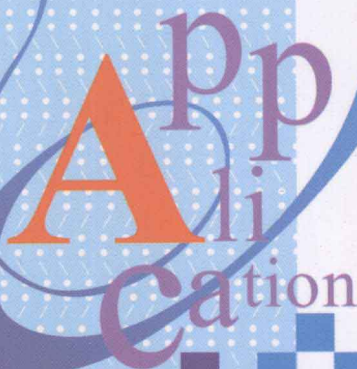


► 21世纪通信网络技术丛书



Application

网络通信与工程应用系列

宽带光接入技术

原 荣 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

21 世纪通信网络技术丛书
——网络通信与工程应用系列

宽带光接入技术

原 荣 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是宽带光接入技术，特别是宽带光接入的重要发展方向——PON 接入技术的专著。本书选取了宽带光接入技术的最新素材，反映了当前宽带光接入技术的发展水平，采用了国际最新标准。其特点是概念解释清楚，文字叙述通俗易懂，简明扼要，图文并茂，注重实用，前后连贯，适合不同层次读者的需要。

为使读者从关键词尽快找到书中的有关内容，本书还给出名词术语索引。为了教师和工程技术人员电子教学和培训的需要，本书将免费提供各章的电子教学课件（包括书中所有的插图）。

本书是对作者编著的《光纤通信》（第3版）的补充，可供本科生和研究生使用，也可作为培训教材使用，对从事光纤通信系统和网络研究的教学、规划设计、管理和维护的有关人员也有一定的参考价值。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

宽带光接入技术/原荣编著. —北京：电子工业出版社，2010.9

（21世纪通信网络技术丛书——网络通信与工程应用系列）

ISBN 978-7-121-11786-2

I. ①宽... II. ①原... III. ①光纤通信—宽带通信系统—接入网 IV. ①TN915.62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 175240 号

策划编辑：王春宁

责任编辑：窦 昊 特约编辑：刘 涛

印 刷：北京东光印刷厂

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：18.25 字数：460 千字

印 次：2010 年 9 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

出版说明

通信网络技术是当今发展最快、应用最广和最前沿的通信领域之一。通信技术发展到今天,已经不是传统意义上的充满神秘色彩的深奥技术了,它已经与日常的应用密不可分。可以说,网络的出现,使通信技术得以有了广阔的用武之地。正是由于有了固定电话网、移动通信网和 Internet,使通信技术的应用在这些平台上有了用武之地,渗透到了我们日常生活的方方面面。

为了促进和推动我国通信产业的发展,电子工业出版社通信分社特策划了一套《21 世纪通信网络技术丛书》。这套丛书根据不同的层面,又细分为三个系列:《移动通信前沿技术系列》、《3GPP LTE 无线通信新技术系列》和《网络通信与工程应用系列》。

《移动通信前沿技术系列》是从移动通信技术(3G 技术)的应用现状与发展情况出发,全面介绍当今移动通信领域涉及的关键技术与热点技术,例如:软件无线电;移动 IP 技术;移动数据通信;WCDMA;TD-SCDMA;cdma2000;移动通信系统网络规划与优化;智能天线技术;认知无线电技术;WiMAX、WiFi、ZigBee 宽带无线接入技术;UWB 技术;UMTS 技术;Ad Hoc 技术等。

《3GPP LTE 无线通信新技术系列》是以 3GPP 中 LTE 标准的关键技术在无线、宽带、高速、资源中的有效管理和利用,以及在 B3G/4G 无线通信领域中的应用为主。LTE 作为 3G 技术的一个重要的长期演进计划,代表了国际无线通信领域的最新发展需求和解决方案,例如:基于 OFDM 的上、下行(HSxPA)的多址接入技术、随机接入技术、多天线 MIMO 技术、多链路自适应技术、多播技术、功率控制技术、宽带无线网络的安全性、可移动性、可管理性;高效信源与信道编码和调制 MQAM 技术等。

《网络通信与工程应用系列》是以技术为先导,以构建网络的体系结构、标准、协议为目标所开展的对现代无线、移动、宽带通信网络的规划与优化,以及结合工程应用的方向所提出来的。例如:无线网状网、WLAN、无线传感器网络、3G/B3G/4G 通信网工程设计与优化、卫星移动通信网、三网融合技术、网络新安全技术策略、RFID 应用网络、下一代基于 SIP 的统一通信、光网络与光通信等。

本套丛书依托各高等院校在通信领域从事科研、教学、工程、管理的具有丰富的理论与实践经验的专家、教授;各科研院所的研究员;国内有一定规模和研发实力的科技公司的研发人员,以及国外知名研究实验室的专家、学者等组成编写和翻译队伍,力求实现内容的先进性、实用性和系统性;力求内容组织循序渐进、深入浅出、理论阐述概念清晰、层次分明、经典实例源于实践;力求很强的可读性和可操作性。

本套丛书的主要读者对象是广大从事通信网络技术工作的各科研院所和公司的广大工程技术人员;各高等院校的专业教师和研究生;刚走上工作岗位的大学毕业生;以及与此相关的其他学科的技术人员,供他们阅读和参考。

本套丛书从 2008 年上半年开始陆续推出,希望广大读者能关注它,多对本套丛书提出宝贵意见与建议,欢迎通过电子邮箱 wchn@phei.com.cn 进行探讨、交流和指正,以便今后为广大读者奉献更多、更好的优秀通信技术类图书。

电子工业出版社
通信出版分社

前 言

接入网是用户驻地网进入城域网/骨干网的桥梁,但随着社会信息化进程的加快,接入网已成为制约网络向宽带化发展的瓶颈。目前,接入网市场容量很大,商家为了追求利润和满足用户的需求,加大了研究经费的投入,新技术不断涌现。网络接入技术已成为电信研究部门、各大电信公司和运营部门关注的焦点和投资的热点。

光纤接入有无源与有源之分,基于 SDH 或 PDH 的接入是有源接入,基于无源光网络(PON)的接入是无源接入。因为 PON 本身是一种多用户共享系统,即多个用户共享同一套设备、同一条光缆和同一个光分路器,所以成本低;与有源光网络相比,它的安装、开通和维护运营成本大为降低,使系统更可靠、更稳定;加之 PON 能够提供透明宽带的传送能力,因此 PON 接入网具有广阔的应用前景。

ATM 技术支持可变速率业务,支持时延要求较小的业务,具有支持多业务多比特率的能力,因此 ATM 接入系统能够完成不同速率的多种业务接入,它既能提供窄带业务,又能提供宽带业务。为了使用户接入网部分的 PON 和核心网的 ATM 化相兼容,ITU-T 从 1998 年开始,制订了一整套标准,这种 ATM 化的 PON 称为 APON。

随着因特网的快速发展,以太网被大量使用,由于市场的推动,以太网技术也在飞速发展。由于 PON 具有优良的特性,所以 2000 年 12 月,以太网设备供应商提出了将 PON 用于以太网接入的标准研究计划,这种使用 PON 的以太网称为 EPON。IEEE 在 2006 年成立了一个 TaskForce 工作组,进行 10Gb/s EPON 标准 IEEE 802.3av 的研究和制订工作。10Gb/s EPON 标准的制订进程较快,已于 2009 年 9 月正式发布。

鉴于 APON 标准复杂,成本高,在传输以太网和 IP 数据业务时效率低,以及在 ATM 层上适配和提供业务复杂。而 EPON 存在两大致命的缺陷,即带宽利用率低和难以支持以太网之外的实时业务。因此,全业务接入网(FSAN)组织已制定了一种融合 APON 和 EPON 的优点,克服其缺点的新的 PON,那就是千兆无源光网络(GPON)。GPON 具有吉比特高速度、92%的带宽利用率和支持多业务透明传输的能力,同时能够保证服务质量和级别,提供电信级的网络监测和业务管理。因此,GPON 标准是最新一代宽带 PON 接入标准,具有宽带高效,覆盖范围广,用户接口丰富等众多优点,可以为用户提供优质、可靠和安全的语音、数据和视频三网合一业务接入。

APON、EPON 和 GPON 都是 TDM-PON。但是 TDM-PON 上、下行均工作在单一波长,各用户通过时分方式进行数据传输。这种在单一波长上为每个用户分配时隙的机制,既限制了每个用户的可用带宽,又大大浪费了光纤本身的可用带宽,不能满足不断出现的宽带网络业务应用的需求。在这种背景下,人们又提出了能克服 TDM-PON 缺点的 WDM-PON。近年来,由于 WDM 器件价格的不断下降,WDM-PON 技术本身的不断完善,WDM-PON 接入网应用到通信网络中已成为可能。相信,随着时间的推移,把 WDM 技术引入接入网将是下一代接入网发展的必然趋势,也是 PON 的最终形态,但在近期还很难大规模地投入应用。主要原因是缺乏国际标准,设备商投入较少,各种器件(如芯片、光模块)还不够成熟,成本也偏高,世界范围内能提供商用 WDM-PON 系统的设备制造商也屈指可数。如果 WDM-PON

在近几年商用的话，下行采用 WDM-PON，上行采用功率分配 PON（PS-PON）的混合 PON（CPON）看起来更加现实。

本书是在作者编著的《宽带光接入网》的基础上，根据光纤通信和宽带接入技术的最新进展，为满足广大读者的需求重新编写的。本书共分 9 章，第 1 章首先概述了接入网在网络建设中的作用及发展趋势、网络结构和常用的调制技术，接着介绍了接入网的上行接入方法、双向传输技术以及无源光网络（PON）的有关技术。第 2 章对接入网用到的光纤和光缆、无源和有源器件以及光收发模块进行了简述。第 3 章首先介绍了以太网、xDSL、SDH 接入，接着阐明了有线电视光纤同轴混合（HFC）接入技术和三网融合概念，最后对目前运营商主推消费者关注的第 3 代（3G）移动通信接入技术和发展趋势进行了介绍。第 4~7 章分别阐述了 APON、EPON、GPON 和 WDM-PON 这几种无源光网络接入技术，如物理媒质层、帧结构和封装、媒质接入控制和动态带宽分配、运行维护和管理（OAM）及产业化进程等。第 8 章对 PON 特别是 10 Gb/s PON 的同步和时钟提取、上行突发接收和发射，以及测距技术进行了重点阐述。第 9 章对动态带宽分配、业务流量管理和控制技术进行了介绍。

本书介绍的宽带光接入技术，特别是宽带光接入的重要发展方向——PON 接入技术，是支持三网融合的基础技术和关键技术。本书选取了宽带接入技术的最新成果，反映了当前宽带接入技术的发展水平，采用了国际电联的最新标准。其特点是概念解释清楚，文字叙述通俗易懂，简明扼要，图文并茂，注重实用，前后连贯，适合不同层次读者的需要。

为使读者从关键词尽快找到书中的有关内容，本书还给出名词术语索引。为方便教学，本书将为任课教师免费提供各章的电子教学课件（包括书中所有的插图），可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载使用，欢迎任课教师及时反馈授课心得和建议。

因为作者在编著《光纤通信（第 3 版）》时，由于篇幅所限，没有把最近出现的宽带接入技术放进去，所以本书也是对作者编著的《光纤通信（第 3 版）》的补充。本书可供本科生和研究生使用，也可作为培训教材使用，对从事光纤通信系统和网络研究教学、规划设计、管理和维护的有关人员也有一定的参考价值。

在本书的编写过程中，电子工业出版社通信出版分社王春宁博士在提纲的制订、结构的安排和内容的取舍等方面提出了许多具体的指导意见，使本书的内容更加丰富，重点更加突出，实用性更强。在本书的出版过程中，王春宁博士也出主意、想办法，从而才能使之尽快奉献给读者。在此，作者向王春宁博士表示诚挚的谢意。

虽然作者多年来从事光纤通信技术和接入网络技术的研究，但由于光接入网技术发展十分迅速，加之水平所限，书中不足及错误之处，敬请读者指正。联系方式：giocyr@163.com。

原 荣

于桂林中国电子科技集团公司第 34 研究所

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 接入网在网络建设中的作用及发展趋势	(1)
1.1.1 接入网在网络建设中的作用	(1)
1.1.2 光接入网技术演进	(1)
1.1.3 三网融合——接入网的发展趋势	(3)
1.2 网络结构	(4)
1.2.1 网络结构	(4)
1.2.2 网络接口	(6)
1.2.3 光线路终端 (OLT)	(6)
1.2.4 光网络单元 (ONU)	(8)
1.2.5 光分配网络 (ODN)	(9)
1.3 无源光网络 (PON)	(10)
1.3.1 分光比	(11)
1.3.2 结构和要求	(11)
1.3.3 下行复用技术	(12)
1.3.4 故障定位技术	(12)
1.3.5 安全性和私密性	(13)
1.3.6 保护方式	(14)
1.3.7 超级 PON	(15)
1.4 上行接入方法	(15)
1.4.1 TDMA	(16)
1.4.2 WDMA	(17)
1.4.3 SCMA	(17)
1.4.4 CDMA	(19)
1.5 接入网常使用的调制方法	(21)
1.5.1 QAM 调制	(21)
1.5.2 CAP 调制	(24)
1.5.3 DMT 调制	(25)
1.5.4 QPSK 调制	(26)
1.6 双向传输技术	(27)
1.6.1 空分复用 (SDM)	(27)
1.6.2 全双工	(27)
1.6.3 时间压缩复用 (TCM)	(27)
1.6.4 副载波复用 (SCM)	(28)

1.6.5 同向双工或波分复用	(28)
1.6.6 码分复用 (CDM)	(29)
1.6.7 双向传输技术比较	(29)
复习思考题	(30)
参考文献	(30)
第 2 章 光接入网用光纤和器件	(31)
2.1 光纤和光缆	(31)
2.1.1 G.652 光纤	(31)
2.1.2 G.657 光纤	(31)
2.1.3 光缆	(33)
2.2 光无源器件	(34)
2.2.1 光连接器	(34)
2.2.2 光分路器	(36)
2.2.3 阵列波导光栅 (AWG) 路由器 (WGR)	(37)
2.2.4 光耦合器	(38)
2.3 光收发器件	(39)
2.3.1 垂直腔表面发射激光器 (VCSEL)	(39)
2.3.2 LED 频谱分割多波长光源	(40)
2.3.3 波导探测器 (WG-PD)	(41)
2.4 光收发模块	(41)
2.4.1 双纤以太网点到点收发机	(41)
2.4.2 单纤以太网点到点收发机	(43)
2.4.3 单纤双向收发模块	(43)
2.4.4 10 Gb/s TDMA PON 突发模式收发机	(44)
复习思考题	(44)
参考文献	(45)
第 3 章 光纤传输有线/无线接入	(46)
3.1 以太网接入	(46)
3.1.1 以太网分类	(46)
3.1.2 OSI 参考模型及以太网的分层结构	(48)
3.1.3 以太网使用的线路编码	(51)
3.1.4 以太网帧格式	(53)
3.1.5 以太网工作原理	(53)
3.1.6 10 Gb/s 以太网及其应用	(56)
3.1.7 中继交换与路由	(57)
3.1.8 以太网接入因特网和骨干网及其需解决的问题	(59)
3.2 xDSL 接入	(60)
3.2.1 ADSL	(61)

3.2.2	VDSL	(63)
3.3	SDH 接入	(64)
3.4	有线电视光纤同轴混合 (HFC) 接入	(64)
3.4.1	CATV 从电缆向光纤/同轴电缆混合 (HFC) 接入过渡	(65)
3.4.2	HFC 的优点	(66)
3.4.3	HFC 的结构	(66)
3.4.4	HFC 用射频技术和预失真补偿技术	(67)
3.4.5	HFC 用光波技术	(69)
3.4.6	Cable Modem 构成及其工作原理	(73)
3.4.7	HFC 的发展方向——从模拟电视到数字化综合业务	(77)
3.5	无线接入	(79)
3.5.1	CDMA 系统技术基础——直接序列扩频系统 (DSSS)	(79)
3.5.2	第 3 代 (3G) 移动通信系统	(82)
3.5.3	CDMA 光纤传输通信系统	(88)
3.5.4	第 4 代 (4G) 移动通信系统简介	(89)
3.5.5	大气光通信接入系统	(92)
	复习思考题	(93)
	参考文献	(94)
第 4 章	APON 接入技术	(95)
4.1	APON 接入网的分层结构	(95)
4.2	传输媒质层	(96)
4.2.1	线路比特速率	(96)
4.2.2	物理媒质与波长分配	(96)
4.2.3	光端机	(97)
4.2.4	光分配网	(102)
4.3	传输汇聚层 (TC)	(103)
4.3.1	对传输汇聚层 (TC) 的要求	(103)
4.3.2	帧结构	(103)
4.3.3	下行 PLOAM 信元结构	(106)
4.3.4	上行 PLOAM 信元结构	(110)
4.3.5	下行信元搅动加密	(112)
4.3.6	验证功能	(113)
4.4	运行、管理和维护 (OAM) 功能	(114)
4.4.1	ONU 管理和控制接口 (OMCI) 参考模型	(114)
4.4.2	ONU 和 OLT 检测到的 OAM 项目	(115)
4.4.3	PON 的管理功能	(117)
4.4.4	ONU 管理信息库 (MIB)	(121)
4.4.5	ONU 管理和控制信道 (OMCC)	(122)
4.4.6	ONU 管理和控制协议	(122)

4.5 APON 接入系统介绍	(124)
4.5.1 系统构成	(124)
4.5.2 APON 线路接口	(126)
4.5.3 ATM 交叉连接	(129)
4.5.4 业务接口	(129)
4.5.5 HFC 双向光纤传输系统	(130)
4.5.6 系统业务演示	(131)
复习思考题	(131)
参考文献	(131)
第 5 章 EPON 接入技术	(133)
5.1 EPON 概述	(133)
5.1.1 EPON 的工作原理	(133)
5.1.2 EPON 的关键技术	(134)
5.1.3 标准化进展	(135)
5.1.4 EPON 系统协议分层模型	(136)
5.2 EPON 的物理媒质相关 (PMD) 层	(137)
5.2.1 EPON 对 PMD 的基本要求	(137)
5.2.2 EPON 光收发机规范	(139)
5.2.3 EPON 接口	(140)
5.2.4 EPON 光路设计	(140)
5.3 EPON 传输帧结构	(141)
5.4 EPON 多点控制协议 (MPCP) 和动态带宽分配 (DBR)	(142)
5.4.1 EPON 的上行多址接入	(142)
5.4.2 EPON 系统的同步和测距	(144)
5.4.3 EPON 系统的动态带宽分配	(146)
5.5 EPON 的运行维护和管理 (OAM)	(147)
5.6 EPON 承载 TDM 业务	(148)
5.7 10 Gb/s EPON 产业化进程	(149)
复习思考题	(151)
参考文献	(151)
第 6 章 GPON 接入技术	(152)
6.1 GPON 概述	(152)
6.1.1 GPON 标准进展和参考结构	(152)
6.1.2 GPON 系统协议分层模型和各层功能	(154)
6.1.3 GPON 与 EPON 的比较及其优势	(156)
6.2 GPON 物理媒质相关层 (PMD)	(158)
6.2.1 线路比特速率	(158)
6.2.2 物理媒质与波长分配	(158)

6.2.3	传输距离和分支比	(159)
6.2.4	光端机	(159)
6.2.5	通过前向纠错 (FEC) 获得光增益	(160)
6.2.6	ONU 功率电平调整机制	(161)
6.3	GPON 帧结构与封装	(161)
6.3.1	GEM 帧结构	(161)
6.3.2	GEM 帧同步	(162)
6.3.3	GEM 帧的分段机制	(162)
6.3.4	GEM 对 TDM 数据的封装	(163)
6.3.5	GEM 对以太网数据的封装	(163)
6.3.6	GPON 上/下行帧结构	(164)
6.4	GPON 媒质接入控制和动态带宽分配	(165)
6.4.1	GPON 媒质接入控制 (MAC)	(165)
6.4.2	动态带宽分配 (DBR)	(165)
6.4.3	GPON 测距和延时补偿	(167)
6.4.4	ONU 与 OLT 的同步过程	(168)
6.4.5	GPON ONT 管理控制接口 (OMCI)	(169)
6.4.6	用户信息保护与安全	(169)
6.5	GPON 的产业化进程	(170)
	复习思考题	(171)
	参考文献	(171)
第 7 章	WDM-PON 接入技术	(173)
7.1	ONU 波长固定 WDM-PON	(173)
7.1.1	波长固定 WDM-PON 系统结构	(173)
7.1.2	WGR 温度漂移的解决办法	(175)
7.2	ONU 波长可调 WDM-PON	(175)
7.3	ONU 无色 WDM-PON	(176)
7.3.1	ONU 采用宽谱光源 WDM-PON	(176)
7.3.2	ONU 无光源 WDM-PON	(177)
7.4	WDM/TDM 混合无源光网络	(178)
7.5	WDM-PON 与 PS-PON 的技术比较	(180)
	复习思考题	(181)
	参考文献	(181)
第 8 章	TDMA 无源光网络接入技术	(182)
8.1	上行同步技术	(182)
8.1.1	前言	(182)
8.1.2	相关同步技术	(183)
8.1.3	门控振荡法	(188)

8.1.4	数字环路振荡法	(190)
8.2	突发模式发射	(192)
8.2.1	光发射基础	(192)
8.2.2	突发模式发射	(193)
8.2.3	发射延迟补偿	(194)
8.2.4	突发模式发射光输出功率控制	(195)
8.2.5	外调制突发模式发射	(196)
8.2.6	10.3 Gb/s 突发模式发射机	(197)
8.3	突发模式接收	(198)
8.3.1	直流耦合突发模式光接收机	(199)
8.3.2	10 Gb/s 直流耦合突发模式光接收机	(203)
8.3.3	交流耦合突发模式光接收机	(207)
8.3.4	1.25 Gb/s 交流耦合突发模式 EPON 接收机	(209)
8.3.5	2.5 Gb/s 边检测突发模式 GPON 光接收机	(211)
8.3.6	光差分检测突发接收	(213)
8.4	测距	(215)
8.4.1	概述	(215)
8.4.2	现有的测距方法	(217)
8.4.3	测距过程	(218)
8.4.4	带外测距和带内测距比较	(219)
8.5	G.983.1 规定的测距法	(220)
8.5.1	测距法应用范围	(220)
8.5.2	传输延时和相位关系	(221)
8.5.3	测距窗口	(223)
8.5.4	测距过程	(226)
	复习思考题	(233)
	参考文献	(233)
第 9 章	动态带宽分配	(236)
9.1	概述	(236)
9.1.1	静态带宽分配	(237)
9.1.2	动态带宽分配	(238)
9.2	MAC 协议	(240)
9.2.1	动态带宽分配 (DBA) 协议	(241)
9.2.2	传输容器 (T-CONT)	(242)
9.2.3	信元传输延迟及其变化	(248)
9.2.4	DBA 和 OLT/ONU 的不同组合	(249)
9.2.5	等待/过渡时间	(249)
9.3	交接过程	(250)
9.4	T-CONT 的建立和拆除	(252)

9.4.1	对 T-CONT 状态改变的要求	(252)
9.4.2	T-CONT 的建立和拆除	(252)
9.4.3	ONU 可分割时隙的合并和整理	(253)
9.5	流量控制和调度	(254)
9.5.1	流量管理和拥塞控制	(254)
9.5.2	接入过程	(256)
9.5.3	上行接入模型和 ONU 模型	(257)
9.5.4	带宽分配规则	(258)
9.5.5	业务流量调度	(259)
	复习思考题	(263)
	参考文献	(264)
附录	名词术语索引	(265)

第1章 概述

- 接入网在网络建设中的作用及发展趋势
- 网络结构
- 无源光网络
- 上行接入方法
- 接入网常用的调制方法
- 双向传输技术

1.1 接入网在网络建设中的作用及发展趋势

1.1.1 接入网在网络建设中的作用

信息网由核心骨干网、城域网、接入网和用户驻地网组成，其模型如图 1.1.1 所示。由图可见，接入网处于城域网/骨干网和用户驻地网之间，它是大量用户驻地网进入城域网/骨干网的桥梁。

目前，随着科学技术突飞猛进，大量的电子文件不断产生，经济全球化、社会信息化进程的加快，因特网大量普及，数据业务激烈增长，电信业务种类不断扩大，已由单一的电话电报业务扩展到多种业务。窄带接入网已成为制约网络向宽带化发展的瓶颈。接入网市场容量很大，为了满足用户的需求，新技术不断涌现。接入网是国家信息基础设施的发展重点和关键，网络接入技术已成为研究机构、通信厂商、电信公司和运营部门关注的焦点和投资的热点。

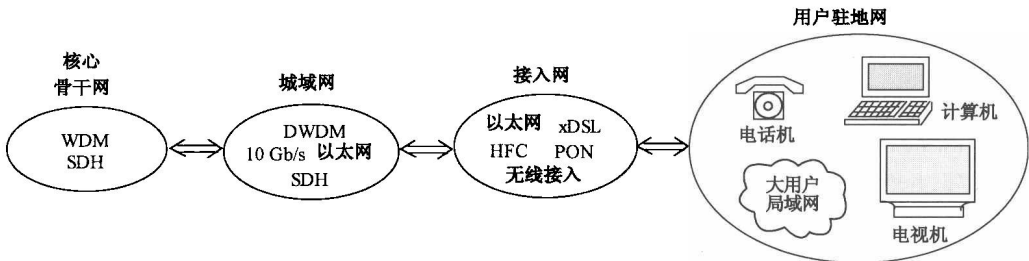


图1.1.1 信息网模型

1.1.2 光接入网技术演进

在接入技术方面，窄带接入逐渐被宽带接入取代，铜缆接入已逐渐被光缆接入所取代，最终实现光纤到家。

光纤接入有无源与有源之分，基于同步数字制式（SDH）或准同步数字制式（PDH）的

光纤接入是有源接入，基于无源光网络（PON）的接入是无源接入。由于 PON 具有独特的优点，它能够提供透明宽带的传送能力；因为 PON 本身是一种多用户共享的系统，即多个用户共享同一个设备、同一条光缆和同一个光分路器，所以成本低；与有源光网络相比，由于 PON 的固有特性，它的安装、开通和维护运营成本大为降低，使系统更可靠、更稳定，因此接入网正在大量应用 PON 系统。

异步传输模式（ATM）技术支持可变速率业务，支持时延要求较小的业务，并且具有支持多业务多比特率的能力，因此 ATM 接入系统能够完成不同速率的多种业务接入，它既能够提供窄带业务，又能提供宽带业务，即能提供全业务接入。另外，电信网的核心部分正在 ATM 化，为了使用户接入网部分的 PON 和核心网的 ATM 化相兼容，ITU-T 自 1998 年以来，已完成了一整套 G.983 建议，其目的就是使 PON 携带的信息 ATM 化，这种 ATM 化的 PON 称为 APON，利用 APON 构成的网络是一种全业务接入网（FSAN）。但是，G.983.1 规定 APON 接入网传输系统下行传输速率最高为 622 Mb/s，随着 PON 分光比的增加，光网络单元（ONU）数也随之增多，每个 ONU 所用的带宽就有限。

随着因特网的快速发展，以太网被大量使用，由于市场的推动，以太网技术也得以飞速发展。在 20 世纪 80 年代它仅是一种局域网（LAN）技术，其速率为 10 Mb/s。20 世纪 90 年代发展了交换型以太网，并先后推出了快速（100 Mb/s）以太网、吉位（Gb/s）以太网和 10 Gb/s 以太网，其传输介质也由双绞线变为多模光纤（MMF）或单模光纤（SSMF），它的应用也从 LAN 发展到宽域网（WAN）。

为了将以太网应用于接入网，人们提出了采用类似电话网星形布线的交换型结构，此时业务将不再自动广播给所有计算机，而是由交换机根据其地址，经过连接至特定计算机的双绞线传送给用户，这在一定程度上实现了计算机间的信息隔离，同时解决了系统带宽问题。但是这种结构的传输介质仍为铜线，性能差，传输距离有限，速率也上不去，另外采用星形布线，所用的双绞线数量多。为了消除链路带宽的竞争，以太网转向全双工传输，因而也就可以省掉传统以太网必需的碰撞检测载波监听多路接入（CSMA/CD）技术。由于采用专用的无碰撞全双工光纤连接，使得以太网的传输距离有所扩展，在一定程度上，可以满足接入网和城域网的应用需要。但是，这种结构仍为点对点连接，所需光纤线路很多。

为此，在 2000 年 12 月，以太网设备供应商提出了将 PON 用于以太网接入的标准研究计划，这种使用 PON 的以太网称为 EPON。EPON 与 APON 相比，上、下行传输速率比 APON 的高，EPON 提供较大的带宽和较低的用户设备成本，除帧结构和 APON 不同外，其余所用的技术与 G.983 建议中的许多内容类似，如下行采用 TDM，上行采用 TDMA。2004 年 6 月，由 EFM（Ethernet in the First Mile）工作组起草制订的以太网标准 IEEE 802.3ah 正式获得通过，该标准规定传输速率上下行均为 1.25 Gb/s。IEEE 在 2006 年成立了一个 TaskForce 工作组，进行 10G EPON 标准 IEEE 802.3av 的研究和制订工作。10G EPON 标准的制订进程较快，已于 2009 年 9 月正式发布。

EPON 和 APON 一样，可应用于 FTTB（Fiber-To-The-Business）和 FTTC（Fiber-To-The-Curb），最终的目标是在一个平台上提供全业务（数据、视频和语音）到家。

提倡 EPON 的人相信，随着 EPON 标准的制定和 EPON 的使用，在 WAN 和 LAN 连接时将减少 APON 在 ATM 和 IP 协议间转换的需要。

鉴于 APON 标准复杂，成本高，在传输以太网和 IP 数据业务时效率低，以及在 ATM 层上适配和提供业务复杂。而 EPON 存在两大致命的缺陷，即带宽利用率低和难以支持以太网

之外的业务。因此，全业务接入网（FSAN）组织已制定了一种融合 APON 和 EPON 的优点，克服其缺点的新的 PON，那就是 GPON（千兆位无源光网络）。GPON 具有吉比特高速率，92% 的带宽利用率和支持多业务透明传输的能力，同时能够保证服务质量和级别，提供电信级的网络监测和业务管理。

早在 2001 年 IEEE 制定 EPON 标准的同时，全业务接入网（FSAN）组织开始发起制定速率超过 1 Gb/s 的 PON 网络标准，即 GPON（Gigabit Capable PON）。随后，ITU-T 也介入了这个新标准的制定工作，并于 2003 年 1 月通过了两个有关 GPON 的新标准，即 G.984.1（总体特性）、G.984.2（物理媒质相关层）。2004 年 3 月和 6 月发布了 G.984.3（传输汇聚 TC 层）标准。2005 年又制定了 G.984.4（ONU 管理控制接口规范）标准。为了使 GPON 实现与下一代 PON（NG-PON）兼容，ITU-T 近期发布了 G.984.5 标准，其中包括了对 ONU 上行波长范围进行收窄。GPON 技术正逐渐走向成熟。

GPON 与 EPON 的主要区别在二层协议上，一个采用以太网协议，另一个采用 GPON 成帧协议。两种技术下行均采用广播方式，上行均采用时分多址（TDMA）方式。

APON、EPON 和 GPON 都是 TDM-PON。APON 较低的承载效率及在 ATM 层上适配和提供业务复杂等缺点，现在已渐渐淡出人们的视线。而 EPON 存在两大致命的缺陷，即带宽利用率低和难以支持以太网之外的业务。GPON 虽然能克服上述的缺点，但上、下行均工作在单一波长，各用户通过时分方式进行数据传输。这种在单一波长上为每个用户分配时隙的机制，既限制了每用户的可用带宽，又大大浪费了光纤自身的可用带宽，不能满足不断出现的宽带网络应用业务的需求。在这种背景下，人们就提出了 WDM-PON 的技术构想。WDM-PON 能克服上面所述的各种 PON 缺点。近年来，由于 WDM 器件价格的不断下降，WDM-PON 技术本身的不断完善，WDM-PON 接入网应用到通信网络中已成为可能。相信，随着时间的推移，把 WDM 技术引入接入网将是下一代接入网发展的必然趋势。

本书将对以上几种 PON 及其有关的技术进行阐述。

1.1.3 三网融合——接入网的发展趋势

由于历史的原因，我国存在着各自独立经营的电信网、互联网和广播电视网。为了使有限而宝贵的网络资源最大程度地实现共享，避免大量低水平的重复建设，打破行业垄断和部门分割，三网融合是信息网发展的必然趋势。

所谓三网融合就是将归属于工业和信息化部电信网、互联网和归属于广电总局的广播电视网在技术上趋向一致，网络层互连互通，业务层互相渗透交叉，应用层使用统一的协议，经营上互相竞争合作，政策层面趋向统一。三大网络通过技术改造均能提供语音、数据和图像等综合多媒体的通信服务。

要想实现三网融合，如图 1.1.2 所示，首先，各网必须在技术、业务、市场、行业、终端和制造商等方面进行融合，转变成电信综合网、数据综合网和电视综合网。这三种网可能在相当长一段时间内长期共存，互相竞争，最后三网才能融合成一个统一的网。

三网融合的技术基础是：

- 数字技术：电话、数据和图像业务都可以变成二进制数“1”和“0”信号在网络中传输，无任何区别；
- 光通信技术：为各种业务信息传送提供了宽敞廉价高质量的信息通道；

- 软件技术：通过软件变更可支持三大网络各种用户的多种业务。

外部环境促使三网融合，市场需求和竞争、政策法规推动三网融合，1996年美国国会通过了电信改革法案，解除了对三网融合的禁令，允许电信企业对有线电视业务展开竞争，作为交换，有线电视运营商也可以进入本地电话业务市场。

三网融合对信息产业结构的影响将导致不同行业、公司的购并重组或业务扩展；导致各自产品结构的变化；导致市场交叉、丢失和获取。计算机可用来打电话、购物，电视机可以上网，移动电话可查询股市行情，软件公司可以提供电信业务，娱乐公司可以提供 Internet 服务，电信公司可以从事银行业务和零售批发等。

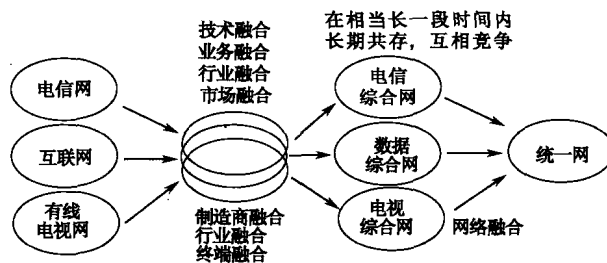


图1.1.2 三网融合示意图

1.2 网络结构

1.2.1 网络结构

一个本地接入网系统可以是点到点系统，也可以是点到多点系统；可以是有源的，也可以是无源的。图 1.2.1 为光接入网（OAN）的典型结构，可适用于光纤到家（FTTH）、光纤到楼（FTTB）和光纤到路边（FTTCab）。

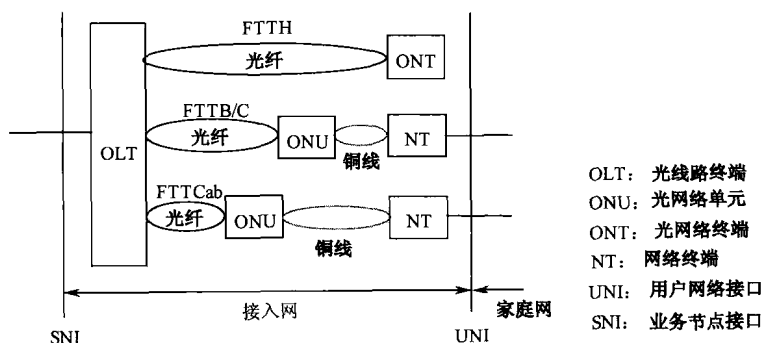


图1.2.1 光接入网（OAN）的典型结构

FTTB 和 FTTH 的不同仅在于业务传输的目的地不同，前者业务到大楼，后者业务到家。与此对应，到楼的终端叫做 ONU，到家的终端叫做 ONT。它们都是光纤的终结点，为了叙述的方便，今后统称为 ONU。通常 ONU 比 ONT 服务的用户更多，适合于 FTTB，而 ONT 适合于 FTTH。