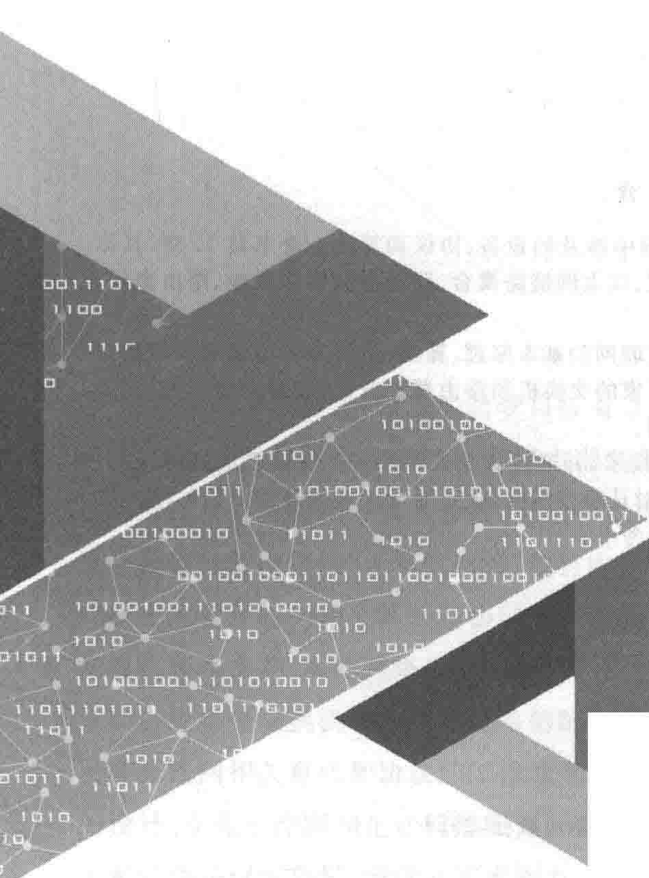


路由和交换技术 (第2版)

◎ 沈鑫剡 魏涛 邵发明 俞海英 李兴德 编著

清华大学出版社





路由和交换技术

(第2版)

常州大学图书馆
藏书章

◎ 沈鑫剡 魏涛 邵发明 俞海英 李兴德 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书详细讨论了 MAC 帧和 IP 分组端到端传输过程中涉及的设备、协议和算法。全书共 10 章, 具体内容包括以太网及交换机结构、虚拟局域网、生成树协议、以太网链路聚合、路由器和网络互连、路由协议、多播、网络地址转换、三层交换和 IPv6 等。

本书在具体网络环境下深入讨论交换式以太网和互联网的基本原理、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、深入的交换和路由技术, 理论结合实际, 使读者能够学以致用。

本书以通俗易懂、循序渐进的方式叙述交换和路由技术, 并通过大量的例子来加深读者的理解, 是一本理想的计算机网络工程专业的交换和路由技术教材, 对从事校园网、企业网设计与实施的工程技术人员和交换机、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/沈鑫刻等编著. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2018

(21 世纪高等学校物联网专业规划教材)

ISBN 978-7-302-50179-4

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(2018)第 112420 号

责任编辑: 刘向威 战晓雷

封面设计: 刘 键

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 沈 露

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 装 者: 清华大学印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 26.75

字 数: 648 千字

版 次: 2013 年 2 月第 1 版 2018 年 8 月第 2 版

印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~1500

定 价: 69.00 元

产品编号: 074839-01

前言

“路由和交换技术”课程的教学目标有 3 个：一是使学生具备设计、实施校园网和企业网的能力，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。目前市场上的相关教材主要分为两类：第一类教材的内容与“计算机网络”教材内容高度重叠，对于交换机和路由器结构以及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；第二类教材的内容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以及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的设计、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以及相关算法和协议的分析、设计及实现能力。

本书有以下特点：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，让学生能够学以致用；四是通过大量例题解析为学生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，为学生提供设计、实施校园网和企业网，分析、设计和实现相关算法和协议的思路。

“路由和交换技术”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及实现过程非常有用。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，编者还编写了配套教材《路由和交换技术实验及实训》，该配套教材可以作为指导学生利用 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。Cisco Packet Tracer 软件实验平台的人机界面非常接近实际设备的配置过程，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。

本书对第 1 版内容做了以下修改：一是重新梳理了全书的内容，使得内容组织更加合理，知识点之间的逻辑性更强，对难点的讨论更加深入和详细；二是根据最新标准对相关内

容进行了更新;三是给出了部分习题解答。

作为一本无论在内容组织、叙述方法还是教学目标上都和已有教材有一定区别的新教材,错误和不足之处在所难免,殷切希望使用本书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,以便编者进一步完善教材内容。编者 E-mail 地址为 shenxinshan@163.com。

编者

2018年6月于南京

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 以太网日志	1
1.1.2 以太网体系结构	3
1.1.3 以太网拓扑结构	4
1.1.4 以太网成功的因素	6
1.2 总线型以太网	7
1.2.1 总线型以太网结构与功能需求	7
1.2.2 总线型以太网各层功能	8
1.2.3 基带传输与曼彻斯特编码	8
1.2.4 MAC 地址	13
1.2.5 MAC 帧	14
1.2.6 CSMA/CD 工作原理	15
1.2.7 CSMA/CD 算法的缺陷	18
1.2.8 集线器和星形以太网结构	22
1.2.9 例题解析	23
1.3 网桥与冲突域分割	24
1.3.1 网桥分割冲突域原理	24
1.3.2 转发表和 MAC 帧转发过程	26
1.3.3 网桥工作流程	26
1.3.4 端到端交换路径	28
1.3.5 网桥无限扩展以太网	28
1.3.6 全双工通信扩展无中继传输距离	29
1.3.7 以太网拓扑结构与生成树协议	29
1.3.8 中继器与网桥	31
1.3.9 网桥工作过程举例	31
1.4 交换机转发方式和交换机结构	34
1.4.1 交换机转发方式	34
1.4.2 交换机结构	36
1.5 以太网标准	42
1.5.1 10Mb/s 以太网标准	42
1.5.2 100Mb/s 以太网标准	42

1.5.3	1Gb/s 以太网标准	43
1.5.4	10Gb/s 以太网标准	44
1.5.5	40Gb/s 和 100Gb/s 以太网标准	44
	本章小结	45
	习题	45
第 2 章	虚拟局域网	50
2.1	广播域和广播传输方式	50
2.1.1	单播传输方式和广播传输方式	50
2.1.2	广播域	51
2.1.3	传统分割广播域的方式	52
2.2	VLAN 定义和分类	53
2.2.1	VLAN 定义	53
2.2.2	VLAN 分类	54
2.3	基于端口划分 VLAN	56
2.3.1	单交换机 VLAN 划分过程	56
2.3.2	跨交换机 VLAN 划分过程	57
2.3.3	IEEE 802.1q 与 VLAN 内 MAC 帧传输过程	59
2.3.4	VLAN 例题解析	61
2.4	Cisco 基于 MAC 地址划分 VLAN 技术	67
2.4.1	基于端口划分 VLAN 的缺陷	67
2.4.2	Cisco 基于 MAC 地址划分 VLAN 的过程	67
2.5	专用 VLAN	68
2.5.1	专用 VLAN 的作用	68
2.5.2	Cisco 专用 VLAN 工作原理	69
2.6	VLAN 属性注册协议	74
2.6.1	GVRP 的作用	74
2.6.2	GARP	75
2.6.3	GVRP 工作原理	77
2.6.4	VTP	80
2.6.5	GVRP 例题解析	87
	本章小结	89
	习题	90
第 3 章	生成树协议	93
3.1	生成树协议的作用	93
3.1.1	环路引发广播风暴	93
3.1.2	树形网络的弱可靠性	94
3.1.3	生成树协议的由来和发展	95

3.2 STP 工作原理	96
3.2.1 STP 基本概念	96
3.2.2 STP 基本步骤	97
3.2.3 端口状态	100
3.2.4 定时器	101
3.2.5 STP 构建生成树的过程	102
3.2.6 STP 容错功能	105
3.2.7 STP 例题解析	108
3.3 快速生成树协议	110
3.3.1 STP 的缺陷	110
3.3.2 端口角色和端口状态	110
3.3.3 端口状态快速迁移过程	111
3.3.4 网桥转发表刷新机制	113
3.3.5 RSTP 应用实例	114
3.3.6 RSTP 例题解析	116
3.4 多生成树协议	117
3.4.1 MSTP 的必要性	117
3.4.2 MSTP 的基本思想	117
3.4.3 MSTP 的基本步骤	120
3.4.4 MSTP 构建 CIST 实例	123
本章小结	126
习题	126
第 4 章 以太网链路聚合	129
4.1 链路聚合基础	129
4.1.1 链路聚合含义	129
4.1.2 链路聚合方式	130
4.1.3 端口属性	131
4.2 链路聚合机制	131
4.2.1 功能组成	131
4.2.2 交换机通过聚合组转发 MAC 帧的过程	134
4.2.3 链路聚合组生成过程	135
4.3 链路聚合控制协议	136
4.3.1 LACP 简介	136
4.3.2 LACP 报文格式	137
4.3.3 LACP 工作过程	138
4.3.4 N:M 备份	140
本章小结	140
习题	140

第 5 章 路由器和网络互连	141
5.1 网络互连	141
5.1.1 不同类型网络互连需要解决的问题	141
5.1.2 信件投递过程的启示	142
5.1.3 端到端传输的思路	143
5.1.4 IP 实现网络互连机制	144
5.1.5 数据报 IP 分组交换网络	145
5.1.6 路由器结构	147
5.2 IP	148
5.2.1 IP 地址分类	148
5.2.2 IP 地址分层分类的原因	150
5.2.3 IP 地址分类的缺陷	152
5.2.4 无分类编址	154
5.2.5 IP 分组格式	165
5.3 路由表和 IP 分组传输过程	169
5.3.1 互联网结构与路由表	169
5.3.2 IP 分组传输过程	170
5.3.3 实现 IP 分组传输过程的思路	171
5.3.4 直连路由项和静态路由项	171
5.3.5 例题解析	174
5.4 IP over 以太网	179
5.4.1 ARP 和地址解析过程	179
5.4.2 逐跳封装	182
5.5 虚拟路由器冗余协议	182
5.5.1 容错网络结构	182
5.5.2 VRRP 工作原理	183
5.5.3 VRRP 应用实例	188
本章小结	190
习题	190
第 6 章 路由协议	195
6.1 直连路由项和静态路由项	195
6.1.1 直连路由项	195
6.1.2 静态路由项	196
6.1.3 静态路由项的缺陷	197
6.2 路由协议和动态路由项	198
6.2.1 路由协议定义	198
6.2.2 路由协议生成动态路由项实例	198

6.2.3	路由协议生成动态路由项过程	200
6.3	路由协议基础	201
6.3.1	路由协议分类	201
6.3.2	路由协议要求	203
6.3.3	距离向量路由协议	203
6.3.4	链路状态路由协议	206
6.4	RIP	210
6.4.1	RIP 消息格式	210
6.4.2	RIP 工作过程	211
6.4.3	RIP 建立路由表实例	213
6.4.4	RIP 动态适应网络变化的过程	218
6.4.5	计数到无穷大和水平分割	219
6.4.6	RIP 缺陷	221
6.5	OSPF	223
6.5.1	OSPF 的基本概念	223
6.5.2	路由器确定自身链路状态	224
6.5.3	泛洪链路状态通告	233
6.5.4	构建路由表算法	235
6.5.5	OSPF 动态适应网络变化的过程	238
6.5.6	OSPF 和 RIP 的区别	238
6.5.7	OSPF 分区域建立路由表的过程	239
6.6	BGP	244
6.6.1	分层路由的原因	245
6.6.2	BGP 报文类型	245
6.6.3	BGP 工作机制	246
	本章小结	250
	习题	250
第 7 章	多播	253
7.1	多播的基本概念	253
7.1.1	多播与单播和广播的区别	253
7.1.2	多播地址	254
7.1.3	多播实现技术	255
7.2	IGMP	258
7.2.1	IGMP 消息类型和格式	259
7.2.2	IGMP 操作过程	260
7.2.3	IGMP 侦听	261
7.3	多播路由协议	265
7.3.1	DVMRP	265

7.3.2 PIM-SM	276
本章小结	286
习题	286
第 8 章 网络地址转换	288
8.1 NAT 的基本概念	288
8.1.1 NAT 的定义	288
8.1.2 私有地址空间	289
8.1.3 NAT 的应用	290
8.1.4 NAT 引发的问题	292
8.2 NAT 的工作过程	294
8.2.1 NAT 的分类	294
8.2.2 PAT	294
8.2.3 NAT	296
8.2.4 应用层网关	298
8.2.5 几种 NAT 技术的特点	299
8.3 NAT 应用方式	301
8.3.1 双穴网络结构	301
8.3.2 实现内部网络和外部网络通信	303
8.3.3 实现内部网络之间的通信	304
8.3.4 解决内部网络与外部网络地址重叠问题	307
8.4 例题解析	310
本章小结	313
习题	313
第 9 章 三层交换机和三层交换	315
9.1 三层交换机基础	315
9.1.1 多端口路由器实现 VLAN 间通信的过程	315
9.1.2 单臂路由器实现 VLAN 间通信的过程	317
9.1.3 三层交换机实现 VLAN 间通信的过程	319
9.1.4 多个三层交换机互连	322
9.1.5 三层交换机与路由器的区别	325
9.1.6 校园网和三层交换机	326
9.1.7 单臂路由器和三层交换机实现 VLAN 互连实例	328
9.2 三层交换过程	331
9.2.1 三层交换机结构	331
9.2.2 三层转发表的建立过程	333
9.2.3 二层交换和三层路由交换过程	335
9.3 三层交换机应用方式	339

9.3.1	IP 接口集中到单个三层交换机	339
9.3.2	两个三层交换机同时定义所有 VLAN 对应的 IP 接口	341
9.3.3	两个三层交换机分别定义两个 VLAN 对应的 IP 接口	343
	本章小结	346
	习题	346
第 10 章 IPv6	348
10.1	IPv4 的缺陷	348
10.1.1	地址短缺问题	348
10.1.2	复杂的分组首部	349
10.1.3	QoS 实现困难	349
10.1.4	安全机制先天不足	349
10.2	IPv6 首部结构	350
10.2.1	IPv6 基本首部	350
10.2.2	IPv6 扩展首部	352
10.3	IPv6 地址结构	354
10.3.1	IPv6 地址表示方式	355
10.3.2	IPv6 地址分类	356
10.4	IPv6 网络实现通信的过程	361
10.4.1	网络结构和基本配置	361
10.4.2	邻站发现协议	362
10.4.3	路由器建立路由表的过程	365
10.5	IPv6 over 以太网	367
10.5.1	IPv6 地址解析过程	367
10.5.2	IPv6 多播地址和 MAC 组地址之间的关系	369
10.5.3	IPv6 分组传输过程	369
10.6	IPv6 网络和 IPv4 网络互连	370
10.6.1	双协议栈技术	370
10.6.2	隧道技术	372
10.6.3	网络地址和协议转换技术	373
	本章小结	380
	习题	380
附录 A 部分习题答案	383
附录 B 英文缩写词	410
参考文献	413

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

以太网取得垄断地位的原因有以下几点:一是以太网从共享式发展为交换式;二是以太网从低速发展到高速;三是传输介质从同轴电缆发展为双绞线缆和光纤;四是虚拟局域网(Virtual Local Area Network, VLAN)技术的广泛应用;五是三层交换技术成为实现 VLAN 间通信过程的主流技术。

1.1.1 以太网日志

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 日首次运行。就在这一天, Metcalfe 将该网络改名为以太网,以此说明设计该网络的灵感来自“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 版的以太网成为产业标准。

多种原因导致 DEC、Intel 和 Xerox 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 提供以太网技术, DEC 有雄厚的技术力量,而且是以太网硬件最主要的供应商, Intel 提供以太网硅片构件。1979 年 9 月 30 日, DEC、Intel 和 Xerox 公布了《以太网,一种局域网:数据链路层和物理层规范 1.0 版》第三稿。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 规范开始规定的传输速率是 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,名为 IEEE 802 委员会,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 委员会决定组成 IEEE 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 家公司宣布了新的 IEEE 802.3 草稿标准。1983 年该草稿最终以 10BASE5 的名称面世。

1979 年 6 月,Bob Metcalfe 等人组建了 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 IEEE 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(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。

- 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。
- 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 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。
- 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,省去了外接的介质连接单元(Medium Attachment Unit, MAU)收发器。

随着个人计算机迅速占领市场,把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 开始进行在作为电话线的非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP)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 10BASE-T。10BASE-T 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显而易见的,当网上用户数增多时,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,每段以太网作为一个独立的冲突域,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过程。为了实现连接在不同冲突域的两个终端之间的通信过程,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过程。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的通信过程,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 具有以下功能特点:

- 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。
- Ether Switch 使用一种名为直通(cut-through)的新的桥接技术,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。

- 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,允许每个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 的传输速率,对于要求 10Mb/s 以上传输速率的应用,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。对于 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,另一种是采用全新的 MAC 协议。前一方案得到了绝大多数以太网设备生产商的支持,这些厂家在 IEEE 802.3 工程组尚未做出决定之前就成立了快速以太网联盟(Fast Ethernet Alliance,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。

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(GbE,俗称千兆以太网),并制订相应标准。一些原来快速以太网的支持者和某些新的发起者很快组成了吉比特以太网联盟(Gigabit Ethernet Alliance,GEA)。

到 1997 年底,3Com 公司已经推出符合 IEEE 802.3z 标准草案的全套吉比特以太网设备,包括吉比特交换机、快速以太网交换机的吉比特升级模块和吉比特以太网卡等。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通信方式进行通信,否则通信距离将受到限制。这也是吉比特以上传输速率的以太网只支持全双工通信方式的主要原因。

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

2010 年 6 月,IEEE 通过了 IEEE 802.3ba 标准,以太网开始进入 40Gb/s 和 100Gb/s 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 3 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 3 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 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,IEEE 802.3 标准和 DIX Ethernet V2 是有差别的,但目前人们已经习惯将符合 IEEE 802.3 标准的局域网称作以太网。以太网并不是 IEEE 802 委员会制定的唯一局域网标准,在制定 IEEE 802.3 标准以后,IEEE 又陆续制定了多个不同的局域网标准,如令牌环网等。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,IEEE 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)子层和介质接入控制(Medium Access Control,MAC)子层,因此,可以得出如图 1.1 所示的基于以太网的 TCP/IP 体系结构。

不同局域网的 MAC 子层是不同的,但 LLC 子层和网际层之间的接口是相同的,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 PC 的基本输入输出系统(Basic Input Output System,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介质之间的接口、二进制数 0 和 1 的表示方式、数字信号的同步等问题。MAC 子层主要解决和通过以太网传输数据有关的其他一些问题。

随着以太网的发展,以太网在局域网市场中已经取得垄断地位,目前已经不存在多种局域网技术并存的问题;而且,LLC 子层是 IEEE 802 委员会为屏蔽多种局域网之间的差异而提出的,显然不是 DIX Ethernet V2 中的一部分,因此,实际的基于以太网的 TCP/IP 体系结构删除了 LLC 子层,如图 1.2 所示。



图 1.1 IEEE 制定的基于以太网的 TCP/IP 体系结构



图 1.2 实际的基于以太网的 TCP/IP 体系结构

1.1.3 以太网拓扑结构

在讨论以太网时,不时会提到网络拓扑结构,拓扑(topology)是拓扑学中研究由点、线组成的几何图形的一种方法,用此方法可以把计算机网络看作由一组结点和链路组成的几何图形,这些由结点和链路所组成的几何图形就是网络的拓扑结构。由于以太网是一个可以由某个单位单独拥有,且允许自主布线的网络,因此,用户对以太网的拓扑结构有较大的选择空间。以太网常见的拓扑结构有总线型、星形、树形和网状几种。

1. 总线型拓扑结构

总线型拓扑结构如图 1.3 所示,通常用同轴电缆作为网络中的总线。为了防止反射信号干扰总线上用于传输数据的基带信号,总线两端必须接匹配阻抗。总线型拓扑结构的优点是简单;缺点是连接在总线上的任何一个终端发生故障,都有可能使总线的阻抗发生变化,导致基带信号传输失败。

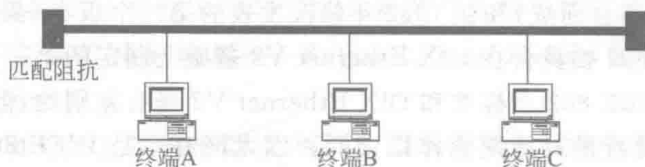


图 1.3 总线型拓扑结构

2. 星形拓扑结构

星形拓扑结构如图 1.4 所示。网络核心设备是物理层的集线器或链路层的交换机,核心设备和终端之间的传输介质一般为双绞线缆或光纤,尤其是双绞线缆作为以太网传输介质后,由于其柔软性非常容易满足办公环境下的布线要求,从而引出一个新的行业——综合布线。由此,以太网设计和实施分为同等重要的两部分:一部分是解决设备之间互连问题的布线系统,另一部分是实现数据端到端传输及提供应用服务的网络传输系统和应用系统。星形拓扑结构是目前以太网设计中普遍使用的网络结构,当然,实际的以太网常常通过级联集线器或交换机将多个星形网络连接在一起。星形拓扑结构的优点是核心设备能够隔离每一个终端,因此,某个终端发生故障或者核心设备用于连接终端的某个端口发生故障,不会影响其他终端之间的通信,这是星形拓扑结构取代总线型拓扑结构的主要原因。

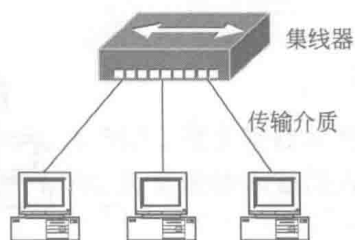


图 1.4 星形拓扑结构

3. 树形拓扑结构

树形拓扑结构如图 1.5 所示,这种拓扑结构实际上就是通过级联交换机或集线器将多个星形拓扑结构连接在一起的网络结构。正常的树形结构要求任何两个终端之间不允许存在环路。

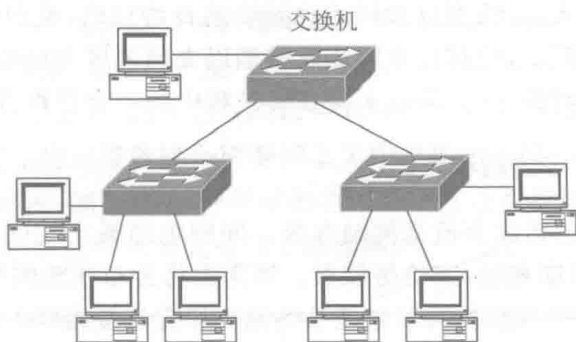


图 1.5 树形拓扑结构

4. 网状拓扑结构

有容错性要求的以太网为了保证故障情况下终端之间的连通性,往往使交换机之间构成环路,这种在树形拓扑结构上增加环路的拓扑结构称为网状拓扑结构,如图 1.6 所示。在后面章节中将讨论到,透明网桥的工作原理要求交换机之间不允许存在环路,因此,为了使透明网桥能够正常工作,同时又能保证以太网的容错性,必须做到在网络运行时通过阻塞某些端口使整个网络没有环路。当某条链路因为故障无法通信时,通过重新开通原来阻塞的一些端口,使网络终端之间依然保持连通性,而又没有形成环路。生成树协议(Spanning Tree Protocol,STP)就是这样一种实现机制。