

便携式双核数据记录仪的研究*

童祖兵 李丹

(安徽工业大学电气与信息工程学院 安徽 243000)

摘要: 为了满足实验室数据测试和记录的需求,提出了一种采用 S3C2440 和 MC9S12XS128 双核结构,结合开源 LINUX 系统,实现高精度采集的便携式双核数据记录仪设计方案。硬件包括操作系统模块和数据采集卡模块。应用程序采用多线程及数据库技术,提高了软件的运行效率。在数据通讯部分开发了相应的数据采集卡驱动程序及通讯协议,提高系统的稳定性。实验结果表明,该记录仪能以 0.08 s 的记录间隔同时采集记录多通道数据,存储速度快;可通过 SD 卡和 USB 移动存储设备扩展存储空间,存储容量大;标准电压采集精度可达 0.02 级,满足实验室的使用要求。

关键词: 无纸记录仪;嵌入式系统;LINUX;双核设计

中图分类号: TH85⁺5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

Research on portable dual-core data recorder

Tong Zubing Li Dan

(Anhui University of Technology College of Electrical and Information Engineering, Anhui 243000, China)

Abstract: In order to meet the demand of laboratory data test and record, a scheme of portable data recorder with high precision acquisition and dual core structure-S3C2440 and MC9S12XS128, combined with the open source LINUX system is proposed. The hardware includes the operating system module and data acquisition card module. The application program using the multi thread and database technology has improved the operation efficiency of software. In the data communication part, the corresponding data acquisition card driver program and the communication protocol is designed to improve the stability of the system. Experimental results show that the recorder can collect and record multi-channel data in 0.08 s interval with high storage speed, and expend the storage space with the SD card and USB removable storage devices-large storage capacity, and the standard voltage acquisition can reach the level of 0.02, which can meet the demand of laboratory.

Keywords: paperless recorder; embedded system; LINUX; dual-core design

1 引言

在工业自动化控制系统的研制及使用过程中,记录仪在其中起到了重要的作用,它可以对生产过程的一些重要的参数进行采集、记录、显示。随着科技和社会的发展,记录仪也在不断发展,从传统的机械纸质记录到现今的无纸数字记录,从只用于工业的记录仪到现在可用于各行各业的记录仪,从最初的只具有单一记录功能到集记录、显示、传输等多种功能在一起^[1-2]。记录仪正在朝着多功能、多领域的方向发展,而人们对于记录仪的要求也越来越高。

但是,目前市场上的便携式记录仪普遍具有数据存储方式落后且维护成本较高,精度低,存储速率低,存储数据

不便于数据分析等缺点,不便于在实验室中使用^[3]。本文针对实验室使用条件,设计一款便携式双核数据记录仪,通过双核的协同运作,可以实现万能输入、实时显示、高精度采集及高速存储,其可连续存储时间长且存储的文件可以方便地被常用的数据处理软件如 EXCEL、ORIGIN 等直接打开。

2 系统框架设计

记录仪通过双核设计实现对标准电压、标准电流、电阻和热电偶信号等多种信号的高精度采集和高速存储^[4]。其中,主核实现 LINUX 系统及应用程序的运行,完成数据处理、显示及存储功能,而副核实现数据高速高精度采集以及工业控制功能。

收稿日期:2015-03

* 基金项目:国家自然科学基金(51307003)、安徽省教育厅自然科学研究重点项目(KJ2012A040)资助项目

2.1 系统硬件框架

记录仪的硬件框架如图1所示,系统的双核分别是操作系统核心微处理器(MPU, micro processor unit)和数据采集卡核心微控制器(MCU, micro control unit), MPU为系统主核,采用的是ARM9架构的S3C2440, MCU为系统副核,采用的是飞思卡尔16位微控制器MC9S12XS128。操作系统模块为Linux系统运行提供硬件平台,用户程序运行于Linux系统,实现记录仪的主要应用功能,用于将数据采集卡模块传来的数据显示、处理并转存;数据采集卡模块可以实现对多种传感器信号的采集,采集电路中采用24位高精度AD芯片以实现高精度采集^[5-6];驱动电路可实现工业控制。通过双模块之间的协调工作实现系统功能。

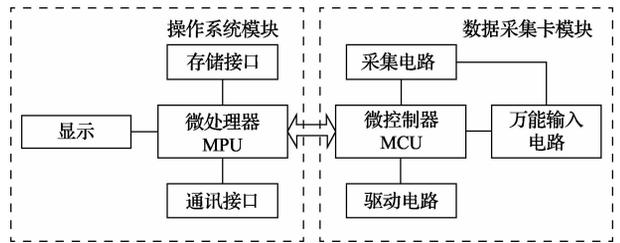


图1 硬件框架图

2.2 系统软件框架

如图2所示,记录仪的软件框架包括两部分,分别是:系统板程序和采集板程序。

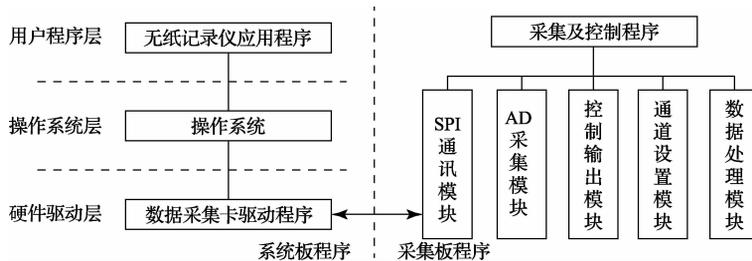


图2 软件框架图

系统板程序运行与操作系统模块,分为用户程序层、操作系统层以及硬件驱动层。硬件驱动层是针对于硬件框架图中的数据采集卡模块所编写的数据采集卡驱动程序,用来实现双核之间的通讯,方便用户程序在系统层面上对数据采集卡进行指令和数据操作。运行于用户程序层的无纸记录仪应用程序,以Linux操作系统为基础,通过调用数据采集卡驱动程序,完成双核通讯,实现记录仪的功能,包括实时显示、高速存储以及文件转存等。

采集板程序运行在MCU上,主要实现数据采集及工业控制。SPI(serial peripheral interface)通讯模块实现与系统板程序中的硬件驱动层之间的通讯完成双核之间的数据交互;AD采集模块完成对24位高精度AD芯片的初始化与数据采集操作;数据处理模块将AD采集到的数据经过滤波及非线性补偿等处理,提高数据准确性;通道设置模块实现每个输入通道输入参数的设置,实现通道的万能输入;控制输出模块实现工业控制要求。

3 系统板程序设计

系统板程序设计分为数据采集卡驱动设计、操作系统移植以及无纸记录仪用户程序(以下简称应用程序)设计三个方面。

3.1 数据采集卡驱动设计

数据采集卡驱动要实现MCU与MPU之间的快速通讯,采用SPI工作方式,以字符设备驱动。

根据系统设计的要求,数据采集卡驱动需要提供SPI初始化功能、SPI发送与接收功能以及SPI关闭功能。应用程序

调用数据采集卡驱动后,先初始化SPI,然后再应用SPI发送与接收功能实现双核之间的数据交互。在系统关闭之前需要通过驱动提供的SPI关闭功能以关闭SPI、释放SPI。

具体实现时,数据采集卡驱动采用Linux系统提供的字符设备驱动接口,实现接口中的open、write以及release三个方法,分别提供SPI初始化功能、SPI发送与接收功能以及SPI关闭功能。其file_operations结构声明如下:

```
static const struct file_operations spi_fops =
{
    .owner = THIS_MODULE,
    .open = spi_open,
    .write = spi_write,
    .release = spi_release,
}
```

该声明采用了标准C的标记化结构初始化语法,将驱动中open、write、release三个方法分别指向spi_open、spi_write、spi_release三个函数。

open方法提供给驱动程序以初始化能力,为后续的操作完成初始化准备,通过调用spi_open函数实现。本驱动的open方法主要完成对MPU的SPI初始化,包括SPI时钟使能、端口复用使能、端口寄存器初始化、SPI寄存器初始化以及SPI使能。

release方法与open方法作用相反,用于释放已打开设备所占用的内存,并将该设备关闭,通过调用spi_release函数实现。

write方法一般用于将用户空间数据转移到内核,然

后内核将这些数据发送到对应的设备。对于一般的 SPI 工作方式,采用一问一答模式,write 方法相当于 SPI 发送函数即“问”操作,而“答”操作由 read 方法实现。在本系统中,为了提高通讯速率,SPI 采用同步问答模式,即在“问”的同时,做出“答”,所以在本驱动中,write 方法不仅将用户空间数据转移到内核,同时还将在内核从设备中获得的反馈数据转移到用户空间中,实现读写双向同步通讯,提高通讯速度。关键实现代码如下:

```
static ssize_t spi_write(struct file * filp, const char __
user * buf, size_t count, loff_t * f_ops)
{
    int i;
    char * writedata; //用户空间写入区
    char * back; //用户空间返回区
    kbuf_size = count; //发送与接收数据大小
    .....
    for(i=0; i<kbuf_size; i++)
    {
        .....
        back[i] = writeByte(writedata[i]); //收发数据
        .....
    }
    .....
    //拷贝设备反馈数据到用户空间
    copy_to_user(buf, back, kbuf_size);
    .....
}
```

3.2 操作系统移植

记录仪采用 LINUX 操作系统, LINUX 作为主流操作系统之一,是一个可用于多种硬件体系结构的开源操作系统。目前可以在 i386、MIPS、ARM 等硬件体系结构上运行,但是实际运行于特定的硬件环境上时,操作系统的文件系统、存储管理、设备驱动等,多需要一些修改,这就是操作系统的移植^[7]。

操作系统的移植步骤^[8]分为 4 步:

- 1) 分区 Nand Flash
- 2) 移植 BOOTLOADER
- 3) 移植 LINUX 内核
- 4) 安装文件系统

记录仪终端应用程序采用 QT 编写,为了保证 QT 应用程序能够运行在移植好的操作系统上,在操作系统移植时,还需要完成 QT 在 LINUX 上的移植。

3.3 无纸记录仪终端应用程序

3.3.1 应用程序框架设计

记录仪的应用程序运行在 LINUX 系统上,采用 QT 编写。QT 采用 framebuffer 底层图形引擎,具有丰富的图形库,并支持第三方图形库,便于设计更具界面友好度的

用户界面,同时 QT 是跨平台 C++ 图形用户界面应用程序开发程序,采用面向对象的框架,便于扩展移植。

记录仪的应用程序的主要功能包括数据接收、数据处理以及人机交互,由于三个功能可并行工作,该软件采用多线程编程技术,即将主界面程序作为主线程,在主线程中开辟数据接收和数据处理两个子线程,在提高程序执行效率的同时也充分发挥了系统编程的优点。其应用架构如图 3 所示:

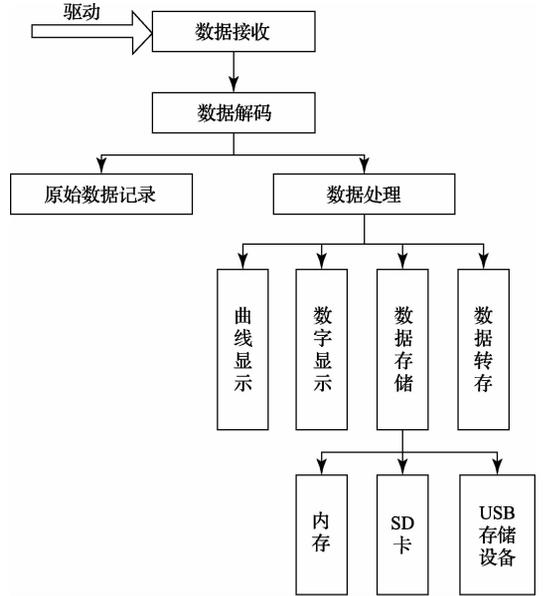


图 3 无纸记录仪应用架构

3.3.2 程序功能设计

如图 3 所示,数据接收到后,需要对数据进行两步重要的处理即数据解码和数据处理^[9]。

为保证通讯双方的成功通讯,需要通讯双方采用统一通讯协议。系统采用的通讯协议是 SPI 协议,但是为了保证通讯可靠性及数据的易处理性,在通讯协议之上,开发一套用户协议。该协议中规定了双核通讯时,数据的编解码方式。无纸记录仪终端应用程序架构中的数据解码则是依据用户协议,实现对接收到的数据进行解码,得到原始数据。

应用程序从数据采集卡模块接收的数据经过数据解码后得到的是数据采集卡模块采集的原始数据,其本质是不同的传感器输入信号经过万能输入电路处理后,转为的电压数据。数据处理的内容就是将采集来的原始数据精确地转换为传感器所测量的物理量,包括两个过程,分别是将原始数据转换为万能输入电路处理前的信号即传感器的输出信号,以及将传感器输出信号转换为测量的物理量即物理量回归。

为了保证数据存储有足够的空间,在数据存储时,提供 3 种存储方式,分别为内存存储、SD 卡存储以及 USB 设备存储。

3.3.3 关键技术实现

数据解码所依据的用户协议依托于 SPI 通讯,定义了通讯的数据格式。该协议中定义数据以帧形式通讯。帧数据格式定义如图 4 所示,每帧数据包括帧起始码、帧终止码、通道号段、通道参数段、通道数据段。其中帧起始码、帧终止码、通道号段及通道参数段各占一个字节,通道数据段占 8 个字节,包含通道采集数据及通道控制数据。通道数据段中的每字节均包含两部分:数据及数据位置,用于防止数据移位,保证通讯稳定性及正确性。



图 4 帧数据图

在数据处理的物理量回归过程中,考虑到热电偶信号的非线性,难以用统一的数学表达式描述其输入与输出的关系,为保证数据的正确性,采用查表法进行物理量回归。在程序实现时,为了保证查表快速性及准确性,需要将分度表存入内存中,但内存中数据断电后丢失,不适合长期存储。为解决上述问题,将分度表以数据库形式存在存储器中,在程序运行时,以 HASH 表的形式导入内存中,从而实现快速查表^[10-11]。

经过数据处理后的数据采用 SQLite 数据库技术存储在大量容量的存储器中,必要时可扩充存储在外部存储器中。SQLite 数据库一款轻型的数据库,遵守 ACID,专门服务于嵌入式,支持多语言多系统,可以在占用非常低的资源的情况下,实现数据库功能^[12-14]。

存储在 SQLite 中的数据为了便于被常用数据处理软件处理,通过调用 QT 提供的 QDataStream 类提取 SQLite 中的数据,并以一定的格式转存,使转存后的数据符合数据处理软件格式。

4 采集板程序设计

采集板程序运行与数据采集卡模块,实现数据采集及工业控制。

数据采集卡模块采集的是多种传感器信号,根据传感器的输出信号类型可以分为标准电压信号、标准电流信号、电阻信号以及热电偶信号。不同的传感器输入信号经过万能输入电路处理后,转为电压信号,被采集电路采集,得到原始数据^[15]。

由于数据采集卡模块电路中的电磁干扰等问题,所采集的原始数据中含有干扰信号,会影响数据的准确性。为了提高系统的数据精度,将采集的原始数据经过滤波处理后,传输给系统板程序^[2]。再者,万能输入电路中含有放大电路,数据采集类型切换电路等,会导致采集的原始数据含有电路非线性化信息,所以还需要对原始数据进行非线性补偿。

采集板的采集程序流程如图 5 所示,控制程序流程如

图 6 所示:

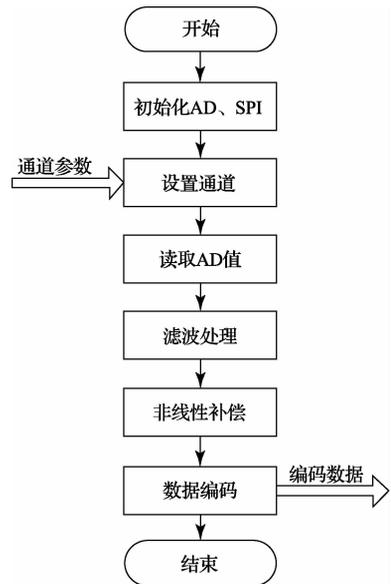


图 5 采集程序流程图

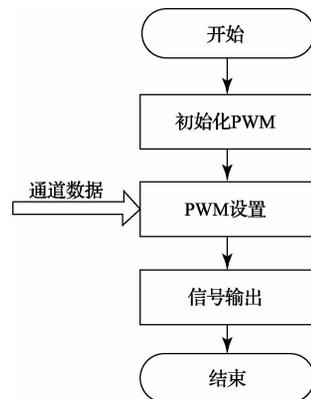


图 6 控制程序流程图

5 实验结果

无纸记录仪终端应用程序采用 QT 编写,其数字显示与曲线显示界面分别如图 7 和图 8 所示。

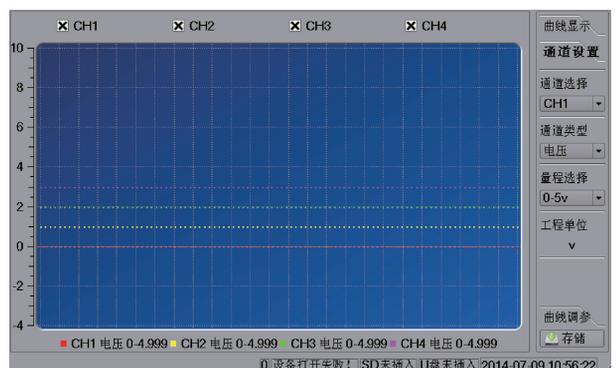


图 7 曲线显示图

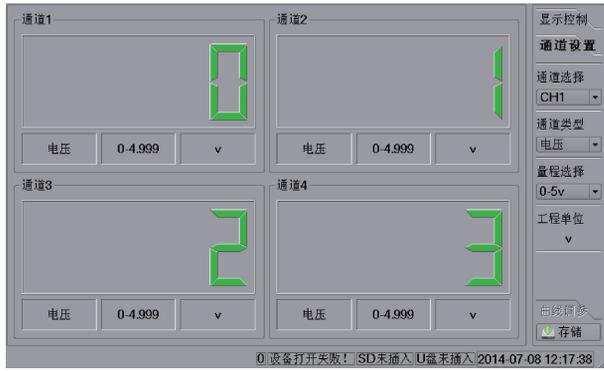


图 8 数据显示图

由数据采集卡工作原理可以知道对所有传感器信号的测量最终都转化为对电压信号的采集,即数据采集卡对标准电压信号的采集误差直接反映无纸记录仪的采集精度。图 9 是数据采集卡对标准电压信号的采集误差图。

由图 9 可以得到,数据采集卡的标准电压采集精度为 0.02,在考虑电路干扰等问题前提下,该精度能够满足无纸记录仪的精度需求。

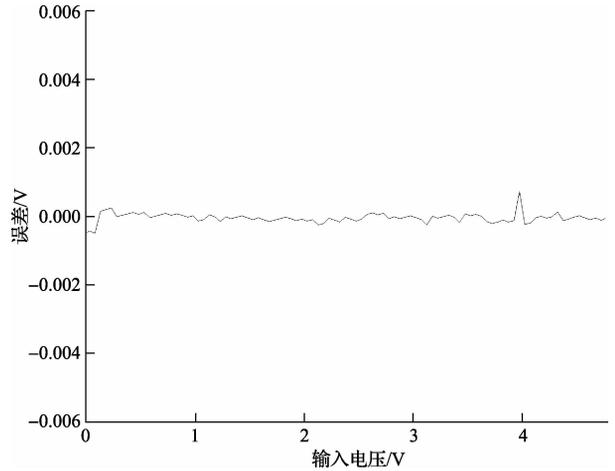


图 9 标准电压采集误差图

在保证精度的前提下,实现多通道同步高速存储。经实验验证,多通道同时每分钟存储个数平均 694 个记录,平均存储频率为 11.57 Hz,记录间隔为 0.08 s,大大高于传统无纸记录仪。表 1 为连续一个小时内每 10 分钟内的记录数。

表 1 测量结果

时间段/min	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	平均记录
记录数/个	671	695	699	701	702	696	694

6 结 论

本文所提出的便携式双核无纸记录仪硬件上采用 MPU 与 MCU 相结合的双核设计,结合硬件结构设计相应的驱动程序,开发通讯协议,编写相应软件程序。软件中采用 QT 图形化设计,并应用多线程及数据库技术,完善软件功能。分析表明设计方案充分利用了双核协同工作能力及实时操作系统的实时性、可扩展性,在保证无纸记录仪的采集精度及采集速度的前提下,提供了足够的存储空间,大大提高无纸记录仪的工作效率,满足实验室的使用要求。

参考文献

- [1] 刘立阳,张金成. 基于 ARM & WinCE 的无纸记录仪[J]. 仪表技术与传感器,2011(8):28-30.
- [2] 秦红勇,魏守水,徐从娟,等. 基于 ARM 和 WinCE 系统的圆图无纸记录仪的设计[J]. 自动化仪表,2011(32):81-84.
- [3] 魏中天. 无纸记录仪:中国,201010156637.1[P]. 2011-11-09.
- [4] 胡祥超,李艳洁,赵新华,等. 便携式野外传感器原位数据采集系统设计[J]. 传感器与微系统,2014,33(10):69-72.

- [5] 程燕胜,宗群,吴宏硕. 基于 ARM+FPGA 的微陀螺仪数据采集处理系统设计[J]. 传感器与微系统,2013,32(8):75-77.
- [6] 杨扩军,田书林,蒋俊,等. 基于 TIADC 的 20GS/s 高速数据采集系统[J]. 仪器仪表学报,2014,35(4):841-848.
- [7] PATEL J J, REDDY N, KUMARI P, et al. Embedded Linux platform for data acquisition systems[J]. Fusion Engineering and Design, 2014, 89(5): 684-688.
- [8] 路青起,席丹丹. 嵌入式 Linux 系统移植[J]. 国外电子测量技术,2014,33(12):78-81.
- [9] WANG J N, WANG W. The common data acquisition system based on Arm9 [C]//2011 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI), IEEE, 2011(3):324-327.
- [10] 宋鹏飞,王厚军,曾浩. 高速深存储数据采集系统研究与设计[J]. 仪器仪表学报,2011,32(4):903-912.
- [11] 陈科,张建庭,郑红梅,等. 塔机信号采集与存储系统的设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(8):892-900.

(下转第 95 页)