

基于平滑调度的弱硬实时系统约束规范

朱旭东^{1,2} 常会友² 衣 杨² 陶 乾²

(广东海洋大学信息学院 湛江 524088)¹ (中山大学信息科学与技术学院 广州 510006)²

摘要 约束规范是弱硬实时系统研究的基础。从弱硬实时系统的定义出发,提出了一个新的约束规范,它能够有效实现平滑调度。给出并证明了弱硬实时系统约束规范严格性比较的一个重要定理。业已证明,该约束规范具有良好的性能和较好的适用范围。

关键词 约束规范,弱硬实时系统,平滑调度

中图法分类号 TP316 **文献标识码** A

Constraint Specification of Weakly Hard Real-time Systems Based on Smooth Scheduling

ZHU Xu-dong^{1,2} CHANG Hui-you² YI Yang² TAO Qian²

(School of Information, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)¹

(School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China)²

Abstract Constraint specification is the foundation stone of the research of weakly hard real-time systems. From the perspective of the definitions of weakly hard real-time system, this paper put forward a new constraint specification, which can achieve smooth scheduling more efficiently. The paper also presented and proved an important theorem of weakly hard real-time constraint specification on strictness comparison. The result shows the new constrain specification works well and has wide application.

Keywords Constraint specification, Weakly hard real-time systems, Smooth scheduling

1 弱硬实时系统概述

实时系统是能够及时响应请求,在事先指定的截止期内完成对响应事件的处理,并控制相关设备和任务协调一致运行的计算机系统。传统的实时系统分为硬实时系统和软实时系统。硬实时系统要求在指定的截止期之前,完成请求的所有工作,否则系统失效,造成严重后果。软实时系统中,个别任务不满足截止期要求,系统不会失效,但是会造成系统性能下降。

随着信息技术和网络的发展,很多新的应用对实时系统提出新的要求。如在网络音频、视频信号等应用中,有限时间区间内有限数量的任务丢失并不会导致质量的显著下降。显然,硬实时系统的资源分配要求会造成极大的浪费。因此需要一种新的实时系统及其相应的调度理论。

1995 年 Hamdaoui 和 Ramanathan 首先引入了 (m, k) -firm 约束模型^[1],从有限时间内允许部分丢失截止期的角度来描述网络多媒体的服务质量问题。1998 年 Bernat 第一次给出了弱硬实时系统的定义:将具有窗口约束的实时系统定义为弱硬实时(weakly hard real-time)系统^[2,3],所谓弱硬实时系统是指在有限时间窗口中,任务截止期满足或错过符合一定分布要求的实时系统。

弱硬实时系统的研究主要集中在弱硬实时系统约束规范、基于约束规范的调度算法以及性能评价尺度等 3 个方面。因此,一个好的约束规范对于其后的调度算法设计具有至关重要的影响。同时,不同类别的实时系统,对约束规范要求的重点也不同。例如,对视频流的调度就要尽可能做到平滑^[9],而作业调度(Job-Shop Schedule)除了要满足截止期要求外,还有资源约束要求。

2 符号系统相关说明

通常情况下,一个实时系统包含多个实时应用,每个实时应用由一个任务流构成,即一个实时系统包含了多个实时任务流。每个任务流中的任务时间特性主要包含周期、截止期、执行时间和弱硬实时约束等。

对于包含 N 个任务的实时系统 Π ,其中的第 i 个任务用 τ_i 表示,周期用 T_i 表示,截止期用 D_i 表示,描述任务丢失的容忍程度和分布的参数用 λ_i 表示, Bernat 对于周期任务给出了如下系统模型^[3]:

$$\Pi = \{\tau_i = (T_i, D_i, \lambda_i) \mid 1 \leq i \leq N\}$$

在弱硬实时系统的任务流中,任务满足或者错过截止期用二进制串来表示,称为 μ -pattern。任务中满足截止期要求的任务到达对应数字 1,错过截止期的任务对应数字 0。

到稿日期:2009-10-19 返修日期:2009-12-29 本文受国家自然科学基金(编号:60573159)资助。

朱旭东(1975—),男,博士生,讲师,主要研究领域为弱硬实时系统, E-mail: zhuxudong@163.com; 常会友(1962—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为弱硬实时系统、工作流、制造业信息化; 衣 杨(1967—),女,博士,副教授,主要研究领域为语义网与自然语言表达、弱硬实时系统; 陶 乾(1979—),男,博士生,主要研究领域为工作流、弱硬实时系统。

$$\mu_i(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } R_i(k) \leq D_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

本文中所使用的其他符号系统的相关说明如下:对于任意给定的二进制串 ω ,用 $|\omega|$ 表示其二进制串的位数。对于长度非零的二进制串 ω , $\omega(j)$ 表示其中的第 j 个二进制数 ($j \geq 1$)。用 $s^k(\omega)$ 表示二进制串 ω 中子序列长度为 k 的所有子串构成的集合。用 $l^\alpha(\omega)$ 表示二进制序列 ω 中 α 的个数 (α 为 0 或者 1)。特殊情况下,若 $|\omega| = l^1(\omega)$,则可以用 1^n 来表示该二进制串,即由全 1 组成,同理可以定义符号 0^n 。

3 弱硬实时约束规范相关工作

Bernat 在正式提出弱硬实时系统概念的同时,也给出了 4 个弱硬实时约束规范^[3],对于 $k \geq 1$ 并且 $k \geq m \geq 0$,有如下约束规范:

定义 1 任务流至少满足其任意连续任务窗口 k 个截止期中的 m 个,记为 (m,k) -firm。

定义 2 任务流至多错过其任意连续任务窗口 k 个截止期中的 m 个,记为 (m,k) -firm。

定义 3 任务流在其任意连续任务窗口 k 中,截止期连续满足至少为 m 个,记为 $\langle m,k \rangle$ -firm。

定义 4 任务流在其任意连续任务窗口 k 中,截止期连续错过至多为 m 个,记为 $\langle \overline{m},k \rangle$ -firm。

例如,当 $\omega = 011011100$ 时, $k=9$,满足 $(5,9)$ -firm,显然对于 $m \leq 5$ 的情况都能满足,一般情况下,写出严格性最强的约束规范。 ω 同时也满足 $(\overline{4},9)$ -firm, $\langle 3,9 \rangle$ -firm 和 $\langle 2,9 \rangle$ -firm。

可以用数学的方法对这 4 个约束规范进行定义,这里以 (m,k) -firm 为例进行说明,其他的类似。

定义 5 长度为 n 时二进制串 ω 满足 (m,k) -firm 约束规范,即:

$$\omega \vdash (m,k)\text{-firm} \Leftrightarrow \forall \omega' \in s^k(\omega), l^0(\omega') \leq m$$

针对流媒体服务器同时需要为成百上千个客户端提供服务的情况, Richard West 等人提出了一个弱硬实时约束 (x,y) ^[5],即“任意大小为 y 的窗口中,最多能够容忍 x 个任务的丢失或者迟到”。从本质上而言, (x,y) 约束规范和 (m,k) -firm 是等价的。

针对因可能网络重载而导致不公平的问题,吴彤等提出了基于任意窗口的 (p,k) 约束^[6]。

陈积明从实时网络应用对任务连续丢失约束和整个时间区域上的任务丢失率约束两个直观的角度,提出了一种全新的弱硬实时约束规范 (\overline{m},p) ,其定义是“任务在其任意连续窗口中,截止期连续错过至多为 m 个,且截止期满足率不低于 p ^[7]”。而且要求“从 $t=0$ 开始的不小于 k 的区间内,截止期的满足率不小于 p ^[7]”。

例如对于二进制串 $\omega = 111000111$,满足 $(\overline{3},0.5)$ 的要求,即:任意连续的长度为 3 的窗口中,截止期满足率不低于 0.5。显然,这也是对这个二进制 ω 串的最严格约束。

吴彤等人在分析 (\overline{m},p) 约束规范时提出,“所有弱硬实时约束都是为了达到这种目的”^[8],即:“给定一组任务集,对于每个任务实例有如下要求,允许错过截止期,但是连续错过截止期的次数不能超过 m 次,同时,为了使应用成功完成,还要保证任务实例满足截止期的次数达到一定的比例”^[8]。

4 弱硬实时约束规范 (\overline{m},p^w)

(\overline{m},p) 约束规范存在一个不足:对以 0 开头的任何二进制串 μ -pattern 失效。对于任意的代表是否满足截止期要求的二进制串 μ -pattern,如果以 0 开头,按照 (\overline{m},p) 计算规则,当处理任务的第一个到达时, (\overline{m},p) 中截止期概率 p 的值为 0,因此整个二进制串 μ -pattern 的约束规范 (\overline{m},p) 中的 p 值都必须为 0,显然 $p=0$ 这个约束规范中的条件是什么实时系统的最低要求,不能反映整个实时系统的实时性能和运行状态。而在弱硬实时系统的调度中,任务的第一个到达不能满足截止期要求是很正常的状态,所以必须对 (\overline{m},p) 约束规范进行修正。

例如:当 $\omega = 0011011100$ 时,任务的第一个和第二个到达都是为 0,不满足或者错过任务截止期的要求,如果按照 (\overline{m},p) 给出的计算规则,其最强约束规范只能是 $(\overline{2},0)$ 。显然这样的约束规范没有任何实际意义。再考虑一个极端例子,二进制串 ω 中,除了第一个字符为 0 外,其他全部为 1,按照 Bernat 提出的弱硬实时定义和提供的约束规范,这是一个较好的 μ -pattern,但是在 (\overline{m},p) 中,其 p 的值也只能为 0,同样,整个约束规范失去了实际意义。

本文在修正 (\overline{m},p) 约束规范的基础上,根据平滑调度等要求,在保留“截止期连续错过不超 m ”的优良性能的前提下,改进 p 的计算规则,提出全新的约束规范,以适应任何 μ -pattern。

在传统的实时系统调度中,为了保证调用的平滑性能,采用的调度算法一般有两种:一是采用硬实时,先考虑最坏情况下的网络带宽等资源,然后进行预留,保证所有的任务都能在截止期到达前运行结束,以获得良好的性能。但是这种情况会造成系统资源的极大浪费,甚至在部分情况下会造成系统无法进行调度;二是采用各种算法进行尽可能的平滑调度,例如谢建国^[9]等人提出将流媒体分块,然后采用平滑调度算法来实现。

基于约束规范的调度算法是弱硬实时系统的研究重点之一,有两类典型的调度算法,即静态算法和动态算法。为了能够自适应环境,一般采用动态调度算法,典型的有基于 (m,k) -firm 约束的 DBP^[10,11] 算法和基于 (x,y) 约束规范的 DWCS^[12,13] 算法。在这些经典的调度算法中,只是为了满足约束规范的要求而动态调整任务的优先级,无法实现平滑调度,因此平滑调度的要求只能通过约束规范来实现,然后在约束规范的基础上提出可行的调度算法,以保证调度的平滑性。

正是基于至多截止期丢失和固定大小的连续滑动窗口中的截止期满足率的思想,提出了新的弱硬实时约束规范 (\overline{m},p^w) 。

定义 6 任务在其任意连续窗口中,截止期连续错过至多为 m 个,且任意连续的大小固定在调度窗口(或队列) w 中,截止期满足率不低于 p^w ,记为 (\overline{m},p^w) 。

用于计算截止期满足率的窗口大小设定为调度窗口(或调度队列)的长度,是为了更好地保证调度的平滑性。同时,调度窗口(或队列)的长度是不小于 μ -pattern 长度的。

继续上面的例子,当 $\omega = 011011100$ 时,新的约束规范满足 $(\overline{2},0.5^4)$ 。

约束规范 (\overline{m},p^w) 中,对 μ -pattern 中起始为 0 的个数的

约束是通过 m 来进行的,由此可以保证第一个满足截止期的到达前,不超过 m 个截止期错过。用于计算截止期满足率的窗口,其大小为调度窗口 w ,并且随着任务的运行(满足或错过),窗口随之滑动,保证任何情况,任何大小为调度窗口 w 的窗口内的截止期都能满足 p^w ,从而保证了平滑性。根据调度系统对平滑要求的程度不同,可以按照要求选择不同的调度窗口,得到不同的约束规范。

下面用数学的方式对 (\bar{m}, p^w) 约束规范进行严谨定义。

定义 7 长度为 n 的 μ -pattern 满足弱硬实时约束规范 (\bar{m}, p^w) 是指:

$$\omega \vdash (\bar{m}, p^w) \Leftrightarrow \forall \omega' \in s^k(\omega) \cap 0^{m+1} \notin s^{m+1}(\omega') \cap \forall \omega'' \frac{l^1(\omega^k)}{l(\omega^w)} \geq p^w (k \geq m \geq 0)$$

注意: ω 以数字 1 开头是不等式 $\frac{l^1(\omega^k)}{l(\omega^w)} \geq p^w$ 中等号成立的必要条件但不是充分条件。

5 弱硬实时约束规范严格性比较

不同的实时系统,对弱硬实时约束规范的要求也不同。某些约束规范在本质上是等价的。为了能够更好地比较各种不同的弱硬实时系统约束规范, Bernat 给出了弱硬实时系统约束规范有关严格性的定义^[3]:

定义 8 给定两个约束 λ, λ' , 如果所有满足约束 λ 的 ω 序列也都满足约束 λ' , 则称约束 λ 比 λ' 要求更为严格(也称严格性强), 表示为:

$$\lambda \leq \lambda' \Leftrightarrow (\forall \omega \in \Sigma^n, \omega \vdash \lambda \Rightarrow \omega \vdash \lambda')$$

下面给出一个弱硬实时约束规范严格性比较的重要定理,并给出证明。

定理 1 能够参与比较的约束规范之间的严格性关系,是满足偏序关系的。

证明:对于任意两个可以参与比较的约束规范 λ_1 和 λ_2 , 根据定义,容易得到:

$$\lambda_1 \leq \lambda_1 \quad (1)$$

$$\lambda_1 \leq \lambda_2 \vdash \lambda_2 \leq \lambda_1 (\lambda_1 \neq \lambda_2) \quad (2)$$

$$\lambda_1 \leq \lambda_2, \lambda_2 \leq \lambda_3 \vdash \lambda_1 \leq \lambda_3 \quad (3)$$

即能够参与比较的约束规范之间的严格性关系,满足自反(1)、反对称(2)、传递(3),即满足偏序关系。证毕。

通过定理 1,可以利用偏序关系来比较各种约束规范之间的严格性。

同时,从严格性比较的公式定义也可以推导出两个弱硬实时约束规范严格性等价的定义:

$$\lambda \equiv \lambda' \Leftrightarrow (\lambda \leq \lambda' \wedge \lambda' \leq \lambda)$$

下面给出两个常见的弱硬实时严格性等价的例子。其证明过程非常简单。

$$\langle m, k \rangle\text{-firm} \equiv \langle k-m, k \rangle\text{-firm}$$

$$\langle \bar{m}, k \rangle\text{-firm} \equiv \langle \bar{m}, k' \rangle\text{-firm}$$

其中 $k \neq k'$, 这个例子也说明 $\langle \bar{m}, k \rangle\text{-firm}$ 约束规范中,对窗口大小没有限制,约束比较“松散”。

下面给出 (\bar{m}, p^w) 与 (\bar{m}, p) 之间严格性关系的比较,并给出相关证明。

定理 2 $(\bar{m}, p^w) \leq (\bar{m}, p)$

证明:对于任意的 μ -pattern, 只可能存在两种情况:1)以数字 0 开头;2)以数字 1 开头。

μ -pattern 以数字 0 开头,根据定义, (\bar{m}, p) 中的 p 只能为 0,而在约束规范 (\bar{m}, p^w) 中,只要 μ -pattern 中存在有 1, 则 p^w 就大于 0, 有 $p^w \geq p$, 因此,对于相同的参数 m , 有 $(\bar{m}, p^w) \leq (\bar{m}, p)$ 。

μ -pattern 以数字 1 开头,调度窗口(或队列)的长度是不小于 μ -pattern 长度的, 则 p^w 是整个二进制串 μ -pattern 中任意连续大小为 w 窗口内的最小截止期满足率,而 p 是整个二进制串 ω 中最小的截止期满足率,易知, $p^w \geq p$, 因此有 $(\bar{m}, p^w) \leq (\bar{m}, p)$ 。

综合两种情况,有 $(\bar{m}, p^w) \leq (\bar{m}, p)$, 故定理得证。

因此,新的约束规范 (\bar{m}, p^w) 比 (\bar{m}, p) 具有更强的严格性,同时 (\bar{m}, p^w) 由于不受 μ -pattern 中第一个数字必须为 1 的限制而拥有更广的适用范围。

图 1 给出了对于同样的 μ -pattern = 0110011101, (\bar{m}, p^w) ($w=4$) 和 (\bar{m}, p) 的截止期变化情况,从图中明显可以看出:新的约束规范 (\bar{m}, p^w) 中,对于限定窗口内平滑的 μ -pattern, (\bar{m}, p^w) 表现更好,能够较快地反映出平滑特性,同时计算量变小。

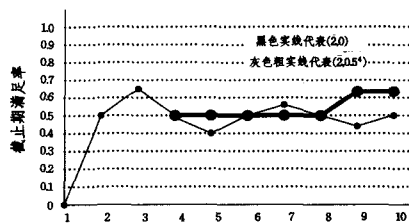


图 1 当 μ -patterns 为 0110011101 时,截止期满足率的变化图

对于截止期满足概率的计算方面,从两个方面讨论:

1) 计算次数,设 μ -pattern 的长度为 $|\omega|$, 则 (\bar{m}, p) 用于计算 p 的次数为 $|\omega|$ 。对于 (\bar{m}, p^w) , 用于计算 p^w 的次数为 $|\omega| - w$ 次,减少了 w 次。

2) 计算复杂性,对于约束规范 (\bar{m}, p) , 在计算 p 时,其分母从 1 开始,逐次加 1,直到 $|\omega|$ 为止,而在约束规范 (\bar{m}, p^w) 中,计算 p^w 时,分母固定为 w , 计算变得简单。

本文提出的弱硬实时约束规范 (\bar{m}, p^w) 在修正 (\bar{m}, p) 错误的基础上,继承了 (\bar{m}, p) 的优良性能,并且比 (\bar{m}, p) 具有更强的严格性和更大的适用范围。

结束语 本文首先通过实时系统的概念引出了弱硬实时系统,在系统介绍已有的各种弱硬实时系统的约束规范后,重点介绍了 (\bar{m}, p) 约束规范的贡献和不足,然后在修正 (\bar{m}, p) 约束规范错误的基础上,提出了一个新的弱硬实时约束规范 (\bar{m}, p^w) , 其有效解决了 (\bar{m}, p) 约束规范在处理以 0 开头 μ -pattern 时的失效问题和截止期满足率全局化问题,通过固定大小的滑动窗口内的截止期满足率,保证了调度的平滑性。经证明,得到的 (\bar{m}, p^w) 比 (\bar{m}, p) 有更强的严格性,并且通过弱硬实时约束规范关系满足偏序等理论的提出和证明,丰富了弱硬实时系统的约束规范理论。

参考文献

- [1] Hamdaoui M, Ramanathan P. A dynamic priority assignment technique for streams with (m, k) -firm deadlines [J]. IEEE Trans. On Computers, 1995, 44(4): 1443-1451
- [2] Bernat G. Specification and analysis of weakly hard real-time system [D]. University of York, 1998

(下转第 291 页)

几何信息,而是比较模型上顶点邻域几何结构之间的相似性,因此较基于邻域的局部滤波算子更加鲁棒。由于邻域比较仅限于二阶邻域,计算量相对较小,因此本文算法的效率较高。

在获得顶点 p 的几何灰度值 $NL(p)$ 之后,将 p 沿着其法向移动距离 $NL(p)$,得到其光顺后的几何坐标如下:

$$p^* = p + NL(p) \cdot n \quad (6)$$

由于顶点是沿着法向方向移动,因此能有效地避免顶点漂移的情况。实验证明,本文算法通常只需迭代一到两次就可得到满意的结果。

5 实验验证

为了检验算法的可靠性和效果,对通过三维测量肺模型得到的三角网格模型(模型1)和兔子模型(模型2)分别使用本文算法进行光顺。本文参数设定为 $\sigma_1=1, \sigma_2=1, s=2$,图2和图3是本文算法对两种模型的一次光顺效果图。实验证明,本文方法能较好保持模型特征,基本不改变网格模型体积,取得较好的光顺效果。图2(a)是原始的测量肺模型的局部,图2(b)是本文算法的一次光顺结果;图3(a)是原始的兔子模型,图3(b)是本文算法的一次光顺结果。



图2 模型1光顺

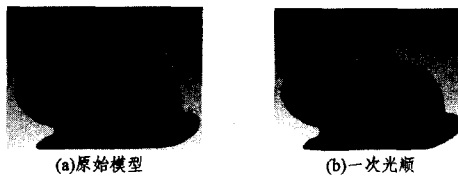


图3 模型2光顺

结束语 本文首先计算三角网格模型的顶点的几何灰度值,利用顶点的二阶邻域及其二阶邻域内顶点的二阶邻域进行相似性比较,并以相似性作为顶点的几何灰度值的权值进行加权平均,得到最终的几何灰度值,最后将顶点沿着其法向移动几何灰度值大小的距离,完成光顺。本方法较好地利用了顶点邻域几何结构信息,因此较一般的基于邻域的局部滤

波算子更加鲁棒,且能在光顺的同时有效地保持模型的固有特征。

参考文献

- [1] Taubin G. A signal processing approach to fair surface design [C]//Proc. SIGGRAPH. 1995;351-358
- [2] Vollmer G, Mencl R, Muller H. Improved Laplacian smoothing of noisy surface meshes [J]. Computer Graphics Forum, 1999, 18(3):131-138
- [3] Bajaj C, Xu G. Anisotropic diffusion on surface and function on Surfaces [J]. ACM Trans on Graphics, 2003, 22:4-32
- [4] Claretz U, Diewald U, Rumpf M. Anisotropic geometric diffusion in surface processing[C]//Proc. IEEE Visualization. 2000;397-405
- [5] Desbrun M, Meyer M, Schroder P, et al. Implicit fairing of irregular meshes using diffusion and curvature flow[C]//Proc. SIGGRAPH. 1999;317-324
- [6] Desbrun M, Meyer M, Schroder P, et al. Anisotropic feature preserving denoising of height field and bivariate data[C]//Proc. Graphics Interface. 2000;145-152
- [7] Fleishman S, Drori I, Cohen-or D. Bilateral meshes denoising [A]//Proceeding of SIGGRAPH[C]. San Diego; ACM, 2003; 950-953
- [8] Jones T R, Durand F, Desbrun M. A Non-iterative Feature-preserving Mesh Smoothing [C]//Proc. of SIGGRAPH03. San Diego, 2003;943-949
- [9] 周昆, 鲍虎军, 石教英. 统一的数字几何处理框架[J]. 计算机学报, 2002, 27(1):904-909
- [10] 刘胜兰, 周儒荣, 聂军洪, 等. 主曲率均匀的网格光顺[J]. 计算机学报, 2004, 27(1):79-84
- [11] 胡国飞, 彭群生. 基于顶点预测的特征保持网格光顺算法[J]. 浙江大学学报, 2004, 38(12):1535-1539
- [12] 毛志红, 马利庄, 赵明喜. 鲁棒估计器在3D网格降噪的应用[J]. 软件学报, 2007, 18(2):453-460
- [13] Mao Zhihong, Ma Lizhuang, Zhao Mingxi, et al. SUSAN Structure Preserving Filtering For Mesh Denoising [J]. The Visual Computer, 2006, 22(4):276-284
- [14] Mao Zhihong, Ma Lizhuang, Zhao Mingxi, et al. A Modified Laplacian Smoothing Approach with Mesh Saliency [J]. Smart Graphics, 2006, 40(73):105-113
- [15] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising[C]//Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, 2005;60-65
- [16] Schall O, Belyaev A, Seidel H P. Adaptive feature-preserving non-local denoising of static and time-varying range data [J]. Computer Aided Design, 2008, 40:701-707
- [3] Bernat G, Burns A, Llamasi A. Weakly hard real-time systems [J]. IEEE Trans. on Computers, 2001, 50(4):308-321
- [4] Li Lanying, Tan Yu. Analysis and improvement of scheduling algorithms based on (m, k) -firm constraint [C]//2008 International Symposium on Computer Science and Computational Technology:74-77
- [5] West R, Schwan K, Poellabauer C. Scalable scheduling support for loss and delay constrained media streams[C]//Proc. of the 5th IEEE Real-Time Technology and Applications Symp. IEEE Computer Society Press, 1999;24-35
- [6] 吴彤, 金士尧, 陈积明. 弱硬实时系统任意窗口约束调度研究[J]. 电子学报, 2008, 36(8):1564-1570
- [7] 陈积明, 宋叶琼, 孙优贤. 弱硬实时系统约束规范[J]. 软件学报, 2006, 17(12):2601-2608
- [8] 吴彤, 金士尧, 刘华锋, 等. 基于裁剪的弱硬实时调度算法[J]. 软件学报, 2008, 19(7):1837-1846
- [9] 谢建国, 陈松乔, 陈建二. VBR 视频流磁盘 I/O 的平滑调度算法[J]. 小型微型计算机系统, 2002, 23(1):36-39
- [10] Hamdaoui M, Ramanathan P. A service policy for real-time customers with (m, k) -firm deadlines[C]//Proceedings of 24th International Symposium on Fault Tolerant Computing. July 1994;196-205
- [11] Hamdaoui M, Ramanathan P. A dynamic priority assignment technique for streams with (m, k) -firm deadlines [J]. IEEE transaction on Computers, 1995, 44(4):1443-1451
- [12] West R. Adaptive Real-Time management of Communication and Computation Resources[D]. College of Computing, Georgia Institute of Technology, Aug. 2000
- [13] West R, Poellabauer C. An optimal on-line window-constrained scheduler for real-time heterogeneous activities[R]. GIT-CC-99-11. Georgia Institute of Technology, 1999,

(上接第207页)