

Ethernet 在 DCS 中的底层通信应用

奚全生 范佳平 北京航天测控技术开发公司(100037)

Abstract

Entering industry automation field communication area of Ethernet is the developing trend of automation system. The improvement of Ethernet technology bring advantages to solve the problem of Ethernet being used in communication of real-time, reliable and interlinkage. The methods of realization of DCS communication at low level based on Ethernet is analysed detailed in this paper.

Keywords: Ethernet, real-time communication, industry automation, DCS, fieldbus

摘要

Ethernet 进入工业自动化控制系统的现场级通信应用是自动化系统的发展趋势,近年来的技术发展为解决 Ethernet 通信的实时性、可靠性和互连接性能提供了有利条件。文中讨论并介绍了基于 Ethernet 的 DCS 底层通信的具体实现方法和途径。

关键词: Ethernet, 实时通信, 工业自动化, DCS, 现场总线

1 Ethernet 在 DCS 中底层通信的可行性

Ethernet 现已成为全球使用最广泛的局域网技术。作为网络的一种极具吸引力的解决方案,其具有下列关键特性:可扩充性,灵活的通信距离,低成本,灵活性和互操作性,易于使用和管理等等。最初 Ethernet 作为 IEEE802 标准委员会所定义的局域网标准,最大传输速率是 10Mbps,其主要特点是其介质存取方式,这种方式称为 CSMA/CD 协议,即“冲突检测,载波监听和多路访问”,其数据发送的过程是:在发送数据包前,先侦听介质,查看链路是否被占用,如果空闲则立即传送数据,否则将等待空闲后再传送。因为没有任何集中式的管理措施,所以非常有可能出现多个节点同时检测到网络处于空闲的状态,进而同时向网络发送数据的情况,因此一旦有多个节点同时发送数据,将产生冲突,这时所有这些站点将停止传送,并等待一个随机的时间段,再次侦听、发送。这样,由于在理论上存在发送数据的延时的不确定性,使得 Ethernet 在需要响应时间有确定要求的应用领域中得不到快速推广。

近年来,由于速度达到 100Mbps 的快速 Ethernet(100BASE-T)的普及和交换机的应用,使得 Ethernet 的性能得到了很大的提高,并在工业自动化领域中获得了很大的成功,如大多数 DCS 中的控制器(控制站)与操作站之间的快速通信就采用了快速 Ethernet,而且性能稳定而可靠。当前应用最快的 Ethernet 已达到 1000Mbps 和 10Gbps,不过,它在工业自动化领域中的应用还不多见。

交换机的工作原理是,在数据链路层进行节点或网段之间的互连,各个端口之间的信息流是隔离的,只有在同一端口上的信息才会有机会发生冲突。它与集线器(HUB)的区别在于 HUB 是在物理层的连接,共享同一个带宽,按 CSMA/CD 协议进行。因此,交换机的使用大大地减少了节点间通信的冲突的发生。

基于以上两方面的因素,就像目前所使用的现场总线一样,使用 Ethernet 在 DCS 中的底层通信是可行的。

友力 2000DCS 系统,是 20 世纪 80 年代末利用航天工业技术并结合石油化工应用特点发展起来的国产化 DCS 系统,是国产化 DCS 系统中最早的实用化系统,在石油、化工、钢铁、电力、食品等行业有广泛应用,友力 2000DCS 系统中的实时控制网络一直采用 Ethernet 技术,并在实时性和可靠性方面得到不断改进。

2 Ethernet 通信

Ethernet 的数据连接层由逻辑连接控制层(Logical Link Control, LLC)和介质访问控制层(Medium Access Control, MAC)所组成。LLC 协议实现数据包的流控制和差错控制并通过服务访问点(Service Access Points, SAPs)提供给上层服务。而 MAC 协议采用 IEEE 802.3 所定义的 CSMA/CD(Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection)控制方式。

Ethernet 通过收发器与网络介质进行连接。收发器可以完成多种物理层功能,其中包括对网络碰撞进行检测。收发器可以是外置作为独立的设备通过电缆与终端站连接,也可以内置直接被集成到通信节点的网卡当中。

作为串行总线的一种类型, Ethernet 采用广播机制,所有与网络连接的节点都可以看到网络上传递的数据。通过查看包含在数据包中的目标地址,确定是否进行接收或放弃。如果证明数据确实是发给自己的,节点将会接收数据并传递给高层协议进行处理。由于目的地址可以是单址,也可以是成组地址或广播地址,因此通过设定目标节点的 MAC 地址和成组地址来选择性接收所需要的数据。

Ethernet 采用 CSMA/CD 介质访问机制,任何工作站都可以在任何时间访问网络。在发送数据之前,发送数据的节点首先需要侦听网络是否空闲,如果网络上没有任何数据传送,就会把所要发送的信息投放到网络当中。否则,只能等待网络下一次出现空闲的时候再进行数据的发送。因此, Ethernet 作为一种基于竞争机制的网络,允许任何一个节点在网络空闲时发送信息。因为没有任何集中管理措施,所以有可能出现多个节点同时检测到网络处于空闲状态,进而同时向网络发送数据的情况。这时,发出的信息会相互碰撞而导致损坏。这时节点必须等待一段时间之后,重新发送数据。运行二进制后退算法用来决定发生碰撞后,节点应当在何时重新发送数据帧。

3 Ethernet 通信在 DCS 系统底层通信中的应用及其关键技术

整个 DCS 通信系统一般从上到下由如下 3 层通信网络来完成:

1) 工厂信息管理网,它将车间的过程控制系统与全厂的信息网络系统(其中包括厂级调度、厂级优化、信息集成等)相连。一般称之为企业网。在企业网络中,根据规模和信息量的大小可以采用 100Mbps、1Gbps 或 10Gbps 等规格的 Ethernet。通

过网桥、路由器、网关等接口与其它系统或 Intranet,Internet 进行相连。

2)实时操作监视与分散控制器之间的实时通信连接。一般称之为实时控制网。实时控制网建立在操作站与控制器之间,操作站要实时监视现场的情况,并进行实时操作;另外,还有一些实时的高级调节和控制功能也会放置在操作站上运行,如实时优化、自适应控制、第三方的控制软件等等。因此,确保实时控制网的实时性和可靠性是 DCS 系统的关键技术之一。一般情况下,采用双冗余的通信通道,并在线缆的选择、安装形式和信号屏蔽等方面按照工业应用环境的要求来实施,以求确保通信通道的可靠。另外,为了增强通信的实时性,在网络系统软件上尽量不要采用特别开放的通用的协议,如 TCP/IP、NETBEUI 等,一方面它会增加许多额外的开销,同时为外来的入侵提供了便利。在软件上还有一个提高通信实时性的方法就是采用“主动递交”的方法,即“生产者-消费者”的模式;同时在通信机理上采用“成组传送”,即一次数据发送,多个节点接收,这样就避免了“主-从”模式中,多个操作站节点大量的“请求-应答”的通信量。

3)控制器与过程 I/O 模块或现场变送器、传感器、执行器之间的通信连接。一般称之为现场总线。现场总线的特点表现为:全数字化的信息交换;一对多的多分支结构连接;控制器可实现对现场设备的管理;协议开放,可实现互操、互连、互换;彻底的分散控制。一般地,将支持现场总线的 DCS 系统,称之为 FCS (Fieldbus Control System)系统。

支持现场总线的 DCS 系统底层通信链路是建立在控制器和 I/O 设备之间,这些 I/O 设备可以是组合 I/O 模块,也可以是现场的智能变送器、智能传感器或执行器等,其形式如图 1 所示。

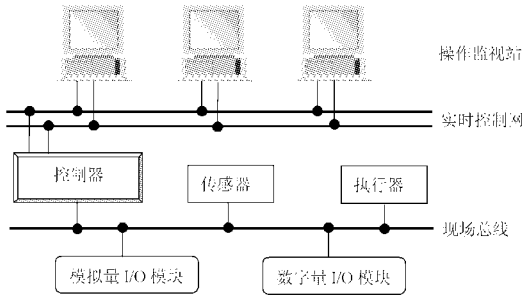


图 1 DCS 系统底层示意

虽然在理论上,Ethernet 因存在通信冲突而有延迟的现象,但基于如下原因,它并不妨碍其在工业自动化中的应用。相反,正是由于如下的原因,现场总线标准委员会 IEC61158 中包含了以高速 Ethernet 为基础的通信总线作为其标准的一种 (Foundation Fieldbus HSE)。

1)控制器与现场 I/O 之间的数据交换,通常都是周期性地 进行,并且控制器作为主叫方周期性地“读写”现场 I/O 中的数 据。控制器根据每组现场总线中现场 I/O 单元的配置,逐一进 行。发送完一个请求后就等待 I/O 单元的应答,这样,每个节点 的应答数据包都是在一个发送时间窗口中完成数据的发送,在 这个发送时间窗口中只有应答的数据包要发送,从而在很大程度上减了无序的网络竞争。

2)控制器与现场 I/O 之间的数据交换的信息一般都是非常 短的纯数据信息,在 1500 字节的 Ethernet 数据包的容量下,一 般情况下一次发送就可完成所有信息的发送,因此占用信道的 时间非常短。在 0.2ms 之内便可完成。

3)100Mbps 速率的快速 Ethernet 是其它现场总线所望尘 莫及的。然而,它的成本却大大低于其它现场总线的成本。

4)在开放性、互连和互换性方面,Ethernet 是做得最好的, Internet 在全球的普及就是最好的例证。

这样,通过在控制器与现场 I/O 之间架起的快速 Ethernet, 为控制器与现场 I/O 之间的快速数据交换提供了坚实的平台。

要完成 Ethernet 在现场总线中的应用,除了上述满足 Eth- ernet 实时通信的基础要求之外,实时通信软件协议就是具体实 现的关键。由于 DCS 底层通信是建立在控制器与现场 I/O 之 间,因此,大部分的应用是“主-从”模式的信息通信,在现场 I/O 有需要主动请求发送时将采用“生产者-消费者”的模式。

主-从通信协议,一般地,在可预见对方的需要并应答某一 特定的请求时实施主-从通信协议,主动方发起请求数据包,被 动方应答请求。在 DCS 中,链路中的控制器节点为主动方,它会 周期性地读取现场 I/O 的数据和工作状态,或写入数据和指令 到指定的 I/O 单元中。这时,控制器的周期读写的时间间隔和每 个请求包的发送间隔由配置组态完成。控制器根据这两个时间 间隔进行通信工作,控制器周期性地交换数据的时间间隔决定 了控制器获得过程数据的频率。控制器逐一请求传送 I/O 数据 的间隔决定现场 I/O 节点发送无碰撞应答数据包的发送时间窗 口的大小。

生产者-消费者通信协议,生产者-消费者协议简单地说是 是:作为生产者的节点将自己的变量数据请求在总线上发送出 来,作为消费者的节点从网络上接收变量数据。对于每一个变量 数据来说,网络总线上只有一个生产者,而可以有多个消费者。

Ethernet 在 LLC 层面上就完全能够实现上述两种通信协 议。一种数据报的协议(User Datagram Protocol,UDP)可实现 这种实时的通信功能。数据报协议的包结构如下:

源端口(2)	目的端口(2)	数据长度(2)	校验和(2)	数据段(≥0)
--------	---------	---------	--------	---------

图 2 UDP 包的基本结构

利用节点的站地址和组址地址的过滤数据包的功能,可以 将节点的这两个数据包过滤器设置成与节点名称/端口名称相 关联的过滤设置值,在 Ethernet 中可以设置最多 64 个成组地 址,在 UDP 协议中的目的端口号根据目的节点的 MAC 地址和 成组地址来分配。这样,当在 DCS 底层通信中,要求实现“主- 从”模式的信息通信协议时,在生成请求包的过程中将目的端口 填写成某个目的节点地址或目的节点成组地址(当目的节点冗 余配置或成组发送时)相对应的端口号,就可以将该请求包实时 地发送到目的节点中。而目的节点应答请求包时,直接将收到数 据包的源端口号或源端口号所对应的成组端口号填写到应答包 的目的端口位置中,就可以准确将应答数据包发送到源请求节 点上。DCS 底层通信中的 Ethernet 通信层次结构如图 3 所示。

4 结束语

建立在 100BASE-T 的快速 Ether- net 基础上的通信,应用到现场设备的通 信中,已被国际现场总线委员会确定为 现场总线标准。友力 2000DCS 系统的过 程控制站通过 Ethernet 总线接口模块与 挂接在总线上的 I/O 模块进行 Ethernet

实时协议层
UDP
IP
网络适配器(网卡)
IEEE802.3

图 3 DCS 底层通信 层次结构

通信连接。总线接口模块根据组态数据(I/ O 模块定义和数据刷新周期)周期性地逐一发出读取数据或写 入数据请求包,I/O 模块在收到请求包并验证合格后接受请求, 随即发出应答数据包,这里的请求数据包内容可能是查询数据 的命令(用于读取数据),也可能是包含 I/O 所需的输出数字量;

(下转第 29 页)

(上接第 20 页)

应答数据包内容同样可能是应答请求数据的确认码(用于写数据请求),也可能是包含 I/O 所采样的数字量。I/O 模块有模拟量输入(32 通道),模拟量输出(8 通道)、数字量输入(32 通道)、数字量输出(32 通道)和脉冲量输入(12 通道)等。I/O 模块数量在 48 个以内的情况下,利用“主-从”通信协议,数据刷新周期最短可以达到 50ms。而 DCS 系统主要应用在过程控制中,对 I/O 数据的采样周期的要求一般的为秒级。因此 Ethernet 完全可以应用到 DCS 的底层通信中,并与其它现场总线相比,具有

许多优越的性能。

参考文献

- 1 廖道文,等.集散型控制系统的设计与应用[M].北京:清华大学出版社,1993
- 2 S. Vitturi,On the use of Ethernet at low level of factory communication system,Computer Standards & Interfaces 23(2001)
- 3 Seppo Sierla,Evaluation of a Real-Time Distribution Service, Helsinki University of Technology,2003

[收稿日期:2004.8.23]