



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

宽带通信网原理

龚向阳 金跃辉 王文东 阙喜戎 编著
程时端 审校



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

TN915.142

26

2006



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

宽带通信网原理

龚向阳 金跃辉 王文东 阙喜戎 编著
程时端 审校

北京邮电大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书详细介绍了宽带通信网技术的理论原理、技术标准与协议。由于宽带通信网技术是传统电信网与计算机网发展融合的产物,因此本书以深入讲解电信网与计算机网的原理为基础,详细阐述了现代宽带通信网技术的发展、原理与技术。全书分为三个部分:电信网与 B-ISDN /ATM,包括 ATM 原理、标准、宽带交换和业务量控制等;计算机网中 TCP /IP 技术的原理和协议;现代宽带通信网络的技术原理,包括 IP 与 ATM 技术的结合(IP over ATM)、IP 交换与 MPLS、IP 服务质量、IP 安全性与网络管理、IP 移动性和下一代的 IPv6 技术等。本书深入浅出,内容全面翔实,适合作为计算机、网络和通信信息等专业的本科高年级及研究生的教材或教学参考书;对从事相关领域的科研和开发工作的工程技术人员也具有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

宽带通信网原理/龚向阳等编著. —北京:北京邮电大学出版社,2006

ISBN 7-5635-1151-2

I. 宽... II. 龚... III. 宽带通信系统—计算机通信网 IV. TN915.142

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 028571 号

书 名: 宽带通信网原理

编 著: 龚向阳 金跃辉 王文东 阙喜戎

责任编辑: 陈岚岚

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)

北方营销中心: 电话 010-62282185 传真 010-62283578

南方营销中心: 电话 010-62282902 传真 010-62282735

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京源海印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×960 mm 1/16

印 张: 36.5

字 数: 772 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1151-2/TN·404

定价: 58.00 元

·如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系·

前 言

今天,我们已经很难想象,如果没有了诸如电话网、移动通信网和互联网(Internet)这些通信网络,人们的日常工作和生活变得怎样步履维艰。而十几年前的人们也同样无法想象当今的世界会因为网络技术的飞速发展而如此精彩。当前网络技术仍然在快速发展之中。可以预见,未来网络将更深入到整个社会和人们的日常生活之中,能够使今天的许多梦想变为现实。

近20年来,网络技术是通信和信息领域中最为活跃的一个研究方向,而对宽带网络技术的研究进展成为了促进通信网络技术进步的最重要推动力。所谓“宽带”的概念并没有一个公认的严格定义。其内涵随着网络技术的发展而不断地拓展,这也从一个方面反映了人们对通信带宽需求的不断增长。宽带的概念最早是相对于窄带通信提出的。传统窄带通信主要是指基于64 kbps的话音(电话)和数据(窄带ISDN),宽带通信则应该能够比传统窄带通信享受高出若干数量级的更大带宽。随着网络技术的进步,现在所说的宽带通信网通常具有这样的特征:在骨干网采用大容量信息传输技术(特别是光传输技术),具有极高的链路速率(几十吉比特每秒以上);在用户和网络之间采用各种高速接入技术(如xDSL、LAN、PON、HFC等),可为用户提供几兆比特每秒到100 Mbps的接入带宽。

能够用于构建宽带通信网络的主要技术是异步传输模式(ATM)与互联网协议(IP)。这两种技术都具有支持各种宽带业务的能力,二者是相互竞争的。ATM从传统电信网发展而来,具有服务质量(QoS)保障,安全性好,易于管理和运营,但网络相当复杂,开放性差。IP从计算机网络发展而来,其协议简单,最初的设计目标只是用于数据通信。但IP的最大优势是开放性,使得每一个使用者都能够在IP网上开发应用和服务。开放性使以IP为基础的互联网获得了巨大成功。IP技术已经成为了宽带网络中的主流技术。但是由于IP协议自身的不足,Internet也面临了巨大挑战:地址匮乏、缺乏QoS保障、网络安全问题、移动性支持、可运营和可管理能力不足等等都成为IP网络支持更多宽带业务的障碍。为解决这些问题,人们逐渐将ATM技术中的先进思想引入到IP协议的实现中,IP与ATM技术开始走向融合,宽带网络中各种新的技术标准和方案也应运而生:如IP交换、IP QoS、多协议标记交换(MPLS)、移动IP(Mobile IP)技术。

本书系统地介绍了宽带通信网络相关的各种技术。全书以ATM技术和IP技术为两条主线展开,分为三大部分:第一部分在概述网络技术的发展历程的基础上,详细介绍了ATM技术的原理、交换和流量控制;第二部分详细介绍了TCP/IP协议与Internet技术,包括IP体系结构、路由、传输协议(TCP/UDP)、IP组播、IP网络安全和管理;第三部

分详细介绍了 IP 与 ATM 融合的宽带网络技术,包括 IP QoS、IP over ATM、IP 交换、MPLS 以及移动 IP、IPv6 等在下一代互联网(NGI)中的主要网络技术。

笔者所在的北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室宽带网络研究中心长期从事宽带通信网技术的研究工作,笔者同时承担了高校宽带通信网课程的教学工作。在本书中,笔者总结了多年来的教学和科研经验,并参考宽带通信网领域主要的国际国内标准规范,力图将宽带通信网技术的基本原理、技术演进的历程和发展方向全面展现给读者。本书深入浅出,内容全面翔实,适合作为计算机、网络和通信信息等专业的本科高年级及研究生的教材或教学参考书;对从事相关领域的科研和开发工作的工程技术人员也具有很好的参考价值。

参加本书编写工作的包括北京邮电大学龚向阳副教授(第 2~9 章),金跃辉副教授(第 12~15 章),王文东教授(第 11 章),阙喜戎副教授(第 10 章),北京邮电大学程时端教授为本书撰写了绪论,并审阅了全书。本书在编写过程中得到了北京邮电大学网络与交换技术国家重点实验室宽带网络研究中心教师和研究生的诸多帮助,同时也得到了北京邮电大学出版社的大力支持,在此特此表示衷心地感谢。

宽带网络所涉及的技术内容非常多,其发展也非常迅速。由于时间限制和笔者能力的制约,书中疏漏之处在所难免,未能察觉的错误和遗漏请广大读者不吝赐教。

编者

2006 年 5 月

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 通信网技术的发展历程	1
1.2 当前网络的发展趋势	1
1.3 宽带网的定义和主流技术	2
1.4 ATM 和 IP 的结合与竞争	4
1.5 当前 IP 网面临的挑战	5
1.6 下一代互联网和下一代网	7

第 2 章 通信网技术及发展

2.1 通信与通信网络	8
2.2 通信网络的设计需求	10
2.2.1 业务特征	11
2.2.2 通信网络性能的需求	13
2.3 通信网络的发展和演变	25
2.3.1 电报	26
2.3.2 电话网络与电路交换技术	26
2.3.3 计算机网络	31
2.3.4 数据通信网与分组交换技术	38
2.3.5 综合业务通信网络	47
2.4 信息传递方式的发展	49
2.4.1 电路交换与分组交换	50
2.4.2 电路交换技术的发展	51
2.4.3 分组交换技术的发展	52

第 3 章 异步传递模式原理

3.1 异步传递模式的引入	55
3.1.1 业务对网络技术发展的需求	55
3.1.2 技术进步的推动	59
3.1.3 宽带综合业务数据网的发展	61
3.2 ATM 基本原理	63

3.2.1 异步时分复用	64
3.2.2 ATM 虚连接	65
3.2.3 ATM 交换	67
3.2.4 ATM 网络的性能特征	68
3.2.5 ATM 信元	73
3.3 ATM 标准	76
3.3.1 ATM 的标准化工作	76
3.3.2 B-ISDN 的参考配置	77
3.3.3 B-ISDN 的协议参考模型	77
3.4 ATM 层	80
3.5 物理层	82
3.6 ATM 适配层	85
3.6.1 AAL 类型	85
3.6.2 AAL 的一般结构	86
3.6.3 AAL 类型 1	87
3.6.4 AAL 类型 2	88
3.6.5 AAL 类型 3/4	92
3.6.6 AAL 类型 5	94

第 4 章 ATM 宽带交换技术

4.1 概述	97
4.1.1 ATM 交换系统	97
4.1.2 ATM 交换的概念	98
4.1.3 VP 交换与 VC 交换	100
4.1.4 ATM 交换系统的构成	101
4.1.5 ATM 交换的设计需求	102
4.2 基本交换模块	105
4.2.1 排队	106
4.2.2 基本交换模块的结构	113
4.3 ATM 交换机构	116
4.3.1 多级互连网络	116
4.3.2 多级互连网络中的路由问题	117
4.3.3 MIN 中的信元阻塞	119

第 5 章 ATM 网络的业务量控制和拥塞控制

5.1 ATM 网络中的拥塞	122
----------------	-----

5.2 ATM 网络中的业务量控制	124
5.2.1 业务量控制与拥塞控制	124
5.2.2 业务量合约	125
5.2.3 ATM 的业务类型	126
5.2.4 ATM 业务量管理的框架和功能	128
5.3 业务量合约	130
5.3.1 概念与构成	130
5.3.2 等效终端	132
5.3.3 连接的业务量描述器	132
5.3.4 连接一致性的定义	138
5.3.5 服务质量参数	143
5.3.6 ATM 传输能力	144
5.4 ATM 业务量管理机制	145
5.4.1 连接接纳控制	145
5.4.2 用法参数控制与网络参数控制	146
5.4.3 优先级控制与信元标记	147
5.4.4 选择性信元丢弃	148
5.4.5 业务量整形	148
5.4.6 显式前向拥塞指示	149
5.5 反馈控制和 ABR 业务量控制	150
5.5.1 可用比特率承载能力	150
5.5.2 反馈机制	152
5.5.3 资源管理信元	152
5.5.4 ABR 业务量控制的参数	154
5.5.5 ABR 业务量控制机制	154

第 6 章 TCP/IP 协议体系结构

6.1 Internet 和 TCP/IP 的发展	159
6.2 TCP/IP 协议体系	162
6.2.1 设计原则	162
6.2.2 TCP/IP 协议分层结构	163
6.2.3 IP 分组	165
6.2.4 网际互联	165
6.2.5 TCP/IP 网络的可靠性	168
6.3 数据链路层技术	169
6.3.1 以太网	169

6.3.2 令牌环网	172
6.3.3 FDDI	173
6.3.4 拨号接入与 PPP 协议	174
6.4 IP 地址	176
6.4.1 网络级的地址统一	176
6.4.2 分类 IP 地址	177
6.4.3 子网掩码	179
6.4.4 IP 地址的实质	179
6.4.5 地址解析	180
6.5 路由器与 IP 分组转发	185
6.6 IP 地址的分配和管理	187
6.6.1 Internet 地址管理机构	187
6.6.2 Internet 地址管理的缺陷	188
6.6.3 子网划分	189
6.6.4 超网与无类型寻址	191
6.7 Internet 结构的演变	193
6.7.1 核心结构的 Internet	194
6.7.2 对等主干结构的 Internet	195
6.7.3 自治系统结构的 Internet	196

第 7 章 TCP/IP 体系结构中的网络层

7.1 IP 分组	199
7.2 分组传输	202
7.2.1 IP 分组的封装	203
7.2.2 分组的分片传输	204
7.2.3 分片的重组	206
7.2.4 对分片的控制	207
7.3 IP 选项	207
7.3.1 选项代码	207
7.3.2 路由记录选项	208
7.3.3 源选路选项	209
7.4 IP 分组的选路和转发	210
7.4.1 直接转发与间接转发	211
7.4.2 路由表	212
7.4.3 默认路由和特定主机路由	213
7.4.4 IP 层的分组处理	214

7.4.5 分组选路算法	215
7.5 IP 层的控制功能——ICMP	217
7.5.1 ICMP	217
7.5.2 ICMP 的差错报告功能	219
7.5.3 ICMP 的控制功能	221
7.5.4 ICMP 的查询功能	224
7.6 路由数据库的管理与路由协议	226
7.6.1 互联网结构对选路的影响	227
7.6.2 路由数据库的建立	230
7.6.3 路由数据库的刷新——路由协议	231
7.6.4 选路算法	232
7.6.5 域间路由协议——边界网关协议	238
7.6.6 域内路由协议	246
第 8 章 TCP/IP 体系结构中的传输层	
8.1 传输层及其服务	257
8.1.1 网络分层中的服务	257
8.1.2 通信子网的服务与传输服务	258
8.1.3 传输层的设计需求	259
8.1.4 TCP/IP 协议体系中的传输层	264
8.2 用户数据报协议	264
8.2.1 UDP 的功能	264
8.2.2 UDP 数据报	265
8.2.3 UDP 的数据报校验	266
8.2.4 UDP 协议的数据报处理	267
8.3 传输控制协议	268
8.3.1 TCP 面向连接可靠的数据流传输服务	268
8.3.2 TCP 的协议规程	270
8.3.3 TCP 的可靠性	275
8.3.4 TCP 连接的控制	285
8.3.5 TCP 的超时重传机制	290
8.3.6 TCP 的流量控制与拥塞控制	295
8.3.7 TCP 的短分组与糊涂窗口问题	306
8.3.8 TCP 选项	310
第 9 章 IP 组播	
9.1 组播的概念	313

9.1.1	广播与组播	313
9.1.2	数据链路层的组播	314
9.1.3	Internet 上的组播	316
9.2	IP 组播系统与组播地址机制	319
9.2.1	IP 组播系统	319
9.2.2	组播地址机制	321
9.2.3	IP 组播地址到硬件组播地址的映射	322
9.2.4	组播作用域	322
9.3	Internet 组播组管理协议	323
9.3.1	IGMP 的格式	324
9.3.2	IGMP 组播组成员查询	325
9.3.3	组播组成员报告	326
9.3.4	主机新加入一个组播组	327
9.3.5	主机离开一个组播组	327
9.3.6	提高 IGMP 协议的效率	328
9.4	组播选路	329
9.4.1	组播选路的需求	329
9.4.2	组播转发树	331
9.4.3	最基本的组播选路方式——反向通路转发	333
9.4.4	反向通路组播	335
9.4.5	基于核心的树	337
9.4.6	组播路由协议	340

第 10 章 TCP/IP 网络安全和管理

10.1	概述	344
10.1.1	网络安全面临的主要威胁	345
10.1.2	网络安全的基本需求	348
10.1.3	安全服务	349
10.2	安全协议	350
10.2.1	IPSec	351
10.2.2	SSL/TLS	360
10.3	VPN	364
10.3.1	VPN 的工作流程	365
10.3.2	VPN 的隧道技术	366
10.3.3	加/解密技术	368
10.3.4	密钥管理技术	368

10.3.5 身份鉴别技术·····	368
10.3.6 VPN 服务分类 ·····	369
10.4 Internet 管理 ·····	369
10.4.1 SNMP 的结构 ·····	372
10.4.2 网络管理协议·····	372
10.4.3 管理信息结构·····	374
10.4.4 管理信息库·····	376

第 11 章 IP QoS

11.1 概述·····	378
11.1.1 QoS 的概念·····	378
11.1.2 QoS 技术简介·····	381
11.2 QoS 组件·····	382
11.2.1 分类器·····	383
11.2.2 标记器·····	390
11.2.3 整形器·····	394
11.2.4 队列管理·····	397
11.2.5 队列调度·····	400
11.2.6 拥塞控制·····	406
11.3 综合服务模型·····	408
11.3.1 服务类型·····	408
11.3.2 IntServ 体系结构 ·····	410
11.3.3 资源预留协议·····	412
11.3.4 综合服务模型的特点·····	417
11.4 区分服务模型·····	418
11.4.1 DiffServ 的服务类型 ·····	418
11.4.2 DiffServ 体系结构 ·····	423
11.4.3 DiffServ 的业务量分类和调节机制 ·····	425
11.4.4 区分服务模型的特点·····	428
11.5 QoS 路由·····	429
11.5.1 QoS 路由的概念·····	430
11.5.2 QoS 路由状态信息的分类和更新·····	431
11.5.3 QoS 路由计算·····	433
11.5.4 QoS 路由策略·····	437
11.5.5 QoS 路由的特点·····	439
11.6 IP 网络的 QoS 管理 ·····	440

11.6.1	IP 网络/业务管理模型	440
11.6.2	资源管理	445
11.6.3	基于策略的管理	453
第 12 章 IP 交换技术的产生和发展		
12.1	IP 交换技术的发展历程	458
12.1.1	回顾与比较	459
12.1.2	主要的 IP 交换技术解决方案	460
12.1.3	一个 IP 交换的标准	463
12.2	IP 交换技术的分类	464
12.2.1	叠加模型和集成模型	464
12.2.2	流驱动和拓扑驱动	466
12.2.3	IP 交换分类	468
12.3	结论	469
第 13 章 多协议标记交换		
13.1	MPLS 的体系结构	471
13.1.1	MPLS 中的基本概念	471
13.1.2	标记分发协议	481
13.2	MPLS 的技术选择	489
13.2.1	标记分配的驱动模式	489
13.2.2	标记分发方式	490
13.2.3	标记分发的控制方式	492
13.2.4	标记保持方式	493
13.2.5	LSP 的保持方式	493
13.2.6	环路控制技术	494
13.3	MPLS 的显式路由技术	495
13.3.1	显式路由的优势	495
13.3.2	显式路由使用的信令	495
第 14 章 MPLS 服务		
14.1	基于 MPLS 的流量工程	499
14.1.1	流量工程和负载均衡	500
14.1.2	MPLS 的流量工程问题	504
14.1.3	MPLS 流量工程的部署	512
14.2	利用 MPLS 构造 VPN	514
14.2.1	IP VPN	514

14.2.2	MPLS VPN	516
14.2.3	利用 MPLS 构造 VPN 的优势	524
14.3	MPLS 对 QoS 的支持	525
14.3.1	概述	525
14.3.2	MPLS 与综合服务模型 IntServ	526
14.3.3	MPLS 与区分服务模型 DiffServ	529
第 15 章 移动 IP 技术		
15.1	移动 IPv4	534
15.1.1	基本概念	537
15.1.2	工作原理	541
15.2	移动 IPv6	545
15.2.1	IPv6 协议简介	546
15.2.2	移动 IPv6 技术	553
参考文献		563

第 1 章 绪 论

近 20 年来,网络技术成为通信和信息领域最为活跃的技术之一,网络的体系结构、信息传递方式、通信控制方式和管理方式都发生了深刻的变化,网络的业务种类越来越多,不同的业务能够综合在同一个网络中,不同的网络之间相互沟通,网络出现了融合的趋势。当前,网络技术的发展已成为人类向信息社会迈进的重要推动力,而宽带网技术是网络的核心技术,可以看成是网络发展的巨大动力。本章简要回顾通信网技术的发展历程,介绍当前网络的发展趋势,分析宽带网两种主流技术(ATM 和 IP)的特点,剖析 IP 技术获得巨大成功的原因,展示当前 IP 技术所面临的挑战,并介绍下一代网和下一代互联网的概念。

1.1 通信网技术的发展历程

半个世纪以来,通信网技术发生了几次重大的革命:20 世纪 60 年代出现了网络的计算机化,70 年代开创了网络的数字化,80 年代提出了网络的业务综合化,90 年代推出了网络的宽带化、智能化和个人化。经过几十年的更新换代,通信网才形成今天的局面:计算机无所不在;数字技术席卷一切通信领域;网络不再是单一业务的载体,话音、数据、图像和多媒体信息可以在一个网络中流通;由于大量采用光纤传输,网络的传输速率每 9 个月就翻一番,光纤的传输速率达到了 Tbps(每秒几十亿比特)级的水平;由于 ATM 交换机和高速路由器的出现,网络能够进行宽带综合业务的线速交换(即交换速度和传输速度相匹配);智能网的出现使网络不再是简单的信息搬运工具,而可以根据用户的需求对通信方式、收费方式、甚至信息本身加以控制和管理;此外,网络实现了针对个人的通信,使任何人,在任何时间,任何地点都能接入网络。几十年来通信网技术的变迁使我国的通信基础设施和通信信息服务发生了翻天覆地的变化,大大推进了经济建设的步伐,改善了人民的生活。

1.2 当前网络的发展趋势

进入 21 世纪以来,网络技术并没有停顿。随着光通信技术(特别是波分复用技术,WDM)的进步,网络的传输速率更高;随着路由器和交换机生产技术的提高,网络的交

换能力更强,吞吐量更大;蜂窝移动通信技术正从第二代向第三代过渡,用户接入网络的无线信道速率正从 100 kbps 级别向 2 Mbps 甚至更高的速率发展,手机的功能也越来越强,移动通信已从单一的话音业务向宽带数据和多媒体业务过渡;与此同时,宽带无线接入技术正在迅速发展,无线局域网 WLAN 已经广泛采用,IEEE 为 WLAN 制订了相应的国际标准 802.11,随着技术的成熟和标准的完善,WLAN 所能提供的接入速率从 1 Mbps 提高到几十兆比特每秒;还有,采用 IEEE 802.16 协议的宽带无线接入系统 WiMAX 正在迅速发展,接入速率可以达到几十兆比特每秒,新的 WLAN 和 WiMAX 协议都可以支持终端的移动和漫游;与此同时,网络的智能也在提升,从网络的控制管理扩展成全方位的个性化、智能化服务;网络的业务种类和业务范围正在进一步扩大,“通信”二字已不能反映网络的全部功能,当今的网络可以看作一个无比巨大的“信息和知识仓库”,用户可以通过网络索取他需要的一切信息,网络还可以向用户提供音乐、电影、游戏等娱乐服务,或者帮助用户办理他的公务和个人事务。目前,电信管理部门将基础通信以外的所有业务统称为增值业务(Value Added Services)。增值业务是网络运营中的新增长点,受到通信、计算机、电子行业的高度重视。

由于各种网络都试图提供新业务,网络之间的竞争和合作越来越多,一个业务可能由多个网络共同完成(例如由软交换控制的 IP 话音和多媒体业务),另外,新兴网络的业务可能会取代传统网络的业务(例如 VoIP、MSN 和 Skype 会旁路传统电话网的业务)。因此,进入新世纪之后网络融合的趋势更为明显,包括通信网、计算机网、广播电视网的融合(或者说话音、数据、图像的融合),以及固定网和移动网的融合。融合的趋势推动了网络技术的进一步发展,当前的网络正在向下一代网(NGN)过渡。

1.3 宽带网的定义和主流技术

虽然宽带网这个词已经家喻户晓,但至今为止,宽带网并没有严格的定义。一般说来,“宽带”是相对“窄带”而言,而窄带一般是指传统话音信道的带宽,即 64 kbps,窄带业务指话音业务以及可以在话音信道内传送的业务,如低速数据、传真、静止或慢扫描图片等。由于在数字电话网中,32 路或 24 路话音信号复用成 PCM 一次群,以 2.048 Mbps 或 1.544 Mbps 的速率传送,目前人们所说的宽带网大致可定义为用户和网络之间的接口速率大于 PCM 一次群速率的网络,因此,当前电话网和低速数据网属于窄带网,而在干线上采用光纤传输,在用户和网络之间采用各种高速接入协议(如 ADSL、LAN、PON、HFC^①等)的 ATM 和 IP 网络以及第三代移动通信网(3G 网络)都属于宽带网的范畴。

^① ADSL、LAN、PON、HFC 分别是非对称数字用户线,局域网,无源光网络,光纤-同轴混合,这些都是宽带网的接入方式。

宽带网有两种主流技术:ATM 和 IP。

ATM(Asynchronous Transfer Mode)起源于 20 世纪 80 年代,是一种面向连接的分组交换方式。按照这种方式,网络为每个通信选择一条固定的路径,并在路径上预留一定的资源。在通信过程中,所有的分组(在 ATM 技术中称为信元)都沿着这条路径传送,因此在这条路径上存在一个逻辑连接(这种连接称为“虚电路”)。为了建立虚电路连接,用户开始通信之前,需要向网络送控制信令,请求建立连接,通信结束后又要送信令,请求拆除连接。正是这种面向连接的方式使 ATM 能够很好地控制业务流量、管理网络资源和保证服务质量。ATM 网络的协议模型有 3 个平面:用户平面、控制平面和管理平面,分别完成用户信息传送、通信控制和网络维护管理功能。ATM 网络有严格的结构和复杂的协议标准,网络的运营成本较高。

ATM 技术问世之后,大量的科技工作者、生产厂商、运营商以及国际上众多的标准化组织历经十几年的努力,提出了近乎完美的宽带综合业务数字网(B-ISDN)解决方案,制造和部署了大量的 ATM 交换系统和网络,开展了一定规模的试验和运营,当时,ITU-T 曾经断言,B-ISDN 是网络发展的必然趋势。

IP(Internet Protocol)起源于 20 世纪 70 年代初,当时美国国防部高级研究计划局(ARPA, Advanced Research Projects Agency)开始了互联网(Internet)研究项目,采用无连接的分组交换协议 IP 和面向连接的传输控制协议(TCP, Transmission Control Protocol)将分布在各地的计算机和计算机网络连接起来,以满足人们对于资源共享的需要。TCP/IP 取得了巨大的成功,互联网迅速发展起来。不过直到 90 年代初,互联网的主要应用仍局限在为学术界、政府和工业界的研究人员传送电子邮件,发送消息和文件,进行远程登录等。1989 年 WWW(World Wide Web)技术的出现和 1993 年图形界面浏览器 Mosaic 的问世彻底改变了互联网的应用范围,使其从政府的网络变成公众的网络。到 1995 年,互联网已经发展成为连接数万个局域网和上千万台用户主机的全球性商业网络。

IP 采用无连接的分组交换方式,通信之前不需要建立连接,计算机主机可以直接将数据分组送到网络,网络结点(路由器)为每一个分组选路,同一通信的分组可能经由不同的路径到达目的地。这种无连接的方式十分灵活简洁,易于实现。但是,在无连接方式下网络很难分配资源,也不容易控制业务流量,因此 IP 网并不能保证服务质量,是一种尽力而为(Best Effort)的网络。和 ATM 网的 3 平面协议结构相比,IP 网的协议显得十分简单,主要是用于分组传送的网络层和传输层协议,以及简单的网络管理协议。IP 网对于物理层、数据链路层和高层协议并没有严格的界定,它能在任何已有的数据链路协议之上运行,也能提供开放接口,支持各种不同的业务和应用。可以看出,IP 网是开放的网络。

ATM 和 IP 的技术特点对比如表 1-1 所示。