

宽带网络技术系列丛书

宽带网络技术原理

李宏乔 杨 峰 祝烈煌 编著
张龙飞 黎妹红 张明杰



机械工业出版社

高速宽带化是目前网络发展的主要方向，宽带网络技术已经成为人们关注的热点。本书围绕宽带网络的参考模型，从物理层和数据链路层详细描述了宽带骨干网络和宽带接入网络的技术原理。针对目前宽带接入方式的复杂性，详细地分析了目前应用非常广泛的 PPPoE 宽带接口技术。全书共分 13 章，第 1 章～第 3 章概括介绍了宽带网络的发展过程、技术特点及应用；第 4 章～第 6 章详细介绍了宽带网络的参考模型和宽带骨干网络技术；第 7 章～第 10 章详细描述了 4 种典型的宽带接入技术；第 11 章从理论和实例两方面介绍了宽带接口技术；第 12 章介绍了宽带网络的高层协议；第 13 章分析了这几种宽带技术在家庭和小区中的应用。

本书的内容深入浅出，语言简洁流畅，并配有大量的图片资料，适合广大的中级用户，在校学生、计算机网络管理和设计人员，对宽带感兴趣的爱好者，也可作为大中专计算机专业的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

宽带网络技术原理/李宏乔等编著.

—北京：机械工业出版社，2002.5

(宽带网络技术系列丛书)

ISBN 7-111-10154-5

. 宽... . 李... . 宽带通信系统—计算机通信网 . TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 020686 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策 划：胡毓坚

责 任 编 辑：田 梅

EBOOK 制作者：洪汉军

丛 书 序

随着 Internet 的快速发展，Internet 的接入速度、带宽和容量越来越成为用户关注的热门话题。人们对信息的需求比以往任何时候都要强烈，而这种需求也促使 Internet 本身发生了深刻的变化，即各种技术彼此互相融合，并向宽带 Internet 发展。高速宽带化网络是目前网络发展的主要方向，宽带网络技术及其提供的服务是近几年来人们关注的热点。如何在较短的时间内掌握宽带网络的应用、了解宽带网络技术、开发宽带网络上的应用服务，这是广大读者最期盼的。基于目前读者的需求，我们精心策划、组织编写了“宽带网络技术系列丛书”。该丛书由三本组成：《宽带上网实用指南》、《宽带网络技术原理》和《宽带增值服务开发实例》。从原理和实际应用两方面帮助读者全面地掌握宽带网络技术是本丛书的主要目的。每本书的内容及特点简要介绍如下：

1.《宽带上网实用指南》主要面向广大的互联网用户和网络爱好者，语言生动有趣、浅显易懂、图文并茂。这本书从宽带网络的基础知识入手，在基于实例的基础上，详细介绍了宽带网接入硬件的选购、安装、调试，以及相关软件的安装、设置，还介绍了宽带网络的增值服务，帮助读者熟练地使用宽带上网。

2.《宽带网络技术原理》主要面向广大的中级网络用户，包括在校学生、计算机工作者、宽带网络爱好者，全面地介绍了宽带网接入技术、宽带骨干网技术、宽带网 IP 技术、宽带网高层协议，还重点讲解了宽带网络的体系结构，为用户进行宽带网上的应用服务开发技术打下坚实基础。

3.《宽带增值服务开发实例》主要面向广大网络用户、网络管理员和网络软件设计人员，特别适合广大程序员。本书通过一些实例讲述了如何在宽带网开发视频点播、网络电话、虚拟专用网等增值服务，通过一个宽带网站构建的实例帮助读者迅速掌握宽带网的应用开发。

本丛书有如下特点：

- (1) 技术新、内容丰富。
- (2) 系统性强、适用面广。
- (3) 读者定位准确、功能性强、理论与实例相结合。

由于网络技术飞速发展，新技术和新概念层出不穷，对书中出现的不足之处，望广大读者提出宝贵意见，以便我们今后不断地改进，为推广我国的宽带网络技术及其应用而共同努力。

前 言

高速宽带化是目前网络发展的主要方向，宽带网络技术及其提供的服务是近几年来人们关注的热点。宽带网络是如何演进而来？与 Internet 有何区别？什么是宽带网络的参考体系？这些都成为计算机网络从业人员急于了解的关键问题。

本书根据作者多年来对网络的研究以及近几年来对宽带网络的研究和应用开发经验编写而成，本书借鉴 TCP/IP 模型，创造性地提出了宽带网络的参考模型。全书围绕宽带网络的参考模型，从物理层和数据链路层详细描述了宽带骨干网络和宽带接入网络的技术原理。针对目前宽带接入方式的复杂性，本书在数据链路层和网络层之间定义了宽带接口，并详细地分析了目前应用非常广泛的 PPPoE 宽带接口技术。在本书的最后，通过构建家庭网络和智能化小区网络的实例，进一步理解宽带网络技术的原理。第 1 章~第 3 章概括介绍了宽带网络的发展过程、技术特点及应用；第 4 章详细分析了宽带网络的参考模型；第 5 章详细介绍了宽带骨干网络技术；第 6 章介绍了宽带 IP 技术；第 7 章~第 10 章详细描述了 4 种典型的宽带接入技术；第 11 章从理论和实例两方面介绍了宽带接口技术；第 12 章介绍了宽带网络的高层协议；第 13 章分析了这几种宽带技术在家庭和小区中的应用。

本书有如下特点：

- (1) 系统性强。全书按照分层参考模型全面地讲解了复杂的宽带网络技术原理。
- (2) 适应面广。既突出了宽带网络的体系结构，又兼顾了不同宽带网络技术原理的广度和深度。
- (3) 便于学习。从原理和实例应用两方面讲解宽带网络技术。

本书由李宏乔、杨峰、张龙飞、祝烈煌、黎妹红、张明杰编写，感谢焦煜和刘强的支持与帮助。在本书的编写出版过程中，得到了机械工业出版社的大力支持，在此一并致谢。书中不足和纰漏望广大读者批评指正。

编 者

目 录

丛书序

前言

第 1 章 宽带网络概述	1	3.6 宽带网络的远程应用	28
1.1 Internet 的问题	1	3.6.1 远程教育	28
1.2 什么是宽带	2	3.6.2 远程医疗	29
1.3 宽带的市场驱动力	4	3.7 家庭信息网络	29
1.4 下一代 Internet	7	3.8 信息家电	30
1.4.1 下一代 Internet 关键技术	7	3.9 小结	31
1.4.2 NGI (下一代 Internet)	8	3.10 习题与思考	31
1.4.3 VBNS	9	第 4 章 宽带网络参考体系	32
1.4.4 Internet 2	10	4.1 宽带网络的分类	32
1.5 "三网合一" 是宽带	10	4.1.1 宽带接入网络	32
1.5.1 "三网合一" 的意义	10	4.1.2 交换网络	34
1.5.2 "三网合一" 方向	11	4.1.3 骨干传输网络	37
1.6 宽带网络的发展及技术走向	13	4.2 骨干网络的参考模型	37
1.7 小结	15	4.2.1 骨干网络的分层结构	37
1.8 习题与思考	15	4.2.2 物理层和链路层	40
第 2 章 宽带网络的特点	16	4.2.3 IP over X 模型	43
2.1 IP 协议为核心	16	4.3 宽带网络的互连	49
2.2 高速数据传输和交换	17	4.4 接入网络的参考体系	52
2.3 信息流向和流量的新特点	19	4.4.1 宽带接入的特点	53
2.4 服务等级和质量控制	21	4.4.2 宽带接入碰到的问题	54
2.5 新的路由和交换技术	22	4.4.3 宽带接入的技术分类	55
2.6 小结	23	4.4.4 宽带接入体系结构	56
2.7 习题与思考	24	4.5 小结	58
第 3 章 宽带网络的应用	25	4.6 思考与练习	58
3.1 多媒体电子邮件	25	第 5 章 宽带骨干网技术	60
3.2 可视化会议	25	5.1 IP 骨干网的解决方案	60
3.3 宽带网络游戏	26	5.1.1 IP 与 ATM 的结合	61
3.4 VOD 视频点播	27	5.1.2 IP 光网	63
3.5 IP 电话	27	5.2 IP over ATM	64

5.2.1 LIS 与 IPOA 体系结构	64	6.5 习题与思考	125
5.2.2 工作流程	66	第 7 章 xDSL 接入技术	126
5.2.3 ATM ARP 的地址解析	67	7.1 DSL 技术简介	126
5.2.4 下一跳地址解析协议	68	7.1.1 DSL 分类	126
5.2.5 其他 IPOA 技术	70	7.1.2 DSL 技术的发展	128
5.3 IP over SDH	73	7.2 ADSL	128
5.3.1 SDH 的基本概念及特点	73	7.2.1 ADSL 系统工作原理	129
5.3.2 SDH 主要技术	76	7.2.2 ADSL 技术性能与特点	135
5.3.3 IP over SDH	82	7.2.3 ADSL 调制技术	139
5.3.4 IP over SDH 协议和接口 规范	83	7.2.4 ADSL 应用与前景	141
5.3.5 IP over SDH 的应用方案	85	7.3 VDSL	144
5.3.6 IP over SDH 的特点	85	7.3.1 什么是 VDSL	144
5.4 IP Over DWDM	87	7.3.2 VDSL 的线路编码技术	145
5.4.1 IP over DWDM 的起因	87	7.3.3 上行多路复用	148
5.4.2 IP over DWDM 模型概念及 结构	88	7.3.4 VDSL 的噪声环境	152
5.4.3 DWDM 的概念及结构特征	90	7.3.5 VDSL 面临的问题	152
5.4.4 IP over DWDM 的网络特性	94	7.4 HDSL	154
5.4.5 MPLmS	97	7.4.1 HDSL 系统工作原理	154
5.5 小结	98	7.4.2 HDSL 的编码技术	158
5.6 习题与思考	99	7.4.3 HDSL 的典型应用	159
第 6 章 宽带 IP 技术	100	7.5 小结	161
6.1 宽带 IP 技术的发展	100	7.6 习题与思考	162
6.2 宽带 IP 交换及路由	101	第 8 章 HFC 接入技术	163
6.2.1 IP 交换技术原理	101	8.1 基于同轴电缆的接入技术	
6.2.2 IFMP 协议	103	HFC	163
6.2.3 GSMP 协议	107	8.1.1 什么是 HFC	163
6.3 多协议标记交换 (MPLS)	109	8.1.2 HFC 网的设备构成	164
6.3.1 MPLS 的产生和发展	109	8.1.3 HFC 网络的构成	165
6.3.2 MPLS 的体系结构	112	8.1.4 HFC 数据通信技术	167
6.3.3 MPLS 的关键技术和核心 协议	115	8.1.5 HFC 网络的优势	170
6.3.4 流量工程	118	8.2 Cable Modem	170
6.3.5 MPLS 服务质量 (QoS)	122	8.2.1 什么是 Cable Modem	170
6.4 小结	124	8.2.2 Cable Modem 技术原理	171
		8.2.3 Cable Modem 的内部结构与 工作过程	171
		8.2.4 Cable Modem 标准和规范	173

8.2.5 在 HFC 宽带网络中应用	10.2.2 中宽带无线接入技术	215
Cable Modem	10.3 固定宽带无线接入技术	217
8.2.6 Cable Modem 的优势	10.3.1 LMDS 接入技术	217
8.3 上行传输	10.3.2 多通道多点分配业务 (MMDS)	220
8.4 双向 HFC 接入技术原理	10.3.3 卫星直播系统 (DBS)	221
8.5 小结	10.4 移动宽带无线接入技术	223
8.6 习题与思考	10.4.1 WCDMA 的主要特点	224
第 9 章 高速以太网接入技术	10.4.2 WCDMA 的物理层技术 标准	224
9.1 以太网技术基础	10.4.3 WCDMA 和 CDMA2000 的 比较	227
9.1.1 局域网概述	10.5 ISM 频段内无线接入技术 与无线局域网技术	228
9.1.2 局域网体系结构	10.5.1 蓝牙技术	229
9.1.3 以太网标准 IEEE 802.3	10.5.2 IEEE 802.11	235
9.2 以太网技术的发展	10.5.3 HomeRF 技术	236
9.2.1 共享以太网的缺陷	10.6 小结	241
9.2.2 交换式以太网	10.7 习题与思考	241
9.3 第三层交换与虚拟局域网	第 11 章 宽带接口技术	242
9.3.1 第三层交换的概念	11.1 宽带接入的要求	242
9.3.2 虚拟局域网 VLAN	11.2 PPP 协议	243
9.4 千兆位以太网	11.2.1 PPP 协议规范	243
9.4.1 千兆位以太网概述	11.2.2 LCP 包格式	247
9.4.2 千兆位以太网使用的传输 介质	11.2.3 PPP 链路操作	250
9.4.3 千兆位以太网的优点	11.3 PPPoE 协议	252
9.5 FTTH+LAN 实现宽带接入	11.4 PPPoE 与现存 PC-to-xDSL 技术的比较	257
9.6 小结	11.5 应用 PPPoE 的 ADSL 接入 实例	261
9.7 习题与思考	11.6 小结	264
第 10 章 宽带无线接入网与无线 局域网	11.7 习题与思考	264
10.1 无线接入网的概念和基本 结构	第 12 章 宽带网络高层协议	265
10.1.1 无线接入网的概念	12.1 宽带网络服务质量 (QoS) 问题的提出	265
10.1.2 无线接入网的基本结构	12.1.1 QoS 的定义	265
10.1.3 无线接入网的接口		
10.1.4 无线接入技术的领域		
10.2 无线接入技术及标准化		
10.2.1 固定无线接入技术分类		

12.1.2 宽带网络上 QoS 分类	266	应用	288
12.2 资源预留协议 (RSVP)	267	13.1 宽带网络化家庭	288
12.3 QoS 的解决方案	270	13.1.1 宽带家庭网络的发展趋势	288
12.3.1 综合服务模型 (IntServ)	270	13.1.2 宽带家庭网络的构成	290
12.3.2 区分服务模型 (DiffServ)	274	13.1.3 如何创建宽带家庭网络	292
12.4 其他 QoS 方案及展望	283	13.1.4 未来的智能家庭网络	295
12.5 流传输协议: RTP 和 RTCP	284	13.2 宽带小区网络	296
12.5.1 RTP/RTCP 的特征	284	13.2.1 宽带小区的概念	296
12.5.2 RTP 协议的实现	285	13.2.2 宽带小区网络的构建	299
12.5.3 实时控制协议 RTCP	286	13.2.3 宽带小区构建实例	300
12.6 小结	287	13.3 小结	304
12.7 习题与思考	287	13.4 习题与思考	304
第 13 章 宽带在家庭和小区中的		附录 宽带网络常用缩略语	305
		参考文献	307

第 1 章 宽带网络概述

Internet 已经成为世界上覆盖面最广、规模最大、信息资源最丰富的计算机信息网络。但随着 Internet 的快速发展, Internet 的接入速度、带宽和容量越来越成为用户关注的热门话题。Internet 时代的到来,使人们对信息的需求比以往任何时候都要强烈,不仅仅是家庭用户,局域网、小型办公室(SOHO)以及智能化小区都迫切地要求接入 Internet,这就是人们常说的“最后一公里接入”问题。这种需求促使 Internet 本身发生着深刻的变化,即各种技术互相融合,向宽带 Internet 发展。

1.1 Internet 的问题

Internet 的快速发展让设计者们始料不及,也给目前的 Internet 带来了不可回避的问题。

1. 用户数量和业务急剧增长

Internet 的规模现在以每月 10%左右的速度增长,业务量每 6~9 个月就翻一番。据预测,到 2002 年底全球 Internet 用户将达到 3~10 亿。除了用户数量以指数增长外,业务带宽需求也呈现指数增长态势。例如,在 1990 年前后,Internet 的主要业务是 E-mail,所需带宽仅 1Kbps 左右;到 1995 年,主要业务变成万维网浏览,美国的万维网站点数每 57 天就翻一番,到 2000 年以后,交互式多媒体已成为重要业务,所需带宽达到 5Mbps。10 年间,业务带宽的增长了 4 个数量级,这些变化使 IP 业务所需的带宽呈爆炸式增长,形成了新时期网络带宽增长的主要驱动力量。

2. 网络协议难以满足要求

Internet 上最为核心的 TCP/IP 协议最初是为提供非实时数据业务而设计的。为了使 IP 网络不仅能传送非实时的数据信息,而且还能传送实时多媒体数据信息,必须修改和补充当前的网络协议。各类国际标准化组织(如 ITU, IETF 等)已开始起草并完成了一些用于 IP 实时通信的标准以及服务质量方面的标准,如实时传输协议(RTP)、实时传输控制协议(RTCP)、资源预留协议(RSVP)、IP 多播技术等。在这些技术的支持下,Internet 提供的应用及业务将能够覆盖综合业务网的业务类型。

3. 网络安全

刚开始时连入 Internet 的用户都是侧重于研究与开发的机构,其中的研究人员都互

相间了解,并且他们与军队和政府的密切关系使安全性不是一个主要问题。更重要的是,很久以来人们认为安全性议题在网络协议栈的低层并不重要,应用安全性的责任仍交给应用层。因此,TCP/IP 只具备最少的安全性。

4. 业务的流量呈自相似性和收发不对称性

随着 IP 网络业务量的增加,网络中的流量呈现出自相似的特点,即某一链路上不管业务流的并发数量有多少,其流量均具有相同的特性。因此,为减少网络的拥塞,IP 网络必须具备承受比传统电信网络更高的平均峰值与平均负载比的能力。同样,由于 IP 网络上的应用特点,网络上的流量呈现出明显的收发不对称性。

解决以上这些问题就需要采用地址容量更大、传输速度更快的网络类型,宽带网络。

1.2 什么是宽带

宽带 (BroadBand) 从技术上说,是指在同一传输介质上,可以利用不同的频道进行多重 (并行) 传输,并且速率在 1.54Mbps 以上。传统使用的模拟 Modem 接入网络时,速率最高不超过 56Kbps,而使用宽带接入设备如 10/100Mbps 自适应网卡时传输速率可达 10Mbps,是模拟 Modem 速度的 180 倍。

通常人们把骨干网传输速率在 2.5Gbps 以上、接入网的传输速率能够达到 1 Mbps 的网络定义为宽带网。宽带网建设分为三层,骨干网、城域网和社区接入网。骨干网相当于城市与城市之间的高速公路,城域网相当于城市市区内的道路,社区接入网解决的则是将道路从市区一直延伸到小区,直至抵达每个家庭用户。

在宽带接入方面,有多种技术存在,主要有 ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Loop,非对称数字用户环线)、HFC (Hybrid Fiber Coaxial,光纤同轴电缆混合网)、以太网(目前最流行的 FTTB :Fiber To The Building,光纤到楼)以及无线接入,包括 MMDS (Multi-channel Multi-point Distribute System 多通道多点分配系统)、LMDS (Local Multi-point Distribute Service 本地多点分配系统)和 DBS (Direct Broadcast Satellite 直播卫星)等。

接入宽带后,上网速度大大加快。下载一本大百科全书,可能只要几秒的时间,还可以随意地在网上下载最流行的电影来观看,或者下载一个庞大的文件。这仅仅是宽带给我们带来便利的一方面。

宽带网络时代的到来,还将改变人们的信息沟通和商务交流方式,对带宽要求不高的语音传输,可能会变成免费服务。宽带网络的发展也给 Internet 服务提供商带来了许多新的业务,如开发智能化社区服务系统、会议电视系统、网上教育、远程医疗等以及其他许多意想不到的新型服务。如果说在 20 世纪电话和计算机的拥有量表明了一个国家的信息化程度的话,那么,在 21 世纪衡量一个国家信息化水平的标准,将由带宽来

取代。因为信息高速公路，就是架构在高速宽带网络之上的。

“数字化革命”的作者尼葛罗庞帝甚至指出，“21世纪国力竞争的惟一标准就是带宽。”宽带到底离我们有多远网络到底需要有多宽，才能满足人们的需要？英特尔、康柏等公司曾经进行研讨，认为超过 300~500Kbps 就可以作为一个比较合理的宽带应用了。而现在人们所说的宽带，其传输速度通常超过 2Mbps 以上，它已经能够满足人们的大量下载以及影音传输的基本需要。但从长远看，以后发展的高清晰电视，2Mbps 的传输速度显然不够，如果采用比较良好的压缩技术，会在 5~6Mbps 的水平，甚至十几兆比特每秒。当然技术和市场的演进是一个逐步发展的过程。

就现阶段而言，2Mbps 的带宽已经能够满足人们获得大量网络信息的要求，而且能够提供达到 2Mbps 传输速度的多种带宽技术已经成熟。各种技术之间竞争激烈，更促进了宽带网络市场的发育。目前，在国外普遍采用 ADSL 与 HFC 技术来实现宽带接入。ADSL 的最大好处在于它能实现在普通电话线基础上的改造；HFC 技术是利用有线网络进行的双向传输改造，通过在家中安装一个调制解调器来实现宽带接入。这两种技术的优点，都是投资少，见效快，缺点是带宽升级潜力有限。近年来一种名为千兆以太网的高新技术被广泛应用并且发展很快。尤其在国内，很多新建小区普遍采用了这一技术。该技术的最大优势是具有很大的带宽升级潜力，以太网今天能够达到 10Mbps，明天就可能达到 100Mbps，甚至可以达到 1000Mbps。但缺点是需要重新建设，投资大，难以利用现有网络使绝大多数用户迅速享受到宽带服务。

事实上，宽带网基础设施的建设基本包括两部分：用户接入网和骨干网。用户接入网方面的技术成熟以后，骨干网会不会成为人们介入互联网的瓶颈？据了解，中国已经把国际出口和入口网宽带纳入了发展计划。

- 国际线路方面，出口带宽 1999 年底为 351Mbps，2000 年底已经超过 700Mbps；
- 基础设施已经建成的有：中日、中韩、环球海底光缆系统、亚欧陆地光缆系统；
- 正在建设中的有：亚太 2 号海底光缆、中美海底光缆、亚欧海底光缆。

据互联网实验室预测，到 2002 年底中国出口带宽肯定会超过 10Gbps，中国网络大提速的时代已经到来。为了让更多的老百姓更快地跨入宽带时代，在很多大城市随着新建小区的建设，千兆以太网使少数搬入新居的城市居民率先享受到宽带接入的“网络魅力”。但对绝大多数网络用户而言，还只能在 56Kbps 拨号上网和 128Kbps 的 ISDN 两种网络接入方式之间进行选择。因此，对现有网络进行快速改造，是满足普通网络用户日益迫切的宽带需求的主要手段。

宽带技术带来的影音网络时代正在悄然到来。网络的未来，不仅能传输文字、动画，更能高质量地传输声音、影像。现在高速的宽带互联网、一个交互式的多媒体网络时代，正在随着技术的成熟而加速到来。

下面这个例子是“光纤+局域网”的接入方式，也就是以太网直接到用户的方式。用户通过局域网以 10Mbps 或 100Mbps 的速度接入宽带 IP 网络。宽带网接入示意图如图 1-1 所示：

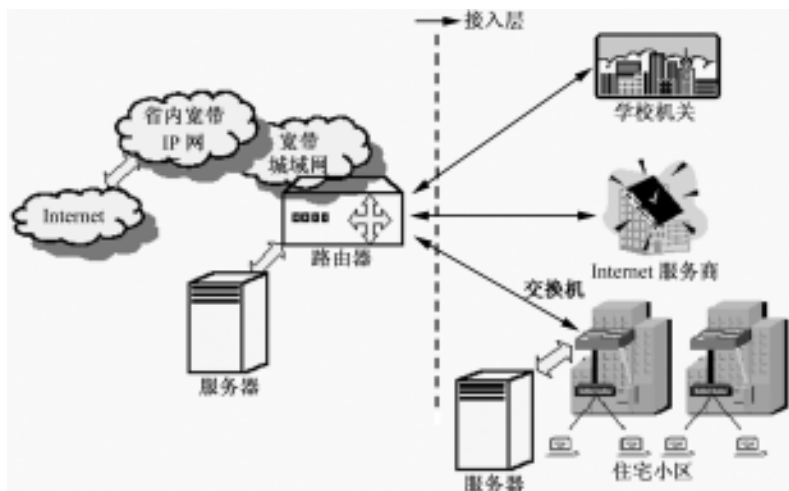


图 1-1 一种宽带接入解决方案

它的特点如下：

- 传输带宽（提供 100Mbps 到大楼、10Mbps 到桌面的高速接入）；
- 提供各种多媒体服务（视频点播、远程教育、远程医疗、电子商务、举行电视会议、拨打视频电话等）；
- 24 小时随意上网，不受时间限制；
- 全新的网络结构，无需使用电话线；
- 结构简单，维护方便（只需增加一个附加设备即可）；
- 可靠性和安全性高、扩展性强；

宽带技术的运用为用户提供了宽广的应用平台，搭建了一条真正的信息高速公路，以前在窄带传输中不能够实现的应用如今都可以得到实现。

1.3 宽带的市场驱动力

Internet 流行于 20 世纪 80 年代末期。当时，Internet 用户主要是大专院校和一些商业机构，大多数用户都具有一定的技术背景。除学术界以外，Internet 并没有让人们产生广泛的兴趣。后来，基于 Internet 的电子邮件及新闻组开始涉及到其他学科，随着更多用户开始定期地访问 Internet，人们可以得到更多不同信息和主题，由此产生了对高速接入 Internet 的不断需求。因此，网络上的服务是 Internet 发展的推动力。

1. 宽带万维网

起初，Internet 主要是基于文本的。万维网的出现改变了这一现状，它允许发送和接收文本与图像。这就增加对较高接入速率的需求，因为图像比文本需要更大量的数据

传送。万维网有一个简单而吸引人的图形用户界面，并且只需要使用一个鼠标和不多的文字录入。图 1-2 所示的是一个典型的宽带万维网站。



图 1-2 一个典型的宽带万维网站

万维网网站的规模急剧增长，在现有的 1.6×10^7 多个网站中，万维网广泛的主题内容令人吃惊。通常万维网页面大小是随内容而变化的，现在一些页面包含多媒体信息，即文本、图像、音频、视频。对高质量图片即使采用了压缩格式 (JPEG)，其大小也很少有在 40KB 以下的。大部分高质量音频片段的大小在几百千字节左右，大部分视频片段在几兆到几百兆比特左右。随着用户继续使用万维网，人们对较高带宽的要求也不断增长，因为用户不愿等待漫长的数据传输过程，他们需要更快的响应速度。

新的万维网技术支持实时音频、视频、流媒体及三维图像的传输。随着连接速度的增加，万维网页面变得更加复杂，需要更宽的带宽来实现游戏、购物、娱乐及教育等软件的应用，因此对较高带宽的需求与日俱增。

2. 宽带服务商

在 20 世纪 90 年代，Internet 服务提供商 (Internet Service Providers, ISPs) 和网络服务提供商 (Network Service Providers, NSPs) 开始普及起来。典型的 NSP 允许用户拨号接入万维网和 Internet，并提供其他服务。如：电子邮件、教育工具、银行、娱乐等。通常，用户通过 PSTN (Public Switched Telephone Network, 公众电话交换网络) 上的音频 Modem 接入 NSP，此外还有一些可用的较高速率技术，如 ISDN (传输速度为 128Kbps)、T1 (传输速度为 1.544Mbps)，但这些技术比较昂贵且更适合商用而非住宅用户。20 世纪末 ISP 和 NSP 的数量增长迅速，这些服务的用户数量已接近 1 亿，并有望得到进一步增长，基于 Modem 的 56Kbps 线路根本无法满足需要。

3. VOD

VOD 的全称是 Video on Demand, 意即按需要的视频流播放。当收看电视时, 可以不看广告, 不为某个节目赶时间, 随时直接点播希望收看内容, 就好像播放刚刚放进自己家里录像机或 VCD 机中的一部新片子, 而且不需要购买录像带或者 VCD 盘, 也不需要录像机或者 VCD 机。图 1-3 所示为一个 VOD 网站实例。信息技术的梦想就是通过多媒体网络将视频流按照个人的意愿送到千家万户。在宽带网络的应用中, VOD 最贴近百姓生活, 但是它的技术难度也最大。

4. SOHO

小型办公室/家庭办公室 (Small office/home office, SOHO) 给宽带技术应用带来了另一较好的机会。在该应用中, 宽带接入技术可用于连接 SOHO 到公司的局域网或 Internet, 或同时连接到两者。远距离工作者连到公司的局域网上, 其工作效率和响应速度就像在公司的办公室里办公一样。这也需要较高的接入速度。

5. 移动 Internet

中国移动电话用户在 2001 年 10 月底达到 1.26 亿户, 已经超过美国居世界第一位。这些用户将日趋需要使用无线接入方式, 并且将不仅仅要求能进行话音通信, 还要求更丰富的通信业务, 如访问 Internet、Intranet, 进行电视会议, 发送和接收高质量的图像等。这些是传统无线接入网络无法实现的, 只能采用传输速度更快的无线网络。

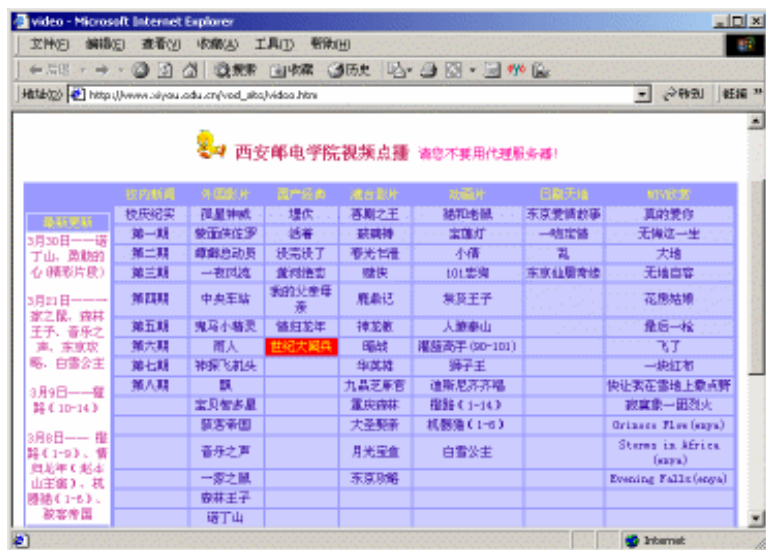


图 1-3 一个 VOD 网站实例

1.4 下一代 Internet

Internet 的爆炸式发展及其对社会的冲击让人始料不及,鉴于目前 Internet 发展的问題,各国纷纷投入人力进行下一代 Internet 的研究。

1.4.1 下一代 Internet 关键技术

宽带网络的发展,给 Internet 带来了许多新问题。为了更好地将宽带技术应用到 Internet 中,必须解决下述关键问题。

1. IP 地址的扩容

网络规模的扩大及新服务的出现,必然导致对 IP 地址的需求大量增加。不仅移动电话而且其他个人电子设备如 PDA、掌上电脑等都需要 IP 地址,并且那些需要通过互联网交换信息的设备如汽车、自动售货机、家用电器和其他机器设备等都要有独立、唯一的 IP 地址。

IP 地址就好比在一幢大厦中,不同的单元要有自己的门牌号以便有所区分一样。现在全球广泛应用的 IP 地址,是基于 IP 协议的版本 4,也就是人们所说的 IPv4,根据 IPv4 所规定的以 32 位地址编码,它总共可以支持 40 亿个 IP 地址。在 IPv4 开始实施的时候,人们以为 40 亿个 IP 地址足够用了,然而现在人们逐渐意识到,当初的估计实在过于保守,互联网用户的急剧膨胀和移动互联网的兴起,已经使现有的 IP 地址到了面临枯竭的地步。

与此同时,人们也发现,尽管 IPv4 能够支持 40 亿个 IP 地址,但是这些地址在全球分布得很散,且使用的效率不高,同时也不可能被完全充分的利用。因此,人们提出了一个解决办法,就是利用现在的 IPv4 网络中名为 NAT 的基本模块,使计算机能在公共网络和私有网络之间进行地址转化,从而减少了对公共 IP 地址的需求。

尽管 NAT 能够推迟 IP 地址耗尽的时间,但其他新的应用正在不断地对网络中的地址和操作系统提出更多的要求。现行的 IP 协议版本 IPv4 显然不能满足这么巨大的地址需求,互联网工程特别小组(IETF)估计目前的资源将会在 2010 年枯竭。尽管 IPv4 还能够提供几亿个 IP 地址,但是考虑到移动终端用户数量成指数型增长,IPv4 的 NAT 绝不是一个合适的解决方案。

目前全世界的移动终端数量超过 7 亿,而且使用移动电话终端的潮流才刚刚开始,并且包含诸如自动门禁、防盗自动警铃等设备的下一轮终端浪潮已经显露。为了解决这个问题,互联网专家们设计出了 IP 协议版本 6(IPv6)。IPv6 扩展了地址空间,它的 128 位地址空间与 IPv4 的 32 位地址空间相比,几乎可以无限制地提供新 IP 地址。专家们形容扩展后的 IP 地址数量足够为地球上的每一粒沙子分配一个独立地址。目前业界已经广泛认可 IPv6 的优势,并已经开始进行 IP 协议的演进工作。1994 年互联网工程特别小组批准了推荐 IPv6 成为标准协议的建議。之后,很多厂商开始了开发和测试项目,所

有主要路由器生产商都承诺在其产品中增加支持 IPv6 的功能。

2. 组播 (Multicasting)

这种技术可使信息发布者只要往网络上发送一份拷贝, 不管接收者有多少, 网络将在需要时复制这个数据, 并找到需要这个数据的主机。组播目前只能在 Internet 的虚拟子网上执行。但由于它处于 IPv4 的背景下, 再加上当前 Internet 的速度限制, 能做的事相当有限。只有在下一代 Internet 环境中才能真正体现出组播的强大功能。

3. 安全性

网络与数据安全是下一代 Internet 的关键问题。面对信息安全问题, 人们采用加密技术。随着美国政府放松对加密技术的出口限制, 加密技术将在全世界得到广泛地应用, 特别是在安全邮件和文件存储领域。密码专家将继续开发越来越复杂的算法和解决方案, 密码分析也将得到充分发展。

新的 IP 协议将包含两个提供高级通信安全的功能, 报文鉴别首部与安全性封装首部。报文鉴别首部将为出自于熟悉和可信赖的消息源提供保证, 保证一旦上网后能追踪到消息源。也就是说, 报文鉴别首部将识别消息的来源和识别出消息是熟人或可信赖的人发过来的; 安全性封装首部是一种保证消息从源头到终点完整无缺的手段, 保证消息的内容不让黑客看到。该首部的定义支持多种格式与算法。

包含这些关键技术解决方案的网络, 就是下一代 Internet。可以说, 当前的宽带网络正是下一代 Internet 的雏形。分析和理解世界各国的下一代 Internet 计划, 可以更好地掌握宽带网络的前进与发展。

目前进行的下一代 Internet 的研究计划有: 美国白宫的下一代 Internet (NGI) 创新计划; 美国自然科学基金会 (NSF) 的超宽带网络服务 (VBNS); 由美国 120 多所大学、协会、公司和政府机构共同建设的 Internet 2 网络。下面分别介绍它们的发展情况。

1.4.2 NGI (下一代 Internet)

下一代 Internet 是美国政府在 1996 年 10 月倡议, 由多个机构共同进行研究的项目。NGI 的研究工作主要涉及协议、开发、部署高端试验网以及应用演示, 其中某些目标会通过 Internet 2 或 VBNS 来实现。

在所有研究计划中, NGI 可以说是最领先的, 尤其是美国国防部高级研究计划局和国防部投资的一级网络 (Class 1), 已经对网络技术的适应性进行了实验。其中有些网络甚至与 TCP/IP 没有关联。NGI 的一个关键目标是开发和演示两个试验网, 要在端到端速度方面比目前 Internet 的速度快 100 ~ 1000 倍, 即达到 100Mbps ~ 1Gbps。NGI 将要试验的网络业务包括事务处理安全性和网络管理等各个方面。现在的努力方向是尽可能利用现有的产品和业务, 并且使 NGI 容易与企业进行合作研究。

NGI 制定的三个目标是:

- 用比今天 Internet 快 100~1000 倍的高速网络连接大学和国家实验室,要有 100 所大学和国家实验室连接网络的速度将比今天的 Internet 快 100 倍,推动下一代 Internet 技术实验,例如,研究一些能提供高质量会议电视等实时服务的技术,并使 Internet 可容纳的用户增加 100 倍,为开发新的业务提供环境。
- 开展新的应用,满足国家重点项目的需求。速度更高、带宽更宽、性能更先进的网络将促进下一代应用的开发,如医疗保险、国防安全、远程教育、能源和生物医学研究、环境监测及制造工程等。
- 在高级应用领域进行研究与开发。应用内容主要包括“利用网络的合作研究技术”、“远程操作和模拟”、“分布式计算”和“保密与安全”;涉及到的学科包括“基础科学”、“教育”、“环境”、“联邦信息服务”、“远程医疗”和“制造”等。具体实例包括美国国立卫生研究所(NIH)的“分布式电子发射层面 X 射线照像图像技术”,“医学图像图书馆”,美国国家标准与技术研究所(NIST)的“扫描隧道显微镜的远程机器人操作应用”和 NSF 的“中尺度气象研究模拟实验室”等。

NGI 计划预期 5 年,1999 年建成了连接 100 多个站点的“100 倍速”的下一代 Internet 实验网;到 2002 年将完成“1000 倍速”的超高速下一代 Internet 网及相应的高级应用研究,并从中受益。

NGI 的关键技术包括:

- 超快速全光学网络;
- 更快的交换机和路由器;
- 保证实时业务 QOS 新协议的制定和实施;
- 新的 IP 协议 IPng (IP next generation),以解决 IP 地址短缺等问题;
- 多点广播技术;
- 能复制发向全 Internet 的数据软件,以减少瓶颈;
- 度量网络性能的软件;
- 保证网络信息安全可靠和网络鲁棒性的软件;
- 运行的经济模型的计费和管理系统。

1.4.3 VBNS

在 NGI 和 Internet 2 之前,美国国家科学基金会(NSF)就已准备建立一个专用网,即 VBNS(超高带宽网络服务),NSF 与美国的第二大通信公司 MCI 合作建立 VBNS,主要任务是为美国研究教育界提供有价值的高性能应用、服务、技术和协议,对合格的研究机构和高等院校用户提供下一代网络服务,为正在演化中的 Internet 服务和技术提供一个试验环境,它禁止私人 and 个体商业等其他用途的使用,只有经美国国家科学基金会网络与通信研究和基础设施批准授权的研究教育机构方可使用 VBNS。VBNS 自 1995 年 4 月投入运行,到 1997 年秋 VBNS 已铺设 2253km 的 622Mbps 线路,同时还提