



新一代信息通信规划教材

宽带接入技术及应用

KUANDAI JIERU JISHU JI YINGYONG

郭世满 马蕴颖 郭苏宁 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

TN915.6

6

新一代信息通信规划教材

宽带接入技术及应用

郭世满 马蕴颖 郭苏宁 编著

北京邮电大学出版社

·北京·

内 容 提 要

宽带化、分组化、多样化和光纤化以及多业务网络平台化是未来接入网发展的大趋势。本书结合我国宽带接入网的现状和发展,对主要的宽带接入技术进行了较全面的总结和阐述,并重点介绍了当前广泛应用的技术。

本书的内容涵盖宽带接入网络技术涉及的基本原理及其应用,包括铜缆数字用户线(DSL)、光纤接入网(OAN)、光纤同轴混合(HFC)与电缆调制解调器(CM)、IP接入和无线接入技术等,以及具有潜在应用前景的技术,如网络电视(IPTV)、WiMAX、家庭网络、光纤到户(FTTH)等。

本书作为高等学校通信工程专业本科生和高等函授生教材已使用多次。因此,信息工程、电子工程和其他相近的专业都可以选用作为教材。同时,本书对通信领域的工程技术和研究、开发人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

宽带接入技术及应用/郭世满,马蕴颖,郭苏宁编著. —北京:北京邮电大学出版社,2006
ISBN 7-5635-1205-5

I. 宽... II. ①郭...②马...③郭... III. 宽带通信系统—接入网—通信技术 IV. TN915.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 015446 号

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)

电话传真:010-62282185(发行部) 010-62283578(FAX)

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×1 092mm 1/16

印 张:25

字 数:602 千字

印 数:1—3 000 册

版 次:2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 7-5635-1205-5/TN·430

定 价:35.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

新一代信息通信规划教材

编委会

顾 问：张筱华

主 任：李文海

副主任：王晓军 严潮斌

委 员：(以姓氏笔划为序)

王立平 王巧明 王 颖 宁 帆 刘翠霞

孙青华 李 飞 李转年 迟学芬 吴瑞萍

吴正书 苏开荣 肖传统 张孝强 张干生

张一鸣 张敏华 张献居 张新璞 杨 泉

顾生华 孟祥真 徐淳宁 蒋青泉 傅德月

秘 书：王琴秋

前 言

如果 20 世纪表明一个国家信息化程度的是电话和计算机的拥有量,那么,21 世纪衡量一个国家信息化水平的标准将是网络的带宽。

在通信领域,带宽是指信号可使用的最高频率与最低频率之差,或者说是“频带的宽度”,也就是所谓的“Bandwidth”、“信道带宽”。

那么什么是宽带呢?多大的带宽才可称之为宽带呢?一旦深究这个问题,就会发现宽带的定义应该是一个相对的、不断变动的概念。

众所周知,现代通信网络是由骨干网、城域网和接入网组成的,由于各个网络汇聚的业务流量不同,不同类型的网络有不同的带宽。而且同一类型的网络,在不同的发展阶段所需要的带宽也不同。

就接入网而言,其带宽已经从 14.4 kbit/s、33.6 kbit/s、56 kbit/s 到 2 Mbit/s,有些接入方式已经达到几十到几百兆以上。而骨干网的带宽已经从 155 M、622 M、2.5 G 到 40 G。据最近报道,采用 DWDM 技术的光纤通信,带宽已经达到 1.6 T(1 600G)、3.2 T(3 200G),而且这个数值还在提高。由此可见,不同类型网络的带宽,差异甚大。

从网络业务来看,远程教育、远程医疗、下载电影以及在线视频游戏等应用,在接入网部分选择 10 M 的宽带是合适的。而应付将来网络高清晰电视广播的需要及交互式的高清晰视频应用,所需的带宽则可能达到上百兆。

总而言之,从应用的角度来说,满足人们能感受到的与多媒体业务(电话、数据或视频)相匹配的带宽,才是经济、合理的宽带。事实上,昨日的宽带已经成为今日的窄带,今天的宽带也必将是明天的窄带。因此宽带的带宽是一个动态的、发展的概念。

把握宽带接入的基本技术和最新发展趋势,对已经进入高速增长的接入网建设至关重要。宽带化、分组化、多样化和光纤化以及多业务网络平台化无疑是接入网发展的大趋势。

宽带接入已成为拉动固网运营商业务增长的重要因素之一。由于其建设的复杂性和接入技术的众多选择性,为产品的研发生产与运营等多方面提供了发展的机会。因此,可以说,谁能妥善地解决好宽带接入技术问题,谁就能在未来的市场竞争中赢得主动。

数字化是一切通信技术的基础。因此,学习并掌握数字通信的基本原理与技

术,灵活地运用它来分析问题和解决问题,就如同拥有了打开现代化通信大门的一把钥匙。

本书的定位是:针对以上技术和业务发展的需要,对主要宽带接入技术进行较全面的总结和阐述。

书中包含三方面内容:首先是信源压缩、信道纠错、多载波调制、数字二线双工、V5 接口等基本原理;其次是铜缆数字用户线(DSL)、光纤接入网(OAN)、光纤同轴混合(HFC)与电缆调制解调器(CM)、IP 接入、无线接入等基本技术;再次是具有潜在应用前景的新技术,如网络电视(IPTV)、WiMAX、家庭网络和光纤到户(FTTH)等。

为解决内容与学时的矛盾,在教学中,教师可根据不同层次的需求,采取突出重点、分散难点的方法,灵活地分配学时。在内容上优先对基础和重点内容进行讲授,再讲授其他内容。在方法上要突出重点、详解难点,尽量使用多媒体等电子手段,以便提高课堂教学效率及获得较好的效果。

由于该课程综合运用基础理论与专业技术知识,本科学生在学习时应及时复习相关的基础内容,掌握基本原理与基本技术、了解新技术。同时还应勤学多练,使所学知识融会贯通。为便于读者自己检查对内容的理解及掌握情况,每章后面都附有习题与思考题。

对于函授生来说,要求掌握第一、三、四、五、六章的重点内容,并结合每章后面的习题与思考题,有针对性地、认真地阅读教材,对照复习,以迎接考试并取得较好的成绩。其他各章可作为毕业设计或工作中的参考。

最后要指出的是,南京邮电大学继续教育学院的叶大振、李飞等院领导,为开设新课程创造了条件,对编写新教材给予了关心、帮助与鼓励,林建中、王文鼎、糜正琨教授也给予了大力帮助,在此表示衷心的感谢。另外,还要特别感谢韩钢、韩强和马诗英副教授对我们工作的无私帮助与支持!

由于时间仓促和水平有限,本书不免会有疏漏甚至不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2006 年 2 月

目 录

第 1 章 宽带接入网概述

1.1 理解宽带	1
1.1.1 什么是宽带?	1
1.1.2 宽带将为我们带来什么?	1
1.1.3 支撑宽带的技术	2
1.2 宽带接入技术	2
1.2.1 基于 PSTN 的接入技术	3
1.2.2 基于 LAN 的以太网接入技术	4
1.2.3 基于光纤的接入技术	5
1.2.4 基于同轴电缆的接入技术	6
1.2.5 无线接入技术	7
1.2.6 自由空间光通信	8
1.2.7 网络电视(IPTV)	9
1.2.8 家庭网络	10
1.3 下一代网络中的宽带接入	11
1.3.1 网络发展的技术路线	11
1.3.2 发展下一代网络的驱动力量	12
1.3.3 下一代网络的概念和特征	12
1.3.4 网络转型(演进)的五大发展方向	13
1.3.5 宽带接入技术的发展	15
习题与思考题	17

第 2 章 接入网中的基础技术

2.1 信息与通信	18
2.1.1 信息	18
2.1.2 信息量与熵	19
2.1.3 互信息量与条件熵	20
2.1.4 冗余度、编码效率与压缩比	21
2.1.5 信道及信道容量	22
2.1.6 编码定理	22
2.2 音频信源编码	24
2.2.1 编码质量的评价	25
2.2.2 线性预测编码	26
2.2.3 激励信号源	27
2.3 视频信源编码	30
2.3.1 信息压缩的必要性	30
2.3.2 信息压缩的可行性	32

2.3.3 常用的数据压缩技术	32
2.3.4 编码举例	42
2.4 电视基础知识	45
2.4.1 电视信号与图像扫描	46
2.4.2 彩色电视系统	47
2.4.3 电视信号的频谱特点与 频道分配	50
2.4.4 电视信号的数字化	51
2.4.5 数字视频压缩编码	52
2.5 多载波技术	55
2.6 二线数字双工传输	57
2.7 V5 接口及其协议	61
2.7.1 V5 接口的构成	61
2.7.2 V5 接口的体系结构	64
2.7.3 V5 接口协议	66
2.8 接入网的概念	70
2.8.1 接入网的功能和接入类型	71
2.8.2 接入网的主要接口	74
2.8.3 接入网的管理	76
2.8.4 接入网的拓扑结构	77
2.9 Y.1231 定义的 IP 接入网	79
2.9.1 接入网的定义、位置、功能模型	80
2.9.2 IP 接入网与 G.902 定义 的接入网的比较	81
习题与思考题	81

第 3 章 铜线接入技术

3.1 DSL 的信号环境	83
3.1.1 铜线的传输损耗和容量	83
3.1.2 串扰和其他噪声	84
3.1.3 混合线圈与回波	85
3.2 铜线接入信号处理技术	85
3.2.1 2BIQ 码	86
3.2.2 QAM	87
3.2.3 CAP	89
3.2.4 DMT	91
3.3 高比特率数字用户线(HDSL)接入技术	95

3.3.1 HDSL 系统的基本组成	95	4.3.1 APON 模型及特点	159
3.3.2 HDSL 帧结构	97	4.3.2 APON 系统结构及工作过程	160
3.3.3 HDSL 关键技术	98	4.3.3 APON 帧结构及关键技术	162
3.3.4 HDSL 的应用特点	99	4.3.4 测距	165
3.3.5 HDSL 的局限性	100	4.4 以太网无源光网络(EPON)	
3.4 第二代高比特率数字用户线(HDSL2)		接入技术	169
接入技术	101	4.4.1 EPON 的技术特点及网络结构	170
3.4.1 HDSL2 的设计目标	101	4.4.2 EPON 传输原理及帧结构	171
3.4.2 HDSL2 的线路编码	101	4.4.3 EPON 光路波长分配	173
3.4.3 HDSL2 中的 FDM 和回波抵消	102	4.4.4 EPON 关键技术	174
3.5 不对称数字用户线(ADSL)接入技术	103	4.5 GPON——千兆无源光网络	175
3.5.1 ADSL 的提出	103	4.5.1 GPON 的引入	175
3.5.2 ADSL 的技术特点	104	4.5.2 GPON 操作	176
3.5.3 ADSL 的系统结构	105	4.5.3 GPON 封装方法——GEM	176
3.5.4 ADSL 的技术基础	107	4.5.4 GPON 帧结构	177
3.5.5 ADSL 的传输模型及其应用	117	4.5.5 GPON 中传输容器(T_CONT)	178
3.6 G.Lite 与 DSLAM	121	4.5.6 APON、EPON 和 GPON 的比较	178
3.6.1 G.Lite	121	4.6 有源光网络(AON)接入技术	179
3.6.2 DSLAM	124	4.6.1 AON 简化技术	180
3.6.3 Video over ADSL 解决方案	127	4.6.2 AON 采用的主要技术	181
3.6.4 ADSL DSLAM 技术的发展趋势	129	4.7 光纤到户——接入网的未来方向	184
3.7 甚高速数字用户线(VDSL)		4.7.1 光纤到户兴起的主要原因	185
接入技术	130	4.7.2 光纤到户蕴含的商业机会	185
3.7.1 VDSL 的系统构成	131	4.7.3 光纤到户的主要方案	186
3.7.2 VDSL 的相关技术	133	4.7.4 光纤到户的体系结构和标准	188
3.7.3 VDSL 存在的问题	135	4.7.5 光纤到户在国内的发展概况	189
3.7.4 VDSL 的应用	138	习题与思考题	190
3.8 新一代 xDSL 技术及其应用	140	第 5 章 有线电视接入网	
3.8.1 ADSL2 与 ADSL2+	140	5.1 有线电视的组成、分类与发展	191
3.8.2 VDSL 技术	142	5.1.1 传统有线电视系统的组成	191
3.8.3 VDSL2——终极的 DSL 技术	146	5.1.2 有线电视系统的分类	193
习题与思考题	147	5.1.3 有线电视的现状与发展	193
第 4 章 光纤接入技术		5.2 HFC 的基本概念	195
4.1 光纤接入系统的基本配置	149	5.2.1 HFC 的发展	195
4.2 无源光网络(PON)接入技术	150	5.2.2 HFC 的结构	197
4.2.1 PON 拓扑结构	150	5.2.3 频谱分配方案	199
4.2.2 PON 关键技术	151	5.2.4 调制与多点接入方式	201
4.2.3 PON 功能结构	152	5.2.5 HFC 的特点	201
4.2.4 PON 技术应用	154	5.2.6 CATV 网的宽带综合应用业务	202
4.3 ATM 无源光网络(APON)		5.3 Cable Modem 系统工作原理	204
接入技术	158	5.3.1 系统结构	205
		5.3.2 系统工作原理	207

5.4 基于 MCNS DOCSIS 的电缆调制解调器	209	习题与思考题	262
5.4.1 数据传输协议	209	第 7 章 IP 接入技术	
5.4.2 Cable Modem 的应用	213	7.1 IP 接入一般原理	263
5.5 数字 CATV 机顶盒	217	7.1.1 IP 接入的功能要求	263
5.5.1 数字机顶盒的层次结构	217	7.1.2 IP 接入网参考模型	264
5.5.2 数字机顶盒的类别	218	7.1.3 IP 接入方式	265
5.5.3 数字 CATV 机顶盒的结构原理	221	7.2 PPP 协议	268
5.5.4 数字 CATV 机顶盒的关键技术	223	7.2.1 PPP 协议功能	268
5.5.5 数字 CATV 机顶盒应用与发展	226	7.2.2 PPP 协议帧封装结构	269
5.6 流媒体在有线电视中的应用	228	7.2.3 LCP	273
5.6.1 问题的提出	228	7.3 AAA 协议	275
5.6.2 流媒体技术的原理	229	7.3.1 AAA 网络结构	275
5.6.3 流媒体的传输方式	229	7.3.2 认证协议	276
5.6.4 流媒体的解决方案	230	7.3.3 RADIUS 协议	277
5.6.5 宽带流媒体在有线电视网络中的具体实现	231	7.3.4 Diameter 协议	278
习题与思考题	232	7.4 L2TP 隧道协议	279
第 6 章 无线接入技术		7.4.1 网络环境和协议结构	279
6.1 基本概念	234	7.4.2 消息格式和类型	281
6.1.1 固定宽带无线接入在电信网中的位置	235	7.4.3 协议操作过程	283
6.1.2 固定宽带无线接入的组成	235	7.5 ADSL 宽带 IP 接入	285
6.1.3 固定宽带无线接入系统的分类及其特点	236	7.5.1 IP Over ADSL	285
6.1.4 固定宽带无线接入的业务	238	7.5.2 ATM Over ADSL	285
6.1.5 几种固定宽带无线接入系统及其各自的特点	239	7.6 IPsec 安全协议	286
6.2 宽带 ATM 无线接入	243	7.6.1 IPsec 体系结构	286
6.2.1 无线 ATM	243	7.6.2 认证头(AH)	290
6.2.2 宽带无线接入面临的问题	248	7.6.3 封装安全载荷(ESP)	291
6.3 无线局域网	248	7.6.4 密钥和安全协定管理	291
6.3.1 无线局域网的组成及特点	249	7.7 IP 数据流旁路技术	292
6.3.2 无线局域网的协议体系	253	7.7.1 问题的提出	292
6.4 WiMAX: 无线宽带改变未来	255	7.7.2 IP 数据流识别	294
6.4.1 问题的提出	255	7.7.3 IP 数据流旁路网络结构	295
6.4.2 技术特点	256	7.8 PPPoE 在宽带接入网中的应用	296
6.4.3 技术应用	259	7.8.1 PPPoE 协议概述	296
6.4.4 无线网络标准介绍	260	7.8.2 PPPoE 在 BAS 上的实现	297
		7.8.3 PPPoE 对组播的支持	299
		习题与思考题	300
		第 8 章 网络电视技术	
		8.1 网络电视概述	301
		8.1.1 网络电视及其特点	301
		8.1.2 网络电视的几种形式	302
		8.1.3 发展 IPTV 的好处	303
		8.2 网络电视系统模型	304

8.2.1 网络电视系统参考模型	304	9.1.1 家庭网络概念与组成	334
8.2.2 相关技术问题	305	9.1.2 家庭网络相关业务/服务	335
8.3 内容分发网络技术(CDN)	310	9.1.3 家庭网络的相关业务/服务的现状	337
8.3.1 内容分发网络概念	310	9.1.4 家庭网络业务的发展趋势	338
8.3.2 内容分发网络分层模型	311	9.2 家庭网络技术	339
8.3.3 CDN的主要实现方式	311	9.2.1 数字家庭网络关键技术	339
8.3.4 CDN的关键技术	312	9.2.2 数字家庭网络中的数字接口	343
8.3.5 CDN的发展趋势	315	9.2.3 家庭网关	345
8.4 数字版权管理(DRM)技术	315	9.2.4 数字家庭网络的现有业务和未来的发展	346
8.4.1 DRM概述	315	9.3 微微网技术	348
8.4.2 DRM的特点	316	9.3.1 无线微微网技术及组网	348
8.4.3 DRM系统的选择	318	9.3.2 智能家居系统	350
8.4.4 DRM系统的交互影响	319	9.3.3 个人办公系统(SOHO)	350
8.4.5 DRM的未来	319	9.3.4 微微网未来的发展趋势	351
8.4.6 DRM涉及的法律问题	320	9.4 家庭网络标准化组织	352
8.5 网络电视的技术体制	320	9.4.1 家庭网络与NGN	352
8.5.1 IPTV平台业务	320	9.4.2 国内主要的相关标准化组织	352
8.5.2 用户类别	321	9.4.3 国外主要相关标准化组织	353
8.5.3 平台总体结构	322	9.4.4 其他相关组织	355
8.5.4 系统结构	324	9.5 家庭网络标准	356
8.5.5 网络结构	325	9.5.1 IEEE 1394标准	356
8.5.6 内容平台	327	9.5.2 Home PNA	360
8.5.7 运营支撑	328	9.5.3 电力线连网标准	363
8.5.8 机顶盒	330	9.5.4 几种无线局域网技术和标准	365
8.5.9 数字版权管理	330	9.5.5 无线局域网的安全性	372
8.5.10 编解码标准	331	习题与思考题	374
8.5.11 系统关键数据	331	缩略语	376
8.5.12 安全性	332	参考文献	386
习题与思考题	333		
第9章 家庭网络			
9.1 家庭网络的业务	334		

第 1 章 宽带接入网概述

带宽有多宽才算宽带呢? 宽带给我们带来了什么? 宽带又是由哪些技术支撑的? 这是本章首先要说明的问题。其次介绍了宽带接入的主要技术和下一代网络中的接入技术, 最后介绍宽带接入技术的发展情况。

1.1 理解宽带

如果 20 世纪表明一个国家的信息化程度的是电话和计算机的拥有量, 那么, 21 世纪衡量一个国家信息化水平的标准将是带宽。

1.1.1 宽带的概念

宽带的定义应该是一个不断变动的、相对的概念。

众所周知, 现代通信网络是由干线网、城域网和接入网组成的, 由于各个网络汇聚的业务流量不同, 不同类型的网络有不同的带宽。而且同一类型的网络, 在不同的历史时期所需要的带宽也不同。

以拨号上网为例, 相对于 9.6 kbit/s 而言, 56 kbit/s 就可以称为“宽带”了。随着时间的推移、业务需求和技术的进步, 这个数字被不断地刷新, 从 64~384~512 kbit/s, 直到 2M~10 M~100 Mbit/s。结果就是, 宽带的定义几乎是人言人异, 莫衷一是。就骨干网而言, 其带宽已经从 155 M、622 M、2.5 G 到 40 G, 最近报道, 采用 DWDM 技术光纤通信, 带宽已经达到 1.6T (1 600G)、3.2 T (3 200 G)。而且这个数值还在提高。由此可见, 不同类型网络的带宽, 差异甚巨。

从数值上看, 在骨干网传输中, 1 Gbit/s 是宽带, 1 000 Gbit/s (1 Tbit/s) 也是宽带; 在接入层面, 2 Mbit/s 是宽带, 100 Mbit/s 也是宽带。那么, 什么是真正意义上的宽带呢? 可以认为: 只有和不同业务相匹配的带宽才能算得上是经济、合理的带宽。

从网络业务来看, 例如远程教育、远程医疗、下载电影以及在线视频游戏等的应用, 在接入网部分, 要选择 10 M 作为宽带底线是合适的。而应付将来网络高清晰度电视广播的需要, 交互式的高清晰视频应用, 所需的带宽当然要上百兆了。

总而言之, 从应用的角度来说, 满足人们能感受到的与多媒体业务(电话、数据或视频)相匹配的带宽, 才是合适的。用视频通道来打普通的电话, 就如同在高速公路上步行或骑自行车一样浪费资源。昨日的宽带已经成为今日的窄带, 今天的宽带必将成为明天的窄带。因此宽带的带宽是一个动态的、发展的概念。

未来的接入网络肯定是宽带网络, 而且未来的接入网络会是无处不在的, 它将渗透到空间的各个角落。

1.1.2 宽带将为我们带来什么?

宽带通信为在同一个网络上同时传送更为复杂互动的信息奠定了基础。除了传统的电话和高速互联网接入之外, 宽带网络使运营公司能够提供支持互动多媒体、视频和音频流的业务。下一代的移动互联网业务也将成为未来宽带基础设施的一部分。

最早采用住宅宽带业务的一般都是高级的互联网用户,他们需要高速接入和高质量的视频服务。宽带技术以固定的价格提供“永远在线”的高速互联网接入,节省了窄带拨号接入的呼叫建立和下载时间。

但是,更快地接入互联网只是宽带技术潜力开发的开始。随着宽带技术在未来的几年中日益普及,它将带来电信、信息、媒体和娱乐业的融合,由此产生巨大的、新的业务机遇。

宽带通信将使运营商能够为消费者提供先进的服务,如在线游戏、全球广播和电视的接入服务、互动电视、视频点播、购物以及其他电子商务应用。终端用户可以在任何时间,将来可以在任何地点通过宽带网络便捷地接入他们想要的各种服务。

随着更为先进的网络接入设备不断地被开发出来,宽带通信将为人们带来“智能化家庭”。机器与机器间的通信将意味着家用电器和安全系统之间可以相互交流,或者可以由主人进行远程控制。

对商业用户而言,宽带能使更先进的 ASP(应用服务提供商)服务成为可能,即通过网络提供各种办公应用。宽带的其他商业应用包括电子商务、网络托管、高质量的视频和音频会议以及“虚拟的”多媒体客户联络中心。宽带网络的广泛部署还将意味着上述服务不仅能为大型的跨国公司所使用,而且即使是最小型的企业也可以享用。

无论在固定还是移动环境下,基于互联网的业务都在迅猛发展,推动着市场对新型网络的需要。新型的网络要能够满足容量不断增加、速度不断提高的需求,并且能支持为终端用户提供日益复杂的服务。“宽带”网络的演进为消费者带来了更为灵活、便捷的通信方式。同时,运营公司也通过“下一代”多业务网络而得益于宽带网所提供的一系列新的商机。宽带网络部署现已开始,并注定要成为支持下一代固定和移动通信的主导电信基础设施。

1.1.3 支撑宽带的技术

支撑宽带通信的技术可以分为两个主要类型:一是通过网络提供宽带通信的传输技术,二是接入技术。宽带通信有赖于上述两类技术以及其他支持技术的发展,因此,发展宽带通信要立足于“端到端”,换言之,要从网络的核心到终端用户设备全盘考虑,这一点非常重要。

分组通信是宽带通信的核心部分,因为分组能够满足对更大的网络容量的要求。在分组交换中,数据流被拆分成信息包进行传输,因此多个用户可以同时使用相同的带宽,提高了网络的容量。同样重要的是,网络的容量可以在需要的时间和地点进行动态部署。

宽带接入是一个复杂的系统,它涉及到大量的软件,关键技术有通信协议与路由算法、组播协议、质量保证(QoS)、网络管理及嵌入式操作系统。

下一代网络的另一个重要的特征在于同一个网络在能够传送语音、数据和视频的同时,网络的接入层与核心传输网是完全分离的。这就意味着宽带网能够独立于核心网而灵活地支持各种不同的接入技术,因此可以迅速地在网络中增加服务,而不影响到核心网。

1.2 宽带接入技术

近来,国内外接入网的宽带化工作进展很快。然而,接入网对成本、法规、业务、技术均很敏感,迄今并没有一项公认的绝对主导的宽带接入技术。尽管从世界范围看,近期内铜缆接入的各种数字用户线(xDSL)、光纤/同轴混合网(HFC)和以太网将形成三足鼎立之势,但是目前xDSL数已经超过HFC,成为现阶段主导的宽带接入技术。从发展的要求来看xDSL在技术上

还要改进,如带宽和网管能力的增强等;此外,各种新技术仍然在不断涌现,在相当长的时间内接入网领域都将呈现多种技术共存互补、竞争发展的基本态势。

从发展来看,具有带宽优势的光纤接入网,特别是无源光网络(xPON)是比较理想的方式,光纤到户(FTTH)无疑是终极的解决方案;另一个有发展前途的宽带移动无线接入技术是WiMAX,重点开发的802.16e在速率和成本方面优于3G,但移动性和覆盖方面不如3G;值得关注的还有宽带接入的重要应用——IPTV(网络电视),正成为一项迅速崛起的新业务,利用电信网提供三重捆绑业务(Triple Play)。

宽带接入的驱动力量可以归纳为以下几点:在业务上,新业务(如IPTV)、新收入和新商业模式驱动;在技术上,技术进步和创新驱动,包括微电子、光电子、软件技术和系统技术的进步;在竞争上,由有线电视或其他电信公司的竞争压力驱动;还有市场和政策的驱动。

宽带接入技术种类繁多,这里只介绍主要的几种。

1.2.1 基于 PSTN 的接入技术

1. ADSL 技术

ADSL采用正交频分复用方式,可以充分利用现有的铜缆资源传输高速数据信息,在一条电话线上用户能同时“上网”和“打电话”而互不影响。更为重要的是,ADSL技术在不需要对用户设备做过多改动的情况下,提供满足用户业务需求的上、下行带宽、技术、价格诸方面的优势,已成为我国主流的宽带接入技术,并呈现出良好的发展势头。因此,近几年在标准化、技术和市场等方面得到迅速发展。

ADSL技术基于G.992.1标准,采用离散多音频(DMT)线路编码技术,利用话音以上的频段(25.875 kHz~1.104 MHz)传送数据业务。同时,一种没有话音分离功能、专门用于数据传输提供1 Mbit/s左右的下行带宽、价格更为便宜的“G.992.2”-G.Lite也已开始走向市场。

为此,ITU-T基于第一代ADSL技术,推出了两个新一代ADSL标准:ADSL2(G.992.3)和ADSL2+(G.992.5)。ADSL2/+在第一代ADSL的基础上增加了一些新的特性,在性能、功能方面有较大改进,主要包括:提高了数据速率和覆盖范围,最高可达25 Mbit/s;拓展了应用范围,能够更加高效地传送日益增长的以太网/IP业务;增强了线路故障诊断和频谱控制能力;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;增加了节能特性,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;支持多线对速率捆绑,可以实现更高的数据速率。

2. 传统的 DSL 铜线接入技术

其他的DSL传统铜线接入技术是借助电话线路,通过调制解调器拨号实现用户接入,速率可达56 kbit/s,由于无法满足用户对宽带业务的需求,目前采用一些先进的调制和编码技术改进性能,主要还有以下几类:

(1) 高速数字用户线(HDSL)

HDSL利用两对双绞线实现数据传输,上下行速率对称。两对双绞线可将传输速率提高到1.544 Mbit/s,三对双绞线可实现2.048 Mbit/s的传输速率。HDSL采用高速自适应数字滤波技术进行线路均衡,通过回波抑制,不需要再生中继器。HDSL中使用2B1Q或CAP码,可以使传输距离达到3~6 km,比传统的PCM技术的传输距离增加1倍以上。

(2) 单线数字用户线(SDSL)

与HDSL一样,SDSL也是对称技术,但因为采用锁频技术,只需单对双绞线就能达到同

样的传输速率。

(3) 超高速数字用户线(VDSL)

VDSL(G. 993.1)也是一种非对称技术。它采用频分复用方式把 POTS、ISDN 和 VDSL 的上下行信号放在不同的频段上传输。在一对普通电话双绞线上提供上行 1.6~2.3 Mbit/s、下行 12.96~55.2 Mbit/s 的传输速率,但传输距离较短,只有 0.3~1.5 km。

新一代 VDSL 技术,符合标准 G. 993.2 的 VDSL2,被称为终极的 DSL 技术。完全基于离散多音频调制(DMT)技术,它不仅具备 ADSL2+ 技术的长距离传输能力,而且将 VDSL 的数据传输速率从 70 Mbit/s(下行)/30 Mbit/s(上行)提高到 100 Mbit/s(下行)/100 Mbit/s(上行)。为了最有效地利用比特率和带宽,VDSL2 技术还采用了诸如无缝速率适配(SRA)和动态速率再分配(DRR)等灵活成帧和在线重配方法,使电信运营商能够通过标准铜缆电话线提供诸如高清晰度电视(HDTV)、视频点播(Video-on-Demand)、视频会议(Video Conferencing)、高速因特网接入等业务以及 VoIP 高级语音业务,从而具备和电缆提供商以及卫星提供商竞争的能力。

(4) 其他

据报道,德州仪器又推出了名为 UDSL 的技术。将通过一条 DSL 线路支持吞吐量总计为 200 Mbit/s 的超高速数据速率,该 DSL 线路可用于提供 100 Mbit/s 的对称或非对称服务。由于 UDSL 与所有 DMT 标准(ADSL、ADSL2、ADSL2+、VDSL,以及即将出台的 VDSL2 标准)具有后向兼容性。因此,这则消息一经公布便引起了宽带产业链上各环节的关注。

除此之外,还有一些 xDSL 技术,如多路虚拟 DSL(MVL)、速率自适应 DSL(RADSL)等,技术原理大体相同,只是在调制方式、传输速率及具体实现上有差异。

1.2.2 基于 LAN 的以太网接入技术

以太网技术应用于接入网,与 IP 网很适应,且技术已有重要突破(LAN 交换、大容量 MAC 地址存储等),容量分为 10/100/1000 Mbit/s 三级,可按需分配。采用专用的无碰撞全双工光纤连接,已可以使以太网的传输距离大为扩展,完全可以满足接入网和城域网的应用需要。千兆比因特网到家(GITH)将成为除电话、电视以外的第三种可进入家庭的网络业务。利用 DWDM、光因特网技术和低成本千兆比以太网帧格式,可以提供从几个兆比特到几个太比特每秒速率的信号,只需 IP 平台,简化了网络。在企事业用户中,将成为主导接入方式。

以太网是目前应用最广泛的局域网传输方式。在技术上,以太网将 IP 包直接封装在帧中,因而是与 IP 配合最好的协议之一。

以太网接入利用了以太网简单、低成本、可扩展性强、与 IP 网络和业务融合性好等特点,在实装率较高的商业大厦和住宅小区是一种很好的接入方式。

但以太网接入在发展用户前需要进行综合投资,初期投资成本高,在实装率低时经济效益较差。另外,其接入距离较短,通常需要将以太网交换机放在用户楼道内,导致设备过于分散、难以管理和维护。

10 Base-5 方案可利用社区现有的电话布线系统组建网络,提供全双工 10 Mbit/s 的网络速率,满足语音、传真和高速数据传输服务的需求,因此它的使用范围很广,尤其适宜于那些不便于进行结构布线的环境。

此外,以太网本身是一种局域网技术,用于电信网接入领域时,还需要认真解决认证、计费、用户管理、用户安全和绑定、服务质量保证和网络管理等问题。

鉴于以太网接入的特点和DSL技术的良好发展势头,运营商主要将其用于商业大厦。一些缺乏铜缆资源的新型运营商,也将以太网接入作为一种竞争手段。

1.2.3 基于光纤的接入技术

目前的一些技术手段(如ADSL、HFC、FTTB+LAN、FTTB+ADSL等),都只能算是过渡性的解决方案。从根本上解决这一问题的长远技术是光纤接入网。

1. FTTX

光纤接入的主要优点是:降低维护费用和故障率;配合本地网结构的调整,减少节点,扩大覆盖;充分利用光纤化所带来的一系列好处;建设透明光网络,迎接多媒体时代。由于光纤具有大容量、保密性好、抗干扰性强等优点,因此在接入网中得到了普遍的应用。光纤接入技术是指在接入网中采用光纤传输介质构成光纤用户环路(FTTL),实现用户高性能宽带接入的一种方案,根据光纤节点(ONU)所在的位置(X),可以有光纤到户(FTTH)、路边(FTTC)、大楼(FTTB)、办公室(FTTO)等多种类型。由于光的发送、接收器件价格太高,目前FTTH用户无法承担,只能实现部分光纤化。现阶段最经济实惠的方式是FTTX+LAN,它采用基于局域网的接入技术,支持的接入带宽为10 Mbit/s或100 Mbit/s。现阶段FTTX+LAN使用。

光接入网的各种类型,都是通过光网络(ON)实现的。光网络包括有源光网络(Active Optical Network,AON)和无源光网络(Passive Optical Network,PON)。

2. 宽带PON技术

无源光网络(PON)是指采用无源光分支器的光纤接入网,它可以节省光线路终端(OLT)光接口和光纤资源,易于升级扩容,便于维护管理。从长远来看,宽带PON技术在未来实现FTTH方面具有较好的发展前景。主要的宽带PON技术有基于ATM的APON、基于以太网的EPON及具有吉比特传送能力的GPON。

APON技术由FSAN/ITU进行标准化,形成了ITU G.983.x系列标准。它以ATM作为承载协议,采用ATM信元复用方式传送各路信号,实际上是一种基于信元复用的TDMA技术。其主要技术特点是:支持上下行对称的155 Mbit/155 Mbit/s速率。上下行非对称的155 Mbit/622 Mbit/s速率,甚至支持上下行对称的622 Mbit/622 Mbit/s速率;最多支持32(64)路分支;最大传输距离为20 km;上下行双工方式可以采用单纤粗波分复用CWDM方式或双纤空分复用方式。APON技术标准较成熟,但技术较复杂,所支持的速率有限,设备价格高。

EPON技术由IEEE 802.3 EFM工作组进行标准化,将形成IEEE 802.3ah标准。EPON支持1.25 Gbit/s对称速率,支持10 km和20 km两种最大传输距离。其技术相对简单,速率高,可扩展性强,能够以较低成本高效率地传送IP业务。与APON相比,EPON具有更宽的带宽、更低的价格和更高的宽带业务能力。

在IEEE 802.3的规范下形成了千兆以太网无源光网络(GEPON)初步标准。在实际中,EPON和GEPON的基本差别就是标准化,前者往往指非标设备,后者指符合IEEE 802.3ah规范的设备。另外,GEPON的传输距离和分路比均比EPON有所减小。

GPON技术是FSAN/ITU继APON以后制定的又一宽带PON标准,在前不久已正式标准化,形成了ITU-G.984.x系列标准。它具有高比特率(最高2.5 Gbit/s),是以原有格式、高效率传送多业务的光接入网解决方案。GPON引入了一个新的传输汇聚(TC)子层,采用ITU-T G.7041定义的GFP(通用成帧规程)协议用于多种业务的映像封装,目的是定义一种

传输速率更高、能高效承载多种业务(包括实时业务、数据业务等)并具有强大操作、管理、维护(OAM)功能和扩展能力的宽带 PON 技术。根据帧封装格式,GPON 可以支持 622 Mbit/s, 1.25 Gbit/s 和 2.5 Gbit/s 上下行对称速率。对于 2.5 Gbit/s 和 1.25 Gbit/s 对称速率,支持 10 km 和 20 km 两种最大传输距离;支持的用户分支数不低于 64 路。

GPON 与 EPON 相比,无疑具有较大的优势,尤其是通过单一平台能高效完成 TDM 业务、数据业务等综合接入的特性,很好地适应了电信运营商的网络发展需求。

3. 光纤到户 (FTTH)

DSL 技术在日本和韩国的宽带接入市场中占有主导地位,但是由于用户对更高带宽的渴望和运营商之间的竞争,FTTH 作为宽带接入的一种优势技术已经被广泛投入商用。日本的 FTTH 商用非常成功,它已成为这一领域的全球领导者,那里正在发生的一切可能会在不久的将来在我国上演。

FTTH 一直被认为是接入网的明日之星,也是宽带发展的最终理想。因为它能够满足各类用户的多种需求,像高速通信、家庭购物、实时远程教育、视频点播(VOD)、高清晰度电视(HDTV)等等,这些业务都是铜线或双绞线勉力为之才能达到的目标,而对 FTTH 来说则是轻而易举。100 Mbit/s 带宽的 FTTH 成为实现电话、有线电视和上网的“三网合一”的最佳保证。

FTTH 的主要技术是媒体转换器(Media Converter, MC)及无源光网络。MC 主要用来取代传统以太网所使用的铜线,采用点对点(Point to Point, P2P)的网络拓扑方式,将 100 Mbit/s 的服务通过光纤传送到用户家中。PON 的架构主要是将从光纤线路终端设备 OLT 下行的光信号,通过一根光纤经由光分路器 Splitter 无源器件,将光信号分路广播给各光用户终端设备 ONU/T,大幅减少网络机房及设备维护的成本,更节省了大量光缆资源等建置成本,而成为 FTTH 最新热门技术。

FTTH 所基于的 PON 技术所需要的网络建设元件,如光无源器件、接入端设备、光线路终端、各种接口模块以及用户端光网络单元,在网络的建设中,将会占据大量的需求。这些技术问题在国内均已解决。

越便宜才会越普及,其次才谈得上应用和需求,才谈得到用户的易用和运营的易管等等。FTTH 在许多年前就被提出来,但 FTTH 的大部分设想到现在仍未实现,关键原因是成本太高。鉴于国内经济发展水平,在宽带接入上,继续加速发展 xDSL,并开始逐渐地部署光纤到街区(FTTN)、光纤到路边(FTTC)、光纤到驻地(FTTP)和光纤到大楼(FTTB)等都是适宜的,而 FTTH 尚需等待时机,不会在短时间内得到较大发展。但事物是有两面性的,正因为现在的相对落后,反而预留出今后更为广阔的发展空间。未来几年内,我国 FTTH 将逐步地有较大的发展。

1.2.4 基于同轴电缆的接入技术

有线电视网是用来传输模拟电视信号的有线网络,它的所有用户共享下行信道,是真正的宽带网络。光纤同轴混合(HFC)技术推动了有线电视网的发展。HFC 不仅可以提供原有的有线电视业务,还可以提供语音、数据及其他交互型业务。电缆调制解调器(Cable Modem)是以 HFC 为基础的高速数据接入技术。

HFC 由光纤干线和同轴电缆分配网通过光节点结合而成,在一个光节点小区内的用户共享 HFC 电缆调制解调器的 27 Mbit/s 或 40 Mbit/s 的下行信道。为保证接入速度,一个节点内

的用户数不能太多。双向 HFC 网的上行信道工作在 50 MHz 以下频段。用户的上行信号采用多址技术(如 TDMA、FDMA、CDMA)复用到上行信道,由同轴电缆传送到光节点进行电光转换,然后经光纤传至前端。

有线电视经营者将通过 HFC 网络同时传送模拟和数字电视节目,模拟和数字频道的分配方式依据数字节目的多少和管理的方便而定。

在用模拟电视机接收数字电视信号的节目时,数字机顶盒(STB)是不可缺少的设备。它的功能已从一个多频率的调谐器和解码器演变成为一个可以访问和接收(包括电影、新闻、数据等)大量多媒体信息的控制终端。有线电视的机顶盒技术含量很高,它集中了多媒体、计算机、数字压缩编码、加解扰与加解密算法、通信、网络等技术的最新水平。

1.2.5 无线接入技术

1. 固定无线接入技术

多路多点分配系统(MMDS)和本地多点分配系统(LMDS)都属于固定无线接入技术,在运营商局端设备到用户小区间通过无线网络,以点对多点方式为用户提供语言、数据、图像等多种服务。

MMDS 技术工作于 3.5 GHz、5.8 GHz 频段,特点是频带资源较窄,工作频率较低,覆盖范围较广,适合于中低等密度用户。由于 5.8 GHz 的 MMDS 与 802.11a 标准的 WLAN 技术在频谱上的重叠,其发展前景主要取决于运营商是重点发展 5.8 GHz MMDS 技术还是发展 802.11a 标准的 WLAN 技术。

工作于 24~38 GHz 的 LMDS 技术的最大特点是频谱很宽,可达到 1 GHz 以上,采用高容量点到多点微波传输,支持双向话音、数据及视频图像等业务,用户接入速率从 64 kbit/s 到 2 Mbit/s,甚至高达 155 Mbit/s。国内主要的电信运营商开始进入 LMDS(工作于 26 GHz)的商用试验阶段,LMDS 的不足之处是覆盖范围较小(3 km 左右),工作频率受雨雪等天气影响较大,基站设备较复杂、价格较贵,用户少时平均每个用户成本较高。考虑到 LMDS 的优点和不足,其主要适合于城区用户分布较密集的地区及不易布线的地方。

固定无线技术自身的特点决定了其只能作为一种补充方式用于某些特殊场合。目前 3.5 GHz MMDS 和 26 GHz LMDS 技术主要被一些新运营商在缺乏铜缆资源、且难以布线的地方,用于抢占部分宽带用户。

2. 无线局域网(WLAN)技术

(1) WLAN 系统结构与典型应用

WLAN 技术的优点是利用蜂窝无线技术为用户提供游牧式无线接入服务,极大地方便了用户。WLAN 系统由端站(STA)、接入点(AP)、接入控制器(AC)、AAA 服务器组成。STA 是 WLAN 的终端,可以通过不同的接口,如 PCM CIA 接口、USB 接口,接入计算机使用。AP 的主要功能是对用户接入进行控制,如支持接入控制列表(ACL)功能、限制接入的用户数、支持用户在不同 AP 的自动切换、支持基于服务集标识(SSID,SSID 相同的 STA 可以相互通信)的访问控制。AC 在 WLAN 与 Internet 之间充当网关。AC 可以与 AAA 服务器直接相连,也可以通过 IP 网络后再连入 AAA 服务器。AAA 服务器的主要功能是进行用户认证、授权与计费。

WLAN 的典型应用在机场、酒店和展厅等一些热点地区,可以通过部署小型 AC、AP 的方法,为用户提供宽带移动无线接入服务;在办公大厦,可以通过将 AP 接入以太网交换机,利用