

基于 Linux 的嵌入式视觉系统^①

李 静¹, 郝卫东², 朱剑芳¹

¹(桂林电子科技大学 信息科技学院, 桂林 541004)

²(桂林电子科技大学 机电工程学院, 桂林 541004)

摘 要: 结合当前嵌入式产品的发展方向, 提出了一种基于 ARM9 和 Linux 的嵌入式视觉系统, 阐述了其硬件架构与软件组成, 通过配置和加载各种设备驱动程序, 利用 V4L 接口函数实现图像采集与显示。设计的嵌入式视觉系统体积小, 成本低, 可移植性强, 通过实验波形和数据验证了其具有良好的图像采集和显示性能。

关键词: 嵌入式; 图像采集; 图像显示; 视觉系统测试

Embedded Vision System Based on Linux

LI Jing¹, HAO Wei-Dong², ZHU Jian-Fang¹

¹(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

²(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The embedded technology was becoming more and more popular in various fields. Thus, embedded vision system based on ARM9 and Linux was proposed. It has expounded hardware structure and software composing. The image gather and display's program were written with B4L interface functions by configging and loading kinds of device drivers. The embedded vision system designed has some characteristics such as little volume, low cost and better transplant. The experiment wave and data show it has better performance of image gather and display.

Keywords: embedded technology; image gather; image display; vision system testing

1 引言

视觉系统在现代工业生产自动化系统中应用非常广泛, 主要集中于药品检测分装、印刷色彩检测、集成电路生产、精密电子产品装配、智能机器人识别导航等领域。随着 Internet 的普及, 现代社会已进入后 PC 时代, 嵌入式技术越来越与人们的生活紧密结合。嵌入式视觉系统可通过 USB 总线等将图像的获取、图像处理、显示设备集成于一体, 成本相对较低, 体积小巧, 可以方便地安装在载体身上, 故研究嵌入式的视觉系统具有一定的实际意义。

2 嵌入式视觉系统总体方案设计

嵌入式视觉系统由嵌入式硬件平台、操作系统、图像采集和图像显示四大部分组成, 原理框图如下图 1 所示。

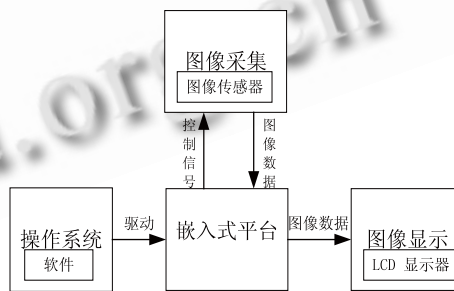


图 1 视觉系统原理框图

S3C2410X 芯片是韩国三星电子公司推出的一款基于 ARM920T 内核的 16/32 位 RISC 嵌入式微处理器^[1]。该芯片集成了支持 TFT 的 LCD 控制器、3 个通道的 UART 等控制器和丰富的外部接口, MPLL 产生主时钟, 能够使处理器工作频率最高达到 203MHz,

① 收稿时间:2010-06-22;收到修改稿时间:2010-07-29

此工作频率能够使处理器轻松运行 WinCE、Linux 等操作系统以及进行较为复杂的数据处理。该芯片可以满足低成本、高速度、低功耗的设计需求，非常适合作为嵌入式视觉系统的硬件平台。

Linux 操作系统同目前广泛应用的嵌入式操作系统如 pSOS、VxWorks、winCE 相比，具有可移植性好、网络功能强、有优秀的 GNU 编译工具支持等优点，更重要的是 Linux 的开放源代码和免费的优点使得系统成本显著降低^[2]，因此选用 Linux 操作系统作为软件开发平台。

3 嵌入式视觉系统硬件设计

3.1 图像采集

选购摄像头，优先考虑 Linux 内核公开支持的摄像头芯片。由于目前 Linux 操作系统使用的内核版本仅自带了 ov511 芯片的摄像头驱动，因此，系统的图像采集模块由 CMOS 图像传感器 OV7620 和后端处理芯片 OV511+组成。本系统在 IIC 总线模式下通过设置 OV7620 的功能寄存器，使 OV7620 工作于连续扫描方式，RGB 原始数据 16 位输出方式。OV7620 有 4 个同步信号：VSYNC(垂直同步信号)、FODD(奇数场同步信号)、HSYNC(水平同步信号)和 PCLK(像素同步信号)^[3]。当采用连续扫描方式时，只使用 VSYNC 和 HSYNC、PCLK 三个同步信号。通过设定内部寄存器，控制输出帧率在 0.5 帧/s~30 帧/s 之间变化，窗口输出设置为：640×480，经过设定后的 OV7620 输出时序如图 2 所示：

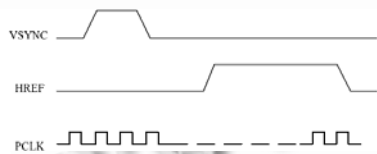


图 2 OV7620 输出时序图

3.2 图像传输

图像采集帧率与数据传输接口的数据传输速率之间的匹配是图像采集的一个重要问题。如果图像传感器的采集频率大于接口的最大可传输数据率，会引起缓冲区内的图像数据堵塞，造成数据混乱，出现无规律的乱码。因此，为了保证图像数据传输时的完整性和可靠性，接口数据的传输速率应满足图像传感器的采集速率。下面是对本采集系统的传输匹配计算。

已知：OV7620 的最大主时钟频率 27MHz，最大数据率 13.5MB/S。以 OV7620 默认输出为例：输出格式 VGA，分辨率 640×480，帧率 15 帧/秒，输出数据格式为 16 位彩色数据。

一帧图像的数据量： $(640 \times 480 \times 16)/8=614400B=0.586MB$

一秒钟的最大数据量： $0.586 \times 15=8.79MB/S$

因为图像采集中图像数据不是连续不断的采集，帧与帧之间有场消隐时间，行与行之间也有行消隐时间，所以 $13.5MB/S > 8.79MB/S$ 。基于这个采集速率，要实现 VGA 图像 15 帧/秒的图像采集，嵌入式主机与 USB 接口速度应与图像传感器的采集速度相匹配，至少不能小于 9MB/S 的速度，否则会出现数据在传输通道中堵塞，致使数据出现混乱。系统采用 USB1.0 作为传输接口，系统采集的图像数据为 9MB/S，USB 传输速率大于 9MB/S，故采集频率与传输频率匹配。

3.3 图像显示

液晶显示器 LCD 以省电和显示大量信息等优点而成为现代仪器仪表用户界面的主要发展方向。本视觉系统采用三菱公司的 8.4' 彩色 TFT—LCD 作为图像显示模块，液晶屏大小为 640×480，型号：AA084VC03。

系统需要两种电源供电，分别是 5V 和 12V。5V 电源用于核心板供电，USB 图像采集模块由核心板供电，12V 电源给液晶屏供电，这些电压由单独的电源模块提供。整个视觉系统的硬件结构图如下图 3 所示。

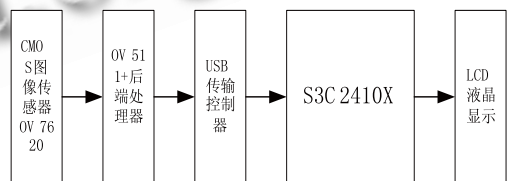


图 3 视觉系统硬件结构图

4 嵌入式视觉系统软件设计

视觉系统软件组成主要包括操作系统、设备驱动程序，图像采集和图像显示程序。操作系统负责整个系统的管理，进程调度等，为用户使用开发板和外部设备提供最基本的接口程序，管理着开发板上的资源。移植 Linux 2.6.14 内核作为嵌入式视觉系统的操作系统。设备驱动程序包括 USB 摄像头驱动和 LCD 液晶屏驱动，通过在 Linux 系统中配置和加载完成。

4.1 图像采集程序

确定 USB 摄像头被正常驱动后, 下一步就是使用 Video4Linux 提供的 API 函数集来编写图像采集程序。具体图像数据的捕获过程为: 打开摄像头设备文件、查询和确认设备性能、设置图像的宽和高、设置色深、建立内存映射、读取图像数据、关闭设备。在上述过程中主要考虑如何读取图像数据, V4L 在内核 include / linux / videodev.h 文件中定义了一些重要的数据结构, 进行图像采集时, 通过对这些数据结构的操作来获得图像数据。首先需要将显示设备的地址映射到系统地址上来, 调用函数 `mmap()`。该函数返回地址就是存放图像数据的地址, 每一帧图像都偏移固定的长度, 而摄像头取得图像会包含若干帧, 这样通过周而复始的进行就可以将图像数据采集下来。具体过程和涉及到的函数如下: :

打开设备文件: `int device = open (/dev/v4l/video0, O_RDWR);`

内存映射: `char* memoryMap = (char*)mmap (0, memoryBuffer.size, PROT_READ PROT_WRITE, MAP_SHARED, device, 0);`

图像数据: `memoryMap + memory Buffer.offsets[bufferIndex]`

4.2 图像显示程序

本系统采用直接将数据写入 `FrameBuffer` 中来显示图像。`FrameBuffer` 设备是运行在 Linux 控制台上的一个优秀的图形接口, 几乎支持所有硬件, 提供了统一的 API 接口, 很好地实现了硬件无关性。`FrameBuffer` 的设备节点是 `/dev/fb*`, 在编译内核时选中 `FrameBuffer`。LCD 显示程序流程图如图 4 所示:

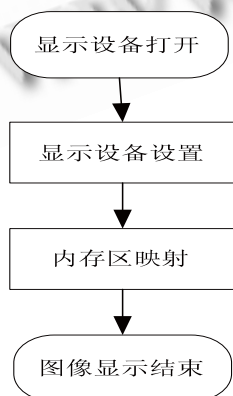


图 4 图像显示程序流程图

应用程序编写完之后, 用交叉编译环境对这个文件进行编译, 没有错误后可生成 `cam` 可执行文件。然后把 `cam` 拷贝到根目录下的 `bin` 文件夹, 在主机 windows 系统超级终端下输入命令:

```
#ln -s /dev/v4l/video0 /dev/video0
```

```
# cam 640 480 16 video0
```

就可以在屏幕上看到采集的图像了。设计的嵌入式视觉系统样机如图 5 所示。

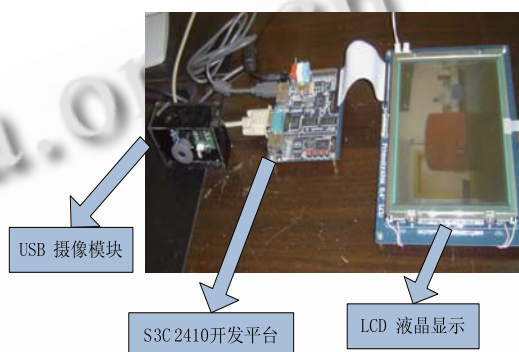


图 5 嵌入式视觉系统样机

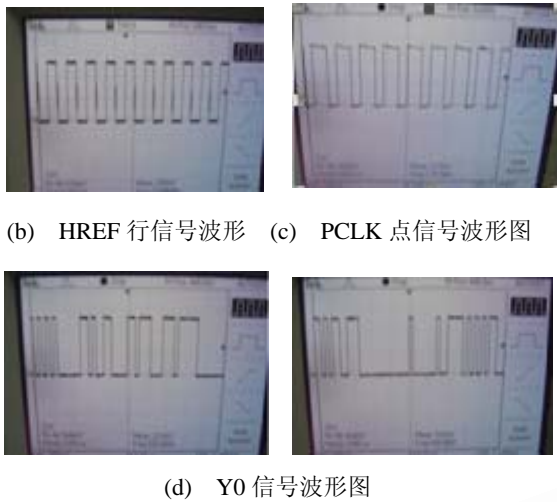
5 视觉系统性能测试

S3C2410 控制板的 I/O 口资源有限, 因此, 对图像采集的控制信号线采用普通 I/O 口, 而不是用中断 I/O 口与其摄像头模块相连, 因此只能用软件实时检测 I/O 的电平状态, 决定何时采集开始, 何时读数据, 何时结束。为了采集到图像数据并能分辨出来, 必须能够跟踪控制信号的变化状态。

由于 I/O 口的电平的变化频率远低于摄像头控制信号的变化频率, 如果不对摄像头模块进行降频处理, 这将导致 I/O 口无法跟踪控制信号变化, 即将无法判断帧、行、点何时开始与结束等状态信息。当摄像头的最高频率(点像素频率最高)降到 1MHZ 左右, 系统就能跟踪并完整的采集到图像信息, 进一步处理之后完好的显示出来。图 6 是示波器对帧、行、点信号及 Y0 信号的波形图。



(a) YSYN 帧信号波形图



(d) Y0 信号波形图

图 6 信号波形图

从上图可以看出，系统的控制信号非常完整和稳定，没有出现毛刺、变形等情况，给检测读取带来了好处。Y0 的波形图有些段是低电平，出现的位置不一样，是因为摄像头移动时，环境光发生了变化，引起整个 Y 数据变化。

表 1 采集到的实验数据(示波器采用 x10 档)

信号	峰-峰 (mV)	平均值 (mV)	周期	频率
YSYN	552mV	6.66mV	177.2mS	5.643Hz
	552mV	5.80mV	176.6mS	5.663Hz
	568mV	5.82mV	176.6mS	5.662Hz
	576mV	5.88mV	176.5mS	5.666Hz
	560mV	5.86mV	176.6mS	5.662Hz
HREF	584mV	329mV	566.0uS	1.767KHz
	584mV	315mV	566.0uS	1.767KHz
	576mV	315mV	566.0uS	1.767KHz
	584mV	313mV	566.0uS	1.767KHz
	584mV	313mV	566.0uS	1.767KHz
PCLK	576mV	257mV	0.9997uS	1.0000MHz
	568mV	255mV	1.0000uS	1.0000MHz
	568mV	255mV	0.9997uS	1.0000MHz
	568mV	254mV	0.9996uS	1.0000MHz
	568mV	255mV	1.0000uS	1.0000MHz
Y0	576mV	239mV	3.0000uS	333.3KHz
	568mV	247mV	3.0000uS	334.3KHz
	576mV	251mV	3.1000uS	333.3KHz
	576mV	251mV	3.1000uS	333.3KHz

把示波器调整到 x10 档，在不同情况下，多次采集 YSYN 信号、HREF 信号、PCLK 信号的峰-峰值、平均值、周期、频率等数据，从 Y0~Y7 中选择 Y0 信号进行观察。从数据中可以看出各信号的峰-峰值变化幅度不大，尤其是信号的频率比较稳定。Y0 数据信号很规整，那么其他数据信号如 Y1~Y7 也是如此。多次实验数据如下表 1 所示。

测试硬件性能稳定之后，在 Linux 系统下把图像采集、图像显示和保存图像命令写成一个脚本，放在文件系统 etc/init.d 目录下。重新把文件系统下载到开发板里，当开机启动后，系统会自动执行图像采集、显示和保存。

6 结论

本文主要基于 S3C2410 开发板和 Linux 操作系统设计了嵌入式视觉系统。该视觉系统不仅可以较好地实现图像采集和显示，还可实现图像存储、网络获取图像等功能，并且可以在该基础上研究图像处理等算法。与基于 PC 组合的视觉系统相比，结构简单，体积和重量减小，功耗低，可移植性强、功能扩展方便，成本显著降低，所以对这种嵌入式视觉系统研究具有相当重要的实用价值。

参考文献

- 1 马忠梅,李善平,康慨,叶楠.ARM and Linux 嵌入式系统教程.北京:北京航空航天大学出版社,2004.42-43.
- 2 林晓飞,刘彬,张辉.基于 ARM 嵌入式 Linux 应用开发与实例教程.北京:清华大学出版社,2007.45-46.
- 3 金宝智.图像传感器:CCD 与 CMOS 的对比.现代电视技术,2005,(5):81-82.