

嵌入式软件开发技术与工具实验报告五

黎炜彬

一、实验目的

- 掌握裁剪Linux内核的方法，理解内核选项的意义；
- 熟悉编译内核并加载内核到目标系统的方法与过程；
- 了解模块与内核的关系，掌握内核模块配置编译、安装与卸载流程，为进一步编程，如驱动编程打下基础；
- 掌握创建、安装(卸载)并使用文件系统的方法。

二、实验内容

1. 首先用默认配置重新编译一遍已安装到开发板的内核，将新的内核替换现有内核，检查是否通过！
2. 在原始版本基础上，重新配置Linux内核，构建一个嵌入式的Linux内核；
3. 编译安装重新配置后的内核、模块及dtbs设备树；
4. 针对默认配置中不少于10个kernel feature进行重新配置（裁剪为主、偶有增加），并解释理由；
($Y=>N$, $N=>Y$)
5. 保留必要的模块安装，剩余(占多数)取消；($M=>N$)
6. make后将新的内核安装到开发板运行测试；
7. 选择至少二个模块加载与卸载，检查是否加载、卸载成功；
8. 构建并安装至少一款不同于根文件系统、用于应用开发的其它文件系统。

三、实验过程与结果

1. 使用默认配置编译内核替换现有内核

- 从github下载官方Linux源码到本地

```
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~$ git clone --depth=1 https://github.com/raspberrypi/linux.git
正克隆到 'linux'...
remote: Enumerating objects: 66216, done.
remote: Counting objects: 100% (66216/66216), done.
remote: Compressing objects: 100% (61594/61594), done.
remote: Total 66216 (delta 5169), reused 17409 (delta 3696), pack-reused 0
接收对象中: 100% (66216/66216), 177.98 MiB | 81.00 KiB/s, 完成.
处理 delta 中: 100% (5169/5169), 完成.
检查连接... 完成.
正在检出文件: 100% (62374/62374), 完成.
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~$ ls
ESD      linux  公共的  视频  文档  音乐
examples.desktop  rasppi  模板  图片  下载  桌面
```

- 在目录下使用默认设置配置.config文件

```
cd linux
KERNEL=kernel17
make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabi- bcm2709_defconfig
```

- `make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf- zImage modules dtbs` 编译文件，生成内核zImage、模块modules和设备树dtbs

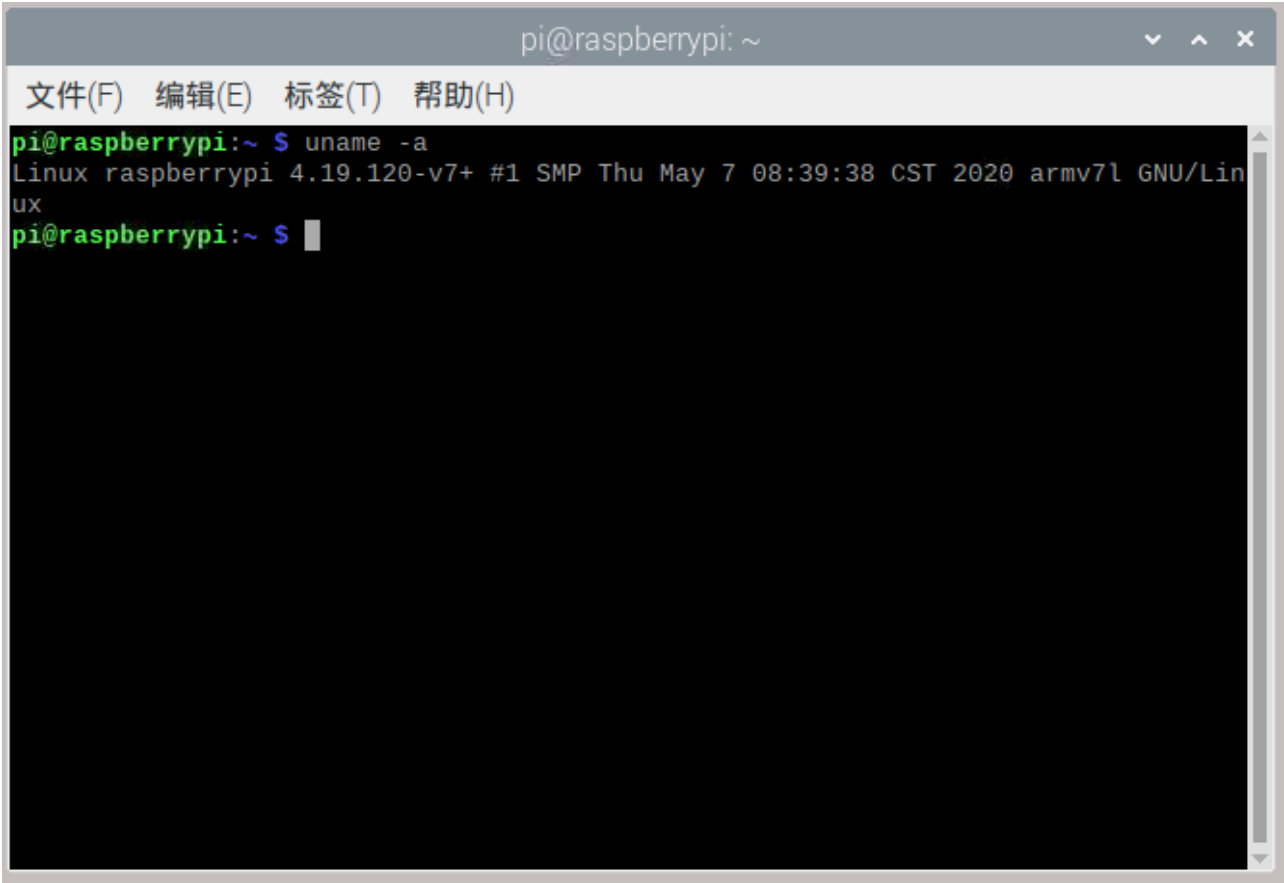
```
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th: ~/linux
DTCO arch/arm/boot/dts/overlays/wittypi.dtbo
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2708-rpi-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2708-rpi-b-plus.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2708-rpi-cm.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2708-rpi-zero.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2708-rpi-zero-w.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2709-rpi-2-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2710-rpi-2-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2710-rpi-3-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2711-rpi-4-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2710-rpi-3-b-plus.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2710-rpi-cm3.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-a.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-b-rev2.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-b-plus.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-a-plus.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-cm1-io1.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2836-rpi-2-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2837-rpi-3-b.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2837-rpi-3-b-plus.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-zero.dtb
DTC arch/arm/boot/dts/bcm2835-rpi-zero-w.dtb
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$
```

- `sudo env PATH=$PATH make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabihf- INSTALL_MOD_PATH=/mnt/ext4 modules_install` 在ext4分区安装module
- 挂载SD卡，安装内核及dtb文件

```
sudo cp /mnt/fat32/$KERNEL.img /mnt/fat32/$KERNEL-backup.img
sudo cp arch/arm/boot/zImage /mnt/fat32/$KERNEL.img
sudo cp arch/arm/boot/dts/*.dtb /mnt/fat32/
sudo cp arch/arm/boot/dts/overlays/*.dtb* /mnt/fat32/overlays/
sudo cp arch/arm/boot/dts/overlays/README /mnt/fat32/overlays/
sudo umount /mnt/fat32
sudo umount /mnt/ext4
```

```
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$ sudo scripts/mkknlimg arch/a
rm/boot/zImage /mnt/fat32/$KERNEL.img
Version: Linux version 4.19.120-v7+ (liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th)
(gcc version 5.4.0 20160609 (Ubuntu/Linaro 5.4.0-6ubuntu1~16.04.9)) #1 SMP Thu
May 7 08:39:38 CST 2020
DT: y
DDT: y
270x: y
283x: y
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$ sudo cp arch/arm/boot/dts/*.
dtb mnt/fat32/
cp: 目标'mnt/fat32/' 不是目录
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$ sudo cp arch/arm/boot/dts/*.
dtb /mnt/fat32/
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$ sudo cp arch/arm/boot/dts/ov
erlays/*.dtb* /mnt/fat32/overlays/
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$ sudo cp arch/arm/boot/dts/ov
erlays/README /mnt/fat32/overlays/
```

- 插入SD卡，开启树莓派，在终端运行`uname -a`查询内核版本，观察到内核已更新为4.19.120，内核生成时间为2020年5月7日，内核更换成功



- 总结
内核更换的过程中需要注意树莓派官方的building kernel文档所给出的命令存在路径的错误，需要在SD卡路径前补上斜杠`mnt/fat32 -> /mnt/fat32`，否则无法安装module及内核，另外挂载SD卡时注意使用`sudo`，否则会有读写权限问题。

2. 重新配置Linux内核，裁剪驱动和模块

1. 内核裁剪

- 参考：<https://blog.csdn.net/lh2016rocky/article/details/70882449>
https://blog.csdn.net/qq_21078557/article/details/83044057
- 对编译进内核内容的裁剪，主要裁剪device driver部分

| 位置 | 内容 | 备注 | 操作 |
|------------------------|--|---------------------|----------|
| - | SCSI device support | SCSI device support | SCSI设备支持 |
| - | Multiple devices driver support (RAID and LVM) | 磁盘阵列支持 | Y -> N |
| Network device support | ATM drivers | ATM协议 用于路由交换 | Y -> N |

| 位置 | 内容 | 备注 | 操作 |
|---------------------------|---------------------------------|---------------|--------|
| Network device support | ISDN support | 综合业务数字网 | Y->N |
| USB Network Adapters | Simple USB Network Links | 简易USB网络连接 | Y->N |
| - | FDDI driver support | 光纤分布式数据接口 | Y -> N |
| - | Open-Channel SSD target support | 开放通道SSD | Y -> N |
| input device support | Joysticks/Gamepads | 游戏操纵杆驱动 | Y-> N |
| input device support | Touchscreens | 触控板驱动 | Y -> N |
| Character devices | Legacy (BSD) PTY support | 传统伪终端 | Y->N |
| Character devices | TPM Hardware Support | 基于硬件的“可信平台模块” | Y -> N |
| Remote Controller support | Remote controller decoders | 远程控制器解码器 | Y -> N |
| Multimedia devices | Analog TVsupport | 模拟TV | Y -> N |
| Multimedia devices | Digital TVsupport | 数字TV | Y -> N |
| AM/FM radio receivers | transmitters support | 广播传输 | Y -> N |
| - | Virtio drivers | 虚拟化驱动 | Y -> N |

模块部分裁剪太多，在此略过。

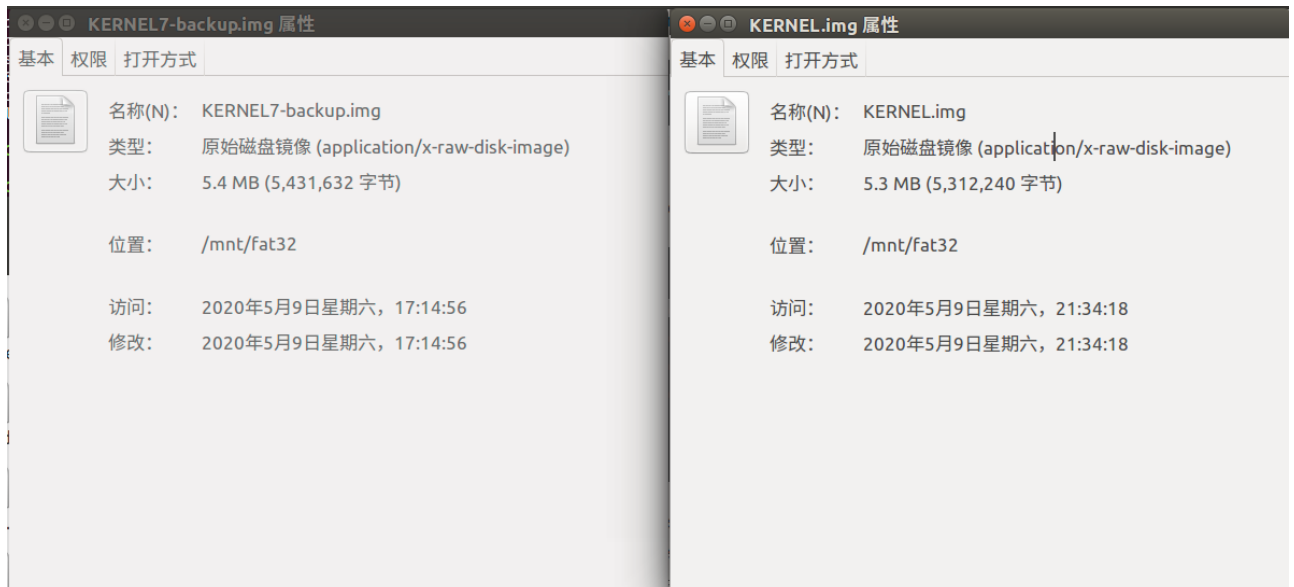
- 配置menuconfig后，输入make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-linux-gnueabi- zImage modules dtbs -j4对内核进行编译，-j4可对编译过程进行多核优化，加快编译时间。

```

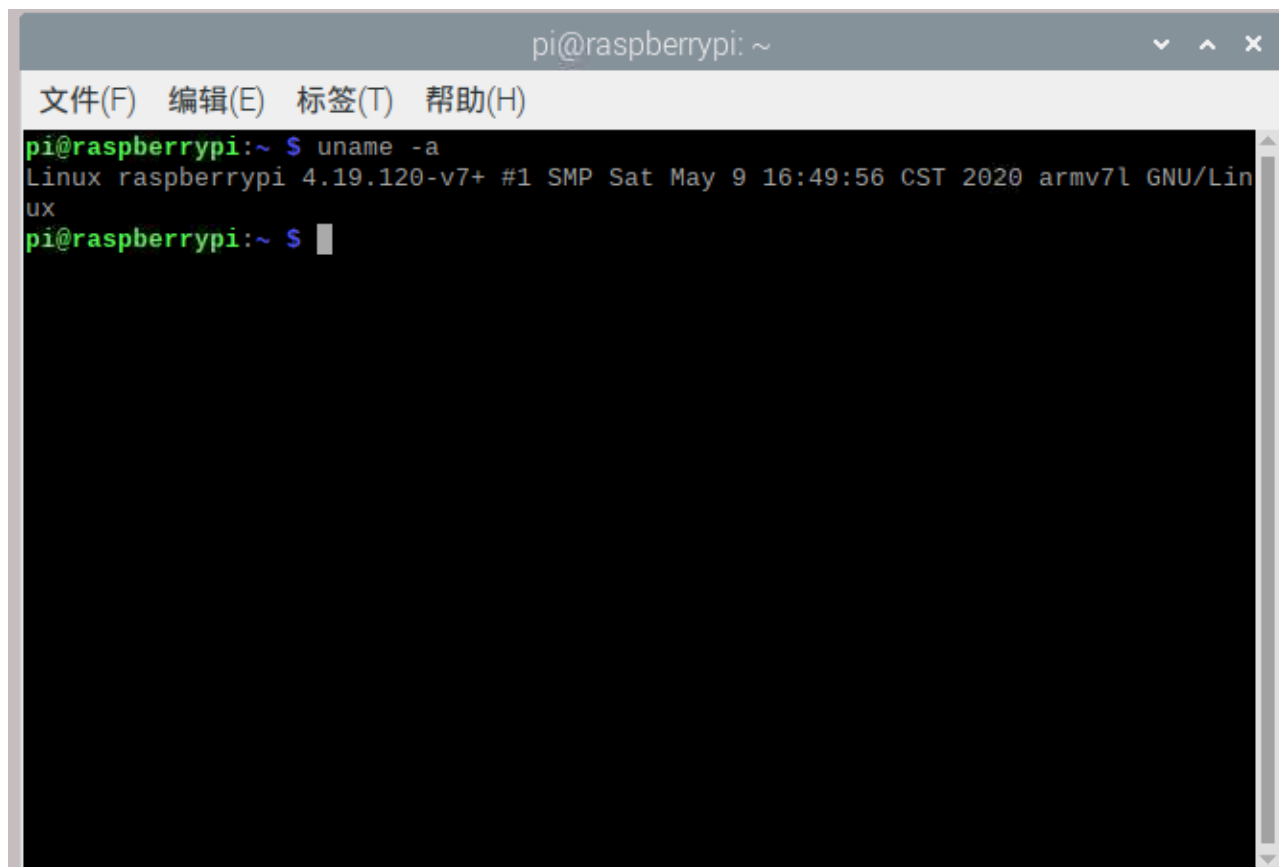
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th: ~/linux
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-sigmadsp-i2c.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-spdif-rx.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-spdif-tx.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-sigmadsp.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-tas5713.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-tlv320aic32x4-i2c.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-tlv320aic32x4.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm-adsp.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm5102.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm8731.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm8741.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm8804-i2c.ko
LD [M] sound/soc/codecs/snd-soc-wm8804.ko
LD [M] sound/soc/generic/snd-soc-audio-graph-card.ko
LD [M] sound/soc/generic/snd-soc-simple-card-utils.ko
LD [M] sound/soc/generic/snd-soc-simple-card.ko
LD [M] sound/soc/snd-soc-core.ko
LD [M] sound/usb/6fire/snd-usb-6fire.ko
LD [M] sound/usb/caiaq/snd-usb-caiaq.ko
LD [M] sound/usb/hiface/snd-usb-hiface.ko
LD [M] sound/usb/misc/snd-ua101.ko
LD [M] sound/usb/snd-usb-audio.ko
LD [M] sound/usb/snd-usbmidi-lib.ko
liwieheng@liwieheng-ThinkPad-X1-Carbon-5th:~/linux$

```

- 编译完成后得到新的kernel7.img，比较默认设置编译出的内核大小，裁剪后的内核比裁剪前减小了119392字节。二者大小差距不大的原因是第一次接触内核裁剪，对内核的裁剪较为保守，在充分理解各个选项的含义后可以做到更加优化的裁剪。



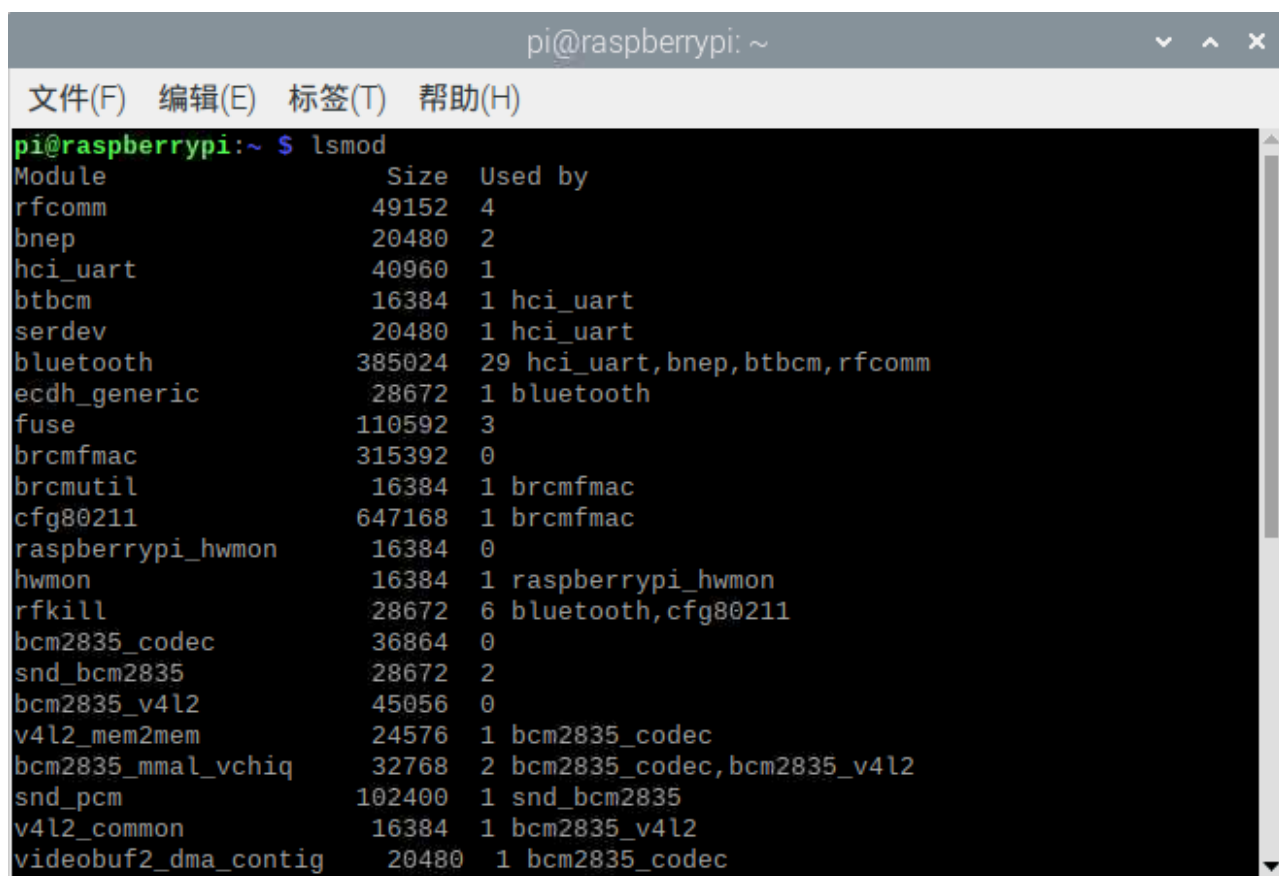
- 将裁剪后的内核、模块、dtb设备树写入树莓派SD卡中，启动树莓派，在终端运行`uname -a`查询内核生成时间，为2020年5月9日，裁剪后的内核运行成功。



```
pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
pi@raspberrypi:~ $ uname -a
Linux raspberrypi 4.19.120-v7+ #1 SMP Sat May 9 16:49:56 CST 2020 armv7l GNU/Linux
pi@raspberrypi:~ $
```

2. 模块的加载与卸载

- 运行`lsmod`命令查看当前运行的模块



```
pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
pi@raspberrypi:~ $ lsmod
Module                Size  Used by
rfcomm                49152  4
bnep                  20480  2
hci_uart              40960  1
btbcm                 16384  1 hci_uart
serdev                20480  1 hci_uart
bluetooth             385024 29 hci_uart, bnep, btbcm, rfcomm
ecdh_generic          28672  1 bluetooth
fuse                 110592  3
brcmfmac              315392  0
brcmutil              16384  1 brcmfmac
cfg80211              647168  1 brcmfmac
raspberrypi_hwmon     16384  0
hwmon                 16384  1 raspberrypi_hwmon
rfkill                28672  6 bluetooth, cfg80211
bcm2835_codec         36864  0
snd_bcm2835           28672  2
bcm2835_v4l2          45056  0
v4l2_mem2mem          24576  1 bcm2835_codec
bcm2835_mmal_vchiq    32768  2 bcm2835_codec, bcm2835_v4l2
snd_pcm               102400  1 snd_bcm2835
v4l2_common           16384  1 bcm2835_v4l2
videobuf2_dma_contig  20480  1 bcm2835_codec
```


- 在/lib/modules/4.19.120-v7+/kernel/drivers/目录下可查看安装到树莓派中的模块，选择/connector/cn.ko尝试进行模块的加载，使用`sudo insmod /lib/modules/4.19.120-v7+/kernel/drivers/connector/cn.ko`加载模块，`lsmod`查看运行的模块，cn模块加载成功。

```
pi@raspberrypi:~ $ sudo insmod /lib/modules/4.19.120-v7+/kernel/drivers/connector/cn.ko
pi@raspberrypi:~ $ lsmod
Module                  Size  Used by
cn                       16384  0
rfcomm                  49152  4
```

运行`sudo rmmod cn`卸载模块，`lsmod`查看运行的模块，cn模块消失，卸载成功。

```
pi@raspberrypi:~ $ rmmod cn
rmmod: ERROR: ../libkmod/libkmod-module.c:793 kmod_module_remove_module() could not remove 'cn': Operation not permitted
rmmod: ERROR: could not remove module cn: Operation not permitted
pi@raspberrypi:~ $ sudo rmmod cn
pi@raspberrypi:~ $ lsmod
Module                  Size  Used by
rfcomm                  49152  4
bnep                    20480  2
hci_uart                40960  1
btbcm                   16384  1 hci_uart
```

- 选择/pwm/pwn-bcm2835.ko尝试加载第二个模块，`lsmod`查看运行的模块，pwn_bcm2835模块加载成功。

```
pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
uio                      20480  1 uio_pdrv_genirq
i2c_dev                  20480  0
ip_tables                24576  0
x_tables                 32768  1 ip_tables
ipv6                     454656  30
pi@raspberrypi:~ $ sudo insmod /lib/modules/4.19.120-v7+/kernel/drivers/pwm/pwm-bcm2835.ko
pi@raspberrypi:~ $ lsmod
Module                  Size  Used by
pwm_bcm2835             16384  0
rfcomm                  49152  4
bnep                    20480  2
hci_uart                40960  1
```

运行`sudo rmmod pwn_bcm2835`卸载模块，`lsmod`查看运行的模块，pwn_bcm2835模块消失，卸载成功。

```

pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
fixed                16384  0
uio_pdrv_genirq      16384  0
uio                  20480  1 uio_pdrv_genirq
i2c_dev              20480  0
ip_tables             24576  0
x_tables              32768  1 ip_tables
ipv6                  454656 30
pi@raspberrypi:~ $ sudo rmmod pwm_bcm2835
pi@raspberrypi:~ $ lsmod
Module                Size  Used by
rfcomm                49152  4
bnep                  20480  2

```

- 总结

内核的裁剪通过 `make menuconfig` 进行，大部分以模块形式加载的驱动可以裁剪掉以减小空间，而编译入内核的功能则需要仔细考虑，需要充分理解每个选项所代表的意义，才能做出正确的裁剪，在嵌入式系统的条件下，可以根据项目需求对内核进行裁剪，以获得最佳的性能。

3. 构建文件系统

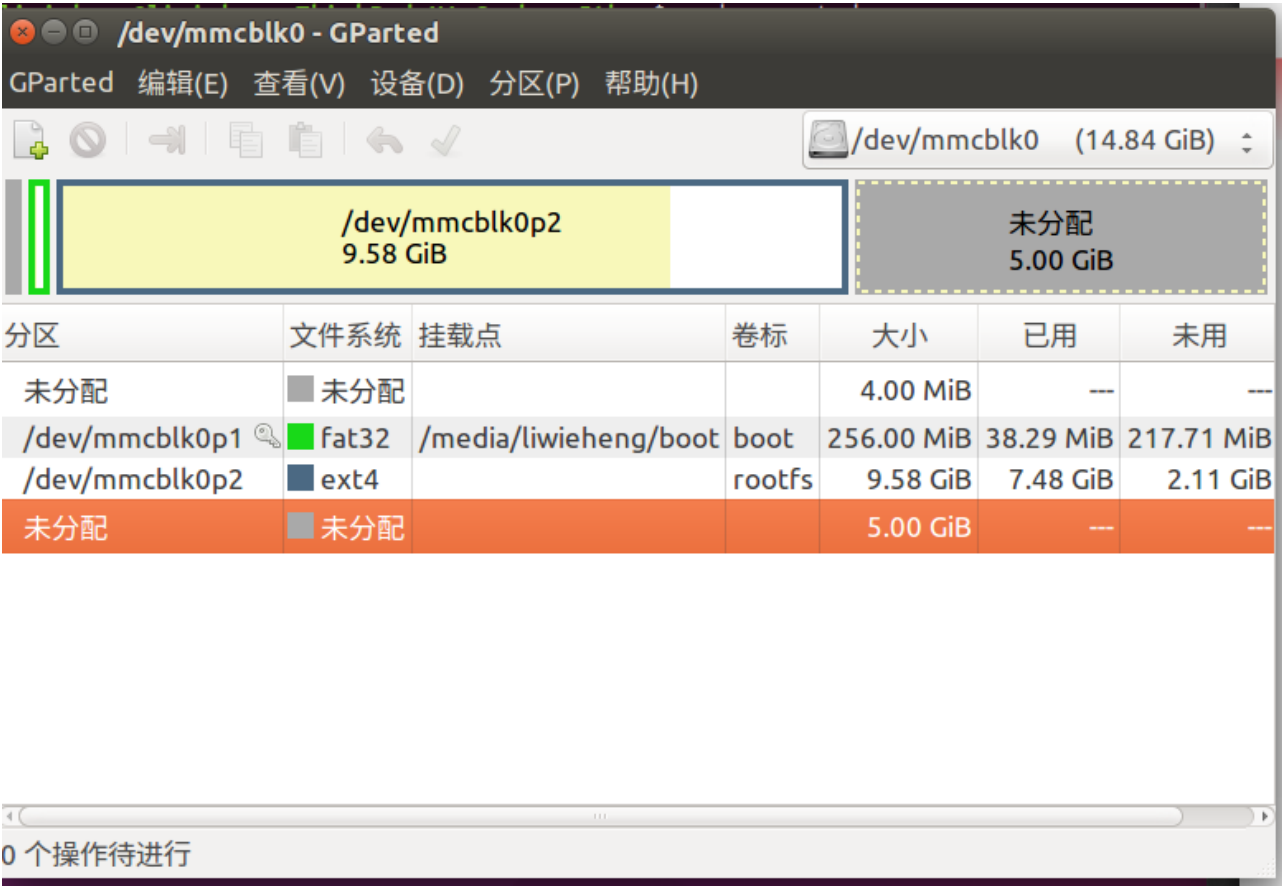
- 树莓派官方文件系统由fat格式boot分区和ext4格式rootfs分区组成。目前SD卡仅使用了8GB的容量，还有约7GB的空闲空间。

```

pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
pi@raspberrypi:~ $ lsblk
NAME        MAJ:MIN RM  SIZE RO TYPE MOUNTPOINT
mmcblk0     179:0    0  14.9G  0 disk
├─mmcblk0p1 179:1    0   256M  0 part /boot
└─mmcblk0p2 179:2    0  14.6G  0 part /
pi@raspberrypi:~ $ fdisk -l
Device      Boot  Start      End  Sectors  Size Id Type
/dev/mmcblk0p1  8192    532479    524288   256M  c W95 FAT32 (LBA)
/dev/mmcblk0p2 532480 31116287 30583808 14.6G  83 Linux
pi@raspberrypi:~ $

```

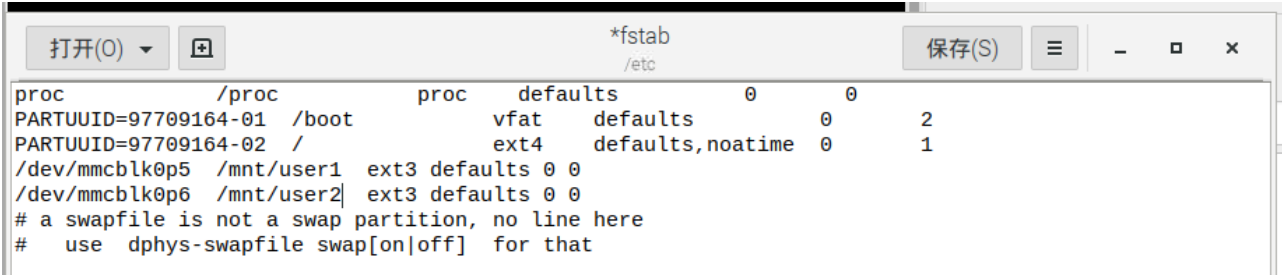
- 尝试在树莓派端采用gparted工具对分区进行调整，由于根目录正在使用中，无法对分区进行修改，故将SD卡挂载到PC上对分区进行调整，压缩出5GB空间构建文件系统。



- 在此基础上，将空余的5GB空间分为:1GB ext3系统挂载到/mnt/user1作为第一个存储分区，2GB ext3系统挂载到/mnt/user2作为第二个存储分区，通过建立3GB扩展分区实现，另外建立2GB swap作为交换空间提升树莓派性能，因为树莓派3B+内存为1GB，故交换空间设置为内存的两倍。

| 分区 | 文件系统 | 挂载点 | 卷标 | 大小 | 已用 | 未用 | 标识 |
|------------------|------------|-------|--------|------------|-----------|------------|-----|
| /dev/mmcblk0p1 | fat32 | /boot | boot | 256.00 MiB | 38.29 MiB | 217.71 MiB | lba |
| /dev/mmcblk0p2 | ext4 | / | rootfs | 9.58 GiB | 7.48 GiB | 2.11 GiB | |
| 新分区 #1 | linux-swap | | | 2.00 GiB | --- | --- | |
| ▼ /dev/mmcblk0p3 | extended | | | 3.00 GiB | --- | --- | |
| 新分区 #2 | ext3 | | | 1.00 GiB | --- | --- | |
| 新分区 #3 | ext3 | | | 2.00 GiB | --- | --- | |

使用`sudo mount /dev/mmcblk0p5 /mnt/user1`命令将分出的ext3分区挂载到/mnt目录下，修改/etc/fstab文件，加入`/dev/mmcblk0p5 /mnt/user1 ext3 defaults 0 0` | `/dev/mmcblk0p6 /mnt/user2 ext3 defaults 0 0`实现开机挂载。



挂载成功后的文件系统如图所示。

```

pi@raspberrypi: ~
文件(F) 编辑(E) 标签(T) 帮助(H)
pi@raspberrypi:~ $ lsblk
NAME        MAJ:MIN RM  SIZE RO TYPE MOUNTPOINT
mmcblk0     179:0    0 14.9G  0 disk
├─mmcblk0p1 179:1    0 256M  0 part /boot
├─mmcblk0p2 179:2    0  9.6G  0 part /
├─mmcblk0p3 179:3    0 512B  0 part
├─mmcblk0p4 179:4    0   2G  0 part [SWAP]
├─mmcblk0p5 179:5    0   1G  0 part
└─mmcblk0p6 179:6    0   2G  0 part
pi@raspberrypi:~ $ lsblk
NAME        MAJ:MIN RM  SIZE RO TYPE MOUNTPOINT
mmcblk0     179:0    0 14.9G  0 disk
├─mmcblk0p1 179:1    0 256M  0 part /boot
├─mmcblk0p2 179:2    0  9.6G  0 part /
├─mmcblk0p3 179:3    0 512B  0 part
├─mmcblk0p4 179:4    0   2G  0 part [SWAP]
├─mmcblk0p5 179:5    0   1G  0 part /mnt/user1
└─mmcblk0p6 179:6    0   2G  0 part /mnt/user2
pi@raspberrypi:~ $

```

- 设置tmpfs优化文件系统性能

tmpfs是将文件写入到内存中虚拟文件系统，掉电后消失，适用于将频繁读写的文件，设置为tmpfs以减少对SD卡的读写，另外，内存的读写速率比SD卡快，该操作也可以提升性能。

在/etc/fstab文件中加入

```

tmpfs /tmp tmpfs defaults,noatime,nosuid,size=100m 0 0
tmpfs /var/log tmpfs defaults,noatime,nosuid,mode=0755,size=100m 0 0
tmpfs /var/spool/mqueue tmpfs defaults,noatime,nosuid,mode=0700,gid=12,size=30m 0
0

```

将/tmp, /var/log, /var/spool/mqueue文件夹挂载为tmpfs。

```

tmpfs on /run type tmpfs (rw,nosuid,nodev,mode=755)
tmpfs on /run/lock type tmpfs (rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,size=5120k)
tmpfs on /sys/fs/cgroup type tmpfs (ro,nosuid,nodev,noexec,mode=755)

```

- 总结

树莓派的文件系统仅支持ext2、ext3、ext4、fat16、fat32格式，因此选择了ext3格式构建文件系统，并将常用文件夹挂载为tmpfs，减少对SD卡的读写，另外设置了2GB交换空间提升系统性能。

四、实验总结

本次实验我掌握了裁剪Linux内核的方法，理解了内核选项的意义，并根据项目要求对内核进行了裁剪，构建项目所需的文件系统。