

基于以太网的 103 通信规约在微机馈线保护装置中的研究与实现

陈忠斌, 陈剑云

(华东交通大学电气与电子工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: IEC60870-5-103 通信规约是电力系统通信用常用的通信规约,许多继电保护设备的通信模块都是基于这个规约设计制造的,但详细的通信流程却大不相同。首先在分析研究了微机馈线保护装置硬件结构的基础上,重点论述了基于以太网的 103 规约的实现方案,然后提出了一种有限状态机的软件设计方法,并利用 Linux 环境下的 Socket 编程,实现了基于以太网的 103 通信规约的软件编程。

关键词: 微机保护; 传输规约; IEC60870-5-103; 以太网; 有限状态机

Research and implementation of Ethernet-based 103 transmission protocol for microprocessor-based protection equipment

CHEN Zhong-bin, CHEN Jian-yun

(School of Electrical and Electronic Eng, East China Jiaotong University, Nanchang 330013,China)

Abstract: IEC 60870-5-103 transmission protocol is the most popular protocol used in power system communication, on which the design of many communication modules of relay protection is based, but the detailed communication processes are quite distinct. This paper briefly analyses the hardware devices of microprocessor-based feeder line protection equipment. On the basis of which, implementation of Ethernet-based 103 protocol is focused and then the software design method of finite state machine is proposed. The Socket Programming in Linux environment is employed to achieve the software programme of Ethernet-based 103 transmission protocol.

Key words: protection microcomputer-based; transmission protocol; IEC60870-5-103; Ethernet; finite state machine

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)16-0088-04

0 引言

随着微电子技术、计算机技术和网络技术的迅速发展、以及标准化规约的陆续推出,使得微机保护装置在硬件结构以及通信技术等方面得到不断更新和发展。国内许多变电站原有的继电保护装置在很多方面达不到新的技术要求,已经不能满足电力系统对馈线保护的要求。另一方面,从国外进口的新型的微机馈线保护装置又很难实现本地化,给操作和维护都带来很大的不便。因此,我们急需研制一种新型的微机保护装置,以适应现代电力系统对继电保护及测控的需求。

微机保护装置除了基本的保护和测控功能外,另一个重要的功能就是实现与调度的实时通信。但是,我国现在实际运行的变电站自动化系统中,

由于诸多原因,不同厂家的设备所采用的通信协议并不统一,很多厂家采用自己的内部协议,这给变电站自动化系统的通信开放性带来了不好的影响,增加了很多通信协议的转换工作,同时也给运行管理和维护带来了不便,严重的时候还会造成通信不可靠。为了在变电站或厂站中,不同继电保护设备和控制系统之间达到互换的目的,IEC TC-57 技术委员会早在 1997 年就制定了 IEC60870-5-103 传输规约,该标准被称为继电保护规约的官方国际标准,简称 103 规约。我国在等同采用 103 标准的基础上,自 1999 年 10 月 1 日将此标准定为电力系统继电保护标准 DL/T667 1999,目的是为了在我国尽快采用国际的传输规约 103,并以此推动我国变电站、厂站自动化事业的进一步发展。所以,为了提高变电站自动化系统通信的开放性,从现在开始所有的厂家都应积极采用标准的通信协议,使自己的产品更为

基金项目:江西省教育厅科技项目(Gjj08241)

标准化^[1]。本文结合 TG01T 型微机保护装置的研究方案, 详细介绍了基于以太网的 103 协议在微机保护装置中实现的方法。

1 微机馈线保护装置硬件整体方案设计

微机馈线保护装置是以中央处理器为核心, 根据数据采集系统采集到馈线实时数据, 按照给定算法来检测是否发生故障以及故障性质、范围等, 并由此做出是否需要跳闸或报警等判断的一种安全装置^[2]。

我国研制的微机保护硬件结构方面先后经历了三代, 主要由单 CPU 结构发展到今天的多 CPU 结构: 第一阶段以单 CPU 的硬件结构为主; 第二阶段以多单片机构成的多 CPU 硬件结构为主; 第三阶段以高性能的 16 位单片机构成的硬件结构为主^[3]。在通信方面, 一方面, 目前变电站综合自动化系统中的智能电子设备 IED(Intelligent Electronic Device)基本上都采用 RS485 / RS232 方式或总线方式(如 LONWORKS 总线、CAN 总线、MODBUS 等)进行通信, 此时 IED 必须通过通信管理单元或规约转换器(通信网关)才能接入系统。要实现变电站自动化系统的无缝通信就必须取消这些转换环节, 使 IED 能够直接接入系统。另一方面, 国内各地的电力光纤通信网络建设目前基本上铺设完毕, 所以, 未来发展的趋势应该是通过以太网来进行传输数据。TG01T 型微机保护装置就采用了基于以太网的硬件设计。本装置采用“ARM+DSP”的双 CPU 构架, 其中 ARM 作为主 CPU, DSP 作为保护 CPU, 将保护功能和其他扩展功能分离, 从而提高装置动作的速动性和可靠性。DSP 处理器选择 TI 公司的 32 位定点 DSP 处理器 TMS320F2812, 不但可以完成数据采集、信号处理的功能, 还可以完成以往主要由 CPU 完成的计算功能。ARM 处理器选用了 Samsung 公司的 S3C2410 作为主管理 CPU, 其处理能力非常强, 并且可以方便移植内置 TCP/IP 协议栈的 Linux

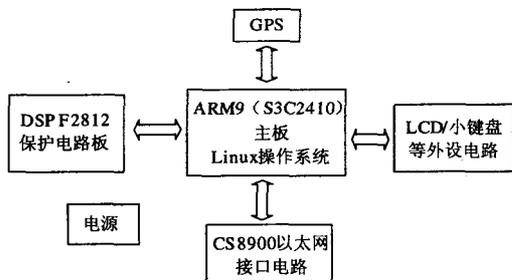


图 1 硬件总体规划图

Fig.1 Hardware of scheme

操作系统, 有利于实现基于以太网的 103 通信规约。整个装置的硬件总体规划如图 1 所示。

2 基于以太网的 103 规约的设计

103 规约是在 IEC60870-5 系列标准的基础上, 采用 FT1.2 帧格式, 对物理层、链路层、应用层作了大量的具体的规定和定义。FT1.2 常用帧格式有固定帧长和可变帧长两种, 具体格式如图 2 和图 3 所示。

103 规约的链路层采用 FT1.2 帧格式及其链路传输规则, 其只能适合于 RS485 专线数据通道, 通常的速度为 9.6 Kbps 或 19.2 Kbps。它对于支持 TCP/IP 接口的数据通道不太适合。因此, 为了能让标准的 103 规约能够适用于主站与子站之间的以太网通信, 就必须对该规约进行必要的扩充, 使 103 规约能适应于在 TCP/IP 网络协议下传输数据包, 以便满足在以太网上通信的需要^[4]。

启动字符 10H
控制域(C)
地址域(A)
帧校验和(CS)
结束字符(16H)

图 2 固定帧

Fig.2 Fixed frame

启动字符 68H
长度L
长度L(重复)
启动字符 68H
控制域(C)
地址域(A)
链路用户数据(可变长度)
帧校验和(CS)
结束字符(16H)

图 3 可变帧

Fig.3 Variable frame

IEC60870-5-104 规约是国际电工委员会(IEC) 为了满足 IEC 60870-5-101 远动通信协议(以下简称 101 协议) 用于以太网实现而制定的。其网络层协议为 TCP/IP 协议, 应用层协议采用 101 协议的 ASDU。为了保证应用层 ASDU 的通信可靠性, 对应用规约控制信息(APCI) 给予了定义, 规定了应答和重发机制(引用 ITU-T X. 25 标准)。在 IEC 60870-5-104 协议的第 1 节“范围与目的”中明确规定: 是“根据相同的定义, 不同的 ASDU, 包括 IEC 60870-5 全部配套标准所定义的 ASDU , 可以

与 TCP/IP 组合, 不过这些在本标准没有进一步说明”^[5]。这为我们在本设备中采用以太网进行 103 规约数据的传输提供了良好的支持和借鉴。与采用 RS-485 总线进行通信的传统 103 协议相比, 本设备实现了应用层通信协议实现远行于 TCP/IP 之上的 103 规约。基于以太网的 103 协议的体系模型如图 4 所示。

按照 103 规约来选取的 IEC60870-5-5 应用功能	
IEC60870-5-103 应用服务数据单元 ASDU	
链路协议控制信息 LPCI	
TCP	UDP
IP/ICMP/ARP	
以太网接口驱动	
10Base-T 以太网	

图 4 基于以太网的 103 规约的体系模型

Fig.4 System model of Ethernet-based 103 protocol

保护测控装置采用非平衡传输方式, 在建立连接时采用 103 协议的链路层传输规则, 所有报文由主站启动传输。这时, 保护测控装置就担当一个服务器的功能, 主站相当于客户端。保护测控设备向主站提供约定范围的服务, 所有服务信息都按照 103 规约进行传输。

在基于以太网的实际通信时, 发送数据实际上是一个按照协议的要求对数据封装的过程, 即各层在收到上一层的数据前面按照协议添加相应的头部信息进行封装, 此表头记录了该数据块相对于该层的特性及信息然后传递给下一层协议, 最后通过网络物理硬件发送出去。接收数据是一个相反的过程, 即每一层从下一层收到数据之后, 先剥去该层的表头, 之后再剩余的部分送至上一层进行相应处理, 一直到得到用户所需的数据。图 5 以可变帧长为例, 说明了基于 TCP/IP 协议栈的 103 规约在微机保护装置通信中整个报文的封装和解析过程。

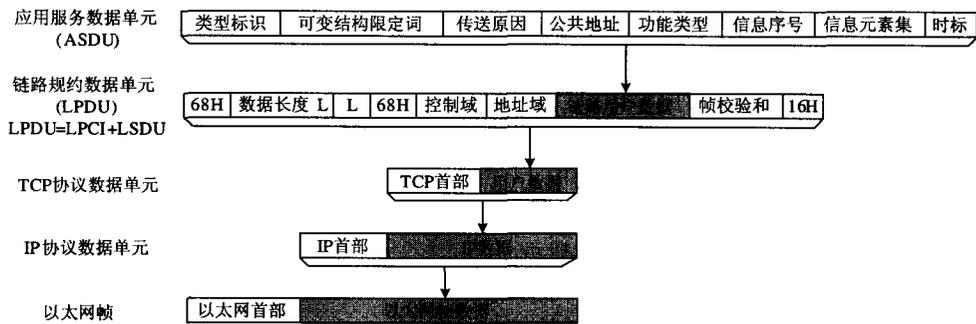


图 5 可变帧长在 TCP/IP 的协议栈的封装过程

Fig.5 Packaging process variable frame in TCP/IP stack

3 103 规约的软件实现

103 规约规定, 对于已定义的兼容范围的 ASDU 和应用过程要求各厂家强制性采用。对于所要求传输的信息, 如果兼容范围还不能完全满足要求, 对于国内已经生产的继电保护设备, 在硬件方面改动比较困难, 又较难适应通用分类服务的要求时, 可使用专用范围实现。对于新的继电保护设备, 如果兼容范围还不能完全满足要求, 不能满足要求的部分必须采用通用分类服务来实现, 不得使用专用范围^[1]。目前装置主要用到的兼容范围的应用服务数据类型, 只要按照 103 规约的定义设计应用层软件就可以了。

由于 103 规约链路传输规则复杂, 事件轨迹繁多, 在程序设计方面, 没有比较统一规范的开发模式, 一个系统往往要经过反复修改, 浪费大量人力。

本文引入有限状态机进行设计, 并提出一种有限状态机的实现框架, 通过通信软件的开发, 提供一种比较便捷通用的开发模式^[6]。按 103 规约的报文中的固定帧长帧格式和可变帧长帧格式, 编程时根据接收的字符变化, 设计可变帧长接收状态机和固定帧长接收状态机。其可变帧长接收状态机如图 6 所示。

其中: M 是状态机, 它反映了链路通信数据的状态, 初值为 0。并设定接收一帧数据的完成标志是 $Reof$, 其初值为 0, 当数据未完成时 $Reof=0$, 当接收一帧数据完成后 $Reof=1$ 。设定接收当前字符为 C , 接收报文数据域字符长度为 $L1$, 接收数据长度计数变量为 N 。编程的时候是用 `switch case` 语句来实现状态机的。固定帧长接收状态机比可变帧长接收状态机简单, 可按同样方法设计。

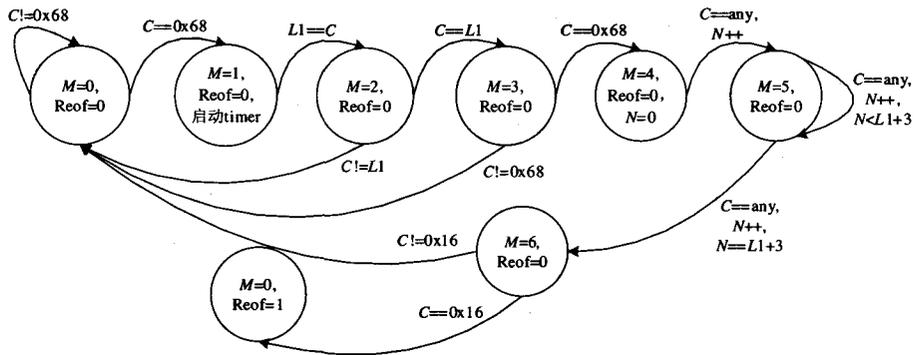


图 6 可变帧长接收状态机
Fig.6 Receive state machine of variable frame

本装置在 ARM 处理器上移植了内置 TCP/IP 协议栈的 Linux 操作系统, Linux 系统在实现通信功能方面有得天独厚的优势: 系统性能十分稳定; 拥有真正的多用户、多任务能力; 先进的网络功能, 完整的 TCP/IP 协议栈, 支持大量其它的网络协议。其中, Socket 层是应用层与 TCP/IP 协议族通信的中间软件抽象层, 它是一组接口。它把复杂的 TCP/IP 协议族隐藏在 Socket 接口后面, 使得 TCP/IP 协议栈的封装就由操作系统来组织完成。对用户来说本保护装置基于以太网通信程序的实现, 就是在 Linux 环境下的 Socket 编程, 使用 Linux 操作系统提供的几个函数就可以完成网络的建立、数据的传输。主要用到以下函数: socket 函数、connect 函数、bind 函数、listen 函数、accept 函数等。图 7 给出了基于以太网的 103 规约数据通信工作流程。

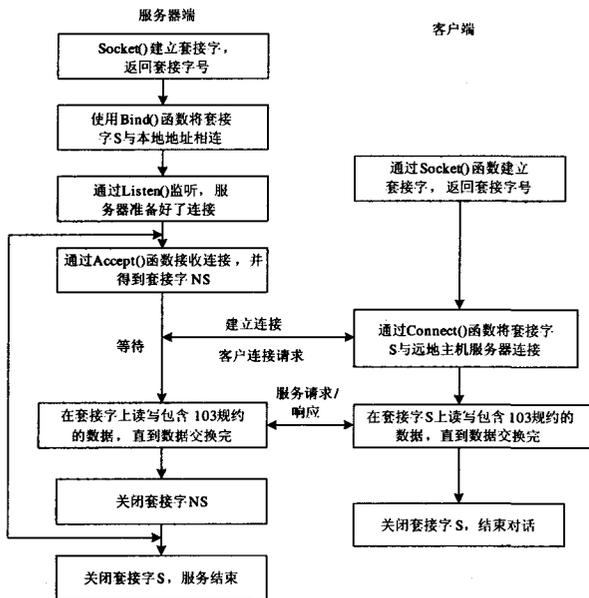


图 7 基于以太网的 103 规约数据通信工作流程
Fig.7 Socket communication flow

4 结论

本课题组经过一年多的研究与努力, 从最初的调研、设计到现阶段产品的研制, 结合实际变电站自动化系统的要求, 成功开发了一套适用于电力系统的集保护、测量、控制于一体的新型微机保护装置, 并实现了基于以太网的 103 通信规约。实验测试和现场测试证明, 该装置采用模块化结构设计, 具有实时性强和可靠性高的特点, 易于维护, 具有较高的应用价值。

参考文献

- [1] 远动设备及系统第 5 部分传输规约 第 103 篇 继电保护设备信息接口配套标准[S]. Telecontrol Equipment and Systems Part 5: Transmission Protocols Section 103 Companion Standard for the Information Interface of Protection Equipment[S].
- [2] 吴鹏. 基于以太网 103 规约的微机馈线保护测控装置的通信研究与实现(硕士学位论文)[D]. 南昌: 华东交通大学, 2008. WU Peng. Communication Research and Implementation of Feeder Protection & Monitoring Device Base on Ethernet 103 Protocol, Thesis[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2008.
- [3] 周立波. 基于 RISC 处理器的变压器经济运行控制及备自投装置的设计(硕士学位论文)[D]. 重庆: 重庆大学, 2007. ZHOU Li-bo. Design for Transformer Economical operation Control and Backup Automatic witch Device Based on RISC Processor, Thesis[D]. Chongqing: Chongqing University, 2007.
- [4] 邓素碧, 赵振龙, 等. 以太网 103 规约及其在水电厂自动化系统中应用[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(6): 79-82.

(下转第 95 页 continued on page 95)

(2) Web 数据浏览和发布模块: Web 查询界面采用树状结构, 右击菜单实现功能模块。报表和图形表示界面友好、操作方便, 可通过 Web 服务器采用网页的方式发布各类信息, 实现分用户分权限安全控制的 Web 信息发布功能, 方便进行各类查询、下载各类分析数据、报表数据。实现各线损、线损率指标、电压合格率、不平衡度、计划、电度量和报表的 Web 浏览。如: 软件线损的自动汇总统计, 通过公式:

$$\begin{aligned} \text{线损率} &= (\text{线损电量}/\text{供电量}) \times 100\% = \\ &(\text{供电量}-\text{售电量}/\text{供电量}) \times 100\% = \\ &(1-\text{售电量}/\text{供电量}) \times 100\% \end{aligned}$$

$$\text{台损率} = (\text{变台损耗电量}/\text{供电量}) \times 100\%$$

实现分地区、分线路、分台区进行 10 kV 线路线损计算, 具有按日、月统计和对比分析功能, 按选定变电站、母线、变台等实时的线损查询, 提供曲线图进行比较等功能, 如图 3 所示。

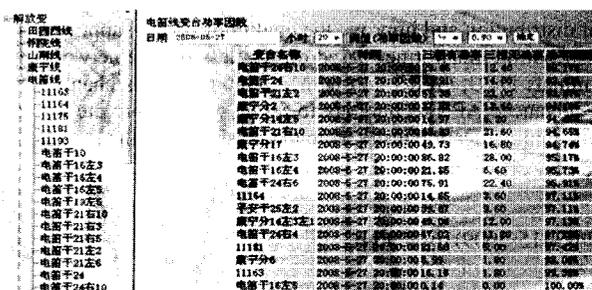


图 3 线损分析界面图

Fig.3 Interface of line loss analysis

(3) 可视化潮流平台由工作平台和维护平台两部分组成, 其中, 工作平台是电力分析应用软件所需的人机交互环境, 而维护平台是系统维护人员用于建立和维护系统所用图形数据库工具。

2 结论

基于 Mobitex 技术的 10 kV 配电管理系统贯穿于电网配电、用电环节, 实现对 10 kV 线路的台区变压器数据的实时监控和集中式自动化管理, 形成稳定的信息采集、控制渠道, 有利于解决 10 kV 线路线损、不平衡指标超标、变压器损耗大、供电线路负载不平衡、GIS 系统数据与实际现场数据不符等问题, 增强台区考核, 以及商业用户、机关户、非普工业的用电管理的透明度, 在 10 kV 配电网电能管理、线损统计、三相不平衡分析、电压合格率分析的基础上, 提升企业的配电监测管理水平。

参考文献

- [1] 祁兵, 唐良瑞, 龚钢军. 基于 Mobitex 的电力负荷管理系统设计[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(5): 83-85.
QI Bing, TANG Liang-rui, GONG Gang-jun. Design of Power Load Management System Based on Mobitex[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(5): 83-85.
- [2] 何春红, 孙毅, 周鹏. Mobitex 和 GPRS 技术在电力系统中的应用分析[J]. 现代电力, 2004, 21(4): 70-75.
HE Chun-hong, SUN Yi, ZHOU Peng. Application Analysis of Mobitex and GPRS Technologies in Power System[J]. Modern Electric Power, 2004, 21(4): 70-75.
- [3] 龚钢军, 祁兵, 唐良瑞. 基于 Mobitex 和 PLC 技术的电力营销管理系统设计[J]. 继电器, 2008, 36(4): 37-41.
GONG Gang-jun, QI Bing, TANG Liang-rui. Design of Power Sales Management System Based on Mobitex and PLC Technology[J]. Relay, 2008, 36(4): 37-41.

收稿日期: 2008-09-25; 修回日期: 2008-10-08

作者简介:

龚钢军 (1974-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为应用电子技术、无线通信、电力系统通信等; E-mail: gonggangjun@126.com

唐良瑞 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向为图像处理、电力系统通信、电能质量等。

(上接第 91 页 continued from page 91)

DENG Su-bi, ZHAO Zhen-long, et al. Ethernet 103 Protocol and Its Application in Hydraulic Power Plant SCADA System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(6): 79-82.

- [5] 远动设备及系统第 5-104 部分: 传输规约 采用标准传输协议子集的 IEC6087-5-101 网络访问[S].
Telecontrol Equipment and Systems Part 5-104: Transmission Protocols Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles[S].
- [6] 傅钦翠, 陈剑云. 基于有限状态机的远动规约的设计和实现[J]. 电网技术, 2006, 30(10): 214-217.

FU Qin-cui, CHEN Jian-yun. On the Implementation of Finite State Machines[J]. Power System Technology, 2006, 30(10): 214-217.

收稿日期: 2008-09-18; 修回日期: 2008-10-29

作者简介:

陈忠斌 (1975-), 男, 硕士, 主要研究方向为电力系统及其自动化; E-mail: zbchen@4y.com.cn

陈剑云 (1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力系统及其自动化。