第34卷 第1期 南京邮电大学学报(自然科学版) Vol. 34 No. 1
2014年2月 Journal of Nanjing University of Posts and Telecommunications(Natural Science) Feb. 2014

基于优先级区分的调度及主动队列管理算法

刘 春,董育宁,彭宇珏,孔瑞溪
(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要: 文中研究在UMTS网络的AM模式(Acknowledged Mode)下实现基于优先级区分的调度及主动队列管理。提出了MP-SAQM(Multi-priorities Scheduling and Active Queue Management Algorithm)算法。算法将不同的QoS类别归入不同的优先级队列,根据MPADRR(Multi-priorities Average Deficit Round Robin)调度算法按照优先级高低进行调度,并对不同QoS类别设置均匀的队列缓冲区,保证了调度的公平性。同时使用差异化的RED(Random Early Drop)算法进行主动队列管理,对不同优先级队列执行不同的丢包策略。仿真结果验证了该算法的有效性。

关键词: UMTS; 调度; 主动队列管理; 优先级区分
中图分类号: TN915 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-5439(2014)01-0076-06

Scheduling and Active Queue Management Algorithm Based on Priority Differentiation

LIU Chun, DONG Yu-ning, PENG Yu-jue, KONG Rui-xi
(College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: A multi-priority scheduling and active queue management (MP-SAQM) algorithm is applied to the acknowledge mode(AM) of UMTS network. Packets of different QoS classes are allocated to different queues with different priorities. Each QoS class is assigned a uniform queue size and is schedued based on priority using MPADRR scheduling algorithm, guarantying the fairness of scheduling. A differentiated RED algorithm is used for active queue management. It uses different packet drop strategies for different priority queues. Simulation results show that the proposed MP-SAQM algorithm is effective.

Key words: universal mobile telecommunication system(UMTS); scheduling; active queue management; priority differentiation

0 引 言

UMTS(Universal Mobile Telecommunication System)将为未来的信息系统提供业务平台,整个通信界都支持这一发展趋势。技术将不再被看作是问题,而是被看作是业务创新、业务多样化和业务区分的驱动力,UMTS将代表当前大多数移动网络基础设施自然演进的趋势[1]。UMTS流量按照延迟敏感度,可划分为4类,即会话类、流类、交互类和背景类,不同的类对QoS有着不同的需求,所以应该根据不同的类划分相应的优先级。

主动队列管理(AQM)的目的就是控制队列的长度[2],控制队列长度有助于避免网络拥塞。一个值得注意的成就是RED(Random Early Discard)[3]的提出,它阐明了主动队列管理(AQM)的概念。它是在队列被完全充满之前丢弃数据包,且丢包的概

收稿日期: 2013-07-17; **修回日期:** 2013-09-16
基金项目: 国家自然科学基金(61271233,60972038)、教育部博士点基金(20103223110001)和江苏省研究生培养创新工程(CXZZ12_0468)资助项目
通讯作者: 刘 春 **电话:** 18362930657 E-mail: 132189@163.com

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

率随队列长度的增加而增加。调度算法可以分为以下几类: 基于帧的、基于时延的和基于速率的。基于帧的调度算法包括: 加权轮询(WRR) 、分级轮询(HRR) 和赤字轮询(DRR) [4] 。DRR 是节约工作的调度方法,调度只有在没有分组等待发送的时候空闲下来。基于时延的调度算法主要是最早超时优先(EDF) 。基于速率的调度算法有: 通用处理器共享(GPS) 和加权公平队列(WFQ) [5] 。

近年来,国内外学术界关于 UMTS 网络中的队列管理的成果很丰富。从发表的相关文献上看,相对集中在队列调度机制的提出和改进,以及队列管理算法的提出和改进上。Zoric 等研究了拥塞避免的实时 UMTS 传输的公平调度算法,比较了 WRR、WFQ、PQ 及 LLQ 4 种算法的性能,但是调度算法在有效性方面做得不是很好。Puttonen 等研究了 UTRAN LTE 下行链路的分组调度方法[6] ,根据不同的业务类型进行了分级处理,但是也很难保证吞吐量和延时的折衷。Liang 等分析了考虑了 QoS 的排队模型[7] ,论文详细的分析了队列理论以及队列模型的实现方法,但是没有考虑多业务时队列调度情况。

本文创新之处在于,在基于类别的队列管理与调度的基础上,引入分组优先级,提出了 MP-SAQM 算法。算法将不同类别的流量类型可以映射到不同的优先级,按优先级的高低形成不同的队列。以保持相对较短的队列总长度和较小的包丢失率为最优控制目标,设置不同队列的最优包丢失率。这样不但可以获得较小的排队延时,进而保证端到端的延时,还能提高交互式多媒体应用的播放质量。

1　UMTS QoS 的业务分类

UMTS 的服务质量(QoS) 种类如表 1 所示[5] 。

表 1　UMTS 中的 QoS 种类

流量类型	会话类	流类	交互类	背景类
特性	保持流信息实体之间的时间(变化)关系,低时延。	同样保持信息实体之间的时间关系。	请求-响应模式,保持数据的完整性。	无连接、可以有时延、传输需要较高的数据完整性
应用	语音、视频等实时信息	视频流	Internet 或网站浏览	下载、FTP、E-mail 等

会话类业务和流类业务主要用于承载实时业务流,其中会话类用于传送对时延非常敏感的业务,流类用于对时延的敏感性稍弱的业务。在本文中使用 exponential ON/OFF 来模拟会话类业务[8] ,用 TFRC 流来模拟流类业务。交互类业务主要特点是请求-响应的模式,可以用 Telnet 流来模拟,背景类的常见应用即为 FTP,所以本文采用 FTP 流来模拟。

2　基于优先级区分的调度算法

贝尔实验室提出的可变最大加强时延优先(简称 M-LWDF) 调度算法是一种实时的调度算法[9] 。尽管可变最大加强时延优先算法充分地考虑了时延以及信道等因素,但是依然很难对公平性进行保障[10] 。文献[10]提出了基于效用函数的 M-LWDF 算法,效用函数(Utility) 源自经济学,它是经济学中的效用思想的真实体现。效用函数的关键是考虑了速率、带宽和时延等参数,并把这些参数巧妙地运用到效用函数中。

传统的轮询调度算法定期更新各个优先级的优先级因子,并进行降序排序,复杂度较高,DRR 不需要进行排序,复杂度为常数 $O(1)$ 。为了满足 UMTS 业务类的 QoS 要求,本文提出了 MP-SAQM 算法。MP-SAQM 使用的调度算法是在 DRR 基础上作了适当调整,我们设计了多优先级的均匀队列赤字轮询调度算法,算法简称 MPADRR(Multiple Prior Average Deficit Round Robin) 。在算法开始的时候将需要发送的 4 种业务类型分别放入 4 个队列中,并将 4 个队列放入链表中,设置每个队列能够发送的数据包大小不超过队列缓冲区的 1/4,这样可以保证调度的公平性。然后对每个队列都设置一个 Q_i(Q_i 表示服务额度,其中 i 表示队列序号) ,而使用与每个队列联系的变量——赤字计数器用来描述当前状态,这意味着,在上一次的调度服务时未使用的额度。当队列中的数据包长度 L 太大,以至于得不到服务,服务额度 Q_i 作为补偿转给下一次调度使用,而根据轮询的方式对队列进行服务。

3　基于优先级区分的主动队列管理算法

主动队列管理(AQM) 能够主动的避免和缓解网络拥塞,有着提高链路利用率、减少丢包率以及降低队列排队延时的优势。但研究表明,AQM 算法面对动态突变以及混杂流量的网络场景,存在参数配置难、队列性能不稳定、链路利用率低等不足。

RED 算法包含两个部分: 一个是平均队列长度

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的计算,另一个是随机包丢弃的策略。对于平均队列长度的计算采用指数加权滑动平均(Exponentially Weighted Moving Average,EWMA)模型,对该模型的动态仿真和数值分析表明,它能够很好地预测 RED 在忙期的动态行为。平均队列计算如下:

$$Qve_i = (1-\omega) \times Qve_{i-1} - \omega \times q_i \qquad (1)$$

其中,Qve_i 是 i 时刻的平均队列长度,q_i 是时刻 i 的实际队列长度,ω 为滑动权重。利用这个模型,RED 的参数可以通过简单的数值分析方法进行设置,避免了经验方法在链路特性参数和流量参数变化时所出现的性能问题。

随机包丢弃的策略对 RED 算法的性能尤为重要,关键在于选择参数 $\max_{th}$、$\min_{th}$ 和 $\max_q$(最大丢弃概率)。原始的 RED 算法采取的丢包策略是,当 Qve 平均队长小于下限 $\min_{th}$,不丢弃到达报文;当 Qve 大于上限 $\max_{th}$,丢弃所有到达报文,这类包丢弃被称为强迫性包丢弃;当 Qve 在 $\max_{th}$ 和 $\min_{th}$ 之间时,以概率 P_b 丢弃到达的报文,这类包丢弃被称为非强迫性包丢弃,P_b 呈线性分布。因此可计算出标记概率 P_b:

$$P_b = \max_p \times \frac{Qve - \min_{th}}{\max_{th} - \min_{th}} \qquad (2)$$

当平均队列长度小于阈值 $\min_{th}$ 时,不丢弃分组;当平均队列长度大于阈值 $\max_{th}$ 时,以概率 1 丢弃到达的分组;当平均队列长度在 $\min_{th}$ 和 $\max_{th}$ 之间时,则以标记概率 P_b 丢弃分组。

丢弃的情况可用图 1 所示。

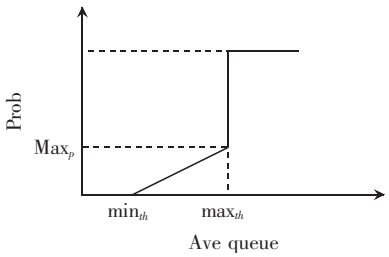


图 1 RED 算法的丢弃概率曲线图

但是 RED 算法的参数选择一直是一个难题,且在吞吐量及丢包率上的改进总是不能让人满意,本文在传统的 RED 算法基础上改进,使得传输过程具有较大的吞吐量和较低的丢包率。对于不同优先级的队列采取不同的丢包策略,一方面可以使总体的吞吐量和丢包率得到改善,另一方面,可以满足不同队列的业务要求,对于优先级较高的队列可以减少丢包概率,对于优先级较低的队列,其对吞吐量及丢包率的要求并不是很高,可以适当提高丢包概率。

为了能在平均队列较小时丢弃尽量少的分组,而在平均队列较大时,分组丢弃概率增大,进而获得较大的吞吐量和较低的丢包率,可以通过立方 RED 算法实现[11]。再根据不同的优先级设置不同的参数,可以将 4 个队列的丢弃概率曲线设置如下(见图 2 ~ 图 5)。

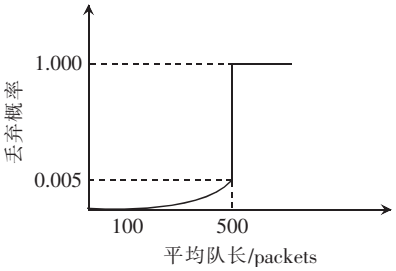


图 2 EXP 的丢弃概率

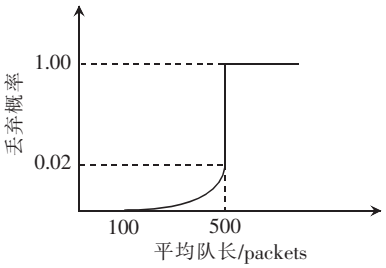


图 3 TFRC 的丢弃概率

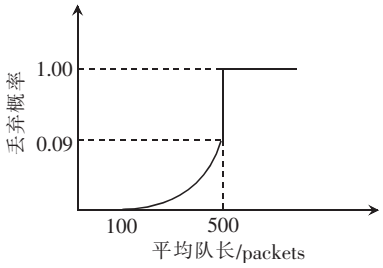


图 4 Telnet 的丢弃概率

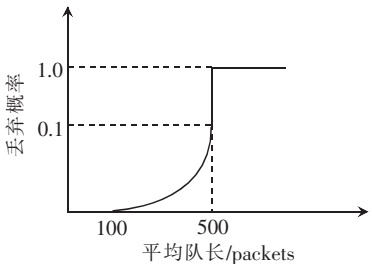


图 5 FTP 丢弃概率

4 MP-SAQM 算法性能分析

4.1 仿真拓扑

采用 Berkeley 的 ns-2.30[12] 模拟器进行模拟实验,仿真拓扑如图 6 所示,其中 Node1 为源节点,源节点包括 EXP、TFRC、TCP、FTP 4 种协议类型,其业

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

务类型分别映射为 4 个优先级,会话类为第一优先级,用 exponential ON/OFF 来模拟,流类业务为第二优先级,用 TFRC 来模拟,交互类为第三优先级,用 Telnet 流来模拟,背景类为第四优先级,用 FTP 来模拟。观察各类应用在 400 s 中的表现。

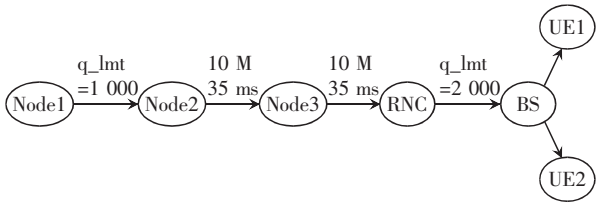


图 6　实验拓扑图

目前评价拥塞控制算法性能的指标很多[13],包括网络稳定性、响应速度、收敛性、公平性、链路利用率、丢包率、额外代价等[14]。本文选取吞吐量、丢包率和延时 3 个常用的指标来衡量算法的性能。

4.2　吞吐量分析

通过仿真得到如图 7 的直方图,会话类作为第一优先级,应具有较大的吞吐量。流类作为第二优先级,它的主要特点也是具有较大的吞吐量。通过对实时吞吐量的观察,得出各类流的吞吐量大约在 60 s 以后趋于稳定,图 7 统计的稳定后的归一化吞吐量。使用文献[10]提出 DRR 调度算法后,吞吐量的波动比较大,且吞吐量分配不合理,如背景类对吞吐量的要求并不高,但在 DDR 算法中却达到 98 bit/s。使用文献[9]提出的基于效用函数的 M-LWDF 算法后,吞吐量波动迅速减小,且会话类和流类的吞吐量变大,流类的吞吐量甚至达到了 171.21 bit/s,此时背景类降低到 51.79 bit/s。使用本文提出的 MP-SAQM 算法后吞吐量的变化十分平稳。4 个优先级的吞吐量分别为 137.27 bit/s、145.22 bit/s、16.02 bit/s、65.09 bit/s。本文提出的 MP-SAQM 算法将带宽分配得较为合理,且能满足不同 QoS 类别对吞吐量的要求。

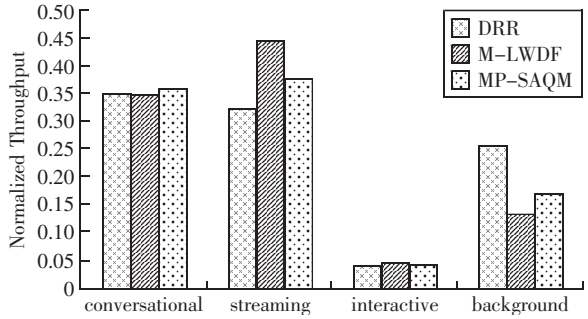


图 7　业务流在 3 种算法下的归一化吞吐量

4.3　丢包率分析

仿真得出了 4 类业务在 3 种算法下的丢包率,在 DRR 调度算法的情况下,丢包较为严重,且无论哪一种优先级都存在丢包,经过基于效用函数的 M-LWDF 算法以后,丢包率得到了控制,优先级较高的会话类和流类的丢包得到了控制,背景类丢包率甚至下降到 1.53%,但交互类的丢包率增大了不少。在使用本文的 MP-SAQM 算法后,会话类、流类和交互类均不存在丢包,只有背景类流存在少量丢包,但是背景类的丢包依然要高于基于效用函数的算法,3 种情况下的丢包率如表 2 所示。

表 2　运用不同算法时各类流的丢包率/%

算法	会话类	流类	交互类	背景类
DRR	1.06	1.09	3.13	5.37
M-LWDF	0.60	0.90	6.86	1.53
MP-SAQM	0	0	0	3.51

4.4　延时分析

在使用 DRR 调度算法时的延时比较大,如图 8 所示。从图 8 中可以看出,此时不同类型的流的延时都比较大。只有会话类的延时在 0.5 s 以内,而流类和交互类的延时大约在 0.8 s 以内,背景类的延时甚至超过了 2 s。图 9 显示的基于效用函数的 M-LWDF 算法在延时上改进了很多,会话类、流类、交互类的延时均在 0.5 s 以内,较好的满足了这 3 类业务的低时延要求,但是背景类的延时太大,有时会超过 10 s,很难满足背景类的 QoS 要求,且算法对不同优先级的时延没有区分开来。通过本文的 MP-SAQM 算法后,如图 10 所示。会话类和流类的延时集中在 0.4 s 以内,交互类和背景类的时延适当的增大到 0.6 s 以内。本文算法既保证了各类业务流对时延的要求,端到端的时延都很小,又对优先级进行了从高到低的区分。

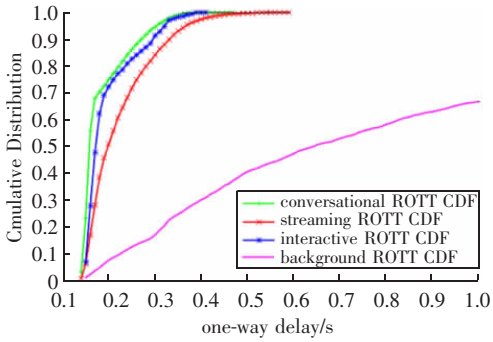


图 8　DRR 算法下业务流的延时

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

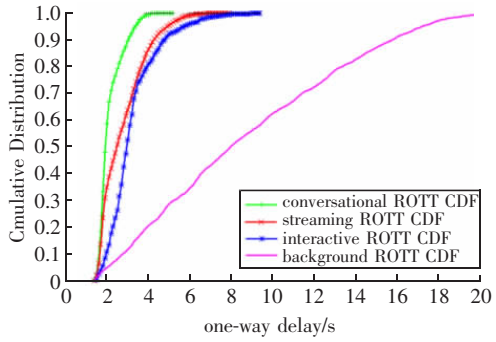


图 9 基于效用函数的 M-LWDF 算法下业务流的延时

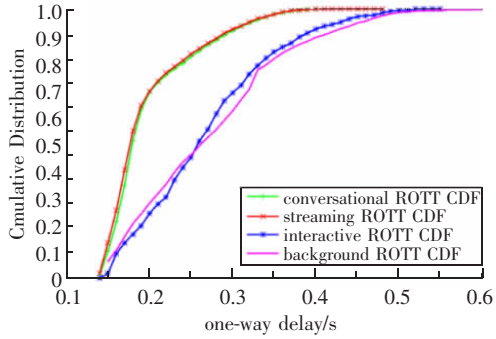


图 10 MP-SAQM 算法下业务流的延时

4.5 时延抖动分析

在 DRR 调度算法时的时延抖动如图 11 所示，此时会话类和流类的时延抖动区间为 [-0.1，0.2]，而交互类和背景类的时延抖动较大，主要集中在 [-0.5，0.5]，而且会话类和流类很接近、交互类和背景很接近，优先级没有区分开来。基于效用函数的 M-LWDF 算法中，如图 12 所示。会话类、流类、交互类的时延抖动均在 0.2 s 以内，抖动较小，但是这三类的优先级也没有区分开来，并且背景类的时延的抖动在 M-LWDF 算法中更大。图 13 显示的是使用本文提出的 MP-SAQM 算法后的时延抖动图。从图 13 中看出，时延抖动进一步减小，且对不同业务有着不同的优先级。会话类、流类、交互类和背景类的抖动区间分别为 [-0.05，0.2]、[-0.1，0.2]、[-0.3，0.25] 和 [-0.3，0.25]，较好地满足了不同业务的时延抖动要求。

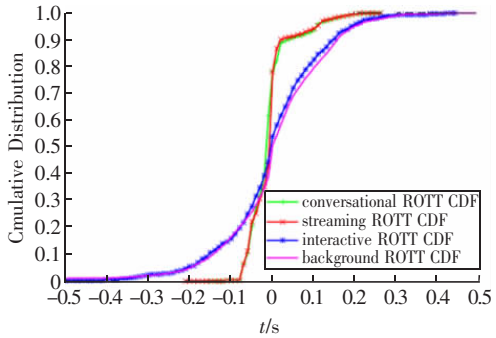


图 11 DRR 算法下业务流的时延抖动

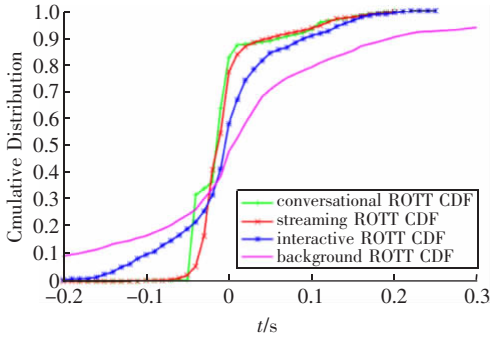


图 12 基于效用函数的 M-LWDF 算法下业务流的时延抖动

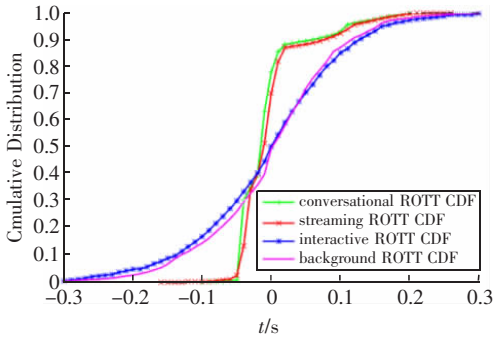


图 13 MP-SAQM 算法下业务流的时延抖动

5 结束语

本文研究了在 UMTS 网络下基于优先级区分的调度算法和队列管理算法，根据不同业务的不同 QoS 要求，映射到相应的优先级。基于优先级区分调度算法 MPADRR，并在此基础上运用了基于优先级区分的队列管理算法，提出了 MP-SAQM 算法，进一步改善了系统的性能，在吞吐量、丢包率和延时等性能方面都比现有方法取得了更好的效果。在未来的工作中，我们将进一步优化本文算法，使算法更具有通用性，能够应用在更多业务类型的场合。

参考文献:

[1] 孙月光，郎为民，焦巧，等. UMTS 服务质量类与属性研[J]. 信息通信，2010(2):16-19.
SUN Yueguang，LANG Weimin，JIAO Qiao，et al. Research on the UMTS Quality of Service Classes and Attributes [J]. Information Communication，2010(2):16-19. (in Chinese)

[2] GEVROS P，CROWCROFT J，KIRSTEIN P，et al. Congestion control mechanisms and the best effort service model [J]. IEEE Network，2001，15(3):16，26.

[3] FLOYD SALLY，JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. IEEE ACM Transactions on Networking，1993，1(4):397，413.

[4] SHREEDHAR M，VARGHESE G. Efficient fair queuing using defi-

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cit round-robin [J]. IEEE ACM Transactions on Networking, 1996, 4(3): 375, 385.

[5] ZORIC S, KOS M, BAJRIC H. Fairness of scheduling algorithms for real-time UMTS traffic in case of IP link congestion [C] // 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops. 2011: 5 - 7.

[6] PUTTONEN J, KOLEHMAINEN N, HENTTONEN T, et al. Mixed Traffic Packet Scheduling in UTRAN Long Term Evolution Downlink, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications [C] // IEEE 19th International Symposium on. 2008: 1 - 5, 15 - 18.

[7] LIANG G L, BURLEY S, WITWIT M. QoS aware queuing analysis for UMTS [C] // 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications. 2002, 2: 27 - 30, 526, 530.

[8] 刘威. UMTS 核心网络中的区分服务模型研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2004.
LIU Wei. Research on the Diffserv of the core network of UMTS [D]. Changsha: Hunan University, 2004. (in Chinese)

[9] AMEIGEIRAS P, WIGARD J, MOGENSEN P. Performance of the M-LWDF scheduling algorithm for streaming services in HSDPA [C] // Vehicular Technology Conference. 2004, 2: 26 - 29, 999, 1003.

[10] 杨俊蓉, 樊自甫. 基于时延和速率效用函数的 LTE 无线资源调度算法研究 [J]. 数字通信, 2011, 38(2): 57 - 60.
YANG Junrong, FAN Zifu. Research on the LTE radio resource scheduling algorithm based on delay and rate utility function [J]. Data Communications, 2011, 38(2): 57 - 60. (in Chinese)

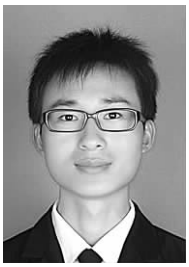
[11] 刘凤格. 基于 RED 算法的改进研究 [J]. 计算机仿真, 2009, 26(5): 118 - 120, 133.
LIU Fengge. Research on the Modified RED algorithm [J]. Computer Simulation, 2009, 26(5): 118 - 120, 133. (in Chinese)

[12] http: // www-mash. cs. berkeley. edu/ns/nsdoc. ps. gz.

[13] WANG L, MIN G, AWAN I. Modeling and evaluation of congestion control for different classes of network traffic [J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2007, 19(8): 1141 - 1156.

[14] BUDZISZ L, STANOJEVIC R, SHORTEN R, et al. A strategy for fair coexistence of loss and delay-based congestion control algorithms [J]. IEEE Communications Letters, 2009, 13(7): 555 - 557.

作者简介:



刘　春(1991 -), 男, 江苏宿迁人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。研究方向为多媒体通信与无线网络。

(本文责任编辑: 胡长贵)

本刊编辑在第五届江苏期刊编辑技能大赛中荣获佳绩

2013 年 10 月, 江苏省期刊协会举办了第五届江苏期刊编辑技能大赛。日前, 省期刊协会对获奖人员进行表彰。《南京邮电大学学报(自然科学版)》(以下简称本刊)寇笑笑编辑荣获金奖, 潘雪松编辑荣获铜奖。此次编辑技能大赛全省共有 16 人荣获金奖, 其中, 大学学报仅有 4 人。

长期以来, 本刊严格执行编辑规范, 加强编辑队伍建设, 注重提高编辑人员的语言文字规范能力, 刊物的编辑校对质量一直较高, 曾荣获全国高校优秀科技期刊"优秀编辑出版质量奖"、首届中国高校特色科技期刊奖、工业与信息化部"编辑质量奖"等殊荣。本刊将继续严把稿件编辑质量, 争取更多、更好的成绩。

本刊编辑部

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net