

基于反馈控制的通知服务接纳控制机制

盖玲兴, 施笑安, 周兴社

(西北工业大学计算机学院, 西安 710072)

摘要:通过分析和仿真研究通知服务的运行性能, 指出其需要过载保护, 提出一种基于反馈控制的通知服务接纳控制机制, 并分析了它的稳定性。对该机制进行了仿真实验, 实验结果表明该机制能够在不可预测的情况下有效地控制系统负载, 获得性能保证, 同时使系统资源能被合理分配、有效利用。

关键词:通知服务; 反馈控制; 过载保护; 接纳控制; 仿真

Admission Control Mechanism of Notification Service Based on Feedback Control

GAI Lingxing, SHI Xiaolan, ZHOU Xingshe

(College of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

【Abstract】By analyzing the simulation results of the performance of current notification service, this paper finds that the notification service needs overload protection. A feedback control based admission control of notification service is presented and the closed loop stability is analyzed. Experiments to evaluate the performance of this mechanism indicate that this mechanism can control the load and achieve performance guarantees in the presence of load unpredictability, while it can also ensure allocating and utilizing system resources reasonably and efficiently.

【Key words】Notification service; Feedback control; Overload protection; Admission control; Simulation

通知服务是OMG制定的一种CORBA服务^[2]。它被广泛应用到分布式环境中, 为多对多传送模式下的事件传送定义了一种松散耦合、异步传送的实现机制。

通知服务事件通道(通知通道)的一个问题是对过载敏感^[2,5]。当多个请求的到达超出了通知通道的设计值时, 由于瞬时的流量峰值, 可能造成通知通道的过载, 这时超过截止期的任务数量会大幅度上升, 因此需要过载保护。又因为过载较少发生, 以往采用设置流量峰值的机制来过分地保障通知通道的设计能力是不经济的。如果这些任务一开始就不被系统接纳, 系统就不会在这些任务上浪费资源, 性能会更好, 这就是接纳控制和负载管理能达到的目的。一个动态的机制接纳控制包含一个控制器, 在周期性的时间间隔下, 根据一些控制对象来计算一个新的访问率。控制器依据一些控制量的测量值进行决策, 例如, 队列长度、处理器容量或处理延迟。控制对象通常是控制量的值, 其应该保持在一个参考值。

近来反馈控制应用到软件系统, 以使系统的行为更加健壮地控制。研究显示, 反馈控制能够处理在不可预测情况下系统资源不足和意外的负载情况^[1,3,6]。因此, 本文提出一种基于反馈控制的通知服务接纳控制机制, 实现通知服务的性能控制, 建立通知服务的接纳控制模型, 利用对令牌桶的反馈控制来调节系统的利用率, 避免系统在不可预测的情况下出现过载, 保障系统的性能。

1 通知服务分析

1.1 通知通道管理特性

通知通道支持一定的管理特性配置^[2]: 最大队长, 最大消费者数, 最大供给者数。对于这些特性, 缺省值为 0, 意味着对该特性没有限制。另外, 通知通道支持拒绝新事件管

理的特性。以上的管理特性虽然能够保证系统避免拥塞, 但是静态的管理设置不能充分地利用系统的能力, 通知服务一般应用于开放式系统, 难以事先确定消费者和所需信息的数量, 系统的负载是随时变化的, 因此静态的管理设置限制了系统的可伸缩性和柔性, 不能很好地支持开放式系统的运行, 对此只有根据系统的实时运行状态, 对这些管理特性进行动态地配置, 才能更好地保证系统和应用实时运行的质量。

1.2 性能仿真分析

由于通知服务构成的网络可能覆盖整个国家甚至更大的范围, 因此不可能在建立之前就对它进行全面的性能测试。这时可以利用仿真的方法, 对它的性能进行预测。因此本文对通知服务进行仿真, 基于 RTSMT 离散事件仿真器实现了一个通知通道仿真模型, 如图 1 所示, 它是一个由 4 个设备组成的顺序服务链接, 它们分别是: SRPC, Sfilter, Cfilter 和 CRPC。其中, SRPC 代表事件供给者发出事件到收到回应需要等待的时间; Sfilter 代表供给者端对事件进行过滤和相应的 QoS 设置所花费的时间; Cfilter 和 CRPC 则表示消费者端进行相应处理需要的时间。设备上缺省的调度算法为 EDF 算法。

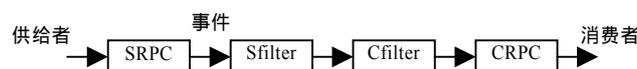


图 1 通知通道仿真模型

基金项目:国防基础研究项目; 航空基金资助项目(2000CB11103)

作者简介:盖玲兴(1978 -), 男, 博士生, 主研方向: 网络与分布式计算, 信息安全; 施笑安, 博士; 周兴社, 教授、博导

收稿日期:2006-03-06 **E-mail:** shixiaoan@hotmail.com

对通知通道模型进行仿真实验(采用 EDF 调度策略,采样间隔长度为 1s),得到系统的实时参数和这些参数之间的关系。以下显示通知通道离散事件模型在稳态运行时具有很好的一致性。基于仿真,可以看出离散事件模型对稳态分析是准确的。同时由图 2 可以看出利用率和响应时间之间的关系:当利用率比较小的时候,它们之间存在一种近似的线性关系,但在利用率接近 90%时,它们之间的关系呈明显的非线性,响应时间急剧增加,系统的性能急剧下降,这时系统的可靠性急剧下降。由图 3 可以看出利用率和平均队长之间的关系与利用率和响应时间之间的关系有很大的相似性。系统在高负载时,很容易出现问题,所以必须对通知通道进行过载保护,使之在满足性能要求的同时可承受更多的负载。

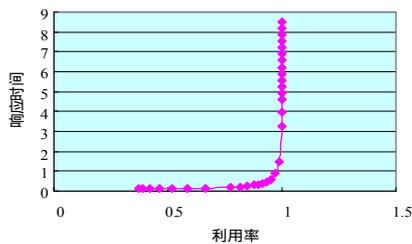


图 2 利用率和响应时间关系

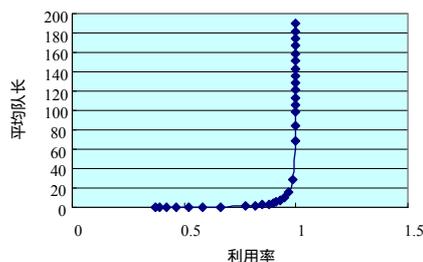


图 3 平均队长和利用率关系

2 反馈控制的通知服务接纳控制

2.1 激励器

为防止系统过载,保护系统的性能,需要激励器来管理资源的分配,或以某种方式来改变该通知服务的功能,来操作工作中的速率。在资源管理系统中,接纳控制的典型激励器是一个输入流激励器,操纵一个服务器的输入负载,其影响服务器中的队列填充度。该激励器接收一个控制量来决定希望的平均流量。一个更智能的接纳控制算法的决策是建立在一个请求-通过-请求的基础上,服务是否被允许或被拒绝,要由消费者的特征、队列填充度和服务器利用率来决定。在一些消费者的特性比另外的消费者的特性更重要时,使用输入流激励器,以便拒绝不太重要的消费者服务请求,并接受优先级更高的消费者的服务请求^[4]。

通知服务的管理可按照 QoS 参数丢弃原则丢弃事件或在收到新的事件时拒绝新的事件,同时通知服务的管理还可以改变在任意给定的时间可以连接到通道的最大的消费者数和供给者数量,来调节系统的性能。因此,接纳控制可以直接利用通知服务的这些管理接口,动态地进行性能控制。

2.2 控制量

在实现一个控制方案时,一个重要的问题是选择控制量。首先,该控制量必须易于测量。其次,该控制量必须以某种方式与用户在系统中的 QoS 需求相关。

速率和队列长度控制:因为速率和队列长度的度量结果是线性的环节,所以它们是易于控制的。(流)速率可以直接

由激励器进行控制。它可以通过对流进行控制,来线性地控制队列长度。此类环的一个简例就是服务器利用率控制环。使用它,可以提供高的服务器利用率,同时又避免了过载。因此,本文选用利用率控制作为一个基本控制量。

2.3 接纳控制

通知通道的接纳控制系统的模型如图 4 所示。因为计算机不可能进行连续地控制,时间被分成长度为 h s 的控制间隔。在间隔 k 结束时,即当时时间为 kh 时,控制器计算 $[kh, kh+h]$ 间隔的期望准入率,记为 $u(kh)$,通过测量在间隔 (kh) 时的平均通知通道利用率和参考值 ref ,接纳控制机制包含 3 个主要的部分:

(1)激励器:激励器对输入端口的请求进行接受或拒绝。它将这些请求复制到通知服务系统,接着作为通知服务系统的应答,发送返回响应给消费者端。本文使用令牌桶算法来拒绝那些不被准入的请求。在 $[kh, kh+h]$ 期间生成 $u(kh)$ 个新的令牌。如果在一个请求到达时有可用令牌,则该请求消费该令牌,并进入该通知服务系统。如果没有可用令牌,则该请求被拒绝,且假定被拒绝的请求在离开系统时不需要重试。

(2)监视器:监视器进程在每个控制间隔不断地采样控制参数(如系统的利用率、系统内事件的错过率等)。控制间隔不能随便选择,既要保证足够长以免受时间精度的影响,又要尽可能短以便控制器能尽快地响应。

(3)控制器:该控制器是一个 PI 控制器,可以进行开关控制,能对一个未控系统进行测量,能方便地了解所设计的控制器的性能。控制器的输出前馈到激励器线程。

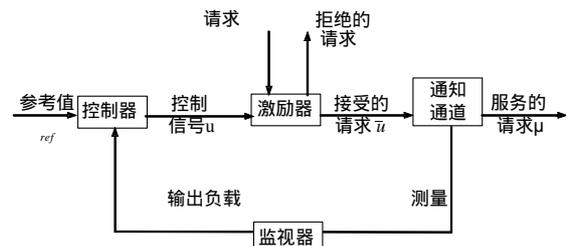


图 4 通知通道的接纳控制机制

2.4 控制论模型

控制理论是一个进行计算机控制系统性能分析的强大工具,该系统必须要描述成传递函数或微分方程(差分方程)的形式。传递函数描述一个系统的输入和输出之间的 Z 变换。

将一个通知服务系统建模为一个单队列模型是过于简化,但是如果这个系统中存在单一的资源瓶颈,这种简化还是可以让人接受的,因为那个瓶颈的性能决定了整个系统的状态。

系统的输入是一个准确的准入率 \bar{u} ,而输出是通知通道利用率。该模型是一个离散时间的流或流体模型,是一个平均模型,不考虑队列中不同事件到达或离开的特定时间。假定采样周期 h 足够长,以保证对采样时间量化的影响最小。该模型如图 5 所示。系统由一个到达发生器、一个分离发生器、一个控制器、一个队列和一个监视器组成。

在该模型中有两个随机的通信量生成器。到达发生器给系统提供新的请求。在 kh 间隔的新的请求数记作 (kh) 。在一个采样周期 (kh) 是具有间隔到达分布的一个完整的随机过程。例如,当该到达是一个均值的泊松过程,那么 (kh) 是一个均值为 h 的泊松分布。该分离发生器决定在间隔 kh 的最大离开数量,记作 $\sigma_{\max}(kh)$ 。 $\sigma_{\max}(kh)$ 也是具有以下给定服务时间的分布的一个随机过程。如果该服务时间均值为

$1/\mu$ 的指数分布,则 $\sigma_{\max}(hk)$ 是均值为 μh 的泊松分布。假设 (kh) 与 $\sigma_{\max}(hk)$ 在采样瞬间是相互独立的和互不相干的。

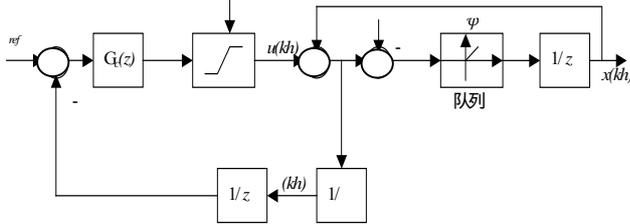


图5 通知通道控制论模型

激励器的结构是一个饱和模块, $\bar{u}(kh)$ 的限制为

$$\bar{u}(kh) = \begin{cases} 0 & u(kh) < 0 \\ u(kh) & 0 \leq u(kh) \leq \alpha(kh) \\ \alpha(kh) & u(kh) > \alpha(kh) \end{cases} \quad (1)$$

该队列由其 $x(kh)$ 状态来表示, 它对应于系统在间隔 kh 结束时的请求数。该队列的微分方程为

$$x(kh+h) = f(x(kh) + \bar{u}(kh) - \sigma_{\max}(kh)) \quad (2)$$

如果 $h < 0$, 则限制函数 $f(h)$ 等于 0, 限制函数确保 $x(kh+h) \geq 0$ 。如果忽略限制函数时, 队列就是一个离散时间积分器。该离散时间模型在一定意义上是一个平均模型, 不能确定不同事件到达或从队列中离开的具体时间。假设采样周期充分长, 以保证在采样时间的期间量化的影响可以被忽略。

该监视器必须估计通知通道的利用率, 因为它在该模型中不能直接测得。在间隔 kh 期间该通知通道的利用率 $\rho(kh)$, 估计为

$$\rho(kh) = \min\left(\frac{u(kh) + x(kh)}{\sigma_{\max}(kh)}, 1\right) \quad (3)$$

控制器的目的是使 kh 间隔期间的通知通道利用率 $\rho(kh)$ 与参考值 ref 的差值最小。控制规则由传递函数 $G_c(z)$ 给定。

2.5 控制器设计

在自动控制系统中最通用的是PI控制器。通过使用以下的离散时间控制规则^[4], 该控制器使用两个动作: 比例, 积分。

$$u(kh) = K e(kh) + \sum_{i=0}^{k-1} \frac{K}{T_i} e(ih) \quad (4)$$

其中: 增益 K 和积分时间是控制器参数, 对其进行合理的设置可以使控制系统获得所期望的行为。因为该控制器是离散的, 积分动作的控制器参数 T_i 由 $T_i = T_{si}/h$ 给定, T_{si} 是连续时间的积分时间。注意控制信号 $u(kh)$ 允许为负值。在激励器中, 一个负的控制信号被当成一个零信号。为了使系统的行为良好, 它必须确定适当的控制参数。因此, 在设计 PI 控制器之前, 必须对系统进行分析, 以便明确它在过载时的动态特性, 即系统必须采用一种控制方法进行描述。如果模型是线性的, 它就易于采用线性控制理论方法进行分析。然而, 一个排队系统既是非线性的又是随机的, 主要的问题就是采用控制理论的方法很难对非线性模型进行分析。

PI 控制器的 Z 变换由式(5)来表示。

$$G_c(z) = K + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{h}{z-1} \quad (5)$$

在本文中, 使用一个线性的设计方法, 即在设计分析期间认为系统为一个无积分饱和的确定性系统。但是, 必须注意的是, 在设计时可以记入饱和, 因此基本的模型是非线性的。这需要通过仔细地选择控制器参数来实现, 因为控制器参数可能会在饱和时引起系统振荡。

3 仿真实验

仿真实验中的队列模型是基于RTSMT离散事件仿真器

实现的一个通知通道仿真模型, EDF调度, 到达服从指数分布, 服务时间是一个常数。通知通道仿真模型中的参数^[5]见表 1。

表 1 实验参数表

设施	SRPC	Sfilter	Cfilter	CRPC
时间	0.007 49s	0.023 15s	0.046 512s	0.021 097s

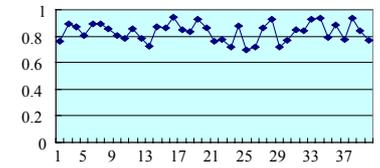
通过运行无控制的仿真程序获得了系统利用率和令牌数之间的关系, 设置好反馈控制器的参数后, 对带有控制的通知通道进行了仿真实验。

3.1 控制器参数的选择

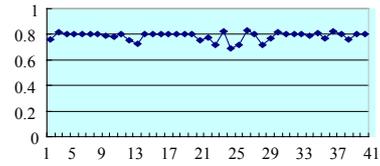
由控制论中的根轨迹理论可知: 根轨迹论据显示了一个给定的稳定闭环系统的合理参数。由数字 PID 控制器 Ziegler-Nichols 方法, 利用 Matlab 可以得到 PI 控制器的参数: $K = 17$, $T_i = 1.7$ 。

3.2 试验及结果分析

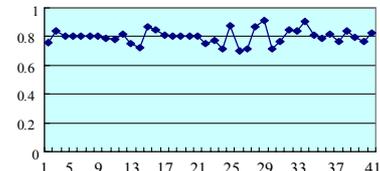
图 6 给出了无控制、令牌数为常数、好 PI 参数控制和差 PI 参数控制的利用率。



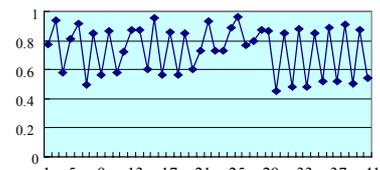
(a) 无控制的利用率



(b) 令牌数为常数控制的利用率



(c) 好 PI 参数控制的利用率



(d) 差 PI 参数控制的利用率

图 6 实验数据

图 6(a)~图 6(d) 分别是无控制、令牌桶的生成率为常数、好 PI 参数控制、差 PI 参数控制时系统利用率的实时监测图。无控制时, 系统的利用率大于 85% 并且还有接近 100% 的点, 由前面分析可知, 系统的状态很容易饱和, 发生系统崩溃的可能性比较大, 所以要对其进行利用率的控制。当令牌桶的生成率为常数时, 系统的利用率不可能超过设定的值, 系统资源得不到充分利用。加了 PI 控制, 且选择了好的参数, 系统会被控制在设定值附近, 而且系统的利用率的平均值被控制在 80%。由于到达采用的是随机分布, 因此在一个采样时间段内, 到达的事件的个数有可能太小, 使得系统的负载很小, 但在下一个临近的采样时间段到达的个数可能很多, 以

(下转第 61 页)

