



高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

接入网技术与应用

柯 赓 编著
王国祥 主审



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

接入网技术与应用

柯 赓 编著

王国祥 主审

西安电子科技大学出版社

2009

== 内 容 简 介 ==

本书以 ITU-T 规范的接入网的基本概念、基本架构为主线,以网络 and 系统技术为中心,以主要的接入技术为重点,力求反映国际上各种接入技术的最新进展。

本书概念清晰,内容新颖,通俗易懂。全书主要包括:接入网概论、光纤接入网、DSL 接入技术、无线接入网、HFC 接入网、以太网接入技术、电力线接入技术、V5 接口协议以及接入网的管理。

本书可作为高等院校通信工程、网络工程、信息工程等专业相应课程的教材,也可供从事通信与网络技术的工程技术人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

接入网技术与应用/柯赓编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.8

高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2217-0

I. 接… II. 柯… III. 接入网—高等学校—教材 IV. TN915.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 028754 号

策 划 毛红兵

责任编辑 段 蕾 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 17.5

字 数 411 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 25.00 元

ISBN 978-7-5606-2217-0/TN·0496

XDUP 2509001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

西安电子科技大学出版社
高等学校电子与通信类专业“十一五”规划教材
编审专家委员会名单

主 任：杨 震（南京邮电大学校长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电大学通信与信息工程学院副院长、教授）

秦会斌（杭州电子科技大学电子信息学院院长、教授）

通信工程组

组 长：张德民（兼）

成 员：（成员按姓氏笔画排列）

王 晖（深圳大学信息工程学院副院长、教授）

巨永锋（长安大学信息工程学院副院长、教授）

成际镇（南京邮电大学通信与信息工程学院副院长、副教授）

刘顺兰（杭州电子科技大学通信工程学院副院长、教授）

李白萍（西安科技大学通信与信息工程学院副院长、教授）

张邦宁（解放军理工大学通信工程学院卫星系系主任、教授）

张瑞林（浙江理工大学信息电子学院院长、教授）

张常年（北方工业大学信息工程学院院长、教授）

范九伦（西安邮电学院信息与控制系系主任、教授）

姜 兴（桂林电子科技大学信息与通信学院副院长、教授）

姚远程（西南科技大学信息工程学院副院长、教授）

康 健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

葛利嘉（中国人民解放军重庆通信学院军事信息工程系系主任、教授）

电子信息工程组

组 长：秦会斌（兼）

成 员：（成员按姓氏笔画排列）

王 荣（解放军理工大学通信工程学院电信工程系系主任、教授）

朱宁一（解放军理工大学理学院基础电子学系系主任、工程师）

李国民（西安科技大学通信与信息工程学院院长、教授）

李邓化（北京信息工程学院信息与通信工程系系主任、教授）

吴 谨（武汉科技大学信息科学与工程学院电子系系主任、教授）

杨马英（浙江工业大学信息工程学院副院长、教授）

杨瑞霞（河北工业大学信息工程学院院长、教授）

张雪英（太原理工大学信息工程学院副院长、教授）

张 彤（吉林大学电子科学与工程学院副院长、教授）

张焕君（沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长、副教授）

陈鹤鸣（南京邮电大学光电学院院长、教授）

周 杰（南京信息工程大学电子与信息工程学院副院长、教授）

欧阳征标（深圳大学电子科学与技术学院副院长、教授）

雷 加（桂林电子科技大学电子工程学院副院长、教授）

项目策划：毛红兵

策 划：曹 晔 寇向宏 杨 英 郭 景

前 言

现代电信网于 100 多年前伴随着电话、电报的出现而建立，之后逐步扩展至全球。现在，电信网已经和供水、供电、道路等一起，成为现代城市、社区建设中必不可少的基础设施，在人类的生产和生活中扮演着越来越重要的角色。

100 多年以来，电信网技术发生了翻天覆地的变化，无论是交换还是传输，大约每隔 10~20 年就会有新一代的技术和系统诞生。在传输技术方面，有线传输技术从早期的音频实线传输发展到电缆载波、光缆传输，无线传输技术也产生了微波中继和卫星通信技术。在交换技术方面，从早期的人工交换发展到步进、纵横、程控交换，并且正在发展各种基于数据包的交换技术。然而，这些技术变革的对象着眼于电信网的核心，即长途网和中继网部分，而电信网的边缘，即从本地交换机到用户之间的、现在被称为接入网的部分，则由于经济和技术的原因几乎没有多大改变，仍然保持着电话网诞生时的模样，即以模拟双绞线为主，这已成为当今电信网的发展瓶颈。

计算机与互联网的发展、互联网与电信网的融合及大容量通信技术(特别是光纤通信技术)的发明和应用，使我们正在向信息时代迈进。十多年来，各国接入网市场逐渐开放，电信管制政策渐渐放松，竞争日益加剧和扩大，新的业务需求迅速出现，光纤技术和无线技术乃至铜缆数字传输技术不断进步，这些都使接入网逐渐成为人们关注的焦点。这一巨大的潜在市场不仅吸引了各种不同背景的网络和业务的提供者，也促使各种各样的新技术产生。然而迄今为止，没有任何一种单一的技术可以满足所有的场合和应用需要，因而技术的多元化成为接入网的一个基本特征。

本书旨在对近几年来在接入网及其相关领域出现的新概念、新技术和新系统做一全面介绍。全书以接入网的基本概念为主线，以网络和系统技术为中心，以主要的接入技术为重点，讲述概念、原理以及特性和应用，力求反映国际上各种接入技术的最新进展，并注重材料的系统性和实用性。

全书共分 9 章，每章都从整体概念入手，再具体介绍相关的技术。第 1 章介绍接入网的基本概念、特点和发展。第 2 章介绍光纤接入网的基本概念以及有源和无源光纤接入技术，重点介绍无源光网络技术中的 EPON 和 GPON。第 3 章讲述 DSL 接入技术的方方面面，包括 DSL 家族的概念、DSL 的环境、DSL 的编码调制技术以及 DSL 的应用。第 4 章在总体介绍无线接入网之后，重点介绍 DECT、PHS 和 LMDS 系统。第 5 章介绍 HFC 接入网，重点介绍其中的频谱分配、DOCSIS 协议和 Cable Modem 系统。第 6 章介绍以太网接入技术，重点介绍交换式以太网技术及其在以太网接入中的应用，并分析以太网技术用做公用网的接入网时需要解决的问题。第 7 章介绍电力线接入技术的基本概念、技术现状和基本应用。第 8 章介绍接入网中的 V5 接口技术。第 9 章介绍接入网的管理技术。

全书内容较多，如果作为短训班的教材，建议讲解第1章全部和以后各章的概述部分；如果作为选修课，建议讲解各章的主要技术及其应用，可以略去技术的细节部分；如果教学时数较为充裕，则可就各种技术细节展开细述和讨论。有关技术细节可以参考相关专著。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第 1 章 接入网概论	1	2.3.2 双向传输技术	39
1.1 接入网的概念	1	2.3.3 双向复用(双工)技术	41
1.1.1 接入网在电信网中的位置	1	2.3.4 APON 技术	42
1.1.2 接入网的定义与界定	2	2.3.5 以太网无源光网络(EPON) 技术	44
1.1.3 接入网的发展历史	3	2.3.6 GPON 技术	48
1.1.4 接入网的特点	4	2.4 小结	55
1.1.5 接入网的业务需求	6	思考题与习题	56
1.1.6 宽带接入网的技术特点	7	第 3 章 DSL 接入技术	57
1.1.7 IP 接入网	9	3.1 DSL 技术概况	57
1.2 接入网的分类	11	3.1.1 DSL 的发展历程	57
1.3 接入网的功能结构	12	3.1.2 DSL 家族	58
1.4 接入网的分层模型	14	3.1.3 各种 DSL 技术的对比	67
1.5 接入网支持的接入类型	16	3.1.4 DSL 的标准化过程	68
1.6 接入网支持的业务	16	3.1.5 ITU-T 有关 xDSL 的建议	70
1.6.1 语音类业务	16	3.2 DSL 系统的线路环境	75
1.6.2 数据类业务	18	3.2.1 接入网传输环境	75
1.6.3 图像通信类业务	19	3.2.2 用户环路的传输特性	75
1.6.4 多媒体业务	19	3.2.3 ANSI 和 ETSI 的环路模型	80
1.7 接入网的接口	21	3.2.4 DSL 用户环路中的损伤	83
1.7.1 UNI	21	3.3 DSL 的线路编码调制技术	85
1.7.2 SNI	23	3.3.1 2B1Q 编码技术	85
1.7.3 Q3	25	3.3.2 单载波调制技术	91
1.8 小结	26	3.3.3 多载波调制技术——DMT 技术	96
思考题与习题	27	3.4 DSL 实际应用中的若干技术问题	107
第 2 章 光纤接入网	28	3.4.1 有源 NT 与无源 NT 的选择	108
2.1 光纤接入网概述	28	3.4.2 双工模式的选择	109
2.1.1 光纤接入网的概念与 功能参考配置	28	3.4.3 频谱兼容性问题	109
2.1.2 光纤接入网的应用类型	29	3.4.4 功率谱密度问题	110
2.1.3 光纤接入网的发展概况与动力	30	3.4.5 电源供给问题	110
2.2 有源光网络技术	31	3.4.6 比特率的灵活性	111
2.2.1 用户环路系统	31	3.4.7 对称与不对称	111
2.2.2 SDH 技术在接入网中的应用	32	3.4.8 传输时延	111
2.3 无源光网络技术	38	3.4.9 基本电话业务的保障	112
2.3.1 PON 的结构	38	3.5 DSL 技术的应用	112

3.5.1 应用的动力	112	5.6.2 上行方向的噪声特性	153
3.5.2 用户对接入速度的追求	113	5.6.3 下行方向的噪声特性	154
3.5.3 推动对铜缆进行再利用的 若干因素	113	5.6.4 抑制噪声的方法	155
3.5.4 DSL 在接入网中的应用结构	114	5.7 Cable Modem 相关技术标准	155
3.5.5 DSL 的应用类型	115	5.7.1 DOCSIS 简介及其发展历程	155
3.5.6 DSL 承载的业务	116	5.7.2 DOCSIS 的主要优点	157
3.6 小结	117	5.7.3 Euro-DOCSIS 简介及其与 DOCSIS 的比较	157
思考题与习题	117	5.7.4 Euro-DOCSIS 与 DVB-RC 的区别	158
第 4 章 无线接入网	119	5.8 有线电视接口数据规范(DOCSIS) 协议	160
4.1 无线接入网概述	119	5.8.1 DOCSIS 通信协议	160
4.1.1 无线本地环路的基本结构	120	5.8.2 下行物理层	162
4.1.2 实现方案	122	5.8.3 上行物理层	163
4.2 无线接入基本技术	123	5.8.4 下行传输汇聚子层	171
4.2.1 多址技术	123	5.8.5 媒质接入控制(MAC)层	172
4.2.2 语音编码技术	124	5.8.6 随机接入和竞争分辨法	176
4.2.3 信道编码技术	125	5.8.7 MAC 层协议的工作方式	180
4.2.4 数字调制技术	125	5.8.8 服务质量(DoS)和分割技术	181
4.2.5 扩频技术	126	5.8.9 CM 和 CMTS 的互相配合	184
4.2.6 网络安全技术	126	5.9 Cable Modem 系统的配置和使用	186
4.2.7 无线空中接口	130	5.9.1 Cable Modem 的特点及 其系统连接	187
4.3 无线接入系统	131	5.9.2 Cable Modem 系统的配置、使用和 管理	187
4.3.1 DECT 无线接入系统	132	5.9.3 多台 CMTS 设备组成的 网络结构	188
4.3.2 PHS 无线接入系统	133	5.10 小结	189
4.3.3 LMDS 系统	137	思考题与习题	189
4.4 小结	140	第 6 章 以太网接入技术	191
思考题与习题	141	6.1 以太网接入技术概述	191
第 5 章 HFC 接入网	142	6.1.1 以太网接入技术与 IP 接入网	191
5.1 HFC 接入网概述	142	6.1.2 以太网接入的优点	191
5.2 HFC 接入网的演进	143	6.2 以太网技术的演进	193
5.2.1 传统的同轴电缆 CATV 网	143	6.2.1 以太网从十兆到千兆	193
5.2.2 单向光纤同轴电缆 CATV 网	143	6.2.2 以太网从共享到交换	197
5.2.3 双向光纤同轴电缆 CATV 网	144	6.3 用以太网技术构建 IP 接入网	204
5.2.4 全业务光纤同轴电缆混合网 (HFC)	144	6.3.1 以太接入网需要解决的问题	204
5.3 HFC 系统的频谱安排	145	6.3.2 基于 VLAN 的以太网接入 技术方案	205
5.4 HFC 的调制方式	148	6.3.3 电信级以太接入网	206
5.4.1 频分复用(FDM)调制方式	148	6.4 小结	207
5.4.2 副载波调制方式	149		
5.4.3 HFC 对业务信号的调制方式	151		
5.5 HFC 系统结构及各功能组	151		
5.6 HFC 系统的噪声及其抑制	153		
5.6.1 HFC 系统的噪声	153		

思考题与习题	208	其第三层复用	232
第 7 章 电力线接入技术	209	8.3.3 BCC 协议	235
7.1 概述	209	8.3.4 控制协议	237
7.2 PLC 的传输环境	211	8.3.5 链路控制协议	239
7.2.1 信号衰减特性	211	8.3.6 保护协议	242
7.2.2 阻抗特性	212	8.3.7 VB5 协议简介	244
7.2.3 噪声特性	212	8.4 小结	245
7.3 PLC 的传输技术	213	思考题与习题	245
7.3.1 传统电力线载波传输技术	213	第 9 章 接入网的管理	246
7.3.2 扩频通信(SSC)技术	213	9.1 网络管理概述	246
7.3.3 正交频分复用(OFDM)	214	9.1.1 网络管理的目标和方法	246
7.4 PLC 的应用方式	214	9.1.2 网络管理的三要素	247
7.5 PLC 的发展现状、标准化与展望	216	9.1.3 网络管理的 5 个功能域	248
7.5.1 国外发展现状	216	9.2 TMN 简介	249
7.5.2 国内 PLC 技术的研发及应用	217	9.2.1 TMN 的概念	249
7.5.3 PLC 的标准化	217	9.2.2 TMN 的应用范围	250
7.6 小结	220	9.2.3 TMN 的管理业务	251
思考题与习题	221	9.2.4 TMN 的管理功能	251
第 8 章 V5 接口协议	222	9.2.5 TMN 的技术基础	252
8.1 V5 协议概述	222	9.2.6 TMN 的标准化协议	252
8.1.1 V5 接口的结构	222	9.2.7 TMN 的功能结构	254
8.1.2 V5 接口中的 C 通路处理	223	9.2.8 TMN 的信息结构	256
8.2 V5 接口的第二层协议		9.2.9 TMN 的接口	257
(LAPV5 - DL)	224	9.3 接入网网络管理的功能结构	258
8.2.1 数据链路层的功能及相关		9.3.1 接入网网络管理系统功能结构	258
的原语	224	9.3.2 接入网的网元功能组	259
8.2.2 LAPV5 - DL 的帧结构	226	9.3.3 接入网的管理功能	260
8.2.3 LAPV5 - DL 子层的 FSM		9.4 接入网网络管理的实现	262
(有限状态机)	228	9.4.1 Q3 接口	262
8.2.4 LAPV5 - DL 子层间的		9.4.2 CORBA 接口	262
通信过程	228	9.4.3 基于 Web 的网络管理	263
8.2.5 LAPV5 封装功能子层	230	9.5 小结	266
8.3 V5 接口的第三层协议	231	思考题与习题	266
8.3.1 第三层协议概述	231	参考文献	268
8.3.2 PSTN 信令协议及			

第1章 接入网概论

1.1 接入网的概念

接入网(也称用户接入网)是电信网的重要组成部分。现代电信网是传统电话网的延伸和扩展,这种延伸和扩展不仅表现在数量上,更重要的是表现在质量上。它不仅能够提供普通电话业务,而且能够提供数字化、宽带化的综合业务。在电话业务占绝对主导地位的过去,电信网几乎就是电话网的同义词。在电话网中,用户环路担负着将用户话机接入电话网的重任。因此,过去电话网中的用户环路是今天接入网的原型,今天的接入网是用户环路的延伸和扩展,同样,这种延伸和扩展不仅表现在数量上,更重要的是表现在质量上。在带宽和业务承载能力上,接入网较用户环路有了质的飞跃。

电信网正在向数字化、宽带化、综合化和个人化的方向发展。电信网的核心部分已经实现了数字化和宽带化,随着技术的进步和宽带业务的拓展,其带宽也在迅速增长。宽带电信网的建设是从网络的核心部分开始的,这个核心部分现在称为核心网,包括传输和交换部分。在传输技术方面,各种类型的光纤传输设备占据着主导地位。从核心网向外看,网络的接入部分是信息高速公路的“最后一英里”(the last mile)。从用户的角度来看,接入网是电信网向用户打开的窗口,透过这扇窗,用户才能享用电信网为其提供的宽带服务。因此,接入网也是用户所在地与信息高速公路之间的连接线,是用户进入信息高速公路的“第一英里”(the first mile)。

接入网的发展是受核心网的迅猛发展和 Internet 的爆炸性增长推动的。随着干线网上 SDH 的大规模实施、密集波分复用技术和宽带交换技术的迅速商用化,离用户最近的接入网部分成为制约网络向宽带化发展的瓶颈。接入网也迫切需要宽带化,以满足 Internet、多媒体业务等高带宽业务接入的需求,以适应整个通信网的发展。接入网技术的发展将促进电信网的数字化、宽带化、综合化和个人化,对电话、数据、电视三网合一也将起到至关重要的作用。

1.1.1 接入网在电信网中的位置

整个电信网按功能分为三个部分:传送网、交换网和接入网。它们的关系如图 1-1 所示。电信网包含了为不同地方的用户提供各种电信业务的所有传输及复用设备、交换设备以及各种线路设施等。

接入网用于连接本地交换机与用户驻地网(或住地网),通常包括用户线传输系统、复用设备、交叉连接设备以及用户/网络接口。

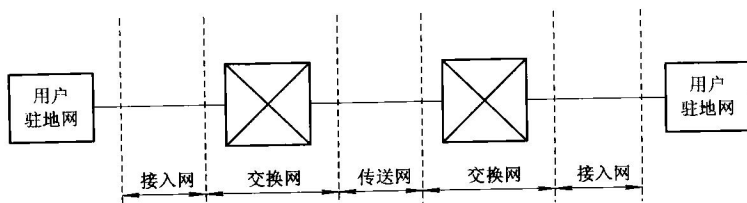


图 1-1 接入网在整个电信网中的位置

接入网是电信网不可缺少的组成部分，负责将电信业务透明地传送到用户。也就是说，用户通过接入网的传输，能灵活地接入到不同的电信业务节点上。业务节点是提供电信业务的实体。在最简单的情况下，对单个电话用户而言，用户驻地网只包含一部电话机（一个通信终端）。就一般情况而论，用户驻地网内也包括传输、复用、分配、接口等设备，只是范围仅覆盖用户所在的院落、建筑物内，并且建设、维护、管理、使用全部由用户自己负责。

1.1.2 接入网的定义与界定

随着通信网的数字化和多种新技术的使用，连接本地交换机和用户终端的用户环路功能日益增强，结构也越来越复杂。为了充分利用网络资源和适应未来发展的需要，国际电信联盟标准部（ITU-T）已经正式采用了用户接入网（简称接入网）的概念。在 1995 年通过的 G.902 建议中，ITU-T 对接入网（Access Network, AN）做出了如下定义：“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（如线路设施和传输设施）组成的，为供给电信业务而提供的所需传送承载能力的实施系统，可经由 Q3 接口进行配置和管理。”其中，传送实体提供必要的传送承载能力，对用户信令是透明的。

ITU-T 所定义的接入网是由三类接口界定的。接入网与其它网络实体之间的连接关系如图 1-2 所示。UNI、SNI 和 Q3 这三类接口界定了接入网，并描述了接入网在电信网中的地位与连接关系。其中，业务节点（SN）是提供业务的实体，是一种可以接入各种交换型和（或）永久连接型电信业务的网元，而 SNI 是 AN 与 SN 之间的接口。通常，业务节点由本地交换机（LE）充当，通过交换机侧的 SNI 接口与 AN 相连。

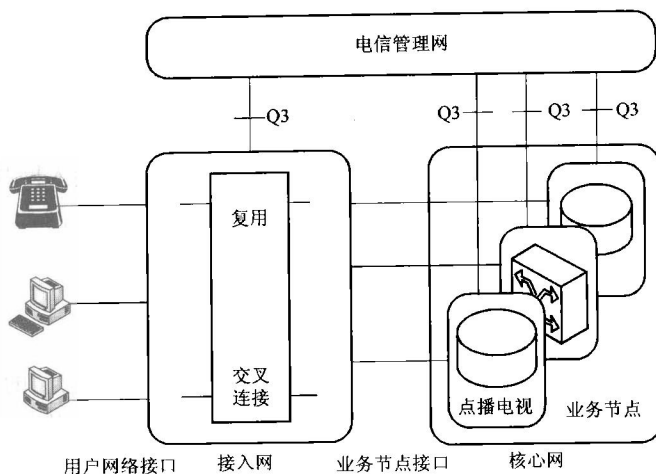


图 1-2 接入网的界定

我们可以将接入网看做市话端局(CO)或远端交换模块(RSU)与用户之间的部分,主要完成交叉连接、复用和传输功能,一般不含交换功能。在历史上,这一部分被称为本地网(Local Network),意译为用户网,也有人称其为本地环路或用户环路,其定义和范畴比较混乱,即便在 ITU 内部,不同的研究组和出版物也往往有不同的定义。然而,多数国家的所谓本地网概念采用的是 ITU-T 第 13 和第 15 研究组所采用的划分方法,即指市话端局或远端交换单元(RSU)至用户终端之间的部分,通常不含市话端局与 RSU 之间的部分。这一划分原则为 ITU-T G. 902 定义的接入网概念所确认,它适用于所有的业务和技术。接入网独立于交换机,但并不限定于电话网。本书将着重讨论电话网环境下的接入网,也将以相当篇幅介绍其它非电话网环境下的接入网。

从整个电信网的角度,可以将全网划分为公用电信网和用户驻地网(CPN)两大块,其中 CPN 属于用户所有,因而,通常电信网是指公用电信网部分。公用电信网又可划分为三部分,即长途网(长途端局以上的部分)、中继网(即长途端局与市话局之间以及各市话局之间的部分)和接入网(即端局至用户之间的部分)。目前国际上倾向于将长途网和中继网合在一起称为核心网(Core Network)或转接网(Transit Network)。相对于核心网而言,余下的部分称做用户接入网似乎是恰当的,它主要完成使用户接入到核心网的任务。可见,用户接入网是相对核心网而言的,由于两者的环境、业务量密度以及技术手段有很大的差别,因而有些文献只把核心网部分称为网络,而将用户接入网称做接入环路。总之,尽管国际上的划分方法和叫法尚未完全统一,但本书中的划分方法和叫法是前后统一的,即将市话端局以上的部分称为核心网或转接网,而将市话端局以下至用户部分称为(用户)接入网。鉴于交换机的远端模块和光纤用户环路设备、带 V5 接口的接入网设备在技术和设备结构上的相似性,从便于理解和维护的角度出发,将端局至用户之间的部分统称为接入网,不再计较是否包含远端业务单元(Remote Service Unit, RSU),也将其划入接入网的范围。

1.1.3 接入网的发展历史

自 1876 年电话机发明以后,电话用户环路作为接入网就伴随着电话网诞生了。一年以后,纸绝缘的双绞线对开发成功并标准化。19 世纪 90 年代初产生了局用主配线架,用来终接和连接大量的双绞线对,同时还出现了集中供电电源,这些均标志着用户接入网(实际仅为用户线而已)的基本形成。这种基本配置形式保持了将近一个世纪而没有什么重大改变,主要的改进工作仅集中在改善双绞线对的质量和使用户环路的投资成本最佳化方面。反过来,接入网成本的最佳化结果使得网络的这一部分成为整个网络中最难以进行技术改造的部分。

20 世纪 60 年代出现的数字传输技术为接入网面貌的根本改观提供了契机。在 20 世纪 70 年代,脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)技术进入实用化,但当时一次群速率(2 Mb/s)的经济传输距离大约为 20~25 km,仍不适用于接入网。

20 世纪 80 年代初,随着电子技术的进展,一次群速率的经济传输距离已降至 6~8 km,使得 PCM 技术有可能在农村网中得到某些应用。更重要的历史事件是光纤光缆的诞生和应用。首先,光纤光缆最重要的优点是有极大的带宽,一根常规单模光纤的潜在可用带宽至少可达 30 000 GHz,而最好的同轴电缆的带宽小于 1 GHz,微波的全部带宽也不

超过 300 GHz, 这说明光纤的带宽比其它传输手段至少高两个数量级以上。光纤的带宽可以提供令人神往的大量宽带新业务, 提高网络运营商的竞争地位和运营收入。其次, 光纤重量轻、体积小、耐腐蚀、易维护, 在运行维护方面有着极大的优越性。最后, 光纤的出现为新的网络配置的实现提供了可能性, 为接入网的革命性变革提供了有力的技术手段。然而, 由于成本问题, 光纤的应用主要是在核心网和接入网的主干电缆段(即馈线段)部分, 真正配线和引入线部分的光纤化刚刚开始。随着成本的稳定下降和宽带业务需求的出现, 接入网的光纤化进程正进入一个新的时期。

在接入网光纤化的同时, 人们也意识到这将是一个长期的演进过程。在过渡阶段, 怎样才能使现有的 1000 多亿美元的双绞线设施发挥更大的作用是网络运营者十分关心的问题。于是在 20 世纪 90 年代初出现了几种以铜缆技术为基础的接入网新技术, 诸如用户线对增容系统、高速数字用户线(HDSL)、非对称用户线(ADSL)及甚高比特率数字用户线(VDSL)技术, 使古老的铜缆技术焕发了青春。另一方面, 为了适应日益开放的接入网市场, 加强竞争能力, 以传统有线电视(CATV)业务为主的 CATV 网正在转变为不但能提供广播型电视节目, 而且能提供电话、数据和交互型图像等双向业务的全业务网(FSN), 形成了接入网发展的另一个新方向。此外, 电力线上网技术作为宽带接入技术门类中的后起之秀, 成为宽带接入方式的一种新选择, 引起业界的高度重视。

除了上述有线传输技术以外, 无线接入技术也十分活跃。首先, 对于那些有地理障碍的地区(山脉及河流湖泊等)以及偏远的分散用户, 无线接入技术是最自然合理的选择。其次, 对于那些急需电话业务的发展中国家和地区, 无线接入技术能最迅速地满足通信需求。因而, 无线接入技术正成为新兴网络运营者迅速进入接入网市场的有力手段。

1.1.4 接入网的特点

接入网的特点主要由用户驻地网的地理分布特点和业务特点决定。另外, 接入网还背负着历史的包袱——以铜双绞线为传输介质的用户环路, 这是电话网留下的, 是未来的宽带接入网不得不继承的一笔巨大的遗产。目前的接入网仍然由铜线环路所主宰, 所谓用户接入, 大多是通过专门的一对双绞线将用户与端局本地交换机相连, 由此出发可以总结出一系列接入网不同于核心网的特点。

1. 业务量密度低

核心网是利用率很高的网络, 用来满足高密度的业务量需求。通常, 一条高密度业务量的中继电路每天可能需要传送数百次至上千次的呼叫, 电路占用率达 90% 以上。而一条处于住宅用户和本地交换机之间的用户接入电路可能每天只需要传送几次呼叫而已, 绝大部分时间是闲置不用的, 业务量密度极低。统计结果显示, 核心网中继电路的占用率通常达 50% 以上, 而住宅用户电路的占用率还不到 1%, 形成强烈的对比, 结果导致网络的接入网部分经济效益很差, 使人们不太愿意轻易向这一领域投资。

2. 设备共享程度低, 用户平均成本高

核心网的成本至少由成千上万的用户来分担, 即便采用复杂昂贵的设备也仍能达到规模经济。例如, 核心网采用大型程控数字交换机和高速大容量光缆系统也只需几年就能收回投资。而接入网的情况则相反, 用户接入线往往由个别用户专用, 对成本十分敏感, 难

以由很多用户共享。即便是目前正在蓬勃发展的光纤用户环路系统(FITL),也只能做到有限程度的共享,经济上难以与核心网相比。

从成本趋势看,核心网在不断采用新的共享复用传输技术(单波大容量光纤通信和波分复用光纤通信)和智能技术(程控数字交换机、数字交叉连接设备和分插复用器),按用户数计算的网络经济性在不断改进。而接入网的情况则相反,传统用户接入网的分散、专用和重复特性使经济性难以驾驭,改进很慢。

3. 成本差异大

因为接入网需要覆盖所有类型的用户,这就造成了成本上的极大差异。例如,居住在市中心的居民可能只需要1~2 km长的接入线,而偏远地区的用户有可能需要十几公里长的接入线,因而一个偏远地区用户的成本很可能比市区用户的成本高出10倍以上。核心网的情况则相反,每个用户需要分担的网络设施的成本十分接近,同一交换区的用户需要分担的网络设施成本是一样的,不同交换区之间的差别最多也只有3~4倍,小型交换机每线成本高些,大型交换机每线成本低些,总的网络成本分配差异远比接入网要小。

4. 成本与业务量无关

核心网的总成本对业务量很敏感。对一定的业务量预测需求,网络可以有最佳配置。而用户接入网只工作在很低的业务量密度下,而且一个每天只用几分钟的住宅用户与一个每天可能用几小时的企事业单位用户(例如商店)的成本是一样的。因而,尽管用户接入电路的业务量变化很大,但对接入网设施的成本却没有明显的影响,即其成本与业务量基本无关。

5. 运行环境恶劣

核心网的主要设备,诸如交换机和复用传输设备,多半装在环境可控的机房内,保持在一定的温度和湿度条件下。而接入网设备常常必须安装在室外不可控的环境下(例如路边),要遭受风吹、雨淋、日晒、雷击、冰雹、虫鼠咬以及很多人造的破坏,所以在技术和机械保护上需要有很多特殊措施。据美国贝尔通信研究中心估计,由于电子元器件和光元器件的性能恶化与温度的关系呈指数变化,因此接入网设备中的元器件性能恶化的速度比一般设备快10倍,这就对元器件的性能、极限工作温度和可靠性都提出了相当高的要求。例如,对激光器的高温工作要求是85℃,这对本来就对温度十分敏感的激光器提出了更高的要求,需要十分严格地筛选才行。

6. 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,都经历了几代的更新。然而,传统的接入网技术(铜线环路)已经稳定地使用了约一个世纪,现在刚刚开始变化。预计光纤接入技术和无线接入技术在接入网中会有迅速的增长,但绝大多数国家和地区接入网仍将在相当长的时间内继续保持以双绞线铜缆技术为主的局面。

即便同属接入网,不同类型用户的情况也有所不同。一个典型网络运营公司的用户线中,仅有20%左右供企事业单位使用,而80%左右为居民住宅使用,然而其收入比例却恰好相反,80%来自企事业单位用户,仅20%来自居民用户。这一巨大的反差导致同在接入网环境中,新技术往往首先用于企事业单位用户,居民用户线总是处于最落后的状态。

宏观地看,核心网和接入网在物理、技术和经济上都处于完全不同的网络应用环境。

一方面,核心网正在越来越频繁地更换和应用各种令人眼花缭乱的现代新技术,不久将成为全数字化的、软件主宰和控制的、高度集成和智能化的大系统。而另一方面,现存的接入网仍然是被双绞线铜缆主宰的(90%以上)、原始落后的模拟系统。两者在技术上的巨大反差说明接入网已经成为制约全网进一步发展的瓶颈,接入网的革新乃至革命已经势在必行。

综上所述,接入网已成为电信网中最难解决的问题之一。尽管其资产往往占电话公司总资产的30%~60%,是最大的部分,而交换设备大约占25%~35%,但每年电话公司用于设备投资的比例却相反,用于交换设备的投资大约比接入网投资多60%左右。而另一方面,从上述技术经济特点看,其经济效益、投资效益如此之低也确实令人却步,其所需的技术更新总投资更令人生畏。接入网的这些经济上的致命弱点,导致其长期以来停滞不前,构成了整个电信网的最大瓶颈。进入20世纪90年代以来,新的政策法规、新的业务需求以及一系列新的技术手段提供了解决接入网问题的最好机遇,长期遭受冷落的领域正变得十分活跃,各种新老技术方案层出不穷,令人目不暇接。接入网已经成为当代电信网研究开发和建设的热点,“宽带接入时代”正在到来。

1.1.5 接入网的业务需求

1. 小企事业用户和居民用户的宽带业务

除了上述2 Mb/s以下的窄带业务外,接入网需要在将来能支持各种宽带业务,以便增加新的收入来弥补投入。对于小企事业用户和居民用户,近期的宽带业务需求主要有下面5类。

(1) 点播电视(VOD)或准点播电视(NVOD),又称影视点播业务或准影视点播业务,尤其是点播电影节目。这类业务允许用户选择中心电影库中的任何一部影片,并且只有很短的延时。这类业务将会是小企事业用户和居民用户环境下发展最快的宽带新业务。

(2) 交互式图像游戏。这类业务允许用户通过现有的公用电话网玩电子图像游戏,电子图像游戏库有大量丰富多彩的节目可供选用。这类业务也会有相当大的市场。

(3) 交互式图像业务。这类业务允许用户控制所看的节目,例如用户可以控制摄像机的角度,参加游戏节目,获取新闻或体育节目的额外信息等。

(4) 远程教育。这类业务允许分布在各地的用户都能参加现场的或录像的教育课程。这类业务预计也会有较大的发展潜力。

(5) 多媒体库。这类业务可以看做是远程教育节目中的一种,其特点是允许用户进行交互式搜索,并能看、读、听多媒体信息,即有视、听、读能力。

中长期的宽带业务需求主要有下面3类。

(1) 广播电视。这类业务允许用户接入和迅速选择广播电视节目。

(2) 事务业务。这类业务允许用户参与交互式事务,诸如银行服务、购物、预购机票、预订旅馆等。

(3) 目标型广告。这类业务允许做广告的公司选择某一类人或群体看他们的广告,或者为特定的个人或群体选择广告类型。

其它的还有图像信箱业务和可视电话业务等。

2. 大企事业用户的宽带业务

为了面对竞争,更有效地利用本地人力、物力和政策优势,大公司正日益趋于分散化

布局,因而局域网(LAN)及局域网的互联已成为大公司需求最迫切的高速数据业务。按照传统的划分方式,高速数据业务可划分为高速局域网业务、城域网(MAN)业务和广域网(WAN)业务,其实三者之间的界限已不那么严格。主要的高速局域网业务有以太网、快速以太网、光纤分布式数据接口(FDDI)和光纤通路系统等业务;主要的城域网业务有交换式多兆比数据(SMDS)业务;主要的广域网业务有帧中继业务(FRS)和异步转移模式(ATM)业务。

除了高速数据业务外,视像会议(Video Conference)业务也是大公司提高工作效率、降低费用的重要手段,发展速度很快。

除了上述两类主要的宽带业务外,尚有其它多种宽带业务需求,这里就不一一列举了。考虑到大公司不仅是宽带业务的主要用户,而且也是最能承受得起初期宽带业务高费用的用户群,因而大企事业单位的宽带业务需求是发展宽带接入网的主要推动力量。

3. 市场牵引和技术推动

一种新的网络能否顺利发展,一方面靠市场牵引,另一方面靠技术推动。总的来看,对新业务的市场需求往往是网络发生变化的催化剂,也就是说,在形成网络演进的过程中,市场的牵引作用往往要超过技术的推动作用。适当强调业务需求的市场牵引作用可以保持网络演进结构比较简单,不必为纯技术的影响过多地伤脑筋,因为一种纯技术的严格框架结构和要求往往会扼杀经济上的可行性。反过来,技术推动也不是无足轻重的,技术上的深思熟虑和统筹兼顾,对形成一种不仅易于操作而且具有长远发展前景的网络具有至关重要的作用,有时甚至可能创造新的市场。例如微电子技术的进展和光纤技术的诞生就是两个例子。总而言之,只有市场牵引和技术推动的有机结合,才是网络顺利演进和发展的充分保证。

4. 业务需求和网络结构

从历史上看,不同的网络结构往往适用于传送不同的业务信号,反过来,不同的业务信号可能要求用不同的网络结构来支持。因而确定近期和远期所要支持的业务类型和特性是十分重要的,它可以在相当程度上影响网络结构的选择,是接入网规划设计所要考虑的首要因素。

迄今为止,各国电信网的主要业务仍然是电话,约占总业务量的70%~90%,因而接入网规划设计的主要目标仍然是针对电话业务的,目前主要是2 Mb/s以下的速率。除了电话业务外,接入网目前至少应支持现有铜缆用户网所能支持的所有业务,例如各种低速数据业务、 $N \times 64$ kb/s数据租用业务、模拟租用线、ISDN基本接入和一次群接入、非本地交换的业务等。

Internet的爆炸性增长是当前对接入网发展的最大的技术牵引,上述业务都可以通过互联网承载。因此,上述业务对接入网的接入需求,在相当程度上可转化为各种用户对互联网的接入需求。对互联网的接入需求正在对接入网的技术、设备和网络结构产生深远的影响。

1.1.6 宽带接入网的技术特点

因特网用户与业务量超常规的发展速度使全世界的电信运营者都在考虑如何迅速扩展

网络容量,以适应日益增长的用户需求,Tb/s 级的光传输系统和 Tb/s 级的路由器应运而生,为核心网的升级换代提供了及时的手段,接入网又一次成为带宽的瓶颈。在窄带接入网起步不久,接入网数字化任务仍相当繁重的情况下,接入网宽带化又摆到运营者、制造者和用户面前,这是由接入网所处环境的差异性、业务的多样性所决定的。同样由于用户需求、用户分布、地区经济发展水平等差异,宽带接入网不大可能像核心网那样对下一步的技术走向看得那么明朗和集中,传统的传输媒介并不因为接入网宽带化而退出这一历史舞台,各种技术都在以宽带化为目标优化,在接入网中寻找适于发挥其优势的空间。可以说,随着宽带化的发展,可供选择的接入网技术更多了,而且就可使用的技术而言,最后一公里是越走越宽了。

尽管宽带接入网技术多种多样,但它们具有以下几方面的共同特点。

1. 宽带化

按常规的分类,高于基群速率(1.5 Mb/s 或 2 Mb/s)的业务被定义为宽带业务,视频节目是其中一例,但当今需求更迫切的应是高速上网和下载。一个长度为 3.5 分钟的视频节目片断用 8 Mb/s 下行速率的 ADSL 仅需 10 秒就可下载完成,很少有人愿意使用 28.8 kb/s 的调制解调器耐心等待 46 分钟下载同样内容的节目。只要收费合理,人们对接入速度的要求是无止境的,至少希望达到 PC 机网卡的速度。

2. 综合化

宽带业务需求的增加将降低窄带业务所占的比例,但并不意味着窄带业务量绝对值的下降。电话仍然是用户常用的一种主要业务,也是电信运营商主要的收入来源。分别使用宽、窄带接入网来接入不同带宽业务的方式并非不可考虑,但无论是网络运营商还是用户,都更希望用同一个接入网同时支持宽带和窄带业务。表面上看能支持宽带业务自然就能支持窄带业务,但以数据为代表的宽带业务是非实时的,适于以分组方式运载,而以语音为代表的窄带业务是实时的,传统方式是以电路方式来传送,这是将宽、窄带业务融合或集成在一个接入网的难点所在。

3. 共享性

出于降低成本的需要,大多数接入网为多用户所共享,如有源光纤环、无源光网络(PON)、混合光纤同轴电缆系统(HFC)、本地多点分配业务系统(LMDS)等,而上行多点到点的工作方式需要解决多址争用问题。用户希望宽带接入永远在线,但仅当传送业务时才计费,宽带业务这种固有的突发性要求带宽按需动态分配,以实现对接入网资源的优化利用。共享媒介的接入方式还要求提供加密与安全接入甚至虚拟专用网(Virtual Private Network, VPN)功能,防止恶意用户侵犯他人的通信自由。对于 ADSL 这类可能为单用户使用的接入系统,也有数据、图像与 DSL 电话(Voice Over DSL, VODSL)的语音业务共享的问题,也需要带宽管理。

4. 不对称性

数据和图像业务通常是不对称的,上、下行带宽不等是大多数宽带接入网的特征,如 ADSL、PON、HFC、LMDS 等,而且上、下行所需带宽比例并不固定。这对双工方式提出了一些新的要求,两个方向所用的帧结构、复用方式、比特率、传输技术甚至传输媒介都可能不同,以 VSAT 作下行,而上行则通过有线网接入就是一例。最近还出现了一些以时