

分布式多媒体环境中动态 QoS 管理的研究^{*}

Research On Dynamic QoS Management For Distributed Multimedia Environment

郭乐深 刘锦德

(电子科技大学计算机学院微机所 成都 610054)

Abstract Dynamic QoS management becomes more and more important because of the rapid development of multimedia techniques in internet and wireless network. In this paper, we try to use the global viewpoint to build a theoretical model that calls continuous media action. Basing on this model, the influence of fluctuation of network parameters on continuous media action is analyzed, and some important conclusion is given. Then dynamic QoS management strategies which satisfy the environment of internet and wireless network are offered. After all, the management strategies and this distributed multimedia system through a serial of test are confirmed.

Keywords QoS, QoS mapping, Continuous media action, QoS Guarantee, Dynamic QoS management

分布式多媒体系统的核心问题是多媒体流的服务质量(QoS)保证,越来越多的系统通过QoS管理来实现多媒体服务的QoS保证,国际上不同组织和团体提出不同的管理机制和策略,比较著名的有:1)IETF提出的Internet综合业务模型(IIS^[1,2]),定义了实现应用的QoS保证的结构,关键研究工作是资源预留协议和IIS模型在网络层次之间的QoS映射;2)ISO/OSI提出的基于ODP分布式环境的QoS管理^[3-5],但它至今为止停留在只给出了用户层的QoS参数说明和编程接口阶段,具体实现QoS管理策略并未提出;3)ATM论坛也提出了QoS管理的策略和实现^[6]。其中IETF的IIS模型和ATM论坛的QoS管理是“连接预定”型,即静态QoS管理,其核心内容是在服务建立之前,通过接纳控制和资源预留来提供服务的QoS保证,而在服务交互的过程,用户进程和网络之间要严格按照约定的QoS实现服务QoS保证,随着分布式多媒体系统在异质网络和异质计算机系统大量存在的复杂环境中得到广泛应用,网络经常发生波动,从而导致QoS保证很难通过静态QoS管理来实现,所以其管理机制有一定局限性。

于是人们开始研究动态QoS管理技术,动态QoS管理实质是在媒体交互过程中,根据实际服务QoS参数变化而动态控制系统的资源参数来实现服务的QoS保证,主要组成部分包括了QoS监视,QoS控制和

QoS策略三个部分。其中QoS监视实现实时监视媒体交互过程中的QoS参数值;QoS控制是配置、控制和管理系统内各类资源(如CPU、缓冲区和网络等)的函数集合(通常包括进程调度算法、优先级调整、缓冲区管理、接纳控制、流量控制、差错控制、拥塞控制等几个方面),通过它们具体实现QoS保证;QoS策略是指当媒体要求QoS值与实际QoS参数值发生偏差时,采取怎样QoS控制功能达到减小甚至消除两者的偏差的策略总和,QoS策略是动态QoS管理的核心。

随着分布式多媒体系统不断应用于Internet和无线网络环境中,针对这些网络的特点(即在媒体交互过程中网络经常性地发生波动,很难控制,仅通过网络层中接纳控制、流量控制、差错控制和拥塞控制不能达到服务QoS保证目的^[7]),于是该环境下的动态QoS管理研究重点为在媒体流交互过程中根据网络资源参数的波动,动态地调整和控制端操作系统中资源的参数(如进程的优先级、缓冲区等)以实现QoS保证,从而建立适应网络环境变化的QoS管理机制,其QoS策略制定要综合考虑网络参数、用户端操作系统中CPU资源、进程优先级和缓冲区资源等如何支持多媒体流的QoS保证问题,国外的其他组织也相应提出了动态QoS管理策略和实现^[5-9],但是由于缺乏理论模型指导,虽然提出各自不同的动态QoS管理策略,但还是凭经验办事。

^{*})本文得到电子科学预研项目资助,郭乐深 博士生,主要研究领域为开放系统技术和多媒体技术,刘锦德 教授,博士生导师,主要研究领域为开放系统技术、多媒体技术和虚拟现实应用。

本文根据连续媒体服务模型,在保证端到端 QoS 的前提下,基于模型详细探讨网络资源参数和操作系统中各类资源参数的相互关系,从而基于提出 Internet 和无线网络环境中动态 QoS 管理的策略,最后给出实验以验证其可行性。

1 连续媒体服务模型

1.1 连续媒体服务模型—连续媒体活动

分布式多媒体服务是多媒体数据周期、顺序访问分布式系统的各类资源(如 CPU、内存和网络等)的活动总和,称为连续媒体活动,简称活动。图1给出活动的图形表示。在分布式系统中,连续媒体活动宏观上看是分布式系统中的端到端周期性服务运行,微观上看是分布式系统中交互点中的各类资源运行的总和。



图1 连续媒体活动

1.2 连续媒体活动中 QoS 参数和资源参数的定义

1.2.1 连续媒体活动应用层的 QoS 参数

QoS 是连续媒体活动要求分布式系统提供的工作质量,QoS 参数则被用来具体量化这一数值。对于连续媒体活动应用层的 QoS 参数分为:1)服务方式参数(包括等时型(Isochronise)和提前工作型(work-ahead)服务;2)媒体信息流的性能参数:服务的性能参数,包括:速率、延迟、抖动、丢失率等。

定义1 对于连续媒体活动的 QoS 参数被形式化为以下数据结构:

```
typedef enum {Isochronise, workahead} com;
type struct {com commitment; int rate; int delay; int jitter; int loss; } MediaQoS;
```

1.2.2 连续媒体活动中的用户端资源参数 资源参数主要描述服务于连续媒体的资源的属性的量化值,不同资源的参数属性也不同,在计算机系统中,CPU 资源参数包括调度周期、执行时间、截止时间(有的成为死线)。

定义2 在分布式多媒体系统中,服务于连续媒体活动的 CPU 资源的参数被形式化为以下数据结构:

```
type struct {int T; int E; int D} CPUPara;
```

通过缓冲区资源管理提高系统并行度,其参数有缓冲池的大小、缓冲区的分块数和存取延迟。

定义3 在分布式多媒体系统中,服务于连续媒体活动的缓冲区资源的参数如下:

```
type struct {int buffersize; int buffer-number; int buffer-de-
```

lay BufferPara;

1.2.3 连续媒体活动中的网络资源参数 对于网络资源的参数包括分配的网络带宽、网络传输和交换延迟、网络抖动、网络丢失率等。

定义4 在分布式多媒体系统中,服务于连续媒体活动的网络资源的参数如下:

```
type struct {int network-rate; int network-delay; int network-loss; int network-jitter; } NetworkPara;
```

2 连续媒体活动的动态管理策略分析

保证连续媒体活动的服务质量原则:(一)连续媒体流速率(rate)保证;(二、三、四)实际端到端的抖动、延迟和差错率波动在 QoS 参数规定范围内。

2.1 连续媒体活动分析

对于连续媒体活动,由于服务方系统可以提前读取媒体数据,因此可以设 $\text{Input rate} \ll \text{Output rate}$,因为连续媒体活动通常采用多缓冲机制,使得进程处理连续媒体数据和网络传输数据并行工作,从而提高系统效率,其模型见图2。在每个调度周期内,在服务端,服务进程处理部分数据后就存入缓冲区,这时启动网络传输,服务进程与网络并行工作;在客户端,当网络存入缓冲区的部分数据后,客户进程就开始并行处理连续媒体数据。

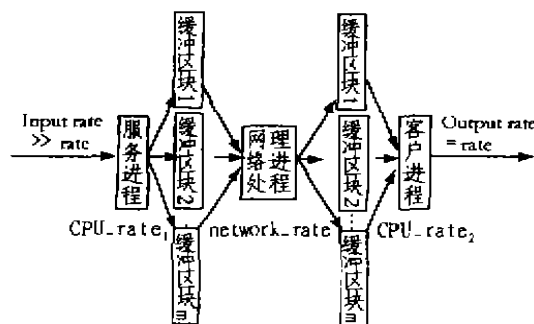


图2 连续媒体活动过程图

假设系统中存在一个连续媒体活动 A,其 QoS 参数为 {rate, delay, loss, jitter}, 服务和客户进程的周期为 T, 服务进程的 CPU 资源参数为 {T, E₁, D₁}, 缓冲区资源参数为 {T * rate, l, δ}, 客户进程的 CPU 资源参数为 {T, E₂, D₂}, 并设单位周期内用于网络操作的时间为 b, 网络资源参数为 {network-rate, ε, η, τ}, 图3说明了连续媒体的时序图。

2.1.1 端系统处理的抖动值 在用户端系统中,端系统处理连续媒体数据的抖动值可以由两次数据处理时间间隔的差值的最大值表示,具体见图4。

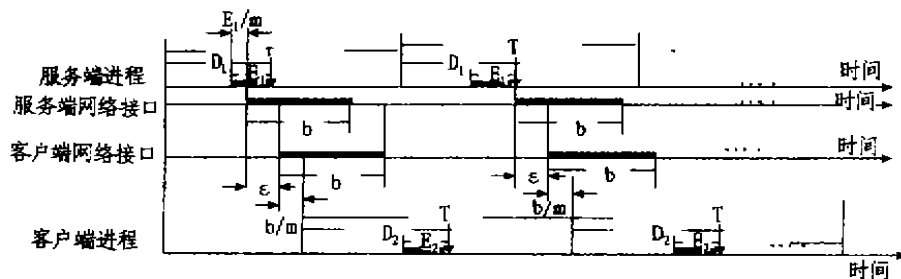


图3 连续媒体活动时序图

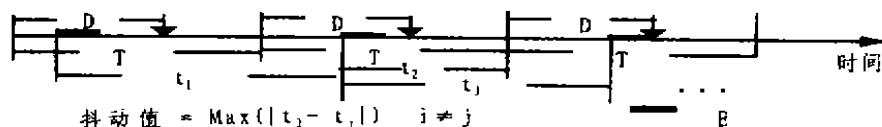


图4 端系统抖动值图

由端系统的抖动值 $=\text{Max}(|t_i - t_j|), i \neq j$ 可知,端系统数据处理时间间隔最大不超过 $(T+D-E)$,最小不低于 (T) ,所以端系统的抖动值为 $(D-E)$ 。

2.1.2 端系统处理延迟和网络延迟 由图3可知,在服务方的端系统延迟为 $D_1 - (m-1) * E/m + \delta$,在客户方的端系统处理延迟为 $D_2 + \delta$;网络延迟 $b/m + \epsilon$ 。

2.1.3 为保证连续媒体活动的服务质量,网络资源参数与端系统资源参数的关系 为了保证连续媒体活动的速度恒定,按照原则(一)有:在每个周期内,连续媒体活动的各个资源的接受的数据量不小于输出的数据量,得:

$$T * \text{Input rate} \geq E_1 * \text{CPU_rate}_1 \geq$$

$$b * \text{network_rate} \geq E_2 * \text{CPU_rate}_2 \geq T * \text{Output rate} \quad (1)$$

$$\text{Output rate} = \text{rate} \quad (2)$$

$$D_1 - (m-1) * E/m + b \leq T \quad (3)$$

$$D_2 + b/m \leq T \quad (4)$$

为了进一步分析如何连续媒体活动的速率,我们假设服务方系统和客户方系统相同,通过公式(1)~(4)得到:

$$D \leq T * (1 - (m+1) * \text{rate} / (2m * \text{network_rate})) + (m-1) * E / (2m) \quad (5)$$

根据保证连续媒体活动的服务质量原则(二)知:连续媒体活动的服务质量中抖动是重要参数之一(特别是语音和视频数据),它要求端到端的抖动不超过活动的QoS参数中的抖动值,否则导致抖动过大,用户

会明显感觉到抖动,从而降低连续媒体的质量。当网络环境不稳定,网络引起的网络抖动值发生变化时,端系统处理的抖动值要随之变化,以保证实际端到端的抖动值小于规定值,由此得到:

$$0 \leq (D_1 - E_1) + \tau + (D_2 - E_2) \leq \text{jitter} \quad (6)$$

同样为了进一步分析,我们假设服务方系统和客户方系统相同,从而得到:

$$D \leq (\text{jitter} - \tau) / 2 + E \quad (7)$$

同样根据保证连续媒体活动的服务质量原则(三)知以下不等式成立:

$$0 \leq (D_1 - (m-1) * E_1/m + \delta) + (D_2 + \delta) + \epsilon + T * \text{rate} / (m * \text{network_rate}) \leq \text{delay} \quad (8)$$

同样为了进一步分析,我们假设服务方系统和客户方系统相同,从而得到:

$$D \leq (\text{delay} - \epsilon - T * \text{rate} / (m * \text{network_rate})) + (m-1) * E / (2m) - \delta \quad (9)$$

当端系统采用零拷贝缓冲区技术时,得到:

$$D \leq (\text{delay} - \epsilon - T * \text{rate} / (m * \text{network_rate})) + (m-1) * E / (2m) \quad (10)$$

综合公式(5)、(7)和(10)得到:

$$D \leq \text{Min}(T * (1 - (m+1) * \text{rate} / (2m * \text{network_rate})) + (m-1) * E / (2m), (\text{delay} - \epsilon - T * \text{rate} / (m * \text{network_rate})) + (m-1) * E / (2m), (\text{jitter} - \tau) / 2 + E) \quad (11)$$

当 m 趋于无穷大时下列不等式成立:

$$D \leq \text{Min}(T * (1 - \text{rate} / 2 * \text{network_rate}) + E / 2, (\text{delay} - \epsilon + E) / 2, (\text{jitter} - \tau) / 2 + E) \quad (12)$$

推论1 对于连续媒体服务,当网络发生变化时,为了保证端到端的服务质量中的媒体速率、延迟和抖动,会影响到客户和服务方系统的进程调度;当网络带宽提高、延迟和抖动变小时,进程的调度截止时间(有的称为死线)增大,处理进程可以晚些调度,降低其调度优先级;相反当网络带宽降低、延迟和抖动变大时,进程的调度截止时间减小,处理进程尽早调度,要提高进程调度优先级;调度的优先级以 $\text{Min}(T * (1 - (m + 1) * \text{rate} / (2m * \text{network_rate})) + (m - 1) * E / (2m), (\text{delay} - \epsilon - T * \text{rate} / (m * \text{network_rate})) + (m - 1) * E / m) / 2, (\text{jitter} - \tau) / 2 + E)$ 为参考,该值越小,优先级越高;同时由于可以采用多缓冲区技术,使得网络参数变化的影响幅度减小,具体关系是随着缓冲区分块数的增加而影响减小。

2.2 连续媒体活动的丢失率分析

影响连续媒体 QoS 中丢失率的因素有:1)端系统的数据丢失率;2)网络中的丢失率。我们假设连续媒体活动中客户与服务端系统相同,其端系统的丢失率为 Terminal-Loss,网络的丢失率为 η ,根据连续媒体活动的模型,在保证连续媒体活动的前提下有以下不等式成立:

$$1 - (1 - \text{Terminal-Loss})^2 * (1 - \eta) \leq \text{loss} \quad (13)$$

2.2.1 端系统的丢失率 由排队论的理论知,端系统是一个 M/M/1/K 排队系统,其中缓冲区空间大小为 K,服务系统的数据到达是具有常数强度 λ 的泊松过程,服务时间具有参数为 μ 的指数分布, $\rho = \lambda / \mu$,设系统的丢失率为 Terminal-Loss,则:

$$\text{Terminal-Loss} = 1 - (1/\rho) \quad (14)$$

如果分配的缓冲区足够大,端系统是 M/M/1/ ∞ 排队系统,这时端系统的丢失率趋于0。

2.2.2 网络资源的变化影响 同样丢失率是连续媒体活动的服务质量中重要参数之一,例如对于图像媒体,过大的丢失率会导致图像质量的下降甚至

无法识别,结合公式(13)和(14)得到以下推论:

推论2 为了保证端到端实际的丢失率小于连续媒体活动 QoS 要求的丢失率,缓冲区分配应当按照连续媒体峰值速率分配,从而使得端系统的丢失率为0,这样即使当网络环境不稳定时,网络引起的丢失率只要不小于连续媒体活动端到端的丢失率,即: $\eta \leq \text{loss}$ 即可。

2.3 动态 QoS 管理的 QoS 策略

通过上面的推导知在复杂且不稳定的 Internet 和无线环境中,要达到维护连续媒体活动 QoS 的目的,其动态 QoS 管理具体策略如表1。

表1 动态 QoS 管理策略

QoS 参数	涉及端系统的资源参数	维护策略
速率	1)进程的截止时间(死线);2)缓冲区机制	1)调整进程优先级 2)使用多缓冲区机制;
抖动	进程的截止时间	调整调度优先级
延迟	1)进程的截止时间(死线);2)缓冲区机制	1)调整进程优先级 2)使用多缓冲区机制;
丢失率	缓冲区分配	按照连续媒体峰值速率分配缓冲区;

3 实验结果

我们实验中的端系统是 Windows-NT 系统,网络环境分别是共享式10M base-T 的以太网,实验的连续媒体流是 MPEG-1 格式,其 QoS 的服务方式是提前工作型,速率 $\leq 1.5\text{Mb/s}$,端到端延迟 $\leq 250\text{ms}$,抖动 $\leq \pm 30\text{ms}$,丢失率 $\leq 3\%$,由于帧速是25帧/秒,所以进程周期为40ms,执行时间是6ms,缓冲区的大小为376832bit,缓冲区的块数为3,网络的实测带宽为6.5Mbps;测试出不同的 QoS 管理下端到端的实际的 QoS 数值,详见下列表格。

MPEG 流个数	静态 QoS 管理下端到端的 QoS				动态 QoS 管理下端到端的 QoS			
	丢失率(%)	抖动(ms)	延迟(ms)	速率(Mbps)	丢失率(%)	抖动(ms)	延迟(ms)	速率(Mbps)
1	≤ 2	$\leq \pm 15$	≤ 100	≥ 1.5	≤ 2	$\leq \pm 15$	≤ 100	≥ 1.5
2	≤ 3	$\leq \pm 38$	≤ 150	≥ 1.5	≤ 3	$\leq \pm 18$	≤ 150	≥ 1.5
3	≤ 4	$\leq \pm 43$	≤ 270	≥ 1.4	≤ 3	$\leq \pm 24$	≤ 200	≥ 1.5
4	≤ 6	$\leq \pm 57$	≤ 390	≥ 1.2	≤ 3	$\leq \pm 28$	≤ 200	≥ 1.5

实验结果表明:在不稳定的10M base-T 以太网中,通过动态 QoS 管理可以保证连续媒体活动的端到端 QoS,相反静态 QoS 管理对于复杂的不稳定的网络很难保证连续媒体的 QoS;动态 QoS 管理的开销大约占系统的开销的5%,由此看来动态 QoS 管理的开销不大。

结束语 本文在连续媒体活动模型基础上,详细论述了在分布式多媒体环境中动态 QoS 管理的模型和策略,及其实验数据。通过这些讨论我们可以得到以下结论:根据上述模型和策略建立的基于动态 QoS 管理的分布式多媒体环境适用于复杂的网络环境,而且

(下转第78页)

相当于提供6帧缓冲,这样可用于差错重传的时间就提高了200ms。付出的代价是增加200ms的播出启动延迟。这对于分布式多媒体应用来说通常是可接受的。

·隐式重传缓冲区期满。连续媒体数据的周期性允许生产者估计在丢弃ADU之前应该在重传缓冲区中保持多长时间ADU,因此不需要来自消费者的显式应答。生产者可以简单地维持和消费者缓冲区相同大小的重传缓冲区。每当发送新ADU时,就丢掉在重传缓冲区中保持最久的ADU,因为它已经期满。隐式数据期满允许生产者在ADU期满时释放其占用的重传缓冲区而毋需来自消费者的明确指示。

·基于序号的丢失检测。当收到的ADU的序号高于预期序号时,则认为出现了ADU丢失。这里,要求网络保证按序提交分组。

·条件重传。如果在播出丢失ADU之前剩下的时间小于RTT,就放弃要求重传该ADU,从而避免出现迟到的重传。对于B帧,最多要求重传1次;对于P帧,最多要求重传2次;对于I帧,只要来得及,就要求重传。

显然,RTT应该尽可能准确。为此,QCPIPE对RTT进行周期性地调整。

·计算RTT估计值。消费者计算在QCPIPE预先设定的时间间隔内(目前设为3秒)的生产者到消费者的端到端延迟的平均值,将其乘以2作为RTT的采样值。然后,利用下式计算RTT的新估计值^[2]。

$$RTT_{\text{新估计值}} = \frac{7}{8} RTT_{\text{原估计值}} + \frac{1}{8} RTT_{\text{当前采样值}}$$

3.2.6 异常处理 如果生产者在流控时间间隔

到期时没有收到来自消费者的任何反馈通知,则它主动询问消费者;如果此次收到来自消费者的反馈,则认为消费者依然健在,生产者继续工作,否则生产者认为消费者已经崩溃并且自行退出。

如果消费者在流控时间间隔内没有收到来自生产者的任何消息,则它主动询问生产者;如果此次收到来自生产者的消息,则认为生产者依然健在,消费者继续工作,否则消费者认为生产者已经崩溃并且自行退出。

这是一种分布式异常处理方式。

结 论 本文介绍了为DMIoDS系统开发的一种多媒体通信机制QCPIPE的实现,该机制不仅已经成功地应用于DMIoDS系统,而且被应用于多个实际的分布式多媒体办公自动化系统。同时,以其为基础,还设计并且实现了支持多媒体组通信的QoS受控型组管道QCGPIPE(Quality-of-service Controlled Group PIPE)。实践表明,QCGPIPE能够满足分布式多媒体应用的实际需要,期望对多媒体通信机制的研究与发展能起一定的推动作用。

参 考 文 献

- 1 Berzsenyi M, et al. Design and implementation of a video on-demand system. *Computer Networks and ISDN Systems*, 1998, 30(10): 1467~1473
- 2 刘积仁,张应辉,王兴伟. 一种DMIoDS模型. *软件学报*, 1998, 9(4): 290~295
- 3 王兴伟. 分布式多媒体系统服务质量管理与组通信机制的研究:[博士论文]. 东北大学信息学院, 1998
- (1): 49~58
- 6 Chatterjee S, et al. Modeling Applications for Adaptive QoS-Based Resource Management. In: *Proc. of the 2nd IEEE High Assurance Systems Engineering Workshop*. Bethesda, Maryland, Aug. 1997
- 7 Nahrstedt K, Steinmetz R. Resource management in networked multimedia systems. *IEEE Computer*, 1995, 28(5): 52~63
- 8 Thompson K, et al. Wide-area Internet Traffic patterns and Characteristic. *IEEE Network*, 1997, 11(6)
- 9 Wilson F, et al. Quality of Service Parameters for Commercial Application of Video Telephony. In: *Human Factors in Telecommunication Symposium*. Darmstadt, Germany, May 1993
- 10 Anderson D P. Metascheduling for Continuous Media. *ACM Transaction on Computer System*, 1993, 11(3): 226~252
- 11 Stankovic J A, Spuri M, Natale M D. Implication of classical scheduling results for real-time systems. *IEEE Computer*, 1995, 28(6): 16~25
- 12 Brader R, Clark D, Shenker S. Integrated Service in the Internet Architecture, An Overview. RFC 1633, 1994
- 1 ISO/IEC JTC 1/SC21, Quality of service in ODP-Attachment 1, Jan. 1997
- 2 ITU/ISO. Reference Model of Open Distributed Processing-Part 2: Foundation, ISO/IEC 10746-2, ITU-T Rec X902, 1995
- 3 ITU/ISO. Reference model of open distributed processing-Part 3: Architecture, ISO/IEC 10746-3, ITU-T Rec X903, 1995
- 4 ATM Forum. ATM User-Network Interface Specification Version 4.0, 1995
- 5 Busse I, et al. Dynamic QoS control of Multimedia Application Based on RTP. *Computer Communication*, 1996, 19

(上接第75页)

管理的开销可以接受。由此证明我们设计的面向Internet或无线网络环境的分布式多媒体系统可以满足用户的需求,同时也为设计其他分布式多媒体系统提供参考。

参 考 文 献