

# 智能通信服务器在变电站 自动化系统中应用

眭碧霞

(常州信息职业技术学院 软件学院,江苏 常州 213164)

**摘要:** 介绍了基于嵌入式 Linux 系统和 Intel Xscale 网络处理器的 Moxa 智能通信服务器在煤矿井下 6 kV 变电站自动化系统接入煤矿自动化系统中的应用。通过 Linux 串口编程技术、多线程编程技术和网络编程技术对其进行二次开发,实现了智能通信服务器的多个串口同现场不同接口、通信协议种类繁多的测控装置和智能设备的通信,收集它们的实时采样数据,同时采用 Modbus/TCP 协议作为智能通信服务器和煤矿调度指挥中心的通信协议,将处理后的各种现场实时信息纳入煤矿调度指挥中心,实现了井下 6 kV 中央变电站的无人值守。由于 Modbus/TCP 协议具有通用性,所以该装置可与多种上位机软件监控平台建立连接。

**关键词:** 变电站自动化; 通信规约; 嵌入式系统; Linux; 以太网

**中图分类号:** TM 734;TN 919      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1006-6047(2006)10-0088-04

随着嵌入式技术的发展,由工业 PC 机完成的许多功能现都可以移植到嵌入式系统上实现,而且性能更稳定,成本更低廉,更能符合工业现场的要求。本文选取 Moxa 公司的基于嵌入式 Linux 操作系统的 UC-7420 智能通信服务器作为开发平台,取代传统工业 PC 机,实现了某煤矿井下 6 kV 中央变电站中接口不同、通信规约不一的智能测控设备和以太网之间的协议转换及数据前置处理功能。

## 1 嵌入式 Linux 系统

“嵌入式系统”一般指非 PC 系统,有计算机功能但又不称为计算机的设备或系统。与通用计算机系统相比,嵌入式系统功耗低、可靠性高、功能强大、性能价格比高、支持多任务、占用空间小、面向特定应用,可根据需要灵活定制。

嵌入式 Linux 继承了 Internet 上无限的开放源代码资源,又具有嵌入式操作系统的特性,它不依赖于具体厂商,能广泛适用于各种硬件设备。与其他的嵌入式操作系统相比,嵌入式 Linux 具有多种优势。

a. 能满足绝大多数实时性要求。

b. Linux 系统是模块化层次结构且内核完全开放,具有强大的网络功能。由于 Linux 诞生于因特网并具有 Unix 的特性,所以它支持所有标准因特网协议,并且可以利用 Linux 的网络协议栈将其开发成嵌入式的 TCP/IP 网络协议栈。

c. 嵌入式 Linux 操作系统更加可靠、稳定,跨处理器平台,应用软件容易移植。

d. 嵌入式 Linux 具备一整套工具链,具有很好的开发测试工具,容易自行建立嵌入式系统的开发环境和交叉运行环境。

## 2 UC-7420 软硬件特性

UC-7420 是 Moxa 公司专为嵌入式应用而设计的基于 RISC 架构的智能通信服务器,具备 8 个 RS-232/422/485 串口,双 10/100 Mbit/s 以太网网络端口,其硬件框图如图 1 所示。它使用板载的 Flash 作存储,用 CF(Compact Flash)卡做扩充,避免了低平均无故障时间 MTBF(Mean Time Between Failures)硬盘导致的系统当机。由于采用的 Xscale 系列 CPU 功耗很低,基本不产生热量,所以不需要风扇冷却系统,使系统更加可靠稳定。另外,它体积小,且采用壁挂式、导轨式的安装模式,适用于苛刻的工业现场环境。

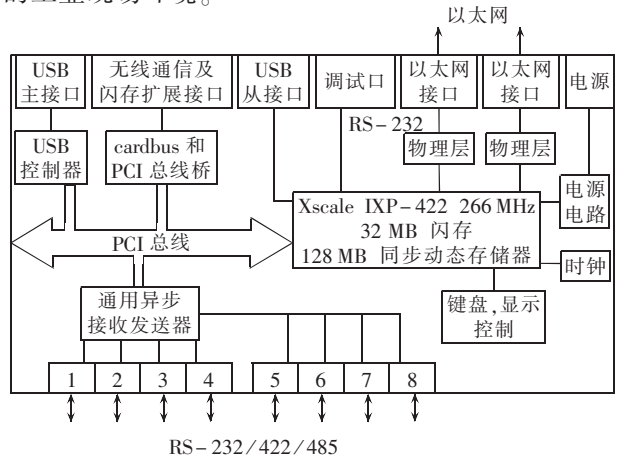


图 1 UC-7420 硬件框图

Fig.1 Block diagram of UC-7420 hardware

UC-7420 预装了 MontaVista Linux 嵌入式实时操作系统,为用户提供了一个开放的软件操作平台。采用 C 语言编写应用程序,为 PC 机编写的软件可以通过 GNU 交叉编译器方便地下载到智能通信服

务器中,而不需对源代码进行任何修改。按照通行的计算机层次结构划分方法,智能通信服务器的层次结构可做如图 2 所示的划分。

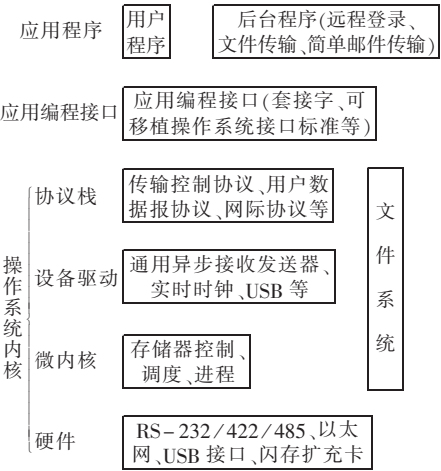


图 2 UC-7420 层次结构  
Fig.2 Hierarchical architecture of UC-7420

3 总体方案设计

某煤矿井下 6 kV 中央变电站是矿井自动化系统的一个子系统,分为高压、低压 2 个部分,为将其接入煤矿自动化系统,从而实现调度室集中监控,需将变电站内各保护测控单元及智能电子设备的信息收集入上位机数据库,并利用统一的、标准的工控组态软件开发上位机监控平台。

目前,上层监控管理网络都已普遍采用以太网通信方式。要实现通信,必须高层协议即应用层协议的支持。作为一种数据前置处理和协议转换设备,必须使用一种通用的“语言”,现选择工业上常用的 Modbus 通信协议。Modbus 协议是工业网络协议中的一种,它定义了控制器可以识别和使用的消息结构,属于应用层协议,不受具体物理网络的限制,将 Modbus 用于 TCP/IP 网络,就是 Modbus/TCP。由于其本身的开放性,象 INTOUCH、组态王、iFIX 等多种组态软件都支持该协议,Modbus 协议也成为了事实上的工业标准。

另一方面,变电站中高压柜配有集保护测控于一体的综合保护单元,采用 RS-485 串行通信接口,通信协议采用 IEC 870-5-103,直流屏采用的 RS-232 接口的厂家自定义规约,低压柜配有若干台智能电度表,采用 RS-485 接口,规约为厂家自定义规约。UC-7420 通过自身串口与各单元网络通信,采集设备信息,并接收上位机的命令进行控制。系统网络结构如图 3 所示<sup>[1]</sup>。

基于 Linux 系统的多任务机制,将整个系统的功能划分为 3 个任务模块——串口通信处理模块、数据存储模块和网络通信模块。采用 Linux 系统的多线程编程技术,每个任务被映射为一个线程,从而使多个线程在操作系统的统一调度下并发执行,以提高整个系统的实时性。

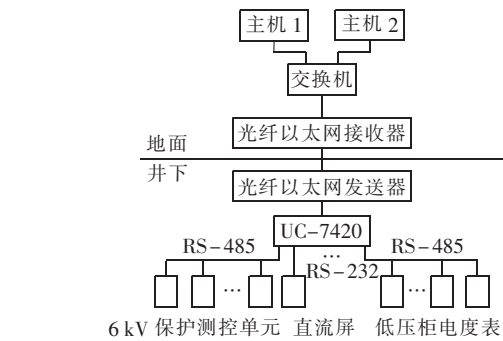


图 3 系统网络结构  
Fig.3 Network structure of system

4 串口通信程序设计<sup>[2-6]</sup>

Linux 操作系统中把硬件设备看成文件,将设备纳入文件系统的管理范畴。每个设备有一个设备文件名,设备文件保存在“/dev”目录下。UC-7420 智能通信平台具有 8 个 RS-232/422/485 三合一串口,通过软件可以将其设置为任何一种类型。8 个串口的设备文件位于“/dev”子目录下,分别为“/dev/ttyM0”至“/dev/tty M7”。

对某个串口编写通信程序的第 1 步工作是按照现场设备接口要求设置串口模式。程序中需包含设备提供的头文件<moxadevice.h>,其中定义了 4 种接口模式及一些符号常量,如下所示:

```
# define RS-232_MODE          0
# define RS-485_2WIRE_MODE    1
# define RS-422_MODE          2
# define RS-485_4WIRE_MODE    3
```

系统提供 2 个 ioctl 系统调用以获取或设置串口模式,分别为 int ioctl(fd,MOXA\_SET\_OP\_MODE,& mode)和 int ioctl(fd,MOXA\_SET\_OP\_MODE,& mode)。

Linux 操作系统对串口的控制由一个终端控制数据结构 termios 和若干个控制函数组成,它们在头文件<termios.h>中声明。termios 是在 POSIX 技术规范里定义的标准操作接口,定义如下:

```
# include <termios.h>
struct termios{
    tcflag_t c_iflag; //输入模式标志
    tcflag_t c_oflag; //输出模式标志
    tcflag_t c_cflag; //控制模式标志
    tcflag_t c_lflag; //本地模式标志
    cc_t c_line; //行控制
    cc_t c_cc[NCCS]; //控制字符特性
};
```

以 IEC 870-5-103 规约为例,介绍 Linux 下的串口程序设计。现场保护测控单元波特率设置为 9 600 bit/s,下面是修改波特率的代码:

```
struct termios Opt; //定义一个结构
tcgetattr(fd,& Opt); //保存当前设置
cfsetispeed(& Opt,B 9600); //设置输入波特率
```

cfsetospeed(& Opt, B 9600); // 设置输出波特率  
 tcsetattr(fd, TCANOW, & Opt); // 将参数传至 fd 对应的串口

其他设置,如数据位、停止位、校验方式等,也需要设置结构体中对应标志位,最后通过 `tcsetattr()` 函数传送给具体的串口控制器。完成串口的基本设置后,对串口就可像对普通文件一样进行读写。UC-7420 与 103 规约的通信接口程序流程图如图 4 所示。

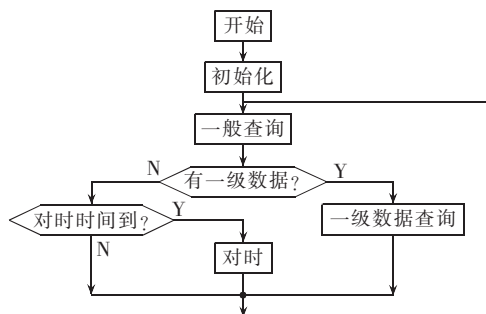


图 4 通信流程图

Fig.4 Flowchart of communication

这只是 UC-7420 与采用 IEC 870-5-103 规约的综合保护单元通信程序。在整个系统中,UC-7420 的其他串口还要与智能电表、直流屏控制设备等进行通信,因此,它只能作为整个系统多任务中的一个线程,和其他线程一起并行运行,以提高系统的实时性。

## 5 Modbus/TCP 程序设计<sup>[7-9]①</sup>

UC-7420 和上位机之间采用以太网通信方式,应用层协议为 Modbus/TCP。这是一种主从式通信协议,UC-7420 为从节点。当 UC-7420 完成初始化后就一直处于监听状态,等待接收主节点的建立连接请求帧,实现主节点发送的命令。Modbus/TCP 协议的实现过程大致如下:

a. 将该帧标志域、功能代码域和数据域的数据分别存入特定的存储单元,并检验传送标志、数据长度、协议标志的正确性,功能代码的有效性和数据域中地址代码、数据代码的正确性;

b. 分析功能代码的实际要求,结合数据域内操作对象的地址、数据参数和子功能代码要求完成对应的操作;

c. 根据请求帧的写入或读取等实际操作要求,返回一个简单的响应信号帧(写入操作)或返回的响应信号帧数据域包括读取的数据值(读取操作),除此之外,每当请求帧数据出错或操作不能正确完成时,必须根据具体错误选择相应的代码,并对功能代码作一定的修改,从而组成错误报告帧通知主节点。

通信连接在主线程中建立,而子线程专门负责数据收发,提高了系统的运行效率。主线程中通过网络编程 `socket` 函数打开通信端口和完成初始化操作,然后使端口处于监听状态以便随时可与其他节点建立连接,值得注意的是不要把等待连接队列设得过

长,这样会降低系统响应的实时性。节点与上位机通信流程见图 5。

如图所示,Modbus/TCP 协议的实现采用了多线程编程技术,初始化后创建 2 个 Linux 系统中子线程,一个侦听客户端的连接,另一个线程分支创建后被挂起,一旦侦听到客户端连接就通过内部信号机制自动唤醒接收线程,线程执行完毕后自动消亡退出。各线程都是由操作系统自动调度执行的。

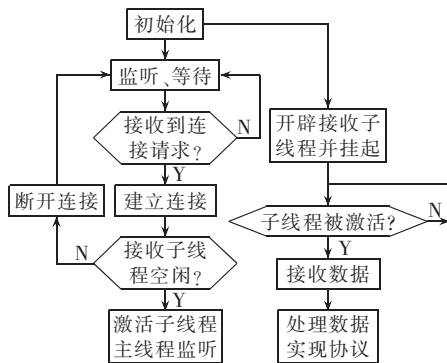


图 5 从节点通信流程图

Fig.5 Flowchart of communication  
with master station

下面列出节点与上位机建立连接的部分程序段,每当节点建立了通信连接后,就通过 `wakeup()` 函数激活接收子线程,完成数据收发和 Modbus 协议的实现。

```

result=opensocket(1,& error); // 打开通信端口
lfd=result;
result=setreuse(lfd,& error);
addr.sin-port=htons(port);
addr.sin-addr.s-addr=0L;
result=bind(lfd,(struct sockaddr *)& addr,& error);
// 绑定 IP 和端口号
while(1)
{
    result=listen(lfd, MAX-SERVER,& error);
    // 监听
    claddr.sin-family=2;
    claddr.sin-port=0L;
    claddr.sin-addr.s-addr=0L;
    result=accept(lfd,(struct sockaddr *)& claddr,
    & error);
    asd=result;
    taskrdy=get-free-server-task();
    if(taskrdy===-1) // 接收线程忙
    {
        resetconnection(asd,& error);
    }
    else
    {

```

① MODBUS messaging on TCP/IP implementation guide V1.0a, 2004.



```

Sockopt.protocol-level=6;
Sockopt.optionname=0x0001;
optval=0x01;
Sockopt.optionvalue=(char *)&optval;
Sockopt.optionlength=2;
result=setsockopt(asd,&sockopt,&error);
echoServer[taskrdy].sd=asd;
result=wakeup(echoServer[taskrdy].Tasked);
}
}

```

## 6 结语

本文主要讨论了在基于嵌入式 Linux 系统的智能通信服务器平台上的软件设计。采用 Linux 系统下串口编程技术和网络编程技术,实现了变电站自动化系统中各种现场装置的不同规约和标准开放的以太网协议之间的转换,并和上位机监控平台之间采用 Modbus/TCP 协议进行通信,实现了现场设备和 TCP/IP 网络的双向实时通信和处理等前置机功能,使得整个监控系统在垂直层面上紧密地结合在一起。

## 参考文献:

- [1] 钱治强,孙新亚. 基于 Linux 的电力自动化系统通信网关的总体设计[J]. 电力自动化设备,2003,23(7):51-53.  
QIAN Zhi-qiang,SUN Xin-ya. Design of communication protocol gateway based on Linux for power automation system[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(7):51-53.
- [2] 张丹涛,张永华,缪相林. 基于 IEC 60870-5-103 通信规约的通信流程研究及软件方案[J]. 电力系统通信,2005,26(3):26-28.  
ZHANG Dan-tao,ZHANG Yong-hua,MIAO Xiang-lin. Research and software design of communication flow based on 103 transmission protocols and software precept[J]. Telecommunications for Electric Power System,2005,26(3):26-28.
- [3] 谭嘉虎. 用于微机保护设备基于 IEC 60870-5-103 传输规约的通信接口技术的研究与开发[J]. 电网技术,2004,28(22):31-35.

- TAN Jia-hu. Research and development of IEC 60870-5-103 transmission protocol based communication interface technology for microcomputer based protection devices[J]. Power System Technology,2004,28(22):31-35.
- [4] 习博,方彦军. 嵌入式监测系统中网络通信的研究与实现[J]. 电力自动化设备,2004,24(7):68-71.  
XI Bo,FANG Yan-jun. Research and implementation of network communication in embedded monitoring system[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(7):68-71.
- [5] 王志颖,马卫东. Linux 系统下 RS-485 串行通信程序设计[J]. 计算机应用研究,2002,19(2):136-138.  
WANG Zhi-ying,MA Wei-dong. RS-485 serial communication programming in Linux[J]. Application Research of Computer,2002,19(2):136-138.
- [6] 马文辉,李兰友. Linux 环境下的串口通信[J]. 仪器仪表用户,2005,12(1):39-41.  
MA Wen-hui,LI Lan-you. The serial communication in Linux[J]. Electronics Instrumentation Customer,2005,12(1):39-41.
- [7] 曹怀虎,余镇危,王磊,等. 以太网 DCS 中基于 MODBUS/TCP 协议通信的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2004,25(2):314-317.  
CAO Huai-hu,YU Zhen-wei,WANG Lei,et al. Implement of communication based MODBUS/TCP on Ethernet DCS[J]. Computer Engineering and Design,2004,25(2):314-317.
- [8] 王枫,罗家融. Linux 下多线程 Socket 通讯的研究与应用[J]. 计算机工程与应用,2004,40(16):106-109.  
WANG Feng,LUO Jia-rong. Study and application of the Socket communication based on multithreading in Linux[J]. Computer Engineering and Application,2004,40(16):106-109.
- [9] 吴爱国,刘屏凡. Modbus 协议客户/服务器通讯模型的实现[J]. 组合机床与自动化加工技术,2005(1):55-57.  
WU Ai-guo,LIU Ping-fan. Implement of client/server model using Modbus protocol[J]. Modular Machine Tool and Automatic Manufacturing Technique,2005(1):55-57.

(责任编辑:康鲁豫)



### 作者简介:

眭碧霞(1964-),女,江苏常州人,副教授,主要从事计算机控制与计算机软件、电气工程等方面的科研和教学工作(E-mail: sbx@ccit.js.cn)。

## Application of intelligent communication server in substation automation system

SUI Bi-xia

(Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** The application of Moxa intelligent communication server based on embedded Linux and Intel Xscale net-processor in connecting underground 6 kV substation automation system to coal mine integrated automation system is introduced. After secondary development using Linux serial programming technique, multi-threading technique and net programming technique, the intelligent communication server can communicate via its serial ports for collecting real-time sampling data from various measuring and control equipments adopting different interfaces and protocols. It also communicates with command center with Modbus/TCP protocol for transmitting the processed real-time information to realize unmanned 6 kV underground substation. As Modbus/TCP is open, the server can connect with different monitoring and control software platforms.

**Key words:** substation automation; embedded system; Linux; Ethernet