

一种监控系统实时数据同步交换的新方法

李刚,王少荣,程时杰

(华中科技大学电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 工控机在工业监控领域中得到广泛的应用,由多台工控机组成的工业监控系统往往存在多机数据交换和综合的问题。一般的解决办法是采取网络通信,但其实时性和同步性还不尽如人意。本文从机箱总线扩展的角度出发,提出用点对点的高速同步通信和内存映射的方法实现了工控机之间的实时同步互连,并成功应用于实际工程中。

关键词: 总线扩展; 同步通信; 内存映射

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)12-0051-04

0 引言

在工业监控领域中,工控机由于其对环境的适应性好、抗干扰能力强,且采用标准模块化设计,易于进行功能扩展和更新,因而得到了广泛的应用。对于比较大型的工业监控系统,由于所需要的插件板数量很多,无法全部置于一个机箱中,这时候就需要使用多个机箱。需要指出的是,尽管各插件板分散于各个机箱之中,但这并不意味着它们因此以机箱为单位构成独立的子系统,而是仍然平行地从属于整个监控系统,就像它们都置于一个能够提供足够插槽的虚拟机箱中一样。从这一点上说,机箱之间的物理界限在逻辑上可被看作不存在,系统各插件的联系是紧耦合的(无论它们是否处于同一机箱内)。显然,这样的系统往往要求具有机箱之间的实时同步数据交换和通信的能力以及对处于不同机箱内插件板的可寻址能力。

本文利用点对点的高速同步通信和内存映射的方法解决了这个问题,实现了机箱总线的实时同步逻辑扩展,并将其成功应用于“湖南电网 GPS 同步状态监控系统”之中。

1 系统简介

为了以后叙述的方便,这里先简要介绍一下本文方案实际应用的系统——“湖南电网 GPS 同步状态监控系统”。该系统采用星型拓扑,由一个主站和多个子站在地理上构成一个广域分布的同步状态监测网。各子站根据全网统一的 GPS 同步脉冲进行数据的采集、运算、记录和显示,并打包送往上位机和主站集中处理,所有事务都必须在一个同步工作节拍内完成。此外,整个系统还必须对各种命令帧

进行传送和处理。

由于每个子站需要监测的状态量很多,对应的各种插件板数量也很多,并且根据装置使用现场的实际情况,这些插件板随机分布在多个机箱内。考虑到每块插件板均具有独立的 CPU(主要是 DSP),因而能在很短的时间内完成模拟信号采样到数字结果生成的整个处理过程。在系统具有强大计算能力的情况下,系统的数据交换和通信能力就决定了它的工作节拍。如果所有插件板都处于一个机箱内,插件板之间的高速数据交换是不存在困难的,利用双口 RAM 和机箱底板总线所提供的高带宽和强大的寻址能力就可以实现。然而,当插件板分布于多个机箱中时,如何迅速及时地将各个插件板的数据收集起来则需要解决两个关键问题:一是机箱之间必须具有高速通信信道;二是能够对各个机箱内的插件板进行高效迅速的寻址。

直接利用高速并行总线进行通信存在很多缺点,通信串行化是未来的潮流和趋势。利用串行方式实现机箱互连的一般做法是网络通信,具体方案可以是工业以太网或新兴的总线标准如 USB 和 IEEE1394 等。它们都能提供足够的通信带宽,组网灵活方便,并且具备一定的实时数据传输能力。比如,现在的工业以太网采用一种称作连接装置(Linking Device)的类似带有开关的集线器结构,很好地解决了以太网的时间确定性问题;IEEE1394 的等步传输模式具有可保证的带宽,因而也能够出色地完成高速实时数据的传输^[1,2]。

但是,由于本项目所实现的系统工作于同步模式下,各机箱的数据往往是同时到达并要求实时传输的,而且各机箱的数据间不具有可区分的优先级。考虑到工业环境下的适应性和抗干扰性以及应用的

简易性和成熟性,我们选择便于实现的点对点通信方式以可靠地达到数据实时同步传输的要求。

除了机箱之间的实时同步通信问题外,对不同机箱内插件板的寻址问题也是需要解决的。每块插件板都存在两种物理地址:一是插件板本身的硬件地址(板上双口 RAM 的选通信号),二是插件板计算结果所在的内存(双口 RAM)地址。注意到对插件板的寻址问题实际上是对内存的寻址问题,不难想到如果将各插件板看成可映射到总线上的内存块,则可以获得一种自然而直接的解决方案。具体实现为:

1) 为每个机箱设置一总线控制器,它对底板总线具有绝对唯一的控制权,负责机箱内所有的数据交换任务;

2) 将一个机箱设为主机箱,其他机箱设为子机箱,主子机箱之间采用星型拓扑,以高速通信卡相连;

3) 子机箱总线控制器以预定的方式收集各插件板双口 RAM 内的数据,通过高速通信卡将它们传送和分配到主机箱高速通信卡双口 RAM 的不同区域,供主机箱的总线控制器访问。

利用点对点的高速同步信道,辅以内存映射的方法,可以将物理上分离的各个机箱总线在逻辑上连接起来,构成一条尽管在物理上不存在但在逻辑上可见的单一总线。下面几节将讨论这种虚拟总线的实现细节。

2 物理层的实现

首先确定物理层的通信速率。本系统以全网统一的 GPS 同步节拍工作,根据系统的要求,每个节拍留给主子机箱进行数据交换的时间不超过 1 ms。经过综合考虑,我们采用了 10 Mbps 的通信速率。这样高的通信速率显然适于采用同步通信。对于这样的速率等级,简单廉价的 RS485/422 + 双绞线在短距离内仍可满足要求。

根据实际情况,没有使用同步通信控制器,而是直接使用微控制器完成所有工作。通信接口芯片采用了 TI(德州仪器)生产的可支持 30 Mbps 通信速率的 RS485/422 收发器 SN75C1167N,微控制器则采用了 TI 的 TMS320F206。TMS320F206 是一款应用广泛的 DSP。它自带的全双工同步串行口最高支持 20Mbps 的码元速率,可以实现与串行设备的无缝连接,也可以应用于多处理器系统中的双机通信——这就意味着可以实现短距离两块 TMS320F206 板卡之间的同步通信。

众所周知,无论是异步通信还是同步通信都存

在比特同步的问题。异步通信依靠起始位实现比特同步,同步通信则靠同步字符或同步码实现比特同步。TMS320F206 的同步串行口的设计目的是为芯片级串行器件提供一种通用互连接口,而非实现远距离双机通信,它是靠芯片之间的握手信号——帧同步脉冲来实现比特同步的。帧同步脉冲出现在发送/接收字符第一比特前的一个时钟周期,以此为标志,同步串行口就可以从一连串比特流中识别出数据字的起始位。这种比特同步的方法兼有异步通信和同步通信的优点:既像前者一样简单,又能达到后者的高速。不过,这种工作方式显然只在印制板的范围内才是有效的。为了将两块印制板上 TMS320F206 的同步串行口连接起来,我们将 TTL 电平转换成 RS485/422 电平,并使用屏蔽双绞线在板间进行信息传输。

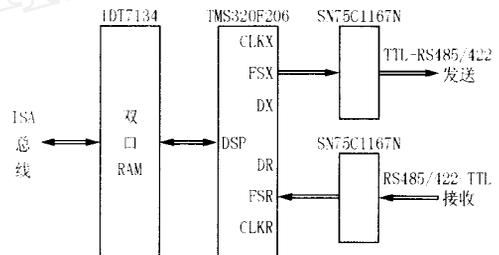


图 1 通信卡的结构示意图

Fig. 1 Structure of the communication card

图 1 是所开发的同步通信卡的硬件构成。TMS320F206 工作在 20 MHz 的主频上,同步串行口的工作方式为内部时钟源、内部帧同步源、突发传送模式。这样,同步串行口运行速度为 DSP 主频的二分频,即 10 Mbps,并且无需外部时钟产生电路。

3 数据链路层实现

数据链路层最重要的作用就是:通过一些链路控制规程,在不太可靠的物理链路上实现可靠的数据传输。其主要功能有:链路管理、帧同步、差错控制、透明传输、流量控制以及寻址等^[3]。完全实现所有上述功能并非必要,基于如下考虑:点对点通信、优良的物理信道以及可与 CPU 处理速度相比拟的通信速度,我们采用了经过简化的停止等待链路层协议。

在具体讨论实际的数据链路层协议之前,有必要先说明同步通信卡的工作特点,因为它们在很大的程度上影响到链路层协议的实现方式。从理论上说,同步通信卡可以全双工工作。不过由于通信速度已和 CPU 处理速度处于同一数量级,并且同步串

行口的 FIFO 如此有限(仅 4 个字),因而一旦接收过程开始,CPU 能够用于处理其他事务的时间将所剩无几。在这种情况下,显然停止等待协议是必要的,连续自动请求重传 ARQ (Automatic Repeat Request) 协议将可能使接收方无法应付。另外需要说明的是同步通信卡接收/发送缓冲区的设计。一般而言,缓冲区应该是一个 FIFO 队列,主机能够对队列的顶部进行读写操作。由于同步通信卡的首要任务是尽可能快地实现机箱间的数据交换,使用由软件处理的串行 FIFO 缓冲区将增加可观的处理时延,因此实际采用的缓冲区是并行的。同步通信卡的双口 RAM 被对等地分为接收和发送两部分,每部分又被均匀地分为若干块子缓冲区,每块子缓冲区可以容纳一帧数据,并具有独立的握手标志字节(作用是防止双口 RAM 的读写访问冲突并标志数据的新旧)。数据交换就直接在这些子缓冲区上进行。发送部分是单缓冲的,接收部分则是双缓冲——增加了一个 DSP 片内接收缓冲区以防止总线控制器没有及时取走数据而导致帧丢失。

表 1 为链路层的帧结构。由于比特同步已经由硬件实现,数据包的包头仅用于帧同步,传输的透明性是自然的,不需要额外的处理。因为是点对点通信,地址部分是不必要的。优良的物理信道使得系统只需要简单的校验方式,实际上为了尽量减少处理延时,不能过多地将 CPU 时间花费在 CRC 循环冗余校验上。此外,数据帧和控制帧是分开的;数据帧的帧号小于 16,控制帧的类型码大于 16。

图 2 基本体现了停止等待协议的算法,不同之处在于发送和接收是按轮进行的,每轮的发送和接收可以包括任意的帧数(不大于发送/接收的子缓冲区数),这主要是为了实现内存映射的功能。

表 1 数据链路层的帧结构

Tab. 1 Framework of data link layer

包头 (7EE7H)	帧编号/控制码 (1 个字节)	帧字节长度 (1 个字节)	数据	异或和累加校验 (2 个字节)	包尾 (0DH)
---------------	--------------------	------------------	----	--------------------	-------------

4 内存映射和应用层实现

除了用于数据交换/通信以及产生 GPS 同步信号的板卡外,子站系统还有其他插件板用于同步监测电力系统的各种状态量,如:电压幅值、频率、相角、功角、功率以及开关量等。这些状态量在每个同步工作节拍更新一次,并存放在插件板各自的双口 RAM 内,总线控制器负责取走这些数据并将数据打包送往上位机和中心站。由于这些插件板随机分布于不同的机箱内,本节将讨论如何利用内存映射的

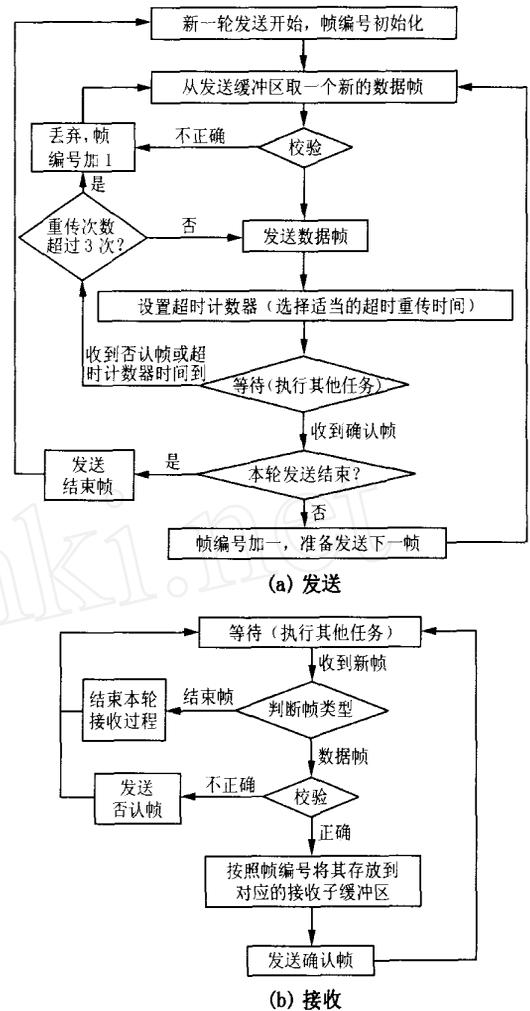


图 2 发送/接收流程图

Fig. 2 Flow chart of transmitting and receiving

方式对它们访问。

双口 RAM 是整个数据交换的中介,为了高效地利用它,有必要先进行内存的分块。每块插件板上的双口 RAM 均被划分为两部分,分别用于不同方向的数据交换。根据需要,每部分又可以进一步划分为若干具有独立握手标志字节的子区域。比如一块功率板可以同时监测两条出线的功率,这两组功率是相互独立的,为了便于总线控制器访问,可以将它们分别置于两个子区域中。这样,当该功率板只监测一路功率或某一路功率测量出现故障时,另一路功率值的读取不受影响。

进行了以上的处理,插件板上双口 RAM 的子区域就可以看成是总线控制器访问的基本单位,也是内存映射的基本单位,对应于一个完整的监测数据块。总线控制器可以访问这样一个巨大而连续的虚拟内存区域:系统所有的数据块依次分布在这块

虚拟内存上,但并不连续,其地址由插件板的硬件地址和数据在双口 RAM 上的存放地址共同决定。由主机箱的总线控制器访问这个巨大的虚拟内存区,也就访问到所有插件板的数据。处于主机箱的数据块是可以直接访问的,它们理所当然地也处于虚拟内存的相应位置上。问题的关键在于如何将子机箱的数据块映射到虚拟内存上。

问题的解决需要借助于同步通信板。每个同步工作节拍到来后,各子机箱的总线控制器先延时一段固定的时间(等待插件板处理数据,主机箱的总线控制器将需要等待更长的时间),然后按预定的顺序将子机箱所有的数据块依次转移到同步通信板双口 RAM 的发送缓冲区,发送缓冲区内的数据块被顺序编号并依次打包发送出去。主机箱的各同步通信板接收所有这些数据帧并按照帧编号将它们存放在双口 RAM 接收缓冲区的相应子区域。发送和接收是按轮进行的,每个同步工作节拍工作一次。某帧数据的丢失不会造成全局性的影响,因为在一轮接收过程中每帧数据都在双口 RAM 中有对应的存放位置。

还有几点需要说明。第一,子机箱的总线控制器对插件板上的数据块基本上是不作处理,它仅将数据块原封不动地映射到主机箱。各机箱的总线控制器在读取数据块后必须擦除相应的握手标志字节以保证不会将旧数据块误认为新数据块。其次,各子机箱是同步并行工作的,因此系统的性能并不会因为机箱的增多而下降。由于插件板的处理时间和系统通信时间基本确定,因而整个系统的数据交换具有时间确定性,可以满足实时同步系统的要求。最后,内存映射的方向是单向的,不过这已足以满足我们的需要。

采用内存映射的方法使插件板可以按实际情况在各个机箱任意布置,拥有很大的灵活性和适应性;同时监测数据的组织却仍然简单易行,总线控制器可以按照预定的配置轻松的实现数据的读取、标记和打包工作。所有的配置文件均存放在总线控制器的 EEPROM 中,并可在线修改,修改是通过命令帧

的方式进行的。这里介绍一下总线控制器的两种工作方式:任务单方式和路由器方式,两者是互斥的。前者在同步工作节拍到来后立即执行,负责收集、打包监测数据,完成后退出;后者在空闲时间执行,实现命令帧的处理和转发,此时同步通信板转变为普通的通信接口。

5 结论

以总线逻辑扩展的方式实现多个工控机箱之间的实时同步互连是一个新的思路。本文充分利用现有成熟技术,通过点对点的高速同步通信和内存映射的方法,简单可靠地实现了工控机箱总线的实时同步逻辑扩展。实践证明这种做法是切实可行的,在现阶段不失为一种很好的方案。

参考文献:

- [1] 李平康,杜秀霞(LI Ping-kang, DU Xiuxia). 以太网在 DCS 中的应用与发展 (Development and Application of the Ethernet Used in DCS) [J]. 测控技术 (Technology of Measure and Control), 2002, 21(4): 4-7.
- [2] 刘乐善(LIU Leshan). 微型计算机接口技术 (Interface Technology of Microcomputers) [M]. 武汉:华中理工大学出版社 (Wuhan: Press of Huazhong University of Science & Technology), 1999.
- [3] 谢希仁(XIE Xiren). 计算机网络 (Computer Networks) [M]. 大连:大连理工大学出版社 (Dalian University of Science & Technology Press), 2001.

收稿日期: 2003-09-23; 修回日期: 2003-12-12

作者简介:

李刚(1979-),男,博士研究生,研究方向为电力系统自动化技术与 IT 技术;

王少荣(1960-),男,副教授,主要研究方向为电力系统的运行和控制;

程时杰(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统稳定性分析及其控制、人工智能在电力系统中的应用和低压电力网载波通信。

Realization of a new synchronous exchange for real-time data in an industrial monitoring and control system

LI Gang, WANG Shao-rong, CHENG Shi-jie

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

基于 Web 的多级电网继电保护自适应整定及信息管理系统

张 征,房鑫炎

(上海交通大学电气工程系,上海 200240)

摘要: 介绍了基于 Web 的多级电网继电保护自适应整定及信息管理系统的功能特点和总体结构,并对多级电网管理和 Web 模块的功能及实现方法进行了详细的阐述。本系统由图形界面、参数和定值管理、短路电流计算、保护整定、多级电网管理、Web 构件等几部分组成。实现的多级电网的保护整定和信息的 Web 发布,在实用中取得了较为满意的结果。

关键词: 继电保护; 多电压等级; Web

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)12-0055-04

0 引言

随着国民经济的发展,电力系统的规模越来越大,结构越来越复杂,继电保护日常工作也日益复杂。对于地区供电公司,其所辖电网从 110 kV 直到 10 kV,跨越多电压等级。本文提出的结合 Web 的多电压等级继电保护整定及信息管理系统能针对多电压等级电网进行整定和配合,实现多电压等级电网的保护整定。另外,随着电力系统内 Internet/ Intranet 技术的普遍应用,越来越多的应用朝着 Web 的方向发展。本系统结合 Web 技术实现了参数和定值信息的网络化管理,提高了管理工作的效率。

1 系统总体设计

结合 Web 的多电压等级电网继电保护整定及信息管理系统是面向地区供电公司的比较完整的应用系统。它采用浏览器/服务器模式(B/S)。整套系统安装在服务器上,由管理员在服务器上使用系统的各项功能,网络用户通过 Web 服务器查询数据库中的参数和定值信息。

系统开发采用了构件集成的设计模式^[1],以前台的图形界面和后台的数据库为基础,按构件挂接方式连接各项功能构件。管理员通过图形界面来触

发实现所有功能,各功能构件通过数据库构件对数据库进行读取和存储操作;网络用户通过 Web 服务器构件和数据库构件对数据库进行有限的读取操作。这种方式方便了用户对系统各项功能的使用,同时也保证了数据的安全性和准确性。既便于开发者对系统功能的进一步改进,也易于对各构件的调试和统一管理。系统总体结构如图 1 所示。

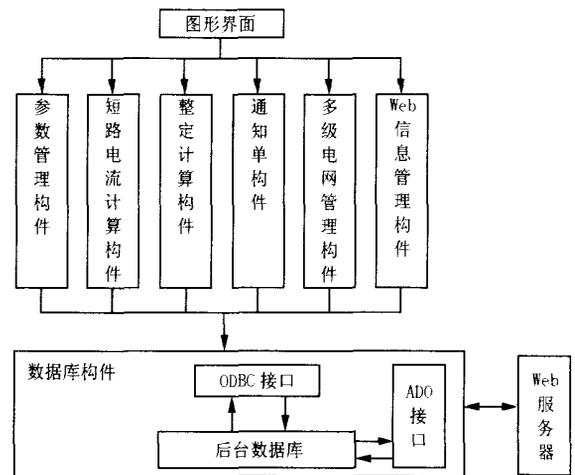


图 1 系统总体结构框图

Fig. 1 Block diagram of the system structure

主要分如下几部分:

1) 图形界面构件。该构件是系统和用户交互

Abstract: Industrial control computers have been applied widely in the field of industry monitoring and controlling. A multi-computer based system often needs to exchange and integrate data among individual industrial computers. Generally, these computers are interlinked by network, which, however, may not be able to meet the requirement for synchronized and real-time communication. This paper brings forward a new idea to realize such kind of communication system. With the bus extension, a real-time and synchronous inter-linkage between the industrial control computers by point-to-point high-speed synchronous communication and memory mapping is realized. The realized system has been successfully used in practice.

Key words: bus extension; synchronous communication; memory mapping