

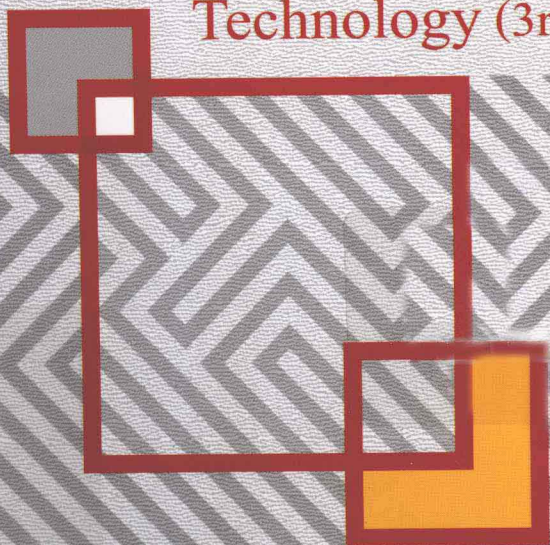
21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

接入网技术

(第3版)

张中荃 主编

Access Network
Technology (3rd Edition)



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

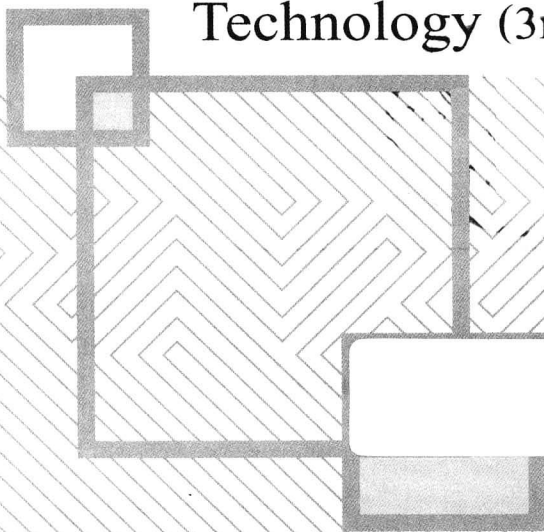
21 世纪高等院校信息与通信工程规划教材
21st Century University Planned Textbooks of Information and Communication Engineering

接入网技术

(第3版)

张中荃 主编

Access Network
Technology (3rd Edition)



人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

接入网技术 / 张中荃主编. -- 3版. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2013.7
21世纪高等院校信息与通信工程规划教材
ISBN 978-7-115-31794-0

I. ①接… II. ①张… III. ①接入网—高等学校—教材 IV. ①TN915.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第118390号

内 容 提 要

接入网是电信网的重要组成部分。接入网技术的发展、应用和普及令人瞩目,深受世界各国的广泛重视。本书全面介绍了各种接入网技术。全书共分8章,分别介绍了接入网基本知识、铜线接入技术、电缆调制解调器接入技术、以太网接入技术、光纤接入技术、无线接入技术、接入网接口技术、接入网网管技术等内容。

本书力求做到内容新颖、知识全面、由浅入深、通俗易懂,注重基本概念和基本原理。本书适合作为通信工程专业的本科教材和从事相关专业的技术人员培训用书,也可供相关专业的硕士研究生学习参考。

-
- ◆ 主 编 张中荃
责任编辑 滑 玉
责任印制 彭志环 杨林杰
 - ◆ 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>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 19.5
字数: 490千字
-

2013年7月第3版

2013年7月北京第1次印刷

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

目 录

第 1 章 接入网概述	1	第 3 章 电缆调制解调器接入技术	62
1.1 接入网的基本概念	1	3.1 Cable Modem 的技术特点	62
1.1.1 接入网的定义与定界	1	3.1.1 Cable Modem 与 ADSL Modem 的比较	62
1.1.2 接入网的功能结构	2	3.1.2 HFC 网络对 Cable Modem 的要求	65
1.1.3 接入网的拓扑结构	5	3.1.3 影响 Cable Modem 运作的因素	67
1.2 接入网的分类	7	3.2 Cable Modem 系统工作原理	67
1.2.1 铜线接入网	7	3.2.1 系统结构	67
1.2.2 光纤接入网	8	3.2.2 工作原理	71
1.2.3 混合接入网	9	3.3 Cable Modem 的体系结构	74
1.2.4 无线接入网	12	3.3.1 基于 IEEE 802 的 Cable Modem	74
1.3 接入网提供的综合接入业务	15	3.3.2 基于 DOCSIS 的 Cable Modem	83
复习思考题	20	3.4 Cable Modem 的应用	87
第 2 章 铜线接入技术	21	3.4.1 系统的基本构成	87
2.1 高比特率数字用户线接入技术	21	3.4.2 信号的下行及上行通路	89
2.1.1 HDSL 系统的基本构成	21	3.4.3 用户接入方式	90
2.1.2 HDSL 的关键技术	23	复习思考题	91
2.1.3 HDSL 的应用特点	27	第 4 章 以太网接入技术	92
2.2 第二代高比特率数字用户线接入技术	28	4.1 以太网技术在宽带接入领域的应用	92
2.2.1 HDSL2 的设计目标	29	4.1.1 以太网技术的发展	92
2.2.2 HDSL2 的线路编码	29	4.1.2 基于以太网技术的宽带接入网	93
2.2.3 HDSL2 中的 FDM 和回波抵消	30	4.1.3 以太网接入的主要技术问题	96
2.3 不对称数字用户线接入技术	31	4.2 吉比特以太网接入技术	98
2.3.1 ADSL 的技术特点	31	4.2.1 吉比特以太网的技术特点	98
2.3.2 ADSL 的系统结构	33	4.2.2 吉比特以太网的构建	99
2.3.3 ADSL 的关键技术	35	4.3 万兆以太网接入技术	104
2.3.4 ADSL 的分布模型及其应用	48	4.3.1 国内万兆以太网的发展	104
2.4 甚高速数字用户线接入技术	52	4.3.2 万兆以太网技术分析	105
2.4.1 VDSL 系统构成	52		
2.4.2 VDSL 的相关技术	54		
2.4.3 VDSL 存在的问题	56		
2.4.4 VDSL 的应用	59		
复习思考题	61		

4.3.3 万兆以太网的应用	106	6.2.3 数字调制与扩频技术	190
复习思考题	107	6.2.4 抗衰落技术	195
第5章 光纤接入技术	109	6.2.5 网络安全技术	196
5.1 无源光网络接入技术	109	6.2.6 无线空中接口	197
5.1.1 PON 拓扑结构	109	6.3 3.5GHz 固定无线接入	199
5.1.2 PON 关键技术	110	6.3.1 系统参考模型	199
5.1.3 PON 功能结构	116	6.3.2 功能要求	200
5.1.4 PON 技术应用	118	6.3.3 技术要求	201
5.2 ATM 无源光网络接入技术	122	6.3.4 其他要求	203
5.2.1 APON 模型及特点	122	6.4 无线 ATM 接入	204
5.2.2 APON 系统结构及工作 过程	123	6.4.1 无线 ATM 简介	204
5.2.3 APON 帧结构及关键技术	125	6.4.2 无线 ATM 网络技术基础	206
5.2.4 APONet 接入传输系统	128	6.4.3 无线 ATM 协议	208
5.3 以太网无源光网络接入技术	134	6.4.4 移动管理	212
5.3.1 EPON 技术特点及网络 结构	134	6.5 宽带码分多址接入	215
5.3.2 EPON 传输原理及帧结构	136	6.5.1 WCDMA 网络体系结构	215
5.3.3 EPON 光路波长分配	138	6.5.2 WCDMA 物理信道与帧 结构	222
5.3.4 EPON 关键技术	139	6.5.3 WCDMA 无线接口协议	226
5.3.5 EPON 典型应用	141	6.6 其他无线接入技术	229
5.4 吉比特无源光网络接入技术	142	6.6.1 Wi-Fi 接入技术	229
5.4.1 GPON 概述	142	6.6.2 WiMAX 接入技术	230
5.4.2 GPON 功能参考模型	143	6.6.3 Ad hoc 接入技术	232
5.4.3 GPON 关键技术	146	6.6.4 无线 Mesh 网络接入技术	234
5.4.4 GPON 的应用与发展	155	6.6.5 ZigBee 技术	236
5.5 有源光网络接入技术	156	复习思考题	237
5.5.1 AON 简化技术	156	第7章 接入网接口技术	239
5.5.2 AON 采用的主要技术	158	7.1 V5 接口的构成	239
5.5.3 BAU 宽带接入单元	170	7.1.1 V5 接口的接入模型和支持 业务	239
复习思考题	174	7.1.2 V5 链路及时隙结构	241
第6章 无线接入技术	176	7.2 V5 接口的体系结构	244
6.1 无线接入信道的电波传播	176	7.2.1 V5 接口的分层模型	244
6.1.1 反射、衍射和散射	176	7.2.2 V5 接口的物理层	244
6.1.2 衰落与多径传播	177	7.2.3 V5 接口的数据链路层	244
6.1.3 路径损耗模型	180	7.2.4 V5 接口的网络层	246
6.2 无线接入的基本技术	183	7.3 V5 接口的设计	246
6.2.1 信源编码与信道编码技术	183	7.3.1 V5 接口的硬件设计	246
6.2.2 多址接入技术	188	7.3.2 V5 接口的软件设计	251

7.4 VB5 接口简介.....	257	8.1.2 接入网网管的基本概念	279
7.4.1 VB5 接口的基本特性.....	257	8.2 接入网网管的管理功能.....	281
7.4.2 VB5 接口的协议配置.....	260	8.2.1 PCF-OSF 支持的管理功能....	281
7.4.3 VB5 接口的连接类型.....	262	8.2.2 TF-OSF 支持的管理功能	286
7.4.4 VB5 接口的协议.....	266	8.2.3 调度管理功能.....	288
复习思考题	266	8.3 应用举例.....	289
第 8 章 接入网网管技术	268	复习思考题.....	291
8.1 网络管理的概念	268	附录 英文缩写对照表.....	293
8.1.1 TMN 的基本概念	268	参考文献.....	304

过去,电信网主要是以铜线双绞线方式连接用户和交换机,提供以电话为主的业务,用户接入部分的网络形式单一,界线不分明。近年来,由于用户业务规模和业务类型的剧增,需要有一个综合语音、数据及未来交互式视频的接入网络代替现有的铜线网络,接入网概念由此而产生。为适应接入网发展的需要,国内外对接入网技术的研究和应用大大加快。接入网已成为通信网发展的一个重点,其规模之大、影响面之广是前所未有的。本章首先介绍接入网的定义、定界等基本概念,然后介绍接入网的分类和接入网的综合接入业务。

1.1 接入网的基本概念

1.1.1 接入网的定义与定界

虽然接入网早已存在,但接入网一词的出现是近几年的事,人们对它的理解更是各不相同。国际电信联盟电信标准化部(International Telecommunications Union -Telecommunications standardization section, ITU-T)关于接入网的框架建议(G902)和我国的接入网体制规定,描述了接入网功能结构、接入类型、业务节点及网络管理接口等相关内容,接入网有了一个较为公认的定义。

1. 接入网的定义

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(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3部分,即长途网(长途端局以上部分)、中继网(即长途端局与市话局之间以及市话局之间的部分)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, CN)或转接网(Transit Network, TN),相对于核心网的其他部分则统称为接入网(Access Network, AN)。接入网主要完成将用户接入到核心网的任务。可见,接入网是相对核心网而言的,接入网是公用电信网中最大和最重要的组成部分。图1-1所示的是电信网的基本组成,从图中可清楚地看出接入网在整个电信网中的位置。

按照ITU-T G.902的定义,接入网(AN)是由业务节点接口(Service Node Interface, SNI)和相关用户网络接口(User Network Interface, UNI)之间的一系列传送实体(诸如线路设施和传输设施)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。接入网可以经由Q₃接口进行配置和管理。



图 1-1 电信网的基本组成

2. 接入网的界定

在电信网中，接入网的界定如图 1-2 所示。接入网所覆盖的范围可由 3 个接口来定界，即网络侧经由 SNI 与业务节点（Service Node，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。

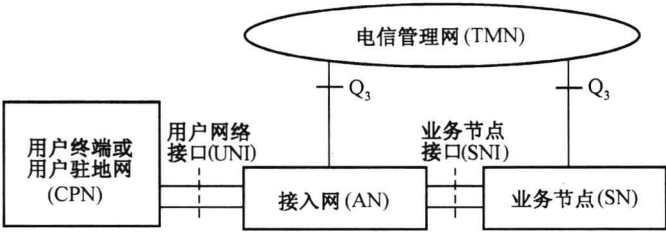


图 1-2 接入网的界定

业务节点（SN）是提供业务的实体，可提供规定业务的业务节点有本地交换机、租用线业务节点或特定配置的点播电视和广播电视业务节点等。

业务节点接口（SNI）是接入网（AN）和业务节点（SN）之间的接口。如果 AN-SNI 侧和 SN-SNI 侧不在同一地方，可以通过透明传送通道实现远端连接。通常，接入网（AN）需要支持大量的 SN 接入类型，SN 主要有下面 3 种情况：仅支持一种专用接入类型；可支持多种接入类型，但所有接入类型支持相同的接入承载能力；可支持多种接入类型，且每种接入类型支持不同的承载能力。按照特定 SN 类型所需要的能力，以及根据所选接入类型、接入承载能力和业务要求，可以规定合适的 SNI。支持单一接入的标准化接口主要有提供综合业务数字网（Integrated Service Digital Network，ISDN）基本速率（2B+D）的 V1 接口和一次群速率（30B+D）的 V3 接口。支持综合接入的接口目前有 V5 接口，包括 V5.1 和 V5.2 接口。

用户网络接口（UNI）是用户和网络之间的接口。在单个 UNI 的情况下，ITU-T 所规定的 UNI（包括各种类型的公用电话网和 ISDN 的 UNI）应该用于 AN 中，以便支持目前所提供的接入类型和业务。

接入网与用户间的 UNI 能够支持目前网络所能提供的各种接入类型和业务，但接入网的发展不应限制在现有的业务和接入类型。通常，接入网对用户信令是透明的，不做处理，可以看做是一个与业务和应用无关的传送网。通俗地看，接入网可以认为是网路侧 V（或 Z）参考点与用户侧 T（或 Z）参考点之间的机线设施的总和，其主要功能是复用、交叉连接和传输，一般不含交换功能（或含有限交换功能），而且应独立于交换机。

接入网的管理应纳入电信管理网（TMN）范畴，以便统一协调管理不同的网元。接入网的管理不但要完成接入网各功能块的管理，而且要完成用户线的测试和故障定位。

1.1.2 接入网的功能结构

1. 通用协议参考模型

接入网的功能结构是以 ITU-T 建议 G.803 的分层模型为基础的，利用该分层模型可以对

AN 内同等层实体间的交互做明确的规定。G.803 的分层模型将网络划分为电路层（Circuit Layer, CL）、传输通道（Transmission Path, TP）层和传输介质（Transmission Media, TM）层，其中 TM 又可以进一步划分为段层和物理介质层。

最新建议规定传送网只包含 TP 和 TM 层，电路层将不包含在传送网范畴内，而 AN 目前仍将电路层包含在内。

电路层是面向公用交换业务的，按照提供业务的不同可以区分不同的电路层。电路层的设备包括用于各种交换业务的交换机和用于租用线业务的交叉连接设备。传输通道层为电路层节点（如交换机）提供透明的通道（即电路群），通道的建立由交叉连接设备负责。传输介质层与传输介质（光缆或无线）有关，主要面向跨越线路系统的点到点传送。3 层之间相互独立，相邻层之间符合客户/服务者关系。

对于接入网而言，电路层上面还应有接入网特有的接入承载处理功能。再考虑层管理和系统管理功能后，整个接入网的通用协议参考模型可以用图 1-3 来描述，该图清楚地描述了各个层面及其相互关系。

根据接入网框架结构和体制要求，接入网的重要特征可归纳为如下几点。

- (1) 接入网对于所接入的业务提供承载能力，实现业务的透明传送。
- (2) 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。
- (3) 接入网的引入不应限制现有的各种接入类型和业务，接入网应通过有限个标准化的接口与业务节点相连。
- (4) 接入网有独立于业务节点的网络管理系统（简称网管系统），该网管系统通过标准化接口连接电信管理网（TMN）。TMN 实施对接入网的操作、维护和管理。

2. 主要功能

如图 1-4 所示，接入网主要有 5 项功能，即用户端口功能（User Port Function, UPF）、业务端口功能（Service Port Function, SPF）、核心功能（Core Function, CF）、传送功能（Transfer Function, TF）和 AN 系统管理功能（System Management Function, SMF）。

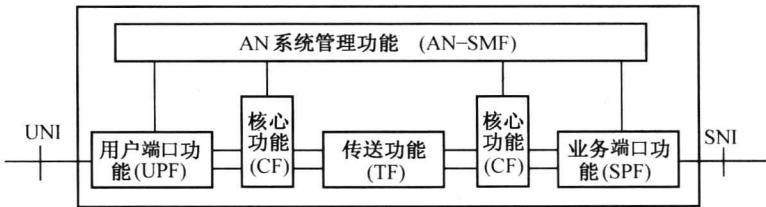


图 1-4 接入网功能结构

(1) 用户端口功能

用户端口功能（UPF）的主要作用是将特定的 UNI 要求与核心功能和管理功能相适配，主要功能有如下几点。

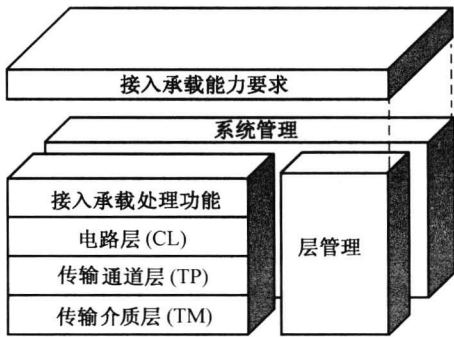


图 1-3 接入网的通用协议参考模型

- ① 终结 UNI 功能。
- ② A/D 转换和信令转换。
- ③ UNI 的激活/去激活。
- ④ 处理 UNI 承载通路/容量。
- ⑤ UNI 的测试和 UPF 的维护。
- ⑥ 管理和控制功能。

(2) 业务端口功能

业务端口功能 (SPF) 的主要作用是将特定 SNI 规定的要求与公用承载通路相适配, 以便于核心功能处理; 也负责选择有关的信息, 以便在 AN 系统管理功能中进行处理。业务端口主要功能如下。

- ① 终结 SNI 功能。
- ② 将承载通路的需要和即时的管理以及操作需要, 映射进核心功能。
- ③ 特定 SNI 所需要的协议映射。
- ④ SNI 的测试和 SPF 的维护。
- ⑤ 管理和控制功能。

(3) 核心功能

核心功能 (CF) 处于 UPF 和 SPF 之间, 其主要作用是负责将个别用户端口承载通路或业务端口承载通路的要求, 与公用传送承载通路相适配, 还包括为了通过 AN 传送所需要的协议适配和复用所进行的协议承载通路处理。核心功能可以在 AN 内分配, 其主要功能如下。

- ① 接入承载通路处理。
- ② 承载通路集中。
- ③ 信令和分组信息复用。
- ④ ATM 传送承载通路的电路模拟。
- ⑤ 管理和控制功能。

(4) 传送功能

传送功能 (TF) 为 AN 中不同地点之间公用承载通路的传送提供通道, 也为所用传输介质提供介质适配功能, 主要功能如下。

- ① 复用功能。
- ② 交叉连接功能 (包括疏导和配置)。
- ③ 管理功能。
- ④ 物理媒介功能。

(5) AN 系统管理功能

AN 系统管理功能 (AN-SMF) 的主要作用是协调 AN 内 UPF、SPF、CF 和 TF 的指配, 以及操作和维护; 也负责协调用户终端 (经 UNI) 和业务节点 (经 SNI) 的操作功能, 主要功能如下。

- ① 配置和控制。
- ② 指配协调。
- ③ 故障检测和指示。
- ④ 用户信息和性能数据收集。
- ⑤ 安全控制。
- ⑥ 协调 UPF 和 SN (经 SNI) 的即时管理和操作功能。
- ⑦ 资源管理。

AN-SMF 经 Q3 接口与 TMN 通信, 以便接受监视和/或接受控制; 同时为了实时控制的需要, 也经 SNI 与 SN-SMF 进行通信。

1.1.3 接入网的拓扑结构

网络的拓扑结构是指组成网络的物理的或逻辑的布局形状和结构构成, 可以进一步分为物理配置结构和逻辑配置结构。物理配置结构指实际网络节点和传输链路的布局或几何排列, 反映了网络的物理形状和物理上的连接性。逻辑配置结构指各种信号通道, 诸如光波长、信元位置、时隙和频率等在光纤中使用的方式, 反映了网络的逻辑形状和逻辑上的连接性。在接入网环境, 网络的拓扑结构直接与网络的效能、可靠性、经济性和提供的业务有关, 具有至关重要的作用。

接入网环境下的基本网络拓扑结构有 5 种类型, 即星型结构、双星型结构、总线结构、环型结构和树型结构。

1. 星型结构

当涉及通信的所有点中有一个特殊点 (即枢纽点) 与其他所有点直接相连, 而其余点之间不能直接相连时, 就构成了星型结构, 又称单星型或大星型结构, 如图 1-5 所示。

在接入网环境, 各个用户都最终要与本地交换机相连, 业务量最终都集中在本地交换机这个特殊点上, 因而星型结构似乎是一种自然的选择。传统的电缆接入网就是这样配置的, 在光缆接入网中星型结构仍然具有相当的应用价值。由于本地交换机成了各个用户业务量的集中点 (即枢纽点), 因而星型结构又称枢纽结构。

星型结构具有优质服务 and 成本高的特点, 适合于传输成本相对交换成本较低的应用场合, 例如, 几十线以上的大企事业用户就是这种结构的最佳服务对象。灵活接入复用器就是一种适合这种应用场合的系统。

2. 双星型结构

在光纤接入网环境中, 将传统电缆接入网的交接箱换成远端节点或远端机 (Remote Node/Remote Terminal, RN/RT), 将馈线电缆改用光缆后即成为双星型结构, 有人称之为分布式星型结构。RN 可以为有源电子设备 (即有源双星型结构); 也可以采用无源器件 (例如星型耦合器) 来完成选路、交接和测试功能, 利用波分复用或时分复用方式来分离不同通路。不管是采用有源设备还是无源器件, 两种方式在形式上类似, 从端局到 RN 是星型配置, 从 RN 到用户又是多个星型配置, 如图 1-6 所示。

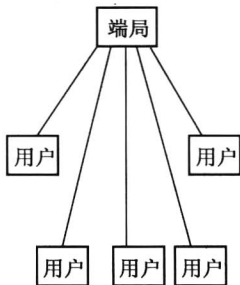


图 1-5 星型结构

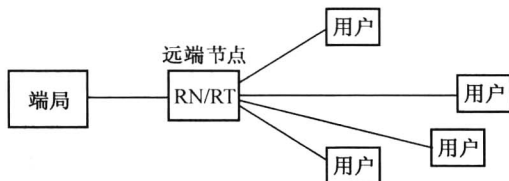


图 1-6 双星型结构

有源双星型结构继承了点到点星型结构的一些特点, 诸如与原有网络和管道的兼容性、保密性, 故障定位容易, 用户设备较简单等。为了克服星型结构成本高的缺点, 可以通过向新设的 RN/RT 分配一些复用功能 (有时还附加一些有限的交换功能), 以减少馈线段光纤的数量。由于

馈线段长度最长,由多个用户共享后使系统成本大大降低。因此,双星型结构是一种经济的、演进的网络结构,很适于传输距离较远、用户密度较高的企事业用户和住宅居民用户区。特别是远端节点采用同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)复用器的双星型结构不仅覆盖距离远,而且容易升级至高带宽。利用SDH特点,可以灵活地向用户单元分配所需的任意带宽。

3. 总线结构

当涉及通信的所有点串联起来并使首末两个点开放时就形成了链型结构;当中间各个点可以有上下业务时又称为总线结构,也称为链型或T型结构,如图1-7所示。总线结构具有遍及全网的公共设施,但RN多且信息保密性大大受损,较适于分配式业务。在传统准同步数字系列(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)网中,由于中间点上下业务费用较高,这种结构用得不多。当接入网引入SDH分插复用(Add-Drop Multiplexer, ADM)器后,具有了十分经济灵活的上下低速业务的能力,可以节省光纤并简化设备。因而,总线结构又开始受到重视和应用。

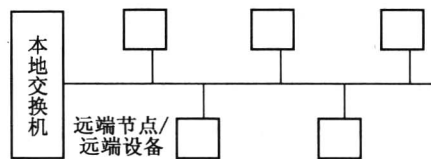


图 1-7 总线结构

在总线结构中,中间一系列ADM作为RN串接在一起,每一个RN可以有上下各种速率的信号。目前的ADM所能上下的最低速率信号是2Mbit/s,因而,还需要再通过业务复用分路器才能分出多数用户所需的64kbit/s和 $N \times 64\text{kbit/s}$ 信号。将来的ADM可直接提供上下 $N \times 64\text{kbit/s}$ 信号给用户,十分方便。这种结构与星型结构恰好相反,全部传输设施可以为用户共享,从端局发出的信号可以为所有用户所接收,每个用户根据预先分配的时隙挑出属于自己的信号。因而,只要总线带宽足够高,不仅传送低速的双向通信业务没有问题,就是传送高速的分配型业务也没问题。

4. 环型结构

当涉及通信的所有点串联起来,而且首尾相连,没有任何点开放时就形成了环型结构,如图1-8所示。该结构与T型结构很类似,但没有开放点,因而有其宝贵的特点。

与T型结构类似,环型结构只是采用了ADM作为RN时,才开始受到重视。利用ADM可以构成各种可靠性很高的自愈环型网结构,其中,单向通道倒换环是最适用于像接入网这样业务量集中于端局的一种环型结构。

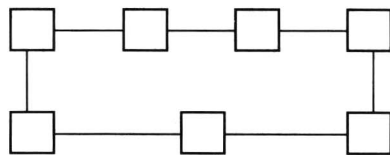


图 1-8 环型结构

这种环型结构,特别是SDH自愈环型网结构,以其出色的质量结合较高的成本适合于带宽需求大、质量要求高的企事业用户和接入网馈线段应用。

5. 树型结构

传统的有线电视(Cable Television, CATV)网往往采用树型-分支结构,很适于单向广播式业务。在光纤接入网中,这种结构再次显示了很强的生命力。如图1-9所示的这种结构的两种典型形式,即无源光网络(Passive Optical Network, PON)形式(见图1-9(a))和数字环路载波(Digital Loop Carrier, DLC)形式(见图1-9(b)),仅有的差别是光分路器和复用器。无源光网络就是不允许在外部设施中出现有源电子设备,而是采用无源器件(例如无源光功率分路器)来代替传统电缆接入网的交接箱和/或分线盒,完成光信号的分路功能。所谓的无源双星型、无源三星型或树型-分支结构均可由这一类PON结构支持。

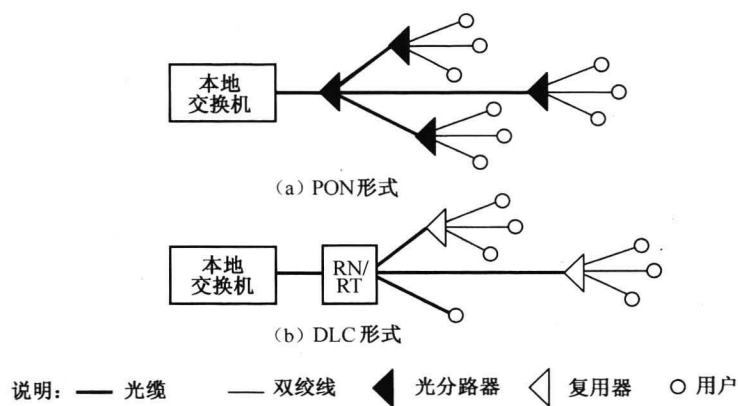


图 1-9 树型—分支结构

以 PON 为基础的树型—分支结构，十分适合那些目前仅有 4 线以上电话业务需求，而且是对双向宽带业务需求不迫切或不明朗的小企事业用户和住宅居民用户，特别是新建用户区。

1.2 接入网的分类

接入网通常是按其所用传输介质的不同来进行分类的。一般情况，接入网可分为有线接入网和无线接入网两大类。有线接入网又分为铜线接入网和光纤接入网两种；无线接入网分为固定无线接入网和移动无线接入网两种，包括蜂窝通信、地面微波通信和卫星通信等不同形式。在实际接入网中，有时会用到多种传输介质，如既用到铜线，又用到光纤，甚至还同时用到无线介质，这样就形成了混合接入网。

1.2.1 铜线接入网

图 1-10 所示的是一个典型的铜线接入网系统——市内铜缆用户环。图中，端局与交接箱之间可以有远程交换单元（Remote Switching Unit, RSU）或远端机（Remote Terminal, RT）。

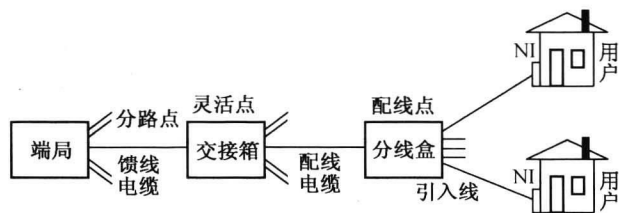


图 1-10 典型的铜线接入网系统

端局本地交换机的主配线架（Main Distribution Frame, MDF）经大线径、大对数的馈线电缆（数百至数千对）连至分路点转向不同方向。由分路点再经副馈线电缆连至交接箱，其作用是完成馈线或副馈线电缆中，双绞线与配线电缆中，双绞线之间的交叉连接。在北美，完成类似作用的装置称馈线分配接口（Fedeed Distribution Interface, FDI），从功能上可称为灵活点（Flexible Point, FP），也有人称为接入点（Access Point, AP）。至于馈线和副馈线则常常不做区别，通称为馈线或馈线段。

由交接箱开始经较小线径、较小对数的配线电缆（每组几十对）连至分线盒。分线盒的作用是终结配线电缆，并将其与引入线（又称业务线）相连。从功能上可以将分线盒处称为配线点（Distributing Point, DP）或业务接入点（Service Access Point, SAP）。

由分线盒开始通常是若干单对或双对双绞线直接与用户终端处的网路接口（Network Interface, NI）相连，用户引入线为用户专用，NI 为网络设备和用户设备的分界点。

铜线用户环路的作用是把用户话机连接到电话局的交换机上。据统计,对于市内用户环路,其主干电缆长度通常为数公里(极少超过 10km),配线电缆长度一般为数百米,用户引入线一般只有数十米。铜线用户接入方式主要有以下几种:线对增容技术、高比特率数字用户线(High-bit-rate Digital Subscriber Line, HDSL)、不对称数字用户线(Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL)和甚高比特率数字用户线(Very high-bit-rate Digital Subscriber Line, VDSL)技术。

1.2.2 光纤接入网

光纤接入网（或称光接入网）（Optical Access Network, OAN）是以光纤为传输介质，并利用光波作为光载波传送信号的接入网，泛指本地交换机或远程交换单元与用户之间采用光纤通信或部分采用光纤通信的系统。光纤接入网系统的基本配置如图 1-11 所示。光纤最重要的特点是：可以传输很高速率的数字信号，容量很大；可以采用波分复用（Wave-Division Multiplexing, WDM）、频分复用（Frequency-Division Multiplexing, FDM）、时分复用（Time-Division Multiplexing, TDM）、空分复用（Space-Division Multiplexing, SDM）和副载波复用（SubCarrier Multiplexing, SCM）等各种光的复用技术，来进一步提高光纤的利用率。

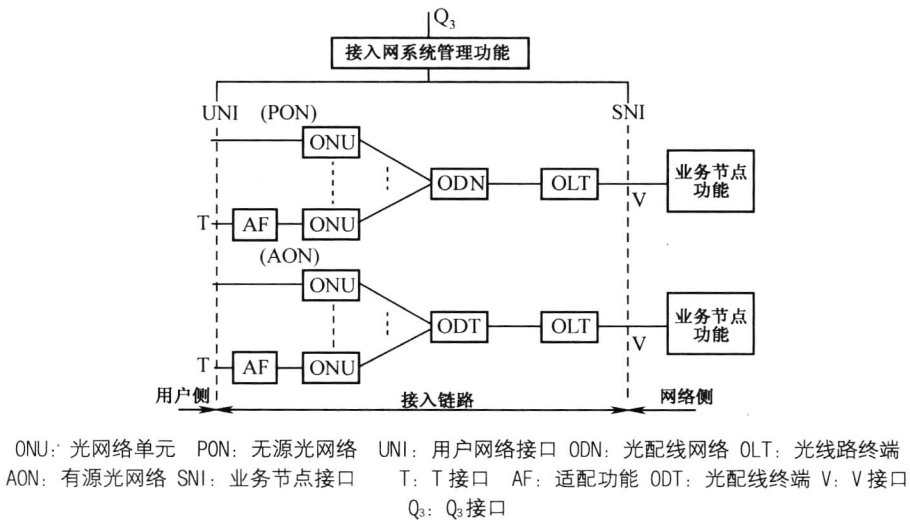


图 1-11 光纤接入网系统的基本配置

从图 1-11 中可以看出,从给定网络接口(V接口)到单个用户接口(T接口)之间的传输手段的总和称为接入链路。利用这一概念,可以方便地进行功能和规程的描述以及规定网络需求。通常,接入链路的用户侧和网络侧是不一样的,因而是非对称的。光接入传输系统可以看做是一种使用光纤的具体实现手段,用以支持接入链路。于是,光接入网可以定义为:共享同样网络侧接口且由光接入传输系统支持的一系列接入链路,由光线路终端(Optical Line Terminal, OLT)、光分配网/光分配终端(Optical Distribution Network/ Optical Distribution

Terminal, ODN/ODT)、光网络单元(Optical Network Unit, ONU)及相关适配功能(Adaptation Function, AF)设备组成,还可能包含若干个与同一OLT相连的ODN。

OLT的作用是为光接入网提供网络侧与本地交换机之间的接口,并经一个或多个ODN与用户侧的ONU通信。OLT与ONU的关系为主从通信关系,OLT可以分离交换和非交换业务,管理来自ONU的信令和监控信息,为ONU和本身提供维护和指配功能。OLT可以直接设置在本地交换机接口处,也可以设置在远端,与远端集中器或复用器接口。OLT在物理上可以是独立设备,也可以与其他功能集成在一个设备内。

ODN为OLT与ONU之间提供光传输手段,其主要功能是完成光信号功率的分配任务。ODN是由无源光元件(诸如光纤光缆、光连接器和光分路器等)组成的纯无源的光分配网,呈树型一分支结构。ODT的作用与ODN相同,主要区别在于:ODT是由光有源设备组成的。

ONU的作用是为光接入网提供直接的或远端的用户侧接口,处于ODN的用户侧。ONU的主要功能是终结来自ODN的光纤,处理光信号,并为多个小企业用户和居民用户提供业务接口。ONU的网络侧是光接口,而用户侧是电接口。因此,ONU需要有光/电和电/光转换功能,还要完成对语音信号的数/模和模/数转换、复用信令处理和维护管理功能。ONU的位置有很大灵活性,既可以设置在用户住宅处,也可设置在DP(配线点)处,甚至FP(灵活点)处。

AF为ONU和用户设备提供适配功能,具体物理实现则既可以包含在ONU内,也可以完全独立。以光纤到路边(Fiber To The Curb, FTTC)为例,ONU与基本速率NT1(Network Termination 1,相当于AF)在物理上就是分开的。当ONU与AF独立时,则AF还要提供在最后一段引入线上的业务传送功能。

随着信息传输向全数字化过渡,光接入方式必然成为宽带接入网的最终解决方法。目前,用户网光纤化主要有两个途径:一是基于现有电话铜缆用户网,引入光纤和光接入传输系统改造成光接入网;二是基于有线电视(CATV)同轴电缆网,引入光纤和光传输系统改造成混合光纤同轴电缆(Hybrid FiberCoaxial, HFC)网。光纤接入网中采用的接入方式主要有:光纤到家(Fiber To The Home, FTTH)、光纤到大楼(Fiber To The Building, FTTB)、光纤到路边(Fiber To The Curb, FTTC)、光纤到办公室(Fiber To The Office, FTTO)、光纤到小区(Fiber To The Zone, FTTZ)及光纤到节点(Fiber To The Node, FTTN)等。各种不同接入方式的主要区别在于ONU放置的位置不同,而其中最典型的方式是FTTB、FTTC和FTTH。

1.2.3 混合接入网

混合接入网是指接入网的传输介质采用光纤和同轴电缆混合组成的。主要有3种方式,即混合光纤同轴电缆(HFC)方式、交换型数字视频(Switched Digital Video, SDV)方式以及综合数字通信和视频(Integrated Digital communication and Video, IDV)方式。

1. 混合光纤同轴电缆方式

(1) HFC系统的组成与原理

混合光纤同轴电缆(HFC)方式是有线电视(CATV)网和电话网结合的产物,是目前将光纤逐渐推向用户的一种较经济的方式。20世纪80年代以来,开始在共用天线的基础上,建起有线电视(CATV)系统,并在近年来得到了飞速的发展。CATV系统的主干线路用的是光纤,在ONU之后,进入各家各户的最后一段线路大都利用原来共用天线电视系统的同轴电缆。但这种光纤加同轴电缆的CATV方式仍是单向分配型传输,不能传输双向业务。

HFC技术的工作原理如图1-12所示。局端把视像信号和电信业务综合在一起,利用光

载波, 将信号从前端通过光纤馈线网传送至靠近用户的光节点上, 光信号经过 ONU 恢复为原来的电信号, 然后用同轴电缆分别送往各个住户的网络接口单元 (Network Interface Unit, NIU), 每个 NIU 服务于一个家庭。NIU 的作用是将整个电信号分解为电话、数据和视频信号后, 再送到各个相应的终端设备。对模拟视频信号来说, 用户可利用现有电视机而无需外加机顶盒就可以接收模拟电视信号了。

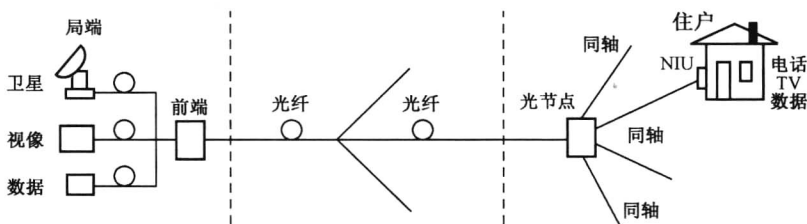


图 1-12 HFC 技术工作原理

HFC 是一种副载波调制 (SCM) 系统, 是以 (电的) 副载波去调制光载波, 然后将光载波送入光纤进行传输。HFC 的最大特点是技术上比较成熟, 价格比较低廉, 同时可实现宽带传输, 能适应今后一段时间内的业务需求而逐步向光纤到家 (FTTH) 过渡。无论是数字信号还是模拟信号, 只要经过适当的调制和解调, 都可以在该透明通道中传输, 有很好的兼容性。

(2) HFC 技术应用中要考虑的方面

在 HFC 上实现双向传输, 需要从光纤通道和同轴通道这两方面来考虑。

① 从前端到光节点这一段光纤通道中, 上行回传可采用空分复用 (SDM) 和波分复用 (WDM) 这两种方式。对于 WDM 来说, 通常是采用 1310nm 和 1550nm 这两个波长, 较为方便。

② 从光节点到住户这段同轴电缆通道, 其上行回传信号要选择适当的频段。这个频段必须与下行的频段分开, 各位于不同的频谱上, 实行频分复用 (FDM) 方式。图 1-13 所示的是低分割方案中的一个例子, 其上行信号占用 5~42MHz 频段。还有中分割方案, 上行信号占用 5~108MHz 频段; 高分割方案, 上行信号占用 5~174MHz。

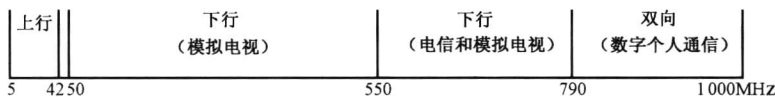


图 1-13 HFC 的频谱分配方案之一 (低分割方式)

从通信的角度看, 上行信号占用的频带太窄, 不利于对称型双向传输。面对宽带综合信息越来越大的需求, 特别是当 Internet 进入 HFC 时, 突发式和长延时的上行信号增多, 因此, 拓展上行带宽就成了无法回避的需求。这时, 可以考虑用以下两种对策解决。

① 频率搬移方法: 比如接往同一光节点的 4 个分路, 每个分路用户回传信号都是 5~42MHz 时, 则除了其中一个分路的频谱为 5~42MHz 外, 其他 3 个分路频谱可以分别为 50~100MHz、100~150MHz 和 150~200MHz。这就可以使 4 个分路的回传信号互不重叠。

② 采用 CDMA 技术: 把来自用户上行频道信号进行码分多址 (CDMA) 方式扩频编码, 使各用户虽然共用 5~42MHz 频谱, 但彼此用相应的不同编码来区分。

HFC 要进行数据传输, 关键是通过电缆调制解调器 (Cable Modem) 来实现。Cable Modem 是专门为在 CATV 网上开发数据通信业务而设计的用户接入设备, 是有线电视网络与用户终

端之间的转接设备。Cable Modem 传输速率比传统的电话 Modem 传输速率可高出 100~1 000 倍。为适应各个层次的需要, Cable Modem 主要有 CMP、CMW 和 CMB 3 种类型。个人用户电缆调制解调器 (Cable Modem Personal, CMP) 是适用于个人用户的 Cable Modem, 具有即插即用、全面的介质访问控制层 (MAC) 桥接功能、传送和接收数据功能等; 小型企业电缆调制解调器 (Cable Modem Workgroup, CMW) 是适用于小型企业和多 PC 家庭的 Cable Modem, 最多可支持 4 个用户, 每个用户均具备 CMP 的功能; 大型商务调制解调器 (Cable Modem Business, CMB) 是适用于企业网、学校系统及政府机关等的 Cable Modem, 可连接成千上万个用户, 每个用户均具有 CMP 的功能, 并可根据不同的访问和操作安全性要求实现保护功能。

2. 交换型数字视频方式

HFC 接入网主要是为住宅用户提供视频 (以模拟视像业务为主) 宽带业务的一种接入网方式, 特别适合于单向、模拟的有线电视传送。为了进一步适用于双向数字、通信等业务迅速发展的需要, 出现了交换型数字视频 (Switched Digital Video, SDV) 方式。实际上, SDV 是将 HFC 与 FTTC 结合起来的一种组网方式。它是由一个 FTTC 数字系统与一个单向的 HFC 有线电视系统重叠而成。SDV 主干传输部分采用共缆分纤的 SDM (空分复用) 方式分别传送双向数字信号 (包括交换型数字视像和语音) 和单向模拟视像信号。上述两种信号在设置于路边的 ONU 中分别恢复成各自的基带信号; 从 ONU 出来以后, 语音信号经双绞线送往用户, 数字和模拟视像信号经同轴电缆送往用户; 同时, ONU 由同轴电缆负责供电。

SDV 不是一种独立的系统结构, 而仅是 “FTTC + HFC” 的一种合并起来应用的方式, 其基本技术和系统结构是无源光网络 (PON); 同时, SDV 也不是一种全数字化系统, 而是数字和模拟兼容系统; SDV 也不单传送视像, 还可以同时传送语音和数据。

在 SDV 中, 用 FTTC 来传送所有交换式数字业务 (包括语音、数据和视频), 而用 HFC 来传送单向模拟视频节目, 同时向 FTTC 和 HFC 供电。这种结合物实际上是由两套基本独立的网络基础设施所组成的。SDV 结构原理图如图 1-14 所示。

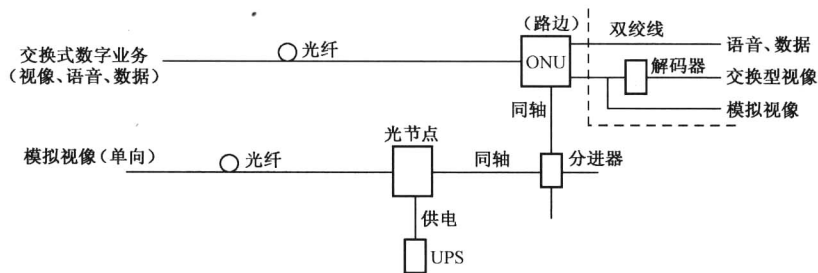


图 1-14 SDV 结构原理图

图 1-14 上面的光纤实际上是一个以 ATM 化的 BPON (Broadband PON) 为基础的 FTTC。信号到达 ONU 后, 与来自 HFC 网的模拟视频信号按频分复用方式结合在一起, 其中, SDV 信号为基带调制信号 (占低频段), 模拟视频信号占高频段。上述这些频分复用信号经由同轴电缆传送给用户终端, 其中模拟视频射频 (Radio Frequency, RF) 电视信号直接送往模拟电视接收机即可; SDV 信号需要经过解码器转换为标准模拟 RF 信号频谱后, 才能为模拟电视接收机所接收。图 1-14 下面的光纤是单向 HFC, 只用来传送模拟视频。这种结构的好处在于: 一是可以免去传输双向视频业务所带来的一系列麻烦, 网络大大简化; 二是利用同轴电