

宽带通信前沿技术丛书

光以太网

张民进 编著
许进
黄学田

光以太网



北京邮电大学出版社
<http://www.buptpress.com>

光以太网

张民 许进 黄学田 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是国内首部专门讲述光以太网关键技术和组网应用的论著,也是首部介绍万兆以太网的书籍。全书可分为“基础”、“关键技术”、“组网与应用”三大部分,内容包括:以太网基础知识和光通信基础;光以太网技术、互联设备及相关光传输详解;光以太网在 LAN、MAN 和 WAN 中的应用与升级。

本书内容新颖翔实,强调实用,适用于网络技术人员和科研人员,亦可供大专院校通信和计算机专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

光以太网/张民,许进,黄学田编著. — 北京:北京邮电大学出版社,2003

ISBN 7-5635-0817-1

I. 光… II. ①张…②许…③黄… III. 以太网网络—技术 IV. TP393.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 092833 号

书 名: 光以太网

作 者: 张民 许进 黄学田

责任编辑: 王晓丹

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(100876)

电话传真: 010-62282185(发行部)/010-62283578(FAX)

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 20.5

字 数: 485 千字

印 数: 1 3 000

版 次: 2003 年 12 月第 1 版 2003 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-0817-1/TN·309

定 价: 37.00 元

如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系

迄今,超过 95%的终端用户都使用以太网作为连接 Internet 和企业内部网络的手段,全球网络中的 10/100/1000 Mbit/s 以太网端口已至少在 32 亿个以上,已安装使用的以太网设备市场总值高达几万亿美元。因此,可以毫不夸张地说,以太网是世界上应用最广泛、最普及的网络技术。

以太网技术从诞生到现在历经 30 年。在线路速率上,从雏形阶段的 2.94 Mbit/s,提升到成熟阶段的 10 Mbit/s 和 100 Mbit/s,再飞进到近年的 1 Gbit/s 和 10 Gbit/s;在物理载体上,从最初的同轴电缆,替换为屏蔽和非屏蔽的双绞线,再换代为多模和单模光纤;在组网形态上,也由最初的手工配置、总线拓扑、半双工共享式的局域网升级成今天的自动配置、多种拓扑、全双工交换式的局域网和城域网。

以太网技术成功的关键是技术本身简单且成本低,进而得到了广泛应用,成本随之进一步下降,性能和功能也随之不断完善,最终以太网胜过了其他同类技术,其生命力之顽强完全出乎人们的意料。

随着计算机、电子/光电子和光通信技术的进步,现在终端设备的处理速度可达几个吉比特每秒,网络干线的传输带宽可高达几个太比特每秒,网络瓶颈已经从传输环节转移到交换环节上。为消除网络瓶颈,光通信技术正在从骨干传输环节向网络边缘渗透;以吉比特以太网技术为代表的分组交换技术正在从局域网向城域网甚至广域网延伸。以太网和光通信,这两种极具生命力和潜力的先进技术不可避免地在以城域网为中心的应用范围内融合,正是在这样的背景下,光以太网的概念和组网形式应运而生。

光以太网是以光纤为物理载体,运用以太网 MAC 层算法作为第二层控制技术的一类智能以太网,是由一族标准和协议共同构成的技术体系。在过去,以太网中的光纤链路只把互相隔绝的 LAN 连接起来。现在,光以太网自身正在演变成为系统,提供基于铜技术的以太网所不可能实现的覆盖范围和功能,其优势在局域、城域和广域等多个应用层面中日益显现。当前光以太网的发展已经使它具备了过去的以太网根本达不到的性能,甚至会超过当今的铜技术以太网所达到的境界。

本书是国内首部专门讲述光以太网关键技术和组网应用的论著,也是首

部介绍万兆以太网的书籍。

全书共有6章,分为基础、技术和应用3个部分。第1章和第2章是基础部分,分别介绍以太网、光以太网的基础知识,以及光以太网中光传输的基础知识;第3章和第4章是技术部分,详细阐述光以太网各个层面的关键技术;第5章和第6章是应用部分,第5章分析光以太网在LAN、MAN和WAN等多种网络环境下的组网应用,并谈到光以太网与SDH、MPLS、ATM等技术的兼容问题,第6章详细介绍光以太网在MAN中应用的一个实例——RPR技术。

本书的特点是:注重实用,在清晰讲解基本概念和原理的基础上,加入了大量最新技术和实际组网方案,如GBIC、RPR、GE over SDH技术等;内容新颖翔实,选材结合了最新标准和成果,既包含必要的背景知识和相关光通信知识,又突出了光以太网技术;内容安排由浅入深、循序渐进。

参与本书编写的有张民、许进、黄学田、龚倩、忻向军等博士或工程师。全书由张民统编。

光以太网是全新的技术,发展十分迅速,加之编写时间有限,书中不足及错误之处,敬请专家和读者批评指正。

作者

2003年11月

第 1 章 光以太网基础	1
1.1 以太网演进的历史	4
1.1.1 什么是以太网	4
1.1.2 以太网的出现与标准化	4
1.1.3 传统以太网的发展与提速	4
1.1.4 光以太网技术的兴起与发展	5
1.1.5 小结	6
1.2 传统以太网的关键技术	6
1.2.1 网络体系结构	6
1.2.2 帧格式	7
1.2.3 媒体访问控制	9
1.2.4 快速以太网	13
1.2.5 VLAN 技术	19
1.2.6 小结	20
1.3 光以太网概述	21
1.3.1 什么是光以太网	21
1.3.2 分层参考模型	22
1.4 光以太网技术及标准	24
1.4.1 数据链路层技术	24
1.4.2 物理层技术	26
1.4.3 技术特点	29
1.4.4 相关标准	33
1.5 光以太网应用	35
1.5.1 光以太网在 LAN 中的应用	35
1.5.2 光以太网在 MAN 中的应用	36
1.5.3 光以太网在 WAN 中的应用	39
1.6 光以太网的演进与前景	39
第 2 章 以太网中的光通信基础	43
2.1 光纤的传输原理与分类	43
2.1.1 光纤的传输原理	43
2.1.2 光纤的主要性参数	45

2.1.3	光纤的分类	47
2.1.4	各种单模光纤的应用及发展	53
2.2	光纤通信系统中的光源	54
2.2.1	光纤通信系统对光源的要求	54
2.2.2	半导体光源的发光原理	55
2.2.3	LED	56
2.2.4	LD	57
2.3	光无源器件	63
2.3.1	光开关	63
2.3.2	光纤连接器	67
2.3.3	耦合器	70
2.3.4	光隔离器	71
2.3.5	光衰减器	72
2.3.6	光环行器	72
2.4	光放大器	73
2.4.1	光放大器的分类	74
2.4.2	EDFA	74
2.4.3	线性光放大器	75
2.4.4	常见光放大器的应用比较	77
2.5	光发射机和光接收机	78
2.5.1	光发射机	78
2.5.2	光调制	80
2.5.3	光接收机	84
2.5.4	光检测器	85
2.6	波分复用技术	86
2.6.1	WDM 技术概述	87
2.6.2	工作波长区的选择	90
2.6.3	关键器件	91
2.6.4	设计时应该注意的问题	94
第 3 章	光以太网的媒质无关技术	96
3.1	简介	96
3.2	100BASE-FX 技术	97
3.2.1	MII 接口	98
3.2.2	编码方式	102
3.3	1000BASE-X	104
3.3.1	GMII 接口提供的功能	105
3.3.2	GMII 接口与 MII 接口的异同	105
3.3.3	TBI 接口	109

3.3.4	MII/GMII 管理接口	111
3.3.5	1000BASE-X 编码方式	118
3.3.6	1000BASE-X 自协商	122
3.4	万兆光以太网	124
3.4.1	万兆光以太网协议层次模型	125
3.4.2	XGMII 接口	126
3.4.3	10G 附加单元接口(XAUD)	130
3.4.4	帧格式的变化	132
3.4.5	LAN 与 WAN 的速率适配	134
3.4.6	10GBASE-X 编码方式	134
3.4.7	码元组合和特定码元	136
3.4.8	10GBASE-R 接口 PCS 子层和编码方式	138
3.4.9	WAN 接口子层 WIS	141
3.4.10	XGMII 管理接口	146
3.5	VLAN 技术	148
3.5.1	使用 VLAN 技术的原因	148
3.5.2	虚拟局域网的划分	150
3.5.3	虚拟局域网的帧结构	152
3.5.4	VLAN 的连接方法	153
3.5.5	VLAN 数据处理和 GVRP 协议	155
3.6	生成树协议及应用	156
3.6.1	根桥的选择	157
3.6.2	STP 网络配置的维护	158
3.6.3	网络拓扑的重新配置	158
3.6.4	端口状态的变化	159
3.6.5	拓扑改变通知	160
3.6.6	BPDU 数据帧包含的内容	160
3.6.7	快速生成树协议	161
3.7	VRRP 虚拟路由协议	161
3.7.1	VRRP 产生背景	161
3.7.2	VRRP 实现原理	162
3.7.3	VRRP 主要特点	163
3.7.4	虚拟路由器的状态	164
第 4 章	光以太网的媒质相关技术	166
4.1	概述	167
4.2	百兆光以太网的物理层——100BASE-FX	169
4.2.1	PMA 子层与自动配置机制	170
4.2.2	PMD 子层与 MDI 接口	171

4.2.3	物理媒质	172
4.2.4	中继器	172
4.3	千兆以太网中的媒质相关技术	175
4.3.1	PMA 子层技术	177
4.3.2	PMD 子层技术	180
4.3.3	千兆以太网的光纤链路	187
4.3.4	千兆以太网的中继器	192
4.4	万兆以太网的物理层技术	193
4.4.1	万兆以太网物理层规范的命名机制	194
4.4.2	并行的万兆 LAN 物理层——10GBASE-LX4	196
4.4.3	串行的万兆 LAN 物理层——10GBASE-R	202
4.4.4	串行的万兆 WAN 物理层——10GBASE-W	212
4.4.5	WAN PHY 和 LAN PHY 的速率兼容问题	218
4.4.6	澄清对万兆以太网的一些误解	218
4.5	以太网中的 GBIC 模块	219
4.5.1	内部结构	220
4.5.2	接口信号	221
4.5.3	工作过程	224
第 5 章	以太网的应用和组网	228
5.1	宽带接入的各种方式	228
5.1.1	ADSL 接入方式	228
5.1.2	以太网接入方式	229
5.1.3	CABLE MODEM 宽带接入方式	230
5.1.4	LMDS 宽带接入方式	231
5.1.5	宽带接入方式的总结	232
5.2	以太网的拓扑结构	233
5.2.1	星型拓扑结构	234
5.2.2	环型拓扑结构	234
5.2.3	总线型拓扑结构	235
5.3	以太网的设计目标和原则	235
5.3.1	以太网的组成元素	236
5.3.2	以太网设计的目标	237
5.3.3	网络设计的分层原则	239
5.4	以太网的应用和组网	241
5.4.1	以太网操作系统的选择	241
5.4.2	以太网硬件设备的选择	242
5.4.3	二层交换,三层交换和路由技术	243
5.4.4	以太网中的认证技术	246

5.4.5	以太网在局域网中的应用	247
5.4.6	以太网在城域网中的应用	252
5.4.7	以太网在广域网中的应用	255
第6章	弹性分组环技术	256
6.1	弹性分组环技术产生的背景	256
6.1.1	城域网的需求分析	256
6.1.2	现有城域网中 SDH 技术的优缺点	258
6.1.3	以太网技术在城域网中的扩张	259
6.1.4	弹性分组环技术	260
6.2	RPR 技术的优势及其对城域网发展的意义	261
6.2.1	RPR 技术的优势	261
6.2.2	RPR 技术对下一代城域网建设的意义	262
6.3	RPR 的关键技术	264
6.3.1	双环结构	264
6.3.2	空间重用技术	267
6.3.3	RPR MAC 层及技术特点	271
6.3.4	拓扑发现协议	275
6.3.5	RPR 保护	276
6.3.6	RPR 操作管理和维护	279
6.4	RPR 标准及其进展	281
6.4.1	概述	281
6.4.2	组织及相关标准草案	282
6.4.3	对 RPR 标准的简介	284
6.4.4	小结	290
6.5	RPR 技术在城域网中的应用	290
6.5.1	城域网现状与 RPR 组网技术的定位	290
6.5.2	RPR 技术在城域网中的应用	292
6.5.3	RPR 组网的相关产品简介	303
附录	缩略语	311
参考文献	317

第 1 章

光以太网基础

作为开篇,从通信与网络界的一些著名定律谈起,借以说明光以太网的技术背景。

首先,应用决定网络。据 10 Gbit/s 以太网联盟(万兆以太网 A)在 2002 年的统计,全球各种网络中,基于分组交换的数据通信业务量已经是基于电路交换的语音业务量的 4 倍,即今天的网络中超过 80% 的流量都来自基于分组交换的数据业务。在这些海量的数据业务中,以 IP 为核心内容,以 Internet 为互联手段的流量占据主导地位。与此相伴而生的是,现在几乎所有 Internet 上的流量都通过以太网连接而发起和终结,据 Cisco 公司统计,目前超过 95% 的终端用户都使用以太网作为连接 Internet 和企业内部网络的手段,全球网络中的 10/100/1 000 Mbit/s 以太网端口已至少在 32 亿个以上,已安装使用的以太网设备市场总值高达几万亿美元。因此,可以毫不夸张地说,以太网是世界上应用最广泛、最普及的网络技术。

通信与网络的更新与换代是极其迅速的,这个行业里,三四年前的事就可以当作“历史”来谈。而以太网技术从诞生到现在,历经 30 年,并不断演进以满足分组交换网络的日益增长的需求,其生命力之顽强完全出乎人们的意料。在线路速率上,从雏形阶段的 2.94 Mbit/s,提升到成熟阶段的 10 Mbit/s 和 100 Mbit/s,再飞进到近年的 1 Gbit/s 和 10 Gbit/s;在物理载体上,从最初的同轴电缆,替换为屏蔽和非屏蔽的双绞线,再换代为多模和单模光纤;在组网形态上,也由最初手工配置、总线拓扑、半双工共享式的局域网(LAN),升级成今天自动配置、多种拓扑、全双工交换式的 LAN 和城域网(MAN)。功

能、性能和成本,三者中我们只能选择其二。在以太网演进的同时,出现了许多各具特点的技术。在性能或功能上,不少技术都超过了以太网,而只有以太网长期以来在 LAN 和城域接入网中占据着统治地位。以太网成功的关键是技术本身简单且成本低,进而它得到了广泛应用。成本随之进一步下降,性能和功能也随之不断完善,最终以太网胜过了其他同类技术。例如,ATM(异步传输模式)技术近乎完美却十分昂贵,与 ATM 相比,采用以太网技术构建 LAN 和 MAN 的费用至少降低 25%。以太网是用户接入和应用最方便、成本最低的技术方案,它印证了网络技术的 KISS 规则(Keep It Simple and Stupid)。

“以太(ether)”一词与光波技术有些渊源。最初研究光波技术的物理学家无法解释真空中的光波依赖何物得以传播,因而假想有一种物质在空中无处不在,因而可以作为光波在真空中传播的媒质,并称之为“以太”。随着科学发展,我们认识到“以太”这种物质并不存在,但是“以太”这一概念,特别是它无处不在的属性与含义,已经深入人心。“以太网之父”Robert Metcalfe 选择“以太网(Ethernet)”为这种网络技术命名,就是希望这种网络能像“以太”那样成为一种无处不在的传媒,能在各种网络的所有节点之间承载信息。Metcalfe 还提出了对网络发展十分重要的 Metcalfe 定律(Metcalfe's Law)——随着用户数目增加,网络价值呈指数增长。在某些方面,这一定律类似于 Intel 创立人之一 Gordon Moore 于同期提出的摩尔定律(Moore's Law)——微处理器的速率每 18 个月翻番而价格减半。20 多年来,以太网和微处理器技术相辅相成、飞速发展,这两条定律都得到了事实证明,并成功地运用于网络技术和网络经济的发展中。

实际上,网络容量的倍增更快于摩尔定律,每 13~14 个月就会翻番(即年增长因子为 1.78)。比摩尔定律速度更惊人的是按照光纤定律(Fiber Law)增长的光传输带宽,即光传输带宽每 9 个月翻番。上世纪 60 年代,高锟博士等首次科学地提出信息可在光纤中以光信号的形式传输。此后 30 多年里,光通信技术经历了革命性的变化和飞速的发展:70 年代,低损耗光纤问世;80 年代初,单模光纤通信系统得到普遍认可和重视;80 年代末,第一个宽带大增益的掺铒光纤放大器(EDFA)问世,并在 90 年代得到实用化;与此同时,波分复用(WDM)和密集波分复用(DWDM)技术得到迅速发展;随着 WDM 和 DWDM 技术的成熟,出现了光交叉连接(OXC)和光分叉复用(OADM)设备,光通信由过去点到点的 WDM 链路发展成为今天基于波长交换的光网络。与此同时,IP 层正不断扩张并越来越向光层靠近。以 IP 为代表的业务正逐渐占据网络业务的主导地位,同步数字体系(SDH/SONET)等设备的角色正在退化。基于 DWDM 技术,每纤 32~80 个波长,每波长 2.5~10 Gbit/s 的传输系统和以 OXC/OADM 为主体的光交换系统构成了今天的光网络,并正在向更适合数据业务的 3T(Tbit/s 传输、Tbit/s 交换和 Tbit/s 路由)光网络演进。21 世纪里,光在通信领域的地位和角色将不亚于 20 世纪里的电子。

随着计算机、电子/光电子和光通信技术的进步,现在终端设备的处理速度可达几个吉比特每秒,好比用户已经有了超级跑车;网络干线的传输带宽可高达几个太比特每秒,好比已经铺建了宽阔的高速公路。可是网络速度为何仍上不去?这是因为网络节点(特别是 MAN 节点)的交换容量和速度上不去,网络瓶颈已经从传输环节转移到交换节点上。就好像即使跑车再快、跑道再宽,但交叉路口过于狭窄,处理车流量的能力太低,最终造成严重的交通阻塞。

长篇累牍的论述和几百次的会议得出了一个简单明了的结论,即市场对大容量,更灵活、简单和经济的宽带系统的需求,将很快取代对传统铜线系统的需求。对不断增加的带宽需求而言,基于铜线的接入技术仅仅能暂时作为“最后一公里”的解决方案。基于硅晶片的无线传输所提供的容量和速度更不能满足用户接入的需要。迫于全世界范围内对宽带通信的需求,唯一的解决方案就是在广域网(WAN)、MAN 和 LAN 的交换环节中更多地引入光通信技术。

因此,以 WDM 和 OXC/OADM 为代表的光通信技术正在从骨干或长途的传输环节向 MAN、LAN 等网络边缘渗透;以吉比特以太网技术为代表的分组交换技术正在从 LAN 向城域接入网(Metro Access)、城域核心网(Metro Core)甚至 WAN 延伸,如图 1-1 所示。以太网和光通信,这两种极具生命力和潜力的先进技术不可避免地在以 MAN 为中心的应用范围内融合,正是在这样的背景下,光以太网的概念和组网形式应运而生。

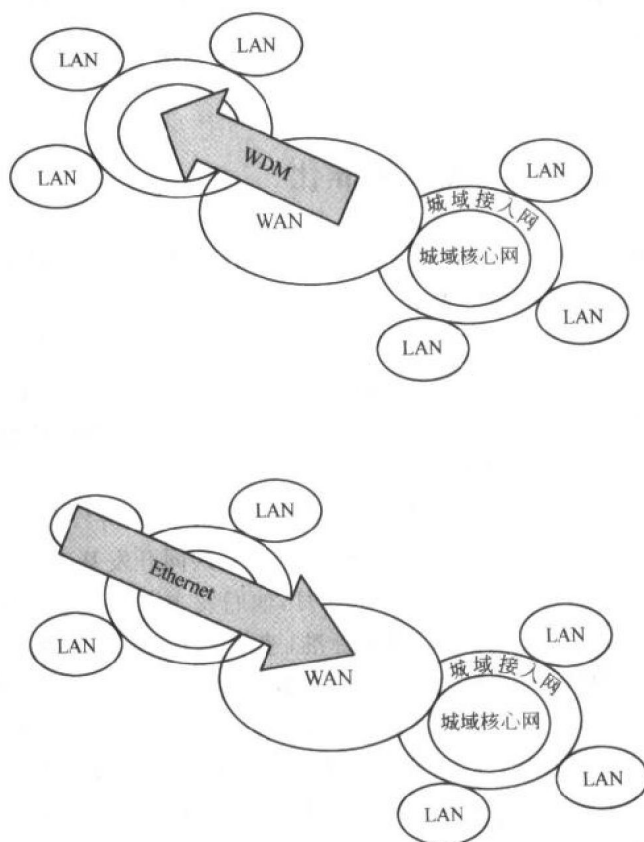


图 1-1 光通信与以太网技术在网络中的反向渗透

光以太网技术及组网应用正是本书的核心内容。在进入技术细节的具体论述之前,我们先回顾以太网发展的历史,再简要总结以太网技术,进而阐述光以太网的概念,给出光以太网的概貌,并扼要地介绍其关键技术、特点及应用。

1.1 以太网演进的历史

1.1.1 什么是以太网

传统上,以太网是指以碰撞检测/载波侦听-多址接入(CSMA/CD)协议作为 MAC 层算法的一类 LAN。然而,经过近 30 年的发展,以太网这类技术发生了深刻的变化。首先,这类技术已经应用于 MAN,甚至在向 WAN 延伸,而不再专属于 LAN;其次,1 Gbit/s 的以太网(1000BASE-X 和 1000BASE-T)既支持依靠 CSMA/CD 工作的半双工模式,也支持完全不用 CSMA/CD 协议的全双工模式;并且大于吉比特速率的以太网只采用全双工模式,完全忽略掉了 CSMA/CD 协议。因此,包括光以太网在内的新一代高速率以太网不再以 CSMA/CD 为标志,而是以 MAC 层控制算法、物理接口等,以及对传统以太网的兼容性为标志的新一代组网技术。

1.1.2 以太网的出现与标准化

通常认为以太网最初的原型是夏威夷大学的 ALOHA 网络。实际上,ALOHA 系统同时也是所有共享式媒质网络的先祖。

1973 年,为了连接跨度约为 1km 的 100 个工作站,Xerox 公司的 Robert Metcalfe 和 David Boggs 等人在 ALOHA 系统的基础上,设计了速率为 2.94 Mbit/s,采用 CSMA/CD 算法的 X-Wire 网络系统。这个网络系统的设计非常成功,并引起了当时的轰动,这就是最初的以太网。Robert Metcalfe 博士还把这种 LAN 命名为“以太网”,他也被认为是“以太网之父”。但是当时只将这个实验性以太网保留在 Xerox 公司内部,并没有得到传播。

几年后,DEC、Intel 和 Xerox 三家公司联合起来,共同开发基于 X-Wire 的网络产品,以促进以太网的商品化和标准化。1980 年 9 月,他们发布了以三家公司名字缩写命名的 DIX80 标准。这是第一个非正式的以太网标准,速率为 10 Mbit/s,采用粗同轴电缆。

DIX80 及其第二版 DIX82 极大地促进了国际电联 IEEE 802 计划的 LAN 标准化工作。1985 年 IEEE 公布了第一个正式的以太网标准——IEEE 802.3 标准,并根据物理媒质是粗或细同轴电缆,把当时的以太网分为粗以太网和细以太网两种。当时的以太网都采用总线拓扑结构,速率为 10 Mbit/s。后来,随着以太网市场扩大,802.3 标准中逐步加入了一系列中继器规范。

1.1.3 传统以太网的发展与提速

20 世纪 80 年代后期,基于非屏蔽双绞线(UTP:Unshielded copper Twisted Pair)的结构化布线系统得到了广泛应用。于是,1990 年,在 SynOptics Communications 公司的

促进下,IEEE 公布了使用双绞线为物理媒质的 10 Mbit/s 以太网标准(10BASE-T),并于同年公布了 LAN 网桥的工业标准——802.1d。

我国于 20 世纪 90 年代开始大规模应用以太网技术组建局域网,如校园网。当时多采用 UTP-3 或 UTP-5 类电缆连接 10 Mbit/s 的共享式集线器(hub)。多数 LAN 采用星型拓扑,或通过 hub 级联形成多星型拓扑。也有少数 LAN 采用同轴电缆和总线结构。

随着技术进步和以太网的普及,计算机性能、网络容量和应用需求都不断增加。因此 Grand Junction 公司成功地开发了基本特征与 10 Mbit/s 以太网相同,但速率达 100 Mbit/s 的高速以太网。大量 10/100 Mbit/s 兼容的以太网产品随之问世。与此同期,LAN 交换机(也称为交换式 hub 或交换式网桥)技术逐渐成熟并开始实用。这些进展促进 IEEE 分别于 1995 年和 1997 年公布了两项标准——快速以太网标准 IEEE 802.3u 和全双工以太网标准 IEEE 802.3x。

快速以太网标准的发布标志着 1980 年以太网速率的第一次飞跃。全双工以太网标准的发布标志着交换式以太网技术的成功。交换式以太网采用全双工模式,消除了由 CSMA/CD 带给以太网距离的限制,从共享式 LAN 到交换式 LAN 是以太网演进过程中革命性的进步,对光以太网的发展有极其重要的意义。

快速以太网和交换技术以惊人的速度应用在 LAN 的建设和升级中,二者结合所带来的优越性能进一步增长了人们对网络容量无止境的需求,进而给网络服务器和城域网接入网施加了更大的压力。

在 10 M 和 100 M 以太网中各有一个系列采用多模光纤作为物理媒质,即 10BASE-F 和 100BASE-FX。但是低于 Gbit/s 速率的以太网主要以 UTP 电缆为媒质,10BASE-F 和 100BASE-FX 这两种光以太局域网并没有像同期的 UTP 以太网那样得到广泛应用。以光纤为媒质的以太网兴起是从 Gbit/s 级以太网开始的。

1.1.4 光以太网技术的兴起与发展

交换式 LAN、微处理器和光通信技术的进步带给我们实现 Gbit/s 级以太网的技术可能性,网络应用与宽带业务的迅速发展成为 Gbit/s 级以太网技术推向市场的驱动力。因此,在 20 世纪 90 年代后期,各方面因素促使设备开发公司和标准化组织加紧进行 Gbit/s 级以太网的相关工作。1998 年,IEEE 完成并通过了以光纤为媒质,并且兼容半双工和全双工两种模式的 1 Gbit/s 以太网标准——IEEE 802.3z,实现了以太网速率和容量的再一次升级。以太网技术也自此从 LAN 开始向 MAN 延伸。1999 年,以 UTP-5 电缆为媒质的 1 Gbit/s 以太网标准也问世了,即 IEEE 802.3ab 标准。

随即,IEEE 的高速率研究组(HSSG: Higher Speed Study Group)和万兆以太网 A 等组织召集各大设备商和研究机构进行更高速率以太网的研究和标准化工作,并终于在 2002 年 3 月发布了 10 Gbit/s 以太网标准——IEEE 802.3ae。自此以太网速率可以跨越从 10 Mbit/s~10 Gbit/s 的多级粒度范围,这标志着以太网技术又一次大的飞跃。

Gbit/s 级的以太网主要以多模和单模光纤为物理媒质,实际应用中几乎只采用全双工模式,并且在 MAC 子层的控制策略、帧格式、物理层特性等方面都做了适合光网络技术

术的修改与完善,使以太网技术与光通信技术更好地融合在一起。同时,以太网技术对业务分类(CoS)、服务质量(QoS)、网络安全性和生存性等方面的支持大为改观。Gbit/s 级以太网出现不久,就成为在 MAN 和 WAN 上汇聚 IP 等数据业务流的低成本解决方案,以其优异的潜质和强大的竞争力给基于时分复用(TDM)的 OC-192 带来很大压力。

随着以太网技术向 MAN 和 WAN 的不断延伸,出现了各种将以太网技术与 SDH、MPLS、DWDM 等技术融合的方案,例如结合了以太网的简单、灵活优点和 SDH 环网能快速恢复特点的弹性分组环(RPR)技术;再如在 SDH 城域平台上嵌入以太网第二层交换技术的 EoS(Ethernet over SDH)方案。与此同时,以太网所能支持的超过速率促进了垂直腔表面发射激光器(VCSEL)、稀疏波分复用(CWDM)等光通信技术向接入网、局域网领域的渗透。整个通信网络的设计、建设和管理等各个方面从理念上都得以更新。

1.1.5 小结

以太网发展历史的重要事件和时间段如表 1-1 所示:

表 1-1 以太网发展历史小结表

时 间	历 史 阶 段	成 果
1968~1972	以太网技术起源	ALOHA 系统
1973~1980	以太网技术问世	X-Wire 网络、DIX80 标准
1980	10 Mbit/s 以太网发展与成熟	IEEE 802.3 标准族
1990~1994	交换式全双工以太网问世并发展	IEEE 802.3x
1992~1995	100 Mbit/s 以太网出现并迅速发展;以太网技术的第一次飞跃	IEEE 802.3u
1995~1999	1 Gbit/s 以太网出现;以太网技术向 MAN、WAN 延伸;以太网技术的第二次飞跃	IEEE 802.3z、IEEE 802.3ab
1998~2000	10/100/1 000 Mbit/s 以太网链路汇聚标准发布	IEEE 802.3ad
1999~2002	10 Gbit/s 以太网问世;通信网络系统观念上得到冲击和改观;以太网技术的第三次飞跃	IEEE 802.3ae
2000 年至今	RPR 技术、MSTP 技术出现和发展;光以太网技术向城域网渗透	IEEE 802.17 草案,信息产业部 MSTP 草案

1.2 传统以太网的关键技术

1.2.1 网络体系结构

IEEE 802.3 所制定的以太网体系结构对应着 OSI 七层模型最低的两层,即物理层和数据链路层,如图 1-2 所示。

物理层是 OSI 的最底层,为设备之间的数据通信提供传输媒体及互联设备,为数据

传输提供可靠的环境。具体说,在 LAN 中,物理层设备有各种粗/细同轴电缆、双绞线、多模/单模光纤、光/电的接收器/发送器、中继器、各类接头和插头等。

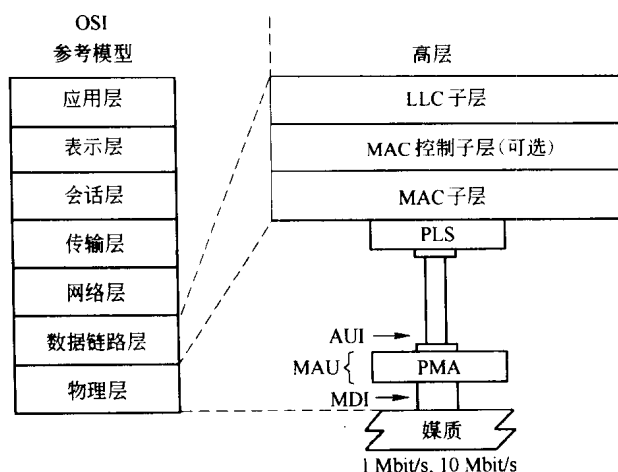


图 1-2 传统以太网的体系结构示意图

物理层的主要功能为数据端设备提供数据通路,传输数据,并完成物理层的一些管理工作。数据通路可以是一个物理媒体或多个物理媒体连接而成。数据传输是指提供足够的带宽并包括激活物理连接,传送数据,终止物理连接。物理层要形成适合数据传输需要的实体,保证数据在其上正确通过。

物理媒质与物理层之间是媒体相关接口(MDI),以使数据链路层的工作不受媒体类型的影响。

数据链路是在通信期间收发两端通过建立通信联络和拆除通信联络等过程而建立起来的数据收发关系。数据链路层的主要功能是负责链路连接的建立、拆除和分离,实现帧或分组的定界、同步与收发顺序控制,进行差错检测与恢复,并负责链路标识和流量控制等。在以太网中,数据链路层分成两个子层,一个是逻辑链路控制(LLC)子层,另一个是媒体访问控制(MAC)子层,从而使 LAN 体系结构能适应多种传输媒体,换言之,在 LLC 不变的条件下,只需改变 MAC 便可适应不同的媒体和访问方法。网卡和网桥是最常见的以太网链路层产品。

数据链路层的上层是网络层,负责复用、路由、中继、网络管理、流量控制以及更高层次的差错检测与恢复、排序等。网络层设备主要有网关和路由器。

从上面介绍的 OSI 参考模型各层功能看,在以太局域网中,网络层的寻址、排序、流量控制和差错控制等功能均可由数据链路层承担,因此允许在 OSI 的最低两层实现 OSI 中 1~3 层的服务。

1.2.2 帧格式

以太网上发送的数据是按一定格式进行的,并将此数据格式称为帧。在 MAC 子层