

# 论六种实时以太网的通信协议

Exposition of Six Type of Communication Protocols of Real – Time Ethernet

缪学勤

(上海工业自动化仪表研究所,上海 200233)

**摘要** 在研究工业网络实时性要求的基础上,给出了工业以太网和实时以太网的定义,深入分析了6种主要实时以太网的通信协议,并概要论述了以太网运动控制、网络安全和以太网延伸至现场设备级等关键技术。同时,较全面地概述了我国EPA实时以太网技术及其标准。

**关键词** 实时性 实时扩展 实时以太网 运动控制 网络安全 E网延伸

**Abstract** On the basis of the study upon the requirement of real time performance of industrial network, the definitions of industrial Ethernet and real time Ethernet are given. Six of major communication protocols of real time Ethernet are deeply analyzed and some of the critical technologies, e.g., motion control, network security and Ethernet extension to field equipment level are expounded. Meanwhile the technology and standard of EPA real time Ethernet in our country are described comprehensively.

**Keywords** Real – time performance Real – time expansion Real – time Ethernet Motion control Network security Ethernet extension

## 1 工业控制网络的实时性要求

用于工业自动化系统的网络通信技术来源于IT信息技术的计算机网络技术,但是又不同于一般的计算机网络通信,这是因为IT网络通信是以传递信息为最终目的,而工业控制网络传递信息是以引起物质或能量的运动为最终目标。所以,用于测量和控制的数据通信的主要特点是:允许对事件进行实时响应的事件驱动通信;很高的可用性;很高的数据完整性;在有电磁干扰和地电位差的情况下能正常工作;使用工厂内专用的传输线等。其中,最主要的要求是网络通信的高实时性。实时(real time)的含义是指数据处理就像发生在数据产生的时刻,其响应没有大的延时。

对于工业自动化系统来说,目前根据不同的应用场合,将实时性要求划分为3个范围,它们是:信息集成和较低要求的过程自动化应用场合,实时响应时间要求是100ms或更长;绝大多数的工厂自动化应用场合实时响应时间的要求最少为5~10ms;对于高性能的同步运动控制应用,特别是在100个节点下的伺服运动控制应用场合,实时响应时间要求低于1ms,同步传送和抖动小于1 $\mu$ s。工业控制网络的实时性还规定了许多技术指标,如交付时间、吞吐量、时间同步、时间同步精度、以及冗余恢复时间等。对于这些性能指标都有详细的规定,例如,我国制定的“用于工业测量与控制系统的EPA系统结构与通信规范”国家标准中规定网络的时间同步精度分为8个等级;即0为无精度

要求、1为时间同步精度 $< 1s$ 、2为时间同步精度 $< 100ms$ 、3为时间同步精度 $< 10ms$ 、4为时间同步精度 $< 1ms$ 、5为时间同步精度 $< 100\mu s$ 、6为时间同步精度 $< 10\mu s$ 、以及7为时间同步精度 $< 1\mu s$ 。

## 2 工业以太网与实时以太网

长期以来,由于现场总线争论不休,互通与互操作问题很难解决,于是现场总线开始转向以太网。经过近几年的努力,以太网技术已经被工业自动化系统广泛接受。众所周知,Ethernet网络出现于1975年,并于1982年制定成为IEEE 802.3标准的第一版本。1990年2月该标准正式成为ISO/IEC 8802.3国际标准。在这期间,Ethernet从最初10Mbps以太网过渡到100Mbps快速以太网和交换式以太网,直至发展到今天的光纤以太网和万兆以太网。可以说,开放的Ethernet是30年来发展最成功的网络技术,它是在与IEEE 802.4令牌总线局域网和IEEE 802.5令牌环局域网两个对手的竞争中脱颖而出的,并导致了一场信息技术的革命。Ethernet网的快速发展和广泛应用有力地推动了高技术芯片和系统开发,从而大大提高了网络性能和降低了系统成本。因而,Ethernet每年在世界上的安装量超过上亿个节点。

通常,人们习惯将用于工业控制系统的以太网统称为工业以太网。但是,如果仔细划分,按照国际电工委员会SC65C的定义,工业以太网是用于工业自动化环境、符合IEEE 802.3标准、按照IEEE 802.1D媒体访

问控制( MAC )网桥”规范和 IEEE 802.1Q”局域网虚拟网桥”规范、对其没有进行任何实时扩展( extension )而实现的以太网。通过采用减轻以太网负荷、提高网络速度、采用交换式以太网和全双工通信、采用信息优先级和流量控制以及虚拟局域网等技术,到目前为止可以将工业以太网的实时响应时间做到 5 ~ 10ms,相当于现有的现场总线。工业以太网在技术上与商用以太网是兼容的。

对于响应时间小于 5ms 的应用,工业以太网已不能胜任。为了满足高实时性能应用的需要,各大公司和标准组织纷纷提出各种提升工业以太网实时性的技术解决方案。这些方案建立在 IEEE 802.3 标准的基础上,通过对其和相关标准的实时扩展提高实时性,并且做到与标准以太网的无缝连接,这就是实时以太网( real time Ethernet, 简称 RTE )。为了规范这部分工作的行为,2003 年 5 月,IEC/SC65C 专门成立了 WG11 实时以太网工作组,负责制定 IEC 61784 - 2“基于 ISO/IEC 8802 - 3 的实时应用系统中工业通信网络行规”国际标准。该标准包括 Communication Profile Family 2 Ethernet/IP、CPF3 PROFINET、CPF4 P - NET、CPF6 Interbus、CPF10 VNET/IP、CPF11 TCNET、CPF12 EtherCAT、CPF13 Ethernet Powerlink、CPF14 EPA( 中国 )、CPF15 Modbus/TCP 以及 CPF16 SERCOS 等 11 种实时以太网行规集。其中,包括我国 EPA 实时以太网标准的 6 个新增实时以太网将以 IEC PAS( publicly available specification )公共可用规范予以发表。在上述实时以太网技术中,将有 EPA、EtherCAT、Ethernet Powerlink、PROFINET、Modbus-IDA 和 Ethernet/IP 等 6 个主要的竞争者。

### 3 6 种主要实时以太网通信协议分析

根据实时以太网实时扩展的不同技术方案,可将实时以太网通信协议模型分为 4 类,如图 1 所示。图中 ①是经常规最大努力提高实时性,一般工业以太网的通信协议模型;②采用在 TCP/IP 之上进行实时数据交换方案;③采用经优化处理和提供旁路实时通道

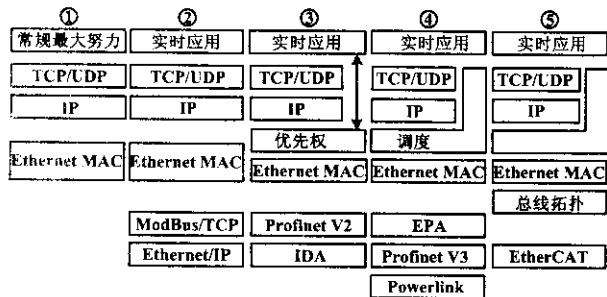


图 1 实时以太网按实时扩展方案分类

的通信协议模型;④采用集中调度提高实时性的解决方案;⑤采用类似 Interbus 现场总线“集总帧”通信方式和在物理层使用总线拓扑结构提升以太网实时性能。图中同时给出了 6 种实时以太网技术方案的归类情况。由于实时以太网技术涉及很多方面,限于篇幅,这里仅对通信协议作简要论述与分析。

### 3.1 我国的 EPA 实时以太网

EPA( Ethernet for plant automation )用于工业测量与控制系统的以太网标准在国家科技部“863”计划的支持下,由浙江大学、浙大中控、中科院沈阳自动化所、重庆邮电学院、大连理工大学、清华大学等单位联合组成的以浙江中控技术股份有限公司总裁金建祥教授为组长的标准起草工作组起草。

EPA 网络拓扑结构如图 2 所示,它由两级网络组成,即过程监控级 L<sub>2</sub> 网和现场设备级 L<sub>1</sub> 网。现场设备级 L<sub>1</sub> 网用于工业生产现场的各种现场设备(如变送器、执行机构和分析仪器等)之间以及现场设备与 L<sub>2</sub> 网的连接。过程监控级 L<sub>2</sub> 网主要用于控制室仪表、装置以及人机接口之间的连接。无论是 L<sub>1</sub> 网还是 L<sub>2</sub> 网,均可分为一个或几个微网段。

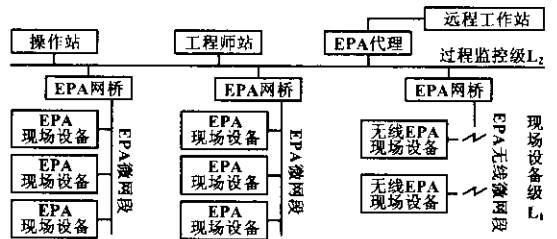


图 2 EPA 系统网络拓扑结构

在 EPA 系统中,将控制网络划分为若干个控制区域,每个控制区域即为一个微网段。每个微网段通过 EPA 网桥与其它网段分隔,该微网段内 EPA 设备间的通信被限制在本控制区域内进行,而不会占用其它网段的带宽资源。处于不同微网段内的 EPA 设备间的通信需由相应的 EPA 网桥转发控制。

为了提高网络的实时性能,EPA 对 ISO/IEC 8802.3 协议规定的链路层进行了扩展,在其之上增加了一个 EPA 通信调度管理实体( communication scheduling management entity, 简称 EPA - CSME )。EPA - CSME 不改变 IEC8802.3 数据链路层提供给 DL S - User 的服务,也不改变与物理层的接口,只是完成对数据报文的调度管理。该数据链路层模型如图 3 所示。

EPA - CSME 通信调度管理实体支持完全基于 CS-MA/CD 的自由竞争通信调度和基于分时发送的确定性通信调度。对于第一种通信调度,EPA - CSME 直接

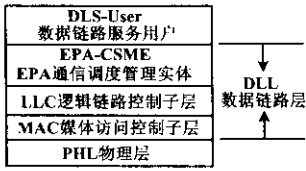


图3 EPA数据链路层模型

传输 DLE 与 DLS - User 之间交互的数据,而不作任何缓存和处理。对于第二种通信调度,每个 EPA 设备中的 EPA - CSME 将 DLS - User DATA 根据事先组态好的控制时序和优先级大小传送给 DLE,由 DLE 处理后通过 PhLE 发送到网络,以避免两个设备在同一时刻向网络上同时发送数据的报文碰撞。

在一个 EPA 微网段内,所有 EPA 设备的通信均按周期进行,完成一个通信周期所需的时间  $T$  称为一个通信宏周期。通信宏周期  $T$  分为两个阶段,第一阶段为周期报文传输阶段  $T_p$ ,第二个阶段为非周期报文传输阶段  $T_n$ ,如图 4 所示。

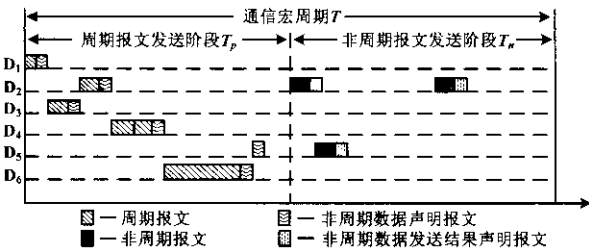


图4 EPA通信调度示意图

在周期报文传输阶段  $T_p$ ,每个 EPA 设备向网络上发送的报文是包含周期数据的报文。周期数据是指与过程有关的数据,如需要按控制回路的控制周期传输的测量值、控制值,或功能块输入、输出之间需要按周期更新的数据。周期报文的发送优先级应为最高。

在非周期报文传输阶段  $T_n$ ,每个 EPA 设备向网络上发送的报文包含非周期数据的报文。非周期数据是指用于以非周期方式在两个通信伙伴间传输的数据,如程序的上下载数据、变量读写数据、事件通知、趋势报告等数据,以及诸如 ARP、RARP、HTTP、FTP、TFTP、ICHP、IGMP 等应用数据。非周期报文按其优先级高低、IP 地址大小及时间有效方式发送。

EPA 实时以太网标准定义了基于 ISO/IEC 8802.3、RFC791、RFC768 和 RFC793 等协议的 EPA 系统结构、数据链路层协议、应用层服务定义与协议规范,以及基于 XML 的设备描述规范。该规范面向控制工程师的应用实际,在关键技术攻关的基础上结合工程应用实践,形成了微网段化系统结构、确定性通信调度、总线供电、分层网络安全控制策略、冗余管理、三级链路访

问关系、基于 XML 的设备描述语言等方面的特色,并拥有完全的自主知识产权。目前,EPA 已有多种产品,包括基于 EPA 的变送器、执行器、现场控制器、数据采集器、远程分散控制站、无纸记录仪等。基于 EPA 的分布式网络控制系统已在化工厂得到成功应用。

### 3.2 Ethernet/IP 实时以太网

Ethernet/IP 实时以太网技术是由 ControlNet 国际组织 CI、工业以太网协会 IEA 和开放的 DeviceNet 供应商协会 ODVA 等共同开发的工业网络标准。

Ethernet/IP 实时扩展成功之处在于 TCP/IP 之上附加 CIP (common industrial protocol) 并在应用层进行实时数据交换和运行实时应用,其通信协议模型如图 5 所示。CIP 的控制部分用于实时 I/O 报文或隐形报文。CIP 的信息部分用于报文交换,也称作显性报文。ControlNet、DeviceNet 和 Ethernet/IP 都使用该协议通信,3 种网络分享相同的对象库,对象和装置行规使得多个供应商的装置能在上述 3 种网络中实现即插即用。Ethernet/IP 能够用于处理多达每个包 1500 个字节的大批量数据,它以可预报方式管理大批量数据。

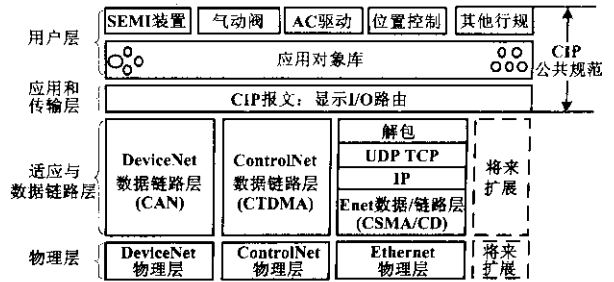


图5 Ethernet/IP通信协议模型

2003 年 ODVA 组织将 IEEE 1588 精确时间同步协议用于 Ethernet/IP 制定了 CIPsync 标准以进一步提高 Ethernet/IP 的实时性。该标准要求每秒钟由主控制器广播一个同步化信号到网络上的各个节点,要求所有节点的同步精度准确到微秒级。为此,芯片制造商增加了一个“加速”线路到以太网芯片,从而将性能改善到 500ns 的精度。由此可见,CIPsync 是 CIP 的实时扩展。

### 3.3 Modbus-IDA 实时以太网

Modbus 组织和 IDA (interface for distributed automation) 集团都致力于建立基于 Ethernet TCP/IP 和 Web 互连网技术的分布式智能自动化系统。为了提高竞争力,2003 年 10 月,两个组织宣布合并,联手开发 Modbus-IDA 实时以太网。

Modbus-IDA 实时扩展的方案是为以太网建立一个新的实时通信应用层,采用一种新的通信协议 RTPS

(real-time publish/subscribe) 实现实时通信, 该协议的实现则由一个中间件来完成。Modbus-IDA 通信协议模型如图 6 所示。该模型建立在面向对象的基础上, 这些对象可以通过 API 应用程序接口被应用层调用。通信协议同时提供实时服务和非实时服务。非实时通信基于 TCP/IP 协议, 充分采用 IT 成熟技术, 如基于网页的诊断和配置( HTTP )、文件传输( FTP )、网络管理( SNMP )、地址管理( BOOTP/DHCP )和邮件通知( SMTP )等。实时通信服务建立在 RTPS 实时发布者/预订者模式和 Modbus 协议之上。RTPS 协议及其应用程序接口( API )由一个对各种设备都一致的中间件来实现, 它采用美国 RTI( real-time innovations )公司的 NDDS 3.0( network data delivery service )实时通信系统。RTPS 建立在 Publish/Subscribe 模式基础上, 并进行了扩展, 增加了设置数据发送截止时间、控制数据流速率和使用多址广播等功能。它可以简化为一个数据发送者和多个数据接收者之间通信编程的工作, 极大地减轻网络的负荷。RTPS 构建在 UDP 协议之上, Modbus 协议构建在 TCP 协议之上。

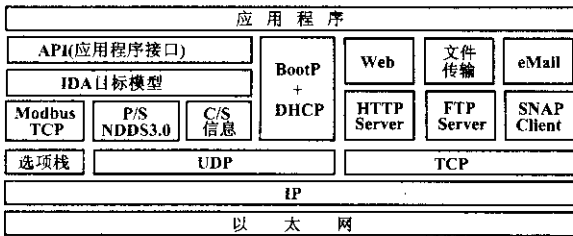


图 6 Modbus-IDA 通信协议模型

### 3.4 PROFINET 实时以太网

PROFINET 实时以太网是由 Profibus International (PI) 组织提出的基于以太网的自动化标准。从 2004 年 4 月开始, PI 与 Interbus Club 总线俱乐部联手, 负责合作开发与制定标准。PROFINET 构成从 I/O 级直至协调管理级的基于组件的分布式自动化系统的体系结构方案, Profibus 技术和 Interbus 现场总线技术可以在整个系统中无缝地集成。

PROFINET 已有 3 个版本。在这些版本中, PROFINET 提出了对 IEEE 802.1D 和 IEEE 1588 进行实时扩展的技术方案, 并对不同实时要求的信息采用不同的实时通道技术。PROFINET 通信协议模型如图 7 所示。从图中可以看出, PROFINET 提供一个标准通信通道和两类实时通信通道。标准通道是使用 TCP/IP 协议的非实时通信通道, 主要用于设备参数化、组态和读取诊断数据。实时通道 RT 是软实时 SRTI( Software RT)方案, 主要用于过程数据的高性能循环传输、事件

控制的信号与报警信号等。它旁路第 3 层和第 4 层, 提供精确通信能力。为优化通信功能, PROFINET 根据 IEEE 802.1p 定义了报文的优先级, 最多可用 7 级。实时通道 IRT 采用了 IRTI( isochronous real-time )等时同步实时的 ASIC 芯片解决方案, 以进一步缩短通信栈软件的处理时间, 特别适用于高性能传输、过程数据的等时同步传输、以及快速的时钟同步运动控制, 在 1ms 时间周期内, 实现对 100 多个轴的控制, 而抖动不足 1 $\mu$ s。

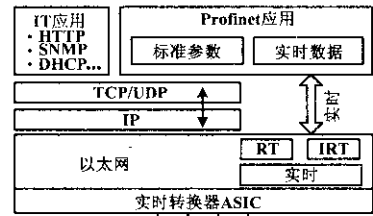


图 7 PROFINET 通信协议模型

### 3.5 Ethernet Powerlink 实时以太网

Ethernet Powerlink 由奥地利 B&R 公司于 2001 年开发, 并在 2002 年成立了 EPSG( Ethernet powerlink standardization group )组织。EPSG 的战略伙伴有 CIA/CANOpen 设备级通信协议和行规用户集团以及 IAONA 工业自动化开放网络体系结构集团等。

Powerlink 协议对第 3 和第 4 层的 TCP/UDP/IP 栈进行了实时扩展。增加的基于 TCP/IP 的 Async 中间件用于异步数据传输, Isochron 等时中间件用于快速、周期的数据传输。Powerlink 通信协议模型如图 8 所示。从图中看出, Powerlink 栈控制着网络上的数据流量。Ethernet Powerlink 避免网络上数据冲突的方法是采用 SCNM( slot communication network management )时间片通信网络管理机制。SCNM 能够做到无冲突的数据传输, 专用的时间片用于调度的等时同步传送的实时数据, 共享的时间片用于异步的数据传输。在网络上, 只能指定一个站为管理站, 它为所有网络上的其它站建立一个配置表和分配的时间片, 只有管理站能接收和发送数据, 其它站只有在管理站授权下才能发送数据。为此 Powerlink 需要采用基于 IEEE 1588 的时间同步。

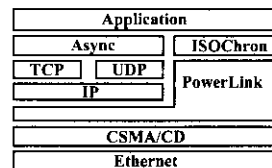


图 8 Powerlink 通信协议模型

### 3.6 EtherCAT 实时以太网

EtherCAT( Ethernet for control automation technology )

由德国 Beckhoff 公司开发,并得到 ETG(EtherCAT technology group)组织的支持。EtherCAT 是一个可用于现场级的超高速 I/O 网络,它使用标准的以太网物理层和常规的以太网卡,媒体可为双绞线或光纤。

Ethernet 技术用于现场级的最大问题是通信效率低,用于传送现场数据的 Ethernet 帧最短为 84 字节(包括分组间隙 IPG),按照理论计算值,以太网的通信效率仅为 0.77%,而 Interbus 现场总线的通信效率高达 52%。于是,EtherCAT 采用了类似 Interbus 技术的集总帧等时通信的原理,其示意图如图 9 所示。EtherCAT 开发了专用 ASIC 芯片 FMMU(fieldbus memory management unit)用于 I/O 模块。这样一来,EtherCAT 可采用标准以太网帧,并以特定的环状拓扑发送数据,在 FMMU 现场总线存储器管理单元的控制下,网络上的每个站或 I/O 单元均从以太网帧上取走与本站有关的数据,或者插入本站要输出的数据。EtherCAT 还通过内部优先级系统,使实时以太网帧比其它数据帧有较高的优先级。组态数据只在实时数据的传输间隙期间传送或通过专用通道传送。EtherCAT 采用 IEEE 1588 时间同步机制实现分布式时钟精确同步,从而使 EtherCAT 可以在  $30\mu\text{s}$  内处理 1000 个开关量,或在  $50\mu\text{s}$  内处理 200 个 16 位模拟量,其通信能力可以使 100 个伺服轴的控制、位置和状态数据在  $100\mu\text{s}$  内更新。

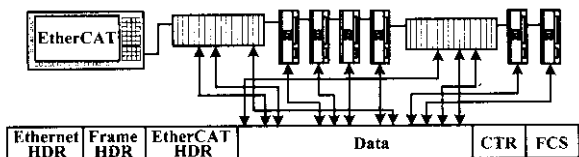


图 9 EtherCAT 集总帧等时通信

## 4 实时以太网技术的进一步思考

### 4.1 实时以太网向传统的运动控制领域延伸

过去,运动控制领域一直使用由 IGS 集团开发的专用现场总线 SERCOS(serial real-time communication system)接口。近来,由于实时扩展技术的突破,实时以太网已延伸至运动控制领域,从而成为能覆盖整个工业自动化领域的网络技术。与此同时,SERCOS 串行实时通信系统也将发展为 SERCOS-III 第三代串行实时通信系统,成为 SERCOS 实时以太网。由于 SERCOS-III 采用 TDMA(time division multiplex access)时间片通信机制,所以 SERCOS-III 实时以太网的实时性在运动控制领域仍处于领先水平。

### 4.2 实时以太网网络安全被提到重要位置

由于工业以太网正在成为整个工业自动化系统的

信息交换平台,作为一个开放系统,其潜在的安全风险是不可避免的。为此,国际电工委员会 IEC/SC65C 专门成立 WG13 工作组负责制定工业以太网网络安全标准。我国制定的《EPA 实时以太网通信标准》充分考虑了网络安全问题,提出了分级网络安全控制策略。在 EPA 系统中,根据系统拓扑结构的 3 个应用级别采取不同的安全技术措施。在现场设备级,EPA 网桥实现访问控制、操作授权、报文过滤、流量控制和网段划分;在过程监控级,EPA 代理实现报文过滤、流量控制、转发控制、时间戳控制等;在管理级,防火墙与防病毒网关采用 VLAN、VPN 或防火墙等技术手段,实现访问控制、报文过滤、时间戳控制、网络安全漏洞扫描、网络入侵检测、网络防病毒、以及备份与恢复等,而在 EPA 设备中,通过定义网络安全功能块对入侵的非法访问和非法数据进行安全过滤。目前,我国 EPA 的网络安全应用导则已作为提案提交 IEC/SC65C WG13 工作组。

### 4.3 “e 网到底”的三个技术方案

长期以来,有一种意见一直认为以太网不可能进入控制系统现场级,理由是以太网在技术上存在实时性、通信效率、总线供电和本质安全等障碍。现在看来,上述前 3 个问题已经很好解决,本质安全技术也将于 2006 年完成开发工作,所以 Ethernet 还将继续向下延伸。

#### 4.3.1 EtherCAT 实时以太网使用的方案

以太网技术最近的一个新进展是向机箱级的“背板总线”延伸。EtherCAT 利用这一技术开发了用于现场控制柜的 E-bus,I/O 机箱的第一个模块使用总线耦合器,该耦合器将标准的双绞线或光缆电气信号转换为 E-bus 信号,I/O 模块之间信息通过 E-bus 传送。E-bus 是基于 LVDS(low voltage differential signal)信号传输,传送距离为 10m。这样以来,以太网帧可以不受影响地传送到 I/O 输入的端口,从某种意义上讲,以太网已经延伸到现场设备级。

#### 4.3.2 美国 IEEE 1451 技术方案

IEEE 1451《用于传感器和执行器的智能转换器接口》标准在控制网络和传感器之间定义了一个标准接口,通过一种称作管道的简单传递机构,使用 Ethernet 传送它们的报文。这种方法简单可行,现场装置保持不变,只需一个专用 ASIC 的 Ethernet 网络接口取代原来的驱动器就可以完成与以太网的连接,从而使网络传感器成为工业以太网系统现场级的数字传感器。

#### 4.3.3 EPA 实时以太网采用的方案

从图 2 中可以看出,EPA 由过程监控级网和现场设备级网构成。现场设备网分置于控制现场。控制现

场可划分为若干个控制区域,各个控制区域内相关的诸如变送器、执行器和现场控制器等现场设备均通过 EPA 网络连接在一起,按照组态相互协调工作,从而完成一定的控制功能。

每个控制区域内的 EPA 子系统由 EPA 现场控制器、EPA - HUB、EPA 变送器和 EPA 执行器等组成,通过 EPA 现场设备通信模块可实现相互间的通信,并可独立完成控制系统中某一部分的测量与控制功能。EPA 现场设备通信模块通过 EPA 现场设备网供电。目前,EPA 正研制用于现场设备通信模块的专用 ASIC 芯片。

在世界各国研发机构的共同推动下,以太网技术获得了极其快速的发展,关键技术正逐个被攻破,工业现场环境的安装应用将被解决。随着初期研发投入被消化以后,工业以太网相对于现场总线的性价比优势将逐渐凸现。我们相信,从现在开始将会出现工业以太网和实时以太网迅速推广应用的局面。

参考文献

1 IEC/SC65C/306/NP Profiles for ISO/IEC 8802 - 3 based communication networks in real time applications. 2003.5

2 冯冬芹、金建祥、褚健. 智能工厂核心技术——EPA 实时以太网. 国内外机电一体化技术 2004.6

3 Christian Schwab Looking behind the automation protocols. The Industrial Ethernet Book, November 2004

4 Real-Time Innovation. NDDS Data Delivery Performance. <http://www.rti.com> 2000.9

5 PNO PROFINET Architecture Description and Specification, V2.01, August 2003

6 EtherCAT Technology Group. EtherCAT Technical Introduction and Overview. December 2004

7 Dirk Janssen, Holger Büttner. Ethernet takes on fieldbus technology at the device level. The Industrial Ethernet Book, May 2004

8 冯冬芹,申屠久洪,王少勇,邹黎勋.我国第一个拥有自主知识产权的 EPA 标准及其验证应用. PLC&FA 2004.7

9 Peter Luts. Ethernet motion technology :The SERCOS Interface. The Industrial Ethernet Book, July 2004

收稿日期 2005 - 02 - 23。

作者缪学勤,男,1942 年生,1965 年毕业于安徽大学,教授级高级工程师,国际电工委员会 IEC/TC65/SC65C/WG6 委员,中国仪器仪表学会理事,国务院特殊津贴获得者,长期从事工业自动化系统的研究、开发和应用及现场总线标准的制定工作。

## HF5000 型温场自动检测系统和 RZJ - 2D2 双炉并行热电偶自检系统 研 制 成 功

本刊讯 西安航空发动机集团天鼎电子仪器有限公司根据用户需求,研制成功了 HF5000 型温场自动检测系统和 RZJ - 2D2 双炉并行热电偶自检系统,并于近期推向市场,受到了用户的好评。

HF5000 型温场自动检测系统是一种广泛适用于航空、航天、电力、石化等行业的热工自动检测仪器,可实现加热装置有效温区检测的全自动操作、检测过程的自动定时巡回采样、热电偶和补偿导线的自动误差修正、采样数据的计算和处理以及自动打印检测记录报表、自动打印检测报告、自动绘制温区位置,并可对检测记录进行存储和查询,同时还可对环境实验用“温、湿箱”和“高、低温箱”的温度、温度的偏差、均匀度、稳定度及变化速率等项指标进行自动校准。

RZJ - 2D2 双炉并行热电偶自动检定系统是一种新型热工检定仪器,是 RZJ - 2D 热电偶、热电阻自动检定系统的更新换代产品,它可自动控温、自动检定、自动数据处理、自动打印检定结果,实现了热电偶、热电阻检定过程的全部自动化,大大降低了工作人员的劳动强度。RZJ - 2D2 双炉并行热电偶自动检定系统在原产品上增加了一路 WK - 1 温度控制器,并独立进行控温和计算机检定,具有操作方式先进、功能齐全、自动化程度高等特点。双炉运行时,一次可检定 18 支热电偶,使工作效率提高了一倍。(郭旭之报道)