

有限带宽条件下 VOD服务器的设计^{*}

买全文 张光昭

(中山大学无线电电子学系, 广州 510275)

摘 要 分析了 VOD系统的构成及其实时服务过程, 基于 $M^k/M/1$ 的排队过程计算了系统参数对系统性能的影响, 给出了设计实时多媒体服务器最大同时访问用户数和缓冲器大小的计算式, 并提出了改进服务器性能的 TIPMS 方法. 将该方法与 QPMS 的方法进行比较, 表明 TIPMS 有效地改善了服务器的性能.

关键词 VOD服务器, 有限带宽, 网络

分类号 TN 941. 3

按需视频点播 (VOD) 是多媒体技术和网络技术的一项综合应用, 以其实用性和灵活性引起了人们的广泛注意, 并且随着宽带网络和大容量阵列式硬盘的出现使其实用化也已成为可能, 其中多媒体服务器是其核心. 目前条件下, 设计多媒体服务器主要考虑两方面的影响, 其一是网络的带宽; 其二是硬盘的 I/O 速度, V_{in} 等从第一个方面的因素出发, 提出了增大同时服务用户数 (Maximum Simultaneous Subscribers, 简称 MSS) 的 QPMS 方法^[1]. 由于该方法没有考虑带宽的影响, 是一种网络带宽没有限制的理想设计方法, 与实际应用相差较大, Milind 等从服务器的体系结构出发, 提出了基于 APIC (ATM Port Interconnect Controller) 接口的 MARS (Massively Parallel and Real-time Storage) 硬件系统结构^[2], 它是一种比较合理的硬件系统构造方法, 但它的性能仍然会受硬盘 I/O 速度和网络带宽的影响. 本文从这两个方面的因素出发, 在构造出多媒体服务器实时服务系统的基础上, 给出实时多媒体服务器的设计方法, 并提出改进服务器性能的 TIPMS 方法, 将其与 QPMS 对比, 评价了它的性能.

1 实时服务系统

考虑图 1 所示的 VOD 实时服务系统, 来自用户的请求经宽带网络交给服务器的接入单元, 接入单元通过管理单元将请求的节目消息提交硬盘接口单元, 这一过程主要传输从用户到服务器的上行流. 主要是由节目标识和控制消息构成, 消息量不大, 在硬盘接口单元中含有若干个可以并行访问阵列硬盘节点的 APIC, 每个硬盘上以分块方式存储若干个节目段, 设第 i 个节目的存储状态为 $S_i = (M_i, G)$, M_i 是每块的字节数, G 是相邻两块间的字节数, 每块的查询时间是 Δt_s^i , 硬盘接口单元将 N 个请求的节目数据并行地读入发送单元, 发送单元

* 广东省自然科学基金 (1930250) 资助项目

收稿日期: 1996-06-10 买全文, 男, 30 岁, 博士研究生

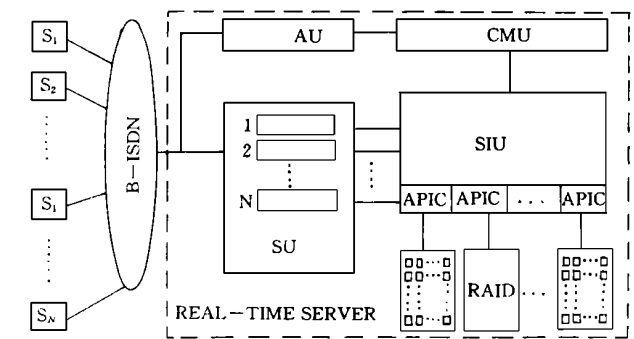


图 1 VOD实时服务系统

Fig. Real-time service system

AU: 接入单元; CMU: 中央管理单元;
SU 发送单元; Si 用户 i; RAID 阵列式
硬盘
SIU: 硬盘接口单元 APIC: ATM 接口
控制器 B-ISDN 宽带网络 (ATM)

为每个连接建立大小为 L_i 的缓冲,若每次读入 k_i 个节目块,则 $L_i = k_i M_i$,其中 k_i 的大小取决于节目类型和演播的质量,发送单元依据 Robin 环的服务方式将 N 个缓冲的数据读入下行信道^[3],每次服务的数据大小为缓冲的大小,若 N 个接入的请求均为实时数据流,为保证节目在用户端演播的连续,显然必须满足以下条件:

$$\sum_{i=1}^N \left(k_i \Delta t_i + \max_{j \in (1, k_i M_i)} (\Delta t_i^j) + k_i M_i / R_d \right) \leq \min_{i \in (1, N)} (L_i / R_p^i) \tag{1}$$

式中 R_p^i 为第 i 个节目流的演播速率, Δt_i^j 为第 i 个缓冲中第 j 位在系统中逗留的时间, $k_i \Delta t_i$ 为读满整个缓冲的硬盘查寻时间, R_d 为硬盘的带宽,若下行信道的带宽为 B_d ,为保证第 i 个缓冲不出现饥饿状态(即能够连续发送),则必须满足如下条件:

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N L_j / B_d \geq k_i (\Delta t_i + M_i / R_d) \tag{2}$$

可以看出,用于将多用户节目比特流发送给下行信道的发送系统直接影响着服务器的性能,是系统的瓶颈。

2 实时多媒体性能参数计算

图 2 给出了发送系统的结构模型,其中 SP_i 表示第 i 个节目的存储空间, DP_i 表示第 i 个节目的接收空间。

考虑最简单的情况,设 N 个用户均点播具有相同播放速率,相同存放状态的节目,此时,下列条件成立

$$\forall i, j \in [1, N]$$
$$M_i = M_j = M; G_i = G_j = G; k_i = k_j = k; R_p^i = R_p^j = R_p; \Delta t_i^j = \Delta t_j^i = \Delta t;$$

由于 Δt 的最大值是 G/R_d ,将上述式子代入(2)式得

$$R_d \geq [B_d / (N - 1)] \cdot [(M + G) / M] \tag{3}$$

(3)式是选择硬盘的充要条件.不失一般性,设从硬盘读入发送单元的数据块按成批的泊松过程到达,每次到达的批量为 kM ,则图 2可简化服务率为 $\mu = B_d$;到达率为 $\lambda = (1/kM) \cdot R_d^{avg}$ 的 $M^k/M/1$ 排队过程, R_d^{avg} 是硬盘的平均带宽,最大值是 $M/(M + G)$,由此得到每个缓冲的平均逗留时间 Δt_d^{avg} 为^[4]

$$\Delta t_d^{avg} = (kM - 1) / [2(B_d - R_d^{avg})]$$

最长的逗留时间为

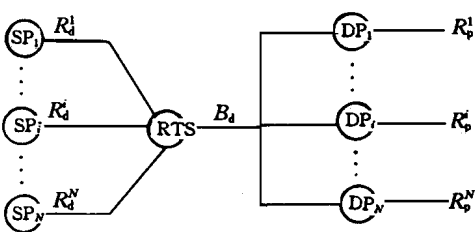


图 2 实时发送及演播系统

Fig. 2 Real-time delivery and play system

$$\Delta t_d^{\max} = 2\Delta t_d^{\text{avg}} = (kM + 1) / (B_d - R_d^{\text{avg}}) \quad (4)$$

将(4)式代入(1)式得

$$N \leq kM / R_p + N \leq (kM + 1) / (B_d - R_d^{\text{avg}}) + N \leq k \Delta t_d^{\max} / R_p$$

考虑到 $kM \gg 1$ 并整理上式得

$$N \leq \frac{1}{R_p} \left[\frac{\Delta t_d^{\max}}{M} + \frac{1}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{1}{R_d} \right]$$

上式右边取整即为系统同时服务的最大用户数 (MSS)

$$N_{\max} = \left\lfloor \frac{1}{R_p} \left[\frac{\Delta t_d^{\max}}{M} + \frac{1}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{1}{R_d} \right] \right\rfloor \quad (5)$$

如果网络的带宽是无限的, 将(5)式稍作变换, 可以发现该式与文献[1]中的计算结果相同, 但这里因为我们考虑了网络带宽和硬盘带宽的综合影响, 因此在一定网络带宽的条件下(5)式计算的 MSS 小于文献[1]的计算结果, 图3给出一组计算结果, 例如当节目的存储状态 $S = (0.5 \text{ Mb}, 16.66 \text{ Mb})$ 带宽为 2.5 Gb/s 时, (5)式计算的 MSS 为 195 个, 若网络带宽为无限时的 MSS 为 222 个。

根据 Little 公式求得平均队长

$$\Delta L = R_d^{\text{avg}} \cdot (kM + 1) / [2(B_d - R_d^{\text{avg}})]$$

从而确定每个缓冲区大小为

$$L \approx kM + R_d^{\text{avg}} / [2N \cdot (B_d - R_d^{\text{avg}})] \quad (6)$$

式(6)的取整可能会改变缓冲的大小, 为保证满足式(6)的要求, 可以采取相邻的两轮发送分别向上和向下取整的方法. 当用户点播不同的节目时, 图2可以简化为批量为随机变量 $\{kM_i, i \in [1, N]\}$ 的 $M^i/M/1$ 过程, 第 i 个缓冲的平均逗留时间为

$$\Delta t_d^i = [E(kM_i)^2 + E(kM_i)] / [2(B_d - \frac{R_d^{\text{avg}}}{kM_i} E(kM_i)) E(kM_i)] \quad (7)$$

式中 $E()$ 为期望值, 缓存 i 的最大逗留时间为

$$\max_{i \in [1, N]} \left[\Delta t_d^i \right] = 2\Delta t_d^{\max} = [E(kM_i)^2 + E(kM_i)] / [(B_d - \frac{R_d^{\text{avg}}}{kM_i} E(kM_i)) E(kM_i)] \quad (8)$$

因为

$$E[(kM_i)^2] = \text{Var}(kM_i) + (E(kM_i))^2 \quad (9)$$

$$E(kM_i) = \text{Cor}(k_i, M_i) + E(k_i) \cdot E(M_i) \quad (10)$$

这里 $\text{Var}()$ 和 $\text{Cor}()$ 表示方差和协方差

定义 $E(k_i) = k^{\text{avg}}$; $E(M_i) = M^{\text{avg}}$ 和 Δt_d^i 分别表示 $\{k_i, i \in [1, N]\}$; $\{M_i, i \in [1, N]\}$ 和 $\{\Delta t_d^i, i \in [1, N]\}$ 的均值, 将式子(9)和(10)代入(8)得到

$$\max_{i \in [1, N]} \left[\Delta t_d^i \right] \leq k^{\text{avg}} M^{\text{avg}} / [B_d - \frac{R_d^{\text{avg}}}{kM_i} E(kM_i)] \quad (11)$$

将式(11)代入(1)得

$$N \leq (k^{\text{avg}} \Delta t_d^{\text{avg}} + \frac{k^{\text{avg}} M^{\text{avg}}}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{k^{\text{avg}} M^{\text{avg}}}{R_d}) \leq \min_{i \in [1, N]} \left[\frac{kM_i}{R_p} \right]$$

得到

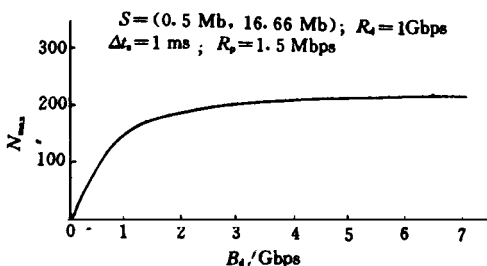


图 3 最大同时服务用户数与网络带宽的关系

Fig. 3 The Maximum simultaneous subscribers vs network bandwidth

$$N_{\max}^{\leq} = \min_{i \in [1, N]} \left\lceil \frac{k_i M_i}{R_p^i} \right\rceil \left\lceil k^{\text{avg}} \left(\Delta t_s^{\text{avg}} + \frac{M^{\text{avg}}}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{M^{\text{avg}}}{R_d} \right) \right\rceil$$

因此 MSS 可通过下式计算

$$N_{\max} = \left\lceil \min_{i \in [1, N]} \left\lceil \frac{k_i M_i}{R_p^i} \right\rceil \left\lceil k^{\text{avg}} \left(\Delta t_s^{\text{avg}} + \frac{M^{\text{avg}}}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{M^{\text{avg}}}{R_d} \right) \right\rceil \right\rceil \quad (12)$$

同样的方法,按如下步骤可以计算缓冲的大小:① 计算 $E(k_i M_i)$;② 按照等式 (7) 计算 Δt_d^i ;③ 计算平均排队长度 $\Delta L = E(k_i M_i) \cdot \Delta t_d^i$;④ 计算缓冲的大小 $L_i = k_i M_i + \left(k_i M_i / \sum_{i \in [1, N]} k_i M_i \right) \Delta L$.

3 提高服务器性能的 TIMPS 策略

同时服务的最大用户数是设计实时多媒体服务器的重要参数,等式 (12) 表明它不但与节目的播放速率有关系,而且与节目的存储模式也有关系,Vin 等人采用每次读入的节目块数正比于节目的播放速率的方法来提高同时服务的最大用户数,并将其称为 QPMS 的方法,如果根据这种方法,则有 $k_i \propto R_p^i$ 将其代入等式 (12),得到

$$N_{\max}^{(1)} = \left\lceil \min_{i \in [1, N]} (M_i) / R_p^{\text{avg}} \left[\Delta t_s^{\text{avg}} + \frac{M^{\text{avg}}}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{M^{\text{avg}}}{R_d} \right] \right\rceil \quad (13)$$

如果每次读入的块的大小反比于该节目存储片的播放时间,即 $k_i \propto R_p^i / M_i$ 则 (12) 式成为

$$N_{\max}^{(2)} = \left\lceil M^{\text{avg}} / R_p^{\text{avg}} \left[\Delta t_s^{\text{avg}} + \frac{M^{\text{avg}}}{B_d - R_d^{\text{avg}}} + \frac{M^{\text{avg}}}{R_d} \right] \right\rceil \quad (14)$$

我们称这种服务策略为 TIPMS (Time Inverse Proportion Multisubscriber Servicing) 显然由于

$$\begin{aligned} M^{\text{avg}} &\geq \min_{i \in [1, N]} (M_i) \\ N_{\max}^{(2)} &\geq N_{\max}^{(1)} \end{aligned} \quad (15)$$

(15) 式表明,与 QPMS 的方法相比较, TIPMS 的方法有效地增加了同时服务的用户数,改善了服务器的性能,图 4 比较了一组 QPMS 和 TIPMS 的设计数据,系统参数和节目参数在表 1 中给出.从图 4 的结果,我们可以得出如下结论:

(1) 与 QPMS 的方法相比较, TIPMS 的方法有效地增加了同时服务的最大用户数,例如当带宽等于 2.5 Gps 时, QPMS 的 MSS 是 10, 而 TIPMS 的 MSS 是 30,这就说明了利用 TIPMS 设计实时多媒体服务器可以降低用户的化费.

(2) 在带宽增加的初期 (例如从 100 Mbps 到 2 Gpbs), MSS 的值迅速增加,但是随着带宽的继续增加, MSS 增加的值却并不明显,因此试图通过无限增加带宽的方法来增大 MSS 的途径是不可能的,这样只会增大系统的投入,却不能改善系统的性能.

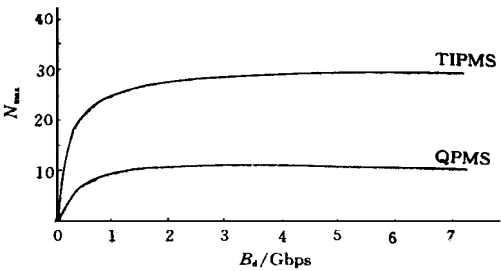


图 4 TIPMS 与 QPMS 的计算结果

Fig. 4 Calculated results of TIPMS and QPMS

表 1 节目的存储模式和系统参数
Tab. 1 The store modes and system parameters

参 数		M PEGI	M PEGII	SDTV	HDTV
节目 参数	演播速率 (Mbps)	1. 5	5	9	18. 8
	存储模式 (Mb)	(0. 1, 35)	(0. 33, 58)	(0. 3, 18)	(0. 63, 26)
	节目个数	35	35	15	15
硬盘 参数	硬盘带宽	1Gbps			
	查找时间 (ms)	1	1. 5	0. 6	0. 8

参 考 文 献

1 Vin H M, Rangan P V. Designing a multiuser HDTV storage server. IEEE Journal On Selected Areas in Communications, 1993, 11(1): 153~ 164

2 Buddhikot M M, Parulkar G M, Cox. Jr J R. Design of a large scale multimedia storage server. Computer Network and ISDN Systems, 1994, 27 503~ 517

3 Ferrari D. Client requirements for real-time communication services. IEEE Communication Magazine, 1990, 28(9): 65~ 72

4 Thomas G Robertazzi. Computer Network and Systems Queueing Theory and Performance Evaluation, Springer-Verlag, 1990

Design of the VOD Server with Limited Bandwidth

Mai Quanwen* Zhang Guangzhao

Abstract The network bandwidth and storage I/O bandwidth are bottleneck parameters in realtime multimedia servicing, and they are interrelated. They must be considered simultaneously in designing real-time server. The real-time servicing process is analysed, and the maximum simultaneous subscribers and buffer size based on $M^k/M/1$ queuing system are estimated. In order to improve its property, "Time Inverse Proportion Multisubscriber Servicing"(TIPMS) algorithm which is more effective than QPMS is proposed. At last, the performance of the TIPMS is evaluated.

Keywords VOD server, limited bandwidth, network

* Department of Radio and Electronics, Zhongshan University, Guangzhou 510275
(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>