

构成新一代分布式系统的工业以太网

方来华, 吴爱国, 张 钊, 王冬青

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

[摘要] 讨论了工业以太网成分布式系统的可行性和优点, 分析了4种满足分布式控制的工业以太网协议及其各自的优缺点。提出了设备制造商为支持这些协议在产品中增加以太网连接必须考虑的内容和实现途径。

[关键词] 分布式系统; 工业以太网协议; 以太网连接的嵌入

[中图分类号] TP393.11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)05-0066-04

1 引言

工业以太网的兴起, 在自动控制领域引起了极大关注。对一些数据采集量不大的传感器系统来说, 采用工业以太网不是很理想, 但用于连接控制器和大量数据获取的分布式系统却很理想。

传统的分布式控制系统(DCS)中, 多台控制器在本地工作, 再用串行通信线把信息传输给主计算机。在分散的制造业中, 多台PLC分布在各台设备上, 再用串行通信线, 如RS-485, 把信息传输给上位计算机。但在这2类系统中, 通信速率每秒只有几千比特, 难以满足控制器和PLC台数进一步扩大的实时性等需求。

2 工业以太网构成的分布式控制

以太网构成的分布式系统见图1, 多个处理器和智能装置通过以太网互联实现控制功能和资源共享^[1]。在此分布式系统中, 各个装置可以独立工作, 也可以相互通信, 协调工作。工业以太网可提供的通信速率已从10 Mb/s, 100 Mb/s 提高到现在的1 Gb/s, 10 Gb/s 甚至更高, 能满足工控网络的实时性要求。此外, 以太网还具有以下优点: a. 基于TCP/IP的以太网是一种标准的开放式网络, 易于实现不同厂商的设备互联; b. 易于与Internet连接, 实现对系统的远程监控和访问, 共享多数据

库; c. 能实现信息网络与工业控制网络的连接; d. 成本、维护费用及初期投资等较低。

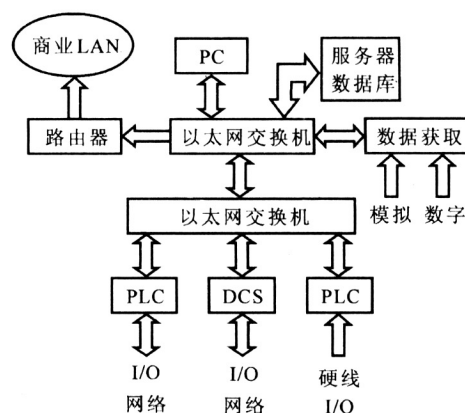


图1 以太网构成的分布式系统

Fig.1 Distributed system connected via Ethernet

3 以太网交换机为分布式系统提供足够的确定性

解决不确定性是以太网用于工业控制的一个关键的问题。构建一个带交换机的以太网系统可以实现确定性。它应满足2点: 一是网络中的每个装置必须带有自己的交换机; 二是交换机工作方式存储转发方式, 这样在系统中只有点对点的连接, 不会出现碰撞^[2]。通过优先权或其他机制来安排数据包在交换机中的发送顺序。此外交换机可将冲突

域分割开来，扩大了网络系统的覆盖范围。使用智能交换机把网络段上的装置分开已经能够给大部分所需的应用提供足够的确定性，合适的网络规划也使得各区域具有确定性。

4 TCP/IP 中满足分布式系统的服务

以太网协议族中的 TCP/IP 适合不同应用的各种数据。如 SMTP 支持邮件，PPP 支持点到点的应用，HTTP 支持网页。在所有 TCP/IP 这些协议族中，TCP（传输控制协议）和 IP（网络协议）对工业自动化最为重要。

在 TCP/IP 中，有 2 个主要的一般报文服务：TCP 和 UDP。TCP 是一种端对端协议，当一台计算机需要与另一台远程计算机连接时，TCP 协议让它们建立一个连接、发送和接收数据以及终止连接。其中 IP 协议只保证计算机能发送和接收分组数据，而 TCP 协议则可提供一个可靠的、可流控的、全双工的信息流传输服务^[3]。UDP 是面向非连接的协议，它不与对方建立连接，而是直接就把数据包发送过去，即报文以单向包传输不产生收到的确认。UDP 在在线流媒体和游戏等实时应用中很成功，也应用在流量控制、数据流检查和校正的上层协议上。

5 满足分布式工控的主要以太网协议

自动化系统执行的任务很独特，数据必须以标准的格式表示。高级以太网协议如 Ethernet/IP, Foundation Fieldbus HSE (FF HSE), IDA 和 Profinet 提供了针对自动化和过程控制的报文服务。数据和模拟值、命令等可以表达成很多形式。为避免分析数据包的麻烦可使用基于对象的数据，如 Ethernet/IP, FF HSE 和 ProfiNet 都使用了对象。FF HSE 在一些特定的过程控制中很占优势，Ethernet/IP 是最经济可行的解决方案，且其支持商较多。

5.1 ProfiNet

这是 Profibus 组织用于解决自动化装置和通过 Ethernet 连接的子系统之间互操作需要而开发的。ProfiNet 不像 Modbus/TCP 那样在以太网上加 Profibus 协议，ProfiNet 也不是通常所理解的“总线”。它不是一个现场总线，而是一个开放的通信模型，并支持多供应商产品^[4]。

ProfiNet 使用了微软的 COM（通信对象模型）

和 DCOM（分布式通信对象模型），把透明度扩展到 TCP/IP 网络的所有设备上，并对很多种设备和编程参数进一步定义了对象模型。ProfiNet 模型示意图如图 2 所示，它是一个基于对象结构，允许程序、设备描述以及数据在大规模网络系统中分散。

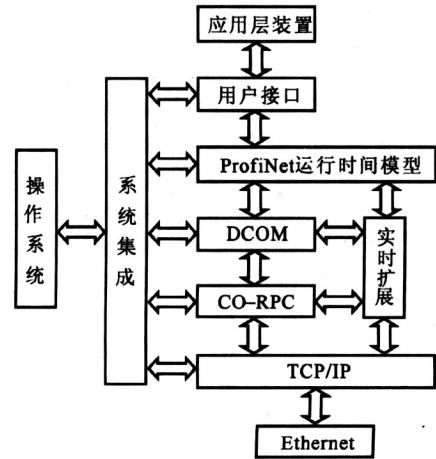


图 2 ProfiNet 模型示意图

Fig.2 ProfiNet model profile

ProfiNet 意图适用于所有的 Profibus 成员而不仅仅针对某一个制造商硬件或软件，它是一个开放的通信和多供应商工程模型。但 ProfiNet 在商业化规范方面还待发展。

5.2 IDA 和 Modbus TCP/IP

IDA (Interface for Distributed Automation) 是一个完全的工业以太网规范，结合了实时性、分布式处理、基于 Web 的自动控制环境和集成安全架构，它包含了所有控制层，包括设备级。这是与别的工业以太网标准不同之处，其他工业以太网协议都伴随带有非以太网的设备网络。

Modbus TCP/IP 是在 Ethernet 和 TCP/IP 上结合 Modbus 协议；通过简单地把 Modbus 帧嵌入到 TCP 帧中，使 Modbus 与以太网和 TCP/IP 结合，成为 Modbus TCP/IP。在目前的工业以太网标准中，Modbus TCP/IP 是最简单的一种。

5.3 Ethernet/IP (EIP)

Ethernet/IP 是适合工业环境应用的协议体系，由 2 大工业组织 ODVA (Open DeviceNet Vendors Association) 和 Rockwell/Allen-Bradley 推出^[5]。与 DeviceNet 以及 ControlNet 一样，它们都是基于 CIP (Control and Information Protocol) 协议的网络，与 TCP/IP 及 UDP 都符合。Ethernet/IP 模型如图 3 所示。相对其他协议，EIP 更为复杂，开发

费用也高一些，但有如下的优势。

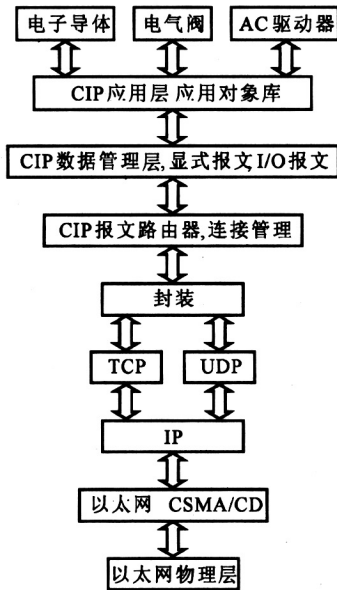


图 3 Ethernet/IP 模型
Fig.3 Ethernet/IP model

1) EIP 中 CIP 融入了下面的报文级别和调度机制

- a. 交换基本 I/O 数据和具 PLC 形式的信息；
- b. 能处理轮询、周期性和事件驱动的数据；
- c. Ethernet/IP 通过映射的方式，使用 TCP/IP 来完成上传/下载参数和设定点，传输程序和菜单等任务；
- d. 点到点、点到多点和广播方式。TCP/IP 是个内在的点到点的传输方式，当要求在短时间内更新多个装置数据时很不利，每一个连接都要消耗宝贵的数毫秒。而 UDP 可以同时把报文传送给很多节点，效率较高。

2) EIP 利用 TCP/IP 特点的优势 EIP 使用了在传统以太网中所有的传输和控制协议，包括传输控制协议、网络协议以及在现有以太网接口卡中可找到的媒体访问和信号技术。

制定这些标准的 PC 技术意味着 EIP 对现有以太网装置是透明的，也表明 EIP 很容易支持标准 PC 及其派生物，而且把 EIP 基于一个标准的技术平台可以确保 EIP 将随着未来技术的发展而发展。

支持 EIP 的组织计划制定一个综合的、一致的标准，并像 DeviceNet 和 ControlNet 那样通过测试验证。在用于 DeviceNet 和 ControlNet 验证后，所建立的程序可以确保现场设备的一致性和质量。4 个独立的组织已经联合开发和促进 EIP 作为一个用于工业自动化的公共域以太网应用层。这些组织包括 ODVA, IOANA (Industrial Open Ethernet

Association), IEA (Industrial Ethernet Association), 它们的目标表明，EIP 将提供一个大规模的、综合的、可确认的适用于各种自动化装置的标准。

3) EIP 是建立在广为接受的协议层上 EIP 是一个在 CIP 中广为应用的标准，该标准将网络装置组织成一个对象集。它定义了访问、对象行为和允许分布广泛的装置使用共同机制的扩展。现在有 300 多家供应商在其产品中支持 CIP。在 EIP 中使用这些技术表明 EIP 是基于广为理解、应用的标准，它不需要一个新技术的调试期。

5.4 FF HSE (基金会总线高速以太网)

FF HSE 协议使用基金会现场总线 H1 在 TCP/IP 上的过程控制协议^[6]。FF H1 是个复杂的基于对象的协议，其在 4~20 mA 的线上传输速率为 31.25 kb/s，它使用多报文格式并允许一个控制器去识别进入到总线中的设备组态和参数信息（装置描述）。FF 总线甚至可以允许装置传输与特定数据片可靠性相关的参数。FF 总线使用一个调度器来保证报文的发送，因此严格给出了确定性和重复性。网络的每一段包含一个调度器。FF HSE 是同样的 H1 协议，但它传输速率不是 31.25 kb/s，它在 TCP/IP 上的速度是 100 Mb/s。它提供了同样的服务和网络对象的透明性，但运行在更高级层上。图 4 为 FF HSE 模型示意图。FF 总线特别适用在过程控制工业，并将成为主要的以太网 I/O 标准。其应用领域有以下特点：a. 有大量的分散节点；b. 数据不一定很快，但很频繁；c. 有大量模拟数据；d. 有防爆要求即 I 类 DIV2。

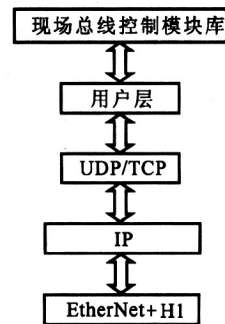


图 4 FF HSE 模型
Fig.4 FF HSE model

6 增加产品以太网连接的途径^[1]

若使产品支持以太网，有一个大问题需回答：如何做，怎么做最快？是否有足够的工程资源来支

持这项工程? 是否熟悉 TCP/IP 和用于 Ethernet/IP, IDA 和 Modbus TCP/IP, ProfiNet 或 FF 的规范。加入以太网连接, 可通过很多途径达到, 要根据打入市场、支持性、资源需求和价格等方面的情况而有不同的选择。实现途径有以下几种。

1) 使用现有的串行接口 使用现有的串行接口能够将产品最快的推向市场, 但不经济。为了使用串行接口, 产品必须支持一个诸如 Modbus DF/1 或甚至低能终端 ASCII 的串行通信协议。接口会有附加脚注, 其价格贵, 很少支持数据所需的报文特性, 数据需表达成通用形式, 使得自己的装置特性丢失给网络。当对 Ethernet/IP 连接的需求低时可采用这种方式。

2) 增加子板 增加子板也可以把 Ethernet/IP 增加到产品中并迅速推向市场。把增加的 PCB 嵌入到装置的内部 (通常是 TTL 级通信), 其成本较前相对低些。

3) 在 IC 设计中包含 Ethernet/IP 已有公司开始提供嵌入 Ethernet 和 TCP/IP 协议的微处理单元 (MPU)。若要设计一个新的装置, 并且购买这些 MPU 能满足预算, 这是个合适的选择。它可以自主地应用控制对象模型和报文特性而不受串行接口强加的速度限制。

4) 购买 TCP/IP 和应用层栈 一次性的购买支付 TCP/IP 和应用层栈, 这些栈将提供最新的功能, 同时可以控制自己的开发、网络表示和运行。该方法需要一个专用的资源来集成到 MPU, TCP/IP 栈、Ethernet/IP 栈和 OS。该方法成本相对较低, 固件集成紧密。缺点是在开发专用内部资源上的成本和推向市场的速度可能不理想。

5) 常规的 PCBs 委托专门的公司针对自己的应用开发一个完整的常规通信卡, 其周期一般为

90 d, 时间取决于应用的复杂性。

6) 完全自己做 成本最低、最耗时也最冒险的方法是完全的自主开发。与其他所有复杂协议运行一样, 有很多的规范细节是不易发现的。对内部构件的资源的需求通常要比使用外部资源或购买元件的成本要高。

7 结语

实践证明, 工业以太网适用于分布式控制网络, 且有较多优势。它适应了 Intranet/Internet 等信息技术的飞速发展, 使企业能够实现从现场控制层到企业管理层全面的信息集成, 从而构成新一代的分布式系统。设备制造商应通过各种途径在各自的产品中增加以太网连接, 以适应当前的发展趋势。

参考文献

- [1] Rinaldi J, Marshall P S. The future of distributed systems [EB/OL]. <http://www.rtaautomation.com/documents/2003-07-10>
- [2] 赵宏. 以太网交换技术 [J]. 辽宁大学学报, 2002, (2): 182~186
- [3] Stevens W R. TCP/IP 详解 [M]. 北京: 北京机械工业出版社, 2002
- [4] Profibus International. PROFInet Technology and Application-System Description [EB/OL]. Profibus International, http://www.profibus.com/imperia/md/content/pisc/technicaldescription/4132_dSeptember2003-English.pdf, 2004-01-02
- [5] Daniels M. Ethernet/IP [EB/OL]. Rockwell Automation Co, <http://www.bara.org.uk/encyclopedia/ethernet/Rockwell.pdf>, 2004-02-23
- [6] Fieldbus Seminar. Foundation Fieldbus HSE and H1 [EB/OL]. Fieldbus Seminar, www.fieldbus.org, 2004-03-15

Industrial Ethernet Forming New Generation of Distributed System

Fang Laihua, Wu Aiguo, Zhang Zhao, Wang Dongqing

(School of Electrnict and Automation Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

[Abstract] Feasibility and use of Ethernet in distributed system are discussed. Four industrial Ethernet protocols, which meet the requirement of distributed control, are analyzed, and so are their relative advantages and weakness. The things the device vendors should consider to support these protocols and the means to add Ethernet connectivity to their product are proposed.

[Key words] distributed system; industrial Ethernet protocol; Ethernet connectivity embedding