DOI: 10.15986/j.1006-7930.2003.04.021

第 35卷 第 4期 西 安 建 筑 科 技 大 学 学 报(自然科学版) Vol.35 No.4
2003年 12月 J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural Science Edition) Dec. 2003

反馈控制的优先级队列公平调度算法

段中兴[1],赵 煌[2]

(1.西安建筑科技大学信控学院;2.西安建筑科技大学体育系,陕西 西安 710055)

摘 要:为了支持家庭网络中多业务的要求,本文在支持多优先级队列调度算法的基础上令服务时间配额(服务率)随缓冲队列长度而变化,提出了一种基于反馈控制的服务时间自适应分配的队列公平调度算法.仿真结果表明该算法有效地改善了家庭网络中多优先级缓冲队列的平均时延和服务特性,并具有良好的自适应性.

关键词:家庭网络;反馈控制;服务时间分配;自适应调度;公平性

中图分类号:TP393.07 文献标识码:A 文章编号:1006-7930(2003)04-0390-04 (20)

Fair feedback control-based scheduling algorithm

DUAN Zhong-xing[1], *ZHAO huang*[2]

(1. School of Information & Control Engineering;
2. Dept of Sports, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract As the need of functional factors in home networks is increased, it is obvious that the traffic of home network data is increased as well, so providing high quality network services becomes a main issue in home networking. In recent years, the use of feedback control theory for performance guarantees in QoS-aware systems has gained much attention. In this paper, a new feedback control based scheduling algorithm was developed to improve the fairness and QoS. Our approach makes three important contributions. First, it can maintain the desired performance such as delay, packets los-supon buffer occupancy changes. Secondly, in contrast to priority-based scheduling approaches, our solution has more fairness by adjusting the service time quota adaptively. Thirdly, our solution has more anti-jamming capacity with closed loop feedback control in burst environment. Simulation results demonstrate that the solution not only has excellent steady state behavior, but also has more improvement for QoS, fairness and adaptive capacity.

Key words *home network*; *feedback control*; *service time assignment*; *adaptive scheduling*; *fairness*

1 引 言

家庭网络是信息化技术在家庭环境下发展的结果,它包含家庭计算机网络以及通过网络控制的信息家电、智能仪表、消防与安防设备、家庭多媒体系统等家庭信息化涉及的各种内容.家庭网络中传输的信息既有时延要求苛刻的控制信息和多媒体信息,又有非实时的 Internet数据.因此,如何对业务流进行有效管理和控制并提供高效公平的数据服务是改善家庭网络服务质量(QoS)的关键.近年来,反馈控制理论已越来越多地应用到一些 QoS敏感的系统中以提供性能保证[1-3],本文在多优先级调度算法的基础上,综合考虑家庭网络信息多样特性以及要求调度算法简单有效的特点,提出了一种基于缓冲队列长度(Buffer Occupancy, BO)反馈控制的自适应公平调度算法(Feedback Control based Adaptive Fair

(20) 收稿日期:2003-05-18
作者简介:段中兴(1969-),男,湖南株洲人,讲师,博士研究生,研究方向为网络理论及应用,家居智能系统.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Scheduling, FCAFS),其核心思想是: 利用各信息分组在调度器输入缓冲区中队列长度的反馈信息,实时调整调度器的调度时间配额,从而实现队列的合理调度.该算法在保证实时信息 QoS的前提下,可以克服单纯依赖优先级调度的不公平性,改善系统的整体性能.

2　家庭网络的信息分类策略

家庭网络是一个形式多样的异构网络,针对家庭网络的特点对信息进行如表 1所示的分类[4],并设定队列长度的阈值.

表 1　家庭信息的分类

信息类别	类 1	类 2	类 3
信息特征	控制、管理信息	实时信息	非实时数据
队列阈值	15%	25%	60%
应用程序	设备控制	Video, Audio	FTP, UDP

在三类信息中,类 1是网络中最基本的信息,它主要由完成独立功能的信息,如灯光和家电设备控制、安防监控等以及维护整个网络正常运行的状态信息.类 1信息的特点是信息量小但实时性和服务质量(QOS)要求较高,具最高优先级;类 2为实时的媒体数据,如 VOD、VoIP、TVs等,其特点是信息量大且实时性较强;类 3主要是非实时数据,如 Internet数据、文件传输、VCR等,其优先级较低.

3　反馈控制的自适应公平调度(FCAFS)算法

为讨论方便起见,不妨假设信息分组到达是相互独立的 Poisson过程,到达率为 λ_i (i= 1, 2, 3,下同),每类信息分组有一个独立的缓冲区,大小为 B_m;服务器对信息分组的服务时间分布服从优先级控制并动态地按比率 R_i分配,且满足 $R_1+R_2+R_3=C$ (C为常数);服务器的服务率为 _,并假设 $\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3=$ _.

3.1　控制结构

FCAFS结构框图如图 1所示,该结构主要由反馈控制回路和控制对象组成,反馈控制回路由控制器、监视器、服务时间调节器组成,控制对象为信息分组的缓冲区.讨论 FCAFS的结构主要是根据控制理论确定系统的控制变量、设定值和操作变量[5].本文中根据控制的目的和任务选择以下变量为相关控制变量:

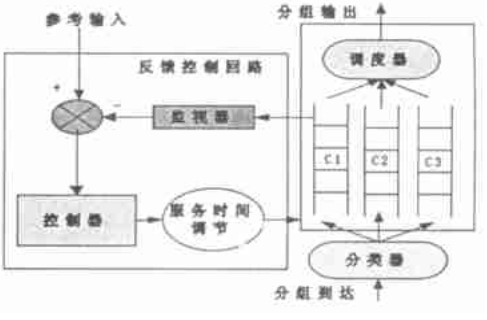

图 1　FCAFS结构框图

① 控制变量: 由于控制对象为信息分组缓冲区,故选择信息分组在缓冲区的排队长度为控制变量,并用 $B_i(t)$表示;

② 设定值: 一般为控制变量的期望值或进行某种动作的阈值,这里我们选择每类信息分组在缓冲区排队长度的上限值为设定值,并用 Q_i表示;

③ 操作变量: 一般选择能对控制变量产生直接影响的变量作为操作变量,本文所提出的算法是通过动态改变每类信息分组缓冲区的服务时间来控制信息分组队列长度的,因此选取服务时间分配率为操作变量,并用 $R_i(t)$表示.

3.2　算法设计

基于 PD控制的调度系统控制模型可用图 2所示的框图来描述.图中控制对象使用积分环节近似描述,这是因为信息分组在缓冲区的排队长度可用以下增量形式描述:

$$\frac{\mathrm{d}B_i(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{B_i(t)-B_i(t-\Delta t)}{\Delta t}=\lambda_i-_CR_i(t),\text{两边积分得: } B_i(t)=\int(\lambda_i-_CR_i(t))\,\mathrm{d}t$$

从上式可以看出缓冲区的排队长度 $B_i(t)$可近似为分组到达与输出之间的差值的积分,因此采用积分环节来近似模拟被控对象.控制器采用较简单的比例微分控制(PD),这是由于微分控制具有抑制超调的作用从而使队列长度不至于发生较大的波动,再者控制对象为一积分环节本身具有累积误差的作用,在一定程度上有消除静态误差的功能,因此模拟 PD控制器的输出为:

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$D_i(t)=K_pE_i(t)+K_d\frac{dE_i(t)}{dt}$$

分组队列是一典型的离散系统,需要对模拟 PD控制算法进行必要的离散化处理,以一系列的采样时刻点 kT代表连续时间 t,以增量代替微分,得到离散的 PD增量表达式为:

$\Delta D_i(k)=\left[K_p+\frac{T_d}{T}\right]E_i(k)-\left[K_p+\frac{2T_d}{T}\right]E_i(k-1)+\frac{T_d}{T}E_i(k-2)$,式中 $E_i(k)=B_i(k)-Q$, $T_d=K_d/T$, k为采样常数, T为采样周期(控制周期).

上述各式中 K_p和 K_d分别是 PD控制器的比例和积分常数,对控制器的性能有重要的影响,在系统设计和分析中通常通过试验的方式进行整定,常用的整定方法有 Ziegler和 Nicholes给出的阶跃响应法、临界灵密度法等,由于难以得到确切的临界放大倍数和临界振荡周期而无法使用 Ziegler- Nicholes方法,这里我们采用给定裕度法[6]来整定控制器参数,假定系统在 PD控制器作用下的幅值裕度和相角裕度分别为 A_m和 P_m,依据裕度的定义有:

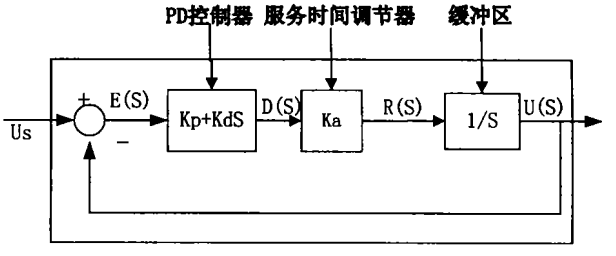

图 2 队列高度系统的控制模型

$$G_p(jw_p)[K_p+jK_dk_p]=-\frac{1}{A_m},\ G_p(jk_g)[K_p+jK_dk_g]=-e^{jP_m}]$$

由此可得:

$$K_p=-\frac{1}{2}Re\left[\frac{G_p(jk_g)+A_me^{jP_m}}{A_mG_p(jk_p)G_p(jk_g)(k_p+k_g)}\right],\ K_d=Im\left[\frac{G_p(jk_g)+A_me^{jP_m}}{A_mG_p(jk_p)G_p(Jk_g)(k_p+k_g)}\right],$$

$K_d=Im\left[\frac{A_me^{jP_m}-G_p(jk_g)}{A_mG_p(jk_p)G_p(jk_g)(k_p-k_g)}\right]$,式中 k_p和 k_g分别为相角和幅值的截止频率,并且 k_p和 k_g分别满足条件: $k_p=Tk_c$, $T\in[0.5,2]$, k_c为控制对象的相角截止频率且有$\angle G_p(jk_c)=-\pi$;依据上述各式,选定 $T=1.5$,闭环系统的幅值裕度和相角裕度分别为 3和$\pi/3$,可计算出 $K_p=9.31$, $K_d=16.24$;若采样周期(控制周期) T假定为 1,则 PD控制器的离散增量式为:

$\Delta D_i(k)=TE_i(k)-UE_i(k-1)+WE_i(k-2)$,式中 $T=25.54$, $U=42.78$, $W=16.24$,即调节器输出的服务时间分配比率为: $R_i(k)=R_i(k-1)+K_a\Delta D_i(k)$,式中 K_a为调节器系数,计算时取 $K_a=\left[\sum_{i=1}^{3}|\Delta D_i(k)|\right]^{-1}$.

4 仿真和结果分析

本文采用仿真工具 Matlab6.5的反馈控制模型,使用自定义功能函数实现控制算法,对 FCAFS进行仿真.仿真中所使用参数如下:采样周期(控制周期) $T=1s$;缓冲区长度 $B_m=100$;调度器的服务率 $_=100$;常数 $C=100$;假设队列初始长度 $B_i(0)$分别为 30%, 30%, 45%;调度器的分组到达采用由 Matlab

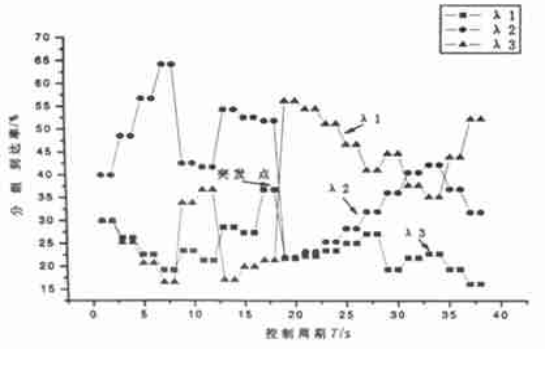

图 3 信息分组到达曲线

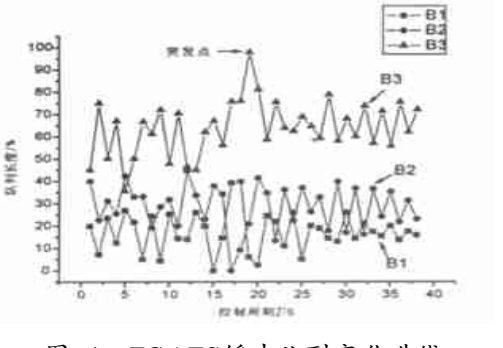

图 4 FCAFS缓冲队列变化曲线

?1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

按 Poisson规则产生的一组模拟数据,为了验证系统的自适应性和抗干扰能力,在输入信号中加入了干扰信号 (模拟网络中某类信息出现突发现象),其到达曲线如图 3所示.图 4为 FCAFS缓冲队列变化曲线,图中显示了 *FCAFS*算法保持了优先级越高的信息分组其平均时延越低的规律,算法既满足了低时延控制信息分组和实时信息分组的传输要求,也使非实时信息分组的传输性能得到很大的提高.三类信息分组在满负荷 ($\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3=100$)状态下,队列的平均长度能够维持在 0.15, 0.25和 0.6附近,表现了系统具有良好的静态和动态特性.图中高优先级信息分组的平均队列长度略有上升,而低优先级信息分组的平均队列长度有明显下降,体现了算法的公平性.在网络存在信息突发的情况下, *FCAFS*算法能够在较短时间内使各信息队列的长度重新稳定在给定阈值附近,从而减少了由于网络突发造成网络丢包和网络阻塞的概率,说明该算法具有较强的抗干扰能力和自适应性.

图 5为纯优先级调度的队列变化曲线,该算法虽然使实时信息获得了较好的队列时延,但低优先级的信息分组在网络出现突发时,该算法难以作出适应性调整,使低优先级队列出现饿死现象.

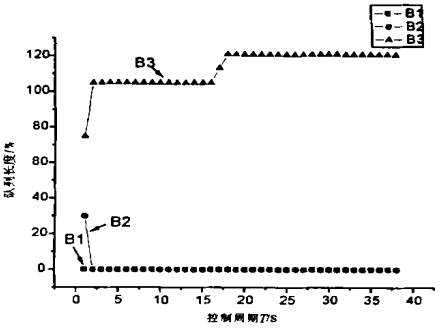

图 5　纯优先级调度缓冲队列变化曲线

5　结　论

本文在基于优先级的调度算法中加入了公平性的考虑,提出一种基于反馈控制的自适应公平调度算法 (FCAFS),并通过仿真,分析了动态业务流下家庭网络中该算法的服务性能.结果显示: FCAFS在保持各信息分组优先级关系的同时,能有效地提高调度算法的公平性;在高负荷和网络突发情况下, FCAFS的平均队列长度 (时延)及系统的鲁棒性优于一般的纯优先级调度算法,反映出良好的服务性能.

参考文献:

[1] Ye Dejian, Wu Qiu-feng, Zhang Zuo. A Control- Theoretical Approach to Adaptive Internet Video Streaming [J]. IEICE Transactions on Communications, 2003(2): 585-594.

[2] Lu C, Stankovica J A, Tao G, and Son S H. Feedback control real- time scheduling: framework, modeling, and algorithms [J]. Real- Time Systems Journal, Special Issue on Control- Theoretical Approaches to Real- Time Computing, 2001(1): 58-66.

[3] Li Band Nahrstedt k. A control Theoretocal model for quality of service adaptations[C]. Proceedings of Sixty International Work shop on Quality of Service, 1988.

[4] Seung- ok Lim, Kwarig- mo Jung, Kycung- hak Seo. Communication Systems [C]. ICCS 2002. The 8th International Conference on. 2002, 1(25-28): 160 -163.

[5] 吴麒.自动控制原理 [M].北京:清华大学出版社, 1992.

[6] 任丰原,林闯,任勇,山秀明. ATM网络拥塞控制中 PID控制器的设计 [J].计算机学报, 2002(10): 1024-1029.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net