大奥特曼打小怪兽

Rockchip RK3399 - 引导流程和准备工作

目录

开发板 ： NanoPC-T4开发板
eMMC ： 16GB
LPDDR3：4GB
显示屏 ： 15.6英寸HDMI接口显示屏
u-boot ： 2017.09

NanoPC-T4开发板，主控芯片是Rockchip RK3399，big.LITTLE大小核架构，双Cortex-A72大核(up to 2.0GHz) + 四Cortex-A53小核结构(up to 1.5GHz)；Cortex-A72处理器是Armv8-A架构下的一款高性能、低功耗的处理器。

回到顶部

一、SoC启动流程

1.1 BootROM介绍

通常来说，SoC厂家都会做一个ROM在SoC的内部，这个ROM很小，里面固化了上电启动的代码（一经固化，永不能改，是芯片做的时候，做进去的）；这部分代码呢，我们管它叫做BootROM，也叫作一级

启动程序。

1.1.1 初始化硬件

芯片上电后先接管系统的是SoC厂家的BootROM，它要做些什么事情呢？初始化系统，CPU的配置，关闭看门狗，初始化时钟，初始化一些外设（比如 USB Controller、MMC Controller，Nand Controller等）；

1.1.2 加载程序到SRAM

当我们拿到一款新的SoC时，都会进行电路原理图设计，我们一般会在芯片外挂一些存储设备（eMMC、Nand、Nor、SDCard等）和内存（SDRAM、DDR等）电路图绘制好了。我们接着会绘制电路板，制作出板子。

有了板子还不行，我们还得往里面烧写程序。这个烧写程序，其实就是将可执行的二进制文件写到外部的存储设备上（eMMC、Nand、SD等）。系统上电启动的时候，会将他们读到内存中执行。

前面我们说了，上电后先接管系统的是SoC厂家的BootROM，其它可执行的程序（u-boot、Kernel）都放（烧写）到了外部存储器上；那么BootROM的代码除了去初始化硬件环境以外，还需要去外部存储器上面，将接下来可执行的程序读到内存来执行。

既然是读到内存执行，那么这个内存可以不可以是我们板载的 DDR呢？理论上是可以的，但是，SoC厂家设计的DDR控制器呢，一般会支持很多种类型的DDR设备，并且会提供兼容性列表，SoC厂家怎么可能知道用户PCB上到底用了哪种内存呢？所以，直接把外部可执行程序读到DDR显然是不太友好的，一般来说呢，SoC都会做一个内部的小容量的SRAM ，BootROM将外部的可执行程序从外部存储器中读出来，放到SRAM去执行；

好了，现在我们引出了SRAM，引出了BootROM；那么 BootROM从具体哪个存储器读出二进制文件呢？SoC厂家一般会支持多种启动方式，比如从eMMC读取，从SDCard读取，从Nand Flash读取等等；上电的时候，需要告诉它，它需要从什么样的外设来读取后面的启动二进制文件；

一般的设计思路是，做一组Bootstrap Pin，上电的时候呢？BootROM去采集这几个IO的电平，来确认要从什么样的外部存储器来加载后续的可执行文件；比如呢，2 个 IO，2'b00 表示从Nand启动，2'b01表示从eMMC启动，2'b10 表示从SDCard启动等等；

当BootROM读到这些值后，就会去初始化对应的外设，然后来读取后面要执行的代码；这些IO一般来说，会做成板载的拨码开关，用于调整芯片的启动方式；

这里，读取烧写的二进制的时候呢，需要注意一些细节，比如SoC厂家告诉你，你需要先把SDCard初始化称为某种文件系统，然后把东西放进去才有效，之类的；因为文件系统是组织文件的方式，并不是裸分区；你按照A文件系统的方式放进去，然后SoC的BootROM也按照A文件系统的方式读出来，才能够达成一致；

如果你对Mini2440这款开发板足够了解的话，你应该知道其采用的SoC型号为s3c2440，其内部有一个4kb的SRAM。其有两种启动方式：

- 采用Nor Flash启动，0x00000000就是2MB Nor Flash实际的起始地址，由于uboot程序一般只有几百kb，可以全部烧录到Nor Flash中，因此uboot程序完全可以在Nor Flash中运行，没有拷贝到SDRAM中运行的必要；
- 采用Nand Flash启动，片内4KB的SRAM被映射到了0x00000000，s3c2440的BootROM会自动把Nand Flash中的前4kb代码数据搬到内部SRAM中运行，那么问题来了，假设4KB代码运行到最后，我想继续运行Nand Flash剩余的代码怎么办？为了解决这个问题，uboot引入了SPL，全称Secondary Program Loader。

注意：无论是Nor Flash还是Nand Flash都是外挂在s3c2440上的的存储设备。

1.2 SPL介绍

前面说了，芯片上电后BootROM会根据Bootstrap Pin去确定从某个存储器来读可执行的二进制文件到SRAM并执行；理论上来说，这个二进制文件就可以是我们的u-boot.bin文件了；也就是BootROM直接加载u-boot.bin；

理论上是这样的，但是这里有一个问题，就是SRAM很贵，一般来说，SoC的片上SRAM都不会太大，一般4KB、8KB、16KB...256KB不等；但是呢，u-boot 编译出来却很大，好几百KB，放不下，就像我上面说的s3c2440的例子那样。

放不下怎么办？有两种办法：

- 假设片内SRAM为4KB，uboot的前4KB程序实现uboot的重定位，即将uboot拷贝到SDRAM中运行；
- 做一个小一点的boot程序，先让BootROM加载这个小的程序，后面再由这个小boot去加载uboot；

1.2.1 方案一

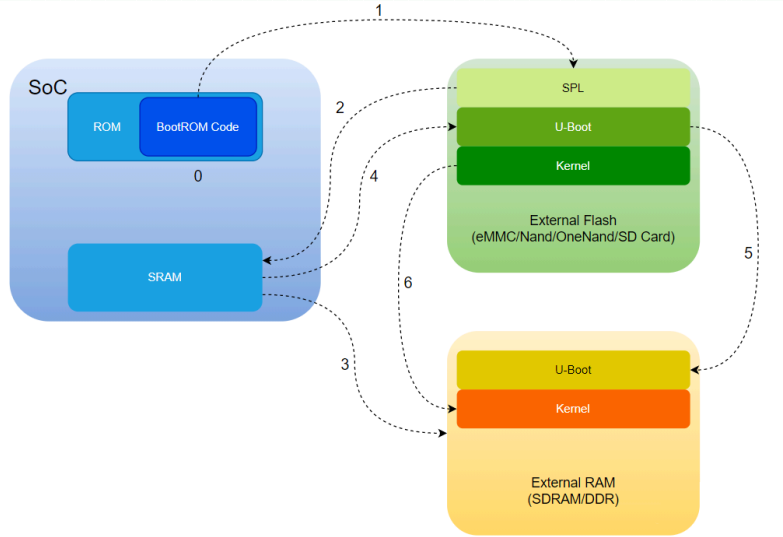
比如，我们的uboot有400KB，SRAM有4KB，外部SDRAM有64MB：如果使用第一种方案的话，uboot的前面4KB被加载进入SRAM执行，uboot被截断，我们就需要保证在uboot的前4KB代码，把板载的SDRAM初始化好，把整个uboot拷贝到SDRAM，然后跳转到SDRAM执行；

比如我们之前介绍的Mini2440开发板从Nand Flash启动时，uboot程序就是采用的这种实现方式：Mini2440之uboot移植之实践NAND启动。

1.2.2 方案二

第二种方案的话，我们做一个小的uboot ，这个uboot就叫做SPL（Secondary Program Loader），它很小很小（小于SRAM大小），它先被BootROM加载到SRAM运行，那么这个SPL要做什么事情呢？最主要的就是要初始化内存控制器，然后将真正的大u-boot从外部存储器读取到SDRAM中，然后跳转到大uboot。

1.3 启动流程



如上图所示：

- (0)上电后，BootROM开始执行，初始化时钟，关闭看门狗，关Cache，关中断等等，根据Bootstrap Pin来确定启动设备，初始化外设；
- (1) 使用外设驱动，从存储器读取SPL；
- ---------- 以上部分是SoC厂家的事情，下面是用户要做的事情 ----------
- (2) SPL被读到SRAM 执行，此刻，控制权以及移交到我们的SPL 了；
- (3) SPL初始化外部SDRAM；
- (4) SPL使用驱动从外部存储器读取uboot并放到SDRAM；
- (5) 跳转到SDRAM中的uboot执行；
- (6) 加载内核；

实际情况中，还需注意很多问题：

- 编译阶段的链接地址，是否需要地址无关？
- SPL的代码和uboot的代码是否有重合的地方？如果有，是否意味着SPL执行过的，跳转到uboot又要在执行一次？
- 具体情况下，需要配置哪些硬件？怎么配置？

回到顶部

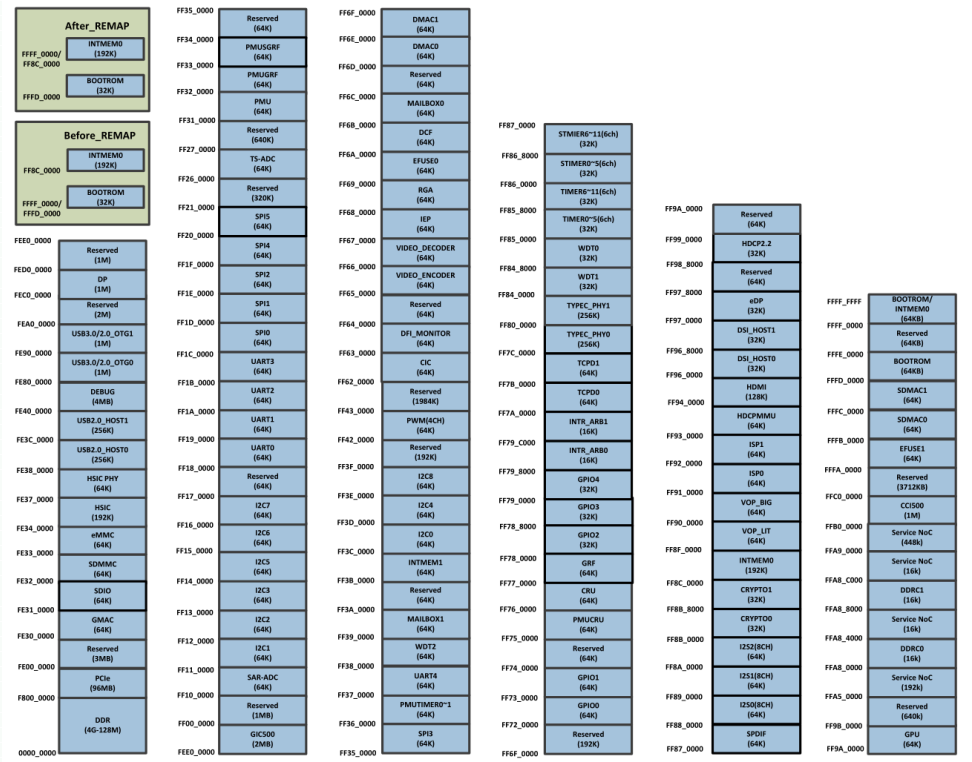
二、RK3399 地址空间分布

2.1 地址映射

RK3399支持从内部BootROM启动，并且支持通过软件编程进行地址重映射。重映射是通过SGRF_PMU_CON0[15]控制的，当重映射设置为0时，地址0xFFFF0000被映射到BootROM，当重映射设置为1时，0xFFFF0000被映射到片内SRAM。

@超超加油 有，csdn，不过那个只会同步一次，文章都不是最新的...
--大奥特曼打小怪兽

5. Re:Rockchip RK3566 - orangepi-build脚本分析
博主有其他平台账号同步发文章吗
--超超加油



从这张图我们可以看到在进行重映射前：

- 0x0000 0000 ~ 0xF800 0000：为DDR内存空间；
- 0xFF8C 0000 ~ 0xFF98 0000：片内SRAM内存空间，一共192KB；
- 0xFFFF 0000~ 0xFFFF 8000：为BootROM内存空间，一共32KB；
- 其它空间：用于一些特定功能；

如果进行了地址重映射：

- BootROM被映射到地址0xFFFD 0000;
- 片内SRAM被映射到地址0xFFFF 0000；

2.2 系统启动

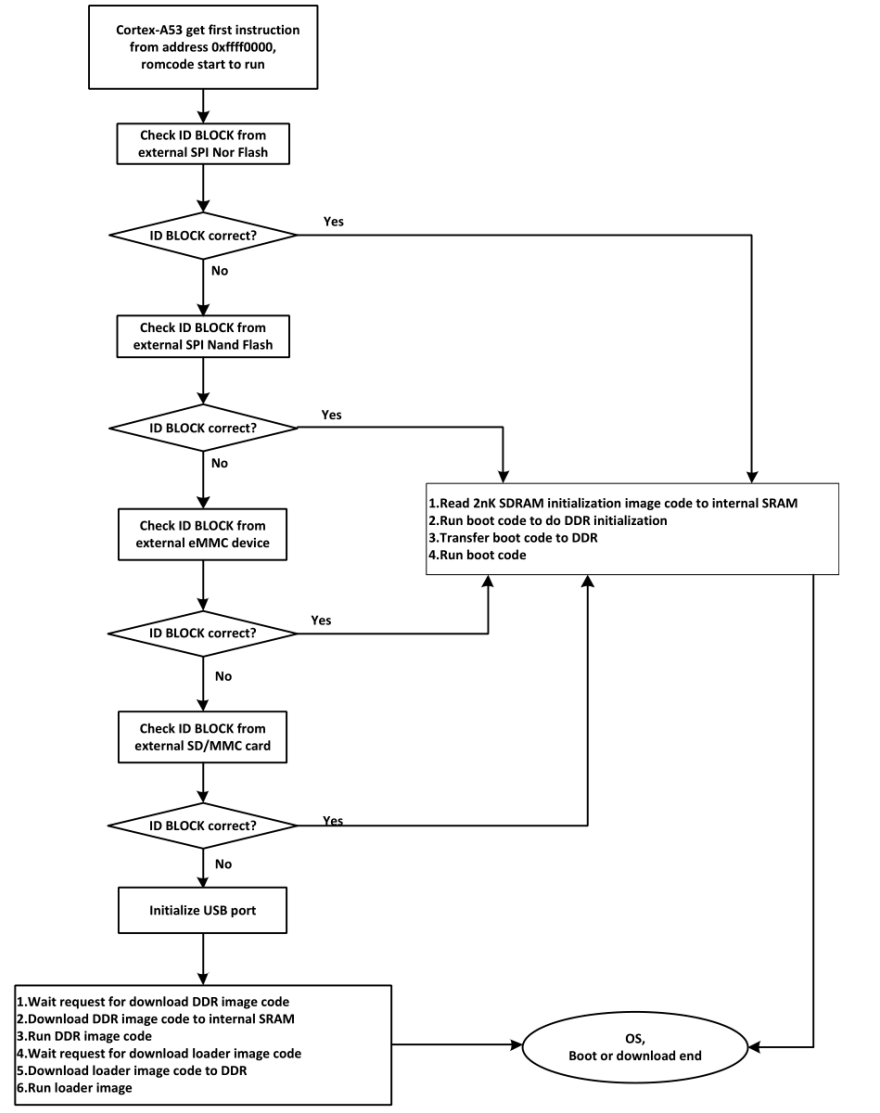
RK3399提供从片外设备启动系统，如serial nand or nor flash、eMMC、SD/MMC卡。当这些设备中的启动代码没有准备好时，还可以通过USB OTG接口将系统代码下载到各个外设存储中。

所有引导代码都将存储在内部BootROM中。其中支持以下功能：

(1) 支持安全启动模式和非安全启动模式;
(2) 支持系统从以下设备启动;

- SPI接口;
- eMMC接口;
- SD/MMC卡;

(3) 支持系统代码通过USB OTG下载;
以下是存储在BootROM中的启动代码的整个启动过程：



从图中可以得到以下几个结论：

(1) 上电后， A53核心从0xffff0000这个地址读取第一条指令，这个内部BootROM在芯片出货的时候已经由原厂烧写；

(2) 然后依次从Nor Flash、Nand Flash、eMMC、SD/MMC获取ID BLOCK，ID BLOCK正确则启动，都不正确则从USB端口下载；

- 如果eMMC启动，则先读取SDRAM（DDR）初始化代码到内部SRAM，由于SRAM只有192KB，因此最多只能读取那么多，然后初始化DDR，再将eMMC上的代码（剩下的用户代码）复制到DDR运行；
- 如果从USB下载，则先获取DDR初始化代码，下载到内部SRAM中，然后运行代码初始化DDR，再获取loader代码（用户代码），加载到DDR中并运行；

回到顶部

三、Rockchip引导流程

针对不同的解决方案，Rockchip提供了两种不同的启动加载程序方法，其步骤和生成的镜像文件也是完全不同的。

- TPL/SPL加载：使用Rockchip官方提供的TPL/SPL U-boot（就是我们上面说的小的uboot），该方式完全开源；
- 官方固件加载：使用Rockchip idbLoader，它由 Rockchip rkbin project 的Rockchip ddr init bin和miniloader bin组合而成，该方式不开源；

需要注意的是：并不是所有平台都支持这两种启动加载程序方法。

上面我们介绍了SPL，那什么是TPL？实际上将我们上面所说的SPL初始化SDRAM等硬件工作的部分独立出去，就是TPL。那么我们总结一下：

- TPL是Targer Program Loader，就是芯片级的初始化过程，这个时候的代码都是基于芯片平台的部分，它在启动过程中进行DDR初始化和一些其他的系统配置，以便后续的SPL能够正确地运行；

- SPL是Secondary Program Loader，它从存储设备中读取trust（如ATF/OP-TEE）和uboot二进制文件，将它们加载到系统内存中并运行它们，进而启动完整的操作系统；

TPL和SPL的区别在于它们的职责不同。TPL主要负责初始化系统硬件，而SPL负责加载和运行其它软件组件，如trust和uboot。此外，在一些特殊情况下，如加密启动或安全启动模式下，TPL还可能执行其他额外的任务。

3.1 启动阶段

Rockchip处理器启动可以划分为5个阶段：

Boot stage number	Terminology #1	Actual program name	Rockchip Image Name	Image Location (sector)	
1	Primary Program Loader	ROM code	BootROM		
2	Secondary Program Loader (SPL)	U-Boot TPL/SPL	idbloader.img	0x40	pre-loader
3	-	U-Boot	u-boot.itb uboot.img	0x4000	including u-b only used wit
		ATF/TEE	trust.img	0x6000	only used wit
4	-	kernel	boot.img	0x8000	
5	-	rootfs	rootfs.img	0x40000	

当我们讨论从eMMC/SD/U盘/网络启动时，它们涉及到不同的概念：

- 第一阶段始终在BootROM中，它加载第二阶段并可能加载第三阶段（当启用SPL_BACK_TO_BROM选项时）；
- 从SPI闪存启动意味着第二阶段和第三阶段固件（仅限SPL和U-Boot）在SPI闪存中，第四/五阶段在其他位置；
- 从eMMC启动意味着所有固件（包括第二、三、四、五阶段）都在eMMC中；
- 从SD Card启动意味着所有固件（包括第二、三、四、五阶段）都在SD Card中；
- 从U盘启动意味着第四和第五阶段的固件（不包括SPL和U-Boot）在磁盘中，可选地仅包括第五阶段；
- 从Net/TFTP启动意味着第四和第五阶段的固件（不包括SPL和U-Boot）在网络上。

启动阶段涉及到了多个镜像文件：

- 阶段一中的BootROM这个是SoC厂商提供的，我们不用关心；
- 阶段二方式需要提供一个idbloader.img，这个我们后面具体说说；
- 阶段三实际上就是uboot的镜像文件了，这里又搞出了两种，uboot.img（还需要搭配trust.img）和u-boot.itb（这个是因为它已经把ATF打包进去了）；这两个文件里面除了都包含u-boot.bin原始二进制文件，又放了点其他东西，可以被idbloader.img识别，然后加载，这个我们后面具体说说；
- 阶段四和阶段五是内核镜像和根文件系统；

这里我们具体说一下阶段二，阶段三涉及到的几个镜像文件。

3.1.1 idbloader.img

idbloader.img文件是一个Rockchip格式的预加载程序，在SoC启动时工作，它包含：

- 由Rockchip BootROM知道的IDBlock 头；
- DDR初始化程序，由BootROM加载到SRAM，运行在SRAM内部；
- 下一级加载程序，由BootROM加载并运行在DDR上；

3.1.2 u-boot.img

u-boot.bin是uboot源码编译后生成的原始二进制映像，可以直接烧录到设备的闪存中。而u-boot.img则是通过mkimage工具在u-boot.bin基础上增加了一个头部信息，这个头部信息可能也包括一些额外的数据，例如启动参数和内核映像地址等。
因此，通过使用u-boot.img而不是u-boot.bin，可以使引导ROM更容易地识别uboot映像，并更好地指导uboot在设备上正确启动。

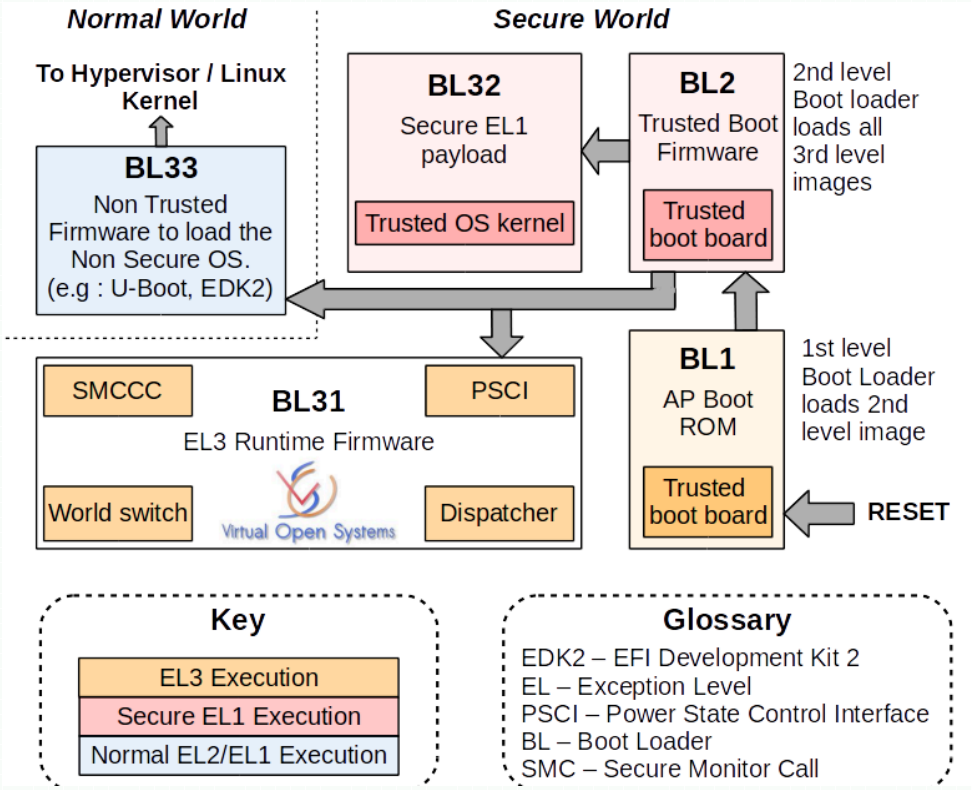
3.1.3 u-boot.itb

u-boot.itb实际上是u-boot.img的另一个变种，也是通过mkimage构建出来的，里面除了u-boot.dtb和u-boot-nodtb.bin这两个uboot源码编译出来的文件之外，还包含了bl31.elf、bl32.bin、tee.bin等ARM trust固件。其中bl31.elf是必须要有的，bl32.bin、tee.bin是可选的，可以没有。

3.1.4 trust.img

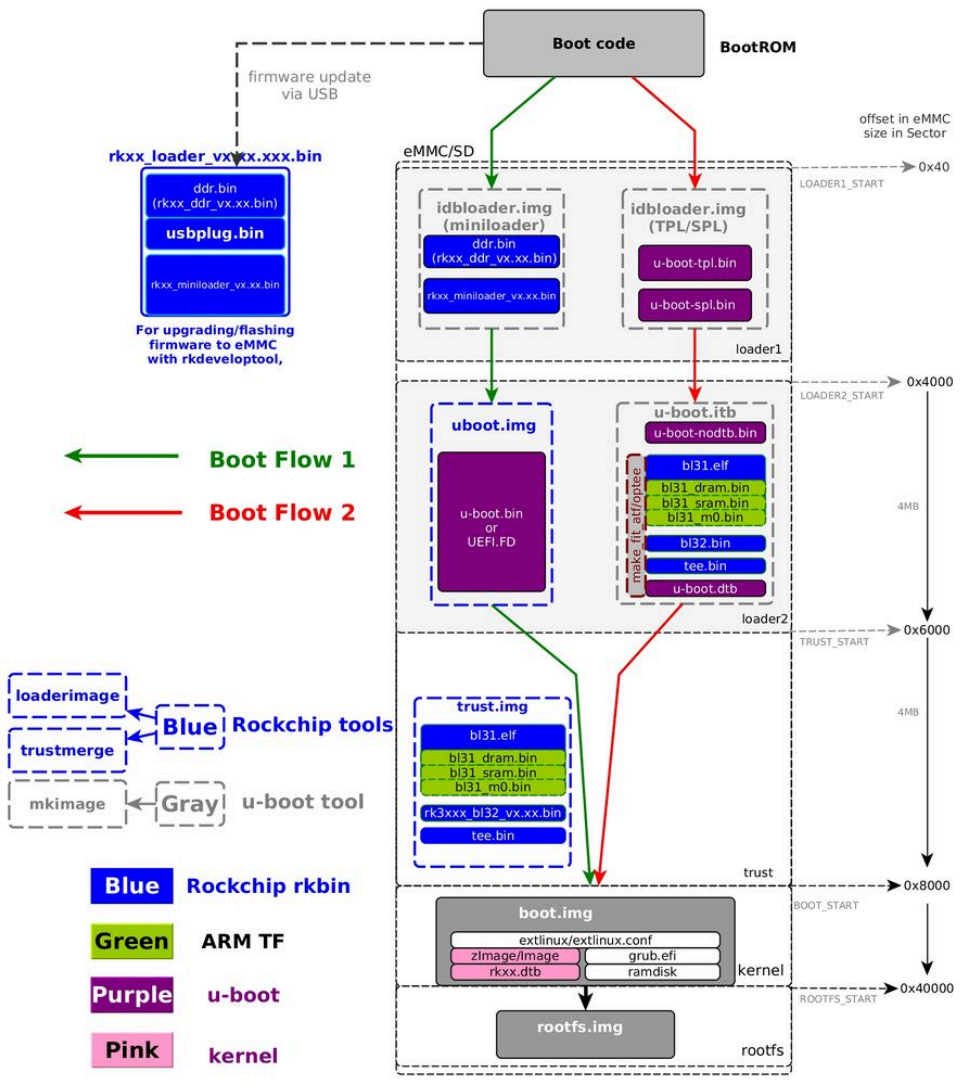
因为RK3399是ARM64，所以我们还需要编译ATF (ARM Trust Firmware)，ATF主要负责在启动uboot之前把CPU从安全的EL3切换到EL2，然后跳转到uboot，并且在内核启动后负责启动其他的CPU。

ATF将系统启动从最底层进行了完整的统一划分，将secure monitor的功能放到了bl31中进行，这样当系统完全启动之后，在CA或者TEE OS中触发了smc或者是其他的中断之后，首先是遍历注册到bl31中的对应的service来判定具体的handle，这样可以对系统所有的关键smc或者是中断操作做统一的管理和分配。
ATF的code boot整个启动过程框图如下：



3.2 引导流程

Rockchip提供了外部uboot加载的流程图，如下图示：



如上图所示：

- 引导流程1是典型的使用Rockchip miniloader的Rockchip引导流程；
- 引导流程2用于大多数SoC，使用U-Boot TPL进行DDR初始化，使用SPL加载加载u-boot.itb文件；

注1：如果loader1具有多个阶段，则程序将返回到BootROM，BootROM将载入并运行到下一个阶段。例如，如果loader1是TPL和SPL，则BootROM将首先运行到TPL，TPL初始化DDR并返回到BootROM，BootROM然后将加载并运行到SPL。

注2：如果启用了trust，在安全模式（armv8中的EL3）下，loader1需要同时加载trust和U-Boot，然后运行到trust中，trust在非安全模式（armv8中的EL2）下进行初始化，并运行到U-Boot。

注3：对于trust（在trust.img或u-boot.itb中），armv7仅有一个带或不带TA的tee.bin，armv8具有bl31.elf并且可选包含bl32。

注4：在boot.img中，内容可以是Linux的zImage和其dtb，可以选择grub.efi，也可以是AOSP boot.img，ramdisk可选。

3.2.1 TPL/SPL方式

在TPL/SPL加载方式中，我们基于uboot源码编译出TPL/SPL，其中：TPL负责实现DDR初始化，TPL初始化结束之后会回跳到BootROM程序，BootROM程序继续加载SPL，由SPL加载u-boot.itb文件。

TPL：被BootROM加载到内部SRAM，起始地址为0xff8c2000；结束地址不能超过0xff980000，所以TPL程序最大不能超过184KB；

SPL：被BootROM加载到DDR，起始地址为0x00000000；结束地址绝对不能超过0x00040000， 因为0x00040000地址被用来加载bl31_0x00040000.bin， 因此SPL程序最大不能超过256KB：反汇编如下：

```
0000000000000000 <__image_copy_start>:
       0:       14000001        b       4 <__image_copy_start+0x4>
       4:       14000009        b       28 <reset>
```

```
0000000000000008 <_TEXT_BASE>:
        ...

0000000000000010 <_end_ofs>:
      10:       0001c618        .inst   0x0001c618 ; undefined
      14:       00000000        udf     #0

0000000000000018 <_bss_start_ofs>:
      18:       00400000        .inst   0x00400000 ; undefined
      1c:       00000000        udf     #0

0000000000000020 <_bss_end_ofs>:
      20:       004003c0        .inst   0x004003c0 ; undefined
      24:       00000000        udf     #0

0000000000000028 <reset>:
      28:       1400010a        b       450 <save_boot_params>

000000000000002c <save_boot_params_ret>:
      2c:       10007ea0        adr     x0, 1000 <vectors>
      ......
```

这里我们具体说一下采用这种方式RK3399的启动流程：

- BootROM首先将eMMC中0x40扇区开始的184KB数据加载到片内SRAM中；由于TPL和SPL加在一起是超过184KB的，所以无法全部加载到SRAM，但是把TPL全部加载到SRAM中还是绰绰有余的，这里加载地址为0xff8c2000；
- BootROM跳转到0xff8c2000执行TPL代码，主要是DDR的初始化，当然还有一些其他硬件的初始化；需要注意的是，执行完TPL代码之后，会返回到BootROM程序，你把它当做汇编指令bl TPL那样会更好理解；
- BootROM加载SPL代码到DDR中，这里加载地址为0x00000000，然后跳转到地址0x00000000去执行，需要注意的是这个时候不会再返回到BootROM了，因此SPL会初始化eMMC并将eMMC中0x4000扇区的uboot加载到0x00200000地址处，然后跳转到该处执行uboot程序；

补充说明：上面描述的只是一个大概流程，当然中间SPL还会加载bl31.bin（bl32.bin、tee.bin非必须）去执行，但是这不是重点，所以就不做概述。

由于BootROM不是开源的，我们没法去研究BootROM源码，当然也我们可以修改common/spl/spl.c文件board_init_r函数在SPL代码执行时将地址0x000000000、0xff8c2000、0x40000000等地址数据打印出来（printf函数要加在boot_from_devices函数执行之后），和源二进制文件进行比对来验证自己的猜想：

```
board_init_r
addr 0x00000000 = 0x14000001   # 和u-boot-spl.bin前4字节匹配
addr 0x00000004 = 0x14000009   # 和u-boot-spl.bin文件偏移0x4处的4个字节匹配
addr 0x00000008 = 0x0          # 同样匹配
addr 0x00040000 = 0xaa0003f4   # 和bl31_0x00040000.bin文件前4字节匹配
addr 0x00050018 = 0xb8656883   # 和bl31_0x00040000.bin文件偏移0x10018处的4个字节匹配
addr 0xff8c2000 = 0x33334b52   # 这个地址数据和u-boot-tpl.bin有点对不上，可能后期被改变了？可以
```

在该方式中，我们需要用到以下源代码：

- uboot源码：编译生成u-boot-spl.bin、u-boot-tpl.bin、u-boot-nodtb.bin、u-boot.dtb；
- ATF源码：编译生成bl31.elf；

通过编译和工具我们最终可以生成：

- idbloader.img ： 由u-boot-spl.bin、u-boot-tpl.bin通过工具合并得到；
- u-boot.itb：由bl32.elf、u-boot-nodtb.bin、u-boot.dtb、u-boot.its通过工具合并得到；

3.2.1 官方固件方式

在官方固件加载方式中，我们基于Rockchip rkbin官方给的ddr.bin、miniloader.bin来实现的；

(1) 通过tools/mkimage将官方固件ddr, miniloader打包成BootROM程序可识别的、带有ID Block header的文件idbloader.img；

- ddr.bin：等价于上面说的TPL，用于初始化DDR；

- miniloader.bin：Rockchip修改的一个bootloader，等价于上面说的SPL，用于加载uboot；

这个文件打包出来实际上也是超过192KB的，因此也是分为二阶段执行的。

(2) 通过tools/loaderimage工具将u-boot.bin打包成u-boot.img；其中u-boot.bin是由uboot源码编译生成；

补充说明：使用Rockchip miniloader的 idbloader 时，需要将u-boot.bin通过tools/loaderimage转换为可加载的miniloader格式。

(3) 使用Rockchip工具tools/trust_merge将bl31.bin打包成trust.img；其中bl31.bin由ATF源码编译生成；

补充说明：使用Rockchip miniloader的idbloader 时，需要将bl31.bin通过tools/trust_merge转换为可加载的miniloader格式。

回到顶部

四、安装交叉编译工具链

既然我们想向开发板处理器中烧录程序，交叉编译工具是必不可少的。选择交叉编译工具这一步需要慎重，我们首先要知道我们自己使用的开发板采用的ARM架构是哪一个？ARM目前总共发布了8种架构：ARMv1、ARMv2、ARMv3、ARMv4、ARMv5、ARMv6、ARMv7、ARMv8。

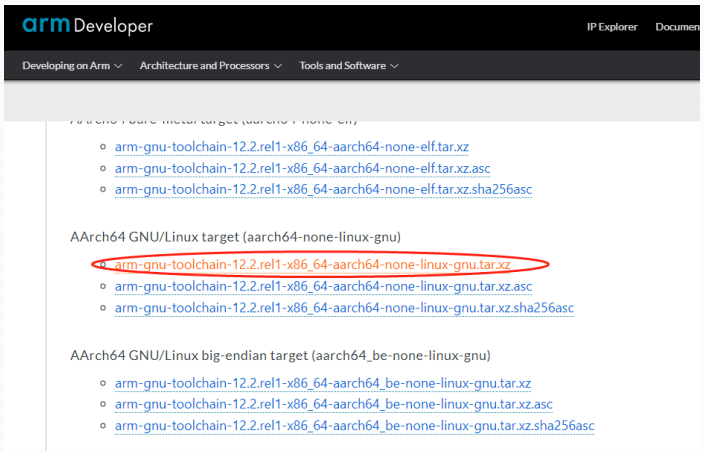
确认了ARM架构之后，选择支持该架构的交叉编译环境。可以参考GNU Arm Embedded Toolchain官网中的文档和说明来确定march支持的版本。在ARM官方提供的文档中，可以查看到march选项支持的处理器架构和对应的版本。例如，使用aarch64-linux-gnu-gcc -march=armv8-a命令编译代码时，表示编译针对于Cortex-A53处理器。

除了GNU Arm Embedded Toolchain官网提供的交叉编译工具外， LINARO也提供了交叉编译工具，下载地址https://releases.linaro.org/components/toolchain/binaries/。具体有什么差异可以参考：ARM CPU汇总 & 编译链选择。

4.1 下载

因此我们必须选择一个支持Armv8-A架构的交叉编译工具，即在Linux上编译ARM64 Linux程序，本文采用GNU Arm Embedded Toolchain官网提供的交叉编译工具链。

这里我们直接选择最新版本的交叉编译工具：



arm-gnu-toolchain-12.2.rel1-x86_64-aarch64-none-linux-gnu.tar.xz，该文件名称意为：在x86平台的linux主机进行编译，生成的文件为aarch64平台可运行的文件，这里宿主机和目标平台都是64位机器。

如何您使用 LINARO提供的交叉编译工具，可以选择gcc-linaro-7.5.0-2019.12-x86_64_aarch64-linux-gnu.tar.xz。

注意：最新版本可能存在各种坑，因此推荐您安装11.3版本。

复制下载地址，下载在/work/sambashare/tools/路径：

```
root@zhengyang:/work/sambashare/tools# wget https://developer.arm.com/-/media/Files/dowl
```

4.2. 安装

使用如下命令进行解压：

```
root@zhengyang:/work/sambashare/tools# tar -xvf arm-gnu-toolchain-12.2.rel1-x86_64-aarcl
```

执行该命令，将把arm-linux-gcc 自动安装到/usr/loca/arm/arm-gnu-toolchain-12.2.rel1-x86_64-aarch64-none-linux-gnu目录。

```
root@zhengyang:/usr/local/arm# ll
总用量 24
drwxr-xr-x  6 root root 4096 5月   8 23:22 ./
drwxr-xr-x 20 root root 4096 5月   8 22:21 ../
drwxr-xr-x  7 root root 4096 3月  25  2009 4.3.2/
dr-xr-xr-x  8 root root 4096 7月  26  2010 4.4.3/
drwxr-xr-x  9 root root 4096 2月  12  2022 4.8.3/
drwxr-xr-x  9  802  802 4096 12月 11 07:16 arm-gnu-toolchain-12.2.rel1-x86_64-aarch64-nc
```

由于路径名太长，我们重命名：

```
root@zhengyang:/usr/local/arm# mv arm-gnu-toolchain-12.2.rel1-x86_64-aarch64-none-linux
```

接下来配置系统环境变量，把交叉编译工具链的路径添加到环境变量PATH中去，这样就可以在任何目录下使用这些工具：

```
root@zhengyang:/work/sambashare/tools/usr/local/arm# vim /etc/profile
```

将解压目录下的bin目录添加至环境变量中：

```
 export PATH=$PATH:/usr/local/arm/12.2.1/bin
```

注意：如果配置了其它版本的交叉编译环境，需要将其屏蔽掉。

接下来使用以下命令使修改后的profile文件生效：

```
root@zhengyang:/usr/local/arm# source /etc/profile
```

然后，使用命令：aarch64-none-linux-gnu-gcc -v查看当前交叉编译链工具的版本信息：

```
root@zhengyang:/usr/local/arm# aarch64-none-linux-gnu-gcc -v
Using built-in specs.
COLLECT_GCC=aarch64-none-linux-gnu-gcc
COLLECT_LTO_WRAPPER=/usr/local/arm/11.3.0/bin/../libexec/gcc/aarch64-none-linux-gnu/12.
Target: aarch64-none-linux-gnu
Configured with: /data/jenkins/workspace/GNU-toolchain/arm-12/src/gcc/configure --targe
Thread model: posix
Supported LTO compression algorithms: zlib
gcc version 12.2.1 20221205 (Arm GNU Toolchain 12.2.Rel1 (Build arm-12.24))
```

由于在/usr/local/arm/12.2.1/bin下没有arm-linux-gcc、arm-linux-ld、arm-linux-strip链接，所以我们进入bin路径：

```
root@zhengyang:/usr/local/arm# cd 12.2.1/bin/
```

创建自己创建软链接：

```
ln -s aarch64-none-linux-gnu-gcc arm-linux-gcc
ln -s aarch64-none-linux-gnu-ld arm-linux-ld
ln -s aarch64-none-linux-gnu-objdump arm-linux-objdump
ln -s aarch64-none-linux-gnu-objcopy arm-linux-objcopy
ln -s aarch64-none-linux-gnu-strip arm-linux-strip
ln -s aarch64-none-linux-gnu-cpp arm-linux-cpp
ln -s aarch64-none-linux-gnu-ar arm-linux-ar
ln -s aarch64-none-linux-gnu-as arm-linux-as
ln -s aarch64-none-linux-gnu-strings arm-linux-strings
ln -s aarch64-none-linux-gnu-readelf arm-linux-readelf
ln -s aarch64-none-linux-gnu-size arm-linux-size
ln -s aarch64-none-linux-gnu-c++ arm-linux-c++
ln -s aarch64-none-linux-gnu-gdb arm-linux-gdb
ln -s aarch64-none-linux-gnu-nm arm-linux-nm
ln -s aarch64-none-linux-gnu-g++ arm-linux-g++
```

然后，使用命令：arm-linux-gcc -v查看当前交叉编译链工具的版本信息：

```
root@zhengyang:/usr/local/arm/12.2.1/bin# arm-linux-gcc -v
Using built-in specs.
COLLECT_GCC=arm-linux-gcc
COLLECT_LTO_WRAPPER=/usr/local/arm/12.2.1/bin/../libexec/gcc/aarch64-none-linux-gnu/12.2
Target: aarch64-none-linux-gnu
Configured with: /data/jenkins/workspace/GNU-toolchain/arm-12/src/gcc/configure --target
Thread model: posix
Supported LTO compression algorithms: zlib
gcc version 12.2.1 20221205 (Arm GNU Toolchain 12.2.Rel1 (Build arm-12.24))
```

参考文章

[1]rk3399移植 u-boot

[2]ARM CPU汇总 & 编译链选择

[3]u-boot (3) —— spl

[4] Rockchip Boot option

[5]U-Boot 之零 源码文件、启动阶段（TPL、SPL）、FALCON、设备树

[6]RK3399 TRM

[7]RK3399 Datasheet

[8]Rockchip RK3399TRM V1.3 Part1.pdf

[9]Rockchip RK3399TRM V1.3 Part2.pdf

分类: uboot , rk3399