

Rockchip

RK3328 软件开发指南

发布版本:1.00

日期:2017.02

前言

概述

文档作为 Rockchip RK3328 软件开发指南，旨在帮助软件开发工程师、技术支持工程师更快上手 RK3328 的开发及调试。

产品版本

芯片名称	内核版本	Android 版本
RK3328	Linux3.10	Android7.1.1

读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：
技术支持工程师
软件开发工程师

修订记录

日期	版本	作者	审核	修改说明
2017-02-23	V1.00	yhx	cw、zxz	正式发布
2017-03-03	V1.01	yhx	cw、zxz	1. 更新 RK3328 DDR3 loader 2. 更新 RK3328 BOX EVB 硬件使用指南
2017-03-17	V1.02	yhx	cw、zxz	1. 添加 jack-server 编译报错说明，详见 3.2.6 2. 添加序列号获取说明，详见 8.7.1 3. 添加 System 分区大小配置建议，详见 3.2.6 4. 添加 Demo3 硬件参考 dts 配置，详见 1.4 5. 更新 RK3328 BOX PIUS 版本使用 loader，详见 3.2.3

目录

前言	I
目录	II
1 支持列表	1-1
1.1 DDR 支持列表	1-1
1.2 EMMC 支持列表	1-1
1.3 WiFi/BT 支持列表	1-2
1.4 SDK 软件包适用硬件列表	1-2
1.5 多媒体编解码支持列表	1-2
1.6 Kodi 支持程度列表	1-3
2 文档/工具索引	2-1
2.1 文档索引	2-1
2.2 工具索引	2-2
3 SDK 编译/烧写	3-1
3.1 SDK 获取	3-1
3.2 SDK 编译	3-2
3.3 固件烧写	3-7
3.4 量产烧写	3-8
4 U-Boot 开发	4-1
4.1 Rockchip U-Boot 简介	4-1
4.2 平台配置	4-1
4.3 固件生成	4-1
4.4 U-Boot 编译	4-2
4.5 U-Boot logo 相关的配置	4-2
5 内核开发常见配置	5-1
5.1 DTS 介绍	5-1
5.2 WiFi&BT 的配置	5-1
5.3 GPIO 对应关系注意	5-1
5.4 ARM、GPU 频率修改	5-1
5.5 温控配置	5-2
5.6 PWM IR 配置	5-2
6 Android 开发常见配置	6-1
6.1 Android 编译配置	6-1
6.2 常用配置说明	6-2
6.3 预置 APK	6-2
6.4 开/关机动画及铃声	6-2
6.5 Parameter 说明	6-2
6.6 新增分区配置	6-2
6.7 OTA 升级	6-3
6.8 预制 Demo	6-4
6.9 系统灾难恢复	6-4
6.10 禁用 Selinux	6-6
7 系统调试	7-1

7.1	ADB 工具	7-1
7.2	Logcat 工具	7-3
7.3	Procrank 工具	7-4
7.4	Dumpsys 工具	7-5
7.5	音视频问题调试工具及文档	7-6
8	常用工具说明	8-1
8.1	StressTest	8-1
8.2	PCBA 测试工具	8-1
8.3	DDR 测试工具	8-1
8.4	Android 开发工具	8-2
8.5	update.img 打包	8-4
8.6	固件签名工具	8-4
8.7	序列号/Mac/厂商信息烧写-WNpctool 工具	8-5
8.8	OemTool 打包工具	8-6
8.9	量产工具使用	8-7

插图目录

图 1-1 EMMC Performance 示例.....	1-2
图 3-1 Android 开发工具烧写界面	3-7
图 7-1 跟踪进程内存状态.....	7-5
图 8-1 Android 开发工具下载镜像	8-2
图 8-2 Android 开发工具升级固件	8-3
图 8-3 Android 开发工具高级功能	8-3
图 8-4 update.img 打包脚本	8-4
图 8-5 固件签名工具	8-4
图 8-6 WNPctool 工具	8-5
图 8-7 WNPctool 工具模式设置	8-6
图 8-8 Oem 工具.....	8-7
图 8-9 Oem 工具镜像制作文件夹路径要求	8-7
图 8-10 量产工具	8-8

表格目录

表 1-1 RK3328 DRAM Support Type	1-1
表 1-2 RK3328 DDR Support Symbol.....	1-1
表 1-3 RK3328 EMMC Support Symbol	1-1
表 1-4 RK3328 硬件说明列表.....	1-2
表 1-5 RK3328 多媒体编解码支持列表.....	1-2
表 6-1 常用配置说明	6-2

1 支持列表

1.1 DDR 支持列表

RK3328 DDR 支持 DDR3、DDR4、LPDDR3。

表 1-1 RK3328 DRAM Support Type

Chip	DRAM Support Type
RK3328	DDR3/DDR4/LPDDR3

RK3328 DDR 颗粒支持程度列表，详见 RKDocs\Platform support lists 目录下《RK DDR Support List Ver2.24》，下表中所标示的 DDR 支持程度表，只建议选用 ✓、T/A 标示的颗粒。

表 1-2 RK3328 DDR Support Symbol

Symbol	Description
✓	Fully Tested and Mass production
T/A	Fully Tested and Applicable
N/A	Not Applicable

1.2 EMMC 支持列表

RK3328 支持 eMMC 4.51, SDIO3.0, 支持 HS200 模式，详见 RKDocs\Platform support lists 目录下《RKeMMCSupportList Ver1.33_2017_02_15》，下表中所标示的 EMMC 支持程度表，只建议选用 ✓、T/A 标示的颗粒。

表 1-3 RK3328 EMMC Support Symbol

Symbol	Description
✓	Fully Tested , Applicable and Mass Production
T/A	Fully Tested , Applicable and Ready for Mass Production
D/A	Datasheet Applicable,Need Sample to Test
N/A	Not Applicable

1.2.1 高性能 EMMC 颗粒的选取

为了提高系统性能，需要选取高性能的 EMMC 颗粒。请在挑选 EMMC 颗粒前，参照 Rockchip 提供支持列表中的型号，重点关注下厂商 Datasheet 中 performance 一章节。

参照厂商大小以及 EMMC 颗粒读写的速率进行筛选。建议选取顺序读速率>200MB/s、顺序写速率>40MB/s。

如有选型上的疑问，也可直接联系 Rockchip Fae 窗口。

6.1.5 Performance

[Table 23] Performance

Density	Partition Type	Performance	
		Read(MB/s)	Write (MB/s)
16GB	General	285	40
32GB		310	70
64GB		310	140
128GB		310	140
16GB	Enhanced	295	80
32GB		320	150
64GB		320	245
128GB		320	245

图 1-1 EMMC Performance 示例

1.3 WiFi/BT 支持列表

RK3328 Kernel 版本为 Linux3.10, WiFi/BT 支持列表, 详见 RKDocs\Platform support lists 目录下《Rockchip_WiFi_Situation_20170214》, 文档列表中为目前 RK3328 上大量测试过的 Wifi/Bt 芯片列表, 建议按照列表上的型号进行选型。如果有其他 WiFi/BT 芯片调试, 需要 WiFi/BT 芯片原厂提供 Linux3.10 版本的内核驱动程序。

如果疑问和建议可以与 Rockchip Fae 窗口联系。

1.4 SDK 软件包适用硬件列表

本 SDK 是基于谷歌 Android7.1.1 64bit 系统, 适配瑞芯微 RK3328 芯片的软件包, 适用于 RK3328 Box Evb 开发板、RK3328 Box 样机板及基于其上所有的开发产品。

若是基于 RK3328 Box Evb 开发板开发, 内核配置可参考 rk3328-evb.dts 进行改动。

若参考《RK3328_BOX_DEMO1_RK805-1_DDR3P216SD4_V10》硬件设计的 Box 产品, 配置可参考 rk3328-box.dts 进行改动。

若参考《RK3328_BOX_DEMO3_RK805-1_DDR3P416DD4_V10_20170313》硬件设计的 Box 产品, 配置可参考 rk3328-box-plus.dts 进行改动。

另 SDK 中附带了 RK3328 Box Evb 开发板及 RK3328 Box 样机板的硬件使用说明。

表 1-4 RK3328 硬件说明列表

硬件板	对应文档说明
Evb 开发板	RKDocs\Platform support lists\ RK3328 BOX EVB 用户使用指南_V1.0_20170223
Box 样机板	RKDocs\Platform support lists\ RK3328 Box 样机硬件设计指南_V1.0_20170223

1.5 多媒体编解码支持列表

RK3328 多媒体规格, 详见表 1-5:

表 1-5 RK3328 多媒体编解码支持列表

多媒体支持	支持 4K VP9 and 4K 10bits H265/H264 视频解码, 高达 60fps。
	1080P 多格式视频解码 (VC-1, MPEG-1/2/4, VP8)。支持 JPEG 解码。

	1080P H.264/H.265 格式视频编码。支持 JPEG 编码。
	支持 HDR10,HLG HDR ,支持 SDR 和 HDR 之间的转换。

RK3328 具体的编解码支持列表，详见 RKDocs\Platform support lists 目录下《RK3328 Multimedia Codec Benchmark v1.0》

1.6 Kodi 支持程度列表

在 RK3328 Android7.1 上的 OMX 框架支持最新的官方原生 Kodi 发布版本（16.1Jarvis 及 17.0Krypton），RK3328 上的 OMX 框架支持最高 4K 10bit 60fps 的播放性能，并且最新的 AudioTrack 框架支持 17.0 Krypton 版本音频透传。

想获得更多的支持特性和更好的性能体验，我们推荐使用基于 Rockchip 芯片优化的 RKMC 版本。RKMC 是基于 Kodi 官方稳定发布版本 16.1Jarvis 进行深度优化和定制的开源发布版本，该优化版本将默认集成至 SDK 中。该版本较官方原生版本有如下优势和特性支持：

- 原生硬件加速，支持 H265/H264/VP9 10bit@60fps 输出
- HDMI 帧率自适应切换、HDR 信号输出、HDR2SDR Tonemapping 算法
- ISO/MKV Framepacking MVC3D 支持
- 23.975、29.97、59.94 HDMI 硬件浮点信号输出（需电视机兼容）
- Exodus、Phoenix 等 TOP10 插件支持
- AC3、EAC3、TrueHD、DTS、DTSHD 最高到 7.1 声道透传支持
- 硬件去噪、硬件去交错支持

在开发支持上，拥有开源 github 的讨论和支持，开源地址为 <https://github.com/JamesLinEngineer/RKMC>，后期维护和修改同步实时更新。并且 17.0 的硬件加速版本已在开发。

具体的 Kodi 支持程度列表，详见 RKDocs\Platform support lists 目录下《Rockchip Kodi 支持程度列表_V1.0_20170217》。

2 文档/工具索引

2.1 文档索引

随 RK3328 Box SDK 发布的文档旨在帮助开发者快速上手开发及调试，文档中涉及的内容并不能涵盖所有的开发知识和问题。文档列表也正在不断更新，如有文档上的疑问及需求，请联系我们的 Fae 窗口。

RK3328 SDK 中在 RKDocs 目录下附带了 Develop reference documents(开发指导文档)、Platform support lists（支持列表）、RKTools manuals（工具使用文档）。

```
RKDocs/
├── Develop reference documents
│   ├── Rockchip CPUFreq-DVFS 开发指南 V1.0-20170221.pdf
│   ├── Rockchip U-Boot 开发指南 V3.8-20170214.pdf
│   ├── Rockchip gmac 模块 开发指南 V1.0-20170221.pdf
│   ├── Rockchip pwm 背光 开发指南-20170220.pdf
│   ├── Rockchip PINCTRL 开发指南 V0.1-20170220.pdf
│   ├── Rockchip USB 开发指南 V1.0-20170220.pdf
│   ├── Rockchip I2C 开发指南 V1.0-201702205.pdf
│   ├── Rockchip Uart 开发指南 V1.0-20170220.pdf
│   ├── Rockchip 时钟子模块 开发指南 V1.1-20170220.pdf
│   ├── Rockchip Thermal 开发指南 (3.10 内核)V1.0-20170220.pdf
│   ├── Rockchip RK805 开发指南 V1.0-20170220.pdf
│   ├── Rockchip IO-Domain 开发指南 V0.1-20170220.pdf
│   ├── Rockchip SDMMC SDIO eMMC 开发指南 V1.0-20170215.pdf
│   ├── Rockchip SPI 开发指南 V1.0-20170217.pdf
│   ├── Rockchip Audio 开发指南 V1.0-20170215-linux3.10.pdf
│   ├── Rockchip Secure Boot Application Note_v1.6_20170215.pdf
│   ├── Rockchip CPUFreq-DVFS 开发指南 V1.0-20170214.pdf
│   ├── Rockchip pwm ir 开发指南 V1.00.pdf
│   ├── Rockchip Recovery 用户操作指南 V1.00.pdf
│   ├── Rockchip Android7.1_WiFi_配置说明 V1.3.pdf
│   ├── RealTek wifi 驱动移植说明_V1.1.pdf
│   └── Rockchip 量产烧录 指南 V1.1-20170214.pdf
├── Platform support lists
│   ├── RK3328 Multimedia Codec Benchmark v1.0.pdf
│   ├── Rockchip_WiFi_Situation_20170214.pdf
│   ├── RK3328 BOX EVB 用户使用指南_V1.0_20170222.pdf
│   ├── RK3328 Box 样机硬件设计指南_V1.0_20170223
│   ├── Rockchip Kodi 支持程度列表_V1.0_20170217.pdf
│   ├── RK DDR Support List Ver2.24.pdf
│   └── RKeMMCSupportList Ver1.33_2017_02_15.pdf
└── RKTools manuals
    ├── Android 增加一个分区配置指南 V1.00.pdf
    └── Android 开发工具手册.pdf
```

- └── Recovery 升级相关文档.rar
- └── RK SDK OTA 包生成方法.pdf
- └── RK 固件升级失败原因分析_V1.1 20121122.pdf
- └── RK 平台 apache_tomcat_ota 服务器搭建说明.rar
- └── rk 平台量产升级指导文档 V1.1.pdf
- └── Rockchip Parameter File Format Ver1.3.pdf
- └── Rockchip PCBA 模块 开发指南--20160808.pdf
- └── 压力测试 Stresstest 文档_ver1.1.pdf
- └── 量产工具升级及相关问题处理.pdf

2.2 工具索引

随 RK3328 Box SDK 发布的工具，用于开发调试阶段及量产阶段。工具版本会随 SDK 更新不断更新，如有工具上的疑问及需求，请联系我们的 Fae 窗口。

RK3328 SDK 中在 RKTools 目录下附带了 linux(Linux 操作系统环境下使用工具)、windows (Windows 操作系统环境下使用工具)。

RKTools

- └── linux
 - └── Linux_Pack_Firmware (Linux 固件打包工具)
 - └── Linux_SecureBoot (Linux 固件签名工具)
 - └── Linux_Upgrade_Tool (Linux 开发工具)
- └── windows
 - └── AndroidTool (开发工具)
 - └── AndroidTool_Release_v2.38
 - └── rockdev (固件打包工具)
 - └── DriverAssitant_v4.5 (驱动安装助手)
 - └── Efuse_Tool_V1.36.rar (Efuse 烧写工具)
 - └── FactoryTool-v1.43e.rar (工厂量产工具)
 - └── FWFactoryTool-5.4.zip (固件工厂工具)
 - └── OemTool_v1.3.rar (Demo 镜像制作工具)
 - └── SD_Firmware_Tool_v1.46.zip (SD 卡升级固件制作工具)
 - └── SecureBootTool_v1.83_foruser.rar (固件签名工具)
 - └── WNPctool_Setup_V1.1.2_1226 (厂商信息烧写工具—待更新版本)

3 SDK 编译/烧写

3.1 SDK 获取

SDK 通过瑞芯微代码服务器对外发布。客户向瑞芯微技术窗口申请 SDK，需同步提供 SSH 公钥进行服务器认证授权，获得授权后即可同步代码。关于瑞芯微代码服务器 SSH 公钥授权，请参考《RK3328_ANDROID7.1-BOX-SDK_V1.00_20170223 发布说明.pdf》，该文档与 SDK 一同发布。

3.1.1 SDK 下载命令

RK3328_ANDROID7.1_BOX_SDK 下载命令如下：

```
repo init --repo-url ssh://git@www.rockchip.com.cn/repo/rk/tools/repo -u  
ssh://git@www.rockchip.com.cn/gerrit/rk/platform/manifest -b android-7.0 -m  
rk3328_box_nougat_release.xml
```

3.1.2 repo

repo 是 google 用 Python 脚本写的调用 git 的一个脚本，主要是用来下载、管理 Android 项目的软件仓库，其下载地址如下：

```
git clone ssh://git@www.rockchip.com.cn/repo/rk/tools/repo
```

3.1.3 SDK 代码压缩包

为方便客户快速获取 SDK 源码，瑞芯微技术窗口通常会提供对应版本的 SDK 初始压缩包，开发者可以通过这种方式，获得 SDK 代码的初始压缩包，该压缩包解压得到的源码，与通过 repo 下载的源码是一致的。

以 rk3328_android7.1_box_v1.00_20170223.tgz 为例，拷贝到该初始化包后，通过如下命令可检出源码：

```
mkdir rk3328  
tar xvf rk3328_android7.1_box_v1.00_20170223.tgz -C rk3328  
cd rk3328  
.repo/repo/repo sync -l  
.repo/repo/repo sync
```

后续开发者可根据 Fae 窗口定期发布的更新说明，通过“.repo/repo/repo sync”命令同步更新。

3.1.4 ReleaseNote

为方便客户及开发者了解到 SDK 更新所覆盖的修改，解决的问题。RK3328 Android7.1 SDK 上加入了 ReleaseNote.txt，该文件会记录每次更新解决的问题，及是否建议客户全部更新。请客户及开发者更新 ReleaseNote 后，查看更新内容，并决定是否更新 SDK 代码。

ReleaseNote 存放目录：

```
.repo/manifests/RK3328_Release_Note.txt
```

单独更新 ReleaseNote 方法：

1. 首先记录.repo/manifests/目录当前提交号 **commit1**
2. 执行以下命令更新 ReleaseNote 文件

```
cd .repo/manifests/
```

```
git pull origin android-7.0
```

查看 ReleaseNote 文件说明，若决定更新，则在根目录下执行以下命令：

```
.repo/repo/repo sync
```

若不想更新代码，则在.repo/manifests 目录执行以下命令，将提交回退到上一版本状态：

```
git reset --hard commit1
```

3.2 SDK 编译

3.2.1 JDK 安装

Android7.1 系统编译依赖于 JAVA 8。编译之前需安装 OpenJDK。

安装命令如下。

```
sudo apt-get install openjdk-8-jdk
```

配置 JAVA 环境变量，例如，安装路径为/usr/lib/jvm/java-8-openjdk-amd64，可在终端执行如下命令配置环境变量。

```
export JAVA_HOME=/usr/lib/jvm/java-8-openjdk-amd64
```

```
export PATH=$JAVA_HOME/bin:$PATH
```

```
export CLASSPATH=.:$JAVA_HOME/lib:$JAVA_HOME/lib/tools.jar
```

SDK 带有 Open JDK8 的配置脚本，在工程根目录下，命名为 javaenv.sh。

可直接执行以下命令，配置 JDK：

```
source javaenv.sh
```

3.2.2 编译模式

SDK 默认以 userdebug 模式编译。

使用 adb 时，需要先执行 adb root 使 shell 获取 root 权限，进而执行其它像 adb remount、adb push 等操作。

3.2.3 uboot 编译步骤

```
make rk3328_box_defconfig
```

```
make ARCHV=aarch64 -j12
```

编译完，会生成 trust.img、RK3328MiniLoaderAll_V2.38.bin（目前版本 loader 以 bin 文件提供）、uboot.img 三个文件。

Loader 请使用 RKTools 下提供的编译好 loader 进行开发调试。发布 SDK 的同时，我们也在烧写工具目录下提供了适用于各种样机的 Loader。

在 RKTools\windows\AndroidTool\rockdev 及 RKTools\linux\ Linux_Pack_Firmware \rockdev 目录下放有预编译好的 loader(最新版本随 SDK 20170303 版本更新)，大家可根据 DDR 容量选择使用。

1GB DDR3、运行 786Mhz、：

```
rk3328_loader_ddr3_1GB_786MHz_4layers_v1.04.239.bin
```

2GB DDR3、运行 786Mhz、：

```
rk3328_loader_ddr3_2GB_786MHz_v1.04.239.bin
```

若参考《RK3328_BOX_DEMO3_RK805-1_DDR3P416DD4_V10_20170313》硬件设计的 Box 产品，可使用以下两个 loader。

1GB DDR3、运行 786Mhz、：

```
rk3328_plus_loader_ddr3_1GB_786MHz_4layers_v1.04.239.bin
```

2GB DDR3、运行 786Mhz、：

```
rk3328_plus_loader_ddr3_2GB_786MHz_4layers_v1.04.239.bin
```

3.2.4 kernel 编译步骤

RK3328 Box Evb 开发板配置与编译如下:

```
make ARCH=arm64 rockchip_smp_nougat_defconfig  
make ARCH=arm64 rk3328-evb.img
```

RK3328 Box 样机配置与编译如下:

```
make ARCH=arm64 rockchip_smp_nougat_defconfig  
make ARCH=arm64 rk3328-box.img
```

RK3328 Box DDR2G 千兆以太网样机配置与编译如下:

```
make ARCH=arm64 rockchip_smp_nougat_defconfig  
make ARCH=arm64 rk3328-box-plus.img
```

编译完成后, kernel 根目录, 生成 kernel.img, resource.img 两个镜像文件。

3.2.5 Android 编译及固件生成步骤

客户按实际编译环境配置好 JDK 环境变量后, 按照以下步骤配置完后, 执行 make 即可。

```
$ source build/envsetup.sh  
$ lunch  
You're building on Linux  
  
Lunch menu... pick a combo:  
  1. aosp_arm-eng  
  2. aosp_arm64-eng  
  3. aosp_mips-eng  
  4. aosp_mips64-eng  
  5. aosp_x86-eng  
  6. aosp_x86_64-eng  
  7. full_fugu-userdebug  
  8. aosp_fugu-userdebug  
  9. mini_emulator_arm64-userdebug  
 10. m_e_arm-userdebug  
 11. m_e_mips64-eng  
 12. m_e_mips-userdebug  
 13. mini_emulator_x86_64-userdebug  
 14. mini_emulator_x86-userdebug  
 15. aosp_dragon-userdebug  
 16. aosp_dragon-eng  
 17. aosp_flounder-userdebug  
 18. aosp_angler-userdebug  
 19. aosp_bullhead-userdebug  
 20. hikey-userdebug  
 21. aosp_shamu-userdebug  
 22. rk3328_box-eng  
 23. rk3328_box-userdebug  
 24. rk3328_box-user
```

选择 rk3328_box-userdebug, 输入对应序号 23。

```
$ make -j4
```

完成编译后, 执行 SDK 根目录下的 mkimage.sh 脚本生成固件, 所有烧写所需的镜像将都会拷贝于 rockdev/Image-rk3328_box 目录。

```
rockdev/Image-rk3328_box
├── boot.img
├── kernel.img
├── misc.img
├── parameter.txt
├── recovery.img
├── resource.img
├── RK3328MiniLoaderAll_V2.38.bin (目前版本 loader 以 bin 文件提供)
├── system.img
├── trust.img
└── uboot.img
```

得到了所有镜像文件后, 为了方便烧写及量产, 通常可手动将这些单独的镜像通过脚本打包成为 update.img, 操作说明详见 8.5 节 update.img 打包。

3.2.6 System 分区大小配置

客户按实际 SDK 编译情况, 可自行调整 system 镜像生成的大小。device/rockchip/rk3328/BoardConfig.mk 中默认配置如下:

```
BOARD_SYSTEMIMAGE_PARTITION_SIZE := 1208860800
```

该变量以字节为单位, **需要做 512 字节对齐** (即配置的值需要可以被 512 整除)

为了避免 system.img 空间过大, 造成工厂烧写缓慢, 及剩余空闲空间的浪费, 大家可根据 system 的实际大小, 配置该变量, 可根据以下文件的大小, 适当保留一点余量, 并做 512 字节对齐配置:

```
ls -l out/target/product/rk3328_box/system.img
-rw-r--r-- 1 yhx developers 1337240680 Mar 16 19:56
out/target/product/rk3328_box/system.img
```

并确保 parameter.txt 文件中定义的 system 分区大小, 是足以存放 system.img 的。

3.2.6.1 WITH_DEXPREOPT

默认 Android7.1 user-debug 编译方式是不做 odex 预编译的:

- 1) 第一次出厂开机速度较慢
- 2) 恢复出厂设置速度较慢
- 3) system.img 大小较小

默认 Android7.1 user 编译方式是做 odex 预编译的:

- 1) 第一次出厂开机速度较快
- 2) 恢复出厂设置速度较快
- 3) system.img 大小较大

建议开发调试过程中, 都不要做 odex 预编译, 原因是 system.img 较大、烧录时间较长; 调试不方便, 需要连 odex 文件一并更新。

以下是 user-debug 编译方式, 打开 odex 预编译选项的修改, 开发者可根据实际情况自行选择, 源文件为 device/rockchip/rk3328/BoardConfig.mk:

```
# Enable dex-preoptimization to speed up first boot sequence
ifeq ($(HOST_OS),linux)
  ifeq ($(TARGET_BUILD_VARIANT),user)
    WITH_DEXPLOPT := true
  else
    WITH_DEXPLOPT := true
  endif
endif
```

3.2.7 jack-server 配置

Android7.1 系统使用 jack-server 作为 java 代码编译器，在编译过程中可能会遇到以下类似的错误：

```
Jack server already installed in "/home/yhx/.jack-server"
Communication error with Jack server (1), try 'jack-diagnose' or see Jack server log
Communication error with Jack server 1. Try 'jack-diagnose'
Communication error with Jack server 1. Try 'jack-diagnose'
```

这种情况主要是由于 jack-server 本身编译器限制，同一个网络端口号不能多个用户同时使用。也就是在服务器上协同开发过程中，多用户同时编译 Android7.1 时，需要配置各自使用不同的网络端口号。

jack-server 的两个配置文件(yhx 为对应用户的用户名)，决定了它所使用的端口号：

```
/home/yhx/.jack-server/config.properties
/home/yhx/.jack-server/.jack-settings
```

这两个配置文件需要配置两个端口号，分别为服务端端口号，及客户端端口号，两个配置文件中的端口号要匹配。

```
jack.server.service.port=8074
jack.server.admin.port=8075
及
SERVER_PORT_SERVICE=8074
SERVER_PORT_ADMIN=8075
```

配置步骤如下：

1) 确保两个配置文件存在，并且权限设置为 0600：

```
chmod 0600 /home/yhx/.jack-server/config.properties
chmod 0600 /home/yhx/.jack-server/.jack-settings
```

2) 若两个配置文件不存在，请参照以下文本新建这两个配置文件。

config.properties 文件示例如下（端口号需按实际修改）：

```
jack.server.max-jars-size=104857600
jack.server.max-service=4
jack.server.service.port=8074
jack.server.max-service.by-mem=1\=2147483648\2\=3221225472\3\=42949
67296
jack.server.admin.port=8075
jack.server.config.version=2
jack.server.time-out=7200
```

.jack-settings 文件示例如下（端口号需按实际修改）：

```
# Server settings
SERVER_HOST=127.0.0.1
```



```
SERVER_PORT_SERVICE=8074
```

```
SERVER_PORT_ADMIN=8075
```

```
# Internal, do not touch
```

```
SETTING_VERSION=4
```

3) 修改端口号, 请更改 service port 及 admin port 为其他端口号, 两个配置文件里的端口号需要匹配。示例如下:

```
jack.server.service.port=8023
```

```
jack.server.admin.port=8024
```

```
SERVER_PORT_SERVICE=8023
```

```
SERVER_PORT_ADMIN=8024
```

4) 重新编译 Android, 看是否会报错, 若依然报错, 请尝试更改其他端口号, 直至编译通过。

5) 若更改 5 次编译依然无法通过, 可以执行 jack-admin dump-report 命令, 解压命令生成的压缩包, 分析 log 日志, 若出现以下 log, 可以重新安装下 libcurl:

```
$ JACK_EXTRA_CURL_OPTIONS=-v jack-admin list server
```

```
* Protocol https not supported or disabled in libcurl
```

```
* Closing connection -1
```

```
Communication error with Jack server 1. Try `jack-diagnose`
```

3.2.8 全自动编译脚本

如前几节所述, 编译可大致分为 u-boot、kernel、android 三大部分进行编译, 为了提高编译的效率, 降低人工编译可能出现的误操作, 该 SDK 中集成了全自动化编译脚本, 方便固件编译、备份。

1) 该全自动化编译脚本原始文件存放于:

```
device/rockchip/rk3328/build.sh
```

2) 在 repo sync 的时候, 通过 manifest 中的 copy 选项拷贝至工程根目录下:

```
<project path="device/rockchip/rk3328"
```

```
name="android/rk/device/rockchip/rk3328" remote="rk"
```

```
revision="rk33/mid/7.0/develop">
```

```
<copyfile src="buildspec-rk3328_box.mk" dest="buildspec.mk"/>
```

```
<copyfile src="build.sh" dest="build.sh"/>
```

3) 修改 build.sh 脚本中的特定变量以编出对应产品固件。

```
KERNEL_DTS=rk3328-evb
```

变量请按实际项目情况, 对应修改:

KERNEL_DTS 变量指定编译 kernel 的产品板极配置, 如使用 RK3328 Box 样机配置, 则可将改变量改为: rk3328-box。

Android 默认编译为 rk3328_box-userdebug 模式, 也可在脚本中对应修改, 可改为 rk3328_box-user 及其它配置:

```
lunch rk3328_box-user
```

4) 指定 update.img 打包用的 loader:

如 RKTools\linux\Linux_Pack_Firmware\rockdev\mkupdate.sh 脚本所示:

```
17 ./afptool -pack ./ Image/update.img || pause
```

```
18 ./rkImageMaker -RK322H MiniLoaderAll.bin Image/update.img update.img -
```

```
19 echo "Making update.img OK."
```

```
20 #echo "Press any key to quit:"
```

update.img 打包用的 loader 被命名位 MiniLoaderAll.bin，由于 SDK 发布了两个 Loader，所以在此需要指定打包使用哪个 loader，如果是使用 DDR3 2G 容量的板子：

```
cd RKTools/linux/Linux_Pack_Firmware/rockdev/  
cp rk3328_loader_ddr3_2GB_786MHz_v1.04.239.bin MiniLoaderAll.bin
```

如果是使用 DDR3 1G 容量的板子：

```
cd RKTools/linux/Linux_Pack_Firmware/rockdev/  
cp rk3328_loader_ddr3_1GB_786MHz_4layers_v1.04.239.bin MiniLoaderAll.bin
```

5) 执行自动编译脚本：
source build.sh

该脚本会自动配置 JDK 环境变量，编译 u-boot，编译 kernel，编译 Android，继而生成固件，并打包成 update.img。

5) 脚本生成内容：
脚本会将编译生成的固件拷贝至：
IMAGE/RK3328-BOX_7.1.1_*****_RELEASE_TEST/IMAGES 目录下，具体路径以实际生成为准。每次编译都会新建目录保存，自动备份调试开发过程的固件版本，并存放固件版本各类信息。

该目录下的 update.img 可直接用于 Android 开发工具及工厂烧写工具下载更新。

3.3 固件烧写

刷机说明详见 RKDocs\ RKTools manuals 目录下《Android 开发工具手册.pdf》。
SDK 提供烧写工具，如图 3-1 所示。编译生成相应的固件后，进入烧写模式，即可进行刷机。对于已烧过其它固件的机器，可以选择重新烧录固件，或是选择低格设备，擦除 idb，然后进行刷机。

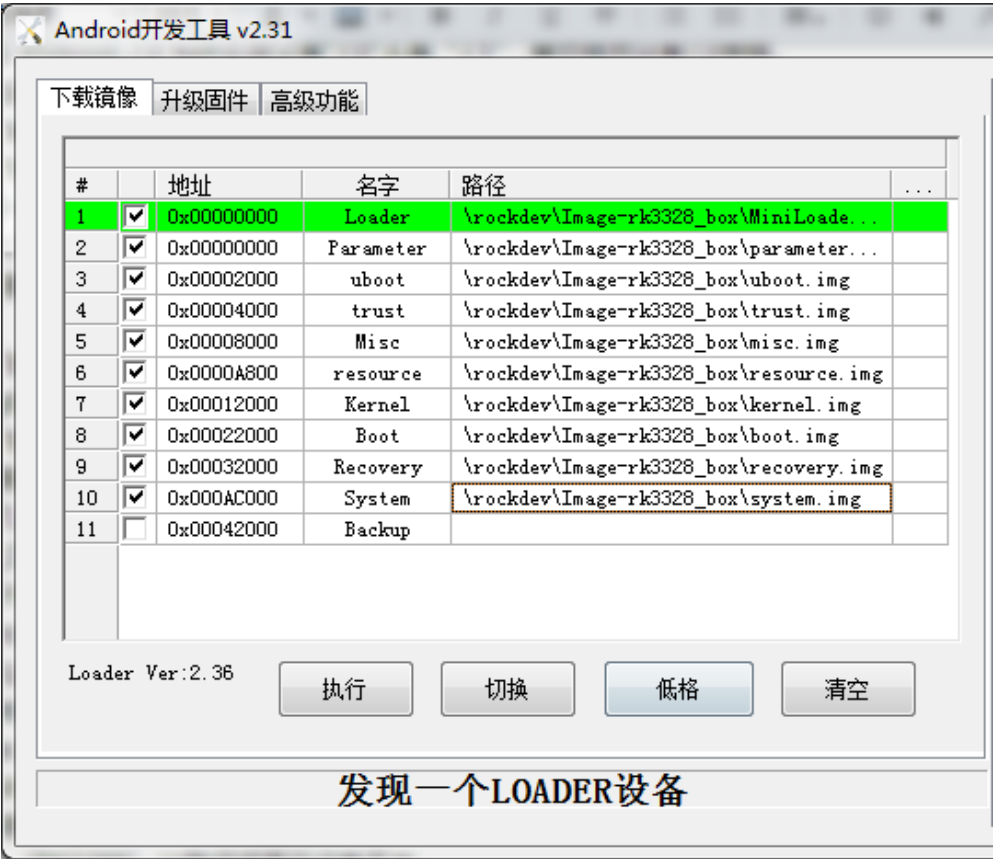


图 3-1 Android 开发工具烧写界面

注：烧写前，需安装最新的的 USB 驱动，驱动详见
RKTools/windows/

3.4 量产烧写

量产上考虑到生产效率及工厂工位安排，量产烧写说明详见 RKDocs\Develop reference document 目录下《Rockchip 量产烧录 指南 V1.1-20170214》。

在量产过程中如涉及到工具上的问题，可以联系我们的 Fae 窗口。

4 U-Boot 开发

本节简单介绍 U-Boot 基本概念和编译的注意事项，帮助客户了解 RK 平台 U-Boot 框架，具体 U-Boot 开发细节可参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip U-Boot 开发指南 V3.8-20170214》。

4.1 Rockchip U-Boot 简介

Rockchip U-Boot 是基于开源的 UBoot 2014.10 正式版进行开发的，主要支持：

- 支持芯片：rk3288、rk3036、rk312x、rk3368、rk3328、rk3366、rk3399 等；
- 支持 Android 平台的固件启动；
- 支持 ROCKUSB 和 Google Fastboot 两种方式烧写；
- 支持 secure boot 固件签名加密保护机制；
- 支持 LVDS、EDP、MIPI、HDMI、CVBS 等显示设备；
- 支持 SDCard、Emmc、Nand Flash、U 盘等存储设备；
- 支持开机 logo 显示、充电动画显示，低电管理、电源管理；
- 支持 I2C、SPI、PMIC、CHARGE、GUAGE、USB、GPIO、PWM、DMA、GMAC、EMMC、NAND、中断等驱动；

4.2 平台配置

平台配置文件位于 U-Boot 根目录下的 configs 文件夹下，其中 Rockchip 相关的以 RK 开头，并根据产品形态分为 MID 和 BOX 两种配置：

```
rk3288_defconfig
rk3126_defconfig
rk3128_defconfig
rk3368_defconfig

rk3288_box_defconfig
rk3128_box_defconfig
rk3036_box_defconfig
rk3368_box_defconfig
rk3328_box_defconfig
```

RK3328 Box 开发调试选用的是 rk3328_box_defconfig 配置。

4.3 固件生成

Rockchip 平台 Loader 分为一级模式和二级模式，根据不同的平台配置生成相应的 Loader 固件。通过宏 CONFIG_SECOND_LEVEL_BOOTLOADER 的定义二级 Loader 模式。

4.3.1 一级 Loader 模式

U-BOOT 作为一级 Loader 模式，那么仅支持 EMMC 存储设备，编译完成后生成的镜像：

```
RK3328MiniLoaderAll_V2.38.bin
```

其中 V2.38 是发布的版本号。

4.3.2 二级 Loader 模式

U-Boot 作为二级 Loader 模式，那么固件支持所有的存储设备，该模式下，需要 MiniLoader 支持，通过宏 CONFIG_MERGER_MINILOADER 进行配置生成。同时引入 Arm Trusted Firmware 后会生成 trust image，这个通过宏 CONFIG_MERGER_TRUSTIMAGE 进行配置生成。

以 rk3328 编译生成的镜像为例：

```
RK3328MiniLoaderAll_V2.38.bin
uboot.img
trust.img
```

其中 V2.38 是发布的版本号，rockchip 定义 U-Boot loader 的版本，其中 2.38 是根据存储版本定义的，客户务必不要修改这个版本。

uboot.img 是 U-Boot 作为二级 loader 的打包。

trust.img 是 trust fireware 的打包镜像。

RK3036、RK3126、RK3128、RK322x、RK3368、RK3366、**RK3328** 等采用**二级 loader 模式**。

4.4 U-Boot 编译

RK3328 Box SDK 编译使用的是如下配置：

```
make rk3328_box_defconfig
make ARCHV=aarch64
```

编译完，会生成 trust.img、RK322XHMiniLoaderAll_V2.38.bin（目前版本 loader 以 bin 文件提供）、uboot.img 三个文件。

Loader 请使用 RKTools 下提供的编译好 loader 进行开发调试。发布 SDK 的同时，我们也在烧写工具目录下提供了适用于各种样机的 Loader。

在 RKTools\windows\AndroidTool\rockdev 及

RKTools\windows\AndroidTool\rockdev 目录下放有预编译好的 loader，大家可根据 DDR 容量选择使用。

1GB DDR3、运行 800Mhz、：

```
rk3328_loader_ddr3_1GB_800MHz_4layers_v1.03.239.bin
```

2GB DDR3、运行 800Mhz、：

```
rk3328_loader_ddr3_2GB_800MHz_v1.03.239.bin
```

4.5 U-Boot logo 相关的配置

4.5.1 U-Boot logo 开关配置

Sdk 默认开启 U-Boot logo 功能，以达到更快显示开机 logo 的目的

```
rockchip,uboot-logo-on = <1>;
```

如果需要关闭这个功能的，请在 kernel 配置中设置 rockchip,uboot-logo-on = <0>;即可

4.5.2 U-Boot logo 图片更换

U-boot logo 显示的两张图片是 kernel 根目录下的 logo.bmp 和 logo_kernel.bmp，如果需要更换，用同名的 bmp 替换掉，重新编译 resource.img 即可。

附：logo 替换不一定要两张图片，可以只要一张，如果只有开发者手上只有一张 logo 图片，就保留 logo.bmp 这一张即可。

5 内核开发常见配置

本节简单介绍内核一些常见配置的修改，主要是 dts 的配置，帮助客户更快更方便的进行一些简单的修改。RK3328 kernel 版本是 3.10，config 配置文件统一为 arch/arm64/configs/rockchip_smp_nougat_defconfig。RK3328 的串口波特率为 1500000，调试时请保证设置准确。

5.1 DTS 介绍

5.1.1 DTS 说明

RK3328 的 dts 文件在 kernel/arch/arm64/boot/dts/下，如 RK3328 Box 样机产品的 dts 文件为 rk3328-box.dts。产品的 dts 里需根据具体的产品需求配置 CPU、GPU、DDR 的频率和电压表；配置 io、wifi、bt、温控、电配置等等。

请各位开发者尽量以 SDK 发布的示例产品 dts 文件做参考，进行后期的开发。

5.1.2 新增一个产品 DTS

RK3328 的产品 dts 文件需放在 kernel/arch/arm64/boot/dts/下，

1、以 rk3328-box.dts 为参照，拷贝一份 dts 文件命名为 rk3328-product.dts。

2、修改 arch/arm64/boot/dts/Makefile 文件，添加对应 dtb 申明

```
+rk3328-product.dtb
```

3、修改编译脚本或编译命令。

4、重新编译内核。

5.2 WiFi&BT 的配置

RK3328 Android 7.1 平台上 WiFi、BT 可做到自动兼容，按照 RK 提供的编译 Android7.1 编译步骤，生成固件后，默认就可以支持相应的 WiFi 模块，并且一套固件可以支持多个 WiFi 模块。目前 rk3328 android 7.1 平台 wifi、bt 模块 android 和 kernel 无需做任何配置。

目前对外发布 RK3328 Android7.1 SDK,WIFI 自动兼容框架已经搭建完毕，如果客户需要自行调试其他模块，只需按照 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip Android7.1_WiFi_配置说明 V1.3》及《RealTek wifi 驱动移植说明_V1.1.pdf》提到的注意事项进行修改即可。

5.3 GPIO 对应关系注意

关于原理图上的 gpio 跟 dts 里面的 gpio 的对应关系，这边有个需要注意的地方：例如 GPIO4c0，那么对应的 dts 里面应该是“gpio4 16”。因为 GPIOA 有 8 个 pin，GPIOB 也有 8 个 pin，以此计算可得 c0 口就是 16，c1 口就是 17，以此类推。

GPIO 的使用请参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip PINCTRL 开发指南 V0.1-20170220》

5.4 ARM、GPU 频率修改

DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) 动态电压频率调节，是一种实时的电压和频率调节技术。目前 3.10 内核中支持 DVFS 的模块有 CPU、GPU、DDR。

CPUFreq 是内核开发者定义的一套支持动态调整 CPU 频率和电压的的框架模型。它能有效的降低 CPU 的功耗，同时兼顾 CPU 的性能。

CPUFreq 通过不同的变频策略，选择一个合适的频率供 CPU 使用，目前的内核版本提供了以下几种策略：

- **interactive**: 根据 CPU 负载动态调频调压；
- **conservative**: 保守策略，逐级调整频率和电压；
- **ondemand**: 根据 CPU 负载动态调频调压，比 **interactive** 策略反应慢；
- **userspace**: 用户自己设置电压和频率，系统不会自动调整；
- **powersave**: 功耗优先，始终将频率设置在最低值；
- **performance**: 性能优先，始终将频率设置为最高值。

详细的模块功能及配置，请参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip CPUFreq-DVFS 开发指南 V1.0-20170221》

5.5 温控配置

在 Linux 内核中，定义一套温控框架 linux Generic Thermal Sysfs Drivers，在 3.10 内核 arm64 版本，我们使用 **thermal** 框架的 **sysfs** 接口读取当前的温度。温控策略是自定义的方式：

- **performance** 策略：温度超过一定的温度，CPU 会设定在固定的频率，具体的数值配置在芯片级 **dtsti** 文件。
- **normal** 策略：当前温度超过设定值不同的温度时，CPU 会降低相应的频率，具体的数值配置在芯片级 **dtsti** 文件。

详细的模块功能及配置，请参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip Thermal 开发指南 (3.10 内核)V1.0-20170220》

5.6 PWM IR 配置

红外遥控的发射电路是采用红外发光二极管来发出经过调制的红外光波；红外接收电路由红外接收二极管、三极管或硅光电池组成，它们将红外发射器发射的红外光转换为相应的电信号，再送后置放大器。鉴于家用电器的品种多样化和用户的使用特点，生产厂家对进行了严格的规范编码，这些编码各不相同，从而形成不同的编码方式，统一称为红外遥控器编码传输协议。目前 RK 平台只支持 NEC 编码的红外协议。

RK3328 平台详细的遥控器适配，键值添加，红外按键定义，及遥控器功能相关调试内容请参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip pwm ir 开发指南 V1.00》。

6 Android 开发常见配置

本节简单介绍 Android 开发中一些常见配置的修改，RK3328 平台搭载的是最新的 Android 7.1.1 系统。

6.1 Android 编译配置

6.1.1 lunch 选项说明

rk3328_box-userdebug: rk3328 平台 box 产品 userdebug (64 位)

rk3328_box-user: rk3328 平台 box 产品 user (64 位)

user 版本开启 odex 预编译，编译出来的固件偏大，但会提高开机速度。开发过程中涉及到 apk 及 jar 的更新调试相对麻烦很多。

建议开发调试阶段默认选择 userdebug 编译。

6.1.2 添加一个新的产品

各开发厂商可能有同款芯片不同产品开的需求，一套 SDK 需同时编译生成多款产品固件。

RK3328 平台支持 Box 类型各种产品形态，当需要添加一个新的产品时，可以基于已有的 rk3328_box 来建立，如下以建立一个新的平板产品为例进行说明，具体步骤为：

1) 产品命名规则：

Box 产品名中需带有“box”字样；

请务必遵守以上规则，否则系统会异常。

2) 新增文件夹 device/rockchip/rk3328/rk3328_box_000，基于 rk3328_box.mk 创建 rk3328_box_000.mk，将 rk3328_box 目录下的所有文件拷贝至 rk3328_box_000 目录下。

```
cd device/rockchip/rk3328
mkdir rk3328_box_000
cp rk3328_box.mk ./rk3328_box_000.mk
cp rk3328_box/* rk3328_box_000/
```

3) 在 device/rockchip/rk3328/AndroidProducts.mk 中添加：

```
PRODUCT_MAKEFILES := \
    $(LOCAL_DIR)/rk3328.mk \
    $(LOCAL_DIR)/rk3328_box.mk \
    $(LOCAL_DIR)/rk3328_box_000.mk \
```

4) 在 vendorsetup.sh 中添加产品对应的 lunch 选项：

```
add_lunch_combo rk3328_box-eng
add_lunch_combo rk3328_box-userdebug
add_lunch_combo rk3328_box-user
add_lunch_combo rk3328_box_000-userdebug
add_lunch_combo rk3328_box_000-user
```

5) 修改 rk3328_box_000.mk 及 rk3328_box_000 目录下的新产品所需要修改的配置。

6) 修改编译脚本或编译命令，重新 lunch 产品名称进行新产品编译。

6.2 常用配置说明

表 6-1 常用配置说明

宏配置	功能说明
BUILD_BOX_WITH_GOOGLE_MARKET	若为 true 则集成 GMS 包, false 不集成
BUILD_WITH_WIDEVINE	集成 Widevine level3 插件库
TARGET_ROCKCHIP_PCBATEST	使能 PCBA 测试
BOOT_SHUTDOWN_ANIMATION_RINGING	使能开关机动画+铃声
BOARD_SYSTEMIMAGE_PARTITION_SIZE	System 分区最大容量

6.3 预置 APK

Android 上的应用预安装功能, 主要是指配置产品时, 根据厂商要求, 将事先准备好的第三方应用预置进 Android 系统。

预安装的 APK 应用需要得到对应厂商授权, 若因为开发者及客户厂商私自预安装未授权应用进而需要承担法律责任的, RK 概不负责。

预安装分为可卸载预安装和不可卸载预安装, 本文主要阐述的是可卸载预安装的功能。配置步骤如下:

- 1) 若是希望可卸载预安装, 新增文件夹 device/rockchip/rk3328/preinstall_del; 若是不可卸载原装, 新增文件夹 device/rockchip/rk3328/preinstall。
- 2) 拷贝需要预制的第三方应用到上述文件夹, 注意 apk 文件名尽量使用英文, 避免空格。
- 3) 编译结束后会将预制的文件拷贝至 system 固件中。烧录后, 系统会自动安装这些应用到 data/app 目录。
- 4) 需要注意的是, 在 preinstall 目录中的应用, 即使用户在使用过程中将其卸载, 但在恢复出厂设置后, 应用又会自动安装。如果希望恢复出厂设置后不再恢复预安装应用, 可以将上述文件夹名字改为 preinstall_del_forever 即可实现。

6.4 开/关机动画及铃声

需要在产品的 device/rockchip /common/BoardConfig.mk 中配置

BOOT_SHUTDOWN_ANIMATION_RINGING := true, 并且准备如下相应资源文件, 编译结束后对应的资源文件会拷贝到相应的 out 目录下。

- 将开机铃声 复制到 device/rockchip/common/startup.wav (源码路径)
- 将关机铃声 复制到 device/rockchip/common/startup.wav (源码路径)
- 将开机动画 复制到 device/rockchip/common/bootanimation.zip (源码路径)
- 将关机动画 复制到 device/rockchip/common/shutdownanimation.zip (源码路径)

6.5 Parameter 说明

请参考 device/rockchip/rk3328/目录下 parameter.txt 文件来相应修改配置, 关于 parameter 中各个参数、分区情况细节, 请参考\RKDocs\RKTools manuals\ Rockchip Parameter File Format Ver1.3.pdf。

6.6 新增分区配置

请参考\RKDocs\RKTools manuals\Android 增加一个分区配置指南 V1.00.pdf

6.7 OTA 升级

6.7.1 OTA 介绍

OTA (over the air) 升级是 Android 系统提供的标准软件升级方式。它功能强大，提供了完全升级（完整包）、增量升级模式（差异包），可以通过本地升级，也可以通过网络升级。

详细的 OTA 升级及 Recovery 模块功能及配置，请参考 RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip Recovery 用户操作指南 V1.00》。

6.7.2 生成完整包

完整包所包含内容：system.img、recovery.img、boot.img

发布一个固件正确的顺序：

- 1、make -j4
- 2、make otapackage -j4
- 3、./mkimage.sh ota

发布固件必须使用 ./mkimage.sh ota, 将 boot 与 kernel 打包，不需要单独烧 kernel，如果量产固件是分开的，将会影响后面差异包升级，除非你不需要用差异升级。

在 out/target/product/rkxxxx/ 目录下会生成 ota 完整包 rkxxxx-ota-eng.root.zip，改成 update.zip 即可拷贝到 T 卡或者内置的 flash 进行升级。

6.7.3 生成差异包

OTA 差异包只有差异内容，包大小比较小，主要用于 OTA 在线升级，也可 T 卡本地升级。OTA 差异包制作需要特殊的编译进行手动制作。

- 1、首先发布 v1 版本的固件，生成 v1 版本的完整包
- 2、保存

out/target/product/rkxxxx/obj/PACKAGING/target_files_intermediates/rk3188-target_files-eng.root.zip 为 rkxxxx-target_files-v1.zip，作为 v1 版本的基础素材包。

- 3、修改 kernel 代码或者 android 代码，发布 v2 版本固件，生成 v2 版本完整包
- 4、保存

out/target/product/rkxxxx/obj/PACKAGING/target_files_intermediates/rk3188-target_files-eng.root.zip 为 rkxxxx-target_files-v2.zip，作为 v2 版本的基础素材包。

- 5、生成 v1-v2 的差异升级包：

```
./build/tools/releasetools/ota_from_target_files -v -i  
rkxxxx-target_files-v1.zip -p out/host/linux-x86 -k  
build/target/product/security/testkey rkxxxx-target_files-v2.zip  
out/target/product/rk3328/rkxxxx-v1-v2.zip
```

说明：生成差异包命令格式：

ota_from_target_files

-v -i 用于比较的前一个 target file

-p host 主机编译环境

-k 打包密钥

用于比较的后一个 target file

最后生成的 ota 差异包

6.8 预制 Demo

在开发及样机准备中，多数开发者及厂商有需要集成测试音视频资源、图片资源等，本 SDK 也附带了预置 Demo 资源的功能，详情见 8.8 节 OemTool 打包工具使用。

6.9 系统灾难恢复

在系统使用过程中，为了避免由于升级异常、数据异常丢失等特殊原因出现的系统无法启动，RK3328 平台上加入了系统灾难恢复的机制，以在灾难出现的情况下，恢复系统启动。

如果一个 service 是 critical 的，而它又在短时间内反复挂掉，restart 后又总是运行失败，系统已经无法正常运行，于是系统需要启动灾难恢复操作。这样的 service 包括：

```
service ueventd /sbin/ueventd
    class core
    critical
    seclabel u:r:ueventd:s0

service healthd /sbin/healthd
    class core
    critical
    seclabel u:r:healthd:s0
    group root system wakelock
```

6.9.1 系统默认灾难恢复机制

目前 SDK 中，若 zygote 反复挂掉，我们即认为系统已经面临巨大灾难（无法正常开机），需要马上进行恢复，恢复手段是重启进入 recovery，并做 data 分区数据清除动作。客户可根据项目本身，及系统的运行的具体情况，指定自己的灾难恢复策略，提高系统软件的自愈能力。

6.9.2 灾难恢复定制开发

如果有一定相关开发经验的开发者，可以根据测试情况结合项目潜在可能遇到的灾难性问题，做出合理的灾难恢复处理，使得系统灾难，得以自愈及恢复，完善用户的体验并避免不必要的返厂维修。

critical 进程添加：

若需要让系统记录并捕获进程短时间内异常退出次数，需在 init.rc 中定义进程 critical 标记，init.rc 并不固定文件，开发者需自行判定并添加修改对应 init.rc。zygote 进程修改示例如下：

```
service zygote /system/bin/app_process64 -Xzygote /system/bin --zygote
--start-system-server --socket-name=zygote
    # class main
    class core
    critical
    socket zygote stream 660 root system
    onrestart write /sys/android_power/request_state wake
    onrestart write /sys/power/state on
    onrestart restart audioserver
    onrestart restart cameraserver
    onrestart restart media
    onrestart restart netd
```

```

writepid /dev/cpuset/foreground/tasks

service zygote_secondary /system/bin/app_process32 -Xzygote /system/bin
--zygote --socket-name=zygote_secondary
# class main
class core
critical
socket zygote_secondary stream 660 root system
onrestart restart zygote
writepid /dev/cpuset/foreground/tasks

```

critical 进程异常捕获后操作定制:

当 critical 进程在短时间内重复挂掉, 进程异常退出的次数将会通过 signal 通知 init 进程, init 进程会对异常退出次数进行记录。

system/core/init/service.cpp 文件中对灾难恢复机制触发的次数进行了定义:

```
#define CRITICAL_CRASH_THRESHOLD 4
```

灾难恢复功能定制也在 system/core/init/service.cpp 文件中实现, 目前实现如下, 若达到指定挂掉次数, 会进入 recovery, 并格式化 data:

```

if ((flags_ & SVC_CRITICAL) && !(flags_ & SVC_RESTART)) {
    if (time_crashed_ + CRITICAL_CRASH_WINDOW >= now) {
        if (++nr_crashed_ > CRITICAL_CRASH_THRESHOLD) {
            ERROR("critical process '%s' exited %d times in %d minutes; "
                  "rebooting into recovery mode\n", name_.c_str(),
                  CRITICAL_CRASH_THRESHOLD,
                  CRITICAL_CRASH_WINDOW / 60);
            #if defined(TARGET_BOARD_PLATFORM_PRODUCT_BOX)
                FILE *fd = fopen("/cache/recovery/command", "wb+");
                if(NULL == fd){
                    NOTICE("*****/cache/recovery/command can't
open*****\n");
                }
                char buffer[100] = "--wipe_data\n";
                fwrite(buffer, 1, strlen("--wipe_data"), fd);
                fclose(fd);
                fd = NULL;
                sync()
            #endif
                android_reboot(ANDROID_RB_RESTART2, 0, "recovery");
                return false;
            }
        } else {
            time_crashed_ = now;
            nr_crashed_ = 1;
        }
    }
}

```

灾难恢复推荐操作如下:

1、系统重启

- 2、重启进入 recovery，进入菜单模式
- 3、重启进入 recovery，格式化指定分区
- 4、删除可能被破坏的数据，重启

6.10 禁用 Selinux

RK3328 Android7.1 平台上 Selinux 默认打开，并配置为 permissive 模式，即权限异常只会告警，但不会阻止。

若开发者需要并且相关禁用 Selinux，需要修改 parameter.txt 中对应参数。

device/rockchip/rk3328/parameter.txt 修改如下：

```
androidboot.selinux=disabled
```

7 系统调试

本节重点介绍 SDK 开发过程中的一些调试工具和调试方法，并会不断补充完善，帮助开发者快速上手基础系统调试，并做出正确的分析。

7.1 ADB 工具

7.1.1 概述

ADB (Android Debug Bridge) 是 Android SDK 里的一个工具，用这个工具可以操作管理 Android 模拟器或真实的 Android 设备。主要功能有：

- 运行设备的 shell (命令行)
- 管理模拟器或设备的端口映射
- 计算机和设备之间上传/下载文件
- 将本地 apk 软件安装至模拟器或 Android 设备

ADB 是一个“客户端—服务器端”程序，其中客户端主要是指 PC，服务器端是 Android 设备的实体机器或者虚拟机。根据 PC 连接 Box 机器的方式不同，ADB 可以分为两类：

- 网络 ADB：主机通过有线/无线网络（同一局域网）连接到 STB 设备
- USB ADB：主机通过 USB 线连接到 STB 设备

7.1.2 USB adb 使用说明

USB adb 使用有以下限制：

- 只支持 USB OTG 口
- 不支持多个客户端同时使用（如 cmd 窗口，eclipse 等）
- 只支持主机连接一个设备，不支持连接多个设备

连接步骤如下：

1、Box 机器已经运行 Android 系统， 设置->开发者选项->已连接到计算机 打开，usb 调试开关打开。

2、PC 主机只通过 USB 线连接到机器 USB otg 口，然后电脑通过如下命令与 Box 机器相连。

```
adb shell
```

3、测试是否连接成功，运“adb devices”命令，如果显示机器的序列号，表示连接成功。

7.1.3 网络 adb 使用要求

adb 早期版本只能通过 USB 来对设备调试，从 adb v1.0.25 开始，增加了对通过 tcp/ip 调试 Android 设备的功能。

如果你需要使用网络 adb 来调试设备，必须要满足如下条件：

- 1、设备上面首先要有网口，或者通过 WiFi 连接网络。
- 2、设备和研发机（PC 机）已经接入局域网，并且设备设有局域网的 IP 地址。
- 3、要确保研发机和设备能够相互 ping 得通。
- 4、研发机已经安装了 adb。
- 5、确保 Android 设备中 adbd 进程（adb 的后台进程）已经运行。adbd 进程将会监听端口 5555 来进行 adb 连接调试。

7.1.4 SDK 网络 adb 端口配置

SDK 默认未开启网络 adb，需要手动在开发者选项中打开。

7.1.5 网络 adb 使用

本节假设设备的 ip 为 192.168.1.5，下文将会用这个 ip 建立 adb 连接，并调试设备。

1、首先 Android 设备需要先启动，如果可以的话，可以确保一下 adbd 启动(ps 命令查看)。

2、在 PC 机的 cmd 中，输入：

```
adb connect 192.168.1.5:5555
```

如果连接成功会进行相关的提示，如果失败的话，可以先 kill-server 命令，然后重试连接。

```
adb kill-server
```

3、如果连接已经建立，在研发机中，可以输入 adb 相关的命令进行调试了。比如 adb shell，将会通过 tcp/ip 连接设备上面。和 USB 调试是一样的。

4、调试完成之后，在研发机上面输入如下的命令断开连接：

```
adb disconnect 192.168.1.5:5555
```

7.1.6 手动修改网络 adb 端口号

若 SDK 未加入 adb 端口号配置，或是想修改 adb 端口号，可通过如下方式修改：

1、首先还是正常地通过 USB 连接目标机，在 windows cmd 下执行 adb shell 进入。

2、设置 adb 监听端口：

```
#setprop service.adb.tcp.port 5555
```

3、通过 ps 命令查找 adbd 的 pid

4、重启 adbd

```
#kill -9<pid>，这个 pid 就是上一步找到那个 pid
```

杀死 adbd 之后，android 的 init 进程后自动重启 adbd。adbd 重启后，发现设置了 service.adb.tcp.port，就会自动改为监听网络请求。

7.1.7 ADB 常用命令详解

（1）查看设备情况

查看连接到计算机的 Android 设备或者模拟器：

```
adb devices
```

返回的结果为连接至开发机的 Android 设备的序列号或是 IP 和端口号（Port）、状态。

（2）安装 apk

将指定的 apk 文件安装到设备上：

```
adb install <apk 文件路径>
```

示例如下：

```
adb install "F:\WishTV\WishTV.apk"
```

重新安装应用：

```
adb install -r <apk 文件路径>
```

示例如下：

```
adb install -r "F:\WishTV\WishTV.apk"
```

（3）卸载 apk

完全卸载：

```
adb uninstall <package>
```

示例如下：

```
adb uninstall com.wishtv
```

（4）使用 rm 移除 apk 文件：

```
adb shell rm <filepath>
```

示例如下：

```
adb shell
rm "system/app/WishTV.apk"
```

示例说明：移除“system/app”目录下的“WishTV.apk”文件。

（5）进入设备和模拟器的 shell

进入设备或模拟器的 shell 环境：

```
adb shell
```

（6）从电脑上传文件到设备

用 push 命令可以把本机电脑上的任意文件或者文件夹上传到设备。本地路径一般指本机电脑；远程路径一般指 adb 连接的单板设备。

```
adb push <本地路径> <远程路径>
```

示例如下：

```
adb push "F:\WishTV\WishTV.apk" "system/app"
```

示例说明：将本地“WishTV.apk”文件上传到 Android 系统的“system/app”目录下。

（7）从设备下载文件到电脑

pull 命令可以把设备上的文件或者文件夹下载到本机电脑中。

```
adb pull <远程路径> <本地路径>
```

示例如下：

```
adb pull system/app/Contacts.apk F:\
```

示例说明：将 Android 系统“system/app”目录下的文件或文件夹下载到本地“F:\”目录下。

（8）查看 bug 报告

需要查看系统生成的所有错误消息报告，可以运行 adb bugreport 指令来实现，该指令会将 Android 系统的 dumphsys、dumpstate 与 logcat 信息都显示出来。

（9）查看设备的系统信息

在 adb shell 下查看设备系统信息的具体命令。

```
adb shell getprop
```

7.2 Logcat 工具

Android 日志系统提供了记录和查看系统调试信息的功能。日志都是从各种软件和一些系统的缓冲区中记录下来的，缓冲区可以通过 Logcat 来查看和使用。Logcat 是调试程序用的最多的功能。该功能主要是通过打印日志来显示程序的运行情况。由于要打印的日志量非常大，需要对其进行过滤等操作。

7.2.1 Logcat 命令使用

用 logcat 命令来查看系统日志缓冲区的内容：

基本格式：

```
[adb] logcat [<option>] [<filter-spec>]
```

示例如下：

```
adb shell
logcat
```

7.2.2 常用的日志过滤方式

控制日志输出的几种方式：

- 控制日志输出优先级。

示例如下：


```
adb shell
logcat *:W
```

示例说明：显示优先级为 **warning** 或更高的日志信息。

- 控制日志标签和输出优先级。

示例如下：

```
adb shell
logcat ActivityManager:I MyApp:D *:S
```

示例说明：支持所有的日志信息，除了那些标签为“ActivityManager”和优先级为“Info”以上的、标签为“MyApp”和优先级为“Debug”以上的。

- 只输出特定标签的日志

示例如下：

```
adb shell
logcat WishTV:* *:S
```

或者

```
adb shell
logcat -s WishTV
```

示例说明：只输出标签为 **WishTV** 的日志。

- 只输出指定优先级和标签的日志

示例如下：

```
adb shell
logcat WishTV:I *:S
```

示例说明：只输出优先级为 **I**，标签为 **WishTV** 的日志。

7.3 Procrank 工具

Procrank 是 Android 自带一款调试工具，运行在设备侧的 **shell** 环境下，用来输出进程的内存快照，便于有效的观察进程的内存占用情况。

包括如下内存信息：

- **VSS: Virtual Set Size** 虚拟耗用内存大小（包含共享库占用的内存）
- **RSS: Resident Set Size** 实际使用物理内存大小（包含共享库占用的内存）
- **PSS: Proportional Set Size** 实际使用的物理内存大小（比例分配共享库占用的内存）
- **USS: Unique Set Size** 进程独自占用的物理内存大小（不包含共享库占用的内存）

注意：

- **USS** 大小代表只属于本进程正在使用的内存大小，进程被杀死后会被完整回收；
- **VSS/RSS** 包含了共享库使用的内存，对查看单一进程内存状态没有参考价值；
- **PSS** 是按照比例将共享内存分割后，某单一进程对共享内存区的占用情况。

7.3.1 使用 procrank

执行 **procrank**，前需要先让终端获取到 **root** 权限

```
su
```

命令格式：

```
procrank [ -W ] [ -v | -r | -p | -u | -h ]
```

常用指令说明：

- **-v**: 按照 **VSS** 排序

- -r: 按照 RSS 排序
- -p: 按照 PSS 排序
- -u: 按照 USS 排序
- -R: 转换为递增[递减]方式排序
- -w: 只显示 working set 的统计计数
- -W: 重置 working set 的统计计数
- -h: 帮助

示例:

- 输出内存快照:

```
procrank
```

- 按照 VSS 降序排列输出内存快照:

```
procrank -v
```

默认 procrank 输出是通过 PSS 排序。

7.3.2 检索指定内容信息

查看指定进程的内存占用状态，命令格式如下：

```
procrank | grep [cmdline | PID]
```

其中 `cmdline` 表示需要查找的应用程序名，`PID` 表示需要查找的应用进程。

输出 `systemUI` 进程的内存占用状态：

```
procrank | grep "com.android.systemui"
```

或者：

```
procrank | grep 3396
```

7.3.3 跟踪进程内存状态

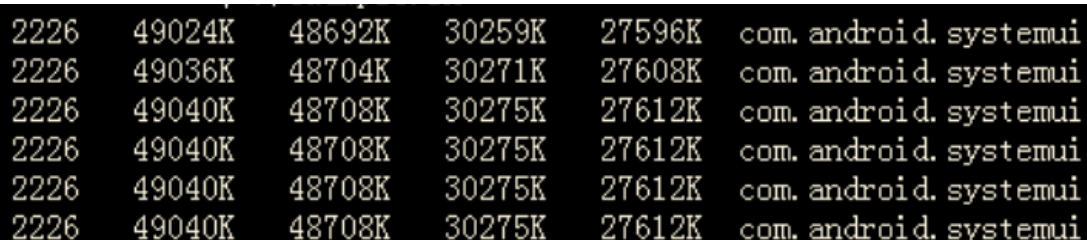
通过跟踪内存的占用状态，进而分析进程中是否存在内存泄露场景。使用编写脚本的方式，连续输出进程的内存快照，通过对比 `USS` 段，可以了解到此进程是否内存泄露。

示例：输出进程名为 `com.android.systemui` 的应用内存占用状态，查看是否有泄露：

1、编写脚本 `test.sh`

```
#!/bin/bash
while true;do
adb shell procrank | grep "com.android.systemui"
sleep 1
done
```

2、通过 `adb` 工具连接到设备后，运行此脚本：`./test.sh`。如图所示。



2226	49024K	48692K	30259K	27596K	com.android.systemui
2226	49036K	48704K	30271K	27608K	com.android.systemui
2226	49040K	48708K	30275K	27612K	com.android.systemui
2226	49040K	48708K	30275K	27612K	com.android.systemui
2226	49040K	48708K	30275K	27612K	com.android.systemui
2226	49040K	48708K	30275K	27612K	com.android.systemui

图 7-1 跟踪进程内存状态

7.4 Dumpsys 工具

`Dumpsys` 工具是 Android 系统中自带的一款调试工具，运行在设备侧的 `shell` 环境下，提供系统中正在运行的服务状态信息功能。正在运行的服务是指 Android binder 机制中的服务端进

程。

dumpsys 输出打印的条件:

- 1、只能打印已经加载到 ServiceManager 中的服务;
- 2、如果服务端代码中的 dump 函数没有被实现, 则没有信息输出。

7.4.1 使用 Dumpsys

- 查看 Dumpsys 帮助

作用: 输出 dumpsys 帮助信息。

```
dumpsys -help
```

- 查看 Dumpsys 包含服务列表

作用: 输出 dumpsys 所有可打印服务信息, 开发者可以关注需要调试服务的名称。

```
dumpsys -l
```

- 输出指定服务的信息

作用: 输出指定的服务的 dump 信息。

格式: dumpsys [servicename]

示例: 输出服务 SurfaceFlinger 的信息, 可执行命令:

```
dumpsys SurfaceFlinger
```

- 输出指定服务和应有进程的信息

作用: 输出指定服务指定应用进程信息。

格式: dumpsys [servicename] [应用名]

示例: 输出服务名为 meminfo, 进程名为 com.android.systemui 的内存信息, 执行命令:

```
dumpsys meminfo com.android.systemui
```

注意: 服务名称是大小写敏感的, 并且必须输入完整服务名称。

7.5 音视频问题调试工具及文档

RKDocs\Develop reference documents 目录下《Rockchip Videodebug_V1.0_20170109》为音视频问题调试工具包, 其中也包含了详细的调试说明文档《Rockchip 音视框架调试文档 V0.4》可帮助开发者对音视频问题做出基本的排查和分析。

8 常用工具说明

本节简单介绍 SDK 附带的一些开发及量产工具的使用说明，方便开发者了解熟悉 RK 平台工具的使用。详细的工具使用说明请见 RKTools 目录下各工具附带文档，及 RKDocs\ RKTools manuals 目录下工具文档。

8.1 StressTest

设备上使用 Stresstest 工具，对待测设备的各项功能进行压力测试，确保各项整个系统运行的稳定性。SDK 通过打开计算器应用，输入“83991906=”暗码，可启动 StressTest 应用，进行各功能压力测试。

Stresstest 测试工具测试的内容主要包括：

模块相关

- Camera 压力测试：包括 Camera 打开关闭，Camera 拍照以及 Camera 切换。
- Bluetooth 压力测试：包括 Bluetooth 打开关闭。
- Wifi 压力测试：包括 Wifi 打开关闭，（ping 测试以及 iperf 测试待加入）。

非模块相关

- 飞行模式开关测试。
- 休眠唤醒拷机测试。
- 视频拷机测试。
- 重启拷机测试
- 恢复出厂设置拷机测试。
- Arm 变频测试
- Gpu 变频测试
- DDR 变频测试

8.2 PCBA 测试工具

PCBA 测试工具用于帮助在量产的过程中快速地甄别产品功能的好坏，提高生产效率。目前包括屏幕（LCD）、无线（wifi）、蓝牙（bluetooth）、DDR/EMMC 存储、SD 卡（sdcard）、UST HOST、按键（KEY），喇叭耳机（Codec）测试项目。

这些测试项目包括自动测试项和手动测试项，无线网络、DDR/EMMC、以太网为自动测试项，按键、SD 卡、USB HOST、Codec、为手动测试项目。

具体 PCBA 功能配置及使用说明，请参考\RKDocs\RKTools manuals\请参考\RKDocs\RKTools manuals\ Rockchip PCBA 模块 开发指南--20170210.pdf。

8.3 DDR 测试工具

设备上使用 DDR 测试工具，对待测设备的 DDR 进行稳定性测试，确保 DDR 功能正常及稳定。RK3328 DDR 测试工具还未发布，后续会随 SDK 更新。

8.4 Android 开发工具

8.4.1 下载镜像

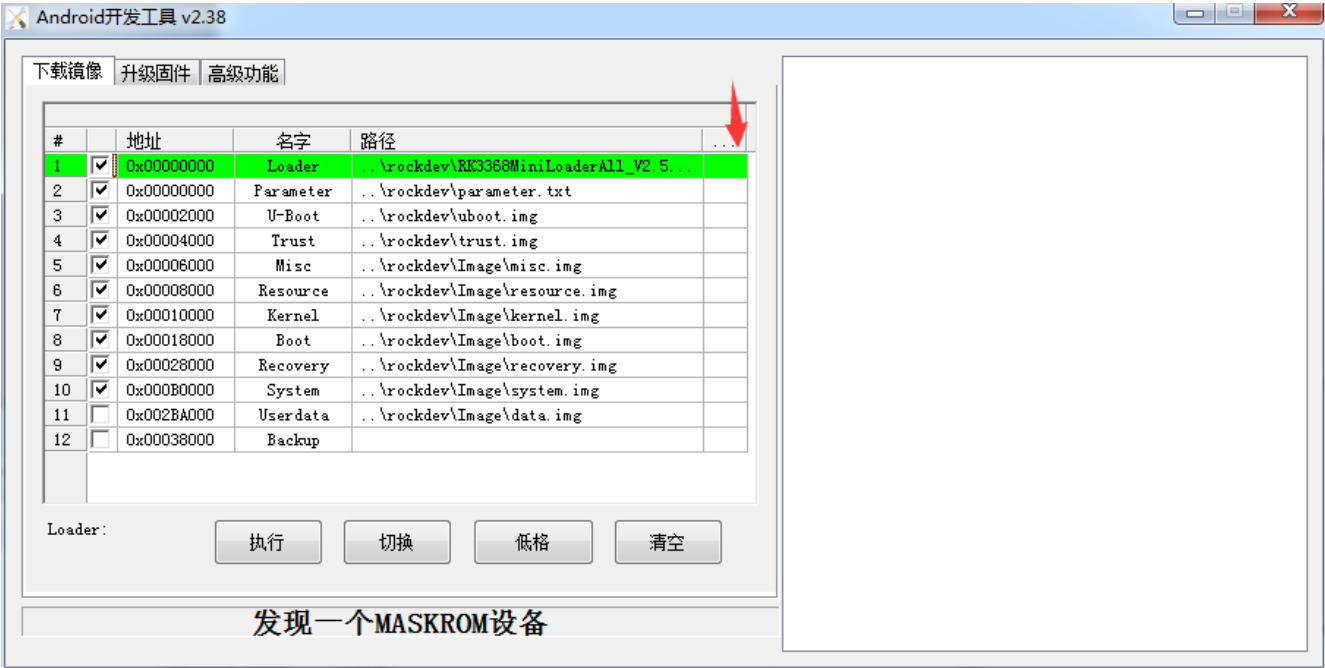


图 8-1 Android 开发工具下载镜像

- 1) 连接开发板进入下载模式(下载模式先按住开发板 **reset** 按键,再长按 **recover** 按键约 3-4s 时间进入 **loader** 模式)。
 - 2) 打开工具点击下载镜像菜单,点击红色箭头对应列会跳出来一个文件选择框,可以选择对应分区的 **img** 本地地址,其他几项依次配置。
 - 3) 配置完成后,点击执行就可以看到右边空白框进入下载提示。
- 其中 “低格” 按钮是用来擦除设备的,“清空” 按钮是清空编辑框文本。

8.4.2 升级固件

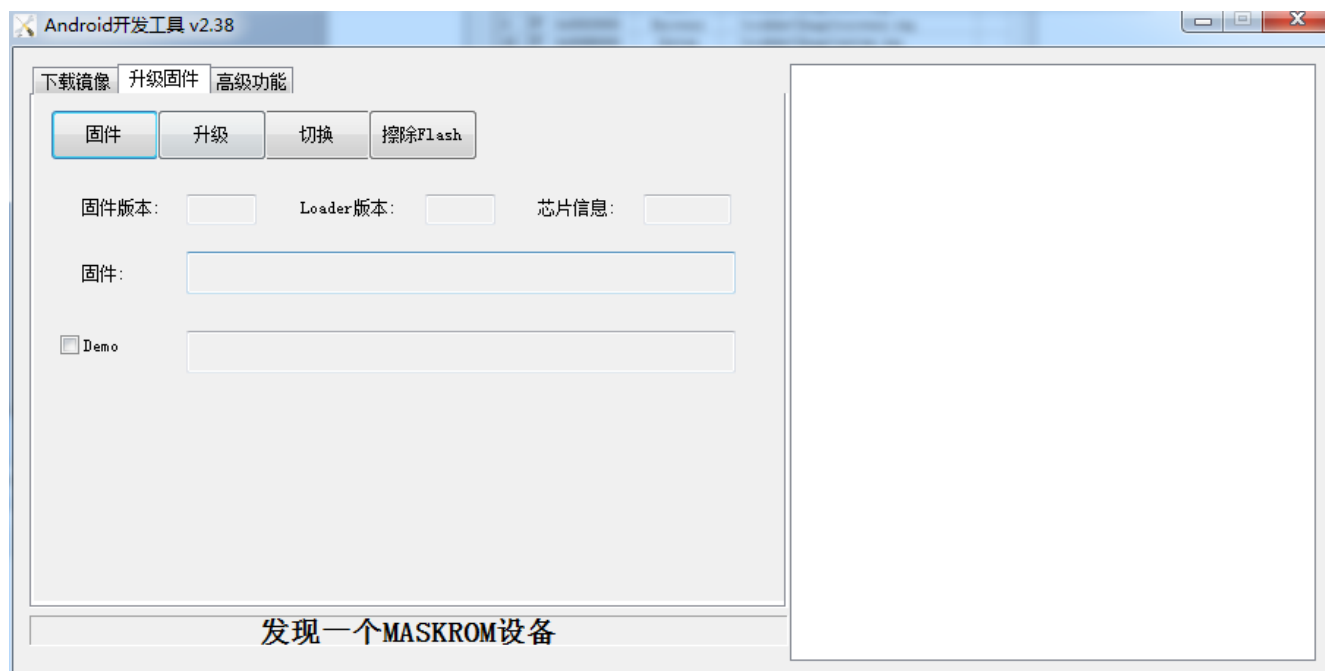


图 8-2 Android 开发工具升级固件

- 1) 进行打包固件。
- 2) 点击固件选择刚打包好的 `update.img` 文件，并点击升级按钮进行下载。（注意设备必须在下载模式下）。

8.4.3 高级功能

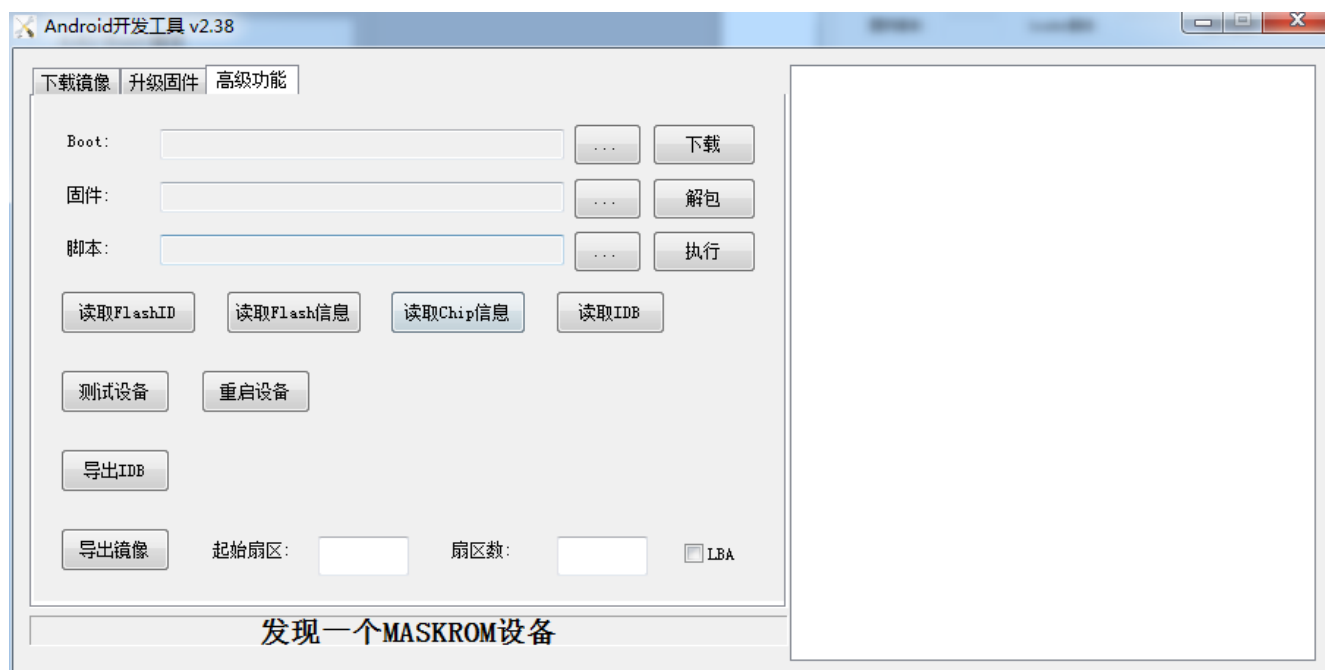


图 8-3 Android 开发工具高级功能

Boot 只能选择打包好的 `update.img` 文件或是 `loader` 的文件；
固件必须使用打包后的 `update.img`；
解包功能可将 `update.img` 拆解为各部分镜像文件。

8.5 update.img 打包

RK3328 平台支持将各零散镜像文件，打包成一个完成的 update.img 形式，方便量产烧写及升级。具体打包步骤如下：

1) 打开 AndroidTool 工具目录底下的 rockdev 目录。编辑 package-file。

按照 package-file 进行配置，package-file 里面有一些 img 镜像放在 Image 目录底下的，如果没有该目录存在，则自己手工新建该 Image 目录，并将需要放到 Image 目录的镜像放进去即可。且注意配置时，镜像名字的准确。其中注意 bootloader 选项，应该根据自己生成的 loader 名称进行修改。

2) 编辑 mkupdate.bat

```
1 Afptool -pack .\backupimage backupimage\backup.img
2 Afptool -pack ./ Image\update.img
3
4
5 RKImageMaker.exe -RK322H RK3328MiniLoaderAll.bin Image\update.img update.img -os_type:android
6
7 rem update.img is new format, Image\update.img is old format, so delete older format
8 del Image\update.img
9
10 pause
```

图 8-4 update.img 打包脚本

需要修改 loader 名称为实际存放的 loader 名称即可。

3) 点击 mkupdate.bat 运行即可，运行完会在该目录生成一个 update.img。

8.6 固件签名工具

选择 chip 类型和加密类型，如果是 RK3328 则选择 efuse。

点击“Generate Key Pairs”按钮，则会生成公私钥对，点击保存。

点击加载密钥，会连续跳出来两次选择密钥文件的界面，第一次为选择私钥文件，第二次为公钥选择文件。

点击“Sign Firmware”按钮，签名 update.img 文件。

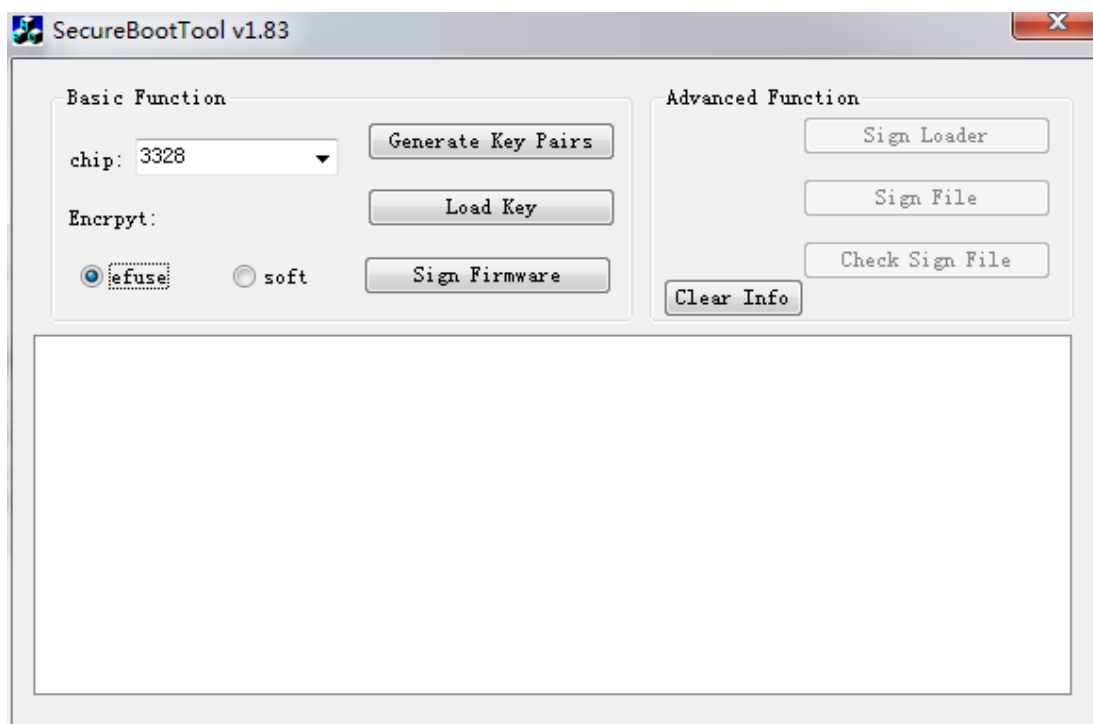


图 8-5 固件签名工具

附键盘输入 R+K+Ctrl+Alt 键可打开右侧隐藏功能。

8.7 序列号/Mac/厂商信息烧写-WNpctool 工具

在 RK3328 平台上，序列号/Mac/厂商信息烧写，都是使用 WNpctool 工具进行的。以下说明该工具基本的用法。

8.7.1 序列号获取

在 RK3328 平台上当未用工具烧写过序列号时，默认是读取 WiFi Mac 地址，并依此随机产生一个序列号的。若需要读取工具烧录的序列号值，需要手动修改对应的配置选项。

需修改/system/core/ drmservice/drmservice.c 文件中：

```
#define SERIALNO_FROM_IDB 1 //if 1 read sn from idb3; if 0 generate sn auto  
设为 1 后，默认会从 vendor storage 中读取工具写入的序列号。
```

8.7.2 WNpctool 写入步骤

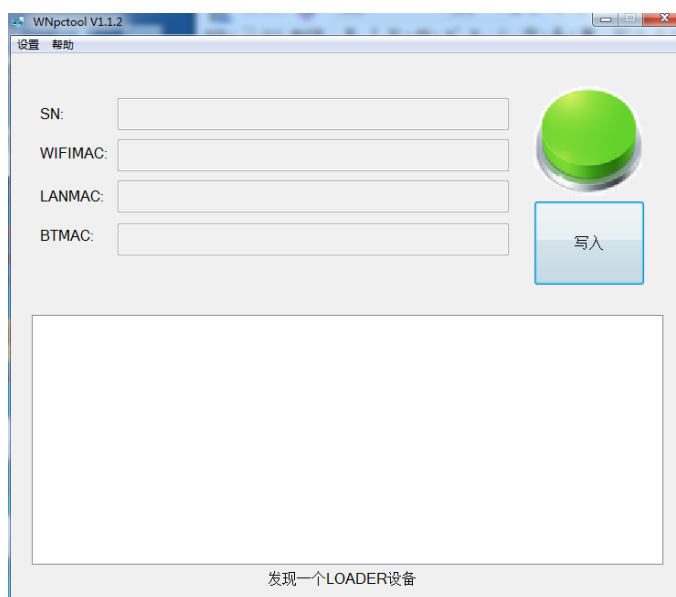


图 8-6 WNpctool 工具

- 1) 进入 loader 模式。
- 2) 点击设置按钮，会有一个下拉框按钮，点击“读取”按钮，用来切换是写入还是读取功能。切换到写入功能。
- 3) 点击模式，出现下列窗口，用来设置 SN/WIFI/LAN/BT

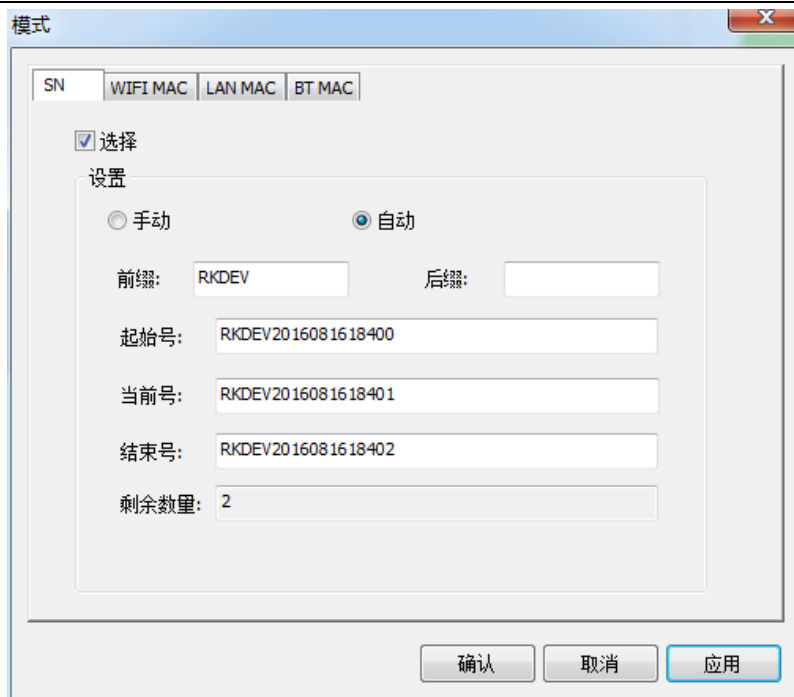


图 8-7 WNPctool 工具模式设置

4) 设置完成后，点击应用按钮，关闭窗口，返回主窗口，点击写入按钮即可。

8.7.3 WNPctool 读取步骤

- 1) 进入 loader 模式。
- 2) 点击设置按钮，会有一个下拉框按钮，点击“读取”按钮，用来切换是写入还是读取功能。切换到读取功能。
- 3) 点击“读取”即可。

8.8 OemTool 打包工具

8.8.1 Oem 打包工具步骤

RK3328 只支持 Ext4 镜像格式，故镜像格式选择 Ext4。下载分区默认 UserData 分区，可直接不填写。



图 8-8 Oem 工具

点击选择按钮选择要打包的数据，数据必须是目录。目录最外围默认为 data 目录，假设你目录为/data/media/0,且 0 有一个文件为 sss.txt(如下图示)。则当你升级完 demo 镜像的时候，会在 RK3328 系统上的 data 目录下有目录 media/0,且在 0 目录下有文件 sss.txt 存在。

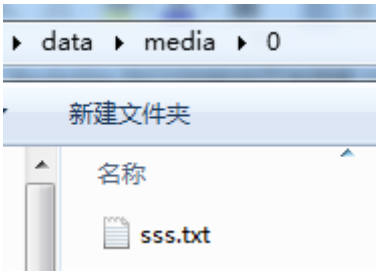


图 8-9 Oem 工具镜像制作文件夹路径要求

文件选择成功后，直接点击开始执行，会在 Oem 工具目录生成一个 OemImage.img 镜像。将镜像放在 FactoryTool 工具上下载即可。

8.9 量产工具使用

8.9.1 工具下载步骤

- 1) 点击固件按钮，选择打包工具打包后的 update.img，等待解包成功。
- 2) 如果需要 demo 镜像，则点击 Demo 拷贝按钮，添加由 Oem 工具打包的镜像，并单击 Demo 复选框。
- 3) 连接设备，并让设备进入 loader 或者 maskrom 模式，工具会自动进行下载。
- 4) 可同时连接多台设备，进行一拖多烧写，提高工厂烧写效率。

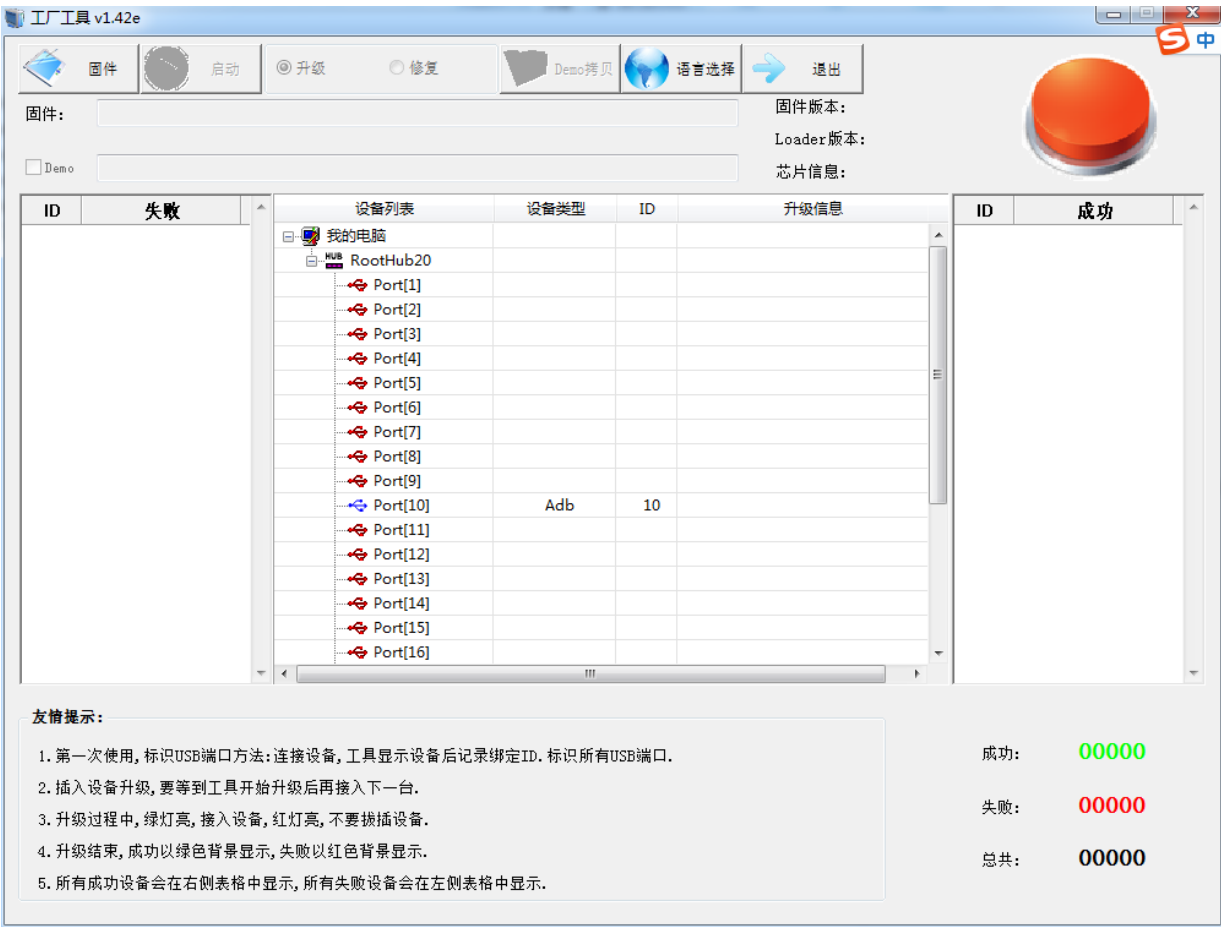


图 8-10 量产工具