

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
计算机应用

局域网与城域网 技术

王文鼎 唐宝民 编著

清华大学出版社



高等学校教材
计算机应用

局域网与城域网 技术

王文鼎 唐宝民 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以 IEEE 802 系列标准为主介绍局域网与城域网的相关技术,涉及 10Mbps 以太网、快速以太网、千兆位以太网、万兆位以太网、交换式以太网、令牌环网、无线局域网、城域网和局域网组网技术,侧重于体系结构、工作原理、接口的标准规范、性能特点等。附录中包含本领域术语的中英文对照表,以供读者参考。

本书可作为高等院校通信工程、网络工程、信息科学技术、计算机应用及相关专业的教材,也可供从事信息技术相关工作的技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

局域网与城域网技术/王文鼎,唐宝民编著. —北京:清华大学出版社,2006.12

(高等学校教材·计算机应用)

ISBN 7-302-14069-3

I. 局… II. ①王… ②唐… III. 局部网络—高等学校—教材 IV. TP393.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 126677 号

责任编辑:付弘宇

责任校对:李建庄

责任印制:杜波

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印装者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.75 字 数:337 千字

版 次:2006 年 12 月第 1 版 印 次:2006 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:21.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系
调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:016841-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学	周立柱	教授
	覃征	教授
	王建民	教授
	刘强	副教授
	冯建华	副教授
北京大学	杨冬青	教授
	陈钟	教授
	陈立军	副教授
北京航空航天大学	马殿富	教授
	吴超英	副教授
	姚淑珍	教授
中国人民大学	王珊	教授
	孟小峰	教授
	陈红	教授
北京师范大学	周明全	教授
北京交通大学	阮秋琦	教授
北京信息工程学院	孟庆昌	教授
北京科技大学	杨炳儒	教授
石油大学	陈明	教授
天津大学	艾德才	教授
复旦大学	吴立德	教授
	吴百锋	教授
	杨卫东	副教授
华东理工大学	邵志清	教授
华东师范大学	杨宗源	教授
	应吉康	教授
东华大学	乐嘉锦	教授
上海第二工业大学	蒋川群	教授
浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
南京大学	骆斌	教授
南京航空航天大学	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授

南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	龚声蓉	教授
江苏大学	宋余庆	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	王林平	副教授
	魏开平	副教授
	叶俊民	副教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	肖 侬	副教授
中南大学	陈松乔	教授
	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
	邹北骥	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永峰	教授
西安石油学院	方 明	教授
西安邮电学院	陈莉君	副教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
长春工程学院	沙胜贤	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
山东科技大学	郑永果	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
福州大学	林世平	副教授
云南大学	刘惟一	教授
重庆邮电学院	王国胤	教授
西南交通大学	杨 燕	副教授

改革开放以来,特别是党的十五大以来,我国教育事业取得了举世瞩目的辉煌成就,高等教育实现了历史性的跨越,已由精英教育阶段进入国际公认的大众化教育阶段。在质量不断提高的基础上,高等教育规模取得如此快速的发展,创造了世界教育发展史上的奇迹。当前,教育工作既面临着千载难逢的良好机遇,同时也面临着前所未有的严峻挑战。社会不断增长的高等教育需求同教育供给特别是优质教育供给不足的矛盾,是现阶段教育发展面临的基本矛盾。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2001年8月,教育部下发了《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》,提出了十二条加强本科教学工作提高教学质量的措施和意见。2003年6月和2004年2月,教育部分别下发了《关于启动高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作的通知》和《教育部实施精品课程建设提高高校教学质量和人才培养质量》文件,指出“高等学校教学质量和教学改革工程”是教育部正在制定的《2003—2007年教育振兴行动计划》的重要组成部分,精品课程建设是“质量工程”的重要内容之一。教育部计划用五年时间(2003—2007年)建设1500门国家级精品课程,利用现代化的教育信息技术手段将精品课程的相关内容上网并免费开放,以实现优质教学资源共享,提高高等学校教学质量和人才培养质量。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展、顺应并符合新世纪教学发展的规律、代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻

性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。首批推出的特色精品教材包括:

(1) 高等学校教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 高等学校教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 高等学校教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 高等学校教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 高等学校教材·信息管理与信息系统。

(6) 高等学校教材·财经管理与计算机应用。

清华大学出版社经过 20 多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

E-mail: dingl@tup.tsinghua.edu.cn

局域网是计算机组网的必然形式,城域网是局域网互联的必经之路。作为计算机通信网络的基本环节,局域网与城域网在现代信息化社会中发挥着至关重要的作用。对于从事相关专业领域工作的工程技术人员而言,局域网与城域网技术是一项必备的基础专业知识。

目前,国内外众多 IT 技能认证机构和生产厂商,也将局域网与城域网技术视为技能考核的重要内容,出版了大量针对性强的参考书籍。相比而言,本书从系统工作原理和技术演变过程出发,介绍局域网与城域网的基础知识,分析各类技术的特点。期望能使读者全面了解各种技术方案的内在特征,同时,在技术日新月异的时代中,在学习专业知识的基础上掌握一定的应变能力和适应能力。

局域网技术的诞生最早可以追溯到 20 世纪 60、70 年代,并在 80 年代开始得到广泛应用和部署,与 TCP/IP 技术以及因特网一起直接推动了现代信息技术的高速发展。但与 TCP/IP 技术不同的是,组织和颁布局域网与城域网技术规范的团体,以具备国际标准制定地位的 IEEE 为主,相应的技术标准也因此相对完整和稳定。所以,本书围绕 IEEE 802 系列标准,介绍以太网、环网、无线局域网和城域网的基本原理和技术规范。

全书内容分为 4 个主要部分,共 8 章。包括:第 1 章,作为引论,概要介绍局域网及城域网涉及到的基础技术,包括分类依据、系统组成、协议构架、组网拓扑、传输媒质特点及其与 TCP/IP 网络互联技术的关系。第 2~4 章,将以太网作为主线索,在第 2 章着重介绍 10Mbps 以太网技术,包括 MAC 层和物理层的协议规范、CSMA/CD 媒质访问控制方法及吞吐性能特点;在第 3 章集中介绍了高速以太网的扩展方法和标准,涉及快速以太网、千兆位以太网和万兆位以太网;在第 4 章讨论桥接局域网技术,涵盖两层交换式以太网和虚拟局域网。第 5 章,概要介绍以环型拓扑为基础的局域网技术,包括令牌环, FDDI,令牌总线和时隙环的体系结构、工作原理以及媒质访问控制方法。第 6 章,从无线传输媒质的特点出发,介绍无线局域网的技术原理和技术标准。第 7 章,介绍城域网技术,包括城域网的组成结构、基于 SDH 的 MSTP 技术、弹性分组环技术、

城域以太网技术和 CWDM 技术。第 8 章,作为全书的结束,概要介绍了局域网的规划设计原则、工程组网方法及示例。

书中每一章后均附有思考题,以帮助读者学习和掌握相关知识内容。附录列出技术规范名称和专业术语的中英文对照表,以便读者查对。

限于作者的水平,本书在结构组织、技术阐述、文字表述等诸多方面难免有欠缺和不当之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2006 年 9 月

第 1 章 技术基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 计算机网络的分类.....	1
1.1.2 局域网与城域网的发展历程.....	2
1.1.3 局域网与城域网的组成.....	4
1.1.4 线路编码技术.....	5
1.2 体系结构与标准	7
1.2.1 参考模型.....	7
1.2.2 标准与子系统标准.....	9
1.3 拓扑结构.....	11
1.3.1 星型拓扑	11
1.3.2 环型拓扑	12
1.3.3 总线型拓扑	13
1.4 传输媒质.....	13
1.4.1 同轴电缆	13
1.4.2 双绞线电缆	15
1.4.3 光纤线缆	16
1.4.4 无线传媒	17
1.5 网络互联.....	17
1.5.1 TCP/IP 协议体系结构	18
1.5.2 IP 路由	18
1.5.3 地址及地址解析	19
1.5.4 虚拟专用 LAN	20
1.5.5 LMAN 网络管理.....	20
思考题	21
第 2 章 以太网	22
2.1 概述.....	22
2.2 10Mbps 以太网系列标准	23

2.2.1	10BASE5	23
2.2.2	10BASE2	24
2.2.3	10BASE-T	25
2.2.4	10BASE-F	26
2.3	以太网功能结构	26
2.3.1	层接口和子层接口	27
2.3.2	MAC 子层功能	28
2.3.3	PLS 子层	28
2.3.4	PMA 子层功能(10BASE5 部分)	31
2.4	帧(frame)结构	32
2.4.1	帧格式	32
2.4.2	MAC 地址格式	33
2.4.3	长度字段	34
2.4.4	FCS 字段	34
2.4.5	无效 MAC 帧	35
2.5	媒质访问控制方式	35
2.5.1	CSMA/CD 访问方法	35
2.5.2	冲突窗口	37
2.5.3	退避算法	38
2.5.4	CSMA/CD 的效率和性能	38
2.6	物理层结构与功能	40
2.6.1	10BASE2 物理层	40
2.6.2	10BASE-T 物理层	41
2.6.3	10BASE-F 物理层	44
	思考题	45
第 3 章	高速以太网	46
3.1	概述	46
3.1.1	工作模式	47
3.1.2	流量控制	47
3.1.3	帧长度	47
3.2	快速以太网	48
3.2.1	分层协议结构	48
3.2.2	快速以太网类别	50
3.2.3	100BASE-X 的物理层	51
3.2.4	100BASE-T 的 MAC 控制子层	55
3.2.5	双绞线上 10/100Mbps 自动协商	57
3.3	千兆位以太网	59
3.3.1	技术与标准的特点	59
3.3.2	1000BASE-X 标准	62

3.3.3	1000BASE-T 标准	62
3.4	万兆位以太网简介	66
3.4.1	协议分层结构	67
3.4.2	广域网接口的帧定界和速率调整	68
3.4.3	10G BASE-T 标准	69
	思考题	71
第 4 章	交换式以太网	72
4.1	概述	72
4.2	基本概念及工作原理	73
4.2.1	中继器与网桥	73
4.2.2	路由算法	76
4.2.3	以太网交换机	78
4.3	802.1D 网桥标准	80
4.3.1	网桥的体系结构	80
4.3.2	网桥协议	83
4.3.3	快速生成树协议	84
4.3.4	GARP 和 GMRP 协议	88
4.4	VLAN 技术与标准	89
4.4.1	标记帧格式	90
4.4.2	VLAN 拓扑及其管理	91
4.4.3	MSTP	93
	思考题	94
第 5 章	环网技术	95
5.1	概述	95
5.2	令牌环网及其媒质访问控制	96
5.2.1	令牌环网的组成与工作机理	96
5.2.2	帧结构与令牌结构	98
5.2.3	媒质访问控制方法	100
5.3	令牌环网的物理层	102
5.3.1	差分曼彻斯特编码	102
5.3.2	延时要求	103
5.3.3	传输媒质与连接器	103
5.4	FDDI 环网	104
5.4.1	FDDI 的体系结构	105
5.4.2	双环拓扑及自愈功能	106
5.4.3	铜线分布式数据接口 (CDDI)	108
5.5	令牌总线技术	109
5.5.1	令牌总线的访问控制	109

5.5.2	帧结构	110
5.5.3	环操作机理	111
5.6	时隙环	112
5.6.1	系统结构与工作机理	112
5.6.2	MAC 帧及时隙结构	113
5.6.3	工作流程和技术特点	114
	思考题	115
第 6 章	无线局域网	116
6.1	概述	116
6.2	无线数据通信的基本原理	117
6.2.1	无线信道及频率分配	117
6.2.2	隐藏和暴露效应	120
6.2.3	无线通信多址接入	120
6.2.4	扩频技术	122
6.3	WLAN 技术与标准	123
6.3.1	WLAN 的组网结构	124
6.3.2	MAC 帧结构	125
6.3.3	分布式协调功能和点协调功能	129
6.3.4	WLAN 物理层	131
6.4	WLAN 的信息安全	137
6.4.1	加密与认证技术	138
6.4.2	IEEE 802.1x 认证	140
6.4.3	IEEE 802.11i 的安全技术规范	142
	思考题	145
第 7 章	城域网技术	146
7.1	城域网概述	146
7.1.1	城域网的层次	146
7.1.2	城域网各层的组网原则	147
7.1.3	宽带城域网技术方案	148
7.2	MSTP 城域网	149
7.2.1	SDH 为基础的多业务传输平台	149
7.2.2	VC 相邻级联和虚级联	150
7.2.3	链路容量调整机制(LCAS)	153
7.3	城域以太网	158
7.3.1	以太网和城域以太网	158
7.3.2	城域以太网结构	160
7.3.3	城域以太网业务	161
7.3.4	城域以太网业务保护	163

7.3.5	城域以太网的管理	165
7.3.6	基于 VPLS 的城域以太网	166
7.4	弹性分组数据环城域网	167
7.4.1	RPR 基本工作原理	168
7.4.2	RPR 技术的 MAC 协议	169
7.4.3	RPR 城域网组网	170
7.5	WDM 城域网	171
7.5.1	DWDM 和 CWDM 的技术比较	172
7.5.2	CWDM 在城域网中的组网方案	173
7.5.3	ASON 在城域网中的应用	176
	思考题	176
第 8 章	局域网/城域网组网	177
8.1	组网的任务与目标	177
8.1.1	组网设计原则	177
8.1.2	需求分析	177
8.1.3	设计目标	178
8.1.4	拓扑设计	179
8.1.5	布线系统设计原则	179
8.1.6	设备选型	180
8.2	综合布线系统	180
8.2.1	综合布线系统组成	181
8.2.2	工作区子系统	182
8.2.3	配线(水平)子系统	182
8.2.4	干线(垂直)子系统	183
8.2.5	其他子系统	183
8.3	局域网规划	184
8.3.1	小型应用环境的组网设计	184
8.3.2	园区网的组网设计	186
8.4	虚拟局域网规划	187
8.4.1	VLAN 分类	187
8.4.2	VLAN 规划	188
8.5	无线局域网组网	190
8.5.1	系统分析	191
8.5.2	空间覆盖区域的设计	192
8.5.3	拓扑设计	194
	思考题	195
附录	主要术语和缩略词	196
	参考文献	202

技术基础

1.1 概 述

1.1.1 计算机网络的分类

局域网(Local Area Network, LAN)和城域网(Metropolitan Area Network, MAN)技术已经历了三十多年的成长,它们与计算机技术的发展息息相关。本书介绍的 LAN 和 MAN(合称为 LMAN)在不作特殊说明时,均指为计算机站点提供服务的通信网络。术语 LAN 中的局域(local)一词,是指该技术的空间覆盖能力仅限本地范围,而 MAN 中的城域是指其应用目标为大城市范围内的计算机通信。超出城域覆盖要求的计算机通信网,称为广域网(Wide Area Network, WAN)。像因特网这样具有全球互联能力的网络,可归类为 WAN。而定位于更小空间范围的计算机通信网,习惯上称为家域网(Home Area Network, HAN)和个域网(Personal Area Network, PAN)。

在 LMAN 的发展过程中,也曾出现过工作组网(work group network)、园区网(campus network)、企业网(enterprise network)等分类概念,但它们的空间部署或覆盖能力比较模糊,或多或少地与 LMAN 重叠,已较少作为通信网络的分类依据^①。

在空间覆盖能力的度量方面, WAN、MAN、LAN、HAN 和 PAN 虽不存在十分严格的指标,但有一个大致范围。LAN 的分布区域在数米至数十千米(km), MAN 在数千米至数百千米, WAN 则可达全球。大体上, HAN 和 PAN 小于数十米,但彼此之间没有比较明确的界线。图 1.1 给出了不同类型通信网络的空间分布范围,为便于比较,该图还给出了计算机内部总线(Computer BUS, CBUS)以及集成电路(Integrated Circuit, IC)的典型电路尺寸。

之所以采用空间覆盖范围来对计算机通信网进行分类,是因为空间距离直接决定了系统传输延时这个基本特性。无论是有线还是无线抑或光通信,本质上都可归类为电磁波通信。传输媒质中电磁波的传播速率略小于真空中的光率,接近 3×10^8 m/s。覆盖全球的 WAN,最大站点间距可达 $10^6 \sim 10^8$ m,相应的传输延时可达 1s。集成电路器件内的

^① 工作组网、园区网和企业网,通常出现在计算机处理能力的语言环境中。根据实际应用的特点,它们可以采用某类或某些 LAN 或 MAN 作为通信基础。

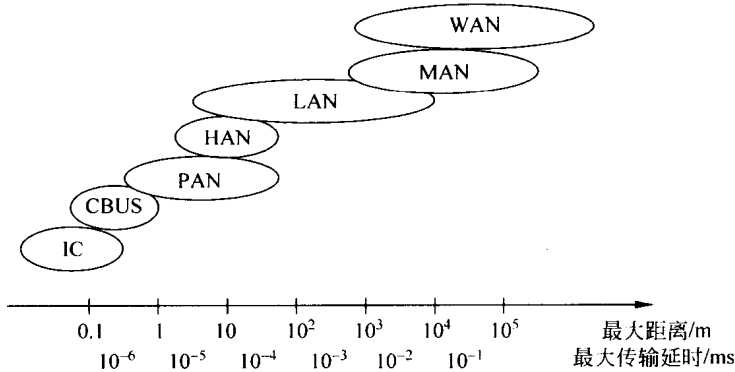


图 1.1 计算机系统与计算网络中通信信道的空间范围

典型传输距离小于 10^{-3} m 或更小, 相应的传输延时小于 1ps (即 10^{-12} s)。而简单的信号处理时间, 其典型值在 μ s 至 ms 量级; 复杂的控制处理 (比如自动保护倒换), 约为 50ms。将传输延时与处理延时相比较, 可以看出, IC 内部的通信, 其控制功能需要尽可能简化, 而在大于 WAN 的范围 (比如星际空间), 控制功能的复杂度有相对宽松的约束条件。LMAN 范围内的传输延时在 μ s 至 ms 量级上, 因此, 网络中通信控制功能和体系结构不应过于复杂。

除了传输延时这个特性参数之外, 传送带宽 (或容量) 也是影响不同类别通信网络技术的另一个基本指标。传送带宽为 10Mbps 的数据链路, 完成 1400B (11 200b) 数据单元的发送, 可附加约 1ms 的延时。如果网络控制功能所引入的附加延时远大于此, 影响通信网运行效率的因素就会变得错综复杂。

影响计算机通信网技术的因素, 除了上述两个方面, 还涉及诸如编码技术、处理机速度、社会发展需求、市场竞争等各个方面。各种因素之间此涨彼消或相互促进的关系, 使 LMAN 技术变得丰富多彩。虽然可以从不同角度对计算机网络技术进行分类, 但空间覆盖范围一直是最基本的依据。

1.1.2 局域网与城域网的发展历程

自 20 世纪 70 年代开始, 随着桌面计算机, 特别是个人计算机的诞生和广泛应用, 很自然地产生了这样一种要求, 希望独立的计算机之间能相互以数字通信方式共享文件、数据和打印机等计算资源和信息资源。这一需求直接推动了 LMAN 技术的发明和快速发展。在以太网 (Ethernet) 技术发明人 Bob Metcalfe 的努力下, 第一个 LAN 的工业标准于 1980 年正式颁布。IEEE (国际电气与电子工程师学会)^① 于 1983 年正式颁布了名为 IEEE 802.3 的

^① IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 是一个国际化非营利性科技学会, 前身 AIEE (美国电气工程师协会) 和 IRE (无线电工程师协会) 成立于 1884 年, 并于 1963 年 1 月 1 日正式合并为 IEEE。总部设在美国纽约, 在 150 多个国家中拥有 300 多个地方分会和数十万会员。它有 35 个专业学会和两个联合会。IEEE 出版多种杂志、学报、书籍, 举办为数众多的专业会议。IEEE 制定的标准在工业界有极大的影响, 在太空、计算机、电信、生物医学、电力及消费类电子产品等领域中都是主要的权威。

以太网标准。这一标准也称为 10BASE5,信道容量为 10Mbps,最大站点间距为 2500m。历经三十多年的发展,LAN 已成为计算机网络中至关重要的基础技术之一。

同所有信息技术的发展一样,LAN 技术的历程也是一部市场和商业利益角逐的历史。以太网的成功,触动 IBM 公司开发出另一种 LAN 技术——令牌环(token ring)网。20 世纪 70、80 年代,IBM 因其在信息技术(Information Technology,IT)领域内的领先地位,号称“蓝色巨人”。藉于此,晚生五年的令牌环网在市场上还是占得了相当的份额。从技术的角度看,早期的以太网与令牌环网各有所长。正因为如此,IEEE 接纳了令牌环技术,并将其编号为 802.5 系列标准。令牌环网的典型传输速率为 4Mbps,虽略低于以太网,但其一开始就采用结构化布线方法,因而还是具有一定的技术和市场优势。但是,出身“名门”的令牌环技术,并没有像人们曾经预想的那样,逐渐发展成为市场上的主导技术。统计数据显示,目前,以太网的端口数约占所有网络端口总数的 85%以上。不断发展的以太网技术渗透到 LAN 和 MAN 的各个角落,以至于以太网几乎成了 LAN 的代名词。产生此结果的一个重要原因,是以太网从一开始就采取了开放策略。拥有以太网专利的美国施乐公司,甚至很早就主动开放了该技术专利。

以太网的最先设计目标是在办公室范围内的多个计算机站点之间,通过一条封闭的同轴电缆提供数据共享服务。所以,早期的以太网技术采用总线型拓扑进行组网。这种共享型网络,首要问题是多个站点同时发起对媒质的访问,即媒质访问冲突问题;其次是各站点的平等占用。对第一个问题的解决产生了名为 CSMA/CD 的媒质访问控制(Media Access Control,MAC)技术,通过引入简单有效的分布式处理方法,以太网技术被赋予了无主控的交换能力。但是,第二个问题却是以太网技术的一个难题。相比而言,采用环型拓扑的令牌环技术在解决第二问题上有先天性的优势。这也是令牌环技术,包括以此为基础而发展的光纤分布式接口(FDDI)技术之所以得到一定范围应用的重要原因之一。将以太网与令牌环技术相结合,在总线型网络的基础上引入有序的媒质访问控制方法,就产生了令牌总线(token bus)技术。FDDI 和令牌总线是 LAN 发展过程中产生的另外两个重要技术,在一些特殊场合得到应用。

以太网的应用目标局限于相对较小的空间,虽然通过再生中继器(repeater,也称再生器)或网桥可以在一定程度上扩展其覆盖能力,但应用于大城市所涵盖的地理空间时,仍表现出一些劣势。FDDI 的理论覆盖范围可达 200km,应用于城域范围不成问题。但是,FDDI 与主流以太网技术兼容性差,互联成本高。为此,一段时期 IEEE 曾专门制定了相应的 MAN 标准,设计并规范出双总线分布式队列(Distributed Queue Dual Bus,DQDB)技术。DQDB 由两个独立的单向总线构成,支持高达 150Mbps 的传送速率。通过光纤传输,其空间覆盖能力可达 160km。

前述的 LAN 技术均以线缆媒质作为计算机互联的基础。随着编码技术和数字信号处理技术的发展,以及高频无线频带的启用,采用无线(微波和红外频段)作为传输媒质,在 20 世纪 90 年代前后,被逐步应用于 LAN。IEEE 为无线局域网(Wireless LAN,WLAN)和无线城域网(Wireless MAN,WMAN)制定了相应的技术标准,分别列入 IEEE 802.11 和 IEEE 802.16。同时,IEEE 与 ISO 同步发布了无线个域网(WPAN)的技术标准,列入 IEEE 802.15。

DQDB 城域网技术,在实际应用中并不是很成功。长时间以来,城域网内的组网,主要