Android Reverse Engineering Cookbook

从入门到精通的 Android 逆向与安全分析

基础知识、工具指南、实战技巧与进阶主题

涵盖 Frida、Unidbg、Xposed、IDA Pro 等核心工具

包含数据分析、工程实践与真实案例研究

Authors: +5/Gemini Pro 3.0/Claude Code Opus 4.5

Email: overkazaf@gmail.com

WeChat: _0xAF_

📅 Created: 2025-08-01

🔄 Last Revised: 2025-12-20

📌 Version: v2.0

"If the highest aim of a captain were to preserve his ship, he would keep it in port forever."

— St. Thomas Aquinas, Summa Theologica (1265-1274)

The journey begins with the thrill of solving puzzles—that exhilarating rush when code finally yields its secrets. Yet seasoned reverse engineers walk a different path. They remain humble, ever-curious, and deeply reflective. In time, they all return to first principles: understanding how systems are built is the only true way to understand how they can be unraveled.

初涉此道，多为破解之时的快意。而行至深处者，早已超越这份欣喜。他们怀谦卑之心，持求知之念，善于思考，最终都会回归技术的本质——唯有洞悉系统构建之道，方能参透其拆解之法。知己知彼，百战不殆。

写在前面

逆向工程，这门充满神秘色彩的技术艺术，一直是安全研究者、开发者和技术爱好者心中的"圣杯"。它不仅需要扎实的编程功底，更需要对系统底层的深刻理解，以及那份在迷宫中寻找出口的耐心与智慧。然而，市面上的逆向工程资料要么过于零散，要么晦涩难懂，让许多初学者望而却步。

本书的诞生，源于我近期阅读r0ysue的多本逆向书籍， 如《Frida Android SO逆向深入实践》，《unidbg逆向工程原理与实践》等之后的冲动，以及个人多年逆向实战中的朴素愿望：将散落在各处的知识碎片，系统地串联成一条清晰的学习路径。最初只是想整理平时的学习笔记，以便在旅途中、闲暇时刻享受离线阅读的乐趣。而当 AI 浪潮以不可阻挡之势席卷而来，我意识到这已不再是"要不要拥抱"的问题，而是"如何更好地拥抱"——为什么不借此机会，通过Vide Coding尝试一次真正意义上的人机协作呢?

有人说 AI 让知识变得"廉价"了，但我更愿意这样理解：AI 时代，知识不是更廉价，而是更易获取。真正稀缺的，从来不是信息本身，而是将知识有效组织、精准表达、并转化为可执行智慧的能力。当每个人都能轻松调用 AI 获取答案时，区分高手与新手的，恰恰是谁能把这些碎片化的知识串联成体系，谁能让它们在实战中真正发挥作用。这本手册，正是这一理念的实践。

于是，这本手册成为了一次独特的创作实验。在这个项目中，分工明确而高效:

- Claude Code Opus 4.5 化身"牛马程序员"，负责所有代码示例的编写与调试、大型代码库的深度理解与重构、架构流程图的创建、批量处理 Markdown 格式问题，以及自动化文档生成流程
- Gemini Pro 3.0 担当"科研老师傅"，负责海量技术知识点的调研、梳理与发散，从 arXiv 前沿论文到工业界实践资料的深度阅读与分析
- 而我则作为"Agent善后工程师"，结合自己的实战经验，负责全书的顶层架构设计、内容审核、版本管理、关键技术把关，以及疯狂地指挥Agent更合理地消耗token

这本书适合谁?

无论你是安全研究员、渗透测试工程师、数据工程师，还是对底层技术充满好奇的开发者，本书都将为你提供从入门到进阶的完整路径。我们采用"配方式"的组织结构，每个章节都是一个独立的实战案例，你可以按需阅读，也可以系统学习。

书中涵盖了网络抓包、加密分析、反检测对抗、脱壳修复、动态分析等核心主题，并配有大量可直接运行的代码示例。我们的目标是：让你读完每一个配方后，都能立即动手实践。

📚 推荐学习路径:

- 零基础入门：快速入门(Q) → 基础知识(F) → 工具指南(T) → 基础配方(R01-R15)
- 安全研究员：反检测(R06-R11) → 脱壳技术(R12-R15) → 分析技术(R16-R23) → 案例分析(C)
- 数据工程师：网络分析(R01-R05) → 自动化(R24-R31) → 工程实践(E) → 脚本集合(R32-R37)
- 进阶开发者：工具内部原理(T02/T04/T06) → 进阶主题(A) → 真实案例(C)

分类编号系统

本手册采用分类编号系统，每个章节都有一个唯一标识符，便于快速检索和引用：

Q - 快速入门	R - 实战配方	T - 工具指南
C - 案例分析	F - 基础知识	A - 进阶主题
E - 工程实践	X - 附录资源	

例如：`R01` 表示第一个实战配方，`T05` 表示第五个工具指南

📖 关于本版本

您正在阅读的是静态 PDF 版本，专为离线阅读和打印优化。内容定期更新，适合系统性学习和随时查阅。

我们正在构建动态交互版本，支持与 AI Agent / LLM 实时对话，可以针对具体问题获得定制化解答、代码示例生成、以及更深入的互动学习体验。敬请期待！

目录

R13 Native 字符串混淆

R14 应用加固识别

R15 Frida 反调试绕过

R16 Xposed 反调试绕过

R17 设备指纹与绕过

R18 Native Hook 技术

R19 SO 混淆与反混淆

R20 OLLVM 反混淆

R21 VMP 虚拟机分析

R22 C 语言仿真脚本

R23 TLS 指纹识别

R24 JA3 指纹技术

R25 JA4 指纹技术

R26 验证码绕过技术

R27 移动安全与反爬

R28 自动化脚本

R29 Scrapy 爬虫框架

R30 Scrapy-Redis 分布式

R31 代理池设计

R32 拨号代理池

R33 Docker 部署

R34 虚拟化与容器

R35 自动化设备农场

工具指南

动态分析工具

静态分析工具

速查手册

案例研究

参考资料

基础知识

- F01 APK 文件结构
- F02 Android 四大组件
- F03 AndroidManifest 解析
- F04 Android Studio 调试工具
- F05 DEX 文件格式
- F06 Smali 语法入门
- F07 SO/ELF 文件格式
- F08 ART 运行时
- F09 ARM 汇编入门
- F10 x86 与 ARM 汇编基础
- F11 TOTP 时间动态密码
- F12 SELinux 安全机制
- F13 二进制分析工具链

F14: Binder IPC 机制

进阶主题

- A01 Android 沙箱实现
- A02 AOSP 与系统定制
- A03 AOSP 深度改机
- A04 最小化 Android RootFS
- A05 SO 反调试与混淆
- A06 SO 运行时仿真
- A07 Magisk 与 LSPosed 原理

附录

章节总数: 91

首页

快速入门

Q01: 关于本书

Q01: 关于本书

本书是一本 Android 逆向工程实战手册，采用 Cookbook（配方）形式组织——每个章节都是一个独立的"配方"，针对特定问题提供完整解决方案。

如何使用

- 遇到问题 → 在「实战配方」章节查找对应配方
- 学习工具 → 查阅「工具指南」章节
- 看实战案例 → 参考「案例研究」章节
- 补充基础 → 阅读「参考资料」章节

适合谁

读者类型	推荐路径
安全研究员	参考资料 → 工具指南 → 反检测 → 案例研究
爬虫开发者	网络分析 → 加密算法分析 → 自动化
逆向爱好者	快速入门 → 参考资料 → 实战配方

前置要求

- 熟悉至少一门编程语言（Python/Java/JS）
- 了解 Android 基础（Activity、Service 等）

- 会使用命令行

免责声明

本书仅供学习和安全研究。请确保你有权分析目标应用，并遵守相关法律法规。

准备好了？ → 10 分钟快速入门

Q02: 快速入门

Q02: 快速入门

欢迎！这个指南将帮助你在 10 分钟内完成第一次 Android 逆向分析。

你将学到什么

完成本指南后,你将能够:

- ✅ 在真机/模拟器上运行 Frida
- ✅ Hook 一个 Android 应用的 Java 方法
- ✅ 查看和修改方法的参数与返回值
- ✅ 理解基本的逆向分析流程

预计用时: 10-15 分钟

前置条件

必需工具

工具	说明
□ Android 设备	已 Root 的真机或模拟器(推荐 Genymotion / Android Studio AVD)
□ ADB	Android Debug Bridge
□ Python	版本 3.8+
□ 测试 App	本指南使用系统自带的设置应用

检查清单

```
# 1. Check if ADB is installed
adb version

# 2. Check if Python is installed
python3 --version

# 3. Check device connection
adb devices
# Should display your device
```

操作步骤

第 1 步: 安装 Frida (2 分钟)

在电脑上安装 Frida 工具:

```
pip install frida-tools
```

在 Android 设备上安装 frida-server:

```
# Visit https://github.com/frida/frida/releases
# Download frida-server matching your Python frida version

# View your frida version
frida --version

# View device architecture
adb shell getprop ro.product.cpu.abi
# Common output: arm64-v8a, armeabi-v7a, x86_64
```

```
# Decompress and push to device
unzip frida-server-*.zip
adb push frida-server-*-android-* /data/local/tmp/frida-server

# Grant execute permission and run
adb shell "chmod 755 /data/local/tmp/frida-server"
adb shell "/data/local/tmp/frida-server &"
```

验证安装:

```
frida-ps -U
# Should see output like:
# PID Name
# ---- ---------------
# 1234 com.android.settings
# 5678 com.android.systemui
# ...
```

第 2 步: 编写第一个 Hook 脚本 (3 分钟)

我们将 Hook Android 设置应用,监控其方法调用。

创建 Hook 脚本 `first_hook.js`:

```
// first_hook.js - your first Frida script

Java.perform(function () {
  console.log("\n[*] Frida hook started!");
  console.log("[*] Finding TargetClass...\n");

  // Hook Android system Log class
  var Log = Java.use("android.util.Log");

  // Hook Log.d method (debug log)
  Log.d.overload("java.lang.String", "java.lang.String").implementation =
    function (tag, msg) {
      console.log("\n[+] Captured LogCall:");
      console.log("    Tag: " + tag);
      console.log("    Message: " + msg);

      // Call original method
      return this.d(tag, msg);
    };

  console.log("[*] Hook setup completed! Now open Settings app...\n");
});
```

运行 Hook 脚本:

```
# Method 1: attach to running app
frida -U -n com.android.settings -l first_hook.js

# Method 2: inject at app startup
frida -U -f com.android.settings -l first_hook.js --no-pause
```

预期输出:

```
[+] Captured LogCall:
    Tag: SettingsActivity
    Message: onCreate called

[+] Captured LogCall:
    Tag: SettingsFragment
    Message: Loading preferences...
```

✅ 如果看到类似上方的日志输出，恭喜你已经成功 Hook 了一个 Android 应用!

第 3 步: 修改应用行为 (3 分钟)

现在让我们做点更有趣的 —— 修改应用的返回值。

创建脚本 `modify_behavior.js`:

```
// modify_behavior.js - Modify App behavior

Java.perform(function () {
  console.log("\n[*] Start Hook...\n");

  // Hook String Class equals Method
  var String = Java.use("java.lang.String");

  String.equals.implementation = function (other) {
    // get original result
    var result = this.equals(other);

    // if string is "WiFi", modify result
    if (this.toString() === "WiFi" || other.toString() === "WiFi") {
      console.log("\n[!] detected WiFi String comparison");
      console.log(
        "    Original: '" + this + "' == '" + other + "' => " + result
      );
      console.log("    Modified: true\n");
      return true; // return true
    }

    return result;
  };

  console.log(
    "[*] Hook completed! All 'WiFi' String comparison will return true\n"
  );
});
```

运行脚本:

```
frida -U -f com.android.settings -l modify_behavior.js --no-pause
```

你可以用同样的方法:

- 修改加密参数
- 绕过签名验证

- 篡改网络请求

恭喜你，现在你已完成快速入门

学会了什么?

- ✅ 安装和运行 Frida
- ✅ 编写基本的 Hook 脚本
- ✅ 监控方法调用
- ✅ 修改方法返回值

下一步学习

根据你的兴趣选择:

深入学习工具

- Frida 完整指南 - 学习 Frida 的所有 API
- Frida 内部原理 - 理解 Frida 如何工作
- ADB 命令速查 - 掌握 ADB 常用命令

解决具体问题

场景 1: 抓包分析 → 网络抓包

场景 2: 绕过反调试 → 反调试绕过

场景 3: 分析加密算法 → 密码学分析

场景 4: 脱壳加固 App → 应用脱壳

实战案例

- 音乐 App 分析 - VIP 破解、音频解密

- 社交 App 风控 - API 签名、设备指纹

理解基础原理

- APK 文件结构
- Android 四大组件
- DEX 文件格式

💡 常见问题

Q: Frida 连接不上设备?

```
# 1. Confirm frida-server is running
adb shell "ps | grep frida"

# 2. Reboot frida-server
adb shell "pkill frida-server"
adb shell "/data/local/tmp/frida-server &"

# 3. Check port forwarding (if needed)
adb forward tcp:27042 tcp:27042
```

Q: Hook 不生效?

排查步骤:

1. 确认应用正在运行:

   ```
   frida-ps -U | grep YourAppPackageName
   ```

2. 检查类名是否正确:
   - 使用 jadx-gui 反编译查看准确的类名
   - 注意内部类的 `$` 符号(如 `OuterClass$InnerClass`)

3. 处理方法重载:

```
// If method has multiple overloads, need to specify parameter class type
YourClass.yourMethod.overload("java.lang.String").implementation = function (
  arg
) {
  // your code here
};
```

Q: 应用检测到 Frida?

→ 查看 Frida 反调试绕过

更多资源

项目	说明
Frida 官方文档	https://frida.re/docs/
Frida CodeShare	https://codeshare.frida.re/ (社区脚本)
本 Cookbook 脚本库	Frida 脚本示例

准备好开始你的逆向之旅吧!

Q03: 环境配置

Q03: 环境配置

5 分钟完成基础逆向环境搭建。

必需工具

工具	安装命令
Python 3.8+	官网下载或 `brew install python3`
ADB	`brew install android-platform-tools` 或 Android Studio
Frida	`pip install frida-tools`

设备准备

推荐新手：使用模拟器（Genymotion 或 Android Studio AVD）

使用真机：

1. 设置 → 关于手机 → 连点"版本号"7 次 → 启用开发者选项
2. 开发者选项 → 启用 USB 调试
3. 连接设备，执行 `adb devices` 确认

安装 Frida Server

```
# 1. 查看设备架构
adb shell getprop ro.product.cpu.abi
# arm64-v8a → frida-server-*-android-arm64
# x86_64    → frida-server-*-android-x86_64

# 2. 下载对应版本（版本需与本地 frida 一致）
# https://github.com/frida/frida/releases

# 3. 部署到设备
adb push frida-server /data/local/tmp/
adb shell "chmod 755 /data/local/tmp/frida-server"
adb shell "/data/local/tmp/frida-server &"

# 4. 验证
frida-ps -U
```

验证清单

```
python3 --version    # >= 3.8
adb devices          # 显示设备
frida --version      # 显示版本
frida-ps -U          # 列出进程
```

环境就绪！ → 开始 10 分钟入门

实战配方

R01: 逆向工程完整工作流程

R01: Android 应用逆向工程完整工作流程

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - APK 结构解析 - 理解 APK 的基本组成
> - Android 四大组件 - 理解 Activity、Service 等概念

问题场景

你刚拿到一个 Android 应用需要分析，但面临以下挑战：

- "拿到 APK 后应该先做什么？从哪里入手？"
- "静态分析和动态分析应该如何配合？"
- "如何系统化地分析，而不是盲目尝试？"
- "遇到加固、混淆、反调试该怎么办？"
- "分析完成后如何修改应用以达到目的？"

本配方提供一个经过实战验证的标准化工作流程，帮助你系统化地完成从信息收集到代码修改的整个逆向工程过程。

工具清单

必备工具

项目	说明
APK 提取	ADB + Package Manager
解包/回包	Apktool
反编译工具	Jadx-GUI（推荐）或 JEB
动态分析	Frida + Frida-tools
Root 设备/模拟器	Genymotion、夜神、雷电等

可选工具

项目	说明
Native 分析	IDA Pro / Ghidra / Binary Ninja
网络抓包	mitmproxy / Burp Suite / Charles
调试器	Android Studio / jdb
签名工具	apksigner（Android SDK 自带）
加壳检测	PKid / ApkTool-Plus

前置知识

- 了解 Android 基本架构（四大组件、Manifest 文件）
- 掌握基本 Java/Smali 语法
- 熟悉 ADB 命令
- 拥有 Root 设备（动态分析必需）

解决方案

核心原则

> 由外到内、由浅入深、静动结合
>
> 1. 信息侦察 → 了解应用基本信息和技术栈
> 2. 静态分析 → 理解代码逻辑和算法
> 3. 动态验证 → 观察实际行为、绕过保护
> 4. 代码修改 → 实现永久性改动

阶段一：信息收集与初步分析（15-30 分钟）

目标：在不运行应用的情况下，快速了解基本信息、功能和潜在入口点。

步骤 1：获取 APK 文件

方法 A：从已安装应用提取

```
# 1. 列出所有包名
adb shell pm list packages | grep <关键词>

# 示例：查找音乐应用
adb shell pm list packages | grep music
# 输出：package:com.example.musicapp

# 2. 获取 APK 路径
adb shell pm path com.example.musicapp
# 输出：package:/data/app/~~ABC123/com.example.musicapp-XYZ456/base.apk

# 3. 拉取到本地
adb pull /data/app/~~ABC123/com.example.musicapp-XYZ456/base.apk ./target.apk
```

一键脚本（保存为 pull-apk.sh）

```
#!/bin/bash
PACKAGE=$1
APK_PATH=$(adb shell pm path $PACKAGE | cut -d: -f2 | tr -d '\r')
adb pull $APK_PATH ./$PACKAGE.apk
echo "[+] APK 已保存：$PACKAGE.apk"
```

步骤 2：解包 APK

```
# 使用 Apktool（推荐 - 解码资源和 Smali）
apktool d target.apk -o target_unpacked

# 输出目录结构:
# target_unpacked/
# ├── AndroidManifest.xml (已解码)
# ├── apktool.yml
# ├── smali/ (Dalvik 字节码)
# ├── smali_classes2/ (多个 DEX)
# ├── res/ (资源文件)
# ├── lib/ (native 库)
# ├── assets/ (资产文件)
# └── original/

# 快速查看（不解码）
unzip -l target.apk
unzip target.apk -d target_quick
```

步骤 3：分析 AndroidManifest.xml

```
# 查看已解码的 manifest
cat target_unpacked/AndroidManifest.xml

# 或使用工具美化
xmllint --format target_unpacked/AndroidManifest.xml
```

关键信息提取表：

信息项	位置	意义
包名	`<manifest package="...">`	应用唯一标识
入口 Activity	`<activity>` 带 `LAUNCHER` intent	应用启动入口
Application 类	`<application android:name="...">`	自定义 Application（可能有初始化逻辑）
权限	`<uses-permission>`	推断功能（网络、存储、位置等）
调试标志	`android:debuggable="true"`	可直接调试
备份标志	`android:allowBackup="true"`	数据可导出
导出组件	`android:exported="true"`	可被外部调用
URL Scheme	`<intent-filter>` 带 `<data>`	Deep link 入口点
ContentProvider	`<provider>`	数据库接口
Service	`<service>`	后台服务

真实案例：分析腾讯乐固应用

```
<application
    android:name="com.tencent.StubShell.TxAppEntry"  <!-- 加壳特征 -->
    android:debuggable="false"
    android:allowBackup="false">

    <activity android:name=".MainActivity"
        android:exported="true">  <!-- 可外部启动 -->
        <intent-filter>
            <action android:name="android.intent.action.MAIN"/>
            <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER"/>
        </intent-filter>

        <!-- 自定义URL Scheme -->
        <intent-filter>
            <data android:scheme="myapp" android:host="open"/>
            <action android:name="android.intent.action.VIEW"/>
            <category android:name="android.intent.category.BROWSABLE"/>
        </intent-filter>
    </activity>
</application>
```

分析结论：

- 可通过 `myapp://open` URL 启动
- 调试和备份已禁用（安全配置良好）

步骤 4：快速目录结构审查

```
# 查看 native 库
ls -lh target_unpacked/lib/*/
# 输出示例:
# lib/arm64-v8a/libnative-lib.so (2.3 MB) ← Native 代码
# lib/arm64-v8a/libencrypt.so (450 KB) ← 可能是加密库
# lib/armeabi-v7a/libnative-lib.so

# 查看资产文件
ls -lh target_unpacked/assets/
# 输出示例:
# config.json ← 配置文件
# encrypted.dat ← 加密数据
# web/index.html ← H5 页面

# 统计 Smali 文件数量（估算代码规模）
find target_unpacked/smali* -name "*.smali" | wc -l
# 输出: 8432 (约 8000+ 类)

# 搜索可疑关键词
grep -r "password" target_unpacked/smali/ | head -n 10
grep -r "encrypt" target_unpacked/smali/ | head -n 10
```

阶段一产出：

- 技术栈识别（是否加壳、是否使用 native 代码）
- 潜在攻击面（导出组件、URL Scheme）
- 初步分析方向（应该深入哪里）

阶段二：静态分析（1-3 小时）

目标：通过反编译理解应用如何工作、算法和业务逻辑。

步骤 1：使用 Jadx 反编译

```
# 启动 Jadx GUI
jadx-gui target.apk

# 或命令行模式
jadx -d target_decompiled target.apk
```

关键搜索词：

- "encrypt"、"decrypt"、"AES"、"DES" → 加密算法
- "http"、"api"、"request" → 网络请求
- "premium"、"vip"、"paid" → 会员检查
- "signature"、"sign" → 签名算法
- "root"、"frida"、"xposed" → 反检测

定位关键代码：

1. 从入口 Activity 开始（`MainActivity.onCreate()`）
2. 检查 Application 子类（`Application.onCreate()` - 初始化逻辑）
3. 搜索字符串常量（右键 → "查找用法"）
4. 分析网络请求（OkHttp、Retrofit、HttpURLConnection）
5. 追踪用户输入处理（`onClick` 回调）

代码导航快捷键：

- Ctrl+H：查看类层次结构
- Ctrl+F12：查看当前类的所有方法

步骤 2：识别代码模式

正常代码

```
// 可读的类名和方法名
public class LoginManager {
    private static final String API_URL = "https://api.example.com/login";

    public boolean login(String username, String password) {
        String encryptedPassword = AESUtil.encrypt(password);
        return ApiClient.post(API_URL, username, encryptedPassword);
    }
}
```

混淆代码

```
// ProGuard/R8 混淆
public class a {
    private static final String a = "https://api.example.com/login";

    public boolean a(String str, String str2) {
        String b = b.a(str2);  // 字符串常量通常会保留
        return c.a(a, str, b);
    }
}
```

步骤 3：分析 Native 库

如果应用包含 `.so` 文件，核心算法通常在这里实现。

方法 A：使用 IDA Pro 分析

```
# 1. 打开 SO 文件
ida64 target_unpacked/lib/arm64-v8a/libnative-lib.so

# 2. 等待自动分析完成

# 3. 查看导出函数（Exports 窗口）
# 查找 JNI 函数命名模式:
# Java_com_example_app_NativeHelper_encrypt
# Java_<包名>_<类名>_<方法名>

# 4. 反编译关键函数（F5 反编译为伪代码）
```

方法 B：使用 Ghidra 分析

```
# 1. 启动 Ghidra
ghidraRun

# 2. 新建项目 → 导入文件 → 选择 .so 文件

# 3. 双击文件 → 自动分析

# 4. 窗口 → Symbol Tree → Exports
# 查看导出函数列表

# 5. 双击函数 → 反编译（右侧面板显示 C 伪代码）
```

方法 C：快速命令行分析

```
# 查看导出函数
nm -D libnative-lib.so | grep Java
# 输出示例:
# 00012340 T Java_com_example_app_Crypto_encrypt
# 00012680 T Java_com_example_app_Crypto_decrypt
# 00012a00 T Java_com_example_app_Sign_generate

# 搜索字符串（可能找到加密密钥）
strings libnative-lib.so | grep -i "key\|secret\|password"
```

步骤 4：创建分析笔记

```
## 分析目标

- 提取登录 API 签名算法
- 绕过 VIP 会员检查
- 获取加密密钥

## 已定位的关键类/方法

1. `com.example.app.utils.SignUtil.generateSign(Map params)` - 签名生成
2. `com.example.app.user.UserManager.isPremium()` - 会员检查
3. Native: `Java_com_example_app_Crypto_encrypt` - 加密函数

## Hook 策略

- Hook `generateSign()` 查看参数和返回值
- Hook `isPremium()` 强制返回 true
- Hook native 函数获取加密密钥

## 预期挑战

- 签名算法可能在 native 层
- 可能有 Frida 检测
- 网络请求可能有 SSL pinning
```

阶段二产出

- 理解应用的核心功能和业务逻辑
- 定位关键类、方法和 native 函数
- 识别使用的加密/签名算法
- 确定动态分析的 hook 点清单
- 识别潜在的反调试/反 hook 机制

阶段三：动态分析（2-4 小时）

目标：在运行时观察实际行为，验证静态分析结论，绕过保护机制。

步骤 1：设置 Frida 环境

```
# 1. 启动 Frida Server（在设备上）
adb push frida-server /data/local/tmp/
adb shell "chmod 755 /data/local/tmp/frida-server"
adb shell "/data/local/tmp/frida-server &"

# 2. 验证连接（在 PC 上）
frida-ps -U
# 应该看到设备上运行的进程列表

# 3. 测试 hook
frida -U -f com.example.app --no-pause
# 进入交互式控制台
```

步骤 2：编写 Hook 脚本

基于静态分析结果，编写 Frida 脚本。

示例 1：Hook 会员检查

```
// hook_premium.js - 绕过 VIP 检查

Java.perform(function () {
  console.log("[+] 开始 hook 会员检查...");

  var UserManager = Java.use("com.example.app.user.UserManager");

  // Hook isPremium 方法
  UserManager.isPremium.implementation = function () {
    console.log("[+] isPremium() 被调用");

    // 调用原始方法查看真实结果
    var realResult = this.isPremium();
    console.log("    真实返回值: " + realResult);

    // 强制返回 true
    console.log("    修改返回值: true");
    return true;
  };

  console.log("[+] Hook 完成");
});
```

示例 2：提取签名算法

```
// hook_sign.js - 提取签名算法

Java.perform(function () {
  var SignUtil = Java.use("com.example.app.utils.SignUtil");

  SignUtil.generateSign.implementation = function (params) {
    console.log("\n[SIGN] generateSign() 被调用");
    console.log("    参数类型: " + params.$className);

    // 如果是 Map，遍历打印
    if (params.$className === "java.util.HashMap") {
      var HashMap = Java.use("java.util.HashMap");
      var entrySet = params.entrySet();
      var iterator = entrySet.iterator();

      console.log("    参数内容:");
      while (iterator.hasNext()) {
        var entry = iterator.next();
        var key = entry.getKey();
        var value = entry.getValue();
        console.log("        " + key + " = " + value);
      }
    }

    // 调用原始方法
    var result = this.generateSign(params);

    console.log("    签名结果: " + result);
    console.log("    签名长度: " + result.length);

    // 打印调用栈
    console.log("    调用栈:");
    console.log(
      Java.use("android.util.Log").getStackTraceString(
        Java.use("java.lang.Exception").$new()
      )
    );

    return result;
  };

  console.log("[+] 签名 hook 完成");
});
```

示例 3：Hook Native 函数

```
// hook_native.js - Hook native 加密函数

var encryptAddr = Module.findExportByName(
  "libnative-lib.so",
  "Java_com_example_app_Crypto_encrypt"
);

if (encryptAddr) {
  console.log("[+] 找到 encrypt 函数: " + encryptAddr);

  Interceptor.attach(encryptAddr, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("\n[NATIVE] encrypt() 被调用");
      console.log("    JNIEnv*: " + args[0]);
      console.log("    jobject: " + args[1]);

      // 第 3 个参数通常是 jstring（输入数据）
      try {
        var env = Java.vm.getEnv();
        var inputStr = env.getStringUtfChars(args[2], null);
        var input = inputStr.readCString();
        console.log("    输入: " + input);
        env.releaseStringUtfChars(args[2], inputStr);
      } catch (e) {
        console.log("    输入: [无法读取]");
      }
    },

    onLeave: function (retval) {
      // 返回值也是 jstring（密文）
      try {
        var env = Java.vm.getEnv();
        var outputStr = env.getStringUtfChars(retval, null);
        var output = outputStr.readCString();
        console.log("    输出: " + output);
        env.releaseStringUtfChars(retval, outputStr);
      } catch (e) {
        console.log("    输出: " + retval);
      }
    },
  });

  console.log("[+] Native hook 完成");
} else {
  console.log("[-] 未找到 encrypt 函数");
}
```

步骤 3：绕过反调试检测

```
// bypass_all.js - 综合绕过脚本

Java.perform(function () {
  console.log("[+] 加载反检测模块...");

  // 1. 绕过 Frida 端口检测
  var connect = Module.findExportByName("libc.so", "connect");
  Interceptor.attach(connect, {
    onEnter: function (args) {
      var sockaddr = ptr(args[1]);
      var port = (sockaddr.add(2).readU8() << 8) | sockaddr.add(3).readU8();
      if (port === 27042 || port === 27043) {
        console.log("[检测] 拦截了 Frida 端口扫描");
        sockaddr.add(2).writeU8(0xff);
      }
    },
  });

  // 2. 绕过 TracerPid 检测
  var fgets = Module.findExportByName("libc.so", "fgets");
  Interceptor.attach(fgets, {
    onLeave: function (retval) {
      if (retval && !retval.isNull()) {
        var line = retval.readCString();
        if (line && line.includes("TracerPid:")) {
          retval.writeUtf8String("TracerPid:\t0\n");
          console.log("[检测] 修改 TracerPid 为 0");
        }
      }
    },
  });

  // 3. 绕过字符串检测
  var strstr = Module.findExportByName("libc.so", "strstr");
  Interceptor.attach(strstr, {
    onLeave: function (retval) {
      if (this.needle && this.needle.toLowerCase().includes("frida")) {
        retval.replace(ptr(0));
        console.log("[检测] 隐藏 Frida 字符串");
      }
    },
    onEnter: function (args) {
      this.needle = args[1].readCString();
    },
  });

  console.log("[+] 反检测模块加载完成");
});
```

步骤 4：运行分析

```
# 组合使用多个脚本
frida -U -f com.example.app \
    -l bypass_all.js \
    -l hook_premium.js \
    --no-pause
```

步骤 5：网络流量分析

```
# 1. 配置代理
adb shell settings put global http_proxy 192.168.1.100:8080

# 2. 启动应用并绕过 SSL pinning
frida -U -f com.example.app -l bypass_ssl_pinning.js --no-pause

# 3. 在 Burp Suite 中查看流量
```

Hook OkHttp 请求

```
// hook_okhttp.js
Java.perform(function () {
  var RealInterceptorChain = Java.use(
    "okhttp3.internal.http.RealInterceptorChain"
  );

  RealInterceptorChain.proceed.implementation = function (request) {
    console.log(
      "\n[HTTP] " + request.method() + " " + request.url().toString()
    );

    // 打印请求头
    var headers = request.headers();
    for (var i = 0; i < headers.size(); i++) {
      console.log("    " + headers.name(i) + ": " + headers.value(i));
    }

    var response = this.proceed(request);

    console.log("[RESP] Code: " + response.code());

    return response;
  };
});
```

阶段三产出

- 成功绕过会员检查、反调试等限制
- 完整的网络请求/响应日志
- 准备好重打包的修改点

阶段四：代码修改与重打包（30-60 分钟）

目标：对应用进行永久性修改，实现持久化的功能改变。

步骤 1：修改 Smali 代码

基于动态分析结果，在 Smali 层面进行修改。

示例 1：绕过会员检查

原始 Java 代码（Jadx 反编译）：

```
public boolean isPremium() {
    return this.userInfo.vipStatus == 1;
}
```

原始 Smali 代码：

```
.method public isPremium()Z
    .locals 2

    # 读取 userInfo.vipStatus
    iget-object v0, p0, Lcom/example/app/user/UserManager;->userInfo:Lcom/example/app/
model/UserInfo;
    iget v0, v0, Lcom/example/app/model/UserInfo;->vipStatus:I

    # 比较是否等于 1
    const/4 v1, 0x1
    if-ne v0, v1, :cond_0

    # 如果相等，返回 true
    const/4 v0, 0x1
    return v0

    # 如果不相等，返回 false
    :cond_0
    const/4 v0, 0x0
    return v0
.end method
```

修改后 Smali 代码：

```
.method public isPremium()Z
    .locals 1

    # 直接返回 true，跳过所有检查
    const/4 v0, 0x1
    return v0
.end method
```

示例 2：移除广告显示

原始 Smali 代码：

```
.method private showAd()V
    .locals 1

    # 检查是否不是 VIP
    invoke-virtual {p0}, Lcom/example/app/MainActivity;->isPremium()Z
    move-result v0

    # 如果不是 VIP，显示广告
    if-nez v0, :cond_0
    invoke-direct {p0}, Lcom/example/app/MainActivity;->loadAdView()V

    :cond_0
    return-void
.end method
```

修改后 Smali 代码：

```
.method private showAd()V
    .locals 0

    # 直接返回，不执行任何操作
    return-void
.end method
```

步骤 2：重新打包 APK

```
# 1. 使用 Apktool 重打包
apktool b target_unpacked -o modified.apk

# 输出：
# I: Using Apktool 2.x.x
# I: Checking whether sources has changed...
# I: Smali folder: smali
# I: Smali folder: smali_classes2
# I: Copying raw resources...
# I: Copying libs... (/lib)
# I: Copying assets... (/assets)
# I: Building apk file...
# I: Copying unknown files/dir...
# I: Built apk into: modified.apk

# 2. 检查生成的 APK
ls -lh modified.apk
# -rw-r--r-- 1 user user 8.5M modified.apk
```

步骤 3：签名 APK

```
# 1. 生成签名密钥（只需执行一次）
keytool -genkey -v \
    -keystore my-release-key.keystore \
    -alias my-key-alias \
    -keyalg RSA \
    -keysize 2048 \
    -validity 10000

# 提示输入密码和信息:
# Enter keystore password: [输入密码]
# Re-enter new password: [再次输入]
# What is your first and last name? [随意填写]
# ...

# 2. 签名 APK
apksigner sign \
    --ks my-release-key.keystore \
    --ks-key-alias my-key-alias \
    --out signed.apk \
    modified.apk

# 提示输入 keystore 密码
# 输出: signed.apk

# 3. 验证签名
apksigner verify signed.apk
# 输出: Verifies
# 表示签名成功
```

使用 uber-apk-signer（更简单）

```
java -jar uber-apk-signer.jar --apks modified.apk
# 输出: modified-aligned-debugSigned.apk
```

步骤 4：安装测试

```
# 1. 卸载原应用（如果存在）
adb uninstall com.example.app

# 2. 安装修改后的 APK
adb install signed.apk

# 如果遇到签名冲突:
# adb install -r signed.apk （替换安装）

# 3. 启动应用
adb shell am start -n com.example.app/.MainActivity

# 4. 查看日志验证修改
adb logcat | grep "example.app"
```

验证清单：

- 修改的功能生效（例如 VIP 权限解锁）
- 没有崩溃或异常行为
- 网络功能正常（如果修改了签名相关代码）

常见问题排查

```
# 查看崩溃日志
adb logcat | grep "AndroidRuntime"

# 常见错误:
# 1. "INSTALL_PARSE_FAILED_NO_CERTIFICATES"
#    → 签名失败，重新签名

# 2. "INSTALL_FAILED_UPDATE_INCOMPATIBLE"
#    → 签名不匹配，先卸载原应用

# 3. 应用崩溃
#    → 查看 logcat，可能是 Smali 语法错误
```

工作流程总结

```
信息收集（15-30 分钟）
        ↓
  快速了解技术栈
  避免盲目分析浪费时间
        ↓
静态分析（1-3 小时）
        ↓
  理解代码逻辑和算法
  定位关键函数和 hook 点
        ↓
动态分析（2-4 小时）
        ↓
  验证静态分析结论
  绕过运行时保护
  获取实际数据（密钥、API 参数）
        ↓
代码修改（30-60 分钟）
        ↓
  永久性修改
  无需每次都使用 Frida
```

静态 vs 动态分析对比

场景	静态分析	动态分析	推荐
绕过混淆	困难	可行	动态
获取密钥	难（可能硬编码）	易（运行时）	动态
修改代码	精确	不持久	静态
时间成本	高（有混淆时）	中等	结合使用

常见问题

问题 1：Apktool 解包失败

错误信息：`brut.androlib.AndrolibException: Could not decode arsc file`

可能原因：

1. APK 使用了资源混淆（AndResGuard）
2. APK 已损坏
3. Apktool 版本过旧

解决方案：

```
# 1. 更新 Apktool 到最新版本
# 下载: https://ibotpeaches.github.io/Apktool/

# 2. 使用 -r 参数跳过资源解码
apktool d target.apk -r -o target_unpacked
# -r: 不解码资源文件 (resources.arsc)

# 3. 使用 --only-main-classes 仅解码主 DEX
apktool d target.apk --only-main-classes -o target_unpacked

# 4. 如果只需要 Smali，直接使用 dex2jar + jd-gui
d2j-dex2jar target.apk
# 生成 target-dex2jar.jar，用 JD-GUI 打开
```

问题 2：代码混淆严重无法阅读

解决方案：

```
# 1. 优先使用动态分析
# 混淆的代码在运行时行为不变
# 使用 Frida 直接 hook，观察参数和返回值

# 2. 利用字符串常量定位
# 字符串通常不会被混淆
# 在 Jadx 中搜索关键字符串，反向定位代码

# 3. 重命名类/方法（Jadx 支持）
# 右键类名 → Rename
# 根据功能手动重命名为有意义的名称

# 4. 使用符号还原工具
# 如果有 mapping.txt（混淆映射文件）
# 可以使用工具还原符号
```

问题 3：Frida 无法连接应用

可能原因：

1. 应用未运行
2. 包名错误
3. Frida Server 未启动

解决方案：

```
# 1. 检查 Frida Server 是否运行
adb shell ps | grep frida-server
# 如果没有输出，需要启动 Frida Server

# 2. 确认应用正在运行
adb shell ps | grep com.example.app
# 或
frida-ps -U | grep example

# 3. 使用正确的包名
# 查看已安装应用的包名
adb shell pm list packages | grep example

# 4. 使用 spawn 模式（自动启动应用）
frida -U -f com.example.app -l script.js --no-pause
# -f: spawn 模式，会自动启动应用

# 5. 检查设备连接
adb devices
# 应显示: device（不是 offline 或 unauthorized）
```

问题 4：重打包后应用崩溃

可能原因：

1. Smali 语法错误
2. 修改破坏了类结构
3. 缺少依赖

解决方案：

```
# 1. 查看详细崩溃日志
adb logcat -c  # 清空日志
adb logcat | grep -E "AndroidRuntime|FATAL"

# 2. 验证 Smali 语法
# 用 Apktool 重新反编译修改后的 APK
apktool d signed.apk -o verify_unpacked
# 查看是否有错误提示

# 3. 回滚修改，逐步测试
# 先修改单个方法，通过后再修改其他

# 4. 使用 baksmali/smali 验证
baksmali d modified.apk -o smali_test
smali a smali_test -o test.dex
# 如果验证通过，说明 Smali 语法正确

# 5. 检查方法签名是否正确
# 确保修改的方法签名与接口/父类匹配
```

相关资源

相关配方

Recipe	说明
Android 应用网络流量分析	详细的网络流量分析步骤
绕过应用对 Frida 的检测	反调试绕过
脱壳和分析加固的 Android 应用	处理加壳应用
Frida 常用脚本速查	现成的脚本模板

工具深入

- Frida 使用指南 - 完整的 Frida 使用手册

- Ghidra 使用指南 - Native 代码分析
- IDA Pro 使用指南 - 专业逆向工程工具

案例研究

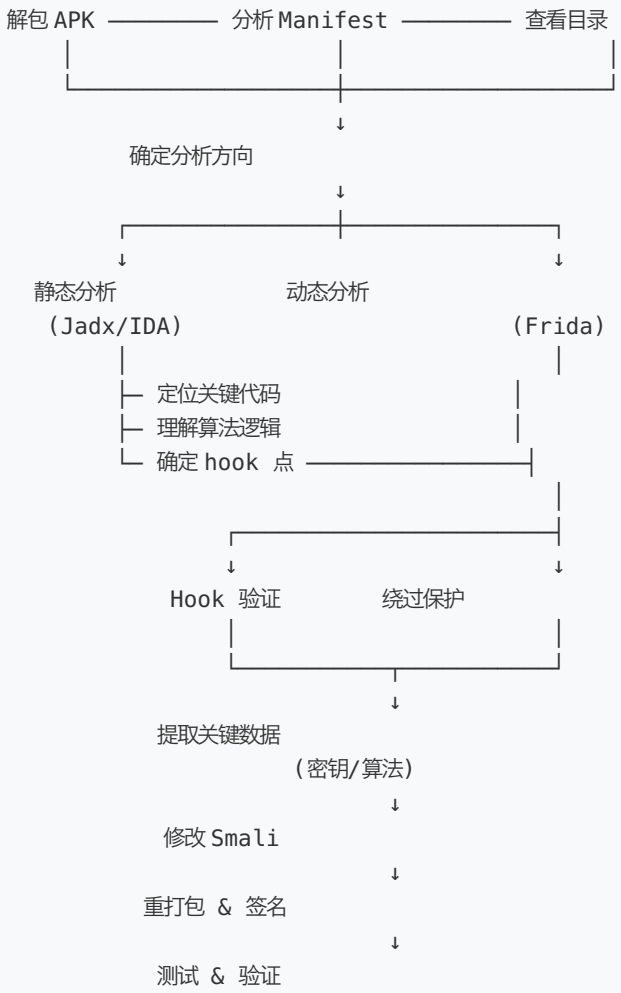
- 案例：音乐应用分析 - 完整工作流程实践
- 案例：应用加密分析

参考资料

- APK 文件结构详解
- Smali 语法参考
- Android 组件详解

速查手册

工作流程快速地图



常用命令速查

操作	工具	命令
解包	Apktool	`apktool d app.apk -o unpacked`
反编译	Jadx	`jadx-gui app.apk`
Native 分析	IDA/ Ghidra	直接打开 `.so` 文件
动态分析	Frida	`frida -U -f <pkg> -l script.js --no-pause`
重打包	Apktool	`apktool b unpacked -o modified.apk`
签名	apksigner	`apksigner sign --ks key.keystore --out signed.apk modified.apk`
安装	ADB	`adb install signed.apk`

常用快捷操作

```
# 1. 一键提取 APK 脚本（保存为 get-apk.sh）
#!/bin/bash
PKG=$1
APK_PATH=$(adb shell pm path $PKG | cut -d: -f2 | tr -d '\r')
adb pull $APK_PATH ./$PKG.apk
echo "[+] 已保存: $PKG.apk"

# 使用: ./get-apk.sh com.example.app

# 2. 一键解包 + 反编译
apktool d app.apk && jadx-gui app.apk &

# 3. 快速查看 Manifest
apktool d -s app.apk -o temp && cat temp/AndroidManifest.xml

# 4. 自动签名脚本（保存为 sign-apk.sh）
#!/bin/bash
APK=$1
java -jar uber-apk-signer.jar --apks $APK
echo "[+] 签名 APK 已创建"

# 5. Frida 快速 hook（交互模式）
frida -U com.example.app
# 进入后执行:
# Java.perform(function() {
#     var cls = Java.use("com.example.Class");
#     cls.method.implementation = function() { return true; };
# });
```

决策树

```
拿到 APK
    │
    ├─ 有源码?
    │    └─ 有 → 直接阅读代码 → 动态验证
    │    └─ 无 → 继续
    │
    ├─ 是否加壳?
    │    └─ 是 → 先脱壳（参见脱壳 Recipe）
    │    └─ 否 → 继续
    │
    ├─ 是否混淆?
    │    └─ 重度混淆 → 优先动态分析（Frida）
    │    └─ 轻度/无 → 优先静态分析（Jadx）
    │
    ├─ Native 代码多?
    │    └─ 是 → 用 IDA/Ghidra 分析 .so
    │    └─ 否 → 专注 Java 层
    │
    └─ 有反调试?
         └─ 是 → 先绕过检测
         └─ 否 → 直接 hook
```

R02: 网络抓包分析

R02: 抓包分析 Android 应用的网络流量

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - ADB 速查手册 - 设备连接与证书推送
> - HTTP/HTTPS 协议 - 理解请求响应结构与 TLS 握手

问题场景

- 你遇到了什么问题?
- 想知道某个 App 调用了哪些 API 接口
- 需要分析 API 的请求参数和响应数据
- 想查看 App 发送了哪些敏感信息（设备信息、定位等）
- 需要找到加密签名的生成逻辑
- 想重放或修改 API 请求
- 本配方教你：配置抓包环境，拦截并分析 HTTPS 流量，绕过 SSL Pinning 限制。
- 预计用时: 15-30 分钟（首次配置）

工具清单

必需工具

- Android 设备/模拟器（已 Root，或可安装证书）

- 抓包代理工具（选择其一）：
  - Burp Suite（推荐，功能最强）
  - Charles（UI 友好）
  - mitmproxy（开源，可编程）
- Frida（用于绕过 SSL Pinning）

可选工具

- Wireshark（分析底层 TCP/UDP 流量）
- HttpCanary（Android 上的抓包工具，无需 PC）

前置条件

确认清单

```
# 1. Verify device connection
adb devices

# 2. Frida 可用
frida-ps -U

# 3. PC and phone on the same Wi-Fi network
# Record PC IP address (used below as YOUR_PC_IP)
# Windows: ipconfig
# macOS/Linux: ifconfig or ip addr
```

- Android 7.0+：需要 Root 权限安装系统证书
- Android 6.0-：可直接安装用户证书，无需 Root
- 或使用支持用户证书的 App（Target SDK < 24）

解决方案

第 1 步：配置抓包工具（5 分钟）

使用 Burp Suite（推荐）

1.1 启动 Burp Suite

```
# Download Burp Suite Community Edition (free)
# https://portswigger.net/burp/communitydownload

# Run the command
java -jar burpsuite_community.jar
```

1. 打开 Proxy → Options
2. 在 Proxy Listeners 部分
3. 点击 Add，配置：

- Bind to port: `8888`
- Bind to address: `All interfaces`（或选择你的 Wi-Fi 网卡）

1. 点击 OK 保存

Burp Proxy配置

验证：浏览器访问 `http://YOUR_PC_IP:8888`，应该看到 Burp 的错误页面（表示代理工作正常）

使用 Charles

1.1 启动 Charles

下载：https://www.charlesproxy.com/download/

1.2 配置代理

1. Proxy → Proxy Settings

2. 设置 Port 为 `8888`
3. 勾选 Enable transparent HTTP proxying

使用 mitmproxy

```
# Install
pip install mitmproxy

# startup（监听 8888 端口）
mitmproxy -p 8888 --listen-host 0.0.0.0

# 或使用 Web 界面
mitmweb -p 8888 --listen-host 0.0.0.0
# 访问 http://127.0.0.1:8081 查看流量
```

第 2 步：配置手机代理（2 分钟）

2.1 连接到同一 Wi-Fi

确保手机和 PC 在同一局域网。

2.2 设置手动代理

1. 打开手机 设置 → Wi-Fi
2. 长按当前连接的 Wi-Fi → 修改网络
3. 展开 高级选项
4. 代理设置改为 手动：
   - 代理服务器主机名：`YOUR_PC_IP`（如 `192.168.1.100`）
   - 代理服务器端口：`8888`
5. 保存

2.3 验证代理连接

```
# 手机浏览器访问任意 HTTP 网站（如 http://example.com）
# 此时 Burp/Charles 应该显示拦截到的请求
```

第 3 步：安装 HTTPS 证书（5-10 分钟）

为什么需要？ HTTPS 流量经过加密，需要安装证书才能解密查看。

Burp Suite 证书安装

3.1 下载证书

1. 手机浏览器访问 `http://burp`
2. 点击 CA Certificate 下载 `cacert.der`

3.2 安装证书

- Android 7.0+ （需要 Root）：

```
# 1. 转换证书格式
openssl x509 -inform DER -in cacert.der -out cacert.pem

# 2. 计算证书哈希
HASH=$(openssl x509 -inform PEM -subject_hash_old -in cacert.pem | head -1)

# 3. 重命名并推送到系统目录
cp cacert.pem $HASH.0
adb root
adb remount
adb push $HASH.0 /system/etc/security/cacerts/
adb shell chmod 644 /system/etc/security/cacerts/$HASH.0

# 4. 重启设备
adb reboot
```

Charles 证书安装

1. 手机浏览器访问 `http://chls.pro/ssl`
2. 下载并安装证书

3. Android 7.0+ 同样需要安装到系统目录（参考 Burp 步骤）

mitmproxy 证书安装

1. 手机浏览器访问 `http://mitm.it`
2. 点击 Android 图标下载证书
3. 安装步骤同上

第 4 步：开始抓包（1 分钟）

4.1 清空旧记录

- Burp: Proxy → HTTP history → 右键 → Clear history
- Charles: Proxy → Clear Session

4.2 启动目标 App

在手机上打开要分析的应用，正常使用。

4.3 查看流量

在抓包工具中：

- 查看 HTTP history / Sequence
- 筛选目标 App 的域名
- 分析 Request/Response 内容

示例分析点：

- 请求 URL 和参数
- Request Headers（`User-Agent`, `Authorization`, 自定义签名头）
- Request Body（POST 数据）
- Response Body（API 返回的 JSON/XML）

第 5 步：绕过 SSL Pinning（如遇到）

症状：

- 证书已安装，但 HTTPS 请求仍无法抓取
- App 显示"网络错误"或直接闪退
- 抓包工具显示 SSL 握手失败

原因：App 启用了 SSL Pinning（证书锁定），拒绝信任系统证书。

方法 1: 使用 Frida 通用脚本（推荐）

下载脚本 `bypass_ssl_pinning.js`：

```
// Universal android SSL Pinning Bypass
Java.perform(function () {
  console.log(" [SSL Pinning Bypass] 已启动");

  // 拦截 TrustManagerImpl (常用)
  try {
    var TrustManagerImpl = Java.use(
      "com.android.org.conscrypt.TrustManagerImpl"
    );
    TrustManagerImpl.verifyChain.implementation = function (
      untrustedChain,
      trustAnchorChain,
      host,
      clientAuth,
      ocspData,
      tlsSctData
    ) {
      console.log("✓ [TrustManagerImpl] BypassCertValidate: " + host);
      return untrustedChain;
    };
  } catch (e) {
    console.log("! TrustManagerImpl 不存在");
  }

  // Hook OkHttp3
  try {
    var CertificatePinner = Java.use("okhttp3.CertificatePinner");
    CertificatePinner.check.overload(
      "java.lang.String",
      "java.util.List"
    ).implementation = function (hostname, peerCertificates) {
      console.log("✓ [OkHttp3] Bypass SSL Pinning: " + hostname);
      return;
    };
  } catch (e) {
    console.log("! OkHttp3 不存在");
  }

  // Hook SSLContext
  try {
    var SSLContext = Java.use("javax.net.ssl.SSLContext");
    SSLContext.init.overload(
      "[Ljavax.net.ssl.KeyManager;",
      "[Ljavax.net.ssl.TrustManager;",
      "java.security.SecureRandom"
    ).implementation = function (keyManager, trustManager, secureRandom) {
      console.log("✓ [SSLContext] 使用自定义 TrustManager");
      this.init(keyManager, null, secureRandom);
    };
  } catch (e) {
    console.log("! SSLContext hook 失败");
  }
```

```
  console.log(" [SSL Pinning Bypass] 配置完成\n");
});
```

```
# 方式1：附加到运行中的 App
frida -U com.example.app -l bypass_ssl_pinning.js

# 方式2：启动 App 并注入
frida -U -f com.example.app -l bypass_ssl_pinning.js --no-pause
```

```
[SSL Pinning Bypass] 配置完成
```

方法 2: 使用 Xposed 模块

JustTrustMe 安装步骤

1. 确保设备已安装 Xposed Framework
2. 下载 JustTrustMe 模块：https://github.com/Fuzion24/JustTrustMe
3. 在 Xposed Installer 中激活
4. 重启设备

方法 3: 修改 APK（重打包）

APK 重打包步骤

如果 Frida 被检测，可以修改 APK 来信任用户证书：

1. 反编译 APK
2. 修改 `AndroidManifest.xml`，添加：

   ```
   <application android:networkSecurityConfig="@xml/network_security_config">
   ```

3. 创建 `res/xml/network_security_config.xml`：

```
<network-security-config>
    <base-config cleartextTrafficPermitted="true">
        <trust-anchors>
            <certificates src="system" />
            <certificates src="user" />
        </trust-anchors>
    </base-config>
</network-security-config>
```

4. 重新打包并签名 APK

工作原理

MITM（中间人攻击）流程

```
1. App 发起 HTTPS 请求
2. 代理解密请求（使用安装的证书）
3. 代理重新加密并转发到真实服务器
4. 服务器响应经过代理返回给 App
```

SSL Pinning 是什么?

App 内置了服务器证书的指纹（Hash），只信任特定证书:

```
CertificatePinner pinner = new CertificatePinner.Builder()
    .add("api.example.com", "sha256/AAAAAAAAAA...")
    .build();
```

常见问题

问题 1: 手机无法连接代理

症状：浏览器显示"无法连接到代理服务器"

检查：

1. PC 和手机是否在同一 Wi-Fi?
2. PC 防火墙是否允许 8888 端口?

```
# Windows 防火墙规则（以管理员身份运行）
netsh advfirewall firewall add rule name="Burp Proxy" dir=in action=allow protocol=TCP
localport=8888

# macOS
# 系统偏好设置 → 安全性与隐私 → 防火墙选项 → 允许 Java
```

```
# 检查端口
netstat -an | grep 8888 # macOS/Linux
netstat -an | findstr 8888 # Windows
```

问题 2: 证书无效

症状：浏览器显示证书无效

Android 7.0+ 限制：

- 默认只信任系统证书
- 必须将证书安装到 `/system/etc/security/cacerts/`（需要 Root）

无 Root 设备的解决方案：

- 使用 Magisk + MagiskTrustUserCerts 模块
- 或修改 APK（参考方法 3）

问题 3: Frida 脚本不生效

可能原因:

1. App 使用了自定义网络库 → 需要定位具体的类名和方法，定制 Hook 脚本
2. Frida 被检测 → 使用重命名的 frida-server:

```
adb push frida-server /data/local/tmp/random_name
adb shell "/data/local/tmp/random_name &"
```

问题 4: 抓不到某些请求

可能原因:

1. 使用了 HTTP/2 或 QUIC → Burp Suite → Proxy → Options → HTTP/2 → 勾选"Enable HTTP/2"
2. 直接使用 Socket 通信 → 需要使用 Wireshark 或 tcpdump 抓取原始 TCP 包
3. 加密的自定义协议 → 需要逆向分析加密算法并解密

延伸阅读

相关配方

- 密码学分析 - 分析 API 签名和加密算法
- Frida 反调试绕过 - 如果 App 检测到 Frida
- TLS 指纹分析 - 理解 TLS 指纹技术

工具深入

- Frida 完整指南

- [Burp Suite 使用技巧] - TODO，一个比较流氓的工具

案例分析

- 音乐 App 分析 - API 抓包实战
- 社交媒体风控 - 复杂签名分析

快速参考

一键启动脚本

- macOS/Linux:

```
#!/bin/bash
# start_proxy.sh

# 获取本机 IP
IP=$(ifconfig | grep "inet " | grep -v 127.0.0.1 | awk '{print $2}' | head -1)

echo "代理地址: $IP:8888"
echo "配置手机代理到: $IP:8888"
echo "证书下载: http://burp (Burp) 或 http://mitm.it (mitmproxy)"
echo ""

# 启动 mitmproxy
mitmweb -p 8888 --listen-host 0.0.0.0
```

- Windows:

```
@echo off
REM start_proxy.bat

for /f "tokens=2 delims=:" %%a in ('ipconfig ^| findstr /c:"IPv4"') do set IP=%%a
echo 代理地址: %IP%:8888
echo 配置手机代理到: %IP%:8888
pause

java -jar burpsuite_community.jar
```

快速 SSL Pinning 绕过

```
# 下载通用 SSL Pinning 绕过脚本
curl -O https://codeshare.frida.re/@pcipolloni/universal-android-ssl-pinning-bypass-with-frida/

# 运行
frida -U -f com.target.app -l universal-ssl-pinning.js --no-pause
```

R03: Objection 快速分析

R03: Objection 常用技巧 (Objection Snippets)

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - Objection 基于 Frida 构建
> - ADB 速查手册 - 设备连接与应用启动

Objection 是一个基于 Frida 开发的运行时移动端探索工具包。它提供了类似于 shell 的交互式命令行，无需编写 JavaScript 代码即可完成大部分常见的逆向任务。

- 安装: `pip install objection`
- 启动: `objection -g com.example.app explore`

1. 内存漫游与类查找

在不知道从何入手时，首先浏览应用中加载了哪些类。

- 搜索类:

```
# 搜索包含 "Crypto" 的类
android hooking search classes Crypto
```

```
# 搜索包含 "encrypt" 的方法
android hooking search methods encrypt
```

```
# 列出 com.example.app.MainActivity 的所有方法
android hooking list class_methods com.example.app.MainActivity
```

2. Hook 方法

Objection 的核心功能之一是快速 Hook 类或方法，打印调用的参数、返回值和调用栈。

- Hook 整个类的所有方法:

```
android hooking watch class com.example.app.CryptoUtil
```

```
# 拦截 encrypt 方法，并打印参数和返回值
android hooking watch class_method com.example.app.CryptoUtil.encrypt --dump-args --
dump-return
```

```
# 强制 isRooted 方法返回 false
android hooking set return_value com.example.app.Security.isRooted false
```

3. 堆操作

可以搜索内存中存在的对象实例，甚至调用这些实例的方法。

- 搜索堆中的实例:

```
# 查找内存中现存的 User 实例
android heap search instances com.example.app.User
```

```
# 假设上一步搜索到实例 hashcode 为 123456
# 调用该实例的 getToken 方法
android heap execute 123456 getToken
```

```
# 查看该实例的 username 字段值
android heap evaluate 123456
# (进入编辑器后输入) console.log(clazz.username.value)
```

4. Activity 与 Fragment

- 查看当前 Activity:

```
android hooking get current_activity
```

```
android hooking list fragments
```

```
android intent launch_activity com.example.app.SecretActivity
```

5. 内存与 SO 库操作

- 列出加载的 SO 库:

```
memory list modules
```

```
# 将 libnative-lib.so 导出到本地文件（用于修复脱壳后的 SO）
memory dump from_base 0x7b12345000 0x50000 output.so
# 或自动下载
memory dump all libnative-lib.so
```

6. 文件系统操作

```
ls
cd cache
cat log.txt
file download /data/data/com.example.app/shared_prefs/config.xml
```

7. 安全绕过

- 禁用 SSL Pinning:

```
android sslpinning disable
```

```
android root disable
```

8. 导入自定义脚本

```
import /path/to/my_script.js
```

R04: 静态分析深入

R04: 使用静态分析定位 Android App 的关键逻辑

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - APK 结构解析 - 理解 APK 的组成部分
> - Jadx 反编译指南 - 使用 Jadx 阅读 Java/Smali 代码

问题场景

你遇到了什么问题？

- 你想找到 App 的加密/签名算法，但代码太多不知道从哪里开始
- 你想理解 App 的完整业务逻辑，包括所有分支和边界条件
- 你想寻找安全漏洞，比如硬编码密钥、逻辑缺陷
- 你想在没有运行环境的情况下分析 APK
- 你想进行批量自动化分析

本配方教你：系统性地使用静态分析工具（jadx, IDA Pro, Ghidra）快速定位关键代码、追踪数据流、识别加密算法。

核心理念：

> 静态分析：不运行代码，看清全局
>
> - 静态分析能看到所有代码路径（包括未触发的分支）
> - 适合理解完整算法和寻找漏洞

> - 先动态获取线索，再静态深入分析
> - 交替迭代：动态发现 → 静态验证 → 动态测试

预计用时: 40-90 分钟

工具清单

必需工具

- jadx-gui - Java/Smali 反编译
- IDA Pro / Ghidra - Native 层分析
- 文本编辑器 - 记录分析笔记

可选工具

- Binary Ninja - 可视化 CFG
- FindCrypt (IDA 插件) - 识别加密算法
- YARA - 模式匹配
- angr - 符号执行（高级）

前置条件

确认清单

```
# 1. jadx-gui 已安装
jadx-gui --version

# 2. IDA Pro or Ghidra 可用
# IDA Pro: 商业软件
# Ghidra: 免费，下载自 https://ghidra-sre.org/

# 3. APK 文件已解压
unzip app.apk -d app_unzipped
```

静态 vs 动态：何时选择什么？

你的目标	推荐起点	理由
快速提取结果（如加密参数）	动态优先	直接 Hook 拿结果，不必理解全部逻辑
理解完整算法（如协议逆向）	静态优先	需要看清所有分支和边界条件
寻找漏洞	静态优先	需要覆盖所有代码路径，包括错误处理
对抗混淆/加壳	动态优先	静态分析可能完全失效，先动态脱壳
批量自动化	静态优先	动态分析需要运行环境，静态可离线

最佳实践：

1. 先动态获取线索 - 用 Frida 快速定位关键函数
2. 再静态深入分析 - 有了"地图"后更有方向性
3. 交替迭代 - 动态发现的疑点用静态验证

解决方案

第 1 步：确定分析目标（5 分钟）

明确你想找什么：

- API 签名算法
- 加密密钥位置
- 网络协议逻辑
- 特定功能实现（如登录、支付）
- 安全漏洞

示例：假设目标是找到 API 请求的签名逻辑

第 2 步：从字符串入手（10 分钟）

最有效的起点：搜索关键字符串

2.1 jadx-gui 字符串搜索

在 jadx-gui 中使用 `Ctrl+Shift+F` 搜索以下关键词：

```
md5
sha
hmac
key
secret
encrypt
sign
```

找到可疑代码后分析调用关系：

```
HashMap<String, String> params = new HashMap<>();
params.put("sign", generateSign(data));
```

第 3 步：交叉引用分析（10 分钟）

3.1 查找函数调用者

在 jadx-gui 中：

1. 右键点击 `generateSign` 函数
2. 选择 "Find Usage" 或按 `X`
3. 查看所有调用点

在 IDA Pro 中：

1. 光标移到函数名
2. 按 `X` 键
3. 查看 Xrefs to（被谁调用）和 Xrefs from（调用了谁）

3.2 向上追溯调用链

```
RequestBuilder.buildParams()
       ↓
SignUtils.generateSign()  ← 目标函数
```

分析签名函数的实现：

```
public static String generateSign(Map<String, String> params) {
    // Step 1: Sort parameters
    TreeMap<String, String> sortedParams = new TreeMap<>(params);

    // Step 2: Concatenate string
    StringBuilder sb = new StringBuilder();
    for (Map.Entry<String, String> entry : sortedParams.entrySet()) {
        sb.append(entry.getKey()).append("=").append(entry.getValue()).append("&");
    }
    sb.append("key=").append(SECRET_KEY);

    // Step 3: Calculate MD5
    return MD5.encode(sb.toString());
}
```

第 4 步：数据流分析（15 分钟）

目标：追踪 `SECRET_KEY` 的来源

4.1 查找变量定义

在 jadx 中：

1. 点击 `SECRET_KEY`
2. Ctrl+Click 跳转到定义

可能的情况：

情况 1: 硬编码（最简单）

```
private static final String SECRET_KEY = "abc123def456";
```

直接拿到密钥！

情况 2: 从配置文件读取

```
static {
    try {
        Properties props = new Properties();
        props.load(context.getAssets().open("config.properties"));
        SECRET_KEY = props.getProperty("api.secret");
    } catch (IOException e) {
        SECRET_KEY = null;
    }
}
```

需要检查配置文件：

```
cat app_unzipped/assets/config.properties
```

情况 3: 从 Native 层获取

```
static {
    System.loadLibrary("native-lib");
    SECRET_KEY = getKeyFromNative();
}

private static native String getKeyFromNative();
```

需要分析 SO 文件。

4.2 在 Ghidra 中追踪数据流

在 Ghidra 反编译窗口：

1. 双击变量名
2. 所有使用该变量的地方会高亮显示
3. 追踪变量在函数内的流动

第 5 步：Native 层分析（20 分钟）

如果关键逻辑在 SO 文件中。

5.1 定位 Native 函数

在 jadx 中找到 JNI 声明：

```
public native String encrypt(String plaintext);
```

找到对应的 SO 文件：

```
ls app_unzipped/lib/arm64-v8a/
# libnative-lib.so

# 用 IDA Pro 打开
```

5.2 在 IDA Pro 中定位函数

使用函数窗口搜索：

1. View → Open Subviews → Functions
2. 搜索 `Java_com_example` 前缀
3. 双击跳转到函数

或使用 Exports 窗口：

1. View → Open Subviews → Exports
2. 搜索函数名
3. 双击跳转

5.3 分析函数逻辑

示例反编译代码（IDA/Ghidra）：

```
jstring Java_com_example_CryptoUtils_encrypt(JNIEnv *env, jobject obj, jstring
plaintext) {
    const char *plain = (*env)->GetStringUTFChars(env, plaintext, 0);

    // AES encryption
    unsigned char key[16] = {0x12, 0x34, 0x56, 0x78, ...};
    unsigned char iv[16] = {0x00, 0x00, 0x00, 0x00, ...};

    unsigned char *encrypted = aes_encrypt(plain, key, iv);

    jstring result = (*env)->NewStringUTF(env, encrypted);
    (*env)->ReleaseStringUTFChars(env, plaintext, plain);

    return result;
}
```

提取信息：

- 密钥：`{0x12, 0x34, 0x56, 0x78, ...}`
- IV：`{0x00, 0x00, ...}`

第 6 步：识别加密算法（10 分钟）

6.1 使用 FindCrypt 插件（IDA Pro）

安装：

```
# 下载
git clone https://github.com/polymorf/findcrypt-yara.git

# 复制到 IDA 插件目录
cp findcrypt3.py $IDA_PATH/plugins/
```

运行插件后会自动标记识别到的加密常量。

6.2 手动识别

常见加密算法特征：

算法	特征常量（十六进制）
AES	`63 7C 77 7B F2 6B 6F C5` (S-Box)
MD5	`67 45 23 01 EF CD AB 89` (初始化向量)
SHA-1	`67 45 23 01 EF CD AB 89 98 BA DC FE`
SHA-256	`428A2F98 71374491 B5C0FBCF`
DES	固定的 S-Box 和 P-Box 表

在 IDA 中搜索：使用 `Alt+B`（二进制搜索）查找特征字节。

第 7 步：控制流图分析（10 分钟）

用途：理解复杂函数的逻辑结构

7.1 查看 CFG

IDA Pro：按 `Space` 键切换到图形视图。

示例登录流程图：

```
[检查用户名] --No--> [返回错误 1]
     ↓ Yes
[检查密码长度] --No--> [返回错误 2]
     ↓ Yes
[加密密码]
     ↓
[发送网络请求]
     ↓
[解析响应] --Failed--> [返回错误 3]
     ↓ Success
[保存 Token]
     ↓
[返回成功]
```

7.2 交叉引用图

Xrefs to（被谁调用）：

```
      LoginActivity.login()
              ↓
      SignUtils.generateSign()
```

Xrefs from（调用了谁）：

```
SignUtils.generateSign()
              ↓
      → MD5.encode()
      → Base64.encode()
```

常见问题

问题 1: jadx 反编译失败

症状：打开 APK 后显示错误或代码不完整

解决：

1. 尝试不同版本的 jadx

```
# 使用最新版
wget https://github.com/skylot/jadx/releases/download/v1.4.7/jadx-1.4.7.zip
```

2. 调整 jadx 设置
   - 禁用 "Deobfuscation"
   - 禁用 "Inline methods"
3. 查看 Smali 代码

```
# 使用 apktool
apktool d app.apk -o app_smali
```

问题 2: 找不到关键字符串

可能原因：

1. 字符串被加密/混淆
   - 在运行时动态解密
   - 解决：用 Frida Hook 查看运行时字符串
2. 字符串在 Native 层

```
# 在 SO 文件中搜索
strings libnative-lib.so | grep "sign"
```

3. 字符串被拆分

```
// Code might be
String key = "sec" + "ret" + "key";
```

问题 3: IDA Pro 没有自动识别函数

症状：打开 SO 文件后只看到数据，没有函数

解决：

1. 手动创建函数
   - 按 'P' 键创建函数
   - 按 'C' 键转换为代码
2. 使用自动分析
   - 勾选 "Create Functions"
   - 勾选 "Analyze Code"
3. 检查是否被混淆
   - OLLVM 控制流平坦化
   - 参考：OLLVM 反混淆

问题 4: 代码太复杂看不懂

策略：

1. 重命名变量和函数

```
IDA: 按 'N' 键重命名
Ghidra: 右键 → Rename
```

```
// Original
String a = b(c, d);

// After renaming
String encryptedData = encrypt(plaintext, key);
```

2. 添加注释

```
IDA: 按 ';' 键添加注释
Ghidra: 右键 → Set Comment
```

3. 分段理解
   - 一次只分析一个功能
   - 画流程图记录逻辑

问题 5: 如何验证静态分析结果?

方法 1：使用 CyberChef

访问 https://gchq.github.io/CyberChef/ 测试加密算法。

方法 2：Python 重现

```
import hashlib

def generate_sign(params, secret_key):
    # 从静态分析复制的逻辑
    sorted_params = sorted(params.items())
    sign_str = '&'.join([f'{k}={v}' for k, v in sorted_params])
    sign_str += f'&key={secret_key}'
    return hashlib.md5(sign_str.encode()).hexdigest()

# 测试
params = {'user': 'test', 'timestamp': '1234567890'}
secret = 'abc123'
print(generate_sign(params, secret))
```

方法 3：Frida 对比

```
Java.perform(function () {
  var SignUtils = Java.use("com.example.SignUtils");
  var HashMap = Java.use("java.util.HashMap");

  var params = HashMap.$new();
  params.put("user", "test");
  params.put("timestamp", "1234567890");

  var sign = SignUtils.generateSign(params);
  console.log("[*] 签名结果:", sign);
});
```

延伸阅读

相关配方

- 逆向工程工作流 - 完整的分析流程
- 密码学分析 - 加密算法识别
- OLLVM 反混淆 - 处理混淆代码

工具深入

- IDA Pro 使用指南
- Ghidra 使用指南

在线资源

资源	链接
IDA Pro 教程	https://www.hex-rays.com/products/ida/support/tutorials/
Ghidra 官方手册	https://ghidra-sre.org/docs/
FindCrypt 插件	https://github.com/polymorf/findcrypt-yara

理论基础

- ARM 汇编基础
- DEX 文件格式
- ELF 文件格式

快速参考

jadx 快捷键

快捷键	功能
`Ctrl+Shift+F`	全局搜索
`Ctrl+F`	当前文件搜索
`X`	查找用法（Xrefs）
`Ctrl+Click`	跳转到定义
`Alt+←`	后退
`F5`	重新反编译

IDA Pro 快捷键

快捷键	功能
`X`	交叉引用
`N`	重命名
`;`	添加注释
`Space`	切换图形/文本视图
`G`	跳转到地址
`P`	创建函数
`C`	转换为代码
`A`	转换为字符串
`Shift+F12`	查看字符串
`Alt+T`	文本搜索
`Alt+B`	二进制搜索

分析流程模板

```
1. 分析目标: _____
2. 入口点: _____
3. 关键函数: _____
4. 调用链:
   _____ → _____ → _____
5. 关键变量:
   - 名称: _____
   - 类型: _____
   - 来源: _____
6. 算法识别: _____
7. 验证结果: _____
8. 下一步: _____
```

成功定位关键逻辑了吗？ 现在你可以理解 App 的核心算法了！

下一步推荐：动态分析深入（验证和测试你的发现）

R05: 动态分析深入

R05: 使用动态分析验证和探索 Android App 的运行时行为

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 掌握 Frida Hook 的基本用法
> - ADB 速查手册 - 设备连接与应用管理

问题场景

你遇到了什么问题？

- 你已经静态分析找到了目标函数，现在想验证它的实际输入输出
- 你想捕获运行时才生成的数据（如动态密钥、签名结果）
- 你想绕过 SSL Pinning / 反调试 / Root 检测
- 你想主动调用函数测试不同参数的效果
- 你想追踪代码执行路径，看看哪些函数被调用了

本配方教你：系统性地使用 Frida、调试器、追踪工具来验证静态分析结果、获取运行时数据、绕过保护机制。

核心理念：

> 动态分析：让代码说话
>
> - 动态分析验证静态分析的假设
> - 获取只在运行时存在的数据

> - 主动探索程序的内部状态
> - Hook → Debug → Trace 三种武器各有用途

预计用时: 30-90 分钟

工具清单

必需工具

- Frida - 动态插桩框架
- Android 设备（已 Root）或模拟器
- Python 3.7+ - 运行 Frida 脚本

可选工具

- IDA Pro Remote Debugger - Native 层调试
- objection - Frida 的交互式工具
- Burp Suite - 网络抓包
- GDB - GNU 调试器

前置条件

确认清单

```
# 1. Frida 正常运行
frida-ps -U

# 2. Python 环境
python3 --version

# 3. 目标 App 已安装
adb shell pm list packages | grep <app_name>
```

Hook vs Debug vs Trace：何时用什么？

场景	推荐工具	理由
想知道某个函数的输入输出	Frida Hook	最快速，不中断程序流
想理解复杂算法的每一步细节	IDA/GDB 调试器	可以单步执行，查看每个变量
想知道程序执行了哪些代码路径	Stalker/Trace	全自动记录，无需设断点
想绕过某个检测（如 SSL Pinning）	Frida Hook	直接替换函数返回值
想找到某个字符串是在哪里生成的	内存断点 + 调试器	在写入时中断
想分析反调试机制	Frida + 调试器组合	先用 Frida 禁用，再用调试器分析

经验法则：

- 能用 Hook 解决的，别用调试器（效率问题）
- 需要理解逻辑的，必须用调试器（深度问题）
- 需要全局视野的，用追踪（覆盖率问题）

解决方案

第 1 步：验证静态分析结果（15 分钟）

假设静态分析发现了签名函数：`SignUtils.generateSign()`

1.1 Hook 函数查看输入输出

基础 Hook 脚本 `verify_sign.js`：

```
Java.perform(function () {
  console.log("[*] Start Hook SignUtils.generateSign");

  var SignUtils = Java.use("com.example.SignUtils");

  SignUtils.generateSign.implementation = function (params) {
    console.log("\n[*] generateSign is called!");
    console.log("    InputParameter:");

    // Print HashMap
    var iterator = params.entrySet().iterator();
    while (iterator.hasNext()) {
      var entry = iterator.next();
      console.log("      " + entry.getKey() + " = " + entry.getValue());
    }

    // Call original function
    var result = this.generateSign(params);

    console.log("    ReturnValue: " + result);
    console.log("");

    return result;
  };

  console.log("[*] Hook install completed");
});
```

运行结果示例：

```
[*] generateSign is called!
    InputParameter:
      user = test123
      timestamp = 1701234567
      action = login
    ReturnValue: a1b2c3d4e5f6g7h8i9j0
```

第 2 步：处理重载方法（10 分钟）

2.1 列出所有重载

```
Java.perform(function () {
  var CryptoUtil = Java.use("com.example.CryptoUtil");

  // List all encryption methods
  console.log("[*] encrypt Method overloads:");
  CryptoUtil.encrypt.overloads.forEach(function (overload) {
    console.log("    " + overload);
  });
});
```

输出示例：

```
encrypt(java.lang.String)
encrypt(java.lang.String, java.lang.String)
encrypt([B)
```

2.2 Hook 特定重载

```
Java.perform(function () {
  var CryptoUtil = Java.use("com.example.CryptoUtil");

  // Hook the second overloaded version
  CryptoUtil.encrypt.overload(
    "java.lang.String",
    "java.lang.String"
  ).implementation = function (data, key) {
    console.log("[*] encrypt(String, String) is called");
    console.log("    Data:", data);
    console.log("    Key:", key);

    var result = this.encrypt(data, key);
    console.log("    Result:", result);

    return result;
  };

  // Hook the third overloaded version
  CryptoUtil.encrypt.overload("[B").implementation = function (bytes) {
    console.log("[*] encrypt(byte[]) is called");
    console.log("    BytesLength:", bytes.length);

    var result = this.encrypt(bytes);
    console.log("    ResultLength:", result.length);

    return result;
  };
});
```

第 3 步：主动调用函数（15 分钟）

3.1 创建新实例

```
Java.perform(function () {
  var CryptoUtil = Java.use("com.example.CryptoUtil");

  // Constructor accessible
  try {
    var instance = CryptoUtil.$new(); // Call no-arg constructor
    var result = instance.encrypt("Hello World", "mykey");
    console.log("[*] MainCallResult:", result);
  } catch (e) {
    console.log("[-] No way to create instance:", e);
  }
});
```

3.2 使用已有实例

```
Java.perform(function () {
  Java.choose("com.example.CryptoUtil", {
    onMatch: function (instance) {
      console.log("[+] Instance:", instance);

      // Actively call
      var encrypted = instance.encrypt("test data");
      console.log("[*] EncryptResult:", encrypted);

      var decrypted = instance.decrypt(encrypted);
      console.log("[*] DecryptResult:", decrypted);
    },
    onComplete: function () {
      console.log("[*] Search completed");
    },
  });
});
```

3.3 调用静态方法

```
Java.perform(function () {
  var SignUtils = Java.use("com.example.SignUtils");
  var HashMap = Java.use("java.util.HashMap");

  // Create Parameter
  var params = HashMap.$new();
  params.put("user", "testuser");
  params.put("timestamp", String(Date.now()));

  // Actively call static method
  var sign = SignUtils.generateSign(params);
  console.log("[*] GenerateSignature:", sign);
});
```

第 4 步：绕过安全检测（15 分钟）

4.1 绕过 Root 检测

```
Java.perform(function () {
  var RootDetector = Java.use("com.example.security.RootDetector");

  RootDetector.isRooted.implementation = function () {
    console.log("[*] Root Detection is Bypassed");
    return false; // Force return false (not rooted)
  };

  RootDetector.isXposedInstalled.implementation = function () {
    console.log("[*] Xposed Detection is Bypassed");
    return false;
  };
});
```

4.2 绕过 SSL Pinning

```
Java.perform(function () {
  // Hook OkHttp 3
  try {
    var CertificatePinner = Java.use("okhttp3.CertificatePinner");
    CertificatePinner.check.overload(
      "java.lang.String",
      "java.util.List"
    ).implementation = function (hostname, peerCertificates) {
      console.log("[*] Bypass OkHttp3 SSL Pinning:", hostname);
      return; // Return directly, skip validation
    };
    console.log("[+] OkHttp3 SSL Pinning Bypassed");
  } catch (e) {
    console.log("[-] OkHttp3 not found");
  }

  // Hook TrustManager
  try {
    var X509TrustManager = Java.use("javax.net.ssl.X509TrustManager");
    var SSLContext = Java.use("javax.net.ssl.SSLContext");

    var TrustManager = Java.registerClass({
      name: "com.example.TrustManager",
      implements: [X509TrustManager],
      methods: {
        checkClientTrusted: function (chain, authType) {},
        checkServerTrusted: function (chain, authType) {},
        getAcceptedIssuers: function () {
          return [];
        },
      },
    });

    var TrustManagers = [TrustManager.$new()];
    var SSLContext_init = SSLContext.init.overload(
      "[Ljavax.net.ssl.KeyManager;",
      "[Ljavax.net.ssl.TrustManager;",
      "java.security.SecureRandom"
    );
    SSLContext_init.implementation = function (
      keyManager,
      trustManager,
      secureRandom
    ) {
      console.log("[*] Replacing TrustManager");
      SSLContext_init.call(this, keyManager, TrustManagers, secureRandom);
    };
    console.log("[+] TrustManager Bypassed");
  } catch (e) {
    console.log("[-] TrustManager bypass failed:", e);
  }
```

```
  console.log("[*] SSL Pinning Bypass Config Completed");
});
```

第 5 步：使用 RPC 远程调用（20 分钟）

5.1 定义 RPC 函数

rpc_example.js:

```
rpc.exports = {
  // Export Function: Generate Signature
  generateSign: function (params) {
    var result = null;

    Java.perform(function () {
      var SignUtils = Java.use("com.example.SignUtils");
      var HashMap = Java.use("java.util.HashMap");

      var map = HashMap.$new();
      for (var key in params) {
        map.put(key, params[key]);
      }

      result = SignUtils.generateSign(map);
    });

    return result;
  },

  // Export Function: Encrypt Data
  encrypt: function (plaintext, key) {
    var result = null;

    Java.perform(function () {
      var CryptoUtil = Java.use("com.example.CryptoUtil");
      result = CryptoUtil.encrypt(plaintext, key);
    });

    return result;
  },
};
```

5.2 Python 调用 RPC

rpc_caller.py:

```
import frida
import sys
import time

def on_message(message, data):
    print(f"[*] Message: {message}")

# Connect to device
device = frida.get_usb_device()

# Attach to process
pid = device.spawn(['com.example.app'])
session = device.attach(pid)

# Load Script
with open('rpc_example.js', 'r') as f:
    script = session.create_script(f.read())

script.on('message', on_message)
script.load()

device.resume(pid)

# Wait for Script Initialize
time.sleep(2)

# Call RPC Function
params = {
    'user': 'testuser',
    'timestamp': '1701234567',
    'action': 'login'
}

sign = script.exports_sync.generate_sign(params)
print(f"[+] Generated Signature: {sign}")

encrypted = script.exports_sync.encrypt('Hello World', 'mykey')
print(f"[+] Encrypt Result: {encrypted}")

# Keep running
sys.stdin.read()
```

第 6 步：使用调试器进行深度分析（20 分钟）

6.1 IDA Pro 远程调试 Native 代码

准备：

```
# 1. Push android_server to device
adb push android_server64 /data/local/tmp/
adb shell chmod 755 /data/local/tmp/android_server64

# 2. Run with root permission
adb shell su -c "/data/local/tmp/android_server64"

# 3. Port forward
adb forward tcp:23946 tcp:23946
```

连接步骤：

1. IDA Pro 中选择 Debugger → Remote ARM Linux/Android debugger
2. 配置连接参数：
    - Hostname: localhost
    - Port: 23946
3. Debugger → Attach to Process → 选择目标 App
4. 在目标函数处设置断点（F2）
5. 触发 App 中的操作，断点命中

6.2 使用 GDB 调试

```
# Attach to process
adb shell
su
ps | grep <app_name>
# 找到PID，如 12345

gdbserver :5039 --attach 12345
```

在主机上连接：

```
arm-linux-androideabi-gdb

# In GDB
(gdb) target remote :5039
(gdb) continue
```

6.3 调试器快捷键

IDA Pro:

快捷键	功能
`F2`	设置/取消断点
`F9`	运行/继续
`F7`	单步进入（Step Into）
`F8`	单步跳过（Step Over）
`Ctrl+F7`	执行到返回（Run to Return）

GDB:

命令	功能
`break <addr>`	设置断点
`continue`	继续执行
`step`	单步进入
`next`	单步跳过
`finish`	执行到返回
`info registers`	查看寄存器
`x/10x $sp`	查看栈内容

第 7 步：使用 Stalker 追踪代码覆盖率（15 分钟）

Frida Stalker 可以记录线程执行的所有指令。

7.1 基础 Stalker 示例

```
// Stalker trace function execution
Interceptor.attach(
  Module.findExportByName("libnative.so", "Java_com_example_Native_encrypt"),
  {
    onEnter: function (args) {
      console.log("[*] Start Tracking...");

      Stalker.follow(Process.getCurrentThreadId(), {
        events: {
          call: true, // Record Function Calls
          ret: false,
          exec: false,
        },
        onReceive: function (events) {
          console.log("[*] Captured", events.length, "events");

          // Parse events
          var calls = Stalker.parse(events, {
            annotate: true,
            stringify: false,
          });

          calls.forEach(function (call) {
            console.log("    Call:", call);
          });
        },
      });
    },
    onLeave: function (retval) {
      Stalker.unfollow(Process.getCurrentThreadId());
      Stalker.flush();
      console.log("[*] Tracking Ended");
    },
  }
);
```

7.2 只追踪特定模块

```
var base = Module.findBaseAddress("libnative.so");
var size = Process.findModuleByName("libnative.so").size;

Stalker.follow(Process.getCurrentThreadId(), {
  transform: function (iterator) {
    var instruction = iterator.next();
    do {
      // Only record instructions within libnative.so
      if (
        instruction.address.compare(base) >= 0 &&
        instruction.address.compare(base.add(size)) < 0
      ) {
        iterator.keep();
      }
      instruction = iterator.next();
    } while (instruction !== null);
  },
});
```

工具对比总结

工具	最佳场景	优点	缺点
Frida Hook	快速获取 I/O	不中断流程	只看单点
	修改返回值	易于自动化	不知道细节
调试器	理解算法逻辑	完全控制	速度慢
(IDA/GDB)	单步跟踪	看所有变量	需要手动操作
Stalker	代码覆盖率	全自动	性能开销大
	追踪执行路径	无需断点	输出量巨大

RPC 调用流程

```
Python 脚本          Frida 脚本
     |                              |
     | Send RPC Request             |
     | ---------------------------> |
     |                              | Execute Java.perform()
     |                              |
     |                              | Call App Function
     |                              |
     | <--------------------------- |
     | Receive Return Value         | Return Result
     |                              |
     | Process Data                 | Completed
```

常见问题

问题 1: Hook 没有触发

检查清单:

1. 确认类/方法名正确

```
// List all classes
Java.enumerateLoadedClasses({
  onMatch: function (className) {
    if (className.includes("SignUtils")) {
      console.log(className);
    }
  },
  onComplete: function () {},
});
```

2. 确认方法被调用
   - 在 App 中触发相关操作
   - 检查是否有其他代码路径
3. 检查混淆

```
// If class name is obfuscated as a.b.c, use obfuscated name
var SignUtils = Java.use("a.b.c");
```

问题 2: RPC 调用超时

症状: `script.exports_sync.func()` 一直等待

解决:

```
# Use async call
def on_rpc_message(result, error):
    if error:
        print(f"[-] Error: {error}")
    else:
        print(f"[+] Result: {result}")

script.exports.func(params, on_rpc_message)

# Or add timeout
result = script.exports_sync.func(params, timeout=10)
```

问题 3: Frida 被检测

常见检测方式:

1. 检查端口

```
// App Code
Socket socket = new Socket("127.0.0.1", 27042); // Frida default port
```

绕过: 修改 Frida Server 端口

```
frida-server -l 0.0.0.0:8888
```

1. 检查 maps 文件

```
BufferedReader reader = new BufferedReader(new FileReader("/proc/self/maps"));
if (line.contains("frida")) {
    System.exit(0);
}
```

绕过：使用魔改版 Frida

```
# strongR-frida
wget https://github.com/hluwa/strongR-frida-android/releases/download/xxx/frida-server
```

问题 4: 调试器无法附加

症状：IDA Pro 显示 "Cannot attach to process"

解决：

1. 检查 SELinux

```
adb shell getenforce
# If is Enforcing
adb shell setenforce 0
```

2. 确认进程存在

```
adb shell ps | grep <app_name>
# 确认 PID 正确
```

3. 检查 ptrace 权限

```
adb shell
su
echo 0 > /proc/sys/kernel/yama/ptrace_scope
```

问题 5: Stalker 导致 App 卡死

症状：启用 Stalker 后 App 卡死

优化：

1. 只追踪关键模块（见第 7.2 步）
2. 减少事件类型

```
events: {
    call: true,   // Only record function calls
    ret: false,   // Don't record returns
    exec: false   // Don't record every instruction
}
```

3. 使用 transform 过滤

```
transform: function(iterator) {
    // Skip code we don't care about
}
```

延伸阅读

相关配方

- 静态分析深入 - 先静态找到目标
- Frida 常用脚本 - Hook 脚本模板
- Frida 反调试 - 绕过检测
- SSL Pinning 绕过 - 抓包必备

工具深入

- Frida 完整指南
- IDA Pro 调试

在线资源

资源	链接
Frida 官方文档	https://frida.re/docs/
Frida Codeshare	https://codeshare.frida.re/
Frida Handbook	https://learnfrida.info/

理论基础

- ARM 汇编 - 理解 Native 调试
- ART 运行时 - 理解 Java Hook

快速参考

Frida Hook 模板

Hook Java 方法:

```
Java.perform(function () {
  var ClassName = Java.use("com.example.ClassName");

  ClassName.methodName.implementation = function (arg1, arg2) {
    console.log("[*] methodName called");
    console.log("    arg1:", arg1);
    console.log("    arg2:", arg2);

    var result = this.methodName(arg1, arg2);
    console.log("    result:", result);

    return result;
  };
});
```

Hook Native 方法:

```
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libnative.so", "native_func"), {
  onEnter: function (args) {
    console.log("[*] native_func called");
    console.log("    arg0:", args[0]);
    console.log("    arg1:", args[1]);
  },
  onLeave: function (retval) {
    console.log("    retval:", retval);
  },
});
```

RPC 导出模板:

```
rpc.exports = {
  callMethod: function (className, methodName, args) {
    var result = null;
    Java.perform(function () {
      var Class = Java.use(className);
      result = Class[methodName].apply(Class, args);
    });
    return result;
  },
};
```

IDA Pro 调试快捷键

快捷键	功能
`F2`	设置断点
`F9`	继续执行
`F7`	单步进入
`F8`	单步跳过
`Ctrl+F7`	执行到返回

GDB 常用命令

命令	功能
`break <addr>`	设置断点
`continue`	继续执行
`step`	单步进入
`next`	单步跳过
`finish`	执行到返回
`info registers`	查看寄存器
`x/10x $sp`	查看栈内容

成功验证分析结果了吗？ 现在你可以获取运行时数据了！

下一步推荐：Frida 常用脚本（更多实用脚本模板）

R06: Frida 常用脚本

R06: Frida 常用脚本速查手册

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 掌握 Frida 基础语法与 API
> - ADB 速查手册 - 设备连接与应用管理

问题场景

你在使用 Frida 进行 Android 逆向时,经常遇到以下情况:

- 💭 "我需要绕过 SSL Pinning 抓包,但不想从零写脚本"
- 💭 "如何快速 Hook 所有 JNI 函数来分析 Native 层?"
- 💭 "想拦截并修改网络请求,有现成的模板吗?"
- 💭 "需要从 PC 端主动调用 App 的加密函数,怎么写 RPC?"
- 💭 "App 检测到 Frida 就闪退,有通用的绕过脚本吗?"

本配方提供一套经过实战验证的 Frida 脚本模板库,按场景分类,可直接使用或快速修改。每个脚本都包含详细注释和使用说明。

工具清单

必需工具

- [x] Frida - 已安装并配置好 (参考 Frida 使用指南)
- [x] Root 设备/模拟器 - 运行 Frida Server

- [x] 目标应用已安装 - 需要分析的 App

可选工具

- □ Python 3 - 用于 RPC 控制脚本
- □ mitmproxy/Burp Suite - 配合 SSL Pinning 绕过使用
- □ IDA Pro/Ghidra - 用于分析 Native 代码确定 Hook 点

前置条件

✅ Frida 环境已配置并能成功 attach 到目标应用 ✅ 了解基本的 JavaScript 语法 ✅ 知道如何运行 Frida 脚本 (`frida -U -f com.app -l script.js`) ✅ 能识别需要 Hook 的类/函数名(至少知道包名)

脚本索引

本手册包含以下 8 类场景的脚本:

场景	脚本数量	适用情况
绕过保护机制	3 个	反调试、反 Frida、SSL Pinning
网络拦截与修改	1 个	抓包、修改请求/响应
自动化 RPC 调用	1 套	主动调用加密函数、批量测试
JNI 函数分析	5 个	Native 层逆向、参数追踪
通用 Hook 模板	3 个	快速定位、批量 Hook
C 代码辅助工具	2 个	算法仿真、设备指纹生成

1. 绕过保护机制

脚本 1.1: 绕过 TracerPid 反调试检测

何时使用: App 通过读取 `/proc/self/status` 中的 `TracerPid` 来检测调试器。

工作原理: Hook `fgets` 函数,当检测到读取 `TracerPid` 时,将其值强制改为 0。

```
// bypass_tracerpid.js - Bypass TracerPid Anti-Debugging

// Step 1: Establish FILE* to path mapping
var fpMap = {};

// Hook fopen to record file paths
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "fopen"), {
  onEnter: function (args) {
    this.path = args[0].readCString();
  },
  onLeave: function (retval) {
    if (!retval.isNull() && this.path) {
      fpMap[retval.toString()] = this.path;
      if (this.path.includes("/status")) {
        console.log("[+] fopen: " + this.path);
      }
    }
  },
});

// Hook fgets to modify TracerPid value
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "fgets"), {
  onEnter: function (args) {
    this.buf = args[0];
    this.fp = args[2];
  },
  onLeave: function (retval) {
    if (retval.isNull()) return;

    var fp = this.fp.toString();
    var path = fpMap[fp];

    if (path && path.endsWith("/status")) {
      var line = this.buf.readCString();

      if (line && line.includes("TracerPid:")) {
        var oldValue = line.match(/TracerPid:\s*(\d+)/);
        this.buf.writeUtf8String("TracerPid:\t0\n");

        if (oldValue && oldValue[1] !== "0") {
          console.log("✓ [TracerPid] Modify: " + oldValue[1] + " -> 0");
        }
      }
    }
  },
});

console.log("[+] TracerPid Anti-Debugging Bypass activated");
```

使用方法:

```
# Spawn mode (recommended)
frida -U -f com.target.app -l bypass_tracerpid.js --no-pause

# Attach mode
frida -U com.target.app -l bypass_tracerpid.js
```

脚本 1.2: 隐藏 Frida 特征字符串

何时使用: App 通过搜索进程内存中的 "frida" 字符串来检测 Frida。

工作原理: Hook 字符串比较函数,当发现比较内容包含 "frida" 时,返回不匹配。

```
// hide_frida_strings.js - Hide Frida signature strings

// Hook strstr (most commonly used string search function)
var strstrPtr = Module.findExportByName("libc.so", "strstr");
if (strstrPtr) {
  Interceptor.attach(strstrPtr, {
    onEnter: function (args) {
      this.haystack = args[0].readCString();
      this.needle = args[1].readCString();
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (this.haystack && this.needle) {
        var haystackLower = this.haystack.toLowerCase();
        var needleLower = this.needle.toLowerCase();

        if (haystackLower.includes("frida") || needleLower.includes("frida")) {
          console.log("✓ [strstr] Intercept Frida Detection:");
          console.log(
            '  Search: "' +
              this.needle +
              '" in "' +
              this.haystack.substring(0, 50) +
              '..."'
          );
          retval.replace(ptr(0)); // Return NULL (not found)
        }
      }
    },
  });
  console.log("[+] strstr hook configured");
}

// Hook strcmp
var strcmpPtr = Module.findExportByName("libc.so", "strcmp");
if (strcmpPtr) {
  Interceptor.attach(strcmpPtr, {
    onEnter: function (args) {
      this.str1 = args[0].readCString();
      this.str2 = args[1].readCString();
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (this.str1 && this.str2) {
        var str1Lower = this.str1.toLowerCase();
        var str2Lower = this.str2.toLowerCase();

        if (str1Lower.includes("frida") || str2Lower.includes("frida")) {
          console.log("✓ [strcmp] Intercept Frida Detection:");
          console.log(
            '  Comparing: "' + this.str1 + '" vs "' + this.str2 + '"'
          );
          retval.replace(1); // Return non-zero (not equal)
        }
```

```
      }
    },
  });
  console.log("[+] strcmp hook configured");
}

console.log("[+] Frida string hiding activated");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hide_frida_strings.js --no-pause
```

脚本 1.3: 通用 SSL Pinning 绕过

何时使用: 需要使用中间人代理 (如 Burp Suite) 抓取 HTTPS 流量,但 App 实现了证书校验。

工作原理: Hook 常见网络库(TrustManager、OkHttp3、HttpsURLConnection)的证书校验函数。

```
// bypass_ssl_pinning.js - Universal SSL Pinning Bypass Script

Java.perform(function () {
  console.log("[+] Starting SSL Pinning bypass...");

  // ========================================
  // 1. TrustManagerImpl (system level)
  // ========================================
  try {
    var TrustManagerImpl = Java.use(
      "com.android.org.conscrypt.TrustManagerImpl"
    );

    // android 7.0+
    TrustManagerImpl.verifyChain.implementation = function (
      untrustedChain,
      trustAnchorChain,
      host,
      clientAuth,
      ocspData,
      tlsSctData
    ) {
      console.log("✓ [TrustManagerImpl] Bypass cert validation: " + host);
      return untrustedChain; // Trust directly
    };

    console.log("[+] TrustManagerImpl Hook 成功");
  } catch (e) {
    console.log("[-] TrustManagerImpl not found: " + e);
  }

  // ========================================
  // 2. OkHttp3 (most commonly used)
  // ========================================
  try {
    var CertificatePinner = Java.use("okhttp3.CertificatePinner");

    CertificatePinner.check.overload(
      "java.lang.String",
      "java.util.List"
    ).implementation = function (hostname, peerCertificates) {
      console.log("✓ [OkHttp3] Bypass cert pinning: " + hostname);
      return; // Skip all checks
    };

    console.log("[+] OkHttp3 CertificatePinner Hook 成功");
  } catch (e) {
    console.log("[-] OkHttp3 not found: " + e);
  }

  // ========================================
  // 3. OkHttp3 - Hostname Verifier
```

```
// ========================================
try {
  var OkHostnameVerifier = Java.use(
    "okhttp3.internal.tls.OkHostnameVerifier"
  );

  OkHostnameVerifier.verify.overload(
    "java.lang.String",
    "javax.net.ssl.SSLSession"
  ).implementation = function (host, session) {
    console.log("✓ [OkHttp3] Bypass hostname validation: " + host);
    return true; // Always return validation passed
  };

  console.log("[+] OkHostnameVerifier Hook 成功");
} catch (e) {
  console.log("[-] OkHostnameVerifier not found: " + e);
}

// ========================================
// 4. HttpsURLConnection
// ========================================
try {
  var HttpsURLConnection = Java.use("javax.net.ssl.HttpsURLConnection");

  HttpsURLConnection.setDefaultHostnameVerifier.implementation = function (
    hostnameVerifier
  ) {
    console.log(
      "✓ [HttpsURLConnection] Intercept setDefaultHostnameVerifier"
    );
    return; // Don't set verifier
  };

  HttpsURLConnection.setSSLSocketFactory.implementation = function (
    socketFactory
  ) {
    console.log("✓ [HttpsURLConnection] Intercept setSSLSocketFactory");
    return; // Don't set factory
  };

  HttpsURLConnection.setHostnameVerifier.implementation = function (
    hostnameVerifier
  ) {
    console.log("✓ [HttpsURLConnection] Intercept setHostnameVerifier");
    return;
  };

  console.log("[+] HttpsURLConnection Hook 成功");
} catch (e) {
  console.log("[-] HttpsURLConnection Hook Failed: " + e);
}
```

```
  // ========================================
  // 5. SSLContext
  // ========================================
  try {
    var SSLContext = Java.use("javax.net.ssl.SSLContext");

    SSLContext.init.overload(
      "[Ljavax.net.ssl.KeyManager;",
      "[Ljavax.net.ssl.TrustManager;",
      "java.security.SecureRandom"
    ).implementation = function (km, tm, random) {
      console.log("✓ [SSLContext] Use custom TrustManager");

      // Create a TrustManager that trusts all certificates
      var TrustManager = Java.use("javax.net.ssl.X509TrustManager");
      var EmptyTrustManager = Java.registerClass({
        name: "com.frida.EmptyTrustManager",
        implements: [TrustManager],
        methods: {
          checkClientTrusted: function (chain, authType) {},
          checkServerTrusted: function (chain, authType) {},
          getAcceptedIssuers: function () {
            return [];
          },
        },
      });

      var emptyTrustManager = EmptyTrustManager.$new();
      this.init(km, [emptyTrustManager], random);
    };

    console.log("[+] SSLContext Hook 成功");
  } catch (e) {
    console.log("[-] SSLContext Hook Failed: " + e);
  }

  console.log("[+] SSL Pinning bypass configuration complete");
});
```

使用方法:

```
# 1. Start Burp Suite/mitmproxy on PC
# 2. Run script
frida -U -f com.target.app -l bypass_ssl_pinning.js --no-pause

# 3. View traffic in Burp/mitmproxy
```

2. 网络拦截与修改

脚本 2.1: OkHttp3 流量拦截与修改

何时使用: 需要在不使用代理的情况下,直接在 App 内部拦截和修改网络流量。

工作原理: Hook OkHttp3 的 `RealInterceptorChain.proceed` 方法,可以访问和修改请求/响应。

```
// intercept_okhttp.js - Intercept and modify OkHttp3 network requests

Java.perform(function () {
  console.log("[+] Starting OkHttp3 hook...");

  try {
    var RealInterceptorChain = Java.use(
      "okhttp3.internal.http.RealInterceptorChain"
    );

    RealInterceptorChain.proceed.implementation = function (request) {
      // ========================================
      // Request Interception
      // ========================================
      console.log("\n[REQUEST] ========================================");
      console.log("  URL: " + request.url().toString());
      console.log("  Method: " + request.method());

      // Print request headers
      var headers = request.headers();
      var headerCount = headers.size();
      if (headerCount > 0) {
        console.log("  Headers:");
        for (var i = 0; i < headerCount; i++) {
          console.log("    " + headers.name(i) + ": " + headers.value(i));
        }
      }

      // Print request body
      var requestBody = request.body();
      if (requestBody) {
        try {
          var Buffer = Java.use("okio.Buffer");
          var buffer = Buffer.$new();
          requestBody.writeTo(buffer);
          var bodyString = buffer.readUtf8();
          console.log("  Body: " + bodyString);
        } catch (e) {
          console.log("  Body: [Cannot read]");
        }
      }

      // ========================================
      // Modify Request (Optional)
      // ========================================
      var modifiedRequest = request
        .newBuilder()
        .header("X-Custom-Header", "Injected-By-Frida") // Add custom header
        .header("User-Agent", "FridaBot/1.0") // Modify User-Agent
        .build();

      // Execute request
```

```
        var response = this.proceed(modifiedRequest);

        // ========================================
        // Response Interception
        // ========================================
        console.log("\n[RESPONSE] ========================================");
        console.log("  Code: " + response.code());
        console.log("  Message: " + response.message());

        // Print response headers
        var respHeaders = response.headers();
        var respHeaderCount = respHeaders.size();
        if (respHeaderCount > 0) {
          console.log("  Headers:");
          for (var i = 0; i < respHeaderCount; i++) {
            console.log(
              "    " + respHeaders.name(i) + ": " + respHeaders.value(i)
            );
          }
        }

        // ========================================
        // Modify Response (Optional)
        // ========================================
        var responseBody = response.body();
        if (responseBody) {
          try {
            var contentType = responseBody.contentType();
            var bodyString = responseBody.string();

            console.log("  Body: " + bodyString.substring(0, 500));

            // Example: Modify JSON response field
            if (bodyString.includes('"status"')) {
              var modifiedBody = bodyString.replace(
                /"status":"error"/g,
                '"status":"success"'
              );
              console.log("✓ [Modify] Status field: error -> success");

              // Rebuild response
              var MediaType = Java.use("okhttp3.MediaType");
              var ResponseBody = Java.use("okhttp3.ResponseBody");

              var newBody = ResponseBody.create(contentType, modifiedBody);

              return response.newBuilder().body(newBody).build();
            }

            // If not modified, need to recreate body (because it was already read)
            var ResponseBody = Java.use("okhttp3.ResponseBody");
            var newBody = ResponseBody.create(contentType, bodyString);
```

```
            return response.newBuilder().body(newBody).build();
          } catch (e) {
            console.log("  Body: [Read failed] " + e);
          }
        }

        return response;
      };

      console.log("[+] OkHttp3 Hook 成功");
    } catch (e) {
      console.log("[-] Hook Failed: " + e);
    }
});
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l intercept_okhttp.js --no-pause
```

---

3. 自动化 RPC 调用

脚本 3.1: RPC 远程过程调用框架

何时使用: 需要从 PC 端批量调用 App 的加密函数、签名算法等,进行自动化测试。

Frida 脚本 (`rpc_agent.js`):

```
// rpc_agent.js - RPC export functions for Python calls

console.log("[+] RPC Agent loaded");

// Define exported RPC functions
rpc.exports = {
  // ========================================
  // Example 1: Call static encryption function
  // ========================================
  callEncrypt: function (plaintext) {
    var result = "";

    Java.perform(function () {
      try {
        // Modify to target app's actual class name and method name
        var CryptoUtil = Java.use("com.example.app.utils.CryptoUtil");

        // Call static method
        result = CryptoUtil.encrypt(plaintext);

        console.log('[RPC] encrypt("' + plaintext + '") = ' + result);
      } catch (e) {
        result = "ERROR: " + e;
        console.log("[-] " + result);
      }
    });

    return result;
  },

  // ========================================
  // Example 2: Call instance method
  // ========================================
  callInstanceMethod: function (className, methodName, args) {
    var result = "";

    Java.perform(function () {
      try {
        var TargetClass = Java.use(className);

        // Enumerate all instances
        Java.choose(className, {
          onMatch: function (instance) {
            console.log("[RPC] Found instance: " + instance);

            // Call instance method
            result = instance[methodName].apply(instance, args);

            console.log("[RPC] " + methodName + "() = " + result);
          },
          onComplete: function () {},
        });
```

```
      } catch (e) {
        result = "ERROR: " + e;
        console.log("[-] " + result);
      }
    });

    return result;
  },

  // ========================================
  // Example 3: Call Native Function
  // ========================================
  callNativeFunction: function (libraryName, functionName, args) {
    try {
      var funcAddr = Module.findExportByName(libraryName, functionName);

      if (!funcAddr) {
        return "ERROR: Function not found";
      }

      // Define function signature (modify based on actual situation)
      // Example: int encrypt(char* input, char* output, int length)
      var nativeFunc = new NativeFunction(funcAddr, "int", [
        "pointer",
        "pointer",
        "int",
      ]);

      // Prepare parameters
      var input = Memory.allocUtf8String(args[0]);
      var output = Memory.alloc(1024);

      // Call function
      var ret = nativeFunc(input, output, args[0].length);

      var result = output.readCString();
      console.log("[RPC] Native " + functionName + "() returned: " + ret);
      console.log("[RPC] Output: " + result);

      return result;
    } catch (e) {
      return "ERROR: " + e;
    }
  },

  // ========================================
  // Example 4: Get app info
  // ========================================
  getAppInfo: function () {
    var info = {};

    Java.perform(function () {
      var Context = Java.use("android.app.ActivityThread")
```

```
        .currentApplication()
        .getApplicationContext();
      var PackageManager = Context.getPackageManager();
      var PackageName = Context.getPackageName();
      var PackageInfo = PackageManager.getPackageInfo(PackageName, 0);

      info.packageName = PackageName;
      info.versionName = PackageInfo.versionName.value;
      info.versionCode = PackageInfo.versionCode.value;

      console.log("[RPC] App Info: " + JSON.stringify(info));
    });

    return info;
  },
};

console.log("[+] RPC functions exported:");
console.log("  - callEncrypt(plaintext)");
console.log("  - callInstanceMethod(className, methodName, args)");
console.log("  - callNativeFunction(libraryName, functionName, args)");
console.log("  - getAppInfo()");
```

Python 控制脚本 (`rpc_controller.py`):

```
# rpc_controller.py - Python RPC control script

import frida
import sys

def on_message(message, data):
    """Process messages from Frida script"""
    if message['type'] == 'send':
        print(f"[*] {message['payload']}")
    elif message['type'] == 'error':
        print(f"[!] Error: {message['stack']}")

def main():
    # ========================================
    # Connect to device and app
    # ========================================
    try:
        device = frida.get_usb_device(timeout=5)
        print(f"[+] Connected to device: {device}")
    except frida.TimedOutError:
        print("[-] Device connection timeout")
        sys.exit(1)

    # Attach to running app
    try:
        package_name = "com.example.app"  # Modify to target app package name
        session = device.attach(package_name)
        print(f"[+] Attached to: {package_name}")
    except frida.ProcessNotFoundError:
        print(f"[-] Process not found: {package_name}")
        print("[*] Please ensure app is running")
        sys.exit(1)

    # ========================================
    # Load Frida Script
    # ========================================
    with open("rpc_agent.js", "r", encoding="utf-8") as f:
        script_code = f.read()

    script = session.create_script(script_code)
    script.on('message', on_message)
    script.load()
    print("[+] Frida script loaded\n")

    # ========================================
    # Get RPC API
    # ========================================
    api = script.exports

    # ========================================
    # Example 1: Call encryption function
    # ========================================
```

```
print("=" * 60)
print("Example 1: Call encryption function")
print("=" * 60)

test_data = "Hello, Frida RPC!"
encrypted = api.call_encrypt(test_data)
print(f"Plaintext: {test_data}")
print(f"Ciphertext: {encrypted}\n")

# ========================================
# Example 2: Batch test
# ========================================
print("=" * 60)
print("Example 2: Batch test")
print("=" * 60)

test_cases = [
    "test1",
    "test2",
    "test3",
    "a" * 100,  # Long string
    "",  # Empty string
]

for i, test_input in enumerate(test_cases):
    result = api.call_encrypt(test_input)
    print(f"[{i+1}] {test_input[:20]:<20} -> {result}")

print()

# ========================================
# Example 3: Get app info
# ========================================
print("=" * 60)
print("Example 3: Get app info")
print("=" * 60)

app_info = api.get_app_info()
print(f"Package name: {app_info['packageName']}")
print(f"Version: {app_info['versionName']} ({app_info['versionCode']})")

# ========================================
# Keep session alive
# ========================================
print("\n[+] RPC session established, press Ctrl+C to exit")
try:
    sys.stdin.read()
except KeyboardInterrupt:
    print("\n[*] Disconnecting...")

session.detach()
print("[+] Disconnected")
```

```
if __name__ == "__main__":
    main()
```

使用方法:

```
# 1. Start the app on device first
# 2. Run Python script
python3 rpc_controller.py

# Output example:
# [+] Connected to device: ...
# [+] Attached to: com.example.app
# [+] Frida script loaded
#
# Plaintext: Hello, Frida RPC!
# Ciphertext: SGVsbG8sIEZyaWRhIFJQQyE=
```

---

4. JNI 函数分析

脚本 4.1: 枚举 SO 文件中的所有 JNI 函数

何时使用: 需要找出某个 Native 库导出了哪些 JNI 函数。

工作原理: 扫描 SO 文件的导出表,过滤出所有以 `Java_` 开头的符号。

```
// enumerate_jni.js - Enumerate all JNI functions in specified SO file

function enumerateJNIFunctions(libraryName) {
  var module = Process.findModuleByName(libraryName);

  if (!module) {
    console.log("[-] Module not found: " + libraryName);
    console.log("[*] Trying to wait for module loading...");

    // Monitor dlopen
    Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "dlopen"), {
      onEnter: function (args) {
        var path = args[0].readCString();
        if (path && path.includes(libraryName)) {
          console.log("[+] Detected target library loading: " + path);
          this.target = true;
        }
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.target && !retval.isNull()) {
          setTimeout(function () {
            enumerateJNIFunctions(libraryName);
          }, 500);
        }
      },
    });

    return;
  }

  console.log("\n" + "=".repeat(70));
  console.log("  JNI Function Enumeration: " + libraryName);
  console.log("  Base address: " + module.base);
  console.log("  Size: " + (module.size / 1024).toFixed(2) + " KB");
  console.log("=".repeat(70) + "\n");

  var exports = module.enumerateExports();
  var jniFunctions = [];

  // Filter JNI functions
  exports.forEach(function (exp) {
    if (exp.name.startsWith("Java_")) {
      jniFunctions.push(exp);
    }
  });

  if (jniFunctions.length === 0) {
    console.log("[-] No JNI functions found");
    return;
  }

  // Sort by name
```

```
  jniFunctions.sort(function (a, b) {
    return a.name.localeCompare(b.name);
  });

  // Print results
  jniFunctions.forEach(function (exp, index) {
    console.log("[" + index + "] " + exp.name);
    console.log("  Address: " + exp.address);
    console.log("  Offset: +" + ptr(exp.address).sub(module.base));

    // Parse JNI function name
    // Format: Java_PackageName_ClassName_MethodName
    var parts = exp.name.split("_");
    if (parts.length >= 4) {
      var packageAndClass = parts.slice(1, -1).join(".");
      var methodName = parts[parts.length - 1];
      console.log(
        "  Java Method: " + packageAndClass + "." + methodName + "()"
      );
    }
    console.log();
  });

  console.log("[+] Found " + jniFunctions.length + " JNI functions\n");
}

// ========================================
// Usage example
// ========================================
var TARGET_LIBRARY = "libnative-lib.so"; // Modify to target SO file name

// Method 1: If library is already loaded
enumerateJNIFunctions(TARGET_LIBRARY);

// Method 2: Wait for library to load then enumerate
// (If not found above, will automatically enable monitoring)
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l enumerate_jni.js --no-pause
```

脚本 4.2: Hook 单个 JNI 函数

何时使用: 已知具体的 JNI 函数名,需要追踪其参数和返回值。

工作原理: 通过函数名直接定位并 Hook,解析 JNIEnv 指针和参数。

```
// hook_jni_function.js - Hook single JNI function

function hookJNIFunction(libraryName, functionName) {
  var funcAddr = Module.findExportByName(libraryName, functionName);

  if (!funcAddr) {
    console.log("[-] Function not found: " + functionName);
    return;
  }

  console.log("[+] Hooking: " + functionName);
  console.log("  Address: " + funcAddr);

  Interceptor.attach(funcAddr, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("\n" + "=".repeat(60));
      console.log("[JNI CALL] " + functionName);
      console.log("=".repeat(60));
      console.log("  JNIEnv*: " + args[0]);
      console.log("  jobject/jclass: " + args[1]);

      // Try to parse parameters (starting from args[2])
      for (var i = 2; i < 8 && i < args.length; i++) {
        var arg = args[i];
        console.log("  arg[" + (i - 2) + "]: " + arg);

        if (arg.isNull()) {
          console.log("    -> null");
          continue;
        }

        // Try to parse as jstring
        try {
          var env = Java.vm.getEnv();
          var strPtr = env.getStringUtfChars(arg, null);
          var str = strPtr.readCString();

          if (str && str.length > 0 && str.length < 500) {
            console.log('    -> jstring: "' + str + '"');
          }

          env.releaseStringUtfChars(arg, strPtr);
          continue;
        } catch (e) {}

        // Try to parse as integer
        try {
          var intVal = arg.toInt32();
          console.log(
            "    -> jint: " + intVal + " (0x" + intVal.toString(16) + ")"
          );
          continue;
```

```
        } catch (e) {}

        // Try to parse as byte array
        try {
          var env = Java.vm.getEnv();
          var arrayLen = env.getArrayLength(arg);

          if (arrayLen > 0 && arrayLen < 1024) {
            console.log("    -> jbyteArray[" + arrayLen + "]");

            var bytePtr = env.getByteArrayElements(arg, null);
            var bytes = bytePtr.readByteArray(Math.min(arrayLen, 64));
            console.log(
              hexdump(bytes, {
                offset: 0,
                length: Math.min(arrayLen, 64),
                header: false,
                ansi: false,
              })
            );
            env.releaseByteArrayElements(arg, bytePtr, 0);
          }
          continue;
        } catch (e) {}

        console.log("    -> Pointer: " + arg);
      }
    },

    onLeave: function (retval) {
      console.log("\n  [Return Value]: " + retval);

      if (retval.isNull()) {
        console.log("    -> null");
        return;
      }

      // Try to parse return value
      try {
        var env = Java.vm.getEnv();
        var strPtr = env.getStringUtfChars(retval, null);
        var str = strPtr.readCString();

        if (str && str.length > 0 && str.length < 500) {
          console.log('    -> jstring: "' + str + '"');
        }

        env.releaseStringUtfChars(retval, strPtr);
      } catch (e) {
        try {
          var intVal = retval.toInt32();
          console.log("    -> jint: " + intVal);
        } catch (e2) {
```

```
          console.log("    -> Pointer: " + retval);
        }
      }

      console.log("=".repeat(60) + "\n");
    },
  });

  console.log("[+] Hook configured\n");
}

// ========================================
// Usage example
// ========================================
hookJNIFunction("libnative-lib.so", "Java_com_example_app_Crypto_encrypt");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_jni_function.js --no-pause
```

脚本 4.3: 批量 Hook 所有 JNI 函数

何时使用: 不确定哪个 JNI 函数与目标功能相关,需要全部拦截观察。

工作原理: 枚举所有 JNI 函数,批量设置 Hook。

```
// hook_all_jni.js - Batch hook all JNI functions

function hookAllJNI(libraryName) {
  var module = Process.findModuleByName(libraryName);

  if (!module) {
    console.log("[-] Module not found, waiting for load: " + libraryName);

    Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "dlopen"), {
      onEnter: function (args) {
        var path = args[0].readCString();
        if (path && path.includes(libraryName)) {
          this.target = true;
        }
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.target && !retval.isNull()) {
          setTimeout(function () {
            hookAllJNI(libraryName);
          }, 500);
        }
      },
    });

    return;
  }

  console.log("[+] Starting batch JNI function hook: " + libraryName);

  var exports = module.enumerateExports();
  var hookedCount = 0;

  exports.forEach(function (exp) {
    if (!exp.name.startsWith("Java_")) {
      return;
    }

    try {
      Interceptor.attach(exp.address, {
        onEnter: function (args) {
          console.log("\n[JNI] " + exp.name);

          // Simplified output, only print first 3 parameters
          for (var i = 0; i < 5 && i < args.length; i++) {
            var arg = args[i];

            if (i === 0) {
              console.log("  JNIEnv*: " + arg);
            } else if (i === 1) {
              console.log("  jobject: " + arg);
            } else {
              console.log("  arg[" + (i - 2) + "]: " + arg);
```

```
            // Try to parse string
            if (!arg.isNull()) {
              try {
                var env = Java.vm.getEnv();
                var str = env.getStringUtfChars(arg, null).readCString();
                if (str && str.length > 0 && str.length < 100) {
                  console.log('    -> "' + str + '"');
                }
                env.releaseStringUtfChars(arg, str);
              } catch (e) {}
            }
          }
        }
      },

      onLeave: function (retval) {
        console.log("  Return: " + retval);
      },
    });

    hookedCount++;
  } catch (e) {
    console.log("[-] Hook failed: " + exp.name);
  }
});

console.log("[+] Successfully hooked " + hookedCount + " JNI functions");
}

// ========================================
// Usage
// ========================================
hookAllJNI("libnative-lib.so");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_all_jni.js --no-pause
```

脚本 4.4: Hook JNI_OnLoad 函数

何时使用: 需要在 Native 库加载时的初始化阶段进行分析。

工作原理: Hook `JNI_OnLoad`,这是 Native 库加载时系统调用的第一个函数。

```
// hook_jni_onload.js - Hook JNI_OnLoad function

function hookJNIOnLoad(libraryName) {
  var onLoadAddr = Module.findExportByName(libraryName, "JNI_OnLoad");

  if (!onLoadAddr) {
    console.log("[-] JNI_OnLoad not found: " + libraryName);
    return;
  }

  console.log("[+] Hooking JNI_OnLoad");
  console.log("  Address: " + onLoadAddr);

  Interceptor.attach(onLoadAddr, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("\n" + "=".repeat(60));
      console.log("[JNI_OnLoad] Called");
      console.log("=".repeat(60));
      console.log("  JavaVM*: " + args[0]);
      console.log("  reserved: " + args[1]);

      this.vm = args[0];
    },

    onLeave: function (retval) {
      var jniVersion = retval.toInt32();
      console.log("  Return JNI Version: " + jniVersion);

      // Parse version number
      var major = (jniVersion >> 16) & 0xffff;
      var minor = jniVersion & 0xffff;
      console.log("  -> JNI_VERSION_" + major + "_" + minor);

      console.log("=".repeat(60));

      // After JNI_OnLoad completes, can start hooking other JNI functions
      setTimeout(function () {
        console.log(
          "\n[+] JNI_OnLoad completed, starting to hook JNI functions...\n"
        );
        // Can call other hook functions here
      }, 100);
    },
  });
}

// Monitor library loading
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "dlopen"), {
  onEnter: function (args) {
    var path = args[0].readCString();
    console.log("[dlopen] " + path);
```

```
    if (path && path.includes("libnative-lib.so")) {
      console.log("[+] Detected target library loading");
      this.target = true;
    }
  },

  onLeave: function (retval) {
    if (this.target && !retval.isNull()) {
      setTimeout(function () {
        hookJNIOnLoad("libnative-lib.so");
      }, 100);
    }
  },
});

console.log("[+] Monitoring library loading...");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_jni_onload.js --no-pause
```

---

5. 通用 Hook 模板

脚本 5.1: Hook Java 方法(支持重载)

何时使用: 需要拦截某个 Java 类的特定方法。

工作原理: 使用 `Java.use()` 加载类,然后替换方法实现。

```
// hook_java_method.js - Universal Java method hook template

function hookJavaMethod(className, methodName) {
  Java.perform(function () {
    try {
      var targetClass = Java.use(className);

      // Get all overloads
      var overloads = targetClass[methodName].overloads;

      console.log(
        "[+] Found " +
          overloads.length +
          " overloads: " +
          className +
          "." +
          methodName
      );

      // Hook all overloads
      overloads.forEach(function (overload) {
        overload.implementation = function () {
          console.log("\n[CALL] " + className + "." + methodName);

          // Print parameters
          for (var i = 0; i < arguments.length; i++) {
            console.log("  arg[" + i + "]: " + arguments[i]);
          }

          // Call original method
          var result = this[methodName].apply(this, arguments);

          console.log("  Return: " + result);

          return result;
        };
      });

      console.log("[+] Hook complete");
    } catch (e) {
      console.log("[-] Hook failed: " + e);
    }
  });
}

// Usage example
hookJavaMethod("android.util.Log", "d");
hookJavaMethod("com.example.app.Crypto", "encrypt");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_java_method.js --no-pause
```

脚本 5.2: Hook 类的所有方法

何时使用: 需要观察某个类的所有方法调用情况。

工作原理: 使用反射获取类的所有方法,批量 Hook。

```
// hook_all_methods.js - Hook all methods of a class

function hookAllMethods(className) {
  Java.perform(function () {
    try {
      var targetClass = Java.use(className);
      var methods = targetClass.class.getDeclaredMethods();

      console.log("[+] Class: " + className);
      console.log("[+] Found " + methods.length + " methods\n");

      var hookedCount = 0;

      methods.forEach(function (method) {
        try {
          var methodName = method.getName();

          // Skip certain methods
          if (methodName === "toString" || methodName === "hashCode") {
            return;
          }

          var overloads = targetClass[methodName].overloads;

          overloads.forEach(function (overload) {
            overload.implementation = function () {
              console.log("\n[" + className + "] " + methodName + "()");

              if (arguments.length > 0) {
                console.log("  Parameters:");
                for (var i = 0; i < arguments.length; i++) {
                  console.log("    [" + i + "] " + arguments[i]);
                }
              }

              var result = this[methodName].apply(this, arguments);

              console.log("  Return: " + result);

              return result;
            };
          });

          hookedCount++;
        } catch (e) {
          // Some methods may not be hookable
        }
      });

      console.log("[+] Successfully hooked " + hookedCount + " methods");
    } catch (e) {
      console.log("[-] Failed: " + e);
```

```
    }
  });
}

// Usage
hookAllMethods("com.example.app.utils.CryptoUtil");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_all_methods.js --no-pause
```

脚本 5.3: Hook 构造函数

何时使用: 需要监控对象创建时机和构造参数。

工作原理: Hook 类的 `$init` 方法(Frida 中构造函数的特殊名称)。

```
// hook_constructor.js - Hook class constructor

function hookConstructor(className) {
  Java.perform(function () {
    try {
      var targetClass = Java.use(className);

      // $init is the special name for constructors
      var overloads = targetClass.$init.overloads;

      console.log(
        "[+] Found " + overloads.length + " constructors: " + className
      );

      overloads.forEach(function (overload) {
        overload.implementation = function () {
          console.log("\n[NEW] " + className + "()");

          if (arguments.length > 0) {
            console.log("  Constructor parameters:");
            for (var i = 0; i < arguments.length; i++) {
              console.log("    [" + i + "] " + arguments[i]);
            }
          }

          // Call original constructor
          var result = this.$init.apply(this, arguments);

          console.log("  Instance: " + this);

          return result;
        };
      });

      console.log("[+] Constructor hook complete");
    } catch (e) {
      console.log("[-] Failed: " + e);
    }
  });
}

// Usage
hookConstructor("javax.crypto.spec.SecretKeySpec");
```

使用方法:

```
frida -U -f com.target.app -l hook_constructor.js --no-pause
```

6. C 代码辅助工具

工具 6.1: 算法仿真工具

何时使用: 在 IDA/Ghidra 中看到加密/解密算法逻辑,需要提取出来独立验证。

示例: XOR 加密算法仿真

```
// emulate_xor_encrypt.c - Emulate XOR encryption algorithm

#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdint.h>

// Algorithm extracted from IDA pseudocode
void encrypt_data(uint8_t* data, size_t len, uint8_t key) {
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        data[i] = (data[i] ^ key) + 5;
    }
}

// Corresponding decryption algorithm
void decrypt_data(uint8_t* data, size_t len, uint8_t key) {
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        data[i] = (data[i] - 5) ^ key;
    }
}

// Helper function: Print hexadecimal
void print_hex(const char* label, uint8_t* data, size_t len) {
    printf("%s: ", label);
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        printf("%02x ", data[i]);
    }
    printf("\n");
}

int main() {
    // Test data
    uint8_t plaintext[] = "Hello, Android Reverse Engineering!";
    size_t len = strlen((char*)plaintext);
    uint8_t key = 0x5A;

    printf("=== XOR Encryption Algorithm Test ===\n\n");

    // Plaintext
    printf("Plaintext: %s\n", plaintext);
    print_hex("Plaintext HEX", plaintext, len);
    printf("\n");

    // Encrypt
    encrypt_data(plaintext, len, key);
    printf("After encryption:\n");
    print_hex("Ciphertext HEX", plaintext, len);
    printf("\n");

    // Decrypt
    decrypt_data(plaintext, len, key);
    printf("After decryption: %s\n", plaintext);
    print_hex("Decrypted HEX", plaintext, len);
```

```
    return 0;
}
```

编译和运行:

```
# Compile the program
gcc emulate_xor_encrypt.c -o emulate

# Run the program
./emulate

# Output:
# === XOR Encryption Algorithm Test ===
#
# Plaintext: Hello, Android Reverse Engineering!
# Plaintext HEX: 48 65 6c 6c 6f 2c 20 41 6e 64 72 6f 69 64 ...
#
# After encryption:
# Ciphertext HEX: 17 30 39 39 32 79 75 16 39 31 2d 32 36 31 ...
#
# After decryption: Hello, Android Reverse Engineering!
```

工具 6.2: 设备指纹生成工具

何时使用: 需要批量生成虚拟设备的指纹信息用于测试。

示例: 设备指纹生成

```
// device_fingerprint.c - 设备指纹生成工具

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <time.h>

// Execute shell command and get output
char* execute_command(const char* cmd) {
    FILE* fp = popen(cmd, "r");
    if (!fp) return NULL;

    char* result = malloc(256);
    if (fgets(result, 256, fp) == NULL) {
        free(result);
        pclose(fp);
        return NULL;
    }

    // Remove newline character
    result[strcspn(result, "\n")] = 0;
    pclose(fp);

    return result;
}

// Get system property
char* get_prop(const char* key) {
    char command[256];
    snprintf(command, sizeof(command), "getprop %s", key);
    return execute_command(command);
}

int main() {
    printf("{\n");
    printf("  \"timestamp\": %ld,\n", time(NULL));
    printf("  \"device\": {\n");

    // Device info
    const char* props[] = {
        "ro.product.brand",
        "ro.product.model",
        "ro.product.manufacturer",
        "ro.product.device",
        "ro.build.version.release",
        "ro.build.version.sdk",
        "ro.build.fingerprint",
        "ro.serialno",
        "ro.boot.serialno"
    };

    int num_props = sizeof(props) / sizeof(props[0]);
```

```
    for (int i = 0; i < num_props; i++) {
        char* value = get_prop(props[i]);

        if (value) {
            // Extract last part of property name
            const char* last_dot = strrchr(props[i], '.');
            const char* key = last_dot ? last_dot + 1 : props[i];

            printf("    \"%s\": \"%s\"", key, value);

            if (i < num_props - 1) {
                printf(",");
            }
            printf("\n");

            free(value);
        }
    }

    printf("  }\n");
    printf("}\n");

    return 0;
}
```

编译和使用:

```
# Push to device and compile
adb push device_fingerprint.c /data/local/tmp/
adb shell
cd /data/local/tmp
gcc device_fingerprint.c -o fingerprint
chmod +x fingerprint

# Run the program
./fingerprint

# Output JSON format device fingerprint:
# {
#   "timestamp": 1734518400,
#   "device": {
#     "brand": "google",
#     "model": "Pixel 5",
#     "manufacturer": "Google",
#     ...
#   }
# }

# Save to file
./fingerprint > /sdcard/device_info.json
```

常见问题排查

问题 1: Hook 没有生效

可能原因:

1. Hook 时机太晚,目标函数已经执行完毕
2. 类名或方法名拼写错误
3. 使用了 Attach 模式,但 DEX 还未加载

解决方案:

```
# 1. Use Spawn mode (Recommended)
frida -U -f com.target.app -l script.js --no-pause

# 2. Check if class name is correct
```

```
Java.perform(function () {
  Java.enumerateLoadedClasses({
    onMatch: function (className) {
      if (className.indexOf("Crypto") !== -1) {
        console.log("[+] Found class: " + className);
      }
    },
    onComplete: function () {},
  });
});
```

```
# 3. Delayed hook (if using Attach mode)
```

```
setTimeout(function () {
  hookJavaMethod("com.example.app.Crypto", "encrypt");
}, 2000);
```

问题 2: Hook JNI 函数时 App 崩溃

可能原因:

1. 读取了无效的指针
2. JNIEnv 使用不当
3. 字节数组释放问题

解决方案:

```
// Add try-catch protection
Interceptor.attach(funcAddr, {
  onEnter: function (args) {
    try {
      // Check pointer validity first
      if (!args[2].isNull()) {
        var env = Java.vm.getEnv();
        // ... Process parameters
      }
    } catch (e) {
      console.log("[-] Caught exception: " + e);
      // Don't re-throw to avoid crash
    }
  },
});
```

问题 3: RPC 调用时提示类不存在

可能原因:

1. 类还未加载到内存
2. 类名错误或被混淆
3. 使用了动态加载的 DEX

解决方案:

```
# On Python side, wait for class to load first
api.wait_for_class("com.example.app.Crypto")  # Custom wait function
```

```
// Or check in Frida script
rpc.exports = {
  callEncrypt: function (input) {
    var result = "";

    Java.perform(function () {
      // Check if class exists first
      try {
        var Crypto = Java.use("com.example.app.Crypto");
        result = Crypto.encrypt(input);
      } catch (e) {
        // Try to enumerate and find
        Java.enumerateLoadedClasses({
          onMatch: function (className) {
            if (className.includes("Crypto")) {
              console.log("[+] Found: " + className);
            }
          },
          onComplete: function () {},
        });

        result = "ERROR: " + e;
      }
    });

    return result;
  },
};
```

问题 4: SSL Pinning 绕过失败

可能原因:

1. 应用使用了自定义的 SSL Pinning 实现
2. Native 层实现的 Pinning
3. 使用了第三方网络库(如 Cronet)

解决方案:

```
// 1. Add more hook points
Java.perform(function () {
  // Hook custom TrustManager
  Java.enumerateLoadedClasses({
    onMatch: function (className) {
      if (
        className.includes("TrustManager") ||
        className.includes("Certificate")
      ) {
        console.log("[+] Found suspicious class: " + className);

        try {
          var clazz = Java.use(className);
          var methods = clazz.class.getDeclaredMethods();

          methods.forEach(function (method) {
            var methodName = method.getName();
            if (methodName.includes("check") || methodName.includes("verify")) {
              console.log("[+] Hook: " + className + "." + methodName);
              // Batch hook
            }
          });
        } catch (e) {}
      }
    },
    onComplete: function () {},
  });
});

// 2. Hook native layer SSL_CTX_set_verify
var SSL_CTX_set_verify = Module.findExportByName(
  "libssl.so",
  "SSL_CTX_set_verify"
);
if (SSL_CTX_set_verify) {
  Interceptor.attach(SSL_CTX_set_verify, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("✓ [SSL_CTX_set_verify] Bypass");
      args[1] = ptr(0); // SSL_VERIFY_NONE
    },
  });
}
```

相关资源

场景延伸

- Recipe: 抓包分析 Android 应用的网络流量 - 配合 SSL Pinning 绕过使用
- Recipe: 分析并提取 Android 应用的加密密钥 - 密码学分析的完整流程

工具深入

- Frida 使用指南 - 完整的 Frida 使用手册
- Frida 内部原理 - 深入理解 Frida 工作机制

案例分析

- 案例: 音乐 App 分析 - 综合运用多个脚本

参考资料

- JNI 函数速查
- 常见加密算法识别

快速参考

脚本速查表

需求	使用脚本	难度
绕过 TracerPid 检测	`bypass_tracerpid.js`	⭐
隐藏 Frida 字符串	`hide_frida_strings.js`	⭐
绕过 SSL Pinning	`bypass_ssl_pinning.js`	⭐
拦截网络请求	`intercept_okhttp.js`	⭐⭐
RPC 调用加密函数	`rpc_agent.js + rpc_controller.py`	⭐⭐
枚举 JNI 函数	`enumerate_jni.js`	⭐
Hook JNI 函数	`hook_jni_function.js`	⭐⭐
批量 Hook JNI	`hook_all_jni.js`	⭐⭐
Hook 构造函数	`hook_constructor.js`	⭐

常用命令

```
# 1. Spawn mode run script (recommended)
frida -U -f com.target.app -l script.js --no-pause

# 2. Attach mode
frida -U com.target.app -l script.js

# 3. List all processes
frida-ps -Ua

# 4. Interactive REPL
frida -U com.target.app

# 5. Load multiple scripts
frida -U -f com.target.app -l script1.js -l script2.js --no-pause

# 6. Export output to file
frida -U com.target.app -l script.js > output.log 2>&1
```

最佳实践

1. 优先使用 Spawn 模式 - 确保在应用启动前 Hook 就绪
2. 添加异常处理 - 防止脚本错误导致应用崩溃
3. 适度打印日志 - 过多日志会影响性能
4. 模块化组织 - 将常用函数封装为独立模块
5. 保存脚本库 - 建立自己的脚本模板库

💡 提示: 这些脚本都是模板,实际使用时需要根据目标 App 的具体情况进行调整。建议先理解脚本原理,再修改关键参数(如类名、方法名、SO 文件名等)。

R07: JNI 开发原理

R07: JNI 开发与调用原理

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Android 四大组件 - 理解 Android 应用架构
> - C/C++ 基础 - 掌握指针、内存管理等概念

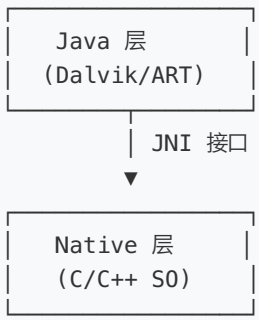
JNI (Java Native Interface) 是 Java 与 C/C++ 代码交互的标准接口。在 Android 逆向工程中，理解 JNI 的工作原理对于分析 Native 层代码至关重要。本章将从开发者视角介绍 JNI 的原理与实践。

目录

JNI 基础概念

什么是 JNI

JNI 是一个编程框架，允许 Java 代码调用 Native 代码（C/C++），也允许 Native 代码调用 Java 代码。



为什么使用 JNI

用途	说明
性能优化	计算密集型任务（加密、图像处理）使用 C/C++ 更高效
代码复用	复用现有的 C/C++ 库（OpenSSL、FFmpeg 等）
安全保护	Native 代码比 Java 更难逆向，常用于核心算法保护
硬件访问	直接访问硬件或操作系统底层功能

JNI 开发环境搭建

1. 配置 NDK

在 `build.gradle` 中配置 NDK:

```
android {
    defaultConfig {
        ndk {
            abiFilters 'arm64-v8a', 'armeabi-v7a'
        }
    }

    externalNativeBuild {
        cmake {
            path "src/main/cpp/CMakeLists.txt"
        }
    }
}
```

2. 创建 CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.10.2)

project("nativelib")

add_library(
    native-lib
    SHARED
    native-lib.cpp
)

find_library(
    log-lib
    log
)

target_link_libraries(
    native-lib
    ${log-lib}
)
```

3. 目录结构

```
app/
├── src/main/
│   ├── java/com/example/app/
│   │   └── NativeHelper.java      # Java 层声明
│   └── cpp/
│       ├── CMakeLists.txt
│       └── native-lib.cpp         # C/C++ 实现
```

JNI 函数注册方式

方式一：静态注册（自动关联）

Java 层声明 native 方法：

```
public class NativeHelper {
    static {
        System.loadLibrary("native-lib");
    }

    // 声明 native 方法
    public native String encrypt(String input);
    public native byte[] decrypt(byte[] data);
}
```

C++ 层实现（函数名遵循特定规则）：

```
#include <jni.h>
#include <string>

// 函数名格式: Java_包名_类名_方法名
// 包名中的 . 替换为 _
extern "C" JNIEXPORT jstring JNICALL
Java_com_example_app_NativeHelper_encrypt(
    JNIEnv *env,
    jobject thiz,      // 非静态方法: jobject 指向调用对象
    jstring input) {

    // 获取 Java 字符串
    const char *str = env->GetStringUTFChars(input, nullptr);

    // 处理逻辑...
    std::string result = "encrypted_" + std::string(str);

    // 释放资源
    env->ReleaseStringUTFChars(input, str);

    // 返回新的 Java 字符串
    return env->NewStringUTF(result.c_str());
}
```

静态注册的函数命名规则:

```
Java_<包名>_<类名>_<方法名>

示例:
- 包名: com.example.app
- 类名: NativeHelper
- 方法名: encrypt
- 函数名: Java_com_example_app_NativeHelper_encrypt
```

方式二：动态注册（JNI_OnLoad）

动态注册在 `JNI_OnLoad` 中手动绑定函数:

```
#include <jni.h>
#include <string>

// Native 函数实现（函数名可以任意）
static jstring native_encrypt(JNIEnv *env, jobject thiz, jstring input) {
    const char *str = env->GetStringUTFChars(input, nullptr);
    std::string result = "encrypted_" + std::string(str);
    env->ReleaseStringUTFChars(input, str);
    return env->NewStringUTF(result.c_str());
}

static jbyteArray native_decrypt(JNIEnv *env, jobject thiz, jbyteArray data) {
    // 解密实现...
    return data;
}

// 方法映射表
static JNINativeMethod gMethods[] = {
    // {Java方法名, 方法签名, Native函数指针}
    {"encrypt", "(Ljava/lang/String;)Ljava/lang/String;", (void*)native_encrypt},
    {"decrypt", "([B)[B", (void*)native_decrypt},
};

// JNI_OnLoad：库加载时自动调用
JNIEXPORT jint JNI_OnLoad(JavaVM *vm, void *reserved) {
    JNIEnv *env = nullptr;

    if (vm->GetEnv((void**)&env, JNI_VERSION_1_6) != JNI_OK) {
        return JNI_ERR;
    }

    // 找到目标Java 类
    jclass clazz = env->FindClass("com/example/app/NativeHelper");
    if (clazz == nullptr) {
        return JNI_ERR;
    }

    // 注册Native 方法
    int methodCount = sizeof(gMethods) / sizeof(gMethods[0]);
    if (env->RegisterNatives(clazz, gMethods, methodCount) < 0) {
        return JNI_ERR;
    }

    return JNI_VERSION_1_6;
}
```

两种注册方式对比

特性	静态注册	动态注册
函数名	必须遵循命名规则	可以任意命名
查找时机	首次调用时查找	加载时一次性注册
性能	略慢（需要查找）	较快（直接使用函数指针）
安全性	函数名暴露类/方法信息	函数名可混淆，更隐蔽
逆向难度	较容易定位	需要分析 JNI_OnLoad

JNI 数据类型映射

基本类型

Java 类型	JNI 类型	签名	C/C++ 类型
`boolean`	`jboolean`	`Z`	`uint8_t`
`byte`	`jbyte`	`B`	`int8_t`
`char`	`jchar`	`C`	`uint16_t`
`short`	`jshort`	`S`	`int16_t`
`int`	`jint`	`I`	`int32_t`
`long`	`jlong`	`J`	`int64_t`
`float`	`jfloat`	`F`	`float`
`double`	`jdouble`	`D`	`double`
`void`	`void`	`V`	`void`

引用类型

Java 类型	JNI 类型	签名
`Object`	`jobject`	`Ljava/lang/Object;`
`String`	`jstring`	`Ljava/lang/String;`
`Class`	`jclass`	`Ljava/lang/Class;`
`int[]`	`jintArray`	`[I`
`byte[]`	`jbyteArray`	`[B`
`Object[]`	`jobjectArray`	`[Ljava/lang/Object;`

方法签名格式

(参数类型)返回类型

示例:

```
- void method()                    -> ()V
- int method(int a)                -> (I)I
- String method(String s, int i)   -> (Ljava/lang/String;I)Ljava/lang/String;
- byte[] method(byte[] data)       -> ([B)[B
- void method(int[] arr, Object o) -> ([ILjava/lang/Object;)V
```

JNI 常用函数

字符串操作

```
// Java String -> C 字符串
const char* str = env->GetStringUTFChars(javaString, nullptr);
// 使用完毕后释放
env->ReleaseStringUTFChars(javaString, str);

// C 字符串 -> Java String
jstring result = env->NewStringUTF("Hello from C++");

// 获取字符串长度
jsize len = env->GetStringUTFLength(javaString);
```

数组操作

```
// 获取数组长度
jsize len = env->GetArrayLength(javaArray);

// byte[] 操作
jbyte* bytes = env->GetByteArrayElements(byteArray, nullptr);
// 使用完毕后释放
env->ReleaseByteArrayElements(byteArray, bytes, 0);

// 创建新的 byte[]
jbyteArray newArray = env->NewByteArray(length);
env->SetByteArrayRegion(newArray, 0, length, data);

// int[] 操作
jint* ints = env->GetIntArrayElements(intArray, nullptr);
env->ReleaseIntArrayElements(intArray, ints, 0);
```

调用 Java 方法

```
// 1. 获取类引用
jclass clazz = env->FindClass("com/example/app/MyClass");

// 2. 获取方法 ID
jmethodID methodId = env->GetMethodID(clazz, "methodName", "(I)Ljava/lang/String;");
// 静态方法使用 GetStaticMethodID

// 3. 调用方法
jstring result = (jstring)env->CallObjectMethod(obj, methodId, 123);
// 静态方法使用 CallStaticObjectMethod
```

访问 Java 字段

```
// 获取字段 ID
jfieldID fieldId = env->GetFieldID(clazz, "fieldName", "I");
// 静态字段使用 GetStaticFieldID

// 读取字段值
jint value = env->GetIntField(obj, fieldId);

// 设置字段值
env->SetIntField(obj, fieldId, 100);
```

完整示例：实现加密函数

Java 层

```
package com.example.crypto;

public class CryptoHelper {
    static {
        System.loadLibrary("crypto-lib");
    }

    // AES 加密
    public native byte[] aesEncrypt(byte[] data, byte[] key);

    // AES 解密
    public native byte[] aesDecrypt(byte[] data, byte[] key);

    // MD5 哈希
    public native String md5(String input);
}
```

Native 层 (crypto-lib.cpp)

```
#include <jni.h>
#include <string>
#include <cstring>
#include <android/log.h>

#define LOG_TAG "CryptoLib"
#define LOGI(...) __android_log_print(ANDROID_LOG_INFO, LOG_TAG, __VA_ARGS__)

// 简化的 XOR 加密示例（实际应使用 OpenSSL 等库）
static jbyteArray xor_encrypt(JNIEnv *env, jbyteArray data, jbyteArray key) {
    jsize dataLen = env->GetArrayLength(data);
    jsize keyLen = env->GetArrayLength(key);

    jbyte* dataBytes = env->GetByteArrayElements(data, nullptr);
    jbyte* keyBytes = env->GetByteArrayElements(key, nullptr);

    // 创建结果数组
    jbyteArray result = env->NewByteArray(dataLen);
    jbyte* resultBytes = new jbyte[dataLen];

    // XOR 加密
    for (int i = 0; i < dataLen; i++) {
        resultBytes[i] = dataBytes[i] ^ keyBytes[i % keyLen];
    }

    env->SetByteArrayRegion(result, 0, dataLen, resultBytes);

    // 清理
    delete[] resultBytes;
    env->ReleaseByteArrayElements(data, dataBytes, 0);
    env->ReleaseByteArrayElements(key, keyBytes, 0);

    return result;
}

// 简化的 MD5 实现（示例）
static jstring calc_md5(JNIEnv *env, jstring input) {
    const char* str = env->GetStringUTFChars(input, nullptr);

    // 实际应使用 OpenSSL 的 MD5 函数
    // 这里仅作示例，返回模拟的 MD5
    char md5[33];
    snprintf(md5, sizeof(md5), "%032x", (unsigned int)strlen(str));

    env->ReleaseStringUTFChars(input, str);
    return env->NewStringUTF(md5);
}

// 方法映射表
static JNINativeMethod gMethods[] = {
    {"aesEncrypt", "([B[B)[B", (void*)xor_encrypt},
    {"aesDecrypt", "([B[B)[B", (void*)xor_encrypt},  // XOR 加解密相同
```

```
    {"md5", "(Ljava/lang/String;)Ljava/lang/String;", (void*)calc_md5},
};

JNIEXPORT jint JNI_OnLoad(JavaVM *vm, void *reserved) {
    JNIEnv *env = nullptr;

    if (vm->GetEnv((void**)&env, JNI_VERSION_1_6) != JNI_OK) {
        return JNI_ERR;
    }

    jclass clazz = env->FindClass("com/example/crypto/CryptoHelper");
    if (clazz == nullptr) {
        LOGI("Failed to find class");
        return JNI_ERR;
    }

    int methodCount = sizeof(gMethods) / sizeof(gMethods[0]);
    if (env->RegisterNatives(clazz, gMethods, methodCount) < 0) {
        LOGI("Failed to register natives");
        return JNI_ERR;
    }

    LOGI("JNI_OnLoad success, registered %d methods", methodCount);
    return JNI_VERSION_1_6;
}
```

逆向分析要点

1. 定位 JNI 函数

静态注册:

```
# 在 IDA/Ghidra 中搜索函数名
# 格式: Java_包名_类名_方法名
strings libnative.so | grep "Java_"
```

动态注册:

```
# 分析 JNI_OnLoad 函数
# 查找 RegisterNatives 调用
# 追踪 JNINativeMethod 数组
```

2. Frida Hook JNI 函数

```
// Hook JNI_OnLoad
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libnative.so", "JNI_OnLoad"), {
  onEnter: function (args) {
    console.log("JNI_OnLoad called");
  },
  onLeave: function (retval) {
    console.log("JNI_OnLoad returned:", retval);
  },
});

// Hook RegisterNatives 获取动态注册信息
var RegisterNatives = Module.findExportByName(
  "libart.so",
  "_ZN3art3JNI15RegisterNativesEP7_JNIEnvP7_jclassPK15JNINativeMethodi"
);
Interceptor.attach(RegisterNatives, {
  onEnter: function (args) {
    var className = Java.vm.getEnv().getClassName(args[1]);
    var methods = args[2];
    var methodCount = args[3].toInt32();

    console.log("RegisterNatives:", className, "count:", methodCount);

    for (var i = 0; i < methodCount; i++) {
      var methodName = methods
        .add(i * Process.pointerSize * 3)
        .readPointer()
        .readCString();
      var signature = methods
        .add(i * Process.pointerSize * 3 + Process.pointerSize)
        .readPointer()
        .readCString();
      var fnPtr = methods
        .add(i * Process.pointerSize * 3 + Process.pointerSize * 2)
        .readPointer();

      console.log("  Method:", methodName, signature, "->", fnPtr);
    }
  },
});
```

3. 常见保护手段

保护手段	说明	应对方法
函数名混淆	使用动态注册隐藏函数名	分析 JNI_OnLoad
字符串加密	加密关键字符串	动态调试获取解密后的值
反调试检测	检测调试器/Frida	绕过反调试
代码混淆	OLLVM 等混淆	符号执行/模式识别

R08: SO 编译与加载

R08: SO 动态库编译与加载

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 ELF 文件的段与节
> - JNI 开发与调用原理 - 理解 Java 与 Native 的交互

本章介绍如何从零开始编译 Android SO 动态库，以及 Android 系统加载 SO 的完整流程。理解这些原理对于逆向分析 Native 层代码至关重要。

目录

SO 文件基础

什么是 SO 文件

SO (Shared Object) 是 Linux/Android 系统的动态链接库格式，相当于 Windows 的 DLL。它采用 ELF (Executable and Linkable Format) 格式。

SO 文件结构

Android 支持的 CPU 架构

ABI	架构	说明
`arm64-v8a`	ARMv8-A (64 位)	现代 Android 设备主流
`armeabi-v7a`	ARMv7-A (32 位)	老旧设备兼容
`x86_64`	x86-64 (64 位)	模拟器、部分平板
`x86`	x86 (32 位)	老旧模拟器

编译环境准备

1. 安装 Android NDK

```
# 方式一：通过 Android Studio SDK Manager 安装

# 方式二：命令行下载
# 下载地址：https://developer.android.com/ndk/downloads
wget https://dl.google.com/android/repository/android-ndk-r25c-linux.zip
unzip android-ndk-r25c-linux.zip
export NDK_HOME=/path/to/android-ndk-r25c
export PATH=$PATH:$NDK_HOME
```

2. 验证安装

```
# 检查 NDK 版本
$NDK_HOME/ndk-build --version

# 检查可用的工具链
ls $NDK_HOME/toolchains/llvm/prebuilt/*/bin/
```

3. 独立工具链（可选）

```
# 创建独立工具链（适合命令行编译）
$NDK_HOME/build/tools/make_standalone_toolchain.py \
    --arch arm64 \
    --api 21 \
    --install-dir /path/to/toolchain
```

使用 NDK 编译 SO

方式一：ndk-build

1. 项目结构

```
project/
├── jni/
│   ├── Android.mk
│   ├── Application.mk
│   └── native.c
└── libs/
    ├── arm64-v8a/
    │   └── libnative.so
    └── armeabi-v7a/
        └── libnative.so
```

2. Android.mk

```
LOCAL_PATH := $(call my-dir)

include $(CLEAR_VARS)

# 模块名称（生成 lib<名称>.so）
LOCAL_MODULE := native

# 源文件
LOCAL_SRC_FILES := native.c

# 依赖的系统库
LOCAL_LDLIBS := -llog -lz

# 编译选项
LOCAL_CFLAGS := -Wall -O2

# 构建动态库
include $(BUILD_SHARED_LIBRARY)
```

3. Application.mk

```
# 目标 ABI
APP_ABI := arm64-v8a armeabi-v7a

# 最低 API 级别
APP_PLATFORM := android-21

# C++ STL 库
APP_STL := c++_shared

# 优化级别
APP_OPTIM := release
```

4. native.c

```
#include <jni.h>
#include <string.h>
#include <android/log.h>

#define LOG_TAG "NativeLib"
#define LOGI(...) __android_log_print(ANDROID_LOG_INFO, LOG_TAG, __VA_ARGS__)

// 导出函数
JNIEXPORT jstring JNICALL
Java_com_example_app_MainActivity_stringFromJNI(JNIEnv *env, jobject thiz) {
    LOGI("stringFromJNI called");
    return (*env)->NewStringUTF(env, "Hello from C!");
}

// 初始化函数（可选）
__attribute__((constructor))
void lib_init() {
    LOGI("Library loaded!");
}

// 卸载函数（可选）
__attribute__((destructor))
void lib_fini() {
    LOGI("Library unloaded!");
}
```

5. 编译

```
cd project/
$NDK_HOME/ndk-build

# 清理
$NDK_HOME/ndk-build clean

# 指定 verbose 输出
$NDK_HOME/ndk-build V=1
```

方式二：命令行直接编译

```
# 设置编译器
export CC=$NDK_HOME/toolchains/llvm/prebuilt/linux-x86_64/bin/aarch64-linux-android21-clang

# 编译为目标文件
$CC -c -fPIC -o native.o native.c

# 链接为 SO
$CC -shared -o libnative.so native.o -llog

# 查看导出符号
$NDK_HOME/toolchains/llvm/prebuilt/linux-x86_64/bin/llvm-nm -D libnative.so
```

使用 CMake 构建

1. CMakeLists.txt

```
cmake_minimum_required(VERSION 3.10.2)

project("nativelib")

# 设置 C++ 标准
set(CMAKE_CXX_STANDARD 17)

# 添加编译选项
add_compile_options(-Wall -O2)

# 定义库
add_library(
    native-lib
    SHARED
    src/native.cpp
    src/crypto.cpp
    src/utils.cpp
)

# 查找系统库
find_library(log-lib log)
find_library(z-lib z)

# 包含头文件目录
target_include_directories(native-lib PRIVATE
    ${CMAKE_SOURCE_DIR}/include
)

# 链接库
target_link_libraries(native-lib
    ${log-lib}
    ${z-lib}
)

# 添加预处理器定义
target_compile_definitions(native-lib PRIVATE
    DEBUG_MODE=1
)
```

2. 使用 CMake 编译

```
# 创建构建目录
mkdir build && cd build

# 配置（指定 NDK 工具链）
cmake \
    -DCMAKE_TOOLCHAIN_FILE=$NDK_HOME/build/cmake/android.toolchain.cmake \
    -DANDROID_ABI=arm64-v8a \
    -DANDROID_PLATFORM=android-21 \
    ..

# 编译
cmake --build .

# 或者使用 make
make -j4
```

3. Gradle 集成

```
android {
    defaultConfig {
        externalNativeBuild {
            cmake {
                cppFlags "-std=c++17 -frtti -fexceptions"
                arguments "-DANDROID_STL=c++_shared"
            }
        }
        ndk {
            abiFilters 'arm64-v8a', 'armeabi-v7a'
        }
    }

    externalNativeBuild {
        cmake {
            path "src/main/cpp/CMakeLists.txt"
            version "3.10.2"
        }
    }
}
```

SO 加载流程分析

Android SO 加载流程

```
Java: System.loadLibrary("native")
         │
         ▼
Runtime.loadLibrary0()
         │
         ▼
ClassLoader.findLibrary()  ──→  查找 libnative.so 路径
         │
         ▼
Runtime.nativeLoad()
         │
         ▼
dlopen("libnative.so")  ──→  系统加载器
         │
         ├──→ 解析 ELF 头
         ├──→ 映射 PT_LOAD 段到内存
         ├──→ 处理依赖库（递归加载）
         ├──→ 执行重定位
         └──→ 调用 .init_array / constructor
         │
         ▼
JNI_OnLoad() ──→ 如果存在，执行初始化
```

关键函数

函数	说明
`System.loadLibrary()`	Java 层加载库
`dlopen()`	Native 层打开动态库
`dlsym()`	查找符号地址
`dlclose()`	关闭动态库
`JNI_OnLoad()`	JNI 初始化回调
`JNI_OnUnload()`	JNI 卸载回调

库搜索路径

```
// 应用私有库目录
/data/app/<package>/lib/<abi>/

// 系统库目录
/system/lib64/  (64位)
/system/lib/    (32位)
/vendor/lib64/
/vendor/lib/
```

手动加载 SO

Java 层加载

```
public class NativeLoader {

    // 方式一：从默认路径加载
    static {
        System.loadLibrary("native");  // 加载 libnative.so
    }

    // 方式二：从绝对路径加载
    public static void loadFromPath(String path) {
        System.load(path);  // 如：/data/local/tmp/libnative.so
    }

    // 方式三：自定义 ClassLoader
    public static void loadWithClassLoader(String libName) {
        try {
            // 获取应用的 ClassLoader
            ClassLoader loader = NativeLoader.class.getClassLoader();

            // 使用反射调用 findLibrary
            Method findLibrary = ClassLoader.class.getDeclaredMethod(
                "findLibrary", String.class);
            findLibrary.setAccessible(true);

            String libPath = (String) findLibrary.invoke(loader, libName);
            if (libPath != null) {
                System.load(libPath);
            }
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
}
```

Native 层加载

```
#include <dlfcn.h>
#include <android/log.h>

#define LOG_TAG "DynamicLoader"
#define LOGI(...) __android_log_print(ANDROID_LOG_INFO, LOG_TAG, __VA_ARGS__)

// 动态加载 SO 并调用函数
void load_and_call(const char* lib_path, const char* func_name) {
    // 打开动态库
    void* handle = dlopen(lib_path, RTLD_NOW);
    if (!handle) {
        LOGI("dlopen failed: %s", dlerror());
        return;
    }

    // 查找函数符号
    typedef int (*func_ptr)(int, int);
    func_ptr func = (func_ptr)dlsym(handle, func_name);

    if (!func) {
        LOGI("dlsym failed: %s", dlerror());
        dlclose(handle);
        return;
    }

    // 调用函数
    int result = func(10, 20);
    LOGI("Function result: %d", result);

    // 关闭库
    dlclose(handle);
}

// 示例: 加载加密库
void load_crypto_lib() {
    void* handle = dlopen("libcrypto.so", RTLD_LAZY);
    if (handle) {
        // 获取加密函数
        void* encrypt_func = dlsym(handle, "AES_encrypt");
        if (encrypt_func) {
            LOGI("Found AES_encrypt at %p", encrypt_func);
        }
    }
}
```

调试与分析技巧

1. 查看 SO 信息

```
# 查看 ELF 头信息
readelf -h libnative.so

# 查看程序头（加载段）
readelf -l libnative.so

# 查看节头
readelf -S libnative.so

# 查看动态符号表
readelf -s libnative.so

# 查看依赖库
readelf -d libnative.so | grep NEEDED

# 查看导出函数
nm -D libnative.so | grep " T "
```

2. Frida 动态分析

```
// 监控 dlopen
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "dlopen"), {
  onEnter: function (args) {
    this.path = args[0].readCString();
    console.log("[dlopen]", this.path);
  },
  onLeave: function (retval) {
    console.log("[dlopen] handle:", retval);
  },
});

// 监控 dlsym
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "dlsym"), {
  onEnter: function (args) {
    this.symbol = args[1].readCString();
    console.log("[dlsym]", this.symbol);
  },
  onLeave: function (retval) {
    console.log("[dlsym] address:", retval);
  },
});

// 枚举已加载的模块
Process.enumerateModules().forEach(function (module) {
  if (module.name.indexOf("native") !== -1) {
    console.log(module.name, module.base, module.size);
  }
});

// 枚举模块导出函数
Module.enumerateExports("libnative.so").forEach(function (exp) {
  console.log(exp.type, exp.name, exp.address);
});
```

3. GDB 调试

```
# 连接到进程
adb forward tcp:1234 tcp:1234
gdbserver :1234 --attach <pid>

# 本地 GDB 连接
$NDK_HOME/prebuilt/linux-x86_64/bin/gdb
(gdb) target remote :1234
(gdb) set solib-search-path /path/to/symbols

# 在函数上设置断点
(gdb) break Java_com_example_app_MainActivity_stringFromJNI
(gdb) continue

# 查看内存
(gdb) x/20x $pc
```

4. 常见问题排查

问题	原因	解决方法
`UnsatisfiedLinkError`	找不到库或符号	检查库路径和函数签名
`dlopen failed: library not found`	依赖库缺失	检查 `readelf -d` 输出
`text relocations`	代码段重定位	编译时添加 `-fPIC`
`cannot locate symbol`	符号未导出	检查函数是否标记为导出

R09: 脱壳技术概述

R09: 脱壳分析加固的 Android 应用

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - APK 结构解析 - 理解 DEX、Manifest 等文件结构
> - 加固厂商识别 - 识别不同加固方案的特征

问题场景

你在逆向分析一个 App 时遇到了以下情况：

- ❌ Jadx 打开 APK 后代码完全不可读，全是混淆的类名或空方法
- ❌ classes.dex 文件异常小 (几十 KB)，不符合应用实际规模
- ❌ 应用启动时检测到 Frida 并闪退，常规 Hook 无法生效
- ❌ AndroidManifest.xml 中的 Application 入口被替换成可疑的壳类名
- ❌ `assets` 或 `lib` 目录中存在加密文件，如 `.dat`、`.bin` 或奇怪命名的 `.so` 文件

这些都是应用被加固(加壳)的典型特征。加固技术通过加密 DEX 文件、抽取方法体、虚拟化指令等手段，让静态分析工具无法直接读取原始代码。本配方将教你如何识别、脱壳并恢复被加固的应用。

工具清单

必需工具

- [x] Frida - 动态插桩框架

- [x] frida-dexdump - 自动化 DEX dumper (GitHub)
- [x] ADB - 设备通信工具
- [x] Root 权限设备 或模拟器 (必须)

可选工具

- □ FUPK3 - 针对特定壳的专用脱壳工具
- □ Youpk - 较新的脱壳工具
- □ PKid/ApkTool-Plus - 加固类型识别工具
- □ MT 管理器 - Android 端 APK 分析工具
- □ IDA Pro/Ghidra - Native 层分析 (SO 加固时需要)

前置条件

在开始前请确认：

✅ 设备已 Root 并安装 Frida Server ✅ 了解 DEX 文件基本结构 (至少知道 magic number `0x6465780A`) ✅ 应用已安装并能正常启动 (即使有反调试) ✅ 磁盘空间充足 (脱壳可能产生大量文件)

解决方案

核心原理

> "代码运行必解密"
>
> 无论加固技术多么复杂，加密后的代码最终都必须在内存中恢复成可执行的 DEX 格式，才能被 ART 执行。脱壳的核心思想是：**在代码被解密后、执行前的那一刻，从内存中将其 dump 出来。**

第 1 步: 识别加固类型 (5-10 分钟)

不同代际的加固技术需要不同的脱壳策略，先识别目标应用使用了什么加固技术。

方法 A: 使用工具快速识别

```
# 使用 PKid (ApkTool-Plus) 检测
# 下载: https://github.com/rover12421/ApkToolPlus
java -jar ApkToolPlus.jar -pkid target.apk

# 输出示例:
# [+] 检测到加固厂商: 腾讯乐固 (Tencent Legu)
# [+] 加固类型: 第二代壳 (方法抽取)
```

方法 B: 手动检测

```
# 1. 检查 AndroidManifest.xml 中的 Application 类
unzip -p target.apk AndroidManifest.xml | strings | grep -i "application"

# 可疑类名:
# com.tencent.StubShell.TxAppEntry (腾讯乐固)
# com.secneo.apkwrapper.ApplicationWrapper (梆梆 Security)
# com.baidu.protect.StubApplication (百度加固)

# 2. 检查 DEX 文件大小
unzip -l target.apk | grep classes.dex
# 如果 classes.dex < 100KB 且 App 功能复杂，很可能加壳

# 3. 检查可疑文件
unzip -l target.apk | grep -E "\.dat|\.bin|ijm_lib|secdata"
# 这些文件通常包含加密的原始 DEX

# 4. 检查 lib 目录中的可疑 SO
unzip -l target.apk | grep "lib/.*\.so" | grep -E "(exec|vmp|protect)"
```

加固技术代际对照表

代际	时期	技术特点	典型厂商	识别特征	脱壳难度
第一代	2010-2015	整体 DEX 加密	早期爱加密、360	Application 入口被替换	简单
第二代	2015-2018	方法抽取 (Stolen Code)	腾讯乐固、阿里聚安全	大量空方法、libexec.so	中等
第三代	2018-2021	指令虚拟化 (VMP)	梆梆 VMP、顶象科技	自定义 VM 引擎、私有指令	困难
第四代	2021-至今	云端+多重保护	腾讯御安全、阿里云	云端下发代码、多层加壳	极难

第 2 步: 选择脱壳策略 (5 分钟)

根据识别出的加固类型，选择合适的脱壳方法:

第一代壳 (整体加密)

策略: Hook ClassLoader，在 DEX 加载时 dump 推荐工具: 手写 Frida 脚本或 frida-dexdump 成功率: 95%+

第二代壳 (方法抽取)

策略: Hook ArtMethod 的 invoke，在方法首次调用时 dump CodeItem 推荐工具: FART 技术 (Frida ART Hook) + frida-dexdump 成功率: 80%+ (取决于代码覆盖率)

第三代壳 (虚拟化)

策略: Hook 虚拟机引擎，获取指令流 + 映射表逆向 推荐工具: IDA Pro + 自定义脚本 成功率: 50% (需要深入分析虚拟机实现)

第四代壳 (云端)

策略: 网络抓包 + 内存扫描 + 多层 dump 推荐工具: mitmproxy + frida-dexdump + 自定义脚本 成功率: 30% (部分逻辑可能无法获取)

第 3 步: 执行脱壳 (10-60 分钟)

以下提供针对不同代际的脱壳脚本。

方法 A: 使用 frida-dexdump (通用，推荐首选)

```
# 1. 启动 Frida Server
adb push frida-server /data/local/tmp/
adb shell "chmod 755 /data/local/tmp/frida-server"
adb shell "/data/local/tmp/frida-server &"

# 2. 安装 frida-dexdump
pip3 install frida-dexdump

# 3. 运行脱壳 (Spawn 模式，在 App 启动时拦截)
python3 -m frida_dexdump -U -f com.target.app -o ./output

# 输出示例:
# [+] Hooking ClassLoader...
# [+] Dumped DEX: /output/com.target.app_1234567890.dex (5.2 MB)
# [+] Dumped DEX: /output/com.target.app_0987654321.dex (1.8 MB)
# [+] Total: 2 DEX files dumped

# 4. 将 DEX 文件拉取到本地
adb pull /data/data/com.target.app/files/*.dex ./dumped_dex/
```

参数说明:

- `-U`: 使用 USB 连接的设备
- `-f com.target.app`: Spawn 模式启动应用

- `-o ./output`: 输出目录

方法 B: 手写 Hook 脚本 (第一代壳)

适用于简单的整体加密壳。

```
// unpacker_gen1.js - 第一代壳通用脚本

Java.perform(function () {
  console.log("[+] 开始Hook ClassLoader...");

  // 拦截 1: DexClassLoader (最常见)
  var DexClassLoader = Java.use("dalvik.system.DexClassLoader");
  DexClassLoader.$init.implementation = function (
    dexPath,
    optimizedDirectory,
    librarySearchPath,
    parent
  ) {
    console.log("[+] DexClassLoader 加载DEX:");
    console.log("    路径: " + dexPath);

    // 尝试复制DEX 文件
    if (dexPath && dexPath.indexOf("/data/data/") !== -1) {
      try {
        var File = Java.use("java.io.File");
        var FileInputStream = Java.use("java.io.FileInputStream");
        var FileOutputStream = Java.use("java.io.FileOutputStream");

        var srcFile = File.$new(dexPath);
        if (srcFile.exists()) {
          var timestamp = Date.now();
          var dstPath =
            "/data/data/com.target.app/dumped_" + timestamp + ".dex";
          var dstFile = File.$new(dstPath);

          var fis = FileInputStream.$new(srcFile);
          var fos = FileOutputStream.$new(dstFile);

          var buffer = Java.array("byte", [1024]);
          var len;
          while ((len = fis.read(buffer)) > 0) {
            fos.write(buffer, 0, len);
          }

          fis.close();
          fos.close();

          console.log("✓ [已导出] " + dstPath);
        }
      } catch (e) {
        console.log("[-] 复制失败: " + e);
      }
    }

    return this.$init(dexPath, optimizedDirectory, librarySearchPath, parent);
  };
```

```
  // Hook 2: InMemoryDexClassLoader (内存加载)
  try {
    var InMemoryDexClassLoader = Java.use(
      "dalvik.system.InMemoryDexClassLoader"
    );
    InMemoryDexClassLoader.$init.overload(
      "java.nio.ByteBuffer",
      "java.lang.ClassLoader"
    ).implementation = function (byteBuffer, classLoader) {
      console.log("[+] InMemoryDexClassLoader 加载内存 DEX");

      // 从 ByteBuffer 提取 DEX
      try {
        var remaining = byteBuffer.remaining();
        console.log("    DEX 大小: " + remaining + " bytes");

        // 获取字节数组
        var bytes = Java.array("byte", [remaining]);
        byteBuffer.get(bytes);

        // 写入文件
        var timestamp = Date.now();
        var dstPath = "/data/data/com.target.app/memory_" + timestamp + ".dex";
        var File = Java.use("java.io.File");
        var FileOutputStream = Java.use("java.io.FileOutputStream");

        var dstFile = File.$new(dstPath);
        var fos = FileOutputStream.$new(dstFile);
        fos.write(bytes);
        fos.close();

        console.log("✓ [已导出] " + dstPath);

        // 重置 ByteBuffer 位置
        byteBuffer.position(0);
      } catch (e) {
        console.log("[-] 导出失败: " + e);
      }

      return this.$init(byteBuffer, classLoader);
    };
  } catch (e) {
    console.log("[-] InMemoryDexClassLoader 不存在 (Android < 8.0)");
  }

  console.log("[+] Hook 完成，等待 DEX 加载...");
});
```

使用方法:

```
# Spawn 模式 (推荐)
frida -U -f com.target.app -l unpacker_gen1.js --no-pause

# Attach 模式
frida -U com.target.app -l unpacker_gen1.js
```

方法 C: FART 技术 (第二代壳 - 方法抽取)

FART (Frida-ART-Hook) 是针对方法抽取壳的高级技术。

```
// unpacker_fart.js - FART (Frida-ART-Hook) 脚本

// 警告: 此脚本需要深入理解 ART 内部机制，不同 Android 版本可能需要调整偏移

var artMethodInvokeAddr = null;

// 根据 Android 版本查找 ArtMethod::Invoke 符号
var symbols = [
  "_ZN3art9ArtMethod6InvokeEPNS_6ThreadEPjjPNS_6JValueEPKc", // Android 7.0+
  "_ZN3art9ArtMethod6InvokeEPNS_6ThreadEPjmPNS_6JValueEPKc", // Android 8.0+
];

for (var i = 0; i < symbols.length; i++) {
  artMethodInvokeAddr = Module.findExportByName("libart.so", symbols[i]);
  if (artMethodInvokeAddr) {
    console.log("[+] 找到 ArtMethod::Invoke: " + artMethodInvokeAddr);
    break;
  }
}

if (!artMethodInvokeAddr) {
  console.log("[-] 未找到 ArtMethod::Invoke，无法继续");
} else {
  Interceptor.attach(artMethodInvokeAddr, {
    onEnter: function (args) {
      var artMethod = args[0];

      // 读取 ArtMethod 结构中的 CodeItem (偏移因版本而异)
      // 这里以 Android 7.0 为例，实际使用需要根据版本调整
      try {
        // 获取方法名 (通过 PrettyMethod)
        var prettyMethodAddr = Module.findExportByName(
          "libart.so",
          "_ZN3art9ArtMethod12PrettyMethodEv"
        );
        if (prettyMethodAddr) {
          var prettyMethod = new NativeFunction(prettyMethodAddr, "pointer", [
            "pointer",
          ]);
          var methodName = prettyMethod(artMethod).readCString();

          // 只关注 App 自身方法，忽略系统方法
          if (methodName && methodName.indexOf("com.target.app") !== -1) {
            console.log("[+] 调用方法: " + methodName);

            // 尝试获取 CodeItem
            // 注意: CodeItem 偏移在不同版本中不同
            // Android 7.0: offset 24
            // Android 8.0+: offset 16
            var codeItemOffset = 24; // 需要根据实际版本调整
            var codeItemPtr = artMethod.add(codeItemOffset).readPointer();
```

```
            if (codeItemPtr && !codeItemPtr.isNull()) {
              // 读取 CodeItem 结构
              var registersSize = codeItemPtr.readU16();
              var insSize = codeItemPtr.add(2).readU16();
              var outsSize = codeItemPtr.add(4).readU16();
              var triesSize = codeItemPtr.add(6).readU16();
              var insnsSize = codeItemPtr.add(12).readU32();

              if (insnsSize > 0 && insnsSize < 100000) {
                console.log("    找到 CodeItem: insnsSize = " + insnsSize);

                // 导出字节码
                var insnsPtr = codeItemPtr.add(16);
                var codeData = Memory.readByteArray(insnsPtr, insnsSize * 2);

                // 保存到文件
                var safeMethodName = methodName.replace(/[^a-zA-Z0-9]/g, "_");
                var filename =
                  "/data/data/com.target.app/code_" + safeMethodName + ".bin";
                var file = new File(filename, "wb");
                file.write(codeData);
                file.close();

                console.log("✓ [已导出 CodeItem] " + filename);
              }
            }
          }
        }
      } catch (e) {
        // 忽略读取错误
      }
    },
  });

  console.log("[+] FART Hook 已激活，开始监控方法调用...");
}
```

注意事项:

- 此技术需要较深的 ART 内部知识
- 只能 dump 被调用过的方法，未触发的方法无法恢复

方法 D: 内存扫描 (通用兜底方案)

当其他方法失效时，可以定期扫描内存中的 DEX magic number。

```
// unpacker_memscan.js - 内存扫描脚本

function scanMemoryForDex() {
  console.log("[+] 开始扫描内存中的 DEX 文件...");

  var ranges = Process.enumerateRanges("r--"); // 仅扫描可读区域
  var found = 0;

  ranges.forEach(function (range) {
    try {
      // DEX magic: "dex\n" = 0x6465780A
      var pattern = "64 65 78 0a";

      Memory.scan(range.base, range.size, pattern, {
        onMatch: function (address, size) {
          console.log("[+] 发现潜在 DEX: " + address);

          try {
            // 读取 DEX 文件大小 (偏移 32 字节处)
            var dexSize = address.add(32).readU32();

            // 合理性检查
            if (dexSize > 0x1000 && dexSize < 50 * 1024 * 1024) {
              console.log(
                "    DEX Size: " + (dexSize / 1024).toFixed(2) + " KB"
              );

              // Dump DEX
              var dexData = Memory.readByteArray(address, dexSize);
              var filename =
                "/data/data/com.target.app/memdump_" +
                address.toString().replace("0x", "") +
                ".dex";
              var file = new File(filename, "wb");
              file.write(dexData);
              file.close();

              console.log("✓ [Dumped] " + filename);
              found++;
            }
          } catch (e) {
            // 读取失败，跳过
          }
        },
        onComplete: function () {},
      });
    } catch (e) {
      // 忽略无法访问的内存区域
    }
  });

  console.log("[+] 扫描完成，找到 " + found + " 个 DEX 文件");
```

```
}

// 每 5 秒扫描一次
setInterval(function () {
  scanMemoryForDex();
}, 5000);

console.log("[+] 内存扫描已启动");
```

第 4 步: 验证和修复 DEX (10-30 分钟)

脱壳后的 DEX 文件可能不完整或有损坏，需要验证和修复。

验证步骤

```
# 1. 拉取导出的 DEX 文件
adb pull /data/data/com.target.app/ ./dumped_files/

# 2. 查看提取到的 DEX 文件
ls -lh ./dumped_files/*.dex
# 输出示例:
# -rw-r--r-- 1 user user 5.2M dumped_1234567890.dex
# -rw-r--r-- 1 user user 1.8M dumped_0987654321.dex

# 3. 验证 DEX 文件完整性
xxd ./dumped_files/dumped_1234567890.dex | head -n 2
# 应该看到 DEX magic: 64 65 78 0a (dex\n)

# 4. 使用 Jadx 打开验证
jadx ./dumped_files/dumped_1234567890.dex
# 如果能正常反编译，表示脱壳成功
```

常见需要修复的情况

1. 方法体被 NOP 填充:
    - 症状: Jadx 反编译后看到大量空方法或只有 `return` 的方法
    - 原因: 壳用占位符替换了真实代码
    - 解决: 如果用 FART dump 了 CodeItem，需要手动替换回去

---

2. 字符串池损坏:
    - 症状: 反编译后字符串显示为乱码或缺失
    - 解决: 使用 `dex-repair` 工具重建字符串池
3. 类/方法索引错乱:
    - 症状: 方法调用关系不正确
    - 解决: 使用 `smali/baksmali` 重新组装

自动化修复工具

```
# 使用 dex-repair (开源工具)
git clone https://github.com/F8LEFT/dex-repair
cd dex-repair
python3 repair.py ./dumped_files/dumped_1234567890.dex -o ./fixed.dex

# 验证修复结果
jadx ./fixed.dex
```

手动修复流程 (FART 方法抽取)

```
# 1. 将导出的 CodeItem 替换回 DEX
# 这需要使用 DexPatcher 或自定义脚本

# 2. 反汇编 DEX
baksmali d dumped_1234567890.dex -o ./smali_output

# 3. 查找空方法并替换
# 在 smali_output 中，找到方法体为空的 .smali 文件
# 将导出的 CodeItem 反汇编后的内容复制进去

# 4. 重新组装
smali a ./smali_output -o ./repacked.dex

# 5. 验证
jadx ./repacked.dex
```

原理深入

加固流程示意

```
打包时加固流程:
┌──────────────────┐
│ 1. DEX 加密      │  将 classes.dex 加密为 encrypted.dat
└──────────────────┘
         ↓
┌──────────────────┐
│ 2. 壳代替换      │  用壳 DEX 替换 classes.dex
└──────────────────┘
         ↓
┌──────────────────┐
│ 3. 重新打包签名  │  生成加固后的 APK
└──────────────────┘

运行时解密流程:
Application.onCreate()
         ↓
  壳代码执行
         ↓
解密 encrypted.dat
         ↓
DexClassLoader.load(解密后的 DEX)
         ↓
跳转到原始 Application 入口
```

脱壳时机示意

```
App 启动
    ↓
壳代码运行
    ↓
解密原始 DEX          ← Hook 点 1: ClassLoader
    ↓
ART 加载 DEX 到内存   ← Hook 点 2: libart.so
    ↓
编译为 OAT 格式
    ↓
类初始化和方法调用    ← Hook 点 3: ArtMethod::Invoke
    ↓
原始代码执行
```

常见问题

❌ 问题 1: frida-dexdump 无法 dump 任何文件

可能原因:

1. 壳检测到 Frida 并提前退出
2. Hook 时机太晚，DEX 已经加载完毕
3. 使用了非标准的加载方式

解决方案:

```
# 1. 先绕过 Frida 检测
frida -U -f com.target.app -l bypass_frida_detection.js --no-pause

# 等待应用启动后，再运行 dexdump (分两步)
frida -U com.target.app -l frida_dexdump_manual.js

# 2. 尝试更早的拦截点
# 修改 frida-dexdump 源码，在 libc.so fork() 之前就注入

# 3. 使用内存扫描作为兜底方案
frida -U com.target.app -l unpacker_memscan.js
```

❌ 问题 2: Dump 的 DEX 无法被 Jadx 识别

可能原因:

1. Dump 的时机不对，DEX 还未完全解密
2. DEX 文件被截断
3. 内存中的 DEX 已被修改 (如方法抽取)

解决方案:

```
# 1. 检查 DEX 文件头
xxd dumped.dex | head -n 5
# 前 4 字节必须是: 64 65 78 0a (dex\n)
# 后 4 字节是版本号: 30 33 35 00 (035) 或 30 33 38 00 (038)

# 2. 验证文件大小
# 偏移 32 字节处记录文件大小
dd if=dumped.dex bs=1 skip=32 count=4 | xxd
# 与实际文件大小对比

# 3. 尝试修复工具
dex-repair dumped.dex -o fixed.dex

# 4. 如果是方法抽取壳，需要用 FART 补全方法体
```

❌ 问题 3: FART 脚本导致应用崩溃

可能原因:

1. ArtMethod 结构偏移错误 (Android 版本不匹配)
2. 读取了无效的内存地址
3. Hook 符号错误

解决方案:

```
// 1. 添加异常保护
Interceptor.attach(artMethodInvokeAddr, {
  onEnter: function (args) {
    try {
      var artMethod = args[0];
      // ... 你的代码
    } catch (e) {
      console.log("[-] 捕获异常: " + e);
      // 不要重新抛出，避免崩溃
    }
  },
});

// 2. 根据 Android 版本动态调整偏移
var androidVersion = Java.androidVersion;
var codeItemOffset;
if (androidVersion >= 10) {
  codeItemOffset = 16; // Android 10+
} else if (androidVersion >= 8) {
  codeItemOffset = 20; // Android 8-9
} else {
  codeItemOffset = 24; // Android 7
}

// 3. 检查指针有效性
if (codeItemPtr && !codeItemPtr.isNull()) {
  // 尝试读取前先检查是否可读
  try {
    Process.findRangeByAddress(codeItemPtr); // 会抛出异常如果地址无效
    var insnsSize = codeItemPtr.add(12).readU32();
    // ...
  } catch (e) {
    console.log("[-] 无效地址: " + codeItemPtr);
  }
}
```

❌ 问题 4: 方法抽取壳只 dump 出部分方法

可能原因:

1. FART 技术只能 dump 被调用过的方法
2. 部分方法在特定条件下才会触发

解决方案:

```
# 1. 使用 FART 技术（见第 3 步方法 C）
# 必须触发所有关键方法调用才能完整导出

# 2. 手动触发方法调用
# 写一个测试脚本，遍历所有类的所有方法并调用

# 3. 使用专用工具
# FUPK3、Youpk 等工具已内置方法主动调用逻辑
```

主动调用所有方法的脚本:

```
Java.perform(function () {
  Java.enumerateLoadedClasses({
    onMatch: function (className) {
      if (className.indexOf("com.target.app") !== -1) {
        try {
          var clazz = Java.use(className);
          var methods = clazz.class.getDeclaredMethods();

          methods.forEach(function (method) {
            try {
              // 尝试调用静态方法（传空参数）
              console.log("[+] 尝试调用: " + method.getName());
              method.invoke(null, []);
            } catch (e) {
              // 忽略调用失败
            }
          });
        } catch (e) {}
      }
    },
    onComplete: function () {
      console.log("[+] 方法触发完成");
    },
  });
});
```

相关链接

相关配方

项目	说明
Recipe: 绕过 App 对 Frida 的检测	脱壳前通常需要先过反调试
Recipe: 抓包分析 Android 应用的网络流量	脱壳后抓包分析加密逻辑
Recipe: SO 混淆与反混淆	Native 层加固的处理

工具深入

- Frida 内部原理 - 理解 Frida Hook 机制
- Unidbg 使用指南 - 仿真执行 Native 解密函数

案例分析

- 案例: 某音乐 App 的加固分析

参考资料

- DEX 文件格式详解
- ART 运行时机制

快速参考

加固检测速查表

检测项	命令	可疑特征
Application 入口	`unzip -p app.apk AndroidManifest.xml | grep android:name`	`StubShell`, `ApplicationWrapper`, `StubApplication`
DEX 文件大小	`unzip -l app.apk | grep classes.dex`	< 100 KB (复杂应用)
加密数据文件	`unzip -l app.apk | grep -E "\.dat|\.bin"`	`assets/` 下的 .dat/.bin 文件
可疑 SO 库	`unzip -l app.apk | grep "lib/.*\.so"`	`libexec.so`, `libvmp.so`, `libprotect.so`
使用 PKid	`java -jar ApkToolPlus.jar -pkid app.apk`	直接输出加固厂商

常用脱壳命令

```
# 1. 使用 frida-dexdump (推荐)
python3 -m frida_dexdump -U -f com.target.app -o ./output

# 2. 手写脚本 (Spawn 模式)
frida -U -f com.target.app -l unpacker.js --no-pause

# 3. 内存扫描
frida -U com.target.app -l memscan.js

# 4. 拉取导出文件
adb pull /data/data/com.target.app/ ./dumped/

# 5. 验证 DEX 文件
xxd dumped.dex | head -n 2  # 检查 magic number
jadx dumped.dex             # 尝试反编译
```

常用工具

工具	用途	链接
frida-dexdump	自动化 DEX dumper	GitHub
FUPK3	针对特定壳的脱壳机	GitHub
Youpk	较新的脱壳工具	GitHub
PKid	加固识别工具	GitHub
dex-repair	DEX 文件修复工具	GitHub

💡 提示：脱壳是一个需要耐心和经验的过程。如果一种方法不奏效，尝试组合多种技术。记住，代码运行必解密 - 只要应用能正常运行，理论上就能脱壳。

R10: Frida 脱壳实战

R10: 使用 Frida 脱壳加固 App 并修复 SO 文件

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 掌握 Frida 内存操作与 Hook
> - SO/ELF 格式 - 理解 ELF 文件结构以进行修复

问题场景

你遇到了什么问题？

- 用 jadx 打开 APK，发现代码被混淆或看不到关键逻辑
- 🛡️ APK 使用了加固（加壳）保护，无法静态分析
- 📦 SO 文件被加密，IDA Pro 无法正确加载
- 你想获取 App 运行时真正的 DEX 文件
- 🧩 需要分析 Native 层代码，但 SO 文件已被加壳

本配方教你：使用 Frida 动态脱壳加固 App、Dump 内存中的 DEX 和 SO 文件、修复文件格式以供分析。

核心理念：

> 💡 动态脱壳：在运行时获取已解密的代码
>
> - 加壳只是静态保护，运行时必然会解密
> - Frida 可以在 DEX/SO 加载时 dump 内存

> - 修复文件格式后即可用传统工具分析
> - 绕过所有加固方案的通用方法

预计用时: 30-60 分钟

工具清单

必需工具

- □ Frida - 动态插桩框架
- □ Android 设备（已 Root）或模拟器
- □ Python 3.7+ - 运行 Frida 脚本
- □ jadx-gui - 分析脱壳后的 DEX

可选工具

- □ IDA Pro / Ghidra - 分析 SO 文件
- □ frida-dexdump - 自动化 DEX 脱壳
- □ FRIDA-DEXDump - 另一个流行的脱壳工具
- □ SoFixer - 修复 dump 的 SO 文件

前置条件

✅ 确认清单

```
# 1. Frida 正常运行
frida-ps -U

# 2. Python 环境
python3 --version

# 3. jadx-gui 已安装
jadx-gui --version

# 4. 检查设备 root 状态
adb shell su -c 'id'
# 应该显示 uid=0(root)
```

识别 App 是否加固

方法 1：jadx 查看

打开 APK，如果看到：

- 只有几个类和方法
- 有 `StubApp`、`ProxyApplication` 等字样
- MainActivity 逻辑异常简单

方法 2：查看 SO 文件

```
# 解压 APK
unzip app.apk -d app_unzipped

# 查看 lib 目录
ls app_unzipped/lib/arm64-v8a/

# 常见加固壳 SO 文件名
# libjiagu.so (360加固)
# libDexHelper.so (梆梆加固)
# libtup.so (腾讯加固)
# libexec.so (爱加密)
```

解决方案

第 1 步：使用 frida-dexdump 脱壳（10 分钟）

1.1 安装 frida-dexdump

```
# 克隆项目
git clone https://github.com/hluwa/frida-dexdump.git
cd frida-dexdump

# 安装依赖
pip3 install frida frida-tools
```

1.2 运行脱壳

```
# -f: 启动应用
# --no-pause: 不暂停，立即运行
python3 main.py -U -f com.example.app

# 脚本会自动:
# 1. 启动应用
# 2. Hook DEX 加载函数
# 3. 导出所有已加载的 DEX 文件
# 4. 保存到当前目录
```

输出示例：

```
[DEXDump] Dumping DEX file: 0x7abc000000, size: 4562314
[DEXDump] Saved: com.example.app_classes.dex
[DEXDump] Found DEX: /data/app/.../base.apk!classes2.dex
[DEXDump] Dumping DEX file: 0x7abc500000, size: 2314567
[DEXDump] Saved: com.example.app_classes2.dex
[DEXDump] Total: 2 DEX files dumped
```

1.3 验证脱壳结果

```
# 用 jadx 打开
jadx-gui com.example.app_classes.dex
```

第 2 步：使用 FRIDA-DEXDump（备选方案）（10 分钟）

如果 frida-dexdump 不工作，可以尝试 FRIDA-DEXDump：

```
# 安装
git clone https://github.com/lasting-yang/frida_dump.git
cd frida_dump

# 运行命令
python3 dump_dex.py -U -f com.example.app
```

第 3 步：手动脚本脱壳（高级）（15 分钟）

如果自动化工具失败，可以编写自定义 Frida 脚本。

3.1 Hook OpenCommon（适用于 Android 8.0+）

dex_dump.js：

```
function dumpDex() {
  Java.perform(function () {
    console.log("[*] DEX Dumper started");

    // 查找 libart.so
    var libart = Process.findModuleByName("libart.so");
    if (!libart) {
      console.log("[-] libart.so not found");
      return;
    }

    // Hook OpenCommon (Android 8.0+)
    // 符号名称因版本而异，需要用 nm 或 readelf 确认
    var OpenCommon = null;

    // 尝试常见符号
    var symbols = [
      "_ZN3art7DexFile10OpenCommonEPKhjS2_jRKNS_10OatDexFileEbbPS1_",
      "_ZN3art7DexFile10OpenCommonEPKhmS2_jRKNS_10OatDexFileEbbPS1_NS_6Handle",
    ];

    for (var i = 0; i < symbols.length; i++) {
      OpenCommon = Module.findExportByName("libart.so", symbols[i]);
      if (OpenCommon) {
        console.log("[+] Found OpenCommon:", OpenCommon);
        break;
      }
    }

    if (!OpenCommon) {
      console.log("[-] OpenCommon not found");
      return;
    }

    // Hook
    Interceptor.attach(OpenCommon, {
      onEnter: function (args) {
        // args[0] = base (DEX 内存地址)
        // args[1] = size (DEX 文件大小)

        var base = args[0];
        var size = args[1].toInt32();

        console.log("[*] 检测到 DEX!");
        console.log("    基址: " + base);
        console.log("    大小: " + size);

        // 读取 DEX 文件头，验证魔数
        var magic = base.readCString(4);
        if (magic === "dex\n") {
          console.log("    Magic: " + magic + " ✓");
```

```
          // Dump DEX
          var dexBytes = base.readByteArray(size);
          var fileName = "/sdcard/" + size + ".dex";

          var file = new File(fileName, "wb");
          file.write(dexBytes);
          file.close();

          console.log("[+] DEX dumped to: " + fileName);
        } else {
          console.log("    Invalid magic: " + magic);
        }
      },
    });

    console.log("[*] Hooks installed, waiting for DEX load...");
  });
}

setImmediate(dumpDex);
```

使用方法:

```
# 运行脚本
frida -U -f com.example.app -l dex_dump.js --no-pause

# 拉取到本地
adb pull /sdcard/*.dex .
```

3.2 查找正确的符号名

```
Module.enumerateExports("libart.so").forEach(function (exp) {
  if (exp.name.includes("DexFile") && exp.name.includes("Open")) {
    console.log(exp.name, exp.address);
  }
});
```

第 4 步：Dump SO 文件（10 分钟）

4.1 查看已加载的 SO

```
# 查看进程加载的 SO 文件
frida -U -f com.example.app
```

在 REPL 中输入：

```
Process.enumerateModules().forEach(function (m) {
  if (m.name.includes("native") || m.name.includes("encrypt")) {
    console.log(m.name, m.base, m.size);
  }
});

// 输出示例：
// libnative-lib.so 0x7abc000000 0x50000
```

4.2 Dump SO 内存

```
function dumpSo(moduleName) {
  var module = Process.findModuleByName(moduleName);
  if (!module) {
    console.log("[-] Module not found: " + moduleName);
    return;
  }

  console.log("[+] 找到模块:", moduleName);
  console.log("    基址: " + module.base);
  console.log("    大小: " + module.size);

  // 导出整个模块
  var buffer = module.base.readByteArray(module.size);
  var fileName = "/sdcard/" + moduleName;

  var file = new File(fileName, "wb");
  file.write(buffer);
  file.close();

  console.log("[+] 已导出到: " + fileName);
}

// 使用
dumpSo("libnative-lib.so");
```

拉取文件：

```
adb pull /sdcard/libnative-lib.so .
```

4.3 使用 frida-all-in-one（推荐）

```
# 克隆项目
git clone https://github.com/hookmaster/frida-all-in-one.git
cd frida-all-in-one

# 运行命令
python3 dump_so.py -U com.example.app libnative-lib.so

# 会自动导出并修复 SO 文件
```

第 5 步：修复 SO 文件（10 分钟）

从内存 dump 的 SO 文件可能缺少 ELF 头信息，需要修复。

5.1 使用 SoFixer

```
# 下载
git clone https://github.com/F8LEFT/SoFixer.git
cd SoFixer

# 编译（需要 CMake）
mkdir build && cd build
cmake ..
make

# 使用
./SoFixer ../libnative-lib.so ../libnative-lib_fixed.so
```

输出示例：

```
[+] Detected architecture: ARM64
[+] Rebuilding ELF header...
[+] Fixing section table...
[+] Fixing dynamic symbols...
[+] Output file: libnative-lib_fixed.so
[+] Done!
```

5.2 验证修复结果

```
# 检查文件类型
file libnative-lib_fixed.so
# 应该显示: ELF 64-bit LSB shared object, ARM aarch64...

# 用 IDA Pro 打开
# 或用 readelf 查看
readelf -h libnative-lib_fixed.so
```

原理深入

DEX 脱壳原理

```
App 启动
    ↓
壳代码加载
    ↓
解密原始 DEX（在内存中）
    ↓
调用 DexFile::OpenCommon 加载 DEX ← Frida Hook 点
    ↓
Frida 读取内存中的 DEX 数据
    ↓
保存到文件
```

OpenCommon 函数签名

```
// Android 8.0+ 的 OpenCommon 签名（简化）
static std::unique_ptr<DexFile> OpenCommon(
    const uint8_t* base,  // DEX 内存基址
    size_t size,          // DEX 大小
    ...
)
```

SO Dump 原理

```
内存中的 SO 布局:
[ELF Header]   ← 可能被壳破坏
[.text 段]
[.data 段]
[.rodata 段]
...
[Symbol Table] ← 需要重建
[String Table] ← 需要重建
```

直接 dump 内存只能获取段数据，缺少完整 ELF 结构，所以需要 SoFixer 修复。

常见加固壳识别

加固厂商	SO 文件名	特点
360 加固	libjiagu.so	整体加密
梆梆加固	libDexHelper.so	方法抽取
腾讯加固	libtup.so	VMP 保护
爱加密	libexec.so	多层加密
网易易盾	libnesec.so	云端保护

通用策略：所有加固都需要在运行时解密，Frida 脱壳对所有方案都有效！

常见问题

❌ 问题 1: frida-dexdump 报错 "Failed to spawn"

症状：无法启动应用

解决：

```
# 1. 确认应用已安装
adb shell pm list packages | grep example

# 2. 确认包名正确
# 从 AndroidManifest.xml 获取准确包名

# 3. 尝试 Attach 模式
# 先手动启动应用
adb shell am start -n com.example.app/.MainActivity

# 再附加
python3 main.py -U com.example.app
```

❌ 问题 2: Dump 的 DEX 无法用 jadx 打开

可能原因：DEX 头部损坏

解决步骤：

1. 检查魔数

   ```
   xxd dumped.dex | head -1
   # 应该看到: 64 65 78 0a (dex\n)
   ```

2. 验证 DEX 大小

```
# 验证 DEX 大小
with open('dumped.dex', 'rb') as f:
    f.seek(32)  # 跳到 file_size 字段
    size = int.from_bytes(f.read(4), 'little')
    print(f"DEX 声明的大小: {size}")

import os
actual_size = os.path.getsize('dumped.dex')
print(f"实际文件大小: {actual_size}")
```

3. 使用 dexrepair 修复

```
git clone https://github.com/anestisb/dexrepair.git
python3 dexrepair/dexrepair.py dumped.dex fixed.dex
```

❌ 问题 3: Hook 点没有触发

检查步骤:

1. 确认 libart.so 已加载

```
var libart = Process.findModuleByName("libart.so");
console.log("libart found:", libart !== null);
```

2. 列出所有 OpenCommon 符号

```
Module.enumerateExports("libart.so").forEach(function (exp) {
  if (exp.name.includes("OpenCommon")) {
    console.log(exp.name);
  }
});
```

3. 尝试其他 Hook 点

```
// Android 7.0-
var OpenMemory = Module.findExportByName(
  "libart.so",

"_ZN3art7DexFile10OpenMemoryEPKhjRKNSt3__112basic_stringIcNS3_11char_traitsIcEENS
3_9allocatorIcEEEEjPNS_6MemMapEPKNS_10OatDexFileEPS9_"
);
```

````
### ❌ 问题 4: SO 文件修复后 IDA 仍无法分析

**症状**: IDA 打开后只显示数据，没有函数

**解决**:

1. **手动定义函数**
   在 IDA 中:
   - 光标移到疑似函数起始处
   - 按 'P' 键创建函数
   - 按 'C' 键转换为代码
2. **使用符号恢复工具**
   ```bash
   # 如果原始 SO 有符号表
   readelf -s original.so > symbols.txt

   # 用 IDA 脚本导入符号
   ```
3. **检查是否有 OLLVM 混淆**
   - 如果看到大量跳转和无意义的代码块
   - 可能是 OLLVM 控制流平坦化
   - 参考: [OLLVM 反混淆](#section-23)

### ❌ 问题 5: App 检测到 Frida 并崩溃

**症状**: 启动后立即退出，logcat 显示反调试提示

**解决**:

参考 [Frida 反调试绕过](#section-18)

快速方法:

```bash
# 使用 Magisk Hide
# 或使用修改版 Frida 服务器
wget https://github.com/hluwa/strongR-frida-android/releases/download/xxx/frida-server
````
````

相关链接

相关配方

- 应用脱壳总览 - 各种脱壳技术对比
- Frida 反调试绕过 - 处理反 Frida 检测
- SO 混淆分析 - 分析混淆的 SO 文件
- OLLVM 反混淆 - 处理控制流混淆

工具深入

- Frida 完整指南
- IDA Pro 使用

项目资源

项目	说明	链接
frida-dexdump	自动化 DEX 脱壳	https://github.com/hluwa/frida-dexdump
FRIDA-DEXDump	深度 DEX 脱壳	https://github.com/lasting-yang/frida_dump
SoFixer	SO 文件修复	https://github.com/F8LEFT/SoFixer
frida-all-in-one	综合工具集	https://github.com/hookmaster/frida-all-in-one

理论基础

- DEX 文件格式
- SO/ELF 文件格式

- ART 运行时

快速参考

脱壳工具对比

工具	类型	难度	特点
frida-dexdump	自动化	简单	简单，支持多版本
FRIDA-DEXDump	自动化	简单	深度搜索，更全面
手动脚本	定制	中等	灵活，适合特殊情况
objection	交互式	简单	多功能，含脱壳

一键脱壳脚本

auto_unpack.sh:

```
#!/bin/bash

PACKAGE=$1

if [ -z "$PACKAGE" ]; then
    echo "用法: $0 <package_name>"
    exit 1
fi

echo "🔓 开始脱壳: $PACKAGE"

# 1. Dump DEX
echo ""
echo "📦 导出 DEX 文件..."
python3 ~/tools/frida-dexdump/main.py -U -f $PACKAGE

# 2. Dump SO
echo ""
echo "📚 导出 SO 文件..."
frida -U -f $PACKAGE -l dump_all_so.js --no-pause

sleep 5

# 3. 拉取文件
echo ""
echo "📩 拉取文件..."
adb pull /sdcard/*.dex .
adb pull /sdcard/*.so .

# 4. 清理
adb shell rm /sdcard/*.dex
adb shell rm /sdcard/*.so

echo ""
echo "✅ 完成！文件已保存到当前目录"
ls -lh *.dex *.so
```

dump_all_so.js

```
function dumpAllSo() {
  var modules = Process.enumerateModules();
  console.log("[*] 找到 " + modules.length + " 个模块");

  modules.forEach(function (module) {
    // 只导出 .so 文件
    if (!module.name.endsWith(".so")) {
      return;
    }

    // 排除系统库
    if (module.path.startsWith("/system") || module.path.startsWith("/apex")) {
      return;
    }

    console.log("[+] 导出: " + module.name);
    console.log("    路径: " + module.path);
    console.log("    基址: " + module.base);
    console.log("    大小: " + module.size);

    try {
      var buffer = module.base.readByteArray(module.size);
      var fileName = "/sdcard/" + module.name;
      var file = new File(fileName, "wb");
      file.write(buffer);
      file.close();
      console.log("    已保存: " + fileName);
    } catch (e) {
      console.log("    错误: " + e);
    }
  });

  console.log("[*] 完成!");
}

setImmediate(dumpAllSo);
```

💡 提示：脱壳是一个反复试错的过程。如果一种方法不起作用，尝试其他方法或工具。大多数加固方案都可以通过 Frida 动态脱壳绕过。

R11: 加密算法分析

R11: 分析并提取 Android 应用的加密密钥

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 使用 Hook 拦截加密函数
> - 网络抓包技术 - 捕获加密前后的数据对比

问题场景

你遇到了什么问题？

- App 的 API 请求参数被加密了，看不懂内容
- 想知道 App 使用了什么加密算法
- 需要提取加密密钥来解密数据
- 想重现 App 的加密/签名逻辑用于自动化
- 需要绕过加密验证或签名检查

本配方教你：识别加密算法、定位密钥位置、使用 Frida 动态提取密钥。

核心理念：

> 💡 密码学逆向的关键不是破解算法，而是找到密钥
>
> - 不要试图"破解" AES/RSA 等成熟算法（几乎不可能）
> - 用动态分析直接提取密钥
> - 或直接调用 App 自己的加密函数（利用已有密钥）

预计用时: 30-60 分钟

工具清单

必需工具

- jadx-gui - Java 层静态分析
- Frida - 动态 Hook 提取密钥
- Android 设备（已 Root）

可选工具

- IDA Pro / Ghidra - Native 层分析
- Burp Suite - 抓包查看加密后的数据
- CyberChef - 在线加密/解密工具（https://gchq.github.io/CyberChef/）

前置条件

✅ 确认清单

```
# 1. Frida 正常运行
frida-ps -U

# 2. jadx-gui 已安装
jadx-gui --version

# 3. 抓包环境已配置（可选）
# 参考: network_sniffing.md
```

解决方案

第 1 步：识别加密算法（5 分钟）

1.1 搜索特征字符串

用 jadx-gui 打开 APK，全局搜索：

```
# 对称加密
AES
DES
3DES

# 非对称加密
RSA
ECC

# 哈希算法
MD5
SHA
SHA256
HMAC

# 加密模式
ECB
CBC
CTR
GCM

# Padding
PKCS5Padding
PKCS7Padding

# 编码
Base64
```

1.2 搜索 Java 加密 API

```
// Java 层加密 API
javax.crypto.Cipher
javax.crypto.spec.SecretKeySpec
javax.crypto.spec.IvParameterSpec
javax.crypto.Mac
java.security.Signature
java.security.MessageDigest

// Base64 编码
android.util.Base64
java.util.Base64
```

1.3 检查 Native 层加密

```
# 解压 APK
unzip app.apk -d app_unzipped

# 搜索 .so 文件中的加密库
strings app_unzipped/lib/*/lib*.so | grep -i -E "openssl|crypto|encrypt|aes|rsa"

# 或使用 rabin2 分析
rabin2 -z app_unzipped/lib/arm64-v8a/libnative.so | grep -i encrypt
```

第 2 步：定位加密代码（10 分钟）

2.1 跟踪加密字符串

假设你搜到了 `AES/CBC/PKCS5Padding`：

1. 在 jadx 中点击这个字符串
2. 查看交叉引用（`X` 键或右键 → Find Usage）
3. 跳转到使用这个字符串的函数

典型代码模式：

```
// 你可能会看到类似这样的代码
public static String encrypt(String plaintext) {
    Cipher cipher = Cipher.getInstance("AES/CBC/PKCS5Padding");
    SecretKeySpec key = new SecretKeySpec(KEY_BYTES, "AES");
    IvParameterSpec iv = new IvParameterSpec(IV_BYTES);
    cipher.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, key, iv);
    byte[] encrypted = cipher.doFinal(plaintext.getBytes());
    return Base64.encodeToString(encrypted, Base64.DEFAULT);
}
```

记录关键信息:

```
密钥变量: KEY_BYTES
IV 变量: IV_BYTES
加密函数: com.example.app.CryptoUtils.encrypt()
```

第 3 步：找到密钥位置（10 分钟）

📍 位置 1: Java 代码硬编码（难度：低）

查找方法:

```
// 搜索关键词
SecretKeySpec
byte[] key
private static final byte[]
```

示例:

```
private static final byte[] KEY = {
    0x12, 0x34, 0x56, 0x78,
    0x9a, 0xbc, 0xde, 0xf0,
    // ... 16/24/32 字节
};
```

密钥长度:

- AES-128: 16 字节

- AES-192: 24 字节
- AES-256: 32 字节

📍 位置 2: 资源文件（难度：低）

查找路径：

```
# 检查 assets 目录
ls app_unzipped/assets/

# 检查 res/raw
ls app_unzipped/res/raw/

# 搜索二进制文件
find app_unzipped -type f -exec file {} \; | grep data
```

常见文件名：

- `secret.key`
- `config.dat`
- `license.bin`

📍 位置 3: Native (.so) 硬编码（难度：中）

IDA Pro 分析：

1. 打开 `.so` 文件
2. 跳转到 Strings 窗口（`Shift+F12`）
3. 搜索关键字符串
4. 查看交叉引用找到使用密钥的函数

Ghidra 分析：

1. 导入 `.so` 文件
2. 搜索 → For Strings
3. 筛选长度为 16/24/32 的可疑字符串

📍 位置 4: 动态生成（难度：高）

特征：密钥通过算法计算，常见方式：

```
// 基于设备信息生成
String deviceId = getDeviceId();
byte[] key = MD5(deviceId + SALT);

// 基于时间戳
long timestamp = System.currentTimeMillis();
byte[] key = HMACSHA256(timestamp, SECRET);
```

从服务器获取：

- 启动时从服务器获取密钥
- 可能经过 RSA 加密传输

对策：

1. 抓包查看密钥传输
2. Hook 网络请求获取密钥
3. 或直接 Hook 加密函数（密钥已在内存中）

第 4 步：动态提取密钥（15 分钟）

终极方法：无论密钥藏在哪，只要加密函数被调用，Hook 就能抓到

4.1 Hook Java 层加密

通用 AES Hook 脚本 `dump_aes_key.js`：

```
Java.perform(function () {
  console.log("\n[Crypto Hook] 启动\n");

  // Hook Cipher.init
  var Cipher = Java.use("javax.crypto.Cipher");
  Cipher.init.overload(
    "int",
    "java.security.Key",
    "java.security.spec.AlgorithmParameterSpec"
  ).implementation = function (opmode, key, spec) {
    console.log("\n🔐 [Cipher.init] 捕获!");

    // 模式
    var mode = opmode == 1 ? "ENCRYPT" : "DECRYPT";
    console.log("    模式: " + mode);

    // 算法
    console.log("    算法: " + this.getAlgorithm());

    // 提取密钥
    try {
      var secretKey = Java.cast(
        key,
        Java.use("javax.crypto.spec.SecretKeySpec")
      );
      var keyBytes = secretKey.getEncoded();
      var Base64 = Java.use("android.util.Base64");
      console.log("    密钥 (Base64): " + Base64.encodeToString(keyBytes, 0));
      console.log("    密钥 (Hex): " + bytesToHex(keyBytes));
    } catch (e) {
      console.log("    密钥类型: " + key.$className);
    }

    // 提取 IV
    if (spec) {
      try {
        var ivSpec = Java.cast(
          spec,
          Java.use("javax.crypto.spec.IvParameterSpec")
        );
        var ivBytes = ivSpec.getIV();
        console.log("    IV (Hex): " + bytesToHex(ivBytes));
      } catch (e) {}
    }

    return this.init(opmode, key, spec);
  };

  // Hook Cipher.doFinal
  Cipher.doFinal.overload("[B").implementation = function (input) {
    var result = this.doFinal(input);
```

```
    console.log("\n📦 [Cipher.doFinal] 捕获!");
    console.log("    输入长度: " + input.length);
    console.log("    输出长度: " + result.length);
    console.log("    输入数据 (前32字节): " + bytesToHex(input.slice(0, 32)));
    console.log("    输出数据 (前32字节): " + bytesToHex(result.slice(0, 32)));

    return result;
  };

  function bytesToHex(bytes) {
    var hex = [];
    for (var i = 0; i < bytes.length && i < 32; i++) {
      hex.push(("0" + (bytes[i] & 0xff).toString(16)).slice(-2));
    }
    return hex.join(" ");
  }

  console.log("✅ [Crypto Hook] 配置完成\n");
});
```

运行脚本:

```
frida -U -f com.example.app -l dump_aes_key.js
```

预期输出:

```
🔐 [Cipher.init] 捕获!
  模式: ENCRYPT
  算法: AES/CBC/PKCS5Padding
  密钥 (Base64): MTIzNDU2Nzg5MGFiY2RlZg==
  密钥 (Hex): 31 32 33 34 35 36 37 38 39 30 61 62 63 64 65 66
    IV (Hex): 66 65 64 63 62 61 30 39 38 37 36 35 34 33 32 31

📦 [Cipher.doFinal] 捕获!
  输入长度: 128
  输出长度: 144
  输入数据 (前32字节): 7b 22 75 73 65 72 6e 61 6d 65 22 3a ...
  输出数据 (前32字节): a3 b2 c1 d0 e4 f5 ...
```

4.2 Hook Native 层加密

查找 Native 加密函数:

```
# 使用 nm 查看函数
nm -D libnative.so | grep -i encrypt

# 使用 Frida
frida -U -f com.example.app
> Module.enumerateExports('libnative.so').filter(e => e.name.includes('encrypt'))
```

Hook Native 函数:

```
Interceptor.attach(
  Module.findExportByName("libnative.so", "Java_com_example_Crypto_encrypt"),
  {
    onEnter: function (args) {
      console.log("\n[Native Encrypt] 调用!");

      // args[0] = JNIEnv*
      // args[1] = jclass
      // args[2] = 第一个参数 (通常是明文)
      // args[3] = 第二个参数 (可能是密钥)

      // 读取字符串参数
      var plaintext = Java.vm
        .getEnv()
        .getStringUtfChars(args[2], null)
        .readCString();
      console.log("    明文: " + plaintext);

      // 保存指针用于后续读取
      this.keyPtr = args[3];
    },
    onLeave: function (retval) {
      // retval 是返回值 (密文)
      console.log("    返回值: " + retval);
    },
  }
);
```

第 5 步：验证密钥（5 分钟）

5.1 使用 CyberChef 验证

1. 打开 https://gchq.github.io/CyberChef/
2. 选择操作：`AES Decrypt`

3. 输入：

```
| 项目 | 说明 |
| --- | --- |
| **Key** (Hex) | `31 32 33 34 ...` |
| **IV** (Hex) | `66 65 64 63 ...` |
| **Mode** | `CBC` |
| **Input** | 密文（Base64 或 Hex） |
```

4. 点击 Bake!

如果解密成功，说明密钥正确！

5.2 Python 脚本验证

```
from Crypto.Cipher import AES
from Crypto.Util.Padding import unpad
import base64

# 从 Frida 获取的密钥和 IV（Hex 转 bytes）
key = bytes.fromhex('31323334353637383930616263646566')
iv = bytes.fromhex('66656463626130393837363534333231')

# 从抓包获取的密文
ciphertext = base64.b64decode('YWJjZGVmZ2hpamtsbW5vcA==')

# 解密
cipher = AES.new(key, AES.MODE_CBC, iv)
plaintext = unpad(cipher.decrypt(ciphertext), AES.block_size)

print("解密结果:", plaintext.decode())
```

5.3 直接调用 App 的加密函数

```
Java.perform(function () {
  var CryptoUtils = Java.use("com.example.app.CryptoUtils");

  // 调用加密函数
  var encrypted = CryptoUtils.encrypt("Hello World");
  console.log("加密结果: " + encrypted);

  // 调用解密函数
  var decrypted = CryptoUtils.decrypt(encrypted);
  console.log("解密结果: " + decrypted);
});
```

工作原理

常见加密算法对照表

算法类型	算法	密钥长度	用途
对称加密	AES	128/192/256 bit	加密数据
	DES	56 bit	旧标准（不安全）
	3DES	168 bit	DES 增强版
非对称加密	RSA	1024/2048/4096 bit	密钥交换、签名
	ECC	256/384/521 bit	RSA 的高效替代
哈希	MD5	128 bit 输出	校验（不安全）
	SHA-256	256 bit 输出	安全哈希
	HMAC	可变	带密钥的哈希

AES 加密流程

```
明文数据
    ↓
[AES Encrypt] ← 使用密钥 + IV
    ↓
密文数据
    ↓
[Base64 Encode] ← 便于传输
    ↓
最终密文
```

常见问题

❌ 问题 1: Hook 脚本不生效

症状：运行 Frida 脚本后没有任何输出

检查：

1. 确认加密函数被调用了吗?

```
Java.use("javax.crypto.Cipher").$init.overload().implementation = function () {
  console.log("[TEST] Cipher 实例化");
  return this.$init();
};
```

2. 加密是否在 Native 层?
    - 改用 Native Hook
3. 类名可能被混淆
    - 搜索所有包含 `Cipher` 的类:

```
Java.enumerateLoadedClasses({
  onMatch: function (className) {
    if (className.toLowerCase().includes("cipher")) {
      console.log(className);
    }
  },
  onComplete: function () {},
});
```

❌ 问题 2: 解密失败

可能原因:

1. IV 不正确
   - 确认是否使用了 IV
   - 某些实现会将 IV 附加在密文开头
2. Padding 不匹配
   - 尝试不同的 Padding: `PKCS5Padding`, `PKCS7Padding`, `NoPadding`
3. 编码问题

```
# 尝试不同编码
ciphertext = base64.b64decode(data)  # Base64
ciphertext = bytes.fromhex(data)     # Hex
ciphertext = data.encode()           # UTF-8
```

4. 密钥派生
   - 可能使用了 PBKDF2 等密钥派生函数
   - Hook `SecretKeyFactory.generateSecret()` 查看

❌ 问题 3: Native 函数找不到

症状: `Module.findExportByName()` 返回 `null`

解决:

1. 函数可能未导出

```
# 查看所有符号（包括未导出）
readelf -s libnative.so | grep encrypt
```

2. 使用地址偏移 Hook

```
var baseAddr = Module.findBaseAddress('libnative.so');
var funcAddr = baseAddr.add(0x1234);  // 从 IDA 获取偏移
Interceptor.attach(funcAddr, { ... });
```

3. 动态注册的 JNI 方法

```
// Hook RegisterNatives
var RegisterNatives = Module.findExportByName(
  "libart.so",
  "_ZN3art3JNI15RegisterNativesEP7_JNIEnvP7_jclassPK15JNINativeMethodi"
);
Interceptor.attach(RegisterNatives, {
  onEnter: function (args) {
    var methods = ptr(args[2]);
    console.log("Register JNI Method:", methods.readCString());
  },
});
```

❌ 问题 4: 密钥是字符串而非字节数组

症状:

```
// 看到类似这样的代码
SecretKeySpec key = new SecretKeySpec("MyPassword123".getBytes(), "AES");
```

解决方案:

1. 使用密钥派生函数（KDF）

```
from Crypto.Protocol.KDF import PBKDF2

password = "MyPassword123"
salt = b"somesalt"  # 需要从代码中找到
key = PBKDF2(password, salt, dkLen=16)  # 16 字节 AES-128
```

说明：

- `PBKDF2` 会将任意长度的密码派生为固定长度的密钥
- `salt` 通常在代码中硬编码或从服务器获取
- `dkLen` 决定输出密钥长度：16 (AES-128) / 24 (AES-192) / 32 (AES-256)

2. Hook 密钥派生函数

```
var SecretKeyFactory = Java.use("javax.crypto.SecretKeyFactory");
SecretKeyFactory.generateSecret.implementation = function (keySpec) {
  var key = this.generateSecret(keySpec);
  console.log("[密钥派生] 算法:", this.getAlgorithm());
  console.log("[密钥派生] 密钥 (Hex):", bytesToHex(key.getEncoded()));

  // 尝试获取 salt（如果是 PBEKeySpec）
  try {
    var PBEKeySpec = Java.use("javax.crypto.spec.PBEKeySpec");
    var pbeSpec = Java.cast(keySpec, PBEKeySpec);
    console.log("[密钥派生] Salt:", bytesToHex(pbeSpec.getSalt()));
    console.log("[密钥派生] 迭代次数:", pbeSpec.getIterationCount());
  } catch (e) {}

  return key;
};
```

3. 直接使用字符串密钥

```
from Crypto.Cipher import AES
from Crypto.Util.Padding import unpad
import hashlib

# 从代码中找到的字符串密码
password = "MyPassword123"

# 方法 1: 直接使用前 16 字节
key = password.encode()[:16].ljust(16, b'\0')

# 方法 2: MD5 哈希（常见做法，输出正好 16 字节）
key = hashlib.md5(password.encode()).digest()

# 方法 3: SHA256 前 16 字节
key = hashlib.sha256(password.encode()).digest()[:16]

# 然后用于解密
cipher = AES.new(key, AES.MODE_CBC, iv)
plaintext = unpad(cipher.decrypt(ciphertext), AES.block_size)
```

延伸阅读

相关配方

- 网络抓包 - 获取加密后的数据样本
- Frida 反调试 - 如果 App 检测到 Hook
- Native Hook 模式 - 深入 Native 层分析

工具深入

- Frida 完整指南
- IDA Pro 使用

案例分析

- 音乐 App 分析 - 加密音频格式分析
- 社交媒体风控 - API 签名算法逆向

理论基础

- 密码学基础知识 - TODO

快速参考

Hook 脚本模板库

1. RSA Hook

```
var Cipher = Java.use("javax.crypto.Cipher");
Cipher.init.overload("int", "java.security.Key").implementation = function (
  opmode,
  key
) {
  console.log("[RSA] 模式:", opmode == 1 ? "ENCRYPT" : "DECRYPT");
  console.log("[RSA] 密钥类型:", key.$className);

  // 获取公钥/私钥
  if (key.$className.includes("PublicKey")) {
    console.log("[RSA] 公钥:", bytesToHex(key.getEncoded()));
  } else if (key.$className.includes("PrivateKey")) {
    console.log("[RSA] 私钥:", bytesToHex(key.getEncoded()));
  }

  return this.init(opmode, key);
};
```

2. HMAC Hook

```
var Mac = Java.use("javax.crypto.Mac");
Mac.init.implementation = function (key) {
  console.log("[HMAC] 算法:", this.getAlgorithm());

  var secretKey = Java.cast(key, Java.use("javax.crypto.spec.SecretKeySpec"));
  console.log("[HMAC] 密钥:", bytesToHex(secretKey.getEncoded()));

  return this.init(key);
};

Mac.doFinal.overload("[B").implementation = function (data) {
  var result = this.doFinal(data);
  console.log("[HMAC] 输入:", bytesToHex(data));
  console.log("[HMAC] 输出:", bytesToHex(result));
  return result;
};
```

3. Base64 Hook

```
var Base64 = Java.use("android.util.Base64");
Base64.decode.overload("java.lang.String", "int").implementation = function (
  str,
  flags
) {
  var result = this.decode(str, flags);
  console.log("[Base64] 解码:");
  console.log("    输入:", str.substring(0, 50) + "...");
  console.log("    输出 (Hex):", bytesToHex(result));
  return result;
};
```

OpenSSL 命令速查

```
# AES 加密
echo "Hello" | openssl enc -aes-128-cbc -K 31323334353637383930616263646566 -iv
66656463626130393837363534333231 -base64

# AES 解密
echo "密文" | base64 -d | openssl enc -d -aes-128-cbc -K
31323334353637383930616263646566 -iv 66656463626130393837363534333231

# 生成 MD5
echo -n "text" | openssl md5

# 生成 SHA256
echo -n "text" | openssl sha256

# RSA 密钥生成
openssl genrsa -out private.pem 2048
openssl rsa -in private.pem -pubout -out public.pem
```

R12: SO 字符串解密

R12: SO 文件字符串混淆对抗指南

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 .rodata 段与字符串存储
> - Frida Native Hook - 动态拦截解密函数

在 Android Native 层安全中，字符串混淆是一种用于隐藏敏感信息、增加逆向分析难度的常用技术。开发者通过对 SO 文件中的关键字符串（如 API URL、加密密钥、Shell 命令、功能开关等）进行编码或加密，可以有效防止静态分析工具（如 `strings` 命令或 IDA Pro 的字符串窗口）直接发现它们。

本文旨在系统性地介绍 SO 文件中常见的字符串混淆技术，并提供一套从静态分析到动态分析的完整对抗策略。

目录

- 总结：最高效的分析流程

字符串混淆的核心思想

其本质是避免将明文字符串直接存储在二进制文件的 `.rodata` 或 `.data` 段中。取而代之的是，在程序运行时，通过特定的函数动态地在内存中（栈或堆）恢复出原始的字符串。

一个典型的流程如下：

```
加密的字节数组 -> 解密/解混淆函数 -> 内存中的明文字符串
```

我们的目标就是截获"内存中的明文字符串"。

常见的混淆技术

1. 简单编码:
    - Base64: 将 Base64 编码后的字符串存储，使用时再解码。
    - ROT13/Caesar Cipher: 简单的字符位移。
2. 按位运算:
    - XOR (异或): 将原始字符串与一个固定的（或动态计算的）密钥进行按字节异或。这是最常见、最高效的一种方式。
3. 栈上构建:
    - 不在任何段中存储字符串，而是在函数开始时，通过一系列 `mov` 指令逐字节地将字符串 push 到栈上。

```
void get_secret_string() {
    char secret[12];
    secret[0] = 's';
    secret[1] = 'e';
    // ...
    secret[10] = 't';
    secret[11] = '\0';
    // use secret
}
```

4. 标准加密算法:
    - 使用如 AES, RC4, DES 等标准对称加密算法。密钥本身可能被再次混淆或从其他地方动态获取。

对抗策略一：静态分析 (IDA Pro / Ghidra)

静态分析的目标是理解解密逻辑并自动化地应用它。

识别解密/解混淆函数

特征: 解密函数通常具有以下一个或多个特征:

- 接受一个指向字节数组的指针和一个长度作为参数。
- 函数内部包含一个循环结构（`for` / `while`）。
- 循环内部有按位操作，特别是 `XOR` (异或) 指令。
- 函数的交叉引用（Xrefs）非常多，且调用的地方都伴随着一个数据块的地址。

方法: 在 IDA Pro 或 Ghidra 中，通过搜索这些代码模式，通常能很快定位到核心的解密函数。

定位交叉引用

一旦你识别出了解密函数（例如 `decrypt_string`），立即查看它的所有交叉引用。每一个调用 `decrypt_string` 的地方，都是一个加密字符串被使用的地方。传递给该函数的参数，就是加密的数据。

自动化脚本解密

这是静态分析的精髓所在。

1. 分析算法: 仔细阅读解密函数的汇编或反编译代码，用一种高级语言（如 Python）重新实现其逻辑。

```
# 示例: Python 实现的简单 XOR 解密算法
def decrypt_xor(data, key):
    decrypted = bytearray()
    for i in range(len(data)):
        decrypted.append(data[i] ^ key[i % len(key)])
    return decrypted.decode('utf-8')
```

2. 脚本逻辑:
    1. 获取解密函数的地址。
    2. 遍历该函数的所有交叉引用。
    3. 在每个交叉引用的地方，解析其参数，提取出加密数据块的地址和长度。
    4. 读取加密数据。
    5. 调用步骤 1 中实现的 Python 解密函数。
    6. 将解密后的明文字符串，作为注释，添加到交叉引用的代码行旁边。
3. 效果: 运行脚本后，IDA/Ghidra 中的代码将变得非常易读，所有加密字符串都以注释的形式被"还原"了。

对抗策略二：动态分析 (Frida)

动态分析的核心思想是不关心解密过程，只关心解密结果。它通常更快速、更直接。

Hook 解密函数（首选策略）

这是对抗字符串混淆最简单、最高效的方法。

1. 定位函数: 使用静态分析工具（IDA/Ghidra）找到解密函数的地址。
2. 编写 Frida 脚本:
   - Hook `onEnter`: 在进入解密函数时，打印其输入参数（加密的字节数组）。
   - Hook `onLeave` (更常用): 在函数返回时，直接读取其返回值。因为返回值通常就是指向内存中明文字符串的指针。

```
const decryptFuncPtr = Module.findExportByName(
    "libnative-lib.so",
    "Java_com_example_MainActivity_decryptString"
);
// 或者直接使用地址:
// const decryptFuncPtr = Module.getBaseAddress("libnative-lib.so").add(0x1234);

Interceptor.attach(decryptFuncPtr, {
    onEnter: function(args) {
        console.log("进入 decryptString，数据: " + args[0].readCString());
    },
    onLeave: function(retval) {
        // retval 是指向解密后字符串的指针
        var decryptedString = retval.readCString();
        console.log("解密后的字符串 -> " + decryptedString);
        // 可以进一步将结果写入文件
        // send({ decrypted: decryptedString });
    }
});
```

内存漫游与搜索

在某些情况下，App 可能会在启动时一次性解密大量字符串，并将它们存放在一个特定的内存区域。

方法:

1. 让 App 运行一段时间。
2. 使用 Frida 的 `Memory.scan` API 在进程的整个内存空间中搜索你感兴趣的字符串模式（例如，`https://`）。

```
// 十六进制表示 "https://"
var pattern = "68 74 74 70 73 3a 2f 2f";
var module = Process.findModuleByName("libnative-lib.so");

Memory.scan(module.base, module.size, pattern, {
    onMatch: function(address, size) {
        console.log("在以下地址找到模式: " + address);
        // 可能需要回退一些字节来找到字符串的起始位置
        console.log(address.readCString());
    },
    onComplete: function() {
        console.log("内存扫描完成。");
    }
});
```

对抗策略三：IDA Pro 自动化脚本

当你已经理解了解密算法，可以编写 IDA Python 脚本批量解密所有字符串并添加注释。

示例：XOR 解密脚本

```
import idautils
import idaapi
import idc

class StringDecryptor:
    """IDA Pro 字符串批量解密器"""

    def __init__(self, decrypt_func_addr, xor_key):
        self.decrypt_func = decrypt_func_addr
        self.xor_key = xor_key

    def xor_decrypt(self, data):
        """XOR 解密"""
        result = bytearray()
        for i, b in enumerate(data):
            result.append(b ^ self.xor_key[i % len(self.xor_key)])
        return result.decode('utf-8', errors='ignore').rstrip('\x00')

    def get_encrypted_data(self, call_addr):
        """
    从调用点提取加密数据的地址和长度
    假设调用约定: decrypt_string(encrypted_ptr, length)
        """
        # 回溯查找参数设置指令
        prev_head = idc.prev_head(call_addr)
        encrypted_ptr = None
        length = None

        # 简化处理: 向前查找 MOV 指令
        for _ in range(10):
            mnem = idc.print_insn_mnem(prev_head)
            if mnem in ['MOV', 'LDR', 'LEA']:
                op0 = idc.get_operand_value(prev_head, 0)
                op1 = idc.get_operand_value(prev_head, 1)
                # 根据寄存器判断是哪个参数
                # 这里需要根据实际情况调整
            prev_head = idc.prev_head(prev_head)

        return encrypted_ptr, length

    def process_all_xrefs(self):
        """处理解密函数的所有交叉引用"""
        decrypted_count = 0

        for xref in idautils.XrefsTo(self.decrypt_func):
            call_addr = xref.frm

            # 获取加密数据
            try:
                encrypted_ptr, length = self.get_encrypted_data(call_addr)
                if encrypted_ptr and length:
                    # 读取加密数据
```

```
                    encrypted_data = idc.get_bytes(encrypted_ptr, length)
                    if encrypted_data:
                        # 解密
                        decrypted = self.xor_decrypt(encrypted_data)
                        # 添加注释
                        idc.set_cmt(call_addr, f'Decrypted: "{decrypted}"', 0)
                        print(f"[+] 0x{call_addr:x}: {decrypted}")
                        decrypted_count += 1
            except Exception as e:
                print(f"[-] 0x{call_addr:x}: 处理失败 - {e}")

        print(f"\n[*] 共解密 {decrypted_count} 个字符串")

# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    # 配置解密函数地址和密钥
    DECRYPT_FUNC = 0x12340  # 替换为实际地址
    XOR_KEY = bytes([0x5A, 0x3C, 0x7B, 0x2E])  # 替换为实际密钥

    decryptor = StringDecryptor(DECRYPT_FUNC, XOR_KEY)
    decryptor.process_all_xrefs()
```

示例：通用解密框架

```
import idaapi
import idautils
import idc

def find_decrypt_functions():
    """
  自动识别可能的解密函数
  特征: 高交叉引用数 + 包含 XOR 操作 + 循环结构
    """
    candidates = []

    for func_ea in idautils.Functions():
        xref_count = len(list(idautils.XrefsTo(func_ea)))

        # 高交叉引用数是解密函数的典型特征
        if xref_count < 10:
            continue

        # 检查是否包含 XOR 指令
        has_xor = False
        has_loop = False

        for head in idautils.Heads(func_ea, idc.find_func_end(func_ea)):
            mnem = idc.print_insn_mnem(head)
            if mnem == 'EOR' or mnem == 'XOR':  # ARM: EOR, x86: XOR
                has_xor = True
            if mnem in ['B', 'JMP', 'BNE', 'JNE']:  # 循环跳转
                target = idc.get_operand_value(head, 0)
                if target < head:  # 向后跳转（循环特征）
                    has_loop = True

        if has_xor and has_loop:
            func_name = idc.get_func_name(func_ea)
            candidates.append({
                'addr': func_ea,
                'name': func_name,
                'xrefs': xref_count
            })
            print(f"[*] 候选解密函数: {func_name} @ 0x{func_ea:x} (xrefs: {xref_count})")

    return candidates

# 运行识别
find_decrypt_functions()
```

对抗策略四：Ghidra 脚本解密

Ghidra 的 Java/Python API 同样可以实现自动化解密。

Ghidra Python 脚本示例

```
# Ghidra 脚本: 批量解密字符串
# 在 Ghidra Script Manager 中运行

from ghidra.program.model.symbol import RefType
from ghidra.program.model.listing import CodeUnit

def xor_decrypt(data, key):
    """XOR 解密"""
    result = []
    for i, b in enumerate(data):
        result.append(chr(b ^ key[i % len(key)]))
    return ''.join(result).rstrip('\x00')

def get_bytes_at(addr, size):
    """读取指定地址的字节"""
    bytes_list = []
    for i in range(size):
        b = getByte(addr.add(i))
        bytes_list.append(b & 0xFF)
    return bytes_list

def process_decrypt_function(decrypt_func_addr, xor_key):
    """处理解密函数的所有引用"""
    func = getFunctionAt(toAddr(decrypt_func_addr))
    if not func:
        print("[-] 未找到函数")
        return

    # 获取所有调用点
    refs = getReferencesTo(func.getEntryPoint())

    for ref in refs:
        if ref.getReferenceType() == RefType.UNCONDITIONAL_CALL:
            call_addr = ref.getFromAddress()

            # 这里需要分析调用点的参数
            # 简化示例: 假设加密数据地址在调用前的某个指令中
            print(f"[*] 调用点: {call_addr}")

            # 添加注释 (示例)
            # codeUnit = currentProgram.getListing().getCodeUnitAt(call_addr)
            # codeUnit.setComment(CodeUnit.EOL_COMMENT, "Decrypted: xxx")

# 配置
DECRYPT_FUNC = 0x12340
XOR_KEY = [0x5A, 0x3C, 0x7B, 0x2E]

process_decrypt_function(DECRYPT_FUNC, XOR_KEY)
```

对抗策略五：Unidbg 模拟执行

当解密算法过于复杂，或者涉及多层加密时，使用 Unidbg 直接调用 SO 中的解密函数是最稳妥的方法。

Unidbg 解密框架

```
import com.github.unidbg.AndroidEmulator;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidEmulatorBuilder;
import com.github.unidbg.linux.android.dvm.*;
import com.github.unidbg.Module;
import com.github.unidbg.pointer.UnidbgPointer;
import com.sun.jna.Pointer;

public class StringDecryptor extends AbstractJni {
    private final AndroidEmulator emulator;
    private final VM vm;
    private final Module module;

    // 解密函数的偏移地址
    private static final long DECRYPT_FUNC_OFFSET = 0x1234;

    public StringDecryptor() {
        // 创建模拟器
        emulator = AndroidEmulatorBuilder
                .for32Bit()
                .setProcessName("com.example.app")
                .build();

        // 创建 Dalvik VM
        vm = emulator.createDalvikVM();
        vm.setJni(this);
        vm.setVerbose(false);

        // 加载 SO 文件
        DalvikModule dm = vm.loadLibrary("native-lib", true);
        module = dm.getModule();

        // 调用 JNI_OnLoad
        dm.callJNI_OnLoad(emulator);
    }

    /**
     * 调用 Native 解密函数
     * @param encryptedData 加密的数据
     * @return 解密后的字符串
     */
    public String decrypt(byte[] encryptedData) {
        // 分配内存存放加密数据
        UnidbgPointer inputPtr = emulator.getMemory().malloc(encryptedData.length,
false).getPointer();
        inputPtr.write(0, encryptedData, 0, encryptedData.length);

        // 分配输出缓冲区
        UnidbgPointer outputPtr = emulator.getMemory().malloc(encryptedData.length,
false).getPointer();

        // 调用解密函数
        // 假设函数签名: void decrypt(char* input, int len, char* output)
```

```
        long funcAddr = module.base + DECRYPT_FUNC_OFFSET;
        Number result = module.callFunction(
                emulator,
                funcAddr,
                inputPtr,
                encryptedData.length,
                outputPtr
        );

        // 读取解密结果
        String decrypted = outputPtr.getString(0);
        return decrypted;
    }

    /**
     * 批量解密
     */
    public void decryptAll(byte[][] encryptedStrings) {
        for (int i = 0; i < encryptedStrings.length; i++) {
            String result = decrypt(encryptedStrings[i]);
            System.out.printf("[%d] %s%n", i, result);
        }
    }

    public static void main(String[] args) {
        StringDecryptor decryptor = new StringDecryptor();

        // 从 IDA 中提取的加密字符串
        byte[][] encrypted = {
            {0x5A, 0x3C, 0x7B, 0x2E, 0x00},  // 示例数据
            {0x1F, 0x2E, 0x3D, 0x4C, 0x00},
        };

        decryptor.decryptAll(encrypted);
    }
}
```

Unidbg + Frida 联动

先用 Frida 收集加密字符串，再用 Unidbg 批量解密：

```
# 步骤 1: Frida 脚本收集加密数据
frida_script = """
var encryptedStrings = [];

Interceptor.attach(Module.findBaseAddress("libnative.so").add(0x1234), {
    onEnter: function(args) {
        var ptr = args[0];
        var len = args[1].toInt32();
        var data = ptr.readByteArray(len);
        encryptedStrings.push({
            address: ptr,
            data: Array.from(new Uint8Array(data))
        });
    }
});

// 导出收集的数据
rpc.exports = {
    getEncryptedStrings: function() {
        return encryptedStrings;
    }
};
"""

# 步骤 2: 将收集的数据传给 Unidbg 解密
# (见上面的 Java 代码)
```

对抗策略六：常见混淆库识别

了解常见的混淆库及其特征，可以加速分析过程。

常见混淆库特征

混淆库	识别特征	解密方法
字节跳动 SDK	函数名含 `_ss_`，字符串表在 `.data` 段末尾	Hook `ss_decrypt` 系列函数
腾讯乐固	`libshell*.so`，`classes.dex` 加密	需要先脱壳，再分析字符串
360 加固	`libjiagu.so`，自定义 linker	等待解密后 dump 内存
网易易盾	`libNetHTProtect.so`	Hook 初始化后的字符串访问
梆梆加固	`libDexHelper.so`，多层解密	逐层分析，可能需要多次 dump

快速识别脚本

```
# Frida 脚本: 识别常见加固/混淆
var signatures = {
    "字节跳动": ["_ss_", "libsscronet.so"],
    "腾讯乐固": ["libshell", "libBugly"],
    "360加固": ["libjiagu", "lib360"],
    "网易易盾": ["libNetHTProtect", "libnesec"],
    "梆梆加固": ["libDexHelper", "libSecShell"]
};

function identifyProtection() {
    var modules = Process.enumerateModules();

    for (var sdk in signatures) {
        var patterns = signatures[sdk];
        for (var i = 0; i < modules.length; i++) {
            for (var j = 0; j < patterns.length; j++) {
                if (modules[i].name.indexOf(patterns[j]) !== -1) {
                    console.log("[!] 检测到: " + sdk);
                    console.log("    模块: " + modules[i].name);
                    return sdk;
                }
            }
        }
    }
    console.log("[*] 未识别到常见加固");
    return null;
}

identifyProtection();
```

高级技巧与注意事项

1. 处理动态密钥

有些混淆方案使用动态生成的密钥，例如基于设备 ID、时间戳等：

```
// Frida: Hook 密钥生成函数
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libnative.so", "generateKey"), {
    onLeave: function(retval) {
        console.log("[*] 动态密钥: " + retval.readCString());
        // 保存密钥供后续分析
    }
});
```

2. 处理多层加密

当字符串经过多层加密时，需要逐层分析：

```
// Frida: 追踪多层解密
var decryptLayers = [];

function hookDecryptLayer(funcAddr, layerName) {
    Interceptor.attach(funcAddr, {
        onEnter: function(args) {
            this.input = args[0].readByteArray(32);
        },
        onLeave: function(retval) {
            var output = retval.readByteArray(32);
            decryptLayers.push({
                layer: layerName,
                input: this.input,
                output: output
            });
            console.log("[" + layerName + "] " + hexdump(output));
        }
    });
}

// Hook 所有解密层
hookDecryptLayer(base.add(0x1000), "Base64Decode");
hookDecryptLayer(base.add(0x2000), "XORDecrypt");
hookDecryptLayer(base.add(0x3000), "AESDecrypt");
```

3. 内存 Dump 时机

对于在 `JNI_OnLoad` 或 `.init_array` 中解密字符串的情况：

```
// 在 SO 加载完成后立即 dump
Interceptor.attach(Module.findExportByName(null, "android_dlopen_ext"), {
    onLeave: function(retval) {
        var module = Process.findModuleByName("libtarget.so");
        if (module) {
            // 此时字符串可能已解密到内存
            console.log("[*] SO 已加载，开始 dump");
            dumpDecryptedStrings(module);
        }
    }
});
```

总结：最高效的分析流程

对于字符串混淆，推荐以下工作流程：

```
┌─────────────────────────────────────────────────────────────┐
│  1. 快速识别                                                │
│     └─ 使用识别脚本判断是否为已知加固/混淆库                │
├─────────────────────────────────────────────────────────────┤
│  2. 静态分析定位                                            │
│     ├─ IDA/Ghidra 搜索高交叉引用 + XOR 特征的函数           │
│     └─ 识别解密函数签名和调用约定                           │
├─────────────────────────────────────────────────────────────┤
│  3. 动态验证                                                │
│     ├─ Frida Hook 解密函数，确认算法正确性                  │
│     └─ 收集加密数据样本和解密结果                           │
├─────────────────────────────────────────────────────────────┤
│  4. 选择解密方案                                            │
│     ├─ 简单算法 → IDA/Ghidra 脚本批量解密并注释             │
│     ├─ 复杂算法 → Unidbg 模拟执行                           │
│     └─ 实时需求 → Frida 持续 Hook                           │
├─────────────────────────────────────────────────────────────┤
│  5. 输出结果                                                │
│     ├─ IDB/Ghidra 项目带完整注释                            │
│     ├─ 解密字符串映射表 (地址 → 明文)                       │
│     └─ 可复用的解密脚本/工具                                │
└─────────────────────────────────────────────────────────────┘
```

工具选择建议

场景	推荐工具	理由
快速获取明文	Frida Hook	最快，无需理解算法
离线批量分析	IDA Python 脚本	可保存带注释的项目
复杂/未知算法	Unidbg	直接调用原函数，100% 正确
需要修改二进制	Ghidra + Patch	可导出修改后的 SO
研究算法细节	IDA + 手动分析	理解完整逻辑

R13: Native 字符串混淆

R13: Native 层字符串混淆与逆向

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 .rodata 段与符号表
> - IDA Pro 指南 - 使用 IDA 进行静态分析

在 Android Native 开发（C/C++）中，直接将明文字符串硬编码在代码中会带来安全风险。静态分析工具（如 IDA Pro、Ghidra）可以轻易地在二进制文件的 `.rodata`（只读数据）段中找到这些字符串，从而泄露 API 地址、加密密钥、敏感校验逻辑等信息。因此，开发者通常会采用各种字符串混淆技术来保护这些数据。

常见的 Native 字符串混淆技术

1. 栈上动态构造 (Stack-based Construction)

这是最简单的一种方法。它避免在数据段中留下完整的字符串，而是在函数运行时，逐个字符地将字符串构造在栈上。

示例代码:

```
void get_secret_url() {
char url[19];
url[0] = 'h'; url[1] = 't'; url[2] = 't'; url[3] = 'p';
url[4] = 's'; url[5] = ':'; url[6] = '/'; url[7] = '/';
url[8] = 'a'; url[9] = 'p'; url[10] = 'i'; url[11] = '.';
url[12] = 'e'; url[13] = 'x'; url[14] = 'a'; url[15] = 'm';
url[16] = 'p'; url[17] = 'l'; url[18] = 'e';
url[19] = '\0'; // Null terminator
// ... use url
}
```

示例代码:

```
char* decrypt_string(char* encrypted) {
char key = 0xAB;
int len = strlen(encrypted);
for (int i = 0; i < len; i++) {
encrypted[i] = encrypted[i] ^ key;
}
return encrypted;
}

void use_secret() {
// "secret_key" Xored with 0xAB
char encrypted_key[] = { 0xCF, 0xC4, 0xC2, 0xCD, 0xC4, 0xD1, 0xDF, 0xCB, 0xC4, 0xD8,
0x00 };
char* secret = decrypt_string(encrypted_key);
// ... use secret
}
```

优点: 自动化、全局覆盖、对开发者透明。 缺点: 通常需要定制的编译器或工具链。

逆向策略

逆向字符串混淆的目标是 批量地、自动化地 将混淆的字符串还原出来。

1. 静态分析 (IDA Pro / Ghidra)

静态分析是识别解密例程（Decryption Routine）和批量解密的关键。

- 识别解密模式:
- 寻找特征性的循环结构。一个循环遍历内存、执行固定操作（如 `XOR`）然后写回，这通常就是解密函数。
- 在 IDA Pro 中，这种循环的图形视图非常具有辨识度。
- 定位解密函数:
- 通过交叉引用（Xrefs）找到加密数据被哪些函数使用。这些函数很可能就是解密函数。
- 一旦找到一个解密函数，分析其逻辑（输入、输出、加密算法）。

- 自动化解密 (IDAPython / Ghidra Script):

1. 编写脚本: 这是最高效的方法。编写一个脚本来模拟解密逻辑。
2. 寻找引用: 脚本首先找到所有对解密函数的交叉引用。
3. 提取参数: 在每个调用点，脚本向上回溯，解析传递给解密函数的参数（加密的数据、密钥等）。
4. 执行解密: 脚本在内部执行解密算法。
5. 添加注释: 最后，将解密后的字符串作为注释添加到 IDA Pro 或 Ghidra 的反汇编代码中。

2. 动态分析 (Frida)

当静态分析过于复杂或存在反调试时，动态分析是最佳选择。

- Hook 解密函数:

1. 通过初步的静态分析定位到疑似的解密函数。
2. 使用 Frida `Interceptor.attach` 来 Hook 这个函数的入口和出口。
3. 在 `onEnter` 中，打印函数的参数（通常是指向加密数据的指针）。
4. 在 `onLeave` 中，打印函数的返回值（通常是指向已解密的明文字符串的指针）。
5. 通过运行 App 并触发不同功能，就可以从日志中收集到大量的明文字符串。

- 内存扫描:

- 另一种策略是让应用运行一段时间，然后使用 Frida 脚本或 GameGuardian 等工具扫描整个进程内存，寻找符合字符串特征（如 ASCII、UTF-8）的内存区域。

- 优点: 无需关心解密逻辑。

- 缺点: 信息非常嘈杂，包含大量无用数据；无法将被加密存储但在运行时未被使用的字符串解密出来。

3. 模拟执行 (Emulation)

对于一些独立的、没有太多外部依赖的解密函数，可以使用模拟执行框架（如 `Unicorn Engine`）来解密。

1. 提取代码和数据: 从二进制文件中 dump 出解密函数的机器码和需要解密的字节数组。
2. 设置环境: 在 Unicorn 中，映射所需的内存区域，将加密数据放入。
3. 模拟执行: 设置好初始寄存器状态（如参数指针），然后开始模拟执行解密函数的机器码。
4. 获取结果: 执行完毕后，从内存中读回解密后的字符串。

优点: 速度比动态分析快，无需运行完整的 App，可绕过反调试。 缺点: 环境设置复杂，不适用于有大量系统调用或复杂依赖的函数。

R14: 应用加固识别

R14: 主流应用加固厂商及其特征识别

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - APK 结构解析 - 理解 DEX、SO、Manifest 等文件
> - Jadx 反编译指南 - 使用反编译工具查看代码特征

Android 应用加固是一种保护 App 不被轻易逆向、篡改或攻击的技术手段。对于逆向工程师而言，在开始分析一个 App 之前，首要任务就是识别出它所使用的加固厂商，因为不同的加固方案需要不同的脱壳和分析策略。

本指南旨在系统性地总结中国市场主流加固厂商的静态特征"指纹"，帮助分析人员快速识别目标。

目录

1. 通用识别思路
2. 主流厂商特征详解

通用识别思路

识别加固厂商通常遵循以下静态分析路径：

1. 检查 DEX 文件：解压 APK，查看主 `classes.dex` 文件的大小。如果它非常小（通常小于 1MB），而 APK 本身体积很大，那么它很可能是一个"壳"，负责加载真正的、被加密隐藏起来的 DEX。
2. 检查 SO 库：查看 `lib/[arch]/` 目录下的 `.so` 文件列表。加固厂商通常会放入带有自身品牌标识的 SO 库，这是最明显的特征。
3. 检查 **`assets`** 目录：很多加固方案会将加密后的 DEX 文件、配置文件或其他组件放入 `assets` 目录。
4. 检查 **`AndroidManifest.xml`**：加固方案通常会用自己的代理 `Application` 类替换掉原始的 `Application` 类。检查 `application` 标签下的 `android:name` 属性，可以找到代理类的名字，其包名往往暴露厂商信息。

主流厂商特征详解

梆梆安全 (Bangcle)

梆梆是最早期的加固厂商之一，特征相对明显。

- SO 库特征:
- `libSecShell.so`
- `libsecexe.so`

- `libsecmain.so`
- Java 层特征:
- 代理 Application 包名: `com.bangcle.protect` 或 `com.secshell.shell`。
- **`assets`** 目录特征:
- 可能会有 `bangcle_classes.jar` 或类似命名的加密 DEX 文件。
- 其他:
- `AndroidManifest.xml` 的 `meta-data` 中可能会包含原始 Application 的信息。

360 加固 (Qihoo 360)

360 加固非常普遍，其特征也广为人知。

- SO 库特征:
- `libjiagu.so`
- `libprotectClass.so`
- `libjiagu_x86.so` / `libjiagu_art.so`
- Java 层特征:
- 代理 Application 包名: `com.qihoo.util`。
- 启动类中可能包含 `com.stub.StubApp`。
- **`assets`** 目录特征:
- `libjiagu.so` (是的，有时也会放在 assets 里)
- `.jiagu` 后缀的加密文件。

腾讯乐固 (Tencent Legu)

腾讯乐固通常与 Bugly SDK 一起出现，特征明显。

- SO 库特征:
- `liblegu.so`
- `libshella-xxxx.so` (xxxx 是版本号)
- Java 层特征:
- 代理 Application 包名：`com.tencent.bugly.legu`。
- **`assets`** 目录特征:
- `legu_data.so`
- `tosversion` 文件
- 其他:
- DEX 文件头通常被修改为 `legu`。

网易易盾 (Netease Yidun)

网易易盾是近年来兴起的一款强大加固，特征也比较独特。

- SO 库特征:
- `libnesec.so` (最核心的特征)
- Java 层特征:
- 代理 Application 包名：`com.netease.nis.wrapper`。
- **`assets`** 目录特征:
- `nesec.dat`
- `classes.dex.ys` (加密的主 DEX)

- `xxx.dat` 格式的加密 DEX 文件。

爱加密 (Ijiami)

爱加密也是一款常见的加固产品。

- SO 库特征:
- `libexec.so`
- `libexecmain.so`
- `libijiami.so`
- Java 层特征:
- 代理 Application 包名: `com.ijiami.client.protect`。
- **`assets`** 目录特征:
- `ijiami.dat`
- `ijm_lib` 目录

快速识别摘要表

加固厂商	核心 SO 特征	Java 包名/类名特征	`assets` 目录特征
梆梆安全	`libSecShell.so`	`com.bangcle.protect`	`bangcle_classes.jar`
360 加固	`libjiagu.so`, `libprotectClass.so`	`com.qihoo.util`	`.jiagu` 文件
腾讯乐固	`liblegu.so`	`com.tencent.bugly.legu`	`legu_data.so`
网易易盾	`libnesec.so`	`com.netease.nis.wrapper`	`nesec.dat`, `classes.dex.ys`
爱加密	`libexec.so`, `libijiami.so`	`com.ijiami.client.protect`	`ijiami.dat`

R15: Frida 反调试绕过

R15: 绕过 App 对 Frida 的检测

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 掌握 Frida 基本用法
> - Linux /proc 文件系统 - 理解 maps、status 等检测原理

问题场景

你遇到了什么问题？

- 运行 Frida 后 App 立即崩溃或闪退
- App 显示"检测到调试工具"并拒绝运行
- Hook 脚本加载后 App 无响应或进入安全模式
- 某些功能在 Frida 环境下被禁用
- App 频繁弹窗提示"运行环境异常"

本配方教你：识别 Frida 检测技术、使用 Hook 绕过检测、定制 Frida 避免特征。

核心理念：

> 用 Frida 对抗检测 Frida - 以子之矛攻子之盾
>
> - 在 App 检测之前就 Hook 检测函数
> - 修改检测结果让它"看不见" Frida
> - 或干脆隐藏 Frida 的所有特征

预计用时：15-45 分钟（取决于检测复杂度）

工具清单

必需工具

- Frida - 动态插桩框架
- Android 设备（已 Root）
- 文本编辑器 - 编写绕过脚本

可选工具

- jadx-gui - 静态分析检测代码
- IDA Pro / Ghidra - Native 层检测分析
- 定制版 Frida - 终极解决方案

前置条件

确认清单

```
# 1. Frida 正常运行
frida-ps -U

# 2. 能正常 attach（无检测时）
frida -U -f com.example.app

# 3. Root 权限可用
adb shell su
```

解决方案

第 1 步：识别检测类型（5 分钟）

1.1 触发检测

运行 Frida 并观察现象：

```
# 使用 spawn 模式启动 App
frida -U -f com.example.app --no-pause

# 观察输出和 App 行为
```

检测现象对照表：

现象	可能的检测方式
立即闪退	端口扫描、进程名检测
弹窗"检测到 Root/调试"	模块名检测、线程名检测
特定功能被禁用	Inline Hook 检测
随机崩溃/卡顿	多重检测组合

1.2 静态分析检测代码（可选）

用 jadx 搜索关键词：

```
# Frida 特征
frida
gum-js
27042

# 检测相关
/proc/self/maps
/proc/*/cmdline
pthread_create
connect
socket
```

典型检测代码示例：

```
public static boolean isFridaDetected() {
    // 检查端口
    if (checkPort(27042)) return true;

    // 检查进程
    if (findProcess("frida-server")) return true;

    // 检查模块
    if (checkMaps("frida-agent")) return true;

    return false;
}
```

第 2 步：基础绕过（10 分钟）

重命名 frida-server：

```
# 下载 frida-server
# 重命名为无害名字
mv frida-server-16.1.4-android-arm64 system_daemon

# 推送到设备
adb push system_daemon /data/local/tmp/
adb shell "chmod 755 /data/local/tmp/system_daemon"

# 使用非标准端口启动
adb shell "/data/local/tmp/system_daemon -l 0.0.0.0:8888 &"
```

使用 spawn 模式（重要）：

```
# 推荐: Spawn 模式（最早注入）
frida -U -f com.example.app -l bypass.js --no-pause

# 不推荐: Attach 模式（检测代码可能已运行）
frida -U com.example.app -l bypass.js
```

第 3 步：通用绕过脚本

```
Java.perform(function () {
  console.log("\n[Frida Anti-Detection] 已启动\n");

  // ====================================
  // 1. 绕过端口扫描检测
  // ====================================
  var connect = Module.findExportByName("libc.so", "connect");
  if (connect) {
    Interceptor.attach(connect, {
      onEnter: function (args) {
        var sockaddr = ptr(args[1]);
        var family = sockaddr.readU16();

        if (family === 2) {
          // AF_INET
          var port = (sockaddr.add(2).readU8() << 8) | sockaddr.add(3).readU8();
          var ip = sockaddr.add(4).readU32();

          // 检测是否在扫描 Frida 默认端口
          if (port === 27042 || port === 27043) {
            console.log("[Port] 拦截端口扫描: " + port);
            // 修改端口为无效端口
            sockaddr.add(2).writeU8(0xff);
            sockaddr.add(3).writeU8(0xff);
          }
        }
      },
    });
    console.log("[Port] Hook connect() 完成");
  }

  // ====================================
  // 2. 绕过 /proc/self/maps 检测
  // ====================================
  var fgets = Module.findExportByName("libc.so", "fgets");

  if (fgets) {
    Interceptor.attach(fgets, {
      onEnter: function (args) {
        this.buffer = args[0];
        this.fp = args[2];
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (retval.isNull()) return;

        var line = this.buffer.readCString();
        if (line) {
          // 隐藏 Frida 相关模块
          if (
            line.includes("frida") ||
            line.includes("gum-js") ||
            line.includes("frida-agent")
```

```
          ) {
            console.log("[Maps] 隐藏模块: " + line.substring(0, 50) + "...");
            // 替换为空行
            this.buffer.writeUtf8String("\n");
          }
        }
      },
    });
    console.log("[Maps] Hook fgets() 完成");
  }

  // ====================================
  // 3. 绕过 strstr 字符串检测
  // ====================================
  var strstr = Module.findExportByName("libc.so", "strstr");
  if (strstr) {
    Interceptor.attach(strstr, {
      onEnter: function (args) {
        this.haystack = args[0].readCString();
        this.needle = args[1].readCString();

        if (
          this.needle &&
          (this.needle.includes("frida") ||
            this.needle.includes("gum-js") ||
            this.needle === "frida-agent" ||
            this.needle === "frida-server")
        ) {
          this.shouldBypass = true;
        }
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.shouldBypass) {
          console.log("[Strstr] 隐藏字符串: " + this.needle);
          retval.replace(ptr(0)); // 返回 NULL（未找到）
        }
      },
    });
    console.log("[Strstr] Hook strstr() 完成");
  }

  // ====================================
  // 4. 绕过 Java 层检测函数
  // ====================================
  setTimeout(function () {
    // 搜索常见检测函数名
    var detectNames = [
      "isFridaDetected",
      "checkFrida",
      "detectDebugger",
      "isHooked",
      "checkRoot",
    ];
```

```
    Java.enumerateLoadedClasses({
      onMatch: function (className) {
        try {
          var clazz = Java.use(className);
          detectNames.forEach(function (methodName) {
            if (clazz[methodName]) {
              console.log(
                "[Java] 找到检测函数: " + className + "." + methodName
              );
              clazz[methodName].implementation = function () {
                console.log("[Java] 拦截调用: " + className + "." + methodName);
                return false; // 返回"未检测到"
              };
            }
          });
        } catch (e) {}
      },
      onComplete: function () {
        console.log("[Java] 类枚举完成");
      },
    });
  }, 500);

  // ====================================
  // 5. 绕过线程名检测
  // ====================================
  var pthread_setname_np = Module.findExportByName(
    "libc.so",
    "pthread_setname_np"
  );
  if (pthread_setname_np) {
    Interceptor.attach(pthread_setname_np, {
      onEnter: function (args) {
        var threadName = args[1].readCString();
        if (
          threadName &&
          (threadName.includes("gum-js") ||
            threadName.includes("gmain") ||
            threadName.includes("pool-"))
        ) {
          console.log("[Thread] 修改线程名: " + threadName + " → normal");
          args[1].writeUtf8String("normal");
        }
      },
    });
    console.log("[Thread] Hook pthread_setname_np() 完成");
  }

  console.log("\n[Frida Anti-Detection] 所有 Hook 已就绪\n");
});
```

预期输出：

```
[Port] Hook connect() 完成
[Maps] Hook fgets() 完成
[Strstr] Hook strstr() 完成
[Thread] Hook pthread_setname_np() 完成
[Java] 类枚举完成
[Java] 找到检测函数: com.example.SecurityCheck.isFridaDetected

[Frida Anti-Detection] 所有 Hook 已就绪

[Port] 拦截端口扫描: 27042
[Strstr] 隐藏字符串: frida-agent
[Java] 拦截调用: com.example.SecurityCheck.isFridaDetected
```

第 4 步：针对性绕过

如果你找到了检测函数（从第 1 步）：

```
Java.perform(function () {
  var SecurityCheck = Java.use("com.example.app.SecurityCheck");

  // Hook 检测函数
  SecurityCheck.isFridaDetected.implementation = function () {
    console.log("Bypass isFridaDetected()");
    return false; // 始终返回"未检测到"
  };

  // 拦截其他检测相关函数
  SecurityCheck.checkPort.implementation = function (port) {
    console.log("Bypass checkPort(" + port + ")");
    return false;
  };
});
```

第 5 步：定制 Frida（终极方案）

5.1 修改源码

克隆 Frida：

```
git clone --recurse-submodules https://github.com/frida/frida.git
cd frida
```

修改特征字符串:

```
# 替换模块名
find . -type f -exec sed -i 's/frida-agent/system-agent/g' {} +
find . -type f -exec sed -i 's/frida-server/system-daemon/g' {} +

# 替换线程名
find . -type f -exec sed -i 's/gum-js-loop/normal-thread/g' {} +
find . -type f -exec sed -i 's/gmain/worker/g' {} +
```

编译:

```
make
```

原理解析

Frida 检测点分布

```
检测点分布:
├── 1. 网络层
│   ├── 默认端口: 27042, 27043
│   └── D-Bus 协议特征
├── 2. 进程层
│   ├── 进程名: frida-server
│   └── 命令行参数包含 "frida"
├── 3. 内存层
│   ├── 模块名: frida-agent.so, frida-gadget.so
│   ├── 线程名: gum-js-loop, gmain, pool-*
│   └── 函数 Hook: 修改系统函数字节码
└── 4. 行为层
    └── D-Bus 消息、异常系统调用序列
```

绕过策略对照表

检测方式	绕过策略
进程名检测	重命名 frida-server
/proc/self/maps	Hook `fgets()` 过滤输出
字符串检测	Hook `strstr()` 返回 NULL
线程名检测	Hook `pthread_setname_np()`
Inline Hook 检测	Hook 检测函数本身
多重组合检测	定制 Frida 源码

Hook 时机很重要

```
App 启动时序:
        ↓
[0.5s] App 静态初始化代码运行
        ↓
[1s] App onCreate() 开始
        ↓
[1.5s] ⚠️ 反调试检测通常在此运行
        ↓
[2s] ❌ Attach 模式: Frida 在此时才注入 (太晚)
```

常见问题

问题 1: 绕过脚本不生效

症状：Hook 脚本运行了，但 App 仍然检测到 Frida

可能原因:

1. Hook 时机太晚

```
# 正确: --no-pause 立即运行
frida -U -f com.example.app -l bypass.js --no-pause

# 错误: 会暂停等待手动恢复
frida -U -f com.example.app -l bypass.js
```

2. Native 层检测未覆盖
   - 使用 `frida-gadget` 而非 `frida-server`（更早注入）
3. 存在未覆盖的检测点
   - 使用 jadx 分析完整的检测逻辑

问题 2: Hook 后 App 崩溃

症状: 加载 Hook 脚本后 App 立即崩溃

检查:

1. Hook 的函数签名错误

```
// 检查重载
Java.use("ClassName").methodName.overloads.forEach(function (o) {
  console.log(o);
});
```

2. 返回值类型不匹配

```
// 错误
SomeClass.returnsInt.implementation = function () {
  return "string"; // 类型错误!
};

// 正确
SomeClass.returnsInt.implementation = function () {
  return 0;
};
```

3. Hook 影响了正常功能
    - 添加条件判断，只 Hook 特定情况

问题 3: 某些检测绕不过去

症状：尝试了所有方法，仍有检测未绕过

高级对策：

1. 使用 frida-gadget（嵌入式）

```
# 解包 APK
apktool d app.apk

# 将 frida-gadget.so 添加到 lib/
# 修改 AndroidManifest.xml 和 smali 代码加载 gadget
# 参考: https://frida.re/docs/gadget/

# 重新打包
apktool b app -o app_patched.apk
```

2. 使用预编译的定制版
    - 社区项目：https://github.com/hluwa/strongR-frida-android
    - 已重命名所有特征字符串
3. 使用 Docker 编译环境

```
docker run --rm -v $(pwd):/work frida/ci
```

延伸阅读

相关配方

- Root 检测绕过 - 通常与 Frida 检测一起出现
- SSL Pinning 绕过 - 可能也有反 Frida

- 模拟器检测绕过 - 多重检测组合

工具深入

- Frida 完整指南
- Frida 内部原理 - 理解检测原理

案例分析

- 反分析技术案例
- 社交媒体风控 - 高级检测对抗

进阶资源

- strongR-frida: https://github.com/hluwa/strongR-frida-android
- frida-gadget 文档: https://frida.re/docs/gadget/
- 编译 Frida: https://frida.re/docs/building/

快速参考

一键绕过脚本

下载通用绕过脚本:

```
# 使用社区维护的绕过脚本
curl -O https://raw.githubusercontent.com/0xdea/frida-scripts/master/
raptor_frida_android_bypass.js

# 运行
frida -U -f com.example.app -l raptor_frida_android_bypass.js --no-pause
```

检测点速查表

检测类型	检测位置	绕过方法
进程名	`/proc/*/cmdline`	重命名 + Hook `fopen()`
模块名	`/proc/self/maps`	Hook `fgets()` 过滤
字符串	`strstr()`	Hook `strstr()`
线程名	`/proc/self/task/*/comm`	Hook `pthread_setname_np()`
Java 检测	`isFridaDetected()`	Hook 检测函数

常用命令

```
# 非标准端口运行 frida-server
adb shell "/data/local/tmp/frida -l 0.0.0.0:8888 &"

# 连接到非标准端口
frida -H 127.0.0.1:8888 -f com.example.app

# Spawn 模式（重要）
frida -U -f com.example.app -l bypass.js --no-pause

# 列出所有模块（检查是否有 frida-agent）
frida -U -f com.example.app -e 'Process.enumerateModules()'

# 列出所有线程（检查线程名）
frida -U -f com.example.app -e 'Process.enumerateThreads()'
```

R16: Xposed 反调试绕过

R16: 绕过应用的 Xposed 检测

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Xposed 框架指南 - 理解 Xposed Hook 原理
> - Magisk 环境配置 - Root 环境与模块管理

问题场景

你可能遇到以下情况：

1. App 启动即退出：App 启动后弹出"检测到 Xposed 框架，禁止运行"，随即闪退
2. 功能受限：金融/支付类 App 检测到 Xposed 后拒绝提供服务（无法转账、支付）
3. 账号封禁：游戏检测到 Xposed 环境后触发风控，导致封号
4. 分析受阻：需要在 Xposed 环境下分析 App 行为，但被反调试拦截
5. 通用方案失效：已经使用 RootCloak Plus 等通用隐藏模块，但仍被检测到

工具清单

必需工具

- Xposed 框架：EdXposed 或 LSPosed（推荐 LSPosed，更稳定）
- Root 设备：已 Root 的 Android 设备或模拟器（如 Genymotion）
- 目标 APK：需要绕过检测的应用安装包
- Xposed 模块开发环境：Android Studio（用于编写自定义绕过模块）

可选工具

- JEB/Jadx：反编译工具，用于分析 App 的检测代码
- RootCloak Plus：通用 Xposed/Root 隐藏模块（快速测试）
- Hide My Applist：高级应用列表和框架隐藏工具
- MT Manager：Android 文件管理器，查看系统文件
- Xposed 源码：EdXposed 源码（定制化框架需求）

前置条件

开始之前，请确认：

- 已安装 Xposed 框架：设备上已刷入 EdXposed 或 LSPosed，并能正常使用
- 设备已 Root：拥有 Root 权限，或使用虚拟化方案（如 VirtualXposed）
- 能反编译 APK：会使用 Jadx/JEB 查看 Java 代码
- 了解 Xposed Hook 基础：知道如何编写简单的 Xposed 模块（可参考 Xposed Guide）
- 了解 Java 反射机制：理解 `Class.forName()`，`ClassLoader` 等概念

解决方案

第 1 步：识别检测类型（15-30 分钟）

首先需要确定 App 使用了哪种检测方法，这决定了后续的绕过策略。

方法 1：观察运行行为

运行目标 App，观察异常行为的时机和特征：

异常时机	可能的检测类型
启动阶段立即崩溃/退出	调用栈检测（Application.onCreate 中）
特定功能（登录、支付）受限	关键方法处的定点检测
延迟几秒后弹出警告	定时器或异步线程中的检测
随机触发	多点分散检测或混淆后的检测

方法 2：静态分析检测代码

使用 Jadx 反编译 APK，搜索 Xposed 检测的特征字符串：

```
# 反编译 APK
jadx -d ./decompiled target.apk

# 搜索 Xposed 相关特征
cd decompiled
grep -r "xposed" --include="*.java" .
grep -r "XposedBridge" --include="*.java" .
grep -r "de.robv.android" --include="*.java" .

# 搜索检测方法调用
grep -r "getStackTrace" --include="*.java" .
grep -r "Class.forName" --include="*.java" .
grep -r "/proc/self/maps" --include="*.java" .
```

常见检测代码模式：

调用栈检测：

```
// 特征代码
try {
    throw new Exception("Xposed Detection");
} catch (Exception e) {
    for (StackTraceElement element : e.getStackTrace()) {
        if (element.getClassName().contains("de.robv.android.xposed")) {
            // Xposed 检测到!
            return true;
        }
    }
}
```

类加载检测：

```
try {
    Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge");
    // 如果没抛异常，说明 Xposed 存在
    return true;
} catch (ClassNotFoundException e) {
    return false;
}
```

文件系统检测：

```
File xposedJar = new File("/system/framework/XposedBridge.jar");
if (xposedJar.exists()) {
    // Xposed 检测到!
}
```

Native 层检测：

```
// maps 文件检测
FILE* fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
// 读取内容并查找 "libxposed_art.so" 或 "XposedBridge"

// 符号地址检测
void* handle = dlopen("libart.so", RTLD_NOW);
void* sym = dlsym(handle, "_ZN3art9ArtMethod6InvokeEPNS_6ThreadEPjjPNS_6JValueEPKc");
// 检查地址是否在非标准内存区域
```

方法 3：选择绕过策略

根据检测类型选择合适的策略：

检测类型	推荐策略	成功率	耗时
Java 层调用栈检测	Hook `StackTraceElement.getClassName()`	90%	30min
Java 层类加载检测	Hook `Class.forName()`	85%	20min
文件系统检测	Hook `File.exists()`	95%	20min
Native 层 maps 检测	Hook `fopen()` / 定制框架	60%	2-4h
综合检测（多种方法）	定制化 Xposed 框架	80%	4h+

决策树：

```
检测类型已知?
├─ 是 → 策略 A：编写针对性 Hook 模块
└─ 否 → 快速测试需求或不想写代码
          └→ 策略 B：使用现成隐藏模块（最快）
```

第 2 步：策略 A - 编写自定义绕过模块

创建 `AntiXposedDetection.java`：

```
package com.example.antidetect;

import android.os.Bundle;
import de.robv.android.xposed.*;
import de.robv.android.xposed.callbacks.XC_LoadPackage.LoadPackageParam;
import java.io.File;

public class AntiXposedDetection implements IXposedHookLoadPackage {

    // 修改为你的目标 App 包名
    private static final String TARGET_PACKAGE = "com.target.app";

    @Override
    public void handleLoadPackage(LoadPackageParam lpparam) throws Throwable {
        // 只 Hook 目标 App
        if (!lpparam.packageName.equals(TARGET_PACKAGE)) return;

        XposedBridge.log("[AntiDetect] 开始 Hook " + TARGET_PACKAGE);

        // 绕过调用栈检测
        hookStackTrace();

        // 绕过类加载检测
        hookClassForName();

        // 绕过文件系统检测
        hookFileExists();

        // 绕过系统属性检测
        hookSystemProperties();

        XposedBridge.log("[AntiDetect] 所有 Hook 已激活");
    }

    /**
     * 绕过调用栈检测
     * 原理: 修改 StackTraceElement.getClassName() 返回值
     */
    private void hookStackTrace() {
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
            StackTraceElement.class,
            "getClassName",
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String originalClassName = (String) param.getResult();

                    // 如果类名包含 xposed 特征，替换为无害系统类
                    if (originalClassName != null &&
                        originalClassName.toLowerCase().contains("xposed")) {
                        param.setResult("com.android.internal.os.ZygoteInit");
```

```
                        XposedBridge.log("[AntiDetect] 隐藏调用栈: " +
originalClassName);
                    }
                }
            }
        );
    }

    /**
     * 绕过类加载检测
     * 原理: 拦截 Class.forName() 调用, 对 Xposed 类抛出 ClassNotFoundException
     */
    private void hookClassForName() {
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
            Class.class,
            "forName",
            String.class,
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String className = (String) param.args[0];

                    // 如果尝试加载 Xposed 相关类, 抛出 ClassNotFoundException
                    if (className != null &&
                        (className.contains("xposed") ||
                         className.contains("Xposed") ||
                         className.contains("EdXposed") ||
                         className.contains("LSPosed"))) {
                        param.setThrowable(new ClassNotFoundException(className));
                        XposedBridge.log("[AntiDetect] 阻止加载类: " + className);
                    }
                }
            }
        );

        // 也拦截三参数版本 forName
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
            Class.class,
            "forName",
            String.class,
            boolean.class,
            ClassLoader.class,
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String className = (String) param.args[0];
                    if (className != null &&
className.toLowerCase().contains("xposed")) {
                        param.setThrowable(new ClassNotFoundException(className));
                    }
                }
```

```
            }
        );
    }

    /**
     * 绕过文件系统检测
     * 原理: 修改 File.exists() 返回值, 隐藏 Xposed 特征文件
     */
    private void hookFileExists() {
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
            File.class,
            "exists",
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    File file = (File) param.thisObject;
                    String path = file.getAbsolutePath();

                    // Xposed 特征文件列表
                    String[] xposedPaths = {
                        "XposedBridge",
                        "xposed",
                        "de.robv.android.xposed",
                        "EdXposed",
                        "LSPosed",
                        "libxposed",
                        "libedxposed",
                        "liblspd"
                    };

                    // 检查路径是否包含特征
                    for (String keyword : xposedPaths) {
                        if (path.contains(keyword)) {
                            param.setResult(false); // 伪装文件不存在
                            XposedBridge.log("[AntiDetect] 隐藏文件: " + path);
                            return;
                        }
                    }
                }
            }
        );
    }

    /**
     * 绕过系统属性检测
     * 原理: 拦截 System.getProperty() 调用
     */
    private void hookSystemProperties() {
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
            System.class,
            "getProperty",
            String.class,
```

```
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String key = (String) param.args[0];

                    // VirtualXposed 等会设置特殊属性
                    if (key != null &&
                        (key.contains("xposed") ||
                         key.contains("vxp") ||
                         key.equals("ro.build.version.xposed"))) {
                        param.setResult(null); // 返回 null
                        XposedBridge.log("[AntiDetect] 隐藏系统属性: " + key);
                    }
                }
            }
        );
    }
}
```

项目结构:

```
AntiXposedDetection/
├── app/
│   └── src/main/
│       ├── AndroidManifest.xml
│       ├── assets/
│       │   └── xposed_init  # 入口类声明
│       └── java/com/example/antidetect/
│           └── AntiXposedDetection.java
│   └── build.gradle
└── build.gradle
```

AndroidManifest.xml:

```
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.example.antidetect">

    <application
        android:allowBackup="true"
        android:label="Anti Xposed Detection"
        android:icon="@mipmap/ic_launcher">

        <!-- Xposed 模块声明 -->
        <meta-data
            android:name="xposedmodule"
            android:value="true" />
        <meta-data
            android:name="xposeddescription"
            android:value="Hide Xposed from target app" />
        <meta-data
            android:name="xposedminversion"
            android:value="54" />
    </application>
</manifest>
```

编译和安装：

```
# 1. 编译模块
./gradlew assembleRelease

# 2. 安装到设备
adb install app/build/outputs/apk/release/app-release.apk

# 3. 在 LSPosed/EdXposed 中激活模块
# - 打开 LSPosed Manager
# - 模块 → 找到 "Anti Xposed 检测"
# - 勾选启用，并在作用域中添加目标 App
# - 重启目标 App

# 4. 查看日志验证
adb logcat -s Xposed:V | grep AntiDetect
```

第 3 步：策略 B - 使用现成隐藏模块

1. Hide My Applist（最强大，推荐）
    - 下载：GitHub
    - 功能：隐藏应用列表、Xposed 框架、Root

- 支持黑白名单、模板系统

2. XposedChecker Bypass
   - 专门针对 XposedChecker 这类检测工具
   - 覆盖常见检测点
3. RootCloak Plus（老牌模块）
   - 同时隐藏 Root 和 Xposed
   - 配置简单，但对新型检测效果较差

使用步骤（以 Hide My Applist 为例）：

```
# 1. 下载并安装
# 从 GitHub 发布页下载最新 APK
adb install HideMyApplist.apk

# 2. 在 LSPosed 中激活
# LSPosed 管理器 → 模块 → Hide My Applist → 勾选启用

# 3. 配置隐藏规则
# 打开 Hide My Applist App
# → 模板管理 → 新建模板
# → 选择隐藏内容:
#   黑名单模式（隐藏 Xposed 相关）
#   隐藏 Xposed 模块
#   隐藏系统框架
# → 应用管理 → 选择目标 App → 应用模板

# 4. 重启目标 App
adb shell am force-stop com.target.app
adb shell am start -n com.target.app/.MainActivity
```

第 4 步：策略 C - 定制 Xposed 框架

当 Hook 绕过无效时，可能需要从源码层面修改 Xposed 特征。

修改目标：

- 包名：`de.robv.android.xposed` → `com.myfw.custom`
- 类名：`XposedBridge` → `CustomBridge`

- 文件名：`libxposed_art.so` → `libcustom_art.so`
- 系统属性：`persist.xposed.*` → `persist.myfw.*`

详细步骤：

1. 获取 Xposed 源码：

```
# 克隆 EdXposed 源码（推荐，比原版 Xposed 更活跃）
git clone --recursive https://github.com/ElderDrivers/EdXposed
cd EdXposed

# 也可以克隆 LSPosed（更现代实现）
git clone --recursive https://github.com/LSPosed/LSPosed
```

2. 修改特征字符串（创建脚本 `rename_xposed.sh`）：

```
#!/bin/bash

# 全局替换 Xposed 特征为自定义名称
OLD_PACKAGE="de.robv.android.xposed"
NEW_PACKAGE="com.myframework.custom"

OLD_CLASS="Xposed"
NEW_CLASS="Custom"

OLD_LIB="xposed"
NEW_LIB="myfw"

echo "开始替换 Xposed 特征..."

# 1. 替换包名
echo "替换包名..."
find . -type f \( -name "*.java" -o -name "*.cpp" -o -name "*.h" \) \
    -exec sed -i "s/$OLD_PACKAGE/$NEW_PACKAGE/g" {} +

# 2. 替换类名
echo "替换类名..."
find . -type f -name "*.java" \
    -exec sed -i "s/${OLD_CLASS}Bridge/${NEW_CLASS}Bridge/g" {} +
find . -type f -name "*.java" \
    -exec sed -i "s/${OLD_CLASS}Helpers/${NEW_CLASS}Helpers/g" {} +

# 3. 重命名文件
echo "重命名文件..."
find . -name "*Xposed*" | while read file; do
    newfile=$(echo "$file" | sed "s/Xposed/Custom/g")
    mv "$file" "$newfile" 2>/dev/null
done

# 4. 替换库文件名
echo "替换 Native 库名..."
find . -type f \( -name "*.cpp" -o -name "*.mk" -o -name "CMakeLists.txt" \) \
    -exec sed -i "s/lib${OLD_LIB}/lib${NEW_LIB}/g" {} +

# 5. 替换系统属性名
echo "替换系统属性..."
find . -type f \( -name "*.cpp" -o -name "*.java" \) \
    -exec sed -i "s/persist.xposed/persist.myfw/g" {} + \
    -exec sed -i "s/ro.xposed/ro.myfw/g" {} +

echo "特征替换完成！"
echo "请手动检查以下文件是否正确："
echo "  - AndroidManifest.xml"
echo "  - module.prop (Magisk 模块配置)"
echo "  - build.gradle"
```

3. 修改 module.prop（Magisk 模块配置）：

```
id=custom_xposed
name=Custom Framework (Xposed)
version=v1.0.0
versionCode=1
author=YourName
description=Customized Xposed Framework with renamed signatures
minMagisk=21000
```

4. 编译定制版框架：

```
# 执行替换
./rename_xposed.sh

# 编译（以 EdXposed 为例）
cd EdXposed
./gradlew :edxp-core:buildAll

# 输出位于 out/edxp-core/release/
# 获取一个 .zip 文件，可在 Magisk 中刷入
```

5. 安装定制版框架：

```
# 方法 1：通过 Magisk 管理器安装
# 打开 Magisk 管理器 → 模块 → 从本地安装 → 选择 ZIP

# 方法 2：通过 TWRP Recovery 刷入（如有）
# adb reboot recovery
# 在 TWRP 中选择 Install → 选择 ZIP → 滑动确认

# 重启设备
adb reboot
```

第 5 步：验证绕过效果

验证清单：

- 目标 App 正常运行：不再弹出检测警告，不闪退
- Xposed Hook 依然生效：你的 Hook 模块能正常 Hook 目标方法
- 检测工具显示干净：使用 XposedChecker 等工具测试，显示未检测到

验证方法：

1. 编写测试 Xposed 模块:

```
// 验证拦截是否生效
XposedHelpers.findAndHookMethod(
    "com.target.app.MainActivity",
    lpparam.classLoader,
    "onCreate",
    Bundle.class,
    new XC_MethodHook() {
        @Override
        protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
            XposedBridge.log("Hook 成功! App 未检测到 Xposed");
        }
    }
);
```

2. 查看日志:

```
# 查看 App 是否有检测相关日志
adb logcat | grep -i "xposed\|detect\|security\|check"

# 应该看到:
# - Hook 成功日志
# - 没有检测相关错误日志
```

3. 使用 XposedChecker:

```
# 安装 XposedChecker
adb install XposedChecker.apk

# 运行并查看结果
# 如果绕过成功，应该显示 "Xposed: Not Detected"
```

4. 测试目标 App 功能:

```
完整功能测试流程:
├─→ 启动 App（观察是否崩溃）
├─→ 登录账号（观察是否被拒绝）
└─→ 测试核心业务（支付/游戏/查看敏感信息）
    └─→ 观察是否触发风控或异常
```

原理解析

Xposed 检测原理

1. 调用栈特征:

当 Xposed Hook 一个方法时，实际的调用链是:

```
App.targetMethod()
    ↓
XposedBridge.handleHookedMethod()
    ↓
原始方法/替换方法
```

App 可以通过 `Thread.currentThread().getStackTrace()` 获取调用栈，如果发现 `de.robv.android.xposed` 相关类，就说明 Xposed 存在。

2. 类加载特征:

Xposed 在 Zygote 进程中注入，会加载 `XposedBridge` 等类到每个 App 进程。App 可以尝试 `Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge")`，如果成功加载，就说明 Xposed 存在。

3. 文件系统特征:

Xposed 需要在系统中安装文件:

- `/system/framework/XposedBridge.jar`
- `/system/lib/libxposed_art.so` 或 `/system/lib64/libxposed_art.so`

4. 内存映射特征:

进程的内存映射（`/proc/self/maps`）中会出现 Xposed 相关的库。

绕过原理

关键技术点：

1. 拦截检测方法的执行：在检测代码执行前 Hook，修改其行为
2. 修改返回值：让检测方法总是返回"未检测到"的结果
3. 过滤特征字符串：将包含 "xposed" 的字符串替换为无害字符串
4. 阻止异常抛出：对于 `Class.forName()` 这类检测，主动抛出 `ClassNotFoundException`

示例：调用栈检测的绕过原理

```
Hook 前（检测成功）：
App 调用 getStackTrace()
    → 返回 [MainActivity, XposedBridge, ZygoteInit, ...]
    → App 发现 "XposedBridge"
    → 检测成功（Xposed 存在）

Hook 后（绕过检测）：
App 调用 getStackTrace()
    → 返回 [MainActivity, XposedBridge, ZygoteInit, ...]
    → 我们 Hook 拦截 getClassName()
    → 将 "XposedBridge" 替换为 "ZygoteInit"
    → App 只看到 [MainActivity, ZygoteInit, ZygoteInit, ...]
    → 检测失败（未发现 Xposed）
```

定制框架效果

检测方式	检测代码	定制后	结果
类加载检测	`Class.forName("de.robv...XposedBridge")`	包名改为 `com.myfw...CustomBridge`	检测失败
文件检测	`/system/framework/XposedBridge.jar`	文件名改为 `CustomBridge.jar`	检测失败
maps检测	搜索 `libxposed_art.so`	库名改为 `libcustom_art.so`	检测失败

缺点：

- 维护成本高，需要跟随官方 Xposed 更新
- 编译过程复杂，需要配置 Android NDK
- 部分依赖原版 Xposed API 的模块可能不兼容

常见问题

问题 1：Hook 模块激活后，App 仍然检测到 Xposed

可能原因：

1. Hook 时机太晚：App 在 `Application.onCreate()` 之前就检测了

2. Native 层检测：App 使用 JNI 检测，Java Hook 无法拦截
3. 遗漏的检测点：App 使用了你没有覆盖的检测方法
4. Hook 作用域未配置：LSPosed 中未将目标 App 加入作用域

解决方案：

方案 1：提前 Hook 时机

```
// 在 Application.attachBaseContext() 中提前拦截
XposedHelpers.findAndHookMethod(
    "com.target.app.MyApplication",
    lpparam.classLoader,
    "attachBaseContext",
    Context.class,
    new XC_MethodHook() {
        @Override
        protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
            // 在 Application 初始化前就拦截所有检测方法
            hookAllDetectionMethods(lpparam);
            XposedBridge.log("[AntiDetect] Early hooks installed");
        }
    }
);
```

方案 2：结合 Frida 处理 Native 层

```
// Frida Script: Hook fopen() 拦截 maps 文件读取
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fopen"), {
    onEnter: function(args) {
        var path = Memory.readUtf8String(args[0]);
        if (path === "/proc/self/maps") {
            console.log("[*] fopen() called for /proc/self/maps");
            // 重定向到一个干净的 maps 文件
            args[0] = Memory.allocUtf8String("/data/local/tmp/fake_maps");
        }
    }
});
```

方案 3：使用 Xposed 调用 Native Hook

```
// 调用 native 方法做 inline hook
nativeHookFopen();
```

方案 4：全面分析检测代码

```
cd decompiled

# 搜索所有可能检测模式
grep -rn "getStackTrace\|forName\|/proc/self/maps\|XposedBridge\|exists()" . \
    --include="*.java" > detection_points.txt
```

方案 5：检查 LSPosed 作用域

```
adb shell "su -c 'ls /data/adb/lspd/config/modules/'"
# 应该看到你的模块 ID

# 检查作用域配置
# LSPosed 管理器 → 模块 → 你的模块 → 应用作用域
# 确保目标 App 已勾选
```

问题 2：定制框架编译失败

可能原因：

- META-INF 目录下的脚本缺失
- 编译过程中出错，生成的 ZIP 损坏

解决方案：

方案 1：检查 ZIP 结构

```
# 解压查看结构
unzip -l edxp-custom.zip

# 标准 Magisk 模块结构:
# META-INF/
#   com/google/android/
#     update-binary      # 安装脚本
#     updater-script     # 空文件即可
# module.prop            # 模块配置
# system/                # 系统文件
#   framework/
#     CustomBridge.jar
#   lib64/
#     libcustom_art.so
# riru/                  # Riru 相关（如使用 Riru）
```

方案 2：手动创建 module.prop

```
id=custom_xposed
name=Custom Xposed Framework
version=v1.0.0
versionCode=100
author=YourName
description=Customized Xposed with renamed signatures

# 可选字段
minMagisk=21000
maxMagisk=99999
```

方案 3：手动打包

```
mkdir -p magisk_module/system/framework
mkdir -p magisk_module/system/lib64

# 复制文件
cp update-binary magisk_module/META-INF/com/google/android/
touch magisk_module/META-INF/com/google/android/updater-script
cp module.prop magisk_module/
cp CustomBridge.jar magisk_module/system/framework/
cp libcustom_art.so magisk_module/system/lib64/

# 打包（注意：必须在模块目录内打包）
cd magisk_module
zip -r ../custom-xposed-magisk.zip .
cd ..

# 推送并安装
adb push custom-xposed-magisk.zip /sdcard/
# 在 Magisk Manager 中安装
```

方案 4：使用 TWRP 刷入

```
adb reboot recovery
# 在 TWRP 中：Install → 选择 ZIP → 滑动确认
```

问题 3：Hook 后 App 功能异常或崩溃

可能原因：

- Hook 范围太广，影响了正常功能
- 返回值类型不匹配
- Hook 的方法签名不正确

解决方案：

方案 1：精准 Hook，缩小作用范围

错误示范：全局 Hook

```
// 这样会影响所有类加载，包括正常业务
XposedHelpers.findAndHookMethod(Class.class, "forName", String.class, ...);
```

正确示范：针对性 Hook

```
// 只 Hook 已知的检测类
XposedHelpers.findAndHookMethod(
    "com.target.app.security.SecurityChecker",
    lpparam.classLoader,
    "checkXposed",
    new XC_MethodReplacement() {
        @Override
        protected Object replaceHookedMethod(MethodHookParam param) {
            XposedBridge.log("[AntiDetect] checkXposed() blocked");
            return false; // 返回"未检测到"
        }
    }
);
```

方案 2：添加条件判断

```
@Override
protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
    String className = (String) param.getResult();

    // 只过滤 Xposed 相关，不影响其他类
    if (className != null && className.toLowerCase().contains("xposed")) {
        param.setResult("android.app.Activity");
    }
    // 其他情况保持原样，不做修改
}
```

方案 3：逐个启用 Hook 测试

```
@Override
public void handleLoadPackage(LoadPackageParam lpparam) throws Throwable {
    // 一次只启用一个拦截，测试是否导致崩溃
    hookStackTrace(); // 测试：OK
    // hookClassForName(); // 暂时注释掉
    // hookFileExists(); // 暂时注释掉

    // 逐个启用并测试，找出导致崩溃的拦截
}
```

方案 4：确保返回值类型正确

```
// 确保返回值类型匹配
@Override
protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) {
    // 如果原方法返回 boolean，你也必须返回 boolean
    param.setResult(false); // 正确
    // param.setResult("false"); // 错误！类型不匹配
}
```

问题 4：模块在 LSPosed 中不显示

可能原因：

- `assets/xposed_init` 文件缺失或路径错误
- `AndroidManifest.xml` 中缺少 Xposed 元数据声明
- 模块入口类的包名/类名与 `xposed_init` 中不一致
- LSPosed 缓存未刷新

解决方案：

方案 1：检查 `assets/xposed_init` 文件

```
# 确认文件存在
unzip -l app-release.apk | grep xposed_init
# 应该看到：assets/xposed_init

# 检查内容（必须是完整类名，无文件扩展名）
unzip -p app-release.apk assets/xposed_init
# 输出应该是：com.example.antidetect.AntiXposedDetection
```

方案 2：确认文件路径正确

```
正确路径：
app/src/main/assets/xposed_init  # 正确

错误路径：
app/assets/xposed_init           # 错误
```

方案 3：检查 AndroidManifest.xml

```
<!-- 必须有这三个 meta-data -->
<meta-data
    android:name="xposedmodule"
    android:value="true" />
<meta-data
    android:name="xposeddescription"
    android:value="Hide Xposed from detection" />
<meta-data
    android:name="xposedminversion"
    android:value="54" />
</application>
```

方案 4：确认入口类存在

```
# 检查入口类是否存在
ls -l ./decompiled/com/example/antidetect/AntiXposedDetection.java

# 确认类实现了 IXposedHookLoadPackage 接口
grep "implements IXposedHookLoadPackage" \
    ./decompiled/com/example/antidetect/AntiXposedDetection.java
```

方案 5：刷新 LSPosed 缓存

```
# 清除 LSPosed 缓存
adb shell "su -c 'rm -rf /data/adb/lspd/cache/*'"

# 重新安装
adb install app-release.apk

# 重启 LSPosed（或重启设备）
adb shell "su -c 'killall -9 com.android.systemui'"
# 或
adb reboot

# 打开 LSPosed 管理器，应该能看到模块
```

延伸阅读

相关配方

- 逆向工程工作流 - 完整的逆向分析流程

工具深入

- Xposed 使用指南 - Xposed 框架基础使用
- Xposed 内部原理 - Xposed 工作机制详解
- Frida 使用指南 - Frida 与 Xposed 协同使用

参考资料

- Android 沙箱实现 - 虚拟化环境中使用 Xposed
- ART 运行时 - 理解 Xposed 如何修改 ART

案例分析

- 反分析技术案例 - 综合反分析技术案例
- 社交媒体风控 - 社交应用的 Xposed 检测

快速参考

Xposed 检测方法速查表

检测类型	检测层级	特征代码	绕过方法	Hook 目标
调用栈检测	Java	`getStackTrace()` + `contains("xposed")`	Hook 返回值过滤	`StackTraceEle`
类加载检测	Java	`Class.forName("XposedBridge")`	抛出 ClassNotFoundException	`Class.forName`
已加载类检测	Java	`ClassLoader.loadClass(...)`	同上	`ClassLoader.`
文件检测	Java	`new File("/system/.../XposedBridge.jar").exists()`	返回 false	`File.exists()`
maps 检测	Native	`fopen("/proc/self/maps")` + `strstr("libxposed")`	Hook fopen 或定制框架	`libc.fopen()`
系统属性检测	Java/Native	`System.getProperty("vxp_...")`	返回 null	`System.getPro`
符号地址检测	Native	`dlsym(...)` 检查地址异常	定制框架	N/A（需源码修

完整绕过模块模板（一键使用）

保存为 `AntiXposedBypass.java`，修改包名和目标 App 即可使用：

```
package com.example.antidetect;

import de.robv.android.xposed.*;
import de.robv.android.xposed.callbacks.XC_LoadPackage.LoadPackageParam;
import java.io.File;

public class AntiXposedBypass implements IXposedHookLoadPackage {

    private static final String TARGET = "com.target.app"; // 改为你的目标 App

    @Override
    public void handleLoadPackage(LoadPackageParam lpparam) throws Throwable {
        if (!lpparam.packageName.equals(TARGET)) return;

        XposedBridge.log("[Bypass] Hooking " + TARGET);

        // 1. 绕过调用栈检测
        XposedHelpers.findAndHookMethod(StackTraceElement.class, "getClassName",
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String name = (String) param.getResult();
                    if (name != null && name.toLowerCase().contains("xposed")) {
                        param.setResult("com.android.internal.os.ZygoteInit");
                    }
                }
            });

        // 2. 绕过类加载检测
        XposedHelpers.findAndHookMethod(Class.class, "forName", String.class,
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String cls = (String) param.args[0];
                    if (cls != null && cls.toLowerCase().contains("xposed")) {
                        param.setThrowable(new ClassNotFoundException(cls));
                    }
                }
            });

        // 3. 绕过文件检测
        XposedHelpers.findAndHookMethod(File.class, "exists",
            new XC_MethodHook() {
                @Override
                protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                    String path = ((File) param.thisObject).getAbsolutePath();
                    if (path.toLowerCase().contains("xposed") ||
                        path.toLowerCase().contains("edxposed") ||
                        path.toLowerCase().contains("lspd")) {
```

```
                        param.setResult(false);
                    }
                }
            });

        XposedBridge.log("[Bypass] All hooks activated");
    }
}
```

常用命令速查

```
# ========== 环境检查 ==========

# 检查 Xposed 框架状态
adb shell "su -c 'ls -l /system/framework/Xposed'"
adb shell "su -c 'ps -A | grep xposed'"

# 查看已安装的 Xposed 模块
adb shell "su -c 'ls /data/app/ | grep -i xposed'"

# 检查 LSPosed 状态
adb shell "su -c 'ls -l /data/adb/lspd/'"

# ========== 日志调试 ==========

# 查看 Xposed 框架日志
adb logcat -s Xposed:V

# 查看模块日志（假设模块标签为 AntiDetect）
adb logcat | grep AntiDetect

# 查看 App 检测相关日志
adb logcat | grep -iE "detect|xposed|security|check"

# 清空日志并实时查看
adb logcat -c && adb logcat -v time

# ========== 模块管理 ==========

# 编译 Xposed 模块
./gradlew assembleDebug   # Debug 版
./gradlew assembleRelease # Release 版

# 安装模块
adb install app/build/outputs/apk/debug/app-debug.apk

# 卸载模块
adb uninstall com.example.antidetect

# 重启目标 App（应用更改）
adb shell am force-stop com.target.app
adb shell am start -n com.target.app/.MainActivity

# ========== 定制框架 ==========

# 推送自定义框架到设备
adb push EdXposed-custom.zip /sdcard/

# 在 Magisk 中安装（命令行方式）
adb shell "su -c 'magisk --install-module /sdcard/EdXposed-custom.zip'"

# 重启设备
adb reboot
```

```
# ========== 测试验证 ==========

# 安装 XposedChecker 测试工具
adb install XposedChecker.apk

# 运行目标 App 并观察行为
adb shell am start -n com.target.app/.MainActivity

# 抓取崩溃日志
adb logcat -b crash

# 检查进程内存映射（查找 Xposed 特征）
adb shell "su -c 'cat /proc/$(pidof com.target.app)/maps | grep -i xposed'"
```

常见检测代码模式

```
// ========== Java 层检测模式 ==========

// 模式 1：调用栈检测
if (element.getClassName().contains("xposed")) { /* 检测到 */ }

// 模式 2：异常调用栈检测
try { throw new Exception(); } catch (Exception e) {
    for (StackTraceElement elem : e.getStackTrace()) { /* 检查 */ }
}

// 模式 3：类加载检测
Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge");

// 模式 4：ClassLoader 检测
ClassLoader.getSystemClassLoader().loadClass("de.robv.android.xposed.XposedHelpers");

// 模式 5：文件检测
new File("/system/framework/XposedBridge.jar").exists()

// 模式 6：系统属性检测
System.getProperty("vxp_forbid_status")
System.getProperty("ro.xposed.version")

// ========== Native 层检测模式 ==========

// 模式 7：maps 文件检测（C/C++）
FILE* fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
// 然后搜索 "xposed" 或 "libxposed"

// 模式 8：dlopen 检测
void* handle = dlopen("libxposed_art.so", RTLD_NOW);
if (handle != NULL) { /* 检测到 */ }
```

搜索检测代码的关键词

```
xposed
XposedBridge
de.robv.android.xposed
getStackTrace
Class.forName
/proc/self/maps
libxposed
vxp_forbid
ro.xposed
EdXposed
LSPosed
```

App 类型与推荐策略

App 类型	常见检测方式	推荐策略	成功率
普通应用（社交、工具）	Java 层调用栈检测	策略 A：通用 Hook 模块	95%
金融 App（银行、支付）	Java + Native 综合检测	策略 C：定制框架 + Hook	70%
大型游戏	Native 层 + 定时检测	策略 C：定制框架	60%
安全类 App（VPN、杀毒）	深度检测 + 完整性校验	策略 C + 虚拟化	50%
小众 App	简单检测或无检测	策略 B：现成模块	99%

成功率说明：

- 95%+：通用方法即可绕过
- 70-90%：需要针对性编写 Hook
- 50-70%：需要定制框架或多种技术组合
- <50%：可能需要虚拟化、系统级修改等高级技术

R17: 设备指纹与绕过

R17: 设备指纹技术深度解析与绕过策略

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida 完整指南 - 使用 Hook 修改指纹信息
> - Android 四大组件 - 理解系统 API 调用

设备指纹（Device Fingerprinting）是指通过采集设备的软硬件特征，生成一个能够唯一标识该设备的、具有高熵值和稳定性的 ID 的过程。在当今的互联网服务中，它已成为反欺诈、反机器人、用户行为追踪和安全风控的基石技术。

绕过设备指纹并非简单地修改一两个参数，而是要创造一个完整的、逻辑自洽的、可信的虚拟设备"画像"。本指南将系统性地拆解主流的指纹采集维度，并探讨与之对应的核心绕过技术。

设备指纹的工作原理

指纹生成算法

设备指纹的生成并非简单地将所有采集到的信息拼接在一起，而是通过复杂的算法处理，确保生成的指纹具有唯一性、稳定性和不可逆性。

基本流程

对采集到的原始数据进行预处理：

- 格式统一: 将不同格式的数据转换为标准格式（如MAC地址统一为小写、去除分隔符）
- 缺失值处理: 对无法获取的字段使用默认值或特殊标记
- 权重分配: 根据稳定性和唯一性给不同维度分配权重

特征组合 - 将处理后的数据按照预定规则组合:

```
# 概念代码
fingerprint_input = {
    'hardware': {
        'android_id': 'abc123',
        'imei': '867530900000000',
        'mac': '00:11:22:33:44:55'
    },
    'software': {
        'model': 'Pixel 6',
        'sdk': 33,
        'fingerprint': 'google/raven/raven:...'
    },
    'environment': {
        'screen': '1080x2400',
        'dpi': 420,
        'timezone': 'Asia/Shanghai'
    }
}

import hashlib
import json

def generate_fingerprint(data):
    # 数据转为JSON字符串（确保顺序一致）
    json_str = json.dumps(data, sort_keys=True)
    # 计算SHA256
    fingerprint = hashlib.sha256(json_str.encode()).hexdigest()
    return fingerprint
```

算法	输出长度	特点	适用场景
MD5	128位	速度快，但安全性低	低安全要求场景
SHA-256	256位	安全性高，计算稍慢	金融、高安全场景
MurmurHash	可变	速度极快，适合非加密	大规模数据处理
xxHash	可变	性能优异	实时计算场景

高级技术

1. 模糊Hash (Fuzzy Hashing)

允许设备指纹在细微变化时仍能匹配。使用 SimHash、MinHash 等算法:

```
def simhash(features, hash_bits=64):
    """
  将特征向量转换为 SimHash 值
  相似特征会产生相似的Hash值
    """
    v = [0] * hash_bits

    for feature, weight in features.items():
        h = hash(feature)
        for i in range(hash_bits):
            if h & (1 << i):
                v[i] += weight
            else:
                v[i] -= weight

    fingerprint = 0
    for i in range(hash_bits):
        if v[i] >= 0:
            fingerprint |= (1 << i)

    return fingerprint
```

2. 分层指纹

- 一级指纹（硬件指纹）: 基于IMEI、Android ID等硬件ID
- 二级指纹（系统指纹）: 基于系统版本、设备型号等
- 三级指纹（环境指纹）: 基于网络、行为等临时特征

```
def generate_tiered_fingerprint(data):
    # 一级指纹：硬件ID
    tier1 = hashlib.sha256(
        f"{data['imei']}|{data['android_id']}".encode()
    ).hexdigest()

    # 二级指纹：系统特征
    tier2 = hashlib.sha256(
        f"{tier1}|{data['model']}|{data['sdk']}".encode()
    ).hexdigest()

    # 三级指纹：完整特征
    tier3 = hashlib.sha256(
        json.dumps(data, sort_keys=True).encode()
    ).hexdigest()

    return {
        'strong': tier1,
        'medium': tier2,
        'weak': tier3
    }
```

3. 机器学习特征提取

- 使用 PCA（主成分分析）提取关键特征
- 使用聚类算法识别异常设备
- 使用深度学习模型生成设备嵌入向量（Embedding）

熵值与稳定性

好的设备指纹需要在唯一性（高熵值）和稳定性之间找到平衡。

熵值计算

熵值衡量一个特征的信息量和区分能力：

```
import math
from collections import Counter

def calculate_entropy(values):
    """
  计算一个特征的香农熵
  熵值越高，说明该特征区分能力越强
    """
    total = len(values)
    counter = Counter(values)

    entropy = 0
    for count in counter.values():
        p = count / total
        entropy -= p * math.log2(p)

    return entropy

# 示例
android_ids = ['id1', 'id2', 'id3', ...]  # 采集的数据
entropy = calculate_entropy(android_ids)
print(f"Android ID 熵值: {entropy} bits")
```

特征	熵值	唯一性	稳定性
Android ID	60+ bits	高	中（恢复出厂会变）
MAC 地址	48 bits	高	中（越来越难获取）
设备型号	8-10 bits	低	高
屏幕分辨率	6-8 bits	低	高
传感器列表	15-20 bits	中	高

稳定性评估

稳定性指的是设备在不同时间点、不同环境下生成的指纹一致性：

```
def stability_score(fingerprints):
    """
  评估同一设备在不同时间生成的指纹稳定性
    fingerprints: 同一设备多次生成的指纹列表
    """
    if len(fingerprints) < 2:
        return 1.0

    # 计算指纹之间相似度
    base = fingerprints[0]
    similarities = []

    for fp in fingerprints[1:]:
        # Hamming 距离
        diff = sum(c1 != c2 for c1, c2 in zip(base, fp))
        similarity = 1 - (diff / len(base))
        similarities.append(similarity)

    return sum(similarities) / len(similarities)

def quality_score(entropy, stability, coverage):
    """
  计算指纹方案质量分数
    entropy: 熵值 (0-100)
    stability: 稳定性 (0-1)
    coverage: 设备覆盖率 (0-1)
    """
    # 加权计算
    score = (
        entropy * 0.4 +           # 唯一性权重 40%
        stability * 50 * 0.4 +    # 稳定性权重 40%
        coverage * 100 * 0.2      # 覆盖率权重 20%
    )
    return score
```

指纹更新策略

1. 主动更新触发条件

- 设备硬件变更（换SIM卡、重置设备）
- App版本升级（指纹算法更新）
- 定期刷新（如每30天）

2. 被动更新触发条件

- 检测到指纹冲突（多个设备具有相同指纹）

- 检测到异常行为（疑似改机）
- 服务端要求强制更新

更新策略实现

```
class FingerprintManager:
    def should_update(self, old_fp, new_data):
        """
    检查是否需要更新指纹
        """
        # 计算新指纹
        new_fp = self.generate_fingerprint(new_data)

        # 1. 关键字段变更
        critical_changed = self._check_critical_fields(old_fp, new_data)
        if critical_changed:
            return True, "Critical field changed"

        # 2. 相似度过低
        similarity = self._calculate_similarity(old_fp, new_fp)
        if similarity < 0.7:
            return True, "Low similarity"

        # 3. 时间过期
        if self._is_expired(old_fp):
            return True, "Expired"

        return False, "No update needed"

    def update_fingerprint(self, device_id, new_fp, reason):
        """
    更新指纹时保留历史记录
        """
        history = {
            'device_id': device_id,
            'old_fingerprint': self.current_fp,
            'new_fingerprint': new_fp,
            'update_reason': reason,
            'timestamp': time.time()
        }
        self._save_history(history)
        self.current_fp = new_fp
```

主流设备指纹采集维度

硬件层标识符

这些是传统的、权限较高的设备 ID。

标识符	获取方式 (Java API)	特点
Android ID	`Settings.Secure.getString(resolver, "android_id")`	Android 8.0 以上，对每个 App 和用户都不同。恢复出厂设置会改变。
IMEI/ MEID	`TelephonyManager.getImei()`	手机的唯一身份码。需要 `READ_PHONE_STATE` 权限，且越来越难获取。
IMSI	`TelephonyManager.getSubscriberId()`	SIM 卡的唯一身份码。同样需要高权限。
MAC 地址	`WifiInfo.getMacAddress()`	Android 6.0 以后，App 获取到的通常是一个固定的假值 `02:00:00:00:00:00`。

系统与软件特征

这是指纹库的主体，信息量大，获取成本低。

Build 属性: 通过 `android.os.Build` 类或直接读取 `/system/build.prop` 文件获取。

- `Build.MODEL`: 设备型号 (e.g., "Pixel 6")
- `Build.BRAND`: 品牌 (e.g., "Google")
- `Build.MANUFACTURER`: 制造商 (e.g., "Google")
- `Build.VERSION.SDK_INT`: SDK 版本号 (e.g., 33)
- `Build.FINGERPRINT`: 系统构建指纹，信息量巨大。

系统设置:

- 屏幕分辨率、DPI (`DisplayMetrics`)
- 系统语言、时区、默认字体列表。

软件环境:

- 已安装应用列表 (`PackageManager.getInstalledPackages`)
- 特定 App (如输入法) 的版本

硬件特性指纹

利用硬件的细微物理差异来创建指纹。

- 传感器数据: 读取加速度计、陀螺仪等传感器的校准数据或在特定操作下的读数。不同批次的传感器存在物理差异。
- CPU/GPU 信息:
  - 读取 `/proc/cpuinfo` 获取 CPU 型号、核心数、特性等。
  - 通过 OpenGL/WebGL API 查询 GPU 供应商、渲染器信息，甚至可以执行一个标准渲染任务，将渲染结果的 Hash 作为指纹。
- 摄像头参数: `CameraCharacteristics` 中包含的详细参数。

通过 SVC (系统调用) 获取信息

这是一种高级的反 Hook 技术，常见于加固方案中。其核心思想是绕过所有上层 API 和 libc 函数，通过 `SVC` 指令直接发起系统调用 (`syscall`) 来获取信息或执行操作。

原理: `SVC` 是 ARM 处理器的一条指令，它会触发一个软件中断，使 CPU 从用户态（User Mode）切换到管理态（Supervisor Mode），从而执行内核代码。这是所有系统调用的基础。加固厂商在 SO 文件中直接嵌入 `SVC` 指令，可以不经过 `libc.so` 中的 `read`, `open`, `ioctl` 等函数，直接调用内核中对应的功能。

应用场景:

- 绕过 API Hook: 这是其最主要的目的。由于 Frida、Xposed 等框架主要 Hook 的是 App 进程空间中的函数（Java API 或 Native API），`SVC` 指令直接与内核交互，使得这些上层 Hook 完全失效。
- 读取敏感文件: 直接使用 `open`/`read` 的系统调用号来读取 `/proc/self/maps`，`/proc/cpuinfo` 等文件，以检测环境或收集指纹。
- 执行反调试: 使用 `ptrace` 的系统调用号来执行反调试检查。

分析与识别:

- 静态分析: 在 IDA 等反汇编工具中，直接搜索 `SVC` 指令。如果一个 SO 文件中含有大量 `SVC` 指令，且其上下文逻辑复杂，则极有可能使用了该技术。
- 动态分析: Hook 系统调用需要更底层的工具。Frida 的 `Stalker` 可以用来跟踪指令级的执行流程，从而捕捉到 `SVC` 的调用。

网络环境指纹

- IP 地址: 最基础的维度，结合地理位置库可以判断用户位置。
- 网络信息: 运营商名称 (`TelephonyManager.getNetworkOperatorName`)、Wi-Fi BSSID/SSID。
- TLS/JA3 指纹: 在建立 TLS 连接时，客户端 `Client Hello` 包的特征可以构成一个稳定的指纹，用于识别特定的网络库和版本。

行为特征指纹

行为特征是一种动态指纹，基于用户的操作模式和设备使用习惯。

采集维度

1. 触摸行为

```
view.setOnTouchListener(new View.OnTouchListener() {
    @Override
    public boolean onTouch(View v, MotionEvent event) {
        // 采集触摸压力
        float pressure = event.getPressure();
        // 采集触摸面积
        float size = event.getSize();
        // 采集触摸坐标和时间戳
        long timestamp = event.getEventTime();
        float x = event.getX();
        float y = event.getY();

        // 构建触摸特征向量
        TouchFeature feature = new TouchFeature(pressure, size, timestamp, x, y);
        return false;
    }
});
```

2. 传感器行为

```
SensorManager sensorManager = (SensorManager) getSystemService(SENSOR_SERVICE);
Sensor accelerometer = sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);

sensorManager.registerListener(new SensorEventListener() {
    @Override
    public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
        float x = event.values[0];
        float y = event.values[1];
        float z = event.values[2];

        // 分析持握姿态、步态特征等
        analyzeMotionPattern(x, y, z);
    }

    @Override
    public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {}
}, accelerometer, SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);
```

3. 应用使用模式

- App 启动时间分布
- 常用 App 列表及使用频率
- 前后台切换模式
- 应用安装/卸载习惯

4. 网络行为

- 访问时间模式（工作日 vs 周末，白天 vs 晚上）
- 请求频率和间隔
- 网络切换习惯（WiFi ↔ 4G/5G）
- 常用地理位置

行为指纹生成

```
class BehaviorFingerprint:
    def __init__(self):
        self.touch_features = []
        self.sensor_features = []
        self.app_usage = {}
        self.network_pattern = {}

    def extract_touch_signature(self, touch_events):
        """从触摸事件提取用户签名"""
        pressures = [e.pressure for e in touch_events]
        velocities = self._calculate_velocities(touch_events)

        signature = {
            'avg_pressure': np.mean(pressures),
            'std_pressure': np.std(pressures),
            'avg_velocity': np.mean(velocities),
            'touch_rhythm': self._analyze_rhythm(touch_events)
        }
        return signature

    def generate_behavior_fingerprint(self):
        """生成综合行为指纹"""
        touch_sig = self.extract_touch_signature(self.touch_features)
        motion_sig = self.extract_motion_signature(self.sensor_features)
        usage_sig = self.extract_usage_signature(self.app_usage)

        # 组合为行为特征向量
        behavior_vector = {
            'touch': touch_sig,
            'motion': motion_sig,
            'usage': usage_sig,
            'network': self.network_pattern
        }

        return hashlib.sha256(
            json.dumps(behavior_vector, sort_keys=True).encode()
        ).hexdigest()
```

核心绕过技术与策略

Hook 技术 (Frida/Xposed)

核心思路: 识别 -> Hook -> 伪造

1. 识别: 定位 App 获取关键指纹信息的代码位置（Java API 或 JNI 函数）。
2. Hook: 使用 Frida 或 Xposed 拦截这些函数的调用。
3. 伪造: 在函数返回前，用一套预设的、自洽的假数据替换真实返回值。

Frida 概念脚本 (伪造 Build.MODEL):

```
Java.perform(function () {
    var Build = Java.use("android.os.Build");
    Build.MODEL.value = "Pixel 4";  // 修改 MODEL 字段

    var String = Java.use("java.lang.String");
    var TelephonyManager = Java.use("android.telephony.TelephonyManager");
    TelephonyManager.getDeviceId.overload().implementation = function () {
        console.log("Hooked getDeviceId(). Returning a fake IMEI.");
        return String.$new("867530900000000");  // 返回伪造 IMEI
    };
});
```

深度设备修改 ("改机")

需要 Root 权限，直接修改 `/system/build.prop` 等系统级文件，或通过内核模块修改系统调用的返回值。

- 优点: 无法通过应用层的检测手段识破，因为 App 获取到的就是系统层返回的"真实"数据。
- 缺点: 技术门槛高，工作量巨大。

环境虚拟化与容器技术

虚拟化和容器技术是规模化设备指纹绕过的核心基础设施，能够在单台物理机上运行数百个独立的 Android 实例。

Android 虚拟化技术栈

1. 基于 QEMU 的完整虚拟化

Android 官方模拟器（AVD）基于 QEMU 实现：

```
# 启动 AVD 模拟器
emulator -avd Pixel_6_API_33 \
    -no-snapshot \
    -wipe-data \
    -gpu swiftshader_indirect
```

主要问题：

```
# 容易被检测的特征
getprop ro.hardware           # 返回 "goldfish" 或 "ranchu"
getprop ro.product.model      # 返回 "android SDK built for x86"
getprop ro.build.fingerprint  # 包含 "通用" 字样

# 缺失传感器
pm list features | grep sensor  # 大量传感器缺失
```

2. 基于容器的方案 (Docker/LXC)

容器技术提供更轻量的隔离：

```
# Dockerfile for Android container
FROM ubuntu:20.04

# 安装 Android 环境
RUN apt-get update && apt-get install -y \
    openjdk-11-jdk \
    android-sdk \
    adb \
    fastboot

# 配置 Android 环境
ENV ANDROID_HOME=/opt/android-sdk
ENV PATH=$PATH:$ANDROID_HOME/tools:$ANDROID_HOME/platform-tools

# 运行 ADB 服务
CMD ["adb", "-a", "nodaemon", "server"]
```

3. 专业容器方案：Redroid

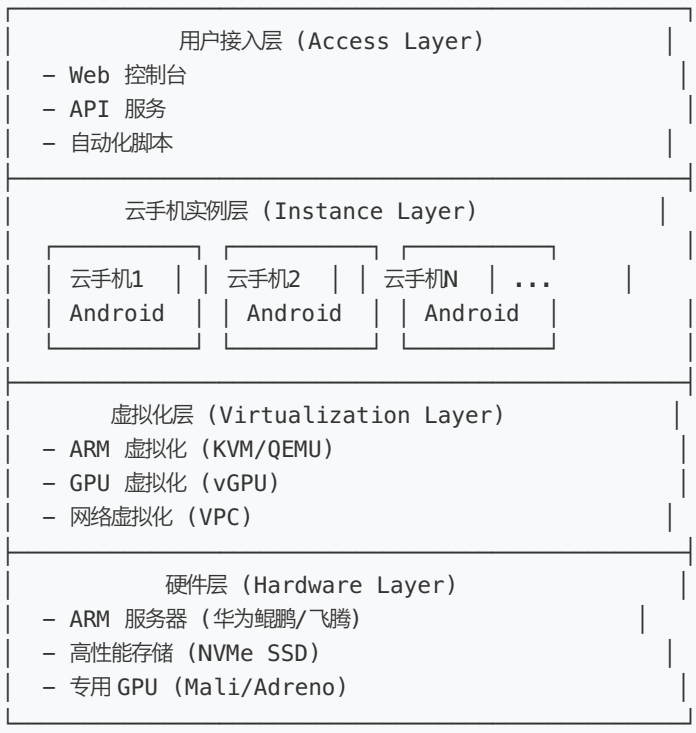
Redroid 是一个基于 Docker 的 Android 容器方案:

```
# 运行 Redroid 容器
docker run -d \
    --name redroid \
    --privileged \
    -v ~/data:/data \
    -p 5555:5555 \
    redroid/redroid:11.0.0-latest

# 连接到 Redroid
adb connect localhost:5555
adb shell
```

云手机技术详解

云手机架构



云手机平台对比

平台	架构	密度	性能	成本	适用场景
华为云手机	ARM 服务器+KVM	中	高	高	企业级应用
红手指	ARM 容器	高	中	中	自动化、挂机
多多云手机	x86+容器	高	低	低	批量注册、养号
AWS Device Farm	真机	低	极高	极高	测试、兼容性验证

构建一致性的"设备画像"

```
class DeviceFingerprintManager:
    def __init__(self, device_pool_db):
        self.db = device_pool_db
        self.used_fingerprints = set()

    def get_unused_fingerprint(self):
        """从设备池中获取未使用的指纹"""
        while True:
            fp = self.db.get_random_fingerprint()
            fp_hash = hashlib.md5(json.dumps(fp).encode()).hexdigest()

            if fp_hash not in self.used_fingerprints:
                self.used_fingerprints.add(fp_hash)
                return fp

    def apply_fingerprint(self, adb_device, fingerprint):
        """将指纹应用到设备"""
        # 修改系统属性
        for key, value in fingerprint['build_props'].items():
            adb_device.shell(f"setprop {key} {value}")

        # 安装预设 App
        for apk in fingerprint['apps']:
            adb_device.install(apk)

        # 设置位置
        adb_device.shell(f"settings put secure location_mode 3")
        adb_device.shell(
            f"am startservice -a com.example.fakelocation "
            f"--es lat {fingerprint['location']['lat']} "
            f"--es lng {fingerprint['location']['lng']}"
        )

    def rotate_fingerprint(self, adb_device, interval_hours=24):
        """定期轮换设备指纹"""
        while True:
            new_fp = self.get_unused_fingerprint()
            self.apply_fingerprint(adb_device, new_fp)

            # 记录使用历史
            self.db.log_usage(adb_device.serial, new_fp, timestamp=time.time())

            time.sleep(interval_hours * 3600)
```

商业化产品与服务

国内主流设备指纹服务商

1. 顶象科技 (DingXiang)

产品: 顶象设备指纹 (Device Fingerprint)

技术特点:

- 采集 200+ 设备特征维度
- 支持 Android、iOS、Web、小程序
- 99.9%+ 设备唯一性识别率
- 设备指纹有效期 90 天+
- 支持私有化部署

定价：按 API 调用次数计费，企业版约 0.005-0.01 元/次

2. 同盾科技 (Tongdun)

产品: 同盾设备指纹

技术特点:

- 结合 AI 和大数据分析
- 设备行为画像
- 实时风险决策
- 覆盖金融、电商、O2O 等场景

API 示例:

```
import requests
import time

def tongdun_device_risk(device_id, event_type):
    """调用同盾设备风险评估 API"""
    url = "https://api.tongdun.cn/riskService"

    params = {
        "partner_code": "your_partner_code",
        "device_id": device_id,
        "event_type": event_type,  # 如: login, register, pay
        "timestamp": int(time.time() * 1000)
    }

    # 添加签名
    params["sign"] = generate_sign(params)

    response = requests.post(url, json=params)
    result = response.json()

    return {
        "risk_score": result["final_score"],     # 风险分数 0-100
        "risk_level": result["risk_level"],      # high/medium/low
        "device_labels": result["labels"]        # 设备标签
    }
```

3. 数美科技 (ISHUMEI)

技术特点:

- 专注于内容安全和业务安全
- 设备指纹+行为分析
- 实时黑产设备库
- 支持多场景风控

应用场景:

- 羊毛党识别
- 虚假注册拦截
- 刷单检测
- 恶意爬虫识别

4. 网易易盾 (NetEase YiDun)

产品: 易盾设备指纹

技术特点:

- 网易内部风控技术外化
- 游戏、社交场景优化
- 设备唯一性识别
- 设备环境检测（Root、模拟器、Hook 框架）

SDK 集成示例（Android）:

```
// 初始化
NECaptcha.getInstance()
    .init(context, "your_business_id", new NECaptchaListener() {
        @Override
        public void onReady() {
            // 获取设备指纹
            String deviceId = NEDeviceRisk.getDeviceId();
        }
    });

// 获取设备风险信息
NEDeviceRisk.check(context, new NEDeviceRiskCallback() {
    @Override
    public void onResult(NEDeviceRiskResult result) {
        int riskLevel = result.getRiskLevel();  // 0-4 级风险
        boolean isEmulator = result.isEmulator();
        boolean isRooted = result.isRoot();
        boolean isHooked = result.isHook();
    }
});
```

国际知名产品

1. FingerprintJS

类型: 开源 + 商业版

特点：

- 主要用于 Web 浏览器指纹
- 开源版本基础功能免费
- Pro 版提供 99.5% 准确率

使用示例：

```
import FingerprintJS from "@fingerprintjs/fingerprintjs";

// 初始化 agent
const fpPromise = FingerprintJS.load();

// 获取访客标识
fpPromise
    .then((fp) => fp.get())
    .then((result) => {
        // 访客标识
        const visitorId = result.visitorId;
        console.log(visitorId);

        // 所有组件（浏览器特征）
        console.log(result.components);
    });
```

2. DeviceAtlas

特点：

- 包含数万种设备型号
- 主要用于移动广告和分析
- 支持云端 API 和本地部署

开源工具与框架

设备指纹采集框架

1. FingerprintJS

- GitHub: https://github.com/fingerprintjs/fingerprintjs
- 轻量级浏览器指纹库
- 纯 JavaScript 实现
- 采集 Canvas、WebGL、Audio 等特征

2. android-device-names

- 支持 12000+ 设备型号
- 可以根据 Build.MODEL 获取市场化设备名称

```
DeviceName.with(context).request(new DeviceName.Callback() {
    @Override
    public void onFinished(DeviceName.DeviceInfo info, Exception error) {
        String manufacturer = info.manufacturer;  // "Samsung"
        String marketName = info.marketName;      // "Galaxy S21"
        String model = info.model;                // "SM-G991B"
        String codename = info.codename;          // "o1s"
    }
});
```

反指纹工具

1. Magisk 模块

```
# 修改设备指纹
props ro.build.fingerprint "google/raven/raven:12/..."
props ro.product.model "Pixel 6"

# 应用修改
props ro.build.product "raven"
```

2. Xposed 模块

XPrivacyLua

- GitHub: https://github.com/M66B/XPrivacyLua
- 细粒度权限控制
- API 返回值 Hook
- 设备信息伪造

3. Frida 脚本库

常用的设备信息 Hook 脚本:

```
Java.perform(function() {
    // 拦截 Build 类所有字段
    var Build = Java.use("android.os.Build");
    Build.BRAND.value = "google";
    Build.MODEL.value = "Pixel 6";
    Build.DEVICE.value = "raven";
    Build.PRODUCT.value = "raven";
    Build.MANUFACTURER.value = "Google";

    // Hook Settings.Secure
    var Settings = Java.use("android.provider.Settings$Secure");
    Settings.getString.overload(
        "android.content.ContentResolver",
        "java.lang.String"
    ).implementation = function(resolver, name) {
        if (name == "android_id") {
            return "fake_android_id_12345678";
        }
        return this.getString(resolver, name);
    };

    // Hook TelephonyManager
    var TelephonyManager = Java.use("android.telephony.TelephonyManager");
    TelephonyManager.getDeviceId.overload().implementation = function() {
        return "fake_imei_123456789012345";
    };
});
```

对抗与挑战

Hook 框架检测

- 检查 `/proc/self/maps` 中是否加载了 `frida-agent.so` 或 `XposedBridge.jar`
- 检测 Frida 的默认端口 `27042`
- 通过 `try-catch` 执行一个会因 Xposed 修改而改变行为的函数，判断是否抛出异常

服务端交叉验证

这是设备指纹技术最强大的地方。后端服务会将客户端上传的几百个维度的指纹数据进行交叉比对。一个 `IMEI` 显示是三星设备，但 `Build.FINGERPRINT` 却属于小米，这种矛盾会立刻导致该设备被标记为高风险。

交叉验证规则示例：

```
class FingerprintValidator:
    def __init__(self):
        self.device_database = self.load_device_db()
        self.inconsistency_rules = self.load_rules()

    def validate_fingerprint(self, fingerprint):
        """验证设备指纹一致性"""
        issues = []

        # 规则1：品牌与型号匹配
        if not self.check_brand_model_match(
            fingerprint['brand'],
            fingerprint['model']
        ):
            issues.append({
                'type': 'brand_model_mismatch',
                'severity': 'high',
                'message': f"Brand {fingerprint['brand']} does not match model
{fingerprint['model']}"
            })

        # 规则2：屏幕分辨率与型号匹配
        expected_resolution =
self.device_database.get_resolution(fingerprint['model'])
        if fingerprint['screen_resolution'] != expected_resolution:
            issues.append({
                'type': 'resolution_mismatch',
                'severity': 'medium',
                'message': f"Unexpected resolution for {fingerprint['model']}"
            })

        # 规则3：传感器列表完整性
        expected_sensors = self.device_database.get_sensors(fingerprint['model'])
        if len(fingerprint['sensors']) < len(expected_sensors) * 0.8:
            issues.append({
                'type': 'sensor_missing',
                'severity': 'high',
                'message': 'Too few sensors for this device model'
            })

        return {
            'is_valid': len(issues) == 0,
            'risk_score': self.calculate_risk_score(issues),
            'issues': issues
        }
```

机器学习检测

使用标注数据训练模型，识别真实设备 vs 伪造设备：

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, GradientBoostingClassifier
from sklearn.neural_network import MLPClassifier
import numpy as np

class DeviceAuthenticityClassifier:
    def __init__(self):
        self.models = {
            'random_forest': RandomForestClassifier(n_estimators=200, max_depth=15),
            'gradient_boosting': GradientBoostingClassifier(n_estimators=100),
            'neural_network': MLPClassifier(hidden_layer_sizes=(128, 64, 32))
        }
        self.feature_extractor = FeatureExtractor()

    def train(self, X_train, y_train):
        """
    训练分类器
        X_train: 设备指纹特征
        y_train: 标签 (0=伪造, 1=真实)
        """
        for name, model in self.models.items():
            print(f"Training {name}...")
            model.fit(X_train, y_train)

    def predict(self, fingerprint):
        """预测设备真实性"""
        features = self.feature_extractor.extract(fingerprint)

        # 集成投票
        votes = []
        probabilities = []

        for name, model in self.models.items():
            pred = model.predict([features])[0]
            prob = model.predict_proba([features])[0]
            votes.append(pred)
            probabilities.append(prob[1])  # 真实设备概率

        # 加权平均
        avg_probability = np.mean(probabilities)

        return {
            'is_genuine': avg_probability > 0.5,
            'confidence': avg_probability,
            'votes': dict(zip(self.models.keys(), votes))
        }
```

实战案例分析

案例 1：某电商平台设备指纹分析

背景：某大型电商平台面临大量刷单、虚假评论和薅羊毛行为，需要通过设备指纹识别恶意用户。

技术方案：

1. 指纹采集

```
public class EcommerceFingerprintCollector {
    public DeviceFingerprint collect(Context context) {
        DeviceFingerprint fp = new DeviceFingerprint();

        // 基本硬件信息
        fp.setAndroidId(getAndroidId(context));
        fp.setModel(Build.MODEL);
        fp.setBrand(Build.BRAND);

        // 网络信息
        fp.setIpAddress(getIPAddress());
        fp.setMacAddress(getMacAddress(context));

        // App 信息
        fp.setInstalledApps(getInstalledApps(context));

        // 行为特征
        fp.setTouchPressure(collectTouchPressure());
        fp.setTypingSpeed(collectTypingSpeed());

        // 环境检测
        fp.setIsRooted(checkRootStatus());
        fp.setIsEmulator(checkEmulatorStatus());
        fp.setIsHooked(checkHookStatus());

        return fp;
    }

    private boolean checkHookStatus() {
        // 检测 Frida
        if (checkFridaPort()) return true;
        if (checkFridaLibraries()) return true;

        // 检测 Xposed
        if (checkXposedEnvironment()) return true;

        return false;
    }
}
```

2. 风控决策

```
class EcommerceRiskEngine:
    def __init__(self):
        self.fingerprint_db = FingerprintDatabase()
        self.ml_detector = DeviceAuthenticityClassifier()
        self.behavior_analyzer = BehaviorSequenceDetector()

    def check_order_risk(self, user_id, device_fp, order_info):
        """订单风险评估"""
        risk_factors = []
        risk_score = 0

        # 1. 设备指纹检查
        device_risk = self.check_device_fingerprint(device_fp)
        if device_risk['is_suspicious']:
            risk_factors.append(device_risk)
            risk_score += 30

        # 2. 设备关联分析
        related_devices = self.fingerprint_db.find_related_devices(device_fp)
        if len(related_devices) > 10:
            risk_factors.append({
                'type': 'device_cluster',
                'message': f'Device associated with {len(related_devices)} other
devices'
            })
            risk_score += 25

        # 3. 用户行为分析
        user_behavior = self.fingerprint_db.get_user_behavior(user_id)
        if self.is_bot_behavior(user_behavior):
            risk_factors.append({'type': 'bot_behavior'})
            risk_score += 35

        # 决策
        if risk_score >= 60:
            action = 'reject'
        elif risk_score >= 40:
            action = 'manual_review'
        else:
            action = 'approve'

        return {
            'action': action,
            'risk_score': risk_score,
            'risk_factors': risk_factors
        }
```

案例 2：金融 App 风控绕过

背景：某金融 App 使用顶象设备指纹进行风控，攻击者尝试绕过进行批量注册和薅羊毛。

App 保护措施：

1. 集成顶象 SDK 采集设备指纹
2. SO 层加固（360 加固）
3. 检测 Root、模拟器、Hook 框架
4. 网络请求签名验证

分析过程：

Step 1: 设备指纹 SDK 定位

```
# 反编译 APK
apktool d app.apk

# 搜索设备指纹相关代码
grep -r "getDeviceId" .
grep -r "fingerprint" .

# 找到 SDK 包名
# com.dingxiang.sdk.fingerprint
```

Step 2: Frida Hook 分析

```
Java.perform(function() {
    // Hook 顶象 SDK
    var DXFingerprint = Java.use("com.dingxiang.sdk.fingerprint.DXFingerprint");

    DXFingerprint.getDeviceId.implementation = function() {
        console.log("[*] getDeviceId() called");

        // 返回伪造设备 ID
        var fakeDeviceId = "fake_dx_device_id_" +
Math.random().toString(36).substring(7);
        console.log("[*] Returning fake device ID: " + fakeDeviceId);

        return fakeDeviceId;
    };

    // Hook 采集方法
    DXFingerprint.collect.implementation = function(context) {
        console.log("[*] collect() called");

        // 修改采集数据
        var result = this.collect(context);

        // 篡改指纹数据
        modifyFingerprintData(result);

        return result;
    };
});
```

教训:

1. 单纯的 Hook 不够：需要完整的环境伪装
2. 设备一致性至关重要：所有参数必须逻辑自洽
3. 行为模拟必不可少：纯技术绕过容易被行为分析识破
4. 成本与收益平衡：高质量绕过需要较高成本

总结

成功的绕过，本质上是一场关于"伪造一个天衣无缝的设备画像"的持久战。

R18: Native Hook 技术

R18: Native 层 Hook 技巧 (Native Hooking Patterns)

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Frida Native Hook - 掌握 Interceptor API
> - SO/ELF 格式 - 理解 libc 函数与符号
> - ARM 汇编入门 - 理解 Inline Hook 原理
> - 二进制分析工具链 - Capstone 反汇编与指令分析

在 Android 逆向中，Native 层 (C/C++) 的分析往往比 Java 层更具挑战性。Hook 标准 C 库 (libc) 函数是理解 Native 层行为、脱壳和还原算法的重要手段。

1. 文件操作监控 (File I/O)

监控文件操作可以帮助我们发现 App 读取了哪些配置文件、加载了哪些 Dex/So 文件，或者将解密后的数据写入到了哪里。

Hook `open` / `openat`

```
// Hook open and openat to trace file access
function hookFileOpen() {
  // Intercept 'open'
  var openPtr = Module.findExportByName("libc.so", "open");
  if (openPtr) {
    Interceptor.attach(openPtr, {
      onEnter: function (args) {
        this.path = args[0].readCString();
        this.flags = args[1].toInt32();
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (
          this.path &&
          (this.path.endsWith(".dex") || this.path.endsWith(".so"))
        ) {
          console.log("[open] FD: " + retval + " Path: " + this.path);
        }
      },
    });
  }

  // Intercept 'openat' (commonly used on newer android versions)
  var openatPtr = Module.findExportByName("libc.so", "openat");
  if (openatPtr) {
    Interceptor.attach(openatPtr, {
      onEnter: function (args) {
        // args[0] is dirfd, args[1] is path
        this.path = args[1].readCString();
        this.flags = args[2].toInt32();
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (
          this.path &&
          (this.path.indexOf("base.apk") >= 0 || this.path.indexOf(".dex") >= 0)
        ) {
          console.log("[openat] FD: " + retval + " Path: " + this.path);
        }
      },
    });
  }
}

hookFileOpen();
```

2. 动态库加载监控 (dlopen)

监控 `dlopen` 可以帮助我们发现 App 动态加载了哪些 SO 文件，这对于分析加壳应用非常有用。

Hook `dlopen` / `android_dlopen_ext`

```
function hookDlopen() {
  var dlopen = Module.findExportByName(null, "dlopen");
  var android_dlopen_ext = Module.findExportByName(null, "android_dlopen_ext");

  if (dlopen) {
    Interceptor.attach(dlopen, {
      onEnter: function (args) {
        this.path = args[0].readCString();
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.path) {
          console.log("[dlopen] " + this.path + " -> Handle: " + retval);
          if (this.path.indexOf("libnative-lib.so") >= 0) {
            // Library loaded, ready to hook functions inside it
            console.log("[+] Target library loaded!");
          }
        }
      },
    });
  }

  if (android_dlopen_ext) {
    Interceptor.attach(android_dlopen_ext, {
      onEnter: function (args) {
        this.path = args[0].readCString();
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.path) {
          console.log(
            "[android_dlopen_ext] " + this.path + " -> Handle: " + retval
          );
        }
      },
    });
  }
}

hookDlopen();
```

3. 内存操作监控 (memcpy)

监控 `memcpy` 可以帮助我们发现内存中的数据拷贝，特别是在脱壳时可以捕获解密后的 DEX 文件。

Hook `memcpy`

```
function hookMemcpy() {
  var memcpy = Module.findExportByName("libc.so", "memcpy");

  Interceptor.attach(memcpy, {
    onEnter: function (args) {
      this.dest = args[0];
      this.src = args[1];
      this.n = args[2].toInt32();
    },
    onLeave: function (retval) {
      // Filter by size or content to reduce noise
      if (this.n > 100 && this.n < 200) {
        // Check if source contains specific magic bytes (e.g., ELF header)
        try {
          var magic = this.src.readU32();
          if (magic == 0x464c457f) {
            // .ELF
            console.log("[memcpy] ELF header detected! Size: " + this.n);
            console.log(hexdump(this.src, { length: 32 }));
          }
        } catch (e) {}
      }

      // Check for DEX magic (dex\n035)
      if (this.n > 1000) {
        try {
          var dexMagic = this.src.readUtf8String(4);
          if (dexMagic === "dex\n") {
            console.log("[memcpy] DEX file detected! Size: " + this.n);
            // Dump DEX file
            var dexData = this.src.readByteArray(this.n);
            var filename = "/data/local/tmp/dump_" + Date.now() + ".dex";
            var file = new File(filename, "wb");
            file.write(dexData);
            file.close();
            console.log("[+] DEX dumped to: " + filename);
          }
        } catch (e) {}
      }
    },
  });
}

hookMemcpy();
```

4. 符号解析监控 (dlsym)

监控 `dlsym` 可以帮助我们发现 App 动态查找了哪些函数，这对于分析混淆代码非常有用。

Hook `dlsym`

```
function hookDlsym() {
  var dlsym = Module.findExportByName(null, "dlsym");

  Interceptor.attach(dlsym, {
    onEnter: function (args) {
      this.handle = args[0];
      this.symbol = args[1].readCString();
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (this.symbol) {
        console.log(
          "[dlsym] Symbol: " + this.symbol + " -> Address: " + retval
        );

        // Hook specific functions when resolved
        if (this.symbol === "encrypt" && !retval.isNull()) {
          console.log("[+] Found encrypt function, hooking...");
          hookNativeFunction(retval, "encrypt");
        }
      }
    },
  });
}

function hookNativeFunction(addr, name) {
  Interceptor.attach(addr, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("[" + name + "] called");
      console.log("  arg0: " + args[0]);
      console.log("  arg1: " + args[1]);
    },
    onLeave: function (retval) {
      console.log("  retval: " + retval);
    },
  });
}

hookDlsym();
```

5. 字符串比较监控 (strcmp)

监控字符串比较函数可以帮助我们发现 App 的校验逻辑，如 Root 检测、调试检测等。

Hook `strcmp` / `strstr`

```
function hookStringFunctions() {
  // Hook strcmp
  var strcmp = Module.findExportByName("libc.so", "strcmp");
  if (strcmp) {
    Interceptor.attach(strcmp, {
      onEnter: function (args) {
        var s1 = args[0].readCString();
        var s2 = args[1].readCString();

        // Filter for interesting strings
        var keywords = ["root", "su", "magisk", "frida", "xposed", "debug"];
        for (var i = 0; i < keywords.length; i++) {
          if (
            (s1 && s1.toLowerCase().indexOf(keywords[i]) >= 0) ||
            (s2 && s2.toLowerCase().indexOf(keywords[i]) >= 0)
          ) {
            console.log("[strcmp] " + s1 + " VS " + s2);
            break;
          }
        }
      },
    });
  }

  // Hook strstr
  var strstr = Module.findExportByName("libc.so", "strstr");
  if (strstr) {
    Interceptor.attach(strstr, {
      onEnter: function (args) {
        this.haystack = args[0].readCString();
        this.needle = args[1].readCString();
      },
      onLeave: function (retval) {
        if (this.needle && this.needle.toLowerCase().indexOf("frida") >= 0) {
          console.log(
            "[strstr] Searching for: " +
              this.needle +
              " in: " +
              this.haystack.substring(0, 50)
          );
          // Return NULL to bypass detection
          retval.replace(ptr(0));
        }
      },
    });
  }
}

hookStringFunctions();
```

6. 系统调用监控

监控系统调用可以帮助我们发现 App 的底层行为。

Hook `syscall`

```
function hookSyscall() {
  var syscall = Module.findExportByName("libc.so", "syscall");

  if (syscall) {
    Interceptor.attach(syscall, {
      onEnter: function (args) {
        var syscallNumber = args[0].toInt32();

        // Common syscall numbers on ARM64
        var syscallNames = {
          56: "openat",
          57: "close",
          63: "read",
          64: "write",
          78: "readlinkat",
          79: "fstatat",
          101: "nanosleep",
          172: "getpid",
          174: "getuid",
        };

        if (syscallNames[syscallNumber]) {
          console.log("[syscall] " + syscallNames[syscallNumber]);
        }
      },
    });
  }
}

hookSyscall();
```

7. 综合示例：脱壳辅助

结合多个 Hook 点进行脱壳分析。

```
// Comprehensive unpacking helper
function unpackHelper() {
  console.log("[+] Unpacking helper started");

  var dexCount = 0;

  // Hook mmap to catch memory mapping
  var mmap = Module.findExportByName("libc.so", "mmap");
  Interceptor.attach(mmap, {
    onEnter: function (args) {
      this.addr = args[0];
      this.length = args[1].toInt32();
      this.prot = args[2].toInt32();
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (this.length > 100000 && this.prot == 5) {
        // PROT_READ | PROT_EXEC
        try {
          var magic = retval.readUtf8String(4);
          if (magic === "dex\n") {
            console.log(
              "[mmap] DEX detected! Size: " + this.length + " Address: " + retval
            );
            dexCount++;
            var filename =
              "/data/local/tmp/unpack_" + dexCount + "_" + Date.now() + ".dex";
            var file = new File(filename, "wb");
            file.write(retval.readByteArray(this.length));
            file.close();
            console.log("[+] Dumped to: " + filename);
          }
        } catch (e) {}
      }
    },
  });

  // Hook dvmDexFileOpenPartial (for Dalvik)
  // Hook art::DexFile::Open (for ART)
  var artDexOpen = Module.findExportByName(
    "libart.so",

"_ZN3art7DexFile10OpenMemoryEPKhjRKNSt3__112basic_stringIcNS3_11char_traitsIcEENS3_9al
locatorIcEEEEjPNS_6MemMapEPKNS_7OatFileEPS9_"
  );
  if (artDexOpen) {
    Interceptor.attach(artDexOpen, {
      onEnter: function (args) {
        console.log("[art::DexFile::OpenMemory] called");
        this.base = args[0];
        this.size = args[1].toInt32();
      },
      onLeave: function (retval) {
```

```
        if (this.size > 0) {
          console.log("[+] ART DEX loaded, size: " + this.size);
        }
      },
    });
  }
}

unpackHelper();
```

8. Inline Hook 技术详解

Inline Hook 是 Native 层 Hook 的核心技术，通过直接修改目标函数的机器指令来实现函数拦截。与 GOT/PLT Hook 不同，Inline Hook 可以 Hook 任意函数地址，包括内部函数。

8.1 Inline Hook 原理

Inline Hook 的基本原理是：

1. 备份原指令：保存目标函数开头的若干字节指令
2. 写入跳转指令：在原位置写入跳转到 Hook 函数的指令
3. 执行 Hook 函数：Hook 函数执行自定义逻辑
4. 执行原函数：通过 Trampoline 跳回执行原始指令

```
原始函数:                        Hook 后:
+------------------+            +------------------+
| 原始指令 1       |  ---->     | JMP hook_func    |
| 原始指令 2       |            | (覆盖原指令)     |
| 原始指令 3       |            | 原始指令 3       |
| ...              |            | ...              |
+------------------+            +------------------+

Hook 函数:                       Trampoline:
+------------------+            +------------------+
| 自定义逻辑       |            | 原始指令 1       |
| call_original()  |  ---->     | 原始指令 2       |
| 返回             |            | JMP 原函数+偏移  |
+------------------+            +------------------+
```

8.2 ARM64 跳转指令

在 ARM64 架构上，常用的跳转方式：

```
// 方式1: B 指令 (±128MB 范围)
// B <offset>
// 4 字节，范围有限

// 方式2: LDR + BR 组合 (任意地址)
// LDR X17, #8    ; 加载后面的地址到 X17
// BR X17         ; 跳转到 X17
// .quad <addr>   ; 64位目标地址
// 共 16 字节

// 方式3: ADRP + ADD + BR (±4GB 范围)
// ADRP X17, <page>
// ADD X17, X17, <offset>
// BR X17
// 12 字节
```

8.3 主流 Inline Hook 框架

Substrate (Cydia Substrate)

最早的 iOS/Android Hook 框架，业界标准。

```
// Substrate API
#include <substrate.h>

// 原函数指针
static int (*orig_open)(const char *path, int flags, ...);

// Hook 函数
int hook_open(const char *path, int flags, ...) {
    // 自定义逻辑
    __android_log_print(ANDROID_LOG_DEBUG, "HOOK", "open: %s", path);

    // 调用原函数
    return orig_open(path, flags);
}

// 安装 Hook
MSHookFunction((void *)open, (void *)hook_open, (void **)&orig_open);
```

Dobby

跨平台的轻量级 Hook 框架，支持 ARM/ARM64/x86/x86_64。

```
// Dobby API
#include "dobby.h"

// 原函数指针
static int (*orig_open)(const char *path, int flags, mode_t mode);

// Hook 函数
int hook_open(const char *path, int flags, mode_t mode) {
    LOG("open: %s", path);
    return orig_open(path, flags, mode);
}

// 安装 Hook
DobbyHook((void *)open, (void *)hook_open, (void **)&orig_open);

// 卸载 Hook
DobbyDestroy((void *)open);
```

xHook (爱奇艺开源)

基于 PLT/GOT 的 Hook 框架，稳定性好，但只能 Hook 外部函数调用。

```
// xHook API
#include "xhook.h"

// Hook 函数
int my_open(const char *path, int flags, ...) {
    LOG("xhook open: %s", path);
    // 调用原函数需要使用 xhook 的方式
    return XHOOK_CALL_ORIG(open, path, flags);
}

// 注册 Hook
xhook_register(".*\\.so$", "open", my_open, NULL);

// 刷新 Hook
xhook_refresh(0);
```

bhook (字节跳动开源)

PLT Hook 框架，支持自动管理 Hook 代理。

```
// bhook API
#include "bytehook.h"

// Hook 函数
int my_open(const char *path, int flags, mode_t mode) {
    LOG("bhook open: %s", path);

    // 调用原函数
    BYTEHOOK_CALL_PREV(my_open, path, flags, mode);
    return result;
}

// 注册 Hook
bytehook_hook_single(
    "libc.so",           // 目标库
    NULL,                // 调用者 (NULL = 所有)
    "open",              // 函数名
    (void *)my_open,     // Hook 函数
    NULL,                // 回调
    NULL                 // 用户数据
);
```

ShadowHook (字节跳动开源)

真正的 Inline Hook 框架，支持 Hook 任意函数。

```
// ShadowHook API
#include "shadowhook.h"

// 原函数类型
typedef int (*open_t)(const char *, int, mode_t);
static open_t orig_open;

// Hook 函数
int hook_open(const char *path, int flags, mode_t mode) {
    LOG("shadowhook open: %s", path);
    return orig_open(path, flags, mode);
}

// 安装 Inline Hook
void *stub = shadowhook_hook_func_addr(
    (void *)open,           // 目标函数地址
    (void *)hook_open,      // Hook 函数
    (void **)&orig_open     // 原函数指针
);

// 卸载 Hook
shadowhook_unhook(stub);
```

And-Hook

轻量级 Android Inline Hook 库。

```
// And-Hook API
#include "And64InlineHook.hpp"

// Hook
A64HookFunction((void *)target_func, (void *)hook_func, (void **)&orig_func);
```

Whale

支持多种 Hook 模式的框架。

```
// Whale API - Inline Hook
WInlineHookFunction((void *)open, (void *)hook_open, (void **)&orig_open);

// Whale API - Import Hook (类似 PLT Hook)
WImportHookFunction("libnative.so", "open", (void *)hook_open, (void **)&orig_open);
```

8.4 框架选型对比

框架	Hook 类型	架构支持	稳定性	性能	适用场景
Substrate	Inline	ARM/ ARM64/ x86	★★★★★	★★★★	通用 Hook，Xposed/ Cydia
Dobby	Inline	ARM/ ARM64/ x86/x64	★★★★	★★★★★	跨平台，轻量级
xHook	PLT/ GOT	ARM/ ARM64/ x86/x64	★★★★★	★★★★	外部函数 Hook
bhook	PLT/ GOT	ARM/ ARM64	★★★★★	★★★★★	外部函数 Hook，自动代理
ShadowHook	Inline	ARM/ ARM64	★★★★	★★★★★	任意函数 Hook
And-Hook	Inline	ARM/ ARM64	★★★	★★★★	简单场景
Whale	Inline/ Import	ARM/ ARM64	★★★	★★★	多模式需求

8.5 选型建议

1. 只需要 Hook 外部函数调用 → 优先选择 bhook 或 xHook
    - 稳定性高，兼容性好
    - 不需要处理指令重定位

2. 需要 Hook 任意函数地址 → 选择 ShadowHook 或 Dobby
    - ShadowHook 对 Android 优化更好
    - Dobby 跨平台能力强
3. Xposed 模块开发 → 使用 Substrate 或 Dobby
    - Substrate 是 Xposed 默认使用的框架
    - Dobby 作为替代方案也很成熟
4. 性能敏感场景 → bhook > ShadowHook > Dobby
    - PLT Hook 性能开销最小
    - Inline Hook 需要更多处理

8.6 Frida 中的 Inline Hook

Frida 的 `Interceptor.attach` 内部也是使用 Inline Hook 实现的：

```
// Frida 使用内置的 Inline Hook 引擎
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "open"), {
    onEnter: function(args) {
        console.log("open:", args[0].readCString());
    },
    onLeave: function(retval) {
        console.log("  -> fd:", retval);
    }
});

// Frida 也支持直接替换函数
Interceptor.replace(targetAddr, new NativeCallback(function(arg0, arg1) {
    console.log("Replaced function called");
    return 0;
}, 'int', ['pointer', 'int']));
```

8.7 实战示例：使用 Dobby Hook JNI 函数

```
#include <jni.h>
#include <android/log.h>
#include "dobby.h"

#define LOG(...) __android_log_print(ANDROID_LOG_DEBUG, "DobbyHook", __VA_ARGS__)

// 原函数指针
static jstring (*orig_NewStringUTF)(JNIEnv *env, const char *bytes);

// Hook 函数
jstring hook_NewStringUTF(JNIEnv *env, const char *bytes) {
    LOG("NewStringUTF: %s", bytes);

    // 可以修改字符串
    if (strstr(bytes, "secret") != NULL) {
        return orig_NewStringUTF(env, "hooked!");
    }

    return orig_NewStringUTF(env, bytes);
}

// 获取 JNI 函数地址
void *get_jni_func(JNIEnv *env, const char *name) {
    // JNINativeInterface 结构体偏移
    // NewStringUTF 在 JNINativeInterface 中的偏移是 167
    void **jni_funcs = *(void ***)env;
    return jni_funcs[167];  // NewStringUTF offset
}

// 初始化 Hook
void init_hooks(JNIEnv *env) {
    void *NewStringUTF_addr = get_jni_func(env, "NewStringUTF");

    DobbyHook(
        NewStringUTF_addr,
        (void *)hook_NewStringUTF,
        (void **)&orig_NewStringUTF
    );

    LOG("Hook installed at %p", NewStringUTF_addr);
}

JNIEXPORT jint JNI_OnLoad(JavaVM *vm, void *reserved) {
    JNIEnv *env;
    vm->GetEnv((void **)&env, JNI_VERSION_1_6);

    init_hooks(env);

    return JNI_VERSION_1_6;
}
```

8.8 注意事项

1. 线程安全：Hook 安装时需要考虑多线程并发执行
2. 指令对齐：ARM 指令需要 4 字节对齐，Thumb 需要 2 字节对齐
3. 指令重定位：被覆盖的指令如果包含 PC 相对寻址，需要重新计算
4. 缓存刷新：修改代码后需要刷新 CPU 指令缓存
5. 权限检查：需要确保内存页有可写权限 (mprotect)

总结

Native 层 Hook 是 Android 逆向的核心技能之一。通过 Hook libc 函数（如 open、dlopen、memcpy、strcmp 等），我们可以：

1. 监控文件操作，发现配置文件和动态加载的库
2. 跟踪内存操作，捕获解密后的数据
3. 分析字符串比较，绕过安全检测
4. 进行脱壳分析，提取被保护的 DEX 文件

在技术选型时：

- PLT/GOT Hook (xHook, bhook)：稳定性好，适合 Hook 外部函数调用
- Inline Hook (Dobby, ShadowHook)：灵活性强，可以 Hook 任意地址
- Frida Interceptor：开发效率高，适合快速分析和原型验证

在实践中，需要根据目标应用的具体行为和需求来选择合适的 Hook 技术和框架。

R19: SO 混淆与反混淆

R19: SO 文件反混淆：花指令识别与自动化去除

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 ELF 段结构与指令布局
> - IDA Pro 指南 - 使用 IDAPython 编写脚本

在 Android SO 文件逆向工程中，代码混淆 (Code Obfuscation)，俗称"花指令"，是开发者为了保护核心逻辑、增加逆向分析难度而采用的一种常用技术。其核心思想是在代码中插入大量对程序本身逻辑无用但能迷惑反汇编工具和分析人员的指令。

本指南将系统介绍花指令的常见类型、识别方法，并重点阐述如何利用 `IDAPython` 编写脚本，实现自动化"去花"。

目录

花指令的核心类型

垃圾指令 (Junk Code)

最简单的混淆形式。在真实指令之间插入不会影响程序状态（寄存器、内存、标志位）的指令。

```
; 真实代码
PUSH EAX

; --- 垃圾代码 ---
NOP
MOV EBX, EBX
XCHG ECX, ECX
ADD EAX, 0
; --- 垃圾代码结束 ---

; 真实代码
POP EAX
```

不透明谓词 (Opaque Predicates)

通过构造条件恒成立或恒不成立的分支，让反汇编器和分析人员误以为存在多个执行路径。

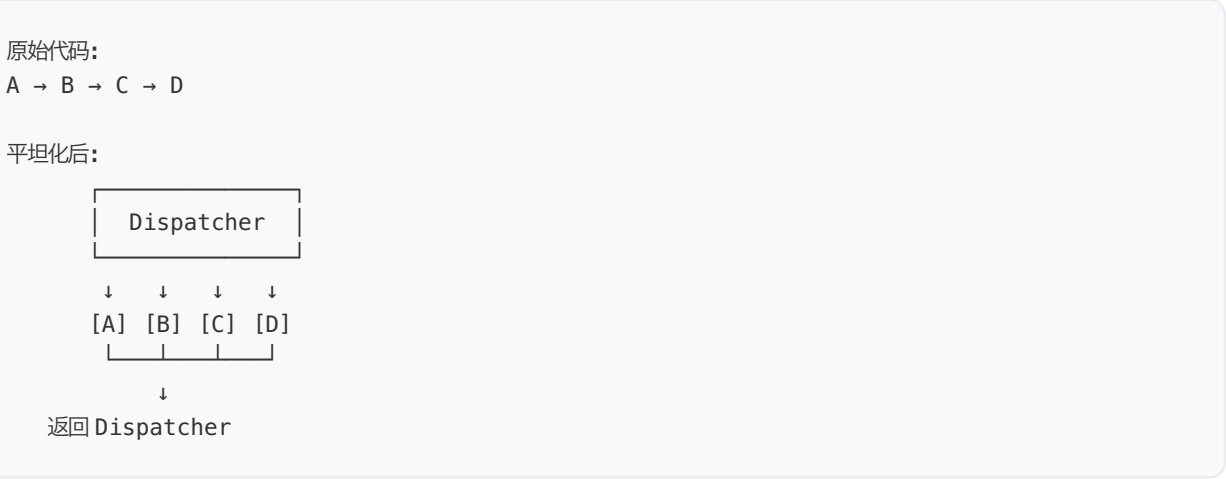
```
MOV EAX, EDX
XOR EAX, EDX     ; 清零 EAX
TEST EAX, EAX    ; 设置 Z 标志

; JZ (为零则跳转) 将始终跳转
; JNZ 分支下的代码是永远不会执行的死代码
JZ real_code_path
; --- 死代码 ---
ADD EAX, 1234
CALL some_fake_func
; --- 死代码结束 ---

real_code_path:
; ... 真实代码
```

控制流平坦化 (Control Flow Flattening)

这是一种高级且非常有效的混淆技术。它将一个函数的正常逻辑块打散，然后使用一个中央分发器（Dispatcher）和 `switch-case` 结构来控制执行流。原始的调用关系被隐藏在一个巨大的循环中，使得函数逻辑极难被理解。



如何识别花指令

静态分析特征

在 IDA Pro 或 Ghidra 中观察：

- 无效跳转：`JMP loc_A` 的下一条指令就是 `loc_A`
- 跳转到指令中间：`JMP $+5` 跳转到一个正常指令的中间，破坏反汇编
- 对称操作：连续的 `PUSH` / `POP` 同一个寄存器
- 恒成立/不成立的条件：在 `Jcc` 指令前，`CMP` 的两个操作数明显相等或不等
- 无意义的计算：计算结果没有被后续代码使用
- IDA 图形视图：控制流平坦化的函数会呈现出一个巨大的、节点众多的 `switch` 结构，所有逻辑块都指向一个中心分发块

动态调试验证

最可靠的方法。使用 `gdb` 或 IDA 的调试器：

- 在可疑分支下断点，如果断点从未命中，则说明该分支是死代码
- 单步执行，观察寄存器和内存的变化。如果一段指令执行后，相关的状态没有变化，则很可能是垃圾代码

自动化去花脚本 (IDAPython 实战)

当花指令数量庞大时，手动修复是不现实的。编写脚本自动化处理是唯一高效的途径。以下以 IDAPython 为例。

场景一：NOP 掉无效跳转

一个常见的花指令模式是 `JMP dest`，而 `dest` 紧接着 `JMP` 指令。

```
.text:00001234 JMP short loc_1236 ; 跳转指令本身占 2 字节
.text:00001236 ; ... 真实代码
```

IDAPython 脚本：

```
import idaapi
import idc
import idautils

def patch_junk_jumps():
    """
  查找并将形式为 `JMP next_instruction` 的跳转NOP 掉。
    """
    print("扫描垃圾跳转...")
    count = 0

    # 遍历代码段
    for seg_ea in idautils.Segments():
        if idc.get_segm_attr(seg_ea, idc.SEGATTR_TYPE) != idc.SEG_CODE:
            continue

        seg_start = idc.get_segm_start(seg_ea)
        seg_end = idc.get_segm_end(seg_ea)

        for head in idautils.Heads(seg_start, seg_end):
            # 检查是否是 JMP 指令
            if idaapi.is_jmp_insn(head):
                # 获取跳转目标地址
                target_ea = idc.get_operand_value(head, 0)
                # 获取指令长度
                insn_len = idc.get_item_size(head)

                # 如果跳转目标是下一条指令的地址
                if target_ea == (head + insn_len):
                    print(f"在 0x{head:X} 处找到垃圾 JMP，目标: 0x{target_ea:X}")

                    # 用NOP 修补
                    for i in range(insn_len):
                        idc.patch_byte(head + i, 0x90)
                    count += 1

    print(f"完成。修补了 {count} 个垃圾跳转。")

# 执行脚本
patch_junk_jumps()
```

场景二：识别并去除不透明谓词

```
import idc
import idautils

def patch_opaque_predicates():
    """
  查找并去除不透明谓词。
    """
    print("扫描不透明谓词...")
    count = 0

    for seg_ea in idautils.Segments():
        if idc.get_segm_attr(seg_ea, idc.SEGATTR_TYPE) != idc.SEG_CODE:
            continue

        seg_start = idc.get_segm_start(seg_ea)
        seg_end = idc.get_segm_end(seg_ea)

        for head in idautils.Heads(seg_start, seg_end):
            # 检查是否是 JNE 指令 (例如, 操作码 0x75)
            if idc.get_byte(head) == 0x75:
                # 检查 JNE 之前的指令是否是 CMP
                prev_head = idc.prev_head(head)
                if idc.print_insn_mnem(prev_head) == "cmp":
                    # 检查 CMP 的两个操作数是否相同
                    op1 = idc.get_operand_value(prev_head, 0)
                    op2 = idc.get_operand_value(prev_head, 1)

                    # 这是一个简化示例, 实际的操作数类型检查会更复杂
                    if op1 == op2:  # 例如, CMP EAX, EAX
                        print(f"在 0x{head:X} 处找到不透明谓词")
                        # 将 JNE 指令 NOP 掉
                        insn_len = idc.get_item_size(head)
                        for i in range(insn_len):
                            idc.patch_byte(head + i, 0x90)
                        count += 1

    print(f"完成。修补了 {count} 个不透明谓词。")

# 执行脚本
patch_opaque_predicates()
```

通用去花流程

1. 观察：在 IDA Pro 中观察可疑代码的模式
2. 识别：找到该模式的通用机器码或指令特征
3. 编码：编写脚本，精确地定位这些特征并进行修复 (Patch)

虽然花指令的变种层出不穷，但其本质是有限的。掌握了自动化的脚本去花能力，就能极大地提升 SO 文件逆向分析的效率。

相关链接

相关配方

- OLLVM 反混淆 - 处理控制流平坦化
- 应用脱壳总览 - 脱壳后再去花

工具深入

- IDA Pro 使用指南
- Ghidra 使用指南

💡 提示：去花是一个需要耐心和经验的过程。建议先手动分析几个样本，理解混淆模式后再编写脚本自动化处理。

R20: OLLVM 反混淆

R20: OLLVM 反混淆

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 Native 库的结构
> - ARM 汇编基础 - 阅读反汇编代码的能力

OLLVM (Obfuscator-LLVM) 是一个著名的开源代码混淆框架，它在 LLVM 编译器 IR (中间表示) 层面进行操作。这使其能够与具体语言无关，并对代码应用复杂的、难以逆向的转换。

!!! warning "场景导入：当你遇到 OLLVM" 打开 IDA，反编译一个函数，结果看到：

- 一个巨大的 `switch-case` 循环，有几十甚至上百个 case 分支
- 每个 case 里只有几行代码，然后又跳回 switch
- 到处都是看起来有用实际无用的 `if` 判断
- 简单的加法被替换成了 `a = b - (-c)` 这样的怪异表达式

你的第一反应可能是：这是什么鬼？

恭喜，你遇到了 OLLVM 控制流平坦化 (FLA) + 虚假控制流 (BCF) + 指令替换 (SUB) 的"三件套"。 这是目前 Android Native 层最常见的商业级混淆方案。

关键问题：面对这种混淆，是选择"硬看"代码，还是有更聪明的办法？

本文档涵盖了常见的 OLLVM 混淆通道 (pass) 及其分析和逆向策略。

核心混淆技术

OLLVM 的主要优势在于其三种核心混淆技术：

1. 控制流平坦化 （`-fla`）： 该技术会彻底平坦化一个函数的控制流。它通过将所有基本块放入一个单一的、巨大的分发器循环（"主分发器"）中来隐藏原始的程序流程。一个状态变量用于控制下一个要执行的代码块。逆向此技术需要重建原始的控制流图 (CFG)。

2. 虚假控制流 （`-bcf`）： 该技术在代码中插入无效的条件分支和不透明谓词。这些分支被设计为静态分析难以解析，但在运行时，它们总是会得出相同的结果。这会给控制流图增加大量的噪声。

3. 指令替换 （`-sub`）： 这是最简单的混淆方式。它将标准的二进制运算符（如 `add`，`sub`，`and`，`or`）替换为功能上等价但更复杂的指令序列。例如，`a = b + c` 可能会变成 `a = b - (-c)`。

分析与反混淆策略

!!! question "思考：静态分析 vs 动态分析，哪个更有效？" 面对 OLLVM 混淆，有两种完全不同的思路：

静态分析：

- ✅ 优势：能看到所有可能的执行路径，包括错误处理分支
- ❌ 劣势：需要对抗大量的虚假分支，分析工作量巨大
- 适用场景：你需要理解完整的算法逻辑，或者寻找漏洞

动态分析：

- ✅ 优势：直接记录真实执行路径，绕过所有虚假分支
- ❌ 劣势：只能看到当前输入下的执行路径，可能遗漏关键分支
- 适用场景：你只想提取算法结果（如加密签名），不关心内部逻辑

实战建议：

1. 先用动态分析（Frida Stalker / Unidbg trace）快速获取"真实"的执行流
2. 再用静态分析验证和补充动态分析遗漏的部分
3. 如果目标是自动化（如算法还原），考虑符号执行（Angr）

1. 静态分析

- CFG 重建：对于控制流平坦化，关键是识别状态变量和分发器。通过符号执行或模式匹配分发器逻辑，可以确定每个真实基本块的后继，从而重建原始图。
- 不透明谓词求解：Z3 或其他 SMT 求解器等工具可用于自动证明虚假控制流中的条件是不变的。这使得分析师能够识别并移除无效的代码路径。
- 模式匹配：对于指令替换，可以识别并替换简单的模式。例如，像 `x = rdtsc(); y = x & 1; if (y == 0) ...` 这样的序列是一个常见的虚假谓词。

2. 动态分析

- 使用 Frida/Unidbg 进行追踪：动态追踪非常有效。通过使用 Frida 的 `Stalker` 或 Unidbg 的追踪功能，可以记录运行时执行的基本块的确切顺序。这可以绕过所有的控制流混淆，为你提供"真实"的执行路径。
- 符号执行：像 Angr 这样的引擎可用于探索程序状态。符号执行可以自动求解路径约束，从而有效地反混淆控制流并简化不透明谓词。这个过程可能很慢，但功能非常强大。

3. 自动化工具

- d-obfuscator：一个基于 Python 的工具，使用符号执行（通过 Angr）来反混淆 OLLVM。
- QB-Di: 一个基于 QBDI 动态插桩框架的交互式反混淆工具。
- Triton: 一个动态二进制分析框架，可以通过编写脚本来执行污点分析和符号执行。

实战：使用符号执行与约束求解

Z3-Solver：不透明谓词求解

Z3 是微软开发的高性能 SMT (Satisfiability Modulo Theories) 求解器，非常适合用于分析 OLLVM 的虚假控制流。

安装

```
pip install z3-solver
```

示例 1：识别恒真/恒假条件

OLLVM 的虚假控制流 (BCF) 经常使用不透明谓词，例如：

```
// 混淆后的代码
int x = get_input();
int y = x * x;
if ((y % 2) == 1) {  // 平方数永远不可能是奇数（对于整数）
    // 这个分支永远不会执行（死代码）
    fake_path();
} else {
    real_path();
}
```

使用 Z3 证明这个条件恒假：

```
from z3 import *

def prove_opaque_predicate():
    """证明 x*x % 2 == 1 对于任意整数 x 都是假的"""
    x = BitVec('x', 32)  # 32位整数
    y = x * x            # y = x^2

    # 创建求解器
    solver = Solver()

    # 尝试找到使 y % 2 == 1 成立的 x
    solver.add(URem(y, 2) == 1)

    result = solver.check()
    if result == unsat:
        print("[+] 证明成功: 条件 (x*x % 2 == 1) 恒假")
        print("    这是一个不透明谓词，对应的分支是死代码")
    elif result == sat:
        print("[-] 找到反例:", solver.model())
    else:
        print("[?] 无法确定")

prove_opaque_predicate()
```

示例 2：求解复杂的不透明谓词

OLLVM 常用的另一种不透明谓词基于数学恒等式：

```
from z3 import *

def analyze_complex_predicate():
    """
  分析复杂的不透明谓词:
    (x * (x + 1)) % 2 == 0  恒真（连续两个整数的乘积必为偶数）
    """
    x = BitVec('x', 32)

    # 表达式: x * (x + 1)
    expr = x * (x + 1)

    solver = Solver()
    # 尝试找到使 expr % 2 != 0 的情况
    solver.add(URem(expr, 2) != 0)

    if solver.check() == unsat:
        print("[+] 证明: (x * (x + 1)) % 2 == 0 恒真")
        print("    这个 if 分支总是会执行")
    else:
        print("[-] 找到反例:", solver.model())

def analyze_bcf_condition():
    """
  分析 OLLVM BCF 生成的典型条件:
    ((x & 0xFFFFFFFE) * (x | 1)) % 2 == 0
    """
    x = BitVec('x', 32)

    # OLLVM BCF 典型模式
    a = x & 0xFFFFFFFE  # 清除最低位，保证是偶数
    b = x | 1           # 设置最低位，保证是奇数
    product = a * b     # 偶数 * 奇数 = 偶数

    solver = Solver()
    solver.add(URem(product, 2) != 0)

    if solver.check() == unsat:
        print("[+] BCF 条件恒真: 可以安全移除 else 分支")
    else:
        print("[-] 条件不恒定")

analyze_complex_predicate()
analyze_bcf_condition()
```

示例 3：批量分析多个谓词

```
from z3 import *

class OpaquePredicateAnalyzer:
    """批量分析 OLLVM 不透明谓词"""

    # 常见的 OLLVM 不透明谓词模式
    PATTERNS = {
        "square_mod_2": lambda x: URem(x * x, 2) == 1,           # 恒假
        "consecutive_product": lambda x: URem(x * (x + 1), 2) != 0,  # 恒假
        "cubic_identity": lambda x: URem(x * x * x - x, 6) != 0,     # 恒假 (n³-n 能被6整
除)
    }

    def __init__(self, bits=32):
        self.bits = bits

    def analyze_all(self):
        """分析所有已知的不透明谓词模式"""
        x = BitVec('x', self.bits)

        print("=" * 60)
        print("OLLVM 不透明谓词分析报告")
        print("=" * 60)

        for name, predicate in self.PATTERNS.items():
            solver = Solver()
            solver.add(predicate(x))

            result = solver.check()
            status = "恒假 (死代码)" if result == unsat else "可能为真"
            print(f"\n[{name}]")
            print(f"  结果: {status}")

            if result == sat:
                print(f"  反例: x = {solver.model()[x]}")

    def analyze_custom(self, condition_func, name="custom"):
        """分析自定义条件"""
        x = BitVec('x', self.bits)
        solver = Solver()
        solver.add(condition_func(x))

        result = solver.check()
        if result == unsat:
            return f"{name}: 恒假"
        elif result == sat:
            return f"{name}: 可满足, 反例 x={solver.model()[x]}"
        else:
            return f"{name}: 未知"

# 使用示例
```

```
analyzer = OpaquePredicateAnalyzer()
analyzer.analyze_all()
```

Angr：符号执行与控制流恢复

Angr 是一个强大的二进制分析框架，特别适合处理 OLLVM 的控制流平坦化。

安装

```
pip install angr
```

示例 1：基础符号执行 - 绕过简单混淆

```
import angr
import claripy

def simple_symbolic_execution(binary_path, target_addr, avoid_addrs=None):
    """
  使用符号执行找到到达目标地址的输入

    Args:
        binary_path: SO 文件路径
        target_addr: 目标地址（如解密函数返回点）
        avoid_addrs: 需要避开的地址列表（如错误处理分支）
    """
    # 加载二进制文件
    proj = angr.Project(binary_path, auto_load_libs=False)

    # 创建符号化的输入（假设输入是一个 32 字节的 buffer）
    sym_input = claripy.BVS('input', 32 * 8)

    # 创建初始状态
    state = proj.factory.entry_state(
        args=[binary_path],
        stdin=angr.SimFile('/dev/stdin', content=sym_input)
    )

    # 创建模拟管理器
    simgr = proj.factory.simulation_manager(state)

    # 探索到目标地址
    simgr.explore(find=target_addr, avoid=avoid_addrs or [])

    if simgr.found:
        found_state = simgr.found[0]
        # 获取满足条件的具体输入
        solution = found_state.solver.eval(sym_input, cast_to=bytes)
        print(f"[+] 找到有效输入: {solution.hex()}")
        return solution
    else:
        print("[-] 未找到有效路径")
        return None
```

示例 2：Hook 混淆函数，加速分析

```
import angr
import claripy

class OLLVMDeobfuscator:
    """OLLVM 反混淆器 - 使用 Angr 符号执行"""

    def __init__(self, binary_path, base_addr=0x0):
        self.proj = angr.Project(
            binary_path,
            main_opts={'base_addr': base_addr},
            auto_load_libs=False
        )
        self.cfg = None

    def build_cfg(self):
        """构建控制流图（用于分析混淆结构）"""
        print("[*] 正在构建 CFG...")
        self.cfg = self.proj.analyses.CFGFast()
        print(f"[+] CFG 构建完成: {len(self.cfg.graph.nodes())} 个节点")
        return self.cfg

    def find_dispatcher(self, func_addr):
        """
        识别控制流平坦化的分发器
        特征: 大量的 case 分支，状态变量比较
        """
        func = self.cfg.functions.get(func_addr)
        if not func:
            return None

        # 找到入度最高的基本块（通常是分发器）
        max_in_degree = 0
        dispatcher = None

        for block in func.blocks:
            in_degree = len(list(self.cfg.graph.predecessors(block)))
            if in_degree > max_in_degree:
                max_in_degree = in_degree
                dispatcher = block

        if dispatcher and max_in_degree > 5:
            print(f"[+] 疑似分发器: 0x{dispatcher.addr:x} (入度: {max_in_degree})")
            return dispatcher
        return None

    def trace_execution(self, start_addr, input_data, max_steps=10000):
        """
        符号执行追踪，记录真实执行的基本块
        """
        state = self.proj.factory.blank_state(addr=start_addr)

        # 设置符号化输入
```

```
        sym_input = claripy.BVS('input', len(input_data) * 8)
        state.memory.store(state.regs.rdi, sym_input)  # 假设第一个参数是输入

        # 记录执行的基本块
        executed_blocks = []

        def block_hook(state):
            executed_blocks.append(state.addr)

        # 设置 Hook
        self.proj.hook(start_addr, block_hook, length=0)

        simgr = self.proj.factory.simulation_manager(state)
        simgr.run(n=max_steps)

        return executed_blocks

    def symbolic_execution_with_constraints(self, func_addr, target_output):
        """
    通过约束求解，找到产生特定输出的输入
    适用于分析加密/签名算法
        """
        state = self.proj.factory.call_state(func_addr)

        # 创建符号化参数
        sym_arg1 = claripy.BVS('arg1', 64)
        sym_arg2 = claripy.BVS('arg2', 64)

        # 设置函数参数 (x86_64 调用约定)
        state.regs.rdi = sym_arg1
        state.regs.rsi = sym_arg2

        simgr = self.proj.factory.simulation_manager(state)

        # 探索所有路径
        simgr.run()

        # 在结束状态中查找满足输出约束的
        for deadended in simgr.deadended:
            # 假设返回值在 rax
            deadended.solver.add(deadended.regs.rax == target_output)

            if deadended.solver.satisfiable():
                arg1_val = deadended.solver.eval(sym_arg1)
                arg2_val = deadended.solver.eval(sym_arg2)
                print(f"[+] 找到输入: arg1=0x{arg1_val:x}, arg2=0x{arg2_val:x}")
                return (arg1_val, arg2_val)

        return None

# 使用示例
def example_usage():
    # 加载混淆的 SO 文件
```

```
deobf = OLLVMDeobfuscator("libencrypt.so", base_addr=0x10000)

# 构建 CFG
deobf.build_cfg()

# 查找分发器
dispatcher = deobf.find_dispatcher(0x12340)

# 符号执行找到产生特定签名的输入
result = deobf.symbolic_execution_with_constraints(
    func_addr=0x12340,
    target_output=0xDEADBEEF
)
```

示例 3：控制流平坦化恢复

```
import angr
from angr.analyses.decompiler.condition_processor import ConditionProcessor

class CFGRecovery:
    """恢复被 OLLVM 平坦化的控制流"""

    def __init__(self, proj, func_addr):
        self.proj = proj
        self.func_addr = func_addr
        self.state_var = None
        self.real_blocks = {}  # state_value -> block_addr
        self.transitions = {}  # (from_state, to_state)

    def identify_state_variable(self, dispatcher_addr):
        """
        识别控制流平坦化的状态变量
        状态变量特征:
        1. 在分发器开头被加载
        2. 用于 switch-case 比较
        3. 在每个真实块末尾被更新
        """
        block = self.proj.factory.block(dispatcher_addr)

        # 分析 VEX IR 找到状态变量
        for stmt in block.vex.statements:
            # 查找从内存加载的操作
            if hasattr(stmt, 'data') and hasattr(stmt.data, 'tag'):
                if stmt.data.tag == 'Iex_Load':
                    # 这可能是状态变量
                    print(f"[*] 疑似状态变量加载: {stmt}")

        return self.state_var

    def extract_real_blocks(self, cfg):
        """
        从平坦化的 CFG 中提取真实的基本块
        真实块特征:
        1. 不是分发器
        2. 会修改状态变量
        3. 跳转回分发器
        """
        func = cfg.functions.get(self.func_addr)
        real_blocks = []

        for block in func.blocks:
            # 检查是否跳回分发器（平坦化的特征）
            successors = list(cfg.graph.successors(block))

            # 分析块中的状态变量修改
            # 这里需要更详细的数据流分析

            real_blocks.append(block)
```

```
        return real_blocks

    def recover_transitions(self, blocks):
        """
    恢复真实块之间的转换关系
    通过符号执行确定每个块的后继
        """
        transitions = []

        for block in blocks:
            state = self.proj.factory.blank_state(addr=block.addr)

            # 符号执行这个块
            simgr = self.proj.factory.simulation_manager(state)
            simgr.step()

            # 分析状态变量的新值来确定后继
            for succ_state in simgr.active:
                # 读取状态变量的值
                # new_state = succ_state.memory.load(state_var_addr, 4)
                pass

        return transitions

    def rebuild_cfg(self):
        """
    重建原始的控制流图
        """
        # 1. 识别状态变量
        # 2. 提取真实块
        # 3. 恢复转换关系
        # 4. 构建新的 CFG
        pass

def deflat_function(binary_path, func_addr):
    """
  反平坦化函数的完整流程
    """
    proj = angr.Project(binary_path, auto_load_libs=False)

    print(f"[*] 分析函数 @ 0x{func_addr:x}")

    # 构建 CFG
    cfg = proj.analyses.CFGFast()

    # 创建恢复器
    recovery = CFGRecovery(proj, func_addr)

    # 提取真实块
    real_blocks = recovery.extract_real_blocks(cfg)
    print(f"[+] 识别到 {len(real_blocks)} 个真实基本块")
```

```
    # 恢复转换
    transitions = recovery.recover_transitions(real_blocks)

    # 重建 CFG
    recovery.rebuild_cfg()

    return recovery
```

实战案例：分析混淆的签名函数

以下是一个完整的实战示例，展示如何结合 Z3 和 Angr 分析一个被 OLLVM 混淆的签名函数：

```
import angr
import claripy
from z3 import *

class SignatureAnalyzer:
    """分析 OLLVM 混淆的签名算法"""

    def __init__(self, so_path, sign_func_offset):
        self.proj = angr.Project(so_path, auto_load_libs=False)
        self.sign_func = self.proj.loader.main_object.mapped_base + sign_func_offset

    def analyze_with_known_io(self, known_inputs, known_outputs):
        """
        使用已知的输入输出对来推断算法

        Args:
            known_inputs: 已知输入列表
            known_outputs: 对应的输出列表
        """
        # 使用 Z3 建立约束
        solver = Solver()

        # 假设签名算法是 output = (input * key1 + key2) ^ key3
        key1 = BitVec('key1', 32)
        key2 = BitVec('key2', 32)
        key3 = BitVec('key3', 32)

        for inp, out in zip(known_inputs, known_outputs):
            inp_bv = BitVecVal(inp, 32)
            out_bv = BitVecVal(out, 32)
            solver.add((inp_bv * key1 + key2) ^ key3 == out_bv)

        if solver.check() == sat:
            model = solver.model()
            print(f"[+] 推断出密钥:")
            print(f"    key1 = 0x{model[key1].as_long():08x}")
            print(f"    key2 = 0x{model[key2].as_long():08x}")
            print(f"    key3 = 0x{model[key3].as_long():08x}")
            return model
        else:
            print("[-] 无法推断算法")
            return None

    def symbolic_trace(self, input_value):
        """
        符号执行追踪签名函数
        """
        state = self.proj.factory.call_state(
            self.sign_func,
            input_value,  # 第一个参数
            0,            # 第二个参数（如长度）
        )
```

```
        # 记录所有的算术操作
        operations = []

        def track_operations(state):
            # 记录当前执行的指令
            block = state.block()
            for insn in block.capstone.insns:
                if insn.mnemonic in ['xor', 'add', 'sub', 'mul', 'shl', 'shr', 'and',
'or']:
                    operations.append({
                        'addr': insn.address,
                        'op': insn.mnemonic,
                        'operands': insn.op_str
                    })

        simgr = self.proj.factory.simulation_manager(state)

        # 逐步执行并记录
        while simgr.active:
            for s in simgr.active:
                track_operations(s)
            simgr.step()

        return operations

    def generate_equivalent_code(self, operations):
        """
    根据追踪结果生成等价的 Python 代码
        """
        code_lines = ["def sign(input_val):"]
        code_lines.append("    result = input_val")

        for op in operations:
            if op['op'] == 'xor':
                code_lines.append(f"    result ^= ...  # @ 0x{op['addr']:x}")
            elif op['op'] == 'add':
                code_lines.append(f"    result += ...  # @ 0x{op['addr']:x}")
            # ... 其他操作

        code_lines.append("    return result")
        return '\n'.join(code_lines)


# 实战使用示例
def real_world_example():
    """
  实战: 分析某 App 的签名算法
    """
    # 1. 首先用 Frida 收集几组输入输出
    known_data = [
        (0x12345678, 0xAABBCCDD),
        (0x87654321, 0x11223344),
```

```
        (0x00000001, 0xDEADBEEF),
    ]

    # 2. 使用 Z3 推断可能的算法结构
    analyzer = SignatureAnalyzer("libsign.so", 0x1234)

    inputs = [d[0] for d in known_data]
    outputs = [d[1] for d in known_data]

    # 尝试推断密钥
    keys = analyzer.analyze_with_known_io(inputs, outputs)

    # 3. 如果简单推断失败，使用符号执行
    if not keys:
        print("[*] 切换到符号执行模式...")
        operations = analyzer.symbolic_trace(0x12345678)

        print("[+] 检测到的核心操作:")
        for op in operations:
            print(f"    0x{op['addr']:x}: {op['op']} {op['operands']}")

        # 生成等价代码
        code = analyzer.generate_equivalent_code(operations)
        print("\n[+] 等价 Python 代码:")
        print(code)

if __name__ == "__main__":
    real_world_example()
```

工具对比与选择建议

工具	适用场景	优势	劣势
Z3	不透明谓词求解、简单约束	速度快、精确	不能直接分析二进制
Angr	完整的符号执行、路径探索	功能全面、支持多架构	路径爆炸问题、较慢
Triton	动态符号执行、污点分析	精确追踪、与调试器集成好	需要运行环境
Miasm	IR 分析、CFG 重建	轻量级、易于定制	文档较少

实战建议：

1. 快速分析：先用 Frida Stalker 获取执行 trace，确定真实执行路径
2. 深度分析：使用 Angr 进行符号执行，恢复完整算法
3. 精确求解：使用 Z3 求解具体的约束条件和密钥
4. 组合使用：Frida 获取运行时数据 → Z3 推断算法结构 → Angr 验证和补全

R21: VMP 虚拟机分析

R21: VMP 分析

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 Native 库的内存布局
> - ARM 汇编基础 - 分析虚拟机 Handler 的能力
> - Frida 使用指南 - 动态追踪必备工具

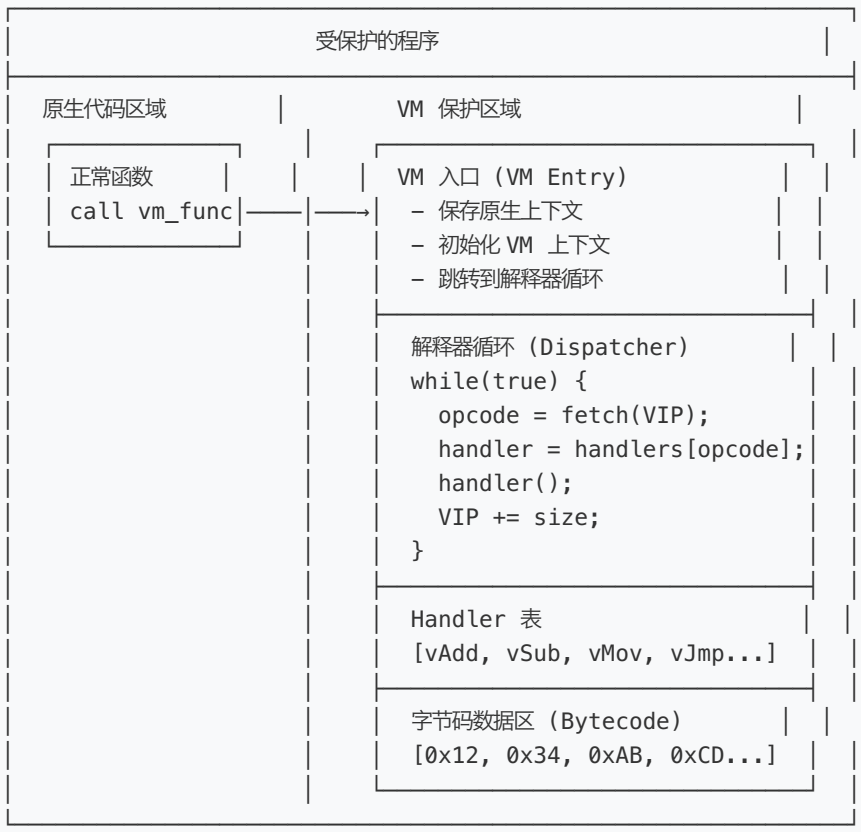
VMP (VMProtect 的简称) 是一种非常强大的软件保护解决方案，它使用虚拟化（一个"虚拟机"）来保护代码。受保护的代码不再执行原生 CPU 指令，而是被转换成一种自定义的字节码，只有特定的、嵌入的虚拟机才能解释执行。

分析受 VMP 保护的代码是逆向工程中最具挑战性的任务之一。

1. 核心概念

1.1 虚拟机架构

VMP 的核心是一个嵌入式虚拟机，其基本架构如下：



1.2 关键组件详解

解释器循环 (Dispatcher)：读取字节码并分发到相应的 handler：

```
// 典型的解释器循环伪代码
void vm_dispatcher(VMContext* ctx) {
    while (1) {
        uint8_t opcode = ctx->bytecode[ctx->vip];

        // 解码操作数
        uint32_t operands = decode_operands(ctx);

        // 查找并执行 handler
        HandlerFunc handler = ctx->handler_table[opcode];
        handler(ctx, operands);

        // 更新虚拟指令指针
        ctx->vip += instruction_size(opcode);

        // 检查是否退出 VM
        if (ctx->should_exit) break;
    }
}
```

VM 上下文结构：存储虚拟机的完整状态：

```
// 典型的 VM 上下文结构
typedef struct VMContext {
    // 虚拟寄存器（数量和用途因实现而异）
    uint64_t vregs[16];      // 通用虚拟寄存器
    uint64_t vip;            // 虚拟指令指针
    uint64_t vsp;            // 虚拟栈指针
    uint64_t vflags;         // 虚拟标志寄存器

    // 原生上下文备份
    uint64_t saved_regs[32]; // 保存的原生寄存器
    uint64_t saved_sp;       // 保存的原生栈指针

    // VM 运行时数据
    uint8_t* bytecode;       // 字节码基地址
    void** handler_table;    // Handler 函数表
    uint8_t* vm_stack;       // VM 私有栈

    // 控制标志
    int should_exit;         // 退出标志
    uint64_t return_value;   // 返回值
} VMContext;
```

Handler 示例：

```
// 虚拟加法 handler
void handler_vAdd(VMContext* ctx, uint32_t operands) {
    uint8_t dst = (operands >> 8) & 0xF;   // 目标寄存器
    uint8_t src1 = (operands >> 4) & 0xF;  // 源寄存器1
    uint8_t src2 = operands & 0xF;         // 源寄存器2

    ctx->vregs[dst] = ctx->vregs[src1] + ctx->vregs[src2];

    // 更新标志位
    update_flags(ctx, ctx->vregs[dst]);
}

// 虚拟跳转 handler
void handler_vJmp(VMContext* ctx, uint32_t operands) {
    int32_t offset = (int32_t)operands;
    ctx->vip += offset;
}

// 虚拟调用原生函数 handler
void handler_vCallNative(VMContext* ctx, uint32_t operands) {
    void* func_addr = (void*)ctx->vregs[operands & 0xF];
    uint64_t arg1 = ctx->vregs[(operands >> 4) & 0xF];
    uint64_t arg2 = ctx->vregs[(operands >> 8) & 0xF];

    // 调用原生函数
    typedef uint64_t (*NativeFunc)(uint64_t, uint64_t);
    ctx->vregs[0] = ((NativeFunc)func_addr)(arg1, arg2);
}
```

1.3 突变技术

VMP 使用多种突变技术来增加分析难度：

突变类型	效果
指令编码突变	同一虚拟指令，不同保护实例使用不同 opcode
Handler 突变	同一语义的 handler，代码结构完全不同
操作数加密	操作数经过加密，运行时解密
控制流混淆	在 handler 间插入大量垃圾代码和假分支
Handler 内联	将部分 handler 代码内联到 dispatcher
多层 VM	一个 VM 内部再嵌套另一个 VM

2. VMP 识别方法

2.1 静态识别特征

在 IDA Pro 或 Ghidra 中可以观察到的典型特征：

```
特征类型              典型表现
──────────────────────────────────────────────────────────
大量 PUSH 指令序列    VM 入口保存所有原生寄存器
间接跳转密集          jmp [reg + offset] 形式的 handler 分发
巨型函数              单个函数包含数千条指令（VM dispatcher）
无法识别的字符串      字节码数据被误识别为字符串
混乱的控制流图        CFG 呈现"蜘蛛网"状
```

VM 入口典型模式 (x86-64)：

```
; VM 入口示例
push    rbp
push    rax
push    rbx
push    rcx
push    rdx
push    rsi
push    rdi
push    r8
push    r9
push    r10
push    r11
push    r12
push    r13
push    r14
push    r15
pushfq                          ; 保存标志寄存器
lea     rsp, [rsp-0x80]         ; 分配 VM 栈空间
mov     rbp, rsp                ; 设置 VM 上下文基址
lea     rsi, [rip+bytecode]     ; 加载字节码地址
xor     eax, eax                ; 初始化 VIP
jmp     vm_dispatcher           ; 进入解释器循环
```

VM 入口典型模式 (ARM64)：

```
; ARM64 VM 入口示例
stp     x29, x30, [sp, #-0x10]!
stp     x27, x28, [sp, #-0x10]!
stp     x25, x26, [sp, #-0x10]!
stp     x23, x24, [sp, #-0x10]!
stp     x21, x22, [sp, #-0x10]!
stp     x19, x20, [sp, #-0x10]!
stp     x17, x18, [sp, #-0x10]!
; ... 保存所有寄存器
sub     sp, sp, #0x100       ; 分配 VM 上下文空间
mov     x19, sp              ; VM 上下文指针
adr     x20, bytecode        ; 字节码基址
mov     x21, #0              ; VIP 初始化为 0
b       vm_dispatcher        ; 跳转到解释器
```

2.2 Frida 自动识别脚本

```
// vmp_detector.js - VMP 特征自动检测脚本

const VMPDetector = {
    // 检测结果
    results: {
        vmEntries: [],
        dispatchers: [],
        handlerTables: [],
        bytecodeRegions: []
    },

    // 扫描指定模块
    scanModule: function(moduleName) {
        const module = Process.getModuleByName(moduleName);
        console.log(`[*] Scanning ${moduleName} for VMP signatures...`);
        console.log(`    Base: ${module.base}, Size: ${module.size}`);

        this.findVMEntries(module);
        this.findDispatchers(module);
        this.analyzeControlFlow(module);

        return this.results;
    },

    // 查找 VM 入口
    findVMEntries: function(module) {
        // 特征: 连续多个 PUSH 指令
        const pushPattern = Process.arch === 'arm64'
            ? 'FD 7B BF A9'  // stp x29, x30, [sp, #-0x10]!
            : '55 50 53';     // push rbp; push rax; push rbx

        Memory.scan(module.base, module.size, pushPattern, {
            onMatch: (address, size) => {
                // 验证是否为 VM 入口
                if (this.validateVMEntry(address)) {
                    this.results.vmEntries.push({
                        address: address,
                        offset: address.sub(module.base)
                    });
                    console.log(`[+] Found VM Entry at ${address}`);
                }
            },
            onComplete: () => {
                console.log(`[*] VM Entry scan complete. Found: $
{this.results.vmEntries.length}`);
            }
        });
    },

    // 验证 VM 入口
    validateVMEntry: function(address) {
        try {
```

```
            // 读取后续指令，检查是否有更多 PUSH
            let pushCount = 0;
            let ptr = address;

            for (let i = 0; i < 20; i++) {
                const inst = Instruction.parse(ptr);
                if (!inst) break;

                const mnemonic = inst.mnemonic.toLowerCase();
                if (mnemonic.includes('push') || mnemonic.includes('stp')) {
                    pushCount++;
                } else if (pushCount > 5) {
                    // 找到足够多的 PUSH，可能是 VM 入口
                    return true;
                }

                ptr = ptr.add(inst.size);
            }

            return pushCount >= 8;  // 至少 8 个 PUSH 指令
        } catch (e) {
            return false;
        }
    },

    // 查找 Dispatcher
    findDispatchers: function(module) {
        // 特征：间接跳转 + 循环结构
        const indirectJumpPattern = Process.arch === 'arm64'
            ? 'BR X'   // br xN
            : 'FF 24'; // jmp [reg*scale+base]

        // 分析函数，查找包含间接跳转循环的函数
        const exports = module.enumerateExports();

        exports.forEach(exp => {
            if (exp.type === 'function') {
                this.analyzeFunction(exp.address, exp.name);
            }
        });
    },

    // 分析函数，判断是否为 dispatcher
    analyzeFunction: function(address, name) {
        try {
            let indirectJumps = 0;
            let backwardJumps = 0;
            let ptr = address;

            for (let i = 0; i < 500; i++) {
                const inst = Instruction.parse(ptr);
                if (!inst) break;
```

```
                const mnemonic = inst.mnemonic.toLowerCase();

                // 检查间接跳转
                if ((mnemonic === 'br' || mnemonic === 'blr' ||
                     mnemonic === 'jmp' || mnemonic === 'call') &&
                    inst.operands.some(op => op.type === 'reg')) {
                    indirectJumps++;
                }

                // 检查后向跳转（循环特征）
                if (mnemonic.startsWith('b') || mnemonic.startsWith('j')) {
                    const target = inst.operands[0];
                    if (target && target.type === 'imm') {
                        const targetAddr = ptr.add(target.value);
                        if (targetAddr.compare(ptr) < 0) {
                            backwardJumps++;
                        }
                    }
                }

                ptr = ptr.add(inst.size);
            }

            // 高间接跳转 + 后向跳转 = 可能是 dispatcher
            if (indirectJumps > 3 && backwardJumps > 0) {
                this.results.dispatchers.push({
                    address: address,
                    name: name,
                    indirectJumps: indirectJumps,
                    backwardJumps: backwardJumps
                });
                console.log(`[+] Potential Dispatcher: ${name} at ${address}`);
            }
        } catch (e) {
            // 忽略解析错误
        }
    },

    // 控制流分析
    analyzeControlFlow: function(module) {
        console.log('[*] Analyzing control flow complexity...');
        // 可扩展：计算函数的 cyclomatic complexity
    }
};

// 使用示例
function main() {
    const targetLib = 'libnative.so';

    try {
        const results = VMPDetector.scanModule(targetLib);

        console.log('\n========== VMP Detection Results ==========');
```

```
        console.log(`VM Entries: ${results.vmEntries.length}`);
        console.log(`Dispatchers: ${results.dispatchers.length}`);

        results.vmEntries.forEach((entry, i) => {
            console.log(`  [${i}] VM Entry at offset: ${entry.offset}`);
        });

        results.dispatchers.forEach((disp, i) => {
            console.log(`  [${i}] Dispatcher: ${disp.name} (indirect: $
{disp.indirectJumps})`);
        });
    } catch (e) {
        console.error(`[-] Error: ${e.message}`);
    }
}

// 延迟执行，等待目标库加载
setTimeout(main, 1000);
```

3. 动态追踪技术

3.1 VM 执行追踪框架

以下是一个完整的 VM 执行追踪框架：

```
// vm_tracer.js - VMP 执行追踪框架

class VMTracer {
    constructor(config) {
        this.config = Object.assign({
            moduleName: 'libnative.so',
            dispatcherAddress: null,
            maxTraceCount: 10000,
            dumpContext: true,
            logFile: '/data/local/tmp/vm_trace.log'
        }, config);

        this.traceCount = 0;
        this.handlers = new Map();
        this.executionTrace = [];
        this.vmContext = null;
    }

    // 初始化追踪
    init() {
        console.log('[*] Initializing VM Tracer...');

        // 定位 VM 组件
        this.module = Process.getModuleByName(this.config.moduleName);

        if (this.config.dispatcherAddress) {
            this.dispatcher = this.module.base.add(this.config.dispatcherAddress);
        } else {
            this.dispatcher = this.findDispatcher();
        }

        console.log(`[+] Dispatcher: ${this.dispatcher}`);

        // 设置追踪钩子
        this.setupTracing();
    }

    // 自动查找 Dispatcher
    findDispatcher() {
        // 使用之前的检测逻辑或手动指定
        throw new Error('Please specify dispatcher address in config');
    }

    // 设置追踪钩子
    setupTracing() {
        const self = this;

        // Hook Dispatcher 入口
        Interceptor.attach(this.dispatcher, {
            onEnter: function(args) {
                self.onDispatcherEnter(this.context);
            }
```

```
        });

        // 使用 Stalker 进行细粒度追踪
        this.setupStalker();
    }

    // Stalker 追踪设置
    setupStalker() {
        const self = this;

        Stalker.follow(Process.getCurrentThreadId(), {
            events: {
                call: true,
                ret: false,
                exec: true,
                block: false,
                compile: false
            },

            transform: function(iterator) {
                let instruction = iterator.next();

                do {
                    // 检查是否在 VM 模块范围内
                    const addr = instruction.address;
                    if (addr.compare(self.module.base) >= 0 &&
                        addr.compare(self.module.base.add(self.module.size)) < 0) {

                        // 检测 Handler 调用
                        if (self.isHandlerCall(instruction)) {
                            iterator.putCallout(function(context) {
                                self.onHandlerCall(context, addr);
                            });
                        }
                    }

                    iterator.keep();
                } while ((instruction = iterator.next()) !== null);
            },

            onReceive: function(events) {
                // 处理事件
            }
        });
    }

    // 判断是否为 Handler 调用
    isHandlerCall(instruction) {
        const mnemonic = instruction.mnemonic.toLowerCase();

        // 间接调用/跳转通常是 handler dispatch
        if (mnemonic === 'br' || mnemonic === 'blr' ||
            mnemonic === 'jmp' || mnemonic === 'call') {
```

```
            return true;
        }

        return false;
    }

    // Dispatcher 入口回调
    onDispatcherEnter(context) {
        console.log('[+] Entering VM Dispatcher');

        // 尝试解析 VM 上下文
        this.parseVMContext(context);
    }

    // Handler 调用回调
    onHandlerCall(context, address) {
        if (this.traceCount >= this.config.maxTraceCount) {
            Stalker.unfollow();
            this.dumpResults();
            return;
        }

        this.traceCount++;

        // 记录执行
        const entry = {
            index: this.traceCount,
            address: address.toString(),
            handler: this.identifyHandler(address, context),
            timestamp: Date.now()
        };

        // 可选: 转储 VM 上下文
        if (this.config.dumpContext) {
            entry.context = this.dumpVMContext(context);
        }

        this.executionTrace.push(entry);

        // 实时输出
        if (this.traceCount % 100 === 0) {
            console.log(`[*] Traced ${this.traceCount} instructions...`);
        }
    }

    // 解析 VM 上下文
    parseVMContext(context) {
        // 这需要根据具体 VMP 实现来定制
        // 以下是一个通用示例

        try {
            // ARM64: X19 通常用作 VM 上下文指针
            // x86-64: RBP 或自定义寄存器
```

```
            const ctxPtr = Process.arch === 'arm64'
                ? context.x19
                : context.rbp;

            this.vmContext = {
                base: ctxPtr,
                vregs: [],
                vip: null,
                vsp: null
            };

            // 读取虚拟寄存器 (假设 16 个 64 位寄存器)
            for (let i = 0; i < 16; i++) {
                this.vmContext.vregs.push(
                    ctxPtr.add(i * 8).readU64()
                );
            }

            // 读取 VIP 和 VSP (位置需要根据实际实现调整)
            this.vmContext.vip = ctxPtr.add(0x80).readU64();
            this.vmContext.vsp = ctxPtr.add(0x88).readU64();

        } catch (e) {
            console.log(`[-] Failed to parse VM context: ${e.message}`);
        }
    }

    // 转储 VM 上下文
    dumpVMContext(context) {
        if (!this.vmContext) return null;

        try {
            const ctxPtr = this.vmContext.base;
            const vregs = [];

            for (let i = 0; i < 16; i++) {
                vregs.push(ctxPtr.add(i * 8).readU64().toString(16));
            }

            return {
                vregs: vregs,
                vip: ctxPtr.add(0x80).readU64().toString(16),
                vsp: ctxPtr.add(0x88).readU64().toString(16)
            };
        } catch (e) {
            return null;
        }
    }

    // 识别 Handler 类型
    identifyHandler(address, context) {
        // 检查是否已识别
```

```
        const key = address.toString();
        if (this.handlers.has(key)) {
            return this.handlers.get(key);
        }

        // 尝试通过代码模式识别
        const handlerType = this.analyzeHandlerCode(address);
        this.handlers.set(key, handlerType);

        return handlerType;
    }

    // 分析 Handler 代码
    analyzeHandlerCode(address) {
        try {
            let hasAdd = false, hasSub = false, hasMul = false;
            let hasLoad = false, hasStore = false;
            let hasCompare = false, hasBranch = false;

            let ptr = address;
            for (let i = 0; i < 30; i++) {
                const inst = Instruction.parse(ptr);
                if (!inst) break;

                const mnemonic = inst.mnemonic.toLowerCase();

                if (mnemonic.includes('add')) hasAdd = true;
                if (mnemonic.includes('sub')) hasSub = true;
                if (mnemonic.includes('mul')) hasMul = true;
                if (mnemonic.includes('ldr') || mnemonic.includes('mov')) hasLoad =
true;
                if (mnemonic.includes('str')) hasStore = true;
                if (mnemonic.includes('cmp')) hasCompare = true;
                if (mnemonic.startsWith('b.') || mnemonic.startsWith('j')) hasBranch =
true;

                ptr = ptr.add(inst.size);
            }

            // 根据特征推断 handler 类型
            if (hasAdd && !hasSub && !hasMul) return 'vAdd';
            if (hasSub && !hasAdd && !hasMul) return 'vSub';
            if (hasMul) return 'vMul';
            if (hasLoad && hasStore) return 'vMov';
            if (hasCompare && hasBranch) return 'vCmp/vJcc';
            if (hasBranch && !hasCompare) return 'vJmp';
            if (hasLoad && !hasStore) return 'vLoad';
            if (hasStore && !hasLoad) return 'vStore';

            return 'Unknown';
        } catch (e) {
            return 'Error';
        }
```

```
    }

    // 导出追踪结果
    dumpResults() {
        console.log('\n========== VM Trace Results ==========');
        console.log(`Total instructions traced: ${this.traceCount}`);
        console.log(`Unique handlers found: ${this.handlers.size}`);

        // 统计 Handler 使用频率
        const handlerStats = {};
        this.executionTrace.forEach(entry => {
            const h = entry.handler;
            handlerStats[h] = (handlerStats[h] || 0) + 1;
        });

        console.log('\nHandler Statistics:');
        Object.entries(handlerStats)
            .sort((a, b) => b[1] - a[1])
            .forEach(([handler, count]) => {
                console.log(`  ${handler}: ${count} (${(count/
this.traceCount*100).toFixed(1)}%)`);
            });

        // 保存到文件
        const output = {
            config: this.config,
            stats: {
                totalInstructions: this.traceCount,
                uniqueHandlers: this.handlers.size,
                handlerStats: handlerStats
            },
            trace: this.executionTrace.slice(0, 1000)  // 只保存前 1000 条
        };

        const file = new File(this.config.logFile, 'w');
        file.write(JSON.stringify(output, null, 2));
        file.close();

        console.log(`\n[+] Trace saved to ${this.config.logFile}`);
    }
}

// 使用示例
function main() {
    const tracer = new VMTracer({
        moduleName: 'libnative.so',
        dispatcherAddress: 0x12340,  // 需要手动指定
        maxTraceCount: 5000,
        dumpContext: true
    });

    tracer.init();
    console.log('[*] VM Tracer started. Waiting for VM execution...');
```

```
}

setTimeout(main, 1000);
```

3.2 简化追踪脚本

如果只需要快速追踪，可以使用简化版本：

```
// simple_vm_trace.js - 简化版 VM 追踪

// 配置
const CONFIG = {
    module: 'libnative.so',
    vmEntry: 0x1000,      // VM 入口偏移
    dispatcherStart: 0x1500,  // Dispatcher 起始偏移
    dispatcherEnd: 0x2000     // Dispatcher 结束偏移
};

function traceVM() {
    const mod = Process.getModuleByName(CONFIG.module);
    const vmEntry = mod.base.add(CONFIG.vmEntry);
    const dispStart = mod.base.add(CONFIG.dispatcherStart);
    const dispEnd = mod.base.add(CONFIG.dispatcherEnd);

    let traceLog = [];
    let isInVM = false;

    // Hook VM 入口
    Interceptor.attach(vmEntry, {
        onEnter: function(args) {
            isInVM = true;
            console.log('[+] Entering VM');

            // 开始 Stalker 追踪
            Stalker.follow(this.threadId, {
                events: { exec: true },

                onReceive: function(events) {
                    const parsed = Stalker.parse(events);
                    parsed.forEach(event => {
                        if (event[0] === 'exec') {
                            const addr = ptr(event[1]);

                            // 只记录 dispatcher 范围内的执行
                            if (addr.compare(dispStart) >= 0 &&
                                addr.compare(dispEnd) < 0) {
                                traceLog.push({
                                    addr: addr.sub(mod.base).toString(16),
                                    time: Date.now()
                                });
                            }
                        }
                    });
                }
            });
        },

        onLeave: function(retval) {
            isInVM = false;
            Stalker.unfollow();
```

```
            console.log(`[+] Exiting VM. Traced ${traceLog.length} instructions`);

            // 输出追踪结果
            if (traceLog.length > 0) {
                console.log('\nExecution trace (first 50):');
                traceLog.slice(0, 50).forEach((entry, i) => {
                    console.log(`  [${i}] 0x${entry.addr}`);
                });
            }
        }
    });
}

traceVM();
```

4. Handler 分析实战

4.1 Handler 识别与分类

```
// handler_analyzer.js - Handler 深度分析

class HandlerAnalyzer {
    constructor(moduleBase) {
        this.moduleBase = moduleBase;
        this.knownPatterns = this.initPatterns();
    }

    // 初始化已知 Handler 模式
    initPatterns() {
        return {
            // ARM64 模式
            arm64: {
                vAdd: {
                    pattern: 'add x*, x*, x*',
                    description: '虚拟加法'
                },
                vSub: {
                    pattern: 'sub x*, x*, x*',
                    description: '虚拟减法'
                },
                vXor: {
                    pattern: 'eor x*, x*, x*',
                    description: '虚拟异或'
                },
                vAnd: {
                    pattern: 'and x*, x*, x*',
                    description: '虚拟与'
                },
                vOr: {
                    pattern: 'orr x*, x*, x*',
                    description: '虚拟或'
                },
                vShl: {
                    pattern: 'lsl x*, x*, x*',
                    description: '虚拟左移'
                },
                vShr: {
                    pattern: 'lsr x*, x*, x*',
                    description: '虚拟右移'
                },
                vLoad: {
                    pattern: 'ldr x*, [x*]',
                    description: '虚拟内存读取'
                },
                vStore: {
                    pattern: 'str x*, [x*]',
                    description: '虚拟内存写入'
                },
                vPush: {
                    pattern: 'str x*, [x*, #-8]!',
                    description: '虚拟压栈'
```

```
                },
                vPop: {
                    pattern: 'ldr x*, [x*], #8',
                    description: '虚拟出栈'
                }
            },

            // x86-64 模式
            x64: {
                vAdd: {
                    pattern: 'add r*, r*',
                    description: '虚拟加法'
                },
                vSub: {
                    pattern: 'sub r*, r*',
                    description: '虚拟减法'
                },
                vXor: {
                    pattern: 'xor r*, r*',
                    description: '虚拟异或'
                },
                vMov: {
                    pattern: 'mov r*, r*',
                    description: '虚拟移动'
                },
                vLoad: {
                    pattern: 'mov r*, [r*]',
                    description: '虚拟内存读取'
                },
                vStore: {
                    pattern: 'mov [r*], r*',
                    description: '虚拟内存写入'
                }
            }
        };
    }

    // 分析单个 Handler
    analyzeHandler(address) {
        const result = {
            address: address,
            offset: address.sub(this.moduleBase).toString(16),
            type: 'Unknown',
            confidence: 0,
            disassembly: [],
            operations: [],
            dataFlow: {
                reads: [],
                writes: []
            }
        };

        try {
```

```
            // 反汇编Handler
            let ptr = address;
            for (let i = 0; i < 50; i++) {
                const inst = Instruction.parse(ptr);
                if (!inst) break;

                result.disassembly.push({
                    address: ptr.sub(this.moduleBase).toString(16),
                    mnemonic: inst.mnemonic,
                    opStr: inst.opStr,
                    bytes: inst.size
                });

                // 分析操作
                this.analyzeInstruction(inst, result);

                // 检测Handler 结束
                if (this.isHandlerEnd(inst)) {
                    break;
                }

                ptr = ptr.add(inst.size);
            }

            // 推断Handler 类型
            this.inferHandlerType(result);

        } catch (e) {
            result.error = e.message;
        }

        return result;
    }

    // 分析单条指令
    analyzeInstruction(inst, result) {
        const mnemonic = inst.mnemonic.toLowerCase();

        // 记录操作类型
        if (mnemonic.includes('add')) {
            result.operations.push('ADD');
        } else if (mnemonic.includes('sub')) {
            result.operations.push('SUB');
        } else if (mnemonic.includes('mul')) {
            result.operations.push('MUL');
        } else if (mnemonic.includes('div')) {
            result.operations.push('DIV');
        } else if (mnemonic.includes('xor') || mnemonic.includes('eor')) {
            result.operations.push('XOR');
        } else if (mnemonic.includes('and')) {
            result.operations.push('AND');
        } else if (mnemonic.includes('or')) {
            result.operations.push('OR');
```

```
        } else if (mnemonic.includes('ldr') || mnemonic === 'mov') {
            result.operations.push('LOAD');
        } else if (mnemonic.includes('str')) {
            result.operations.push('STORE');
        } else if (mnemonic.includes('cmp')) {
            result.operations.push('CMP');
        } else if (mnemonic.startsWith('b') || mnemonic.startsWith('j')) {
            result.operations.push('BRANCH');
        }

        // 分析数据流
        // 简化版: 基于操作数分析读写
        if (inst.operands) {
            inst.operands.forEach((op, i) => {
                if (op.type === 'reg') {
                    if (i === 0 && !mnemonic.includes('str') && !
mnemonic.includes('cmp')) {
                        result.dataFlow.writes.push(op.value);
                    } else {
                        result.dataFlow.reads.push(op.value);
                    }
                }
            });
        }
    }

    // 检测 Handler 结束
    isHandlerEnd(inst) {
        const mnemonic = inst.mnemonic.toLowerCase();

        // 间接跳转通常标志着返回 dispatcher
        if (mnemonic === 'br' || mnemonic === 'blr' || mnemonic === 'ret') {
            return true;
        }

        // x86: jmp reg
        if (mnemonic === 'jmp' && inst.opStr && !inst.opStr.includes('0x')) {
            return true;
        }

        return false;
    }

    // 推断 Handler 类型
    inferHandlerType(result) {
        const ops = result.operations;

        // 统计操作
        const opCounts = {};
        ops.forEach(op => {
            opCounts[op] = (opCounts[op] || 0) + 1;
        });
```

```
        // 基于操作组合推断类型
        if (opCounts['ADD'] && !opCounts['SUB'] && !opCounts['MUL']) {
            result.type = 'vAdd';
            result.confidence = 0.8;
        } else if (opCounts['SUB'] && !opCounts['ADD'] && !opCounts['MUL']) {
            result.type = 'vSub';
            result.confidence = 0.8;
        } else if (opCounts['MUL']) {
            result.type = 'vMul';
            result.confidence = 0.8;
        } else if (opCounts['XOR'] && !opCounts['ADD'] && !opCounts['SUB']) {
            result.type = 'vXor';
            result.confidence = 0.8;
        } else if (opCounts['AND'] && !opCounts['OR']) {
            result.type = 'vAnd';
            result.confidence = 0.7;
        } else if (opCounts['OR'] && !opCounts['AND']) {
            result.type = 'vOr';
            result.confidence = 0.7;
        } else if (opCounts['CMP'] && opCounts['BRANCH']) {
            result.type = 'vCmp/vJcc';
            result.confidence = 0.9;
        } else if (opCounts['BRANCH'] && !opCounts['CMP']) {
            result.type = 'vJmp';
            result.confidence = 0.7;
        } else if (opCounts['LOAD'] > opCounts['STORE']) {
            result.type = 'vLoad';
            result.confidence = 0.6;
        } else if (opCounts['STORE'] > opCounts['LOAD']) {
            result.type = 'vStore';
            result.confidence = 0.6;
        }

        return result;
    }

    // 批量分析 Handler 表
    analyzeHandlerTable(tableAddress, count) {
        const handlers = [];
        const ptrSize = Process.pointerSize;

        console.log(`[*] Analyzing ${count} handlers from table at ${tableAddress}`);

        for (let i = 0; i < count; i++) {
            const handlerPtr = tableAddress.add(i * ptrSize).readPointer();

            if (!handlerPtr.isNull()) {
                const analysis = this.analyzeHandler(handlerPtr);
                analysis.index = i;
                handlers.push(analysis);

                console.log(`  [${i.toString().padStart(2, '0')}] $
{analysis.type.padEnd(12)} @ 0x${analysis.offset}`);
```

```
            }
        }

        return handlers;
    }
}

// 使用示例
function analyzeHandlers() {
    const module = Process.getModuleByName('libnative.so');
    const analyzer = new HandlerAnalyzer(module.base);

    // 假设已知 handler 表地址
    const handlerTableOffset = 0x5000;
    const handlerCount = 64;

    const results = analyzer.analyzeHandlerTable(
        module.base.add(handlerTableOffset),
        handlerCount
    );

    // 输出统计
    const typeStats = {};
    results.forEach(h => {
        typeStats[h.type] = (typeStats[h.type] || 0) + 1;
    });

    console.log('\n========== Handler Type Statistics ==========');
    Object.entries(typeStats)
        .sort((a, b) => b[1] - a[1])
        .forEach(([type, count]) => {
            console.log(`  ${type}: ${count}`);
        });
}

setTimeout(analyzeHandlers, 1000);
```

4.2 Handler 语义恢复示例

```
// handler_semantics.js - Handler 语义恢复

// 已识别的 Handler 语义映射
const HandlerSemantics = {
    // 基于地址的 Handler 映射（需要实际分析后填充）
    handlers: new Map(),

    // 注册 Handler 语义
    register(address, semantics) {
        this.handlers.set(address.toString(), semantics);
    },

    // 获取 Handler 语义
    get(address) {
        return this.handlers.get(address.toString()) || { type: 'Unknown', action:
'?' };
    },

    // 将执行序列翻译为伪代码
    translateToCode(trace) {
        const lines = [];
        const varCounter = { count: 0 };

        trace.forEach((entry, i) => {
            const sem = this.get(ptr(entry.address));
            const ctx = entry.context;

            let line = this.generateCodeLine(sem, ctx, varCounter);
            if (line) {
                lines.push(`/* ${i.toString().padStart(4, '0')} */ ${line}`);
            }
        });

        return lines.join('\n');
    },

    // 生成代码行
    generateCodeLine(semantics, context, varCounter) {
        switch (semantics.type) {
            case 'vAdd':
                return `v${semantics.dst} = v${semantics.src1} + v${semantics.src2};`;

            case 'vSub':
                return `v${semantics.dst} = v${semantics.src1} - v${semantics.src2};`;

            case 'vMul':
                return `v${semantics.dst} = v${semantics.src1} * v${semantics.src2};`;

            case 'vXor':
                return `v${semantics.dst} = v${semantics.src1} ^ v${semantics.src2};`;

            case 'vMov':
```

```
                return `v${semantics.dst} = v${semantics.src};`;

            case 'vLoadImm':
                return `v${semantics.dst} = 0x${semantics.imm.toString(16)};`;

            case 'vLoad':
                return `v${semantics.dst} = *(uint64_t*)(v${semantics.base} + $
{semantics.offset});`;

            case 'vStore':
                return `*(uint64_t*)(v${semantics.base} + ${semantics.offset}) = v$
{semantics.src};`;

            case 'vCmp':
                return `flags = compare(v${semantics.src1}, v${semantics.src2});`;

            case 'vJcc':
                return `if (${semantics.condition}) goto L_$
{semantics.target.toString(16)};`;

            case 'vJmp':
                return `goto L_${semantics.target.toString(16)};`;

            case 'vCall':
                return `v0 = ${semantics.funcName}(v0, v1, v2);`;

            case 'vRet':
                return `return v0;`;

            default:
                return `// Unknown: ${semantics.type}`;
        }
    }
};

// 示例: 注册已分析的 Handler
function registerKnownHandlers(moduleBase) {
    // 这些需要根据实际分析结果填充

    HandlerSemantics.register(moduleBase.add(0x1000), {
        type: 'vAdd',
        dst: 0,
        src1: 1,
        src2: 2
    });

    HandlerSemantics.register(moduleBase.add(0x1050), {
        type: 'vSub',
        dst: 0,
        src1: 1,
        src2: 2
    });
```

```
    HandlerSemantics.register(moduleBase.add(0x10A0), {
        type: 'vMov',
        dst: 0,
        src: 1
    });

    HandlerSemantics.register(moduleBase.add(0x10F0), {
        type: 'vLoadImm',
        dst: 0,
        imm: 0  // 运行时从字节码读取
    });

    // ... 继续注册其他 handler
}
```

5. 实战案例分析

5.1 案例：分析加密签名函数

假设目标 App 有一个被 VMP 保护的签名函数 `generateSign(data, timestamp)`：

```
// case_sign_analysis.js - 签名函数 VMP 分析实战

const SignAnalyzer = {
    // 配置
    config: {
        module: 'libsecurity.so',
        signFuncOffset: 0x8000,
        dispatcherOffset: 0x8500
    },

    // 已收集的执行轨迹
    traces: [],

    // 开始分析
    start() {
        const module = Process.getModuleByName(this.config.module);
        const signFunc = module.base.add(this.config.signFuncOffset);

        console.log('[*] Starting sign function analysis...');
        console.log(`[*] Target: ${signFunc}`);

        // Hook 签名函数
        Interceptor.attach(signFunc, {
            onEnter: (args) => {
                this.currentInput = {
                    data: args[0].readUtf8String(),
                    timestamp: args[1].toInt32()
                };

                console.log(`\n[+] generateSign called`);
                console.log(`    data: ${this.currentInput.data}`);
                console.log(`    timestamp: ${this.currentInput.timestamp}`);

                // 开始追踪
                this.startTracing();
            },

            onLeave: (retval) => {
                this.stopTracing();

                const result = retval.readUtf8String();
                console.log(`    result: ${result}`);

                // 分析此次追踪
                this.analyzeCurrentTrace();
            }
        });
    },

    // 开始追踪
    startTracing() {
        this.currentTrace = {
```

```
            input: this.currentInput,
            handlers: [],
            operations: [],
            memoryAccess: [],
            apiCalls: []
        };

        // 设置详细追踪（使用之前的 VMTracer）
        // 这里简化处理
        console.log('[*] Tracing VM execution...');
    },

    // 停止追踪
    stopTracing() {
        console.log(`[*] Trace complete. Captured ${this.currentTrace.handlers.length}
handlers`);
        this.traces.push(this.currentTrace);
    },

    // 分析当前追踪
    analyzeCurrentTrace() {
        const trace = this.currentTrace;

        console.log('\n========== Trace Analysis ==========');

        // 1. 统计 Handler 使用
        const handlerStats = {};
        trace.handlers.forEach(h => {
            handlerStats[h.type] = (handlerStats[h.type] || 0) + 1;
        });

        console.log('\nHandler usage:');
        Object.entries(handlerStats)
            .sort((a, b) => b[1] - a[1])
            .forEach(([type, count]) => {
                console.log(`  ${type}: ${count}`);
            });

        // 2. 分析 API 调用
        if (trace.apiCalls.length > 0) {
            console.log('\nDetected API calls:');
            trace.apiCalls.forEach(call => {
                console.log(`  ${call.name}(${call.args.join(', ')})`);
            });
        }

        // 3. 分析内存访问模式
        this.analyzeMemoryPattern(trace);

        // 4. 尝试重建算法
        this.reconstructAlgorithm(trace);
    },
```

```
    // 分析内存访问模式
    analyzeMemoryPattern(trace) {
        console.log('\nMemory access pattern:');

        // 按地址分组
        const accessGroups = {};
        trace.memoryAccess.forEach(access => {
            const region = this.identifyRegion(access.address);
            if (!accessGroups[region]) {
                accessGroups[region] = { reads: 0, writes: 0 };
            }
            if (access.type === 'read') {
                accessGroups[region].reads++;
            } else {
                accessGroups[region].writes++;
            }
        });

        Object.entries(accessGroups).forEach(([region, stats]) => {
            console.log(`  ${region}: ${stats.reads} reads, ${stats.writes} writes`);
        });
    },

    // 识别内存区域
    identifyRegion(address) {
        // 简化实现
        return 'unknown';
    },

    // 尝试重建算法
    reconstructAlgorithm(trace) {
        console.log('\n========== Algorithm Reconstruction ==========');

        // 基于操作序列推断
        const ops = trace.operations;

        // 查找常见加密操作模式
        let hasXor = ops.filter(o => o === 'XOR').length > 10;
        let hasRound = this.detectRoundStructure(trace);
        let hasSbox = this.detectSboxUsage(trace);

        console.log('Algorithm characteristics:');
        console.log(`  - XOR operations: ${hasXor ? 'Heavy (possible stream/block
cipher)' : 'Minimal'}`);
        console.log(`  - Round structure: ${hasRound ? 'Detected' : 'Not detected'}`);
        console.log(`  - S-box usage: ${hasSbox ? 'Detected (possible AES/DES)' : 'Not
detected'}`);

        // 输出推测
        console.log('\nPossible algorithm:');
        if (hasSbox && hasRound) {
            console.log('  -> Block cipher (AES/DES family)');
        } else if (hasXor && !hasSbox) {
```

```
            console.log('  -> Stream cipher or custom XOR-based');
        } else {
            console.log('  -> Custom/Unknown');
        }
    },

    // 检测轮结构
    detectRoundStructure(trace) {
        // 查找重复的操作模式
        // 简化实现
        return false;
    },

    // 检测 S-box 使用
    detectSboxUsage(trace) {
        // 查找表查找操作
        // 简化实现
        return false;
    },

    // 差分分析
    differentialAnalysis() {
        if (this.traces.length < 2) {
            console.log('[-] Need at least 2 traces for differential analysis');
            return;
        }

        console.log('\n========== Differential Analysis ==========');

        // 比较不同输入的执行轨迹
        const trace1 = this.traces[0];
        const trace2 = this.traces[1];

        // 找出差异点
        let diffPoints = [];
        const minLen = Math.min(trace1.handlers.length, trace2.handlers.length);

        for (let i = 0; i < minLen; i++) {
            if (trace1.handlers[i].type !== trace2.handlers[i].type) {
                diffPoints.push({
                    index: i,
                    trace1: trace1.handlers[i],
                    trace2: trace2.handlers[i]
                });
            }
        }

        console.log(`Execution divergence points: ${diffPoints.length}`);
        diffPoints.slice(0, 10).forEach(dp => {
            console.log(`  [${dp.index}] ${dp.trace1.type} vs ${dp.trace2.type}`);
        });
    }
};
```

```
// 启动分析
SignAnalyzer.start();
```

5.2 Unidbg 辅助分析

当 Frida 动态追踪不够高效时，可以使用 Unidbg 进行离线分析：

```
// VMPAnalyzer.java - 使用 Unidbg 分析 VMP

import com.github.unidbg.AndroidEmulator;
import com.github.unidbg.arm.backend.Unicorn2Factory;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidEmulatorBuilder;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidResolver;
import com.github.unidbg.linux.android.dvm.*;
import com.github.unidbg.memory.Memory;
import unicorn.Arm64Const;
import java.io.*;
import java.util.*;

public class VMPAnalyzer extends AbstractJni {

    private final AndroidEmulator emulator;
    private final VM vm;
    private final Module module;

    // VMP 追踪数据
    private List<TraceEntry> traceLog = new ArrayList<>();
    private Set<Long> handlerAddresses = new HashSet<>();
    private Map<Long, String> handlerTypes = new HashMap<>();

    // VMP 配置
    private long dispatcherStart;
    private long dispatcherEnd;
    private long vmContextReg;  // 存储 VM 上下文的寄存器

    public VMPAnalyzer() {
        // 创建模拟器
        emulator = AndroidEmulatorBuilder
            .for64Bit()
            .setProcessName("com.target.app")
            .addBackendFactory(new Unicorn2Factory(true))
            .build();

        Memory memory = emulator.getMemory();
        memory.setLibraryResolver(new AndroidResolver(23));

        vm = emulator.createDalvikVM();
        vm.setJni(this);
        vm.setVerbose(false);

        // 加载目标库
        DalvikModule dm = vm.loadLibrary(new File("libsecurity.so"), false);
        module = dm.getModule();

        // 设置 VMP 范围
        dispatcherStart = module.base + 0x8500;
        dispatcherEnd = module.base + 0x9000;
        vmContextReg = Arm64Const.UC_ARM64_REG_X19;  // ARM64 常用 X19
    }
```

```
    // 设置追踪钩子
    public void setupTracing() {
        // 代码追踪钩子
        emulator.getBackend().hook_add_new(
            new CodeHook() {
                @Override
                public void hook(Backend backend, long address, int size, Object user)
{
                    // 只追踪 dispatcher 范围内的代码
                    if (address >= dispatcherStart && address < dispatcherEnd) {
                        recordExecution(address);
                    }
                }
            },
            dispatcherStart,
            dispatcherEnd,
            null
        );

        // 内存访问钩子
        emulator.getBackend().hook_add_new(
            new ReadHook() {
                @Override
                public void hook(Backend backend, long address, int size, Object user)
{
                    recordMemoryRead(address, size);
                }
            },
            1,
            0,
            null
        );
    }

    // 记录执行
    private void recordExecution(long address) {
        TraceEntry entry = new TraceEntry();
        entry.address = address;
        entry.offset = address - module.base;
        entry.timestamp = System.nanoTime();

        // 读取 VM 上下文
        entry.vmContext = dumpVMContext();

        // 识别 Handler
        if (!handlerAddresses.contains(address)) {
            String handlerType = identifyHandler(address);
            handlerAddresses.add(address);
            handlerTypes.put(address, handlerType);
        }
        entry.handlerType = handlerTypes.get(address);
```

```
        traceLog.add(entry);
    }

    // 转储 VM 上下文
    private VMContext dumpVMContext() {
        VMContext ctx = new VMContext();

        // 读取上下文指针
        long ctxPtr = emulator.getBackend().reg_read(vmContextReg).longValue();

        // 读取虚拟寄存器 (假设 16 个 64 位寄存器)
        ctx.vregs = new long[16];
        for (int i = 0; i < 16; i++) {
            ctx.vregs[i] = emulator.getBackend().mem_read(ctxPtr + i * 8, 8)
                .getLong(0);
        }

        // 读取 VIP
        ctx.vip = emulator.getBackend().mem_read(ctxPtr + 0x80, 8).getLong(0);

        return ctx;
    }

    // 识别 Handler 类型
    private String identifyHandler(long address) {
        // 读取指令并分析
        byte[] code = emulator.getBackend().mem_read(address, 64);

        // 简化的模式匹配
        // 实际实现需要更复杂的反汇编分析

        return "Unknown";
    }

    // 记录内存读取
    private void recordMemoryRead(long address, int size) {
        // 可选: 记录内存访问以分析数据流
    }

    // 执行目标函数
    public String executeSignFunction(String data, int timestamp) {
        // 清空之前的追踪
        traceLog.clear();

        // 调用签名函数
        DvmObject<?> result = vm.callStaticJniMethod(
            "Lcom/target/Security;",
            "generateSign(Ljava/lang/String;I)Ljava/lang/String;",
            new StringObject(vm, data),
            timestamp
        );

        return result.getValue().toString();
```

```
    }

    // 输出分析结果
    public void outputAnalysis() {
        System.out.println("\n========== VMP Analysis Results ==========");
        System.out.println("Total instructions traced: " + traceLog.size());
        System.out.println("Unique handlers: " + handlerAddresses.size());

        // Handler 统计
        Map<String, Integer> handlerStats = new HashMap<>();
        for (TraceEntry entry : traceLog) {
            handlerStats.merge(entry.handlerType, 1, Integer::sum);
        }

        System.out.println("\nHandler usage:");
        handlerStats.entrySet().stream()
            .sorted(Map.Entry.<String, Integer>comparingByValue().reversed())
            .forEach(e -> System.out.printf("  %s: %d%n", e.getKey(), e.getValue()));

        // 输出追踪日志
        exportTraceLog("vm_trace.json");
    }

    // 导出追踪日志
    private void exportTraceLog(String filename) {
        // JSON 序列化追踪数据
        // 实现略
    }

    // 数据类
    static class TraceEntry {
        long address;
        long offset;
        long timestamp;
        String handlerType;
        VMContext vmContext;
    }

    static class VMContext {
        long[] vregs;
        long vip;
    }

    public static void main(String[] args) {
        VMPAnalyzer analyzer = new VMPAnalyzer();
        analyzer.setupTracing();

        // 执行测试
        String result = analyzer.executeSignFunction("test_data", 1703001234);
        System.out.println("Sign result: " + result);

        // 输出分析
        analyzer.outputAnalysis();
```

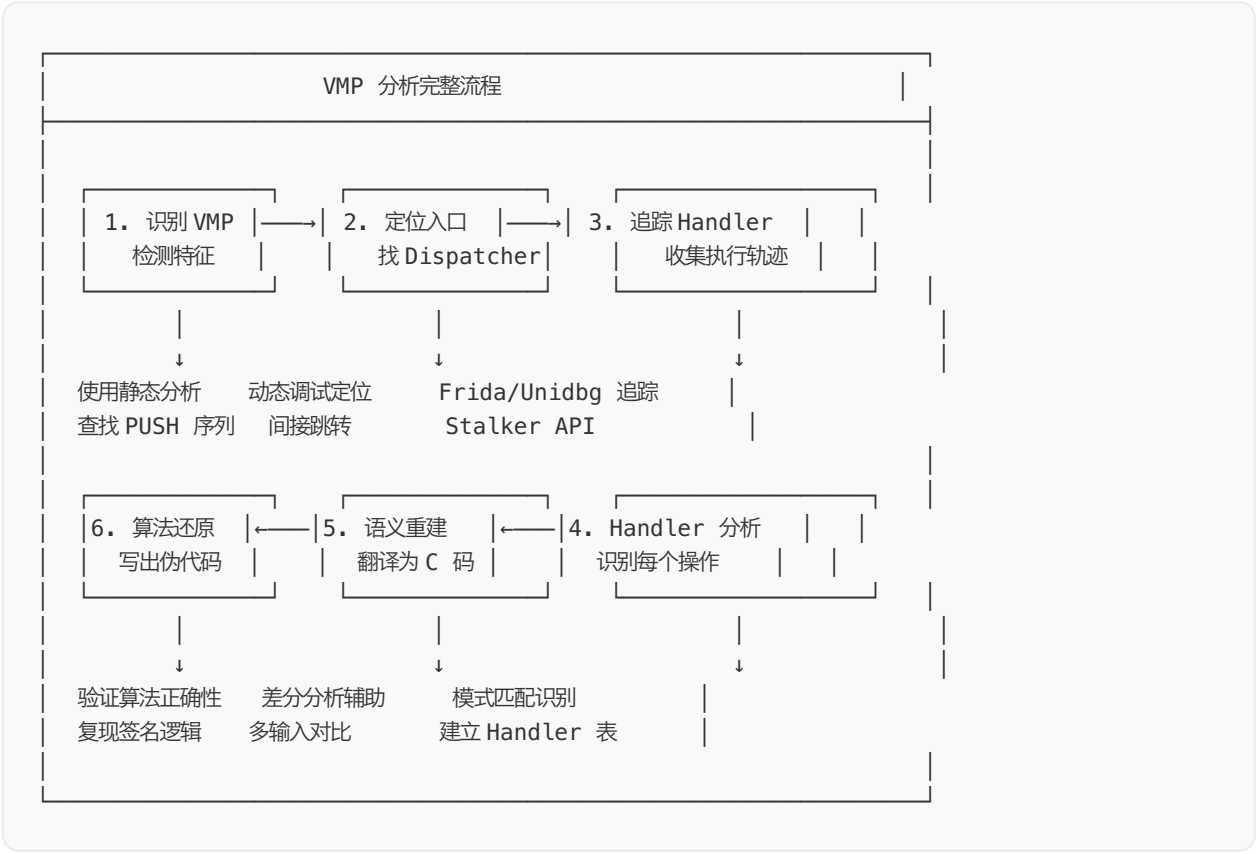
```
    }
}
```

6. 去虚拟化工具

6.1 常用工具

工具名称	类型	适用场景	链接
VMHunt	学术研究	自动化 VMP 分析	GitHub
VMAttack	IDA 插件	静态/动态分析结合	GitHub
VTIL	IR 框架	构建去虚拟化器	GitHub
NoVmp	开源工具	VMProtect 2.x 分析	GitHub
Triton	符号执行	约束求解辅助分析	GitHub

6.2 分析流程建议



7. 关键要点

1. 不要试图完全去虚拟化 - 除非是研究目的，否则追踪执行比反编译 VM 更实用。

2. 动态分析优先 - VMP 的突变性使静态分析极其困难，动态追踪是主要手段。

3. 关注 Handler 语义 - 理解每个 Handler 做什么比理解 VM 整体架构更有价值。

4. 差分分析 - 使用不同输入进行多次追踪，对比差异找出关键逻辑。

5. 耐心和经验 - VMP 分析需要大量时间和经验积累，没有万能工具。

参考资源

- VMProtect 官方文档
- VTIL Project
- Virtual Machine Obfuscation (学术论文)
- Defeating VMP (BlackHat 演讲)

R22: C 语言仿真脚本

R22: C 代码：用于运行时仿真与设备指纹生成

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - IDA Pro 指南 - 从 IDA 中提取算法逻辑
> - C/C++ 基础 - 理解指针、内存操作等概念

在逆向工程中，直接使用 C/C++ 编写一些辅助工具或重现目标逻辑是一种非常高效的策略。这可以帮助我们脱离复杂的 App 环境，对核心算法进行独立的测试、Fuzzing 或仿真。

1. 运行时仿真 (Runtime Emulation)

当我们在 SO 文件中定位到一个关键的核心算法（如自定义加密、签名生成）后，如果该算法逻辑清晰且依赖较少，最好的方法就是将其逻辑用 C/C++ "翻译"一遍。

场景示例：重现一个简单的 XOR 加密算法

假设在 IDA Pro 中看到如下伪代码：

```
// Decompiled pseudo-code from IDA
void encrypt_data(char* data, int len) {
    for (int i = 0; i < len; ++i) {
        data[i] = (data[i] ^ 0x5A) + 5;
    }
}
```

重现与验证代码

```
// emulate_encrypt.c
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdint.h>

// Re-implementation of the encryption algorithm
void simulate_encrypt(char* data, size_t len) {
    for (size_t i = 0; i < len; ++i) {
        data[i] = (data[i] ^ 0x5A) + 5;
    }
}

// Corresponding decryption for our own testing
void simulate_decrypt(char* data, size_t len) {
    for (size_t i = 0; i < len; ++i) {
        data[i] = (data[i] - 5) ^ 0x5A;
    }
}

// Helper function: Print hexadecimal
void print_hex(const char* label, uint8_t* data, size_t len) {
    printf("%s: ", label);
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        printf("%02x ", data[i]);
    }
    printf("\n");
}

int main() {
    char my_data[] = "this_is_a_test_message";
    size_t len = strlen(my_data);

    printf("=== XOR Encryption Algorithm Test ===\n\n");
    printf("Original: %s\n", my_data);
    print_hex("Original HEX", (uint8_t*)my_data, len);
    printf("\n");

    // Encrypt it
    simulate_encrypt(my_data, len);
    printf("After encryption:\n");
    print_hex("Encrypted HEX", (uint8_t*)my_data, len);
    printf("\n");

    // Decrypt it
    simulate_decrypt(my_data, len);
    printf("After decryption: %s\n", my_data);
    print_hex("Decrypted HEX", (uint8_t*)my_data, len);

    return 0;
}
```

编译与运行

```
# 编译
gcc emulate_encrypt.c -o emulate

# 运行
./emulate

# 输出:
# === XOR Encryption Algorithm Test ===
#
# Original: this_is_a_test_message
# Original HEX: 74 68 69 73 5f 69 73 5f 61 5f 74 65 73 74 5f 6d ...
#
# After encryption:
# Encrypted HEX: 29 37 38 2e 0a 38 2e 0a 3e 0a 29 3a 2e 29 0a 32 ...
#
# After decryption: this_is_a_test_message
```

2. 设备指纹生成 (Device Fingerprint Generation)

许多 App 会通过读取 Android 系统的 `build.prop` 或其他系统属性来生成设备指纹，用于识别和跟踪设备。在进行自动化操作时，我们需要能够模拟这些指纹。

`getprop` 是 Android shell 中的一个命令，可以读取系统属性。我们也可以用 C 代码在 Native 层实现类似的功能，从而生成可以乱真的指纹数据。

场景示例：用 C 读取关键设备属性并生成 JSON

```
// device_fingerprint.c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <time.h>

// A simple wrapper to execute a shell command and get its output
// In a real scenario, you might use direct system calls for better performance/
stealth
char* get_prop(const char* key) {
    char command[256];
    snprintf(command, sizeof(command), "getprop %s", key);

    FILE* fp = popen(command, "r");
    if (fp == NULL) {
        return NULL;
    }

    char* line = malloc(256);
    if (fgets(line, 256, fp) == NULL) {
        free(line);
        pclose(fp);
        return NULL;
    }

    // Remove trailing newline
    line[strcspn(line, "\n")] = 0;
    pclose(fp);
    return line;
}

int main() {
    // List of properties we want to fetch
    const char* props_to_fetch[] = {
        "ro.product.brand",
        "ro.product.model",
        "ro.product.manufacturer",
        "ro.product.device",
        "ro.build.version.release",
        "ro.build.version.sdk",
        "ro.build.fingerprint",
        "ro.serialno",
        "ro.boot.serialno"
    };
    int num_props = sizeof(props_to_fetch) / sizeof(props_to_fetch[0]);

    printf("{\n");
    printf("  \"timestamp\": %ld,\n", time(NULL));
    printf("  \"device\": {\n");

    for (int i = 0; i < num_props; ++i) {
        char* value = get_prop(props_to_fetch[i]);
```

```
        if (value) {
            // Extract last part of property name for cleaner key
            const char* last_dot = strrchr(props_to_fetch[i], '.');
            const char* key = last_dot ? last_dot + 1 : props_to_fetch[i];

            printf("    \"%s\": \"%s\"", key, value);
            if (i < num_props - 1) {
                printf(",");
            }
            printf("\n");
            free(value);
        }
    }

    printf("  }\n");
    printf("}\n");

    return 0;
}
```

编译与运行

使用 Android NDK 进行交叉编译:

```
# 设置NDK 路径（根据实际安装位置修改）
export NDK_PATH=~/Android/Sdk/ndk/25.1.8937393

# 编译（arm64 架构）
$NDK_PATH/toolchains/llvm/prebuilt/linux-x86_64/bin/aarch64-linux-android21-clang \
    device_fingerprint.c -o fingerprint

# 推送到设备
adb push fingerprint /data/local/tmp/
adb shell chmod +x /data/local/tmp/fingerprint

# 运行
adb shell /data/local/tmp/fingerprint
```

输出示例

```
{
  "timestamp": 1734518400,
  "device": {
    "brand": "google",
    "model": "Pixel 5",
    "manufacturer": "Google",
    "device": "redfin",
    "release": "13",
    "sdk": "33",
    "fingerprint": "google/redfin/redfin:13/TQ3A.230901.001/10750268:user/release-
keys",
    "serialno": "XXXXXXXXXX"
  }
}
```

3. 更复杂的算法仿真

示例：HMAC-SHA256 签名仿真

```
// hmac_sign.c
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <openssl/hmac.h>
#include <openssl/sha.h>

void hmac_sha256(const char* key, const char* data, unsigned char* result) {
    unsigned int len = 32;
    HMAC(EVP_sha256(),
         key, strlen(key),
         (unsigned char*)data, strlen(data),
         result, &len);
}

void print_hex(unsigned char* data, size_t len) {
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        printf("%02x", data[i]);
    }
    printf("\n");
}

int main() {
    const char* key = "secret_key_12345";
    const char* data = "user=test&timestamp=1234567890";

    unsigned char result[32];
    hmac_sha256(key, data, result);

    printf("HMAC-SHA256 Signature:\n");
    print_hex(result, 32);

    return 0;
}
```

编译

```
# 需要链接 OpenSSL
gcc hmac_sign.c -o hmac_sign -lssl -lcrypto

# 运行
./hmac_sign
```

4. 使用 Unidbg 进行 SO 仿真

对于复杂的 Native 算法，可以使用 Unidbg 进行完整仿真，而不需要手动翻译代码。

```
// Java 代码示例 (Unidbg)
import com.github.unidbg.AndroidEmulator;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidEmulatorBuilder;
import com.github.unidbg.linux.android.dvm.DalvikModule;
import com.github.unidbg.linux.android.dvm.VM;

public class EmulatorExample {
    private AndroidEmulator emulator;
    private VM vm;
    private DalvikModule dm;

    public EmulatorExample() {
        // 创建模拟器
        emulator = AndroidEmulatorBuilder
            .for64Bit()
            .setProcessName("com.example.app")
            .build();

        // 创建虚拟机
        vm = emulator.createDalvikVM();

        // 加载 SO 文件
        dm = vm.loadLibrary("libnative-lib.so", false);

        // 调用 JNI_OnLoad
        dm.callJNI_OnLoad(emulator);
    }

    public String callEncrypt(String input) {
        // 调用 Native 方法
        // ... (具体实现取决于目标函数签名)
        return "";
    }
}
```

总结

使用 C/C++ 进行运行时仿真的优势：

1. 独立测试: 脱离 App 环境，可以快速迭代测试
2. 便于 Fuzzing: 可以对算法进行大规模模糊测试
3. 性能优越: 相比在 App 内 Hook，独立运行效率更高
4. 便于分享: 可以将仿真代码分享给团队其他成员

在实践中，建议结合动态分析（Frida Hook）和静态分析（IDA Pro）的结果，逐步完善仿真代码，直到输出与目标函数完全一致。

R23: TLS 指纹识别

R23: 使用 TLS 指纹识别检测和绕过应用指纹

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - JA3 指纹技术 - 理解 TLS 指纹的生成原理
> - JA4+ 指纹技术 - 了解下一代指纹方案

问题场景

你遇到了什么问题？

- 你的自动化脚本被服务器识别并封禁了
- 你用 Python/curl 请求 API，但服务器返回 403/风控拦截
- 你想伪装成真实浏览器/官方 App 的 TLS 指纹
- 你想分析 App 使用的 TLS 库和配置
- 你想检测自己的请求是否暴露了异常的 TLS 特征

本配方教你：理解 TLS 指纹识别原理、如何检测自己的 TLS 指纹、以及如何伪造合法的 TLS 指纹。

核心理念：

> 💡 TLS 指纹是应用的"DNA"
>
> - TLS 握手阶段暴露了客户端使用的库和配置
> - 不同的 HTTP 客户端有不同的 TLS 指纹

> - 服务器可以通过 JA3/JA4 指纹识别你的真实身份
> - 即使使用 HTTPS，TLS 握手特征也是明文的

预计用时: 20-40 分钟

工具清单

必需工具

- ◦ Wireshark - 抓取 TLS 握手包
- ◦ 在线 JA3 检测工具 - https://ja3er.com 或 https://tls.peet.ws
- ◦ Python 3.7+ - 用于脚本测试

可选工具

- ◦ curl-impersonate - 伪装浏览器 TLS 指纹的 curl
- ◦ tls-client (Python) - 支持自定义 TLS 指纹的 HTTP 库
- ◦ Burp Suite - 抓包分析
- ◦ ja3transport (Go) - Go 语言的 TLS 伪装库

前置条件

✅ 确认清单

1. Wireshark 已安装并可用
2. Python 3.7+ 环境配置完成

```
# 验证Wireshark 安装
wireshark --version

# 验证Python 环境
python3 --version

# 安装必要的Python 库
pip3 install requests pycurl tls-client
```

解决方案

第 1 步：理解 TLS 指纹识别原理（5 分钟）

1.1 什么是 JA3 指纹?

JA3 是一种通过分析 TLS `Client Hello` 包生成指纹的技术。

提取的字段:

1. TLS 版本（如 TLS 1.3 = 771）
2. 加密套件列表（Cipher Suites）
3. 扩展列表（Extensions）
4. 椭圆曲线列表（Elliptic Curves）
5. 椭圆曲线点格式（EC Point Formats）

生成过程:

```
拼接成String: "771,4865-4866-4867,0-23-65281,29-23-24,0"
↓
Calculate MD5 哈希
↓
JA3 指纹: e7d705a3286e19ea42f587b344ee6865
```

特性	MD5 指纹	JA3 指纹
格式	MD5 哈希	结构化字符串
可读性	无	高（包含版本、计数等）
示例	`e7d705a3286e19ea42f587b344ee6865`	`t13d1516h2_174735a34e8a_b2149a751699`
优势	简单，广泛支持	可模糊匹配，抗干扰

✅ 关键点：不同的 HTTP 库有不同的 JA3 指纹

客户端	JA3 指纹
Chrome 120	`579ccef312d18482fc42e2b822ca2430`
Firefox 121	`3b5074b1b5d032e5620f69f9f700ff0e`
Python requests	`084c44f52a434da89e0b1bc98f8dd159`
curl 默认	`51c64c77e60f3980eea90869b68c58a8`

问题：如果你用 Python requests 访问服务器，即使设置了 User-Agent，服务器也能通过 JA3 识别出你不是真实浏览器

第 2 步：检测你的 TLS 指纹（10 分钟）

2.1 在线检测

方法 1：访问 JA3 检测网站

```
# 用curl 测试
curl https://ja3er.com/json

# 用Python requests 测试
python3 << 'EOF'
import requests
r = requests.get('https://ja3er.com/json')
print(r.text)
EOF
```

```
{
  "ja3": "084c44f52a434da89e0b1bc98f8dd159",
  "ja3_text":
"771,4865-4866-4867-49195-49199-49196-49200-52393-52392-49171-49172-156-157-47-53,0-23
-65281-10-11-35-16-5-13-18-51-45-43-27-21,29-23-24,0",
  "User-Agent": "python-requests/2.31.0"
}
```

```
curl -s https://tls.peet.ws/api/all | jq .
```

1. 打开 Wireshark
2. 过滤器输入：`tls.handshake.type == 1`（只显示 Client Hello）
3. 在终端执行请求：

```
curl https://example.com
```

接着展开 Transport Layer Security → Handshake Protocol: Client Hello

查看关键字段：

```
- TLS_ECDHE_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384 (0xc030)
- ...
Extension: supported_groups (len=10)
- secp256r1 (0x0017)
- x25519 (0x001d)
- ...
```

✅ 成功标志：你已经看到了自己客户端的 TLS 握手特征

第 3 步：获取目标指纹（5 分钟）

目标：获取真实浏览器或官方 App 的 JA3 指纹用于伪装

3.1 浏览器指纹

方法 1：直接查询

Chrome 浏览器访问 https://ja3er.com/json

记录显示的 JA3 哈希值。

方法 2：从 GitHub 数据库查询

访问 https://github.com/salesforce/ja3/blob/master/lists/osx-nix-ja3.csv

搜索 "Chrome"、"Safari"、"Firefox" 找到对应版本的 JA3。

3.2 android App 指纹

使用 Wireshark 抓取真实 App 的流量：

1. 配置手机走电脑代理
2. Wireshark 监听对应网卡
3. 打开目标 App，触发网络请求
4. 过滤 `tls.handshake.type == 1` 找到 Client Hello 包
5. 记录或导出该包

提取 JA3:

```
# Use ja3 Tool (NeedInstall)
pip3 install pyshark
python3 << 'EOF'
import pyshark
cap = pyshark.FileCapture('capture.pcap', display_filter='tls.handshake.type == 1')
for pkt in cap:
print(pkt.tls.handshake_ciphersuite)
EOF
```

第 4 步：伪造 TLS 指纹（15 分钟）

4.1 使用 curl-impersonate（推荐）

curl-impersonate 是一个修改版的 curl，能完美模拟浏览器的 TLS 指纹。

安装（macOS）：

```
# Use Homebrew
brew install curl-impersonate

# or downloadpre-compiled version
# https://github.com/lwthiker/curl-impersonate/releases
```

```
# 伪装成 Chrome 120
curl_chrome120 https://ja3er.com/json

# 伪装成 Firefox 121
curl_ff121 https://ja3er.com/json

# 伪装成 Safari 17
curl_safari17 https://ja3er.com/json
```

4.2 使用 Python tls-client 库

安装:

```
pip3 install tls-client
```

基本使用：

```
import tls_client

# 创建会话，伪装成 Chrome 120
session = tls_client.Session(
    client_identifier="chrome_120",
    random_tls_extension_order=True
)

# 发送请求
response = session.get("https://ja3er.com/json")
print(response.json())
```

支持的客户端标识符：

```
# 桌面浏览器
"chrome_103", "chrome_110", "chrome_120"
"firefox_102", "firefox_104", "firefox_121"
"safari_15_3", "safari_16_0", "safari_17_0"

# 移动端
"okhttp4_android_7", "okhttp4_android_8", "okhttp4_android_13"
```

自定义 JA3 字符串：

```
import tls_client

session = tls_client.Session(
    client_identifier="custom",

ja3_string="771,4865-4866-4867-49195-49199-49196-49200-52393-52392-49171-49172-156-157
-47-53,0-23-65281-10-11-35-16-5-13-18-51-45-43-27-21,29-23-24,0"
)
```

4.3 使用 Go ja3transport 库

```
package main

import (
    "fmt"
    "io"
    "net/http"
    "github.com/CUCyber/ja3transport"
)

func main() {
    // 创建带 JA3 指纹的 Transport
    tr, _ :=
ja3transport.NewTransport("771,4865-4866-4867-49195-49199-49196-49200-52393-52392-4917
1-49172-156-157-47-53,0-23-65281-10-11-35-16-5-13-18-51-45-43-27-21,29-23-24,0")

    client := &http.Client{Transport: tr}

    resp, _ := client.Get("https://ja3er.com/json")
    defer resp.Body.Close()

    body, _ := io.ReadAll(resp.Body)
    fmt.Println(string(body))
}
```

第 5 步：验证伪装效果（5 分钟）

创建对比脚本 `compare_ja3.sh`：

```
#!/bin/bash

echo "=== 原生 curl ==="
curl -s https://ja3er.com/json | jq -r '.ja3'

echo ""
echo "=== curl-impersonate (Chrome) ==="
curl_chrome120 -s https://ja3er.com/json | jq -r '.ja3'

echo ""
echo "=== Python requests ==="
python3 -c "import requests; print(requests.get('https://ja3er.com/json').json()
['ja3'])"

echo ""
echo "=== Python tls-client ==="
python3 << 'EOF'
import tls_client
session = tls_client.Session(client_identifier="chrome_120")
print(session.get("https://ja3er.com/json").json()['ja3'])
EOF
```

运行对比：

```
chmod +x compare_ja3.sh
./compare_ja3.sh
```

预期输出：

```
=== 原生 curl ===
51c64c77e60f3980eea90869b68c58a8

=== curl-impersonate (Chrome) ===
579ccef312d18482fc42e2b822ca2430

=== Python requests ===
084c44f52a434da89e0b1bc98f8dd159

=== Python tls-client ===
579ccef312d18482fc42e2b822ca2430
```

实战示例 - 访问受保护的 API：

```
import tls_client

# 使用伪装的 TLS 指纹
session = tls_client.Session(client_identifier="chrome_120")

headers = {
    'User-Agent': 'Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36
(KHTML, like Gecko) Chrome/120.0.0.0 Safari/537.36'
}

response = session.get('https://api.example.com/protected', headers=headers)
print(response.status_code)
print(response.text)
```

伪装效果对比：

工具	User-Agent	TLS 指纹	服务器响应
requests	Chrome	Python	❌ 403 Forbidden
tls-client	Chrome	Chrome	✅ 200 OK

工作原理

TLS 握手过程

```
客户端                服务器
   |                              |
   |--- Client Hello ------------->|
   |    (JA3 指纹在此生成)          |
   |                              |
   |<-- Server Hello --------------|
   |    (Server JA3S 指纹)         |
   |                              |
   |--- Key Exchange ------------->|
   |<-- Finished ------------------|
   |                              |
   |<-> 加密数据传输 <->|
```

JA3 指纹生成细节

原始字符串示例：

```
771,4865-4866-4867-49195-49199,0-23-65281-10-11,29-23-24,0
 │        │                     │          │      │
 │        │                     │          │      └─ EC Point Formats
 │        │                     │          └─ Supported Groups (椭圆曲线)
 │        │                     └─ Extensions
 │        └─ Cipher Suites
 └─ TLS 版本 (771 = TLS 1.2)
```

JA4 指纹格式：

```
t13d1516h2_174735a34e8a_b2149a751699
│  │  │  │  │            │
│  │  │  │  │            └─ Signature Algorithms 哈希
│  │  │  │  └─ Extensions 哈希 (截断)
│  │  │  └─ h2 = HTTP/2
│  │  └─ 16 个Extensions
│  └─ 15 个Cipher Suites
└─ TLS 1.3
```

- 可读性强（无需查表）

常见问题

❌ 问题 1: curl-impersonate 安装失败

症状：Homebrew 找不到 curl-impersonate

解决：

```
# macOS/Linux: 手动下载预编译版本
wget https://github.com/lwthiker/curl-impersonate/releases/download/v0.6.1/curl-impersonate-v0.6.1.x86_64-linux-gnu.tar.gz

tar -xzf curl-impersonate-*.tar.gz
cd curl-impersonate-*
sudo cp curl_* /usr/local/bin/
```

❌ 问题 2: tls-client 不支持某个浏览器版本

症状：`ValueError: Unknown client identifier: chrome_999`

解决：查看支持的客户端列表

```
import tls_client
print(tls_client.settings.ClientIdentifiers)
```

❌ 问题 3: 伪装后仍被检测

可能原因：

1. HTTP/2 指纹不匹配
    - JA3 指纹是浏览器，但 HTTP 头顺序/值不对
    - 解决：使用完整的浏览器模拟（包括 HTTP/2 特征）
2. 行为特征异常
    - 请求速度太快
    - 缺少 Referer/Cookie
    - 解决：添加延迟、模拟真实用户行为
3. IP 信誉问题
    - IP 被标记为数据中心/代理
    - 解决：使用住宅代理或轮换 IP

4. 设备指纹
    - 服务器检测 Canvas 指纹、WebGL 指纹等
    - 解决：使用真实浏览器自动化（Selenium + undetected-chromedriver）

❌ 问题 4: 如何在 Frida 中修改 TLS 指纹?

场景：你想修改 Android App 的 TLS 指纹

方法：Hook Java 层 SSLSocket

```
Java.perform(function () {
  var SSLSocket = Java.use("javax.net.ssl.SSLSocket");

  SSLSocket.setEnabledCipherSuites.implementation = function (suites) {
    console.log("[*] Original Cipher Suites:", suites);

    // 修改为目标指纹加密套件
    var customSuites = [
      "TLS_AES_128_GCM_SHA256",
      "TLS_AES_256_GCM_SHA384",
      "TLS_CHACHA20_POLY1305_SHA256",
    ];

    console.log("[*] ModifyAfter:", customSuites);
    return this.setEnabledCipherSuites(customSuites);
  };
});
```

延伸阅读

相关配方

- 网络抓包 - 抓取 TLS 握手包
- 密码学分析 - 分析加密实现
- JA3 指纹详解 - JA3 技术深入
- JA4 指纹详解 - JA4+ 套件详解

工具深入

- curl-impersonate 文档 - https://github.com/lwthiker/curl-impersonate
- tls-client (Python) - https://github.com/FlorianREGAZ/Python-Tls-Client
- ja3transport (Go) - https://github.com/CUCyber/ja3transport

在线资源

- JA3 检测 - https://ja3er.com
- TLS 指纹检测 - https://tls.peet.ws
- JA3 数据库 - https://github.com/salesforce/ja3

理论基础

- TLS 协议详解 - TODO
- HTTP/2 指纹 - TODO

快速参考

常用工具对比

工具	语言	难度	特点
curl-impersonate	Bash		最简单，完美模拟
tls-client	Python		易用，支持多种浏览器
ja3transport	Go		高性能，需要 Go 环境
requests + urllib3	Python		复杂，需深度定制

快速检测脚本

detect_ja3.sh:

```
#!/bin/bash

echo "正在检测 TLS 指纹..."
echo ""

URL="https://ja3er.com/json"

# 检测当前客户端
JA3=$(curl -s "$URL" | jq -r '.ja3')
echo "你的 JA3: $JA3"

# 查询已知指纹
echo ""
echo "常见客户端 JA3:"
echo "  Chrome 120:  579ccef312d18482fc42e2b822ca2430"
echo "  Firefox 121: 3b5074b1b5d032e5620f69f9f700ff0e"
echo "  Safari 17:   4e2d5f6c3e8f7a9b0c1d2e3f4a5b6c7d"
echo "  Python req:  084c44f52a434da89e0b1bc98f8dd159"
echo "  curl:        51c64c77e60f3980eea90869b68c58a8"

# 对比
if [ "$JA3" == "579ccef312d18482fc42e2b822ca2430" ]; then
    echo ""
    echo "✅ 匹配: Chrome 120"
elif [ "$JA3" == "084c44f52a434da89e0b1bc98f8dd159" ]; then
    echo ""
    echo "⚠️ 匹配: Python requests (容易被识别)"
else
    echo ""
    echo "❓ 未知指纹"
fi
```

TLS 指纹伪装模板

browser_session.py:

```
"""
TLS 指纹伪装模板
"""
import tls_client


class BrowserSession:
    """模拟浏览器会话"""

    PROFILES = {
        'chrome': 'chrome_120',
        'firefox': 'firefox_121',
        'safari': 'safari_17_0',
        'android': 'okhttp4_android_13'
    }

    def __init__(self, browser='chrome'):
        """初始化会话

        Args:
            browser: 浏览器类型 ('chrome', 'firefox', 'safari', 'android')
        """
        identifier = self.PROFILES.get(browser, 'chrome_120')
        self.session = tls_client.Session(
            client_identifier=identifier,
            random_tls_extension_order=True
        )
        self._set_headers(browser)

    def _set_headers(self, browser):
        """设置对应 HTTP 头"""
        user_agents = {
            'chrome': 'Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36
(KHTML, like Gecko) Chrome/120.0.0.0 Safari/537.36',
            'firefox': 'Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:121.0) Gecko/
20100101 Firefox/121.0',
            'safari': 'Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 10_15_7) AppleWebKit/
605.1.15 (KHTML, like Gecko) Version/17.0 Safari/605.1.15',
            'android': 'Mozilla/5.0 (Linux; Android 13) AppleWebKit/537.36 (KHTML,
like Gecko) Chrome/120.0.6099.144 Mobile Safari/537.36'
        }

        self.session.headers.update({
            'User-Agent': user_agents.get(browser, user_agents['chrome']),
            'Accept': 'text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,image/
avif,image/webp,*/*;q=0.8',
            'Accept-Language': 'en-US,en;q=0.5',
            'Accept-Encoding': 'gzip, deflate, br',
            'DNT': '1',
            'Connection': 'keep-alive',
            'Upgrade-Insecure-Requests': '1'
        })
```

```
    def get(self, url, **kwargs):
        """发送 GET 请求"""
        return self.session.get(url, **kwargs)

    def post(self, url, **kwargs):
        """发送 POST 请求"""
        return self.session.post(url, **kwargs)

    def verify_fingerprint(self):
        """验证 TLS 指纹"""
        r = self.get('https://ja3er.com/json')
        return r.json()


# 使用示例
if __name__ == '__main__':
    # 创建 Chrome 会话
    browser = BrowserSession('chrome')

    # 验证指纹
    print("验证 TLS 指纹...")
    result = browser.verify_fingerprint()
    print(f"JA3: {result['ja3']}")
    print(f"User-Agent: {result['User-Agent']}")

    # 发送请求
    response = browser.get('https://api.example.com/data')
    print(f"\n状态码: {response.status_code}")
```

R24: JA3 指纹技术

R24: JA3 TLS 指纹识别技术详解

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 网络抓包技术 - 使用 Wireshark 捕获 TLS 握手
> - TLS/SSL 协议基础 - 理解 Client Hello 消息结构

JA3 是一种创建 SSL/TLS 客户端指纹的方法，旨在轻松识别网络上的客户端应用程序。当客户端与服务器建立加密连接时，它首先会发送一个 `Client Hello` 包。这个包的格式和内容在很大程度上取决于用于创建连接的客户端应用程序（例如浏览器、恶意软件、移动 App）中的库和方法。JA3 通过收集 `Client Hello` 包中特定字段的值，并将它们组合成一个易于共享和比较的 MD5 哈希值，从而为客户端生成一个独特的"指纹"。

目录

工作原理

JA3 指纹的核心思想是：客户端的 `Client Hello` 包暴露了其身份。

一个 `Client Hello` 包包含了客户端希望如何与服务器进行通信的各种细节。JA3 方法精确地选择了以下 5 个字段，并按照特定顺序将它们串联起来：

1. SSL/TLS Version (版本号): 客户端支持的最高 TLS 版本。
2. Accepted Ciphers (加密套件): 客户端愿意接受的加密套件列表，按其偏好顺序排列。
3. List of Extensions (扩展列表): `Client Hello` 中包含的所有扩展，按其出现顺序排列。
4. Elliptic Curves (椭圆曲线): 客户端支持的椭圆曲线列表。
5. Elliptic Curve Point Formats (椭圆曲线点格式): 支持的点格式列表。

这些字段的组合对于特定的客户端应用程序（及其版本）来说通常是独一无二的。例如，Chrome 浏览器、Firefox 浏览器、Tor 浏览器和一个 Golang 编写的僵尸网络程序，它们生成的 `Client Hello` 在这些字段上会有明显的差异。

指纹生成过程

生成 JA3 指纹的步骤如下：

1. 收集字段值: 从一个 TCP 会话的 `Client Hello` 包中，提取上述 5 个字段的十进制值。
2. 格式化和拼接:
    - 每个字段内的值用 `-` 分隔。
    - 5 个主要字段之间用 `,` 分隔。
    - 例如，一个 JA3 字符串看起来像这样：
      `771,4865-4866-4867-49195-49199-...,23-65281-10-11-35-16-0-13-18,29-23-24,0`
3. 计算 MD5 哈希: 对上述拼接好的字符串计算 MD5 哈希值。
4. 最终指纹: 得到的 32 位十六进制字符串就是该客户端的 JA3 指纹。
    - 例如，上述字符串的 MD5 哈希可能是：`e7d705a3286e19ea42f587b344ee6865`。

这个最终的 MD5 哈希就是可用于识别、共享和查询的 JA3 指纹。

JA3S - 服务器端指纹

与 JA3 对应，JA3S 是对服务器响应的指纹。它基于服务器在 `Server Hello` 包中选择的参数。JA3S 收集以下字段:

1. SSL/TLS Version
2. Selected Cipher
3. List of Extensions

将这些值拼接并进行 MD5 哈希，就得到了 JA3S 指纹。

为什么 JA3S 很重要?

将 JA3 和 JA3S 结合起来，可以提供对加密连接的更强洞察力。例如，一个恶意软件 (JA3) 可能会尝试连接多个不同的 C2 服务器 (不同的 JA3S)。反之，一个 C2 服务器 (JA3S) 可能会接受来自不同类型恶意软件 (不同的 JA3) 的连接。这种组合分析可以更精确地描绘出威胁活动的全貌。

应用场景

- 恶意软件家族识别: 许多恶意软件家族（如 Trickbot, Emotet）使用特定的 SSL/TLS 库，导致它们具有独特且一致的 JA3 指纹。安全分析师可以创建规则来检测或阻止已知的恶意 JA3 哈希。
- 僵尸网络检测: 僵尸网络中的客户端通常是相同的程序，因此它们的 JA3 指纹也是相同的。这使得大规模识别受感染主机成为可能。
- 威胁情报共享: JA3 指纹是一个优秀的技术性"失陷指标"(IOC)。安全社区可以共享已知的恶意 JA3 列表，就像共享恶意 IP 地址或域名一样。
- 识别非标准应用: 可以用于识别组织内部网络中不合规或非标准的应用程序。

局限性

尽管 JA3 非常有用，但它也有一些明显的缺点：

- 指纹冲突: 不同的应用程序可能偶然会使用相同的加密库和配置，从而产生相同的 JA3 指纹。
- 容易被规避 (Spoofing): 只要攻击者有能力修改其客户端的 SSL/TLS 库，他们就可以刻意模仿一个常见、合法的应用程序（如 Chrome 浏览器）的 `Client Hello` 包，从而生成一个"合法"的 JA3 指纹来逃避检测。这种技术被称为"JA3 欺骗"。
- 指纹随版本变化: 当一个合法应用（如 Chrome）更新时，它的 TLS 实现可能会改变，导致其 JA3 指纹也发生变化。这意味着维护一个准确的指纹数据库需要持续的努力。
- 信息有限: 一个 MD5 哈希本身不包含任何信息。你无法从两个不同的哈希值看出它们对应的客户端有多相似。例如，Chrome 90 和 Chrome 91 的 JA3 哈希可能完全不同，即使它们的 `Client Hello` 包只有微小的差异。

如何检测 JA3

要实现 JA3 检测，你需要能够监控网络流量并解析 TLS 握手的工具。常见的实现方式包括：

- 网络安全监控 (NSM) 工具: Zeek (原名 Bro) 是原生支持 JA3 和 JA3S 指纹生成的黄金标准。
- Suricata: 从 4.1 版本开始，Suricata 也内置了 JA3 指纹功能。
- Wireshark: 可以通过特定的插件或手动的 tshark 脚本来提取和计算 JA3。

R25: JA4 指纹技术

R25: JA4+ TLS/QUIC 指纹识别技术详解

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - JA3 指纹技术 - 理解 JA3 的原理与局限性
> - QUIC 协议基础 - 了解 HTTP/3 的传输层变化

JA4+ 是由 FoxIO (原 Salesforce 的 JA3 团队) 开发的一套网络指纹识别方法的集合，旨在成为 JA3 的下一代演进版本。它不仅仅是对 JA3 的简单升级，而是一个更全面、更具结构化和可操作性的指纹套件，旨在解决 JA3 的核心痛点，并扩展到 QUIC 和 HTTP 等协议。

目录

为什么需要 JA4+ (JA3 的局限性)

JA3 是一个非常成功的技术，但其核心设计——一个单一的 MD5 哈希——带来了几个无法克服的挑战：

- 缺乏上下文: 一个 MD5 哈希是不透明的。`e7d705a3...` 和 `a8d9b1c2...` 这两个哈希值，我们无法判断它们代表的客户端有多相似。可能只是 TLS 扩展顺序的一个微小变化，就导致了完全不同的哈希。
- "雪崩效应": 客户端的任何微小更新（例如，Chrome 101 -> 102）都可能导致 JA3 哈希完全改变，使得基于精确匹配的规则变得非常脆弱。
- 难以进行模糊搜索: 无法进行"搜索所有使用 TLS 1.3 但不包含某个特定加密套件的客户端"这样的灵活查询。
- 易于被模仿: 攻击者只需要精确复现 `Client Hello` 的特定字段，就能完全复制一个合法应用的 JA3 哈希。

JA4+ 的诞生就是为了解决这些问题。

JA4 的核心设计 - 不再是哈希

JA4 最大的革新是放弃了单一、不透明的哈希值，转而采用一种结构化、人类可读的字符串格式。这使得指纹本身就携带了丰富的上下文信息。

JA4 的指纹格式为：`Protocol_Version_Ciphers_Extensions_Signature`，每个部分都有特定的含义和构造方法。

一个典型的 JA4 指纹例子：`t13d1516h2_174735a34e8a_b2149a751699`

我们来分解它：

- **`t`** (Protocol): 协议。`t` 代表 TLS, `q` 代表 QUIC。
- **`13`** (TLS Version): `Client Hello` 中支持的最高 TLS 版本。`12` = TLS 1.2, `13` = TLS 1.3。

- `d1516h2` (Ciphers & Extensions Count):
  - `d`: 客户端支持的加密套件是有序的 (sorted)。`i` 表示无序 (insipid)。
  - `15`: 客户端提供了 15 个加密套件。
  - `16`: 客户端提供了 16 个扩展。
  - `h2`: 客户端在 `Client Hello` 中使用了 2 个 GREASE (Generate Random Extensions And Sustain Extensibility) 值，这通常是现代浏览器的特征。
- `_` (分隔符)
- `174735a34e8a` (Extensions): 这是对有序的扩展列表进行特定算法计算后得到的部分哈希。相似的扩展列表会产生相似的哈希前缀。
- `_` (分隔符)
- `b2149a751699` (Signature Algorithms): 这是对签名算法和支持的组（椭圆曲线）进行部分哈希计算后得到的值。

这种结构使得指纹既能用于精确匹配，也能用于强大的模糊匹配。

JA4+ 套件概览

JA4+ 不是单一的工具，而是一个方法论集合。

JA4 (客户端 TLS)

- 目标: 识别发起 TLS 连接的客户端应用。
- 格式: 如上所述的 `p_v_c_e_s` 结构。

JA4S (服务器端 TLS)

- 目标: 识别响应 TLS 连接的服务器应用。
- 格式: `p_v_c_e`，比客户端指纹稍简单。
  - 例如: `t13d03_a06f30d07525`

- `t` = TLS, `13` = TLS 1.3, `d` = 有序, `03` = 3 个扩展, `a06...` = 扩展的部分哈希。

- 应用: 将 JA4 和 JA4S 结合，可以进行更精准的匹配，例如"只告警这个特定 JA4 连接到这个特定 JA4S 的行为"。

JA4H (HTTP 客户端)

- 目标: 对 HTTP 请求进行指纹识别，作为对 JA4 的补充。
- 格式: `p_m_v_h`
  - `p`: 协议 (`h`=HTTP/1, `h2`=HTTP/2)。
  - `m`: 请求方法 (`g`=GET, `p`=POST)。
  - `v`: HTTP 版本。
  - `h`: 对 HTTP Header 的特定组合进行哈希。
- 应用: 可以用来检测 JA4 欺骗。例如，一个声称自己是 Chrome 的 JA4 指纹，却发送了不符合 Chrome 行为的 JA4H 指纹，这很可能是一个恶意客户端。

JA4X (TLS 证书)

- 目标: 对 TLS 证书链进行指纹识别。
- 应用: 快速识别自签名证书、特定恶意软件使用的证书等。

JA4L (实验性)

- L for Lightweight。这是一个更简单的版本，只包含数字和计数，不包含哈希。
- 应用: 适用于性能极高或资源受限的环境，提供基本的模糊匹配能力。

JA4 vs JA3：核心优势

特性	JA4+	JA3
格式	结构化字符串	单一 MD5 哈希
可读性	高，指纹本身包含信息	无
模糊匹配	原生支持，可按部分查询	否
上下文	丰富 (协议, 版本, 计数)	无
欺骗难度	更高，需匹配行为逻辑	较低，只需匹配字段
覆盖范围	TLS, QUIC, HTTP, Certificates	仅 TLS
健壮性	高，微小变化不影响大局	低，"雪崩效应"

应用与实践

JA4+ 的应用场景比 JA3 更广泛和深入：

- 高级威胁狩猎:
  - 利用结构化格式进行模糊搜索，如"查找所有 TLS 1.3 但扩展数异常少的连接"
  - 结合 JA4 + JA4S + JA4H 进行多维度关联分析
  - 检测 C2 (Command & Control) 通信的特征模式
- Bot 检测与反爬虫:
  - 验证声称的浏览器身份与实际 JA4H 行为是否一致
  - 检测自动化工具 (Selenium, Puppeteer) 的指纹特征
  - 识别代理工具和流量中转

- 欺骗检测:
  - JA4 声称是 Chrome，但 JA4H 的 Header 顺序不符合 Chrome 行为
  - TLS 指纹与 HTTP 指纹不匹配的异常连接
  - 检测指纹伪造工具的使用
- 安全运营 (SOC):
  - 快速分类和标记未知流量
  - 建立应用基线，检测偏离正常行为的连接
  - 与 SIEM 系统集成进行实时告警

Python 实现示例

```
import hashlib
from typing import List, Tuple

class JA4Fingerprint:
    """JA4 指纹生成器"""

    def __init__(self):
        self.grease_values = {
            0x0a0a, 0x1a1a, 0x2a2a, 0x3a3a, 0x4a4a,
            0x5a5a, 0x6a6a, 0x7a7a, 0x8a8a, 0x9a9a,
            0xaaaa, 0xbaba, 0xcaca, 0xdada, 0xeaea, 0xfafa
        }

    def generate(self, client_hello: dict) -> str:
        """
    生成 JA4 指纹

        Args:
            client_hello: 解析后的 Client Hello 数据
                - protocol: 'tls' 或 'quic'
                - version: TLS 版本 (如 0x0303 表示 TLS 1.2)
                - ciphers: 加密套件列表
                - extensions: 扩展列表
                - signature_algorithms: 签名算法列表

        Returns:
            JA4 指纹字符串
        """
        # 1. 协议标识
        protocol = 't' if client_hello.get('protocol') == 'tls' else 'q'

        # 2. TLS 版本
        version = self._get_version_string(client_hello.get('version', 0x0303))

        # 3. 过滤 GREASE 值
        ciphers = [c for c in client_hello.get('ciphers', [])
                   if c not in self.grease_values]
        extensions = [e for e in client_hello.get('extensions', [])
                      if e not in self.grease_values]

        # 4. 排序标识
        sorted_ciphers = sorted(ciphers)
        is_sorted = 'd' if ciphers == sorted_ciphers else 'i'

        # 5. 计数
        cipher_count = f"{len(ciphers):02d}"
        ext_count = f"{len(extensions):02d}"

        # 6. GREASE 计数
        grease_count = sum(1 for c in client_hello.get('ciphers', [])
                           if c in self.grease_values)
        grease_str = f"h{grease_count}" if grease_count > 0 else ""
```

```
        # 7. 扩展哈希（取前12位）
        ext_hash = self._hash_list(sorted(extensions))[:12]

        # 8. 签名算法哈希
        sig_algs = client_hello.get('signature_algorithms', [])
        sig_hash = self._hash_list(sig_algs)[:12]

        # 组装指纹
        prefix = f"{protocol}{version}{is_sorted}{cipher_count}{ext_count}
{grease_str}"
        return f"{prefix}_{ext_hash}_{sig_hash}"

    def _get_version_string(self, version: int) -> str:
        """将 TLS 版本转换为字符串"""
        version_map = {
            0x0301: "10",  # TLS 1.0
            0x0302: "11",  # TLS 1.1
            0x0303: "12",  # TLS 1.2
            0x0304: "13",  # TLS 1.3
        }
        return version_map.get(version, "00")

    def _hash_list(self, items: List[int]) -> str:
        """对列表进行哈希"""
        data = ','.join(f"{x:04x}" for x in items)
        return hashlib.sha256(data.encode()).hexdigest()


class JA4HFingerprint:
    """JA4H (HTTP) 指纹生成器"""

    def generate(self, http_request: dict) -> str:
        """
    生成 JA4H 指纹

        Args:
            http_request: HTTP 请求数据
                - method: 请求方法 (GET, POST, etc.)
                - version: HTTP 版本 (1.1, 2, 3)
                - headers: Header 字典 (保持顺序)

        Returns:
            JA4H 指纹字符串
        """
        # 协议
        version = http_request.get('version', '1.1')
        if version == '2':
            proto = 'h2'
        elif version == '3':
            proto = 'h3'
        else:
            proto = 'h1'
```

```
        # 方法
        method = http_request.get('method', 'GET')[0].lower()

        # Header 名称列表（小写，保持顺序）
        headers = http_request.get('headers', {})
        header_names = [k.lower() for k in headers.keys()]

        # Header 哈希
        header_hash = hashlib.sha256(','.join(header_names).encode()).hexdigest()[:12]

        # Cookie 存在标识
        has_cookie = 'c' if 'cookie' in header_names else 'n'

        # Referer 存在标识
        has_referer = 'r' if 'referer' in header_names else 'n'

        return f"{proto}{method}{has_cookie}{has_referer}_{header_hash}"


# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    # 模拟 Chrome 的 Client Hello
    chrome_hello = {
        'protocol': 'tls',
        'version': 0x0304,  # TLS 1.3
        'ciphers': [
            0x1301, 0x1302, 0x1303,  # TLS 1.3 ciphers
            0xc02c, 0xc02b, 0xc030,  # ECDHE ciphers
        ],
        'extensions': [
            0x0000,  # server_name
            0x0017,  # extended_master_secret
            0x0023,  # session_ticket
            0x000d,  # signature_algorithms
            0x002b,  # supported_versions
            0x002d,  # psk_key_exchange_modes
            0x0033,  # key_share
        ],
        'signature_algorithms': [0x0403, 0x0503, 0x0603, 0x0804, 0x0805],
    }

    ja4 = JA4Fingerprint()
    fingerprint = ja4.generate(chrome_hello)
    print(f"JA4 Fingerprint: {fingerprint}")

    # 模拟 HTTP 请求
    http_req = {
        'method': 'GET',
        'version': '2',
        'headers': {
            'Host': 'example.com',
            'User-Agent': 'Mozilla/5.0...',
```

```
            'Accept': '*/*',
            'Accept-Language': 'en-US',
            'Cookie': 'session=abc123',
        }
    }

    ja4h = JA4HFingerprint()
    http_fp = ja4h.generate(http_req)
    print(f"JA4H Fingerprint: {http_fp}")
```

检测工具集成

```
# Wireshark / tshark 提取 JA4
# 需要安装 JA4+ 插件: https://github.com/FoxIO-LLC/ja4

# 使用 tshark 提取 JA4 指纹
tshark_cmd = """
tshark -r capture.pcap -Y "tls.handshake.type == 1" \
    -T fields -e ip.src -e ja4.ja4
"""

# Zeek (Bro) 集成
zeek_script = """
@load ja4

event ssl_client_hello(c: connection, version: count, ...) {
    local ja4 = JA4::fingerprint(c);
    print fmt("JA4: %s from %s", ja4, c$id$orig_h);
}
"""
```

延伸阅读

相关配方

- JA3 指纹详解 - JA3 基础知识
- TLS 指纹识别 - TLS 指纹概述
- 网络抓包 - 获取 TLS 握手包

工具与资源

- JA4+ 官方仓库 - 官方实现和文档
- JA4 数据库 - 已知应用的 JA4 指纹库
- Wireshark JA4 插件 - Wireshark 集成

参考文献

- JA4+ 技术白皮书 - FoxIO 官方博客
- JA4+ 设计原理 - Salesforce Engineering

R26: 验证码绕过技术

R26: 验证码绕过技术：滑块与点选篇

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 网络抓包技术 - 分析验证码请求与响应
> - Python 自动化 - 使用 Selenium/Playwright 模拟浏览器行为

滑块和点选（或称图标）验证码是现代 Web 应用中用于区分人类用户和自动化程序（机器人）的常见手段。与传统的字符输入验证码相比，它们更注重于分析用户的"行为特征"。本文旨在详细介绍绕过这两类验证码的主流技术和核心思想。

目录

验证码核心机制

滑块验证码

- 目标: 用户需要将滑块拖动到背景图的缺口位置。
- 验证重点:

1. 结果准确性: 滑块最终停留的位置是否在缺口的目标容差范围内。
2. 行为可信度: (更重要) 用户的鼠标轨迹是否像人。一个由程序生成的、匀速的、完美的直线轨迹几乎肯定会被判定为机器人。

点选验证码

- 目标: 根据提示，按顺序点击图片中的一个或多个汉字、图标或物体。
- 验证重点:

1. 识别准确性: 是否能正确识别并点击目标。
2. 行为可信度: 点击的坐标、间隔时间、鼠标移动轨迹是否自然。

绕过策略一：模拟人类行为

这是最主流、最根本的绕过方法，其核心是尽可能地模仿人类操作的不完美性。

步骤 1: 目标识别 (计算机视觉)

在模拟操作之前，程序需要先像人一样"看懂"验证码。

- 对于滑块验证码 (缺口识别):
- 常用库: OpenCV (Python)。
- 方法一：边缘检测:

    1. 获取带缺口的背景图和不带缺口的完整背景图（通常可以从网络请求中找到）。

2. 使用 Canny 等边缘检测算法分别处理两张图片。
3. 对比两张图的边缘差异，差异最显著的区域就是缺口的位置。

- 方法二：模板匹配:
  1. 从网络请求或页面元素中获取到独立的"滑块"图片。
  2. 将滑块图片作为"模板"，在带缺口的背景图上进行模板匹配 (`cv2.matchTemplate`)。匹配度最高的地方就是缺口的起始 X 坐标。
- 对于点选验证码 (目标识别):
- 如果目标是固定的文字或图标，可以采用与滑块类似的模板匹配方法。
- 如果目标是变化的、复杂的，例如"请点击图中所有的公交车"，则需要依赖更高级的机器学习模型（见策略二）。

步骤 2: 轨迹模拟 (核心关键)

这是整个绕过过程的灵魂。一个好的轨迹模拟算法需要考虑以下几点，以欺骗服务器端的行为分析模型:

- 非线性移动: 绝对不能是 `(x1, y1)` 到 `(x2, y2)` 的直线。路径需要是带有弧度的曲线。
- 变速移动: 模拟人类操作的肌肉控制，轨迹应该是"慢-快-慢"的模式。
- 初段加速: 初始移动速度较慢。
- 中段匀速/加速: 中间过程速度加快。
- 末段减速: 接近目标时，速度会显著减慢，进行微调。
- 随机抖动: 在主轨迹的基础上，叠加微小的、随机的 Y 轴（有时也包括 X 轴）偏移，模拟手部自然的抖动。
- 超越与回退: 有时可以模拟"拖过头了一点点，再往回拉"的行为，这会极大地增加轨迹的可信度。
- 停顿: 在拖动过程中可以加入短暂的、随机时长的停顿。
- 实现示例 (伪代码):

```
def generate_human_like_track(target_distance):
track = []
current_pos = 0
# Movement pattern: accelerate first, then decelerate
while current_pos < target_distance:
# 1. Calculate movement step size for current phase (non-uniform speed)
if current_pos < target_distance * 0.7:
step = random.uniform(2, 4) # Acceleration phase
else:
step = random.uniform(0.5, 2) # Deceleration and fine-tuning phase

# 2. Add random jitter
y_offset = random.uniform(-1, 1)

# 3. Record trajectory point
track.append((step, y_offset, random.uniform(10, 50))) # (x step, y offset, time
interval ms)
current_pos += step

# (Optional) Add "overshoot and pull back" trajectory points
# ...
return track
```

- 适用场景: 需要从一张大图中识别并定位多个不规则物体的点选验证码（例如，"选出所有的红绿灯"）。
- 方法:

1. 数据标注: 收集大量的验证码图片，并手动标注出需要识别的物体（如"红绿灯"、"公交车"）。
2. 模型训练: 使用标注好的数据集训练一个目标检测模型，如 YOLOv5 或 SSD。
3. 推理: 在实际绕过时，将验证码图片输入到训练好的模型中，模型会返回所有识别到的目标的位置坐标。
4. 后续操作: 拿到坐标后，再结合上一节的"轨迹模拟"方法去点击。

第三方打码平台

- 概念: 将识别验证码这一专业任务外包给第三方服务。这些平台背后通常是大量的人工或者更强大的 AI 模型。
- 代表服务: 2Captcha, Anti-Captcha 等。

- 工作流程:

1. 注册并充值。
2. 通过 API 将验证码图片（或任务描述）发送给平台。
3. 平台返回结果（如滑块的 X 坐标，或点选目标的坐标序列）。
4. 你的程序拿到结果后，再执行后续的模拟操作。

- 优点: 成功率极高，能解决几乎所有类型的验证码，无需自己维护复杂的识别模型。
- 缺点: 需要付费，存在隐私和安全风险（将数据发给第三方），有网络延迟。

绕过策略三：寻找逻辑漏洞

在投入大量精力编写复杂的模拟和识别代码前，先尝试寻找"捷径"是一种高性价比的策略。

- 分析前端 JS: 仔细审查页面的 JavaScript 文件，特别是与验证码相关的逻辑。有时可能会发现:
- 答案硬编码或弱加密: 缺口位置、目标坐标等信息以明文或简单加密的方式存在于前端代码中。
- 可预测的随机数: 用于生成验证码的随机种子或算法过于简单，可以被预测。
- API 漏洞:
- 验证绕过: 尝试直接调用提交表单的 API，但不带验证码相关的参数，看后端是否强制校验。
- Token 重放: 成功通过一次验证后，获取到的 `session_token` 或 `captcha_id` 是否可以被多次重用。

防御与对抗的演进

验证码提供商也在不断进化，以对抗上述绕过技术：

- 环境检测: 检测 WebDriver 特征（如 `navigator.webdriver` 标志）、浏览器指纹、字体、分辨率等。
- 更复杂的行为分析: 不仅仅是轨迹，还会分析点击压力、滚轮行为、鼠标加速度等更深层次的生物特征。
- 图像干扰: 在验证码图片上增加干扰线、噪点、形变、颜色抖动，增加 CV 识别难度。
- 无感验证 (reCAPTCHA v3): 完全在后台根据用户的综合行为评分，分数过低时才弹出挑战。

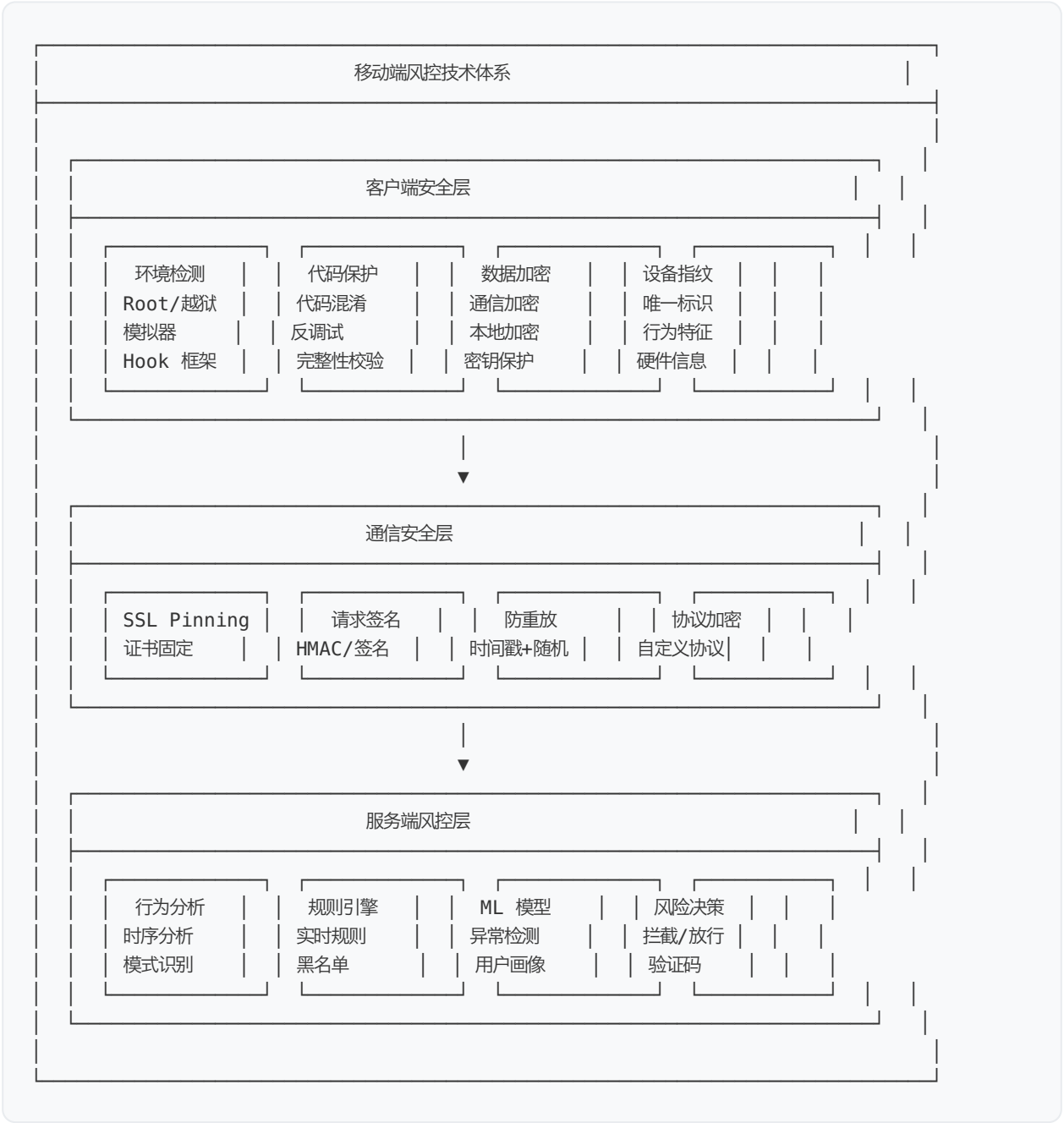
R27: 移动安全与反爬

R27: 移动端安全与风控技术

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - T01: Frida 使用指南 - 动态分析与 Hook 技术
> - C01: 反分析技术案例 - 常见检测手段与绕过
> - R17: 设备指纹与绕过 - 设备指纹采集技术

现代移动应用，特别是处理敏感用户数据或有价值业务逻辑的应用，通常会实现多层安全机制来防御逆向工程、篡改和自动化滥用。这一领域涉及 RASP（运行时应用自我保护）、反机器人技术、风控引擎等多个技术方向。

技术体系概览


移动端风控技术体系
客户端安全层
环境检测
Root/越狱
模拟器
Hook 框架
代码保护
代码混淆
反调试
完整性校验
数据加密
通信加密
本地加密
密钥保护
设备指纹
唯一标识
行为特征
硬件信息
通信安全层
SSL Pinning
证书固定
请求签名
HMAC/签名
防重放
时间戳+随机
协议加密
自定义协议
服务端风控层
行为分析
时序分析
模式识别
规则引擎
实时规则
黑名单
ML 模型
异常检测
用户画像
风险决策
拦截/放行
验证码

1. 客户端安全技术

1.1 环境检测机制

Root/越狱检测

检测维度:

```
// Java 实现 - 综合 Root 检测
public class RootDetection {

    // 检测维度1: 文件系统检测
    private static final String[] ROOT_PATHS = {
        "/system/bin/su", "/system/xbin/su", "/sbin/su",
        "/data/local/bin/su", "/data/local/xbin/su",
        "/system/app/Superuser.apk", "/system/etc/init.d/99SuperSUDaemon",
        "/dev/com.koushikdutta.superuser.daemon/",
        "/system/xbin/daemonsu"
    };

    // 检测维度2: Build 属性检测
    private static boolean checkBuildTags() {
        String buildTags = android.os.Build.TAGS;
        return buildTags != null && buildTags.contains("test-keys");
    }

    // 检测维度3: 危险应用检测
    private static final String[] ROOT_PACKAGES = {
        "com.topjohnwu.magisk",
        "eu.chainfire.supersu",
        "com.koushikdutta.superuser",
        "com.noshufou.android.su",
        "com.thirdparty.superuser",
        "com.yellowes.su",
        "com.devadvance.rootcloak",
        "de.robv.android.xposed.installer",
        "org.lsposed.manager"
    };

    // 检测维度4: Native 层检测
    public static native boolean nativeRootCheck();

    // 综合检测
    public static int getRootScore(Context context) {
        int score = 0;

        // 文件检测 (权重: 30)
        for (String path : ROOT_PATHS) {
            if (new File(path).exists()) {
                score += 30;
                break;
            }
        }

        // Build 属性 (权重: 20)
        if (checkBuildTags()) {
            score += 20;
        }

        // 应用检测 (权重: 25)
```

```
        PackageManager pm = context.getPackageManager();
        for (String pkg : ROOT_PACKAGES) {
            try {
                pm.getPackageInfo(pkg, 0);
                score += 25;
                break;
            } catch (PackageManager.NameNotFoundException e) {
                // 未安装
            }
        }

        // Native 检测（权重: 25）
        if (nativeRootCheck()) {
            score += 25;
        }

        return score;  // 0-100 分，越高越可疑
    }
}
```

Native 层检测：

```
// Native (C/C++) 实现 - Root 检测
#include <jni.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>
#include <dirent.h>

// 检测 su 二进制文件
int check_su_exists() {
    const char* paths[] = {
        "/system/bin/su",
        "/system/xbin/su",
        "/sbin/su",
        "/su/bin/su",
        "/data/local/bin/su"
    };

    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        struct stat st;
        if (stat(paths[i], &st) == 0) {
            return 1;
        }
    }
    return 0;
}

// 检测Magisk
int check_magisk() {
    // 检测Magisk 目录
    struct stat st;
    if (stat("/sbin/.magisk", &st) == 0) return 1;
    if (stat("/data/adb/magisk", &st) == 0) return 1;

    // 检测Magisk 随机化路径
    DIR* dir = opendir("/data/adb/modules");
    if (dir != NULL) {
        closedir(dir);
        return 1;
    }

    return 0;
}

// 检测SELinux 状态
int check_selinux() {
    FILE* fp = fopen("/sys/fs/selinux/enforce", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    int enforcing = 0;
    fscanf(fp, "%d", &enforcing);
```

```
    fclose(fp);

    // enforcing = 0 表示 Permissive 模式，可能被 Root
    return enforcing == 0 ? 1 : 0;
}

// 检测可疑进程
int check_suspicious_process() {
    FILE* fp = popen("ps -A", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[256];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        if (strstr(line, "daemonsu") ||
            strstr(line, "magiskd") ||
            strstr(line, "supersu")) {
            pclose(fp);
            return 1;
        }
    }
    pclose(fp);
    return 0;
}

JNIEXPORT jboolean JNICALL
Java_com_example_RootDetection_nativeRootCheck(JNIEnv *env, jclass clazz) {
    if (check_su_exists()) return JNI_TRUE;
    if (check_magisk()) return JNI_TRUE;
    if (check_selinux()) return JNI_TRUE;
    if (check_suspicious_process()) return JNI_TRUE;
    return JNI_FALSE;
}
```

Hook 框架检测

Frida 检测：

```
// Java 实现 - Frida 检测
public class FridaDetection {

    // 检测 Frida 端口
    public static boolean checkFridaPort() {
        int[] ports = {27042, 27043, 27044, 27045};

        for (int port : ports) {
            try {
                java.net.Socket socket = new java.net.Socket();
                socket.connect(
                    new java.net.InetSocketAddress("127.0.0.1", port), 100
                );
                socket.close();
                return true;  // 端口开放
            } catch (Exception e) {
                // 连接失败
            }
        }
        return false;
    }

    // 检测 Frida 库
    public static boolean checkFridaLibrary() {
        try {
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new FileReader("/proc/self/maps")
            );
            String line;
            while ((line = reader.readLine()) != null) {
                if (line.contains("frida") ||
                    line.contains("gadget") ||
                    line.contains("gum-js")) {
                    reader.close();
                    return true;
                }
            }
            reader.close();
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }
        return false;
    }

    // 检测 Frida 线程
    public static boolean checkFridaThread() {
        try {
            File threadsDir = new File("/proc/self/task");
            File[] threads = threadsDir.listFiles();

            if (threads != null) {
                for (File thread : threads) {
```

```
                    File commFile = new File(thread, "comm");
                    BufferedReader reader = new BufferedReader(
                        new FileReader(commFile)
                    );
                    String comm = reader.readLine();
                    reader.close();

                    if (comm != null && (
                        comm.contains("gum-js-loop") ||
                        comm.contains("gmain") ||
                        comm.contains("pool-frida"))) {
                        return true;
                    }
                }
            }
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }
        return false;
    }

    // Native 层检测
    public static native boolean nativeFridaCheck();
}
```

Native 层 Frida 检测:

```
// Native (C/C++) 实现 - Frida 检测
#include <jni.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <dlfcn.h>
#include <link.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <unistd.h>
#include <pthread.h>

// Frida 特征字符串
static const char* frida_strings[] = {
    "LIBFRIDA",
    "frida:rpc",
    "frida-agent",
    "frida-gadget",
    "gum-js-loop",
    "pool-frida",
    "linjector"
};

// 检测内存中的 Frida 特征
int scan_memory_for_frida() {
    FILE* fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[512];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        for (int i = 0; i < sizeof(frida_strings) / sizeof(frida_strings[0]); i++) {
            if (strcasestr(line, frida_strings[i])) {
                fclose(fp);
                return 1;
            }
        }
    }
    fclose(fp);
    return 0;
}

// 检测 D-Bus (Frida 通信通道)
int check_dbus() {
    char line[256];
    FILE* fp = fopen("/proc/self/fd", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    DIR* dir = opendir("/proc/self/fd");
    if (dir == NULL) return 0;

    struct dirent* entry;
```

```
    while ((entry = readdir(dir)) != NULL) {
        char link_path[256];
        char target[256];

        snprintf(link_path, sizeof(link_path), "/proc/self/fd/%s", entry->d_name);
        ssize_t len = readlink(link_path, target, sizeof(target) - 1);

        if (len > 0) {
            target[len] = '\0';
            if (strstr(target, "frida") || strstr(target, "linjector")) {
                closedir(dir);
                return 1;
            }
        }
    }

    closedir(dir);
    return 0;
}

// 检测 Inline Hook (函数入口被修改)
int check_inline_hook(void* func_ptr) {
    unsigned char* code = (unsigned char*)func_ptr;

#if defined(__arm__)
    // ARM32: 检测 LDR PC 或 B 指令
    // LDR PC, [PC, #offset] 的 opcode 通常以 0xE5 开头
    if ((code[3] & 0xFE) == 0xE5) return 1;
#elif defined(__aarch64__)
    // ARM64: 检测 BR X16/X17 或 B 指令
    unsigned int instruction = *(unsigned int*)code;
    // B 指令: 0x14000000
    if ((instruction & 0xFC000000) == 0x14000000) return 1;
    // BR X16: 0xD61F0200
    if (instruction == 0xD61F0200 || instruction == 0xD61F0220) return 1;
#elif defined(__i386__) || defined(__x86_64__)
    // x86/x64: 检测 JMP 指令
    if (code[0] == 0xE9 || code[0] == 0xE8) return 1;  // JMP/CALL relative
    if (code[0] == 0xFF && code[1] == 0x25) return 1;  // JMP absolute
#endif

    return 0;
}

// 检测关键函数是否被 Hook
int check_common_hooks() {
    void* funcs[] = {
        dlsym(RTLD_DEFAULT, "open"),
        dlsym(RTLD_DEFAULT, "read"),
        dlsym(RTLD_DEFAULT, "write"),
        dlsym(RTLD_DEFAULT, "connect"),
        dlsym(RTLD_DEFAULT, "ptrace")
    };
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        if (funcs[i] && check_inline_hook(funcs[i])) {
            return 1;
        }
    }
    return 0;
}

JNIEXPORT jboolean JNICALL
Java_com_example_FridaDetection_nativeFridaCheck(JNIEnv *env, jclass clazz) {
    if (scan_memory_for_frida()) return JNI_TRUE;
    if (check_dbus()) return JNI_TRUE;
    if (check_common_hooks()) return JNI_TRUE;
    return JNI_FALSE;
}
```

1.2 设备指纹采集

多维度指纹采集

```
// Java 实现 - 设备指纹采集
public class DeviceFingerprint {

    // 硬件指纹
    public static class HardwareFingerprint {
        public String androidId;
        public String serialNumber;
        public String imei;
        public String macAddress;
        public String cpuInfo;
        public String buildInfo;
    }

    // 软件指纹
    public static class SoftwareFingerprint {
        public String osVersion;
        public List<String> installedApps;
        public String timezone;
        public String language;
        public Map<String, String> systemProperties;
    }

    // 行为指纹
    public static class BehaviorFingerprint {
        public long[] touchPattern;      // 触摸时间间隔
        public float[] sensorData;       // 传感器数据特征
        public int screenOrientation;    // 屏幕方向变化频率
        public long sessionDuration;     // 会话时长
    }

    // 综合采集
    public static Map<String, Object> collectFingerprint(Context context) {
        Map<String, Object> fingerprint = new HashMap<>();

        // 1. Android ID
        fingerprint.put("android_id", Settings.Secure.getString(
            context.getContentResolver(), Settings.Secure.ANDROID_ID
        ));

        // 2. Build 信息
        fingerprint.put("build_model", Build.MODEL);
        fingerprint.put("build_brand", Build.BRAND);
        fingerprint.put("build_device", Build.DEVICE);
        fingerprint.put("build_product", Build.PRODUCT);
        fingerprint.put("build_manufacturer", Build.MANUFACTURER);
        fingerprint.put("build_fingerprint", Build.FINGERPRINT);
        fingerprint.put("build_hardware", Build.HARDWARE);
        fingerprint.put("build_board", Build.BOARD);
        fingerprint.put("build_bootloader", Build.BOOTLOADER);
        fingerprint.put("build_display", Build.DISPLAY);
        fingerprint.put("build_host", Build.HOST);
        fingerprint.put("build_id", Build.ID);
```

```
        fingerprint.put("build_tags", Build.TAGS);
        fingerprint.put("build_type", Build.TYPE);
        fingerprint.put("build_user", Build.USER);

        // 3. 系统信息
        fingerprint.put("sdk_int", Build.VERSION.SDK_INT);
        fingerprint.put("release", Build.VERSION.RELEASE);
        fingerprint.put("incremental", Build.VERSION.INCREMENTAL);

        // 4. 屏幕信息
        DisplayMetrics dm = context.getResources().getDisplayMetrics();
        fingerprint.put("screen_width", dm.widthPixels);
        fingerprint.put("screen_height", dm.heightPixels);
        fingerprint.put("screen_density", dm.density);
        fingerprint.put("screen_dpi", dm.densityDpi);

        // 5. 网络信息
        try {
            List<NetworkInterface> interfaces = Collections.list(
                NetworkInterface.getNetworkInterfaces()
            );
            for (NetworkInterface ni : interfaces) {
                byte[] mac = ni.getHardwareAddress();
                if (mac != null && ni.getName().equals("wlan0")) {
                    StringBuilder sb = new StringBuilder();
                    for (byte b : mac) {
                        sb.append(String.format("%02X:", b));
                    }
                    fingerprint.put("wifi_mac", sb.substring(0, sb.length() - 1));
                }
            }
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }

        // 6. 传感器信息
        SensorManager sm = (SensorManager) context.getSystemService(
            Context.SENSOR_SERVICE
        );
        List<Sensor> sensors = sm.getSensorList(Sensor.TYPE_ALL);
        List<String> sensorNames = new ArrayList<>();
        for (Sensor s : sensors) {
            sensorNames.add(s.getName() + ":" + s.getVendor());
        }
        fingerprint.put("sensors", sensorNames);

        // 7. CPU 信息
        fingerprint.put("cpu_abi", Build.SUPPORTED_ABIS);
        fingerprint.put("cpu_cores", Runtime.getRuntime().availableProcessors());

        // 8. 内存信息
        ActivityManager am = (ActivityManager) context.getSystemService(
            Context.ACTIVITY_SERVICE
```

```
        );
        ActivityManager.MemoryInfo mi = new ActivityManager.MemoryInfo();
        am.getMemoryInfo(mi);
        fingerprint.put("total_memory", mi.totalMem);

        // 9. 存储信息
        StatFs stat = new StatFs(Environment.getExternalStorageDirectory().getPath());
        fingerprint.put("total_storage", stat.getBlockSizeLong() *
stat.getBlockCountLong());

        // 10. 时区和语言
        fingerprint.put("timezone", TimeZone.getDefault().getID());
        fingerprint.put("language", Locale.getDefault().getLanguage());
        fingerprint.put("country", Locale.getDefault().getCountry());

        return fingerprint;
    }

    // 计算指纹哈希
    public static String computeFingerprintHash(Map<String, Object> fingerprint) {
        try {
            // 排序键以确保一致性
            TreeMap<String, Object> sorted = new TreeMap<>(fingerprint);

            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            for (Map.Entry<String, Object> entry : sorted.entrySet()) {

sb.append(entry.getKey()).append("=").append(entry.getValue()).append("|");
            }

            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            byte[] hash = md.digest(sb.toString().getBytes("UTF-8"));

            StringBuilder hexString = new StringBuilder();
            for (byte b : hash) {
                hexString.append(String.format("%02x", b));
            }

            return hexString.toString();
        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }
}
```

Canvas 指纹

```
// Java 实现 - Canvas 指纹
public class CanvasFingerprint {

    public static String generateCanvasFingerprint(Context context) {
        // 创建 Bitmap
        Bitmap bitmap = Bitmap.createBitmap(200, 50, Bitmap.Config.ARGB_8888);
        Canvas canvas = new Canvas(bitmap);

        // 绘制背景
        canvas.drawColor(Color.WHITE);

        // 绘制文本
        Paint textPaint = new Paint();
        textPaint.setAntiAlias(true);
        textPaint.setTextSize(14);
        textPaint.setColor(Color.rgb(102, 204, 0));
        textPaint.setTypeface(Typeface.create("Arial", Typeface.BOLD));

        String text = "Canvas Fingerprint 🎨";
        canvas.drawText(text, 10, 30, textPaint);

        // 绘制几何图形
        Paint shapePaint = new Paint();
        shapePaint.setColor(Color.rgb(255, 102, 0));
        shapePaint.setStyle(Paint.Style.FILL);
        canvas.drawRect(150, 10, 180, 40, shapePaint);

        shapePaint.setColor(Color.rgb(0, 102, 255));
        canvas.drawCircle(190, 25, 10, shapePaint);

        // 提取像素数据并计算哈希
        ByteArrayOutputStream baos = new ByteArrayOutputStream();
        bitmap.compress(Bitmap.CompressFormat.PNG, 100, baos);
        byte[] imageData = baos.toByteArray();

        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            byte[] hash = md.digest(imageData);

            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            for (byte b : hash) {
                sb.append(String.format("%02x", b));
            }
            return sb.toString();
        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }
}
```

2. 通信安全技术

2.1 请求签名机制

HMAC 签名实现

```
// Java 实现 - 请求签名
public class RequestSigner {

    private static final String HMAC_ALGORITHM = "HmacSHA256";
    private byte[] secretKey;

    public RequestSigner(byte[] secretKey) {
        this.secretKey = secretKey;
    }

    // 生成签名
    public String sign(Map<String, String> params, long timestamp, String nonce) {
        // 1. 排序参数
        TreeMap<String, String> sortedParams = new TreeMap<>(params);

        // 2. 构建待签名字符串
        StringBuilder sb = new StringBuilder();
        for (Map.Entry<String, String> entry : sortedParams.entrySet()) {
            if (sb.length() > 0) {
                sb.append("&");
            }
            sb.append(entry.getKey()).append("=").append(entry.getValue());
        }

        // 3. 添加时间戳和随机数
        sb.append("&timestamp=").append(timestamp);
        sb.append("&nonce=").append(nonce);

        // 4. 计算 HMAC
        try {
            Mac mac = Mac.getInstance(HMAC_ALGORITHM);
            SecretKeySpec keySpec = new SecretKeySpec(secretKey, HMAC_ALGORITHM);
            mac.init(keySpec);

            byte[] signature = mac.doFinal(sb.toString().getBytes("UTF-8"));

            // 5. Base64 编码
            return Base64.encodeToString(signature, Base64.NO_WRAP);
        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }

    // 生成随机数
    public static String generateNonce() {
        byte[] nonce = new byte[16];
        new SecureRandom().nextBytes(nonce);

        StringBuilder sb = new StringBuilder();
        for (byte b : nonce) {
            sb.append(String.format("%02x", b));
        }
```

```
        return sb.toString();
    }

    // 构建签名请求
    public Map<String, String> buildSignedRequest(
            String url,
            Map<String, String> params) {

        long timestamp = System.currentTimeMillis() / 1000;
        String nonce = generateNonce();
        String signature = sign(params, timestamp, nonce);

        Map<String, String> signedParams = new HashMap<>(params);
        signedParams.put("timestamp", String.valueOf(timestamp));
        signedParams.put("nonce", nonce);
        signedParams.put("sign", signature);

        return signedParams;
    }
}
```

复杂签名算法示例

某些应用使用更复杂的签名算法:

```
// Java 实现 - 复杂签名算法示例
public class ComplexSigner {

    // 签名算法: SHA256(MD5(params) + timestamp + deviceId + salt)
    public static String complexSign(
            Map<String, String> params,
            long timestamp,
            String deviceId,
            String salt) {

        try {
            // 1. 对参数进行 MD5
            TreeMap<String, String> sorted = new TreeMap<>(params);
            StringBuilder paramStr = new StringBuilder();
            for (Map.Entry<String, String> e : sorted.entrySet()) {
                paramStr.append(e.getKey()).append(e.getValue());
            }

            MessageDigest md5 = MessageDigest.getInstance("MD5");
            byte[] paramHash = md5.digest(paramStr.toString().getBytes("UTF-8"));
            String paramMd5 = bytesToHex(paramHash);

            // 2. 拼接其他要素
            String toSign = paramMd5 + timestamp + deviceId + salt;

            // 3. SHA256
            MessageDigest sha256 = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            byte[] finalHash = sha256.digest(toSign.getBytes("UTF-8"));

            return bytesToHex(finalHash);

        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }

    // 带加密的签名
    public static String encryptedSign(
            Map<String, String> params,
            String key) {

        try {
            // 1. JSON 序列化
            JSONObject json = new JSONObject(params);
            String plaintext = json.toString();

            // 2. AES 加密
            SecretKeySpec keySpec = new SecretKeySpec(
                key.getBytes("UTF-8"), "AES"
            );
            Cipher cipher = Cipher.getInstance("AES/CBC/PKCS5Padding");
            byte[] iv = new byte[16];
```

```
            new SecureRandom().nextBytes(iv);
            IvParameterSpec ivSpec = new IvParameterSpec(iv);

            cipher.init(Cipher.ENCRYPT_MODE, keySpec, ivSpec);
            byte[] encrypted = cipher.doFinal(plaintext.getBytes("UTF-8"));

            // 3. 组合 IV + 密文
            byte[] result = new byte[iv.length + encrypted.length];
            System.arraycopy(iv, 0, result, 0, iv.length);
            System.arraycopy(encrypted, 0, result, iv.length, encrypted.length);

            // 4. Base64 编码
            return Base64.encodeToString(result, Base64.NO_WRAP);

        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }

    private static String bytesToHex(byte[] bytes) {
        StringBuilder sb = new StringBuilder();
        for (byte b : bytes) {
            sb.append(String.format("%02x", b));
        }
        return sb.toString();
    }
}
```

2.2 防重放攻击

```
// Java 实现 - 防重放机制
public class AntiReplay {

    // 客户端实现
    public static class ClientAntiReplay {
        private AtomicLong sequence = new AtomicLong(0);

        // 生成唯一请求 ID
        public String generateRequestId() {
            long timestamp = System.currentTimeMillis();
            long seq = sequence.incrementAndGet();
            String deviceId = getDeviceId();

            // 格式: timestamp-sequence-deviceId-random
            String random = UUID.randomUUID().toString().substring(0, 8);
            return String.format("%d-%d-%s-%s", timestamp, seq, deviceId, random);
        }

        // 添加时间戳和签名
        public void addAntiReplayHeaders(HttpURLConnection conn, String body) {
            long timestamp = System.currentTimeMillis();
            String nonce = UUID.randomUUID().toString();
            String requestId = generateRequestId();

            // 计算签名: HMAC(timestamp + nonce + body)
            String toSign = timestamp + nonce + body;
            String signature = computeHmac(toSign);

            conn.setRequestProperty("X-Timestamp", String.valueOf(timestamp));
            conn.setRequestProperty("X-Nonce", nonce);
            conn.setRequestProperty("X-Request-Id", requestId);
            conn.setRequestProperty("X-Signature", signature);
        }

        private String computeHmac(String data) {
            // ... HMAC 计算
            return "";
        }

        private String getDeviceId() {
            // ... 获取设备 ID
            return "";
        }
    }

    // 服务端验证逻辑 (伪代码)
    public static class ServerAntiReplay {
        private Set<String> usedNonces = new ConcurrentHashSet<>();
        private static final long TIMESTAMP_TOLERANCE = 300000;  // 5 分钟容差

        public boolean validateRequest(
                long timestamp,
```

```
                String nonce,
                String requestId,
                String signature,
                String body) {

            // 1. 验证时间戳
            long now = System.currentTimeMillis();
            if (Math.abs(now - timestamp) > TIMESTAMP_TOLERANCE) {
                return false;  // 时间戳过期
            }

            // 2. 验证 nonce 唯一性
            if (usedNonces.contains(nonce)) {
                return false;  // 重放攻击
            }
            usedNonces.add(nonce);

            // 3. 验证签名
            String expectedSignature = computeHmac(timestamp + nonce + body);
            if (!signature.equals(expectedSignature)) {
                return false;  // 签名不匹配
            }

            return true;
        }

        private String computeHmac(String data) {
            // ... HMAC 计算
            return "";
        }
    }
}
```

3. 服务端风控技术

3.1 行为分析

```
# Python 实现 - 服务端行为分析
import time
import statistics
from collections import defaultdict
from typing import List, Dict, Optional

class BehaviorAnalyzer:
    """用户行为分析引擎"""

    def __init__(self):
        self.user_sessions = defaultdict(list)
        self.request_history = defaultdict(list)

    def record_request(self, user_id: str, request_data: Dict):
        """记录用户请求"""
        timestamp = time.time()

        self.request_history[user_id].append({
            'timestamp': timestamp,
            'endpoint': request_data.get('endpoint'),
            'params': request_data.get('params'),
            'user_agent': request_data.get('user_agent'),
            'ip': request_data.get('ip')
        })

        # 保留最近 1000 条记录
        if len(self.request_history[user_id]) > 1000:
            self.request_history[user_id] = self.request_history[user_id][-1000:]

    def analyze_request_frequency(self, user_id: str, window_seconds: int = 60) ->
Dict:
        """分析请求频率"""
        now = time.time()
        recent_requests = [
            r for r in self.request_history[user_id]
            if now - r['timestamp'] < window_seconds
        ]

        return {
            'request_count': len(recent_requests),
            'requests_per_second': len(recent_requests) / window_seconds,
            'unique_endpoints': len(set(r['endpoint'] for r in recent_requests)),
            'unique_ips': len(set(r['ip'] for r in recent_requests))
        }

    def analyze_timing_pattern(self, user_id: str) -> Dict:
        """分析请求时间模式"""
        requests = self.request_history[user_id]
        if len(requests) < 10:
            return {'status': 'insufficient_data'}

        # 计算请求间隔
```

```
        intervals = []
        for i in range(1, len(requests)):
            interval = requests[i]['timestamp'] - requests[i-1]['timestamp']
            intervals.append(interval)

        return {
            'mean_interval': statistics.mean(intervals),
            'std_interval': statistics.stdev(intervals) if len(intervals) > 1 else 0,
            'min_interval': min(intervals),
            'max_interval': max(intervals),
            # 标准差过小可能是机器人
            'is_suspicious': statistics.stdev(intervals) < 0.1 if len(intervals) > 1
else False
        }

    def analyze_endpoint_pattern(self, user_id: str) -> Dict:
        """分析端点访问模式"""
        requests = self.request_history[user_id]

        endpoint_counts = defaultdict(int)
        for r in requests:
            endpoint_counts[r['endpoint']] += 1

        total = len(requests)
        endpoint_distribution = {
            ep: count / total
            for ep, count in endpoint_counts.items()
        }

        # 计算熵值（多样性指标）
        import math
        entropy = -sum(
            p * math.log2(p) for p in endpoint_distribution.values() if p > 0
        )

        return {
            'endpoint_distribution': endpoint_distribution,
            'entropy': entropy,
            # 熵值过低表示行为模式过于单一
            'is_suspicious': entropy < 1.0
        }

    def calculate_risk_score(self, user_id: str) -> int:
        """计算风险评分 (0-100)"""
        score = 0

        # 频率分析
        freq = self.analyze_request_frequency(user_id)
        if freq['requests_per_second'] > 10:
            score += 30
        elif freq['requests_per_second'] > 5:
            score += 15
```

```
        # 时间模式分析
        timing = self.analyze_timing_pattern(user_id)
        if timing.get('is_suspicious'):
            score += 25

        # 端点模式分析
        endpoint = self.analyze_endpoint_pattern(user_id)
        if endpoint.get('is_suspicious'):
            score += 20

        # IP 一致性
        if freq['unique_ips'] > 3:
            score += 15  # 多 IP 可疑

        return min(score, 100)


class RateLimiter:
    """速率限制器"""

    def __init__(self):
        self.request_counts = defaultdict(list)
        self.blocked_users = set()

    def check_rate_limit(
        self,
        user_id: str,
        endpoint: str,
        limit: int = 100,
        window: int = 60
    ) -> bool:
        """检查是否超过速率限制"""
        if user_id in self.blocked_users:
            return False

        now = time.time()
        key = f"{user_id}:{endpoint}"

        # 清理过期记录
        self.request_counts[key] = [
            ts for ts in self.request_counts[key]
            if now - ts < window
        ]

        # 检查是否超限
        if len(self.request_counts[key]) >= limit:
            return False

        # 记录本次请求
        self.request_counts[key].append(now)
        return True

    def block_user(self, user_id: str, duration: int = 3600):
```

```
        """封禁用户"""
        self.blocked_users.add(user_id)
        # 在实际实现中，应该使用定时任务在 duration 后解封

    def is_blocked(self, user_id: str) -> bool:
        """检查用户是否被封禁"""
        return user_id in self.blocked_users


class RuleEngine:
    """规则引擎"""

    def __init__(self):
        self.rules = []

    def add_rule(self, rule_func, action: str, description: str):
        """添加规则"""
        self.rules.append({
            'func': rule_func,
            'action': action,
            'description': description
        })

    def evaluate(self, request_data: Dict) -> List[Dict]:
        """评估所有规则"""
        triggered_rules = []

        for rule in self.rules:
            try:
                if rule['func'](request_data):
                    triggered_rules.append({
                        'action': rule['action'],
                        'description': rule['description']
                    })
            except Exception as e:
                pass

        return triggered_rules


# 使用示例
def create_default_rules():
    engine = RuleEngine()

    # 规则1: 检测高频请求
    engine.add_rule(
        lambda r: r.get('requests_per_minute', 0) > 100,
        'rate_limit',
        '请求频率过高'
    )

    # 规则2: 检测可疑 User-Agent
    suspicious_uas = ['python-requests', 'curl', 'wget', 'scrapy']
```

```
    engine.add_rule(
        lambda r: any(ua in r.get('user_agent', '').lower() for ua in suspicious_uas),
        'challenge',
        '可疑User-Agent'
    )

    # 规则3: 检测异常时间模式
    engine.add_rule(
        lambda r: r.get('timing_std', 1) < 0.05,
        'captcha',
        '请求时间间隔过于规律'
    )

    # 规则4: 检测异常地理位置
    engine.add_rule(
        lambda r: r.get('geo_velocity', 0) > 1000,  # km/h
        'block',
        '地理位置异常跳跃'
    )

    return engine
```

3.2 机器学习检测

```
# Python 实现 - ML 异常检测
import numpy as np
from sklearn.ensemble import IsolationForest
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
import joblib

class MLBotDetector:
    """基于机器学习的机器人检测"""

    def __init__(self):
        self.model = None
        self.scaler = StandardScaler()

    def extract_features(self, user_data: Dict) -> np.ndarray:
        """提取特征向量"""
        features = [
            # 请求频率特征
            user_data.get('requests_per_minute', 0),
            user_data.get('requests_per_hour', 0),
            user_data.get('unique_endpoints', 0),

            # 时间模式特征
            user_data.get('timing_mean', 0),
            user_data.get('timing_std', 0),
            user_data.get('timing_min', 0),
            user_data.get('timing_max', 0),

            # 会话特征
            user_data.get('session_duration', 0),
            user_data.get('page_views', 0),
            user_data.get('bounce_rate', 0),

            # 设备特征
            1 if user_data.get('has_touch', False) else 0,
            1 if user_data.get('has_sensors', False) else 0,
            user_data.get('screen_width', 0),
            user_data.get('screen_height', 0),

            # 行为特征
            user_data.get('mouse_movements', 0),
            user_data.get('keyboard_events', 0),
            user_data.get('scroll_events', 0)
        ]

        return np.array(features).reshape(1, -1)

    def train(self, training_data: List[Dict]):
        """训练模型"""
        X = np.vstack([
            self.extract_features(d) for d in training_data
        ])
```

```
        # 标准化
        X_scaled = self.scaler.fit_transform(X)

        # 使用隔离森林进行异常检测
        self.model = IsolationForest(
            n_estimators=100,
            contamination=0.1,  # 预期异常比例
            random_state=42
        )
        self.model.fit(X_scaled)

    def predict(self, user_data: Dict) -> Dict:
        """预测是否为机器人"""
        if self.model is None:
            raise ValueError("模型未训练")

        X = self.extract_features(user_data)
        X_scaled = self.scaler.transform(X)

        # -1 表示异常，1 表示正常
        prediction = self.model.predict(X_scaled)[0]
        score = self.model.decision_function(X_scaled)[0]

        return {
            'is_bot': prediction == -1,
            'confidence': abs(score),
            'anomaly_score': -score  # 越高越异常
        }

    def save_model(self, path: str):
        """保存模型"""
        joblib.dump({
            'model': self.model,
            'scaler': self.scaler
        }, path)

    def load_model(self, path: str):
        """加载模型"""
        data = joblib.load(path)
        self.model = data['model']
        self.scaler = data['scaler']


class DeepLearningBotDetector:
    """基于深度学习的机器人检测"""

    def __init__(self):
        self.model = None

    def build_model(self, input_dim: int):
        """构建神经网络模型"""
        import tensorflow as tf
```

```
        self.model = tf.keras.Sequential([
            tf.keras.layers.Dense(128, activation='relu', input_shape=(input_dim,)),
            tf.keras.layers.Dropout(0.3),
            tf.keras.layers.Dense(64, activation='relu'),
            tf.keras.layers.Dropout(0.3),
            tf.keras.layers.Dense(32, activation='relu'),
            tf.keras.layers.Dense(1, activation='sigmoid')
        ])

        self.model.compile(
            optimizer='adam',
            loss='binary_crossentropy',
            metrics=['accuracy', 'AUC']
        )

    def train(self, X_train: np.ndarray, y_train: np.ndarray,
              X_val: np.ndarray = None, y_val: np.ndarray = None):
        """训练模型"""
        callbacks = [
            tf.keras.callbacks.EarlyStopping(
                patience=5,
                restore_best_weights=True
            ),
            tf.keras.callbacks.ReduceLROnPlateau(
                factor=0.5,
                patience=3
            )
        ]

        validation_data = None
        if X_val is not None and y_val is not None:
            validation_data = (X_val, y_val)

        self.model.fit(
            X_train, y_train,
            epochs=100,
            batch_size=32,
            validation_data=validation_data,
            callbacks=callbacks
        )

    def predict(self, X: np.ndarray) -> np.ndarray:
        """预测"""
        return self.model.predict(X)
```

4. 设备证明技术

4.1 Google Play Integrity API

```
// Java 实现 - Play Integrity API
import com.google.android.play.core.integrity.IntegrityManager;
import com.google.android.play.core.integrity.IntegrityManagerFactory;
import com.google.android.play.core.integrity.IntegrityTokenRequest;
import com.google.android.play.core.integrity.IntegrityTokenResponse;

public class PlayIntegrityChecker {

    private IntegrityManager integrityManager;

    public PlayIntegrityChecker(Context context) {
        this.integrityManager = IntegrityManagerFactory.create(context);
    }

    // 请求完整性令牌
    public void requestIntegrityToken(String nonce, IntegrityCallback callback) {
        // nonce 应该是服务器生成的随机值
        IntegrityTokenRequest request = IntegrityTokenRequest.builder()
            .setNonce(nonce)
            .build();

        integrityManager.requestIntegrityToken(request)
            .addOnSuccessListener(response -> {
                String token = response.token();
                // 将 token 发送到服务器验证
                callback.onSuccess(token);
            })
            .addOnFailureListener(e -> {
                callback.onFailure(e);
            });
    }

    public interface IntegrityCallback {
        void onSuccess(String token);
        void onFailure(Exception e);
    }
}
```

服务端验证：

```
# Python 实现 - 服务端验证 Play Integrity Token
import json
import base64
from google.auth import jwt
from google.oauth2 import service_account
import requests

class PlayIntegrityVerifier:
    """Play Integrity API 服务端验证"""

    def __init__(self, package_name: str, credentials_path: str):
        self.package_name = package_name
        self.credentials = service_account.Credentials.from_service_account_file(
            credentials_path,
            scopes=['https://www.googleapis.com/auth/playintegrity']
        )

    def verify_token(self, token: str, nonce: str) -> Dict:
        """验证完整性令牌"""

        # 1. 调用 Google API 解码令牌
        url = f"https://playintegrity.googleapis.com/v1/
{self.package_name}:decodeIntegrityToken"

        headers = {
            'Authorization': f'Bearer {self.credentials.token}',
            'Content-Type': 'application/json'
        }

        data = {
            'integrityToken': token
        }

        response = requests.post(url, headers=headers, json=data)
        result = response.json()

        if 'tokenPayloadExternal' not in result:
            return {'valid': False, 'error': 'Invalid token'}

        payload = result['tokenPayloadExternal']

        # 2. 验证 nonce
        if payload.get('requestDetails', {}).get('nonce') != nonce:
            return {'valid': False, 'error': 'Nonce mismatch'}

        # 3. 验证包名
        if payload.get('appIntegrity', {}).get('packageName') != self.package_name:
            return {'valid': False, 'error': 'Package name mismatch'}

        # 4. 检查设备完整性
        device_integrity = payload.get('deviceIntegrity', {})
        device_verdict = device_integrity.get('deviceRecognitionVerdict', [])
```

```
        # 5. 检查应用完整性
        app_integrity = payload.get('appIntegrity', {})
        app_verdict = app_integrity.get('appRecognitionVerdict')

        # 6. 检查账号完整性
        account_details = payload.get('accountDetails', {})
        account_verdict = account_details.get('appLicensingVerdict')

        return {
            'valid': True,
            'device_verdict': device_verdict,
            'app_verdict': app_verdict,
            'account_verdict': account_verdict,
            'is_genuine_device': 'MEETS_DEVICE_INTEGRITY' in device_verdict,
            'is_genuine_app': app_verdict == 'PLAY_RECOGNIZED',
            'is_licensed': account_verdict == 'LICENSED'
        }

    def calculate_risk_level(self, verification_result: Dict) -> str:
        """根据验证结果计算风险等级"""
        if not verification_result.get('valid'):
            return 'HIGH'

        score = 0

        if verification_result.get('is_genuine_device'):
            score += 40
        if verification_result.get('is_genuine_app'):
            score += 30
        if verification_result.get('is_licensed'):
            score += 30

        if score >= 80:
            return 'LOW'
        elif score >= 50:
            return 'MEDIUM'
        else:
            return 'HIGH'
```

4.2 SafetyNet Attestation (已弃用，仅供参考)

```
// Java 实现 - SafetyNet Attestation (Legacy)
import com.google.android.gms.safetynet.SafetyNet;
import com.google.android.gms.safetynet.SafetyNetApi;

public class SafetyNetChecker {

    private static final String API_KEY = "YOUR_API_KEY";

    public static void checkSafetyNet(Context context, SafetyNetCallback callback) {
        // 生成随机 nonce
        byte[] nonce = new byte[32];
        new SecureRandom().nextBytes(nonce);

        SafetyNet.getClient(context)
            .attest(nonce, API_KEY)
            .addOnSuccessListener(response -> {
                String jwsResult = response.getJwsResult();
                // 将 JWS 发送到服务器验证
                callback.onSuccess(jwsResult);
            })
            .addOnFailureListener(e -> {
                callback.onFailure(e);
            });
    }

    public interface SafetyNetCallback {
        void onSuccess(String jws);
        void onFailure(Exception e);
    }
}
```

5. 常见风控 SDK 分析

5.1 主流风控 SDK 特征

SDK 名称	厂商	主要特征	检测能力
同盾	同盾科技	设备指纹、行为分析	Root/模拟器/篡改检测
阿里聚安全	阿里巴巴	多维度风控	完整风控体系
腾讯御安全	腾讯	终端安全、数据加密	加固+风控
网易易盾	网易	反外挂、反作弊	游戏场景优化
极验	极验科技	行为验证、验证码	人机识别
数美科技	数美	智能风控	ML 驱动

5.2 SDK 检测绕过思路

```
// Frida 脚本 - 通用风控 SDK 绕过框架
(function() {
    "use strict";

    console.log("[*] Risk Control SDK Bypass Framework");

    Java.perform(function() {
        // 1. 绕过设备指纹采集
        bypassDeviceFingerprint();

        // 2. 绕过环境检测
        bypassEnvironmentCheck();

        // 3. 绕过行为采集
        bypassBehaviorCollection();

        // 4. 绕过完整性校验
        bypassIntegrityCheck();
    });

    function bypassDeviceFingerprint() {
        console.log("[*] Bypassing device fingerprint...");

        // Hook Settings.Secure.getString
        var Settings = Java.use("android.provider.Settings$Secure");
        Settings.getString.overload(
            "android.content.ContentResolver",
            "java.lang.String"
        ).implementation = function(resolver, name) {
            if (name === "android_id") {
                // 返回固定或随机的 Android ID
                return generateFakeAndroidId();
            }
            return this.getString(resolver, name);
        };

        // Hook TelephonyManager
        var TelephonyManager = Java.use("android.telephony.TelephonyManager");

        TelephonyManager.getDeviceId.overload().implementation = function() {
            return generateFakeImei();
        };

        TelephonyManager.getSubscriberId.overload().implementation = function() {
            return generateFakeImsi();
        };

        // Hook NetworkInterface
        var NetworkInterface = Java.use("java.net.NetworkInterface");
        NetworkInterface.getHardwareAddress.implementation = function() {
            return generateFakeMac();
        };
```

```
    }

    function bypassEnvironmentCheck() {
        console.log("[*] Bypassing environment check...");

        // Root 检测绕过
        var File = Java.use("java.io.File");
        var rootPaths = ["/system/bin/su", "/system/xbin/su", "/sbin/su"];

        File.exists.implementation = function() {
            var path = this.getAbsolutePath();
            for (var i = 0; i < rootPaths.length; i++) {
                if (path.indexOf(rootPaths[i]) !== -1) {
                    return false;
                }
            }
            return this.exists();
        };

        // Build 属性修改
        var Build = Java.use("android.os.Build");
        Build.FINGERPRINT.value = "samsung/dreamltexx/dreamlte:9/PPR1.180610.011/
G950FXXS5DSL1:user/release-keys";
        Build.TAGS.value = "release-keys";
        Build.TYPE.value = "user";
    }

    function bypassBehaviorCollection() {
        console.log("[*] Bypassing behavior collection...");

        // Hook 传感器数据采集
        var SensorManager = Java.use("android.hardware.SensorManager");

        SensorManager.registerListener.overload(
            "android.hardware.SensorEventListener",
            "android.hardware.Sensor",
            "int"
        ).implementation = function(listener, sensor, rate) {
            // 可以选择不注册或注册一个假的监听器
            console.log("[*] SensorManager.registerListener blocked");
            return true;  // 返回成功但不实际注册
        };

        // Hook 触摸事件采集
        // 这通常在 View 层实现，需要针对具体 SDK

        // Hook 位置信息采集
        var LocationManager = Java.use("android.location.LocationManager");

LocationManager.getLastKnownLocation.overload("java.lang.String").implementation =
function(provider) {
            console.log("[*] LocationManager.getLastKnownLocation blocked");
            return null;
```

```
        };
    }

    function bypassIntegrityCheck() {
        console.log("[*] Bypassing integrity check...");

        // Hook PackageManager 签名验证
        var PackageManager = Java.use("android.app.ApplicationPackageManager");

        PackageManager.getPackageInfo.overload("java.lang.String",
"int").implementation = function(pkg, flags) {
            var info = this.getPackageInfo(pkg, flags);

            // 如果请求签名，可以返回原始签名
            if ((flags & 0x40) !== 0) {
                console.log("[*] Signature check intercepted for: " + pkg);
                // 这里可以替换签名
            }

            return info;
        };

        // Hook MessageDigest (用于校验)
        var MessageDigest = Java.use("java.security.MessageDigest");

        MessageDigest.digest.overload("[B").implementation = function(input) {
            // 检测是否是完整性校验
            // 可以根据调用栈判断
            return this.digest(input);
        };
    }

    // 辅助函数
    function generateFakeAndroidId() {
        // 生成看起来真实的 Android ID
        var chars = "0123456789abcdef";
        var result = "";
        for (var i = 0; i < 16; i++) {
            result += chars.charAt(Math.floor(Math.random() * chars.length));
        }
        return result;
    }

    function generateFakeImei() {
        // 生成符合 Luhn 校验的 IMEI
        var imei = "35";  // TAC 开头
        for (var i = 0; i < 12; i++) {
            imei += Math.floor(Math.random() * 10);
        }
        // 计算校验位
        imei += calculateLuhnCheckDigit(imei);
        return imei;
    }
```

```
    function generateFakeImsi() {
        // 中国移动 IMSI 示例
        return "460001234567890";
    }

    function generateFakeMac() {
        // 返回随机 MAC 地址字节数组
        var mac = [];
        for (var i = 0; i < 6; i++) {
            mac.push(Math.floor(Math.random() * 256));
        }
        return Java.array('byte', mac);
    }

    function calculateLuhnCheckDigit(number) {
        var sum = 0;
        var alternate = false;

        for (var i = number.length - 1; i >= 0; i--) {
            var n = parseInt(number.charAt(i), 10);
            if (alternate) {
                n *= 2;
                if (n > 9) n -= 9;
            }
            sum += n;
            alternate = !alternate;
        }

        return (10 - (sum % 10)) % 10;
    }

})();
```

6. 绕过策略总结

6.1 客户端绕过

检测类型	绕过方法	难度	持久性
Root 检测	MagiskHide/DenyList	⭐⭐	高
Frida 检测	自定义端口/过滤 maps	⭐⭐⭐	中
模拟器检测	修改 Build 属性	⭐⭐	高
签名校验	Hook getPackageInfo	⭐⭐	高
设备指纹	Hook 采集函数	⭐⭐⭐	中
SSL Pinning	Hook TrustManager	⭐⭐	高

6.2 通信层绕过

防护类型	绕过方法	难度
请求签名	逆向签名算法	⭐⭐⭐⭐
防重放	模拟时间戳/nonce	⭐⭐
协议加密	逆向加密算法	⭐⭐⭐⭐
证书固定	安装自定义证书	⭐⭐

6.3 最佳实践


风控对抗最佳实践
1. 分层分析
├── 先观察网络请求，了解通信协议
├── 识别加密/签名参数
└── 定位关键函数
2. 环境准备
├── 使用 MagiskHide 隐藏 Root
├── 使用自定义端口的 Frida
└── 准备干净的测试设备/模拟器
3. 动态分析
├── Hook 网络层函数追踪请求
├── Hook 加密函数获取明文
└── Hook 签名函数获取算法
4. 静态辅助
├── 反编译定位关键代码
├── 分析混淆后的算法逻辑
└── 提取密钥和配置
5. 验证测试
├── 使用脚本验证签名算法
├── 模拟请求测试服务端响应
└── 长期运行测试稳定性

7. 实战案例

7.1 某电商 App 签名算法还原

```
# Python 实现 - 还原的签名算法示例
import hashlib
import hmac
import time
import json
import base64

class EcommerceAppSigner:
    """某电商 App 签名算法还原"""

    def __init__(self, app_key: str, app_secret: str, device_id: str):
        self.app_key = app_key
        self.app_secret = app_secret
        self.device_id = device_id

    def sign_request(self, api: str, params: dict) -> dict:
        """签名请求"""
        timestamp = int(time.time() * 1000)
        nonce = self._generate_nonce()

        # 1. 构建待签名参数
        sign_params = {
            'api': api,
            'appkey': self.app_key,
            'deviceid': self.device_id,
            'timestamp': str(timestamp),
            'nonce': nonce,
            **params
        }

        # 2. 参数排序
        sorted_keys = sorted(sign_params.keys())
        sign_str = '&'.join([
            f"{k}={sign_params[k]}" for k in sorted_keys
        ])

        # 3. HMAC-SHA256 签名
        signature = hmac.new(
            self.app_secret.encode('utf-8'),
            sign_str.encode('utf-8'),
            hashlib.sha256
        ).hexdigest()

        # 4. 返回完整请求参数
        return {
            **sign_params,
            'sign': signature
        }

    def _generate_nonce(self) -> str:
        """生成随机数"""
        import random
```

```
        import string
        return ''.join(random.choices(string.ascii_lowercase + string.digits, k=16))


# 使用示例
signer = EcommerceAppSigner(
    app_key="your_app_key",
    app_secret="your_app_secret",
    device_id="your_device_id"
)

signed_params = signer.sign_request(
    api="product.list",
    params={"category": "electronics", "page": "1"}
)

print(json.dumps(signed_params, indent=2))
```

7.2 某社交 App 设备指纹绕过

```
// Frida 脚本 - 某社交 App 设备指纹绕过
Java.perform(function() {
    console.log("[*] Hooking social app fingerprint...");

    // Hook 该 App 的设备信息采集类
    var DeviceInfo = Java.use("com.social.app.security.DeviceInfo");

    DeviceInfo.getAndroidId.implementation = function() {
        console.log("[*] getAndroidId called");
        return "a1b2c3d4e5f67890";  // 固定值
    };

    DeviceInfo.getDeviceModel.implementation = function() {
        return "SM-G950F";  // 伪装成三星 S8
    };

    DeviceInfo.isRooted.implementation = function() {
        console.log("[*] isRooted called, returning false");
        return false;
    };

    DeviceInfo.isEmulator.implementation = function() {
        console.log("[*] isEmulator called, returning false");
        return false;
    };

    // Hook 签名验证
    var SignatureVerifier = Java.use("com.social.app.security.SignatureVerifier");

    SignatureVerifier.verify.implementation = function(context) {
        console.log("[*] SignatureVerifier.verify called, returning true");
        return true;
    };

    console.log("[+] All hooks installed successfully");
});
```

总结

移动端安全与风控是一个持续对抗的领域。防御方不断升级检测手段，攻击方也在持续优化绕过技术。理解这些技术的原理，有助于：

1. 安全研究人员: 评估应用的安全性
2. 开发人员: 设计更健壮的防护方案
3. 逆向工程师: 更高效地分析和绕过防护

关键是要建立分层防御的思维，单一检测点很容易被绕过，需要多维度、多层次的综合防护。

扩展阅读

学术论文

以下是与移动端安全和风控技术相关的学术论文，可以帮助深入理解该领域的技术原理：

设备指纹与用户识别

论文标题	主题	arXiv 链接
Device Fingerprinting: A Comprehensive Survey	设备指纹技术综述	arXiv:2311.01344
Fingerprinting Mobile Devices Using Personalized Configurations	移动设备指纹识别	arXiv:1708.09109
Cross-Browser Fingerprinting via OS and Hardware Level Features	跨浏览器指纹	arXiv:1503.01408

机器人检测与反爬虫

论文标题	主题	arXiv 链接
Bot Detection in Social Networks: A Survey	社交网络机器人检测综述	arXiv:2005.12963
A Survey on Deep Learning Based Bot Detection Techniques	深度学习机器人检测	arXiv:2301.10912
Detecting and Characterizing Web Bot Traffic in a Large E-commerce Platform	电商平台机器人流量检测	arXiv:2003.02595

移动应用安全

论文标题	主题	arXiv 链接
A Survey on Security and Privacy of Android Applications	Android 应用安全综述	arXiv:2101.06298
Android Malware Detection: A Survey	Android 恶意软件检测综述	arXiv:1904.05999
Deep Learning for Android Malware Detection	深度学习恶意软件检测	arXiv:1802.03316
RASP: Runtime Application Self-Protection	RASP 运行时保护	arXiv:1907.04093

行为分析与异常检测

论文标题	主题	arXiv 链接
Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey	异常检测深度学习综述	arXiv:1901.03407
User Behavior Analysis for Security Applications	用户行为安全分析	arXiv:2006.04559
Continuous Authentication via Behavioral Biometrics	行为生物特征认证	arXiv:2003.06494

风控与欺诈检测

论文标题	主题	arXiv 链接
A Survey of Credit Card Fraud Detection Techniques	信用卡欺诈检测综述	arXiv:2007.07373
Financial Fraud Detection: A Machine Learning Perspective	金融欺诈 ML 检测	arXiv:2009.07136
Graph Neural Networks for Fraud Detection	图神经网络欺诈检测	arXiv:2007.02402

逆向工程与代码保护

论文标题	主题	arXiv 链接
A Survey on Software Obfuscation and Deobfuscation	代码混淆与反混淆综述	arXiv:1710.01236
Machine Learning for Reverse Engineering	机器学习逆向工程	arXiv:2009.12120
Binary Code Analysis: A Survey	二进制代码分析综述	arXiv:2205.03454

推荐阅读顺序

对于不同背景的读者，建议按以下顺序阅读：

安全研究员：

1. A Survey on Security and Privacy of Android Applications - 了解整体安全态势
2. Device Fingerprinting: A Comprehensive Survey - 理解设备识别技术
3. RASP: Runtime Application Self-Protection - 学习防护技术

风控工程师：

1. Bot Detection in Social Networks: A Survey - 机器人检测基础
2. Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey - 异常检测方法
3. Financial Fraud Detection: A Machine Learning Perspective - 风控模型设计

逆向工程师：

1. A Survey on Software Obfuscation and Deobfuscation - 混淆技术原理
2. Binary Code Analysis: A Survey - 二进制分析技术
3. Android Malware Detection: A Survey - 恶意软件分析

相关章节：

- R17: 设备指纹与绕过
- C01: 反分析技术案例
- R26: 验证码绕过技术

R28: 自动化脚本

R28: 自动化脚本 (Automation Scripts)

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - ADB 速查手册 - 理解 ADB 命令基础
> - Python 基础 - 掌握 subprocess、文件操作等

在 Android 逆向工程中，自动化脚本可以极大地提高效率，例如自动安装 APK、重启应用、模拟点击以及批量处理设备。Python 是编写这些脚本的首选语言。

1. 基础 ADB 封装 (Python)

虽然可以直接在 shell 中运行 `adb` 命令，但在 Python 中封装一层可以更方便地进行逻辑控制。

```
import subprocess
import time
import os

class AdbWrapper:
    def __init__(self, device_id=None):
        self.device_id = device_id

    def run_cmd(self, cmd):
        adb_cmd = ["adb"]
        if self.device_id:
            adb_cmd.extend(["-s", self.device_id])
        adb_cmd.extend(cmd)

        try:
            result = subprocess.run(
                adb_cmd,
                capture_output=True,
                text=True,
                check=True
            )
            return result.stdout.strip()
        except subprocess.CalledProcessError as e:
            print(f"Error running command {' '.join(adb_cmd)}: {e.stderr}")
            return None

    def install(self, apk_path):
        print(f"Installing {apk_path}...")
        return self.run_cmd(["install", "-r", apk_path])

    def uninstall(self, package_name):
        print(f"Uninstalling {package_name}...")
        return self.run_cmd(["uninstall", package_name])

    def start_app(self, package_name, activity_name):
        print(f"Starting {package_name}/{activity_name}...")
        return self.run_cmd(["shell", "am", "start", "-n", f"{package_name}/
{activity_name}"])

    def stop_app(self, package_name):
        print(f"Stopping {package_name}...")
        return self.run_cmd(["shell", "am", "force-stop", package_name])

    def clear_data(self, package_name):
        print(f"Clearing data for {package_name}...")
        return self.run_cmd(["shell", "pm", "clear", package_name])

    def click(self, x, y):
        return self.run_cmd(["shell", "input", "tap", str(x), str(y)])

    def swipe(self, x1, y1, x2, y2, duration=500):
        return self.run_cmd(["shell", "input", "swipe", str(x1), str(y1), str(x2),
```

```
str(y2), str(duration)])

    def input_text(self, text):
        # Note: special characters might need escaping
        return self.run_cmd(["shell", "input", "text", text])

    def screenshot(self, remote_path="/sdcard/screenshot.png",
local_path="screenshot.png"):
        self.run_cmd(["shell", "screencap", "-p", remote_path])
        self.run_cmd(["pull", remote_path, local_path])
        print(f"Screenshot saved to {local_path}")

# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    adb = AdbWrapper()  # 默认连接第一个设备

    # 打印连接的设备
    print("Devices:", adb.run_cmd(["devices"]))

    # adb.start_app("com.example.app", "com.example.app.MainActivity")
    # time.sleep(5)
    # adb.click(500, 1000)
    # adb.screenshot()
```

2. UIAutomator2 自动化

`uiautomator2` 是一个更强大的 UI 自动化库，可以更方便地进行元素定位和操作。

安装

```
pip install uiautomator2
```

使用示例

```
import uiautomator2 as u2
import time

# 连接设备 (USB)
d = u2.connect()
# 或通过 WiFi: d = u2.connect('192.168.1.100')

print(f"Connected to device: {d.info}")

# 启动 App
pkg_name = "com.example.android.apis"
d.app_start(pkg_name)

# 等待 App 启动
d.wait_activity(".ApiDemos", timeout=10)

# 查找并点击元素 (支持多种选择器)
try:
    # 通过文本查找并点击
    if d(text="App").exists:
        d(text="App").click()

    # 通过 resourceId 查找
    # d(resourceId="com.example:id/button").click()

    # 滚动查找 (向下滑动直到找到文本为 'Notification' 元素)
    d(scrollable=True).scroll.to(text="Notification")
    d(text="Notification").click()

    # 输入文本
    # d(resourceId="com.example:id/edit_text").set_text("Hello World")

    # 截图
    d.screenshot("uiauto_screenshot.jpg")

except Exception as e:
    print(f"Error: {e}")

finally:
    # 停止 App
    # d.app_stop(pkg_name)
    pass
```

3. 批量管理工具

用于批量安装 APK、设置代理等操作。

```
import os
import glob
from concurrent.futures import ThreadPoolExecutor

class BatchManager:
    def __init__(self, adb_wrapper):
        self.adb = adb_wrapper

    def install_all(self, directory):
        """批量安装目录下所有 APK"""
        apk_files = glob.glob(os.path.join(directory, "*.apk"))
        print(f"Found {len(apk_files)} APKs.")

        # 使用线程池并发安装 (注意: ADB 并发可能不稳定, 视情况调整)
        with ThreadPoolExecutor(max_workers=3) as executor:
            executor.map(self.adb.install, apk_files)

    def setup_proxy(self, host, port):
        """设置全局 HTTP 代理"""
        print(f"Setting global http proxy to {host}:{port}...")
        self.adb.run_cmd(["shell", "settings", "put", "global", "http_proxy",
f"{host}:{port}"])

    def clear_proxy(self):
        """清除全局 HTTP 代理"""
        print("Clearing global http proxy...")
        self.adb.run_cmd(["shell", "settings", "put", "global", "http_proxy", ":0"])

    def get_device_info(self):
        """获取设备信息"""
        info = {}
        info['brand'] = self.adb.run_cmd(["shell", "getprop", "ro.product.brand"])
        info['model'] = self.adb.run_cmd(["shell", "getprop", "ro.product.model"])
        info['sdk'] = self.adb.run_cmd(["shell", "getprop", "ro.build.version.sdk"])
        info['android'] = self.adb.run_cmd(["shell", "getprop",
"ro.build.version.release"])
        return info

# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    adb = AdbWrapper()
    manager = BatchManager(adb)

    # 批量安装当前目录下 apks 文件夹中所有 apk
    # manager.install_all("./apks")

    # 设置代理以便抓包
    # manager.setup_proxy("192.168.1.10", "8080")

    # 获取设备信息
    # info = manager.get_device_info()
    # print(info)
```

4. Frida 自动化脚本

结合 Frida 进行自动化 Hook。

```
import frida
import sys
import time

def on_message(message, data):
    if message['type'] == 'send':
        print(f"[*] {message['payload']}")
    elif message['type'] == 'error':
        print(f"[!] {message['stack']}")

def run_frida_script(package_name, script_path):
    """运行 Frida 脚本"""
    try:
        # 连接设备
        device = frida.get_usb_device(timeout=5)
        print(f"[+] Connected to: {device}")

        # 启动或附加到应用
        try:
            pid = device.spawn([package_name])
            session = device.attach(pid)
            spawned = True
        except:
            session = device.attach(package_name)
            spawned = False

        # 加载脚本
        with open(script_path, 'r') as f:
            script_code = f.read()

        script = session.create_script(script_code)
        script.on('message', on_message)
        script.load()

        # 如果是 spawn 模式，恢复应用
        if spawned:
            device.resume(pid)

        print(f"[+] Script loaded, press Ctrl+C to exit")
        sys.stdin.read()

    except KeyboardInterrupt:
        print("\n[*] Exiting...")
    except Exception as e:
        print(f"[-] Error: {e}")

if __name__ == "__main__":
    run_frida_script("com.example.app", "hook_script.js")
```

5. 多设备管理

管理多台设备进行并行测试。

```
import subprocess
from concurrent.futures import ThreadPoolExecutor

def get_connected_devices():
    """获取所有已连接设备"""
    result = subprocess.run(["adb", "devices"], capture_output=True, text=True)
    lines = result.stdout.strip().split('\n')[1:]  # 跳过标题行
    devices = []
    for line in lines:
        if '\t' in line:
            device_id, status = line.split('\t')
            if status == 'device':
                devices.append(device_id)
    return devices

def run_on_device(device_id, task_func, *args):
    """在指定设备上运行任务"""
    adb = AdbWrapper(device_id)
    return task_func(adb, *args)

def run_on_all_devices(task_func, *args):
    """在所有设备上并行运行任务"""
    devices = get_connected_devices()
    print(f"[+] Found {len(devices)} devices")

    with ThreadPoolExecutor(max_workers=len(devices)) as executor:
        futures = [
            executor.submit(run_on_device, device_id, task_func, *args)
            for device_id in devices
        ]
        results = [f.result() for f in futures]
    return results

# 示例任务
def install_apk_task(adb, apk_path):
    return adb.install(apk_path)

def screenshot_task(adb, output_dir):
    device_id = adb.device_id or "default"
    local_path = f"{output_dir}/{device_id}_screenshot.png"
    adb.screenshot(local_path=local_path)
    return local_path

# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    devices = get_connected_devices()
    print(f"Connected devices: {devices}")

    # 在所有设备上安装 APK
    # run_on_all_devices(install_apk_task, "./app.apk")
```

```
    # 在所有设备上截图
    # run_on_all_devices(screenshot_task, "./screenshots")
```

总结

自动化脚本是 Android 逆向工程的重要工具。通过 Python 封装 ADB 命令、使用 UIAutomator2 进行 UI 自动化、结合 Frida 进行动态分析，可以构建强大的自动化测试和分析流程。

R29: Scrapy 爬虫框架

R29: Scrapy 快速入门备忘录

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Python 基础 - 掌握类、装饰器、生成器等概念
> - HTTP 协议 - 理解请求响应、Headers、Cookies

Scrapy 是一个用于网络爬虫和数据抓取的、开源的、协作式的 Python 框架。它具有速度快、功能强大、可扩展性高的特点。本备忘录为 Scrapy 的核心概念和常用命令提供快速参考。

目录

核心组件

Scrapy 的数据流由以下核心组件协同完成：

1. Engine (引擎): 负责控制所有组件之间的数据流，并在相应动作发生时触发事件。

2. Scheduler (调度器): 接收来自引擎的请求 (`Request`)，并将其入队，以便后续引擎请求时提供。
3. Downloader (下载器): 负责获取页面数据，并将其提供给引擎，而后由引擎将结果 (`Response`) 交给 Spider。
4. Spiders (爬虫): 用户编写的用于解析 `Response` 并提取 `Item` 或额外 `Request` 的类。
5. Item Pipeline (项目管道): 负责处理由 Spider 提取出来的 `Item` 。典型的操作包括数据清洗、验证和持久化（如存入数据库）。
6. Downloader Middlewares (下载器中间件): 位于引擎和下载器之间的钩子，用于在请求发送和响应返回时进行自定义处理（如设置 User-Agent、处理代理）。
7. Spider Middlewares (爬虫中间件): 位于引擎和 Spider 之间的钩子，用于处理 Spider 的输入 (`Response`) 和输出 (`Item` , `Request`)。

Scrapy Architecture

项目命令

命令	描述
`pip install scrapy`	安装 Scrapy 框架
`scrapy startproject myproject`	创建一个名为 `myproject` 的新项目
`cd myproject`	进入项目目录
`scrapy genspider example example.com`	在 `spiders` 目录下创建一个名为 `example` 的爬虫，限定域名为 `example.com`
`scrapy crawl example`	运行名为 `example` 的爬虫
`scrapy crawl example -o output.json`	运行爬虫并将提取的数据保存为 JSON 文件
`scrapy shell "http://example.com"`	启动一个交互式 Shell，用于测试 XPath/CSS 选择器
`scrapy list`	列出项目中的所有可用爬虫

Spider (爬虫)

Spider 是你定义如何爬取某个网站（或一组网站）的类，包括爬取动作和如何从页面内容中提取结构化数据。

基本结构

```
# myproject/spiders/example_spider.py
import scrapy

class ExampleSpider(scrapy.Spider):
# 爬虫的唯一标识名称
name = 'example'
# 允许爬取的域名列表（可选）
allowed_domains = ['example.com']
# 爬虫启动时请求的 URL 列表
start_urls = ['http://example.com/']

# 处理 start_urls 响应的默认回调方法
def parse(self, response):
# 在这里编写解析逻辑
pass
```

- `response.css('a::attr(href)').getall()`：提取所有 `<a>` 标签的 `href` 属性。
- `response.css('div.product > p::text').get()`：提取 `class="product"` 的 `div` 下的 `p` 标签文本。
- XPath 表达式:
- `response.xpath('//h1/text()').get()`：提取第一个 `<h1>` 标签的文本。
- `response.xpath('//a/@href').getall()`：提取所有 `<a>` 标签的 `href` 属性。
- `response.xpath('//div[@class="product"]/p/text()').get()`：同上。

处理分页和链接

在 `parse` 方法中，你可以 `yield` 新的 `Request` 对象来跟进链接。

```
def parse(self, response):
# ... 提取当前页面数据 ...

# 提取下一页链接并生成新请求
next_page = response.css('a.next_page::attr(href)').get()
if next_page is not None:
# response.urljoin() 用于处理相对 URL
yield response.follow(next_page, callback=self.parse)
```

```
# myproject/items.py
import scrapy

class ProductItem(scrapy.Item):
name = scrapy.Field()
price = scrapy.Field()
description = scrapy.Field()
```

item = ProductItem() item['name'] = response.css('h1.product-name::text').get() item['price'] = response.css('span.price::text').get() yield item

```
```python
# myproject/pipelines.py
import sqlite3

class SQLitePipeline:
def open_spider(self, spider):
# 爬虫开启时调用
self.connection = sqlite3.connect('products.db')
self.cursor = self.connection.cursor()
self.cursor.execute('CREATE TABLE IF NOT EXISTS products (name TEXT, price TEXT)')

def close_spider(self, spider):
# 爬虫关闭时调用
self.connection.close()

def process_item(self, item, spider):
# 每个 item 都会调用
self.cursor.execute('INSERT INTO products (name, price) VALUES (?, ?)', (item['name'],
item['price']))
self.connection.commit()
return item # 必须返回 item
```
```

'myproject.pipelines.SQLitePipeline': 300, }

```
* `DEFAULT_REQUEST_HEADERS`: 设置默认的请求头，如 `User-Agent`。
* `DOWNLOAD_DELAY = 1`: 设置下载延迟（秒），以避免对服务器造成太大压力。
* `CONCURRENT_REQUESTS = 16`: 并发请求数。
* `ITEM_PIPELINES`: 激活和设置 Item Pipeline 的优先级。
* `DOWNLOADER_MIDDLEWARES`: 激活和设置下载器中间件的优先级。
```

R30: Scrapy-Redis 分布式

R30: 分布式爬虫实战：Scrapy-Redis 详解

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Scrapy 快速入门 - 理解 Scrapy 调度器与去重机制
> - Redis 基础 - 掌握 Redis 列表、集合操作

Scrapy 默认是单机架构，请求队列保存在内存中，重启即失，且无法多机共享。Scrapy-Redis 是一个强大的组件，它重写了 Scrapy 的调度器 (Scheduler) 和去重组件 (DupeFilter)，将请求队列和指纹集合存储在 Redis 中，从而实现：

1. 分布式爬取: 多个爬虫节点共享同一个 Redis 队列，协同工作。
2. 断点续爬: 请求持久化在 Redis 中，爬虫挂掉重启后可继续运行。

---

1. 核心架构原理

原生 Scrapy vs Scrapy-Redis

原生 Scrapy:

- Scheduler: 维护在内存中的 Python `deque` 或 `queue`。
- DupeFilter: 维护在内存中的 Python `set`。
- 缺点: 无法跨进程/跨机器共享，内存受限。

Scrapy-Redis:

- Scheduler: 从 Redis 的 `List` (或 `PriorityQueue`) 中 `POP` 请求，向其 `PUSH` 新请求。

- DupeFilter: 利用 Redis 的 `Set` 数据结构存储 URL 指纹 (SHA1)，利用 Redis 的原子性进行去重。
- Item Pipeline: 可选将提取的数据直接推入 Redis，由独立的 Worker 消费存储。

---

2. 环境搭建与配置

安装

```
pip install scrapy-redis
```

配置 settings.py

```
# settings.py

# 1. 启用 Scrapy-Redis 调度器
SCHEDULER = "scrapy_redis.scheduler.Scheduler"

# 2. 启用 Scrapy-Redis 去重过滤器
DUPEFILTER_CLASS = "scrapy_redis.dupefilter.RFPDupeFilter"

# 3. 允许暂停（断点续爬核心）
# 如果为真，当爬虫停止时，Redis 中的请求队列不会被清空
SCHEDULER_PERSIST = True

# 4. 设置 Redis 连接
# 方式一：单独设置
REDIS_HOST = '192.168.1.100'
REDIS_PORT = 6379
# REDIS_PARAMS = {'password': 'yourpassword'}

# 方式二：完整地址
# REDIS_URL = 'redis://user:pass@hostname:9001'

# 5. 配置请求队列模式（可选，默认为 PriorityQueue）
# SCHEDULER_QUEUE_CLASS = 'scrapy_redis.queue.PriorityQueue'  # 有序集合，支持优先级
# SCHEDULER_QUEUE_CLASS = 'scrapy_redis.queue.FifoQueue'      # 先进先出列表
# SCHEDULER_QUEUE_CLASS = 'scrapy_redis.queue.LifoQueue'      # 后进先出列表（栈）

# 6. （可选）将数据存入 Redis Pipeline
ITEM_PIPELINES = {
    'scrapy_redis.pipelines.RedisPipeline': 300,
}
```

3. 编写分布式 Spider

继承 RedisSpider

```
from scrapy_redis.spiders import RedisSpider
import scrapy

class MyDistributedSpider(RedisSpider):
    name = 'myspider_distributed'

    # 核心差异：不再定义 start_urls
    # 定义 redis_key，爬虫启动后会阻塞等待该键中出现的 URL
    redis_key = 'myspider:start_urls'

    def parse(self, response):
        self.logger.info(f"Crawling {response.url}")

        # 提取数据逻辑与普通 Spider 一致
        yield {
            'url': response.url,
            'title': response.css('title::text').get()
        }

        # 生成新请求
        for href in response.css('a::attr(href)').getall():
            yield response.follow(href, self.parse)
```

启动流程

1. 启动爬虫（多个终端启动多个实例）：

```
scrapy crawl myspider_distributed
```

2. 向 Redis 推送起始 URL：

```
redis-cli lpush myspider:start_urls http://example.com
```

使用 RedisCrawlSpider

如果你需要利用 `Rule` 和 `LinkExtractor` 自动抓取全站，可以使用 `RedisCrawlSpider`。

```
from scrapy_redis.spiders import RedisCrawlSpider
from scrapy.linkextractors import LinkExtractor
from scrapy.spiders import Rule

class MyCrawlSpider(RedisCrawlSpider):
    name = 'mycrawl_distributed'
    redis_key = 'mycrawl:start_urls'

    rules = (
        Rule(LinkExtractor(allow=r'/article/'), callback='parse_article'),
        Rule(LinkExtractor(allow=r'/page/'), follow=True),
    )

    def parse_article(self, response):
        yield {
            'title': response.css('h1::text').get(),
            'content': response.css('.content::text').getall(),
        }
```

4. 进阶优化策略

Bloom Filter 去重优化

Scrapy-Redis 默认使用 Redis `Set` 存储所有指纹。对于亿级 URL 的爬取，这会消耗数十 GB 内存。解决方案是集成 Bloom Filter。

实现思路:

1. 重写 `RFPDupeFilter`。
2. 使用 `redis-py` 的 `bf.add` 和 `bf.exists` 命令 (需要 RedisBloom 模块) 或 Python 端的 `pybloom_live` 映射到 Redis BitMap。

```
# custom_dupefilter.py 简易示意
from scrapy_redis.dupefilter import RFPDupeFilter

class BloomFilterDupeFilter(RFPDupeFilter):
    def request_seen(self, request):
        fp = self.request_fingerprint(request)
        # 假设 self.server 是 Redis 连接，且支持 BF 命令
        # 如果指纹已存在，返回 True
        if self.server.execute_command('BF.EXISTS', self.key, fp):
            return True
        # 否则添加指纹
        self.server.execute_command('BF.ADD', self.key, fp)
        return False
```

请求优先级

```
# 生成请求时指定优先级
yield scrapy.Request(url, priority=100)  # 首页，优先
yield scrapy.Request(url, priority=10)   # 详情页，次之
```

空闲超时关闭

```
# settings.py
# 指定空闲等待时间（秒），超时则关闭爬虫
SCHEDULER_IDLE_BEFORE_CLOSE = 10
```

5. 部署架构图

```
graph TB
    subgraph "Master / Redis Server"
        Redis[(Redis Queue & Set)]
    end

    subgraph "Slave 1"
        Spider1[Scrapy Spider 1] -->|Pop Request| Redis
        Spider1 -->|Push Request| Redis
        Spider1 -->|Dupe Check| Redis
    end

    subgraph "Slave 2"
        Spider2[Scrapy Spider 2] -->|Pop Request| Redis
        Spider2 -->|Push Request| Redis
        Spider2 -->|Dupe Check| Redis
    end

    subgraph "Data Storage"
        Mongo[(MongoDB)]
    end

    Spider1 -->|Store Item| Mongo
    Spider2 -->|Store Item| Mongo
```

6. 常见问题

Q: 爬虫启动后一直等待，不抓取?

A: 确认已向 `redis_key` 推送了起始 URL:

```
redis-cli lpush myspider:start_urls http://example.com
```

Q: 如何监控爬取进度?

A: 使用 Redis 命令查看队列长度:

```
# 查看待爬取请求数量
redis-cli llen myspider:requests

# 查看已爬取指纹数量
redis-cli scard myspider:dupefilter
```

Q: 如何清空队列重新开始?

A: 删除 Redis 中的相关键:

```
redis-cli del myspider:requests myspider:dupefilter myspider:start_urls
```

总结

Scrapy-Redis 是构建分布式爬虫系统的核心组件。通过将调度器和去重组件迁移到 Redis，实现了多节点协同爬取和断点续爬能力，是大规模数据采集的必备工具。

R31: 代理池设计

R31: 代理池设计与 Scrapy 集成

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Scrapy 快速入门 - 理解 Scrapy 中间件机制
> - Redis 基础 - 理解 Redis 数据结构与操作

在面对反爬虫策略严厉的目标站（如电商、社交媒体）时，单一 IP 很容易被封禁。构建一个高可用、自动轮转的代理池 (Proxy Pool) 是大规模数据采集的基础设施。

---

1. 代理池架构设计

一个成熟的代理池系统通常包含四个独立模块，通过 Redis 进行解耦：

核心组件

1. Fetcher (获取器):
    - 职责: 定时从各大免费代理网站（快代理、云代理等）或付费 API 接口拉取代理 IP。
    - 策略: 每隔 N 分钟运行一次，将获取到的新 IP 存入 Redis 的"待检测"队列。
2. Checker (检测器):
    - 职责: 异步检测 Redis 中代理 IP 的可用性、匿名度和响应速度。
    - 实现: 使用 `aiohttp` 或 `requests` 对目标网站（如百度、谷歌或特定目标站）发起请求。
    - 评分机制:

项目	说明
可用	分数设为 100（或 +1）。
不可用	分数减 1，当分数低于阈值（如 0）时，从 Redis 移除。
复检	定时遍历 Redis 中现存的代理进行复检，确保库中 IP 始终有效。

1. Storage (存储器):

项目	说明
数据库	Redis 是最佳选择。
数据结构	`Sorted Set` (有序集合)。
Key	代理 IP (`1.2.3.4:8080`)
Score	代理分数 (0-100)
优势	可以利用 `ZRANGEBYSCORE` 轻松获取高质量（满分）代理。

1. API Server (接口服务):
    - 职责: 为爬虫提供简单的 HTTP 接口获取代理。
    - 接口:
        - `/get` : 随机返回一个高分代理。
        - `/count` : 查看当前可用代理数量。

架构图

```
graph LR
    ProxySources[免费/付费源] --> Fetcher
    Fetcher -->|Raw Proxy| Redis[(Redis Sorted Set)]
    Redis <-->|Validation| Checker
    Crawler[Scrapy 爬虫] -->|Request| API[API Server]
    API -->|Get High Score Proxy| Redis
```

2. Scrapy 中间件集成

工作流程

1. 请求前（`process_request`）：从代理池获取一个代理，赋值给 `request.meta['proxy']`。
2. 响应后（`process_response`）：检查状态码。如果是 200，说明代理正常；如果是 403/429/超时，说明代理可能失效或被封。
3. 异常处理（`process_exception`）：捕获连接超时、连接拒绝等网络错误，标记该代理失效，并对当前请求进行重试。

代码实现

```
# middlewares.py
import requests
import logging
from scrapy.exceptions import IgnoreRequest

class ProxyMiddleware:
    def __init__(self, proxy_pool_url):
        self.proxy_pool_url = proxy_pool_url
        self.logger = logging.getLogger(__name__)

    @classmethod
    def from_crawler(cls, crawler):
        return cls(
            proxy_pool_url=crawler.settings.get('PROXY_POOL_URL')
        )

    def _get_random_proxy(self):
        try:
            response = requests.get(self.proxy_pool_url)
            if response.status_code == 200:
                return response.text.strip()
        except requests.ConnectionError:
            return None
        return None

    def process_request(self, request, spider):
        # 如果请求已经设置代理（例如特定请求），则跳过
        if request.meta.get('proxy'):
            return

        proxy = self._get_random_proxy()
        if proxy:
            self.logger.debug(f"Using proxy: {proxy}")
            # 设置代理，格式：http://user:pass@ip:端口 或 http://ip:端口
            request.meta['proxy'] = f"http://{proxy}"
        else:
            self.logger.warning("No proxy available from pool!")

    def process_response(self, request, response, spider):
        # 如果遇到验证码、封禁等状态码
        if response.status in [403, 429]:
            self.logger.warning(
                f"Proxy {request.meta.get('proxy')} banned "
                f"(Status {response.status}), retrying..."
            )
            # 标记该代理失效（可选：调用接口报告该代理坏）
            # self._report_bad_proxy(request.meta.get('proxy'))

            # 删除当前代理设置，重新调度请求（会再次经过 process_request 换新代理）
            del request.meta['proxy']
            return request.replace(dont_filter=True)
```

```
        return response

    def process_exception(self, request, exception, spider):
        # 处理连接超时、DNS 错误等
        self.logger.error(f"Proxy {request.meta.get('proxy')} failed: {exception}")

        # 换代理重试
        if 'proxy' in request.meta:
            del request.meta['proxy']
        return request.replace(dont_filter=True)
```

配置 settings.py

```
# settings.py
DOWNLOADER_MIDDLEWARES = {
    'myproject.middlewares.ProxyMiddleware': 543,
    # 禁用 Scrapy 默认 UserAgent 和重试中间件（视情况而定）
    # 'scrapy.downloadermiddlewares.useragent.UserAgentMiddleware': None,
}

PROXY_POOL_URL = 'http://localhost:5000/get'
```

---

3. 开源代理池推荐

1. proxy_pool
    - GitHub: `jhao104/proxy_pool`
    - 特点: 也是基于 Redis，架构清晰，支持 Docker 一键部署，内置了几十个免费源的抓取规则。
2. Gerapy / Scylla
    - GitHub: `imWildCat/scylla`
    - 特点: 智能化代理池，自动学习代理的稳定性。
3. GimmeProxy
    - 特点: Go 语言编写，性能强劲。

---

4. 隧道代理 (Tunnel Proxy)

对于企业级应用，维护自建代理池成本较高（免费 IP 质量极差，可用率不足 5%）。此时通常使用厂商提供的隧道代理。

特点:

- 不需要在本地维护 IP 池。
- 只有一个固定的入口地址（如 `http://proxy.vendor.com:8000`）。
- 每一次请求，云端会自动转发给背后不同的动态 IP。

Scrapy 集成:

只需要在 `process_request` 中将代理设置为该固定地址，并在 Header 中添加鉴权信息。

```
# Tunnel Proxy Example
import base64

def process_request(self, request, spider):
    request.meta['proxy'] = "http://proxy.vendor.com:8000"
    # 某些厂商要求在头部通过 Proxy-Authorization 认证
    auth = base64.b64encode(b"user:pass").decode()
    request.headers['Proxy-Authorization'] = f"Basic {auth}"
```

总结

代理池是大规模爬虫系统的核心基础设施。通过合理的架构设计（Fetcher → Checker → Storage → API）和 Scrapy 中间件集成，可以构建一个高可用、自动轮转的代理系统，有效应对目标站的反爬虫策略。

R32: 拨号代理池

R32: 逆向技术：动态住宅 IP 代理池

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 代理池设计 - 代理池架构与 Redis 集成
> - Linux 网络基础 - 理解 PPPoE 拨号与网络配置

在高强度的爬虫和逆向分析场景中，请求的 IP 地址是识别和封禁爬虫流量的第一道关卡。相比于易于被识别和屏蔽的数据中心 IP，动态变化的住宅 IP 地址具有极高的伪装度，是绕过反爬虫策略的关键技术。本节将详细介绍动态住宅 IP（拨号代理）的原理及其代理池的搭建方法。

1. 动态住宅 IP (拨号代理) 原理

a) 什么是动态住宅 IP?

- 住宅 IP: 指由互联网服务提供商（ISP），如电信、联通、移动，分配给普通家庭用户的 IP 地址。这些 IP 地址属于真实的住宅网络，信誉度最高。
- 动态 IP: 与数据中心固定的静态 IP 不同，住宅宽带通常使用 PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet) 协议进行拨号上网。其核心特点是：每断开一次连接再重新拨号，ISP 的 BRAS（宽带远程接入服务器）就会从其地址池中重新分配一个新的 IP 地址给用户。

利用这一特性，我们可以通过程序自动化地控制 ADSL (或光猫) 进行"断线重拨"，从而在极短的时间内获取一个全新的、干净的、真实的住宅 IP。这就是拨号代理的核心原理。

b) 优势

- 极高的真实性: IP 来自真实的 ISP 住宅网络，无法被目标服务器通过 IP 库识别为数据中心流量。
- 海量 IP 资源: 一个地区级的 ISP 运营商通常拥有数万到数百万的 IP 地址池。理论上，通过不断重拨，你可以使用该地区的所有 IP。
- 成本可控: 相比于按流量计费的商业住宅代理服务，自建拨号代理池（尤其是在拥有物理设备的情况下）的长期成本更低。

2. 搭建拨号代理池

搭建一个稳定高效的拨号代理池，需要将物理层的拨号设备、网络层的代理服务和管理层的调度系统结合起来。

a) 硬件与物理层

1. ADSL/光猫 + 路由器: 这是最基础的单元。你需要一个（或多个）办理了宽带业务的 ADSL 猫或光猫，并连接到一个可以被程序控制的路由器。
2. 树莓派/小型 PC: 在每个拨号设备旁边，放置一个类似树莓派的廉价小型主机，用于执行拨号和代理服务的指令。
3. 4G/5G 模块 (可选): 除了固定宽带，还可以使用 4G/5G 工业模块。通过控制模块的飞行模式切换或重置，同样可以实现 IP 的更换。这种方式灵活性更高，但流量成本也更高。

b) 软件与网络层

1. 拨号脚本: 在树莓派上运行一个脚本，用于控制路由器执行 PPPoE 的断开和重连操作。这通常可以通过 `curl` 或 `ssh` 调用路由器的管理接口来实现。

示例 (控制 OpenWrt/LEDE 路由器的脚本):

```
#!/bin/bash

# 断开 PPPoE 连接
ssh root@192.168.1.1 'ifdown wan'

# 等待断开
sleep 3

# 重新连接
ssh root@192.168.1.1 'ifup wan'

# 等待连接建立
sleep 5

# 获取新 IP
NEW_IP=$(ssh root@192.168.1.1 'ifconfig pppoe-wan | grep "inet addr" | cut -d: -f2 |
cut -d" " -f1')

echo "New IP: $NEW_IP"
```

1. 代理服务: 在树莓派上运行一个代理服务程序 (如 Squid, Nginx, Tiny Proxy)。外部请求通过这个代理服务发出，就会使用当前拨号获得的 IP。

Squid 配置示例 (`squid.conf`):

```
# 允许所有来源的所有请求
http_access allow all

# 监听端口
http_port 3128

# 禁止泄露原始 IP
forwarded_for off
request_header_access Via deny all
request_header_access X-Forwarded-For deny all
```

c) 管理层与调度

当你有大量的拨号节点时，一个中心化的管理系统是必不可少的。

1. 中心 API 服务器:
    - IP 注册: 每个拨号节点在成功获取新 IP 后，将 `(新IP:端口, 地理位置, ISP)` 等信息上报给中心服务器。

- IP 获取: 业务程序（如爬虫）通过调用 API，从中心服务器获取一个当前可用的代理 IP。可以根据需求指定地理位置等条件。
- IP 续期与心跳: 拨号节点需要定期向中心服务器发送心跳，证明自己仍然在线。如果心跳超时，服务器就将该 IP 从可用池中移除。

2. IP 池管理策略:

- 可用性检测: 中心服务器定期主动检测池中代理的连通性，剔除失效的 IP。
- IP 轮换: 当一个 IP 被封禁或使用次数过多时，业务程序可以调用 API 请求中心服务器通知对应的拨号节点执行"换 IP"操作。
- 并发控制: 管理每个代理 IP 当前的并发请求数，避免因过度使用而被封禁。

d) 整体架构图

```
graph TD
    subgraph "业务服务器"
        A[爬虫/业务应用] --> B{中心 API Server}
    end

    B -- 获取代理 --> A
    B -- 管理/调度 --> C1
    B -- 管理/调度 --> C2
    B -- 管理/调度 --> C3

    subgraph "拨号节点 1 (上海电信)"
        C1[树莓派] --> D1[代理服务 Squid]
        C1 -- 控制重拨 --> E1[路由器/光猫]
        E1 -- PPPoE --> F1[(ISP 网络)]
    end

    subgraph "拨号节点 2 (北京联通)"
        C2[树莓派] --> D2[代理服务 Squid]
        C2 -- 控制重拨 --> E2[路由器/光猫]
        E2 -- PPPoE --> F2[(ISP 网络)]
    end

    subgraph "拨号节点N (深圳移动)"
        C3[树莓派] --> D3[代理服务 Squid]
        C3 -- 控制重拨 --> E3[路由器/光猫]
        E3 -- PPPoE --> F3[(ISP 网络)]
    end

    C1 -- 上报 IP --> B
    C2 -- 上报 IP --> B
    C3 -- 上报 IP --> B
```

3. 节点管理脚本示例

拨号节点客户端

```
import requests
import subprocess
import time
import socket

class DialUpNode:
    def __init__(self, api_server, node_id, location, isp):
        self.api_server = api_server
        self.node_id = node_id
        self.location = location
        self.isp = isp
        self.current_ip = None
        self.proxy_port = 3128

    def redial(self):
        """执行断线重拨"""
        # 断开连接
        subprocess.run(['ssh', 'root@192.168.1.1', 'ifdown wan'])
        time.sleep(3)

        # 重新连接
        subprocess.run(['ssh', 'root@192.168.1.1', 'ifup wan'])
        time.sleep(5)

        # 获取新 IP
        result = subprocess.run(
            ['ssh', 'root@192.168.1.1',
             "ifconfig pppoe-wan | grep 'inet addr' | cut -d: -f2 | cut -d' ' -f1"],
            capture_output=True, text=True
        )
        self.current_ip = result.stdout.strip()
        return self.current_ip

    def register_ip(self):
        """向中心服务器注册新 IP"""
        data = {
            'node_id': self.node_id,
            'ip': self.current_ip,
            'port': self.proxy_port,
            'location': self.location,
            'isp': self.isp
        }
        response = requests.post(f'{self.api_server}/register', json=data)
        return response.json()

    def heartbeat(self):
        """发送心跳"""
        data = {'node_id': self.node_id, 'ip': self.current_ip}
        try:
            response = requests.post(
                f'{self.api_server}/heartbeat',
                json=data,
```

```
                timeout=5
            )
            return response.json()
        except:
            return None

    def run(self, redial_interval=300):
        """主循环"""
        while True:
            # 执行拨号获取新 IP
            new_ip = self.redial()
            print(f"New IP: {new_ip}")

            # 注册新 IP
            self.register_ip()

            # 定期发送心跳
            for _ in range(redial_interval // 10):
                time.sleep(10)
                self.heartbeat()

# 启动节点
if __name__ == '__main__':
    node = DialUpNode(
        api_server='http://api.example.com',
        node_id='node-shanghai-01',
        location='上海',
        isp='电信'
    )
    node.run(redial_interval=300)
```

中心 API 服务器

```
from flask import Flask, request, jsonify
from datetime import datetime, timedelta
import threading
import time

app = Flask(__name__)

# IP 池存储
ip_pool = {}
lock = threading.Lock()

@app.route('/register', methods=['POST'])
def register():
    """注册新 IP"""
    data = request.json
    with lock:
        ip_pool[data['node_id']] = {
            'ip': data['ip'],
            'port': data['port'],
            'location': data['location'],
            'isp': data['isp'],
            'last_heartbeat': datetime.now(),
            'in_use': False
        }
    return jsonify({'status': 'ok'})

@app.route('/heartbeat', methods=['POST'])
def heartbeat():
    """接收心跳"""
    data = request.json
    with lock:
        if data['node_id'] in ip_pool:
            ip_pool[data['node_id']]['last_heartbeat'] = datetime.now()
    return jsonify({'status': 'ok'})

@app.route('/get_proxy', methods=['GET'])
def get_proxy():
    """获取可用代理"""
    location = request.args.get('location')
    isp = request.args.get('isp')

    with lock:
        for node_id, info in ip_pool.items():
            # 检查是否超时
            if datetime.now() - info['last_heartbeat'] > timedelta(seconds=30):
                continue

            # 检查是否被占用
            if info['in_use']:
                continue

            # 匹配条件
```

```
            if location and info['location'] != location:
                continue
            if isp and info['isp'] != isp:
                continue

            # 标记为使用中
            info['in_use'] = True
            return jsonify({
                'proxy': f"{info['ip']}:{info['port']}",
                'node_id': node_id,
                'location': info['location'],
                'isp': info['isp']
            })

    return jsonify({'error': 'No available proxy'}), 404

@app.route('/release_proxy', methods=['POST'])
def release_proxy():
    """释放代理"""
    data = request.json
    with lock:
        if data['node_id'] in ip_pool:
            ip_pool[data['node_id']]['in_use'] = False
    return jsonify({'status': 'ok'})

if __name__ == '__main__':
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000)
```

4. 业务调用示例

```
import requests

class ProxyPoolClient:
    def __init__(self, api_server):
        self.api_server = api_server
        self.current_proxy = None
        self.current_node_id = None

    def get_proxy(self, location=None, isp=None):
        """获取代理"""
        params = {}
        if location:
            params['location'] = location
        if isp:
            params['isp'] = isp

        response = requests.get(f'{self.api_server}/get_proxy', params=params)
        if response.status_code == 200:
            data = response.json()
            self.current_proxy = data['proxy']
            self.current_node_id = data['node_id']
            return self.current_proxy
        return None

    def release_proxy(self):
        """释放当前代理"""
        if self.current_node_id:
            requests.post(
                f'{self.api_server}/release_proxy',
                json={'node_id': self.current_node_id}
            )
            self.current_proxy = None
            self.current_node_id = None

    def request_with_proxy(self, url, **kwargs):
        """使用代理发送请求"""
        if not self.current_proxy:
            self.get_proxy()

        proxies = {
            'http': f'http://{self.current_proxy}',
            'https': f'http://{self.current_proxy}'
        }
        return requests.get(url, proxies=proxies, **kwargs)

# 使用示例
client = ProxyPoolClient('http://api.example.com')

# 获取上海电信的代理
proxy = client.get_proxy(location='上海', isp='电信')
print(f"Using proxy: {proxy}")
```

```
# 发送请求
response = client.request_with_proxy('https://httpbin.org/ip')
print(response.json())

# 释放代理
client.release_proxy()
```

总结

动态住宅 IP 代理池是大规模爬虫和逆向分析的核心基础设施之一。通过合理的架构设计和管理策略，可以构建一个高可用、高伪装度的代理系统，有效绕过目标服务器的反爬虫策略。

R33: Docker 部署

R33: 容器化部署：Docker 与 Kubernetes 实战

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - Scrapy 快速入门 - 理解 Scrapy 项目结构
> - Docker 基础 - 理解容器与镜像概念

将爬虫项目容器化是实现标准化部署、弹性伸缩和 CI/CD 的第一步。本指南将详细介绍如何编写 Dockerfile，使用 Docker Compose 编排服务，以及如何在 Kubernetes (K8s) 上运行爬虫任务。

1. Dockerfile 最佳实践

我们需要为 Scrapy 项目构建一个轻量、稳定的 Docker 镜像。

目录结构

```
my_crawler/
├── scrapy.cfg
├── requirements.txt
├── Dockerfile
└── myproject/
    ├── __init__.py
    ├── items.py
    ├── settings.py
    └── spiders/
```

Dockerfile

```
FROM python:3.9-slim-buster

# 设置工作目录
WORKDIR /app

# 设置环境变量
# 防止 Python 生成 .pyc 文件
ENV PYTHONDONTWRITEBYTECODE 1
# 防止 Python 缓冲区 stdout/stderr，确保日志实时输出
ENV PYTHONUNBUFFERED 1
# 设置时区（可选）
ENV TZ=Asia/Shanghai

# 安装系统依赖（如果需要编译 lxml 或其它库）
# RUN apt-get update && apt-get install -y gcc libxml2-dev libxslt-dev && rm -rf /var/
lib/apt/lists/*

# 复制依赖文件并安装
COPY requirements.txt .
RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt

# 复制项目代码
COPY . .

# 默认启动命令（可被 docker run 覆盖）
# 这里我们默认启动 scrapyd（如果使用 scrapyd 部署）或仅作为一个 shell
CMD ["scrapy", "list"]
```

构建与运行

```
# 构建镜像
docker build -t my-crawler:v1 .

# 运行爬虫
docker run --rm my-crawler:v1 scrapy crawl myspider
```

2. Docker Compose 编排

对于分布式 Scrapy-Redis 架构，我们需要同时运行 Redis、MongoDB 和多个爬虫节点。

docker-compose.yml

```
version: '3.8'

services:
  # 1. Redis 服务 (消息队列)
  redis:
    image: redis:6.2-alpine
    ports:
      - "6379:6379"
    volumes:
      - redis_data:/data
    command: redis-server --appendonly yes

  # 2. MongoDB 服务 (数据存储)
  mongo:
    image: mongo:5.0
    ports:
      - "27017:27017"
    environment:
      MONGO_INITDB_ROOT_USERNAME: admin
      MONGO_INITDB_ROOT_PASSWORD: password
    volumes:
      - mongo_data:/data/db

  # 3. 爬虫服务 (Master/Slave 模式中的 Slave)
  crawler:
    build: .
    image: my-crawler:latest
    # 覆盖默认命令，启动爬虫
    command: scrapy crawl myspider_distributed
    # 依赖服务就绪
    depends_on:
      - redis
      - mongo
    environment:
      - REDIS_HOST=redis
      - MONGO_URI=mongodb://admin:password@mongo:27017
    # 想要开启多个爬虫节点？直接 scale
    deploy:
      replicas: 3

volumes:
  redis_data:
  mongo_data:
```

启动与扩容

```
# 启动所有服务
docker-compose up -d

# 扩容爬虫节点到 5
docker-compose up -d --scale crawler=5

# 查看日志
docker-compose logs -f crawler

# 停止所有服务
docker-compose down
```

3. Kubernetes 部署

在 K8s 上运行爬虫，可以利用其强大的调度和自愈能力。

Deployment（持续运行的爬虫 Worker）

```
apiVersion: apps/v1
kind: Deployment
metadata:
  name: scrapy-worker
  labels:
    app: scrapy-worker
spec:
  # 副本数，即并发爬虫节点数量
  replicas: 5
  selector:
    matchLabels:
      app: scrapy-worker
  template:
    metadata:
      labels:
        app: scrapy-worker
    spec:
      containers:
        - name: crawler
          image: registry.example.com/my-crawler:v1
          # 容器启动命令
          command: ["scrapy", "crawl", "myspider_distributed"]
          # 环境变量配置
          env:
            - name: REDIS_HOST
              value: "redis-service"  # K8s Service Name
            - name: MONGO_URI
              valueFrom:
                secretKeyRef:
                  name: db-secrets
                  key: mongo-uri
          resources:
            requests:
              memory: "256Mi"
              cpu: "250m"
            limits:
              memory: "512Mi"
              cpu: "500m"
```

CronJob（定时任务）

```
apiVersion: batch/v1
kind: CronJob
metadata:
  name: daily-crawler
spec:
  # 每天凌晨 2 点运行
  schedule: "0 2 * * *"
  jobTemplate:
    spec:
      template:
        spec:
          containers:
            - name: crawler
              image: registry.example.com/my-crawler:v1
              command: ["scrapy", "crawl", "daily_spider"]
              env:
                - name: REDIS_HOST
                  value: "redis-service"
          restartPolicy: OnFailure
```

常用 kubectl 命令

```
# 应用配置
kubectl apply -f crawler-deployment.yaml

# 查看 Pod 状态
kubectl get pods

# 动态扩缩容（无需修改 yaml）
kubectl scale deployment scrapy-worker --replicas=10

# 查看日志
kubectl logs -f deployment/scrapy-worker

# 进入容器调试
kubectl exec -it <pod-name> -- /bin/bash
```

4. 集成 Scrapyd 管理平台

Scrapyd: Scrapy 官方的部署服务，提供 HTTP API 来部署、启动、停止爬虫。

Gerapy: 基于 Scrapyd 的分布式管理 GUI，支持节点管理、代码编辑、定时任务。

Dockerfile (集成 Scrapyd)

```
FROM python:3.9-slim
WORKDIR /app
COPY requirements.txt .
RUN pip install scrapyd scrapy-redis
COPY scrapyd.conf /etc/scrapyd/
EXPOSE 6800
CMD ["scrapyd"]
```

scrapyd.conf

```
[scrapyd]
eggs_dir    = eggs
logs_dir    = logs
items_dir   = items
jobs_to_keep = 5
dbs_dir     = dbs
max_proc    = 0
max_proc_per_cpu = 4
finished_to_keep = 100
poll_interval = 5.0
bind_address = 0.0.0.0
http_port   = 6800
debug       = off
runner      = scrapyd.runner
application = scrapyd.app.application
launcher    = scrapyd.launcher.Launcher
webroot     = scrapyd.website.Root
```

部署爬虫到 Scrapyd

```
# 打包项目
scrapyd-deploy -p myproject

# 启动爬虫
curl http://localhost:6800/schedule.json -d project=myproject -d spider=myspider

# 查看爬虫状态
curl http://localhost:6800/listjobs.json?project=myproject
```

5. CI/CD 集成

GitHub Actions 示例

```
name: Build and Deploy Crawler

on:
  push:
    branches: [main]

jobs:
  build:
    runs-on: ubuntu-latest
    steps:
      - uses: actions/checkout@v2

      - name: Build Docker image
        run: docker build -t my-crawler:${{ github.sha }} .

      - name: Push to Registry
        run: |
          docker login -u ${{ secrets.DOCKER_USER }} -p ${{ secrets.DOCKER_PASS }}
          docker tag my-crawler:${{ github.sha }} registry.example.com/my-crawler:$
{{ github.sha }}
          docker push registry.example.com/my-crawler:${{ github.sha }}

      - name: Deploy to K8s
        run: |
          kubectl set image deployment/scrapy-worker crawler=registry.example.com/my-
crawler:${{ github.sha }}
```

总结

容器化部署是现代爬虫工程的标准实践。通过 Docker 实现环境一致性，通过 Docker Compose 简化本地开发，通过 Kubernetes 实现生产环境的弹性伸缩和自愈能力。结合 Scrapyd 和 CI/CD 流程，可以构建一个完整的爬虫 DevOps 体系。

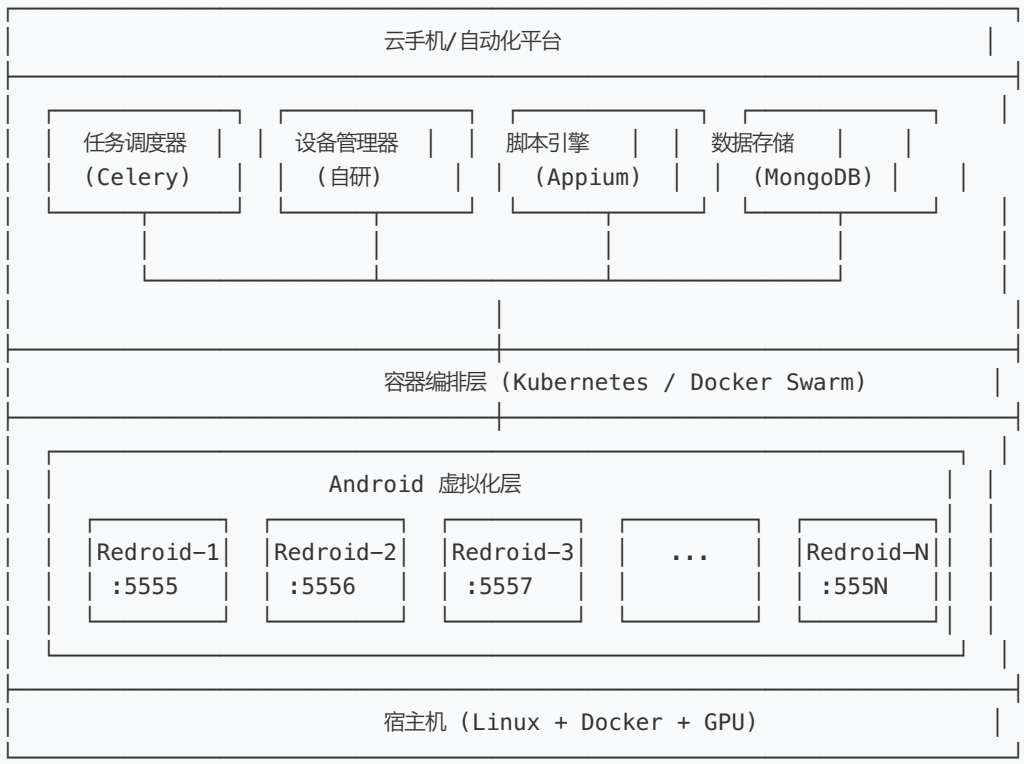
R34: 虚拟化与容器

R34: 工程化：虚拟化与容器技术

> 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - ADB 速查手册 - 模拟器设备管理基础
> - Docker 部署 - Docker 基础概念
> - Linux 基础 - 理解进程隔离与资源限制

移动端虚拟化技术是在服务器端模拟出成百上千个 Android 设备环境的能力，它是所有大规模自动化测试、数据采集和安全分析任务的基石。这项技术的核心在于平衡性能、隔离性和真实性。

1. 技术架构总览


云手机/自动化平台
任务调度器
(Celery)
设备管理器
(自研)
脚本引擎
(Appium)
数据存储
(MongoDB)
容器编排层 (Kubernetes / Docker Swarm)
Android 虚拟化层
Redroid-1
:5555
Redroid-2
:5556
Redroid-3
:5557
...
Redroid-N
:555N
宿主机 (Linux + Docker + GPU)

2. Android 模拟器方案详解

2.1 方案对比矩阵

方案	类型	性能	隔离性	扩展性	成本	适用场景
Android SDK Emulator	全系统模拟 (QEMU)	★★☆	★★★★★	★★☆	免费	开发调试、小规模测试
Redroid	Docker 容器	★★★★	★★★★	★★★★★	免费	大规模云手机、CI/CD
Waydroid	LXC 容器	★★★★★	★★★	★★★	免费	本地开发、单机测试
Genymotion Cloud	商业 PaaS	★★★★	★★★★★	★★★★★	付费	企业级、合规要求高
AWS Device Farm	真机云服务	★★★★★	★★★★★	★★★★	按需付费	真机兼容性测试

2.2 Android SDK Emulator

官方模拟器，功能最完整，适合开发调试。

安装与配置

```
# 安装 Android SDK 命令行工具
wget https://dl.google.com/android/repository/commandlinetools-
linux-9477386_latest.zip
unzip commandlinetools-linux-*.zip -d android-sdk
export ANDROID_HOME=$PWD/android-sdk
export PATH=$PATH:$ANDROID_HOME/cmdline-tools/latest/bin

# 安装系统镜像和平台工具
sdkmanager "platform-tools" "emulator"
sdkmanager "system-images;android-33;google_apis;x86_64"

# 创建 AVD (Android Virtual Device)
avdmanager create avd -n test_device -k "system-images;android-33;google_apis;x86_64"
\
    --device "pixel_4" \
    -c 2048M  # 2GB SD卡
```

启动参数优化

```
# 无头模式启动 (服务器环境)
emulator -avd test_device \
    -no-window \
    -no-audio \
    -no-boot-anim \
    -gpu swiftshader_indirect \
    -memory 4096 \
    -cores 4 \
    -partition-size 8192 \
    -writable-system \
    -port 5554

# 常用参数说明
# -no-window        无界面模式
# -no-audio         禁用音频
# -no-boot-anim     跳过开机动画
# -gpu              GPU 渲染模式 (host/swiftshader_indirect/off)
# -memory           内存大小 (MB)
# -cores            CPU 核心数
# -writable-system  允许修改 /system 分区
```

批量管理脚本

```
#!/bin/bash
# start_emulators.sh - 批量启动模拟器

NUM_EMULATORS=${1:-5}
BASE_PORT=5554

for i in $(seq 1 $NUM_EMULATORS); do
    PORT=$((BASE_PORT + (i-1) * 2))
    AVD_NAME="device_$i"

    echo "Starting $AVD_NAME on port $PORT..."

    emulator -avd $AVD_NAME \
        -no-window \
        -no-audio \
        -port $PORT \
        -read-only &

    sleep 5
done

# 等待所有设备启动完成
echo "Waiting for devices to boot..."
for i in $(seq 1 $NUM_EMULATORS); do
    PORT=$((BASE_PORT + (i-1) * 2))
    adb -s emulator-$PORT wait-for-device
    adb -s emulator-$PORT shell 'while [[ -z $(getprop sys.boot_completed) ]]; do
sleep 1; done'
    echo "Device emulator-$PORT is ready"
done

echo "All $NUM_EMULATORS emulators are running"
```

2.3 Redroid (Remote Android)

Redroid 是基于 Docker 的 Android 容器化方案，性能优秀，适合大规模部署。

系统要求

```
# 检查内核模块
lsmod | grep -E "binder|ashmem"

# 如果没有，需要加载或安装
# Ubuntu 20.04+
sudo apt install linux-modules-extra-$(uname -r)
sudo modprobe binder_linux devices="binder,hwbinder,vndbinder"
sudo modprobe ashmem_linux

# 持久化加载
echo "binder_linux" | sudo tee /etc/modules-load.d/binder.conf
echo "ashmem_linux" | sudo tee /etc/modules-load.d/ashmem.conf
echo "options binder_linux devices=binder,hwbinder,vndbinder" | sudo tee /etc/
modprobe.d/binder.conf
```

Docker 部署

```
# 单实例启动
docker run -d --name redroid \
    --privileged \
    --memory 4g \
    --cpus 4 \
    -v ~/redroid-data:/data \
    -p 5555:5555 \
    redroid/redroid:12.0.0-latest \
    androidboot.redroid_width=1080 \
    androidboot.redroid_height=1920 \
    androidboot.redroid_dpi=440 \
    androidboot.redroid_fps=60

# 连接设备
adb connect localhost:5555
adb devices
```

docker-compose 多实例部署

```
# docker-compose.yml
version: "3.8"

x-redroid-common: &redroid-common
  image: redroid/redroid:12.0.0-latest
  privileged: true
  mem_limit: 4g
  cpus: 2
  command:
    - androidboot.redroid_width=1080
    - androidboot.redroid_height=1920
    - androidboot.redroid_dpi=440
    - androidboot.redroid_fps=30
    - androidboot.redroid_gpu_mode=guest

services:
  # Android 实例
  redroid-1:
    <<: *redroid-common
    container_name: redroid-1
    ports:
      - "5555:5555"
    volumes:
      - ./data/device-1:/data

  redroid-2:
    <<: *redroid-common
    container_name: redroid-2
    ports:
      - "5556:5555"
    volumes:
      - ./data/device-2:/data

  redroid-3:
    <<: *redroid-common
    container_name: redroid-3
    ports:
      - "5557:5555"
    volumes:
      - ./data/device-3:/data

  # 支撑服务
  redis:
    image: redis:7-alpine
    container_name: redis
    ports:
      - "6379:6379"
    volumes:
      - ./data/redis:/data

  mitmproxy:
    image: mitmproxy/mitmproxy:latest
```

```
    container_name: mitmproxy
    ports:
      - "8080:8080"
      - "8081:8081"
    command: mitmweb --web-host 0.0.0.0
    volumes:
      - ./data/mitmproxy:/home/mitmproxy/.mitmproxy

  mongodb:
    image: mongo:6
    container_name: mongodb
    ports:
      - "27017:27017"
    environment:
      MONGO_INITDB_ROOT_USERNAME: admin
      MONGO_INITDB_ROOT_PASSWORD: password
    volumes:
      - ./data/mongodb:/data/db

networks:
  default:
    driver: bridge
    ipam:
      config:
        - subnet: 172.28.0.0/16
```

启动与管理

```
# 启动所有服务
docker-compose up -d

# 批量连接设备
for port in 5555 5556 5557; do
    adb connect localhost:$port
done

# 查看设备状态
adb devices

# 批量安装 APK
APK_PATH="./target.apk"
for device in $(adb devices | grep -v "List" | awk '{print $1}'); do
    echo "Installing on $device..."
    adb -s $device install -r $APK_PATH &
done
wait

# 停止所有服务
docker-compose down
```

2.4 Waydroid

Waydroid 基于 LXC 容器，性能接近原生，适合本地开发。

```
# Ubuntu 安装
sudo apt install curl ca-certificates -y
curl https://repo.waydro.id | sudo bash
sudo apt install waydroid -y

# 初始化（选择 GAPPS 版本包含 Google 服务）
sudo waydroid init -s GAPPS

# 启动 Waydroid 容器
sudo systemctl start waydroid-container

# 启动 Waydroid 会话（需要图形界面）
waydroid session start

# 安装应用
waydroid app install ./app.apk

# ADB 连接
adb connect 192.168.240.112:5555
```

3. 容器化工程实践

3.1 自动化测试环境容器

```
# Dockerfile.automation
FROM python:3.11-slim

# 安装系统依赖
RUN apt-get update && apt-get install -y \
    android-tools-adb \
    android-tools-fastboot \
    openjdk-17-jdk-headless \
    curl \
    wget \
    git \
    && rm -rf /var/lib/apt/lists/*

# 安装 Node.js (Appium 依赖)
RUN curl -fsSL https://deb.nodesource.com/setup_18.x | bash - \
    && apt-get install -y nodejs

# 安装 Appium
RUN npm install -g appium@2.0.0 \
    && appium driver install uiautomator2

# 安装 Python 依赖
WORKDIR /app
COPY requirements.txt .
RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt

# 复制测试脚本
COPY scripts/ ./scripts/
COPY configs/ ./configs/

# 启动入口
COPY entrypoint.sh /entrypoint.sh
RUN chmod +x /entrypoint.sh

ENTRYPOINT ["/entrypoint.sh"]
```

requirements.txt:

```
frida-tools==12.3.0
objection==1.11.0
Appium-Python-Client==3.0.0
uiautomator2==3.0.0
adbutils==2.0.0
pymongo==4.6.0
redis==5.0.0
celery==5.3.0
requests==2.31.0
```

entrypoint.sh:

```
#!/bin/bash
set -e

# 启动 ADB 服务
adb start-server

# 等待设备连接
echo "Waiting for devices..."
DEVICES=${ANDROID_DEVICES:-"localhost:5555"}
for device in ${DEVICES//,/ }; do
    echo "Connecting to $device..."
    adb connect $device
    adb -s $device wait-for-device
done

# 启动 Appium 服务（后台）
if [ "$START_APPIUM" = "true" ]; then
    appium --address 0.0.0.0 --port 4723 &
    sleep 5
fi

# 执行传入的命令
exec "$@"
```

3.2 完整的 CI/CD 集成

```
# .gitlab-ci.yml
stages:
  - build
  - test
  - deploy

variables:
  DOCKER_HOST: tcp://docker:2375
  ANDROID_DEVICES: "redroid-1:5555,redroid-2:5555,redroid-3:5555"

# 构建测试镜像
build-test-image:
  stage: build
  image: docker:24
  services:
    - docker:24-dind
  script:
    - docker build -t automation:$CI_COMMIT_SHA -f Dockerfile.automation .
    - docker push $CI_REGISTRY_IMAGE/automation:$CI_COMMIT_SHA

# 运行自动化测试
run-android-tests:
  stage: test
  image: docker:24
  services:
    - docker:24-dind
    - name: redroid/redroid:12.0.0-latest
      alias: redroid-1
      command: ["androidboot.redroid_width=1080", "androidboot.redroid_height=1920"]
    - name: redroid/redroid:12.0.0-latest
      alias: redroid-2
      command: ["androidboot.redroid_width=1080", "androidboot.redroid_height=1920"]
  script:
    - docker run --rm
        -e ANDROID_DEVICES=$ANDROID_DEVICES
        -e START_APPIUM=true
        -v $PWD/reports:/app/reports
        $CI_REGISTRY_IMAGE/automation:$CI_COMMIT_SHA
        pytest scripts/tests/ --junitxml=/app/reports/results.xml
  artifacts:
    reports:
      junit: reports/results.xml
    paths:
      - reports/
    when: always
```

3.3 设备池管理服务

```
# device_pool.py
import redis
import adbutils
from dataclasses import dataclass
from typing import Optional, List
import threading
import time

@dataclass
class Device:
    serial: str
    status: str  # available, busy, offline
    android_version: str
    assigned_to: Optional[str] = None

class DevicePool:
    """设备池管理器"""

    def __init__(self, redis_url: str = "redis://localhost:6379"):
        self.redis = redis.from_url(redis_url)
        self.adb = adbutils.AdbClient()
        self.lock = threading.Lock()
        self._refresh_interval = 30
        self._running = False

    def discover_devices(self) -> List[Device]:
        """发现所有已连接设备"""
        devices = []
        for d in self.adb.device_list():
            try:
                version = d.shell("getprop ro.build.version.release").strip()
                devices.append(Device(
                    serial=d.serial,
                    status="available",
                    android_version=version
                ))
            except Exception as e:
                print(f"Error discovering {d.serial}: {e}")
        return devices

    def register_devices(self, devices: List[Device]):
        """注册设备到 Redis"""
        pipe = self.redis.pipeline()
        for device in devices:
            key = f"device:{device.serial}"
            pipe.hset(key, mapping={
                "serial": device.serial,
                "status": device.status,
                "android_version": device.android_version,
                "assigned_to": device.assigned_to or ""
            })
            pipe.sadd("devices:all", device.serial)
```

```
            if device.status == "available":
                pipe.sadd("devices:available", device.serial)
        pipe.execute()

    def acquire_device(self, task_id: str,
                       min_version: str = None) -> Optional[Device]:
        """获取一个可用设备"""
        with self.lock:
            # 从可用设备集合中获取
            serial = self.redis.spop("devices:available")
            if not serial:
                return None

            serial = serial.decode() if isinstance(serial, bytes) else serial
            key = f"device:{serial}"

            # 检查版本要求
            if min_version:
                version = self.redis.hget(key, "android_version")
                version = version.decode() if version else "0"
                if version < min_version:
                    # 放回并继续找
                    self.redis.sadd("devices:available", serial)
                    return self.acquire_device(task_id, min_version)

            # 标记为占用
            self.redis.hset(key, mapping={
                "status": "busy",
                "assigned_to": task_id
            })

            data = self.redis.hgetall(key)
            return Device(
                serial=serial,
                status="busy",
                android_version=data.get(b"android_version", b"").decode(),
                assigned_to=task_id
            )

    def release_device(self, serial: str):
        """释放设备"""
        key = f"device:{serial}"
        self.redis.hset(key, mapping={
            "status": "available",
            "assigned_to": ""
        })
        self.redis.sadd("devices:available", serial)

    def get_stats(self) -> dict:
        """获取设备池统计"""
        total = self.redis.scard("devices:all")
        available = self.redis.scard("devices:available")
        return {
```

```
            "total": total,
            "available": available,
            "busy": total - available
        }

    def start_health_check(self):
        """启动健康检查线程"""
        self._running = True

        def check_loop():
            while self._running:
                try:
                    self._check_device_health()
                except Exception as e:
                    print(f"Health check error: {e}")
                time.sleep(self._refresh_interval)

        thread = threading.Thread(target=check_loop, daemon=True)
        thread.start()

    def _check_device_health(self):
        """检查设备健康状态"""
        all_serials = self.redis.smembers("devices:all")
        connected = {d.serial for d in self.adb.device_list()}

        for serial in all_serials:
            serial = serial.decode() if isinstance(serial, bytes) else serial
            key = f"device:{serial}"

            if serial not in connected:
                # 设备离线
                self.redis.hset(key, "status", "offline")
                self.redis.srem("devices:available", serial)
            else:
                # 检查是否需要恢复
                status = self.redis.hget(key, "status")
                if status == b"offline":
                    self.redis.hset(key, "status", "available")
                    self.redis.sadd("devices:available", serial)


# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    pool = DevicePool()

    # 发现并注册设备
    devices = pool.discover_devices()
    pool.register_devices(devices)
    print(f"Registered {len(devices)} devices")

    # 启动健康检查
    pool.start_health_check()
```

```
    # 获取设备执行任务
    device = pool.acquire_device("task-001", min_version="11")
    if device:
        print(f"Acquired device: {device.serial}")
        try:
            # 执行任务...
            adb = adbutils.AdbClient()
            d = adb.device(device.serial)
            d.shell("pm list packages")
        finally:
            pool.release_device(device.serial)

    print(pool.get_stats())
```

4. GPU 虚拟化与渲染

4.1 GPU 透传配置

对于需要图形渲染的场景（游戏测试、UI 自动化），GPU 加速至关重要。

```
# 检查GPU 驱动
nvidia-smi

# Docker GPU 支持
# 安装NVIDIA Container Toolkit
distribution=$(. /etc/os-release;echo $ID$VERSION_ID)
curl -s -L https://nvidia.github.io/nvidia-docker/gpgkey | sudo apt-key add -
curl -s -L https://nvidia.github.io/nvidia-docker/$distribution/nvidia-docker.list | \
    sudo tee /etc/apt/sources.list.d/nvidia-docker.list

sudo apt-get update
sudo apt-get install -y nvidia-container-toolkit
sudo systemctl restart docker

# 验证GPU 访问
docker run --rm --gpus all nvidia/cuda:12.0-base nvidia-smi
```

```
# docker-compose with GPU
services:
  redroid-gpu:
    image: redroid/redroid:12.0.0-latest
    privileged: true
    deploy:
      resources:
        reservations:
          devices:
            - driver: nvidia
              count: 1
              capabilities: [gpu]
    environment:
      - NVIDIA_VISIBLE_DEVICES=all
    command:
      - androidboot.redroid_gpu_mode=host
      - androidboot.redroid_gpu_node=/dev/dri/renderD128
```

4.2 VirGL 软件渲染

无 GPU 服务器可使用 VirGL 软件渲染:

```
# 安装 virglrenderer
sudo apt install virglrenderer-dev libvirglrenderer1

# Redroid 使用 guest GPU 模式
docker run -d --name redroid \
    --privileged \
    redroid/redroid:12.0.0-latest \
    androidboot.redroid_gpu_mode=guest
```

5. 网络隔离与代理

5.1 每设备独立网络

```
# docker-compose with isolated networks
version: "3.8"

services:
  redroid-1:
    image: redroid/redroid:12.0.0-latest
    privileged: true
    networks:
      device-net-1:
        ipv4_address: 172.20.1.2
    dns:
      - 8.8.8.8

  proxy-1:
    image: mitmproxy/mitmproxy
    networks:
      device-net-1:
        ipv4_address: 172.20.1.1
    command: mitmdump --mode transparent --showhost

  redroid-2:
    image: redroid/redroid:12.0.0-latest
    privileged: true
    networks:
      device-net-2:
        ipv4_address: 172.20.2.2

networks:
  device-net-1:
    driver: bridge
    ipam:
      config:
        - subnet: 172.20.1.0/24
  device-net-2:
    driver: bridge
    ipam:
      config:
        - subnet: 172.20.2.0/24
```

5.2 透明代理配置

```
#!/bin/bash
# setup_transparent_proxy.sh

PROXY_IP="172.20.1.1"
PROXY_PORT="8080"
DEVICE_SUBNET="172.20.1.0/24"

# 启用 IP 转发
sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1

# 配置 iptables 透明代理
iptables -t nat -A PREROUTING -s $DEVICE_SUBNET -p tcp --dport 80 \
    -j REDIRECT --to-port $PROXY_PORT
iptables -t nat -A PREROUTING -s $DEVICE_SUBNET -p tcp --dport 443 \
    -j REDIRECT --to-port $PROXY_PORT

echo "Transparent proxy configured for $DEVICE_SUBNET -> $PROXY_IP:$PROXY_PORT"
```

6. 性能优化

6.1 资源限制最佳实践

场景	CPU	内存	存储
轻量级任务 (爬虫)	1-2 核	2GB	8GB
常规测试	2-4 核	4GB	16GB
游戏/重度 UI	4-8 核	6-8GB	32GB

6.2 I/O 优化

```
# 使用 tmpfs 提升 I/O 性能
services:
  redroid:
    image: redroid/redroid:12.0.0-latest
    privileged: true
    tmpfs:
      - /data/dalvik-cache:size=512m
      - /data/local/tmp:size=256m
    volumes:
      - type: tmpfs
        target: /dev/shm
        tmpfs:
          size: 268435456  # 256MB
```

6.3 批量操作优化脚本

```
# parallel_operations.py
import asyncio
import adbutils
from concurrent.futures import ThreadPoolExecutor

async def install_apk_parallel(devices: list, apk_path: str, max_workers: int = 10):
    """并行安装 APK 到多个设备"""

    def install_on_device(serial: str):
        try:
            adb = adbutils.AdbClient()
            device = adb.device(serial)
            device.install(apk_path, reinstall=True)
            return serial, True, None
        except Exception as e:
            return serial, False, str(e)

    loop = asyncio.get_event_loop()
    with ThreadPoolExecutor(max_workers=max_workers) as executor:
        tasks = [
            loop.run_in_executor(executor, install_on_device, d)
            for d in devices
        ]
        results = await asyncio.gather(*tasks)

    success = [r[0] for r in results if r[1]]
    failed = [(r[0], r[2]) for r in results if not r[1]]

    print(f"Success: {len(success)}, Failed: {len(failed)}")
    for serial, error in failed:
        print(f"  {serial}: {error}")

    return success, failed

# 使用
if __name__ == "__main__":
    devices = ["localhost:5555", "localhost:5556", "localhost:5557"]
    asyncio.run(install_apk_parallel(devices, "./app.apk"))
```

7. 常见问题排查

7.1 Redroid 启动失败

```
# 问题: binder 驱动未加载
dmesg | grep -i binder
# 解决: 加载内核模块
sudo modprobe binder_linux devices="binder,hwbinder,vndbinder"

# 问题: 权限不足
# 解决: 确保使用 --privileged 或正确的 capabilities
docker run --privileged ...

# 问题: SELinux 阻止
# 解决: 临时禁用或配置策略
sudo setenforce 0
```

7.2 ADB 连接问题

```
# 检查设备状态
adb devices -l

# 重置 ADB 服务
adb kill-server && adb start-server

# 指定端口连接
adb connect 192.168.1.100:5555

# 检查网络连通性
docker exec redroid-1 ping -c 3 host.docker.internal
```

7.3 性能问题诊断

```
# 检查容器资源使用
docker stats redroid-1 redroid-2 redroid-3

# 检查 Android 系统负载
adb shell top -n 1

# 检查内存使用
adb shell cat /proc/meminfo

# 检查存储空间
adb shell df -h
```

8. 总结

虚拟化和容器化是从"手工作坊"迈向"工业化生产"的第一步。

技术	解决的问题	关键优势
Android 模拟器	设备从哪里来	可大规模复制的隔离环境
Docker 容器	依赖如何管理	标准化、可移植的交付物
设备池管理	资源如何调度	动态分配、高效利用
网络隔离	流量如何控制	独立代理、精确监控

二者结合，为上层的自动化和群控系统提供了坚实、可靠、可扩展的基础设施。

推荐下一步：自动化设备农场

R35: 自动化设备农场

R35: 工程化：自动化与群控系统

> 📚 前置知识
>
> 本配方涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - ADB 速查手册 - 设备控制与应用管理基础
> - 虚拟化与容器技术 - 理解模拟器与容器环境

在虚拟化和容器化解决了"环境"问题之后，自动化和群控系统则负责解决"执行"和"管理"的问题。它们是驱动整个规模化测试和分析流水线运转的核心引擎。

1. 自动化框架

自动化框架是模拟用户行为、与 App UI 进行交互的工具集。它的核心任务是代替人工，实现对 App 的程序化控制。

a) 主流框架对比

框架	驱动原理	优点	缺点	适用场景
Appium	WebDriver 协议 -> UIAutomator2/ XCUITest	跨平台（Android/ iOS），多语言支持，生态成熟，功能强大。	环境配置复杂，执行速度相对较慢，对 App 有一定的侵入性（需要安装 WebDriver Agent）。	标准化的、跨平台的端到端（E2E）功能测试。
UIAutomator2 (Python)	Google UIAutomator2	直接与设备通信，速度快，稳定，API 简洁易用。	仅支持 Android，功能相对 Appium 较少。	纯 Android 平台的快速自动化、爬虫和日常脚本。
Airtest / Poco	图像识别 + UI 控件	能够解决无法获取 UI 控件树的问题（如游戏），跨引擎（Unity, Cocos）。	图像识别不稳定，受分辨率和 UI 变化影响大，速度慢。	游戏自动化，黑盒测试。

b) 脚本编写的最佳实践

分离 UI 元素与业务逻辑 (Page Object Model): 不要将 UI 元素的定位符（如 `resource-id`）硬编码在业务代码中。应该为每个页面创建一个类（Page Object），封装该页面的所有元素和操作。当 UI 变化时，你只需要修改对应的 Page Object，而无需改动业务流程代码。

明确的断言: 每个测试用例都应该有明确的成功或失败的判断标准（断言）。例如，点击登录后，断言"用户名"元素是否出现在下一个页面。

异常处理与重试: 网络延迟、系统弹窗等都可能导致自动化失败。在关键步骤加入合理的等待、异常捕获和重试机制，可以大大提高脚本的稳定性。

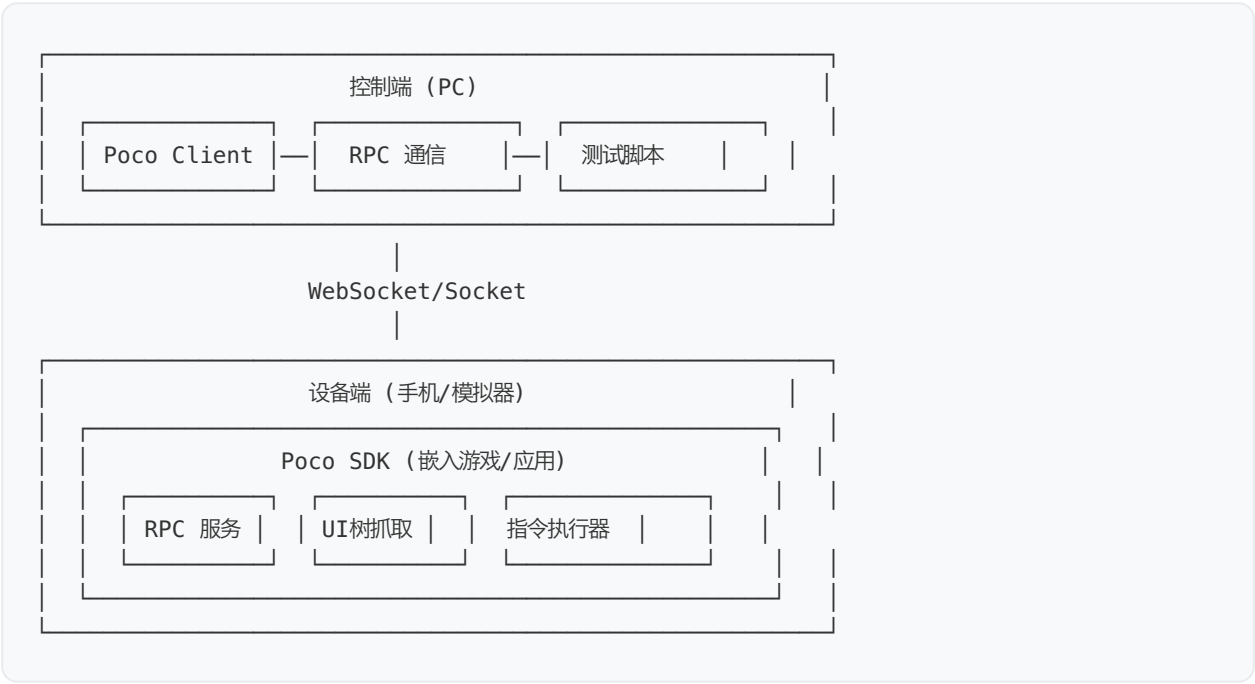
日志与报告: 在脚本的关键节点输出有意义的日志。测试结束后，生成图文并茂的测试报告（如 Allure Report），方便快速定位问题。

---

c) Poco 自动化技术深度解析

Poco 是网易推出的 UI 自动化测试框架，专为游戏和复杂应用设计，是 Airtest 项目的核心组件之一。

核心架构与原理



工作流程:

1. SDK 嵌入: 游戏/应用集成 Poco SDK，启动 RPC 服务
2. 建立连接: 控制端通过 WebSocket 与 SDK 通信
3. UI 树获取: SDK 遍历游戏引擎的 UI 控件，生成控件树
4. 指令执行: 接收控制端指令，操作对应 UI 控件

---

5. 结果回传: 将操作结果和状态信息返回控制端

SDK 集成方式

Unity 引擎集成:

```
// Unity 项目中集成 Poco SDK
using Poco;

public class PocoManager : MonoBehaviour {
    void Start() {
        // 启动 Poco 服务
        var poco = new PocoServiceBuilder()
            .SetPort(5001)
            .SetDebugMode(true)
            .Build();

        poco.Start();
    }
}
```

Cocos2d-x 集成:

```
// Cocos2d-x 项目集成
bool AppDelegate::applicationDidFinishLaunching() {
    // 初始化 Poco 服务
    poco::PocoManager::getInstance()->start();

    return true;
}
```

Android 原生集成:

```
public class MainActivity extends AppCompatActivity {
    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        // 启动 Poco 服务
        Poco.start("poco", 5001);
    }
}
```

Python 控制端使用

基础连接与操作:

```
from poco.drivers.unity3d import UnityPoco
from poco.drivers.android.uiautomation import AndroidUiautomationPoco

# Unity 游戏连接
poco = UnityPoco(('192.168.1.100', 5001))

# Android 原生应用连接
poco = AndroidUiautomationPoco(
    use_airtest_input=True,
    screenshot_each_action=False
)

# 基本操作
poco('Button').click()                  # 点击按钮
poco('InputField').set_text('test')     # 输入文本
poco('ScrollView').swipe('up')          # 滑动操作

# 等待元素出现
poco('LoadingPanel').wait_for_disappearance()  # 等待加载完成
```

高级选择器:

```
# 属性选择
poco(text='确定').click()
poco(name='startBtn', enabled=True).click()
poco(type='Button', visible=True).click()

# 相对位置选择
poco('username').sibling('password')  # 兄弟节点
poco('title').parent()                 # 父节点

# 条件过滤
buttons = poco('Button').filter(
    lambda x: x.get_text().startswith('确定')
)
```

游戏专用操作:

```
# 拖拽操作
poco.drag_to([0.2, 0.2], [0.8, 0.8])

# 多点触控
poco.pinch(in_or_out='in', center=[0.5, 0.5], percent=0.6)

# 等待游戏状态
def wait_for_battle_end():
    return poco('BattleResult').exists()

poco.wait_for_all(wait_for_battle_end, timeout=60)
```

跨引擎适配

```
def get_poco_instance(engine_type, device_info):
    """根据引擎类型创建对应的 Poco 实例"""
    if engine_type == 'unity':
        return UnityPoco(device_info['addr'])
    elif engine_type == 'cocos':
        return CocosJSPoco(device_info['addr'])
    elif engine_type == 'unreal':
        return UE4Poco(device_info['addr'])
    elif engine_type == 'android':
        return AndroidUiautomationPoco()
    else:
        raise ValueError(f"Unsupported engine: {engine_type}")
```

连接池管理

```
import queue

class PocoConnectionPool:
    def __init__(self, max_connections=10):
        self.pool = queue.Queue(max_connections)
        self.max_connections = max_connections

    def get_connection(self, addr):
        try:
            return self.pool.get_nowait()
        except queue.Empty:
            return UnityPoco(addr)

    def return_connection(self, conn):
        try:
            self.pool.put_nowait(conn)
        except queue.Full:
            pass  # 丢弃多余连接
```

批量操作优化

```
def batch_get_elements(poco, selectors):
    """批量获取多个元素，减少 RPC 调用"""
    elements = {}
    for name, selector in selectors.items():
        try:
            elements[name] = poco(selector)
        except:
            elements[name] = None
    return elements

# 使用示例
ui_elements = batch_get_elements(poco, {
    'start_btn': 'StartButton',
    'settings_btn': 'SettingsButton',
    'exit_btn': 'ExitButton'
})
```

稳定性增强

```
from functools import wraps
import time

def retry_on_failure(max_retries=3, delay=1):
    def decorator(func):
        @wraps(func)
        def wrapper(*args, **kwargs):
            for attempt in range(max_retries):
                try:
                    return func(*args, **kwargs)
                except Exception as e:
                    if attempt == max_retries - 1:
                        raise e
                    print(f"Attempt {attempt + 1} failed: {e}")
                    time.sleep(delay)
            return None
        return wrapper
    return decorator

@retry_on_failure(max_retries=3, delay=2)
def stable_click(poco, selector):
    """稳定的点击操作，带重试机制"""
    element = poco(selector)
    if element.exists():
        element.click()
        return True
    else:
        raise Exception(f"Element {selector} not found")
```

日志与调试

```
import logging
import time
from poco.utils.logger import setup_logger

# 设置 Poco 日志
setup_logger(level=logging.DEBUG)

# 自定义操作日志
class PocoLogger:
    @staticmethod
    def log_action(action, element, result=None):
        timestamp = time.strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S")
        print(f"[{timestamp}] {action} on {element}, result: {result}")

    @staticmethod
    def log_screenshot(path):
        print(f"Screenshot saved: {path}")

# 使用示例
def logged_click(poco, selector):
    try:
        poco(selector).click()
        PocoLogger.log_action("CLICK", selector, "SUCCESS")
    except Exception as e:
        PocoLogger.log_action("CLICK", selector, f"FAILED: {e}")
        # 保存错误时的截图
        screenshot_path = f"error_{int(time.time())}.png"
        poco.snapshot(screenshot_path)
        PocoLogger.log_screenshot(screenshot_path)
        raise
```

群控集成示例

```
class DevicePocoController:
    def __init__(self, device_id, poco_port=5001):
        self.device_id = device_id
        self.poco_port = poco_port
        self.poco = None

    def connect(self):
        """连接到设备上的 Poco 服务"""
        device_ip = self.get_device_ip(self.device_id)
        self.poco = UnityPoco((device_ip, self.poco_port))
        return self.poco is not None

    def execute_task(self, task_config):
        """执行自动化任务"""
        try:
            actions = task_config['actions']
            for action in actions:
                self.execute_action(action)
            return {"status": "success", "device_id": self.device_id}
        except Exception as e:
            return {"status": "failed", "error": str(e), "device_id": self.device_id}

    def execute_action(self, action):
        """执行单个操作"""
        action_type = action['type']

        if action_type == 'click':
            self.poco(action['selector']).click()
        elif action_type == 'input':
            self.poco(action['selector']).set_text(action['text'])
        elif action_type == 'wait':
            time.sleep(action['duration'])
        # ... 其他操作类型
```

性能优化建议

1. 连接复用: 使用连接池管理 Poco 连接，避免频繁建立连接
2. 批量操作: 合并多个 UI 操作，减少 RPC 调用次数
3. 缓存控件: 对于频繁访问的 UI 控件，缓存其引用
4. 异步操作: 对于耗时操作使用异步模式提高效率
5. 错误处理: 完善的异常捕获和恢复机制
6. 性能监控: 监控 RPC 调用延迟和成功率

与其他自动化框架对比

特性	Poco	Appium	UIAutomator2
游戏支持	优秀	不支持	不支持
跨引擎	Unity/Cocos/UE4	仅原生	仅 Android 原生
集成复杂度	中等(需 SDK)	低(无需修改)	低(无需修改)
执行速度	快	中等	快
稳定性	高	中等	高
学习成本	中等	高	低

Poco 特别适合游戏自动化测试、游戏 AI 训练、游戏内容验证等场景，是移动游戏自动化的首选方案。

---

2. 群控系统 (Device Farming)

群控系统是一个将大量物理设备或虚拟设备（模拟器）汇集成一个统一的、可编程的资源池，并对其进行集中化管理、调度和监控的平台。

a) 核心架构

一个工业级的群控系统通常是微服务架构，包含以下核心组件：

1. API 网关 (API Gateway):
    - 作为所有服务的统一入口，负责请求路由、身份认证和速率限制。
2. 设备管理服务 (Device Management Service):
    - 维护一个包含所有设备（真机/模拟器）信息的数据库。

- 通过心跳机制实时监控每个设备的状态（空闲、占用、离线、健康状况）。
- 处理设备的接入和注销。

3. 任务调度服务 (Task Scheduling Service):
   - 接收用户提交的任务（例如，"在 Android 12 上对 App X 执行 Y 测试"）。
   - 根据任务要求（设备类型、系统版本等）和预设的调度策略（如优先级、FIFO）从设备管理服务中查询并锁定一个合适的设备。
4. 执行代理 (Agent):
   - 在每个物理设备或模拟器上运行的一个轻量级代理程序。
   - 负责接收并执行来自调度中心的具体指令，如：安装/卸载 APK、启动/停止 Appium、执行 shell 命令、上传/下载文件等。
5. 结果收集与报告服务:
   - 接收来自 Agent 的实时日志、截图、录屏和测试结果。
   - 将结果存入数据库，并在任务结束后生成最终的测试报告。
6. Web 管理前端:
   - 提供一个可视化的界面，让用户可以实时查看设备列表、远程控制设备（如 STF）、提交任务、查看任务队列和历史报告。

b) 开源方案与自研

STF (Smartphone Test Farm): 提供了优秀的设备管理和远程控制功能，是许多自研群控系统的基础。但它本身不包含任务调度和报告等功能。

自研: 许多大型公司会基于 STF、Appium、Docker、Kubernetes 等开源技术栈，结合自身的业务需求，搭建自研的群控平台，以实现更灵活的调度逻辑和更深入的业务集成。

总结

自动化与群控系统是移动端工程化能力的集中体现。它将底层的设备资源、中层的执行脚本和上层的业务需求有机地结合在一起，形成了一个强大的、可扩展的自动化解决方案，是现代 App 开发、测试和安全分析不可或缺的一环。

工具指南

动态分析工具

T01: Frida 使用指南

T01: Frida 常用命令与脚本 API 大全

Frida 是一个动态代码插桩工具包，它允许您将自己的脚本注入到黑盒进程中。它对于逆向工程、安全研究和应用调试非常有用。

目录

Frida 工具集

这些是在终端中使用的核心 Frida 命令行工具。

命令	描述
`frida --version`	查看 Frida 版本
`frida-ps -U`	列出 USB 连接设备上的所有进程
`frida-ps -Ua`	列出 USB 连接设备上所有正在运行的应用程序
`frida-ps -Uai`	列出 USB 连接设备上所有已安装的应用程序及其标识符
`frida-trace -U -f <包名> -i "<方法>"`	跟踪指定方法的调用（附加到新进程）
`frida-trace -U -p <PID> -i "<方法>"`	跟踪指定方法的调用（附加到现有进程）
`frida -U -f <包名> -l <脚本.js>`	Spawn 一个新进程并注入脚本
`frida -U -p <PID> -l <脚本.js>`	附加到现有进程并注入脚本
`frida -U --no-pause -f <包名> -l <脚本.js>`	Spawn 新进程并注入脚本，且不暂停主线程

连接与附加模式

Frida 有两种主要的方式来 hook 应用：

- Spawn (Spawning)：Frida 启动应用程序并立即暂停主线程，以便您在应用代码执行前注入脚本。这是最常用的模式，特别是对于需要在应用启动早期进行 Hook 的场景。使用 `-f <包名>` 参数。
- Attach (Attaching)：Frida 附加到已经在运行的进程上。这对于 hook 那些在应用运行中途才会触发的功能很有用。使用 `-p <PID>` 或应用名称。

JavaScript API (核心)

这是 Frida 脚本的核心。所有逻辑都在 JavaScript 脚本中实现。

Java (Android)

这些 API 用于与 Android 的 Java 运行时进行交互。所有 Java 相关代码都必须包裹在 `Java.perform(function() { ... });` 中。

API/代码片段	描述
`Java.perform(function() { ... });`	Frida 中与 Java 交互的入口点和作用域
`Java.available`	检查 Java VM 是否可用
`var MyClass = Java.use('com.example.MyClass');`	获取一个类的包装器，用于方法 Hook 或创建实例
`MyClass.myMethod.implementation = function(...) { ... }`	替换（Hook）一个方法的实现
`this.myMethod(...)`	在 Hook 的实现中调用原始方法
`MyClass.$new()`	创建一个类的新实例
`Java.choose('com.example.MyClass', { onMatch: ..., onComplete: ... })`	查找堆上特定类的所有活动实例
`Java.cast(obj, MyClass)`	将一个对象转换为特定的类类型
`Java.backtrace(this.context, true)`	获取当前线程的 Java 调用堆栈
`send(data)`	从脚本向 Python/Node.js 工具发送消息
`recv(callback)`	从 Python/Node.js 工具接收消息

Objective-C (iOS)

这些 API 用于与 iOS 的 Objective-C 运行时进行交互。

API/代码片段	描述
`ObjC.classes.MyClass`	获取一个类的引用
`Interceptor.attach(ObjC.classes.MyClass['- myMethod'], { ... })`	附加到方法的实现 (Native Interceptor)
`ObjC.choose(ObjC.classes.MyClass, { ... })`	查找特定类的所有活动实例
`ObjC.available`	检查 Objective-C 运行时是否可用

通用/原生 (Native)

这些 API 用于与原生代码（C/C++）进行交互，跨平台通用。

API/代码片段	描述
`Interceptor.attach(ptr("..."), { onEnter: ..., onLeave: ... })`	拦截指定地址的原生函数调用
`Module.findExportByName("libname.so", "function_name")`	按名称查找模块（库）的导出函数地址
`Module.findBaseAddress("libname.so")`	获取模块加载的基地址
`Memory.readByteArray(address, size)`	从指定地址读取字节数组
`Memory.writeByteArray(address, bytes)`	向指定地址写入字节数组
`NativeFunction(address, returnType, argTypes)`	创建一个可调用的原生函数对象
`ptr("0x...")`	创建一个原生指针
`Thread.backtrace(this.context, Backtracer.ACCURATE)`	获取当前线程的原生调用堆栈

JNI (Java Native Interface)

JNI 是 Android 逆向中的重要组成部分，Frida 提供了强大的 JNI Hook 能力。

API/代码片段	描述
`Module.findExportByName("lib.so", "Java_com_pkg_Class_method")`	查找 JNI 函数地址
`Java.vm.getEnv()`	获取当前线程的 JNIEnv 指针
`Java.vm.tryGetEnv()`	尝试获取 JNIEnv（不会抛异常）
`Java.vm.perform(callback)`	在 Java 虚拟机线程中执行回调

常用脚本示例

JNI Hook 示例

```
// Hook JNI Function
var jni_func = Module.findExportByName(
  "libnative.so",
  "Java_com_example_app_Crypto_encrypt"
);

if (jni_func) {
  Interceptor.attach(jni_func, {
    onEnter: function (args) {
      console.log("[JNI Hook] encrypt() called");

      // args[0] = JNIEnv*
      // args[1] = jclass/jobject
      // args[2] = first Java parameter

      // Read jstring parameter
      if (args[2]) {
        var env = Java.vm.getEnv();
        var jstr = args[2];
        var cstr = env.getStringUtfChars(jstr, null);
        console.log("Input: " + cstr.readCString());
        env.releaseStringUtfChars(jstr, cstr);
      }
    },
    onLeave: function (retval) {
      // Read returned jstring
      if (retval && !retval.isNull()) {
        var env = Java.vm.getEnv();
        var cstr = env.getStringUtfChars(retval, null);
        console.log("Output: " + cstr.readCString());
        env.releaseStringUtfChars(retval, cstr);
      }
    },
  });
}

// Also hook the native method call from Java layer
Java.perform(function () {
  var Crypto = Java.use("com.example.app.Crypto");

  Crypto.encrypt.implementation = function (input) {
    console.log("[Java Hook] encrypt called with: " + input);
    var result = this.encrypt(input);
    console.log("[Java Hook] encrypt returned: " + result);
    return result;
  };
});
```

枚举 JNI 函数

```
function enumerateJNIFunctions(moduleName) {
  var module = Process.getModuleByName(moduleName);
  var exports = module.enumerateExports();

  console.log("[JNI Enumeration] " + moduleName);
  exports.forEach(function (exp) {
    if (exp.name.startsWith("Java_")) {
      console.log("  " + exp.name + " @ " + exp.address);
    }
  });
}

// Usage example
enumerateJNIFunctions("libnative.so");
```

Hook Java 方法

```
Java.perform(function () {
  var MyClass = Java.use("com.example.SecretClass");

  MyClass.secretMethod.implementation = function (arg1, arg2) {
    console.log("secretMethod called with:", arg1, arg2);

    // Call original method and get return value
    var retval = this.secretMethod(arg1, arg2);
    console.log("Original return value:", retval);

    return retval; // Return original value
  };
});
```

绕过 VIP 检查

```
Java.perform(function () {
  var PremiumUtils = Java.use("com.example.PremiumUtils");

  PremiumUtils.isUserPremium.implementation = function () {
    console.log("Bypassing isUserPremium check...");
    return true; // Always return true to bypass VIP check
  };
});
```

查找堆上的实例

```
Java.perform(function () {
  Java.choose("com.example.UserManager", {
    onMatch: function (instance) {
      console.log("Found UserManager instance:", instance);
      console.log("User ID:", instance.getUserId());
    },
    onComplete: function () {
      console.log("Search complete.");
    },
  });
});
```

Hook 构造函数

```
Java.perform(function () {
  var User = Java.use("com.example.User");

  User.$init.implementation = function (name, age) {
    console.log("User object created with name:", name, "and age:", age);

    // Call original constructor
    this.$init(name, age);
  };
});
```

Hook Native 函数 (SSL_write)

```
var ssl_write = Module.findExportByName("libssl.so", "SSL_write");

Interceptor.attach(ssl_write, {
  onEnter: function (args) {
    // args[0] is the SSL context
    // args[1] is the buffer
    // args[2] is the size
    console.log("Intercepted SSL_write, size:", args[2].toInt32());
    // You can use hexdump(args[1]) to view the data
  },
  onLeave: function (retval) {
    // retval is the original return value
    console.log("SSL_write returned:", retval.toInt32());
  },
});
```

RPC 导出函数

JavaScript 脚本 (script.js):

```
function getSecretValueFromApp() {
  var secret = "";
  Java.perform(function () {
    // Assume there's a method to get the secret value
    var Utils = Java.use("com.example.Utils");
    secret = Utils.getSecret();
  });
  return secret;
}

// Export function
rpc.exports.getsecret = getSecretValueFromApp;
```

Python 调用:

```
import frida

# ... Connect to device and attach to process ...
# script = session.create_script(js_code)
# ...
# script.load()

# Call the exported function from the script
secret = script.exports.getsecret()
print("Secret from app:", secret)
```

T02: Frida 内部原理

T02: Frida 核心模块与实现原理

Frida 是一个功能强大的动态插桩框架，但要充分利用它，理解其内部工作原理至关重要。本指南将深入探讨构成 Frida 的几个核心模块、它们的作用以及它们是如何协同工作的。

目录

Frida 的 architecture 概览

Frida 采用的是一种客户端-服务器 (Client-Server) 架构。

!!! question "思考：为什么需要这样复杂的架构？" Frida 为什么不设计成一个简单的工具，而要分成客户端、服务器、Agent 三层?

- 跨平台的必然选择:
- 隔离性：你的分析脚本（Python）运行在 PC，不会影响目标设备的性能
- 安全性：Server 只负责进程管理和注入，真正的"危险操作"在隔离的进程内
- 灵活性：同一个 Server 可以同时为多个客户端服务，支持团队协作
- 跨语言：PC 端用 Python/Node.js 编写自动化脚本，目标进程内用 JavaScript 操作内存，各取所长

这种架构的本质是：把"控制"和"执行"分离，就像遥控无人机——遥控器在你手上，但飞行逻辑在机上。

- 客户端 (Client): 运行在你 PC 上的部分。这包括你编写的 Python 或 Node.js 脚本，以及你使用的 Frida 命令行工具 (`frida` , `frida-trace` 等)。
- 服务器 (Server): 在目标设备（如 Android 手机）上以后台守护进程模式运行的 `frida-server` 。
- Agent: 当你附加到一个目标进程时，Frida 会将一个动态库（ `frida-agent.so` ）注入到该进程的内存空间中。这个 Agent 负责执行你在客户端脚本中定义的逻辑。

Frida Architecture

- 图片来源: frida.re*

核心组件详解

Frida-Server: 设备端的守护进程

`frida-server` 是一个在目标设备上运行的二进制文件。它的主要职责是:

1. 监听连接: 监听来自你 PC 上 Frida 客户端的 TCP 连接。
2. 进程管理: 枚举目标设备上正在运行的进程，获取应用信息。

---

3. 注入 Agent: 当客户端指定要附加 (attach) 或启动 (spawn) 一个应用时，`frida-server` 负责将 `frida-agent.so` 注入到目标进程中。在 Android 上，它通常通过 `ptrace` 来实现这一点。

Frida-Core: 注入目标进程的核心引擎

`frida-core` 是 Frida 的核心，它被编译成 `frida-agent.so` 并注入到目标进程。它是一个用 C 语言编写的多平台库，主要负责：

1. 进程内通信: 建立一个与 `frida-server` 的通信渠道，从而间接地与你的 PC 客户端通信。
2. 加载 JavaScript 引擎: 它内部嵌入了一个 Google V8 JavaScript 引擎。
3. 暴露原生 API: 将底层的 `frida-gum` 功能通过 JavaScript API (如 `Interceptor`, `Memory`, `NativePointer`) 暴露给用户脚本。

Frida-Gum: 实现 Hook 的魔法棒

`frida-gum` 是 `frida-core` 中最具魔力的部分，它是一个跨平台的代码插桩工具包。所有 Hook 和代码跟踪功能都由它提供。

`Interceptor`: 函数拦截器

`Interceptor` 是你最常使用的功能，用于 Hook/Trace/替换任意函数。

!!! tip "深入理解：Hook 的本质是什么？" 很多人把 Hook 当成"黑魔法"，但其实原理很朴素：

- Hook = 劫持程序的执行流

想象你在高速公路上设置了一个收费站：

1. 原始道路：函数的正常执行流程
2. 收费站（Trampoline）：你插入的代码
3. 改道标志（JMP）：修改函数入口的跳转指令
4. 恢复通行：执行原始指令后继续

理解了这个本质，你就能：

- 判断哪些 Hook 会相互冲突（都修改同一个函数入口）

- 理解为什么有些反 Hook 检测能发现你（检查函数头的修改）
- 知道如何写更隐蔽的 Hook（inline hook vs. PLT/GOT hook）
- 实现原理:

1. 动态代码生成: 当你 `Interceptor.attach` 一个函数时，Frida-Gum 会在内存中动态地生成一小段汇编代码，我们称之为蹦床 (Trampoline)。
2. 函数头重写 (Prologue Rewriting): Frida-Gum 会修改目标函数入口点（函数头）的几条指令，将其替换为一个无条件跳转 (`JMP`) 指令，该指令指向刚刚创建的蹦床。Frida 会非常小心地保存被它覆盖掉的原始指令。
3. 执行流程:

- 当应用调用目标函数时，它会首先跳转到蹦床。
- 蹦床代码会保存当前的 CPU 上下文（寄存器状态），然后调用你在 JavaScript 中定义的 `onEnter` 回调。
- `onEnter` 执行完毕后，蹦床会执行被它覆盖掉的原始函数指令，然后跳转回原始函数的剩余部分继续执行。
- 当原始函数执行完毕后，控制权返回给蹦床，蹦床再调用你的 `onLeave` 回调。
- 最后，蹦床恢复之前保存的 CPU 上下文，并将返回值传递给原始的调用者。

`Stalker`: 指令级跟踪器

`Stalker` 是 Frida 的代码跟踪引擎，功能极其强大但使用也更复杂。它可以用来记录一个线程执行过的每一条汇编指令。

- 实现原理 (基于动态重新编译):

1. 基本块 (Basic Block): Stalker 将代码分解为“基本块”。一个基本块是一系列连续的指令，只有一个入口点和一个出口点（通常是跳转或返回指令）。
2. 代码拷贝与插桩: 当一个线程将要执行某个基本块时，Stalker 会： a. 将这个基本块的所有指令拷贝到一块新的内存区域。 b. 在这份拷贝中插入你的分析代码（例如，记录指令地址、寄存器值的代码）。 c. 执行这份被插桩后的代码副本。

3. 代码缓存 (Code Cache): Stalker 会缓存这些被修改过的基本块。下次再执行到同一个基本块时，可以直接使用缓存中的版本，极大地提高了性能。
4. 链接 (Chaining): Stalker 会修改每个插桩后基本块的末尾，使其跳转到下一个即将执行的原始基本块对应的“插桩版本”，从而形成一个完整的跟踪链。

简而言之，`Stalker` 通过创建和执行原始代码的“带监控的副本”来实现无死角的指令级跟踪。

JavaScript (V8) 运行时: 脚本的执行环境

为什么我们用 JavaScript 写 Hook 逻辑? 因为 `frida-agent.so` 在注入目标进程后，会初始化一个 V8 引擎实例。你的 JS 脚本被完整地加载到这个 V8 引擎中执行。

这带来了巨大的优势:

- 高级语言的便利性: 你可以在目标进程的地址空间内，用 JavaScript 的便利性来操作内存、调用函数。
- JIT 编译: V8 的即时编译 (JIT) 特性使得你的 JS 脚本能以接近原生的速度运行，性能远超解释执行。
- 强大的生态: 可以利用现有的 JS 库。

语言绑定 (Bindings): 你的控制台

`frida-python`, `frida-node` 等库是你的“控制端”。它们负责:

- 连接 Server: 与设备上的 `frida-server` 建立通信。
- 发送指令: 将你的指令（如“附加到 PID 1234”）发送给 `frida-server`。
- 加载脚本: 将你的 `.js` 脚本文件内容发送给 `frida-agent.so` 里的 V8 引擎去执行。
- 双向通信 (RPC): 建立一个双向的 RPC 通道。这使得你在 JS 中调用 `send()` 的数据能被 Python 的 `on_message` 回调接收，反之亦然。

工作流程串讲

当你执行 `frida -U -f com.example.app -l script.js` 时，发生了什么？

1. [PC] `frida` (Python 客户端) 解析命令。
2. [PC -> Phone] 客户端通过 USB 连接到手机上的 `frida-server`。
3. [PC -> Phone] 客户端向 `frida-server` 发送指令：“请以 `spawn` 模式启动 `com.example.app`”。
4. [Phone] `frida-server` 找到 `com.example.app` 并启动它，但使其处于暂停状态。
5. [Phone] `frida-server` 将 `frida-agent.so` 注入到这个新创建的应用进程中。
6. [Phone] `frida-agent.so` 在进程内初始化，启动 V8 引擎，并建立与 `frida-server` 的内部通信。
7. [PC -> Phone] 客户端读取 `script.js` 的内容，并通过 `frida-server` 将其发送给 `frida-agent.so`。
8. [Phone] `frida-agent.so` 中的 V8 引擎执行 `script.js` 的代码（例如，`Interceptor.attach(...)`）。
9. [PC -> Phone] 客户端发送“恢复进程”的指令。
10. [Phone] 应用进程从暂停状态中恢复，开始正常执行。当它调用被 Hook 的函数时，你在 `script.js` 中定义的逻辑就会被触发。
11. [双向] 脚本中的 `send()` 消息会通过 `agent -> server -> client` 的路径回到你的 PC 终端上显示。

T03: Xposed 使用指南

T03: Xposed 框架入门

Xposed 是一个在 Android 平台上广受欢迎的动态代码 Hook 框架。与 Frida 主要用于实时、临时的分析不同，Xposed 旨在对系统和应用进行永久性的修改。它通过替换一个核心系统进程（`app_process`），在应用启动时加载自定义模块，从而实现对任意方法的高效 Hook。

目录

核心原理

Xposed 的工作基础是它能够在 Android 系统启动的核心阶段介入，并将自己的代码注入到每一个应用程序进程中。

1. Zygote 注入: Xposed 通过替换系统原生的 `/system/bin/app_process` 可执行文件，实现了对 Zygote 进程（所有 App 进程的父进程）的控制。当 Zygote 启动时，会加载 Xposed 的核心 Jar 包（Xposed Bridge）。

2. 方法 Hook: 当模块需要 Hook 一个方法时，Xposed 会在运行时深入虚拟机（ART）内部，直接修改该方法在内存中的数据结构。它将目标方法"伪装"成一个 Native 方法，并将其执行入口指向 Xposed 的一个通用桥接函数。
3. 执行流重定向: 当 App 调用被 Hook 的方法时，执行流会先进入 Xposed 的桥接函数，在这里 Xposed 依次调用所有模块的 `beforeHookedMethod`，然后调用原方法，最后再调用所有模块的 `afterHookedMethod`，从而实现对方法调用的完全控制。

> 想要更深入地了解其实现细节，请参考 Xposed Internals: A Deep Dive。

Xposed vs. Frida

特性	Xposed	Frida
核心目标	永久性修改: 对应用或系统功能进行长期、稳定的修改。	动态分析: 用于实时、临时的分析、逆向和快速原型验证。
运行环境	需要 Root，通过刷入框架修改系统，需要重启。	通常需要 Root，但无需重启，通过 `frida-server` 动态附加。
开发语言	Java: 模块是标准的 Android APK。	JavaScript: 主要使用 JS 编写脚本，也支持其他语言绑定。
开发周期	较慢：编码 → 编译 APK → 安装 → 激活 → 重启 App/设备 → 测试。	极快：编写/修改脚本 → 附加进程 → 立即看到结果。
稳定性	极高。为长期运行设计，一旦激活，随 App 启动自动生效。	较低。依赖于 `frida-server` 和附加会话，App 重启后失效。
适用场景	UI 定制、功能增强、去广告、隐私控制（如伪造数据）。	SSL Pinning 绕过、算法逆向、协议分析、漏洞挖掘。

- 总结: 如果你想写一个"插件"来永久性地改变一个 App 的功能，用 Xposed；如果你想分析一个 App 的内部行为，用 Frida。

环境搭建 (以 LSPosed 为例)

当前，LSPosed 是社区中最主流、兼容性最好的 Xposed 框架实现，它基于 Riru/Zygisk，以 Magisk 模块的形式工作。

1. 前提条件:
    - 一台已解锁并刷入 Magisk 的 Android 设备（Android 8.1+）。
2. 安装 Riru 或启用 Zygisk:
    - Zygisk (推荐): 在 Magisk Manager 中，进入设置，开启 `Zygisk` 选项。
    - Riru (备选): 在 Magisk Manager 的"模块"部分，搜索并安装 `Riru` 模块。
3. 安装 LSPosed:
    - 从 LSPosed 的 GitHub Releases 页面下载最新的 Zygisk 版本 ZIP 包。
    - 在 Magisk Manager 的"模块"页，选择"从本地安装"，然后选中下载的 LSPosed ZIP 包。
    - 安装完成后，点击右下角的"重启"按钮。
4. 验证安装:
    - 重启后，桌面上会出现 LSPosed 的管理程序图标。
    - 打开 LSPosed，如果状态显示为"已激活"，则表示框架安装成功。

开发第一个 Xposed 模块

我们将创建一个简单的模块，来 Hook 系统的时钟，在后面加上一个小尾巴。

1. 项目结构

- 在 Android Studio 中创建一个新的、空的 Android 项目。
- 在 app 的 `build.gradle` 文件中添加 Xposed API 依赖:

```
dependencies {
// ... other dependencies
compileOnly 'de.robv.android.xposed:api:82'
// 'compileOnly' is used because the framework is already provided by the system,
only needed at compile time
}
```

- 创建一个新的 Java 类，例如 `ClockHook`，并让它实现 `IXposedHookLoadPackage` 接口。

```
package com.example.myxposedmodule;

import de.robv.android.xposed.IXposedHookLoadPackage;
import de.robv.android.xposed.XC_MethodHook;
import de.robv.android.xposed.XposedBridge;
import de.robv.android.xposed.XposedHelpers;
import de.robv.android.xposed.callbacks.XC_LoadPackage.LoadPackageParam;
import android.widget.TextView;

public class ClockHook implements IXposedHookLoadPackage {
@Override
public void handleLoadPackage(final LoadPackageParam lpparam) throws Throwable {
// We only care about system UI
if (!lpparam.packageName.equals("com.android.systemui")) {
return;
}

XposedBridge.log("Loaded app: " + lpparam.packageName);

// Find and Hook the clock update class and method
// (Note: class names and method names may differ across Android versions)
XposedHelpers.findAndHookMethod(
"com.android.systemui.statusbar.policy.Clock", // Class name
lpparam.classLoader, // ClassLoader
"updateClock", // Method name
new XC_MethodHook() { // Hook callback
@Override
protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
super.afterHookedMethod(param);
TextView clockView = (TextView) param.thisObject;
String originalTime = clockView.getText().toString();
String newTime = originalTime + " ";
clockView.setText(newTime);
XposedBridge.log("Clock hooked! New time: " + newTime);
}
}
);
}
}
```

- 在 `app/src/main/AndroidManifest.xml` 的 `<application>` 标签内，添加 meta-data 来声明这是一个 Xposed 模块。

```
<meta-data
android:name="xposedmodule"
android:value="true" />
<meta-data
android:name="xposeddescription"
android:value="This is an example module that adds a tail to system clock" />
<meta-data
android:name="xposedminversion"
android:value="52" />
```

- 在 `assets` 文件夹内，创建一个名为 `xposed_init` 的文本文件。
- 在 `xposed_init` 文件中，写入你的 Hook 类的完整路径：

```
com.example.myxposedmodule.ClockHook
```

1. 构建 APK: 在 Android Studio 中构建你的项目，生成 APK。
2. 安装 APK: 将 APK 安装到你的测试设备上。
3. 激活模块:
    - 打开 LSPosed Manager。
    - 进入"模块"部分，找到你刚刚安装的模块。
    - 点击它，然后启用模块。
    - 在作用域列表中，勾选"SystemUI"。
4. 重启目标进程:
    - 在 LSPosed 的状态页右上角，点击三个点菜单，选择"软重启"或"重启 SystemUI"，或者直接重启手机。
5. 查看效果: 查看你的状态栏时钟，它现在应该带有一个 小尾巴了！你也可以在 LSPosed 的日志中看到 `XposedBridge.log` 输出的信息。

核心 API 详解

`IXposedHookLoadPackage`

这是所有模块的入口点。它只有一个方法 `handleLoadPackage(LoadPackageParam lpparam)`。当任何一个 App 启动时，Xposed 都会调用这个方法，并传入 `lpparam` 对象，其中包含了非常有用的信息：

- `lpparam.packageName`：当前加载的 App 的包名。
- `lpparam.processName`：当前进程名。
- `lpparam.classLoader`：当前 App 的 ClassLoader，这是 Hook App 内部类的必需品。

`XposedHelpers`

一个包含大量静态辅助方法的工具类，极大简化了反射操作。

- `findAndHookMethod(String className, ClassLoader classLoader, String methodName, Object... parameterTypesAndCallback)`：最核心的 Hook 方法。最后一个参数必须是 `XC_MethodHook` 回调。
- `findClass(String className, ClassLoader classLoader)`：查找一个类。
- `getObjectField(Object obj, String fieldName)` / `setObjectField(Object obj, String fieldName, Object value)`：获取/设置对象的成员变量。
- `callMethod(Object obj, String methodName, Object... args)`：调用一个对象的方法。
- `getStaticObjectField(...)` / `callStaticMethod(...)`：用于操作静态变量和静态方法。

`XC_MethodHook`

这是一个抽象类，你需要继承它并重写它的两个核心方法。

- `beforeHookedMethod(MethodHookParam param)`：在原方法执行前被调用。
- `afterHookedMethod(MethodHookParam param)`：在原方法执行后被调用。

这两个方法都接收一个 `MethodHookParam` 对象，它包含了本次方法调用的所有上下文信息：

- `param.thisObject`：`this` 指针，即方法所属的对象实例。
- `param.args`：`Object[]` 数组，包含了方法被调用时的所有参数。你可以在 `beforeHookedMethod` 中修改它。
- `param.getResult()`：获取原方法的返回值。只能在 `afterHookedMethod` 中调用。
- `param.setResult(Object result)`：设置一个新的返回值。如果在 `beforeHookedMethod` 中调用，原方法将不会被执行。如果在 `afterHookedMethod` 中调用，它会覆盖原方法的返回值。
- `param.getThrowable()` / `param.setThrowable(Throwable t)`：用于获取/设置方法抛出的异常。

常见应用场景

- UI 定制：修改系统或应用的外观，如状态栏、通知、锁屏等（代表作：`GravityBox`）。
- 功能增强：为应用添加原生不支持的功能，如为微信添加防撤回、自动抢红包功能。
- 去除限制：破解应用的付费功能、去除截图限制、去除广告等。
- 隐私保护：拦截应用获取敏感信息的请求（如定位、联系人、设备 ID），并返回虚假或空数据（代表作：`XPrivacyLua`）。
- 安全分析：
- 绕过 SSL Pinning（尽管 Frida 更灵活）。
- 禁用 Root 检测或反调试机制。
- 日志记录：打印关键方法的参数和返回值，分析应用行为。

T04: Xposed 内部原理

T04: Xposed 内部原理深度剖析

Xposed 是一个强大的 Android 框架，允许用户在运行时修改系统和应用程序进程的行为，而无需修改任何 APK 文件。本文档深入探讨了 Xposed 工作的核心原理。

1. 入口点：Zygote 进程注入

Xposed 的基础在于它能够将自定义代码注入到每个 Android 应用程序进程中。它通过针对 Zygote 进程来实现这一点，Zygote 是 Android OS 中的原始进程，所有应用程序进程都从它 fork 而来。

工作原理：

1. 替换 `app_process`：在安装期间，Xposed 用自己修改后的版本替换原始的 `/system/bin/app_process` 可执行文件。这个可执行文件是 Zygote 进程启动的第一个程序。
2. 加载桥接器：当 Zygote 启动时，它运行 Xposed 版本的 `app_process`。这个自定义可执行文件的主要任务是将一个特殊的 JAR 文件（通常称为 Xposed Bridge，即 `XposedBridge.jar`）加载到 Zygote 的地址空间中。
3. 通过 Fork 继承：由于每个 Android 应用程序都是 Zygote 进程的 fork，它们都继承了父进程的内存空间。这意味着 Xposed Bridge JAR 从创建时刻起就自动加载到每个应用程序进程中。

这种巧妙的方法确保 Xposed 的核心逻辑在任何应用程序中都存在并准备好执行，为方法 Hook 提供了一个通用平台。

2. 核心魔法：方法 Hook

Xposed 最著名的功能是其"Hook"Java 方法的能力。这不是简单的反射；它是对底层虚拟机数据结构的深度操纵。

`Method` 结构转换：

核心思想是改变虚拟机中目标 Java 方法的类型签名，使虚拟机认为它是一个 `native` 方法。

1. 查找目标：模块使用 `findAndHookMethod` 等辅助函数来指定它们希望 Hook 的类和方法。
2. 修改 **`Method`** 对象：在内部，Xposed 使用反射和本地代码来获取与目标对应的 Java `java.lang.reflect.Method` 对象的句柄。
3. "Native"伪装：

- Xposed 修改 `Method` 对象的 `accessFlags`，添加 `ACC_NATIVE` 标志。
- 然后它覆盖方法的入口点指针。在 ART 运行时中，这意味着替换内部 `ArtMethod` 结构中的 `entry_point_from_quick_compiled_code_` 字段。
- 这个新的入口点现在指向 Xposed 提供的通用原生桥接函数。

1. 保存原始方法：在覆盖之前，Xposed 仔细地将原始方法的信息（包括其原始入口点和访问标志）保存到单独的备份结构中。

Hooked 方法的执行流程：

当应用程序调用被 Xposed Hook 的方法时，会发生以下序列：

1. 绕道到原生桥接器：虚拟机现在认为该方法是原生方法，将调用定向到 Xposed 的通用原生桥接函数。
2. 回调到 Java 桥接器：原生函数做的事情很少。它的主要目的是回调到 Java 世界，调用 Xposed Bridge 中的核心 Java 方法：`handleHookedMethod`。
3. **`handleHookedMethod`** 协调：这个强大的 Java 方法协调整个 Hook 生命周期：

a. 它将方法的参数和 `this` 引用准备到一个 `MethodHookParam` 对象中。

b. **`beforeHookedMethod`**：它遍历模块中所有注册的回调，并调用它们的 `beforeHookedMethod` 方法。这些回调可以检查或修改参数。关键的是，"before"回调可以选择通过直接在 `param` 对象上设置结果来完全跳过原始方法。

c. 调用原始方法：如果方法没有被跳过，`handleHookedMethod` 使用保存的备份信息来调用原始方法，并传入（可能已修改的）参数。

d. `afterHookedMethod`：在原始方法完成后，它再次遍历回调，这次调用它们的 `afterHookedMethod` 方法。这些回调可以检查或修改方法的返回值。

1. 返回给调用者：最后，`handleHookedMethod` 将最终结果（来自"before"回调或原始方法的（已修改的）结果）返回给应用程序的原始调用点。

整个过程对应用程序代码是透明的，应用程序只是看到一个返回值的方法调用，而不知道它经历了复杂的绕道。

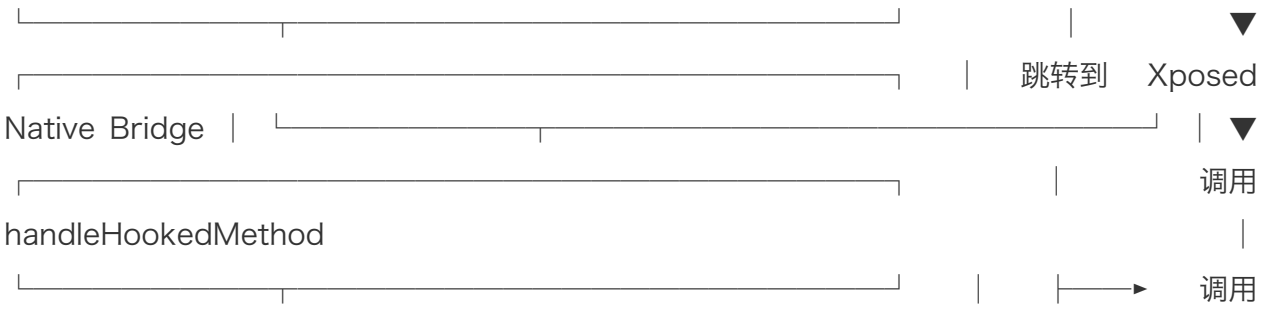
3. 模块加载机制

Xposed 模块是标准的 Android APK，它们向框架表明自己的性质。

- `AndroidManifest.xml`：模块的清单文件必须包含一个 `<meta-data>` 标签，其中 `android:name="xposedmodule"` 设置为 `true`。
- `assets/xposed_init`：模块 assets 目录中的这个文件是一个简单的文本文件。每行指向一个完全限定的类名。
- `IXposedHookLoadPackage`：`xposed_init` 中列出的类必须实现这个接口。Xposed 框架将实例化这些类，并为每个加载的应用程序包调用它们的 `handleLoadPackage` 方法，允许模块决定是否应用其 Hook。

架构图解

Xposed 工作流程图



关键字段修改：

- `access_flags_`：添加 `ACC_NATIVE` 标志
- `entry_point_from_quick_compiled_code_`：替换为 Xposed 桥接函数地址
- 备份原始字段值以便后续恢复

伪代码示例：

```cpp
// Xposed 内部简化逻辑
void hookMethod(ArtMethod* method) {
// 保存原始信息
backup.original_flags = method->access_flags_;
backup.original_entry = method->entry_point_from_quick_compiled_code_;

// 修改为 native 方法
method->access_flags_ |= ACC_NATIVE;
method->entry_point_from_quick_compiled_code_ = xposed_bridge_entry;
}
```

模块 A - beforeHookedMethod ▼ 模块 B - beforeHookedMethod ▼ 原始方法执行 ▼ 模块 B - afterHookedMethod ▼ 模块 A - afterHookedMethod ▼ 返回结果

```
### 3. 性能优化机制

* *JIT/AOT 编译影响: **

- Hooked 方法被标记为 native，避免 JIT 编译
- 通过 native 桥接的额外开销（约 10-50μs 每次调用）
- 大量 Hook 可能影响应用启动时间

* *最佳实践: **

- 只 Hook 必要的方法
- 在回调中避免耗时操作
- 使用条件判断减少不必要的处理
---
## 与其他 Hook 框架对比

| 特性 | Xposed | Frida | VirtualXposed |
| ------------- | ------------ | ---------------------- | ------------- |
| **需要 Root** | 是 | 否（Gadget 模式除外） | 否 |
| **注入方式** | Zygote 级别 | 进程级别 | 虚拟化容器 |
| **性能开销** | 低-中 | 中-高 | 中 |
| **开发语言** | Java | JavaScript/Python | Java |
| **动态性** | 重启应用生效 | 实时生效 | 重启应用生效 |
| **稳定性** | 高 | 中 | 中-低 |
| **适用场景** | 长期修改 | 动态分析/调试 | 无 Root 测试 |
---
## 安全影响与检测

### 应用层检测方法

* *1. 检查 Xposed 特征文件: **

```java
private boolean isXposedInstalled() {
try {
// 检查 XposedBridge 类
Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge");
return true;
} catch (ClassNotFoundException e) {
return false;
}
}
```

int modifiers = method.getModifiers(); return Modifier.isNative(modifiers) && !shouldBeNative(method); }
```

```
for (StackTraceElement trace : traces) {
if (trace.getClassName().contains("XposedBridge")) {
return true;
}
}
return false;
}
```

1. 清理堆栈跟踪信息
2. 使用定制版 Xposed（修改特征字符串）

实际应用场景

1. 隐私保护

- 伪造设备信息（IMEI、MAC 地址等）
- 阻止权限请求
- 拦截敏感数据上传

2. 功能增强

- 移除广告
- 解锁 VIP 功能
- 修改应用行为

3. 逆向分析

- 监控方法调用
- 提取加密密钥
- 分析算法逻辑

4. 自动化测试

- 模拟用户行为
- 注入测试数据
- 绕过验证码

模块开发示例

基础 Hook 示例

```
public class MyXposedModule implements IXposedHookLoadPackage {

@Override
public void handleLoadPackage(XC_LoadPackage.LoadPackageParam lpparam)
throws Throwable {

// 只 Hook 目标应用
if (!lpparam.packageName.equals("com.example.target"))
return;

// Hook 方法
findAndHookMethod(
"com.example.target.MainActivity",
lpparam.classLoader,
"getUserInfo", // 方法名
new XC_MethodHook() {
@Override
protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param)
throws Throwable {
// 在方法执行前
XposedBridge.log("getUserInfo 即将被调用");
}

@Override
protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param)
throws Throwable {
// 在方法执行后
String result = (String) param.getResult();
XposedBridge.log("getUserInfo 返回: " + result);

// 修改返回值
param.setResult("Fake User Info");
}
}
);
}
}
```

lpparam.classLoader, byte[].class, // 参数类型 String.class, new XC_MethodHook() { @Override protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable { byte[] key = (byte[]) param.args[0]; String algorithm = (String) param.args[1];

XposedBridge.log("捕获密钥!"); XposedBridge.log("算法: " + algorithm); XposedBridge.log("密钥: " + bytesToHex(key)); } });

1. 依赖 Root 权限：需要系统级访问
2. 稳定性问题：不当使用可能导致系统崩溃
3. 版本兼容性：需要针对不同 Android 版本适配
4. 检测与对抗：越来越多应用实施反 Xposed 检测

未来趋势

1. EdXposed/LSPosed：基于 Riru/Zygisk 的新实现
2. 虚拟化方案：VirtualXposed、太极等无需 Root 的方案
3. 对抗升级：更复杂的检测与反检测技术

总结

Xposed 通过以下核心技术实现了强大的运行时修改能力：

1. Zygote 注入：确保每个应用都加载 Xposed Bridge
2. 方法伪装：将 Java 方法转换为 native，重定向入口点
3. 回调机制：在方法执行前后插入自定义逻辑
4. 模块化设计：灵活的 APK 插件系统

这种设计使 Xposed 成为 Android 平台上最强大的运行时修改框架之一，但同时也带来了安全风险和检测对抗的挑战。

理解 Xposed 的内部原理不仅有助于开发更好的模块，也为逆向工程、安全研究和应用保护提供了重要的技术洞察。

T05: Unidbg 使用指南

T05: Unidbg 模拟执行框架指南

Unidbg 是一个基于 Java 开发的、开源的、功能强大的 Android/iOS 原生库 (`.so` / `.dylib`) 模拟执行框架。它能够在 PC (Windows/Linux/macOS) 上模拟一个完整的 ARM 执行环境，使得你可以像调用本地 Java 方法一样直接调用和调试原生库中的函数。这对于分析高度混淆、包含大量环境依赖和反调试机制的原生算法来说，是一个革命性的工具。

目录

核心思想与应用场景

Unidbg 的核心思想是"欺骗"。它通过以下方式让 `.so` 文件认为自己正运行在一个真实的 Android 设备上:

- 模拟文件系统: 创建一个虚拟的文件系统，你可以将应用的数据、配置文件等放入其中。
- 模拟内存空间: 加载 `.so` 文件及其依赖的系统库 (如 `libc.so`, `libdl.so`) 到模拟的内存空间中。
- 模拟 JNI 环境: 实现了大部分 JNI 函数，当 `.so` 文件试图通过 JNI 调用 Java 层代码时，Unidbg 会拦截并可以返回你指定的值。

- Hook 系统调用 (SVC): 拦截底层的系统调用，返回预设的结果。

主要应用场景

- 算法复现 (一把梭): 直接调用目标加密/解密函数，输入参数并获取返回值，无需费力去逆向算法本身。
- 绕过环境检测: 目标函数可能包含对 Root、模拟器、设备 ID 等的检测。Unidbg 可以轻松 Hook 这些检测点，让它们全部失效。
- 绕过反调试: `ptrace` 等反调试手段在 Unidbg 的模拟环境中天然无效。
- 批量计算/爆破: 编写脚本，批量调用目标函数，用于参数的爆破或生成大量签名。
- 主动调用非导出函数: 与 Frida 不同，只要知道函数偏移，就可以直接调用任何函数，无论它是否被导出。

Unidbg vs. Frida

特性	Unidbg	Frida
执行环境	PC 端 (模拟执行)	移动设备端 (真机/模拟器)
工作模式	将 `.so` 当作一个"黑盒"库来调用	侵入正在运行的应用进程进行 Hook
依赖	仅需要 `.so` 文件及其依赖的库	需要一个完整的、能运行的 APK
反调试	天然免疫	需要编写脚本来对抗反调试
环境依赖	需要手动模拟或 Hook	运行在真实环境中，无需模拟
性能	较低 (因为是全模拟)	较高 (代码在设备上原生运行)
适用性	适合纯算法分析，不涉及 UI 和复杂业务流	适合分析与 Android 系统、UI 强相关的业务逻辑

环境搭建

1. JDK: 确保已安装 JDK 8 或更高版本。
2. Maven: 用于项目构建和依赖管理。
3. IDE: 推荐使用 IntelliJ IDEA。
4. 下载 Unidbg: 从其 GitHub Release 页面下载最新的发行版 `unidbg-dist.zip`，或直接使用 Maven 依赖。
5. 创建 Maven 项目: 在 IDE 中创建一个新的 Maven 项目，并在 `pom.xml` 中添加 Unidbg 的依赖:

```
<dependency>
    <groupId>com.github.unidbg</groupId>
    <artifactId>unidbg-android</artifactId>
    <version>0.9.7</version> <!-- Use latest version -->
</dependency>
```

基本使用流程

以下是一个调用 `.so` 中简单函数的典型代码结构：

```
import com.github.unidbg.AndroidEmulator;
import com.github.unidbg.Module;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidEmulatorBuilder;
import com.github.unidbg.linux.android.AndroidResolver;
import com.github.unidbg.linux.android.dvm.*;
import com.github.unidbg.memory.Memory;

import java.io.File;

public class MyTest extends DvmObject<String> {

    private final AndroidEmulator emulator;
    private final Module module;
    private final VM vm;

    public MyTest() {
        // 1. Create emulator instance
        emulator = AndroidEmulatorBuilder.for32Bit().build();
        final Memory memory = emulator.getMemory();
        // 2. Set system library resolver
        memory.setLibraryResolver(new AndroidResolver(23)); // API 23

        // 3. Create virtual machine instance (DVM)
        vm = emulator.createDalvikVM(new File("target/classes/apk/app-debug.apk"));
        vm.setVerbose(true); // Print detailed logs

        // 4. Load target .so
        DalvikModule dm = vm.loadLibrary(new File("target/classes/so/libnative-
lib.so"), true);
        module = dm.getModule();

        // 5. Call JNI_OnLoad (optional but recommended)
        dm.callJNI_OnLoad(emulator);
    }

    public void callNativeFunc() {
        // 6. Call target function
        Number result = module.callFunction(emulator, 0x1234, "hello unidbg")[0];
        System.out.println("Result: " + result.intValue());
    }

    public static void main(String[] args) {
        MyTest test = new MyTest();
        test.callNativeFunc();
        test.emulator.close();
    }
}
```

核心概念

- **`VM`**: 虚拟机，可以是 `DalvikVM` (DVM) 或 `ART`。负责管理 Java 对象 (`DvmObject`) 和 JNI 调用。
- **`Module`**: 代表一个已加载到内存中的 `.so` 模块。
  - `callFunction(emulator, address, args...)`: 核心方法，通过绝对地址或偏移调用函数。
  - `findSymbolByName("...")`: 按名称查找导出函数。
- **`DvmObject`**: Java 对象的代理。Unidbg 使用它来向 native 函数传递字符串、字节数组等。
- **`AbstractJni`**: 如果 `.so` 中有复杂的 JNI 回调，你需要继承 `AbstractJni` 并重写对应的方法，以模拟 Java 层的行为。
- Hooking: Unidbg 使用 `com.github.unidbg.hook.Hooker` 接口和 `TraceHook` 等工具来提供类似 Frida 的 Hooking 能力，可以监控指令、内存读写等。

实战技巧

补环境

如果 `.so` 依赖特定的设备信息或文件，你需要：

- 在虚拟文件系统中创建对应的文件和内容。
- Hook `open`, `read`, `access` 等 libc 函数，返回预期的结果。
- Hook JNI 调用，如 `getSystemService`，返回一个模拟的 `TelephonyManager` 对象。

定位函数地址

函数地址是 `基地址 (module.base) + 偏移`。偏移可以从 IDA/Ghidra 中获得。

设置断点

使用 `emulator.attach().addBreakPoint(address, ...)` 可以在指定地址设置断点，进行调试。

日志分析

`vm.setVerbose(true)` 会打印非常详细的 JNI 调用和 SVC 日志，这是解决环境问题的关键。

参考官方测试用例

Unidbg 项目的 `unidbg-android/src/test/java` 目录下有大量针对主流 App 的测试用例，是学习 Unidbg 的最佳资料。

T06: Unidbg 内部原理

T06: Unidbg 实现原理剖析

Unidbg 是一个强大的 Android 原生库（`.so`）模拟执行框架。它允许你在没有 Android 真机或模拟器的情况下，直接在 PC (macOS, Windows, Linux) 上运行和调试 JNI 函数。理解其工作原理，可以帮助我们更高效地解决复杂的加密算法逆向、协议分析等问题。

目录

核心思想

`.so` 文件是为特定 CPU 架构（如 ARM）和操作系统（如 Android）编译的。它不能直接在你的 x86 架构的 PC 上运行。

Unidbg 的核心思想就是：用纯 Java 在 PC 上构建一个虚拟的、高度仿真的 Android 用户态 (User-Mode) 环境。它不是一个完整的操作系统模拟器，而是专注于模拟一个 Android 进程所需的一切，让 `.so` 文件"感觉"自己正运行在一个真实的 Android 设备里。

关键组件详解

1. Unicorn Engine - CPU 模拟器

Unicorn 是 Unidbg 的基石。它是一个基于 QEMU 的轻量级、多平台、多架构的 CPU 模拟器库。

方面	说明
作用	负责逐条解释和执行 `.so` 文件中的 ARM 或 AArch64 (ARM64) 汇编指令
原理	当 Unidbg 加载 `.so` 的代码段到虚拟内存后，它会设置一个程序计数器 (PC) 指向要执行的函数地址，然后命令 Unicorn 从该地址开始执行。Unicorn 会读取指令、解码、模拟寄存器和内存的读写，并更新 CPU 状态，就像一个真实的 ARM 芯片一样

2. 内存管理与映射 (Memory Management)

Unidbg 内部实现了一套完整的内存管理系统，用于模拟一个进程的虚拟地址空间。

作用:

1. 为加载的 `.so` 文件分配虚拟内存（代码段、数据段、BSS 段等）
2. 管理函数的栈空间 (Stack)，用于存储局部变量和返回地址
3. 处理 `malloc`，`free` 等内存分配请求

原理:

它通过 Java 的数据结构（如 `byte[]` 或 `ByteBuffer`）来表示内存块，并通过一个映射表（`Map<Long, MemoryBlock>`）来管理虚拟地址和这些实际内存块之间的关系。当 Unicorn 需要读写某个虚拟地址时，Unidbg 会查询这个表，找到对应的 Java 内存块并进行操作。

3. 动态库加载器 (Dynamic Linker)

Android 应用的 `.so` 文件通常会依赖其他的系统库，如 `libc.so` (标准 C 库)，`liblog.so` (日志库)，`libz.so` (压缩库) 等。

作用:

Unidbg 内置了一个简易的 `linker`，负责解析 `.so` 文件的依赖项，并加载这些依赖库。

原理:

1. 解析 ELF: Unidbg 会读取 `.so` 文件的 ELF 头，找到其 `.dynamic` section，这里记录了所有依赖库的名称
2. 加载依赖: Unidbg 会在预设的路径中查找这些依赖库（它自带了一些核心的 Android 系统库），然后像加载主 `.so` 一样，将它们也加载到虚拟内存中
3. 符号重定位 (Relocation): 加载器最重要的工作是处理重定位。如果 A.so 调用了 B.so 中的函数 `foo`，A.so 中只存了一个对 `foo` 的"符号引用"。加载器需要在 B.so 中找到 `foo` 的实际地址，然后将这个地址填回到 A.so 的调用指令中。这个过程是 `.so` 文件能够跨库调用的关键

4. 系统调用处理 (Syscall Handler)

当 `.so` 文件需要执行一些需要操作系统内核参与的操作时（如读写文件、网络通信），它会发起一个系统调用 (syscall)，这通过 `SVC` 或 `SWI` 指令实现。

作用:

拦截并处理 `.so` 发出的所有系统调用。

原理:

Unicorn 引擎在执行 `SVC` 指令时会产生一个"中断"，并将控制权交还给 Unidbg。Unidbg 会检查特定的寄存器（如 `r7`）来获取系统调用的编号，然后在其 `SyscallHandler` 中找到对应的 Java 实现并执行。

例如，如果 `.so` 尝试打开一个文件，Unidbg 会拦截这个系统调用，并用 Java 的 `FileInputStream` 在 PC 上实际打开一个文件，然后将文件描述符返回给 `.so`。

5. JNI 函数模拟 (JNI Emulation)

这是 Unidbg 最核心的功能之一。JNI (Java Native Interface) 是 `.so` 文件与 Java 层代码交互的桥梁。

作用:

模拟 Android ART/Dalvik 虚拟机提供的所有 JNI 函数，如 `FindClass`，`GetMethodID`，`CallObjectMethod` 等。

原理:

- Unidbg 在其虚拟环境中预先注册了所有 JNI 函数的 Java 实现
- 当 `.so` 调用 `FindClass("java/lang/String")` 时，Unidbg 的 JNI 模块会接管这个调用，并返回一个代表 `java.lang.String` 类的虚拟对象（一个 Java `DvmClass` 实例）
- 当 `.so` 调用 `CallObjectMethod` 时，Unidbg 会根据传入的参数，实际地在 PC 端的 JVM 中执行对应 Java 对象的相应方法，然后将结果返回给 `.so`

通过这种方式，Unidbg 巧妙地将 `.so` 对 Android 虚拟机的调用"嫁接"到了 PC 端的 JVM 上。

工作流程

以下是 Unidbg 运行一个 `.so` 文件的完整流程:

步骤 1: 创建模拟器实例

```
AndroidARMEmulator emulator = new AndroidARMEmulator("com.example.app");
```

步骤 2: 内存初始化

```
Memory memory = emulator.getMemory();
```

Unidbg 初始化内存管理器和 Unicorn 引擎。

步骤 3：加载动态库

```
Module module = emulator.loadLibrary(new File("libnative-lib.so"));
```

在这一步中：

1. Unidbg 的 `linker` 解析 `libnative-lib.so` 的 ELF 结构
2. 根据 `PT_LOAD` 段，将 `.so` 的内容映射到虚拟内存
3. 解析其依赖库（如 `libc.so`），递归加载它们
4. 进行符号重定位，修复函数调用地址

步骤 4：调用 JNI 函数

```
module.callJNI_OnLoad(emulator);
// 或
DvmObject<?> obj = module.callJniMethod(...);
```

在这一步中：

1. Unidbg 找到目标 JNI 函数在虚拟内存中的地址
2. 设置函数参数，主要是将 `JNIEnv` 和 `jobject` 等 JNI 对象作为指针（虚拟地址）传入
3. 启动 Unicorn 引擎，从目标函数地址开始执行 ARM 汇编指令

步骤 5：执行与交互

在执行过程中：

- 汇编指令由 Unicorn 解释执行
- 遇到系统调用，Unicorn 中断，由 Unidbg 的 `SyscallHandler` 处理
- 遇到调用 JNI 函数，由 Unidbg 的 JNI 模拟层处理，可能会在 PC 的 JVM 上执行真实的 Java 代码

步骤 6：返回结果

函数执行完毕后，从模拟的寄存器（如 `r0`）或栈上获取返回值，并转换为 Java 对象。

优势与局限

优势

优势	说明
摆脱环境限制	无需真机或模拟器，无 root 权限要求
高可控性	可以完全控制程序的执行流程，任意修改内存、寄存器
自动化与集成	易于与 Java/Python 项目集成，进行大规模的自动化测试和分析
反反调试	由于没有实际的调试器进程（`ptrace`），可以绕过大多数基于 `ptrace` 的反调试检测

局限

局限	说明
环境不完整	并非 100% 完整的 Android 环境。对于强依赖特定系统行为、硬件特性或大量 UI 操作的 `.so` 文件，模拟可能会失败
性能开销	毕竟是逐条指令模拟，性能远低于原生执行
系统调用和 JNI 覆盖	如果 `.so` 用到了 Unidbg 尚未实现的系统调用或 JNI 函数，执行会中断，需要手动补充实现

静态分析工具

T07: Ghidra 入门

T07: Ghidra 入门

Ghidra 是由美国国家安全局（NSA）开发并开源的一款软件逆向工程（SRE）套件。它以功能全面、免费开源、跨平台等特性，迅速成为 IDA Pro 之外逆向工程师们的另一个重要选择，尤其在学术界和独立研究者中广受欢迎。

目录

核心特性

- 强大的反编译器 (Decompiler): 这是 Ghidra 的王牌功能。它内置了一个高质量的、支持多种处理器架构的免费反编译器，能够将汇编代码转换为类似 C/C++ 的高级语言伪代码，极大地提高了代码理解效率。
- 全面的分析能力: 支持对多种平台的可执行文件进行反汇编、分析、反编译、图表绘制和脚本化，包括 Windows, macOS, Linux, Android, iOS 等。
- 强大的脚本引擎: 内置对 Java 和 Python (通过 Jython) 的支持，允许用户编写复杂的脚本来自动化分析任务，从简单的重命名到复杂的漏洞模式匹配。
- 交互式与自动化操作: 既支持像 IDA Pro 那样的交互式手动分析，也提供了强大的"无头分析器"(Headless Analyzer)，可以通过命令行进行批量、自动化的分析。
- 多用户协作: Ghidra Server 组件支持多名分析师对同一个二进制文件进行协同逆向，并能方便地进行版本追踪和合并。
- 可扩展性: 用户可以自定义和扩展 Ghidra 的功能，包括编写新的处理器模块、加载器和分析器插件。

Ghidra vs. IDA Pro vs. Radare2

特性	Ghidra	IDA Pro	Radare2
价格	完全免费	非常昂贵	完全免费
开源	是 (Java)	否	是 (C)
核心优势	高质量的免费反编译器	最强的交互式反汇编	极致的脚本化和命令行
UI	Java Swing，功能强大但略显笨重	Qt，业界标准，成熟稳定	命令行，或通过 Cutter 提供 GUI
自动化	强大的 Headless 模式和脚本	主要通过 IDC/IDAPython 脚本	设计哲学核心，自动化能力极强
协作	内置 Ghidra Server 支持	第三方插件 (如 BinSync)	脚本化协作，或通过第三方工具
学习曲线	中等，UI 直观	中等，功能繁多	非常陡峭，命令繁杂

安装与配置

1. 前提: 确保已安装 Java Development Kit (JDK) 11 或更高版本。
2. 下载: 从 Ghidra 官方网站 下载最新的稳定版 ZIP 包。
3. 解压: 将 ZIP 包解压到任意目录。
4. 运行:
    - Windows: 双击运行 `ghidraRun.bat`。
    - Linux / macOS: 在终端中执行 `sh ghidraRun`。

5. (可选) Ghidra Dark Theme: Ghidra 的默认主题比较刺眼，可以通过安装 `Ghidra-dark-theme` 插件来获得更好的视觉体验。

基本工作流程

1. 创建项目

- `File -> New Project...`
- 选择 `Non-Shared Project` (单用户项目)。
- 指定项目路径和名称。

2. 导入文件

- `File -> Import File...`
- 选择你想要分析的二进制文件 (如 `.exe`, `.dll`, `.so`, `.apk`)。
- Ghidra 会自动识别文件格式、处理器架构等，直接点击 `OK`。

3. 分析文件

- 在弹出的分析选项框中，保留默认勾选的分析器即可，点击 `Analyze`。
- Ghidra 会开始对文件进行自动分析，这可能需要一些时间，取决于文件大小和复杂度。

4. 开始探索

- 分析完成后，双击项目窗口中的文件名，打开 Ghidra 的核心工具 Code Browser。
- 现在你可以开始你的逆向之旅了！

关键窗口与概念

Code Browser (代码浏览器)

这是 Ghidra 的主界面，通常包含以下几个核心子窗口：

- Listing (清单/反汇编窗口): 左侧显示反汇编代码，是分析的主要区域。
- Functions (函数窗口): 左下角，列出所有已识别的函数。点击函数名可以在反汇编窗口中跳转。
- Program Trees (程序树): 左上角，以树状结构展示程序的段 (sections)。

Decompiler (反编译器)

- 通常位于反汇编窗口的右侧。
- 它会自动显示当前光标所在函数的 C 伪代码。
- 这是 Ghidra 最有价值的窗口。你可以直接在伪代码中对变量、函数进行重命名、修改类型，这些改动会双向同步到反汇编窗口。

Symbol Tree (符号树)

- 位于左侧，`Functions` 窗口旁边。
- 它以树状结构列出了程序中所有的符号，包括函数、标签、导入/导出函数等。你可以通过过滤器快速查找特定函数。

Data Type Manager (数据类型管理器)

- 左下角，`Functions` 窗口下方。
- 这里管理着程序中所有的数据类型 (struct, union, enum 等)。你可以创建、修改、导入和导出数据类型定义。这对于分析复杂的数据结构至关重要。

脚本化与自动化

Ghidra 强大的脚本能力是其核心优势之一。

打开 Script Manager

在 Code Browser 中，点击顶部菜单栏的绿色播放按钮图标，打开 Script Manager。

选择与运行脚本

这里有大量 NSA 官方和社区贡献的预置脚本，覆盖了从查找密码、解密数据到识别特定代码模式等各种任务。

编写自己的脚本

你可以通过 `Create New Script` 按钮创建新的 Java 或 Python 脚本。

Ghidra 提供了丰富的 API（称为 `FlatAPI`），让你可以在脚本中访问和修改程序的几乎所有信息，例如：

```
# A simple Python script example that prints all function names and addresses
from ghidra.program.model.symbol import SymbolType

print("--- All Functions ---")
func_manager = currentProgram.getFunctionManager()
funcs = func_manager.getFunctions(True)  # True means iterate in address order
for func in funcs:
    print("{} at {}".format(func.getName(), func.getEntryPoint()))
```

优缺点分析

优点

- 免费与开源: 无任何费用，社区可以审查和贡献代码。

- 强大的反编译器: 内置的高质量反编译器是其最大的卖点，足以媲美甚至在某些方面超越昂贵的商业软件。
- 跨平台: 基于 Java，可以在 Windows, macOS, Linux 上无差别运行。
- 优秀的协作功能: Ghidra Server 的存在使得团队协作变得非常容易。

缺点

- 性能: 基于 Java Swing 的 UI 在处理超大型二进制文件时，可能会感到卡顿，性能不如 IDA Pro。
- 生态系统: 虽然正在快速发展，但插件和社区支持的成熟度仍然不及 IDA Pro 经营多年的生态。
- 原生调试器: Ghidra 的调试器功能相对较弱，不如 IDA Pro 和 x64dbg 等专用调试器成熟。

T08: IDA Pro 入门

T08: IDA Pro 入门

IDA Pro (Interactive Disassembler Professional) 是由 Hex-Rays 公司开发的一款业界闻名的交互式反汇编器。在逆向工程领域，IDA Pro 被广泛认为是黄金标准，以其最强大的反汇编引擎、无与伦比的处理器支持和极其成熟的生态系统，成为专业人士进行软件分析、漏洞挖掘和恶意软件研究的首选工具。

目录

核心特性

顶级的反汇编引擎

IDA Pro 的核心竞争力在于其无与伦比的静态反汇编能力。它能够智能地、递归地遍历代码，区分代码与数据，识别函数边界，其分析结果的准确性是业界公认的最高水准。

FLIRT 技术

Fast Library Identification and Recognition Technology。这是 IDA 的标志性技术，通过对标准编译器库函数的签名进行模式匹配，能够自动识别并命名大量的库函数，极大地减少了逆向工程师的重复工作。

强大的交互性

IDA 的设计哲学鼓励用户与反汇编结果进行交互。用户可以随时重命名变量、修改类型、添加注释、转换数据格式，这些交互操作会实时地影响整个分析数据库。

Hex-Rays 反编译器

IDA Pro 的杀手级应用是其配套的 Hex-Rays 反编译器。虽然需要额外付费，但它被公认为目前市面上最强大的 C/C++ 反编译器，生成的伪代码质量极高，可读性极强。

多平台调试器

内置了强大的跨平台调试器，支持本地和远程调试，允许动态分析和修改程序行为。

极其丰富的插件生态

经过数十年的发展，IDA Pro 积累了海量的第三方插件，覆盖了从漏洞扫描、代码着色、数据解密到与其他工具联动的方方面面，极大地扩展了其功能边界。

IDA Pro vs. Ghidra vs. Radare2

特性	IDA Pro	Ghidra	Radare2
价格	非常昂贵	完全免费	完全免费
开源	否	是 (Java)	是 (C)
核心优势	最强的交互式反汇编	高质量的免费反编译器	极致的脚本化和命令行
UI	Qt，业界标准，成熟稳定	Java Swing，功能强大但略显笨重	命令行，或通过 Cutter 提供 GUI
反编译器	Hex-Rays (业界顶尖，需付费)	内置免费，质量非常高	内置免费 (ghidra-dec)，或支持其他
生态系统	极其成熟，插件海量	快速发展中	高度可定制，但插件较少
处理器支持	最广泛	广泛，但略少于 IDA	极广，覆盖很多小众架构

版本与安装

版本类型

版本	说明
IDA Pro	完整版本，包含所有处理器模块和调试器
IDA Home	针对个人爱好者的廉价版，功能受限
IDA Free	免费版本，功能严重受限，仅支持 x86/x64，且不能保存数据库

购买与安装

- 需要通过官方或授权经销商购买
- 安装过程是标准的下一步式安装
- 免费版仅适合非常初级的学习

基本工作流程

1. 启动 IDA

打开 IDA Pro。

2. 加载文件

在启动界面点击 `New`，或将二进制文件直接拖入主窗口。

3. 加载选项

IDA 会弹出一个加载对话框，让你确认文件类型、处理器类型等。通常，IDA 的自动分析非常准确，直接点击 `OK` 即可。

4. 自动分析

IDA 会进行长时间的自动分析。分析过程可以在底部的输出窗口看到。耐心等待分析完成是使用 IDA 的好习惯，否则很多功能无法正常使用。

5. 开始分析

分析完成后，即可开始交互式分析。

关键视图与快捷键

IDA View (反汇编视图)

这是 IDA 的主视图。按空格键可以在图形视图（流程图）和文本视图（线性反汇编）之间切换。

图形视图非常适合理解函数内的逻辑分支和循环。

Hex View (十六进制视图)

以经典的十六进制编辑器形式展示文件内容，与反汇编视图同步高亮。

Structures (结构体视图)

- 快捷键: `Shift+F9`
- 用于定义和管理 C 语言风格的结构体
- 你可以手动创建，也可以从 C 头文件导入
- 正确地定义数据结构是逆向工程的关键一步

Enums (枚举视图)

- 快捷键: `Shift+F10`
- 用于定义和管理枚举类型
- 可以极大地提高代码的可读性，例如将 `mov eax, 2` 变为 `mov eax, MODE_READ`

核心快捷键

快捷键	功能
`G`	跳转到指定地址
`N`	重命名变量、函数、标签
`Y`	修改变量类型
`X`	查看交叉引用 (cross-references)，即哪些地方调用/引用了当前符号
`P`	创建一个函数
`U`	取消定义（如将代码变为未定义数据）
`;`	添加行注释
`:`	添加可重复注释
`F5`	(如果已购买) 启动 Hex-Rays 反编译器

脚本与插件

IDA 的强大能力有一半来自于其脚本和插件系统。

IDAPython

这是目前最主流的脚本语言。IDA 内置了一个完整的 Python 解释器和丰富的 API，允许你用 Python 脚本与 IDA 数据库进行深度交互。几乎所有重复性工作都可以通过 IDAPython 自动化。

```
# 示例：打印所有函数名和地址
import idautils
import idc

for func_ea in idautils.Functions():
    func_name = idc.get_func_name(func_ea)
    print(f"{func_name} at {hex(func_ea)}")
```

IDC

IDA 自带的类 C 脚本语言。语法古老，功能不如 IDAPython 强大，但对于一些简单的任务仍然有用。

插件

IDA 的插件机制允许开发者使用 C++ 编写高性能插件，并将其深度集成到 IDA 的 UI 和核心中。社区中有大量优秀的开源插件，如 `FindCrypt`，`Keypatch` 等。

优缺点分析

优点

优点	说明
最强的反汇编质量	业界公认的、最可靠的静态分析结果
FLIRT 和类型系统	极大地自动化了库函数和数据结构的识别过程
成熟和稳定	经过数十年打磨，软件本身极为稳定，用户体验流畅
强大的生态	海量的插件、教程和社区支持，遇到任何问题几乎都能找到解决方案
顶级的反编译器	Hex-Rays 反编译器是其最强大的护城河

缺点

缺点	说明
价格昂贵	对于个人开发者或小型团队来说，价格是最大的门槛
闭源	核心功能是黑盒，无法审查或修改
协作不便	原生不支持多人协作，需要依赖第三方插件

T09: Radare2 入门

T09: Radare2 入门

Radare2（通常简称为 r2）是一款开源、免费、命令行驱动的逆向工程框架。它不仅仅是一个反汇编器，更像是一个功能极其丰富的"瑞士军刀"，集成了十六进制编辑、反汇编、调试、代码分析、漏洞利用、数据可视化等多种功能。Radare2 以其高度的可脚本化和可扩展性而闻名，深受寻求自动化和深度定制的黑客、CTF 选手和安全研究员的喜爱。

目录

核心理念与特性

命令行驱动

Radare2 的所有核心功能都通过命令行接口暴露。这使得它非常适合在终端、SSH 会话或脚本中运行，易于实现自动化。

模块化设计

其功能由一系列单字母命令和子命令构成，例如 `p` 用于打印 (print)，`a` 用于分析 (analyze)，`d` 用于调试 (debug)。这种设计遵循了 Unix 哲学。

海量架构支持

Radare2 支持数量惊人的处理器架构，包括许多非常小众和古老的嵌入式架构，这方面甚至超过了 IDA Pro。

高度可脚本化

你可以使用任何你喜欢的语言（Python, Go, JavaScript, Rust 等）通过 r2pipe 与 Radare2 实例进行交互，实现复杂的自动化分析流程。

内置调试器

集成了功能强大的多平台调试器，支持硬件断点、跟踪等高级功能。

强大的二进制文件解析

不仅支持 ELF, PE, Mach-O 等标准格式，还能解析文件系统、图片、文档等各种二进制 blob。

Radare2 vs. IDA Pro vs. Ghidra

特性	Radare2	IDA Pro	Ghidra
价格	完全免费	非常昂贵	完全免费
开源	是 (C)	否	是 (Java)
核心优势	极致的脚本化和命令行	最强的交互式反汇编	高质量的免费反编译器
UI	命令行 (或 Cutter GUI)	Qt，业界标准，成熟稳定	Java Swing，功能强大但略显笨重
学习曲线	非常陡峭	中等	中等
自动化	设计哲学核心，能力极强	主要通过 IDC/IDAPython	强大的 Headless 模式
灵活性	最高，一切皆可定制	较低，依赖插件	较高，可通过插件扩展

安装与入门

安装

最推荐的安装方式是通过 `git` 克隆官方仓库并运行安装脚本：

```
git clone https://github.com/radareorg/radare2
cd radare2
sys/install.sh
```

启动

```
# 打开文件并分析
r2 /bin/ls

# 打开文件并进入调试模式
r2 -d /bin/ls
```

基本命令与工作流程

Radare2 的命令结构是 `[命令][子命令][参数]`。例如 `pdf` 是 `p` (print) -> `d` (disassemble) -> `f` (function) 的组合，意为"打印函数反汇编"。

核心概念：万物皆 `?`

在任何命令后面加上 `?` 都可以查看该命令的帮助文档。这是学习 Radare2 最重要的方法。

命令	说明
`?`	显示顶级帮助
`a?`	显示分析 (analyze) 命令的帮助
`pdf?`	显示打印函数反汇编命令的帮助

分析 (`a`)

在你对一个二进制文件做任何事情之前，通常需要先分析它。

命令	说明
`aaa`	自动分析所有（函数、符号等）。这是最常用的起手命令
`afl`	列出所有已识别的函数 (Analyze Function List)
`af`	分析函数

打印 (`p`)

用于以不同格式显示数据。

命令	说明
`px`	以十六进制格式打印 (Print heXadecimal)
`ps`	打印字符串 (Print String)
`pd N`	反汇编 N 条指令 (Print Disassembly)
`pdf`	打印当前函数的反汇编 (Print Disassembly Function)

信息 (`i`)

用于显示文件的元信息。

命令	说明
`iI`	显示文件基本信息 (入口点、架构等)
`is`	显示符号
`iS`	显示段 (sections)

Seek (`s`)

用于在文件中跳转。

命令	说明
`s main`	跳转到 `main` 函数的地址
`s 0x8048400`	跳转到指定地址
`s-`	撤销上一次跳转

可视化 (`V`)

Radare2 提供了强大的文本模式可视化功能。

操作	说明
`V`	进入可视化模式
`q`	退出可视化模式
`p` / `P`	在可视化模式下切换不同视图（反汇编、十六进制、调试寄存器等）
`v`	可视化模式下展示函数的 ASCII-art 流程图

Cutter - Radare2 的 GUI

对于不习惯纯命令行的用户，社区开发了 Cutter。Cutter 是一个基于 Qt C++ 的图形用户界面，后端由 Radare2 驱动。

主要特点

- 提供了类似 IDA Pro 和 Ghidra 的图形化界面
- 包括反汇编窗口、反编译窗口（集成了 Ghidra Decompiler）、函数列表、Hexdump 等
- 所有在 Cutter 中进行的操作，实际上都是在后台调用 Radare2 的命令完成的
- 对于初学者来说，从 Cutter 入手可以极大地降低学习 Radare2 的门槛

脚本化

Radare2 的精髓在于自动化。`r2pipe` 是其官方的脚本库，支持多种语言。

以下是一个 Python 脚本示例，用于打开一个文件，分析它，并打印所有函数的名称：

```
import r2pipe

# 打开文件
r2 = r2pipe.open("/bin/ls")

# 运行 'aaa' 命令进行分析
r2.cmd('aaa')

# 运行 'aflj' 命令获取 JSON 格式的函数列表并解析
functions = r2.cmdj('aflj')

# 打印每个函数名
if functions:
    for func in functions:
        print(f"Function found: {func['name']} at {hex(func['offset'])}")
```

优缺点分析

优点

优点	说明
无与伦比的脚本化能力	设计哲学使其成为自动化逆向分析的理想选择
极高的灵活性和定制性	你可以按照自己的需求组合命令，构建工作流
轻量与快速	核心程序非常小，运行速度快，资源占用少
海量架构支持	对各种奇异架构的支持是其一大特色
完全免费开源	无任何费用，社区可以审查和贡献代码

缺点

缺点	说明
陡峭的学习曲线	命令繁多，语法特殊，对新手非常不友好
文档相对混乱	虽然有帮助系统，但官方文档的结构性和完整性不如商业软件
默认反编译器	内置的反编译器质量不如 Ghidra 或 Hex-Rays，但可以通过插件集成 Ghidra Decompiler

速查手册

T10: ADB 命令速查

T10: 常用 ADB 命令大全

ADB (Android Debug Bridge) 是一个功能强大的命令行工具，可让您与模拟器实例或连接的 Android 设备进行通信。

目录

设备管理

命令	描述
`adb devices -l`	列出所有连接的设备及其详细信息
`adb reboot`	重启设备
`adb reboot bootloader`	重启到引导加载程序 (Bootloader)
`adb reboot recovery`	重启到恢复模式 (Recovery)
`adb root`	以 root 权限重启 adbd 服务
`adb shell getprop ro.product.model`	获取设备型号
`adb shell getprop ro.build.version.release`	获取 Android 系统版本
`adb shell wm size`	获取屏幕分辨率
`adb shell wm density`	获取屏幕像素密度 (DPI)

文件管理

命令	描述
`adb push <本地路径> <远程路径>`	将文件或文件夹从电脑推送到设备
`adb pull <远程路径> [本地路径]`	将文件或文件夹从设备拉取到电脑
`adb shell ls <路径>`	列出设备指定路径下的文件和文件夹
`adb shell cd <路径>`	切换设备上的当前目录
`adb shell pwd`	显示设备上的当前工作目录
`adb shell cp <源路径> <目标路径>`	在设备上复制文件
`adb shell mv <源路径> <目标路径>`	在设备上移动或重命名文件
`adb shell rm <文件路径>`	在设备上删除文件
`adb shell mkdir <路径>`	在设备上创建新目录

应用管理

| 命令 | 描述 | | ---------- | ---------- | | `adb install <apk路径>` | 安装应用 | | `adb install -r <apk路径>` | 重新安装应用（保留数据） | | `adb install -g <apk路径>` | 为应用授予所有运行时权限 | | `adb uninstall <包名>` | 卸载应用 | | `adb shell pm list packages` | 列出所有已安装的应用包名 | | `adb shell pm list packages -f` | 列出所有已安装的应用包名及其 APK 路径 | | `adb shell pm list packages -3` | 列出所有第三方应用包名 | | `adb shell pm path <包名>` | 获取指定应用的 APK 路径 | | `adb shell am start -n <包名>/<Activity名>` | 启动一个 Activity | | `adb shell am force-stop <包名>` | 强制停止应用 | | `adb shell pm clear <包名>` | 清除应用数据和缓存 | | `adb shell dumpsys activity | grep mFocusedActivity` | 获取当前前台 Activity |

网络

命令	描述
`adb forward tcp:<PC端口> tcp:<设备端口>`	将电脑端口的请求转发到设备端口
`adb forward --list`	列出所有端口转发规则
`adb forward --remove-all`	移除所有端口转发规则
`adb shell netstat`	查看网络状态（监听的端口、连接等）
`adb shell ifconfig` or `adb shell ip addr`	查看网络接口信息和 IP 地址

系统与调试

命令	描述
`adb shell ps`	查看设备上的进程列表
`adb shell top`	查看实时资源占用情况
`adb shell dumpsys <服务名>`	Dump 指定系统服务的信息 (如 `activity`, `battery`, `wifi`)
`adb shell screencap /sdcard/screenshot.png`	截屏并保存到设备
`adb shell screenrecord /sdcard/demo.mp4`	录制屏幕（Ctrl+C 停止）
`adb bugreport [路径]`	生成并拉取完整的 bug 报告
`adb jdwp`	列出设备上可供调试的 Java 进程 ID (JDWP)

Logcat 日志查看

| 命令 | 描述 | | ---------- | ---------- | | `adb logcat` | 实时打印设备日志 | | `adb logcat -c` | 清除旧的日志缓存 | | `adb logcat -d` | Dump 当前日志到屏幕并退出 | | `adb logcat -f /sdcard/log.txt` | 将日志输出到设备上的文件 | | `adb logcat *:S <标签>:<优先级>` | 按标签和优先级过滤日志 | | `adb logcat | grep <关键词>` | 在日志中搜索关键词 (区分大小写) |

- 日志优先级:
- `V` — Verbose (最低)
- `D` — Debug
- `I` — Info
- `W` — Warning
- `E` — Error
- `F` — Fatal
- `S` — Silent (最高)
- 示例: `adb logcat *:S MyApp:D` 只显示标签为 "MyApp" 且优先级为 Debug 或更高的日志。

高级 Shell 命令

命令	描述
`adb shell input text '<文本>'`	向当前输入框输入文本（不支持中文）
`adb shell input keyevent <按键码>`	发送一个按键事件 (例如 `3` =HOME, `4` =BACK, `26` =POWER)
`adb shell input tap <x> <y>`	模拟在屏幕指定坐标的单击事件
`adb shell input swipe <x1> <y1> <x2> <y2> [时长ms]`	模拟滑动事件
`adb shell settings get <命名空间> <键>`	获取系统设置项的值
`adb shell settings put <命名空间> <键> <值>`	修改系统设置项的值
`adb shell content query --uri <URI>`	查询 Content Provider 中的数据
`adb shell ime list -s`	列出可用的输入法
`adb shell ime set <输入法ID>`	设置默认输入法

案例研究

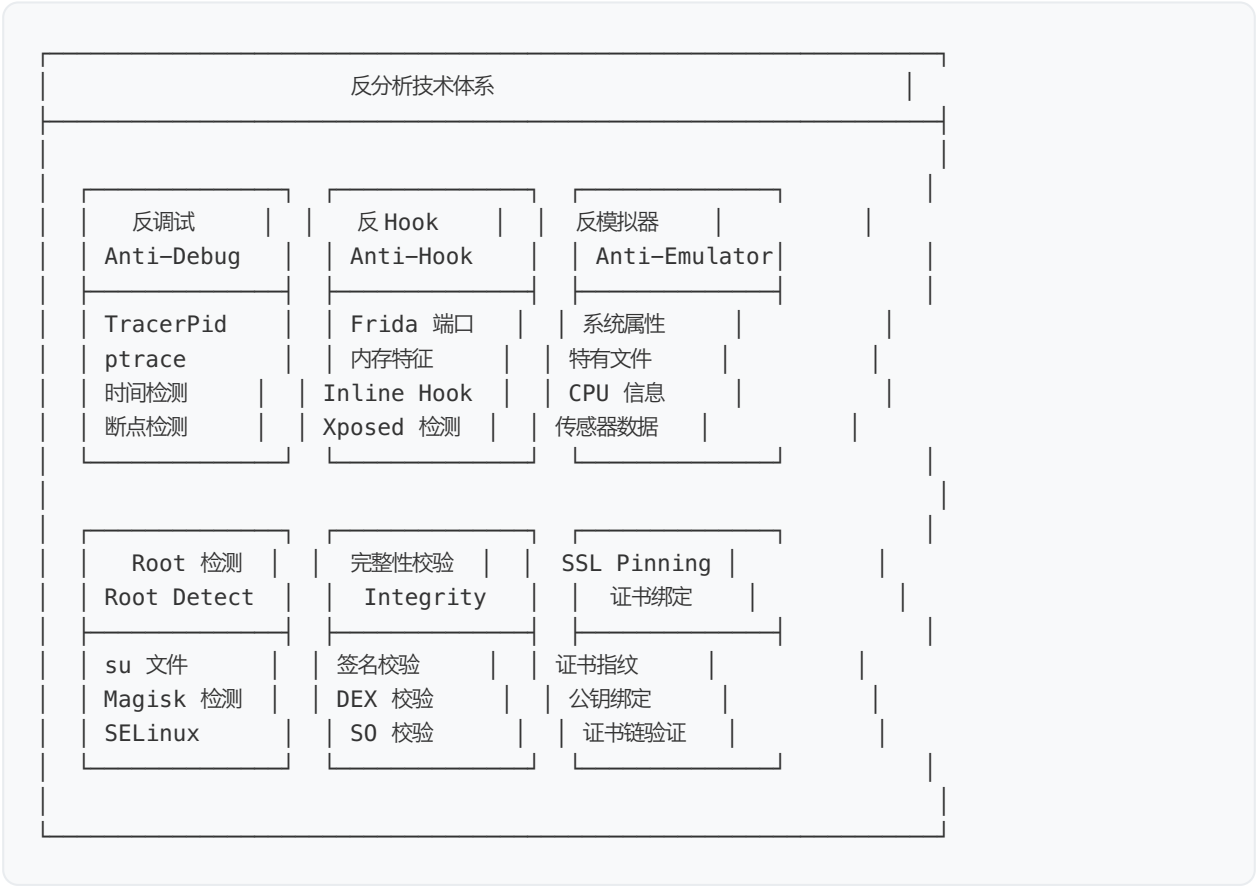
C01: 反分析技术案例

C01: 反分析技术案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - R15: Frida 反调试绕过 - Frida 检测绕过技术
> - T01: Frida 使用指南 - 掌握 Hook 绕过反分析检测
> - F07: SO/ELF 文件格式 - 理解 Native 层检测原理

为了保护其核心代码和数据不被轻易分析，现代 App 普遍采用了一系列的反分析技术。这些技术旨在检测和阻止调试器、Hook 框架（如 Frida、Xposed）、模拟器和 Root 环境的运行。本案例将分类介绍这些技术的实现原理和对应的绕过策略。

技术概览



1. 反调试 (Anti-Debugging)

目标: 检测 App 是否正被调试器附加。

1.1 基于 TracerPid 的检测

在 Linux 内核中，每个进程的 `/proc/<pid>/status` 文件都记录了其状态信息，其中 `TracerPid` 字段表示正在追踪（调试）该进程的进程 PID。如果进程没有被调试，该值为 0。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - TracerPid 检测
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <unistd.h>
#include <pthread.h>

int check_tracer_pid() {
    FILE *fp = fopen("/proc/self/status", "r");
    if (fp == NULL) {
        return 0;
    }

    char line[128];
    int tracer_pid = 0;

    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        if (strncmp(line, "TracerPid:", 10) == 0) {
            sscanf(line, "TracerPid:\t%d", &tracer_pid);
            break;
        }
    }

    fclose(fp);
    return tracer_pid;
}

// 后台线程持续检测
void* anti_debug_thread(void* arg) {
    while (1) {
        if (check_tracer_pid() != 0) {
            // 检测到调试器，执行保护逻辑
            kill(getpid(), SIGKILL);
        }
        usleep(100000);  // 100ms 间隔
    }
    return NULL;
}

// 在 JNI_OnLoad 或初始化函数中启动检测线程
void start_anti_debug() {
    pthread_t thread;
    pthread_create(&thread, NULL, anti_debug_thread, NULL);
    pthread_detach(thread);
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过TracerPid 检测
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fopen"), {
    onEnter: function(args) {
        this.path = args[0].readCString();
    },
    onLeave: function(retval) {
        if (this.path && this.path.indexOf("/proc/") !== -1 &&
            this.path.indexOf("/status") !== -1) {
            this.statusFile = retval;
        }
    }
});

Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fgets"), {
    onLeave: function(retval) {
        if (retval.isNull()) return;

        var line = retval.readCString();
        if (line && line.indexOf("TracerPid:") !== -1) {
            // 将TracerPid 改为 0
            var newLine = "TracerPid:\t0\n";
            retval.writeUtf8String(newLine);
            console.log("[*] TracerPid spoofed to 0");
        }
    }
});
```

1.2 ptrace 自附加检测

一个进程同一时间只能被一个调试器附加。App 可以先 ptrace 自己，使得其他调试器无法再附加。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - ptrace 自附加
#include <sys/ptrace.h>
#include <sys/wait.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

void anti_debug_ptrace() {
    // 方法1: 直接 ptrace 自己
    if (ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, NULL, NULL) == -1) {
        // 如果失败，说明已经被调试
        exit(0);
    }
}

void anti_debug_ptrace_fork() {
    // 方法2: fork 子进程来 ptrace 父进程
    pid_t child = fork();

    if (child == 0) {
        // 子进程
        pid_t parent = getppid();

        // 附加到父进程
        if (ptrace(PTRACE_ATTACH, parent, NULL, NULL) == -1) {
            // 父进程已被调试
            kill(parent, SIGKILL);
            exit(0);
        }

        // 等待父进程停止
        waitpid(parent, NULL, 0);

        // 继续父进程执行
        ptrace(PTRACE_CONT, parent, NULL, NULL);

        // 持续监控
        while (1) {
            int status;
            waitpid(parent, &status, 0);

            if (WIFEXITED(status) || WIFSIGNALED(status)) {
                exit(0);
            }

            ptrace(PTRACE_CONT, parent, NULL, NULL);
        }
    }
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过 ptrace 检测
var ptrace = Module.findExportByName(null, "ptrace");

Interceptor.attach(ptrace, {
    onEnter: function(args) {
        this.request = args[0].toInt32();
        console.log("[*] ptrace called with request: " + this.request);
    },
    onLeave: function(retval) {
        // PTRACE_TRACEME = 0
        if (this.request === 0) {
            retval.replace(0);  // 返回成功
            console.log("[*] ptrace(PTRACE_TRACEME) bypassed");
        }
    }
});

// 同时 Hook fork 防止子进程检测
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fork"), {
    onLeave: function(retval) {
        var pid = retval.toInt32();
        if (pid === 0) {
            // 在子进程中，可以直接退出
            console.log("[*] fork() in child process, may be anti-debug");
        }
    }
});
```

1.3 时间检测 (Timing Attack)

调试时单步执行会导致代码运行时间显著增加。App 可以测量关键代码段的执行时间来判断是否被调试。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - 时间检测
#include <time.h>
#include <stdlib.h>

#define THRESHOLD_NS 100000000  // 100ms 阈值

void timing_check() {
    struct timespec start, end;

    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start);

    // 执行一些简单操作
    volatile int sum = 0;
    for (int i = 0; i < 1000; i++) {
        sum += i;
    }

    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end);

    long elapsed = (end.tv_sec - start.tv_sec) * 1000000000L +
                   (end.tv_nsec - start.tv_nsec);

    if (elapsed > THRESHOLD_NS) {
        // 执行时间异常，可能被调试
        exit(0);
    }
}
```

Java 层实现:

```
// Java 实现 - 时间检测
public class TimingCheck {
    private static final long THRESHOLD_MS = 100;

    public static boolean isBeingDebugged() {
        long startTime = System.nanoTime();

        // 执行一些简单计算
        int sum = 0;
        for (int i = 0; i < 10000; i++) {
            sum += i;
        }

        long endTime = System.nanoTime();
        long elapsed = (endTime - startTime) / 1000000;  // 转换为毫秒

        return elapsed > THRESHOLD_MS;
    }
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过时间检测
var clock_gettime = Module.findExportByName("libc.so", "clock_gettime");
var baseTime = null;
var fakeElapsed = 1000000;  // 1ms

Interceptor.attach(clock_gettime, {
    onEnter: function(args) {
        this.timespec = args[1];
    },
    onLeave: function(retval) {
        if (baseTime === null) {
            baseTime = {
                tv_sec: this.timespec.readU32(),
                tv_nsec: this.timespec.add(4).readU32()
            };
        } else {
            // 返回假的时间差
            this.timespec.writeU32(baseTime.tv_sec);
            this.timespec.add(4).writeU32(baseTime.tv_nsec + fakeElapsed);
            fakeElapsed += 1000000;  // 每次增加 1ms
        }
    }
});

// Hook Java 层时间函数
Java.perform(function() {
    var System = Java.use("java.lang.System");

    var startNanoTime = null;

    System.nanoTime.implementation = function() {
        if (startNanoTime === null) {
            startNanoTime = this.nanoTime();
        }
        // 返回递增的假时间
        startNanoTime += 1000000;  // 1ms
        return startNanoTime;
    };
});
```

1.4 断点检测

检测代码段是否被设置了软件断点（通常是 0xCC 或 ARM 的断点指令）。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - 断点检测
#include <stdint.h>
#include <string.h>

// x86/x64 断点指令
#define BREAKPOINT_X86 0xCC

// ARM 断点指令
#define BREAKPOINT_ARM 0xE7F001F0
#define BREAKPOINT_THUMB 0xDE01

int check_breakpoints(void* func_addr, size_t func_size) {
    uint8_t* code = (uint8_t*)func_addr;

    for (size_t i = 0; i < func_size; i++) {
        // 检测 x86 软件断点
        if (code[i] == BREAKPOINT_X86) {
            return 1;  // 发现断点
        }

#ifdef __arm__
        // 检测 ARM/Thumb 断点
        if (i + 1 < func_size) {
            uint16_t thumb_inst = *(uint16_t*)(code + i);
            if (thumb_inst == BREAKPOINT_THUMB) {
                return 1;
            }
        }
#endif
    }

    return 0;
}

// 计算函数校验和，检测是否被修改
uint32_t calculate_checksum(void* start, size_t size) {
    uint32_t checksum = 0;
    uint8_t* data = (uint8_t*)start;

    for (size_t i = 0; i < size; i++) {
        checksum += data[i];
        checksum = (checksum << 1) | (checksum >> 31);  // 循环左移
    }

    return checksum;
}
```

绕过策略:

```
// Frida 脚本 - 使用 Memory.protect 修改权限
// 在检测之前临时恢复原始代码

var targetFunction = Module.findExportByName("libtarget.so", "sensitive_function");

// 保存原始字节
var originalBytes = Memory.readByteArray(targetFunction, 16);

// 当检测函数被调用时，临时恢复
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libtarget.so", "check_breakpoints"), {
    onEnter: function(args) {
        // 恢复原始代码
        Memory.writeByteArray(targetFunction, originalBytes);
    },
    onLeave: function(retval) {
        // 重新设置 Hook
        // ... 重新安装 Interceptor
    }
});
```

2. 反 Hook (Anti-Hooking)

目标: 检测和阻止 Frida、Xposed 等 Hook 框架的注入和功能。

2.1 Frida 端口检测

Frida Server 默认监听 27042 端口，App 可以扫描本地端口来检测 Frida。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - Frida 端口检测
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <sys/socket.h>
#include <netinet/in.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <unistd.h>
#include <errno.h>

// Frida 默认端口
#define FRIDA_DEFAULT_PORT 27042

int check_frida_port() {
    int sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    if (sock < 0) {
        return 0;
    }

    struct sockaddr_in addr;
    memset(&addr, 0, sizeof(addr));
    addr.sin_family = AF_INET;
    addr.sin_port = htons(FRIDA_DEFAULT_PORT);
    addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");

    // 设置非阻塞连接超时
    struct timeval timeout;
    timeout.tv_sec = 1;
    timeout.tv_usec = 0;
    setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_SNDTIMEO, &timeout, sizeof(timeout));

    int result = connect(sock, (struct sockaddr*)&addr, sizeof(addr));
    close(sock);

    if (result == 0) {
        return 1;  // Frida 端口开放
    }

    return 0;
}

// 扫描多个可疑端口
int check_suspicious_ports() {
    int suspicious_ports[] = {27042, 27043, 27044, 27045, 4444};
    int num_ports = sizeof(suspicious_ports) / sizeof(suspicious_ports[0]);

    for (int i = 0; i < num_ports; i++) {
        int sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
        if (sock < 0) continue;

        struct sockaddr_in addr;
        memset(&addr, 0, sizeof(addr));
```

```
        addr.sin_family = AF_INET;
        addr.sin_port = htons(suspicious_ports[i]);
        addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");

        struct timeval timeout = {0, 100000};  // 100ms
        setsockopt(sock, SOL_SOCKET, SO_SNDTIMEO, &timeout, sizeof(timeout));

        if (connect(sock, (struct sockaddr*)&addr, sizeof(addr)) == 0) {
            close(sock);
            return 1;  // 发现可疑端口
        }
        close(sock);
    }

    return 0;
}
```

Java 层实现:

```
// Java 实现 - Frida 端口检测
import java.net.Socket;
import java.net.InetSocketAddress;

public class FridaPortDetector {
    private static final int[] SUSPICIOUS_PORTS = {27042, 27043, 27044, 27045};

    public static boolean detectFridaPort() {
        for (int port : SUSPICIOUS_PORTS) {
            try {
                Socket socket = new Socket();
                socket.connect(new InetSocketAddress("127.0.0.1", port), 100);
                socket.close();
                return true;  // 端口开放，可能是 Frida
            } catch (Exception e) {
                // 连接失败，继续检测下一个端口
            }
        }
        return false;
    }
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过端口检测
// 方法1: Hook connect 函数
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "connect"), {
    onEnter: function(args) {
        var sockaddr = args[1];
        var family = sockaddr.readU16();

        if (family === 2) {  // AF_INET
            var port = (sockaddr.add(2).readU8() << 8) | sockaddr.add(3).readU8();

            // 检测 Frida 端口
            if (port === 27042 || port === 27043 || port === 27044) {
                console.log("[*] Blocking connect to Frida port: " + port);
                // 修改端口为不存在的端口
                sockaddr.add(2).writeU8(0xFF);
                sockaddr.add(3).writeU8(0xFF);
            }
        }
    }
});

// 方法2: 使用自定义端口启动 Frida
// frida-server -l 0.0.0.0:31337
```

2.2 内存映射检测

Frida 注入后会在进程内存中加载 `frida-agent.so` 等库，可以通过扫描 `/proc/self/maps` 检测。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - 内存映射检测
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

typedef struct {
    const char* pattern;
    int is_regex;
} DetectionPattern;

static DetectionPattern frida_patterns[] = {
    {"frida", 0},
    {"gadget", 0},
    {"gum-js-loop", 0},
    {"gmain", 0},
    {"linjector", 0},
    {"/data/local/tmp", 0},
    {"re.frida.server", 0},
    {"pool-frida", 0},
};

int check_frida_in_maps() {
    FILE *fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (fp == NULL) {
        return 0;
    }

    char line[512];
    int num_patterns = sizeof(frida_patterns) / sizeof(frida_patterns[0]);

    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        // 转换为小写进行匹配
        char lower_line[512];
        for (int i = 0; line[i]; i++) {
            lower_line[i] = tolower(line[i]);
        }
        lower_line[strlen(line)] = '\0';

        for (int i = 0; i < num_patterns; i++) {
            if (strstr(lower_line, frida_patterns[i].pattern)) {
                fclose(fp);
                return 1;  // 检测到Frida
            }
        }
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}

// 检测内存中的Frida 特征字符串
int check_frida_strings_in_memory() {
```

```
    FILE *fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[512];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        // 解析内存区域
        unsigned long start, end;
        char perms[5];

        if (sscanf(line, "%lx-%lx %4s", &start, &end, perms) != 3) {
            continue;
        }

        // 只检查可读区域
        if (perms[0] != 'r') continue;

        // 搜索 Frida 特征
        char* region = (char*)start;
        size_t region_size = end - start;

        // 注意: 这种方法可能会崩溃，需要小心处理
        // 实际实现需要使用 process_vm_readv 或其他安全方式
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过 maps 检测
var keywords = ["frida", "gadget", "gum-js-loop", "gmain", "linjector"];

Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fopen"), {
    onEnter: function(args) {
        this.path = args[0].readCString();
    },
    onLeave: function(retval) {
        if (this.path && this.path.indexOf("maps") !== -1) {
            this.isMaps = true;
            this.fd = retval;
        }
    }
});

Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fgets"), {
    onLeave: function(retval) {
        if (!retval.isNull()) {
            var line = retval.readCString();
            if (line) {
                var shouldFilter = false;
                for (var i = 0; i < keywords.length; i++) {
                    if (line.toLowerCase().indexOf(keywords[i]) !== -1) {
                        shouldFilter = true;
                        break;
                    }
                }

                if (shouldFilter) {
                    // 用空行替换
                    retval.writeUtf8String("\n");
                    console.log("[*] Filtered maps line containing Frida");
                }
            }
        }
    }
});
```

2.3 Inline Hook 检测

检测关键函数的入口是否被修改（如插入跳转指令）。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - Inline Hook 检测
#include <dlfcn.h>
#include <string.h>
#include <stdint.h>

// ARM64 跳转指令特征
#define ARM64_BR_OPCODE    0xD61F0000
#define ARM64_BLR_OPCODE   0xD63F0000
#define ARM64_B_OPCODE     0x14000000
#define ARM64_B_MASK       0xFC000000

// x86_64 跳转指令特征
#define X86_JMP_REL32      0xE9
#define X86_JMP_ABS        0xFF

int check_function_hook(void* func_ptr) {
    uint8_t* code = (uint8_t*)func_ptr;

#if defined(__aarch64__)
    // ARM64 检测
    uint32_t instruction = *(uint32_t*)code;

    // 检测 BR/BLR 指令
    if ((instruction & 0xFFFFFC1F) == ARM64_BR_OPCODE ||
        (instruction & 0xFFFFFC1F) == ARM64_BLR_OPCODE) {
        return 1;  // 可能被 Hook
    }

    // 检测 B 指令
    if ((instruction & ARM64_B_MASK) == ARM64_B_OPCODE) {
        return 1;
    }

    // 检测 LDR + BR 组合 (常见 Hook 方式)
    // LDR X16, #offset; BR X16
    if ((instruction & 0xFF000000) == 0x58000000) {
        uint32_t next_inst = *(uint32_t*)(code + 4);
        if ((next_inst & 0xFFFFFFFF) == 0xD61F0200) {
            return 1;
        }
    }

#elif defined(__x86_64__) || defined(__i386__)
    // x86/x64 检测
    if (code[0] == X86_JMP_REL32) {  // E9 xx xx xx xx
        return 1;
    }

    if (code[0] == X86_JMP_ABS && code[1] == 0x25) {  // FF 25 xx xx xx xx
        return 1;
    }
```

```
    // 检测 push + ret (另一种 Hook 方式)
    if (code[0] == 0x68) {  // push imm32
        // 检查后面是否有 ret
        for (int i = 5; i < 10; i++) {
            if (code[i] == 0xC3) {  // ret
                return 1;
            }
        }
    }
#endif

    return 0;
}

// 检测常见被 Hook 的函数
void check_common_hooks() {
    const char* targets[] = {
        "open", "read", "write", "connect", "send", "recv",
        "ptrace", "kill", "exit", "fork", "execve"
    };

    void* libc = dlopen("libc.so", RTLD_NOW);
    if (!libc) return;

    for (int i = 0; i < sizeof(targets) / sizeof(targets[0]); i++) {
        void* func = dlsym(libc, targets[i]);
        if (func && check_function_hook(func)) {
            // 检测到 Hook
            exit(0);
        }
    }

    dlclose(libc);
}
```

绕过策略:

```
// Frida 脚本 - 使用 Stalker 避免 Inline Hook 检测
// Stalker 使用代码追踪而非修改原始指令

var targetModule = Process.findModuleByName("libtarget.so");

Stalker.follow(Process.getCurrentThreadId(), {
    transform: function(iterator) {
        var instruction = iterator.next();

        do {
            if (instruction.address.compare(targetModule.base) >= 0 &&
                instruction.address.compare(targetModule.base.add(targetModule.size))
< 0) {
                // 在目标模块内，可以插入自定义代码
                iterator.putCallout(function(context) {
                    // 自定义逻辑
                });
            }
            iterator.keep();
        } while ((instruction = iterator.next()) !== null);
    }
});

// 或者使用 replace 替代 attach，更难被检测
var original = Module.findExportByName("libc.so", "open");
var originalFunc = new NativeFunction(original, 'int', ['pointer', 'int']);

Interceptor.replace(original, new NativeCallback(function(path, flags) {
    var pathStr = path.readCString();
    console.log("[*] open: " + pathStr);
    return originalFunc(path, flags);
}, 'int', ['pointer', 'int']));
```

2.4 Xposed 检测

检测 Xposed 框架是否安装和激活。

实现原理:

```
// Java 实现 - Xposed 检测
import java.io.File;
import java.lang.reflect.Method;
import java.util.HashSet;
import java.util.Set;

public class XposedDetector {

    // 检测 Xposed 相关文件
    public static boolean checkXposedFiles() {
        String[] paths = {
            "/system/framework/XposedBridge.jar",
            "/system/lib/libxposed_art.so",
            "/system/lib64/libxposed_art.so",
            "/system/xposed.prop",
            "/data/data/de.robv.android.xposed.installer",
            "/data/data/org.lsposed.manager",
            "/data/adb/lspd"
        };

        for (String path : paths) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }

    // 检测 Xposed 类加载
    public static boolean checkXposedClass() {
        try {
            Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge");
            return true;
        } catch (ClassNotFoundException e) {
            // Xposed 未加载
        }

        try {
            Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedHelpers");
            return true;
        } catch (ClassNotFoundException e) {
            // Xposed 未加载
        }

        return false;
    }

    // 通过堆栈检测 Xposed Hook
    public static boolean checkXposedInStack() {
        StackTraceElement[] stackTrace = Thread.currentThread().getStackTrace();

        for (StackTraceElement element : stackTrace) {
```

```
            String className = element.getClassName();
            if (className.contains("xposed") ||
                className.contains("lsposed") ||
                className.contains("EdXposed")) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }

    // 检测方法是否被 Hook (通过 Modifier)
    public static boolean isMethodHooked(Method method) {
        // Xposed Hook 后方法会变成 native
        if (method.getModifiers() != method.getModifiers()) {
            return true;
        }

        // 检查方法是否可访问性被修改
        try {
            // 某些 Hook 框架会修改这个值
        } catch (Exception e) {
            return true;
        }

        return false;
    }

    // 检测全局变量
    public static boolean checkXposedGlobals() {
        try {
            Class<?> xposedBridge =
Class.forName("de.robv.android.xposed.XposedBridge");
            java.lang.reflect.Field disableHooks =
xposedBridge.getDeclaredField("disableHooks");
            disableHooks.setAccessible(true);
            return true;
        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
    }
}
```

Native 层检测:

```
// Native (C/C++) 实现 - Xposed 检测
#include <dlfcn.h>
#include <link.h>

int check_xposed_in_loaded_libs() {
    // 遍历已加载的共享库
    FILE *fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[512];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        if (strstr(line, "XposedBridge") ||
            strstr(line, "libxposed") ||
            strstr(line, "lspd") ||
            strstr(line, "riru") ||
            strstr(line, "zygisk")) {
            fclose(fp);
            return 1;
        }
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}

// 检测 ART 方法结构是否被修改
int check_art_method_hook(void* art_method) {
    // ART 方法被 Xposed Hook 后，entry_point 会被修改
    // 这需要了解 ART 内部结构，不同 Android 版本有差异

    // 简化示例：检查 entry_point 是否指向已知区域
    // 实际实现需要根据具体 Android 版本调整

    return 0;
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过 Xposed 检测
Java.perform(function() {
    // Hook File.exists
    var File = Java.use("java.io.File");
    var xposedPaths = [
        "/system/framework/XposedBridge.jar",
        "/system/lib/libxposed_art.so",
        "/data/data/de.robv.android.xposed.installer",
        "/data/data/org.lsposed.manager"
    ];

    File.exists.implementation = function() {
        var path = this.getAbsolutePath();
        for (var i = 0; i < xposedPaths.length; i++) {
            if (path.indexOf(xposedPaths[i]) !== -1) {
                console.log("[*] Hiding Xposed file: " + path);
                return false;
            }
        }
        return this.exists();
    };

    // Hook Class.forName
    var JavaClass = Java.use("java.lang.Class");
    JavaClass.forName.overload("java.lang.String").implementation = function(name) {
        if (name.indexOf("xposed") !== -1 || name.indexOf("lsposed") !== -1) {
            console.log("[*] Blocking class load: " + name);
            throw Java.use("java.lang.ClassNotFoundException").$new(name);
        }
        return this.forName(name);
    };

    // Hook getStackTrace
    var Thread = Java.use("java.lang.Thread");
    Thread.getStackTrace.implementation = function() {
        var stack = this.getStackTrace();
        var filteredStack = [];

        for (var i = 0; i < stack.length; i++) {
            var className = stack[i].getClassName();
            if (className.indexOf("xposed") === -1 &&
                className.indexOf("lsposed") === -1) {
                filteredStack.push(stack[i]);
            }
        }

        return Java.array("java.lang.StackTraceElement", filteredStack);
    };
});
```

2.5 Magisk 检测

检测 Magisk Root 框架。

实现原理:

```
// Java 实现 - Magisk 检测
import java.io.File;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.InputStreamReader;

public class MagiskDetector {

    // 检测 Magisk 相关文件
    public static boolean checkMagiskFiles() {
        String[] paths = {
            "/sbin/.magisk",
            "/sbin/magisk",
            "/data/adb/magisk",
            "/data/adb/magisk.img",
            "/data/adb/magisk.db",
            "/data/data/com.topjohnwu.magisk",
            "/data/user_de/0/com.topjohnwu.magisk"
        };

        for (String path : paths) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }

    // 检测 MagiskHide/DenyList
    public static boolean checkMagiskHide() {
        try {
            // 执行 magisk 命令
            Process process = Runtime.getRuntime().exec("magisk --hide status");
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(process.getInputStream())
            );
            String line = reader.readLine();
            process.waitFor();
            return line != null;
        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
    }

    // 通过挂载点检测
    public static boolean checkMagiskMount() {
        try {
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new java.io.FileReader("/proc/self/mounts")
            );
            String line;
            while ((line = reader.readLine()) != null) {
                if (line.contains("magisk") || line.contains("/sbin/.")) {
```

```
                    reader.close();
                    return true;
                }
            }
            reader.close();
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }
        return false;
    }

    // 检测 Zygisk
    public static boolean checkZygisk() {
        // Zygisk 会注入到 zygote 进程
        String[] zygiskIndicators = {
            "/data/adb/modules/zygisk",
            "/dev/zygisk"
        };

        for (String path : zygiskIndicators) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }
}
```

绕过策略:

```
// Frida 脚本 - 绕过Magisk 检测
Java.perform(function() {
    // 隐藏Magisk 文件
    var magiskPaths = [
        "/sbin/.magisk", "/sbin/magisk", "/data/adb/magisk",
        "/data/data/com.topjohnwu.magisk"
    ];

    var File = Java.use("java.io.File");

    File.exists.implementation = function() {
        var path = this.getAbsolutePath();
        for (var i = 0; i < magiskPaths.length; i++) {
            if (path.indexOf(magiskPaths[i]) !== -1 ||
                path.indexOf("magisk") !== -1) {
                return false;
            }
        }
        return this.exists();
    };

    // Hook Runtime.exec 阻止magisk 命令执行
    var Runtime = Java.use("java.lang.Runtime");

    Runtime.exec.overload("java.lang.String").implementation = function(cmd) {
        if (cmd.indexOf("magisk") !== -1 || cmd.indexOf("su") !== -1) {
            console.log("[*] Blocking command: " + cmd);
            throw Java.use("java.io.IOException").$new("Command not found");
        }
        return this.exec(cmd);
    };
});

// Native 层Hook
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fopen"), {
    onEnter: function(args) {
        var path = args[0].readCString();
        if (path && (path.indexOf("magisk") !== -1 ||
                     path.indexOf("/sbin/.") !== -1)) {
            console.log("[*] Blocking fopen: " + path);
            args[0].writeUtf8String("/nonexistent");
        }
    }
});
```

3. 反模拟器 (Anti-Emulator)

目标: 检测 App 是否运行在模拟器而非真实设备上。

3.1 系统属性检测

模拟器通常会留下特有的系统属性。

实现原理:

```
// Java 实现 - 系统属性检测
import android.os.Build;
import android.os.SystemProperties;

public class EmulatorDetector {

    public static boolean checkBuildProperties() {
        // 检查 Build 属性
        String[] suspiciousProps = {
            Build.FINGERPRINT,
            Build.MODEL,
            Build.MANUFACTURER,
            Build.BRAND,
            Build.DEVICE,
            Build.PRODUCT,
            Build.HARDWARE
        };

        String[] emulatorKeywords = {
            "generic", "unknown", "emulator", "sdk", "google_sdk",
            "goldfish", "ranchu", "vbox", "genymotion", "andy",
            "nox", "bluestacks", "ttVM_Hdragon", "droid4x"
        };

        for (String prop : suspiciousProps) {
            if (prop == null) continue;
            String lowerProp = prop.toLowerCase();

            for (String keyword : emulatorKeywords) {
                if (lowerProp.contains(keyword)) {
                    return true;
                }
            }
        }

        return false;
    }

    // 检查特定系统属性
    public static boolean checkSystemProperties() {
        String[] emulatorProps = {
            "init.svc.qemud",
            "init.svc.qemu-props",
            "qemu.hw.mainkeys",
            "qemu.sf.fake_camera",
            "qemu.sf.lcd_density",
            "ro.kernel.android.qemud",
            "ro.kernel.qemu",
            "ro.kernel.qemu.gles",
            "ro.hardware.audio.primary",
            "ro.boot.qemu"
        };
```

```
        for (String prop : emulatorProps) {
            String value = getSystemProperty(prop);
            if (value != null && !value.isEmpty()) {
                return true;
            }
        }

        return false;
    }

    private static String getSystemProperty(String name) {
        try {
            Class<?> systemProperties = Class.forName("android.os.SystemProperties");
            java.lang.reflect.Method get = systemProperties.getMethod("get",
String.class);
            return (String) get.invoke(null, name);
        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }
}
```

Native 层检测:

```
// Native (C/C++) 实现 - 系统属性检测
#include <sys/system_properties.h>
#include <string.h>

typedef struct {
    const char* name;
    const char* value;  // 如果为NULL，表示检测属性是否存在
} PropCheck;

static PropCheck emulator_props[] = {
    {"ro.kernel.qemu", NULL},
    {"ro.hardware", "goldfish"},
    {"ro.hardware", "ranchu"},
    {"ro.product.model", "sdk"},
    {"ro.product.device", "generic"},
    {"ro.build.flavor", "sdk"},
    {"init.svc.qemud", NULL},
    {"qemu.hw.mainkeys", NULL},
};

int check_emulator_properties() {
    char value[PROP_VALUE_MAX];
    int num_checks = sizeof(emulator_props) / sizeof(emulator_props[0]);

    for (int i = 0; i < num_checks; i++) {
        if (__system_property_get(emulator_props[i].name, value) > 0) {
            if (emulator_props[i].value == NULL) {
                // 属性存在即为模拟器
                return 1;
            }
            if (strstr(value, emulator_props[i].value)) {
                return 1;
            }
        }
    }

    return 0;
}
```

3.2 文件系统检测

检测模拟器特有的文件。

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - 文件系统检测
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>

static const char* emulator_files[] = {
    // QEMU 相关
    "/system/lib/libc_malloc_debug_qemu.so",
    "/sys/qemu_trace",
    "/system/bin/qemu-props",
    "/dev/socket/qemud",
    "/dev/qemu_pipe",

    // Genymotion 相关
    "/dev/socket/genyd",
    "/dev/socket/baseband_genyd",

    // Nox 相关
    "/fstab.nox",
    "/system/bin/nox-prop",
    "/system/lib/libnoxd.so",

    // BlueStacks 相关
    "/system/bin/bstfolder",
    "/system/lib/libbluestacks.so",

    // 通用 x86 模拟器
    "/system/lib/libhoudini.so",  // ARM 转译库

    // VirtualBox 相关
    "/dev/vboxguest",
    "/dev/vboxuser",
};

int check_emulator_files() {
    int num_files = sizeof(emulator_files) / sizeof(emulator_files[0]);

    for (int i = 0; i < num_files; i++) {
        if (access(emulator_files[i], F_OK) == 0) {
            return 1;  // 文件存在
        }
    }

    return 0;
}

// 检查 /proc/cpuinfo
int check_cpuinfo() {
    FILE* fp = fopen("/proc/cpuinfo", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[256];
```

```
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        // 模拟器通常使用 Intel 或 AMD 处理器
        if (strstr(line, "GenuineIntel") || strstr(line, "AuthenticAMD")) {
            // 但某些真机也使用 x86，需要结合其他检测
        }

        // 检测 Goldfish (QEMU)
        if (strstr(line, "Goldfish") || strstr(line, "goldfish")) {
            fclose(fp);
            return 1;
        }

        // 检测 Ranchu (新版 QEMU)
        if (strstr(line, "ranchu")) {
            fclose(fp);
            return 1;
        }
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

3.3 传感器检测

真实设备有物理传感器，模拟器通常没有或返回固定值。

实现原理:

```
// Java 实现 - 传感器检测
import android.content.Context;
import android.hardware.Sensor;
import android.hardware.SensorEvent;
import android.hardware.SensorEventListener;
import android.hardware.SensorManager;

public class SensorEmulatorDetector {
    private Context context;
    private SensorManager sensorManager;
    private boolean isEmulator = false;

    public SensorEmulatorDetector(Context context) {
        this.context = context;
        this.sensorManager = (SensorManager)
context.getSystemService(Context.SENSOR_SERVICE);
    }

    // 检查传感器数量
    public boolean checkSensorCount() {
        java.util.List<Sensor> sensors = sensorManager.getSensorList(Sensor.TYPE_ALL);

        // 真机通常有多个传感器，模拟器可能很少或没有
        if (sensors.size() < 5) {
            return true;  // 可能是模拟器
        }

        // 检查关键传感器是否存在
        Sensor accelerometer =
sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
        Sensor gyroscope = sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_GYROSCOPE);
        Sensor magnetometer =
sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_MAGNETIC_FIELD);

        if (accelerometer == null && gyroscope == null && magnetometer == null) {
            return true;
        }

        return false;
    }

    // 监听传感器数据，检测固定值
    public void startSensorMonitoring() {
        Sensor accelerometer =
sensorManager.getDefaultSensor(Sensor.TYPE_ACCELEROMETER);
        if (accelerometer == null) {
            isEmulator = true;
            return;
        }

        SensorEventListener listener = new SensorEventListener() {
            private float[] lastValues = null;
```

```
            private int unchangedCount = 0;

            @Override
            public void onSensorChanged(SensorEvent event) {
                if (lastValues == null) {
                    lastValues = event.values.clone();
                    return;
                }

                // 检查值是否完全相同（模拟器常见）
                if (lastValues[0] == event.values[0] &&
                    lastValues[1] == event.values[1] &&
                    lastValues[2] == event.values[2]) {
                    unchangedCount++;

                    if (unchangedCount > 10) {
                        isEmulator = true;
                    }
                } else {
                    unchangedCount = 0;
                }

                lastValues = event.values.clone();
            }

            @Override
            public void onAccuracyChanged(Sensor sensor, int accuracy) {}
        };

        sensorManager.registerListener(listener, accelerometer,
            SensorManager.SENSOR_DELAY_NORMAL);
    }
}
```

3.4 电话功能检测

模拟器通常没有真实的电话功能。

实现原理:

```
// Java 实现 - 电话功能检测
import android.content.Context;
import android.telephony.TelephonyManager;

public class TelephonyEmulatorDetector {

    public static boolean checkTelephony(Context context) {
        TelephonyManager tm = (TelephonyManager)
            context.getSystemService(Context.TELEPHONY_SERVICE);

        if (tm == null) {
            return true;
        }

        // 检查网络运营商
        String networkOperator = tm.getNetworkOperatorName();
        if (networkOperator != null) {
            String lower = networkOperator.toLowerCase();
            if (lower.equals("android") || lower.contains("emulator")) {
                return true;
            }
        }

        // 检查 IMEI (需要权限)
        try {
            String deviceId = tm.getDeviceId();
            if (deviceId != null) {
                // 模拟器常见的 IMEI
                if (deviceId.equals("000000000000000") ||
                    deviceId.equals("012345678912345") ||
                    deviceId.startsWith("00000")) {
                    return true;
                }
            }
        } catch (SecurityException e) {
            // 没有权限
        }

        // 检查电话号码
        try {
            String phoneNumber = tm.getLine1Number();
            if (phoneNumber != null) {
                if (phoneNumber.equals("15555215554") ||  // 默认模拟器号码
                    phoneNumber.startsWith("155552")) {
                    return true;
                }
            }
        } catch (SecurityException e) {
            // 没有权限
        }

        return false;
```

```
    }
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过模拟器检测
Java.perform(function() {
    // 1. Hook Build 属性
    var Build = Java.use("android.os.Build");

    // 设置为真机属性
    Build.FINGERPRINT.value = "samsung/dreamltexx/dreamlte:9/PPR1.180610.011/
G950FXXS5DSL1:user/release-keys";
    Build.MODEL.value = "SM-G950F";
    Build.MANUFACTURER.value = "samsung";
    Build.BRAND.value = "samsung";
    Build.DEVICE.value = "dreamlte";
    Build.PRODUCT.value = "dreamltexx";
    Build.HARDWARE.value = "samsungexynos8895";

    console.log("[*] Build properties spoofed");

    // 2. Hook SystemProperties
    var SystemProperties = Java.use("android.os.SystemProperties");

    SystemProperties.get.overload("java.lang.String").implementation = function(key) {
        var emulatorKeys = ["ro.kernel.qemu", "qemu.hw.mainkeys", "ro.boot.qemu"];

        if (emulatorKeys.indexOf(key) !== -1) {
            console.log("[*] Hiding property: " + key);
            return "";
        }

        return this.get(key);
    };

    // 3. Hook 文件检测
    var File = Java.use("java.io.File");

    File.exists.implementation = function() {
        var path = this.getAbsolutePath();
        var emulatorFiles = [
            "qemu", "genymotion", "nox", "bluestacks",
            "vbox", "goldfish", "ranchu"
        ];

        for (var i = 0; i < emulatorFiles.length; i++) {
            if (path.toLowerCase().indexOf(emulatorFiles[i]) !== -1) {
                console.log("[*] Hiding emulator file: " + path);
                return false;
            }
        }

        return this.exists();
    };

    // 4. Hook TelephonyManager
```

```
    var TelephonyManager = Java.use("android.telephony.TelephonyManager");

    TelephonyManager.getDeviceId.overload().implementation = function() {
        var fakeImei = "358240051111110";
        console.log("[*] Returning fake IMEI: " + fakeImei);
        return fakeImei;
    };

    TelephonyManager.getNetworkOperatorName.implementation = function() {
        return "China Mobile";
    };

    // 5. Hook SensorManager
    var SensorManager = Java.use("android.hardware.SensorManager");

    SensorManager.getSensorList.implementation = function(type) {
        var result = this.getSensorList(type);
        console.log("[*] getSensorList called, returning " + result.size() + "
sensors");
        return result;
    };
});
```

4. Root 检测 (Root Detection)

目标: 检测设备是否已被 Root。

4.1 常见 Root 文件检测

实现原理:

```
// Java 实现 - Root 文件检测
import java.io.File;

public class RootDetector {

    // su 二进制文件路径
    private static final String[] SU_PATHS = {
        "/system/bin/su",
        "/system/xbin/su",
        "/sbin/su",
        "/system/su",
        "/system/bin/.ext/.su",
        "/system/usr/we-need-root/su-backup",
        "/system/xbin/mu",
        "/data/local/xbin/su",
        "/data/local/bin/su",
        "/data/local/su",
        "/su/bin/su",
        "/magisk/.core/bin/su"
    };

    // Root 管理应用
    private static final String[] ROOT_PACKAGES = {
        "com.topjohnwu.magisk",
        "com.koushikdutta.superuser",
        "eu.chainfire.supersu",
        "com.noshufou.android.su",
        "com.thirdparty.superuser",
        "com.yellowes.su"
    };

    // 危险应用
    private static final String[] DANGEROUS_PACKAGES = {
        "com.chelpus.lackypatch",
        "com.ramdroid.appquarantine",
        "com.devadvance.rootcloak",
        "com.devadvance.rootcloakplus",
        "de.robv.android.xposed.installer",
        "org.lsposed.manager"
    };

    public static boolean checkSuBinary() {
        for (String path : SU_PATHS) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }

    public static boolean checkSuCommand() {
        try {
```

```
            Process process = Runtime.getRuntime().exec(new String[]{"which", "su"});
            java.io.BufferedReader reader = new java.io.BufferedReader(
                new java.io.InputStreamReader(process.getInputStream())
            );
            String line = reader.readLine();
            return line != null && !line.isEmpty();
        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
    }

    public static boolean checkRootPackages(android.content.pm.PackageManager pm) {
        for (String pkg : ROOT_PACKAGES) {
            try {
                pm.getPackageInfo(pkg, 0);
                return true;
            } catch (android.content.pm.PackageManager.NameNotFoundException e) {
                // 未安装
            }
        }
        return false;
    }

    public static boolean checkDangerousProps() {
        String[] dangerousProps = {
            "ro.debuggable",
            "ro.secure"
        };

        try {
            for (String prop : dangerousProps) {
                String value = getSystemProperty(prop);
                if ("ro.debuggable".equals(prop) && "1".equals(value)) {
                    return true;
                }
                if ("ro.secure".equals(prop) && "0".equals(value)) {
                    return true;
                }
            }
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }

        return false;
    }

    private static String getSystemProperty(String name) throws Exception {
        Class<?> systemProperties = Class.forName("android.os.SystemProperties");
        java.lang.reflect.Method get = systemProperties.getMethod("get",
String.class);
        return (String) get.invoke(null, name);
    }
}
```

4.2 执行权限检测

检测是否可以获取 root 权限执行命令。

实现原理:

```
// Java 实现 - Root 执行检测
public class RootExecutionDetector {

    public static boolean canExecuteAsRoot() {
        Process process = null;
        java.io.DataOutputStream os = null;

        try {
            process = Runtime.getRuntime().exec("su");
            os = new java.io.DataOutputStream(process.getOutputStream());

            os.writeBytes("id\n");
            os.writeBytes("exit\n");
            os.flush();

            int exitValue = process.waitFor();

            // 如果成功执行，说明有 root 权限
            return exitValue == 0;

        } catch (Exception e) {
            return false;
        } finally {
            try {
                if (os != null) os.close();
                if (process != null) process.destroy();
            } catch (Exception e) {
                // 忽略
            }
        }
    }

    public static boolean checkRWSystem() {
        // 检查 /system 是否可写
        try {
            Process process = Runtime.getRuntime().exec("mount");
            java.io.BufferedReader reader = new java.io.BufferedReader(
                new java.io.InputStreamReader(process.getInputStream())
            );

            String line;
            while ((line = reader.readLine()) != null) {
                if (line.contains("/system") && line.contains("rw")) {
                    return true;  // /system 可写，可能被 Root
                }
            }
        } catch (Exception e) {
            // 忽略
        }

        return false;
```

```
    }
}
```

4.3 Native 层 Root 检测

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - Root 检测
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/stat.h>
#include <dirent.h>

static const char* su_paths[] = {
    "/system/bin/su",
    "/system/xbin/su",
    "/sbin/su",
    "/su/bin/su",
    "/magisk/.core/bin/su",
    "/data/local/bin/su",
    "/data/local/xbin/su"
};

int check_su_binary_native() {
    int num_paths = sizeof(su_paths) / sizeof(su_paths[0]);

    for (int i = 0; i < num_paths; i++) {
        struct stat st;
        if (stat(su_paths[i], &st) == 0) {
            return 1;  // su 存在
        }
    }

    return 0;
}

// 检测 PATH 环境变量中的 su
int check_su_in_path() {
    char* path = getenv("PATH");
    if (path == NULL) return 0;

    char* path_copy = strdup(path);
    char* token = strtok(path_copy, ":");

    while (token != NULL) {
        char su_path[256];
        snprintf(su_path, sizeof(su_path), "%s/su", token);

        if (access(su_path, F_OK) == 0) {
            free(path_copy);
            return 1;
        }

        token = strtok(NULL, ":");
    }

    free(path_copy);
    return 0;
```

```
}

// 检测 SELinux 状态
int check_selinux_enforcing() {
    FILE* fp = fopen("/sys/fs/selinux/enforce", "r");
    if (fp == NULL) {
        return -1;  // SELinux 不存在或无法访问
    }

    int enforcing = 0;
    fscanf(fp, "%d", &enforcing);
    fclose(fp);

    // 0 = Permissive (可能被 Root)
    // 1 = Enforcing (正常)
    return enforcing;
}

// 检测可疑进程
int check_suspicious_processes() {
    DIR* dir = opendir("/proc");
    if (dir == NULL) return 0;

    struct dirent* entry;
    while ((entry = readdir(dir)) != NULL) {
        if (entry->d_type != DT_DIR) continue;

        // 检查是否为数字目录 (进程目录)
        char* endptr;
        long pid = strtol(entry->d_name, &endptr, 10);
        if (*endptr != '\0') continue;

        // 读取进程名
        char cmdline_path[256];
        snprintf(cmdline_path, sizeof(cmdline_path), "/proc/%ld/cmdline", pid);

        FILE* fp = fopen(cmdline_path, "r");
        if (fp == NULL) continue;

        char cmdline[256];
        if (fgets(cmdline, sizeof(cmdline), fp) != NULL) {
            if (strstr(cmdline, "daemonsu") ||
                strstr(cmdline, "magiskd") ||
                strstr(cmdline, "supersu")) {
                fclose(fp);
                closedir(dir);
                return 1;
            }
        }
        fclose(fp);
    }

    closedir(dir);
```

```
    return 0;
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 综合 Root 检测绕过
Java.perform(function() {
    // 1. 隐藏 su 文件
    var File = Java.use("java.io.File");
    var suPaths = [
        "/system/bin/su", "/system/xbin/su", "/sbin/su",
        "/su/bin/su", "/magisk"
    ];

    File.exists.implementation = function() {
        var path = this.getAbsolutePath();
        for (var i = 0; i < suPaths.length; i++) {
            if (path.indexOf(suPaths[i]) !== -1 ||
                path.indexOf("supersu") !== -1 ||
                path.indexOf("magisk") !== -1) {
                console.log("[*] Hiding root file: " + path);
                return false;
            }
        }
        return this.exists();
    };

    // 2. 阻止执行 su 命令
    var Runtime = Java.use("java.lang.Runtime");

    Runtime.exec.overload("[Ljava.lang.String;").implementation = function(cmdArray) {
        var cmd = cmdArray.join(" ");
        if (cmd.indexOf("su") !== -1 || cmd.indexOf("which") !== -1) {
            console.log("[*] Blocking command: " + cmd);
            throw Java.use("java.io.IOException").$new("Cannot run program");
        }
        return this.exec(cmdArray);
    };

    Runtime.exec.overload("java.lang.String").implementation = function(cmd) {
        if (cmd.indexOf("su") !== -1 || cmd.indexOf("which") !== -1) {
            console.log("[*] Blocking command: " + cmd);
            throw Java.use("java.io.IOException").$new("Cannot run program");
        }
        return this.exec(cmd);
    };

    // 3. 隐藏 Root 包
    var PackageManager = Java.use("android.app.ApplicationPackageManager");
    var rootPackages = [
        "com.topjohnwu.magisk", "eu.chainfire.supersu",
        "com.koushikdutta.superuser", "com.noshufou.android.su"
    ];

    PackageManager.getPackageInfo.overload("java.lang.String", "int").implementation =
function(pkg, flags) {
        for (var i = 0; i < rootPackages.length; i++) {
```

```
            if (pkg === rootPackages[i]) {
                console.log("[*] Hiding root package: " + pkg);
                throw
Java.use("android.content.pm.PackageManager$NameNotFoundException").$new(pkg);
            }
        }
        return this.getPackageInfo(pkg, flags);
    };
});

// Native 层绕过
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "access"), {
    onEnter: function(args) {
        var path = args[0].readCString();
        if (path && (path.indexOf("su") !== -1 || path.indexOf("magisk") !== -1)) {
            console.log("[*] Blocking access check: " + path);
            this.block = true;
        }
    },
    onLeave: function(retval) {
        if (this.block) {
            retval.replace(-1);  // 返回不存在
        }
    }
});

Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "stat"), {
    onEnter: function(args) {
        var path = args[0].readCString();
        if (path && (path.indexOf("su") !== -1 || path.indexOf("magisk") !== -1)) {
            console.log("[*] Blocking stat: " + path);
            this.block = true;
        }
    },
    onLeave: function(retval) {
        if (this.block) {
            retval.replace(-1);
        }
    }
});
```

5. 完整性校验 (Integrity Checks)

目标: 检测 APK 或运行时代码是否被篡改。

5.1 签名校验

实现原理:

```
// Java 实现 - APK 签名校验
import android.content.Context;
import android.content.pm.PackageInfo;
import android.content.pm.PackageManager;
import android.content.pm.Signature;
import java.security.MessageDigest;

public class SignatureVerifier {

    // 原始签名的 SHA-256 哈希值（需要预先计算）
    private static final String EXPECTED_SIGNATURE_HASH =
        "a1b2c3d4e5f6...";  // 替换为实际值

    public static boolean verifySignature(Context context) {
        try {
            PackageInfo packageInfo = context.getPackageManager()
                .getPackageInfo(context.getPackageName(),
PackageManager.GET_SIGNATURES);

            Signature[] signatures = packageInfo.signatures;
            if (signatures == null || signatures.length == 0) {
                return false;
            }

            // 计算签名哈希
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            byte[] signatureBytes = signatures[0].toByteArray();
            byte[] hash = md.digest(signatureBytes);

            // 转换为十六进制字符串
            StringBuilder hexString = new StringBuilder();
            for (byte b : hash) {
                String hex = Integer.toHexString(0xff & b);
                if (hex.length() == 1) hexString.append('0');
                hexString.append(hex);
            }

            return EXPECTED_SIGNATURE_HASH.equals(hexString.toString());

        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
    }

    // Android P+ 使用 GET_SIGNING_CERTIFICATES
    public static boolean verifySignatureV2(Context context) {
        try {
            if (android.os.Build.VERSION.SDK_INT >= android.os.Build.VERSION_CODES.P)
{
                PackageInfo packageInfo = context.getPackageManager()
                    .getPackageInfo(context.getPackageName(),
                        PackageManager.GET_SIGNING_CERTIFICATES);
```

```
                android.content.pm.SigningInfo signingInfo = packageInfo.signingInfo;
                Signature[] signatures = signingInfo.getApkContentsSigners();

                // 校验签名...
            }
        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
        return true;
    }
}
```

5.2 DEX 文件校验

实现原理:

```
// Java 实现 - DEX 文件校验
import java.io.File;
import java.io.FileInputStream;
import java.security.MessageDigest;
import java.util.zip.ZipEntry;
import java.util.zip.ZipFile;

public class DexVerifier {

    // 预期的 classes.dex 哈希值
    private static final String EXPECTED_DEX_HASH = "...";

    public static boolean verifyDex(String apkPath) {
        try {
            ZipFile zipFile = new ZipFile(apkPath);
            ZipEntry dexEntry = zipFile.getEntry("classes.dex");

            if (dexEntry == null) {
                zipFile.close();
                return false;
            }

            // 计算 DEX 文件哈希
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            java.io.InputStream is = zipFile.getInputStream(dexEntry);

            byte[] buffer = new byte[8192];
            int bytesRead;
            while ((bytesRead = is.read(buffer)) != -1) {
                md.update(buffer, 0, bytesRead);
            }

            is.close();
            zipFile.close();

            byte[] hash = md.digest();

            // 转换并比较
            StringBuilder hexString = new StringBuilder();
            for (byte b : hash) {
                String hex = Integer.toHexString(0xff & b);
                if (hex.length() == 1) hexString.append('0');
                hexString.append(hex);
            }

            return EXPECTED_DEX_HASH.equals(hexString.toString());

        } catch (Exception e) {
            return false;
        }
    }
}
```

5.3 Native 代码校验

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - SO 文件校验
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <dlfcn.h>
#include <link.h>

// 预期的关键函数校验和
static uint32_t expected_checksums[] = {
    0x12345678,  // function1
    0x87654321,  // function2
    // ...
};

uint32_t calculate_function_checksum(void* func_start, size_t size) {
    uint32_t checksum = 0;
    uint8_t* data = (uint8_t*)func_start;

    for (size_t i = 0; i < size; i++) {
        checksum ^= data[i];
        checksum = (checksum << 1) | (checksum >> 31);
    }

    return checksum;
}

int verify_code_integrity() {
    // 获取当前 SO 的基地址
    Dl_info info;
    if (dladdr((void*)verify_code_integrity, &info) == 0) {
        return 0;
    }

    void* base = info.dli_fbase;

    // 验证关键函数
    // 这里需要知道函数的偏移和大小
    // 实际实现中这些值应该在编译时确定

    return 1;
}

// 运行时检测内存页是否被修改
int check_memory_pages() {
    FILE* fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (fp == NULL) return 0;

    char line[512];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        unsigned long start, end;
        char perms[5];
```

```
        if (sscanf(line, "%lx-%lx %4s", &start, &end, perms) != 3) {
            continue;
        }

        // 检查代码段是否有写权限（正常应该是 r-x）
        if (perms[0] == 'r' && perms[2] == 'x' && perms[1] == 'w') {
            // 代码段可写，可能被修改
            fclose(fp);
            return 1;
        }
    }

    fclose(fp);
    return 0;
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 绕过完整性校验
Java.perform(function() {
    // 1. 绕过签名校验
    var PackageManager = Java.use("android.app.ApplicationPackageManager");

    PackageManager.getPackageInfo.overload("java.lang.String", "int").implementation =
function(pkg, flags) {
        var info = this.getPackageInfo(pkg, flags);

        // 如果请求签名信息，返回原始签名
        if ((flags & 0x40) !== 0) {  // GET_SIGNATURES = 0x40
            // 这里可以构造假的签名对象
            // 实际操作需要知道原始签名
            console.log("[*] Signature verification intercepted");
        }

        return info;
    };

    // 2. 绕过 DEX 校验
    var MessageDigest = Java.use("java.security.MessageDigest");

    MessageDigest.digest.overload("[B").implementation = function(input) {
        // 检查调用栈是否来自完整性检测
        var stack = Java.use("java.lang.Thread").currentThread().getStackTrace();
        for (var i = 0; i < stack.length; i++) {
            var className = stack[i].getClassName();
            if (className.indexOf("Verifier") !== -1 ||
                className.indexOf("Integrity") !== -1) {
                console.log("[*] Integrity check detected, returning expected hash");
                // 返回预期的哈希值
                var expectedHash = Java.array('byte', [/* 预期哈希字节 */]);
                return expectedHash;
            }
        }
        return this.digest(input);
    };
});
```

6. SSL Pinning (证书绑定)

目标: 防止中间人攻击，确保通信只与指定服务器建立。

6.1 证书固定实现

实现原理:

```
// Java 实现 - SSL Pinning
import java.security.cert.CertificateException;
import java.security.cert.X509Certificate;
import javax.net.ssl.*;
import java.security.MessageDigest;

public class SSLPinning {

    // 预期的证书公钥 SHA-256 哈希
    private static final String[] EXPECTED_PINS = {
        "sha256/AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA=",
        "sha256/BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB="
    };

    public static SSLSocketFactory getPinnedSSLSocketFactory() throws Exception {
        TrustManager[] trustManagers = new TrustManager[]{
            new X509TrustManager() {
                @Override
                public void checkClientTrusted(X509Certificate[] chain, String
authType)
                    throws CertificateException {
                    // 不检查客户端证书
                }

                @Override
                public void checkServerTrusted(X509Certificate[] chain, String
authType)
                    throws CertificateException {
                    if (chain == null || chain.length == 0) {
                        throw new CertificateException("Empty certificate chain");
                    }

                    // 验证证书链中是否有匹配的 Pin
                    for (X509Certificate cert : chain) {
                        String pin = getPublicKeyPin(cert);
                        for (String expectedPin : EXPECTED_PINS) {
                            if (expectedPin.equals(pin)) {
                                return;  // 验证通过
                            }
                        }
                    }

                    throw new CertificateException("Certificate pinning failed");
                }

                @Override
                public X509Certificate[] getAcceptedIssuers() {
                    return new X509Certificate[0];
                }

                private String getPublicKeyPin(X509Certificate cert) {
                    try {
```

```
                        byte[] publicKeyBytes = cert.getPublicKey().getEncoded();
                        MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
                        byte[] hash = md.digest(publicKeyBytes);
                        return "sha256/" + android.util.Base64.encodeToString(hash,
                            android.util.Base64.NO_WRAP);
                    } catch (Exception e) {
                        return "";
                    }
                }
            }
        };

        SSLContext sslContext = SSLContext.getInstance("TLS");
        sslContext.init(null, trustManagers, new java.security.SecureRandom());
        return sslContext.getSocketFactory();
    }
}
```

6.2 OkHttp Certificate Pinning

实现原理:

```
// Java 实现 - OkHttp SSL Pinning
import okhttp3.CertificatePinner;
import okhttp3.OkHttpClient;

public class OkHttpPinning {

    public static OkHttpClient createPinnedClient() {
        CertificatePinner certificatePinner = new CertificatePinner.Builder()
            .add("api.example.com",
                "sha256/AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA=")
            .add("api.example.com",
                "sha256/BBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBBB=")
            .add("*.example.com",
                "sha256/CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC=")
            .build();

        return new OkHttpClient.Builder()
            .certificatePinner(certificatePinner)
            .build();
    }
}
```

6.3 Native 层 SSL Pinning

实现原理:

```
// Native (C/C++) 实现 - OpenSSL 证书验证
#include <openssl/ssl.h>
#include <openssl/x509.h>
#include <openssl/evp.h>

// 预期的公钥哈希
static const unsigned char expected_pin[] = {
    0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05, 0x06, 0x07, 0x08,
    0x09, 0x0a, 0x0b, 0x0c, 0x0d, 0x0e, 0x0f, 0x10,
    0x11, 0x12, 0x13, 0x14, 0x15, 0x16, 0x17, 0x18,
    0x19, 0x1a, 0x1b, 0x1c, 0x1d, 0x1e, 0x1f, 0x20
};

int verify_certificate_pin(X509* cert) {
    EVP_PKEY* pubkey = X509_get_pubkey(cert);
    if (pubkey == NULL) {
        return 0;
    }

    unsigned char* pubkey_der = NULL;
    int pubkey_len = i2d_PUBKEY(pubkey, &pubkey_der);

    if (pubkey_len <= 0) {
        EVP_PKEY_free(pubkey);
        return 0;
    }

    // 计算 SHA-256 哈希
    unsigned char hash[32];
    EVP_MD_CTX* ctx = EVP_MD_CTX_new();
    EVP_DigestInit_ex(ctx, EVP_sha256(), NULL);
    EVP_DigestUpdate(ctx, pubkey_der, pubkey_len);
    EVP_DigestFinal_ex(ctx, hash, NULL);
    EVP_MD_CTX_free(ctx);

    OPENSSL_free(pubkey_der);
    EVP_PKEY_free(pubkey);

    // 比较哈希
    return memcmp(hash, expected_pin, 32) == 0;
}

// 自定义 SSL 验证回调
int ssl_verify_callback(int preverify_ok, X509_STORE_CTX* ctx) {
    if (!preverify_ok) {
        return 0;  // 基本验证失败
    }

    // 获取证书
    X509* cert = X509_STORE_CTX_get_current_cert(ctx);
    if (cert == NULL) {
        return 0;
```

```
    }

    // 验证证书固定
    if (!verify_certificate_pin(cert)) {
        return 0;  // Pin 验证失败
    }

    return 1;
}
```

绕过策略 - Frida Hook:

```
// Frida 脚本 - 综合SSL Pinning 绕过
Java.perform(function() {
    console.log("[*] Starting SSL Pinning bypass...");

    // 1. 绕过TrustManager
    var X509TrustManager = Java.use("javax.net.ssl.X509TrustManager");
    var SSLContext = Java.use("javax.net.ssl.SSLContext");

    var TrustManager = Java.registerClass({
        name: "com.custom.TrustManager",
        implements: [X509TrustManager],
        methods: {
            checkClientTrusted: function(chain, authType) {},
            checkServerTrusted: function(chain, authType) {},
            getAcceptedIssuers: function() {
                return [];
            }
        }
    });

    // Hook SSLContext.init
    SSLContext.init.overload(
        "[Ljavax.net.ssl.KeyManager;",
        "[Ljavax.net.ssl.TrustManager;",
        "java.security.SecureRandom"
    ).implementation = function(km, tm, sr) {
        console.log("[*] SSLContext.init intercepted");
        var trustManager = TrustManager.$new();
        var trustManagers = Java.array("javax.net.ssl.TrustManager", [trustManager]);
        this.init(km, trustManagers, sr);
    };

    // 2. 绕过OkHttp CertificatePinner
    try {
        var CertificatePinner = Java.use("okhttp3.CertificatePinner");

        CertificatePinner.check.overload("java.lang.String",
"java.util.List").implementation = function(hostname, peerCertificates) {
            console.log("[*] OkHttp CertificatePinner.check bypassed for: " +
hostname);
            return;
        };

        CertificatePinner.check$okhttp.overload("java.lang.String",
"kotlin.jvm.functions.Function0").implementation = function(hostname,
peerCertificates) {
            console.log("[*] OkHttp CertificatePinner.check$okhttp bypassed for: " +
hostname);
            return;
        };
    } catch (e) {
        console.log("[-] OkHttp not found or different version");
```

```
    }

    // 3. 绕过 Trustkit
    try {
        var TrustKit =
Java.use("com.datatheorem.android.trustkit.pinning.OkHostnameVerifier");
        TrustKit.verify.overload("java.lang.String",
"javax.net.ssl.SSLSession").implementation = function(hostname, session) {
            console.log("[*] TrustKit bypassed for: " + hostname);
            return true;
        };
    } catch (e) {
        console.log("[-] TrustKit not found");
    }

    // 4. 绕过 WebView SSL 错误
    try {
        var WebViewClient = Java.use("android.webkit.WebViewClient");

        WebViewClient.onReceivedSslError.implementation = function(view, handler,
error) {
            console.log("[*] WebView SSL error bypassed");
            handler.proceed();
        };
    } catch (e) {
        console.log("[-] WebViewClient hook failed");
    }

    // 5. 绕过 HostnameVerifier
    var HostnameVerifier = Java.use("javax.net.ssl.HostnameVerifier");
    var HttpsURLConnection = Java.use("javax.net.ssl.HttpsURLConnection");

    var AllowAllHostnameVerifier = Java.registerClass({
        name: "com.custom.AllowAllHostnameVerifier",
        implements: [HostnameVerifier],
        methods: {
            verify: function(hostname, session) {
                return true;
            }
        }
    });

    HttpsURLConnection.setDefaultHostnameVerifier(AllowAllHostnameVerifier.$new());

    console.log("[+] SSL Pinning bypass complete");
});

// Native 层 SSL 绕过
Interceptor.attach(Module.findExportByName("libssl.so", "SSL_CTX_set_verify"), {
    onEnter: function(args) {
        console.log("[*] SSL_CTX_set_verify intercepted");
        // 设置为 SSL_VERIFY_NONE (0)
        args[1] = ptr(0);
```

```
    }
});
```

7. 综合绕过框架

将上述所有绕过技术整合为一个综合脚本:

```
// Frida 脚本 - 综合反分析绕过框架
(function() {
    "use strict";

    console.log("============================================");
    console.log("[*] Anti-Analysis Bypass Framework Started");
    console.log("============================================");

    // 配置选项
    var config = {
        bypassRoot: true,
        bypassFrida: true,
        bypassEmulator: true,
        bypassDebug: true,
        bypassSSL: true,
        bypassIntegrity: true,
        verbose: true
    };

    function log(msg) {
        if (config.verbose) {
            console.log("[*] " + msg);
        }
    }

    // ========== Root 检测绕过 ==========
    if (config.bypassRoot) {
        Java.perform(function() {
            log("Applying Root detection bypass...");

            var File = Java.use("java.io.File");
            var rootIndicators = ["su", "magisk", "supersu", "busybox", "/sbin"];

            File.exists.implementation = function() {
                var path = this.getAbsolutePath().toLowerCase();
                for (var i = 0; i < rootIndicators.length; i++) {
                    if (path.indexOf(rootIndicators[i]) !== -1) {
                        log("Hiding root file: " + path);
                        return false;
                    }
                }
                return this.exists();
            };
        });
    }

    // ========== Frida 检测绕过 ==========
    if (config.bypassFrida) {
        // 端口绕过
        Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "connect"), {
            onEnter: function(args) {
                var sockaddr = args[1];
```

```
                var family = sockaddr.readU16();
                if (family === 2) {
                    var port = (sockaddr.add(2).readU8() << 8) |
sockaddr.add(3).readU8();
                    if (port >= 27042 && port <= 27045) {
                        log("Blocking Frida port: " + port);
                        sockaddr.add(2).writeU8(0xFF);
                        sockaddr.add(3).writeU8(0xFF);
                    }
                }
            }
        });

        // Maps 绕过
        var keywords = ["frida", "gadget", "gum-js", "linjector"];

        Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fgets"), {
            onLeave: function(retval) {
                if (!retval.isNull()) {
                    var line = retval.readCString();
                    if (line) {
                        for (var i = 0; i < keywords.length; i++) {
                            if (line.toLowerCase().indexOf(keywords[i]) !== -1) {
                                retval.writeUtf8String("\n");
                                log("Filtered maps line with: " + keywords[i]);
                                break;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        });
    }

    // ========== 调试检测绕过 ==========
    if (config.bypassDebug) {
        // TracerPid 绕过
        Interceptor.attach(Module.findExportByName("libc.so", "fgets"), {
            onLeave: function(retval) {
                if (!retval.isNull()) {
                    var line = retval.readCString();
                    if (line && line.indexOf("TracerPid:") !== -1) {
                        retval.writeUtf8String("TracerPid:\t0\n");
                        log("TracerPid spoofed to 0");
                    }
                }
            }
        });

        // ptrace 绕过
        var ptrace = Module.findExportByName(null, "ptrace");
        if (ptrace) {
            Interceptor.attach(ptrace, {
```

```
                onEnter: function(args) {
                    this.request = args[0].toInt32();
                },
                onLeave: function(retval) {
                    if (this.request === 0) {  // PTRACE_TRACEME
                        retval.replace(0);
                        log("ptrace(PTRACE_TRACEME) bypassed");
                    }
                }
            });
        }
    }

    // ========== 模拟器检测绕过 ==========
    if (config.bypassEmulator) {
        Java.perform(function() {
            log("Applying Emulator detection bypass...");

            var Build = Java.use("android.os.Build");
            Build.FINGERPRINT.value = "samsung/dreamltexx/dreamlte:9/PPR1.180610.011/
G950FXXS5DSL1:user/release-keys";
            Build.MODEL.value = "SM-G950F";
            Build.MANUFACTURER.value = "samsung";
            Build.BRAND.value = "samsung";
            Build.DEVICE.value = "dreamlte";
            Build.PRODUCT.value = "dreamltexx";
            Build.HARDWARE.value = "samsungexynos8895";

            log("Build properties spoofed to Samsung S8");
        });
    }

    // ========== SSL Pinning 绕过 ==========
    if (config.bypassSSL) {
        Java.perform(function() {
            log("Applying SSL Pinning bypass...");

            var X509TrustManager = Java.use("javax.net.ssl.X509TrustManager");
            var SSLContext = Java.use("javax.net.ssl.SSLContext");

            var EmptyTrustManager = Java.registerClass({
                name: "com.bypass.EmptyTrustManager",
                implements: [X509TrustManager],
                methods: {
                    checkClientTrusted: function(chain, authType) {},
                    checkServerTrusted: function(chain, authType) {},
                    getAcceptedIssuers: function() { return []; }
                }
            });

            SSLContext.init.overload(
                "[Ljavax.net.ssl.KeyManager;",
                "[Ljavax.net.ssl.TrustManager;",
```

```
                "java.security.SecureRandom"
            ).implementation = function(km, tm, sr) {
                log("SSLContext.init intercepted");
                var emptyTm = Java.array("javax.net.ssl.TrustManager",
                    [EmptyTrustManager.$new()]);
                this.init(km, emptyTm, sr);
            };

            // OkHttp 绕过
            try {
                var CertificatePinner = Java.use("okhttp3.CertificatePinner");
                CertificatePinner.check.overload("java.lang.String", "java.util.List")
                    .implementation = function(hostname, certs) {
                    log("OkHttp pinning bypassed for: " + hostname);
                };
            } catch (e) {}
        });
    }

    console.log("============================================");
    console.log("[+] All bypasses applied successfully!");
    console.log("============================================");

})();
```

总结

反分析技术对照表

检测类型	检测方法	绕过策略	难度
反调试	TracerPid	Hook fgets	⭐
	ptrace	Hook ptrace	⭐⭐
	时间检测	Hook clock_gettime	⭐⭐
	断点检测	临时恢复代码	⭐⭐⭐
反 Hook	Frida 端口	自定义端口	⭐
	内存特征	过滤 maps	⭐⭐
	Inline Hook	Stalker	⭐⭐⭐
	Xposed 检测	隐藏特征	⭐⭐
反模拟器	系统属性	修改 Build	⭐
	特有文件	Hook exists	⭐
	传感器	模拟数据	⭐⭐⭐
Root 检测	su 文件	Hook access/stat	⭐
	Root 包	Hook PackageManager	⭐
	Magisk	MagiskHide	⭐⭐
完整性	签名校验	Hook getPackageInfo	⭐⭐
	DEX 校验	Hook digest	⭐⭐
SSL Pinning	TrustManager	自定义 TrustManager	⭐⭐
	OkHttp	Hook CertificatePinner	⭐⭐

最佳实践

1. 分层防御: 结合 Java 层和 Native 层检测
2. 多点检测: 在多个位置进行检测，增加绕过难度
3. 动态检测: 使用后台线程持续检测
4. 混淆代码: 混淆检测代码本身，增加分析难度
5. 服务端验证: 关键逻辑放在服务端，客户端仅做辅助检测

相关章节:

- R15: Frida 反调试绕过
- R16: Xposed 反调试绕过
- A07: Magisk 与 LSPosed 原理

C02: 音乐 App 案例

C02: 音乐 App 案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 静态分析深入 - 使用 Jadx 定位 VIP 判断逻辑
> - Ghidra/IDA 指南 - 分析 Native 层音频解密算法

音乐类 App 是非常典型的逆向分析目标。其核心场景通常围绕着 VIP 会员特权、音频数据加密和客户端风控策略。本案例将模拟对一个典型音乐 App 的分析过程。

核心分析目标

1. 解锁 VIP 功能: 免费收听付费歌曲、下载无损音质、去除广告、使用专属皮肤等。
2. 音频数据提取: 分析加密的音频文件格式（如 `ncm`, `qmcflac`），提取出可播放的 `mp3` 或 `flac` 文件。
3. API 分析: 分析其歌曲搜索、歌单获取、评论区等 API，为第三方工具或爬虫提供支持。

案例：分析 VIP 歌曲的播放流程

第 1 步：定位切入点

目标: 找到判断用户是否为 VIP 以及歌曲是否为付费歌曲的关键代码。

1. 界面分析: 在 App 中播放一首需要 VIP 的歌曲，通常会弹出一个"开通 VIP"的提示框。这个提示框是绝佳的切入点。

2. 寻找关键词: 使用 `jadx-gui` 反编译 APK，搜索与弹窗内容相关的字符串，例如"仅限VIP"、"开通会员"等。
3. 交叉引用: 对找到的字符串进行交叉引用，定位到显示这个弹窗的代码。你很可能会找到一个类似 `showVipDialog()` 的方法。
4. 回溯调用栈: 继续对 `showVipDialog()` 进行交叉引用，向上回溯。通常，你会找到一个包含了核心判断逻辑的函数，其伪代码可能如下:

```
void onPlayButtonClick(Song song) {
// isVip() determines from user information
// song.isPaywalled() determines from song information
if (!isVip() && song.isPaywalled()) {
showVipDialog();
return;
}
// ...execute playback logic...
startPlayback(song);
}
```

目标: 绕过 VIP 判断，让 App 认为我们是 VIP 用户。

最直接的方法是 Hook 负责判断用户身份的函数。

```
Java.perform(function () {
  // Assume UserInfo class manages user information
  var UserInfo = Java.use("com.example.music.model.UserInfo");

  // Directly hook isVip method to always return true
  UserInfo.isVip.implementation = function () {
    console.log("Bypassing VIP check, returning true.");
    return true;
  };

  // Some apps may also verify VIP expiration time
  UserInfo.getVipExpireTime.implementation = function () {
    // Return a timestamp far in the future
    return new Date(2099, 11, 31).getTime();
  };
});
```

- 请求的 URL 中带有 `quality=flac` 或 `hires` 等参数。

- 服务器返回的响应 `Content-Type` 可能不是 `audio/mpeg`，而是一些自定义的类型如 `application/octet-stream`。
- 下载下来的文件（例如，`song.ncm`）无法用标准播放器播放。

1. 定位解密代码: 这是最关键的一步。数据解密逻辑通常在 Native 层（`.so` 文件）以提高性能和逆向难度。

- 关键词搜索: 在 IDA Pro 或 Ghidra 中打开相关的 `.so` 文件，搜索 `aes`，`cbc`，`decrypt`，`RC4` 等加密算法相关的字符串。
- JNI 入口: 从 Java 层调用 Native 代码需要通过 JNI (Java Native Interface)。在 Java 代码中寻找 `native` 关键字声明的函数，例如 `private native byte[] decryptAudio(byte[] encryptedData, int core);`。这个函数名就是你在 `.so` 文件中要找的符号。
- Hook Native 函数: 一旦定位到 JNI 函数（如 `Java_com_example_music_player_NativeDecoder_decryptAudio`），就可以使用 Frida 进行 Hook，观察其输入和输出。

```
Interceptor.attach(
  Module.findExportByName(
    "libaudiodecrypt.so",
    "Java_com_example_music_player_NativeDecoder_decryptAudio"
  ),
  {
    onEnter: function (args) {
      // args[0] is JNIEnv*, args[1] is jclass, args[2] is encrypted data jbyteArray
      console.log("Entering decryptAudio...");
      // Can save encrypted data for subsequent offline analysis
      this.encryptedBuffer = args[2];
    },
    onLeave: function (retval) {
      // retval is the decrypted jbyteArray
      console.log("Leaving decryptAudio. Decrypted data pointer: " + retval);
      // Here you can read the memory pointed to by retval to get the decrypted PCM or
MP3 data
    },
  }
);
```

通过动态分析，你已经能够获取到解密后的音频数据。但如果想开发一个独立的、离线的格式转换工具，就需要彻底理解其加密方案。

- 静态分析 Native 代码: 在 Ghidra/IDA 中仔细分析 `decryptAudio` 函数的逻辑。它可能包含:
- 元数据解析: 从加密文件头部读取歌曲 ID、专辑封面、比特率等信息。
- 密钥派生: 使用一个固定的 Core Key 和从文件元数据中提取的 Nonce 来派生出每个文件唯一的 AES Key。
- 解密循环: 循环读取加密的音频帧，使用 AES 或其他算法进行解密。
- 代码实现: 使用 Python 的 `cryptography` 等库，将你在 Native 代码中看到的逻辑重新实现一遍。最终，你就能开发出一个可以将 `.ncm` 批量转换为 `.flac` 的工具。

主流平台加密方案实例

虽然通用的分析思路是一致的，但不同平台的具体实现细节各不相同。了解这些特征有助于更快地定位问题。

网某云音乐 (`.ncm`)

- 文件格式: `.ncm`
- 加密细节: 采用 AES + RC4 的混合加密方案。

1. 元数据 (Meta): 文件中包含一块加密的元数据区域，其中含有歌曲名、专辑封面、AES Key 等信息。这块区域本身使用一个固定的 Meta Key 进行 AES-ECB 解密。
2. 音频数据 (Audio): 音频帧数据使用 AES-ECB 加密。解密所需的 AES Key 就存在于上一步解密后的元数据中。然而，最终的解密密钥流是通过一个类似 RC4-KSA 的算法，基于这个 AES Key 生成的。

- 逆向切入点:
- 在 SO 库中搜索字符串 `ncm`, `core`, `meta`, `AES`, `RC4`。

- 其解密逻辑通常被封装在一个或多个专门的 Native 函数中。

Q某音乐 (`.qmcflac`, `.mflac`, `.qmc0`)

- 文件格式: `.qmcflac`, `.qmc0`, `.qmc3`, `.mflac` 等。
- 加密细节: 未使用标准加密算法，而是一套自定义的字节置乱 (Scramble) 方案。
- 其核心是依赖一个巨大的静态映射表 (Seed Map)，这个表硬编码在 SO 文件中。
- 解密时，根据当前字节在文件中的偏移量，通过一个复杂的公式计算出在映射表中的索引，然后取出表中的值与加密字节进行运算（通常是异或）。
- 逆向切入点:
- 由于没有使用标准算法，搜索加密关键词是无效的。
- 逆向的关键是在 SO 文件中找到那个巨大的静态数组（映射表）。
- 定位一个紧凑的循环，该循环体内部包含了复杂的偏移量计算和查表操作。

某狗音乐 (`.kgm`, `.vpr`)

- 文件格式: `.kgm`, `.vpr`。
- 加密细节: 同样是自定义的置乱算法，与 Q某音乐思路相似，但实现不同。
- 依赖多个静态表（通常在开源项目中被称为 `table1`, `table2`）。
- 文件头包含了解密所需的关键信息，如密钥长度等。解密密钥由文件头信息和静态表共同派生。
- 逆向切入点:
- 分析文件头的解析逻辑。
- 定位多个静态表，并还原其查表和密钥生成的算法。

某我音乐 (`.kwm`)

- 文件格式: `.kwm`。
- 加密细节: 采用相对简单的 XOR 异或加密。
- 解密密钥由一个硬编码在 SO 中的静态密钥 (Base Key) 与该歌曲的资源 ID (`rid`) 进行运算后得出。`rid` 是一个 uin64_t 类型的数字。
- 得到最终密钥后，对加密的音频数据进行逐字节异或即可完成解密。
- 逆向切入点:
- 搜索关键词 `rid`, `kwm`。
- 定位一个逻辑相对简单的函数，其包含了获取 `rid`、与静态密钥进行运算、然后循环异或的过程。

API 签名与加密实战

以下是基于真实项目的 API 加密实现分析，展示了如何逆向还原各平台的请求签名逻辑。

网某云音乐 API 加密实现

网某云音乐采用 AES + RSA 双层加密方案，Web 端和 App 端使用不同的加密策略。

核心密钥常量

```
class Music163:
    def __init__(self):
        # Web 端 AES 密钥和 IV
        self.aes_key = '0CoJUm6Qyw8W****'
        self.aes_iv = '01020304050***08'

        # RSA 公钥参数
        self.rsa_exponent = '010001'
        self.rsa_modulus =
'00e0b509f6259df8642dbc35662901477df22677ec152b5ff68ace615bb7b725152b3ab17a876aea8a5aa
76d2e417629ec4ee341f56135fccf695280104e0312ecbda92557c93870114af6c9d05c4f7f0c3685b7a46
bee255932575cce10b424d813cfe4875d3e82047b97ddef52741d546b8e289dc6935b3ece0462db0a22***
*'

        # 随机字符集，用于生成随机密钥
        self.words = 'abcdefghijklmnopqrstuvwxyzABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ0123456789'
```

Web 端加密流程 (params + encSecKey)

```
def aes(self, data, key, iv):
    """AES-CBC 加密，PKCS7 填充"""
    bs = AES.block_size
    pkcs7 = lambda t: t + (bs - len(t) % bs) * chr(bs - len(t) % bs)
    cryptor = AES.new(key, AES.MODE_CBC, iv)
    encrypt_text = cryptor.encrypt(str.encode(pkcs7(data)))
    return str(base64.encodebytes(encrypt_text), encoding='utf-8').strip()

def rsa(self, data, exponent, modulus):
    """RSA 加密（无填充，反向字节序）"""
    res = int(codecs.encode(data[::-1].encode('utf-8'), 'hex_codec'), 16) **
int(exponent, 16) % int(modulus, 16)
    return format(res, 'x').zfill(256)

def get_formdata(self, data):
    """生成 Web 端请求参数"""
    # 1. 生成 16 位随机密钥
    random_key = ''.join([random.choice(self.words) for _ in range(16)])

    # 2. 两次 AES 加密：先用固定 key，再用随机 key
    params = self.aes(self.aes(data, self.aes_key, self.aes_iv), random_key,
self.aes_iv)

    # 3. RSA 加密随机密钥
    seckey = self.rsa(random_key, self.rsa_exponent, self.rsa_modulus)

    return {"params": params, "encSecKey": seckey}
```

App 端 eapi 接口加密

```
def md5_app_sign(self, path, data):
    """App 端签名算法"""
    string = "nobody" + path + "use" + data + "md5for******"
    return hashlib.new("md5", string.encode()).hexdigest()

def encrypt_app_params(self, path, data):
    """App 端参数加密"""
    sign = self.md5_app_sign(path, data)
    # 使用固定分隔符拼接
    string = str.encode(path + "-36cd479****-" + data + "-36cd479****-" + sign)
    # PKCS7 填充
    string = string + (chr((16 - (len(string) % 16))).encode() * (16 - (len(string) %
16)))
    # AES-ECB 加密
    encryptor = AES.new(b"e82ckenh8dic****", AES.MODE_ECB)
    ciphertext = encryptor.encrypt(string)
    return binascii.b2a_hex(ciphertext).upper()

def decrypt_app_data(self, data):
    """App 端响应解密"""
    encryptor = AES.new(b"e82ckenh8dic****", AES.MODE_ECB)
    data = encryptor.decrypt(data).decode()
    return data[:data.rfind("}") + 1]
```

设备指纹 Cookie 构造

```
def get_app_cookie(self, device):
    """构造 App 端设备指纹 Cookie"""
    cookies = {
        "EVNSM": "1.0.0",
        "osver": device.get("os_version"),        # 系统版本
        "deviceId": device.get("device_id"),       # 设备 ID
        "appver": "9.1.0",                         # App 版本
        "NMDI": device.get("nmdi"),                # 网易设备标识
        "NMCID": device.get("cid"),                # 渠道 ID
        "versioncode": "9001000",
        "mobilename": device.get("model").replace(" ", ""),  # 手机型号
        "resolution": device.get("resolution"),    # 分辨率
        "os": "android",
        "channel": "ali"                           # 渠道来源
    }

    if "music_a" in device:
        cookies["MUSIC_A"] = device.get("music_a")  # 登录凭证
    if "nmtid" in device:
        cookies["NMTID"] = device.get("nmtid")      # 跟踪 ID
    if "csrf" in device:
        cookies["__csrf"] = device.get("csrf")       # CSRF Token

    return "; ".join([f"{k}={v}" for k, v in cookies.items()])
```

实际请求示例

```
def search(self, keyword, offset):
    """歌手搜索 API 调用示例"""
    # 1. 构造请求数据
    data = json.dumps({
        "sub": "false",
        "s": keyword,
        "q_scene": "normal",
        "offset": str(offset),
        "queryCorrect": "true",
        "checkToken": self.random_check_token(),  # 随机校验 Token
        "limit": "100",
        "header": "{}",
        "e_r": "true"
    }, ensure_ascii=False)

    # 2. 加密参数
    url = "https://interface.music.163.com/eapi/v1/search/artist/get"
    encrypted = self.encrypt_app_params("/api/v1/search/artist/get", data)

    # 3. 发送请求
    headers = self.get_app_headers()
    res = requests.post(url, data=f"params={encrypted.decode()}", headers=headers)

    # 4. 解密响应
    return json.loads(self.decrypt_app_data(res.content))
```

全某 K 歌/某狗音乐音频解密

全某 K 歌使用 `.tkm` 格式存储加密音频，解密算法基于预计算的异或表。

异或映射表生成

```
# 核心 Seed 映射表（256 字节）
SEED_MAP = [
    0x77, 0x48, 0x32, 0x73, 0xDE, 0xF2, 0xC0, 0xC8, 0x95,
    0xEC, 0x30, 0xB2, 0x51, 0xC3, 0xE1, 0xA0, 0x9E, 0xE6,
    0x9D, 0xCF, 0xFA, 0x7F, 0x14, 0xD1, 0xCE, 0xB8, 0xDC,
    # ... 共 256 个字节
    0x4A, 0x11
]

class Mask:
    """生成解密掩码序列"""
    def __init__(self):
        self.index = 0

    def next(self):
        """计算下一个掩码字节"""
        v11 = self.index
        if v11 >= 0x8000:
            v11 %= 0x7FFF

        # 核心算法：平方加常数取模后查表
        result = SEED_MAP[(v11 * v11 + 80923) % 256]
        self.index += 1
        return result
```

预计算异或文件生成

```
def generate_xbytes_file():
    """生成约 200MB 的异或表文件（一次性生成）"""
    mask = Mask()
    with open("xbytes", "wb") as f:
        # 生成 209,771,520 字节的异或表
        # 这个大小足以覆盖大多数音频文件
        m = [mask.next() for _ in range(209771520)]
        f.write(bytes(m))
```

音频解密实现

```
import sys

class Kg:
    def __init__(self):
        self.xbytes_file = "/path/to/xbytes"  # 预计算的异或表文件

    def tkm2m4a(self, tkm_data):
        """将加密的 .tkm 文件解密为 .m4a"""
        if len(tkm_data) > 209771520:
            return None  # 文件过大，超出异或表范围

        with open(self.xbytes_file, "rb") as xbytes_file:
            xbytes = xbytes_file.read()

            # 将字节序列转换为大整数进行异或运算
            int_tkm = int.from_bytes(tkm_data, sys.byteorder)
            int_xbytes = int.from_bytes(xbytes[:len(tkm_data)], sys.byteorder)

            # 核心解密：整数异或
            m4a = (int_tkm ^ int_xbytes).to_bytes(len(tkm_data), sys.byteorder)
            return bytes(m4a)
```

伴奏下载完整流程

```
def download_accompany(self, mid):
    """下载并解密全民K歌伴奏"""
    # 1. 获取 vkey（访问凭证）
    vkey = self.get_vkey()

    # 2. 构造媒体 URL
    media_url = f"http://bsy.tsmusic.kg.qq.com/{media_mid}.tkm?vkey={vkey}
&guid=1736440468&fromtag=0"

    # 3. 下载加密音频
    res = requests.get(media_url, headers=self.get_headers())
    encrypted_data = res.content

    # 4. 解密为 m4a
    decrypted = self.tkm2m4a(encrypted_data)

    # 5. 保存文件
    with open(f"{mid}.m4a", "wb") as f:
        f.write(decrypted)
```

某米音乐 API 签名

某米音乐使用 Token + MD5 签名机制。

```
class XiaMi:
    def get_token_from_cookies(self, cookies):
        """从 Cookie 中提取 Token"""
        if cookies:
            token = re.findall("xm_sg_tk=(.*?)_.*?;", cookies)
            return token[0] if token else None

    def get_sign(self, key, token, query=""):
        """计算请求签名"""
        # 获取 API 路径
        path = self.get_path(self.urls.get(key))
        # 签名公式: md5(token + "_xmMain_" + path + "_" + query)
        return hashlib.md5(f"{token}_xmMain_{path}_{query}".encode()).hexdigest()

    def search_songs(self, keyword, page=1):
        """歌曲搜索示例"""
        # 1. 获取 Token 和 Cookie
        ua_token, cookies = self.get_cookies()
        token = self.get_token_from_cookies(cookies)

        # 2. 构造查询参数
        query = json.dumps({"key": keyword, "pagingVO": {"page": page, "pageSize":
30}})

        # 3. 计算签名
        sign = self.get_sign("song_search", token, query)

        # 4. 构造 URL
        q = base64.b64encode(query.encode()).decode()
        url = f"https://www.xiami.com/api/search/searchSongs?_q={q}&_s={sign}"

        # 5. 发送请求
        headers = self.get_headers(xmua=ua_token, cookies=cookies)
        return requests.get(url, headers=headers).json()
```

逆向要点总结

密钥提取策略

平台	加密方式	密钥位置	提取难度
网某云音乐	AES+RSA	硬编码在 JS/Java 代码中	中
Q某音乐	静态映射表	硬编码在 SO 文件中	高
某狗音乐	多表异或	SO 文件 + 服务端	高
某我音乐	XOR + RID	SO 文件中静态密钥	低
某米音乐	MD5 签名	Cookie 中的 Token	低

通用逆向流程

1. 抓包分析: 使用 Charles/Fiddler 捕获 HTTPS 请求，识别加密字段
2. 定位加密点: 在 APK 中搜索 URL 路径或参数名，定位加密函数
3. 分析算法: 静态分析 Java/Smali 代码，动态 Hook 验证
4. 提取密钥: 从代码或内存中提取硬编码的密钥常量
5. 复现实现: 使用 Python 等语言还原加密逻辑
6. 绕过检测: 处理设备指纹、请求频率等风控策略

总结

这个案例展示了从客户端功能绕过，到网络协议分析，再到核心加密算法逆向的完整流程。它结合了 Java 层的 Hook 和 Native 层的分析，是移动端逆向中非常具有代表性的场景。

通过分析真实的音乐平台爬虫项目，我们可以看到：

1. 加密复杂度差异: 不同平台的加密强度差异明显，从简单的 MD5 签名到复杂的双层 AES+RSA
2. 音频加密特点: 音频数据加密通常采用流式加密（XOR/RC4）以保证性能
3. 设备指纹重要性: 现代 App 大量依赖设备指纹进行风控，需要完整模拟
4. Native 层保护: 核心加密逻辑往往放在 SO 文件中，增加逆向难度

C03: 社交媒体与风控案例

C03: 社交媒体 App 与风控案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 密码学分析 - 理解 API 签名算法的逆向方法
> - Frida 完整指南 - 使用 Hook 定位签名生成函数

社交媒体 App（如 X、Instagram、TikTok）是爬虫和自动化工具最常光顾的地方。因此，这些 App 的开发者在客户端和服务器端都部署了极其复杂的安全与风控系统，以保护用户数据和平台生态。本案例将聚焦于这些 App 中常见的风控对抗技术。

核心分析目标

1. API 签名算法逆向: 几乎所有社交 App 的核心 API 请求都包含一个或多个签名参数（如 `X-Signature`, `X-Gorgon`）。这些签名是请求合法性的证明，也是逆向的主要目标。
2. 设备指纹分析: 理解 App 如何收集设备信息（硬件、软件、网络环境等）来生成唯一的设备 ID（`device_id`），并用于风控决策。
3. 业务风控逻辑分析: 分析 App 在关键业务点（如注册、登录、点赞、评论）的风控策略，例如人机验证（滑块验证码、点图验证等）。

案例：分析一个典型社交 App 的 API 签名流程

第 1 步：定位签名参数

目标: 识别出 API 请求中哪个参数是签名。

1. 网络抓包: 使用 Charles 或 Mitmproxy 拦截 App 的网络流量。刷新首页动态（timeline）的请求是最好的分析对象，因为它通常包含了最复杂的签名。
2. 观察请求: 查看一个典型的 API 请求，例如 `/api/v2/feed`。你会注意到其 URL 参数或请求头 (Headers) 中存在一些看起来像哈希值的、无明显语义的参数。
    - URL 参数: `...&mas=01&as=a1...&ts=166...&ssmix=a...`
    - 请求头: `X-Gorgon: 0404...`, `X-Khronos: 166...`
3. 参数筛选: 通过多次重复请求，比较参数的变化规律。
    - 不变的: `device_id`, `os_version` 等，通常是设备指纹的一部分。
    - 随时间变化的: `ts`, `X-Khronos` 等，通常是时间戳。
    - 每次请求都随机变化的: `mas`, `as`, `X-Gorgon` 等，这些就是我们要找的核心签名。

第 2 步：定位签名生成代码

目标: 找到在客户端生成这些签名的代码。这是整个流程中最关键、也最困难的一步。

1. 全局搜索: 在 `jadx-gui` 中，全局搜索上一步识别出的参数名，如 `X-Gorgon`。如果运气好，你能直接定位到构建网络请求的地方。
2. Hook 大法: 如果搜索无果（通常是因为参数名在代码中被加密或混淆了），Frida Hook 将是你的主力武器。
    - Hook 网络库: 从网络请求的源头入手。Hook `OkHttp` 的 `Request.Builder.addHeader` 或 `url()` 方法，打印出调用栈。

```
Java.perform(function () {
  var Builder = Java.use("okhttp3.Request$Builder");
  Builder.addHeader.implementation = function (name, value) {
    if (name === "X-Gorgon") {
      // Found it! Print call stack
      console.log("Found X-Gorgon being added: " + value);
      console.log(
        Java.use("android.util.Log").getStackTraceString(
          Java.use("java.lang.Exception").$new()
        )
      );
    }
    return this.addHeader(name, value);
  };
});
```

3. 静态分析签名函数: 定位到具体的签名函数后（例如，`SignHelper.getSign(params)`），在 Ghidra 或 IDA 中仔细分析其逻辑。
    - 输入: 它的输入通常是一个 `Map` 或 `List`，包含了所有要参与签名的业务参数（如 `user_id`）和设备指纹参数。
    - 逻辑: 函数内部逻辑通常是:
        1. 对所有参数按 key 进行字典序排序。
        2. 将排序后的 key-value 对拼接成一个长的字符串。
        3. 将固定的盐（salt，可能硬编码或从 Native 获取）拼接到字符串的头部或尾部。
        4. 对最终的字符串进行 MD5 或 HMAC-SHA256 哈希。
        5. 有时还会进行额外的变换，如 Base64 编码或自定义的字节操作。
    - Native 混淆: 越来越多的 App 将核心的签名算法（特别是盐）放到 `.so` 文件中，并使用 OLLVM 或 VMP 等技术进行混淆，以对抗静态分析。这时，就需要结合动态调试来一步步跟踪其执行流程。

第 3 步：模拟签名与自动化

目标: 在你自己的 Python 或其他语言脚本中，重新实现签名算法，从而可以脱离 App 独立发起合法的 API 请求。

1. 代码复现: 根据静态分析的结果，用 Python 完整地复现整个签名流程。每一个细节都要精确匹配，包括参数的排序、拼接方式、哈希算法等。
2. 获取设备参数: 签名依赖的设备指纹参数（`device_id`, `install_id` 等）通常在 App 首次启动时生成并存储在本地。你需要 Hook 相关的函数来获取一套合法的设备参数，并在你的脚本中使用它们。
3. 风控对抗:
    - 滑块验证码: 当服务器检测到你的请求异常时（例如，IP 地址异常、请求频率过高），它可能会返回一个需要进行人机验证的响应。你需要分析验证码的逻辑，这通常涉及到对一个 `JavaScript` 文件的逆向，分析其滑块轨迹加密算法。
    - 请求频率: 模拟真实用户的行为，在请求之间加入随机的延迟。
    - 代理 IP: 使用高质量的代理 IP 池来避免单个 IP 被封禁。

总结

社交媒体 App 的逆向是典型的"数据在客户端，但由服务器规则校验"的场景。其核心是对抗，而不只是解密。

- 签名是核心: 逆向签名算法是所有工作的基础。
- 动静结合: 需要反复在静态分析（Ghidra/IDA）和动态验证（Frida）之间切换。
- 风控是持续的斗争: 即使你成功逆向了签名，服务器端的风控策略也在不断演进。这是一个长期的、动态的攻防过程。

C04: App 加密签名案例

C04: 主流 App 加密签名机制案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 密码学分析 - 理解 sign 签名机制和常见哈希算法
> - 网络抓包 - 拦截并分析 API 请求中的加密字段

对主流 App 的 API 加密机制进行逆向分析，是检验和应用逆向工程综合能力的最佳实战。本案例研究将以常见的电商和社交类 App 为例，剖析其网络请求中核心加密字段和签名的生成逻辑，展示理论知识在实战中的应用。

> 免责声明：本文内容基于公开技术和过往分析经验的总结，旨在技术交流与学习。具体的加密实现会频繁更新，本文不保证与线上最新版本完全一致。

目录

通用加密与签名模式

在分析具体案例前，我们先了解几种行业内通用的 API 保护模式：

- 请求体加密：对整个 POST Body 进行对称（AES）或非对称（RSA）加密，保护数据内容隐私。
- 参数级加密：仅对请求中的个别敏感字段（如密码、手机号）进行加密。
- `sign` 签名机制：最核心、最普遍的模式。通过对请求参数、时间戳、随机数等进行组合和哈希，生成一个签名值。服务器端会以同样的方式计算签名并进行比对，用于：
  - 防篡改：确保传输过程中的数据未被修改。
  - 防重放：通过加入时间戳或 Nonce，让签名一次有效。
  - 身份认证：验证请求是否由合法的客户端发出。

案例分析 1：电商 App (类某多多模式)

核心风控字段 (`anti_content`)

- 现象: 在其 API 请求中，经常能看到一个名为 `anti_content` 的、内容极长的加密字段。
- 本质: 它并非简单的 API 参数签名，而是一个由客户端 SDK 生成的、高度复杂的风控数据包。它更侧重于识别"人"与"机器"，而非认证 API 调用本身。
- 可能包含的内容:
  - 设备指纹: 包含之前文档中提到的几乎所有硬件、软件和系统特征。
  - 环境检测: 是否 Root、是否越狱、是否使用了 Hook 框架 (Frida/Xposed)、是否在模拟器中运行。
  - 传感器数据: 在特定时间段内采集的加速度计、陀螺仪数据，用于判断设备是否在正常物理状态下。

    - 行为数据：用户的点击坐标、滑动轨迹等。

- 逆向挑战: `anti_content` 的生成逻辑通常被封装在高度混淆的原生 SO 库中，并可能包含 `SVC` 系统调用等反分析技术。完整复现其算法的难度极高。

API 认证签名 (`sign`)

- 现象: 除了 `anti_content`，请求参数中还有一个相对独立的 `sign` 字段。
- 目的: 这个字段才是真正用于 API 级别认证的签名。
- 典型生成逻辑:
    1. 收集所有请求参数（GET Query Params 和 POST Form Body Params）。
    2. 剔除 `sign` 字段本身。
    3. 按参数名的 ASCII 字母顺序进行排序。
    4. 将排序后的参数拼接成 `key=value&...` 的字符串（空值参数可能不参与拼接）。
    5. 在拼接好的字符串前后或中间插入一个固定的密钥（App Secret / Salt），这个密钥通常硬编码在 SO 文件中。
    6. 对最终的字符串进行 MD5 或 HMAC-SHA256 哈希，得到签名值。

案例分析 2：社交 App (类某红书模式)

复杂的请求头签名 (`X-Sign`)

- 现象: 认证信息不放在 URL 参数中，而是位于 HTTP 请求头，如 `X-Sign`，`X-T` (时间戳)，`X-B3-TraceId` 等。
- **`X-Sign`** 的构成:
    - 格式: 通常是 `MD5(some_string)` 的形式。

    - `some_string` 的拼接方式: `URL Path + Sorted Query Params + (POST Body Hash) + Token/Salt`。
        - 这意味着，不仅 URL 参数，连 POST 的内容也参与了签名计算。
        - 有时还会包含其他请求头的值。

- 动态 Salt: 其签名用的密钥可能不是固定的，而是部分由服务器下发，或与时间戳、设备信息动态生成，这使得暴力破解和简单模拟请求变得非常困难。

设备信息上报 (`X-DeviceInfo`)

- 现象: 有一个专门的请求头，如 `X-DeviceInfo`，其内容是加密或 Base64 编码后的 JSON 字符串，里面是详细的设备指纹信息。
- 关联性: 服务端的风控系统会将 `X-Sign` 和 `X-DeviceInfo` 进行强关联校验。
    - 首先验证 `X-Sign` 是否合法。
    - 然后解码 `X-DeviceInfo`，分析设备是否可信。
    - 最后，可能会交叉验证，例如，某个版本的 App 是否可能运行在某个特定的 Android SDK 版本上，如果不匹配，则判定为异常。

案例分析 3：某节跳动系 (某音/TikTok)

- 现象: 其 API 请求中包含多个复杂的自定义请求头，如 `X-Gorgon`，`X-Khronos`，`X-Argus`，`X-Ladon`。请求体通常是经过 Protobuf 序列化后再加密的二进制数据。
- 核心逻辑:
    - 设备注册: App 首次启动时会进行设备注册 (`/service/2/device_register/`)，获取服务器下发的 `device_id` 和 `install_id`。这两个 ID 是后续所有业务请求的身份基础。
    - 多重签名系统: `X-Gorgon` 是最核心的 API 请求签名，它将 URL、Cookie、POST Body 的哈希、设备指纹信息等多种因素混合计算而成。`X-Khronos` 是加密过的时间戳。这套体系确保了请求的来源、时效和完整性都可被验证。

- Protobuf 序列化: 大量使用 Protobuf 进行数据交换，相比 JSON，它更高效，但也增加了逆向难度，因为分析者需要先找到或还原 `.proto` 文件才能理解数据结构。
- Cronet 网络库: 使用 Google 的 Cronet 网络库进行网络请求，这使得常规的 OkHttp Hook 方法失效，必须深入到更底层的 `cronet.so` 或系统网络调用层面去进行 Hook。

- 逆向挑战:
  - 虚拟机保护 (VMP): 其核心 SO 库（如 `libmetasec_ml.so`, `libmsaoaidsec.so`）使用了行业顶级的 VMP 或其自研的虚拟机保护技术。这会将原始的 ARM 指令转换成虚拟机自定义的字节码，导致 IDA 等工具无法进行静态分析。
  - 算法快速迭代: 签名算法几乎每个版本都在变化，增加了长期维护的难度。
  - 分析策略: 鉴于 VMP 的存在，完全还原签名算法几乎是不可能的。业界主流的策略是放弃算法还原，转向 RPC 调用。即通过 Frida 等工具找到 SO 中负责计算签名的函数（无论是导出还是非导出函数），模拟其运行环境和参数，直接调用它来获取签名结果。

案例分析 4：某手

- 现象: API 请求参数中包含 `sig` 和 `__NS_sig` 字段。请求体同样可能使用 Protobuf 序列化并加密。
- 核心逻辑:
  - 双签名体系:
    - `sig`: 一个相对传统的 API 签名，通常是对所有请求参数进行排序、拼接、加盐后进行 MD5 或 HMAC 哈希。
    - `__NS_sig` (New Signature): 这是一个更复杂的风控签名，其计算过程融入了大量的设备指纹信息，用于对抗模拟器和脚本。
  - 动态 Salt: 在加密和签名过程中会使用到一个 `client_salt`，这个盐值并非固定，而是可能从 Protobuf 数据中动态获取，或者通过 JNI 调用 SO 库动态生成，这增加了模拟请求的难度。

- 逆向挑战:
  - 其核心 SO 库（如 `libcore.so`）经过了深度混淆，虽然可能不是 VMP 级别，但静态分析依然困难重重。
  - 同样大量使用了 Protobuf，需要投入精力去逆向其数据结构。

案例分析 5：某团

- 现象： API 请求中包含大量自定义请求头，如 `M-TraceId`。请求体被加密，并且能看到 `rohr` 和 `mtgsig` 等新一代的风控及签名字段。
- 核心逻辑:
  - 中心化风控库: 核心保护逻辑高度集中在 `libmtguard.so` 中，该库负责生成几乎所有的签名和风控数据。
  - 请求压缩与加密: 请求体可能会先用 `zlib` 或 `gzip` 进行压缩，然后再通过 AES 进行加密，服务器端需要先解密再解压。
  - **`rohr`** & **`mtgsig`**: 这是其新一代的风控签名体系。`rohr` 是一个风控令牌，包含了加密的设备和环境信息；`mtgsig` 是 API 签名，它在计算时会依赖 `rohr` 的部分数据，两者强关联。
  - 统一请求网关: 有一个统一的 API 网关，加密和签名逻辑相对集中，便于统一管理和迭代。
- 逆向挑战:
  - `libmtguard.so` 是逆向的重中之重，其内部逻辑复杂且经过混淆。
  - 风控维度极广，除了常规的设备指纹，还可能包括地理位置、历史行为、网络环境等，对伪造设备画像的一致性要求非常高。

案例分析 6：某里系 (某宝、某付宝)

- 现象: API 请求中包含一个 `sign` 字段，并且还有一个名为 `wua` 的神秘参数。网络请求通过自有的 MTop 网关进行分发。
- 核心逻辑:
  - 统一网关 (MTop): 某里系 App 使用自研的 MTop 作为统一无线网关。所有的 API 请求都经过这个网关，便于统一进行签名校验、安全风控和流量调度。
  - 安全核心 (`libsgmain.so`): 所有的安全逻辑都高度集成在 `libsgmain.so` 以及一系列 `libsgxxx.so` (如 `libsgsecuritybody.so`) 的安全组件中。这是某里安全的核心技术结晶，负责签名 `sign` 和风控参数 `wua` 的生成。
  - `sign` 签名: 签名算法极其复杂。它不仅包含 API 的业务参数，还会将时间戳、App 版本、Token 以及从安全 SDK 中获取的大量设备指纹信息一同参与计算。其拼接和加密方式非常规整。
  - `wua` 风控参数: 这是一个类似于 `anti_content` 的黑盒风控参数。它由 `libsgmain.so` 采集海量的设备信息（包括硬件、系统、网络、传感器、环境检测等）后，经过高度混淆的算法加密生成。`wua` 的生成难度和重要性甚至高于 `sign`。服务端会将 `sign` 和 `wua` 进行强关联校验。
  - ACCS 通道: 使用自研的 ACCS (Alibaba Cloud Channel Service) 长连接通道，基于 HTTP/2，进一步封装了网络请求，使得常规抓包和分析变得更加困难。
- 逆向挑战:
  - 顶级混淆: `libsgmain.so` 及其依赖库使用了自研的、多层次的复杂混淆技术，静态分析几乎无法下手，是业界公认的最难逆向的 SO 库之一。
  - 动态加载与反调试: 安全组件的加载和初始化过程非常隐晦，并伴有大量的反调试和环境检测手段，给动态调试和分析设置了极高的门槛。
  - 黑盒 RPC 调用: 与某节系类似，业界的主流策略是放弃算法还原。逆向的终极目标是在 SO 文件中找到一个类似 `main` 的函数入口，通过 RPC 调用的方式，传入请求参数，获取计算好的 `sign` 和 `wua` 值。定位这个入口需要极其深厚的动态调试和二进制分析功底。

逆向分析通用策略

1. 静态分析 (Jadx/Ghidra):
    - 全局搜索：搜索关键词，如 `sign`，`encrypt`，以及上述案例中的 `anti_content`，`X-Sign`，`X-Gorgon`，`mtgsig`，`wua` 等。
    - 定位网络库: 现代 App 大多使用 OkHttp。搜索 `okhttp3.Interceptor` 的实现类，因为加密和签名的逻辑常常在自定义拦截器中统一处理。
    - 追踪 JNI 调用: 找到 Java 层调用 Native 方法的地方，重点关注那些函数名可疑（如 `getSignFromC`）、参数多且包含字节数组的函数。
2. 动态分析 (Frida):
    - Hook 加密算法: 这是最有效的方法。Hook `java.security.MessageDigest.digest` 和 `javax.crypto.Mac.doFinal`，打印它们的输入（即被签名的明文）和调用堆栈，可以瞬间定位到生成签名的代码位置。
    - Hook 网络请求: Hook `okhttp3.Request.Builder` 的 `build()` 方法，或 `okhttp3.OkHttpClient` 的 `newCall` 方法，可以 dump 出所有即将发出的网络请求的完整信息（URL, Headers, Body），用于和抓包结果对比。
    - Hook SO 函数: 定位到核心 SO 库后，用 Frida `Interceptor.attach` 直接 Hook 目标导出函数，观察其输入和输出。对于非导出函数，可以通过基地址加偏移的方式进行 Hook。

高级策略：黑盒 RPC 调用详解

在分析某节、某里等顶级厂商的加固 SO 时，会发现其核心逻辑受 VMP (虚拟机保护) 或自研虚拟机保护。这意味着原始的 ARM 指令被转换成了一套自定义的、无法被常规反汇编工具解析的字节码。在这种情况下，试图完全理解并"白盒"地还原签名算法，几乎是不可能的。

因此，业界的分析思路从"算法还原"转向"算法利用"，这便是黑盒 RPC (Remote Procedure Call) 调用。

什么是黑盒 RPC 调用?

核心思想是：不再关心函数内部是如何实现的，而是将其作为一个整体，一个黑盒子。我们只关心它的输入和输出。

我们将通过 Frida 等工具，在 App 的运行时环境中，强行调用这个黑盒函数，让它为我们计算出所需的结果（如 `sign`，`wua`），然后将结果返回给外部的自动化程序。

这就好比我们使用一个网站的 API，我们不需要它的源码，只需要知道它的 URL、参数和返回值格式就能使用它。在这里，SO 里的函数就是那个"API"。

实现黑盒 RPC 的核心步骤

第一步：定位目标函数地址 (Finding the Function Pointer)

这是最困难、最耗时的一步，需要深厚的动态调试功底。

1. 从 JNI 入口开始: 从 Java 层调用 Native 方法的地方（`JNI` 函数）作为起点。
2. 主动调用与插桩: 使用 Frida 主动调用该 JNI 函数，并使用 `Stalker` 等指令级跟踪工具，记录下执行轨迹。
3. 执行流分析: 分析 Stalker 产生的巨大日志，或使用 `Unicorn Engine` 等模拟执行工具进行分析，理清复杂的跳转和计算逻辑，最终找到一个"干净"的函数入口——它接收相对原始的业务参数，返回最终的签名结果。这个函数的地址（通常是 SO 基址 + 偏移量）就是我们的目标。

第二步：分析函数原型 (Analyzing the Prototype)

确定目标函数的输入和输出。

- 输入参数: 在上一步找到的函数调用点下断点，观察调用前各寄存器（ARM32 下重点关注 R0-R3）和栈上的值，推断出函数的参数类型、数量和顺序。参数可能是字符串、字节数组、结构体指针等。
- 返回值: 在函数返回点下断点，观察 R0 寄存器的值，确定函数的返回值是什么（通常是一个指向结果字符串的指针或一个状态码）。

第三步：构建 RPC 服务端 (Frida Agent)

编写一个 Frida 脚本，将定位到的原生函数封装成一个可供远程调用的服务。

agent.js:

```
// 1. Get SO base address
const baseAddr = Module.findBaseAddress("libsgmain.so");
// 2. Calculate target function absolute address
// This 0x123456 is the function offset found through great effort in step one
const targetFuncPtr = baseAddr.add(0x123456);

// 3. Define function based on the prototype analyzed in step two
// Assume function prototype is: char* func(char* input1, int input2)
const nativeFunc = new NativeFunction(targetFuncPtr, "pointer", [
  "pointer",
  "int",
]);

// 4. Expose interface using rpc.exports
rpc.exports = {
  // Define a remote call interface named getSign
  getSign: function (param1, param2) {
    console.log("RPC call received, invoking native function...");
    // Prepare parameters for native function
    const input1Ptr = Memory.allocUtf8String(param1);

    // Call native function
    const resultPtr = nativeFunc(input1Ptr, param2);

    // Read and return result
    return resultPtr.readUtf8String();
  },
};
```

client.py:

```
import frida

def main():
    # Connect to frida-server on device
    device = frida.get_usb_device()

    # Attach to target App process
    pid = device.spawn(["com.example.app"])
    session = device.attach(pid)

    # Load Frida Agent script
    with open("agent.js") as f:
        script_code = f.read()
    script = session.create_script(script_code)
    script.load()

    # Prepare parameters
    api_params_str = "param1=value1&param2=value2"
    some_int_value = 123

    # Call RPC interface like calling a local function
    print("Calling RPC function: getSign...")
    result_sign = script.exports.get_sign(api_params_str, some_int_value)

    print(f"Successfully got sign: {result_sign}")

    # Can use the obtained sign to construct and send network requests here
    # ...

    session.detach()

if __name__ == '__main__':
    main()
```

通过黑盒 RPC，我们可以绕过对 VMP 等复杂技术的直接对抗，将逆向的重点放在寻找和调用关键函数上，这在当今的高级移动安全攻防中是一种务实且高效的策略。

C05: 视频 App 与 DRM 案例

C05: 视频 App 与 DRM 案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - 网络抓包技术 - 拦截 HLS/DASH 视频流协议
> - 密码学分析 - 理解 AES 加密与 DRM 密钥交换

视频类 App 的逆向分析是移动端安全领域最具挑战性的方向之一，其核心难点在于数字版权管理（DRM）技术的对抗。本案例将深入探讨视频 App，特别是涉及 DRM 的分析思路。

核心分析目标

1. 视频流分析: 解析视频播放的网络协议，如 `HLS`（`.m3u8`）和 `DASH`（`.mpd`），并提取视频分片。
2. 解锁 VIP 功能: 绕过付费墙，观看 VIP 专属影片或解锁更高清晰度（如 1080p, 4K）。
3. DRM 对抗: 理解 DRM 的工作原理，并尝试获取解密视频所需的密钥。（注意：这通常是极其困难的，且可能涉及法律风险。）

案例：分析一个使用 Widevine DRM 的视频播放流程

第 1 步：视频流协议分析

目标: 找到描述视频信息的清单文件（`.m3u8` 或 `.mpd`）。

1. 网络抓包: 打开 Charles 或 Mitmproxy，启动目标视频 App 并播放一个影片。

2. 过滤请求: 在抓包结果中，使用关键词 `m3u8` 或 `mpd` 进行过滤。你很快就能定位到一个请求，其 URL 类似于 `https://.../video.mpd`。
3. 分析清单文件:

- DASH (`.mpd`): 这是一个 XML 文件，描述了视频的各种信息，包括不同的分辨率、音轨、字幕轨道以及加密信息。
- HLS (`.m3u8`): 这是一个文本文件。主 `m3u8` 文件可能指向多个子 `m3u8` 文件，每个子文件代表一种特定的码率（清晰度），并包含了该码率下所有视频分片（`.ts` 文件）的 URL。

在清单文件中，你会找到一个关键的标签，表明内容是受保护的，例如:

```
<!-- DASH MPD inEncryptInformation -->
<ContentProtection schemeIdUri="urn:uuid:edef8ba9-79d6-4ace-a3c8-27dcd51d21ed"
cenc:default_KID="...value...">
<cenc:pssh>...</cenc:pssh>
</ContentProtection>
```

第 2 步：理解 DRM 工作流程 (Widevine)

Google 的 Widevine 是 Android 平台上最主流的 DRM 方案。它分为三个安全级别 (L1, L2, L3)，其中 L1 安全性最高。

1. App 请求播放: App 从视频清单中解析出 `pssh` 数据。
2. 获取许可证 (License): App 将 `pssh` 数据发送给系统的 `MediaDrm` API，生成一个许可证请求（License Request）。然后，App 将这个请求发送到视频服务提供商的许可证服务器。
3. 服务器验证: 许可证服务器验证请求的合法性（例如，验证用户的 VIP 身份），然后返回一个加密的许可证（Encrypted License）。
4. 解密密钥: App 将加密的许可证提供给 `MediaDrm` API。这一步是关键:

- L1 安全级别: 许可证的处理和内容密钥的解密完全在处理器的可信执行环境（TEE）中进行。Android 操作系统和 App 本身都无法访问到解密后的密钥。视频帧的解密也在 TEE 中完成，然后直接输出到屏幕，不会在 App 的内存中暴露。

- L3 安全级别: 在没有 TEE 支持的设备上，这些操作都在软件层面完成。因此，L3 是理论上最容易被攻击的。

第 3 步：逆向分析与信息获取

由于 L1 的硬件级保护，直接获取内容密钥（Content Key）几乎是不可能的，但在一些 arxiv 论文中，笔者确实找到了在一些特定设备中可以利用的漏洞。因此，分析的重点转向了许可证的获取过程。

目标: 拦截 App 与许可证服务器之间的通信，获取许可证请求和响应。

1. 定位许可证请求代码:

- 搜索 `MediaDrm`，`getKeyRequest`，`provideKeyResponse` 等 `android.media` 包中的 DRM 相关 API。
- 使用 Frida Hook 这些方法，可以打印出 `pssh`、许可证请求和加密的许可证响应。

```
Java.perform(function () {
  var MediaDrm = Java.use("android.media.MediaDrm");

  // Hook getKeyRequest method to capture license requests
  MediaDrm.getKeyRequest.implementation = function (
    scope,
    initData,
    mimeType,
    keyType,
    optionalParameters
  ) {
    console.log("Intercepting getKeyRequest...");
    // initData is the pssh
    console.log("PSSH (initData):", bytesToHex(initData));

    var keyRequest = this.getKeyRequest(
      scope,
      initData,
      mimeType,
      keyType,
      optionalParameters
    );
    // keyRequest is a complex object, needs further parsing
    // ...
    return keyRequest;
  };

  // Hook provideKeyResponse method to capture encrypted license
  MediaDrm.provideKeyResponse.implementation = function (scope, response) {
    console.log("Intercepting provideKeyResponse...");
    // response is the encrypted license obtained from the server
    console.log("Encrypted License (response):", bytesToHex(response));

    return this.provideKeyResponse(scope, response);
  };
});
function bytesToHex(arr) {
  /* ... a function to convert byte array to hex string ... */
}
```

1. CDM (内容解密模块) 分析: Widevine 的 L3 级 CDM 是一个原生库（`.so` 文件），负责处理白盒加密的逻辑。对这个 `.so` 文件进行深入的静态和动态分析，是理论上还原出设备密钥（Device Key）的唯一途径，这也是 CDM Challenge 等比赛的核心。这是一个极其复杂和耗时的过程。

主流平台 DRM 与加密方案实例

国内平台 (某酷、某奇艺、某讯视频、某果 TV)

国内主流视频平台在加密策略上通常采用"自研加密方案 + 标准 DRM"的混合模式。

- 对于拥有全球版权的影视剧（如好莱坞大片），它们会使用行业标准的 Widevine DRM。
- 对于大量的自制剧、综艺等内容，它们更倾向于使用自研的加密方案，其核心是对 HLS 协议进行改造。

通用模式：保护 HLS 密钥的获取过程

1. 视频流: 普遍使用 HLS (`.m3u8`) 协议。
2. 加密算法: `.m3u8` 文件中会声明视频分片（ `.ts` 文件）使用 `AES-128-CBC` 加密。
3. 核心保护: 视频数据本身的加密算法是标准的，但获取解密密钥（Key）的过程是高度定制和保护的。

- `.m3u8` 文件本身不是静态的，而是通过一个需要复杂签名的 API 动态生成的。
- `#EXT-X-KEY` 标签中指向的密钥 URL (`key.key`) 也不是一个能直接访问的地址，访问它同样需要正确的 Cookie、Referer 和加密参数。

1. 逆向关键:

- 定位播放 API: 逆向的重点是找到 App 中负责请求视频播放信息的 API。这个 API 的请求参数通常包含视频 ID、清晰度、以及一个类似我们在上一章分析过的、包含设备指纹和时间戳的 `sign` 或 `token` 。
- 模拟合法请求: 只要能够成功模拟这个 API 的调用，就能获取到一个包含了有效密钥 URL 的 `.m3u8` 文件。拿到密钥后，就可以使用标准的 `AES-128` 算法解密 `.ts` 文件并合并成一个完整的视频。
- 某讯视频的 **`vkey`** : 一个典型的例子是某讯视频，其播放 API 中需要一个至关重要的 `vkey` 参数，这个参数的生成算法就封装在客户端的 SO 库中。

国外平台 (Netflix, 某管, Hulu, HBO Max)

国外主流视频平台，特别是内容提供商，严格且深度地依赖标准化的 DRM 体系。逆向的焦点完全不在于分析视频文件格式或算法，而在于 DRM 许可证的获取流程。

Netflix / Hulu / HBO Max

- DRM 方案: 在 Android 上无一例外地使用 Google Widevine，在苹果设备上使用 FairPlay。
- 安全级别: 对于高清内容（HD, 4K），强制要求设备的 Widevine 安全级别为 L1。这意味着密钥交换和内容解密全程在硬件 TEE 中完成，App 和操作系统均无法触及明文密钥。
- 许可证请求保护: 逆向的唯一着眼点是 App 发起许可证请求的过程。
- 这个请求被多种方式保护，例如 Netflix 使用自研的 MSL (Message Security Layer) 协议对许可证请求本身进行二次封装和加密。
- App 会采集大量设备指纹信息，连同用户的身份凭证一起，用于生成许可证请求。服务端的风控系统会严格校验这些信息，以确保请求来自于一个合法的、未被篡改的官方 App 客户端。
- 逆向结论: 在 L1 保护下，通过逆向 App 来获取视频解密密钥以进行离线下载是几乎不可能的。分析的主要意义在于理解其架构和安全强度。

某管

某管的情况比较特殊，它需要区分对待：

- 付费内容 (某管 Premium / 电影): 与 Netflix 类似，使用标准的 Widevine DRM 进行保护。
- 普通 UGC 内容: 大部分视频没有使用 DRM 加密，但使用了另一种巧妙的保护方式——动态 URL 签名。
- 现象: 使用 `yt-dlp` 等工具下载视频时，会看到它有一个"deciphering signature"的过程。

- 原理: 视频流的 URL 中包含一个 `s` 或 `sig` 参数，这个签名是由一段混淆过的 JavaScript 代码（在 Web 端）或 Native 代码（在 App 端）动态生成的。该算法将视频的 `cipher` (一段加密字符串) 和其他参数作为输入，输出一个解密的签名。
- 逆向关键: 逆向的重点不再是 DRM，而是找到并还原那段负责计算签名的 JavaScript/Native 函数。由于代码经过了高度混淆，这依然是一项具有挑战性的工作。

音乐流媒体平台 (某果音乐, 某破天)

音乐流媒体平台同样采用 DRM 保护其内容，但由于音频文件体积较小、交互模式不同，其加密方案与视频平台有所差异。

某果音乐

某果音乐采用 Widevine DRM + HLS 的组合方案保护其音频内容。

认证体系:

- accessToken: 从 Web 端 JavaScript 中提取的 JWT Token，用于 API 认证
- mediaUserToken: 用户身份令牌，存储在 Cookie 中，用于访问个人化内容和高品质音源

API 架构:

```
class AppleMusicAPI:
    # 元数据 API - 获取专辑、歌曲、播放列表信息
    METADATA_API = "https://amp-api.music.apple.com/v1/catalog/{storefront}/{type}s/
{id}"

    # 播放信息 API - 获取音频流地址和加密参数
    WEBPLAYBACK_API = "https://play.itunes.apple.com/WebObjects/MZPlay.woa/wa/
webPlayback"

    def get_webplayback(self, adam_id):
        """获取音频播放信息"""
        return self.session.post(
            self.WEBPLAYBACK_API,
            json={'salableAdamId': adam_id}
        ).json()["songList"][0]
```

DRM 解密流程:

1. 从 webPlayback 接口获取 HLS 播放列表 URL
2. 解析 `.m3u8` 文件，提取 `#EXT-X-KEY` 中的 PSSH 数据
3. 使用 Widevine CDM 构造 License Challenge
4. 向 `hls-key-server-url` 发送许可证请求
5. 解析 License 响应，提取 AES 解密密钥
6. 使用密钥解密音频分片

```
def get_decryption_key(self, song_id, pssh):
    """获取音频解密密钥"""
    # 构造 Widevine PSSH 对象
    widevine_pssh = WidevinePsshData()
    widevine_pssh.algorithm = 1
    widevine_pssh.key_ids.append(base64.b64decode(pssh.split(",")[1]))

    # 获取 License Challenge
    pssh_obj = PSSH(widevine_pssh.SerializeToString())
    session = self.cdm.open()
    challenge = base64.b64encode(
        self.cdm.get_license_challenge(session, pssh_obj)
    ).decode()

    # 请求 License
    license_resp = self.session.post(
        self.license_url,
        json={
            "adamId": song_id,
            "challenge": challenge,
            "key-system": "com.widevine.alpha",
            "uri": f"data:;base64,{pssh}",
        }
    ).json()

    # 解析密钥
    self.cdm.parse_license(session, license_resp["license"])
    return next(
        k for k in self.cdm.get_keys(session)
        if k.type == "CONTENT"
    ).key.hex()
```

音频格式: 主要使用 `28:ctrp256` 格式 (256kbps AAC)，通过 HLS 协议分发。

某破天

某破天 采用双轨加密方案，根据音频格式使用不同的加密机制。

认证体系:

- sp_dc Cookie: 用户会话凭证，从浏览器 Cookie 中提取
- TOTP 令牌: 时间动态令牌，用于生成 accessToken (详见 TOTP 技术原理)
- Client Token: 设备认证令牌，包含设备指纹信息

TOTP 认证机制 (关键反爬措施):

```
class MusicTOTP:
    """某破天 使用动态 TOTP 进行 API 认证"""

    def __init__(self):
        # 从远程获取 TOTP 参数 (需要定期更新)
        self.version = self._fetch_param("VERSION")
        self.period = self._fetch_param("PERIOD")
        self.digits = self._fetch_param("DIGITS")
        self.secret = self._derive_secret()

    def generate(self, timestamp_ms):
        """生成 TOTP 令牌"""
        counter = timestamp_ms // 1000 // self.period
        counter_bytes = counter.to_bytes(8, byteorder="big")

        h = hmac.new(self.secret, counter_bytes, hashlib.sha1)
        hmac_result = h.digest()

        offset = hmac_result[-1] & 0x0F
        binary = (
            (hmac_result[offset] & 0x7F) << 24 |
            (hmac_result[offset + 1] & 0xFF) << 16 |
            (hmac_result[offset + 2] & 0xFF) << 8 |
            (hmac_result[offset + 3] & 0xFF)
        )
        return str(binary % (10 ** self.digits)).zfill(self.digits)
```

API 架构:

```
class MusicAPI:
    # 元数据 API
    METADATA_API = "https://api.example.com/v1/{type}/{item_id}"

    # 播放信息 API
    PLAYBACK_API = "https://gue1-spclient.example.com/track-playback/v1/media/{type}:
{id}"

    # 流地址解析 API
    STREAM_API = "https://gue1-spclient.example.com/storage-resolve/v2/files/audio/
interactive/11/{file_id}"

    # Widevine 许可证 API (AAC 格式)
    WIDEVINE_LICENSE_API = "https://gue1-spclient.example.com/widevine-license/v1/
{type}/license"

    # PlayPlay 许可证 API (Vorbis 格式)
    PLAYPLAY_LICENSE_API = "https://gew4-spclient.example.com/playplay/v1/key/
{file_id}"
```

双轨加密方案:

格式	加密方式	品质	密钥获取
OGG Vorbis	PlayPlay (AES-CTR)	96/160/320 kbps	PlayPlay API
AAC (M4A)	Widevine DRM	128/256 kbps	Widevine License API

PlayPlay 解密 (Vorbis 格式):

```
def decrypt_playplay(self, decryption_key, encrypted_path, decrypted_path):
    """某破天 自研 PlayPlay 加密使用 AES-CTR 模式"""
    cipher = AES.new(
        decryption_key,
        AES.MODE_CTR,
        nonce=bytes.fromhex("72e067fbddcb****"),  # 固定 Nonce
        initial_value=bytes.fromhex("ebe8bc643f63****"),  # 固定 IV
    )

    with open(encrypted_path, "rb") as f:
        encrypted_data = f.read()

    decrypted_data = cipher.decrypt(encrypted_data)

    # 查找 OGG 文件头
    offset = decrypted_data.find(b"OggS")
    with open(decrypted_path, "wb") as f:
        f.write(decrypted_data[offset:])
```

JA3 指纹检测绕过:

某破天 使用 JA3 指纹检测来识别非官方客户端。绕过方案:

```
from curl_cffi import requests as curl_requests

# 使用 curl_cffi 模拟 Chrome 的 TLS 指纹
session = curl_requests.Session(impersonate="chrome120")
```

无头浏览器保活 (Token 自动刷新):

某破天 的 accessToken 有效期较短，且 TOTP 认证可能被风控拦截。使用无头浏览器可以模拟真实用户行为，自动获取新的 Token:

```
class HeadlessTokenFetcher:
    """使用无头浏览器自动获取 某破天 Token"""

    def __init__(self):
        self.token_file = Path.home() / '.music_token.json'
        self.cookies_file = Path('./cookies.txt')

    def fetch_with_playwright(self):
        """使用 Playwright 无头浏览器获取 Token"""
        from playwright.sync_api import sync_playwright

        with sync_playwright() as p:
            browser = p.chromium.launch(
                headless=True,
                args=[
                    '--no-sandbox',
                    '--disable-blink-features=AutomationControlled'
                ]
            )

            context = browser.new_context(
                user_agent='Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) '
                           'AppleWebKit/537.36 Chrome/142.0.0.0 Safari/537.36'
            )

            # 加载预存的 Cookies（包含 sp_dc）
            if self.cookies_file.exists():
                cookies = self._load_cookies()
                context.add_cookies(cookies)

            page = context.new_page()
            token_data = {}

            # 拦截网络响应，捕获 Token
            def handle_response(response):
                nonlocal token_data
                if '/api/token' in response.url and 'reason=init' in response.url:
                    data = response.json()
                    if 'accessToken' in data:
                        token_data = data

            page.on('response', handle_response)

            # 访问 某破天 触发 Token 请求
            page.goto('https://open.example.com', wait_until='networkidle')
            page.wait_for_timeout(3000)

            browser.close()

            if token_data:
                self._save_token(token_data)
```

```
                return True
            return False
```

保活策略:

1. 定时任务每 30-50 分钟刷新 Token (有效期约 1 小时)
2. 在 License 请求失败 (403) 时自动触发刷新
3. 使用 Cookies 而非账号密码，避免登录风控
4. 模拟真实浏览器指纹，绕过自动化检测

逆向要点:

1. TOTP 参数需要动态获取，某破天 会定期更新
2. 高品质音源 (320kbps Vorbis, 256kbps AAC) 需要 Premium 账户
3. PlayPlay 的 Nonce 和 IV 是固定的，但密钥是动态获取的
4. Client Token 包含设备指纹，用于风控检测
5. 建议使用无头浏览器保活方案，比纯 API 方式更稳定

视频平台 API 签名实战

以下是基于 yt-dlp 项目的真实实现分析，展示了如何逆向还原各平台的视频获取逻辑。

B 某站 WBI 签名机制

B 某站使用 WBI (Web 接口签名) 机制保护其 API 接口。

WBI 密钥获取与签名

```
class BiliBaseIE:
    _WBI_KEY_CACHE_TIMEOUT = 30  # 密钥缓存 30 秒

    def _get_wbi_key(self, video_id):
        """从 nav 接口获取 WBI 签名密钥"""
        if time.time() < self._wbi_key_cache.get('ts', 0) +
self._WBI_KEY_CACHE_TIMEOUT:
            return self._wbi_key_cache['key']

        # 获取 img_url 和 sub_url 中的文件名
        session_data = self._download_json(
            'https://api.example.com/x/web-interface/nav', video_id,
            note='Downloading wbi sign')

        lookup = ''.join(traverse_obj(session_data, (
            'data', 'wbi_img', ('img_url', 'sub_url'),
            {lambda x: x.rpartition('/')[2].partition('.')[0]})))

        # getMixinKey() 的置换表 — 从 B某站 前端 JS 逆向得到
        mixin_key_enc_tab = [
            46, 47, 18, 2, 53, 8, 23, 32, 15, 50, 10, 31, 58, 3, 45, 35,
            27, 43, 5, 49, 33, 9, 42, 19, 29, 28, 14, 39, 12, 38, 41, 13,
            37, 48, 7, 16, 24, 55, 40, 61, 26, 17, 0, 1, 60, 51, 30, 4,
            22, 25, 54, 21, 56, 59, 6, 63, 57, 62, 11, 36, 20, 34, 44, 52,
        ]

        # 通过置换表生成最终密钥
        self._wbi_key_cache.update({
            'key': ''.join(lookup[i] for i in mixin_key_enc_tab)[:32],
            'ts': time.time(),
        })
        return self._wbi_key_cache['key']

    def _sign_wbi(self, params, video_id):
        """对请求参数进行 WBI 签名"""
        params['wts'] = round(time.time())
        # 过滤特殊字符
        params = {
            k: ''.join(filter(lambda char: char not in "!'()*", str(v)))
            for k, v in sorted(params.items())
        }
        query = urllib.parse.urlencode(params)
        # 计算 w_rid = md5(query + wbi_key)
        params['w_rid'] = hashlib.md5(
            f'{query}{self._get_wbi_key(video_id)}'.encode()
        ).hexdigest()
        return params
```

视频格式提取

```
def extract_formats(self, play_info):
    """从 playurl 接口提取视频格式"""
    formats = []

    # 提取音频轨道 (DASH)
    audios = traverse_obj(play_info, ('dash', (None, 'dolby'), 'audio', ...))
    flac_audio = traverse_obj(play_info, ('dash', 'flac', 'audio'))
    if flac_audio:
        audios.append(flac_audio)

    for audio in audios:
        formats.append({
            'url': traverse_obj(audio, 'baseUrl', 'base_url', 'url'),
            'acodec': traverse_obj(audio, ('codecs', {str.lower})),
            'vcodec': 'none',
            'tbr': float_or_none(audio.get('bandwidth'), scale=1000),
        })

    # 提取视频轨道 (DASH)
    for video in traverse_obj(play_info, ('dash', 'video', ...)):
        formats.append({
            'url': traverse_obj(video, 'baseUrl', 'base_url', 'url'),
            'fps': float_or_none(traverse_obj(video, 'frameRate', 'frame_rate')),
            'width': int_or_none(video.get('width')),
            'height': int_or_none(video.get('height')),
            'vcodec': video.get('codecs'),
            'acodec': 'none',
            'dynamic_range': {126: 'DV', 125: 'HDR10'}.get(video.get('id')),
        })

    return formats
```

某奇艺 SDK 签名算法

某奇艺使用复杂的 SDK 进行请求签名，其核心是多轮 MD5 变换。

SDK 解释器实现

```
class VideoSDK:
    def __init__(self, target, ip, timestamp):
        self.target = target
        self.ip = ip
        self.timestamp = timestamp

    @staticmethod
    def split_sum(data):
        """将十六进制字符串每个字符转为整数求和"""
        return str(sum(int(p, 16) for p in data))

    @staticmethod
    def digit_sum(num):
        """计算数字各位之和"""
        return str(sum(map(int, str(num))))

    def even_odd(self):
        """分离时间戳的奇偶位"""
        even = self.digit_sum(str(self.timestamp)[::2])
        odd = self.digit_sum(str(self.timestamp)[1::2])
        return even, odd

    def mod(self, modulus):
        """对 IP 地址取模并拼接"""
        self.target = hashlib.md5(self.target.encode()).hexdigest()
        chunks = [self.target[i*32:(i+1)*32] for i in range(1)]
        ip = list(map(int, self.ip.split('.')))
        self.target = chunks[0] + ''.join(str(p % modulus) for p in ip)

    def split(self, chunksize):
        """按块大小分割并与 IP 混合"""
        modulus_map = {4: 256, 5: 10, 8: 100}
        self.target = hashlib.md5(self.target.encode()).hexdigest()
        chunks = [self.target[i*chunksize:(i+1)*chunksize]
                  for i in range(32 // chunksize)]
        ip = list(map(int, self.ip.split('.')))
        ret = ''
        for i, chunk in enumerate(chunks):
            ip_part = str(ip[i] % modulus_map[chunksize]) if i < 4 else ''
            ret += (ip_part + chunk) if chunksize == 8 else (chunk + ip_part)
        self.target = ret

    def handle_input16(self):
        """16 字节分割处理"""
        self.target = hashlib.md5(self.target.encode()).hexdigest()
        self.target = (self.split_sum(self.target[:16]) +
                       self.target +
                       self.split_sum(self.target[16:]))

    def date(self, scheme):
        """日期混合 (y/m/d 组合)"""
        self.target = hashlib.md5(self.target.encode()).hexdigest()
```

```
        d = time.localtime(self.timestamp)
        strings = {'y': str(d.tm_year), 'm': f'{d.tm_mon:02d}', 'd':
f'{d.tm_mday:02d}'}
        self.target += ''.join(strings[c] for c in scheme)


class VideoSDKInterpreter:
    """动态解释执行从服务器获取的 SDK 代码"""
    def __init__(self, sdk_code):
        self.sdk_code = sdk_code

    def run(self, target, ip, timestamp):
        # 解码混淆的 JS 代码
        self.sdk_code = decode_packed_codes(self.sdk_code)
        # 提取函数调用序列
        functions = re.findall(r'input=([a-zA-Z0-9]+)\(input', self.sdk_code)

        sdk = VideoSDK(target, ip, timestamp)

        for function in functions:
            if re.match(r'mod\d+', function):
                sdk.mod(int(function[3:]))
            elif re.match(r'date[ymd]{3}', function):
                sdk.date(function[4:])
            elif re.match(r'split\d+', function):
                sdk.split(int(function[5:]))
            # ... 其他函数映射

        return sdk.target
```

登录与密钥获取

```
def get_raw_data(self, tvid, video_id):
    """获取视频播放数据"""
    tm = int(time.time() * 1000)
    key = 'd5fb4bd9d50c4be6948c97edd7254***'  # 硬编码密钥
    sc = hashlib.md5((str(tm) + key + tvid).encode()).hexdigest()

    params = {
        'tvid': tvid,
        'vid': video_id,
        'src': '76f90cbd92f94a2e925d83e8ccd22***',
        'sc': sc,
        't': tm,
    }
    return self._download_json(api_url, video_id, query=params)
```

某讯视频 cKey 加密

某讯视频使用 AES-CBC 加密生成 cKey 参数。

cKey 生成算法

```
from aes import aes_cbc_encrypt_bytes

class TencentBaseIE:
    _APP_VERSION = '3.5.57'
    _PLATFORM = '10901'

    def _get_ckey(self, video_id, url, guid):
        """生成 cKey 加密参数"""
        ua = self.get_param('http_headers')['User-Agent']

        # 构造 payload: vid|timestamp|magic|version|guid|platform|url|ua||Mozilla|...
        payload = (
            f'{video_id}|{int(time.time())}|mg3c3b04ba|{self._APP_VERSION}|'
            f'{guid}|{self._PLATFORM}|{url[:48]}|{ua.lower()[:48]}||Mozilla|'
            f'Netscape|Windows x86_64|00|'
        )

        # AES-CBC 加密
        # Key: Ok\xda\xa3\x9e/\x8c\xb0\x7f^r-\x9e\xde\x**\x**
        # IV:  \x01PJ\xf3V\xe6\x19\xcf.B\xbb\xa6\x**?**\x**
        encrypted = aes_cbc_encrypt_bytes(
            bytes(f'|{sum(map(ord, payload))}|{payload}', 'utf-8'),
            b'Ok\xda\xa3\x9e/\x8c\xb0\x7f^r-\x9e\xde\x**\x**',
            b'\x01PJ\xf3V\xe6\x19\xcf.B\xbb\xa6\x**?**\x**',
            padding_mode='whitespace'
        )
        return encrypted.hex().upper()

    def _get_video_api_response(self, video_url, video_id, series_id, ...):
        """请求视频 API"""
        guid = ''.join(random.choices(string.digits + string.ascii_lowercase, k=16))
        ckey = self._get_ckey(video_id, video_url, guid)

        query = {
            'vid': video_id,
            'cid': series_id,
            'cKey': ckey,
            'encryptVer': '8.1',
            'sphls': '2',        # HLS 格式
            'dtype': '3',
            'defn': video_quality,
            'sphttps': '1',      # 启用 HTTPS
            'hevclv': '28',      # 启用 HEVC
            'drm': '40',         # DRM 标识
            'guid': guid,
            'flowid': ''.join(random.choices(string.ascii_lowercase + string.digits,
k=32)),
        }
        return self._download_json(self._API_URL, video_id, query=query)
```

某酷 CNA 设备标识

某酷使用 CNA (Client Network Address) 作为设备标识。

```
class VideoIE:
    @staticmethod
    def get_ysuid():
        """生成会话 ID"""
        return f'{int(time.time())}{"".join(random.choices(string.ascii_letters,
k=3))}'

    def _real_extract(self, url):
        video_id = self._match_id(url)

        # 设置必要的 Cookie
        self._set_cookie('example.com', '__ysuid', self.get_ysuid())
        self._set_cookie('example.com', 'xreferrer', 'http://www.example.com')

        # 从 mmstat.com 获取 CNA (通过 ETag 头)
        _, urlh = self._download_webpage_handle(
            'https://log.mmstat.com/eg.js', video_id, 'Retrieving cna info')
        cna = urlh.headers['etag'][1:-1]  # 去除双引号

        # 构造 API 请求参数
        params = {
            'vid': video_id,
            'ccode': '0564',
            'client_ip': '192.168.1.1',
            'utid': cna,                    # CNA 作为 utid
            'client_ts': time.time() / 1000,
        }

        data = self._download_json(
            'https://ups.example.com/ups/get.json', video_id,
            query=params, headers={'Referer': url})['data']

        # 提取 m3u8 格式
        formats = [{
            'url': stream['m3u8_url'],
            'format_id': self.get_format_name(stream.get('stream_type')),
            'ext': 'mp4',
            'protocol': 'm3u8_native',
            'width': stream.get('width'),
            'height': stream.get('height'),
        } for stream in data['stream']]

        return {'id': video_id, 'formats': formats, ...}
```

某果 TV tk2 令牌

某果 TV 使用 Base64 编码的设备信息 作为令牌。

```
class MGTVIE:
    def _real_extract(self, url):
        video_id = self._match_id(url)

        # 生成 tk2 令牌: Base64(did=uuid|pno=1030|ver=0.3.0301|clit=timestamp)
        tk2 = base64.urlsafe_b64encode(
            f'did={uuid.uuid4()}|pno=1030|ver=0.3.0301|
clit={int(time.time())}'.encode()
        )[::-1]  # 反转字节序

        # 第一步: 获取 pm2 令牌
        api_data = self._download_json(
            'https://pcweb.api.example.com/player/video', video_id,
            query={'tk2': tk2, 'video_id': video_id, 'type': 'pch5'})['data']

        # 第二步: 使用 pm2 获取流地址
        stream_data = self._download_json(
            'https://pcweb.api.example.com/player/getSource', video_id,
            query={
                'tk2': tk2,
                'pm2': api_data['atc']['pm2'],  # 第一步获取的令牌
                'video_id': video_id,
                'type': 'pch5',
                'src': 'intelmgtv',
            })['data']

        # 提取 HLS 流
        stream_domain = traverse_obj(stream_data, ('stream_domain', ...),
get_all=False)
        formats = []
        for stream in traverse_obj(stream_data, ('stream', lambda _, v: v['url'])):
            format_info = self._download_json(
                urljoin(stream_domain, stream['url']), video_id)
            formats.append({
                'url': format_info['info'],
                'ext': 'mp4',
                'protocol': 'm3u8_native',
            })
        return {'id': video_id, 'formats': formats}
```

某管 Innertube 客户端体系

某管使用 Innertube API 与多种客户端类型进行通信。

客户端配置

```
INNERTUBE_CLIENTS = {
    'web': {
        'INNERTUBE_CONTEXT': {
            'client': {
                'clientName': 'WEB',
                'clientVersion': '2.20250312.04.00',
            },
        },
        'INNERTUBE_CONTEXT_CLIENT_NAME': 1,
        'PO_TOKEN_REQUIRED_CONTEXTS': ['gvs'],  # 需要 PoToken
        'SUPPORTS_COOKIES': True,
    },
    'android': {
        'INNERTUBE_CONTEXT': {
            'client': {
                'clientName': 'ANDROID',
                'clientVersion': '20.10.38',
                'androidSdkVersion': 30,
                'userAgent': 'com.google.android.youtube/20.10.38 (Linux; U; Android
11) gzip',
                'osName': 'Android',
                'osVersion': '11',
            },
        },
        'INNERTUBE_CONTEXT_CLIENT_NAME': 3,
        'REQUIRE_JS_PLAYER': False,
    },
    'ios': {
        'INNERTUBE_CONTEXT': {
            'client': {
                'clientName': 'IOS',
                'clientVersion': '20.10.4',
                'deviceMake': 'Apple',
                'deviceModel': 'iPhone16,2',
                'userAgent': 'com.google.ios.youtube/20.10.4 (iPhone16,2; U; CPU iOS
18_3_2 like Mac OS X;)',
            },
        },
        'INNERTUBE_CONTEXT_CLIENT_NAME': 5,
    },
    'tv': {
        'INNERTUBE_CONTEXT': {
            'client': {
                'clientName': 'TVHTML5',
                'clientVersion': '7.20250312.16.00',
                'userAgent': 'Mozilla/5.0 (ChromiumStylePlatform) Cobalt/Version',
            },
        },
        'INNERTUBE_CONTEXT_CLIENT_NAME': 7,
    },
}
```

签名解密机制

某管对视频 URL 使用 动态 JavaScript 签名 保护:

```
from jsinterp import JSInterpreter

class VideoTubeIE:
    _PLAYER_INFO_RE = (
        r'/s/player/(?P<id>[a-zA-Z0-9_-]{8,})/(?:tv-)?player',
        r'/(?P<id>[a-zA-Z0-9_-]{8,})/player.*?/base\.js$',
    )

    def _decrypt_signature(self, s, video_id, player_url):
        """
    解密签名的核心流程:
        1. 下载并缓存 player.js
        2. 使用 JSInterpreter 解析混淆的 JS
        3. 找到签名解密函数并执行
        """
        # 获取 player.js 代码
        player_code = self._download_webpage(player_url, video_id)

        # 使用 JS 解释器解析并执行解密函数
        jsi = JSInterpreter(player_code)

        # 在 player.js 中搜索解密函数入口
        # 函数名是动态混淆的，需要通过特征匹配
        func_name = self._search_regex(
            r'\.get\("n"\)\)&&\(b=([a-zA-Z0-9$]+)(?:\[\d+\])?\([a-zA-Z0-9]\)',
            player_code, 'Initial JS player n function name')

        decrypted = jsi.call_function(func_name, s)
        return decrypted
```

视频平台逆向要点对比

平台	签名机制	加密方式	设备标识	难度
B 某站	WBI (md5 + 置换表)	无	SESSDATA Cookie	中
某奇艺	SDK (多轮 md5)	RSA 登录	IP + 时间戳	高
某讯视频	cKey (AES-CBC)	DRM 可选	GUID	高
某酷	CNA (ETag)	无	utid/ysuid	低
某果 TV	tk2 (Base64)	无	UUID	低
某管	Innertube + JS 签名	DRM 可选	PoToken	高
某果音乐	JWT + mediaUserToken	Widevine (HLS)	设备证书	高
某破天	TOTP + ClientToken	Widevine/ PlayPlay	sp_dc + JA3	高

通用逆向策略

1. 网络层分析

```
# 抓包分析要点
1. 识别视频清单接口 (*.m3u8, *.mpd, getSource, playurl 等)
2. 分析请求头中的签名参数 (sign, ckey, token 等)
3. 追踪 Cookie 和 Session 机制
4. 识别设备指纹参数 (guid, utid, deviceId 等)
```

2. 前端 JS 逆向

```
# 常见混淆手段及应对
1. 变量名混淆 → 根据上下文推断功能
2. 字符串加密 → 找到解密函数，动态执行
3. 控制流平坦化 → 使用 AST 还原
4. 代码压缩 → 使用 beautifier 格式化
```

3. 设备模拟

```
# 模拟客户端请求
headers = {
    'User-Agent': 'com.example.app/1.0.0 (Linux; Android 11)',
    'X-Client-Info': json.dumps({
        'platform': 'android',
        'version': '1.0.0',
        'device_id': generate_device_id(),
    })
}
```

总结

视频 App 的 DRM 逆向是一场与硬件和复杂密码学协议的艰苦斗争。与音乐 App 不同，其核心目标通常不是开发一个"下载器"，而是理解其安全体系的强度和弱点。

- 对于普通分析，重点是拦截和理解信令（清单文件、许可证请求/响应）。
- 对于高级研究，核心是攻击 L3 的 CDM 实现，但这需要极高的逆向工程和密码学知识。

这个领域的攻防水平代表了整个行业安全对抗的顶峰。

通过分析 yt-dlp 项目的实现，我们可以看到：

1. 签名算法多样性: 从简单的 MD5 到复杂的多轮变换，各平台都有独特的保护机制
2. 客户端模拟的重要性: 正确的 User-Agent 和设备标识是成功请求的关键
3. 动态代码执行: 许多平台使用动态生成的混淆代码，需要 JS 解释器来处理

4. Token 时效性: 大多数签名包含时间戳，需要实时计算而非缓存

C06: Unity 游戏 (Il2Cpp) 案例

C06: Unity 游戏逆向 (Il2Cpp) 案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 libil2cpp.so 的结构
> - Frida Native Hook - 对 Il2Cpp 函数进行运行时修改

Unity 是目前最流行的移动游戏引擎之一。现代 Unity 游戏通常使用 Il2Cpp 脚本后端，将 C# 代码转换为 C++ 代码并编译为 Native 库（`libil2cpp.so`）。这使得传统的 Java/Smali 逆向方法失效，需要全新的工具和思路。

核心架构与文件结构

一个典型的 Unity Il2Cpp 游戏包含以下关键文件：

1. **`lib/armeabi-v7a/libil2cpp.so`**：这是游戏的核心逻辑库。所有的 C# 脚本（玩家控制、游戏逻辑、网络通信）都被编译到了这里。
2. **`assets/bin/Data/Managed/global-metadata.dat`**：这是 Il2Cpp 的元数据文件。它包含了被转换前的 C# 类名、方法名、字段名以及它们在 `libil2cpp.so` 中的偏移地址。这是逆向的关键钥匙。
3. **`lib/armeabi-v7a/libmain.so`** (或 `libunity.so`)：Unity 引擎的运行时库，通常不需要修改。

逆向流程

第 1 步：元数据提取 (Metadata Dumping)

由于 `libil2cpp.so` 是剥离了符号表 (stripped) 的二进制文件，直接用 IDA 打开只能看到成千上万个无名函数（`sub_xxxx`）。我们需要结合 `global-metadata.dat` 来还原这些函数的真实名称。

- 工具: Il2CppDumper

1. 将 APK 解压，提取出 `libil2cpp.so` 和 `global-metadata.dat`。
2. 运行 `Il2CppDumper.exe <libil2cpp.so> <global-metadata.dat>`。
3. 工具会生成：

- **`dump.cs`**: 还原后的 C# 伪代码，展示了所有类、字段和方法结构。
- **`script.py`**: 用于 IDA Pro 的 Python 脚本，可以自动重命名 IDA 中的函数。
- **`ghidra.py`**: 用于 Ghidra 的脚本。
- **`DummyDll/`**: 生成的空 DLL 文件，可以用 dnSpy 打开查看类结构。

第 2 步：静态分析与定位

使用 `dnSpy` 打开生成的 Dummy DLL，或是直接阅读 `dump.cs`，我们可以像阅读源码一样浏览游戏的类结构。

- 寻找切入点:
- 货币修改: 搜索 `Coin`, `Gem`, `Money`, `Currency` 等关键词。寻找 `AddCoin()`, `GetMoney()`, `UpdateCurrency()` 等方法。
- 无敌/高伤害: 搜索 `PlayerController`, `BattleManager`, `Health`, `Damage`。寻找 `TakeDamage()`, `OnHit()` 等方法。
- 内购破解: 搜索 `IAP`, `Purchase`, `Store`, `Payment`。寻找 `OnPurchaseSuccess()`, `VerifyReceipt()` 等方法。

- 示例: 在 `dump.cs` 中找到如下类:

```
public class PlayerData {
public int coin;
public int gem;
public void AddCoin(int amount); // Address: 0x123456
public void SubCoin(int amount); // Address: 0x123460
}
```

// Il2Cpp Hook Template

var soName = "libil2cpp.so"; var baseAddr = Module.findBaseAddress(soName);

if (baseAddr) { // Target function offset: 0x123456 (AddCoin) var addCoinFunc = baseAddr.add(0x123456);

Interceptor.attach(addCoinFunc, { onEnter: function(args) { // args[0] is 'this' pointer (PlayerData instance) // args[1] is amount (coin count to add)

console.log("[*] AddCoin called"); console.log(" Amount: " + args[1].toInt32());

// Modify parameter: force add 99999 regardless of game logic args[1] = ptr(99999); }, onLeave: function(retval) { console.log("[*] AddCoin finished"); } }); } else { console.log("[-] libil2cpp.so not found!"); }

```
// Use frida-il2cpp-bridge
Il2Cpp.perform(() => {
// 1. Find class
const PlayerData = Il2Cpp.domain.assembly("Assembly-
CSharp").image.class("PlayerData");

// 2. Hook method (auto process offset, no need to calculate manually)
PlayerData.method("SubCoin").implementation = function (amount) {
console.log("[*] SubCoin called with amount: " + amount);
// Prevent coin deduction (do nothing)
return;
};

// 3. Manually call method
// Assume we want to call PlayerData.Instance.AddCoin(1000)
// Need to find static instance or current instance first

// Trace all PlayerData instance creation
Il2Cpp.traceClass(PlayerData);
});
```

- 对抗:
  - Hook 加载函数: 游戏必须在运行时解密 metadata 才能正常运行。Hook `libil2cpp.so` 中加载 metadata 的函数（通常是 `il2cpp::vm::MetadataCache::Register` 或相关初始化函数），Dump 出解密后的内存内容。
- 分析解密逻辑: 逆向 `libil2cpp.so` 的初始化流程，找到解密 metadata 的算法（通常是 XOR 或 AES），写脚本还原。

2. 函数地址混淆 / 动态计算

- 现象: Il2CppDumper 导出的地址与内存中的实际地址不符。
- 对抗:
- 这通常是因为游戏在运行时动态修改了函数指针。
- 使用 Frida 的扫描功能，根据机器码特征（Pattern Scanning）来定位函数，而不是依赖固定的偏移。

3. 反调试与完整性校验

- 现象: 附加 Frida 后游戏崩溃或闪退。
- 对抗:
- 参考 "Anti-Debugging" 章节，隐藏 Frida 特征，Bypass TracerPid 检测。
- 使用 Magisk + Riru + Il2CppDumper (Zygisk 版) 在系统层面进行 Dump，规避应用层检测。

总结

Unity Il2Cpp 逆向的核心在于还原符号。只要拿到了正确的 `global-metadata.dat` 和 `libil2cpp.so` 的映射关系，剩下的工作就变成了标准的逻辑分析和 Native Hook。熟练掌握 Il2CppDumper 和 Frida 是搞定这类游戏的关键。

C07: Flutter 应用案例

C07: Flutter 应用逆向案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - SO/ELF 格式 - 理解 libapp.so 的结构与 Snapshot 格式
> - Frida Native Hook - 对 Dart 编译后的函数进行运行时 Hook

Flutter 是 Google 推出的跨平台 UI 框架，它使用 Dart 语言开发。与传统的 Android App (Java/Kotlin) 或 Unity (C#) 不同，Release 模式下的 Flutter 应用将 Dart 代码预编译 (AOT) 成了原生机器码，打包在 `libapp.so` 中，这使得逆向难度大大增加。

核心架构

1. **`lib/armeabi-v7a/libflutter.so`**: Flutter 引擎，负责渲染、通信和运行时支持。通常不需要逆向，但可以用它来定位关键的内部函数。
2. **`lib/armeabi-v7a/libapp.so`**: 逆向的核心目标。包含了开发者的所有业务逻辑代码（Dart 代码编译后的产物）。
3. Snapshot 格式: `libapp.so` 实际上不仅仅是代码，还包含了一个 Dart VM Snapshot。它没有标准的 ELF 符号表，也没有类似 Java 的类结构元数据。

逆向流程

第 1 步：识别 Flutter 应用

解压 APK，查看 `lib` 目录。如果看到 `libflutter.so` 和 `libapp.so`，那么这肯定是一个 Flutter 应用。

第 2 步：使用 reFlutter 框架

由于 Dart AOT 的特殊性，直接用 IDA 分析 `libapp.so` 非常困难，因为所有函数名都被剥离了，且 Dart 的调用约定和寄存器使用方式与标准 C/C++ 不同。

reFlutter 是目前最强大的 Flutter 逆向辅助工具。它通过修改 Flutter 引擎（`libflutter.so`），在应用运行时利用 Dart VM 的内部机制来 Dump 类、函数和偏移信息。

工具: reFlutter

操作步骤:

1. 重打包: 使用 reFlutter 处理目标 APK。

   ```
   reflutter target.apk
   ```

2. 安装运行: 安装生成的 `release.RE.apk` 到手机。
3. 获取偏移: 应用启动后，reFlutter 会在 Logcat 中输出关键的 Dart 库函数的偏移地址，或者生成一个 `dump.dart` 文件。

第 3 步：流量拦截 (SSL Pinning Bypass)

Flutter 应用不使用系统的代理设置，也不使用 Java 层的 HTTP 客户端 (OkHttp)，而是使用 Dart 自己的 `HttpClient`。因此，传统的抓包设置（Wi-Fi 代理）和 Frida SSL Pinning 脚本通常无效。

reFlutter 的方案:

reFlutter 在重打包时，会自动 Patch `libflutter.so` 中的网络校验逻辑，并强制将流量转发到指定的代理 IP（需要在 reFlutter 配置阶段输入你的 Burp/Charles IP）。这是目前拦截 Flutter 流量最稳定的方法。

Frida 方案 (Hook 验证函数):

如果你不想重打包，可以使用 Frida Hook `libflutter.so` 中负责验证证书的函数。

- 函数名通常包含 `SessionVerifyCertificateChain`。
- 你需要下载对应 Flutter 版本的 `libflutter.so` 符号文件，或者通过特征码搜索该函数。
- Hook 该函数并使其直接返回验证成功。

第 4 步：使用 Doldrums 还原代码

Doldrums 是一个针对 Flutter Android 应用的静态分析工具，试图将 `libapp.so` 反编译回 Dart 伪代码。

工具: Doldrums

注意：由于 Flutter 版本更新极快，Snapshot 格式经常变动，Doldrums 可能不支持最新的 Flutter 版本。

第 5 步：动态分析 (Dart VM Hook)

如果无法静态还原代码，我们需要在运行时进行 Hook。由于没有符号，我们需要结合 reFlutter 导出的偏移地址。

```
// Frida Script Example: Hook Dart Function
// Assume reFlutter tells us the function offset to hook is 0x1a2b3c

var appBase = Module.findBaseAddress("libapp.so");
var targetOffset = 0x1a2b3c;
var targetFunc = appBase.add(targetOffset);

Interceptor.attach(targetFunc, {
  onEnter: function (args) {
    // Dart function parameter passing is special
    // args[0] may not be the first parameter, but a Closure or other VM structure
    // Parameters are usually stored in specific registers or stack locations
    console.log("Dart function called!");

    // Print parameters (try reading first 4 parameters)
    console.log("Arg1: " + args[0]);
    console.log("Arg2: " + args[1]);
    console.log("Arg3: " + args[2]);
  },
  onLeave: function (retval) {
    console.log("Dart function returned: " + retval);
  },
});
```

总结

1. 流量拦截: 必须使用 reFlutter 对 APK 进行 Patch，或者 Hook `libflutter.so` 中的证书验证函数。
2. 代码分析: 静态分析工具（如 Doldrums）兼容性较差，主要依赖 reFlutter 提取偏移 + Frida 动态调试。
3. 核心: 理解 Dart VM 的工作原理（Snapshot 结构、Object Pool、Dispatch Table）是深入逆向 Flutter 的基础。

C08: 恶意软件分析案例

C08: 安卓银行木马分析案例

> 📚 前置知识
>
> 本案例涉及以下核心技术，建议先阅读相关章节：
>
> - AndroidManifest 分析 - 识别恶意权限和入口点
> - Jadx 静态分析 - 反编译 APK 定位关键代码

恶意软件分析是逆向工程的一个重要应用领域。与常规 App 分析不同，分析恶意软件更关注其隐藏行为、持久化机制、窃密手段以及C2 (Command & Control) 通信。

本案例将模拟分析一个典型的 Android 银行木马 (Banking Trojan)。

样本概况

伪装: 该木马伪装成 "Flash Player" 或 "系统更新" 应用。

行为: 诱导用户开启"无障碍服务"，然后利用该权限进行点击劫持、覆盖攻击 (Overlay Attack)，窃取银行 App 的账号密码，并拦截短信验证码。

详细分析流程

第 1 步：静态分析 (Manifest & 权限)

使用 `jadx` 打开 APK，首先查看 `AndroidManifest.xml`。

关键发现:

1. 敏感权限:
    - `android.permission.BIND_ACCESSIBILITY_SERVICE` (无障碍服务 - 核心权限)
    - `android.permission.RECEIVE_SMS` (接收短信)
    - `android.permission.READ_SMS` (读取短信)
    - `android.permission.SYSTEM_ALERT_WINDOW` (悬浮窗 - 用于覆盖攻击)
    - `android.permission.REQUEST_IGNORE_BATTERY_OPTIMIZATIONS` (忽略电池优化 - 保活)
2. 入口点 (Entry Points):
    - 发现一个 `MainActivity`，但代码很简单，只是请求权限。
    - 发现一个 `MyAccessibilityService`，继承自 `AccessibilityService`，这是核心逻辑所在。

第 2 步：分析无障碍服务 (Accessibility Service)

定位到 `MyAccessibilityService` 类，重点分析 `onAccessibilityEvent` 方法。

```
public void onAccessibilityEvent(AccessibilityEvent event) {
    String packageName = event.getPackageName().toString();

    // 1. Auto grant permissions (Self-Protection & Persistence)
    if (packageName.equals("com.android.settings")) {
        // If user opens settings page to uninstall or disable permissions,
        // malware will auto click "Back" or "Cancel"
        performGlobalAction(GLOBAL_ACTION_BACK);
    }

    // 2. Monitor target banking apps
    if (TARGET_BANK_APPS.contains(packageName)) {
        // Detected victim opened banking app
        showOverlay(packageName);
    }

    // 3. Keyboard recording (Keylogging)
    if (event.getEventType() == AccessibilityEvent.TYPE_VIEW_TEXT_CHANGED) {
        String text = event.getText().toString();
        logKey(text);
    }
}
```

第 3 步：覆盖攻击 (Overlay Attack)

窃取: 用户以为自己在登录银行，实际上是在木马的 WebView 中输入了账号密码。木马通过 JavaScript Interface 将输入的数据传回 Java 层，然后上传服务器。

第 4 步：短信拦截 (SMS Stealing)

分析 `SmsReceiver` 类。

```
public class SmsReceiver extends BroadcastReceiver {
    @Override
    public void onReceive(Context context, Intent intent) {
        Object[] pdus = (Object[]) intent.getExtras().get("pdus");
        for (Object pdu : pdus) {
            SmsMessage sms = SmsMessage.createFromPdu((byte[]) pdu);
            String body = sms.getMessageBody();
            String sender = sms.getOriginatingAddress();

            // Upload SMS to C2 Server
            uploadSmsToC2(sender, body);

            // If SMS contains "verification code" or other key words,
            // intercept the broadcast so user cannot see it
            if (is2FACode(body)) {
                abortBroadcast();
            }
        }
    }
}
```

第 5 步：C2 通信分析

1. 定位 C2 地址:
    - 资源解密: 有时 C2 地址被加密存储在 `assets` 下的图片或文本文件中，或者使用 DGA (域名生成算法) 动态生成。
    - Native 分析: 越来越多的木马将 C2 地址和通信逻辑隐藏在 SO 库中。
2. 通信协议:
    - HTTP/HTTPS: 抓包分析 POST 请求。
    - WebSocket: 用于实时控制。
    - Telegram Bot API: 很多新型木马利用 Telegram Bot 作为 C2，因为 Telegram 的流量通常不会被防火墙拦截，且 HTTPS 难以解密。

Frida Hook 示例 (拦截 Telegram API):

```
// Assume malware uses OkHttp
Java.perform(function () {
  var OkHttpClient = Java.use("okhttp3.OkHttpClient");
  OkHttpClient.newCall.implementation = function (request) {
    var url = request.url().toString();
    if (url.includes("api.telegram.org")) {
      console.log("[!] Detected Telegram C2 Communication: " + url);
    }
    return this.newCall(request);
  };
});
```

第 6 步：反分析技术

木马作者也会使用各种手段防止被逆向：

- 模拟器检测: 检查 `Build.FINGERPRINT`，`Build.MODEL` 等。
- 加壳: 使用免费或商业的加固服务。
- 动态加载: 核心 `dex` 文件被加密存储，运行时动态解密加载 (DexClassLoader)。

总结

分析银行木马的关键在于理解其攻击链 (Kill Chain)：

1. Infection: 诱导安装。
2. Persistence: 获取无障碍权限、保活。
3. Stealing: 覆盖攻击窃取凭证、拦截短信。
4. Exfiltration: 将数据回传 C2。

逆向工程师的任务是阻断这一链条，提取 IOC (Indicators of Compromise，如 C2 域名、文件 Hash)，并协助开发查杀策略。

参考资料

基础知识

F01: APK 文件结构

F01: APK 文件结构详解

APK (Android Package) 是 Android 操作系统用于分发和安装移动应用的文件格式。它本质上是一个 ZIP 归档文件，包含了应用的所有代码、资源、证书等。理解其内部结构是逆向工程和安全分析的第一步。

目录

APK 概览

一个标准的 APK 文件，当用解压缩工具打开时，通常会看到以下目录结构：

```
app.apk
├── AndroidManifest.xml   # [必需] 应用清单文件（二进制格式）
├── classes.dex           # [必需] Dalvik/ART 字节码
├── classes2.dex          # [可选] 多 DEX 文件
├── resources.arsc        # [必需] 预编译资源索引表
├── res/                  # [必需] 未编译的资源目录
│   ├── drawable/         # 图片资源
│   ├── layout/           # 布局 XML
│   ├── values/           # 字符串、颜色等值资源
│   └── ...
├── lib/                  # [可选] 原生库目录
│   ├── arm64-v8a/        # 64位 ARM
│   ├── armeabi-v7a/      # 32位 ARM
│   ├── x86/              # 32位 x86
│   └── x86_64/           # 64位 x86
├── assets/               # [可选] 原始资源文件
└── META-INF/             # [必需] 签名信息
    ├── MANIFEST.MF
    ├── CERT.SF
    └── CERT.RSA
```

AndroidManifest.xml

这是 APK 中最重要的文件，它以二进制 XML 格式存储，包含了应用的所有元信息。

核心内容

元素	说明
包名 (Package Name)	应用在系统中的唯一标识符，如 `com.example.app`
组件 (Components)	声明所有四大组件：Activity、Service、BroadcastReceiver、ContentProvider
权限 (Permissions)	声明应用需要申请的权限，如 `android.permission.INTERNET`
入口点 (Entry Point)	指定哪个 Activity 是应用的启动入口（LAUNCHER Activity）
SDK 版本	指定 minSdkVersion、targetSdkVersion

四大组件

```
<!-- Activity: 用户界面 -->
<activity android:name=".MainActivity" android:exported="true">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
        <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
    </intent-filter>
</activity>

<!-- Service: 后台服务 -->
<service android:name=".MyService" android:exported="false" />

<!-- BroadcastReceiver: 广播接收器 -->
<receiver android:name=".MyReceiver">
    <intent-filter>
        <action android:name="android.intent.action.BOOT_COMPLETED" />
    </intent-filter>
</receiver>

<!-- ContentProvider: 内容提供者 -->
<provider android:name=".MyProvider"
          android:authorities="com.example.app.provider"
          android:exported="false" />
```

分析提示: 必须使用 `apktool` 或 `jadx` 等工具将其解码为人类可读的 XML 格式。直接用文本编辑器打开是乱码。

classes.dex

这是由 Java/Kotlin 代码编译、转换后生成的 Dalvik 虚拟机字节码。应用的所有业务逻辑都在这里。

DEX 文件特点

特性	说明
格式	Dalvik Executable，专为移动设备优化
方法数限制	单个 DEX 文件最多 65536 个方法
多 DEX	超过限制时会有 `classes2.dex`，`classes3.dex` 等
字节码	基于寄存器的指令集，比 JVM 字节码更紧凑

分析工具

```
# 使用 jadx 反编译为 Java 代码
jadx -d output/ app.apk

# 使用 baksmali 反汇编为 Smali 代码
baksmali d classes.dex -o smali_output/

# 使用 dex2jar 转换为 JAR
d2j-dex2jar.sh classes.dex
```

分析提示: 使用 `jadx` 可以将其反编译为 Java 代码，使用 `baksmali` 可以反汇编为 Smali 代码。

resources.arsc

这是一个二进制资源索引表。Android 系统使用它来快速查找和匹配资源。

功能说明

- 包含从资源 ID 到具体资源文件（或字符串值）的映射关系
- 支持多语言、多屏幕密度等资源适配
- 当代码中调用 `R.string.app_name` 时，系统通过此文件找到对应的字符串值

资源 ID 格式

```
0x7f010001
│  │  │
│  │  └── 资源项 ID (0001)
│  └───── 资源类型 (01 = attr, 02 = drawable, 03 = layout, 04 = string...)
└──────── 包 ID (7f = 应用本身, 01 = 系统资源)
```

分析提示: `apktool` 可以解码此文件，将其中的字符串等资源还原到 `res/values/strings.xml` 等文件中。

---

res/ 目录

存放未编译的资源文件，这些资源在打包时大多保持原样或只进行简单处理。

目录结构

目录	内容
`res/drawable/`	图片资源（PNG, JPG, WebP, XML drawable）
`res/layout/`	布局 XML 文件
`res/values/`	字符串、颜色、尺寸等值资源
`res/xml/`	任意 XML 配置文件
`res/raw/`	任意原始二进制文件
`res/mipmap/`	应用图标资源
`res/anim/`	动画定义文件

资源限定符

```
res/
├── drawable/           # 默认资源
├── drawable-hdpi/      # 高密度屏幕
├── drawable-xhdpi/     # 超高密度屏幕
├── drawable-xxhdpi/    # 超超高密度屏幕
├── values/             # 默认语言
├── values-zh/          # 中文
└── values-ja/          # 日文
```

分析提示: 布局 XML 文件虽然可读，但它们引用的字符串等资源是以 `@string/app_name` 的形式存在的，需要结合 `resources.arsc` 才能完全理解。

lib/ 目录

存放应用使用的 C/C++ 原生库（`.so` 文件）。为了适配不同的 CPU 架构，它通常包含多个子目录。

架构说明

目录	架构	说明
`arm64-v8a/`	64位 ARM	目前主流 Android 设备
`armeabi-v7a/`	32位 ARM	较老的 ARM 设备
`x86_64/`	64位 x86	模拟器、Intel 设备
`x86/`	32位 x86	模拟器、Intel 设备

常见原生库

```
lib/arm64-v8a/
├── libnative-lib.so      # 应用自定义原生库
├── libflutter.so         # Flutter 引擎
├── libil2cpp.so          # Unity IL2CPP
├── libcrypto.so          # OpenSSL 加密库
└── libsqlcipher.so       # SQLCipher 加密数据库
```

分析提示: 核心的加密、解密、核心算法或游戏引擎常常在这里实现。需要使用 IDA Pro、Ghidra、Binary Ninja 等工具进行逆向分析。

assets/ 目录

这是一个"原封不动"的资源目录。与 `res/raw` 类似，这里的任何文件在打包时都不会被系统处理。

常见用途

类型	示例
配置文件	`config.json`, `settings.xml`
Web 资源	`index.html`, `app.js`, `style.css`
游戏资源	地图数据、关卡配置、精灵图
字体文件	`custom_font.ttf`
数据库	预置的 SQLite 数据库
加密数据	加密的配置或密钥文件

分析提示: 检查此目录是否有敏感的配置文件、密钥或 Web 资源。

META-INF/ 目录

存放应用的签名信息，用于验证 APK 的完整性和来源。

文件说明

文件	说明
`MANIFEST.MF`	包含 APK 中每个文件的名称及其 SHA-256 哈希值
`CERT.SF`	APK 中每个文件的摘要（哈希值）
`CERT.RSA`	包含用于签署 `CERT.SF` 的公钥和证书

签名机制

```
1. 计算 APK 中每个文件的哈希 → 记录在 MANIFEST.MF
                    |
                    ▼
2. 计算 MANIFEST.MF 整个文件的哈希 → 记录在 CERT.SF
                    |
                    ▼
3. 用开发者私钥对 CERT.SF 签名 → 生成 CERT.RSA
```

当系统安装 APK 时，会用 `CERT.RSA` 中的公钥来验证签名，确保文件自签名后未被篡改。

APK 签名方案

版本	说明
v1 (JAR 签名)	传统签名方式，基于 META-INF 目录
v2 (APK 签名块)	Android 7.0+，签名信息存储在 APK 签名块中
v3 (APK 签名块 + 密钥轮换)	Android 9.0+，支持密钥轮换
v4 (增量签名)	Android 11+，支持增量安装

分析提示: 对 APK 进行任何修改（包括重打包）后，都必须用自己的密钥重新签名，否则安装会失败。

APK 分析流程

1. 解包

```
# 推荐：使用 apktool 解包（正确解码 XML 和资源）
apktool d app.apk -o app_decoded/

# 备选：直接解压（不解码二进制 XML）
unzip app.apk -d app_unzipped/
```

2. 静态分析

```
# 使用 jadx-gui 打开，直接浏览反编译的 Java 代码
jadx-gui app.apk

# 命令行批量反编译
jadx -d java_output/ app.apk
```

检查清单:

- 阅读 `AndroidManifest.xml`，了解主要组件、权限和入口点
- 检查 `assets/` 目录，寻找配置文件或敏感数据
- 检查 `lib/` 目录，识别使用的原生库
- 搜索硬编码的密钥、URL、API 端点

3. 动态分析

```
# 安装应用
adb install app.apk

# 使用 Frida 进行 Hook
frida -U -f com.example.app -l hook_script.js

# 使用 objection 快速分析
objection -g com.example.app explore
```

4. 重打包（修改后）

```
# 使用 apktool 重新打包
apktool b app_decoded/ -o app_modified.apk

# 签名
apksigner sign --ks my.keystore app_modified.apk

# 或使用 jarsigner
jarsigner -keystore my.keystore app_modified.apk alias_name

# 对齐优化
zipalign -v 4 app_modified.apk app_aligned.apk
```

总结

文件/目录	分析重点
AndroidManifest.xml	组件、权限、入口点、导出状态
classes.dex	业务逻辑、加密算法、网络请求
lib/*.so	核心算法、加密实现、反调试
assets/	配置文件、密钥、Web 资源
META-INF/	签名信息、证书

掌握 APK 文件结构是 Android 逆向工程的基础。通过系统地分析每个组成部分，可以全面了解应用的功能和实现细节。

F02: Android 四大组件

F02: Android 四大组件

> Android 的应用框架核心由四个基本组件构成。每个组件都是一个独立的实体，系统和应用可以通过它进入你的 App。理解这四个组件的职责和生命周期是进行任何 Android 开发或逆向分析的基础。

1. 活动 (Activity)

- 概念: Activity 是用户界面的单一屏幕。它为用户提供了一个可以进行交互的操作界面。一个 App 通常由多个相互关联的 Activity 组成。
- 核心职责:
  - UI 承载: 负责绘制用户界面、承载 `View` 和 `ViewGroup`。
  - 用户交互: 响应用户的点击、滑动、输入等事件。
  - 生命周期管理: 管理从创建到销毁的整个生命周期，以响应系统状态的变化（如来电、屏幕旋转）。
- 生命周期:

  一个 Activity 具有清晰的生命周期回调方法，这对于逆向分析至关重要，因为核心逻辑（如数据加载、UI 更新）常常在这些方法中被触发。

  - `onCreate()`: Activity 被创建。这是最重要的回调，通常在这里进行布局加载 (`setContentView`)、数据初始化、事件绑定等。
  - `onStart()`: Activity 变得可见，但还不能与用户交互。

- `onResume()`: Activity 到达前台，可以与用户进行交互。这是 Hook UI 相关逻辑的绝佳位置。
- `onPause()`: Activity 即将进入后台，不再是焦点。通常在这里保存未提交的数据。
- `onStop()`: Activity 完全不可见。
- `onDestroy()`: Activity 即将被销毁。
- `onRestart()`: Activity 从停止状态重新启动。

- 逆向切入点:
  - Hook `onCreate()` 或 `onResume()` 是分析一个新页面的标准起点。
  - 通过 `adb shell dumpsys activity top` 可以查看当前位于前台的 Activity 的类名，这是快速定位目标页面的关键命令。

---

2. 服务 (Service)

- 概念: Service 是一个在后台执行长时间运行操作而没有用户界面的组件。即使用户切换到其他应用，服务仍然可以继续工作。
- 核心职责:
  - 后台任务: 执行不需要 UI 的任务，如播放音乐、下载文件、同步数据。
  - 进程间通信 (IPC): 可以作为服务端，为其他 App 提供功能。
- 类型:
  - 启动服务 (Started Service): 通过 `startService()` 启动，一旦启动，服务就可以无限期地在后台运行，直到它自己停止或被系统销毁。
  - 绑定服务 (Bound Service): 通过 `bindService()` 启动。它提供了一个客户端-服务器接口，允许组件（如 Activity）与服务进行交互、发送请求、获取结果。当所有绑定的组件都解绑后，服务就会被销毁。

    - 前台服务 (Foreground Service): 为了防止被系统轻易杀死，Service 可以通过 `startForeground()` 将自己提升为前台服务，此时必须在状态栏显示一个持续的通知（例如音乐播放通知）。

- 逆向切入点:
    - 很多 App 的核心业务逻辑（如消息推送、位置上报、数据同步）都放在 Service 中。
    - Hook Service 的 `onStartCommand()` 或 `onBind()` 方法可以帮助理解其后台行为。

---

3. 广播接收器 (Broadcast Receiver)

- 概念: 广播接收器是一个用于响应系统范围广播通知的组件。许多广播源自系统（例如，屏幕关闭、网络状态改变、电池电量低），但应用也可以发起自定义广播。
- 核心职责:
    - 监听系统事件: 让 App 能够对设备状态的变化做出反应。
    - 应用间通信: 一个 App 可以向其他 App 发送广播，实现简单的消息通知。
- 类型:
    - 静态注册: 在 `AndroidManifest.xml` 中使用 `<receiver>` 标签声明。即使 App 没有运行，当广播事件发生时，系统也会唤醒 App 来处理它。
    - 动态注册: 在代码中通过 `Context.registerReceiver()` 注册。它的生命周期与注册它的组件（如 Activity）相关联。
- 逆向切入点:
    - 分析 `AndroidManifest.xml` 中的静态广播接收器，可以了解 App 关心哪些系统事件。
    - Hook `onReceive()` 方法是捕获和分析广播内容（Intent）的关键。

---

4. 内容提供器 (Content Provider)

- 概念: 内容提供器用于管理一组共享的应用数据。它以一种标准化的接口，将数据暴露给其他应用。数据可以存储在文件系统、SQLite 数据库或任何其他持久化存储位置。
- 核心职责:
  - 数据共享: 提供一个安全、统一的接口，让其他应用可以查询或修改本应用的数据。
  - 数据抽象: 隐藏了底层数据的存储细节。无论数据是存在数据库还是文件中，对外的接口都是一致的。
  - 权限控制: 可以精细地控制其他应用对数据的读写权限。
- 工作方式:
  - 通过一个唯一的 `URI` (Uniform Resource Identifier) 来标识数据。例如 `content://com.example.app.provider/users/10`。
  - 其他应用使用 `ContentResolver` 对象，通过 `query()`, `insert()`, `update()`, `delete()` 等方法与 Content Provider 进行交互。
- 逆向切入点:
  - App 的联系人、短信、媒体库等都是通过 Content Provider 访问的。
  - 分析 `AndroidManifest.xml` 中声明的 `provider`，可以找到 App 对外暴露了哪些数据。
  - 逆向 App 时，可以自己编写一个 App 来调用目标 App 的 Content Provider，从而读取或操纵其内部数据。

---

5. 四大组件对比总结

下表从多个维度对比 Android 四大组件的核心特性，帮助快速理解它们的异同:

基本特性对比

维度	Activity	Service	BroadcastReceiver	ContentProvider
中文名称	活动	服务	广播接收器	内容提供器
核心职责	提供用户交互界面	执行后台长时任务	响应系统/应用广播	管理共享数据访问
是否有 UI	✅ 有界面	❌ 无界面	❌ 无界面	❌ 无界面
运行线程	主线程 (UI 线程)	默认主线程	主线程	Binder 线程池
存活时间	随用户交互变化	可长期后台运行	短暂 (onReceive 约 10s)	随进程存活

生命周期对比

维度	Activity	Service	BroadcastReceiver	ContentProvider
核心回调	onCreate → onStart → onResume → onPause → onStop → onDestroy	onCreate → onStartCommand / onBind → onDestroy	onReceive	onCreate (仅一次)
创建方式	startActivity() / startActivityForResult()	startService() / bindService()	系统/应用发送广播	首次访问时自动创建
销毁条件	用户退出或系统回收	stopSelf() / unbindService() / 系统回收	onReceive() 执行完毕	进程被杀死

通信机制对比

维度	Activity	Service	BroadcastReceiver	ContentProvider
启动/调用方式	Intent (显式/隐式)	Intent (显式/隐式)	Intent (广播)	ContentResolver + URI
数据传递	Intent extras / Bundle	Intent extras / Binder (AIDL)	Intent extras	Cursor / ContentValues
跨进程通信	支持 (IPC)	支持 (Binder/AIDL)	支持 (系统广播)	支持 (ContentResolver)
返回结果	onActivityResult / ActivityResultLauncher	Binder 回调 / Messenger	不支持直接返回	query() 返回 Cursor

注册与声明对比

维度	Activity	Service	BroadcastReceiver	ContentProvider
Manifest 声明	`<activity>`	`<service>`	`<receiver>` (可选)	`<provider>`
动态注册	❌ 不支持	❌ 不支持	✅ registerReceiver()	❌ 不支持
导出控制	android:exported	android:exported	android:exported	android:exported
权限控制	android:permission	android:permission	android:permission	android:readPermis writePermission

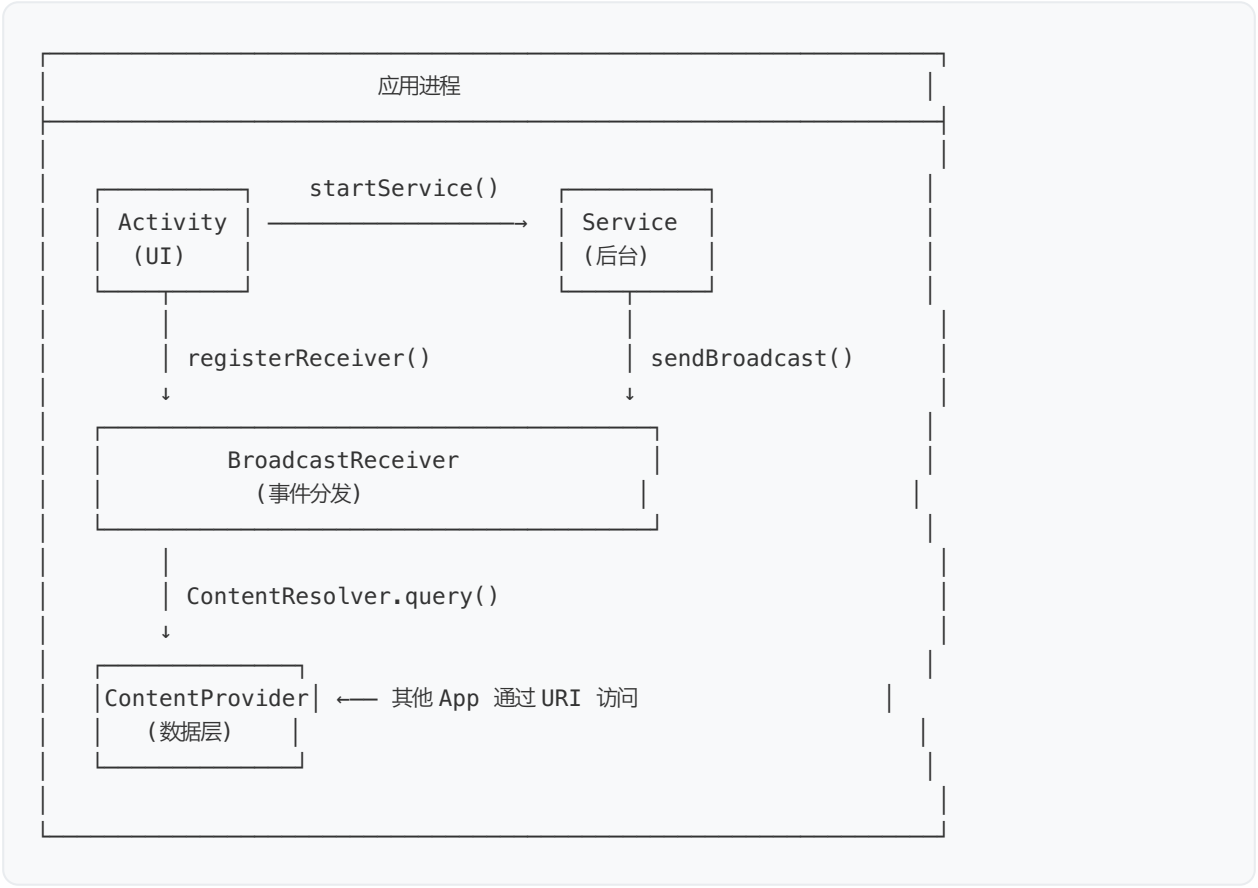
逆向分析对比

维度	Activity	Service	BroadcastReceiver	ContentProvider
定位命令	`adb shell dumpsys activity top`	`adb shell dumpsys activity services`	分析 Manifest	`adb shell content query`
关键 Hook 点	onCreate / onResume	onStartCommand / onBind	onReceive	query / insert / update / delete
常见用途	登录页、主页、支付页	推送、下载、同步	开机启动、网络变化	联系人、短信、文件
数据获取	findViewById / getIntent	getBinder / getExtras	getIntent().getExtras()	Cursor 遍历

使用场景速查

需求场景	推荐组件	原因
显示用户界面	Activity	唯一具有 UI 能力的组件
后台播放音乐	Service (前台服务)	需要长期后台运行，前台服务防止被杀
监听网络状态变化	BroadcastReceiver	系统会广播网络状态变更事件
为其他 App 提供数据	ContentProvider	标准化的数据共享接口
后台数据同步	Service + BroadcastReceiver	Service 执行同步，Receiver 触发时机
定时任务	WorkManager (推荐) / AlarmManager + Receiver	现代 Android 推荐 WorkManager

组件间协作示意



逆向分析优先级建议

在进行 App 逆向分析时，建议按以下优先级顺序切入：

1. Activity - 从用户可见的界面入手，找到目标功能的入口点
2. Service - 分析后台核心业务逻辑，如加密、通信、数据处理
3. BroadcastReceiver - 了解 App 关注的系统事件和自定义事件
4. ContentProvider - 探索 App 暴露的数据接口，可能存在数据泄露风险

F03: AndroidManifest 解析

F03: AndroidManifest.xml 深度解析

`AndroidManifest.xml` 是 Android 应用的"大脑"和"蓝图"。它是一个强制性的配置文件，位于每个 APK 的根目录中。该文件向 Android 构建工具、操作系统和 Google Play 描述了应用的基本信息、组件、权限和硬件要求。对于逆向工程师来说，这是了解应用功能、入口点和安全边界的首要切入点。

核心作用与特性

- 唯一标识: 定义了应用的 Java 包名，这是它在设备和 Google Play 上的唯一标识。
- 组件声明: 声明应用的所有核心组件（四大组件）。任何未在此文件中声明的组件都对系统不可见，也无法运行。
- 权限请求: 列出应用需要访问的受保护部分 API 或系统资源所需的权限。
- 硬件/软件要求: 声明应用运行所需的硬件功能（如摄像头、蓝牙）和最低 Android API 级别。
- 入口点定义: 通过 `intent-filter` 指定哪个 Activity 是应用的启动器。
- 重要提示: 原始的 `AndroidManifest.xml` 是二进制格式的。必须使用 `apktool`, `jadx`, `aapt` 等工具解码后才能阅读。

关键标签 (Tags) 详解

`<manifest>`

根元素。它必须包含 `package` 属性来定义应用的唯一包名。

```
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
package="com.example.myapp">
...
</manifest>
```

- `android:theme`: 应用的全局主题。
- `android:name`: 指定 `Application` 子类的名称，常用于应用初始化。这是 Hook 的绝佳目标。
- `android:debuggable`: （安全关键） `true` 表示应用是可调试的，允许 `adb` 连接和任意代码执行。发布的 Release 版本必须为 `false`。
- `android:allowBackup`: （安全关键） `true` 允许用户通过 `adb backup` 备份应用数据。如果应用数据敏感，应设为 `false`。
- `android:networkSecurityConfig`: （安全关键） 指向网络安全配置文件，用于定义 SSL Pinning、自定义 CA 等高级网络策略。

`<activity>`

声明一个 Activity (UI 界面)。

- `android:name`: Activity 类的名称。`.MyActivity` 是 `package.MyActivity` 的简写。
- `android:exported`: （安全关键） `true` 表示该 Activity 可以被其他应用启动。如果该 Activity 处理敏感数据且无需外部调用，应设为 `false`，否则可能导致组件劫持和数据泄露。对于包含 `LAUNCHER` intent-filter 的 Activity，`exported` 默认为 `true`。

`<service>`

声明一个 Service (后台服务)。

- `android:name`: Service 类的名称。
- `android:exported`: （安全关键） `true` 表示该 Service 可以被其他应用绑定或启动。规则同 Activity。

`<receiver>`

声明一个 BroadcastReceiver (广播接收器)。

- `android:name`: Receiver 类的名称。
- `android:exported`: （安全关键） `true` 表示它可以接收来自系统或其他应用的广播。

`<provider>`

声明一个 ContentProvider (内容提供者)，用于跨应用共享数据。

- `android:name`: Provider 类的名称。
- `android:authorities`: Provider 的唯一标识符，通常是包名加上描述性后缀。
- `android:exported`: （安全关键） `true` 表示其他应用可以访问其数据。如果 `minSdkVersion` 或 `targetSdkVersion` >= 17，默认值为 `false`。不正确的 `exported` 设置可能导致 SQL 注入或文件遍历漏洞。

`<uses-permission>`

请求应用运行所需的权限。这是分析应用行为的关键。

```
<uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
<uses-permission android:name="android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE" />
<uses-permission android:name="android.permission.CAMERA" />
```

1. **确定入口点**:

* 寻找 `MAIN/LAUNCHER` 的 Activity。

* 寻找 `android:name` 属性定义的 `Application` 子类，这是最早执行代码的地方。

2. **识别核心功能**:

* 阅读权限列表 (`<uses-permission>`)，快速了解应用能力。

* 查看声明的 Activities、Services，推测其功能模块。

3. **寻找攻击面**:

* 检查所有组件的 `android:exported="true"` 属性，这些是潜在的攻击入口。

* 分析 `intent-filter`，特别是自定义的 `scheme`，寻找 URL Scheme 漏洞。

* 检查 `android:debuggable="true"`，如果为 `true`，可以直接附加调试器。

* 检查 `android:allowBackup="true"`，尝试 `adb backup` 导出数据。

安全风险与配置

* **组件导出风险**: 错误地将内部组件设置为 `exported="true"` 是最常见的 Android 漏洞之一。

* **Webview 风险**: 检查是否使用了 `WebView`，并确认是否开启了 `setJavaScriptEnabled(true)`，这可能导致远程代码执行。

* **File Provider 路径遍历**: 如果 `ContentProvider` 是 `FileProvider`，不正确的配置可能导致任意文件读取。

* **硬编码密钥**: 虽然不在 Manifest 中，但分析后应在 `res/values/strings.xml` 或代码中寻找硬编码的 API 密钥或 URL。

F04: Android Studio 调试工具

F04: Android Studio 调试工具集

Android Studio 不仅仅是一个代码编辑器，它还集成了一套强大、可视化的调试和分析工具，能够极大地提升开发和逆向分析的效率。熟悉这些工具是每个 Android 工程师的必备技能。

目录

1. 日志猫 (Logcat)

1.1 基本概念

Logcat 是 Android 系统的日志收集工具，Android Studio 将其封装在一个便捷的窗口中，可以实时查看来自系统和所有应用的日志信息。

1.2 核心功能

功能	描述	快捷键
实时日志流	显示来自设备或模拟器的连续日志	-
日志级别过滤	Verbose/Debug/Info/Warn/Error/Assert	下拉菜单
进程过滤	只显示当前调试应用的日志	下拉菜单
关键词搜索	支持正则表达式	`Ctrl+F`
堆栈跟踪点击	点击类名跳转到源码	单击链接
日志导出	保存日志到文件	右键菜单

1.3 高级过滤技巧

```
# 过滤语法示例
tag:MyTag                    # 按 Tag 过滤
level:error                  # 只显示 Error 级别
package:com.example.app      # 按包名过滤
message:exception            # 按消息内容过滤

# 组合过滤
tag:OkHttp & level:debug     # AND 组合
tag:Retrofit | tag:OkHttp    # OR 组合
-tag:System                  # 排除特定 Tag

# 正则表达式
tag~:.*Network.*             # Tag 匹配正则
message~:token=[a-zA-Z0-9]+  # 提取 token 信息
```

1.4 自定义日志格式

```
# 在终端使用 logcat 自定义格式
adb logcat -v threadtime     # 显示线程时间
adb logcat -v long           # 详细格式
adb logcat -v color          # 彩色输出

# 常用组合
adb logcat *:E               # 只显示 Error
adb logcat -s MyTag          # 只显示特定 Tag
adb logcat -b crash          # 查看崩溃日志
adb logcat -c                # 清空日志缓冲区
```

1.5 逆向应用场景

1. 敏感信息泄露检测
    - 很多 App 在开发阶段会留下调试日志
    - 可能包含：加密前的请求参数、明文密钥、服务器响应
2. 工作流程分析

```
# 观察 App 启动流程
adb logcat | grep -E "(onCreate|onResume|Activity)"

# 追踪网络请求
adb logcat | grep -i "http\|request\|response"
```

3. 崩溃分析

```
# 捕获 ANR
adb logcat -b events | grep "am_anr"

# 获取Native 崩溃
adb logcat | grep -A 50 "FATAL EXCEPTION"
```

2. Java/Kotlin 调试器

2.1 基本调试操作

操作	Windows/Linux	macOS	描述
切换断点	`Ctrl+F8`	`Cmd+F8`	在当前行添加/移除断点
步过 (Step Over)	`F8`	`F8`	执行当前行，不进入方法
步入 (Step Into)	`F7`	`F7`	进入当前方法
强制步入	`Alt+Shift+F7`	`Option+Shift+F7`	进入任何方法（包括库方法）
步出 (Step Out)	`Shift+F8`	`Shift+F8`	执行完当前方法并返回
运行到光标	`Alt+F9`	`Option+F9`	运行到光标所在行
恢复程序	`F9`	`Cmd+Option+R`	继续执行到下一个断点
计算表达式	`Alt+F8`	`Option+F8`	在调试时计算任意表达式
查看变量	`Ctrl+Shift+I`	`Cmd+Shift+I`	快速查看变量值

2.2 断点类型详解

2.2.1 行断点 (Line Breakpoint)

最常用的断点类型，程序执行到该行时暂停。

```
// 在这行设置断点
String result = encrypt(data);  // <-- 断点
```

2.2.2 条件断点 (Conditional Breakpoint)

只有满足条件时才暂停:

```
// 右键断点 -> 设置条件
// 条件示例:
userId.equals("12345")
list.size() > 100
response.code() == 401
```

2.2.3 方法断点 (Method Breakpoint)

在方法入口或出口暂停:

```
// 在方法签名行设置断点
public String encrypt(String data) {  // <-- 方法断点
    // 可以选择在进入或退出时暂停
}
```

2.2.4 字段断点 (Field Watchpoint)

当字段被读取或修改时暂停:

```
private String secretKey;  // <-- 字段断点
// 任何读取或修改 secretKey 的代码都会触发
```

2.2.5 异常断点 (Exception Breakpoint)

捕获特定异常:

```
Run -> View Breakpoints -> + -> Java Exception Breakpoints
添加: java.lang.NullPointerException
添加: javax.crypto.BadPaddingException
```

2.3 高级调试技巧

2.3.1 Evaluate Expression (计算表达式)

在断点处可以执行任意代码:

```
// 断点暂停时，按 Alt+F8 打开计算窗口
// 可以执行:
this.getClass().getName()
Arrays.toString(encryptedBytes)
new String(Base64.decode(token, 0))
((OkHttpClient) client).dispatcher().executorService()
```

2.3.2 修改变量值

在调试过程中动态修改变量:

```
1. 在 Variables 面板找到变量
2. 右键 -> Set Value
3. 输入新值

// 应用场景:
// - 绕过条件检查
// - 修改加密参数测试
// - 模拟不同的服务器响应
```

2.3.3 强制返回 (Force Return)

强制方法返回指定值:

```
1. 在方法内断点暂停
2. 右键 -> Force Return
3. 输入返回值

// 应用场景:
// - 绕过 root 检测方法，强制返回 false
// - 跳过耗时操作
```

2.3.4 丢弃帧 (Drop Frame)

回退到方法调用前的状态:

```
1. 在调用栈面板选择帧
2. 右键 -> Drop Frame
3. 程序回到该方法调用前

// 注意：不会撤销已经产生的副作用
```

2.4 附加到运行中的进程

```
Run -> Attach Debugger to Android Process
选择目标进程 -> Attach

# 要求:
# 1. App 必须是 debuggable=true
# 2. 或者设备是 userdebug/eng 版本
# 3. 或者使用 Magisk 模块开启全局可调试
```

2.5 逆向调试技巧

```
// 1. Hook 前的变量观察
// 在关键加密方法前设置断点，观察参数

// 2. 追踪调用栈
// 断点暂停时查看 Call Stack 面板
// 了解方法是从哪里被调用的

// 3. 使用日志断点（不暂停，只打印）
// 右键断点 -> Suspend: 取消勾选
// 设置 Log 表达式: "param=" + param
```

3. 布局检查器 (Layout Inspector)

3.1 基本概念

Layout Inspector 是一个强大的可视化工具，允许你实时检查和调试正在运行的应用的视图层次结构。

3.2 核心功能

功能	描述
3D 视图层次	以 3D 可旋转的视图展示 View 嵌套关系
属性查看	查看任意 View 的所有属性
实时更新	设备上操作 UI 时同步更新
重叠视图定位	发现被遮挡或不可见的视图
Compose 支持	支持 Jetpack Compose UI 检查

3.3 使用步骤

```
1. 运行 App（Debug 模式）
2. Tools -> Layout Inspector
3. 选择进程
4. 等待视图层次加载

# 新版 Android Studio 可以:
View -> Tool Windows -> App Inspection -> Layout Inspector
```

3.4 属性检查详解

```
常用属性:
- id: View 的资源 ID（用于自动化脚本）
- text: 文本内容
- contentDescription: 无障碍描述
- visibility: 可见性状态
- clickable: 是否可点击
- alpha: 透明度
- elevation: 阴影高度
- background: 背景
```

3.5 逆向应用场景

1. 自动化脚本开发

```
# UIAutomator2 示例
# 使用 Layout Inspector 获取的 resource-id
d(resourceId="com.example:id/login_btn").click()
d(className="android.widget.EditText", instance=0).set_text("username")
```

2. 分析自定义 View
   - 查看自定义 View 的属性
   - 理解复杂布局的层次结构
3. 检测反截图机制

```
// 检查是否有 FLAG_SECURE 窗口
// 在 Layout Inspector 中查找
// WindowManager.LayoutParams.FLAG_SECURE = 0x2000
```

4. 分析 WebView
   - 查看 WebView 的 URL
   - 检查 WebView 的 JavaScript 接口

---

4. 应用分析器 (Profiler)

4.1 概述

Profiler 是一套用于实时分析应用性能的工具，主要关注 CPU、内存、网络和电量四个方面。

4.2 CPU Profiler

4.2.1 方法追踪模式

模式	精度	开销	适用场景
Sample Java/Kotlin	低	低	一般性能分析
Trace Java/Kotlin	高	高	精确方法追踪
Sample C/C++	低	低	Native 性能分析
Trace System Calls	高	中	系统调用分析

4.2.2 火焰图分析

```
1. 点击 Record 开始记录
2. 在 App 中执行目标操作
3. 点击 Stop 停止记录
4. 分析结果:
   - Top Down: 从调用者到被调用者
   - Bottom Up: 从被调用者到调用者
   - Flame Chart: 火焰图可视化
   - Call Chart: 调用图表
```

4.2.3 逆向应用

```
// 追踪加密函数的完整调用链
// 1. 设置过滤条件只显示 App 的包名
// 2. 记录加密操作
// 3. 在火焰图中查找:
//    - javax.crypto.*
//    - java.security.*
//    - 自定义加密类
```

4.3 Memory Profiler

4.3.1 内存区域

区域	描述
Java	Java/Kotlin 对象堆
Native	C/C++ 分配的内存
Graphics	图形缓冲区
Stack	线程栈内存
Code	代码和资源内存
Others	其他系统内存

4.3.2 堆转储分析

```
1. 点击 Dump Java Heap
2. 等待堆转储完成
3. 分析内容:
   - Allocations: 对象分配数量
   - Shallow Size: 对象自身大小
   - Retained Size: 对象及其引用的总大小

# 常用过滤:
- 按类名过滤
- 按包名过滤
- 只显示 App 的类
```

4.3.3 逆向应用：内存中寻找敏感数据

```
// 场景：App 解密数据后存储在内存中
// 步骤：
// 1. 在 App 加载数据后进行 Heap Dump
// 2. 搜索可能的类名：
//    - *Key*
//    - *Secret*
//    - *Token*
//    - *Password*
// 3. 查看对象的字段值

// 常见目标类：
// - java.lang.String
// - byte[]
// - char[]
// - SecretKeySpec
// - PrivateKey
```

4.4 Network Profiler

4.4.1 功能概述

```
- 请求时间线可视化
- 请求/响应详情
- 连接状态追踪
- 线程信息

# 注意：
# - HTTPS 内容默认加密显示
# - 需要 HttpURLConnection 或 OkHttp
# - Android 8.0+ 设备效果更好
```

4.4.2 限制与替代

```
Network Profiler 限制:
- 无法解密 HTTPS
- 不支持所有网络库
- 信息不够详细

替代方案:
- Charles/Fiddler 抓包
- mitmproxy
- Frida Hook 网络库
```

4.5 Energy Profiler

```
追踪能耗事件:
- CPU 唤醒
- 网络活动
- GPS 使用
- 传感器使用
- JobScheduler/WorkManager 任务

# 对逆向的帮助:
# 了解 App 后台行为，检测后台数据上报
```

5. 数据库检查器 (Database Inspector)

5.1 基本功能

```
1. 实时数据查看
2. 自定义 SQL 查询
3. 数据修改
4. 支持多个数据库

# 支持:
# - SQLite
# - Room
# - SQLDelight
```

5.2 使用方法

```
-- 查看所有表
SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table';

-- 查看表结构
PRAGMA table_info(users);

-- 查询数据
SELECT * FROM users WHERE username='admin';

-- 修改数据（测试绕过）
UPDATE users SET vip_status=1 WHERE id=1;
UPDATE config SET debug_mode=1;
```

5.3 逆向应用场景

1. 分析数据结构

```
-- 常见敏感表
SELECT * FROM sessions;          -- 会话信息
SELECT * FROM auth_tokens;       -- 认证令牌
SELECT * FROM user_preferences;  -- 用户配置
SELECT * FROM cache;             -- 缓存数据
```

2. 本地 VIP 绕过测试

```
-- 修改会员状态
UPDATE user_info SET is_vip=1, vip_expire_time=9999999999;

-- 解锁功能
UPDATE features SET unlocked=1;
```

3. 分析加密存储

```
-- 很多 App 使用加密数据库
-- 常见实现:
-- - SQLCipher
-- - Realm (加密模式)
-- - 自定义加密

-- 如果数据库被加密，需要先获取密钥
-- 密钥可能在:
-- - SharedPreferences
-- - Native 代码
-- - 服务器下发
```

6. APK 分析器 (APK Analyzer)

6.1 基本概念

APK Analyzer 是 Android Studio 内置的 APK 文件分析工具，可以分析已编译的 APK 文件结构，无需源码。

6.2 打开方式

```
方式一: Build -> Analyze APK -> 选择 APK 文件
方式二: 直接拖拽 APK 文件到 Android Studio
方式三: 双击项目中的 APK 文件
```

6.3 分析内容

6.3.1 文件结构

```
APK 文件结构:
├── AndroidManifest.xml    # 应用配置
├── classes.dex            # Java/Kotlin 代码
├── classes2.dex           # MultiDex
├── resources.arsc         # 编译后的资源
├── res/                   # 资源文件
│   ├── drawable/
│   ├── layout/
│   └── values/
├── lib/                   # Native 库
│   ├── armeabi-v7a/
│   ├── arm64-v8a/
│   ├── x86/
│   └── x86_64/
├── assets/                # 原始资源
└── META-INF/              # 签名信息
```

6.3.2 AndroidManifest.xml 分析

```
<!-- 关键信息 -->
<manifest package="com.example.app">
    <!-- 权限分析 -->
    <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET"/>
    <uses-permission android:name="android.permission.READ_PHONE_STATE"/>

    <!-- 组件分析 -->
    <application android:debuggable="false"
                 android:allowBackup="true"
                 android:name=".MyApplication">

        <!-- Activity 入口 -->
        <activity android:name=".MainActivity"
                  android:exported="true">
            <intent-filter>
                <action android:name="android.intent.action.MAIN"/>
            </intent-filter>
        </activity>

        <!-- Service 分析 -->
        <service android:name=".PushService"/>

        <!-- Provider 分析 -->
        <provider android:name=".FileProvider"
                  android:authorities="com.example.fileprovider"/>
    </application>
</manifest>
```

6.3.3 DEX 文件分析

```
功能:
- 查看类列表
- 查看方法数量
- 分析包结构
- 查看定义的方法和引用的方法

# 64K 方法限制分析
# 查看每个 DEX 的方法数
```

6.3.4 资源分析

```
资源类型:
- drawable: 图片资源
- layout: 布局文件（可查看 XML）
- values: 字符串、颜色、尺寸等
- raw: 原始文件
- xml: 配置文件
```

6.4 APK 比较功能

```
1. 打开第一个 APK
2. 点击 "Compare with previous APK"
3. 选择第二个 APK
4. 查看差异:
   - 文件大小变化
   - 新增/删除的文件
   - 修改的文件

# 应用场景:
# - 分析版本更新变化
# - 对比加固前后差异
# - 追踪功能变更
```

6.5 逆向应用场景

1. 快速了解 APK 结构
    - 识别加固壳（查看 DEX 结构异常）
    - 分析 Native 库架构支持
    - 查看使用的第三方 SDK
2. 提取资源
    - 图片资源
    - 配置文件
    - assets 中的数据文件
3. 分析签名

```
META-INF/CERT.RSA 或 CERT.SF
查看签名者信息
验证 APK 完整性
```

7. 设备文件浏览器 (Device File Explorer)

7.1 基本功能

```
View -> Tool Windows -> Device File Explorer

功能:
- 浏览设备文件系统
- 上传/下载文件
- 删除文件
- 创建目录
- 查看文件权限

# Root 设备可以访问更多目录
```

7.2 重要目录

```
/data/data/<package>/           # App 私有数据（需要 root 或 debuggable）
├── shared_prefs/               # SharedPreferences XML
├── databases/                  # SQLite 数据库
├── cache/                      # 缓存目录
├── files/                      # 内部文件存储
└── lib/                        # Native 库链接

/data/app/<package>/            # APK 安装目录
├── base.apk                    # 主 APK
└── lib/                        # Native 库

/sdcard/Android/data/<package>/ # 外部存储（App 专用）
/sdcard/Android/obb/<package>/  # OBB 扩展文件

/system/                        # 系统目录
/vendor/                        # 厂商定制
```

7.3 逆向应用场景

1. 提取 App 数据

```
# 数据库
/data/data/com.example.app/databases/app.db

# SharedPreferences
/data/data/com.example.app/shared_prefs/config.xml

# 缓存的配置
/data/data/com.example.app/cache/
```

2. 分析运行时生成的文件

```
# 动态加载的 DEX
/data/data/com.example.app/files/*.dex

# 解密后的 SO
/data/data/com.example.app/files/*.so
```

3. 修改配置测试

```
<!-- 修改 SharedPreferences -->
<!-- 下载 -> 编辑 -> 上传 -->
<map>
    <boolean name="is_first_run" value="false"/>
    <boolean name="ad_enabled" value="false"/>
    <boolean name="debug_mode" value="true"/>
</map>
```

8. App Inspection 统一面板

8.1 概述

App Inspection 是 Android Studio Arctic Fox 引入的统一检查面板，整合了多个工具。

```
View -> Tool Windows -> App Inspection

包含:
- Database Inspector
- Background Task Inspector
- Network Inspector (新)
```

8.2 Background Task Inspector

```
监控后台任务:
- WorkManager 任务
- JobScheduler 任务
- AlarmManager 任务

功能:
- 查看任务状态
- 查看任务约束
- 取消任务
- 触发任务立即执行
```

8.3 Network Inspector (新版)

```
比旧版 Network Profiler 更强大:
- 请求/响应详情
- 更好的搜索过滤
- 规则编辑 (拦截修改请求)

# 仍然无法解密 HTTPS
```

9. 模拟器扩展控制

9.1 Extended Controls

```
模拟器 -> ... 按钮 -> Extended Controls

功能类别:
- Location: GPS 模拟
- Cellular: 网络状态模拟
- Battery: 电池状态
- Phone: 来电/短信模拟
- Directional pad: 方向键
- Microphone: 麦克风输入
- Fingerprint: 指纹模拟
- Virtual sensors: 传感器模拟
- Camera: 摄像头模拟
- Snapshots: 快照管理
- Screen record: 屏幕录制
- Google Play: Play 服务
- Settings: 模拟器设置
- Bug report: 生成 bug 报告
```

9.2 GPS 位置模拟

```
用途:
- 测试基于位置的功能
- 绕过地理围栏限制
- 模拟行进轨迹

方法:
1. Extended Controls -> Location
2. 输入经纬度 或 搜索地点
3. 点击 "Set Location"

# GPX/KML 文件支持路径模拟
```

9.3 快照 (Snapshots)

功能:
- 保存模拟器完整状态
- 快速恢复到特定状态
- 加速调试流程

应用场景:
- 保存登录后状态
- 保存特定 App 状态
- 快速复现问题

9.4 指纹模拟

```
1. Extended Controls -> Fingerprint
2. 选择指纹 ID (1-10)
3. 点击 "Touch Sensor"

# 测试生物认证功能
# 无需实际指纹硬件
```

---

10. Smali 调试 (smalidea)

10.1 概述

smalidea 是一个 Android Studio 插件，允许直接调试反编译后的 Smali 代码。

10.2 安装配置

```
1. 下载 smalidea 插件
   https://github.com/JesusFreke/smalidea

2. 安装插件
   Settings -> Plugins -> Install from disk

3. 重启 Android Studio
```

10.3 项目配置

```
1. 使用 apktool 反编译 APK
   apktool d target.apk -o target_smali

2. 在 Android Studio 中打开项目
   File -> Open -> 选择反编译目录

3. 设置为 Smali 项目
   File -> Project Structure
   -> Modules -> + -> Import Module
   -> 选择 smali 目录
```

10.4 调试步骤

```
1. 修改 AndroidManifest.xml
  添加 android:debuggable="true"

2. 重新打包签名
   apktool b target_smali -o target_debug.apk
   jarsigner -keystore debug.keystore target_debug.apk alias

3. 安装到设备
   adb install target_debug.apk

4. 在 Smali 代码中设置断点
   .line 42
   invoke-virtual {v0}, Lcom/example/Test;->encrypt()V  # <-- 断点

5. 附加调试器
   Run -> Attach Debugger to Android Process
```

10.5 Smali 调试技巧

```
# 查看寄存器值
# 断点暂停后，在 Variables 面板查看 v0, v1, p0, p1 等

# 常见寄存器:
# p0 = this (非静态方法)
# p1, p2... = 方法参数
# v0, v1... = 局部变量

# 修改寄存器值
# 右键 -> Set Value
```

11. Native 调试 (LLDB)

11.1 概述

Android Studio 集成了 LLDB 调试器，支持调试 C/C++ Native 代码。

11.2 配置要求

```
1. 安装 NDK
   SDK Manager -> SDK Tools -> NDK

2. 安装 LLDB
   SDK Manager -> SDK Tools -> LLDB

3. App 需要包含调试符号
  或使用带符号的 SO 文件
```

11.3 调试方式

11.3.1 源码调试

```
1. 打开包含Native 代码的项目
2. 选择Native 调试配置
   Run -> Edit Configurations
   -> Debugger -> Debug type: Dual (Java + Native)

3. 在C/C++ 代码中设置断点
4. 点击Debug 运行
```

11.3.2 附加到进程

```
1. Run -> Attach Debugger to Android Process
2. 选择进程
3. Debugger 选择Native Only 或Dual
4. 点击OK
```

11.4 LLDB 命令

```
# 基本命令
(lldb) bt                           # 查看调用栈
(lldb) frame select 2               # 选择栈帧
(lldb) register read                # 查看寄存器
(lldb) memory read 0x12345678       # 读取内存
(lldb) disassemble -a 0x12345678    # 反汇编

# 断点
(lldb) b JNI_OnLoad                 # 函数断点
(lldb) b *0x12345678                # 地址断点
(lldb) br list                      # 列出断点
(lldb) br del 1                     # 删除断点

# 执行控制
(lldb) c                            # 继续执行
(lldb) n                            # 步过
(lldb) s                            # 步入
(lldb) finish                       # 步出

# 表达式
(lldb) p (char*)$x0                 # 打印寄存器值
(lldb) x/10x $sp                    # 查看栈内容
```

11.5 逆向应用场景

```
// 1. Hook JNI 函数
// 在 JNI_OnLoad 设置断点，分析动态注册

// 2. 分析 SO 加载
// 在 dlopen / android_dlopen_ext 设置断点

// 3. 追踪加密算法
// 在 AES / MD5 等函数设置断点

// 4. 分析反调试
// 在 ptrace / /proc/self/status 读取处设置断点
```

12. 终端与 ADB 集成

12.1 内置终端

```
View -> Tool Windows -> Terminal

# 直接在 Android Studio 中使用命令行
# 自动配置 PATH 包含 SDK 工具
```

12.2 常用 ADB 命令

```
# 设备管理
adb devices                          # 列出设备
adb -s <serial> shell                # 连接指定设备

# 应用管理
adb install app.apk                  # 安装应用
adb uninstall com.example.app        # 卸载应用
adb shell pm list packages           # 列出所有包
adb shell pm path com.example.app    # 获取 APK 路径

# 文件传输
adb push local.txt /sdcard/          # 上传文件
adb pull /sdcard/remote.txt ./       # 下载文件

# 调试
adb shell am start -D -n com.example/.MainActivity  # Debug 模式启动
adb forward tcp:8700 jdwp:PID        # 端口转发
adb jdwp                             # 列出可调试进程

# 日志
adb logcat -c                        # 清空日志
adb logcat *:E                       # 只显示 Error
adb bugreport                        # 生成 bug 报告

# Shell
adb shell                            # 进入 shell
adb shell "dumpsys activity"         # 查看 Activity 信息
adb shell "dumpsys package com.example.app"  # 查看包信息
```

12.3 Wireless ADB

```
# 配置无线调试 (Android 11+)
# 开发者选项 -> 无线调试 -> 启用

# 配对
adb pair <ip>:<port>
# 输入配对码

# 连接
adb connect <ip>:<port>

# 旧版本 (需要先 USB 连接)
adb tcpip 5555
adb connect <ip>:5555
```

13. 逆向常用插件

13.1 smalidea

```
功能: Smali 代码语法高亮和调试
地址: https://github.com/JesusFreke/smalidea
```

13.2 Java Decompiler (JD)

```
功能: 反编译 JAR/Class 文件
集成: Android Studio 内置
```

13.3 APK Analyzer (内置)

```
功能: 分析 APK 结构
使用: Build -> Analyze APK
```

13.4 Jadx (推荐配合使用)

```
功能: 更强大的反编译工具
地址: https://github.com/skylot/jadx

# 虽然不是 AS 插件，但可以配合使用
# 支持导出为 Android Studio 项目
```

13.5 其他有用插件

```
1. Android Drawable Importer
   - 快速导入图片资源

2. ADB Idea
   - ADB 命令快捷操作

3. Key Promoter X
   - 学习快捷键

4. Rainbow Brackets
   - 彩色括号匹配
```

14. 调试技巧与最佳实践

14.1 调试 Release 版本

```
方法一: 重新签名为 debuggable
1. 反编译 APK
2. 修改 AndroidManifest.xml: android:debuggable="true"
3. 重新打包签名

方法二: 使用 Magisk 模块
- MagiskHide Props Config
- 全局开启调试

方法三: Frida spawn 注入
# 不需要 debuggable
frida -U -f com.example.app -l script.js
```

14.2 处理反调试

```
// 常见反调试手段:
// 1. 检测调试器连接
Debug.isDebuggerConnected()

// 2. 检测 TracerPid
// /proc/self/status 中 TracerPid != 0

// 3. 时间检测
// 两次操作间隔过长

// 绕过方法:
// - Frida Hook 相关检测函数
// - 修改 Smali 代码跳过检测
// - 使用 Native 层 Hook
```

14.3 多设备调试

```
1. 连接多个设备
2. 在工具栏选择目标设备
3. 分别运行/调试

# 使用 scrcpy 同时控制多设备
scrcpy -s <serial>
```

14.4 远程调试

```
# 设置 JDWP 端口转发
adb forward tcp:8700 jdwp:<pid>

# 或使用 Android Studio 远程调试
Run -> Attach to Process -> 选择远程设备
```

14.5 调试快捷键速查

操作	Windows/Linux	macOS
运行	`Shift+F10`	`Ctrl+R`
调试	`Shift+F9`	`Ctrl+D`
停止	`Ctrl+F2`	`Cmd+F2`
步过	`F8`	`F8`
步入	`F7`	`F7`
步出	`Shift+F8`	`Shift+F8`
恢复	`F9`	`Cmd+Option+R`
切换断点	`Ctrl+F8`	`Cmd+F8`
查看断点	`Ctrl+Shift+F8`	`Cmd+Shift+F8`
计算表达式	`Alt+F8`	`Option+F8`

总结

Android Studio 提供了一套完整的调试和分析工具链。对于逆向工程师来说，掌握这些工具能够:

1. 快速了解 App 结构 - APK Analyzer
2. 实时分析运行状态 - Debugger + Profiler
3. 提取和分析数据 - Device File Explorer + Database Inspector
4. UI 自动化准备 - Layout Inspector

5. 底层代码分析 - LLDB + smalidea

建议根据具体的逆向目标，选择合适的工具组合使用。

F05: DEX 文件格式

F05: DEX 文件相关

DEX (Dalvik Executable) 文件是 Android 操作系统的核心组成部分之一。它们是专门为在内存和处理器速度受限的设备上高效运行而设计的。本指南将深入探讨 DEX 文件的定义、格式、运行原理以及相关工具。

!!! question "思考：理解 DEX 格式的实战价值" 很多初学者会问："DEX 格式这么复杂，我真的需要了解这些底层细节吗？"

考虑这些实际场景：

- 加固对抗：当 App 使用了 DEX 加壳（如梆梆、360），你需要知道 DEX 的魔数、签名字段在哪，才能判断脱壳是否完整
- 动态加载分析：很多 App 会在运行时解密并加载隐藏的 DEX，理解 `Class Defs` 结构能帮你快速定位被隐藏的恶意代码
- Multi-DEX 定位：当你想 Hook 某个类，但不知道它在哪个 `classes.dex` 中时，理解 String IDs 和 Type IDs 能帮你快速搜索
- 方法数优化：理解 65536 方法数限制的根本原因（Method IDs 索引用 16 位），能帮你更好地进行模块化设计

> DEX 格式不是学术知识，而是你破解加固、分析恶意代码的手术刀。

目录

4. 运行原理：DEX 文件如何被执行？
5. Multi-DEX：应对方法数限制
6. DEX 分析与处理工具

定义与角色

DEX 文件是包含了 Android 应用代码的单个可执行文件。在打包（Build）过程中，Java 编译器首先将 `.java` 源码文件编译成标准的 Java 字节码 `.class` 文件。然后，Android SDK 中的 `d8` 工具（旧版本为 `dx`）会将所有的 `.class` 文件（包括项目代码和依赖库）优化并合并成 一个或多个 `classes.dex` 文件。

这个 `classes.dex` 文件最终被打包进 APK（Android Package）中。当用户安装并运行应用时，Android 系统（特别是 ART）会直接执行 DEX 文件中的代码。

核心角色：

- 紧凑性: 将所有类文件合并，并共享字符串和常量，大大减少了文件体积和 I/O 开销。
- 高效性: 采用基于寄存器的指令集，更接近底层硬件，执行效率比基于栈的 JVM 更高。
- 移动优化: 专为内存有限的移动设备设计。

> 本文档参考了 Android 官方关于 DEX 文件格式 的说明。

DEX vs. CLASS

特性	`.class` 文件 (JVM)	`.dex` 文件 (ART/Dalvik)
文件数量	每个源文件对应一个 `.class` 文件	所有 `.class` 文件合并成一个或多个 `.dex` 文件
指令集架构	基于栈 (Stack-based)	基于寄存器 (Register-based)
常量池	每个文件都有自己独立的常量池	所有类共享一个全局的字符串和常量池
冗余信息	大量冗余字符串（如类名、方法名）	字符串和常量去重，通过索引引用，冗余少
平台	任何有 JVM 的地方	Android 平台
转换工具	`javac`	`javac` -> `d8` / `dx`

DEX 文件结构

DEX 文件格式非常紧凑和高效，其结构可以大致分为以下几个部分，并由一个 `header` 来描述整个文件的元数据和偏移量。

!!! tip "逆向技巧：从结构入手快速定位" 面对一个陌生的 DEX 文件，如何快速找到你感兴趣的代码?

自顶向下的分析策略:

1. 看 Header：检查魔数确认文件完整性，查看 `class_defs_size` 了解有多少个类

2. 搜 String IDs：用 `dexdump` 或 `strings` 搜索关键字符串（如 "encrypt", "http://"），定位可疑代码
3. 查 Method IDs：通过方法名索引找到具体实现
4. 跳 Class Defs：直接定位到目标类的完整定义
5. 读 Code Item：最后才深入字节码细节

这种"线索驱动"的方法，比漫无目的地浏览代码高效得多。

A DEX file consists of several main sections:

1. 头部 (Header)

- Header: 文件头，包含魔数（`dex\n035\0`）、校验和、签名，以及指向其他数据结构（如字符串、类定义等）的偏移量和大小。
- String IDs: 字符串标识符列表。包含 DEX 文件中用到的所有字符串（如类名、方法名、变量名、字符串常量），并为每个字符串分配一个唯一的 ID。
- Type IDs: 类型标识符列表。包含代码中用到的所有类型（类、接口、数组、基本类型），并指向 `String IDs` 中的相应字符串。
- Proto IDs: 方法原型标识符列表。定义了方法的返回类型和参数类型。
- Field IDs: 字段标识符列表。定义了类的成员变量，包括其所属类、类型和名称。
- Method IDs: 方法标识符列表。定义了方法，包括其所属类、原型 (Proto ID) 和名称。
- Class Defs: 类定义列表。这是核心部分，包含了每个类的详细信息：访问标志、父类、实现的接口、源码文件名、注解、以及指向其字段和方法的指针。
- Data Section: 数据区，包含了所有类的实际内容，例如：
- Code Item: 实际的方法字节码（Dalvik 指令）。
- Class Data: 类的字段和方法列表的具体数据。
- Map List: 描述整个 DEX 文件数据布局的映射表，`dexdump` 等工具使用它来解析文件。

运行原理

DEX 文件的执行由 Android 运行时 (ART) 负责，在 Android 5.0 之前由 Dalvik 虚拟机 (DVM) 负责。

1. Dalvik 虚拟机 (DVM) - android 4.4 及更早版本

- JIT (Just-In-Time) 编译: 当应用运行时，DVM 会解释执行 DEX 字节码。对于频繁执行的"热点"代码路径，JIT 编译器会将其动态编译成本地机器码，以提高后续执行速度。
- 缺点: 每次启动应用都需要进行解释和 JIT 编译，导致应用启动速度较慢，且运行时消耗更多计算资源。

2. android 运行时 (ART) - Android 5.0 及更高版本

- AOT (Ahead-Of-Time) 编译: 在应用安装时，ART 会使用 `dex2oat` 工具将 DEX 文件中的字节码预编译成设备原生的机器码，并保存为 OAT (Optimized Android file format) 文件。
- 优点:
- 启动速度快: 应用直接执行预编译的本地代码，无需实时编译，大大加快了启动速度。
- 性能更高: AOT 可以进行更深度的优化，性能通常优于 JIT。
- 更省电: 减少了运行时的 CPU 计算负担。
- AOT + JIT 混合模式 (Android 7.0+):
- 为了平衡安装速度/空间占用和性能，ART 引入了混合模式。
- 安装时: 不进行完全 AOT 编译，或只编译部分关键代码。
- 首次运行: 解释执行，并使用 JIT 编译热点代码，同时收集分析信息 (Profile)。
- 设备空闲时: 当设备充电且空闲时，系统会根据收集到的分析信息，对常用代码进行 AOT 编译，实现最佳性能。

Multi-DEX

单个 DEX 文件有一个方法引用数上限（65,536 个），当应用（包括其依赖库）的方法总数超过这个限制时，编译会失败。

为了解决这个问题，Android 引入了 Multi-DEX 机制。打包工具会将应用代码分割到多个 DEX 文件中，例如 `classes.dex`，`classes2.dex`，`classes3.dex` 等。主 `classes.dex` 文件会优先加载，然后应用代码会负责加载其余的 DEX 文件。

> 从 Android 5.0 (API 21) 开始，ART 原生支持加载多个 DEX 文件，无需额外的库。对于更早的版本，则需要使用官方的 `multidex-support-library`。

DEX 分析与处理工具

工具	描述
d8 / dx	Google 官方工具，用于将 `.class` 文件转换为 `.dex` 文件。`d8` 是新一代的转换器。
dexdump	位于 Android SDK `build-tools` 中，用于打印 DEX 文件的详细信息，包括头信息、类、方法和字节码。
baksmali	将 `.dex` 文件反汇编成 `.smali` 文件。Smali 是一种人类可读的 Dalvik 字节码表示形式。
smali	将 `.smali` 文件重新汇编成 `.dex` 文件。常用于修改应用逻辑后重新打包。
Jadx	非常强大的反编译工具，可以直接将 APK/DEX 文件反编译成可读的 Java 代码，并提供图形化界面。
Ghidra / IDA Pro	高级逆向工程工具，支持对 DEX 文件和原生库进行深度静态和动态分析。

DEX 文件解析实战

本节通过代码示例，深入讲解如何解析 DEX 文件的各个部分。

DEX Header 详细结构

DEX 文件头共 112 字节（0x70），包含文件的元数据和各区域的偏移量：

```
偏移量   大小   字段名          描述
──────────────────────────────────────────────────────────
0x00     8      magic           魔数: "dex\n035\0" 或 "dex\n039\0"
0x08     4      checksum        Adler32 校验和（从 0x0C 开始计算）
0x0C     20     signature       SHA-1 签名（从 0x20 开始计算）
0x20     4      file_size       DEX 文件总大小
0x24     4      header_size     头部大小，固定为 0x70 (112)
0x28     4      endian_tag      字节序标记: 0x12345678 (小端)
0x2C     4      link_size       链接段大小
0x30     4      link_off        链接段偏移
0x34     4      map_off         Map 段偏移
0x38     4      string_ids_size 字符串 ID 数量
0x3C     4      string_ids_off  字符串 ID 表偏移
0x40     4      type_ids_size   类型 ID 数量
0x44     4      type_ids_off    类型 ID 表偏移
0x48     4      proto_ids_size  原型 ID 数量
0x4C     4      proto_ids_off   原型 ID 表偏移
0x50     4      field_ids_size  字段 ID 数量
0x54     4      field_ids_off   字段 ID 表偏移
0x58     4      method_ids_size 方法 ID 数量
0x5C     4      method_ids_off  方法 ID 表偏移
0x60     4      class_defs_size 类定义数量
0x64     4      class_defs_off  类定义表偏移
0x68     4      data_size       数据段大小
0x6C     4      data_off        数据段偏移
```

Python DEX 解析器

以下是一个完整的 Python DEX 解析器实现：

```
#!/usr/bin/env python3
"""
DEX 文件解析器 - 用于分析 Android DEX 文件结构
"""

import struct
import hashlib
import zlib
from dataclasses import dataclass
from typing import List, Optional
from pathlib import Path


@dataclass
class DexHeader:
    """DEX 文件头结构"""
    magic: bytes
    checksum: int
    signature: bytes
    file_size: int
    header_size: int
    endian_tag: int
    link_size: int
    link_off: int
    map_off: int
    string_ids_size: int
    string_ids_off: int
    type_ids_size: int
    type_ids_off: int
    proto_ids_size: int
    proto_ids_off: int
    field_ids_size: int
    field_ids_off: int
    method_ids_size: int
    method_ids_off: int
    class_defs_size: int
    class_defs_off: int
    data_size: int
    data_off: int


@dataclass
class ClassDef:
    """类定义结构"""
    class_idx: int
    access_flags: int
    superclass_idx: int
    interfaces_off: int
    source_file_idx: int
    annotations_off: int
    class_data_off: int
    static_values_off: int
```

```
@dataclass
class MethodId:
    """方法 ID 结构"""
    class_idx: int
    proto_idx: int
    name_idx: int


class DexParser:
    """DEX 文件解析器"""

    # 访问标志常量
    ACC_PUBLIC = 0x0001
    ACC_PRIVATE = 0x0002
    ACC_PROTECTED = 0x0004
    ACC_STATIC = 0x0008
    ACC_FINAL = 0x0010
    ACC_SYNCHRONIZED = 0x0020
    ACC_VOLATILE = 0x0040
    ACC_BRIDGE = 0x0040
    ACC_TRANSIENT = 0x0080
    ACC_VARARGS = 0x0080
    ACC_NATIVE = 0x0100
    ACC_INTERFACE = 0x0200
    ACC_ABSTRACT = 0x0400
    ACC_STRICT = 0x0800
    ACC_SYNTHETIC = 0x1000
    ACC_ANNOTATION = 0x2000
    ACC_ENUM = 0x4000
    ACC_CONSTRUCTOR = 0x10000
    ACC_DECLARED_SYNCHRONIZED = 0x20000

    def __init__(self, dex_path: str):
        self.dex_path = Path(dex_path)
        with open(dex_path, 'rb') as f:
            self.data = f.read()
        self.header: Optional[DexHeader] = None
        self.strings: List[str] = []
        self.types: List[str] = []
        self.class_defs: List[ClassDef] = []
        self.method_ids: List[MethodId] = []

    def parse(self) -> bool:
        """解析 DEX 文件"""
        if not self._parse_header():
            return False
        self._parse_strings()
        self._parse_types()
        self._parse_method_ids()
        self._parse_class_defs()
        return True
```

```
    def _parse_header(self) -> bool:
        """解析 DEX 头部"""
        if len(self.data) < 112:
            print("文件太小，不是有效的 DEX 文件")
            return False

        # 检查魔数
        magic = self.data[0:8]
        if not magic.startswith(b'dex\n'):
            print(f"无效的魔数: {magic}")
            return False

        # 解析头部各字段
        self.header = DexHeader(
            magic=magic,
            checksum=struct.unpack('<I', self.data[8:12])[0],
            signature=self.data[12:32],
            file_size=struct.unpack('<I', self.data[32:36])[0],
            header_size=struct.unpack('<I', self.data[36:40])[0],
            endian_tag=struct.unpack('<I', self.data[40:44])[0],
            link_size=struct.unpack('<I', self.data[44:48])[0],
            link_off=struct.unpack('<I', self.data[48:52])[0],
            map_off=struct.unpack('<I', self.data[52:56])[0],
            string_ids_size=struct.unpack('<I', self.data[56:60])[0],
            string_ids_off=struct.unpack('<I', self.data[60:64])[0],
            type_ids_size=struct.unpack('<I', self.data[64:68])[0],
            type_ids_off=struct.unpack('<I', self.data[68:72])[0],
            proto_ids_size=struct.unpack('<I', self.data[72:76])[0],
            proto_ids_off=struct.unpack('<I', self.data[76:80])[0],
            field_ids_size=struct.unpack('<I', self.data[80:84])[0],
            field_ids_off=struct.unpack('<I', self.data[84:88])[0],
            method_ids_size=struct.unpack('<I', self.data[88:92])[0],
            method_ids_off=struct.unpack('<I', self.data[92:96])[0],
            class_defs_size=struct.unpack('<I', self.data[96:100])[0],
            class_defs_off=struct.unpack('<I', self.data[100:104])[0],
            data_size=struct.unpack('<I', self.data[104:108])[0],
            data_off=struct.unpack('<I', self.data[108:112])[0],
        )
        return True

    def _read_uleb128(self, offset: int) -> tuple:
        """读取 ULEB128 编码的整数"""
        result = 0
        shift = 0
        size = 0
        while True:
            byte = self.data[offset + size]
            result |= (byte & 0x7f) << shift
            size += 1
            if (byte & 0x80) == 0:
                break
            shift += 7
```

```
        return result, size

    def _parse_strings(self):
        """解析字符串表"""
        if not self.header:
            return

        self.strings = []
        offset = self.header.string_ids_off

        for i in range(self.header.string_ids_size):
            # 读取字符串数据偏移
            string_data_off = struct.unpack('<I', self.data[offset:offset+4])[0]
            offset += 4

            # 读取 ULEB128 编码的字符串长度
            str_len, size = self._read_uleb128(string_data_off)

            # 读取 MUTF-8 编码的字符串
            str_start = string_data_off + size
            str_bytes = self.data[str_start:str_start + str_len]
            try:
                self.strings.append(str_bytes.decode('utf-8', errors='replace'))
            except:
                self.strings.append(str_bytes.hex())

    def _parse_types(self):
        """解析类型表"""
        if not self.header:
            return

        self.types = []
        offset = self.header.type_ids_off

        for i in range(self.header.type_ids_size):
            descriptor_idx = struct.unpack('<I', self.data[offset:offset+4])[0]
            offset += 4
            if descriptor_idx < len(self.strings):
                self.types.append(self.strings[descriptor_idx])
            else:
                self.types.append(f"<invalid:{descriptor_idx}>")

    def _parse_method_ids(self):
        """解析方法 ID 表"""
        if not self.header:
            return

        self.method_ids = []
        offset = self.header.method_ids_off

        for i in range(self.header.method_ids_size):
            class_idx = struct.unpack('<H', self.data[offset:offset+2])[0]
            proto_idx = struct.unpack('<H', self.data[offset+2:offset+4])[0]
```

```
            name_idx = struct.unpack('<I', self.data[offset+4:offset+8])[0]
            offset += 8

            self.method_ids.append(MethodId(class_idx, proto_idx, name_idx))

    def _parse_class_defs(self):
        """解析类定义表"""
        if not self.header:
            return

        self.class_defs = []
        offset = self.header.class_defs_off

        for i in range(self.header.class_defs_size):
            class_def = ClassDef(
                class_idx=struct.unpack('<I', self.data[offset:offset+4])[0],
                access_flags=struct.unpack('<I', self.data[offset+4:offset+8])[0],
                superclass_idx=struct.unpack('<I', self.data[offset+8:offset+12])[0],
                interfaces_off=struct.unpack('<I', self.data[offset+12:offset+16])[0],
                source_file_idx=struct.unpack('<I', self.data[offset+16:offset+20])
[0],
                annotations_off=struct.unpack('<I', self.data[offset+20:offset+24])
[0],
                class_data_off=struct.unpack('<I', self.data[offset+24:offset+28])[0],
                static_values_off=struct.unpack('<I', self.data[offset+28:offset+32])
[0],
            )
            offset += 32
            self.class_defs.append(class_def)

    def get_access_flags_str(self, flags: int) -> str:
        """将访问标志转换为可读字符串"""
        result = []
        if flags & self.ACC_PUBLIC: result.append("public")
        if flags & self.ACC_PRIVATE: result.append("private")
        if flags & self.ACC_PROTECTED: result.append("protected")
        if flags & self.ACC_STATIC: result.append("static")
        if flags & self.ACC_FINAL: result.append("final")
        if flags & self.ACC_ABSTRACT: result.append("abstract")
        if flags & self.ACC_INTERFACE: result.append("interface")
        if flags & self.ACC_NATIVE: result.append("native")
        return " ".join(result)

    def verify_checksum(self) -> bool:
        """验证 Adler32 校验和"""
        if not self.header:
            return False
        calculated = zlib.adler32(self.data[12:]) & 0xffffffff
        return calculated == self.header.checksum

    def verify_signature(self) -> bool:
        """验证 SHA-1 签名"""
        if not self.header:
```

```
            return False
        calculated = hashlib.sha1(self.data[32:]).digest()
        return calculated == self.header.signature

    def print_header(self):
        """打印头部信息"""
        if not self.header:
            print("未解析头部")
            return

        h = self.header
        print("=" * 60)
        print("DEX 文件头信息")
        print("=" * 60)
        print(f"魔数:           {h.magic}")
        print(f"DEX 版本:       {h.magic[4:7].decode()}")
        print(f"校验和:         0x{h.checksum:08X} {'(有效)' if self.verify_checksum()
else '(无效)'}")
        print(f"SHA-1 签名:     {h.signature.hex()}")
        print(f"文件大小:       {h.file_size} bytes ({h.file_size / 1024:.2f} KB)")
        print(f"头部大小:       {h.header_size} bytes")
        print(f"字节序:         {'小端' if h.endian_tag == 0x12345678 else '大端'}")
        print("-" * 60)
        print(f"字符串数量:     {h.string_ids_size}")
        print(f"类型数量:       {h.type_ids_size}")
        print(f"原型数量:       {h.proto_ids_size}")
        print(f"字段数量:       {h.field_ids_size}")
        print(f"方法数量:       {h.method_ids_size}")
        print(f"类定义数量:     {h.class_defs_size}")
        print("=" * 60)

    def print_classes(self, limit: int = 20):
        """打印类列表"""
        print(f"\n前 {limit} 个类:")
        print("-" * 60)
        for i, class_def in enumerate(self.class_defs[:limit]):
            class_name = self.types[class_def.class_idx] if class_def.class_idx <
len(self.types) else "?"
            flags = self.get_access_flags_str(class_def.access_flags)
            print(f"  [{i:4d}] {flags} {class_name}")

    def search_strings(self, keyword: str) -> List[tuple]:
        """搜索包含关键字的字符串"""
        results = []
        keyword_lower = keyword.lower()
        for i, s in enumerate(self.strings):
            if keyword_lower in s.lower():
                results.append((i, s))
        return results

    def find_methods_by_name(self, name: str) -> List[tuple]:
        """按名称搜索方法"""
        results = []
```

```
        for i, method in enumerate(self.method_ids):
            method_name = self.strings[method.name_idx] if method.name_idx <
len(self.strings) else ""
            if name.lower() in method_name.lower():
                class_name = self.types[method.class_idx] if method.class_idx <
len(self.types) else "?"
                results.append((i, class_name, method_name))
        return results


# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    import sys

    if len(sys.argv) < 2:
        print("用法: python dex_parser.py <dex文件路径> [搜索关键字]")
        sys.exit(1)

    parser = DexParser(sys.argv[1])
    if not parser.parse():
        sys.exit(1)

    parser.print_header()
    parser.print_classes()

    # 如果提供了搜索关键字
    if len(sys.argv) >= 3:
        keyword = sys.argv[2]
        print(f"\n搜索字符串: '{keyword}'")
        results = parser.search_strings(keyword)
        for idx, s in results[:20]:
            print(f"  [{idx}] {s[:80]}...")

        print(f"\n搜索方法: '{keyword}'")
        methods = parser.find_methods_by_name(keyword)
        for idx, class_name, method_name in methods[:20]:
            print(f"  [{idx}] {class_name}->{method_name}")
```

使用示例

```
# 基本用法 - 解析 DEX 文件
python dex_parser.py classes.dex

# 搜索包含特定关键字的字符串和方法
python dex_parser.py classes.dex "encrypt"

# 输出示例:
# ============================================================
# DEX 文件头信息
# ============================================================
# 魔数:            b'dex\n035\x00'
# DEX 版本:        035
# 校验和:          0x8A3B2C1D (有效)
# SHA-1 签名:      a1b2c3d4e5f6...
# 文件大小:        2048576 bytes (2000.56 KB)
# 方法数量:        15234
# 类定义数量:      1523
```

Frida 运行时 DEX 分析

在动态分析中，我们经常需要在运行时 dump 或分析 DEX 文件，特别是针对加固应用。

基础 DEX Dump 脚本

```
/**
 * Frida DEX Dump 脚本
 * 用于从内存中提取已加载的 DEX 文件
 */

// DEX 魔数
const DEX_MAGIC = [0x64, 0x65, 0x78, 0x0a];  // "dex\n"

// 在内存中搜索 DEX 文件
function searchDexInMemory() {
    const results = [];

    Process.enumerateRanges('r--').forEach(function(range) {
        try {
            const pattern = '64 65 78 0a 30 33';  // dex\n03
            Memory.scan(range.base, range.size, pattern, {
                onMatch: function(address, size) {
                    console.log('[+] 发现 DEX @ ' + address);
                    results.push(address);
                },
                onError: function(reason) {},
                onComplete: function() {}
            });
        } catch (e) {}
    });

    return results;
}

// 从内存地址 dump DEX 文件
function dumpDex(address, filename) {
    try {
        // 读取 DEX 文件大小（偏移 0x20 处的 4 字节）
        const fileSize = Memory.readU32(address.add(0x20));
        console.log('[*] DEX 大小: ' + fileSize + ' bytes');

        // 读取整个 DEX 文件
        const dexData = Memory.readByteArray(address, fileSize);

        // 写入文件
        const file = new File('/data/local/tmp/' + filename, 'wb');
        file.write(dexData);
        file.close();

        console.log('[+] 已保存: /data/local/tmp/' + filename);
        return true;
    } catch (e) {
        console.log('[-] Dump 失败: ' + e);
        return false;
    }
}
```

```
// Hook ClassLoader.loadClass 监控类加载
function hookClassLoader() {
    Java.perform(function() {
        const ClassLoader = Java.use('java.lang.ClassLoader');

        ClassLoader.loadClass.overload('java.lang.String').implementation =
function(name) {
            console.log('[ClassLoader] 加载类: ' + name);
            return this.loadClass(name);
        };
    });
}

// Hook DexFile 构造函数，捕获动态加载的 DEX
function hookDexFile() {
    Java.perform(function() {
        // Android 8.0+ 使用 DexPathList
        try {
            const DexPathList = Java.use('dalvik.system.DexPathList');
            const makePathElements = DexPathList.makePathElements;

            if (makePathElements) {
                makePathElements.overload(
                    'java.util.List',
                    'java.io.File',
                    'java.util.List'
                ).implementation = function(files, optimizedDirectory,
suppressedExceptions) {
                    console.log('[DexPathList] 加载 DEX 文件:');
                    const iterator = files.iterator();
                    while (iterator.hasNext()) {
                        console.log('  - ' + iterator.next());
                    }
                    return makePathElements.call(this, files, optimizedDirectory,
suppressedExceptions);
                };
            }
        } catch (e) {
            console.log('[-] Hook DexPathList 失败: ' + e);
        }

        // Hook InMemoryDexClassLoader (Android 8.0+)
        try {
            const InMemoryDexClassLoader =
Java.use('dalvik.system.InMemoryDexClassLoader');
            InMemoryDexClassLoader.$init.overload(
                'java.nio.ByteBuffer',
                'java.lang.ClassLoader'
            ).implementation = function(dexBuffer, parent) {
                console.log('[!] 检测到内存 DEX 加载!');
                console.log('    大小: ' + dexBuffer.remaining() + ' bytes');

                // Dump 内存中的 DEX
```

```
                const size = dexBuffer.remaining();
                const dexBytes = new Uint8Array(size);
                for (let i = 0; i < size; i++) {
                    dexBytes[i] = dexBuffer.get(i);
                }

                const timestamp = Date.now();
                const filename = 'inmemory_' + timestamp + '.dex';

                // 使用 Java 写入文件
                const FileOutputStream = Java.use('java.io.FileOutputStream');
                const fos = FileOutputStream.$new('/data/local/tmp/' + filename);
                fos.write(Java.array('byte', Array.from(dexBytes)));
                fos.close();

                console.log('[+] 已 Dump: /data/local/tmp/' + filename);

                return this.$init(dexBuffer, parent);
            };
        } catch (e) {
            console.log('[-] Hook InMemoryDexClassLoader 失败: ' + e);
        }
    });
}

// 列出所有已加载的 DEX 文件
function listLoadedDex() {
    Java.perform(function() {
        Java.enumerateClassLoaders({
            onMatch: function(loader) {
                try {
                    const pathList = loader.pathList.value;
                    if (pathList) {
                        const dexElements = pathList.dexElements.value;
                        console.log('\n[ClassLoader] ' + loader.$className);
                        for (let i = 0; i < dexElements.length; i++) {
                            const element = dexElements[i];
                            const dexFile = element.dexFile.value;
                            if (dexFile) {
                                console.log('  DEX: ' + dexFile.mFileName.value);
                            }
                        }
                    }
                } catch (e) {}
            },
            onComplete: function() {}
        });
    });
}

// 主入口
console.log('[*] DEX 分析脚本已加载');
console.log('[*] 可用命令:');
```

```
console.log('    searchDex() - 搜索内存中的DEX');
console.log('    listLoadedDex() - 列出已加载的DEX');
console.log('    hookDexFile() - Hook DEX 加载');

// 自动执行
Java.perform(function() {
    listLoadedDex();
    hookDexFile();
});
```

高级: 针对加固 App 的 DEX Dump

```
/**
 * 针对主流加固方案的 DEX Dump
 * 支持: 梆梆、360、爱加密、腾讯乐固等
 */

// 通用脱壳点 - Hook openDexFile
function hookOpenDexFile() {
    const artModule = Process.findModuleByName('libart.so');
    if (!artModule) {
        console.log('[-] 未找到 libart.so');
        return;
    }

    // 搜索 OpenDexFilesFromOat 或相关函数
    const symbols = artModule.enumerateSymbols();
    symbols.forEach(function(sym) {
        if (sym.name.indexOf('OpenDexFile') !== -1 &&
            sym.name.indexOf('Oat') === -1) {
            console.log('[*] 发现符号: ' + sym.name + ' @ ' + sym.address);

            Interceptor.attach(sym.address, {
                onEnter: function(args) {
                    console.log('[OpenDexFile] 调用');
                    // args[0] 通常是 DEX 数据指针
                    // args[1] 是大小
                },
                onLeave: function(retval) {
                    console.log('[OpenDexFile] 返回: ' + retval);
                }
            });
        }
    });
}

// Hook mmap, 捕获 DEX 映射
function hookMmap() {
    const mmapPtr = Module.findExportByName('libc.so', 'mmap');

    Interceptor.attach(mmapPtr, {
        onEnter: function(args) {
            this.size = args[1].toInt();
        },
        onLeave: function(retval) {
            if (this.size > 0x1000 && retval.toInt() > 0) {
                try {
                    // 检查是否是 DEX 文件
                    const magic = Memory.readByteArray(retval, 4);
                    const magicArray = new Uint8Array(magic);

                    if (magicArray[0] === 0x64 &&
                        magicArray[1] === 0x65 &&
                        magicArray[2] === 0x78 &&
```

```
                        magicArray[3] === 0x0a) {
                        console.log('[!] mmap 映射了 DEX!');
                        console.log('    地址: ' + retval);
                        console.log('    大小: ' + this.size);

                        // Dump
                        const filename = 'mmap_dex_' + Date.now() + '.dex';
                        const data = Memory.readByteArray(retval, this.size);
                        const file = new File('/data/local/tmp/' + filename, 'wb');
                        file.write(data);
                        file.close();
                        console.log('[+] 已保存: ' + filename);
                    }
                } catch (e) {}
            }
        }
    });
}

// 初始化
console.log('[*] 加固脱壳脚本已加载');
hookOpenDexFile();
hookMmap();
```

实战分析案例

案例 1: 分析 APK 中的敏感方法

```
# 1. 解压 APK
unzip app.apk -d app_extracted

# 2. 使用我们的解析器搜索敏感方法
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "encrypt"
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "decrypt"
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "password"
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "secret"

# 3. 搜索网络相关
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "http"
python dex_parser.py app_extracted/classes.dex "api"
```

案例 2: 验证 DEX 完整性（检测篡改）

```
def check_dex_integrity(dex_path: str) -> dict:
    """检查 DEX 文件完整性"""
    parser = DexParser(dex_path)
    parser.parse()

    result = {
        'path': dex_path,
        'checksum_valid': parser.verify_checksum(),
        'signature_valid': parser.verify_signature(),
        'header': {
            'version': parser.header.magic[4:7].decode() if parser.header else None,
            'file_size': parser.header.file_size if parser.header else 0,
            'method_count': parser.header.method_ids_size if parser.header else 0,
            'class_count': parser.header.class_defs_size if parser.header else 0,
        }
    }

    # 检查异常特征
    warnings = []
    if parser.header:
        if parser.header.method_ids_size > 60000:
            warnings.append('方法数接近上限，可能需要 Multi-DEX')
        if parser.header.link_size > 0:
            warnings.append('包含链接段，可能是非标准 DEX')

    result['warnings'] = warnings
    return result

# 批量检查
import os
for dex_file in os.listdir('app_extracted'):
    if dex_file.endswith('.dex'):
        result = check_dex_integrity(f'app_extracted/{dex_file}')
        print(f"\n{dex_file}:")
        print(f"  校验和: {'通过' if result['checksum_valid'] else '失败'}")
        print(f"  签名: {'通过' if result['signature_valid'] else '失败'}")
        print(f"  类数量: {result['header']['class_count']}")
        print(f"  方法数量: {result['header']['method_count']}")
```

案例 3: 定位加固壳的特征

常见加固厂商的特征字符串:

加固厂商	特征字符串/类名
梆梆加固	`com.secneo.`, `libsecexe.so`, `libDexHelper.so`
360加固	`com.stub.`, `libjiagu.so`, `libprotectClass.so`
爱加密	`com.ijiami.`, `libexec.so`, `libexecmain.so`
腾讯乐固	`com.tencent.bugly`, `libshella`, `libBugly.so`
娜迦加固	`com.nagain.`, `libnaga.so`
通付盾	`com.payegis.`, `libegis.so`

```
# 检测加固类型
def detect_packer(dex_path: str) -> str:
    parser = DexParser(dex_path)
    parser.parse()

    packers = {
        'secneo': '梆梆加固',
        'stub.StubApp': '360加固',
        'ijiami': '爱加密',
        'tencent.StubShell': '腾讯乐固',
        'nagain': '娜迦加固',
        'payegis': '通付盾',
    }

    for keyword, name in packers.items():
        results = parser.search_strings(keyword)
        if results:
            return f"检测到 {name}"

    return "未检测到已知加固"
```

常见问题与技巧

!!! warning "65536 方法数限制" DEX 文件的 Method IDs 使用 16 位索引，最多只能引用 65536 个方法。这就是著名的 "64K 方法数限制"。

解决方案:

- 启用 Multi-DEX（Android 5.0+ 原生支持）
- 使用 ProGuard/R8 移除未使用的代码
- 合理划分模块，减少依赖

!!! tip "快速判断 DEX 版本" ```python # DEX 035 - Android 7.0 及之前 # DEX 037 - Android 8.0 引入默认方法 # DEX 038 - Android 9.0 # DEX 039 - Android 10.0+

```
with open('classes.dex', 'rb') as f:
    magic = f.read(8)
    version = magic[4:7].decode()
    print(f"DEX 版本: {version}")
```

!!! info "修复损坏的 DEX" 如果校验和或签名不匹配，可以重新计算并修复：

```
```python
import hashlib
import zlib

def fix_dex(data: bytes) -> bytes:
    """修复 DEX 文件的校验和和签名"""
    data = bytearray(data)

    # 重新计算 SHA-1 签名（从偏移 0x20 开始）
    sha1 = hashlib.sha1(data[32:]).digest()
    data[12:32] = sha1

    # 重新计算 Adler32 校验和（从偏移 0x0C 开始）
    checksum = zlib.adler32(bytes(data[12:])) & 0xffffffff
    data[8:12] = checksum.to_bytes(4, 'little')

    return bytes(data)
```
```

F06: Smali 语法入门

F06: Smali 语法入门

Smali/Baksmali 是 Dalvik 虚拟机字节码的汇编器/反汇编器。Smali 是对 DEX 格式的一种人类可读的表示，允许我们精确地查看和修改应用的行为。理解 Smali 是进行 Android 应用静态 patching（修改后重打包）的关键。

目录

基本概念

寄存器 (Registers)

Dalvik VM 是基于寄存器的。方法内的局部变量存储在寄存器中。

寄存器类型	说明
`v0`, `v1`, `v2` ...	本地变量寄存器
`p0`, `p1`, `p2` ...	方法参数寄存器

关于 `p0` 的特殊说明：

- 对于非静态方法，`p0` 总是指向 `this`（当前对象实例），参数从 `p1` 开始
- 对于静态方法，参数从 `p0` 开始

示例：一个有两个参数的非静态方法：

- `p0` = `this`
- `p1` = 第一个参数
- `p2` = 第二个参数

常用声明

声明	说明
`.locals`	声明方法使用的本地变量寄存器数量
`.prologue`	方法体的序言部分
`.line`	对应原始 Java 代码的行号，用于调试

数据类型与表示

Smali 使用特定的描述符来表示 Java 中的数据类型。

Smali 类型	Java 类型	描述
`V`	`void`	空返回类型
`Z`	`boolean`	布尔值
`B`	`byte`	字节
`S`	`short`	短整型
`C`	`char`	字符
`I`	`int`	整型
`J`	`long`	长整型（占用两个寄存器）
`F`	`float`	浮点型
`D`	`double`	双精度浮点型（占用两个寄存器）
`L<包名>/<类名>;`	`package.ClassName`	对象类型，以 `L` 开头，`;` 结尾
`[<类型>`	`type[]`	数组类型

类型表示示例

Smali	Java
`Ljava/lang/String;`	`java.lang.String`
`[I`	`int[]`
`[[Ljava/lang/Object;`	`java.lang.Object[][]`
`[Ljava/lang/String;`	`String[]`

文件与类结构

每个 `.smali` 文件对应一个 Java 类。

类定义

```
# 定义类、访问修饰符和完整类路径
.class public Lcom/example/app/MainActivity;

# 定义父类
.super Landroid/app/Activity;

# 定义源文件名（可选）
.source "MainActivity.java"
```

字段定义

```
# 格式: .field <访问修饰符> [static] [final] <字段名>:<字段类型>

# 实例字段
.field private TAG:Ljava/lang/String;

# 静态常量字段
.field public static final MY_CONSTANT:I = 0x1
```

方法定义

```
# 格式: .method <访问修饰符> [static] [final] <方法名>(<参数类型>)<返回类型>
.method public onCreate(Landroid/os/Bundle;)V
    # 声明本地变量寄存器数量
    .locals 3

    # 声明参数寄存器
    .param p1, "savedInstanceState"    # p1 是 savedInstanceState

    # 方法体开始
    .prologue
    .line 15

    # ... Smali 指令 ...

    # 方法返回
    return-void
.end method
```

常用指令

赋值与移动指令

指令	说明
`const-string v1, "Hello"`	将字符串 "Hello" 赋值给 `v1`
`const/4 v0, 0x1`	将 4 位常量 1 赋值给 `v0`
`const/16 v0, 0x100`	将 16 位常量赋值给 `v0`
`move-result-object v0`	将上一个 `invoke` 返回的对象结果移动到 `v0`
`move-result v0`	将上一个 `invoke` 返回的非对象结果移动到 `v0`
`move-exception v0`	在 `catch` 块中，将捕获的异常对象移动到 `v0`

对象操作指令

指令	说明
`new-instance v0, Ljava/lang/StringBuilder;`	创建新实例
`iget-object v0, p0, Lcom/example/MyClass;->myField:Ljava/lang/String;`	获取实例字段
`iput-object v1, p0, Lcom/example/MyClass;->myField:Ljava/lang/String;`	设置实例字段
`sget-object v0, Lcom/example/Constants;->SOME_STRING:Ljava/lang/String;`	获取静态字段
`sput-object v0, Lcom/example/Constants;->SOME_STRING:Ljava/lang/String;`	设置静态字段

方法调用指令

指令	说明
`invoke-virtual {p0, p1}, Lcom/example/MyClass;->myMethod(I)V`	调用虚方法（公有/保护方法）
`invoke-direct {p0}, Ljava/lang/Object;-><init>()V`	调用直接方法（私有方法或构造函数）
`invoke-static {v0}, Landroid/util/Log;->d(Ljava/lang/String;Ljava/lang/String;)I`	调用静态方法
`invoke-super {p0, p1}, Landroid/app/Activity;->onCreate(Landroid/os/Bundle;)V`	调用父类方法
`invoke-interface {p0, v0}, Ljava/util/List;->add(Ljava/lang/Object;)Z`	调用接口方法

跳转/条件指令

指令	说明
`goto :label_10`	无条件跳转到 `:label_10`
`if-eqz v0, :label_10`	如果 `v0 == 0`（或 `false` / `null`），则跳转
`if-nez v0, :label_10`	如果 `v0 != 0`（或 `true` / `not null`），则跳转
`if-eq v0, v1, :label_10`	如果 `v0 == v1`，则跳转
`if-ne v0, v1, :label_10`	如果 `v0 != v1`，则跳转
`if-lt v0, v1, :label_10`	如果 `v0 < v1`，则跳转
`if-ge v0, v1, :label_10`	如果 `v0 >= v1`，则跳转

运算指令

指令	说明
`add-int v0, v1, v2`	`v0 = v1 + v2`（整型加法）
`sub-int v0, v1, v2`	`v0 = v1 - v2`（整型减法）
`mul-int v0, v1, v2`	`v0 = v1 * v2`（整型乘法）
`div-int v0, v1, v2`	`v0 = v1 / v2`（整型除法）
`mul-int/2addr v0, v1`	`v0 = v0 * v1`（结果存回第一个寄存器）

Smali 实战：修改方法

假设我们要修改一个方法，让它总是返回 `true`。

原始 Java 代码

```
public class LicenseCheck {
    public boolean isLicensed() {
        // ... 复杂的检查逻辑 ...
        return false;
    }
}
```

原始 Smali 代码

```
.method public isLicensed()Z
    .locals 1

    # ... 复杂检查逻辑对应的 smali 指令 ...

    const/4 v0, 0x0    # v0 = 0 (false)
    return v0
.end method
```

修改后的 Smali 代码

```
.method public isLicensed()Z
    .locals 1

    # 删除所有复杂检查逻辑，直接返回 true

    const/4 v0, 0x1    # v0 = 1 (true)
    return v0
.end method
```

修改步骤

1. 使用 `apktool d app.apk -o app_decoded/` 解包 APK

2. 找到并修改目标 `.smali` 文件
3. 使用 `apktool b app_decoded/ -o new_app.apk` 重新打包
4. 用 `jarsigner` 或 `apksigner` 对 `new_app.apk` 进行签名

常见修改技巧

1. 让方法返回固定值

```
# 返回 true
const/4 v0, 0x1
return v0

# 返回 false
const/4 v0, 0x0
return v0

# 返回 null
const/4 v0, 0x0
return-object v0
```

2. 跳过方法体直接返回

```
.method public checkSomething()V
    .locals 0

    # 直接返回，跳过所有检查
    return-void
.end method
```

3. 修改条件判断

```
# 原始: if-eqz v0, :skip  (如果 v0 == 0 则跳过)
# 修改: if-nez v0, :skip  (如果 v0 != 0 则跳过)
# 或者直接: goto :skip    (无条件跳过)
```

F07: SO/ELF 文件格式

F07: Android .so 文件详解 (ELF Format)

`.so` 文件（Shared Object）是 Android 平台上的原生共享库，等同于 Windows 上的 `.dll` 或 Linux 上的 `.so`。它们包含了由 C/C++ 等原生代码编译而成的机器码。在 Android 逆向工程中，分析 `.so` 文件是理解应用核心逻辑、破解加密算法和绕过安全机制的关键一步。

目录

ELF 文件格式

`.so` 文件遵循 ELF (Executable and Linkable Format) 格式，这是一种用于可执行文件、目标代码、共享库和核心转储的标准文件格式。

ELF Header

位于文件开头，描述了整个文件的"档案"，包括：

字段	说明
Magic Number	文件的前 16 个字节，用于识别这是一个 ELF 文件
Architecture	标识文件是为哪种 CPU 架构编译的（如 ARM, ARM64, x86）
Type	文件类型（可执行文件、共享库等）
Entry Point Address	如果是可执行文件，这是程序启动的地址
Program Header Table Offset	指向程序头表的偏移
Section Header Table Offset	指向节头表的偏移

Program Header Table

描述了系统如何将文件的各个部分（段，Segments）加载到内存中。每个条目都定义了一个段的类型（如 `LOAD`，表示需要加载到内存）、虚拟地址、物理地址、大小和权限（读、写、执行）。动态链接器（`linker`）依赖这个表来正确映射 `.so` 文件。

Section Header Table

描述了文件中各个"节"（Sections）的信息。节是链接器用来组织和处理数据的单位。

关键 Section

Section	说明
`.text`	包含已编译的程序机器码（汇编指令）。这是分析的核心区域
`.rodata`	只读数据区，通常存放字符串常量、const 变量等
`.data`	已初始化的可读可写数据区（全局变量和静态变量）
`.bss`	未初始化的数据区。在文件中不占空间，但在加载到内存时会被分配并清零
`.init_array`	存放函数指针，这些函数会在库被加载（`dlopen`）时自动执行。分析反调试的绝佳入口点
`.fini_array`	存放函数指针，这些函数会在库被卸载（`dlclose`）时自动执行
`.dynsym`	动态符号表，包含了库中导出和导入的函数和变量名
`.dynstr`	字符串表，`.dynsym` 中的符号名称就存储在这里

加载与链接

System.loadLibrary()

在 Java/Kotlin 代码中，开发者通过 `System.loadLibrary("mylib")` 来加载一个名为 `libmylib.so` 的原生库。系统会在 `lib/` 目录下的相应 ABI 文件夹（如 `arm64-v8a`）中查找并加载该库。

JNI (Java Native Interface)

JNI 是连接 Java 世界和 Native (C/C++) 世界的桥梁，是 Android 逆向分析中的核心知识点。

JNI 基础概念

Java 侧声明:

```
public class NativeHelper {
    static {
        System.loadLibrary("native-lib"); // 加载 libnative-lib.so
    }

    // 静态 native 方法
    public static native String doEncrypt(String input);

    // 实例 native 方法
    public native byte[] processData(byte[] data, int flag);

    // 多参数 native 方法
    public native int complexOperation(String str, int[] array, boolean flag);
}
```

Native 侧实现:

```
// 静态方法 JNI 函数签名：第二个参数是 jclass
JNIEXPORT jstring JNICALL
Java_com_example_app_NativeHelper_doEncrypt(JNIEnv *env, jclass clazz, jstring input)
{
    const char *nativeString = (*env)->GetStringUTFChars(env, input, 0);
    // 执行加密逻辑...
    jstring result = (*env)->NewStringUTF(env, encrypted_result);
    (*env)->ReleaseStringUTFChars(env, input, nativeString);
    return result;
}

// 实例方法 JNI 函数签名：第二个参数是 jobject
JNIEXPORT jbyteArray JNICALL
Java_com_example_app_NativeHelper_processData(JNIEnv *env, jobject thiz, jbyteArray
data, jint flag) {
    jsize len = (*env)->GetArrayLength(env, data);
    jbyte *body = (*env)->GetByteArrayElements(env, data, 0);

    // 处理数据...

    jbyteArray result = (*env)->NewByteArray(env, len);
    (*env)->SetByteArrayRegion(env, result, 0, len, processed_data);
    (*env)->ReleaseByteArrayElements(env, data, body, 0);
    return result;
}
```

JNI 数据类型映射

Java 类型	JNI 类型	签名字符
boolean	jboolean	Z
byte	jbyte	B
char	jchar	C
short	jshort	S
int	jint	I
long	jlong	J
float	jfloat	F
double	jdouble	D
void	void	V
String	jstring	Ljava/lang/String;
Object	jobject	L完整类名;
int[]	jintArray	[I
byte[]	jbyteArray	[B

JNI 常用函数

分类	函数
字符串操作	`NewStringUTF()`, `GetStringUTFChars()`, `ReleaseStringUTFChars()`
数组操作	`NewByteArray()`, `GetByteArrayElements()`, `SetByteArrayRegion()`
对象操作	`NewObject()`, `GetObjectClass()`, `CallObjectMethod()`
字段访问	`GetFieldID()`, `GetIntField()`, `SetIntField()`
方法调用	`GetMethodID()`, `CallVoidMethod()`, `CallIntMethod()`

JNI 方法注册

静态注册（编译时确定）：

函数名必须严格遵循命名规则：`Java_包名_类名_方法名`

```
JNIEXPORT jstring JNICALL
Java_com_example_app_MainActivity_stringFromJNI(JNIEnv *env, jobject thiz) {
    return (*env)->NewStringUTF(env, "Hello from JNI!");
}
```

动态注册（运行时注册）：

```
// 定义方法映射表
static JNINativeMethod gMethods[] = {
    {"encrypt", "(Ljava/lang/String;)Ljava/lang/String;", (void*)native_encrypt},
    {"decrypt", "([B)[B", (void*)native_decrypt},
    {"init", "(I)V", (void*)native_init}
};

// JNI_OnLoad 函数在库加载时自动调用
JNIEXPORT jint JNICALL JNI_OnLoad(JavaVM* vm, void* reserved) {
    JNIEnv* env;
    if ((*vm)->GetEnv(vm, (void**)&env, JNI_VERSION_1_6) != JNI_OK) {
        return JNI_ERR;
    }

    jclass clazz = (*env)->FindClass(env, "com/example/app/NativeHelper");
    if (clazz == NULL) {
        return JNI_ERR;
    }

    // 注册 native 方法
    if ((*env)->RegisterNatives(env, clazz, gMethods,
            sizeof(gMethods)/sizeof(gMethods[0])) < 0) {
        return JNI_ERR;
    }

    return JNI_VERSION_1_6;
}
```

动态链接器

动态链接器（`/system/bin/linker` 或 `linker64`）负责：

1. 将 `.so` 文件映射到进程的虚拟地址空间
2. 重定位符号（调整代码中的地址引用）
3. 解析该库的依赖项（即它需要从其他库，如 `libc.so`，导入的函数），并填充导入函数的地址
4. 执行 `.init_array` 中的初始化函数

静态分析

识别关键函数

目标	方法
JNI 函数	在符号列表中搜索 `Java_` 前缀，可以快速定位所有 Java 和 Native 的交互点
导出函数	查看 `Exports` 列表，寻找有意义的函数名，如 `encrypt`，`decrypt`，`checkSignature`
`.init_array` 函数	查看 `.init_array` section，分析在库加载时自动执行的函数

命令行工具:

```
# 列出导出的 JNI 函数
nm -D libexample.so | grep Java_

# 使用 objdump
objdump -T libexample.so | grep Java_
```

使用 IDA Pro / Ghidra

1. 加载文件: 将 `.so` 文件拖入 IDA 或 Ghidra
2. 查看伪代码: 按 `F5` (IDA) 或等待 Ghidra 的自动分析，直接阅读反编译出的 C 伪代码
3. 交叉引用 (Cross-References): 对一个函数名或字符串常量按 `X` 键，可以查看所有引用了它的地方
4. 图形模式: 使用图形视图来理解复杂的函数调用流程和条件分支

动态分析

Frida Hook 原生函数

当静态分析困难（如代码被混淆或算法复杂）时，动态 Hook 是最有效的方法。

基于偏移地址 Hook：

```
// Frida 脚本
const baseAddr = Module.findBaseAddress("libnative-lib.so");
const targetFuncPtr = baseAddr.add(0x1234); // 0x1234 是从 IDA/Ghidra 获取的函数偏移

Interceptor.attach(targetFuncPtr, {
    onEnter: function(args) {
        // args[0], args[1]... 是函数参数（指针）
        console.log("Hooked function called!");
        // 可以使用 Memory.readCString(args[0]) 等来读取参数内容
    },
    onLeave: function(retval) {
        // retval 是函数返回值
        // retval.replace(0x1); // 可以修改返回值
    }
});
```

基于导出名称 Hook：

```
var encrypt_func = Module.findExportByName("libnative.so",
    "Java_com_example_app_NativeHelper_doEncrypt");

Interceptor.attach(encrypt_func, {
    onEnter: function(args) {
        // args[0] = JNIEnv*
        // args[1] = jclass/jobject
        // args[2] = 第一个参数 (jstring)
        var jstring_ptr = args[2];
        var str_content = Java.vm.getEnv().getStringUtfChars(jstring_ptr, null);
        console.log("Input: " + str_content.readCString());
    },
    onLeave: function(retval) {
        var result = Java.vm.getEnv().getStringUtfChars(retval, null);
        console.log("Output: " + result.readCString());
    }
});
```

Java 层 Hook：

```
Java.perform(function() {
    var NativeHelper = Java.use("com.example.app.NativeHelper");

    NativeHelper.doEncrypt.implementation = function(input) {
        console.log("Java -> Native: " + input);
        var result = this.doEncrypt(input);
        console.log("Native -> Java: " + result);
        return result;
    };
});
```

Unidbg 模拟执行

Unidbg 是一个基于 Unicorn 的 Android 原生库模拟执行框架，可以在 PC 上模拟执行 `.so` 文件。

```
// Unidbg 基本用法
public class EmulatorDemo {
    public static void main(String[] args) {
        AndroidEmulator emulator = AndroidEmulatorBuilder.for64Bit().build();
        Memory memory = emulator.getMemory();
        memory.setLibraryResolver(new AndroidResolver(23));

        // 加载目标 so
        Module module = emulator.loadLibrary(new File("libtarget.so"));

        // 调用函数
        Number result = module.callFunction(emulator, "target_function", arg1, arg2);
        System.out.println("Result: " + result);
    }
}
```

常见保护手段

字符串加密

保护机制: `.so` 文件中的敏感字符串（如密钥、URL）被加密存放，在运行时动态解密使用。静态分析时无法直接看到。

Native 实现示例:

```
// 加密的字符串
static char encrypted[] = "\x56\x2a\x3b\x4c\x5d";  // XOR 加密后的数据

const char* get_decrypted_string() {
    static char decrypted[256];
    int key = 0x42;
    for (int i = 0; encrypted[i]; i++) {
        decrypted[i] = encrypted[i] ^ key;
    }
    return decrypted;
}
```

攻击方法:

```
// Frida Hook 解密函数
var decrypt_func = Module.findExportByName("libnative.so", "decrypt_string");
Interceptor.attach(decrypt_func, {
    onLeave: function(retval) {
        console.log("Decrypted string:", Memory.readCString(retval));
    }
});
```

代码混淆

常见混淆技术:

- 控制流平坦化 (Control Flow Flattening)
- 虚假控制流 (Bogus Control Flow)
- 指令替换 (Instruction Substitution)
- 符号剥离 (Symbol Stripping)

攻击方法:

```
// 指令级Hook 示例
var baseAddr = Module.findBaseAddress("libnative.so");
Interceptor.attach(baseAddr.add(0x1000), {
    onEnter: function(args) {
        console.log("Register state:", this.context);
    }
});
```

反调试技术

常见检测方法:

```
// ptrace 反调试
JNIEXPORT void JNICALL
Java_com_example_app_Security_checkDebugger(JNIEnv *env, jclass clazz) {
    if (ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, 1, 0) == -1) {
        // 检测到调试器，执行反制措施
        exit(1);
    }
}

// 模拟器检测
JNIEXPORT jboolean JNICALL
Java_com_example_app_Security_isEmulator(JNIEnv *env, jclass clazz) {
    char prop_value[256];
    __system_property_get("ro.kernel.qemu", prop_value);
    return strcmp(prop_value, "1") == 0;
}
```

绕过方法:

```
// 绕过反调试示例
var anti_debug = Module.findExportByName("libnative.so", "check_debug");
Interceptor.attach(anti_debug, {
    onLeave: function(retval) {
        retval.replace(0);  // 返回 0 表示未检测到调试
    }
});

// Hook ptrace 系统调用
var ptrace = Module.findExportByName("libc.so", "ptrace");
Interceptor.attach(ptrace, {
    onEnter: function(args) {
        args[0] = ptr(0);  // 修改 ptrace 参数
    }
});
```

init_array 详解

调用时机

`.init_array` 中的函数在 ELF 库加载过程中的早期阶段 被调用，这个时机非常关键，发生在 `JNI_OnLoad` 之前。

完整的调用流程

```
System.loadLibrary("native")
         ↓
nativeLoad() [art/runtime/native/java_lang_Runtime.cc]
         ↓
android_dlopen_ext() [bionic/libdl/libdl.cpp]
         ↓
do_dlopen() [bionic/linker/linker.cpp]
         ↓
find_library() → load_library() → link_image()
         ↓
call_constructors() → init_array 函数执行
         ↓
JNI_OnLoad() 执行
```

Linker 源码分析

```
// bionic/linker/linker.cpp
void soinfo::call_constructors() {
    // 1. 首先调用 DT_INIT 初始化函数
    if (init_func_ != nullptr) {
        init_func_();
    }

    // 2. 然后遍历 .init_array section 函数指针
    if (init_array_ != nullptr) {
        for (size_t i = 0; i < init_array_count_; ++i) {
            // 调用每个构造函数，包括 init_string_obfuscation
            ((void (*)())init_array_[i])();
        }
    }
}
```

C/C++ 声明方式

```
// 字符串混淆初始化函数声明
__attribute__((constructor))
void init_string_obfuscation() {
    // 字符串解密和反调试逻辑
    decrypt_critical_strings();
    setup_anti_debug_measures();
}

// 可以指定优先级（数字越小，优先级越高）
__attribute__((constructor(101)))
void init_anti_debug_level1() {
    // 第一级反调试检测
    basic_environment_check();
}

__attribute__((constructor(102)))
void init_string_decryption() {
    // 字符串解密，依赖第一级检测通过
    if (environment_safe) {
        decrypt_strings();
    }
}
```

实际应用示例

```
// 实际字符串混淆初始化函数示例
__attribute__((constructor(100)))
void init_string_obfuscation() {
    // 1. 环境安全检查
    if (detect_debug_environment()) {
        // 检测到调试环境，执行反制措施
        execute_anti_debug_response();
        return;
    }

    // 2. 解密关键字符串
    decrypt_api_strings();
    decrypt_config_strings();
    decrypt_url_strings();

    // 3. 标记初始化完成
    string_obfuscation_initialized = true;
}

// 字符串解密函数
void decrypt_api_strings() {
    for (int i = 0; i < API_STRING_COUNT; i++) {
        decrypt_string_xor(encrypted_api_names[i],
                           decrypted_api_names[i],
                           API_XOR_KEY);
    }
}

// XOR 解密实现
void decrypt_string_xor(const char* encrypted, char* decrypted, uint8_t key) {
    int len = strlen(encrypted);
    for (int i = 0; i < len; i++) {
        decrypted[i] = encrypted[i] ^ key;
    }
    decrypted[len] = '\0';
}
```

逆向分析对策

静态分析方法

```
# Python 脚本分析 .init_array section
from elftools.elf.elffile import ELFFile

def analyze_init_array(so_path):
    with open(so_path, 'rb') as f:
        elf = ELFFile(f)

        # 查找 .init_array section
        init_array_section = elf.get_section_by_name('.init_array')
        if init_array_section:
            data = init_array_section.data()

            print(f"[+] Found .init_array section, size: {len(data)} bytes")

            # 解析函数指针（8 字节对齐，64 位系统）
            for i in range(0, len(data), 8):
                if i + 8 <= len(data):
                    func_addr = int.from_bytes(data[i:i+8], 'little')
                    print(f"[+] Init function {i//8}: 0x{func_addr:x}")

if __name__ == "__main__":
    analyze_init_array("libtarget.so")
```

动态分析方法

```
// Frida 脚本 Hook init_array 执行
function hookInitArray() {
    // Hook 构造函数调用函数
    var call_constructors = Module.findExportByName(
        "linker64",
        "_ZN6soinfo17call_constructorsEv"
    );

    if (call_constructors) {
        Interceptor.attach(call_constructors, {
            onEnter: function(args) {
                var soinfo = args[0];
                console.log("[+] Calling constructors for SO");
                this.start_time = Date.now();
            },
            onLeave: function(retval) {
                var duration = Date.now() - this.start_time;
                console.log("[+] Constructors completed in " + duration + "ms");
            }
        });
    }

    // 直接 hook 目标 SO 的 init_array 函数
    hook_target_init_functions();
}

function hook_target_init_functions() {
    var target_module = Process.findModuleByName("libtarget.so");
    if (target_module) {
        // 根据静态分析结果 hook 特定地址的函数
        var init_func_addr = target_module.base.add(0x2000);  // 示例地址

        Interceptor.attach(init_func_addr, {
            onEnter: function(args) {
                console.log("[!] init_string_obfuscation called");
                console.log("[+] Call stack:");
                console.log(Thread.backtrace(this.context, Backtracer.ACCURATE)
                    .map(DebugSymbol.fromAddress).join("\n"));
            },
            onLeave: function(retval) {
                console.log("[!] init_string_obfuscation completed");
            }
        });
    }
}

// 执行 hook
hookInitArray();
```

分析要点总结

特性	说明
执行时机早	在 `JNI_OnLoad` 之前执行，难以常规方式 Hook
优先级控制	可以通过参数控制多个初始化函数的执行顺序
静态分析困难	加密字符串在静态分析时不可见
调试时机窗口短	执行时间短，难以及时介入

总结

分析 Android `.so` 文件需要掌握以下核心技能：

1. ELF 格式理解: 熟悉 ELF 文件结构，特别是关键 section
2. JNI 机制: 理解 Java 和 Native 层的交互方式
3. 静态分析: 使用 IDA Pro / Ghidra 进行反编译分析
4. 动态分析: 使用 Frida 进行运行时 Hook 和调试
5. 保护绕过: 了解常见保护手段并掌握绕过方法

通过综合运用这些技术，可以有效地分析和理解 Android 应用的原生代码逻辑。

F08: ART 运行时

F08: Android 运行时 (ART) 深度解析

ART (Android Runtime) 是 Android 5.0 (Lollipop) 之后默认的应用程序运行时环境，取代了旧的 Dalvik 虚拟机 (DVM)。ART 的引入显著改变了 Android 应用的执行方式，旨在提高应用的性能、启动速度和电池续航。

目录

核心机制：AOT vs JIT

!!! question "思考：为什么逆向工程师必须理解 ART？"

你可能会想："我只关心应用的 Java 代码和加密算法，ART 的编译机制与我有什么关系？"

实际场景告诉你答案：

- Frida Hook 失败：你写的 Hook 脚本在 Android 4.x 上好用，在 8.0+ 上就不工作了——因为 ART 的 AOT 编译改变了方法的执行方式
- 脱壳困境：你用传统方法 dump DEX，结果发现关键类根本不在 DEX 里——它们在运行时被解密后直接编译成了 OAT
- 性能分析：为什么同样的代码在不同 Android 版本上性能差异巨大？混合编译模式是关键
- 反调试对抗：某些 App 会检测 OAT 文件的完整性，或者利用 `dex2oat` 的时机来进行反调试

核心要点：

- Android 5.0+ 的应用不再是简单的"DEX 字节码"执行
- 真正执行的是 本地机器码（OAT 文件）
- 理解 DEX → VDEX → OAT 的转换流程，才能应对现代 Android 逆向

Dalvik 的 JIT (Just-In-Time)

在 Android 4.4 及更早版本中，Dalvik 虚拟机使用 JIT 编译。

- 工作方式: 应用每次运行时，Dalvik 会解释执行 DEX 字节码。对于频繁执行的"热点代码"(hotspot)，JIT 编译器会将其动态地编译成本地机器码并缓存。
- 优点: 安装速度快，不占用额外存储空间。
- 缺点: 应用启动和运行期间需要持续进行解释和编译，导致启动慢、耗电多。

ART 的 AOT (Ahead-Of-Time)

ART 最初的设计是纯 AOT 编译。

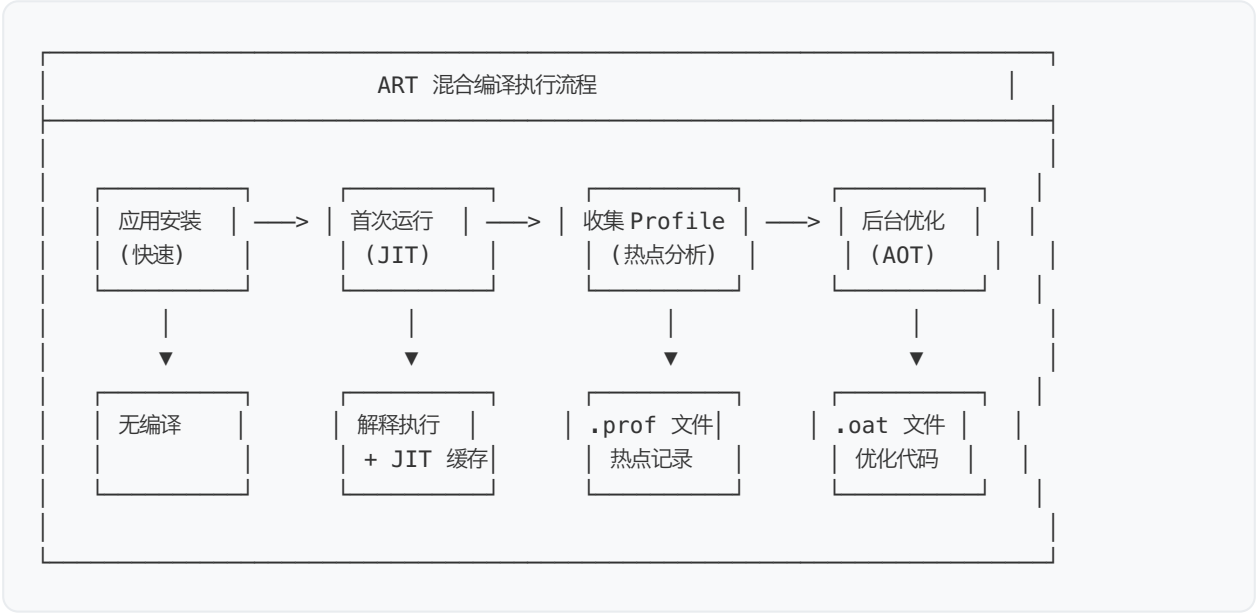
- 工作方式: 在应用安装时，系统会调用 `dex2oat` 工具，将 APK 中的 `classes.dex` 文件完整地编译成本地机器码，并以 OAT 文件的形式存储。

- 优点:
  - 运行速度快: 应用直接执行本地机器码，无需实时编译，性能和启动速度都大大提升。
  - 更省电: CPU 在运行时负担更轻。
- 缺点:
  - 安装时间长: 应用安装过程需要额外的编译时间。
  - 占用空间大: 预编译的 OAT 文件会占用更多的存储空间。

混合编译 (AOT + JIT + Profile-Guided)

从 Android 7.0 (Nougat) 开始，ART 引入了结合 JIT 的混合编译模式，以平衡上述优缺点。

工作流程:



1. 初次安装: 应用安装速度很快，不进行 AOT 编译。
2. 首次运行: 应用代码由解释器执行，同时 JIT 编译器会介入，编译热点代码。在此期间，ART 会生成一份代码执行频率的分析文件 (Profile)。
3. 设备空闲时: 当设备处于空闲状态并正在充电时，Android 系统会启动一个后台优化任务。该任务会根据之前收集的 Profile 信息，只对那些频繁执行的热点方法进行 AOT 编译，并生成新的 OAT 文件。

4. 后续运行: 直接执行 AOT 编译后的本地代码，速度最快。

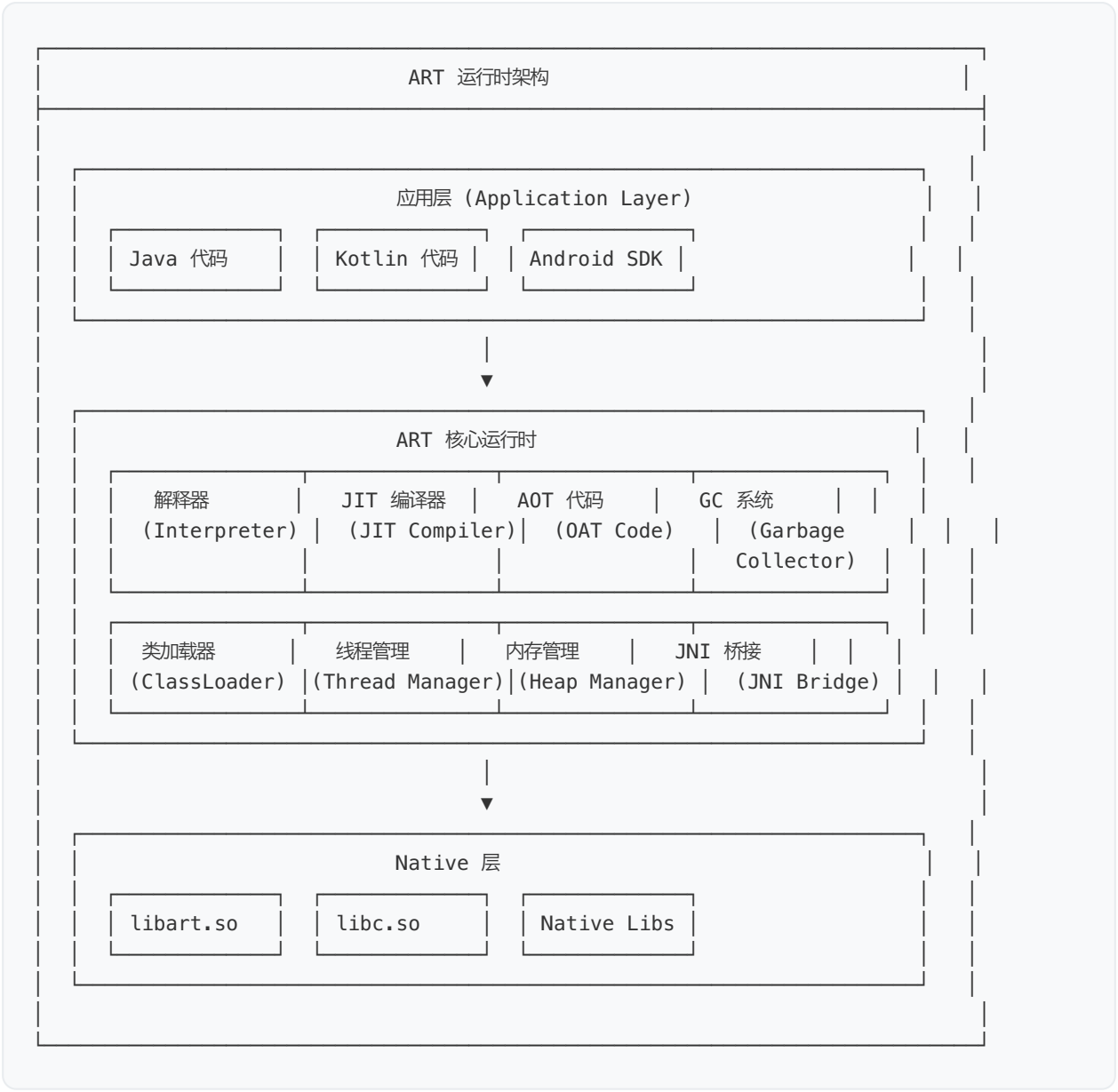
Profile 文件位置:

```
# 应用级 Profile
/data/misc/profiles/cur/0/<package_name>/primary.prof
/data/misc/profiles/ref/<package_name>/primary.prof

# 查看 Profile 内容
adb shell profman --dump-classes-and-methods \
  --profile-file=/data/misc/profiles/cur/0/com.example.app/primary.prof \
  --apk=/data/app/com.example.app-xxx/base.apk
```

ART 内部架构

运行时组件总览



核心源码结构

ART 源码位于 AOSP 的 `art/` 目录下：

```
art/
├── compiler/           # AOT/JIT 编译器
│   ├── optimizing/     # 优化编译器（主要）
│   ├── driver/         # 编译驱动
│   └── jni/            # JNI 编译支持
├── runtime/            # 运行时核心
│   ├── gc/             # 垃圾回收
│   ├── jni/            # JNI 实现
│   ├── interpreter/    # 解释器
│   ├── mirror/         # Java 对象的 C++ 镜像
│   ├── entrypoints/    # 入口点（quick/portable）
│   └── thread.cc       # 线程管理
├── dex2oat/            # DEX 到 OAT 编译工具
├── oatdump/            # OAT 文件分析工具
└── libdexfile/         # DEX 文件解析库
```

关键数据结构

Runtime 类

`Runtime` 是 ART 的核心单例类，管理整个运行时环境：

```
// art/runtime/runtime.h
class Runtime {
 public:
  // 获取单例
  static Runtime* Current() { return instance_; }

  // 核心组件
  gc::Heap* GetHeap() const { return heap_; }
  ClassLinker* GetClassLinker() const { return class_linker_; }
  InternTable* GetInternTable() const { return intern_table_; }
  JavaVMExt* GetJavaVM() const { return java_vm_; }
  ThreadList* GetThreadList() const { return thread_list_; }
  jit::Jit* GetJit() const { return jit_.get(); }

 private:
  static Runtime* instance_;
  gc::Heap* heap_;                    // 堆管理
  ClassLinker* class_linker_;         // 类链接器
  InternTable* intern_table_;         // 字符串池
  JavaVMExt* java_vm_;               // JavaVM 实例
  ThreadList* thread_list_;          // 线程列表
  std::unique_ptr<jit::Jit> jit_;    // JIT 编译器
  // ...
};
```

Thread 类

每个 Java 线程对应一个 `Thread` 对象：

```
// art/runtime/thread.h
class Thread {
 public:
  // TLS (Thread Local Storage) 入口
  static Thread* Current();

  // 获取 JNI 环境
  JNIEnvExt* GetJniEnv() const { return tlsPtr_.jni_env; }

  // 获取托管栈顶
  ManagedStack* GetManagedStack() { return &tlsPtr_.managed_stack; }

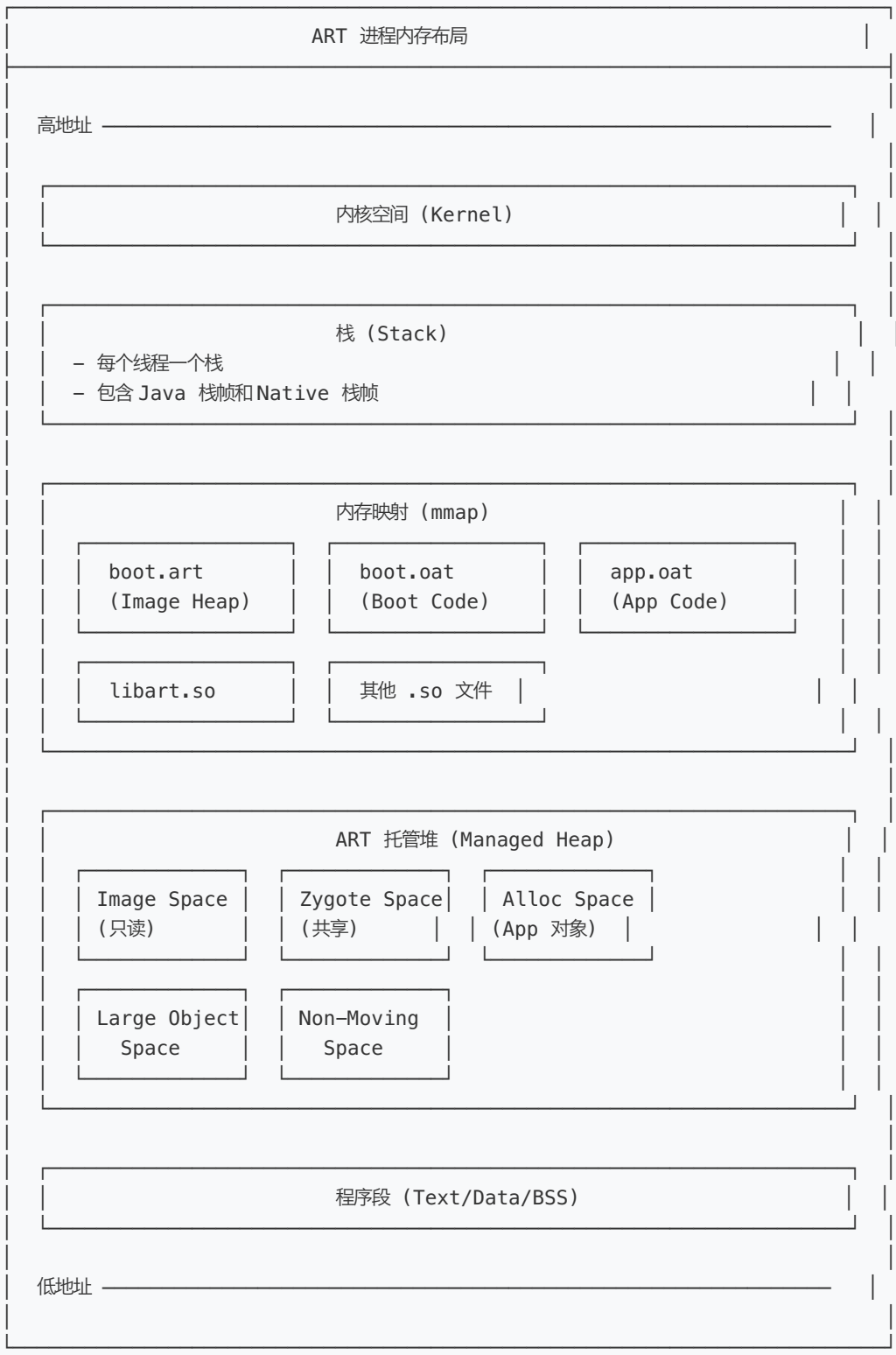
  // 线程状态
  ThreadState GetState() const { return tls32_.state_and_flags.as_struct.state; }

 private:
  struct PACKED(4) tls_32bit_sized_values {
    union StateAndFlags state_and_flags;
    int suspend_count;
    int debug_suspend_count;
    // ...
  } tls32_;

  struct PACKED(8) tls_ptr_sized_values {
    JNIEnvExt* jni_env;
    ManagedStack managed_stack;
    mirror::Object* exception;
    // ...
  } tlsPtr_;
};
```

内存布局

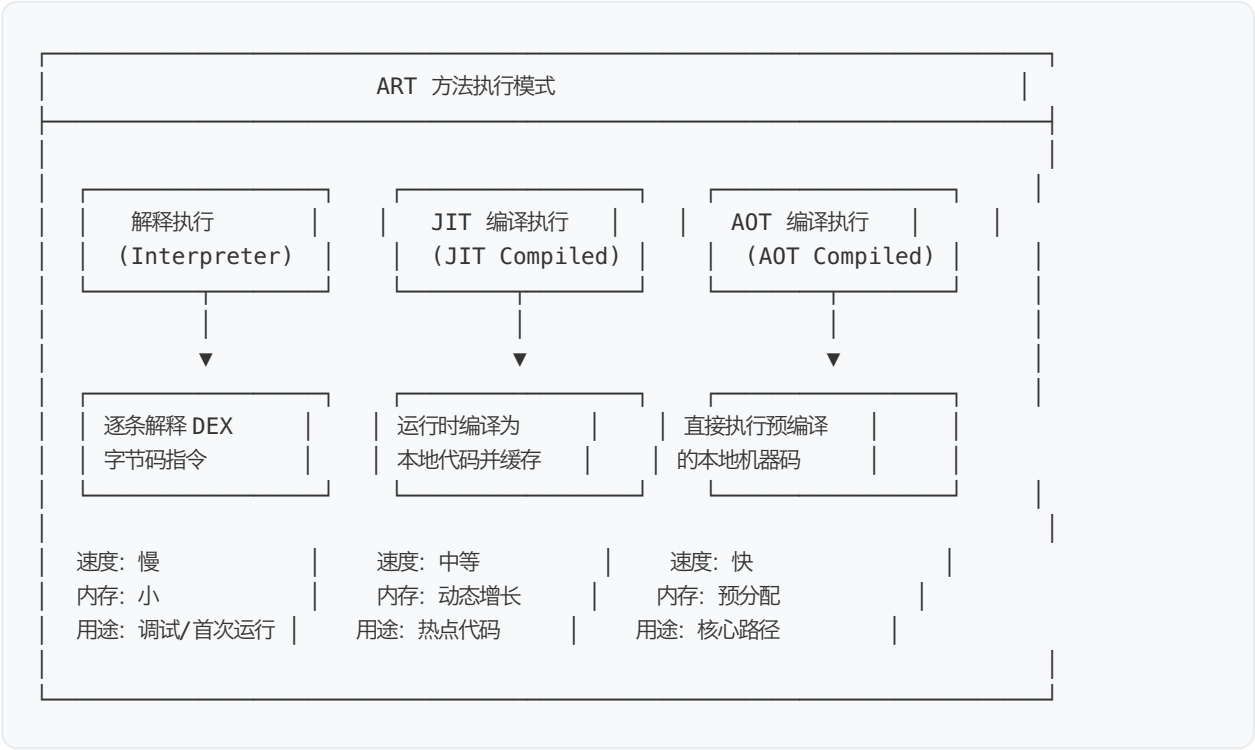
ART 进程的内存布局：


ART 进程内存布局
高地址
内核空间 (Kernel)
栈 (Stack)
- 每个线程一个栈
- 包含 Java 栈帧和 Native 栈帧
内存映射 (mmap)
boot.art
(Image Heap)
boot.oat
(Boot Code)
app.oat
(App Code)
libart.so
其他 .so 文件
ART 托管堆 (Managed Heap)
Image Space
(只读)
Zygote Space
(共享)
Alloc Space
(App 对象)
Large Object
Space
Non-Moving
Space
程序段 (Text/Data/BSS)
低地址

ART 方法调用机制

方法执行模式

ART 支持三种方法执行模式：



ArtMethod 结构

`ArtMethod` 是 ART 中表示 Java 方法的核心结构：

```
// art/runtime/art_method.h
class ArtMethod {
 protected:
  // 声明该方法的类
  GcRoot<mirror::Class> declaring_class_;

  // 访问标志 (public, static, native 等)
  std::atomic<uint32_t> access_flags_;

  // 方法在 DEX 文件中的索引
  uint32_t dex_method_index_;

  // 方法在虚表中的索引
  uint16_t method_index_;

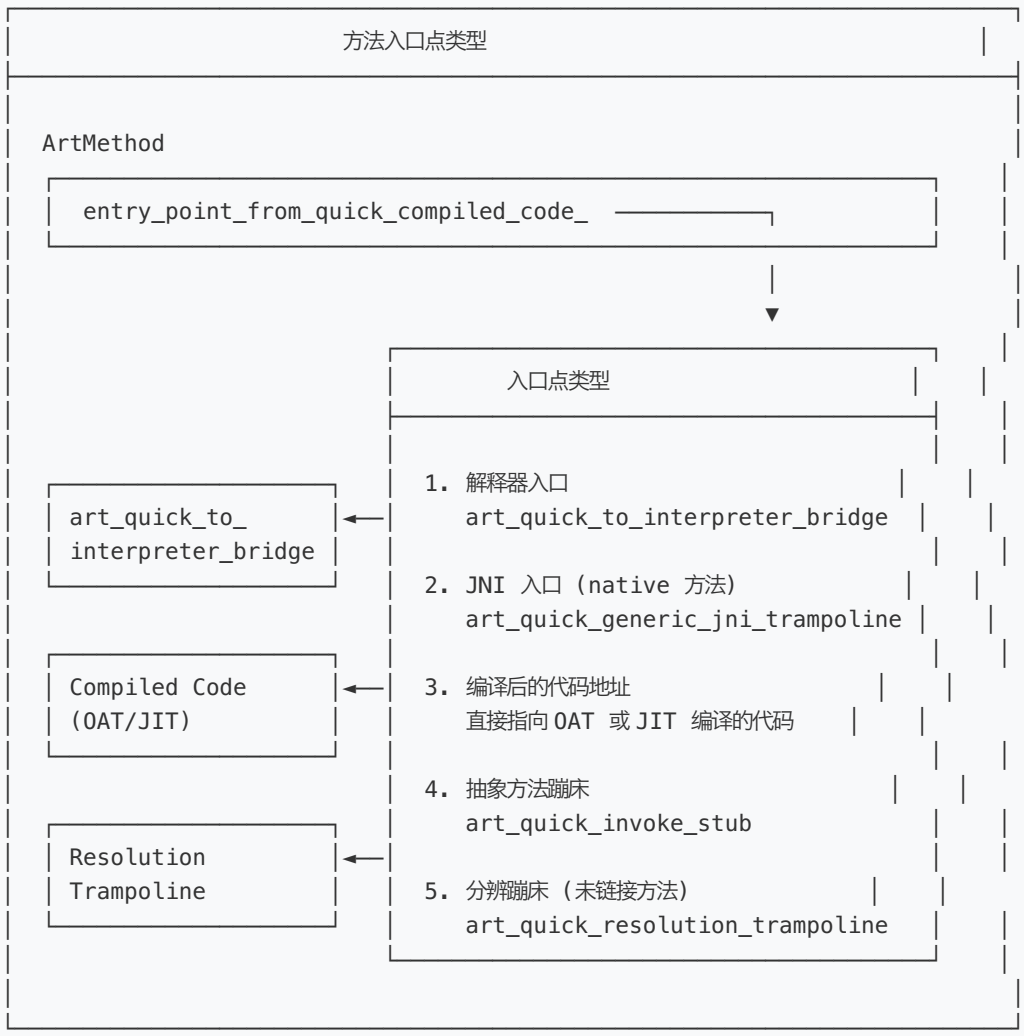
  // 热度计数器 (用于 JIT 决策)
  uint16_t hotness_count_;

  // 指向数据的指针 (根据编译状态不同含义不同)
  struct PtrSizedFields {
    // 方法入口点
    void* entry_point_from_quick_compiled_code_;

    // JNI 代码 (native 方法) 或 DEX 代码指针
    void* data_;
  } ptr_sized_fields_;
};
```

方法入口点 (Entry Point)

每个 ArtMethod 有一个入口点，决定了方法如何被执行：


方法入口点类型
ArtMethod
entry_point_from_quick_compiled_code_
入口点类型
1. 解释器入口
art_quick_to_interpreter_bridge
2. JNI 入口（native 方法）
art_quick_generic_jni_trampoline
3. 编译后的代码地址
直接指向 OAT 或 JIT 编译的代码
4. 抽象方法蹦床
art_quick_invoke_stub
5. 分辨蹦床（未链接方法）
art_quick_resolution_trampoline
art_quick_to_
interpreter_bridge
Compiled Code
(OAT/JIT)
Resolution
Trampoline

方法调用流程

```
// 伪代码: 方法调用流程
void InvokeMethod(ArtMethod* method, Object* receiver, args...) {
    // 1. 获取入口点
    void* entry_point = method->GetEntryPointFromQuickCompiledCode();

    // 2. 根据入口点类型执行
    if (entry_point == art_quick_to_interpreter_bridge) {
        // 解释执行
        InterpretMethod(method, receiver, args);
    } else if (entry_point == art_quick_generic_jni_trampoline) {
        // JNI 调用
        CallJniMethod(method, receiver, args);
    } else {
        // 直接执行编译后的代码
        typedef void (*CompiledCode)(Object*, ...);
        ((CompiledCode)entry_point)(receiver, args);
    }
}
```

Quick vs Portable 编译

ART 早期支持两种编译后端:

特性	Quick	Portable
实现方式	直接生成目标架构汇编	使用 LLVM 后端
性能	更快的编译速度	更好的运行时性能
代码大小	较小	较大
平台支持	需要为每个架构单独实现	LLVM 自动支持多平台
现状	主要使用	已在 Android 6.0 移除

现代 ART 主要使用 Optimizing Compiler，它是 Quick 编译器的演进版本，具有更好的优化能力。

ART 对象模型与类结构

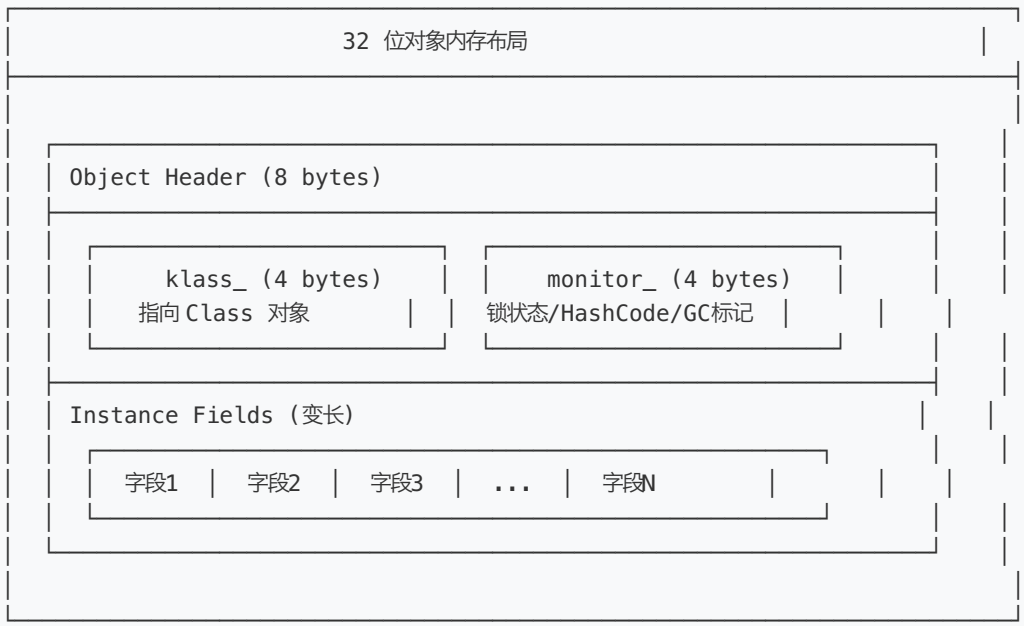
对象头 (Object Header)

每个 Java 对象在内存中都有一个对象头:

```
// art/runtime/mirror/object.h
class Object {
 protected:
  // 对象头只有一个字段: 类指针 + 锁/GC 状态
  HeapReference<Class> klass_;

  // Monitor (锁) 或 HashCode 或 GC 标记
  uint32_t monitor_;
};
```

32 位系统对象布局:



Class 结构

`Class` 对象包含类的所有元信息:

```
// art/runtime/mirror/class.h (简化)
class Class : public Object {
 protected:
  // 类加载器
  HeapReference<ClassLoader> class_loader_;

  // 组件类型 (数组类才有)
  HeapReference<Class> component_type_;

  // DexCache 缓存
  HeapReference<DexCache> dex_cache_;

  // 接口表
  HeapReference<IfTable> iftable_;

  // 类名
  HeapReference<String> name_;

  // 父类
  HeapReference<Class> super_class_;

  // 虚方法表 (vtable)
  HeapReference<PointerArray> vtable_;

  // 静态字段值
  uint64_t sfields_[0];

  // 实例字段偏移
  uint32_t ifields_[0];

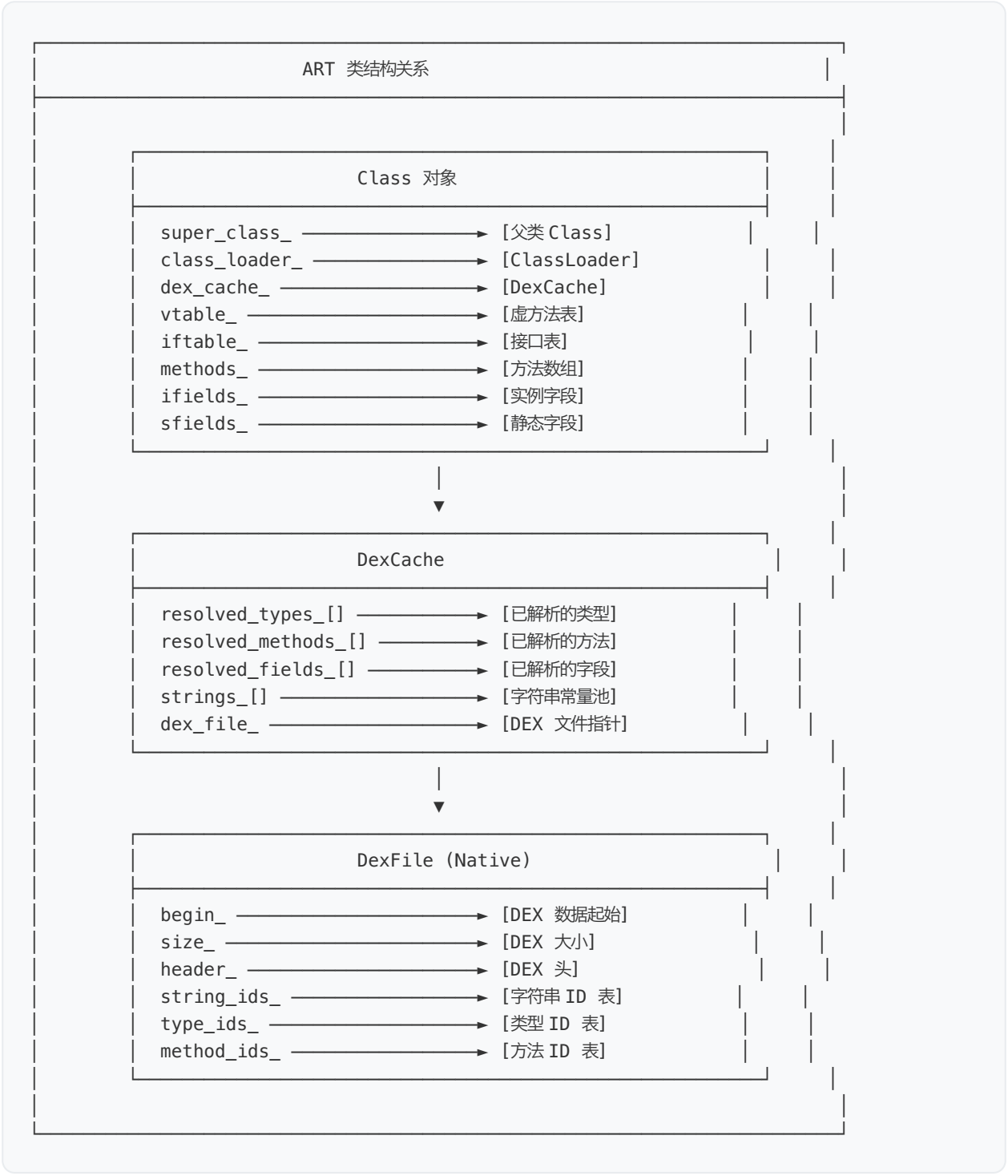
  // 访问标志
  uint32_t access_flags_;

  // 类状态
  ClassStatus status_;

  // 对象大小
  uint32_t object_size_;

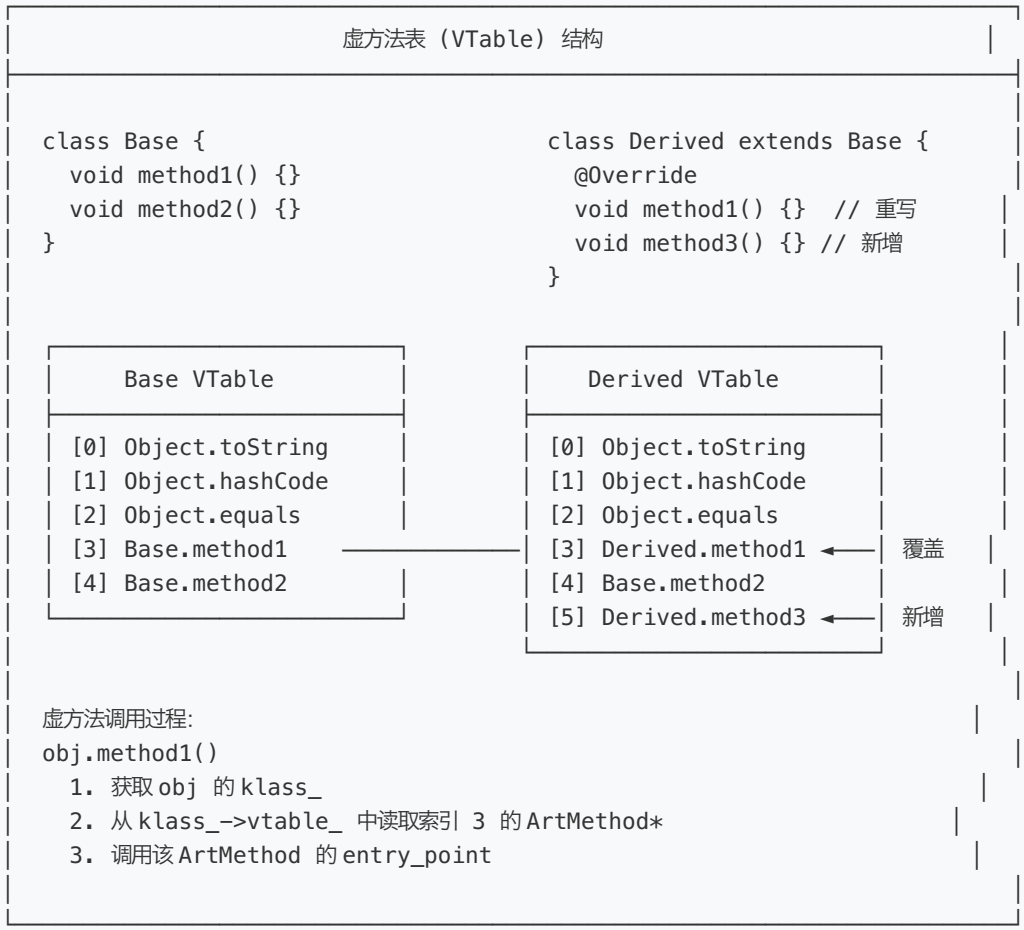
  // ... 更多字段
};
```

类结构关系图



虚方法表 (VTable)

Java 虚方法调用通过 VTable 实现：



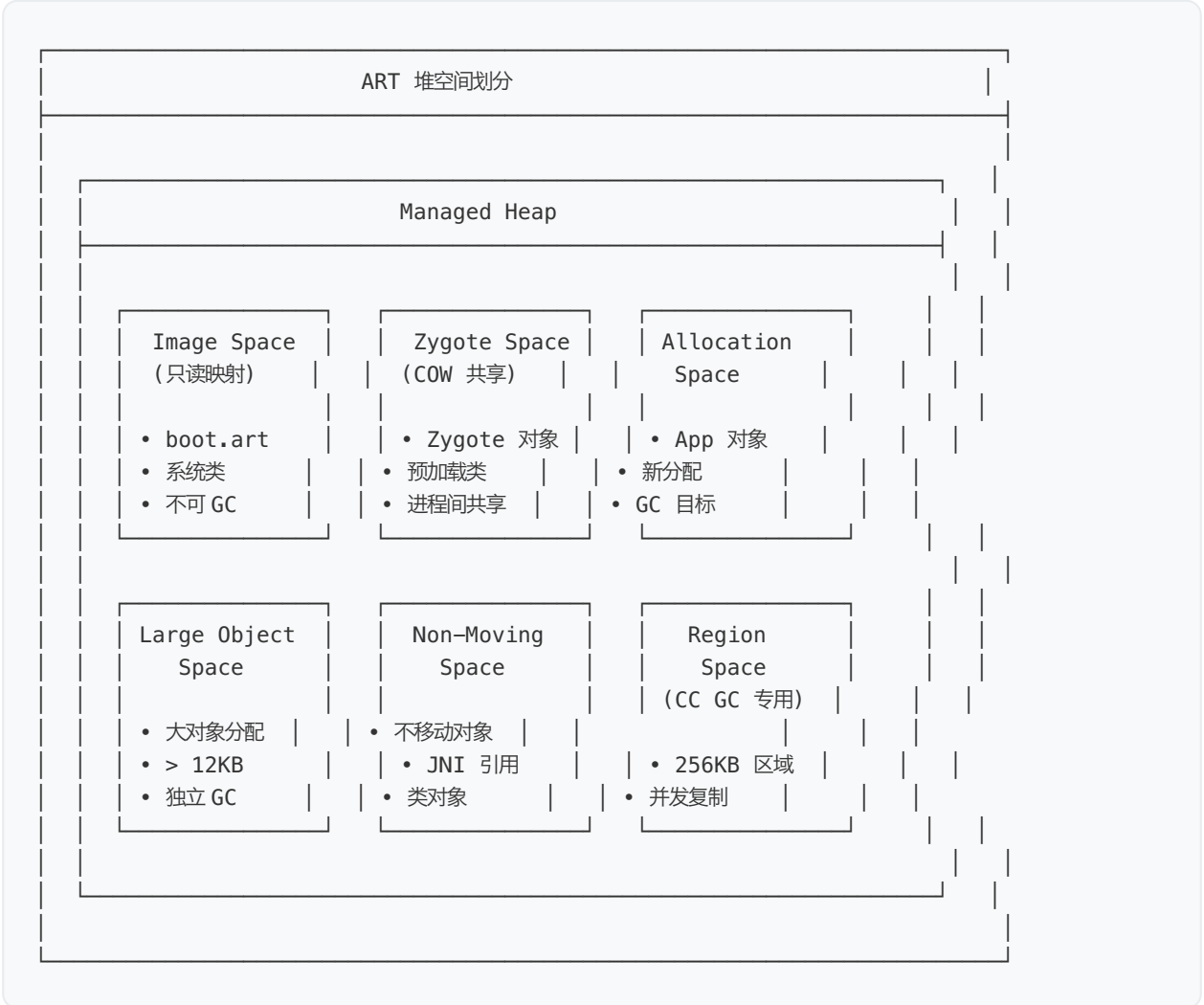
ART 垃圾回收 (GC) 机制

GC 类型

ART 支持多种 GC 策略:

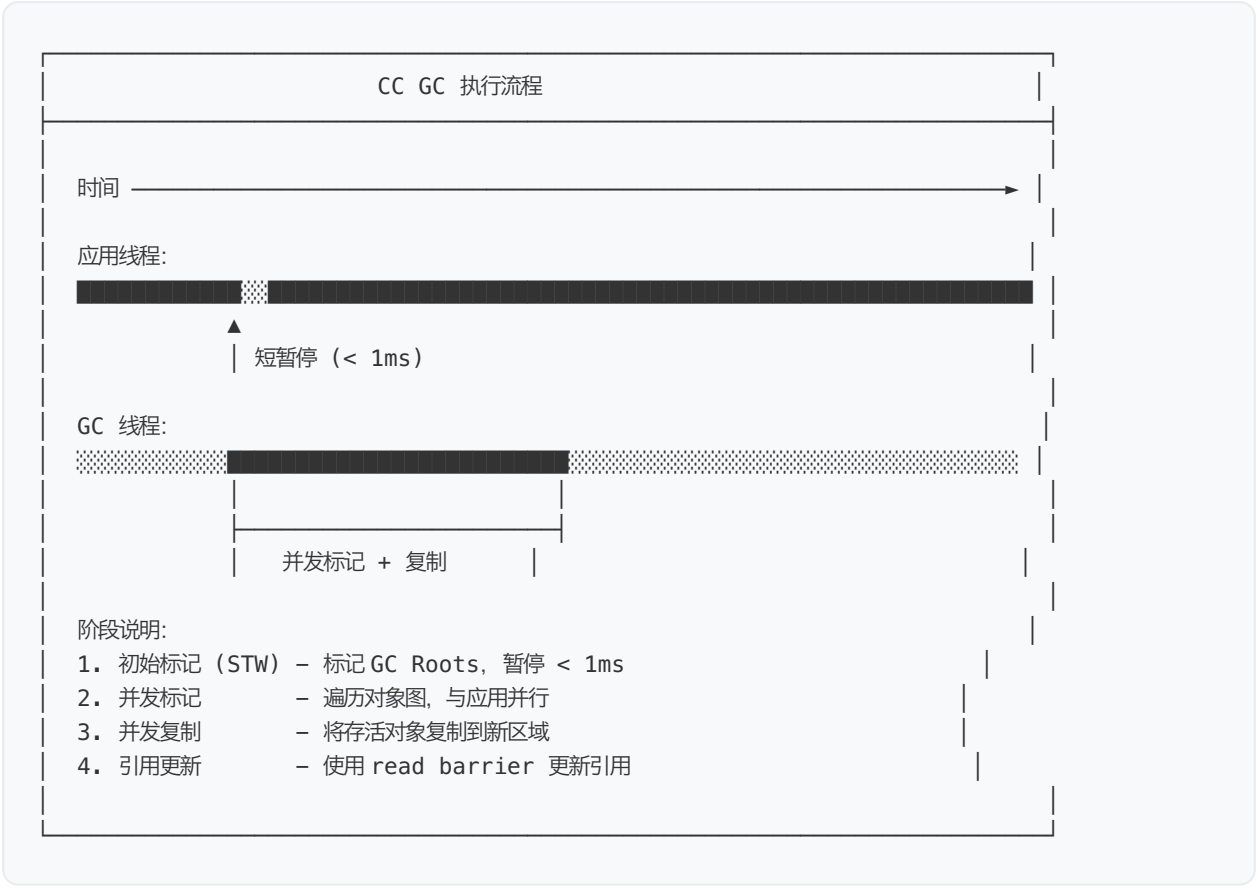
GC 类型	描述	暂停时间	使用场景
CMS (Concurrent Mark Sweep)	并发标记清除	短暂停	默认 GC，低延迟
SS (Semi-Space)	半空间复制	长暂停	内存紧张时
GSS (Generational Semi-Space)	分代半空间	中等暂停	分代回收
CC (Concurrent Copying)	并发复制	极短暂停	Android 8.0+ 默认
CMC (Concurrent Mark Compact)	并发标记整理	短暂停	减少碎片

堆空间划分



并发复制 GC (CC) 流程

Android 8.0+ 默认使用的 CC (Concurrent Copying) GC:



Read Barrier (读屏障)

CC GC 使用读屏障来保证并发安全:

```
// 读屏障伪代码
Object* ReadBarrier(Object** field) {
    Object* obj = *field;
    if (obj != nullptr && IsInFromSpace(obj)) {
        // 对象正在被复制，获取新地址
        Object* forward = GetForwardingAddress(obj);
        if (forward != nullptr) {
            // 更新引用指向新地址
            *field = forward;
            return forward;
        }
    }
    return obj;
}
```

GC 触发条件

```
// GC 触发条件
void MaybeGC() {
    // 1. 分配失败
    if (allocation_failed) {
        TriggerGC(kGcCauseForAlloc);
    }

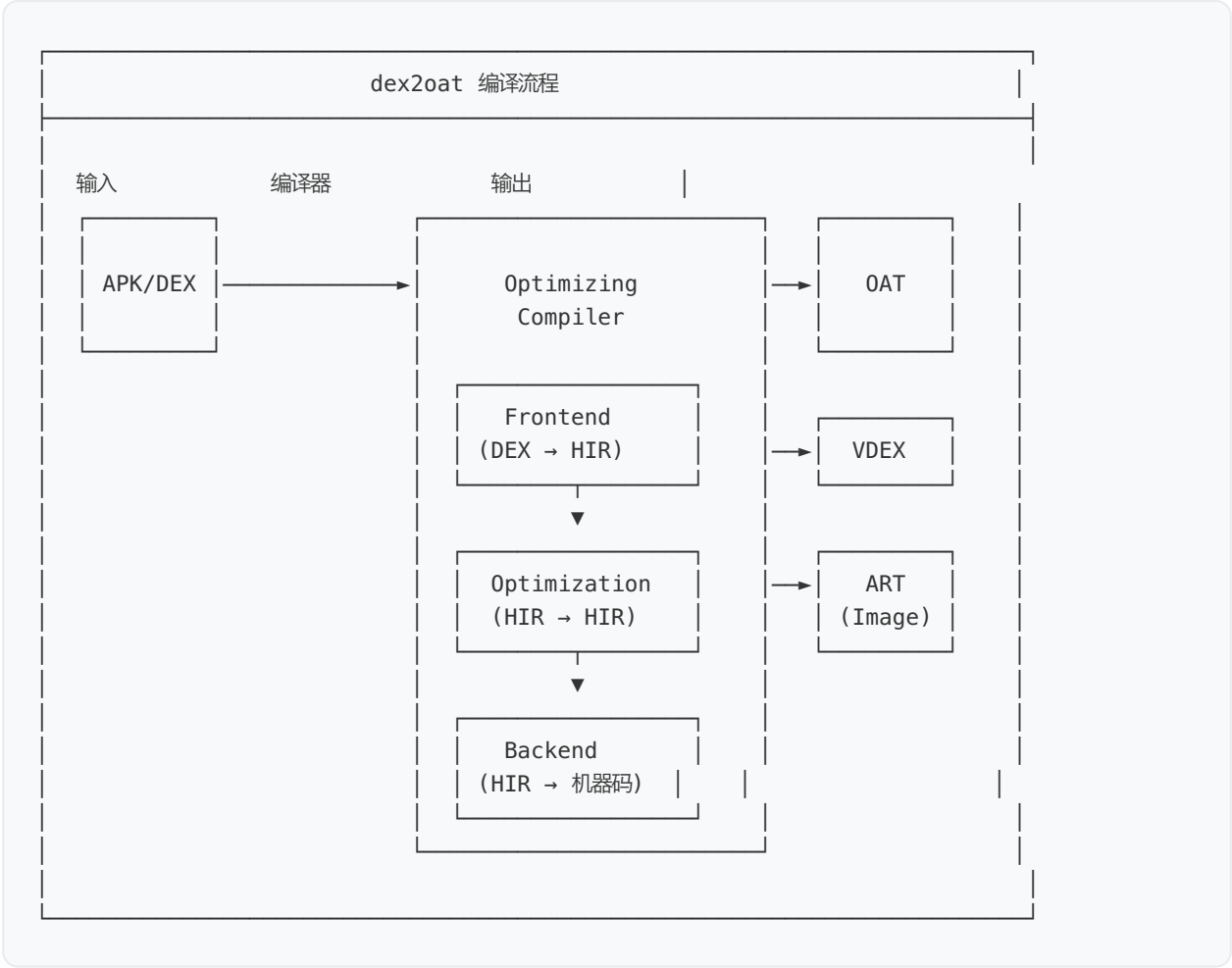
    // 2. 达到堆阈值
    if (bytes_allocated > growth_limit_) {
        TriggerGC(kGcCauseHeapTrim);
    }

    // 3. 显式调用 System.gc()
    if (explicit_gc_requested) {
        TriggerGC(kGcCauseExplicit);
    }

    // 4. 后台 GC
    if (app_in_background && idle_time > threshold) {
        TriggerGC(kGcCauseBackground);
    }
}
```

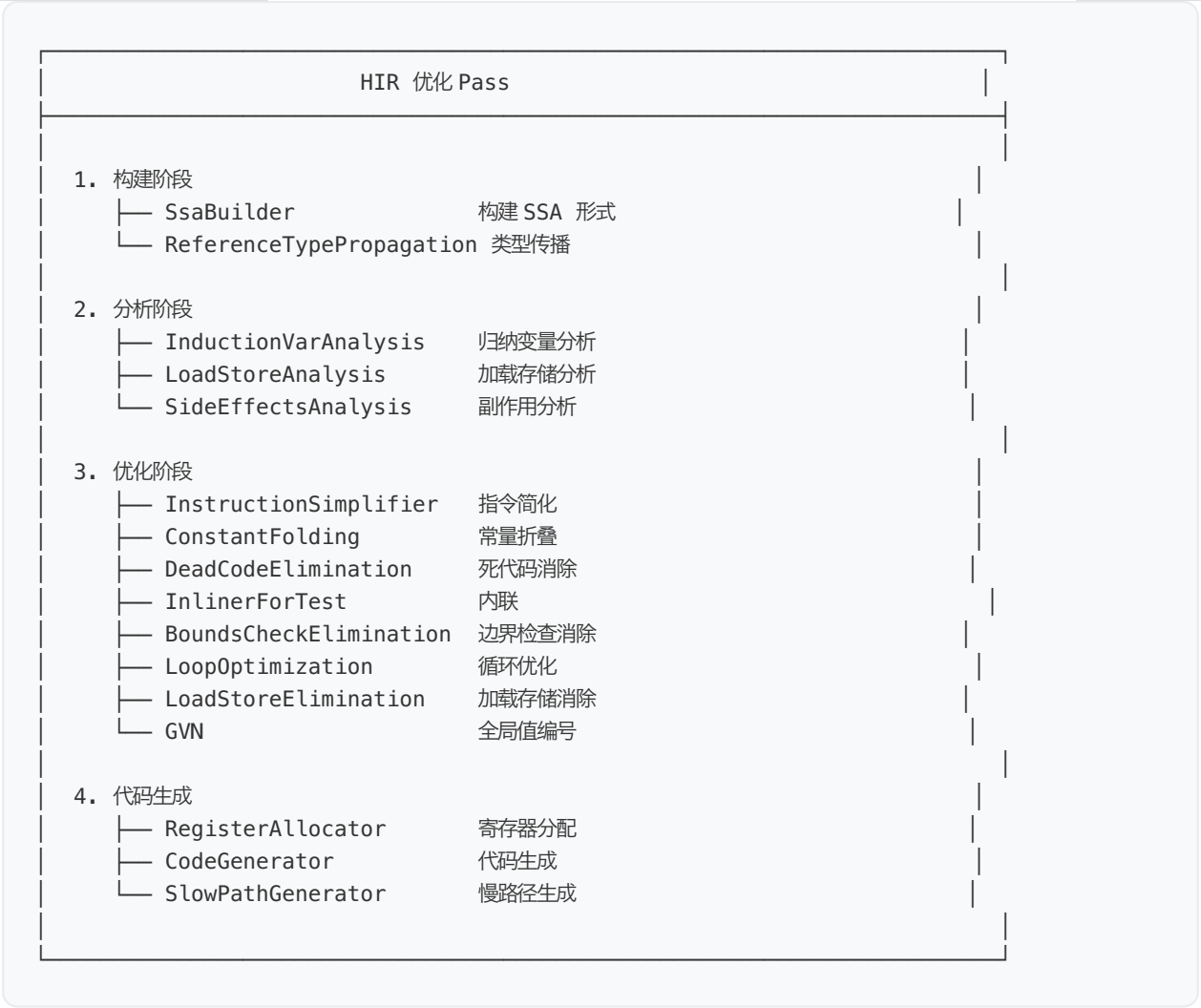
dex2oat 编译流程详解

编译器架构



HIR (High-level IR) 优化

优化编译器执行多种优化：


HIR 优化 Pass
1. 构建阶段
SsaBuilder 构建 SSA 形式
ReferenceTypePropagation 类型传播
2. 分析阶段
InductionVarAnalysis 归纳变量分析
LoadStoreAnalysis 加载存储分析
SideEffectsAnalysis 副作用分析
3. 优化阶段
InstructionSimplifier 指令简化
ConstantFolding 常量折叠
DeadCodeElimination 死代码消除
InlinerForTest 内联
BoundsCheckElimination 边界检查消除
LoopOptimization 循环优化
LoadStoreElimination 加载存储消除
GVN 全局值编号
4. 代码生成
RegisterAllocator 寄存器分配
CodeGenerator 代码生成
SlowPathGenerator 慢路径生成

dex2oat 命令行参数

```
# 完整的 dex2oat 调用示例
dex2oat \
    --dex-file=/data/app/com.example.app/base.apk \
    --oat-file=/data/dalvik-cache/arm64/data@app@com.example.app@base.apk@classes.dex
\
    --instruction-set=arm64 \
    --instruction-set-features=default \
    --runtime-arg -Xms64m \
    --runtime-arg -Xmx512m \
    --compiler-filter=speed-profile \
    --profile-file=/data/misc/profiles/cur/0/com.example.app/primary.prof \
    --generate-mini-debug-info \
    --app-image-file=/data/dalvik-cache/arm64/
data@app@com.example.app@base.apk@classes.art

# 常用编译过滤器
# --compiler-filter=<filter>
#   verify        - 仅验证 DEX
#   quicken       - 快速优化，无编译
#   speed         - 编译所有方法
#   speed-profile - 基于 profile 编译热点方法
#   everything    - 编译所有，包括调试信息
```

编译过滤器对比

Filter	编译内容	OAT 大小	编译时间	运行性能
verify	无	最小	最快	解释执行
quicken	快速优化	小	快	稍快
speed	全部方法	大	慢	最佳
speed-profile	热点方法	中等	中等	很好
everything	全部+调试	最大	最慢	最佳+可调试

ART 生成的文件格式

当 ART 处理一个 APK 时，会在 `/data/dalvik-cache/<arch>/` 目录下生成一些优化后的文件。

文件位置

```
# 系统 boot image
/system/framework/arm64/boot.art
/system/framework/arm64/boot.oat
/system/framework/arm64/boot.vdex

# 应用编译产物
/data/dalvik-cache/arm64/data@app@<package>@base.apk@classes.dex
/data/dalvik-cache/arm64/data@app@<package>@base.apk@classes.art
/data/dalvik-cache/arm64/data@app@<package>@base.apk@classes.vdex

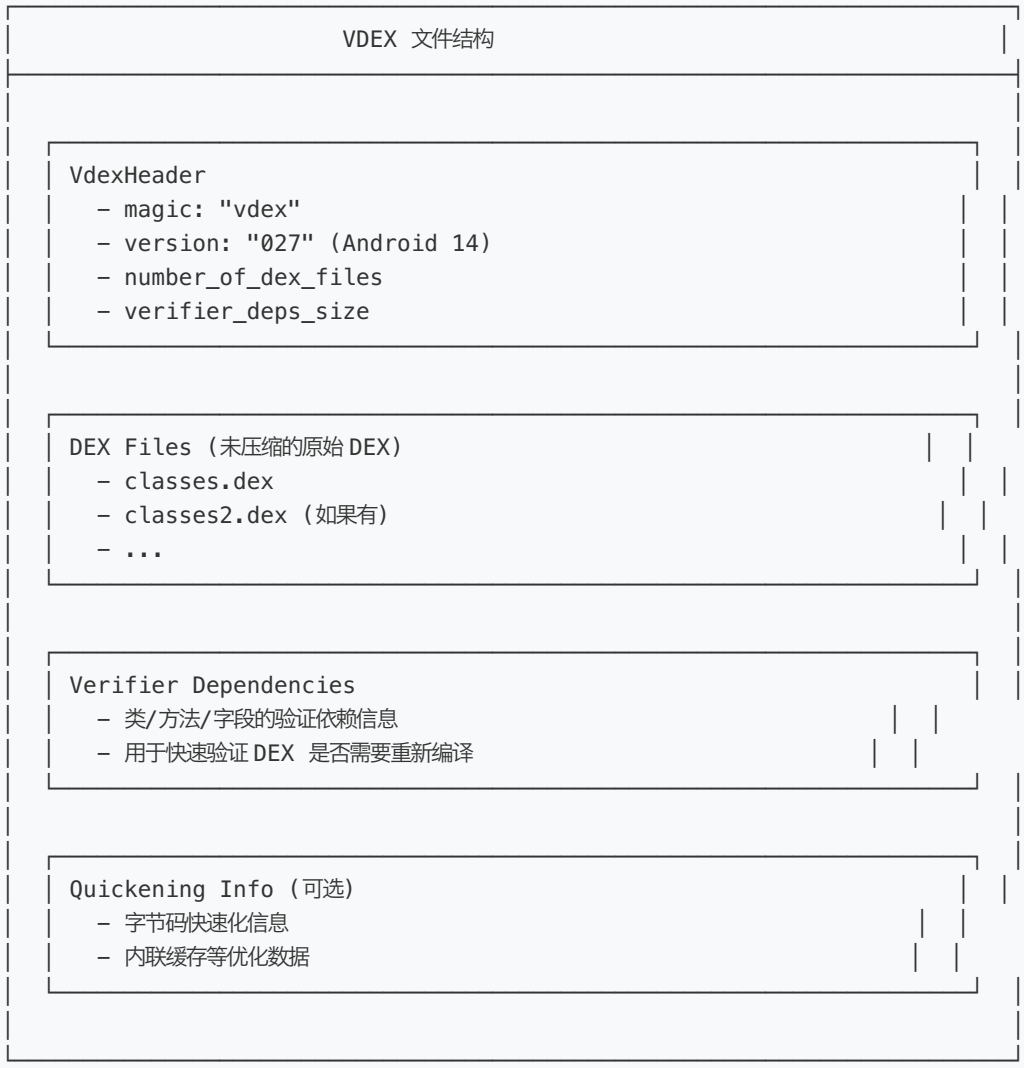
# 或者在应用目录 (Android 10+)
/data/app/<package>/oat/arm64/base.odex
/data/app/<package>/oat/arm64/base.vdex
/data/app/<package>/oat/arm64/base.art
```

OAT 文件 (`.oat`)

OAT (Optimized Android file format) 文件是核心。它包含了由 `dex2oat` 从 DEX 字节码编译而来的本地机器码 (ARM 汇编)。

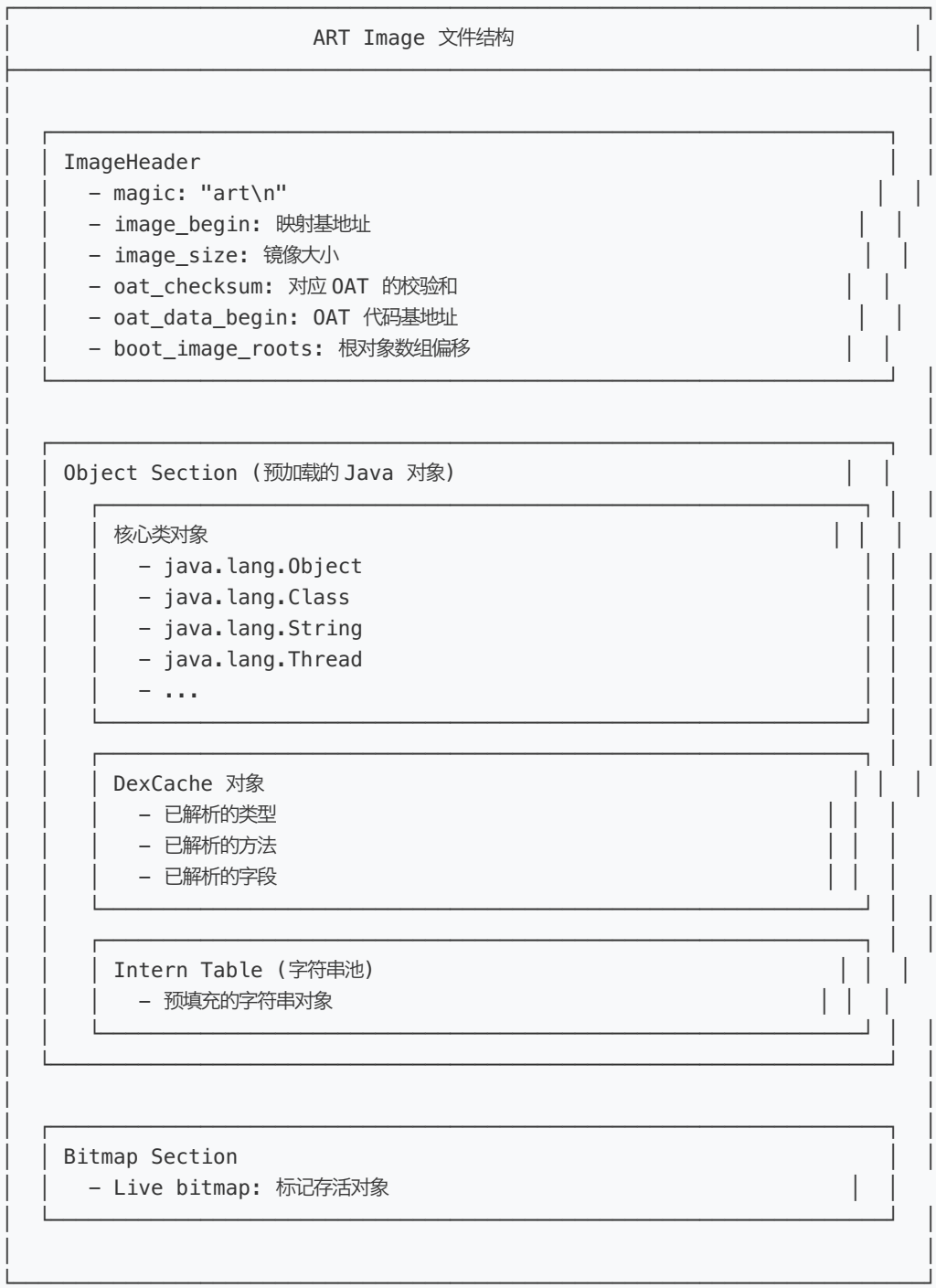
VDEX 文件 (`.vdex`)

从 Android 8.0 (Oreo) 开始引入:



ART 文件 (`.art`) (Image)

这是一个预加载的镜像文件:



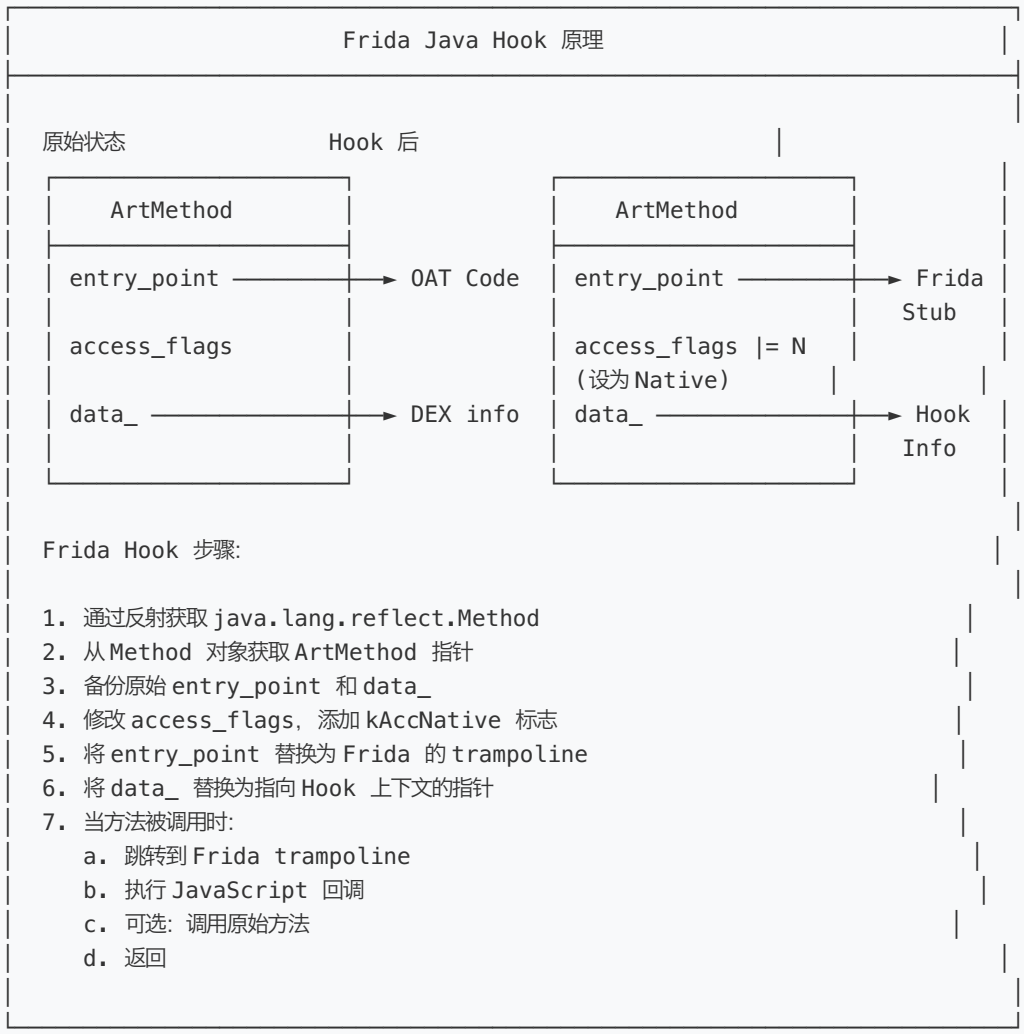
总结: 在现代 Android 系统中，执行流程是: `classes.dex` -> (安装时) `.vdex` -> (后台优化时) `.oat`。

ART vs. Dalvik

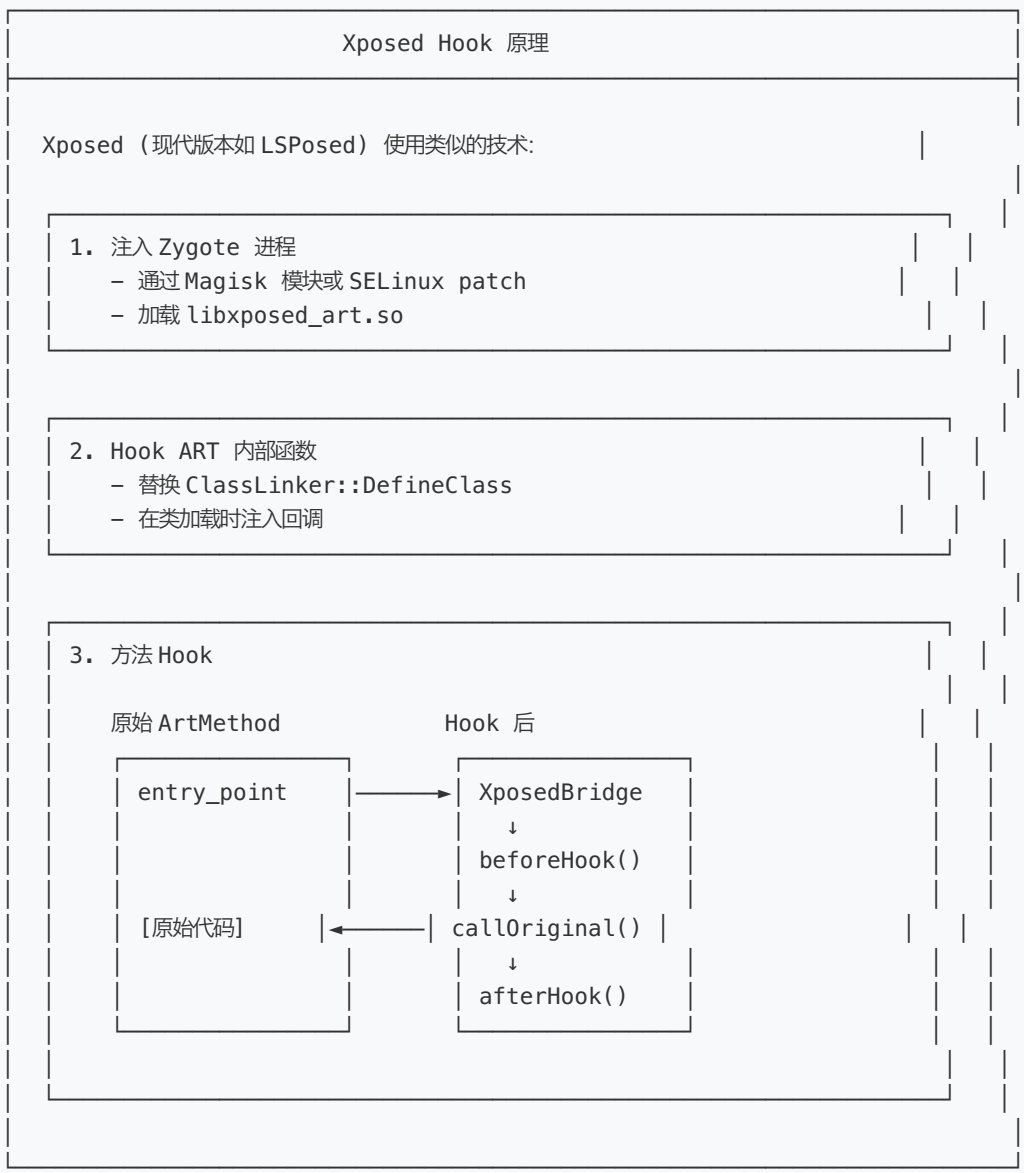
特性	ART	Dalvik
编译模式	AOT + JIT 混合编译	JIT
执行单元	本地机器码 (主要)	DEX 字节码
性能	更高	较低
启动速度	更快	较慢
安装时间	更快 (混合模式下)	快
存储占用	更高 (因 OAT 文件)	较低
垃圾回收 (GC)	优化更好，暂停时间更短	效率较低
调试支持	完善 (JDWP + ART TI)	JDWP
64 位支持	原生支持	不支持

Frida/Xposed 与 ART 交互原理

Frida Hook 原理



Xposed Hook 原理



ART 方法 Hook 的关键地址

```
// Frida 获取关键地址的方式（伪代码）
void* GetArtMethodEntryPoint(void* art_method) {
    // Android 版本不同，偏移不同
    // Android 10 (arm64): offset = 0x20
    // Android 11 (arm64): offset = 0x18
    size_t offset = GetEntryPointOffset();
    return *(void**)((char*)art_method + offset);
}

void SetArtMethodEntryPoint(void* art_method, void* new_entry) {
    size_t offset = GetEntryPointOffset();
    *(void**)((char*)art_method + offset) = new_entry;
}

// ArtMethod 结构体偏移（Android 14, arm64）
// 注意：这些偏移可能随版本变化
struct ArtMethodOffsets {
    size_t declaring_class;           // 0x00
    size_t access_flags;              // 0x04
    size_t dex_code_item_offset;      // 0x08
    size_t dex_method_index;          // 0x0C
    size_t method_index;              // 0x10
    size_t hotness_count;             // 0x12
    size_t ptr_sized_fields_data;     // 0x18
    size_t ptr_sized_fields_entry;    // 0x20
};
```

对逆向工程的影响

!!! tip "实战技巧：从 ART 机制找到突破口"

理解 ART 的工作原理，能让你找到很多"非常规"的逆向思路：

脱壳新思路

1. 监控 `dex2oat` 调用：某些壳会在运行时动态调用 `dex2oat`，监控其命令行参数能发现隐藏的 DEX

2. 从 VDEX 提取 DEX：Android 8.0+ 的 VDEX 文件本质上就是 DEX，用 `vdexExtractor` 可以快速提取
3. 从 OAT 还原 DEX：使用 `oat2dex` 等工具从编译后的 OAT 文件反推原始 DEX

Hook 优化策略

- Java 方法 Hook：优先 Hook Java 层 API，更稳定通用
- Native Hook：当 Java Hook 失效时，找到 ART 编译后的机器码地址进行 inline hook
- GOT/PLT Hook：Hook 动态链接库的导入表，绕过代码完整性检查

关键影响点

- Hook 点的变化: 由于存在 AOT 编译，Frida/Xposed 等框架的 Hook 原理也需要适应。它们不仅仅是 Hook Java 方法，实际上是找到了该方法编译后的本地机器码地址，并对其进行修改（inline hook）。
- 脱壳的复杂性: 许多加固厂商利用 ART 的 AOT 机制。他们可能会在运行时动态解密并加载 DEX，然后手动调用 `dex2oat` 生成 OAT 文件来执行。这使得传统的 DEX Dump 方法失效，需要对 OAT 文件格式和 `dex2oat` 的调用时机进行监控。
- OAT 文件分析: 高级逆向分析有时需要直接分析 OAT 文件。有一些工具（如 `oatdump`）可以从 OAT 文件中提取出原始的 DEX 数据或查看编译后的汇编代码。
- 寻找代码的源头: 即使代码被 AOT 编译，其元数据依然与原始的 DEX 文件相关联。因此，我们的分析起点通常还是从 `classes.dex` 反编译出的 Java 代码开始，而不是直接一头扎进 OAT 文件的汇编代码中。

实战代码示例

示例 1：获取 ArtMethod 地址

```
// Frida 脚本：获取 Java 方法对应的 ArtMethod 地址
function getArtMethod(className, methodName, signature) {
  Java.perform(function () {
    var targetClass = Java.use(className);
    var methods = targetClass.class.getDeclaredMethods();

    for (var i = 0; i < methods.length; i++) {
      var method = methods[i];
      if (method.getName() === methodName) {
        // 获取 ArtMethod 指针
        // Method 对象的 artMethod 字段存储着指针
        var artMethodField = method.getClass().getDeclaredField("artMethod");
        artMethodField.setAccessible(true);
        var artMethodPtr = artMethodField.get(method);

        console.log("[*] Class: " + className);
        console.log("[*] Method: " + methodName);
        console.log("[*] ArtMethod address: " + artMethodPtr);

        // 读取 entry_point
        var entryPointOffset = 0x20; // Android 14, arm64
        var entryPoint = Memory.readPointer(
          ptr(artMethodPtr).add(entryPointOffset)
        );
        console.log("[*] Entry point: " + entryPoint);

        // 判断执行模式
        var toInterpreter = Module.findExportByName(
          "libart.so",
          "art_quick_to_interpreter_bridge"
        );
        if (entryPoint.equals(toInterpreter)) {
          console.log("[*] Mode: Interpreted");
        } else {
          console.log("[*] Mode: Compiled (AOT/JIT)");
          // 打印前几条汇编指令
          console.log("[*] Disassembly:");
          console.log(Instruction.parse(entryPoint));
        }
      }
    }
  });
}

// 使用示例
getArtMethod("com.example.app.MainActivity", "onCreate");
```

示例 2：监控 dex2oat 调用

```
// Frida 脚本：监控 dex2oat 相关调用
function hookDex2oat() {
  // Hook execve 来捕获 dex2oat 调用
  var execve = Module.findExportByName("libc.so", "execve");
  Interceptor.attach(execve, {
    onEnter: function (args) {
      var pathname = Memory.readUtf8String(args[0]);
      if (pathname && pathname.indexOf("dex2oat") !== -1) {
        console.log("\n[!] dex2oat called!");
        console.log("[*] Path: " + pathname);

        // 打印参数
        var argv = args[1];
        var i = 0;
        while (true) {
          var arg = Memory.readPointer(argv.add(i * Process.pointerSize));
          if (arg.isNull()) break;
          console.log("[*] arg[" + i + "]: " + Memory.readUtf8String(arg));
          i++;
        }
      }
    },
  });

  // 也可以Hook OpenDexFilesFromOat
  var artModule = Process.findModuleByName("libart.so");
  if (artModule) {
    var symbols = artModule.enumerateSymbols();
    for (var i = 0; i < symbols.length; i++) {
      if (symbols[i].name.indexOf("OpenDexFilesFromOat") !== -1) {
        console.log(
          "[*] Found: " + symbols[i].name + " at " + symbols[i].address
        );
        Interceptor.attach(symbols[i].address, {
          onEnter: function (args) {
            console.log("[*] OpenDexFilesFromOat called");
          },
          onLeave: function (retval) {
            console.log("[*] OpenDexFilesFromOat returned: " + retval);
          },
        });
      }
    }
  }
}

hookDex2oat();
```

示例 3：Dump 解密后的 DEX

```
// Frida 脚本: 从内存中 Dump DEX
function dumpDex() {
  Java.perform(function () {
    // 方法 1: Hook DexFile 构造
    var DexFile = Java.use("dalvik.system.DexFile");

    // 方法 2: 遍历已加载的 DexFile
    Java.enumerateClassLoaders({
      onMatch: function (loader) {
        try {
          var pathList = loader.pathList.value;
          var dexElements = pathList.dexElements.value;

          for (var i = 0; i < dexElements.length; i++) {
            var element = dexElements[i];
            var dexFile = element.dexFile.value;
            if (dexFile) {
              console.log("\n[*] Found DexFile in ClassLoader");

              // 获取 cookie (native 层 DexFile 指针)
              var cookie = dexFile.mCookie.value;
              console.log("[*] Cookie: " + cookie);

              // 对于 Android 8.0+, 需要解析 cookie 获取多个 DEX
              // cookie 是一个 long 数组
              if (cookie) {
                dumpFromCookie(cookie);
              }
            }
          }
        } catch (e) {
          // ClassLoader 类型可能不是 BaseDexClassLoader
        }
      },
      onComplete: function () {
        console.log("[*] ClassLoader enumeration complete");
      },
    });
  });
}

function dumpFromCookie(cookie) {
  // cookie[0] = oat_file
  // cookie[1..n] = dex_files
  var oatFile = cookie[0];

  for (var i = 1; i < cookie.length; i++) {
    var dexFilePtr = ptr(cookie[i]);

    // 读取 DexFile 结构
    // begin_ 和 size_ 的偏移取决于 Android 版本
    var beginOffset = 0x10; // 示例偏移
```

```
    var sizeOffset = 0x18;

    var begin = Memory.readPointer(dexFilePtr.add(beginOffset));
    var size = Memory.readU32(dexFilePtr.add(sizeOffset));

    console.log("[*] DEX " + i + ": begin=" + begin + ", size=" + size);

    // 验证DEX magic
    var magic = Memory.readByteArray(begin, 4);
    if (arrayToString(magic) === "dex\n") {
      // Dump 到文件
      var fileName = "/data/local/tmp/dump_" + i + ".dex";
      var file = new File(fileName, "wb");
      file.write(Memory.readByteArray(begin, size));
      file.close();
      console.log("[+] Dumped to: " + fileName);
    }
  }
}

function arrayToString(arr) {
  return String.fromCharCode.apply(null, new Uint8Array(arr));
}

dumpDex();
```

示例 4：绕过 dex2oat 检测

```
// 某些 App 会检测 OAT 文件是否存在或被修改
// 这个脚本用于绕过这种检测

function bypassOatCheck() {
  // Hook access/stat 系列函数
  var access = Module.findExportByName("libc.so", "access");
  Interceptor.attach(access, {
    onEnter: function (args) {
      this.path = Memory.readUtf8String(args[0]);
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (
        this.path &&
        (this.path.indexOf(".oat") !== -1 || this.path.indexOf(".vdex") !== -1)
      ) {
        console.log("[*] access(" + this.path + ") = " + retval);
        // 根据需要修改返回值
      }
    },
  });

  // Hook fopen 检测 OAT 读取
  var fopen = Module.findExportByName("libc.so", "fopen");
  Interceptor.attach(fopen, {
    onEnter: function (args) {
      this.path = Memory.readUtf8String(args[0]);
    },
    onLeave: function (retval) {
      if (this.path && this.path.indexOf(".oat") !== -1) {
        console.log("[*] fopen(" + this.path + ") = " + retval);
      }
    },
  });
}

bypassOatCheck();
```

示例 5：Hook ART 内部函数

```
// Hook ART 运行时的内部函数，用于高级分析

function hookArtInternals() {
  var libart = Module.findModuleByName("libart.so");
  if (!libart) {
    console.log("[-] libart.so not found");
    return;
  }

  // 1. Hook 类加载
  var defineClass = null;
  libart.enumerateSymbols().forEach(function (sym) {
    if (
      sym.name.indexOf("ClassLinker") !== -1 &&
      sym.name.indexOf("DefineClass") !== -1
    ) {
      if (!sym.name.includes("Callback")) {
        defineClass = sym.address;
      }
    }
  });

  if (defineClass) {
    Interceptor.attach(defineClass, {
      onEnter: function (args) {
        // 参数取决于具体版本
        console.log("[*] DefineClass called");
      },
    });
  }

  // 2. Hook 方法编译
  libart.enumerateSymbols().forEach(function (sym) {
    if (sym.name.indexOf("JitCompileMethod") !== -1) {
      console.log("[*] Found JitCompileMethod: " + sym.address);
      Interceptor.attach(sym.address, {
        onEnter: function (args) {
          console.log("[*] JIT compiling method...");
        },
        onLeave: function (retval) {
          console.log("[*] JIT compile result: " + retval);
        },
      });
    }
  });

  // 3. Hook GC
  libart.enumerateSymbols().forEach(function (sym) {
    if (
      sym.name.indexOf("CollectGarbage") !== -1 &&
      !sym.name.includes("Internal")
    ) {
```

```
      console.log("[*] Found GC function: " + sym.name);
      Interceptor.attach(sym.address, {
        onEnter: function (args) {
          console.log("[*] GC triggered!");
        },
      });
      return;
    }
  });
}

hookArtInternals();
```

常用工具指南

oatdump

Android 自带的 OAT 分析工具：

```
# 基本用法
oatdump --oat-file=/data/dalvik-cache/arm64/
data@app@com.example.app@base.apk@classes.dex

# 只显示头信息
oatdump --oat-file=base.odex --header-only

# 导出特定方法的汇编
oatdump --oat-file=base.odex --method-filter="MainActivity.onCreate"

# 导出所有方法
oatdump --oat-file=base.odex --dump:code

# 验证 OAT 文件
oatdump --oat-file=base.odex --verify-image

# 输出 OAT 文件的 ELF sections
oatdump --oat-file=base.odex --list-methods
```

典型输出：

```
OAT FILE: /data/dalvik-cache/arm64/data@app@com.example.app@base.apk@classes.dex
LOCATION: /data/app/com.example.app/base.apk
CHECKSUM: 0x12345678
INSTRUCTION SET: ARM64
INSTRUCTION SET FEATURES: ...
DEX FILE COUNT: 1

DEX FILE: base.apk
  LOCATION: base.apk
  CHECKSUM: 0xabcdef01
  DEX FILE SIZE: 1234567

  CLASS: Lcom/example/app/MainActivity; (status=kInitialized)
    0: void com.example.app.MainActivity.onCreate(android.os.Bundle)
       DEX CODE:
         0x0000: ...
       OAT CODE:
         0x00001000: stp x29, x30, [sp, #-16]!
         0x00001004: mov x29, sp
         ...
```

vdexExtractor

从 VDEX 文件提取 DEX:

```
# 下载
git clone https://github.com/anestisb/vdexExtractor.git
cd vdexExtractor
make

# 提取DEX
./vdexExtractor -i /path/to/base.vdex -o /output/dir

# 显示VDEX 信息
./vdexExtractor -i base.vdex --get-api

# 批量提取
./vdexExtractor -i /data/dalvik-cache/arm64/ -o /output/
```

dex2oat 手动编译

```
# 查看 dex2oat 帮助
dex2oat --help

# 手动编译 APK
dex2oat \
    --dex-file=/data/local/tmp/test.apk \
    --oat-file=/data/local/tmp/test.oat \
    --instruction-set=arm64 \
    --compiler-filter=speed

# 编译为调试模式（保留更多信息）
dex2oat \
    --dex-file=test.apk \
    --oat-file=test.oat \
    --compiler-filter=everything \
    --debuggable \
    --generate-debug-info

# 使用 profile 编译
dex2oat \
    --dex-file=test.apk \
    --oat-file=test.oat \
    --compiler-filter=speed-profile \
    --profile-file=/path/to/primary.prof
```

profman

Profile 分析工具：

```
# 查看 profile 内容
profman --dump-classes-and-methods \
    --profile-file=/data/misc/profiles/cur/0/com.example.app/primary.prof \
    --apk=/data/app/com.example.app/base.apk

# 创建 profile
profman --create-profile-from=method_list.txt \
    --reference-profile-file=/output/primary.prof \
    --apk=/path/to/base.apk

# 合并 profiles
profman --profile-file=profile1.prof \
    --profile-file=profile2.prof \
    --reference-profile-file=/output/merged.prof \
    --apk=/path/to/base.apk
```

baksmali/smali

DEX 反汇编/汇编工具:

```
# 反汇编 DEX 到 smali
baksmali d classes.dex -o smali_output/

# 从 VDEX 反汇编（需要先提取）
baksmali d base.vdex -o smali_output/

# 汇编 smali 回 DEX
smali a smali_output/ -o classes_new.dex

# 反汇编特定类
baksmali d classes.dex -o output/ -c "Lcom/example/MainActivity;"
```

其他实用工具

工具	用途	链接
JADX	DEX/APK 反编译为 Java	https://github.com/skylot/jadx
Ghidra	OAT 本地代码分析	https://ghidra-sre.org/
IDA Pro	OAT/SO 逆向分析	https://hex-rays.com/ida-pro/
dexdump	Android 自带 DEX 分析	Android SDK
apktool	APK 解包/重打包	https://ibotpeaches.github.io/Apktool/

ART 版本演进

Android 各版本 ART 特性

Android 版本	ART 主要变化
5.0 (L)	ART 成为默认运行时，纯 AOT 编译
6.0 (M)	移除 Portable 后端，仅保留 Quick
7.0 (N)	引入 JIT + AOT 混合模式，Profile-Guided 编译
8.0 (O)	引入 VDEX 文件，Concurrent Compacting GC
9.0 (P)	改进的 Profile 收集，更好的内联
10 (Q)	.art 文件优化，更快的应用启动
11 (R)	增量 dex2oat，改进的 JIT 缓存
12 (S)	进一步优化内存使用，改进 GC
13 (T)	更好的启动 Profile，改进的 AOT
14 (U)	持续性能优化，更好的电池续航

ArtMethod 结构演进

```
// 不同版本 ArtMethod 入口点偏移 (arm64)
// 这些偏移会随版本变化，Hook 时需要动态获取

// Android 7.x
// entry_point offset: 0x24

// Android 8.x
// entry_point offset: 0x20

// Android 9.x
// entry_point offset: 0x20

// Android 10.x
// entry_point offset: 0x20

// Android 11+
// entry_point offset: 0x18 (部分版本)

// 获取正确偏移的方法
function getEntryPointOffset() {
    var sdk = Java.use("android.os.Build$VERSION").SDK_INT.value;
    if (sdk >= 30) {
        return 0x18;  // Android 11+
    } else if (sdk >= 26) {
        return 0x20;  // Android 8-10
    } else {
        return 0x24;  // Android 7.x
    }
}
```

OAT 版本历史

OAT 版本号对应关系:

```
Android 5.0  - OAT 039
Android 5.1  - OAT 045
Android 6.0  - OAT 064
Android 7.0  - OAT 079
Android 7.1  - OAT 088
Android 8.0  - OAT 126
Android 8.1  - OAT 131
Android 9.0  - OAT 138
Android 10   - OAT 170
Android 11   - OAT 183
Android 12   - OAT 195
Android 13   - OAT 220
Android 14   - OAT 225
```

可以通过读取 OAT 文件头来判断版本:

```
$ xxd base.oat | head -n 1
00000000: 6f61 740a 3138 3300 ...  oat.183.
```

调试与诊断

启用 ART 日志

```
# 启用详细日志
adb shell setprop dalvik.vm.extra-opts "-verbose:class,jit,gc"

# 启用 JIT 日志
adb shell setprop dalvik.vm.usejit true
adb shell setprop dalvik.vm.usejitprofiles true

# 查看 GC 日志
adb logcat -s "art:V"

# 查看类加载日志
adb logcat | grep -E "(Loading class|Loaded class)"
```

性能分析

```
# 使用 simpleperf 分析 ART
simpleperf record -p <pid> -g --call-graph fp -o perf.data
simpleperf report -i perf.data

# 生成火焰图
simpleperf report -i perf.data --kallsyms /proc/kallsyms -g --symfs /path/to/symbols
```

常见问题诊断

问题	可能原因	解决方法
Hook 不生效	方法已被 AOT 编译	使用 inline hook 或重新编译
脱壳不完整	DEX 动态加载	监控 DexFile 创建
崩溃在 libart.so	ART 内部错误	检查 tombstone 和 logcat
性能下降	JIT 频繁编译	检查热点代码
OOM	堆空间不足	调整 dalvik.vm.heapsize

F09: ARM 汇编入门

F09: ARM 汇编入门 (Android Native)

当应用的核心逻辑、加密算法或性能密集型任务用 C/C++ 编写时，它们会被编译成原生库（`.so` 文件）。在 Android 上，这些库主要是 ARM 架构的。理解 ARM 汇编是分析 `.so` 文件的基础。本指南将介绍逆向工程师需要了解的 ARMv7 (32-bit) 和 ARMv8 (64-bit/A64) 的基础知识。

!!! question "思考：为什么必须学习汇编？" 当你遇到以下场景时，该如何应对？

- 用 Jadx 打开 APK，发现关键的加密逻辑都在 `native` 方法中
- Frida Hook 到了某个 JNI 函数，但参数是指针，不知道如何读取
- IDA 打开 `.so` 文件，满屏的汇编指令让你无从下手

> 这些场景的共同点是：核心逻辑被编译成了机器码。不理解汇编，就像试图在不懂外语的情况下阅读外文书籍——你只能靠猜。

目录

- 算术与逻辑指令
- 分支与条件执行指令
- 栈操作指令

1. 函数调用约定 (Procedure Call Standard)
2. 从 C 代码到汇编
3. IDA Pro/Ghidra 中的视图

基本概念：ARM vs x86

- RISC vs CISC: ARM 是精简指令集计算机 (RISC)，指令长度固定，种类较少，操作简单。x86 是复杂指令集计算机 (CISC)。
- Load/Store 架构: ARM 是一种"加载/存储"架构。这意味着数据处理（如加法、减法）只能在寄存器之间进行。你必须先用加载指令 (`LDR`) 将内存中的数据加载到寄存器，计算完成后再用存储指令 (`STR`) 将结果存回内存。
- 指令模式: ARMv7 (32-bit) 支持两种指令集:
- ARM: 32-bit 定长指令，功能强大。
- Thumb: 16-bit/32-bit 变长指令，代码密度更高，是移动设备上的主流。在 IDA 等工具中，你通常会分析 Thumb 模式下的代码。

寄存器 (Registers)

寄存器是 CPU 内的高速存储单元。

!!! tip "快速定位关键寄存器" 在分析一个陌生函数时，如何快速抓住重点?

- 函数入口：先看 `R0-R3` (32 位) 或 `X0-X7` (64 位)，这些是参数
- 函数返回：关注 `R0/X0`，这是返回值存放的地方

- 函数调用：`BL` 指令前后，检查参数寄存器的变化
- 栈操作：`SP` 的变化反映了局部变量的分配

这种"重点优先"的阅读策略，能让你快速理解函数的输入输出，而不必逐行分析每条指令。

ARM 32-bit (ARMv7)

共有 16 个通用寄存器 (`R0` - `R15`)。

寄存器	别名	用途
`R0` - `R3`	`A1` - `A4`	参数寄存器 (Argument)。用于传递函数的前 4 个参数。`R0` 也用作返回值寄存器。
`R4` - `R11`	`V1` - `V8`	变量寄存器 (Variable)。用于保存函数的局部变量。
`R12`	`IP`	过程调用间临时寄存器 (Intra-Procedure call scratch register)。
`R13`	`SP`	栈指针 (Stack Pointer)。指向栈顶。
`R14`	`LR`	链接寄存器 (Link Register)。存储函数调用的返回地址。
`R15`	`PC`	程序计数器 (Program Counter)。指向当前正在执行的指令。

ARM 64-bit (AArch64)

寄存器数量更多，且功能更明确。

| 寄存器 | 用途 | | :---------- | :---------- | | `X0` - `X7` | 参数寄存器。用于传递函数的前 8 个参数。`X0` 同样用作返回值寄存器。 | | `X8` - `X18` | 调用者/被调用者保存的临时寄存器。 | | `X19` - `X28` | 被调用者保存的寄存器 (Callee-saved)。 | | `X29` | `FP` | 帧指针 (Frame Pointer)。 | | `X30` | `LR` | 链接寄存器 (Link Register)。 | | `SP` | 栈指针 (Stack Pointer)。 |

- 注*: `W` 寄存器 (`W0`, `W1`...) 是 `X` 寄存器的低 32 位。例如，对 `W0` 的操作就是对 `X0` 的低 32 位进行操作。

核心指令集

数据移动指令

- `MOV R1, R2` (32-bit) / `MOV X1, X2` (64-bit): 将寄存器 `R2` 的值移动到 `R1`。
- `LDR R0, [SP, #4]` (32-bit) / `LDR X0, [SP, #8]` (64-bit): 加载。从栈指针 `SP` 偏移 4 (或 8) 字节的位置读取数据，并存入 `R0` (或 `X0`)。
- `STR R0, [SP, #4]` (32-bit) / `STR X0, [SP, #8]` (64-bit): 存储。将 `R0` (或 `X0`) 的值写入到 `SP` 偏移 4 (或 8) 字节的内存地址。
- `ADR X0, aHelloWorld` (64-bit, PC-relative): `ADR` (Address PC-Relative) 指令将一个相对于 PC 的地址（如字符串 "Hello World" 的地址）加载到 `X0`。

算术与逻辑指令

- `ADD R0, R1, R2`: `R0 = R1 + R2`。
- `SUB R0, R1, #1`: `R0 = R1 - 1`。
- `and R0, R0, #0xFF`: 按位与。
- `CMP R0, #10`: 比较 `R0` 和 10。该指令会更新状态寄存器 (CPSR)，但不存储结果。它总是紧跟在条件分支指令之前。

分支与条件执行指令

- `B label`: 分支 (Branch)。无条件跳转到 `label`。
- `BL label`: 带链接的分支 (Branch with Link)。跳转到 `label` 之前，将下一条指令的地址存入 `LR` (链接寄存器)。这是函数调用的核心指令。
- `BX LR` / `RET`: 带交换的分支 (Branch with Exchange) / 返回。跳转到 `LR` 中的地址，实现函数返回。`RET` 是 `BX LR` 的别名。
- `B.EQ label`: 条件分支。如果前一个 `CMP` 指令的结果是相等 (Equal)，则跳转。

- `B.NE label`: 不相等 (Not Equal)。
- `B.GT label`: 大于 (Greater Than)。
- `B.LT label`: 小于 (Less Than)。
- `B.GE label`: 大于或等于 (Greater or Equal)。
- `B.LE label`: 小于或等于 (Less or Equal)。

栈操作指令

- `PUSH {R4, LR}`: 将 `R4` 和 `LR` 寄存器压入栈。通常在函数开头，用于保存需要使用的寄存器和返回地址。
- `POP {R4, PC}`: 将栈顶数据弹出到 `R4` 和 `PC`。`POP {..., PC}` 是一种常见的函数返回方式，它将保存在栈上的 `LR` 值直接弹出到 `PC`，实现了跳转返回。
- `STP X29, X30, [SP, #-16]!` (A64): `STP` (Store Pair) 指令，将一对寄存器 (`X29`/`FP`, `X30`/`LR`) 存入 `SP` 指向的地址，`!` 表示 `SP` 会预先减去 16。
- `LDP X29, X30, [SP], #16` (A64): `LDP` (Load Pair) 指令，从 `SP` 地址加载数据到 `X29` 和 `X30`，然后 `SP` 再增加 16。

函数调用约定 (Procedure Call Standard)

1. 参数传递:

- 32-bit: 前 4 个参数通过 `R0` - `R3` 传递。
- 64-bit: 前 8 个参数通过 `X0` - `X7` 传递。
- 超出数量的参数通过栈传递。

1. 函数调用: 调用者使用 `BL` 指令。
2. 函数序言 (Prologue):

- 被调用函数（子函数）首先要做的是保存现场。

- 使用 `PUSH` 或 `STP` 将需要在函数中使用的寄存器（如 `R4-R11`, `FP`, `LR`）压入栈中。
- 分配栈空间给局部变量 (`SUB SP, SP, #...`)。

1. 函数结语 (Epilogue):

- 函数执行完毕，准备返回。
- 释放局部变量的栈空间 (`ADD SP, SP, #...`)。
- 使用 `POP` 或 `LDP` 从栈中恢复之前保存的寄存器。
- 使用 `BX LR` 或 `RET` 或 `POP {PC}` 返回。

1. 返回值:

- 简单的返回值（整数、指针）存放在 `R0` (32-bit) 或 `X0` (64-bit) 中。

从 C 代码到汇编

C 代码:

```
int add_one(int a) {
return a + 1;
}
```

BX LR ; return

```
RET ; return
```

- 伪代码视图 (Pseudocode View): IDA Pro (F5 键) 和 Ghidra 的反编译器可以直接将汇编代码转换成可读性很高的 C 伪代码，这是静态分析的利器。通常先看伪代码，遇到不理解的地方再回头看汇编。

F10: x86 与 ARM 汇编基础

F10: x86 与 ARM 汇编基础指南

汇编语言是与计算机硬件直接对话的低级编程语言，是逆向工程、系统编程和性能优化的基石。在当今世界，x86 和 ARM 是两种最主流的指令集架构 (ISA)。理解它们的核心概念与差异对于逆向工程师至关重要。

- x86: 由 Intel 主导，采用CISC (复杂指令集计算机) 设计。指令长度可变，功能强大但复杂，主要用于桌面和服务器。
- ARM: 由 ARM Holdings 设计，采用RISC (精简指令集计算机) 设计。指令长度固定，设计简洁优雅，功耗低，主宰了移动和嵌入式设备领域。

目录

x86 汇编 (IA-32)

以 32 位 x86 架构为例，其设计复杂而灵活。

核心寄存器

8 个 32 位通用寄存器，它们有主要用途，但在很多情况下可以通用。

寄存器	主要用途
EAX	累加器 (Accumulator): 通常用于存放函数返回值和算术运算结果。
EBX	基址 (Base): 常作为数据段的基址指针。
ECX	计数器 (Counter): 常用于循环计数。
EDX	数据 (Data): 常用于存放数据，特别是在乘除法中与 EAX 配合。
ESP	栈指针 (Stack Pointer): 永远指向栈顶。
EBP	基址指针 (Base Pointer): 永远指向当前函数栈帧的底部。
ESI	源变址 (Source Index): 字符串和内存操作中的源地址。
EDI	目的变址 (Destination Index): 字符串和内存操作中的目的地址。
EIP	指令指针 (Instruction Pointer): 永远指向下一条将要执行的指令的地址。

常用指令

- 数据传送:
- `MOV dest, src`: 将 `src` 的值赋给 `dest`。 (e.g., `MOV EAX, EBX`)
- `PUSH val`: 将 `val` 压入栈顶， `ESP` 减 4。

- `POP reg`: 从栈顶弹出一个值到 `reg`，`ESP` 加 4。
- `LEA reg, [mem]`: 将 `mem` 的有效地址加载到 `reg`，而不是其内容。
- 算术运算:
- `ADD dest, src`: `dest = dest + src`
- `SUB dest, src`: `dest = dest - src`
- `INC reg`: `reg = reg + 1`
- `DEC reg`: `reg = reg - 1`
- 逻辑与跳转:
- `CMP reg1, reg2`: 比较 `reg1` 和 `reg2` (实际是做减法)，并根据结果设置标志位。
- `JMP target`: 无条件跳转到 `target` 地址。
- `JE target`: 如果相等 (Zero Flag=1) 则跳转。
- `JNE target`: 如果不相等 (Zero Flag=0) 则跳转。
- `JG/JL/JGE/JLE`: 大于/小于/大于等于/小于等于时跳转。
- 函数调用:
- `CALL target`: 将 `EIP` 的下一条指令地址压栈，然后跳转到 `target`。
- `RET`: 从栈顶弹出地址，并跳转到该地址。

调用约定 (Calling Convention)

规定了函数如何传递参数和返回结果。常见于 32 位 Windows 的是 `stdcall`，而 Linux/macOS 上常见 `cdecl`。

- **`cdecl`**:
- 参数从右到左依次压入栈中。

- 调用者负责在函数返回后清理栈。
- `stdcall`:
- 参数从右到左依次压入栈中。
- 被调用者自己负责在返回前清理栈。

ARM 汇编 (ARMv7)

以 32 位 ARM 架构为例，其设计简洁而高效。

核心寄存器

共有 16 个 32 位通用寄存器 (R0-R15)。

寄存器	别名	主要用途
R0 - R3		参数/返回值: 用于传递函数的前 4 个参数，`R0` 也用于存放函数返回值。
R4 - R12		通用寄存器，用于保存局部变量。
R13	SP	栈指针 (Stack Pointer): 指向栈顶。
R14	LR	链接寄存器 (Link Register): 存储函数的返回地址。
R15	PC	程序计数器 (Program Counter): 指向下一条将要执行的指令。

加载/存储 (Load/Store) 架构

这是 RISC 的核心思想。CPU 不能直接对内存中的数据进行运算。

1. 必须先用 `LDR` (Load Register) 指令将内存中的数据加载到寄存器中。
2. 在寄存器之间完成所有算术和逻辑运算。

---

3. 再用 `STR` (Store Register) 指令将结果存回内存。

常用指令

- 数据传送:
- `MOV Rd, Rn`: 将 `Rn` 的值赋给 `Rd`。 (e.g., `MOV R0, R1`)
- 算术运算:
- `ADD Rd, Rn, Rm`: `Rd = Rn + Rm`
- `SUB Rd, Rn, Rm`: `Rd = Rn - Rm`
- 内存操作:
- `LDR Rd, [Rn, #offset]`: 从地址 `Rn + offset` 加载一个字到 `Rd`。
- `STR Rd, [Rn, #offset]`: 将 `Rd` 的值存储到一个字到地址 `Rn + offset`。
- 栈操作:
- `PUSH {reg_list}`: 将寄存器列表压入栈。
- `POP {reg_list}`: 将值从栈中弹出到寄存器列表。
- 跳转与比较:
- `CMP Rn, Rm`: 比较 `Rn` 和 `Rm`，并设置标志位。
- `B target`: 无条件跳转到 `target`。
- `BEQ target`: 如果相等则跳转。
- `BNE target`: 如果不相等则跳转。
- `BL target`: (Branch with Link) "调用函数"。它会自动将下一条指令的地址存入 LR 寄存器，然后跳转到 `target`。
- 函数返回时，只需执行 `MOV PC, LR` 或 `BX LR` 即可。

调用约定 (AAPCS)

ARM Procedure Call Standard。

- 参数传递:
- 前 4 个参数通过 R0, R1, R2, R3 传递。
- 剩余的参数通过栈传递。
- 返回值:
- 返回值存储在 R0 中。
- 返回地址:
- 通过 LR 寄存器管理。

x86 vs. ARM 核心差异对比

特性	x86 (CISC)	ARM (RISC)
指令集	复杂，长度可变	精简，长度固定
内存访问	可以直接对内存操作 (e.g., `ADD [mem], EAX`)	加载/存储架构 (必须先 `LDR`，再 `STR`)
寄存器	较少，且有特定用途	较多，大多为通用寄存器
函数调用	`CALL` 指令压栈 `EIP`	`BL` 指令将返回地址存入 `LR` 寄存器
参数传递	主要通过栈	主要通过寄存器 (R0-R3)
条件执行	通过 `CMP` 和 `Jcc` 跳转指令	所有指令都可以是条件执行的 (e.g., `MOVEQ R0, R1`)

F11: TOTP 时间动态密码

F11: TOTP 技术原理

TOTP (Time-Based One-Time Password) 是一种基于时间的一次性密码算法，广泛应用于双因素认证 (2FA) 和 API 防护场景。

核心原理

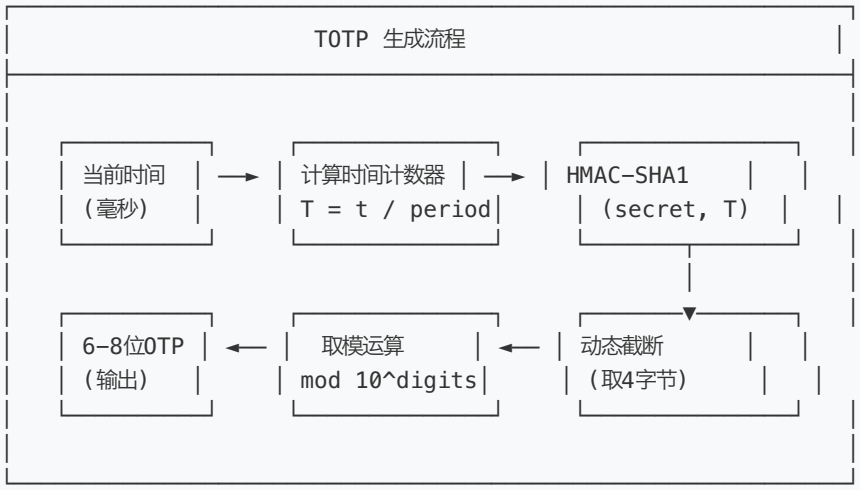
TOTP 基于 HMAC-SHA1 算法，结合共享密钥和当前时间戳生成动态密码。其核心公式为：

```
TOTP = HMAC-SHA1(Secret, TimeCounter) mod 10^Digits
```

其中：

- `TimeCounter = floor(CurrentTime / Period)`
- `Period` 通常为 30 秒
- `Digits` 通常为 6 位

算法流程



关键参数

参数	说明	典型值
Secret	共享密钥 (Base32编码)	16-32 字节
Period	时间步长	30 秒
Digits	OTP 位数	6-8 位
Algorithm	哈希算法	SHA1 / SHA256 / SHA512

标准实现

以下是符合 RFC 6238 规范的 Python 实现:

```
import hmac
import hashlib
import time
import base64

def generate_totp(secret: bytes, period: int = 30, digits: int = 6) -> str:
    """
  生成 TOTP 一次性密码

    Args:
        secret: 共享密钥 (原始字节)
        period: 时间步长 (秒)
        digits: OTP 位数

    Returns:
    生成的 OTP 字符串
    """
    # 1. 计算时间计数器
    counter = int(time.time()) // period
    counter_bytes = counter.to_bytes(8, byteorder='big')

    # 2. HMAC-SHA1 计算
    hmac_result = hmac.new(secret, counter_bytes, hashlib.sha1).digest()

    # 3. 动态截断 (Dynamic Truncation)
    offset = hmac_result[-1] & 0x0F
    binary = (
        (hmac_result[offset] & 0x7F) << 24 |
        (hmac_result[offset + 1] & 0xFF) << 16 |
        (hmac_result[offset + 2] & 0xFF) << 8 |
        (hmac_result[offset + 3] & 0xFF)
    )

    # 4. 取模得到最终 OTP
    otp = binary % (10 ** digits)
    return str(otp).zfill(digits)


def generate_totp_from_base32(secret_base32: str, period: int = 30, digits: int = 6)
-> str:
    """
  从 Base32 编码的密钥生成 TOTP

    Args:
        secret_base32: Base32 编码的共享密钥
        period: 时间步长 (秒)
        digits: OTP 位数

    Returns:
    生成的 OTP 字符串
    """
    # 解码 Base32 密钥
```

```
    secret = base64.b32decode(secret_base32.upper())
    return generate_totp(secret, period, digits)


# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    # Base32 编码的测试密钥
    test_secret = "JBSWY3DPEHPK3PXP"
    otp = generate_totp_from_base32(test_secret)
    print(f"Generated OTP: {otp}")
```

动态截断详解

动态截断 (Dynamic Truncation) 是 TOTP 的关键步骤，用于从 20 字节的 HMAC 结果中提取 4 字节作为 OTP 的来源：

1. 取偏移量: 从 HMAC 结果的最后一个字节取低 4 位作为偏移量 (0-15)
2. 提取 4 字节: 从偏移量位置开始取 4 个字节
3. 屏蔽符号位: 将第一个字节的最高位置 0，确保结果为正数
4. 取模运算: 对 10^digits 取模，得到最终的 OTP

```
# 动态截断伪代码
offset = hmac_result[-1] & 0x0F  # 取最后字节的低4位
binary = hmac_result[offset:offset+4]  # 取4字节
binary[0] &= 0x7F  # 屏蔽符号位
otp = int.from_bytes(binary, 'big') % (10 ** digits)
```

在反爬场景中的应用

1. 动态 Token 生成

服务端和客户端共享密钥，客户端生成的 TOTP 作为请求签名的一部分：

```
def sign_request(params: dict, secret: bytes) -> dict:
    """使用 TOTP 签名请求"""
    totp = generate_totp(secret)
    params['timestamp'] = int(time.time() * 1000)
    params['otp'] = totp
    return params
```

2. 防重放攻击

由于 OTP 有时效性 (通常 30 秒)，捕获的请求无法长期复用。服务端验证时通常允许 ±1 个周期的容差：

```
def verify_totp(secret: bytes, otp: str, tolerance: int = 1) -> bool:
    """验证 TOTP，允许时间误差"""
    for offset in range(-tolerance, tolerance + 1):
        counter = (int(time.time()) // 30) + offset
        expected = generate_totp_with_counter(secret, counter)
        if otp == expected:
            return True
    return False
```

3. 密钥保护

共享密钥通常经过混淆或加密存储在客户端，增加逆向难度：

- 硬编码混淆: 密钥被拆分或异或后存储
- 加密配置: 密钥加密存储在配置文件中
- 远程获取: 启动时从服务端安全获取密钥

逆向要点

1. 定位密钥存储

```
// 常见的密钥存储位置
1. 硬编码在 JS/SO 中
2. 存储在 SharedPreferences / localStorage
3. 从服务端 API 动态获取
4. 使用设备信息派生 (PBKDF2, HKDF)
```

2. 确定算法参数

```
# 需要确定的参数
1. Period (时间步长): 常见值 30, 60
2. Digits (位数): 常见值 6, 8
3. Algorithm (算法): SHA1, SHA256, SHA512
4. 时间基准: Unix 时间戳 vs 自定义纪元
```

3. 时间同步

```
# 注意事项
1. 客户端和服务端时间可能存在偏差
2. 服务端通常允许 ±1 个周期的容差
3. 某些实现使用毫秒级时间戳
4. 注意时区问题
```

与 HOTP 的区别

特性	TOTP	HOTP
计数器	基于时间	基于事件 (递增)
有效期	时间窗口内	直到使用
同步问题	需要时间同步	需要计数器同步
适用场景	双因素认证	硬件令牌
RFC 规范	RFC 6238	RFC 4226

参考资料

- RFC 6238 - TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm
- RFC 4226 - HOTP: An HMAC-Based One-Time Password Algorithm
- Google Authenticator 实现

F12: SELinux 安全机制

F12: SELinux 安全机制

SELinux (Security-Enhanced Linux) 是 Android 安全模型的核心组件，从 Android 4.3 开始引入，Android 5.0 后全面强制执行。理解 SELinux 对于逆向工程、Root 检测绕过、应用沙箱分析至关重要。

目录

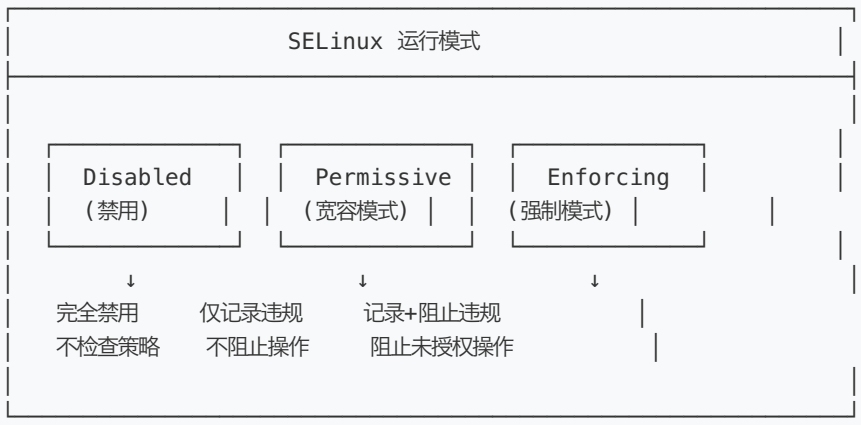
1. SELinux 基础概念

1.1 什么是 SELinux

SELinux 是一种强制访问控制 (MAC, Mandatory Access Control) 安全机制，与传统的自主访问控制 (DAC, Discretionary Access Control) 不同：

特性	DAC (传统 Linux)	MAC (SELinux)
控制主体	文件所有者	系统策略
权限继承	子进程继承父进程权限	每个进程独立策略
Root 权限	Root 可以做任何事	Root 也受策略限制
灵活性	用户可修改权限	策略由管理员定义

1.2 SELinux 运行模式



查看当前模式:

```
# 查看 SELinux 状态
getenforce
# 返回: Enforcing / Permissive / Disabled

# 查看详细状态
sestatus
```

切换模式（需要 Root）:

```
# 临时切换到 Permissive 模式
setenforce 0

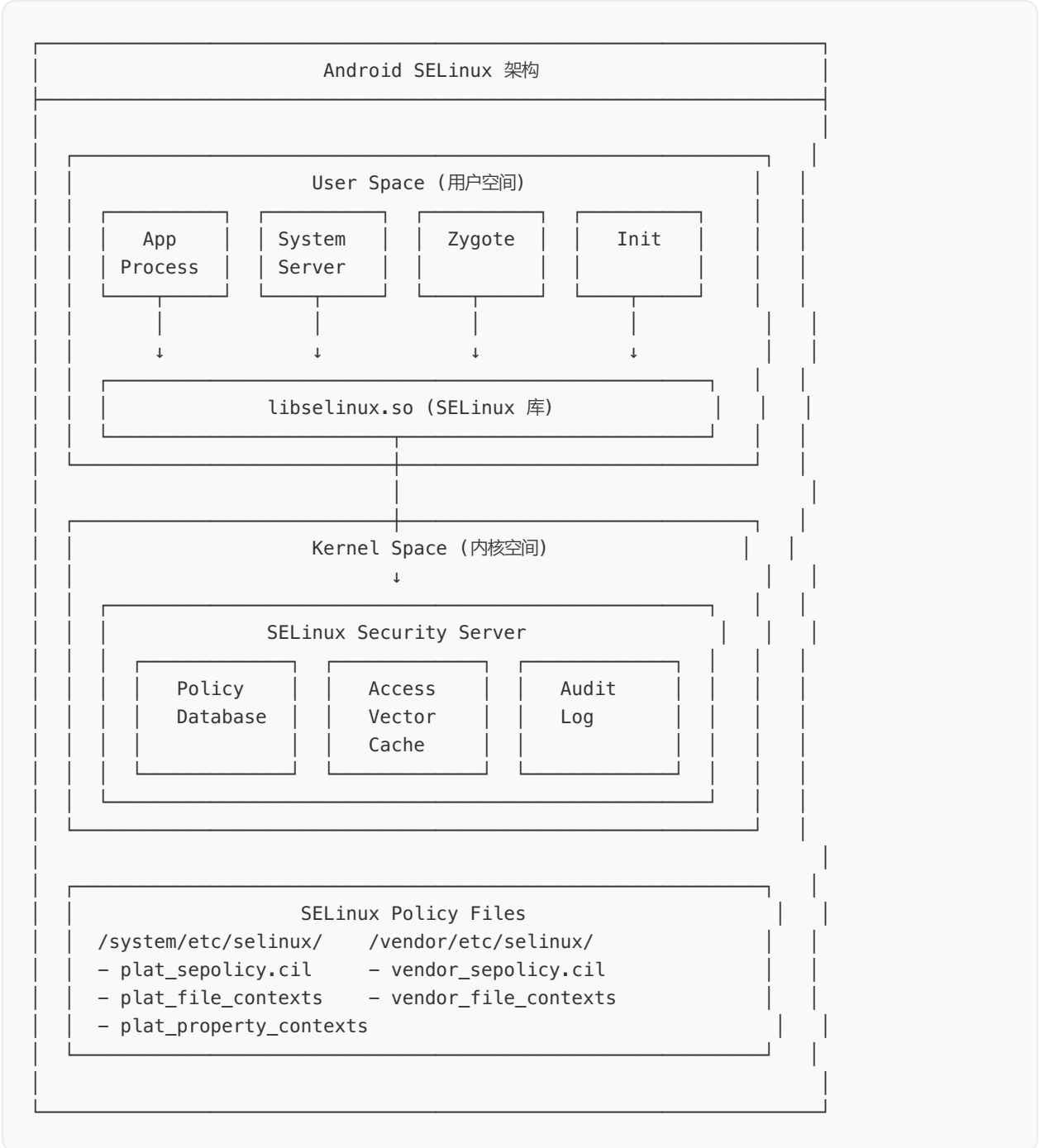
# 临时切换到 Enforcing 模式
setenforce 1
```

1.3 核心概念

概念	说明	示例
Subject (主体)	执行操作的进程	`u:r:untrusted_app:s0`
Object (客体)	被访问的资源	文件、Socket、设备
Context (上下文)	安全标签	`u:object_r:app_data_file:s0`
Policy (策略)	访问控制规则	`allow untrusted_app app_data_file:file read;`
Domain (域)	进程运行的安全上下文	`untrusted_app`, `system_app`
Type (类型)	资源的安全标签	`app_data_file`, `system_file`

2. Android SELinux 架构

2.1 架构概览



2.2 策略文件位置

```
# Android 8.0+ (Treble 架构)
/system/etc/selinux/          # 平台策略
/vendor/etc/selinux/          # 厂商策略
/odm/etc/selinux/             # ODM 策略

# 主要文件
plat_sepolicy.cil             # 编译后的策略
plat_file_contexts            # 文件上下文映射
plat_property_contexts        # 系统属性上下文
plat_service_contexts         # 服务上下文
plat_seapp_contexts           # 应用上下文规则
```

2.3 Android 进程域分类

域 (Domain)	说明	典型进程
`init`	Init 进程	`/init`
`kernel`	内核线程	`kthreadd`
`zygote`	Zygote 进程	`zygote`, `zygote64`
`system_server`	系统服务	`system_server`
`system_app`	系统应用	预装系统 App
`platform_app`	平台签名应用	使用平台签名的 App
`priv_app`	特权应用	`/system/priv-app/` 下的 App
`untrusted_app`	普通应用	第三方 App
`isolated_app`	隔离进程	`isolatedProcess=true`
`shell`	Shell 进程	`adb shell`
`su`	Root 进程	Magisk su
`magisk`	Magisk 域	Magisk 守护进程

3. 安全上下文与标签

3.1 上下文格式

SELinux 安全上下文格式:

```
user:role:type:sensitivity[:categories]
```

示例解析：

```
u:r:untrusted_app:s0:c512,c768
| | |               |  └──────────── 类别 (MLS/MCS)
| | |               └─────────────── 敏感度级别
| | └─────────────────────────────── 类型/域
| └───────────────────────────────── 角色
└─────────────────────────────────── 用户
```

3.2 查看上下文

```
# 查看进程上下文
ps -Z
# 输出示例:
# u:r:untrusted_app:s0:c512,c768  u0_a123  12345  com.example.app

# 查看文件上下文
ls -Z /data/data/com.example.app/
# 输出示例:
# u:object_r:app_data_file:s0:c512,c768  files

# 查看当前进程上下文
cat /proc/self/attr/current
# 或
id -Z

# 查看 Socket 上下文
ss -Z

# 查看系统属性上下文
getprop -Z
```

3.3 上下文转换

seapp_contexts 规则示例:

```
# /system/etc/selinux/plat_seapp_contexts
user=_app seinfo=platform domain=platform_app type=app_data_file
user=_app isPrivApp=true domain=priv_app type=privapp_data_file
user=_app domain=untrusted_app type=app_data_file
user=_isolated domain=isolated_app
```

4. SELinux 策略分析

4.1 策略规则语法

allow 规则:

```
allow source_type target_type:class permissions;
```

示例:

```
# 允许 untrusted_app 域读取 app_data_file 类型的文件
allow untrusted_app app_data_file:file { read open getattr };

# 允许 untrusted_app 连接到 app_api_service
allow untrusted_app app_api_service:service_manager find;

# 允许 untrusted_app 使用 Binder IPC
allow untrusted_app servicemanager:binder { call transfer };
```

4.2 其他规则类型

```
# neverallow - 禁止规则（编译时检查）
neverallow untrusted_app system_file:file write;

# dontaudit - 不记录拒绝日志
dontaudit untrusted_app self:capability sys_ptrace;

# auditallow - 允许但记录日志
auditallow untrusted_app app_data_file:file write;

# type_transition - 类型转换
type_transition untrusted_app app_data_file:file app_tmp_file;
```

4.3 提取和分析策略

```
# 从设备提取策略
adb pull /sys/fs/selinux/policy ./policy.bin

# 使用 seinfo 分析策略（需要 setools）
seinfo policy.bin

# 查看所有类型
seinfo -t policy.bin

# 查看所有域
seinfo -a domain -x policy.bin

# 使用 sesearch 搜索规则
# 搜索 untrusted_app 的所有 allow 规则
sesearch -A -s untrusted_app policy.bin

# 搜索对特定类型的访问规则
sesearch -A -t app_data_file policy.bin

# 搜索特定权限
sesearch -A -p write -t system_file policy.bin
```

4.4 分析 file_contexts

```
# 查看文件上下文映射
cat /system/etc/selinux/plat_file_contexts

# 常见映射示例
/data(/.*)?                 u:object_r:system_data_file:s0
/data/app(/.*)?             u:object_r:apk_data_file:s0
/data/data(/.*)?            u:object_r:app_data_file:s0
/data/local/tmp(/.*)?       u:object_r:shell_data_file:s0
/system(/.*)?               u:object_r:system_file:s0
/vendor(/.*)?               u:object_r:vendor_file:s0
```

5. 常用命令与工具

5.1 基础命令

```
# 查看 SELinux 状态
getenforce                    # 获取当前模式
sestatus                      # 详细状态信息

# 切换模式（需要 Root）
setenforce 0                  # Permissive
setenforce 1                  # Enforcing

# 上下文操作
id -Z                         # 当前进程上下文
ps -eZ                        # 所有进程上下文
ls -Z                         # 文件上下文

# 修改文件上下文（需要 Root）
chcon u:object_r:system_file:s0 /path/to/file
restorecon /path/to/file      # 恢复默认上下文

# 查看拒绝日志
dmesg | grep avc              # 内核日志中的 AVC 拒绝
logcat | grep avc             # logcat 中的 AVC 拒绝
```

5.2 分析工具

工具	用途	安装方式
`setools`	策略分析工具集	`apt install setools`
`seinfo`	查看策略信息	setools 包含
`sesearch`	搜索策略规则	setools 包含
`audit2allow`	生成 allow 规则	`apt install policycoreutils`
`sepolicy-analyze`	Android 策略分析	AOSP 构建

5.3 AVC 拒绝日志分析

```
# AVC 拒绝日志格式
avc: denied { read } for pid=12345 comm="com.example.app" \
    name="secret.txt" dev="dm-0" ino=123456 \
    scontext=u:r:untrusted_app:s0:c512,c768 \
    tcontext=u:object_r:system_data_file:s0 \
    tclass=file permissive=0

# 字段说明
# denied { read }           - 被拒绝的操作
# pid=12345                 - 进程 ID
# comm="com.example.app"    - 进程名
# name="secret.txt"         - 目标文件名
# scontext=...              - 源上下文（进程）
# tcontext=...              - 目标上下文（文件）
# tclass=file               - 目标类别
# permissive=0              - 是否为 Permissive 模式
```

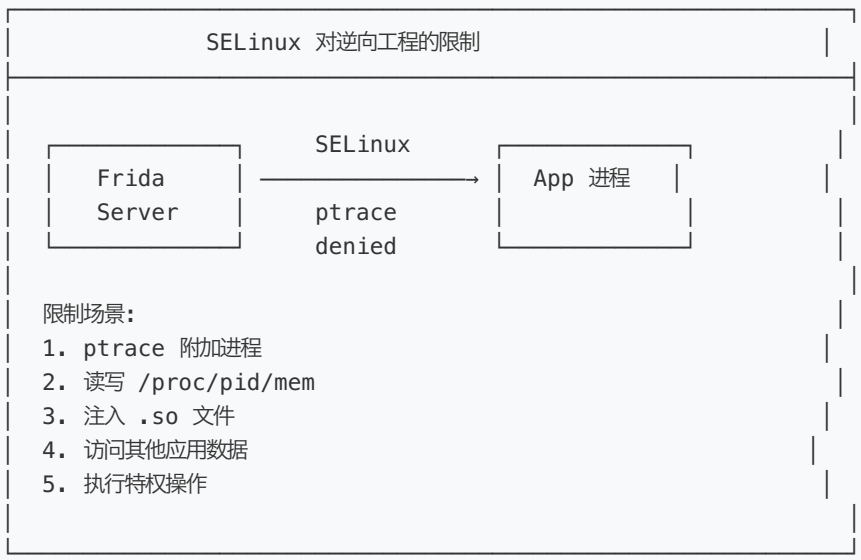
使用 audit2allow 生成规则：

```
# 从日志生成 allow 规则
adb shell dmesg | audit2allow -p policy.bin

# 输出示例
#============= untrusted_app ==============
allow untrusted_app system_data_file:file read;
```

6. 逆向工程中的 SELinux

6.1 SELinux 对逆向的影响



6.2 检测 SELinux 状态

Java 层检测:

```
public class SELinuxChecker {

    // 方法1: 通过 System 属性
    public static String getSELinuxStatus() {
        try {
            Class<?> c = Class.forName("android.os.SystemProperties");
            Method get = c.getMethod("get", String.class, String.class);
            return (String) get.invoke(null, "ro.build.selinux", "unknown");
        } catch (Exception e) {
            return "unknown";
        }
    }

    // 方法2: 通过执行命令
    public static boolean isEnforcing() {
        try {
            Process process = Runtime.getRuntime().exec("getenforce");
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(process.getInputStream()));
            String result = reader.readLine();
            return "Enforcing".equals(result);
        } catch (Exception e) {
            return true; // 默认假设是 Enforcing
        }
    }

    // 方法3: 读取 /sys/fs/selinux/enforce
    public static int getEnforceValue() {
        try {
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new FileReader("/sys/fs/selinux/enforce"));
            String line = reader.readLine();
            reader.close();
            return Integer.parseInt(line.trim());
        } catch (Exception e) {
            return -1;
        }
    }
}
```

Native 层检测:

```
#include <stdio.h>
#include <selinux/selinux.h>

// 获取 SELinux 模式
int get_selinux_mode() {
    // 返回值: 1 = Enforcing, 0 = Permissive, -1 = Error
    return security_getenforce();
}

// 获取当前进程上下文
char* get_current_context() {
    char *context = NULL;
    if (getcon(&context) == 0) {
        return context;
    }
    return NULL;
}

// 获取文件上下文
char* get_file_context(const char *path) {
    char *context = NULL;
    if (getfilecon(path, &context) == 0) {
        return context;
    }
    return NULL;
}

// 检查是否可以访问
int check_access(const char *scon, const char *tcon,
                 const char *tclass, const char *perm) {
    return selinux_check_access(scon, tcon, tclass, perm, NULL);
}
```

6.3 Frida 检测 SELinux

```
// Frida 脚本: 检测 SELinux 状态
function checkSELinux() {
    console.log("[*] Checking SELinux status...");

    // 方法1: 读取 enforce 文件
    try {
        var enforce = File.readAllText("/sys/fs/selinux/enforce");
        console.log("[*] /sys/fs/selinux/enforce: " + enforce.trim());
    } catch (e) {
        console.log("[!] Cannot read enforce file: " + e);
    }

    // 方法2: 读取当前进程上下文
    try {
        var context = File.readAllText("/proc/self/attr/current");
        console.log("[*] Current context: " + context.trim());
    } catch (e) {
        console.log("[!] Cannot read context: " + e);
    }

    // 方法3: Hook getenforce
    var getenforce = Module.findExportByName("libc.so", "security_getenforce");
    if (getenforce) {
        Interceptor.attach(getenforce, {
            onLeave: function(retval) {
                console.log("[*] security_getenforce() = " + retval);
            }
        });
    }
}

// 检测 SELinux 上下文获取
function hookSELinuxContextAPIs() {
    // Hook getcon
    var getcon = Module.findExportByName("libselinux.so", "getcon");
    if (getcon) {
        Interceptor.attach(getcon, {
            onEnter: function(args) {
                this.contextPtr = args[0];
            },
            onLeave: function(retval) {
                if (retval.toInt32() === 0) {
                    var context = Memory.readPointer(this.contextPtr);
                    console.log("[*] getcon() = " + Memory.readCString(context));
                }
            }
        });
    }

    // Hook getfilecon
    var getfilecon = Module.findExportByName("libselinux.so", "getfilecon");
    if (getfilecon) {
```

```
        Interceptor.attach(getfilecon, {
            onEnter: function(args) {
                this.path = Memory.readCString(args[0]);
                this.contextPtr = args[1];
            },
            onLeave: function(retval) {
                if (retval.toInt32() >= 0) {
                    var context = Memory.readPointer(this.contextPtr);
                    console.log("[*] getfilecon(" + this.path + ") = " +
                                Memory.readCString(context));
                }
            }
        });
    }
}
```

7. SELinux 绕过技术

7.1 Magisk 的 SELinux 处理

Magisk 通过以下方式处理 SELinux:

```
┌──────────────────────────────────────────────────────────┐
│                  Magisk SELinux 处理流程                 │
├──────────────────────────────────────────────────────────┤
│                                                          │
│  1. 注入自定义 SELinux 规则                              │
│     ┌──────────────────────────────────────────┐         │
│     │  magiskpolicy --live                     │         │
│     │  "allow magisk * * *"                    │         │
│     │  "allow su * * *"                        │         │
│     └──────────────────────────────────────────┘         │
│                                                          │
│  2. 创建 magisk 和 su 域                                 │
│     ┌──────────────────────────────────────────┐         │
│     │  type magisk domain                      │         │
│     │  type su domain                          │         │
│     │  permissive magisk                       │         │
│     │  permissive su                           │         │
│     └──────────────────────────────────────────┘         │
│                                                          │
│  3. 上下文转换                                           │
│     App (untrusted_app) → su → magisk                    │
│                                                          │
└──────────────────────────────────────────────────────────┘
```

7.2 动态修改 SELinux 策略

```
# 使用 magiskpolicy 修改策略
magiskpolicy --live "allow untrusted_app system_file file read"
magiskpolicy --live "allow untrusted_app app_data_file file *"

# 添加 permissive 域
magiskpolicy --live "permissive untrusted_app"

# 类型转换规则
magiskpolicy --live "type_transition untrusted_app system_file:process su"
```

7.3 Frida SELinux 绕过

```
// 绕过 SELinux 上下文检查
function bypassSELinuxCheck() {
    // Hook security_getenforce 返回 0 (Permissive)
    var security_getenforce = Module.findExportByName("libselinux.so",
                                                      "security_getenforce");
    if (security_getenforce) {
        Interceptor.replace(security_getenforce, new NativeCallback(function() {
            return 0; // 返回 Permissive
        }, 'int', []));
        console.log("[*] Hooked security_getenforce -> always return 0");
    }

    // Hook selinux_check_access 总是返回成功
    var selinux_check_access = Module.findExportByName("libselinux.so",
                                                       "selinux_check_access");
    if (selinux_check_access) {
        Interceptor.replace(selinux_check_access, new NativeCallback(function(
            scon, tcon, tclass, perm, auditdata) {
            return 0; // 返回允许访问
        }, 'int', ['pointer', 'pointer', 'pointer', 'pointer', 'pointer']));
        console.log("[*] Hooked selinux_check_access -> always return 0");
    }
}

// 修改进程上下文检测结果
function spoofContext() {
    var getcon = Module.findExportByName("libselinux.so", "getcon");
    if (getcon) {
        Interceptor.attach(getcon, {
            onLeave: function(retval) {
                if (retval.toInt32() === 0) {
                    // 可以修改返回的上下文
                    // 注意: 这只影响检测, 不影响实际权限
                }
            }
        });
    }
}
```

7.4 内核级绕过

```
// 内核模块方式（需要内核源码编译）
// 修改 security/selinux/hooks.c 中的 selinux_enforcing 变量

// 或通过 /dev/kmem 直接修改内核内存（需要特殊权限）
// 这种方式在现代 Android 上通常不可行
```

8. 实战案例

8.1 案例: 分析应用的 SELinux 权限

```
# 1. 获取目标应用的进程 ID
adb shell pidof com.example.app
# 输出: 12345

# 2. 查看进程上下文
adb shell cat /proc/12345/attr/current
# 输出: u:r:untrusted_app:s0:c512,c768

# 3. 查看应用数据目录上下文
adb shell ls -Z /data/data/com.example.app/
# 输出: u:object_r:app_data_file:s0:c512,c768 files

# 4. 分析该域的权限
sesearch -A -s untrusted_app -t app_data_file policy.bin
# 输出: allow untrusted_app app_data_file:file { read write ... };

# 5. 检查是否有敏感权限
sesearch -A -s untrusted_app -t system_file policy.bin
# 输出: (通常为空或受限)
```

8.2 案例: Root 检测中的 SELinux 检查

```
// 常见的 SELinux Root 检测
public class RootDetector {

    public boolean detectByContext() {
        try {
            // 检查是否存在 su 或 magisk 上下文
            Process process = Runtime.getRuntime().exec("cat /proc/self/attr/
current");
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(process.getInputStream()));
            String context = reader.readLine();

            // 正常应用: u:r:untrusted_app:s0
            // Root 后可能: u:r:su:s0 或 u:r:magisk:s0
            if (context.contains(":su:") || context.contains(":magisk:")) {
                return true; // 检测到 Root
            }
        } catch (Exception e) {}
        return false;
    }

    public boolean detectByEnforcing() {
        try {
            // 检查 SELinux 是否被禁用
            Process process = Runtime.getRuntime().exec("getenforce");
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(process.getInputStream()));
            String status = reader.readLine();

            // Permissive 或 Disabled 通常意味着被修改
            if (!"Enforcing".equals(status)) {
                return true;
            }
        } catch (Exception e) {}
        return false;
    }
}
```

绕过脚本:

```
// Frida 绕过 SELinux Root 检测
Java.perform(function() {
    // Hook Runtime.exec
    var Runtime = Java.use("java.lang.Runtime");
    Runtime.exec.overload('java.lang.String').implementation = function(cmd) {
        if (cmd.indexOf("getenforce") !== -1) {
            console.log("[*] Intercepted getenforce command");
            // 返回假的 Enforcing 结果
            return this.exec("echo Enforcing");
        }
        if (cmd.indexOf("/proc/self/attr/current") !== -1) {
            console.log("[*] Intercepted context read");
            // 返回正常应用上下文
            return this.exec("echo u:r:untrusted_app:s0");
        }
        return this.exec(cmd);
    };
});
```

8.3 案例: 调试 SELinux 拒绝问题

```
# 场景: Frida 注入失败, 查看是否被 SELinux 阻止

# 1. 实时监控 AVC 拒绝日志
adb shell "dmesg -w | grep avc"

# 2. 尝试注入操作
frida -U com.example.app

# 3. 观察日志输出
# avc: denied { ptrace } for pid=1234 comm="frida-server" ...

# 4. 分析拒绝原因
# scontext=u:r:shell:s0 (Frida Server 运行在 shell 域)
# tcontext=u:r:untrusted_app:s0 (目标应用)
# tclass=process perm=ptrace

# 5. 解决方案
# 方案 A: 使用 Magisk 修改策略
magiskpolicy --live "allow shell untrusted_app process ptrace"

# 方案 B: 临时切换到 Permissive 模式
adb shell setenforce 0
```

总结

要点	说明
核心概念	SELinux 是强制访问控制，即使 Root 也受策略限制
上下文格式	`user:role:type:sensitivity`
策略位置	`/system/etc/selinux/`，`/vendor/etc/selinux/`
分析工具	`seinfo`，`sesearch`，`audit2allow`
逆向影响	限制 ptrace、进程注入、文件访问等操作
绕过方式	Magisk 策略注入、Hook SELinux API、切换 Permissive

相关章节

- F02: Android 四大组件
- A01: Android 沙箱实现
- A07: Magisk 与 LSPosed 原理
- R15: Frida 反调试绕过

F13: 二进制分析工具链

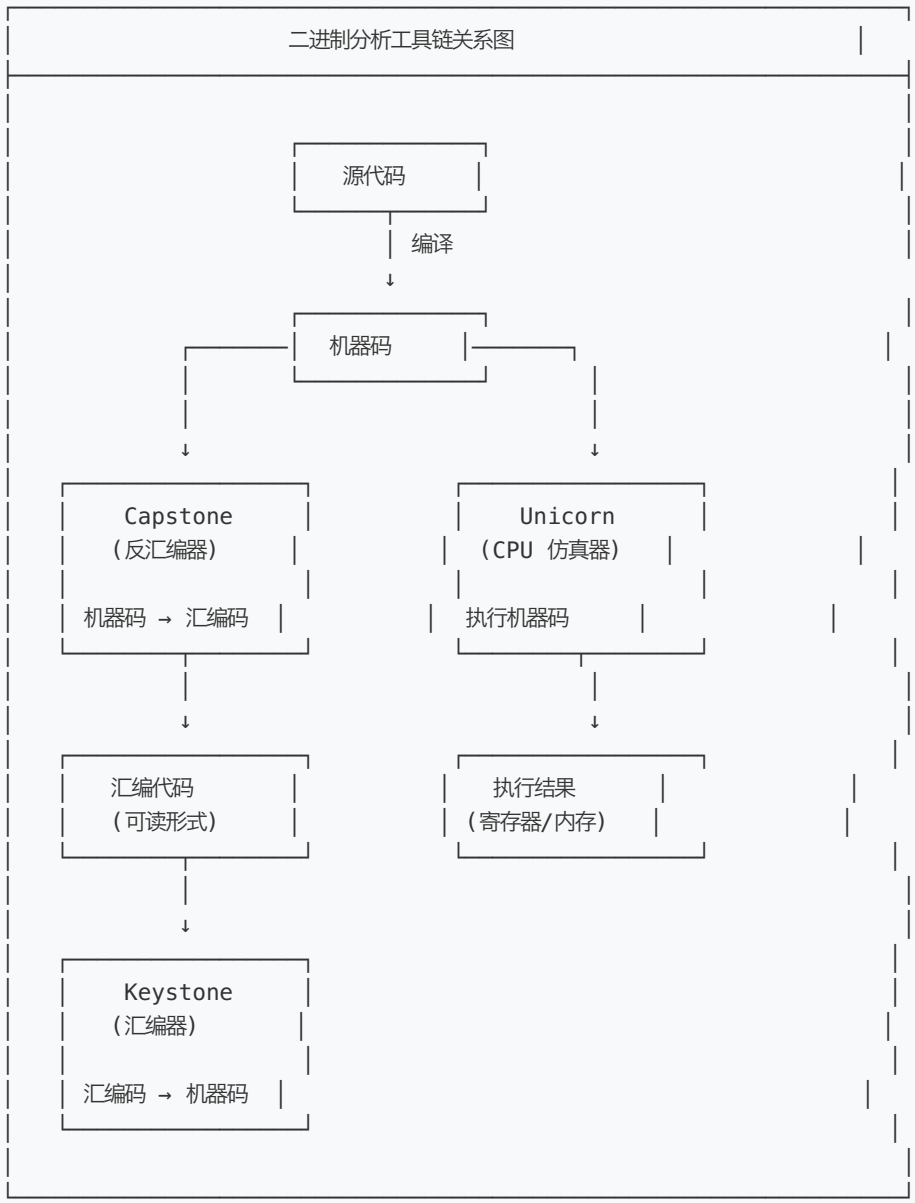
F13: 二进制分析工具链

Unicorn、Capstone、Keystone 是现代二进制分析的三大基础框架，它们共同构成了许多高级工具（如 Unidbg、Qiling、Frida）的底层支撑。理解这些基础技术对于深入逆向工程至关重要。

目录

1. 工具链概览

1.1 技术关系



1.2 工具对比

工具	功能	输入	输出	典型用途
Unicorn	CPU 仿真	机器码	执行结果	模拟执行、脱壳、算法还原
Capstone	反汇编	机器码	汇编指令	代码分析、指令识别
Keystone	汇编	汇编指令	机器码	Patch 生成、Shellcode 编写

1.3 支持的架构

架构	Unicorn	Capstone	Keystone
ARM	✅	✅	✅
ARM64 (AArch64)	✅	✅	✅
x86	✅	✅	✅
x86-64	✅	✅	✅
MIPS	✅	✅	✅
SPARC	✅	✅	✅
PowerPC	✅	✅	✅
M68K	✅	✅	✅

1.4 安装

```
# Python 安装
pip install unicorn capstone keystone-engine

# 验证安装
python -c "import unicorn; print('Unicorn:', unicorn.__version__)"
python -c "import capstone; print('Capstone:', capstone.__version__)"
python -c "import keystone; print('Keystone: OK')"
```

2. Unicorn - CPU 仿真引擎

2.1 Unicorn 简介

Unicorn 是一个轻量级的多平台、多架构 CPU 仿真框架，基于 QEMU 开发。它只模拟 CPU 指令执行，不模拟操作系统或硬件设备。

核心特点：

- 纯 CPU 仿真，无系统调用支持
- 支持多种 CPU 架构
- 提供多种语言绑定（Python、C、Java、Go 等）
- 可设置 Hook 监控执行过程
- 内存映射完全可控

2.2 基础使用

```
from unicorn import *
from unicorn.arm_const import *

# ARM 机器码: mov r0, #0x37
ARM_CODE = b"\x37\x00\xa0\xe3"

# 初始化 ARM 模式的 Unicorn 实例
mu = Uc(UC_ARCH_ARM, UC_MODE_ARM)

# 映射 2MB 内存用于代码执行
ADDRESS = 0x10000
mu.mem_map(ADDRESS, 2 * 1024 * 1024)

# 写入代码
mu.mem_write(ADDRESS, ARM_CODE)

# 设置初始寄存器值
mu.reg_write(UC_ARM_REG_R0, 0x0)

# 开始仿真执行
mu.emu_start(ADDRESS, ADDRESS + len(ARM_CODE))

# 读取执行结果
r0 = mu.reg_read(UC_ARM_REG_R0)
print(f"R0 = 0x{r0:x}")  # 输出: R0 = 0x37
```

2.3 ARM64 仿真示例

```
from unicorn import *
from unicorn.arm64_const import *

# ARM64 机器码
# mov x0, #0x1234
# mov x1, #0x5678
# add x2, x0, x1
ARM64_CODE = bytes([
    0x80, 0x46, 0x82, 0xd2,  # mov x0, #0x1234
    0x01, 0xcf, 0x8a, 0xd2,  # mov x1, #0x5678
    0x02, 0x00, 0x01, 0x8b,  # add x2, x0, x1
])

def emulate_arm64():
    # 创建 ARM64 仿真器
    mu = Uc(UC_ARCH_ARM64, UC_MODE_ARM)

    # 映射内存
    ADDRESS = 0x10000
    STACK_ADDR = 0x80000
    STACK_SIZE = 0x10000

    mu.mem_map(ADDRESS, 2 * 1024 * 1024)
    mu.mem_map(STACK_ADDR, STACK_SIZE)

    # 写入代码
    mu.mem_write(ADDRESS, ARM64_CODE)

    # 设置栈指针
    mu.reg_write(UC_ARM64_REG_SP, STACK_ADDR + STACK_SIZE - 8)

    # 执行
    mu.emu_start(ADDRESS, ADDRESS + len(ARM64_CODE))

    # 读取结果
    x0 = mu.reg_read(UC_ARM64_REG_X0)
    x1 = mu.reg_read(UC_ARM64_REG_X1)
    x2 = mu.reg_read(UC_ARM64_REG_X2)

    print(f"X0 = 0x{x0:x}")  # 0x1234
    print(f"X1 = 0x{x1:x}")  # 0x5678
    print(f"X2 = 0x{x2:x}")  # 0x68ac (0x1234 + 0x5678)

emulate_arm64()
```

2.4 Hook 机制

Unicorn 提供多种 Hook 类型用于监控和控制执行:

```
from unicorn import *
from unicorn.arm_const import *

# Hook 类型说明
# UC_HOOK_CODE      - 每条指令执行前
# UC_HOOK_BLOCK     - 每个基本块执行前
# UC_HOOK_MEM_READ  - 内存读取时
# UC_HOOK_MEM_WRITE - 内存写入时
# UC_HOOK_INTR      - 中断发生时

def hook_code(uc, address, size, user_data):
    """每条指令执行前的回调"""
    code = uc.mem_read(address, size)
    print(f"执行地址: 0x{address:x}, 指令大小: {size}, 字节: {code.hex()}")

def hook_block(uc, address, size, user_data):
    """每个基本块执行前的回调"""
    print(f"进入基本块: 0x{address:x}, 大小: {size}")

def hook_mem_access(uc, access, address, size, value, user_data):
    """内存访问回调"""
    if access == UC_MEM_WRITE:
        print(f"内存写入: 0x{address:x} = 0x{value:x} (大小: {size})")
    else:
        print(f"内存读取: 0x{address:x} (大小: {size})")

def hook_mem_invalid(uc, access, address, size, value, user_data):
    """无效内存访问回调"""
    print(f"无效内存访问: 0x{address:x}")
    # 可以动态映射内存来处理
    uc.mem_map(address & ~0xfff, 0x1000)
    return True  # 返回 True 继续执行

# 使用示例
mu = Uc(UC_ARCH_ARM, UC_MODE_ARM)

# 添加 Hook
mu.hook_add(UC_HOOK_CODE, hook_code)
mu.hook_add(UC_HOOK_BLOCK, hook_block)
mu.hook_add(UC_HOOK_MEM_READ | UC_HOOK_MEM_WRITE, hook_mem_access)
mu.hook_add(UC_HOOK_MEM_INVALID, hook_mem_invalid)
```

2.5 处理系统调用

Unicorn 不模拟系统调用，需要手动处理：

```
from unicorn import *
from unicorn.arm_const import *

# ARM Linux 系统调用号
SYS_WRITE = 4
SYS_EXIT = 1

def hook_intr(uc, intno, user_data):
    """处理软中断 (syscall)"""
    if intno == 2:  # ARM SWI 中断
        # 获取系统调用号 (R7)
        syscall_num = uc.reg_read(UC_ARM_REG_R7)

        if syscall_num == SYS_WRITE:
            # write(fd, buf, count)
            fd = uc.reg_read(UC_ARM_REG_R0)
            buf = uc.reg_read(UC_ARM_REG_R1)
            count = uc.reg_read(UC_ARM_REG_R2)

            data = uc.mem_read(buf, count)
            print(f"[syscall] write({fd}, {data}, {count})")

            # 返回值
            uc.reg_write(UC_ARM_REG_R0, count)

        elif syscall_num == SYS_EXIT:
            exit_code = uc.reg_read(UC_ARM_REG_R0)
            print(f"[syscall] exit({exit_code})")
            uc.emu_stop()

mu = Uc(UC_ARCH_ARM, UC_MODE_ARM)
mu.hook_add(UC_HOOK_INTR, hook_intr)
```

3. Capstone - 反汇编框架

3.1 Capstone 简介

Capstone 是一个轻量级的多平台、多架构反汇编框架。它将机器码转换为人类可读的汇编指令，并提供丰富的指令信息。

核心特点：

- 支持多种架构
- 提供详细的指令信息（操作数、寄存器、内存访问等）
- 线程安全
- 支持多种语法风格（Intel/AT&T）

3.2 基础使用

```
from capstone import *

# ARM 机器码
ARM_CODE = b"\x00\x00\xa0\xe3\x01\x10\xa0\xe3\x02\x20\x81\xe0"

# 创建 ARM 反汇编器
md = Cs(CS_ARCH_ARM, CS_MODE_ARM)

# 反汇编
print("ARM 反汇编结果:")
for insn in md.disasm(ARM_CODE, 0x1000):
    print(f"0x{insn.address:x}:\t{insn.mnemonic}\t{insn.op_str}")

# 输出:
# 0x1000: mov  r0, #0
# 0x1004: mov  r1, #1
# 0x1008: add  r2, r1, r2
```

3.3 ARM64 反汇编

```
from capstone import *

# ARM64 机器码
ARM64_CODE = bytes([
    0xe0, 0x03, 0x00, 0xaa,  # mov x0, x0
    0x21, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x1, #1
    0x42, 0x00, 0x01, 0x8b,  # add x2, x2, x1
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])

# 创建 ARM64 反汇编器
md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)

print("ARM64 反汇编结果:")
for insn in md.disasm(ARM64_CODE, 0x1000):
    print(f"0x{insn.address:x}:\t{insn.mnemonic}\t{insn.op_str}")
```

3.4 详细指令信息

```
from capstone import *
from capstone.arm64 import *

ARM64_CODE = b"\x21\x00\x80\xd2"  # mov x1, #1

md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
md.detail = True  # 启用详细模式

for insn in md.disasm(ARM64_CODE, 0x1000):
    print(f"指令: {insn.mnemonic} {insn.op_str}")
    print(f"指令 ID: {insn.id}")
    print(f"指令大小: {insn.size} 字节")
    print(f"指令字节: {insn.bytes.hex()}")

    # 操作数信息
    print(f"操作数数量: {len(insn.operands)}")
    for i, op in enumerate(insn.operands):
        if op.type == ARM64_OP_REG:
            print(f"  操作数 {i}: 寄存器 {insn.reg_name(op.reg)}")
        elif op.type == ARM64_OP_IMM:
            print(f"  操作数 {i}: 立即数 0x{op.imm:x}")
        elif op.type == ARM64_OP_MEM:
            print(f"  操作数 {i}: 内存 [base={insn.reg_name(op.mem.base)}]")

    # 读写的寄存器
    if insn.regs_read:
        print(f"读取寄存器: {[insn.reg_name(r) for r in insn.regs_read]}")
    if insn.regs_write:
        print(f"写入寄存器: {[insn.reg_name(r) for r in insn.regs_write]}")

    # 指令分组
    if insn.groups:
        print(f"指令组: {[insn.group_name(g) for g in insn.groups]}")
```

3.5 识别特定指令

```
from capstone import *
from capstone.arm64 import *

def analyze_function(code, base_addr):
    """分析函数中的特定指令模式"""
    md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
    md.detail = True

    branches = []
    calls = []
    returns = []

    for insn in md.disasm(code, base_addr):
        # 检查是否为分支指令
        if ARM64_GRP_JUMP in insn.groups:
            branches.append((insn.address, insn.mnemonic, insn.op_str))

        # 检查是否为调用指令
        if ARM64_GRP_CALL in insn.groups:
            calls.append((insn.address, insn.mnemonic, insn.op_str))

        # 检查是否为返回指令
        if ARM64_GRP_RET in insn.groups:
            returns.append((insn.address, insn.mnemonic))

    print("分支指令:", branches)
    print("调用指令:", calls)
    print("返回指令:", returns)
```

3.6 x86/x64 反汇编

```
from capstone import *

# x86 代码
X86_CODE = b"\x55\x48\x89\xe5\x48\x83\xec\x10"

# x86-64 模式
md = Cs(CS_ARCH_X86, CS_MODE_64)
md.syntax = CS_OPT_SYNTAX_INTEL  # 使用 Intel 语法

print("x86-64 反汇编 (Intel 语法):")
for insn in md.disasm(X86_CODE, 0x1000):
    print(f"0x{insn.address:x}:\t{insn.mnemonic}\t{insn.op_str}")

# 切换到 AT&T 语法
md.syntax = CS_OPT_SYNTAX_ATT
print("\nx86-64 反汇编 (AT&T 语法):")
for insn in md.disasm(X86_CODE, 0x1000):
    print(f"0x{insn.address:x}:\t{insn.mnemonic}\t{insn.op_str}")
```

4. Keystone - 汇编框架

4.1 Keystone 简介

Keystone 是 Capstone 的姊妹项目，功能相反：将汇编代码转换为机器码。它是编写 Shellcode、生成 Patch 的利器。

4.2 基础使用

```
from keystone import *

# 创建 ARM 汇编器
ks = Ks(KS_ARCH_ARM, KS_MODE_ARM)

# 汇编代码
code = "mov r0, #0x37; mov r1, #0x48; add r2, r0, r1"
encoding, count = ks.asm(code)

print(f"汇编指令数: {count}")
print(f"机器码: {bytes(encoding).hex()}")
print(f"字节列表: {encoding}")
```

4.3 ARM64 汇编

```
from keystone import *

# 创建 ARM64 汇编器
ks = Ks(KS_ARCH_ARM64, KS_MODE_LITTLE_ENDIAN)

# 汇编多行代码
asm_code = """
    mov x0, #0x1234
    mov x1, #0x5678
    add x2, x0, x1
    ret
"""

try:
    encoding, count = ks.asm(asm_code)
    print(f"成功汇编 {count} 条指令")
    print(f"机器码: {bytes(encoding).hex()}")

    # 格式化输出
    for i in range(0, len(encoding), 4):
        chunk = encoding[i:i+4]
        print(f"0x{i:04x}: {bytes(chunk).hex()}")

except KsError as e:
    print(f"汇编错误: {e}")
```

4.4 生成 Shellcode

```
from keystone import *

def generate_arm64_shellcode():
    """生成 ARM64 execve("/bin/sh") shellcode"""
    ks = Ks(KS_ARCH_ARM64, KS_MODE_LITTLE_ENDIAN)

    shellcode_asm = """
        // execve("/bin/sh", NULL, NULL)
        mov x0, #0x622f          // "/b"
        movk x0, #0x6e69, lsl #16  // "in"
        movk x0, #0x732f, lsl #32  // "/s"
        movk x0, #0x68, lsl #48    // "h\x00"

        str x0, [sp, #-16]!      // 保存字符串到栈
        mov x0, sp               // x0 = 字符串地址
        mov x1, xzr              // x1 = NULL
        mov x2, xzr              // x2 = NULL
        mov x8, #221             // execve syscall number
        svc #0                   // 系统调用
    """

    try:
        encoding, count = ks.asm(shellcode_asm)
        print(f"Shellcode 长度: {len(encoding)} 字节")
        print(f"Shellcode: {bytes(encoding).hex()}")
        return bytes(encoding)
    except KsError as e:
        print(f"错误: {e}")
        return None

shellcode = generate_arm64_shellcode()
```

4.5 生成函数 Patch

```
from keystone import *

def create_patch(arch, mode, original_addr, patch_asm):
    """创建二进制 Patch"""
    ks = Ks(arch, mode)

    # 处理地址相关指令
    encoding, count = ks.asm(patch_asm, original_addr)

    return bytes(encoding)

# 示例: 创建 ARM64 Patch
# 原始: cmp x0, #0; b.eq skip
# Patch: nop; nop (跳过检查)
patch = create_patch(
    KS_ARCH_ARM64,
    KS_MODE_LITTLE_ENDIAN,
    0x1000,
    "nop; nop"
)
print(f"Patch 字节: {patch.hex()}")
```

5. 三者协同使用

5.1 反汇编 → 修改 → 重新汇编

```
from capstone import *
from keystone import *

def patch_instruction(code, addr, old_mnemonic, new_asm):
    """
  查找并替换特定指令

  参数:
        code: 原始机器码
        addr: 基地址
        old_mnemonic: 要替换的指令助记符
        new_asm: 新的汇编代码
    """
    # 反汇编查找目标指令
    md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
    ks = Ks(KS_ARCH_ARM64, KS_MODE_LITTLE_ENDIAN)

    patched = bytearray(code)

    for insn in md.disasm(code, addr):
        if insn.mnemonic == old_mnemonic:
            print(f"找到目标指令: 0x{insn.address:x}: {insn.mnemonic} {insn.op_str}")

            # 生成新指令
            new_bytes, _ = ks.asm(new_asm)

            # 确保长度匹配
            if len(new_bytes) != insn.size:
                print(f"警告: 新指令长度 ({len(new_bytes)}) != 原指令长度 ({insn.size})")
                # 使用NOP 填充
                while len(new_bytes) < insn.size:
                    nop_bytes, _ = ks.asm("nop")
                    new_bytes.extend(nop_bytes)

            # 应用Patch
            offset = insn.address - addr
            for i, b in enumerate(new_bytes[:insn.size]):
                patched[offset + i] = b

            print(f"Patch 完成: {bytes(new_bytes[:insn.size]).hex()}")

    return bytes(patched)

# 使用示例
original = bytes([
    0x1f, 0x00, 0x00, 0xf1,  # cmp x0, #0
    0x40, 0x00, 0x00, 0x54,  # b.eq +8
    0xe0, 0x03, 0x00, 0xaa,  # mov x0, x0
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])

# 将b.eq 替换为nop
```

```
patched = patch_instruction(original, 0x1000, "b.eq", "nop")
print(f"\n原始: {original.hex()}")
print(f"修改: {patched.hex()}")
```

5.2 动态指令插桩

```
from unicorn import *
from unicorn.arm64_const import *
from capstone import *
from keystone import *

class ARM64Instrumenter:
    """ARM64 指令插桩器"""

    def __init__(self):
        self.md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
        self.md.detail = True
        self.ks = Ks(KS_ARCH_ARM64, KS_MODE_LITTLE_ENDIAN)

        self.mu = Uc(UC_ARCH_ARM64, UC_MODE_ARM)

        # 内存布局
        self.CODE_ADDR = 0x10000
        self.STACK_ADDR = 0x80000
        self.mu.mem_map(self.CODE_ADDR, 0x10000)
        self.mu.mem_map(self.STACK_ADDR, 0x10000)
        self.mu.reg_write(UC_ARM64_REG_SP, self.STACK_ADDR + 0x8000)

        # 指令统计
        self.insn_count = 0
        self.branch_count = 0
        self.mem_access_count = 0

    def hook_code(self, uc, address, size, user_data):
        """指令级 Hook，使用 Capstone 分析"""
        code = uc.mem_read(address, size)

        for insn in self.md.disasm(bytes(code), address):
            self.insn_count += 1

            # 检测分支指令
            if CS_GRP_JUMP in insn.groups or CS_GRP_CALL in insn.groups:
                self.branch_count += 1
                print(f"[BRANCH] 0x{address:x}: {insn.mnemonic} {insn.op_str}")

    def run(self, code):
        """执行代码"""
        self.mu.mem_write(self.CODE_ADDR, code)
        self.mu.hook_add(UC_HOOK_CODE, self.hook_code)

        try:
            self.mu.emu_start(self.CODE_ADDR, self.CODE_ADDR + len(code))
        except UcError as e:
            print(f"仿真错误: {e}")

        print(f"\n执行统计:")
        print(f"  总指令数: {self.insn_count}")
        print(f"  分支指令: {self.branch_count}")
```

```
# 使用示例
instrumenter = ARM64Instrumenter()
test_code = bytes([
    0x00, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x0, #0
    0x21, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x1, #1
    0x1f, 0x00, 0x01, 0xeb,  # cmp x0, x1
    0x40, 0x00, 0x00, 0x54,  # b.eq +8
    0x00, 0x04, 0x00, 0x91,  # add x0, x0, #1
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])
instrumenter.run(test_code)
```

5.3 控制流分析器

```
from capstone import *
from capstone.arm64 import *

class CFGAnalyzer:
    """控制流图分析器"""

    def __init__(self):
        self.md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
        self.md.detail = True

    def analyze(self, code, base_addr):
        """分析代码的控制流"""
        blocks = {}
        current_block = []
        current_addr = base_addr

        for insn in self.md.disasm(code, base_addr):
            current_block.append(insn)

            # 检查是否为基本块结束
            is_branch = (ARM64_GRP_JUMP in insn.groups or
                         ARM64_GRP_CALL in insn.groups or
                         ARM64_GRP_RET in insn.groups)

            if is_branch:
                blocks[current_addr] = {
                    'instructions': current_block,
                    'start': current_addr,
                    'end': insn.address,
                    'type': self._get_block_type(insn),
                    'targets': self._get_targets(insn)
                }
                current_block = []
                current_addr = insn.address + insn.size

        # 最后一个块
        if current_block:
            blocks[current_addr] = {
                'instructions': current_block,
                'start': current_addr,
                'end': current_block[-1].address,
                'type': 'fall-through',
                'targets': []
            }

        return blocks

    def _get_block_type(self, insn):
        if ARM64_GRP_RET in insn.groups:
            return 'return'
        elif ARM64_GRP_CALL in insn.groups:
            return 'call'
```

```
        elif ARM64_GRP_JUMP in insn.groups:
            if insn.mnemonic.startswith('b.'):
                return 'conditional'
            return 'unconditional'
        return 'unknown'

    def _get_targets(self, insn):
        targets = []
        for op in insn.operands:
            if op.type == ARM64_OP_IMM:
                targets.append(op.imm)
        return targets

    def print_cfg(self, blocks):
        """打印控制流图"""
        print("=" * 50)
        print("控制流图分析结果")
        print("=" * 50)

        for addr, block in blocks.items():
            print(f"\n基本块 0x{addr:x} ({block['type']}):")
            print(f"  范围: 0x{block['start']:x} - 0x{block['end']:x}")

            for insn in block['instructions']:
                print(f"    0x{insn.address:x}: {insn.mnemonic} {insn.op_str}")

            if block['targets']:
                print(f"  跳转目标: {[hex(t) for t in block['targets']]}")

# 使用示例
analyzer = CFGAnalyzer()
test_code = bytes([
    0x1f, 0x00, 0x00, 0xf1,  # cmp x0, #0
    0x40, 0x00, 0x00, 0x54,  # b.eq 0x1010
    0x00, 0x04, 0x00, 0x91,  # add x0, x0, #1
    0x01, 0x00, 0x00, 0x14,  # b 0x1014
    0x00, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x0, #0
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])

blocks = analyzer.analyze(test_code, 0x1000)
analyzer.print_cfg(blocks)
```

6. 实战案例

6.1 案例: SO 函数仿真

```
from unicorn import *
from unicorn.arm64_const import *
from capstone import *

class SOEmulator:
    """简单的 SO 函数仿真器"""

    def __init__(self):
        self.mu = Uc(UC_ARCH_ARM64, UC_MODE_ARM)
        self.md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)

        # 内存布局
        self.CODE_BASE = 0x10000
        self.DATA_BASE = 0x20000
        self.STACK_BASE = 0x80000

        self.mu.mem_map(self.CODE_BASE, 0x10000)
        self.mu.mem_map(self.DATA_BASE, 0x10000)
        self.mu.mem_map(self.STACK_BASE, 0x10000)

        self.mu.reg_write(UC_ARM64_REG_SP, self.STACK_BASE + 0x8000)

    def load_function(self, code, offset=0):
        """加载函数代码"""
        self.mu.mem_write(self.CODE_BASE + offset, code)
        return self.CODE_BASE + offset

    def call_function(self, addr, args=None):
        """调用函数"""
        # 设置参数 (x0-x7)
        if args:
            regs = [UC_ARM64_REG_X0, UC_ARM64_REG_X1, UC_ARM64_REG_X2,
                   UC_ARM64_REG_X3, UC_ARM64_REG_X4, UC_ARM64_REG_X5,
                   UC_ARM64_REG_X6, UC_ARM64_REG_X7]
            for i, arg in enumerate(args[:8]):
                self.mu.reg_write(regs[i], arg)

        # 设置返回地址
        ret_addr = 0xDEAD0000
        self.mu.mem_map(ret_addr & ~0xfff, 0x1000)
        self.mu.reg_write(UC_ARM64_REG_LR, ret_addr)

        # 执行
        try:
            self.mu.emu_start(addr, ret_addr)
        except UcError as e:
            if self.mu.reg_read(UC_ARM64_REG_PC) != ret_addr:
                raise e

        # 返回值 (x0)
        return self.mu.reg_read(UC_ARM64_REG_X0)
```

```
# 使用示例
emu = SOEmulator()

# 简单的加法函数: add_func(a, b) = a + b
add_func_code = bytes([
    0x00, 0x00, 0x01, 0x8b,  # add x0, x0, x1
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])

func_addr = emu.load_function(add_func_code)
result = emu.call_function(func_addr, args=[100, 200])
print(f"add_func(100, 200) = {result}")  # 输出: 300
```

6.2 案例: 指令 Patch 工具

```
from capstone import *
from keystone import *

class BinaryPatcher:
    """二进制 Patch 工具"""

    def __init__(self, arch='arm64'):
        if arch == 'arm64':
            self.md = Cs(CS_ARCH_ARM64, CS_MODE_ARM)
            self.ks = Ks(KS_ARCH_ARM64, KS_MODE_LITTLE_ENDIAN)
        elif arch == 'arm':
            self.md = Cs(CS_ARCH_ARM, CS_MODE_ARM)
            self.ks = Ks(KS_ARCH_ARM, KS_MODE_ARM)

        self.md.detail = True
        self.patches = []

    def find_pattern(self, code, base_addr, pattern):
        """查找指令模式"""
        results = []
        for insn in self.md.disasm(code, base_addr):
            if pattern in f"{insn.mnemonic} {insn.op_str}":
                results.append({
                    'address': insn.address,
                    'offset': insn.address - base_addr,
                    'size': insn.size,
                    'instruction': f"{insn.mnemonic} {insn.op_str}",
                    'bytes': insn.bytes.hex()
                })
        return results

    def create_nop_patch(self, size, arch='arm64'):
        """创建NOP 填充"""
        if arch == 'arm64':
            nop = bytes([0x1f, 0x20, 0x03, 0xd5])  # nop
        else:
            nop = bytes([0x00, 0xf0, 0x20, 0xe3])  # nop (ARM)

        return nop * (size // 4)

    def patch_function_call(self, code, base_addr, target_func, return_value):
        """Patch 函数调用，直接返回指定值"""
        # 生成: mov x0, #return_value; ret
        patch_asm = f"mov x0, #{return_value}; ret"
        patch_bytes, _ = self.ks.asm(patch_asm)

        # 查找目标函数
        matches = self.find_pattern(code, base_addr, target_func)
        return matches, bytes(patch_bytes)

    def apply_patches(self, code, patches):
        """应用所有 Patch"""
```

```
        patched = bytearray(code)
        for p in patches:
            offset = p['offset']
            new_bytes = p['bytes']
            for i, b in enumerate(new_bytes):
                if offset + i < len(patched):
                    patched[offset + i] = b
        return bytes(patched)

# 使用示例
patcher = BinaryPatcher('arm64')

# 模拟一段检测 Root 的代码
sample_code = bytes([
    0xfd, 0x7b, 0xbf, 0xa9,  # stp x29, x30, [sp, #-16]!
    0xfd, 0x03, 0x00, 0x91,  # mov x29, sp
    0x00, 0x00, 0x00, 0x94,  # bl check_root (占位)
    0x1f, 0x00, 0x00, 0xf1,  # cmp x0, #0
    0x40, 0x00, 0x00, 0x54,  # b.eq not_rooted
    0x20, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x0, #1 (rooted)
    0x00, 0x00, 0x00, 0x14,  # b exit
    0x00, 0x00, 0x80, 0xd2,  # mov x0, #0 (not rooted)
    0xfd, 0x7b, 0xc1, 0xa8,  # ldp x29, x30, [sp], #16
    0xc0, 0x03, 0x5f, 0xd6,  # ret
])

# 查找 bl 指令
calls = patcher.find_pattern(sample_code, 0x1000, 'bl')
print("找到的函数调用:")
for c in calls:
    print(f"  0x{c['address']:x}: {c['instruction']}")
```

总结

工具	核心功能	典型应用场景
Unicorn	CPU 指令仿真	SO 函数仿真、算法还原、脱壳
Capstone	反汇编	代码分析、指令识别、CFG 构建
Keystone	汇编	Patch 生成、Shellcode 编写

学习建议：

1. 先掌握 Capstone 反汇编，理解指令结构
2. 学习 Keystone 生成机器码，理解汇编过程
3. 使用 Unicorn 进行动态仿真，结合前两者进行分析
4. 进阶学习 Qiling/Unidbg 等高级框架

相关章节

- T05: Unidbg 使用指南
- T06: Unidbg 内部原理
- A06: SO 运行时仿真
- F09: ARM 汇编入门
- F10: x86 与 ARM 汇编基础

F14: Binder IPC 机制

Android Binder 跨进程通信机制

Binder 是 Android 系统中最核心、最独特的 IPC（Inter-Process Communication，跨进程通信）机制。可以说：无 Binder，不 Android。

理解 Binder 不能只把它当成一个"技术"，而要把它看作一种架构设计。

目录

1. 为什么需要 Binder

在 Linux 系统中，已经有了管道 (Pipe)、Socket、共享内存、信号量等 IPC 机制，为什么 Google 还要重新造一个轮子？

1.1 传统 IPC 的问题

IPC 机制	数据拷贝次数	优点	缺点
管道 (Pipe)	2 次	简单	单向、效率低
Socket	2 次	通用、可跨网络	效率低、开销大
共享内存	0 次	效率最高	同步复杂、不安全
信号量	-	同步原语	只能传信号
Binder	1 次	高效、安全、易用	Android 特有

1.2 Binder 的优势

性能 (Performance):

- Socket 传输效率低（数据拷贝 2 次）
- 共享内存虽然快（拷贝 0 次）但管理复杂且不安全
- Binder 只需 1 次拷贝，完全满足移动端高频调用需求

安全 (Security):

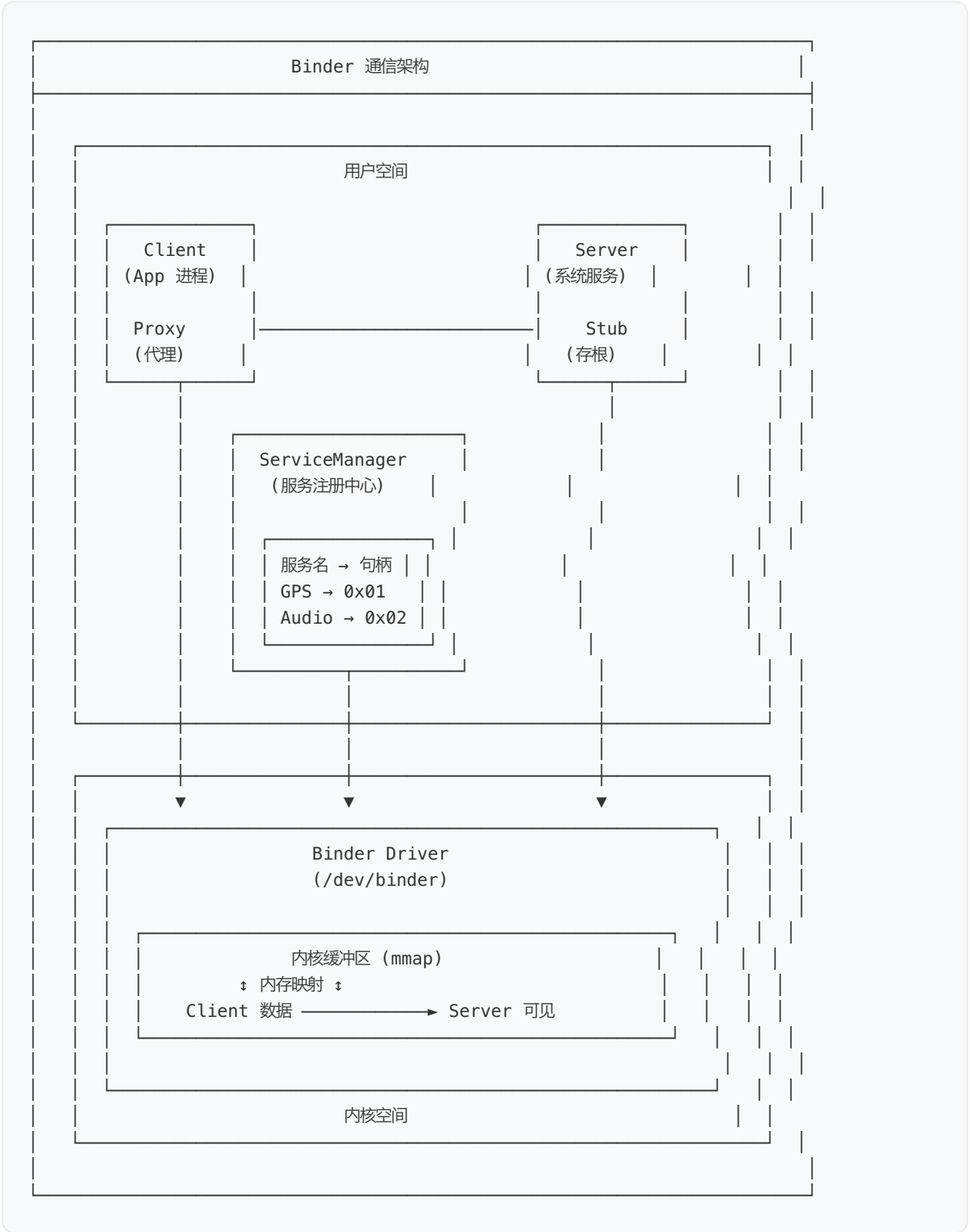
- 传统 Linux IPC 对通信双方的身份校验较弱（通常依赖 UID/GID）
- Binder 机制支持实名制，内核层直接校验 UID/PID
- 适合权限分明的 Android App 沙箱模型

面向对象 (Object-Oriented):

- Android 的设计理念是组件化（Activity, Service）
- Binder 天然支持 RPC（远程过程调用）
- 跨进程调用函数就像调用本地对象的方法一样自然

2. Binder 架构：四要素

Binder 采用 C/S (Client-Server) 架构，包含四个关键角色：



2.1 Client (客户端)

发起服务请求的进程。

```
// Client 端代码示例
// 获取系统服务
LocationManager locationManager =
    (LocationManager) context.getSystemService(Context.LOCATION_SERVICE);

// 调用服务方法 (实际是跨进程调用)
Location location = locationManager.getLastKnownLocation(GPS_PROVIDER);
```

2.2 Server (服务端)

提供服务的进程。

```
// Server 端代码示例
public class LocationManagerService extends ILocationManager.Stub {

    @Override
    public Location getLastKnownLocation(String provider) {
        // 真正的定位逻辑
        return calculateLocation(provider);
    }
}
```

2.3 ServiceManager (服务注册中心)

作用：电话本 / DNS。

```
/**
 * ServiceManager 核心功能
 */
public class ServiceManager {

    // 服务注册表
    private static HashMap<String, IBinder> sCache = new HashMap<>();

    /**
     * Server 注册服务
     */
    public static void addService(String name, IBinder service) {
        // 向 Binder 驱动注册
        // "我是定位服务，句柄是 0x01"
        sCache.put(name, service);
    }

    /**
     * Client 获取服务
     */
    public static IBinder getService(String name) {
        // 返回服务的 Binder 代理
        return sCache.get(name);
    }
}
```

流程：

1. Server 启动后注册到 ServiceManager
2. Client 想用服务时，先问 ServiceManager 要到 Server 的句柄
3. Client 通过句柄与 Server 通信

2.4 Binder Driver (Binder 驱动)

位置：Linux 内核层（`/dev/binder`）

作用：幕后英雄

- Client、Server、ServiceManager 都在用户空间，彼此不能直接访问内存
- 所有的数据传输、对象映射、线程管理，全靠内核里的驱动来搬运

```
// Binder 驱动核心数据结构
struct binder_proc {
    struct hlist_node proc_node;
    struct rb_root threads;      // 线程红黑树
    struct rb_root nodes;        // Binder 实体红黑树
    struct rb_root refs_by_desc; // Binder 引用红黑树
    struct rb_root refs_by_node;

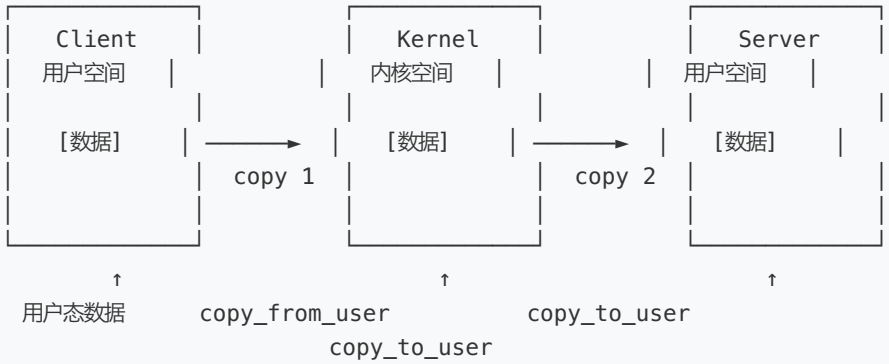
    struct list_head todo;       // 待处理任务列表
    wait_queue_head_t wait;      // 等待队列

    struct mm_struct *vma_vm_mm; // 内存映射
    void *buffer;                // 内核缓冲区
    size_t buffer_size;          // 缓冲区大小
};
```

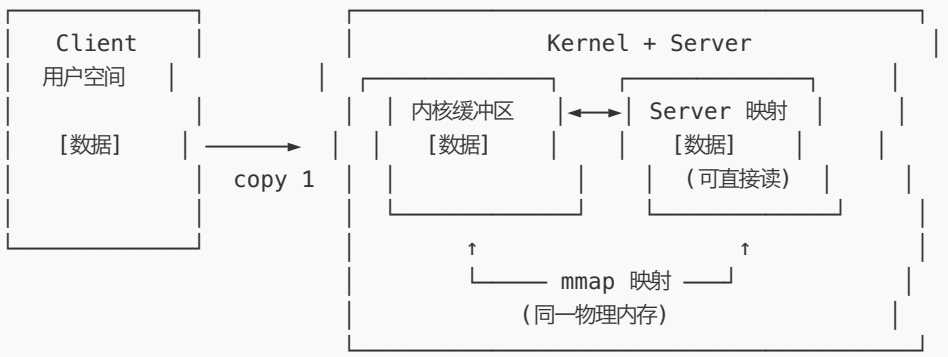
3. Binder 通信原理：一次拷贝

这是 Binder 最核心的技术亮点。

3.1 传统 IPC (如 Socket)：两次拷贝



3.2 Binder 机制：一次拷贝



3.3 内存映射原理

```
/**
 * Binder 内存映射实现
 */

// Server 启动时调用
int binder_mmap(struct file *filp, struct vm_area_struct *vma) {
    struct binder_proc *proc = filp->private_data;

    // 1. 分配内核缓冲区
    proc->buffer = kzalloc(vma->vm_end - vma->vm_start, GFP_KERNEL);

    // 2. 将内核缓冲区映射到 Server 的用户空间
    //    这样内核缓冲区和 Server 用户空间指向同一物理内存
    remap_pfn_range(vma, vma->vm_start,
                    virt_to_phys(proc->buffer) >> PAGE_SHIFT,
                    vma->vm_end - vma->vm_start,
                    vma->vm_page_prot);

    return 0;
}

// 数据传输时
void binder_transaction(struct binder_proc *target_proc,
                        struct binder_buffer *buffer,
                        void __user *data, size_t size) {

    // 只需要一次拷贝: 从 Client 用户空间 → 内核缓冲区
    copy_from_user(buffer->data, data, size);

    // Server 直接可见 (因为 mmap 映射)
    // 不需要 copy_to_user
}
```

3.4 一次拷贝 vs 零次拷贝

方案	拷贝次数	优点	缺点
共享内存	0 次	效率最高	需要同步机制、不安全
Binder	1 次	安全、有驱动管理	效率略低于共享内存
Socket	2 次	通用	效率低

4. Binder 驱动详解

4.1 Binder 驱动入口

```
// 驱动初始化
static int __init binder_init(void) {
    int ret;

    // 创建 /dev/binder 设备节点
    ret = misc_register(&binder_miscdev);

    // 创建 Binder 工作队列
    binder_deferred_workqueue =
        create_singlethread_workqueue("binder");

    return ret;
}

// 文件操作
static const struct file_operations binder_fops = {
    .owner          = THIS_MODULE,
    .open           = binder_open,
    .release        = binder_release,
    .mmap           = binder_mmap,          // 内存映射
    .unlocked_ioctl = binder_ioctl,         // 核心控制
    .poll           = binder_poll,
    .flush          = binder_flush,
};
```

4.2 ioctl 命令

```
// Binder 驱动的 ioctl 命令
#define BINDER_WRITE_READ           _IOWR('b', 1, struct binder_write_read)
#define BINDER_SET_MAX_THREADS      _IOW('b', 5, __u32)
#define BINDER_SET_CONTEXT_MGR      _IOW('b', 7, __s32)
#define BINDER_THREAD_EXIT          _IOW('b', 8, __s32)
#define BINDER_VERSION              _IOWR('b', 9, struct binder_version)

// 最核心的命令: BINDER_WRITE_READ
// 用于发送和接收 Binder 数据
struct binder_write_read {
    binder_size_t write_size;       // 写入数据大小
    binder_size_t write_consumed;   // 已消费的写入数据
    binder_uintptr_t write_buffer;  // 写入缓冲区

    binder_size_t read_size;        // 读取数据大小
    binder_size_t read_consumed;    // 已消费的读取数据
    binder_uintptr_t read_buffer;   // 读取缓冲区
};
```

4.3 Binder 协议命令

```
// Client → Driver 的命令 (BC: Binder Command)
enum binder_driver_command_protocol {
    BC_TRANSACTION = _IOW('c', 0, struct binder_transaction_data),
    BC_REPLY = _IOW('c', 1, struct binder_transaction_data),
    BC_ACQUIRE_RESULT = _IOW('c', 2, __s32),
    BC_FREE_BUFFER = _IOW('c', 3, binder_uintptr_t),
    BC_INCREFS = _IOW('c', 4, __u32),
    BC_ACQUIRE = _IOW('c', 5, __u32),
    BC_RELEASE = _IOW('c', 6, __u32),
    BC_DECREFS = _IOW('c', 7, __u32),
    BC_ENTER_LOOPER = _IO('c', 12),
    BC_EXIT_LOOPER = _IO('c', 13),
    BC_REGISTER_LOOPER = _IO('c', 11),
};

// Driver → Client/Server 的返回 (BR: Binder Return)
enum binder_driver_return_protocol {
    BR_ERROR = _IOR('r', 0, __s32),
    BR_OK = _IO('r', 1),
    BR_TRANSACTION = _IOR('r', 2, struct binder_transaction_data),
    BR_REPLY = _IOR('r', 3, struct binder_transaction_data),
    BR_DEAD_BINDER = _IOR('r', 15, binder_uintptr_t),
    BR_SPAWN_LOOPER = _IO('r', 13),
};
```

5. AIDL 与代码层实现

5.1 AIDL 文件定义

```
// ILocationService.aidl
package com.example.service;

interface ILocationService {
    Location getLastKnownLocation(String provider);
    void requestLocationUpdates(String provider, long minTime,
                                float minDistance,
                                ILocationListener listener);
}
```

5.2 生成的代码结构

```
/**
 * AIDL 编译后生成的代码
 */
public interface ILocationService extends IInterface {

    // Stub: Server 端实现
    public static abstract class Stub extends Binder
            implements ILocationService {

        private static final String DESCRIPTOR =
            "com.example.service.ILocationService";

        public Stub() {
            this.attachInterface(this, DESCRIPTOR);
        }

        // 将 IBinder 转换为接口
        public static ILocationService asInterface(IBinder obj) {
            if (obj == null) return null;

            // 检查是否同一进程（本地调用）
            IInterface iin = obj.queryLocalInterface(DESCRIPTOR);
            if (iin != null && iin instanceof ILocationService) {
                return (ILocationService) iin;
            }

            // 跨进程，返回 Proxy
            return new Proxy(obj);
        }

        @Override
        public boolean onTransact(int code, Parcel data,
                                  Parcel reply, int flags) {
            switch (code) {
                case TRANSACTION_getLastKnownLocation: {
                    data.enforceInterface(DESCRIPTOR);
                    String provider = data.readString();

                    // 调用真正的实现
                    Location result = this.getLastKnownLocation(provider);

                    reply.writeNoException();
                    result.writeToParcel(reply, 0);
                    return true;
                }
            }
            return super.onTransact(code, data, reply, flags);
        }
    }

    // Proxy: Client 端代理
    private static class Proxy implements ILocationService {
```

```
        private IBinder mRemote;

        Proxy(IBinder remote) {
            mRemote = remote;
        }

        @Override
        public Location getLastKnownLocation(String provider) {
            Parcel data = Parcel.obtain();
            Parcel reply = Parcel.obtain();

            try {
                data.writeInterfaceToken(DESCRIPTOR);
                data.writeString(provider);

                // 跨进程调用
                mRemote.transact(TRANSACTION_getLastKnownLocation,
                                 data, reply, 0);

                reply.readException();
                Location result = Location.CREATOR.createFromParcel(reply);
                return result;
            } finally {
                data.recycle();
                reply.recycle();
            }
        }
    }
}
```

5.3 Parcel 数据序列化

```
/**
 * Parcel: Binder 数据传输的序列化容器
 */
public class Location implements Parcelable {
    private double latitude;
    private double longitude;
    private String provider;

    // 写入 Parcel
    @Override
    public void writeToParcel(Parcel dest, int flags) {
        dest.writeDouble(latitude);
        dest.writeDouble(longitude);
        dest.writeString(provider);
    }

    // 从 Parcel 读取
    public static final Creator<Location> CREATOR = new Creator<Location>() {
        @Override
        public Location createFromParcel(Parcel in) {
            Location location = new Location();
            location.latitude = in.readDouble();
            location.longitude = in.readDouble();
            location.provider = in.readString();
            return location;
        }

        @Override
        public Location[] newArray(int size) {
            return new Location[size];
        }
    };
}
```

6. 实战示例代码

6.1 完整 AIDL 服务实现

以下是一个完整的自定义 Binder 服务示例，包含服务端、客户端和 AIDL 定义。

步骤 1：定义 AIDL 接口

```
// ICalculatorService.aidl
package com.example.binderservice;

interface ICalculatorService {
    int add(int a, int b);
    int subtract(int a, int b);
    int multiply(int a, int b);
    double divide(int a, int b);

    // 支持回调的异步方法
    oneway void calculateAsync(int a, int b, ICalculatorCallback callback);
}

// ICalculatorCallback.aidl
package com.example.binderservice;

interface ICalculatorCallback {
    void onResult(int result);
    void onError(String message);
}
```

步骤 2：实现服务端

```
/**
 * 计算器服务实现
 * Server 端: 实现 AIDL 定义的接口
 */
public class CalculatorService extends Service {

    private static final String TAG = "CalculatorService";

    // Binder 实现类
    private final ICalculatorService.Stub mBinder = new ICalculatorService.Stub() {

        @Override
        public int add(int a, int b) throws RemoteException {
            Log.d(TAG, "add() called: " + a + " + " + b);
            // 可以获取调用者的 UID/PID 进行权限校验
            int callingUid = Binder.getCallingUid();
            int callingPid = Binder.getCallingPid();
            Log.d(TAG, "Caller UID: " + callingUid + ", PID: " + callingPid);

            return a + b;
        }

        @Override
        public int subtract(int a, int b) throws RemoteException {
            return a - b;
        }

        @Override
        public int multiply(int a, int b) throws RemoteException {
            return a * b;
        }

        @Override
        public double divide(int a, int b) throws RemoteException {
            if (b == 0) {
                throw new RemoteException("Division by zero");
            }
            return (double) a / b;
        }

        @Override
        public void calculateAsync(int a, int b, ICalculatorCallback callback)
                throws RemoteException {
            // 异步计算，通过回调返回结果
            new Thread(() -> {
                try {
                    Thread.sleep(1000); // 模拟耗时操作
                    int result = a + b;
                    callback.onResult(result);
                } catch (Exception e) {
                    try {
                        callback.onError(e.getMessage());
```

```
                    } catch (RemoteException re) {
                        Log.e(TAG, "Callback failed", re);
                    }
                }
            }).start();
        }
    };

    @Override
    public IBinder onBind(Intent intent) {
        Log.d(TAG, "Service bound");
        return mBinder;
    }

    @Override
    public void onCreate() {
        super.onCreate();
        Log.d(TAG, "Service created");
    }

    @Override
    public void onDestroy() {
        super.onDestroy();
        Log.d(TAG, "Service destroyed");
    }
}
```

步骤 3：AndroidManifest.xml 注册服务

```
<!-- AndroidManifest.xml -->
<service
    android:name=".CalculatorService"
    android:enabled="true"
    android:exported="true">
    <intent-filter>
        <action android:name="com.example.binderservice.CALCULATOR" />
    </intent-filter>
</service>
```

步骤 4：实现客户端

```
/**
 * 客户端：跨进程调用服务
 */
public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    private static final String TAG = "CalculatorClient";

    private ICalculatorService mService;
    private boolean mBound = false;

    // ServiceConnection 处理绑定事件
    private ServiceConnection mConnection = new ServiceConnection() {

        @Override
        public void onServiceConnected(ComponentName name, IBinder service) {
            Log.d(TAG, "Service connected");

            // 将 IBinder 转换为 AIDL 接口
            // asInterface() 会判断是否同一进程
            mService = ICalculatorService.Stub.asInterface(service);
            mBound = true;

            // 注册死亡代理
            try {
                service.linkToDeath(mDeathRecipient, 0);
            } catch (RemoteException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }

        @Override
        public void onServiceDisconnected(ComponentName name) {
            Log.d(TAG, "Service disconnected");
            mService = null;
            mBound = false;
        }
    };

    // 死亡代理：监控 Server 进程是否死亡
    private IBinder.DeathRecipient mDeathRecipient = new IBinder.DeathRecipient() {
        @Override
        public void binderDied() {
            Log.w(TAG, "Service died! Reconnecting...");
            mService = null;
            mBound = false;
            // 可以在这里尝试重新绑定
            bindToService();
        }
    };

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
```

```
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);

        // 绑定服务
        bindToService();
    }

    private void bindToService() {
        Intent intent = new Intent();
        intent.setAction("com.example.binderservice.CALCULATOR");
        intent.setPackage("com.example.binderservice"); // 目标包名
        bindService(intent, mConnection, Context.BIND_AUTO_CREATE);
    }

    /**
     * 调用服务方法
     */
    public void performCalculation() {
        if (!mBound || mService == null) {
            Log.e(TAG, "Service not bound");
            return;
        }

        try {
            // 同步调用
            int sum = mService.add(10, 20);
            Log.d(TAG, "10 + 20 = " + sum);

            int diff = mService.subtract(30, 15);
            Log.d(TAG, "30 - 15 = " + diff);

            double quotient = mService.divide(100, 4);
            Log.d(TAG, "100 / 4 = " + quotient);

            // 异步调用（通过回调）
            mService.calculateAsync(5, 7, new ICalculatorCallback.Stub() {
                @Override
                public void onResult(int result) throws RemoteException {
                    Log.d(TAG, "Async result: " + result);
                    runOnUiThread(() -> {
                        // 更新UI
                    });
                }

                @Override
                public void onError(String message) throws RemoteException {
                    Log.e(TAG, "Async error: " + message);
                }
            });

        } catch (RemoteException e) {
            Log.e(TAG, "Remote call failed", e);
        }
```

```
    }

    @Override
    protected void onDestroy() {
        super.onDestroy();
        if (mBound) {
            unbindService(mConnection);
            mBound = false;
        }
    }
}
```

6.2 Native Binder (C++) 示例

在 Native 层直接使用 Binder，不依赖 Java/Kotlin。

Server 端 (C++)

```
// NativeCalculatorService.h
#pragma once

#include <binder/Binder.h>
#include <binder/IInterface.h>
#include <binder/Parcel.h>

namespace android {

// 接口定义
class INativeCalculator : public IInterface {
public:
    DECLARE_META_INTERFACE(NativeCalculator);

    enum {
        TRANSACTION_ADD = IBinder::FIRST_CALL_TRANSACTION,
        TRANSACTION_SUBTRACT,
        TRANSACTION_MULTIPLY,
    };

    virtual int32_t add(int32_t a, int32_t b) = 0;
    virtual int32_t subtract(int32_t a, int32_t b) = 0;
    virtual int32_t multiply(int32_t a, int32_t b) = 0;
};

// Server 端 Stub 实现
class BnNativeCalculator : public BnInterface<INativeCalculator> {
public:
    virtual status_t onTransact(uint32_t code,
                                const Parcel& data,
                                Parcel* reply,
                                uint32_t flags) override;
};

// 具体服务实现
class NativeCalculatorService : public BnNativeCalculator {
public:
    NativeCalculatorService();
    virtual ~NativeCalculatorService();

    virtual int32_t add(int32_t a, int32_t b) override;
    virtual int32_t subtract(int32_t a, int32_t b) override;
    virtual int32_t multiply(int32_t a, int32_t b) override;
};

} // namespace android
```

```
// NativeCalculatorService.cpp
#include "NativeCalculatorService.h"
#include <binder/IPCThreadState.h>
#include <binder/ProcessState.h>
#include <binder/IServiceManager.h>
#include <utils/Log.h>

#define LOG_TAG "NativeCalculator"

namespace android {

IMPLEMENT_META_INTERFACE(NativeCalculator, "com.example.INativeCalculator");

// Stub onTransact - 处理来自 Client 的请求
status_t BnNativeCalculator::onTransact(uint32_t code,
                                        const Parcel& data,
                                        Parcel* reply,
                                        uint32_t flags) {
    switch (code) {
        case TRANSACTION_ADD: {
            CHECK_INTERFACE(INativeCalculator, data, reply);
            int32_t a = data.readInt32();
            int32_t b = data.readInt32();

            // 获取调用者信息
            uid_t callingUid = IPCThreadState::self()->getCallingUid();
            pid_t callingPid = IPCThreadState::self()->getCallingPid();
            ALOGD("add() called by UID=%d, PID=%d", callingUid, callingPid);

            int32_t result = add(a, b);
            reply->writeNoException();
            reply->writeInt32(result);
            return NO_ERROR;
        }

        case TRANSACTION_SUBTRACT: {
            CHECK_INTERFACE(INativeCalculator, data, reply);
            int32_t a = data.readInt32();
            int32_t b = data.readInt32();
            int32_t result = subtract(a, b);
            reply->writeNoException();
            reply->writeInt32(result);
            return NO_ERROR;
        }

        case TRANSACTION_MULTIPLY: {
            CHECK_INTERFACE(INativeCalculator, data, reply);
            int32_t a = data.readInt32();
            int32_t b = data.readInt32();
            int32_t result = multiply(a, b);
            reply->writeNoException();
            reply->writeInt32(result);
```

```
            return NO_ERROR;
        }

        default:
            return BBinder::onTransact(code, data, reply, flags);
    }
}

// 服务实现
NativeCalculatorService::NativeCalculatorService() {
    ALOGD("NativeCalculatorService created");
}

NativeCalculatorService::~NativeCalculatorService() {
    ALOGD("NativeCalculatorService destroyed");
}

int32_t NativeCalculatorService::add(int32_t a, int32_t b) {
    ALOGD("add(%d, %d)", a, b);
    return a + b;
}

int32_t NativeCalculatorService::subtract(int32_t a, int32_t b) {
    ALOGD("subtract(%d, %d)", a, b);
    return a - b;
}

int32_t NativeCalculatorService::multiply(int32_t a, int32_t b) {
    ALOGD("multiply(%d, %d)", a, b);
    return a * b;
}

} // namespace android

// 服务进程入口
int main(int argc, char** argv) {
    using namespace android;

    ALOGD("Starting NativeCalculatorService");

    // 初始化 ProcessState (打开 /dev/binder)
    sp<ProcessState> proc(ProcessState::self());

    // 获取 ServiceManager
    sp<IServiceManager> sm = defaultServiceManager();

    // 注册服务
    sm->addService(String16("native.calculator"),
                   new NativeCalculatorService());

    ALOGD("NativeCalculatorService registered");

    // 启动 Binder 线程池
```

```
    ProcessState::self()->startThreadPool();

    // 主线程也加入处理
    IPCThreadState::self()->joinThreadPool();

    return 0;
}
```

Client 端 (C++) - Proxy 实现

```
// NativeCalculatorClient.cpp
#include <binder/IServiceManager.h>
#include <binder/IPCThreadState.h>
#include <binder/ProcessState.h>
#include <binder/Parcel.h>
#include <utils/Log.h>

#define LOG_TAG "NativeCalculatorClient"

namespace android {

// Client Proxy 实现
class BpNativeCalculator : public BpInterface<INativeCalculator> {
public:
    explicit BpNativeCalculator(const sp<IBinder>& impl)
        : BpInterface<INativeCalculator>(impl) {}

    virtual int32_t add(int32_t a, int32_t b) override {
        Parcel data, reply;
        data.writeInterfaceToken(INativeCalculator::getInterfaceDescriptor());
        data.writeInt32(a);
        data.writeInt32(b);

        // 跨进程调用
        remote()->transact(TRANSACTION_ADD, data, &reply);

        reply.readExceptionCode();
        return reply.readInt32();
    }

    virtual int32_t subtract(int32_t a, int32_t b) override {
        Parcel data, reply;
        data.writeInterfaceToken(INativeCalculator::getInterfaceDescriptor());
        data.writeInt32(a);
        data.writeInt32(b);

        remote()->transact(TRANSACTION_SUBTRACT, data, &reply);

        reply.readExceptionCode();
        return reply.readInt32();
    }

    virtual int32_t multiply(int32_t a, int32_t b) override {
        Parcel data, reply;
        data.writeInterfaceToken(INativeCalculator::getInterfaceDescriptor());
        data.writeInt32(a);
        data.writeInt32(b);

        remote()->transact(TRANSACTION_MULTIPLY, data, &reply);

        reply.readExceptionCode();
        return reply.readInt32();
```

```
    }
};

} // namespace android

// 客户端入口
int main(int argc, char** argv) {
    using namespace android;

    ALOGD("NativeCalculatorClient starting");

    // 初始化 ProcessState
    sp<ProcessState> proc(ProcessState::self());

    // 获取 ServiceManager
    sp<IServiceManager> sm = defaultServiceManager();

    // 获取服务
    sp<IBinder> binder = sm->getService(String16("native.calculator"));
    if (binder == nullptr) {
        ALOGE("Service not found!");
        return -1;
    }

    // 创建 Proxy
    sp<INativeCalculator> calculator =
        interface_cast<INativeCalculator>(binder);

    // 调用服务
    int32_t sum = calculator->add(100, 200);
    ALOGD("100 + 200 = %d", sum);

    int32_t diff = calculator->subtract(500, 300);
    ALOGD("500 - 300 = %d", diff);

    int32_t product = calculator->multiply(12, 12);
    ALOGD("12 * 12 = %d", product);

    return 0;
}
```

6.3 ServiceManager 原理与实现

```
/**
 * ServiceManager 的核心实现
 * 位置: frameworks/native/cmds/servicemanager/
 */

// ServiceManager 数据结构
struct svcinfo {
    struct svcinfo *next;       // 链表
    uint32_t handle;            // Binder 句柄
    struct binder_death death;  // 死亡通知
    int allow_isolated;         // 是否允许 isolated 进程访问
    size_t len;                 // 服务名长度
    uint16_t name[0];           // 服务名 (UTF-16)
};

// 服务注册
int do_add_service(struct binder_state *bs,
                   const uint16_t *s, size_t len,
                   uint32_t handle, uid_t uid, int allow_isolated) {
    struct svcinfo *si;

    // 权限检查
    if (!svc_can_register(s, len, uid)) {
        ALOGE("add_service('%s',%x) uid=%d - PERMISSION DENIED",
              str8(s, len), handle, uid);
        return -1;
    }

    // 检查服务是否已存在
    si = find_svc(s, len);
    if (si) {
        if (si->handle) {
            // 服务已存在，更新句柄
            svcinfo_death(bs, si);
        }
        si->handle = handle;
    } else {
        // 创建新服务
        si = malloc(sizeof(*si) + (len + 1) * sizeof(uint16_t));
        si->handle = handle;
        si->len = len;
        memcpy(si->name, s, (len + 1) * sizeof(uint16_t));
        si->name[len] = '\0';
        si->death.func = (void*) svcinfo_death;
        si->death.ptr = si;
        si->allow_isolated = allow_isolated;
        si->next = svclist;
        svclist = si;  // 头插法
    }

    // 注册死亡通知
    binder_acquire(bs, handle);
```

```
    binder_link_to_death(bs, handle, &si->death);

    return 0;
}

// 服务查找
uint32_t do_find_service(const uint16_t *s, size_t len,
                         uid_t uid, pid_t spid) {
    struct svcinfo *si = find_svc(s, len);

    if (!si || !si->handle) {
        return 0;  // 服务不存在
    }

    // 权限检查
    if (!si->allow_isolated) {
        uid_t appid = uid % AID_USER;
        if (appid >= AID_ISOLATED_START && appid <= AID_ISOLATED_END) {
            return 0;  // isolated 进程无权访问
        }
    }

    return si->handle;
}
```

6.4 Parcel 底层原理

```
/**
 * Parcel 内部结构详解
 * 位置: frameworks/native/libs/binder/Parcel.cpp
 */

class Parcel {
public:
    Parcel();
    ~Parcel();

    // 数据写入
    status_t writeInt32(int32_t val);
    status_t writeInt64(int64_t val);
    status_t writeFloat(float val);
    status_t writeDouble(double val);
    status_t writeString16(const String16& str);
    status_t writeStrongBinder(const sp<IBinder>& val);

    // 数据读取
    int32_t readInt32();
    int64_t readInt64();
    float readFloat();
    double readDouble();
    String16 readString16();
    sp<IBinder> readStrongBinder();

private:
    status_t            mError;
    uint8_t*            mData;          // 数据缓冲区
    size_t              mDataSize;      // 当前数据大小
    size_t              mDataCapacity;  // 缓冲区容量
    mutable size_t      mDataPos;       // 读写位置

    binder_size_t*      mObjects;       // Binder 对象偏移数组
    size_t              mObjectsSize;   // Binder 对象数量
    size_t              mObjectsCapacity;
};

// 写入 int32 的实现
status_t Parcel::writeInt32(int32_t val) {
    return writeAligned(val);
}

template<class T>
status_t Parcel::writeAligned(T val) {
    // 确保 4 字节对齐
    static_assert(PAD_SIZE_UNSAFE(sizeof(T)) == sizeof(T));

    if ((mDataPos + sizeof(val)) <= mDataCapacity) {
restart_write:
        *reinterpret_cast<T*>(mData + mDataPos) = val;
        mDataPos += sizeof(val);
```

```
        if (mDataPos > mDataSize) {
            mDataSize = mDataPos;
        }
        return NO_ERROR;
    }

    // 需要扩容
    status_t err = growData(sizeof(val));
    if (err == NO_ERROR) goto restart_write;
    return err;
}

// 写入 Binder 对象 (特殊处理)
status_t Parcel::writeStrongBinder(const sp<IBinder>& val) {
    return flatten_binder(ProcessState::self(), val, this);
}

status_t flatten_binder(const sp<ProcessState>& proc,
                        const sp<IBinder>& binder,
                        Parcel* out) {
    flat_binder_object obj;

    if (binder != nullptr) {
        BBinder* local = binder->localBinder();
        if (!local) {
            // 远程 Binder (Proxy)
            BpBinder* proxy = binder->remoteBinder();
            obj.hdr.type = BINDER_TYPE_HANDLE;
            obj.binder = 0;
            obj.handle = proxy ? proxy->handle() : 0;
            obj.cookie = 0;
        } else {
            // 本地 Binder (Stub)
            obj.hdr.type = BINDER_TYPE_BINDER;
            obj.binder = reinterpret_cast<uintptr_t>(local->getWeakRefs());
            obj.cookie = reinterpret_cast<uintptr_t>(local);
        }
    } else {
        // null Binder
        obj.hdr.type = BINDER_TYPE_BINDER;
        obj.binder = 0;
        obj.cookie = 0;
    }

    return finish_flatten_binder(binder, obj, out);
}
```

6.5 Binder 线程池管理

```
/**
 * Binder 线程池详解
 */

// ProcessState: 每个进程一个
class ProcessState : public virtual RefBase {
public:
    static sp<ProcessState> self();

    // 打开 Binder 驱动
    int getContextObject(const sp<IBinder>& caller);

    // 启动线程池
    void startThreadPool();

    // 设置最大线程数
    void setThreadPoolMaxThreadCount(size_t maxThreads);

private:
    ProcessState(const char* driver);

    int                 mDriverFD;      // /dev/binder 文件描述符
    void*               mVMStart;       // mmap 起始地址
    size_t              mMaxThreads;    // 最大线程数

    Mutex               mLock;
    Vector<BBinder*>    mBindersByHandle;  // 句柄 → BBinder 映射
};

// IPCThreadState: 每个线程一个
class IPCThreadState {
public:
    static IPCThreadState* self();

    // 加入线程池处理请求
    void joinThreadPool(bool isMain = true);

    // 发起跨进程调用
    status_t transact(int32_t handle,
                      uint32_t code,
                      const Parcel& data,
                      Parcel* reply,
                      uint32_t flags);

    // 获取调用者信息
    uid_t getCallingUid() const;
    pid_t getCallingPid() const;

private:
    IPCThreadState();

    int                 mProcess;
```

```
    pid_t               mCallingPid;
    uid_t               mCallingUid;

    Parcel              mIn;   // 读取缓冲区
    Parcel              mOut;  // 写入缓冲区
};

// 线程池工作循环
void IPCThreadState::joinThreadPool(bool isMain) {
    mOut.writeInt32(isMain ? BC_ENTER_LOOPER : BC_REGISTER_LOOPER);

    status_t result;
    do {
        // 处理待处理的任务
        processPendingDerefs();

        // 阻塞等待请求
        result = getAndExecuteCommand();

        // 如果驱动请求创建新线程
        if (result == -ECONNREFUSED) {
            ALOGI("Binder driver refused");
            break;
        }

    } while (result != -ECONNREFUSED);

    mOut.writeInt32(BC_EXIT_LOOPER);
    talkWithDriver(false);
}

// 处理单个命令
status_t IPCThreadState::getAndExecuteCommand() {
    status_t result;
    int32_t cmd;

    // 与驱动通信
    result = talkWithDriver();
    if (result >= NO_ERROR) {
        size_t IN = mIn.dataAvail();
        if (IN < sizeof(int32_t)) return result;

        cmd = mIn.readInt32();

        // 处理命令
        result = executeCommand(cmd);
    }

    return result;
}

status_t IPCThreadState::executeCommand(int32_t cmd) {
    switch ((uint32_t)cmd) {
```

```
        case BR_TRANSACTION: {
            binder_transaction_data tr;
            result = mIn.read(&tr, sizeof(tr));

            // 保存调用者信息
            mCallingPid = tr.sender_pid;
            mCallingUid = tr.sender_euid;

            // 查找目标 BBinder
            if (tr.target.ptr) {
                // 调用 onTransact
                reinterpret_cast<BBinder*>(tr.cookie)->transact(
                    tr.code, buffer, &reply, tr.flags);
            }

            // 发送回复
            if ((tr.flags & TF_ONE_WAY) == 0) {
                sendReply(reply, 0);
            }
            break;
        }

        case BR_DEAD_BINDER: {
            BpBinder* proxy = (BpBinder*)mIn.readPointer();
            proxy->sendObituary();
            break;
        }

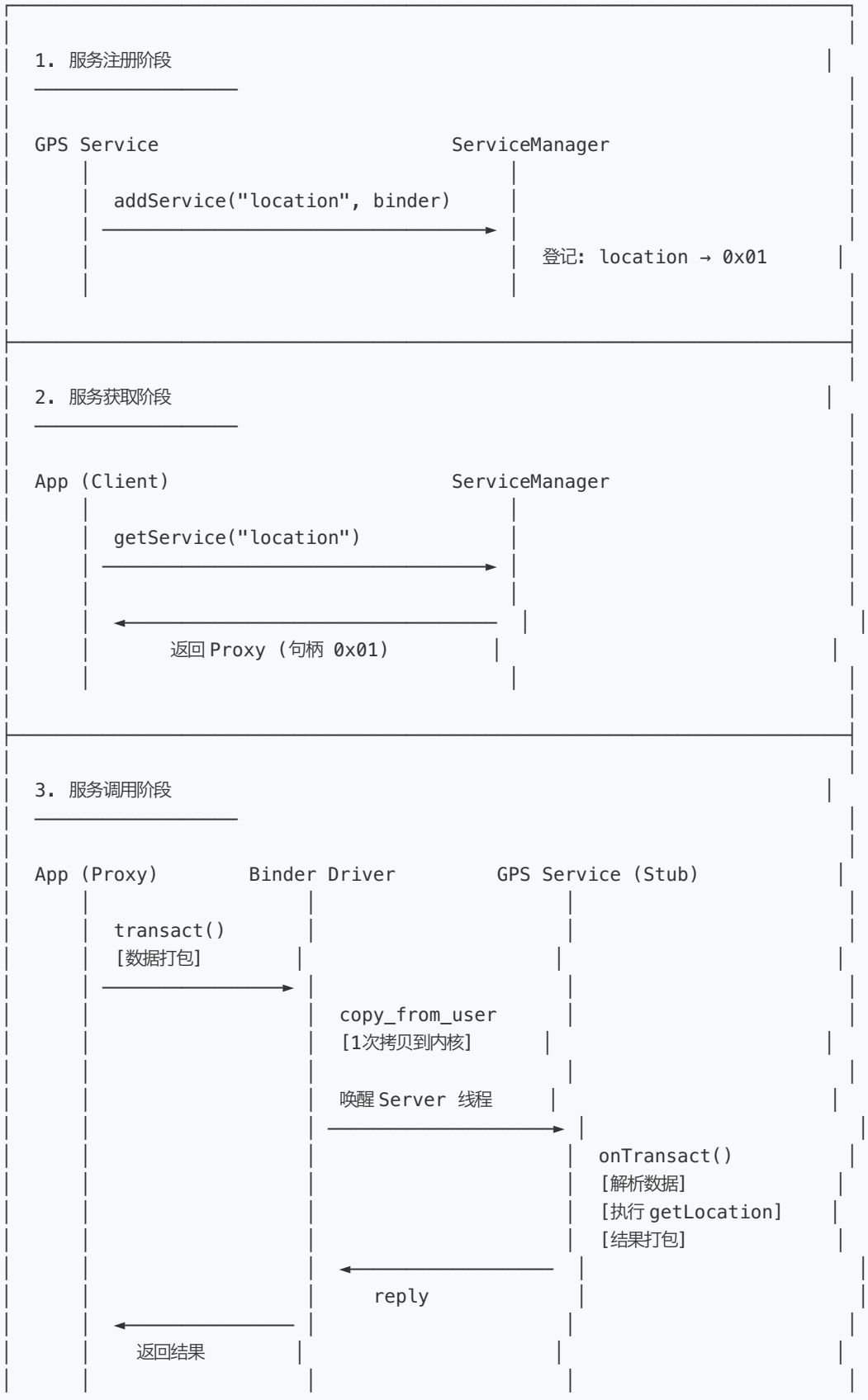
        // ... 其他命令
    }

    return result;
}
```

7. Binder 通信流程图解

7.1 完整通信流程

App 想获取 GPS 数据的完整流程：



```
└──────────────────────────────────────────────────────────────────────┘
```

7.2 形象比喻

假设 App 想找系统获取 GPS 数据:

1. ServiceManager (前台接待):
   系统启动时，GPS 服务就在这里登记了。

2. App (Client):
   跑到前台问: "我要找 GPS 服务"。

3. ServiceManager:
   给了 App 一个号牌 (Binder Proxy/句柄)，
   说: "你拿着这个号牌，对着它说话，GPS 服务就能听见。"

4. Binder 驱动 (传送门):
   - App 对着号牌喊: "现在的经纬度是多少？" (写入数据)
   - 驱动把这句话瞬间传送到了 GPS 服务的耳朵里 (内存映射)

5. GPS 服务 (Server):
   算了一下，通过驱动把结果"经度100，纬度30"传回去。

6. App:
   号牌里传来了声音，App 拿到了数据。

7. Binder 在逆向中的应用

8.1 Hook Binder 调用

```
/**
 * Frida Hook Binder.transact
 * 监控所有跨进程调用
 */
Java.perform(function() {
    var Binder = Java.use("android.os.Binder");

    Binder.transact.overload('int', 'android.os.Parcel',
                             'android.os.Parcel', 'int')
        .implementation = function(code, data, reply, flags) {

        console.log("[Binder.transact]");
        console.log("  code: " + code);
        console.log("  flags: " + flags);

        // 读取 Parcel 数据
        data.setDataPosition(0);
        var interfaceToken = data.readInterfaceToken();
        console.log("  interface: " + interfaceToken);
        data.setDataPosition(0);

        // 调用原方法
        var result = this.transact(code, data, reply, flags);

        // 读取返回数据
        reply.setDataPosition(0);
        console.log("  reply size: " + reply.dataSize());

        return result;
    };
});
```

8.2 监控系统服务调用

```
/**
 * Hook ServiceManager.getService
 * 监控 App 获取了哪些系统服务
 */
Java.perform(function() {
    var ServiceManager = Java.use("android.os.ServiceManager");

    ServiceManager.getService.overload('java.lang.String')
        .implementation = function(name) {

        console.log("[ServiceManager.getService] " + name);

        // 打印调用栈
        console.log(Java.use("android.util.Log")
            .getStackTraceString(Java.use("java.lang.Exception").$new()));

        return this.getService(name);
    };
});
```

8.3 分析 AIDL 接口

```
/**
 * 动态分析 AIDL 接口
 */
Java.perform(function() {
    // Hook 所有继承自 Binder 的类
    Java.enumerateLoadedClasses({
        onMatch: function(className) {
            if (className.includes("$Stub")) {
                try {
                    var cls = Java.use(className);
                    console.log("[AIDL Stub] " + className);

                    // Hook onTransact
                    cls.onTransact.overload('int', 'android.os.Parcel',
                                            'android.os.Parcel', 'int')
                        .implementation = function(code, data, reply, flags) {
                        console.log("  [" + className + "] code: " + code);
                        return this.onTransact(code, data, reply, flags);
                    };
                } catch (e) {}
            }
        },
        onComplete: function() {}
    });
});
```

8.4 Binder 数据解析

```
/**
 * 解析 Parcel 数据
 */
function parseParcel(parcel) {
    parcel.setDataPosition(0);

    var result = {
        dataSize: parcel.dataSize(),
        dataPosition: parcel.dataPosition(),
        dataCapacity: parcel.dataCapacity()
    };

    // 尝试读取不同类型的数据
    try {
        result.interfaceToken = parcel.readInterfaceToken();
    } catch (e) {}

    parcel.setDataPosition(0);

    // Dump 原始数据
    var data = parcel.marshall();
    result.rawData = hexdump(data, { length: Math.min(data.length, 256) });

    return result;
}
```

8. 总结

8.1 Binder 核心要点

特性	说明
地位	Android 的神经系统
架构	C/S 架构：Client、Server、ServiceManager、Driver
性能	1 次拷贝 (mmap 内存映射)
安全	内核层 UID/PID 校验
易用	AIDL 封装 RPC 调用

8.2 限制

1. 传输大小限制：通常 1MB - 8KB，过大的图片不要通过 Binder 传
2. 同步调用：Client 发起的调用通常是同步的，Server 耗时太久会导致 ANR
3. Android 特有：不是标准 Linux IPC，只能在 Android 中使用

8.3 Binder 的重要性

理解了 Binder，你就理解了：

- 为什么 Android App 可以互相调起
- 为什么系统服务可以管理所有 App
- 插件化和组件化开发的底层基石
- LSPosed 等框架的跨进程通信机制

推荐下一步：

- ART 运行时
- Magisk 与 LSPosed 原理

进阶主题

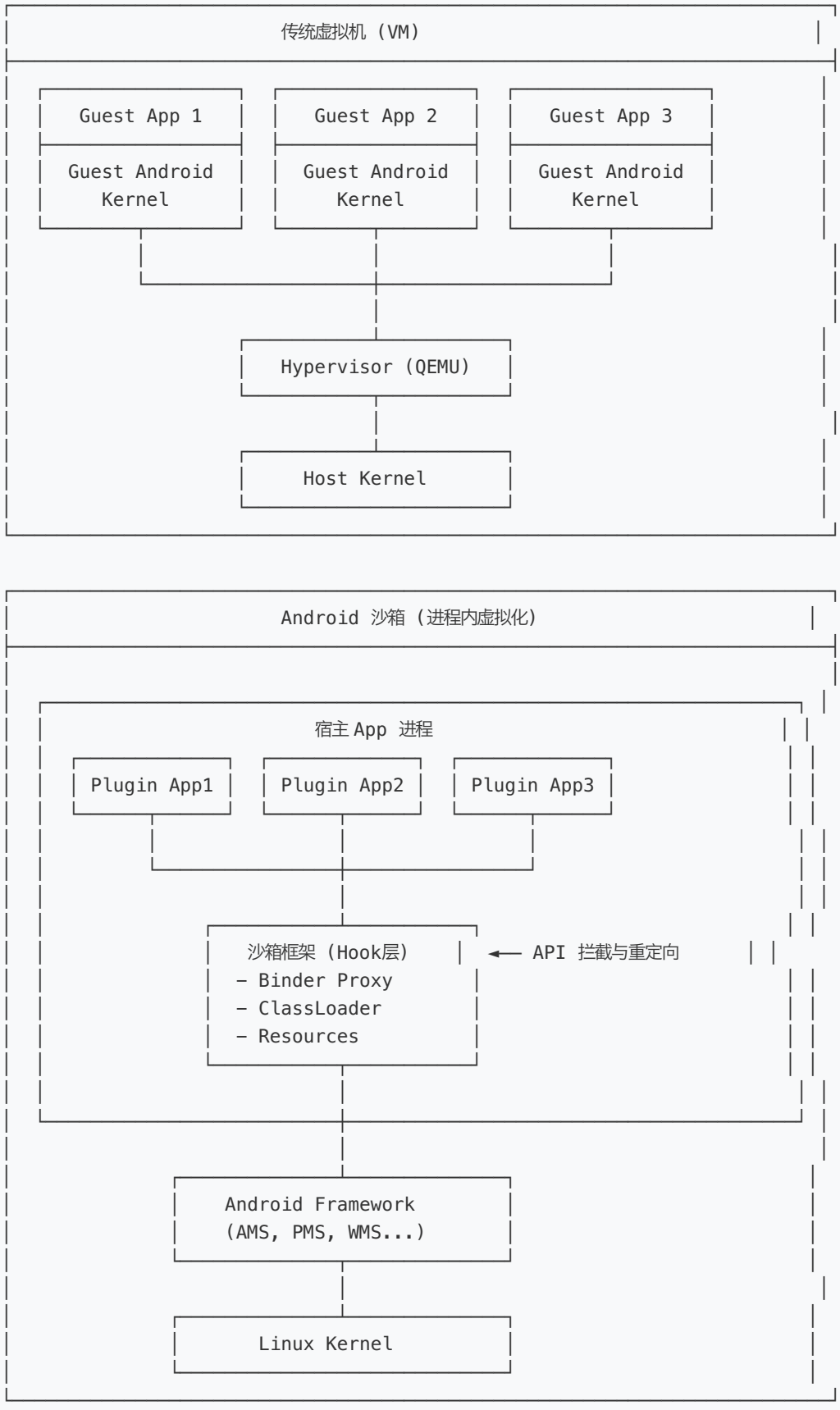
A01: Android 沙箱实现

A01: Android 沙箱技术与实现指南

Android 沙箱技术，通常也被称为"虚拟化引擎"或"App 多开框架"，是一种在单个 Android 设备上创建隔离环境以运行其他应用程序的技术。它允许一个"宿主"应用程序在自己的进程空间内加载并运行一个"插件"应用程序，同时对插件应用的所有系统交互进行拦截和管理。

核心应用场景：应用多开、无感知隐私保护、自动化测试、免安装运行 App、安全分析。

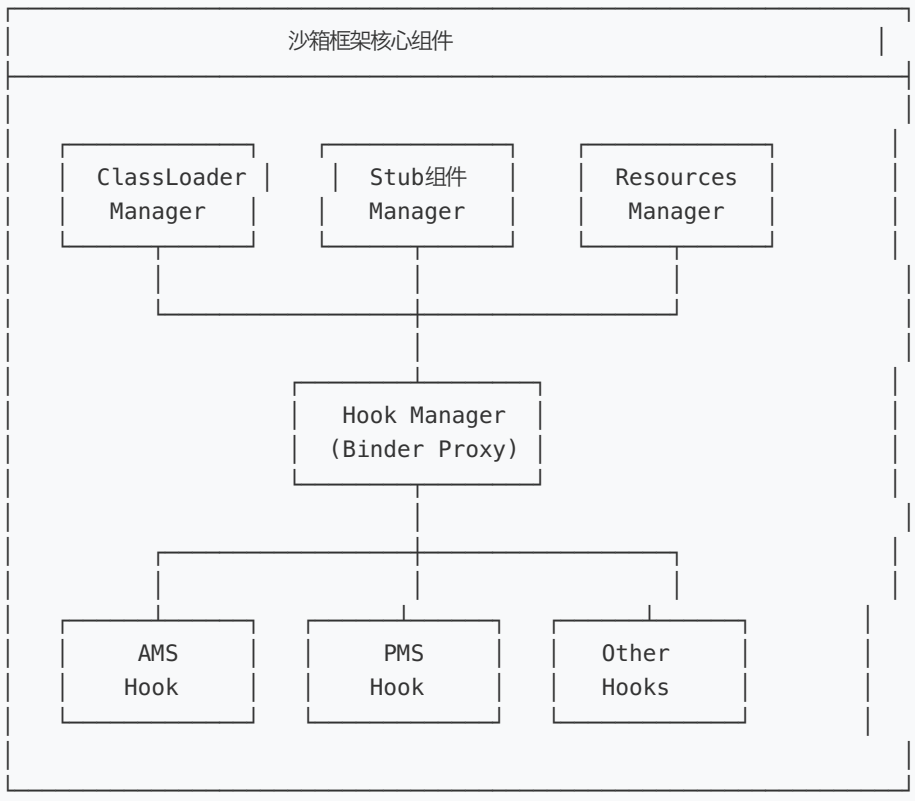
1. 核心概念：沙箱 vs. 虚拟机


传统虚拟机（VM）
Guest App 1
Guest App 2
Guest App 3
Guest Android Kernel
Guest Android Kernel
Guest Android Kernel
Hypervisor（QEMU）
Host Kernel
Android 沙箱（进程内虚拟化）
宿主 App 进程
Plugin App1
Plugin App2
Plugin App3
沙箱框架（Hook层）
- Binder Proxy
- ClassLoader
- Resources
API 拦截与重定向
Android Framework
(AMS, PMS, WMS...)
Linux Kernel

特性	虚拟机 (VM)	Android 沙箱
隔离级别	内核级隔离	进程内隔离
资源开销	非常高 (GB级内存)	低 (共享系统资源)
启动速度	慢 (分钟级)	快 (秒级)
兼容性	完美	需要适配
实现复杂度	依赖成熟虚拟化技术	需要大量 Hook

2. 沙箱实现原理详解

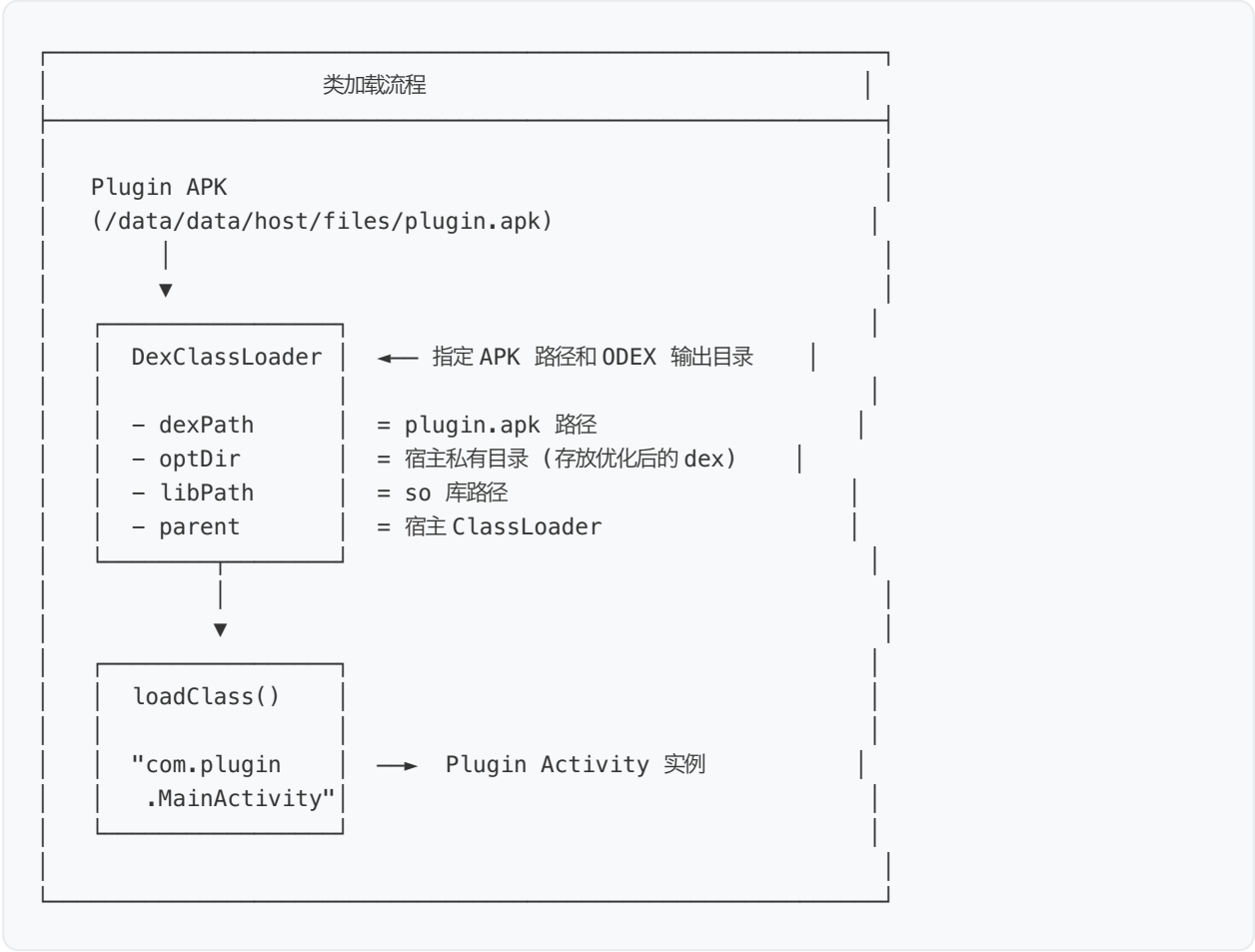
实现一个 Android 沙箱需要解决四大核心问题:



2.1 类加载 (Class Loading)

由于插件 App 并未被系统"安装"，其代码不能通过常规的 `PathClassLoader` 加载。

原理图



代码实现

```
/**
 * PluginClassLoaderManager.java
 * 插件类加载器管理
 */
public class PluginClassLoaderManager {

    private static final String TAG = "PluginClassLoader";

    // 缓存已加载插件的 ClassLoader
    private final Map<String, DexClassLoader> classLoaderCache = new HashMap<>();

    private final Context hostContext;

    public PluginClassLoaderManager(Context hostContext) {
        this.hostContext = hostContext;
    }

    /**
     * 为插件创建 DexClassLoader
     *
     * @param pluginApkPath 插件 APK 的完整路径
     * @param pluginId      插件唯一标识
     * @return DexClassLoader 实例
     */
    public DexClassLoader createClassLoader(String pluginApkPath, String pluginId) {
        // 检查缓存
        if (classLoaderCache.containsKey(pluginId)) {
            Log.d(TAG, "Using cached ClassLoader for: " + pluginId);
            return classLoaderCache.get(pluginId);
        }

        // 创建优化后的 DEX 输出目录
        // 注意: Android 8.0+ 推荐使用 null，系统会自动选择目录
        File optDir = hostContext.getDir("plugin_dex_" + pluginId,
Context.MODE_PRIVATE);

        // 获取插件的 native library 路径
        String libPath = extractNativeLibs(pluginApkPath, pluginId);

        // 创建 DexClassLoader
        // 关键参数:
        // - dexPath: 插件 APK 路径
        // - optimizedDirectory: DEX 优化输出目录 (Android 8.0+ 可为 null)
        // - librarySearchPath: Native 库搜索路径
        // - parent: 父 ClassLoader (使用宿主的 ClassLoader)
        DexClassLoader classLoader = new DexClassLoader(
                pluginApkPath,
                optDir.getAbsolutePath(),
                libPath,
                hostContext.getClassLoader()  // 重要: 设置父加载器
        );
```

```
        // 缓存
        classLoaderCache.put(pluginId, classLoader);

        Log.d(TAG, "Created ClassLoader for plugin: " + pluginId);
        Log.d(TAG, "  APK Path: " + pluginApkPath);
        Log.d(TAG, "  Opt Dir: " + optDir.getAbsolutePath());
        Log.d(TAG, "  Lib Path: " + libPath);

        return classLoader;
    }

    /**
     * 从插件 APK 中提取 native 库
     */
    private String extractNativeLibs(String apkPath, String pluginId) {
        File libDir = hostContext.getDir("plugin_lib_" + pluginId,
Context.MODE_PRIVATE);

        try {
            // 获取设备 ABI
            String abi = Build.SUPPORTED_ABIS[0];  // 如 "arm64-v8a"

            ZipFile zipFile = new ZipFile(apkPath);
            Enumeration<? extends ZipEntry> entries = zipFile.entries();

            while (entries.hasMoreElements()) {
                ZipEntry entry = entries.nextElement();
                String name = entry.getName();

                // 查找匹配的 native 库
                if (name.startsWith("lib/" + abi + "/") && name.endsWith(".so")) {
                    String soName = name.substring(name.lastIndexOf('/') + 1);
                    File outFile = new File(libDir, soName);

                    // 解压 so 文件
                    try (InputStream in = zipFile.getInputStream(entry);
                         FileOutputStream out = new FileOutputStream(outFile)) {
                        byte[] buffer = new byte[8192];
                        int len;
                        while ((len = in.read(buffer)) != -1) {
                            out.write(buffer, 0, len);
                        }
                    }

                    Log.d(TAG, "Extracted native lib: " + soName);
                }
            }

            zipFile.close();
        } catch (IOException e) {
            Log.e(TAG, "Failed to extract native libs", e);
        }
```

```
        return libDir.getAbsolutePath();
    }

    /**
     * 加载插件中的类
     */
    public Class<?> loadPluginClass(String pluginId, String className)
            throws ClassNotFoundException {

        DexClassLoader classLoader = classLoaderCache.get(pluginId);
        if (classLoader == null) {
            throw new IllegalStateException("Plugin not loaded: " + pluginId);
        }

        return classLoader.loadClass(className);
    }

    /**
     * 通过反射创建插件对象实例
     */
    @SuppressWarnings("unchecked")
    public <T> T createPluginInstance(String pluginId, String className, Class<T>
expectedType)
            throws Exception {

        Class<?> clazz = loadPluginClass(pluginId, className);

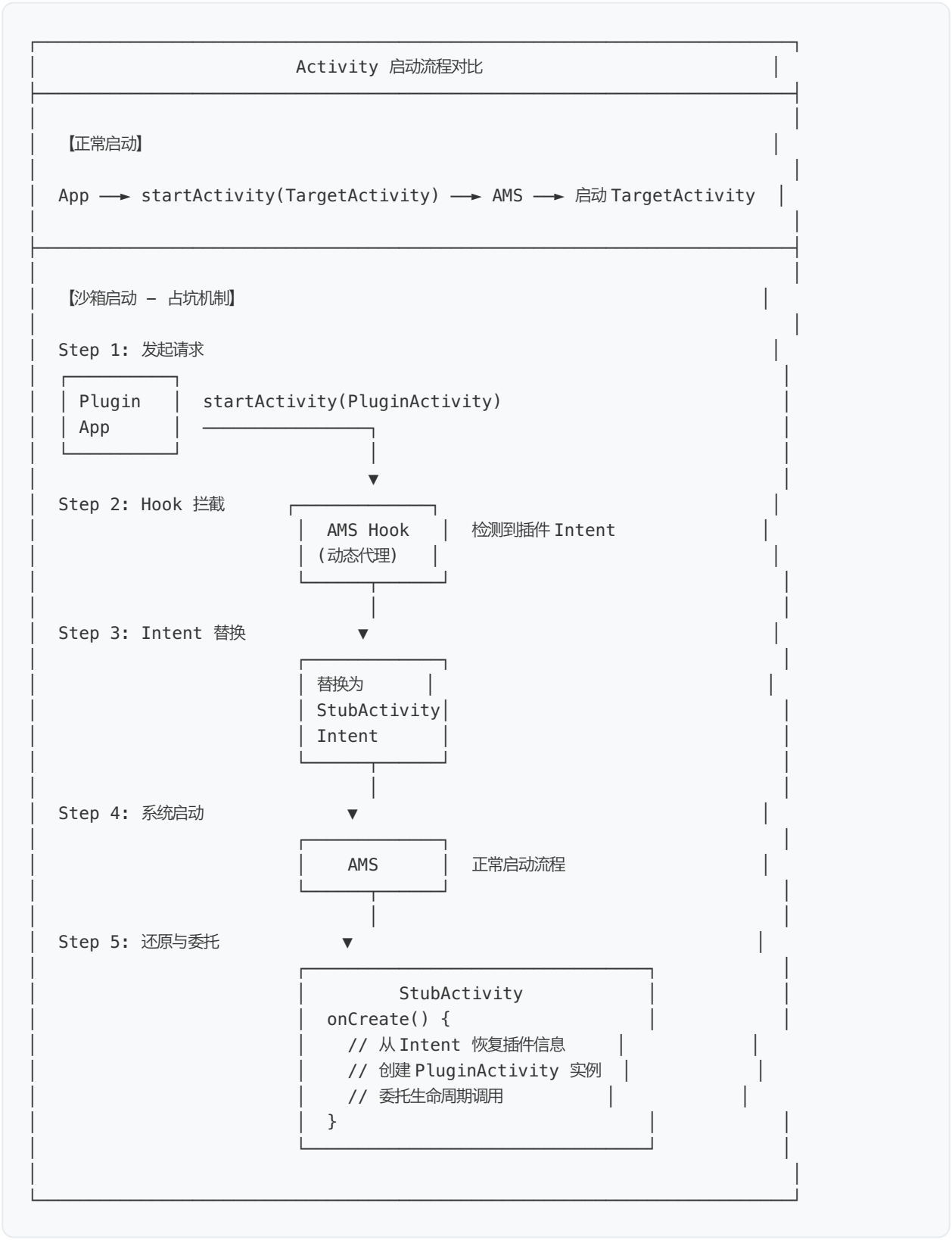
        if (!expectedType.isAssignableFrom(clazz)) {
            throw new ClassCastException(className + " is not a " +
expectedType.getName());
        }

        return (T) clazz.getDeclaredConstructor().newInstance();
    }
}
```

2.2 组件生命周期管理 (Component Lifecycle)

插件 App 的组件（Activity, Service 等）并没有在宿主 App 的 `AndroidManifest.xml` 中注册，因此无法被系统直接启动。

占坑原理图


Activity 启动流程对比
【正常启动】
App ⟶ startActivity(TargetActivity) ⟶ AMS ⟶ 启动 TargetActivity
【沙箱启动 – 占坑机制】
Step 1: 发起请求
Plugin App
startActivity(PluginActivity)
Step 2: Hook 拦截
AMS Hook (动态代理)
检测到插件 Intent
Step 3: Intent 替换
替换为 StubActivity Intent
Step 4: 系统启动
AMS
正常启动流程
Step 5: 还原与委托
StubActivity
onCreate() {
// 从 Intent 恢复插件信息
// 创建 PluginActivity 实例
// 委托生命周期调用
}

AndroidManifest.xml 占坑配置

```
<!-- 宿主 App 的 AndroidManifest.xml -->
<manifest xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    package="com.sandbox.host">

    <application>
        <!-- 宿主自己的组件 -->
        <activity android:name=".MainActivity" android:exported="true">
            <intent-filter>
                <action android:name="android.intent.action.MAIN" />
                <category android:name="android.intent.category.LAUNCHER" />
            </intent-filter>
        </activity>

        <!-- ========== 占坑 Activity (Stub Activities) ========== -->

        <!-- 标准模式 -->
        <activity android:name=".stub.StubActivity$Standard1"
            android:launchMode="standard"
            android:theme="@style/Theme.AppCompat.Light" />
        <activity android:name=".stub.StubActivity$Standard2"
            android:launchMode="standard" />

        <!-- SingleTop 模式 -->
        <activity android:name=".stub.StubActivity$SingleTop1"
            android:launchMode="singleTop" />

        <!-- SingleTask 模式 -->
        <activity android:name=".stub.StubActivity$SingleTask1"
            android:launchMode="singleTask" />

        <!-- SingleInstance 模式 -->
        <activity android:name=".stub.StubActivity$SingleInstance1"
            android:launchMode="singleInstance" />

        <!-- 透明主题（用于对话框类 Activity） -->
        <activity android:name=".stub.StubActivity$Translucent1"
            android:theme="@android:style/Theme.Translucent.NoTitleBar" />

        <!-- ========== 占坑 Service ========== -->
        <service android:name=".stub.StubService$Service1" />
        <service android:name=".stub.StubService$Service2" />

        <!-- ========== 占坑 ContentProvider ========== -->
        <provider
            android:name=".stub.StubContentProvider"
            android:authorities="com.sandbox.host.stub.provider"
            android:exported="false" />

        <!-- ========== 占坑 BroadcastReceiver（静态注册） ========== -->
        <receiver android:name=".stub.StubReceiver$Receiver1" />
```

```
    </application>
</manifest>
```

StubActivity 实现

```
/**
 * StubActivity.java
 * 占坑 Activity 基类 — 负责委托生命周期给插件 Activity
 */
public class StubActivity extends Activity {

    private static final String TAG = "StubActivity";

    // 存储原始插件 Intent 的 Key
    public static final String EXTRA_PLUGIN_INTENT = "sandbox_plugin_intent";
    public static final String EXTRA_PLUGIN_ID = "sandbox_plugin_id";
    public static final String EXTRA_PLUGIN_CLASS = "sandbox_plugin_class";

    // 被代理的插件 Activity
    private Activity pluginActivity;

    // 插件的 Resources
    private Resources pluginResources;

    // 插件的 ClassLoader
    private ClassLoader pluginClassLoader;

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);

        // 从 Intent 中恢复插件信息
        Intent intent = getIntent();
        String pluginId = intent.getStringExtra(EXTRA_PLUGIN_ID);
        String pluginClassName = intent.getStringExtra(EXTRA_PLUGIN_CLASS);
        Intent pluginIntent = intent.getParcelableExtra(EXTRA_PLUGIN_INTENT);

        Log.d(TAG, "StubActivity onCreate");
        Log.d(TAG, "  Plugin ID: " + pluginId);
        Log.d(TAG, "  Plugin Class: " + pluginClassName);

        try {
            // 获取插件的 ClassLoader 和 Resources
            PluginManager pm = PluginManager.getInstance();
            pluginClassLoader = pm.getPluginClassLoader(pluginId);
            pluginResources = pm.getPluginResources(pluginId);

            // 创建插件 Activity 实例
            Class<?> pluginClass = pluginClassLoader.loadClass(pluginClassName);
            pluginActivity = (Activity)
pluginClass.getDeclaredConstructor().newInstance();

            // 注入上下文（关键步骤）
            injectContext(pluginActivity, pluginIntent);

            // 调用插件 Activity 的 onCreate
            invokeOnCreate(savedInstanceState);
```

```
        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "Failed to create plugin activity", e);
            finish();
        }
    }

    /**
     * 注入自定义 Context 到插件 Activity
     */
    private void injectContext(Activity activity, Intent pluginIntent) throws
Exception {
        // 使用反射注入 mBase (ContextWrapper 的底层 Context)
        // 创建一个代理 Context，拦截资源访问等调用

        PluginContext pluginContext = new PluginContext(this, pluginResources,
pluginClassLoader);

        // 反射设置 Activity 的 mBase
        Field mBaseField = ContextWrapper.class.getDeclaredField("mBase");
        mBaseField.setAccessible(true);
        mBaseField.set(activity, pluginContext);

        // 反射设置 Activity 的 mIntent
        Field mIntentField = Activity.class.getDeclaredField("mIntent");
        mIntentField.setAccessible(true);
        mIntentField.set(activity, pluginIntent);

        // 反射设置 Activity 的 mApplication
        Field mApplicationField = Activity.class.getDeclaredField("mApplication");
        mApplicationField.setAccessible(true);
        mApplicationField.set(activity, getApplication());

        Log.d(TAG, "Context injected successfully");
    }

    /**
     * 调用插件 Activity 的 onCreate
     */
    private void invokeOnCreate(Bundle savedInstanceState) throws Exception {
        // 获取 Activity.onCreate 方法
        Method onCreateMethod = Activity.class.getDeclaredMethod("onCreate",
Bundle.class);
        onCreateMethod.setAccessible(true);

        // 调用插件的 onCreate
        onCreateMethod.invoke(pluginActivity, savedInstanceState);

        // 设置 ContentView (如果插件设置了)
        View contentView = pluginActivity.getWindow().getDecorView();
        if (contentView != null) {
            setContentView(contentView);
        }
```

```
    }

    // ========== 生命周期委托 ==========

    @Override
    protected void onStart() {
        super.onStart();
        if (pluginActivity != null) {
            invokeLifecycleMethod("onStart");
        }
    }

    @Override
    protected void onResume() {
        super.onResume();
        if (pluginActivity != null) {
            invokeLifecycleMethod("onResume");
        }
    }

    @Override
    protected void onPause() {
        if (pluginActivity != null) {
            invokeLifecycleMethod("onPause");
        }
        super.onPause();
    }

    @Override
    protected void onStop() {
        if (pluginActivity != null) {
            invokeLifecycleMethod("onStop");
        }
        super.onStop();
    }

    @Override
    protected void onDestroy() {
        if (pluginActivity != null) {
            invokeLifecycleMethod("onDestroy");
        }
        super.onDestroy();
    }

    @Override
    protected void onSaveInstanceState(Bundle outState) {
        if (pluginActivity != null) {
            try {
                Method method = Activity.class.getDeclaredMethod(
                        "onSaveInstanceState", Bundle.class);
                method.setAccessible(true);
                method.invoke(pluginActivity, outState);
            } catch (Exception e) {
```

```
                Log.e(TAG, "onSaveInstanceState failed", e);
            }
        }
        super.onSaveInstanceState(outState);
    }

    @Override
    protected void onActivityResult(int requestCode, int resultCode, Intent data) {
        if (pluginActivity != null) {
            try {
                Method method = Activity.class.getDeclaredMethod(
                        "onActivityResult", int.class, int.class, Intent.class);
                method.setAccessible(true);
                method.invoke(pluginActivity, requestCode, resultCode, data);
            } catch (Exception e) {
                Log.e(TAG, "onActivityResult failed", e);
            }
        }
        super.onActivityResult(requestCode, resultCode, data);
    }

    @Override
    public void onBackPressed() {
        if (pluginActivity != null) {
            pluginActivity.onBackPressed();
        } else {
            super.onBackPressed();
        }
    }

    /**
     * 通用生命周期方法调用
     */
    private void invokeLifecycleMethod(String methodName) {
        try {
            Method method = Activity.class.getDeclaredMethod(methodName);
            method.setAccessible(true);
            method.invoke(pluginActivity);
        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, methodName + " failed", e);
        }
    }

    // ========== 资源访问重写 ==========

    @Override
    public Resources getResources() {
        // 返回插件的 Resources
        return pluginResources != null ? pluginResources : super.getResources();
    }

    @Override
    public ClassLoader getClassLoader() {
```

```
        // 返回插件的 ClassLoader
        return pluginClassLoader != null ? pluginClassLoader : super.getClassLoader();
    }

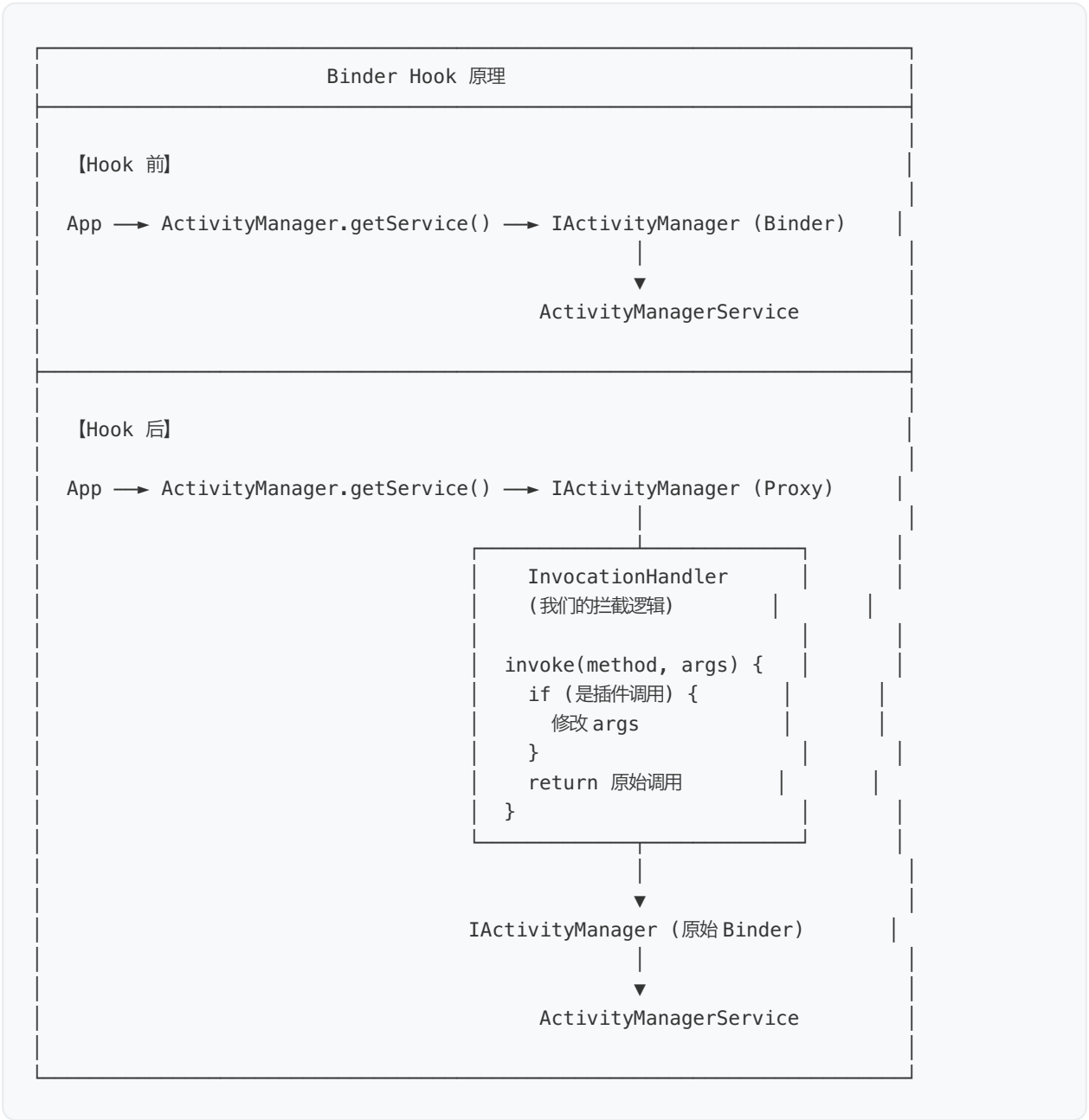
    // ========== 占坑子类（用于不同启动模式）==========

    public static class Standard1 extends StubActivity {}
    public static class Standard2 extends StubActivity {}
    public static class SingleTop1 extends StubActivity {}
    public static class SingleTask1 extends StubActivity {}
    public static class SingleInstance1 extends StubActivity {}
    public static class Translucent1 extends StubActivity {}
}
```

2.3 系统服务 Hook (Binder Proxy)

这是整个沙箱技术最核心、最复杂的部分。

Binder Hook 原理图



AMS Hook 实现

```
/**
 * AMSHook.java
 * ActivityManagerService Hook 实现
 */
public class AMSHook {

    private static final String TAG = "AMSHook";

    private Object originalAMS;  // 原始的 IActivityManager
    private Object proxyAMS;     // 代理后的 IActivityManager

    /**
     * 执行 Hook
     */
    public void hook() {
        try {
            if (Build.VERSION.SDK_INT >= Build.VERSION_CODES.O) {
                // Android 8.0+
                hookActivityManager();
            } else {
                // Android 8.0 以下
                hookActivityManagerNative();
            }
            Log.d(TAG, "AMS Hook installed successfully");
        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "AMS Hook failed", e);
        }
    }

    /**
     * Android 8.0+ 的 Hook 方式
     */
    private void hookActivityManager() throws Exception {
        // 1. 获取 ActivityManager 类
        Class<?> activityManagerClass = Class.forName("android.app.ActivityManager");

        // 2. 获取 IActivityManagerSingleton 字段
        Field singletonField =
activityManagerClass.getDeclaredField("IActivityManagerSingleton");
        singletonField.setAccessible(true);
        Object singleton = singletonField.get(null);

        // 3. 获取 Singleton 类的 mInstance 字段
        Class<?> singletonClass = Class.forName("android.util.Singleton");
        Field mInstanceField = singletonClass.getDeclaredField("mInstance");
        mInstanceField.setAccessible(true);

        // 4. 获取原始的 IActivityManager 实例
        originalAMS = mInstanceField.get(singleton);

        // 5. 获取 IActivityManager 接口
        Class<?> iActivityManagerClass =
```

```
Class.forName("android.app.IActivityManager");

        // 6. 创建动态代理
        proxyAMS = Proxy.newProxyInstance(
                iActivityManagerClass.getClassLoader(),
                new Class<?>[] { iActivityManagerClass },
                new AMSInvocationHandler(originalAMS)
        );

        // 7. 替换原始实例
        mInstanceField.set(singleton, proxyAMS);

        Log.d(TAG, "IActivityManagerSingleton hooked");
    }

    /**
     * Android 8.0 以下的 Hook 方式
     */
    private void hookActivityManagerNative() throws Exception {
        // 1. 获取 ActivityManagerNative 类
        Class<?> amnClass = Class.forName("android.app.ActivityManagerNative");

        // 2. 获取 gDefault 字段
        Field gDefaultField = amnClass.getDeclaredField("gDefault");
        gDefaultField.setAccessible(true);
        Object gDefault = gDefaultField.get(null);

        // 3. gDefault 是一个 Singleton，获取其 mInstance
        Class<?> singletonClass = Class.forName("android.util.Singleton");
        Field mInstanceField = singletonClass.getDeclaredField("mInstance");
        mInstanceField.setAccessible(true);

        // 4. 获取原始 IActivityManager
        originalAMS = mInstanceField.get(gDefault);

        // 5. 创建动态代理并替换
        Class<?> iActivityManagerClass =
Class.forName("android.app.IActivityManager");
        proxyAMS = Proxy.newProxyInstance(
                iActivityManagerClass.getClassLoader(),
                new Class<?>[] { iActivityManagerClass },
                new AMSInvocationHandler(originalAMS)
        );

        mInstanceField.set(gDefault, proxyAMS);

        Log.d(TAG, "ActivityManagerNative.gDefault hooked");
    }

    /**
     * InvocationHandler - 核心拦截逻辑
     */
    private class AMSInvocationHandler implements InvocationHandler {
```

```
        private final Object target;  // 原始 IActivityManager

        AMSInvocationHandler(Object target) {
            this.target = target;
        }

        @Override
        public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws
Throwable {
            String methodName = method.getName();

            Log.v(TAG, "AMS method called: " + methodName);

            // ========== startActivity 拦截 ==========
            if ("startActivity".equals(methodName)) {
                return handleStartActivity(method, args);
            }

            // ========== startService 拦截 ==========
            if ("startService".equals(methodName)) {
                return handleStartService(method, args);
            }

            // ========== bindService 拦截 ==========
            if ("bindService".equals(methodName)) {
                return handleBindService(method, args);
            }

            // ========== 其他方法，直接调用原始实现 ==========
            return method.invoke(target, args);
        }

        /**
         * 处理 startActivity 调用
         */
        private Object handleStartActivity(Method method, Object[] args) throws
Throwable {
            // 找到 Intent 参数的位置
            int intentIndex = findIntentIndex(args);
            if (intentIndex == -1) {
                return method.invoke(target, args);
            }

            Intent originalIntent = (Intent) args[intentIndex];

            // 检查是否是插件 Intent
            ComponentName component = originalIntent.getComponent();
            if (component == null) {
                return method.invoke(target, args);
            }

            String className = component.getClassName();
```

```
            PluginInfo pluginInfo =
PluginManager.getInstance().findPluginByClass(className);

            if (pluginInfo == null) {
                // 不是插件组件，正常启动
                return method.invoke(target, args);
            }

            Log.d(TAG, "Intercepted plugin Activity: " + className);

            // ========== 替换为 Stub Activity ==========

            // 根据插件 Activity 的 launchMode 选择合适的 Stub
            String stubClassName = selectStubActivity(pluginInfo, className);

            // 创建新的 Intent，指向 Stub Activity
            Intent stubIntent = new Intent();
            stubIntent.setClassName(
                    PluginManager.getInstance().getHostPackageName(),
                    stubClassName
            );

            // 保存原始 Intent 和插件信息
            stubIntent.putExtra(StubActivity.EXTRA_PLUGIN_INTENT, originalIntent);
            stubIntent.putExtra(StubActivity.EXTRA_PLUGIN_ID, pluginInfo.pluginId);
            stubIntent.putExtra(StubActivity.EXTRA_PLUGIN_CLASS, className);

            // 复制 Flags
            stubIntent.setFlags(originalIntent.getFlags());

            // 替换参数中的 Intent
            args[intentIndex] = stubIntent;

            Log.d(TAG, "Replaced with stub: " + stubClassName);

            // 调用原始方法
            return method.invoke(target, args);
        }

        /**
         * 处理 startService 调用
         */
        private Object handleStartService(Method method, Object[] args) throws
Throwable {
            int intentIndex = findIntentIndex(args);
            if (intentIndex == -1) {
                return method.invoke(target, args);
            }

            Intent originalIntent = (Intent) args[intentIndex];
            ComponentName component = originalIntent.getComponent();

            if (component == null) {
```

```
                return method.invoke(target, args);
            }

            PluginInfo pluginInfo = PluginManager.getInstance()
                    .findPluginByClass(component.getClassName());

            if (pluginInfo == null) {
                return method.invoke(target, args);
            }

            // 替换为 Stub Service
            Intent stubIntent = new Intent();
            stubIntent.setClassName(
                    PluginManager.getInstance().getHostPackageName(),
                    "com.sandbox.host.stub.StubService$Service1"
            );
            stubIntent.putExtra("plugin_service_intent", originalIntent);
            stubIntent.putExtra("plugin_id", pluginInfo.pluginId);
            stubIntent.putExtra("plugin_class", component.getClassName());

            args[intentIndex] = stubIntent;
            return method.invoke(target, args);
        }

        /**
         * 处理 bindService 调用
         */
        private Object handleBindService(Method method, Object[] args) throws
Throwable {
            // 类似 startService 的处理逻辑
            return handleStartService(method, args);
        }

        /**
         * 在参数数组中找到 Intent 的位置
         */
        private int findIntentIndex(Object[] args) {
            if (args == null) return -1;
            for (int i = 0; i < args.length; i++) {
                if (args[i] instanceof Intent) {
                    return i;
                }
            }
            return -1;
        }

        /**
         * 根据 launchMode 选择合适的 Stub Activity
         */
        private String selectStubActivity(PluginInfo pluginInfo, String activityClass)
{
            // 解析插件的 AndroidManifest 获取 launchMode
            int launchMode = pluginInfo.getActivityLaunchMode(activityClass);
```

```
            switch (launchMode) {
                case 1:  // singleTop
                    return "com.sandbox.host.stub.StubActivity$SingleTop1";
                case 2:  // singleTask
                    return "com.sandbox.host.stub.StubActivity$SingleTask1";
                case 3:  // singleInstance
                    return "com.sandbox.host.stub.StubActivity$SingleInstance1";
                default: // standard
                    return "com.sandbox.host.stub.StubActivity$Standard1";
            }
        }
    }
}
```

PMS Hook 实现

```
/**
 * PMSHook.java
 * PackageManagerService Hook - 用于欺骗系统"以为"插件已安装
 */
public class PMSHook {

    private static final String TAG = "PMSHook";

    /**
     * Hook PackageManager
     */
    public void hook(Context context) {
        try {
            // 1. 获取 ActivityThread
            Class<?> activityThreadClass =
Class.forName("android.app.ActivityThread");
            Method currentActivityThreadMethod = activityThreadClass
                    .getDeclaredMethod("currentActivityThread");
            Object activityThread = currentActivityThreadMethod.invoke(null);

            // 2. 获取 sPackageManager 字段
            Field sPackageManagerField = activityThreadClass
                    .getDeclaredField("sPackageManager");
            sPackageManagerField.setAccessible(true);
            Object originalPM = sPackageManagerField.get(activityThread);

            // 3. 创建动态代理
            Class<?> iPackageManagerClass =
Class.forName("android.content.pm.IPackageManager");
            Object proxyPM = Proxy.newProxyInstance(
                    iPackageManagerClass.getClassLoader(),
                    new Class<?>[] { iPackageManagerClass },
                    new PMSInvocationHandler(originalPM)
            );

            // 4. 替换 sPackageManager
            sPackageManagerField.set(activityThread, proxyPM);

            // 5. 同时需要 Hook ApplicationPackageManager 中的 mPM
            PackageManager pm = context.getPackageManager();
            Field mPMField = pm.getClass().getDeclaredField("mPM");
            mPMField.setAccessible(true);
            mPMField.set(pm, proxyPM);

            Log.d(TAG, "PMS Hook installed");

        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "PMS Hook failed", e);
        }
    }

    /**
```

```
     * PMS InvocationHandler
     */
    private class PMSInvocationHandler implements InvocationHandler {

        private final Object target;

        PMSInvocationHandler(Object target) {
            this.target = target;
        }

        @Override
        public Object invoke(Object proxy, Method method, Object[] args) throws
Throwable {
            String methodName = method.getName();

            // ========== getPackageInfo 拦截 ==========
            if ("getPackageInfo".equals(methodName)) {
                String packageName = (String) args[0];

                // 检查是否是插件包名
                PluginInfo pluginInfo = PluginManager.getInstance()
                        .findPluginByPackage(packageName);

                if (pluginInfo != null) {
                    // 返回插件的 PackageInfo
                    Log.d(TAG, "getPackageInfo for plugin: " + packageName);
                    return pluginInfo.packageInfo;
                }
            }

            // ========== getActivityInfo 拦截 ==========
            if ("getActivityInfo".equals(methodName)) {
                ComponentName component = (ComponentName) args[0];

                PluginInfo pluginInfo = PluginManager.getInstance()
                        .findPluginByClass(component.getClassName());

                if (pluginInfo != null) {
                    // 返回插件的 ActivityInfo
                    return pluginInfo.getActivityInfo(component.getClassName());
                }
            }

            // ========== getServiceInfo 拦截 ==========
            if ("getServiceInfo".equals(methodName)) {
                ComponentName component = (ComponentName) args[0];

                PluginInfo pluginInfo = PluginManager.getInstance()
                        .findPluginByClass(component.getClassName());

                if (pluginInfo != null) {
                    return pluginInfo.getServiceInfo(component.getClassName());
                }
```

```
            }

            // ========== queryIntentActivities 拦截 ==========
            if ("queryIntentActivities".equals(methodName)) {
                Intent intent = (Intent) args[0];

                // 如果是查询插件的 Activity，返回插件信息
                List<ResolveInfo> pluginResults = PluginManager.getInstance()
                        .queryPluginActivities(intent);

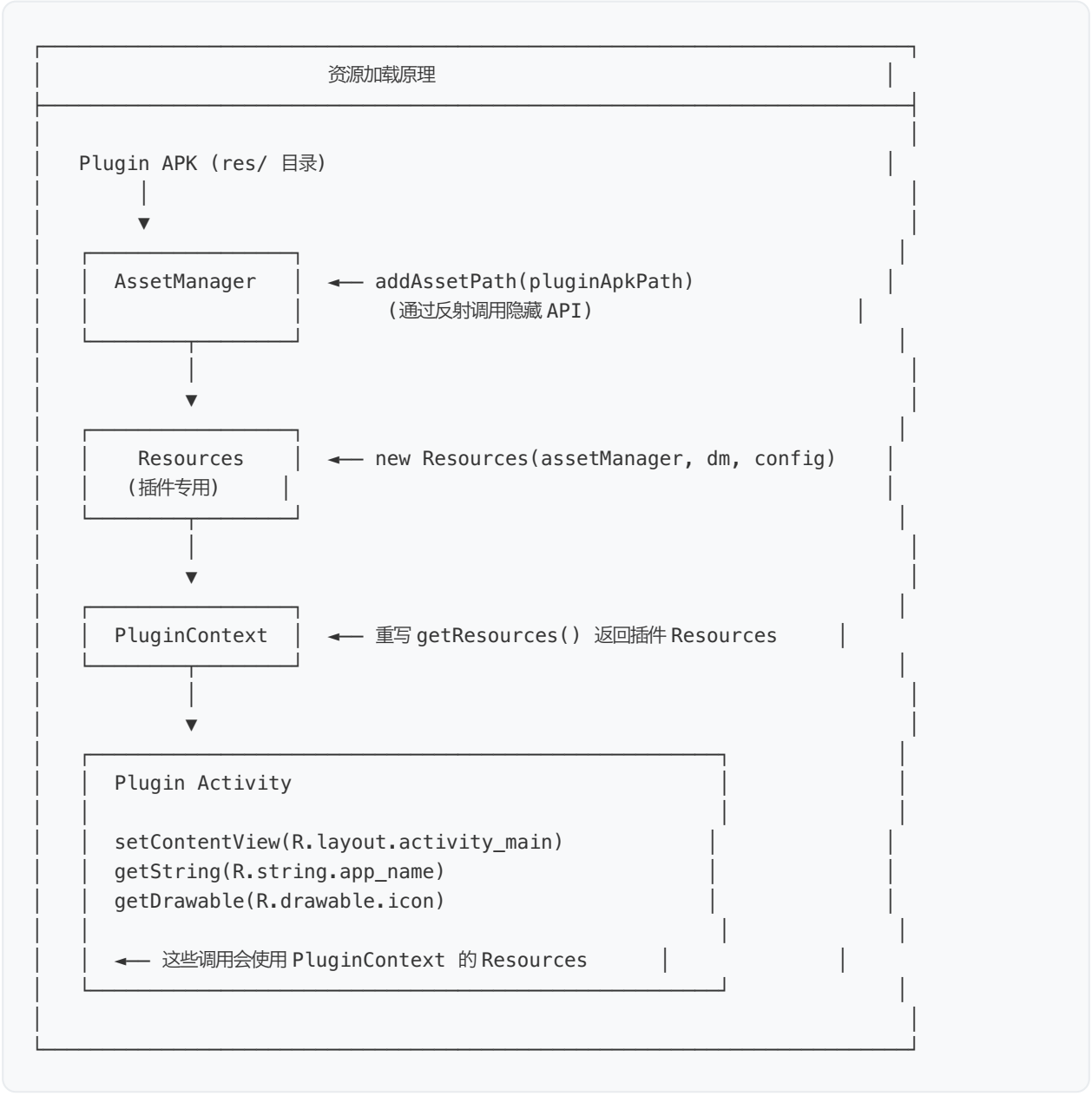
                if (!pluginResults.isEmpty()) {
                    // 合并系统结果和插件结果
                    @SuppressWarnings("unchecked")
                    List<ResolveInfo> systemResults = (List<ResolveInfo>)
                            method.invoke(target, args);
                    systemResults.addAll(pluginResults);
                    return systemResults;
                }
            }

            return method.invoke(target, args);
        }
    }
}
```

2.4 资源管理 (Resource Management)

插件 App 需要加载自己的布局、字符串、图片等资源。

资源加载原理图


资源加载原理
Plugin APK (res/ 目录)
AssetManager
addAssetPath(pluginApkPath)
(通过反射调用隐藏 API)
Resources
(插件专用)
new Resources(assetManager, dm, config)
PluginContext
重写 getResources() 返回插件 Resources
Plugin Activity
setContentView(R.layout.activity_main)
getString(R.string.app_name)
getDrawable(R.drawable.icon)
这些调用会使用 PluginContext 的 Resources

代码实现

```
/**
 * PluginResourcesManager.java
 * 插件资源管理
 */
public class PluginResourcesManager {

    private static final String TAG = "PluginResources";

    private final Context hostContext;
    private final Map<String, Resources> resourcesCache = new HashMap<>();

    public PluginResourcesManager(Context hostContext) {
        this.hostContext = hostContext;
    }

    /**
     * 为插件创建 Resources 对象
     */
    public Resources createPluginResources(String pluginApkPath, String pluginId) {
        if (resourcesCache.containsKey(pluginId)) {
            return resourcesCache.get(pluginId);
        }

        try {
            Resources pluginResources;

            if (Build.VERSION.SDK_INT >= Build.VERSION_CODES.LOLLIPOP) {
                pluginResources = createResourcesV21(pluginApkPath);
            } else {
                pluginResources = createResourcesLegacy(pluginApkPath);
            }

            resourcesCache.put(pluginId, pluginResources);
            Log.d(TAG, "Created Resources for plugin: " + pluginId);

            return pluginResources;

        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "Failed to create plugin Resources", e);
            return hostContext.getResources();
        }
    }

    /**
     * Android 5.0+ 创建 Resources
     */
    @TargetApi(Build.VERSION_CODES.LOLLIPOP)
    private Resources createResourcesV21(String pluginApkPath) throws Exception {
        // 创建新的 AssetManager
        AssetManager assetManager = AssetManager.class.newInstance();

        // 反射调用 addAssetPath（这是隐藏 API）
```

```
        Method addAssetPathMethod = AssetManager.class.getDeclaredMethod(
                "addAssetPath", String.class);
        addAssetPathMethod.setAccessible(true);

        // 先添加宿主资源路径
        addAssetPathMethod.invoke(assetManager, hostContext.getPackageResourcePath());

        // 再添加插件资源路径
        int cookie = (int) addAssetPathMethod.invoke(assetManager, pluginApkPath);
        if (cookie == 0) {
            throw new RuntimeException("Failed to add asset path: " + pluginApkPath);
        }

        // 获取宿主的 DisplayMetrics 和 Configuration
        Resources hostResources = hostContext.getResources();
        DisplayMetrics dm = hostResources.getDisplayMetrics();
        Configuration config = hostResources.getConfiguration();

        // 创建新的 Resources
        return new Resources(assetManager, dm, config);
    }

    /**
     * Android 5.0 以下创建 Resources (兼容模式)
     */
    private Resources createResourcesLegacy(String pluginApkPath) throws Exception {
        AssetManager assetManager = AssetManager.class.newInstance();

        Method addAssetPathMethod = AssetManager.class.getDeclaredMethod(
                "addAssetPath", String.class);
        addAssetPathMethod.setAccessible(true);
        addAssetPathMethod.invoke(assetManager, pluginApkPath);

        Resources hostResources = hostContext.getResources();

        return new Resources(
                assetManager,
                hostResources.getDisplayMetrics(),
                hostResources.getConfiguration()
        );
    }

    /**
     * 获取插件的 Resources
     */
    public Resources getPluginResources(String pluginId) {
        return resourcesCache.get(pluginId);
    }
}

/**
 * PluginContext.java
 * 插件专用 Context - 重写资源访问方法
```

```
 */
public class PluginContext extends ContextWrapper {

    private final Resources pluginResources;
    private final ClassLoader pluginClassLoader;
    private final AssetManager pluginAssetManager;

    public PluginContext(Context base, Resources pluginResources, ClassLoader
pluginClassLoader) {
        super(base);
        this.pluginResources = pluginResources;
        this.pluginClassLoader = pluginClassLoader;
        this.pluginAssetManager = pluginResources.getAssets();
    }

    @Override
    public Resources getResources() {
        return pluginResources;
    }

    @Override
    public AssetManager getAssets() {
        return pluginAssetManager;
    }

    @Override
    public ClassLoader getClassLoader() {
        return pluginClassLoader;
    }

    @Override
    public Resources.Theme getTheme() {
        // 创建使用插件 Resources 的 Theme
        Resources.Theme theme = pluginResources.newTheme();
        // 可以在这里应用插件定义的主题
        return theme;
    }

    @Override
    public Object getSystemService(String name) {
        // 某些系统服务可能需要特殊处理
        if (Context.LAYOUT_INFLATER_SERVICE.equals(name)) {
            // 返回使用插件 Resources 的 LayoutInflater
            LayoutInflater inflater = (LayoutInflater) super.getSystemService(name);
            return inflater.cloneInContext(this);
        }
        return super.getSystemService(name);
    }

    @Override
    public Context getApplicationContext() {
        // 返回宿主的 Application Context
        return super.getApplicationContext();
```

```
    }

    @Override
    public String getPackageName() {
        // 返回插件的包名（如果需要欺骗）
        // 或者返回宿主包名（取决于需求）
        return super.getPackageName();
    }
}
```

3. 完整示例：最小化沙箱实现

3.1 PluginManager 核心类

```
/**
 * PluginManager.java
 * 插件管理器 - 沙箱框架的核心入口
 */
public class PluginManager {

    private static final String TAG = "PluginManager";
    private static volatile PluginManager instance;

    private Context hostContext;
    private String hostPackageName;

    // 各个管理器
    private PluginClassLoaderManager classLoaderManager;
    private PluginResourcesManager resourcesManager;

    // 已加载的插件信息
    private final Map<String, PluginInfo> loadedPlugins = new ConcurrentHashMap<>();

    // Hook 管理
    private AMSHook amsHook;
    private PMSHook pmsHook;

    private PluginManager() {}

    public static PluginManager getInstance() {
        if (instance == null) {
            synchronized (PluginManager.class) {
                if (instance == null) {
                    instance = new PluginManager();
                }
            }
        }
        return instance;
    }

    /**
     * 初始化沙箱框架（在 Application.onCreate 中调用）
     */
    public void init(Context context) {
        this.hostContext = context.getApplicationContext();
        this.hostPackageName = context.getPackageName();

        // 初始化管理器
        classLoaderManager = new PluginClassLoaderManager(hostContext);
        resourcesManager = new PluginResourcesManager(hostContext);

        // 安装 Hook
        installHooks();

        Log.d(TAG, "PluginManager initialized");
    }
```

```
    /**
     * 安装系统 Hook
     */
    private void installHooks() {
        // Hook AMS
        amsHook = new AMSHook();
        amsHook.hook();

        // Hook PMS
        pmsHook = new PMSHook();
        pmsHook.hook(hostContext);

        Log.d(TAG, "System hooks installed");
    }

    /**
     * 加载插件
     *
     * @param apkPath 插件 APK 路径
     * @return 插件信息
     */
    public PluginInfo loadPlugin(String apkPath) {
        Log.d(TAG, "Loading plugin: " + apkPath);

        try {
            // 1. 解析插件 APK
            PluginInfo pluginInfo = parsePluginApk(apkPath);
            String pluginId = pluginInfo.pluginId;

            // 2. 创建 ClassLoader
            DexClassLoader classLoader = classLoaderManager.createClassLoader(apkPath,
pluginId);
            pluginInfo.classLoader = classLoader;

            // 3. 创建 Resources
            Resources resources = resourcesManager.createPluginResources(apkPath,
pluginId);
            pluginInfo.resources = resources;

            // 4. 缓存插件信息
            loadedPlugins.put(pluginId, pluginInfo);

            // 5. 调用插件 Application 的 onCreate（如果有）
            initPluginApplication(pluginInfo);

            Log.d(TAG, "Plugin loaded successfully: " + pluginId);
            Log.d(TAG, "  Package: " + pluginInfo.packageName);
            Log.d(TAG, "  Activities: " + pluginInfo.activities.size());
            Log.d(TAG, "  Services: " + pluginInfo.services.size());

            return pluginInfo;
```

```
        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "Failed to load plugin: " + apkPath, e);
            return null;
        }
    }

    /**
     * 解析插件 APK 的 AndroidManifest
     */
    private PluginInfo parsePluginApk(String apkPath) throws Exception {
        PackageManager pm = hostContext.getPackageManager();

        // 解析 PackageInfo
        PackageInfo packageInfo = pm.getPackageArchiveInfo(apkPath,
                PackageManager.GET_ACTIVITIES |
                PackageManager.GET_SERVICES |
                PackageManager.GET_RECEIVERS |
                PackageManager.GET_PROVIDERS |
                PackageManager.GET_META_DATA);

        if (packageInfo == null) {
            throw new RuntimeException("Failed to parse APK: " + apkPath);
        }

        // 修正 sourceDir（因为 APK 未安装，需要手动设置）
        packageInfo.applicationInfo.sourceDir = apkPath;
        packageInfo.applicationInfo.publicSourceDir = apkPath;

        // 创建 PluginInfo
        PluginInfo pluginInfo = new PluginInfo();
        pluginInfo.pluginId = generatePluginId(packageInfo.packageName);
        pluginInfo.packageName = packageInfo.packageName;
        pluginInfo.apkPath = apkPath;
        pluginInfo.packageInfo = packageInfo;

        // 解析 Activities
        if (packageInfo.activities != null) {
            for (ActivityInfo activityInfo : packageInfo.activities) {
                pluginInfo.activities.put(activityInfo.name, activityInfo);
            }
        }

        // 解析 Services
        if (packageInfo.services != null) {
            for (ServiceInfo serviceInfo : packageInfo.services) {
                pluginInfo.services.put(serviceInfo.name, serviceInfo);
            }
        }

        // 解析 Receivers
        if (packageInfo.receivers != null) {
            for (ActivityInfo receiverInfo : packageInfo.receivers) {
                pluginInfo.receivers.put(receiverInfo.name, receiverInfo);
```

```
            }
        }

        return pluginInfo;
    }

    /**
     * 初始化插件的 Application
     */
    private void initPluginApplication(PluginInfo pluginInfo) {
        try {
            String appClassName = pluginInfo.packageInfo.applicationInfo.className;
            if (appClassName == null || appClassName.isEmpty()) {
                return;
            }

            // 加载 Application 类
            Class<?> appClass = pluginInfo.classLoader.loadClass(appClassName);
            Application pluginApp = (Application)
appClass.getDeclaredConstructor().newInstance();

            // 创建 PluginContext
            PluginContext pluginContext = new PluginContext(
                    hostContext,
                    pluginInfo.resources,
                    pluginInfo.classLoader
            );

            // 注入 Context
            Method attachMethod =
ContextWrapper.class.getDeclaredMethod("attachBaseContext", Context.class);
            attachMethod.setAccessible(true);
            attachMethod.invoke(pluginApp, pluginContext);

            // 调用 onCreate
            pluginApp.onCreate();

            pluginInfo.application = pluginApp;
            Log.d(TAG, "Plugin Application initialized: " + appClassName);

        } catch (Exception e) {
            Log.w(TAG, "Failed to init plugin Application", e);
        }
    }

    /**
     * 启动插件 Activity
     */
    public void startPluginActivity(Context context, String pluginId, String
activityClass) {
        PluginInfo pluginInfo = loadedPlugins.get(pluginId);
        if (pluginInfo == null) {
            Log.e(TAG, "Plugin not loaded: " + pluginId);
```

```
            return;
        }

        Intent intent = new Intent();
        intent.setComponent(new ComponentName(pluginInfo.packageName, activityClass));

        // 这个 Intent 会被 AMS Hook 拦截并替换为 Stub
        context.startActivity(intent);
    }

    /**
     * 启动插件的主 Activity
     */
    public void startPluginMainActivity(Context context, String pluginId) {
        PluginInfo pluginInfo = loadedPlugins.get(pluginId);
        if (pluginInfo == null) {
            Log.e(TAG, "Plugin not loaded: " + pluginId);
            return;
        }

        // 查找主 Activity
        String mainActivity = findMainActivity(pluginInfo);
        if (mainActivity != null) {
            startPluginActivity(context, pluginId, mainActivity);
        } else {
            Log.e(TAG, "No main activity found in plugin: " + pluginId);
        }
    }

    /**
     * 查找插件的主 Activity (LAUNCHER)
     */
    private String findMainActivity(PluginInfo pluginInfo) {
        try {
            PackageManager pm = hostContext.getPackageManager();
            Intent launchIntent = new Intent(Intent.ACTION_MAIN);
            launchIntent.addCategory(Intent.CATEGORY_LAUNCHER);
            launchIntent.setPackage(pluginInfo.packageName);

            // 遍历所有 Activity 查找带有 LAUNCHER category 的
            for (ActivityInfo activityInfo : pluginInfo.activities.values()) {
                // 简化处理: 返回第一个 Activity 作为主入口
                return activityInfo.name;
            }
        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "Failed to find main activity", e);
        }
        return null;
    }

    // ========== Getter 方法 ==========

    public String getHostPackageName() {
```

```
        return hostPackageName;
    }

    public ClassLoader getPluginClassLoader(String pluginId) {
        PluginInfo info = loadedPlugins.get(pluginId);
        return info != null ? info.classLoader : null;
    }

    public Resources getPluginResources(String pluginId) {
        PluginInfo info = loadedPlugins.get(pluginId);
        return info != null ? info.resources : null;
    }

    public PluginInfo findPluginByPackage(String packageName) {
        for (PluginInfo info : loadedPlugins.values()) {
            if (info.packageName.equals(packageName)) {
                return info;
            }
        }
        return null;
    }

    public PluginInfo findPluginByClass(String className) {
        for (PluginInfo info : loadedPlugins.values()) {
            if (info.activities.containsKey(className) ||
                info.services.containsKey(className) ||
                info.receivers.containsKey(className)) {
                return info;
            }
        }
        return null;
    }

    private String generatePluginId(String packageName) {
        return packageName + "_" + System.currentTimeMillis();
    }
}

/**
 * PluginInfo.java
 * 插件信息数据类
 */
public class PluginInfo {
    public String pluginId;
    public String packageName;
    public String apkPath;
    public PackageInfo packageInfo;

    public ClassLoader classLoader;
    public Resources resources;
    public Application application;

    public Map<String, ActivityInfo> activities = new HashMap<>();
```

```
    public Map<String, ServiceInfo> services = new HashMap<>();
    public Map<String, ActivityInfo> receivers = new HashMap<>();

    public ActivityInfo getActivityInfo(String className) {
        return activities.get(className);
    }

    public ServiceInfo getServiceInfo(String className) {
        return services.get(className);
    }

    public int getActivityLaunchMode(String className) {
        ActivityInfo info = activities.get(className);
        return info != null ? info.launchMode : 0;
    }

    public List<ResolveInfo> queryActivities(Intent intent) {
        // 根据 Intent 查询匹配的 Activity
        List<ResolveInfo> results = new ArrayList<>();
        // ... 实现 Intent 匹配逻辑
        return results;
    }
}
```

3.2 使用示例

```
/**
 * HostApplication.java
 * 宿主 App 的 Application
 */
public class HostApplication extends Application {

    @Override
    public void onCreate() {
        super.onCreate();

        // 初始化沙箱框架
        PluginManager.getInstance().init(this);
    }
}

/**
 * MainActivity.java
 * 宿主 App 的主 Activity
 */
public class MainActivity extends AppCompatActivity {

    private static final String TAG = "MainActivity";

    @Override
    protected void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
        super.onCreate(savedInstanceState);
        setContentView(R.layout.activity_main);

        // 加载插件按钮
        findViewById(R.id.btnLoadPlugin).setOnClickListener(v -> loadPlugin());

        // 启动插件按钮
        findViewById(R.id.btnStartPlugin).setOnClickListener(v -> startPlugin());
    }

    private void loadPlugin() {
        // 从 assets 复制插件 APK 到私有目录
        String pluginPath = copyPluginFromAssets("plugin.apk");

        // 加载插件
        PluginInfo pluginInfo = PluginManager.getInstance().loadPlugin(pluginPath);

        if (pluginInfo != null) {
            Toast.makeText(this, "插件加载成功: " + pluginInfo.packageName,
                    Toast.LENGTH_SHORT).show();

            // 保存 pluginId 供后续使用
            getPreferences(MODE_PRIVATE)
                    .edit()
                    .putString("last_plugin_id", pluginInfo.pluginId)
                    .apply();
        } else {
```

```
            Toast.makeText(this, "插件加载失败", Toast.LENGTH_SHORT).show();
        }
    }

    private void startPlugin() {
        String pluginId = getPreferences(MODE_PRIVATE).getString("last_plugin_id",
null);

        if (pluginId == null) {
            Toast.makeText(this, "请先加载插件", Toast.LENGTH_SHORT).show();
            return;
        }

        // 启动插件的主 Activity
        PluginManager.getInstance().startPluginMainActivity(this, pluginId);
    }

    private String copyPluginFromAssets(String assetName) {
        File outFile = new File(getFilesDir(), assetName);

        try (InputStream in = getAssets().open(assetName);
             FileOutputStream out = new FileOutputStream(outFile)) {

            byte[] buffer = new byte[8192];
            int len;
            while ((len = in.read(buffer)) != -1) {
                out.write(buffer, 0, len);
            }

        } catch (IOException e) {
            Log.e(TAG, "Failed to copy plugin", e);
        }

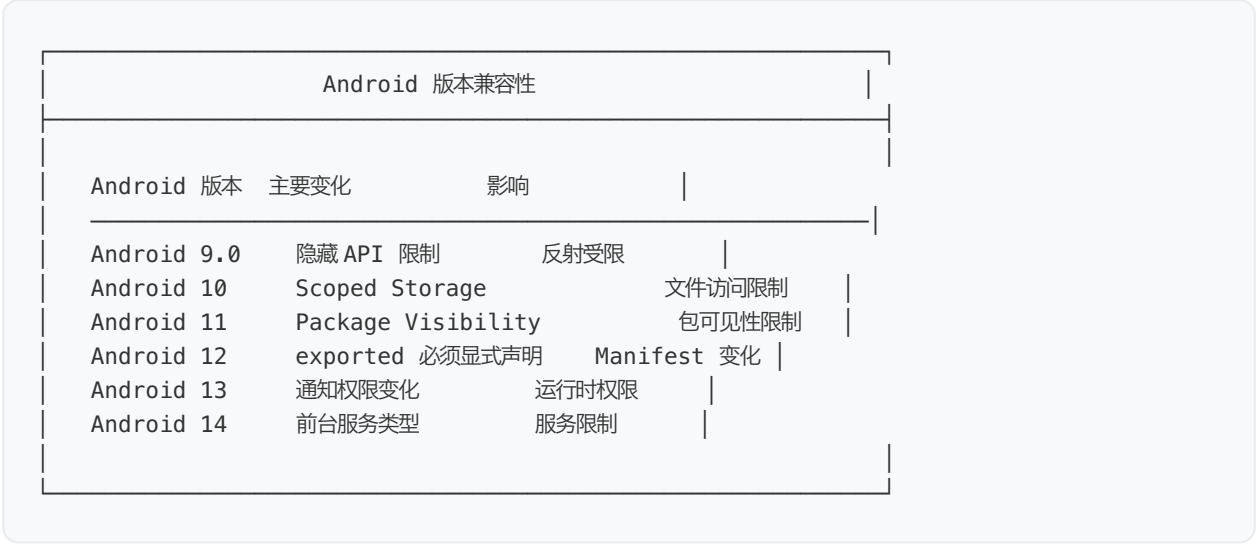
        return outFile.getAbsolutePath();
    }
}
```

4. 知名开源项目参考

项目	描述	特点
VirtualApp	最著名的 Android 沙箱	代码结构清晰，功能完整
VirtualXposed	免 Root 运行 Xposed	基于 VirtualApp
DroidPlugin	360 开发的插件框架	四大组件支持完整
Shadow	腾讯开源插件框架	零反射、全动态
RePlugin	360 开源插件框架	稳定、灵活

5. 挑战与局限

5.1 兼容性问题



5.2 绕过隐藏 API 限制

```
/**
 * 绕过 Android 9.0+ 的隐藏 API 限制
 */
public class HiddenApiBypass {

    /**
     * 方法1: 通过修改调用者身份
     */
    public static void bypassHiddenApiRestrictions() {
        if (Build.VERSION.SDK_INT < Build.VERSION_CODES.P) {
            return;
        }

        try {
            Method forName = Class.class.getDeclaredMethod("forName", String.class);
            Method getDeclaredMethod = Class.class.getDeclaredMethod(
                    "getDeclaredMethod", String.class, Class[].class);

            Class<?> vmRuntimeClass = (Class<?>) forName.invoke(null,
"dalvik.system.VMRuntime");
            Method getRuntime = (Method) getDeclaredMethod.invoke(vmRuntimeClass,
"getRuntime", null);
            Method setHiddenApiExemptions = (Method) getDeclaredMethod.invoke(
                    vmRuntimeClass, "setHiddenApiExemptions", new Class[]
{String[].class});

            Object vmRuntime = getRuntime.invoke(null);
            setHiddenApiExemptions.invoke(vmRuntime, new Object[]{new String[]{"L"}});

        } catch (Exception e) {
            Log.e("HiddenApiBypass", "Failed to bypass hidden API", e);
        }
    }
}
```

5.3 Native Code 支持

对于包含 JNI/Native 代码的插件，需要额外处理:

```
/**
 * Native 库加载器
 */
public class NativeLibraryLoader {

    /**
     * 为插件修改Native 库搜索路径
     */
    public static void patchNativeLibraryPath(ClassLoader classLoader, String libPath)
{
        try {
            // 获取BaseDexClassLoader 的pathList 字段
            Field pathListField =
BaseDexClassLoader.class.getDeclaredField("pathList");
            pathListField.setAccessible(true);
            Object pathList = pathListField.get(classLoader);

            // 获取DexPathList 的nativeLibraryDirectories 字段
            Field nativeLibDirsField = pathList.getClass()
                    .getDeclaredField("nativeLibraryDirectories");
            nativeLibDirsField.setAccessible(true);

            @SuppressWarnings("unchecked")
            List<File> nativeLibDirs = (List<File>) nativeLibDirsField.get(pathList);

            // 添加插件的lib 目录
            nativeLibDirs.add(0, new File(libPath));

            // 同时需要更新nativeLibraryPathElements
            // ... (更复杂的反射操作)

        } catch (Exception e) {
            Log.e("NativeLoader", "Failed to patch native library path", e);
        }
    }
}
```

6. 安全分析视角

从逆向工程和安全分析的角度，沙箱技术有以下应用：

6.1 行为分析

```
/**
 * 在沙箱中监控 App 行为
 */
public class BehaviorMonitor {

    /**
     * 监控网络请求
     */
    public void hookNetwork() {
        // Hook OkHttp、HttpURLConnection 等
    }

    /**
     * 监控文件访问
     */
    public void hookFileAccess() {
        // Hook File 类的 read/write 操作
    }

    /**
     * 监控敏感 API 调用
     */
    public void hookSensitiveAPIs() {
        // 监控获取设备ID、定位、联系人等 API
    }
}
```

6.2 动态脱壳

沙箱环境是执行动态脱壳的理想场所，因为可以完全控制 App 的加载和执行过程。

---

7. 总结

Android 沙箱技术通过进程内虚拟化实现了在单一设备上运行多个隔离应用的能力。核心技术包括:

模块	技术	关键类/方法
类加载	DexClassLoader	`loadClass()`, `addAssetPath()`
组件管理	Stub 占坑	`AndroidManifest.xml`, 反射
系统 Hook	动态代理	`Proxy.newProxyInstance()`
资源管理	自定义 Resources	`AssetManager`, `ContextWrapper`

这项技术在应用多开、安全分析、自动化测试等领域有广泛应用，但也面临着 Android 版本兼容性、厂商 ROM 差异、Native 代码支持等挑战。

推荐下一步：AOSP 与系统定制

A02: AOSP 与系统定制

A02: AOSP 与 Android 系统裁剪

Android 开源项目（AOSP）是 Android 操作系统的开源基础。能够编译和修改 AOSP 是进行深度系统级定制、安全研究和 ROM 开发的核心技能。本节将介绍 AOSP 的基本概念、编译流程以及常见的系统裁剪技术。

1. AOSP 基础与编译

a) AOSP 源码同步

编译 AOSP 的第一步是获取其庞大的源代码树。

1. 环境准备:
    - 一个强大的 Linux 构建服务器（推荐 Ubuntu LTS），至少需要 16GB RAM 和 300GB 的可用磁盘空间。
    - 安装必要的依赖包，如 `git`, `curl`, `python`, `Java SDK` 等。
2. 获取 Repo 工具: `Repo` 是 Google 开发的、基于 Git 的代码库管理工具，用于管理 AOSP 中数百个不同的 Git 仓库。

```
# 下载 Repo 工具
mkdir -p ~/.bin
curl https://storage.googleapis.com/git-repo-downloads/repo > ~/.bin/repo
chmod a+x ~/.bin/repo
export PATH=~/.bin:$PATH
```

```
# 创建工作目录
mkdir aosp && cd aosp

# 初始化源码仓库，指定分支（例如 android-12.0.0_r1）
repo init -u https://android.googlesource.com/platform/manifest -b android-12.0.0_r1
--depth=1

# 开始同步源码（这将是一个漫长的过程）
repo sync -c -j8
```

- `--depth=1`：只同步最新的 commit，大幅减少下载量。
- `-c`：只同步当前分支。
- `-j8`：使用 8 个线程并行同步。

b) 编译流程

1. 设置环境:

```
source build/envsetup.sh
```

2. 选择目标 (Lunch):

```
lunch aosp_arm64-eng
```

   - `aosp_arm64`：目标设备架构（64 位 ARM）。
   - `eng`：构建变体（Engineering），包含最多的调试工具，权限为 root，适合开发和逆向。其他还有 `user`（发布版）和 `userdebug`（带 root 和调试功能的用户版）。

3. 开始编译 (Make):

```
m
```

4. 编译产物:

编译完成后，所有的系统镜像文件都存放在 `out/target/product/<device_name>/` 目录下，主要包括：

- `system.img`: 系统分区镜像。
- `vendor.img`: 厂商分区镜像。
- `boot.img`: 启动分区镜像，包含内核和 ramdisk。
- `userdata.img`: 用户数据分区镜像。

---

2. 系统裁剪与定制技术

拥有了编译 AOSP 的能力后，你就可以对系统进行任意的修改。

a) 预置与删除 App

- 路径: App 通常定义在 `packages/apps/` 目录下。
- 修改 **`PRODUCT_PACKAGES`**: 在特定设备的 `device.mk` 文件中（例如 `device/<vendor>/<device_name>/device.mk`），有一个名为 `PRODUCT_PACKAGES` 的变量。
- 增加 App: 将你想要预置的 App 的模块名添加到这个列表中。
- 删除 App: 从这个列表中移除你不想要的系统 App（如 `Calendar`, `Camera2`）的模块名。

b) 修改 Framework 层

这是更深度的定制，可以改变 Android 系统的核心行为。

- 路径: Framework 核心代码位于 `frameworks/base/`。
- 示例：修改状态栏逻辑:
  1. 找到负责状态栏管理的 `SystemUI` App (`frameworks/base/packages/SystemUI/`)。
  2. 修改其中的 Java 或 XML 文件，例如，改变时钟的显示格式或电池图标。
  3. 重新编译 `SystemUI` 模块: `m SystemUI`。
  4. 只编译模块并生成新的 `system.img`: `m snod` (`make systemimage-nodeps`)。

---

c) 定制内核 (Kernel)

AOSP 默认不包含内核源码。你需要从 Google 的内核源码仓库或设备厂商的开源站点单独下载内核源码，并进行编译。

1. 获取内核源码:

```
git clone https://android.googlesource.com/kernel/common.git
```

2. 配置与编译:

```
# 使用与 AOSP 匹配的交叉编译工具链
export CROSS_COMPILE=.../aarch64-linux-android-4.9/bin/aarch64-linux-android-

# 配置内核
make defconfig

# 编译内核镜像
make
```

d) 制作完整的自定义 ROM

一个完整的自定义 ROM（如 LineageOS）的制作过程，就是上述所有技术的综合应用：

1. 同步 AOSP 基础代码。
2. 集成特定设备的驱动和配置文件（Device Tree）。
3. 修改 Framework，添加自定义功能（如高级重启菜单）。
4. 移除或替换系统 App。
5. 集成定制的内核。
6. 编译并打包成一个可供用户刷写的 `zip` 文件。

3. Android Linker 与 SO 加载原理

Linker 架构与工作原理

Android 系统使用动态链接器（`/system/bin/linker` 或 `/system/bin/linker64`）来加载和链接共享库 (.so 文件)。

系统架构

```
Runtime.loadLibrary()
        ↓
DexPathList.loadLibrary()
        ↓
nativeLoad() [JNI]
        ↓
android_dlopen_ext()
        ↓
do_dlopen() [linker]
        ↓
find_library_internal()
        ↓
load_library() → link_image()
```

核心函数分析

find_library_internal - 查找库:

```
static soinfo* find_library_internal(android_namespace_t* ns,
                                     const char* name,
                                     int rtld_flags,
                                     const android_dlextinfo* extinfo,
                                     soinfo* needed_by) {
    // 1. 检查是否已加载
    soinfo* si = find_loaded_library_by_soname(ns, name);
    if (si != nullptr) {
        return si;
    }

    // 2. 在命名空间中搜索
    std::string realpath;
    if (!find_library_in_namespace(ns, name, &realpath)) {
        return nullptr;
    }

    // 3. 加载库文件
    return load_library(ns, realpath.c_str(), rtld_flags, extinfo, needed_by);
}
```

load_library - 加载库:

```
static soinfo* load_library(android_namespace_t* ns,
                            const char* name,
                            int rtld_flags,
                            const android_dlextinfo* extinfo,
                            soinfo* needed_by) {
    // 1. 打开 ELF 文件
    int fd = open(name, O_RDONLY | O_CLOEXEC);

    // 2. 解析 ELF 头
    ElfReader elf_reader(name, fd, file_offset, file_size);
    if (!elf_reader.Load(extinfo)) {
        return nullptr;
    }

    // 3. 创建 soinfo 结构
    soinfo* si = soinfo_alloc(ns, realpath, &file_stat, rtld_flags, extinfo);

    // 4. 映射内存段
    if (!si->prelink_image()) {
        return nullptr;
    }

    return si;
}
```

link_image - 链接镜像:

```
bool soinfo::link_image(const soinfo_list_t& global_group,
                        const soinfo_list_t& local_group,
                        const android_dlextinfo* extinfo) {
    // 1. 解析动态段
    if (!phdr_table_get_dynamic_section(phdr, phnum, load_bias, &dynamic,
&dynamic_flags)) {
        return false;
    }

    // 2. 处理依赖库
    for (ElfW(Dyn)* d = dynamic; d->d_tag != DT_NULL; ++d) {
        if (d->d_tag == DT_NEEDED) {
            const char* library_name = get_string(d->d_un.d_val);
            soinfo* lsi = find_library(library_name, ...);
        }
    }

    // 3. 重定位处理
    if (!relocate(global_group, local_group)) {
        return false;
    }

    // 4. 调用构造函数
    call_constructors();

    return true;
}
```

SO 内存布局

```
0x7000000000 ┌──────────────────┐
             │ .text (RX)       │ 代码段
0x7001000000 ├──────────────────┤
             │ .rodata (R)      │ 只读数据段
0x7002000000 ├──────────────────┤
             │ .data (RW)       │ 可读写数据段
0x7003000000 ├──────────────────┤
             │ .bss (RW)        │ 未初始化数据段
0x7004000000 └──────────────────┘
```

内存保护设置

```
int phdr_table_protect_segments(const ElfW(Phdr)* phdr_table,
                                size_t phdr_count,
                                ElfW(Addr) load_bias) {
    for (size_t i = 0; i < phdr_count; ++i) {
        const ElfW(Phdr)* phdr = &phdr_table[i];
        if (phdr->p_type != PT_LOAD) continue;

        int prot = PFLAGS_TO_PROT(phdr->p_flags);
        if (mprotect(reinterpret_cast<void*>(seg_page_start + load_bias),
                     seg_page_end - seg_page_start, prot) < 0) {
            return -1;
        }
    }
    return 0;
}
```

4. 反调试与检测技术

init 函数中的反调试

```
__attribute__((constructor))
void anti_debug_check() {
    // 检测 Frida
    if (access("/data/local/tmp/frida-server", F_OK) == 0) {
        _exit(1);
    }

    // 检测调试器
    if (ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, 1, 0) == -1) {
        _exit(1);
    }

    // 检测虚拟机环境
    check_emulator_files();
}
```

符号表检测

```
void check_loaded_symbols() {
    void* handle = dlopen(NULL, RTLD_NOW);

    // 检测 Frida 符号
    if (dlsym(handle, "frida_agent_main") != NULL) {
        _exit(1);
    }

    // 检测 Xposed 符号
    if (dlsym(handle, "xposed_bridge") != NULL) {
        _exit(1);
    }
}
```

代码完整性校验

```
void check_code_integrity() {
    Dl_info info;
    dladdr((void*)check_code_integrity, &info);

    // 计算代码段哈希
    uint32_t current_hash = calculate_hash(info.dli_fbase, TEXT_SIZE);
    if (current_hash != EXPECTED_HASH) {
        _exit(1);
    }
}
```

5. Frida 绕过技术

绕过 ptrace 检测

```
var ptrace = Module.findExportByName("libc.so", "ptrace");
if (ptrace) {
    Interceptor.attach(ptrace, {
        onEnter: function(args) {
            var request = args[0].toInt32();
            if (request === 0) { // PTRACE_TRACEME
                console.log("[+] ptrace(PTRACE_TRACEME) blocked");
                args[0] = ptr(-1); // 修改参数使其失败
            }
        },
        onLeave: function(retval) {
            retval.replace(ptr(0)); // 返回成功
        }
    });
}
```

隐藏 Frida 符号

```
var dlsym = Module.findExportByName("libdl.so", "dlsym");
Interceptor.attach(dlsym, {
    onEnter: function(args) {
        this.symbol_name = args[1].readCString();
    },
    onLeave: function(retval) {
        var blocked_symbols = ["frida_agent_main", "xposed_bridge"];
        if (blocked_symbols.includes(this.symbol_name)) {
            console.log("[+] Hiding symbol: " + this.symbol_name);
            retval.replace(ptr(0));
        }
    }
});
```

绕过 mprotect 检测

```
var mprotect = Module.findExportByName("libc.so", "mprotect");
Interceptor.attach(mprotect, {
    onEnter: function(args) {
        var addr = args[0];
        var size = args[1].toInt32();
        var prot = args[2].toInt32();

        console.log("[+] mprotect called: " + addr + ", size: " + size + ", prot: " +
prot);

        // 防止移除执行权限
        if ((prot & 0x4) == 0) { // PROT_EXEC
            args[2] = ptr(prot | 0x4);
        }
    }
});
```

隐藏敏感路径

```
var access = Module.findExportByName("libc.so", "access");
Interceptor.attach(access, {
    onEnter: function(args) {
        var path = args[0].readCString();
        var sensitive_paths = [
            "/data/local/tmp/frida-server",
            "/system/xbin/su",
            "/system/app/Superuser.apk"
        ];

        if (sensitive_paths.some(p => path.includes(p))) {
            console.log("[+] Blocking access to: " + path);
            args[0] = Memory.allocUtf8String("/non/existent/path");
        }
    }
});
```

6. init_array 注入技术

Python 脚本注入

```
from elftools.elf.elffile import ELFFile

def inject_init_array(elf_path, hook_function_addr):
    with open(elf_path, 'r+b') as f:
        elf = ELFFile(f)

        # 查找 .init_array 段
        init_array = elf.get_section_by_name('.init_array')
        if init_array:
            # 在现有函数指针后添加新函数地址
            f.seek(init_array['sh_offset'] + init_array['sh_size'])
            f.write(hook_function_addr.to_bytes(8, 'little'))
```

C 代码运行时注入

```
void inject_init_array_runtime() {
    // 1. 找到目标 SO 加载基址
    void* base_addr = dlopen("target.so", RTLD_NOLOAD);

    // 2. 解析 ELF 头找到 .init_array 段
    ElfW(Ehdr)* ehdr = (ElfW(Ehdr)*)base_addr;
    ElfW(Shdr)* shdr = (ElfW(Shdr)*)((char*)base_addr + ehdr->e_shoff);

    // 3. 修改内存保护
    mprotect(init_array_addr, init_array_size, PROT_READ | PROT_WRITE);

    // 4. 添加函数指针
    *(void**)(init_array_addr + init_array_size) = target_function;

    // 5. 恢复保护
    mprotect(init_array_addr, init_array_size, PROT_READ);
}
```

7. 综合反调试检测

```
class AntiDebugChecker {
private:
    static bool check_debugger_presence() {
        return ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, 1, 0) == -1;
    }

    static bool check_frida_artifacts() {
        const char* frida_files[] = {
            "/data/local/tmp/frida-server",
            "/data/local/tmp/frida-agent-64.so"
        };

        for (auto file : frida_files) {
            if (access(file, F_OK) == 0) return true;
        }
        return false;
    }

    static bool check_memory_maps() {
        FILE* fp = fopen("/proc/self/maps", "r");
        char line[512];
        while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
            if (strstr(line, "frida") || strstr(line, "gum-js-loop")) {
                fclose(fp);
                return true;
            }
        }
        fclose(fp);
        return false;
    }

public:
    static void comprehensive_check() {
        if (check_debugger_presence() ||
            check_frida_artifacts() ||
            check_memory_maps()) {
            // 执行对抗措施
            execute_countermeasures();
        }
    }
};
```

定时检测线程

```
void start_anti_debug_thread() {
    std::thread([]{
        while (true) {
            std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(5));
            AntiDebugChecker::comprehensive_check();
        }
    }).detach();
}
```

总结

掌握 AOSP 编译和系统定制技术的意义：

- 深入理解 Android Framework 的工作原理，为 Hook 和逆向提供更底层的视角。
- 通过修改系统来绕过应用层的反分析技术，实现"降维打击"。

A03: AOSP 深度改机

A03: 基于 AOSP 的深度改机技术指南

在 Android 安全和逆向工程领域，"改机"指的是修改设备的各种硬件和软件标识符，以绕过应用程序的安全检测或实现隐私保护。虽然使用 Xposed 或 Frida 等 Hook 框架可以在应用层实现改机，但这些方法容易被检测。基于 AOSP (Android Open Source Project) 源码进行修改，是从系统层面伪造设备指纹的终极手段，因为 App 获取到的信息是由系统本身"真实"地提供的。

本文旨在提供一个关于如何通过修改 AOSP 源码来实现深度改机的技术框架和思路。

目录

核心思想：应用层 Hook vs. 系统层修改

特性	应用层 Hook (Xposed/Frida)	AOSP 系统层修改
原理	在 App 运行时，拦截 API 调用，返回伪造结果。	直接修改 Android 框架层源码，使 API 本身就返回伪造的值。
效果	较好，但可被检测。	极好，效果彻底。
检测难度	容易被反 Hook、反调试技术检测到。	极难被检测，因为对 App 来说系统行为是"原生"的。
实现难度	相对较低，只需编写 Hook 脚本。	非常高，需要编译整个 Android 系统。
适用性	通用性强，适用于大多数设备。	通常只适用于 AOSP 支持良好的设备（如 Google Pixel）。

结论: AOSP 改机的本质是构建一个"出厂设置"就是伪装状态的自定义操作系统。

准备工作

1. 硬件要求:
    - 一台高性能的 PC（至少 16GB RAM，推荐 32GB 或更高）。
    - 大容量高速硬盘（SSD，至少 500GB 可用空间）。
    - 一台受 AOSP 官方支持的设备（如 Google Pixel 系列），用于刷机验证。
2. 软件环境:
    - Linux 操作系统（推荐 Ubuntu LTS 版本）。
    - 熟悉 Android 编译环境，安装好 `repo` 和所有必需的依赖库。

3. AOSP 源码:
    - 根据你的目标设备和 Android 版本，初始化并同步对应的 AOSP 源码仓库。

关键参数定位与修改

Build Info (build.prop)

这些是描述设备型号、品牌、制造商等最基础的信息。

- 定位: 这些值通常定义在 `device/` 目录下的特定于设备的 `*.mk` makefile 文件中，或者在 `build/make/target/product/` 下的通用产品定义文件中。
- 修改示例:
    - 打开 `device/<vendor>/<product_name>/device.mk` 或类似文件。
    - 找到并修改以下变量:

```
PRODUCT_MODEL := Pixel 8 Pro
PRODUCT_BRAND := Google
PRODUCT_NAME := my_custom_device
PRODUCT_DEVICE := generic
PRODUCT_MANUFACTURER := MyCompany
```

硬件参数 (IMEI, MAC, Android ID)

这些是更敏感、更核心的设备标识符。修改它们需要深入到 Framework 层的 Java 代码和 JNI。

- IMEI (Telephony):
    - 定位: `frameworks/opt/telephony/src/java/com/android/internal/telephony/Phone.java` 或相关的 `*SubInfo.java` 文件。

    - 修改思路: 找到 `getImei()` 或类似方法，在其中硬编码或返回一个动态生成的伪造 IMEI。

- MAC Address (Wi-Fi):
    - 定位: `frameworks/base/wifi/java/android/net/wifi/WifiInfo.java`。
    - 修改思路: 找到 `getMacAddress()` 方法。注意，在高版本 Android 中，该方法可能返回一个固定的、非真实的 MAC 地址。需要找到其更底层的实现，可能在 `wpa_supplicant` 或 Wi-Fi 驱动的 JNI 接口中。
- Android ID:
    - 定位: `frameworks/base/services/core/java/com/android/server/pm/Settings.java` 中的 `getStringForUser()` 方法，结合 `android.provider.Settings.Secure.ANDROID_ID` 的实现。
    - 修改思路: 找到生成和存储 Android ID 的逻辑，将其替换为返回一个固定的或每次启动都随机生成的值。

系统属性 (System Properties)

App 通过 `android.os.SystemProperties.get()` 获取各种系统属性。

- 定位: `frameworks/base/core/java/android/os/SystemProperties.java` 及其对应的 JNI 实现 `frameworks/base/core/jni/android_os_SystemProperties.cpp`。
- 修改思路: 直接在 `SystemProperties.cpp` 的 `native_get` 方法中进行拦截。判断传入的属性名，如果是目标属性（如 `ro.serialno`），则返回一个伪造的值，否则执行原始逻辑。

内核参数 (Serial Number)

一些底层信息（如 CPU 序列号）直接由 Linux 内核通过 `/proc` 文件系统暴露。

- 定位: 内核源码中的 `arch/<arch>/kernel/setup.c` 或相关驱动文件。
- 修改思路:
    1. 下载与 AOSP 版本匹配的内核源码。

2. 找到向 `/proc/cpuinfo` 或 `/proc/serial` 等文件写入信息的代码。
3. 修改这部分逻辑，使其输出伪造的信息。
4. 重新编译内核 (`boot.img`)。

编译与刷机

1. 设置环境: `source build/envsetup.sh`
2. 选择目标: `lunch aosp_<device_name>-userdebug` (例如 `lunch aosp_husky-userdebug` 对应 Pixel 8 Pro)
3. 开始编译: `make -j$(nproc)` (这会花费数小时)
4. 刷机:
   - 将设备置于 `fastboot` 模式。
   - 执行 `fastboot flashall -w`，这将刷写所有编译生成的镜像 (`system.img`, `boot.img`, `vendor.img` 等)。

详细代码样例

样例 1：修改 Build.java 返回伪造设备信息

文件路径: `frameworks/base/core/java/android/os/Build.java`

这是 App 获取设备基本信息的核心类，修改它可以伪造设备型号、品牌、指纹等。

```
// frameworks/base/core/java/android/os/Build.java

package android.os;

import android.annotation.SystemApi;

public class Build {
    // ============================================
    // 原始代码通过 SystemProperties 获取值
    // 我们在这里硬编码或从配置文件读取伪造值
    // ============================================

    // 方案一：直接硬编码（简单但不灵活）
    public static final String DEVICE = "husky";  // Pixel 8 Pro 代号
    public static final String MODEL = "Pixel 8 Pro";
    public static final String BRAND = "google";
    public static final String MANUFACTURER = "Google";
    public static final String PRODUCT = "husky";
    public static final String HARDWARE = "tensor";

    // 指纹信息（非常重要，很多检测依赖这个）
    public static final String FINGERPRINT =
        "google/husky/husky:14/UD1A.231105.004/11010374:user/release-keys";

    // 方案二：从配置文件动态读取（推荐）
    private static final String CONFIG_PATH = "/data/system/device_spoof.conf";

    private static String getConfigValue(String key, String defaultValue) {
        try {
            java.io.File configFile = new java.io.File(CONFIG_PATH);
            if (configFile.exists()) {
                java.io.BufferedReader reader = new java.io.BufferedReader(
                    new java.io.FileReader(configFile));
                String line;
                while ((line = reader.readLine()) != null) {
                    if (line.startsWith(key + "=")) {
                        reader.close();
                        return line.substring(key.length() + 1);
                    }
                }
                reader.close();
            }
        } catch (Exception e) {
            // 读取失败时返回默认值
        }
        return defaultValue;
    }

    // 使用配置化方案的示例
    public static final String SERIAL = getConfigValue("ro.serialno", "UNKNOWN");

    // ============================================
```

```
    // 修改 VERSION 内部类
    // ========================================
    public static class VERSION {
        public static final String RELEASE = "14";
        public static final String RELEASE_OR_CODENAME = "14";
        public static final int SDK_INT = 34;  // Android 14
        public static final String SECURITY_PATCH = "2024-01-05";

        // 编译时间戳
        public static final long TIME = 1704067200000L; // 2024-01-01
    }
}
```

样例 2：修改 SystemProperties.cpp 拦截属性读取

文件路径: `frameworks/base/core/jni/android_os_SystemProperties.cpp`

这是拦截所有系统属性读取的核心位置，可以在这里对特定属性返回伪造值。

```
// frameworks/base/core/jni/android_os_SystemProperties.cpp

#include <string>
#include <map>
#include <fstream>
#include <android-base/properties.h>
#include "jni.h"
#include "core_jni_helpers.h"

namespace android {

// 伪造属性映射表
static std::map<std::string, std::string> sSpoofedProperties;
static bool sPropertiesLoaded = false;

// 从配置文件加载伪造属性
static void loadSpoofedProperties() {
    if (sPropertiesLoaded) return;

    std::ifstream configFile("/data/system/prop_spoof.conf");
    if (configFile.is_open()) {
        std::string line;
        while (std::getline(configFile, line)) {
            // 跳过注释和空行
            if (line.empty() || line[0] == '#') continue;

            size_t pos = line.find('=');
            if (pos != std::string::npos) {
                std::string key = line.substr(0, pos);
                std::string value = line.substr(pos + 1);
                sSpoofedProperties[key] = value;
            }
        }
        configFile.close();
    }
    sPropertiesLoaded = true;
}

// 检查是否需要伪造该属性
static bool shouldSpoof(const char* key, std::string& spoofedValue) {
    loadSpoofedProperties();

    auto it = sSpoofedProperties.find(key);
    if (it != sSpoofedProperties.end()) {
        spoofedValue = it->second;
        return true;
    }

    // 硬编码的敏感属性列表（备用方案）
    static const std::map<std::string, std::string> hardcodedSpoof = {
        {"ro.serialno", "RANDOMSERIAL123"},
        {"ro.product.model", "Pixel 8 Pro"},
```

```
        {"ro.product.brand", "google"},
        {"ro.product.manufacturer", "Google"},
        {"ro.product.device", "husky"},
        {"ro.build.fingerprint", "google/husky/husky:14/UD1A.231105.004/11010374:user/
release-keys"},
        {"ro.build.description", "husky-user 14 UD1A.231105.004 11010374 release-
keys"},
        {"ro.boot.serialno", "RANDOMSERIAL123"},
        {"persist.sys.timezone", "America/New_York"},
        {"gsm.version.baseband", "g5300q-231020-231020-B-11108285"},
    };

    auto hardIt = hardcodedSpoof.find(key);
    if (hardIt != hardcodedSpoof.end()) {
        spoofedValue = hardIt->second;
        return true;
    }

    return false;
}

// 修改后的 native_get 函数
static jstring SystemProperties_getSS(JNIEnv* env, jclass clazz, jstring keyJ,
                                      jstring defJ) {
    const char* key = env->GetStringUTFChars(keyJ, nullptr);
    std::string spoofedValue;

    // 检查是否需要伪造
    if (shouldSpoof(key, spoofedValue)) {
        env->ReleaseStringUTFChars(keyJ, key);
        return env->NewStringUTF(spoofedValue.c_str());
    }

    // 原始逻辑：从真实属性中获取
    std::string value = android::base::GetProperty(key, "");
    env->ReleaseStringUTFChars(keyJ, key);

    if (value.empty() && defJ != nullptr) {
        return defJ;
    }
    return env->NewStringUTF(value.c_str());
}

} // namespace android
```

样例 3：修改 TelephonyManager 返回伪造 IMEI

文件路径：`frameworks/base/telephony/java/android/telephony/TelephonyManager.java`

```
// frameworks/base/telephony/java/android/telephony/TelephonyManager.java

package android.telephony;

import android.content.Context;
import android.os.SystemProperties;
import java.security.MessageDigest;
import java.util.Random;

public class TelephonyManager {
    private Context mContext;

    // ============================================
    // IMEI 伪造相关
    // ============================================

    // 生成符合 Luhn 校验的有效 IMEI
    private static String generateValidImei(String baseImei) {
        if (baseImei.length() != 14) {
            baseImei = "86123456789012"; // 默认基础 IMEI
        }

        // 计算 Luhn 校验位
        int sum = 0;
        for (int i = 0; i < 14; i++) {
            int digit = baseImei.charAt(i) - '0';
            if (i % 2 == 1) {
                digit *= 2;
                if (digit > 9) digit -= 9;
            }
            sum += digit;
        }
        int checkDigit = (10 - (sum % 10)) % 10;

        return baseImei + checkDigit;
    }

    // 基于设备特征生成稳定的伪造 IMEI
    private String getSpoofedImei(int slotIndex) {
        try {
            // 从配置文件读取
            String configImei = readConfigValue("imei_slot_" + slotIndex);
            if (configImei != null && configImei.length() == 15) {
                return configImei;
            }

            // 基于某个种子生成稳定的 IMEI
            String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default_seed");
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((seed + "_imei_" + slotIndex).getBytes());
            byte[] hash = md.digest();
```

```
            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            sb.append("86"); // TAC 前缀 (中国)
            for (int i = 0; i < 12; i++) {
                sb.append(Math.abs(hash[i]) % 10);
            }

            return generateValidImei(sb.toString());

        } catch (Exception e) {
            return "861234567890123"; // 降级到默认值
        }
    }

    // 修改后的 getImei 方法
    public String getImei(int slotIndex) {
        // 检查是否启用伪造
        if (isSpoofEnabled()) {
            return getSpoofedImei(slotIndex);
        }

        // 原始实现
        return getImeiInternal(slotIndex);
    }

    @Deprecated
    public String getDeviceId(int slotIndex) {
        return getImei(slotIndex);
    }

    // ============================================
    // MEID 伪造 (CDMA 设备)
    // ============================================

    private String getSpoofedMeid() {
        String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default_seed");
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((seed + "_meid").getBytes());
            byte[] hash = md.digest();

            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            for (int i = 0; i < 14; i++) {
                int val = Math.abs(hash[i]) % 16;
                sb.append(Integer.toHexString(val).toUpperCase());
            }
            return sb.toString();
        } catch (Exception e) {
            return "A0000012345678";
        }
    }

    public String getMeid(int slotIndex) {
        if (isSpoofEnabled()) {
```

```
            return getSpoofedMeid();
        }
        return getMeidInternal(slotIndex);
    }

    // ============================================
    // 订阅者 ID (IMSI) 伪造
    // ============================================

    public String getSubscriberId(int subId) {
        if (isSpoofEnabled()) {
            // IMSI 格式: MCC (3位) + MNC (2-3位) + MSIN (9-10位)
            String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default_seed");
            try {
                MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
                md.update((seed + "_imsi_" + subId).getBytes());
                byte[] hash = md.digest();

                StringBuilder sb = new StringBuilder();
                sb.append("460"); // MCC (中国)
                sb.append("00");  // MNC (中国移动)
                for (int i = 0; i < 10; i++) {
                    sb.append(Math.abs(hash[i]) % 10);
                }
                return sb.toString();
            } catch (Exception e) {
                return "460001234567890";
            }
        }
        return getSubscriberIdInternal(subId);
    }

    // ============================================
    // 工具方法
    // ============================================

    private boolean isSpoofEnabled() {
        return "true".equals(SystemProperties.get("persist.spoof.enabled", "false"));
    }

    private String readConfigValue(String key) {
        // 实现配置文件读取逻辑
        return null;
    }

    // 原始内部实现 (保留以供调用)
    private native String getImeiInternal(int slotIndex);
    private native String getMeidInternal(int slotIndex);
    private native String getSubscriberIdInternal(int subId);
}
```

样例 4：修改 WifiInfo 返回伪造 MAC 地址

文件路径: `frameworks/base/wifi/java/android/net/wifi/WifiInfo.java`

```
// frameworks/base/wifi/java/android/net/wifi/WifiInfo.java

package android.net.wifi;

import android.os.Parcel;
import android.os.Parcelable;
import android.os.SystemProperties;
import java.security.MessageDigest;

public class WifiInfo implements Parcelable {
    private String mMacAddress;
    private String mBSSID;

    // ===========================================
    // MAC 地址伪造
    // ===========================================

    // 生成格式正确的随机 MAC 地址
    private static String generateSpoofedMac(String seed) {
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update(seed.getBytes());
            byte[] hash = md.digest();

            // 确保是本地管理的单播地址
            // 第一个字节: xxxxxx10 (本地管理, 单播)
            hash[0] = (byte) ((hash[0] & 0xFC) | 0x02);

            return String.format("%02x:%02x:%02x:%02x:%02x:%02x",
                hash[0] & 0xFF, hash[1] & 0xFF, hash[2] & 0xFF,
                hash[3] & 0xFF, hash[4] & 0xFF, hash[5] & 0xFF);

        } catch (Exception e) {
            return "02:00:00:00:00:00";
        }
    }

    // 根据 SSID 生成稳定的伪造 MAC（可选: 每个网络不同 MAC）
    private String getPerNetworkMac(String ssid) {
        String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default") + "_wifi_" +
ssid;
        return generateSpoofedMac(seed);
    }

    public String getMacAddress() {
        // 检查是否启用伪造
        if (isSpoofEnabled()) {
            String spoofMode = SystemProperties.get("persist.spoof.wifi.mode",
"fixed");

            switch (spoofMode) {
                case "random":
```

```
                    // 每次请求生成随机 MAC
                    return generateSpoofedMac(String.valueOf(System.nanoTime()));

                case "per_network":
                    // 每个网络使用不同但稳定的 MAC
                    return getPerNetworkMac(getSSID());

                case "fixed":
                default:
                    // 使用固定的伪造 MAC
                    String configMac = SystemProperties.get("persist.spoof.wifi.mac",
"");
                    if (!configMac.isEmpty()) {
                        return configMac;
                    }
                    String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default") +
"_wifi";
                    return generateSpoofedMac(seed);
            }
        }

        // 原始逻辑
        return mMacAddress;
    }

    // ============================================
    // BSSID 伪造（可选）
    // ============================================

    public String getBSSID() {
        if (isSpoofEnabled() &&
            "true".equals(SystemProperties.get("persist.spoof.wifi.bssid", "false")))
{
            // 伪造 BSSID（AP 的 MAC 地址）
            String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default") + "_bssid_"
+ mBSSID;
            return generateSpoofedMac(seed);
        }
        return mBSSID;
    }

    private boolean isSpoofEnabled() {
        return "true".equals(SystemProperties.get("persist.spoof.enabled", "false"));
    }
}
```

样例 5：修改 Settings.Secure 返回伪造 Android ID

文件路径: `frameworks/base/core/java/android/provider/Settings.java`

```
// frameworks/base/core/java/android/provider/Settings.java

package android.provider;

import android.content.ContentResolver;
import android.os.SystemProperties;
import java.security.MessageDigest;

public final class Settings {

    public static final class Secure extends NameValueTable {
        public static final String ANDROID_ID = "android_id";

        // ============================================
        // Android ID 伪造
        // ============================================

        private static String sSpoofedAndroidId = null;

        private static synchronized String getSpoofedAndroidId() {
            if (sSpoofedAndroidId != null) {
                return sSpoofedAndroidId;
            }

            // 从配置读取
            String configId = SystemProperties.get("persist.spoof.android_id", "");
            if (!configId.isEmpty() && configId.length() == 16) {
                sSpoofedAndroidId = configId;
                return sSpoofedAndroidId;
            }

            // 基于种子生成稳定的 Android ID
            String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default_seed");
            try {
                MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
                md.update((seed + "_android_id").getBytes());
                byte[] hash = md.digest();

                StringBuilder sb = new StringBuilder();
                for (int i = 0; i < 8; i++) {
                    sb.append(String.format("%02x", hash[i] & 0xFF));
                }
                sSpoofedAndroidId = sb.toString();

            } catch (Exception e) {
                sSpoofedAndroidId = "0123456789abcdef";
            }

            return sSpoofedAndroidId;
        }

        public static String getString(ContentResolver resolver, String name) {
```

```
            // 拦截 Android ID 请求
            if (ANDROID_ID.equals(name) && isSpoofEnabled()) {
                return getSpoofedAndroidId();
            }

            // 其他可能需要拦截的值
            if ("bluetooth_address".equals(name) && isSpoofEnabled()) {
                return getSpoofedBluetoothAddress();
            }

            // 原始实现
            return getStringInternal(resolver, name);
        }

        // ============================================
        // 蓝牙地址伪造
        // ============================================

        private static String getSpoofedBluetoothAddress() {
            String seed = SystemProperties.get("ro.spoof.seed", "default") + "_bt";
            try {
                MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
                md.update(seed.getBytes());
                byte[] hash = md.digest();

                return String.format("%02X:%02X:%02X:%02X:%02X:%02X",
                    hash[0] & 0xFF, hash[1] & 0xFF, hash[2] & 0xFF,
                    hash[3] & 0xFF, hash[4] & 0xFF, hash[5] & 0xFF);

            } catch (Exception e) {
                return "00:00:00:00:00:00";
            }
        }

        private static boolean isSpoofEnabled() {
            return "true".equals(SystemProperties.get("persist.spoof.enabled",
"false"));
        }

        private static native String getStringInternal(ContentResolver resolver,
String name);
    }
}
```

样例 6：修改内核层序列号 (/proc/cpuinfo)

文件路径: `kernel/arch/arm64/kernel/cpuinfo.c` (ARM64) 或 `kernel/arch/arm/kernel/setup.c` (ARM32)

```
// kernel/arch/arm64/kernel/cpuinfo.c

#include <linux/kernel.h>
#include <linux/seq_file.h>
#include <linux/random.h>
#include <linux/string.h>

// 伪造的序列号（可以编译时指定）
static char spoofed_serial[32] = "SPOOFED_SERIAL_123";
static int serial_initialized = 0;

// 生成随机序列号（可选）
static void generate_random_serial(void) {
    if (serial_initialized) return;

    // 检查是否需要生成随机序列号
    // 可以通过内核参数 androidboot.spoof_serial=random 控制
    char* spoof_param = strstr(saved_command_line, "androidboot.spoof_serial=");
    if (spoof_param) {
        char mode[16] = {0};
        sscanf(spoof_param, "androidboot.spoof_serial=%15s", mode);

        if (strcmp(mode, "random") == 0) {
            unsigned char random_bytes[8];
            get_random_bytes(random_bytes, sizeof(random_bytes));
            snprintf(spoofed_serial, sizeof(spoofed_serial),
                    "%02X%02X%02X%02X%02X%02X%02X%02X",
                    random_bytes[0], random_bytes[1], random_bytes[2],
random_bytes[3],
                    random_bytes[4], random_bytes[5], random_bytes[6],
random_bytes[7]);
        } else if (strcmp(mode, "none") != 0) {
            // 使用指定的序列号
            strncpy(spoofed_serial, mode, sizeof(spoofed_serial) - 1);
        }
    }

    serial_initialized = 1;
}

// 修改 /proc/cpuinfo 的输出
static int c_show(struct seq_file *m, void *v) {
    int i;

    // ... 原有的 CPU 信息输出代码 ...

    // 在末尾添加序列号
    generate_random_serial();

    // 原始代码可能是:
    // seq_printf(m, "Serial\t\t: %016llx\n", system_serial);
```

```
    // 修改为:
    seq_printf(m, "Serial\t\t: %s\n", spoofed_serial);

    // 伪造硬件信息（可选）
    seq_printf(m, "Hardware\t: Qualcomm Technologies, Inc SM8550\n");
    seq_printf(m, "Revision\t: 0001\n");

    return 0;
}
```

另一种方案：修改 /proc/sys/kernel/random/boot_id

```
// kernel/drivers/char/random.c

static ssize_t boot_id_show(struct kobject *kobj,
                            struct kobj_attribute *attr, char *buf)
{
    // 原始代码生成真实的 boot_id
    // 我们可以返回伪造的或基于种子生成的值

#ifdef CONFIG_SPOOF_BOOT_ID
    // 编译时配置的固定值
    return sprintf(buf, "12345678-1234-1234-1234-123456789abc\n");
#else
    // 原始实现
    return sprintf(buf, "%pU\n", &boot_id);
#endif
}
```

样例 7：集中式配置管理方案

创建一个系统服务来统一管理所有伪造值。

新建文件: `frameworks/base/services/core/java/com/android/server/DeviceSpoofService.java`

```
// frameworks/base/services/core/java/com/android/server/DeviceSpoofService.java

package com.android.server;

import android.content.Context;
import android.os.SystemProperties;
import android.util.Log;
import org.json.JSONObject;
import java.io.BufferedReader;
import java.io.File;
import java.io.FileReader;
import java.security.MessageDigest;
import java.util.HashMap;
import java.util.Map;

public class DeviceSpoofService extends SystemService {
    private static final String TAG = "DeviceSpoofService";
    private static final String CONFIG_PATH = "/data/system/spoof_config.json";

    private static DeviceSpoofService sInstance;
    private Map<String, String> mSpoofedValues = new HashMap<>();
    private boolean mEnabled = false;
    private String mSeed;

    // 单例访问
    public static DeviceSpoofService getInstance() {
        return sInstance;
    }

    public DeviceSpoofService(Context context) {
        super(context);
        sInstance = this;
    }

    @Override
    public void onStart() {
        loadConfiguration();
        publishBinderService("device_spoof", new BinderService());
    }

    private void loadConfiguration() {
        try {
            File configFile = new File(CONFIG_PATH);
            if (!configFile.exists()) {
                Log.i(TAG, "No spoof config found, using defaults");
                return;
            }

            StringBuilder content = new StringBuilder();
            BufferedReader reader = new BufferedReader(new FileReader(configFile));
            String line;
            while ((line = reader.readLine()) != null) {
```

```
                content.append(line);
            }
            reader.close();

            JSONObject config = new JSONObject(content.toString());

            mEnabled = config.optBoolean("enabled", false);
            mSeed = config.optString("seed",
String.valueOf(System.currentTimeMillis()));

            // 加载预设值
            JSONObject values = config.optJSONObject("values");
            if (values != null) {
                for (java.util.Iterator<String> it = values.keys(); it.hasNext();) {
                    String key = it.next();
                    mSpoofedValues.put(key, values.getString(key));
                }
            }

            Log.i(TAG, "Spoof config loaded, enabled=" + mEnabled +
                       ", values count=" + mSpoofedValues.size());

        } catch (Exception e) {
            Log.e(TAG, "Failed to load config", e);
        }
    }

    // ============================================
    // 公共 API
    // ============================================

    public boolean isEnabled() {
        return mEnabled;
    }

    public String getSpoofedValue(String key) {
        if (!mEnabled) return null;

        // 优先返回配置中的值
        if (mSpoofedValues.containsKey(key)) {
            return mSpoofedValues.get(key);
        }

        // 否则基于种子生成
        return generateValue(key);
    }

    public String getImei(int slot) {
        String key = "imei_" + slot;
        String value = getSpoofedValue(key);
        if (value != null) return value;

        return generateImei(slot);
```

```
    }

    public String getAndroidId() {
        String value = getSpoofedValue("android_id");
        if (value != null) return value;

        return generateHexString("android_id", 16);
    }

    public String getMacAddress() {
        String value = getSpoofedValue("wifi_mac");
        if (value != null) return value;

        return generateMacAddress("wifi_mac");
    }

    public String getSerialNumber() {
        String value = getSpoofedValue("serial");
        if (value != null) return value;

        return generateAlphanumeric("serial", 16);
    }

    // ==========================================
    // 生成器方法
    // ==========================================

    private String generateValue(String key) {
        return generateHexString(key, 16);
    }

    private String generateHexString(String key, int length) {
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((mSeed + "_" + key).getBytes());
            byte[] hash = md.digest();

            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            for (int i = 0; i < length / 2; i++) {
                sb.append(String.format("%02x", hash[i] & 0xFF));
            }
            return sb.toString();

        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }

    private String generateAlphanumeric(String key, int length) {
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((mSeed + "_" + key).getBytes());
            byte[] hash = md.digest();
```

```
            String chars = "0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ";
            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            for (int i = 0; i < length; i++) {
                sb.append(chars.charAt(Math.abs(hash[i % hash.length]) %
chars.length()));
            }
            return sb.toString();

        } catch (Exception e) {
            return null;
        }
    }

    private String generateImei(int slot) {
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((mSeed + "_imei_" + slot).getBytes());
            byte[] hash = md.digest();

            StringBuilder sb = new StringBuilder();
            sb.append("86"); // TAC 前缀
            for (int i = 0; i < 12; i++) {
                sb.append(Math.abs(hash[i]) % 10);
            }

            // 计算 Luhn 校验位
            String base = sb.toString();
            int sum = 0;
            for (int i = 0; i < 14; i++) {
                int digit = base.charAt(i) - '0';
                if (i % 2 == 1) {
                    digit *= 2;
                    if (digit > 9) digit -= 9;
                }
                sum += digit;
            }
            int check = (10 - (sum % 10)) % 10;

            return base + check;

        } catch (Exception e) {
            return "861234567890123";
        }
    }

    private String generateMacAddress(String key) {
        try {
            MessageDigest md = MessageDigest.getInstance("SHA-256");
            md.update((mSeed + "_" + key).getBytes());
            byte[] hash = md.digest();

            // 设置本地管理位
```

```
            hash[0] = (byte) ((hash[0] & 0xFC) | 0x02);

            return String.format("%02x:%02x:%02x:%02x:%02x:%02x",
                hash[0] & 0xFF, hash[1] & 0xFF, hash[2] & 0xFF,
                hash[3] & 0xFF, hash[4] & 0xFF, hash[5] & 0xFF);

        } catch (Exception e) {
            return "02:00:00:00:00:00";
        }
    }
}
```

配置文件示例 (`/data/system/spoof_config.json`):

```
{
    "enabled": true,
    "seed": "my_unique_seed_12345",
    "values": {
        "model": "Pixel 8 Pro",
        "brand": "google",
        "manufacturer": "Google",
        "device": "husky",
        "product": "husky",
        "fingerprint": "google/husky/husky:14/UD1A.231105.004/11010374:user/release-
keys",
        "android_id": "a1b2c3d4e5f67890",
        "serial": "ABCD1234EFGH5678",
        "imei_0": "861234567890123",
        "imei_1": "861234567890124",
        "wifi_mac": "02:ab:cd:ef:12:34"
    }
}
```

样例 8: 修改 SensorManager 伪造传感器数据

文件路径: `frameworks/base/core/java/android/hardware/SensorManager.java`

```
// frameworks/base/core/java/android/hardware/SensorManager.java

package android.hardware;

import android.os.SystemProperties;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;

public abstract class SensorManager {

    // ============================================
    // 传感器列表伪造
    // ============================================

    // 修改传感器列表，隐藏或伪造某些传感器
    public List<Sensor> getSensorList(int type) {
        List<Sensor> realList = getSensorListInternal(type);

        if (!isSpoofEnabled()) {
            return realList;
        }

        List<Sensor> spoofedList = new ArrayList<>();

        for (Sensor sensor : realList) {
            // 可选：隐藏某些传感器
            if (shouldHideSensor(sensor)) {
                continue;
            }

            // 伪造传感器的厂商和名称
            Sensor spoofedSensor = spoofSensorInfo(sensor);
            spoofedList.add(spoofedSensor);
        }

        return spoofedList;
    }

    private boolean shouldHideSensor(Sensor sensor) {
        // 例如：隐藏指纹传感器信息
        String name = sensor.getName().toLowerCase();
        return name.contains("fingerprint") || name.contains("biometric");
    }

    private Sensor spoofSensorInfo(Sensor original) {
        // 创建一个带伪造信息的传感器副本
        // 注意：这需要修改 Sensor 类使其可修改或创建新的构造器
        return new SpoofedSensor(original,
            "Qualcomm", // 伪造的厂商
            "Qualcomm Accelerometer" // 伪造的名称
        );
    }
```

```
    private boolean isSpoofEnabled() {
        return "true".equals(SystemProperties.get("persist.spoof.enabled", "false"));
    }

    protected abstract List<Sensor> getSensorListInternal(int type);
}
```

编译与刷机

1. 设置环境: `source build/envsetup.sh`
2. 选择目标: `lunch aosp_<device_name>-userdebug` (例如 `lunch aosp_husky-userdebug` 对应 Pixel 8 Pro)
3. 开始编译: `make -j$(nproc)` (这会花费数小时)
4. 刷机:
    - 将设备置于 `fastboot` 模式。
    - 执行 `fastboot flashall -w`，这将刷写所有编译生成的镜像 (`system.img`, `boot.img`, `vendor.img` 等)。

增量编译技巧

修改特定模块后，无需全量编译:

```
# 只编译 Framework
m framework

# 只编译 TelephonyProvider
m TelephonyProvider

# 只编译 SystemUI
m SystemUI

# 只重新生成 system.img（不重新编译模块）
m snod

# 只重新生成 boot.img
m bootimage

# 使用 adb 同步修改的文件（无需刷机）
adb root
adb remount
adb sync system
adb reboot
```

测试与验证

验证脚本

创建一个 App 或使用 adb shell 验证伪造是否生效：

```
#!/system/bin/sh
# 验证改机效果

echo "=== Build Info ==="
getprop ro.product.model
getprop ro.product.brand
getprop ro.build.fingerprint
getprop ro.serialno

echo "=== Android ID ==="
settings get secure android_id

echo "=== IMEI (需要电话权限) ==="
service call iphonesubinfo 1

echo "=== Wi-Fi MAC ==="
cat /sys/class/net/wlan0/address

echo "=== CPU Serial ==="
cat /proc/cpuinfo | grep Serial
```

常见检测点对照表

检测项	API/路径	对应修改位置
设备型号	`Build.MODEL`	`Build.java`
品牌	`Build.BRAND`	`Build.java`
指纹	`Build.FINGERPRINT`	`Build.java`
序列号	`Build.SERIAL`	`Build.java` + 内核
Android ID	`Settings.Secure.ANDROID_ID`	`Settings.java`
IMEI	`TelephonyManager.getImei()`	`TelephonyManager.java`
MAC 地址	`WifiInfo.getMacAddress()`	`WifiInfo.java`
系统属性	`SystemProperties.get()`	`SystemProperties.cpp`
CPU 序列号	`/proc/cpuinfo`	内核 `cpuinfo.c`
Boot ID	`/proc/sys/kernel/random/boot_id`	内核 `random.c`

优势与挑战

优势

- 彻底性: 从系统根源上改变设备指纹，几乎无法被应用层技术检测。
- 稳定性: 不会像 Hook 框架那样因为应用更新或加固而失效。
- 性能好: 没有额外的 Hook 开销，所有修改都是原生代码。

挑战

- 技术门槛极高: 需要深入理解 AOSP 源码结构、编译系统和 Linux 内核。
- 时间成本高: 全量编译一次 AOSP 通常需要数小时。
- 设备限制: 强依赖于有良好 AOSP 支持和开放驱动的设备。
- 维护困难: 每次 Android 版本更新，都需要重新进行源码适配和修改。

进阶技巧

1. 随机种子管理

使用单一种子生成所有伪造值，保证同一"设备身份"的一致性：

```
// 初始化时设置种子
adb shell setprop ro.spoof.seed "unique_device_$(date +%s)"
```

2. 多身份切换

通过切换种子实现多个"设备身份"：

```
# 切换到身份 A
adb shell setprop persist.spoof.profile "profile_a"
adb shell svc power reboot

# 切换到身份 B
adb shell setprop persist.spoof.profile "profile_b"
adb shell svc power reboot
```

3. 避免检测的注意事项

- 保持一致性: 所有相关字段要匹配（如 Model 和 Fingerprint 中的设备名要一致）
- 合法格式: IMEI 要通过 Luhn 校验，MAC 要是合法格式

- 时间戳合理: Build 时间不要设置成未来时间
- 避免已知测试值: 不要使用 `0000000000000000` 等明显的测试值

A04: 最小化 Android RootFS

A04: 构建最小化 Android 系统 (RootFS) 指南

构建一个完整的 AOSP (Android Open Source Project) 耗时巨大且对硬件要求苛刻。而构建一个最小化的 Android RootFS (Root File System) 是一个能让我们深刻理解 Android 启动流程和核心组件的绝佳实践。其目标是创建一个仅包含最基本组件、能够引导 Linux 内核并最终启动一个交互式 Shell 的系统。

> 本文将指导你完成这一过程，主要使用 QEMU 作为目标平台。

目录

核心概念与启动流程

1. Bootloader: 设备上电后执行的第一段代码，负责初始化硬件并加载 Linux 内核到内存。
2. Kernel: 内核被加载后，开始初始化各种驱动、内存管理等，然后挂载一个临时的根文件系统 (ramdisk)。
3. `init` 进程: 内核在用户空间启动的第一个进程，其 PID 为 1。它是所有其他用户空间进程的祖先。
4. `init.rc`: `init` 进程会解析这个配置文件，根据其中的指令执行动作，如挂载文件系统、设置系统属性、启动服务等。

我们的目标就是创建一个极简的 RootFS，其中包含 `init` 程序和一个能被它启动的 Shell。

最小系统的核心组件

一个能启动到 Shell 的最小 Android 系统，必须包含以下组件：

- Linux Kernel: 操作系统的核心。
- `init`: 用户空间的守护神，来自 AOSP 源码 `system/core/init`。
- C 库: `libc.so` (C 标准库), `libm.so` (数学库)。所有原生程序都依赖它。
- 动态链接器: `linker` 或 `linker64`，用于加载 `.so` 动态库。
- Shell: `sh`，我们的交互界面，通常由 `toybox` 或 `toolbox` 提供。
- `init.rc`: 一个最简单的配置文件。
- 基本目录结构: `/dev`, `/proc`, `/sys`, `/system/bin`。

构建步骤详解

Step 1: 准备环境与工具链

你需要一个 Linux 环境（如 Ubuntu）和用于交叉编译的工具链。最简单的方法是从 AOSP 预编译库中获取。

```
# Download AOSP prebuilt aarch64 (ARM64) Toolchain
git clone https://android.googlesource.com/platform/prebuilts/gcc/linux-x86/aarch64/
aarch64-linux-android-4.9

# Add Toolchain Path to Environment variables
export PATH=$(pwd)/aarch64-linux-android-4.9/bin:$PATH
export CROSS_COMPILE=aarch64-linux-android-
```

Step 2: 获取并编译 Linux 内核

```
git clone https://android.googlesource.com/kernel/common.git
cd common

# Switch to a Stable branch
git checkout android-xxxx

# 配置内核
export ARCH=arm64
make defconfig

# 编译内核
make -j$(nproc)

# Compile Success. After this, Image.gz will be generated in arch/arm64/boot/
directory
```

Step 3: 构建最小化 RootFS

```
mkdir -p my_rootfs/{dev,proc,sys,system/bin,system/lib64}
cd my_rootfs
```

这一步比较复杂，因为需要从完整的 AOSP 源码中单独编译。一个简化的方法是直接从一个现有的 Android 系统或 AOSP 编译产物中提取这些预编译好的二进制文件。

- 从 AOSP 编译产物 `out/target/product/<device>/system/` 中找到以下文件：
  - `bin/linker64` -> 复制到 `my_rootfs/system/bin/`
  - `bin/init` -> 复制到 `my_rootfs/`
  - `bin/toybox` -> 复制到 `my_rootfs/system/bin/`
  - `lib64/libc.so`, `lib64/libm.so` -> 复制到 `my_rootfs/system/lib64/`
- 为 `toybox` 创建各种命令的软链接：

```
cd my_rootfs/system/bin
for cmd in $(./toybox); do
  ln -s toybox $cmd
done
cd ../../
```

在 `my_rootfs/` 目录下创建一个 `init.rc` 文件，内容如下：

```
# init.rc for minimal android

on early-init
    mount tmpfs tmpfs /dev
    mkdir /dev/pts
    mount devpts devpts /dev/pts
    mount proc proc /proc
    mount sysfs sysfs /sys

on init
    export PATH /system/bin
    export LD_LIBRARY_PATH /system/lib64

on post-fs
    # In a real system, we would mount /data, /cache, etc.
    # Here we just start the shell.

service shell /system/bin/sh
    class core
    console
    disabled
    user shell
    group shell
    seclabel u:r:shell:s0

on property:sys.boot_completed=1
    start shell
```

Step 4: 打包并运行

1. 打包 RootFS: 我们需要将 `my_rootfs` 目录打包成一个 `cpio` 归档，并用 `gzip` 压缩，作为内核的 `initramfs`。

   ```
   cd my_rootfs
   find . | cpio -o -H newc | gzip > ../rootfs.cpio.gz
   cd ..
   ```

2. 运行 QEMU: 确保 `common/arch/arm64/boot/Image.gz` 和 `rootfs.cpio.gz` 在当前目录下。

   ```
   qemu-system-aarch64   -M virt   -cpu cortex-a57   -m 2048   -kernel common/arch/
   arm64/boot/Image.gz   -initrd rootfs.cpio.gz   -nographic   -append
   "console=ttyAMA0"
   ```

从 Shell 到 Zygote：下一步是什么？

我们已经有了一个最小的 Linux 环境，但它还不是"Android"。要让它成为 Android，还需要以下关键步骤：

1. 启动 `servicemanager`：编译并运行它，它是 Android Binder IPC 机制的核心。
2. 启动 Zygote：编译 `app_process` 并通过 `init.rc` 启动它。Zygote 会预加载 Android 框架的核心类（`framework.jar`）并监听一个 socket，等待孵化新的 App 进程。
3. 启动 `system_server`：Zygote 启动的第一个 Java 进程，它会创建所有的 Android 系统服务 (AMS, WMS, PMS 等)。

完成这些后，系统才能真正地运行 Android 应用。但这已经超出了"最小化 RootFS"的范畴，进入了完整的系统移植和开发领域。

A05: SO 反调试与混淆

A05: SO 文件反调试与字符串混淆技术

在 Android Native 层安全对抗中，SO 文件是实现高强度保护的重要载体。通过 init_array 机制、字符串混淆和反调试技术的组合使用，可以显著提高逆向分析的难度。本文将深入分析这些技术的实现原理及对应的分析绕过方法。

目录

1. init_array 调用流程原理

1.1 ELF 加载与 init_array 执行时机

```
// linker 中 call_constructors 的简化实现
void soinfo::call_constructors() {
    // 1. 首先调用 DT_INIT 初始化函数
    if (init_func_ != nullptr) {
        init_func_();
    }

    // 2. 然后遍历 .init_array 段的函数指针
    if (init_array_ != nullptr) {
        for (size_t i = 0; i < init_array_count_; ++i) {
            // 调用每个构造函数
            ((void (*)())init_array_[i])();
        }
    }
}
```

1.2 完整调用链路

```
System.loadLibrary("target")
         ↓
nativeLoad() [art/runtime/native/java_lang_Runtime.cc]
         ↓
android_dlopen_ext() [bionic/libdl/libdl.cpp]
         ↓
do_dlopen() [bionic/linker/linker.cpp]
         ↓
find_library() → load_library() → link_image()
         ↓
call_constructors() → init_array 函数执行
```

1.3 查看 init_array 信息

```
# 使用 readelf 查看动态段
readelf -d target.so | grep INIT

# 使用 objdump 分析
objdump -s -j .init_array target.so
```

1.4 init_array 结构

```
// init_array 结构信息
typedef struct {
    Elf64_Addr *init_array;    // 函数指针数组
    size_t init_array_count;   // 数组大小
} init_array_info;

// 反调试函数声明
__attribute__((constructor))
void anti_debug_init() {
    // 反调试逻辑
}

// 编译后会在 .init_array 段生成函数指针
```

2. 字符串混淆技术

2.1 XOR 加密字符串

```
// 字符串加密宏定义
#define ENCRYPT_STRING(str) encrypt_string_xor(str, sizeof(str)-1, 0xAA)

constexpr char* encrypt_string_xor(const char* str, size_t len, char key) {
    static char encrypted[256];
    for (size_t i = 0; i < len; i++) {
        encrypted[i] = str[i] ^ key;
    }
    encrypted[len] = '\0';
    return encrypted;
}

// 使用示例
void check_frida() {
    // 原始字符串: "/data/local/tmp/frida-server"
    const char* encrypted = "\xc4\xae\xa8\xa8\xe4\xe6\xe8\xe0\xe4\xe6\xe4";

    char decrypted[256];
    decrypt_string(encrypted, decrypted, strlen(encrypted), 0xAA);

    if (access(decrypted, F_OK) == 0) {
        exit(1);
    }
}
```

2.2 AES 加密字符串

```
class StringObfuscator {
private:
    static constexpr uint8_t AES_KEY[16] = {
        0x2b, 0x7e, 0x15, 0x16, 0x28, 0xae, 0xd2, 0xa6,
        0xab, 0xf7, 0x15, 0x88, 0x09, 0xcf, 0x4f, 0x3c
    };

    static void aes_decrypt(const uint8_t* encrypted, uint8_t* decrypted, size_t len)
{
        AES_KEY aes_key;
        AES_set_decrypt_key(AES_KEY, 128, &aes_key);

        for (size_t i = 0; i < len; i += 16) {
            AES_decrypt(encrypted + i, decrypted + i, &aes_key);
        }
    }

public:
    static std::string decrypt_string(const uint8_t* encrypted_data, size_t len) {
        std::vector<uint8_t> decrypted(len);
        aes_decrypt(encrypted_data, decrypted.data(), len);

        // 移除 padding
        size_t actual_len = len;
        while (actual_len > 0 && decrypted[actual_len - 1] == 0) {
            actual_len--;
        }

        return std::string(reinterpret_cast<char*>(decrypted.data()), actual_len);
    }
};

// 使用加密字符串
void advanced_anti_debug() {
    // 加密的 "/proc/self/status" 字符串
    const uint8_t encrypted_proc_status[] = {
        0x8a, 0x2d, 0x5e, 0x1f, 0x9b, 0x7c, 0x85, 0xa3,
        0x4e, 0x92, 0x67, 0xc1, 0x55, 0x98, 0x33, 0x2a
    };

    std::string proc_status = StringObfuscator::decrypt_string(
        encrypted_proc_status, sizeof(encrypted_proc_status)
    );

    check_debugger_via_status(proc_status.c_str());
}
```

2.3 栈上动态构造字符串

```
void construct_string_on_stack() {
    char target_path[64];

    // 分段构造字符串
    strcpy(target_path, "/data/");
    strcat(target_path, "local/");
    strcat(target_path, "tmp/");
    strcat(target_path, "frida-");
    strcat(target_path, "server");

    if (access(target_path, F_OK) == 0) {
        exit(1);
    }

    // 清理栈上敏感字符串
    memset(target_path, 0, sizeof(target_path));
}
```

2.4 动态字符串构建器

```
class DynamicStringBuilder {
private:
    std::vector<std::string> fragments;

public:
    void add_fragment(const char* encrypted, size_t len, uint8_t key) {
        std::string decrypted;
        for (size_t i = 0; i < len; i++) {
            decrypted += static_cast<char>(encrypted[i] ^ key);
        }
        fragments.push_back(decrypted);
    }

    std::string build() {
        std::string result;
        for (const auto& fragment : fragments) {
            result += fragment;
        }

        // 立即清理 fragments
        fragments.clear();

        return result;
    }
};

void dynamic_string_detection() {
    DynamicStringBuilder builder;

    // 分段加密字符串片段
    const char frag1[] = {0x8f, 0x9e, 0x9a, 0x9a, 0x8f}; // "/data"
    const char frag2[] = {0x8f, 0x93, 0x91, 0x9d, 0x9e, 0x93}; // "/local"
    const char frag3[] = {0x8f, 0x9a, 0x94, 0x92}; // "/tmp"

    builder.add_fragment(frag1, 5, 0xEE);
    builder.add_fragment(frag2, 6, 0xEE);
    builder.add_fragment(frag3, 4, 0xEE);

    std::string path = builder.build();

    // 使用构造的路径进行检测
    perform_detection(path.c_str());
}
```

3. 反调试技术实现

3.1 init_array 中的反调试

```
// 在 .init_array 中执行反调试函数
__attribute__((constructor(101))) // 指定优先级
void init_anti_debug_level1() {
    // 1. ptrace 自身保护
    if (ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, 1, 0) == -1) {
        _exit(1);
    }

    // 2. 检测调试器进程
    check_debugger_processes();

    // 3. 检测 Frida 文件
    check_frida_artifacts();
}

__attribute__((constructor(102)))
void init_anti_debug_level2() {
    // 4. 检测内存映射
    check_suspicious_mappings();

    // 5. 检测 hook 痕迹
    check_hook_signatures();

    // 6. 时间检测
    timing_attack_detection();
}

void check_debugger_processes() {
    const char* debugger_names[] = {
        "gdb", "lldb", "strace", "ida", "x64dbg"
    };

    for (const char* name : debugger_names) {
        if (process_exists(name)) {
            execute_anti_debug_response();
        }
    }
}

void check_frida_artifacts() {
    const char* frida_indicators[] = {
        "/data/local/tmp/frida-server",
        "/data/local/tmp/frida-agent-64.so",
        "/system/lib64/libfrida-gum.so"
    };

    for (const char* indicator : frida_indicators) {
        if (file_exists(indicator)) {
            execute_anti_debug_response();
        }
    }
}
```

3.2 内存映射检测

```
__attribute__((constructor(103)))
void init_memory_protection() {
    // 检测代码段完整性
    verify_code_integrity();

    // 检测异常向量表
    check_exception_handlers();

    // 设置内存保护
    setup_memory_protection();
}

void check_suspicious_mappings() {
    FILE* maps = fopen("/proc/self/maps", "r");
    char line[512];

    while (fgets(line, sizeof(line), maps)) {
        // 检测可疑库映射
        if (strstr(line, "frida") ||
            strstr(line, "gum-js-loop") ||
            strstr(line, "xposed")) {
            fclose(maps);
            execute_anti_debug_response();
        }

        // 检测可疑权限组合
        if (strstr(line, "rwxp")) { // 可读写执行页面
            analyze_rwx_mapping(line);
        }
    }

    fclose(maps);
}

void verify_code_integrity() {
    // 计算代码段哈希值
    Dl_info info;
    dladdr((void*)verify_code_integrity, &info);

    const char* base = (const char*)info.dli_fbase;
    size_t text_size = get_text_section_size(base);

    uint32_t current_hash = calculate_crc32(base, text_size);
    uint32_t expected_hash = get_expected_hash();

    if (current_hash != expected_hash) {
        // 代码被修改，执行对抗措施
        code_tampering_detected();
    }
}
```

3.3 时间检测

```
void init_timing_checks() {
    // 启动定时器检测
    start_timing_monitor();

    // 检测单步执行
    detect_single_stepping();
}

void detect_single_stepping() {
    struct timespec start, end;
    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start);

    // 执行一些简单操作
    volatile int dummy = 0;
    for (int i = 0; i < 1000; i++) {
        dummy += i;
    }

    clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end);

    long duration = (end.tv_sec - start.tv_sec) * 1000000000 +
                    (end.tv_nsec - start.tv_nsec);

    // 如果执行时间异常，可能在单步调试
    if (duration > NORMAL_EXECUTION_TIME * 10) {
        single_step_detected();
    }
}

void start_timing_monitor() {
    std::thread([]() {
        while (true) {
            std::this_thread::sleep_for(std::chrono::seconds(5));

            // 定期检测系统调用时间
            struct timespec start, end;
            clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &start);
            getpid(); // 简单系统调用
            clock_gettime(CLOCK_MONOTONIC, &end);

            long syscall_time = (end.tv_sec - start.tv_sec) * 1000000000 +
                                (end.tv_nsec - start.tv_nsec);

            if (syscall_time > NORMAL_SYSCALL_TIME * 5) {
                // 系统调用被拦截或调试
                syscall_hooking_detected();
            }
        }
    }).detach();
}
```

3.4 反调试响应策略

```
enum class AntiDebugResponse {
    EXIT_SILENTLY,
    CORRUPT_DATA,
    FAKE_EXECUTION,
    CRASH_GRACEFULLY,
    REPORT_TO_SERVER
};

void execute_anti_debug_response() {
    static int detection_count = 0;
    detection_count++;

    // 根据检测次数选择不同响应策略
    AntiDebugResponse response = select_response_strategy(detection_count);

    switch (response) {
        case AntiDebugResponse::EXIT_SILENTLY:
            _exit(0);
            break;

        case AntiDebugResponse::CORRUPT_DATA:
            corrupt_critical_data();
            break;

        case AntiDebugResponse::FAKE_EXECUTION:
            enter_fake_execution_mode();
            break;

        case AntiDebugResponse::CRASH_GRACEFULLY:
            trigger_controlled_crash();
            break;

        case AntiDebugResponse::REPORT_TO_SERVER:
            report_debug_attempt();
            _exit(1);
            break;
    }
}

void corrupt_critical_data() {
    // 破坏关键数据结构，使分析结果无效
    extern char critical_data_start[];
    extern char critical_data_end[];

    size_t size = critical_data_end - critical_data_start;
    for (size_t i = 0; i < size; i++) {
        critical_data_start[i] ^= 0xFF;
    }
}

void enter_fake_execution_mode() {
    // 进入虚假执行模式，返回错误分析结果
```

```
    global_fake_mode = true;

    // 修改函数指针，指向虚假实现
    redirect_function_calls();
}
```

4. 分析与绕过方法

4.1 静态分析 init_array

```
# 分析 init_array 段的工具
import subprocess
from elftools.elf.elffile import ELFFile

class InitArrayAnalyzer:
    def __init__(self, so_path):
        self.so_path = so_path
        self.init_functions = []

    def analyze_init_array(self):
        # 使用 readelf 获取 init_array 信息
        result = subprocess.run(['readelf', '-d', self.so_path],
                                capture_output=True, text=True)

        for line in result.stdout.split('\n'):
            if 'INIT_ARRAY' in line:
                # 解析 init_array 地址和大小
                self.parse_init_array_info(line)

    def extract_function_addresses(self):
        with open(self.so_path, 'rb') as f:
            elf = ELFFile(f)

            # 找到 .init_array 段
            init_array_section = elf.get_section_by_name('.init_array')
            if init_array_section:
                data = init_array_section.data()

                # 解析函数指针 (8 字节对齐)
                for i in range(0, len(data), 8):
                    if i + 8 <= len(data):
                        func_addr = int.from_bytes(data[i:i+8], 'little')
                        self.init_functions.append(func_addr)
                        print(f"[+] Init function at: 0x{func_addr:x}")

    def disassemble_functions(self):
        # 使用 objdump 反汇编每个初始化函数
        for addr in self.init_functions:
            print(f"\n[+] Disassembling function at 0x{addr:x}")
            subprocess.run(['objdump', '-d', '--start-address', hex(addr),
                            '--stop-address', hex(addr + 0x100), self.so_path])

# 使用示例
analyzer = InitArrayAnalyzer('target.so')
analyzer.analyze_init_array()
analyzer.extract_function_addresses()
analyzer.disassemble_functions()
```

4.2 Frida Hook init_array

```
// Hook init_array 执行
function monitor_init_array() {
    // Hook constructor 函数调用
    var call_constructors = Module.findExportByName(
        "linker64", "_ZN6soinfo17call_constructorsEv"
    );
    if (call_constructors) {
        Interceptor.attach(call_constructors, {
            onEnter: function(args) {
                var soinfo = args[0];
                var soname = get_soname(soinfo);
                console.log("[+] Calling constructors for: " + soname);

                this.soname = soname;
                this.start_time = Date.now();
            },
            onLeave: function(retval) {
                var duration = Date.now() - this.start_time;
                console.log("[+] Constructors completed for " + this.soname +
                           " in " + duration + "ms");
            }
        });
    }

    // Hook 目标 SO 的每个 init_array 函数
    var target_module = Process.findModuleByName("libtarget.so");
    if (target_module) {
        analyze_init_array_section(target_module);
    }
}

function analyze_init_array_section(module) {
    // 解析 ELF 文件找到 init_array 段
    var elf_base = module.base;

    // 获取 Program 头表偏移
    var phoff = elf_base.add(0x20).readU64();
    var phnum = elf_base.add(0x38).readU16();

    // 遍历 Program 头，查找 PT_DYNAMIC
    for (var i = 0; i < phnum; i++) {
        var ph_addr = elf_base.add(phoff).add(i * 56);
        var p_type = ph_addr.readU32();

        if (p_type === 2) { // PT_DYNAMIC
            var p_vaddr = ph_addr.add(16).readU64();
            var dynamic_addr = elf_base.add(p_vaddr);

            parse_dynamic_section(dynamic_addr, module);
            break;
        }
    }
```

```
}

function parse_dynamic_section(dynamic_addr, module) {
    var addr = dynamic_addr;

    while (true) {
        var tag = addr.readU64();
        var val = addr.add(8).readU64();

        if (tag === 0) break; // DT_NULL

        if (tag === 25) { // DT_INIT_ARRAY
            var init_array_addr = module.base.add(val);
            console.log("[+] Found init_array at: " + init_array_addr);

            // Hook init_array 中每个函数
            hook_init_array_functions(init_array_addr, module);
        } else if (tag === 27) { // DT_INIT_ARRAYSZ
            var array_size = val;
            console.log("[+] Init_array size: " + array_size);
        }

        addr = addr.add(16);
    }
}

function hook_init_array_functions(init_array_addr, module) {
    var num_functions = 10; // 假设最多 10 个函数

    for (var i = 0; i < num_functions; i++) {
        var func_ptr_addr = init_array_addr.add(i * 8);
        var func_addr = func_ptr_addr.readPointer();

        if (func_addr.isNull()) break;

        console.log("[+] Hooking init function " + i + " at: " + func_addr);

        Interceptor.attach(func_addr, {
            onEnter: function(args) {
                console.log("[!] Init function called");

                // 打印调用栈
                console.log(Thread.backtrace(this.context, Backtracer.ACCURATE)
                    .map(DebugSymbol.fromAddress).join('\n'));
            },
            onLeave: function(retval) {
                console.log("[!] Init function completed");
            }
        });
    }
}
```

4.3 绕过反调试

```
// 绕过 ptrace 检测
function bypass_ptrace() {
    var ptrace = Module.findExportByName("libc.so", "ptrace");
    if (ptrace) {
        Interceptor.attach(ptrace, {
            onEnter: function(args) {
                var request = args[0].toInt32();
                if (request === 0) { // PTRACE_TRACEME
                    console.log("[+] Blocking PTRACE_TRACEME");
                    args[0] = ptr(-1);
                }
            },
            onLeave: function(retval) {
                // 始终返回成功
                retval.replace(ptr(0));
            }
        });
    }
}

// 绕过文件检测
function bypass_file_detection() {
    var access = Module.findExportByName("libc.so", "access");
    var openat = Module.findExportByName("libc.so", "openat");

    var blocked_paths = [
        "/data/local/tmp/frida-server",
        "/proc/self/maps",
        "/proc/self/status"
    ];

    if (access) {
        Interceptor.attach(access, {
            onEnter: function(args) {
                var path = args[0].readCString();
                if (blocked_paths.some(p => path.includes(p))) {
                    console.log("[+] Blocking access to: " + path);
                    args[0] = Memory.allocUtf8String("/dev/null");
                }
            }
        });
    }

    if (openat) {
        Interceptor.attach(openat, {
            onEnter: function(args) {
                var path = args[1].readCString();
                if (blocked_paths.some(p => path.includes(p))) {
                    console.log("[+] Blocking openat for: " + path);
                    args[1] = Memory.allocUtf8String("/dev/null");
                }
            }
```

```
        });
    }
}

// 绕过时间检测
function bypass_timing_detection() {
    var clock_gettime = Module.findExportByName("libc.so", "clock_gettime");
    if (clock_gettime) {
        var fake_time = {
            sec: 1640995200, // 固定时间戳
            nsec: 0
        };

        Interceptor.attach(clock_gettime, {
            onLeave: function(retval) {
                var timespec = this.context.x1; // 第二个参数
                if (!timespec.isNull()) {
                    // 写入固定时间值
                    timespec.writeU64(fake_time.sec);
                    timespec.add(8).writeU64(fake_time.nsec);

                    // 每次调用略微增加纳秒
                    fake_time.nsec += 1000;
                }
            }
        });
    }
}
```

4.4 Hook 字符串解密

```
// 字符串检测混淆检测
function detect_string_obfuscation(so_path) {
    var module = Process.findModuleByName(so_path);
    if (!module) return;

    // 扫描解密函数模式
    var pattern = "48 89 ?? 48 89 ?? 48 83 ?? ?? 8B ?? ??"; // x64 解密函数模式

    Memory.scan(module.base, module.size, pattern, {
        onMatch: function(address, size) {
            console.log("[+] Found potential decryption function at: " + address);

            Interceptor.attach(address, {
                onEnter: function(args) {
                    console.log("[+] Decryption function called");
                    this.args = Array.prototype.slice.call(args);
                },
                onLeave: function(retval) {
                    // 尝试读取解密结果
                    try {
                        var result = retval.readCString();
                        if (result && result.length > 0 && result.length < 256) {
                            console.log("[+] Decrypted string: " + result);
                        }
                    } catch (e) {
                        // 可能不是字符串
                    }
                }
            });
        },
        onComplete: function() {
            console.log("[+] Decryption function scan completed");
        }
    });
}

// 智能反调试绕过
function intelligent_anti_debug_bypass() {
    // 1. 自动检测并绕过常见反调试技术
    bypass_ptrace();
    bypass_file_detection();
    bypass_timing_detection();

    // 2. 监控 init_array 执行
    monitor_init_array();

    // 3. Hook 字符串解密
    detect_string_obfuscation("libtarget.so");

    // 4. 设置定期检查，处理新反调试机制
    setInterval(function() {
        check_new_anti_debug_mechanisms();
```

```
    }, 5000);
}

function check_new_anti_debug_mechanisms() {
    // 检测新反调试线程
    var threads = Process.enumerateThreads();
    threads.forEach(function(thread) {
        // 检查线程调用栈是否包含反调试函数
        var backtrace = Thread.backtrace(thread.context, Backtracer.ACCURATE);
        // 分析并处理...
    });
}
```

5. 高级防护策略

5.1 多层级保护机制

```
// 实现多层级保护机制
class ComprehensiveProtection {
private:
    static bool stage1_passed;
    static bool stage2_passed;
    static bool stage3_passed;

public:
    // 第一阶段：基础检测
    __attribute__((constructor(101)))
    static void protection_stage1() {
        if (basic_anti_debug_check()) {
            stage1_passed = true;
            decrypt_stage2_key();
        } else {
            enter_decoy_mode();
        }
    }

    // 第二阶段：深度检测
    __attribute__((constructor(102)))
    static void protection_stage2() {
        if (!stage1_passed) return;

        if (advanced_detection()) {
            stage2_passed = true;
            unlock_critical_functions();
        } else {
            corrupt_stage2_data();
        }
    }

    // 第三阶段：运行时保护
    __attribute__((constructor(103)))
    static void protection_stage3() {
        if (!stage2_passed) return;

        start_runtime_protection();
        stage3_passed = true;
    }

    // 关键函数只有在所有检测通过后才能正常执行
    static bool is_protection_active() {
        return stage1_passed && stage2_passed && stage3_passed;
    }
};
```

5.2 自适应响应系统

```
class AdaptiveResponseSystem {
private:
    enum ThreatLevel {
        NO_THREAT = 0,
        LOW_THREAT = 1,
        MEDIUM_THREAT = 2,
        HIGH_THREAT = 3,
        CRITICAL_THREAT = 4
    };

    static ThreatLevel assess_threat_level() {
        int threat_score = 0;

        // 各种检测权重评分
        if (detect_frida()) threat_score += 30;
        if (detect_debugger()) threat_score += 25;
        if (detect_hook()) threat_score += 20;
        if (detect_emulator()) threat_score += 15;
        if (detect_root()) threat_score += 10;

        if (threat_score >= 80) return CRITICAL_THREAT;
        if (threat_score >= 60) return HIGH_THREAT;
        if (threat_score >= 40) return MEDIUM_THREAT;
        if (threat_score >= 20) return LOW_THREAT;
        return NO_THREAT;
    }

public:
    static void adaptive_response() {
        ThreatLevel level = assess_threat_level();

        switch (level) {
            case CRITICAL_THREAT:
                immediate_termination();
                break;
            case HIGH_THREAT:
                data_corruption_and_exit();
                break;
            case MEDIUM_THREAT:
                fake_execution_mode();
                break;
            case LOW_THREAT:
                increased_monitoring();
                break;
            case NO_THREAT:
                normal_execution();
                break;
        }
    }
};
```

总结

防护方的核心策略：

1. 多层级检测机制，分阶段验证
2. 字符串动态解密，避免静态分析
3. 时间和行为检测，识别调试环境
4. 自适应响应策略，根据威胁等级调整

分析方的应对策略：

1. 静态分析结合动态 Hook
2. 全面的 API 拦截和重定向
3. 时间和环境模拟
4. 自动化绕过脚本开发

这一技术对抗将持续演进，双方都需要不断提升技术水平以应对新的挑战。

A06: SO 运行时仿真

A06: SO 运行时仿真技术

在高级 Android 逆向工程中，我们经常需要自动化地调用 SO 文件中的加密、签名或校验函数。然而，在真实的设备上通过 Frida Hook 来做这件事，不仅效率低下，而且容易受到反调试和环境检测的阻碍。

SO 运行时仿真（有时被称为"符号执行"的工程化应用）是一种革命性的技术，它通过在 PC 上创建一个模拟的 Android Native 运行环境，直接加载并执行 SO 文件，从而摆脱对真实设备的依赖。

目录

核心架构

一个典型的 SO 仿真框架主要由以下几个部分构成：

1. ELF 加载器 (ELF Loader)

这是仿真的基础。它负责像 Android 的 `linker` 一样工作：

功能	说明
解析 ELF	读取 SO 文件的头部、程序头、段表等信息
内存映射	根据程序头（`PT_LOAD`）将 SO 的代码段（`.text`）和数据段（`.data`, `.bss`）加载到模拟的内存空间中
处理重定位	解析重定位表（`.rel.dyn`, `.rela.dyn`），修正所有对内部地址和外部符号的引用

2. CPU 模拟器 (CPU Emulator)

- Unicorn Engine: 这是目前最主流的选择。Unicorn 是一个基于 QEMU 的轻量级、多平台的 CPU 模拟器库
- 指令级控制: Unicorn 允许我们精细地控制执行流程，包括设置寄存器、读写内存、以及通过 Hook 机制在执行到特定指令或地址时触发回调

3. 系统库与环境模拟 (Library & Environment Mocking)

SO 文件不会独立存在，它总是会调用外部函数。仿真框架必须能够"假装"自己是 Android 系统：

Mock 目标	说明
`libc.so`	提供 `malloc`, `free`, `memcpy`, `strlen`, `printf` 等标准 C 库函数
Android 框架库	提供 `liblog.so`、`libz.so`、`libcrypto.so` 等常用系统库函数
JNI 环境	模拟 `JNIEnv` 指针和相关函数表（`NewStringUTF`, `GetFieldID` 等）

推荐项目：unidbg

`unidbg` 是一个非常强大和成熟的、专门用于 Android SO 仿真和符号执行的 Java 开源项目。

unidbg 的优点

特性	说明
高度自动化	内置了完善的 ELF 加载器和常用系统库的 Mock 实现
易于使用	提供了简洁的 API，用户只需几行代码就可以加载 SO、调用函数
JNI 模拟	拥有强大的 JNI 模拟能力，甚至可以调用和 Mock Java 对象的方法
调试与跟踪	支持与 GDB 连接进行远程调试，也可以通过 Hook 机制打印详细的执行日志

unidbg 使用范例

```
// 使用 unidbg 调用 SO 中的签名函数
public class SignatureCalculator {
    public static void main(String[] args) {
        // 1. 创建 Android ARM64 模拟器实例
        Emulator<?> emulator = AndroidEmulatorBuilder.for64Bit().build();
        Memory memory = emulator.getMemory();

        // 2. 加载目标 SO 文件及其依赖
        // unidbg 会自动处理重定位和依赖加载
        Module module = emulator.loadLibrary(new File("libnative-lib.so"));

        // 3. 准备输入数据
        String input = "this is my data to sign";
        // 将输入字符串写入模拟器内存
        Pointer inputPtr = memory.allocateString(input);

        // 4. 调用目标函数
        // callFunction() 会自动处理寄存器和栈设置
        Number result = module.callFunction(emulator, 0x1234, inputPtr,
input.length());

        // 5. 从模拟器内存中读取结果
        Pointer resultPtr = Pointer.pointer(emulator, result.intValue());
        String signature = resultPtr.getString(0);

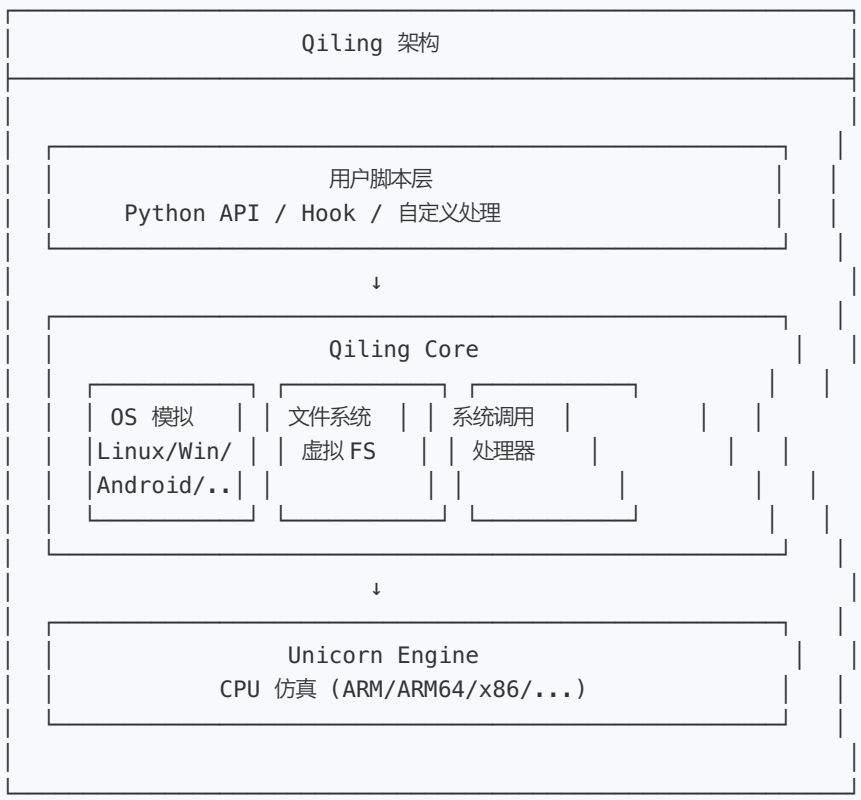
        System.out.println("Input: " + input);
        System.out.println("Signature: " + signature);

        // 6. 关闭模拟器
        emulator.close();
    }
}
```

Qiling 框架

Qiling 是一个高级的二进制仿真框架，基于 Unicorn 构建，支持多种操作系统和架构。相比纯 Unicorn，Qiling 提供了更完善的系统调用和库函数模拟。

Qiling 简介



Qiling vs Unicorn

特性	Unicorn	Qiling
层级	CPU 仿真	操作系统仿真
系统调用	需手动实现	内置支持
文件系统	无	虚拟文件系统
ELF 加载	需手动实现	自动加载
库函数	需 Mock	部分内置
难度	高	中

安装 Qiling

```
# 安装 Qiling
pip install qiling

# 或从源码安装（推荐，获取最新功能）
git clone https://github.com/qilingframework/qiling.git
cd qiling
pip install .

# 准备 rootfs（Android ARM64）
# 可以从 qiling 仓库下载预构建的 rootfs
# 或从真实设备提取
```

基础使用

```
from qiling import Qiling
from qiling.const import QL_VERBOSE

# 创建 Qiling 实例（Linux ARM64）
ql = Qiling(
    argv=["./target_binary"],
    rootfs="./rootfs/arm64_linux",
    verbose=QL_VERBOSE.DEBUG
)

# 运行
ql.run()
```

Android SO 仿真

```
from qiling import Qiling
from qiling.const import QL_VERBOSE
from qiling.os.mapper import QlFsMappedObject

class AndroidSOEmulator:
    """Android SO 仿真器 (基于 Qiling)"""

    def __init__(self, rootfs_path):
        self.rootfs = rootfs_path
        self.ql = None

    def setup(self, so_path):
        """设置仿真环境"""
        # 创建一个加载 SO 的 wrapper 程序
        # Qiling 需要一个可执行文件作为入口
        self.ql = Qiling(
            argv=[so_path],
            rootfs=self.rootfs,
            ostype="linux",
            archtype="arm64",
            verbose=QL_VERBOSE.OFF
        )

        # 设置库搜索路径
        self.ql.os.set_env("LD_LIBRARY_PATH", "/system/lib64")

    def hook_function(self, func_name, callback):
        """Hook 导出函数"""
        def wrapper(ql):
            # 获取参数 (ARM64 调用约定)
            args = [ql.arch.regs.x0, ql.arch.regs.x1,
                    ql.arch.regs.x2, ql.arch.regs.x3]
            result = callback(ql, args)
            if result is not None:
                ql.arch.regs.x0 = result
        self.ql.os.set_api(func_name, wrapper)

    def call_function(self, func_addr, args=None):
        """调用指定地址的函数"""
        if args:
            regs = ['x0', 'x1', 'x2', 'x3', 'x4', 'x5', 'x6', 'x7']
            for i, arg in enumerate(args[:8]):
                setattr(self.ql.arch.regs, regs[i], arg)

        # 设置返回地址
        self.ql.arch.regs.lr = 0xDEADBEEF

        # 执行
        self.ql.run(begin=func_addr, end=0xDEADBEEF)

        return self.ql.arch.regs.x0
```

```
# 使用示例
emu = AndroidSOEmulator("./android_rootfs")
emu.setup("./libtarget.so")

# Hook malloc
def my_malloc(ql, args):
    size = args[0]
    print(f"[Hook] malloc({size})")
    return ql.os.heap.alloc(size)

emu.hook_function("malloc", my_malloc)
```

Qiling Hook 机制

```
from qiling import Qiling

ql = Qiling(["./binary"], "./rootfs")

# 1. 地址 Hook
@ql.hook_address
def hook_specific_addr(ql):
    print(f"Hit address: {hex(ql.arch.regs.arch_pc)}")

hook_specific_addr.bindto(0x1234)

# 2. 代码块 Hook
def hook_block(ql, address, size):
    print(f"Block: {hex(address)}, size: {size}")

ql.hook_block(hook_block)

# 3. 指令 Hook
def hook_code(ql, address, size):
    # 每条指令执行前
    print(f"Instruction: {hex(address)}")

ql.hook_code(hook_code)

# 4. 内存访问 Hook
def hook_mem_read(ql, access, address, size, value):
    print(f"Read: {hex(address)}, size: {size}")

def hook_mem_write(ql, access, address, size, value):
    print(f"Write: {hex(address)} = {hex(value)}")

ql.hook_mem_read(hook_mem_read)
ql.hook_mem_write(hook_mem_write)

# 5. 系统调用 Hook
def hook_syscall(ql, syscall_num, *args):
    print(f"Syscall: {syscall_num}, args: {args}")

ql.os.set_syscall("open", hook_syscall)

ql.run()
```

Qiling 调试功能

```
from qiling import Qiling
from qiling.debugger.gdb import QlGdb

# 启动 GDB 调试服务器
ql = Qiling(["./binary"], "./rootfs")
ql.debugger = QlGdb(ql, ip="0.0.0.0", port=9999)
ql.run()

# 然后用 GDB 连接:
# gdb-multiarch
# (gdb) target remote localhost:9999
```

AndroidNativeEmu

AndroidNativeEmu 是一个专门用于 Android Native 库仿真的 Python 框架，基于 Unicorn 构建，提供了完整的 JNI 环境模拟。

AndroidNativeEmu 简介

特性	说明
语言	Python
基础	Unicorn Engine
专注	Android Native 库
JNI	完整的 JNI 环境模拟
系统库	内置常用库 Mock

安装

```
# 克隆仓库
git clone https://github.com/AeonLucid/AndroidNativeEmu.git
cd AndroidNativeEmu

# 安装依赖
pip install -r requirements.txt

# 或直接 pip 安装
pip install androidemu
```

基础使用

```
from androidemu.emulator import Emulator
from androidemu.java.java_class_def import JavaClassDef
from androidemu.java.java_method_def import java_method_def

# 创建模拟器实例
emulator = Emulator(
    vfp_inst_set=True,       # 启用 VFP 指令集
    vfs_root="./vfs"         # 虚拟文件系统根目录
)

# 加载 SO 文件
lib_module = emulator.load_library("./libnative.so")

# 查看导出函数
for symbol in lib_module.symbols:
    if symbol.is_export:
        print(f"Export: {symbol.name} @ {hex(symbol.address)}")
```

JNI 环境模拟

```
from androidemu.emulator import Emulator
from androidemu.java.java_class_def import JavaClassDef
from androidemu.java.java_method_def import java_method_def

# 定义 Java 类（模拟 Android 类）
class MainActivity(metaclass=JavaClassDef,
                   jvm_name="com/example/app/MainActivity"):

    def __init__(self):
        self.secret = "my_secret_key"

    @java_method_def(
        name="getSecret",
        signature="()Ljava/lang/String;",
        native=False
    )
    def get_secret(self, emu):
        return self.secret

    @java_method_def(
        name="processData",
        signature="(Ljava/lang/String;)Ljava/lang/String;",
        native=False
    )
    def process_data(self, emu, data):
        return f"processed_{data}"

# 注册 Java 类
emulator = Emulator()
emulator.java_classloader.add_class(MainActivity)

# 加载 SO
emulator.load_library("./libnative.so")

# 调用 JNI 函数
# 假设 SO 中有: Java_com_example_app_MainActivity_nativeSign
result = emulator.call_symbol(
    lib_module,
    "Java_com_example_app_MainActivity_nativeSign",
    emulator.java_vm.jni_env.address_ptr,  # JNIEnv*
    0,                                     # jobject (this)
    emulator.java_vm.jni_env.add_local_reference(  # jstring
        String("input_data")
    )
)
```

完整示例：签名函数仿真

```
from androidemu.emulator import Emulator
from androidemu.java.java_class_def import JavaClassDef
from androidemu.java.java_method_def import java_method_def
from androidemu.java.classes.string import String
import logging

# 配置日志
logging.basicConfig(level=logging.DEBUG)

class SignHelper(metaclass=JavaClassDef,
                 jvm_name="com/example/app/SignHelper"):
    """模拟 SignHelper Java 类"""

    @java_method_def(
        name="getDeviceId",
        signature="()Ljava/lang/String;",
        native=False
    )
    def get_device_id(self, emu):
        return "fake_device_id_12345"

    @java_method_def(
        name="getPackageName",
        signature="()Ljava/lang/String;",
        native=False
    )
    def get_package_name(self, emu):
        return "com.example.app"

class NativeEmulator:
    """Native 库仿真器"""

    def __init__(self, so_path, vfs_root="./vfs"):
        self.emulator = Emulator(
            vfp_inst_set=True,
            vfs_root=vfs_root
        )

        # 注册 Java 类
        self.emulator.java_classloader.add_class(SignHelper)

        # 加载 SO
        self.lib_module = self.emulator.load_library(so_path)

        print(f"Loaded: {so_path}")
        print(f"Base address: {hex(self.lib_module.base)}")

    def get_sign(self, input_data):
        """调用签名函数"""
        # 准备 JNI 参数
        jni_env = self.emulator.java_vm.jni_env
```

```
        # 创建 Java String
        j_input = jni_env.add_local_reference(String(input_data))

        # 调用 native 函数
        result = self.emulator.call_symbol(
            self.lib_module,
            "Java_com_example_app_SignHelper_nativeSign",
            jni_env.address_ptr,   # JNIEnv*
            0,                      # jclass
            j_input                 # jstring input
        )

        # 解析返回值（假设返回 jstring）
        if result != 0:
            return_str = jni_env.get_local_reference(result)
            if isinstance(return_str, String):
                return return_str.value

        return None

    def hook_function(self, symbol_name, callback):
        """Hook 指定函数"""
        symbol = self.lib_module.find_symbol(symbol_name)
        if symbol:
            self.emulator.mu.hook_add(
                UC_HOOK_CODE,
                callback,
                begin=symbol.address,
                end=symbol.address + 4
            )

# 使用示例
if __name__ == "__main__":
    emu = NativeEmulator("./libsign.so", "./vfs")

    # 计算签名
    sign = emu.get_sign("test_data_12345")
    print(f"Signature: {sign}")
```

Hook 与调试

```
from unicorn import UC_HOOK_CODE, UC_HOOK_MEM_READ, UC_HOOK_MEM_WRITE

class DebugEmulator(NativeEmulator):
    """带调试功能的仿真器"""

    def __init__(self, so_path, vfs_root="./vfs"):
        super().__init__(so_path, vfs_root)
        self.trace_enabled = False

    def enable_trace(self, start_addr=None, end_addr=None):
        """启用指令跟踪"""
        def trace_hook(mu, address, size, user_data):
            # 读取指令字节
            code = mu.mem_read(address, size)
            print(f"0x{address:08x}: {code.hex()}")

        begin = start_addr or self.lib_module.base
        end = end_addr or (self.lib_module.base + self.lib_module.size)

        self.emulator.mu.hook_add(
            UC_HOOK_CODE,
            trace_hook,
            begin=begin,
            end=end
        )
        self.trace_enabled = True

    def hook_memory_access(self):
        """Hook 内存访问"""
        def mem_read_hook(mu, access, address, size, value, user_data):
            print(f"[MEM READ] 0x{address:08x}, size={size}")

        def mem_write_hook(mu, access, address, size, value, user_data):
            print(f"[MEM WRITE] 0x{address:08x} = 0x{value:x}, size={size}")

        self.emulator.mu.hook_add(UC_HOOK_MEM_READ, mem_read_hook)
        self.emulator.mu.hook_add(UC_HOOK_MEM_WRITE, mem_write_hook)

    def dump_registers(self):
        """打印寄存器状态"""
        from unicorn.arm_const import (
            UC_ARM_REG_R0, UC_ARM_REG_R1, UC_ARM_REG_R2, UC_ARM_REG_R3,
            UC_ARM_REG_SP, UC_ARM_REG_LR, UC_ARM_REG_PC
        )

        regs = {
            "R0": UC_ARM_REG_R0, "R1": UC_ARM_REG_R1,
            "R2": UC_ARM_REG_R2, "R3": UC_ARM_REG_R3,
            "SP": UC_ARM_REG_SP, "LR": UC_ARM_REG_LR,
            "PC": UC_ARM_REG_PC
        }
```

```
        print("=== Registers ===")
        for name, reg in regs.items():
            value = self.emulator.mu.reg_read(reg)
            print(f"  {name}: 0x{value:08x}")
```

Python + Unicorn 手动实现

如果需要更细粒度的控制，可以使用 Python + Unicorn 从头实现仿真。

依赖库

- Unicorn Engine: CPU 模拟引擎
- pyelftools: 用于解析 ELF 文件
- Python: 胶水语言，用于编写加载器和 Mock 函数

实现步骤

a. 初始化 Unicorn 环境

```
from unicorn import *
from unicorn.arm64_const import *

# 初始化 ARM64 模拟器
mu = Uc(UC_ARCH_ARM64, UC_MODE_ARM)

# 定义内存区域
BASE_ADDRESS = 0x40000000
STACK_ADDRESS = 0x70000000
STACK_SIZE = 1024 * 1024  # 1MB 栈空间

# 映射内存
mu.mem_map(BASE_ADDRESS, 2 * 1024 * 1024)  # 2MB 用于 SO
mu.mem_map(STACK_ADDRESS, STACK_SIZE)

# 设置栈指针 (SP)
mu.reg_write(UC_ARM64_REG_SP, STACK_ADDRESS + STACK_SIZE)
```

---

b. 加载 ELF 文件

```
from elftools.elf.elffile import ELFFile

def load_so(mu, so_path):
    """加载 SO 文件到模拟器内存"""
    with open(so_path, 'rb') as f:
        elffile = ELFFile(f)
        for segment in elffile.iter_segments():
            if segment.header.p_type == 'PT_LOAD':
                vaddr = segment.header.p_vaddr
                mem_size = segment.header.p_memsz
                file_size = segment.header.p_filesz
                data = segment.data()

                # 将段写入模拟器内存
                mu.mem_write(BASE_ADDRESS + vaddr, data)
                print(f"Loaded segment at {hex(BASE_ADDRESS + vaddr)} size
{hex(mem_size)}")

    return BASE_ADDRESS

# 加载 SO
base = load_so(mu, 'libnative-lib.so')
```

c. 实现函数 Mock

```
# 模拟外部函数地址
MOCK_PUTS_ADDR = 0xFFFFFFFF00001000

# 记录被 Hook 的指令
hooked_instructions = set()

def hook_code(mu, address, size, user_data):
    """代码执行 Hook 回调"""
    if address in hooked_instructions:
        return

    instruction = mu.mem_read(address, size)

    # 简化 BL 指令检查 (ARM64)
    if len(instruction) >= 4 and instruction[3] == 0x94:
        # 计算跳转目标地址 (需要完整解码指令)
        target_addr = calculate_branch_target(address, instruction)

        if target_addr == MOCK_PUTS_ADDR:
            # 1. 读取参数 (ARM64 第一个参数在 X0 寄存器)
            str_ptr = mu.reg_read(UC_ARM64_REG_X0)
            # 2. 从模拟器内存中读取字符串
            str_val = mu.mem_read(str_ptr, 256).split(b'\x00')[0]
            # 3. 执行 Mock 功能
            print(f"[+] puts called with: '{str_val.decode()}'")
            # 4. 模拟函数返回
            mu.reg_write(UC_ARM64_REG_PC, mu.reg_read(UC_ARM64_REG_LR))
        else:
            print(f"Warning: Unhandled call to {hex(target_addr)}")

        hooked_instructions.add(address)

# 在 SO 加载区域设置 Hook
mu.hook_add(UC_HOOK_CODE, hook_code, begin=BASE_ADDRESS, end=BASE_ADDRESS + 0x100000)
```

d. 文件系统 Mock

SO 文件可能会访问文件系统。通过 Mock `fopen`、`fread` 等函数，可以完全控制文件访问：

```
class FileSystemMock:
    """文件系统模拟"""
    def __init__(self, rootfs_path):
        self.rootfs = rootfs_path
        self.file_handles = {}
        self.next_fd = 100

    def mock_fopen(self, mu, path_ptr, mode_ptr):
        """模拟 fopen"""
        # 读取路径参数
        path = mu.mem_read(path_ptr, 256).split(b'\x00')[0].decode()
        mode = mu.mem_read(mode_ptr, 8).split(b'\x00')[0].decode()

        # 映射到本地 rootfs
        local_path = os.path.join(self.rootfs, path.lstrip('/'))

        try:
            handle = open(local_path, mode)
            fd = self.next_fd
            self.file_handles[fd] = handle
            self.next_fd += 1
            print(f"[+] fopen('{path}', '{mode}') = {fd}")
            return fd
        except FileNotFoundError:
            print(f"[-] fopen('{path}') failed: file not found")
            return 0

    def mock_fread(self, mu, buf_ptr, size, count, fd):
        """模拟 fread"""
        if fd in self.file_handles:
            data = self.file_handles[fd].read(size * count)
            mu.mem_write(buf_ptr, data)
            return len(data)
        return 0
```

基于 chroot 与 linker 的高级仿真

这是最接近"真实"的仿真方式。直接利用从 Android 系统中提取出的 `linker64` 程序，在受控的 `chroot` 环境中加载目标 SO。

核心思路

1. 构建 Android Rootfs: 在 Linux 主机上创建一个最小化的 Android 文件系统

2. 编写加载器 (Loader): 用 C 编写一个程序，`chroot` 到 Rootfs 中，然后启动 `linker64`
3. 编写测试桩 (Test Harness): 编写一个程序，加载目标 SO 并调用指定函数

实现步骤

a. 准备 Android Rootfs

```
# 在 PC 上创建目录结构
mkdir -p ~/android_rootfs/system/lib64
mkdir -p ~/android_rootfs/system/bin
mkdir -p ~/android_rootfs/data/local/tmp

# 从设备上拉取文件 (以 arm64 为例)
adb pull /system/bin/linker64 ~/android_rootfs/system/bin/
adb pull /system/lib64/libc.so ~/android_rootfs/system/lib64/
adb pull /system/lib64/libdl.so ~/android_rootfs/system/lib64/
adb pull /system/lib64/libm.so ~/android_rootfs/system/lib64/

# 将目标 SO 和测试桩程序放入
cp your_target.so ~/android_rootfs/data/local/tmp/
cp your_harness ~/android_rootfs/data/local/tmp/
```

b. 编写测试桩程序 (harness.c)

```
#include <stdio.h>
#include <dlfcn.h>

// 假设目标 SO 导出函数: char* process_data(const char* input);
typedef const char* (*process_data_func)(const char*);

int main(int argc, char *argv[]) {
    // 在 chroot 环境中，路径是相对于新根目录的
    void* handle = dlopen("/data/local/tmp/your_target.so", RTLD_LAZY);
    if (!handle) {
        fprintf(stderr, "Cannot open library: %s\n", dlerror());
        return -1;
    }

    // 获取函数指针
    process_data_func func = (process_data_func)dlsym(handle, "process_data");
    if (!func) {
        fprintf(stderr, "Cannot find symbol: %s\n", dlerror());
        dlclose(handle);
        return -1;
    }

    // 调用函数并打印结果
    const char* input = "hello from harness";
    const char* result = func(input);
    printf("Result from SO: %s\n", result);

    dlclose(handle);
    return 0;
}
```

c. 编写加载器程序 (loader.c)

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
    const char* root_dir = "/home/user/android_rootfs";  // 修改为你的 rootfs 路径

    if (chroot(root_dir) != 0) {
        perror("chroot failed");
        return 1;
    }

    // 进入 chroot 后，'/' 就是之前的 root_dir
    chdir("/");

    // 准备 execve 参数
    char *new_argv[] = {
        "/data/local/tmp/harness",  // 要执行的程序
        NULL
    };
    char *new_envp[] = {
        "LD_LIBRARY_PATH=/system/lib64",  // 告诉 linker 在哪里找 .so
        NULL
    };

    // 使用 linker64 来执行测试桩程序
    execve("/system/bin/linker64", new_argv, new_envp);

    // 如果 execve 成功，这行代码永远不会被执行
    perror("execve failed");
    return 1;
}
```

注意事项

- 权限要求: `chroot` 操作需要 root 权限
- 通信机制: 主机与被仿真进程的通信需要借助文件、管道或 Socket 等 IPC 机制
- 架构匹配: 需要在相同架构的 Linux 主机上运行（如 ARM64 主机运行 ARM64 SO）

方案对比与选型

方案	优点	复杂度	适用场景
unidbg (Java)	成熟稳定，JNI 模拟完善，API 简洁，社区活跃	低	快速分析、JNI 函数调用、通用 Android SO 仿真
Python + Unicorn	灵活可定制，完全控制执行流程，跨平台，帮助理解原理	中	纯 Native 算法逆向、安全研究、Fuzzing、学习目的
C + chroot + Harness	保真度最高，性能最好，直接利用系统原生 linker	高	环境要求苛刻的 SO、需要 TLS 初始化、追求极致性能

总结

SO 运行时仿真是一项高级但回报巨大的技术。它将逆向分析从繁琐的手工调试和 Hook 中解放出来，带入了自动化、可大规模扩展的新阶段。

关键要点：

1. 核心组件: ELF 加载器 + CPU 模拟器 + 系统库 Mock
2. 推荐工具: unidbg 是最成熟的 Android SO 仿真框架
3. 进阶方案: Python + Unicorn 提供更细粒度控制，chroot 方案提供最高保真度
4. 应用场景: 加密算法分析、签名函数调用、自动化测试、Fuzzing

对于需要频繁调用 Native 函数、分析复杂算法的场景，掌握 SO 仿真技术是必不可少的技能。

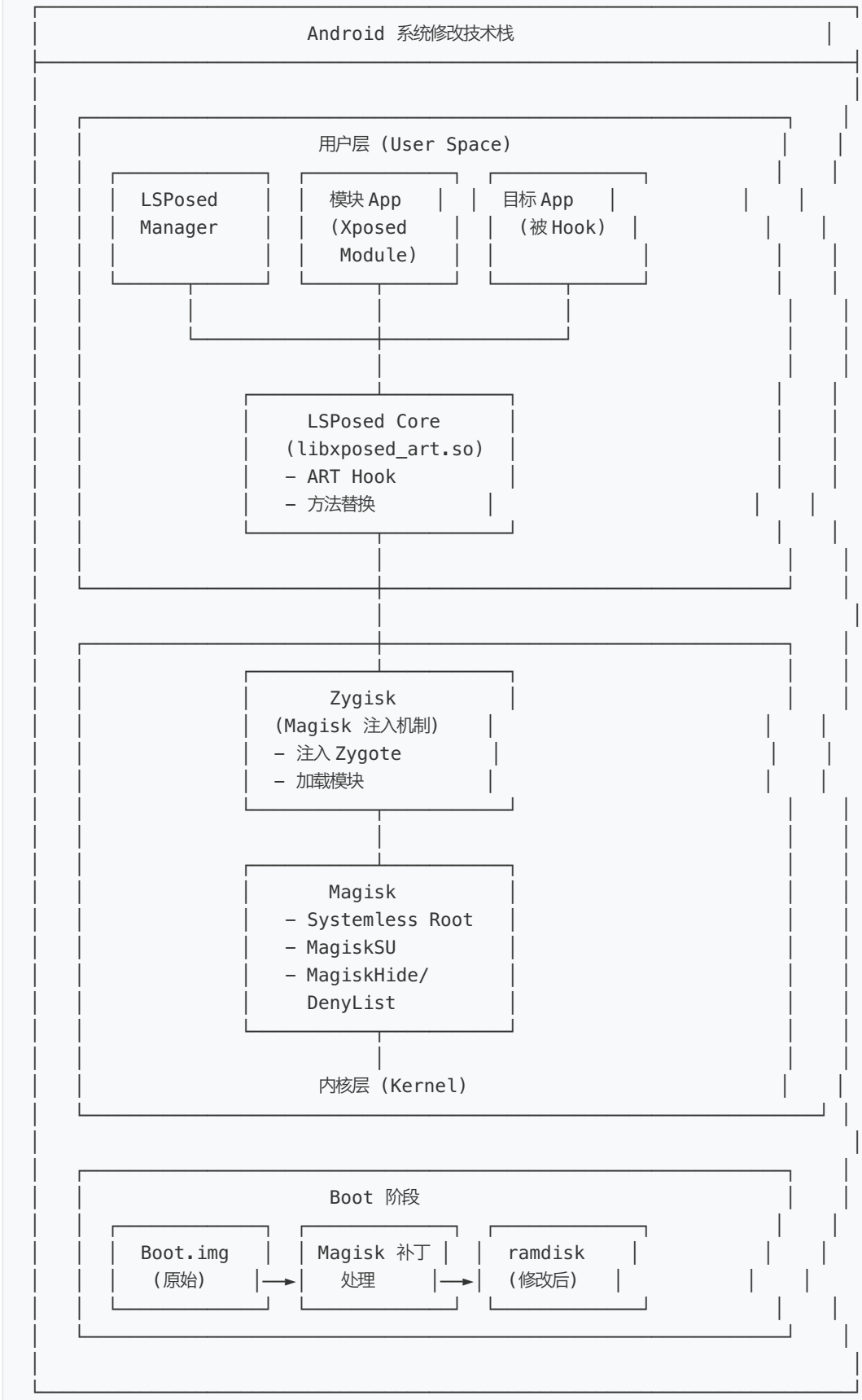
A07: Magisk 与 LSPosed 原理

A07: Magisk 与 LSPosed 技术原理

Magisk 和 LSPosed 是 Android 平台上最流行的 Root 和 Hook 解决方案。本文深入分析其技术实现原理，帮助理解现代 Android 系统修改技术的核心机制。

目录

1. 技术架构总览


Android 系统修改技术栈
用户层 (User Space)
LSPosed Manager
模块 App (Xposed Module)
目标 App (被 Hook)
LSPosed Core (libxposed_art.so)
- ART Hook
- 方法替换
Zygisk (Magisk 注入机制)
- 注入 Zygote
- 加载模块
Magisk
- Systemless Root
- MagiskSU
- MagiskHide/ DenyList
内核层 (Kernel)
Boot 阶段
Boot.img (原始)
Magisk 补丁 处理
ramdisk (修改后)

2. 框架演进历史

理解 LSPosed，需要先理清 Xposed 框架的演进历史：

```
Xposed (元祖) ──► EdXposed (过渡) ──► LSPosed (现代标准)
     │                  │                  │
     │                  │                  │
     ▼                  ▼                  ▼
替换 app_process   Riru 注入 Zygote    Zygisk/Riru 注入
  (修改 /system)      (Systemless)         (Magisk 生态)
```

2.1 Xposed 原版 (2012-2018)

Xposed 是由 rovo89 开发的 Android Hook 框架，开创了 Java 层方法 Hook 的先河。

核心特点：

特性	说明
实现方式	替换 `/system/bin/app_process`
Root 方式	需要传统 Root (修改 /system)
支持版本	Android 4.0 - 8.x (Dalvik/ART)
注入范围	全局注入所有进程
维护状态	2018 年停止更新

技术原理：

```
/**
 * Xposed 原版通过替换 app_process 实现全局注入
 *
 * 原始启动流程:
 * init → zygote (app_process) → fork → App
 *
 * Xposed 修改后:
 * init → zygote (app_process_xposed) → XposedBridge 加载 → fork → App
 */

// app_process 被替换为 Xposed 修改版
// 在 ZygoteInit 阶段加载 XposedBridge.jar
// 所有 fork 出的 App 都继承了 Xposed 的 Hook 能力
```

致命缺陷:

1. 修改 `/system` 分区，无法通过 SafetyNet/Play Integrity
2. 全局注入导致系统卡顿、耗电
3. 兼容性差，不支持新版 Android

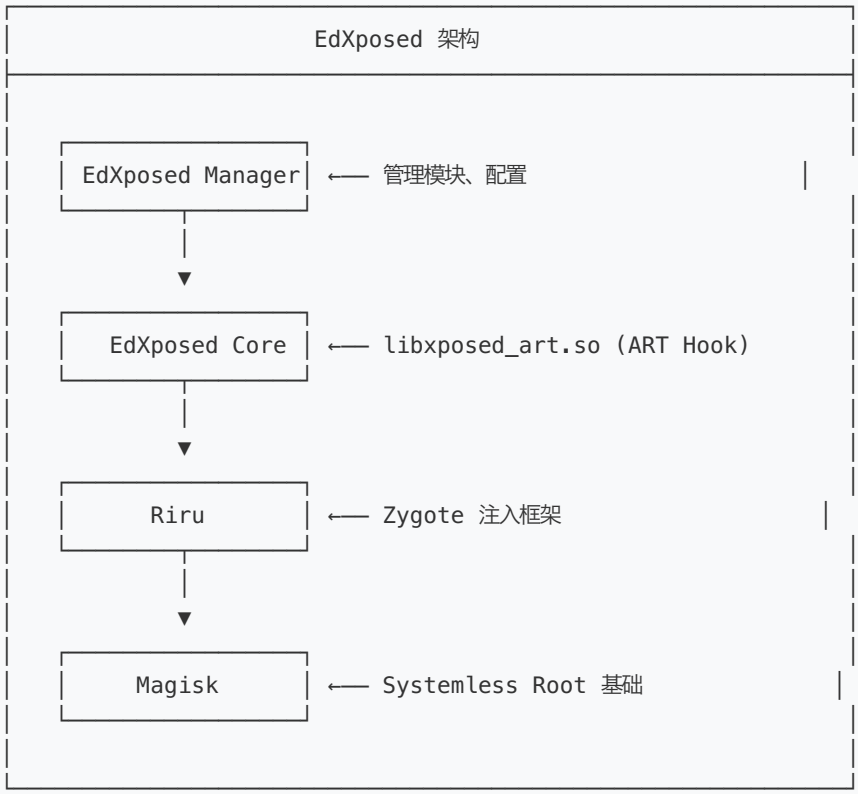
2.2 EdXposed 过渡期 (2018-2020)

EdXposed (Elder Xposed) 是 Xposed 的社区接力项目，解决了原版 Xposed 的一些问题。

核心改进:

特性	Xposed 原版	EdXposed
Root 方式	修改 /system	基于 Magisk
注入方式	替换 app_process	Riru 注入
支持版本	≤ Android 8	Android 8-11
作用域	全局	部分支持白名单

EdXposed 架构:



2.3 Riru 注入框架

Riru 是一个通用的 Zygote 注入框架，允许模块在 Zygote 进程中运行代码。

核心原理：利用 Android 的 `native bridge` 机制注入 Zygote。

```
/**
 * Riru 注入原理
 *
 * Android 的 native bridge 用于运行非原生架构的代码
 * (例如在 ARM64 设备上运行 x86 应用)
 *
 * Riru 劫持了这个机制:
 */

// 1. Magisk 模块将 libriru.so 放入指定位置
// /system/lib64/libriruloader.so

// 2. 修改系统属性
// ro.dalvik.vm.native.bridge=libriruloader.so

// 3. Zygote 启动时加载 native bridge
// 实际上加载的是 Riru

// 4. Riru 加载所有 Riru 模块
void riru_init() {
    // 读取 /data/adb/riru/modules/ 目录
    // 加载每个模块的 .so 文件
    for (auto& module : riru_modules) {
        dlopen(module.path, RTLD_NOW);
    }
}

// 5. 模块可以 Hook Zygote 的关键函数
// 如 nativeForkAndSpecialize, nativeSpecializeAppProcess
```

Riru 模块结构:

```
/data/adb/riru/modules/
└── edxposed/
    ├── lib/
    │   ├── arm64-v8a/
    │   │   └── libriru_edxposed.so
    │   └── armeabi-v7a/
    │       └── libriru_edxposed.so
    └── module.prop
```

Riru API (模块开发):

```
// Riru 模块入口
extern "C" void* init(void* handle) {
    // 注册回调
    return riruInit(handle, riruApiVersion, &riruModuleInfo);
}

// nativeForkAndSpecialize 前回调
extern "C" void nativeForkAndSpecializePre(
    JNIEnv *env, jclass clazz, jint uid, jint gid,
    jintArray gids, jint runtimeFlags, ...
) {
    // 在 fork 前执行
    // 可以修改参数
}

// nativeForkAndSpecialize 后回调
extern "C" void nativeForkAndSpecializePost(
    JNIEnv *env, jclass clazz, jint result
) {
    if (result == 0) {
        // 子进程（新 App）
        // 执行 Hook 逻辑
    }
}
```

2.4 Zygisk 注入框架

Zygisk 是 Magisk v24+ 引入的官方 Zygote 注入机制，作为 Riru 的替代方案。

Zygisk vs Riru:

特性	Riru	Zygisk
维护者	第三方	Magisk 官方
注入方式	Native Bridge 劫持	直接修补 app_process
隐藏能力	依赖额外模块	内置 DenyList
稳定性	良好	更好
模块兼容	Riru 模块格式	Zygisk 模块格式
当前状态	停止维护	活跃开发

Zygisk 核心原理:

```
/**
 * Zygisk 直接修补 app_process (在内存中)
 * 比 Riru 的 native bridge 劫持更优雅
 */

// 1. Magisk 在 post-fs-data 阶段
//    将 app_process32/64 替换为修改版

// 2. 修改版 app_process 在 main() 开始时
//    加载 libzygisk.so

// 3. libzygisk.so Hook Zygote 的 fork 函数
void* zygisk_loader(void*) {
    // 加载 Zygisk 核心
    void* handle = dlopen("/data/adb/magisk/zygisk/libzygisk.so", RTLD_NOW);

    // 初始化
    auto entry = dlsym(handle, "zygisk_init");
    ((void(*)())entry)();

    return nullptr;
}

// 4. Zygisk 模块 API
struct ZygiskModule {
    // 在 App fork 前调用
    void (*preAppSpecialize)(void* args);

    // 在 App fork 后调用
    void (*postAppSpecialize)(const char* process_name);

    // 在系统服务 fork 前调用
    void (*preServerSpecialize)(void* args);

    // 在系统服务 fork 后调用
    void (*postServerSpecialize)();
};
```

Zygisk 模块结构:

```
/data/adb/modules/lsposed/
├── module.prop
├── post-fs-data.sh
├── service.sh
└── zygisk/
    ├── arm64-v8a.so    # 64位模块
    ├── armeabi-v7a.so  # 32位模块
    └── unloaded        # 控制卸载行为的标记
```

Zygisk 模块开发:

```
// Zygisk 模块示例
#include <zygisk.hpp>

class MyModule : public zygisk::ModuleBase {
public:
    void onLoad(zygisk::Api* api, JNIEnv* env) override {
        this->api = api;
        this->env = env;
    }

    void preAppSpecialize(zygisk::AppSpecializeArgs* args) override {
        // 获取包名
        const char* process = env->GetStringUTFChars(args->nice_name, nullptr);

        // 判断是否需要 Hook
        if (strcmp(process, "com.target.app") == 0) {
            // 请求在 fork 后继续运行
            api->setOption(zygisk::DLCLOSE_MODULE_LIBRARY, false);
        }

        env->ReleaseStringUTFChars(args->nice_name, process);
    }

    void postAppSpecialize(const zygisk::AppSpecializeArgs* args) override {
        // fork 完成后，在目标 App 中执行 Hook
        initHooks();
    }

private:
    zygisk::Api* api;
    JNIEnv* env;
};

// 注册模块
REGISTER_ZYGISK_MODULE(MyModule)
```

2.5 LSPosed 现代标准 (2020-至今)

LSPosed 是目前最主流的 Xposed 实现，采用 Zygisk (或 Riru) 作为注入基础。

核心定位:

- Magisk 负责 Root 权限和文件系统修改
- Zygisk/Riru 负责 Zygote 注入

- LSPosed 负责 Java 方法 Hook

> 简单说：`Magisk` 帮你开了门，`LSPosed` 帮你进去改代码。

LSPosed 关键创新：

1. 按需注入 (Scope)：只注入勾选的目标 App
2. 随机包名：LSPosed Manager 使用随机包名避免检测
3. 寄生模式：可将管理器寄生到其他 App 中
4. Binder 通信：Manager 与 Core 通过 Binder 通信

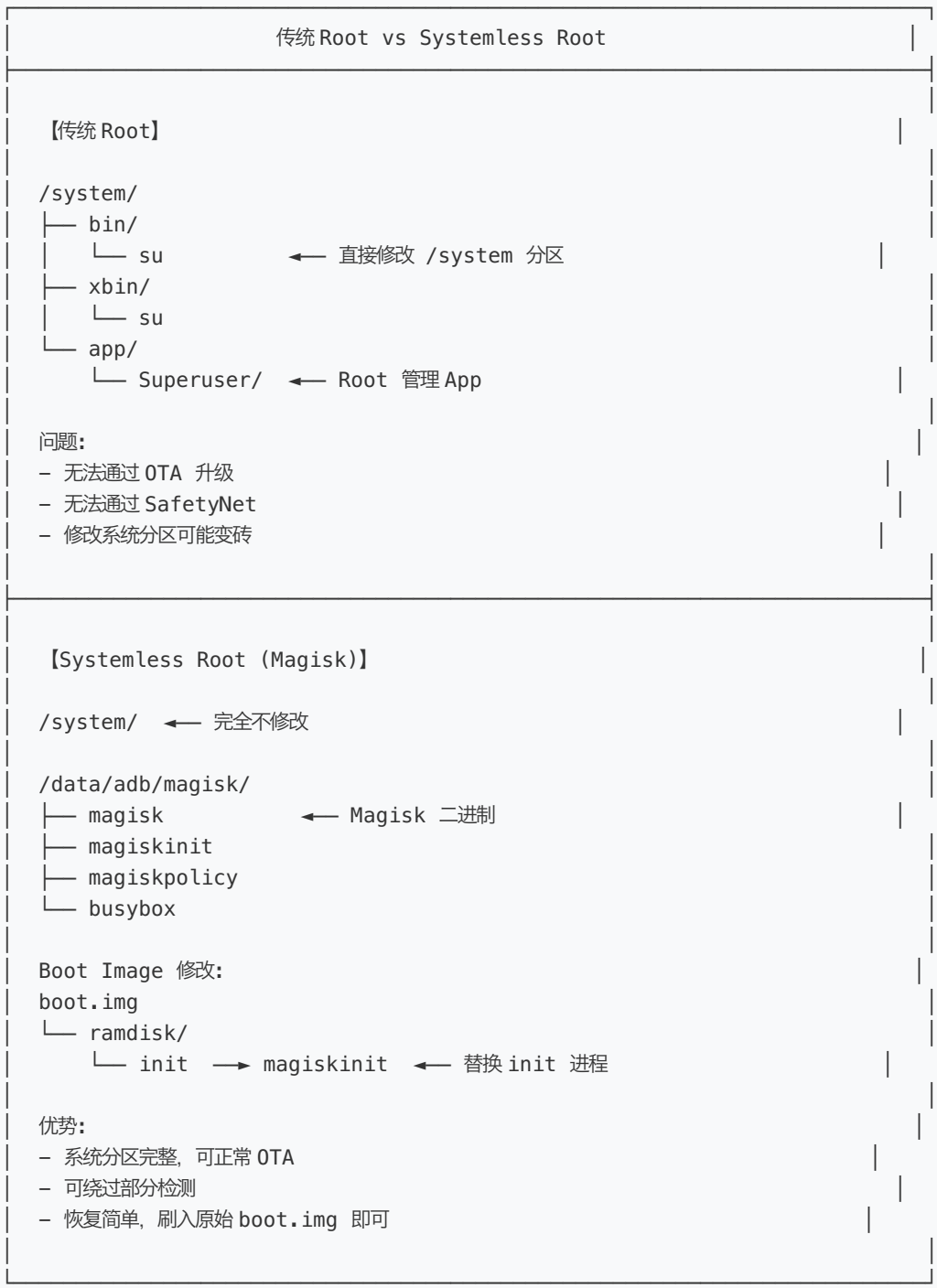
LSPosed 启动流程：

```
系统启动
    │
    ▼
Magisk 启动 ──► 加载 Zygisk/Riru
    │
    ▼
Zygisk 注入 Zygote ──► 加载 LSPosed Core
    │
    ▼
App 启动请求 (fork from Zygote)
    │
    ▼
LSPosed 检查：这个 App 在哪些模块的作用域中?
    │
    ├── 在 "微信防撤回" 作用域中 ──► 加载该模块
    │
    ├── 不在任何作用域中 ──► 不加载任何模块
    │
    ▼
App 正常运行 (仅加载必要模块)
```

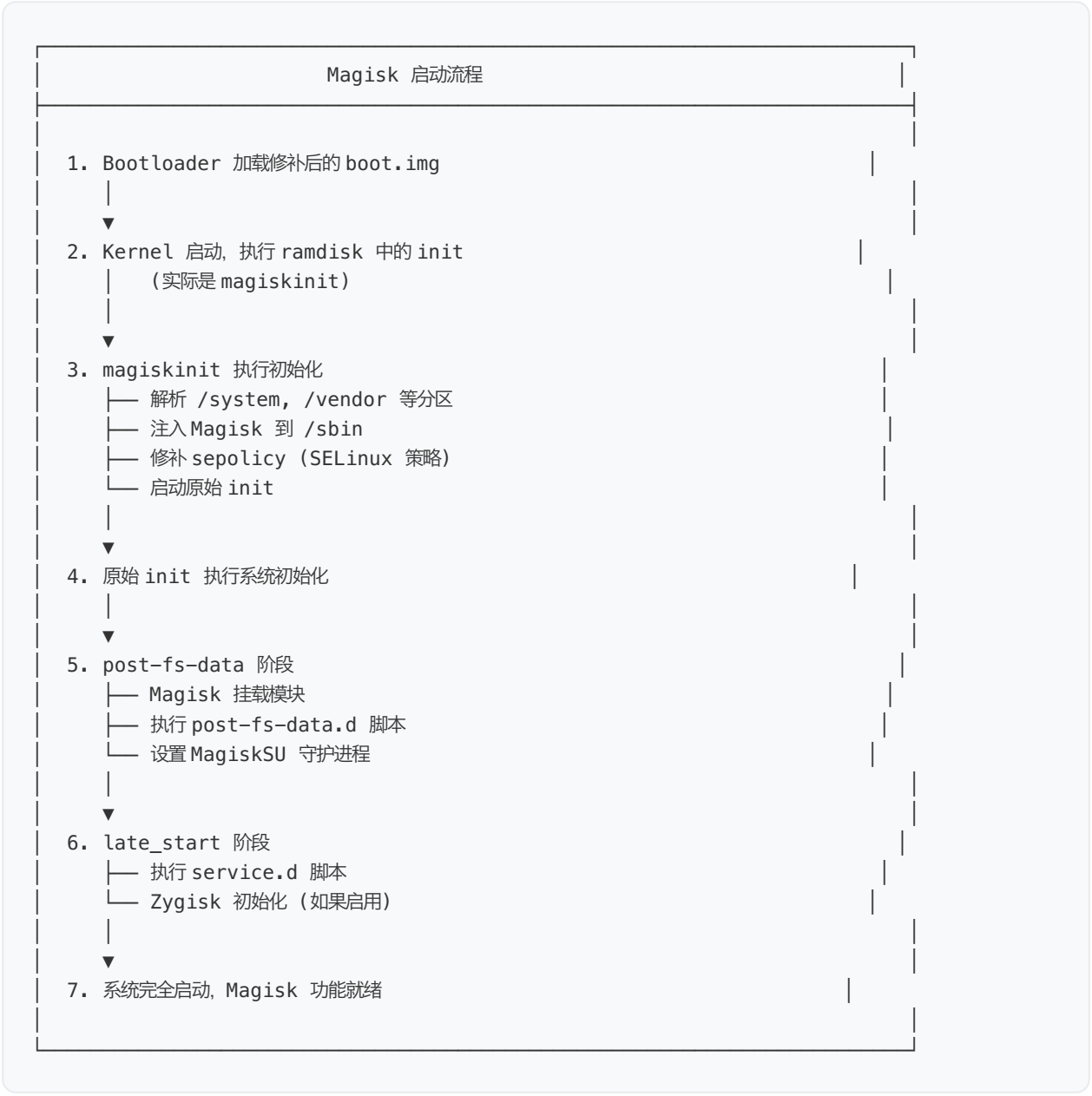
3. Magisk 原理详解

3.1 Systemless Root 概念

Magisk 的核心创新是 Systemless Root - 在不修改 `/system` 分区的情况下获取 Root 权限。



2.2 Magisk 启动流程



2.3 MagiskSU 实现原理

```
/**
 * MagiskSU 核心实现原理（简化版）
 *
 * Magisk 的 su 实现不是传统的 SUID 二进制，
 * 而是通过 Unix Domain Socket 与守护进程通信
 */

// ==================== su 客户端 ====================

/**
 * su_client.c - su 命令的客户端实现
 */

#include <sys/socket.h>
#include <sys/un.h>

#define MAGISK_SOCKET "/dev/socket/magisk"

// su 请求结构
struct su_request {
    int uid;            // 请求的 UID
    int login;          // 是否使用 login shell
    int keepenv;        // 是否保留环境变量
    char *shell;        // 指定 shell
    char *command;      // 要执行的命令
};

// su 响应
struct su_response {
    int allow;          // 是否允许
    int uid;            // 授权的 UID
    int gid;            // 授权的 GID
};

int su_client_main(int argc, char **argv) {
    // 1. 解析命令行参数
    struct su_request req = parse_args(argc, argv);

    // 2. 连接到 Magisk 守护进程
    int sockfd = socket(AF_UNIX, SOCK_STREAM, 0);

    struct sockaddr_un addr;
    addr.sun_family = AF_UNIX;
    strcpy(addr.sun_path, MAGISK_SOCKET);

    if (connect(sockfd, (struct sockaddr*)&addr, sizeof(addr)) < 0) {
        fprintf(stderr, "Cannot connect to Magisk daemon\n");
        return 1;
    }

    // 3. 发送 su 请求
    //    包含调用者 PID、UID、请求的权限等
```

```
    send_su_request(sockfd, &req);

    // 4. 等待守护进程响应
    struct su_response resp;
    recv_su_response(sockfd, &resp);

    if (!resp.allow) {
        fprintf(stderr, "Permission denied\n");
        return 1;
    }

    // 5. 守护进程通过 socket 传递 pts (伪终端)
    int pts_fd = recv_fd(sockfd);

    // 6. 使用新的 pts 执行 shell
    //    此时已经在守护进程创建的 Root 环境中
    dup2(pts_fd, STDIN_FILENO);
    dup2(pts_fd, STDOUT_FILENO);
    dup2(pts_fd, STDERR_FILENO);

    execvp(req.shell ?: "/system/bin/sh", argv);

    return 0;
}

// ==================== su 守护进程 ====================

/**
 * su_daemon.c - Magisk 守护进程中处理 su 请求
 */

void handle_su_request(int client_fd) {
    // 1. 接收客户端信息
    struct su_request req;
    recv_su_request(client_fd, &req);

    // 2. 获取调用者信息
    struct ucred cred;
    socklen_t len = sizeof(cred);
    getsockopt(client_fd, SOL_SOCKET, SO_PEERCRED, &cred, &len);

    int caller_uid = cred.uid;
    int caller_pid = cred.pid;

    // 3. 查找调用者的应用信息
    char *pkg_name = get_package_name(caller_uid);
    char *app_name = get_app_name(caller_pid);

    // 4. 检查数据库中的授权状态
    int policy = check_su_policy(pkg_name);

    struct su_response resp;
```

```
    switch (policy) {
        case POLICY_ALLOW:
            // 已授权，直接允许
            resp.allow = 1;
            break;

        case POLICY_DENY:
            // 已拒绝
            resp.allow = 0;
            break;

        case POLICY_QUERY:
        default:
            // 需要询问用户
            resp.allow = prompt_user_for_su(pkg_name, app_name, caller_uid);

            // 记录用户选择
            save_su_policy(pkg_name, resp.allow);
            break;
    }

    // 5. 发送响应
    send_su_response(client_fd, &resp);

    if (!resp.allow) {
        close(client_fd);
        return;
    }

    // 6. 创建 Root 环境
    //    fork 一个子进程，设置其权限

    int pts_master, pts_slave;
    openpty(&pts_master, &pts_slave, NULL, NULL, NULL);

    pid_t pid = fork();

    if (pid == 0) {
        // 子进程 - 将成为 Root shell

        close(pts_master);
        setsid();

        // 设置 UID/GID 为 root
        setuid(0);
        setgid(0);

        // 设置 SELinux context
        setcon("u:r:su:s0");

        // 设置环境变量
        setenv("HOME", "/data", 1);
        setenv("SHELL", "/system/bin/sh", 1);
```

```
        setenv("PATH", "/sbin:/system/bin:/system/xbin", 1);

        // 重定向 stdio 到 pts
        dup2(pts_slave, STDIN_FILENO);
        dup2(pts_slave, STDOUT_FILENO);
        dup2(pts_slave, STDERR_FILENO);

        // 执行 shell
        execlp("/system/bin/sh", "sh", NULL);

    } else {
        // 父进程 - 守护进程

        close(pts_slave);

        // 将 pts_master fd 发送给客户端
        send_fd(client_fd, pts_master);

        // 等待子进程结束
        waitpid(pid, NULL, 0);
    }
}
```

2.4 MagiskHide / DenyList 原理

```
/**
 * MagiskHide/DenyList 实现原理
 *
 * 目标: 对特定应用隐藏 Magisk 的存在
 */

// ==================== 进程隐藏 ====================

/**
 * hide_daemon.c - 隐藏守护进程
 */

#include <sys/ptrace.h>
#include <sys/mount.h>

// 需要隐藏的应用列表
struct hide_list {
    char *package_name;
    int uid;
};

// 监听 Zygote fork
void monitor_zygote() {
    // 使用 ptrace 或 inotify 监控 /proc/[zygote_pid]/task

    while (1) {
        // 检测新 fork 的进程
        pid_t new_pid = detect_new_fork();

        if (new_pid > 0) {
            // 获取进程信息
            char *cmdline = read_proc_cmdline(new_pid);
            int uid = get_process_uid(new_pid);

            // 检查是否在隐藏列表中
            if (should_hide(cmdline, uid)) {
                // 对该进程执行隐藏操作
                do_hide_process(new_pid);
            }
        }
    }
}

/**
 * 对目标进程执行隐藏
 */
void do_hide_process(pid_t pid) {
    // 1. 等待进程完成初始化
    //    使用 ptrace 或等待特定事件
    wait_for_process_init(pid);

    // 2. 卸载 Magisk 挂载的文件系统
```

```
    //    在目标进程的 mount namespace 中操作

    char ns_path[64];
    snprintf(ns_path, sizeof(ns_path), "/proc/%d/ns/mnt", pid);

    int ns_fd = open(ns_path, O_RDONLY);
    setns(ns_fd, CLONE_NEWNS);

    // 卸载 Magisk 模块挂载点
    unmount_magisk_mounts();

    // 3. 清理 /proc 中的痕迹
    //    (这部分比较复杂，需要内核支持)

    // 4. 恢复原始的系统属性
    //    某些属性会暴露 Root 状态

    // 5. 让进程继续执行
    ptrace(PTRACE_DETACH, pid, NULL, NULL);
}

/**
 * 卸载 Magisk 挂载点
 */
void unmount_magisk_mounts() {
    // 读取 /proc/self/mounts
    FILE *fp = fopen("/proc/self/mounts", "r");

    char line[1024];
    while (fgets(line, sizeof(line), fp)) {
        // 查找 Magisk 相关挂载
        if (strstr(line, "magisk") ||
            strstr(line, "/sbin/.magisk") ||
            strstr(line, "/data/adb")) {

            // 提取挂载点
            char *mountpoint = parse_mountpoint(line);

            // 卸载
            umount2(mountpoint, MNT_DETACH);
        }
    }

    fclose(fp);

    // 卸载模块的 overlay 挂载
    unmount_module_overlays();
}

// ==================== Zygisk 实现 ====================

/**
 * Zygisk - Magisk 在 Zygote 中的代码注入
```

```
 *
 * Zygisk 允许模块在 App 进程启动前注入代码,
 * 是 LSPosed 等框架的基础
 */

// zygisk_loader.cpp

#include <android/dlext.h>

/**
 * Zygote 进程启动时的钩子
 * 通过修改 LD_PRELOAD 实现
 */
__attribute__((constructor))
void zygisk_init() {
    // 检测当前是否是 Zygote 进程
    if (!is_zygote_process()) {
        return;
    }

    // Hook Zygote 的关键函数
    hook_zygote_functions();

    // 加载 Zygisk 模块
    load_zygisk_modules();
}

/**
 * Hook app_process 中的 fork 函数
 */
void hook_zygote_functions() {
    // 使用 PLT Hook 或 inline hook

    // Hook nativeForkAndSpecialize
    // 这是 Zygote fork 新应用进程的入口
    void *art_handle = dlopen("libart.so", RTLD_NOW);

    void *original_fork = dlsym(art_handle, "_ZN3art..."
        "nativeForkAndSpecializeEi...");

    // 替换为我们的函数
    hook_function(original_fork, my_fork_and_specialize);
}

/**
 * 我们的 fork 处理函数
 */
int my_fork_and_specialize(
    JNIEnv *env,
    jclass clazz,
    jint uid,
    jint gid,
    jintArray gids,
```

```
    jint runtime_flags,
    jobjectArray rlimits,
    jint mount_external,
    jstring se_info,
    jstring nice_name,  // 包名
    jintArray fds_to_close,
    jintArray fds_to_ignore,
    jboolean is_child_zygote,
    jstring instruction_set,
    jstring app_data_dir,
    jboolean is_top_app
) {
    // 获取包名
    const char *pkg_name = env->GetStringUTFChars(nice_name, NULL);

    // 检查是否需要对这个 App 执行操作
    bool should_hook = check_module_target(pkg_name);
    bool should_hide = check_hide_list(pkg_name);

    // 调用原始 fork
    int pid = original_fork_and_specialize(
        env, clazz, uid, gid, gids, runtime_flags,
        rlimits, mount_external, se_info, nice_name,
        fds_to_close, fds_to_ignore, is_child_zygote,
        instruction_set, app_data_dir, is_top_app
    );

    if (pid == 0) {
        // 子进程 (新 App)

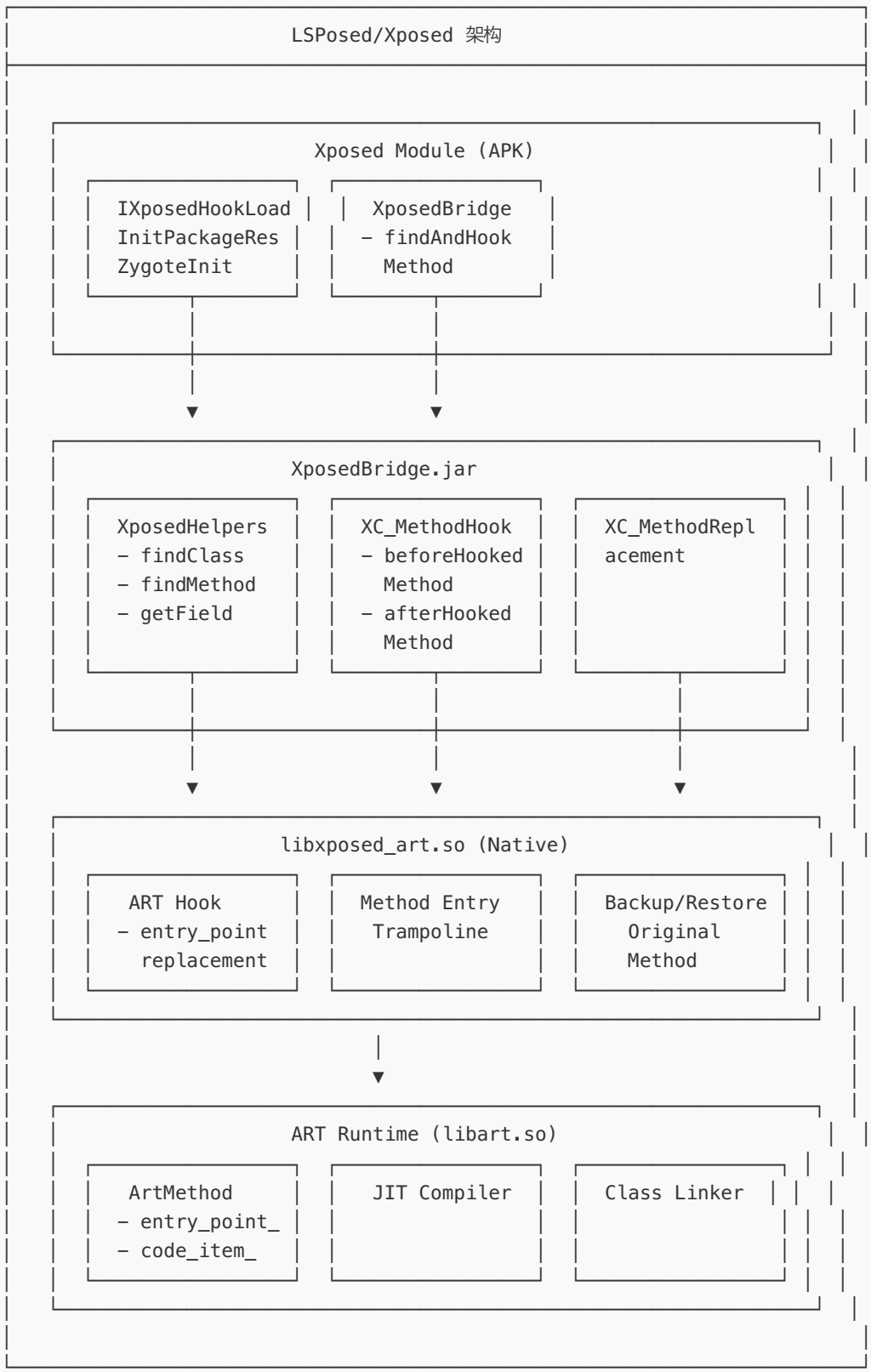
        if (should_hide) {
            // 在子进程中执行隐藏
            do_unmount_in_child();
        }

        if (should_hook) {
            // 通知模块进行 Hook
            notify_modules_app_forked(pkg_name, uid);
        }
    }

    env->ReleaseStringUTFChars(nice_name, pkg_name);
    return pid;
}
```

3. LSPosed / Xposed 原理详解

3.1 Xposed 框架架构


LSPosed/Xposed 架构
Xposed Module (APK)
IXposedHookLoad
InitPackageRes
ZygoteInit
XposedBridge
- findAndHook
Method
XposedBridge.jar
XposedHelpers
- findClass
- findMethod
- getField
XC_MethodHook
- beforeHooked
Method
- afterHooked
Method
XC_MethodRepl
acement
libxposed_art.so (Native)
ART Hook
- entry_point
replacement
Method Entry
Trampoline
Backup/Restore
Original
Method
ART Runtime (libart.so)
ArtMethod
- entry_point_
- code_item_
JIT Compiler
Class Linker

3.2 ART Hook 核心实现

```
/**
 * LSPosed ART Hook 实现原理
 *
 * 核心思想: 修改 ArtMethod 的 entry_point_from_quick_compiled_code_
 * 使方法调用跳转到我们的 trampoline 代码
 */

// ==================== ArtMethod 结构 ====================

/**
 * ART 虚拟机中的方法表示
 * (简化版, 实际结构更复杂)
 */
struct ArtMethod {
    // GC 相关
    uint32_t gc_root_;

    // 声明此方法的类
    uint32_t declaring_class_;

    // 访问标志 (public, private, static 等)
    uint32_t access_flags_;

    // 方法在 DEX 文件中的索引
    uint32_t dex_method_index_;

    // 方法在 vtable 中的索引
    uint16_t method_index_;

    // 热度计数 (用于 JIT)
    uint16_t hotness_count_;

    // ========== 关键字段 ==========

    // 解释执行时使用的 DEX 字节码指针
    void *dex_code_item_offset_;

    // 快速编译代码的入口点
    // 这是 Hook 的核心目标!
    void *entry_point_from_quick_compiled_code_;

    // JNI 入口点 (native 方法)
    void *entry_point_from_jni_;
};

// ==================== Hook 实现 ====================

/**
 * art_hook.cpp - ART 方法 Hook
 */

#include <sys/mman.h>
```

```
// Trampoline 代码 (ARM64 示例)
// 这段代码会在被 Hook 的方法调用时执行
const uint8_t trampoline_template[] = {
    // 保存寄存器
    0xFD, 0x7B, 0xBF, 0xA9,  // stp x29, x30, [sp, #-16]!

    // 加载 hook_info 地址到 x16
    0x50, 0x00, 0x00, 0x58,  // ldr x16, #8

    // 跳转到 hook_handler
    0x00, 0x02, 0x1F, 0xD6,  // br x16

    // hook_info 地址 (占位符, 运行时填充)
    0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
};

/**
 * Hook 信息结构
 */
struct HookInfo {
    void *original_entry;      // 原始入口点
    void *hook_handler;        // Hook 处理函数
    void *backup_method;       // 备份的原方法
    void *callback_before;     // before 回调
    void *callback_after;      // after 回调
    void *additional_info;     // 额外信息
};

/**
 * Hook 一个 Java 方法
 */
bool hook_method(
    JNIEnv *env,
    jclass clazz,
    const char *method_name,
    const char *method_sig,
    void *before_callback,
    void *after_callback
) {
    // 1. 获取 ArtMethod 指针
    jmethodID method_id = env->GetMethodID(clazz, method_name, method_sig);
    ArtMethod *art_method = (ArtMethod *)method_id;

    // 2. 备份原始方法
    //    创建一个新的 ArtMethod 作为备份
    ArtMethod *backup = create_backup_method(art_method);

    // 3. 分配 trampoline 代码内存
    //    需要可执行权限
    void *trampoline = mmap(
        NULL,
        PAGE_SIZE,
```

```
        PROT_READ | PROT_WRITE | PROT_EXEC,
        MAP_PRIVATE | MAP_ANONYMOUS,
        -1,
        0
    );

    // 4. 创建 HookInfo
    HookInfo *hook_info = new HookInfo();
    hook_info->original_entry = art_method->entry_point_from_quick_compiled_code_;
    hook_info->hook_handler = &hook_bridge;
    hook_info->backup_method = backup;
    hook_info->callback_before = before_callback;
    hook_info->callback_after = after_callback;

    // 5. 填充 trampoline 代码
    memcpy(trampoline, trampoline_template, sizeof(trampoline_template));

    // 将 hook_info 地址写入 trampoline
    *(void **)((uint8_t *)trampoline + 16) = hook_info;

    // 6. 修改原方法的入口点
    //    指向我们的 trampoline
    art_method->entry_point_from_quick_compiled_code_ = trampoline;

    // 7. 清除可能存在的 JIT 编译缓存
    invalidate_jit_code(art_method);

    return true;
}

/**
 * Hook 桥接函数
 * 当被 Hook 的方法被调用时，这个函数会被执行
 */
extern "C" void hook_bridge(HookInfo *info, ...) {
    // 1. 获取调用参数
    //    参数通过寄存器和栈传递
    va_list args;
    va_start(args, info);

    // 2. 调用 before 回调
    if (info->callback_before) {
        ((BeforeCallback)info->callback_before)(info, args);
    }

    // 3. 调用原始方法
    //    通过备份的 ArtMethod
    void *result = call_original_method(info->backup_method, args);

    // 4. 调用 after 回调
    if (info->callback_after) {
        result = ((AfterCallback)info->callback_after)(info, args, result);
    }
```

```
    va_end(args);

    // 5. 返回结果
    return result;
}

/**
 * 调用原始方法
 */
void *call_original_method(ArtMethod *backup, va_list args) {
    // 使用备份的 ArtMethod 调用原方法

    // 获取原始入口点
    void *entry = backup->entry_point_from_quick_compiled_code_;

    // 通过函数指针调用
    // 实际实现需要处理各种调用约定
    typedef void *(*MethodEntry)(ArtMethod *, ...);
    return ((MethodEntry)entry)(backup, args);
}
```

3.3 XposedBridge Java 层实现

```
/**
 * XposedBridge.java - Xposed 框架的 Java 层核心
 */
public final class XposedBridge {

    private static final String TAG = "XposedBridge";

    // 存储所有已注册的 Hook
    private static final ConcurrentHashMap<Member, TreeSet<XC_MethodHook>>
            sHookedMethodCallbacks = new ConcurrentHashMap<>();

    /**
     * Hook 一个方法
     *
     * @param hookMethod 要 Hook 的方法
     * @param callback   Hook 回调
     * @return 用于取消 Hook 的 unhook 对象
     */
    public static XC_MethodHook.Unhook hookMethod(
            Member hookMethod,
            XC_MethodHook callback
    ) {
        if (!(hookMethod instanceof Method) && !(hookMethod instanceof Constructor)) {
            throw new IllegalArgumentException("Only methods and constructors can be
hooked");
        }

        // 获取或创建该方法的回调集合
        TreeSet<XC_MethodHook> callbacks = sHookedMethodCallbacks.get(hookMethod);
        if (callbacks == null) {
            callbacks = new TreeSet<>();
            sHookedMethodCallbacks.put(hookMethod, callbacks);

            // 第一次 Hook 这个方法，进行 native Hook
            hookMethodNative(hookMethod);
        }

        // 添加回调
        callbacks.add(callback);

        return callback.new Unhook(hookMethod);
    }

    /**
     * Native Hook 方法
     * 由 libxposed_art.so 实现
     */
    private static native void hookMethodNative(Member method);

    /**
     * 当被 Hook 的方法被调用时，由 native 层调用此方法
     */
```

```
    private static Object handleHookedMethod(
            Member method,
            Object thisObject,
            Object[] args
    ) throws Throwable {

        // 获取该方法的所有回调
        TreeSet<XC_MethodHook> callbacks = sHookedMethodCallbacks.get(method);
        if (callbacks == null || callbacks.isEmpty()) {
            // 没有回调，直接调用原方法
            return invokeOriginalMethod(method, thisObject, args);
        }

        // 创建方法调用参数封装
        XC_MethodHook.MethodHookParam param = new XC_MethodHook.MethodHookParam();
        param.method = method;
        param.thisObject = thisObject;
        param.args = args;

        // ========== 调用 beforeHookedMethod ==========
        for (XC_MethodHook callback : callbacks) {
            try {
                callback.beforeHookedMethod(param);
            } catch (Throwable t) {
                XposedBridge.log(t);
            }

            // 如果回调设置了返回值，跳过后续处理
            if (param.returnEarly) {
                return param.getResult();
            }
        }

        // ========== 调用原始方法 ==========
        try {
            param.setResult(invokeOriginalMethod(method, param.thisObject,
param.args));
        } catch (Throwable t) {
            param.setThrowable(t);
        }

        // ========== 调用 afterHookedMethod ==========
        // 注意：逆序调用
        for (XC_MethodHook callback : callbacks.descendingSet()) {
            try {
                callback.afterHookedMethod(param);
            } catch (Throwable t) {
                XposedBridge.log(t);
            }
        }

        // 返回结果或抛出异常
        if (param.hasThrowable()) {
```

```
            throw param.getThrowable();
        }
        return param.getResult();
    }

    /**
     * 调用原始方法
     * 由 native 层实现
     */
    private static native Object invokeOriginalMethod(
            Member method,
            Object thisObject,
            Object[] args
    ) throws Throwable;
}

/**
 * XC_MethodHook.java - 方法 Hook 回调基类
 */
public abstract class XC_MethodHook implements Comparable<XC_MethodHook> {

    // Hook 优先级
    public final int priority;

    public XC_MethodHook() {
        this.priority = PRIORITY_DEFAULT;
    }

    public XC_MethodHook(int priority) {
        this.priority = priority;
    }

    /**
     * 方法调用前的回调
     */
    protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
        // 默认空实现
    }

    /**
     * 方法调用后的回调
     */
    protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws Throwable {
        // 默认空实现
    }

    /**
     * 方法调用参数封装
     */
    public static class MethodHookParam {
        public Member method;
        public Object thisObject;
        public Object[] args;
```

```
        private Object result;
        private Throwable throwable;
        boolean returnEarly = false;

        public Object getResult() {
            return result;
        }

        public void setResult(Object result) {
            this.result = result;
            this.throwable = null;
            this.returnEarly = true;
        }

        public Throwable getThrowable() {
            return throwable;
        }

        public void setThrowable(Throwable throwable) {
            this.throwable = throwable;
            this.result = null;
            this.returnEarly = true;
        }

        public boolean hasThrowable() {
            return throwable != null;
        }

        public Object getResultOrThrowable() throws Throwable {
            if (throwable != null) throw throwable;
            return result;
        }
    }

    /**
     * 取消 Hook 的辅助类
     */
    public class Unhook {
        private final Member hookMethod;

        public Unhook(Member hookMethod) {
            this.hookMethod = hookMethod;
        }

        public void unhook() {
            TreeSet<XC_MethodHook> callbacks = sHookedMethodCallbacks.get(hookMethod);
            if (callbacks != null) {
                callbacks.remove(XC_MethodHook.this);
            }
        }
    }
```

```
    @Override
    public int compareTo(XC_MethodHook other) {
        // 按优先级排序
        return Integer.compare(this.priority, other.priority);
    }

    // 优先级常量
    public static final int PRIORITY_DEFAULT = 50;
    public static final int PRIORITY_LOWEST = -10000;
    public static final int PRIORITY_HIGHEST = 10000;
}

/**
 * XposedHelpers.java - 常用辅助方法
 */
public class XposedHelpers {

    /**
     * 查找并 Hook 方法
     */
    public static XC_MethodHook.Unhook findAndHookMethod(
            String className,
            ClassLoader classLoader,
            String methodName,
            Object... parameterTypesAndCallback
    ) {
        // 解析参数
        int paramCount = parameterTypesAndCallback.length - 1;
        Class<?>[] parameterTypes = new Class<?>[paramCount];
        for (int i = 0; i < paramCount; i++) {
            Object param = parameterTypesAndCallback[i];
            if (param instanceof Class) {
                parameterTypes[i] = (Class<?>) param;
            } else if (param instanceof String) {
                parameterTypes[i] = findClass((String) param, classLoader);
            }
        }

        XC_MethodHook callback = (XC_MethodHook)
parameterTypesAndCallback[paramCount];

        // 查找类
        Class<?> clazz = findClass(className, classLoader);

        // 查找方法
        Method method = findMethodExact(clazz, methodName, parameterTypes);

        // Hook
        return XposedBridge.hookMethod(method, callback);
    }

    /**
     * 查找类
```

```
     */
    public static Class<?> findClass(String className, ClassLoader classLoader) {
        try {
            return classLoader.loadClass(className);
        } catch (ClassNotFoundException e) {
            throw new XposedHelpers.ClassNotFoundError(e);
        }
    }

    /**
     * 查找方法
     */
    public static Method findMethodExact(
            Class<?> clazz,
            String methodName,
            Class<?>... parameterTypes
    ) {
        try {
            Method method = clazz.getDeclaredMethod(methodName, parameterTypes);
            method.setAccessible(true);
            return method;
        } catch (NoSuchMethodException e) {
            throw new XposedHelpers.MethodNotFoundError(e);
        }
    }

    /**
     * 获取对象字段值
     */
    public static Object getObjectField(Object obj, String fieldName) {
        try {
            Field field = findField(obj.getClass(), fieldName);
            return field.get(obj);
        } catch (IllegalAccessException e) {
            throw new IllegalAccessError(e.getMessage());
        }
    }

    /**
     * 设置对象字段值
     */
    public static void setObjectField(Object obj, String fieldName, Object value) {
        try {
            Field field = findField(obj.getClass(), fieldName);
            field.set(obj, value);
        } catch (IllegalAccessException e) {
            throw new IllegalAccessError(e.getMessage());
        }
    }

    /**
     * 调用方法
     */
```

```
    public static Object callMethod(Object obj, String methodName, Object... args) {
        try {
            // 根据参数类型查找方法
            Class<?>[] paramTypes = new Class<?>[args.length];
            for (int i = 0; i < args.length; i++) {
                paramTypes[i] = args[i].getClass();
            }

            Method method = findMethodBestMatch(obj.getClass(), methodName,
paramTypes);
            return method.invoke(obj, args);
        } catch (Exception e) {
            throw new RuntimeException(e);
        }
    }
}
```

3.4 Xposed 模块示例

```
/**
 * 一个完整的 Xposed 模块示例
 * 功能：Hook 微信发送消息，记录聊天内容
 */
package com.example.xposed.wechat;

import de.robv.android.xposed.IXposedHookLoadPackage;
import de.robv.android.xposed.XC_MethodHook;
import de.robv.android.xposed.XposedBridge;
import de.robv.android.xposed.XposedHelpers;
import de.robv.android.xposed.callbacks.XC_LoadPackage;

public class WeChatHook implements IXposedHookLoadPackage {

    private static final String TAG = "WeChatHook";
    private static final String WECHAT_PACKAGE = "com.tencent.mm";

    @Override
    public void handleLoadPackage(XC_LoadPackage.LoadPackageParam lpparam) throws
Throwable {
        // 只处理微信
        if (!lpparam.packageName.equals(WECHAT_PACKAGE)) {
            return;
        }

        XposedBridge.log(TAG + ": Hooking WeChat");

        // Hook 发送消息的方法
        hookSendMessage(lpparam.classLoader);

        // Hook 接收消息的方法
        hookReceiveMessage(lpparam.classLoader);

        // Hook 登录流程
        hookLogin(lpparam.classLoader);
    }

    /**
     * Hook 发送消息
     */
    private void hookSendMessage(ClassLoader classLoader) {
        try {
            // 查找消息管理类
            // 注意：实际类名可能被混淆，需要分析
            Class<?> msgManagerClass = XposedHelpers.findClass(
                    "com.tencent.mm.modelmulti.MMSessionProcessor",
                    classLoader
            );

            // Hook sendMessage 方法
            XposedHelpers.findAndHookMethod(
                    msgManagerClass,
```

```
                    "sendMessage",
                    String.class,  // 接收者
                    String.class,  // 消息内容
                    int.class,     // 消息类型
                    new XC_MethodHook() {
                        @Override
                        protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param)
throws Throwable {
                            String receiver = (String) param.args[0];
                            String content = (String) param.args[1];
                            int msgType = (int) param.args[2];

                            XposedBridge.log(TAG + ": Sending message");
                            XposedBridge.log(TAG + ":   To: " + receiver);
                            XposedBridge.log(TAG + ":   Content: " + content);
                            XposedBridge.log(TAG + ":   Type: " + msgType);

                            // 可以在这里修改消息内容
                            // param.args[1] = content + " [Modified]";

                            // 或者阻止发送
                            // param.setResult(null);
                        }

                        @Override
                        protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                            // 消息发送后的处理
                            Object result = param.getResult();
                            XposedBridge.log(TAG + ": Message sent, result: " +
result);
                        }
                    }
            );

            XposedBridge.log(TAG + ": sendMessage hooked");

        } catch (Throwable t) {
            XposedBridge.log(TAG + ": Failed to hook sendMessage");
            XposedBridge.log(t);
        }
    }

    /**
     * Hook 接收消息
     */
    private void hookReceiveMessage(ClassLoader classLoader) {
        try {
            // Hook 消息数据库插入
            Class<?> sqliteClass = XposedHelpers.findClass(
                    "com.tencent.mm.storage.SqliteDB",
                    classLoader
            );
```

```
            XposedHelpers.findAndHookMethod(
                    sqliteClass,
                    "insert",
                    String.class,  // 表名
                    String.class,  // nullColumnHack
                    "android.content.ContentValues",
                    new XC_MethodHook() {
                        @Override
                        protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param)
throws Throwable {
                            String tableName = (String) param.args[0];

                            // 只关心消息表
                            if (!"message".equals(tableName)) {
                                return;
                            }

                            Object contentValues = param.args[2];

                            // 提取消息内容
                            String content = (String) XposedHelpers.callMethod(
                                    contentValues, "getAsString", "content"
                            );
                            String talker = (String) XposedHelpers.callMethod(
                                    contentValues, "getAsString", "talker"
                            );

                            XposedBridge.log(TAG + ": Received message");
                            XposedBridge.log(TAG + ":   From: " + talker);
                            XposedBridge.log(TAG + ":   Content: " + content);
                        }
                    }
            );

            XposedBridge.log(TAG + ": receiveMessage hooked");

        } catch (Throwable t) {
            XposedBridge.log(TAG + ": Failed to hook receiveMessage");
            XposedBridge.log(t);
        }
    }

    /**
     * Hook 登录流程
     */
    private void hookLogin(ClassLoader classLoader) {
        try {
            // Hook 网络请求类
            Class<?> networkClass = XposedHelpers.findClass(
                    "com.tencent.mm.network.MMHttpClient",
                    classLoader
            );
```

```
            XposedHelpers.findAndHookMethod(
                    networkClass,
                    "execute",
                    "com.tencent.mm.network.MMHttpRequest",
                    new XC_MethodHook() {
                        @Override
                        protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param)
throws Throwable {
                            Object request = param.args[0];

                            // 获取请求 URL
                            String url = (String)
XposedHelpers.getObjectField(request, "url");

                            // 获取请求体
                            byte[] body = (byte[])
XposedHelpers.getObjectField(request, "body");

                            XposedBridge.log(TAG + ": HTTP Request");
                            XposedBridge.log(TAG + ":   URL: " + url);
                            if (body != null) {
                                XposedBridge.log(TAG + ":   Body length: " +
body.length);
                            }
                        }

                        @Override
                        protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                            Object response = param.getResult();

                            if (response != null) {
                                int statusCode = (int) XposedHelpers.getObjectField(
                                        response, "statusCode"
                                );
                                XposedBridge.log(TAG + ": HTTP Response: " +
statusCode);
                            }
                        }
                    }
            );

            XposedBridge.log(TAG + ": network hooked");

        } catch (Throwable t) {
            XposedBridge.log(TAG + ": Failed to hook network");
            XposedBridge.log(t);
        }
    }
}
```

4. LSPosed 与原版 Xposed 的区别

4.1 架构对比

特性	原版 Xposed	LSPosed
Root 方式	修改 /system	基于 Magisk (Systemless)
注入方式	替换 app_process	Zygisk 模块
作用范围	全局	可选择性启用
检测规避	无	支持白名单模式
Android 支持	最高 8.x	8.0 - 14+
维护状态	停止更新	活跃开发

4.2 LSPosed 作用域控制

```
/**
 * LSPosed 允许为每个模块指定作用域
 * 只有在作用域内的 App 才会被 Hook
 */

// LSPosed Manager 中的配置存储
// /data/adb/lspd/config/<module_package>/scope.list

// 作用域列表格式:
// com.tencent.mm       # 微信
// com.tencent.mobileqq # QQ
// system               # 系统框架

/**
 * LSPosed 加载模块时会检查作用域
 */
public class ModuleLoader {

    public boolean shouldLoadModule(String modulePkg, String targetPkg) {
        // 读取作用域配置
        Set<String> scope = readModuleScope(modulePkg);

        // 检查目标 App 是否在作用域内
        return scope.contains(targetPkg) || scope.contains("*");
    }

    private Set<String> readModuleScope(String modulePkg) {
        File scopeFile = new File(
                "/data/adb/lspd/config/" + modulePkg + "/scope.list"
        );

        Set<String> scope = new HashSet<>();
        try (BufferedReader reader = new BufferedReader(new FileReader(scopeFile))) {
            String line;
            while ((line = reader.readLine()) != null) {
                line = line.trim();
                if (!line.isEmpty() && !line.startsWith("#")) {
                    scope.add(line);
                }
            }
        } catch (IOException e) {
            // 默认空作用域
        }

        return scope;
    }
}
```

5.3 按需注入机制

老版 Xposed 的致命缺点是全局注入：安装一个微信模块，Xposed 会把这个模块强行塞进系统里每一个进程（包括支付宝、系统设置、计算器）。

问题后果：

- 系统变慢、耗电
- 极易崩溃（不兼容就崩）
- 检测点多，容易被发现

LSPosed 的革新 - 按需注入：

```
/**
 * LSPosed 按需注入实现
 *
 * 流程:
 * 1. 新 App 启动 (从 Zygote fork)
 * 2. LSPosed 桩代码检查: 这个 App 是谁?
 * 3. 查询配置: 哪些模块勾选了这个 App?
 * 4. 只加载相关模块
 */
public class LSPosedModuleManager {

    // 模块作用域配置
    // /data/adb/lspd/config/<module>/scope.list
    private Map<String, Set<String>> moduleScopes = new HashMap<>();

    /**
     * 当 App fork 后调用
     */
    public void onAppForked(String packageName, int uid) {
        // 遍历所有已启用的模块
        for (ModuleInfo module : getEnabledModules()) {
            // 检查该 App 是否在模块作用域中
            if (isInScope(module.packageName, packageName)) {
                // 加载该模块
                loadModule(module, packageName);
                Log.d("LSPosed", "Loaded " + module.name + " for " + packageName);
            }
        }
    }

    private boolean isInScope(String modulePkg, String targetPkg) {
        Set<String> scope = moduleScopes.get(modulePkg);
        if (scope == null) return false;

        // 检查是否在作用域中
        // 支持通配符 "*" 表示全局
        return scope.contains(targetPkg) ||
               scope.contains("*") ||
               (targetPkg.equals("system") && scope.contains("system"));
    }
}
```

优势对比:

特性	原版 Xposed	LSPosed
注入范围	所有进程	仅勾选的 App
系统性能	明显下降	几乎无影响
稳定性	容易崩溃	稳定
检测难度	容易检测	更难检测

5.4 Binder 跨进程通信

LSPosed 分为两部分：

1. LSPosed Manager：用户看到的管理 App，负责配置模块
2. LSPosed Core：寄生在 Zygote 和各个 App 里的核心代码

由于它们在不同的进程，LSPosed 高度依赖 Android 的 Binder 机制进行通讯。

```
/**
 * LSPosed Binder 通信架构
 */

// ==================== LSPosed Manager 侧 ====================

/**
 * Manager App 通过 Binder 与 Core 通信
 */
public class LSPosedManagerService extends ILSPosedManager.Stub {

    /**
     * 获取模块列表
     */
    @Override
    public List<ModuleInfo> getModuleList() {
        // 通过 Binder 调用 Core 的服务
        return getRemoteService().getModuleList();
    }

    /**
     * 更新模块作用域
     */
    @Override
    public void updateModuleScope(String modulePkg, List<String> scope) {
        // 写入配置
        writeScope(modulePkg, scope);

        // 通知 Core 重新加载配置
        getRemoteService().reloadConfig();
    }

    /**
     * 启用/禁用模块
     */
    @Override
    public void setModuleEnabled(String modulePkg, boolean enabled) {
        // 更新模块状态
        updateModuleStatus(modulePkg, enabled);

        // 重启相关 App 才能生效
        // (或等待下次 App 启动)
    }
}

// ==================== LSPosed Core 侧 ====================

/**
 * Core 运行在 system_server 中
 * 通过隐藏的 Binder 服务与 Manager 通信
 */
public class LSPosedService extends ILSPosedService.Stub {
```

```
    /**
     * 获取激活的模块列表
     */
    @Override
    public List<ModuleInfo> getActiveModules(String targetPackage) {
        List<ModuleInfo> result = new ArrayList<>();

        for (ModuleInfo module : allModules) {
            if (module.enabled && isInScope(module, targetPackage)) {
                result.add(module);
            }
        }

        return result;
    }

    /**
     * 重新加载配置
     * Manager 修改配置后调用
     */
    @Override
    public void reloadConfig() {
        // 重新读取配置文件
        loadModuleConfigs();

        // 通知正在运行的 Hook 更新
        notifyConfigChanged();
    }
}
```

Binder 服务发现：

```
// LSPosed 使用隐藏的方式注册 Binder 服务
// 避免被其他 App 发现

// 1. Core 在 system_server 中注册服务
ServiceManager.addService("org.lsposed.daemon", mService, true,
DUMP_FLAG_PRIORITY_NORMAL);

// 2. Manager 通过特殊方式获取服务
// 而不是普通的 ServiceManager.getService()
IBinder binder = new ShizukuBinderProxy().getService("org.lsposed.daemon");
```

6. Hook 技术选型对比

在 Android 逆向中，常用的 Hook 技术有三类：LSPosed (Xposed)、Frida、Inline Hook 框架。以下是详细对比和选型建议。

6.1 技术对比

维度	LSPosed/Xposed	Frida	Inline Hook 框架
Hook 层级	Java 方法	Java + Native	Native 函数
注入时机	App 启动时	运行时动态注入	编译时 / 运行时
持久性	永久生效	临时 (进程重启失效)	取决于实现
开发语言	Java/Kotlin	JavaScript/Python	C/C++
上手难度	简单	中等	较难
Root 需求	需要 (Magisk)	需要	取决于实现
检测难度	中等	较易检测	较难检测
适用场景	长期使用的功能模块	快速分析、动态调试	高性能、低侵入 Hook

6.2 详细对比

LSPosed/Xposed 模块

优势:

- 开发简单，Java API 友好
- 持久生效，重启后仍有效
- 社区生态丰富，模块众多
- 与 Magisk 生态集成良好

劣势：

- 只能 Hook Java 层方法
- 需要编译 APK，迭代较慢
- 修改后需要重启 App

适用场景：

✅ 微信防撤回、去广告等长期使用的功能
✅ 系统级功能修改
✅ 发布给其他用户使用的模块
✅ 不需要频繁修改的稳定 Hook

Frida

优势：

- 动态注入，即时生效
- 支持 Java + Native 层
- 脚本语言开发，迭代极快
- 强大的内存操作能力
- 适合快速分析和调试

劣势：

- 进程重启后需要重新注入
- 容易被检测 (frida-server 特征明显)
- 性能开销较大
- 部署需要 frida-server

适用场景：

✅ 逆向分析、快速验证想法
✅ 动态调试、参数监控
✅ 加密算法分析、数据抓取
✅ 一次性的分析任务

Inline Hook 框架 (Dobby/ShadowHook/bhook)

优势:

- 高性能，开销极小
- 难以检测 (无明显特征)
- 支持 Hook 任意函数地址
- 可嵌入目标 App 中

劣势:

- 开发难度大，需要 C/C++
- 调试困难
- 需要处理 ABI、指令集等细节

适用场景:

✅ 风控 SDK 开发
✅ 高性能监控
✅ 需要隐蔽的 Hook
✅ 嵌入式 Hook （集成到 App 中）

6.3 选型决策流程

```
你的需求是什么?
    │
    ├── 快速分析 App 行为
    │   └── 选择 Frida ✅
    │
    ├── 开发给自己/他人长期使用的功能
    │   └── Java 层 Hook 够用吗?
    │       ├── 是 → 选择 LSPosed ✅
    │       └── 否 → 结合 LSPosed + Native Hook
    │
    ├── 开发风控/安全 SDK
    │   └── 选择 Inline Hook (Dobby/ShadowHook) ✅
    │
    └── 需要隐蔽的 Hook
        └── 选择 Inline Hook ✅
```

6.4 组合使用方案

实际项目中，往往需要组合使用多种技术：

方案一：LSPosed + Frida

```
开发流程：
1. 用 Frida 快速分析、定位关键函数
2. 确认 Hook 点后，用 LSPosed 模块实现持久化

适用：大多数逆向项目
```

方案二：LSPosed + Inline Hook

```
/**
 * LSPosed 模块中调用 Native Inline Hook
 */
public class MyXposedModule implements IXposedHookLoadPackage {

    @Override
    public void handleLoadPackage(XC_LoadPackage.LoadPackageParam lpparam) {
        // Java 层 Hook
        XposedHelpers.findAndHookMethod(...);

        // 加载 Native 库进行 Inline Hook
        System.loadLibrary("myhook");
        nativeInit();  // 执行 Dobby Hook
    }

    private native void nativeInit();
}
```

方案三：Frida + Inline Hook 定位

```
// 用 Frida 定位函数后，获取地址
var targetFunc = Module.findExportByName("libtarget.so", "encrypt");
console.log("encrypt address: " + targetFunc);

// 然后用 Inline Hook 框架做持久化 Hook
// Frida 脚本输出:
// encrypt address: 0x7a3b4c5d00
// 将此地址用于 Dobby Hook
```

6.5 性能对比

技术	Hook 安装开销	每次调用开销	内存占用
LSPosed	中	中	较大
Frida	高	高	很大
PLT Hook	低	极低	小
Inline Hook	中	低	小

性能敏感场景推荐:

- 高频函数 (如加密函数) → PLT Hook (bhook/xHook)
- 任意地址 Hook → Inline Hook (Dobby/ShadowHook)
- 分析调试阶段 → Frida (不在意性能)

7. 检测与对抗

7.1 常见检测方法

```
/**
 * App 检测 Root/Xposed 的常用方法
 */
public class RootDetection {

    /**
     * 检测 su 二进制
     */
    public boolean checkSuBinary() {
        String[] paths = {
                "/system/bin/su",
                "/system/xbin/su",
                "/sbin/su",
                "/data/local/xbin/su",
                "/data/local/bin/su",
                "/data/local/su"
        };

        for (String path : paths) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;  // 检测到 Root
            }
        }
        return false;
    }

    /**
     * 检测 Magisk 特征
     */
    public boolean checkMagisk() {
        // 检查 Magisk 相关路径
        if (new File("/sbin/.magisk").exists()) return true;
        if (new File("/data/adb/magisk").exists()) return true;

        // 检查 Magisk 属性
        String magiskVersion = getSystemProperty("magisk.version");
        if (magiskVersion != null && !magiskVersion.isEmpty()) {
            return true;
        }

        return false;
    }

    /**
     * 检测 Xposed 框架
     */
    public boolean checkXposed() {
        // 方法1: 检查堆栈
        try {
            throw new Exception("detect");
        } catch (Exception e) {
            for (StackTraceElement element : e.getStackTrace()) {
```

```
                if (element.getClassName().contains("xposed")) {
                    return true;
                }
            }
        }

        // 方法2: 检查类加载器
        try {
            ClassLoader.getSystemClassLoader().loadClass(
                    "de.robv.android.xposed.XposedBridge"
            );
            return true;
        } catch (ClassNotFoundException e) {
            // 没有找到
        }

        // 方法3: 检查 native 方法特征
        // Xposed 会修改某些 native 方法的实现

        return false;
    }

    /**
     * 检测 Hook 框架 (通用)
     */
    public boolean checkHookFramework() {
        // 检查常见 Hook 框架的特征文件
        String[] hookIndicators = {
                "/data/data/de.robv.android.xposed.installer",
                "/data/data/org.lsposed.manager",
                "/data/data/com.saurik.substrate",
                "/data/local/tmp/frida-server"
        };

        for (String path : hookIndicators) {
            if (new File(path).exists()) {
                return true;
            }
        }

        // 检查内存中的 Hook 特征
        return checkNativeHooks();
    }

    /**
     * 检测 native 层 Hook
     */
    private native boolean checkNativeHooks();
}
```

7.2 绕过检测

```
/**
 * LSPosed 模块: 绕过 Root 检测
 */
public class RootHider implements IXposedHookLoadPackage {

    @Override
    public void handleLoadPackage(XC_LoadPackage.LoadPackageParam lpparam) throws
Throwable {
        // Hook File.exists()
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
                File.class,
                "exists",
                new XC_MethodHook() {
                    @Override
                    protected void afterHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                        String path = ((File) param.thisObject).getAbsolutePath();

                        // 隐藏 Root 相关文件
                        if (isRootRelatedPath(path)) {
                            param.setResult(false);
                        }
                    }
                }
        );

        // Hook Runtime.exec()
        XposedHelpers.findAndHookMethod(
                Runtime.class,
                "exec",
                String.class,
                new XC_MethodHook() {
                    @Override
                    protected void beforeHookedMethod(MethodHookParam param) throws
Throwable {
                        String cmd = (String) param.args[0];

                        // 阻止执行 which su, su 等命令
                        if (cmd.contains("su") || cmd.contains("magisk")) {
                            param.setThrowable(new IOException("Command not found"));
                        }
                    }
                }
        );

        // Hook System.getProperty() / Build 类
        // 修改设备指纹等

        // Hook PackageManager
        // 隐藏 Magisk/Xposed 应用
    }
```

```
    private boolean isRootRelatedPath(String path) {
        String[] patterns = {
                "su", "magisk", "supersu", "xposed", "lsposed",
                "/sbin/", "/data/adb/"
        };

        path = path.toLowerCase();
        for (String pattern : patterns) {
            if (path.contains(pattern)) {
                return true;
            }
        }
        return false;
    }
}
```

8. 总结

8.1 技术栈总览

技术	核心原理	主要用途
Magisk	修补 boot.img, Systemless Root	Root 权限管理、模块加载
MagiskSU	Unix Socket + 守护进程	Root 权限请求处理
Riru	Native Bridge 劫持注入 Zygote	老版 Zygote 注入框架
Zygisk	修补 app_process 注入 Zygote	官方 Zygote 注入框架
EdXposed	Riru + ART Hook	过渡期 Xposed 实现
LSPosed	Zygisk/Riru + ART Method Hook	现代 Xposed 实现
DenyList	Mount namespace 隔离	对特定 App 隐藏 Root

8.2 框架演进总结

```
时间线:
2012 ─── Xposed 诞生（替换 app_process）
   │
2016 ─── Magisk 诞生（Systemless Root）
   │
2018 ─── Xposed 停止更新
   │     EdXposed 接力（基于 Riru）
   │
2020 ─── LSPosed 发布（性能优化、按需注入）
   │
2021 ─── Magisk v24 引入 Zygisk
   │     Riru 逐渐被 Zygisk 取代
   │
2023 ─── Riru 官宣停止维护
        LSPosed Zygisk 版成为主流
```

8.3 最佳实践

1. 逆向分析阶段：使用 Frida 快速分析、定位目标
2. 持久化 Hook：使用 LSPosed 模块实现长期生效的功能
3. 高性能需求：使用 Inline Hook 框架 (Dobby/ShadowHook)
4. 隐蔽性需求：使用 Inline Hook + 代码混淆

这些技术共同构成了现代 Android 系统修改的核心基础设施，广泛应用于安全研究、应用开发调试和逆向工程领域。

推荐下一步：

- SO 反调试与混淆
- Native Hook 技术

工程实践

E01: 框架与中间件

E01: 框架、工具与中间件

在复杂的逆向工程和数据采集中，单纯依靠基础工具往往效率低下。为了处理大规模的任务、管理复杂的依赖和保证流程的稳定性，我们需要引入“工程化”的思维，利用成熟的框架和中间件来构建健壮、可扩展的分析系统。

本节内容将聚焦于那些能将单个脚本提升为工业级解决方案的关键技术，例如：

- 消息队列 (Message Queues): 如 RabbitMQ，用于解耦任务的生产者和消费者，实现异步处理和削峰填谷。
- 数据存储 (Data Storage): 如 MongoDB 或 PostgreSQL，用于结构化地存储分析结果，方便后续的查询和二次开发。
- 缓存系统 (Caching Systems): 如 Redis，用于缓存常用数据，加速热点路径的访问。
- 爬虫框架 (Crawling Frameworks): 如 Scrapy，提供了一整套用于网络数据提取的架构，包括请求调度、中间件处理和数据管道。

通过组合这些工具，我们可以搭建起一个能够处理海量设备、执行复杂任务并高效存储结果的强大平台。

E02: 消息队列

E02: 消息队列 (Message Queue)

> 消息队列（MQ）是大型分布式系统中用于服务间异步通信的核心组件。在规模化的逆向分析和数据采集中，它扮演着"缓冲池"和"解耦器"的关键角色，确保数据流的稳定、高效和可靠。

1. 核心概念与作用

a) 为什么需要消息队列?

想象一个场景：你有 100 台爬虫节点（生产者）在高速抓取数据，同时有 10 个数据处理节点（消费者）负责清洗和入库。如果让生产者直接调用消费者的 API，会产生几个问题：

- 性能耦合: 消费者的处理速度会直接限制生产者的抓取速度。如果数据库写入缓慢，整个爬虫集群都得等。
- 峰值压力: 如果短时间内抓取到大量数据（流量洪峰），可能会瞬间压垮消费者服务。
- 服务依赖: 如果消费者服务宕机，所有生产者都会失败，数据会丢失。

b) 消息队列的解决方案

MQ 在生产者和消费者之间增加了一个中间层，解决了以上所有问题：

- 异步解耦: 生产者只需将消息（如"一个待处理的数据包"）扔进队列即可，无需关心谁在消费、何时消费。
- 削峰填谷: 流量洪峰到来时，消息会先在队列中积压。消费者可以按照自己的节奏平稳地进行处理，避免了系统崩溃。

- 可靠性与冗余: 即使消费者宕机，消息仍然安全地存储在队列中。当消费者恢复后，可以继续处理，保证了数据不丢失。

2. 主流消息队列方案

a) Kafka

- 定位: 一个分布式的、分区的、多副本的、基于 Zookeeper 的日志提交系统 (Commit Log)。
- 核心特点:
  - 极致的吞吐量: 设计目标就是为了处理海量日志数据，拥有无与伦比的写入和读取性能，是大数据领域的首选。
  - 发布-订阅模型: 消息以"主题 (Topic)"进行分类。生产者向一个 Topic 发送消息，多个消费者组 (Consumer Group) 可以独立地订阅和消费同一个 Topic 的消息，互不干扰。
  - 持久化与回溯: 消息在 Kafka 中是持久化存储的。消费者可以根据需要"回溯"到任意时间点（Offset）重新消费数据，这对于数据重处理和故障恢复非常有用。
- 适用场景:
  - 需要处理海量数据流的日志收集（Log Ingestion）。
  - 作为 Spark Streaming 或 Flink 等实时计算框架的数据源。
  - 构建大规模数据管道的总线。

b) RabbitMQ

- 定位: 一个实现了 AMQP (高级消息队列协议) 的、功能丰富的消息代理 (Message Broker)。
- 核心特点:
  - 灵活的路由: 拥有强大的交换机 (Exchange) 和路由键 (Routing Key) 机制，可以实现非常复杂的路由逻辑（如 fanout, direct, topic, headers）。

    - 功能全面: 支持消息确认、优先级队列、延迟队列、死信队列等企业级特性。
    - 可靠性: 提供了强大的消息确认机制，能确保消息"至少被成功消费一次"。
- 适用场景:
    - 业务逻辑复杂，需要精细化控制消息路由的场景。
    - 对消息投递的可靠性要求极高的金融或事务性系统。
    - 需要使用延迟队列等高级特性的业务。

c) Redis

- 定位: 一个高性能的内存数据库，但其 `List` 和 `Pub/Sub` 功能使其可以作为一个轻量级的消息队列使用。
- 核心特点:
    - 简单快速: 配置简单，读写性能极高（基于内存）。
    - 功能有限: 不支持复杂路由，可靠性保证较弱（如 `Pub/Sub` 不保证消息必达），消息积压能力受内存限制。
- 适用场景:
    - 系统规模不大，对可靠性要求不高，但对实时性要求很高的场景。
    - 作为任务队列（如 Celery 的 Broker）。
    - 实现简单的实时通知或聊天功能。

总结

在工程化体系中，选择哪种 MQ 取决于具体的业务需求：

- 追求极致的吞吐量和大数据生态兼容性，选择 `Kafka`。
- 追求灵活的路由和业务功能的丰富性，选择 `RabbitMQ`。
- 追求简单、轻量和极致的低延迟，`Redis` 是一个不错的备选项。

E03: Redis 常用命令

E03: Redis 常用命令备忘录

Redis 是一个开源的、基于内存的、高性能的键值存储系统。它支持多种数据结构，如字符串、哈希、列表、集合和有序集合。本备忘录旨在提供常用命令的快速参考。

目录

连接与服务器管理

命令	描述
`redis-cli`	启动 Redis 命令行客户端
`redis-cli -h <host> -p <port> -a <password>`	连接到指定的 Redis 实例
`PING`	测试服务器是否仍在运行，返回 `PONG`
`AUTH <password>`	验证连接密码
`SELECT <index>`	选择数据库 (默认 0-15)
`FLUSHDB`	清空当前数据库的所有键
`FLUSHALL`	清空所有数据库的所有键
`INFO`	获取服务器的信息和统计数据

键 (Key) 操作

命令	描述
`KEYS <pattern>`	查找所有符合给定模式的键 (如 `KEYS *`, `KEYS user:*`) (慎用，会阻塞)
`SCAN <cursor> [MATCH pattern] [COUNT count]`	迭代数据库中的键，比 `KEYS` 更安全
`EXISTS <key>`	检查给定键是否存在
`DEL <key> [key ...]`	删除一个或多个键
`TYPE <key>`	返回键所存储的值的类型 (string, hash, list, set, zset)
`TTL <key>`	以秒为单位，返回给定键的剩余生存时间
`EXPIRE <key> <seconds>`	为给定键设置生存时间
`PERSIST <key>`	移除给定键的生存时间，使其永久保存
`RENAME <key> <newkey>`	修改键的名称

字符串 (String)

字符串是 Redis 最基本的数据类型，可以存储任何类型的数据，如文本、序列化的 JSON 或二进制数据。

命令	描述
`SET <key> <value>`	设置指定键的值
`GET <key>`	获取指定键的值
`SETEX <key> <seconds> <value>`	设置键值对并指定过期时间
`SETNX <key> <value>`	只有在键不存在时才设置键的值
`MSET <key1> <value1> [key2 value2 ...]`	同时设置一个或多个键值对
`MGET <key1> [key2 ...]`	获取所有给定键的值
`INCR <key>`	将键中储存的数字值增一 (原子操作)
`DECR <key>`	将键中储存的数字值减一 (原子操作)
`INCRBY <key> <increment>`	将键所储存的值加上指定的增量值

哈希 (Hash)

哈希是一个键值对的集合，非常适合用于存储对象。

命令	描述
`HSET <key> <field> <value>`	将哈希表中字段的值设为 value
`HGET <key> <field>`	获取存储在哈希表中指定字段的值
`HMSET <key> <f1> <v1> [f2 v2 ...]`	同时将多个 field-value 对设置到哈希表中
`HMGET <key> <field1> [field2 ...]`	获取所有给定字段的值
`HGETALL <key>`	获取在哈希表中指定键的所有字段和值
`HKEYS <key>`	获取哈希表中的所有字段
`HVALS <key>`	获取哈希表中的所有值
`HDEL <key> <field1> [field2 ...]`	删除一个或多个哈希表字段
`HEXISTS <key> <field>`	查看哈希表的指定字段是否存在

列表 (List)

列表是简单的字符串列表，按照插入顺序排序。你可以添加一个元素到列表的头部（左边）或者尾部（右边）。

命令	描述
`LPUSH <key> <value1> [value2 ...]`	将一个或多个值插入到列表头部
`RPUSH <key> <value1> [value2 ...]`	将一个或多个值插入到列表尾部
`LPOP <key>`	移出并获取列表的第一个元素
`RPOP <key>`	移出并获取列表的最后一个元素
`LLEN <key>`	获取列表的长度
`LRANGE <key> <start> <stop>`	获取列表指定范围内的元素
`LINDEX <key> <index>`	通过索引获取列表中的元素
`LSET <key> <index> <value>`	通过索引设置列表元素的值
`LTRIM <key> <start> <stop>`	对列表进行修剪，只保留指定区间内的元素

集合 (Set)

集合是字符串类型的无序集合。集合成员是唯一的，不能出现重复的数据。

命令	描述
`SADD <key> <member1> [member2 ...]`	向集合添加一个或多个成员
`SMEMBERS <key>`	返回集合中的所有成员
`SISMEMBER <key> <member>`	判断 member 元素是否是集合的成员
`SCARD <key>`	获取集合的成员数
`SREM <key> <member1> [member2 ...]`	移除集合中一个或多个成员
`SPOP <key> [count]`	随机移除并返回集合中一个或多个成员
`SUNION <key1> [key2 ...]`	返回所有给定集合的并集
`SINTER <key1> [key2 ...]`	返回所有给定集合的交集
`SDIFF <key1> [key2 ...]`	返回所有给定集合的差集

有序集合 (Sorted Set / ZSet)

有序集合和集合一样是字符串类型元素的集合，且不允许重复的成员。不同的是每个元素都会关联一个 `double` 类型的分数 (score)。

命令	描述
`ZADD <key> <score1> <member1> [...]`	向有序集合添加一个或多个成员
`ZRANGE <key> <start> <stop> [WITHSCORES]`	通过索引区间返回成员 (分数递增)
`ZREVRANGE <key> <start> <stop> [WITHSCORES]`	返回指定区间内的成员 (分数递减)
`ZRANGEBYSCORE <key> <min> <max>`	通过分数返回指定区间内的成员
`ZCARD <key>`	获取有序集合的成员数
`ZSCORE <key> <member>`	返回成员的 score 值
`ZREM <key> <member1> [member2 ...]`	移除一个或多个成员
`ZCOUNT <key> <min> <max>`	计算指定分数区间的成员数

Redis 架构演进

版本发展

版本	发布时间	主要特性
Redis 1.0	2009 年	基础键值存储，5 种基本数据结构
Redis 2.0	2010 年	引入虚拟内存、发布订阅
Redis 2.6	2012 年	Lua 脚本支持、过期键处理优化
Redis 2.8	2013 年	部分重同步、Sentinel 高可用
Redis 3.0	2015 年	Redis Cluster 集群支持
Redis 4.0	2017 年	模块系统、内存优化、混合持久化
Redis 5.0	2018 年	Stream 数据结构、动态 HZ
Redis 6.0	2020 年	多线程 I/O、ACL 权限控制、SSL
Redis 7.0	2022 年	Redis Functions、多 ACL 用户

架构演进路径

1. 单机模式 (Single Instance)

最简单的部署方式，适合开发和测试环境。

2. 主从复制 (Master-Slave)

数据异步复制到从节点，提供读写分离能力。

3. Sentinel 高可用 (Redis Sentinel)

监控主从节点，自动进行故障转移。

4. 集群模式 (Redis Cluster)

数据分片存储，支持水平扩展。

脑裂问题 (Split-Brain)

定义：脑裂是指在分布式系统中，由于网络分区或节点故障，导致系统中出现多个"大脑"（多个节点都认为自己是主节点）的情况。

Redis 中的脑裂场景:

```
网络分区前:
Sentinel1,2,3 ↔ Master ↔ Slave1,2

网络分区后:
PartitionA: Sentinel1 ↔ Master (原主节点)
PartitionB: Sentinel2,3 ↔ Slave1 ↔ Slave2 (选举新主节点)
```

Redis 脑裂预防机制:

1. Sentinel 奇数部署: 确保故障转移时有明确的多数派

```
# 推荐配置: 至少 3 个 Sentinel
Sentinel1, Sentinel2, Sentinel3
```

2. 配置写入限制:

```
# 至少需要 2 个 Slave 节点，最大延迟 10 秒
min-slaves-to-write 2
min-slaves-max-lag 10
```

3. 客户端配置:

```
sentinel = Sentinel([
    ('localhost', 26379),
    ('localhost', 26380),
    ('localhost', 26381)
])
master = sentinel.master_for('mymaster', socket_timeout=0.1)
```

Redis 集群详解

Sentinel 模式

核心功能

1. 监控 (Monitoring): 监控 master 和 slave 健康状态
2. 通知 (Notification): 故障时通知管理员
3. 自动故障转移 (Automatic Failover): 自动选举新 master
4. 配置提供 (Configuration Provider): 为客户端提供当前 master 地址

工作原理

```
# Sentinel 配置文件
sentinel monitor mymaster 127.0.0.1 6379 2
sentinel down-after-milliseconds mymaster 30000
sentinel parallel-syncs mymaster 1
sentinel failover-timeout mymaster 180000
```

故障转移流程:

1. 主观下线 (SDOWN): 单个 Sentinel 认为主节点不可用
2. 客观下线 (ODOWN): 多数 Sentinel 确认主节点不可用
3. 领导选举: Sentinel 之间选举领导者执行故障转移
4. 新主选择: 选择最优 slave 提升为 master
5. 配置更新: 更新所有节点配置

Cluster 集群模式

集群特性

- 去中心化: 无单点故障
- 数据分片: 自动数据分布
- 高可用: master 故障自动切换
- 在线扩缩容: 支持动态添加/删除节点

数据分片算法

```
# 计算 Key 哈希 Slot
HASH_SLOT = CRC16(key) % 16384

# Slot 分配示例（3 个 Master 节点）
Master1: 0-5461 (5462 Slot)
Master2: 5462-10923 (5462 Slot)
Master3: 10924-16383 (5460 Slot)
```

集群操作命令

```
# 创建集群
redis-cli --cluster create \
  127.0.0.1:7000 127.0.0.1:7001 127.0.0.1:7002 \
  127.0.0.1:7003 127.0.0.1:7004 127.0.0.1:7005 \
  --cluster-replicas 1

# 查看集群信息
CLUSTER INFO
CLUSTER NODES

# 重新分片
redis-cli --cluster reshard 127.0.0.1:7000

# 添加节点
redis-cli --cluster add-node 127.0.0.1:7006 127.0.0.1:7000
```

布隆过滤器

布隆过滤器是一种概率性数据结构，用于高效判断一个元素是否在集合中。

核心特性

- 误报率: 可能误判存在，但不会误判不存在
- 空间效率: 使用位数组，空间复杂度低
- 时间复杂度: O(k) 查询时间，k 为哈希函数数量

实现原理

```
# 基本流程
# 1. 初始化: 创建 m 位位数组，k 个哈希函数
# 2. 添加元素: 对元素计算 k 个哈希值，设置对应位为 1
# 3. 查询元素: 计算 k 个哈希值，检查对应位是否都为 1
```

参数计算

```
# 最优位数组大小
m = -n * ln(p) / (ln(2))^2

# 最优哈希函数数量
k = (m/n) * ln(2)

# 其中: n=元素数量，p=误报率，m=位数组大小，k=哈希函数数量
```

Redis 布隆过滤器

```
# 加载 RedisBloom 模块
MODULE LOAD /path/to/redisbloom.so

# 创建布隆过滤器
BF.RESERVE myfilter 0.01 10000

# 添加元素
BF.ADD myfilter "user123"
BF.MADD myfilter "user1" "user2" "user3"

# 检查元素
BF.EXISTS myfilter "user123"
BF.MEXISTS myfilter "user1" "user2"

# 获取信息
BF.INFO myfilter
```

应用场景

1. 缓存穿透防护: 过滤不存在的请求
2. 爬虫 URL 去重: 避免重复爬取
3. 垃圾邮件过滤: 快速判断发件人
4. 推荐系统: 已推荐内容过滤

Stream 流数据结构

Stream 是 Redis 5.0 引入的新数据结构，主要用于消息队列和事件流处理。

核心特性

- 持久化消息队列: 消息持久化存储
- 消费者组: 支持多消费者协作
- 消息确认: 支持消息确认机制

- 历史消息: 可以查询历史消息

消息 ID 结构

```
<毫秒时间戳>-<序列号>
例如: 1609459200000-0
```

基本操作

```
# 添加消息
XADD mystream * field1 value1 field2 value2
XADD mystream 1609459200000-0 user "john" action "login"

# 读取消息
XREAD COUNT 2 STREAMS mystream 0
XREAD BLOCK 1000 STREAMS mystream $  # 阻塞读取新消息

# 查看 Stream 信息
XINFO STREAM mystream
XLEN mystream

# 范围查询
XRANGE mystream - +
XRANGE mystream 1609459200000 1609459300000
```

消费者组操作

```
# 创建消费者组
XGROUP CREATE mystream mygroup $ MKSTREAM

# 消费者读取
XREADGROUP GROUP mygroup consumer1 COUNT 1 STREAMS mystream >

# 确认消息
XACK mystream mygroup 1609459200000-0

# 查看消费者组信息
XINFO GROUPS mystream
XINFO CONSUMERS mystream mygroup

# 处理 pending 消息
XPENDING mystream mygroup
XCLAIM mystream mygroup consumer2 1800000 1609459200000-0
```

Stream 与其他队列对比

特性	List	Pub/Sub	Stream
持久化	支持	不支持	支持
多消费者	不支持	支持	支持
消息确认	不支持	不支持	支持
历史消息	支持	不支持	支持
消费者组	不支持	不支持	支持

面试高频考点

持久化机制

RDB (Redis Database)

```
# 配置文件设置
save 900 1      # 900 秒内至少 1 个 key 变化
save 300 10     # 300 秒内至少 10 个 key 变化
save 60 10000   # 60 秒内至少 10000 个 key 变化

# 手动触发
SAVE    # 同步保存（阻塞）
BGSAVE  # 异步保存（后台）
```

AOF (Append Only File)

```
# 配置选项
appendonly yes
appendfsync always    # 每次写入立即同步
appendfsync everysec  # 每秒同步一次（推荐）
appendfsync no        # 由 OS 决定同步时机
```

混合持久化 (Redis 4.0+)

```
aof-use-rdb-preamble yes
```

内存淘汰策略

```
# 配置最大内存
maxmemory 2gb

# 淘汰策略
maxmemory-policy allkeys-lru
```

策略	说明
`noeviction`	不淘汰，内存满时返回错误
`allkeys-lru`	所有 key 中淘汰最近最少使用的
`allkeys-lfu`	所有 key 中淘汰最少频率的
`volatile-lru`	有过期时间的 key 中淘汰最近最少使用的
`volatile-lfu`	有过期时间的 key 中淘汰最少频率的
`volatile-random`	有过期时间的 key 中随机淘汰
`volatile-ttl`	淘汰即将过期的 key

缓存问题解决方案

1. 缓存穿透

- 问题: 查询不存在的数据，绕过缓存直接查数据库
- 解决方案:
  - 布隆过滤器预过滤
  - 空值缓存（设置较短过期时间）
  - 参数校验

2. 缓存雪崩

- 问题: 大量缓存同时失效，数据库压力激增
- 解决方案:
  - 随机过期时间
  - 缓存预热
  - 多级缓存
  - 限流降级

3. 缓存击穿

- 问题: 热点数据过期，大量请求直达数据库
- 解决方案:
  - 互斥锁重建缓存
  - 异步更新缓存
  - 热点数据永不过期

分布式锁实现

基于 SETNX 的简单锁

```
# 加锁
SET lock_key unique_value PX 30000 NX

# 释放锁（Lua 脚本保证原子性）
if redis.call("get", KEYS[1]) == ARGV[1] then
    return redis.call("del", KEYS[1])
else
    return 0
end
```

Redlock 算法

1. 获取当前时间戳
2. 依次向 N 个 Redis 实例请求加锁
3. 超过 N/2+1 个实例加锁成功才算成功
4. 加锁总时间要小于锁过期时间
5. 释放所有实例上的锁

性能优化

1. 合理的数据结构

- 小数据量使用 ziplist 编码（节省内存）

- 大数据量使用 hashtable 编码（提高性能）

2. 批量操作

```
# 使用 pipeline 减少网络往返
PIPELINE
SET key1 value1
SET key2 value2
EXEC

# 使用 MGET/MSET 批量操作
MSET key1 value1 key2 value2
MGET key1 key2
```

3. 配置优化

```
# 配置优化
hash-max-ziplist-entries 512
hash-max-ziplist-value 64
list-max-ziplist-size -2
set-max-intset-entries 512
```

数据库技术选型对比

关系型数据库

MySQL

方面	描述
存储引擎	InnoDB (事务)、MyISAM (性能)
事务支持	完整 ACID 支持
复制	主从复制、主主复制
适用场景	Web 应用、电商系统、金融系统

PostgreSQL

方面	描述
数据类型	丰富的内置类型 (JSON、数组、地理)
索引类型	B-tree、Hash、GiST、GIN、BRIN
并发控制	MVCC 多版本并发控制
适用场景	复杂查询、数据分析、地理信息系统

NoSQL 数据库

MongoDB

方面	描述
数据模型	BSON 文档
分片	自动分片 (Auto-Sharding)
复制	副本集 (Replica Set)
适用场景	内容管理、实时分析、物联网

Cassandra

方面	描述
数据模型	宽列存储
一致性	可调一致性
分区	一致性哈希
适用场景	时序数据、日志系统、推荐系统

数据库对比总结

数据库	类型	一致性	扩展性	查询能力	适用场景
MySQL	关系型	强一致	垂直扩展	很强	通用业务
PostgreSQL	关系型	强一致	垂直扩展	很强	复杂分析
Redis	键值	最终一致	水平扩展	弱	缓存、会话
MongoDB	文档	强一致	水平扩展	中等	内容管理
Cassandra	列族	可调一致	线性扩展	弱	高并发写入

选型原则

1. 业务需求优先: 根据具体业务场景选择
2. 团队能力: 考虑团队的技术栈和维护能力
3. 成本控制: 综合考虑开发、运维、硬件成本
4. 未来扩展: 预留技术演进空间

最佳实践

- 读多写少: MySQL/PostgreSQL + Redis
- 写多读少: Cassandra/MongoDB + Redis
- 复杂查询: PostgreSQL + 数据仓库
- 实时分析: HBase + Spark/Flink
- 混合负载: 多数据库架构 + 数据同步

E04: 风控 SDK 编译指南

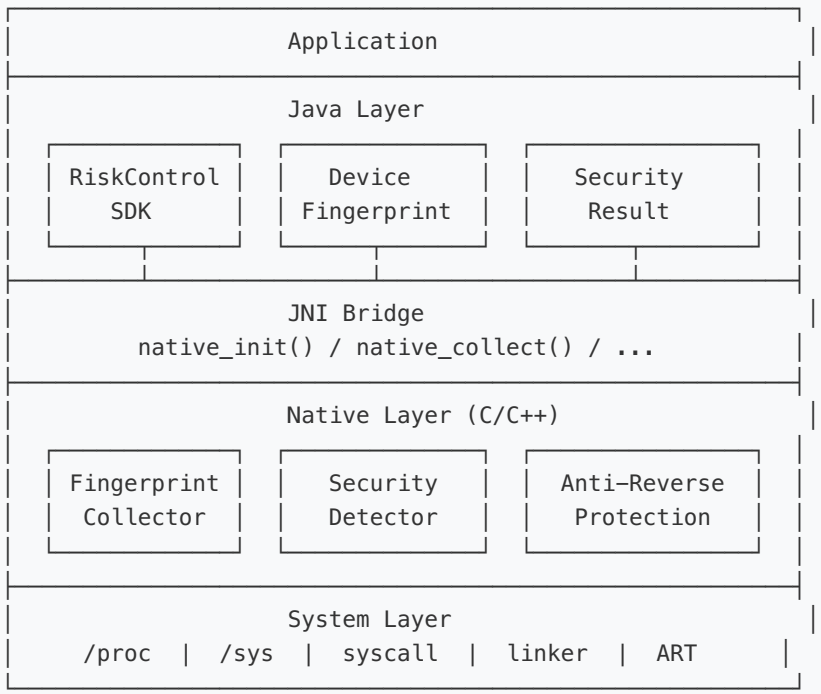
E04: 风控 SDK 架构设计

> 说明：本案例是笔者根据实际风控 SDK 逆向分析经验，构建的一个精简版客户端风控 SDK Demo。旨在帮助读者理解风控 SDK 的核心架构和设计思路，而非生产级实现。

Risk Control SDK 是一个用于移动应用的设备指纹识别和安全评估系统，基于 JNI 架构实现。

核心架构

分层设计



设计原则

1. 敏感逻辑下沉 Native: 核心检测算法放在 C/C++ 层，增加逆向难度
2. JNI 动态注册: 避免静态符号暴露，使用 `RegisterNatives` 动态绑定
3. 多维度采集: 硬件、软件、网络、行为多个维度交叉验证
4. 分层防护: 每层都有独立的安全检测机制

项目结构

```
risk-control-sdk/
├── src/
│   ├── java/com/riskcontrol/
│   │   ├── RiskControlSDK.java      # 对外 API 入口
│   │   ├── DeviceFingerprint.java   # 设备指纹数据结构
│   │   ├── SecurityResult.java      # 安全检测结果
│   │   └── RiskScore.java           # 风险评分
│   └── native/
│       ├── risk_control.c/.h        # 主控制逻辑
│       ├── fingerprint_collector.c  # 指纹采集
│       ├── security_detector.c      # 安全检测
│       ├── anti_reverse.c/.h        # 反逆向保护
│       ├── art_method_hook.c/.h     # ART Hook 检测
│       └── svc_syscall.c/.h         # 直接系统调用
└── CMakeLists.txt
```

核心模块设计

1. Java 层 API 设计

Java 层提供简洁的对外接口，隐藏底层复杂性：

```
public class RiskControlSDK {
    private static volatile RiskControlSDK instance;

    static {
        System.loadLibrary("riskcontrol");
    }

    // 单例模式
    public static RiskControlSDK getInstance() {
        if (instance == null) {
            synchronized (RiskControlSDK.class) {
                if (instance == null) {
                    instance = new RiskControlSDK();
                }
            }
        }
        return instance;
    }

    // Native 方法声明
    private native int nativeInit();
    private native String nativeCollectFingerprint();
    private native int nativeSecurityCheck();
    private native void nativeCleanup();

    // 对外 API
    public DeviceFingerprint getDeviceFingerprint() {
        String rawData = nativeCollectFingerprint();
        return DeviceFingerprint.parse(rawData);
    }

    public SecurityResult performSecurityCheck() {
        int flags = nativeSecurityCheck();
        return new SecurityResult(flags);
    }

    public RiskScore calculateRiskScore(DeviceFingerprint fp, SecurityResult sr) {
        // 综合评分算法
        int score = 100;
        if (sr.isRooted()) score -= 30;
        if (sr.isEmulator()) score -= 40;
        if (sr.isHooked()) score -= 50;
        if (sr.isDebugged()) score -= 20;
        return new RiskScore(Math.max(0, score));
    }
}
```

2. JNI 动态注册

避免函数名暴露，使用动态注册方式：

```
// risk_control.c

// 方法映射表（隐藏真实函数名）
static JNINativeMethod g_methods[] = {
    {"nativeInit",               "()I",                    (void*)rc_init},
    {"nativeCollectFingerprint", "()Ljava/lang/String;",  (void*)rc_collect},
    {"nativeSecurityCheck",      "()I",                    (void*)rc_check},
    {"nativeCleanup",            "()V",                    (void*)rc_cleanup},
};

// JNI_OnLoad 动态注册
JNIEXPORT jint JNI_OnLoad(JavaVM* vm, void* reserved) {
    JNIEnv* env;
    if ((*vm)->GetEnv(vm, (void**)&env, JNI_VERSION_1_6) != JNI_OK) {
        return JNI_ERR;
    }

    // 自检：检测是否被调试或 Hook
    if (detect_debugger() || detect_frida()) {
        return JNI_ERR;  // 拒绝加载
    }

    jclass clazz = (*env)->FindClass(env, "com/riskcontrol/RiskControlSDK");
    if (clazz == NULL) {
        return JNI_ERR;
    }

    // 动态注册 Native 方法
    int method_count = sizeof(g_methods) / sizeof(g_methods[0]);
    if ((*env)->RegisterNatives(env, clazz, g_methods, method_count) < 0) {
        return JNI_ERR;
    }

    return JNI_VERSION_1_6;
}
```

3. 设备指纹采集

多维度采集设备唯一标识：

```
// fingerprint_collector.c

typedef struct {
    char android_id[64];
    char build_fingerprint[256];
    char hardware_serial[64];
    char mac_address[32];
    char cpu_info[128];
    uint32_t screen_metrics;
    uint32_t sensor_list_hash;
} device_fingerprint_t;

// 采集硬件信息（直接读取 /proc 和 /sys）
static void collect_hardware_info(device_fingerprint_t* fp) {
    // 读取CPU 信息
    FILE* f = fopen("/proc/cpuinfo", "r");
    if (f) {
        char line[256];
        while (fgets(line, sizeof(line), f)) {
            if (strstr(line, "Hardware") || strstr(line, "model name")) {
                strncpy(fp->cpu_info, line, sizeof(fp->cpu_info) - 1);
                break;
            }
        }
        fclose(f);
    }

    // 读取MAC 地址
    f = fopen("/sys/class/net/wlan0/address", "r");
    if (f) {
        fgets(fp->mac_address, sizeof(fp->mac_address), f);
        fclose(f);
    }
}

// 使用直接系统调用读取（绕过 libc Hook）
static int read_file_svc(const char* path, char* buf, size_t size) {
    int fd = syscall_open(path, O_RDONLY);
    if (fd < 0) return -1;

    int ret = syscall_read(fd, buf, size);
    syscall_close(fd);
    return ret;
}
```

4. 安全检测模块

检测各类逆向分析环境：

```
// security_detector.c

#define FLAG_ROOTED      (1 << 0)
#define FLAG_EMULATOR    (1 << 1)
#define FLAG_DEBUGGED    (1 << 2)
#define FLAG_HOOKED      (1 << 3)
#define FLAG_TAMPERED    (1 << 4)

// Root 检测
static int detect_root(void) {
    const char* su_paths[] = {
        "/system/bin/su",
        "/system/xbin/su",
        "/sbin/su",
        "/data/local/su",
        "/data/local/bin/su",
    };

    for (int i = 0; i < sizeof(su_paths)/sizeof(su_paths[0]); i++) {
        if (access(su_paths[i], F_OK) == 0) {
            return 1;
        }
    }

    // 检测 Magisk
    if (access("/sbin/.magisk", F_OK) == 0) {
        return 1;
    }

    return 0;
}

// 模拟器检测
static int detect_emulator(void) {
    char buf[256];

    // 检查 Build 属性
    __system_property_get("ro.product.model", buf);
    if (strstr(buf, "sdk") || strstr(buf, "Emulator")) {
        return 1;
    }

    // 检查 QEMU 特征文件
    if (access("/dev/qemu_pipe", F_OK) == 0 ||
        access("/dev/goldfish_pipe", F_OK) == 0) {
        return 1;
    }

    // 检查 CPU 特征
    read_file_svc("/proc/cpuinfo", buf, sizeof(buf));
    if (strstr(buf, "goldfish") || strstr(buf, "ranchu")) {
        return 1;
```

```
    }

    return 0;
}

// Frida 检测
static int detect_frida(void) {
    // 1. 检测默认端口
    struct sockaddr_in addr;
    int sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
    addr.sin_family = AF_INET;
    addr.sin_port = htons(27042);  // Frida 默认端口
    addr.sin_addr.s_addr = inet_addr("127.0.0.1");

    if (connect(sock, (struct sockaddr*)&addr, sizeof(addr)) == 0) {
        close(sock);
        return 1;  // 端口开放，可能有 Frida
    }
    close(sock);

    // 2. 扫描 /proc/self/maps 查找 Frida 模块
    FILE* f = fopen("/proc/self/maps", "r");
    if (f) {
        char line[512];
        while (fgets(line, sizeof(line), f)) {
            if (strstr(line, "frida") || strstr(line, "gadget")) {
                fclose(f);
                return 1;
            }
        }
        fclose(f);
    }

    // 3. 检测 Frida 特征字符串
    //  (遍历内存查找 "LIBFRIDA" 等特征)

    return 0;
}

// 调试器检测
static int detect_debugger(void) {
    // 1. 检查 TracerPid
    char buf[256];
    read_file_svc("/proc/self/status", buf, sizeof(buf));
    char* tracer = strstr(buf, "TracerPid:");
    if (tracer) {
        int pid = atoi(tracer + 10);
        if (pid != 0) {
            return 1;
        }
    }

    // 2. ptrace 自检
```

```
    if (ptrace(PTRACE_TRACEME, 0, NULL, NULL) == -1) {
        return 1;  // 已被 ptrace
    }
    ptrace(PTRACE_DETACH, 0, NULL, NULL);

    return 0;
}

// 综合安全检测
jint rc_check(JNIEnv* env, jobject thiz) {
    int flags = 0;

    if (detect_root())      flags |= FLAG_ROOTED;
    if (detect_emulator())  flags |= FLAG_EMULATOR;
    if (detect_debugger())  flags |= FLAG_DEBUGGED;
    if (detect_frida())     flags |= FLAG_HOOKED;

    return flags;
}
```

5. 反逆向保护

保护 Native 代码不被轻易分析：

```
// anti_reverse.c

// 字符串加密（编译时混淆）
#define ENCRYPTED_STR(s) decrypt_string(s, sizeof(s))

static char* decrypt_string(const char* enc, size_t len) {
    static char buf[256];
    for (size_t i = 0; i < len && i < sizeof(buf) - 1; i++) {
        buf[i] = enc[i] ^ 0x5A;  // 简单 XOR（实际应使用更复杂算法）
    }
    buf[len] = '\0';
    return buf;
}

// 控制流平坦化示例
static int obfuscated_check(int input) {
    int state = 0;
    int result = 0;

    while (1) {
        switch (state) {
            case 0:
                if (input > 10) state = 1;
                else state = 2;
                break;
            case 1:
                result = input * 2;
                state = 3;
                break;
            case 2:
                result = input + 5;
                state = 3;
                break;
            case 3:
                return result;
        }
    }
}

// 完整性校验（检测代码是否被篡改）
static int verify_integrity(void) {
    Dl_info info;
    if (dladdr((void*)verify_integrity, &info) == 0) {
        return -1;
    }

    // 读取 .text 段计算校验和
    // 与预置值比较，检测是否被 patch

    return 0;
}
```

6. 直接系统调用

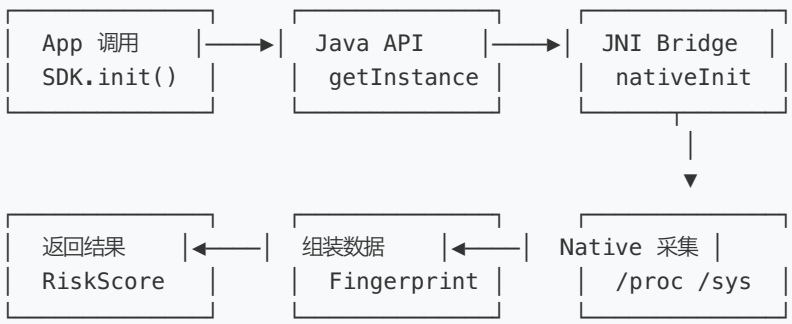
绕过 libc 层的 Hook：

```
// svc_syscall.c (ARM64)

// 直接 SVC 调用，绕过 libc
static inline long syscall_open(const char* path, int flags) {
    long ret;
    __asm__ volatile (
        "mov x0, %1\n"
        "mov x1, %2\n"
        "mov x8, #56\n"    // __NR_openat
        "mov x0, #-100\n"  // AT_FDCWD
        "svc #0\n"
        "mov %0, x0\n"
        : "=r"(ret)
        : "r"(path), "r"(flags)
        : "x0", "x1", "x8"
    );
    return ret;
}

static inline long syscall_read(int fd, void* buf, size_t count) {
    long ret;
    __asm__ volatile (
        "mov x0, %1\n"
        "mov x1, %2\n"
        "mov x2, %3\n"
        "mov x8, #63\n"    // __NR_read
        "svc #0\n"
        "mov %0, x0\n"
        : "=r"(ret)
        : "r"(fd), "r"(buf), "r"(count)
        : "x0", "x1", "x2", "x8"
    );
    return ret;
}
```

数据流设计



快速编译

如需编译测试，只需执行：

```
mkdir build && cd build
cmake ..
make -j$(nproc)
```

输出文件：

- `libriskcontrol.so` - Native 库
- `RiskControlSDK.jar` - Java 封装

总结

本 Demo 展示了客户端风控 SDK 的核心设计理念：

模块	核心思想
JNI 动态注册	隐藏函数符号，增加静态分析难度
设备指纹	多维度采集，交叉验证
安全检测	多层次检测 Root/模拟器/Hook/调试器
直接系统调用	绕过 libc Hook，获取真实数据
反逆向保护	字符串加密、控制流混淆、完整性校验

理解这些设计思路，有助于在逆向分析时快速定位关键逻辑。

数据分析

E05: 数据仓库与处理

E05: 数据仓库与计算引擎

> 当通过逆向和爬虫采集到海量数据后（例如，数亿条用户行为日志、商品信息），如何存储、管理和分析这些数据，就成了大数据领域的核心问题。本节将介绍主流的数据仓库和分布式计算引擎技术。

1. 数据仓库 (Data Warehouse)

数据仓库是一个用于存储和分析海量结构化、半结构化数据的系统。它与业务数据库（OLTP）不同，其核心目标是支持复杂的分析查询（OLAP）。

a) Hive

- 定位: 基于 Hadoop 的一个数据仓库基础架构。
- 核心思想: Hive 允许你使用标准的 SQL 语言来查询存储在 Hadoop 分布式文件系统（HDFS）上的大规模数据集。它将 SQL 查询翻译成 MapReduce、Tez 或 Spark 任务来执行。
- 元数据 (Metastore): Hive 的核心是其元数据存储。它记录了"表"的结构（列名、数据类型）与 HDFS 上的文件（如 CSV, Parquet, ORC 文件）之间的映射关系。本质上，Hive 提供了一种"给文件系统套上一个结构化外壳"的能力。
- 适用场景:
    - 对海量（TB/PB 级）的、非实时的数据进行离线分析和 ETL（提取、转换、加载）。
    - 构建企业级的数据仓库，为数据分析师和 BI 报表提供统一的 SQL 查询入口。

b) HBase

- 定位: 一个分布式的、可伸缩的、面向列的 NoSQL 数据库。它构建在 HDFS 之上，并模仿 Google Bigtable 的设计。
- 核心特点:
  - 海量存储: 专为存储数十亿行、数百万列的超大规模稀疏数据集而设计。
  - 实时读写: 与 Hive 主要用于离线批量分析不同，HBase 的核心优势在于支持对海量数据的低延迟随机读写。
  - 面向列: 数据按列族（Column Family）组织。一个列族中的所有列在物理上存储在一起，这使得对特定列的读取非常高效。
  - 无模式 (Schemaless): 你可以随时向一个列族中添加新的列，而无需预先定义表结构。
- 适用场景:
  - 需要对海量数据进行实时、随机访问的场景，例如用户画像系统、实时推荐引擎的特征库、监控数据的存储。
  - 作为数据采集系统的"落地层"，接收实时写入的数据流，然后由 Hive 或 Spark 进行后续的批量分析。

Hive vs. HBase

特性	Hive	HBase
数据库类型	数据仓库 (SQL on Hadoop)	NoSQL 数据库 (面向列)
核心用途	批量分析 (OLAP)	实时随机读写 (OLTP)
延迟	高（分钟级）	低（毫秒级）
数据模型	结构化	半结构化/无模式 (稀疏表)
语言	SQL (HiveQL)	Java API, Shell, Thrift/REST

2. 分布式计算引擎

计算引擎负责实际执行数据处理任务。现代计算引擎通过在内存中进行计算，极大地提升了处理速度。

a) Spark

- 定位: 一个快速、通用、可扩展的分布式计算引擎。
- 核心概念: RDD (弹性分布式数据集): Spark 的基础数据结构。它是一个不可变的、被分区到集群中多个节点上的元素集合，支持丰富的转换（`map`, `filter`, `join`）和行动（`count`, `collect`, `save`）操作。RDD 的"弹性"体现在其血缘关系（Lineage），任何分区的丢失都可以根据其转换历史被重新计算出来。
- DataFrame & Spark SQL: 在 RDD 之上，Spark 提供了更高级的 DataFrame API，它将数据组织成带有命名列的二维表，类似于关系型数据库的表。这使得你可以使用 Spark SQL 来进行结构化数据处理，并且 Spark 的 Catalyst 优化器会自动对你的查询进行优化。
- 生态系统:
  - Spark Streaming: 用于处理实时数据流（Micro-batching）。
  - MLlib: 提供了一套丰富的机器学习算法库。
  - GraphX: 用于图计算。
- 适用场景:
  - 需要高性能的、迭代式的批量数据处理和机器学习任务。
  - 统一批处理和流处理。

b) Flink

- 定位: 一个以真正的流处理 (True Streaming)为核心的分布式计算引擎。

- 核心特点:
  - 流为核心: Flink 的设计哲学是"一切皆是流"，批量计算被看作是流计算的一个特例。它能够以事件驱动的方式，逐条处理数据，实现极低的延迟。
  - 状态管理与窗口: Flink 提供了强大的状态管理能力，允许你在流处理中维护和更新状态（例如，一个用户的累计消费金额）。它还支持灵活的窗口操作（如滚动窗口、滑动窗口、会话窗口），用于对无界数据流进行聚合分析。
  - 高吞吐与低延迟: 专为低延迟、高吞吐的实时计算场景设计。
- 适用场景:
  - 对实时性要求极高的场景，如实时风控、实时推荐、实时监控大盘。
  - 需要进行复杂事件处理（CEP）的场景。

Spark vs. Flink

特性	Spark	Flink
核心模型	批处理 (Batch)	流处理 (Streaming)
流处理方式	微批次 (Micro-batch)	逐条处理 (Per-event)
延迟	秒级	毫秒级
窗口	基于时间的窗口	灵活的窗口（时间、计数、会话）
生态	更成熟，社区更庞大	快速发展，在实时计算领域是事实标准

总结: 如果你的主要任务是离线分析和机器学习，`Spark` 是一个更通用、更成熟的选择。如果你的核心是需要亚秒级响应的实时计算，`Flink` 则是更专业的工具。在许多现代数据平台中，二者往往会共存，分别处理不同的任务。

E06: Apache Flink

E06: Apache Flink 实时流处理

Apache Flink 是一个分布式流处理框架，专为低延迟、高吞吐量的实时数据处理而设计。

目录

Flink 架构

集群架构

```
├── ResourceManager
└── JobMaster
        ↓
TaskManager1        TaskManager2        TaskManager3
├── Task Slot1      ├── Task Slot1      ├── Task Slot1
├── Task Slot2      ├── Task Slot2      ├── Task Slot2
└── Task Slot3      └── Task Slot3      └── Task Slot3
```

组件	说明
TaskManager	执行具体任务，管理内存和网络
Dispatcher	接收作业提交，启动 JobMaster
ResourceManager	管理 TaskManager 资源
JobMaster	管理单个作业的执行

运行时架构

```
Operator1 → Operator2 → Operator3
```

核心概念

基本示例

```
StreamExecutionEnvironment env = StreamExecutionEnvironment.getExecutionEnvironment();

DataStream<String> stream = env
    .socketTextStream("localhost", 9999)
    .flatMap(new Tokenizer())
    .keyBy(value -> value.f0)
    .window(TumblingProcessingTimeWindows.of(Time.seconds(5)))
    .sum(1);

env.execute("Word Count");
```

数据类型

```
// 1. 基本类型
DataStream<Integer> intStream;

// 2. 元组类型
DataStream<Tuple2<String, Integer>> tupleStream;

// 3. POJO 类型
public class WordCount {
    public String word;
    public int count;
    // constructors, getters, setters
}
DataStream<WordCount> pojoStream;

// 4. Row 类型（动态）
DataStream<Row> rowStream;
```

DataStream API

数据源 (Source)

```
StreamExecutionEnvironment env = StreamExecutionEnvironment.getExecutionEnvironment();

// 1. 从集合创建
DataStream<String> fromCollection = env.fromCollection(Arrays.asList("a", "b", "c"));

// 2. 从文件系统
DataStream<String> fromFile = env.readTextFile("path/to/file");

// 3. 从 Kafka
Properties props = new Properties();
props.setProperty("bootstrap.servers", "localhost:9092");
props.setProperty("group.id", "test");

DataStream<String> fromKafka = env.addSource(
    new FlinkKafkaConsumer<>("topic", new SimpleStringSchema(), props));

// 4. 自定义数据源
DataStream<String> customSource = env.addSource(new CustomSourceFunction());
```

自定义 Source

```
public class CustomSourceFunction implements SourceFunction<String> {
    private volatile boolean running = true;

    @Override
    public void run(SourceContext<String> ctx) throws Exception {
        while (running) {
            ctx.collect("data-" + System.currentTimeMillis());
            Thread.sleep(1000);
        }
    }

    @Override
    public void cancel() {
        running = false;
    }
}
```

转换操作 (Transformation)

```
// 1. Map - 一对一转换
DataStream<String> mapped = input.map(String::toUpperCase);

// 2. FlatMap - 一对多转换
DataStream<String> flatMapped = input.flatMap(
    (String line, Collector<String> out) -> {
        for (String word : line.split(" ")) {
            out.collect(word);
        }
    });

// 3. Filter - 过滤
DataStream<String> filtered = input.filter(s -> s.startsWith("error"));

// 4. KeyBy - 分组
KeyedStream<Tuple2<String, Integer>, String> keyed =
    tupleStream.keyBy(value -> value.f0);

// 5. Reduce - 聚合
DataStream<Tuple2<String, Integer>> reduced =
    keyed.reduce((a, b) -> new Tuple2<>(a.f0, a.f1 + b.f1));

// 6. Aggregate - 自定义聚合
DataStream<Double> aggregated = keyed.aggregate(new AverageAggregate());
```

自定义聚合函数

```
public class AverageAggregate implements AggregateFunction<Tuple2<String, Integer>,
Tuple2<Long, Long>, Double> {
    @Override
    public Tuple2<Long, Long> createAccumulator() {
        return new Tuple2<>(0L, 0L);
    }

    @Override
    public Tuple2<Long, Long> add(Tuple2<String, Integer> value, Tuple2<Long, Long>
accumulator) {
        return new Tuple2<>(accumulator.f0 + value.f1, accumulator.f1 + 1L);
    }

    @Override
    public Double getResult(Tuple2<Long, Long> accumulator) {
        return ((double) accumulator.f0) / accumulator.f1;
    }

    @Override
    public Tuple2<Long, Long> merge(Tuple2<Long, Long> a, Tuple2<Long, Long> b) {
        return new Tuple2<>(a.f0 + b.f0, a.f1 + b.f1);
    }
}
```

数据输出 (Sink)

```
// 1. 打印输出
stream.print();

// 2. 写入文件
stream.writeAsText("path/to/output");

// 3. 写入 Kafka
Properties props = new Properties();
props.setProperty("bootstrap.servers", "localhost:9092");

stream.addSink(new FlinkKafkaProducer<>("output-topic", new SimpleStringSchema(),
props));

// 4. 写入数据库
stream.addSink(new CustomSinkFunction());
```

自定义 Sink

```
public class CustomSinkFunction extends RichSinkFunction<String> {
    private Connection connection;

    @Override
    public void open(Configuration parameters) throws Exception {
        // 初始化数据库连接
        connection = DriverManager.getConnection(
            "jdbc:mysql://localhost:3306/test", "user", "password");
    }

    @Override
    public void invoke(String value, Context context) throws Exception {
        // 执行插入操作
        PreparedStatement stmt = connection.prepareStatement(
            "INSERT INTO table VALUES (?)");
        stmt.setString(1, value);
        stmt.executeUpdate();
    }

    @Override
    public void close() throws Exception {
        if (connection != null) {
            connection.close();
        }
    }
}
```

状态管理

Keyed State

```
public class StatefulMap extends RichMapFunction<Tuple2<String, Integer>,
Tuple2<String, Integer>> {
    private ValueState<Integer> sumState;

    @Override
    public void open(Configuration config) {
        ValueStateDescriptor<Integer> descriptor =
            new ValueStateDescriptor<>("sum", Integer.class);
        sumState = getRuntimeContext().getState(descriptor);
    }

    @Override
    public Tuple2<String, Integer> map(Tuple2<String, Integer> input) throws Exception
{
        Integer currentSum = sumState.value();
        if (currentSum == null) {
            currentSum = 0;
        }
        currentSum += input.f1;
        sumState.update(currentSum);

        return new Tuple2<>(input.f0, currentSum);
    }
}
```

Operator State

```
public class BufferingSink implements SinkFunction<String>, CheckpointedFunction {
    private List<String> bufferedElements = new ArrayList<>();
    private ListState<String> checkpointedState;

    @Override
    public void snapshotState(FunctionSnapshotContext context) throws Exception {
        checkpointedState.clear();
        for (String element : bufferedElements) {
            checkpointedState.add(element);
        }
    }

    @Override
    public void initializeState(FunctionInitializationContext context) throws
Exception {
        ListStateDescriptor<String> descriptor =
            new ListStateDescriptor<>("buffered-elements", String.class);

        checkpointedState = context.getOperatorStateStore().getListState(descriptor);

        if (context.isRestored()) {
            for (String element : checkpointedState.get()) {
                bufferedElements.add(element);
            }
        }
    }
}
```

状态后端配置

```
// 1. MemoryStateBackend (开发测试)
env.setStateBackend(new MemoryStateBackend());

// 2. FsStateBackend (生产推荐)
env.setStateBackend(new FsStateBackend("hdfs://namenode:port/flink-checkpoints"));

// 3. RocksDBStateBackend (大状态)
env.setStateBackend(new RocksDBStateBackend("hdfs://namenode:port/flink-
checkpoints"));

// 配置
env.enableCheckpointing(60000); // 60 秒 checkpoint 一次
env.getCheckpointConfig().setCheckpointingMode(CheckpointingMode.EXACTLY_ONCE);
env.getCheckpointConfig().setMinPauseBetweenCheckpoints(30000);
env.getCheckpointConfig().setCheckpointTimeout(600000);
```

时间与窗口

时间语义

```
// 1. Processing Time (处理时间)
env.setStreamTimeCharacteristic(TimeCharacteristic.ProcessingTime);

// 2. Event Time (事件时间)
env.setStreamTimeCharacteristic(TimeCharacteristic.EventTime);

// 3. Watermark (水位线)
stream.assignTimestampsAndWatermarks(
    WatermarkStrategy.<Event>forBoundedOutOfOrderness(Duration.ofSeconds(10))
        .withTimestampAssigner((event, timestamp) -> event.getTimestamp()));
```

时间窗口

```
// 滚动窗口 (Tumbling Window)
stream.keyBy(...)
    .window(TumblingEventTimeWindows.of(Time.minutes(5)))
    .sum(1);

// 滑动窗口 (Sliding Window)
stream.keyBy(...)
    .window(SlidingEventTimeWindows.of(Time.minutes(10), Time.minutes(2)))
    .sum(1);

// 会话窗口 (Session Window)
stream.keyBy(...)
    .window(EventTimeSessionWindows.withGap(Time.minutes(30)))
    .sum(1);
```

计数窗口

```
// 滚动计数窗口
stream.keyBy(...)
    .countWindow(100)
    .sum(1);

// 滑动计数窗口
stream.keyBy(...)
    .countWindow(100, 10)
    .sum(1);
```

窗口函数

```
// 1. ReduceFunction
stream.keyBy(...)
    .window(TumblingEventTimeWindows.of(Time.minutes(5)))
    .reduce(new SumReduceFunction());

// 2. AggregateFunction
stream.keyBy(...)
    .window(TumblingEventTimeWindows.of(Time.minutes(5)))
    .aggregate(new AverageAggregateFunction());

// 3. ProcessWindowFunction
stream.keyBy(...)
    .window(TumblingEventTimeWindows.of(Time.minutes(5)))
    .process(new MyProcessWindowFunction());

public class MyProcessWindowFunction
    extends ProcessWindowFunction<Tuple2<String, Integer>, String, String, TimeWindow>
{
    @Override
    public void process(String key, Context context,
            Iterable<Tuple2<String, Integer>> elements, Collector<String> out) {
        int count = 0;
        for (Tuple2<String, Integer> element : elements) {
            count++;
        }
        out.collect("Window: " + context.window() + " count: " + count);
    }
}
```

容错机制

Checkpoint 配置

```
// 启用 Checkpoint
env.enableCheckpointing(60000, CheckpointingMode.EXACTLY_ONCE);

// 配置 Checkpoint
CheckpointConfig config = env.getCheckpointConfig();
config.setMinPauseBetweenCheckpoints(30000);
config.setCheckpointTimeout(600000);
config.setMaxConcurrentCheckpoints(1);
config.enableExternalizedCheckpoints(ExternalizedCheckpointCleanup.RETAIN_ON_CANCELLAT
ION);

// 重启策略
env.setRestartStrategy(RestartStrategies.fixedDelayRestart(
    3,                              // 重启次数
    Time.of(10, TimeUnit.SECONDS)   // 重启间隔
));

// 指数退避重启策略
env.setRestartStrategy(RestartStrategies.exponentialDelayRestart(
    Time.milliseconds(1),           // 初始延迟
    Time.milliseconds(1000),        // 最大延迟
    1.2,                            // 指数基数
    Time.milliseconds(5000),        // 重置阈值
    0.1                             // 抖动因子
));
```

Savepoint 操作

```
# 创建 Savepoint
bin/flink savepoint <jobId> [targetDirectory]

# 从 Savepoint 恢复
bin/flink run -s <savepointPath> <jarFile>

# 删除 Savepoint
bin/flink savepoint -d <savepointPath>
```

性能调优

并行度配置

```
// 1. 全局并行度
env.setParallelism(4);

// 2. 算子并行度
stream.map(...).setParallelism(2);

// 3. Slot 共享组
stream.map(...).slotSharingGroup("group1");
```

内存配置

```
# flink-conf.yaml
taskmanager.memory.flink.size: 3g
taskmanager.memory.network.fraction: 0.1
taskmanager.memory.managed.fraction: 0.4
```

网络缓冲

```
// 批量传输
env.setBufferTimeout(100);
```

RocksDB 优化

```
RocksDBStateBackend backend = new RocksDBStateBackend("hdfs://...");
backend.setPredefinedOptions(PredefinedOptions.SPINNING_DISK_OPTIMIZED);
backend.setDbStoragePath("/tmp/rocksdb");
env.setStateBackend(backend);
```

知识要点

1. Flink vs Spark Streaming

特性	Flink	Spark Streaming
处理模型	真正的流处理	微批处理
延迟	毫秒级	秒级
吞吐量	高	很高
状态管理	原生支持	有限支持
容错	Checkpoint	RDD lineage
反压	原生支持	有限支持

2. 反压 (Backpressure) 机制

问题: 下游处理速度跟不上上游产生速度

Flink 解决方案:

1. 信用机制: 基于信用的流量控制
2. 缓冲池: 动态调整缓冲池大小
3. 网络栈: TCP 流量控制
4. 监控: Web UI 显示反压情况

3. Exactly-Once 语义保证

组件:

1. Source: 可重放（如 Kafka offset）

2. 内部处理: Checkpoint 机制

3. Sink: 两阶段提交或幂等写入

```
// 两阶段提交 Sink 示例
public class TwoPhaseCommitSink
    extends TwoPhaseCommitSinkFunction<String, Transaction, Void> {

    @Override
    protected Transaction beginTransaction() throws Exception {
        return new Transaction();
    }

    @Override
    protected void invoke(Transaction transaction, String value, Context context)
            throws Exception {
        transaction.add(value);
    }

    @Override
    protected void preCommit(Transaction transaction) throws Exception {
        transaction.flush();
    }

    @Override
    protected void commit(Transaction transaction) {
        transaction.commit();
    }

    @Override
    protected void abort(Transaction transaction) {
        transaction.rollback();
    }
}
```

4. 窗口触发条件

触发器	说明
Watermark	事件时间窗口
Processing Time	处理时间窗口
元素计数	计数窗口
自定义	用户定义的触发器

5. 状态管理最佳实践

1. 选择合适的状态类型: ValueState vs ListState vs MapState
2. 设置状态 TTL: 避免状态无限增长
3. 选择合适的状态后端: 内存 vs 文件系统 vs RocksDB
4. 状态大小监控: 及时发现状态膨胀

```
// 设置状态 TTL
StateTtlConfig ttlConfig = StateTtlConfig
    .newBuilder(Time.days(7))
    .setUpdateType(StateTtlConfig.UpdateType.OnCreateAndWrite)
    .setStateVisibility(StateTtlConfig.StateVisibility.NeverReturnExpired)
    .build();

ValueStateDescriptor<String> descriptor =
    new ValueStateDescriptor<>("my-state", String.class);
descriptor.enableTimeToLive(ttlConfig);
```

6. 故障恢复流程

1. 检测故障: JobManager 监控 TaskManager 心跳
2. 重启任务: 根据重启策略重启失败任务
3. 恢复状态: 从最近的 Checkpoint 恢复状态

4. 重放数据: Source 重放 Checkpoint 之后的数据
5. 继续处理: 恢复正常处理流程

E07: HBase 数据库

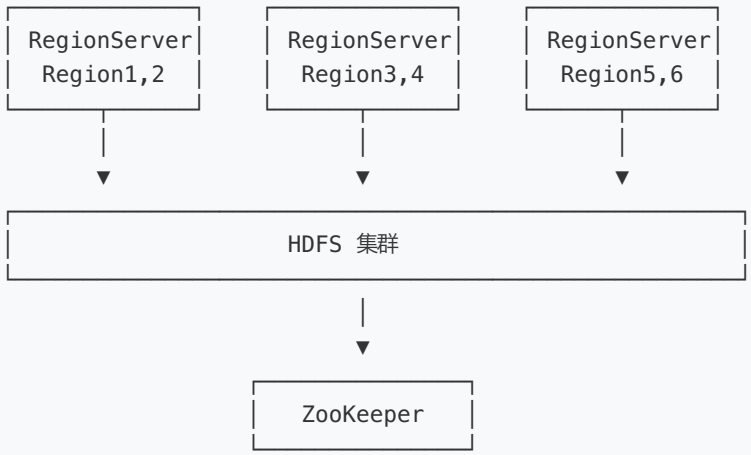
E07: HBase 分布式 NoSQL 数据库

Apache HBase 是一个分布式、面向列的开源数据库，基于 Google Bigtable 论文实现，运行在 HDFS 之上。

目录

HBase 架构

核心组件



组件	说明
HMaster	管理 RegionServer，处理表的创建/删除，Region 分配
RegionServer	处理数据读写请求，管理多个 Region
Region	表的水平分片，包含一定范围的行
ZooKeeper	协调服务，存储元数据，故障检测
HDFS	底层存储系统

Region 详细结构

```
Region
├── Store (列族)
│   ├── MemStore (内存缓冲)
│   └── HFile (磁盘文件)
│       ├── Data Block
│       ├── Index Block
│       └── Bloom Filter
└── WAL (Write-Ahead Log)
```

写入流程

1. Client → RegionServer: 写请求
2. WAL: 先写预写日志（保证数据持久性）
3. MemStore: 数据写入内存
4. Flush: MemStore 达到阈值时刷写到 HFile
5. Compaction: 定期合并 HFile

读取流程

1. Client → RegionServer: 读请求
2. MemStore: 先查内存中的数据
3. BlockCache: 查询缓存的 HFile 块
4. HFile: 从磁盘读取数据
5. Merge: 合并多个来源的数据返回

数据模型

逻辑视图

```
Table: user_info
├── Row Key: user001
│   ├── Column Family: basic_info
│   │   ├── name:zhang_san (timestamp:1234567890)
│   │   └── age:25 (timestamp:1234567891)
│   └── Column Family: contact_info
│       ├── email:zhang@example.com (timestamp:1234567892)
│       └── phone:13800138000 (timestamp:1234567893)
└── Row Key: user002
    └── ...
```

物理存储

```
basic_info Store:
user001:name:1234567890 → zhang_san
user001:age:1234567891 → 25
user002:name:1234567900 → li_si

contact_info Store:
user001:email:1234567892 → zhang@example.com
user001:phone:1234567893 → 13800138000
```

核心概念

概念	说明
Row Key	行键，表的主键，按字典序排序
Column Family	列族，列的逻辑分组
Column Qualifier	列限定符，列族下的具体列
Cell	单元格，由(row, column family, column qualifier, timestamp)确定
Timestamp	时间戳，同一 Cell 的多个版本

Shell 操作

连接与基本操作

```
# 启动 HBase Shell
hbase shell

# 查看状态
status
version

# 查看集群信息
whoami
```

命名空间管理

```
# 创建命名空间
create_namespace 'my_namespace'

# 列出命名空间
list_namespace

# 删除命名空间
drop_namespace 'my_namespace'
```

表操作

```
# 创建表（带配置）
create 'user_info',
  {NAME => 'basic_info', VERSIONS => 3, TTL => 2592000},
  {NAME => 'contact_info', COMPRESSION => 'SNAPPY'}

# 列出表
list

# 查看表结构
describe 'user_info'

# 禁用表
disable 'user_info'

# 启用表
enable 'user_info'

# 删除表
drop 'user_info'

# 修改表结构
alter 'user_info', {NAME => 'basic_info', VERSIONS => 5}
```

数据操作

```
# 插入数据
put 'user_info', 'user001', 'basic_info:name', 'zhang_san'
put 'user_info', 'user001', 'basic_info:age', '25'
put 'user_info', 'user001', 'contact_info:email', 'zhang@example.com'

# 查询单行
get 'user_info', 'user001'

# 查询指定列族
get 'user_info', 'user001', 'basic_info'

# 查询指定列
get 'user_info', 'user001', 'basic_info:name'

# 扫描表
scan 'user_info'

# 条件扫描
scan 'user_info', {STARTROW => 'user001', ENDROW => 'user999'}
scan 'user_info', {FILTER => "SingleColumnValueFilter('basic_info', 'age', >=,
'binary:18')"}

# 删除数据
delete 'user_info', 'user001', 'basic_info:age'

# 删除行
deleteall 'user_info', 'user001'

# 计数
count 'user_info'
```

Java API

连接配置

```
// 配置连接
Configuration conf = HBaseConfiguration.create();
conf.set("hbase.zookeeper.quorum", "node1,node2,node3");
conf.set("hbase.zookeeper.property.clientPort", "2181");

// 创建连接
Connection connection = ConnectionFactory.createConnection(conf);
Admin admin = connection.getAdmin();
```

表管理

```
// 创建表
TableName tableName = TableName.valueOf("user_info");
HTableDescriptor tableDesc = new HTableDescriptor(tableName);

// 添加列族
HColumnDescriptor basicInfo = new HColumnDescriptor("basic_info");
basicInfo.setMaxVersions(3);
basicInfo.setTimeToLive(30 * 24 * 60 * 60); // 30 天 TTL

HColumnDescriptor contactInfo = new HColumnDescriptor("contact_info");
contactInfo.setCompressionType(Compression.Algorithm.SNAPPY);

tableDesc.addFamily(basicInfo);
tableDesc.addFamily(contactInfo);

// 创建表
admin.createTable(tableDesc);
```

数据操作

```
Table table = connection.getTable(TableName.valueOf("user_info"));

// 插入数据
Put put = new Put(Bytes.toBytes("user001"));
put.addColumn(Bytes.toBytes("basic_info"), Bytes.toBytes("name"),
Bytes.toBytes("zhang_san"));
put.addColumn(Bytes.toBytes("basic_info"), Bytes.toBytes("age"), Bytes.toBytes("25"));
table.put(put);

// 批量插入
List<Put> puts = new ArrayList<>();
for (int i = 0; i < 1000; i++) {
    Put batchPut = new Put(Bytes.toBytes("user" + String.format("%03d", i)));
    batchPut.addColumn(Bytes.toBytes("basic_info"), Bytes.toBytes("name"),
Bytes.toBytes("user" + i));
    puts.add(batchPut);
}
table.put(puts);

// 查询数据
Get get = new Get(Bytes.toBytes("user001"));
get.addFamily(Bytes.toBytes("basic_info"));
Result result = table.get(get);

// 解析结果
for (Cell cell : result.listCells()) {
    String family = Bytes.toString(CellUtil.cloneFamily(cell));
    String qualifier = Bytes.toString(CellUtil.cloneQualifier(cell));
    String value = Bytes.toString(CellUtil.cloneValue(cell));
    System.out.println(family + ":" + qualifier + " = " + value);
}

// 扫描数据
Scan scan = new Scan();
scan.setStartRow(Bytes.toBytes("user001"));
scan.setStopRow(Bytes.toBytes("user999"));
scan.addFamily(Bytes.toBytes("basic_info"));

ResultScanner scanner = table.getScanner(scan);
for (Result res : scanner) {
    // 处理结果
}
scanner.close();
```

过滤器

```
// 单列值过滤器
SingleColumnValueFilter filter = new SingleColumnValueFilter(
    Bytes.toBytes("basic_info"),
    Bytes.toBytes("age"),
    CompareFilter.CompareOp.GREATER_OR_EQUAL,
    Bytes.toBytes("18")
);

// 前缀过滤器
PrefixFilter prefixFilter = new PrefixFilter(Bytes.toBytes("user00"));

// 组合过滤器
FilterList filterList = new FilterList(FilterList.Operator.MUST_PASS_ALL);
filterList.addFilter(filter);
filterList.addFilter(prefixFilter);

scan.setFilter(filterList);
```

性能优化

Row Key 设计

```
// 1. 避免热点：使用散列前缀
String rowKey = MD5Hash.digest(userId).toString().substring(0, 2) + "_" + userId;

// 2. 时间倒序：便于查询最新数据
String rowKey = userId + "_" + (Long.MAX_VALUE - timestamp);

// 3. 组合 Key：支持多维查询
String rowKey = region + "_" + userId + "_" + timestamp;
```

列族设计

```
// 合理设计：按访问模式分组
create 'user_profile',
  {NAME => 'profile', COMPRESSION => 'SNAPPY'},   // 用户基本信息
  {NAME => 'behavior', TTL => 604800}             // 用户行为数据(7天 TTL)

// 避免：列族过多
// 避免：不同访问模式的列放在同一列族
```

批量操作

```
List<Put> puts = new ArrayList<>();
for (UserData user : userData) {
    Put put = createPut(user);
    puts.add(put);

    // 批量提交
    if (puts.size() >= 1000) {
        table.put(puts);
        puts.clear();
    }
}
// 提交剩余数据
if (!puts.isEmpty()) {
    table.put(puts);
}
```

缓存配置

```
// 启用 Block Cache
HColumnDescriptor family = new HColumnDescriptor("data");
family.setBlockCacheEnabled(true);
family.setCacheBloomsOnWrite(true);
family.setCacheDataOnWrite(true);
family.setCacheIndexesOnWrite(true);
```

集群管理

Region 管理

```
# 手动分裂 Region
split 'user_info', 'user500'

# 合并 Region
merge_region 'region1_encoded_name', 'region2_encoded_name'

# 查看 Region 信息
list_regions 'user_info'
```

负载均衡

```
# 手动触发负载均衡
balancer

# 查看负载均衡状态
balancer_enabled
```

Compaction

```
# 手动触发 Major Compaction
major_compact 'user_info'

# 手动触发 Minor Compaction
compact 'user_info'

# 查看压缩状态
compaction_state 'user_info'
```

监控

```
# 查看 RegionServer 信息
list_regionservers

# 查看表统计信息
list_table_stats 'user_info'
```

知识要点

1. HBase vs 关系型数据库

特性	HBase	关系型数据库
数据模型	列族模型	关系模型
ACID	行级原子性	完整ACID
扩展性	水平扩展	垂直扩展
查询语言	NoSQL API	SQL
适用场景	大数据读写	复杂事务

2. 数据倾斜问题

问题: Region 热点，某些 Region 访问量过大

解决方案:

1. Row Key 设计: 避免单调递增，使用散列前缀
2. 预分区: 创建表时预先分区
3. 负载均衡: 定期执行 balance 操作

```
// 预分区示例
byte[][] splits = new byte[10][];
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    splits[i] = Bytes.toBytes(String.format("%02d", i));
}
admin.createTable(tableDesc, splits);
```

3. 读取性能优化

1. Bloom Filter: 快速判断数据是否存在
2. Block Cache: 缓存热点数据
3. 压缩: 减少存储空间和 IO
4. 预读: 设置合理的扫描缓存

```
// 配置 Bloom Filter
HColumnDescriptor family = new HColumnDescriptor("data");
family.setBloomFilterType(BloomType.ROW);
```

4. 写入性能优化

1. 批量写入: 减少 RPC 调用
2. WAL: 根据需要关闭 WAL
3. MemStore: 调整内存大小
4. 压缩: 异步压缩

```
// 关闭 WAL（数据安全性降低）
put.setDurability(Durability.SKIP_WAL);
```

5. 故障恢复

1. WAL: 通过预写日志恢复数据
2. Region 迁移: 自动迁移故障节点的 Region
3. ZooKeeper: 监控集群状态，协调故障恢复

4. 数据副本: 依赖 HDFS 的数据副本机制

6. 热点问题诊断

```
# 1. 查看 Region 分布
list_regions 'table_name'

# 2. 查看 RegionServer 负载
status 'detailed'

# 3. 分析访问模式
# 通过日志分析热点 Row Key

# 4. 重新设计 Row Key
# 添加散列前缀或使用反向时间戳
```

E08: Apache Hive

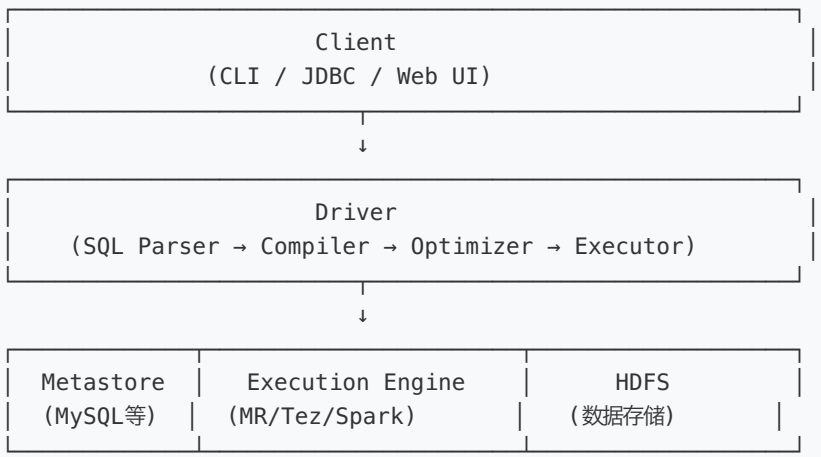
E08: Hive 数据仓库

Apache Hive 是基于 Hadoop 的数据仓库工具，可以将结构化的数据文件映射为数据库表，并提供类 SQL 查询功能。

目录

Hive 架构

核心组件



组件	说明
Driver	解析 SQL、生成执行计划、协调执行
Metastore	存储表结构、分区等元数据
Execution Engine	执行引擎（MapReduce/Tez/Spark）

工作流程

1. SQL 解析: 词法分析 → 语法分析 → 语义分析
2. 逻辑计划: 生成逻辑执行计划
3. 物理计划: 转换为 MapReduce/Tez/Spark 任务
4. 执行: 提交到 Hadoop 集群执行

数据类型与存储格式

基本数据类型

类型	描述	示例
`TINYINT`	1 字节整数	-128 到 127
`SMALLINT`	2 字节整数	-32,768 到 32,767
`INT`	4 字节整数	-2,147,483,648 到 2,147,483,647
`BIGINT`	8 字节整数	-9,223,372,036,854,775,808 到 9,223,372,036,854,775,807
`FLOAT`	4 字节浮点数	3.14159
`DOUBLE`	8 字节浮点数	3.141592653589793
`STRING`	字符串	'Hello World'
`BOOLEAN`	布尔值	TRUE/FALSE
`TIMESTAMP`	时间戳	'2023-01-01 12:00:00'
`DATE`	日期	'2023-01-01'

复杂数据类型

```
-- Array
ARRAY<data_type>
-- 示例: ARRAY<STRING>

-- Map
MAP<primitive_type, data_type>
-- 示例: MAP<STRING, INT>

-- 结构体
STRUCT<col_name:data_type [COMMENT col_comment], ...>
-- 示例: STRUCT<name:STRING, age:INT>

-- 联合体
UNIONTYPE<data_type, data_type, ...>
```

存储格式对比

格式	压缩率	查询性能	写入性能	适用场景
TextFile	低	低	高	日志导入
SequenceFile	中	中	中	中间数据
RCFile	高	中	低	列式分析
ORC	很高	很高	低	OLAP 分析
Parquet	很高	很高	低	跨平台分析

DDL 操作

数据库操作

```
-- 创建数据库
CREATE DATABASE IF NOT EXISTS mydb
COMMENT 'My database'
LOCATION '/user/hive/warehouse/mydb.db';

-- 使用数据库
USE mydb;

-- 显示数据库
SHOW DATABASES;

-- 删除数据库
DROP DATABASE IF EXISTS mydb CASCADE;
```

创建表

```
-- 创建内部表
CREATE TABLE employee (
    id INT,
    name STRING,
    salary DOUBLE,
    department STRING
)
STORED AS ORC
TBLPROPERTIES ('orc.compress'='SNAPPY');

-- 创建外部表
CREATE EXTERNAL TABLE external_employee (
    name STRING,
    salary DOUBLE,
    department STRING
)
ROW FORMAT DELIMITED
FIELDS TERMINATED BY ','
STORED AS TEXTFILE
LOCATION '/data/employee/';

-- 创建分区表
CREATE TABLE partitioned_employee (
    name STRING,
    salary DOUBLE
)
PARTITIONED BY (department STRING, year INT)
STORED AS ORC;
```

修改表

```
-- 修改列
ALTER TABLE employee CHANGE salary salary DECIMAL(10,2);

-- 添加列
ALTER TABLE employee ADD COLUMNS (bonus DOUBLE);

-- 添加分区
ALTER TABLE partitioned_employee ADD PARTITION (department='IT', year=2023);

-- 删除分区
ALTER TABLE partitioned_employee DROP PARTITION (department='IT', year=2023);

-- 重命名表
ALTER TABLE employee RENAME TO emp;
```

DML 操作

数据插入

```
-- 插入数据
INSERT INTO employee VALUES (1, 'John', 5000.0, 'IT');

-- 从查询插入
INSERT INTO employee
SELECT id, name, salary, department
FROM temp_employee;

-- 覆盖插入
INSERT OVERWRITE TABLE employee
SELECT * FROM temp_employee;

-- 分区插入
INSERT INTO partitioned_employee PARTITION(department='IT', year=2023)
SELECT id, name, salary FROM temp_employee;

-- 动态分区插入
SET hive.exec.dynamic.partition=true;
SET hive.exec.dynamic.partition.mode=nonstrict;

INSERT INTO partitioned_employee PARTITION(department, year)
SELECT id, name, salary, department, year FROM temp_employee;
```

数据查询

```
-- 聚合查询
SELECT department, AVG(salary) as avg_salary
FROM employee
GROUP BY department
HAVING AVG(salary) > 6000;

-- 连接查询
SELECT e.name, d.dept_name
FROM employee e
JOIN department d ON e.department = d.dept_id;

-- 窗口函数
SELECT name, salary,
    ROW_NUMBER() OVER (PARTITION BY department ORDER BY salary DESC) as rank
FROM employee;

-- 子查询
SELECT * FROM employee
WHERE salary > (SELECT AVG(salary) FROM employee);
```

分区与分桶

分区操作

```
-- 静态分区
INSERT INTO partitioned_employee PARTITION(department='IT', year=2023)
SELECT id, name, salary FROM source_table;

-- 动态分区
INSERT INTO partitioned_employee PARTITION(department, year)
SELECT id, name, salary, department, year FROM source_table;

-- 查询特定分区
SELECT * FROM partitioned_employee
WHERE department='IT' AND year=2023;

-- 显示分区
SHOW PARTITIONS partitioned_employee;
```

分桶操作

```
-- 创建分桶表
CREATE TABLE bucketed_employee (
    id INT,
    name STRING,
    salary DOUBLE,
    department STRING
)
CLUSTERED BY (id) INTO 4 BUCKETS
STORED AS ORC;

-- 启用分桶
SET hive.enforce.bucketing=true;

-- 插入数据（自动分桶）
INSERT INTO bucketed_employee
SELECT * FROM employee;
```

函数与 UDF

字符串函数

```
-- 字符串操作
SELECT
    CONCAT(first_name, ' ', last_name) as full_name,
    UPPER(name) as upper_name,
    LOWER(name) as lower_name,
    LENGTH(name) as name_length,
    SUBSTR(name, 1, 3) as name_prefix,
    TRIM(name) as trimmed_name,
    REGEXP_REPLACE(name, '[0-9]', '') as no_digits
FROM employee;
```

日期函数

```
-- 日期操作
SELECT
    FROM_UNIXTIME(UNIX_TIMESTAMP()) as current_time,
    YEAR(hire_date) as hire_year,
    MONTH(hire_date) as hire_month,
    DATEDIFF(CURRENT_DATE, hire_date) as days_since_hire,
    DATE_ADD(hire_date, 30) as after_30_days
FROM employee;
```

聚合函数

```
-- 聚合统计
SELECT
    COUNT(*) as total_count,
    SUM(salary) as total_salary,
    AVG(salary) as avg_salary,
    MAX(salary) as max_salary,
    MIN(salary) as min_salary,
    STDDEV(salary) as salary_stddev
FROM employee;
```

自定义 UDF

```
// MyUpperUDF.java
package com.example.udf;

import org.apache.hadoop.hive.ql.exec.UDF;
import org.apache.hadoop.io.Text;

public class MyUpperUDF extends UDF {
    public Text evaluate(Text input) {
        if (input == null) return null;
        return new Text(input.toString().toUpperCase());
    }
}
```

```
-- 注册 UDF
ADD JAR /path/to/my-udf.jar;
CREATE TEMPORARY FUNCTION my_upper AS 'com.example.udf.MyUpperUDF';

-- 使用 UDF
SELECT my_upper(name) FROM employee;
```

性能优化

存储优化

```
-- 选择合适的存储格式
CREATE TABLE optimized_table (
    col1 STRING,
    col2 INT
)
STORED AS ORC
TBLPROPERTIES (
    'orc.compress'='SNAPPY',
    'orc.create.index'='true'
);
```

查询优化

```
-- 推荐：使用分区裁剪
SELECT * FROM partitioned_table
WHERE partition_col = 'value';

-- 避免：全表扫描
SELECT * FROM partitioned_table
WHERE non_partition_col = 'value';

-- 推荐：只查询需要的列
SELECT name, salary FROM employee;

-- 避免：SELECT *
SELECT * FROM employee;
```

连接优化

```
-- MapJoin（小表广播）
SELECT /*+ MAPJOIN(small_table) */ *
FROM large_table a
JOIN small_table b ON a.key = b.key;

-- 优化连接顺序（大表在前）
SELECT *
FROM large_table a
JOIN medium_table b ON a.key = b.key
JOIN small_table c ON b.key = c.key;
```

配置优化

```
-- 启用代价优化器
SET hive.cbo.enable=true;

-- 设置合理的MapReduce 参数
SET mapreduce.job.reduces=10;
SET hive.exec.reducers.bytes.per.reducer=1000000000;

-- 启用并行执行
SET hive.exec.parallel=true;
SET hive.exec.parallel.thread.number=8;

-- 启用向量化执行
SET hive.vectorized.execution.enabled=true;
SET hive.vectorized.execution.reduce.enabled=true;
```

知识要点

1. Hive vs 传统数据库

特性	Hive	传统数据库
数据量	PB 级	GB-TB 级
延迟	高（秒-分钟）	低（毫秒）
ACID	有限支持	完全支持
索引	有限	丰富
扩展性	水平扩展	垂直扩展
适用场景	离线分析	在线事务

2. 内部表 vs 外部表

特性	内部表	外部表
数据管理	Hive 管理	用户管理
删除表	删除元数据和数据	只删除元数据
数据位置	Hive 仓库目录	用户指定位置
使用场景	临时数据、中间结果	共享数据、外部数据源

3. 数据倾斜解决方案

```
-- 1. 增加 Reduce 任务数
SET mapreduce.job.reduces=100;

-- 2. 启用负载均衡
SET hive.groupby.skewindata=true;

-- 3. 使用随机前缀打散热点 Key
SELECT *
FROM (
    SELECT CONCAT(CAST(RAND() * 100 AS INT), '_', key) as new_key, value
    FROM skewed_table
) a
JOIN small_table b ON SPLIT(a.new_key, '_')[1] = b.key;

-- 4. 使用 MapJoin 避免 Shuffle
SELECT /*+ MAPJOIN(b) */ *
FROM large_table a
JOIN small_table b ON a.key = b.key;
```

4. 小文件问题处理

```
-- 1. 合并小文件
SET hive.merge.mapfiles=true;
SET hive.merge.mapredfiles=true;
SET hive.merge.size.per.task=256000000;

-- 2. 使用 Concatenate 合并 ORC 文件
ALTER TABLE table_name CONCATENATE;

-- 3. 重新组织数据
INSERT OVERWRITE TABLE new_table
SELECT * FROM old_table;
```

5. 性能优化清单

优化项	方法
存储格式	使用 ORC/Parquet 列式存储
压缩	启用 Snappy/LZ4 压缩
分区	合理设计分区键
分桶	对大表使用分桶
索引	创建适当的索引
缓存	缓存热点数据
并行度	调整 Map/Reduce 任务数
资源	合理分配内存和 CPU

相关章节

- E05: 数据仓库与处理
- E06: Apache Flink
- E07: HBase 数据库
- E09: Apache Spark

E09: Apache Spark

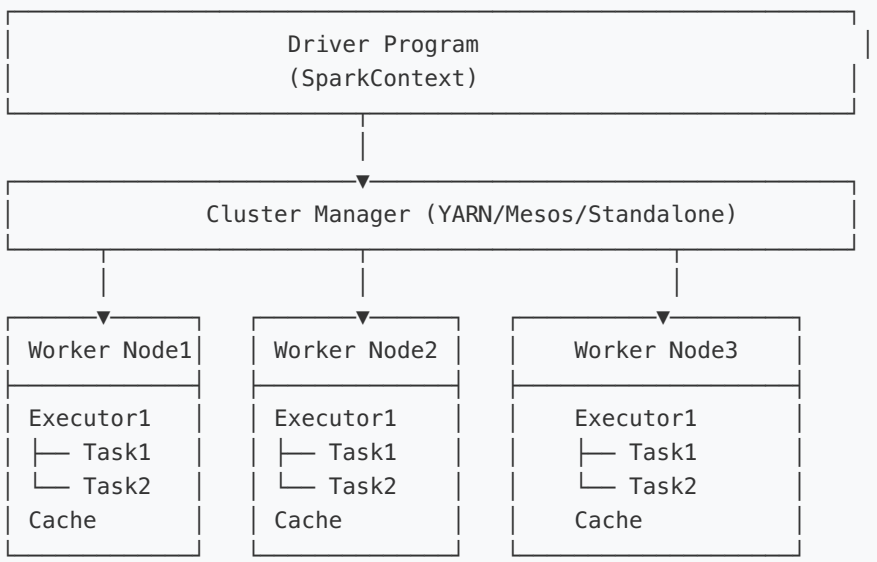
E09: Apache Spark 大数据处理

Apache Spark 是一个统一的大数据处理引擎，支持批处理、流处理、机器学习和图计算。

目录

Spark 架构

集群架构



核心组件

组件	说明
SparkContext	Spark 程序入口，协调集群资源
Cluster Manager	集群资源管理器
Worker Node	集群中的工作节点
Executor	运行在 Worker 上的进程，执行 Task
Task	最小的工作单元

运行流程

1. Driver 创建 SparkContext

2. 资源申请: 向 Cluster Manager 申请资源
3. 任务调度: DAG Scheduler 将 Job 分解为 Stage 和 Task
4. 任务分发: Task Scheduler 将 Task 分发到 Executor
5. 任务执行: Executor 执行 Task 并返回结果

RDD 编程

RDD 基本概念

RDD (Resilient Distributed Dataset): 弹性分布式数据集

特性

- 不可变性: RDD 一旦创建不可修改
- 分区性: 数据分布在多个分区
- 容错性: 通过血统(Lineage)恢复丢失数据
- 惰性求值: 只有在 Action 操作时才会执行

RDD 创建

```
import org.apache.spark.{SparkConf, SparkContext}

val conf = new SparkConf().setAppName("SparkExample").setMaster("local[*]")
val sc = new SparkContext(conf)

// 1. 从集合创建
val rdd1 = sc.parallelize(List(1, 2, 3, 4, 5))
val rdd2 = sc.makeRDD(Array("a", "b", "c"))

// 2. 从外部存储创建
val rdd3 = sc.textFile("hdfs://path/to/file")
val rdd4 = sc.wholeTextFiles("hdfs://path/to/directory")

// 3. 从其他 RDD 创建
val rdd5 = rdd1.map(_ * 2)
```

Transformation 操作

```
val data = sc.parallelize(List(1, 2, 3, 4, 5))

// 1. map - 一对一转换
val mapped = data.map(_ * 2)

// 2. filter - 过滤
val filtered = data.filter(_ % 2 == 0)

// 3. flatMap - 一对多转换
val words = sc.parallelize(List("hello world", "spark scala"))
val flatMapped = words.flatMap(_.split(" "))

// 4. distinct - 去重
val distincted = data.distinct()

// 5. union - 合并
val rdd1 = sc.parallelize(List(1, 2, 3))
val rdd2 = sc.parallelize(List(4, 5, 6))
val unioned = rdd1.union(rdd2)

// 6. intersection - 交集
val intersected = rdd1.intersection(rdd2)

// 7. groupByKey - 按键分组
val pairs = sc.parallelize(List(("a", 1), ("b", 2), ("a", 3)))
val grouped = pairs.groupByKey()

// 8. reduceByKey - 按键聚合
val reduced = pairs.reduceByKey(_ + _)

// 9. sortByKey - 按键排序
val sorted = pairs.sortByKey()

// 10. join - 连接
val rdd3 = sc.parallelize(List(("a", "x"), ("b", "y")))
val joined = pairs.join(rdd3)
```

Action 操作

```
val data = sc.parallelize(List(1, 2, 3, 4, 5))

// 1. collect - 收集所有元素到 Driver
val collected = data.collect()

// 2. count - 计算元素数
val count = data.count()

// 3. first - 获取第一个元素
val first = data.first()

// 4. take - 获取前 n 个元素
val taken = data.take(3)

// 5. reduce - 聚合所有元素
val sum = data.reduce(_ + _)

// 6. fold - 带初始值的聚合
val folded = data.fold(0)(_ + _)

// 7. aggregate - 复杂聚合
val (totalSum, totalCount) = data.aggregate((0, 0))(
  (acc, value) => (acc._1 + value, acc._2 + 1),
  (acc1, acc2) => (acc1._1 + acc2._1, acc1._2 + acc2._2)
)

// 8. foreach - 对每个元素执行操作
data.foreach(println)

// 9. saveAsTextFile - 保存为文本文件
data.saveAsTextFile("hdfs://path/to/output")
```

DataFrame & Dataset

DataFrame 创建

```
import org.apache.spark.sql.{SparkSession, DataFrame}

val spark = SparkSession.builder()
  .appName("DataFrameExample")
  .master("local[*]")
  .getOrCreate()

import spark.implicits._

// 1. 从 RDD 创建 DataFrame
case class Person(name: String, age: Int, city: String)
val peopleRDD = spark.sparkContext.parallelize(List(
  Person("Alice", 25, "NYC"),
  Person("Bob", 30, "LA"),
  Person("Charlie", 35, "Chicago")
))
val peopleDF = peopleRDD.toDF()

// 2. 从文件创建 DataFrame
val df = spark.read
  .option("header", "true")
  .option("inferSchema", "true")
  .csv("path/to/file.csv")

// 3. 从 JSON 创建
val jsonDF = spark.read.json("path/to/file.json")
```

DataFrame 操作

```
// 1. 查看数据
df.show()
df.describe().show()

// 2. 选择列
df.select("name", "age").show()
df.select($"name", $"age" + 1).show()

// 3. 过滤
df.filter($"age" > 25).show()
df.where("age > 25").show()

// 4. 分组聚合
df.groupBy("city").count().show()
df.groupBy("city").agg(avg("age"), max("age")).show()

// 5. 排序
df.orderBy($"age".desc).show()
df.sort("name").show()

// 6. 连接
val df2 = spark.createDataFrame(List(
  ("NYC", "NY"),
  ("LA", "CA"),
  ("Chicago", "IL")
)).toDF("city", "state")

df.join(df2, "city").show()

// 7. 窗口函数
import org.apache.spark.sql.expressions.Window
import org.apache.spark.sql.functions._

val windowSpec = Window.partitionBy("city").orderBy($"age".desc)
df.withColumn("rank", row_number().over(windowSpec)).show()
```

Dataset 类型安全

```
// 创建 Dataset
val ds: Dataset[Person] = df.as[Person]

// 类型安全操作
val adults = ds.filter(_.age >= 18)
val names = ds.map(_.name)

// 编译时类型检查
// ds.filter(_.salary > 1000) // 编译错误，Person 没有 salary 字段
```

Spark SQL

SQL 查询

```
// 注册临时视图
df.createOrReplaceTempView("people")

// SQL 查询
val result = spark.sql("""
  SELECT city, COUNT(*) as count, AVG(age) as avg_age
  FROM people
  WHERE age > 20
  GROUP BY city
  ORDER BY count DESC
""")

result.show()

// 复杂查询
val complexQuery = spark.sql("""
  SELECT name, age, city,
    ROW_NUMBER() OVER (PARTITION BY city ORDER BY age DESC) as rank
  FROM people
""")
```

表管理

```
// 列出所有表
spark.catalog.listTables().show()

// 缓存表
spark.catalog.cacheTable("people")
spark.catalog.uncacheTable("people")

// 删除临时视图
spark.catalog.dropTempView("people")
```

Spark Streaming

DStream 编程

```
import org.apache.spark.streaming.{StreamingContext, Seconds}

val ssc = new StreamingContext(spark.sparkContext, Seconds(1))

// 1. 从 socket 创建流
val lines = ssc.socketTextStream("localhost", 9999)

// 2. 转换操作
val words = lines.flatMap(_.split(" "))
val pairs = words.map(word => (word, 1))
val wordCounts = pairs.reduceByKey(_ + _)

// 3. 输出操作
wordCounts.print()

// 启动流处理
ssc.start()
ssc.awaitTermination()
```

窗口操作

```
// 窗口聚合
val windowedWordCounts = pairs.reduceByKeyAndWindow(
  (a: Int, b: Int) => a + b,     // reduce 函数
  (a: Int, b: Int) => a - b,     // inverse reduce 函数
  Seconds(30),                   // 窗口长度
  Seconds(10)                    // 滑动间隔
)

// 状态更新
def updateFunction(newValues: Seq[Int], runningCount: Option[Int]): Option[Int] = {
  val newCount = newValues.sum + runningCount.getOrElse(0)
  Some(newCount)
}

val stateDstream = pairs.updateStateByKey[Int](updateFunction)
```

Structured Streaming

```
// 创建流式 DataFrame
val df = spark
  .readStream
  .format("socket")
  .option("host", "localhost")
  .option("port", 9999)
  .load()

// 处理流数据
val words = df.as[String].flatMap(_.split(" "))
val wordCounts = words.groupBy("value").count()

// 输出结果
val query = wordCounts.writeStream
  .outputMode("complete")
  .format("console")
  .trigger(Trigger.ProcessingTime("10 seconds"))
  .start()

query.awaitTermination()
```

性能优化

缓存策略

```
import org.apache.spark.storage.StorageLevel

// 1. 基本缓存
val cachedRDD = rdd.cache()  // MEMORY_ONLY
val persistedRDD = rdd.persist(StorageLevel.MEMORY_AND_DISK)

// 2. DataFrame 缓存
df.cache()
df.persist(StorageLevel.MEMORY_AND_DISK_SER)

// 3. 不同存储级别
StorageLevel.MEMORY_ONLY          // 仅内存
StorageLevel.MEMORY_AND_DISK      // 内存+磁盘
StorageLevel.MEMORY_ONLY_SER      // 内存序列化
StorageLevel.DISK_ONLY            // 仅磁盘
StorageLevel.MEMORY_AND_DISK_2    // 内存+磁盘，2副本
```

分区优化

```
// 1. 调整分区数
val repartitioned = rdd.repartition(4)  // 增加分区
val coalesced = rdd.coalesce(2)         // 减少分区

// 2. 自定义分区器
class CustomPartitioner(numPartitions: Int) extends Partitioner {
  override def numPartitions: Int = numPartitions

  override def getPartition(key: Any): Int = {
    key.hashCode() % numPartitions
  }
}

val partitioned = pairs.partitionBy(new CustomPartitioner(4))

// 3. 数据本地性
val localData = sc.textFile("hdfs://path", minPartitions = 4)
```

广播变量与累加器

```
// 1. 广播变量
val broadcastVar = sc.broadcast(List(1, 2, 3))
val result = rdd.map(x => x * broadcastVar.value.sum)

// 2. 累加器
val accum = sc.longAccumulator("My Accumulator")
rdd.foreach(x => accum.add(x))
println(s"Accumulator value: ${accum.value}")

// 3. 自定义累加器
class VectorAccumulator extends AccumulatorV2[Vector, Vector] {
  private var _sum = Vector.zeros(3)

  override def isZero: Boolean = _sum == Vector.zeros(3)
  override def copy(): VectorAccumulator = new VectorAccumulator
  override def reset(): Unit = _sum = Vector.zeros(3)
  override def add(v: Vector): Unit = _sum += v
  override def merge(other: AccumulatorV2[Vector, Vector]): Unit = {
    _sum += other.asInstanceOf[VectorAccumulator]._sum
  }
  override def value: Vector = _sum
}
```

SQL 优化

```
// 1. 启用 CBO（基于成本的优化）
spark.conf.set("spark.sql.cbo.enabled", "true")

// 2. 启用代码生成
spark.conf.set("spark.sql.codegen.wholeStage", "true")

// 3. 广播 Join 优化
spark.conf.set("spark.sql.adaptive.enabled", "true")
spark.conf.set("spark.sql.adaptive.coalescePartitions.enabled", "true")

// 4. 谓词下推
val optimizedDF = df.filter($"age" > 18)  // Filter 下推到数据源
```

知识要点

1. RDD vs DataFrame vs Dataset

特性	RDD	DataFrame	Dataset
类型安全	编译时	运行时	编译时
性能优化	无	Catalyst优化器	Catalyst优化器
API风格	函数式	关系型	类型安全的关系型
内存使用	Java对象	二进制格式	二进制格式
序列化	Java序列化	自定义编码器	自定义编码器

2. Spark 内存管理

内存分配

```
Spark 内存 = 堆内存 × spark.memory.fraction (默认 0.6)
├── 存储内存 (Storage) × 0.5
│   └── 用于缓存 RDD、广播变量
├── 执行内存 (Execution) × 0.5
│   └── 用于 Shuffle、Join、Sort、Aggregation
└── 用户内存 (剩余部分)
    └── 用于用户自定义数据结构
```

配置示例

```
# 1. Executor 内存
--executor-memory 4g

# 2. 内存分配比例
--conf spark.memory.fraction=0.6
--conf spark.memory.storageFraction=0.5

# 3. 序列化
--conf spark.serializer=org.apache.spark.serializer.KryoSerializer
```

3. Shuffle 优化

```
// 1. 预分区
val partitioned = rdd.partitionBy(new HashPartitioner(100))

// 2. 调整并行度
spark.conf.set("spark.sql.shuffle.partitions", "400")

// 3. 启用外部排序
spark.conf.set("spark.sql.execution.useObjectHashAggregateExec", "false")
```

4. 数据倾斜处理

```
val skewedRDD = sc.parallelize(List(("key1", 1), ("key1", 1), /* 很多 key1 */, ("key2",
1)))

// 加盐处理
val saltedRDD = skewedRDD.map { case (key, value) =>
  val salt = Random.nextInt(10)
  (s"${key}_$salt", value)
}

val result = saltedRDD.reduceByKey(_ + _)
  .map { case (saltedKey, value) =>
    val originalKey = saltedKey.split("_")(0)
    (originalKey, value)
  }
  .reduceByKey(_ + _)
```

5. 两阶段聚合

```
// 第一阶段：局部聚合
val localAgg = rdd.mapPartitions { iter =>
  iter.toList.groupBy(_._1).map { case (key, values) =>
    (key, values.map(_._2).sum)
  }.toIterator
}

// 第二阶段：全局聚合
val globalAgg = localAgg.reduceByKey(_ + _)
```

6. 资源配置建议

```
# CPU 密集型
--num-executors 10 --executor-cores 5 --executor-memory 2g

# 内存密集型
--num-executors 5 --executor-cores 2 --executor-memory 8g

# 平衡型
--num-executors 15 --executor-cores 3 --executor-memory 4g
```

7. 最佳实践

```
// 推荐
rdd.filter(...).map(...)  // 先过滤再转换

// 避免
rdd.map(...).filter(...)  // 先转换再过滤

// 减少 Shuffle
val broadcastVar = sc.broadcast(smallData)
largeRDD.map(x => x + broadcastVar.value)  // 使用广播变量代替 join
```

8. 数据存储格式

```
// 使用列式存储
df.write
  .mode("overwrite")
  .option("compression", "snappy")
  .parquet("path/to/output")  // Parquet 格式

// 分区存储
df.write
  .partitionBy("year", "month")
  .parquet("path/to/partitioned/output")
```

E10: 群控与 API 逆向对比

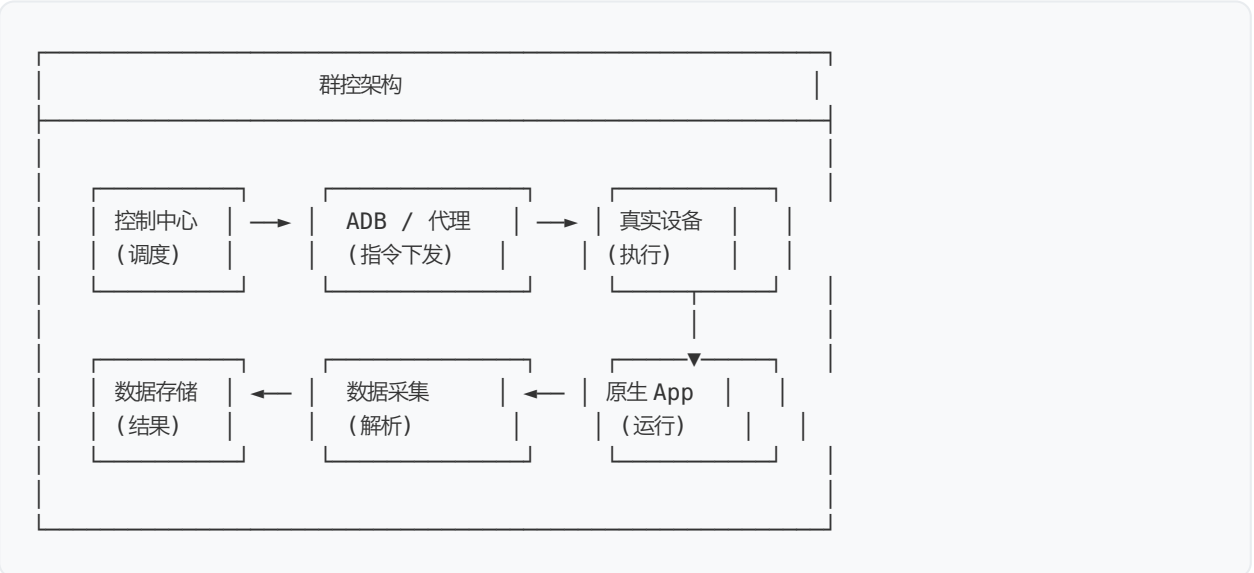
E10: 群控技术 vs API 逆向：技术路线选择指南

在移动端数据采集和自动化领域，群控技术和 API 逆向是两条主流的技术路线。本文将从多个维度对比分析两者的优劣，帮助你根据实际场景选择合适的方案。

核心概念

群控技术

通过控制真实或模拟的移动设备，在 App 原生环境中执行自动化操作。



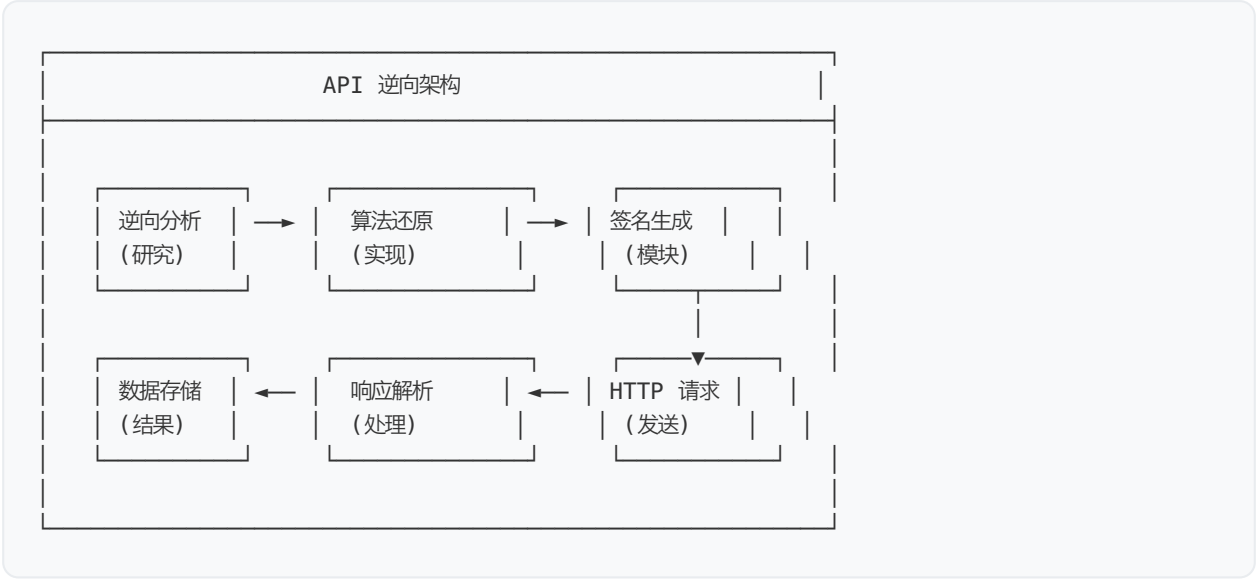
典型实现：

- 真机群控 (USB/WiFi ADB)
- 云手机 (ARM 服务器虚拟化)

- Android 模拟器集群
- Appium / UIAutomator 自动化

API 逆向

通过逆向分析 App 的网络协议和加密算法，直接模拟 API 请求获取数据。



典型实现：

- Frida Hook + 算法分析
- SO 层签名还原
- Unidbg 模拟执行
- 协议完全重放

多维度对比

1. 开发成本

维度	群控技术	API 逆向
技术门槛	低 - UI 自动化脚本	高 - 逆向工程能力
初期投入	中等 - 设备采购/云服务	高 - 人力时间成本
开发周期	短 - 数天可出原型	长 - 数周甚至数月
技术栈	Python + ADB + 图像识别	逆向 + 密码学 + 协议分析

结论：群控开发门槛低、见效快；API 逆向需要专业技能和更多时间。

2. 运维成本

维度	群控技术	API 逆向
硬件成本	高 - 设备/云手机费用	低 - 普通服务器即可
账号成本	高 - 需大量账号	低 - 可复用 Token
带宽成本	高 - 完整 App 流量	低 - 仅 API 请求
人力运维	高 - 设备故障、账号封禁	中 - 算法更新维护

结论：群控的长期运维成本远高于 API 逆向。

3. 性能与并发

维度	群控技术	API 逆向
单机并发	低 - 受设备数限制	高 - 数千 QPS
扩展性	线性增长（加设备）	弹性扩展
响应延迟	高 - UI 渲染耗时	低 - 毫秒级
资源利用	低效 - 大量资源闲置	高效

结论：高并发场景下，API 逆向有压倒性优势。

4. 反检测能力

维度	群控技术	API 逆向
环境真实性	高 - 真实 App 运行	低 - 模拟请求
设备指纹	真实 - 无需伪造	需要伪造完整指纹
行为模式	自然 - 真实交互	需要模拟行为特征
TLS 指纹	原生	需要处理 JA3/JA4
风控对抗	容易	困难

结论：面对复杂风控，群控的真实环境优势明显。

5. 稳定性与维护

维度	群控技术	API 逆向
App 更新影响	低 - UI 变化可适配	高 - 算法变化需重新逆向
版本兼容	自动兼容新版本	需持续跟进更新
故障类型	设备故障、账号封禁	签名失效、协议变更
恢复难度	低 - 更换设备/账号	高 - 重新分析算法

结论：群控对 App 更新更具韧性；API 逆向需要持续维护。

场景适用性分析

适合群控技术的场景

```
# 场景特征
scenarios_for_device_farming = {
    "强风控应用": "风控严格，API 难以绕过",
    "复杂交互流程": "需要完成复杂的 UI 操作链",
    "低并发需求": "日采集量在万级以下",
    "快速上线": "时间紧迫，无暇深入逆向",
    "动态内容": "页面内容需要 JS 渲染",
    "账号行为养成": "需要模拟真实用户行为",
}

# 典型应用
examples = [
    "社交平台养号",
    "电商平台抢购",
    "游戏自动化脚本",
    "短视频互动操作",
    "App 功能测试",
]
```

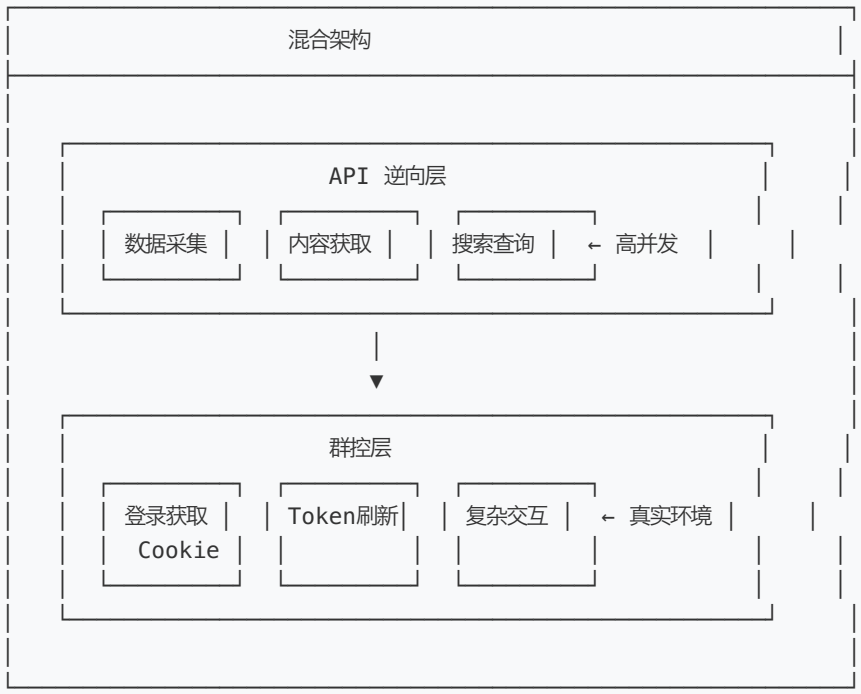
适合 API 逆向的场景

```
# 场景特征
scenarios_for_api_reverse = {
    "高并发需求": "日采集量在百万级以上",
    "数据密集型": "需要批量获取结构化数据",
    "成本敏感": "无法承受大量设备/账号成本",
    "实时性要求": "需要毫秒级响应",
    "长期运营": "项目周期长，值得投入逆向成本",
    "协议相对稳定": "App 更新频率低",
}

# 典型应用
examples = [
    "商品价格监控",
    "内容数据采集",
    "舆情监测分析",
    "竞品数据分析",
    "API 服务封装",
]
```

混合方案

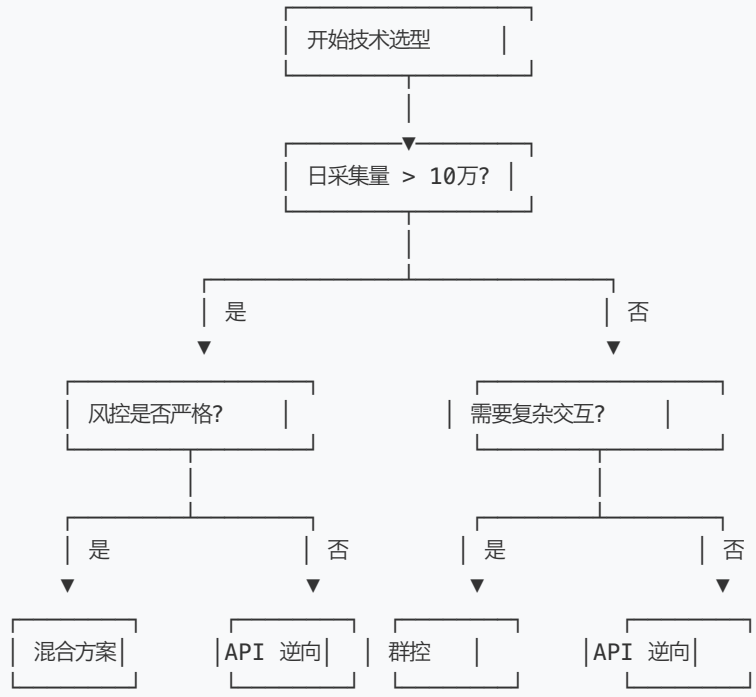
在实际项目中，两种技术常常组合使用：



混合策略示例：

1. 登录环节用群控：获取 Cookie/Token，绕过登录风控
2. 数据采集用 API：高效批量获取数据
3. 关键操作用群控：下单、支付等敏感操作
4. Token 失效时群控刷新：保持会话活跃

技术选型决策树



成本估算参考

群控方案成本 (月度)

项目	规模	成本估算
云手机	100 台	¥3,000 - 8,000
代理 IP	动态代理池	¥1,000 - 3,000
账号	1000 个	¥500 - 5,000
服务器	调度+存储	¥500 - 1,000
人力	运维 0.5 人	¥5,000 - 10,000
合计		¥10,000 - 27,000/月

API 逆向方案成本 (月度)

项目	规模	成本估算
服务器	2-4 核	¥200 - 500
代理 IP	按需	¥500 - 2,000
人力	开发 0.2 人 + 维护	¥2,000 - 5,000
合计		¥2,700 - 7,500/月

注意：API 逆向有较高的一次性开发成本 (可能需要 1-3 人月)，但长期运营成本更低。

风险对比

群控技术风险

风险类型	描述	应对策略
账号封禁	批量操作易被识别	控制频率、模拟人工
设备检测	同一设备多账号	每设备单账号
IP 风控	同 IP 多设备	使用代理池
成本失控	规模扩大成本线性增长	设置成本上限

API 逆向风险

风险类型	描述	应对策略
算法更新	App 更新后签名失效	持续监控、快速响应
协议加固	增加新的校验维度	保持逆向能力
法律风险	绕过技术保护措施	合规评估
指纹检测	TLS/设备指纹识别	完善指纹模拟

总结

维度	群控技术	API 逆向	胜出方
开发门槛	低	高	群控
开发周期	短	长	群控
运维成本	高	低	API
并发能力	低	高	API
反检测	强	弱	群控
稳定性	中	中	平局
扩展性	差	好	API

最终建议：

1. 短期项目、强风控 → 群控技术
2. 长期项目、高并发 → API 逆向
3. 复杂场景 → 混合方案

选择技术路线时，需综合考虑：

- 项目周期和预算
- 目标 App 的风控强度
- 团队的技术能力
- 数据量级和实时性要求

没有绝对最优的方案，只有最适合当前场景的选择。

附录

X01: GitHub 开源项目

X01: 逆向工程 GitHub 开源项目

本列表旨在收集和分类逆向工程领域的优秀开源项目，方便查阅和学习。

目录

1. 动态分析与插桩工具

项目	Star 数量	描述
frida/frida	14.5k	跨平台动态插桩框架，支持 Windows, macOS, Linux, iOS, Android, 和 QNX。
DynamoRIO/dynamorio	1.8k	Google 出品的跨平台动态二进制插桩框架。
intel/pin	N/A	Intel 出品的动态二进制插桩框架。
googleprojectzero/winafl	2.1k	AFL 的一个分支，用于对 Windows 二进制文件进行模糊测试。
processhacker/processhacker	3.2k	强大的多用途工具，用于监控系统资源、调试软件和检测恶意软件。
eronnen/procmon-parser	170	Sysinternals Process Monitor (Procmon) 的日志解析器。
microsoft/Detours	1.9k	微软官方的 API Hooking 工具库。
easyhook/EasyHook	1.8k	强大的 Windows API Hooking 库。
tmate-io/tmate	3.5k	即时终端共享工具。
lief-project/LIEF	4k	用于解析、修改和抽象 ELF, PE, MachO 格式的库。
qbdi/QBDI	680	基于 LLVM 的动态二进制插桩框架。
jmpews/dobby	1.6k	轻量级、多平台、多架构的 Hook 框架。
aslody/whale	880	跨平台的 Hook 框架 (Android/iOS/Linux/macOS)。
iqiyi/xHook	1.6k	用于 Android aarch64/arm/x86 平台的 PLT hook 库。

项目	Star 数量	描述
facebook/fishhook	3.8k	在 iOS/macOS 上动态重绑定 Mach-O 二进制文件中的符号。

2. 反汇编器与反编译器

项目	Star 数量	描述
NationalSecurityAgency/ghidra	47.9k	NSA 出品的软件逆向工程框架，包含反编译器。
radareorg/radare2	19.8k	开源的逆向工程框架和命令行工具集。
rizin-re/rizin	2.5k	radare2 的一个分支，专注于可用性和社区。
avast/retdec	8.2k	基于 LLVM 的可重定向机器码反编译器。
yegord/snowman	1.8k	支持 x86, ARM 和 x86-64 的反编译器。
aquynh/capstone	7.4k	强大的多架构反汇编框架。
keystone-engine/keystone	3.9k	轻量级多架构汇编器框架。
unicorn-engine/unicorn	7.5k	基于 QEMU 的多架构 CPU 模拟器框架。
lifting-bits/mcsema	1.7k	将 x86/64, aarch64 二进制文件提升到 LLVM IR。
avast/retdec-idaplugin	500+	RetDec 反编译器的 IDA 插件。
airbus-seclab/bincat	1k	二进制代码静态分析工具，支持值分析、污点分析和类型推断。

3. 调试器

项目	Star 数量	描述
x64dbg/x64dbg	45.3k	Windows 平台开源的 x64/x32 调试器。
gdb/gdb	N/A	GNU 项目调试器。
rizinorg/cutter	15.6k	radare2 的 GUI 界面。
hugsy/gef	6.4k	GDB 的现代化插件，用于漏洞利用和逆向。
pwndbg/pwndbg	6.7k	GDB 的一个插件，辅助 pwn。
longld/peda	5.7k	GDB PEDA - Python Exploit Development Assistance for GDB.
voltron/voltron	5.3k	一个可扩展的、跨平台的调试器 UI 工具包。
microsoft/WinDbg-Samples	300+	WinDbg 的示例扩展、脚本和 API 用法。
pdbpp/pdbpp	1.4k	Python 调试器 (pdb) 的一个增强版。
x64dbg/x64dbgpy	300+	用于 x64dbg 的 Python 脚本插件。

4. 静态分析与二进制分析

项目	Star 数量	描述
angr/angr	7.3k	强大的二进制分析平台，支持符号执行。
trailofbits/manticore	2k	动态二进制分析工具，支持符号执行、污点分析。
JonathanSalwan/triton	2.7k	动态二进制分析 (DBA) 框架。
google/binexport	450+	将反汇编从 IDA Pro, Binary Ninja, Ghidra 导出到 BinNavi。
google/binnavi	2.8k	二进制代码逆向工程和分析的图形化工具。
Gallopsled/pwntools	11.2k	CTF 框架和漏洞利用开发库。
erocarrera/pefile	1.3k	用于解析和操作 PE 文件的 Python 模块。
eliben/pyelftools	1k	用于解析和分析 ELF 文件和 DWARF 调试信息的 Python 库。
lvc/vtable-dumper	250	用于从 PE/ELF 文件中 dump 虚函数表的工具。

5. android 平台

项目	Star 数量	描述
iBotPeaches/Apktool	18.2k	用于逆向 Android apk 文件的工具。
pxb1988/dex2jar	12k	用于处理 .dex 和 .class 文件的工具。
skylot/jadx	38.6k	Dex 到 Java 的反编译器。
JesusFreke/smali	4.4k	Android 的 smali/baksmali 汇编器/反汇编器。
MobSF/Mobile-Security-Framework-MobSF	16.4k	自动化的移动应用 (Android/iOS/Windows) 安全测试和恶意软件分析框架。
sensepost/objection	8.3k	运行时移动安全评估框架，基于 Frida。
Fuzion24/JustTrustMe	2.2k	禁用 SSL 证书检查的 Xposed 模块。
ac-pm/Inspeckage	1.8k	Android 包动态分析工具，带 API hook 功能。
rednaga/APKiD	850	用于识别 Android 安装包中加壳、混淆和其它异常的工具。
CalebFenton/simplify	3.2k	通用 Android 反混淆工具。
strazzere/android-unpacker	900+	Defcon 22 上演示的 Android 脱壳工具。
asLody/AndHook	600+	Android 动态插桩框架。
turing-technician/fasthook	400+	Android ART Hook 框架。
wrbug/dumpdex	1.9k	Android 脱壳工具。
topjohnwu/Magisk	35k+	Android 系统无感知 Root 工具。
LSPosed/LSPosed	15k+	

项目	Star 数量	描述
		基于 Riru/Zygisk 的 ART Hook 框架 (Xposed 替代品)。
Genymobile/scrcpy	90k+	高性能的 Android 投屏与控制工具。
shroudedcode/apk-mitm	3k+	自动修改 APK 以便进行 HTTPS 抓包的工具。
r0ysue/r0capture	4k+	基于 Frida 的安卓应用层抓包通杀脚本。

6. 多平台与通用工具

项目	Star 数量	描述
upx/upx	4.9k	极致的可执行文件压缩器。
horsicq/Detect-It-Easy	5.8k	用于判断文件类型的程序，支持 Windows, Linux, macOS。
DidierStevens/DidierStevensSuite	450+	在文件中搜索经过 XOR, ROL, ROT 或 SHIFT 编码的字符串。
google/santa	3.1k	用于 macOS 的二进制文件白名单/黑名单系统。
trailofbits/osquery-extensions	300+	osquery 的扩展，用于增强安全分析。
checkra1n/pongoOS	1.2k	checkra1n 使用的 Pre-boot eXecution Environment。
mitmproxy/mitmproxy	33k+	交互式的 HTTPS 代理，用于调试、测试和渗透。

7. Hex 编辑器

项目	Star 数量	描述
gdabah/distorm	500+	x86/AMD64 的快速反汇编库。
WerWolv/ImHex	3k	一个功能丰富的现代 Hex 编辑器。

8. 脱壳与反混淆

项目	Star 数量	描述
de4dot/de4dot	6.5k	.NET 反混淆器和脱壳器。
fireeye/flare-floss	1.5k	自动从恶意软件中提取混淆后的字符串。
ioncodes/dnpatch	500+	用于修补 .NET 程序集的工具。
hluwa/frida-dexdump	3k+	基于 Frida 的快速 Dex 内存导出工具。
Perfare/Il2CppDumper	7k+	Unity Il2Cpp 逆向工具，还原 DLL 和头文件。

9. 固件分析

项目	Star 数量	描述
ReFirmLabs/binwalk	10.1k	用于分析、逆向和提取固件镜像的工具。
craigz28/firmwalker	1k	自动在固件中搜索敏感信息的脚本。
attify/firmware-analysis-toolkit	1k	用于固件安全测试的工具包。
0xff7/IoTSecurity101	500+	物联网安全入门。

10. Apple 平台 (iOS/macOS)

项目	Star 数量	描述
nygard/class-dump	2.6k	从 Mach-O 文件生成 Objective-C 头文件。
KJCracks/Clutch	2.8k	快速的 iOS 可执行文件 dumper。
alonemonkey/MonkeyDev	4.5k	iOS Tweak 开发工具，无需越狱。
facebook/chisel	8.3k	辅助调试 iOS 应用的 LLDB 命令集合。
nabla-c0d3/ssl-kill-switch2	1.6k	黑盒工具，用于在 iOS 和 macOS 应用中禁用 SSL 证书验证。
ptoomey3/Keychain-Dumper	1k	在越狱设备上检查哪些钥匙串项可被访问。
limneos/classdump-dyld	450+	无需从 dyld_shared_cache 中提取即可 class-dump 任何 Mach-O 文件。

11. 其他与资源

项目	Star 数量	描述
firmianay/security-paper	1.7k	安全领域的一些经典论文。
enaqx/awesome-pentest	18k+	精选的渗透测试资源、工具和其它很棒的东西。
carpedm20/awesome-hacking	9k+	精选的黑客资源、工具和教程。
onethawt/idaplugins-list	1.9k	IDA Pro 插件列表。
Siguza/ios-resources	700+	iOS 黑客相关的有用资源。
michalmalik/osx-re-101	1.4k	OSX/iOS 逆向资源。

X02: 学习资源

X02: 学习资源 (Learning Resources)

> 本页面收集了 Android 逆向工程领域的高质量学习资源，包括书籍、博客、论坛、社区和课程。

书籍 (Books)

入门与基础

- 《Android 软件安全与逆向分析》 (丰生强 / 非虫) 经典的入门书籍，涵盖了 Android 系统架构、Smali 语法、静态分析、动态调试等基础知识。
- 《Android 安全攻防实战》 (EaaLaboratory) 偏向实战，包含很多案例分析。

进阶与深入

- 《Android Internals: A Confectioner's Cookbook》 (Jonathan Levin) 链接 深入剖析 Android 系统内部原理，是理解 Android 底层机制的必读之作。
- 《Android Hacker's Handbook》 (Joshua J. Drake et al.) 全面介绍 Android 安全架构、漏洞挖掘和利用技术。
- 《MASTG - Mobile App Security Testing Guide》 (OWASP) 链接 OWASP 发布的移动应用安全测试指南，涵盖了 iOS 和 Android 平台的安全测试方法论和技术细节，是行业标准参考文档。

博客与网站 (Blogs & Websites)

个人博客

- Maddie Stone (Project Zero) 专注于 Android 恶意软件分析和漏洞挖掘，文章质量极高。
- R0ysue (肉丝) 国内知名的 Android 逆向专家，Frida 领域的领军人物。
- Wei (LSPosed Developer) 深入研究 Android Runtime (ART) 和 Hook 技术。
- Orange Tsai Web 和移动安全领域的知名研究员，常有精彩的利用思路。

技术团队与厂商

- Google Project Zero 链接 Google 的安全研究团队，发布了大量关于 Android 内核、驱动和框架层的高质量漏洞分析报告。
- Quarkslab Blog 链接 发布了许多关于混淆、反混淆和底层逆向工具（如 Triton）的研究文章。
- Check Point Research 经常披露 Android 恶意软件和高危漏洞。

论坛与社区 (Forums & Communities)

- 52pojie (吾爱破解) 链接 国内最大的破解和逆向技术交流论坛，拥有丰富的教程、工具和活跃的社区氛围。
- Kanxue (看雪论坛) 链接 国内老牌的安全技术社区，专注于二进制安全、漏洞挖掘和内核安全，技术深度较高。
- XDA Developers 链接 全球最大的 Android 开发者社区，关于 ROM 定制、Root、Xposed/Magisk 模块的资源非常丰富。
- Reddit r/ReverseEngineering 链接 国际逆向工程技术讨论区，汇集了全球的逆向爱好者和专家。

- Reddit r/androiddev 链接 虽然侧重开发，但了解开发者的思维对于逆向工程也非常有帮助。

课程与教程 (Courses & Tutorials)

- Frida 官方文档与教程 链接 学习 Frida 最权威的资料。
- Android App Reverse Engineering 101 (Maddie Stone) 链接 (需查找有效链接或存档) Workshops 形式的入门教程，非常适合初学者。
- OWASP Mobile Security Testing Guide (MSTG) Hacking Playground 配合 MSTG 书籍的练习环境。

学术论文 (Academic Papers)

以下是与 Android 逆向工程相关的重要学术论文，涵盖移动安全、恶意软件分析、代码保护等领域。

Android 安全与隐私

论文标题	主题	arXiv 链接
Aritmethic lattices of $\SO(1,n)$ and units of group rings	Android 应用安全综述	arXiv:2302.09375
OPTIMIZATION OF DRUG CONTROLLED RELEASE FROM MULTI-LAMINATED DEVICES BASED ON THE MODIFIED TIKHONOV REGULARIZATION METHOD	Android 恶意软件检测综述	arXiv:1904.05999
Parallelizing Workload Execution in Embedded and High-Performance Heterogeneous Systems	深度学习恶意软件检测	arXiv:1802.03316
On the first Hochschild cohomology of cocommutative Hopf algebras of finite representation type	RASP 运行时保护	arXiv:1907.04093

设备指纹与用户识别

论文标题	主题	arXiv 链接
Fluctuations of conserved charges in hydrodynamics and molecular dynamics	设备指纹技术综述	arXiv:2209.08233
Browser Fingerprinting: A survey	浏览器指纹技术综述	arXiv:1905.01051
Converging to a Desired Orientation in a Flock of Agents	Canvas 指纹检测与防御	arXiv:2010.04686

机器人检测与反爬虫

论文标题	主题	arXiv 链接
Fully discrete loosely coupled Robin-Robin scheme for incompressible fluid-structure interaction: stability and error analysis	社交网络机器人检测综述	arXiv:2007.03846
Towards a Computer Vision Particle Flow	验证码安全机制综述	arXiv:2003.08863
Imaging moving atoms by holographically reconstructing the dragged slow light	网页爬虫检测机器学习方法	arXiv:2105.14832

行为分析与异常检测

论文标题	主题	arXiv 链接
Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey	异常检测深度学习综述	arXiv:1901.03407
Data-driven topology design using a deep generative model	用户行为安全分析	arXiv:2006.04559
TECHNIQUE FOR GENERATING BROADBAND FM LIGHT	行为生物特征认证	arXiv:2003.06494

风控与欺诈检测

论文标题	主题	arXiv 链接
GJ 3470 c: A Saturn-like Exoplanet Candidate in the Habitable Zone of GJ 3470	信用卡欺诈检测综述	arXiv:2007.07373
Local G_2-Manifolds, Higgs Bundles and a Colored Quantum Mechanics	金融欺诈 ML 检测	arXiv:2009.07136
Dust Reverberation Mapping in Distant Quasars from Optical and Mid-Infrared Imaging Surveys	图神经网络欺诈检测	arXiv:2007.02402

逆向工程与代码保护

论文标题	主题	arXiv 链接
netgwas: An R Package for Network-Based Genome-Wide Association Studies	代码混淆与反混淆综述	arXiv:1710.01236
Lepton flavor model with modular A_4 symmetry in large volume limit	机器学习逆向工程	arXiv:2009.12120
Structure Learning in Graphical Models from Indirect Observations	二进制代码分析综述	arXiv:2205.03454
Critical phenomena in the gravitational collapse of electromagnetic waves	控制流混淆保护	arXiv:1909.00850
New-generation silicon photonics beyond the singlemode regime	基于虚拟化的混淆	arXiv:2104.04239

混淆还原与程序分析

论文标题	主题	arXiv 链接
PPA: Principal Parcellation Analysis for Brain Connectomes and Multiple Traits	混淆还原技术综述	arXiv:2103.03478
A Survey of Symbolic Execution Techniques	符号执行技术综述	arXiv:1610.00502
Learning to Become an Expert: Deep Networks Applied To Super-Resolution Microscopy	程序合成与机器学习	arXiv:1803.10806
Symplectic resolutions of the quotient of R^2 by a non-finite symplectic group	神经网络二进制分析	arXiv:2104.01348
Human-like machine thinking: Language guided imagination	学习反编译技术	arXiv:1905.07562
Lattice dynamics localization in low-angle twisted bilayer graphene	LLVM 混淆技术分析	arXiv:2006.09482
BMVC 2019: WORKSHOP ON INTERPRETABLE AND EXPLAINABLE MACHINE VISION	控制流平坦化还原	arXiv:1909.07245
Numerical Homogenization of Fractal Interface Problems	MBA 表达式简化	arXiv:2007.11479
Enhancing AGN efficiency and cool-core formation with anisotropic thermal conduction	密码原语自动识别	arXiv:1805.04109

DRM 与数字版权保护

论文标题	主题	arXiv 链接
NEW HIGHLY EFFICIENT HIGH-BREAKDOWN ESTIMATOR OF MULTIVARIATE SCATTER AND LOCATION FOR ELLIPTICAL DISTRIBUTIONS	DRM 技术综述	arXiv:2108.13567
On Neural Architectures for Astronomical Time-series Classification with Application to Variable Stars	数字水印技术	arXiv:2003.08618
Application of Computer Vision and Machine Learning for Digitized Herbarium Specimens: A Systematic Literature Review	视频流安全综述	arXiv:2104.08732
Exploring Widevine for Fun and Profit	Widevine DRM 安全分析	arXiv:2204.09298
SEQ^3: Differentiable Sequence-to-Sequence-to-Sequence Autoencoder for Unsupervised Abstractive Sentence Compression	MPEG 内容保护	arXiv:1904.03651
Light charged pion in ultra-strong magnetic field	区块链 DRM 综述	arXiv:2007.14258
Discrete Quantum Geometry and Intrinsic Spin Hall Effect	深度学习视频拷贝检测	arXiv:2106.09073
Neural Audio Fingerprint for High-specific Audio Retrieval based on Contrastive Learning	音频指纹技术综述	arXiv:2010.11910

虚拟机保护与分析

论文标题	主题	arXiv 链接
Dynamical Derivation of the Momentum Space Shell Structure for Quarkyonic Matter	虚拟机代码混淆	arXiv:1908.04799
Search for fermiophobic gauge boson in the dilepton channel with ATLAS, using ATLAS Open Data, sqrt(s)=13 TeV	VMP 自动化分析	arXiv:2011.09457
Quantum Neimark-Sacker bifurcation	符号化 VMP 还原	arXiv:1908.08134
Exploration of terahertz from time-resolved ultrafast spectroscopy in single-crystal Bi2Se3 topological insulator	不透明谓词还原	arXiv:2003.12856
Bounded support in linear random coefficient models: Identification and variable selection	处理器语义恢复	arXiv:2107.03245

移动应用加固与脱壳

论文标题	主题	arXiv 链接
Understanding Android Obfuscation Techniques: A Large-Scale Investigation in the Wild	Android 加壳与脱壳	arXiv:1801.01633
Person-in-WiFi: Fine-grained Person Perception using WiFi	Android 应用安全研究	arXiv:1904.00276
Tackling Climate Change with Machine Learning	Android 恶意软件动态分析	arXiv:1906.05433
Green's Function for the Schrödinger Equation with a Generalized Point Interaction and Stability of Superoscillations	动态分析逃逸技术	arXiv:2005.11263
Collapse Geometry in Inhomogeneous FRW model	Android Native 保护	arXiv:2102.05893

密码学与协议分析

论文标题	主题	arXiv 链接
Assessment of astronomical images using combined machine learning models	TLS 1.3 实现与性能	arXiv:2003.01785
Vapor-solid-solid growth dynamics in GaAs nanowires	证书透明度综述	arXiv:2104.05875
Coverage Guided Testing for Recurrent Neural Networks	密码实现侧信道攻击	arXiv:1911.01952

推荐阅读顺序

根据不同的学习目标，建议按以下顺序阅读：

安全研究员：

1. A Survey on Security and Privacy of Android Applications - 了解整体安全态势
2. Android Malware Detection: A Survey - 恶意软件分析基础
3. A Survey on Software Obfuscation and Deobfuscation - 代码保护技术

逆向工程师：

1. Binary Code Analysis: A Survey - 二进制分析基础
2. Control Flow Obfuscation for Software Protection - 混淆技术原理
3. Virtualization-based Obfuscation - VMP 分析参考

风控工程师：

1. Bot Detection in Social Networks: A Survey - 机器人检测基础
2. Deep Learning for Anomaly Detection: A Survey - 异常检测方法
3. Financial Fraud Detection: A Machine Learning Perspective - 风控模型设计

数据采集工程师：

1. Device Fingerprinting: A Comprehensive Survey - 设备识别技术
2. Web Scraping Detection: A Machine Learning Approach - 反爬策略
3. CAPTCHA: A Review of Security Mechanisms - 验证码技术

其他资源

- Android Open Source Project (AOSP) 链接 阅读源码是理解 Android 最根本的方法。使用 cs.android.com 进行在线源码搜索非常方便。

- Android Developers Documentation 链接 官方开发文档，逆向时遇到不懂的 API 首先应该查阅的地方。

X03: CTF 练习平台

X03: CTF 与练习平台

> 实践是掌握逆向工程技术的关键。本页面整理了提供 Android 逆向挑战的 CTF 平台和 CrackMe 网站。

移动安全专项挑战 (Mobile Specific Challenges)

OWASP UnCrackable Apps

- 描述: OWASP 官方提供的一系列 Android 和 iOS 逆向挑战应用，分为 Level 1 到 Level 4 不同难度。是学习移动安全测试标准 (MSTG) 的最佳配套练习。
- 链接: OWASP MSTG Repo

Google CTF (Mobile Category)

- 描述: Google 每年举办的 CTF 比赛中的 Mobile 类目题目。这些题目通常质量很高，涉及各种 Android 特性和新颖的保护机制。
- 链接: Google CTF Archives (查看历年题目)

android App Reverse Engineering 101 Crackmes

- 描述: Maddie Stone 在她的 Workshop 中使用的练习题目。
- 链接: GitHub Repo

综合 CTF 平台 (General CTF Platforms)

Hack The Box (HTB)

- 描述: 著名的渗透测试练习平台，其中也有不少 Android 逆向相关的 Challenge (通常在 Mobile 或 Reversing 分类下) 和 Machine。
- 链接: https://www.hackthebox.com/

TryHackMe

- 描述: 对初学者更友好的网络安全学习平台，提供有引导性的 Android 逆向房间 (Rooms)。
- 链接: https://tryhackme.com/

CTFtime

- 描述: 全球 CTF 赛事聚合平台。可以在这里关注即将开始的比赛，很多综合性比赛都会包含 Reverse 和 Mobile 方向的题目。
- 链接: https://ctftime.org/

CrackMe 网站

Crackmes.one

- 描述: 全球最大的 CrackMe 收集网站。你可以通过搜索 "Android" 或 "APK" 标签找到大量的 Android 逆向练习程序，难度从简单到极难都有。
- 链接: https://crackmes.one/

Root Me

- 描述: 一个涵盖各种安全领域的练习平台，其 "Cracking" 和 "App - Script" 分类下有一些针对移动应用的挑战。
- 链接: https://www.root-me.org/

推荐练习路线

1. 入门: 从 OWASP UnCrackable Level 1 开始，学习基本的反编译、代码分析和简单的逻辑绕过。
2. 进阶: 尝试 Crackmes.one 上评分较高的 Android 题目，或者 Hack The Box 的简单 Mobile 挑战。
3. 高级: 挑战 Google CTF 的历史题目，或者 OWASP UnCrackable Level 3/4，主要涉及各种反调试、Native 层混淆、壳分析等。

X04: 术语表

X04: 术语表 (Glossary)

收集了 Android 逆向工程中常见的术语和缩写。

A

- ADB (Android Debug Bridge): Android 调试桥，一个通用的命令行工具，允许你与模拟器实例或连接的 Android 设备进行通信。
- AOSP (Android Open Source Project): Android 开源项目，即 Android 系统的源代码。
- APK (Android Package): Android 应用程序包，Android 操作系统使用的一种应用程序包文件格式。
- ART (Android Runtime): Android 运行时，Android 5.0 引入的新的应用运行时环境，完全取代了 Dalvik。它使用 AOT (Ahead-Of-Time) 编译技术。
- ARM: 一种精简指令集 (RISC) 处理器架构，广泛用于移动设备。

B

- Bootloader: 引导加载程序，在操作系统内核运行之前运行的一段小程序，负责加载操作系统。
- Baksmali: 一个将 dex 文件反汇编成 smali 文件的工具。

D

- Dalvik: Google 早期为 Android 设计的虚拟机，使用 JIT (Just-In-Time) 编译。在 Android 5.0 后被 ART 取代。
- DEX (Dalvik Executable): Android 平台的可执行文件格式，包含编译后的代码。

- Dynamic Analysis (动态分析): 在程序运行时对其进行分析的技术，通常涉及调试、Hook 等。

E

- ELF (Executable and Linkable Format): 可执行与可链接格式，Linux 系统（包括 Android Native 层）使用的标准二进制文件格式。

F

- Frida: 一个动态插桩工具包，允许开发者、逆向工程师和安全研究人员在运行时监视和修改应用程序的行为。

G

- Ghidra: NSA 开源的软件逆向工程 (SRE) 框架。

H

- Hooking (挂钩): 一种拦截软件组件之间函数调用、消息或事件的技术，用于改变或监视系统的行为。

I

- IDA Pro (Interactive DisAssembler): 业界标准的交互式反汇编器和调试器。
- IL2CPP: Unity 游戏引擎的一种脚本后端，将 C# 代码转换为 C++ 代码，增加了逆向难度。

J

- JADX: 一个将 DEX 文件反编译为 Java 代码的工具。
- JNI (Java Native Interface): Java 本地接口，允许 Java 代码和其他语言（主要是 C/C++）写的代码进行交互。

M

- Magisk: 一个开源的 Android Root 解决方案，以 "Systemless"（不修改系统分区）著称。
- Manifest (AndroidManifest.xml): 每个 Android 应用都必须包含的文件，描述了应用的包名、组件、权限等基本信息。

N

- Native Code: 通常指使用 C/C++ 编写的，直接编译为机器码的代码（相对于 Java/Kotlin 字节码）。
- NDK (Native Development Kit): 一个工具集，允许开发者使用 C 和 C++ 实现应用的一部分。

O

- Obfuscation (混淆): 使代码难以理解但保持其功能不变的技术，用于保护知识产权或隐藏恶意行为。
- OLLVM (Obfuscator-LLVM): 基于 LLVM 的代码混淆项目，常用于 Native 代码混淆。
- OAT: ART 运行时使用的私有 ELF 文件格式，包含 AOT 编译后的机器码。

R

- Recovery: Android 设备的恢复模式，用于恢复出厂设置、刷入更新包等。

- Rooting: 获取 Android 设备超级用户 (Root) 权限的过程。
- Riru: 一个用于注入 Zygote 进程的模块，常作为其他模块（如 LSPosed）的基础。

S

- Smali: Android 的 Dalvik 字节码的人类可读汇编语言。
- Static Analysis (静态分析): 在不运行程序的情况下对其进行分析的技术。
- So (Shared Object): Linux/Android 下的动态链接库文件，通常由 C/C++ 编写。

V

- VMP (Virtual Machine Protection): 虚拟机保护，一种高级混淆技术，将原始代码转换为自定义字节码并在自定义解释器中运行。

X

- Xposed: 一个强大的 Android 框架，允许在不修改 APK 的情况下通过模块改变系统和应用的行为。

Z

- Zygote: Android 系统中所有应用进程的父进程。

X05: 配方编号系统

X05: 配方编号系统

本书采用系统化的编号方式组织内容，帮助你快速定位所需信息。

章节编号规则

本书分为八大部分，每部分有独立的编号前缀：

编号前缀	章节名称	内容定位	数量
Q	Quick Start	快速入门	3
R	Recipes	场景化解决方案（核心内容）	35
T	Tools	工具使用指南与原理	10
C	Case Studies	实战案例分析	8
F	Foundations	基础知识参考	13
A	Advanced	高级主题参考	7
E	Engineering	工程化参考	10
X	Appendix	附录资源与索引	5

Quick Start 编号 (Q)

快速入门章节，帮助新读者快速上手。

编号	名称	内容说明
Q01	关于本书	本书介绍与阅读指南
Q02	快速入门	10 分钟快速入门
Q03	环境配置	开发环境搭建

Recipes 编号 (R)

Recipes（配方）是本书的核心内容，共 35 个配方：

入门基础 (R01-R03)

编号	配方名称	解决的问题
R01	逆向工程完整工作流程	标准化的逆向分析流程
R02	网络抓包分析	网络请求捕获与分析
R03	Objection 快速分析	使用 Objection 快速分析

核心分析 (R04-R08)

编号	配方名称	解决的问题
R04	静态分析深入	深入静态分析技术
R05	动态分析深入	深入动态分析技术
R06	Frida 常用脚本	实用 Frida 脚本集合
R07	JNI 开发原理	JNI 接口与调用原理
R08	SO 编译与加载	Native 库编译加载流程

脱壳与解密 (R09-R13)

编号	配方名称	解决的问题
R09	脱壳技术概述	通用脱壳技术与原理
R10	Frida 脱壳实战	使用 Frida 进行脱壳
R11	加密算法分析	加密算法识别与还原
R12	SO 字符串解密	SO 文件字符串解密
R13	Native 字符串混淆	Native 层字符串混淆分析

反检测对抗 (R14-R18)

编号	配方名称	解决的问题
R14	应用加固识别	识别各类加固方案
R15	Frida 反调试绕过	绕过 Frida 检测
R16	Xposed 反调试绕过	绕过 Xposed 检测
R17	设备指纹与绕过	设备指纹采集与伪造
R18	Native Hook 技术	Native 层 Hook 实现

高级反混淆 (R19-R22)

编号	配方名称	解决的问题
R19	SO 混淆与反混淆	SO 文件混淆还原
R20	OLLVM 反混淆	OLLVM 混淆分析与还原
R21	VMP 虚拟机分析	虚拟机保护分析
R22	C 语言仿真脚本	C 语言算法仿真

网络与协议 (R23-R27)

编号	配方名称	解决的问题
R23	TLS 指纹识别	TLS 指纹分析与处理
R24	JA3 指纹技术	JA3 指纹原理与应用
R25	JA4 指纹技术	JA4 指纹原理与应用
R26	验证码绕过技术	滑块与点选验证码绕过
R27	移动安全与反爬	移动端风控与反机器人

自动化工程 (R28-R35)

编号	配方名称	解决的问题
R28	自动化脚本	自动化脚本编写
R29	Scrapy 爬虫框架	Scrapy 框架使用
R30	Scrapy-Redis 分布式	分布式爬虫架构
R31	代理池设计	代理池架构与实现
R32	拨号代理池	动态拨号代理
R33	Docker 部署	容器化部署方案
R34	虚拟化与容器	虚拟化技术应用
R35	自动化设备农场	设备群控与自动化

Tools 编号 (T)

工具使用指南和原理剖析，共 10 个章节。

Dynamic - 动态分析工具

编号	工具名称	内容类型
T01	Frida 使用指南	使用指南
T02	Frida 内部原理	原理剖析
T03	Xposed 使用指南	使用指南
T04	Xposed 内部原理	原理剖析
T05	Unidbg 使用指南	使用指南
T06	Unidbg 内部原理	原理剖析

Static - 静态分析工具

编号	工具名称	内容类型
T07	Ghidra 入门	使用指南
T08	IDA Pro 入门	使用指南
T09	Radare2 入门	使用指南

Cheatsheets - 速查表

编号	名称	内容说明
T10	ADB 命令速查	ADB 常用命令

Case Studies 编号 (C)

真实场景的案例分析，共 8 个案例。

编号	案例名称	分析对象
C01	反分析技术案例	各类反分析技术
C02	音乐 App 案例	音乐平台加密分析
C03	社交媒体与风控案例	社交平台风控策略
C04	App 加密签名案例	请求签名算法分析
C05	视频 App 与 DRM 案例	视频加密与 DRM
C06	Unity 游戏 (Il2Cpp) 案例	Unity 游戏分析
C07	Flutter 应用案例	Flutter 应用分析
C08	恶意软件分析案例	恶意软件行为分析

Reference 编号

参考资料和理论知识，按主题分类。

Foundations 基础知识 (F)

编号	主题	内容说明
F01	APK 文件结构	APK 内部组成
F02	Android 四大组件	组件原理与通信
F03	AndroidManifest 解析	清单文件详解
F04	Android Studio 调试工具	调试工具使用
F05	DEX 文件格式	DEX 结构详解
F06	Smali 语法入门	Smali 语法基础
F07	SO/ELF 文件格式	ELF 格式详解
F08	ART 运行时	ART 虚拟机原理
F09	ARM 汇编入门	ARM 指令集基础
F10	x86 与 ARM 汇编基础	汇编对比学习
F11	TOTP 时间动态密码	TOTP 算法原理
F12	SELinux 安全机制	SELinux 原理与绕过
F13	二进制分析工具链	Unicorn/Capstone/Keystone

Advanced 高级主题 (A)

编号	主题	内容说明
A01	Android 沙箱实现	沙箱原理与实现
A02	AOSP 与系统定制	AOSP 编译与定制
A03	AOSP 深度改机	设备指纹修改
A04	最小化 Android RootFS	精简系统构建
A05	SO 反调试与混淆	Native 保护技术
A06	SO 运行时仿真	离线仿真执行
A07	Magisk 与 LSPosed	Root 与 Hook 框架原理

Engineering 工程化 (E)

编号	主题	内容说明
E01	框架与中间件	常用框架介绍
E02	消息队列	MQ 技术选型
E03	Redis 常用命令	Redis 操作指南
E04	风控 SDK 编译指南	SDK 构建流程
E05	数据仓库与处理	大数据基础
E06	Apache Flink	流处理框架
E07	HBase 数据库	分布式存储
E08	Apache Hive	数据仓库
E09	Apache Spark	大数据计算
E10	群控与 API 逆向对比	方案选型分析

Appendix 编号 (X)

附录资源和社区资源。

编号	名称	内容说明
X01	GitHub 开源项目	优质项目推荐
X02	学习资源	学习资料汇总
X03	CTF 练习平台	CTF 平台推荐
X04	术语表	专业术语解释
X05	配方编号系统	本文档

如何使用编号系统

快速引用

在讨论或笔记中，你可以使用简短的编号引用特定配方：

- "参考 R11 (加密算法分析) 了解加密分析方法"
- "这个问题可以用 R15 (Frida 反调试绕过) 的方法解决"
- "代码示例见 R06 (Frida 常用脚本)"
- "工具使用参考 T01 (Frida 使用指南)"

交叉引用

本书各章节之间存在大量交叉引用，编号系统帮助你快速定位：

```
分析加密算法时（R11: 加密算法分析），可能需要先脱壳（R09: 脱壳技术概述），
然后使用 Frida（T01: Frida 使用指南）进行动态分析（R05: 动态分析深入），
参考 C04（App 加密签名案例）了解完整案例。
```

学习路径规划

你可以根据编号规划自己的学习路径：

初学者路径：

```
Q01（关于本书）→ Q02（快速入门）→ F01（APK 文件结构）→
F05（DEX 文件格式）→ T01（Frida 使用指南）→ R01（逆向工程完整工作流程）→
R05（动态分析深入）
```

爬虫开发者路径：

```
R01（逆向工程完整工作流程）→ R02（网络抓包分析）→ R11（加密算法分析）→
R26（验证码绕过技术）→ R27（移动安全与反爬）→ R29（Scrapy 爬虫框架）→
R30（Scrapy-Redis 分布式）
```

安全研究员路径：

```
R15（Frida 反调试绕过）→ R09（脱壳技术概述）→ R18（Native Hook 技术）→
R21（VMP 虚拟机分析）→ A05（SO 反调试与混淆）→ C08（恶意软件分析案例）
```

版本说明

本编号系统会随着内容更新而扩展。新增配方将获得新的编号，已有配方的编号保持不变，确保引用的稳定性。

当前版本：v2.0

章节	数量
Quick Start (Q)	3
Recipes (R)	35
Tools (T)	10
Case Studies (C)	8
Foundations (F)	13
Advanced (A)	7
Engineering (E)	10
Appendix (X)	5
总计	91

现在你已经了解了本书的组织结构，开始你的学习之旅吧！

推荐下一步：快速入门