

电网远程监控的实现

刘冬明,李正明,刘军良

(江苏大学 电气信息工程学院,江苏 镇江 212013)

摘要: 介绍了电网远程监控系统,详细描述了电网监测仪硬件设计和以太网控制器 RTL8019AS,并在实时操作系统平台上移植 LwIP 协议栈,编写网络设备的驱动程序,然后介绍了软件各模块及系统流程图,从而实现网络通信,达到电网远程监控的目的。

关键词: 电网监测仪; RTL8019AS; LwIP; 网络通信

中图分类号: TM 764.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)08-0073-04

嵌入式系统,目前国内一个普遍的定义是:以应用为中心、以计算机技术为基础,软硬件可裁剪,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求的专用计算机系统^[1]。嵌入式远程电网监测系统将现代计算机、通信、网络及自动化技术融为一体,对配电网进行远程监测、协调和控制,从而优化配电网。

1 系统设计

如图 1 所示,电网远程监控系统由电网监测仪和远程控制中心组成。电网监测仪由 ARM7TDMI 核的 S3C 44B0X 微处理器和 RTL 8019AS 以太网控制器组成硬件平台,在嵌入式实时操作系统 $\mu C/OS-II$ 软件平台上移植 LwIP 协议栈,并编写网络设备的驱动程序,实现以太网通信功能。该电网监测仪的微处理器实现电网数据采集、数据处理和采集模块的控制功

能,而以太网控制器通过以太网接收远程主机的命令和向远程主机发送采集数据以及当前状态信息。

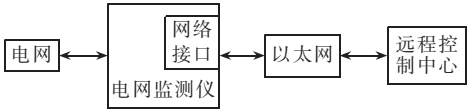


图 1 电网远程监控系统框图

Fig.1 The block diagram of electrical network remote monitoring system

2 电网监测仪硬件设计

电压电流互感器、多路线路转换模块、电压电流监测模块、功率因数监测模块和 S3C 44B0X 的 ADC 转换电路构成测量模块,如图 2 所示,可以把监测的电压、电流、功率因数模拟量转换为微处理器所能识别的数字量。

LCD 显示模块显示现场电网的监测值,如电压、电流、功率因数、有功功率和无功功率。键盘输入模块用来现场控制电网。

收稿日期:2005-01-31;修回日期:2005-04-26

作者简介:

张方军(1975-),男,浙江衢州人,讲师,硕士,主要从事

配电网自动化研究(E-mail:fjzhang2020@sina.com);

徐 振(1977-),男,浙江金华人,讲师,硕士,主要从事电子技术研究。

Digital power amplifier system for power voltage measuring

ZHANG Fang-jun,XU Zhen

(Department of Electrical Engineering,Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical, Hangzhou 310053, China)

Abstract: The application limitation of CVT(Capacitive Voltage Transformer) in voltage measuring is analyzed, which has low load capability and demands open secondary circuit or high impedance to achieve high precision. A high-precision signal amplifier system based on DSP(Digital Signal Processor) is presented for applying in the secondary side of voltage transformer. It consists of two dual-loop control systems: correction and inversion. The application of DSP in the inversion system is expounded in detail, as well as sampling and control sequence. The prototype amplifier has been developed and tested, and the results show its high precision and good performance.

Key words: DSP; power amplifier; digital inverter

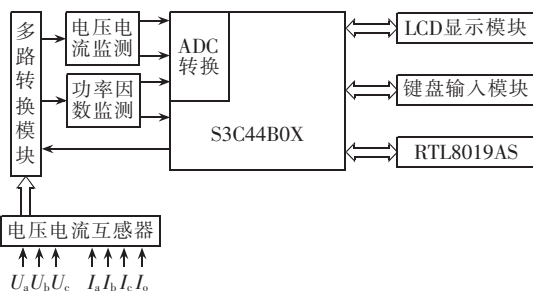


图 2 电网监测仪结构图

Fig.2 The structure of electrical network monitor

满足远程监控的连接方式网络通信模块,利用 S3C44B0X 微处理器上的局域网接口芯片 RTL8019AS 使得测控设备能以低廉的费用、简单的方式接入局域网。

RTL8019AS^①内部有两块 RAM 区,一块 32 Bytes,地址为 0x0000~0x001f,用于存储以太网物理地址。RTL8019AS 具有 32 bit 输入输出地址,远程 DMA 地址偏移量 10 H~17 H,都可以用来做远程 DMA 端口,只要用其中一个就可以了,一般使用 10 H。要接收和发送数据包就必须通过 DMA 读写 RTL8019AS 内部的另一块 16 kB RAM。实际上是双端口的 RAM,是指有两套总线连接到该 RAM,一套总线是 RTL8019AS 读或写该 RAM,即本地 DMA;另一套总线是 CPU(ARM7DMI)读或写该 RAM,即远程 DMA。

远程 DMA 接口是指 S3C44B0X CPU(ARM7DMI)对 RTL8019AS 内部 RAM 进行读写的总线。ARM7DMI 收发数据只需对远程 DMA 操作。本地 DMA 接口是把 RTL8019AS 与网线的连接通道,完成控制器与网线的交换。

本地 DMA 是网卡接收以太网上传来的数据,或者发送网卡 RAM 里的数据到以太网(启动命令后,网卡自动完成),而远程 DMA 是 CPU 从网卡的 RAM 里读取数据到系统 RAM 中,或者发送数据到网卡的 RAM 中。

3 电网监测仪软件设计

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 是一种源码公开且被广泛应用、结构小巧、具有可剥夺实时内核的免费嵌入式操作系统。适合小型控制系统,具有执行效率高、占用空间小、实时性能优良和可扩展性强等特点,最小内核可编译至 2 kB。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中与 CPU 硬件相关的代码只有 200 行左右,因此将 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 移植到 S3C44B0X 上很容易,只需要使用 C 语言和汇编语言写一些处理器相关代码。已在电网监测仪上成功移植 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ ^②。

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 不仅调度针对电网实时监控开发的多任务,为了实现网络通信,移植 TCP/IP 协议栈,编写网络设备驱动程序。该系统软件架构^[3]见图 3。



图 3 系统软件示意图

Fig.3 The sketch diagram of system software

3.1 LwIP 的移植

LwIP 是瑞士计算机学院的 Adam Dunkels 等开发的一套用于嵌入式系统的开放源代码 TCP/IP 协议栈。LwIP 的含义是 Light weight(轻型)IP,协议 LwIP,包括带 IP 和 ICMP 的 TCP 和 UDP 传输层,一个可选的 BSD 套接字 API,还有一个零拷贝 API。LwIP 实现的重点是在保持 TCP 协议主要功能的基础上,减少对 RAM 的占用。一般它只需要几十 k 的 RAM 和 40 k 左右的 ROM 就可以运行,这使 LwIP 协议栈适合在低端嵌入式系统中使用^②。

移植 LwIP 主要分以下几个步骤。

3.1.1 与 CPU 或编译器相关的 include 文件

/src/arch/include/arch 目录下 cc.h,cpu.h,perf.h 中,有一些与 CPU 或编译器相关的定义,如数据长度、字的高低位顺序等。这些应该与 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 时定义的数据长度等参数是一致的。

S3C44B0X 为 32 bit 微处理器,使用 armcc 编译器。Char 类型长度 8 bit,Short 类型长度 16 bit,Int 和 Long 类型长度 32 bit。

AM7TDMI 默认为小端存储系统,#define BYTE_ORDER LITTLE_ENDIAN

3.1.2 改写操作系统相关的函数

3.1.2.1 有关进程间通信的函数

sys_sem_t 信号量:sys_sem_new(),sys_sem_free(),sys_sem_signal(),sys_arch_sem_wait()。 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 已经实现了信号量 OS_EVENT 的各种操作,并且功能和 LwIP 上面几个函数的目标功能是完全一样的,只要把 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的函数重新包装成上面的函数就可以直接使用了。

sys_mbox_t 信号量:sys_mbox_new(),sys_mbox_free(),sys_mbox_post(),sys_arch_mbox_fetch()。这些函数的功能在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中基本都有,但是这里的 mbox 要用 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 中消息队列实现。但是, $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 没有对消息队列中的消息进行管理,因此不能直接使用,必须在 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的基础上重新实现。有一些 mbox 只可能有一个消息,对这些可以用邮箱实现。

① Realtek Semiconductor Corp. RTL8019AS Data Sheet. May 2001.

② Adam Dunkels. Design and Implementation of the LwIP TCP/IP Stack. Swedish Institute of Computer Science, Feb. 20, 2001.

3.1.2.2 定时器函数:sys_arch_timeout()

LwIP 中每个与外界网络连接的线程都有自己的 timeout 属性,即等待超时时间。这个属性表现为:每个线程都对应一个 sys_timeout 结构体队列,包括该线程的 timeout 时间长度,以及超时后应调用的 timeout 函数,该函数会做一些释放连接和回收资源的工作。如果一个线程对应的 sys_timeout 为空(NULL),说明该线程对连接做永久的等待。

3.1.2.3 线程创建函数:sys_thread_new()

LwIP 可以是单线程运行,即只有一个 tcpip 线程(tcpip_thread),负责处理所有的 tcp/ucp 连接,各种网络程序都通过 tcpip 线程与网络交互。但 LwIP 也可以多线程运行,以提高效率,降低编程复杂度。

在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中,没有线程的概念,只有任务。它已经提供了创建新任务的系统 API 调用 OSTaskCreate,因此,只要把 OSTaskCreate 封装一下,就可以实现 sys_thread_new。LwIP 中的 thread 并没有 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 中优先级的概念,实现时,要事先为 LwIP 中创建的线程分配好优先级。

3.1.3 lib_arch 中库函数的实现

LwIP 协议栈中用到了 8 个用户使用的系统 CPU 或编辑器有关的外部函数 htons(), ntohs(), htonl(), ntohl(), strlen(), strcmp(), bcopy(), bzero()。前 4 个函数都由自己编写,集成开发环境 ARM SDT 2.5 下的 gcc 编译器的 lib 库里已经有了后 4 个函数。

3.2 网络设备的驱动程序

基于 RTL 8019AS 网络芯片驱动的编写,主要是一些相关寄存器的设置,以及在了解其工作原理之后,对 DMA 操作的程序实现。有关寄存器均在 ethernet.h 文件中宏定义。修改 ethernetif.c 文件,实现底层的输入输出。驱动程序工作在 IP 协议模块的网络接口层,它提供给上层(IP 层)的接口函数。在驱动程序中主要做的就是,实现网络接口的收、发、初始化以及中断处理函数。详细介绍网卡发送函数:

```
err_t ethernetif_output(struct netif *netif, struct pbuf *p, struct ip_addr *ipaddr), 包含 3 个步骤。
```

a. IP 层传过来的 IP 报文加上以太网包头,封装成 IEEE802.3 帧的格式。

b. 通过 RTL 8019 的本地 DMA 将数据送入 FIFO 进行发送。

程序清单:

```
outportb(0x00,0x22);
outportb(0x07,0x40); //设置中断状态寄存器 ISR 为 40H,清除发送完成标志
//设置远程 DMA 地址寄存器 RSAR1,0 为 4000 H,即发送缓冲区开始地址
outportb(0x09,0x40);
outportb(0x08,0x00);
```

```
//设置远程 DMA 字节计数寄存器 RBCR1,0 为发送数据包的长度 80
```

```
outportb(0x0a,0x50);
```

```
outportb(0x0b,0x00);
```

```
outportb(0x00,0x12); //设置 CR 为 12 H,设置命令寄存器为远程 DMA 写
```

```
for(i=0;i<80;i++)
```

```
outport(0x10<<1,*(buffer+i)); //往数据端口写入发送数据
```

```
temp=inportb(0x07); //查询中断状态寄存器 ISR,等待远程 DMA 完成
```

```
outportb(0x0b,0x00);
```

```
outportb(0x0a,0x00);
```

```
outportb(0x00,0x22); //设置 CR 为 22 H,设置 RBCR1,0 为 0,远程 DMA 停止
```

```
outportb(0x07,0x40); //设置中断状态寄存器 ISR 为 40H,清除发送完成标志
```

c. 通过远程 DMA 将数据包送到数据发送缓冲区。

```
//设置发送字节计数器为发送数据包的长度
```

```
outportb(0x06,0x50);
```

```
outportb(0x05,0x00);
```

```
//设置发送页面起始地址 TPSR 为 40 H,即发送缓冲区开始地址高位字节
```

```
outportb(0x04,0x40);
```

```
outportb(0x00,0x26); //启动发送
```

图 4 为以 TCP 处理为例的处理流程。数据包的发送和接收由中断处理程序完成。每当接收到一个数据包,向 TCP/IP_Thread 进程发一个消息。TCP/IP_Thread 进程在得到调度后处理消息并根据包的情况转向不同的协议处理程序。

3.3 用户任务

系统运行时,首先调用 OSInit()初始化 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 所有的变量和数据结构,再调用 ARMIInit()初始化微控制器的定时器等,通过调用 OSTaskCreate()依次创建各个任务,并且分配任务优先权,所有新建任务被置为就绪态。最后调用 OSStart()启动系统,开始多任务调度。

软件各模块及系统流程图如图 5 所示。

按电网监测系统所要求实现的功能,将整个系统划分为 2 个中断程序和 5 个并行存在的任务层。中断程序按其优先级从高到低分别是网络通信和数据采集;网络通信接收远程主机的命令和向远程主机发送采集数据以及当前状态信息;数据采集放在定时器中断程序中执行。将系统的几个任务按其优先级从高到低顺序排列依次是:系统监控任务,键盘扫描任务,消息处理任务,数据运算统计处理任务,液晶显示任务^[4]。

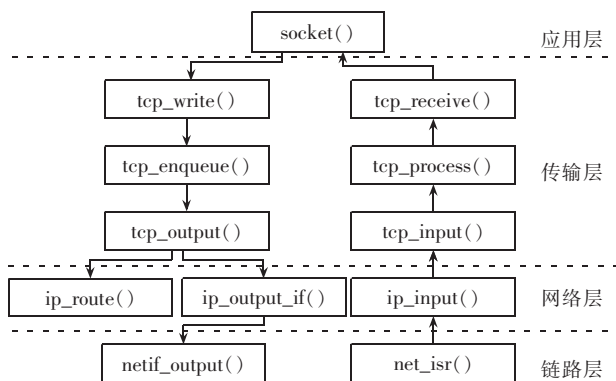


图 4 TCP 处理流程

Fig.4 The TCP processing flow

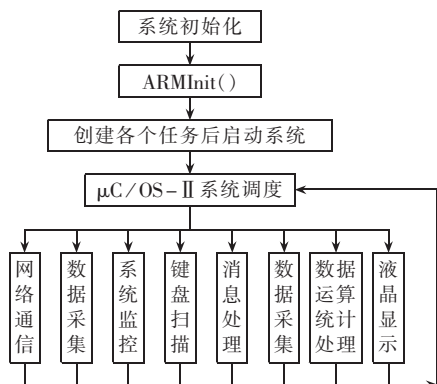


图 5 软件各模块及系统流程图

Fig.5 The software modules and system flowchart

4 客户/服务器通信

客户/服务器机制(Client/Server),即客户向服务器发出服务请求,服务器收到请求后,提供相应的服务。针对电网远程监控系统的特点,将电网监测仪设置为客户端,远程控制主机设置为服务器端,由服务器端 24 h 不间断监听来自客户端的连接请求,建立连接后进行 TCP 数据传输。

远程控制中心(服务器端)的 IP 地址为 202.195.166.144,监控程序端口号 8000,所有网络上的电网监测仪都应该与这个服务器监控程序建立连接,传输数据。

当 2 号电网监测仪与监控程序建立连接之后,就开始正式传输数据。监控程序收到来自 IP 地址为 192.168.0.80 的电网监测仪的连接请求,此客户端

程序端口号是 1701,电网监测仪向远程监控主机发送电网参数。

5 结论

将本系统应用于某电网监测中,实行电网参数的远程网络监控,各项指标完全达到设计要求,并可做到现场无人值守。微处理器系统还可单独用于用电单位电参数实时检测。整个系统使用方便、界面友好、功能强大。

参考文献:

- [1] 王田苗. 嵌入式系统设计与实例开发——基于 ARM 微处理器与 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时操作系统 [M]. 第 2 版. 北京:清华大学出版社,2003.
- [2] LABROSSE J J. $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ ——源码公开的实时嵌入式操作系统[M]. 邵贝贝译. 北京:中国电力出版社,2003.
- [3] 杨 晔. 实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 下 TCP 和 IP 协议栈的实现[J]. 单片机与嵌入式系统,2003,(7):80-83.
- YANG Ye. Realization of TCP/IP protocol stack in $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ [J]. *Microcontrollers and Embedded Systems*,2003,(7):80-83.
- [4] 黎洪生, 董 军. $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 在数据采集系统中的应用 [J]. 仪器仪表用户,2004,11(3):54-55.
- LI Hong-sheng,DONG Jun. Application of $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ in data acquisition system[J]. *Instrumentation Customer*,2004,11(3):54-55.
- [5] 张 谦,裴海龙,谢 斌. $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 实时嵌入式操作系统在 AVRmega 系列 MCU 上的移植[J]. 微计算机信息,2004,20(4):6-8.
- ZHANG Qian,PEI Hai-long,XIE Bin. $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$, the real-time kernel port to AVRmega MCU [J]. *Micro-Computer Information*,2004,20(4):6-8.

(责任编辑:李 玲)

作者简介:

刘冬明(1980-),女,山东威海人,硕士研究生,主要从事电网监测和嵌入式系统的研究(E-mail:ldmgood_2002@163.com);

李正明(1958-),男,江苏沭阳人,教授,博士研究生导师,主要从事计算机硬件及网络方面的研究;

刘军良(1976-),男,江苏宜兴人,主要从事发动机电控和嵌入式系统的研究。

Implementation of electrical network remote monitoring system

LIU Dong-ming, LI Zheng-ming, LIU Jun-liang
(Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: An electrical network remote monitoring system is introduced. The hardware design of electrical network monitor and Ethernet controller RTL8019AS are described in detail. The LwIP stack is transplanted on the real-time operating system platform and the drivers for relevant network devices are programmed. The software modules and the system flowchart are also presented. The network communication is realized for the remote monitoring of electrical network.

Key words: electrical network monitor; RTL8019AS; LwIP; network communication