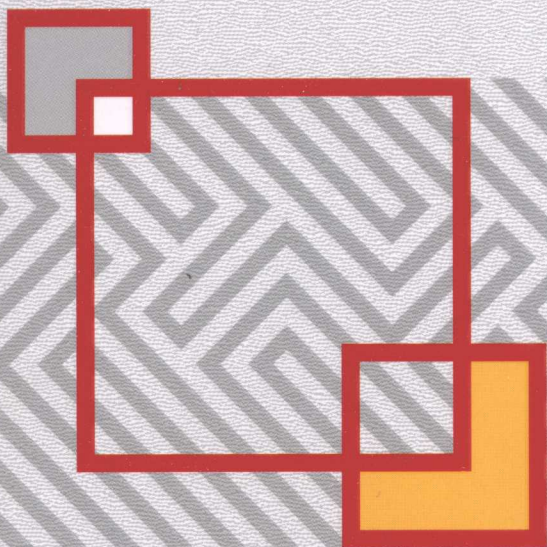


21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

宽带IP网络

毛京丽 编著

Broadband IP Network



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

21世纪高等院校信息工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

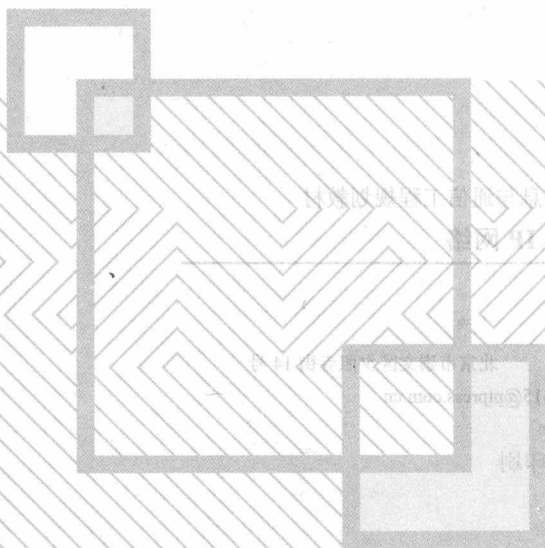
毛京丽 编著

宽带IP网络

主要内容

本书主要介绍宽带IP网络的基本概念、TCP/IP协议、宽带IP网络的基本原理、宽带IP网络的基本结构、宽带IP网络的基本应用、宽带IP网络的基本技术、宽带IP网络的基本设备、宽带IP网络的基本协议、宽带IP网络的基本标准、宽带IP网络的基本规范、宽带IP网络的基本法规、宽带IP网络的基本政策、宽带IP网络的基本规划、宽带IP网络的基本设计、宽带IP网络的基本施工、宽带IP网络的基本维护、宽带IP网络的基本管理、宽带IP网络的基本评价、宽带IP网络的基本展望。

Broadband IP Network



人民邮电出版社
样书
专用章

人民邮电出版社

北京



精品系列

图书在版编目(CIP)数据

宽带IP网络 / 毛京丽编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.1

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-21672-4

I. ①宽… II. ①毛… III. ①宽带通信系统—计算机
通信网—高等学校—教材 IV. ①TN915.142

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第210690号

内 容 提 要

本书在介绍宽带IP网络基本概念、TCP/IP的基础上,全面地讲述了宽带IP网络的相关技术。主要包括:局域网技术、宽带IP城域网、宽带IP网络的传输技术和接入技术、路由器技术和路由选择协议,另外还研究了宽带IP网络的安全及下一代网际协议IPv6。

本书取材适宜、结构合理,并重于基本理论和实际应用技术,且能够跟踪新技术的发展。在编写方面,力争做到阐述准确、文字简练、条理清晰、深入浅出、循序渐进。另外,为便于读者学习过程的归纳总结,提高分析问题和解决问题的能力,在每章最后都附有重点内容小结及习题。

本书既可作为高等院校通信专业本科或研究生教材,也可供从事通信工作的科研和工程技术人员学习参考。

21世纪高等院校信息与通信工程规划教材

宽带IP网络

◆ 编 著 毛京丽
责任编辑 滑 玉

人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

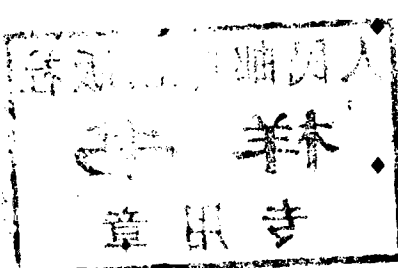
◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19
字数: 465千字
印数: 1—3000册

2010年1月第1版
2010年1月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-21672-4

定价: 34.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



随着信息技术的飞速发展和 IP 网用户数量的迅猛增加以及多媒体应用需求的不断增长,人们对 IP 网提高带宽的渴望越来越强。

初期的 Internet 仅提供文件传输、电子邮件等数据业务,如今的 Internet 集图像、视频、声音、文字、动画等为一体,即以传输多媒体宽带业务为主,由此 Internet 的发展趋势必然是宽带化——向宽带 IP 网络发展,宽带 IP 网络技术则应运而生。

“宽带 IP 网络”课程是通信工程专业的一门非常重要的必修专业课程。对于通信工程和其他相关专业的学生来说,建立宽带 IP 网络的概念,学习 TCP/IP,掌握宽带 IP 网络实际应用技术等是至关重要的。

为了使学生更好地掌握宽带 IP 网络技术,本书在编写过程中注重教学改革实践效果和宽带 IP 网络新技术的发展。

全书共有 9 章。

第 1 章概述,简单介绍宽带 IP 网络的概念及发展过程、宽带 IP 网络的组成及特点,宽带 IP 网络的 QoS 和宽带 IP 网络的关键技术及发展趋势等内容。

第 2 章宽带 IP 网络的体系结构,首先概括介绍 TCP/IP 参考模型的各层功能及协议,然后详细论述 IP 及辅助协议(ICMP, ARP 和 RARP, IGMP)、UDP 和 TCP 及应用层各种协议等。

第 3 章局域网技术,首先介绍局域网的定义及特征、局域网的组成、分类和局域网标准,然后具体论述传统以太网的介质访问控制协议和几种常见的传统以太网、扩展的局域网、高速以太网、交换式局域网、虚拟局域网(VLAN)和无线局域网等内容。特别是对应用较普遍的交换式局域网和虚拟局域网的相关问题进行深入探讨。

第 4 章宽带 IP 城域网,首先介绍宽带 IP 城域网基本概念,然后详细阐述宽带 IP 城域网的分层结构和宽带 IP 城域网的带宽扩展与管理、用户接入认证,最后介绍宽带 IP 城域网的 IP 地址规划问题。

第 5 章宽带 IP 网络的传输技术,详细介绍宽带 IP 网络常用的几种传输技术:IP over ATM, IP over SDH, IP over DWDM 和吉比特以太网技术(GE)的概念、分层结构和优缺点等内容。

第 6 章宽带 IP 网络的接入技术,讲述宽带 IP 网络常用的几种接入技术:ADSL, HFC, FTTX+LAN 和宽带无线接入技术的相关内容。

第 7 章路由器技术和路由选择协议，首先介绍路由器的层次结构及用途、路由器的基本构成、主要功能、路由器的基本类型和路由器的关键技术等，然后论述几种 IP 网的路由选择协议，包括内部网关协议 RIP（路由信息协议）、内部网关协议 OSPF（开放最短路径优先）和外部网关协议 BGP（边界网关协议），最后对 IP 多播路由选择协议和 QoS 路由进行了研究。

第 8 章宽带 IP 网络的安全，首先介绍宽带 IP 网络安全的基本概念，然后讨论 VPN 的概念和 IP VPN 的相关内容。

第 9 章下一代网际协议 IPv6，介绍 IPv6 技术的引入及其特点、IPv6 数据报格式、IPv6 地址体系结构和 IPv4 向 IPv6 过渡的方法等内容。

本书在编写过程中，得到了勾学荣教授、李文海教授的指导以及董跃武等老师的帮助，在此表示感谢！

另外，本书参考了一些相关的文献，特别是谢希仁老师编著的《计算机网络》（第 5 版）、龚向阳等编著的《宽带通信网原理》等，从中受益匪浅，在此对所有参考文献的著作者表示深深的感谢！

由于编者水平有限，若书中存在缺点和错误，恳请专家和读者指正。

编 者

目 录

第1章 概述.....1	2.4 应用层协议.....57
1.1 宽带 IP 网络的概念及发展过程.....1	2.4.1 域名系统.....58
1.1.1 宽带 IP 网络的概念.....1	2.4.2 文件传输协议.....61
1.1.2 宽带 IP 网络的发展过程.....2	2.4.3 远程终端协议.....62
1.2 宽带 IP 网络的组成.....4	2.4.4 电子邮件.....63
1.2.1 IP 网络的边缘部分.....4	2.4.5 万维网.....65
1.2.2 IP 网络的核心部分.....4	2.4.6 动态主机配置协议.....67
1.3 宽带 IP 网络的特点.....10	小结.....68
1.4 宽带 IP 网络的 QoS.....11	习题.....70
1.4.1 宽带 IP 网络的 QoS 性能指标.....11	第3章 局域网技术.....71
1.4.2 IP 网保证 QoS 的措施.....12	3.1 局域网概述.....71
1.5 宽带 IP 网络的关键技术及发展趋势.....15	3.1.1 局域网的定义及特征.....71
1.5.1 宽带 IP 网络的关键技术.....15	3.1.2 局域网的组成.....72
1.5.2 宽带 IP 网络技术的发展趋势.....16	3.1.3 局域网的分类.....72
小结.....16	3.1.4 局域网标准.....74
习题.....17	3.2 传统以太网.....76
第2章 宽带 IP 网络的体系结构.....18	3.2.1 以太网的概念.....76
2.1 TCP/IP 参考模型.....18	3.2.2 CSMA/CD 技术.....77
2.1.1 TCP/IP 分层模型.....18	3.2.3 以太网的 MAC 子层协议.....80
2.1.2 TCP/IP 模型各层功能及协议.....22	3.2.4 几种传统以太网.....83
2.2 IP 及辅助协议.....23	3.3 扩展的以太网.....87
2.2.1 IP (IPv4).....24	3.3.1 在物理层扩展以太网.....88
2.2.2 Internet 控制报文协议.....32	3.3.2 在数据链路层扩展以太网.....88
2.2.3 ARP 和 RARP.....34	3.4 高速以太网.....92
2.2.4 IP 多播及 IGMP.....35	3.4.1 100BASE-T 快速以太网.....92
2.3 UDP 和 TCP.....39	3.4.2 吉比特以太网.....94
2.3.1 可靠传输的原理.....39	3.4.3 10Gbit/s 以太网.....95
2.3.2 协议端口.....47	3.5 交换式局域网.....96
2.3.3 用户数据报协议.....47	3.5.1 交换式局域网的基本概念.....96
2.3.4 传输控制协议.....48	3.5.2 局域网交换机的基本原理.....98
	3.5.3 全双工局域网.....105
	3.5.4 交换式局域网的组网技术.....106
	3.6 虚拟局域网.....108
	3.6.1 VLAN 的概念.....108

3.6.2	划分 VLAN 的好处	108	5.1.2	传统的 IP over ATM	157
3.6.3	划分 VLAN 的方法	109	5.1.3	多协议标签交换	158
3.6.4	VLAN 标准	110	5.2	IP over SDH	163
3.6.5	VLAN 之间的通信	110	5.2.1	SDH 技术基础	163
3.7	无线局域网	111	5.2.2	IP over SDH	177
3.7.1	无线局域网的基本概念	111	5.3	IP over DWDM	185
3.7.2	扩频通信基本原理和无线 局域网的调制方式	115	5.3.1	DWDM 的基本概念	185
3.7.3	无线局域网标准	117	5.3.2	IP over DWDM 的概念与 网络结构	188
3.7.4	无线局域网的硬件	121	5.3.3	IP over DWDM 分层结构	189
小结		124	5.3.4	IP over DWDM 的优缺点	190
习题		127	5.4	吉比特以太网技术	191
第 4 章	宽带 IP 城域网	128	5.4.1	吉比特以太网的概念	191
4.1	宽带 IP 城域网的基本概念	128	5.4.2	吉比特以太网的优点	191
4.1.1	宽带 IP 城域网的概念	128	小结		191
4.1.2	宽带 IP 城域网的特点	129	习题		194
4.1.3	宽带 IP 城域网提供的业务	129	第 6 章	宽带 IP 网络的接入技术	195
4.2	宽带 IP 城域网的分层结构	130	6.1	ADSL 接入技术	195
4.2.1	核心层	130	6.1.1	ADSL 的定义	195
4.2.2	汇聚层	130	6.1.2	ADSL 的系统结构	195
4.2.3	接入层	131	6.1.3	ADSL 的频带分割	196
4.3	宽带 IP 城域网的带宽扩展与 管理	132	6.1.4	ADSL 接入网的参考配置	197
4.3.1	带宽扩展与管理的必要性	132	6.1.5	ADSL 接入网络结构示例	199
4.3.2	带宽管理的方法	132	6.1.6	ADSL 调制技术	199
4.4	宽带 IP 城域网的用户接入认证	133	6.1.7	ADSL 的技术特点	200
4.4.1	PPPoE 技术	133	6.1.8	影响 ADSL 性能的因素	201
4.4.2	DHCP+ 技术	137	6.2	HFC 接入技术	202
4.4.3	PPPoE 与 DHCP+ 的比较	139	6.2.1	HFC 网的概念	202
4.5	宽带 IP 城域网的 IP 地址规划	139	6.2.2	HFC 的网络结构	202
4.5.1	公有 IP 地址和私有 IP 地址	139	6.2.3	HFC 网的工作过程	204
4.5.2	宽带 IP 城域网的 IP 地址 规划	141	6.2.4	HFC 网络双向传输的实现	204
小结		142	6.2.5	HFC 的优缺点	206
习题		143	6.3	FTTX+LAN	206
第 5 章	宽带 IP 网络的传输技术	144	6.3.1	FTTX+LAN 的概念	206
5.1	IP over ATM	144	6.3.2	FTTX+LAN 的网络结构	206
5.1.1	ATM 的基本概念	144	6.3.3	FTTX+LAN 接入网络业务 种类	207
			6.3.4	FTTX+LAN 接入网络的 地址管理	208

6.3.5 FTTX+LAN 接入网络的 用户广播隔离问题.....	209	更新	254
6.3.6 FTTX+LAN 接入业务控制 管理	210	7.4.2 QoS 路由计算	255
6.3.7 FTTX+LAN 的优缺点	211	小结	258
6.4 无线接入	212	习题	260
6.4.1 无线接入网的概念及分类	212	第 8 章 宽带 IP 网络的安全	261
6.4.2 本地多点分配业务系统	213	8.1 宽带 IP 网络安全的基本概念	261
6.4.3 WiMax	214	8.1.1 宽带 IP 网络面临的安全性 威胁	261
小结	216	8.1.2 宽带 IP 网络安全服务的 基本需求	263
习题	218	8.1.3 宽带 IP 网络安全的措施	264
第 7 章 路由器技术和路由选择协议	219	8.2 VPN 的实现	271
7.1 路由器技术	219	8.2.1 VPN 的概念	271
7.1.1 路由器的层次结构及用途	219	8.2.2 IP VPN	272
7.1.2 路由器的基本构成	221	小结	282
7.1.3 路由器的接口	224	习题	284
7.1.4 路由器的基本功能	224	第 9 章 下一代网际协议 IPv6	285
7.1.5 路由器的基本类型	224	9.1 IPv6 的引入及其特点	285
7.1.6 路由器与交换机的比较	225	9.1.1 IPv6 的引入	285
7.2 IP 网的路由选择协议	227	9.1.2 IPv6 的特点	286
7.2.1 IP 网的路由选择协议概述	227	9.2 IPv6 数据报格式	286
7.2.2 内部网关协议 RIP	229	9.3 IPv6 地址体系结构	290
7.2.3 内部网关协议 OSPF	234	9.3.1 IPv6 的地址结构	290
7.2.4 外部网关协议 BGP	241	9.3.2 IPv6 地址的表示方法	290
7.3 IP 多播路由选择协议	245	9.3.3 IPv6 地址空间的分配	291
7.3.1 多播路由选择的需求	246	9.4 Ipv4 向 IPv6 过渡的方法	293
7.3.2 多播路由选择算法	246	9.4.1 使用双协议栈	293
7.3.3 多播路由选择协议	251	9.4.2 使用隧道技术	294
7.4 QoS 路由	254	小结	294
7.4.1 QoS 路由状态信息分类和		习题	295

随着以 IP 技术为基础的 Internet 的爆炸式发展、用户数量和多媒体应用的迅速增加,人们对带宽的需求不断增长,不仅需要利用网络实现语音、文字和简单图形信息的传输,同时还要进行图像、视频、音频和多媒体等宽带业务的传输,宽带 IP 网络技术应运而生。

本章介绍宽带 IP 网络的基本概念,使读者对宽带 IP 网络有一个大概的了解,主要包括:

- 宽带 IP 网络的概念及发展过程;
- 宽带 IP 网络的组成;
- 宽带 IP 网络的特点;
- 宽带 IP 网络的 QoS;
- 宽带 IP 网络的关键技术及发展趋势。

1.1 宽带 IP 网络的概念及发展过程

1.1.1 宽带 IP 网络的概念

1. IP 网络的概念

Internet 是由世界范围内众多计算机网络(包括各种局域网、城域网和广域网)通过路由器和通信线路连接汇合而成的一个网络集合体,它是全球最大的、开放的计算机互联网。互联网意味着全世界采用统一的网络互连协议,即采用 TCP/IP 的计算机都能互相通信,所以说,Internet 是基于 TCP/IP 的网间网,也称为 IP 网络。

从网络通信的观点看,Internet 是一个以 TCP/IP 将各个国家、各个部门和各种机构的内部网络连接起来的数据通信网,世界任何一个地方的计算机用户只要连在 Internet 上,就可以相互通信;从信息资源的观点看,Internet 是一个集各个部门、各个领域内各种信息资源为一体的信息资源网。Internet 上的信息资源浩如烟海,其内容涉及政治、经济、文化、科学、娱乐等各个方面。将这些信息按照特定的方式组织起来,存储在 Internet 上分布在世界各地的数千万台计算机中,人们可以利用各种搜索工具来检索这些信息。

2. 宽带 IP 网络的概念

由路由器和窄带通信线路互连起来的 Internet 是一个窄带 IP 网络,这样的网络只能传送

一些文字和简单图形信息,无法有效地传送图像、视频、音频和多媒体等宽带业务。

所谓**宽带 IP 网络**是指 Internet 的交换设备、中继通信线路、用户接入设备和用户终端设备都是宽带的,通常中继线带宽为每秒数吉比特至几十吉比特,接入带宽为 1~100Mbit/s。在这样一个宽带 IP 网络上能传送各种音视频和多媒体等宽带业务,同时支持当前的窄带业务,它集成与发展了当前的网络技术、IP 技术,并向下一代网络方向发展。

1.1.2 宽带 IP 网络的发展过程

1. Internet 发展的 3 个阶段

Internet 的基础结构大体上经历了 3 个阶段的演进(是有部分重叠的)。

(1) Internet 发展的第一阶段

Internet 最早起源于美国。20 世纪 70 年代中期,美国国防部高级计划研究局(Defense Advanced Research Project Agency, DARPA)决定开发一个计算机网络,以应付冷战时代核战争的需要,即在美国遭受到突然攻击时网络能够经受故障的考验,而维持正常工作不被破坏。在传统的计算机网络中,一旦某台关键设备被摧毁或者与网络的其他部分中断联系,则整个网络都会瘫痪。为此,DARPA 大力投资网络互连技术的研究,开发了大量的硬件和软件,以实现异种网络间的互连。1969 年,DARPA 完成第一阶段工作,组成了一个 4 个节点覆盖全美国的实验性网络,即著名的 ARPANET (Advanced Research Project Agency Network)。

ARPANET 作为世界上第一个采用分组交换技术组建的网络,使用报文处理器(IMP)作为网络节点实现网络互联,最基本的服务是资源共享。ARPANET 的用户不仅可以互换信息,并且能与异地的同事进行电子会议,还可以很简单地在网上进行文件传输。

1976 年,ARPANET 发展到 60 多个节点,连接了 100 多台主机,跨越整个美国大陆,并通过卫星连至夏威夷,进而延伸至欧洲,形成了覆盖世界范围的通信网络。

ARPANET 的成功极大地促进了网络互连技术的发展,1979 年基本完成 TCP/IP 体系结构和协议规范的制定任务。1980 年 DARPA 开始致力于互联网技术的研究,在 ARPANET 全面推广 TCP/IP,1983 年,TCP/IP 成为 ARPANET 上的标准协议。同年,出于网络安全性考虑,ARPANET 被分解成两个网络:一个仍称为 ARPANET,是进行实验研究用的科研网;另一个是军用的计算机网络 MILNET。

概括地说,在 1983~1984 年,由美国的单个分组交换网 ARPANET 采用网络互连技术和 TCP/IP,逐渐发展演变成早期的 Internet。

(2) Internet 发展的第二阶段

1986 年,美国国家科学基金会(National Science Foundation, NSF)采用 TCP/IP 建立起 NSFNET 网络,要求所有 NSF 资助的网络都必须采用 TCP/IP 协议集,且与 ARPANET 连通,并逐渐取代了 ARPANET 网,形成了 Internet。

此后,其他发达国家也相继建立了本国的 TCP/IP 网络,并连接到美国的 Internet,逐步形成了覆盖全球的 Internet。

第二阶段的 Internet 的网络结构是 3 级结构,如图 1-1 所示。

(3) Internet 发展的第三阶段

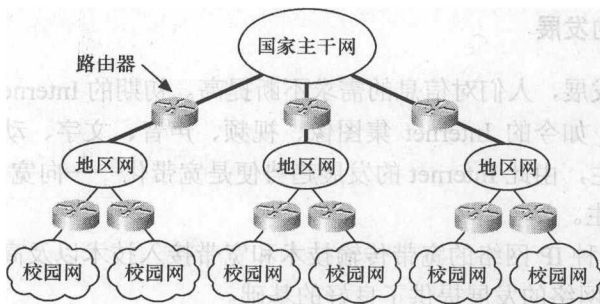


图 1-1 三级结构的 Internet

20 世纪 90 年代，美国政府开始鼓励商业部门介入。1995 年，美国的商业供应商财团接管 Internet 构架。商业机构的介入，出现大量的 ISP (Internet Service Provider) 和 ICP (Internet Content Provider)，辅助用户接入 Internet。ICP 向用户提供 Internet 服务，在丰富 Internet 服务和内容的同时，也促进了 Internet 的扩展。

由于 TCP/IP 技术的推广，使得越来越多的国家将接入 Internet 列为促进本国国民经济发展的重要措施。

第三阶段的 Internet 的网络结构是多级结构，如图 1-2 所示。

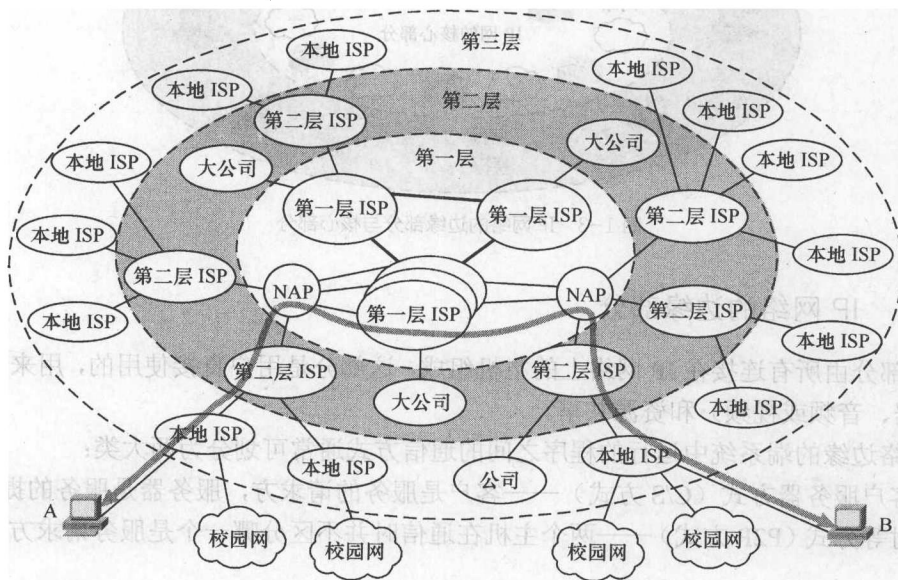


图 1-2 多级结构的 Internet

多级结构的 Internet 大致上可分为以下 5 个接入级：

- 网络接入点 NAP；
- 国家主干网（主干 ISP，即第一层 ISP）；
- 地区 ISP（第二层 ISP）；
- 本地 ISP；
- 校园网、企业网或 PC 上网用户。

2. 宽带 IP 网络的发展

随着信息技术的发展，人们对信息的需求不断提高。初期的 Internet 提供的是文件传输、电子邮件等数据业务，如今的 Internet 集图像、视频、声音、文字、动画等为一体，即以传输多媒体宽带业务为主，由此 Internet 的发展趋势便是宽带化——向宽带 IP 网络发展，宽带 IP 网络技术则应运而生。

近些年来，随着各种 IP 网络的宽带传输技术和宽带接入技术以及高速路由器技术不断涌现和完善，为宽带 IP 网络的发展提供了良好的基础。

1.2 宽带 IP 网络的组成

从宽带 IP 网络的工作方式上看，它可以划分为两大块：边缘部分和核心部分，如图 1-3 所示。

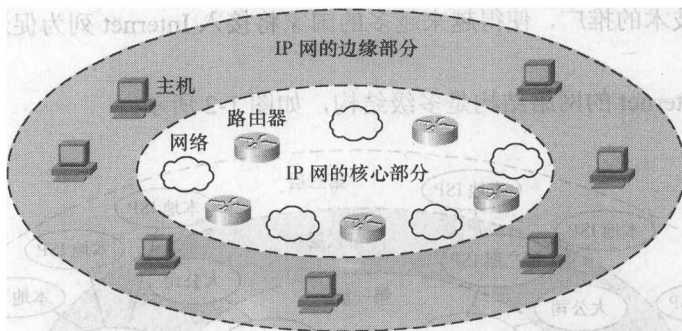


图 1-3 IP 网络的边缘部分与核心部分

1.2.1 IP 网络的边缘部分

边缘部分由所有连接在 IP 网络上的主机组成，这部分是用户直接使用的，用来进行通信（传送数据、音频或视频）和资源共享。

在网络边缘的端系统中运行的程序之间的通信方式通常可划分为两大类：

- 客户服务器方式（C/S 方式）——客户是服务的请求方，服务器是服务的提供方。
- 对等方式（P2P 方式）——两个主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方还是服务提供方。

IP 网边缘部分的主机可以组成局域网。局域网（Local Area Network, LAN）是通过通信线路将较小地理区域范围内的各种计算机连接在一起的通信网络，它通常由一个部门或公司组建，作用范围一般为 0.1~10km。本书将在第 3 章介绍局域网技术。

1.2.2 IP 网络的核心部分

核心部分由大量网络和连接这些网络的路由器组成，其作用是为边缘部分提供连通性和交换。

1. 核心部分的网络

核心部分的网络根据覆盖范围可分为广域网 (WAN) 和城域网 (MAN)。

广域网 (Wide Area Network, WAN) —— 在广域网 (WAN) 内, 通信的传输装置和传输介质由电信部门提供, 其作用范围通常为几十到几千公里, 可遍布一个城市, 一个国家乃至全世界。广域网有时也称为远程网 (Long Haul Network)。

城域网 (Metropolitan Area Network, MAN) —— 其作用范围在广域网和局域网之间 (一般是一个城市), 作用距离为 5~50km, 传输速率在 1Mbit/s/s 以上。城域网 MAN 实际上就是一个能覆盖一个城市的扩大的局域网 (本书将在第 4 章介绍宽带 IP 城域网技术)。

核心部分的网络根据采用的通信方式不同可分为分组交换网、帧中继网、ATM 网等。

(1) 分组交换

① 分组交换的概念及原理

分组交换属于“存储-转发”的交换方式, 它是以分组为单位存储-转发, 当用户的分组到达交换机时, 先将分组存储在交换机的存储器中, 当所需要的输出电路有空闲时, 再将该分组发向接收交换机或用户终端。

分组是由分组头和其后的用户数据部分组成的。分组头包含接收地址和控制信息, 其长度为 3~10 字节; 用户数据部分长度一般是固定的, 平均为 128 字节, 最大不超过 256 字节。

分组交换的工作原理如图 1-4 所示。

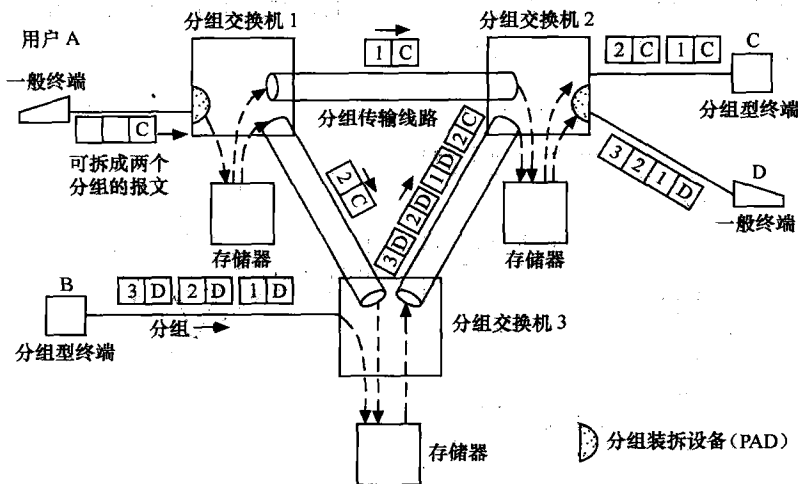


图 1-4 分组交换工作原理

假设分组交换网有 3 个交换中心 (又称交换节点), 分设有分组交换机 1~3。图中画出 A, B, C 及 D 4 个数据用户终端, 其中 B 和 C 为分组型终端, A 和 D 为一般终端。分组型终端以分组的形式发送和接收信息, 而一般终端 (即非分组型终端) 发送和接收的不是分组, 而是报文。所以, 一般终端发送的报文要由分组装拆设备 PAD 将其拆成若干个分组, 以分组的形式在网中传输和交换; 若接收终端为一般终端, 则由 PAD 将若干个分组重新组装成报文再送给一般终端。

图 1-4 中存在两个通信过程，分别是非分组型终端 A 和分组型终端 C 之间的通信，以及分组型终端 B 和非分组型终端 D 之间的通信。

非分组型终端 A 发出带有接收终端 C 地址号的报文，分组交换机 1 将此报文拆成两个分组，存入存储器并进行路由选择，决定将分组 **1 C** 直接传送给分组交换机 2，将分组 **2 C** 先传给分组交换机 3（再由交换机 3 传送给分组交换机 2），路由选择后，等到相应路由有空闲，分组交换机 1 便将两个分组从存储器中取出送往相应的路由。其他相应的交换机也进行同样的操作，最后由分组交换机 2 将这两个分组送给接收终端 C。由于 C 是分组型终端，因此在此在交换机 2 中不必经过 PAD，直接将分组送给终端 C。

图中另一个通信过程，分组型终端 B 发送的数据是分组，在交换机 3 中不必经过 PAD，**1 D**、**2 D**、**3 D** 这 3 个分组经过相同的路由传输，由于接收终端为一般终端，所以在交换机 2 由 PAD 将 3 个分组合装成报文送给一般终端 D。

这里有以下几个问题需要说明。

- 来自不同终端的不同分组可以去往分组交换机的同一出线，这就需要分组在交换机中排队等待，一般本着先进先出的原则（也有采用优先制的），等到交换机相应的输出线路有空闲时，交换机对分组进行处理并将其送出。

- 一般终端需经分组装拆设备（PAD）才能接入分组交换网。

- 分组交换最基本的思想就是实现通信资源的共享，具体采用统计时分复用（STDM）。

我们把一条实在的线路分成许多逻辑的子信道，统计时分复用是根据用户实际需要动态地分配线路资源（逻辑子信道）的方法。即当用户有数据要传输时才给用户分配资源，当用户暂停发送数据时，不给他分配线路资源，线路的传输能力可用于为其他用户传输更多的数据。图 1-5 所示是统计时分复用的示意图。

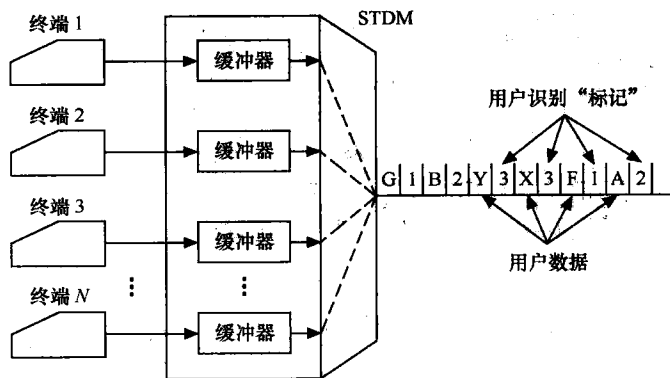


图 1-5 统计时分复用示意图

② 分组交换的优缺点

分组交换的主要优点如下。

- 传输质量高——分组交换机具有差错控制、流量控制等功能，可实现逐段链路的差错控制（差错校验和重发），而且对于分组型终端，在接收端也可以同样进行差错控制。所以，分组在网内传输中差错率大大降低（一般 $P_e \leq 10^{-10}$ ），传输质量明显提高。

- 可靠性高——在分组交换方式中，每个分组可以自由选择传输途径。由于分组交换

机至少与另外两个交换机相连接。当网中发生障时, 分组仍能自动选择一条避开故障地点的迂回路由传输, 不会造成通信中断。

- 为不同种类的终端相互通信提供方便——分组交换机具有变码和变速功能, 从而能够实现不同速率、码型和传输控制规程终端间的互通, 同时也为异种计算机互通提供方便。

- 能满足通信实时性要求——分组交换信息的传输时延较小 (与报文交换相比), 而且变化范围不大, 能够较好地适应会话型通信的实时性要求。

- 可实现分组多路通信——由于每个分组都含有控制信息, 所以, 分组型终端尽管和分组交换机只有一条用户线相连, 但可以同时和多个用户终端进行通信。

- 经济性好——在网内传输和交换的是一个被规范化了的分组, 这样可简化交换处理, 不要求交换机具有很大的存储容量, 降低了网内设备的费用。此外, 由于进行分组多路通信 (统计时分复用), 可大大提高通信线路的利用率, 并且在中继线上以高速传输信息, 而且只有在有用户信息的情况下使用中继线, 因而降低了通信线路的使用费用。

分组交换的主要缺点如下。

- 由于传输分组时需要交换机有一定的开销, 使网络附加的控制信息较多, 对长报文通信的传输效率比较低。

- 要求交换机有较高的处理能力。分组交换机要对各种类型的分组进行分析处理, 为分组在网中的传输提供路由, 并在必要时自动进行路由调整, 为用户提供速率、代码和规程的变换, 为网络的维护管理提供必要的信息等, 因而要求具有较高处理能力的交换机, 故大型分组交换网的投资较大。

- 分组交换的时延较大。由于分组交换机的功能较多, 对信息处理所用的时间必然较大, 因而导致时延较长。

③ 分组的传输方式

分组在分组交换网中的传输方式有两种: 数据报方式和虚电路方式。目前主要采用的是虚电路方式, 下面简单介绍虚电路方式。

虚电路方式是两个用户终端设备在开始互相传输数据之前必须通过网络建立一条逻辑上的连接 (称为虚电路), 一旦建立了这种连接, 用户发送的数据 (以分组为单位) 将通过该路径按顺序通过网络传送到达终点。当通信完成之后用户发出拆链请求, 网络清除连接。

虚电路方式示意图如图 1-6 所示。

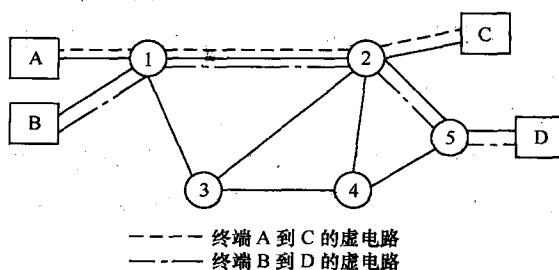


图 1-6 虚电路方式示意图

假设终端 A 有数据要送往终端 C, 主叫终端 A 首先要送出一个“呼叫请求”分组到节点 1, 要求建立到被叫终端 C 的连接。节点 1 进行路由选择后决定将该“呼叫请求”分组发送

到节点 2, 节点 2 又将该“呼叫请求”分组(此“呼叫请求”分组由于是送给被叫终端的, 又称为“呼入”分组)送到终端 C。如果终端 C 同意接受这一连接的话, 它发回一个“呼叫接受”分组到节点 2, 这个“呼叫接受”分组再由节点 2 (通过网络规程) 送往节点 1, 最后由节点 1 送回给主叫终端 A (此时“呼叫接受”也叫做“呼叫连通”分组)。至此, 终端 A 和终端 C 之间的逻辑连接(即虚电路)建立起来了。此后, 所有终端 A 送给终端 C 的分组(或终端 C 送给终端 A 的分组)都沿着已建好的虚电路传送, 不必再进行路由选择。

假设终端 B 和终端 D 要通信, 也预先建立起一条虚电路, 其路径为终端 B—节点 1—节点 2—节点 5—终端 D。由此可见, 终端 A 和终端 C 送出的分组都要经节点 1 到节点 2 的路由传送, 即共享此路由(还可与其他终端共享)。也就是说, 一条物理链路上可以建立多条虚电路。那么如何区分不同终端的分组呢?

为了区分一条线路上不同终端的分组, 对分组进行编号(即分组头中的逻辑信道号), 不同终端送出的分组其逻辑信道号不同, 就好像把线路也分成了许多子信道一样, 每个子信道用相应的逻辑信道号表示, 我们称之为逻辑信道, 逻辑信道号相同的分组就认为占的是同一个逻辑信道。经过交换机逻辑信道号要改变, 即逻辑信道号只有局部意义, 多段逻辑信道链接起来构成一条端到端的虚电路。

虚电路可以分为两种方式: 交换虚电路(SVC)和永久虚电路(PVC)。一般的虚电路属于交换虚电路, 但如果通信双方经常是固定不变的(如几个月不变), 则可采用所谓的永久虚电路方式。用户向网络预约了该项服务之后, 就在两个用户之间建立了永久的虚电路连接, 用户之间的通信, 可直接进入数据传输阶段, 就好像具有一条专线一样。

(2) 帧中继

虽然分组交换具有传输质量高等优点, 是目前数据信号的主要交换方式。但与电路交换相比, 分组交换的时延还是比较大, 信息传输效率低(开销大), 且协议复杂。而近些年来, 用户对数据通信业务的需求增长很快, 许多数据业务要求时延短、吞吐量高等, 显然分组交换不适合传输这些数据业务。为改进分组交换的缺点, 发展了帧中继。

① 帧中继的概念

帧中继(Frame Relay, FR)是分组交换的升级技术, 它是在开放系统互连(OSI)第二层上用简化的方法传送和交换数据单元的一种技术, 以帧为单位进行存储-转发。

帧中继交换机仅完成 OSI 物理层和链路层核心层的功能, 将流量控制、纠错控制等留给终端去完成, 大大简化了节点机之间的协议, 缩短了传输时延, 提高了传输效率。

那么, 会不会由于帧中继交换机不再进行纠错控制和流量控制而导致传输质量有所下降呢? 或者说帧中继技术是否可行呢?

② 帧中继发展的必要条件

帧中继技术是在分组交换技术充分发展, 数字与光纤传输线路逐渐替代已有的模拟线路, 用户终端日益智能化的条件下诞生并发展起来的。帧中继的发展有以下两个必要条件。

● 光纤传输线路的使用

随着光纤传输线路的大量使用, 数据传输质量大大提高, 光纤传输线路的误码率一般低于 10^{-11} 。也就是说在通信链路上很少出现误码, 即使偶尔出现的误码也可由终端处理和纠正。

● 用户终端的智能化

由于用户终端的智能化(比如计算机的使用), 使终端的处理能力大大增强, 从而可以把

分组交换网中由交换机完成的一些功能（比如流量控制、纠错等）交给终端去完成。

由于具备了上述这两个必要条件，使得帧中继交换机可以省去纠错控制等功能，从而使其操作简单，既降低了费用，又缩短了时延，提高了信息传输效率，同时还能够保证传输质量。

③ 帧中继技术的功能

所谓帧中继技术的功能也就是帧中继技术的几个重要方面。

- 帧中继技术主要用于传递数据业务，它使用一组规程将数据以帧的形式有效地进行传送。帧（交换单元）的信息长度远比分组长度要长，预约的最大帧长度至少要达到 1 600 字节/帧。

- 帧中继交换机（节点）取消了 X.25 的第三层功能（实际是取消了大部分网络层的功能，剩余的网络层功能压到了数据链路层），只采用物理层和链路层的两级结构，在链路层也仅保留了核心子集部分。

帧中继节点在链路层完成统计时分复用、帧透明传输和错误检测，但不提供发现错误后的重传操作（检测出错误帧，便将其丢弃），省去了帧编号、流量控制、应答和监视等机制。这就使得交换机的开销减少，提高了网络吞吐量，降低了通信时延。一般帧中继（FR）用户的接入速率为 64kbit/s~2Mbit/s，FR 网的局间中继传输速率一般为 2Mbit/s，34Mbit/s，现在已达到 155Mbit/s。

- 帧中继传送数据信息所使用的传输链路是逻辑连接，而不是物理连接，在一个物理连接上可以复用多个逻辑连接。帧中继采用统计时分复用，动态分配带宽（即按需分配带宽），向用户提供共享的网络资源，每一条线路和网络端口都可由多个终端按信息流共享，大大提高了网络资源利用率。

- 提供一套合理的带宽管理和防止阻塞的机制，用户可有效地利用预先约定的带宽，并且还允许用户的突发数据占用未预定的带宽，以提高整个网络资源的利用率。

- 与分组交换一样，FR 采用面向连接的虚电路交换技术，可以提供 SVC（交换虚电路）业务和 PVC（永久虚电路）业务。目前世界上已建成的帧中继网络大多只提供永久虚电路（PVC）业务，对交换虚电路（SVC）业务的研究正在进行之中，将来可以提供 SVC 业务。

④ 帧中继的特点

帧中继具有高效性、经济性、可靠性、灵活性和长远性等特点。

● 高效性

帧中继的高效性体现在以下几个方面。

有效的带宽利用率——由于帧中继使用统计时分复用技术向用户提供共享的网络资源，大大提高了网络资源的利用率。

传输速率高。

网络时延短——由于帧中继简化了节点机之间的协议处理，因而能向用户提供高速率、低时延的业务。

● 经济性

正因为帧中继技术可以有效地利用网络资源，从网络运营者的角度出发，可以经济地将网络空闲资源分配给用户使用。而作为用户可以经济灵活地接入帧中继网，并在其他用户无突发性数据传送时，共享资源。