

P2P LIUMEITI  
FUWU ZHILIANG YANJIU

# P2P流媒体

## 服务质量研究

冯 健◎著



Wuhan University Press  
武汉大学出版社

# P2P 流媒体服务质量研究

冯 健 著



Wuhan University Press  
武汉大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

P2P 流媒体服务质量研究/冯健著. —武汉: 武汉大学出版社, 2014.12  
ISBN 978-7-307-14941-0

I. P… II. 冯… III. 计算机网络—多媒体技术—服务质量—研究 IV. TP37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 291131 号

责任编辑: 杨 芸      责任校对: 都 岚      版式设计: 三山科普

---

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 北京京华虎彩印刷有限公司

开本: 787×960      1/16      印张: 8.75      字数: 172 千字

版次: 2014 年 12 月第 1 版      2014 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14941-0      定价: 28.00 元

---

版权所有, 不得翻印: 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

# 前 言

音频、视频内容分发代表了 Internet 中一类重要的应用,但目前还没有满意的解决方案。传统的 C/S 模式中服务器很容易成为系统瓶颈,IP 组播由于难以实现可靠组播和拥塞控制等限制,短期内难以在 Internet 上得到广泛实施,而内容分发网络 CDN 因费用昂贵而难以推广。研究和应用实践表明,P2P 流媒体技术能够利用普通结点的资源为其他结点提供服务,在不改变现有网络配置的前提下具有良好的性价比,因而是一种具有广泛应用前景的流媒体分发方法。由于 P2P 流媒体系统中 Peer 结点服务能力的异构性、结点的动态性以及流媒体本身的特殊性,例如带宽资源占用高、服务持续时间长、对播放的时限和顺序有严格要求等,使得 P2P 流媒体分发技术面临诸多挑战。

QoS 即服务质量,是一个综合指标,用于衡量使用一个服务的满意程度。针对大规模流媒体分发服务需求,提供具有高扩展性和 QoS 保障的 P2P 点播流媒体分发服务,已经成为当前流媒体分发技术研究中的一个重要课题。

本书从 P2P 流媒体系统、P2P 流媒体的 QoS 以及 P2P 流媒体产业的研究现状等几个方面出发,系统、全面地分析和总结了 P2P 流媒体系统的现状和面临的挑战,并在此基础上,深入细致地对 P2P 流媒体系统的覆盖网络拓扑构建、调度策略、缓存和替换策略以及激励机制等方面进行研究,同时还研究了复杂网络理论在 P2P 流媒体技术中的应用。

本书共分为8章,各章的主要内容如下:

第1章为绪论,引入 P2P 流媒体的概念与背景、研究现状(包括 P2P 流媒体系统的研究现状和 P2P 流媒体 QoS 的研究现状)、产业发展情况以及拟研究的主要问题,指出研究工作的意义和主要贡献。

第2章提出了本书分析研究的基础——典型的 P2P 流媒体系统框架以及后续各章讨论中用到的基本假设。

第3章研究了 P2P 点播流媒体系统中的结点选择问题和结点定位方法,即 QoS 敏感的覆盖网络构建问题。其中,针对结点选择问题,提出了两阶段结点选择算法 TSPS,针对结点定位问题,在多解析环的基础上考虑到覆盖网络和物理网络的不匹配问题,提出了 RNLS 结点定位方案。TSPS 算法在选择提供结点的同时考虑了保证数据可用性和流媒体 QoS,即根据播放位置查找候选提供结点后,再根据结点的网络临近性、可用带宽和丢包率等 QoS 度量参数筛选出合适的提供结点。RNLS 结点定位方案采用了半径指数增加的多解析环结构来快速定位结点,

有效支持 VCR 操作。结点间的信息采用了基于闲谈的交换方式。

第4章研究结点的异构性,对 P2P 流媒体系统中的数据传输调度问题进行了研究。首先给出针对多提供者调度问题的数学模型,然后提出了两种不同的解决方案:基于纯拉方式的解决方案和推—拉结合的解决方案,提出了基于纯拉的调度算法 MSS 和基于推—拉结合的调度算法 PPMSS。

第5章研究了 P2P 点播流媒体系统中的分布式缓存管理机制,其目标是在满足所有结点数据获取最后期限的同时使请求块的成功率最大。提出了基于紧迫等级和贡献度的缓存机制,其中包括一个前摄方案和一个缓存替换算法,并讨论了流媒体目标的初始缓存时间,亦即启动延迟的问题。

第6章研究了 P2P 点播流媒体系统中的激励机制。首先分析了激励机制对 P2P 流媒体 QoS 的影响,然后在分析已有激励机制相关工作的基础上,针对 P2P 流媒体网络中的 free riding 问题提出一种基于响应度的激励机制 RBIM。RBIM 使用一个两阶段排序法对请求结点进行排序,并依据顺序优先分配带宽。

第7章研究了复杂网络理论在 P2P 技术中的应用,给出了复杂网络的基本理论框架、主要网络机制模型以及在 P2P 技术中已有的应用实例分析,然后针对 P2P 流媒体系统的拓扑构建问题,结合小世界网络和簇结构,提出了一种新的 P2P 流媒体拓扑构建算法,形成了以簇头结点构成的小世界网络。

第8章对本书进行了总结,对 P2P 流媒体 QoS 仍需考虑的问题进行了思考,并展望了下一步的研究方向。

本书所介绍的研究工作是经过西安科技大学计算机科学与技术学院和西北大学信息科学与技术学院多位科研人员多年学习、研究和工程实践沉淀的成果。特别感谢西北大学信息科学与技术学院房鼎益教授对本书的指导。参与本研究工作的人员包括陈晓江、潘亚峰、龚永杰、李文超、龚尚福、朱建雷等,在此对他们表示衷心的感谢。

本书是一部专门针对 P2P 流媒体服务质量的研究著作。对相关领域的研究人员具有一定的借鉴意义和参考价值。本书的出版得到陕西省自然科学基金计划资助项目(No.2012JQ8030)和陕西省教育厅自然科学基金项目(No.2010JK665)的资助,在此表示感谢。本书的出版离不开武汉大学出版社李鹏飞及其同仁的热情帮助,在此致以感谢。

P2P 流媒体网络的服务质量问题一直是 P2P 应用的研究热点,许多理论和思想还处于探索阶段。由于作者的水平和经验有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者给予批评指正,共同推进该领域研究的进步和发展。

冯 健

2014年8月于大雁塔

# 目 录

## 前 言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                 | 1  |
| 1.1 引言 .....                   | 1  |
| 1.2 研究背景 .....                 | 2  |
| 1.2.1 典型的流服务策略 .....           | 2  |
| 1.2.2 P2P 流媒体的分类 .....         | 7  |
| 1.3 相关研究现状 .....               | 8  |
| 1.3.1 P2P 流媒体系统研究现状 .....      | 8  |
| 1.3.2 P2P 流媒体的 QoS 研究现状 .....  | 13 |
| 1.3.3 P2P 流媒体产业的现状 .....       | 16 |
| 1.4 问题分析与研究内容 .....            | 17 |
| 1.5 研究工作的意义和主要贡献 .....         | 18 |
| 第 2 章 系统模型与假设 .....            | 20 |
| 2.1 系统构造的基本模式 .....            | 20 |
| 2.1.1 集中式 .....                | 20 |
| 2.1.2 分布式 .....                | 21 |
| 2.1.3 混合式 .....                | 22 |
| 2.2 系统模型 .....                 | 22 |
| 2.3 系统模型的假设 .....              | 24 |
| 第 3 章 QoS 敏感的 P2P 点播覆盖网络 ..... | 25 |
| 3.1 引言 .....                   | 25 |
| 3.2 相关研究工作分析 .....             | 26 |
| 3.2.1 结点选择策略 .....             | 26 |
| 3.2.2 结点定位方法 .....             | 27 |
| 3.3 结点选择算法 .....               | 28 |
| 3.3.1 邻居选择问题建模 .....           | 29 |
| 3.3.2 两阶段结点选择算法 TSPS .....     | 31 |
| 3.4 结点定位问题 .....               | 34 |
| 3.4.1 RNLS 结点定位方案 .....        | 35 |
| 3.4.2 RNLS 方案中的闲谈协议 .....      | 37 |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 3.5 结点切换维护            | 39        |
| 3.6 仿真试验研究            | 39        |
| 3.6.1 仿真环境的建立         | 40        |
| 3.6.2 仿真结果及其分析        | 40        |
| 3.7 本章小结              | 43        |
| <b>第4章 数据调度策略</b>     | <b>44</b> |
| 4.1 引言                | 44        |
| 4.2 相关研究工作分析          | 45        |
| 4.2.1 基于数据驱动的内容分发策略   | 45        |
| 4.2.2 纯推的内容分发策略       | 46        |
| 4.2.3 推—拉结合的策略        | 46        |
| 4.2.4 结合组播方案的策略       | 46        |
| 4.2.5 采用编码方案          | 47        |
| 4.3 调度策略              | 48        |
| 4.3.1 问题描述            | 48        |
| 4.3.2 建模              | 49        |
| 4.3.3 纯拉的解决方案         | 51        |
| 4.3.4 推—拉结合的方案        | 54        |
| 4.3.5 请求数据的处理         | 56        |
| 4.4 仿真试验研究            | 57        |
| 4.4.1 仿真环境的建立         | 57        |
| 4.4.2 仿真结果及其分析        | 57        |
| 4.5 本章小结              | 59        |
| <b>第5章 缓存管理</b>       | <b>60</b> |
| 5.1 引言                | 60        |
| 5.2 相关研究工作分析          | 61        |
| 5.2.1 替换策略            | 61        |
| 5.2.2 缓存策略            | 62        |
| 5.3 缓存策略              | 63        |
| 5.3.1 问题描述            | 63        |
| 5.3.2 直观的解决方案         | 64        |
| 5.3.3 基于紧迫等级和贡献度的解决方案 | 65        |
| 5.3.4 连续回放的缓存预测       | 71        |
| 5.4 仿真试验研究            | 73        |
| 5.4.1 仿真环境的建立         | 73        |

|                                    |           |
|------------------------------------|-----------|
| 5.4.2 仿真结果及其分析 .....               | 73        |
| 5.5 本章小结 .....                     | 75        |
| <b>第 6 章 激励机制</b> .....            | <b>76</b> |
| 6.1 引言 .....                       | 76        |
| 6.2 相关研究工作分析 .....                 | 77        |
| 6.2.1 基于规则的激励机制 .....              | 77        |
| 6.2.2 P2P 流媒体中自然的激励 .....          | 79        |
| 6.2.3 社会激励 .....                   | 80        |
| 6.2.4 各种激励机制的比较 .....              | 80        |
| 6.2.5 讨论 .....                     | 81        |
| 6.3 基于响应度的激励机制 .....               | 82        |
| 6.3.1 问题描述 .....                   | 82        |
| 6.3.2 建模 .....                     | 83        |
| 6.3.3 解决方案 .....                   | 83        |
| 6.4 仿真试验研究 .....                   | 87        |
| 6.4.1 效用函数 .....                   | 87        |
| 6.4.2 仿真环境的建立 .....                | 87        |
| 6.4.3 仿真结果及其分析 .....               | 88        |
| 6.5 相关问题 .....                     | 89        |
| 6.5.1 信任模型 .....                   | 90        |
| 6.5.2 激励相容的信任模型 .....              | 90        |
| 6.6 本章小结 .....                     | 91        |
| <b>第 7 章 复杂网络理论与 P2P 流媒体</b> ..... | <b>92</b> |
| 7.1 引言 .....                       | 92        |
| 7.2 复杂网络理论及其在 P2P 网络中的应用研究 .....   | 92        |
| 7.2.1 复杂网络基本理论 .....               | 92        |
| 7.2.2 实证研究 .....                   | 96        |
| 7.2.3 网络机制模型 .....                 | 97        |
| 7.2.4 网络传播与控制 .....                | 99        |
| 7.2.5 小结 .....                     | 99        |
| 7.3 基于小世界的拓扑构建算法 .....             | 100       |
| 7.3.1 加入、退出 .....                  | 101       |
| 7.3.2 簇头结点的选择 .....                | 101       |
| 7.3.3 簇头结点构建小世界网络 .....            | 101       |
| 7.3.4 簇分裂与合并 .....                 | 102       |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 7.4 仿真试验研究.....           | 105        |
| 7.4.1 仿真程序设计.....         | 105        |
| 7.4.2 实验环境与结果分析.....      | 105        |
| 7.5 本章小结.....             | 107        |
| <b>第 8 章 结论和展望</b> .....  | <b>108</b> |
| 8.1 结论 .....              | 108        |
| 8.2 展望 .....              | 109        |
| <b>附录</b> .....           | <b>110</b> |
| 附录 A NS2 网络模拟器的使用 .....   | 110        |
| A.1 NS2 仿真环境.....         | 110        |
| A.2 仿真拓扑与实验参数.....        | 111        |
| 附录 B PeerSim 模拟器的使用 ..... | 112        |
| B.1 PeerSim 的运行机制.....    | 112        |
| B.2 PeerSim 的配置文件.....    | 112        |
| 附录 C 英文缩略语 .....          | 115        |
| <b>参考文献</b> .....         | <b>117</b> |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 引言

随着 Internet 的日趋普及和信息传输技术的快速发展, Internet 传输的内容已逐渐由单纯的文字传输转变为包含文本、音频、视频的多媒体数据传输。这样的改变不仅使 Internet 使用者能获得更为丰富多样的信息,同时也代表着多媒体网络时代的来临。

多媒体数据包括文字、图形、语音、图像等。计算机对多媒体数据进行处理,要解决信息采集、编码、压缩、存储、传输、解压缩、解码、信息重现等一系列问题。当然,在这些方面,现在已经有了许多成熟的技术和标准。早期,人们要观看 Internet/Intranet 上的视频节目需下载整个视频文件。近年来,流媒体技术(也称流式传输技术)的诞生和逐步成熟使得人们只需等待很短的时间就能以边接收边播放的方式欣赏视频节目。流式传输中,服务器将原视频文件分解成一个个小的数据包,按照特定的顺序,以较平稳的速度发送到网络上,客户端的播放程序可边接收数据边播放文件,用户不必等到整个文件内容全部到达后才开始播放。流式传输解决了以往下载方式需等待较长时间的问题。

传统的分布式多媒体系统主要使用客户端/服务器(C/S)模式,所有的用户都从服务器处获取资源。而流媒体服务具有高带宽、长持续时间等特点,在这种模式下,一方面随着客户数目的快速增加,服务器的资源(如带宽)很快就被消耗完,成为系统瓶颈;另一方面长距离数量众多的网络连接也可能导致网络的拥塞。和其他传统的网络服务相比,基于 C/S 模式的流媒体系统无法提供较好的服务质量(Quality of Service, QoS),无法满足大范围实时流媒体应用的性能要求,尤其表现在可扩展性、适应性、容错和鲁棒性等方面。为了解决这些问题,研究者们提出了相应的解决办法,如互联网协议(Internet Protocol, IP)组播技术和内容分发网络(Content Delivery Networks, CDN)。IP 组播需要在网络上大范围部署支持组播的路由器,而且 IP 组播本身存在种种限制,例如很难实现可靠性组播和拥塞控制等,这使 IP 组播技术并没有得到广泛的应用。而内容分发网络则需要在网络边缘部署大量 CDN 服务器。这种方案成本较高,并且也只是部分地解决了可扩展性问题,因为 CDN 服务器很有可能成为新的系统瓶颈。

近年来兴起的对等网络(Peer-to-Peer, P2P) 技术无论在学术界还是业界都得到了极大的关注。Intel 将 P2P 技术定义为“通过系统间的直接交换达成计算机资源与信息共享的系统”。P2P 网络一般是指在互联网之上依照对等方式构建的应用层层叠网络。在对等网络中, 各个结点进行对等计算, 每个对等实体既是服务的提供者, 又是服务的享用者, 充分挖掘了 Internet 上的空闲资源, 在利用率、扩展性、容错能力等方面具有潜在的巨大优势, 并在文件共享、分布式计算、协同工作、Internet 存储等方面已经成功应用。但是, 不同于一般的文件共享, 流媒体本身有其独特性质, 如数据存储量大、带宽占用高、持续服务时间长、QoS 要求高等。虽然近几年学界和业界对 P2P 流媒体系统进行了大量研究, 但针对具有大规模用户的高并发流媒体分发服务需求, 当前已有的 P2P 分发技术和方案在系统可扩展性、可靠性和经济性方面均存在尚未解决的难题。

因此, 在面对大规模流媒体分发服务需求时, 如何提供扩展性高和有 QoS 保障的流媒体分发服务, 并降低系统的部署成本, 已经成为当前流媒体分发技术研究中的一个重要课题。

在 P2P 流媒体内容分发技术研究过程中, 提供服务的 Peer 结点服务能力的异构性、结点的动态性以及流媒体本身的特殊性, 例如带宽资源占用高、服务持续时间长、对数据的播放有较为严格的时限和顺序要求等, 使 P2P 流媒体分发技术面临更多的挑战。

首先, 典型的宽带接入技术诸如非对称数字用户环路 (Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL) 和线缆调制解调器有限的上行传输能力只允许以限定的速率传输所需视频的一部分, 因此当分发带宽需求大的内容时, 并非所有的参与结点都能成为贡献源; 选择哪些结点作为一个结点的提供结点直接决定该结点获取所需数据的可能性; 第二, 流媒体不仅要求以到达速率回放视频帧, 而且一旦回放就要丢弃视频帧。由于用户的缓存内容在不断地变化, 因此结点的缓存管理方案应该能够捕获视频帧可用性的动态本质。第三, 视频帧需要被顺序和周期性地传输以确保平滑回放。但由于结点行为的不确定性, 例如结点在视频服务中突然加入或退出, 可能导致视频帧到达延迟, 因此需要一个视频分发方案, 能使分发源丢失的影响最小化。第四, 系统中的自私结点可能使设计良好的系统性能降低。为了支持上述功能, 需要一个有效的和鲁棒的 P2P 流媒体网络架构。

## 1.2 研究背景

### 1.2.1 典型的流服务策略

典型的流媒体系统将视频节目存储于一台或多台服务器, 接受用户请求, 并

通过网络将节目内容传递给各用户。流媒体业务可在不同的网络平台上提供，例如驻地网、异步传输模式（Asynchronous Transfer Mode, ATM）网、有线电视（Cable Television, CATV）网或者因特网等。与环球信息网（World Wide Web, WWW）、文件传输协议（File Transfer Protocol, FTP）、E-mail 等一般数据业务相比，流媒体业务需要为每一个用户提供一段较长时间的稳定视频流。该视频流占用的网络带宽高，且要求网络的抖动较小，因此对承载网络提出了很高的要求，例如开始延迟、播放质量、盒式磁带录像机（Video Cassette Recorder, VCR）交互操作、可扩展性等<sup>[1]</sup>。

传统流媒体的 C/S 单播模式是采用一个连接到 Internet 的带宽高、服务能力强的服务器。这种方法简单且易于管理，但可扩展性和可靠性的问题是显而易见的。可靠性的问题来自只有一个实体服务所有用户，单点失效的问题是致命的；可扩展性的问题来自增加更多的用户时需要给服务器增加与之相称的大量资源。这种中心化的方法还有两个关键但不是很明显的缺陷：高花费和主干网络的高负载。图 1-1 描绘了一个简单的视频点播系统架构。一个连接到 Internet 的视频服务器作为视频源。当一个客户想看一个电影时，它和服务器相连接，向服务器请求视频信息，服务器给该客户传送请求的视频。服务器需要给所有提出请求的客户服务。在这种情况下，即使服务器有 1Gbps 的带宽，它也只能以 300Kbps 的流速率支持近 3000 个客户。

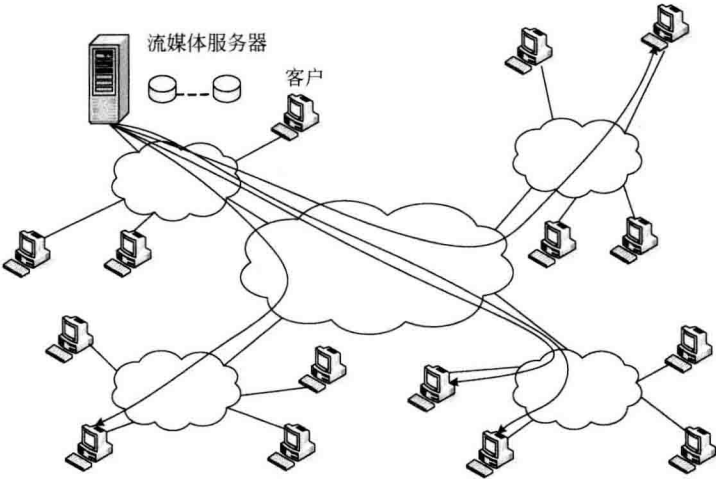


图 1-1 传统的 C/S 结构（单播）

研究表明，由于人类行为的固有特征，绝大多数的用户请求都集中在少数的热门影片，而且由于用户数量巨大，同一时间点播相同视频节目的可能性就高，因此可以利用基于 IP 组播技术的策略来设计流媒体系统，以节省网络

带宽，提高系统容量。采用 IP 组播技术的流媒体系统一般使用静态或动态服务器调度方案，大致分为以下几类：周期广播（period broadcasting）方式<sup>[2]</sup>、批处理（batching）方案<sup>[3]</sup>、补丁（patching）方案<sup>[4]</sup>、Piggyback 方案<sup>[5]</sup>和流合并方案<sup>[6]</sup>等。

在 IP 组播中，路由器之间利用组播路由协议交互组播路由信息以形成组播树。从源结点接收视频流后，路由器作为组播数据的分发结点，沿组播树分发视频信息，客户利用 Internet 组管理协议（Internet Group Management Protocol, IGMP）通过在临近路由器上定制组播信息来接收路由器收到的组播包，因此具有很高的效率和可扩展性。然而，IP 组播改变了传统互联网基于单播的设计原则，而且与其相关的一些问题，比如组播成员管理、组播拥塞控制、组播计费机制等至今并未得到很好的解决。目前 Internet 上并不是所有的路由器都支持 IP 组播。因此，IP 组播一直没有在互联网上得到大规模的部署。图 1-2 显示了 IP 组播的基本思想。

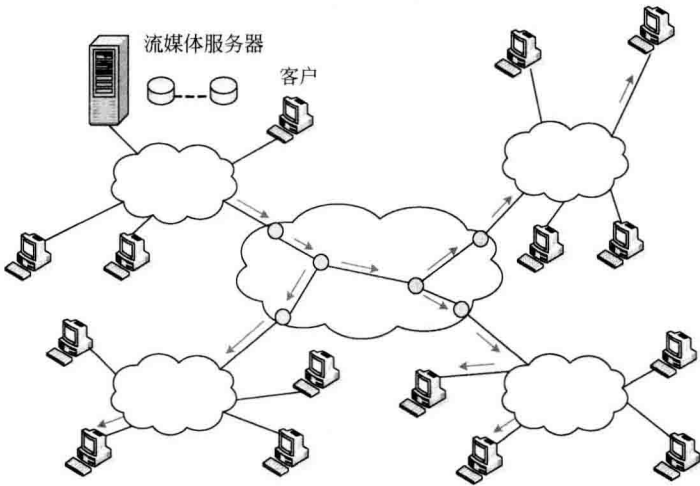


图 1-2 基于 IP 组播的内容分发

另一种广泛传播多媒体流的技术是基于代理的方法<sup>[7~10]</sup>，即在客户域附近部署代理服务器。在这种方式中每个代理保存了部分流媒体数据，目前已经有许多方法来提高缓存的效率。在前缀缓存方法<sup>[9]</sup>中，代理存储了最开始的部分视频帧，这样做的目的是使播放启动延迟减小。在分级缓存<sup>[10]</sup>中，代理存储视频帧中的突发部分，中心服务器负责较平滑的部分。这样会很大程度地减少骨干网链接的带宽需求。文献[8]利用快速转发和反绕等控制功能，缓存非相邻的中间帧。代理方法及其变化节约了广域网（Wide Area Network, WAN）的带宽，产生较短启动延迟

和较小的抖动。不利的方面是，这种方法需要使用和管理很多代理，系统的开销增加了。另外，当同时访问用户较多时，它只是将原来的流媒体服务瓶颈转移到了各个代理服务器上，并没有解决单点失效的问题。图 1-3 给出基于代理的数据分发架构。

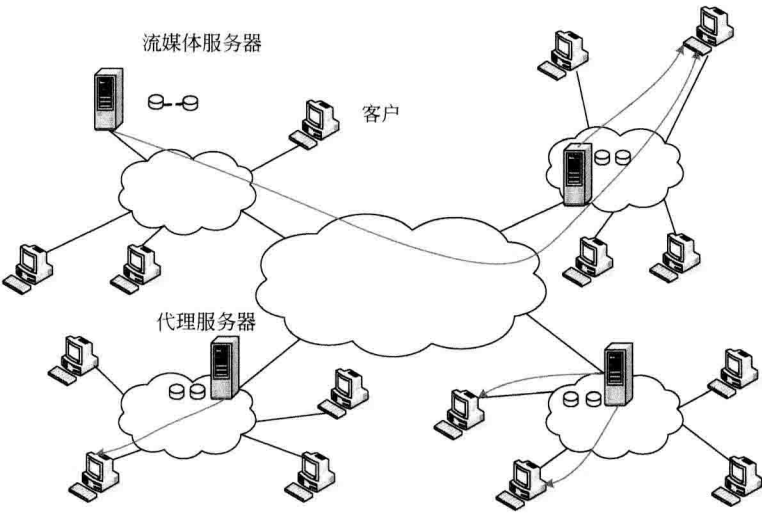


图 1-3 基于代理的分发架构

内容分发网络是代理服务思想的发展<sup>[11~13]</sup>。CDN 依赖于在 Internet 的边缘上部署成千上万的 CDN 服务器。如图 1-4 所示，媒体流缓存在复杂的代理服务器上，这些服务器是事先部署的。这些代理服务器连接到一个覆盖网络上，当用户请求一个视频流时，由最近的代理服务器而非视频源处理该请求。代理服务器可以预测并事先缓存热点内容或客户关心的后续信息。这种方案可以提供大范围的流服务，但其部署和维护费用对于小的内容提供者来说太昂贵了。

C/S 构架存在服务器瓶颈效应，IP 组播难以实现，CDN 方式代价昂贵，使得更多人开始研究 P2P 技术在流媒体中的应用。在 P2P 网络中，每个 Peer 结点首先要从其他结点获得服务，其次还要为网络中的其他结点提供服务，一般还要具有一定的路由和查询功能。P2P 最大的优势在于不必改变传统的网络结构，在现有 Internet 层次模型上，只需改动应用层的分发和路由策略，就可以大幅度提高扩展性，且易于实现。代价是整个网络的负载增加。这些增加的负载大部分是平时闲置的结点上行带宽。此外，P2P 流媒体还存在播放质量无法保证、VCR 交互操作实现困难等问题。图 1-5 显示了一个典型的 P2P 流媒体系统。

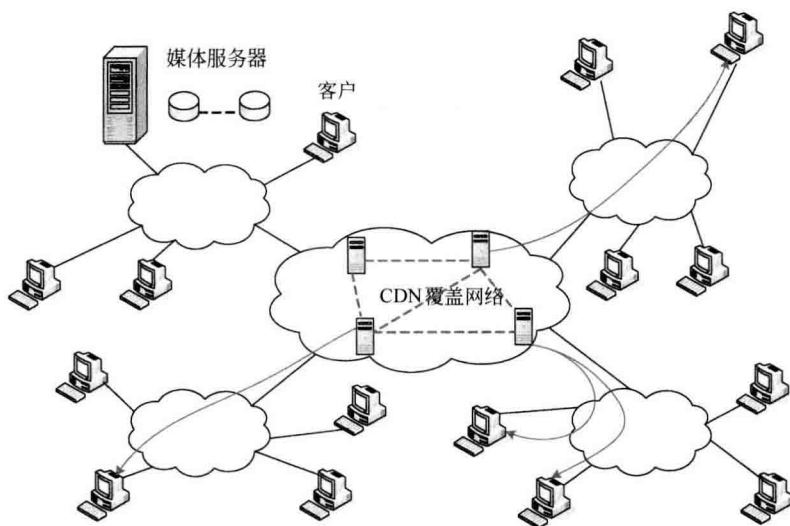


图 1-4 使用 CDN 提供流媒体服务

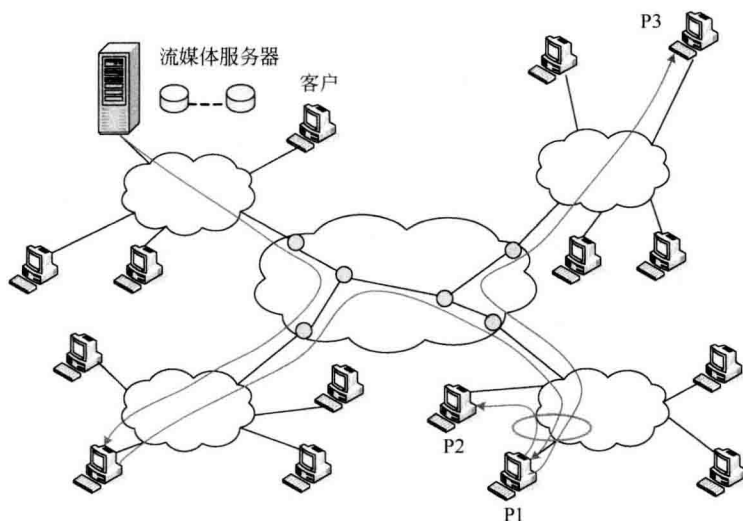


图 1-5 典型的 P2P 流媒体系统

表 1-1 列出了上述 4 种流媒体服务策略的特点。

表 1-1 不同流媒体服务策略的特点

|        | 对性能的影响 |      |        | 可扩展性 | 主要挑战         |
|--------|--------|------|--------|------|--------------|
|        | 启动延迟   | 播放质量 | VCR 操作 |      |              |
| C/S 模式 | 低      | 保证   | 支持     | 小    | 服务器负载 (可扩展性) |

(续)

|              | 对性能的影响 |      |        | 可扩展性 | 主要挑战       |
|--------------|--------|------|--------|------|------------|
|              | 启动延迟   | 播放质量 | VCR 操作 |      |            |
| IP 组播        | 高      | 保证   | 实现困难   | 大    | 要求所有路由器支持  |
| 代理模式 (含 CDN) | 低      | 保证   | 实现困难   | 小    | 部署和维护代价昂贵  |
| P2P 模式       | 和方案有关  | 不保证  | 实现困难   | 大    | 结点的动态性和异构性 |

1.2.2 P2P 流媒体的分类

流媒体应用根据内容源的不同可以分为两大类：实时流直播节目和预保存点播节目。实时流直播是指实时信号（电视、卫星信号等）通过网络实时传送到用户端的业务。预保存点播节目是指用户根据自己的兴趣点播预先保存的节目源，这种节目并不会随着时间的变化而改变。在 P2P 流媒体系统中，这两种应用分别简称为 P2P 直播和 P2P 点播。

P2P 直播和 P2P 点播在实现策略上存在着区别，这是由这两种业务的不同而造成的：

1) 点播的资源数目：P2P 点播有较多数量的影片供点播，P2P 直播的频道数较少，用户有可能长时间观看。

2) 内容源：P2P 点播已知要播放的全部内容，可以安排调度播放的内容，而 P2P 直播内容一般未知。

3) 用户观看要求：P2P 直播随到随看，各个用户间的观看内容基本保持一定程度的同步；而 P2P 点播用户可以从一部影片的任何部分开始观看，这减少了数据块共享的机会，加剧了结点提供能力的异构性。

4) 对端到端延迟的敏感程度：P2P 点播只要满足播放要求，并不要求实效性；而 P2P 直播对与内容源的时间同步要求较高，例如观看现场直播节目。这个区别暗示着点播系统的拓扑可以不受距离视频源的跳数限制。

5) 交互操作：P2P 直播一般只提供播放和停止操作，而 P2P 点播存在各种交互式操作，例如跳转、快进、快退等。这一方面导致了拓扑的频繁改变；另一方面在 QoS 没有保障的情况下，用户有可能停止一段时间等缓冲结束后再继续观看，这增加了用户离开的可能性，因此系统的动态性比直播系统更大。

影响两种系统设计策略的本质差别是结点需求的异构性和对 VCR 的支持。图 1-6 给出了点播流媒体分发中的异构性和异步性。

本书关注 P2P 点播流媒体系统。

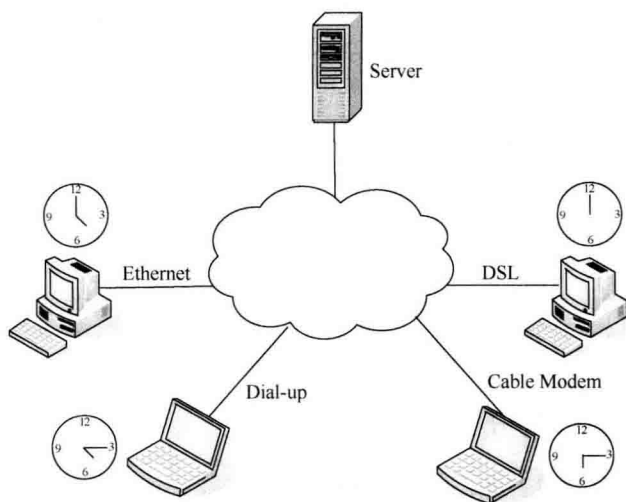


图 1-6 点播流媒体分发中的异构性和异步性

## 1.3 相关研究现状

### 1.3.1 P2P 流媒体系统研究现状

最早的 P2P 与流媒体技术的结合产生了 P2P 直播系统，分发模式从传统的树型分发，例如 ZIGZAG<sup>[14]</sup>，发展到现在基于 Gossip（闲谈）的纯网状分发，例如 Coolstreaming<sup>[15]</sup>和 Anysee<sup>[16]</sup>。直播系统已经先于 P2P 点播实现大规模的应用。

已有的研究根据 Peer 结点的逻辑拓扑组织将 P2P 流媒体系统分为两大类：基于树状和基于网状的系统。基于树状拓扑结构的主要思想是按照特定的多播树协议，将结点组织成单棵或多棵应用层组播树。父结点将流媒体数据推送给子结点，从而实现流媒体数据的分发。树状拓扑结构又可细分为单树分发和多树分发。下面讨论基于单树、多树和网状的 P2P 点播的内容分发模型及其代表性系统。

#### （1）单棵树分发

在单树分发的拓扑结构中，结点之间有明确的父子关系，数据流向一定是从父结点流向子结点。

Chaining<sup>[17]</sup>是最早把 P2P 思想引入视频点播的服务模型。所有请求同一部影片的结点按照到达的顺序串联成一条链状结构，这实际上是树状结构的极端情况。在结点链中，前面的结点在缓冲区保存一部分已经看过的视频片断，为后面的结点提供服务。后到的请求是否可以得到前一个结点的服务，取决于两者到达时间的间隔。如果这个时间长于前面结点的缓冲区大小，就无法形成一条连续的链，