

Rockchip Linux USB Gadget Quick Start

文件标识: RK-JC-YF-316

发布版本: V1.0.0

日期: 2020-03-10

文件密级: ☐绝密 ☐秘密 ☐内部资料 ☒公开

免责声明

本文档按“现状”提供, 瑞芯微电子股份有限公司(“本公司”, 下同)不对本文档的任何陈述、信息和内容的准确性、可靠性、完整性、适销性、特定目的性和非侵权性提供任何明示或暗示的声明或保证。本文档仅作为使用指导的参考。

由于产品版本升级或其他原因, 本文档将可能在未经任何通知的情况下, 不定期进行更新或修改。

商标声明

“Rockchip”、“瑞芯微”、“瑞芯”均为本公司的注册商标, 归本公司所有。

本文档可能提及的其他所有注册商标或商标, 由其各自拥有者所有。

版权所有© 2020 瑞芯微电子股份有限公司

超越合理使用范畴, 非经本公司书面许可, 任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。

瑞芯微电子股份有限公司

Rockchip Electronics Co., Ltd.

地址: 福建省福州市铜盘路软件园A区18号

网址: www.rock-chips.com

客户服务电话: +86-4007-700-590

客户服务传真: +86-591-83951833

客户服务邮箱: fae@rock-chips.com

前言

概述

本文主要描述了Linux USB Gadget基本使用方法，旨在帮助开发者快速了解并使用Linux USB Gadget功能。

产品版本

平台名称	内核版本
Linux	v4.4

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	修改说明
2019-12-10	V0.0.1	Zain Wang	初始版本
2020-03-10	V1.0.0	Zain Wang	更新英文图片 修改一些名词描述

目录

Rockchip Linux USB Gadget Quick Start

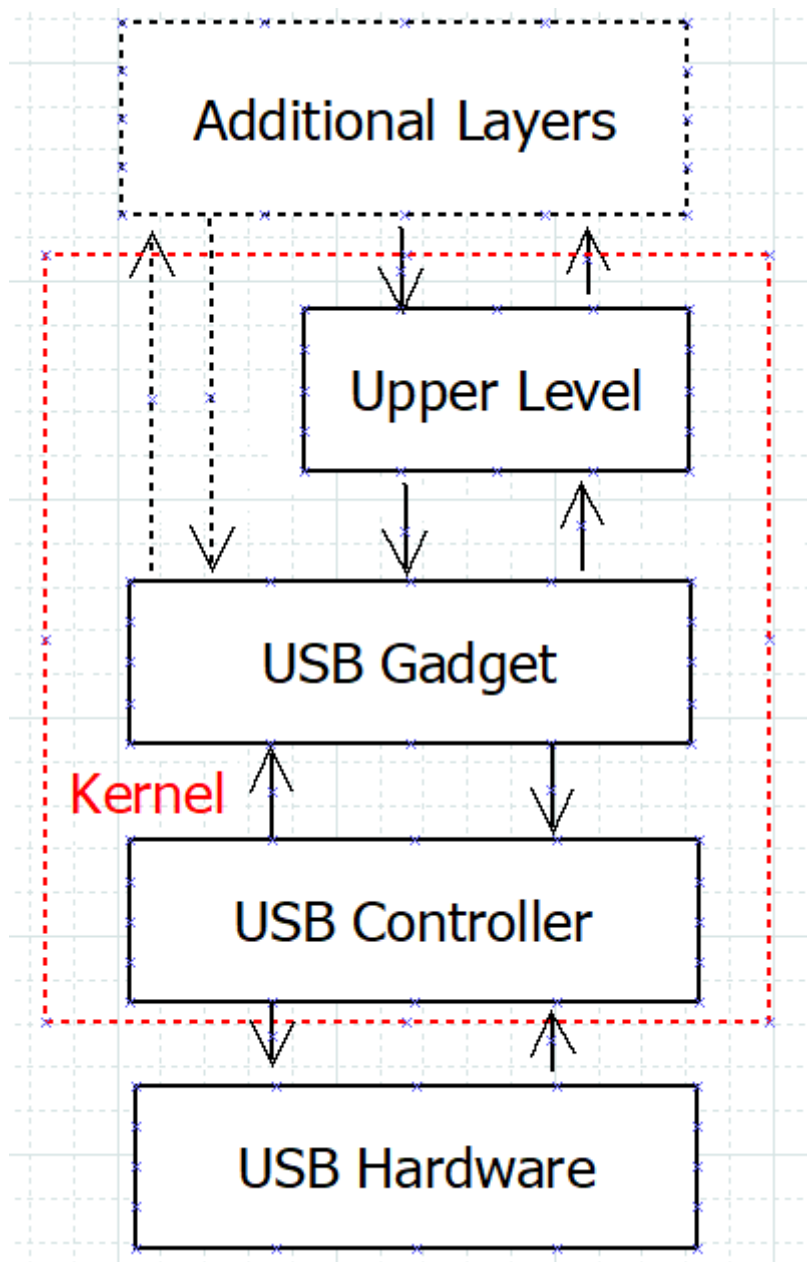
1. Linux-USB Gadget API Framework
 - 1.1 Kernel 配置
 - 1.2 USB configs
2. USB Gadget 使用
 - 2.1 USB 管理流程
 - 2.2 功能配置
 - 2.2.1 ADB (Android Debug Bridge)
 - 2.2.2 UAC (USB Audio Class)
 - 2.2.3 RNDIS (Remote Network Driver Interface Specification)
 - 2.2.4 MTP (Media Transfer Protocol)
 - 2.2.5 UMS (USB Mass Storage)
 - 2.2.6 ACM (CDC - ACM: Communication Device Class - Abstract Control Model)
 - 2.2.7 UVC (USB Video Class)
 - 2.3 USB复合设备

1. Linux-USB Gadget API Framework

USB Gadget 是运行在USB Peripheral 上配置USB功能的子系统，正常可被枚举的USB设备至少有3层逻辑层，有些功能还会在用户空间多跑一层逻辑代码。Gadget API就是具体功能和硬件底层交互的中间层。

从下到上，逻辑层分布为：

- **USB Controller:** USB上最底层的软件代码，直接与硬件交互，并抽象出endpoint概念，用于管理数据流的进出，并供给USB Gadget层调用。
- **USB Gadget:** 进一步封装USB Controller，调用USB Controller实现硬件无关的软件配置。例如，在ep0协议上运行各种class-specific协议来启动特定功能，并管理端点的进出信息等。
- **Upper Level:** 大部分的Gadget驱动都会连接到具体的Linux驱动或框架，通过连接这些具体功能的驱动或框架让USB正常工作。
- **Additional Layers:** 除开以上3层代码，还有可能有其他多出的代码层，比如kernel里的网络协议栈，也有可能是一个用户上层应用，通过调用POSIX系统的标准接口实现，如 `open()` , `close()` , `read()` and `write()` 。



NOTE: 参考资料 <https://www.kernel.org/doc/html/docs/gadget/intro.html>

1.1 Kernel 配置

USB Gadget功能配置在menuconfig如下位置:

```
Location:
-> Device Drivers
    -> USB support
        -> USB Gadget Support
            -> USB Gadget Drivers
```

RK Linux下提供了一套自动配置脚本, 实现自动配置的功能有:

```
CONFIG_USB_CONFIGFS_ACM
CONFIG_USB_CONFIGFS_RNDIS
CONFIG_USB_CONFIGFS_MASS_STORAGE
CONFIG_USB_CONFIGFS_F_FS
CONFIG_USB_CONFIGFS_F_MTP
CONFIG_USB_CONFIGFS_F_UAC1
CONFIG_USB_CONFIGFS_F_UAC2
CONFIG_USB_CONFIGFS_F_UVC
```

1.2 USB configfs

configfs 是一套基于可读写空间的文件系统, 与sysfs类似, 也有不同。

sysfs的节点都是由kernel创建并注册到sysfs里。sysfs中, 用户通过readdir/read等方式读取节点属性, 也可以通过write方式修改。sysfs的重点在于, 所有节点的创建销毁, 都是由Kernel发起, Kernel控制sysfs节点的生命周期, sysfs只是一个查看这些节点的窗口。

configfs通过用户使用mkdir创建, rmdir销毁。节点内容是在mkdir后出现, 这些内容可用通过read/write修改。和sysfs一样, readdir可以批量查看这些内容, symlink可以方便管理内容。不同的是, 节点内容的生命周期完全由用户决定。支持这个功能的Kernel模块必须响应用户操作。

2. USB Gadget 使用

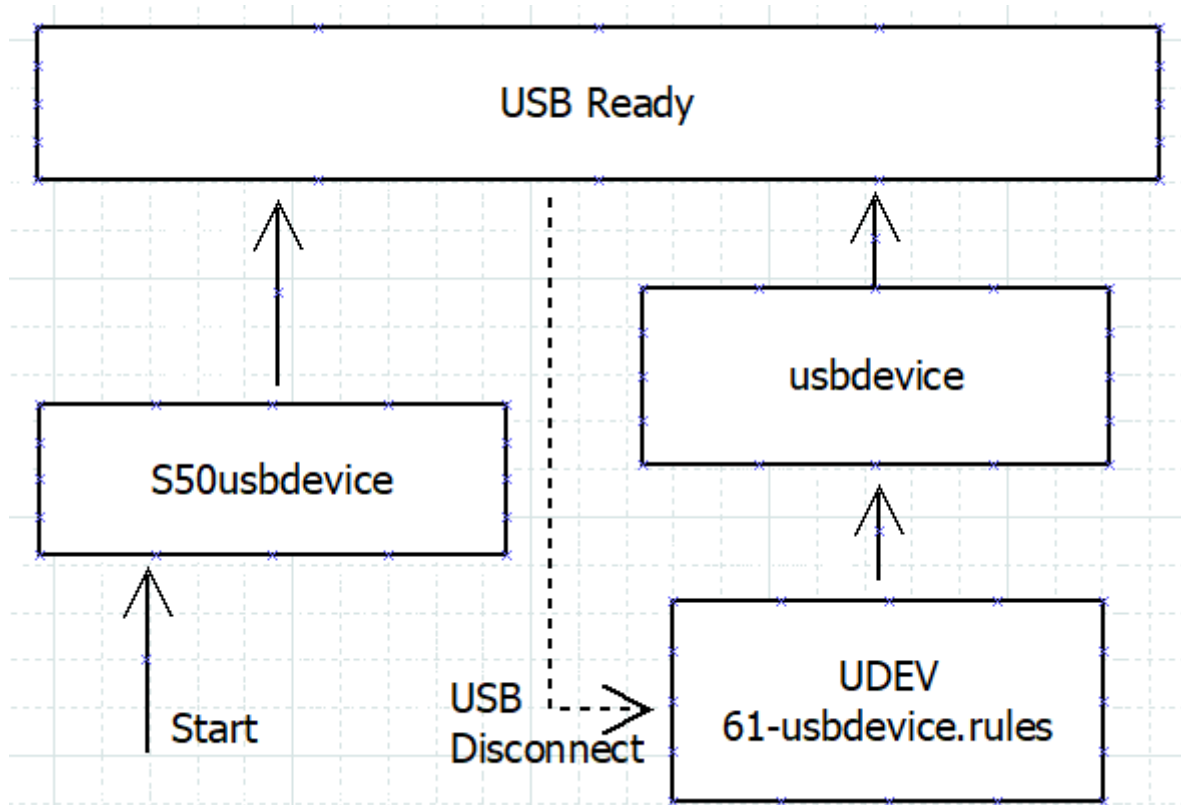
2.1 USB 管理流程

RKScript中, 有三个USB相关文件:

```

S50usbdevice # /etc/init.d/ 使用时，配合同级目录的.usb_config使用
usbdevice # /usr/bin/
61-usbdevice.rules # /lib/udev/rules.d/
#还有两个相关文件需要用户自建或修改
.usb_config # /etc/init.d/
/tmp/.usb_config # S50usbdevice 自动生成

```



用户可直接操作S50usbdevice脚本，修改.usb_config配置想要的USB功能。

USB功能配置成功会有如下log，表明进入USB Ready:

```

[ 66.178517] android_work: sent uevent USB_STATE=CONNECTED
[ 66.179977] configfs-gadget gadget: high-speed config #1: b
[ 66.180663] android_work: sent uevent USB_STATE=CONFIGURED

```

2.2 功能配置

USB 功能配置写在/etc/init.d/.usb_config中，运行状态下，修改USB功能可以修改/tmp/.usb_config，并运行/etc/init.d/S50usbdevice restart。

目前 USB Gadget 自动配置支持以下选项（配置在.usb_config中）：

```

usb_adb_en
usb_uac1_en
usb_uac2_en
usb_rndis_en
usb_mtp_en
usb_ums_en
usb_acm_en
usb_uvc_en

```

/etc/init.d.usb_config 和 **/tmp.usb_config**的区别:

/etc/init.d.usb_config为开机默认配置, 因为系统可能为只读系统, 该部分文件可能无法修改。因此无特殊原因, 运行状态下不建议修改该文件。

/tmp.usb_config 是/etc/init.d.usb_config的复制文件, 开机后, S50usbdevice会将/etc/init.d.usb_config复制一份到/tmp下, /tmp目录为ram空间, 可以随时修改。在运行状态下, 需要临时修改USB功能, 可以修改该文件, 并用/etc/init.d/S50usbdevice restart重置USB功能。

2.2.1 ADB (Android Debug Bridge)

ADB是一种功能多样的命令行调试工具, 可以实现文件传输, Unix Shell登录等功能。

ADB 需要上层应用**adbd**才能正常启动, Buildroot中需要打开adbd编译开关。

```
BR2_PACKAGE_ANDROID_TOOLS_ADBD
```

确保系统中存在adbd后, 执行下列命令并接入USB线连接PC,

```
echo usb_adb_en > /tmp/.usb_config  
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

即可在PC上通过adb devices看到设备

Note: Linux 上使用adb devices如果无法看到设备, 请执行

```
adb kill-server  
sudo adb devices
```

Windows 需要安装ADB驱动, 必要时, 需要使用管理员权限运行ADB

2.2.2 UAC (USB Audio Class)

UAC通过USB虚拟标准PCM接口给Host设备, 实现Device和Host之间音频互传功能。

UAC分为UAC1和UAC2, UAC2和UAC1有以下区别:

- UAC2比UAC1具有更高的带宽 (各平台实现略有不同, 以实测为准)
- Windows 7及部分Windows 10系统默认不支持UAC2, 需要手动安装驱动, 但都支持UAC1

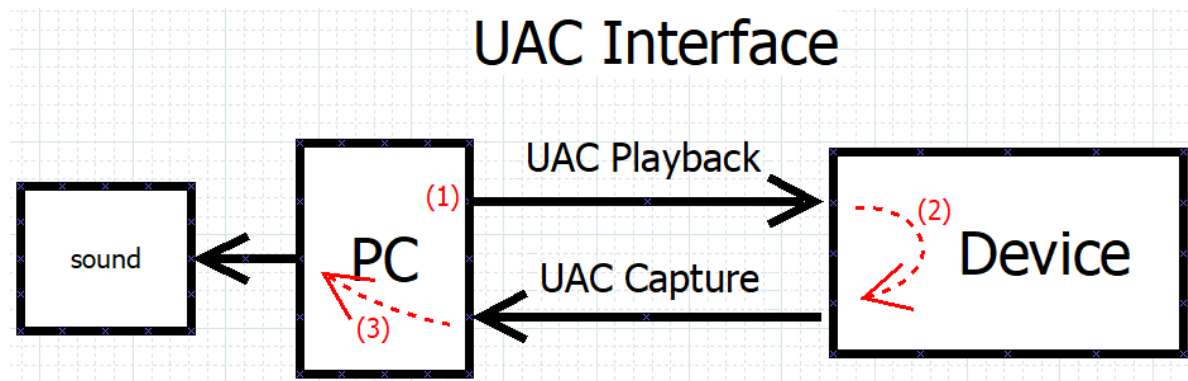
直接运行以下命令可以使能UAC:

```
echo usb_uac1_en > /tmp/.usb_config # or usb_uac2_en  
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

UAC测试需要借助第三方开源库ALSA, 使用aplay -l 或 arecord -l看支持播放或采集声音的声卡:

```
# aplay -l  
card 2: rk3xxx [rk3xxx], device 0: USB Audio [USB Audio]  
Subdevices: 1/1  
Subdevice #0: subdevice #0  
  
# 指定设备设置 -D "hw:${card},${device}" (上述信息即可写为 -D "hw:2,0")
```

UAC 测试流程需要搭建音频数据流的回环，可以同时测试UAC的Playback和Capture功能：



(1) PC 向Device播放音频文件

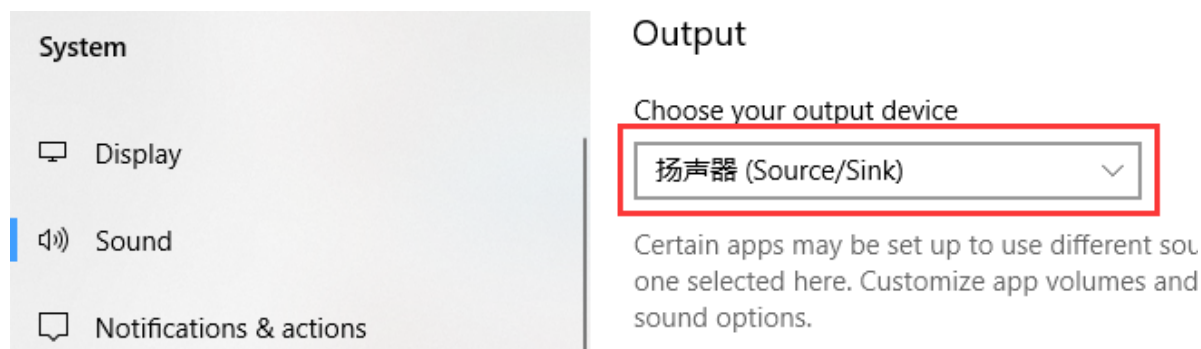
Linux:

```
aplay -D "plughw:2,0" -f S16_LE -r 48000 -c 2 /userdata/test.wav
```

plughw 如果音频采样率和设置的不符，alsa将对音频进行重采样，保证输出音频采样率和设置的一致

Windows:

右键右下的声音图标->"Open Sound Settings"->选择输出设备，选中Device设备（一般识别为Source/Sink，设备名与Windows版本相关），并打开播放器，播放音乐



(2) Device 将UAC Playback上的音频重定向到Capture

```
arecord -D "hw:3,0" -f S16_LE -r 48000 -c 2 -t raw -N | aplay -D "hw:3,0" -f S16_LE -r 48000 -c 2 -t raw -N
```

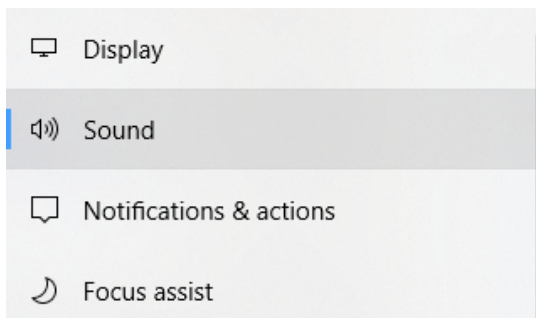
(3) PC将UAC Capture上的音频重定向到正常的扬声器上

Linux

```
arecord -D "hw:2,0" -f S16_LE -r 44100 -c 2 -t raw -N | aplay -D "hw:1,0" -f S16_LE -r 44100 -c 2 -t raw -N
```

Windows:

右键右下角的声音图标->"Open Sound Settings"->"选择输入设备，选中Device设备（一般识别为Source/Sink，设备名与Windows版本相关）"



Input

Choose your input device

Capture Input terminal (Source/Si... ▾)

Certain apps may be set up to use different sound device selected here. Customize app volumes and devices sound options.

点击Device properties->Additional device properties, 勾选Listen to this device, 选择“Play through this device”指向PC原播放设备。

☒ Listen to this device

Playback through this device:

扬声器 (Realtek High Definition Audio) ▾

这样就可以在PC的扬声器上听到测试音频。

2.2.3 RNDIS (Remote Network Driver Interface Specification)

RNDIS提供基于USB的网络接口规范, 可以使用网络命令 (SSH等) 实现Device和Host的数据交互。

直接执行下列命令, 可以使能RNDIS功能:

```
echo usb_rndis_en > /tmp/.usb_config  
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

使用ifconfig可以看到在Host和Device上都会多出一块网卡:

```
# Host Linux  
ifconfig  
enp0s20u3u4u4 Link encap:Ethernet HWaddr d6:11:03:17:c3:97  
    inet6 addr: fe80::3fa6:da84:77bd:122a/64 Scope:Link  
    UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1  
    RX packets:61 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0  
    TX packets:187 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0  
    collisions:0 txqueuelen:1000  
    RX bytes:7198 (7.1 KB) TX bytes:41844 (41.8 KB)  
  
# Device  
ifconfig  
usb0 Link encap:Ethernet HWaddr 46:26:71:47:E3:9F  
    inet addr:169.254.216.27 Bcast:169.254.255.255 Mask:255.255.0.0  
    inet6 addr: fe80::9e72:7f20:cc68:4a34/64 Scope:Link  
    UP BROADCAST RUNNING MULTICAST MTU:1500 Metric:1  
    RX packets:606 errors:606 dropped:0 overruns:0 frame:606  
    TX packets:125 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0  
    collisions:0 txqueuelen:1000  
    RX bytes:100024 (97.6 KiB) TX bytes:30346 (29.6 KiB)
```

Host上并没有分配ipv4的地址, 可以使用ifconfig命令手动指定:

```
#固定RNDIS地址为169.254.216.1
ifconfig enp0s20u3u4u4 down
ifconfig enp0s20u3u4u4 169.254.216.1
ifconfig enp0s20u3u4u4 up
```

此时在Device或Host上可以使用ping命令相互通信。

Note:Windows上识别成功自动分配ipv4地址，无需手动分配。

2.2.4 MTP （Media Transfer Protocol）

MTP是由Microsoft提出的一套媒体文件传输协议，可以方便的在Device和Host之间共享媒体文件。

MTP 需要上层应用**mtp-server**才能正常启动，Buildroot中需要打开mtp-server编译开关

```
BR2_PACKAGE_MTP
```

确保系统中存在mtp-server后，执行下列命令并接入OTG线连接PC:

```
echo usb_mtp_en > /tmp/.usb_config
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

即可在PC上看到"---MODEL---"的设备，Linux/Windows通用。

Note:MTP属性名称可以在buildroot/package/rockchip/mtp中，参考补丁修改。默认共享/userdata目录。

2.2.5 UMS （USB Mass Storage）

UMS 给Host设备提供大容量外挂存储。

UMS与MTP有以下区别：

- UMS以Block为单位工作；MTP则以文件为单位工作。
- UMS工作时，目标Block为独占工作，多用户操作同一Block将会出现错误；MTP支持多用户操作。

运行以下命令可以使能UMS

```
echo usb_ums_en > /tmp/.usb_config
echo "ums_block=/dev/block/by-name/userdata" >> /tmp/.usb_config # 可用镜像文件替换
具体分区，例如/userdata/ums_shared.img
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

即可在PC上看到一个新的U盘盘符。

由于UMS Block只能独占工作，S50usbdevice提供了一个新属性，使UMS Block在连接PC的时候从Device上卸载，防止Device产生错误操作；PC断开的时候，重新挂载到Device上的/mnt/ums。

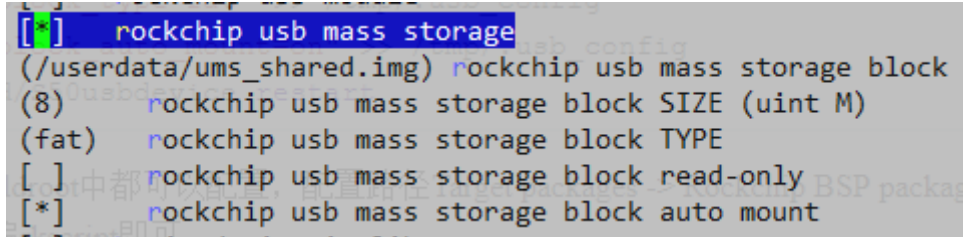
可以在.usb_config中追加以下属性开启：

```
echo "ums_block_auto_mount=on" >> /tmp/.usb_config
```

不想使用逻辑分区加载UMS，可以使用image文件代替逻辑分区。image可以自建，也可以使用S50usbdevice脚本自动生成

```
# 自动生成一个 fat 格式, 8M 大小的image文件, 并开启UMS自动挂载
echo usb_ums_en > /tmp/.usb_config
echo "ums_block=/userdata/ums_shared.img" >> /tmp/.usb_config
echo "ums_block_size=8" >> /tmp/.usb_config #Unit M
echo "ums_block_type=fat" >> /tmp/.usb_config
echo "ums_block_auto_mount=on" >> /tmp/.usb_config
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

以上操作在Buildroot中都可以配置, 配置路径Target packages -> Rockchip BSP packages -> rockchip usb mass storage配置完毕, 重编rkscript即可自动生成/etc/init.d/.usb_config。



```
[ * ] rockchip usb mass storage
(/userdata/ums_shared.img) rockchip usb mass storage block
(8) rockchip usb mass storage block SIZE (uint M)
(fat) rockchip usb mass storage block TYPE
[ ] rockchip usb mass storage block read-only
[ * ] rockchip usb mass storage block auto mount
```

2.2.6 ACM (CDC - ACM: Communication Device Class - Abstract Control Model)

可以理解为USB虚拟串口, 在Device/Host两端生成TTY设备。

运行以下命令可以使能ACM

```
echo usb_acm_en > /tmp/.usb_config
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

使能ACM后, 可以在Device上看到/dev/ttyGS0设备, PC上看到/dev/ttyACM0设备。

```
#PC上运行
echo test > /dev/ttyACM0
#Device上运行
cat /dev/ttyGS0 #得到 test 输出
```

2.2.7 UVC (USB Video Class)

UVC 功能需要上层UVC应用才能正常启动, Buildroot中提供了一个测试Demo (uvc_app), Buildroot中需要打开对应编译开关。

```
BR2_PACKAGE_UVC_APP
```

需要手动修改下S50usbdevice脚本, 添加

```
-      # Add uvc app here with start-stop-daemon
+      if [ $UVC_EN = on ];then
+          start-stop-daemon --start --quiet --background --exec
/usr/bin/uvc_app -- 640 480
+      fi
```

使用以下命令使能UVC:

```
echo usb_uvc_en > /tmp/.usb_config #默认输出640x480格式图像  
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```

Host查看工具，Linux推荐gucvview，Windows推荐Amcap工具，选中Device->UVC Camera / Options->Preview



左下角显示帧率。

Note:

- uvc_app 只是一个测试Demo，并非正式应用，显示4块纯色条纹，用户可以根据这个Demo自行修改应用
- 要使用UVC功能，必须要有UVC应用，否则直接启动UVC功能，会造成USB功能异常。
- 如果系统是只读文件系统，S50usbdevice需要在系统打包前提前修改
- UVC对热拔插支持不友好，只要USB Gadget一旦完成unbind动作，UVC就无法正常使用，这个问题是V4L2节点注册机制决定的。

2.3 USB复合设备

在端口及带宽条件允许下，USB Gadget可以使用复合功能，将多个USB Gadget功能复合到一个USB Port上。

例如复合ADB + RNDIS:

```
echo usb_mtp_en > /tmp/.usb_config  
echo usb_adb_en >> /tmp/.usb_config  
/etc/init.d/S50usbdevice restart
```