



高职高专物联网专业规划教材

WUXIAN
JIERU
JISHU

无线接入技术

姚美菱 王丽娜 主编



化学工业出版社

高职高专物联网专业规划教材

无线接入技术

姚美菱 王丽娜 主 编
李 明 李 影 李 莉 副主编

无线接入网分为无线广域网 (WWAN)、无线城域网 (WMAN)、无线局域网 (WLAN) 和无线个域网 (WPAN), 本书全面、系统地阐述了无线接入网的基本原理、基本技术, 反映了当代无线接入领域的最新技术。

全书共 5 章, 主要介绍了: 接入网技术基础, 包括接入网的定义、分类, 常用的有线接入网技术, 无线接入网的分类; 无线个域网接入技术, 包括 WiMAX 网络及其系统协议框架、关键技术、组网; 无线局域网接入技术, 包括 WLAN 的网络结构、频段分配、体系结构、802.11 系列标准、WLAN 的关键技术、硬件设备、WLAN 的组网、WLAN 的规划、WLAN 的优化; 无线城域网接入技术, 包括 WiMAX 网络及其系统协议框架、关键技术和组网; 无线广域网接入技术, 包括 LTE 需求与技术特点、LTE 空中接口协议、系统架构和关键技术等。

本书既可作为高等工科院校通信工程、信息工程、电子信息类等相关专业的教材, 也适合规划设计、施工建设和运行维护的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

无线接入技术/姚美菱, 王丽娜主编. —北京: 化学工业出版社, 2014.1
高职高专物联网专业规划教材
ISBN 978-7-122-18966-0

I. ①无… II. ①姚…②王… III. ①无线接入技术-
高等职业教育-教材 IV. ①TN925

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 269538 号

责任编辑: 王听讲
责任校对: 徐贞珍

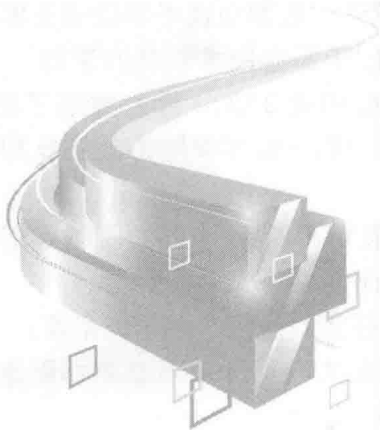
文字编辑: 吴开亮
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 304 千字 2014 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

接入网是指骨干网络到用户终端之间的所有设备。其长度一般为几百米到几公里，因而被形象地称为“最后一公里”。由于骨干网一般采用光纤结构，传输速度快，因此，接入网便成为了整个网络系统的瓶颈。接入网成为网络应用和建设的热点，我国已把接入网建设纳入国家信息基础设施建设中。无线接入技术在接入网中的比重越来越大，越来越受到通信运营商的重视。

无线接入网利用无线介质（无线电波、红外线和激光等）作为信息传输媒介，按照网络覆盖的地理范围，分为无线广域网（WWAN）、无线城域网（WMAN）、无线局域网（WLAN）和无线个域网（WPAN）。

本书编写的目的是为应用型本科和高职高专院校通信工程、信息工程、电子信息类等相关专业的学生，学习移动通信提供一本适合的教材，因此在编写过程中力求内容全面、深入浅出、语言简洁、通俗易懂，注重基本概念和基本原理。

全书共 5 章，主要包括以下内容。

第 1 章是接入网技术概述，包括接入网的定义，接入网的分类，常用的有线接入网技术，无线接入网的分类等。

第 2 章介绍无线个域网接入技术，包括 HomeRF、蓝牙、UWB、ZigBee、IrDA。

第 3 章介绍无线局域网接入技术，包括 WLAN 的网络结构、频段分配、体系结构、802.11 系列标准、WLAN 的关键技术、硬件设备、WLAN 的组网、WLAN 的规划、WLAN 的优化等。

第 4 章介绍无线城域网接入技术，包括 WiMAX 网络及其系统协议框架、关键技术、组网等。

第 5 章介绍无线广域网接入技术，包括无线广域网的基本概念，LTE 需求与技术特点、LTE 空中接口协议、系统架构、关键技术等。

本书由石家庄邮电职业技术学院的姚美菱和黑龙江信息职业技术学院的王丽娜主编，河北省城乡规划设计研究院的李明及石家庄邮电职业技术学院的李影、李莉担任副主编。姚美菱、李明、李莉编写了第1章和第3章，李影编写了第2章，王丽娜编写了第4章和第5章，还有石家庄邮电职业技术学院的刘正波和韩静也参加了本书的编写工作。

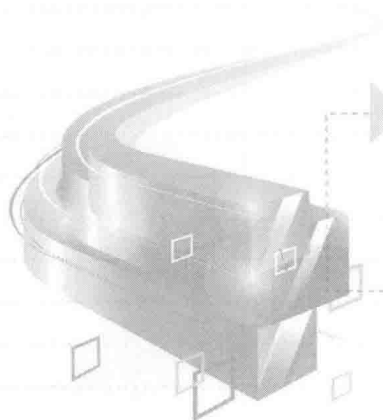
我们将为使用本书的教师免费提供电子课件等教学资源，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站 <http://www.cipedu.com.cn> 免费下载使用。

本书在编写过程中参阅了大量的文献、资料，在此对各位作者深表谢意；本书在编写过程中还得到了通信类高职院校同行与同事的大力支持，在此表示感谢；同时向帮助本书出版的编辑出版人员表示深深的谢意。

由于无线接入网技术发展迅速，加之编写时间和笔者能力所限，书中难免有疏漏之处，恳请各位读者批评指正。

编者

2013年12月



目 录

CONTENTS

第 1 章 接入网技术概述	1
1.1 接入网的定义	1
1.2 接入网的特点	2
1.3 接入网分类	3
1.4 有线接入网简介	4
1.4.1 有线接入网的分类	4
1.4.2 xDSL 技术	6
1.4.3 光接入技术	9
1.4.4 HFC	17
1.5 无线接入网简介	18
思考题	21
第 2 章 无线个域网接入技术	23
2.1 概述	23
2.1.1 无线个域网的基本概念	23
2.1.2 无线个域网的分类	24
2.1.3 无线个域网的关键技术	25
2.1.4 无线个域网技术标准	28
2.2 蓝牙技术	34
2.2.1 蓝牙技术简介	34
2.2.2 蓝牙协议	35
2.2.3 蓝牙技术原理	37
2.2.4 蓝牙技术应用	42
2.3 UWB 技术	43
2.3.1 UWB 技术简介	43
2.3.2 UWB 基本原理	46

2.3.3 UWB 特点及应用	47
2.4 ZigBee 技术	49
2.4.1 ZigBee 技术简介	49
2.4.2 ZigBee 协议体系结构	50
2.4.3 ZigBee 网络结构	52
2.4.4 ZigBee 技术应用	54
2.5 RFID 技术	55
2.5.1 RFID 技术简介	55
2.5.2 RFID 标准体系结构	58
2.5.3 RFID 技术原理与分类	60
2.5.4 RFID 技术应用	66
思考题	67

第 3 章 无线局域网接入技术	68
3.1 什么是 WLAN	68
3.2 WLAN 的优点	69
3.3 802.11 系列标准——WLAN 的主流协议标准	70
3.3.1 802.11 系列标准	70
3.3.2 支撑标准演进的物理层关键技术	74
3.3.3 Wi-Fi	77
3.4 无线局域网工作频率	77
3.5 WLAN 的结构	83
3.6 WLAN 的组成	85
3.6.1 无线站点 (STA)	85
3.6.2 无线 AP	86
3.6.3 天线	90
3.6.4 无线网桥	92
3.7 空中接口物理层协议	94
3.8 空中接口 MAC 层协议	95
3.8.1 CSMA/CA 设计思路	95
3.8.2 802.11 的 MAC 层	96
3.8.3 CSMA/CA 协议的工作原理	97
3.8.4 802.11 局域网的 MAC 帧类型	100
3.8.5 802.11 局域网的 MAC 帧格式	101
3.9 WLAN 的操作	104
3.10 AC+FIT AP 组网	105
3.10.1 AP 布放方式	105
3.10.2 AC 布放方式	106
3.10.3 AC 备份方式	108

3. 10. 4	FIT AP 和无线控制器之间的网络拓扑结构	109
3. 10. 5	AP 流量的转发方式	110
3. 10. 6	组网模式	111
3. 11	WLAN 规划	115
3. 11. 1	WLAN 室内覆盖规划	116
3. 11. 2	室内分布系统合路	120
3. 11. 3	WLAN 室外覆盖规划	122
3. 11. 4	WLAN 容量规划	124
3. 12	WLAN 网络优化	125
3. 12. 1	网络优化的流程	125
3. 12. 2	网络优化的原则	126
3. 12. 3	网络优化的目标	126
3. 12. 4	网络优化的工具及软件	126
3. 12. 5	网络优化的服务内容	126
3. 12. 6	常见问题的优化思路	127
3. 12. 7	WLAN 优化案例——WLAN 无线校园网的优化	129
3. 13	WLAN 的其他标准	130
3. 13. 1	HiperLAN	130
3. 13. 2	HomeRF	130
3. 14	WLAN 应用场景	131
	思考题	132
第 4 章	无线城域网接入技术	135
4. 1	WiMAX 的基本概念及特点	135
4. 1. 1	WiMAX 技术标准分析	135
4. 1. 2	WiMAX 技术特点	145
4. 2	WiMAX 网络及其系统协议框架	146
4. 2. 1	WiMAX 网络框架	146
4. 2. 2	WiMAX 协议栈	148
4. 3	WiMAX 关键的物理层技术	152
4. 3. 1	信道编码技术	152
4. 3. 2	自适应调制编码技术	154
4. 3. 3	混合自动重传	154
4. 3. 4	多天线技术	155
4. 3. 5	OFDM 控制机制	156
4. 3. 6	OFDMA 协议	158
4. 3. 7	OFDM 技术与 OFDMA 技术	160
4. 4	WiMAX 的 MAC 层 QoS 保证机制	161
4. 4. 1	WiMAX 网络 QoS 的介绍	161

4.4.2 调度服务	172
4.4.3 带宽分配与请求机制	174
4.5 WiMAX 应用场景	179
4.5.1 WiMAX 的运营业务	180
4.5.2 WiMAX 应用领域	182
4.6 WiMAX 的组网	185
4.6.1 WiMAX 组网特点	185
4.6.2 WiMAX 组网技术分析	187
4.6.3 WiMAX 组网频谱规划	190
思考题	191
第 5 章 无线广域网接入技术	192
5.1 无线广域网的基本概念	192
5.2 4G 网络	194
5.2.1 LTE 需求与技术特点	194
5.2.2 LTE 接入网系统架构	198
5.2.3 LTE 空中接口协议特点	201
5.2.4 TD-LTE 新增关键技术	203
思考题	209
附录 部分思考题答案	210
第 1 章 思考题答案	210
第 3 章 思考题答案	210
参考文献	211

接入网技术概述

1.1 接入网的定义

(1) 接入网的定义

从整个电信网的角度来说,可以将全网划分为公用电信网和用户驻地网(Customer Premises Network, CPN)两大块,其中CPN属用户所有,故通常电信网指公用电信网部分。公用电信网又可划分为两部分,即核心网和接入网。

核心网(Core Network, CN)由现有的和未来的宽带、高速骨干传输网和大型中心交换节点构成,是数据交换、转发、接续、路由的地方,一般离用户侧较远。

接入网(Access Network, AN)负责使用某种有线或者无线的连接和通信技术将广大最终用户一级一级汇接到核心网中,实现与网络的连接。接入网处在整个网络的边缘部分,是与用户距离最近的一部分,通常也叫“最后一公里(last mile,从网络指向用户方向)”或“最初一公里(first mile,从用户指向网络方向)”。注意:“一公里”是一种形象的称呼,并非实际距离为一公里。

用户通过接入网进入网络,用户的数据在核心网上被高速地传递和转发。就好像立交桥一样,接入网是立交桥的引桥或者盘桥的匝道,用户通过接入网上立交桥,而核心网自然就是立交桥上的主干道了,在主干道上寻址、转发。

接入网在网络中的位置如图 1-1 所示。

(2) 接入网的界定

按照ITU-T G.902的定义,用户驻地网或用户终端与接入网的接口是用户网络接口(User Network Interface, UNI),接入网与核心网的接口是业务节点接口(Service Node Interface, SNI)。核心网设备是提供业务的实体,也叫做业务节点(Service Node, SN)。

接入网是由业务节点接口(SNI)和相关用户网络接口(UNI)之间的一系列传送实体(诸如线路设施和传输设施)所组成的,它是一个为传送电信业务提供所需传送承载能力的实施系统。

接入网所覆盖的范围可由三个接口来界定,如图 1-2 所示,即网络侧经由 SNI 与业务节点(SN)相连,用户侧经由 UNI 与用户相连,管理方面则经 Q3 接口与电信管理网(Telecommunications Management Network, TMN)相连。

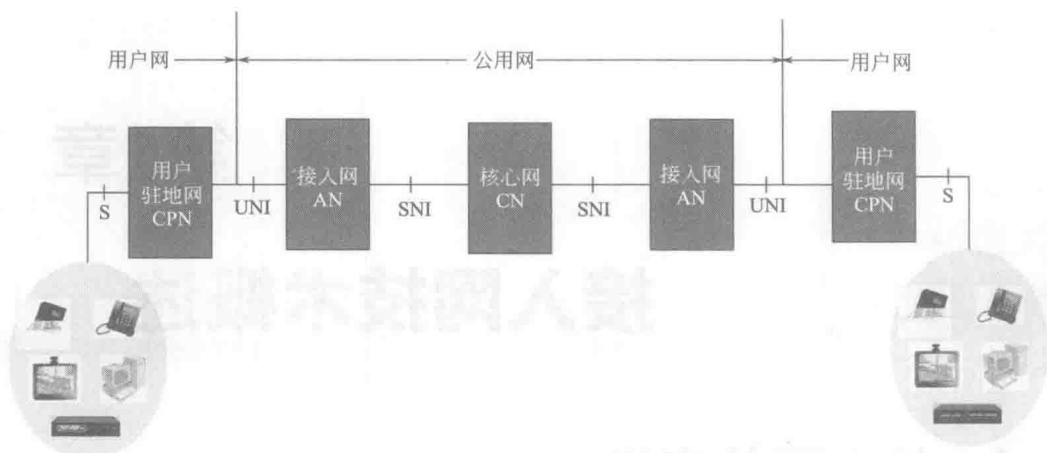


图 1-1 接入网在网络中的位置

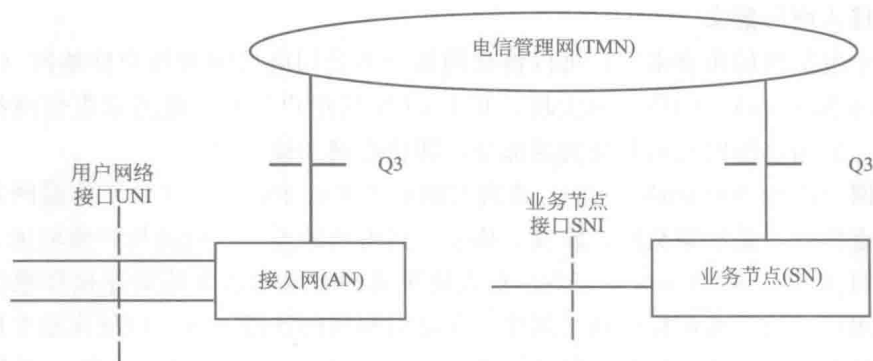


图 1-2 接入网所覆盖的范围

业务节点(SN)是提供业务的实体，接入网可以连接到多个业务节点，如本地交换机、IP路由器、软交换中心、有线电视业务节点CATV发端、信息业务/数据存储节点VOD等。

1.2 接入网的特点

接入网有着不同于核心网的一些特点。

- ① 对于所接入的业务提供承载能力，实现业务的透明传送。接入网对用户信令是透明的，除了一些用户信令格式转换外，信令和业务处理的功能依然在业务节点中。
- ② 接入业务种类多，业务量密度低。核心网是高度互连的网络，可以应付高密度的业务量需求。用户接入电路业务量密度极低。
- ③ 相对成本高。核心网的成本是由大量的用户来分担的，即使采用复杂昂贵的设备也能达到规模经济效益。而接入网中用户接入线往往由个别用户专用，即使目前迅速发展的PON技术也只能做到有限程度的共享。
- ④ 成本差异大。接入网需要覆盖所有类型的用户，于是就造成了成本上的极大

差异。

⑤ 成本与业务量无关。核心网的总成本可根据对业务量的预测进行最佳的配置。而接入网中,采用特定的接入技术时,用户的接入成本与其业务量基本无关。

⑥ 运行环境恶劣。核心网的主要设备,如交换机和复用传输设备多安装在环境可控的机房内,保持在一定的温度和湿度条件下。而接入网设备往往安装在不可控的环境下(如路边),工作在恶劣环境下,所以在技术上和机械保护上需要很多特殊措施。

⑦ 技术变化慢。核心网的技术变化周期很短,在过去几十年间,无论是交换设备还是传输设备多经历了几代的更新。而接入网方面,传统的接入网技术已经稳定地使用了几十年,直到近年来在宽带业务需求的迅速发展的推动下,光纤接入技术和无线接入技术等新技术才在接入网中迅速发展。但决定接入网发展的因素不仅是技术,更重要的是成本。所以绝大多数国家和地区的接入网在相当长时期内将继续被双绞线铜缆所主宰。

正是接入网的上述特点使得接入网发展远远滞后于核心网,成为整个电信网发展的最大瓶颈。20世纪90年代以来,新的业务种类的增多,特别是各种数据业务伴随Internet的爆炸性增长,使用户对用户线带宽的要求不断提高。新的业务需求、新的政策法规以及各种新的技术手段使得接入网这一长期备受冷落的领域变得十分活跃。在接入网大发展的今天,各种接入技术纷纷登场。接入网市场上,硝烟四起,各运营商等“跑马圈地”,争抢用户。

接入网的数字化、宽带化、智能化和移动化已成为未来通信技术发展的方向之一。在下一代网络(Next Generation Network, NGN)中,接入网将朝着IP化、光纤化和无线化的方向发展。

1.3 接入网分类

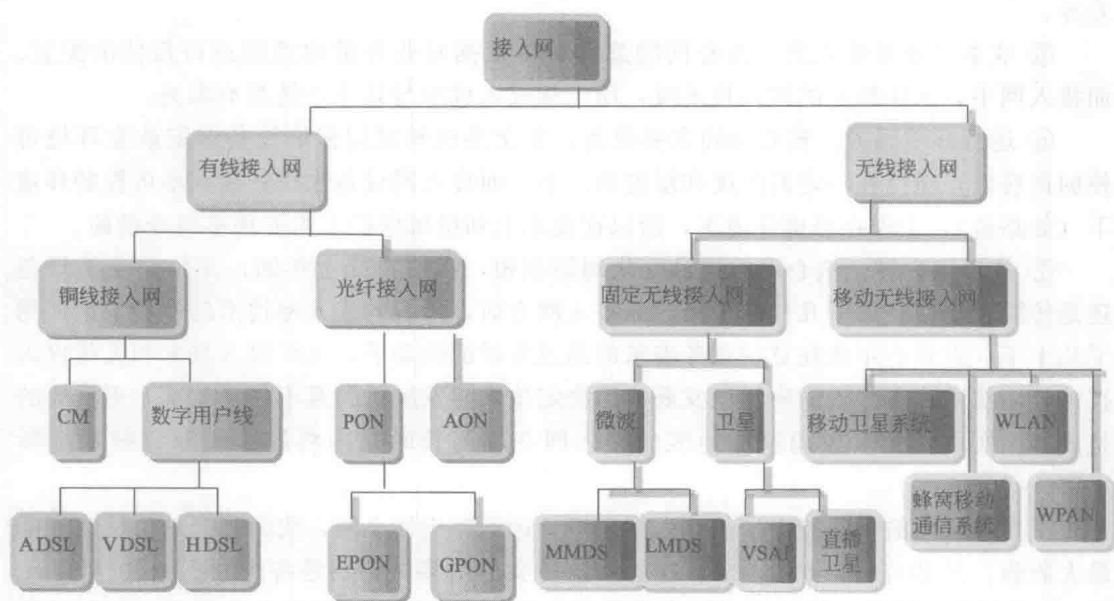
按所用传输媒质的不同进行分类,接入网通常可分为有线接入网和无线接入网两大类。其中,有线接入网又分为铜线接入网和光纤接入网两类。无线接入网是指在交换节点到用户终端之间的传输线路上,部分或全部采用了无线传输方式,可分为固定无线接入网和移动无线接入网两类。分类如图1-3所示。

不同的接入网需要用到不同的传输技术。

在铜线接入网中,按采用的传输技术进行分类,铜线接入网通常可被分成数字用户线(xDSL)接入、电缆调制解调器(Cable Modem, CM)接入等;在光纤接入网中,要用到光纤传输技术,按采用的传输技术进行分类,光纤接入网通常可被分为有源光网络(AON)、无源光网络(PON)等。

而在无线接入网中,则要用到无线传输技术。无线接入网通常可被分为固定无线接入、移动无线接入等。

固定无线接入又称无线本地环路(Wireless Local Loop, WLL),其用户终端(电话机、传真机和计算机等)固定或只有有限的移动性。主要的固定无线接入系统包括:多路多点分配业务(Multichannel Multipoint Distribution Service, MMDS)、本地



多点分配业务（LMDS）、VSAT（Very Small Aperture Terminal）卫星通信、直播卫星系统（DBS）等。固定无线接入是原有的固定无线接入系统作为 PSTN / ISDN 网的无线延伸。

移动无线接入主要指用户终端在较大范围内移动的通信系统的接入技术。它主要为移动用户提供服务，其用户终端包括手持式、便携式、车载式电话等。主要的移动无线接入系统包括：移动卫星系统、蜂窝移动通信系统、WiMAX、无线局域网（WLAN）和无线个域网等。

在一个实际接入网中，有时会用到多种传输媒介，如既用到铜线，又用到光纤，甚至还同时用到无线传输。这样便出现了所谓的混合接入网。混合接入网则要涉及多种电信传输技术。

1.4 有线接入网简介

1.4.1 有线接入网的分类

有线接入网按照传输媒介分为：纯双绞线铜缆接入网和光接入网。

(1) 纯双绞线铜缆接入网技术

目前铜缆接入技术依然是网络接入的主要手段，在通信网络中占据了重要地位。传统的铜缆接入方式适用于语音及低速数据业务，是高速宽带业务通达用户的“瓶颈”。为解决铜缆的宽带传输速率问题，主要采用的是数字用户线（DSL）技术。

利用电话网铜缆的数字用户线（DSL）技术与其他接入方式相比，技术的优势主要体现在以下三点：一是电话网的改造升级通常比有线电视网容易，投资也相对较低；二

是 DSL 已经存在一些标准,并被众多厂商支持和使用;三是新的衍生技术可大大降低 DSL 的推广成本。

DSL 包括 ADSL、HDSL、VDSL 等,一般称之为 xDSL。它们主要的区别体现在信号传输速度和距离的不同以及上行速率和下行速率对称性的不同这两个方面。

(2) 光接入网技术

光纤通信是现代通信的一次革命性的飞跃。通信线路逐步由光纤替代传统的铜缆是未来的发展趋势。光接入网是指在接入网中部分或全部使用光纤传输技术。根据实际情况,光接入网又分为混合光纤/双绞线铜缆接入网、混合光纤/同轴电缆网、纯光纤接入网。

① 混合光纤/双绞线铜缆接入网 这种方案结合应用光纤和双绞线铜缆,发挥各自特长。混合光纤/双绞线铜缆接入网可分为光纤到路边 (Fiber To The Curb, FTTC)、光纤到大楼 (Fiber To The Building, FTTB) 等。

如中国电信的 FTTX + LAN 业务就是一种利用光纤加五类网络线方式实现宽接入的方案,实现千兆光纤到小区(大楼)中心交换机,中心交换机和楼道交换机以百兆光纤或五类网络线相连,楼道内采用综合布线,用户上网速率可达 10Mbps,网络可扩展性强,投资规模小。FTTX + LAN 方式采用星型网络拓扑,用户共享带宽。光纤到路边是用光纤代替主干铜线电缆(包括部分配线电缆),将 ONU(光网络单元)放置在靠近用户的路旁,用户用双绞线或同轴电缆与之连接。这种光纤和铜缆的混合结构成本较低,适合于居住密度较高的地区。光纤到大楼的原理与光纤到路边相同,只是 ONU 放置在大楼内,用铜线或同轴电缆延伸到用户,非常适用于现代化智能大楼。光纤到居民区是将路边光纤接到靠近交接箱的 ONU,再用铜线或双绞线向用户延伸,适用于比较分散的居民区。光纤到远端模块局是将用户模块设置在用户密集区,利用光纤与交换机局端相连,使光纤更靠近用户,形成新的组网方式。

② 纯光纤接入网 纯光纤接入网是指光纤直接连到用户,中间没有其他传输媒质的情况。通常分为光纤到办公室 (Fiber To The Office, FTTO) 和光纤到家 (Fiber To The Home, FTTH)。作为全光纤的网络结构,光网络单元 (ONU) 设置在用户家里,用户与业务节点之间以全光纤作为传输线,因此,无论在带宽方面还是在传输质量和维护方面都十分理想,适合各种交互式宽带业务。目前运营商正在大力推广,许多新建小区已经是光纤到家了。

接入网的光纤化是必然趋势,但确实是一个长期的、渐进的过程。光进铜退是中国通信运营商为逐步实现光纤接入 (FTTx),用光纤代替铜缆所提出的一项工程。如图 1-4 所示为光进铜退的过程,先是纯双绞线铜缆接入网,再是 FTTC、FTTB,然后是光接入网 FTTH、FTTO。

③ 混合光纤/同轴电缆网 (Hybrid Fiber Coaxial, HFC) HFC 是宽带接入技术中最早成熟和进入市场的,它建立在有线电视网 (Cable Television, CATV) 的基础上,带宽和经济上的优势使它对用户有很大的吸引力。HFC 在连接上采用 Cable Modem 技术, HFC 从技术上分为动态分配带宽速率 (适用于 Internet 接入、公共信息查询等)

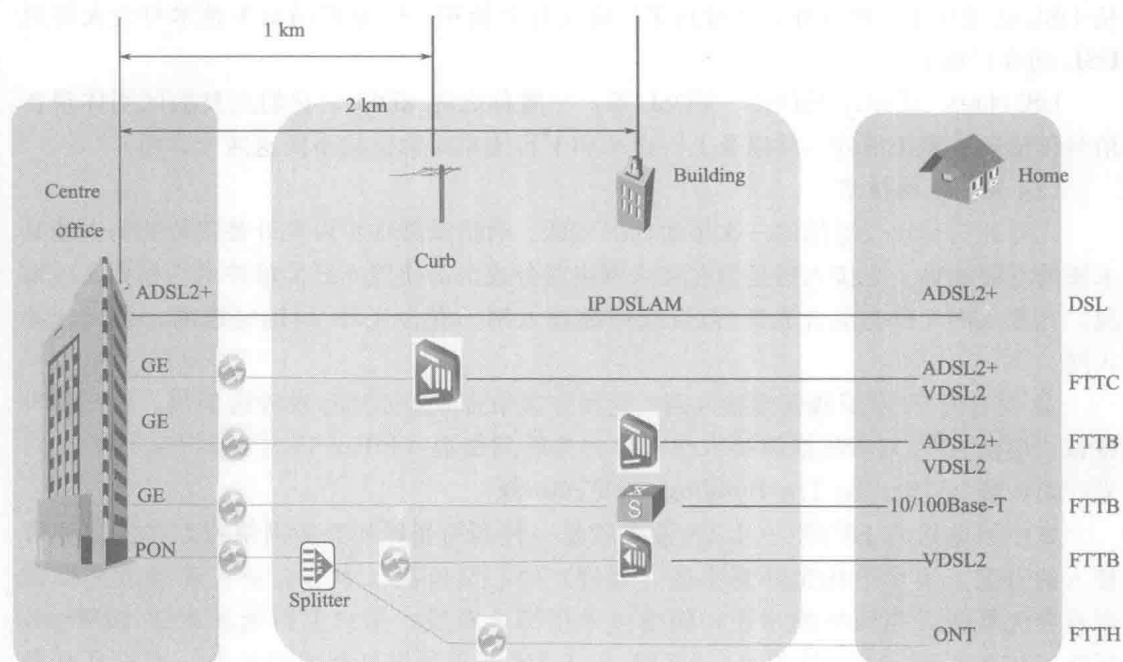


图 1-4 接入网的光纤化趋势

和固定带宽速率（适用于普通电话、可视电话、数据专线等）两类，从传输方式又可分为对称型与非对称型业务。

与其他有线介质相比，HFC 容量大，灵活性强，扩展性也好，性价比优于 xDSL。当然，Cable Modem 技术也有着自己的弱点。首先，以往的有线电视网都是单向广播式地向用户传送电视，不符合网络信息双向传输的要求，因此，需要一个改造的过程，目前这一改造过程仍在进行。其次，HFC 接入方式一个 ONU 可以为 500~2000 个用户服务，一旦出了问题，影响面很大。

1.4.2 xDSL 技术

xDSL 技术是对多种用户线高速接入技术的统称。xDSL 中的“x”代表了各种数字用户环路技术，包括 ADSL、HDSL、VDSL、SDSL 等。数字用户环路（Digital Subscriber Line，DSL）技术是基于普通电话线的宽带接入技术，它在同一铜线上分别传送数据和语音信号，数据信号并不通过电话交换机设备。

不同 DSL 技术的差别主要表现在速率、传输距离、编码技术、上下行速率的对称性等方面。

ADSL：不对称数字用户线，上行 640kbps（1bps=1bit/s），下行最高 6~8Mbps；1 对线，工作频带高于话带，可同时支持话音业务；传输距离为 3~5km。

VDSL：不对称上行最高 6.4Mbps，下行最高 52Mbps，对称上下行最高 26Mbps；1 对线，工作频带高于话带，可同时支持话音业务。

HDSL：上下行速率对称，1.5/2Mbps；2 对线（HDSL2 支持 1 对线），与话带重叠，不可与话音业务同时进行。

(1) ADSL 技术

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 中文全称为不对称数字用户线, 上下行速率不对称, 特别适合 Internet 的接入, 是目前应用最广泛的 xDSL 技术。

采用 FDM 利用普通同一电话铜缆在开展窄带话音业务的同时传送高速数据业务: 0~4kHz, POTS 业务; 25.875~138kHz, 可双向配置, 主要用于 ADSL 上行数据传输; 140~1104kHz, 用于 ADSL 下行数据传输。如图 1-5 所示。

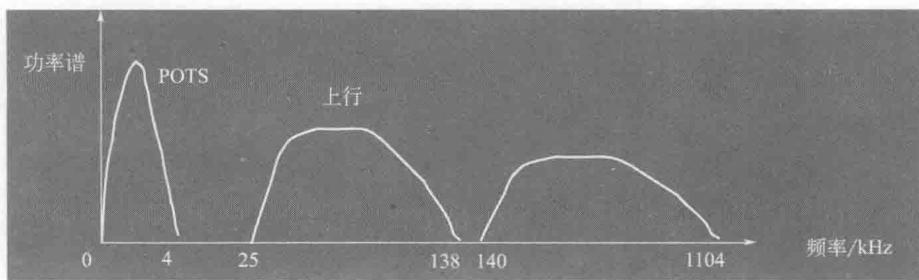


图 1-5 电话铜缆频谱分配

ADSL 宽带接入技术包括传统的 ADSL 技术, 以及 ADSL2/2+ 宽带接入技术。

传统的 ADSL 采用 DMT 线路编码技术, 其上行速率占有的频谱为 25.8~138kHz, 下行速率占有的频谱为 138kHz~1.1MHz。上行传输速率可达 864kbps, 下行传输速率可达 8Mbps。

ADSL2/2+ 在传统的 ADSL 基础上增加了一些新的特性, 在性能、功能方面有较大改进, 其突出特点和主要改进如下。

- ① 增强了编码效率, 提高了数据速率, 特别是 ADSL2+ 将频谱范围从 1.104 MHz 扩展到 2.208 MHz, 使下行速率大大提高 (最高可达 25 Mbps 以上)。
- ② 扩大了覆盖范围。
- ③ 拓展了应用范围, ADSL2/2+ 增加了 PTM (分组传送模式), 能够更加高效地适应日益增长的以太网和 IP 业务。
- ④ 增强了线路故障诊断和频谱控制能力, 有双端测试功能和单端测试功能。
- ⑤ 增加了速率适配能力, 能在不影响业务的情况下动态调整速率以适应变化的线路条件。
- ⑥ 增加了节能特性, 局端设备和用户端设备都能在业务量小或没有业务的情况下进入低功率模式或休眠状态。
- ⑦ 支持多线对速率捆绑, 可以实现更高的数据速率。

(2) VDSL 技术

VDSL (Very-high-speed Digital Subscriber Line) 中文全称为甚高速数字用户线, 是 DSL 中速率最快的接入技术。VDSL 利用普通双绞铜缆上开展窄带话音业务 (POTS、ISDN) 的同时传送高速数据业务。

推动 VDSL 发展的因素有两个: 用户业务对带宽不断增长的需求 (ADSL 有时不

能满足要求);越来越多的地方实现了 FTTx,但最终连接到用户仍嫌贵,利用 VDSL 实现光纤到用户的宽带延伸。

VDSL 技术采用频分双工(FDD)的方式传输上下行数据,其频谱从 138kHz~12MHz,分为 DS1、US1、DS2、US2 四个频段,分别表示第一个下行频段、第一个上行频段、第二个下行频段、第二个上行频段。另外,25~138kHz 作为可选的上行频段,可用于上行传输。下行(DS)和上行(US)频段的划分主要有两种方式:Plan997、Plan998。Plan998 根据北美的业务需求划分,主要面向非对称业务;而 Plan997 根据欧洲的业务需求划分,主要面向对称业务。而我国制定的 VDSL 行业标准(YD/T 1239—2002),从国情出发,既适应接入网络总体流量的非对称特性,又考虑满足一些对上行速率要求较高、接近对称的业务需求,在 Plan998 的基础上提出了中国的 VDSL 频段划分方式,将 DS2 与 US2 的频段位置互相对调,这样,既可保证短距离时下行的高速率,又能扩大对称或接近对称速率的覆盖范围。另外,如果在同一线对上 ADSL 业务共存,DS1 可从 0.9MHz 开始。VDSL 在一对普通的双绞铜缆上提供的传输速率为上行 1.6~23Mbps,下行 12.96~55.2Mbps,传输距离在 1.5km 范围内。如果利用 US0 频段及提高发射功率,传输距离可扩展到 3~4km。

VDSL2 技术即第二代 VDSL,在 1~12MHz 之间仍沿用 ITU-T G.993.1 的 Plan997 和 Plan998 的频段计划,VDSL2 的最大截止频率为 30MHz,12~30MHz 间可划分一个或多个上下行频段。根据频段划分主要有 8 种配置方案,对应不同的总传输速率及输出功率。US0 的截止频率可以在 138~276kHz 之间。利用扩展的频带,VDSL2 的最大上、下行传输速率均可达到 100Mbps。

(3) HDSL 技术

HDSL(High-rate Digital Subscriber Loop)中文全称为高速数字用户线,是利用现有电话网中使用的普通铜缆实现高速对称数字传输的技术。

HDSL 技术是在 2 对或 3 对双绞铜缆上进行上、下行对称传输业务,其占有的频谱为 0~292kHz。在 HDSL 标准中,线路编码规定为 2B1Q,但在标准的附件中提到 CAP 技术,目前厂家提供的 HDSL 设备主要采用的是 2B1Q 技术。HDSL 传输速率可达 2Mbps,最大传输距离可达 4km。

(4) SHDSL

SHDSL(Single-pair High-rate Digital Subscriber Loop)中文全称为单线对高比特率数字用户线,是利用一对双绞铜缆实现高速率、对称数字传输的技术。

SHDSL 在一对双绞铜缆上进行上、下行对称传输业务,其占有的频谱为 0~400kHz。在 SHDSL 标准中,线路编码规定为 TC-PAM(格栅编码脉冲幅度调制)。SHDSL 线路每线对的传输速率为 192kbps~2.3Mbps 的对称速率,传输距离为 2~6km(6500~20000ft^①),速率步长可以是 8kbps 或 64kbps 两种。而双线对绑定的 4 线传输模式可提供最高达 4.6Mbps 的速率。

SHDSL 通过 TC-PAM 实现了速率/距离调节功能,相比于 HDSL 采用的 2B1Q 编

① 1ft=0.3048m,下同。