

# 一种基于平均数据包长度的可变权值调度算法

李寅,周井泉

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**近年来随着网络规模的扩大,一些对实时性要求较高的音频、视频业务的出现,对网络 QoS 保证提出了更高的要求。在区分服务下,分组调度技术是保证网络 QoS 的核心技术,也是实现网络拥塞控制管理,保证各业务带宽分配公平性的必要手段。调度算法是保证网络服务质量(QoS)的核心技术,传统轮询调度 WRR 算法存在一个公平性问题,并不适用于数据包长度可变的网络。文中基于 WRR 算法提出一种改进算法,使其可以依据平均数据包长度自适应地改变权值,命名为 CWRR。并通过仿真对新算法性能进行分析,如果测量区间是合适的,那么 CWRR 的公平性比 WRR 要好。

**关键词:**轮询调度;带宽;测量区间;公平性

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)09-0116-03

## Variable Weight Scheduling Algorithm Based on Average Packet Length

LI Yin, ZHOU Jing-quan

(College of Electronic Science & Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,  
Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The requirements of QoS are getting higher because of the network expansion and the advent of audios and videos with high real-time requirements. In differentiated service model, the packet scheduling technique is a core of guaranteeing the QoS. It can also be used to control the network congestion and ensure the fairness of the bandwidth allocation. Scheduling algorithm is the core technology to ensure quality of service (QoS), and the traditional round-robin scheduling WRR has a fairness problem, so it can not be applied to variable-length packet network. It proposed an improved algorithm, based on WRR, named CWRR. In CWRR, the weight of the WRR (Weighted Round Robin) router varies adaptively depending on the average packet length. Additionally, through the simulation analysis of the performance of the new algorithm, it is shown that the fairness of CWRR becomes better than WRR if the measurement interval is appropriately determined.

**Key words:** round-robin scheduling; bandwidth; measurement interval; fairness

## 0 引言

随着英特网的不断扩大与发展,基于 TCP/IP 网络<sup>[1]</sup>的服务与应用也趋于多样化。这意味着网络更加复杂化,需要提供更加严格的 QOS<sup>[2]</sup>保证。这也是为了保证网络的通畅性,确保所提供的各种网络服务质量。

分组调度算法是保证网络服务质量的核心技术<sup>[3]</sup>。当前,国际上用于分组调度的算法已经有很多,

在这些算法中,最为流行的就是 WFQ 算法<sup>[4]</sup>,它被广泛应用于许多边缘路由器中。WFQ 虽然准确地保证带宽和低延迟时间,但是为了保证带宽分配的公平性,路由中的调度器需要大量的数据处理过程。

WRR 是一个相对来说较为简单的调度算法<sup>[5]</sup>,它的基本流程如下:首先,路由器中的分类器将到达的数据包分类并送达相应的数据流队列;然后,调度器对每个队列进行轮询调度,在一次循环中,与队列权值相同数值的数据包数目将会被从本队列中传送,权值是依据所要求带宽而设定的。由于 WRR 是基于逐包工作来分配带宽的,如果网络中存在可变长度的数据包,则 WRR 会存在一个公平性问题。

DRR (Deficit Round Robin) 是为了解决 WRR 公平性问题而提出的轮询算法<sup>[6]</sup>。在 DRR 中,调度器

收稿日期:2012-01-19;修回日期:2012-04-25

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2009AA01Z02)

作者简介:李寅(1987-),男,硕士,研究方向为通信系统的可靠性技术;周井泉,教授,研究方向为以通信网络为背景,研究网络中所涉及的优化、信息管理和控制问题。

维护一个差额计数器用于精确控制出队列的数据流数量。在每次轮询中,一个定值将会加到差额计数器中。如果队列头部的数据包长度比差额计数器数值小或相等,调度器将会将此数据包传送,并相应的从差额计数器中减去数据包长度相等的值。如果队列头部的数据包长度比差额计数器数值大,调度器将对准下一个非空队列。

为了保证带宽,DRR 必须计算每个数据包的长度,这将会占用路由器的一些资源。然而事实上,计算 MPLS<sup>[7]</sup> 帧中的 IP 数据包的长度是非常困难的,因为在 MPLS 标签中并不标记长度。

文中提出了一个新的可用于 IP 网络中的控制带宽分配的策略 CWRR(可变权值轮询),CWRR 可根据平均数据包长度自适应地改变队列权值,确保带宽公平分配。

1 可变权值轮询 CWRR 算法介绍

文中提出了一个新的可用于 IP 网络中的控制带宽分配的方法,命名为 CWRR(可变权值轮询),它包括三个模块:一个 WRR 路由器,数据包长度观测器和一个权值计算器。在 CWRR 中,数据包长度观测器测量平均数据包长度。然后,权值计算机自适应地根据平均数据包长度改变 WRR 的权值,两者分工协作有效地减轻了集中于路由器中的负荷量,并且根据网络环境提供可靠的 QOS 保证。

数据包长度观测器对到达数据包分类并测量它们的长度。它必须确定每个到达的数据包属于哪个业务流,也要为每个数据流计算平均长度。如果路由器能够计算平均数据包长度,那么数据包长度观测器将可以在路由器中执行。

在文中,数据包长度观测器使用被 IETF RTFM WG<sup>[8]</sup> 标准化的 METER MIB<sup>[9]</sup>,利用 METER MIB,可以很容易计算出每个数据流的平均数据包长度。而且,可以利用 SNMP<sup>[10]</sup> 得到 METER MIB 信息,权重计算器也可以利用 SNMP 信息获得平均数据包长度。

1.1 权值计算

权值计算器利用数据包观测器测量到的平均数据包长度与所需求的带宽来计算权值系数。因为权值系数是基于平均数据包长度来计算,所以 CWRR 可以准确分配带宽,而不用考虑各数据流之间数据包长度的差异。现在,假设共存在  $n$  个数据流,在  $t$  时刻队列  $i$  的权值系数被记做  $w_i(t)$ ,计算如式(1):

$$w_i(t) = \frac{\max_{1 \leq j \leq n} p_j(t)}{p_i(t)} W_i$$

(1)

式中  $p_i(t)$  为  $t$  时刻队列  $i$  中数据流的平均数据包

长度,  $\max_{j=1}^n p_j(t)$  为  $t$  时刻  $n$  个队列中平均数据包长度的最大值,  $W_i$  为队列  $i$  根据所需求的带宽,依据 WRR 算法所决定的初始权值系数,所以  $W_i$  恒为整数。

1.2 公平性分析

在这一部分中,将会对 WRR,DRR 和 CWRR 做一个分析比较。Shreedhar 和 Varghese<sup>[11]</sup> 使用一个变量 FairnessIndex 对调度算法的公平性进行评估。数据流  $i(1 \leq i \leq n)$  的 FairnessIndex 值被定义为:

$$\text{FairnessIndex}_i = \frac{FQ_i \sum_{j=1}^n f_j}{f_i}$$

(2)

式中  $f_i$  为数据流  $i$  所获得的理想分配量,  $FQ_i$  被定义为:

$$FQ_i = \max \left( \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\text{sent}_{i,t}}{\text{sent}_t} \right)$$

(3)

式中  $\text{sent}_{i,t}$  为到  $t$  时刻数据流  $i$  发送的总字节数,  $\text{sent}_t$  为到  $t$  时刻  $n$  个数据流发送的总字节数。如文献

[11] 所述,数据流  $i$  的理想公平商  $FQ_i$  为  $\frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j}$ ,在简单的情况下,所有  $f_i$  都相等,则理想公平商  $FQ_i$  为  $1/n$ ,WRR 算法的 FairnessIndex 值为 Max/Min,其中 Max 为数据包大小的最大值,Min 为数据包大小的最小值。DRR 的 FairnessIndex 值为 1。

CWRR 所能达到最理想的 FairnessIndex 值,也即是 DRR 的 FairnessIndex 值。考虑最坏的情况,当完全不使用平均数据包长度,很明显 FairnessIndex 将会得到 WRR 的 FairnessIndex 值。

表 1 给出了 WRR,DRR,DWRR 和 CWRR 的 FairnessIndex 值的对比。

表 1 WRR,DRR,DWRR 和 CWRR 的 FairnessIndex 值

队列策略	FairnessIndex 值
WRR	Max/Min
DWRR	1
DRR	1
CWRR	[1, Max/Min]

2 仿真对比

在前一部分中对 FairnessIndex 进行了讨论,可以看出在接近逐位调度的理想状况下各调度算法的公平性如何,这种理想状况无疑是一种严格的准则。在这一部分中,只将带宽作为服务需求,通过仿真考察各策略的带宽分配情况。

2.1 仿真环境

使用 NS-2<sup>[12]</sup> 作为仿真平台,三个数据流源产生数据包,分别为 AF1,AF2 和 AF3。仿真的网络拓扑图

如图2所示。其中F1,F2,F3分别为数据流发送端,G1,G2,G3分别为对应的接收端,E1,E2为DS边缘路由器<sup>[13]</sup>,C为DS核心路由器,C-E2构成瓶颈链路。将F1至G1的数据流标记为AF1,将F2至G2的数据流标记为AF2,将F3至G3的数据流标记为AF3。

如之前所述,如果权值 $W_i$ 是一个比较大的整数,那么WRR路由器中的调度器进行一次轮询花费的时间可能变得比更新权值的间隔时间长。相反地,如果 $W_i$ 的值比较小,则带宽被分配的公平性可能会降低。在本次仿真中,为了简便起见,假设三个队列的权值分别为9,6,3。其中AF1流,AF2流,AF3流速率分别为3Mbps,2Mbps,1Mbps。

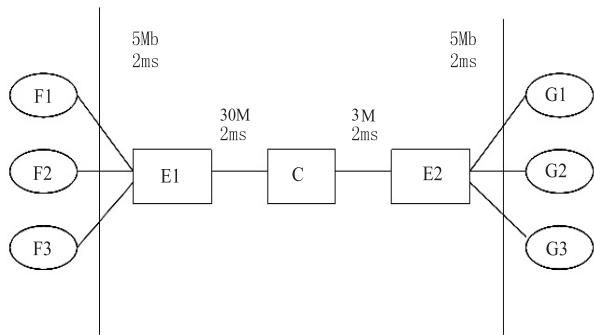


图1 DiffServ 仿真网络拓扑图

## 2.2 仿真结果

图2,图3和图4分别显示了三个队列在不同测量区间下发送的虚拟数据流的量,三个图的测量区间时间分别为50秒,2秒和1秒。数据包长度观测器测量数据包的长度并计算平均数据包长度。当测量区间时间是50秒时,也就是贯穿整个仿真阶段,初始的权值

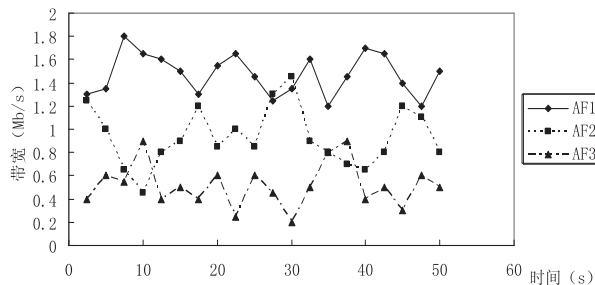


图2 测量区间时间为50秒时AF流在CWRR算法(WRR)下C-E2中的带宽

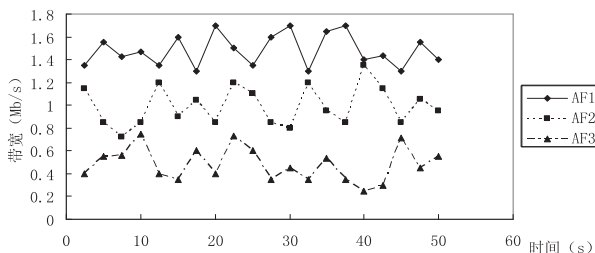


图3 测量区间时间为2秒时AF流在CWRR算法下C-E2中的带宽

并没有得到改变,因此,在这种情况下,仿真结果应该和WRR算法的结果是相同的。

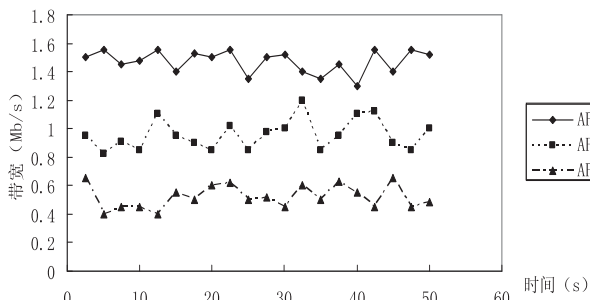


图4 测量区间时间为1秒时AF流在CWRR算法下C-E2中的带宽

从图2到图4,可以观察到随着测量区间时间的缩短,各流带宽的波动减小了,在测量区间为1秒时,已基本可以满足带宽公平分配的要求。

## 3 结束语

文中算法提出了一种新的基于IP网络的保证带宽公平分配的调度算法CWRR。CWRR在WRR的基础上,依据平均数据包长度自适应地改变权值。理论上,CWRR可以达到介于WRR与DWRR保证带宽公平度之间的各个等级。而且,通过仿真可以发现CWRR在测量区间时间比较小时具有比WRR更好的公平性。

## 参考文献:

- [1] 王会灵,林志波. TCP/IP网络的拥塞控制综述[J]. IP技术,2005(9):17-20.
- [2] Ferguson P, Huston G. Quality of service: delivering QoS in the internet and in corporate networks[M]. [s.l.]: Wiley, 1998.
- [3] 鲍慧,赵生岗,黄霞. 基于DiffServ模型的调度算法[J]. 计算机工程,2008,34(20):130-132.
- [4] 李爱华,刘殿兴. DiffServ网络中分组标记策略的研究与实现[J]. 辽宁大学学报,2005,32(4):373-375.
- [5] Kim Jong-Seon, Lee D C. Weighted round robin packet scheduler using relative service share[C]//Military Communications Conference. [s.l.]: [s.n.], 2001.
- [6] 谢臻,李翔. IP分组网中基于DiffServ的QoS技术策略及部署[J]. 计算机与现代化,2006,15(3):273-275.
- [7] 娄广国. 基于DiffServ over MPLS模型的流量控制研究[D]. 兰州:西北工业大学,2005.
- [8] Brownlee N, Mills C, Ruth G. Traffic flow measurement: architecture[S]. RFC2063, ETF, 1997.
- [9] McCloghrie K, Rose M. Management information base for network management of TCP/IP-based internets: MIB-II[S]. RM11213, IETF, 1991.

的效果。文中根据文献[12]中提出的图像置乱效果评价方法对图 4 和图 5 的置乱度进行了计算,结果如表 1 所示:

表 1 置乱度比较

传统幻方置乱算法置乱度	文中算法置乱度
0.679655	0.805802

从表中可以看出,文中算法的置乱度明显高于传统幻方算法的置乱度,说明本算法极大地降低了相邻像素间的相关性,并且扩散效果更好。在文献[7,8]等许多与幻方结合的加密算法中,基本都是采用传统的幻方置乱,如果能用本算法替换原有的传统幻方置乱算法,那加密效果应该更好。

4 安全性分析

文中算法分为两步:把幻方群看成  $s^2$  个  $r$  阶小同心幻方组成,这样先对  $s^2$  个  $r$  阶同心幻方进行变换,再对幻方群进行变换,然后用变换后的矩阵对图像进行双重迭代置乱。在还原图像时,不仅要知道构成  $n$  阶方阵的  $(r,s)$  构造的  $r$  阶和  $s$  阶幻方,而且还要知道置乱次数  $N_1$  和  $N_2$ 。明显的,本算法构造  $r$  阶  $s$  级的幻方群时, $r$  与  $s$  的选择并不唯一,例如文中未加密图像为 256 阶方阵,其  $(r,s)$  可以选择有序对:  $(4,64)$ 、 $(8,32)$ 、 $(16,16)$ 、 $(32,8)$ 、 $(64,4)$ ,设此时  $m$  为  $(r,s)$  可选择的有序对的个数。而文中  $r$  阶和  $s$  阶同心幻方的个数至少为  $(6(c_{2r-3}^{r-1})^2 + 2c_{2r-3}^{r-1}c_{2r-3}^r)(6(c_{2s-3}^{s-1})^2 + 2c_{2s-3}^{s-1}c_{2s-3}^s)^{[13]}$  种。

用传统幻方置乱  $n$  阶  $(n=r \times s)$  数字矩阵的图像个数为  $n^2 - 1$ ,而本算法置乱图像的个数至少为  $m(s^2 - 1)(r^2 - 1)(6(c_{2r-3}^{r-1})^2 + 2c_{2r-3}^{r-1}c_{2r-3}^r)(6(c_{2s-3}^{s-1})^2 + 2c_{2s-3}^{s-1}c_{2s-3}^s)$ ,即密钥空间数量级达到  $O(N^4)$ ,远远大于传统幻方图像置乱算法的密钥空间  $O(N^2)$ 。由此可见,本算法的密钥随机性更大、安全性更高并且加密效果更好。

5 结束语

图像置乱是图像加密领域中重要的一个研究方

向,文中针对传统幻方置乱加算法存在的问题提出了基于幻方群的图像置乱算法。该算法首先用镶边法构造同心幻方,然后再用同心幻方构造幻方群,对图像进行双重迭代。

实验表明,本算法对传统幻方置乱图像的连续性 问题有了明显的改进,同时密钥空间得到很大改善,且置乱效果更好。

文中算法没有考虑置乱时造成的块效应,这也是今后有待改进的地方。同时将该算法与其他算法有效地结合也将是未来的研究方向之一。

参考文献:

[1] 司银女,康宝生. 基于改进的 Arnold 变换的数字图像置乱[J]. 计算机技术与发展,2008,18(2):74-79.

[2] 丁伟,齐东旭. 数字图像变换及信息隐藏及伪装技术[J]. 计算机学报,1998(9):838-843.

[3] Ding Wei, Yan Weiqi, Qi Dongxu. Digital image scrambling[J]. Progress in Natural Science,2001,11(6):456-460.

[4] Zhang Meng, Wang Fanzhen. Chaotic Video Encryption Algorithm Based on Baker Map[J]. Journal of Image and Graphics,2006,11(9):1328-1333.

[5] Li Shujun, Zheng Xuan. On the security of an image encryption method[C]//Proc of IEEE ICIP. [s.l.]:[s.n.],2002.

[6] 吴鹤龄. 幻方及其他-娱乐数学经典名题[M]. 北京:科学出版社,2004.

[7] 舒文中. 幻方[M]. 广州:广东科技出版社,1991.

[8] 李太勇,吴江. 一种基于混沌序列和幻方变换的数字图像加密算法[J]. 网络安全技术与应用,2006(5):90-92.

[9] 陈巧琳,廖晓峰,陈勇,等. 改进的基于混沌序列的幻方变换图像加密[J]. 计算机工程与应用,2005(22):138-139.

[10] 王秀丽,宁正元. 基于奇幻方的数字图像加密算法[J]. 闽江学院学报(自然科学版),2006,27(2):57-59.

[11] 王冬梅. 奇数阶幻方变换数字图像的准周期[J]. 浙江工业大学学报,2005,33(2):292-294.

[12] 田红鹏. 图像置乱效果盲评价的灰色块分析方法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(34):171-173.

[13] 郑格于. 同心幻方的历史、构造及特性[J]. 武当学刊(自然科学版),1993(2):1-13.

(上接第 118 页)

[10] Case J, Fedor M, Schoffstall M, et al. Simple network management protocol[S]. RFC 1157, IEIF, 1990.

[11] Shreedhar M, Varghese G. Efficient fair queueing using deficit round robin[C]//Proc. of ACM SIGCOMM 95. Cambridge, MAUSA:[s.n.],1995:231-242.

[12] 刘彪. NS-2 模拟器及其教育应用[J]. 计算机教育,2007(10):164-166.

[13] Man H Y, Xu L Y, Li Z J. End-to-End QoS Implement by DiffServ and MPLS[C]//Canadian Conference. Canadian:[s.n.],2004:641-644.

# 一种基于平均数据包长度的可变权值调度算法

作者: [李寅, 周井泉](#)  
作者单位: [南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2012(9)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjtz201209031.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201209031.aspx)