

若干种实时以太网标准的比较

冯世宁^{1,2}, 马 杰^{1,2}, 赵雪飞^{1,2}

(1 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003 2 南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

[摘要] 以太网主要应用于办公环境,而在工业控制领域的应用起步不久.工业控制对系统的实时性、稳定性和现场环境有更高的要求,且场合不同需求不一.工业通信网络 IEC 61158 国际标准采纳了 20 种主要类型的现场总线和以太网,其中实时以太网有 9 种.本文对这些实时以太网进行分析,在体系结构、通信方法、实时特性、同步方法、模块间网络等方面进行了归纳和比较.针对应用过程,还比较了逻辑拓扑总线型和环型各自的优点和不足,并提出解决方法,以便选择和开发应用.

[关键词] IEC 61158 的国际标准,实时以太网,工业控制系统

[中图分类号] TP 393 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2010)02-0088-05

Comparison of Several Real Time Ethernet

Feng Shining^{1,2}, Ma Jie^{1,2}, Zhao Xuefei^{1,2}

(1. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003 China
2. Nanjing NARI Group Corporation, Nanjing 210003 China)

Abstract Ethernet which is mainly used for office environment has emerged and developed for more than 30 years. While in the field of industrial control, its applications start soon. Due to its specificity, industrial control needs a real time and stable system. On various occasions, requirements vary. The IEC61158 international standard contains 20 major types of field bus, in which there are nine kinds of real time Ethernet. This paper summarizes and compares the system structures, communication methods, real time features, synchronizations, network modules and other aspects of these real time Ethernet. This paper compares the bus type and the ring and proposes solutions in order to choose and develop applications.

Key words IEC61158 international standard, real time Ethernet, industrial control system

随着时代的发展,工业控制系统的需求不断扩大、要求不断提高,信息网络正日益成为工业控制系统性能发展的瓶颈,改革迫在眉睫.如何将现代通信技术应用到工业自动化控制中去,是目前亟待解决的课题.

工业控制网络与信息网络不同.信息网络设计以高带宽和可靠响应为目标,一定的延迟和抖动是可以接受的,而工业控制网络有较高的实时性和较快的时间响应要求;工业控制网传输的信息多为短帧信息,且信息交互频率高,周期性信息多;工业控制网络信息传递的方向性和顺序性强;由于在工业环境应用,控制系统对网络的可用性和可靠性有了更高的要求,有一定的防护等级要求;工业控制网络有多家不同的通信协议标准,在构成网络系统时,存在相互间的兼容性问题.

工业控制网络对以上要求并非完全一致,而是根据不同场合的需求选用不同的工业以太网技术.

1 国际标准中的实时以太网

国际电工技术委员会 (IEC)制订了关于工业通信网络的 61158 国际标准, IEC61158 第 4 版于 2007 年出版.从整个标准的构成来看,该系列标准是经过长期技术争论而逐步走向合作的产物,标准采纳了 20 种主要类型的现场总线和以太网,其中实时以太网技术有 9 种,如表 1 所示.

收稿日期: 2010-04-28
通讯联系人: 冯世宁,硕士研究生,研究方向: 电力系统通信. E-mail: njfs@ sina. com

表 1 实时以太网技术标准
Table 1 Real-time Ethernet standards in IEC61158

类型	技术名称	代表公司
Type2	CIP(DeviceNet ControNet Ethernet/IP)	美国罗克韦尔
Type10	PROFNET 实时以太网	德国西门子
Type11	TCnet 实时以太网	日本东芝
Type12	EtherCAT 实时以太网	德国倍福
Type13	Ethernet Powerlink 实时以太网	奥地利贝加莱
Type14	EPA 实时以太网	中国浙大中控
Type15	Modbus-RTPS 实时以太网	美国施耐德
Type17	VNET/IP 实时以太网	日本横河电机
Type19	SERCOS III实时以太网	德国电力电子协会与机床协会

2 9种实时以太网的分析和比较

现对 9种类型的实时以太网技术试作分析和比较, 以便按不同场合的需求选择开发应用.

2.1 61158 Type2

IEC61158 Type2 CIP(Common Industry Protocol)包括 DeviceNet ControNet现场总线和 Ethernet/IP 实时以太网. 它的技术基础是美国 Rockwell Automation 公司研究发展起来的, 推广组织是 ODVA. 施耐德也于 2007年底加入了 ODVA.

Ethernet/IP采用和 DeviceNet以及 ControNet相同的应用层协议 CIP, 再加上已经被广泛使用的 Ethernet和 TCP/IP协议, 就构成 Ethernet/IP协议的体系结构. Ethernet/IP在 TCP/IP之上的应用层进行实时数据交换和实时应用. 最新版本的 Ethernet/IP技术规范中包含了 CIP Sync实时扩展方案. CIP Sync时间同步方案基于 IEEE 1588标准, 可加入附加硬件来实现高精度的时间同步, 在常规的 100M 以太网及交换式架构下, 这种方法可以实现两个设备 + /- 0. 1μs的时间精度.

2.2 61158 Type10

IEC61158 Type10 PROFNET 实时以太网是由西门子公司和 PNO (Profibus Nutzer/ User Organization)提出的. PROFNET 将工厂自动化和企业信息管理层 IT技术有机地融为一体, 同时又完全保留 Profibus现有的开放性. 2004年开始, Profibus和 Interbus联手合作开发 PROFNET. PROFNET构成从 I/O 级直至协调管理级的基于组建的分布式自动化系统的体系合作方案, Profibus技术和 Interbus现场总线技术可以在整个系统中集成.

PROFNET已有 3个版本, 分别具有 3种性能等级:

- ① CBA: 用于非苛求时间数据的 TCP/UDP 和 IP, 如: 参数赋值和组态;
- ② RT: 用于苛求时间过程数据的软实时 (SRT), 如: 工厂自动化领域, 其典型响应时间是 5~ 10ms;
- ③ IRT: 用于时间要求特别严格的等时同步实时 (IRT), 如: 运动控制, 在 100个节点下其响应时间小于 1ms

2.3 61158 Type11

IEC61158 Type11 TCnet (Time-Critical Network)是日本东芝公司开发的实时以太网, 广泛应用于诸如驱动装置、钢板轧制等高速控制领域. TCnet实时以太网在 MAC层采用调度方式进行实时扩展, 专用调度管理用于时间确认性数据的传送. TCnet系统采用分级结构, 分为现场总线、控制 LAN、信息和控制 LAN以及高端信息系统主干 LAN. TCnet属于信息和控制 LAN, 在监控单元、计算机和控制器之间实现高速与实时的数据传输.

2.4 61158 Type12

IEC61158 Type12 EtherCAT 实时以太网采用主从式结构, 主站 PC机采用标准的以太网卡, 从站采用专用芯片. EtherCAT支持包括线型、总线型和树型在内的几乎所有拓扑结构, 整个网络可以连接 65 535台设备.

EtherCAT无需接收以太网数据包, 将其解码, 之后再将过程数据复制到各个设备. EtherCAT从站设备在报文经过其节点时读取相应的编址数据, 同样, 输入数据也是在报文经过时插入至报文中. 整个过程

中,报文只有几纳秒的时间延迟.

2.5 61158 Type13

IEC61158 Type13 Ethernet Powerlink(EPL)实时以太网标准是由奥地利贝加莱公司(B&R)于 2001 年 11 月倡议和开发的,得到了 EPSG(EPL 标准化)协会的支持. EPL 特别适用于运动控制系统、输入/输出系统以及 PLC 系统间的数据传输.

“Powerlink 是在 Ethernet 基础上的 CANopen”,虽然这个描述有点简单化,但它抓住了这一通信系统提供了用户不同协议打包这一要点.

相比其他以太网标准 Powerlink 的特点:

- ① Powerlink 更贴近以太网的标准,保留了以太网原有特性;
- ② Powerlink 集成了 CANopen 技术;
- ③ Powerlink 协议栈技术,为 Powerlink 控制着网络上的数据流量,进而增加了实时能力.

Ethernet Powerlink 有两种工作模式:保护模式和开放模式. 保护模式能运行循环时间最小到 $200\mu\text{s}$,抖动小于 $1\mu\text{s}$ 的控制系统;开放模式可应用于一个开放的、交换式的网络,在实时网络和 IT 网络之间不需要隔离,这种模式只适用于循环时间为毫秒级的控制系统.

2.6 61158 Type14

IEC61158 Type14 EPA(Ethernet for Plant Automation)实时以太网标准是由浙江大学、浙江中控技术股份有限公司共同主持起草的我国第一个拥有自主知识产权的现场总线国家标准,也是我国第一个被国际认可和接收的工业自动化领域的标准.

EPA 系统中,根据通信关系,将控制现场划分为若干个控制区域,每个区域通过一个 EPA 网桥互相分隔,将本区域内设备间的通信流量限制在本区域内;不同控制区域间的通信由 EPA 网桥进行转发;在一个控制区域内,每个 EPA 设备按事先组态的分时发送原则向网络上发送数据,由此避免了碰撞,保证了 EPA 设备间通信的确定性和实时性.

EPA 是应用于工业现场设备间通信的开放网络技术,采用分段化系统结构和确定性通信调度控制策略,使以太网、无线局域网、蓝牙等广泛应用于工业企业管理层、过程监控层网络的 COTS(Commercial Off The Shelf)技术直接应用于变频器、执行机构、远程 I/O、现场控制器等现场设备间的通信.

采用 EPA 网络,可以实现工业企业综合自动化智能工厂系统中从底层的现场设备层到上层的控制层、管理层的通信网络平台基于以太网技术的统一,即所谓的“E(Ethernet)网到底”.

2.7 61158 Type15

IEC61158 Type15 Modbus-RTS 实时以太网 Modbus/TCP 在美国比较流行,它由两部分组成,即 DA(分散式控制系统)的结构与 Modbus/TCP 的信息结构的结合. Modbus/TCP 是 Modbus 协议的分支,是由 Modicon 开发的. 1999 年公布了其规范,开始用于以太网. Modbus/TCP 基于以太网和标准 TCP/IP 技术,并直接插在第四层的 TCP/UDP 上. 它定义了一个简单的开放式又广泛应用的传输协议网络用于主从通讯方式,一个综合的结构协议暂时没有考虑. 基本工作原理是将传输电报帧嵌入于 TCP/IP 的下层的协议帧中,在物理层中进行传输. Modbus 的帧包括了从站的地址,Modbus 功能码和传输的数据,这里控制码没有被应用,因为校验功能已在以太网协议的下层 1~4 层被执行,功能代码表示必经完成的从站的动作,习惯上一个从属于 Modbus/TCP 的从站可用 Modbus 功能来实现.

2.8 61158 Type17

IEC61158 Type17 VNET/IP 实时以太网是日本横河公司 2004 年开发的、用于过程自动化的实时工厂网络系统,能与常规 VNET 工业以太网无缝连接. VNET/IP 可以提升中大规模 DCS 系统工厂过程控制与批量处理的能力, VNET/IP 采用传输调度、优先权控制和高速响应等技术实现实时工作,使用 VNET/IP 的 CENTUM 分散型控制系统可连接 16 个分区,每个分区可以配备 64 个通信站,每个通信站可连接 124 台 PC. VNET/IP 采用双冗余结构,通信站和网络设备都使用 100Mbps 或 1Gbps 一对双绞电缆连接,或使用 10Gbps 的光缆连接. VNET/IP 还可以借助无线或远程路由器实现冗余结构形式的广域网连接.

2.9 61158 Type19

IEC61158 Type19 SERCOS III 实时以太网 SERCOS(Serial Real Time Communication Specification)协议

是一种专门用于在工业机械电气设备的控制单元与数字伺服装置之间实现实时数据通讯的协议标准. 目前该标准被欧洲各国及美国和日本数控系统和伺服系统制造商广泛接受, 并开发和生产符合该协议的产品. 随着工业以太网技术发展, GS(Interest Group SERCOS)将 SERCOS 总线技术与工业以太网技术结合起来, 提出了 SERCOS III概念, SERCOS III保留了 SERCOS 技术独特的实时特性外, 又提供了大量新的功能, 扩展了 SERCOS 在工业领域的应用范围.

在数据传输上, 硬件连接既可以应用光缆也可以用 CAT5e 电缆; 报文结构方面, 为了应用以太网的硬实时的环境, SERCOS III增加了一个与非实时通道同时运行的实时通道; 参数化的非实时通道与实时通道一起传输以太网信息和基于 IP 协议的信息, 包括 TCP/IP 和 UDP/IP. 数据采用标准的以太网帧来传输, 这样实时通道和非实时通道可以根据实际情况进行配置.

SERCOS III系统基于环状拓扑结构, 不使用星型结构, 数据不经过路由器或转换器, 从而可以使传输延时减少到最小. 安装 SERCOS III网络不需要特殊的网络参数. 在 SERCOS III系统领域内, 连接标准的以太网设备和其它第三方部件的以太网端口可以交换使用. Ethernet 协议或者 IP 协议内容皆可以进入设备并且不影响实时通讯.

3 实时以太网技术的归纳和比较

实时以太网技术的比较如表 2 所示.

表 2 实时以太网的比较
Table 2 Comparison of real time Ethernet

类型特性	Ethernet/IP	PROFINET-RT	EtherCAT	Ethernet Powerlink	EPA	Modbus-RTPS	SERCOS III
产品开始提供年份	2000	2005	2003	2001		1997	2005
MAC&LLC 是否符合标准以太网	是	芯片支持	芯片支持	是	是	是	芯片支持
TCP/UDP/IP 通信结构	支持	支持	支持	支持	支持	支持	支持
通信方法	Client/Server 面向信息的传输帧	Client/Server 面向信息的传输帧	Master/Slave 集总帧	Master/Slave 面向信息的传输帧	Client/Server 面向信息的传输帧	Client/Server 面向信息的传输帧	Master/Slave 集总帧
实时特性	1~ 5ms	50 节点@ 256 μs	1 000 数字 ID @ 30 μs	200 μs		1~ 250ms	8 轴@ 31. 25 μs
保证实时传输的方法	报文优先级 + 附加 Sync	实时与非实时数据分时传输 + 实时数据区分报文优先级	等时传输	实时与非实时数据分时传输 + 实时数据采用分时传输	实时与非实时数据分时传输 + 实时数据采用组态顺序发送	标准的 IP 帧	实时与非实时数据分时传输 + 实时信息按主站和从站分时传输
同步方法	IEEE 1588, Sync	IEEE 1588	IEEE 1588	IEEE 1588	IEEE 1588	无	主节点 + 循环周期
最大节点数	未知, 32 / line	272, 25 / line	65535	65535, 10 / line	未知	65535	511
最高传输速率	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
最大距离	100m,	100m	100m	100m	100m	100m	100m
传输介质	CAT5, 塑料光纤	CAT5 光纤	CAT5, 塑料光纤	同轴电缆、塑料光纤	CAT5 同轴电缆, 光纤	CAT5 塑料光纤	CAT5, 塑料光纤
物理拓扑	星型	线、星、树型	线、星、树型	线、星、树型	线、星型	星型	环、线型
逻辑拓扑	总线	总线	环型	环型	总线	总线	环型
模块间网络	网关, 交换机, 集线器	交换机	交换机	集线器, 交换机, 无网关	交换机	集线器, 交换机, 网关	无
设备的规范	DeviceNet, ControlNet	Profibus/Profinet/Interbus	CAN open, SERCOS	CAN open	Modbus, Profinet, Ethernet/IP	无	SERCOS
应用	罗克韦尔自动化, 通用汽车	ABB 自动化	广州地铁、ABB 电力传输	ABB 机器人, 空客飞机, 阿尔斯通电力		Schneider 配电, 自动化与控制,	驱动器, 运动控制

实时以太网的逻辑拓扑主要有总线型和环形. 采用总线型网络的优点是增加了系统的可靠性, 不会因一两个节点的中断而影响整个系统的性能, 但也因此容易发生信息碰撞. 为了解决这个问题, 采用的办法有: 将整个网络划分成若干区域, 每个区域仅有少量节点, 每个节点的信息在一个周期中的不同间隙传输, 即采用时分复用(TDMA)技术. 总线结构的缺点是系统需要增加交换机、路由器等转发设备, 提高了成本. 它的典型应用有 Ethernet/IP 和 PROFNET. 相对的, 环形结构成本较低, 信息碰撞的可能性也大大降低, 但是它也容易因为一两个节点的故障, 影响该系统的运行. 如果为了增加系统可靠性而采取相应的冗余措施, 势必又增加了成本. 其典型应用有 EtherCAT 和 SERCOSIII.

4 结语

以太网自上世纪 70 年代初诞生以来, 飞速发展, 主要用于办公环境和商务. 其在工业控制领域的应用起步不久. 因为工业系统的现场环境对系统的实时特性、稳定性有更高的要求, 并且各行各业、各种场合, 要求不一, 工业控制系统信息网络的研发迫在眉睫.

本文对工业通信网络 IEC61158 国际标准中的实时以太网, 从研发背景、体系结构、通信方法、实时特性、拓扑结构、模块间网络等方面进行分析、归纳和比较, 以便于在研发工业控制系统通信网络时, 结合本行业的需求, 选用标准时参考.

[参考文献](References)

- [1] 冯冬芹, 黄文君. 工业通信网络与系统集成[M]. 北京: 科学出版社, 2005 168-209.
Feng Dongqin, Huang Wenjun. Industrial Communication Networks and System Integration[M]. Beijing Science Press, 2005 169-209. (in Chinese)
- [2] Hutchison D, Menabti M. Ethernet for real-time applications[J]. IEE PROCEEDING, 1987, 134(1): 47-53.
- [3] Antsaklis P, Baillieul J. Special issue on networked control systems[J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(1): 5-8.
- [4] 缪学勤. 现场总线国际标准最新进展[J]. 电气时代, 2007(8): A2-A5.
Miao Xueqin. Latest field bus international standards[J]. Electric Age, 2007(8): A2-A5. (in Chinese)
- [5] 黄允凯, 谈英姿. 深入浅出 NetLinx 网络架构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008 132-187.
Huang Yunkai, Tan Yingzi. NetLinx Network Architecture[M]. Beijing China Machine Press, 2008 132-187. (in Chinese)
- [6] 陆文娟, 王玉芬, 胡海滨. ControlNet 与 Profibus-DP 总线的性能比较[J]. 机电工程, 2008, 25(1): 53-55.
Lu Wenjuan, Wang Yufen, Hu Haibin. Capability compare of ControlNet and Profibus-DP fieldbus[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2008, 25(1): 53-55. (in Chinese)
- [7] 郇极, 肖文磊, 刘艳强. 工业以太网 EtherCAT 冗余和热插拔技术[J]. 北京航空航天大学学报, 2009, 35(2): 158-161.
Huan Ji, Xiao Wenlei, Liu Yanqiang. Redundancy and hot swap technology in industrial ethernet EtherCAT[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2009, 35(2): 158-161. (in Chinese)
- [8] 夏锋, 孙优贤. 工业以太网应用性能分析[J]. 电气传动, 2004(2): 40-43.
Xia Feng, Sun Youxian. On performance of industrial ethernet[J]. Electrical Transmission, 2004(2): 40-43. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]