

# 基于 s3c2440 的 Linux 摄像头驱动开发

曹占中 周 余 王自强 都思丹  
(南京大学电子科学与工程系 南京 210093)

**摘 要:** 本文以 Linux 下处理视频设备的最新标准——V4L2 为基准,介绍了摄像头驱动及应用程序编码方法。以 s3c2440 开发板为硬件平台,在 linux-2.6.22 版本内核下,对 ov9652 传感器芯片进行了代码开发工作。作为一款 SCCB 接口的摄像头芯片,ov9652 目前尚没有在 Linux 下得到驱动支持。本文基于 V4L2 最新规范编写的驱动程序及图像采集程序,成功实现了图像预览和 jpg 格式保存功能,能够很方便地应用在各种嵌入式手持设备之中。

**关键词:** 嵌入式系统;摄像头驱动;图像采集;s3c2440;ov9652;V4L2

**中图分类号:** TP316.81 **文献标识码:** A

## Design of Linux video capture driver based on s3c2440

Cao Zhanzhong Zhou Yu Wang Ziqiang Du Sidan

(Department of Electronic Science and Engineering, Nanjing university, Nanjing 210093)

**Abstract:** Linux is now widely used in embedded systems. The procedure of developing linux video capture is introduced, based on the standard of V4L2——Video for Linux 2. The platform chosen is s3c2440 developing board, with the camera chip ov9652. As s3c2440 doesn't support sccb interface, the implementation of simulating SCCB protocol with GPIO is also described. It worked well at last, for video previewing and coding.

**Keywords:** linux; video capture driver; s3c2440; ov9652; V4L2

### 0 引 言

嵌入式 Linux 相对于大多数商业化嵌入式操作系统具有无可比拟的优越性,由于其开源、多任务多进程、高度模块化、支持多平台、性能稳定<sup>[1]</sup>等诸多优点,现已广泛应用于嵌入式领域<sup>[2-4]</sup>。

ARM 系列处理凭借出色的性能以及成功的商业运作,占据着嵌入式设备市场占有率第一的宝座,是目前得到最广泛应用的 RISC 体系的嵌入式微处理器<sup>[5]</sup>。

摄像头模块的应用越来越成为众多嵌入式手持设备必备的功能之一。而驱动程序是设备能正常工作的先决条件,对于早期的一些芯片,目前已经有了很好的驱动支持,而 omnivision 的 ov 系列芯片中开发的相对比较晚的一些产品,在目前最新的 linux 内核中尚没有得到支持。且目前大多数 linux/ unix 视频设备驱动及应用程序基于早期的 V4L 架构,而基于其升级版 V4L2 架构<sup>[6]</sup>的程序比较少。本文采用 V4L2 最新设计规范,以 ov9652 传感器芯片为例,讲解其驱动程序及简单应用程序的编写方法,处理器为 s3c2440。

### 1 硬件体系架构介绍

#### 1.1 S3c2440 开发平台

S3c2440 是近年来推出的一款高性能、低功耗的嵌入

式 soc 处理器,基于 ARM920T 架构。典型主频 400 MHz,最高可达 533 MHz, CPU 内部集成 SDRAM 控制器、LCD 控制器、4 通道 DMA、3 通道 UART、C 总线、S 总线、SD 接口、PWM timer、触摸屏接口、8 通道 10 位 A/D 控制器、camera 接口等,非常方便系统开发,因此应用十分广泛。s3c2440 中 camera 功能模块如图 1 所示。

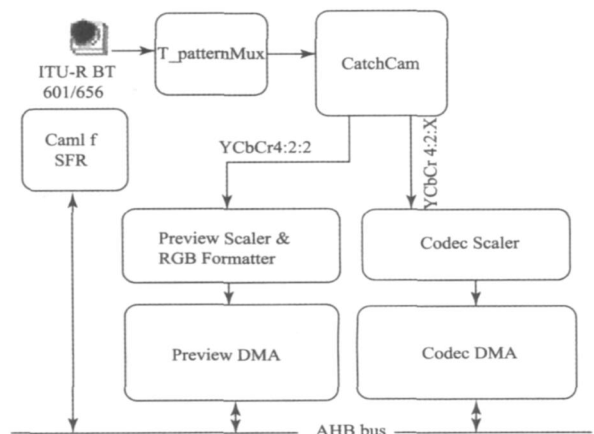


图 1 s3c2440 的 camera 模块框图

## 1.2 Ov9652 传感器

Ov9652 是新近推出的一款低电压单芯片 CMOS 彩色图像传感器,130 万像素,通过 SCCB 接口设置内部寄存器。支持 SXGA, VGA, QVGA, QQVGA, CIF, QCIF, QQCIF 等多种图像输出格式,包含自动曝光控制,自动增益控制,自动白平衡,自动黑级校准等功能。最大速率在 SXGA 格式时为 15fps,在 VGA 格式时为 30fps<sup>[7]</sup>。

## 2 设备驱动程序的编写

驱动程序涉及到 2 部分的内容。由于 ov9652 内部寄存器的设置只能通过 SCCB 接口来完成,而 s3c2440 并没有提供 sccb 接口支持,故而本文采用通用 I/O 口的两个管脚来模拟 SIO\_C 与 SIO\_D,实现 SCCB 数据传输。第 2 部分是主体,需要遵循 v4l2(video for linux two)标准,进行摄像头模块主体驱动部分的编写,为上层应用程序提供规范的 API。

驱动的总体架构如图 2 所示。

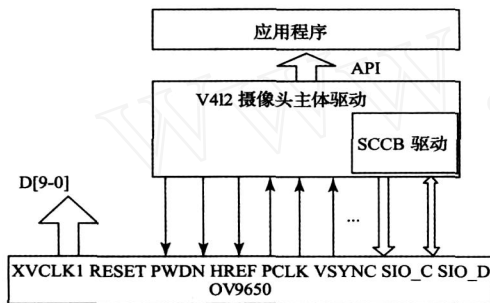


图 2 驱动程序架构图

### 2.1 SCCB 驱动

SCCB(serial camera control bus)是一种类似<sup>2</sup>C的串行摄像头控制总线,用于完成摄像头内部寄存器的设置。SCCB 总线是一个两线串口协议,SIO\_C 是时钟引脚,SIO\_D 是数据引脚。SCCB 传输协议简述如下:当 SIO\_C 为高电平时,SIO\_D 出现一个下降沿,则开始传输;当 SIO\_C 为高电平时,SIO\_D 出现一个上升沿,则停止传输。传输过程中,SIO\_C 为高电平时,必须保持 SIO\_D 稳定<sup>[8-9]</sup>。SCCB 总线时序逻辑如图 3 所示。

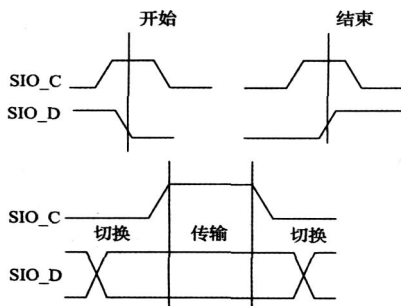


图 3 sccb 总线时序逻辑

对于没有提供 SCCB 接口的 s3c2440,可以采用通用 I/O 口模拟的方式来实现 SCCB 协议。比如使用 GPE14 来模拟 SIO\_C,使用 GPE15 来模拟 SIO\_D。最终需要实现 sccb\_read(u8 IdAddr,u8 SubAddr);和 sccb\_write(u8 IdAddr,u8 SubAddr,u8 data)两个函数,要对照 SCCB 的传输协议以及时序要求按位操作。举例来说,传输 8 位数据“data”,需要这样做:将 SIO\_C 拉低,将 data 最高位放上 SIO\_D,data 左移一位,将 SIO\_C 拉高,循环 8 次。算法流程如图 4 所示。

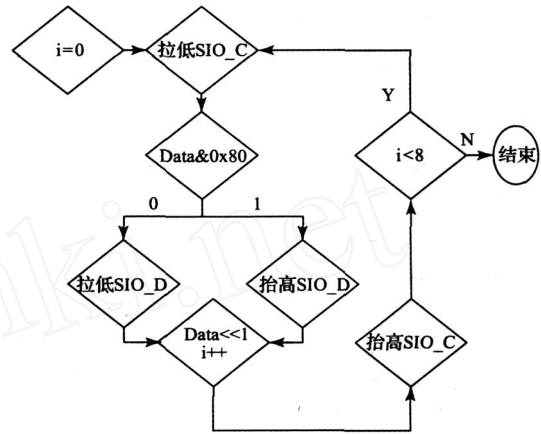


图 4 SCCB 传输 8 位数据算法流程

### 2.2 V4L2(video for linux two)驱动

V4L2 是 V4L 的升级版本,是 Linux 下开发视频设备程序的标准,它使用分层方法对所有视频设备的驱动和应用编程提供一套完备的接口规范。相较 V4L,V4L2 的灵活性和扩展性上有很大的提升,但是并不完全兼容前者。

V4L2 是一个两层驱动系统。顶层是 videodev 模块,当 videodev 初始化的时候,它注册为字符设备,设备号 81,同时注册字符设备功能函数。

底层为 V4L2 驱动,实际都是 videodev 的 client,videodev 通过 V4L2 方法访问这些驱动。当 V4L2 驱动初始化的时候,它传递给 videodev 一个数据结构,包含 V4L2 驱动方式、子设备号以及其它细节。V4L2 方式与普通 Linux 字符驱动方式类似,但它包含一些针对 V4L2 驱动的特殊元素。

当应用程序调用驱动程序时,控制首先传递给 videodev 方式,后者将文件或结点数据结构指针转换为对应的 V4L2 数据结构指针,然后调用 V4L2 驱动方式。因此,videodev 表现为 V4L2 驱动的一层外壳。videodev 与 V4L2 均作为模块执行。

当驱动初始化的时候,它枚举系统中它准备处理的设备,为每个设备填充一个独立的 struct v4l2\_device 数据结构并传递给 v4l2\_register\_device() 一个指向该数据结构的指针。v4l2\_register\_device() 会确保该次设备号可用,然

后调用 struct v4l2\_device 中的初始化方法。传向 v4l2\_register\_device() 的设备指针被传递给初始化程序。如果初始化成功,则注册完成。videodev 将该指针保存起来,当应用程序访问驱动的时候调用相应的功能函数。

调用 v4l2\_register\_device() 之前,驱动程序必须先填充 name、type 和 minor 信息,以及 open 函数。type 使用与 struct v4l2\_capability.type 相同的值,形如 V4L2\_TYPE\_\*。驱动卸载的时候,使用设备指针调用 v4l2\_unregister\_device()。

本文的驱动程序需要实现以下主要环节:

在初始化函数 cam\_init() 中将 GPIO-J 设置为 camera 对应模式,使用 request\_mem\_region() 为 camera 申请 I/O 内存资源,然后使用 ioremap\_nocache() 进行内存映射。接下来初始化 camera 时钟,并使用 list\_add\_tail 将摄像头数据结构添加到设备链表中。下一步使用 video\_register\_device(&cam\_dev, VFL\_TYPE\_GRABBER, cam\_dev.minor) 进行设备注册,在 cam\_dev 结构中,需要实现的主要函数指针有 vidioc\_g\_fmt\_cap(将当前图像格式传递给应用程序)和 vidioc\_s\_fmt\_cap(设置图像输出格式)等。cam\_dev 结构中的 cam\_fops 文件操作包括 open(), release(), read(), poll(), ioctl(), mmap(), llseek() 等都要逐个实现。其中 ioctl() 对应 video\_ioctl2,由 v4l2 软件包提供框架规范,涉及到的关键的几个处理程序需要在驱动中具体实现。

此外,在模块初始化函数中,还要实现 ov9652 芯片内部寄存器的设置,比如输出格式设置、自动增益、曝光控制、采样时钟设置等,把这些设置值保存为一个数组,通过 SCCB 总线来写入到 ov9652 的内部寄存器中。

本驱动不仅要支持采集保存图像的功能,还要实现预览功能,因此至少要实现两个模式,在预览模式下,提供 rgb565 格式输出,可缩放,该通道为 preview 通道;在编码模式下,实现 yuv422 输出,实现最高 1280 × 1024 分辨率,该通道为 codec 通道。S3c2440 的 camera 模块支持这两个 dma 通道的运行和切换,通过对接口寄存器设置就可以实现。

在 open() 中,为 preview 通道 codec 通道申请内存页面。然后通过中断申请函数 request\_irq(IRQ\_S3C2440\_CAM\_C, cam\_irq\_c, IRQF\_DISABLED, "CAM\_C", pdev) 和 request\_irq(IRQ\_S3C2440\_CAM\_P, cam\_irq\_p, IRQF\_DISABLED, "CAM\_P", pdev) 来为两个通道申请中断。在这两个中断服务子程序中,根据 pdev->cmdcode 指令,进行通道切换、加窗、缩放、更新格式等操作,同样通过设置 s3c2440 内部 camera 模块的相应寄存器来实现。

在 read() 中,调用采集启动函数 start\_capture() 进行图像采集,在该函数中,根据模式要求选择启动 preview 通道还是 codec 通道,开启图像采集,然后等待中断,而关闭函数 stop\_capture() 则在中断服务程序中调用。

mmap() 用来实现内存映射,将内核空间两个通道的

buffer 映射到用户空间,以取代 copy\_to\_user() 方式来实现内核空间到用户空间的数据传输<sup>[10]</sup>。

### 3 应用程序编写与测试

#### 3.1 应用程序的编写

应用程序的编写同样要遵循 V4L2 (Video4Linux Two) 规范。目前支持 V4L2 的应用程序还不多,大部分仍然沿用原始的 V4L 规范。为实现摄像头预览和抓图的需要,本文给出简单的应用程序编写方案如图 5 所示,同样基于 V4L2 标准。

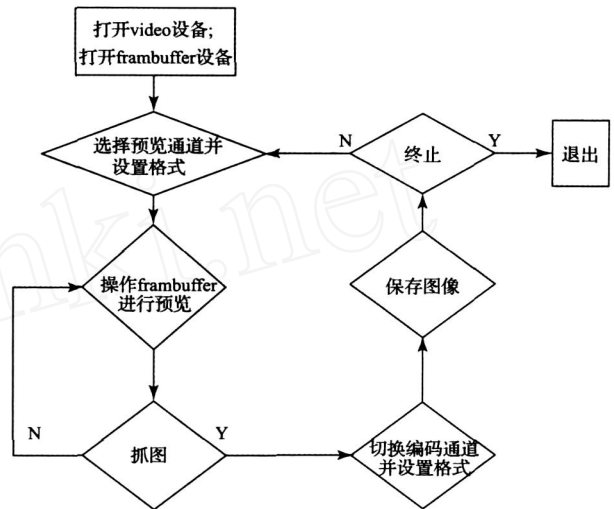


图 5 图像采集程序流程

v4l2\_fd = open(V4L2\_DEV\_NODE, O\_RDWR); 打  
开/ dev/ video0;

fb\_fd = open(FB\_DEV\_NODE, O\_RDWR); 打  
开frambuffer 设备。

Frambuffer 设备是 linux 上的一个优秀的图形接口,提供统一的 API 接口,使用它可以直接操作显存<sup>[11]</sup>。

使用 mmap() 将 preview 通道和 coding 通道内核地址空间映射到用户空间。

用 v4l2\_set\_preview(int fd, V\_FORMAT \*fmt, V\_FMTDESC \*pix) 函数开启并设置 preview 通道,其中调用 ioctl(fd, VIDIOC\_S\_FMT, &fmt\_req) 来设置预览格式。

编写显屏函数 v4l2\_show(v4l2\_fd, fbmem, preview\_frames) 实现预览功能,在其中将采集到的数据搬到 frambuffer 缓冲区。

在结束预览、编码保存部分,使用函数 v4l2\_set\_yuv422\_capture(v4l2\_fd, &fmt, &pix[0]), 在该函数中调用命令 ioctl(fd, VIDIOC\_S\_FMT, &fmt\_req) 更改输出格式和像素值,并切换至 codec 通道。

最后编写 v4l2\_yuv422tojpg(v4l2\_fd) 函数将采集到的 yuv422 输出格式转换为 jpg 格式保存,涉及到 yuv422 到

jpg 的转换环节此处不作详述。

### 3.2 测试结果

预览模式(320 ×240)采用 copy\_to\_user 的方法预览速率为 6.25 fps。在实际应用中效果并不是很好,改用内存映射式后,可以达到 10 fps,基本满足要求。以 1280 ×1024 分辨率编码保存为 jpg 格式的时间为 2 s,亮度、色彩等各项指标也均达到预期目标。

## 4 结 论

当前的嵌入式处理器内部多嵌有 camera 接口,使嵌入式产品如手机、PDA 等具备图像采集和显示功能。本文给出的 camera 图像处理芯片的驱动程序及应用程序便是一款手机而开发,可以实现流畅地预览和高分辨率抓图功能。在此基础上进一步调整和移植,可以满足丰富多彩的嵌入式系统应用。比如在设备端移植支持 V4L2 的 mpeg4ip 以及 webserver,将采集到的数据上传到网络,便可在主机端通过浏览器观察摄像头数据,构成一个实时远程监控系统等。

### 参 考 文 献

- [1] 张大波. 嵌入式系统原理、设计与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [2] 王剑非,孟彦杰,赵勇. 基于 Linux 操作系统的视频采集卡驱动程序设计[J]. 微计算机信息,2007,(2):102-104.
- [3] 郭剑,赵建. 嵌入式 Linux 的图像采集与显示[J]. 现代电子技术,2006(7):129-131.
- [4] 王培珍,徐俊生. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 图像采集系统设计[J]. 智能控制、检测技术及应用,2007,36(19):89-92.
- [5] 杜春雷. ARM 体系结构与编程[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] DIRKS B. Video for Linux Two [EB/OL]. <http://www.thedirks.org/v4l2/>.
- [7] 阮越广,赵伟胜. 基于 WLAN 的家用安全监控系统的硬件设计[J]. 计算机工程,2008,34(10):256-258.
- [8] 马超,刘政林,邹雪城. SCCB 在 ARM9 嵌入式平台上的实现[J]. 计算机与数字工程,2006,34(7):137-140.
- [9] 柳笛,黎福海,闫旭. 基于 Blackfin DSP 的图像数据采集设计[J]. 计算机系统应用,2008(1):119-122.
- [10] CORBET J, RUBINI A, HARTMAN G K. Linux device driver 3rd Edition[M]. O'Reilly,2005.
- [11] 周晓光,潘延涛. 基于 S3C2440A 的嵌入式视频系统设计[J]. 电子测量技术,2006,29(6):89-91.

### 作 者 简 介



曹占中,男,1984年2月出生,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统、Linux 操作系统。

E-mail: zzcaoclk@gmail.com

周余,男,博士,讲师。主要研究方向为嵌入式系统、Linux 操作系统。

E-mail: nackzhou@gmail.com

王自强,男,副教授,硕士生导师。主要研究方向为嵌入式系统、Linux 操作系统。

E-mail: zqwang@sw-linux.com

都思丹,女,教授,博士生导师。主要研究方向为图像信号与信息处理、Linux 操作系统。

E-mail: coff128@nju.edu.cn