

基于代理的分布式视频流点播传输策略

周建政, 蒋建国, 齐美彬

(合肥工业大学计算机与信息学院, 安徽合肥 230009)

摘 要: 视频流传输具有带宽高、周期长的特点, 使网络带宽成为了制约视频流点播应用发展的主要因素. 本文针对现有网络技术条件, 充分利用客户端 I/O 带宽、本地缓存及网络带宽资源, 设计了一个适用于大规模点播应用的基于代理的分布式视频点播传输策略. 该策略中各本地网络设有一视频流代理服务器用于保存部分视频的部分内容, 并按动态批处理的方式来接纳并服务请求用户. 视频传输时, 服务器与代理端之间采用单播传输机制, 在代理与客户端之间采用单播与多播相结合的方式. 实验表明该策略可以大大减少对骨干网络带宽的需求, 并能为客户端提供理论上的零启动延时服务.

关键词: VOD; 传输机制; 代理缓存; 骨干网络带宽; 启动延时

中图分类号: TP37 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 05-0872-04

Transmission Scheme for Proxy-Based Distributed Video Streaming on Demand

ZHOU Jianzheng, JIANG Jianguo, QI Meibin

(School of Computer & Information, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: Due to the high bandwidth requirements and the long-lived nature of video, network bandwidth is proved to be the major limiting factor in the widespread usage of video streaming on demand over the Internet. Based on the existing network technologies and the capacity of clients and network, such as, I/O bandwidth, local cache, and a transmission scheme for proxy-based distributed video on demand was designed for the context of large-scale video on demand application. In each LAN there lies a proxy, which caches partial content of a part of video assets, admits and serves the request clients in a dynamically batched manner. Unicast alone will be used to transmit the video content on the network paths from the server to the proxy, while multicast or unicast can be chosen to transmit the video from the proxy to the clients. Experimental results have proved that the proposed scheme can greatly reduce the backbone bandwidth usage and provide theoretically null startup latency for clients.

Key words: VOD; transmission scheme; proxy caching; backbone bandwidth; startup latency

1 引言

随着 Internet 的普及与数字视频技术的不断成熟, 视频流点播技术得到越来越广泛的应用. 在现有的大多数视频流点播传输方案中, 视频内容仍需经由从服务器到客户端的整个端到端的路径. 由于视频流传输需要很高的传输带宽, 且单个视频的传输时间很长, 一般在 120min 左右, 使得服务器和网络的带宽成为了视频流点播发展的主要制约因素. 宽带到户技术的不断普及也使得网络瓶颈上移至骨干网络.

在现有文献如文[1, 2]中提出了大量方法来提高骨干网络带宽的利用率, 以减轻服务器与网络负载. 这些方法中绝大部分都是基于 IP Multicast 技术来实现的, 而目前 IP Multicast 技术尚未能在 Internet 中得到广泛的应用, 而仅局限在一定的区域内使用, 如局域网范围之内. 所以, 这些方法在一定范围内被认为是难以实现的.

此外, 由于基于 best effort 的 Internet 具有不可预见的网络延时, 使得视频流点播的服务质量较差.

解决上述网络延时, 网络带宽, 服务器负载等这一系列问题的一个最直观的方法就是在每个 LAN 中复制一个中心视频服务器, 但这种方案代价太高. 而基于代理的分布式视频点播策略将是解决这一系列问题的最可能实现的高性价比方案.

2 相关工作

代理缓存策略在 Web 缓存中已得到了广泛的应用, 但是由于视频文件具有体积庞大, 传输时间很长等特点, 使得传统 Web 缓存策略不适用于视频代理缓存. 近年来, 许多文献[3~11]在基于代理的视频点播的不同方面进行了深入的研究. Rejaie 等^[3]针对分层编码视频流提出了一个基于拥塞控制的代理缓存策略. 在文[4]中提出了一种称之为 MiddleMan 的部

分缓存方案. 在文[5, 6]中提出了前缀缓存策略的概念. 最近的工作^[7~11]结合了更具可扩展性的视频传输方法. 但在这些文献中或采用多播传输策略或者只是讨论了单一视频文件的传输/缓存问题或只是考虑了一个代理的情况. 在实际系统中一般具有多个代理, 整个系统内部中心服务器与各代理缓存器间在传输与缓存等方面存在相互协调问题, 在现有文献中均未就这些问题进行必要的讨论.

3 基于代理的分布式视频流点播传输策略

基于代理的分布式视频流点播策略主要包括三个方面的内容: 系统模型, 传输策略, 代理缓存管理策略. 本文主要讨论基于代理的分布式视频流点播传输策略. 减少客户端的回放启动延时, 减少对骨干网络带宽的需求, 减少服务器负载将是本传输策略要解决的主要问题.

3.1 系统模型

首先, 给出一个实际的基于代理的分布式视频流点播网络拓扑结构模型, 如图 1 所示. 将一定区域内的请求用户归为一个请求用户域 (Client cloud), 在每一个请求用户域与 WAN 相连的网关路由处设一个代理缓存器 (Proxy). 各域内的所有用户都通过该域内的 Proxy 来从 Internet 上获得来自视频服务器的视频内容, 且一部分视频的部分内容将缓存在代理缓存空间内. 我们假定客户在请求点播视频时总是从视频的开头开始. 由客户端的 I/O 带宽决定, 在通常情况下, 各客户端能且只能同时接收两个视频流. 在本文中所有视频流的传输速率与该视频的回放速率相等.

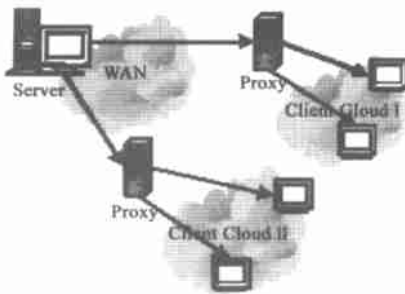


图 1 基于代理的分布式视频流点播网络拓扑结构模型

表 1 中给出了本文中将要用到的一些比较重要的系统参数.

表 1 系统模型中的重要参数

参数	参数定义
N	中心服务器中的视频个数
$L(i)$	第 i 个视频的长度
$Lc(i)$	在本地代理中缓存的第 i 个视频的视频段长度
$r(i)$	第 i 个视频的码率
$K(i)$	第 i 个视频的请求率
S	代理端的缓存容量
$Bc(k)$	第 k 个客户端的缓存容量
d_{max}	服务器与本地代理间的最大网络时延

3.1.2 基于代理的分布式视频流点播传输策略的设计

视频流在整个系统中的传输因代理的加入而被分割为两

个部分: 服务器与代理端间的传输、代理端与客户端间的传输.

一方面由于 IP Multicast 在 Internet 中未能得到广泛的应用, 另一方面由于代理的引入已使得资源共享效率已比较高, 再通过多播技术等方式来提高系统资源利用率效果甚微, 且由于系统中有许多代理, 各代理间的同步机制变得更加复杂. 因此, 在本传输策略中, 中心内容服务器与代理缓存器之间的传输只采用单播 (Unicast) 方式. 这时不必考虑各代理之间的复杂同步问题, 在该系统中对于任意一个代理来说只需与中心服务器及本地的客户端发生关系, 其他代理对它来说是完全透明的.

在采用代理缓存后, 由于在小范围的单对多方式的多播技术是比较方便实现与管理的, 且为进一步挖掘基于代理的分布式视频传输策略的潜力以提高系统资源利用率, 本策略中代理与客户端间的视频流传输策略建立在部分代理缓存的基础上, 采用单播与多播相结合的传输方式.

整个系统的具体传输策略设计如下:

假定本地代理缓存有某视频 i 的视频段长度为 $Lc(i)$, Bc 为客户端所能提供的缓存空间. 下面根据 $Lc(i)$ 与 Bc 间的大小关系分三种情况来讨论系统的视频流传输策略.

(1) 如果 $Bc \geq Lc(i)$, 如图 2 中 (1)(2) 所示: 以某请求到达时刻为起始时刻的一个长度为 Bc 的时间段定义为一个 Bc 域, 当前请求所在的 Bc 域称为当前 Bc 域, 当前 Bc 域的起始时间记为 Tb . 当一个新的请求于时刻 t 到达时, 如果 $t - Tb < Bc$, 则该请求属于当前 Bc 域; 否则, 该请求不属于当前 Bc 域, 这时以时刻 t 为起始时刻开辟一个新的 Bc 域, 即 $Tb = t$. 依此类推, 将不同时间到达的请求分属不同的 Bc 域. 这样对于某视频文件来说, 整个时间轴划分为以 Bc 域组成的划分. 在任意一个 Bc 域开始时, 由代理立即为该 Bc 域内第一个请求初始化一个该视频文件的长度为 $Lc(i)$ 的多播视频流, 该 Bc 域内到达的其他请求, 在到达后立即接收并缓存代理为该 Bc 域内第一个请求启动的多播视频流, 同时利用一个独立的 Unicast 来接收并回放该视频文件的视频段 $[0, t]$ 的视频内容. 对于每一个域内到达的所有请求来说, 当时刻 t 满足 $t = Tb + Lc(i)$ 时, 所有请求都将接收由源服务器为该 Bc 域分配的并由代理转发的多播视频段 $(Lc(i), L(i)]$, 这个视频段首先是由服务器以 Unicast 的方式向代理传输, 代理再将接收到的视频内容以多播的方式向客户端传输. 显然, 在这种

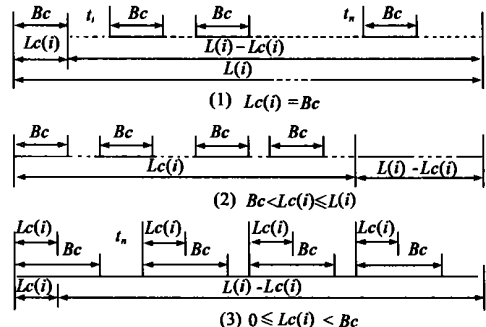


图 2 基于代理缓存的视频流点播传输策略

情况下,单位时间内视频文件 i 消耗的骨干网络带宽为:

$$B_1(i) F \frac{K(i) @r(i)}{1+ K(i) @Bc} [L(i)- Lc(i)] \quad (1)$$

(2) 如果 $0F Lc(i) < Bc$, 如图 2 中(3)所示:

这时又可分两种情况来讨论:

当请求到达时刻 t 满足 $0F t F Lc(i)$ 时,系统的传输策略与 $Bc F Lc(i) F L(i)$ 时相同.

当请求到达时刻 t 满足 $Lc(i) < t F Bc$ 时,该请求在时刻 t 接收并缓存正在进行中的源服务器为该 Bc 域分配并由代理转发的视频段 $[t, L(i)]$, 同时利用一个独立的 Unicast 来获取缓存于代理中的视频段 $[0, Lc(i)]$ 的视频内容,在 $t+ Lc(i)$ 时间之后再利用一个独立的 Unicast 从源服务器中获取视频段 $[Lc(i), t]$, 该视频段仍是以 Unicast 的方式传送给客户. 显然,在这种情况下单位时间内视频文件 i 消耗的骨干网络带宽为:

$$B_2(i) F \frac{K(i) @r(i)}{1+ K(i) @Bc} [(L(i)- Lc(i)) + \frac{K(i) @(Bc- Lc(i))^2}{2}] \quad (2)$$

4 本传输策略的性能评估

由于本传输策略的设计有三个主要目标:(1)减少客户端的回放启动延时;(2)减少对骨干网络带宽的需求;(3)减少服务器负载.所以在本文中用这三个参数来评估本传输策略的性能,评价的前提是骨干网络只能采用 Unicast 方式,这也符合实际情况.

4.1 客户端的回放启动延时

由于在本传输策略中,视频的开头部分被缓存在代理缓存器中,且缓存的长度不小于服务器与代理间的最大网络延时 d_{max} . 当代理收到客户请求时立即为该客户初始化一个视频流将缓存在代理缓存器中的视频段发送给客户端,同时对于中心服务器中的视频内容采用提前预取,以保证在 $Tb+ Lc(i)$ 时刻代理端可接收到来自服务器的视频内容.这样就可以掩蔽骨干网络的网络延时.同时由于本地代理与客户端在同一个宽带局域网内,代理与客户端间的延时一般可忽略,所以在采用本传输策略后,可以为客户端提供理论上的零延时服务.

4.2 对骨干网络带宽的需求

本节比较用本传输策略与用简单的 Unicast 方式(即没有引入代理的传输策略)来传输同一视频时单位时间内所需的骨干带宽.

在 3.1.2 节的第一种情况下,即当 $Bc F Lc(i) F L(i)$ 时,采用本策略与采用简单 Unicast 方式来传输同一视频文件 i 时单位时间内所消耗的骨干网络带宽之比 $Bb_c(Lc(i))$ 为:

$$Bb_c(Lc(i)) F \frac{\frac{K(i) @r(i) @(L(i)- Lc(i))}{1+ K(i) @Bc}}{K(i) @L(i) @r(i)} = \frac{L(i)- Lc(i)}{[1+ K(i) @Bc] @L(i)} \quad (3)$$

当 $0F Lc(i) < Bc$ 时,采用本策略与采用简单 Unicast 方式来传输同一视频文件 i 时单位时间内所消耗的骨干网络带

宽之比 $Bb_c(Lc(i))$ 为:

$$Bb_c(Lc(i)) F \frac{\frac{K(i) @r(i)}{1+ K(i) @Bc} @ \left[\frac{(L(i)- Lc(i)) + \frac{K(i) @(Bc- Lc(i))^2}{2}}{K(i) @L(i) @r(i)} \right]}{= \frac{(L(i)- Lc(i)) + K(i) @[Bc- Lc(i)]^2/2}{(1+ K(i) @Bc) @L(i)}} \quad (4)$$

实验 1 若 $L(i) = 120min$, $Bc = 5min$, 在不同请求率情况下的 $Bb_c(Lc(i))$ 分布如图 3 所示.

实验 1 表明,在骨干网络只能采用 Unicast 方式传输视频时,本文提出的基于代理的传输策略在减少骨干带宽的需求方面性能远远优于简单 Unicast 方式,而且,当视频的请求率越高,在代理中缓存的视频段长度越

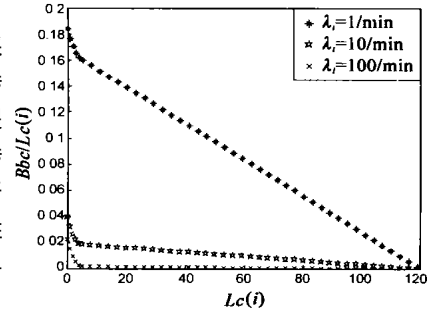


图 3 Bc 固定,不同请求率条件下的 $Bb_c(Lc(i))$ 分布

长,减少对骨干网络带宽需求的效果就越好.从图 3 中还可看出,即使在代理没有缓存该视频的任意视频内容的情况下即 $Lc(i) = 0$,该视频单位时间内所消耗的骨干带宽也只需简单 Unicast 方式下的很小一部分,且请求率越高效果越明显.

实验 2 若 $L(i) = 120min$, $K(i) = 10min$, 在 Bc 取不同值时, $Bb_c(Lc(i))$ 的分布如图 4 所示.

实验 2 表明,在骨干网络只能采用 Unicast 方式的条件下,对于给定的某视频 i 来说,在同一请求率条件下客户端所能提供的缓存容量越大,在代理中缓存的视频段长度越长,传输视频时本策略的性能越好,且远远优于简单的 Unicast 方式.由此可知,当我们令 $Bc = \min\{Bc(k)\}$ 时,本策略对减少骨干网络带宽的效果是最佳的.

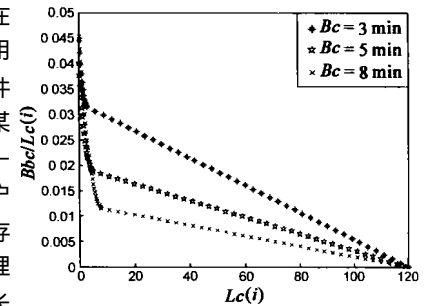


图 4 请求率固定,不同 Bc 条件下的 $Bb_c(Lc(i))$ 分布

4.3 服务器端的负载

本节的结论应该是很显然的,一方面视频所消耗的骨干带宽与其所消耗的服务器 I/O 带宽是相当的,减少对骨干带宽的消耗就等于减少了对服务器 I/O 带宽的消耗;另一方面,由于视频的部分内容已缓存于代理中,不必由服务器来提供.由以上两个原因可知本传输策略可以减轻服务器端的负载,且其效果可参照对骨干网络带宽的减轻效果.

5 结束语

在当前的技术条件下,骨干网络不适合采用大规模的 IP

Multicast 技术,所以视频在骨干网络上的传输只能借助于 Unicast 方式,但是在 Unicast 方式下,系统资源利用极低.本文提出了基于代理的分布式视频流点播传输策略可以很好地克服现有技术的缺点.另外在本策略中客户端在接收点播服务时只需在一小段时间内同时接收两个视频流,也无需过大的缓存空间(约 5min).该点播传输策略适用于必需 WAN 才能实现的大规模视频流点播应用,对应用于 LAN 级的小规模视频点播可直接采用 Unicast 方式或 Multicast 来实现.

参考文献:

- [1] S W Carter, D D E Long. Improving bandwidth efficiency on video on demand servers[J]. Computer Networks, 1999, 30(122): 99- 111.
- [2] K A Hua, et al. Patching: A multicast technique for true video on demand services[A]. Proceedings of ACM Multimedia 98[C]. New York, USA, Sept. 14- 16 1998. 191- 200.
- [3] Reza Rejaie, et al. Multimedia proxy caching mechanism for quality adaptive streaming applications in the Internet [A]. Proceedings of IEEE Infocom 2000[C]. Tel Aviv, Israel, March 2000. 980- 989.
- [4] S A dharya, B C Smith. Middleman: A video caching proxy server[A]. Proc. of 10th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2000) [C]. Chapel Hill, USA, June 2000. 101- 116.
- [5] S Sen, et al. Proxy prefix caching for multimedia streams[A]. In Proceedings of the IEEE Infocom . 99 Conference[C]. New York, NY, March 1999. 1310- 1319.
- [6] Y Wang, et al. A network conscious approach to end-to-end video delivery over wide area networks using proxy servers [J]. IEEE/ ACM Transactions on Networking, 2000, 8(4): 429- 442.
- [7] Yang Guo, et al. Prefix Caching Assisted Periodic Broadcast: Framework and Techniques to Support Streaming for Popular Videos [DB/ OL]. <http://citeseer.nj.nec.com/guo01prefix.html>.

- [8] O Verscheure, et al. Joint server scheduling and proxy caching for video delivery[J]. Computer Commun, 2002, 25(4): 413- 423.
- [9] Pascal Frossard, et al. Batched patch caching for streaming media[J]. IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, 2002, 6(4): 159- 161.
- [10] B Wang, et al. Optimal proxy cache allocation for efficient streaming media distribution[A]. Proceedings of the IEEE Infocom 2002 Conference[C]. New York City, June 2002.
- [11] Chitra Venkatramani, et al. Optimal Proxy Management for Multimedia Streaming in Content Distribution Networks[DB/ OL]. <http://citeseer.nj.nec.com/521716.html>.

作者简介:



周建政 男, 1976 年 8 月生于湖南省湘乡市, 2003 年获合肥工业大学信号与信息处理专业硕士学位, 主要研究方向: 视频编码与视频流, 计算机网络, 大规模集成电路设计等.



蒋建国 男, 1955 年 10 月生于安徽省黄山市, 合肥工业大学教授, 博士生导师, 主要研究方向: 数字图像分析与处理, DSP 技术应用等.

齐美彬 男, 1969 年生于安徽省东至县, 现为合肥工业大学副教授, 主要研究方向: 数字信号处理, 计算机控制等.