

现代通信网络技术丛书

用户接入网 技术与工程

◎ 王廷尧 等 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

现代通信网络技术丛书

用户接入网技术与工程

王廷尧 等编著

人民邮电出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

用户接入网技术与工程 / 王廷尧等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.5
(现代通信网络技术丛书)

ISBN 978-7-115-15760-7

I. 用... II. 王... III. 接入网 IV. TN915.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 004576 号

内 容 提 要

本书是用户接入网工程技术方面的基础读物, 简明扼要地介绍了用户接入网的基本概念、各类典型系统工程及其采用的技术、网络组成与管理等, 反映了用户接入网工程领域的新技术、新标准, 例如下一代网络 (NGN, Next Generation Network) 和家庭网络 (Home Network) 等。

本书力图具备系统性、实用性、通俗性和先进性, 主要读者对象是通信工程领域的技术人员和相关专业的高校师生, 可作为通信工程咨询设计院、研究院所和工程公司有关技术人员的指导性参考书。

现代通信网络技术丛书

用户接入网技术与工程

-
- ◆ 编 著 王廷尧 等
责任编辑 陈万寿
 - ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 24.25
字数: 590 千字
印数: 1~4 000 册
 - 2007 年 5 月第 1 版
2007 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15760-7/TN

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

用户接入网是将用户接入通信线路的网络。以前,一般认为通信网络主要分干线传输和区域交换两大部分,因用户接入部分比较简单,故没有单独提出来。但是,随着通信技术的飞速发展,无论从用户接入部分在网络中的重要作用或从技术复杂程度方面看都促使其受到充分重视,并且已经成为当前学术界和工程技术界讨论的热点之一。由于用户接入网的重要地位,更主要的是其复杂程度的演变,使得人们要花费很多精力去研究,并且包括国际电信联盟电信标准部 (ITU-T, International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization) 等各国国际标准组织也对用户接入网的定义、分类、接口协议等制定了一系列标准规范。

由于用户接入网的迅猛发展,使得其规模和采用的网络传输系统技术、接入方式、传输介质和传输信息的种类及需要占用的带宽等都不便做统一的规范,并难于统一管理和维护。应特别注意的是用户接入网作为末端用户和公用网之间的链路是为居民和商业用户提供充分带宽应用的关键,直到现在为止,仍然是整个通信网络的带宽瓶颈。

在我国,用户接入网的市场异常广阔,为适应通信网络发展的需要,也为用户接入网工程建设的需要,提高工程设计质量,早在 2001 年便制定出了关于“接入网工程设计规范”的国家行业标准。为用户接入网的新建、扩建采用的技术进行了统一的规范,并使原有的用户接入网改造也有了可参考的标准。为了满足用户对于信息的日益增长的需要,用户接入网已成为我国国家信息基础设施的发展重点和关键。据报道,在今后的 5 年中要将电信投资的 50% 以上用于用户接入网的开发建设,因此,用户接入网必将成为电信科研机构、相关大专院校和各大电信工程公司关注的热点。综上所述,这一切必将迎来我国在通信领域“光用户接入网”建设欣欣向荣的春天。

面对我国用户接入网发展的大好形势,在广大通信领域工作人员中,特别是在学校相关专业师生和广大通信设计、研究院所工程技术人员中尽快普及掌握用户接入网相关技术已成为迫切需求。为此我们撰写了本书,这是一本介绍用户接入网工程技术基础知识方面的读物,扼要地介绍了用户接入网的基本概念、实际网络工程采用的技术,介绍了反映当今世界用户接入网工程领域的最新技术成就,特别是下一代网络 (NGN, Next Generation Network) 和家庭网络 (Home Network)。

本书的显著特点是:(1) 简捷、系统地介绍了发展中的用户接入网技术基础理论;(2) 注意到其实用性,书中介绍了用户接入网工程的供电系统、采用的测量技术,特别是虚拟仪器测量技术,描述了其工程的设计与施工验收技术程序;(3) 书中融入了国内外关于用户接入网相关的最新技术成就和最新标准规范。例如,书中描述了 VDSL2+、GPON 和 WDM-PON、LMDS、FSO 和以太网用户接入网新技术。介绍的 VDSL2+在电缆接入网络中实现速率达 100Mbit/s 的多媒体业务对称传输;介绍的 GPON 和 WDM-PON 光纤用户接入网先进技术,其传输速率可达 2.5Gbit/s,分路比达 128,而 DWDM-PON 用于高速长途用户接入网的波道数可超过 64 个,每个波道的传输速率可超过 10Gbit/s,网径可超过 100km;在无线用户接入网中,介绍了 LMDS 和无线光 (FSO) 用户接入网先进技术,LMDS 速率可达

155Mbit/s, 而 FSO 通信具有安装简便, 高带宽 (目前已达 2.5Gbit/s)、灵活 (容易缩放)、适用于任何环境等优越性, 使 FSO 具有了足够大的应用空间和极为广阔的发展前景。书中还讨论了用户接入网技术到下一代网络的融合, 这将为克服用户接入网在通信网中面临的带宽瓶颈效应, 为正在建设和将来建设的用户接入网提供了充分的带宽保证。

本书在编写过程中得到天津大学研究生导师杨恩泽教授、李世忱教授的热情帮助和支持。此外, 还得到天津大学贾东方博士后、天津光电集团有限公司周剑波和杨晓波总工程师、天津光电捷通通信技术有限公司张同友总经理、天津欧迈光纤通信设备有限公司冯建春总经理、天津津泰电子有限公司籍生才董事长等的全力支持, 在此一并致谢。最后要特别感谢人民邮电出版社, 为本书的顺利出版提供了条件。

参加本书编写工作的还有王荣、张滨、柏焜、王奕、胡范春、李丽津、王丽、柏树兰、胡乃和、王新、王艳芬、李淑俊等。

由于时间仓促和编者水平, 书中难免有不妥甚至于错误之处, 敬请各方面专家、学者和广大读者批评指正。

此书出版正值母校内蒙古大学成立 50 周年, 借此表示我最诚挚的祝贺和对于我的老师、同学的怀念。祝愿内蒙古大学更加兴旺发达, 为国家培养出更多的人才。

王廷尧

2007 年 1 月

目 录

第一章 用户接入网的基本概念	1
1.1 什么是用户接入网	2
1.2 用户接入网的发展简史	3
1.3 用户接入网的分类	3
1.3.1 有线用户接入网	3
1.3.2 无线用户接入网	4
1.4 用户接入网采用的主要技术	5
1.4.1 接入介质	5
1.4.2 多址接入技术	6
1.4.3 信息压缩技术	10
1.4.4 光电器件与集成技术	11
1.5 用户驻地网 (CPN)	11
1.6 用户接入网与 LAN、MAN、WAN 网络的无缝对接	11
1.7 一般用户接入网的标准结构框图	12
1.7.1 传输设备与传输线路	12
1.7.2 用户网络接口 (UNI)	13
1.7.3 业务节点接口 (SNI)	13
1.7.4 维护管理接口 (Q 接口)	15
1.8 用户接入网的性能要求	16
1.8.1 数字传输参考模型	16
1.8.2 用户接入网的误码和抖动传输特性	18
1.8.3 用户接入数据网的传输性能参数	23
1.8.4 用户要求网络传输的信息量与网络性能的关系	26
1.8.5 用户接入网的可靠性和安全保密性措施	26
1.8.6 用户接入网的系统管理	28
1.8.7 用户接入网的设备性能	28
第二章 电缆用户接入网	33
2.1 引言	33
2.2 电缆传输介质	33
2.2.1 电缆的传输特性	34
2.2.2 电缆传输介质的分类	35
2.2.3 电气连接器	35
2.3 数字用户线 (DSL) 技术	37
2.3.1 引入 DSL 技术的原因	37
2.3.2 数字用户线 (DSL) 技术的开发	37

2.3.3	数字用户线 (DSL) 技术的优越性	39
2.4	HDSL 技术	40
2.4.1	HDSL 的技术思路	41
2.4.2	HDSL 系统的工作原理	42
2.4.3	HDSL 系统的收发器	43
2.4.4	SHDSL 技术简述	45
2.5	ADSL 技术	45
2.5.1	ADSL 技术概述	45
2.5.2	ADSL 系统中采用的几种关键技术	47
2.5.3	ADSL 系统的工作原理	48
2.5.4	G Lite ADSL 系统 (UDSL)	48
2.5.5	ADSL 系统的主要特点	49
2.5.6	ADSL 实际安装系统的结构和主要系统参数	50
2.6	ADSL2 系统简介	51
2.6.1	传输速率和距离的提高	52
2.6.2	故障诊断能力	53
2.6.3	节电工作模式的设置	53
2.6.4	速率适配的灵活方法	54
2.6.5	可承载分组信息业务	54
2.7	ADSL2+ 系统简介	54
2.8	VDSL 技术简介	54
2.8.1	VDSL 的技术概述	55
2.8.2	VDSL 的一般参考模型	55
2.8.3	VDSL 系统的基本组成	56
2.8.4	VDSL 系统的主要性能	57
2.8.5	VDSL 与 ADSL 技术的比较	60
2.8.6	VDSL 系统的供电要求	61
2.8.7	VDSL 系统的特点	61
2.8.8	VDSL2 技术的开发与应用	62
2.8.9	VDSL 的标准化情况	65
2.9	VDSL 开发与应用的展望	66
2.9.1	VDSL 开发与应用	66
2.9.2	基于 VDSL 的以太网接入方案 (EVDSL)	67
第三章	光纤用户接入网	71
3.1	概述	71
3.1.1	光纤用户接入网的基本概念	71
3.1.2	光纤用户接入网的基本结构	74
3.1.3	光纤用户接入网的系统组成	75
3.1.4	光纤用户接入网的定时与同步方式的选择	79

3.1.5	光纤用户接入网系统的总体要求	82
3.2	光纤用户接入网的拓扑类型	84
3.2.1	总线(母线)型拓扑	84
3.2.2	环路型拓扑	85
3.2.3	星型拓扑	86
3.2.4	各种拓扑结构的比较	89
3.3	光纤用户接入网的特征和关键技术	90
3.3.1	光纤用户接入网的特征	90
3.3.2	光纤用户接入网的关键技术	91
3.4	影响光纤用户接入网规模的因素	102
3.4.1	光纤传输网络的类型	103
3.4.2	光纤用户接入网中的设备	103
3.4.3	光纤用户接入网采用的标准	103
3.4.4	用户的基本要求	104
3.5	光纤用户接入网的分类	104
3.5.1	无源光网络	105
3.5.2	有源光网络	113
3.6	基于 AON 技术的光纤用户接入网	115
3.6.1	基于 PDH 光网络技术的光纤用户接入网	115
3.6.2	基于 SDH 光网络技术的光缆用户接入网	119
3.7	基于 PON 技术的光纤用户接入网	134
3.7.1	基于 PON 技术的光纤用户接入网	134
3.7.2	TDM-PON 光纤用户接入网	136
3.7.3	ATM-PON 光纤用户接入网	147
3.7.4	CDM-PON 光纤用户接入网	162
3.7.5	GPON 光纤用户接入网	172
3.7.6	WDM-PON 光纤用户接入网	183
3.7.7	SCM-PON 光纤用户接入网	210
3.7.8	TCM-PON 光纤用户接入网	219
3.8	适合于光接入网的收发组件	220
3.8.1	光纤用户接入网对于使用收发组件的特殊要求	220
3.8.2	波导混合集成型光组件	221
3.8.3	单纤双向收发组件和模块	221
3.9	光纤用户接入网的供电系统	221
第四章	光纤同轴电缆混合型用户接入网	223
4.1	概述	223
4.2	HFC 用户接入网的结构	223
4.2.1	馈线网	223
4.2.2	配线网	224

4.2.3	连接用户引线	224
4.3	一般 HFC 网络的双向信道安排	224
4.3.1	一般 HFC 网络使用的回传通道	224
4.3.2	一般 HFC 网络使用的频段	225
4.3.3	一般 HFC 网络所遵循的标准	225
4.4	一般 HFC 网络光纤传输设备	226
4.4.1	光发射机	226
4.4.2	光放大器	226
4.4.3	光接收机	227
4.4.4	回传设备	227
4.5	HFC 用户接入网的技术性能参数	227
4.6	HFC 用户接入网的关键技术	228
4.6.1	传输频带的划分	228
4.6.2	采用的数字压缩编码技术	229
4.6.3	网络的安全性和可靠性	229
4.6.4	减少噪音和干扰对传输业务的影响	231
4.6.5	视频业务的 QoS 保证措施	231
第五章	以太网用户接入网	233
5.1	概述	233
5.2	以太网用户接入网的分类	234
5.2.1	基于电缆的以太网用户接入网	234
5.2.2	基于光缆的以太网用户接入网	234
5.2.3	基于无源光网络 (PON) 的以太网用户接入网	235
5.2.4	基于空间激光和无线电的以太网用户接入网	236
5.3	以太网用户接入网的主要特点	236
5.4	EFMC 用户接入网	238
5.4.1	基于 DSL 的 EFMC 用户接入网	239
5.4.2	电缆环路存在的问题和解决问题的方案	242
5.4.3	EFMC 的短距离和长距离作用半径通道口	244
5.4.4	环路电缆连接束	244
5.4.5	结束语	245
5.5	EFMF 用户接入网	246
5.5.1	概述	246
5.5.2	EFMF 物理介质相关子层	247
5.5.3	双光纤标准	248
5.5.4	单光纤标准	249
5.5.5	波长覆盖波段	250
5.6	以太网无源光网络 (EPON)	250
5.6.1	概述	250

5.6.2	EPON 的拓扑结构	251
5.6.3	EPON 协议	253
5.6.4	在 P802.3ah 课题中的 EPON 标准	256
5.6.5	结束语	256
5.7	基于无源光网络的以太网用户接入网的帧结构	256
5.7.1	基于固定长度的 EPON 帧结构	256
5.7.2	IEEE 802.3 MAC 控制帧结构	258
5.8	基于无源光网络的以太网用户接入网的关键技术	259
5.8.1	突发光收发机应考虑的问题	259
5.8.2	多点控制协议 (MPCP)	260
5.8.3	运用时间标签的测距方法	260
5.8.4	EPON 的安全保密性能	261
5.8.5	EPON 协议的兼容性	262
5.9	基于无源光网络的以太网用户接入网的管理	262
第六章	无线用户接入网	264
6.1	概述	264
6.2	无线用户接入技术的分类	264
6.2.1	固定无线用户接入网	264
6.2.2	移动无线用户接入网	270
6.3	无线用户接入网工作频段的规范	272
6.4	无线用户接入网的系统设计	273
6.4.1	确定无线用户接入网的种类	273
6.4.2	选择无线用户接入网工作频段和确定网络的局、站的布局	274
6.4.3	无线用户接入网的网络同步与定时、传输特性和可靠性与有效性	275
6.4.4	无线用户接入网的设备选型	277
6.4.5	无线用户接入网工程设计中还应考虑的主要问题	280
6.5	几种类型的无线用户接入网工程	284
6.5.1	蜂窝移动无线用户接入网系统	285
6.5.2	LMDS 宽带无线接入系统	288
6.5.3	卫星移动无线用户通信系统	291
6.6	无线以太网接入技术综述	295
6.6.1	无线以太网的发展概况	295
6.6.2	无线以太网的链路与物理层	296
6.6.3	无线以太网 MAC 帧结构	297
6.6.4	无线以太网网元设备	298
6.6.5	无线以太网拓扑结构	301
6.6.6	无线以太网网络性能	303
6.6.7	网络的管理	308
6.6.8	结束语	309

6.7	几种宽带无线接入技术的比较	310
6.8	宽带无线接入技术的几个相关标准	311
6.8.1	IEEE 802.11 无线局域网 (Wireless LAN) 标准系列	311
6.8.2	IEEE 802.16 宽带无线接入标准系列	312
6.8.3	IEEE 802.20 移动宽带无线接入标准	314
6.9	无线光用户接入网	315
6.9.1	概述	315
6.9.2	什么是无线光用户接入网	316
6.9.3	无线光用户接入网的工作频段	317
6.9.4	无线光用户接入网的组成	317
6.9.5	无线光用户接入网的主要技术特点	318
6.9.6	无线光用户接入网的关键技术	320
6.9.7	无线光用户接入网的优越性	322
6.9.8	无线光用户接入网使用 FSO 技术的应用实例	322
第七章	用户接入网工程的供电系统	325
7.1	概述	325
7.2	供电系统的分类	325
7.2.1	高压串行通信供电系统	325
7.2.2	低压并行通信供电系统	328
7.3	IEEE 802.3af 新标准	328
7.3.1	基于以太网的供电系统组成	329
7.3.2	PoE 系统的供电设备和用电设备	329
7.3.3	输电线路 (PTL)	333
7.3.4	PoE 系统的性能参数	333
7.3.5	PoE 系统的优越性	335
7.4	结束语	336
第八章	用户接入网工程中的测量技术	338
8.1	概述	338
8.2	有线以太用户接入网产品测量技术	339
8.3	无线以太用户接入网产品的测量技术	339
8.4	以太用户接入网工程的总体调试	340
8.4.1	以太用户接入网网络工程的调试	340
8.4.2	在工程中以太用户接入网设备技术性能指标的调试	340
8.4.3	以太用户接入网敷设光缆 (电缆) 线路的技术性能指标的调试	342
8.4.4	以太用户接入网工程的总体技术性能指标的调试	345
8.5	基于 SDH/WDM 光子网络的以太用户接入网的测量	346
8.5.1	SDH/WDM 物理层的测试项目	346
8.5.2	SDH 物理层的几种测试仪器	347
8.6	虚拟仪器测量技术	347

第九章 用户接入网的建设与管理	349
9.1 用户接入网的工程设计	349
9.1.1 概述	349
9.1.2 用户接入网工程总体设计步骤	350
9.1.3 工程设计要求	354
9.2 用户接入网的工程施工	354
9.2.1 机房设备的安装	354
9.2.2 光缆(电缆)的敷设	354
9.2.3 楼内子网络的安装	355
9.3 用户接入网工程的调试与验收	355
9.3.1 用户接入网工程的调试	355
9.3.2 用户接入网工程的验收	356
9.4 网络的管理	357
9.4.1 管理网络的基本要求	357
9.4.2 管理网络的基本组成	357
9.4.3 网络管理的基本概念	358
9.4.4 网络管理协议	360
9.4.5 SNMP 管理与安全性	361
第十章 家庭网络与用户接入网的发展前景	363
10.1 家庭网络(Home Network)	363
10.1.1 关于家庭网络(Home Network)的基本概念	364
10.1.2 家庭网络(Home Network)的相关业务	365
10.1.3 家庭网络采用的网络技术	366
10.1.4 家庭网络的相关标准组织	367
10.2 用户接入网的发展演进	368
10.2.1 现存的用户接入网	368
10.2.2 接入网在 NGN 中的地位	369
10.2.3 用户接入网的融合演进和技术难题	369
附录 常用缩略语	370

第一章 用户接入网的基本概念

通常可将通信网络划分为传输、交换和接入等几部分，即分为传输网、交换网和用户接入网（SAN，Subscriber Access Network）三类网络。传输网和交换网是公用网，而用户接入网（SAN）是为特定用户服务的专用网。在电信网中传输网是指其主要功能是长途传输的长途传输干线网（各长途端局之间的干线网络），交换网是指其主要功能是实现信息交换和分配的中继网（长途端局和市话局之间及各市话局之间的网络）。在这里用户接入网是指终端交换局与用户之间的网络或终端交换局与用户驻地网（CPN，Customer Premises Networks）之间的网络。在图 1-1 中，明确地标明了用户接入网在通信网络中的位置。这其中按惯例通称用户接入网在中继网（城域网）的下游，而中继网（城域网）则在用户接入网的上游。相对应的是信息从中继网（城域网）传输到用户接入网的信道被通称为下游信道；而信息从用户接入网传输到中继网（城域网）的信道则被通称为上游信道。通常下游信道和上游信道可以是互不干涉的相互独立的信道，即可同时进行双向通信。但是，对于采用碰撞检测异步接入方案的半双工通信模式，则两个信道可采用同一介质信道，信息采用竞争的接入方式。

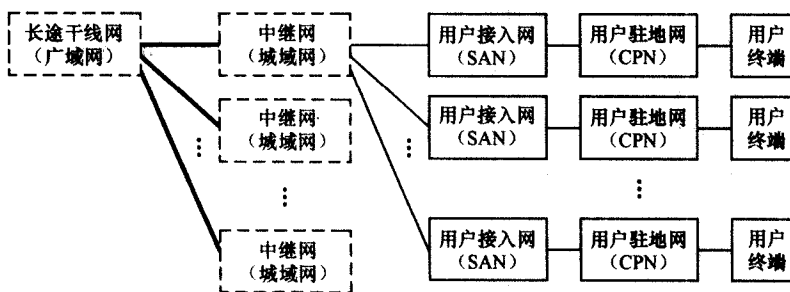


图 1-1 用户接入网在通信网络中的位置

用户接入网这是一个早就有的课题，本来是一个很简单的网络，但是，由于用户的迅猛增加和其信息带宽要求的迅速扩大，也由于用户接入方式的丰富多彩，使得今天的用户接入网的技术复杂程度并不亚于干线网，其传送的用户信息也由单一的话音变成了包括语音、数据和视频的多媒体，而使用的网络技术更是令人眼花缭乱，这里可包括 ATM、CDMA、PDH、FR、SDH/SONET、Ethernet 和 xDSL 等。用户接入网是所有用户从干线网络接收和交换信息的必经之路，若产生瓶颈效应将影响到整个信息网络的功能，因此其重要性受到人们极大的关注。由于采用的技术不断更新扩大，也由于有许多问题成为技术界研究的热点，这一切使得用户接入网生机勃勃，成为网络工程和学术界关心的课题之一。可以断言，在今后的若干年内用户接入网技术和其产品会迅速更新换代，并仍然是人们研究的热门话题。在这一章里将介绍用户接入网的基本概念，其中包括用户接入网的定义、分类和特点等。

1.1 什么是用户接入网

用户接入网（SAN）是将用户接入通信线路的网络。由于用户接入网的重要地位，更主要的是其复杂程度的演变，使得人们要花费很多精力去研究，并且各国际标准组织也对其定义、分类、接口协议等都做了一系列标准规范。在此基础上，国际电信联盟电信标准部（ITU-T, International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization）提出了用户接入网的概念，并且定义用户接入网络为“本地交换机与用户终端设备之间的全部线路设备，这里可以包括复用、分配、交叉连接和传输等多种功能而不包括交换功能”。这是一个适用于各种业务和技术、有严格规定并以较高的功能角度描述的网络概念。在过去一个阶段，用户接入网被称为本地网（Local Network），也称本地环路（Local Loop Line）或用户环路（CLL, Customer Loop Line）。在有的文献中也将用户接入定义为从干线网络节点到用户终端的全部网络。在国外的一些资料中，将用户接入网又通称为从用户到网络的第一公里，或称为从网络到用户的最后一公里。

在我国，用户接入网的市场异常广阔，为适应通信网络发展的需要，也为用户接入网工程建设的需要，提高工程设计质量，早在 2001 年便制定出了关于“接入网工程设计规范”的国家行业标准。为用户接入网的新建、扩建采用的技术进行了统一的规范，并使原有的用户接入网改造也有了可参考的标准依据。

在我国制定的“接入网工程设计规范”行业标准中根据 ITU-T 的 G.902 建议很明确地将用户接入网定义为“由业务节点接口（SNI, Service Node Interface）和相关用户网络接口（UNI, User Network Interface）之间的一系列传送实体（诸如，线路设施和传输设施）所组成的为传送电信业务提供所需传送承载能力的实施系统，可经由网管接口进行配置和管理”。因此，这里定义的用户接入网所涉及的范围被三个接口，即业务节点接口（SNI）、用户网络接口（UNI）和维护管理接口（Q 接口）所限定。其中，SNI 用于将用户接入网（SAN）连接到网络侧的业务节点上；UNI 用于将用户接入网（SAN）连接到用户边的用户终端设备（TE, Terminal Equipment）或用户驻地网（CPN, Customer Premises Network）上；Q 接口用于将用户接入网（SAN）通过协调设备（MD, Modifying Devices）连接到电信管理网络（TMN, Telecommunication Management Network）上，以便接受 TMN 的管理，确保用户接入网的正常运行。图 1-2 是用户接入网限定范围的示意图。

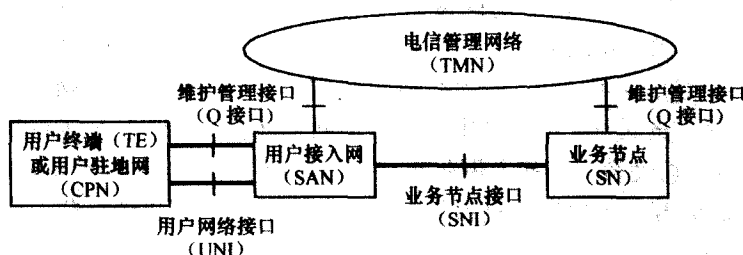


图 1-2 用户接入网（SAN）限定范围的示意图

1.2 用户接入网的发展简史

在 100 多年前科学家阿德哈根贝尔第一次成功地将话音变成了电信号并进行在铜线对中传输的试验之后,紧接着 1876 年第一部电话机问世,进而标志了模拟用户接入网(SAN)的诞生。这是仅能传输模拟电话的初期用户接入网,这种情况一直持续到 20 世纪 60 年代。这其间的工作仅对于作为用户接入网使用的传输介质,即双绞线对电缆进行了改进和标准化并实现了网络的集中供电。

在 1962 年贝尔实验室成功地完成了数字电话试验,从而开创了数字传输的新时代。到 20 世纪 70 年代脉冲编码调制(PCM)技术进入了实用化阶段,并且 ITU-T(当时的 CCITT)制定了关于准同步数字系列(PDH)标准,为建立数字综合网创造了条件。

到 20 世纪 80 年代,卫星通信和光纤通信先后问世,更高速率的同步数字系列(SDH)和波分复用(WDM)技术标准也开始实行,其通信的传输介质已有电缆、光缆和混合线路等多种,从而为建立更加完善的宽带综合业务数字网(B-ISDN)奠定了基础。

到 20 世纪 90 年代,为了在建成光缆入户的高级宽带交互式多媒体信息用户接入网(SAN)之前,充分利用在世界上已建起的庞大的双绞线对电缆用户接入网,将其改造成可用于传输宽带多媒体信息的网络便成了一个重要课题。数字用户环路(DSL, Digital Subscriber Loop)技术正是为适合于此课题的需要应运而生的。当今,DSL 技术已相当成熟,并且已涌现出多种类型,一般通称为 xDSL。从而形成了当今以采用 DSL 技术为主的可传输宽带信息的庞大的双绞线对电缆用户接入网、正在开发的同轴电缆光缆混合(HFC)用户接入网、光缆用户接入网,以及各种无线用户接入网(WSAN, Wireless Subscriber Access Network)并存的局面。

1.3 用户接入网的分类

用户接入网种类繁多,按其接入介质接口分类大体上可分为无线与有线两大类。

1.3.1 有线用户接入网

有线用户接入网(CSAN, Cable Subscriber Access Network)主要包括电缆、光缆以及铜线与光纤混合的三种类型。金属铜线用户接入网分为同轴电缆和双绞线对或两者混合几种类型。同轴电缆接入网的主要特点是频带较宽,适于模拟数字混合信号的传送,模拟信号可采用调幅(AM)和残留边带(VSB)传输方式。同轴电缆也可以与光纤组成复合缆(HFC),成为传送语音、数据网络节点的基础。双绞线对接入网是早已建成的现有电话线路,可以利用先进的非对称数字用户线(ADSL)和高速率数字用户线(HDSL)等调制解调技术将其现有电话线改造成多媒体高速数据通信接入网。

ADSL 系统可由现存的双绞线电话线路和其两端的调制解调器组成。按标准协议,可传送三个通信信道,即 1.5~6.1Mbit/s 的下行高速通道,16~64kbit/s 双向中速通道以及普通电话(POTS)通道。此外,ADSL 还可以传送 ATM 异步转移模式可变速率信息。ADSL 要成为用户多媒体通信线路必然涉及到数字视频压缩技术,为此 ADSL 调制解调器设置有前向纠错电路,以便减少线路传输、耦合产生的噪声干扰。ADSL 的开发正向更高速度迈进。可以

预计, 58.84Mbit/s 和 155.52Mbit/s 高速率调制解调器的研制成功与光纤到路边 (FTTC) 的有机结合, 通过现有的双绞线电话线路其多媒体信息便可以进入每个家庭, 实现交互式通信了。

当前, 光纤用户接入网已成为世界光纤通信热点之一。光纤最终要进入千家万户, 因此光纤用户网的发展不但关系到整个国家而且关系到各企业事业单位乃至广大居民区用户。光纤接入网可采用时分、频分、波分、码分多址以及副载波复用技术; 其网络结构有总线型、树状型、单星型、有源双星型、无源多星型结构; 其服务类型从简单的电话服务到交互式宽带综合服务数字信息等; 光纤接入网的关键技术包括多芯光缆、多芯的光连接器、有源光电器件, 以及多路复用技术等。

1.3.2 无线用户接入网

无线用户接入网 (WSAN) 一般按用户所在位置可分为固定无线接入 (FWA, Fixed Wireless Access) 和移动无线接入 (MWA, Mobile Wireless Access) 两大类, 但也可按接入方法进行分类, 分为地面无线接入 (GWA, Ground Wireless Access) 和卫星无线接入 (SWA, Satellite Wireless Access)。

MWA 用户接入网本身种类也很多, 有移动蜂窝通信系统、卫星移动通信系统, 以及专用集群移动通信系统等。此外, 还有覆盖范围大小不一的个人通信网络, 其中卫星移动通信系统被认为是最有希望实现全球个人通信的技术, 它有同步轨道 (GEO, Geostationary Earth Orbit)、中轨道 (MEO, Medium Earth Orbit)、和低轨道 (LEO, Low Earth Orbiting) 几种方案, 其中采用码分多址 (CDMA) 技术的移动通信系统是当前热点之一。

FWA 用户接入网有的地方也称为无线本地环路 (WILL, Wireless Local Loop)。WILL 可实现点对点通信和多址通信, 其中接入方式也可以分为地面无线接入和卫星无线接入 (SWA, Satellite Wireless Access) 两类。

当今, 将无线光通信 (FSO, Free Space Optical) 技术作为“最后一公里”的解决方案, 实现无线光用户接入网已成为令人关注的热点, 本书在其后面将用一定篇幅对其给予介绍。

无线用户接入网一般由用户终端、基站、控制器以及网络接口设备组成。表 1-1 是用户接入网的主要类型。

表 1-1 用户接入网 (SAN) 的分类

有线用户接入网 (CSAN)				无线用户接入网 (WSAN)			
电缆 SAN		光缆 SAN	混合 SAN	固定 WSAN		移动 WSAN	
xDSL 接入网	以太网 接入网	光纤入楼、光纤到路边、光纤入村、光纤入室等 (FTTB/FTTF、FTTC、FTTR、FTTO/FTTH)	光纤同轴电缆混合网 (HFC 网)	地面微波	卫星通信	无绳与蜂窝电话 无线寻呼以太网	卫星通信 集群调度
				一点多址 (DRMA) 以太网	卫星直播、VSAT		

根据用户的建网环境要求, 有时需要采用有线和无线两类接入技术, 建成由有线用户接入网 (CSAN) 和无线用户接入网 (WSAN) 组成的混合用户接入网。其中, CSAN 部分可以包括上述的电缆、光缆和两者混合的用户接入网; WSAN 部分也可包括上述的固定、移动各种类型。在这里应该突出考虑的是有线和无线两类接入的配合问题, 使其在技术和经济等各方面都能充分发挥两种接入技术的优越性。

1.4 用户接入网采用的主要技术

用户接入网涉及的技术相当广泛，这里包括接入介质、多址方式、网络拓扑结构、信息压缩技术、有源与无源器件及各种网络标准接口规范等。

1.4.1 接入介质

有线用户接入网使用的传输介质 (Transmission Media) 可分为两大类，即电缆和光缆两类传输介质。传输介质的传输特性主要是传输损耗和传输带宽。传输损耗是指其传输信息在其中传输每个单位距离长度信号能量的损耗 (或幅度的降低)；而传输带宽则反映的是传输信息在其中传输每个单位距离长度信号失真的情况 (或畸变的程度)。电缆传输介质本身又分为对称电缆 (主要是双绞线对电缆) 和同轴电缆；光缆传输介质本身又分为多模光缆和单模光缆。

对于无线用户接入网主要讨论的是频段资源的分配与利用。以下分别对于电缆传输介质和光缆传输介质及无线用户接入网的频带资源等作扼要说明。

1. 光纤，光缆

对于先进的光纤用户接入网传输介质是光纤。最初建设的光纤接入网采用的是 G.651 多模光纤，现在建设的光纤用户接入网通常都是采用 G.652 普通单模光纤。为了便于接口，也为了有更大的工作带宽，以便传输交互式多媒体信息，光纤用户接入网最好采用单模光纤。关于其工作波长最好也是采用 $1.55\mu\text{m}$ 波长区域，这一方面是因为在此区段有较低的色散，另一方面也是为了便于与工作在 $1.55\mu\text{m}$ 波长区域的掺铒光纤放大器 (EDFA) 相匹配，以便在一个网络节可接入更多的用户。此外，一般网络节要接入成千上万的用户，甚至于几十万户，而从小区进入楼内家庭的户也会成百上千。因此，要求光缆的芯线数也要达到几十芯，甚至于上百芯。相应的光连接器的芯线数更可能上千，其技术难度可想而知。

2. 双绞线对电缆

在这里，双绞线对电缆是现存的主要安装的电话线路。利用非对称数字用户线 (ADSL) 技术将其现存的大量此种电话线路改造成可传输多媒体信息的用户接入网的传输线路，这是非常必要的。当然，这里影响用户接入网性能的主要是双绞线对电缆对于传输多媒体信息产生的损耗，并且随着信息速率的提高和传输距离的增加而迅速增长。试验表明，采用现行的 ADSL 调制解调技术，对于速率为 2Mbit/s 的多媒体信息，线径为 5mm 的双绞线对电缆仅可传送 5.5km。51.84Mbit/s 和 155.520Mbit/s 的 ADSL 调制解调器的开发，特别是 ADSL 技术与信息压缩技术的结合，在光纤到路边后，通过现成的双绞线对电缆电话线便可实现多媒体信息进入家庭。

3. 光纤同轴混合网

用户接入网也可以采用电缆光缆混合网络，其中的电缆可以是双绞线对电缆，也可以是同轴电缆。这里的混合网主要指的是光纤同轴混合网 (HFC, Hybrid Fiber Copper)。光纤同