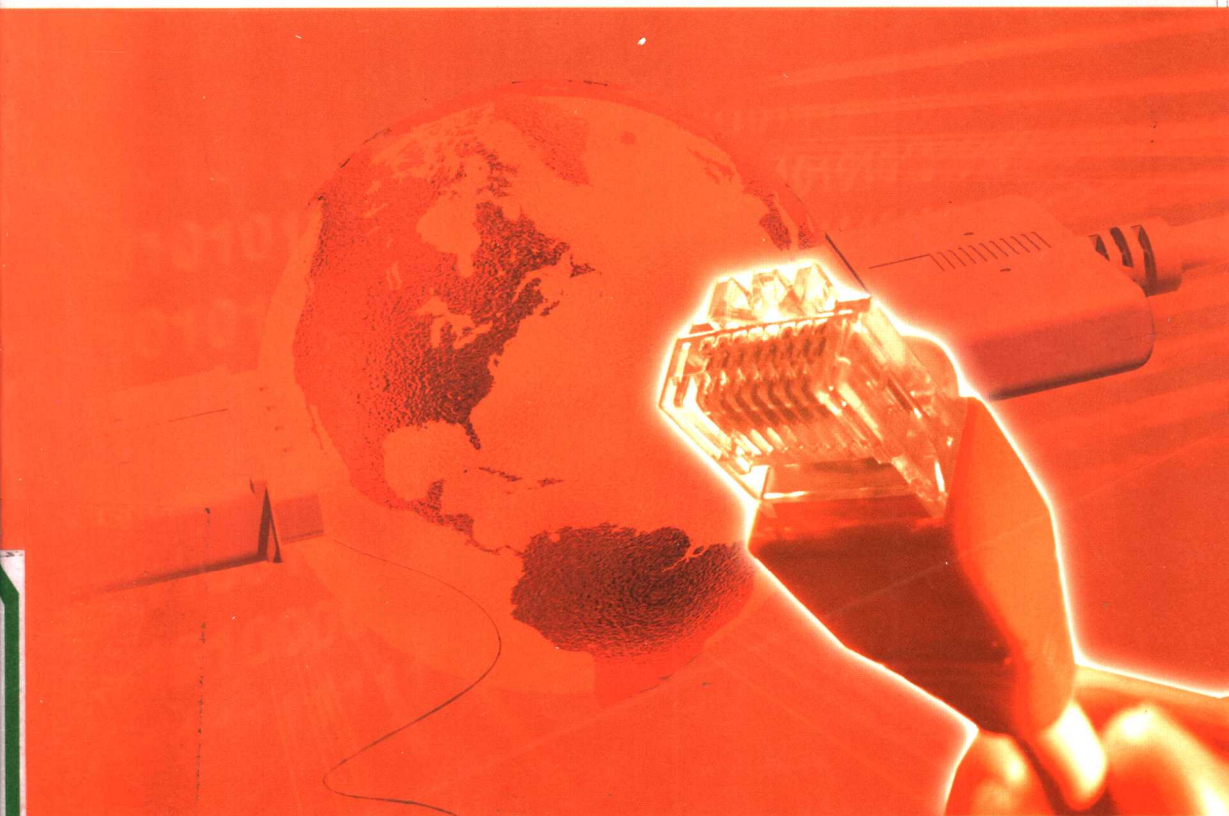


刘伟 编著

宽带综合接入技术



 科学出版社
www.sciencepress.com

内 容 简 介

本书内容新颖,选题广泛,参考了近几年接入网的最新研究成果,系统地介绍了基于IP的宽带综合接入技术,包括铜线接入、光纤接入、无线接入以及宽带综合接入等最新技术进展。本书内容共分8章:第1章为宽带综合接入技术概述,第2章为非对称数字用户线——ADSL,第3章为VDSL接入技术,第4章为光纤同轴混合接入技术,第5章为无源光纤接入技术,第6章为无线局域网,第7章为宽带无线接入,第8章为宽带综合接入的现状和未来。

本书适合从事宽带综合接入技术研究和开发的工程技术人员阅读,也可以作为高等院校通信与信息系统专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

宽带综合接入技术/刘伟编著. —北京:科学出版社,2007
ISBN 978-7-03-019992-8

I. 宽… II. 刘… III. 宽带通信系统—接入网 IV. TN915.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第144321号

责任编辑:耿建业 于宏丽 / 责任校对:张 琪

责任印制:刘士平 / 封面设计:耕 者

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第一版 开本: B5 (720×1000)

2007年9月第一次印刷 印张: 14 1/2

印数: 1—3 000 字数: 275 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

因特网的高速接入对宽带接入网的发展起到巨大的推动作用，接入手段也从早期的话带调制解调器接入发展到现在的铜线接入、光纤同轴混合接入以及宽带无线接入等多种方式，业务类型也由单一的数据业务发展到包括数据、语音、图像和视频在内的综合业务。宽带综合接入网的发展是实现电信网、数据网和电视网融合的有效手段。

宽带综合接入技术是宽带接入网中物理层、链路层、网络层内容的综合，包括非对称数字用户线（ADSL）、甚高速数字用户线（VDSL）、光纤同轴混合接入（HFC）、以太网无源光网络（EPON）、宽带无线接入（WiMAX）、无线局域网（wireless LAN）等技术，这些技术都是目前通信工程领域的研究热点，而新的研究结果和标准层出不穷。宽带综合接入技术的发展对通信网的发展具有极为重要的意义。

IEEE 和 ITU 从 2005 年开始已经公布大量宽带接入的规范和标准，例如，2005 年发布的 ADSL2+、2006 年发布的 VDSL2、2004 年发布的 EPON、2006 年发布的 DOCSIS3.0、2005 年宽带无线接入规范 IEEE802.16e 等。这些规范和标准包含接入网发展的最新前沿技术，是未来综合宽带接入技术发展的方向。将这些最新的技术介绍给专业技术人员对接入网的发展具有积极的意义。

本书系统介绍 IP 宽带综合接入技术，包括 ADSL2/ADSL2+、VDSL2、EPON、IEEE802.11 无线局域网和 IEEE802.16 宽带无线接入等。本书内容共分 8 章：第 1 章为宽带综合接入技术概述，第 2 章为非对称数字用户线——ADSL，第 3 章为 VDSL 接入技术，第 4 章为光纤同轴混合接入技术，第 5 章为无源光纤接入技术，第 6 章为无线局域网，第 7 章为宽带无线接入，第 8 章为宽带综合接入的现状和未来。本书的内容选择近年来宽带接入技术的最新发展，侧重接入网的关键技术，尤其是物理层和媒体接入控制层的关键技术，这对于接入网优化设计具有重要意义，同时，本书内容紧密联系宽带接入网的最新标准，这些标准都是未来宽带综合接入技术发展的指导性文件。

在本书的编写过程中，毛玺参与了第 4 章部分内容的撰稿工作。同时本书得到河南科技大学普杰信教授、霍华副教授、洛阳牡丹通信设备有限公司赵玉峰和王生虎高级工程师的支持和建议，在此表示感谢。

感谢河南科技大学学术著作出版基金对本书出版的资助，感谢河南科技大学

学科建设办公室、河南科技大学电子信息工程学院在本书编写过程中给予的大力支持和帮助。

宽带综合接入技术是当前通信技术研究的热点，许多问题尚有待于研究和解决，本书介绍了当前流行的宽带综合接入技术，包括其中的一些关键技术和热点问题。但是由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者提出宝贵的批评意见。

刘 伟
2007 年 5 月

目 录

前 言

第 1 章 宽带综合接入技术概述	1
1.1 接入网的基本概念	1
1.1.1 接入网的定义	1
1.1.2 接入网的特点	2
1.1.3 接入网的功能	3
1.2 由窄带接入到宽带接入	4
1.2.1 窄带接入	4
1.2.2 宽带综合接入	6
1.3 宽带接入网的分类	6
1.3.1 铜线接入技术	6
1.3.2 光纤同轴混合接入技术	7
1.3.3 无源光纤接入技术	8
1.3.4 无线接入技术	9
1.4 宽带综合接入业务	10
1.4.1 综合接入业务的 QoS 要求	11
1.4.2 综合接入业务的热点	12
1.5 本书的内容安排	13
第 2 章 非对称数字用户线——ADSL	14
2.1 ADSL 接入技术简介	14
2.2 ADSL 接入网络的结构和协议	16
2.2.1 ADSL 的参考模型	16
2.2.2 典型的 ADSL 接入网络体系结构和协议	17
2.2.3 VoADSL 接入网体系结构	19
2.3 ADSL 调制解调器的设计	20
2.3.1 ADSL 调制器的设计	21
2.3.2 ADSL 解调器的设计	28
2.3.3 ADSL 调制解调器的频谱特性	31
2.4 ADSL 的增强技术——ADSL2 和 ADSL2 +	33
2.4.1 ADSL2 的设计特点	33
2.4.2 ADSL2 + 的设计特点	37
2.5 ADSL 中比特加载技术	38

2.5.1	比特加载技术描述	38
2.5.2	比特加载算法	39
2.5.3	数值仿真结果	40
第3章	VDSL 接入技术	42
3.1	VDSL 接入技术简介	42
3.1.1	VDSL 接入网的参考模型	42
3.1.2	VDSL 的传输能力	43
3.1.3	VDSL 的标准	44
3.2	VDSL 收发器设计	45
3.2.1	TPS-TC 子层的功能	46
3.2.2	PMS-TC 子层的功能	50
3.2.3	PMD 子层的功能	52
3.3	VDSL2 简介	57
3.4	VDSL2 中的串音消除技术	59
3.4.1	串音的特性和影响	60
3.4.2	VDSL2 串音解决方案	61
3.4.3	VDSL2 串音抵消方案	63
第4章	光纤同轴混合接入技术	69
4.1	光纤同轴混合接入技术简介	69
4.1.1	有线电视网络的结构	69
4.1.2	HFC 接入网的协议栈	70
4.1.3	HFC 接入的标准	71
4.2	DOCSIS 中的物理层	73
4.2.1	DOCSIS 下行传输规范	73
4.2.2	DOCSIS 上行传输规范	78
4.3	DOCSIS 的 MAC 层协议	86
4.3.1	DOCSIS 的 MAC 帧结构	86
4.3.2	DOCSIS 的 MAC 管理消息	89
4.3.3	DOCSIS 的 MAC 层操作	91
4.4	DOCSIS 中的信道绑定技术	99
4.4.1	下行信道绑定技术	99
4.4.2	上行信道绑定技术	101
第5章	无源光纤接入技术	103
5.1	无源光纤接入技术简介	103
5.1.1	无源光网络简介	103
5.1.2	PON 的拓扑结构	104
5.1.3	TDMA-PON 和 WDMA-PON	105
5.1.4	PON 技术的标准化	106

5.2	EPON 的体系结构	107
5.2.1	EPON 和物理层相关的内容	108
5.2.2	EPON 和数据链路层相关的内容	110
5.2.3	EPON 中的数据传输	110
5.2.4	EPON 的承载业务	112
5.3	多点控制协议	112
5.3.1	带宽分配	113
5.3.2	自动发现机制	116
5.3.3	往返时间测量	119
5.3.4	时间戳的参考方式	120
5.4	EPON 中的逻辑仿真技术	121
5.4.1	点到点仿真	121
5.4.2	共享媒体仿真	122
5.4.3	点到点仿真和共享媒体仿真的结合	124
5.4.4	最终解决方案	124
5.4.5	LLID 过滤准则	125
5.5	GPON 接入技术	126
5.5.1	GPON 的物理媒体相关子层	126
5.5.2	GPON 支持的业务和接口	128
5.5.3	GPON 中的传输汇聚子层	129
5.5.4	GPON 和 EPON 的融合	132
第 6 章	无线局域网	133
6.1	无线局域网简介	133
6.1.1	无线局域网的组成	133
6.1.2	无线局域网的标准	133
6.2	无线局域网的物理层设计	135
6.2.1	IEEE802.11a 的物理层实现方法	135
6.2.2	IEEE802.11b 的物理层实现方法	143
6.3	无线局域网的 MAC 层设计	148
6.3.1	IEEE802.11 的 MAC 帧的结构	149
6.3.2	无线局域网的 DCF 接入方式	150
6.3.3	无线局域网的 PCF 接入方式	151
6.3.4	IEEE802.11 中的数据分段	152
6.4	无线局域网的性能分析	153
6.4.1	理想信道条件下 UDP 的性能	153
6.4.2	RTS/CTS 对 UDP 性能的影响	155
6.5	无线局域网的 QoS 保证	156
6.5.1	IEEE802.11e 中的 HCF 功能	156

6.5.2	IEEE802.11e 中的 HCF 性能仿真	159
6.5.3	IEEE802.11e 中的 VoIP 业务	161
第 7 章	宽带无线接入	163
7.1	宽带无线接入系统简介	163
7.1.1	宽带无线接入的特点	164
7.1.2	宽带无线接入标准的发展过程	165
7.2	宽带无线接入的物理层结构	166
7.2.1	WirelessMAN-SC 物理层结构	167
7.2.2	WirelessMAN-SCa 物理层结构	172
7.2.3	WirelessMAN-OFDM 物理层结构	174
7.2.4	WirelessMAN-OFDMA 物理层结构	180
7.3	宽带无线接入的 MAC 层结构	183
7.3.1	业务相关汇聚子层	184
7.3.2	MAC 公共部分子层	185
7.4	宽带移动无线接入 IEEE802.16e	198
7.4.1	IEEE802.16e 的物理层设计	198
7.4.2	IEEE802.16e 的 MAC 层的增强	200
7.5	宽带无线接入和 EV-DO、HSPA 的比较	203
第 8 章	宽带综合接入的现状和未来	206
8.1	宽带综合接入的现状	206
8.1.1	宽带接入网的传输能力	206
8.1.2	宽带接入业务的 QoS 要求	208
8.1.3	宽带接入网的管理	209
8.2	宽带综合接入的未来	209
8.2.1	宽带接入技术的发展	209
8.2.2	宽带接入网中的 QoS 保证机制	212
	参考文献	213
	缩写词表	218

第 1 章 宽带综合接入技术概述

1.1 接入网的基本概念

电信网和计算机网是最主要的通信网络，过去的电信网以电路交换为主，主要向用户提供话音业务和小于 64Kbps 的低速数据业务，业务的提供主要依靠交换节点来实现，作为用户终端的话机是简单的非智能终端，其功能非常有限；而计算机网络的结构和电信网不同，计算机网以分组交换为主，主要向用户提供各种数据业务，数据业务的传输速率远大于电信网所提供数据业务的传输速率，计算机网中的业务主要由智能用户终端和服务器来实现，网络中的交换节点（包括各种路由器、网桥和交换机）只实现分组的转发功能，因此计算机网络交换节点的结构和功能相对简单得多。

随着因特网技术的发展，电信网和计算机网开始融合。电信网的用户希望利用现行的用户线路资源实现宽带因特网的接入，从而共享因特网上丰富的资源。而由计算机网发展起来的因特网也开始支持语音、视频等传统电信业务，宽带综合业务的接入成了电信网和计算机网用户的共同目标。

1.1.1 接入网的定义

传统的电信网分为长途网和本地网两级，长途网实现长途业务交换和传输，本地网实现本地业务的交换和传输。传统的电信网中交换节点（即交换机）既要实现交换传输功能又要向用户提供各种业务。当用户需要增加新业务时，交换节点通常需要进行软硬件更新，这种方式使得新业务增加很不灵活，对于大容量交换节点，增加新业务更加困难。当前流行的分类方式是将电信网分为核心网（core network, CN）和接入网（access network, AN）。核心网实现交换和传输功能，和用户的业务特征无关；而接入网实现各种用户业务到核心网的接入。采用这种分类的好处是将用户业务从传输和交换中分离出来，简化核心网的功能。用传统的交换节点提供业务的方式演化为由接入网为用户提供各种业务。由于接入网具有丰富的资源，因此利用接入网向用户提供新业务成为网络技术发展的主流。利用接入网向用户提供业务的方式和因特网中利用用户终端和服务器提供业务的观点相同，这为电信网和因特网的融合奠定了基础。

国际电信联盟（International Telecommunications Union, ITU）在 1995 年发布 G. 902 标准中对接入网的定义为：接入网是由业务节点接口（service node inter-

face, SNI) 和相关的用户网络接口 (user network interface, UNI) 之间的一系列传输实体 (包括线路设备和传输设备) 组成, 它是一个为传输电信业务提供所需传送承载能力的实施系统, 接入网可以由 Q3 接口进行配置和管理, 图 1-1 是接入网的参考模型^[1]。基于 V.5 接口的电信接入网就是 G. 902 中定义的接入网的具体实现。

但是, 随着基于互联网协议 (Internet Protocol, IP) 的因特网的发展, 因特网的接入成为接入网用户的主流业务, ITU 在 2000 年发布的 Y. 1231 中对 IP 接入网进行了定义: IP 接入网是在 IP 用户和 IP 业务提供者之间为提供所需接入到 IP 业务的能力的网络实体实现, 图 1-2 是 IP 接入网的参考模型。现在核心网也向全 IP 方向发展, 基于 IP 开展宽带综合业务已成为接入网发展的主流方向。

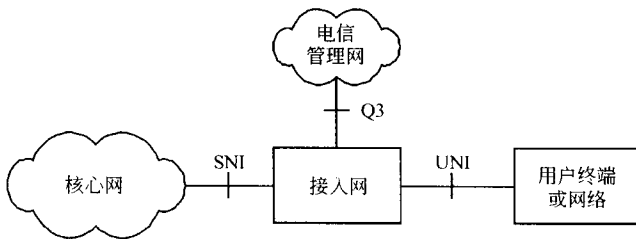


图 1-1 接入网的参考模型

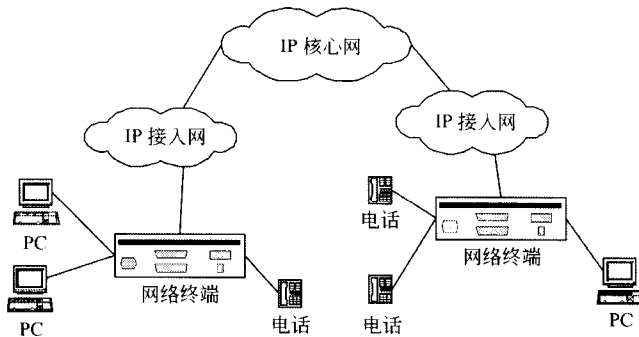


图 1-2 IP 接入网的参考模型

1.1.2 接入网的特点

核心网的功能相对单一, 主要实现信息交换和传输功能, 而接入网需要为各种不同的用户在不同的传输环境下提供多种综合接入业务, 其功能和结构比核心网复杂得多。相对于核心网具有以下主要特点:

(1) 接入网不具备交换功能

这是接入网和核心网的最主要的区别。核心网的主要功能是实现信息交换

(包括电路交换和分组交换)和信息的传输功能。而接入网主要实现信息的传输、复用、交叉连接功能,通过 SNI 接口和核心网连接,信息的交换功能用核心网完成。

(2) 支持多业务接入

将接入网和核心网分开的目的就是将业务接入和交换分开。核心网交换功能和具体业务无关,而接入网需要实现用户多业务的接入。这些业务包括语音、数据、图像、视频等,接入网需要将各种用户业务转换成统一的交换数据格式在核心网中进行交换和传输。接入网提供不同业务所占用的传输带宽也存在巨大的差异,而核心网通常采用固定速率进行数据交换和传输。

(3) 复杂的传输环境

目前我国的核心网都是光传输网,其传输速率可达每秒几十吉比特。但是面向用户接入网的传输环境要比核心网复杂得多。接入网的传输环境包括铜线、同轴电缆、光纤和工作在各种工频段的无线传输设备。不同的传输环境下信息传输速率、传输质量和传输特性存在很大差异,因此接入网的设计方法多种多样。即使在同一种传输环境下,不同业务对接入网的要求也不相同,因此用户接入网的设计不但需要考虑复杂的传输环境还需要考虑相关的用户业务。

1.1.3 接入网的功能

接入网的功能如图 1-3 所示。接入网中包括五项主要功能:用户口功能、业务口功能、核心功能、传输功能和系统管理功能。

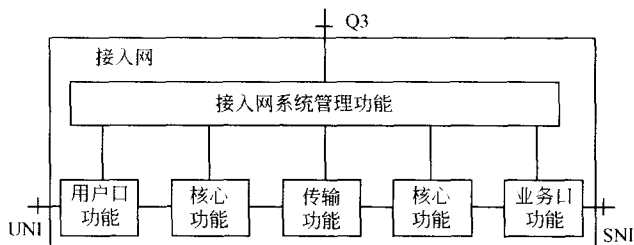


图 1-3 接入网功能的参考模型

1. 用户口功能

用户口功能的主要作用是将特定的 UNI 要求与核心网功能进行匹配,主要功能包括终止 UNI 功能、模数转换和信令转换、UNI 激活/去激活、UNI 的承载信道处理以及 UNI 的测试和管理等。

2. 业务口功能

业务口功能主要作用是将特定的要求与公用承载信道进行匹配,使得核心网对其进行处理,也负责选择系统管理功能的有关消息。业务口的主要功能包括终止 SNI 功能,将承载信道的需要和即时管理操作的需要映射到核心网,特定的 SNI 协议映射, SNI 的测试和维护等。

3. 核心功能

核心功能位于用户口功能和业务口功能之间,主要作用是将用户口承载业务信道或业务口承载业务信道的特殊要求与传输承载信道进行匹配。核心功能还可实现协议适配和协议承载信道的复用处理,核心功能的主要功能包括接入承载信道处理、承载信道复用、信令和分组信息复用、承载信道的电路模拟以及管理控制功能。

4. 传输功能

传输功能为接入网中不同承载信道的传输提供通道,也为所有传输媒体提供适配功能。传输功能部分的主要功能包括复用、交叉连接、物理媒体适配等。

5. 系统管理功能

系统管理功能主要作用是实现接入网内部各部分功能管理、操作和维护,也负责用户终端和业务节点之间操作维护,其主要功能包括配置和控制、协调指令、故障诊断和指示、用户信息和数据采集、资源管理以及安全管理等。

系统管理功能部分通过 Q3 接口和电信管理网连接,接收电信管理网的监测和控制,同时也可以经过 SNI 和用户终端通信,经过 SNI 和核心网通信。

1.2 由窄带接入到宽带接入

接入网的发展也经历了从窄带接入到宽带接入的过程。窄带接入的用户业务速率通常不超过 64Kbps,这也是传统电信网的基本传输速率,窄带接入业务主要是语音业务和部分窄带数据业务。而宽带接入用户业务速率远大于 64Kbps,宽带接入业务是包括语音、数据和图像在内的综合业务。目前传统电信网中还存在窄带语音接入,而基于 IP 的因特网接入主要采用宽带接入方式。

1.2.1 窄带接入

窄带接入网主要支持小于 64Kbps 的语音业务和低速数据业务,其中语音业

务是窄带接入网中主流业务。窄带接入的方式有话带调制解调器接入、综合业务数字网（integrated services digital network, ISDN）接入和 V.5 接入方式，其中话带调制解调器接入是模拟接入方式，ISDN 接入可为 ISDN 用户提供数字接入，而 V.5 接入可以为 ISDN 和非 ISDN 用户实现到本地交换机的数字接入，V.5 接入方式的协议比 ISDN 接入协议简单易行。目前话带调制解调器和 ISDN 接入方式基本已被其他的宽带接入方式取代，但是作为数字接入交换机的 V.5 接入方式仍在使用。

1. 话带调制解调器接入

由于铜线是最为丰富的用户资源，利用话带调制解调器通过铜线实现因特网接入是最简单、最经济的接入手段，话带调制解调器接入方式是因特网初期的重要接入方式之一。V.34 话带调制解调器向用户提供双向的 33.6Kbps 的数据传输速率^[2]，V.90 话带调制解调器可以向用户提供 56Kbps 的下行传输和 33.6Kbps 的上行传输^[3]。话带调制解调器接入采用电路交换模式，其信息传输速率小于 64Kbps。目前话带调制解调器接入因特网的方式基本上已经被 ADSL 接入技术取代。

2. ISDN 接入

ISDN 接入也是利用用户铜线实现窄带数字接入。ISDN 不同于话带调制解调器的模拟传输技术，ISDN 是全数字传输方式。ISDN 接入可以向 ISDN 用户同时提供一条 64Kbps 的语音通道和一条 64Kbps 的数据通道。ISDN 接入方式目前也基本被 ADSL 接入技术取代。

3. V.5 接入

传统的本地交换机和用户终端之间通过模拟方式连接，而数字业务的开展需要在交换机和用户终端之间实现透明的数字传输，即要求交换机为用户提供数字业务的接入。ISDN 是其中的一种数字接入方式，但是许多终端不支持 ISDN 接入方式，而且 ISDN 的协议非常复杂，不同厂家的设备接入方式存在差异，设备互通性较差。因此 ITU 制定了 V.5 标准 G.964 和 G.965，用来实现用户终端、远端模块和交换机之间的数字连接^[4,5]。相对于 ISDN 接口和协议，V.5 接口相对简单，而且容易实现。

V.5 接入主要有 V.5.1（即 ITU 的 G.964）标准，一个 V.5.1 接口由一条独立的 2.048Mbps 的 E1 传输链路构成，向用户提供 PSTN 语音接入、64Kbps 的 ISDN 接入和其他半固定的、不加带外信令的模拟和数字接入。在 V.5.1 接入方式中，V.5.1 接口使用一个 64Kbps 的时隙传输公路信令，其他时隙传输语音信号。

V.5 接入的另一个标准是 V.5.2 标准（即 ITU 的 G.965），一个 V.5.2 接口可以由 1~16 条 2.048Mbps 的传输链路组成。V.5.2 接入处理除支持 V.5.1 接入方式外还支持 ISDN 的 2.048Mbps 的基群速率接入，V.5.2 的接入类型都具有基于呼叫的承载通路分配方式，即集线功能，而且还支持多链路控制协议和保护协议。V.5.1 可以看成 V.5.2 的一个子集。

1.2.2 宽带综合接入

宽带综合接入方式向用户提供的传输速率远大于 64Kbps。宽带综合接入主要提供以数据业务为主的综合业务，其中包括数据、语音、图像和视频业务，业务分配方式支持单播、组播和广播等多种方式。目前核心网中交换机已经全面数字化，而且向软交换方向发展，传输线路已经实现光纤化，同时因特网的飞速发展，基于 IP 的因特网接入已经成为宽带接入的主流技术，各种宽带业务都可在 IP 协议上开展。目前在宽带 IP 接入方式下，用户可以开展包括语音、数据和视频在内的综合业务。

虽然基于 IP 的因特网是一个“尽力交付”的传输系统，不能向用户提供服务质量（quality of service, QoS）保证机制。但是随着因特网的发展，支持 QoS 的实时传输协议、流控制协议、集成服务协议、区分服务协议以及资源预留协议也逐步完善，宽带 IP 接入也可向用户提供端到端 QoS 保证。

1.3 宽带接入网的分类

接入网的分类通常根据传输媒体进行分类，总的可以分为有线接入和无线接入。有线接入包括铜线接入、无源光纤接入以及光纤同轴电缆混合接入；无线接入包括无线局域网、宽带无线接入以及移动通信系统。虽然移动通信系统可以实现综合业务的接入，但是严格地讲移动通信是一个完整独立的通信系统而不是接入网，本书中不讨论移动通信系统接入问题。

1.3.1 铜线接入技术

铜线是最丰富的用户线路资源，用户利用话带调制解调器可以在铜线上实现低速的因特网接入，利用 ISDN 的 2B+D 接口可以实现用户数据和语音的同时传输。为了充分利用铜线资源，研究人员将现代通信理论和信号处理技术用于铜线传输，已经获得远大于 64Kbps 的传输速率。铜线接入方式主要有高速数字用户线（high-speed digital subscriber line, HDSL）、非对称数字用户线（asymmetric digital subscriber line, ADSL）和甚高速数字用户线（very high speed digital subscriber line, VDSL）。

1. HDSL

HDSL是一种宽带数据传输设备,采用简单的2B1Q线路码传输技术,可以在一对铜线上实现对称的1.544Mbps或2.048Mbps的高速透明数据传输,最大传输距离可达3km^[6]。HDSL可以看成ISDN中2B+D接口的扩展,或者是V.34话带调制解调器的增强(V.90话带调制解调器在HDSL之后出现),HDSL的应用主要是点到点对称数据传输,用户利用HDSL实现因特网接入的应用范例很少。

2. ADSL

这是目前最流行的宽带IP接入方案,在双绞线上向用户提供不对称的数据传输业务。以最常用的基于G.992.1的ADSL为例,上行最高传输速率为640Kbps,下行最高传输速率为6.144Mbps,最大传输距离5km。ADSL中采用离散多音(discrete multi-tone, DMT)调制技术,可以克服信道中单频干扰。不对称的传输特性非常适合开展因特网接入业务,目前利用ADSL实现因特网接入是因特网主要的接入手段之一。新一代的ADSL2/ADSL2+可以提供比ADSL更高的传输速率和更远的传输距离,支持IP传输模式,而且可以为用户业务提供QoS保证机制,是ADSL的换代产品^[7,8]。本书将在第2章详细介绍ADSL/ADSL2/ADSL2+接入技术。

3. VDSL

VDSL采用类似ADSL的DMT调制技术,但是VDSL的应用场合和ADSL不同,VDSL是光纤接入的一种补充手段,是一种光纤铜线混合接入技术。由于VDSL实现光网络单元到用户终端的连接,因此VDSL的传输距离远小于ADSL,通常为300~1500m,因此VDSL的传输速率远高于ADSL,而且可以支持对称和非对称传输^[9]。在对称传输模式下,最高传输速率为26Mbps;在非对称传输模式下,上行最高传输速率为6.4Mbps,下行传输速率52Mbps。新一代的VDSL2可以实现对称100Mbps的传输速率^[10]。目前网络电视(television over IP, IPTV)技术是推动VDSL发展的重要因素。本书将在第3章介绍VDSL/VDSL2接入技术。

1.3.2 光纤同轴混合接入技术

同轴电缆的传输质量明显优于铜线传输,而且有线电视网络也拥有非常大量的用户,利用有线电视传输的剩余带宽来开展因特网接入在理论上是可行。但是传统的有线电视传输网是单向传输网,无法提供上行传输链路。随着数字电视的

实现, 消除了网络中的单向放大器, 光纤同轴混合 (hybrid fiber coaxial, HFC) 接入可以向用户提供上行传输信道。HFC 可以在 20km 的传输距离上向用户提供最大速率为 30Mbps 的下行传输和最大速率为 10Mbps 的上行传输^[11,12], 目前已有大量的 HFC 宽带接入产品进入商用阶段。本书将在第 4 章介绍 HFC 接入技术。

1.3.3 无源光纤接入技术

相对于铜线和同轴电缆, 光纤具有非常高的传输速率和良好的传输质量, 利用光纤实现宽带综合业务接入是最为理想的选择。但是光纤接入的成本明显高于铜线接入或 HFC 接入, 采用有源的点到点光纤接入在现阶段实施还存在许多困难, 一种简单的相对廉价的光纤接入方式是采用无源光网络 (passive optical networks, PON) 来实现光纤接入。无源光网络中采用时分复用的方式实现点到多点的通信。PON 根据协议不同分为异步传输模式无源光网络 (asynchronous transfer mode passive optical network, APON)、以太网无源光网络 (ethernet passive optical network, EPON) 和吉比特无源光网络 (gigabit-capable passive optical network, GPON) 三种方式。

1. APON

ITU 于 1998 年发布了基于 ATM 的无源光网络 APON 标准, 即 G.983 系列标准^[13]。APON 中采用 ATM 信元作为业务的承载载体, 上行传输速率为 155Mbps, 下行传输速率为 155/622Mbps, 在 ATM 上可以开展语音数据和视频等业务。但是由于支持 ATM 设备较少, ATM 设备复杂, 因此 APON 一直未能成为光纤接入市场的主流。

2. EPON

EPON 是电子电气工程师协会 (Institute of Electronics and Electrical Engineers, IEEE) 发布的利用以太网帧格式为载体的 PON 的标准, 即 IEEE802.3ah^[14]。EPON 可以看成 100BASE-F 和 1000BASE-F 以太网的扩展, EPON 采用以太网的 8B/10B 线路码, 上下行传输速率可达 1Gbps, 采用时分复用的点到多点通信方式, 而且可以和传统的以太网实现无缝连接。由于以太网协议应用的广泛性, EPON 是光纤接入技术的主流。

3. GPON

ITU 于 2003 ~ 2004 年发布了 GPON 规范作为光纤接入标准, 即 G.984 系列标准。相对于 APON, GPON 的物理层传输速率超过 1Gbps。GPON 还可以同时支

持 ATM 数据封装和新增加的数据封装格式, 用来增强对分组业务的支持。GPON 还可以支持时分复用、ATM 和 IP 等多种业务^[15], 但是其协议复杂、技术难度大、成本高。GPON 能否代替 EPON 成为光纤接入网市场的主流技术, 目前还不能确定。本书将在第 5 章对 EPON 和 GPON 接入技术进行介绍。

1.3.4 无线接入技术

无线接入相对于有线接入具有不可比拟的优越性, 无需用户布线可以节约大量的资源。但是相对于有线传输信道, 无线信道的传输容量和传输质量远不如有线信道。不过随着现代通信理论和信号处理技术的发展, 无线通信取得了丰硕的成果。利用无线通信技术实现宽带综合接入已经成为无线通信研究的热点技术。除了移动通信系统可以实现因特网接入外, 目前流行的无线因特网接入技术主要有蓝牙 (bluetooth)、无线局域网和宽带无线接入。

1. 蓝牙技术

蓝牙是一种工作在 2.4GHz 的低功耗无线接入方式, 其最大传输速率为 700Kbps, 最大传输距离为 30m, 采用跳频扩频技术克服信道衰落和干扰^[16]。蓝牙最初设计目的是为大量的消费类电子产品提供因特网接入功能, 从而实现真正“everything over IP”的理想。但是由于其市场定位和无线局域网有重合, 且蓝牙成本一直没有达到消费类电子产品所能接受的范围, 因此利用蓝牙技术实现因特网接入的用户并不普遍。

2. 无线局域网

无线局域网是以太网在无线应用领域的延伸。无线局域网采用无线传输代替五类双绞线, 数据链路层采用随机接入方式 (但不同于以太网的随机接入方式), 网络层和传输层仍采用 TCP/IP 协议, 可以和以太网实现无缝连接。无线局域网的标准主要有 IEEE802.11、IEEE802.11a、IEEE802.11b 和 IEEE802.11g 四种。

(1) IEEE802.11

这是第一个无线局域网的标准, 其物理层采用直接序列扩频和跳频扩频技术, 物理层传输速率为 1Mbps 和 2Mbps, 媒体接入控制采用载波侦听/冲突避免的随机接入机制^[17]。基于 IEEE802.11 的无线局域网设备已被基于 IEEE802.11b 的设备取代。

(2) IEEE802.11a

IEEE802.11a 无线局域网工作频率为 5GHz, 采用正交频分复用 (orthogonal frequency division multiplexing, OFDM) 调制技术, 物理层最大传输速率为