嵌入式以太网在稳定控制装置中的应用

朱 科,周良松,周启文
(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 嵌入式以太网技术的应用不仅提升了稳定控制装置的通信能力,还扩展了诸如嵌入式Web服务器等新的网络功能。该文首先讨论了嵌入式以太网在稳定控制装置应用的优点,详细分析了一个精简TCP/IP协议族的软件实现过程,重点介绍了嵌入式Web服务器的系统模型和动态网页的设计方案;同时介绍了基于TCP/IP的IEC 60870-5-104应用层协议实现设备与调度自动化系统无缝通信的方法。

关键词: TCP/IP; 嵌入式Web服务器; 稳定控制; IEC60870-5-104

中图分类号: TM712 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2006)03-0066-05

0 引言

电力系统安全稳定控制装置是保证电力系统安全稳定运行,防止系统频率和电压崩溃,提高系统稳定水平和供电可靠性的重要措施。随着电力系统的发展,互联的电力网络变得越来越复杂,对稳定控制装置的要求也不断提高。新型的稳定控制装置必须以高性能微机为主体,采用区域稳定控制模式,综合稳定控制的多种功能,能够满足集中管理和综合优化的要求。另外,一种称为"在线预决策,实时匹配"的控制策略表形成方案也已进入实用化阶段,文献[1]描述了一个新开发的在线预决策的暂态稳定控制系统,该系统根据从EMS获得的电网实时信息,自动生成最优策略表并传输到各区域稳定控制系统,以满足在线稳定控制需要。这些稳定控制设备领域的新进展,很大程度上依赖于网络技术和通信技术的进步。而嵌入式以太网技术以其高通信速率、高可靠性、高兼容性等优势逐渐在工业设备通信模块中获得广泛应用。

所谓嵌入式以太网是指在嵌入式的软件和硬件环境下实现的以太网通信,本文以一种广为应用的区域稳定控制装置为开发平台,建立了一个精简的TCP/IP协议族,并在应用层完成开发了嵌入式Web服务器和IEC60870-5-104规约通讯,前者允许授权用户通过网络浏览器直接从Internet上获取稳定控制装置的主接线状态监控画面、故障报告文件、策略表文件等,省却了专用远程监控系统的开发和培训使用。后者部分实现了华中电网在线稳定控制系统与稳定控制装置间的基于104规约的通讯,满足了在线稳定控制依靠高质量通信的要求。

1 嵌入式以太网在稳定控制装置中的应用优势

稳定控制装置作为确保电网安全稳定运行的重要设备,有着多方面的通信需求:

1)在紧急状态下为了维持稳定运行和持续供电,必须实时可靠地将控制措施命令(如切机、切负荷等)下达给执行装置。

2)区域性的稳定控制决策需要根据电网当时的运行方式、故障元件及故障类型做出决策,因此需要多个站协调配合,站间要实现数据传输及命令传送。

3)由于在线稳定控制和统一集中管理的需要,电网调度中心的上层自动决策系统应能通过通信网络与稳定控制装置进行信息交互,如对稳控装置进行远方监视、远方修改定值和刷新策略表。

4)与厂站监控系统通信,方便维护运行人员进行状态监测和故障诊断。

由于通信要求的不断提高,以往以RS232或RS485作为通讯端口的低速通信方式不适宜自动化水平的提高,现场总线技术也面临诸多的局限性,而以太网通信方式能够很好地满足要求。首先,以太网的通讯速率为10 M～100 M,更高速率的以太网技术也已成熟,其速率比目前的通讯端口快很多;其次,以太网由于其应用的广泛性,软硬件资源十分丰富,成本低廉;再次,以太网采用统一的通信协议,解决了现场总线各自采用通信标准造成的兼容性和扩展性差的问题,同时也方便与管理信息层(相对于现场设备网络层)的集成,这也是目前的厂站自动化系统选择以太网作为其内部通信网络的主要原

因;最后,各种基于以太网网络通信的应用方兴未艾,最典型的是嵌入式 Web技术基础上的远程监控维护[3~5];另外,中国电力数据网的建立更加明确要求电力自动化设备能够直接接入以太网。基于以上考虑,我们有必要开发嵌入式以太网在稳定控制装置中的各种应用,提高稳定控制装置的整体性能。

2　网络协议族的实现

2.1　精简 TCP/IP协议族的组成

将 TCP/IP协议应用到稳定控制装置中是实现嵌入式以太网的关键,该型号稳定控制装置采用的实时操作系统本身不具有 TCP/IP协议族,必须在自己的应用程序中实现一个 TCP/IP协议族。装置采用 32位微处理器,硬件资源比较丰富,但考虑到微处理器除了实现复杂的 TCP/IP协议族,解决数据的封装、拆包、编码、解码及数据发送外,更主要的是处理装置本身的测量、计算、控制任务,所以必须对 TCP/IP协议族进行裁剪。对于本文的实现而言,一个精简的 TCP/IP协议族包括:网卡驱动,ARP, IP, ICMP, TCP, HTTP, 104规约。协议族的分层结构图如图 1。

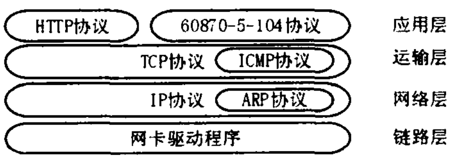

图 1　协议族分层结构图

Fig 1　Hierarchical structure of protocol stack

2.2　协议族的简化思路和实现原理

如图 1所示, TCP/IP是一个四层结构的协议系统,每一层分别负责不同的通信功能。下面根据稳定控制装置的软硬件特点分析每一层协议的简化原则和实现原理。

链路层实现的是 NE2000兼容网卡的驱动程序。NE2000网卡是一类 ISA总线接口的网卡,大多数基于 ISA总线的以太网控制器芯片,如 RTL8019AS, DM9008等都是兼容 NE2000标准的,因此在嵌入式以太网设备上应用十分广泛。网卡驱动程序函数向上提供三个接口函数,分别是 init_ne2000(),初始化网卡; poll_ne2000(),在上层主函数中轮询以接收和发送数据包; close_ne2000(),主程序结束时调用关闭网络驱动程序。向下直接驱动多种 NE2000兼容网卡。

网络层实现的是 ARP和 IP协议。ARP协议是地址解析协议,用于逻辑地址到物理地址的转换。对于本文的实现,ARP协议无需建立 ARP高速缓存表,对接收到 ARP包也只需做简单的处理。这是因为:对于 Web服务器,所有的 TCP连接都是由浏览器客户端发起的,此时通信双方的物理地址是明确的;对于 104规约通信,主站(调度中心)的 IP地址和物理地址是相对固定的,可在程序内部或配置文件中指定。对于少量情况下装置主动发起的针对未知物理地址的 TCP连接,每次发送 ARP请求获得物理地址并不会过多损失效率。

IP协议是 TCP/IP协议族的核心协议,提供无连接、不可靠的数据连接方式。IP数据报首部的标志字段和片位移字段用于报文的分片和重组,任选字段用于对 IP路由进行严格控制。对这些字段的忽略可降低协议的复杂性而不会影响 IP层的整体功能。

运输层实现的是 ICMP和 TCP协议。ICMP协议在协议族中的地位是相对独立的,主要作用是对网络状况进行错误侦测。ICMP的报文类型很多,嵌入式系统只需实现回显应答一种报文,以方便调试或运行时判断网络通断情况。

本文设计应用的 Web服务器和 104规约明确规定运输层使用 TCP协议,所以运输层需实现 TCP协议。TCP协议提供了面向连接的、可靠的字节流服务,它使用滑动窗口协议完成流控制,使用确认分组、超时和重传来完成差错控制。因为一个 TCP连接中存在建立连接、数据传输、等待关闭和关闭等各阶段,所以需要建立一个有限状态机完成连接中的状态转换。为了完成上述的控制功能,记录当前状态以及方便地实现 TCP并发连接,可以自定义一种 Socket套节字结构,该结构至少应包含如下成员变量:一个接收缓存区,一个发送缓存区,一个保存本地节点信息的节点结构体,一个保存远程节点信息的节点结构体、序列号、确认号、当前连接状态,另外还有超时时间值,重试次数计数值,当前发送、接收滑动窗口的大小值等。可见这样的一个套节字结构对象有能力在有限状态机的控制下独立完成一次 TCP连接从建立到关闭的全过程,所以定义多少个 Socket套节字结构对象,就表示可以同时并发多少个 TCP连接。本文中 TCP协议对应用层协议的接口函数是通过回调函数实现的:在重要的 TCP事件(打开、数据接收、关闭)发生时设置回调,上层协议在回调函数里获得数据,做出处理。TCP协议工作流程如图 2。

应用层实现的是 HTTP和 104协议。嵌入式

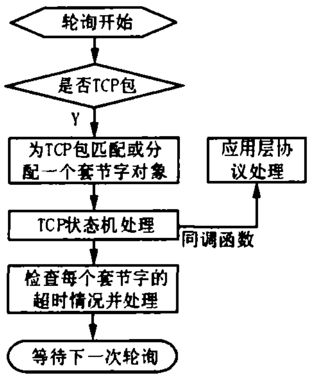

图 2 TCP协议模型及工作流程图

Fig 2 Flow chart of TCP protocol

Web服务器需要 HTTP协议的支持,HTTP协议消息是基于纯 ASCII文本的,以 TCP协议的 80端口进行数据交换。本文实现的 Web服务器不仅可以传输静态网页文本,并且可以通过 CGI接口、SSI接口、XML可扩展标识语言与 FALSH技术相配合三种方式实现动态交互网页。HTTP协议工作流程如图 3。

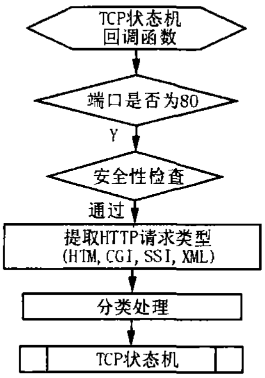

图 3 HTTP协议模型及工作流程图

Fig 3 Flow chart of HTTP protocol

IEC60870 - 5 - 104作为采用标准传输协议子集的 IEC60870 - 5 - 101的网络访问[6],其应用服务数据单元 (ASDU)和 IEC60870 - 5 - 101是相同的,但数据交换是以 TCP协议的 2404端口进行的,以响应调度主站的总召唤命令为例,工作流程为:调度主站向装置发送总召唤命令帧 (类型标识为 100,传输原因为 6),装置向主站发送总召唤命令确认帧 (类型标识为 100,传输原因为 7),然后装置连续地向主站发送所有属于总召唤的信息,这里具体为单点遥信帧 (类型标识为 1)和归一化的遥信帧 (类型标识为 9),直到全部属于总召唤的内容传完为止,最后向主站发送总召唤命令结束帧 (类型标识为 100,传输原因为 10)。可见,协议族可以通过判断类型标识和传输原因分别处理不同的数据帧。另外,104规约使用平衡式传输,突发事件要主动上送,遥信值需定时上送。IEC60870 - 5 - 104协议工作流程如图 4。

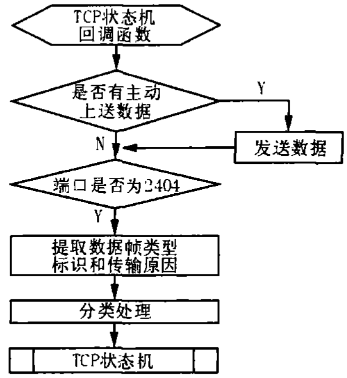

图 4 IEC 60870-5-104工作流程图

Fig 4 Flow chart of IEC 60870-5-104 protocol

3 嵌入式 Web服务器

在稳定控制装置上嵌入的 Web服务器允许任意地点的授权用户通过 Web浏览器访问装置,装置能以 FLASH动画的形式发布与装置人机界面 (液晶屏)完全相同甚至更丰富的系统运行状态主画面,并能动态生成故障报告文件、策略表文件、定值文件的列表网页,供用户查看和下载。出于安全性的考虑,屏蔽了“修改定值”等更改装置设置的操作。嵌入式 Web服务器的引入大大提高了用户和生产厂商远程监控及故障诊断的效率,降低了开发维护运行成本。

3.1 嵌入式 Web服务器系统模型

装置的操作系统提供了完善的文件系统,所以 Web服务器很容易发布静态网页 (直接读取静态 HTML文本文件的内容并发送);利用 CGI接口实现网页表单的提交处理 (本文应用主要是登陆信息的验证);利用 SSI接口实现一般的动态网页;对于网页上的 FLASH主接线图,Web服务器以 XML文档形式描述实时数据并发送给 FLASH解析。嵌入式 Web服务器系统模型如图 5。

3.2 SSI接口

SSI (Server Side Includes)是 HTML页面中的指令,在页面被提供时由服务器进行运算,以对现有 HTML页面增加动态生成的内容,而无须通过 CGI程序提供其整个页面,或者使用其他动态技术。

SSI指令有如下语法:<! - - #element attribute = value attribute = value . . . - - >,其格式很象 HTML的注释,因此如果没有编写 SSI代码,它会被

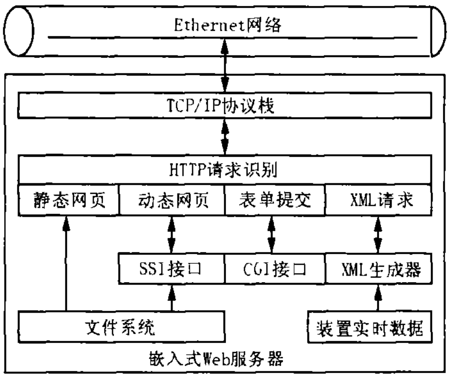

图 5 嵌入式 Web服务器系统模型

Fig 5 System model of embedded Web server

浏览器忽略。嵌入式 SSI接口为简单起见,并非完全采用标准的 SSI指令。举例说明 SSI接口原理:如浏览器请求稳定控制装置的故障报告文件列表页面,Web服务器开始解析含有 SSI指令的页面,当解析到一条 SSI指令"<! - - #filename01 - - >"时,服务器便到文件系统里查找一个故障报告文件,假设查找到某故障报告文件名为"REPORT01. TXT",则将该指令替换为" REPORT01. TXT ",这样提交到浏览器端生成的就是一条可点击的故障报告文件列表项。

3.3 FLASH技术和 XML可扩展标记语言的配合

FLASH是一种交互式动画设计工具,用它可以将音乐、声效、动画方便地融合在一起,以制作出高品质的动态效果。它采用矢量绘图技术,缩放不影响图像质量并且可节省动画文件的大小。它最大的特性是强大的交互能力,通过对 flash文件的编程可实现十分复杂的交互。

XML是可扩展标志语言(Extensible Markup Language)的简称,和 HTML一样,XML是从所有标志语言的元语——标准通用标志语言 SGML(Standard Generalized Markup Language)那里派生出来的。XML语言有两个特征:第一,它是一种元标记语言,所谓"元标记"就是开发者可以根据自己的需要定义自己的标记。比如开发者可以定义如下标记 <遥测> <遥信>;第二,XML是一种语义/结构化语言。它描述了文档的结构和语义。比如可以用 XML描述一个遥测值为:<遥测> <编号>1</编号> <值>0.578</值></遥测>。由此看出,XML的文档是有明确语义并且是结构化的。值得注意的是:设计 XML的初衷不是用来显示数据的,而是用来存储、传送和交换数据的。FLASH动态画面与 Web服务器的数据传送便是利用了它的这个特性。

稳定控制装置的主画面是一个厂站主接线及其出线的示意图,该示意图显示每条线路的三相电压、三相电流、有功、无功,如数据正常时显示白色,异常时显示黄色;线路左侧显示保护信号;每一线路上的断路器标志还可显示出该线路的"投运"和"检修"状态。画面右侧为通讯方向及通讯正确率等等。对于发布一个含有多种复杂元素并且刷新频繁(1～3 s)的动态画面,如果采用 HTML动态网页的做法,脚本代码将十分复杂,而且频繁的页面请求会使 Web服务器(装置)不堪重负。FLASH提供简便高效的解决途径,第一:FLASH可以设计出与装置人机界面完全相同的 FLASH主接线图动画,并且容易增加如声音报警等其他高级元素;第二:FLASH动画能够被传送到浏览器,并且在浏览器所在的本地机上单独运行,符合"瘦服务器端,胖客户端"的原则;第三:FLASH能够解析 XML文档,对于 FLASH的每次请求,服务器只须发送 XML格式字符串,降低了服务器的负担。

总结用 FLASH和 XML构造主接线图画面的工作原理为:浏览器请求 FLASH动画,Web服务器将动画传送至浏览器端,FLASH动画定时(根据需要设为 1～3 s)发送一个 XML请求到服务器端,服务器端将实时的遥测遥信数据封装成 XML字符串,返回给 FLASH端,FLASH解释所返回的 XML串,根据相应的值刷新主接线显示,并可自行判断是否语音告警、弹出提示对话框等。

4 结束语

文章详细分析了嵌入式 TCP/IP协议族的实现思路,重点探讨了稳定控制装置中嵌入式 Web服务器的设计方法和实现中的一些关键问题。目前,该型号的稳定控制装置已经嵌入了 Web服务器的功能。嵌入式 Web服务器技术的应用,将有效降低设备运行维护费用,提高设备的管理水平。

随着全国电网的连通和中国电力数据网的建立,迫切需要远动信息的网络传输以及建立基于广域网的大电网系统。本文使用了基于网络传输的 IEC60870 - 5 - 104规约中的一小部分采集对象进行了遥测数据传送、遥信单点数据传输、全数据召唤的调试,建立了 104规约通信的体系架构,可以根据主站的功能要求方便地添加其他的应用服务数据单元,为在线稳定控制系统的实施提供了通信保障,也

为适应变电站自动化系统全面采用 104规约建立了基础。

参考文献:

[1] 周良松,彭波,夏成军. 一个实用的电力系统分层决策稳定控制系统[J]. 继电器, 2000, 28(4): 16-19.
ZHOU Liang-song, PENG Bo, XIA Cheng-jun. Study on New Transient Stability Control Pattern with On-line Hierarchical Decision-making and Control[J]. Relay, 2000, 28(4): 16-19.

[2] Bentham J. TCP/IP Lean Web Servers for Embedded Systems[M]. CMP Books Co, 2002.

[3] 韩小涛,尹项根,张哲. 嵌入式 Web服务器技术及其在电力系统中的应用综述[J]. 电网技术, 2003, 27(5): 58-62.
HAN Xiao-tao, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe. Review of Embedded Web Server Technology and Its Application in Power System[J]. Power System Technology, 2003, 27(5): 58-62.

[4] 金敏,周翔,徐田军. 变电站自动化系统中嵌入式 Web服务器的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 65-69.
JIN Min, ZHOU Xiang, XU Tian-jun. Design and Implementation of Embedded Web Server in Substation Automation System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(18): 65-69.

[5] 张国德. 嵌入式 Internet技术在工业监控系统中的应用[J]. 电测与仪器, 2003, 40(11): 49-51.
ZHANG Guo-de. The Study and Application of Embedded Internet Technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2003, 40(11): 49-51.

[6] 赵渊,沈智健. 基于 TCP/IP的 IEC60870-5-104远动规约在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 56-60.
ZHAO Yuan, SHEN Zhi-jian. Application of TCP/IP Based IEC60870-5-104 Telecontrol Protocol in Power System[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 56-60.

收稿日期: 2005-06-20; **修回日期**: 2005-09-04

作者简介:
朱 科(1981-),男,硕士研究生,主要从事电力系统稳定与控制,电力系统通讯设计、研究工作; E-mail: kedada@21cn.com
周良松(1967-),男,副教授,主要从事电力系统稳定与控制、电力系统自动控制及计算机监控的研究;
周启文(1977-),男,硕士研究生,主要从事电力系统自动化方向的研究工作。

Application of embedded Ethernet in stability control device

ZHU Ke, ZHOU Liang-song, ZHOU Qi-wen
(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The application of embedded Ethernet in stability control device not only upgrades its capability of communications, but also extends some fresh application such as embedded Web server. In this paper, the advantage of using embedded Ethernet in stability control device is discussed and the software implemention of a simplifed TCP/IP protocol stack is detailed. The system model of embedded Web server and the design approach to achieve dynamic HTML are presented. In addition, this paper introduces the method of using the IEC 60870-5-104 protocol based on the TCP/IP protocol to perform seamless communication between the device and the dispatching center.

Key words: TCP/IP; embedded Web server; stability control; IEC60870-5-104

(上接第 62页 continued from page 62)

[9] 徐永海,肖湘宁,杨以涵,等. 基于 dq变换和 ANN的电能质量扰动辨识[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(14): 24-28.
XU Yong-hai, XIAO Xiang-ning, YANG Yi-han, et al. Power Quality Disturbance Identification Using dq Conversion-based Neural Classifier[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(14): 24-28.

收稿日期: 2005-06-14; **修回日期**: 2005-09-01

作者简介:
吕干云(1976-),男,博士,讲师,主要从事电力系统电能质量和人工智能技术在电力系统中应用的研究。E-mail: ganyun_lv@zjnu.cn

PQ disturbances detection based on phase shift

LÜ Gan-yun[1], CHENG Hao-zhong[2], WANG Xiao-dong[1], ZHANG Hao-ran
(1. Department of Information Science and Engineering, Zhejiang Normal University, Zhejiang 321004, China;
2. Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Power quality (PQ) detection is an important part in field of PQ research. A new method based on phase shift is presented for PQ disturbances detection in this paper. The proposed method is very simple and has good real-time performance. It could detect the most important PQ disturbances in power system, such as harmonics, voltage sags, voltage swells, voltage fluctuation and transient oscillation. Because the method has no time delay by itself, it is very suitable for application of real-time PQ detection and identification. A lot of simulations and some testing data of bus voltage in a driving substation are used for validity of method.

Key words: power quality; PQ detection based on phase shift; simulations