

P2P 流媒体传输的研究进展综述^{*}

龚海刚 刘明 谢立

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京210093)

摘要 传统的C-S结构的多媒体系统存在着可扩展性差,服务器容易成为系统瓶颈等缺点。引入peer-to-peer的思想可以有效提高系统的可扩展性。本文介绍了以peer-to-peer方式进行流媒体传输的相关技术以及研究现状,并对其未来发展做了展望。

关键词 对等实体,流媒体传输,可扩展性

Survey of P2P Based Media Streaming

GONG Hai-Gang LIU Ming XIE Li

(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract Traditional multimedia system built on client-server architecture is proven to be poorly scalable and the server often is the bottleneck of system. This paper surveys technologies that have been proposed for streaming media in a peer-to-peer manner, which effectively reduce the workload placed on the server and thereby increase the overall scalability. Then current research progresses about media streaming based on P2P are presented and some remained issues for further research are discussed.

Keywords Peer-to-peer(P2P), Media streaming, Scalability

1 引言

随着Internet的日趋普及和信息传输技术的快速发展,Internet上的传输内容已逐渐由单纯的文字传输,转变成为包含文本、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。面对有限的带宽和拥挤的拨号网络,要实时实现窄带网络的视频、音频传输最好的解决方案就是采用流式媒体(Streaming Media)的传输方式。通过流的方式传输多媒体数据,即使在网络拥挤或拨号连接条件下,也能提供清晰、连续的媒体流给观众,实现了视频、音频等多媒体数据的实时播放。

传统的分布式多媒体系统主要使用客户端-服务器模式,服务器以单播的方式和每个客户建立连接。由于流媒体服务具有高带宽、持续时间长等特点,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,成为系统瓶颈所在,导致系统的可扩展性极差。为了解决系统的可扩展性问题,许多研究都提出了相应的解决办法。如IP组播技术,实现了Internet上高效的一对多通信,提高了系统的可扩展性。此外,在此基础上提出的补丁(Patching)、周期广播以及流合并等技术也极大地减少了服务器带宽的消耗。然而,由于IP组播存在的种种限制,如很难实现可靠性组播和拥塞控制等,IP组播技术并没有得到广泛的应用。另一种方案是在网络边缘部署代理缓存(Proxy Caching)或内容分发网络(Content Delivery Networks),媒体服务器将媒体内容以推(Push)的方式存放在代理缓存或CDN服务器上,客户请求媒体服务器时,可从代理缓存或CDN服务器获得服务,而不必消耗服务器

的资源。但这种方案只是部分地解决了可扩展性问题,因为此时代理缓存或CDN服务器很有可能成为系统瓶颈。

近年来,对等网络(Peer-to-Peer Network)的研究在文件共享、应用层组播方面得到了广泛的关注,P2P技术得以快速地发展,如由第一代的P2P网络Gnutella、Freenet发展到第二代的Chord、CAN、Pastry,以至第三代的Viceroy。在P2P方式下,每个对等实体(Peer)既是服务的提供者,又是服务的享用者。Peer为系统提供有限的计算或存储资源,Peer之间协作为其他Peer提供服务,将服务器的负载分散到Peers中。加入系统的Peer越多,Peer为系统贡献的资源也越多,整个系统总的服务能力也就越强,从而有效地减轻了服务器的负载,极大地提高了系统的可扩展性。

由于P2P模式可以在大规模的网络应用中有效地提高系统的可扩展性,基于P2P方式的流媒体传输的研究也逐步引起了人们的重视,相关技术或原型系统不断出现。从传输方式的角度而言,P2P流媒体传输方式可以划分两种:基于应用层组播的P2P流媒体传输和基于单播的P2P流媒体传输。本文从这个角度对P2P流媒体传输技术进行概述,并介绍了目前P2P流媒体传输的研究现状和未来的研究方向。

2 基于应用层组播的P2P流媒体传输

与IP组播不同,应用层组播是通过在应用层上的路由机制完成组播功能。在应用层组播中,数据是通过组播组中节点之间建立的P2P覆盖网络(Overlay Network)来传送的。从覆盖网络的节点组成来分,基于应用层组播的P2P流媒体传输又可分为三类:由特定服务器所组成的架构式(Infrastructure-based)、纯粹由组播组内成员所组成的P2P式(Peer-to-

^{*} 本文受国家863高技术项目基金(编号:2001AA113050)资助。龚海刚、刘明 博士研究生,主要研究方向:分布式与并行计算。谢立 教授,博士生导师,主要研究方向:分布式与并行计算。

Peer based), 以及由服务器与组播组内成员共同组成的混合式(Hybrid)。

2.1 架构式

在架构式中, 覆盖网络中的成员是一些特定的服务器, 这些特定的服务器以 P2P 的方式组织成一个覆盖网络, 客户的请求被转发给覆盖网络中的某个节点, 由这个节点对客户进行服务, 从而减轻了媒体服务器的负载。在架构式的覆盖网络中, 节点是特定的服务器, 因此节点的服务能力较强, 比较稳定, 可靠性高, 容易建立比较稳定、高效的组播树。

架构式的一个典型实例是 Overcast, 其体系结构如图1所示。

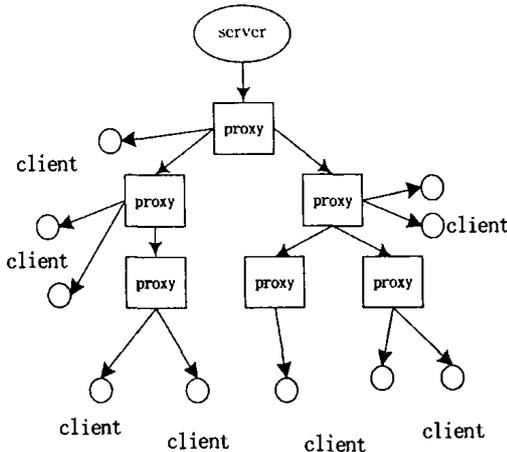


图1 Overcast 体系结构示例

Overcast 是一个由许多代理服务器所组成的覆盖网络来提供组播服务的多媒体系统。覆盖网络中每个节点代表一个代理服务器, 新节点加入覆盖网络时, 选择一个能够提供最大带宽的节点作为它的父节点。每个节点定期将其子节点的状态、所能提供的最大带宽以及所在位置(以 IP 地址表示)等信息, 收集之后上报给父节点。因此, 媒体服务器拥有所有节点的信息。当一个客户向媒体服务器发出一个请求要求接收媒体数据时, 媒体服务器会根据媒体文件的位置, 客户位置, 以及所有代理服务器的目前状态, 指定一个覆盖网络中的节点向客户提供服务。

2.2 P2P 式

在这种方式下, 组成覆盖网络的节点是组播组内的成员, 也即接收流媒体信息的客户。媒体服务器收集一段时间内客户的请求, 将具有相同请求的客户组成一个组播组, 后来的请求同一服务的客户不必由服务器处获得数据, 而是加入此组播组, 并由组播组中的其他成员处获得媒体数据。由于客户行为的随意性, 即客户可能任意加入或退出组播服务, 因此节点的可靠性无法保证, 覆盖网络具有高度的动态性, 给覆盖网络的维护带来了一些新的问题。

P2cast 是一个基于 P2P 方式来提供视频点播服务的多媒体系统。其覆盖网络的建立与 Overcast 相同, 新成员都是寻找能够提供最大带宽的成员作为父节点。在 P2cast 中, 设置了一个域值时间 T , 在时间 T 内到达的客户请求构成一个会话(Session), 并组成一个组播组, 在组播组内传送媒体流。为了使得加入时间点不同的各个节点能够取得完整的媒体流, P2cast 采用了补丁(Patching)技术, 即同一组播组中较晚加入的节点则寻找一个之前加入的节点作为补丁服务器(Patch Server)来取得加入时间点之前的媒体数据, 如图2所示。

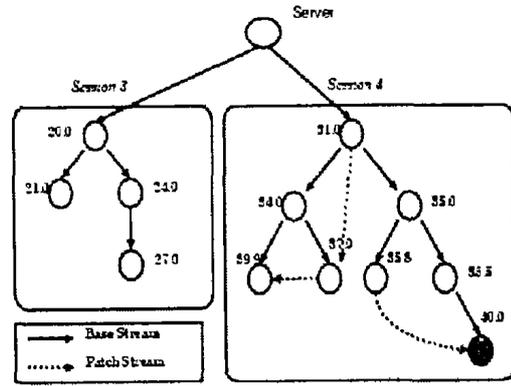


图2 P2cast 体系结构示例

图中每个圆圈代表一个成员, 圆圈旁边的数字则代表加入时间。T 为 10, 因此图中包含两个开始于时间点 20 的 Session 3, 以及开始于时间点 31 的 Session 4。P2cast 中的每个节点都可同时提供两种媒体流的转送, 一是直接由媒体服务器发送的, 包含完整媒体内容的基本流(Base Stream), 一是节点作为补丁服务器发送的, 包含从会话开始时间点到其加入时间点之间媒体内容的补丁流(Patch Stream)。以图中右下角加入时间点为 40 的成员为例, 它指定加入时间点为 35.5 的父节点来接收基本流, 并指定加入时间点为 35.8 的成员为其补丁服务器来接收时间点 31 到 40 之间的媒体数据。

2.3 混合式

混合式则是上述两种方式的结合, CoopNet 就是一个结合架构式应用层组播与 P2P 式应用层组播特性的混合式应用层组播流媒体系统。CoopNet 保留了传统客户端-服务器模式, 即仍然有一个中心服务器直接传送数据给客户端。在一般情况下, 服务器直接对客户进行服务, 当服务器的负载过重无法为更多的客户提供服务时, 新加入的客户才从其它的客户处取得数据, 从而具有了 P2P 的特性。此外, 为了增加系统的健壮性, CoopNet 将媒体流数据分为许多的帧组(Group Of Frame, GOP), 利用多描述编码(Multiple Description Coding)技术将帧组分割为一组封包, 并将这一组封包通过不同的分发树传送。客户可同时从不同的分发树接收媒体流数据, 只要接收到若干分发树上的数据就能够还原整个帧组。这样即使某棵分发树由于其内部节点的离开而失效, 客户也仅仅是少接收此分发树的传送的那部分数据, 而仍能从其它分发树上获得足够的还原正常的媒体流, 只是媒体质量有一定程度的下降而已。

3 基于单播的 P2P 流媒体传输

在基于应用层组播技术的 P2P 流媒体传输中, 组播组内的 Peer 可以提供足够的带宽来传送一个完整的媒体流。然而在实际的网络环境中, 各个 Peer 之间在提供的带宽、存储空间以及 CPU 能力等方面存在着很大的异构性, 有些 Peer 所提供的出口带宽通常不能支持一个完整的媒体流的传送。例如在 ADSL 上网的方式下, Peer 的上行带宽只有几百 k 左右, 而一部以 MPEG-2 编码的视频流的带宽是 1.5Mbps, 单个的 Peer 无法传送完整的媒体流, 因此需要几个 Peer 对一个 Peer 进行服务。提供服务的所有 Peer 的出口带宽之和要大于媒体流的编码带宽, Peer 之间则以单播的形式通信。如图3所示, P1 为接收者, P2~P5 为媒体流的提供者。假设正常播放媒体流的速度为 1Mbps, P2、P3 的出口带宽为 400kbps, P4、P5 的出口带宽为 300kbps, 则可由 P2、P3、P4 能提供媒体流的传输,

因为它们提供的出口带宽总和为1.1Mbps,而P5可作为备用的发送者。

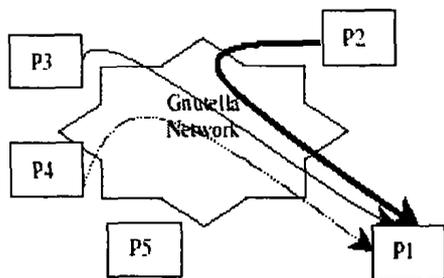


图3 GnuStream 的体系结构

GnuStream 是一个建立在 Gnutella 上的流媒体原型系统。在 GnuStream 中,以 Gnutella 作为底层的网络平台提供影片的查找服务,并通过多个发送 Peer 带宽的聚合,对单个接收 Peer 提供媒体流服务。同时它利用自适应的缓冲控制机制处理端到端的网络拥塞,以及通过对发送 Peers 的状态监控,及时发现发送 Peer 的失效,并重新选择新的发送 Peer 恢复媒体流的传送。

在基于单播的 P2P 流媒体传输中,由于是多个发送 Peer 为一个接收 Peer 进行服务,因此带来了一些特有的问题,例如如何选择合适的发送 Peer,如何协调多个发送 Peer 之间的传输速率、如何分配各个发送 Peer 的数据段等等。

4 研究现状

由于 P2P 流媒体服务的优越性,不少研究机构都对 P2P 的流媒体传输进行了研究。美国斯坦福大学在早期提出了 SpreadIt 体系,该体系将 Peer 组织成单一的组播树,利用 Peer 的资源转发媒体流。佛罗里达大学提出的 ZIGZAG,则是将 Peer 组织成层次式的集群,按照一定的规则建立组播树,实现了大规模的组播应用。马塞诸塞大学则设计实现了 DirectStream,一个基于目录的视频点播系统,目录中维护了服务器的影片信息索引以及组播树中所有 Peer 的信息,新的 Peer 加入时查找目录,若存在提供其请求服务的组播树则加入相应的组播树,否则由服务器处取得服务并创建新的组播树。而微软研究院在继 CoopNet 之后又设计了 SplitStream 流媒体系统,该系统以减小组播树内部节点的负载为目标,建立多棵组播树,每棵组播树的内部节点是其它组播树的叶子节点,完整的媒体流被分割为均等的的数据流在各棵组播树上传送,这样将传统的单组播树中内部节点的转发负载分散到所有参与组播的节点中。

美国普度大学则一直以来对基于单播的 P2P 流媒体传输进行研究,2002年他们提出了 P2P 流媒体传输的模型,模型建议采取一些激励机制鼓励 Peers 共享它们的资源,同时提出了以基于 IP 地址前缀的集群来有效地管理 Peers。经进一步的研究后,他们又在今年8月的技术报告中提出了 PROMISE 流媒体系统。在 PROMISE 中,解决了如何根据动态变化的网络状况以及网络拓扑,选取最好的服务提供者者的问题,同时考虑了 Peers 能力的异构性,提出了如何在各个服务提供者者分配传输的数据以及传输速率的算法。

此外,也有一些研究机构将传统的流媒体技术运用于 P2P 系统。如 IBM 中国研究院将层次式的流合并技术集成到 P2P 视频点播系统中。而美国奥利根大学研究的 PALS——自适应的分层媒体流框架,利用了媒体流的分层编码技术,各

个 Peer 发送不同层的编码流,由接收者根据其能力接收若干层的编码。

5 未来研究方向

P2P 的流媒体传输要在商业上得到广泛的应用还有很长的路要走。首先要建立一个合理的激励机制,鼓励参与的客户能最大化地共享其带宽和存储空间。客户提供的资源和服务越多,得到的回报也就越大。通过激励机制,吸引客户踊跃地共享它们的资源,并向其它客户提供服务,从而极大地提高系统的吞吐量。其次是建立一个有效的安全机制。由于参与服务的各个客户之间毫无联系,要在互不信任的客户之间互相提供服务无疑需要一个有效的认证或授权等安全机制,保证服务的完成。此外,系统的容错、流媒体服务的连续性、系统的计费等方面也是需要进一步研究的热点。

我们有理由相信,在不远的将来,P2P 流媒体传输的研究将取得很大的进展,并成功应用于商业系统中。

参考文献

- 1 Hefeeda M, et al. PROMISE: Peer-to-peer Media Streaming Using CollectCast. [Technical report, CS-TR 03-016]. Purdue University, Aug. 2003
- 2 Tran D, et al. ZIGZAG: An efficient peer-to-peer scheme for media streaming. In: Proc. of IEEE INFOCOM'03, San Francisco, USA, April 2003
- 3 Jannotti J, et al. Overcast: Reliable Multicasting with an Overlay Network. In: Proc. of OSDI 2000, Oct. 2000
- 4 Guo Y, et al. P2Cast: P2P Patching Scheme for VoD Service, IEEE INFOCOM 2003
- 5 Padmanahan V N, et al. Distributed Streaming Media Content Using Cooperative Networking. In: Proc. of NOSSDAV'02, May 2002
- 6 Guatella. <http://gnutella.wego.com/>
- 7 Napster. <http://www.napster.com/>
- 8 Clarke I, et al. Freenet: A distributed anonymous information storage and retrieval system. In: the proc. of the ICSI Workshop on Design issues in anonymity and unobservability, Berkeley, CA, June 2000
- 9 Stoica I, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications. In: Proc. of ACM SIGCOMM'01, Aug. 2001
- 10 Mathy L, et al. An Overlay Tree Building Control Protocol. In: Proc. of Intl. Workshop on Networked Group Communication, Nov. 2001
- 11 Pendarakis D, et al. ALMI: An Application Level Multicast Infrastructure. 3rd USENIX Symposium on Internet Technologies, March 2001
- 12 Jiang X, et al. GnuStream: A P2P Media Streaming System Prototype. In: Proc. of ICME 2003
- 13 Xu D, et al. On peer-to-peer media streaming. In: Proc. of IEEE ICDCS'02, July 2002
- 14 Castro M, et al. SplitStream: High-bandwidth content distribution in a cooperative environment. In: Proc. of IPTPS'03, Feb. 2003
- 15 Deshpande H, et al. Streaming live media over peer-to-peer network. [Technical report]. Stanford University, 2001
- 16 Guo Y, et al. A Peer-to-Peer On-Demand Streaming Service and Its Performance Evaluation. In: Proc. of ICME 2003, July 2003
- 17 Rejaie R, et al. PALS: Peer-to-Peer Adaptive Layered Streaming. In: Proc. of NOSSDAV'03, June 2003
- 18 Padmanabhan VN, et al. Resilient Peer-to-Peer Streaming. [Technical Report, MSR-TR-2003-11]. Microsoft Research, March 2003
- 19 Nguyen T, et al. Distributed video streaming over the internet. In SPIE Multimedia Computing and Networking, Jan. 2002
- 20 Chu Y, et al. A case for end system multicast. In: Proc. ACM SIGMETRICS, June 2000
- 21 Pendarakis D, et al. ALMI: An application level multicast lever multicast infrastructure. In: Proc. USENIX Symp. on Internet Technologies and Systems, March 2001
- 22 Malkhi D, et al. Viceroy: A scalable and dynamic emulation of the Butterfly. In: Proc. of the 21st ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC'02), July 2002