



现代光通信技术丛书

三网融合下的 FTTx网络



张傲 程淑玲 杨柳 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代光通信技术丛书

三网融合下的 FTTx 网络

张 傲 程淑玲 杨 柳 编著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

三网融合下的FTTx网络 / 张傲, 程淑玲, 杨柳编著

— 北京: 人民邮电出版社, 2011.5

(现代光通信技术丛书)

ISBN 978-7-115-24523-6

I. ①三… II. ①张… ②程… ③杨… III. ①光纤通信—宽带通信系统 IV. ①TN915.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第236023号

内 容 提 要

本书紧密围绕三网融合业务发展需求,在简要介绍光接入网相关技术原理后,重点结合网络规划、业务应用、设备部署、光分配网络(ODN)建设、网络管理、工程测试、网络演进等实际问题进行阐述,为三网融合下的FTTx网络规划和建设提供科学参考。

本书可作为从事三网融合光接入网相关工作的电信运营商、广电有线网络公司、电力公司及其他专网通信公司管理人员、技术专家、技术工程师等的技术参考资料,也可作为高等学校通信相关专业师生的教材或辅导用书。

现代光通信技术丛书

三网融合下的FTTx网络

◆ 编 著 张 傲 程淑玲 杨 柳

责任编辑 李 强

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15.5

字数: 326千字

2011年5月第1版

印数: 1—3000册

2011年5月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-24523-6

定价: 48.00元

读者服务热线: (010)67129264 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

前 言

随着信息和通信技术的飞速发展,“三网融合”已成为国家信息化进程中的重要议题。十几年前就开始讨论的“三网”融合难题,终于在2010年迎来了破冰之旅。三网融合本质上是语音、数据和视频等多种业务的融合,这给通信网络的发展带来了历史性的机遇,同时也提出了新的难题和挑战。接入网作为通信网络连接最终用户的末梢,发挥着越来越重要的作用。尽管近几年国内电信运营商的“光进铜退”建设取得了重大进展,但随着技术的不断进步,业务内容的日益丰富和广电、电力等专网运营商的逐步介入,对传统光纤接入(FTTx)技术和网络都提出了更新的要求。为了向致力于三网融合FTTx接入网规划、建设和运营维护的同行们提供一本全面、新颖的技术参考书,作者根据近10年从事接入网技术研究和开发及推广应用的从业经验,结合最新的国家级重大科技项目攻关成果,参考业内主流电信运营商的相关技术和管理文献,兼顾广电、电力等网络实际编撰了此书。

本书力求理论新颖、实用性强、覆盖面广,内容紧密围绕三网融合业务发展需求,在简要介绍光接入网相关技术原理后,重点结合网络规划、业务应用、设备部署、光分配网络(ODN)建设、网络管理、工程测试、网络演进等实际问题,为面向三网融合的FTTx网络规划和建设提供科学参考。

本书内容全面,理论密切联系实际,深入浅出,逻辑性强,涉及网络规划、建设和管理与维护等各个环节,具有很强的指导性和可操作性。可作为从事三网融合光接入网相关工作的电信运营商、广电有线网络公司、电力通信公司及其他专网通信公司中、高层管理人员、技术专家、技术工程师等的技术参考资料或培训教材,也可作为高等学校通信相关专业教材或辅导书。

本书由张傲组织策划并负责第2章、第4章、第8章和第10章的编写及全书的统稿,程淑玲负责第6章、第7章的编写,杨柳负责第1章、第3章、第5章和第9章的编写,朱丽丽、王素椅、樊海东、李锐等参与了部分内容的编写和整理工作。在本书的编撰过程中,得到了中国工程院郭贺铨院士、亚太光通信委员会主任、中国通信学会光通信委员会主任毛谦教授、武汉邮电科学研究院王建利副总工程师、杨铸副总工程师、何岩教授、侯景元高工和中国电信集团公司技术部王波高工、上海研究院沈成彬博士、蒋铭博士和王成巍等领导 and 专家的悉心指导和大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,相关技术和应用发展日新月异,错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编者

2011年2月

序

1966 年诺贝尔奖获得者，英籍华人高锟博士提出用玻璃纤维作为光波导用于通信的理论，即用光纤取代铜导线作为长距离的通信线路。随着第一个光纤系统于 1981 年成功问世，世界通信技术发生了一次革命性的变革。如今社会信息量的 95% 以上都是通过光纤传送的，但光纤绝大部分用在核心网和城域网。把光纤用于接入网，实现光纤到户（FTTH）的光纤宽带接入，一直是光通信界同仁所向往的目标。20 世纪 90 年代曾有过推进光纤到户的小浪潮，限于当时的技术条件和业务需求，没能得到持续发展。自 2002 年开始，由于光通信本身的技术水平的提高，加上 ASIC 技术、计算机技术等高速发展的配合，特别是社会对宽带业务需求的雪崩式增长，在全球再次掀起了光纤到户的应用热潮。

我国自 2005 年在武汉开通第一个光纤到户的试点工程开始，在 FTTx 产业链各个方面的努力和配合下，逐步得到各方面的认可；2008 年开始的光进铜退，促使 FTTx 得到了规模应用；2010 年由我国政府主导的“三网融合”进一步推动 FTTx 向更大规模推广普及方向发展。随着建设经验的不断积累，用户对带宽需求的快速增长以及成本的大幅度降低，目前已经具备了大规模推广普及 FTTH 的条件，我国电信运营商开始加速 FTTH 的进程。

然而，光纤宽带接入网络的建设、运行、维护和管理中还存在不少不确定因素，还需要不断总结经验，不断改进和提高。特别是在三网融合环境下的 FTTx 网络，有别于单纯的公用电信环境，业务内容的极大丰富、不同基础设施的差异和用户的特殊需求，促进了 FTTx 技术的新发展。为了更好地适应在三网融合环境下 FTTx 网络的普及应用，向致力于 FTTx 工程设计规划、工程建设和运营维护管理的技术人员提供便于快速查阅、寻求最佳解决方案的技术参考，本书介绍了 FTTx 的网络架构和关键技术、主要设备和常用器件、网络建设规划和工程测试验收、运行维护以及管理，最后介绍了 FTTx 技术的发展和演进趋势。

张傲高级工程师、程淑玲高级工程师和杨柳博士都是从 20 世纪 90 年代就开始从事 FTTx 技术和设备系统的研究和开发，又是 FTTx 工程的较早的实践者和后继数百个商用工程的参与和指导者，具有深厚的 FTTx 技术底蕴，积累了丰富的工程规划和建设经验，又有对广大技术人员进行 FTTx 培训的教学经验，相信本书一定能得到从事三网融合光接入网研究、开发、制造、工程设计、施工、运行维护的技术人员、中高层管理干部以及高等院校师生的好评。也祝愿本书在我国更大规模 FTTx 的发展中发挥出更大的参考价值。

亚太光通信委员会主任
中国通信学会光通信委员会主任
毛 谦

2011 年 3 月 21 日

目 录

第 1 章 接入网架构及主流接入技术	1
1.1 接入网架构	1
1.1.1 接入网的定义	1
1.1.2 接入网的功能	1
1.1.3 接入网的分类	2
1.1.4 接入网的发展趋势	3
1.2 有线接入网	4
1.2.1 铜线接入技术	4
1.2.2 光纤接入网	9
1.2.3 HFC	14
1.3 无线接入网	16
1.3.1 宽带无线接入的关键技术	16
1.3.2 WLAN 接入技术	17
第 2 章 三网融合业务的特点及对接入网络的要求	21
2.1 高带宽	21
2.2 多业务 QoS	22
2.3 可管可控	23
2.4 向 IPv6 过渡	24
2.4.1 IPv6 部署对接入网的影响	24
2.4.2 接入网支持 IPv6 业务的主要方式	25
2.4.3 接入网支持 IPv6 现状	26
第 3 章 FTTx 系统架构	27
3.1 OLT	27
3.2 ONU	29
3.2.1 功能模块	29
3.2.2 ONU 类型	31
3.3 光分配网络 (ODN)	32
3.4 网络管理系统 (EMS)	35

3.4.1	通用要求	35
3.4.2	配置管理	36
3.4.3	故障管理	37
3.4.4	性能管理	38
3.4.5	安全管理	39
3.4.6	北向接口	39
第 4 章	FTTx 典型组网与应用	41
4.1	主要建设模式	41
4.1.1	FTTH 接入	41
4.1.2	FTTB + LAN 接入	42
4.1.3	PON + EoC 接入	42
4.1.4	FTTC 接入	44
4.2	典型业务组网	44
4.2.1	无线热点覆盖	45
4.2.2	数字视频监控	45
4.2.3	移动基站回传	46
4.2.4	智能电网应用	47
第 5 章	EPON/GPON 网络架构及关键技术	48
5.1	体系架构	48
5.1.1	EPON 系统架构	49
5.1.2	GPON 系统架构	51
5.2	上行时分多址接入关键技术	55
5.2.1	TDMA 技术	55
5.2.2	数据突发发送和突发接收技术	56
5.2.3	测距技术	59
5.2.4	动态带宽分配 (DBA) 技术	63
5.3	三网融合业务承载	66
5.3.1	数据业务	67
5.3.2	话音业务	68
5.3.3	IP 视频业务	69
5.3.4	TDM 业务	69
5.3.5	CATV 业务	73
5.4	多业务 QoS 技术	74
5.4.1	QoS 与 SLA 概念	74

5.4.2 业务识别	75
5.4.3 优先级标记	76
5.4.4 队列优先级及队列调度 (Queuing and Scheduling)	77
5.4.5 流量管制和流量整形	78
5.4.6 拥塞避免 (Congestion avoidance) 和缓存管理 (Buffer management)	80
5.4.7 xPON 系统 QoS 架构	80
5.5 组播技术	82
5.5.1 IGMP Proxy/Snooping	82
5.5.2 动态可控组播业务的实现	83
5.5.3 组播在 EPON 系统中的应用	84
5.6 下行链路加密	85
5.7 时钟和时间同步技术	88
5.7.1 移动网络对时钟和时间同步的要求	89
5.7.2 EPON/GPON 网络时钟同步技术	89
5.7.3 系统时钟工作模式	93
5.8 保护倒换	93
5.8.1 类型 A 保护	94
5.8.2 类型 B 保护	95
5.8.3 类型 C 保护	96
5.8.4 类型 D 保护	97
5.8.5 手拉手保护	99
5.8.6 对比分析	100
5.9 光链路测量与诊断	101
5.9.1 光链路误码监测	102
5.9.2 PON 专用 OTDR	103
5.9.3 光模块数字诊断技术	104
5.9.4 “长发光”ONU 检测	105
5.10 节能技术	106
5.11 技术特性小结	107
第 6 章 ODN 关键部件	109
6.1 光纤连接器及端接	109
6.1.1 光纤连接器类型	110
6.1.2 连接器端面	112
6.1.3 光纤连接器使用	114

6.1.4	光纤现场连接器	116
6.1.5	光纤熔接	118
6.1.6	光缆的接续	120
6.1.7	光缆成端	122
6.2	光分路器	123
6.2.1	工作原理	124
6.2.2	主要类型	126
6.2.3	光分路器性能	129
6.2.4	光分路器使用	132
6.3	小弯曲半径跳纤	134
6.4	光纤插座及面板	134
6.5	FTTx 专用光缆	136
6.5.1	一般要求	136
6.5.2	FTTx 系统中的光纤类型	137
6.5.3	馈线光缆	137
6.5.4	配线光缆	138
6.5.5	入户光缆	140
第 7 章	FTTx 网络规划	142
7.1	规划准备	142
7.2	组网模式选择	144
7.3	带宽计算	145
7.4	设备布置	146
7.4.1	OLT 设备放置原则	146
7.4.2	ONU 设备放置原则	146
7.5	资源规划	147
7.5.1	OLT 上联	147
7.5.2	业务优先级以及 QoS 策略	148
7.5.3	VLAN 和 IP 地址规划	148
7.5.4	向 IPv6 网络演进策略	148
7.5.5	网管系统规划	153
7.6	ODN 规划	153
7.6.1	ODN 架构建议	153
7.6.2	FTTx 建设模式	153
7.6.3	节点设计	157

7.6.4 光缆选择	159
7.6.5 信息管道设计要求	159
7.6.6 系统光功率预算	162
7.7 网络规划设计实例	165
7.7.1 用户区特点和管线状态分析	165
7.7.2 设计方案介绍	166
7.7.3 光纤链路损耗预算	167
第 8 章 FTTx 网络及业务工程测试	169
8.1 ODN 测试	169
8.1.1 光分路器测试	169
8.1.2 光纤链路指标测试	171
8.2 系统设备测试	172
8.2.1 接口指标测试	172
8.2.2 业务功能测试	180
第 9 章 FTTx 网络运营维护及管理	183
9.1 OLT 管理	183
9.1.1 命令行网管和图形网管	183
9.1.2 本地管理和远程管理	183
9.1.3 带内管理和带外管理	184
9.2 ONU 远程管理	184
9.2.1 ONU 远程管理方式	185
9.2.2 EPON OAM 协议	187
9.2.3 GPON OMCI 协议	189
9.3 业务自动发放	191
第 10 章 FTTx 网络演进	193
10.1 总体发展趋势	193
10.1.1 技术标准	193
10.1.2 应用场景	194
10.1.3 产品形态	194
10.1.4 运维管理	195
10.2 10G EPON 技术	196
10.2.1 标准化历程	196
10.2.2 系统架构	196
10.2.3 MAC 层	198

10.2.4	物理编码子层	200
10.2.5	光链路预算类别	200
10.2.6	10G EPON 和 1G EPON 的共存性	201
10.2.7	国内外研究进展	202
10.3	XG PON 技术	202
10.3.1	标准化历程	202
10.3.2	物理层	203
10.3.3	传输汇聚 (TC) 子层	203
10.3.4	光链路预算类别	204
10.3.5	共存方式	204
10.3.6	国内外研究进展	205
10.4	10G EPON 和 XG-PON1 特性分析	205
10.5	WDM PON 技术	206
10.5.1	技术原理	206
10.5.2	协议参考模型	208
10.5.3	主要特点	209
10.5.4	关键技术及器件	209
10.5.5	典型应用场景	220
10.5.6	国内外研究进展	221
10.6	WDM-TDM PON 技术	221
10.6.1	技术原理	221
10.6.2	主要特点	222
10.6.3	典型应用场景	222
10.6.4	国内外研究进展	223
10.7	互联互通	225
10.7.1	重要意义	225
10.7.2	主要形成原因	225
10.7.3	层次和主要内容	226
10.7.4	国内外研究进展	226
	缩略语	228
	参考文献	238

第 1 章 接入网架构及主流接入技术

接入网提供最终用户与运营商通信网络的连接，是通信网络的重要组成部分，具有业务传送、业务承载和业务控制等功能，主要分为有线接入网和无线接入网两大类。目前，有线接入网络是从各种数据用户线（xDSL）和光纤同轴混合网络（HFC）技术为主的铜缆接入网，正在向以无源光网络（PON）技术为主的光纤接入网络演进。根据光纤延伸到达的位置，光纤接入网可以分为光纤到大楼（FTTB）、光纤到路边（FTTC）、光纤到节点（FTTN）、光纤到用户（FTTH）、光纤到办公室（FTTO）等应用方式。此外，WLAN 技术是目前广泛使用的一种宽带无线接入方式，本章对其主要技术特点也将进行简要介绍。

1.1 接入网架构

1.1.1 接入网的定义

现代电信网由 4 大部分组成：核心网、接入网、用户驻地网以及电信管理网，如图 1-1 所示。

根据 ITU-T G.902 的定义，接入网是由业务节点接口（SNI）和用户网络接口（UNI）之间的一系列传送实体（如线路设施和传输设施等）组成的，是为电信业务提供所需传送承载能力的实施系统，可经由网络管理接口（NMI）配置和管理。

接入网负责连接用户终端或者用户网络到核心交换和传输网络，负责将业务节点

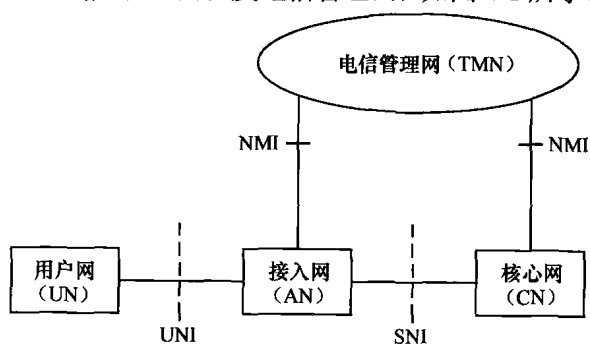


图 1-1 现代电信网络结构模型

的业务透明地分发到用户。业务节点是提供业务的实体，例如可以提供呼叫/连接业务的 PSTN/软交换网络、本地交换机或特定配置的点播电视和广播电视业务节点等。随着数据业务和视频业务为主的 IP 业务的迅速发展，宽带数据业务已经取代话音业务成为电信网络中的主要业务种类，随之而来的就是电信网络的节点设备也发生了根本性的转变。

1.1.2 接入网的功能

接入网处于电信网络的末梢，是一个与用户业务有密切关联的网络，主要提供业务传送

功能、业务承载功能以及业务的控制功能。

(1) 业务传送功能

业务传送功能是指利用各种物理媒介在用户终端和核心网络之间传送业务，包括基于双绞线的 xDSL 传输、基于同轴电缆的传输、基于光纤的 SDH/MSTP、PTN、PON 传输以及基于大气的无线传输等功能。

(2) 业务承载功能

接入网的业务承载功能是指利用 SDH 帧、以太网帧、IP 报文等与物理媒质无关的高层承载协议对业务进行封装的功能，包括电路的交叉连接或者报文的路由和存储转发等处理功能等。

(3) 业务控制功能

业务控制功能是指利用管理、控制信息对业务的分布和传送质量等进行完整的监测和控制。在下一代网络接入网中，业务控制功能一般是通过各种网关设备来实现的。利用网关设备实现终端用户到核心网之间的业务承载和媒体流的转换、多媒体映射和代码转换、呼叫处理和控制、资源控制、拥塞控制等功能。

1.1.3 接入网的分类

接入网的分类方法有很多种，若按照传输媒介来分类，可以分为有线接入网和无线接入网。其中有有线接入网又可以分为铜线接入网和光纤接入网。若按照拓扑结构来分类，可以分为总线型网络、星形网络（或者树形网络）、环形网络等。若按照业务带宽提供能力分，可以分为窄带接入网和宽带接入网。若按照使用技术分，可以分为数字环路载波接入、xDSL 接入、混合光纤同轴接入（HFC）、SDH/MSTP/MSAP 接入、PTN 接入、PON 接入、点到点以太网接入、WLAN 接入等。

目前应用较多的分类方式就是将接入网分为 xDSL 接入网、HFC 接入网、光纤接入网和无线接入网等几种。xDSL 方式只需在普通电话用户端安装相应的 ADSL 终端设备就可享受宽带业务，原有电话线路无须改造，安装便捷，使用简便。可充分利用现有通信接入网络中大量的铜缆资源，并可与光纤接入网中的光缆铺设计划协调发展，xDSL 接入方式在宽带接入网发展初期应用非常广泛。

同轴电缆在几百 MHz 范围内均衡性能很好，但其传输距离受噪声、衰耗等影响较大，其传输特性比较适合小区居民用户的接入。目前我国正在进行大规模的同轴电缆接入网双向化改造，将进一步提升同轴电缆接入网络质量，提供双向交互式通信能力，其中国家下一代广播电视网（NGB）已经对基于同轴电缆的接入网络进行了全面的规划。

光纤能提供近乎无限的带宽接入能力，所以光纤接入的带宽潜力是其他接入方式无法比拟的。其中 FTTH 是光纤接入的终极解决方式，现阶段主要以 FTTB+LAN 和 FTTB+DSL 方式为主，正在向 FTTH 规模应用发展。

无线接入具有建设和运营成本低、部署速度快、可逐步扩容、投资和回报期短及终端位置变化灵活等一系列优点,同时也受覆盖范围小、带宽有限、受环境影响大等因素的限制。一般适用于相对平坦、降雨少、无高大障碍物阻挡、用户密集、业务需求高的热点地区。在接入线缆资源匮乏的地区以及布线成本高或来不及布线的地区,无线接入是有线接入的一种重要补充方式。

1.1.4 接入网的发展趋势

传统的电信网都是围绕着电话业务的开展来设计的。电话业务的特点是带宽需求小、固定,且业务增长平稳缓慢。然而,近年来 IP 业务呈现爆炸式增长,已经替代电话业务成为电信网络中的主要业务。IP 业务的主要特点是,带宽需求不固定且有很强的突发性。为了适应这种变化,电信网络正在从传统的电路交换技术向高效的以 IP 为代表的光交换技术转变。接入网作为电信网的重要组成部分,也在经历着同样的演变过程。目前,接入网正向着 IP 化、融合化、宽带化、光纤化的方向发展。

(1) 接入网 IP 化

当前电信网络中的业务不再是单纯的话音、传真业务。随着互联网的飞速发展以及人们工作、生活娱乐的需求不断提高,接入网中的业务已经转变成高速互联网接入、VoIP、VOD、电子商务等宽带多媒体业务,接入网架构的 IP 化和整个电信网络的 IP 化一样是一个不可避免的发展趋势。

(2) 接入网业务融合化

在接入网发展初期,话音业务、数据业务以及视频业务是分别在不同的网络中承载。话音业务在 PSTN 网络中承载,数据业务在专用的数据网络中承载,视频业务在电视广播网或者有线电视(CATV)网络中承载。用户家中也要分别为这 3 种业务配置不同的业务终端。IP 承载技术以及 QoS 技术的发展使得无论是话音业务、数据业务还是视频业务都可以同时在 IP 网络中高效、高质量地承载。因此接入网 IP 化改造,使得接入网上承载的业务可以由单一的某一种业务向着同时承载话音、数据和视频等多种业务方向的方向发展。接入网将会是一个多种业务全面融合承载的网络。即话音、数据、视频业务的三网融合(Convergency)。

(3) 接入网的宽带化

电信网的宽带化改造是从核心网开始的。而接入网已经成为全网带宽的最后瓶颈。无论是无线接入网还是有线接入网都面临着宽带化改造的迫切需求。从技术的成熟度、建设成本和建设周期等因素考虑,接入网的宽带化必将是一个长期和逐步演进的过程。有线接入网的宽带化首先是对现有网络铜线资源的利用和改造,目前利用 xDSL 技术可以提供 2~20Mbit/s 的带宽,能基本满足大多数接入业务需求,HFC 网络通过对现有同轴电缆网络的改造,也可以实现接入网的宽带化。最近几年,无源光网络(PON)等光纤接入技术开始规模应用于接入网中,使得接入网能够提供 1Gbit/s 甚至 10Gbit/s 的带宽,消除最后 100 米接入的带宽瓶颈。

无线接入作为有线接入的补充，在接入网络中的地位日渐显现。物联网的发展对于无线宽带接入也提出了新的需求。常见无线宽带技术包括：基于 802.11 的无线局域网（WLAN）技术；采用点到多点微波传输技术的本地多点分配业务（LMDS）技术以及多路多点分配业务（MMDS）技术；蓝牙以及第三代移动通信（3G）技术等。可以支持语音、数据、视频等多媒体业务的综合接入。

（4）接入网的光纤化

无论是铜线的宽带化技术还是无线宽带化技术，其带宽增长潜力都是有限的，唯有光纤接入的带宽承载能力近乎无限。随着光纤覆盖向着用户驻地网的延伸，光纤宽带接入技术已成为接入网建设的首选。根据不同的应用场景，光纤接入技术可以覆盖不同的范围和位置，如光纤到路边（FTTC）、光纤到大楼（FTTB）、光纤到办公室（FTTO）和光纤到家庭（FTTH）等。接入网光纤化为三网融合的实现奠定了基石。

1.2 有线接入网

有线接入网可分为铜线接入、光纤接入和混合光纤同轴接入三类。铜线接入包括窄带数字环路系统、以 ADSL 和 VDSL 为代表的用户数字线（xDSL）系统、利用 CATV 同轴电缆进行双向宽带传输的 HFC 系统，以及利用 5 类电缆等进行传输的快速以太网（100Mbit/s LAN 等）接入系统。光纤接入主要包括 PDH、MSTP、MSAP 等同步/准同步数字系列接入、PTN 接入、点到点有源以太网接入和无源光网络（PON）接入等。混合光纤同轴接入主要是利用光纤和 CATV 同轴电缆进行双向宽带传输的 HFC 系统。

1.2.1 铜线接入技术

1. 数字用户线技术（xDSL）

xDSL 是各种类型数字用户线路（DSL，Digital Subscribe Line）技术的总称。xDSL 利用各种调制技术和编码技术来提高电话双绞线传输速率，将原本只能传输语音和 56kbit/s 低速数据接入的双绞线的带宽提高到 2Mbit/s 以上，能够同时支持语音、宽带数据、视频等多种业务应用。对于有大量电话资源的电信运营商采用 xDSL 技术，无需线路投入，可以极大节省网络建设费用。

（1）技术分类

根据使用的调制和编码技术的不同，xDSL 分为 ADSL、RADSL、VDSL、SDSL、IDSL 和 HDSL 等。各种 DSL 技术最大的区别体现在信号传输速率和距离的不同，以及上行信道和下行信道的对称性不同等几个方面。对称型 DSL 不支持数字信号和语音信号同时在一条电话双绞线上传输。其中 SDSL、HDSL 和 SHDSL 属于对称型，即上下行速率相同。而 ADSL 和

VDSL 属于非对称型,即上下行速率是不一样的,一般下行速率要比上行速率大很多倍。由于非对称 DSL 能够在一条双绞线上同时传输语音和数据,对于已经安装了电话的家庭用户来说,不需要新增线路就可以很快开通宽带业务,因此非对称型的 xDSL (如 ADSL 和 VDSL) 在普通家庭上网用户中得到了广泛的应用。表 1-1 为各种 xDSL 技术性能对比。

表 1-1 各种 xDSL 技术性能对比

技术名称	传输方式	最大上行速率	最大下行速率	最大传输距离	传输媒介
HDSL	对称	2.32Mbit/s	2.32Mbit/s	5km	1~3 对双绞线
SDSL	对称	2.32Mbit/s	2.32Mbit/s	3km	1 对双绞线
SHDSL	对称	5.7Mbit/s	5.7Mbit/s	7km	1~2 对双绞线
VDSL	非对称	2.3Mbit/s	55Mbit/s	2km	1 对双绞线
ADSL	非对称	1Mbit/s	8Mbit/s	5km	1 对双绞线
ADSL2+	非对称	1Mbit/s 或 2Mbit/s	12Mbit/s 或 24Mbit/s	4km	1 对双绞线
VDSL2	非对称	4Mbit/s	50Mbit/s	1km	1 对双绞线

目前应用较多的为 ADSL 和 ADSL2+。随着光纤接入网建设步伐的加快,光纤越来越靠近终端用户,接入网可以承载更高传输速率,但是传输距离较短的 VDSL2 技术也开始应用,成为电信运营商“光进铜退”建设中的另一种技术选择。

(2) ADSL

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) 是非对称数字用户环线技术的英文首字母缩写。ADSL 的上行带宽为 640kbit/s~1.0Mbit/s,下行带宽为 1~8Mbit/s。传统电话只利用了双绞线的 0~4kHz 频段。ADSL 采用频分复用技术开发了双绞线 4kHz 以上的频率,把普通电话双绞线的传输带宽分为 3 个频段(见图 1-2)。其中 0~4kHz 频段仍然用于传输原有的话音业务,26~138kHz 频段用于传输上行数据信号,138kHz~1.1MHz 频段用于传输下行数据信号。这 3 个频段可以同时工作,从而实现了在一条电话线中同时传输语音与数据信号。

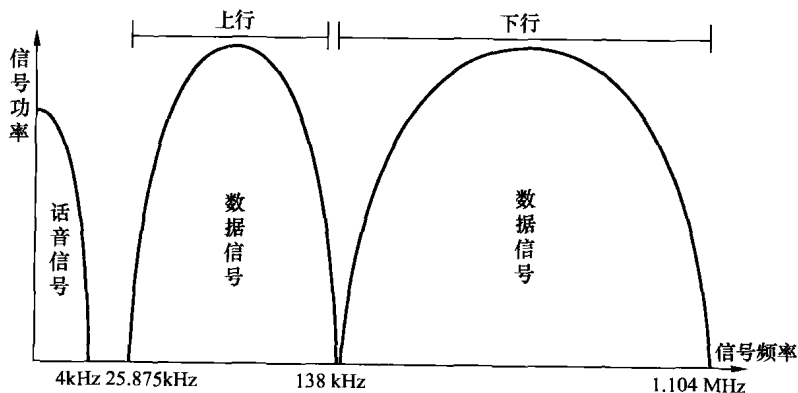


图 1-2 ADSL 的频段划分

ADSL 系统的参考模型如图 1-3 所示。一个 ADSL 系统由 4 个功能模块组成：局端设备（DSLAM）、用户端设备（ADSL Modem）、语音分离器和网管系统。局端设备与用户端设备完成数据信号的传输、调制和解调，局端设备还完成多路 ADSL 信号的复用，通过汇聚交换机或者路由器与 IP 城域网相连。语音分离器由高通和低通滤波器组成，其作用是将语音和数据信号分离。

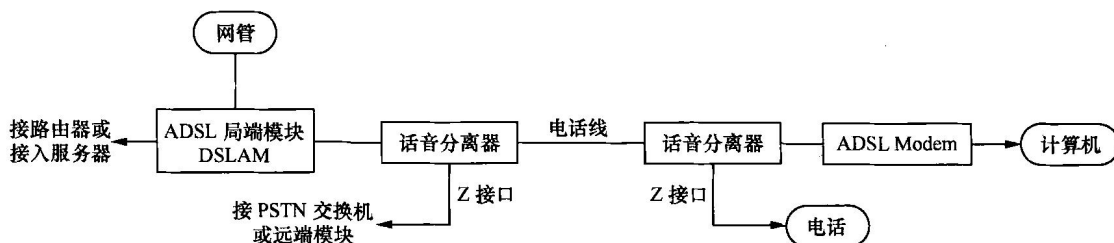


图 1-3 ADSL 系统参考模型

ADSL 理论传输距离可达 5km。但是由于受线路质量和串扰等因素限制，其实际传输距离会大幅度缩短。ADSL 上行最大速率仅为 1Mbit/s，不能满足对称型宽带业务的需求。为解决目前 ADSL 的不足，2002 年 7 月，ITU-T 发布了 ADSL 的两个新标准 G.992.3 和 G.992.4，即 ADSL2。2003 年 3 月，ITU 又制订了 G.992.5，也就是 ADSL2+。ADSL2/ADSL2+ 在性能和功能上均优于 ADSL。

(3) ADSL2/ADSL2+

ADSL2/ADSL2+ 在速率和覆盖范围上比 ADSL 均有提升。ADSL2 采用了更有效的调制方式、更高的编码增益以及增强性的信号处理算法，提供了更高的数据传输速率以及更远的传输距离。ADSL2 的上行速率为 1Mbit/s，下行则最高可以提供 12Mbit/s 带宽。

与 ADSL2 相较，ADSL2+ 拓展了线路的使用频宽。ADSL2 定义的下行传输频带的最高频率为 1.1MHz，而 ADSL2+ 将高频段的最高调制频点扩展至 2.2MHz，如图 1-4 所示。这使得 ADSL2+ 在短距离内（1.5km 内）下行最高速率理论上可达到 26Mbit/s。

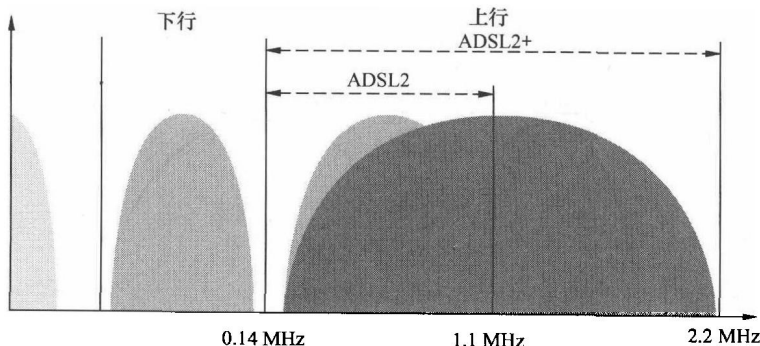


图 1-4 ADSL2 与 ADSL2+ 使用的频段

除了能够提供更高的下行传输速率外，ADSL2/ADSL2+ 还能够提供线路诊断和故障定位功能，测量线路噪声和环路衰减。此外，还具备功率管理、多线对绑定等增强功能。