

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



路由和交换技术

沈鑫剡 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



路由和交换技术

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本教材详细讨论了 MAC 帧和 IP 分组端到端传输过程中涉及的设备、协议和算法。具体内容包括以太网交换机结构、生成树算法、链路聚合算法、VLAN 划分、路由器结构、路由协议、组播、网络地址转换、三层交换和 IPv6 网络等。

本教材在具体网络环境下深入讨论交换式以太网和互连网络的基本原理、算法、协议及各协议间的相互作用过程,既有理论总结,又有应用实例。结合当前主流厂家的交换机和路由器设备,向读者介绍完整、深入的路由和交换技术,解决了其他教材中存在的内容和实际应用脱节的问题,使读者能够学以致用。

本教材以通俗易懂、循序渐进的方式叙述路由和交换技术,并通过大量的例子来加深读者对路由和交换技术的理解,是一本理想的计算机网络工程专业的路由和交换技术教材,对从事校园网、企业网设计和实施的工程技术人员和从事交换机、路由器研发的科研人员,也是一本非常好的参考书。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

路由和交换技术/沈鑫刻编著. —北京:清华大学出版社,2013.2

(21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-29842-7

I. ①路… II. ①沈… III. ①计算机网络—路由选择—高等学校—教材 ②计算机网络—信息交换机—高等学校—教材 IV. ①TN915.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 197273 号

责任编辑:刘向威 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:21.25 字 数:532千字

版 次:2013年2月第1版 印 次:2013年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:34.50元

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
	冯建华	教授
	刘 强	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
	赵 宏	副教授
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
同济大学	苗夺谦	教授
	徐 安	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
	孙 莉	副教授

浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	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	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
中国矿业大学	张 艳	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	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	邹北骥	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永锋	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
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
厦门大学	冯少荣	教授
厦门大学嘉庚学院	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 淮	教授
	于 春	副教授
西南交通大学	曾华桑	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

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21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”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·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) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,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

联系人:魏江江

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

前言

“路由和交换技术”课程的教学目标有三：一是使学生具备设计、实施校园网和企业网的工程能力；二是具备研发交换机和路由器的能力；三是具备 MAC 帧和 IP 分组端到端传输过程所涉及的算法和协议的分析、设计和实现能力。但目前市场上的《路由和交换技术》教材主要可以分为两类，一类教材的内容与《计算机网络》教材内容高度重叠，对于交换机和路由器结构，交换式以太网和互联网相关算法和协议的工作原理、实现过程，涉及较少，因而无法培养学生研发交换机和路由器、实施网络工程的能力。另一类教材像是交换机和路由器配置指南，主要讨论常见交换机和路由器设备的配置过程，对于交换机和路由器结构，交换式以太网和互联网相关算法和协议的工作原理、实现过程，仍然涉及较少，虽然可以使学生具有一定设计、实施校园网和企业网的能力，但无法使学生具有研发交换机和路由器的能力与相关算法和协议的分析、设计和实现能力。

本教材的特点：一是详细讨论交换机和路由器结构，交换式以太网和互联网相关算法和协议的工作原理、实现过程，提供完成校园网、企业网方案设计和实施所需要的交换式以太网和互联网的知识。二是在具体网络环境下深入讨论交换式以太网和互联网相关算法和协议的工作原理及各协议间的相互作用过程，为学生提供透彻、完整的交换式以太网和互联网知识。三是结合主流厂家设备讨论交换和路由技术，并将它们讲深讲透，让读者能够学以致用。四是通过大量例题解析为读者提供运用所学知识分析、解决问题的方法和步骤。五是通过对大量取自实际应用的案例的分析，为读者提供设计、实施校园网和企业网与分析、设计和实现相关算法和协议的思路。

“路由和交换技术”课程是一门实验性很强的课程，掌握交换机和路由器配置过程及交换式以太网和互联网设计、实施过程对于深入了解交换式以太网和互联网相关算法和协议的工作原理、实现过程非常有用。鉴于目前很少有学校可以提供能够完成各种规模校园网和企业网设计、实施实验的网络实验室，为此编写了作为指导学生利用 Cisco Packet Tracer 软件实验平台完成各种规模校园网和企业网设计、实施实验的实验指导书的配套教材《路由和交换技术实验及实训》。Cisco Packet Tracer 软件实验平台的人机界面非常接近实际配置过程，学生通过 Cisco Packet Tracer 软件实验平台可以完成教材内容涵盖的全部实验，建立与现实网络世界相似的应用环境，真正掌握基于 Cisco 设备完成交换式以太网和互联网设计、配置和调试的方法和步骤。

作为一本无论在内容组织、叙述方法还是教学目标都和已有《路由和交换技术》教材有一定区别的新教材，错误和不足之处在所难免，殷切希望使用该教材的老师和学生批评指正，也殷切希望读者能够就教材内容和叙述方式提出宝贵建议和意见，以便进一步完善教材内容。作者 E-mail 地址为：shenxinshan@163.com。

编者

2012年5月于南京

目 录

第 1 章 交换机和交换式以太网	1
1.1 以太网概述	1
1.1.1 以太网发展过程.....	1
1.1.2 以太网体系结构.....	3
1.1.3 以太网拓扑结构.....	4
1.2 以太网从共享到交换	6
1.2.1 总线型以太网.....	6
1.2.2 透明网桥与冲突域分割	17
1.3 交换机转发方式和交换机结构.....	24
1.3.1 交换机转发方式	24
1.3.2 交换机结构	25
1.4 以太网标准.....	31
1.4.1 10Mb/s 以太网标准	31
1.4.2 100Mb/s 以太网标准	31
1.4.3 1Gb/s 以太网标准	32
1.4.4 10Gb/s 以太网标准.....	33
习题	33
第 2 章 虚拟局域网	38
2.1 广播域和广播传输方式.....	38
2.1.1 单播传输方式和广播传输方式	38
2.1.2 广播域	39
2.1.3 传统分割广播域的方式	40
2.2 VLAN 定义和分类	40
2.2.1 VLAN 定义	40
2.2.2 VLAN 分类	41
2.3 基于端口划分 VLAN	44
2.3.1 单交换机 VLAN 划分过程.....	44
2.3.2 跨交换机 VLAN 划分过程.....	45
2.3.3 802.1Q 与 VLAN 内数据传输	45
2.3.4 端口确定 MAC 帧所属 VLAN 规则	47
2.3.5 VLAN 例题解析	47

2.4	Cisco 基于 MAC 地址划分 VLAN 技术	52
2.5	专用 VLAN	53
2.5.1	专用 VLAN 的作用	53
2.5.2	Cisco 专用 VLAN 工作原理	54
2.6	VLAN 属性注册协议	59
2.6.1	GVRP 作用	59
2.6.2	GARP	60
2.6.3	GVRP 工作原理	62
2.6.4	VTP	65
2.6.5	GVRP 例题解析	72
	习题	74
第 3 章	生成树协议	78
3.1	生成树协议的作用	78
3.1.1	环路引发广播风暴	78
3.1.2	树型网络的弱可靠性	79
3.1.3	生成树协议的由来和发展	79
3.2	生成树协议工作过程	80
3.2.1	生成树协议操作步骤	80
3.2.2	生成树协议构建生成树过程	81
3.2.3	生成树协议的容错功能	85
3.2.4	端口状态和定时器	86
3.2.5	网桥转发表刷新机制	87
3.2.6	STP 例题解析	90
3.3	快速生成树协议	91
3.3.1	STP 的缺陷	91
3.3.2	端口角色和端口状态	92
3.3.3	端口状态快速迁移过程	93
3.3.4	网桥转发表刷新机制	95
3.3.5	RSTP 例题解析	96
3.4	多生成树协议	96
3.4.1	MSTP 的必要性	96
3.4.2	MSTP 基本思想	97
3.4.3	MSTP 工作过程	98
	习题	103
第 4 章	以太网链路聚合	105
4.1	链路聚合基础	105
4.1.1	链路聚合含义	105

4.1.2	链路聚合方式	106
4.1.3	端口属性	106
4.2	链路聚合机制	106
4.2.1	功能组成	106
4.2.2	交换机通过聚合组转发 MAC 帧过程	109
4.2.3	链路聚合组生成过程	110
4.3	链路聚合控制协议	111
4.3.1	LACP 简介	111
4.3.2	LACP 报文格式	112
4.3.3	LACP 工作过程	112
	习题	114
第 5 章	路由器和网络互连	116
5.1	网络互连	116
5.1.1	网络互连需要解决的问题	116
5.1.2	信件投递过程的启示	117
5.1.3	端到端传输思路	118
5.1.4	IP 实现网络互连机制	119
5.1.5	数据报 IP 分组交换网络	120
5.1.6	路由器结构	122
5.2	网际协议	123
5.2.1	IP 地址分类	123
5.2.2	IP 地址分层分类的原因和缺陷	125
5.2.3	无分类编址	129
5.2.4	IP 分组格式	136
5.3	路由表和 IP 分组端到端传输过程	140
5.3.1	路由表建立过程	140
5.3.2	IP 分组端到端传输过程	144
5.3.3	ARP 和地址解析过程	146
5.4	虚拟路由器冗余协议	148
5.4.1	容错网络结构	148
5.4.2	VRRP 工作原理	149
5.4.3	VRRP 应用实例	155
	习题	156
第 6 章	路由协议	161
6.1	路由项分类	161
6.1.1	直连路由项	161
6.1.2	静态路由项	162

6.1.3	动态路由项	163
6.1.4	静态路由项缺陷	164
6.2	路由协议基础	164
6.2.1	路由协议分类	165
6.2.2	路由协议要求	166
6.2.3	距离向量路由协议	167
6.2.4	链路状态路由协议	170
6.3	RIP	174
6.3.1	RIP 消息格式	174
6.3.2	RIP 工作过程	175
6.3.3	RIP 建立路由表实例	177
6.3.4	RIP 动态适应网络变化的过程	182
6.3.5	计数到无穷大和水平分割	183
6.4	OSPF	185
6.4.1	路由器确定自身链路状态	186
6.4.2	泛洪链路状态通告	193
6.4.3	构建路由表算法	195
6.4.4	OSPF 动态适应网络变化的过程	198
6.4.5	OSPF 和 RIP 的区别	199
6.4.6	OSPF 分区域建立路由表的过程	199
6.5	BGP	205
6.5.1	分层路由的原因	205
6.5.2	BGP 报文类型	206
6.5.3	BGP 工作机制	206
	习题	210
第7章	组播	212
7.1	组播基本概念	212
7.1.1	组播与单播和广播的区别	212
7.1.2	组播地址	213
7.1.3	组播实现技术	214
7.2	IGMP	217
7.2.1	IGMP 消息类型和格式	217
7.2.2	IGMP 操作过程	218
7.2.3	IGMP 侦听	220
7.3	组播路由协议	223
7.3.1	DVMRP	223
7.3.2	PIM-SM	234
	习题	242

第 8 章 网络地址转换	244
8.1 NAT 基本概念	244
8.1.1 NAT 定义	244
8.1.2 私有地址空间.....	245
8.1.3 NAT 应用	246
8.1.4 NAT 引发的问题	248
8.2 NAT 工作过程	249
8.2.1 NAT 分类	249
8.2.2 PAT	250
8.2.3 NAT	252
8.2.4 应用层网关.....	254
8.3 NAT 应用方式	255
8.3.1 双穴网络结构.....	255
8.3.2 实现内部网络和外部网络通信.....	257
8.3.3 实现内部网络之间通信.....	259
8.3.4 解决内部网络与外部网络地址重叠问题.....	261
习题.....	264
第 9 章 三层交换机和三层交换	266
9.1 三层交换机基础	266
9.1.1 三层交换机产生背景.....	266
9.1.2 三层交换机与路由器的区别.....	271
9.1.3 校园网和三层交换机.....	272
9.1.4 VLAN 互连实例	274
9.2 三层交换过程	277
9.2.1 三层交换机结构.....	277
9.2.2 三层交换过程.....	278
9.2.3 三层路由过程.....	280
9.3 三层交换机应用方式	282
9.3.1 IP 接口集中到单个三层交换机	282
9.3.2 两个三层交换机同时定义所有 VLAN 对应的 IP 接口	284
9.3.3 两个三层交换机分别定义两个 VLAN 对应的 IP 接口	286
习题.....	289
第 10 章 IPv6	291
10.1 IPv4 的缺陷	291
10.1.1 地址短缺问题	291
10.1.2 复杂的分组首部	292

10.1.3	QoS 实现困难	292
10.1.4	安全机制先天不足	292
10.2	IPv6 首部结构	293
10.2.1	IPv6 基本首部	293
10.2.2	IPv6 扩展首部	295
10.3	IPv6 地址结构	297
10.3.1	IPv6 地址表示方式	297
10.3.2	IPv6 地址分类	299
10.4	IPv6 操作过程	303
10.4.1	邻站发现协议	303
10.4.2	路由器建立路由表过程	306
10.5	IPv6 over 以太网	308
10.5.1	地址解析过程	308
10.5.2	IPv6 组播地址和 MAC 组地址之间的关系	310
10.5.3	IPv6 分组传输过程	310
10.6	IPv6 网络和 IPv4 网络互连	311
10.6.1	双协议栈技术	311
10.6.2	隧道技术	312
10.6.3	网络地址和协议转换技术	314
	习题	320
	英文缩写词	323
	参考文献	326

第 1 章

交换机和交换式以太网

从共享式以太网发展到交换式以太网是以太网发展过程中的一次革命,交换机和以交换机为核心设备的交换式以太网的出现,使得交换成为 MAC 帧端到端传输机制的代名词。交换包含的内容非常广泛,MAC 帧端到端传输过程所涉及的算法和协议的实现机制都属于交换的范畴。交换式以太网发展过程,以太网终端之间传输路径建立过程和交换机 MAC 帧转发过程属于交换的基础知识部分。

1.1 以太网概述

1.1.1 以太网发展过程

1972 年底, Bob Metcalfe 和 David Boggs 设计了一套用于实现不同的 ALTO 计算机之间连接的网络。由于该网络是以 ALOHA 系统为基础的,且又连接了众多的 ALTO 计算机, Metcalfe 将该网络命名为 ALTO ALOHA 网络。ALTO ALOHA 网络于 1973 年 5 月 22 日首次开始运行。就在这一天, Metcalfe 将该网络改名为以太网,以此用于说明设计该网络的灵感来自于“电磁辐射可以通过发光的以太来传播”这一想法。

20 世纪 70 年代末,已经涌现出数十种局域网技术,以太网能够脱颖而出,登上局域网宝座的根本原因是 Metcalfe 版的以太网成为了产业标准。

多种原因导致 Xerox、Dec 和 Intel 联合起来开发以太网产品。三家联合的优势是显而易见的: Xerox 提供技术, Dec 有雄厚的技术力量,而且是以太网硬件的强有力的供应商, Intel 提供以太网硅片构件。1979 年 9 月 30 日, Dec、Intel 和 Xerox 公布了第三稿的“以太网,一种局域网——数据链路层和物理层规范 1.0 版”,这就是著名的以太网蓝皮书,也称为 DIX 版以太网 1.0 规范。DIX 版以太网 1.0 规范开始规定传输速率为 20Mb/s,最后降为 10Mb/s。

在 DIX 开展以太网标准化工作的同时,世界性专业组织 IEEE 组成一个定义与促进工业局域网(Local Area Network, LAN)标准的委员会,该委员会名叫 802 工程,以制定实现办公室环境下计算机连接的 LAN 标准为主要工作目标。1981 年 6 月, IEEE 802 工程决定组成 802.3 分委员会,以产生基于 DIX 工作成果的国际标准。1982 年 12 月 19 日, 19 个公司宣布了新的 IEEE 802.3 草稿标准。1983 年该草稿最终以 IEEE 10BASE5 而面世。

1979 年 6 月, Bob Metcalfe 等人组建了计算机、通信和兼容性公司,即著名的 3Com

公司。

1980年8月,3Com公司宣布了它的第一个产品,用于UNIX的商业版TCP/IP,该产品在1980年12月正式上市。1981年3月,3Com将第一批符合802标准的产品3C100收发器投放市场。1981年底,3Com公司开始销售DEC PDP/11系列和VAX系列的收发器和插卡,同时也销售在Intel Multibus和Sun微系统公司机器上使用的收发器和插卡。

1982年9月29日,第一块为个人计算机(Personal Computer,PC)开发的EtherLink投放市场,并随卡提供相应的DOS驱动器软件。第一块EtherLink在以下多个方面取得突破。

(1) EtherLink成为第一块在IBM PC ISA总线上使用的以太网适配器,这是以太网发展史上的一个里程碑。

(2) EtherLink网络接口卡通过硅半导体集成工艺实现,它是第一块包含以太网VLSI控制器硅片的网络接口卡(Network Interface Card,NIC),由于硅片价格低,3Com公司的EtherLink的价格比其他的网络接口卡和以前销售的收发器要便宜很多。

(3) 因为采用超大规模集成电路芯片节省了大量空间,EtherLink适配器可以将收发器集成在网络接口卡上,省去了外接的MAU收发器。

随着个人计算机迅速占领市场,个人计算机联网的要求也日益迫切,EtherLink生意火爆。1983年,3Com、ICL、HP将细缆以太网的概念提交给IEEE,不久IEEE就公布了细缆以太网的官方标准10BASE2。

1986年,SynOptics开始进行在UTP电话线上运行10Mb/s以太网的研究工作,名叫LATTIS NET的第一个SynOptics产品于1987年8月17日正式投放市场,也就是在同一天,IEEE 802.3工作组开始讨论在UTP上实现10Mb/s以太网的最佳方法,并在后来成为非屏蔽双绞线的官方标准10BASET。10BASET的出现,导致了结构化布线系统的兴起和发展。

传统共享介质以太网的缺陷是明显的,当网上用户数增多,总线负载加重,就会导致冲突频繁发生,使总线利用率急剧下降。为了解决这一问题,将以太网分段,每段以太网是一个独立的冲突域,多个不同的冲突域可以同时实现冲突域内终端之间的通信。为了实现连接在不同冲突域的两个终端之间通信,开发出一种叫网桥的产品,用网桥实现冲突域互连,以此实现连接在一个冲突域上的终端和连接在另一个冲突域上的终端之间的通信,由于网桥互连的多个冲突域可以同时实现冲突域内终端之间通信,网络的整体带宽得到提高。20世纪80年代末,一种新型网桥——智能型多端口网桥开始出现。1990年,一个完全不同的网桥——Kalpana Ether Switch EPS-700面世。Ether Switch具有下述功能特点。

(1) Ether Switch和电话交换机相似,能够同时提供多条数据传输路径,使整体吞吐量得到显著提高。

(2) Ether Switch使用一种名为“直通(cut-through)”的新桥接技术,其转发延迟比传统网桥使用的存储转发技术降低了一个数量级。

(3) Ether Switch的推销员指出Ether Switch是网络交换器,而不是普通网桥,由此开辟了一个新的市场领域——网络交换机。

由于所有终端共享单条总线,共享介质以太网只能以半双工方式工作,终端在同一时间要么发送数据,要么接收数据,而不能同时发送和接收数据。网络交换机的出现,允许每一

端口只和一个终端传输数据,使得交换机端口和终端之间同时发送、接收数据成为可能,由此产生了以太网全双工通信标准,它使传输速度提高了一倍。

网络交换设备虽然是降低网络通信拥挤的最佳设备,但每个以太网交换机端口只能提供 10Mb/s 的通信流量,对于要求 10Mb/s 以上通信流量的应用,当时只能采用光纤分布式数据接口(Fiber Distributed Data Interface, FDDI),它是一个基于 100Mb/s 光纤的 LAN,极其昂贵。

1992 年下半年,新成立的 Grand Junction 公司开始研制 100Mb/s 以太网。对 100Mb/s 以太网出现了两种技术方案:一种是继续保留现行以太网协议,一种是采用全新的 MAC 协议。前者方案得到了极大多数产品厂家的支持,这些厂家在 IEEE 802.3 工作组尚未做出决定之前,成立了快速以太网联盟(FEA),公布了它的 100BASE-TX 标准,并推出了第一台符合标准的集线器和网络接口卡(Network Interface Card, NIC)。

1995 年 3 月,IEEE 802.3u 标准获得通过,宣布快速以太网的时代来临。

1996 年 3 月,IEEE 组建了新的 802.3Z 工作组,负责研究吉比特以太网(俗称千兆以太网),并制订相应标准。很快,一些原来快速以太网的支持者和某些新的发起者组成了吉比特以太网联盟(GEA)。

到 1997 年底,3Com 公司已开始推出符合 802.3Z 标准草案的全套吉比特以太网设备,从吉比特交换机,快速以太网交换机的吉比特升级模块到吉比特以太网卡。1998 年 3 月,IEEE 802.3Z 标准获得通过。由于受冲突窗口的限制,吉比特以太网最好以全双工方式进行通信,否则通信距离将受到限制。

2002 年 7 月,IEEE 通过了 802.3ae 标准,开始了 10Gb/s 以太网(俗称万兆以太网)时代。

1.1.2 以太网体系结构

以太网标准的制定过程存在两条主线,一条主线是 Dec、Intel 和 Xerox 这三家公司在 1980 年 9 月制定并发表的关于以太网规约的第一个版本——DIX V1(DIX 由这三家公司名称的第一个字母组合而成),和在 1982 年修改发表的第二个版本——DIX Ethernet V2。另一条主线是电子和电气工程师协会(IEEE)802 委员会在 DIX Ethernet V2 基础上制定的第一个局域网标准,编号为 802.3。实际上,802.3 标准和 DIX Ethernet V2 还是有点差别的,但目前人们已习惯将符合 802.3 标准的局域网称做以太网。以太网并不是 IEEE 802 委员会制定的唯一局域网标准,在制定 802.3 标准以后,又陆续制定了多个不同的局域网标准,如令牌环网,由于不同局域网的链路层标准并不相同,为了给网络层提供统一的局域网功能界面,802 委员会将局域网的链路层分成两个子层:逻辑链路控制(Logical Link Control, LLC)子层和媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)子层。因此,可以得出如图 1.1 所示的以以太网为传输网络的 TCP/IP 体系结构。

不同局域网的 MAC 子层是不同的,但 LLC 子层和网络层之间的接口界面是相同的,也就是说 LLC 子层屏蔽了由于多种局域网并存而造成的 MAC 子层的不同,就像 BIOS 屏蔽了主板的差异一样。

以太网的物理层主要解决和传输媒体之间的接口,数字信号 0、1 的表示方式,数字信号的同步等问题。MAC 子层解决和以太网传输数据有关的其他一些问题。