

基于 ARM 嵌入式 Linux 的数据采集系统设计

闫广续¹, 袁纵横¹, 周小林², 王晓辉¹

(1. 桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004;

2. 中国科学院 深圳先进技术研究院健康信息学重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 针对传统数据采集系统的不足, 文中介绍了一种基于 ARM9 的数据采集系统的设计原理和实现方法; 以微处理器 S3C2440A 为核心, 外扩高精度 A/D 芯片 AD7606, 设计了数据采集硬件电路, 分析了 AD7606 和 PWM 定时器的基本工作原理, 借助于移植的嵌入式 Linux 操作系统, 实现了基于 PWM 和 GPIO 口的 ADC 驱动及相应的数据缓冲与软件抗干扰; 测试结果表明, 由 ARM 和 Linux 组成的数据采集系统具有操作方便、采集精度高和测量结果准确等优点。

关键词: ARM; Linux; AD7606; 数据采集

Design of a Data Acquisition System Based on ARM Embedded Linux

Yan Guangxu¹, Yuan Zongheng¹, Zhou Xiaolin², Wang Xiaohui¹

(1. School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. Institute of Biomedical and Health Engineering, Shenzhen Institutes of Advanced Technology,

Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China)

Abstract: According to the deficiency of the traditional data acquisition system, this paper introduces the basic principle and implementation of a ARM9-based data acquisition system. The hardware circuit for data acquisition is designed with the microprocessor S3C2440A as the core and a high-precision, low drift AD7606 chip as a peripheral device. Basic operating principle of the AD7606 and PWM timers are described. By means of transplanting Linux system on ARM, device drivers for ADC using PWM intermediary conversion and GPIO port and the corresponding data buffer as well as anti-interference program are designed and implemented. The test results show that the data acquisition system composed of ARM and Linux is easy to operate and provides accurate measurements with high precision.

Keywords: ARM; Linux; AD7606; data acquisition

0 引言

仪表对数据的采集和处理很多都采用功能完备的微机系统。微机虽然能快速地完成对数据的分析、处理, 但它功耗高、体积大、价格昂贵。一些中档或低档的单片机集成了 A/D 或可外接 A/D 来完成对模拟数据的数字化采集, 但它们在数据处理、数据的曲线绘制、人机交互等方面不能满足要求。随着嵌入式处理器性能的不提高和嵌入式系统在数据采集系统中的广泛应用, 数据采集系统的功耗、体积、价格都在不断降低^[1]。文中以 ARM9 处理器为核心, 结合移植的 Linux 操作系统, 开发了一个集嵌入式控制、高速数据采集、实时处理于一体的通用测试平台。该平台具有 8 通道同步采集能力, 16 bit 采样转换精度, 200 KSPS 的最大采样率, 能对各类现场模拟信号进行高速采集和分析处理, 满足一般工业现场的实际

需求。

1 系统硬件设计

文中基于 TQ2440 开发板进行数据采集电路的硬件设计。TQ2440 是广州天嵌计算机科技有限公司生产的一款 ARM9 开发板, 适用于开发高性能、便携式智能设备、终端及人机交互界面。开发板分为核心板和底板两个部分。核心板由 S3C2440A、电源与复位电路、时钟电路、64M 的 SDRAM 数据存储单元、256M 的 NAND Flash 和 2M 的 NOR Flash 程序存储器构成一个 ARM 最小系统。底板由一些基本的外设和接口组成, 主要包括: UART 接口、USB 接口、SD 卡接口、以太网接口、LCD 接口以及外部总线接口等。系统开发板硬件功能如图 1 所示。

开发板的核心是 SAMSUNG 公司的 ARM9 处理器 S3C2440A。这是一款基于 ARM920T 内核^[2]的 16/32 位嵌入式 RISC 高性能微处理器, 主频高达 532 MHz, 具有 MMU 虚拟内存管理单元, 使得程序运行以及数据存储更加高效, 支持 Linux 操作系统以及进行较为复杂的信息处理。它的低功耗、精简和出色的全静态设计特别适合于低成本和功耗敏感的应用^[3]。

1.1 AD7606 简介及工作原理

本设计采用 AD7606 作为前端模数转换芯片, 该芯片是 ADI 公司推出的 16 位 8 通道同步采样模数转换器, 内置跟踪

收稿日期: 2014-08-29; 修回日期: 2015-03-19。

基金项目: 国家自然科学基金项目(61401453); 深圳市重点实验室提升项目(ZDSY20120617113021359)。

作者简介: 闫广续(1987-), 男, 黑龙江佳木斯人, 硕士研究生, 中国科学院深圳先进技术研究院客座研究生, 主要从事嵌入式系统开发方向的研究。

袁纵横(1957-), 男, 贵州印江人, 教授, 博士, 主要从事光电信息处理及表面等离子应用技术方向的研究。

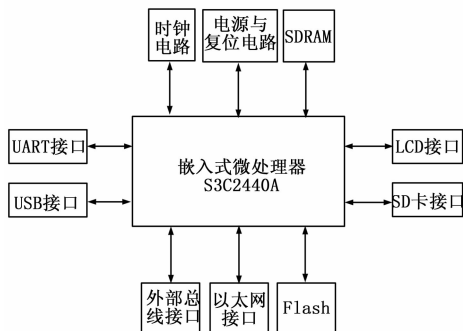


图 1 系统开发板硬件功能框图

保持放大器、16 位电荷再分配逐次逼近型 ADC、2.5 V 片内基准电压源以及高速串行接口和并行接口。采用 5 V 单电源供电, 可以处理 ±10 V 和 ±5 V 真双极性输入信号, 同时所有通道均能以高达 200KSPS 的吞吐速率采样^[4]。

下面分析 AD7606 的串行传输模式^[4]。AD7606 在 CONVST 信号的上升沿触发 ADC 同步采样, 其模数转换开始且 BUSY 信号同步置高, 而 BUSY 信号的下降沿则表示模数转换的完成。此时, AD7606 内部的 8 个寄存器中已保存了转换完成的数据, 然后通过控制片选信号和读信号时钟 SCLK 就可以依次读出 8 通道的数据, 其中读取一个通道的数据的时序图如图 2 所示。

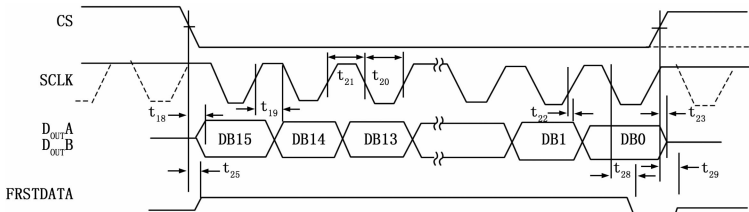


图 2 AD7606 数据读取时序图

1.2 接口电路设计

AD7606 电路原理图如图 3 所示, 具体硬件配置如下。

- 1) 设置 RANGE=0, 模拟输入电压范围为 ±5 V。
- 2) 设置/PAR/SER/BYTE SEL 为高电平, 选择使用高速串行接口模式。
- 3) CONVST_A 与 CONVST_B 短接, 使用同源激励, 所有模拟输入通道进行同步采样。
- 4) 为了提高采样速度, 设置过采样模式引脚 OS [2: 0] = 000, 即无过采样。

S3C2440 配置方式:

- 1) 输出端口设置 GPG3、GPB8、GPG14 和 GPB5~GPB7

为 GPIO 输出, 分别用来控制 AD7606 的复位信号 RESET, 模拟输入量程 RANGE, 第一通道 V1 采样控制 FRSTDATA, 过采样模式 OS0~OS2。

2) 输入端口设置 GPG1 为外部中断输入, 用于接收 A/D 采样转换完成信号 BUSY。

3) 功能端口设置 GPB1 为定时器 Timer1, 输出的 PWM 用来控制 A/D 启动转换信号 CONVST。

4) ARM 的 SPI 接口中的串行时钟 SCLK 作为 AD7606 读信号时钟 SCLK, 从设备使能 nSS 作为 AD7606 的片选信号, 主输入从输出 MISO 引脚接到 AD 芯片的数据输出端 DOUTA。其中将 S3C2440 设为主设备, AD7606 为从设备,

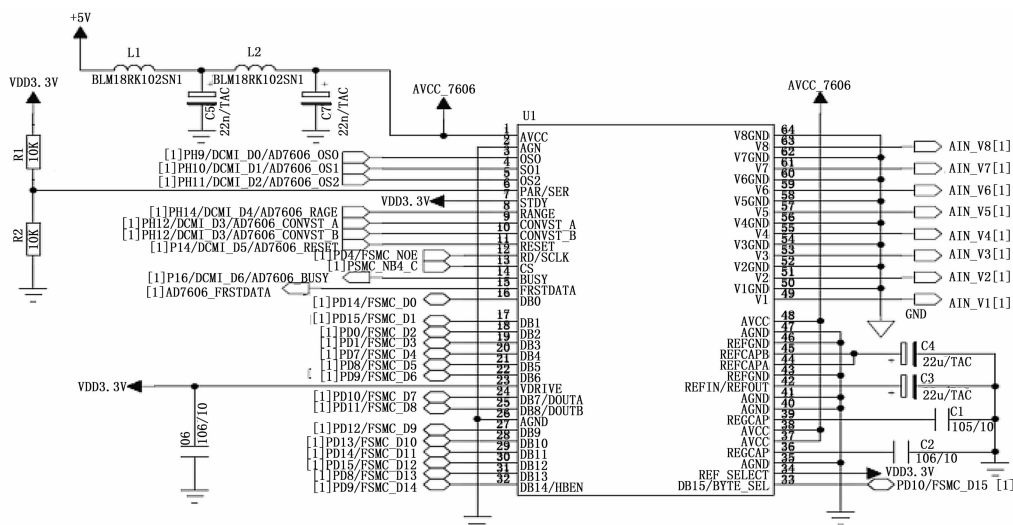


图 3 AD7606 电路原理图

SPI 串行时钟信号由 S3C2440 中的 PCLK 分频得到, 具体连接示意图如图 4 所示。

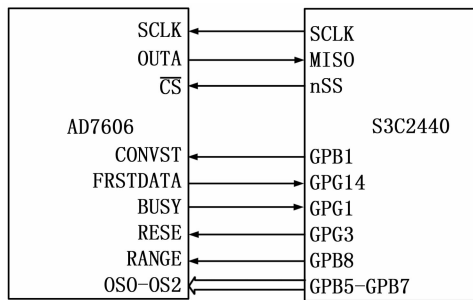


图 4 AD7606 和 S3C2440 的连接示意图

2 系统软件设计

软件的设计是在操作系统上实现的, 嵌入式操作系统是整个系统的核心。由于 Linux 系统具有开源、稳定、高效、易于开发图形界面和实现网络传输的优点, 本系统软件平台采用多任务嵌入式操作系统 Linux 来实现, 改变了传统的在类似硬件平台下采用单用户、单任务操作系统难以完成较为复杂的分布式多任务的缺点。在数据采集系统中, Linux 系统可以同时处理多个传感器发送来的较为复杂的控制任务, 从而提高系统的整体响应速度及并发处理能力^[5]。

本设计使用 Linux 最流行的发行版之一 Ubuntu 13.04 桌面版作为宿主机开发环境。通过串口线与网线连接 TQ2440 开发板进行通信。宿主机运行终端模拟程序作为开发板的控制台，并通过以太网传送文件和程序，以虚拟终端的形式在宿主机上显示目标程序的运行结果。在这种模式下，包括 Boot Loader、内核、根文件系统及应用程序都存放在开发板的 NAND Flash 中。其中终端模拟程序是 CuteCom，一个 Ubuntu 下图形化的串口调试工具。以太网连接用于下载内核和根文件系统的映像。在开发板上运行嵌入式 Linux 后，可以在宿主机和开发板之间实现 Linux 强大的网络通讯功能。例如，可以通过 NFS（网络文件系统）来挂载共享目录并运行目标程序。

嵌入式 Linux 开发的核心工具是天嵌公司制作的交叉编译工具链：arm-linux-gcc-4.3.3。此交叉编译工具包括 GCC 编译器、GDB 调试器、Glibc 库等，且符合 EABI（Embedded Application Binary Interface，嵌入式应用程序二进制接口）标准，支持软件浮点和硬件实现浮点运算的功能混用，兼容性好。

2.1 数据缓冲区设计

在高速的数据采集过程中，要求数据存储与 S3C2440 读数据同时进行，如果没有数据缓冲区，则有可能出现数据丢失等现象。本设计提出基于环形缓冲（Ring Buffer）模式的缓冲区可以很好地解决这个矛盾。

环形缓冲区是一种先进先出的循环缓冲区，相对于队列减少了对地址的反复操作，增加了稳定性，被广泛应用在不同领域中，如嵌入式操作系统^[6]、数据采集、网关设计等。环形缓冲区采用生产者消费者模型同步数据写入和读出操作，降低生产者消费者间的耦合程度，并有效地解决忙闲不均的问题。其中生产者向缓冲区中放入数据，消费者从缓冲区提取数据，本设计环形缓冲区有一个队头指针和一个队尾指针。队头指针指向环形缓冲区中可读的数据，队尾指针指向环形缓冲区中可写的数据。两个指针都初始化为零，指向环形缓冲区数组的起始位置。通过移动队头指针和队尾指针实现环形缓冲区数据的写入和读取。环形缓冲区的读用户（消费者）仅仅使用队头指针，写用户（生产者）仅仅使用队尾指针。环形缓冲区的优点是当消费者取出一个数据后，其他排队的数不需要往前移动而消耗处理器资源，而且本系统中只有一个读用户和一个写用户，不需要添加互斥保护机制就可以保证数据的正确性，从而提高程序的执行效率，并且避免任务间竞争所造成的不一致性。

2.2 设备驱动程序

由于在 Linux 上无法通过软件定时器实现对 ADC 的精确定时，所以选用 S3C2440 的 PWM 硬件定时器对 ADC 进行精确定时采样控制，解决了软件定时器的定时问题。因此必须实现基于 PWM 定时器、SPI 接口和 GPIO 口的 ADC 驱动。

本系统是基于裁减过的 Linux2.6.35 内核，数据采集芯片驱动程序以字符设备块的形式加载到 Linux 内核里，在 Linux 操作系统下，设备驱动程序是和文件紧密结合的，各个设备驱动程序都以文件的形式存放在 dev 目录下，称为设备文件。应用程序可以打开、关闭和读写这些设备文件，完成对设备的操

作，就像操作普通的数据文件一样。用户进程对设备文件的操作方式就是一些系统调用。为了将系统调用和设备驱动联系起来，Linux 为所有的设备文件都提供了统一的操作函数接口，其操作都封装在 file_operations 这个结构体里面。Linux 内核将通过 file_operations 结构进入具体的设备文件的操作函数^[7]，例如：当上层应用程序通过操作系统调用 read() 读取采集数据时，就是通过 file_operations 数据结构调用 adc_read() 函数来完成的。在本设计中主要用到以下几个函数接口：

```
static struct file_operations dev_fops =
{
    .owner = THIS_MODULE,
    .open = adc_open,
    .read = adc_read,
    .ioctl = adc_ioctl,
    .release = adc_release,
};
```

open(): 打开设备，申请中断，I/O 初始化，PWM 定时器初始化，SPI 初始化。

read(): 读取 ADC 数据。

ioctl(): 执行预定义的系统命令，包括控制系统的采样率、模拟输入电压范围、过采样率、缓冲区长度。

release(): 释放所有申请的资源。

其中使用 PWM 定时器功能的步骤如下：

- 1) 分别设置定时器 1 的预分频器值和时钟分频值，以供定时器 1 的比较缓存寄存器和计数缓存寄存器用；
- 2) 设置比较缓存寄存器 TCMPB1 和计数缓存寄存器 TCNTB1 的初始值（即定时器 1 的输出时钟频率）；
- 3) 关闭定时器 1 的死区生成器；
- 4) 开启定时器 1 的自动重载；
- 5) 关闭定时器 1 的反相器；
- 6) 开启定时器 1 的手动更新 TCNTB1&TCMPB1 功能；
- 7) 启动定时器 1；
- 8) 清除定时器 1 的手动更新 TCNTB1&TCMPB1 功能。

定时器输出频率 = PCLK / { 预分频器值 + 1 } / 时钟分频值。

根据 AD7606 与 PWM 的工作原理，其驱动的大致过程如下：初始化 PWM、SPI 和 GPIO 相关寄存器，设置好 PWM 的 TCNTB1 和 TCMPB1，TCNTB1 的值决定 PWM 输出的频率，TCMPB1 的值决定 PWM 定时器 1 的管脚状态反转时间，当 PWM 定时器输出管脚状态为上升沿时，触发 A/D 开始采样转换，当转换完毕，BUSY 信号变为低电平同时给 ARM 一个外部中断信号，在中断服务程序中读取 8 通道的转换数据存放在缓冲区里，若 Ring Buffer 满则停止 PWM 定时器，并把 Ring Buffer 中数据拷贝到用户空间。图 5 为系统数据采集部分的主程序和中断程序流程图。

2.3 软件抗干扰

嵌入式系统在实际应用中，会受到来自外界和系统内部的各种干扰，这样会造成系统的测量误差，降低系统的检测精度，严重的还会造成控制器的错误动作，产生严重的后果。所以为了提高系统的可靠性，需要采取相应的措施来抑制干扰，

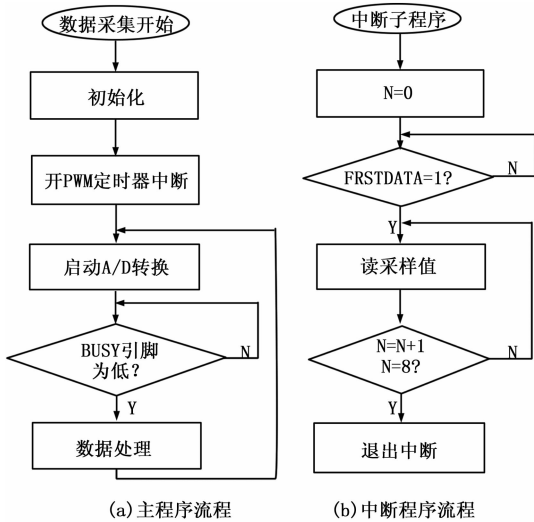


图 5 采集主程序和中断程序流程图

保证系统稳定可靠的运行。一般通过软件或者是硬件的方法来抑制干扰, 如数字滤波或是模拟滤波, 但与模拟滤波器相比, 数字滤波器有以下几个优点:

- 1) 数字滤波用软件实现, 不需要增加设备, 所以可靠性高、稳定性好, 可重复擦写;
- 2) 数字滤波可以对频率很低 (如 0.01 Hz) 的信号实行滤波, 而模拟滤波器由于受电容容量的限制, 频率不能太低;
- 3) 数字滤波器可以根据信号的不同, 采用不同的滤波方法或滤波参数, 具有灵活、方便、功能强的特点。所以本设计采用软件的方法来抑制干扰。

本设计采用程序判断滤波法^[8]。工程实践表明, 许多物理量的变化都存在一定的范围, 相邻两次采样值和之间的变化肯定会有一定的限度。程序判断滤波就是根据实践经验确定出相邻两次采样信号之间可能出现的最大偏差为, 若实际相邻两次采样值超出或等于此偏差值, 则表明发生了干扰, 剔除该数据, 并用代替; 若小于此偏差值, 可将该信号作为本次采样值。这样可以近似推出:

由以上介绍不难看出, 程序滤波法对于克服尖峰干扰比较有效, 实验证明, 当使用程序滤波法进行滤波后, 能有效的降低数据的错误率, 提高系统的抗干扰性能, 对低频信号, 尤其是生物医学信号特别适用。

3 系统测试

利用信号发生器产生 10 Hz 峰峰值为 2 V 的标准正弦波, 接入到 ADC 的第一通道, 设置 PWM 定时器 1 频率为 250 Hz, ADC 量程为 5 V, 并通过驱动读取采样数据, 通过示波器观察定时器输出波形如图 6 所示, 采集到的数据波形显示如图 7 所示。从图 6 可以看出, PWM 定时器 1 的实际频率为 250.02 Hz, 误差为 0.02 Hz, 即系统的采样率误差较小。由图可知, 本系统能够准确地采集数据, 且数据转换精度高、误差小, 达到了预期的效果。

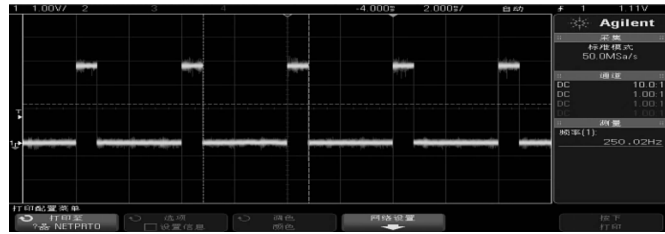


图 6 PWM 定时器的输出波形

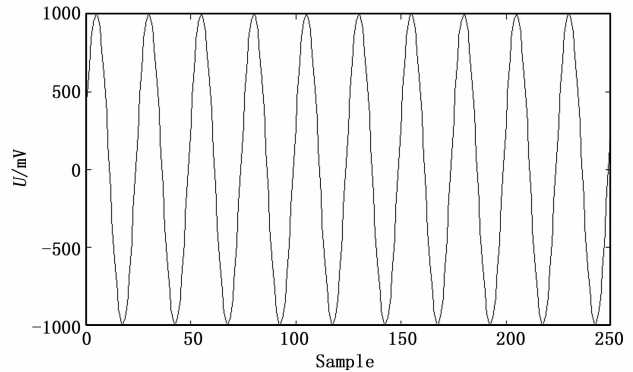


图 7 采集到的数据波形

4 结束语

文中提出了一种基于 ARM 和 Linux 的通用数据采集系统的设计思路, 设计了 S3C2440 与 AD7606 的接口电路, 搭建了嵌入式 Linux 系统采集平台, 实现了对 ADC 精确定时采样、数据缓冲及软件抗干扰, 系统级的管理使得开发良好的人机交互界面变得简单, 为其它嵌入式数据采集系统提供了软硬件设计参考, 在工业检测、地质监测、智能仪表、医疗护理等领域有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 何立民, 嵌入式系统的定义与发展历史 [J]. 单片机及嵌入式系统应用, 2004 (1): 5-8.
- [2] ARM Limited, ARM920T (Rev 1) Technical Reference Manual [R]. 2000.
- [3] 李 剑, 赵鹏程, 汤建彬. 32 位 ARM 嵌入式处理器的调试技术 [J]. 电子技术应用, 2003, 29 (3): 25-27.
- [4] AD7606 datasheet. 8-Channel DAS with 16-Bit, Bipolar Input, Simultaneous Sampling ADC [R], Analog Device Inc., 2010.
- [5] 张宏社, 王建民. 基于 Linux 的嵌入式数据采集系统 [J]. 微机计算机信息, 2008 (24): 101-102.
- [6] 王亚军, 李建文, 吉 方. 基于环形缓冲区的实时系统负载平衡技术 [J]. 计算机应用与软件, 2005, 22 (4): 38-39.
- [7] 徐 伟, 胡志忠, 肖前贵, 等. AD7490 与 AT91RM9200 的 SPI 接口及其驱动程序的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (10): 2089-2091.
- [8] 王 欣, 等. 离散信号的滤波 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.