

文章编号:1000-582X(2013)06-143-05

## 在媒体流调度中改进的 DRR 算法

宋毅<sup>1,2</sup>, 张武<sup>1</sup>, 倪宏<sup>1</sup>, 郭秀岩<sup>1</sup>

(1. 中国科学院声学研究所 国家网络新媒体工程技术研究中心, 北京 100190; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**提出了模糊控制变权法多因素决策的自适应 DRR 算法(VWADRR)——一种改进的亏损轮询调度算法(DRR)。算法应用在调度多个媒体数据流队列时。算法基于模糊控制理论中的多因素决策,具体使用了变权法。可以自适应输出信道的带宽和输入队列的缓存余额。变权法根据可用带宽和队列缓存余额这两个因素做出决策,动态地确定 DRR 中的常量 QN。由于考虑了每个数据包发送的时限,降低了每个数据包的延时。使系统在大流量的情况下有效利用缓存和带宽,降低缓存耗光的可能性,同时平滑了突发。

**关键词:**亏损轮询调度;模糊控制;变权法;流量整形;队列调度;平滑发送

**中图分类号:**TN919.21

**文献标志码:**A

### Improved DRR algorithm in media stream scheduling

SONG Yi<sup>1,2</sup>, ZHANG Wu<sup>1</sup>, NI Hong<sup>1</sup>, GUO Xiuyan<sup>1</sup>

(1. National Network New Media Engineering Research Center of

Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Fuzzy control variable weight method of multi-factor decision-making adaptive deficit round robin scheduling algorithm (VWADRR), an improved deficit round robin (DRR) scheduling algorithm is put forward. It's used in the circumstance of scheduling multiple multi-media data streams. It bases on multi-factor decision-making in the fuzzy control theory, specific to the use of the variable weight method. It's adaptive for output channel bandwidth and buffer size of each input queues. Variable weight method makes decisions based on these two factors, that is, to determine the QN as variable in DRR. Considering the time of each packet sent, it reduces the packet delay. It effective uses buffers and bandwidth in the heavy network traffic situation, significantly reduces the possibility of buffer depletion, also smoothes burst.

**Key words:** deficit round robin (DRR); fuzzy control; variable weight method; traffic shaping; queue scheduling; smooth sending

在发送媒体数据流时,如果数据流速率有波动,对下游设备的处理能力和数据包缓存容量就有较高的要求。很多时候媒体数据流是 VBR 的,这对上游设备提出一个要求:发送数据包的速率要平稳一些。如果速率波动得太大,下游设备就无法缓存太多的

数据包。这就需要有效的流量整形方法。

流量整形方面的算法,目前学术界研究得比较多,典型的有漏桶算法和令牌桶算法,并衍生出很多改进方案。但它们都针对一条输入流一条输出流的情况。在对多条流进行流量整形时,需使用队列调

收稿日期:2012-09-18

基金项目:“863”课题资助项目(2011AA01A102);中国科学院重点部署课题资助项目(KGZD-EW103-4)

作者简介:宋毅(1986-),男,中国科学院博士研究生,主要从事网络新媒体研究,(Tel)13581898932;

(E-mail)songy@dsp.ac.cn。

度算法。队列调度和队列管理是互为补充又紧密联系的。前者是从所有等待服务的队列中,按照一定的标准选择数据包输出到网络上,主要用来管理各数据流之间带宽的分配;后者为到达的数据包分配存储空间,并在适当的时候选择丢弃某些数据包来控制队列长度以及哪些流可以占用队列。本文研究队列调度算法。

目前有很多队列调度算法,大体上可以分为 4 类:1)基于轮询的调度算法,例如 RR、WRR、DRR、URR 等。2)基于 GPS[1]模型的调度算法,例如 PFQ、WFQ、WF<sup>2</sup>Q、WFQ+、VC、SCFQ、FFQ。3)基于时延的调度算法,其代表是最早期限优先(EDF),还有其改进 RCS。4)核心无状态调度算法,例如 CSFQ、CJVC 等。Choi, B D 和 Choi, D I 提出了一种基于阈值的令牌生成速率的漏桶模型,在数据缓存里设定两个阈值,  $L_1$  和  $L_2$ , 达到某个阈值就把令牌生成速率改为  $K_1$  或  $K_2$ [2]。

平衡各种调度算法的复杂度、公平性、时延、吞吐率的平滑性,DRR 是一种非常优秀的算法。研究就是在 DRR 的算法基础上提出模糊控制变权法多因素决策的自适应 DRR 算法(VWADRR),以克服 DRR 的一些不足。DRR 解决了传统 RR 算法的不公平性。DRR 记录从给定队列中发送多少字节数,并与应该发送多少字节数进行比较,并把差值作为一个“差额”。该“差额”被任何给定队列用作修改队列的服务间隔,因此可调节每一队列得到的长期比特速率。DRR 的缺陷在于不能很好地满足业务的时延特性,不能有效的支持实时业务,不能像 WRR 那样以较为平滑的方式调度输出业务[3]。但不可否认,DRR 仍是现在被普遍应用,并且平衡各个性能指标较好的一种算法。笔者提出了它的一种改进,以弥补这些不足。

涂晓东和李乐民提出了调度表概念,根据每条流的权重,分配在调度表中的权重。实现复杂性为  $O(1)$ ,解决了 DRR 算法时延大的缺点[4]。Weiming Tong 和 Jing Zhao 提出了结合了 DRR 和 PQ,如果高优先级队列有数据包到达,则低优先级队列的可发送字节数立即减为最低队列的可发送字节数[5]。DRR 很好地隔离了每条流的状况,使不同的流不互相影响。Md Jonit 等人将 DRR 算法用在 WiMAX 网络上[6],Jin, L 等人用 DRR 应对 LDoS 攻击[7],都取得了较好的结果。Tetsushi Matsuda 等人提出 EBRR 算法的改进,在发送小包时有较好的结果[8]。

将模糊逻辑用在平滑发送上,已经有很多前人的工作。Norashidah Md Din 等人用模糊逻辑分析

令牌桶[9]。Aeron, Anurag 等人把模糊控制理论用在 ATM 网络中,用模糊逻辑产生令牌,以达到低延时、低信元丢失率和高吞吐率[10]。根据可用带宽和可用速率算出令牌产生速率。可用带宽和可用速率越大,令牌产生得越快。Aeron, Anurag 把模糊逻辑的高中低细化为非常低、低、低于平均水平、一般、高于平均水平、高、非常高[10]。

綦朝晖等人把模糊理论用在 WFQ 上[11-12],提出 FCCA 算法。FCCA 算法建立模糊拥塞控制模型,分析缓冲区占用率状态这一模糊性问题对拥塞的影响。这里使用基于变权法的多因素模糊决策方法,变权法就是在综合评估中权数随评估向量而改变的综合评判法。变权法可以突出评估值较低项,使较低项引起决策者的重视。所以,变权法算出的总评估值比常规法算出的总评估值小[13]。基于 FCCA 算法,对其做出改进,同时考虑了可用带宽和输入队列的缓存余额 2 个模糊性问题,提出模糊控制变权法多因素决策的自适应 DRR 算法(VWADRR)。

## 1 模糊控制变权法多因素决策的自适应 DRR 算法

在 DRR 算法中,对于不同队列,QN 是不同的。这是 DRR 算法的核心概念。QN 在系统运行过程中是不变的。提出的模糊控制变权法多因素决策的自适应 DRR 算法(VWADRR)将 QN 动态化。VWADRR 根据输出通道的可用带宽和输入队列的缓存余额确定动态的 QN,即 QN 的变化值  $\Delta_{QN}$ 。如图 1。



图 1 VWADRR 决策器示意图

其中,每条队列的可用带宽都一样,为输出通道的可用带宽;每条队列的缓存余额不一样,为各自输入队列缓存的余额。系统整体结构如图 2。

总评估值 QN 为  $A$ ,  $A$  对某条队列而言,涉及  $b_i$ 、 $c$  两个因素,其中  $b_i$  是队列  $i$  的缓存情况,每条队列不同,  $c$  是整体可用带宽,所有队列的  $c$  是一样的,即所有队列共享的输出带宽是可以变化的,有时可用带宽多一些,有时少一些。设队列  $i$  的缓存的单因素评估指标为  $u_{1i}$ ,可用带宽的单因素评估指标为  $u_2$ 。  $u_{1i}, u_2 \in [0, u_m]$ 。记  $b_i$  相对于  $A$  而言的权重为

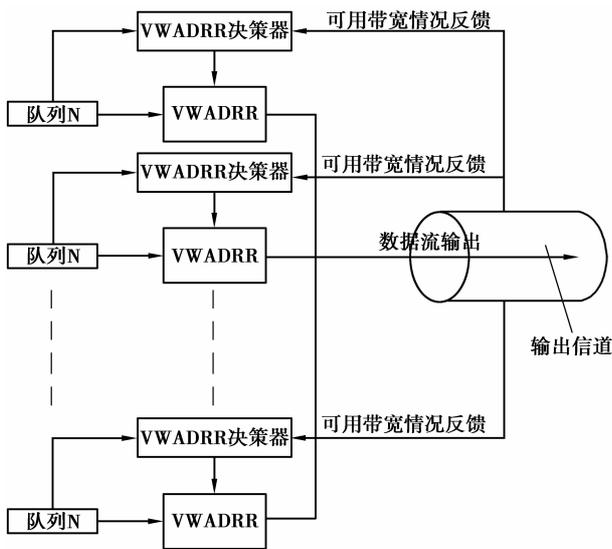


图 2 系统结构示意图

$\omega_{1i}(u_{1i}, u_2)$ ,  $c$  相对于  $A$  而言的权重为  $\omega_2(u_{1i}, u_2)$ 。  
 $\omega_{1i}(u_{1i}, u_2)$ 、 $\omega_2(u_{1i}, u_2)$  是由变权法得出的  $b_i$ 、 $c$  的权重。

下面以分析  $\omega_{1i}(u_{1i}, u_2)$  为例,也可以用同样的方法导出  $\omega_2(u_{1i}, u_2)$ 。为了获得  $\omega_{1i}(u_{1i}, u_2)$ ,引入在  $[0, u_m]$  上定义的非负可微函数  $\lambda_{1i}(u)$ ,使之满足  $\lambda_{1i}'(u) \leq 0$ ,并记  $\lambda_{1i}(0) = \lambda_{01i}$ ,  $\lambda_{1i}(u_m) = \lambda_{m1i}$ ,  $\lambda_{01i}$  和  $\lambda_{m1i}$  分别是  $\lambda_{1i}(u)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 在  $[0, u_m]$  上的最大值和最小值,则

$$\omega_{1i} = \frac{\lambda_{1i}(u_{1i})}{\lambda_{1i}u_{1i} + \lambda_2 u_2},$$

这里  $\omega_{1i}$  即为变权数,最终根据这个变权数算出  $\Delta_{QN}$ 。令

$$\lambda_{m1i} = \omega_{m1i}, \quad (1)$$

可得

$$\lambda_{1i}(u) = \frac{\lambda_{*1i} * \lambda_{01i}}{\lambda^* \exp\left(\frac{1}{1-k_{1i}} \left(\frac{u}{u_m}\right)^{1-k_{1i}}\right)}, \quad (2)$$

其中

$$\lambda^* = \lambda_{01i} + \lambda_{02},$$

$$k_{1i} = 1 - \frac{1}{\ln \frac{\lambda_{*1i} \lambda_{01i}}{\lambda^* \omega_{m1i}}}.$$

根据文献[13],可推导出

$$\lambda_{1i}(u) = \frac{\lambda_{*1i} \lambda_{01i}}{(\lambda_{01i} + \lambda_{*1i}) \exp\left(\frac{\lambda_{*1i}}{\lambda_{*1i}} \frac{1}{1-k_{1i}} \left(\frac{u}{u_m}\right)^{1-k_{1i}}\right) - \lambda_{01i}}, \quad (3)$$

其中

$$k_{1i} = 1 - \frac{\lambda_{*1i}}{\lambda_{*1i} \ln \frac{\lambda_{01i}}{\omega_{m1i} (\lambda_{01i} + \lambda_{*1i})}},$$

及

$$\lambda_{1i}(u) = \lambda_{01i} \exp\left(-\frac{1}{(1-k_{1i}) \lambda_{*1i}} \left(\frac{u}{u_m}\right)^{1-k_{1i}}\right), j = 1, 2. \quad (4)$$

其中

$$k_{1i} = 1 + \frac{1}{\lambda_{*1i} \ln \frac{\omega_{m1i}}{\lambda_{01i}}}.$$

分别根据式(1)(2)(3)算出  $b_i$  和  $c$  在 3 种算法下的权重,将它们取平均得到最后的权重,由此得出  $\Delta_{QN_i}$ ,最后,在每轮迭代时将  $\Delta_{QN_i}$  考虑在内

$$QN = QN + \Delta_{QN_i}, \quad (5)$$

另外,在每次轮询时,随机决定轮询队列的顺序,这样可以避免最后轮询的队列等待时间过长。

## 2 仿真

使用 Matlab 7. 0. 11. 584 (R2010b) 32-bit (win32) 进行算法仿真。图 3 为根据可用带宽和队列缓存余额得出的 QN 的示意图,这是对基于变权法的多因素模糊决策方法的直观概念图。可以看出,图中是一个曲面,如果用定权进行决策,则会显示出一个平面。曲面凹下去的部分即是变权法为了突出较低的因素而为其减少的权重。设  $b_i$  的基础权重  $\omega_{m1} = 0.6$ ,  $c$  的基础权重  $\omega_{m2} = 0.4$ 。 $b_i$  的权重上界  $\omega_{01} = 1$ ,  $c$  的权重上界  $\omega_{02} = 1$ 。

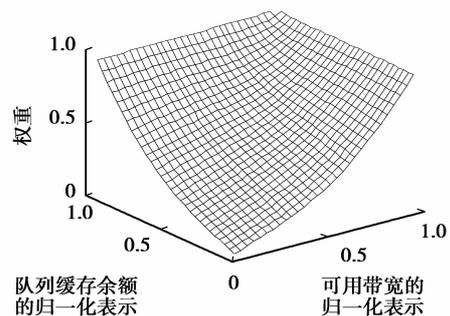


图 3 基于变权法的多因素模糊决策方法直观概念图

仿真 200 ms, 100 Mbps 的链路, 3 条队列, 包长服从  $[64, 1518]$  上的均匀分布, 包到达间隔为指数分布。负载为带宽的 90%。仿真 3 条队列, 队列 1、队列 2、队列 3 占用不同的带宽, 占用的带宽由高到低。丢包时, 使用尾部丢弃。

图 4、图 5、图 6 是 VWADRR 算法的缓存占用, 它们分别是队列 1、队列 2、队列 3 的缓存占用。图 7、图 8、图 9 是 FCCA 算法的缓存占用, 它们分别是队列 1、队列 2、队列 3 的缓存占用。比较队列 1 的两种算法的缓存占用情况, 即图 4 和图 7, 可以看出, VWADRR 的缓存占用较 FCCA 平缓, 其余 2 条队列的缓存占用对比有相同的特点。图 4 和图 7 相比, 缓存占用的比较平滑, 这也反映出 VWADRR 可以平滑突发。

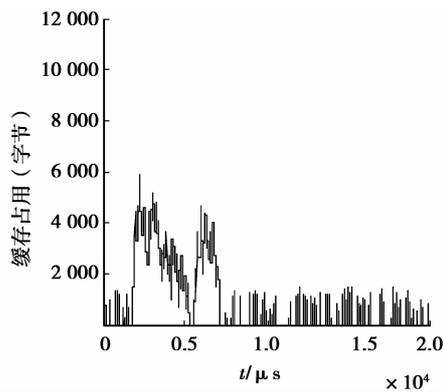


图 4 VWADRR 的队列 1 的缓存占用

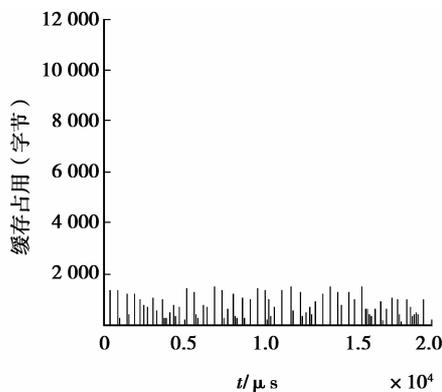


图 5 VWADRR 的队列 2 的缓存占用

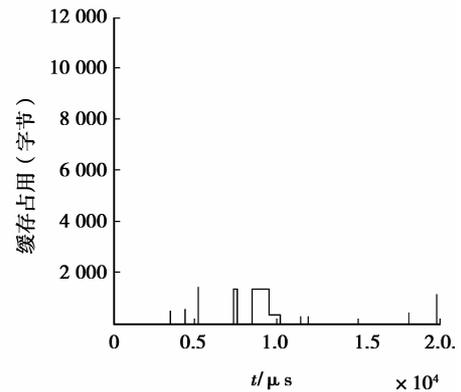


图 6 VWADRR 的队列 3 的缓存占用

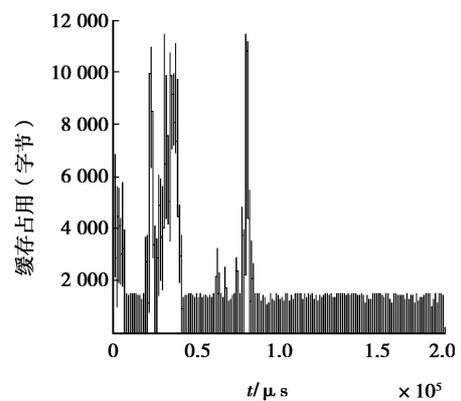


图 7 FCCA 的队列 1 的缓存占用

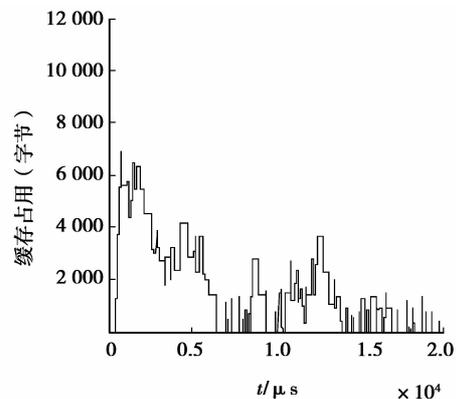


图 8 FCCA 的队列 2 的缓存占用

图 10 是使用 VWADRR 算法的 3 条流的数据包延时和使用 FCCA 算法的 3 条流的延时的对比。从图 10 中可以看出, VWADRR 算法和 FCCA 算法相比, 第 1、2 条流的延时小, 但第 3 条流的延时较大。这说明 VWADRR 在处理低速数据流时, 效果略差。这是由于变权法对于权重的分配不均所致。总体来讲, 在数据包延时上, VWADRR 比 FCCA 能获得更好的效果。

### 3 结 论

首先提出队列调度在发送媒体数据流中的应用

场景。分析了现有的队列调度算法, 引出 DRR 算法。然后分析了 DRR 算法的不足。接着介绍了模糊控制理论在队列调度中的应用, 介绍了 FCCA 算法。接着介绍了变权法多因素决策方法。再介绍了将这种方法应用在 VWADRR 算法中。最后通过仿真验证了 VWADRR 相对 FCCA 算法, 缓存占用和延时得到改善。但是 VWADRR 也存在不足, 即优先级低的队列在某些情况下占用的带宽比优先级高的队列占用的多。在个别情况下, 数据包延时并没

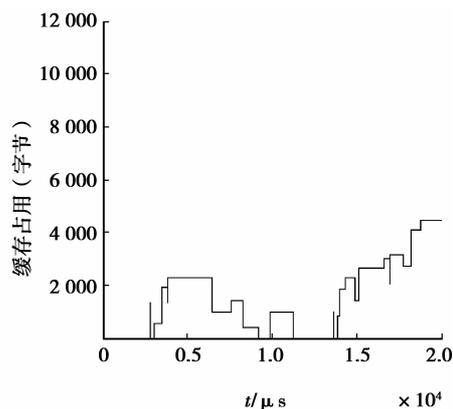


图9 FCCA的队列3的缓存占用

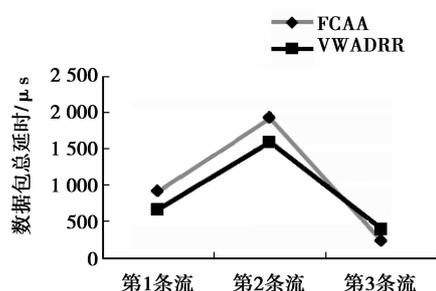


图10 使用VWADRR算法和FCAA算法的3条流的数据包延时对比

有改善。VWADRR算法主要做出两点贡献:第一,考虑可用带宽和队列缓存余额,来决定DRR的QN,这样在给予不同队列不同的权重的同时,大大降低了包延时;第二,将模糊理论中的变权法用于分析可用带宽和队列缓存余额如何控制DRR差额的多少。通过分析缓存占用、延时2项性能指标,得出这种算法可以降低缓存占用、减少延时。同时仿真结果也表明,VWADRR算法在低带宽数据流情况下,延时稍有增大。

#### 参考文献:

- [1] Parekh A K, Gallager R G, A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: the single-node case [J]. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 1993, 1(3):344-357.
- [2] Choi, B D, Choi D I, Discrete-time analysis of the leaky bucket scheme with threshold-based token generation intervals[J]. IEE Proceedings-Communications, 1996, 143(2):105-111.
- [3] 徐昌彪,鲜永菊. 计算机网络中的拥塞控制与流量控制[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [4] 涂晓东,李乐民. LL-DRR:一种有效的用于高速分组网络的调度算法[J]. 电子与信息学报,2002(3):361-369. TU Xiaodong, LI Leming. LL-DRR: an efficient scheduling algorithm for packet networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2002(3): 361-369.
- [5] Tong W, Zhao J. Quantum varying deficit round robin scheduling over priority queues [C]//Computational Intelligence and Security, International Conference on, 2007:120-123.
- [6] Md jonit N, Baba M D. First in first out (FIFO) and Deficit Round Robin (DRR) scheduling analysis in WiMAX network [C]//Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), IEEE, 2011.
- [7] Jin L, Kingchen L. The DRR-based approach of defending against LDoS[C]//Intelligent Computing and Intelligent Systems (ICIS), 2010 IEEE International Conference on, 2010.
- [8] Matsuda T, Horiuchi E, Yokotani T. A proposal of a new packet scheduling algorithm which can reduce the delay of small packets [C]//Consumer Electronics (GCCE), IEEE 1st Global Conference on. 2012.
- [9] Din M D, Faisal N. Fuzzy logic bandwidth prediction and policing in a DiffServ-aware network[J]. Journal of Computers, 2008, 3(5):18-23.
- [10] Aeron A. Fine tuning of fuzzy token bucket scheme for congestion control in high speed networks [C]//2010 Second International Conference on Computer Engineering and Application, ICCEA, Proceedings, 2010.
- [11] 蔡朝晖,宋学军,刘民. 一种基于模糊理论的拥塞控制算法[J]. 计算机工程与应用,2003(11):179-181. QI, Caohui, SONG Xuejun, LIU Min. A fuzzy congestion control algorithm in routers[J]. Computer Engineering and Applications, 2003(11): 179-181.
- [12] 蔡朝晖,孙济洲,李小图. 基于队列的模糊拥塞控制算法[J]. 软件学报,2005,16(2):286-294. QI Zhaohui, SUN Jizhou, LI Xiaotu, A fuzzy congestion control algorithm based on queue[J]. Journal of Software, 2005, 16(2): 286-294.
- [13] 彭祖赠,孙韞玉. 模糊(Fuzzy)数学及其应用(第2版)[M]. 武汉:武汉大学出版社,2007.

(编辑 侯湘)