

多协议以太网网关在煤矿综合自动化系统的研究与开发

史丽萍¹, 王攀攀¹, 张广龙², 史治水¹

(1. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221008; 2. 山东电力工程咨询院, 山东 济南 250000)

摘要: 针对当前构建煤矿综合自动化系统的需要, 研究开发了一种具有前置数据处理和协议转换功能的多协议以太网网关。首先选择内嵌 MontaVista Linux 嵌入式实时操作系统的 MOXA UC-7420 智能通信平台作为网关的开发平台, 并以煤矿综合自动化系统中的变电站自动化系统接入煤矿综合自动化系统为背景, 构建了基于多协议以太网网关的解决方案, 然后重点围绕网关应用软件的设计与实现, 阐述了网关应用软件的总体架构, 各主要模块的设计方案及实现。最后, 给出了多协议以太网网关在现场的具体应用。

关键词: 多协议以太网网关; 综合自动化; 信息集成

Research and development of multi-protocol Ethernet gateway in coalmine comprehensive automatic system

SHI Li-ping¹, WANG Pan-pan¹, ZHANG Guang-long², SHI Zhi-shui¹

(1.China University of Mining&Technology, Xuzhou 221008,China;

2.Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute,Jinnan 250000,China)

Abstract: To satisfy the requirement of constructing coal mine integrated automation system, the paper develops a kind of multi-protocol Ethernet gateway which has the function of data pretreatment and protocol conversion. The paper firstly selects MOXA UC-7420 intelligent communication platform based on MontaVista Linux embedded OS as developing platform, and then programs the scheme based on multi-protocol Ethernet gateway aiming at connecting substation automation system to coal mine integrated automation system. Following, it expatiates the design scheme and realization of every primary module, the main structure of the application software centered the design and realization of the gateway application software. At last, the application of multi-protocol Ethernet gateway in field is introduced.

Key words: multi-protocol Ethernet gateway; integrated automation; information integration

中图分类号: TM764

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)24-0043-05

0 引言

近年来, 煤矿企业都在构建综合自动化系统。煤矿综合自动化系统由机电自动化子系统、安全监测子系统等多个子系统组成, 它的一个显著特征就是信息集成。信息集成就是将现场的各种实时生产信息汇集到煤矿调度指挥中心, 从而实现对现场工况的集中、实时和远程监控^[1,2]。煤矿综合自动化系统的主网络结构都已采用了以太网通信方式, 并且在调度指挥中心建立了以工控组态软件为核心的标准、开放的上位机监控平台。

变电站自动化子系统是煤矿综合自动化系统中的一个重要子系统, 主要由地面 35 kV、地面 6 kV、井下 6 kV 变电站自动化系统组成。随着自动化程度

的不断提高, 煤矿各等级变电站都已经在现场安装了分布式保护测控装置以及各种智能设备, 但是这些保护测控装置和智能设备很多仍旧采用传统的 RS-232/422/485 串行通信接口, 而且通信协议种类繁多^[3]。例如, 仅高压部分的保护测控单元就有可能来自南瑞、南自等多个厂家, 其通信协议有电力系统标准通信协议 DNP3.0、CDT、IEC870-5-101/102/103 等等。其他智能仪表也通常由于配电柜厂家不同而采用不同的自定义协议, 加在一起通信协议有时多达十几种, 这就给信息集成提出了更高的要求。

为了实现煤矿的综合自动化, 进而实现变电站的无人值守, 必须将现场各种保护测控装置和智能设备采集的实时信息纳入煤矿调度指挥中心统一

的、标准的数据库和监控平台。

因此,开发一种可靠性高、适应现场环境能力强,同时支持多种通信协议并易于和上位机组态软件接口的前端通信处理装置——多协议以太网网关,将现场各种实时信息纳入上位机统一、标准的数据库和监控平台,便成了当前构建煤矿综合自动化系统时一个亟待解决的问题。

1 网关开发平台选择

传统上多采用 PC 机来开发以太网网关,但是由于 PC 机体积大、价格高以及可靠性、实时性差等诸多弊端,它已经越来越难以满足工业现场的应用需求了。

在当前数字信息技术和网络技术高速发展的后 PC(Post-PC)时代,嵌入式系统(Embedded Systems)已经广泛地应用于工业、交通、网络、通信等众多领域,也随之出现了采用嵌入式系统开发的各种以太网网关^[4]。

台湾 MOXA 品牌凭借丰富的工业产品经验和雄厚的技术实力,迅速得到工控行业客户的青睐,成为国内工业以太网产品的领导品牌之一。UC-7420 就是 MOXA 最新推出的一款代替传统 PC 机的低成本的嵌入式智能通信平台,其外观如图 1 所示。



图 1 UC-7420 外观图

Fig.1 UC-7420 appearance

UC-7420 具有以下特性:

- 具备 8 个 RS-232/422/485 三合一串口,双 10/100 Mbps 以太网接口,可充分满足现场测控设备接口类型不一、通信协议种类繁多的现状;

- 采用 RISC 架构的 Intel Xscale IXP-422 266MHZ CPU 作为核心处理器,Xscale 系列 CPU 是 Intel 的低功耗网络处理器,具有十分强大的处理能力和优良的通信性能,而且几乎不产生热量,充分满足了工业现场对设备稳定性、可靠性以及通信性能的要求;

- 板载 32M FLASH ROM 和 128M SDRAM,为用户提供了很大的程序空间和内存空间;

- 内嵌 MontaVista Linux 嵌入式实时操作系统,

为用户提供了一个开放的软件开发平台。

基于 UC-7420 的以上特性,将其应用于煤矿综合自动化系统,代替传统 PC 机实现前端的数据采集和协议转换功能可充分适应工业现场对设备可靠性、实时性以及功耗、体积等多方面的严格要求。

2 多协议以太网网关总体规划

2.1 总体规划

以井下 6 kV 变电站自动化系统接入煤矿综合自动化系统为背景,构建的基于多协议以太网网关的解决方案如图 2 所示。

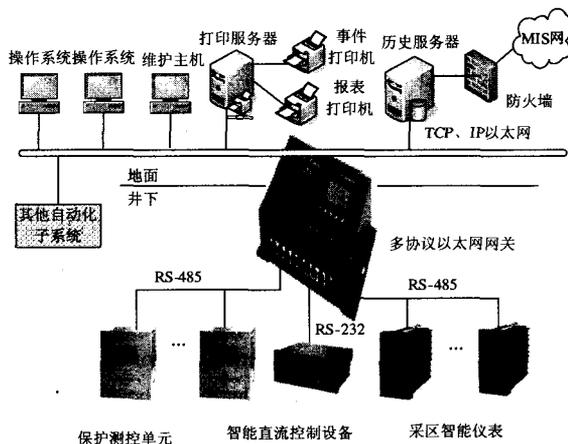


图 2 变电站自动化子系统

Fig.2 Substation automation subsystem

2.2 应用层协议制定

煤矿综合自动化系统一般都建立了以工控组态软件为核心的上位机监控平台,因此,作为一个完整的通信系统,多协议以太网网关必须考虑和组态软件的接口问题,也就是说需要制定相应的应用层协议。考虑到通用性和开放性,选择 Modbus/TCP 协议作为多协议以太网网关以太网通信的应用层协议。

Modbus 是 MODICON 公司于 1979 年开发的一种在工业控制领域应用极为广泛的应用层协议,具有开放性和透明性。近几年,随着 Modbus 协议不断扩展,已经将串行链路、TCP/IP 等关键技术引入到 Modbus 应用协议解决方案中,形成了 Modbus 应用协议族。Modbus 与 TCP/IP 相结合成为 Modbus/TCP,该协议采用客户/服务器的通讯模式,以一种非常简单的方式将 Modbus 帧嵌入到 TCP 帧中,使其成为工业以太网应用层协议。

Modbus/TCP 由于其开放、易于理解和稳定的性能,已经被大多数工控组态软件支持,例如:

Intouch、组态王、MCGS、iFIX 等等^[5~8]。

3 网关应用软件研究与设计

多协议以太网网关要完成的各个功能之间具有相对的独立性, 是一个典型的多任务系统。因此, 应用软件的编制充分利用了 Linux 系统的多任务特性, 进行系统任务划分, 同时每个任务又可能由若干个子程序模块组成, 整个程序采用模块化编程, 以树形图的方式描述的网关软件结构如图 3 所示。

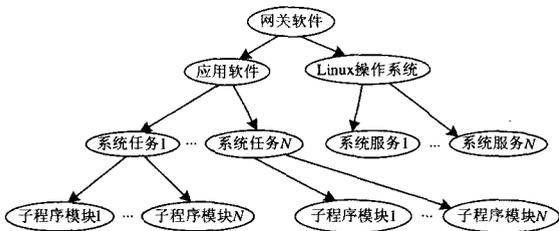


图 3 网关软件结构图

Fig.3 Architecture of gateway software

多协议以太网网关的主要任务包括串口一、串口二等各个串口的规约处理任务、以太网初始化及以太网规约处理任务。系统初始化后各任务依次执行, 每个任务都有自己的主循环, 由各个任务单独控制。在程序中, 每个任务被映射为 Linux 系统中的一个线程, 从而在操作系统的调度下实现各串口通信和以太网通信任务的并发运行。

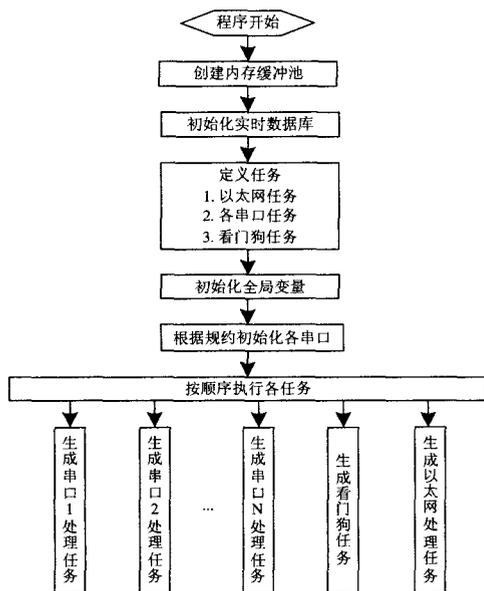


图 4 系统初始化及主框架流程

Fig.4 Flow chart of system initialization and main structure

根据对系统的任务划分, 网关应用软件可以分

为数据库处理模块、串口通信处理模块、以太网通信处理模块以及通信模块和数据库的接口几个部分。系统初始化及主框架流程如图 4 所示。

多协议以太网网关的应用软件采用标准的 C 语言开发完成。应用软件的设计主要考虑两个问题: 一是如何实现多协议, 一是如何保证可扩展性。多协议以太网网关主要是通过建立多个串口通信线程来实现多协议的解析。每种通信规约的处理函数做成一个 Linux 系统中的共享库文件, 然后下载至网关的动态链接共享库目录/lib 中, 主程序中只需包含对应的头文件即可调用各规约处理函数, 因此, 当有新规约加入时, 只需提供其共享库文件及头文件, 然后增加一个新的串口通信线程即可实现新的规约的解析, 扩展灵活方便。

4 实时数据库设计

实时数据库是程序的主体, 同上级、下级的通信实际上都是和该数据库的通信。多协议以太网网关中设计了一种基于 C 语言数组的实时数据库模式。

由于同上下级的通信都是和该数据库的通信, 因此, 它必须分别和上级、下级的通信规约有不同的界面, 以适应各自的封装操作。就是说该数据库应同时具备两个索引, 以备两个方向按照各自的规则寻找数据。

基于数组形式的数据库结构就是针对每种类型的数据建立一个 C 语言的数组, 如遥测量为 short int YCDBData[YC_NUM], YC_NUM 为根据实际应用系统预先规划的遥测量数目。在程序初始化阶段, 通过读取根据实际应用系统形成的配置文件, 获取实际端口使用情况、端口所接从站数量、从站中信息数量等信息, 计算数据库大小, 即各类型数组的大小, 同时, 计算出各端口、各从站信息在数组中的起始地址, 这个地址实际上就是数组的下标, 并形成索引表, 供子站上传数据时查找数据的索引。在面向监控方向, 和链式数据库结构一样, 同样采用寄存器地址作为以太网规约的索引, 并建立各端口、从站的寄存器地址范围的索引表。同以太网通信时, 按照上位机发送的数据帧中的寄存器地址信息, 在对应数组提取数据, 打包后将数据上送至监控中心的数据服务器。

基于数组的数据库结构只需在程序初始化阶段预先计算出每个从站信息的偏移地址, 并形成索引表即可。实际存取数据时, 通过查找索引表, 然后经过简单的偏移计算即可找到所需数据, 可以快速定位数据, 大大加快了查询速度。

5 串口通信协议的实现

串口规约处理采用定义任务的方式实现。对于多协议以太网网关，每个串口都分别有自己的规约处理任务，根据所采用的规约类型进行相应串口的初始化后，调用 `pthread_creat()` 创建各个串口通信线程，各个任务顺序启动，进而进入各自的主循环。串口任务的主循环主要工作就是向从站发送数据召唤命令和接收从站响应数据，并将数据按照不同的数据类型存入实时数据库。对于循环式规约，从站以上送为主，当缓冲区没有数据可接收或处理的情况下，程序将阻塞，等待该通信端口缓冲区中有所需数据时再次唤起主循环，以启动规约处理任务。

每个串口规约处理任务都可适应多种规约，如需增加一种新类型的规约，可以用同样的方式增加一个串口通信线程即可。串口规约处理任务流程如图 5 所示。

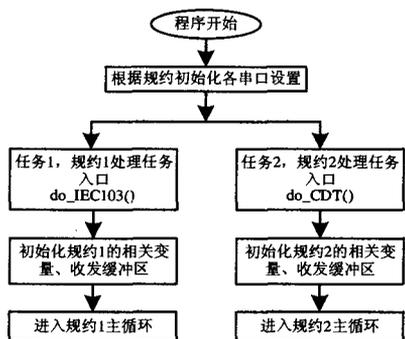


图 5 串口规约处理任务流程

Fig.5 Flow chart of serial protocol processing

6 以太网通信协议的实现

多协议以太网网关采用 Modbus/TCP 协议和调度指挥中心通信，该协议采用客户/服务器模式，网关要实现的是服务器功能。

同串口规约的处理任务相同，以太网的工作内容也是以单独的任务实现，在操作系统的调度下与串口任务并行工作。MontaVista Linux 操作系统中的网络编程采用 BSD (Berkly Software Distribution, 加州大学柏克利分校软件) 套接字来实现。

系统初始化完成以后，创建以太网通信线程，通过套接字函数调用 `socket()` 和 `bind()` 返回一个套接字并和 Modbus/TCP 协议的注册端口 502 绑定，初始化 TCP 服务器端，然后调用 `listen()` 开始在指定端口侦听来自客户端的连接请求，当有连接请求时，调用 `accept()` 接受请求，同时返回一个连接套接字，然后进入数据收发主循环^[9,10]。以太网处理

基本流程如图 6 所示。

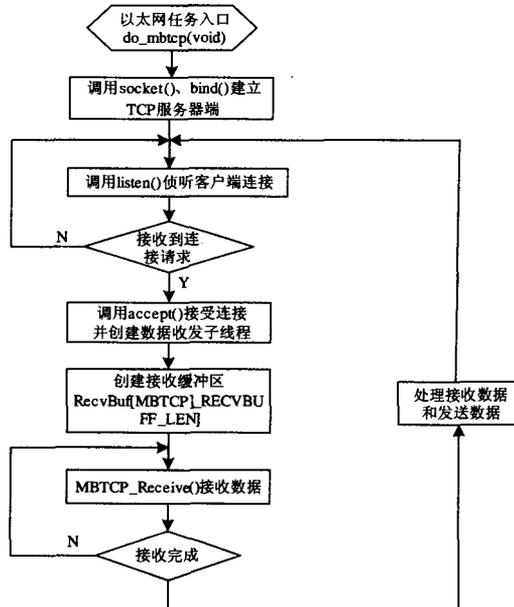


图 6 以太网任务流程

Fig.6 Flow chart of Ethernet protocol task

7 多协议以太网网关的应用

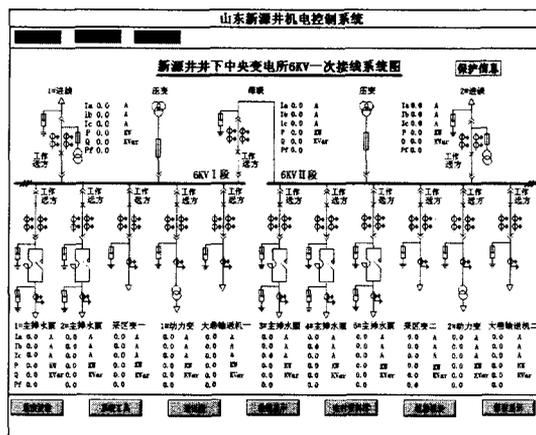


图 7 组态软件监控界面

Fig.7 Control interface of configuration software

多协议以太网网关已经成功应用于枣庄矿业集团某煤矿井下 6 kV 中央变电站自动化系统。煤矿综合自动化系统上位机监控平台选择的是美国 Wonderware 公司的 Intouch 组态软件，上位机组态软件的监控画面如图 7 所示。

多协议以太网网关实现了和变电站中各种保护测控单元以及智能设备的通信，同时将收集的各种实时数据转发到调度中心数据库服务器，并通过监控画面实时的显示现场状态和实施远程控制，实现

了井下 6 kV 变电站的无人值守。

参考文献

- [1] 张剑锋. 全集成自动化在煤矿中的应用[J]. 河北煤炭, 2004, (4): 26-27.
ZHANG Jian-fen. Application of Totally Integrated Automation in the Coal Mine[J]. Hebei Coal, 2004, (4): 26-27.
- [2] SHI Li-ping. Coal Mine Central Pump Room's Security Control System Based on PLC and OPC[J]. Progress Insafety and Technology, Part A, 2005.
- [3] 王卓. 嵌入式 Linux 系统及其应用前景[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2004, (5): 5-8.
WANG Zhuo. Future Application of Embedded Linux System[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2004, (5): 5-8.
- [4] 冯竹建. IEC104 规约在城轨电力监控系统中的应用[J]. 电气化铁道, 2005, (4): 35-37.
FENG Zhu-jian. Application of IBC60870-5-104 Telecontrol Protocol in Power SCADA for Urban Mass System[J]. Electric Railway, 2005, (4): 35-37.
- [5] 吴爱国. 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. Implement of Client / Server Model Using Modbus Protocol[J]. Combination Machine Tools and Automated Processing Technology, 2005, (1): 55-57.

- [6] 张广龙. 多协议以太网网关的研究与开发(硕士学位论文)[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2006.

ZHANG Guang-long. Study and Development of Multi-protocol Ethernet Gateway, Thesis[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2006.

收稿日期: 2007-05-08; 修回日期: 2007-08-31

作者简介:

史丽萍(1964-), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事配电网自动化及大型机电设备的监控研究工作; Email: slpbbb@263.net

王攀攀(1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力拖动自动化;

张广龙(1981-), 男, 硕士, 主要从事配电网自动化方面工作。

(上接第 42 页 continued from page 42)

4 结语

本文提出了电力系统实时相量测量实验方案和原理, 并在黑龙江某矿电厂进行了试验, 实验结果达到预期的目的。文中利用 GPS 的授时功能, 测量精度较高; 采用的基于 DSP 芯片的硬件控制系统具有开发周期短、成本低的特点, 具有较好的应用价值。

参考文献

- [1] IEEE Working Group Reports. Synchronized Sampling and Phasor Measurements for Relaying and Control[J]. IEEE Trans on PWRD, 1994, 9(1): 442-449.
- [2] Stanton S E, et al. Application of Phasor Measurements and Partial Energy Analysis in Stabilizing Large Disturbance[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(1): 297-305.
- [3] Burnett R, et al. Power System Applications for Phasor Measurement Units[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1994, (1): 8-13.
- [4] 韩富春. 电力系统自动化技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.

HAN Fu-chun. Automatic Technology of Power System[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003.

- [5] 张永建. 电网监控与调度自动化[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

ZHANG Yong-jian. Electricity Network and Attemperring Automation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.

- [6] 张雄伟, 邹霞, 贾冲. DSP 原理与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

ZHANG Xiong-wei, ZOU Xia, JIA Chong. DSP Principle and Application[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.

收稿日期: 2007-05-11; 修回日期: 2007-06-04

作者简介:

汪玉凤(1962-), 女, 工学硕士, 教授, 硕士生导师, 主要研究方向为现代电力系统的分析与设计、智能电气理论及应用、交流电机控制新方法; E-mail: helenna681@163.com

刘昕霞(1980-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统自动化;

刘静(1956-)女, 大学, 副教授, 主要从事工业自动化方向的教学与科研。