

中文摘要

摘要：本文通过深入研究对等网络 IPTV 系统和应用层组播 IPTV 系统，提出了同时支持两种技术的基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型 SANM。SANM 模型由两层架构组成，上层是应用层组播树，下层是以组播树叶节点为超节点的对等网络，模型结合了两种技术各自的优点，既利用了对等网络保证系统的实时性，又利用了应用层组播技术保证系统的可靠性。

在实现 SANM 模型的过程中，本文引入了对等网络节点混合式查找算法（HS 算法）和应用层组播树构建算法（SS 算法），并以 HS 算法和 SS 算法为基础，设计出基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法（SA 算法），SA 算法使得网络中的每个节点都能充分利用对等网络和应用层组播的优势，可随时根据网络状况，自适应地选择在对等网络和应用层组播之间进行角色转换。通过 OPNET 仿真测试，本文提出的 SA 算法能够提高网络性能，减少链路的数据传输时延，保证数据传输的实时性，为 IPTV 系统流媒体节目的顺利播放提供技术保证。

本文包含 30 幅图、4 张表和 44 篇参考文献。

关键词： IPTV；对等网络；应用层组播；SANM；自适应；SA 算法

分类号： TP393

ABSTRACT

ABSTRACT: Through study in-depth on P2P IPTV system and ALM IPTV system, a self-adaptive network model (SANM) of IPTV system based on P2P and ALM is proposed, which supports the two technologies at the same time. The structure of SANM is two-tier structure, with the application layer multicast tree as upper tier and the P2P network as lower tier. The super peer of the P2P network is the leafage peer of the application layer multicast tree. SANM used the real time advantage of P2P, as well as high reliability of ALM.

The paper quotes Hybrid Search P2P algorithm (HS algorithm) and Single Source ALM algorithm (SS algorithm) in achieving the SANM. Based on the two algorithms above, self-adaptive network algorithm (SA Algorithm) of IPTV system based on P2P and ALM is proposed. SA algorithm makes each client in the network can take full advantages of P2P and ALM. The client can switch the role between P2P and ALM according to network conditions at any time. The result of simulated test shows that the SA algorithm proposed in this paper can greatly improve the network performance, including reduction of the data transmission delay in low-bandwidth network link.

There are 30 pictures, 4 tables and 44 references in this paper.

KEYWORDS: IPTV; P2P; ALM; SANM; Self-Adaptive; SA Algorithm

CLASSNO: TP393

图索引

图 1 各机构对全球 IPTV 用户数量发展趋势预测图	8
图 2 各机构对全球 IPTV 市场发展趋势预测图	9
图 3 各机构对中国 IPTV 用户数量发展趋势预测图	9
图 4 各机构对中国 IPTV 市场发展趋势预测图	10
图 5 P2P 模式的网络通讯方式	12
图 6 C/S 模式的网络通讯方式	13
图 7 集中式结构图	15
图 8 分布式结构图	16
图 9 混合式结构图	17
图 10 IP 组播的数据传输方式	21
图 11 ALM 的数据传输方式	21
图 12 SANM 模型物理架构图	26
图 13 数据处理图	27
图 14 自适应调整图	27
图 15 网络拓扑图	28
图 16 线性空间递归划分成 4 等份的示意图	30
图 17 网络拓扑图	36
图 18 节点加入算法流程图	38
图 19 节点退出算法流程图	40
图 20 节点失效算法流程图	41
图 21 一个组播树的例子	42
图 22 待转换的组播树节点	43
图 23 从组播树转换得到的 P2P 网络	44
图 24 组播树的分支转换为 P2P 域	44
图 25 组播树节点转换成 P2P 节点的流程图	45
图 26 节点 D 从 P2P 节点转换成组播树节点	46
图 27 域内 P2P 节点与超节点建立连接	47

图 28 域内 P2P 网络转换成组播树的一个分支	48
图 29 P2P 节点转换为组播树节点的流程图	49
图 30 链路时延实验结果	51

表索引

表 1 各机构对全球 IPTV 用户数量和市场价值预测表	8
表 2 各机构对中国 IPTV 用户数量和市场价值预测表	9
表 3 P2P 模式与 C/S 模式的性能比较	14
表 4 拓扑结构间的性能比较	18

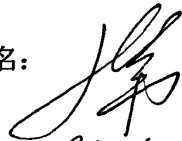
学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解北京交通大学有关保留、使用学位论文的规定。特授权北京交通大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名：车珍

签字日期：2008年5月30日

导师签名：

签字日期：2008年5月30日

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京交通大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：车岭

签字日期：2008年5月30日

致谢

本论文的工作是在我的导师卢苇教授的悉心指导下完成的。在攻读硕士学位期间，卢老师在我的学习、工作及生活方面都倾注了很大心血。卢老师不仅为我们营造了良好的学习环境，传授给我专业知识，引领我进入科研前沿，而且教导我要为人正直，务实上进。由于卢老师的悉心指导和教诲，使我在学术研究和工作的方法上受到了很好的锻炼，在专业知识的广度和深度上都有很大的收获。卢老师严谨的治学态度、勇于进取的工作精神、勤勉踏实的工作作风、极其开阔的学术思路，对我以后的工作及学习产生了深远的影响，使我受益匪浅。在此，衷心感谢两年来卢老师对我的关心和指导。

同时，感谢实验室的各位同学，是师兄、师姐、师弟、师妹共同为实验室营造了融洽的学习工作氛围，同时对我的日常工作学习提供了很大帮助。

另外也要感谢我的家人，他们在我的生活道路上不断给予有益的意见及建议，不断地鞭策我，使我能够不断前进。他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

总之，我今天所取得的一切成绩都离不开大家的支持和帮助。在此，谨将我最诚挚的谢意和最美好的祝福献给所有关心、支持和帮助过我的人们，衷心地感谢你们。

1 引言

1.1 研究背景

IPTV (Internet Protocol Television) 译为互联网协议电视, 简称网络电视, 是数字技术、计算机技术和消费家电产品日益密切结合的产物, 是各类数字信息内容依托宽带平台共同发展的结果。IPTV 系统提供的是交互式网络电视服务, 其主要特点在于真正实现了实时性与互动性, 它不但能实时接收广播信号, 而且能实现用户与服务提供商的互动。

从 20 世纪 90 年代初期, 人们就开始着手研究 IPTV 技术及其相关应用。1999 年, 英国 Video Networks 公司率先推出了 IPTV 业务。随后, 美国 SBC 于 2001 年进入 IPTV 服务市场。加拿大 MTS 和我国电讯盈科两家电信运营商也分别于 2002 年和 2003 年正式进入 IPTV 服务市场。到目前为止, 全球 IPTV 服务运营商已从 2004 年的数十家飞速增长至两百余家。同时, IPTV 的用户数也已突破了 1500 万。

MGR 公司在其最新公布的网络电视市场预测报告中指出, 欧洲仍然引领全球 IPTV 市场的发展, 不过中国、东欧以及俄罗斯的网络电视市场发展十分迅猛, 5 年后亚洲 IPTV 市场有望超越欧洲。

在技术上, 中国已经具备了大规模发展 IPTV 的条件, 但是除了政策监管方面的因素, 中国还面临其他方面的一些问题, 主要表现在网络支撑能力的不足, 中国目前的网络带宽容量仅仅能承受 5% 的宽带用户使用 IPTV 服务, 以 2600 万宽带用户的数量来计算, 即只能支撑 130 万 IPTV 用户。目前看来, 不可能重新建设全新的网络来迎合 IPTV 发展, 而是会在现有的网络基础上进行技术优化来逐步发展 IPTV。

1.2 国内外研究现状

想要实现几十万甚至几百万用户同时收看 IPTV 节目, 不仅需要极宽的带宽, 还需要大量的服务器。目前, 国内外常用的解决方法有两种:

- 采用组播来提供广播
 - 采用 CDN 技术, 将服务器放到离客户近的地方以减轻网络负荷
- 若对现有网络进行改造, 让其支持组播, 就会损失互联网强大的通达能力,

还会导致成本增加和重复工作的资源浪费。所以，IPTV 只能在经过改造的局部网络内提供广播业务。目前 C/S 模式（即，客户机/服务器模式）也是制约 IPTV 发展的一大因素。为了解决这一“瓶颈”，现行的方法主要有两大类^[1-3]：

- P2P 流媒体技术
- 应用层组播（ALM）技术

而基于 P2P 的 IPTV 和基于 ALM 的 IPTV 各自都还面临技术、运营模式、产业链以及法律法规等各方面的问题，所以说，解决这些问题为实现科技创新提供了很好的机会。

1.3 本文主要研究内容

目前，基于对等网络 IPTV 系统和基于应用层组播 IPTV 系统是相互独立发展的，各自遇到一些发展中的困难。如果将两种技术结合起来，以应用层组播的理念和技术发展基于对等网络 IPTV 系统，那么将能开创网络媒体演化的新局面。结合对等网络技术和应用层组播技术各自的优点，将对等网络技术和应用层组播技术结合起来，并应用到 IPTV 系统中，就能够解决目前 IPTV 系统发展的技术瓶颈。这就是基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统。

本文基于对大量 IPTV 相关技术的理论学习，通过深入了解现有的 IPTV 技术，研究了基于对等网络的 IPTV 系统和基于应用层组播的 IPTV 系统，提出了同时支持两种技术的基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型。引入了对等网络节点混合式查找算法和应用层组播树构建算法，并以这两种算法为基础，设计出基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法。

1.4 研究意义

目前中国在基于对等网络的 IPTV 技术和应用方面居世界领先地位，电信业在发展宽带业务方面有强烈的需求和良好的基础，有先进的网络基础设施和有国际竞争力的电信和网络设备制造业，可以成功地支持创新。基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统运行在公共互联网上，架构重叠网，建立运营平台，拥有认证、授权和计费系统，具有互联网无所不在覆盖全球的通达能力，能够支持向网络新媒体平滑演进。发展基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统有助于平衡各方面利益，建立可持续发展的产业链。

1.5 本文的组织结构

本文按以下章节组织：

第 1 章 引言

介绍论文的研究背景、国内外研究现状、本文的研究内容及意义。

第 2 章 相关技术概述

介绍了 IPTV 的相关技术知识，包括 IPTV 的概念、组成和主要业务类型。通过大量的调查研究，总结得出 IPTV 在国际、国内市场的现状，并对比分析了多家权威机构的 IPTV 未来发展预测。还分析了 IPTV 面临的技术瓶颈。分别介绍了对等网络和应用层组播的相关概念，重点研究了主要结构类型和现有技术。

第 3 章 自适应 IPTV 系统网络模型的构建

基于模型的设计思想，提出了基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的网络模型架构和拓扑结构。

第 4 章 自适应 IPTV 系统的组网算法

改进了现有的对等网络查找算法和应用层组播的组播树构建算法，引入了对等网络节点混合式查找算法（HS 算法）和应用层组播树构建算法（SS 算法）。提出了基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法（SA 算法）。并对上述算法进行了详尽的描述。

第 5 章 算法性能分析

分别对 HS 算法、SS 算法和 SA 算法的性能进行分析，并使用 OPNET 进行了网络仿真测试。

第 6 章 总结

对全文进行了总结。

最后是参考文献、图索引、表索引等。

2 相关技术概述

2.1 IPTV 概述

2.1.1 IPTV 基本概念

IPTV (Internet Protocol Television) 译为互联网协议电视, 简称网络电视, 是数字技术、计算机技术和消费家电产品日益密切结合的产物, 是各类数字信息内容依托宽带平台共同发展的结果^[4]。IPTV 既不同于传统的模拟信号有线电视, 也不同于时下流行的数字信号有线电视。IPTV 的基本原理是利用宽带网络的基础设施, 以家用电视机或计算机为终端设备, 集互联网、多媒体通信等多种技术于一体, 通过互联网协议 (Internet Protocol, IP) 向家庭用户提供包括数字电视在内的多种交互式数字媒体服务的核心技术。终端用户在家中可以用“计算机+宽带”方式或者“电视机+IPTV 机顶盒”方式享受 IPTV 系统提供的多媒体信息服务。目前, 主流的 IPTV 系统以 IPTV 机顶盒为主要接收解码终端、以电视机为主要显示设备、以遥控器为主要输入设备、以宽带互联网协议为主要传输网络协议, 提供多媒体信息服务。这样就可以将电视、通信和计算机三个领域有效地结合起来, 为用户提供优质服务。

IPTV 系统提供的是交互式网络电视服务, 其主要特点在于真正实现了实时性与互动性, 它不但能实时接收广播信号, 而且能实现用户与服务提供商的互动。因为 IPTV 系统使用了宽带互联网协议, 所以 IPTV 系统可以轻而易举地将浏览网页、收发电子邮件和多种在线信息咨询、娱乐、教育、电子商务等功能结合在一起。

IPTV 系统由四部分组成: 内容制作、网络运营、运营支撑、终端用户。接下来介绍一下各组成部分的内容和作用:

(1) 内容制作部分:

- 编码系统: 基于系统支持的音视频编码格式的编码器。可以嵌入多种编辑转码软件, 实现节目制作和转码。
- 节目生产管理: 对节目生产的全过程进行管理和监控, 保证节目制作的质量。同时进行版权管理, 实现与内容提供商的合同管理。
- 实时直播系统: 支持节目的实时转码压缩上传。

(2) 网络运营部分:

- 网点链接服务器：将制作完成的节目（包括节目内容、节目信息相关图片）分别传送到节目管理系统和流媒体服务器，同时支持运营节点将视频流分发到边缘流媒体服务器。
 - 接入门户（流媒体服务器插件）：完成 IPTV 机顶盒的访问认证，为 IPTV 机顶盒提供检索节目内容和访问媒体内容链接的支持，同时完成计费数据的采集等功能。
- (3) 运营支撑部分：
- 节目管理：对直播和点播的节目进行管理，同时对节目的配置、播放服务器的当前状态进行监控管理。
 - 计费系统：对用户进行管理，对采集的计费数据进行转换和商务逻辑的处理，完成出帐，并根据账单计算与内容提供商的结算信息。
- (4) 用户部分：
- 收看方式：有两种收看方式供用户选择，分别是“计算机+宽带”和“电视机+IPTV 机顶盒”。用户可以根据自己的实际需求选择接受的方式。
 - IPTV 机顶盒：在 IPTV 的用户终端，用户可以通过 IPTV 机顶盒浏览频道的 IPG（互动节目指南），点播基于系统支持的编解码格式的视频节目，收看直播电视频道节目，高档的 IPTV 机顶盒还支持下载后再播放（可容纳 200h~1000h 的 DVD 质量的数字节目）。

IPTV 可以提供的业务类型囊括电视类业务、通信类业务和各种增值业务。

- (1) 直播电视业务：对电视节目进行实时直播服务，众多频道提供大量电视节目，用户可使用遥控器轻松自由地切换频道。
- (2) 时移电视业务：用户可使用遥控器对电视节目进行暂停、快进、快退等控制操作。
- (3) 视频点播业务：IPTV 具有很强的互动性，用户可以在丰富的视频节目之间自主选择，随意点播、随时收看。
- (4) 传统话音服务业务。
- (5) 传统互联网接入服务。
- (6) 多种增值业务：可视电话、网页浏览、在线游戏、在线教育、音乐下载、电子商务、电子政务等增值服务。

2.1.2 IPTV 的应用情况

2.1.2.1 国际市场应用情况

从 20 世纪 90 年代初期,人们就开始着手研究 IPTV 技术及其相关应用。1999 年,英国 Video Networks 公司率先推出了 IPTV 业务。随后,美国 SBC 于 2001 年进入 IPTV 服务市场。加拿大 MTS 和我国电讯盈科两家电信运营商也分别于 2002 年和 2003 年正式进入 IPTV 服务市场^[5]。

从全球的发展情况来看, IPTV 业务主要集中在欧美和亚太部分国家和地区。

● 北美市场

在北美,由于电信业竞争激烈,各大运营商对发展 IPTV 的热情更加高涨。并且由于产业链分工明确,实现了产业链各环节利益的最大化。

在北美 IPTV 市场,加拿大走在美国之前。目前,加拿大 IPTV 用户已超过 10 万。提供 IPTV 业务的运营商有 5 家,分别是: MTS、AliantTV、Sasktel、TelusTV 和贝尔加拿大。5 家 IPTV 运营商中,最大的是 MTS,在 VDS 网络中开通了 IPTV 业务,用户集中在 Winnipeg 地区。2006 年 8 月,MTS 首先推出了 HDTV 的 IPTV 业务。2007 年 4 月,它的用户达到 7 万,它提供的电视节目包括好莱坞的 blockbuster、儿童节目等。第二大的 IPTV 运营商是 Sasktel,在 ADSL 网络中开通了 IPTV 业务。业务主要在 Saskatchewan 地区,业务品牌是 Max 交互电视,2005 年底用户达到了 4.28 万。2007 年 4 月用户增加到 5.1 万。Telus 于 2002 年推出 IPTV 业务,主要覆盖 Edmonton 和 Calgary 两个地区。近几年业务扩展到更多的地区,与当地的有线和卫星电视业务者展开竞争。AliantTV 于 2006 年春天在 Nova Scotia, Newfoundland 和 Labrador 三个地区开展了业务。

而在美国,2001 年 Qwest 通信首先推出了基于 VDSL 的 IPTV 业务 Qwest Choice TV & OnLine,为用户提供互联网接入、话音和 250 多个电视频道整合的一体化业务。2002 年后,又有不少 IPTV 提供商相继推出了 IPTV 业务。总体上,美国 IPTV 目前仍处于发展初期,这一新兴业务市场需要培育。

● 欧洲市场

欧洲是 IPTV 业务开展最早、发展较快、成熟性高、处于全球领先地位的地区。IPTV 技术于 2001 年由意大利“快网”公司引入欧洲,2004 年,该技术开始在欧洲普及。IPTV 机顶盒的主要制造商分别为思科公司、汤姆森公司、飞利浦公司、摩托罗拉和阿尔卡特-朗讯。

目前,欧洲的发达国家大都开通了 IPTV 业务,这些国家主要集中在西欧,其中意大利、法国发展比较突出和相对成功。未来 5 年, IPTV 仍将是西欧发展速度最快的新兴业务。

2007年,在俄罗斯、波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利和其它东欧国家都出现了IPTV竞争,随着东欧用户选择IPTV成为可能,在这些地区IPTV开始替代有线电视和卫星业务。

在法国,4家电话公司正在为IPTV业务展开激烈竞争,这4家公司分别是法国电信、NeufCegetel和艾丽丝公司、法国达蒂和瑞典Tele2。另外,Bouygues电信公司的一家子公司也在计划提供IPTV服务。在德国,绝大多数家庭选择的是无线数字电视和光纤电视,大约有4万用户订制了IPTV。德国电信咨询有限公司的IPTV网络已经与1500万户家庭相连。在英国,BSkyB卫星广播公司和光纤垄断商Virgin媒体公司是付费电视市场的统治者。英国电信集团已于2006年12月开始推出IPTV服务。

2004年,欧洲推出了8种新的IPTV业务,这一业务量位居全球首位。由于各国IPTV发展面临的环境和用户不同,运营商在推出IPTV业务上,也视实际有所差异。从各运营商提供的业务分析,主要有以下几种形式:享受一定数量的免费电视频道,额外频道收费;音乐、电影等点播;欧洲人喜爱的足球直播;互动电视,包括:游戏、民调、选举投票;在线服务,包括:新闻、交通、天气、短信等。

2.1.2.2 国内市场应用情况

根据IDC的统计数据,截至2006年年底,中国IPTV市场用户数达到45万。在2006年一年间,上海IPTV用户从8万激增至15万,哈尔滨IPTV用户的增长虽然开始放缓,但向牡丹江、黑河等地扩张。在其他地区,如江西、陕西、宁夏、四川等地,或在开展测试与试用,或在进行招投标、或者已经开始放号,全国各地IPTV建设、试点和商用的城市不断增多。

到2007年年底,中国大陆的IPTV用户约有84.6万。虽然低于中国运营商原来预计的130万,但某市场研究公司报告称,IPTV在中国仍有美好的前景。若电信运营商和广播运营商之间寻找到双赢平衡点,到2011年,中国IPTV用户将超过1700万。

2.1.2.3 IPTV未来市场情况预测

到目前为止,全球IPTV服务运营商已从2004年的数十家飞速增长至两百余家。同时,IPTV的用户数也已突破了1500万。

In-Stat/MDR公司、Multimedia研究集团、InformaTelecoms&Media公司等多家研究分析机构分别对全球的IPTV市场发展和我国的IPTV市场发展情况做出了

详尽的分析预测。现将各机构对全球和中国的 IPTV 市场预测情况汇总如下：

表 1 各机构对全球 IPTV 用户数量和市场价值预测表

	用户数量 (万)				市场价值 (亿美元)		
	2004	2006	2008	2010	2004	2006	2008
In-Stat/MDR					3.2		37
Multimedia	190		2530		5.76		66
Informa Telecoms&Media	250			2500			
Strategy Analytics		800	2000			80	200
iResearch	210		4400		3.7		82

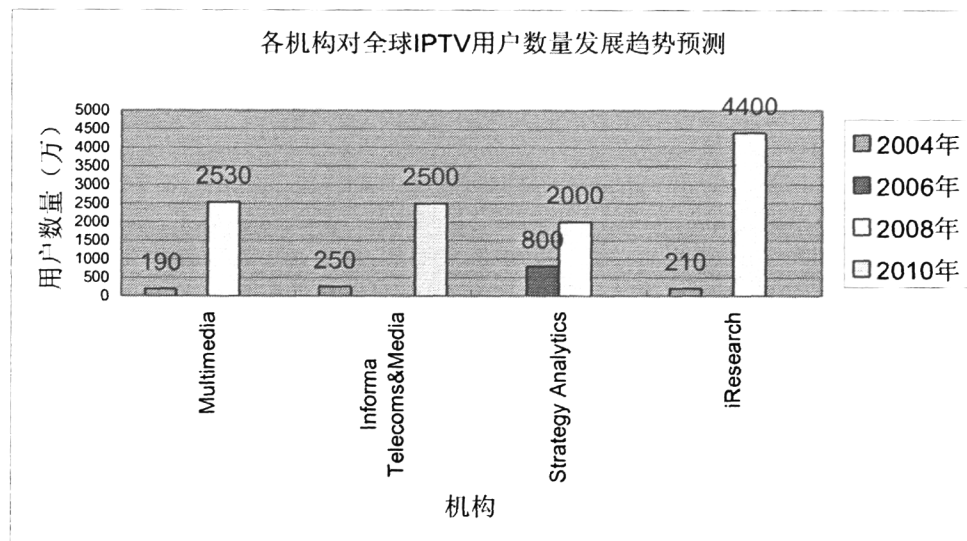


图 1 各机构对全球 IPTV 用户数量发展趋势预测图

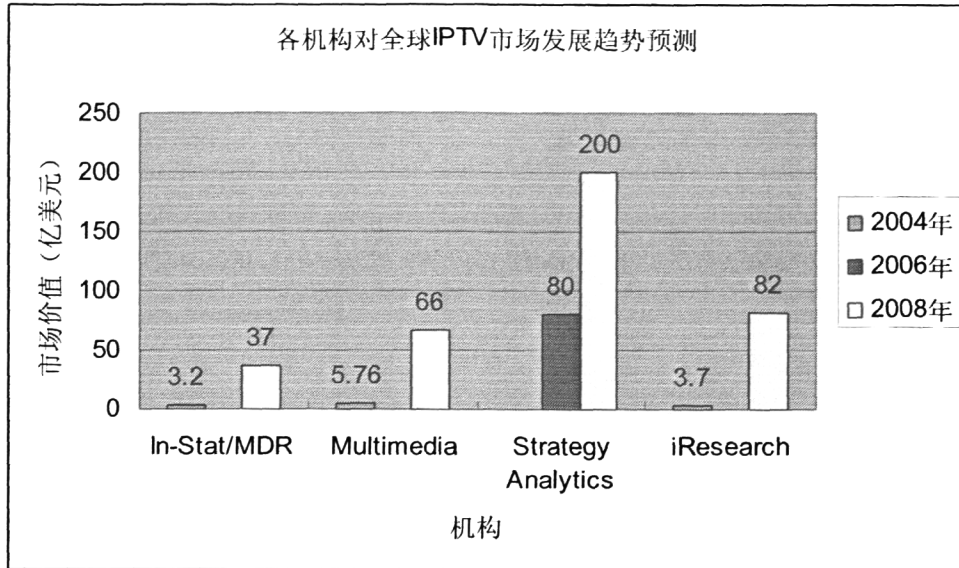


图 2 各机构对全球 IPTV 市场发展趋势预测图

表 2 各机构对中国 IPTV 用户数量和市场价值预测表

	用户数量 (万)			市场价值 (亿元人民币)		
	2004	2008	2015	2004	2008	2015
IDC	4.6	855.5				
Analysys International		1665		3	167	
iResearch	35	1650		1.3	148	
CTBRI		774	8000		46.4	960

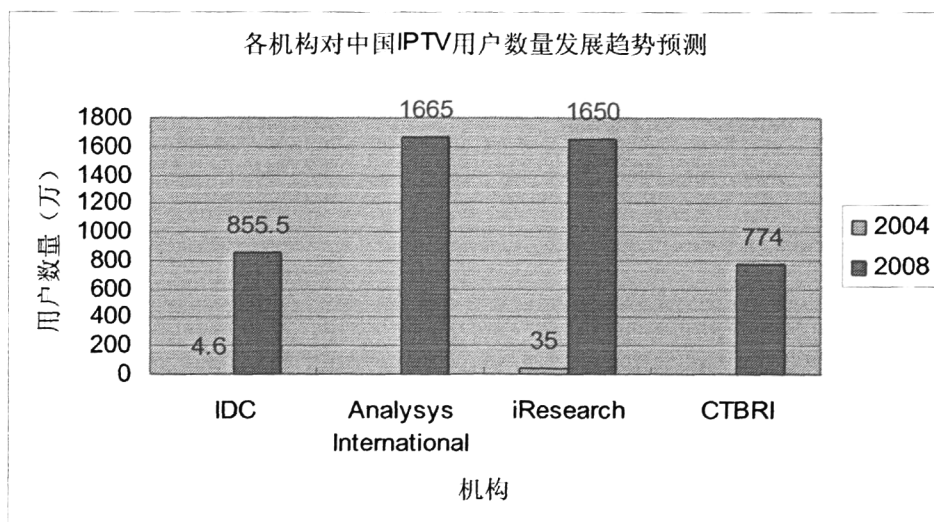


图 3 各机构对中国 IPTV 用户数量发展趋势预测图

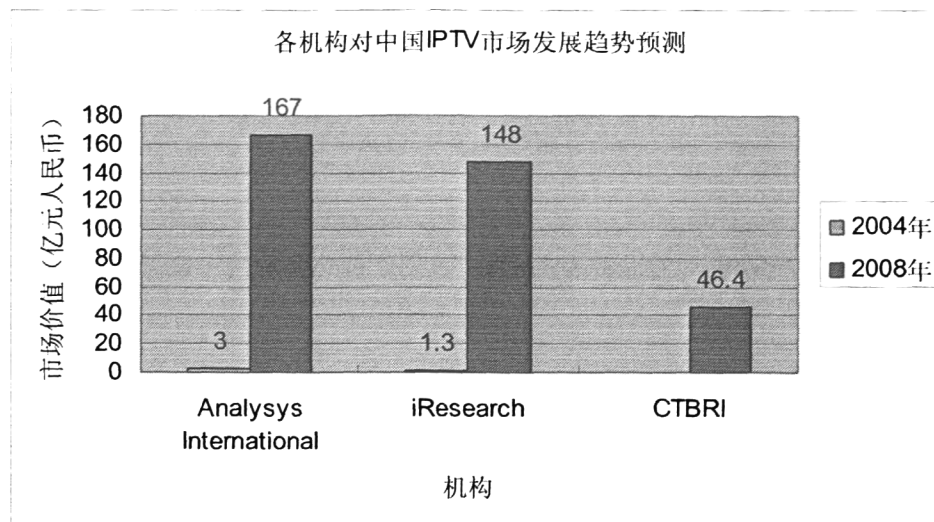


图 4 各机构对中国 IPTV 市场发展趋势预测图

参照上述多家机构的预测结果，虽然数据差别很大，但是有一点是统一的，那就是每家机构对 IPTV 的市场价值和用户数量的预测都呈现快速增长的趋势。可见，IPTV 拥有良好的市场前景。各家机构的预测结果差距较大，也说明了 IPTV 的技术和市场上不成熟，其发展充满着不确定性。

2.1.3 IPTV 发展的技术瓶颈

在技术上，中国已经具备了大规模发展 IPTV 的条件，但是除了政策监管方面的因素，中国还面临其他方面的一些问题，主要表现在网络支撑能力的不足，中国目前的网络带宽容量仅仅能承受 5% 的宽带用户使用 IPTV 服务，以 2600 万宽带用户的数量来计算，即只能支撑 130 万 IPTV 用户。目前看来，不可能重新建设全新的网络来迎合 IPTV 发展，而是会在现有的网络基础上进行技术优化来逐步发展 IPTV。

目前 IPTV 系统大多基于 C/S（客户机/服务器）模式，所有的流媒体资源都存储在中心服务器上，用户通过直接访问中心服务器来获取相应资源。在这类网络应用模型中，客户端和服务器角色完全不同，客户端很被动，通过发送请求来获取资源，而服务器端处于支配地位，对各个请求返回结果。传统流媒体服务大都采用这种 C/S 模型，很难满足 IPTV 的使用需求，会导致用户端画面质量低，还可能伴有明显时延等待或中断等。

除了上述的网络稳定性，IPTV 系统的发展还受到实时性、健壮性、安全性等条件的制约。

2.2 对等网络概述

2.2.1 对等网络基本概念

对等网络即端到端 (Peer-to-Peer)，以下简称为 P2P。P2P 是一种网络模型，可以简单地定义为网络的参与者共享他们所拥有的一部分硬件资源，这些共享资源通过网络提供服务和内容，能被其它对等节点直接访问而无需经过中间实体。在此网络中的参与者既是资源提供者 (Server)，又是资源获取者 (Client)。

从某种意义上讲，P2P 不仅仅是一门技术，还是一种思想，有着改变整个互联网基础的潜能的思想。客观讲，单从技术角度而言，P2P 并未激发出任何重大的创新，而更多的是改变了人们对因特网的理解与认识。正是由于这个原因，IBM 早就宣称 P2P 是一个社会和经济现象。

不管是技术还是思想，P2P 是直接将人们联系了起来，让人们通过互联网直接交流。它使得网络上的沟通变得更容易、更直接，真正地消除中间环节。这听起来仿佛全新的概念，但其实并不是什么新鲜事。我们每天见面，或者通过电话直接交流都是 P2P 最直接的例子。从电话的发展的历史中我们可以感觉到，P2P 必将在互联网时代有着突飞猛进的发展，因为他可以改变现在的 Internet 以大网站为中心的状态、重返“非中心化”，并把权力交还给用户，让我们的语言影像以最直接的方式传递到对方身边。它最符合互联网络设计者的初衷，给了人们一个完全自主的超级网络资源库。

USENET 和 FidoNet 是两种出现较早的分布式对等网络技术，其中，USENET 诞生于 1979 年，FidoNet 创建于 1984 年。而 P2P 的思想与这两种分布式对等网络技术一同诞生。

1997 年 7 月，Hotline Communications 公司成立，并且研制了一种可以使其用户从别人电脑中直接下载东西的软件 (原文为：Hotline Communications is founded, giving consumers software that lets them offer files for download from their own computers.)。从此，P2P 正式步入发展阶段。

到了 1999 年，美国东北波士顿大学的一年级新生、18 岁的肖恩-范宁编写的 Napster 迅速走红，最高峰时 Napster 的注册用户达到 8000 万。至此，P2P 技术成功地进入了人们的日常生活。

2000 年以后，P2P 技术的发展就得使用月、日来记载了。直到现在使用 P2P 技术的软件比比皆是，人们也在不知不觉中感受到了 P2P 作为高科技发展载体的快乐。

2.2.2 P2P 与 C/S 模式的区别

P2P 是一种网络模型,可以简单地定义为网络的参与者共享他们所拥有的一部分硬件资源,这些共享资源通过网络提供服务 and 内容,能被其它对等节点直接访问而无需经过中间实体。在此网络中的参与者既是资源提供者 (Server), 又是资源获取者 (Client) [6-7]。

P2P 技术不仅能利用服务器的资源,同时能合理地使用用户计算机的空闲资源。用户在享受媒体节目的同时,也在利用自身计算机空闲的资源为其他用户提供着服务。所以,使用 P2P 技术提供高质量和大容量的流媒体服务系统成为可能。从计算模式上来说,P2P 打破了传统的客户机/服务器 (Client/Server, 简称 C/S) 模式,在网络中的每个节点的地位都是对等的。每个节点既充当服务器,为其他节点提供服务,同时也享用其他节点提供的服务。

P2P 模式的网络通讯方式如图 5 所示:

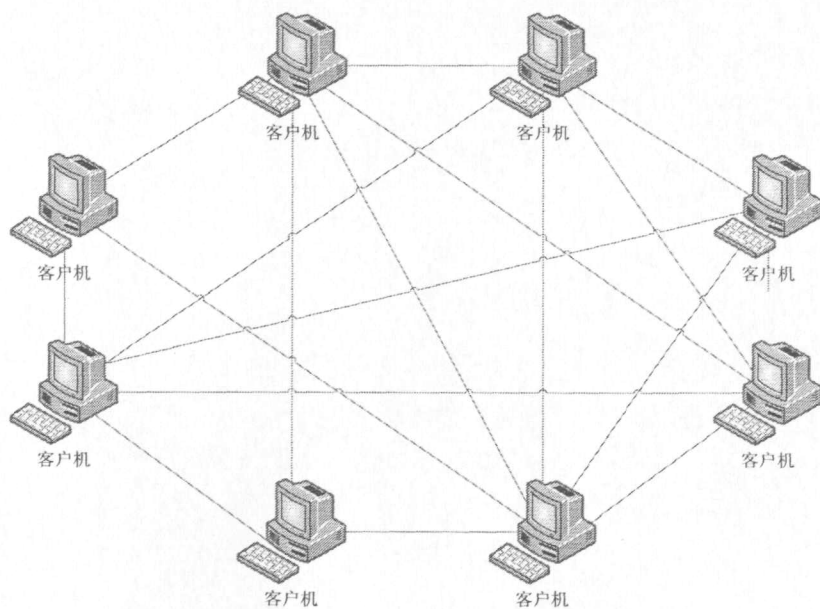


图 5 P2P 模式的网络通讯方式

目前的 IPTV 系统,大都是基于传统的客户机/服务器模式的,它使互联网上的资源向服务器集中。在这种模式下,网络用户向服务器发出请求,然后从服务器得到相应的回应信息。用户之间的交流均高度依赖于网络服务器,无法直接交流信息。在 C/S 模式下,服务器要支持多路用户,同时为所有需要服务的用户提供数据,这使得服务器的负载和带宽资源大大增加,不利于系统为用户提供更高质量和更大容量的流媒体业务。服务器是网络的控制核心,所有的客户端都必须

访问服务器获取内容及服务，因此中心服务器成为整个网络应用的“瓶颈”和最薄弱的环节，而且随着个人终端的处理能力越来越强，C/S 模式将造成客户机的很大一部分资源闲置。

C/S 模式的网络通讯方式见图 6

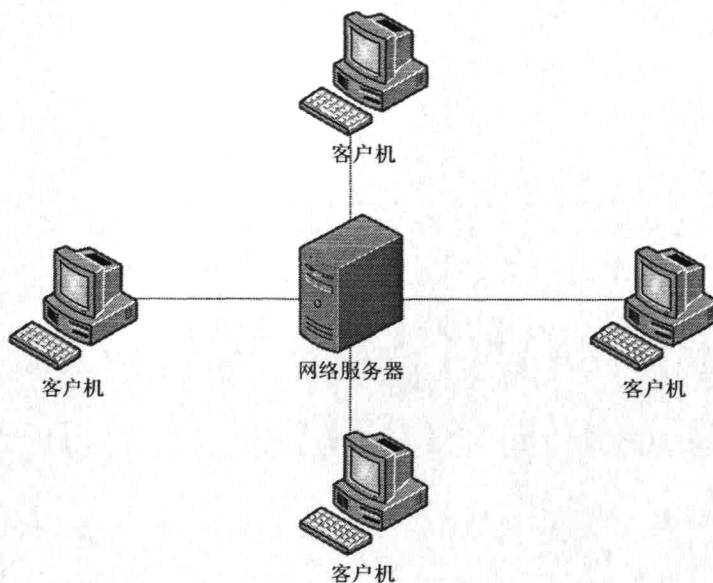


图 6 C/S 模式的网络通讯方式

采用 P2P 模式可以有效地利用互联网中散布的大量普通节点，将计算任务或存储资料分布到所有节点上。利用其中闲置的计算能力或存储空间，可以大大改善资源的流量分布，解决网络拥塞和带宽的瓶颈问题，缓解存储服务器的响应压力，达到高性能计算和海量存储的目的。P2P 系统基于各 Peer 之间的协作，具有高度的容错性和非常好的可扩展性，可以快速发布数据并进行资源的聚合。相比 C/S 模式，P2P 模式具有无可比拟的优势。

P2P 模式与 C/S 模式的性能比较详见表 3。

表 3 P2P 模式与 C/S 模式的性能比较

相关性能	P2P	C/S
易管理性	×	√
安全性	×	√
容错性	√	×
可扩展性	√	×
数据发布情况	√	×
数据接收情况	○	√
数据互动性	√	×
数据传输速度	√	×
数据更新速度	√	×
数据质量	○	√
数据覆盖率和数量	×	√
抗干预性	√	×
成本控制	√	×

表 3 中图标定义如下：“√”=好 “○”=中 “×”=差

2.2.3 P2P 的结构类型

根据结构模式的不同，可将 P2P 技术分为三种类型：集中式结构（Centralized Topology）、分布式结构（Decentralized Topology）和混合式结构（Hybrid Topology）^[8]。

2.2.3.1 集中式结构

集中式结构是最早出现的 P2P 应用模式，因为仍然具有中心化的特点也被称为中心化结构或非纯粹的 P2P 结构。集中式结构中，中心服务器存储所有节点的媒体目录，媒体本身存储于各个节点计算机中。其工作原理如图 7 所示。

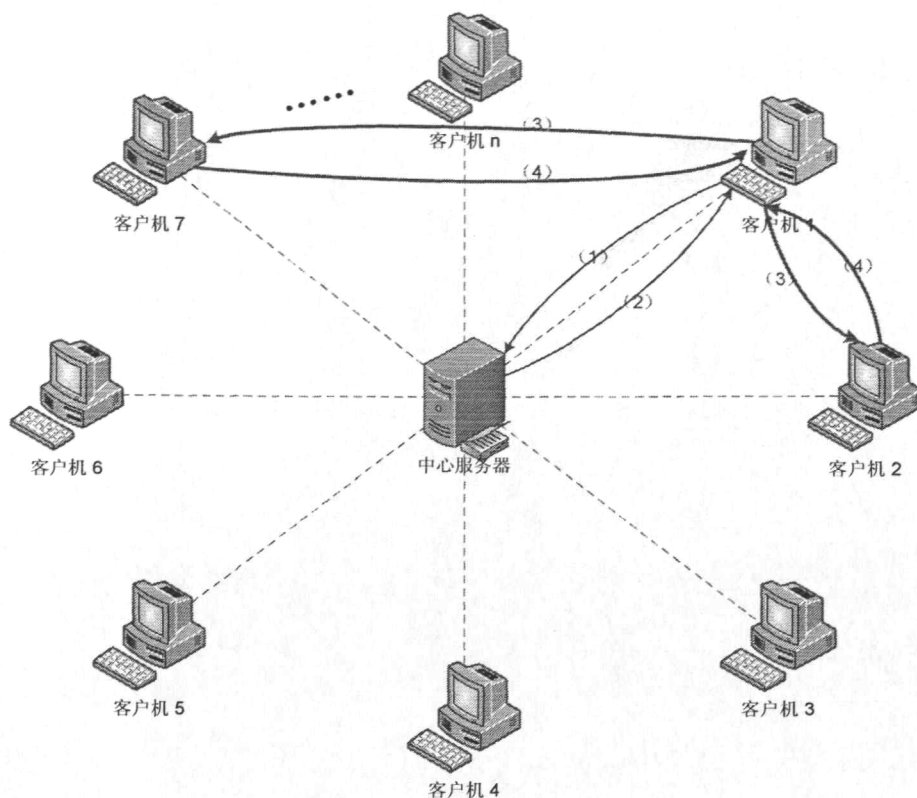


图 7 集中式结构图

以客户机 1 要下载资源 A 为例，其工作流程如下：

- (1) 客户机 1 向中心服务器发问：哪里有资源 A？
- (2) 中心服务器查询资源目录后反馈给客户机 1：客户机 2 和客户机 7 有资源 A。
- (3) 客户机 1 向客户机 2 和客户机 7 发出下载资源 A 的请求。
- (4) 客户机 1 从客户机 2 和客户机 7 处下载资源 A。

P2P 的集中式结构和 IPTV 的集中模式不同，所谓“集中式”是对搜索过程而言。从图 7 中可以看出其搜索和下载路由是不同的，这种方式属于分离模式。搜索媒体路由与下载媒体路由并不相同，这种节点之间直接、对等的媒体交换是 P2P 的中心思想。

集中式 P2P 的缺点是若中心服务器出故障将影响全网的运行，并且容易出现版权问题。

2.2.3.2 分布式结构

分布式结构也被称为广播式 P2P 结构。它取消了集中的中心服务器，每个用户随机接入网络，各节点之间相联，搜索的功能直接通过相邻节点广播传递来实现。同时每个节点还会记录搜索轨迹，以防止搜索环路的产生。一旦被搜索的媒

体被找到，两节点之间就建立连接，直接进行媒体交换。分布式 P2P 结构的工作原理如图 8 所示。

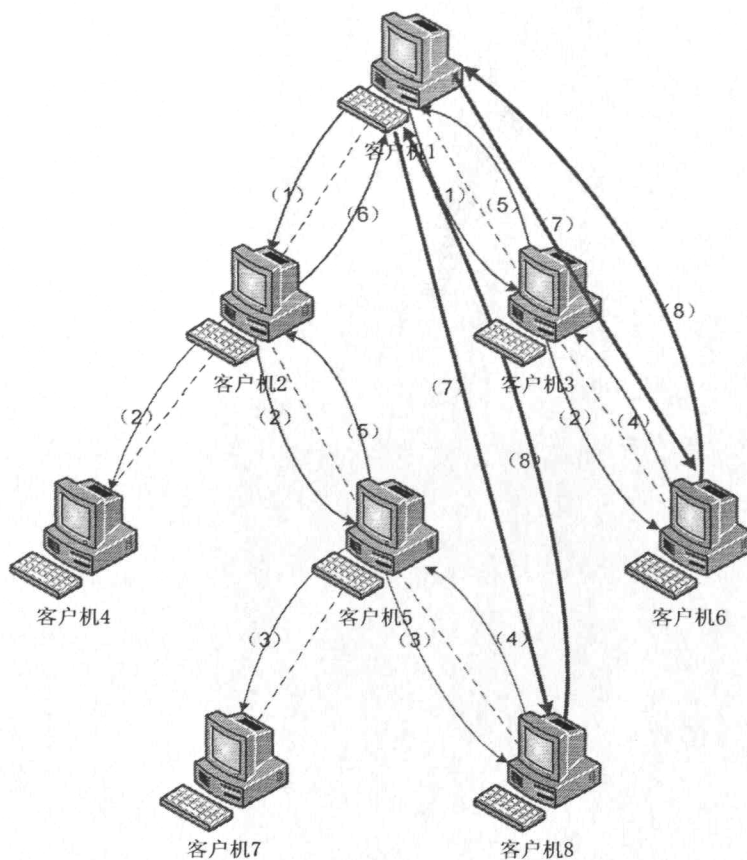


图 8 分布式结构图

以客户机 1 要下载资源 A 为例，其工作流程如下：

- (1) 客户机 1 向客户机 2、3 发问：哪里有资源 A？
- (2) 客户机 2、3 向客户机 4、5、6 发问：哪里有资源 A？
- (3) 客户机 5 向客户机 7、8 发问：哪里有资源 A？
- (4) 客户机 6、8 分别反馈给客户机 3、5：客户机 6、8 有资源 A。
- (5) 客户机 3、5 分别反馈给客户机 1、2：客户机 6、8 有资源 A。
- (6) 客户机 2 反馈给客户机 1：客户机 6 有资源 A。
- (7) 客户机 1 向客户机 6、8 发出下载资源 A 的请求。
- (8) 客户机 1 从客户机 6、8 处下载资源 A。

从图 8 中可以看出，查询方式以一层一层推进的方式扩大搜索范围，因此这种方式又被称为“泛洪”模式。分布式 P2P 的优点是可以迅速扩大搜索区域，缺点是这些广播传递的流量会消耗大量带宽，并可能造成络的不稳定和拥塞。

目前用 P2P 技术进行媒体交换时，基本都是将媒体文件分成许多碎片，每一个碎片被打上标签，标明序号和文件名。需求者在搜索某媒体文件时，会同时搜

索到许多拥有或部分拥有该文件的目标源节点，然后同时从这些源节点下载文件的碎片（不按碎片的标签顺序），待所有碎片下载完后进行组装，形成完整的文件。

2.2.3.3 混合式结构

混合式结构是在分布式结构的基础上引入了超节点（Super Peer）的概念，综合了集中式 P2P 的快速查找和分布式 P2P 的去中心化等优势。超级节点与其邻近的若干普通节点之间构成一个自治的域，域内采用集中式的 P2P 结构，以超级节点为中心进行工作。超级节点之间是分布式的 P2P 结构。文件的搜索模式是先在本地所属的自治域内进行搜索，搜索到的结果不充分时，再通过超级节点之间进行有限的泛洪，各超级节点再在所属的自治域内进行搜索。这样就能有效地避免分布式 P2P 结构中使用泛洪算法带来的链路拥塞、搜索迟缓等问题。同时由于每个自治域中的超级节点监控着所辖节点的行为，一些恶意的攻击行为在网络局部就会被控制。混合式 P2P 结构的工作原理如图 9 所示。

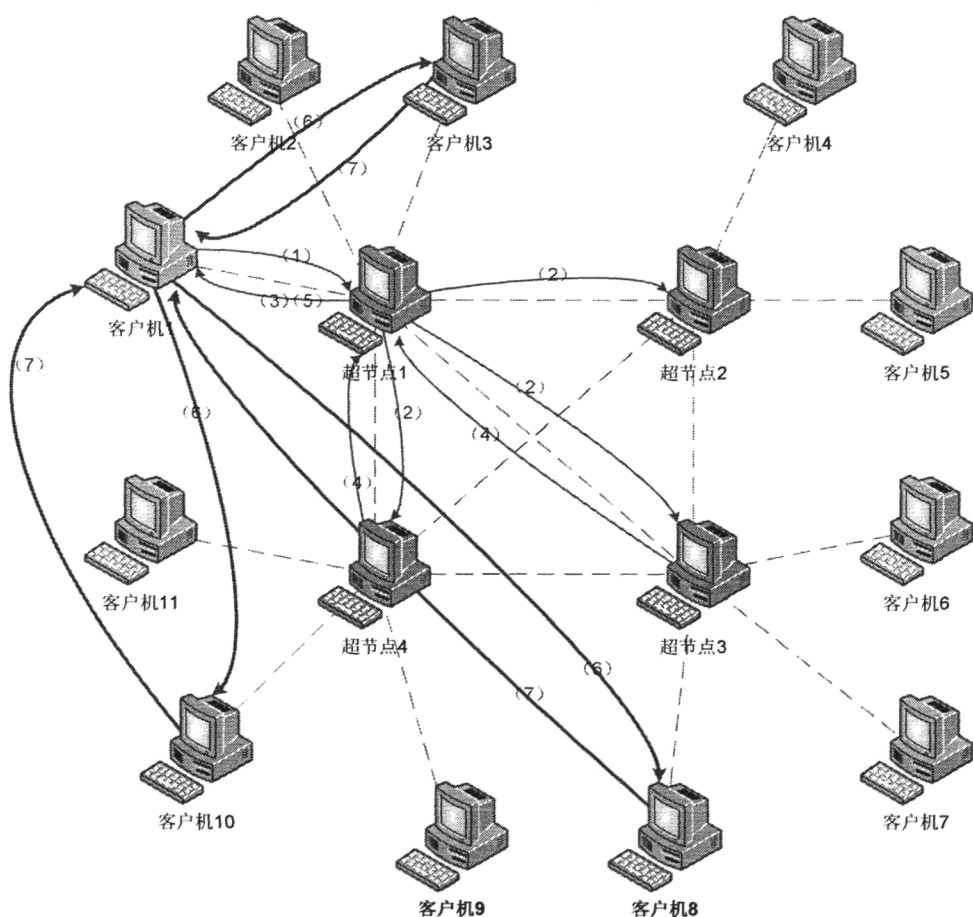


图 9 混合式结构图

以客户机 1 要下载资源 A 为例，其工作流程如下：

- (1) 客户机 1 向超节点 1 发问：哪里有资源 A？
- (2) 超节点 1 向超节点 2、3、4 发问：哪里有资源 A？
- (3) 超节点 1 反馈给客户机 1：客户机 3 有资源 A。
- (4) 超节点 3、4 反馈给超节点 1：客户机 8、10 有资源 A。
- (5) 超节点 1 反馈给客户机 1：客户机 8、10 有资源 A。
- (6) 客户机 1 向客户机 3、8、10 发出下载资源 A 的请求。
- (7) 客户机 1 从客户机 3、8、10 处下载资源 A。

搜索过程中一般都有对搜索到目标文件数的限制，从而控制有限搜索，避免给网络带来过大负荷。

2.2.3.4 各结构 P2P 的性能比较

表 4 中比较了三种拓扑结构的多项性能。

表 4 拓扑结构间的性能比较

相关性能	集中式	分布式	混合式
可扩展性	差	好	好
可靠性	好	差	好
可维护性	好	差	好
容错性	差	好	好

混合式结构综合了集中式和分布式的优点，是目前较好的 P2P 网络模式。

2.2.4 P2P 技术在 IPTV 领域的应用

IPTV 市场前景广阔，它可以为用户提供极为丰富的业务，如 VOD 点播、互联网浏览、电子邮件、多种在线信息咨询、游戏、个人视频录制、电子商务、VoIP、即时通信等^[9-16]。P2P 技术在 IPTV 领域中应用广泛，常见的应用具体包括以下几方面：

(1) 文件共享

在传统的 Web 方式中，实现文件交换需要服务器大力参与，通过把文件上传到某个特定网站，用户再到该网站搜索需要的文件，然后下载，这种方式需要 Web 服务器能够对大量用户的访问提供有效的服务。

而在 P2P 模式下，用户可以从任何一个在线网友的计算机中直接下载，真正实现了个人计算机与服务器平起平坐。

(2) 在线交流

通过使用 P2P 客户端软件, 用户之间可以进行即时交谈, 可以就网络节目进行讨论, 资源信息查询, 文件共享等。这样增加了用户收看网络电视的积极性, 促进了媒体提供者和媒体消费者之间的互动。

(3) 搜索引擎

在 P2P 网络模式中节点之间的动态而又对等的互联关系, 使得搜索可以在对等点之间直接地、实时地进行, 既可以保证搜索的实时性, 又可以达到传统目录式搜索引擎无可比拟的深度(理论上将包括网络上所有开放的信息资源)。

(4) 网络游戏

网络游戏如果采用 P2P 技术, 再配以动态分配技术, 这样, 每个服务器的承载人数将在数量级上超过传统的服务器模式, 这将大大提高目前多人在线交互游戏的性能; 同时每个游戏用户成为一个对等节点, 各个节点可以进行大量的点对点通信, 从而减少服务器的通信服务, 提高性能。

(5) 分布式计算

分布式计算是利用整个网络上计算机的闲置中央处理器、内存以及磁盘空间等, 进行大规模的运算(如空间探测、分子生物学计算、芯片设计、天气预报、动画制作、基因组的研究等)。其典型代表是 SETI@HOME(Search for Extraterrestrial Intelligence) 系统。SETI@HOME 旨在利用连入 Internet 的成千上万台计算机的闲置能力搜寻地外文明的巨大试验。它可以将连入 Internet 的计算机在闲置时的处理运算能力整合起来, 形成一个巨大的虚拟机, 并且通过这个虚拟机对由 Arecibo 望远镜收集的来自外太空的无线电磁波数据进行分析。它是目前最大的, 运行时间最长的 P2P 系统。现在有很多的公司投入分布式计算的研究开发, 如 Popular Power, Centrata, United Devices, Entropia, Avaki 等, 并获得了巨大的风险资金。Intel 也利用对等计算技术来设计其 CPU, 并为其节省巨大的费用, 同时对等计算的发展是以 PC 机资源的有效利用为根本出发点的, 自然也受到 Intel 的极力推崇。从本质而言, 对等计算就是网络上 CPU 资源的共享。

(6) 其他类型的应用

P2P 系统平台应用, 提供用户和应用服务管理功能。P2P 平台可以支持基本的 P2P 模块功能, 包括命名、查询、通信、安全以及资源整合等, 对于操作系统的依赖较小。JXTA 和 .NET 是 2 个有代表性的 P2P 平台。JXTA 项目是由 Sun 公司研发的, 旨在提供一个开放式、能够支持多种类型的分布式应用的平台。.NET My Service 和 .NET 平台的设计目的是能够使用户利用现存的一些标准, 如 XML, UDDI, SOAP, WSDL 等访 Internet 上的众多的资源和服务。.NET 采用一种新的程序语言 C# 编写, 其设计是集中围绕分布式服务的非集中性和非模块化进行的。

P2P 技术也可以让电脑网络通过智能代理程序, 进行灵活的人机互动。智能代

理程序常驻在对等网络的电脑上，并互相传送信息进行通信。智能代理还可以为其他对等共享系统进行初始化操作。

分析了 IPTV 技术和 P2P 技术可以看出，在多用户、广域网和视频流的情况下，集中模式的现行 IPTV 技术可能不能支撑有效的服务，其中最重要的原因是集中模式的服务质量和用户、距离、流量成反比。P2P 技术是分布模式，用户越多服务质量越好，而且是就近下载，对骨干网络影响小，并且 P2P 技术利用了用户设备的资源进行媒体的存储和处理，用户的增加几乎不会给运营商带来投资压力，这将大大降低运营商的成本。因此，P2P 技术应该是未来 IPTV 的解决方案，尽管目前还没有 P2P 技术的机顶盒。

利用 P2P 技术进行电视直播的例子已经出现许多，像 PPlive、PPStream 都有着不错的表现，在质量上比传统技术的直播有明显优势。据报道，在光芒国际传媒网络技术有限公司的测试中，用 3 台 PC 服务器，在 20Mbit/s 带宽的网络环境下，成功实现了 5.5 万全球用户同时在线观看视频节目。这些都显示了 P2P 技术惊人的实力。

2.2.5 P2P 发展面临的主要问题

虽然 P2P 具有很强的技术优势，如负载均衡、信息资源丰富、容错性好等，但是，P2P 技术目前也存在着许多亟待解决的问题，比如版权问题、用户管理和网络管理问题、系统安全问题等。下面列举当前 P2P 所面临的几个主要问题^[17]：

(1) 版权问题

P2P 技术可以使文件自由的交换，并且具有匿名发布的特性，所以大多数 P2P 服务都将不可避免地引发版权问题和知识产权问题。

(2) 管理问题

P2P 网络为用户带来了无限的自由，同时，使之陷入了“无政府主义”的困境。因缺乏统一的管理，会导致病毒、色情内容、垃圾信息以及非法交易的蔓延。这些都使得 P2P 网络管理起来非常困难。

(3) 安全问题

P2P 技术无限制的资源共享会带来信息泛滥，同时也给我们对计算机病毒的预防增加了难度，会导致一些病毒在网络上传播。如果有人借用 P2P 系统有意或无意地传播病毒，将使病毒迅速蔓延，直至整个网络瘫痪。所以说 P2P 降低了网络的安全性。

2.3 应用层组播概述

2.3.1 应用层组播基本概念

应用层组播或称为覆盖网络层组播，即 Application Layer Multicast，以下简称为 ALM^[18]。组播是 Internet 中实现群组通信业务的关键技术，传统 IP 组播用于一对多、多对多、多对一的组通信。它是一种有效的数据传输应用，发送的同一数据在物理链路中只传输一次，减少了数据包在网络传输中的冗余，节约了带宽，提高了传输效率。而 ALM 则利用覆盖网（Overlay Network）技术，基于 IP 组播技术，在现有的 IP 网络上构建一个虚拟网络^[19-21]。ALM 将对组播功能的支持从路由器转移到终端系统，在终端之间运用原来的单播方式进行传输，这样不必改变原有网络中基础设施，也不需要路由器维护组播组的路由表，可以比较容易地实现组播，加速了应用。近年来，ALM 技术发展迅速，其组播结构的建立和维护是研究的重点。

应用层组播的基本模型如图 11 所示。图 10 为 IP 组播的数据传输方式，数据在网络内部的路由器上进行复制；图 11 为应用层组播的数据传输方式，数据包在网络的终端系统上进行复制^[22-23]。

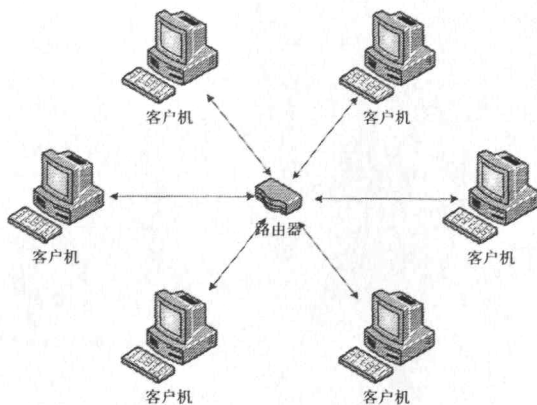


图 10 IP 组播的数据传输方式

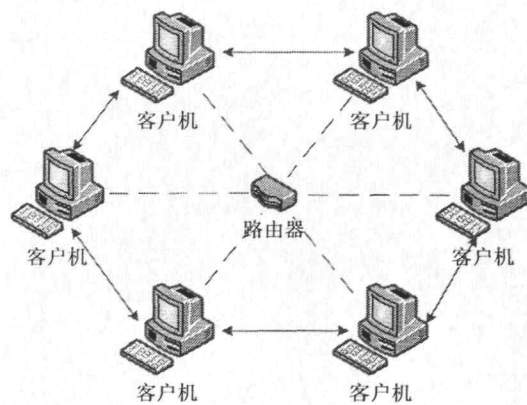


图 11 ALM 的数据传输方式

ALM 技术的优点主要表现在以下几个方面：

- (1) ALM 能够很快就进入应用，不需要改变现有网络路由器。
- (2) 接入控制更容易实现。由于单播技术在这方面比较成熟，而 ALM 是通过终端系统之间单播来实现的，所以差错控制、流控制、拥塞控制容易实现。

(3) 地址分配问题也就可以有相应的解决方案。

ALM 技术的缺点主要表现在以下几个方面：

- (1) 可靠性：终端系统的可靠性比路由器差。
- (2) 可扩展性：底层的路由信息对应用层组播来说是隐藏起来的，可扩展性不好。
- (3) 时延比较大：IP 组播主要是链路上的时延，而在 ALM 中，数据还要经过终端系统，因而时延相对要大一点。
- (4) 传输效率不如 IP 组播：应用层组播在数据传输过程中会产生数据冗余，因此它们比 IP 组播的效率差。

通过综合分析 ALM 的优缺点，得出如下结论，实用的组播结构应该能够充分利用节点的能力，同时必须符合以下两个条件：

- (1) 组播节点组织方法的可靠性：当节点频繁加入退出时，组播结构能够保持连通和正常运行；
- (2) 组播节点维护方法的可扩展性：当用户规模增大时，组播结构依然能适用，而算法的开销不能增大很多，能有效均衡使用更多节点，不造成某些节点负担过重。

评价应用层组播协议一般用以下几种方式^[24]：

- (1) 数据分发路径的质量指标：
 - 强度 (Stress)：在一条物理链路中发送相同数据包的数量。显然 IP 组播进行转发的时候并进行多余的复制，所以是最优值 1。
 - 伸展度 (Stretch)：就是在覆盖网分发拓扑中从源到成员的时延与利用单播直接传输的时延的比例。
 - 资源利用率 (Usage)：所有参加到数据传输中的成员，他们的时延和强度的乘积的总和。这个指标用于评定传输过程中网络资源的利用情况，假定链路的时延越高，花费越大。
- (2) 终端的性能：
 - 失效后包丢失：单个节点突然失效后，平均的丢包数量。强调突发事件发生的鲁棒性。
 - 收到第一个包的时间：成员加入到组中，收到第一个包的时间。
 - 控制负荷 (Control Head)：为了有效地利用网络资源，对每个成员的控制负荷必须尽量的小，这是能否很好扩展重要的指标。

2.3.2 ALM 的结构类型

2.3.2.1 单组播树结构

单组播树结构是指在整个组播结构中，数据是通过一棵组播树传输的。树的根节点是组播源，每个非叶子节点从自己唯一的父节点得到全部数据，再复制转发给自己所有的子节点，叶节点只从父节点得到数据，不再复制转发。当组播树中的非叶子节点退出时，它的子节点将暂时得不到数据，这时，系统需要尽快重建连接，保证所有节点都在组播树中。在进一步的研究中，研究者们开始使用 P2P 研究中常用的 DHT 协议来构造重叠网络。

基于单组播树的组播协议存在一个难以解决的问题：只有组播树的内部节点承担复制和转发组播数据的任务，所有的叶子节点只接收数据而没有对系统做出贡献。这造成大量节点能力的浪费和系统的不公平。为了解决这个问题，后来的研究者们提出使用“垂直链路”的办法，或者使用多棵组播树来取代单一组播树。

2.3.2.2 多组播树结构

多组播树结构是比单组播树更复杂的组播结构，它可以利用重叠网络中的每个节点的能力，而不是仅仅利用单组播树中的内部节点，这大大提高了系统的效率和公平性。SplitStream 协议把需要传输的数据分成 k 个带 (stripe)，为每个带构造一棵组播树。SplitStream 的组播结构构造维护算法使用 DHT 协议 Pastry 和 Scribe。

典型的多树结构还有 CoopNet，它采用 MDC (Multiple Description Code) 机制对媒体数据进行分层处理，然后沿不同的树形路径传播不同层次的媒体数据。多树结构缓解了单树结构对稳定、可靠的网络环境的严重依赖性，但是仍然不能从根本上解决问题。互联网上的大多数节点能力薄弱，上行带宽严重不足，采用树形结构就会使每个中间节点只能支持单个子节点的媒体服务，变成线条结构。

2.3.2.3 网状组播结构

网状结构中，任意一个节点将依赖多个逻辑邻接节点来获取媒体数据，这将大大提高系统中单个节点获取服务的稳定性和成功率。典型的网状结构有 CoolStreaming, PROMISE, GNUStream 等系统。直接使用 Gossip 协议^[25]进行组播传输，效率很低，因为它会产生大量冗余数据，给网络造成严重负担。

CoolStreaming 协议是一个实用的基于 Gossip 协议的应用层组播协议。在这个协议中, Gossip 协议不是作为组播分发协议, 而是作为重叠网络的维护协议, 充分发挥了其在可靠性和可扩展性方面的优势, 很好地解决了大规模动态组播结构维护的问题。

CoolStreaming 这种组播结构的最大优势是具有良好的容错性和可扩展性, 在网络动态变化、节点频繁加入退出的条件下受影响比较小, 在系统规模比较大时也能使用。另外, 这种结构算法比较简单, 不需要维护复杂结构, 便于实现。但是, 系统中数据传输的时延还是比较多, 相当于占用了更多的网络带宽, 并造成较大的数据时延。

基于 Gossip 的组播结构和树状组播结构相比, 最大的优点就是能够更好地适应网络的波动。Gossip 算法是经典的分布式消息扩散机制, 是一种大规模的组通信方式。采用随机策略选择发送节点, 需要根据网络规模确定消息扩散轮次 i 和每轮消息扩散数量 k 。随着扩散轮次的增大, 会产生大量重复消息; 并且节点获得消息的概率急剧降低。衡量 Gossip 协议的 2 个重要指标是消息扩散轮次 i 和每轮消息扩散数量 k 。其中, 每轮消息扩散数量 k 决定了 Gossip 协议的可靠性, 即消息所能到达的节点数目占整个网络节点数目的比例。

2.3.3 基于 ALM 技术发展 IPTV 面临的机遇与挑战

可以将应用层组播与 P2P 结合起来, 将对等网络中的路由算法运用到应用层组播中, 这样构造的应用层组播可以应用于大量的接收者。

3 自适应 IPTV 系统网络模型的构建

3.1 设计思想

基于第 2 章中对相关技术的研究,分析了 P2P 和 ALM 两种网络环境下对流媒体技术的应用需求,本文构建出基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型(Self-Adaptive Network Model,以下简称 SANM)。SANM 能够有效弥补使用单一技术导致的弊端,能有效解决网络管理负荷过重等问题。

基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统在建模策略上要兼顾系统的可靠性、可管理性、安全性和自适应技术等方面。

(1) 可靠性:

- 利用 ALM 技术,可以使得系统达到实时性和可靠性指标;
- 利用 P2P 技术,可在实现端系统媒体播放质量的要求。

(2) 可管理性:

- 利用 ALM 的分组技术,在每个组的中心节点对组内节点等进行管理,通过管理组层数来保证系统的实时性,通过控制组大小来保证媒体播放质量等;
- 各个 P2P 域内的超节点管理了域中节点的数量以及各节点的度,从而控制网络负荷等。

(3) 安全性:

- 利用 ALM 技术,在组内各个中心节点进行安全性控制;
- 利用 P2P 域内的超节点对域内的安全进行监控,及时发现并消除安全隐患。

(4) 自适应技术:

- 网内已存在的节点在运行期间,在两种网络之间进行自我角色转换的能力;
- 节点退出失效时,整个网络的健壮性控制及区域网络的健壮性控制等。

3.2 网络模型架构

根据本文 2.1.1 中对 IPTV 系统的结构和组成的描述，基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统由内容制作、流媒体服务器、管理服务器和用户四部分组成。自适应 IPTV 系统的网络模型的整体架构如图 12 所示。

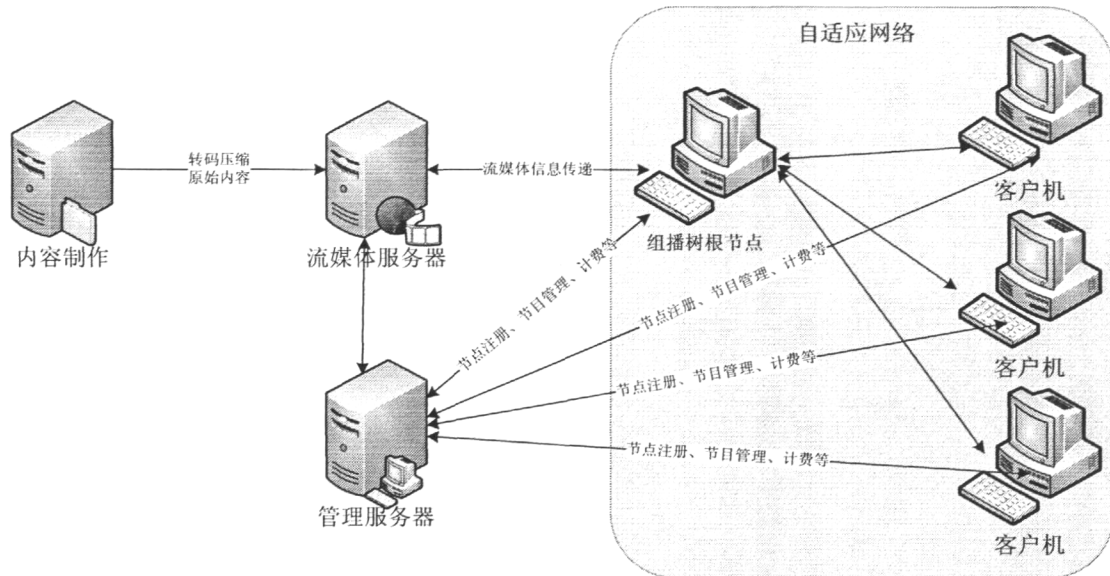


图 12 SANM 模型物理架构图

流媒体服务器是整个 IPTV 系统的核心设备，基本功能是实现流媒体数据的存储与传输。流媒体服务器的技术和性能决定着整个流媒体服务系统的技术先进性和服务性能。构建流媒体服务器，要在了解相关技术的基础上，结合实际需求，选择实用先进的技术来进行流媒体服务器的设计和实现。

管理服务器负责对该 IPTV 系统中的用户进行管理，其具体功能要覆盖网络的用户注册和计费等方面。以用户注册为例，网络中新加入的用户节点首先要到管理服务器进行注册，管理服务器将新加入的用户节点在本服务器上注册后，返回给该用户节点一个初始连接表，让该用户节点选择加入网络的连接。用户节点得到初始连接表后，从表中选择适当的节点作为其邻居节点，然后与该邻居节点建立连接，正式成为该 IPTV 网络中的一员。

IPTV 系统的用户节点一方面要能够实现流媒体压缩数据的解压和重排，如图 13；另一方面要能够根据网络状况随时进行自适应的调整，如图 14，具体调整方法遵从第 4 章描述的自适应算法。

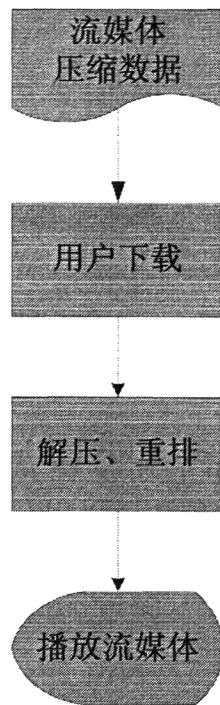


图 13 数据处理图

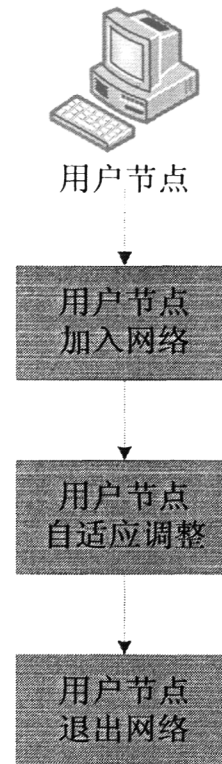


图 14 自适应调整图

3.3 网络拓扑结构

根据 NICE 的分层思想^[26-28]，基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型的设计采用两层的架构，域与域之间采用应用层组播技术构造组播树，各个域内则选用 P2P 技术。如图 15 所示。

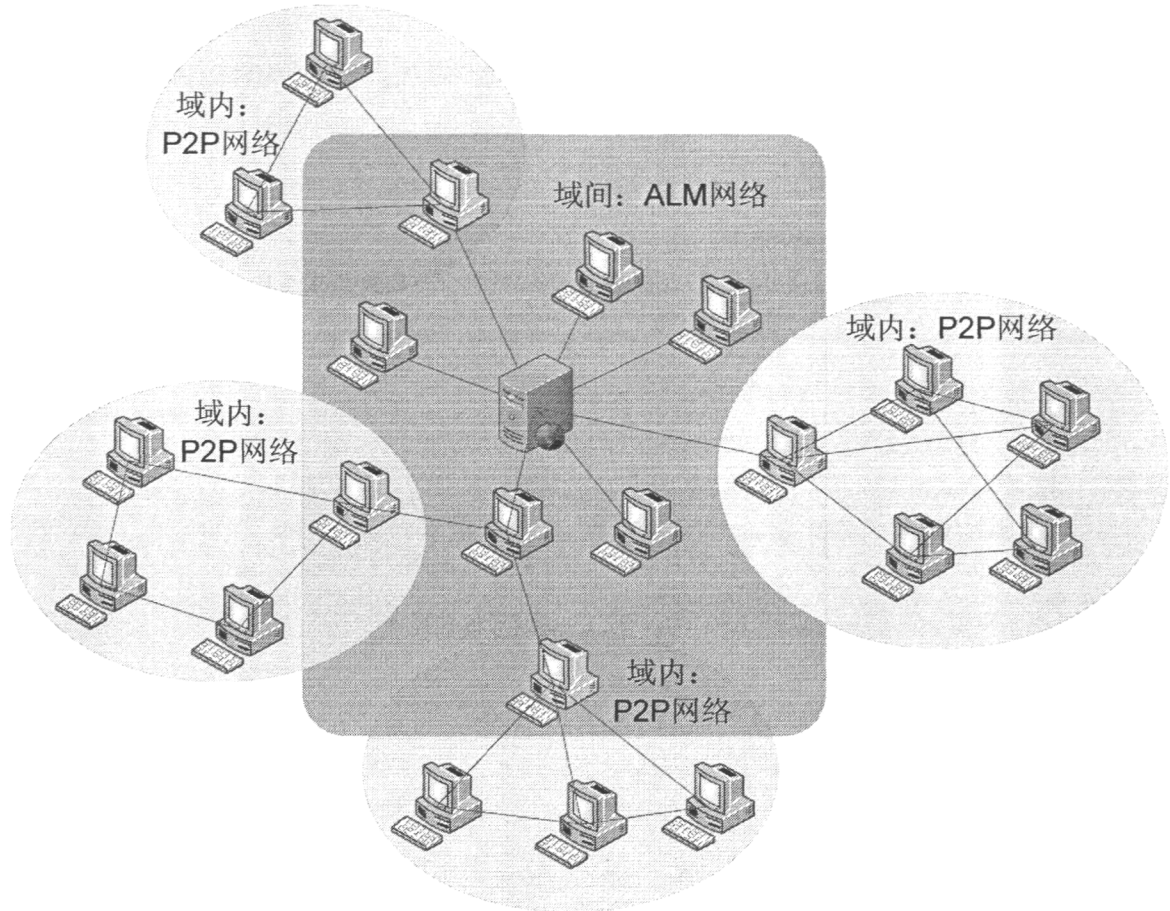


图 15 网络拓扑图

接下来，本文将深入研究该自适应 IPTV 系统的组网算法。

4 自适应 IPTV 系统的组网算法

以第 3 章基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型架构设计为基础, 在本章我们要进一步研究基于对等网络应用层组播的自适应组网算法。基于对等网络应用层组播的自适应的组网算法能够使网络中的节点充分利用对等网络和应用层组播的优点, 根据网络状况自适应地选择或调整网络中节点在网络拓扑中的位置。

基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统组网算法要实现以下功能:

- 网内已存在的节点在运行期间, 在两种网络之间进行自我角色转换的功能;
- 节点退出失效时, 整个网络及区域网络的健壮性控制等。

根据第 2 章中对对等网络和应用层组播相关技术的研究和比较, 基于 SANM 模型的网络拓扑结构, 组建网络选用混合式结构的 P2P 和多组播树结构的 ALM 相结合的结构。接下来依次介绍对等网络节点查找算法、应用层组播树的构建算法和本文的核心算法——自适应组网算法。

4.1 对等网络节点混合式查找算法

在对等网络中, 对等节点并不知道整个网络的结构或者组成网络的其它对等节点的身份, 它们关注与它们进行直接通信的节点。其中对等节点发现机制基于如下思想: 当节点 A 希望知道网络中另一个对等节点的位置时, 它就发出一个查询请求给它的邻居节点, 它的邻居节点尝试完成这个请求, 如果它的邻居节点也不能满足这个请求, 它们再将请求传递给它们的邻居节点, 以此类推, 直到找到相应的信息为止。所以说, 在构建对等网络时, 节点查找算法尤为重要。

对于 P2P 网络的组建, 在基于非集中式查找算法的数学模型^[29-30]的基础上, 本文引入一种混合式查找算法 (Hybrid Search Algorithm, 以下简称 HS 算法)。

4.1.1 算法数学模型的定义

线性空间 N : 定义一个足够大的一维空间, 确保在应用中每个节点映射到该

空间时产生冲突的概率接近 0。定义：①该线性空间是一维有限空间（可以形象化为一条线段），长度为 N ；②该线性空间内的值取非负整数，即线段坐标为正方向，取值范围 $[0, N)$ 。网络中每个节点可以通过哈希函数实现节点信息（包括位置信息和数据信息等）到该线性空间的映射。定义节点标识号 ID_p 统一标识网络中节点 P 的相关信息在线性空间中的映射。

线性空间的份 M ：对线性空间 N 进行 M 等份的递归划分，当划分 k 次后每个子空间只包含一个单位长度。则有

$$k = \log_M N \quad \dots(1)$$

第 $(k+1-i)$ 次划分线性空间得到的 ID 集合称为 i 类邻居群，ID 集合内的节点互为 i 类邻居节点（其中， $1 \leq i \leq k$ ）。

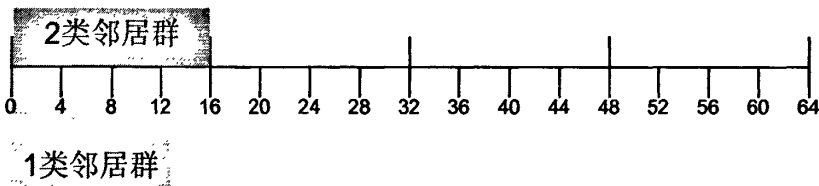


图 16 线性空间涉及定义示意图

以图 16 为例，线性空间长度 $N=64$ ，取 $M=4$ 。则有

$$k = \log_M N = \log_4 64 = 3 \quad \dots(2)$$

ID 集合为 $[0,64)$ ，线性空间共有 16 个 1 类邻居群：0~3, 4~7, ……；有 4 个 2 类邻居群：0~15, 16~32, ……；有 1 个 3 类邻居群：0~63。

接下来定义“亲戚节点”：在节点 P 的 i 类邻居节点中，所有的 1 类邻居节点就是 P 的 1 类亲戚节点；当 $i>1$ 时， P 的 i 类亲戚节点的 ID 满足

$$(ID)\%M^{i-1} = (ID_p)\%M^{i-1} \quad \dots(3)$$

其中 $\%$ 为取余运算。可得，任意节点的亲戚节点总数 $n = (M - 1)\log_M N$ 。

以图 16 中的 ID 为 0 的节点为例，

- 1 类邻居节点 ID: 1, 2, 3 (3 个)
- 2 类邻居节点 ID: 1, 2, 3, …, 13, 14, 15 (15 个)
- 3 类邻居节点 ID: 1, 2, 3, 4, …, 60, 61, 62, 63 (63 个)
- 1 类亲戚节点 ID: 1, 2, 3 (3 个)
- 2 类亲戚节点 ID: 4, 8, 12 (3 个)
- 3 类亲戚节点 ID: 16, 32, 48 (3 个)

验证其亲戚节点总数:

$$n = (M - 1) \log_M N = (4 - 1) \log_4 64 = 3 \times 3 = 9 \quad \dots(4)$$

在对等网络中, 单个节点不能保存整个网络中全部节点的路由信息, 而仅仅保存少量关键节点的路由信息。HS 算法中, 选择节点的所有亲戚节点为其路由表中必须包含的关键节点。因为任意节点的亲戚节点总数 $n = (M - 1) \log_M N$, 所以节点的路由表包含 $(M - 1) \log_M N$ 行。定义当路由表中某一行只有节点 ID 时, 此行可以省略。

4.1.2 HS 算法描述

4.1.2.1 查找算法

设发起查找算法的节点是 P, 标识号为 ID_P , 要查找的节点是 Q, 标识号为 ID_Q , 基本查找算法描述如下:

- (1) 节点 P 判断自己和节点 Q 是不是亲戚节点, 若是则继续执行 (2), 不是则转 (3);
- (2) 节点 P 可以在路由表中直接找到节点 Q 的信息, 算法结束。
- (3) 节点 P 计算自己和节点 Q 是几类邻居节点, 记为 i 类 ($i > 1$);
- (4) 节点 P 在其 i 类亲戚节点中查找节点 P', 满足节点 P' 与节点 Q 是 i-1 类亲戚节点, 节点 P 把查找工作交给节点 P';
- (5) 将节点 P' 记作 P, 转 (1)。

在节点总数为 N 的对等网络中, 节点有 $\log_M N$ 类亲戚节点, 所以, 查找一个节点最多需要循环查找 $\log_M N$ 次, 即该算法的时间复杂度为 $O(\log_M N)$ 。

以图 16 为例, 假设 ID 为 0 的节点'0'查找 ID 为 60 的节点'60', 步骤如下:

- (1) '0'判断自己和'60'不是亲戚节点;
- (2) '0'计算自己和'60'是 3 类邻居节点;
- (3) '0'在 3 类亲戚节点中查找节点 P', 满足节点 P' 与'60'是 2 类亲戚节点, 可知, P' 的 ID 为 48, '0'把查找工作交给'48';
- (4) '48'判断自己和'60'是 2 类亲戚节点;
- (5) '48'可以在路由表中直接找到'60'; 算法结束。

在本例中, 循环查找 2 次后找到目的节点。

4.1.2.2 节点加入算法

为了实现可扩展性和自适应性, 还必须有适当节点加入和退出算法, 进而保

证全局路由表的一致性（弱一致性）。其中，节点加入算法的过程如下：

- (1) 新节点 P 通过系统外某途径找到一个已存在于网络中的节点 A，并委托 A 来发起加入算法；
- (2) A 先假定 P 已存在与网络中，对 P 发起查找算法，通过执行查找算法，A 可得到 P 的最近邻居节点 B，A 通知 P 找 B；
- (3) P 向 B 发出加入请求，B 首先核实自己是不是 P 的最近邻居，如果是，则继续执行 (4)，若不是，则转 (2)，并把 B 记作 A；
- (4) B 将自己的路由表复制给 P，P 根据自己的情况对路由表进行调整，并将调整后的路由信息通知所有的亲戚节点；
- (5) 接到通知的节点调整各自的路由表，添加节点 P 的节点信息和数据信息，并将调整后的路由表反馈给 P；
- (6) 节点 P 根据反馈路由表调整自己路由表。

4.1.2.3 节点退出算法

节点退出算法的执行过程如下：

- (1) 如果节点 P 准备退出系统，首先找到自己的最小类邻居节点 A，并将自己的数据信息复制给节点 A；
- (2) P 把 A 的信息通知给所有的亲戚节点；
- (3) 接到通知的节点调整各自的路由表，并通知自己的亲戚节点，把与 P 有关的数据信息调整与 A 关联；
- (4) 接到 (3) 通知的节点调整各自的路由表。

4.1.2.4 节点失效控制策略

节点失效和节点退出的结果是相同的，节点失效就相当于失效节点的最小类邻居节点替它执行退出算法。实际应用中，为了使整个路由表更趋向于强一致性，保证较好的路由效率，有必要进行定期更新系统路由表。更新算法基本上等同于节点加入算法，只不过它不是进行真正的节点加入，而只是通知自己的亲戚节点修改路由信息。更新算法的过程如下：

- (1) 节点 N 将自己的路由表和数据信息通知所有的亲戚点；
- (2) 接到通知的节点核对各自的路由表和数据信息，若信息一致就再反馈给节点 N；若有不同则进行更新，并将更新后的路由表信息通知所有的亲戚点；
- (3) 接到 (2) 通知的节点根据更新信息调整自己路由表；

- (4) 若节点 N 没有收到某亲戚节点 P 的反馈, 则查找 P 的某个最小类邻居节点, 通知它代替节点 P 执行退出算法。

上述定期更新可以起到以下四个作用:

- 让亲戚节点定期调整各自的路由表来反映最新的路由信息;
- 将自己增加或改动的数据信息复制给所有亲戚节点;
- 表明自己运行正常, 没有失效;
- 验证自己的亲戚节点是否有失效。

通过定期调整系统的路由表信息, 可以随时更新节点及其亲戚节点的路由信息, 并能较快发现失效节点。发现失效节点后, 该失效节点的最小类邻居节点会代替它执行节点退出算法。这能有效地保证整个网络的健壮性。

4.2 应用层组播树的构建算法

为了支持大规模用户对流媒体的应用, 本文引入一种单源^[31]应用层组播算法 (Single Source ALM Algorithm, 以下简称 SS 算法)。SS 算法建立在一个共享的数据传输组播树^[32]之上, 若节点想要加入组播树, 就要先找到父节点, 并与其建立连接。

4.2.1 节点加入组播树算法

节点申请加入组播树的算法, 即申请加入组播树的节点选择父节点的算法描述如下:

- (1) 假设成员节点 A 收到了申请加入节点 P 的查询报文, 查询要加入组的根的有关信息;
- (2) A 收到这个查询报文后, 查找到根的地址并生成回复报文, 把查询结果返回给 P;
- (3) P 得到根的地址后, 生成 queryfather 报文, 将报文发送到根;
- (4) 根收到此报文后, 查询它维护的邻接点的信息, 找出子节点数小于度的所有子节点作为“可能父节点” (Possible Father, PF), 如果这一层没有就继续往下找, 直到找出树中所有的 PF, 然后生成 cleat 回复报文, 将 PF 集合以及根节点等有关信息返回给 P;
- (5) P 根据根的回复报文返回的结果, 向每个 PF 发出探测报文, 探测路径的延时和带宽等;

- (6) 每一个 PF 把回应报文都发送给 P，返回探测结果。P 陆续收到这些 PF 的回应报文后，根据延时最小时取最大带宽的原则，选择自己的父节点。再选择一个组播组成员节点作为自己的“备用父节点”，以备发生突发情况时能够完成树的重构；
- (7) P 确定自己的父节点后，向父节点发送 SubScribe 报文；
- (8) 父节点收到报文后，将 P 加入子节点列表中。加入动作完成后，父节点向 P 发送 SucceedJoin 报文，表示成功加入；
- (9) 算法结束。

4.2.2 组播树维护策略

节点的主动退出和意外失效引起组播树的断裂，是不可回避的问题。如何能够在节点退出或者失效后，快速地重构整个转发树，将数据丢失控制到最小的范围和时间内，一般有两种方式，即后向式和前向式^[33]。后向式是在节点失效后，再进行树的重构。本算法是以前向式构造组播树 MTP (Multicast Tree Protocol)。

“备用父节点”的选择采用一种“链路冗余”思想的前向式预留链路算法 (Pre-Reservation Link, 以下简称 PRL 算法) 进行。PRL 借鉴 QoS 中采用的“资源预留协议” (RSVP)，利用组播转发树层内或层间产生冗余链路的思想来为组内节点事先选择备用父节点以便进行树的重构。对维护和预防组播树断裂或崩溃，起到了很好的作用。

现将 PRL 算法描述如下：

设要选择“备用父节点”的节点为 N，P 为指向某个节点的指针。

- (1) 首先将指针指向 N 的父节点 M；
- (2) 如果 M 没有兄弟节点，则沿着树往上走，直到将 P 指向原节点的父节点；
- (3) 如果 P 指向的节点有预留链路，则 P 指向的节点就是要找的节点，算法结束；如果 P 指向的节点没有预留链路，但是 P 指向的节点有兄弟节点，则循环结束；否则，继续往上游走如果一直没有合适的节点，会一直到达根节点，循环结束。寻找兄弟节点的目的是，节点 N 的备用父节点是优先选择父节点之外的祖先节点，其次是选择祖先节点的兄弟节点，在高于 N 的上层节点中，只有 N 的父节点不能充当备用父节点，其它的祖先节点都可以充当 N 的备用父节点；
- (4) 如果一直找到根节点都找不到合适的备用父节点，则结束寻找过程，返回 0；

- (5) 如果找到了合适的备用父节点, 则将 Q 的兄弟节点信息, 写入一个队列 Q, 队列 Q 中存放着候选节点的列表, N 可以以先进先出的次序从队列 Q 中取出节点, 进行比较和选择;
- (6) 开始从队列 Q 中依次取出候选节点;
- (7) 将 P 指向从队列中取出的节点;
- (8) 如果 P 指向的节点还有预留链路, 则 P 指向的节点就是要找的节点, 跳出循环; 否则, 将 P 指向节点的子节点加入队列 Q 中, 回到 (6), 继续循环; 如果没有找到合适的节点, 返回 0;
- (9) 算法结束。

假设要选择备用父节点的节点为 N 通过 PRL 算法找出备用父节点 P。建立层间或层内冗余链路的算法步骤描述如下:

- (1) 节点 N 送一个 JOIN 报文给节点 P;
- (2) P 到 JOIN 后, 发送 ACCEPT/REFUSE 报文给 N, 询问是否同意建立冗余链路;
- (3) N 收到后, 将自己的备用父节点指向 P, 然后发送 ACK 报文给 P;
- (4) P 收到确认报文后, 再修改自己的相关信息, 建立起到 N 的冗余链路;
- (5) 算法结束。

需要说明的是, 在冗余链路的维护上, 采用如下方法:

在某个节点通过 PRL 算法找到自己的备用父节点之后, 就需要备用父节点过一定的时间发送 *keepalive* 报文^[34], 来维持双方的联系, 一旦节点在一定时间内收不到 *keepalive* 报文, 则可认为备用父节点已经失效, 这样就会触发 PRL 算法再次运行, 以寻找新的备用父节点。

4.3 自适应组网算法

4.3.1 自适应算法的设计思路

为了实现 SANM 模型的自适应性, 本文结合 HS 算法和 SS 算法, 提出了一种基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法 (Self-Adaptive Algorithm, 以下简称 SA 算法)。

SA 算法采用了一种混合式结构的节点组织方式, 网络中的节点只需要维护与自己有关的一小部分信息 (亲戚节点路由表或者备用父节点信息)。这样, 网络中的节点发生变动不会对整个网络有很大的影响, 更适用于 IPTV 这类用户动态性

较大的网络。而且，整个网络更加灵活，不再需要维护复杂的节点拓扑结构，更适用于 IPTV 这类用户数量很大的网络。

对于节点数量大、动态性大的 IPTV 系统网络，为了保障数据传输的实时性和网络的稳定性，SA 算法中加入了节点退出或失效的维护策略。所以，在 SA 算法中，每个网络节点需要维护以下信息：

- 对等网络信息：自己的标识号、数据信息；亲戚节点路由表（包括所有亲戚节点的标识号、位置信息、数据信息）。
- 组播树信息：自己的度、自己在组播树的深度；父节点、子节点、备用父节点的组播树信息。

SA 算法中，节点首次加入网络时，因为不了解节点的处理能力等信息，所以首先加入域内的 P2P 网络，以免该节点的处理能力或频繁失效对整个网络构造产生影响。然后，根据网络中节点的网络连接状况等信息，节点可以从 P2P 网络转换到组播树上，成为组播树的节点；或者从组播树节点转为 P2P 网络的端节点。

4.3.2 算法涉及的基本概念

为了便于描述 SA 算法，对应于图 17，明确几个概念：

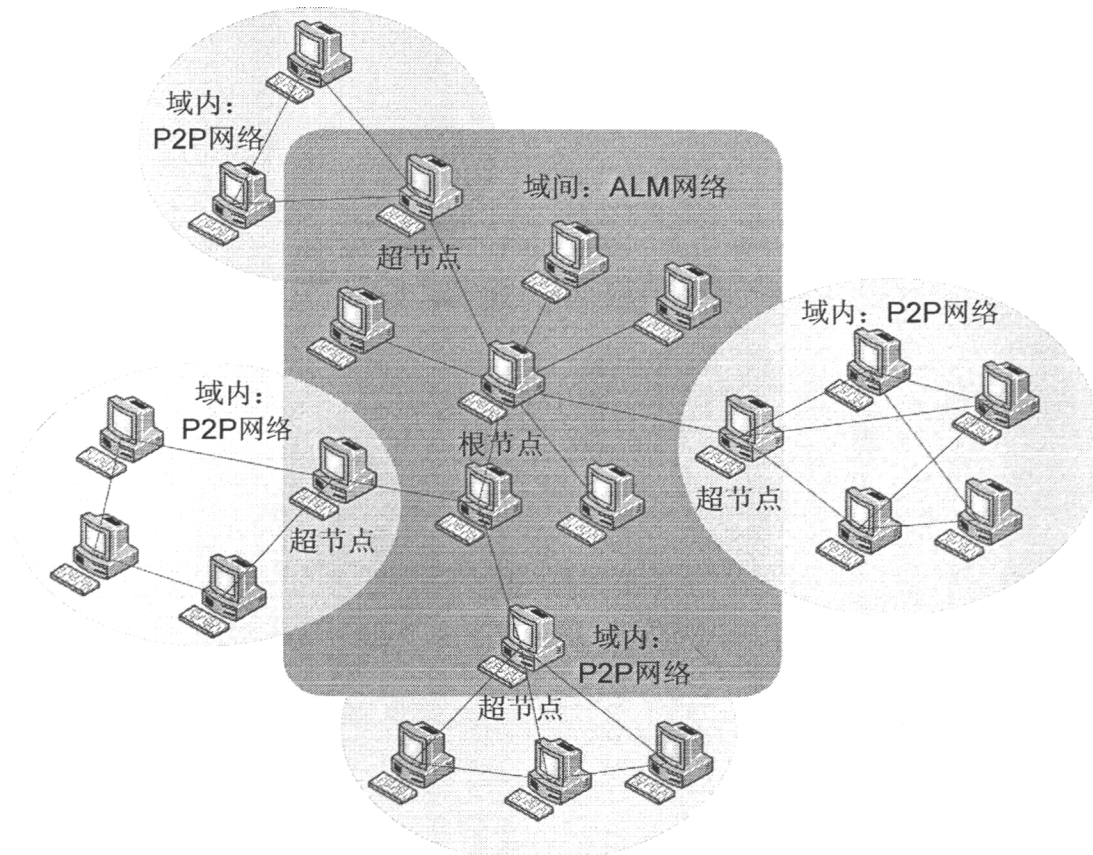


图 17 网络拓扑图

- (1) 域：每一个 P2P 网络结构称为一个域。P2P 网络内称为域内，ALM 结构被称为域间。
- (2) 超节点：作为 ALM 网络和 P2P 网络的连接节点，超节点既是 ALM 组播树的组播节点，又是域内 P2P 网络的端节点。
- (3) 根节点：就是组播树的根节点，是整个用户网络与流媒体服务器交换数据的枢纽。

4.3.3 SA 算法描述

为了实现可扩展性和自适应性，基于本文 4.1 中的对等网络节点混合式查找算法（HS 算法）和 4.2 中描述的组播树的构建算法（SS 算法），设计了如下的自适应组网算法（SA 算法），包括节点加入算法、节点退出算法和节点的自适应调整算法。

4.3.3.1 节点加入算法

某个节点 P 加入网络，先到管理服务器上进行注册，会返回两种可能的结果：

- ① 没有找到网络中存在的节点
- ② 找到了网络中存在的节点（一个或多个）

若遇情况①，即管理服务器返回给节点 P 的信息是没有找到网络中已存在的节点，那么节点 P 就成为组播树的根节点，与流媒体服务器建立连接，等待其他节点的加入，逐渐建立起一棵新的组播树。

若遇情况②，即管理服务器返回给节点 P 的信息是节点 P 适宜加入的 P2P 域和域内超节点的信息，假设为超节点 S。节点 P 加入域的算法描述如下：

- (1) 节点 P 通过管理服务器返回的信息，找到超节点 S，向 S 发送加入请求；
- (2) 超节点 S 先假设节点 P 存在于现有的网络中，通过执行 4.1 中的 P2P 网络节点查找算法发起对节点 P 的查找，得知距节点 P 最近的是节点 Q，然后超节点 S 通知节点 P 找节点 Q 发起加入请求；
- (3) 节点 P 向节点 Q 发出加入请求，节点 Q 先核实自己是否是节点 P 的最近邻居，如不是，执行类似超节点 S 的工作，返步骤（2）；如果是，则继续执行步骤（4）；
- (4) 节点 Q 将自己的路由表复制给节点 P，并将原来由自己保存并管理的数据节点信息转交给节点 P。节点 P 根据自己的情况对路由表进行调整，并根据该表将自己的路由表和管理的数据节点信息通知自己的亲戚节

点；

(5) 接到通知的节点 (P 的亲戚节点或亲戚节点的最近邻居点) 调整各自的路由表和添加数据节点信息, 并将调整后的路由表反馈给 P 点 (兼起到确认收到通知作用)；

(6) P 节点根据反馈路由表调整自己路由表。

节点加入算法的流程图如图 18 所示：

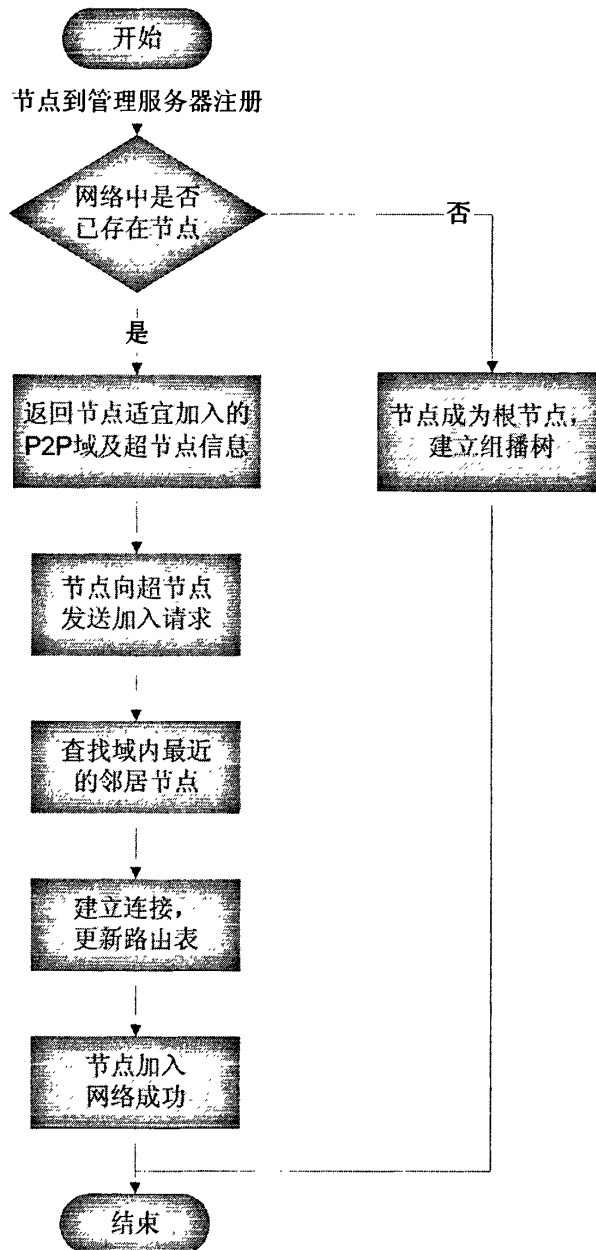


图 18 节点加入算法流程图

4.3.3.2 节点退出算法

首先判断节点是域内的 P2P 端节点，还是域间 ALM 组播树的节点。若是组播树节点，则根据 4.2.2 中建立的组播树维护策略，组播树节点的退出不会影响网络的稳定性。若退出的节点是 P2P 端节点，则节点执行如下退出过程：

- (1) 如果节点 P 准备退出系统，它首先找到自己的最近邻居点 N，并将自己的数据信息交由节点 N 托管，并将节点 N 的信息通知节点 P 的所有亲戚节点；
- (2) 接到通知的节点，调整自己的路由表，通知自己的亲戚节点，把与节点 P 有关的数据信息调整为节点 N 的亲戚节点管理信息，并调整自己的数据信息表；
- (3) 接到步骤 (2) 中数据信息的节点调整自己的数据信息表。

节点退出算法的流程图如图 19 所示：

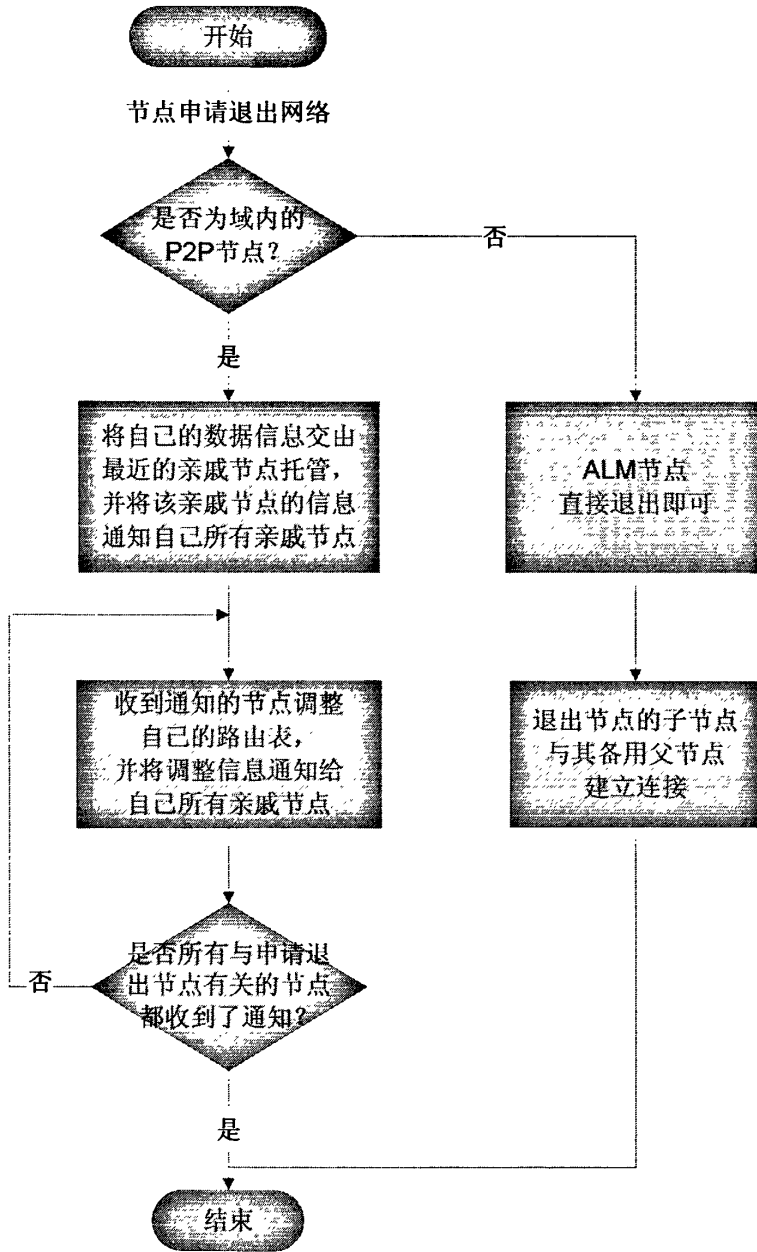


图 19 节点退出算法流程图

4.3.3.3 节点失效算法

如果是 ALM 中组播树节点的意外失效，那么根据 4.2.2 中建立的组播树维护策略，组播树节点的失效不会影响网络的稳定性。失效节点的子节点会连接它们的备用父节点。

如果是域内 P2P 端节点失效，那么根据 4.1.2.4 中的节点失效控制策略，在执

行了更新算法后，失效节点的最近亲戚节点会代替它执行节点退出算法。

节点失效算法的流程图如图 20 所示：

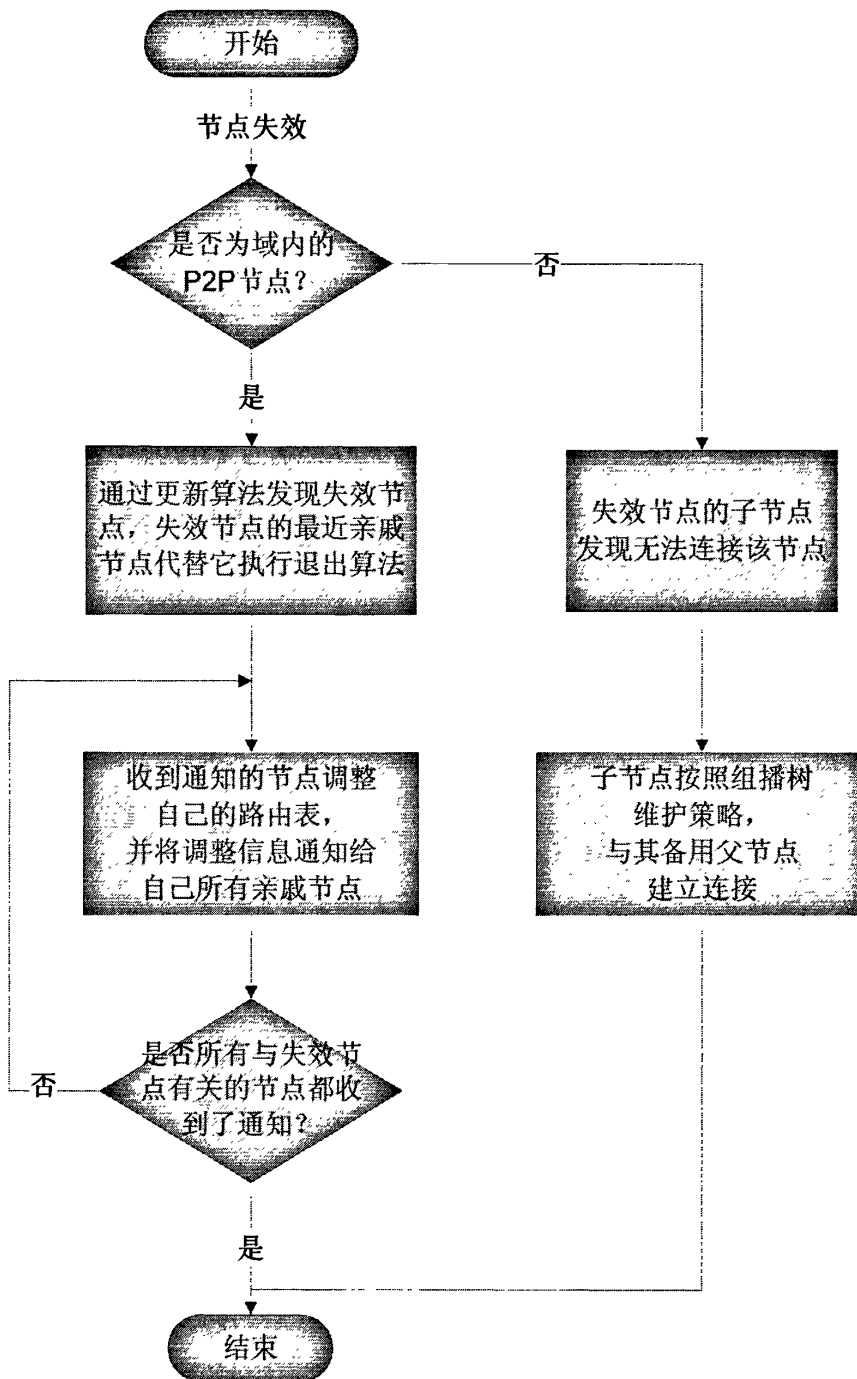


图 20 节点失效算法流程图

4.3.3.4 节点自适应调整算法

自适应 IPTV 系统组网技术的重点在于实现网络中的节点在对等网络和 ALM 网络之间进行转换的能力。节点转换分为两种：组播树节点转换成 P2P 节点和 P2P 节点转换成组播树节点。

4.3.3.4.1 组播树节点转换成 P2P 节点

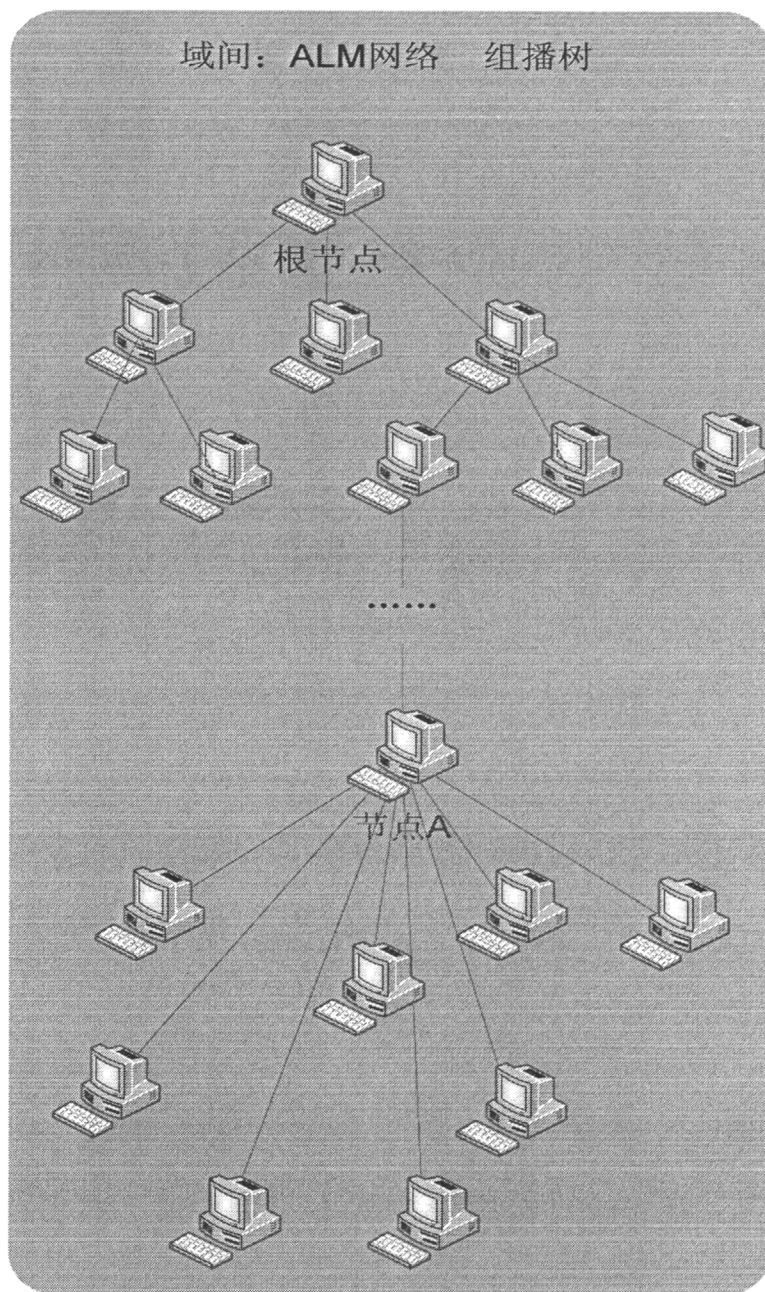


图 21 一个组播树的例子

如果组播树中某非叶子节点的子节点是叶子节点，当节点的度增加到一定程

度（用户自己定义）时，该非叶子节点将会转换为组播树的叶子节点，并将其下的所有叶子节点转换成 P2P 节点，组成一个域。下面以图 21 中的节点 A 及以下的叶子节点为例。

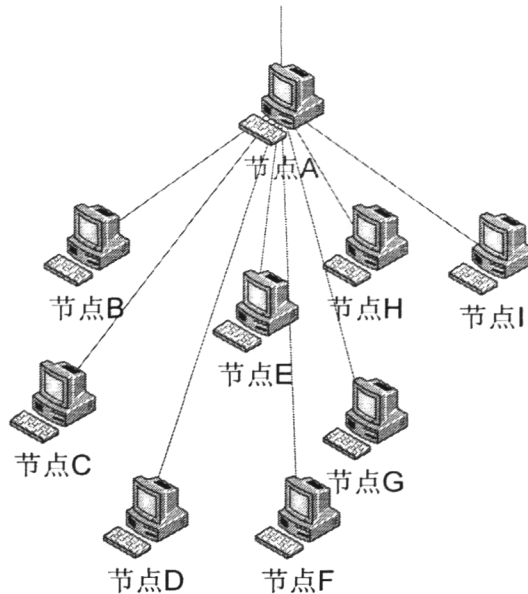


图 22 待转换的组播树节点

组播树节点转换成 P2P 节点的过程如下：

- (1) 节点 A 的子节点均为组播树的叶子节点，且节点 A 的度已经达到了 8（假设用户定义节点的度增加到 8 时要进行转换，独立成域），满足向 P2P 转换的条件；
- (2) 节点 A 将转换成组播树的叶子节点，并向它的子节点发送广播消息，将以节点 A 为超节点，建立一个域，组成 P2P 网络；
- (3) 节点 B、C、D、E、F、G、H、I 将按照 4.1.2.2 的节点加入算法加入 P2P 网络，之后基于 4.2.2 的组播树维护策略，退出组播树。
- (4) 至此，完成了组播树的一个分支转换为一个 P2P 域的过程，如图 23，算法结束。

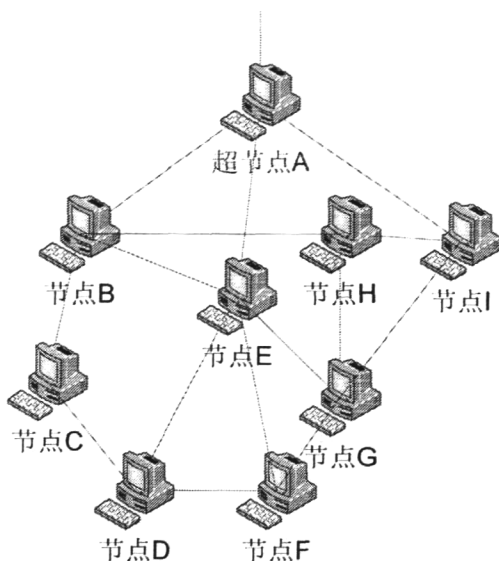


图 23 从组播树转换得到的 P2P 网络

综上，组播树节点转换成 P2P 节点的过程可以表述为图 24：

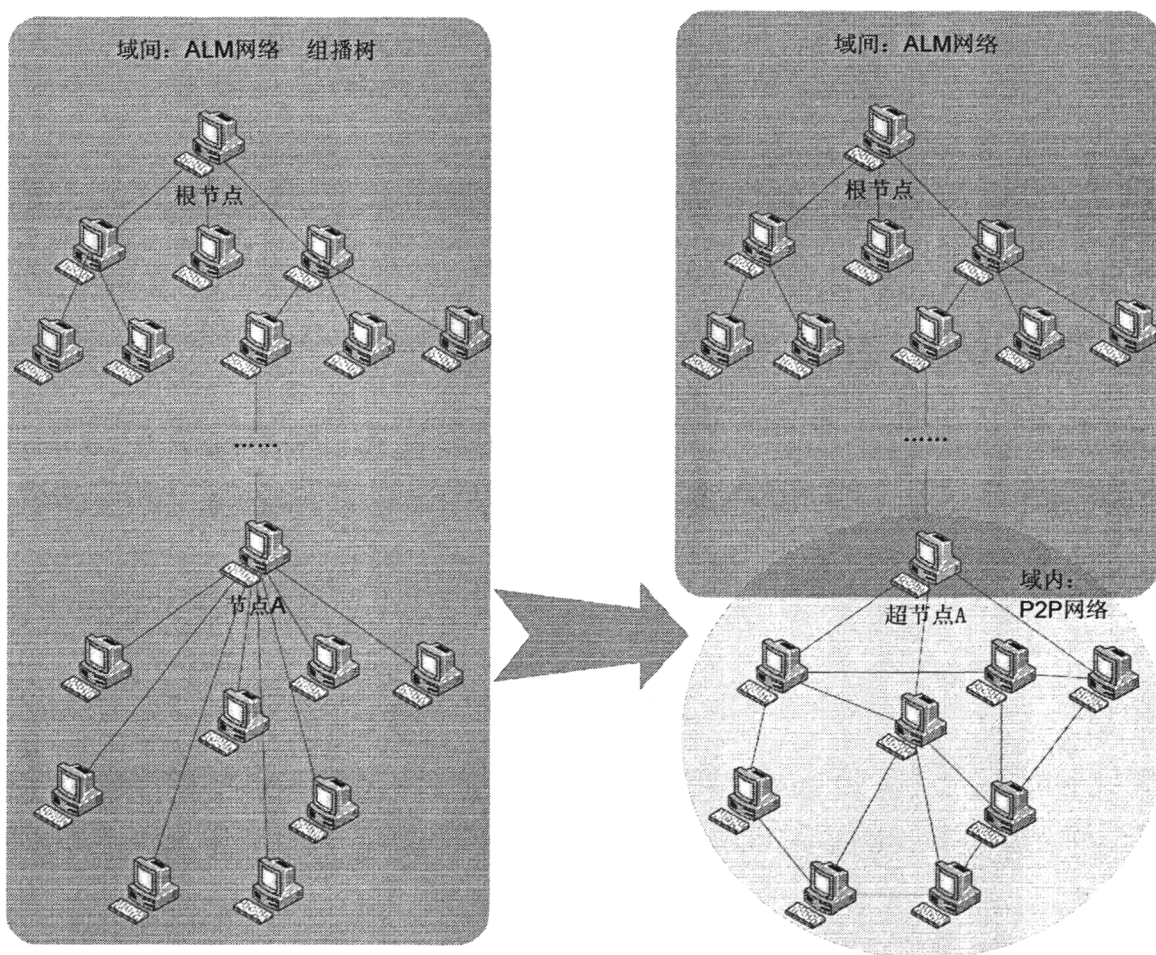


图 24 组播树的分支转换为 P2P 域

组播树节点转换成 P2P 节点的流程图如图 25：

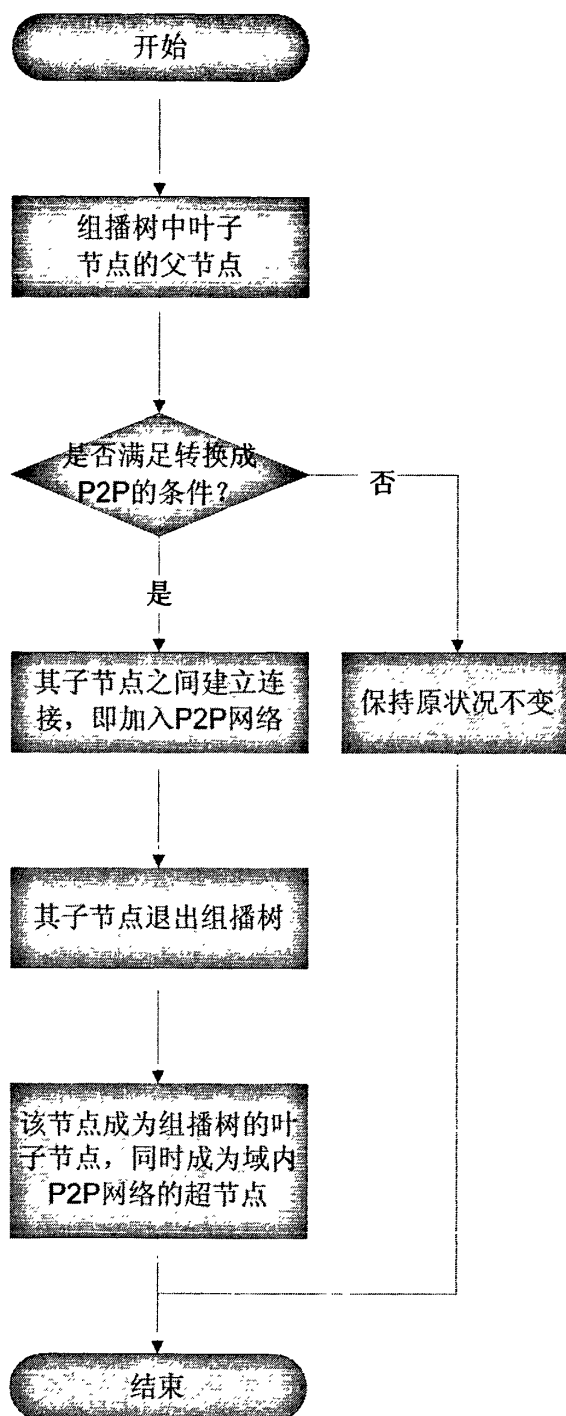


图 25 组播树节点转换成 P2P 节点的流程图

4.3.3.4.2 P2P 节点转换成组播树节点

同样，域内 P2P 节点也能转换成组播树节点。当 P2P 网络中的某些节点与其它节点的网络状况不好（判断条件由用户自定义，如延时增加多少或带宽降低多少等等）时，经过域内超节点允许，这个节点可以加入组播树，以管理节点为父节点，之后依次与其邻居节点减少信息交互，直至断开连接，转换成组播树的叶子节点。下面以图 23 中的节点 D 转换成组播树节点为例，其转换过程表述如下：

- (1) 节点 D 与其它节点的网络连接状况不好，向域内超节点 A 发送消息，申请加入组播树；
- (2) 超节点 A 返回允许信息后，节点 D 与超节点 A 建立连接；
- (3) 节点 D 按照 4.2.1 的算法加入组播树，成为组播树的叶子节点，以超节点 A 为父节点；
- (4) 节点 D 按照 4.1.2.3 的算法退出 P2P 网络；
- (5) 节点 D 完成了从 P2P 网络节点转换成组播树节点的过程，如图 26，算法结束。

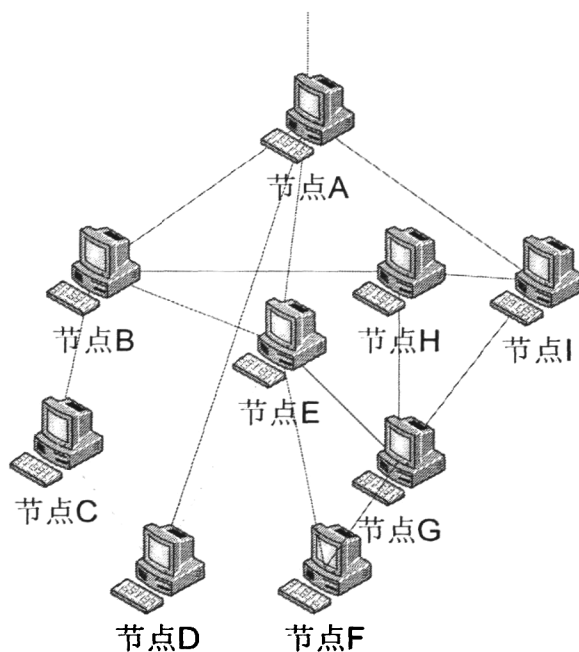


图 26 节点 D 从 P2P 节点转换成组播树节点

若图中的节点 B、C、D、E、F、G、H、I 都从 P2P 网络节点转换成组播树的叶子节点，则该 P2P 网络的域将消失，这部分节点组成整个组播树的一个分支，如图 27、图 28 所示。

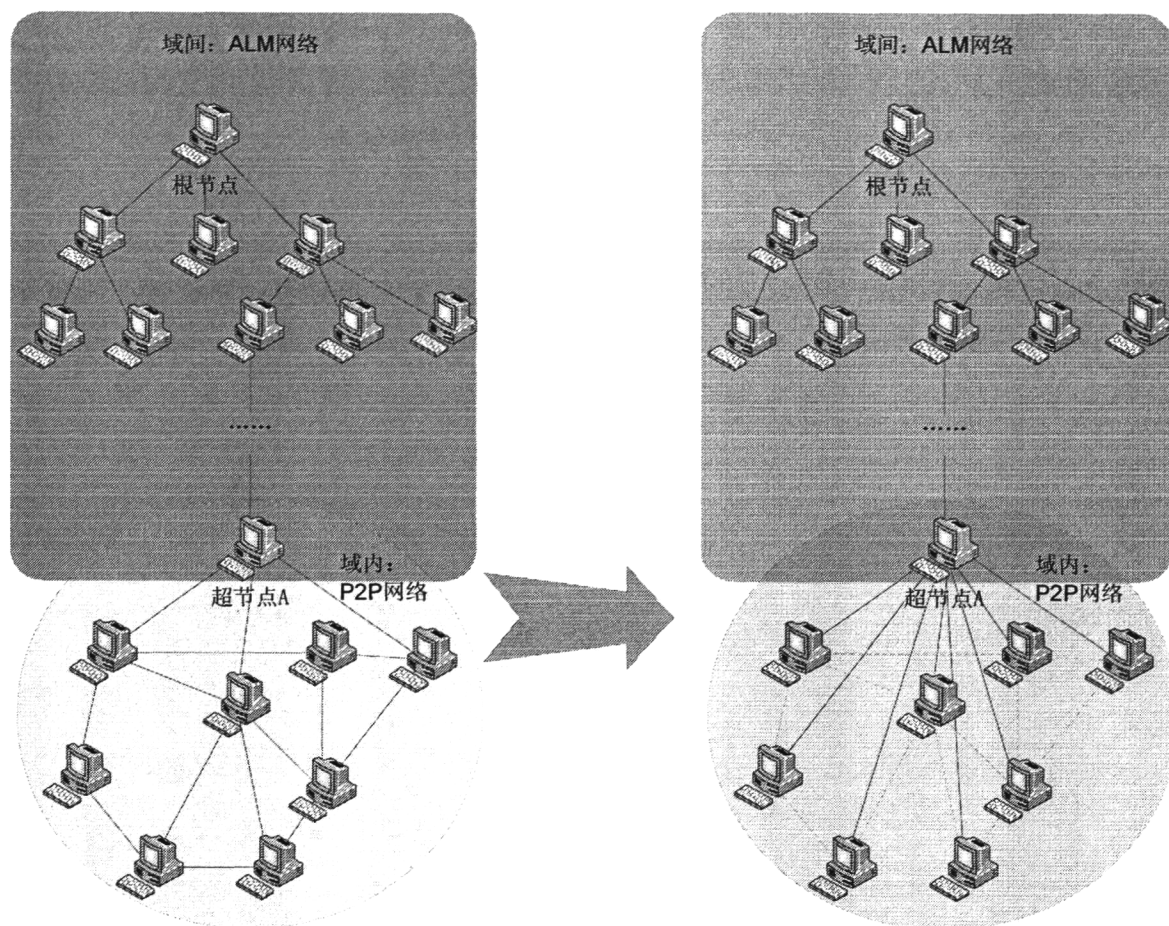


图 27 域内 P2P 节点与超节点建立连接

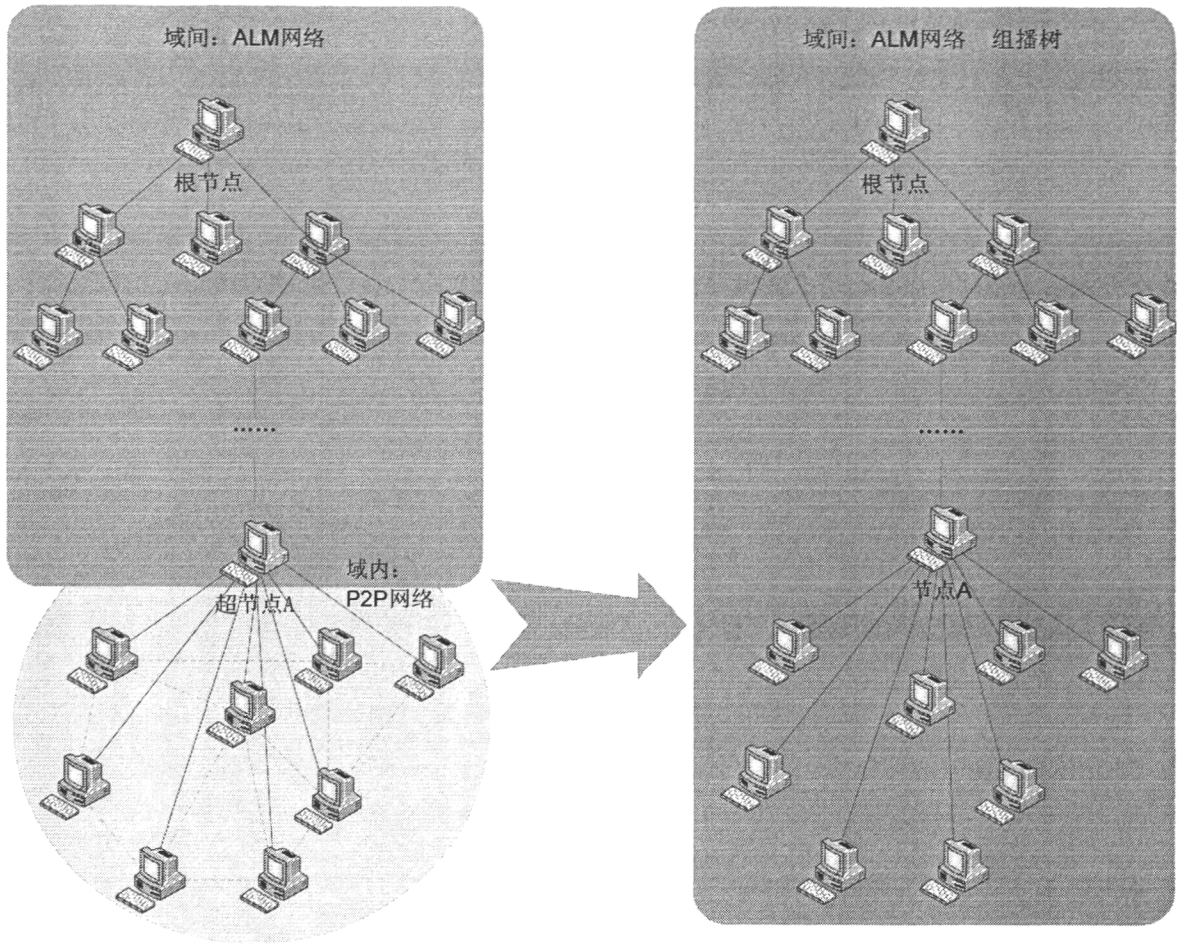


图 28 域内 P2P 网络转换成组播树的一个分支

P2P 节点转换为组播树节点的流程图如图 29:

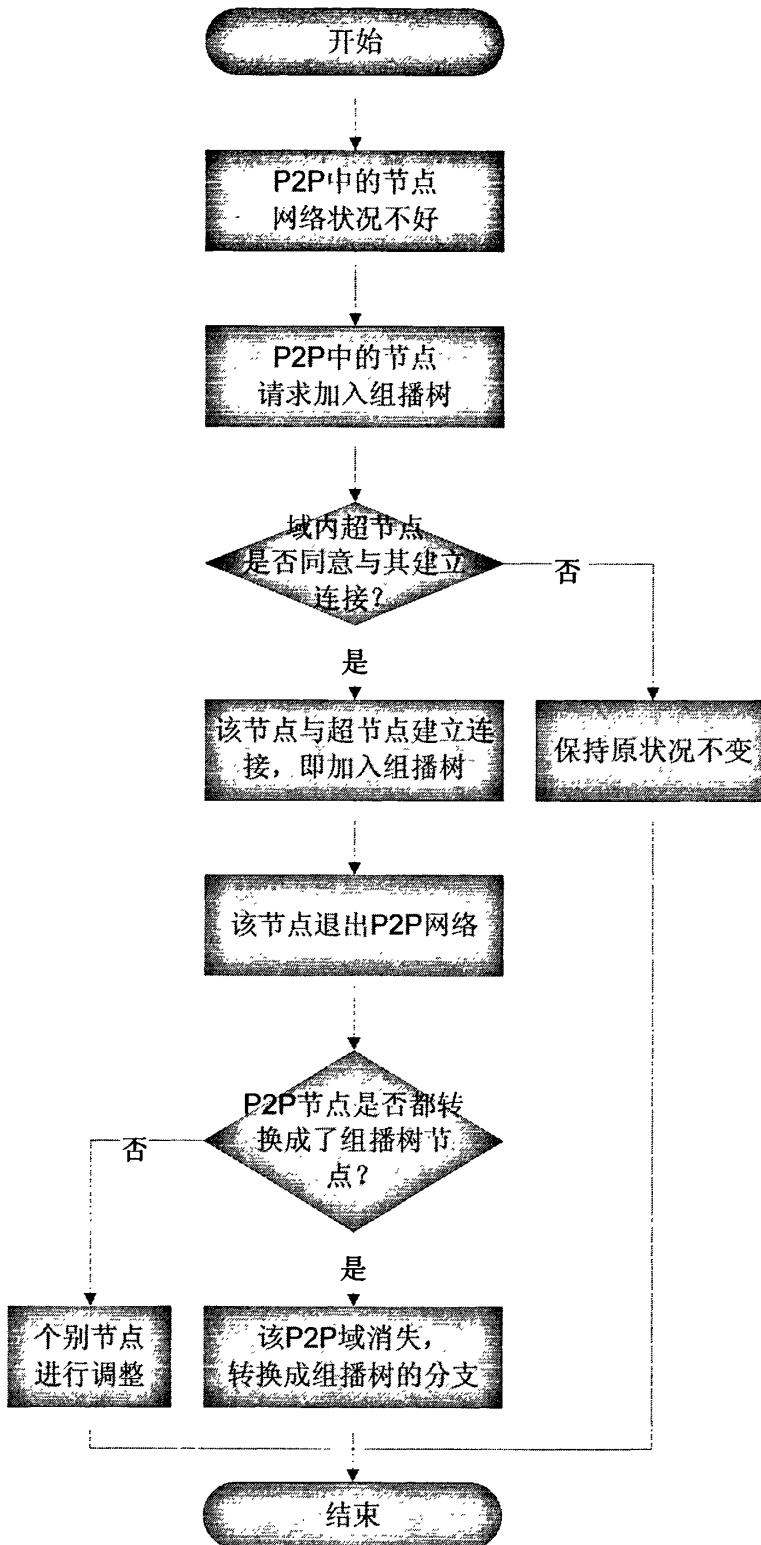


图 29 P2P 节点转换为组播树节点的流程图

5 算法性能分析

5.1 HS 算法性能分析

HS 算法中，每个节点都维护着局部的路由表，路由表中有该节点的所有亲戚节点信息，所以会提高查找数据的效率。

通过定期调整系统的路由表信息，可以随时更新节点及其亲戚节点的路由信息，并能较快发现失效节点。发现失效节点后，该失效节点的最小类邻居节点会代替它执行节点退出算法。这能提高网络的健壮性，避免单点失效对整个网络数据传输的影响。

5.2 SS 算法性能分析

SS 算法的组播树维护策略为组播树中的节点设置备用父节点，当组播树中某非叶子节点失效时，该节点的子节点可以马上与备用父节点建立连接，进而完成组播树的重构。这一机制能有效预防组播树中非叶子节点失效引起的组播树断裂，大大提高了网络的健壮性。

5.3 SA 算法性能分析

SA 算法建立在 HS 算法和 SS 算法之上，所以集两种算法的优势于一身。SA 算法的核心在于网络中节点可进行自适应调整，网络中的节点可随时根据自身条件和网络情况进行角色转换，已达到更高的数据传输要求。所以，网络会维持一种动态平衡，并且随时根据节点和链路的变化情况进行调整，向更优的方向发展。

5.4 网络仿真测试

网络仿真是一种新的网络设计和优化技术，它以独有的方法为网络的规划设计提供客观、可靠的定量依据，缩短网络建设周期，提高网络建设中决策的科学性，降低网络建设的投资风险。OPNET (Optimal Network Engineering Tools) 是一个优秀的网络通信协议建模和仿真工具，它具有先进的建模机制、完备的模型库、完善的外部接口等优点，得到了相当广泛地应用^[35-40]。本文使用了 OPNET 网络建

仿真工具^[41-44]分别仿真了使用 HS 算法对等网络模型、使用 SS 算法的应用层组播网络模型和使用 SA 算法的自适应网络模型。

网络性能的评价指标很多，包括链路的时延、节点负载控制、资源利用率、抖动、丢失率等，不同的应用对网络的性能要求各有侧重。例如，Web 浏览器对数据丢失率的要求很高，但抖动对其影响不大；视频会议则不会对数据丢失率有很高的要求，但对时延和抖动的要求都较高。根据 IPTV 系统的实际应用情况，本文选择了链路时延进行仿真测试。

链路时延的实验结果如图 30 所示：

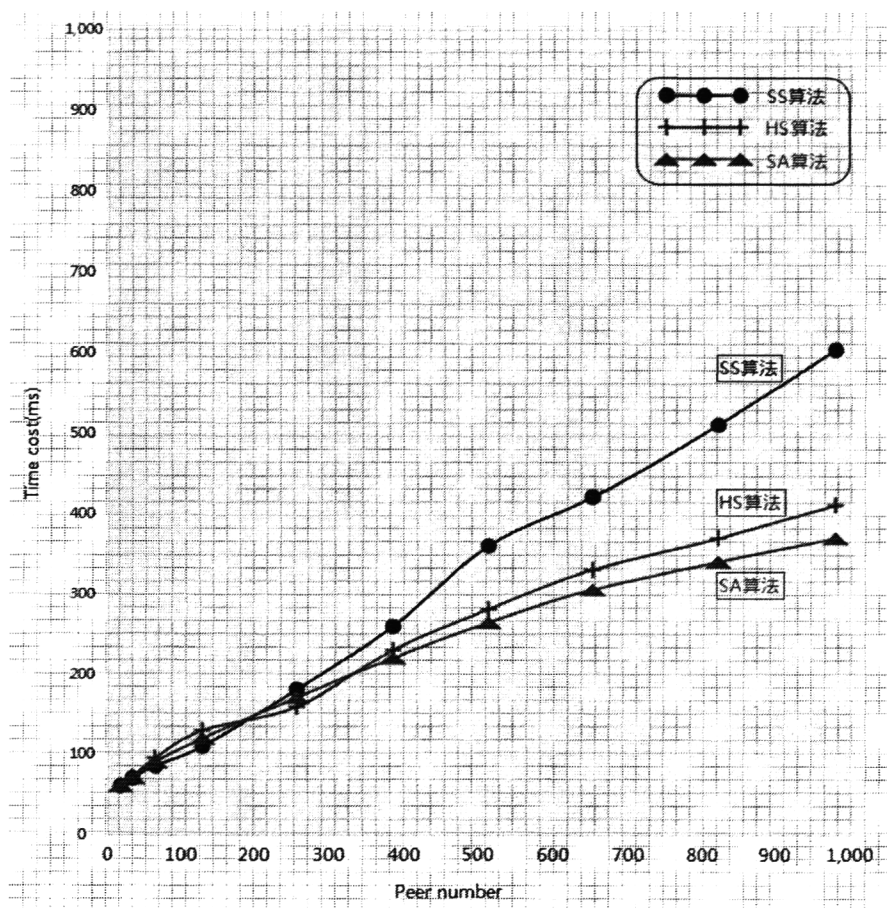


图 30 链路时延实验结果

由图 30 可知，SA 算法构建的自适应网络的链路时延低于 HS 算法构建的 P2P 网络和 SS 算法构建的 ALM 网络；而且，随着节点数量的增加，SA 算法构建的自适应网络的链路时延的增加逐渐趋于平缓，不会像 SS 算法构建的 ALM 网络那样近似线性增加。随着节点数量的增加，ALM 网络构建的组播树会不断发展分支，树的深度不断增加，这就导致了链路时延的增大。而本文描述的自适应网络模型使用了 SA 算法，可以对组播树的深度和叶子节点数的最大值进行定义，达到最大值时会有部分节点自适应地转为域内 P2P 网络节点。

6 总结

本文基于对大量 IPTV 相关技术的理论学习,通过深入了解现有的 IPTV 技术,研究了基于对等网络的 IPTV 系统和基于应用层组播的 IPTV 系统,提出了同时支持两种技术的基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统网络模型。引入了对等网络节点混合式查找算法和应用层组播树构建算法,并以这两种算法为基础,设计出基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法(SA 算法)。通过 OPNET 仿真实验证明,本文提出的 SA 算法能够提高网络性能,减少链路的数据传输时延,保证数据传输的实时性,进而保证流媒体的播放质量。

本文主要完成了以下工作:

- (1) 描述 IPTV 的相关技术知识,包括 IPTV 的概念、组成和主要业务类型。
- (2) 通过大量的调查研究,总结得出 IPTV 在国际、国内市场的现状,并对比分析了多家权威机构的 IPTV 未来发展预测。还分析了 IPTV 面临的技术瓶颈。
- (3) 分别介绍了对等网络和应用层组播的相关概念,重点研究了主要结构类型和现有技术。
- (4) 提出了基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的网络模型架构和拓扑结构。
- (5) 引入了对等网络节点混合式查找算法(HS 算法)和应用层组播树构建算法(SS 算法),提出了基于对等网络应用层组播的自适应 IPTV 系统的组网算法(SA 算法)。
- (6) 分别对 HS 算法、SS 算法和 SA 算法的性能进行分析,并使用 OPNET 进行了网络仿真测试,证明了该算法的合理性。

尽管本文中提出的 SA 算法在 IPTV 系统研究上取得了一定的成果,但是目前还只是停留在仿真试验阶段,与实际应用的要求还存在差距。而且 IPTV 系统的应用不仅仅需要优化的组网算法做基础,还需要完善 IPTV 系统工作流程的每个部分。由于时间等因素的限制,目前还没有进行 IPTV 系统服务器和客户机应用模块的开发,也就没法在真实的环境下实验完全基于 P2P 和 ALM 自适应的 IPTV 系统。由于时间、精力和知识水平有限,恕不能将论文研究做到尽善尽美。

参考文献

- [1] Geoffrey F. Peer to Peer networks. *Computing in science & engineering*. 2001. 06. 75-77
- [2] L H Sahasrabudhe, B Mukherjee. Multicast Routing Algorithms and Protocols. A.Tutorial[J]. *IEEE Network Magazine*. 2000. 01-02. 90-102.
- [3] Suman Banerjee, Bobby Bhattacharjee, Christopher Kommareddy. Scalable Application Layer Multicast[C]. *Proceedings of ACM SIGCOMM*. 2002
- [4] 金纯, 齐岩松, 于鸿洋, 陈前斌. IPTV 及其解决方案. 北京: 国防工业出版社. 2006-09. 1-11
- [5] 汪卫国. 国际 IPTV 市场的发展概况. *当代通信*. 2005. 9
- [6] 赵瑞玉, 包杰. P2P 技术在网络电视中的应用. *当代通信*. 2006. 59-61
- [7] 周亚建, 杨义先. 与 P2P 技术相关的信息安全问题. *电信工程技术与标准化*. 2006. 05. 1-7
- [8] 方伟. P2P 技术与 IPTV 技术. *电信技术 (TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY)*. 2006. 4. 51-54
- [9] 吴吉义, 郑继文. P2P 在 IPTV 中的应用. *电子技术应用*. 2007-9. 103-105
- [10] GRANVILLE L Z. Managing computer networks using peer-to-peer technologies[J]. *IEEE Communications Magazine*. 2005. 43 (10) .
- [11] GUHA S, DASWANI N, JAIN R. An experimental study of the skype peer-to-peer VoIP system[J]. *Proceedings of IPTPS*. 2006.
- [12] Mohamed Hefeeda. Peer-to-Peer Systems. School of Computing Science, Simon Fraser University Surrey, Canada
- [13] 吴吉义, 龚祥国. 一种基于超级节点的 P2P-IPTV 体系结构研究. *Proceedings of the 4th China Conference on Software Engineering*. 2007.
- [14] 何晓华. P2P 技术在 IPTV 中的应用[J]. *中国有线电视*. 2006. 12
- [15] 何宝宏. 浅析 IPTV 的概念与内涵[J]. *电信网技术*. 2006. 2
- [16] 何宝宏. IPTV 与 P2P 技术结合将更具可扩展性[J]. *中国电子报*. 2007.
- [17] 曹莉华. P2P 模式下 IPTV 走不出的困境. 争鸣. 2007-02. 17-20
- [18] PENDAKARIS D, SHI S. ALMI: an application level multicast in frastructure[A]. Anderson T. *The 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems*. USENIX Association. 2001
- [19] 郭锋, 王春婷. 组播技术及发展思路. *技术探讨*. 2003. 4. 27-30
- [20] 孙华兵. 组播技术在 IPTV 中的应用以及组播模式选择. *有线电视技术*. 2007. 4. 52-54
- [21] 张谓, 吴慧中, 肖亮. 支持流媒体的应用层组播研究. *计算机科学*. 2007. 34 (6) . 53-57
- [22] EL-SAYED A, ROCA V, MATHYL. A survey of proposals for an alternative group communication service[J]. *IEEE Network*.. 2003-17. 1. 46-51
- [23] Yang-hua Chu, Sanjay G Rao, Hui Zhang. A case for end system multicast. *ACM. Process*. 2000
- [24] 李瑁晟等. 应用层组播综述. *计算机应用研究*. 2004. 11. 14-17
- [25] 徐敏, 李仁发, 乐光学. 可扩展的实时流媒体应用层组播系统设计. *计算机工程*. 2006-10. 32 (20) . 218-220
- [26] 熊朝松, 胡小强. 对等网应用层组播技术. *长春理工大学学报 (自然科学版)*. 2007-09. 30

- (03) . 87-90
- [27] 徐亮, 丁振凡. 应用层组播技术研究. 科技广场. 2005-10. 13-15
- [28] 杨贯中, 郭超, 陆绍飞, 钱佳, 林正海. 分域分层的应用层组播拓扑构建方法. 计算机工程与设计. 2008-01. 29 (02) . 350-356
- [29] Bai HH, Wang W N. Mathematic model of decentralized location service[A]. Han YB, Shi M L. Proceeding of International Workshop on Grid and Cooperative Computing (GCC 2002) [C]. 北京: 电子工业出版社, 2002.759-773.
- [30] 柏海寰, 蒋俊杰, 汪为农. 对等网络中一种新的非集中式查找算法. 上海交通大学学报. 2004. 38 (1) . 75-78
- [31] 米猛, 赵建华, 李选东. MDA 的设想与实现[J]. 计算机工程与设计. 2004-25. 11. 1876-1879
- [32] 朱坤华. 应用层组播协议研究与算法设计. 计算机应用与软件. 2007. 12. 133-134
- [33] Lin Yusong, Wang Binqiang, Wang Zongmin. A new group communication model in large-scale network. 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA05) . 2005. 2. 307-310
- [34] 章淼, 徐明伟, 吴建平. 应用层组播研究综述. 电子学报. 2004 (32) . 22-23
- [35] <http://www.opnet.com>.
- [36] OPNET Modeler Product Document /Models /Specialized Model User Guides[M]. OPNET Technologies, Inc. 2003
- [37] 孟晨. OPNET 通信仿真开发手册[M]. 北京. 国防工业出版社. 2005
- [38] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京. 清华大学出版社. 2004
- [39] 刘珩, 安建平, 杨杰. 组播协议在 OPNET 中的建模与仿真. 计算机仿真. 2005-05. 22(05). 141-144
- [40] 岩延等. 组播路由协议设计及应用[M]. 人民邮电出版社. 2002-10
- [41] 张韧. 基于 OPNET 的流媒体传输性能仿真比较研究. 网络与通信. 2007. 24-25
- [42] 段威, 任华, 柳海峰. 基于 OPNET 的通信网络半实物仿真方法研究. 计算机仿真. 2007-11. 24 (11) . 138-141
- [43] 陆正福, 刘吉庆. 基于 OPNET Modeler 的网络性能仿真实验. 实验科学与技术. 2006-08. 04. 4-8
- [44] 陆勇林, 魏立峰, 祁红岩. 一种实用的网络性能分析与评价技术. 沈阳化工学院学报. 2004. 2. 158-160

作者简历

教育经历:

2001年9月—2005年7月

北京交通大学 计算机学院 计算机科学与技术专业 工学学士

2006年9月—2008年7月

北京交通大学 计算机学院 计算机应用技术专业 工学硕士

工作经历:

2005年8月—2006年7月

内蒙古科右中旗巴彦呼舒第三中学 支教志愿者

2007年7月—2008年4月

毕博管理咨询 商业服务部 助理顾问

参与项目:

2007年5月—2008年6月

“基于P2P和ALM自适应的IPTV技术的研究” 教育部科学技术研究重点项目

2005年9月—2006年10月

“森林资源管理信息系统” 广西玉林市林业勘测设计院委托开发的信息化项目

2007年7月—2007年12月

“神华包头煤化工信息化总体规划” 毕博咨询承接的信息化规划项目

2008年4月至今

“土壤源热泵系统工程设计软件” 中国建筑科学研究院委托开发的独立软件项目