

宽带光纤接入网

邱琪, 邱昆

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】 光纤接入网是近十年来发展起来的新技术, 负责光传送网宽带接入用户最后1 km的传输。宽带光纤接入网从模拟发展到数字接入网, 光纤/同轴混合网络和无源光网络分别为其代表。HFC是上世纪90年代中期发展起来的技术, 已得到了广泛应用, 而PON是最近几年兴起的新技术, 包括ATM无源光网络、以太无源光网络和千兆无源光网络, 文中指出了它们的关键技术和系统特点。

关键词 光纤接入网; 光纤同轴混合; ATM无源光网络; 以太无源光网络; 千兆无源光网络

中图分类号 TN929

文献标识码 A

Broadband Optical Fiber Access Network

Qiu Qi, Qiu Kun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract Optical fiber access network is developed rapidly in recent ten years and the new technology solves the last 1 km transmission from optical transmission network to customers. The broadband optical fiber access network is developed from analog to digital system, the representative of analog signal optical fiber access network is HFC (hybrid fiber coaxial) network, and the representative of digital signal optical fiber access network is PON(passive optical network). HFC is a developing technology from the middle 90's last century and has been used extensively. PON is a new technology risen in recent years. PONs includes APON (ATM PON), EPON (Ethernet PON) and GPON (Gigabit PON). The key techniques and features of these access networks are analyzed and discussed in detail in this paper.

Key words optical fiber access network; HFC; APON; EPON; GPON

宽带光纤通信技术的高速发展和实用化, 使得核心网技术发展非常迅猛, 具备了极高的传输带宽和交换能力, 而接入网技术发展的相对滞后已成为现代通信系统的瓶颈。为了克服接入网成本高、带宽窄的瓶颈, 多快好省地解决宽带信息高速公路最后1 km的业务接入, 光纤接入网逐渐从模拟的HFC(Hybrid Fiber Coaxial)接入网发展到数字的PON(Passive Optical Network)接入网^[1, 2]。

1 光纤通信与接入网^[1, 2]

1.1 双绞线和无线接入网

双绞线接入网是各国电信运营商花费了巨资建立起来的庞大网络资源, 价值上千亿美元, 绝不会轻易放弃。近年来产生了许多新技术, 如宽带综合业务数字网(B-ISDN)、双绞线高速调制技术(ADSL、HDSL和VDSL), 使得双绞线网络在具有价格竞争力的同时, 具备了现代接入网所要求的综合业务和宽带的功能。

收稿日期: 2004-07-09

作者简介: 邱琪(1965-), 男, 教授, 在职博士生, 主要从事光纤通信和光电子技术方面的研究。

这已经成为延缓双绞线网络技术寿命的重要理由。

卫星通信、GSM和CDMA技术在移动通信的成功运用,使得无线接入网成为现实。目前无线接入网能够提供窄带业务,正在向宽带高速化发展,在接入网领域占有重要地位。

1.2 光纤接入网

光纤到路边(FTTC)和光纤到大楼(FTTB),然后通过双绞线接入用户,是目前应用最广泛的接入网技术。它除了能提供传统的窄带业务(如电话、低速数据等)外,还可以利用ISDN和xDSL技术,实现综合业务和宽带互连网业务的接入。

模拟电视信号在我们生活中占有重要地位,在今后若干年仍将服务于社会。HFC是这种信号传输的最佳方案,它在解决模拟电视广播传输的基础上,还为其他交互式业务(电话、INTERNET、VOD)提供宽带传输平台,使得HFC接入网变得非常有生命力,并受到网络运营商地广泛关注。

1998年推出的PON具有业务透明性较好、可适用于任何制式和速率的信号、抗电磁干扰和易于维护等优点,是一门非常有潜力的新兴光纤数字接入技术。先后出现了ATM无源光网络(APON)、以太无源光网络(EPON)和千兆无源光网络(GPON)。

FTTH指光纤直接连到家,这样用户就拥有了极大的传输带宽,可以满足任何宽带综合业务的接入。尽管目前该方案的经济性能欠佳,但却是长远发展全数字接入的最佳方案。

1.3 混合接入网

混合接入网是将现有的光纤接入技术和无线接入技术结合起来,构筑一个立体的宽带综合业务接入网,即光纤无线混合接入网(hybrid fiber wireless, HFW)。它将实现无论谁在何时何地(Whoever, Whenever, Wherever),都能够与任何人在任意地方以任意信息量(Anyone, Anywhere, Anyvolume)进行通信。

2 光纤同轴混合接入网^[2, 3]

多路副载波复用光纤传输系统如图1所示,它采用模拟和数字的副载波调制技术,传输多路视频、音频和数据信号到用户。它适用于CATV光纤传输系统、微波信号的光纤传输和电视数据综合业务接入网。

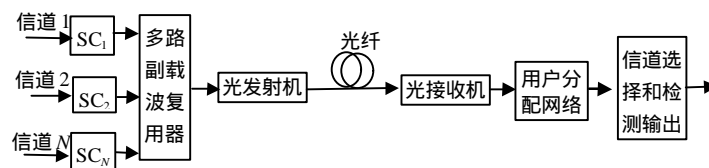


图1 多路副载波光纤传输系统

2.1 HFC传输系统

有线电视传输系统主要依赖于残留边带调幅(AM-VSB)多路副载波传输技术,这种方式在CATV传输系统中发挥了巨大作用,将多路副载波复用光纤传输技术应用于CATV传输系统,也称其为光纤同轴混合(HFC)接入网。HFC传输系统的基本原理为:电视信号残留边带调幅的多路射频副载波混合复用,对半导体激光器进行直接强度调制,并注入光纤传输,接收光端机将接收到的光信号变换成电信号并放大输出到用户分配网络,最终通过电缆分配网接入用户。

根据我国的电视传输标准,一般要求HFC传输系统的载噪比(CNR)优于51 dB,非线性失真复合二阶互调(CSO)和三阶组合差拍(CTB)分别小于-60和-65 dBc。因此,采用适当的调制深度可获得高的CNR、低的非线性失真,也可以利用预失真电路进行非线性补偿。HFC传输光端机必须选取低噪声、大功率、超线性、窄线宽的半导体激光器和高响应度、低噪声、线性好的光电探测器。目前分布反馈半导体激光器DFB-LD和InGaAsP-PIN光电二极管具有这些优点^[3, 4]。

2.2 全业务光纤接入网(FSAN)

FSAN(Full Service Access Network)是将电话、有线电视、多媒体信息和数据信息服务包容在整个网络中,向用户提供各种类型的宽带业务。现有的用户接入网是实现宽带业务传输的瓶颈,试图通过改进现有的双绞线用户网或采用FTTH和FTTC,将会受到诸如相关技术难点和经济水平的限制,以及大量用户终端设备(多为模拟设备)的影响。所以,在一段相当长的时间内宽带业务网将会出现数字信息和模拟信息共存的现象,

并不断地向全数字业务网过渡,也就是光纤/同轴电缆混合网(HFC)向交互式数字电视网络(SDV)过渡发展。SDV综合了FTTC和HFC的优点,它方便地为用户提供交互式数字业务,如电话、数字电视和Internet等,同时与原有的HFC网络结合提供模拟电视接入。SDV包罗了许多先进技术,如大容量存储技术、数字视频压缩技术、ATM传输交换技术、高速宽带信息传输技术和网络管理与维护技术等。

2.3 HFC与DVB-C

HFC网络在干线上采用光纤传输,分配系统采用同轴电缆传输,最大接入带宽为1 GHz。DVB(数字视频广播)组织作为欧洲数字视频广播标准的制订者,对HFC接入网的交互式信道和数字有线电视传输技术做出了规范:DVB-C(数字电视有线广播)标准。DVB-C与HFC结合是模拟视频广播向数字视频广播发展的良好技术途径。HFC采用树状分枝拓扑结构,主要由前端、广播信道、交互式信道、用户终端等几部分组成。图2是HFC接入网的系统原理图。前端用于提供数字节目源和各种交互式业务。在服务商与用户之间建有两个信道:广播信道和交互式信道^[2,3]。

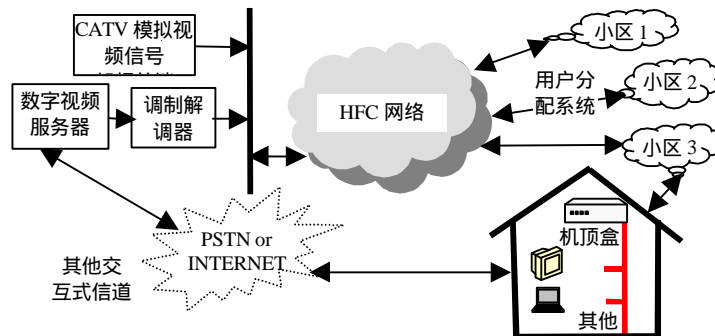


图2 HFC网络与DVB-C

2.3.1 广播信道和交互式信道

广播信道是一个从服务商到用户的单向通道,通常也称为下行信道。用于传输模拟音视频、数字电视和数据信号,它们分别占用HFC下行通道50~550 MHz(PAL制59个广播电视频道)、550~750 MHz(DVB信道)和750~860 MHz(数据的下行通道)。

交互式信道用于提供交互式业务,它由上行通道和下行通道组成。在HFC网络中,交互式信道的下行通道采用下行广播信道。上行信道主要依赖于HFC回传通道,其次还可以通过公共电信网(PSTN)和互联网(INTERNET)建立交互式信道。

2.3.2 DVB-C技术要求

DVB组织成立于1993年,拥有200多个成员。该组织制定的标准已得到了包括我国在内的广泛认可。它包括一系列标准,其核心是利用MPEG-2的传输技术,无论是在DVB-S(数字电视卫星广播)和DVB-T(数字电视地面广播)传输系统中,还是在DVB-C的传输系统中都将MPEG-2码流作为最基本的传输格式。

DVB-C并没有指定如何分配1 GHz的带宽,我国提出的频谱分配建议为:1) 低分割:45~860 MHz为下行通道,5~45 MHz为上行通道,满足了现有59套模拟电视广播的需要,但上行带宽较窄。2) 中分割:110~860 MHz为下行通道,5~90 MHz为上行通道,去掉了1~5频道,保留了其他54套模拟电视广播节目,上行带宽得到了改善。3) 高分割:200~860 MHz为下行通道,5~200 MHz为上行通道,通过压缩模拟电视信道,充分提高了上行带宽。

2.3.3 DVB-C的调制解调技术

通过HFC接入网提供数字电视、视频点播(VOD)和各类交互式业务,1 GHz的带宽是非常有限的,选择具有很高频率利用率和较好抗干扰能力的调制解调方式显得尤为重要。

DVB-C下行采用QAM调制解调技术。DVB-C标准规定数字电视节目无论图像还是声音都采用MPEG-2帧来传送,并通过RS前向纠错编码来降低误码率,在188字节为一帧的MPEG-2数据包中加入16字节的纠错码,再进行深度为12字节的卷积交织,采用这一措施后可以将误码率从 10^{-4} 降低到 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ 。在进行QAM调制前,还要将字节映射为符号、进行差分编码、形成基带波形,最后经过QAM调制器和射频物理接口把载波信号发送到电缆上。DVB-C规定在有线电视系统中,可采用16QAM、32QAM、64QAM、128QAM

和256QAM等方式,但其中128QAM和256QAM抗干扰能力差、实现技术难度大、成本高,所以不常在实际系统中使用。

HFC上行信道通常安排在5~200 MHz范围内,然而这一频带内却充满了噪声和干扰的信号,特别是HFC分配网形成的漏斗效应。为了增强系统的抗噪声能力,上行采用有较高频谱利用率和抗干扰性较强的QPSK调制方式。上行QPSK速度可分为三个级别:占用200 kHz频带为256 kb/s (A级)、占用1 MHz频带为1.544 Mb/s(B级)和占用2 MHz频带为3.088 Mb/s(C级)^[2]。

2.4 HFC网络管理

HFC是光纤和同轴电缆、数字和模拟信号共存的复杂网络,这就预示着对HFC网络的管理要比传统的计算机网络和电信网络更为复杂,特别是HFC网处于多系统运营商的管理之下,其兼容性和互操作性是一个很大的问题,急需完善的、可靠的、经济的HFC网管系统,最终实现对HFC网络的全面管理,实现系统的失效管理、配置管理、安全管理、性能管理和计费管理等^[4,5]。

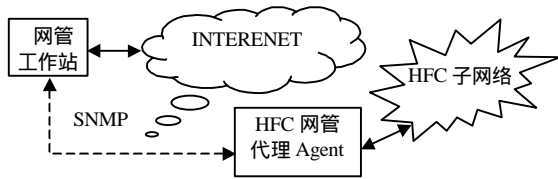


图3 SNMP管理模型

图3为HFC网管通过简单网络管理协议(SNMP)实现的模型。HFC网管系统包括以下部分:收发光端机及专用监控模块,HFC双向传输系统网管工作站软件和委托代理软件,该系统通过RS232/RS485串行接口进行通信,上下行光端机通过调制解调器使各个光端机与网管委托代理连接起来,每一个HFC子网可实现对256个(可任意扩展)网络设备的管理,并通过中文菜单实现设备配置、参数监控、

系统报警等多项功能。同时网管工作站利用SNMP对网管代理进行远程操控,充分利用互联网的优势,实现对HFC各个子网的灵活管理^[4,5]。

3 无源光网络接入网

3.1 PON的基本组成

如图4所示,无源光网络(PON)主要由光纤线路终端(OLT),光纤分配网络(ODN)和光网络单元(ONU)组成。

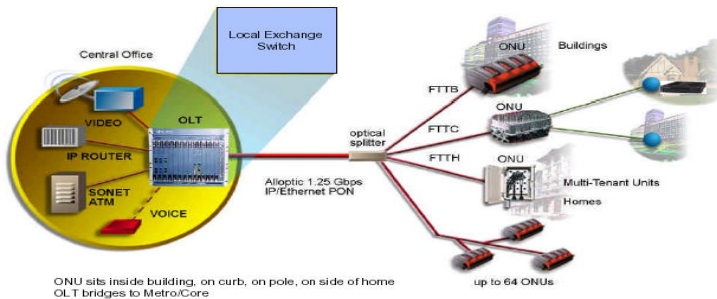


图4 PON的基本组成

OLT具有与交换机接口的功能,完成下行电到光、上行光到电的转换,以及分配和控制各信道的连接,并对各个光电接口实施监控、提供操纵、维护及管理功能。图5、6是ONU和OLT的功能框图,OLT和ONU均由三部分组成:核心层、业务层和公共层。ODN在OLT和ONU之间建立光传输通道,完成光信号功率分配、波长复用等功能,完全由光纤无源器件组成,也是

PON名称的由来。ONU为网络提供用户侧的接口,完成下行光到电、上行电到光的转换,实现各类业务的接入,如xDSL、E1、ETHERNET、PSTN等^[1]。

3.2 PON关键技术

3.2.1 网络协议标准研究

1996年,13家大型网络运营商及设备供应商成立了全业务接入网(FSAN)联盟,其目标是建立PON的通用标准。ITU-T于1998年提出G.983建议,规范了APON,通过利用ATM的集中和统计复用,再结合无源光分路器对光纤和光线路终端的共享,使系统成本可望比传统的以电路交换为基础的PDH/SDH接入系统成本降低20%~40%。ITU-T先后推出了G.983.1~9系列建议,推动了PON的发展。虽然APON在FSAN中得到了应用,但它同目前广泛采用的IP技术结合并不理想,诸如IP/Ethernet over APON的技术复杂、传输效率低、网络管理困难等。

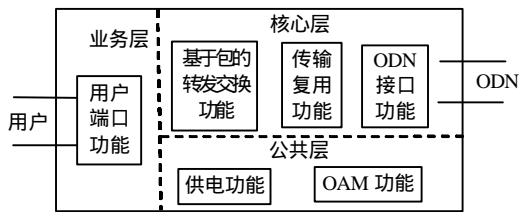


图 5 ONU 功能框图

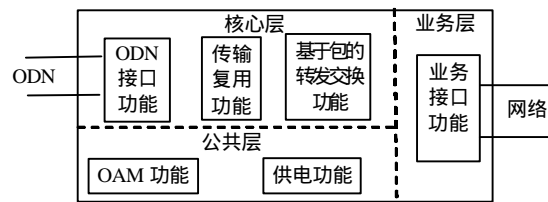


图 6 OLT 功能框图

IEEE于2000年底成立了EFM(Ethernet in the First Mile Study Group)工作组, 试图引入一种新的接入技术标准Ethernet PON, 简称EPON。EPON是利用PON的拓扑结构实现以太网的接入, 目的是在现有IEEE802.3协议的基础上, 通过较小的修改实现在用户接入网中直接传输以太网帧, 近期推出了IEEE802.3ah标准。EPON的优势主要体现在以下三个方面: ODN中无需中继器、放大器、激光器等有源器件, 局端设备的光模块数量大量减少, 有效降低接入、运营和维护成本; EPON与以太网的兼容性拥有巨大的市场优势; EPON的下行信道为广播方式, 而上行信道为用户共享信道, 通过对用户带宽的灵活分配与管理, 可获取更高的带宽利用率。

2001年, FSAN联盟开始速率大于1 Gb/s的PON标准研究, 希望网络性能在多业务运营、管理、维护功能以及可升级能力等方面较之其它的PON效率更高、成本更低、QoS更好。通过近两年的研究, ITU-T推出了GPON标准G984.1~4。GPON与EPON比较有以下特点: 1) 采用了灵活的通用成帧规程(Generic Framing Procedure, GFP), 即ITU-T的G.7041建议, 其灵活的封装结构, 支持固定的或多种不同长度的帧结构。2) 支持各种业务类型如ATM、PSTN、SDH和IP等。3) 灵活高效的速率选择, 上行从155 Mb/s到2.5 Gb/s, 下行可为1.25 Gb/s和2.5 Gb/s, 根据业务需要配置。4) 带宽利用率高, 可有效地支持实时业务, 并保证QoS^[6, 7]。

3.2.2 光纤传输系统设计^[8, 9]

在PON中上、下行采用粗波分复用(CWDM)技术, 上、下行波长分别为1 310 nm和1 550 nm, 同时为适应其他业务在光纤中传输, 可考虑将下行波长设为1 490 nm, 以便将来把1 530~1 560 nm用于DWDM系统或传输HFC业务, 这是一个前瞻性的设计理念。PON的传送距离要求在10~20 km, ODN的光分路为1:16~128。下行采用连续模式传输技术, 是目前非常成熟的技术。上行采用突发模式传输技术, 该技术是PON的难点, 它直接影响PON的性能和成本。

3.2.3 上行实现技术^[1, 8, 9]

PON的上行传输采用时分多址复用(TDMA)技术, 如图7所示, 不同ONU将按不同的时隙向OLT传送数据, 在到达OLT时具有不同的光功率和时延, 因此上行传输技术难点是光突发模式收发技术, 突发同步技术和测距技术。光突发模式接收可以分为: 反馈式, 前馈式, 如图8所示。反馈式采用差分跨阻抗放大器作为前置放大器, 其判决电压(反馈电压)为输入光电流转换成电压幅度的一半, 判决电压由专门的峰值检测电路输出, 前置放大器的输出直流耦合到下一级限幅放大器, 最终输出为等幅电压信号。前馈式采用直流耦合跨阻抗放大器作为前置放大器, 前置放大器输出被分为两路, 一路输入到峰值检测电路, 检出信号幅度的一半作为下一级限幅放大器的判决电压(前馈电压), 另一路直流耦合到限幅放大器的另一个输入端。限幅放大器的输出经过进一步限幅放大, 即可得到等幅电压信号输出^[8]。

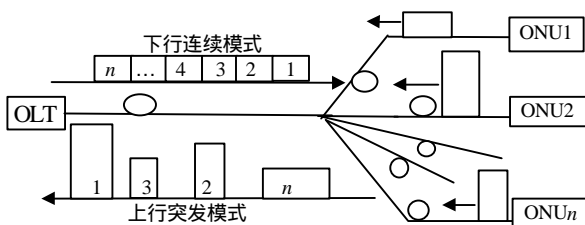


图 7 光信号的上下行传输

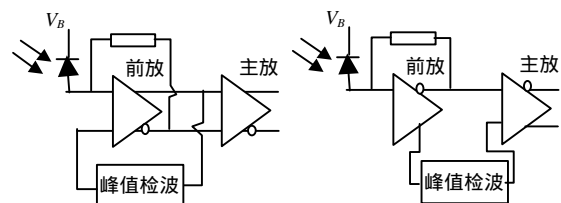


图 8 反馈式和前馈式光突发模式接收

光突发模式接收的性能要点: 判决建立和取消时间都要快, 以保证光突发包正确接收和窄的光突发包之间的保护带, 提高带宽利用率。图9为一种前馈式光突发模式接收机^[9], 仿真研究表明, 在1.25 Gb/s速率

下,接收灵敏度为 -24 dBm,最大可接收光功率 -4 dBm,接收动态范围达到 20 dB,误码率优于 10^{-9} 。

突发同步的主要方法为:相关同步法和门控振荡法,如图10所示。相关同步法,由多相时钟发生器产生多相时钟,其相位差为 $(\pi/8) \sim 2\pi$ 。根据每路时钟相位与主时钟相位的关系,分别加入一定的延时,数据信号分别与多相时钟进行相关运算,选择相关度最高的一路时钟为同步时钟。此方案优点是全数字可以用FPGA器件实现。但电路复杂,相关法有不可避免的相位误差,且误差的大小由两相邻移相时钟的相位差所决定,因此移相时钟越多,移相越精细误差就越小,但这对高速传输系统来说,是很难实现的。

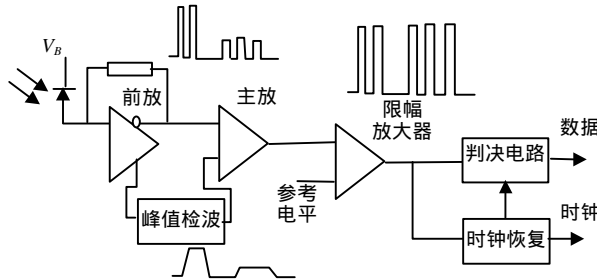


图9 前馈式光突发模式接收机原理框图

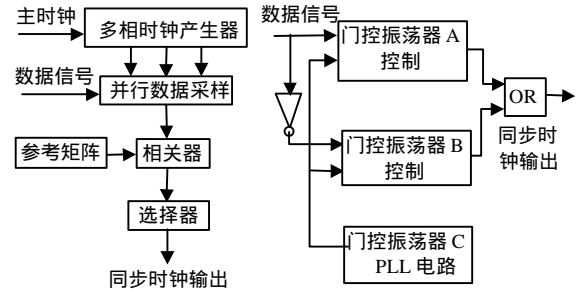


图10 相关同步法和门控振荡法

门控振荡法包括3个振荡器,A、B用于同步输入信号,C用于控制A、B,每一个振荡器随信号变化而开启或关断从而和输入信号达到同步。为了使A、B振荡器达到一致,采用锁相技术主振C的频率保持稳定。其优点是无记忆性系统,在门控振荡器关闭时任何由于振荡频率或传输频率不匹配而积累的相位错误都会被屏蔽掉。缺点是成本高,系统复杂^[8,9]。

由于ONU到OLT的路径不同,为了避免碰撞,OLT就必须对ONU进行准确的测距。基本方法是:当ONU接入立即发出上行信号请求连接,OLT收到后向ONU发出下行信号分配时隙,并开始测距,利用传统的脉冲时延法或脉冲相移法进行精确的测距,测距精度达到 ± 1 b。

通过OLT分配给每一个ONU上行带宽,其方法有两种:其一,固定带宽分配就是按ONU的数量平均分配带宽,它具有简单、容易实现的优点,但效率非常低;其二,为动态带宽分配,是人们普遍热衷研究的技术,它的目标就是按需分配上行信道带宽,达到最佳的信道利用率。

4 结束语

光纤通信核心网的带宽已经接近THz,但接入网的带宽还停留在较低的水平,限制了通信事业的发展。值得可喜的是从上世纪90年代中后期开始,产生了许多新的接入技术,如xDSL、B-ISDN、HFC、DVB-C、SDV、FTTB、FTTC、APON、EPON、GPON和FTTH等。显然FTTH光纤到家的宽带接入还不现实,但以光纤主体的HFC接入网和PON接入网就十分有应用前景,前者具有模拟接入网的优势,是过度时期的必然产物,也是满足现代信息需求的较佳解决方案。后者为全数字的宽带接入网,是向FTTH迈进,且非常有价值的中间技术,窄带的APON逐步实用化,今后宽带的APON、EPON、GPON将取代现有的接入网而成为主流,使真正意义上的宽带接入成为现实。随着光纤向用户端推进,宽带业务最终会进入家庭,消除接入网的瓶颈。

参 考 文 献

- [1] 韦乐平. 接入网[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1997. 1-17; 231-334; 527-573
- [2] 邱 琪, 阳小明. HFC接入网与DVB-C技术[J]. 有线电视技术, 2001, 8(22): 14-17
- [3] 邱 琪, 梅克俊, 张洪珊, 等. AM-VSB光纤CATV传输系统研究[J]. 光子学报, 1997, 26(Z1): 287-291
- [4] 邱 琪, 袁 明, 阳树宗, 等. 智能化HFC全面网管系统的研究[J]. 光子学报, 2000, 29(Z1): 105-111
- [5] 邱 琪, 袁 明, 阳树宗. 基于SNMP的HFC网络管理平台设计[J]. 电子科技大学学报, 2003, 32(3): 235-239
- [6] 陈 洁, 党梅梅. 宽带PON标准的分析和比较[J]. 电信科学, 2003, (9): 24-27
- [7] 熊华平, 曹明翠, 罗志祥, 等. GPON—新一代宽带光纤接入网[J]. 光通信技术, 2003, (11): 8-10
- [8] 王龙江, 邱 琪, 罗正华. ATM-PON上行突发同步的研究[J]. 数字通信, 2000, 27(1): 31-32
- [9] 王学民. 光突发模式接收技术研究: [学位论文] [D]. 成都: 电子科技大学. 2004. 1-12; 37-46

编 辑 徐安玉