

文章编号: 1005-3026(2006)03-0272-04

# 一种基于 QoS 的无线分组调度算法

赵 越, 罗晓华, 杨 鹏, 王光兴  
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

**摘 要:** 提出了一种适用于无线网络的分组调度算法——动态概率优先级 (Dynamic Probabilistic Priority, DPP) 调度算法。DPP 调度算法采用动态的优先级分配策略, 满足了不同业务的 QoS 需求。另外, DPP 算法在网络出现差错时, 动态地调整带宽分配, 使得网络中的带宽得到有效的利用, 提高了系统的吞吐量, 保证了算法的公平性。理论分析和仿真试验表明, 在无线网络环境中, 该算法具有更好的性能。

**关 键 词:** QoS(服务质量); 分组调度; DPP(动态概率优先级); 无线网络; 区分服务  
**中图分类号:** TP 393.01 **文献标识码:** A

IP 分组的 QoS<sup>[1]</sup>是全 IP 移动网络中最关键的技术之一, 而无线分组调度算法则是实现 IP 分组 QoS 的重要保证。现有的分组调度算法, 比如加权公平排队算法 (Weighted Fair Queueing, WFQ)<sup>[2]</sup>, 加权轮询调度算法 (Weighted Round Robin, WRR)<sup>[3]</sup>等, 都是在有线网络环境下成熟起来的算法。它们已经在有线网络的环境下表现出比较好的性能, 但是, 如果把它们应用到无线网络的环境中, 就不得不考虑无线网络本身的特点, 比如: 移动节点的位置依赖性和链路的差错率高。当前有关无线网络的分组调度算法, 如: SBFA (Server Based Fairness Approach)<sup>[4]</sup>, CIF-Q (Channel-condition Independent Fair Queueing)<sup>[5]</sup>以及 IWFQ (Idealized Wireless Fair Queueing)<sup>[6]</sup>等, 它们主要集中在保障各连接的 QoS 前提下, 追求系统吞吐量极大化, 也就是系统利用率的提高, 而未考虑短期公平性的问题。

根据对无线网络特性的研究, 本文提出了一种适用于无线网络的分组调度算法——动态概率优先级 (DPP) 调度算法。它依据的是概率优先级 (PP) 调度算法<sup>[7]</sup>。

## 1 PP 算法介绍

为了说明 PP 调度算法的原理, 给出一个模型如图 1 所示。

模型中, 有  $N$  个调度队列, 一个调度器。每个

队列对应一个业务流。每个队列都有一个初始参数  $p_i \in [0, 1] (i = 1, 2, \dots, n-1)$ , 并且  $p_n = 1$ 。PP 调度算法的实现如下:

- (1) 调度器从标号  $i = 1$  的队列开始调度;
- (2) 如果队列  $i (< N)$  为空, 那么调度器将不调度队列  $i$ , 而将调度下一个队列  $i + 1$ ;
- (3) 如果队列  $i$  不为空, 并且所有比队列  $i$  优先级小的队列都为空, 那么调度器将按照概率  $1$  调度队列  $i$  中的分组;
- (4) 如果队列  $i$  不为空, 并且存在比队列  $i$  更低优先级的非空队列, 调度器将先按概率  $p_i$  调度队列  $i$  中的分组, 接着调度器将按照概率  $1 - p_i$  调度下一个非空队列;

如果本次循环之后, 还有队列不为空, 那么调度器进行新一轮调度; 如果  $N$  个队列都为空, 调度器将进入空闲状态。有关  $p_i$  的计算公式请参考文献<sup>[7]</sup>。

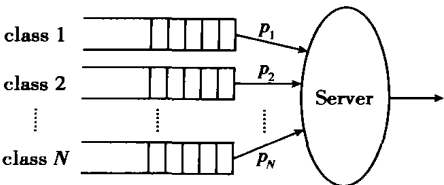


图 1 具有  $N$  个调度队列的 PP 模型  
Fig. 1 PP model with  $N$  queues

PP 调度算法, 通过调整参数  $p_i$ , 使得在负载很重的网络环境中, 优先级较低的分组队列也能

收稿日期: 2005-05-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目 (2004AA712032)。

作者简介: 赵 越 (1965 - ), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学博士研究生; 王光兴 (1937 - ), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学教授, 博士生导师。

得到服务,从而避免了在严格优先级调度(SP)<sup>[8]</sup>中,优先级较低的分组永远都得不到服务的情况。在提供区分服务的网络环境中,PP调度算法比WFQ(Weighted Fair Queueing)算法和DRR(Deficit Round Robin)算法<sup>[9]</sup>更容易实现,因为它不需要虚拟时钟。

## 2 DPP的原理和实现

PP算法在网络没有差错的情况下,性能比较理想。然而,在无线网络中,信道的差错率高是其固有的特性。在这样的情况下,需要解决两个问题:

(1) 在无线网络出现差错时,带宽如何调整,才能充分地利用现有的资源,提高整个系统的吞吐量;

(2) 在无线网络从差错状态恢复到正常状态时,又该如何调整带宽分配,才能使那些因为网络出错而中止服务的业务流,能够得到它约定的服务,从而为不同的业务流提供QoS保证。

针对上面的两个问题,本文提出了DPP调度算法:

(1) 当网络处于正常状态,并且没有空闲队列时,采用PP调度算法;

(2) 当网络处于正常状态,并且有空闲队列时,采用PP调度算法,此时需要调整权值;

(3) 当网络处于差错状态,并且还没有恢复到正常状态时,需要调整权值。因为那些暂时中止服务的业务流会释放出带宽,这个时候就可以把这部分带宽重新分配。在这里采用的调整算法是PP调度算法,所不同的是,需要把中止服务的业务流所在的队列看作空闲队列;

(4) 当网络从差错状态恢复到正常状态时,这个时候需要用一段时间进行带宽调整,从而使那些在网络出错时,中止服务的业务流能够享受到它约定的服务,称之为恢复调整算法;

(5) 当第4步完成之后,网络按照正常状态,采用PP算法进行调度。

以上过程中的第3步和第4步分别解决了所提出的第一个和第二个问题。

下面对第4步恢复调整算法中的权值调整,以及恢复调整过程所需要的时间进行数学推导:

(1)  $p_i$  是队列  $i$  的权值,  $\sum p_i$  是系统中所有无差错的队列的权值和,  $B_s(t)$  是当前时刻系统的带宽。那么可以得出队列  $i$  享有的带宽  $b_i$ :

$$b_i = \frac{p_i}{\sum p_j} \times B_s(t) \quad (1)$$

(2)  $p_n(i)$  是没有受到网络差错影响的队列  $i$  的权值,  $p_e(i)$  是受到网络差错影响的队列  $i$  的权值,使用调整系数  $\alpha_i$  ( $\alpha_i \in (0, 1)$ ) 对正常队列进行权值调整,而保持错误队列的权值为发生差错前的权值不变。调整公式如下:

$$p_n^*(i) = p_n(i) \times \alpha_i \quad (2)$$

$$p_e^*(i) = p_e(i) \quad (3)$$

$p_n^*(i)$  和  $p_e^*(i)$  分别为恢复调整过程中正常队列和错误队列的权值。

(3) 下面给出恢复调整过程的时间推导。

假设队列  $i$  的故障时间是  $T_i$ , 恢复调整时间为  $T_i^*$ , 在这段时间它得到的服务为  $s_i^*$ 。如果队列  $i$  没有发生故障,那么队列  $i$  在  $(T_i + T_i^*)$  期间应该得到的服务为  $s_i$ 。那么应该有

$$s_i = s_i^* \quad (4)$$

又因为  $s_i = b_i \times (T_i + T_i^*)$ ,  $s_i^* = b_i^* \times T_i^*$ , 又由式(1), 则有

$$\frac{\sum_k p_k(i) \times B_s(t) \times (T_i + T_i^*)}{\sum_k p_k \times \alpha_k + p_e(i)} \times B_s^*(t) \times T_i^* \quad (5)$$

又因为  $B_s(t) = B_s^*(t)$ , 那么可解析出

$$T_i^* = \frac{T_i \left( \sum_k p_k \times \alpha_k + p_e(i) \right)}{\sum_k p_k \times (1 - \alpha_k)} \quad (6)$$

## 3 网络仿真测试

### 3.1 网络仿真环境

采用的网络仿真工具是 NS 2.26<sup>[10]</sup>, 建立的网络仿真环境如下。

两个网络节点: 一个发送节点, 一个接收节点。节点之间的链路带宽为 1.5 Mb, 网络延迟为 10 ms, 并且在链路中引入随机错误。链路上的分组调度算法可以分别选用 DPP 或 PP 调度算法。

发送节点有 3 个不同优先级的业务流, 它们都是 CBR 流, 采用的都是 UDP 连接, 分组大小都为 1 000 B, 发送速率分别为 0.3, 0.6, 0.9 MB/s。

每个业务流发送数据包的时间都为 10 s, 并且每个业务流对应一个优先级队列。

### 3.2 仿真数据分析

图 2 和图 3 分别展示了采用 DPP 和 PP 调度算法, 各个业务流发送成功的分组数与时间的关系。

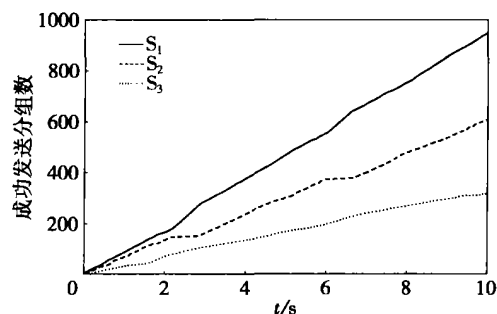


图 2 各个流成功发送的分组数(DPP 算法)

Fig. 2 Successfully dispatched number of packets among various streams with DPP scheduling

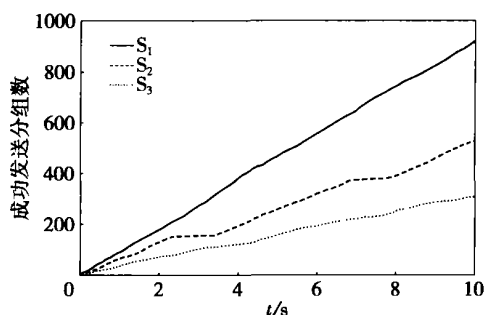


图 3 各个流成功发送的分组数(PP 算法)

Fig. 3 Successfully dispatched number of packets among various streams with PP scheduling

从图中可以看到,业务流 2 发送成功的分组数目有两次较大的起伏.实际上,在仿真中,链路在时间分别为 $[2.0, 2.8]$ 和 $[5.8, 6.6]$ 的两个区间中,都出现了错误,而且,出现差错的持续时间大约都为  $0.8\text{ s}$ .

对比两图:如果采用的是 DPP 算法,当链路出现差错时,业务流 1 和业务流 3 成功发送分组的数目增长得更快,这是因为,当业务流 2 停止发送分组时,它原来的带宽就被业务流 1 和业务流 3 共享了.还可以看到,业务流 1 的增长更明显一些,这是因为业务流 1 的初始优先级高,在带宽重新分配的时候,它增加的带宽也就越多.相比之下,如果采用的是 PP 算法,当链路出现差错时,业务流 1 和业务流 3 发送的分组数的增长速度几乎没有什么变化.

另外,当时间到  $10\text{ s}$  的时候,业务流 1 和业务流 3 成功发送的分组数目,在 DPP 和 PP 算法中,没什么区别.而业务流 2 就不一样了,在 DPP 中,大约为 600,而在 PP 中,大约为 510.这是在 DPP 算法中采用恢复调整算法的结果.

图 4 和图 5 分别展示了采用 DPP 和 PP 调度算法,各个业务流的比特率与时间的关系.

从图 4 和图 5,可以更清楚地看到:在链路出现差错时,如果采用的是 DPP 算法,业务流 1 和业务流 3 的传输速率都明显的增加;如果是 PP

算法,它们的传输速率几乎没有改变.

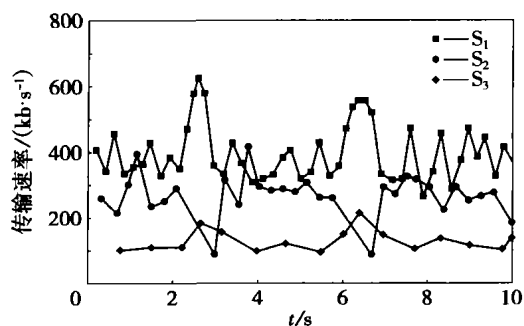


图 4 各个流的比特速率(DPP 算法)

Fig. 4 Bit transfer rates of various streams with DPP scheduling

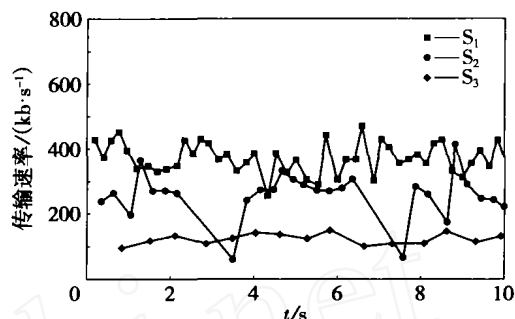


图 5 各个流的比特速率(PP 算法)

Fig. 5 Bit transfer rates of various streams with PP scheduling

图 6 是系统传输分组数目的统计结果.

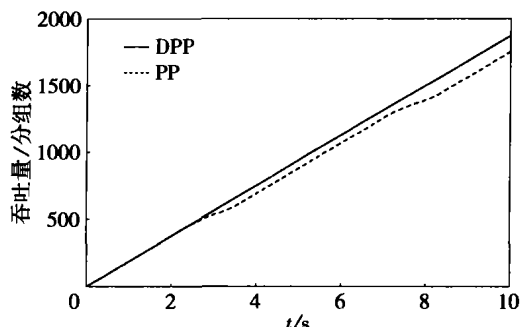


图 6 DPP 和 PP 算法分组数目的差异

Fig. 6 Difference of numbers of packets between DPP and PP scheduling

从图 6 中可以看到,DPP 算法明显优于 PP 算法,DPP 算法的曲线,几乎呈直线增长;而 PP 算法,在链路出现差错时,分组的增长速度就开始变慢.出现以上结果的原因是:DPP 算法在链路出现差错时,采用了带宽重分配,在链路恢复时,又采用了恢复调整策略.所以,DPP 算法在保证 QoS 的同时,提高了系统的吞吐量.

## 4 结 语

本文提出的 DPP 无线分组调度算法,能够适应无线网络的特性,即使在无线网络出现差错的情况下,仍然能够保证各个业务流的 QoS,同时还能提升系统的吞吐量.理论分析和网络仿真证明,

DPP算法比PP算法具有更好的性能.它的提出为全IP移动网络的IP分组调度,提供了一种重要的QoS保证策略.

#### 参考文献:

- [1] Shenker S, Partridge C, Guerin R. Specification of guaranteed quality of service[EB/OL]. RFC 2212, [http: www.rfc.net/rfc2212.html](http://www.rfc.net/rfc2212.html), 1997-09-30.
- [2] Parekh, Gallager R. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: the single node case [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1993,1(3):344-357.
- [3] Shimonishi H, Yoshida M. An improvement of weighted round robin cell scheduling in ATM networks[A]. *Proc of IEEE Globecom '97*[C]. Phoenix, 1997.1119-1123.
- [4] Ramanathan P, Agrawal P. Adapting packet fair queueing algorithms to wireless networks [A]. *ACM MOBICOM 1998*[C]. Dallas, 1998.1-9.
- [5] Ng T, Stoica I, Zhang H. Packet fair queueing algorithms for wireless networks with location-dependent errors [A]. *IEEE INFORCOM 1998*[C]. San Francisco, 1998.1103-1198.
- [6] Lu S W, Bharghavan V, Srikant R. Fair scheduling in wireless packet networks[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1999,7(4):473-489.
- [7] Jiang Y, Tham C K, Ko C C. A probabilistic priority scheduling discipline for high speed networks [A]. *Proceedings of 2001 IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR 2001)* [C]. Dallas, 2001.29-31.
- [8] Tham C K, Yao Q, Jiang Y. A multi-class probabilistic priority scheduling discipline for differentiated services networks[J]. *Computer Communications*, 2002,25:1487-1496.
- [9] Shreedhar M, Varghese G. Efficient fair queueing using deficit round-robin[J]. *IEEE Transactions on Networking*, 1996,4(3):375-385.
- [10] UCN/LBL/VINT. Network simulator-NS2 [EB/OL]. [http: www.isi.edu/nsnam/vint/index.html](http://www.isi.edu/nsnam/vint/index.html), 1997-10-30.

## A QoS-Based Packet Scheduling Algorithm in Wireless Networks

ZHAO Yue, LUO Xiaohua, YANG Peng, WANG Guangxing

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: ZHAO Yue, E-mail: xiaodouzhi126@163.com)

**Abstract:** Proposes a packet scheduling algorithm adaptable to wireless networks, i. e., the Dynamic Probabilistic Priority (DPP). Introducing the dynamic priority dispatching strategy, the DPP algorithm can meet different requirements of QoS. In addition, if errors occur in wireless networks, the algorithm can dynamically assign bandwidths to make full use of them. It will not only improve the throughput of system, but also ensure algorithm's fairness. Both theoretical analysis and simulating test indicate that DPP algorithm works better in wireless networks.

**Key words:** QoS (Quality of Service); packet scheduling; DPP (Dynamic Probabilistic Priority); wireless networks; differentiated services

(Received May 9, 2005)