

山东大学

硕士学位论文

IP组播技术在FTTH/EPON系统中的应用与实现

姓名：刘茜

申请学位级别：硕士

专业：无线电物理

指导教师：冯德军

20090510

摘要

如何实现视频、音频和数据在互联网上的透明传输,即“Everything over IP”是下一步网络规划的迫切需要。EPON 作为多业务宽带接入方式具有优异的特性,它利用成熟的以太网技术和低成本的光纤设施,维护容易,实现简单,易于扩展和升级,目前业内普遍把 EPON/GEPON 技术作为面向光纤到户,解决“最后一公里”的最佳接入方案。

基于 DVB 标准的传统 TV 业务,依托技术成熟的有线电视网传输视频信号。现有的有线电视光纤/同轴电缆混合网 HFC 专为传送广播电视业务而开发的,要实现诸如视频点播等交互式业务的传输,就要对其进行双向化改造。这种方式存在用户可用的带宽有限和 HFC 回传信道有“漏斗效应”等缺点。同时其采用广播模式下行传输视频信号的特点,将极大地增大路由器和非接收节点的负荷;当数据业务量大时,甚至会导致系统崩溃;因此,实现对 DVB 业务的有效承载是最终在面向光纤到户的 EPON 系统中实现综合业务接入和平滑地向下一代网络过渡的关键。

IP 组播技术是近年传输多媒体宽带业务的新兴技术,它依托 IP 协议,面向点对多点传输,以尽最大努力的方式实现源到一组目的节点的组播传送,可以运行在任意体系结构的网络之上,是目前优化系统带宽的主要手段之一。

本文设计了一种新的承载 DVB 业务的面向光纤到户的 EPON 系统,在利用传统有线电视网的基础上,通过部署视频服务器对 DVB 节目进行缓存以及利用 EPG 服务器生成节目的 EPG 信息等方法,优化了 FTTH/EPON 系统接入结构和增强了系统的交互性能;同时扩展系统接入性能,使其成为一个融合视频、音频、网络数据的综合接入平台,为用户提供一种 FTTH 条件下的多业务综合接入终端,整个系统采用“Everything over IP”模式,可平滑地向下一代 NGN 网络过渡。

针对传统 DVB 业务采用广播模式传输给系统带来的灾难性缺陷和不足,文中采用 IP 组播技术在提出的 FTTH/EPON 接入系统中传输 DVB 节目数据和 EPG 信息,有效地节省了系统带宽。文中详细阐述了 IP 组播技术在系统中的方案设计和具体实现流程,并对系统性能进行了仿真分析。仿真结果表明,与传统广播和点

播模式相比，应用 IP 组播机制可有效的节省系统传输 DVB 节目所占用带宽，提高了系统带宽的利用率。最后，创新性地提出了基于业务的组播 VLAN 技术，实现不同业务在 FTTH/EPON 系统中的组播传输，以及为语音业务、视频直播业务、视频点播业务以及数据业务提供不同 QoS 保证。

关键词： DVB 视频业务；FTTH /EPON； IP 组播； EPG 服务器； 视频服务器

ABSTRACT

How to carry video service, audio service, and data service in transparent transmission, that is to say, "Everything over IP" is the urgent need of next-generation network. Ethernet Passive Optical Network does have excellent features as a multi-service broadband access technology, which uses the mature Ethernet network and low-cost fiber-optic facilities, easy to maintain and simple to achieve. Meanwhile, it is convenient to expand and upgrade. At present, EPON/GEPON is generally considered as one of the best access solutions to resolve the last mile in Fiber-to-the-Home scheme.

Traditional digital video services based on Digital Video Broadcast standard transmit signals in cable TV network with mature technologies. The existing Hybrid Fiber Cable network is developed to carry broadcast video transmission, in order to achieve interactive services, such as Video-on-Demand, it is inevitable to carry on the bidirectional transformation. Usually, there are some weaknesses in limited bandwidth available and "funnel effect" for the upstream channel of HFC in this way. At the same time, the characteristics of transmitting video signals in broadcasting mode will add enormous burden to end-user equipments and non-receiver points, especially with amount of deploying video program, even lead to the entire EPON system collapse. Therefore, the carry of DVB service effectively is the key to achieve the access of integrated services ultimately in FTTH/EPON system and the smooth transition to next-generation network.

IP multicast is an emerging technology to the multimedia broadband services transmission in recent years, which relies on IP protocol for point-to-multipoint transmission and transmits data to a group of destinations from the source in "best-efforts" mode. It can run on any network with different structures, and is one of the main implementations to optimize the bandwidth of system.

In this paper, we design a novel implementation to carry DVB service over

FTTH/EPON system. Based on the traditional cable video network, we optimize the access structure and introduce the interactive properties into FTTH/EPON system by employing video server to cache DVB program and Electronic Program Guide server to generate EPG information. Meanwhile, we expand the performance of the proposed access network for integrating video, audio, and data service, to support a multi-service integrated access terminator on FTTH occasion. The entire system adopts “Everything over IP” mode, and can make a smooth transition to the next-generation network.

In terms of the catastrophic defects to system and deficiencies of traditional DVB service in broadcasting mode, applying IP multicast technology to the proposed FTTH/EPON access system of carrying DVB program streaming and EPG information improves the bandwidth utilization of the system effectively. We describe the designed scheme, working mechanism and procedure of the IP multicast delivery in details, and make a simulation analysis of the system performance. From the simulation and analysis, we make a conclusion that the proposed solution of carrying DVB service over EPON deploying IP multicast technology will improve the bandwidth utilization, and optimizes the performance of EPON network compared to that of traditional broadcasting and unicasting mode. Finally, a novel based-on services multicast VLAN technology is designed to integrated services transmission over FTTH/EPON system, as well as providing different QoS guarantee for audio, video-on-live, video-on-demand, and data services.

Keywords: Digital Video Broadcast; FTTH /EPON; IP multicast; EPG Server; Video Server

符号说明

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	非对称数字用户线
ANSI	American National Standards Institute	美国国家标准协会
AV	Audio/Video	音/视频
APON	Asynchronous Transfer Mode PON	异步传输无源光网络
BAT	Bouquet Association Table	业务群关联表
CA	Conditional Access	条件接收
CBT	Core Based Tree	基于核心的树
CGMP	Cisco Group Membership Protocol	组成员协议
CPU	Central Process Unit	中央处理单元
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
DS	Diffserv	区分服务
DVB	Digital Video Broadcast	数字视频广播
DVMR	Distance Vector Multicast Routing Protocol	距离矢量组播路由协议
DSCP	Difference Service Code Point	区分服务码点
DR	Designated Router	指定路由器
EFM	Ethernet in First Mile	以太网最后一公里
EPON	Ethernet Passive Optical Network	以太无源光网络
EIT	Event Information Table	事件信息表
EMS	Equipment Management System	设备管理系统
EMT	EPG Map Table	EPG映射表
EPG	Electronic Program Guide	电子节目表单
FSAN	Full Service Access Network	全业务接入网络
FTTB	Fiber to the Building	光纤到楼
FTTC	Fiber to the Curb	光纤到路边
FTTH	Fiber to the Home	光纤到户
GE	Gigabit Ethernet	千兆以太网口

GMRP	GARP Multicast Registration Protocol	组播注册协议
GPON	Gigabit-Capable PON	GPON
GUI	Graphical User Interface	图形用户接口
HFC	Hybrid Fiber Cable network	光纤/同轴电缆混合网
IANA	Internet Assigned Numbers Authority	因特网号码授权管理
IGMP	Internet Group Management Protocol	因特网组管理协议
LLID	Logical Link Identifier	逻辑链路标识
LMDS	Local Multipoint Distribution Services	本地多点分配系统
IP	Internet Protocol	因特网
IP STB	IP Set-Top-Box	机顶盒
IPTV	Internet Protocol Television	网络电视
ISP	Internet Service Provider	因特网服务提供商
ITU	International Telecom Unicom	国际电信联盟
MAC	Media Access Control	媒体访问控制
MBGP	Multicast Border Gateway Protocol	组播边缘网关协议
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service	多点多信道分配系统
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First	开放最短路径优先
MPCP	Multi-Point Control Protocol	多点控制协议
MPEG-2	Moving Picture Experts Group	动态图象专家组
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol	组播信源发现协议
NGN	Next-generation Network	下一步网络
NIT	Network Information Table	网络信息表
OAM	Operation Administration Maintenance	操作管理维护
ODN	Optical Distribution Network	光分配网络
OLT	Optical Line Terminator	光线路终端
ONU	Optical Network Unit	光网络单元
PIM-DM	Protocol Independent Multicast Dense Mode	协议独立组播-密集模式
PIM-SM	Protocol Independent Multicast Sparse Mode	协议独立组播-稀疏模式
P2MP	Point to Multi-Point	点到多点

QoS	Quality of Service	服务质量
RPF	Reverse-Path-Forwarding	反向路径转发
RP	Rendezvous-Point	汇合路由器
RSR	Root-Strap Router	自举路由器
SCB	Single Copy Broadcast	单拷贝广播
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字系列
SDT	Service Description Table	服务描述表
SLD	Start of Delimiter	定界符
SNMP	Simple Network Management Protocol	简单网络管理协议
SPT	Shortest-Path Tree	最短路径树
SSM	Source Specific Multicast	定源组播地址
TCP/IP	Transmission Control/ Internet Protocol	传输控制/因特网协议
TDMA	Time Division Multiple Access	时分复用
ToS	Type of Service	服务类型字段
TV	Television	电视
UNI	User Network Interface	用户网络接口
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line	超高速数字用户线
VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
VoD	Video-on-Demand	视频点播
VOIP	Voice over Internet Protocol	网络电话
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名： 刘磊 日期： 2009.5.10

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

论文作者签名： 刘磊 导师签名： 冯德军 日期： 2009.5.10

第一章 绪论

1.1 课题背景和意义

在当前主流的接入技术中,传统的有线电视网络是专为传送广播电视业务而开发的,要实现诸如视频点播 (Video-on-Demand, VoD)、Internet 等交互式业务的传输,就要对现有的有线电视光纤/同轴电缆混合网 (Hybrid Fiber Cable network, HFC)进行双向化改造。这种方式存在用户可用的带宽有限和 HFC 回传信道有“漏斗效应”等缺点[1]。而电信方面目前采用非对称数字用户线 (Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL) 接入技术,由于受带宽和传输距离的限制,也很难有长远的发展。ADSL 技术是建立在铜线基础上的宽带接入技术,随着国际铜缆价格的持续攀升,以铜缆为基础的 ADSL 的线路成本会越来越高;作为有源设备,电磁干扰难以避免,维护成本也会越来越高;目前 ADSL 上行 1MBit/s 和下行 8MBit/s 的连接速率已无法满足用户的高清视频等需求,另外使其传输距离也受到极大的限制[2]。

所以无论从广电方面还是从电信方面,大家普遍把光纤到户 (Fiber-to-the-Home, FTTH) 作为下一代传送网络的接入解决方案[2]。在 FTTH 自身的实现方案中,又以以太无源光网络 (Ethernet Passive Optical Network, EPON) 为主要发展方向,EPON 是基于以太网技术的宽带接入系统,由 IEEE802.3EFM (Ethernet in First Mile, EFM) 工作小组于 2000 年提出加速其标准化工作,在 2004 年 3 月被正式定义为 802.3ah 标准[3]。EPON 利用了成熟的以太网技术和低成本的光纤设施,维护容易,实现简单,易于扩展和升级,与在通信业务中所占比例越来越大的以太网之间可以实现透明传输;同时它属于美国电气和电子工程师协会 (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) 以太网标准的范围,对于向全 IP 网络过渡是一个很好的选择。如何实现视频、音频和数据在互联网上的透明传输,即“Everything over IP”是下一步网络 (Next-generation Network, NGN) 规划的迫切需要,EPON 作为多业务宽带接入方式具有优异的特性,目前业内普遍把 EPON/GEPON (GHz Ethernet Passive Optical Network, GEPON) 技术作为解决“三网融合”、“三重播放”的最佳接入解决方案[4-6]。因此,优化 EPON 系统

实现各种业务的综合接入成了最近几年的研究热点。

近年来,通过核心骨干网传输的网络电视(Internet Protocol Television, IPTV)和网络电话(Voice over Internet Protocol, VOIP)业务的发展,使得实现网络视频、收看网络直播、网络通话等成为可能[7-9];通过对电信网络的改造,传统的语音业务也顺利实现了向数字语音业务的转型。这为下一步向 NGN 的平滑过渡奠定了网络视频和音频接入的坚实基础。但作为传统的电视(Television, TV)业务,依托技术成熟的有线电视网承载视频信号,传统有线电视网络具有网络资源和视频内容丰富、传输质量高、时延小等优点;但同时其采用广播模式下行传输视频信号的特点,使得当视频业务量较大时,单向地向所有用户广播数据容易增大路由器和非接收节点的负荷,严重时导致系统崩溃[10];因此,实现对传统视频业务的承载以及提高系统传输性能是最终实现在 EPON 系统中传输综合业务和平滑地向 NGN 网络过渡的关键。

数字电视公开标准DVB(Digital Video Broadcast, DVB)是欧洲电信标准委员会(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)颁布的一套完整的、适用于不同媒介的国际承认的数字电视公开标准,它采用动态图象专家组(Moving Picture Experts Group, MPEG-2)编码标准传输音视频业务[11]。如何实现DVB业务在面向光纤到户的FTTH/EPON系统中的传输,同时在充分利用原有的成熟技术的基础上,达到优化接入网络结构的目的,目前主要的研究焦点多集中在:1)改造传统有线电视网络,充分利用系统资源,开发终端TV的交互式接入和数字视频功能;2)实现DVB over IP,即在因特网(Internet Protocol, IP)网络中传输传统DVB业务[1,8-9]。这两者在终端接入网部分仍旧延续传统的视频解调、编码等方法,并不能从根本上实现骨干传输网和接入网的无缝接入,从而实现最终的光纤到户以及促进NGN的发展。

针对 DVB 业务的广播模式给系统带来的灾难性缺陷和不足,应用 IP 组播技术在 FTTH/EPON 接入网络中承载 DVB 业务将会明显的改善系统的带宽利用率。IP 组播技术依托 IP 协议,面向点对多点传输,以尽最大努力的方式实现源到一组目的节点的组播传送,可以运行在任意体系结构的网络之上。它作为多媒体通信的新兴技术,在 1992 年 3 月的 IETF 会议上,被 Steve Deering 和 Stephen Casner 首次提出并成功展示,在历经 10 年的发展后,在编址、成员管理、路由、可靠性和

安全性等方面均取得了逐步完善，是目前优化系统带宽的主要手段之一[12]。

因此，研究综合业务在 FTTH/EPON 系统中的承载解决方案，特别是 DVB 视频业务，以及实现业务的 IP 组播传输对最终实现光纤到户和平滑过渡到 NGN 网络具有重要的研究和应用意义。

1.2 本文的主要工作和创新点

本文主要对IP组播技术在FTTH/EPON系统中的应用和实现进行了研究，针对基于传统DVB标准的视频业务在传输上的不足以及实现三网融合的必要性，提出了一种新的FTTH/EPON系统结构实现对传统视频业务的承载，并应用和实现IP组播技术来充分利用系统带宽；通过仿真实验，分析了在设计的FTTH/EPON系统结构中应用IP组播技术承载DVB业务的系统性能，并与传统广播和单播模式进行了比较。另一方面，扩展系统接入功能，设计出在提出的承载DVB业务FTTH/EPON接入结构基础上的综合接入平台，并应用虚拟局域网（Virtual Local Area Network, VLAN）技术实现IP组播的服务质量（Quality of Service, QoS）传输。

论文的各章节内容安排如下：

第一章简要介绍课题的研究背景和意义以及论文的主要工作和结构安排。

第二章FTTH/EPON系统概述。介绍了NGN的发展、宽带接入技术以及光纤接入技术，探讨了FTTH/EPON系统结构和工作原理，以及FTTH/EPON系统的国际和国内发展现状。

第三章IP组播技术概述。介绍了IP组播技术的概念和特点、IP组播地址，了解组播MAC（Media Access Control，媒体访问控制）地址与IP组播地址的映射方法；针对IP组播管理协议和IP组播域内路由协议，初步了解了目前常用的因特网组管理协议（Internet Group Management Protocol, IGMP）三层和二层协议，以及得到广泛应用的三种IP组播域内路由协议。

第四章详细介绍了IP组播技术在FTTH/EPON系统中的应用。首先对承载DVB业务的FTTH/EPON接入系统的结构设计和DVB业务组播承载流程做了详细阐述，最后扩展系统接入功能，在提出的结构基础上设计实现了综合业务的接入平台，并简要描述了应用IP组播技术传输综合业务。

第五章介绍IP组播技术在FTTH/EPON系统中的具体实现过程和系统仿真分

析。以承载DVB业务为出发点，重点描述了IP组播在FTTH/EPON系统中的技术部署方案和具体实现，然后基于业务的VLAN技术实现对语音业务、视频直播业务、视频点播业务以及数据业务的QoS组播传输。最后对应用IP组播技术的FTTH/EPON系统进行了深入的性能仿真分析。

第六章对本文的研究工作进行了全面总结，指出了目前研究中存在的不足，并对下一步工作进行了展望。

本文主要的创新点有：

- 1、采用EPON系统承载基于DVB标准的数字电视业务，以纯IP接入方式，省去了传统的调制解调步骤，节约了系统成本。并且可以充分利用IP的先天交互性，灵活的传统数字电视业务基础上，开展VoD、VoIP等业务。整个系统以纯IP方式进行业务发送，符合下一代网络中“Everything over IP”的业务承载方式，可以平滑的向NGN网络过渡。
- 2、承载系统通过千兆以太网口与视频服务器连接，实现对数字电视节目的缓存处理，对于没有收看选择的数字电视节目，则缓存在OLT的视频服务器中，不占用EPON的带宽资源，从而提高了EPON对DVB业务的承载效率。
- 3、采用EPG服务器提取节目的有效信息，并以组播方式周期传输至接入用户终端，节省了用户的等待时间和提高了EPON带宽利用率，以及方便用户检索和浏览DVB节目信息，提高了系统的交互性和实用性。
- 4、提出了基于业务的VLAN技术实现综合业务的组播传输，为语音业务、视频直播业务、视频点播业务以及数据业务提供不同QoS保证。

第二章 FTTH/EPON 系统概述

2.1 NGN 及宽带接入技术

2.1.1 NGN 的发展

随着通信和计算机技术的飞速发展,电信业经历了从模拟到数字、从固定到移动、从人工到智能、从语音到数据的全方位技术的更新换代,通信技术的发展也越来越趋于数字化、综合化、融合化、宽带化、智能化和个人化。互联网以及移动通信的迅猛发展,特别是高的 IP 数据业务量和移动数据业务量对传统的电信网络形成了很大的冲击,同时用户对新兴多媒体业务日益增长的需求,如:视频点播、电视会议、互动游戏、远程教育等业务也进一步对网络资源的利用和管理提出了更高的要求,现有的简单语音、图像、数据业务已经不能满足人们的需要,人们迫切希望找到一种更高速率、更大容量、更高带宽、更多业务的新网络体系来不断挖掘新兴业务和适应用户的需求,此时基于统一协议、基于分组的可提供语音、数据及多媒体业务的综合开放的网络体系——下一代网络 NGN 应运而生[13]。适应技术和市场发展的下一代网络发展的总体设想及一系列技术解决方案于 1997 年最早提出,目前 NGN 这一流行提法已被业界广泛接受,以传输控制/因特网协议(Transmission Control Protocol/ Internet Protocol, TCP/IP)为基础的宽带 IP 网也必将融合三大网络即:有线电视网、电信网、计算机网的先进技术和网络资源,成为未来信息公路的主流,而源于多业务应用需求的 NGN 的发展推动了各种技术和网络的融合,最终实现三网融合的趋势也进一步推动了 NGN 技术的成熟。

2.1.2 宽带接入技术

从传统的电信网络角度看,目前传输网已经实现了数字化和光纤化,交换网也基本实现了数字化和程控化,而被称为“最后一公里”的接入网部分则显得较为缓慢,成为整个网络发展的瓶颈[3]。

如何为用户提高提供高速的 Internet 接入能力来支持各种业务的接入成为推动宽带接入技术发展的主要动力,目前,宽带接入网络技术分为有线宽带接入网技术和无线宽带接入网技术。有线宽带接入技术主要有:铜线接入、光纤接入和基

于有线电视网的混合光纤同轴接入。无线宽带接入技术主要有：本地多点分配系统（Local Multipoint Distribution Services, LMDS）、多点多信道分配系统（Multichannel Multipoint Distribution Service, MMDS）、无线局域网（Wireless Local Area Network, WLAN）等[13]。

1. 铜线接入技术也就是 DSL 技术，传统的铜线接入技术通过调制解调器拨号实现用户的接入，速率为 56kbit/s，这远远不能满足用户对宽带业务的需求。但同时鉴于传统电话网的普及性，为了充分利用现有的宝贵资源，我们可以改进调制技术及编码技术来提高通信质量。应用比较普遍的 DSL 技术有非对称数字线（Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL）和超高速数字用户线（Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line, VDSL）两种，美国国家标准协会（American National Standards Institute, ANSI）的 T1E 研究组制订了第一个 ADSL 标准（T1.413），其单工下行最高传输速率为 6.144Mbit/s，中国将 8.192Mbit/s 速率作为 ADSL 最高传送等级速率，其有效传输距离在 3~5km 范围以内[2,14]。在一对铜质双绞电话线上，VDSL 下行速率为 13~52 Mbit/s，上行速率为 1.5~2.3 Mbit/s，但其传输距离较短，一般只在几百米以内。除了传输距离上的限制和只能在网络下行方向满足高速数据传输外，随着国际铜缆价格的持续攀升，以铜缆为基础的 xDSL 的线路成本会越来越高；作为有源设备，电磁干扰难以避免，维护成本也会越来越高；这大大的制约了 xDSL 技术的发展，且其传输速率很难满足 NGN 高带宽的要求。

2. 光纤同轴电缆混合网 HFC 技术采用光纤到服务区，在用户的“最后一公里”则采用同轴电缆。针对比较成熟的有线电视网的 HFC 网，它可以为用户提高高质量和较多频道的传统广播电视节目，但它并不具备上行回传功能。为了开展 VOD 业务和高速宽带接入，我们必须对原有的 HFC 网络进行双向化改造。基于 HFC 的 Cable Modem 技术是宽带接入技术中最先成熟和进入市场的技术，它实现数据信号在模拟信道上的交互传输，且可以将数据信号调制到某个传输带宽上与有线电视信号共享介质。HFC 技术的主要优点是基于现有的有线电视网络提供窄带、宽带及数字视频业务，成本较低。但缺点是必须对现有有线电视网络进行改造，以提供双向业务的传送。

3. 宽带无线接入技术是一种覆盖面积广、系统规划简单、扩容方便、保密性好的移动和固定接入技术，是未来几年通信市场发展的热点之一。它在接入网的某一部分或者全部使用无线传输介质，交换机通过基站控制器通过有线链路连到

多个基站，每个基站通过空中接口连到多个用户单元。LMDS、MMDS、无线局域网等无线接入技术相对于其它接入技术具有传输容量大、传输距离广、工作频带宽等优点，可以同时支持语音、数据和图象业务的传送。但是往往会受到气候及地形限制导致无法保证数据的安全性[13]。

虽然出现了一系列上述解决瓶颈问题的接入技术解决方案，但是都只是暂时满足一部分有需求的新业务，不能真正解决宽带多媒体业务的接入。随着光通信技术的发展，光纤以其优良的物理性能渐渐进入电信运营商的视线，光纤通信具有通信容量大、质量高、性能稳定、防电磁干扰、保密性强等优点，这使得光纤接入成为NGN接入网重点发展方向[15]。

2.1.3 光纤接入技术

以光纤作为传输媒质的宽带光接入网具有宽、窄带业务及扩展未来业务所需的承载能力，并可经由网络管理接口进行配置和管理。

光接入技术分为有源和无源接入，有源接入包括同步数字/准同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy、Plesiochronous Digital Hierarchy, SDH\PDH)，无源接入主要有三种：APON (Asynchronous Transfer Mode PON, ATM PON, APON)、EPON和GPON (Gigabit-Capable PON, GPON) [13-14]。无源接入的基本原理是在带宽和物理限制的条件下，尽可能的共享局端设备和光纤信道。

无源光网络PON主要由光线路终端 (Optical Line Terminator, OLT)、光网络单元 (Optical Network Unit, ONU) 和光分配网络 (Optical Distribution Network, ODN) 组成，本质特征为ODN全部由无源器件组成，这使得网络的布置更灵活，且可以节省大量光纤资源，这大大降低了设备布置和维护成本。目前业内普遍看好的接入技术有EPON和GPON，依托于ATM协议的APON技术因其高带宽的局限性和协议转换的复杂性逐渐淡出人们的视线。

EPON是基于以太网技术的宽带接入系统，它利用PON的拓扑结构实现以太网的接入，由IEEE802.3EFM工作小组于2000年提出加速其标准化工作，在2004年3月被正式定义为802.3ah标准[3]。EPON属于IEEE以太网标准的范围，对于向全IP网络过渡是一个很好的选择；同时由于它利用了成熟的以太网技术和低成本的光纤设施，维护容易，实现简单，易于扩展和升级，与在通信业务中所占比例越来越大的以太网之间可以实现透明传输，免去了IP数据传输的协议和格式转化，而被认为是解决“最后一公里”问题的最佳解决方案[4,6]；国际电信联盟远程通信

标准化组全业务接入网络(International Telecom Unicom for ITU Telecommunication Standardization Sector Full Service Access Networks, ITU-T FSAN) 集团于2001年1月差不多EFMA提出EPON概念的同时也开始了1Gbit/s以上的PON标准研究, 即GPON概念[16-17]。GPON支持更高的速率和对称或非对称工作方式, 同时还有很强的支持多业务和OAM (Operation Administration Maintance, OAM) 能力, 以ATM信元和GFP (Generic Framing Procedure, GFP) 承载多业务, 对各种业务类型都能提供相应的QoS保证[18]。它是一种定位于电信级, 面向多业务和具备QoS保证的全业务接入技术, 是一种效率最高的接入解决方案。

比较EPON和GPON, GPON的优势很大程度上是以技术和设备的复杂性来换取的, 从目前来看, EPON不论在芯片成熟度、模块产量规模、成本以及部署规模上, 都明显比GPON更具可实现性。就全球市场来说, 以美国为主的欧美国家的发展路线大部分是GPON技术, 这和当地通信网络的建设背景有关; 而以日本、韩国、中国为主的亚太地区国家则选择了以技术和成本取胜的EPON技术[19]。

我国近几年加快了三网融合的步伐, FTTx的市场也随之启动, EPON作为我国发展FTTx的主流技术, 其标准化和技术研究对FTTH的大规模部署起着至关重要的作用。目前802.3av工作组已经通过了10GEPON标准的制定[5-6], 以EPON技术为主的各种网络改造方案也陆续在我国青岛、杭州、武汉等地大规模商用部署, 这意味着“光进铜退”的光接入网建设的新热潮已经到来。

2.2 FTTH/EPON 系统介绍

2.2.1 FTTH/EPON 系统结构

EPON 可以灵活的组成星型、树型、总线型等拓扑结构。星型多应用在商务办公区域 (可备份、可自恢复), 树型多应用在单纤点到多点及家庭/商务 (FTTX) 网络, 总线型针对校园网/多个用户单元的应用。

根据现有标准的定义, EPON 系统主要包括: 光线路终端 (OLT)、光分配网络 (ODN)、光网络单元 (ONU)、设备管理系统 (Equipment Management System, EMS)。通常根据 ONU 所放位置距离终端用户的远近, 我们可以将光纤接入方式分为 FTTC (Fiber to the Curb, FTTC)、FTTB (Fiber to the Building, FTTB)、FTTH 等类型, 其中 FTTH 将是最终的接入趋势, 一纤到户, 为用户提供高速率高带宽的网络数据、语音和视频资源[2]。在 FTTH/EPON 系统中, 多采用点到多点树型

结构。如图 1 所示，

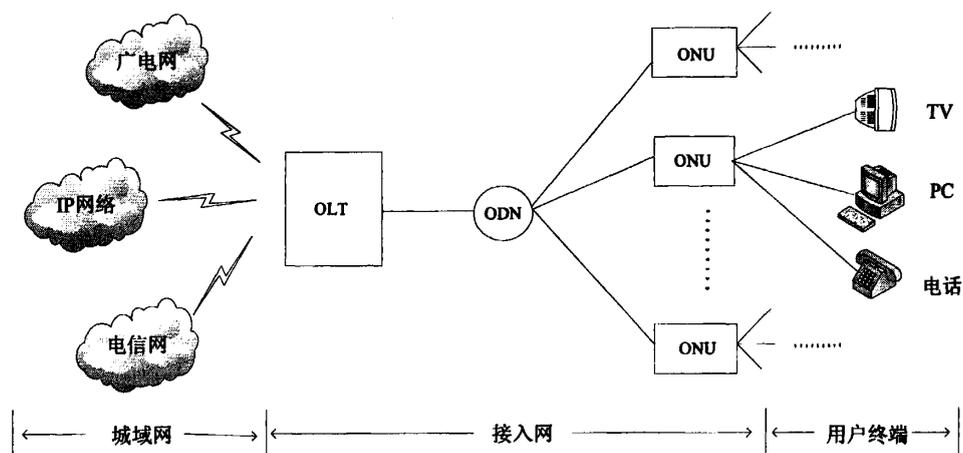


图 1 FTTH/EPON 系统结构

光线路终端 OLT 一般位于中心局内，可理解为局端交换机或路由器，提供网络的集中和接入。它被划分为核心层、业务层及公用层三个基本功能模块。核心层提供数字交叉连接功能、传输复用功能和 ODN 接口功能，可以实现 OLT 两侧接入网和骨干网间的可用带宽交叉互联、ONU 上行业务的发送和接收及提供一系列光物理接口实现光/电、电/光转换；业务层提供业务端口以支持各种业务接入，同时处理 OLT 信令；公共层主要实现系统中有源设备正常供电和 OAM 功能，即提供网管接口[13,15,18]。OLT 作为 FTTH/EPON 的局端设备，它为 ONU 所需的各种业务提供平台以及 Gb/s 和 10 Gb/s 的以太网接口满足交换功能，可提供面向 PON 的光接口，支持 WDM（Wavelength Division Multiplexing, 波分复用）传输；同时提供网管接口，还可以针对用户要求提高服务质量。

光分配网络 ODN 是为 OLT 和 ONU 之间提供光传输手段的无源光分配网络，由光纤和无源器件组成。无源器件主要包括无源光分路器、无源光衰减器、光纤接头及连接器等。ODN 负责分发下行数据并集中上行数据。针对 FTTH 的用户需求，ODN 的铺设一般采用单根光纤、点到多点的树型拓扑结构。一般的分线率为 8、16、32、64、128，对 EPON 而言，IEEE802.3ah EFM 工作组建议的技术指标是分光比不小于 1:16，上下行的数据流采用波分复用技术单纤传输；上行波长 1310nm，下行波长 1550nm 或 1510nm[3,6]。

光网络单元 ONU 位于用户侧，采用以太网协议，为用户数据、视频和电话网提供到 PON 的接口，并实现光信号与用户所需格式信号间的转换，具备以太网 2 层或 3 层的交换功能。ONU 也可以被划分为核心层、业务层和公共层三个功能模

块。核心层提供用户和业务复用功能、传输复用功能、ODN 接口功能，可以实现经过 ONU 的各种业务的鉴别和分配、对输出到不同业务接口信息的提取和拆分及提供一系列与 ODN 互连的光接口实现电/光转换或光/电转换；业务层主要提供用户端口功能，它支持 PTOS、T1、DS-3、10/100BASE-T、IP 广播和专用波长等服务，并将其适配到 IP/Ethernet 格式；公共层主要提供 OAM 功能，为 ONU 的所有功能模块提供处理操作、管理和维护功能的手段。ONU 采用技术成熟而经济的以太网协议，提供 ODN 光纤接口和面向用户的 UNI (User Network Interface, 用户网络接口) 接口，为多个用户提供很高的带宽，实现 ONU 对用户数据的透明传送。

EMS 针对 EPON 的配置、故障、性能和安全灯管理功能，通过 SNMP (Simple Network Management Protocol, 简单网络管理协议) 协议使 EPON 中的各个网元进行管理。EMS 关键特征和功能包括：可以用图形用户接口 (Graphical User Interface, GUI) 提供故障、配置、结算、性能、安全性管理所有功能；可以管理多配置的 PON 系统；可以同时支持几百个并发 GUI 用户；可以给骨干操作网提供标准接口如 CORBA (Common Object Request Broker Architecture, 公共对象请求代理体系结构)。

2.2.2 FTTH/EPON 工作原理

EPON 是一种采用点到多点 (Point to Multi-Point, P2MP) 结构的单纤双向光接入网络，在 FTTH/EPON 系统结构中多采用树型拓扑结构，上下行数据流使用波分复用 WDM 技术在同一根光纤中传输多种宽带业务，上行波长 1310nm，下行波长 1550nm 或 1510nm，上下行数据均采用 IEEE 802.3 以太帧格式传输[13]。EPON 帧与 IEEE 802.3 的以太数据帧格式兼容，目前多采用 Ethernet II 帧格式，如图 2 所示，

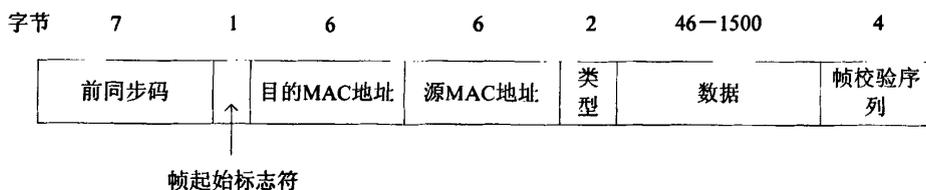


图 2 Ethernet II 帧格式

在以太帧的开始处均有 8 个字节的前导字符，前 7 个字节为前同步码，内容为十六进制的 0xAA，后一个字节为帧起始标志符 0xAB，这 8 个字节的前导码使得

接收节点进行同步。Ethernet II 以太帧的最小长度为 64 字节，最大长度为 1518 字节。数据字段前的 2 个字节类型字段可以标识以太网帧所携带的上层数据类型，若为 IP 协议类型数据则为 0x0800，若为 Novell 协议类型数据则为 0x8138。在不定长的数据字段后为 4 个字节的帧校验序列，采用 32 位 CRC (Cyclic Redundancy Check, CRC) 循环冗余校验。

因为 802.3 协议只支持点到点传输和共享数据传输，为了支持 EPON 的点到多点传输模式，IEEE 802.3ah 协议在 MAC 层增加了多点控制协议 (Multi-Point Control Protocol, MPCP)，用来构建从 OLT 到 ONU 的虚拟点到点逻辑信道，即为每个与 OLT 相连接的 ONU 分配一个逻辑链路标识 (Logical Link Identifier, LLID)，每个 ONU 只在自己的逻辑链路上与 OLT 通信[15]。EPON 802.3ah 数据帧在 8 字节前导码包含有定界符 SLD (Start of Delimiter, SLD) 和 LLID 信息，第 8 个字节为 CRC 校验位。EPON 802.3 数据帧格式如图 3 所示[20]，

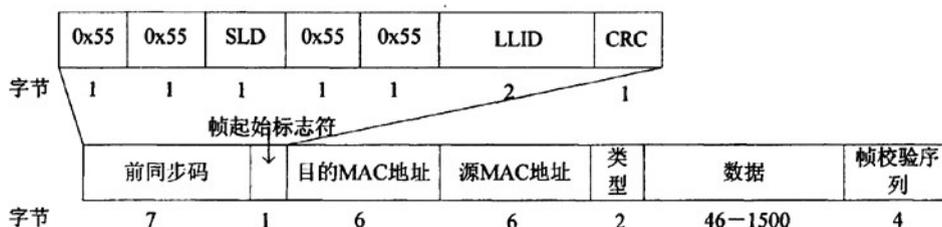
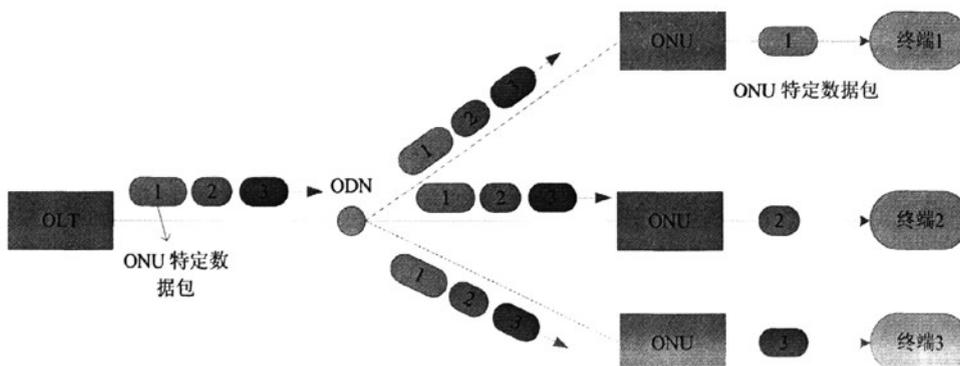


图 3 EPON802.3 数据帧格式

如图 4 所示，EPON 下行方向采用纯广播方式，OLT 以广播方式将可变长的数据包广播传输给 EPON 上所有的 ONU，当数据到达 ONU 时，由 ONU 的 MAC 层进行地址解析，接收属于该 ONU 的数据包，并丢弃其它的数据包。OLT 为每个已注册的 ONU 分配 LLID，用来识别 ONU 进行数据包的过滤。



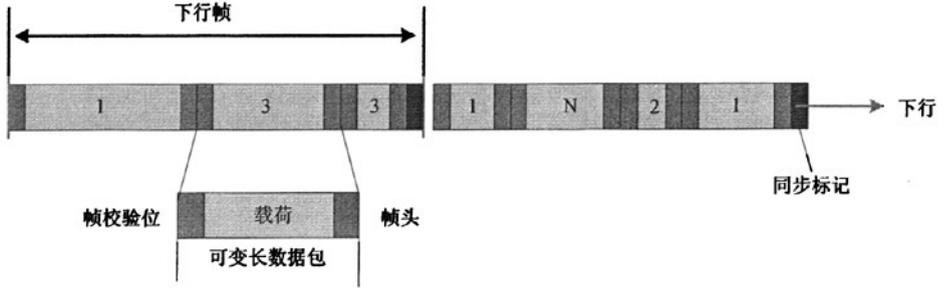


图 4 EPON 下行传输方式和可变长下行数据包

如图 5 所示, EPON 上行方向采用时分复用 (Time Division Multiple Access, TDMA) 技术, 每个 ONU 被分配一个固定的时隙, 每个时隙可容纳多个以太网帧。ONU 只允许在其特定的时隙上行发送数据, 这避免了上行数据的突发碰撞。

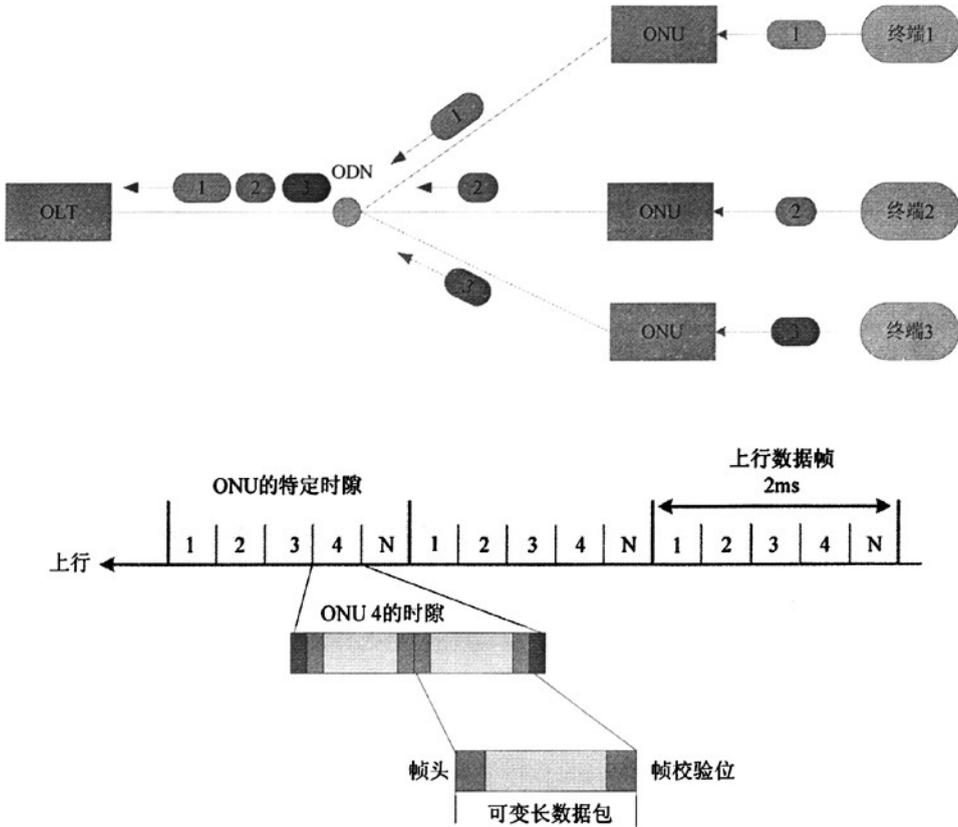


图 5 EPON 上行传输方式和上行数据包

2.3 FTTH/EPON 的发展现状

EPON 采用点到多点结构,以无源的方式在光纤内传输信息。目前,IP 以及 Ethernet 的应用占到整个局域网通信的 95%以上,其经济和高效的结构成为电信运营商的首选接入方式;同时凭借与以太网的兼容性和协议的简单性亦受到设备提供商的青睐;10G 以太主干和城域网的出现,这些因素都使得 EPON 成为未来全光网最后一英里的最佳接入解决方案。

2.3.1 国际发展现状

近年来,日本、韩国、欧洲等经济发达国家和地区都相继掀起了大规模建设光纤到户工程的热潮。且 FTTH 在国外发展的好坏有很强的地域性,日本发展最好,北美次之,欧洲则相对滞后。

日本是目前 FTTH 应用开展最积极的国家,光纤到户在日本是作为一个国家的战略和行为,由政府支持,官产学研四结合。2007 年日本光纤到户超过 1000 万,计划 2010 年到 3000 万。目前提供 FTTH 服务的运营商主要有 NTT East、NTT West 和 SoftBank 等。开展的业务可分为高速数据、高速数据+语音和高速数据+语音+视频(triple-play)三种类型,体现了 FTTH 业务发展的趋势——三网合一。在技术选择方面,日本大力推广 EPON 技术。其建设模式和业务开展模式充分地贴合了其区域性人口密度高、收入高的特点,主要采用 FTTH 的方式[21]。

FTTH 是韩国目前的热点,以 ADSL 为基础的宽带建设在韩国已经基本完成,宽带用户相对饱和。因此为了提高竞争力,近年来,韩国各大宽带运营商纷纷推出其 FTTH 业务,这些运营商主要包括 KT、Hanaro、SO 和 Powercomm 等。2003 年,韩国的政府性“IT839 战略规划”宣布将逐步发展 FTTH 替代现有的 DSL 网络。韩国电信公司计划到 2010 年实现 FTTH 家庭普及率超过 70%。

欧洲很早就开始部署光纤接入。2006 年初法国电信宣布于 2006 年 6 月在巴黎 6 个区和其他 5 个城市展开 FTTH 测试。法国电信所采用的技术正是基于 GPON 的 FTTH[17]。近年来,FTTx 也逐步进入德国这种 DSL 和 ISDN 占主导地位的国家。2006 年初,德国电信宣布将在未来几年投资 30 亿欧元,用于在德国发展光纤接入以升级现有宽带网络,升级计划将采用 FTTN+VDSL 技术。英国电信也在投资数百亿美元建设“21 世纪”下一代网络,光纤接入网络建设是其中的一个重要组成部分。总的来说,相比亚太和北美的 FTTH 建设进程,欧洲国家在 FTTH 发

展方面还是比较迟缓的。

美国 FTTH 论坛和美国通信工业协会 TIA 联合宣布, 北美 FTTH 用户覆盖数已经突破 600 万, 过去一年内增长了将近 200 万[21]。在 FTTH 建设早期, 由于政策和管制上的限制以及运营商不支持等多方面因素, 美国 FTTH 发展落后于日韩等国。但是自从美国联邦通信委员会颁布了“FTTH 的接入网不必向竞争对手开放”的政策之后, 各大运营商纷纷推出其基于 FTTx 的新型业务, 大力推进了美国的 FTTH 建设进程。目前, 在 FTTH 用户数方面, 美国已经成为随日本之后的全球第二大市场。

2.3.2 国内发展现状

在国内, 已有几十家公司研发和生产 EPON 产品, 比较领先的有烽火通信、中兴通信、华为 3Com 等; 国际上处于领先地位的有 Nokia Broadband、Erisson、Quantum Bridge 等; 这些 EPON 产品支持上下行对称 1G 带宽、ONU 的自动加入、支持 TDM 业务以及提供动态或静态带宽分配、弹性保护倒换等功能[5]。

在 2008 年中国国际广播电视信息网络展览会 CCBN 主题报告会上, 广电总局重点强调了与电信运营商的合作, 四大运营商一把手都明确表示合并做大是全球电信业趋势类似, 广电、电信都认可三网融合趋势, 广电和中移动也已经在手机电视方面开展了广播网与双向互动的结合, 在多个省, 广电和电信运营商已在 IPTV、有线电视信号传送等方面开展了合作[22]。

在设备提供方面, 华为、爱立信、普天、北京大唐融合通信信息技术有限公司(大唐电信下属)、UT 斯达康、思科、摩托罗拉等知名电信设备商(或下属子公司)都研发生产出 EPON 系统设备。INTEL、美国博通、意法半导体、恩智浦半导体等知名半导体厂商也已做好充足的技术准备。

目前, “三网融合”已成为焦点, 三网融合的大趋势是为了更好地满足消费者的需求, 广电内容和电信运营商网络间将展开更多实质性的合作。看来技术已经不是三网融合的瓶颈, 观念的突破和实际的行动将成为最值得关注的领域。这也就表示面向光纤到户的 EPON 系统的全面部署和市场启动指日可待。

2.4 小结

在“光进铜退”的今天, 宽带接入技术的代表 EPON 不论在芯片成熟度、模

块产量规模、成本以及部署规模上都是下一代全光网“最后一公里”的最佳接入方案；随着“三网融合”的不断推进，最终实现终端的综合业务接入，以及全面部署 FTTH/ EPON 系统的新热潮已经到来。

第三章 IP 组播技术

3.1 IP 组播技术概述

随着计算机网络技术和互联网的发展，网络用户逐步增多，随之而来地人们对多媒体（流媒体）通信的需求量也进一步增大，各种宽带多媒体业务如雨后春笋不断涌现，如视频点播、远程教育、网络电视、远程实况等。这类应用数据量大、质量需求高，若采用传统的点对点传输，将极大的提高通信数据量，降低网络的运行速度，同时使得发送源所在网络不堪重负；若采用广播模式，则容易加重非接收点和服务器的负荷量，浪费宝贵的系统网络带宽，甚至造成整个系统的瘫痪；在这种大趋势下，点对多点的通信传输模式—IP 组播技术应运而生。在 1992 年 3 月的 IETF 会议上，Steve Deering 和 Stephen Casner 首次成功展示了组播骨干网，它有效地实现了一个发送源向多个接收方发送数据[12]。目前，IP 组播技术已经可以运行在任意体系结构的网络之上[23]，包括因特网、ATM、帧中继和卫星，并广泛应用在视频会议、多媒体、新闻发布和来自太空的远程实况广播中。

3.1.1 IP 组播概念和特点^[12]

单播是指在发送源与接收端之间建立点对点的连接，即发送源在接收端发出请求时，向单一接收端发送数据包，两者建立一一对应的关系，每一个接收端与发送源之间都建立一条物理/逻辑链路，使得网络带宽被迅速占用。这种数据传输方式多适用于视频点播，是目前网络视频传输的常见方式。如图 6-a 所示

广播是指发送源与接收端之间建立一对多连接，即发送源发送数据包到网络中的所有用户，不管用户是否需要，发送源都将同一数据包拷贝多份给所有接收端，这无疑增加了路由器或者交换机的负担。这种数据传输方式多适用于视频直播业务，如常见的卫星电视传输及视频会议等。如图 6-b 所示

组播是指发送源与接收端之间建立一对多或多对多连接，但是这异于传统的广播方式，这种连接是指一个/多个发送源发送数据包到网络中有发送请求的一组接

收端。发送源只发送一次数据包，按尽最大努力传递的方式到一组特定的接收端，直到尽可能远的分叉口才开始复制转发，从而实现数据的传输，这样保证了数据高效传输，降低了网络流量。这种数据传输方式与传统的单播和广播相比，提高了网络应用服务的效率和能力，是 NGN 应用的重要支撑技术之一[24]。如图 6-c 所示，

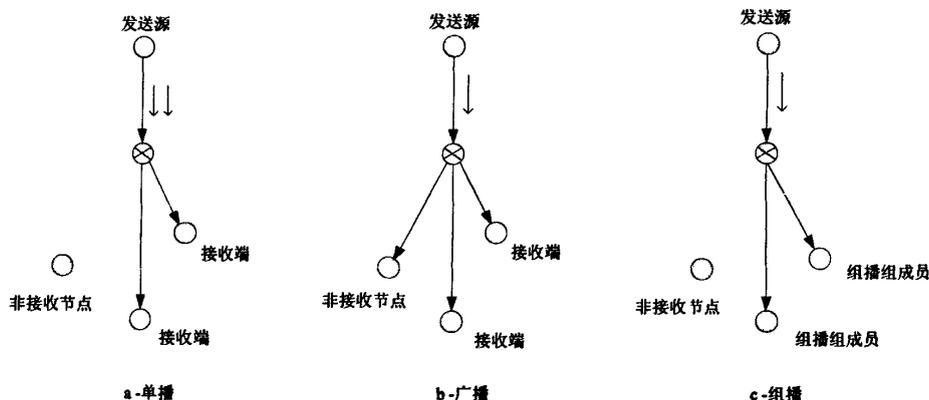


图 6 单播、广播、组播传输方式

另外，组播传送的信息能同时到达用户接收端，时延小，所有的接收者使用一个网络组播地址，可实现匿名服务，并且 IP 组播具有可升级性，与新的 IP 和业务能相兼容。

3.1.2 IP 组播地址

IP 协议是网络层的主要协议，目前由两个版本：IPv4 和 IPv6，IPv4 是当前使用的版本，通用性强；IPv6 中增加了可靠性、移动性、安全性和 QoS 支持等方面的定义，是下一代 Internet 的核心协议。

对于 IPv4，Internet 管理机构规定 IP 地址中的 D 类地址为组播地址，该地址空间用 4 组 8 bit 的二进制数标识，地址格式如图 7 所示[12]，

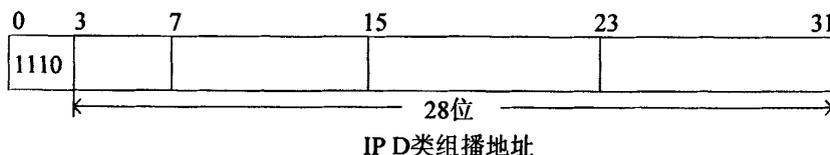


图 7 IPv4 组播地址格式

IPv4 组播地址由 32bit 组成，且高四位为 1110，范围从 224.0.0.0 到

239.255.255.255, 并被划分为局部链接组播地址、预留组播地址和管理权限组播地址三类[25-26]。其中局部链接组播地址范围在 224.0.0.0-224.0.0.255, 这是为路由协议和其他用途保留的地址, 路由器不转发此范围内的 IP 数据包; 预留组播地址范围在 224.0.1.0-238.255.255.255, 可用于全球范围 Internet 或者网络协议, 其中 232.0.0.0-232.255.255.255 为定源组播地址 (Source Specific Multicast, SSM); 管理权限组播地址在 239.0.0.0-239.255.255.255, 可限制组播范围, 被限制在特定的组播域内; 224.0.0.0 是保留地址, 不赋给任何组播组, 地址 224.0.0.1 表示全主机组, 它包括参与 IP 组播的所有主机和路由器的集合, 此地址一般用于传送到一个本地网络上参与组播组的全部主机和路由器。

组播地址可以用作组播数据包的目的地址, 发送源只需发送数据给该组播地址, 就可以实现对多个目的接收端数据的发送。

对于 IPv6, IPv6 的地址空间为 128 位, 其中 1/256 的地址空间分配给组播地址。IPv6 组播地址格式如图 8 所示,

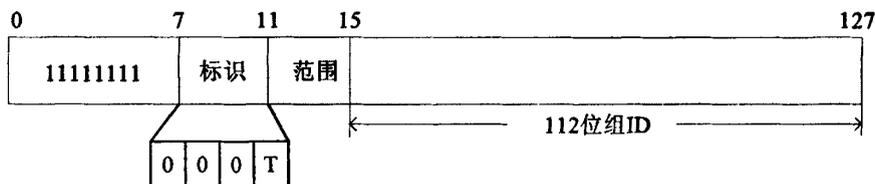


图 8 IPv6 组播地址格式

IPv6 组播地址的第一个字段为 11111111, 后面为标志位, 其中高 3 位始终设置为 0, 第 4 位标志表示该地址为 IANA (Internet Assigned Numbers Authority, IANA) 指定的永久地址还是临时地址, 为“0”时表示为永久组播地址; “1”时为临时地址。范围字段共 4 个比特, 可能值为十六进制 0-F, 除了 0 和 F 为保留之外, 已定义的范围值包括: 1-节点本地范围; 2-链路本地范围; 5-站点本地范围; 8-机构本地范围; E-全球范围。组标识字段共 112 位, 用来标识组播组 ID[26]。

3.1.3 组播 MAC 地址映射

IP 组播地址用于识别一个组播组, 所有的 IP 数据包被封装在 MAC 帧中, 因此还需要一个虚拟 MAC 组播地址, 传输组播报文时, 目的 MAC 地址是组播 MAC 地址。IANA 规定, MAC 层地址用 48bit 表示, 组播 MAC 地址的高 14bit 为 0x01005E, 低 23 位为组播 IP 地址的低 23 位[23]。在映射过程中, IP 组播地址的后 28 位只有 23 位被映射到了 MAC 地址中, 丢失了 5 位地址信息, 因此存在

32 个 IP 地址映射到同一个 MAC 地址上。这样我们需要采取一些技术对接收到的每一个组播数据报进行过滤,从而给主机中央处理单元(Central Process Unit, CPU)带来一定的开销。

D 类 IP 组播地址与 MAC 组播地址的映射图如图 9 所示,

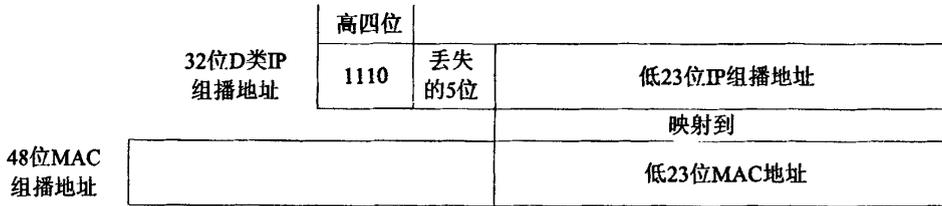


图 9 D 类 IP 组播地址与 MAC 组播地址的映射

3.2 IP 组播管理协议

组播地址是虚拟的,因此不能从发送源直接发送数据包到目的主机,路由器充当了管理和翻译功能来发送数据包至正确的目的地。在一个三层网络中,主机与路由器直接相连,这需要主机-路由器协议实现对组成员与组播组映射表的动态建立和维护。因特网组管理协议 IGMP 是 TCP/IP 协议的标准之一,运行在主机和路由器间用于识别和管理加入到组播组的成员主机,它主要工作在网络层[12]。

3.2.1 IGMP 协议

IP 组播中的主机可以不受时间和位置的限制加入或退出组播组,组播路由器通过 IGMP 协议周期性的发送 IGMP 查询报文,从而根据收到的响应报文来确定每个接口所连接网段上某个组播组是否有新成员加入;当组播路由器收到主机发出的离开报文时,发出特定组播组的查询报文,以确定该组下是否有组成员存在;主机通过响应组播路由器的 IGMP 查询报文,确定其组成员身份,并且保存自己加入组播组的信息来接收属于该主机的数据包。到目前为止,IGMP 有三个版本:IGMP 版本 1 (由 RFC 1112 定义)、IGMP 版本 2 (由 RFC 2236 定义)和 IGMP 版本 3[25,27-28]。

IGMPv1 定义了基本的组成员查询和报告过程,路由器使用响应超时机制去确定组播成员的离开。

IGMPv2 相对于 IGMPv1 定义了 IGMP 离开报文,允许组成员在离开组播组时,可以快速向路由协议报告组成员离开情况,路由器在收到离开组播组消息后,

查询器即时发送特定组查询报文来确定是否该组播组下是否仍有组成员存在。

IGMPv3 与以上两种协议相比,增加的主要功能是组成员可以指定接收或不接收某些组播组的报文。支持主机隔离非要求发送源的网络数据报。

应用最多的版本是 IGMPv2, IGMPv2 支持三种报文格式: IGMP 查询报文、IGMP 加入报文、IGMP 离开报文; IGMP 报文被封装在 IP 数据包中进行传输,通过 IP 首部中协议字段值为 2 来指明。IGMPv2 报文格式和 IP 数据报封装如图 10 所示,

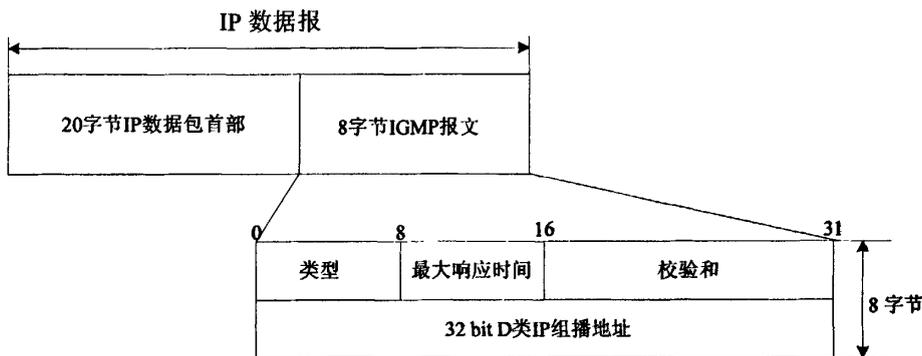


图 10 IGMPv2 报文的格式以及 IP 数据报封装

当 IGMP 报文中的类型字段为 0x11 时,为查询报文;

当 IGMP 报文中的类型字段为 0x12、0x16 或者 0x22 时,为加入报文;

当 IGMP 报文中的类型字段为 0x17 时,为离开报文。

针对 IGMPv2,其主要特点有:

- 1) 共享网段上组播路由器的选举机制。共享网段表示在同一网段上有多个组播路由器,在这一网段内运行 IGMP 协议的组播路由器都可以收到主机的响应报文,因此只需要一个组播路由器作为查询器用来周期性地网段内主机发送查询报文。这需要一个组播路由器选举机制来确定此网段内哪个组播路由器作为查询器,IGMPv2 规定在这种情况下,具有最小 IP 地址的组播路由器作为查询器。
- 2) IGMPv2 增加了离开组机制。当一个主机离开特定组播组时,会向组播路由器发送一条离开组报文。在 IGMPv1 中,主机在离开组播组时不发送任何消息,组播路由器根据组播组响应超时来确定组播成员的离开。
- 3) IGMPv2 实现对特定组的查询。特定组查询报文的地址是特定组播组的 IP 地址,此时作为组成员的组播路由器和普通主机一样响应查询器。这一功能用来确定该组播组的所有成员是否离开。

3.2.2 IGMP 二层协议

IGMP 协议针对三层来设计，但是在局域网环境中往往需要经过二层交换设备，如果不对 2 层设备进行响应配置，数据报文将会被广播给交换设备的所有接口！为了更好的利用系统资源，需要在二层设备上配置响应的路由器-端口组管理协议解决组播报文泛滥问题[29]。目前用于实现二层组播功能的协议主要有三种：组播注册协议(GARP Multicast Registration Protocol, GMRP)、Cisco 组成员协议(Cisco Group Membership Protocol, CGMP) 和 Internet 组管理协议侦听(IGMP Snooping)[29-30]。

1. GMRP 是在 IEEE 802.1D 中定义的。它是一个纯二层协议。由交换机维护注册用户主机 MAC 和组播 MAC 地址的映射表。GMRP 的优点是可以和 IP 协议或其他网络层协议协同工作，可扩展性好。其缺点是兼容性较差，用户主机的网卡和二层交换机必须提供支持 GMRP 功能。

2. CGMP是Cisco公司提出的一种通信协议[31]。路由器通过CGMP报文通知交换机它所获得的IGMP映射表，交换机中CGMP模块转换IGMP表中的组-主机映射关系为组-VLAN映射对,从而实现转发组播数据包功能。CGMP优点是实现简单；缺点是路由器和交换机都需要配置CGMP，且配合使用，可扩展性低。

3. IGMP Snooping主要是通过二层交换机侦听并拦截用户主机向上级路由器的IGMP请求，形成组播源和端口映射表。交换机在收到组播数据包后，根据映射表向相应的组成员端口转发数据包。IGMP Snooping优点是对路由器和主机是透明的，即报文的透明传输，软硬件设备不需要作任何改动，只需加入一个支持IGMP Snooping的交换机即可在二层实现三层组播[32]。IGMP Snooping缺点是当对所有的组播报文进行侦听和拦截时，会加重CPU的负担。

3.3 IP 组播域内路由协议

组播路由协议负责在路由器-路由器之间，主机-路由器之间转发组播数据报文，它通过运用一定的组播路由算法得到从源主机到目的主机的传输最佳路径以充分利用带宽。组播路由协议据路由表建立一棵组播分发树，树根为组播源，组播路由器为树枝，目的主机为树叶，组播路由表用（源，组）对、源地址和目的地址来描述。

组播路由协议可分为域内组播路由协议和域间路由协议[12]。

1. 域内路由协议包括域内组播路由协议包括 MOSPF (Multicast Open Shortest Path First, 开放最短路径优先的组播扩展)、CBT (Core Based Tree, 基于核心的树)、PIM-SM (Protocol Independent Multicast Sparse Mode, 协议独立组播-稀疏模式)、PIM-DM (Protocol Independent Multicast Dense Mode, 协议独立组播-密集模式)、DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol, 距离矢量组播路由协议)。域内的组播路由协议又分为密集和稀疏两种模式, 密集模式建立在组播成员在网上的分布比较密集且带宽较充足的基础上, 一般采用“洪泛”策略。在路由器和主机间传播数据报, 当网络规模比较大时, 其周期性的广播行为容易导致系统性能下降甚至阻塞, 属于密集模式的组播路由协议有 MOSPF、PIM-DM、DVMRRP; 稀疏模式建立在组播成员在网络中稀疏分布且不保证网络带宽充足的基础上, 稀疏并不意味着组播成员在网络中较少, 而是指组播成员的分布比较稀疏, CBT、PIM-SM 即属于稀疏模式。由于 MOSPF 的扩展性较差, 实现过于复杂且不支持隧道, 已经被抛弃; CBT 协议实现简单, 但端到端的性能无法满足, 不适于在全网中实现组播; 目前域内主要使用 DVMRP、PIM-DM、PIM-SM 协议。

2. 域间组播路由协议包括 MBGP (Multicast Border Gateway Protocol, 组播边缘网关协议)、MSDP (Multicast Source Discovery Protocol, 组播信源发现协议)。MBGP 用于在自治域间交换组播路由信息, MSDP 用于在 ISP (Internet Service Provider, ISP) 之间交换组播源信息; 目前成熟的域间组播方案是 MBGP/MSDP/PIM-SM, 其中 PIM-SM 实现域内组播。这种方案已经在运营商中广泛应用[33]。

3.3.1 DVMRP 协议

DVMRP 协议是为支持组播方案而开发的第一个路由协议, 现在广泛应用于因特网骨干网络。

DVMRP 协议的主要特点有[12,23]:

- 1) 针对每一个(源、组)对构造并维护组播路由表, 只有在接收到第一个组播数据包时才为该组播组计算最短路径树, 其最短路径树的建立是由数据驱动的。这也是密集模式组播路由协议的共同特点。
- 2) 周期性与相邻的组播路由器交换路由信息, 得到其单播路由表, 从而建立

网络拓扑信息。

- 3) 采用反向路径转发 (Reverse-Path-Forwarding, RPF) 机制。当组播路由器接收到组播数据包后, 首先检查单播路由表, 得到到组播源的最短路径接口信息。若此接口确实为数据到达接口, 则转发组播数据包到与此接口相连的组播组成员及相邻路由器; 否则丢弃该数据包。
- 4) 采用“洪泛”技术构造组播分发树。首先与组播源位于同一子网的路由器接收组播数据, 并将组播信息“洪泛”到所有相邻路由器。相邻路由器据其单播路由表, 对组播数据包进行 RPF 检查, 从而推动组播数据至下游路由器, 最终至所有组播组成员。
- 5) 采用“剪除”技术来剪除冗余组播树枝。当组播路由器确定与其相连的子网内无组播组成员时, 就向上游路由器发送一个剪除信息, 从而上游路由器修改其路由转发表, 生成一个无该分支的新路由表。不断向上游路由器推动剪除信息, 最终得到一颗最小组播分发树。“剪除”信息包含一个生存时间, 当生存时间失效, 被剪掉的树枝将重新嫁接到组播树上。当新的组播组成员加入时, 且该新成员位于剪掉的树枝上, 则组播路由器向上游路由器发送嫁接信息, 无需等待“剪除”信息失效。从而新成员所属树枝被嫁接到组播树上。

3.3.2 PIM-DM 协议

PIM-DM 协议与 DVMRP 协议很类似, 亦属于密集模式的组播路由协议。唯一的区别在于没有交换路由协议功能, 即每个组播路由器只根据其自身的单播路由表查询转发数据包, 采用“洪泛”和 RPF 技术下发数据包, 因此存在多个相同数据包被转发给同一个路由器或者组播成员, 组播分发树的建立主要依赖于错误转发数据的“剪除”技术形成[12,34]。这种设计使得 PIM-DM 协议简单、独立、易于管理和使用, 但是却增加了系统开销。特别是当在密集网络中, 组播成员的分布相对集中中, 容易造成网络利用率不高。PIM-DM 协议主要应用在局域网内。

3.3.3 PIM-SM 协议

PIM-SM 协议是稀疏模式独立组播路由协议, 它不依赖于任何单播路由协议。其可扩展性好、从共享树到信源树的转换能力强, 是目前首选域内组播路由协议

[12]。

PIM-SM 协议采用终端主机启动的方法来构造组播树，只有当子网内有主机申请加入某一组播组时，路由器才启动构造组播路由表。PIM-SM 协议的主要特点在于它围绕汇合路由器（Rendezvous-Point, RP）来构造组播树。在小型网络中，组播信息量少，我们可以在稀疏网络中静态指定 PIM-SM 域的核心路由器 RP。当网络规模较大时，对 RP 组播处理能力的要求较高，为了减轻 RP 的负担和优化网络拓扑结构，通常需要选举机制来动态选择 RP。在大部分情况下，均需要动态选择网络中的 RP。

PIM-SM 协议构造组播分发树的建立过程包括[35]:

1. 邻居发现过程。各路由器之间互发 HELLO 信息。
2. DR 选举过程。DR (Designated-Router, 指定路由器) 是共享网络中同一网段中组播信息的唯一转发者。在组播源侧, DR 负责向 RP 发送 Register 注册信息; 在目的接收主机侧, DR 负责向 RP 发送 JOIN 信息。各路由器间互相转发的 HELLO 信息中携带有 DR 的优先级信息, 选举优先级最高的路由器为 DR; 否则, 若优先级相同或存在路由器不支持 HELLO 中携带有优先级, 则 IP 地址最大的路由器被选举为 DR。当网络中 DR 发生故障时, 相邻路由器间会触发新的 DR 选举机制。
3. RP 发现过程。动态选择 RP 时, 需要配置一个/多个自举路由器 (Root-Strap Router, BSR), BSR 是 PIM-SM 网络的管理核心, 负责收集网络中候选 RP 信息, 从而选择部分候选 RP 建立组播组与 RP 的映射表, 并发布映射信息到整个 PIM-SM 网络中。当 BSR/RP 出现故障时, 其他候选 BSR/RP 将通过自举机制产生新的 BSR/RP;
4. RPT (RP-Tree) 共享树的生成过程。首先主机发送 IGMP 加入信息, 上游叶子路由器在获取到组播组成员信息后, 向 RP 方向发送加入组播组信息, 所有途径的路由器节点均在其转发表中生成 (*, G) 表项, 这样途径的路由器就生成了以 RP 为根节点、以目的主机为目的节点的 RP 共享树的一个分支。(*, G) 表示从任意源发来信息去往组播组 G。当从组播源发来的去往组播组 G 的报文到达 RP 时, 组播报文会按照 RPT 共享树路径到达叶子路由器直至组播成员主机。退出组播组的过程采用“剪除”技术, 不断

去掉无组播组成员的叶子路由器转发表中相应组播组信息。从而生成新的 RPT 共享树。

5. 组播源注册过程。组播源为了向 RP 通知组播源的存在，当组播源向组播组 G 发送组播报文时，与组播源相连的路由器将接收到的组播报文封装成 Register 注册报文，并单播发送给 RP。RP 接收到组播源注册信息后，解封注册信息并将组播报文按照 RPT 转发给组播成员；同时向组播源方向发送 (S, G) 信息，使得组播源与 RP 之间的所有路由器均生成对应的 (S, G) 表项，从而生成以 S 为根节点、以 RP 为目的节点的 SPT (Shortest-Path Tree, SPT) 树的分支。当组播源发送组播信息按照 SPT 到达 RP 后，RP 按照 RPT 转发组播信息，同时向与组播源 S 连接的路由器单播发送注册停止报文。组播源注册过程结束。
6. RPT 与 SPT 共享树的切换过程。针对特定组播源，PIM-SM 设定一个基于带宽的 SPT 阈值，当最后一跳路由器发现从 RP 发往组播组 G 的组播报文超过了这一阈值时（即传输某一组播组报文所占用 RPT 共享树的带宽较大时，容易造成 RPT 网络阻塞），就向单播路由表中到组播源 S 的下一跳路由器发送 (S, G) 消息。加入消息经过一个个的路由器后到达离组播源最近的 DR，这样途径的所有路由器均生成了 (S, G) 表项，从而建立了 SPT 树分支。随后，最后一跳路由器向 RP 逐跳发送包含 RP 位的“剪除”消息，RP 收到消息后会向组播源发向转发“剪除”消息，从而最终实现组播报文从 RPT 切换到 SPT 树。这样组播信息可以直接从组播源 S 经过 SPT 树发送至目的接收点。RPT 到 SPT 的转换使得 PIM-SM 协议更经济的运行在网络中。

3.4 小结

IP 组播技术作为多媒体通信的新兴技术，历经 10 年的发展，在编址、成员管理、路由、可靠性和安全性等方面均取得了逐步完善，相信随着人们对高带宽新业务模式的不断需求，IP 组播技术今后定将会有广阔的发展前景。

第四章 IP 组播技术在 FTTH/EPON 系统中应用

随着 NGN 技术的发展和三网融合的推进,实现视频、音频和数据在互联网上的透明传输,即“Everything over IP”是下一步网络规划的迫切需要,EPON 作为我国主流接入技术,优化 EPON 系统实现各种业务的综合接入和有效传输成了最近几年的研究热点。

目前,利用核心 Internet 传输的 IPTV 和 VOIP 业务的发展,使得我们可以便捷的实现网络视频、收看网络直播、网络通话;通过对电信网络的改造,传统的语音业务也实现了向数字语音业务的转型。但作为传统的 TV 业务,技术成熟的有线电视网具有丰富的网络资源和视频内容等优点,如何充分的利用这一特点,且更好的向 NGN 网络过渡成了我们关注的重点[36-37]。

原有的有线电视网是专为传送广播电视业务而开发的,要实现诸如视频点播、Internet 等交互式业务的传输,就要对现有的有线电视光纤/同轴电缆混合网 HFC 进行双向化改造。这种方式存在用户可用的带宽有限和 HFC 回传信道有“漏斗效应”等缺点;特别是当视频业务量较大时,单向地向所有用户广播视频业务容易增大路由器和非接收节点的负荷,甚至系统崩溃[10]。因此,为了提高整个系统性能以及充分利用现有资源,在本章中提出了一种新的基于 FTTH/EPON 系统结构来传送基于 DVB 标准的传统视频业务,并将系统扩展为综合业务的融合接入,同时应用 IP 组播技术实现各种业务的高效传输。

4.1 FTTH/EPON 系统承载 DVB 业务设计

DVB (Digital Video Broadcast, 数字视频广播)是由欧洲电信标准委员会 ETSI 颁布的一套完整的、适用于不同媒介的国际承认的数字电视公开标准[11]。信源编码和系统复用部分均遵守 MPEG-2 国际标准,同时 DVB 标准还定义了卫星、有线、地面三大媒体中的信道编码、调制方式、互联网协议以及与其它网络的接口等,DVB 标准的制定使得基于 MPEG-2 DVB 标准的数据广播系统可以实现与其他网络的互操作,是目前传输视频电视信号的通用标准[8,11]。

DVB 业务的传输建立在 MPEG-2 编码基础之上,现如今应用最广的数据封装

方式为多协议封装[38]。多协议封装技术融合多种数据网络的协议数据，并以传输流的方式在系统中传输 DVB 业务，支持数据包的加密和 MAC 寻址的动态变化，从而均衡了数据传输的可靠性和传输效率。多协议封装技术的应用实现了 DVB 业务在不同网络协议的透明化和无缝传输，为进一步实现骨干网与接入网的有效衔接奠定了基础。

4.1.1 系统总体结构

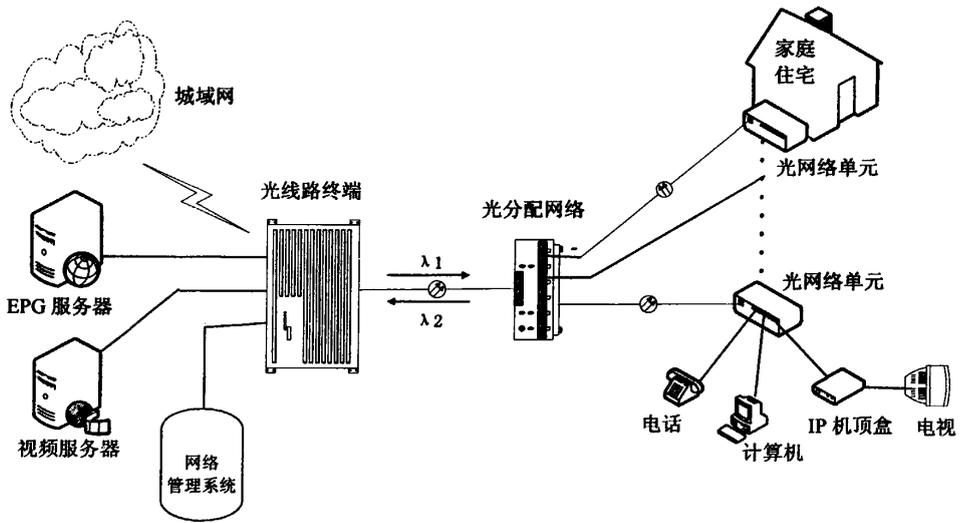


图 11 FTTH/EPON 承载 DVB 业务系统结构示意图

该系统由光线路终端 OLT、光分配网络 ODN、光网络单元 ONU、视频服务器、EPG 服务器、网络管理系统组成，终端用户为电话、计算机、IP 机顶盒（IP Set-Top-Box, STB）和电视 TV 三部分。其中 ONU 放置在家庭内部，用来接入音频、视频、以及数据业务，组成面向 FTTH 的 EPON 系统。

光链路单元 OLT 通过千兆以太网口（Gigabit Ethernet, GE）和视频服务器以及 EPG（Electronic Program Guide, 电子节目表单）服务器相连接，以实现相互间的通信；另外，OLT 作为 EPON 系统的交换核心，在下行方向，OLT 通过面向 EPON 的光纤接口与 ODN 相连接，并经 ODN 用光纤与 ONU 相连接，以 1550nm 波长承载完成各个 ONU 的以太帧的下行发送；在上行方向，OLT 还可为各个 ONU 分配特定的上行时隙，利用 TDM 技术完成各个 ONU 上行业务的接收，上行业务的承载波长为 1310nm；ONU 与 IP 机顶盒间通过双绞线连接，由 IP 机顶盒和 TV

终端组成的视频接入终端通过 AV (Audio/Video, AV) 线连接。图 11 所示 FTTH/EPON 系统中各单元通过光纤连接。

针对承载 DVB 业务, 各单元模块实现的功能如下:

光链路单元 OLT: 接收来自城域网的 DVB 视频信号, 完成与视频服务器和 EPG 服务器的通信, 并响应 ONU 单元上行发送的用户收看命令, 将所有节目的 EPG 信息和用户选择收看的节目以 IP 组播方式下行发送给光路分配单元;

视频服务器和 EPG 视频服务器: 通过千兆以太网口与 OLT 通信, 分别负责缓存 OLT 从城域网接收到的 DVB 视频节目以及生成所有数字电视节目 EPG 信息;

光路分配网络: 利用光分路器等无源器件, 将下行信号进行分路, 发送到光网络单元 ONU, 并完成用户上行信号的复用, 回传到 OLT 单元;

光网络单元: 完成下行光信号的接收, 包括 EPG 数据和节目流的 IP 组播帧, 并进行相应的协议解封封装处理。上行方面完成用户上行信号的电/光转换并在 OLT 单元分配的固定时隙进行上行发送;

IP 机顶盒和 TV 终端: IP 机顶盒完成 EPG 信息的接收, 用户收看指令的响应和下行数字电视节目的解码; TV 终端显示节目的 EPG 信息及播放节目。

4.1.2 DVB 业务承载

城域网中, 基于 DVB 标准的数字电视信号在 OLT 处完成接收, 由相应的视频服务器完成 DVB 业务的缓存处理, 并由 EPG 服务器获取和生成所有 DVB 节目的 EPG 信息。

FTTH/EPON 系统承载数字电视节目的流程图如图 12 所示,

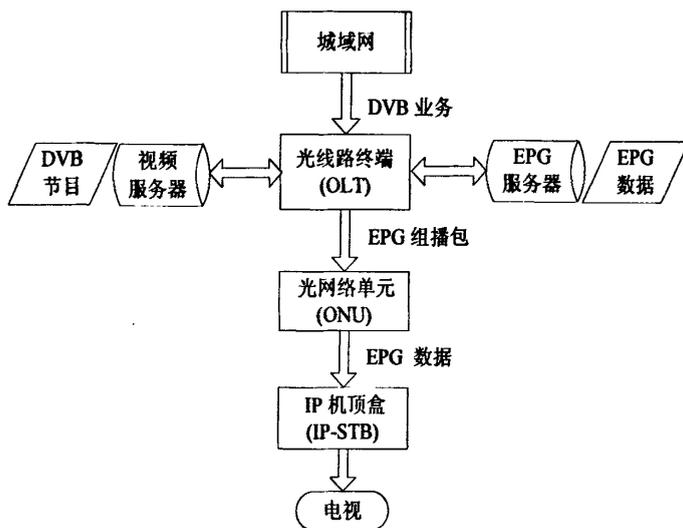


图 12 FTTH/EPON 系统承载 DVB 业务流程图

具体承载步骤如下：

- 1) 城域网中，基于 DVB 标准的数字电视信号在 OLT 处通过千兆以太网口完成接收。
- 2) 通过千兆以太网口与 OLT 相连接的视频服务器对 OLT 接收到的所有节目进行缓存处理；
- 3) 通过千兆以太网口与 OLT 相连接的 EPG 服务器获取和生成所有节目的 EPG 信息，并反馈给 OLT 单元；
- 4) OLT 单元封装 EPG 信息成 IP 组播帧，以 1550nm 波长进行下行发送，经 ODN 单元的光路分配后，通过 PON 接口下行接入至用户接入端的 ONU 单元；
- 5) 通过 RJ-45 接口与 ONU 单元相连接的 IP 机顶盒接收节目的 EPG 并显示在 TV 终端，通过 EPG 信息用户选择喜欢收看的节目；
- 6) 机顶盒响应用户的收看指令，通过 RJ-45 接口完成指令的上行发送；
- 7) ONU 完成上行信号的以太协议封装和电光转换，以 1310nm 波长通过 PON 接口在固定时隙上行传输至 OLT 处；
- 8) 视频服务器响应用户的节目选择，将对应节目流发送至 OLT 单元；
- 9) OLT 完成相应节目流的 IP 组播帧封装和下行发送；
- 10) 接收端的 ONU 通过 PON 接口接收该节目组播帧，经 RJ-45 接口送至用户的 IP 机顶盒；IP 机顶盒完成节目的解码并显示在 TV 终端上。
- 11) 用户收看节目。

通过上述对 DVB 业务承载流程的描述,设计的 FTTH/EPON 系统可以顺利完成对 DVB 视频业务的收看。同时,对于没有收看选择的数字电视节目,则缓存在与 OLT 相连接的视频服务器中,不占用系统带宽资源,从而提高了 FTTH/EPON 系统对 DVB 业务的承载效率;对于有收看请求的 DVB 数字电视节目,采用 IP 组播封装的方式进行点到多点传输,有效的节省了 FTTH/EPON 网络资源和带宽;EPG 服务器和 IP-STB 机顶盒的功能实现,提高了收看 DVB 视频节目的数字交互性;整个承载系统以纯 IP 方式进行业务发送,符合下一代网络中 Everything over IP 的业务承载方式,可以平滑的向 NGN 过渡。

4.2 IP 组播技术应用传输 DVB 业务

在图 11 所示的 FTTH/EPON 系统中,我们应用了 IP 组播技术来承载 DVB 业务,这可以优化网络性能,降低非接收节点的负荷。

IP 组播技术在承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 系统中的应用主要体现在两个方面:1) EPG 信息的组播传输;2) DVB 视频节目的组播传输。在详细介绍这两个组播应用的传输流程前,需要分析 DVB 业务数据是如何在 FTTH/EPON 系统中实现 IP 组播封装。

4.2.1 IP 组播封装

在面向光纤到户的 EPON 接入系统中,数据包以以太帧格式传输[39]。在进行 IP 组播封装时,上层 IP 数据被封装在 EPON 帧中,被当作数据字段传输;同时在 8 个字节的 EPON 帧前导码中封装 LLID 信息[40-41];OLT 端接收到的 DVB 业务数据经上层数据包封装后以以太帧格式在 FTTH/EPON 系统中传输。经 IP 组播封装的以太帧格式如下图所示,

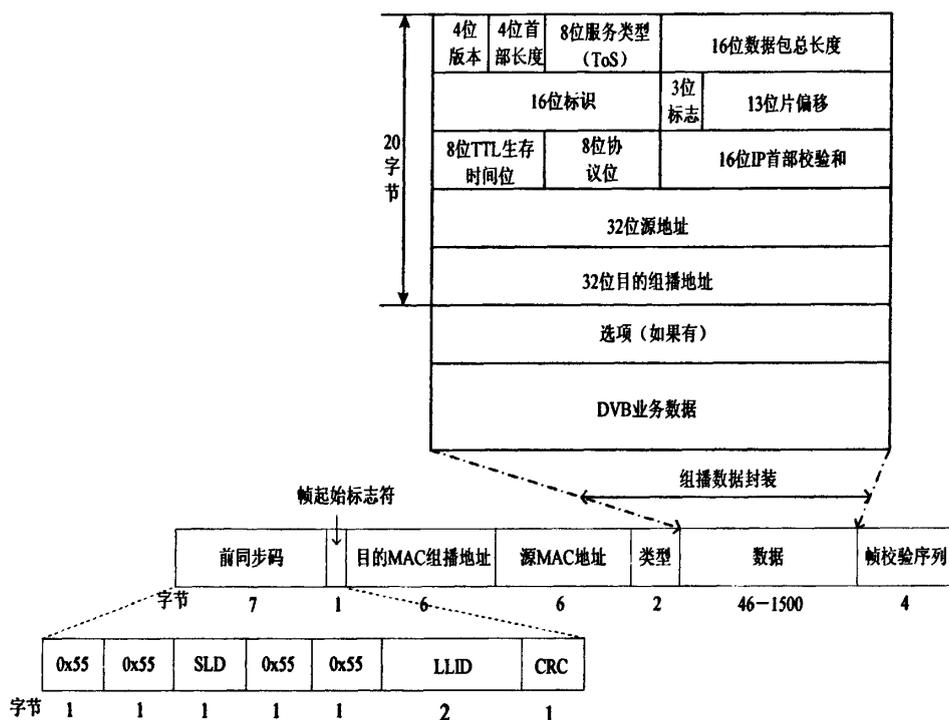


图 13 FTTH/EPON 系统中的 IP 组播封装

IP 数据报中的 32 位目的组播地址经以太网 MAC 映射为 48 位的目的 MAC 组播地址, 同时在 EPON 帧中包含 2 个字节的 LLID 信息实现 OLT 到组播成员 ONU 的唯一识别, 这保证了 DVB 业务数据经组播封装后在 FTTH/EPON 系统中的正确有效传输。如图所示, DVB 业务数据以数据的形式封装在 IP 数据报中以 EPON 帧格式在系统中传输。

4.2.2 EPG 信息组播传输

EPG 服务器负责生成所有基于 DVB 标准的节目 EPG 信息, 即从相应的 DVB 业务流中提取出节目的 EPG 信息。通常情况下, EPG 信息由基本 EPG 信息和扩展 EPG 信息两部分组成[42], 如图 14 所示。基本 EPG 信息是指用 SI 表进行描述的 EPG 信息, 它采用表传输方式, 分别为 NIT(Network Information Table, 网络信息表)、BAT(Bouquet Association Table, 业务群关联表)、SDT(Service Description Table, 服务描述表)、EIT(Event Information Table, 事件信息表)和 EMT(EPG Map Table, EPG 映射表), 这些表包含传输流信息、节目信息、节目时间信息等; 扩展 EPG 信息是对 EPG 基本信息的扩充, 这些信息的入口采用 EMT 进行描述。两者

共同实现了 EPG 节目导航功能。

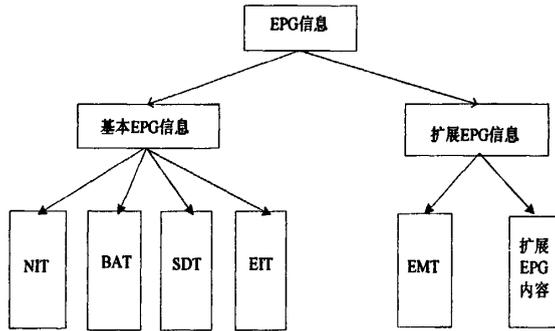


图 14 EPG 信息组成^[41]

EPG 信息经过 OLT 端的 IP 组播封装后，以 EPON 帧格式流在 FTTH/EPON 系统中下行组播传输，EPG 信息组播传送的具体步骤如下图所示，

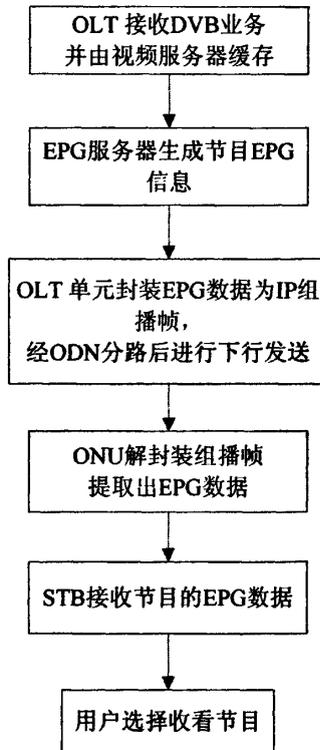


图 15 EPG 信息组播传输流程

- 1) OLT 接收来自城域网的 DVB 节目，经与 OLT 相连接的视频服务器对节目进行缓存处理。同时 EPG 服务器通过千兆以太网口与 OLT 通信，对 OLT 接收到的 DVB 节目流进行处理后，提取并生成节目内容的 EPG

信息。经千兆以太网口反馈给 OLT 模块；

- 2) OLT 对 EPG 信息进行 IP 组播封装，使其可以在 FTTH/EPON 系统中正确传输，封装后的 IP 组播数据包以 1550nm 波长下行发送。再经 ODN 单元的光路分配后，传输至用户接入端的组播成员 ONU。其中，对 EPG 信息的封装处理是采用 IP 组播技术；
- 3) 接入终端 ONU 模块对组播帧进行解封装，提取出其中承载的 EPG 数据并发送至 IP-STB 接口；
- 4) IP-STB 机顶盒运行内部 EPG 应用软件，对 EPG 数据进行正确的解码处理，经模拟音视频模块处理后显示在 TV 终端；

终端用户通过 TV 上显示的 EPG 数据信息，选择喜欢收看的节目，从而完成 EPG 数据的接收和上行收看指令的发送。利用 EPG 服务器生成节目 EPG 信息并周期组播发送至接入用户端可以节省用户的等待时间，同时方便用户检索和浏览 DVB 视频节目信息，提高了系统的交互性和实用性[42]。

4.2.3 DVB 节目组播传输

用户选择喜欢收看的节目后，收看命令通过机顶盒逐步上传至 OLT 单元，经千兆以太网口与 OLT 端相连的视频服务器响应用户收看命令，并发送对应的 DVB 节目流给 OLT 端，此时 OLT 将 DVB 节目数据进行组播封装，并查找其 CPU 中存储的组播路由表，从而将用户收看节目流通过 FTTH/EPON 接入系统下行组播传输至用户 TV 端。如图 16 所示，基于 DVB 标准的视频业务实现收看和组播传输的具体步骤如下：

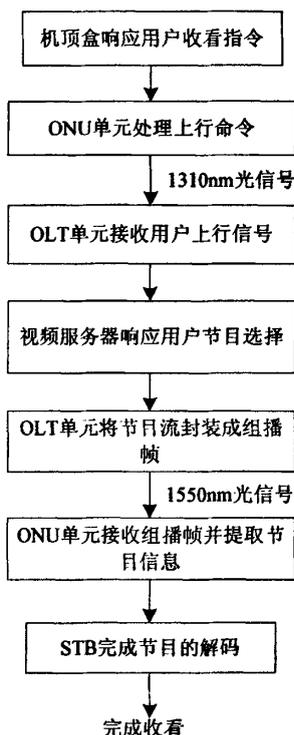


图 16 IP 机顶盒响应完成收看流程图

首先，用户利用 TV 端的节目 EPG 信息，选择出喜欢收看的节目。此时，

- 1) 机顶盒响应用户的收看指令，完成指令的上行发送；
- 2) ONU 通过交换通信协议接收用户的收看指令，并进行 EPON 协议封装和电/光转换，以 1310nm 光波长按照 OLT 分配的特定间隙上行发送；
- 3) OLT 单元接收上行信号，并通过千兆以太网口告知视频服务器；
- 4) 视频服务器响应用户的节目选择，将对应的 DVB 节目信息流传送给 OLT；
- 5) OLT 完成该节目 IP 组播帧的封装并以 1550nm 波长下行发送给组播成员 ONU；
- 6) ONU 接收该组播帧并提取出节目信息，送至 IP-STB 机顶盒；
- 7) IP-STB 机顶盒接收并完成节目的解码，经过模拟处理后显示在 TV 端。

在整个 EPG 数据信息和 DVB 节目数据的组播传输过程中，充分利用 IP 组播的优势，对于具有相同节目请求的终端用户，系统只生成一节目组播流并发送组播数据至多个目的接入节点，即至具有同一目的组播地址的组播组成员，这种工作机制充分利用了系统带宽，大大节省了接入带宽资源；

FTTH/EPON 系统响应用户收看命令，并以组播传送方式发送至组播组成员 ONU 接入端，通过上述对工作机制的描述，可以看出组播传送方式可充分利用 FTTH/EPON 系统优越的传输性能和双向交互特性，高效完成了数字电视节目的组播发送，节省了下行带宽系统资源。

4.3 IP 组播技术的应用扩展

4.3.1 FTTH/EPON 实现综合接入

面向 FTTH 的 EPON 接入系统在完成对传统 DVB 视频业务承载的同时，可以扩展系统接入功能，使其称为一个融合视频、音频、网络数据的综合接入系统 [43-44]。FTTH/EPON 综合接入系统提供一种在 FTTH 条件下，融合多信息、多系统、多业务的信息接入终端，为用户创建一个资源共享、系统兼容、网络融合的多信息操作运行平台。

FTTH/EPON 综合接入平台主要包括三部分：

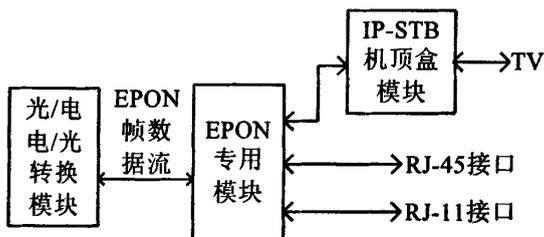


图 17 综合接入平台功能模块

光/电、电/光转换模块用于下行信号的光电转换和上行信号的电光转换。在处理以 1550nm 承载的下行光信号时，将 EPON 协议封装的 DVB 视频信号（EPG 数据）、Internet 数据、VoIP 数据业务进行光电转换以后，送入 EPON 专用模块；在上行方向，对于封装成 EPON 帧的收看节目命令和 IP 数据进行电光转换，以 1310nm 波长完成上行信号的发送。

EPON 专用模块负责以 EPON 协议承载的视频、音频、数据业务的处理，对 VoIP 业务的编解码以及各种业务的综合接入和 EPON 协议封装。EPON 专用模块完成对 DVB、Internet 数据和 VOIP 业务的交换处理，将 DVB 业务送入 IP-STB 机顶盒模块进行编解码处理；将 Internet 数据业务通过 RJ-45 接口与用户计算机连接，完成数据业务的接入；将 VoIP 业务送入 VoIP 编/解码器，通过 RJ-11 接口与用户家庭电话连接，完成语音业务的接入。

IP-STB 机顶盒模块部分对于 DVB 标准的 MPEG-2 数字音视频信号和 EPG 信息进行解码，之后经过模拟编码后送到模拟电视中[10]。

FTTH/EPON 综合接入终端具体的功能结构框图如图 18 所示。

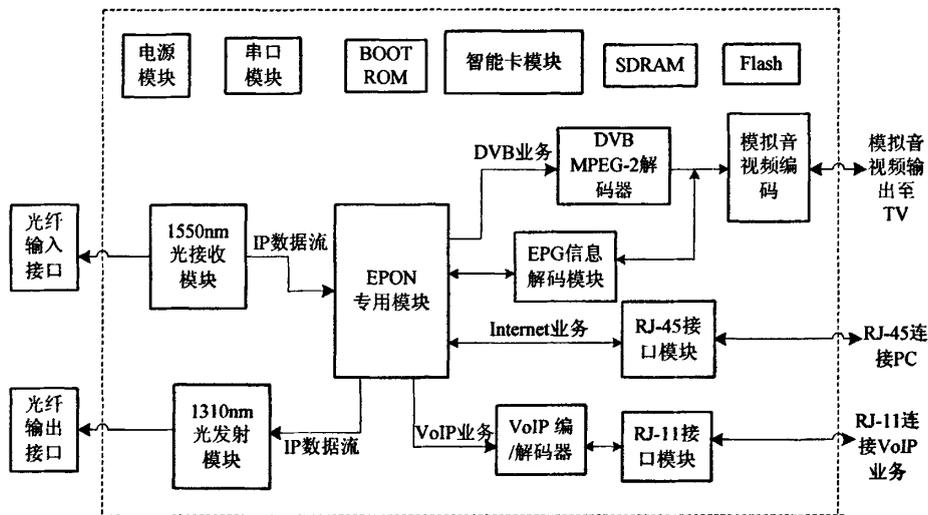


图 18 FTTH/EPON 系统的综合接入终端功能结构框图

系统采用嵌入式 Linux 操作系统，Bootloader 程序存储在 BOOT ROM 中，Flash、SDRAM 等存储器件用来完成操作系统内核、系统应用程序和数据文件的存储。串口模块是用于系统程序的调试和烧写。对于音视频业务采用数字电视业务中广泛使用的条件接收（Conditional Access, CA）技术进行接入控制[38]。

4.3.2 IP 组播技术传输综合业务

如上所述，面向光纤到户的 EPON 系统可以传输语音、视频以及数据业务并作为主要载体。通过扩展 ONU 终端模块，设计出具备协议转换、音视频编解码和交互功能的多业务综合接入终端。目前随着 VoIP、视频会议、IPTV 等业务模式的普及，采用 IP 组播来代替点对点通信和传统广播通信模式将会节省更多的系统资源，这类业务均属于交互模式的多媒体业务，用户终端可能在同一时间请求同一业务[45]。因此应用 IP 组播模式下行传输此类综合业务。

在下图所示的面向 FTTH 的 EPON 综合接入系统框图中，通过在 OLT、ONU 处以及上级路由器处部署设备的 IP 组播功能，初步构建可实现组播和路由的传输网络。

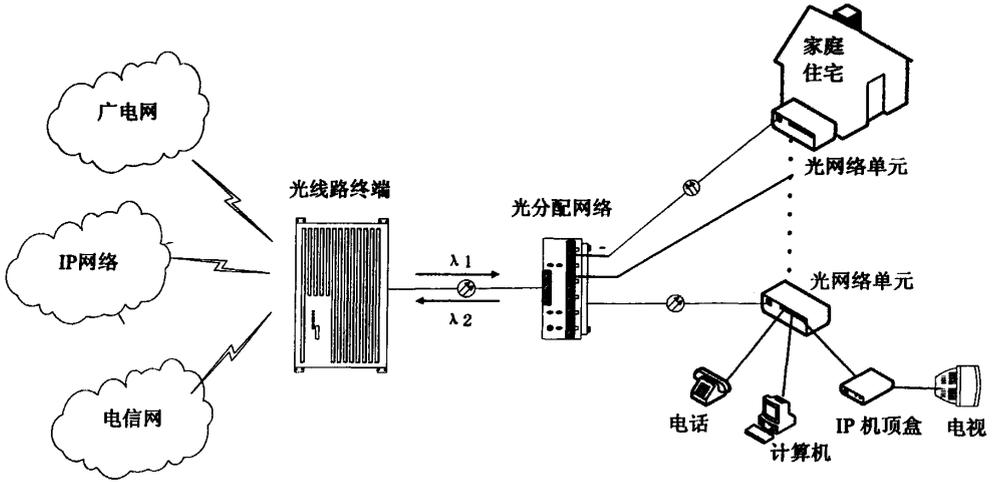


图 19 综合接入的 FTTH/EPON 系统框图

通过电信网、IP 网络以及广电网传输的语音业务、数据业务和视频业务分别在 OLT 处被接受，OLT 通过组播管理协议功能周期性查询终端用户对不同业务的请求，从而通过上级路由器响应数据。响应业务经 OLT 处的 IP 组播封装后，添加正确的 IP 组播地址，以 λ_1 波长下行发送至组播组成员 ONU 处，ONU 过滤出属于自己的组播数据包，利用综合接入平台实现不同业务在 ONU 处正确接收并经光电转换、协议封装、编解码等处理后正确显示在用户终端，最终实现业务的综合接入。同时用户上行发送业务请求，以 λ_2 波长承载在其 ONU 的固定发送时隙上行发送至 OLT 处。具体的组播传输和实现流程在 5.2.4 节有详细介绍，这儿不赘述。

4.4 小结

在本章设计的 FTTH/EPON 接入系统中，我们提出了一种应用 IP 组播技术承载 DVB 业务的方案，这有效的节省了系统接入带宽，同时还保留了 DVB 业务传输质量高，实时性好等优点。同时扩展系统功能，融合视频、音频、网络数据实现综合业务接入，针对高带宽多媒体业务，如 IPTV、视频会议、视频点播等，同样可以充分利用 IP 组播的优良性能实现数据的高效传输。

第五章 IP 组播技术在 FTTH/EPON 系统中的实现

IP 组播适用于组播源与接收节点间一对多或者多对多连接，这种连接是指一个或者多个组播源发送数据业务到网络中有请求的一组接收端。实现的基本原则依托 IP 协议完成组播过程，且以一种最优的方式实现数据的高效传输，强制网络在组播分发树的分叉处进行数据包的复制，从而降低网络流量。

我们以承载 DVB 业务为例，重点描述 IP 组播在 FTTH/EPON 系统中的实现过程。下面从设计方案的提出、组播具体实现过程、系统仿真分析三个方面研究应用 IP 组播技术的 FTTH/EPON 系统性能。

5.1 FTTH/EPON 系统中 IP 组播设计

5.1.1 总体方案设计

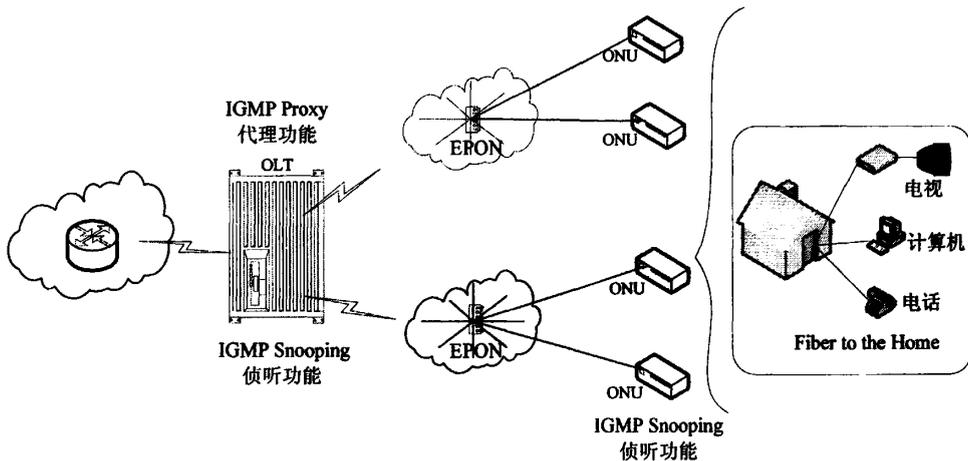


图 20 IP 组播在 FTTH/EPON 系统中的总体方案设计

首先在 FTTH/EPON 系统中部署 IP 组播技术，需要选用合适的路由器；根据 EPON 系统特点，OLT 通常放置在系统局端，因此选定 OLT 作为系统的三层路由设备负责对视频流进行复制和路由选择。终端主机（TV/PC/Phone）与路由器 OLT 间的组播实现通常从三方面入手：IP 寻址、组成员管理协议的配置、路由组播协议，这保证了组播数据的有效发送和准确接收[46-47]。

首先，实现路由器和主机间的 IP 寻址，需要给接入终端 ONU 配置一个唯一的可识别号码，在 EPON 系统中，可识别 ONU 的号码由 OLT 通过网络管理系统

统一分配和管理，被称之为逻辑链路标识 LLID。OLT 通过 LLID 可以辨别数据帧是哪个 ONU 发来的，或者修改数据帧的 LLID 转发到目的 ONU[48]；目前一个 ONU 可配置多个逻辑链路标识 LLID，用来实现对不同业务的转发和优先级处理[49]，在面向 FTTH 的 EPON 系统中，ONU 放置在家庭内部连接电视、计算机、电话，三者具有不同的端口信息，因此可根据其端口转发不同的业务数据，适当简化对 ONU 的配置管理；

其次，系统设备首先需要支持 IP 组播相关协议，即有支持组播协议接口。目前，IP 组播技术得到硬件、软件厂商的广泛支持，新生产的以太网卡几乎都支持组播；对于不支持 IP 组播传输的中间路由器可采用 IP 隧道技术作为过渡。考虑到 EPON 运营层面上的要求，在 FTTH/EPON 系统中，我们采用通用性和兼容性好、技术成熟、成本合理的 IGMPv2（因特网组管理协议）；其中 IGMP Snooping 侦听工作在二层数据链路层，IGMP Proxy 代理工作在网络层。Snooping 的作用主要是侦听并拦截终端用户向上级路由器的 IGMP 请求，从而形成组播源和端口的映射表，但是不负责报文的筛选[50]；Proxy 的作用是可以建立映射表，同时对表中记录进行处理功能，如果侦听到的组成员加入源记录已经存在于“组播源—ONU”映射表中，则直接丢弃该帧，而不需要向上级路由器转发终端的请求报文[51]。为了节省网络流量及系统响应时间，同时考虑到结构是面向光纤到户的，终端设备较少，对 ONU 处理帧功能要求较小。所以我们采用“ONU 只具有侦听功能，OLT 具有侦听和代理功能”这种组播配置方案。

最后，需要选取合适的组播路由协议，实现组播数据包的有效传输。根据 FTTH/EPON 接入网络系统结构，OLT 放置在局端，具备路由和复制转发功能。根据第二章对组播路由协议的介绍，结合我国城市部署 EPON 的实际情况，选择 PIM-SM 协议作为基本的组播路由协议，这儿设定 OLT 为固定的源路由器，即采用静态选取 RP 的方式来实现基本的路由部署，针对承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 总体结构框图，局端定源路由器与视频服务器相连，存储其下级 OLT 路由信息和 ONU 组播成员信息，而其它 OLT 设备动态获取和更新其下属组播成员路由信息。

对系统作好硬件和协议部署后，OLT 与 ONU 间通过 IGMP 协议管理组成员的基本工作机制为：1) OLT 作为三层组播路由器将周期性的发送 IGMP 查询报文，从而根据收到的响应报文来确定每个接口所连接网段上某个组播组是否有新成员加入；2) ONU 通过响应 OLT 的 IGMP 查询报文，确定其组成员身份，并且保存加入组播组的信息来接收属于自己的数据包。同时，ONU 也通过 IGMP 协议周

期性发送 IGMP 查询报文，从而根据响应报文来确定哪个端口上某个组播组是否有新成员加入，生成 ONU 端的组播映射表；当 ONU 收到主机发出的上行组播离开报文时，会发出特定组播组的查询报文，以确定该组下是否仍有组成员存在，更新组播映射表；3) 当 OLT 捕获到 ONU 上行的组播组离开报文时，发出特定组播组的查询报文，以确定该组下是否有组成员存在，更新其组播路由表。在这儿，所提出的承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 系统中，ONU 连接终端 TV、PC 以及电话，ONU 可根据端口明确 DVB 业务某一组播组的目的组成员，因此当 ONU 捕获到上行组播加入报文时即确定该组下没有组成员，可直接添加“组播组-组成员”新记录；当 ONU 捕获到上行组播离开报文时即确定该组下已没有组成员，可直接删除存储的“组播组-组成员”纪录。OLT 与 ONU 通过 IGMP 协议来维护各自的组播映射表信息。

5.1.2 下行传输技术

为了实现组播业务的高效传输，FTTH/EPON 系统中提供特殊的数据传输方式：单拷贝广播技术 SCB (Single Copy Broadcast, SCB)。

SCB 技术提供一条数据传输逻辑信道，使得在 OLT 与 ONU 间建立一条特殊的允许所有 ONU 合法接收数据。在传输组播数据业务，如果终端用户选择收看同一个节目，OLT 将只发送一份组播 DVB 视频流拷贝给 SCB 数据传输逻辑信道，从而为多个 ONU 提供服务，这大大的节省了系统带宽资源。FTTH/EPON 系统规定在单个 PON 口下有且仅有一个 SCB 数据传输逻辑信道，所有组播视频流均在同一个 SCB 逻辑信道中传输，可通过使用不同的 VLAN 来标识和区分不同节目视频流。SCB 技术仅限于下行传输信道。

5.1.3 组播帧的过滤

以太 MAC 帧的 LLID 位的最高位为 1 时代表广播，为 0 时代表单播。此时若采用在 MAC 层过滤组播帧时，LLID 为广播 LLID，因此所有的广播 LLID 组播数据帧都会在 MAC 层接收，通过利用 IP 组播映射后的 MAC 组播地址来区分不同的组播帧，而 MAC 组播地址位 48 位，这无疑提高了对 OLT 与 ONU 对所有 MAC 地址的维护和存储能力的要求。因此，为了降低终端 ONU 和 OLT 端的设备复杂度，多在 RS 子层实现对组播帧的过滤[32]。

本文采用结合 MAC 层和 RS 子层过滤组播帧的方法，重新定义 LLID 模式位如下：增加 LLID 模式位为 2 位，当最高位为 1 时代表广播 LLID，当最高位为 0 时为组播或者单播 LLID；同时利用次高位继续区分，若次高位为 0 则为单播 LLID，若为 1 则为组播 LLID。后面的 14 位通过 MAC 组播地址的低 23 位直接映射得到。这样，在 RS 子层则可以过滤出部分单播和组播 LLID，不附条件的组播帧在 MAC 层将不再过滤。然后再结合 MAC 层过滤，利用 MAC 组播地址过滤出正确的 LLID 组播帧。这大大减少了终端 ONU 对组播帧的处理量，具备一定的可行性。

5.2 IP 组播在 FTTH/EPON 中的具体实现

我们假定，每套节目对应着一个组播组，即用户想收看某一套节目意味着欲加入某一特定组播组；类似地，离开某一组播组代表用户中止对相应节目的收看。我们以第四章中提出的承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 系统为原型，以终端 TV1 为例重点描述 IP 组播技术的详细实现过程。其中，ONU 由 OLT 的网络管理系统配置一个唯一的 LLID；与电视终端相连接的 IP-STB 机顶盒对应其 MAC 地址。具体组播系统配置和设定图如下所示，

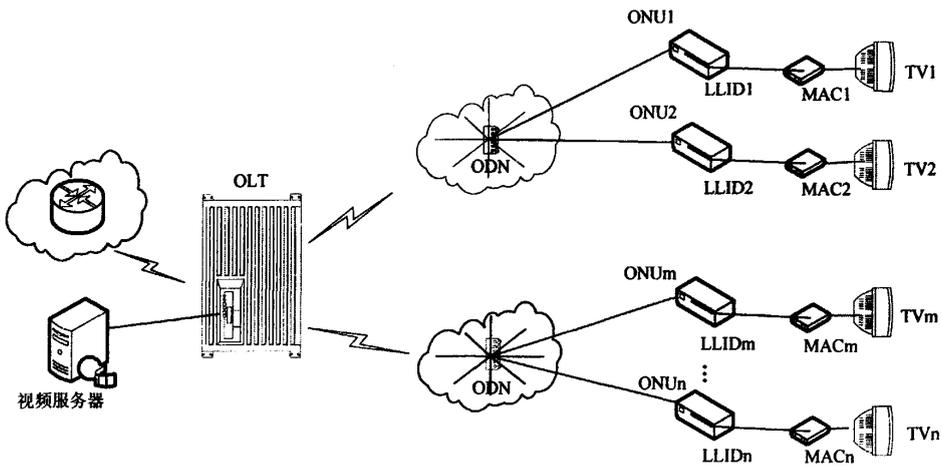


图 21 组播系统配置和设定图

5.2.1 组播成员加入过程

用户通过 TV1 端的 EPG 节目信息选择收看节目 1，IP-STB1 接收加入组播组的请求报文并上行传输。ONU1 通过 IGMP Snooping 协议周期性地发送查询报文，从而侦听到哪个端口有加入组播组的请求。当捕获到 TV1 端发出的响应报文时查

看其类型字段，如果为“0x12、0x16、0x22”时则为 IGMP 加入组播组 MG1 的加入报文。此时，ONU1 响应终端 TV1 的请求，并建立对应的“MG1-MAC1”的映射表，如图 22 所示。因为 ONU 只具有 IGMP Snooping 侦听功能，此时 ONU1 继续向上转发加入报文至 OLT 端。OLT 周期性的发送 IGMP 查询报文，并根据收到的响应报文来确定每个接口所连接网段上某个组播组是否有新成员加入，此时 OLT 通过侦听功能捕获到 TV1 的加入请求，并检查存储的组播映射表，如果表中没有组播组 MG1 的有关记录，即代表这是第一次有用户请求加入组播组 MG1，图中 TV2 请求加入 MG2、TVn 请求加入 MG3 均是 OLT 组播映射表中的新记录；因此，OLT 更新映射表信息并新建“MG1-LLID1”、“MG2-LLID2”、“MG3-LLIDn”记录，同时将请求加入报文继续上传给视频服务器，视频服务器响应用户请求，发送对应的节目视频流给 OLT，经 OLT 组播封装后下行传输至组播组成员。

如图 22 所示，用户 TVm 也选择收看节目 1，此时 ONUm 侦听到用户加入组播组 MG1 报文后，检查其组播映射表并建立“MG1-MACm”记录，同时上传加入组播组 MG1 报文至 OLT 端，OLT 侦听到加入 MG1 报文后检查其 CPU 内存的组播映射表，发现在其所属子网内组播组 MG1 已经存在组成员记录，则通过 OLT 的 IGMP Proxy 代理功能对上行帧进行处理，直接丢弃 TVm 发出的加入请求报文。同时对已有组播组 MG1 对应节目 1 视频流进行组播封装，添加 MG1 对应的组播地址后发送至 TVm 端。OLT 端 IGMP Proxy 代理功能的应用减少了对上行帧的上传，缓解了视频服务器甚至上游路由器的传输负荷。

图 23 所示，ONU_m 仍在接收 MG1 对应的组播节目视频流，则在路由处理时剪除掉 ONU₁ 所对应的树枝，同时 OLT 启动 IGMP Proxy 代理功能删除 LLID1 对应记录并直接丢弃 IGMP MG1 离开报文，不再继续向上转发。若无，如图中所示，TV2、TV_n 停止收看节目 2 和节目 3 时，IGMP MG2 和 IGMP MG3 离开报文被 OLT 通过侦听功能捕获到后，检查 OLT CPU 内存的组播映射表，发现已经没有 ONU 在接收节目 2 和节目 3 对应的 MG2、MG3 组播组视频流，则直接删除掉组播映射表中 MG2、MG3 的记录，并将 IGMP MG2、IGMP MG3 离开报文继续上传给视频服务器。视频服务器响应离开报文，停止发送 MG2、MG3 组播组对应的视频流节目 2 和节目 3。

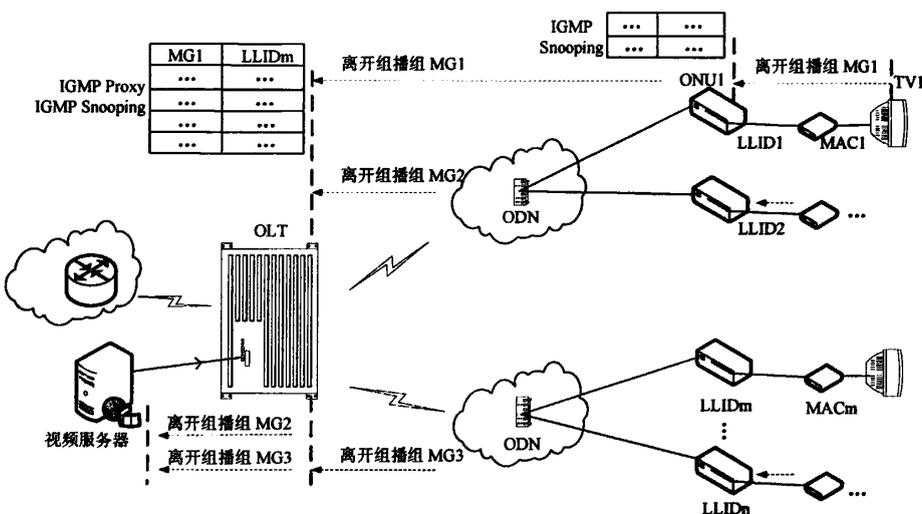


图 23 离开组播组过程描述表

5.2.4 组播实现传输综合业务

当利用上述的 IP 组播实现方案在提出的 FTTH/EPON 综合接入系统中承载音频、数据及视频等综合业务时，ONU 单元模块所连接的 TV、PC 终端，甚至未来的 3G 手机和固定电话终端都会有视频业务接收需求，因此 ONU 所连接端口存在同一时间请求同一视频直播业务的可能，此时仅仅依靠端口来区分业务已经不能满足要求，而且不同的终端用户对同一业务的 QoS 要求也不同[52-53]，这就需要我们在 FTTH/EPON 系统中承载综合业务时改进 IP 组播方案。因此，在这部分引入基于业务的 VLAN 技术，针对不同业务来传输 IP 组播数据包。

首先根据终端综合业务的特点，考虑用户对实时性和传输质量的要求，可以将

终端综合接入业务划分为四类：VoIP 业务、TV 直播业务、VoD 点播业务、数据业务，并按照优先级高低顺序为四种业务分配 VLAN Tag，适当预留其他扩展业务位。对于工作在三层的 QoS，针对面向不同业务模式的实现模式，目前在 IP 数据包的区分服务域 DS (Diffserv, DS) 有定义，DS 由服务类型字段 ToS (Type of Service, ToS) 改进而来，可定义 2^6 个服务级别，多称之为 6 位区分服务码点 DSCP (Difference Service Code Point, DSCP)，同时预留 2 个扩展预留位[20]。IETF 重新定义该服务字段，并将 DSCP 码点的前三位与后三位分开定义，当后三位均为 0 时，高三位可以区分 8 个优先级服务类型，数值越大优先级越高，同时还与扩展预留位保持后向兼容性。在这儿，根据划分的业务类型，我们占用最高两位优先级位，第三位默认为 0，方便后向扩展。IP 数据包格式如下图所示，

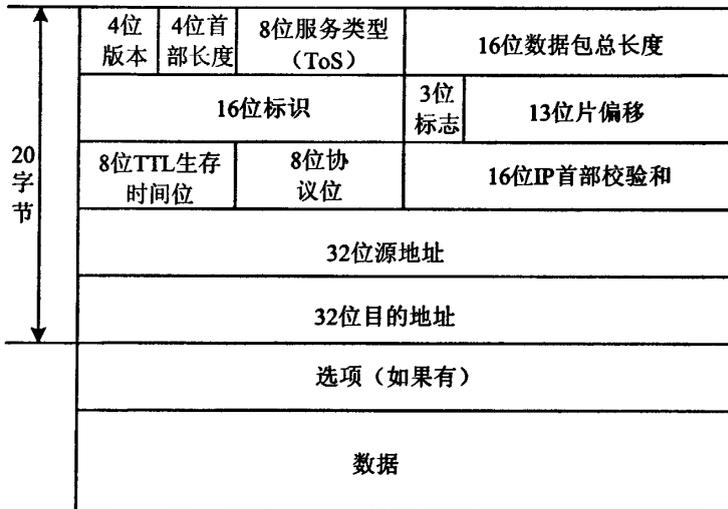


图 24 IP 数据包格式^[23]

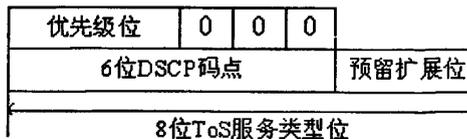


图 25 IETF 定义的 ToS 服务类型位

考虑到 EPON 系统的传输特点，将 DSCP 码点映射到二层数据包中组播传输会带来更大的处理效率。因此通常将 IP 数据包的 ToS 服务类型位映射到 EPON 802.3 头域中，如下图所示，

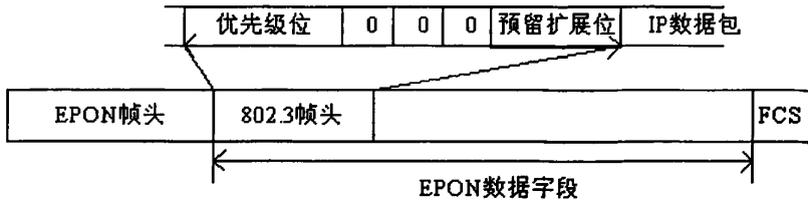


图 26 ToS 服务位与 EPON 帧映射

一般情况下，对于 VoIP 业务，对实时性、抖动、丢包率等要求较高，其 QoS 要求最大；依次为 TV 直播业务、VoD 点播业务、数据业务。他们的 ToS 值分别定义为：C0xh、80xh、40xh、00xh。FTTH/EPON 系统传输综合业务时的组播实现流程概述如下：

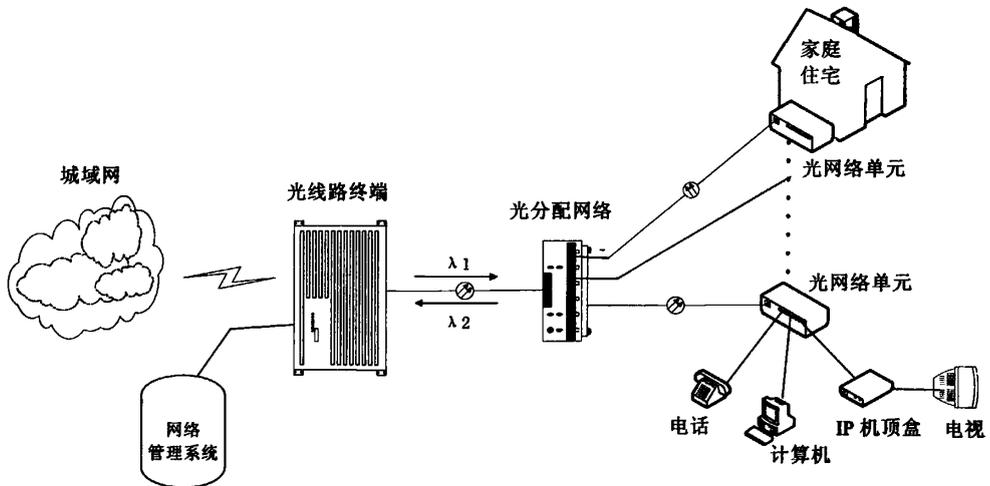


图 27 综合业务终端接入框图

上图为终端接入框图，在局端我们简化系统，以城域网统称代表综合业务接入终端，即在 OLT 模块处获取语音、视频直播、视频点播、数据业务（假定 OLT 可以根据上层信息区分不同业务信息），通过网络管理系统对接入系统进行管理和维护。在这儿，接入系统采用单纤双向模式，上行承载波长为 λ_2 ，下行承载波长为 λ_1 。

在 FTTH/EPON 系统中，综合业务在 OLT 处获取并缓存，当 ONU 端有上行业务请求时，ONU 处通过侦听功能获取终端请求 MAC 地址以及对应请求加入组播组信息，这儿所有的下行业务均采用组播传输，因此根据以往业务信息可以在 IGMP 加入报文中获取组播组信息，从而在 ONU 端建立或者更新组播组与 MAC 地址的映射信息表。

封装在 IP 数据包中的 IGMP 加入报文不断上传至 OLT 端，OLT 根据映射到 EPON 帧的 802.3 头域信息提取出 IP 上行数据包中的 ToS 信息，从而获得上行业务请求的优先级信息，OLT 根据不同业务的 QoS，选取何时的带宽分配算法 DBA 为业务提供 QoS 保证。同时 OLT 通过二层 IGMP Snooping 功能获取 EPON 帧中的请求组播组信息和 ONU LLID 标记，随之检查其内存 CPU 的组播映射表，建立或者更新组播组与 LLID 的组播映射表。若映射表中已经存在相同的组播组与 LLID 的记录，则通过 IGMP Proxy 功能直接丢弃该上行加入报文，减少上行控制信息的资源占有；否则，继续上传至上一级路由器或者面向 DVB 业务的视频服务器。此后，OLT 响应上行命令，利用获取到的 EPON802.3 头域信息为下行组播报文添加 VLAN Tag，实现四种业务组播传输的同时提供不同的 QoS 保证。

简要的加入组播组实现流程如下图所示，

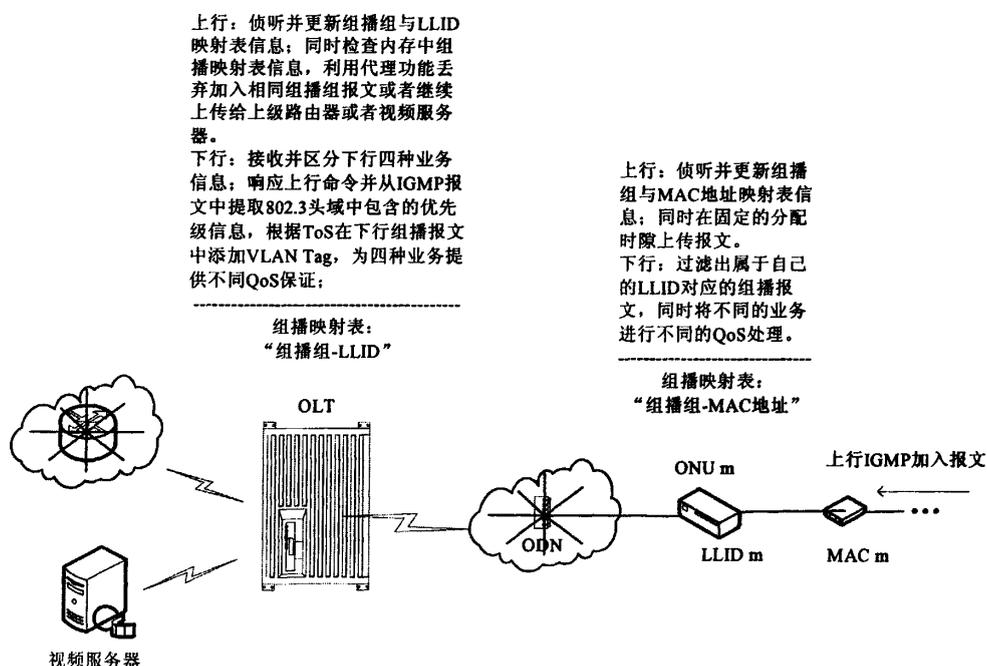


图 28 组播实现综合业务的加入组播组过程

在下行传输时，组播封装的过程与 DBA 传输流程同，唯一涉及到 OLT 及 ONU 端对不同业务的带宽分配和组播分发的区别对待，这涉及到 DBA 算法和接入网络管理功能，不是我们本文讨论的重点，从略。

当某一用户离开对应组播组时，上行发送 IGMP 离开报文，从而依次被 ONU 和 OLT 利用侦听功能截获，通过检查各自组播映射表，从表中删除不存在组播成员的组播组信息，更新组播映射表。当对应组播组下仍旧存在激活的组播组成员

时，保留组播组信息，不再对离开组播分发树的树枝组播成员发送组播报文。

从以上的组播实现的过程可以看出，通过为四种不同业务划分 VLAN 和添加 ToS 信息，可以很容易的将承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 系统的组播实现方案应用到组播传输综合业务上，这只需要局端 OLT 和综合接入端 ONU 设备支持 VLAN，这提高了系统的可扩展性。

5.3 系统仿真与分析

在 4.1 章节提出的承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 接入系统结构中，我们对采用 IP 组播技术后系统的性能带宽占有率进行仿真分析。

5.3.1 模型建立和参数设定

在对承载 DVB 业务的 FTTH/EPON 系统性能进行仿真分析前，需要对 DVB 节目的收看请求服从的概率模型和 DVB 传输参数进行设定，以及了解 TV 接入终端用户的收看情况。

1) DVB 节目收看概率模型

大量统计规律表明，用户对节目内容的请求通常具有集中特性，即大部分用户会集中在对小部分节目内容的访问上，即遵循 80/20 原则。也就是说 20%的 DVB 节目内容占有 80%的收看量；从收看量上来说，视频内容收看近似 Zip’f 分布。将这种理论应用在 FTTH/EPON 系统中收看 DVB 节目，可以认为终端 TV 用户对 OLT 端视频服务器节目内容的访问服从 Zip’f 定律[56]。按照所有 DVB 节目在单位时间内的收看概率从高到低排序为 $PRG=\{Prg1, Prg2, \dots, PrgN\}$ ，则第 k 套节目的收看概率可表示为[54]：

$$P(x = k) = \frac{1}{k^\alpha \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{i^\alpha}}$$

其中：N 为系统总的节目数； α 为倾斜因子，该值越小，节目的集中程度就越明显，一般情况下，取 α 的值为 0.7。

2) DVB 传输速率

采用 MPEG-2 编码的 DVB 视频信号的平均传输速率约为 4-6Mbit/s[20,55]。为了简化计算，取每条 DVB 视频组播流占用的带宽为 4Mbit/s。

3) TV 端用户收看情况

每套 DVB 节目的收看节目人数=收看概率 P *总收看人数。图 29 描述了 DVB 节目套数分别为 300 和 500 时，DVB 节目的收看人数服从 Zip'f 分布图。

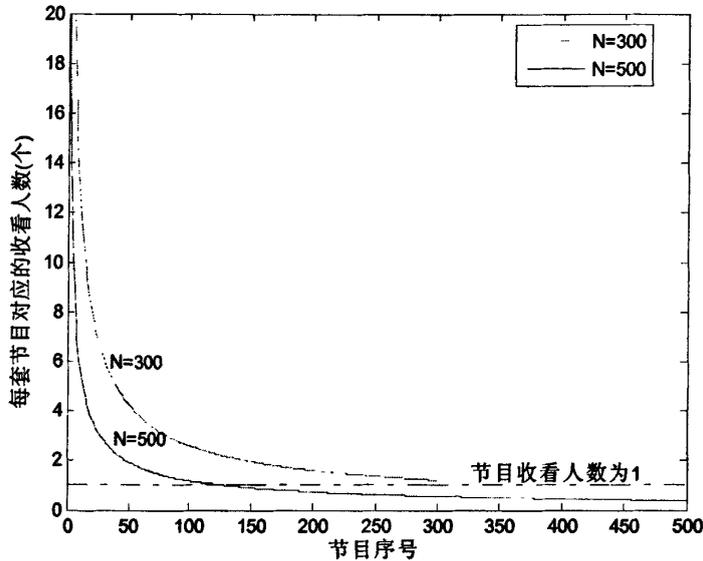


图 29 Zip'f 分布图

由图 29 可以看出，将 DVB 的节目收看人数按照从大到小排列后，随着节目序号 k 的不断增大，对应节目的 TV 用户不断减少，且曲线服从 Zipf 分布；当 $300 < N < 500$ 时，用户收看人数会出现为 1 的情况，当 $N=500$ 时，部分 DVB 节目的收看人数将小于 1，这意味着没有用户收看该节目。因此我们设定当终端用户 TV 的收看人数小于 1 时，认为该节目的收看概率为 0，即不产生相应的组播节目流。

采用 IP 组播技术的 FTTH/EPON 接入系统所占有带宽分为组播数据传输开销、控制报文开销两部分，而数据部分的开销受组播流的影响。这儿，首先讨论 FTTH/EPON 系统在采用组播机制和采用传统的广播或者点播机制时 DVB 节目流带宽占有率。考虑到组播流的确定与视频服务器所存储的节目数和终端收看节目用户人数有关，因此我们分两种情况对系统中 DVB 节目的带宽占有率进行仿真：

- 1) 服务器提供节目固定时；
- 2) 终端收看用户数固定时。

5.3.2 服务器提供节目固定

假定视频服务器所提供的节目数为 500 套，即 OLT 处可缓存的节目数为 500。系统传输 DVB 节目流所占用带宽与终端收看节目用户数的关系图如图 30 所示，

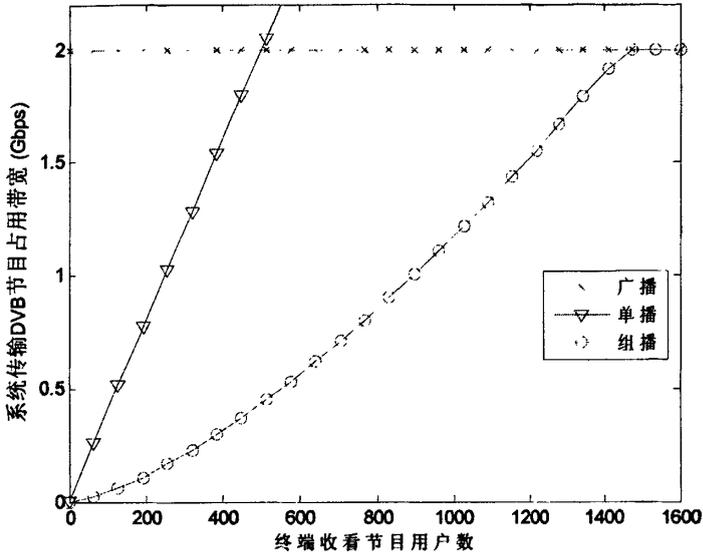


图 30 系统传输 DVB 节目流所占用带宽与终端收看节目用户数的关系

从仿真图可以看出，针对广播、点播、组播三种传输模式有：

采用广播机制时，不管接收终端有多少用户，OLT 处复制所有的节目传输流，并传输给每个终端用户，系统传输 DVB 数据所占用的带宽 W 只与服务器提供节目套数有关，即占用的组播数据带宽 $W_1=4\text{Mbit/s}\times 500$ 。

采用点播机制时，点对点传输，只有当用户选择收看节目时，视频服务器才发送对应视频流，不管整个接入网中是否已存在用户收看该节目。系统传输 DVB 节目所占带宽只与终端总收看人数有关，有多少个用户请求收看 DVB 节目，就有多少条视频流在光纤信道中传输，因此占用的组播数据带宽 $W_2=4\text{Mbit/s}\times \text{终端收看节目用户数}$ 。

采用组播机制时，按照 IP 组播在 FTTH/EPON 系统中的具体实现机制，可知：如果系统中存在用户收看组播组 1，OLT 可利用代理功能直接丢弃组播加入报文，不再向视频服务器请求发送组播组 1 所对应节目流，因此接收端 ONU 只需加入该组播组并利用 MAC 层的 RS 子层过滤出该 ONU 的组播数据包即可。即不再占用系统带宽。若不存在组播组 1，则向视频服务器请求响应，生成一条新的组播节目流。因此当采用组播机制时，系统传输 DVB 节目流所占用的带宽只与光纤信道中的组播流个数有关。从图 30 可以看出，随着终端用户收看人数的增多，信道中

传输的组播流个数逐渐增大并最终达到系统最大值。即视频服务器中所存储的节目均被终端用户请求收看,并产生 500 条 DVB 节目组播流,此时传输数据所占系统最大带宽为 2G。

从仿真图可以看出,在视频服务器提供的节目内容为 500 套时,随着终端用户收看人数的增大,采用组播模式相对于广播和点播模式要占用更少的系统带宽。但是当终端用户数增大至 1500 左右时,组播模式会占用与广播模式相同的数据传输带宽,这是相对于整个接入系统的吞吐量而言。细化到传输系统中的 OLT/ONU 组播设备,组播模式明显的降低了它们对非请求数据的处理量,因此对设备的高处理能力的要求也随之降低。

5.3.3 终端收看用户数固定

首先假定系统采用 1:128 的分路比,OLT 局端设备共 7-8 个;因此在 FTTH/EPON 系统中,终端收看节目用户数可粗略设置为 1025。

系统传输 DVB 节目所占用带宽与视频服务器中存储节目数的关系图如图 31 所示,

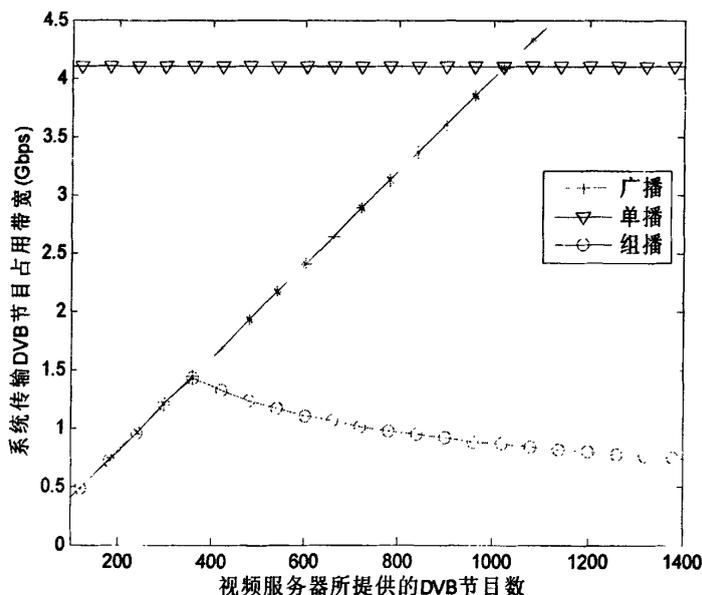


图 31 系统传输 DVB 节目所占用带宽与视频服务器所提供节目数的关系

针对组播模式,由仿真结果可知,系统传输 DVB 节目所占用带宽随着服务器中提供 DVB 节目套数的增多而升至 1.5Gbps,当节目套数达到约 330 套左右时,占用带宽随之减少,曲线逐渐趋于平稳。由 TV 终端的用户收看情况可知,当某

节目的终端用户收看人数小于 1 时,我们认为该节目的收看概率为 0,此时不产生相应的组播节目流,因此由仿真图可推断:当终端用户数固定时,随着视频服务器中节目数的增多,接入系统中产生的 DVB 节目组播流数会相应增大,从而占用的系统带宽随之增大;但是当节目套数继续增大时,部分节目的收看人数小于 1 的情况会出现并增多,导致系统中产生的并发 DVB 组播流个数会随之降低,即此时更多的用户会集中收看流行度较高的节目,已存在的节目组播流使得此时即使收看此节目的人数继续增多也不再占用系统带宽。从仿真图可看出,相对于传统的广播和点播模式,组播机制的应用明显地节省了系统带宽,提高了资源的利用率。

从上面两种情况均可以看出,组播相对于其他两种传输机制所占用的系统带宽要远远小。故在所提出的传输 DVB 业务的 EPON 新结构中采用组播机制可以节省系统传输 DVB 节目数据的带宽,对路由器和非接收节点的处理能力的要求也相对降低。

5.4 小结

在本章中我们提出了在 FTTH/EPON 系统中实现 IP 组播的具体方案,重点研究 IP 组播在承载 DVB 业务方面的实现并进行了系统仿真分析,仿真得出 FTTH/EPON 接入系统,不论是视频服务器中存储的节目数固定时,还是终端用户收看人数一定时,采用 IP 组播模式相对于采用传统广播模式和点播模式具有很大的优势,可明显减少系统传输 DVB 节目数据时所占用带宽。同时在综合业务的传输方面提出以业务划分 VLAN 实现 IP 组播,为语音业务、视频直播业务、视频点播业务以及数据业务提供不同 QoS 保证。

第六章 总结与展望

6.1 论文总结

本文设计了一种新的承载DVB业务的面向光纤到户的EPON系统，充分利用了原有有线电视网的节目资源丰富、传输时延小、传输质量高等优势，通过在EPON接入系统中部署视频服务器对DVB节目进行缓存以及EPG服务器生成节目的EPG信息等方法，优化了FTTH/EPON系统接入结构和提高了系统的交互性能；

针对传统DVB业务采用广播模式传输给系统带来的灾难性缺陷和不足，文中采用IP组播技术在FTTH/EPON中传输DVB节目数据和EPG信息，有效地节省了系统带宽。第五章中详细阐述了IP组播技术在系统中的方案设计和具体实现流程，并对应用组播技术后的系统性能进行了仿真分析。通过建立DVB节目收看概率模型和设定传输参数，在分析终端TV用户收看DVB节目情况的基础上，分两种情况对系统传输DVB节目占用带宽与视频服务器提供节目套数以及终端用户的收看人数的关系进行了系统仿真，分析得出：与传统广播和点播模式相比，应用IP组播机制可有效的节省系统传输DVB节目所占用带宽，充分利用了系统带宽资源。

论文在提出的FTTH/EPON系统中承载DVB业务的基础上，扩展了系统接入系统，创建可实现多业务接入的综合接入平台，融合接入视频、语音以及数据业务。同时创新性地提出了基于业务的VLAN技术实现综合业务的组播传输，保证了不同业务在FTTH/EPON系统中传输的QoS。整个系统采用“Everything over IP”模式，为下一步向NGN网络平滑过渡奠定了基础，具有一定的研究和应用意义。

6.2 下一步工作

本文初步探讨了IP组播技术在面向光纤到户的EPON系统中的应用和具体实现，所做的工作涉及到DVB业务和综合业务接入结构的设计和组播实现部署，这只是在功能结构上做了初步设计，缺少硬件芯片的具体实现部分。有待于下一步的深入研究和硬件实现。

1. 本文的组播部署基于端口和业务实现组播成员管理和QoS保证，随着多媒体

宽带业务的涌现，提出的四种业务模式将不能满足用户要求，可考虑为ONU分配多个LLID实现对不同业务的优先级调度和带宽分配。

2. 对系统性能仿真时，仅仅针对传输DVB节目数据所占用带宽进行了仿真，而DVB业务对系统时延的要求较高，对节目时延的分析将是下一步研究需要考虑的问题。

3. 如何实现组播源到成员节点的快速正确路由，本文考虑将OLT作为局端路由设备，针对EPON系统特点指定一个OLT作为固定路由源节点。下一步可优化组播路由算法，实现动态路由调度。

4. 网络仿真可以实现系统的模拟化，对实际部署解决方案具有不可取代的研究意义，因此通过NS、OPNET等网络仿真工具模拟实现FTTH/EPON接入网络，以及优化系统结构和算法是进一步深入研究的重点。

参考文献

- [1] Milan Milenkovic, "Delivering Interactive Services to Home Using Digital Video Broadcast Infrastructure", IEEE 1997, pp133-142
- [2] G. Kramer and G. Pesavento, "EPON: Challenges in Building a Next Generation Access Network," 1st Int'l. Wksp. Community Networks and FTTH/P/x, Dallas, TX, 2003.
- [3] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force web page: <http://www.ieee802.org/3/efm/>
- [4] G. Kramer, "What is Next for Ethernet PON?" 5th Int'l. Conf. Optical Internet, Jeju, South Korea, 2006
- [5] Marek Hajduczenia, Paulo P. Monteiro, Development of 10 Gb/s EPON in IEEE 802.3av, IEEE Communications Magazine, July 2008, p40-47
- [6] Marek Hajduczenia¹, Henrique J. A. da Silva², Paulo P. Monteiro¹, "10G EPON Development Process", ICTON 2007, Th.B11.3, pp276-282
- [7] Tomš Kratochvíl, "From Analog to Digital Television—the Common Way How to Digitize European Broadcasting", IEEE HISTELCON-08, pp164-169
- [8] Albert J. Stienstra, "Technologies for DVB Services on the Internet", Proceedings of The IEEE, Vol.94, NO.1, January 2006
- [9] Kevin Hastings and Nick Nechita, Aliant, "Challenges and Opportunities of Delivering IP-Based Residential Television Services", IEEE Communications Magazine, November 2000
- [10] Juan Wu, YaLing Nie, Hideya Yoshiuchi, Hiroki Ikeda, "Building Multicast Controller for Carrier-grade IPTV Service over Ethernet Passive Optical Network", IEEE ICSNC 2007, 2007
- [11] Ulrich H. Reimers, "DVB-The Family of International Standards for Digital

- Video Broadcasting”, Proceedings of the IEEE, Vol.94, NO. 1, January 2006
- [12] 周贤伟, IP 组播与安全[M], 国防工业出版社, 2006
- [13] 阎德升, 边恩炯, 王旭等, EPON—新一代宽带光接入技术与应用[M], 机械工业出版社, 2007
- [14] Akyildiz I F, Weilian SU, Sankarasubramaniam Y. “A Survey on Sensor Networks”. Communications Magazine, IEEE, 2002, 40(8): 102-114
- [15] 孙强, 周虚, 光接入网技术及其应用[M], 清华大学出版社, 2005
- [16] Chinlon Lin, “Broadband-Optical Access Networks and Fiber-to-the-home”. England: John Wiley & Sons Ltd. 2006.
- [17] Kumar Shakti Singh: GPON-The Next Generation Access Network, Transwitch Corporation; <http://www.ecniamag.com/article.asp?articleid=5207>
- [18] IEEE P802.3ah task force, IEEE Draft P802.3ahTM/D1.9, Operations, Administration and Maintenance (OAM), <http://www.ieee802.org/3/efm,2003-02-31>
- [19] Sami Lallukka and Pertti Raatikainen, “Link Utilization and Comparison of EPON and GPON Access Network Cost”, IEEE Globecom 2005
- [20] 龙楠楠, 承载 IPTV 业务的 EPON 解决方案研究, 北京邮电大学, 2006
- [21] <http://www.c114.net/ftth/320/a393849.html>
- [22] http://www.tech-ex.com/broadcast/industry_database/development/00426583.html
- [23] 谢希仁, 计算机网络[M], 电子工业出版社, 2008
- [24] Cheng Chuanqing, Cheng Chuanhui, Wang Li, “Discuss of Multicast Mechanism in EPON”, IEEE 2008, pp.2548-2550
- [25] Deering S. Host extensions for IP multicasting. RFC 1112, Stanford University, 1989.
- [26] 刘利强, 周细义, 石炎生, IPv6 组播通信的研究与实现,通信系统与网络技

- 术, Vol.33 No.1, 2007
- [27] Internet Engineering Task Force, "Internet Group Management Protocol, Version 2," RFC 2236, November. 1997
- [28] B.Cainetal, Internet, Group Management Protocol, Version 3, RFC3376, October 2002
- [29] Cheng Chuanqing, Wang Li "IP multicast group management protocol and implementation in L2 ", Information Technology, 2003.9
- [30] 赵中百, 江秀, 吴志美, IP 组播技术及其在 VoD 系统中的应用, 计算机工程[J], Vol.28 No.7, 2002
- [31] Parkhurst WR. "Cisco Multicast Routing and Switching". McGrawHill, 1999. 25~42, 43~53.
- [32] 王光伟, 邹君妮, 叶家俊, 组播技术在 EPON 中的实现, 光通信技术, 第 6 期, 2005
- [33] Randy Zhang, Micah Bartel, BGP 设计与实现 (美), 人民邮电出版社, 2005
- [34] Biswas S, Haberman B, Cain B, "IGMP multicast router discovery", Nortel Networks and Cereva Networks, Internet-Draft, 2001.
- [35] 周金和, IPv6 组播路由协议仿真研究, 现代电信科技, 2006.12
- [36] EPON 与 CATV 网融合的相关技术, 有线电视技术, 2008, pp43-46
- [37] 黄福明, EPON 技术特点及其在 CATV 中的应用, IT 技术论坛科技信息, 2008, pp58-59
- [38] 刘广山, 基于 DVB-S 的数据广播系统, 山东大学, 2005
- [39] IEEE 802.3ah, "Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks", Amendment to IEEE 802.3 "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications", 7 Sep, 2004.
- [40] Glen Kramer, Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network (EPON):

- Building a Next-Generation Optical Access Network”, IEEE Communications Magazine, Vol. 40, Issue 2, February 2002, pp.66-73
- [41] 张伟, 肖定中, 孟玉, EPON 系统 LLID 组播实现初探, 光通信研究[J].Vol 129.2005.pp28-30
- [42] 季伟, 葛振彪, 何青等, IPTV 关键技术与应用[M], 机械工业出版社, 2007
- [43] Gangxiang Shen, Rodney S. Tucker, and Chang-Joon Chae, “Fixed Mobile Convergence Architectures for Broadband Access: Integration of EPON and WiMAX”, IEEE Communications Magazine, August 2007, pp44-50
- [44] Maode Ma, Yongqing Zhu, and Tee Hiang Cheng, “A Systematic Scheme for Multiple Access in Ethernet Passive Optical Access Networks”, Journal of Lightwave Technology, Vol.23, NO.1, November 2005, pp3671-3682
- [45] 易瀚如, 何岩, EPON 系统中的组播技术, 光通信研究[J], 第 138 期, 2006
- [46] Yongqing Zhu, Maode Ma, Tee Hiang Cheng, “An Efficient Multiple Access Control Scheme to Support Differentiated Services In EPONs”, IEEE,2004
- [47] 杨柳, 王宏军, EPON 中组播协议的实现.光通信技术[J], 第 6 期, 2005
- [48] 尹宝青, 何岩, 陆正东, EPON 系统中的 LLID 技术, 光通信技术[J], 第 8 期, 2006
- [49] 何岩, 杨宗凯, 采用多 LLID 技术的 EPON 综合接入系统.光通信研究[J], 第 130 期, 2005
- [50] 李小国, 刘海, 刘德明, IGMP Snooping 在 EPON 宽带接入网中的实现, 光网络[J], 第 6 期, 2007
- [51] Fenner B, He HX, Haberman B, Sandick H. “IGMP-Based multicast forwarding (IGMP proxying)”, AT&T-Research, Nortel
- [52] Glen Kramer, Biswanath Mukherjee, and Ryan Hirth, “Supporting Differentiated Classes of Services in Ethernet Passive Optical Networks”, Journal of Optical Network, Vol. 1, Nos. 88~9, 2002

- [53] Na Zhang, Mingsen Xu, Rikun Liao, Hydeya Yoshiuchi, Yuefeng Ji, Gaowa Saren, "A Service-Classified and QoS-Guaranteed Triple-play Mode In FTTH Network", IEEE 2006
- [54] Zipf,G Hum an behavior and the principle of least effort [M].Addison-Wealey.1949.
- [55] 温慧尧, 陈晓, 李挺屹, DVB 在 IP 机顶盒中的一种实现, 微计算机应用, Vol.28 No.2, 2007

致 谢

时光飞逝，从懵懂踏入山东大学到临近毕业已近三年。有些许不舍，些许兴奋，些许遗憾。总结三年的收获和付出，失意和重拾信心，心中感慨万千。谨在硕士毕业论文完成之际，向所有给予我关怀和帮助、支持和鼓励的人们表示衷心的感谢！

首先感谢我的指导老师季伟、冯德军老师。本文是在两位老师的悉心指导下完成的。季老师作为良师益友，在学习和生活中都给予我精心的指导，时刻督促我上进，因材施教地挖掘我的兴趣点。很感激季老师在我时间紧张、基础薄弱的情况下，积极协助广泛阅读文献和研究课题，帮助我逐步克服胆怯心理，并顺利完成毕业课题的研究。冯老师温文儒雅，学识渊博，谦虚内敛；作为我的入门导师，冯老师给予我很大的发展空间，充分尊重了我的专业特长，在课题研究上耐心细致、务求完美的治学态度也深深的感染了我。相信，季老师钻研学术的无私忘我和冯老师谦虚求实的作风会影响我一生，并伴我成长！

三年内我所有的成绩都凝聚着研究所所有老师们的心血。李康老师有条不紊的学术风格、悉心听取学生想法的谦逊，为我们树立了为人师表的典范。孔繁敏老师对学术的热爱和忘我投入同样让我受益匪浅，他时刻督促我的学习，与他的交流让我收获颇丰。雷虹、余恬老师严谨求实的治学态度、高度的责任心以及谦和的作风都让我感触很深，他们时刻提醒着我：学术研究的永无止境！刘立国老师真诚的建议，朴实的教育理念……所有这些都是促使我取得进步的源泉！

其次感谢刘洋师兄带领我快速熟悉研究领域和对我一直的鼓励和支持；感谢许庆涛三年来对我无私的帮助和包容，未来我会继续努力取得进步；感谢解浩实习期间对我的扶持；还有何国圆、王小晨、杜旭姐妹三年来的照顾帮助，不同领域间的沟通开阔了我的视野和研究思路；感谢朝夕相处的兄弟姐妹—吕明双、高霞、林异株、许伟，不断陪伴我成长；这些友谊我会好好珍藏！

感谢家人对我一如既往的肯定和支持……泪奔……我会继续努力！

最后，再次向所有帮助、关怀、鼓励我的人表示衷心的感谢！

刘茜

攻读硕士学位期间的学术成果和参与项目

学术成果:

- “A Novel Implementation of Carrying DVB Service in Ethernet Passive Optical Network”, ICCT2008, pp379-382, 2008 年 11 月份, EI 收录检索, 第一作者
- “FTTH 家庭网关及其对视频业务的承载”, 光通信技术, ISSN1002-5561 CN45-1160/TN, 第三作者
- 申请发明专利: “一种以太无源光网络承载数字电视节目的系统和方法”(200810017060.9), 第二作者, 导师第一作者
- 申请发明专利: “一种融合接入的局端 OLT 装置”(200810017061.3), 第三作者, 导师第一作者
- “利用光子晶体与全向反射镜结构提高光提取率的研究”, 光电子. 激光, 第四作者(已录用)
- “基于 SCM/EPON 技术的视频点播系统设计”, 电视技术, 第三作者(已录用)

参与项目

- 2007.11-2008.5 在青岛海信集团与美国 Ligent 合资子公司青岛海信宽带多媒体技术股份有限公司研发部门实习, 参与公司 IT 管理系统和 ONUBOX 产品检测模块的设计和开发, 并独立负责顾客反馈问题管理软件的研发。
- 2008.3-2009.3 参与项目“FTTH 条件下的综合接入终端-复合功能机顶盒的研究与设计”

IP组播技术在FTTH/EPON系统中的应用与实现

作者：[刘茜](#)

学位授予单位：[山东大学](#)

相似文献(0条)

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Thesis_Y1563097.aspx

下载时间：2010年5月10日