

分布式视频点播系统的接入控制研究^{*}

周竞扬 张 阳 单 炜 陈道蓄

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京大学计算机科学与技术系 南京210093)

Research on Admission Control in Distributed Video-on-Demand Systems

ZHOU Jing-Yang ZHANG Yang SHAN Wei CHEN Dao-Xu

(National Laboratory of Novel Software Technology, Computer Science and Technology Department, Nanjing University, 210093)

Abstract Video on Demand (VoD) systems are considered as one of the most valuable services for the next generation broad-bandwidth Internet. To provide high-quality service, the VoD system must employ an admission control module to guarantee QoS, but there are still less research works having been made in this field, especially for distributed VoD systems. In this paper, we mainly focus on distributed admission control for VBR video streams in distributed VoD systems. We firstly discuss different approaches and then two admission control strategies are proposed with experimental comparisons. Our research is also further extended to resource assignment in distributed VoD systems. At the end of this article, we address issues in implementing distributed admission control.

Keywords Distributed VoD, Admission control, Resource assignment

1. 引言

视频点播 (Video on Demand, VoD) 是指一个由用户主动发起接收远地存储的视频, 且经过可接受的时延收到并在客户端回放的过程^[1]。视频点播技术改变了传统的用户被动接受方式, 被认为是下一代宽带互联网上最重要和最有价值的网络服务之一。

VoD 系统所提供的视频量必须具有相当大的规模^[1], 其设计目标就是要提供尽可能多的并发数据流。在提供大规模服务的同时, 视频服务的质量还必须得到一定的保证, 也就是说用户被允许进入系统之后, 可以顺利地看完影片, 尽量不会产生视频停顿和抖动等现象。然而由于系统资源的限制, VoD 系统所承载的用户上限和能保证的服务质量必然相互制约, 因而如何在用户数量和服务质量之间寻求一个折衷, 便成为一个很有价值的研究方向。绝大多数的 VoD 系统通过接入控制 (Admission Control) 模块来保障 QoS, 其工作目标是在保证一定服务质量的前提下, 使得尽可能多的用户接入系统获得视频等服务。接入控制是视频服务的第一步, 同时也是 VoD 系统的一个重要组成部分。

传统的 VoD 系统多使用单个高性能计算机作为视频服务器 (如美国 nCube 公司的 MediaCube4^[2]), 相应的接入控制策略也已有相当的研究^[3,4]。但是这种单服务器的结构在扩展性和鲁棒性上都具有相当的不足, 难以满足不断增长的用户需求, 为此人们提出了 DVoD (Distributed Video on Demand, 分布式视频点播) 的概念, 以较低的成本进一步提升 VoD 系统的性能。由于分布式环境下的接入控制有别于以往对单机结构的接入控制, DAC (Distributed Admission Control, 分布式接入控制) 便成为了新的研究课题。

VoD 系统中的资源主要包括 CPU、内存和磁盘、网络出

口带宽等四方面。由于 VoD 具有计算任务少、数据吞吐量大的特点, 因而 CPU 的处理能力和内存的大小虽然对可接入用户数目有一定影响, 但是相比较而言磁盘和网络带宽更易成为 VoD 系统的资源瓶颈, 是决定系统性能的关键因素, 故此本文的讨论主要针对磁盘和网络带宽展开。

视频流有 CBR (Constant Bit-Rate) 和 VBR (Variable Bit-Rate) 两种编码方式。CBR 编码的视频流带宽保持不变, 对应的接入控制策略也较为简单, 只要判断系统总的带宽是否大于每个 CBR 流的带宽之和即可。但由于 CBR 流需通过调整编码的参数来保持带宽, 图像质量会随时间变化 (如 real 格式), 因此相当多的影片使用 VBR 编码。VBR 编码的视频流带宽随时间变化而变化, 但保持编码的参数不变, 因此视频流的质量稳定 (如 MPEG 格式)。另外, 接入控制通常认为可以分为两大类^[5]: 确定性接入和统计性接入。确定性接入控制^[6]确保已接入服务的最大资源需求量小于或等于系统所能提供的资源, 控制简单且服务质量有足够的保障, 但是系统资源利用效率较低。统计性接入对系统的阻塞概率做出预测和估计以设定一个可接入用户数量上限, 使得当不多于该上限的用户接入系统后, 服务阻塞的概率总能小于某个事先给定的阈值 ϵ (ϵ 与服务质量直接相关)。本文的研究对象, 正是在分布式环境下, 针对 VBR 视频流服务带宽的统计式接入控制策略。

2. 分布式 VoD 系统的接入控制

如前所述, 接入控制的目的是设置整个系统的最大接入用户数 N , 使得既不会有过多不能被接入的用户进入了系统导致系统服务质量的下降甚至系统过载, 也不会造成可以接入的用户被拒绝接入, 降低了系统的利用率。对于单服务器的 VoD 系统, 用户需求带宽由视频流的数目所唯一确定, 所以

^{*} 课题得到国家863高科技发展计划资助(编号:2001AA113050)。周竞扬 硕士研究生, 主要研究方向分布式系统与并行计算; 张 阳 硕士研究生, 主要研究方向分布式系统与并行计算; 单 炜 硕士研究生, 主要研究方向分布式系统与并行计算; 陈道蓄 教授, 博士生导师, 主要研究方向分布式系统与并行计算。

接入控制只要直接使得系统中流的数目不多于某个定值 N , 就可以保证系统过载概率小于某一给定阈值。与单机的接入控制策略类似, 分布式 VoD 系统中接入控制策略的基本想法在于限制系统中用户的总数量, 以保证整个系统出现过载情况的概率小于给定阈值, 因此也可以采用每台服务器各自进行独立的接入控制, 而不考虑对其它服务器和整个系统的影响, 但是这样不利于服务器间资源共享, 也不能保证整个系统的效率。分布式接入控制和分布式集中接入控制采用协作的方式, 能够有效地提高分布式视频点播系统性能, 保证系统 QoS, 下文将就两种比较适合 DVOD 系统的接入控制方式分别进行讨论。

2.1 分布式接入控制

分布式的接入控制方式仍然需要在每台服务器上配置一个接入控制模块, 但是各个接入控制模块必须联合保证整个系统的性能。假设系统中共计有 m 台服务器, 每台服务器的出口带宽为 B_i ($1 \leq i \leq m$); 总的用户需求带宽 (系统总负载) 为随机变量 X , 则各个服务器所承担的负载是相互独立的随机变量 $\alpha_i X$, 且有 $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$ 。易证当 X 服从函数表达式为 $F(x)$ 的分布时, $\alpha_i X$ 的分布函数为 $F(\frac{x}{\alpha_i})$ 。显然服务器不过载的条件是所承担的负载带宽不大于其最大出口带宽 B_i 。就单机而言, 对 VBR 视频流的统计性接入控制应使得概率 $P\{x \leq B_i\}$ 尽可能大, 而分布式接入控制策略的原则应是在系统总出口带宽 B 和总负载 X 一定的条件下, 整个系统出现过载情况的概率尽量小, 即如果以随机变量 A_i 标识第 i 台服务器过载, 应使 $P\{\bigcup_{i=1}^m A_i\}$ 最小。由于 A_i 相互独立且 $P(A_i)$ 都比较小, 根据公式 $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A)P(B)$, 有 $P(\bigcup_{i=1}^m A_i) \approx \sum_{i=1}^m P(A_i)$, 由于 $F(\frac{B_i}{\alpha_i}) = 1 - P(A_i)$, 因此换而言之, 分布式接入控制应使得 $\sum_{i=1}^m F(\frac{B_i}{\alpha_i})$ 取得最大值。

欲求函数 $\sum_{i=1}^m F(\frac{B_i}{\alpha_i})$ 在条件 $\sum_{i=1}^m B_i = B$, $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$ 下的极值, 可以运用拉格朗日乘数法, 求函数 $\sum_{i=1}^m F(\frac{B_i}{\alpha_i}) + \mu \times (\sum_{i=1}^m B_i - B) + \lambda \times (\sum_{i=1}^m \alpha_i - 1)$ 的极值, 而满足下列条件的点正是一个极值点 (其中 $f(x)$ 是 $F(x)$ 的密度函数, $1 \leq i \leq m$):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m B_i = B \\ \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \\ \frac{1}{\alpha_i} f(\frac{B_i}{\alpha_i}) - \mu = 0 \\ -\frac{B_i}{\alpha_i^2} f(\frac{B_i}{\alpha_i}) - \lambda = 0 \end{cases}$$

按此思路, 接入控制可以根据各 B_i 的取值求解 α_i 从而为各个服务器接入适当的用户数, 在将负载分配到各个服务器的同时使得系统的过载概率极小化 (如果观看某部影片的用户最终在存储有该部影片的服务器上得到服务, 则影片在 DVOD 系统中各台服务器间的分配策略^[7]决定了用户在服务器之间的分布情况。我们可以在 α_i 已确定的条件下反过来求 B_i 的值, 即对各台服务器的出口带宽进行优化配置), 即在 B_i 给定的前提下求函数 $\sum_{i=1}^m F(\frac{B_i}{\alpha_i}) + \lambda \times (\sum_{i=1}^m \alpha_i - 1)$ 的极值, 极值

点满足如下方程:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1 \\ -\frac{B_i}{\alpha_i^2} f(\frac{B_i}{\alpha_i}) - \lambda = 0 \end{cases}$$

2.2 分布式集中接入控制

一般来说 DVOD 系统总是先做接入控制然后再进行负载调度, 因此用户刚进入系统时很难确定将被调度到哪个服务器上, 从而系统也就无法根据用户即将被调度到的服务器的当前负载情况做接入控制。如果不在每个服务器上都配备一个接入控制模块, 而是对整个系统做集中接入控制, 不仅结构简单而且可扩充性相对较好。所以本节将讨论分布式集中接入控制的策略, 即如何对整个 DVOD 系统进行统一的接入控制管理。

同样假设系统中有 m 台服务器, 且共存在 n 个用户; 各台服务器所服务的用户数应是一个随机变量, 记为 S_i 。对于第 i 台服务器, 当只有一个用户到达时, 该服务器上的用户数是一个满足如下分布的随机变量:

$$\begin{cases} 1 & \frac{1}{m} \\ 0 & 1 - \frac{1}{m} \end{cases}$$

显然当 $n \rightarrow \infty$ 时, S_i 服从正态分布 $Norm(\mu, \sigma^2)$, 且有 $\mu = \frac{n}{m}$, $\sigma^2 = \frac{n}{m}(1 - \frac{1}{m})$ 。因此 S_i 的分布函数为 $G(x) = \int_{-\infty}^x g(x) dx$, 其中 $g(x) = \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi n}{m}(1 - \frac{1}{m})}} \exp(-\frac{(x - \frac{n}{m})^2}{\frac{2n}{m}(1 - \frac{1}{m})})$, 不难证明 $Max(S_i)$ 的分布函数为 $[G(x)]^m$ 。

有两种算法可以用来作为接入控制的策略。如果用 P_+ 表示可以接入的用户却被拒绝接入的概率, P_- 表示不能被接入的用户却进入了系统的概率, 那么第一种接入控制策略目标是使得 $P_+ + P_-$ 取得最小值, 且有 $P_+ = P\{Max(S) > N\}$ (此时系统内的用户数为 S), $P_- = P\{Max(S) \leq N\}$ (此时系统内的用户数为 $S+1$)。

如果每台服务器所能承担的视频流上限为 N_i , 则另外一种策略可以描述为使得 $P\{S_i > N_i\}$ 小于某个给定的阈值, 即 $(N - \frac{S}{n}) / \sqrt{S - \frac{1}{m}(1 - \frac{1}{m})} < \epsilon$ 。如取 $\epsilon = 3$, 则可计算 $P = \{S_i > N_i\} < 0.0013$ 。如果每个 VBR 视频流的带宽都服从相同的分布, 根据独立同分布假设以及上文推导出的分布函数, 由模拟实验可得如表 1 所示的数据 (假定单台服务器最多同时承担 100 个流, 即 $N_i = 100 (1 \leq i \leq m)$)

表 1 模拟实验数据列表

服务器数目 m		2	4	6	8	10	
策略一	S	187	368	539	713	872	
	P_+	0.310	0.522	0.539	0.603	0.641	
	P_-	0.650	0.461	0.448	0.388	0.351	
策略二		S	161	308	456	604	753

比较两种接入控制策略, 可以发现无论使用哪种系统的利用率总是呈递减趋势。总体看来策略一的系统利用率要比策略二较好, 平均高出 15% 以上, 但策略一随着视频服务器数目的增多, 概率 P_+ 的值可能会高得无法忍受。

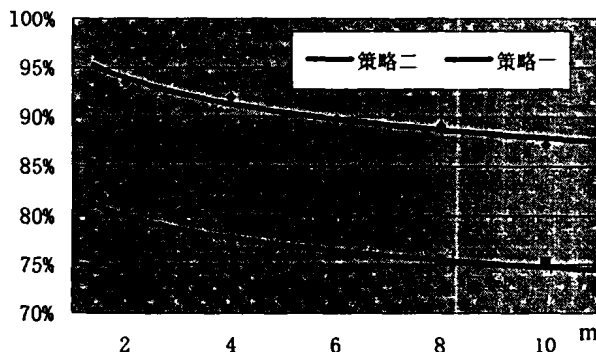


图1 系统使用效率比较

2.3 分布式 VoD 系统资源分配

这里我们讨论一下当各服务器的负载已经确定的前提下,如何在服务器之间分配带宽从而使得系统的性能最优,即 α_i 给定,且 $\sum_{i=1}^n B_i = B$,应如何确定各个 B_i 使得 $\sum_{i=1}^n F(\frac{B_i}{\alpha_i})$ 最大化.令 $C_i = \frac{B_i}{\alpha_i}$,运用拉格朗日乘数法,则 $\sum_{i=1}^n \alpha_i \times C_i = B$ 条件下的 $\sum_{i=1}^n F(C_i)$ 极值点满足如下方程:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \alpha_i \times C_i = B \\ p(C_i) = \alpha_i \lambda \end{cases}$$

例如,当 $F(X)$ 是参数为1的泊松分布时,密度分布函数 $p(x) = e^{-x}$.假设系统中有三台服务器,各自需要承担的负载之比为3:2:1,系统总带宽为1,带入方程有:

$$\begin{cases} \frac{C_1}{2} + \frac{C_2}{3} + \frac{C_3}{6} = 1 \\ e^{-C_1} = \frac{\lambda}{2} \\ e^{-C_2} = \frac{\lambda}{3} \\ e^{-C_3} = \frac{\lambda}{6} \end{cases}$$

解之可得:

$$\begin{cases} \lambda = e^{(-1 + \frac{\ln(2)}{3} + \frac{\ln(3)}{2} + \frac{\ln(6)}{6})} = 0.367879 \\ 2C_1 = -\ln(\frac{\lambda}{2}) = 0.681743, B_1 = \frac{C_1}{2} = 0.340871 \\ C_2 = -\ln(\frac{\lambda}{3}) = 1.087208, B_2 = \frac{C_2}{2} = 0.362403 \\ C_3 = -\ln(\frac{\lambda}{6}) = 1.780355, B_3 = \frac{C_3}{2} = 0.296726 \end{cases}$$

显然计算得出的 B_i 值与通常的带宽与负载成比例的分配方案 $B_1 = \frac{1}{2}, B_2 = \frac{1}{3}, B_3 = \frac{1}{6}$ 是不一致的.此时 $\sum_{i=1}^n F(C_i)$

$= 1.988530$,而按通常的方案 $\sum_{i=1}^n F(C_i) = 1.896362$,由此可见,按照负载成比例地分配并不一定是最优的带宽分配方案,应该按照求解方程得出恰当的分配方案.

3. DVoD 接入控制实现中的若干问题

在国家863项目“应用服务器的运行、管理与调度机制”中,我们使用 IBM RS6000服务器群提供视频点播服务,并采取分布式集中接入控制的方式.为了分析接入控制对整个

DVoD 系统性能的影响,下列参数是必需的:

- 用户到达率(如果用户到达服从泊松分布,主要工作是估计泊松分布的参数 λ);
- 单个用户请求的服务时间 T (一般情况下就是影片在时间域上的长度);
- 硬盘磁头一次定位所需时间 t (是一个随机量);
- 硬盘的最大数据吞吐量 B_{dh} ;
- 每次读取的数据块大小 B_i ;
- 读取一个数据块磁头需要定位的次数 R_i ;
- 缓冲的命中率 H ;
- 网络总带宽 C .

磁盘实际带宽可以估计为:

$$E_{dh} = \text{理论带宽} \times \left(\frac{\text{一个数据块的传输时间}}{\text{总的消耗时间}} \right) \\ = \frac{B_{dh} \times B_i}{B_i + B_{dh} \times t \times R_i}$$

这样如果 $C(1-H) > E_{dh}$,则认为系统的磁盘带宽会首先成为瓶颈,故而需要对磁盘带宽进行接入控制,反之则认为网络先到瓶颈,须对网络带宽做接入控制.在系统实现的过程中, B_i 被设定为2兆字节,而一般情况下 E_{dh} 都可以达到 20MByte/s = 160Mbps,远大于 RS6000服务器以太网卡的 100Mbps 理论带宽,所以在通常情况下接入控制只要针对网络带宽就可以了.

对于负责接入控制和调度前端服务器,其性能必须保证不会成为瓶颈.假定系统需要提供10000个并发流(即系统最多能同时保持10000提供数据服务的连接),根据立陶(little)定律,并假设每个流的存续时间为 $2 \times 60 \times 60$ 秒(即一个影片的长度约为2小时),则用户的到达率 $\lambda = \frac{S}{T} = \frac{10000}{2 \times 60 \times 60} \approx 1.5$,也就是说平均每秒有1.5个新用户请求服务.如果使用 128M 内存的 RS6000服务器作为接入控制的前端机,那么在到达率为1.5的情况下,经测试可得分布式集中接入控制的主机处理一个请求所花费的时间约在 10^{-4} 至 10^{-5} 秒之间,即每秒至少可以为10000个用户提供服务(这是一次连接且小数据量服务所具有的特点).这样系统的服务率大约为 $\mu = 10000$,而根据排队论^[3]的知识,此时用户从发送请求到获得服务的平均时延 $T_d = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{10000 - 1.5} \approx 0.1$ 毫秒.所以当系统所需支持用户的数量级在 10^4 时,作为接入控制前端机的 RS6000服务器不会成为系统瓶颈,故此采用分布式集中的接入控制方式是切实可行的.

但实际上由于 AIX 操作系统的限制,一个进程能打开的描述字不能超过2000个,所以单个服务器不能同时打开超过2000个 Socket 连接.另外根据 TCP/IP 协议,操作系统在关闭一个 Socket 连接的时候,需要经过一个 Time-Wait 状态以等待老的分组在网络中消失,才能正确地终止全双工 TCP 连接.考虑到以上的情况,我们在系统设计的时候应尽量使得用户从进入系统到退出都只打开一个 TCP 连接,以避免不停的打开和关闭 TCP 连接.

结束语 接入控制模块不仅仅在 VoD 系统中,而且在绝大多数提供服务质量保证的系统中都是一个很重要的模块,其运作好坏直接影响到系统的效率和系统所能提供的服务质量.本文针对 VBR 视频流讨论了分布式视频点播系统中的接入控制问题,分析了两种接入控制方式以及主要策略,并给出

(下转第77页)

与其相似度最大的这个个性化向量所形成的类。这样,我们在计算目标用户对文档的感兴趣程度时考虑了阅读该文档的用户数目、阅读过该文档的用户与目标用户的兴趣相似度以及文档与目标用户的兴趣模型间的相似度。因而可以分类推送用户感兴趣的高质量信息。

设用户 A 的兴趣模型中与文档 B 最接近的个性化向量为 D,则将文档 B 聚类在个性化向量 D 对应的类中,将所有用户 A 没有阅读过且被其他用户阅读过的文件聚类,同一类中的文件按用户 A 感兴趣的程度大小排序,因而可以分类推送用户感兴趣的高质量信息。

5 实验结果

我们所选的实验数据为786篇信息提取和数字图书馆方面的文章,数据来源主要为 CIIR 所发表的文章和数字图书馆杂志中的文章。这些文档的标题中包括术语1816个。

我们选择了10个用户,其兴趣包括基于贝叶斯网络模型的信息检索、基于概率模型的信息检索、分布式信息检索、文档聚类、分布式数字图书馆、文档分类、语义检索等。

我们衡量用户兴趣联合推送系统的性能的度量标准为:用户阅读了的推送文档的个数,以及这些被用户阅读了的文档在被推送时的排列位置及其排列位置之和。

因为其它的智能信息检索系统没有使用用户兴趣联合推送方法,所以本文比较了基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统和不基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统的实验效果。从实验结果可以看出,基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统优于不基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统,并且用户阅读了的文档个数较多,说明我们的用户兴趣联合推送方法取得了很好的效果。其实验结果如下:

在基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统中,用户阅读了的推送文档的个数平均为:5.1,其排列位置之和平均为:30。在不基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统中,用户阅读了的推送文档的个数平均为:4.6,其排列位置之和平均为:30.2。

结论 本文所提出的基于贝叶斯网络模型的用户兴趣联合推送系统采用多个特征向量组成用户兴趣模型,并使用相关反馈和浏览信息更新用户兴趣模型,智能化适应用户兴趣的变化。它利用贝叶斯网络模型表示术语间的概念语义关系,从而预测用户兴趣模型间以及用户兴趣模型和文档间的概念

语义相似度,依此根据其他兴趣类似的用户的阅读信息主动推送用户感兴趣的文档。该方法在计算推送信息和用户兴趣的相似度时考虑的因素有:阅读过该信息的用户数;这些用户和被推送用户间的兴趣相似度;该信息和被推送用户的兴趣模型间的相似度。因为阅读过该信息的用户的个数反映了该信息的质量,阅读过该信息的用户和被推送用户间的兴趣相似度以及该信息和被推送用户的兴趣模型间的相似度反映了用户对该信息感兴趣的程度,所以可以推送用户感兴趣的高质量信息。

参考文献

- Joachims T, Freitag D, Mitchell T. Web Watcher: A Tour Guide for the WWW. In: Proc. of IJCAI97, Aug. 1997, 1~6
- 汪晓岩, 胡庆生, 李斌, 庄镇泉. 面向 Internet 的个性化智能信息提取. 计算机研究与发展, 1999, 36(9): 1039~1046
- Chen L, Sycara K. WebMate: A Personal Agent for Browsing and Searching. In: Proc. of the 2nd Intl. Conf. on Autonomous Agents and Multi Agent Systems, May 1998. 132~139
- Balabanovic M, Shoham Y, Yun Y. An Adaptive Agent for Automated Web Browsing. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1995, 6(4)
- Mobasher B, et al. Web Mining: Pattern Discovery from World Wide Web Transactions. [Technical Report TR96-050]. Department of Computer Science, University of Minnesota, 1996
- 林士敏, 田凤占, 陆玉昌. 贝叶斯学习、贝叶斯网络与数据挖掘. 计算机科学, 2000, 27(10): 69~72
- Callan J, Lu Z, Croft W. Searching distributed collections with inference networks. In: Proc of ACM SIGIR Conf. Seattle, 1995. 21~28
- Fung R, Del Favero B. Applying Bayesian Networks to Information Retrieval. Communication of ACM, 1995, 38(3): 42~57
- Indrawan M, Ghazfa D, Srinivasan B. Using Bayesian Networks as Retrieval Engines. In: Proc. of 6th Text Retrieval Conference. NIST Special Publication 500-238, 1996. 437~444
- de Campos L M, Fernandez J M, Huete J F. Building Bayesian Network-Based Information Retrieval Systems. In: Proc. of the 11th Intl. Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA'00)
- de Campos L M, Huete J F. Document Instantiation for Relevance Feedback in the Bayesian Network Retrieval Model. ACM SIGIR'01 Workshop on Mathematical/Formal Methods in IR, New Orleans, Louisiana, 2001
- Rbeiro B, Muntz R. A belief network model for IR. In: Proc. of 19th ACM-SIGIR Conf. 1996
- Proc. of INFOCOM '97, April 1997
- Perros H, Elsayed K. Call Admission Control Schemes: A Review. IEEE Magazine on Communications, special issue on Congestion Control, Nov. 1996. 82~91
- Chang E, Zakhori A. Cost Analyses for VBR Video Servers. IST/SPIE Multimedia Computing and Networking, San Jose, Jan. 1996. 381~397
- Ng T R, Yang Jinhai. Maximizing buffer and disk utilization for news-on-demand. In: Proc. of 20th Intl. Conf. on Very Large Data Base, Santiago, Chile, Sept. 1994. 451~461
- 周笑波, 谢立. Rembard Lueling. 视频服务器网络中影像对象映射问题的研究. 软件学报, Vol. 11(12): 1620~1627
- 华兴. 排队论与随机服务系统. 上海: 上海翻译出版社, 89~112
- Leland W, Taqu M, Willinger W, Wilson D. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic. IEEE/ACM Transactions on Networking, Feb. 1994. 1~15
- Cleary K. Video on Demand - Competing Technologies and Services. In: Proc. of International Broadcasting Convention, Sept. 1995. 432~437
- http://www.nCube.com
- Jamin S, Shenker S, Danzig P. Comparison of Measurement-based Admission Control Algorithms for Controlled-Load Service. In:

(上接第68页)

了理论推导公式,最后还对 RS6000 服务器群中接入控制的实现进行了说明。

在后继的工作中,我们将进一步探讨自相似性理论^[9]对接入控制的影响。此外,基于策略的接入控制以及无线、移动系统的接入控制也是值得研究的方向。

参考文献