

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

(第2版)

毛京丽 编著

工业和信息化部普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

Broadband
IP Network (2nd Edition)

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

精品系列



工业和信息化部普通高等教育
“十二五”规划教材立项项目

毛京丽 编著

(第2版)

宽带IP网络

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

Broadband

IP Network (2nd Edition)

人民邮电出版社
北京



精品系列

图书在版编目 (C I P) 数据

宽带IP网络 / 毛京丽编著. -- 2版. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2015.1
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-37373-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第267691号

内 容 提 要

本书在介绍宽带IP网络基本概念、TCP/IP协议的基础上,全面讲述宽带IP网络的相关技术。

全书共有8章:第1章概述,第2章宽带IP网络的体系结构,第3章局域网技术,第4章宽带IP城域网,第5章宽带IP网络的传输技术,第6章宽带IP网络的接入技术,第7章路由器技术和路由选择协议,第8章宽带IP网络的安全。

本教材取材适宜,结构合理,基本理论和实际应用技术并重,且能够跟踪新技术的发展。在教材编写方面,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,为便于学生学习过程的归纳总结,培养学生分析问题和解决问题的能力,在每章最后都附有本章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,也可作为从事通信工作的科研和工程技术人员的参考书。

◆ 编 著 毛京丽

责任编辑 滑 玉

责任印制 张佳莹 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 20.25

2015年1月第2版

字数: 496千字

2015年1月北京第1次印刷

定价: 49.00元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

第2版前言

随着信息技术的飞速发展和 IP 网络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 网络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,本教材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,既有宽带 IP 网络基本概念、相关原理和 TCP/IP 的介绍,又论述了局域网技术、宽带 IP 城域网、宽带 IP 网络的传输技术、接入技术、路由器技术及路由选择协议等宽带 IP 网络的各种实际应用技术,而且还研究了宽带 IP 网络的安全问题。

《宽带 IP 网络第2版》教材是在对第1版教材进行修订补充的基础上编写而成的,为了使本教材的系统性更强,在章节结构上进行了一些调整。同时,为了更加实用,跟踪新技术,本教材增加了一些新内容。主要包括:在第1章更加深入讨论了宽带 IP 网络的发展趋势;原第9章下一代网际协议 IPv6 改放在第2章作为一节内容,使宽带 IP 网络的体系结构的内容更完整全面;第6章增加了应用范围广泛的光纤接入网技术(EPON/GPON);第7章增加了路由器技术发展趋势以及功能强大的 IGP 路由选择协议 IS-IS;此外,第3章和第4章内容均做了相应调整,使内容更丰富。

全书共有8章。

第1章概述,介绍了宽带 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,首先概括介绍了 TCP/IP 参考模型的各层功能及协议,然后详细论述了网络层的 IP 及辅助协议(ICMP、ARP 和 RARP、IGMP)、UDP 和 TCP 及应用层各种协议,最后探讨了下一代网际协议 IPv6 的相关问题。

第3章局域网技术,首先介绍了局域网的定义及特征、局域网的组成、分类和局域网标准,然后具体论述了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(WLAN)等内容。

特别是对应用较普遍的交换式局域网、VLAN 和 WLAN 的相关问题进行了深入探讨。

第 4 章宽带 IP 城域网, 首先介绍了宽带 IP 城域网基本概念, 然后详细阐述了宽带 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, 最后研究了宽带 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, 详细介绍了宽带 IP 网络常用的几种传输技术——IP over ATM、IP over SDH 和 IP over DWDM 的概念、分层结构和优缺点, 并对这 3 种传输技术的特点及应用场合进行了比较。

第 6 章宽带 IP 网络的接入技术, 论述了宽带 IP 网络常用的几种接入技术——ADSL、HFC、FTTX+LAN、EPON/GPON 和无线宽带接入的相关内容。

第 7 章路由器技术和路由选择协议, 首先介绍了路由器的层次结构及用途、路由器的基本构成、主要功能、基本类型、路由器与交换机的比较和路由器技术发展趋势, 然后论述了几种 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)、内部网关协议 IS-IS (中间系统到中间系统) 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, 首先介绍了宽带 IP 网络安全的基本概念, 然后讨论了虚拟专用网络 (VPN) 的概念和 IP VPN 的相关内容。

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姬艳丽、董跃武、柴炜晨、徐明、陈全、徐鹏、贺雅璇、黄秋钧、魏东红、齐开诚、夏之斌、胡凌霄、高阳等的帮助, 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也表示深深的感谢!

由于编者水平有限, 若书中存在缺点和错误, 恳请读者指正。

编 者

2014 年 9 月

目 录

第 1 章 概述	1	2.4.2 文件传送协议	62
1.1 宽带 IP 网络的概念及发展过程	1	2.4.3 远程终端协议	63
1.1.1 宽带 IP 网络的概念	1	2.4.4 电子邮件	64
1.1.2 宽带 IP 网络的发展过程	2	2.4.5 万维网 WWW	65
1.2 宽带 IP 网络的组成	4	2.4.6 动态主机配置协议	67
1.2.1 IP 网络的边缘部分	4	2.5 下一代网际协议 IPv6	68
1.2.2 IP 网络的核心部分	4	2.5.1 IPv6 的引入及其特点	68
1.3 宽带 IP 网络的特点	10	2.5.2 IPv6 数据报格式	69
1.4 宽带 IP 网络的 QoS	10	2.5.3 IPv6 地址体系结构	73
1.4.1 宽带 IP 网络的 QoS 性能		2.5.4 IPv4 向 IPv6 过渡的方法	76
指标	10	2.5.5 IPv6 应用前景展望	77
1.4.2 IP 网络保证 QoS 的措施	12	小结	78
1.5 宽带 IP 网络的关键技术及发展		习题	81
趋势	14	第 3 章 局域网技术	83
1.5.1 宽带 IP 网络的关键技术	14	3.1 局域网概述	83
1.5.2 宽带 IP 网络的发展趋势	15	3.1.1 局域网的定义及特征	83
小结	16	3.1.2 局域网的组成	84
习题	17	3.1.3 局域网分类	84
第 2 章 宽带 IP 网络的体系结构	18	3.1.4 局域网标准	86
2.1 TCP/IP 参考模型	18	3.2 传统以太网	88
2.1.1 TCP/IP 分层模型	18	3.2.1 传统以太网的概念	88
2.1.2 TCP/IP 模型各层功能及协议	22	3.2.2 CSMA/CD 技术	89
2.2 IP 及辅助协议	24	3.2.3 以太网的 MAC 子层协议	91
2.2.1 IP (IPv4)	24	3.2.4 几种传统以太网	95
2.2.2 Internet 控制报文协议	33	3.3 扩展的以太网	99
2.2.3 ARP 和 RARP	35	3.3.1 在物理层扩展以太网	99
2.2.4 IP 多播及 IGMP	36	3.3.2 在数据链路层扩展以太网	100
2.3 UDP 和 TCP	39	3.4 高速以太网	103
2.3.1 可靠传输的原理	40	3.4.1 100 BASE-T 快速以太网	103
2.3.2 协议端口	47	3.4.2 吉比特以太网	106
2.3.3 用户数据报协议	47	3.4.3 10Gbit/s 以太网	107
2.3.4 传输控制协议	48	3.5 交换式局域网	108
2.4 应用层协议	58	3.5.1 交换式局域网的基本概念	108
2.4.1 域名系统	58	3.5.2 局域网交换机的基本原理	110

3.5.3	全双工局域网	117
3.5.4	交换式局域网的组网技术	117
3.6	虚拟局域网	119
3.6.1	VLAN 的概念	119
3.6.2	划分 VLAN 的好处	120
3.6.3	划分 VLAN 的方法	121
3.6.4	VLAN 标准	122
3.6.5	VLAN 之间的通信	122
3.7	无线局域网	122
3.7.1	无线局域网基本概念	122
3.7.2	无线局域网的频段分配	127
3.7.3	无线局域网的调制方式	128
3.7.4	扩频通信基本原理	129
3.7.5	无线局域网标准	131
3.7.6	无线局域网的硬件	138
	小结	141
	习题	143
第 4 章	宽带 IP 城域网	145
4.1	宽带 IP 城域网基本概念	145
4.1.1	宽带 IP 城域网的概念	145
4.1.2	宽带 IP 城域网的特点	146
4.1.3	宽带 IP 城域网提供的业务	146
4.2	宽带 IP 城域网的分层结构	147
4.2.1	核心层	147
4.2.2	汇聚层	148
4.2.3	接入层	149
4.3	宽带 IP 城域网的带宽扩展与管理	150
4.3.1	带宽扩展与管理的必要性	150
4.3.2	带宽管理的方法	150
4.4	宽带 IP 城域网的用户接入认证	150
4.4.1	PPPoE 技术	150
4.4.2	DHCP+	155
4.4.3	PPPoE 与 DHCP+ 的比较	156
4.5	宽带 IP 城域网的 IP 地址规划	157
4.5.1	公有 IP 地址和私有 IP 地址	157
4.5.2	宽带 IP 城域网的 IP 地址规划	159
	小结	160

习题	161
第 5 章 宽带 IP 网络的传输技术	162
5.1 IP over ATM	162
5.1.1 ATM 基本概念	162
5.1.2 传统的 IP over ATM	170
5.1.3 多协议标签交换	172
5.2 IP over SDH	175
5.2.1 SDH 技术基础	175
5.2.2 IP over SDH	189
5.3 IP over DWDM	193
5.3.1 DWDM 的基本概念	193
5.3.2 IP over DWDM 的概念与网络结构	196
5.3.3 IP over DWDM 分层结构	197
5.3.4 IP over DWDM 的优缺点	198
5.4 宽带 IP 网络的传输技术比较	198
小结	199
习题	201
第 6 章 宽带 IP 网络的接入技术	203
6.1 ADSL 接入技术	203
6.1.1 ADSL 的定义	203
6.1.2 ADSL 的系统结构	203
6.1.3 ADSL 的频带分割	204
6.1.4 ADSL 接入网络结构示例	205
6.1.5 ADSL 调制技术	206
6.1.6 ADSL 的技术特点	207
6.1.7 影响 ADSL 性能的因素	208
6.2 HFC 接入技术	208
6.2.1 HFC 网的概念	208
6.2.2 HFC 的网络结构	209
6.2.3 HFC 网的工作过程	211
6.2.4 HFC 网络双向传输的实现	211
6.2.5 HFC 的优缺点	213
6.3 FTTX+LAN	213
6.3.1 FTTX+LAN 的概念	213
6.3.2 FTTX+LAN 的网络结构	213
6.3.3 FTTX+LAN 接入网络业务种类	214
6.3.4 FTTX+LAN 接入网络的	

地址管理.....	215	7.2.2 内部网关协议 RIP.....	256
6.3.5 FTTX+LAN 接入网络的 用户广播隔离问题	216	7.2.3 内部网关协议 OSPF.....	261
6.3.6 FTTX+LAN 接入业务控制 管理.....	217	7.2.4 内部网关协议 IS-IS.....	267
6.3.7 FTTX+LAN 的优缺点.....	218	7.2.5 外部网关协议 BGP	273
6.4 光纤接入网技术	219	7.3 IP 多播路由选择协议.....	277
6.4.1 光纤接入网基本概念	219	7.3.1 多播路由选择的需求	277
6.4.2 ATM 无源光网络.....	224	7.3.2 多播路由选择算法	278
6.4.3 以太网无源光网络	225	7.3.3 多播路由选择协议	283
6.4.4 吉比特无源光网络	230	7.4 QoS 路由	285
6.5 无线接入技术.....	233	7.4.1 QoS 路由状态信息分类和 更新.....	286
6.5.1 无线接入网的概念及分类.....	233	7.4.2 QoS 路由计算	287
6.5.2 本地多点分配业务系统	234	小结.....	289
6.5.3 WiMAX	236	习题.....	292
小结.....	241	第 8 章 宽带 IP 网络的安全	293
习题.....	243	8.1 宽带 IP 网络安全的基本概念	293
第 7 章 路由器技术和路由选择协议.....	245	8.1.1 宽带 IP 网络面临的安全性 威胁.....	293
7.1 路由器技术.....	245	8.1.2 宽带 IP 网络安全服务的基本 需求.....	295
7.1.1 路由器的层次结构及用途.....	245	8.1.3 宽带 IP 网络安全的措施	296
7.1.2 路由器的基本构成	247	8.2 VPN 的实现	303
7.1.3 路由器的接口	250	8.2.1 VPN 的概念	303
7.1.4 路由器的基本功能	250	8.2.2 IP VPN	304
7.1.5 路由器的基本类型	250	小结.....	314
7.1.6 路由器与交换机的比较	251	习题.....	315
7.1.7 路由器技术发展趋势	253	参考文献.....	316
7.2 IP 网的路由选择协议.....	254		
7.2.1 IP 网的路由选择协议概述	254		

随着以 IP 技术为基础的因特网的爆炸式发展、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 的交换设备及路由设备、中继通信线路、用户接入设备和用户终端设备都是宽带的,通常中继线上传信速率为几至几十 Gbit/s,用户接入速率可达 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,它继承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 60 年代中期,美国国防部高级研究计划署 (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连,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,基本完成了 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 通信协议建立起 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。

- 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。

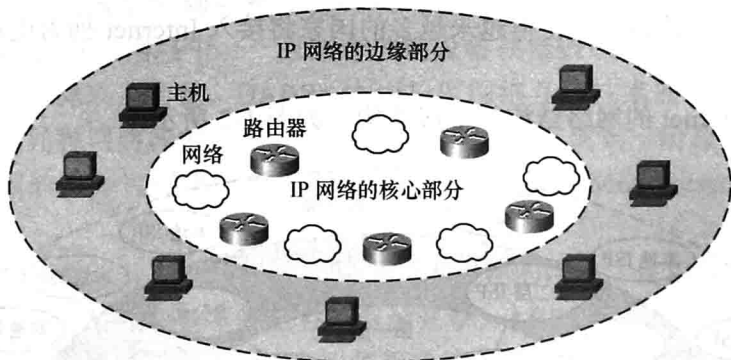


图 1-3 IP 网络的边缘部分与核心部分

1.2.1 IP 网络的边缘部分

IP 网络的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(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(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

IP 网络的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

IP 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, WAN）——在广域网（WAN）内，通信的传输装置和媒介由电信部门提供，其作用范围通常为几十千米到几千千米，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 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。

IP 网核心部分的网络根据采用的通信方式不同包括分组交换网、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。

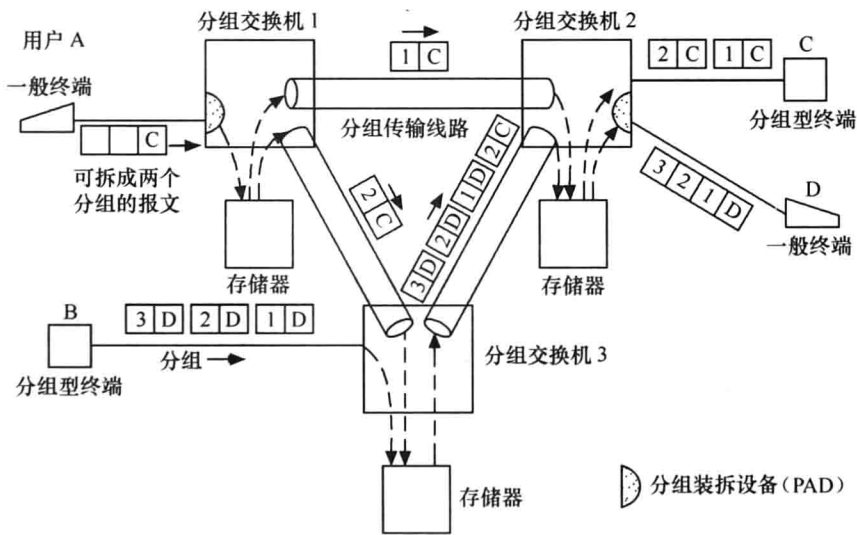


图 1-4 分组交换工作原理

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、2、3。图中画出 A、B、C、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 $\boxed{1|C}$ 直接传送给分组交换机 2, 将分组 $\boxed{2|C}$ 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, $\boxed{1|D}$ 、 $\boxed{2|D}$ 、 $\boxed{3|D}$ 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 个分组组装成报文送给一般终端 C。

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。

- 一般终端需经分组拆装设备 (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他分配资源, 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 是统计时分复用的示意图。

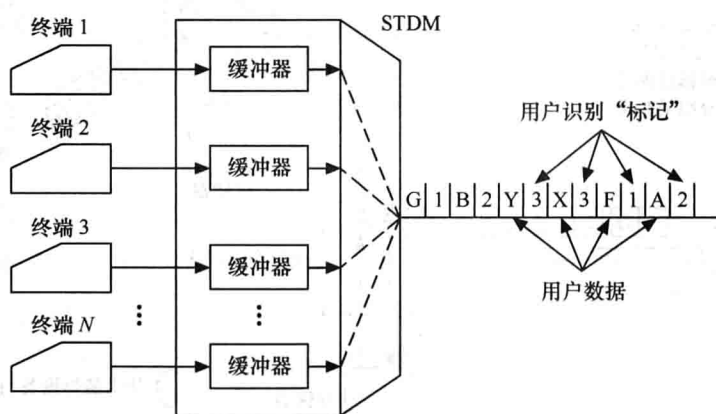


图 1-5 统计时分复用示意图

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。当网中发生故障时,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,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,因而导致时延较大。

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。主要采用的是虚电路方式,下面只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),一旦这种连接建立以后,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。

虚电路方式原理如图 1-6 所示。

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”

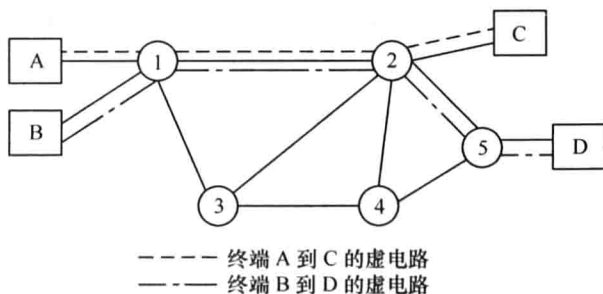


图 1-6 虚电路方式原理

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。至此,终端 A 和 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?

为了区分一条链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: 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小、吞吐量大等, 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 (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 (如流量控制、纠错等), 交给终端去完成。

正由于帧中继的发展具备这两个必要条件, 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要长, 预约的最大帧长度至少要达到 1600 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 FR 用户的接入速率在 64~2Mbit/s 之间，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，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。

- 提供一套合理的带宽管理和防止阻塞的机制，用户可以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，可以提供交换虚电路（SVC）业务和永久虚电路（PVC）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

- 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。

- 可靠性

虽然帧中继节点仅有 OSI 参考模型第一层和第二层核心功能，无纠错和流量控制，但由于光纤传输线路质量好，终端智能化程度高，前者保证了网络传输不易出错，即使有少量错误也由后者去进行端到端的恢复。另外，网络中采取了永久虚电路（PVC）管理和阻塞管理，保证了网络自身的可靠性。

- 灵活性

帧中继网组建方面——由于帧中继的协议十分简单，利用现有数据网上的硬件设备稍加修改，同时进行软件升级就可实现，而且操作简便，所以实现起来灵活方便。

用户接入方面——帧中继网络能为多种业务类型提供共用的网络传送能力，且对高层协议保持透明，用户可方便接入，不必担心协议的不兼容性。

帧中继所提供的业务方面——帧中继网为用户提供了灵活的业务。虽然目前帧中继只提供 PVC，但不久的将来就可以提供 SVC 业务。