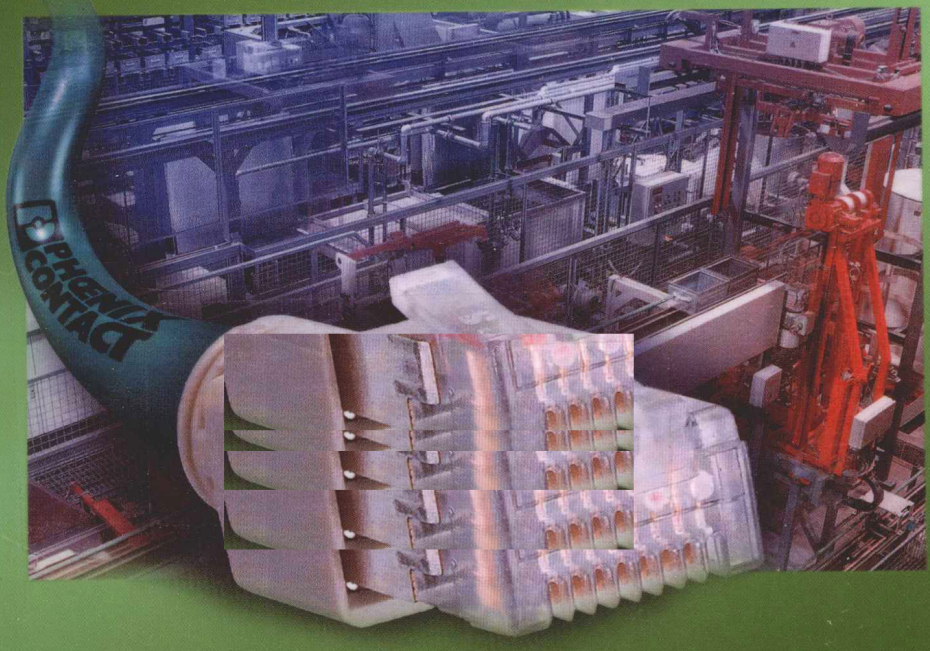
Industrial Networks
Ethernet Communication for Automation Applications

工业以太网的原理与应用

(德) Alexander Bormann
(德) Ingo Hilgenkamp 著
杜品圣 张龙 马玉敏 编译



国防工业出版社
National Defense Industry Press

工业以太网的原理与应用

Industrial Networks

Ethernet Communication for Automation Applications

(德) Alexander Bormann
(德) Ingo Hilgenkamp 著

杜品圣 张 龙 马玉敏 编译

国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记　图字:军—2010—092 号

图书在版编目(CIP)数据

工业以太网的原理与应用 /(德)博尔曼(Bormann,A.),(德)希尔根坎普(Hilgenkamp,I.)著;杜品圣,张龙,马玉敏编译. —北京:国防工业出版社,2011.1
书名原文:Industrial Networks
ISBN 978-7-118-07132-0

Ⅰ.①工… Ⅱ.①博… ②希… ③杜… ④张… ⑤马… Ⅲ.①工业企业-以太网络 Ⅳ.①TP393.18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 192270 号

國防工業出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号　邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售
*
开本 710×960　1/16　**印张** 15　**字数** 266 千字
2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷　**印数** 1—7000 册　**定价** 40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422　　发行邮购:(010)68414474
发行传真:(010)68411535　　发行业务:(010)68472764

序　言

信息技术的发展对工业自动化的影响十分深刻。现场总线的发展似乎已经到了极限，人们开始寻求如何将信息技术应用于自动化技术，真正实现办公自动化网络与工业控制网络的无缝连接。

工业以太网无疑是最具有潜质的新一代工业网络技术，其优点显而易见：应用非常广泛，实际上以太网是应用最为广泛的一种计算机网络技术；资源共享能力强；兼容性高，用户可以随时无缝升级最新的技术，也就意味着先前的投资得到了最大程度的保护，这一点对于企业来说是非常重要的。

以太网技术进入工业领域也进行了一系列的改进，使之更适用于工业环境的要求，例如解决了通信的实时性、可靠性以及安全性的问题。由于工业以太网尚处于发展阶段，还不适合所有的工业自动化设备，并不能全面地应用于工业控制领域。不过基于以太网网络的种种优点，我们相信它的前景会非常好。

菲尼克斯电气多年来致力于自动化连接及通信控制方面的研究，有着丰富的自动化技术方面的经验。本书的编译者杜品圣博士，现任菲尼克斯电气中国研发中心和亚太地区事业部总经理，早年就读于德国波鸿大学（Ruhr-Universitaet Bochum）并取得自动化技术方面的博士学位，几十年来，杜品圣博士在自动化技术领域做了大量的研究和开发工作，曾参加了 RS422 数据传输总线的研制、Profibus 和 CAN 总线在控制系统应用方面的研究以及 INTERBUS 总线的市场开发工作，在自动化领域也享有很高的声誉。怀着对自动化事业的热爱，杜品圣博士积极组织编译这本书，将工业自动化领域中最前沿的技术尽可能详尽地介绍给读者，并充分考虑读者实践过程中可能会遇到的各种情况，提供了大量详实的应用案例。

本书集成了菲尼克斯电气众多专家、国内外院校学者以及用户的研究成果和实践积累，希望对工程技术人员的工作以及有志于学习自动化专业的读者有所帮助。

菲尼克斯电气中国公司　总经理

2010 年 7 月于南京

前　言

多年前谁会想到自动化技术会如此彻底地受信息技术的影响和改变，而且发展如此迅速？现在，制造厂商旨在为快速过程数据传输和 TCP/IP 应用提供来自 Internet 领域的标准协议，并由此实现从管理层到现场层垂直集成的新水平。

我们认识到下一代工业网络技术很可能是以太网大约有 7 年了。从技术的角度来看，ATM 技术主要用于长距离通信应用，就实时性方面其性能优于以太网，似乎更适合。但是，以太网在办公领域的广泛使用和快速创新使其成为名副其实的领军者。因此，我们开发了一系列的产品，用于实施工业网络。

现在，在办公室领域和工业自动化领域，我们面临着不同需求和创新周期的挑战，因此，我们确信现场总线和实时以太网将继续共存一段时间，其主要的原因是现场总线技术是成熟的并已证实的技术，而以太网仍需要适应一系列基本的自动化技术特定功能，包括实时性和鲁棒性，尤其是便捷的启动和诊断。许多领域仍需要研究和开发，这对于我的同行科学家们和我自己来说都是好消息。

以太网经验与现场总线系统的知识相比，具有明显的普及型，这一事实有助于其能被接受。但是，必须记住：以太网不是一个简单的现场总线系统，而且是一个真正复杂的网络。这本书非常重要，在于它为这一复杂的课题提供了非常实用的方法。它涵盖了以太网更广泛的领域，例如无线应用和安全。

我希望您能喜欢阅读这本书，并且期望在应用新知识方面获得成功。

Jürgen Jasperneite 教授，博士和工程师
利珀—霍克斯特高等专业学院　莱姆戈
（Fachhochschule Lippe and Höxter）
2005 年 10 月于德国

目　录

第 1 章　自动化领域中的以太网

1.1　以太网技术的发展

以太网是应用广泛的、标准化的通信结构，它采用多种通信介质（同轴电缆，双线电缆，光纤，无线电）进行通信，并且与上层通信软件相组合形成了众多局域网的基础。

数据处理量的增加以及互联网的出现使计算机得到广泛应用，计算机的普及又导致了现有网络资源的使用加剧和新网络资源的建立。网络通信和各种网络协议已经被集成到所有的操作系统中，因此对用户来说网络通信简单可行。

网络通信最重要的部分由两项技术组成：作为物理基础的以太网和作为通信协议的 TCP/IP。

在办公应用中，以太网占据了超过 90% 的全球市场份额，并且人们预期以太网将在工业化领域有一个与之相似的发展趋势。

自动化技术中通信方式一直在发展变化，并逐渐趋向开放和透明的系统解决方案。信息的连续性正在变得越来越重要。

因此，越来越多的自动化系统生产商开始开发基于以太网的系统。现在的挑战在于，如何设计、安装和管理工业以太网，即使是在最恶劣和苛刻的条件和环境中也能操作可靠并显示被控对象的行为。

在 20 世纪 70 年代中期，美国 XEROX 公司提出了以太网这个新概念，通过以太网超过 100 个网站可以不需要预先知道对方站点的信息就可以以非常高的数据传输速率（在当时是非常高的速率）进行通信，通过约 1000m 的同轴电缆，数据传输速率从最初的 3Mb/s 发展到后来的 10Mb/s。

图 1.1 是由 Robert M. Metcalfe 博士在 1976 年绘制的，并在这一年 6 月的国家计算机会议提出了以太网。在这张图中最先描述了以太网的各部分术语。从此以后其它术语开始在以太网的普及中得到应用。

随着科技的发展，带有冲突检测的载波侦听多路存取（CSMA/CD）的方法

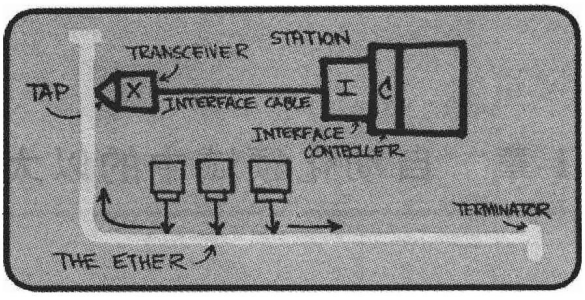


图 1.1 Robert M. Metcalfe 博士绘制的著名草图

不断改进,从而形成一致而又强大的局域网技术。各种各样的措施改进了以太网技术,并且使以太网可以适应新的可能的技术。

今天,以太网和与之相关的通信软件已经是一种成熟、可靠和有效益的技术,这种技术几乎给各种应用提供高速数据传输(图 1.2)。

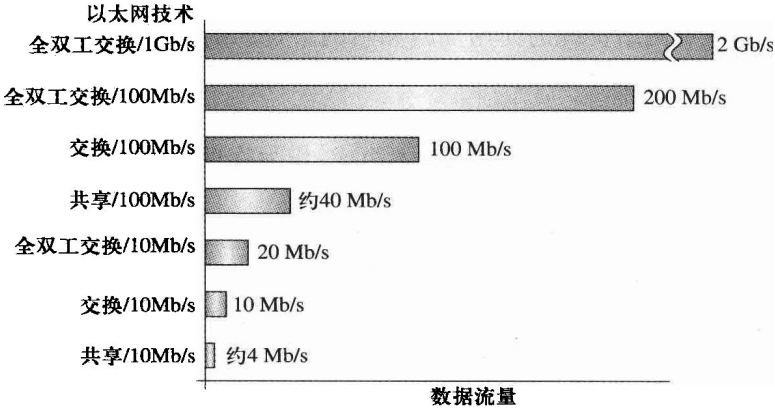


图 1.2 各种以太网技术的传输速率

1.2 以太网在工业中的应用

工业通信通常建立于一个层次系统中,包括操作层、控制层和现场层。在前两个较高层中,即在操作层和控制层上,以太网的应用已经是一种标准应用。在现场层上,采用现场总线,主要有 INTERBUS、Profibus 和 DeviceNet。

对于那些在现场层就 EMC 特性、同步性以及机械质量等方面要求并非严格的应用,以太网已经能很好建立起来。把以太网直接应用于最低的现场层的目的是建立一个通信连续的网络,它能够使有效资源得到最佳使用。从管理层

到生产层的连续通信,无需介质的改变,已经成为了一个决定性的生产要素。

在办公领域中,以太网已经比 FDDI、Token Ring 和 ATM 更为人们所偏爱。

ISO/IEC 11801 和(DIN)EN 50173 标准为综合建筑中定义了一般的 IT 网络解决方案。这个应用假定是在办公室环境中的,这意味着其并没有考虑工业需求。表 1.1 对办公环境与工业应用环境中对网络及网络组件的需求进行了比较。

表 1.1 在办公环境与工业应用中对网络及网络组件的需求比较

	办公环境	工业环境
安装	• 建筑中固定的基本安装 • 工作站之间的各种网络连接 • 电缆位于地板下层 • 预装配的连接电缆 • 标准工作站 • 树状网络结构 • 230V AC 供电 • 大约 5 年的使用寿命 • 19 英寸机柜 • 设备带有风扇	• 系统专用管道 • 安装取决于系统 • 连接点极少变动 • 每个系统或机器都有独自的网络范围 • 可以在现场装配的连接方法 • 光纤技术使用频繁 • 线形或环形拓扑网络结构使用频繁 • 接地概念的谨慎实施 • 通常需要冗余 • 24V DC 或者以太网电源供电 • 大约 10 年的使用寿命 • 适合拉链式应用 • 有 DIN 导轨的控制柜或终端控制箱 • 无风扇设计 • 错误指示的报警触点
传输需求	• 网络平均有效率 • 大文件的传输 • 传输时间仅为几秒钟 • 主要是非周期传输 • 可能会有显著的负荷波动 • 非同步性	• 网络有效率非常高 • 数据包小 • 传输时间仅为几微秒 • 主要是周期传输 • 同步性
环境需求	• 温度适中,温度波动范围较小 • 低尘 • 不潮湿或无水 • 不靠近震动源或振动源 • EMI(电磁干扰)弱 • 机械负载和风险低 • 无化学危险 • 无放射危险,如紫外线	• 极限温度、温度波动范围较大 • 高尘 • 可能潮湿或者有水 • 可能会有振动源 • EMI(电磁干扰)强 • 机械负载和机械风险高 • 因含油或者含有害气体而产生的化学负载 • 户外紫外线高 • 可能有放射性

1.3 组 织

IEEE——美国电气电子工程师协会[2]

IEEE 是一个电气电子行业的标准化组织。这个国际性的标准化应用组织中含有各种工作组。IEEE 在 150 多个国家中拥有 360000 多名会员，是涵盖航空工程、计算机和电信、生物医学技术、电力和电子设备等领域的权威组织。

IETF——互联网工程任务组[19]

IETF 成立于 1986 年。IETF 与 Internet 快速发展关系密切。它是一个开放性国际性的协会组织，由网络工程师、制造商和用户组成，其成员负责为 Internet 标准化提出建议。它拥有 80 多个工作组 700 多名会员。

IETF 目前从事以下 9 个领域的工作：

- 应用层(APP)
- Internet 服务(INT)
- 下一代 IP 协议(IPNG)
- 网络管理(MNT)
- 操作(OPS)
- 路由(RTG)
- 安全
- 传输服务(TSV)
- 用户服务(USV)

CERT——计算机网络紧急响应组[37]

CERT 致力于 Internet 安全策略的研究和开发，并为那些想要保护他们的系统不受通过全球网络而造成数据通信滥用的个人用户提供解决方案。举例来说，它强调病毒、蠕虫、特洛伊木马等的危险性，并解释动态编码、防火墙的好处，以及在 Internet 上的协议操作的方法。“CERT 协作中心”(CERT/CC)是卡耐基梅隆大学软件工程师协会的一部分。

DeNIC eG——德国网络信息中心[41]

该组织负责为德国最高域名“.de”分配域名和 IP 地址。“DeNIC”也为“.de”域名管理主域名服务器的服务，这个域名记录了所有连接到德国互联网的计算机名和 IP 地址。“DeNIC”与其他国际组织以及“德国网络信息中心”(德国互联网服务主要提供商的一个工作组)协作对互联网进行

管理。

IANA——互联网地址指派机构[42]

IANA 是一个负责分配 IP 地址的国际组织。它提供顶级域名清单和关于互联网的国际性的 RFC 文件。它还提供注册 IP 地址或域名的程序信息。

ICANN——互联网域名与地址管理机构

ICANN 是一个负责在互联网上分配域名、提供网络解决方案和分配 IP 地址的非盈利性组织。不同于上面的组织，在 ICANN 的领导层中有所有地域的生产商、提供商和用户联盟的代表。

INTERBUS Club——INTERBUS 俱乐部

INTERBUS 俱乐部国际性的企业协会，其目标是进一步开发 INTERBUS 技术和扩大全球市场份额以及促进采用 INTERBUS 及其补充技术，如以太网的自动化解决方案。

InterNIC——互联网信息中心

该组织是美国负责注册域名的各种组织的联合。

ISOC——国际互联网协会

该组织负责协调互联网技术的进一步发展。它协调涉及维护并发展互联网的全球性的基础结构标准的一些重要的组织，如“互联网工程工作小组(IETF)”，“Internet 架构委员会(IAB)”。

W3C——万维网联盟

该组织是由各种与互联网有紧密相关的公司和相关组织组成的联盟，并由马萨诸塞州剑桥大学的科技学院的计算机科学实验室领衔。这个联盟开发标准(如 HTML)并提高网络应用的兼容性。

ODVA——开放 DeviceNet 供货商协会

该组织是由来自于自动化公司的成员组成的协会，它们支持基于公共工业协议(CIPTM)的网络技术。目前包括 DeviceNet TM，Ethernet/IP TM，CIP SafetyTM 和 CIP SyncTM。

IAONA[23]——工业自动化开放网络联合会

该组织是负责工业以太网推广的组织。IAONA 最初的目的是使工业以太网成为一个独立于制造商的标准化系统。现在它转而致力于第一层协议的标准化工作。

PNO——Profibus 用户组织[28]

该组织是标准化的 Profibus 通信系统的制造商和用户的联合组织，它们致力于 Profibus 技术的进一步开发。

1.4 以太网类型

1.4.1 以太网

1. 共享以太网

采用共享以太网,所有的网络设备都具有同等的权限,只要有传输介质存在,网络上每个设备在任何时候都可以与其它任何设备交换数据。

共享以太网设计成如逻辑总线系统一样,这意味着每个网络设备都能接收到其它设备发出的数据。每个以太网设备,通常是终端设备,可以从数据通信中过滤出发给它的数据包,并进行广播/多播,而忽略其它的数据包。每个网络都有物理连接路径(通道),使得各站点之间可以互相通信。

各个站点使用和分配这些通道的方式取决于相关的访问方法。所有设备都在一个冲突域中使用 CSMA/CD 方法。满足 ISO/IEC8802 - 3 标准的局域网的一个关键特征是所有的网络设备都具有同等的访问传输介质的权限。安全冲突检测和统一处理对不可避免的数据冲突的管理是至关重要的。

2. CSMA/CD——载波侦听多路访问/冲突检测

每个连接在网络上的设备都在不断地侦听传输介质上信号,当侦听到介质空闲时,开始发送数据。这里没有网络监视或控制访问的中央站点。

传输过程包括三个步骤(图 1.3):

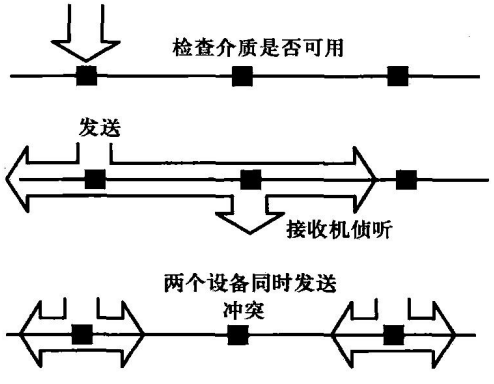


图 1.3 传输示意图

(1) 侦听(Carrier Sense):网络设备检查传输介质是否空闲。

(2) 多路访问(Multiple Access):当介质空闲时,每个设备都能开始传输数据。