

文章编号: 1005-3026(2002)06-0523-04

视频点播系统中信道调度问题综述

鄢仁祥, 高远

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 综述了视频点播系统中的信道调度问题。对主要的信道调度方案进行了归纳和分类, 着重对为解决传统视频点播系统资源瓶颈问题而提出的数据中心方案进行了综述。这些方案通过信道共享, 可以有效地提高视频点播的性能。根据各种类型方案不同特点, 对方案的综合应用问题进行了综述。最后展望了这一领域研究的发展方向。

关键词: 视频点播; 信道调度; 视频服务器; 视频流

中图分类号: TP 391

文献标识码: A

宽带网络技术的发展及处理器和磁盘存储能力的提高使得视频点播(Video-on-Demand, VOD)服务逐渐成为现实, 它使得人们能够快速、准确、方便地获得需要的视频信息, 可以被广泛应用于电影点播、远程教育、信息点播、远程医疗等领域^[1]。

在视频点播系统中, 服务器将用户请求的节目以视频流的方式通过高速网络传输到用户端。为了保证节目的传输质量, 服务器需要为视频流分配足够的服务器资源及网络带宽。传输一个视频流所需的服务器及网络资源为一个信道。由于系统的信道数有限, 而且视频流需要占用很高的带宽, 因此信道的有效利用在 VOD 系统中起着十分重要的作用。

在传统的 VOD 系统中, 服务器为每个用户分配一个独立的信道, 这样用户数目的增加将很容易造成系统资源的耗尽。为此, 人们提出了许多新的有效的信道调度方案。本文将对 VOD 系统的信道调度方案问题做一综述, 并对该领域内几个值得研究的问题做一展望。

1 信道调度方案

信道调度方案可分为两类: 用户中心方案(user-centered scheme)和数据中心方案(data-centered scheme)。在用户中心方案中, 信道被独立地分配给每一个请求点播的用户。目前已经有不少这类方案, 它们主要涉及视频服务器的设计, 目的是为了提

高服务器存储容量或增加并发信道数^[2]。本文主要对数据中心方案进行综述。

在数据中心方案中, 服务器根据一定的策略将信道分配给节目。这类方案通过多播技术^[3]实现信道共享, 使得服务器在一个信道上就可以为多个并发用户请求提供服务。其最主要优点是可伸缩性好^[4]。数据中心方案可以分成用户初始化方案(Client-initiated Scheme)和服务器初始化方案(Server-initiated Scheme)。其中用户初始化方案又可以分为批调度方案(Batching Scheme)和补块方案(Patching Scheme); 而服务器初始化方案可分成非预取式方案(Non-Prefetching Scheme)和预取式方案(Prefetching Scheme)。

1.1 批调度方案

批调度方案的基本思想是通过延迟对先前用户请求的服务, 实现在一个信道上服务更多的用户, 一次服务的所有用户称为一个“批”(Batch)。可以通过控制相邻批之间的间隔来保证用户的服务延时, 根据服务器选择不同批的方式可以将批调度方案分为以下几类。①先来先服务(FCFS, First Come First Server)^[5]: 将用户请求标上时戳, 一旦系统有了一个可用的信道, 等待时间最长的请求所在的批先得到服务, 从而保证了服务的公平性。②最长队列优先(MQL, Maximum Queue Length)^[5]: 这种方案先服务等待队列最长的批, 它不能保证公平性, 而是对流行度较高的节目进行服务, 但是它可以提高系统的效率。③最大队列

收稿日期: 2001-09-05

基金项目: 科技部科技型中小企业技术创新基金(00C26211300507)。

作者简介: 鄢仁祥(1976-), 男, 福建福州人, 东北大学博士研究生; 高远(1939-), 男, 山西大同人, 东北大学教授, 博士生导师。

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

因子优先 (MFQ, Maximum Factor Queue)^[9]: 该方案综合考虑了服务的公平性和节目的流行度因素, 它定义了队列因子, 其大小为 $q_i \propto \Delta t_i$ 。其中 q_i 为节目 i 的等待队列长度, 而 Δt_i 为与节目上一次被调度的时间间隔。

批调度方案还有很多, 如基于时间窗口的方案^[7] 规定了两个批之间的最大时间间隔, 而基于批大小的方案^[7] 规定了最大的批队列长度。在批调度方案中用户一般需要进行等待, 而且等待的时间也不确定, 另外对它的研究也已经比较成熟, 目前对这类方案的研究比较少。

1.2 补块方案

批调度策略从很大程度上减少了对服务器信道的需求, 但这是通过增加用户的等待时间作为代价的。而在补块方案中, 用户向服务器发出点播请求后, 马上得到响应。但分配给用户的信道可能不是独立的, 用户一般需要从两个或两个以上的信道上取数据。典型的这类方案有 Stream Tapping (信道分接) 方案^[8] 和 Patching (补块) 方案^[9], 其基本思想是用户除了从分配给它的信道上接收数据外, 还可以同时从另一个传输同一个视频流的信道上接收数据, 因此需要用户端提供两倍于播放速率的 I/O 带宽及必要的缓存。传输整个节目流的信道为原始信道, 其他的信道根据客户端的缓存情况分为完全分接信道和部分分接信道。L. Gao 提出一种叫 Controlled Multicast 的技术^[10], 它也是一种补块方案, 不过这种方案通过一个阈值来控制原始信道的分配频率, 通过对阈值进行优化, 可以使得系统的并发信道占用数最小。在文献[11] 中, S. Sen 等提出一种可以从两个以上信道上接收数据的方案, 它可以更好地提高信道利用率, 但较为复杂。

1.3 非预取式方案

非预取式方案指系统以播放视频节目的速率发送视频节目, 且用户一次只从一个信道上取数据。典型的这类方案就是重复广播方案, 这种方案将一个节目在一个信道上重复广播, 用户需要等到节目的起始点才可以进行正常的收看。为了降低用户的等待时间, 可以在更多的信道上广播视频节目, 如果在 N 个信道上以相同的时间间隔重复广播一个节目, 那么用户的服务延时将降低到 N 分之节目长度。这种方案也就是目前很多准视频点播系统 (Near VOD) 中经常采用的调度方案——轮播方案。这类方案的缺点是服务延时与信道占用数呈反比关系, 而服务延时和信道占用数都是主要的系统性能评价指标, 它们之间存在权

衡的问题。

1.4 预取式方案

在这类方案中, 一个视频文件被分为许多个大小不等的块, 每个块都在特定信道上进行周期性广播, 广播的速率可以大于播放视频的速率, 或者用户可以从两个或两个以上信道上取数据, 这样用户在播放视频文件时, 需要将一部分数据保存在本地存储系统上, 以供以后播放时使用。

如金字塔广播方案 (Pyramid Broadcasting)^[12], 它的基本思想是将每个视频节目分成大小按几何级数增长的块, 每个块以大于播放速率的速率在特定的信道上重复广播。由于服务时延与第一个块的长度成正比, 这一方案保证了服务时延随广播信道数增长呈指数降低, 但它的缺点是用户端必须要有至少 70% 节目文件大小的缓存空间。为降低对用户端缓存空间的需求, Aggarwal 等提出一种基于置换的金字塔广播方案 (Permutation-Based Pyramid Broadcasting)^[13], 它使得用户端缓存空间降低到 50% 节目大小。而 K. A. HUA 等提出的摩天大楼广播方案 (Skyscraper Broadcasting)^[14] 将广播速率统一为播放速率, 使得方案的实现变得简单。L. Gao 在文献[14] 中对这类广播方案进行全面分析, 并从数学上得出一系列重要的定理和推论。她同时设计了一族新的理论上最优的广播方案: 贪婪磁盘广播 (Greedy Disk Broadcasting) 方案, 能比摩天大楼广播方案少用 50% 的用户端存储空间或 30% 的服务器信道。总之, 这类方案与非预取式方案相比, 可以较好地权衡服务延时和信道占用数之间的矛盾问题。

2 信道调度方案的应用

将各类调度方案的特点简单归纳如表 1 所示。

表 1 信道调度方案的特点及应用
Table 1 Summary of different kind of scheduling schemes

| 类 型 | 预 取 | 实 时 | 多/ 单播 | 适合于 |
|--------|-----|-----|-------|------|
| 用户中心 | 否 | 是 | 单播 | 一般节目 |
| 批调度方案 | 否 | 否 | 多播 | 一般节目 |
| 补块方案 | 是 | 是 | 多播 | 一般节目 |
| 预取式方案 | 是 | 否 | 多播 | 热门节目 |
| 非预取式方案 | 否 | 否 | 多播 | 热门节目 |

可以发现, 不同的调度方案适合的节目对象不同, 许多 VOD 试验表明, VOD 系统有一个点播节目局部性的特点, 用户对节目的请求服从 Zipf 分布^[15], 即大部分用户点播请求集中在少数几个比较流行的节目上^[5, 6, 12]。结合使用用户初始化方案与服务器初始化方案可以进一步提高 VOD 系统性能^[16]。如在文献[16] 中提出的 FCFS- n 和

MQL- n 方案, 这两个方案与 FCFS 及 MQL 类似, 只是它将 n 个最流行的节目采用轮播方案进行调度, 而其余的节目仍然使用 FCFS 及 MQL 方案。在文献[17]中, Abram-Profeta 与 Shin 提出了一种系统在有足够多的等待用户请求的情况下才在特定信道上调度节目的算法。而在 Eager 与 Vernon 提出的动态预取式方案中, 仅当至少有一个用户请求到来时, 服务器才在一组特定信道上广播请求的节目^[18]。总之, 在实际的系统中, 应该综合考虑节目的流行度与调度方案, 并找出一种流行度的分类方法, 对不同流行度的节目采用不同的方案进行调度, 使得系统的性能达到最优。

3 信道调度问题的展望

(1) 不同方案间的无缝切换: 由于不同的方案适合于不同流行度的节目, 而节目有可能随着时间的变化改变其流行度, 如何动态地改变各个节目的调度方案而又不影响正在服务的用户造成影响是一个值得研究的问题。文献[19]中提出了一种累级广播方案的切换方法, 但过于复杂且没有实现用户初始化方案与服务器初始化方案间的切换。

(2) 交互式控制的研究: 在数据中心方案中, 各个用户的信道之间不独立, 因此交互式控制(如暂停、快进、快退等)的实现就比较困难。Fei 等提出的活动用户缓存(Active Client Buffer)技术^[20]通过从信道上预取数据并根据一定策略存放在用户端缓存中, 使得节目播放点总是在缓存区的中心位置, 可以实现轮播方案中的交互式控制。另外也可以通过在文献[21]中提出的从信道上预取数据的方法来赶上由于交互操作而错过的广播视频流。这些方案在用户交互不频繁的情况下比较可行, 但是, 为用户初始化方案提供交互式服务的研究还有待进一步深入。

(3) 分布式系统中的信道调度: 分布式系统结构实现了系统负载的分布和服务器的协同工作, 这样的系统需要解决代理服务器和中心服务器间的信道调度问题。Video Staging 技术^[22]将 VBR 视频中的突发数据进行切割, 从而使之成为 CBR 视频, 并将切割出的数据放在代理服务器上, 而将低速部分放在中心服务器上, 从而使得网络带宽得到平滑, 易于分配和管理。前缀帧(Prefix)技术^[23]的主要思想是将视频开始的部分帧缓存在代理服务器上, 它可以有效地降低用户的点播延迟。

(4) 调度方案的实现: 信道调度方案尽管能

够很好地提高视频点播系统的性能和资源利用率, 但在实现上要有待于进一步深入。

4 总结

综述了视频点播系统中的信道调度问题, 对主要的信道调度方案进行分类和归纳, 并对今后该领域的研究方向做一展望。开发了一个基于 IP 协议的使用不同信道调度方案的视频点播系统, 系统的性能测试结果表明: 使用数据中心信道调度方案对于节省系统资源、提高系统性能起到了十分重要的作用。

参考文献:

- [1] Little T, Venkatesh D. Prospects for interactive video-on-demand[J]. *IEEE Multimedia Magazine*, 1994, 25(3): 14—24.
- [2] Ozden B, Rastogi R, Silberscaz A, et al. Demand paging for video-on-demand servers[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems* [C]. Washington DC: IEEE Compute Society Press, 1995. 264—272.
- [3] Almeroth K, Ammar M. The role of multicast communication in the provision of scalable and interactive video-on-demand service[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of Network and Operating System Support for Digital Audio and Video* [C]. Durham, New Hampshire: IEEE Compute Society Press, 1995. 135—150.
- [4] Hua K, Sheu S. Skyscraper broadcasting: a new broadcasting scheme for metropolitan video-on-demand systems[A]. In: ACM ed. *ACM SIGCOMM* [C]. New York: Association for Computer Machinery Press, 1997. 60—70.
- [5] Dan A, Shahabuddin P, Sitaram D. Scheduling policies for an on-demand video server with batching[A]. In: ACM ed. *Proceedings of ACM Multimedia* [C]. San Francisco: Association for Computer Machinery Press, 1994. 168—179.
- [6] Aggarwal C C, Wolf J L, Yu P S. On optimal batching policies for video-on-demand storage server[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Systems* [C]. Washington DC: IEEE Compute Society Press, 1996. 125—132.
- [7] Chan S H. Scalable services for video on demand[D]. Stanford: Department of Electrical Engineering, Stanford University, 1998.
- [8] Carter S W, Darrell D E. Improving video on demand server efficiency through stream tapping [A]. In: IEEE ed. *Proceedings of ICCCN* [C]. Las Vegas: IEEE Compute Society Press, 1997. 200—207.
- [9] Hua K, Cai Y, Sheu S. Patching a multicast technique for true video-on-demand services [A]. In: ACM ed. *Proceedings of ACM Multimedia* [C]. Washington DC: Association for Computer Machinery Press, 1998. 201—209.
- [10] Gao L X, Towsley D. Supplying instantaneous video on demand services using controlled multicast[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems* [C]. Las Vegas: IEEE Compute Society Press, 1999. 304—315.
- [11] Sen S, Gao L X, Rexford J. Optimal patching schemes for efficient multimedia streaming [A]. In: IEEE ed. *Proceeding of IEEE NOSSDAV* [C]. Basking Ridge: IEEE Compute Society Press, 1999. 101—112.
- [12] Viswanathan S, Imielinske T. Metropolitan area video on demand service using pyramid broadcasting [J]. *IEEE*

- Multimedia Systems*, 1996, 4: 197—208.
- [13] Aggarwal C, Wolf J L, Yu P. A permutation-based pyramid broadcasting scheme for video on demand systems[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of the IEEE International Conference On Multimedia Systems*[C]. San Jose: IEEE Compute Society Press, 1996. 501—510.
- [14] Gao L X, Kurose J, Towsley D. Efficient schemes for broadcasting popular videos[A]. In IEEE ed. *Proceedings of IEEE NOSSDA V*[C]. Las Vegas: IEEE Compute Society Press, 1998. 204—215.
- [15] Zipf G. *Human behavior and the principle of least effort* [M]. New York: Addison-Wesley, 1949. 105—112.
- [16] Shenoy J, Goyal P, Vin H M. Issues in multimedia server design[J]. *ACM Computing Surveys*, 1995, 23(4): 301—311.
- [17] Abram E, Shin K. Scheduling video programs in near video-on-demand systems[A]. In: ACM ed. *Proceedings of ACM multimedia* [C]. Las Vegas: Association for Computer Machinery Press, 1997. 402—411.
- [18] Eager D, Vernon M. Dynamic skyscraper broadcasts for video-on-demand[R]. New York: UM-Madison, 1998.
- [19] Tseng Y, Yang M, Hsieh C, *et al.* Data Broadcasting and seamless channel transition for highly-demanded videos[J]. *IEEE Transaction on Communications*, 2001, 4: 343—346.
- [20] Fei Z, Kamel I, Mukherjee S, *et al.* Providing interactive functions for staggered multicast near video-on-demand systems[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems*[C]. Las Vegas: IEEE Compute Society Press, 1999. 203—212.
- [21] Abram P, Shin K. Providing unrestricted VCR functions in multicast video-on-demand servers[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of IEEE Multimedia* [C]. Akto: IEEE Compute Society Press, 1998. 602—612.
- [22] Zhang Z L, Wang Y W, David H, *et al.* A network conscious approach to end-to-end video delivery over wide-area networks using proxy servers[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of IEEE Infocom* [C]. Cambridge: IEEE Compute Society Press, 1998. 506—515.
- [23] Sen S, Rexford J, Towsley D. Proxy prefix caching for multimedia streams[A]. In: IEEE ed. *Proceedings of IEEE INFOCOM* [C]. New York: IEEE Compute Society Press, 1999. 1310—1319.

Review on Channel Allocation in Video-on-Demand System

YAN Ren-xiang, GAO Yuan

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: YAN Ren-xiang, E-mail: yanrx@263.net.)

Abstract: The channel allocation problem in video-on-demand system was reviewed. Emphasized on the data-centered allocation schemes, the channel allocation scheme was analyzed to discuss the ways to solve the bottleneck problem in traditional video-on-demand system. Using channel sharing, the data-centered schemes can improve the system performance dramatically. Based on characteristic of different schemes, the synthetic use of the allocation scheme was suggested. Lastly, some interesting issues in future research were pointed out.

Key words: video-on-demand; channel allocation; video server; video stream

(Received September 5, 2001)