

嵌入式以太网技术在数字继电保护平台上的实现

林 健,汪木兰,陈小虎

(南京工程学院 先进数控技术江苏省高校重点建设实验室,江苏 南京 210013)

摘要: 介绍了基于嵌入式以太网的数字继电保护平台结构,分析了以太网介质访问的特点,讨论了嵌入式以太网在数字保护平台中的应用可行性,围绕通信的实时性提出了几种设计方案,具体包括应用令牌传送协议、应用交换式 HUB、改变网络拓扑结构和提高以太网的通信速率等,从继电保护需传送数据具有的特点考虑,兼顾技术和成本的综合比较,最终选择采用令牌传送协议的通信方案,并给出了用以太网控制器 CS8900 实现以太网通信的硬件设计方案和软件设计流程。

关键词: 嵌入式以太网; 数字继电保护; 令牌传送

中图分类号: TM 76;TP 311.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)11-0058-03

嵌入式以太网与传统以太网的最大区别在于:传统以太网技术是基于 PC 机或工作站的软件和硬件环境,与 PC 机、工作站的硬件直接配合,上层使用的网络协议如 TCP/IP 等内嵌在 Windows NT、Unix 等操作系统中,传统以太网技术无法脱离 PC 机或工作站的软、硬件环境,这就限制了其在嵌入式领域的应用;而嵌入式以太网是基于微控制器/微处理器的软、硬件环境,使用的网络协议(如 TCP/IP)内嵌在实时任务调度操作系统(RTOS)中,并且它们在物理层和数据链路层上都遵循 IEEE802.3 标准,上层协议大都选用广泛使用的 TCP/IP 协议族。

IEC(国际电工委员会)制定的变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 提出了变电站内信息分层的概念,从逻辑上和物理概念上将变电站的通信体系分为 3 层,即变电站层、间隔层和过程层,并且定义了层和层之间的通信接口,体现了变电站中基于以太网技术的无缝通信技术^[1]。目前,国外一些著名大公司已经将嵌入式以太网技术应用于最新推出的数字保护装置中。如 GE 公司在保护装置中设计有以太网接口,ABB 也推出了带以太网接口的间隔层控制器 R580。这些都表明嵌入式以太网应用于数字保护装置是技术发展的趋势^[1-6]。

1 数字继电保护平台的硬件结构体系

在数字继电保护平台中采用“CPU + 以太网控制器 + 以太网收发器”的方案实现嵌入式以太网系统。如图 1 所示,保护平台硬件结构体系包括以太网 HUB 模块、数据采集与计算模块、逻辑和通信处理模块、输入和输出模块、人机界面模块等,充分体现了柔性(Flexible)设计理念。

2 在数字保护平台上应用的可行性研究

普通的以太网由于介质访问控制采用 CSMA/CD 机制,当 2 个或多个以太网节点同时访问共享的传输介质时,就会造成数据冲突。此时所有冲突的节点会按照一定的退避算法随机延迟一段时间,然后试图重新访问介质,以获得介质的访问权。因此,通常无法确切估计出冲突节点需随机等待的时间,另外,由于规定了最大的重发尝试次数,有可能会造成“实时”信息传输无效。因此,以太网是一个“不确定性网络”。有人认为,以太网信息传输延迟具有无法预测的随机性,难以满足实时系统的需要。

数字继电保护平台是一个实时性要求非常高的系统,和数据吞吐量相比,设计者更关注数据传输的

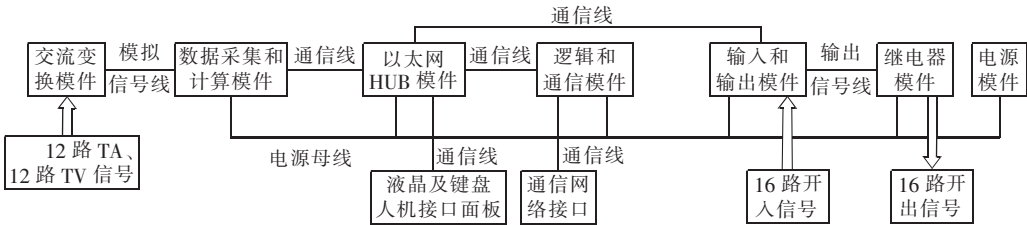


图 1 基于网络通信技术的数字继电保护装置结构

Fig.1 Digital protection structure based on network communication technology

实时性。为此,可采用下面的方法。

2.1 应用令牌传送协议

数字继电保护平台各模件之间的通信网络是一个专用网,CPU 实现的协议无需和普通以太网 TCP/IP 一致(普通以太网要求协议的兼容性),因此,可设计专用协议,采用实时控制系统通信常用的令牌传送的思想,令牌在网络中传送,只有拥有令牌的节点才可以发送数据,这样数据传送的最大时延可以确定为令牌在网络上的最大传输时间。

由于接口芯片通信速度的大幅提升,各节点的数据处理速度加快,节点每次发送数据的延时降低,因此,令牌在网络上的最大传输时间明显缩短。

继电保护需传送数据具有以下特点^[7-8]:

a. 每次传送的数据包不大(每次采样就传送一次),这也决定了节点发送数据时间不长;

b. 网络所联的节点不多,本平台联结 3 个智能模件(节点数越多,令牌在网络最大传输时间越长)。

下面就本平台进行具体估算,由于采用专用协议,相对于整个以太网数据帧,其头尾封装开销比例较小,因此估算时可以不考虑头尾封装的开销。

平台网络中传递最大的数据量为数据采集模件向逻辑与通信模件传送的录波数据,本平台有 24 个通道,每个通道产生的录波数据为瞬时值及基波和 2、3、5 次谐波的实部、虚部,因此,每次传送的数据量为 $24 \times (1 + 2 \times 4) = 216(\text{Word}) = 216 \times 16(\text{bit}) = 3456(\text{bit})$ 。平台采用的是 1 周期 48 点采样,因此,需要的带宽为 $3456 \times 48 / 0.02 = 8294400 = 8.29\text{ M}$ 。选用的 CS8900 A 的速率为 10 M,所以每次传送所需时间为 $3456 / 10 = 345.6(\text{s})$ 。逻辑与通信模件发出的控制和跳闸命令及 I/O 模件传送的开入量每次为双字,传送所需时间为 $2 \times 16 / 10 = 3.2(\text{s})$ 。因此,令牌在网络上的最大传输时间为 $345.6 + 2 \times 3.2 = 352(\text{s})$,已完全能满足继电保护快速性的要求,因此,此方法是可行的。

当然,若采用 100 M 以太网控制芯片,则网络上的最大传输时间仅为 35.2 s,性能更佳。

另外,从以上计算可见,信道的利用率已达 83%,若采用非令牌协议,数据的冲突碰撞将不可避免。

2.2 应用交换式 HUB

文献[9-10]对以太网报文传输的实时性问题作了研究,提出用交换以太网解决报文传输的实时性。然而,不能一概而论地认为采用了交换式以太网就一定能保证报文传输的实时性。交换式以太网也存在网络流量问题,如果多个节点同时向某节点端口连续发送的数据流超过接收端口的接受能力,会存在缓存溢出或拥塞的情况。而且在本平台上运作交换式 HUB 涉及的技术难度及成本将较高。

2.3 改变网络拓扑结构

以太网在半双工模式下是非确定性网络,但在点对点全双工模式下是确定性网络。考虑到继电保护平台中数据传输的特点,将数据采集与计算模件和逻辑与通信模件之间的通信改为点对点以太网通信,I/O 模件和逻辑与通信模件之间的通信为 CAN 通信,但这样的设计通用性较差,且不利于再扩展数据采集与计算模件。

2.4 提高以太网的通信速率

研究表明,当信道利用率低于带宽的 25% 时,网络冲突很少并能利用以太网本身机制得到有效解决。另外,由于模件间互联电缆非常短,信号的传播延时也非常小,因此,十分有利于冲突的避免。若考虑选用 100 M 的以太网控制芯片,则此时信道使用率仅为 8.3%。带来的问题是数字继电保护平台要求具有较强的抗电磁干扰能力,通信的双绞线即使选用超五类 UTP 也不能确保可靠性,最好选用光纤通信。由于本平台设计是基于以太网通信,故通信接口很多,选用光纤通信成本会提高很多。

经过上述技术和成本的综合比较,平台最终选用令牌传送的方案。

3 嵌入式以太网技术的硬件实现

以太网控制器选用了 Cirrus Logic 公司为工业控制这类可靠性要求极高的应用场合专门设计的以太网控制器 CS8900。和其他以太网控制器芯片有所不同的是,CS8900 本身设计高度集成,芯片内部集成了 Manchester 编码/解码器、时钟恢复电路、10BASE-T 收发器和完整的 AUI 接口前置模拟电路,极大简化了所需外围电路的设计,为嵌入式以太网开发提供了很好的解决方案。

网络接口 10BASE-T 收发器可以直接和隔离变压器相连,通过 RJ-45 连接各类屏蔽或非屏蔽双绞线,并支持接收极性倒置自动检测和校正。AUI 端口则提供了 10BASE-2、10BASE-5 和 10BASE-FL 接口。此外,CS8900 片上 4 KByte 的 RAM,可对发送和接收的报文完全缓冲,因此无需再外扩 RAM。CS8900 的工作方式有 2 种,一种为 Memory 方式,将 4 KByte 的 RAM 映射到 DSP 的 I/O 寻址空间内,直接对 RAM 操作;另一种为 I/O 方式,通过 8 个 16 位的端口寄存器访问 4 KByte 的 RAM。由于,DSP 对 I/O 空间的数据交换只支持直接寻址方式,用 Memory 方式软件编程不方便,因此选用 I/O 方式。因为,CS8900 缺省的工作方式为 I/O 方式,即使选用 Memory 方式,在设计硬件电路时必须支持 I/O 方式,否则不能进入 Memory 方式,这一点非常重要。

4 驱动程序设计

以太网的介质访问控制和逻辑链路控制,包括冲突检测、帧头(Preamble)的产生和检测、CRC 校验和产生等已由 CS8900 中的 802.3 MAC Engine 实现。因此,以太网驱动模件主要是对物理接口选择、工作方式初始化和对以太网数据帧发送和接收的处理。

由于主要数据流方向是从数据采集与计算模件到逻辑与通信模件,反方向的数据流是确认与应答信息,因此,为了软件程序流程的可控性,数据采集与计算模件中的以太网数据帧接收采用主程序流程中查询的方式,一旦查询到有接收帧存在,则启动接收程序模件。相反,为了达到较高的实时性,逻辑与通信模件中以太网数据帧接收采用中断方式。

数据发送采用如下方式:程序流程中相关的计

算结果数据放入相应 RAM 中之后,启动发送模块,其流程如图 2 所示。

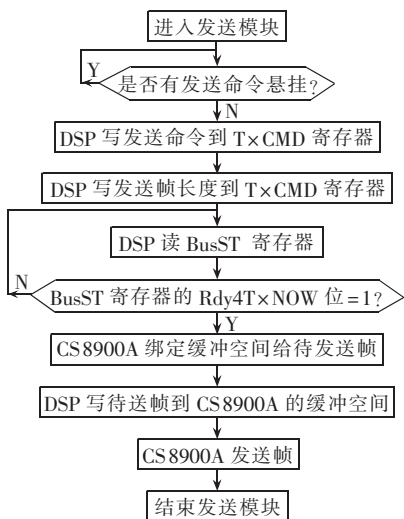


图 2 发送模块流程

Fig.2 Flowchart of data sending module

5 结语

本平台充分体现了基于网络通信的分布式数字保护设计理念,采用高速以太网通信进行模块之间的信息交互。这样,不同模块上 CPU 各自独立工作,提升了处理器的效率,并可以扩展各自的外围接口电路,提高了装置的性能。嵌入式以太网在数字保护平台中的使用,是实现 IEC61850 体系提出的变电站无缝通信的一个重要环节。

参考文献:

- [1] IEC. IEC 61850 Communication networks and systems in substations[S]. Geneva:IEC,2002.
- [2] 程雷,郭伟,刘超君,等. 嵌入式以太网在变电站自动化测控保护装置中的应用[J]. 电力自动化设备,2005,25(10):59-61.
CHENG Lei, GUO Wei, LIU Chao-jun, et al. Application of embedded Ethernet measuring and protective device of substation automation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25 (10): 59-61.

- [3] 任雁铭,操丰梅,秦立军,等. 基于嵌入式以太网的变电站自动化系统通信网络[J]. 电力系统自动化,2001,25(17):36-38.
REN Yan-ming, CAO Feng-mei, QIN Li-jun, et al. Computer communication network based on embedded Ethernet technique for substation automation systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(17): 36-38.
- [4] 吴在军,胡敏强. 基于 IEC 61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术,2003,27(10):61-65.
WU Zai-jun, HU Min-qiang. Research on a substation automation system based on IEC61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65.
- [5] 赵金荣,王海峰. 基于嵌入式以太网的变电站自动化系统的实现[J]. 电力系统自动化,2004,28(11):79-82.
ZHAO Jin-rong, WANG Hai-feng. Implementation of substation automation system based on the embedded Ethernet technology, [J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(11): 79-82.
- [6] 孙军平,盛万兴,王孙安. 新一代变电站自动化网络通信系统研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(3):16-19.
SUN Jun-ping, SHENG Wan-xing, WANG Sun-an. Study on the new substation automation network communication system [J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(3): 16-19.
- [7] 窦晓波,吴在军,胡敏强,等. UDP 协议在变电站自动化通信系统中的实现[J]. 电力自动化设备,2003,23(12):39-42.
DOU Xiao-bo, WU Zai-jun, HU Min-qiang, et al. Implementation of UDP in communication system of substation automation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(12): 39-42.
- [8] 崔沅,张剑云. 分布式控制系统内部强实时通信研究[J]. 计算机工程,2002,28(12):168-170.
CUI Yuan, ZHANG Jian-yun. Study of hard real-time communication in distributed control system[J]. Computer Engineering, 2002, 28(12): 168-170.
- [9] TENG DIN J, SIMON M S, SUFANA C R. LAN congestion scenario and performance evaluation [C] // Proc of IEEE Power System Engineering Society Winter Meeting. New York: IEEE Power System Engineering Society Winter Meeting, 1999: 919-924.
- [10] SKEIE T, JOHANNESSEN S, BRUNNER C. Ethernet in substation automation [J]. Control Systems Magazine, IEEE, 2002, 22(3): 43-51.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

林健(1971-),男,江苏南京人,讲师,研究方向为电气自动化和数控技术等(E-mail: zdhxj@njit.edu.cn)。

Implementation of embedded Ethernet on digital protection platform

LIN Jian, WANG Mu-lan, CHEN Xiao-hu

(Jiangsu Key Laboratory of Advanced Numerical Control Technology, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 210013, China)

Abstract: The digital protection platform structure based on embedded Ethernet is introduced. Its characteristics in medium accessing are analyzed. The application feasibility of embedded Ethernet on digital protection platform is discussed. Several design schemes for real time communication are put forward, including the application of token-passing protocol, the application of switchover HUB, the change of network topology and the enhancement of communication speed. According to characteristics of data transferred in protection and with the comparison in both technique and cost, the communication scheme of token-passing protocol is adopted, and the hardware and software design based on Ethernet controller CS8900 is provided.

This project is supported by the Natural Science Research Project Item of Jiangsu Colleges and Universities(03KJA 470034).

Key words: embedded Ethernet; digital protection; token-passing