

# 西门子工业网络交换机 应用指南

Siemens Industrial Communication Switch Guide

主编 赵欣



user guide

[www.ad.siemens.com.cn](http://www.ad.siemens.com.cn)



SIEMENS



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

TP393.11/7

2008

# 西门子工业网络交换机应用指南

主编 赵欣  
 参编 王威 葛鹏 张志刚  
 冯学卫 姜传辉 陈志勇  
 程 皞 李晨辉 毛惠平  
 杨建东 张兆中

机械工业出版社

本书从网络通信的实际应用出发,结合工业网络发展的趋势和先进技术,以实时工业以太网——PROFINET网络组件和技术协议为脉络,以清晰易懂的理论、丰富详实的通信案例,并结合多年实践的经验,全面地介绍了西门子公司工业自动化控制系统基于实时工业以太网组件性能、系统配置和行业应用。本书是《西门子工业网络通信指南》一书的延续。

本书概述了西门子公司工业网络的各种形式和结构;详细介绍了西门子公司工业以太网交换机的技术参数、设计规范、参考选型及各种通信方式的组态、编程和故障诊断方法;以无线工业以太网模块为主,详述了西门子公司基于无线以太网通信的产品和解决方案;描述了西门子公司基于GPRS和其他远程通信的解决方案;结合工业现场的实际应用,给出了不同行业应用的解决方案。

本书以产品为基础、应用为主线,内容深入浅出、条理清晰、完整,并配有大量的例图与应用实例,深入细致地阐述了通信协议的各个方面,便于读者学习和掌握。

本书适合广大工业产品用户、系统工程师、现场工程技术人员、大专院校相关专业师生,以及工程设计人员借鉴和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

西门子工业网络交换机应用指南/赵欣主编. —北京:机械工业出版社, 2008.6

ISBN 978-7-111-24211-6

I. 西… II. 赵… III. 工业企业-以太网-信息交换机-指南  
IV. TP393.11-62 TN915.05-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第072734号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:林春泉 付承桂等 责任校对:李婷

责任印制:杨曦

三河市宏达印刷有限公司印刷

2008年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·24.5印张·607千字

0001-6000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24211-6

定价:53.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379059

封面防伪标均为盗版

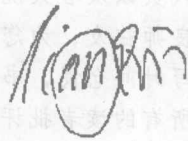
# 序 言

工业的现代化，很大程度上体现在生产制造及过程的自动化；自动化技术的不断创新是提高现代工厂生产效率的动力，先进、高效和可靠的通信网络是工业自动化的神经系统，是确保设备正常运转的重要保证，并成为衡量工业现代化水平的重要标志。西门子公司致力于自动化技术的不断创新，在 PROFIBUS 技术取得成功应用后，又迅速地推出了新一代实时工业以太网——PROFINET 技术，并在工业现场得到迅速推广。在 PROFINET 技术为广大用户接受和认可之际，西门子公司将 PROFINET 技术及其应用汇集在本书中并呈现给读者，希望能为设计人员和工程师以及高校相关专业的广大师生学习和掌握 PROFINET 新技术提供有力的支持和帮助。

工业网络通信技术的创新和提高为新一代自动化控制系统带来了活力，正推动着现代工业革命的不断进步。今天，工业以太网技术正成为现代工业自动化通信技术的发展趋势，而西门子公司基于工业以太网的 PROFINET 技术更以其开放的协议，清晰简单的结构和可靠而高速的实时数据通信为众多业界知名厂商所推崇，为广大用户所青睐。西门子公司作为工业自动化领域的领导者，引领着工业自动化技术发展的方向，基于先进网络技术的西门子公司的全集成自动化解决方案不仅能满足各行业用户的不同需求；而且，多元化的通信方式更为工业用户提供了有力的支持和保证，同时也为工业自动化的发展提供了动力。西门子公司公司的 PROFIBUS 技术是工业总线中惟一在中国成为国家标准的总线，已广泛地应用于工业自动化各个领域。现在，我们非常高兴地看到，PROFINET 技术也正沿着此方向不断地走向成功。

《西门子工业网络交换机应用指南》一书，正是在网络技术和应用日新月异的环境下，本着全面而清晰，服务客户和方便用户的原则，由西门子公司网络专家和工程师根据多年积累的经验潜心编写的，是西门子公司工业通讯事业部提供给广大用户有力支持的工具。在产品方面，内容全面而具代表性，从有线通信交换机，无线交换机到 GPRS 通信模块的产品特性、产品选型，方案设计、系统配置及安装调试，由浅入深地全面讲解。针对通信的灵活性和多样性，从以太网、工业以太网、实时工业以太网到无线移动工业以太网及工业远程通信技术及各种行业应用案例都一一予以解析。以便给更多用户提供工业网络技术方面的支持和应用参考。

希望《西门子工业网络交换机应用指南》一书能为更多的工业用户提供有力的支持和有效的解决方案，同时也为工业网络的进一步发展发挥它的一份作用。



张天贵

总经理

西门子（中国）有限公司传感器与通讯部

2008年5月5日

# 前 言

随着工业自动化和计算机技术的紧密结合和飞速发展,信息交换领域已从现场设备控制层扩大到企业管理层,引起了自动化系统结构的变革,以以太网为基础的工业通信协议成为当今自动化控制系统的必然趋势。由此,网络通信的实时性和可靠性以及网络故障的远程智能诊断和排除等功能成为工业通信关注的焦点。

由于网络通信要同时兼顾系统的稳定性、快速性、灵活性和兼容性,因而网络通信往往成为自动控制系统设计和实施中的难点,为此西门子公司资深专家和工程师凭借多年现场经验和对西门子公司产品和系统的认识,以实例的方式编写了《西门子工业网络交换机应用指南》一书。该书以实时工业以太网技术 PROFINET 为主线,从有线交换机,无线交换机到 GPRS 通信模块的选型,方案设计,系统组态和配置,系统安装调试及各种行业应用案例,以清晰明了的实例,将西门子公司最先进的实时工业网络技术的原理及应用由浅入深地进行了全面讲解。

本书分为五章,第1章讲解了西门子公司工业网络的各种结构,从以太网、工业以太网、工业实时以太网到无线移动工业以太网及工业远程通信技术等由浅入深地、全面地剖析了不同网络的结构、特点和在工业应用环境中的优缺点。第2、3章重点介绍了工业以太网组件——工业以太网有线交换机和无线交换机的产品特性、技术参数、产品选型及项目组态和安装调试等具体内容。第4章侧重于西门子公司远程通信和 GPRS 通信的相关技术及应用。第5章针对实际应用的需求和环境,给出了大量针对行业的应用案例。

在本书的编写过程中,特别要感谢西门子公司传感器与通讯部总经理张天贵先生为本书撰写序言。同时,本书还得到了西门子(中国)有限公司相关部门领导及众多同事的大力支持和指导,他们是工业自动化集团技术支持与服务部总经理李永利先生、系统和应用支持部经理张凡女士、技术支持部专家级工程师葛蓬先生等,在此特别鸣谢。

本书主编——西门子(中国)有限公司工业自动化集团技术支持工程师赵欣先生以及参编人员张志刚先生、冯学卫先生等对本书的编写和审核付出了辛勤汗水,在此致以诚挚的谢意。本书的编写还得到了西门子公司工业网络产品经理们给予的大力支持,在此也一并表示深深的谢意。

无论您是西门子公司工业产品用户、工业自动化领域的工程技术人员,还是学习工业网络通信的设计人员以及各大院校相关专业的师生,《西门子工业网络交换机应用指南》一书都能成为您的良师益友,为您提供相关技术支持,为您的成功助一臂之力。

由于本书编写时间仓促,书中错误和不足之处在所难免。诚恳希望各位专家、学者、工程技术人员以及所有的读者批评指正,我们将衷心感谢您的赐教,谢谢!

王 威

西门子(中国)有限公司工业通讯事业部

2008年5月

# 目 录

# 录

## 序 前言

## 第 1 章 工业以太网

1.1 以太网	1
1.1.1 以太网的发展历程	1
1.1.2 OSI 参考模型及 TCP/IP 模型	1
1.1.3 以太网概念简介	3
1.2 工业以太网	5
1.2.1 工业控制网络与办公网络的区别	6
1.2.2 工业以太网的技术特点	6
1.3 实时工业以太网——PROFINET	8
1.3.1 PROFINET 概述	8
1.3.2 PROFINET RT	9
1.3.3 PROFINET IRT	11
1.3.4 在 PROFINET 网络中集成现有的 总线系统	11
1.3.5 PROFINET IO	12
1.3.6 PROFINET CBA	13
1.4 工业无线以太网	14
1.4.1 工业无线以太网概述	14
1.4.2 移动通信标准	14
1.4.3 工业移动通信特点	16
1.5 工业广域网	17
1.5.1 基于 RTU 的传统工业 WAN	17
1.5.2 基于 SINAUT 的新型工业 WAN	18

## 第 2 章 西门子公司的工业以     太网交换机

2.1 SCALANCE X 概述	20
2.1.1 面向未来的交换机	20
2.1.2 SCALANCE X 技术特点	22
2.2 SCALANCE X 网络管理	29
2.2.1 PST	29
2.2.2 FTP/TFTP	30
2.2.3 BOOTP	35

2.2.4 DHCP	37
2.2.5 SMTP	40
2.2.6 Syslog	42
2.2.7 TELNET/SSH	44
2.2.8 HTTP/HTTPS	46
2.2.9 SNMP	49
2.2.10 ACL	69
2.2.11 Sntp	71
2.3 SCALANCE X 网络冗余	73
2.3.1 HSR	73
2.3.2 STBY	76
2.4 SCALANCE X VLAN	78
2.4.1 VLAN 概述	78
2.4.2 静态 VLAN	80
2.4.3 动态 VLAN	84
2.5 SCALANCE X STP/RSTP	87
2.5.1 STP	87
2.5.2 RSTP	93
2.6 SCALANCE X 组播	99
2.6.1 IGMP Snooping	99
2.6.2 GMRP	104
2.7 SCALANCE X 路由	108
2.7.1 SCALANCE X 路由概述	108
2.7.2 本地路由	109
2.7.3 静态路由	112
2.7.4 RIP 路由	115
2.7.5 OSPF 路由	120
2.7.6 OSPF 路由聚合	128
2.7.7 VRRP 路由	134
2.8 SCALANCE S 安全模块	141
2.8.1 SCALANCE S 简介	141
2.8.2 DHCP 服务器	142
2.8.3 Syslog	146
2.8.4 防火墙	148
2.8.5 虚拟专用网络	150
2.8.6 路由	158
2.8.7 NAT/NAPT	163

## 第3章 西门子公司工业无线通信 SCALANCE W

<b>3.1 西门子公司工业无线通信</b>	169
3.1.1 西门子公司工业无线通信概述	169
3.1.2 西门子公司工业无线通信网络产品 SCALANCE W	170
3.1.3 SCALANCE W 的特点	171
3.1.4 SCALANCE W780 和 W740 系列产品功能概述	173
3.1.5 SCALANCE W 788-1	176
3.1.6 SCALANCE W788-2	179
3.1.7 SCALANCE W740 系列产品	180
3.1.8 RCoax 电缆	184
3.1.9 IWLAN/PB Link PN IO	187
3.1.10 天线、终端电阻和避雷器件	188
<b>3.2 SCALANCE W 网络结构</b>	189
3.2.1 Ad-hoc 网络	189
3.2.2 Infrastructure (独立式) 网络	190
3.2.3 WLAN 与 LAN 互联	191
3.2.4 多频道配置	191
3.2.5 无线分布式系统	192
3.2.6 冗余 WLAN	192
<b>3.3 SCALANCE W 通信网络组态</b>	193
3.3.1 软硬件需求	193
3.3.2 安装 PST 3.2 软件 (Primary Setup Tool)	194
3.3.3 使用 PST 软件为 SCALANCE W 组态 IP 地址	195
3.3.4 组态 SCALANCE W788 为 Ad-hoc 方式	195
3.3.5 组态 SCALANCE W788 为 Infrastructure 方式	197
3.3.6 组态 SCALANCE W788 为 WDS 方式	203
3.3.7 组态 SCALANCE W788 为冗余 WLAN	207
<b>3.4 SCALANCE W I-Features 工业功能</b>	210
3.4.1 iQoS	210
3.4.2 iPCF	212
3.4.3 强制漫游	217

<b>3.5 SCALANCE W 桥模式</b>	223
3.5.1 VLAN 组态	223
3.5.2 NAT	228
3.5.3 生成树组态	236
<b>3.6 SCALANCE W 网络管理</b>	238
3.6.1 Load&Save	238
3.6.2 Syslog	240
3.6.3 E-mail	243
3.6.4 SNMP	245
3.6.5 Sntp	256
<b>3.7 SCALANCE W 网络安全功能</b>	258
3.7.1 访问协议控制	258
3.7.2 更改默认 SSID 名称与禁用 SSID 广播	259
3.7.3 更改管理员或用户默认密码	259
3.7.4 ACL	260
3.7.5 使用验证和加密功能	262

## 第4章 SINAUT 工业远程通信

<b>4.1 概述</b>	265
4.1.1 SINAUT MICRO	265
4.1.2 SINAUT ST7	272
<b>4.2 SINAUT 网络拓扑结构</b>	281
4.2.1 专线网络	281
4.2.2 无线网络	282
4.2.3 电话网络	283
4.2.4 冗余网络	284
4.2.5 DSL 网络	285
4.2.6 GPRS 网络	285
<b>4.3 SINAUT 网络功能组态</b>	286
4.3.1 SINAUT MICRO SC 网络功能组态	286
4.3.2 SINAUT ST7 网络功能组态	312

## 第5章 行业应用

<b>5.1 PROFINET 应用</b>	343
5.1.1 PROFINET 在烟草行业的应用	343
5.1.2 PROFISAFE 在车厂喂料系统的应用	344
<b>5.2 SCALANCE X 应用</b>	347
5.2.1 SCALANCE X 在造船业的应用	347
5.2.2 SCALANCE X 在智能交通行业的应用	

---

应用 .....	349	5.3.4	SCALANCE W 在炼钢车间天车系统中的应用 .....	367
5.2.3 SCALANCE X 在煤炭行业的应用 ...	351	5.3.5	SCALANCE W 在汽车行业的应用 .....	370
5.2.4 SCALANCE X 的城市轨道交通控制系统应用 .....	354	5.3.6	SCALANCE W 在食品罐装行业的应用 .....	373
5.2.5 SCALANCE X 的火力发电站控制系统应用 .....	355	5.3.7	SCALANCE W 在立体仓库的应用 .....	375
5.2.6 SCALANCE X 的水利枢纽控制系统应用 .....	358	5.3.8	SCALANCE W 在机械设备的 应用 .....	377
<b>5.3 SCALANCE W 应用 .....</b>	<b>359</b>	<b>5.4</b>	<b>SINAUT 应用 .....</b>	<b>379</b>
5.3.1 SCALANCE W 在地铁 PIS 的应用 ...	359	5.4.1	SINAUT 在自来水行业的应用 .....	379
5.3.2 SCALANCE W 在物流系统的 应用 .....	361	5.4.2	SINAUT 在石油输送的应用 .....	380
5.3.3 SCALANCE W 在港口 RCMS 系统中 的应用 .....	364	5.4.3	SINAUT 在天然气配送的应用 .....	381



# 第 1 章 工业以太网

## 1.1 以太网

### 1.1.1 以太网的发展历程

Robert Metcalf 于 1976 年在美国国家计算机会议上表达了他对以太网 (Ethernet) 的观点, 即传统的网络在通信实体增加时, 连接数会急剧地增加。因此, 他提出了与“轻以太”类似的网络概念。“轻以太”是包围着地球的一种电磁能量的传播介质, 而与此相似的“以太网”, 则用同轴电缆来完成发送器向所有相连的无源介质传递信息。最初的以太网概念草图如图 1-1 所示。

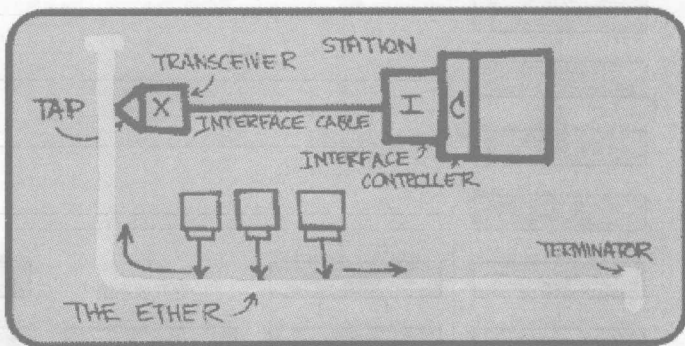


图 1-1 最初的以太网概念草图

1980 年, DEC、Intel 和 Xerox 三家公司联合发布了所谓的 DIX 标准。此前处于试验阶段的以太网被一个开放的、详细定义的 10Mbit/s 的系统代替。美国电气电子工程师学会 (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE) 于 1985 年完成了对其进行标准化的工作, 它是 802.3 协议下的一个局域网互联标准。

快速以太网标准 (Fast Ethernet) 创始于 1993 年。超过 50 家的供应商加入了快速以太网联盟, 通过采用在双绞线上传输速率达到 100Mbit/s 的快速以太网标准 IEEE802.3u、100BaseT 的标准, 在 1995 年得到确立。1999 ~ 2001 年, 以太网标准经历了千兆以太网 (Gigabit Ethernet) 到万兆以太网 (10Gigabit Ethernet) 标准 IEEE802.3ae 的制定。目前, 以太网在局域网范围里的应用率已经达到了第一位, 全球占有率超过 90%, 并且还在不断增长。

### 1.1.2 OSI 参考模型及 TCP/IP 模型

为了实现不同体系结构的计算机互联, 国际标准化组织 (International Standard Organization, ISO) 于 1977 年成立了专门机构, 研究实现各种计算机在世界范围内互联网的标准框架, 即著名的开放系统互联 (Open System Interconnection, OSI) 参考模型。

至 1983 年, OSI 参考模型的文件正式确定, 基于分层原则可将整个网络的功能从垂直方向分为 7 层, 由底层到高层分别是: 物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表

示层和应用层。图 1-2 中带箭头的水平虚线（除物理层协议）表示不同节点的同等功能层之间按该层的协议交换数据。物理层之间由物理通道（传输介质）直接相连，物理层协议的数据交换通过物理通道直接进行。其他高层的协议数据交换是通过下一层提供的服务来实现的。

层次结构中的实际传送过程如图 1-2 所示。图中发送进程给接收进程传送数据的过程，实际上是经过发送节点各层从上到下传递到物理通道，通过物理通道传输到接收节点后，再经过从下到上各层的传递，最后达到接收进程。在发送节点从上到下逐层传递的过程中，每层都要加上适当的控制信息。数据到底层时成为完全由 0、1 组成的比特流，然后再转换为电信号在物理通道上传输至接收节点。接收节点在方向上传递时，过程正好相反，要逐层剥去发送节点相应层加上的控制信息。

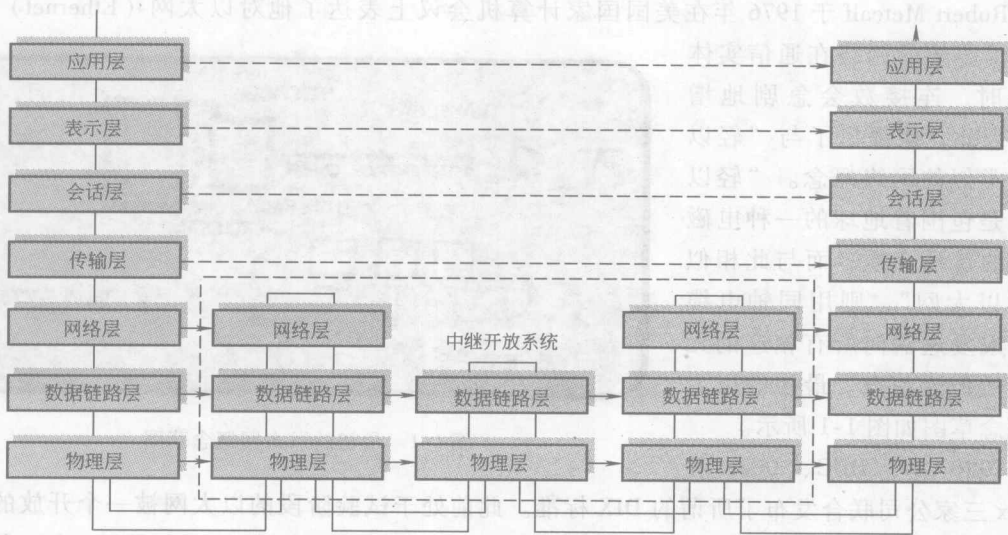


图 1-2 OSI 参考模型中的传输过程

#### (1) 物理层

物理层为建立、维护和拆除物理链路提供所需的机械的、电气的、功能的和规程的特性；提供在传输介质上传输非结构的位流和物理链路故障检测指示功能。

#### (2) 数据链路层

数据链路层是在物理层提供的位流传输服务的基础上，在通信实体间建立具有数据格式和传输功能的节点之间的逻辑连接。相邻节点间链路上传输的数据以帧的格式将位流进行组合，每帧包括数据和必要的控制信息（如同步信息、地址信息、差错控制以及流量控制信息等）。建立数据链路层的目的是使有差错的物理链路变成无差错的数据链路。

#### (3) 网络层

网络层是通信子网的边界。网络层的主要功能是实现整个网络系统内的连接，为传输层实体提供节点到节点的网络数据传送的通路，包括交换方式、路由选择策略以及与之相关的流量控制和拥塞控制。

#### (4) 传输层

传输层是网络体系结构中高低层之间衔接的一个接口层，为会话实体提供透明的、可靠

的数据传输服务，保证数据的完整性。

#### (5) 会话层

会话层是组织和同步两个通信的会话服务用户之间的对话，为表示层实体提供会话连接的建立、维护和拆除功能，完成通信进程和逻辑名字与物理名字间一一的对应，提供会话管理服务。

#### (6) 表示层

表示层主要用于处理在两个通信系统中交换信息的表示方式，如代码转换、格式转换、文本压缩、文本加密与解密等。

#### (7) 应用层

应用层确定进程之间通信的性质以满足用户的需要。应用层不仅要提供应用进程所需要的信息交换和远地操作，而且还要作为互相作用的应用进程的用户代理，完成一些为进行信息交换所需的功能。

OSI 参考模型研究的初衷是希望网络体系结构与协议的发展提供一种国际标准，但随着 Internet 在全世界的飞速发展，TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol, 传输控制协议/网际协议) 得到了广泛地应用。虽然 TCP/IP 不是 ISO 标准，但广泛地应用使 TCP/IP 成为了一种实际上的标准，并形成了 TCP/IP 参考模型。TCP/IP 参考模型中共有 4 个层次，他们分别是链路层、网络层、传输层和应用层。OSI 参考模型与 TCP/IP 层对应关系及所包含的协议如图 1-3 所示。

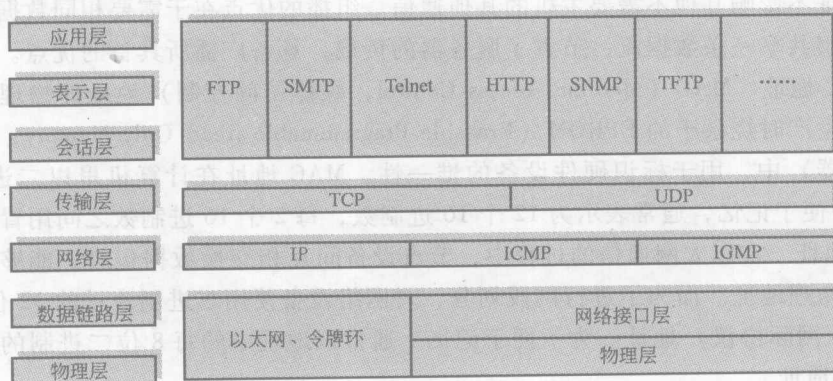


图 1-3 OSI 参考模型与 TCP/IP 参考模型

### 1.1.3 以太网概念简介

#### (1) CSMA/CD

CSMA/CD (Carrier Sence Multiple Access with Collision Detection, 带碰撞检测的载波侦听多址访问) 是一种常用的争用方法来决定对媒体访问权的协议，这种争用协议只适用总线结构的网络。在网络中，每个站点都能独立地决定帧的发送，若两个或多个站同时发送帧，就会产生冲突，导致所发送的帧都出错。当站点要发送数据帧时，须首先侦听媒体，以确定是否有其他的帧正在传输，如果有的话，则等待一段时间再试；若媒体空闲，它必须随时监测是否发生碰撞，若帧发送完毕，一直未检测到碰撞，则表示此站成功地占用媒体，表明了

帧发送成功；若当发送帧过程中检测到碰撞，则立即停止发送，并进行碰撞处理，说明了帧未发送成功，需要重新再发。

### (2) 通信类型与网络地址

1) 通信类型 网络中的通信有三种类型：单播、广播与组播。在一般情况下，通信的绝大多数由单播以及通信协议发送的广播包占据，有时，特殊的应用也会存在大量的组播数据包信息。

单播即主机之间端到端的通信模式，网络中的交换机和路由器对数据只进行转发而不进行复制。单播的优点在于服务器会及时地响应客户机的请求，同时服务器可以针对每个客户不同的请求发送不同的数据，容易实现个性化服务。同时单播也存在着缺点。即服务器针对每个客户机发送数据流时，服务器流量 = 客户机数量 × 客户机流量。在客户数量大、每个客户机流量大的流媒体应用中服务器将不堪重负。

广播是网络中一个主机对本网其他所有机器发送的通信模式数据包。网络对其中每一台主机发出的信号都进行无条件地复制并转发，所有主机无论是否需要都接收到所有信息。由于其不用路径选择，成本低廉，可以快速到达目的设备的响应。但广播无法针对每个客户的要求和时间及时提供个性化服务。同时，由于广播数据包的发送不选择接收设备，有用的数据传输只占很小一部分，带宽利用率很低。

组播是指主机之间单对多的通信形式，网络中的路由器和交换机有选择地复制并传输数据，即只将组内数据传输给那些加入组的主机。这样既能一次将数据传输给多个有需要的主机，又能保证不影响其他不需要主机的其他通信。组播的优点在于需要相同数据流的客户端加入相同的组共享一条数据流，节省了服务器的负载，具备广播所具备的优点。

2) MAC 地址 MAC (Medium Access Control, 媒体访问控制) 地址即物理地址。由设备制造商在生产时烧录于的 EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory, 可擦除可编程只读存储器) 中，用于标识硬件设备的惟一性。MAC 地址在计算机里以二进制表示的，共 48 位。为便于记忆，通常表示为 12 个 16 进制数，每 2 个 16 进制数之间用冒号隔开。

3) IP 地址 在以太网通信的过程中，节点设备间互相交换数据包时，能够识别的网络设备自身的物理地址。而为了进行网段划分，对网络设备使用二进制表示的 32 位 IP (Internet Protocol, 网际协议) 地址。为了便于记忆，通常以地址中的每 8 位二进制的等效十进制数值表示 IP 地址。

4) 子网掩码 子网掩码用于 IP 网络的地址复用，使若干物理网络共享同一 IP 网络地址。它用 32 位由 0、1 组成的掩码将 IP 地址区分成网络号和主机号。网络号用于表示 IP 网络地址下的不同物理网络即“子网”，主机号划分了某一子网内的各个主机。

### (3) 交换式以太网及交换机

由于采用 CSMA/CD 机制的冲突式以太网使用共享信道，所以当接入网络的节点数较多时，网络带宽的有效利用率大大降低，实时性和可靠性也无法保证。为了提高带宽，交换技术被引入至局域网内，可以使各个节点间并行通信，有效地提高了带宽。

交换以太网在传统以太网技术的基础上，用交换机技术替代原来的 CSMA/CD 技术，从而避免了由于多个节点共享并竞争信道发生的碰撞，减少了信道带宽的浪费，同时还可以实现全双工通信，极大提高了信道的利用率。

交换以太网的核心部件是以太网交换机。以太网交换机可以有多个端口，每个端口可以

单独与一个节点连接，也可以与一个共享介质式的以太网集线器连接。

如果交换机的某个端口只连接一个节点，那么这个节点就可以独占整个带宽，这类端口通常被称作“专用端口”；如果一个端口连接另一个与端口相同的以太网，那么这个端口将被以太网中的所有节点所共享，这类端口被称作“共享端口”。交换以太网结构如图 1-4 所示。

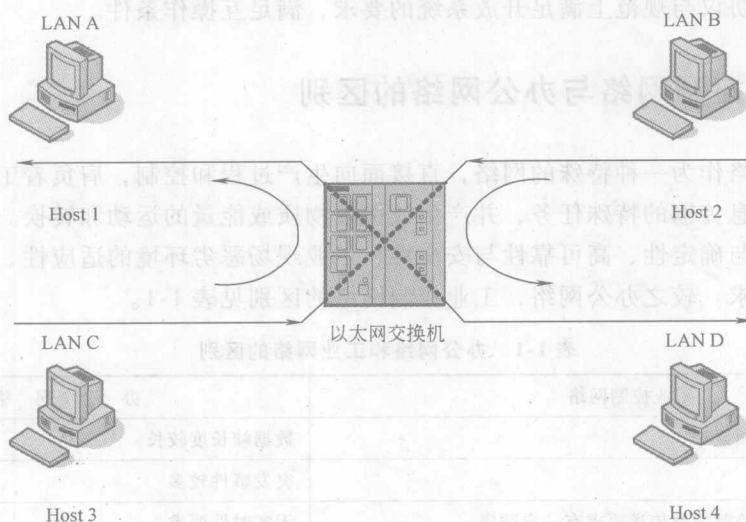


图 1-4 交换式以太网

以太网交换机连接的 4 个局域网中的任意两个局域网在通信时，另外两个局域网也可以通过交换机通信，这对于共享式集线器是无法实现的。从而可以把这 4 个局域网看成是一个大的新局域网，但是它的冲突域却没有扩大，仍然保持在原来各自的冲突域。而同样规模的共享式以太网的冲突域是整个局域网范围内，因此交换式以太网的性能要优于共享式以太网。

交换以太网采用存储转发技术或直通技术来实现信息帧的转发。存储转发技术是将需发送的信息帧完全接收，并存放于输入缓存后经过校验，如果没有错误再发送至目的端口；而直通技术是在接收到信息帧时与交换机中的目的地址相比较，查找到目的地址后就直接将信息帧发送到目的端口。这样相比较数据包的延迟方面，直通技术对于数据包的转发速度大大高于存储转发技术，可以更加提高数据包的实时性能。

西门子公司全新一代的 SCALANCE X 系列交换机，当使用 SCALANCE X IRT 的交换机应用于 PROFINET IRT 技术时，SCALANCE X IRT 交换机采用直通技术完成 IRT (Isochronous Real-Time, 等时实时) 数据包的转发，可以实现高精度的运动控制。

## 1.2 工业以太网

为了促进工业以太网在工业领域中的应用，国际上成立了工业以太网协会 (Industrial Ethernet Association, IEA)、工业自动化开放网络联盟 (Industrial Automation Open Network Alliance, IAONA) 等组织，目标是在世界范围内推进工业以太网技术的发展、教育和标准

化管理，在工业应用领域的各个层次运用以太网。这些组织还致力于促进以太网进入工业自动化的现场级，推动以太网技术在工业自动化领域和嵌入式系统的应用。

工业自动化网络控制系统不单单是一个完成数据传输的通信系统，而且还是一个借助网络完成控制功能的自控系统。它除了完成数据传输之外，往往还需要依靠所传输的数据和指令，执行某些控制计算与操作功能，由多个网络节点协调完成自控任务。因而它需要在应用、用户等高层协议与规范上满足开放系统的要求，满足互操作条件。

### 1.2.1 工业控制网络与办公网络的区别

工业控制网络作为一种特殊的网络，直接面向生产过程和控制，肩负着工业生产运行一线测量与控制信息传输的特殊任务，并产生或引发物质或能量的运动和转换。因此，它通常应满足强实时性与确定性、高可靠性与安全性、工业现场恶劣环境的适应性、总线供电与本质安全等特殊要求。较之办公网络，工业控制网络的区别见表 1-1。

表 1-1 办公网络和工业网络的区别

工业控制网络	办公网络
多为短帧信息，交换频繁	数据帧长度较长
通信周期性强	突发事件较多
实时响应要求较高、控制信息传送要求有一定顺序	无实时性要求
由地理位置决定设备间距离可能较远，或存在移动通信站点	较近距离，设备固定
数据流具有方向性、带宽占用可以预计	数据流无明显规律
需要有高温、潮湿、震动、腐蚀、电磁干扰等工业环境的耐受力	办公环境要求不高
易爆场合需要防爆要求	无特殊要求

### 1.2.2 工业以太网的技术特点

#### (1) 通信确定性与实时性

对于控制网络，它主要的通信量是过程信息及操作管理信息，信息量不大，但其实时响应时间要求较高。早期基于 CSMA/CD 方式的冲突以太网实时性较差，不能应用于工业控制领域。通过使用全双工通信的交换式以太网，并提高传输速率，实时性问题得到了解决。

利用控制网络通信可以实现预计的特性，通过在网络设计时选择网络的拓扑结构、控制各网段的负荷量、现场设备分布位置，可在很大程度上降低网络的负荷。目前工业以太网的通信速率已经达到 1000Mbit/s。全双工通信设备可以同时发送和接收，1000Mbit/s 的工业以太网主干实际上提供了 2000Mbit/s 的带宽。提高通信速率减少了通信信号占用传输介质的时间，可以减少信号的碰撞冲突。

目前，根据不同的应用场合，将实时性要求划分为三个范围：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，实时响应时间要求低于 1ms，同步传送和抖动时间小于 1 $\mu$ s。

对于响应时间小于 5ms 的应用, 为了满足高实时性能应用的需要, 工业以太网提供了基于 IEEE 802.3 标准的基础上, 并通过对其和相关标准的实时扩展, 提高实时性的解决方案, 即实时以太网。

西门子公司高实时性以太网技术 PROFINET, 可以完全满足工业自动化高性能的控制要求。

## (2) 稳定性与可靠性

工业以太网必须连续地运行, 它的任何中断和故障都有可能造成停产, 甚至引起设备和人身事故。因此, 工业以太网中的设备必须具有极高的可靠性, 或通过在网络中增加适当的冗余单元, 在故障发生时使用冗余单元接替故障单元的通信任务。

工业以太网设备有良好的环境适应性, 含机械稳定性、气候环境适应性、电磁环境适应性或电磁兼容性 (electromagnetic compatibility EMC) 等要求。同时工业以太网设备应采用体积小, 便于导轨安装, 提供冗余供电的设计。以此提高单一设备的可靠性, 保证在恶劣环境下数据传输的完整性、可靠性。

增加冗余单元可以提高网络强壮度, 从而提高工业控制系统的整体可用性。基于工业现场应用的各种冗余协议, 即通过改变传统以太网物理拓扑结构 (但不改变逻辑拓扑结构), 为工业以太网提供了故障断点的自恢复能力, 从而极大地提高了整个控制系统的可用性。

近些年来, 工业以太网技术中提出了基于以太网线缆的供电方式, 使连接于工业以太网的部分设备可由以太网设备来进行供电。这种方式同样也体现了针对工业环境特殊性的需求设计, 极大地简化了工业现场布线供电等工作的操作。西门子公司工业无线产品 SCALANCE W 模块就支持 POE (Power Over Ethernet, 以太网供电) 的供电技术。

除此之外, 不断地更新并推出的各种屏蔽线缆、工业连接器等也简化了工业现场网络的布线, 提高了整体网络的抗干扰能力和可靠性。例如: 西门子公司专为适应工业现场恶劣工况的专业网络连接头和高抗电抗磁干扰屏蔽电缆等, 都能很好地保证工业网络通信的稳定性和可靠性。如图 1-5 所示。

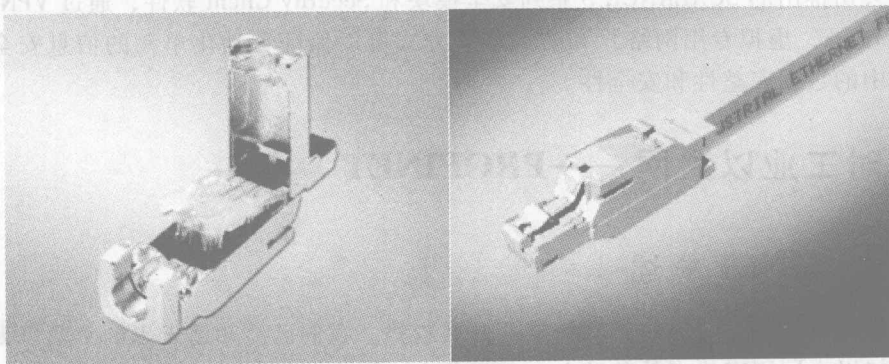


图 1-5 工业 FC 接头和 FC 电缆

西门子公司 SCALANCE X 系列交换机可以通过西门子公司快速地连接电缆和光纤组成高度可靠的工业网络, 确保工业生产的可靠性和稳定性。如图 1-6 所示。

## (3) 网络维护与信息安全

传统商用以太网设备配置与维护工作复杂而繁琐, 给工业现场人员的应用带来了极大的

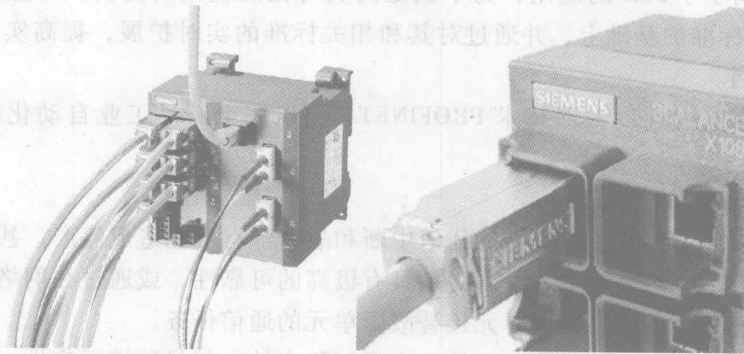


图 1-6 快速连接电缆和光纤

不便。在发生网络故障时，商用以太网产品不能适应工业现场快速地恢复、隔离故障等种种需求。

工业以太网及网络内部连接的设备充分考虑到了这一点，往往都具有快速地恢复的功能，同时配置维护工作相对地简单。工业以太网设备支持继电器开关信号传送故障信息，同样也可以使用 Web 等方式，在一台 PC 上监视以太网设备的状态信息，或者干脆将网络设备的状态信息通过 OPC（OLE for Process Control，用于过程控制的 OLE）服务器集成到工业控制的 HMI（Human-Machine Interface，人机界面）界面中，比商用以太网更加直接地为用户提供了简便的管理手段。

另一方面，随着工业控制网络与企业管理网络的逐渐融合。网络信息安全方面的问题逐渐显现出来。信息本身的保密性、完整性、鉴别性以及信息来源和去向的可靠性是每一个管理者 and 操作者始终不可忽视的，也是整个工业控制网络系统必不可少的重要组成部分。随着这个需求的产生，诞生了用于工业控制领域的网络安全设备。这类设备同样进行了针对工业环境、工业特性等方面的强化设计。

西门子公司推出的 SCALANCE S 系列安全模块和 Security Client 软件，通过 VPN（Virtual Private Network，虚拟专用网络）和防火墙等方式可以保证自动化单元的信息安全，保证自动化系统中的数据完整性和安全性。

## 1.3 实时工业以太网——PROFINET

### 1.3.1 PROFINET 概述

从前面已介绍的有关工业以太网的技术发展趋势，我们已经知道未来的工业以太网技术发展，在保持以太网固有优点的基础上，必须着力于解决通信的实时性问题。于是，实时工业以太网—PROFINET 应运而生了。

PROFINET 是由 PROFIBUS 国际组织（PROFIBUS International—PI）推出，是新一代基于工业以太网技术的自动化总线标准。作为一项战略性的技术创新，PROFINET 为自动化通信领域提供了一个完整的网络解决方案，囊括了诸如实时、运动控制、分布式自动化、故障安全以及网络安全等当前自动化领域所有的热点技术，并且作为跨供应商的技术，可以通过



代理设备集成现有的现场总线（诸如：PROFIBUS、Modbus、Interbus、DeviceNet 等）技术，保护原有的投资。

与过去的现场总线相比，PROFINET 运用范围更为广泛。不仅能应用于工厂自动化，也能应用于过程自动化，由于其具备了等时同步的特性，它还能运用于运动控制领域；而且它突破了普通的工业以太网只能运用于管理层的限制，能够延伸至工业现场的控制层和现场层。

在现场应用中，PROFINET 的应用方式主要有如下两种：

1) PROFINET IO 适合模块化分布式的应用，与 PROFIBUS DP 方式相似。在 PROFIBUS DP 应用中，通过主站周期性轮循从站的方法通信，而在 PROFINET IO 应用中，IO 控制器和 IO 设备通过生产者和消费者周期性的相互交换数据来通信。另外，PROFINET IO 支持等实时功能，应用于运动控制场合。

2) PROFINET CBA 适合分布式智能站点之间通信的应用。把大的控制系统拆分成不同功能、分布式、智能的小控制系统，这些小控制系统通过生成功能组件，利用 iMap 工具软件，通过简单地连线组态就能轻松实现各个组件之间的通信。

目前，PROFINET 技术在中国的推广得到了中国国家权威机构的大力支持。全国工业过程测量和控制标准化技术委员会和中国机电一体化技术应用协会于 2006 年 11 月 20 日下午，在北京钓鱼台国宾馆联合举办了“国家标准化指导性技术文件 GB/T 20541—2006 PROFINET 规范”的新闻发布会。至此，PROFINET 正式成为中国工业以太网的国家标准。

### 1.3.2 PROFINET RT

在工厂自动化领域中，实时通信要求为了确保优先连续处理应用程序，应尽可能地使设备处理器用于实现实时通信的负载减少到最小。另外，实时通信应该可以使用原有的工业以太网络架构，原有的工业网络设备，例如：交换机，而且不会影响网络的设备之间原有的数据通信。PROFINET 就是这些要求的最佳答案。

实时通信要求对于事件的响应具有时间确定性，例如：5 ~ 10ms 的响应时间。响应时间，包括信息由生产者提供  $\Delta T_1$ ，生产者与消费者之间的通信  $2\Delta T_2 + \Delta T_3$ 、消费者的信息处理  $\Delta T_1$  以及消费者对于生产者响应的逆过程  $2\Delta T_1 + 2\Delta T_2 + \Delta T_3$ 。而实时通信的刷新时间是指真正的数据通信的时间仅仅就是  $2\Delta T_2$  与  $\Delta T_3$  和的时间。对于  $\Delta T_3$  与设备中的处理时间  $\Delta T_2$  相比，快速（100Mbit/s）或更高速率的以太网线路上的传输时间是可以忽略不计的（传输最大的数据帧报文在快速以太网上的时间仅仅为 125 $\mu$ s）。在生产者的应用中可提供数据的时间是不受通信影响的，这也适用于消费者中处理所接收的数据。也就是说，在刷新时间以及实时响应中任何重大的改进主要通过生产者和消费者通信栈的优化来达成，即减少  $\Delta T_2$ 。如图 1-7 所示。

为了满足工业自动化的实时要求，PROFINET 就使用了优化的实时通道。此通道与 TCP/IP 相比，仅仅使用 ISO/OSI 参考模型的 1、2、7 层。此解决方案显著地减少了通信栈所占用的运行时间，从而提高了过程数据刷新的性能。一方面若干个协议层的去除，减少了对处理报文的时间；另一方面在用于传送的传输数据准备就绪（即被应用处理准备就绪）之前，只需要较少的时间。同时也节约了可编程控制器的通信缓存区，可大量地减少了设