

一种支持服务类别的无线公平调度算法

宋 舰, 李乐民

(电子科技大学通信与信息工程学院, 四川成都 610054)

摘 要: 本文提出了一种支持服务类别的无线公平调度算法: CoSB- WFS(基于服务类别的无线公平调度). 算法区分不同的服务类别并可根据其业务需要进行不同的调度. 考虑到无线信道的特殊性, 算法引入了补偿和再分配模式. 在仿真工具 OPNET 上模拟了算法并得到了性能改良的结果.

关键词: 服务质量; 服务类别; 无线公平调度

中图分类号: TN9291.5 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2004)01-0052-05

A Wireless Fair Scheduling Algorithm Supporting CoS

SONG Jian, LI Le2min

(Institute of Communication and Information Engineering, UESTC, Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract: In this paper, we propose a fair scheduling algorithm called CoSB-WFS (Class of Service Based Wireless Fair Scheduling) to support QoS demands of different classes of services in wireless networks. It uses CoS index to distinguish different application level services and can use different queueing strategies for each CoS. We propose a compensation strategy and a reallocation method in the algorithm to achieve wireless fair services. We build a simple model of the algorithm in OPNET and present simulation results to show the performance improvements.

Key words: QoS (quality of services); CoS (class of services); WFS(wireless fair scheduling)

1 引言

最近几年,无线通信技术发展十分迅猛.随着 2.5G 和 3G 技术的发展,手机已经不仅仅用于传递语音,而是可以传递众多的多媒体业务,如网页浏览、视频对话等等.无线网络的发展趋势也逐渐演进为从电路交换到分组交换,也就是说,未来的无线网络将是全部或者大部分基于 IP 技术的.更多的移动终端(手机、PDA、笔记本电脑等等)已经可以通过某些特定的技术(IEEE802.11、蓝牙、移动 IP 等等)接入网络.下文主要探讨基于 IP 的无线网络.

在提供给用户更多服务的同时,还必须保证用户的服务质量.目前主要通过呼叫接纳控制(CAC: Call Admission Control)、调度(Scheduling)以及拥塞控制(Congestion Control)等方法保证用户业务的服务质量.而调度是其中很重要的环节,它可根据不同业务需求保障业务的带宽分配,并可保障业务的时延要求.目前有线网络中已经出现了很多成熟的分组调度算法,但是无线信道与有线信道相比具有很大的特殊性,它表现在:(1)带宽有限;(2)信道具有位置依赖性;(3)突发和高的信道误码;(4)通信终端的移动性;(5)功率限制.因此无线调度算法就需要采用特殊的办法.

考虑到对带宽的充分利用,当由于误码或其它原因造成

某一正在传递数据的连接暂时中断,系统应将该信道临时分配给别的连接.为了实现公平性,在暂时中断服务的连接恢复正常后,获得额外服务的连接就应当做出补偿.这就是我们所说的无线调度算法中的补偿模式.

最近出现了一些对无线分组调度算法的研究^[1~7].文[1]指出了无线分组调度应该考虑的关键问题,并定义了一个公平服务的模型,但是未考虑对服务类别的区分.文[2]考虑了服务类别,但未考虑补偿方式.文[3~5]考虑了服务类别并采用了不同的补偿方式,但并非真正意义上的公平.在文[3]中,补偿的方式实际是惩罚低级别的业务;在文[4]中,补偿仅发生在本类别的业务中,如果不同类别的业务之间发生了额外服务,如何补偿并没有涉及;在文[5]中,补偿的方式是惩罚那些流量小的业务.文[6]提出了一种/机会主义0的调度算法,但算法在实现短期公平性上有很大的困难.文[7]综述了一些无线调度算法的研究.

本文提出了一种支持服务类别的无线公平调度算法: CoSB- WFS(基于服务类别的无线公平调度).算法区分不同的服务类别并可根据其业务需要进行不同的调度.考虑到无线信道的特殊性,算法引入了补偿和再分配模式. CoSB- WFS 的补偿模式完全针对那些获得额外服务的业务流,再分配模式考虑到了补偿完成后的一些特殊情况.

文章接下来的第二节介绍了网络和链路的基本模型, 第三节对 CoSBWFS 算法进行了描述, 第四节给出了算法在 OP2 NET 下的仿真结果, 第五节对未来的研究方向进行了探讨, 最后对文章进行了总结.

2 网络和链路模型

我们把无线网络看作是有线网络的扩展, 它分为两个部分: 无线接入部分和有线的核心网络部分. 网络按小区划分, 每个小区有唯一的基站(BS)作为无线接入点, 各个小区之间由基站相连. 基站和移动终端(MT)之间的通信分为上行(从 MT 到 BS)和下行(从 BS 到 MT), 由基站统一调度.

我们假定一个用户到基站之间的通信为一个分组数据流, 各用户与基站的通信是独立的, 也就是说用户到基站的链路是独立的. 同时, 链路存在着高的误码率, 当误码率大于一定程度时, 称链路故障(信道故障), 这时在该链路上的传输将终止, 基站可将该链路所占的带宽分配给其它的连接.

我们定义理想状态为整个网络无任何链路故障, 也就是无差错状态. 对每一个连接都分配一个变量 lag 来区分各个分组数据流的状态. Lag 记录用户在理想状态下应该得到的服务(预约带宽 @ 时间)和实际得到的服务之间的差. 通过 lag 的值将分组数据流分为三种状态, 见表 1.

表 1 分组数据流类型

流类型	流定义
领先流 Leading flow	该数据流的 lag 为负值
滞后流 Lagging flow	该数据流的 lag 为正值
同步流 In2Sync flow	数据流的 lag 为零

3 CoSBWFS 算法

我们将 CoSBWFS 算法分为四个部分加以描述: 业务区分、无差错状态链路的带宽分配、补偿模式和发送事后处理.

3.1 业务区分

由于不同的业务对带宽和时延有不同的需求, 业界将业务大致进行了分类, 如 ATM 论坛将业务划分为恒定比特率(CBR)、实时可变比特率(r2VBR)、非实时可变比特率(nr2VBR)、可用比特率(ABR)和不明指比特率(UBR); 3GPP 将业务划分为会话业务(Conversational)、流业务(Streaming)、交互业务(Interactive)和后台业务(Background)^[8]. 我们在这里选择了 3GPP 的业务分类作为 CoSBWFS 算法的服务类别. 针对不同的服务类别选择适合的调度方法, 如 WFQ^[9]、WF²Q^[10]、WF²Q+^[11]和 WRR 等.

表 2 给出了 CoSBWFS 算法中业务区分的详细情况:

表 2 CoSBWFS 算法中的业务区分

基本区分	详细区分	优先权	带宽保证	采用调度方法
实时业务	会话业务	最高	是	WFQ, WF ² Q,
	流业务	高	是	WF ² Q+, etc.
非实时业务	交互业务	中	是	WRR, etc.
	后台业务	低	否	

我们假定每一个连接在建立初始由呼叫接纳控制模块(CAC Module)完成对其带宽的分配. 需要指出的是我们在算法中均采用加权的调度算法, 这是为了算法实现的方便, 各业务应得的带宽与其权重成正比, 很容易实现带宽分配和补偿, 详见下文.

3.1.2 无差错状态链路的带宽分配

如前所述, 当一个分组数据流 f 检测到了链路故障, 基站(调度器)应将其带宽临时分配给其它的流. 由于会话业务是固定比特率的, 它不需要额外的服务, 所以 f 所释放的带宽应该被分配给那些可变比特率的且有分组在等待传输的无差错状态的连接, 包括流业务、交互业务和后台业务. 这部分带宽我们成为额外带宽.

在 CoSBWFS 算法中, 额外带宽的分配方式是按照各个连接的权重进行公平分配, 即每个可变比特率无差错状态连接所获得的额外带宽正比于它的权重. 举例来说, 假设此时系统存在两个可变比特率无差错状态的连接 f1 和 f2, 它们的权重分别是 w1 和 w2, 它们能获得的额外带宽是 b1e 和 b2e. 满足下列关系式:

$$\frac{b_{1e}}{b_{2e}} = \frac{w_1}{w_2} \tag{1}$$

由于我们采用了加权的调度算法, 额外带宽的分配直接隐含在连接获得的总带宽分配中, 这是由于加权调度算法中每一个连接获得的带宽满足下列关系式:

$$b_i = \frac{w_i}{\sum_j w_j} @ B_s(t) \tag{2}$$

其中 w_i 为连接 i 的权重, $\sum_j w_j$ 是系统中所有无差错的连接的权重和, B_s(t) 是当前时刻的系统带宽. 在 CoSBWFS 算法中, 我们将 B_s(t) 分为两个部分: B_c(t) (固定比特率连接的总带宽) 和 B_v(t) (可变比特率连接的总带宽). 所有连接均按其类别从 B_c(t) 或者 B_v(t) 中分配带宽. 当有额外带宽分配时, 动态更新 B_v(t) 的值, 所有可变比特率无差错状态的连接按其权重从 B_v(t) 中分配带宽, 这就满足了关系式(1).

3.1.3 补偿模式

补偿模式是无线调度算法区别于有线调度算法的最重要的部分. 它决定了如何由领先流向滞后流进行补偿. 当一个滞后流的链路恢复正常时(由系统链路状态监测模块完成), 补偿模式被触发. 这时所有领先流应该将其所得到的额外服务补偿给滞后流. 在 CoSBWFS 算法中, 补偿的完成是由领先流释放一部分带宽用于补偿, 而不是将其所有带宽都用于补偿, 直至这个领先流变成同步流. 这样做的好处是补偿时并不中断对领先流的服务.

针对一个滞后流 i, 每一个领先流都释放固定比例($s_i, 0 < s_i < 1$)的带宽作为补偿, 由于滞后流的类别不同, 可根据其优先权决定 s_i 的大小, 如果滞后流优先权比较高, 就提高 s_i 的值以加速补偿. 当系统同时存在多个恢复状态的滞后流时, 领先流用于补偿的比例即为这多个 s_i 的和 2s_i, 当然, 2s_i 必须限制在一定范围 D(0 < D < 1) 内.

CoSBWFS 算法通过调整权重来实现带宽的补偿, 其方法

如下列关系式:

$$W_{lagging}^*(i) = W_{lagging}(i) + S_i @ \sum_j W_{leading}(j) \quad (3)$$

$$W_{leading}^*(j) = \left[1 - \sum_i S_i \right] @ W_{leading}(j) \quad (4)$$

这里 $W_{lagging}^*$ 和 $W_{leading}^*$ 代表更新后的滞后流和领先流的权重, $W_{lagging}$ 和 $W_{leading}$ 代表更新前的滞后流和领先流的权重. 每当有连接状态发生变化时(包括监测到故障恢复、滞后流或者领先流恢复成同步流), 各个相应流的权重都根据公式进行调整.

3.1.4 发送事后处理

当一个数据分组得到发送后, 更新该连接的 lag 系数, 并根据 lag 系数判别该连接的状态. 当连接 i 的 lag_i 从负值变到零时, 这意味着连接由领先状态恢复到同步状态, 这时该连接的权重恢复到呼叫接纳控制对其分配的初始权重, 同时所有滞后流的权重根据式(3)重新计算.

当连接 i 的 lag_i 从正值变到零时, 这意味着连接由滞后状态恢复到同步状态, 这时该连接的权重恢复到呼叫接纳控制对其分配的初始权重, 同时所有领先流的权重根据式(4)重新计算.

当系统中所有的领先流都恢复成为同步流时, 我们称之为补偿结束. 根据算法, 这时所有连接的权重都已恢复为初始权重. 如果这时系统中仍然存在着一个滞后流 i , 造成这种现象的原因可能是某个领先流在补偿结束前已经完成了传输, 这时再分配模式被触发:

- (1) 如果 i 是后台业务, 由于这种业务优先级最低, 忽略它并将其状态重置为同步;
- (2) 如果 i 不是后台业务, 但系统中并不存在优先级比 i 低的业务流, 仍然忽略 i 并重置其状态为同步;

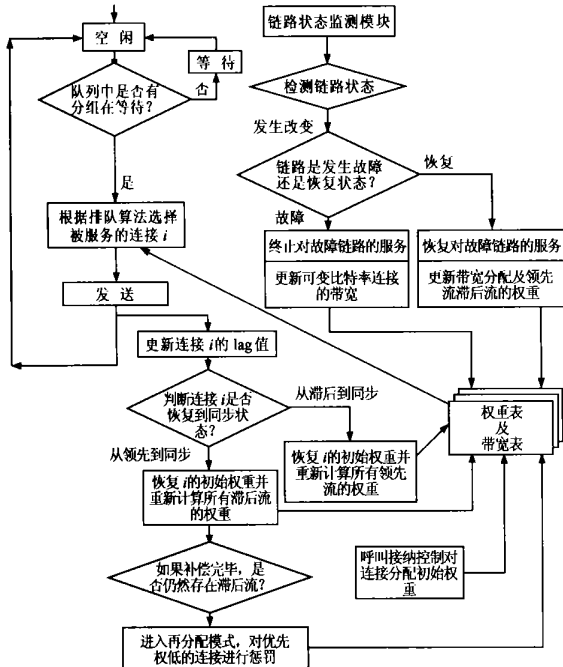


图 1 CoSEWFS 算法的基本框架

(3) 如果 i 不是后台业务同时系统中存在优先级比 i 低的业务流, 例如 j , 那么 j 将释放部分带宽给 i 直至 i 恢复同步, 当 i 恢复同步后, 重置 j 的状态为同步. 用于再分配的流的策略是优先级最低的流被惩罚.

图 1 为 CoSEWFS 算法的基本框架.

4 仿真结果及分析

我们在 OPNET 仿真工具上模拟了 CoSEWFS 算法. OP2 NET 是用于网络规划和通信协议的专业仿真工具. 这里使用的版本为 8101 C PL 16. 建立的基本模型如图 2 所示.



图 2 基本仿真模型

这里信源模块(source)可以产生各种业务类别的分组数据流, CoSEWFS 模块即调度器, 接收模块(sink)用于收集调度器输出的数据.

我们在仿真中主要关注补偿模式带来的性能变化, 在仿真中共采用了 5 种信源, 其特性见表 3. 为了仿真的方便, 我们对所有的分组数据流使用了相同的分组大小, 均为 100 比特. 整个系统的带宽也固定在 180, 000bps. 假定所有连接都有分组在等待, 即系统一直处于饱和状态. 在未考虑算法复杂度的情况下, 调度算法一律采用了 WF^2Q+ .

表 3 仿真所使用的信源特性

分组流	服务类别	初始权重	差错状态
1	会话业务, 固定比特率 600 Packets/s	6	始终无差错
2	流业务, 可变比特率	9	始终无差错
3	流业务, 可变比特率	9	链路故障时间 [12, 13)
4	交互业务, 可变比特率	6	始终无差错
5	后台业务, 可变比特率	3	始终无差错

4.1 所有连接均无差错

在这个仿真中信源选择了分组数据流 2、4 和 5, 仿真结果见图 3.

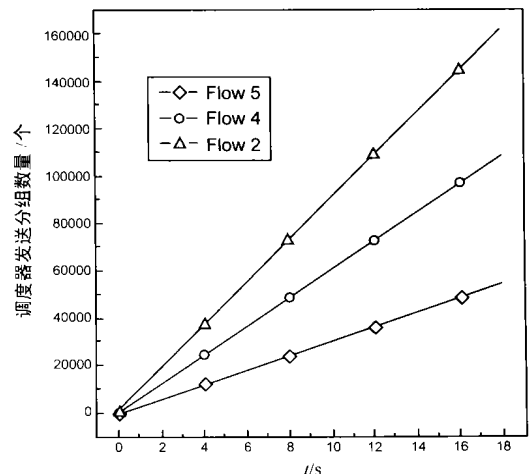


图 3 无差错状态下的仿真结果

进行该仿真的目的在于观察系统无差错时各连接所得到的服务,从图中可以看到各连接获得的服务与其权重成正比关系,权重越高,所获得的带宽分配就越大。

4.1.2 有连接出现链路故障

我们选择分组数据流 3 来代表出现信道故障的连接,链路在时间 12s 时出现故障,13s 时恢复正常。首先进行的是无补偿模式的仿真,仿真选择了两种情况:

(1) 系统中存在固定比特率的业务

此时选择分组数据流 1 代表固定比特率的业务。信源产生 3 个分组数据流 1、3 和 5。仿真结果见图 4。由图 4 可见当有链路发生故障时,固定比特率的连接不得到任何额外的服务,所有额外服务均给予了可变比特率的连接。当链路恢复正常时,由于没有补偿,各个连接还是按照其初始权重获得带宽。需要注意的是,如果采用 WFQ 算法,结果会有所不同,这是因为 WFQ 算法隐含了惩罚,详细原理可参考文[9~11]。

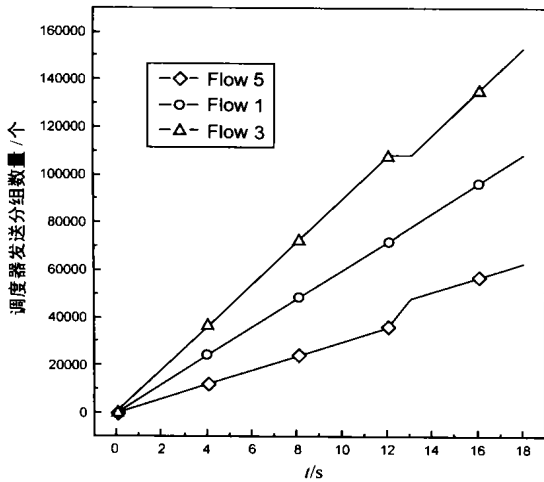


图 4 连接中存在 CBR 业务时的仿真结果

(2) 系统中不存在固定比特率的业务

此时信源产生 3 个分组数据流 3、4、5。仿真结果见图 5。由图 5 可见当有链路发生故障时,这部分额外带宽对可变比

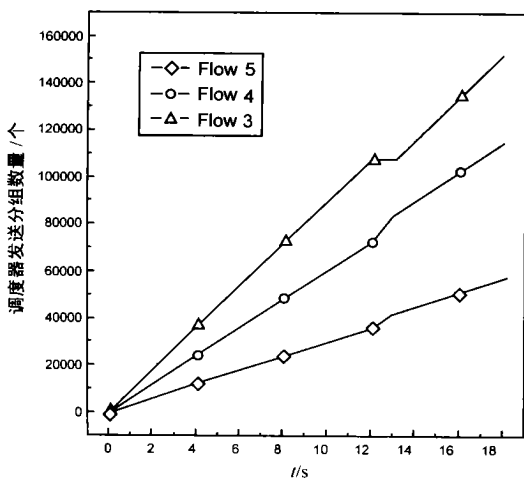


图 5 连接中不存在 CBR 业务时的仿真结果

特率的连接的分配也正比于它们的权重。由于分组数据流 4 的权重是分组数据流 5 的两倍,所以它得到的额外带宽也是分组数据流 5 的两倍。

下面进行的是带补偿模式的仿真,调度器对连接 3 采用了 $\$ = 1/3$ 的补偿策略,结果见图 6。

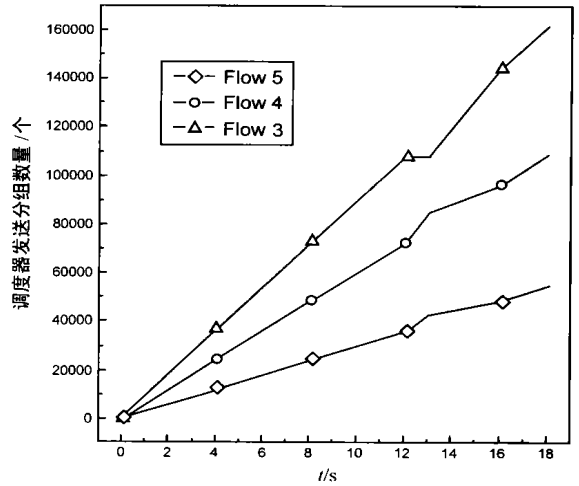


图 6 $\$ = 1/3$ 的仿真结果

由图示可见采用了补偿模式后当连接 3 恢复正常时,连接 4 和 5 均对 3 进行了补偿,并且由于连接 4 获得的额外服务多,它所用于补偿的带宽也就大。

4.1.3 仿真结果比较

(1) 补偿模式下不同 $\$$ 值的仿真结果比较

比较结果见图 7。由图示可见补偿的速度取决于 $\$$ 的值, $\$$ 越大,补偿速度越快,补偿结束的时间越早。Flow 5 的图示与 Flow 4 类似,这里略过。

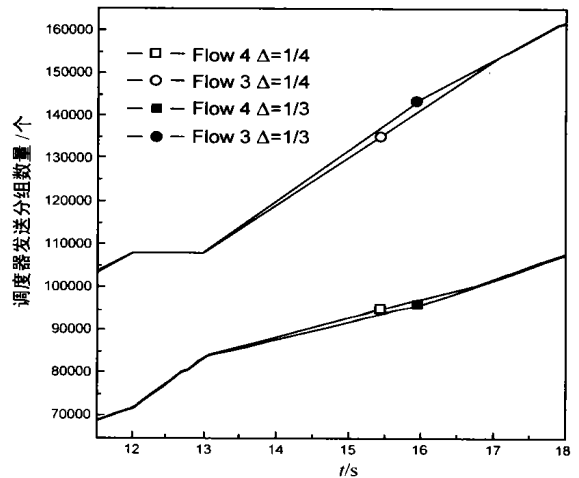


图 7 不同 $\$$ 值的仿真结果比较

(2) 有无补偿模式和无差错状态的仿真结果比较

比较结果见图 8。

从图中可以看出如果不采用补偿模式,滞后流在信道恢复后得不到任何补偿,也就是说那些领先流所得到的额外服务将不会偿还,领先流将不受到任何惩罚。这对滞后流是不公

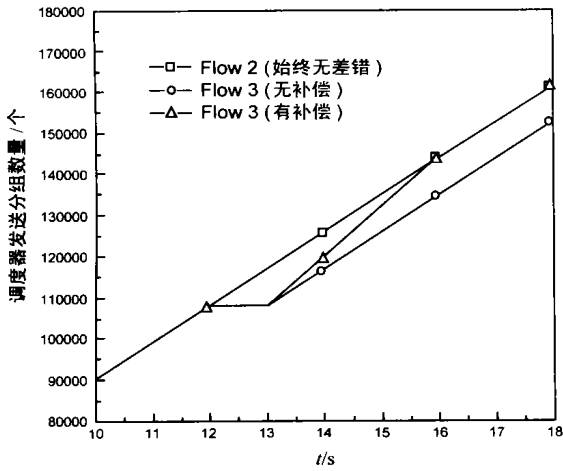


图 8 有无补偿模式和无差错状态的仿真结果比较

平的. 当采用了补偿模式后, 当补偿结束时系统状态和无差错状态的仿真结果一致, 也就是说采用了补偿模式后连接所得到的实际服务在补偿结束后与其预约的服务是一致的. 这对所有的连接都是公平的.

5 总结

随着无线 IP 网络的发展, 调度将成为一个重要的研究课题. 本文提出了 CoSE2WFS 算法用以支持不同服务类别的业务, 仿真结果表明采用了补偿模式后系统性能得以提高.

本文着重于补偿算法的实现, 假设用户到基站的链路是独立的. 在无线网络发展的今天, 链路状态与空中接口方式有很大的关系, 如 CDMA 系统, 各个连接相互存在着干扰. 同时需要注意的是本文提出的算法是基于单服务器的, 也就是说在任意时刻调度器只能发送一个连接的分组, 而 CDMA 系统在这里可以理解为多服务器, 即同一时刻可以发送多个连接的分组. 因此, 调度算法应该结合不同的空中接口方式进行进一步的设计. 在 CDMA 系统中, 结合功率控制的多服务器调度算法正在进行研究.

参考文献:

- [1] V Bharghavan, S Lu, T Nandagopal. Fair queueing in wireless networks: issues and approaches [J]. IEEE Personal Communications Magazine, Feb 1999, 6(1): 44- 53.
- [2] Zhimei JIANG, Lifeng CHANG, N K Shankaranarayanan. Providing multiple service classes for bursty data traffic in cellular networks

[A]. IEEE INFOCOM 2000[C]. Tel Aviv, Israel, March 2000, 3, 1087 - 1096.

- [3] David A Eckhardt, Peter Steenkiste. Providing multiple service classes for bursty data traffic in cellular networks [A]. IEEE INFOCOM 2000 [C]. Tel Aviv, Israel, March 2000, 3, 1087- 1096.
- [4] Jay Moorman, John Lockwood, Steve Kang. Wireless quality of service using multiclass priority fair queueing [EB/OL]. 2000. <http://iwar2.der.vlsi.uiuc.edu/wireless/papers/jsac00.ps>
- [5] Kuochen Wang, Y2Lon CHIN. A fair scheduling algorithm with adaptive compensation in wireless networks [A]. GLOBECOM . 2001, San Antonio [C]. Texas, 2001. 3543- 3547.
- [6] Xin LIU, E K P Chong, N B Shroff. Transmission scheduling for efficient wireless network utilization [A]. INFOCOM. 2001, Anchorage [C]. Alaska, 2001. 776- 785.
- [7] Yaxin Cao, Victor O K LI. Scheduling algorithms in broadband wireless networks [A]. Proc. of the IEEE [C]. Jan. 2001, 89(1, Special Issue SI): 76- 87.
- [8] 3^d Generation Partnership Project. QoS Concept and Architecture [S]. TS 23. 107 V5.4. 0, 2002. 3
- [9] A K Parekh, R G Gallager. A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks: the single node case [J]. IEEE Trans Networking, June 1993, 1: 344- 357.
- [10] J Benett., Hui ZHANG. WFQ: Worst Case fair weighted fair queueing [A]. IEEE INFOCOM 1996 [C]. San Francisco, CA, March 1996. 1: 120- 128.
- [11] J Benett., Hui ZHANG. Hierarchical packet fair queueing algorithms [J]. IEEE Trans. Networking, Oct. 1997, 5: 675- 689.

作者简介:



宋 舰 男, 1975 年 2 月生于四川绵阳, 电子科技大学通信与信息工程学院在读博士生, 主要研究方向为无线 IP 网络中的分组调度和接纳控制

李乐民 男, 1932 年 5 月生于浙江吴兴, 电子科技大学教授、博士生导师, 中国工程院院士, 研究方向为通信网(包括宽带通信网和移动通信网)。