

文章编号:1001-893X(2011)03-0093-05

# 一种基于 LTE 业务特征的调度算法切换系统<sup>\*</sup>

李校林<sup>1,2</sup>, 付 澍<sup>1</sup>, 胡 楠<sup>1</sup>

(1.重庆邮电大学 通信新技术应用研究所,重庆 400065;2.重庆邮电大学 重庆信科设计有限公司,重庆 400065)

**摘 要:**针对 LTE 业务 QoS 特征多样化且应考虑业务付费等级的问题,提出了一种改进的比例公平调度算法。新算法引入不同业务的各 QoS 指标、付费等级作为参数,并根据各业务的具体 QoS 需求在各参数的不同加权配置下切换。仿真结果表明,新算法不但可以极大提高付费业务的各项 QoS 指标,还能让所有业务的 QoS 指标达到既定需求,更好地适应了 LTE 网络规划的要求。

**关键词:**网络规划;LTE 业务;服务质量;调度算法;付费优先级

**中图分类号:**TN929.5      **文献标识码:**A      doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.03.021

## A Scheduling Algorithm of Handover System Based on LTE Service Characteristics

LI Xiao-lin<sup>1,2</sup>, FU Shu<sup>1</sup>, HU Nan<sup>1</sup>

(1.Institute of the Applications of Advanced Telecommunications Technology,Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065,China;2.Chongqing Information Technology Designing Co.,Ltd.,Chongqing University of Posts and Telecommunications,Chongqing 400065,China)

**Abstract:**An improved proportional fair scheduling algorithm is proposed to solve the problem that QoS(Quality of Service) characteristics of LTE services is diversify and the service pay levels should be considered.This new algorithm takes the QoS indicators and pay levels of different services as parameters, and executes handover according to different weighting disposition of the parameters.The simulation result indicates that the new algorithm can not only enhance the QoS indicators of payment services but also make QoS indicators of all service meet requirement.It is more adapted to the requirements of LTE network planning.

**Key words:**network planning;LTE service;QoS;scheduling algorithm;payment priority

### 1 引 言

LTE 采用了扁平化全 IP 网络架构,其业务对丢包率、时延和吞吐量等 QoS 指标要求提升。而对于不同的业务其实时性与非实时性不同,因此对于不同 QoS 指标的要求也有所不同。由于 LTE 系统时频二维结构的特性,其系统性能的好坏很大程度上取决于资源调度算法的高效性。目前的资源调度算法主要有最大载

干比算法、公平算法、轮询调度算法和比例公平调度算法,其中,比例公平算法是最大载干比算法和公平算法的结合。文献[1]分析了最大载干比算法、公平算法和比例公平调度算法吞吐量、延迟等指标的差异,根据其结果可知比例公平调度算法要明显优于其余 3 种算法。但比例公平调度(PF)算法的优先级计算中并未考虑到用户缓存队列长度为零时的情况,从而在该情况下用户优先级仍有可能很高,从而造成了系统资源的浪费,并且 PF 算法没有考虑到队列丢包率、队列时延

<sup>\*</sup> 收稿日期:2010-12-22;修回日期:2011-02-17  
基金项目:国家科技重大专项资助项目(2009ZX03003-01)  
Foundation Item:The National S&T Major Project (No. 2009ZX03003-01)

等对调度规则的作用。文献[2]对 PF 算法进行了改性,但并未考虑到不同业务的收费等级不同且业务本身对 QoS 指标的要求并不相同。本文首先介绍了 LTE 系统资源调度的基本概念,在文献[1,2]的基础上针对 LTE 系统根据不同业务的 QoS 特点,基于其不同的付费优先级提出了一套新的算法,并设计了一个基于 Matlab 的 LTE 调度算法仿真平台,最后对所提出的算法与比例公平算法在吞吐量、丢包率、排队时延、公平性等方面进行了比较分析。

## 2 LTE 系统资源调度基本概念与参数设置

在 LTE 系统中,业务信道完全是共享的概念,不同用户所占用的资源块数目、MCS(调制编码方式)是可变的,具体的物理层规范见文献[3,4]。当选定业务的 MCS 后,只要系统带宽足够大,队列中的各个业务将完全能从队列中发送出去,也就不存在调度的问题。可是当系统带宽资源不够时,将不能发送该时刻的所有业务,因此如何选择调度方式,对 LTE 系统性能的影响将至关重要,它直接决定了各业务的 QoS 指标是否能被满足。

(1)如文献[5]所述,在 LTE 系统中把调度器放置在基站侧的 MAC 层从而可以根据信道的信息进行快速地调度。本文根据 3GPP 中 LTE 物理层协议的要求和参数,采用文献[6]所述的 M/M/1/m 队列作为算法模型。

(2)对于不同的业务,理论上业务的 QoS 服务速率(对应于业务的 QoS 吞吐量)应大于或等于业务的到达速率,此时业务的等待队列才不会总是满栈而导致丢包和时延。但是在系统带宽资源有限的情况下,该指标往往不能完全达到,因此应当通过合理的调度方式来最优化各个业务的相对吞吐量,使之在达到最低吞吐量要求的同时最大化付费用户的吞吐量并同时保证各用户的丢包率、时延等指标达到要求。

(3)假设队列最大长度为  $Q_{\max}$ ,显然,若到达包长  $L$  大于队列最大长度  $Q_{\max}$  则会直接产生丢包现象,因此应当使得该情况发生的概率尽可能地小(1%)。假设队列到达的包长服从参数为  $\lambda$  的指数分布,则由:

$$P(L > Q_{\max}) = 1 - P(L < Q_{\max}) = e^{-\frac{Q_{\max}}{\lambda}} > 0.01$$

得到  $Q_{\max}/\lambda > -\ln(0.01) = 4.6$ ,可取

$$Q_{\max}/\lambda = 5 \tag{1}$$

即最大队列长度设置为业务平均包长的 5 倍。

(4)各队列过去时间窗长度  $T_W$  内的平均速率根据指数平滑法的思想得到。首先,由业务 QoS 服务速率  $R_{QoS}$  得到当前调度子帧内应传送的数据:

$$N_b = \begin{cases} (R_{QoS} - R(t - T_S) \times (T_W - T_S)/T_W) \times T_W, & R < R_{QoS} \\ 0, & R > R_{QoS} \end{cases} \tag{2}$$

式中,  $R(t - T_S)$  表示上一调度时刻队列的过去时间窗平均速率,  $T_S$  表示调度间隔,即一个时隙长度,  $T_W$  表示统计时间窗长度。由于业务每次调度的实际比特数  $N_d$  还同时受到来自该业务本次调度中的调度优先级所对应的可用资源块数目和队列状态的限制,因此该式只是业务所调度比特数目的上限。每次调度后,都应当更新队列过去时间窗内的平均速率为

$$R(t) = (R(t - T_S) \times (T_W - T_S) + N_d)/T_W \tag{3}$$

(5)信道选择:若将信道质量不高的频段分配给数据包长度较大的业务,则其占用资源块数目将很大,因此应当将信道质量不高的频段尽量分配给数据包长度较小的业务队列,而将信道质量高的频段留给数据包长度较大的业务。

## 3 一种基于不同业务付费优先级与 QoS 特点的算法

传统的 PF 调度算法的优先级可表示为

$$G_{PF} = BPRB/R(t) \tag{4}$$

式中,  $BPRB$  (Bit per RB) 表示每个资源块对所能承载的比特数目(对应于由接收端 SINR 决定的编码率大小),  $R(t)$  表示过去时间窗内平均速率。假设系统带宽为 10 MHz,对应于 50 个物理资源块 (Resource Element Block, PRB); 子帧中的控制区域占 3 个 OFDM 符号,各业务的调制方式均为 QPSK,此时一个物理资源块对可以最大承载 240 bit 的数据信息,则有:

$$BPRB = 2 \times \text{编码率} \times 120 \text{ bit} \tag{5}$$

由于 LTE 业务的多样性,不同业务对 QoS 要求不同,尤其是在实现收费业务后,即使是相同的业务,其用户付费高的享有的资源也理应要多一些。但是传统的 PF 调度算法并没有考虑到诸如丢包率、时延、队列吞吐量、公平性等因素对调度优先级的影响,更没有体现付费优先级的影响,因此对其进行改

进为

$$G = (a \times PC + b \times DC + c \times |FA' - (\frac{1}{n})^2| + d \times (1 - T_{\text{Relative}})) \times (\frac{BPRB}{R(t)} \times e) + f \times S \quad (6)$$

式中,  $DC$  表示队列平均时延,由文献[3]所提出的 Little 公式得到,且:

$$DC = \frac{E(Q)}{\gamma} \quad (7)$$

式中,  $Q$  表示队列状态,  $E(Q)$  表示队列状态均值,  $\gamma$  表示业务的到达速率。

当队列到达的包长  $L$  加上队列当前状态下的比特数目  $Q$  超过最大队列长度  $Q_{\max}$  时就会发生丢包现象,而队列包长服从参数为  $\lambda$  的指数分布,得到下式:

$$P(L > (Q_{\max} - Q)) = \int_{Q_{\max}-Q}^{\infty} \frac{1}{\lambda} \times e^{(-\frac{1}{\lambda} \cdot L)} dL = e^{-\frac{Q_{\max}-Q}{\lambda}} = \frac{e^{\frac{Q}{\lambda}}}{e^{\frac{Q_{\max}}{\lambda}}} \quad (8)$$

故可用

$$PC = \frac{e^{Q/L}}{e^{Q_{\max}/L}} \quad (9)$$

反映队列的丢包率,其中  $Q$  表示队列当前状态,  $Q_{\max}$  表示队列最大允许长度。

$$T_{\text{Relative}} = N_d / N_b \quad (10)$$

表示调度时刻内,队列实际调度的比特数目  $N_d$  与由式(2)计算所得的应传送的比特数目  $N_b$  的比值,它表征了用户的相对吞吐量,且  $T_{\text{Relative}} \in [0, 1]$ 。

$$FA' = x_i^2 / (n \times \sum_{i=1}^n x_i^2) \quad (11)$$

表示单个队列在具有相同付费优先级队列中的公平性,它是著名的 Jain's Fairness 公式考虑付费优先级因素后的一个改进型公式,表征具有相同付费优先级的一系列队列中单个队列所占的公平性比重,当队列之间绝对公平时值为  $(\frac{1}{n})^2$ ,  $n$  表示具有相同付费优先级的队列数目,  $x_i$  表示队列  $i$  本次调度的比特数目,  $i$  表示队列编号,且  $i$  所表示的各队列必须具有相同的付费优先级,否则在不同付费优先级的情况下,计算其公平性将没有意义。  $S$  表示队列的付费优先级,  $a, b, c, d, e, f$  分别表示各项在调度算法中的权重,其值越大表示该队列对应的业务对该 QoS 指标的要求越高。

## 4 算法性能评价方法与算法切换系统的流程图

为了更好地体现算法性能,本文通过队列丢包率、队列时延、相对平均吞吐量、公平性 4 项指标来衡量该算法,并与传统的 PF 算法进行性能分析与比较。

队列时延用式(7)所示的 Little 公式来进行描述,队列丢包率用式(8)进行描述,用户的平均相对吞吐量由式(10)表示,算法的公平性用 Jain's Fairness 公式进行描述:

$$FA = (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / (n \times \sum_{i=1}^n x_i^2) \quad (12)$$

式中,  $n$  表示具有相同付费优先级的队列数目,  $x_i$  表示队列  $i$  本次调度的比特数目,  $i$  表示队列编号,且  $i$  所表示的各队列必须具有相同的付费优先级,当各队列绝对公平时其值为 1。

由于本文所提算法虽然能极大地提高付费用户相应的 QoS 指标,但是其余未付费用户的相应指标将会下降。因此,当其余用户的指标超出该指标的允许范围时,系统必须立即被切换到不考虑付费优先级别的改进型 PF 算法以保证所有用户的最低 QoS 需求。另外,付费优先级用户的 QoS 相应指标的提升幅度必须有一个参照,因此系统刚开始必须采用一段时间的改进型 PF 算法,相应的 QoS 参照指标,并确定付费用户在相应 QoS 指标的提升量,再切换到本文所提算法;而当所有付费用户的该 QoS 指标提升幅度达到并超过一定限度后,系统将重新切换回不考虑付费优先级别的改进型 PF 算法,以避免未付费用户 QoS 指标下降过大。

由此可提出算法总体流程如图 1 所示。其中,当算法切换到论文所提算法后,每过一段时间长度仍需要重新进行一次算法切换的判定,从而实现了两种算法之间的切换。当执行改进型的 PF 算法时,应调整各参数的加权因子,以尽量使队列之间的各项 QoS 指标接近以得到付费用户的 QoS 提升参照标准,并且在调度过程中切换到改进型的 PF 算法后也能使得各队列的 QoS 指标重新趋于一致,从而在资源非常匮乏的情况下也能使各队列尽量同时达到最低 QoS 标准。当执行所提算法时,付费用户的优先级参数  $S$  应使得付费用户的调度优先级高于没有被调度的用户,而各队列的 QoS 参数加权因子应选取合理以使得相同付费优先级内的队列 QoS 指标达到要求。

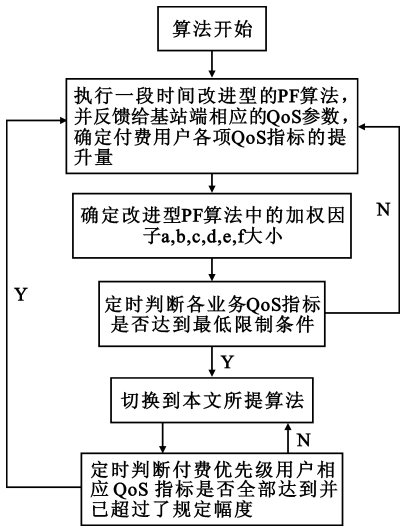


图 1 算法流程图  
Fig.1 Flowchart of the algorithm

5 算法性能仿真

仿真参数设定如表 1 所示。

表 1 仿真各参数设定  
Table 1 Simulation parameter configuration

| 参数                              | 队列一  | 队列二  | 队列三  | 队列四  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| 系统带宽/MHz                        | 10   | 10   | 10   | 10   |
| 调制方式                            | QPSK | QPSK | QPSK | QPSK |
| 控制区域所占 OFDM 符号数目                | 3    | 3    | 3    | 3    |
| BPRB(bit/RB)                    | 240  | 240  | 240  | 240  |
| 到包速率/(packet/ms)                | 5    | 5    | 5    | 5    |
| 平均包长/bit                        | 100  | 100  | 150  | 150  |
| 统计时间窗长度 T/ms                    | 4    | 4    | 4    | 4    |
| 信道编码率                           | 1/7  | 1/7  | 1/4  | 1/4  |
| 收费优先级别<br>(1 表示最优先,<br>2 表示次优先) | 1    | 2    | 1    | 2    |
| 用户满意条件下<br>的最大丢包率               | 0.05 | 0.2  | 0.05 | 0.2  |
| 用户满意条件<br>下的最大队<br>列时延/ms       | 2    | 5    | 2    | 5    |
| 业务相对吞吐<br>量比值需求                 | 0.6  | 0.2  | 0.6  | 0.2  |

经仿真得到新算法与传统的 PF 调度算法比较如图 2~5 所示,队列 1、2、3、4 分别标示于图中,划线与虚线分别代表本文所提算法与传统的 PF 算法。

图 2 表示两种算法下的队列平均丢包率。由图可知,在传统的 PF 算法中,队列的丢包率随着时间延长趋近于与其所获得的信道质量成正比,具有相同信道质量的用户在其包长相差大不大时,丢包率也趋于相等。而在本文所提算法中具有优先级的用户丢包率明显减小,但同时也增加了不具有用户付费优先级用户的丢包率,因此,必须调整调度算法中的各加权因子,使得各队列的丢包率不能超过最大限制(否则系统将切换至不考虑用户付费优先级的改进型 PF 算法)。当用户丢包率超过用户满意条件下的最大丢包率后,系统将停止采用考虑用户付费优先级的改进型 PF 算法而只采用不考虑用户付费优先级的改进型 PF 算法,从而使得其余用户的丢包率得以控制。图 3 表示两种算法下的队列平均时延,本文所提算法具有优先级的用户时延明显减小,但同时也增加了不具有用户付费优先级用户的时延。图 4 表示队列平均相对吞吐量  $T_{Relative}$ ,其计算如(12)式所示,由图可知具有用户付费优先级的队列 1 和队列 3 的  $T_{Relative}$  得以极大提高,而不具有用户付费优先级用户的  $T_{Relative}$  则相应地减小,但也达到了最低需求。图 5 表示队列的平均公平性,本文所提出的算法将队列按照付费优先级分为两类,分别计算其公平性,由图可知具有付费优先级的用户公平性要远大于不具有付费优先级的用户,而不具有付费优先级的用户其公平性要略高于采用传统 PF 算法的用户。

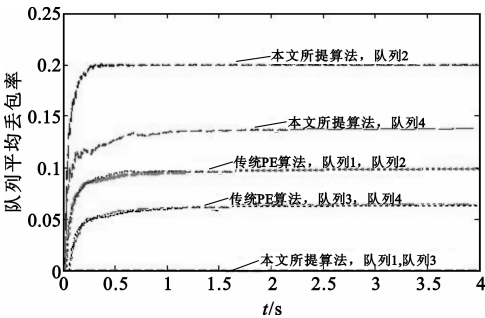


图 2 队列平均丢包率  
Fig.2 The average loss rate of the queue

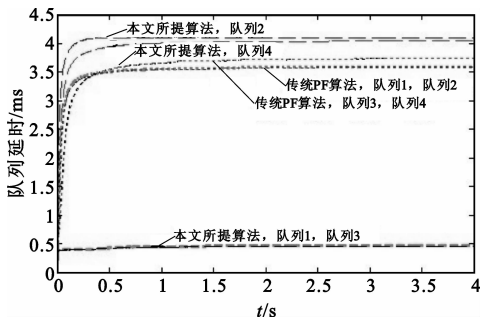


图 3 队列平均延迟  
Fig.3 The average delay of the queue

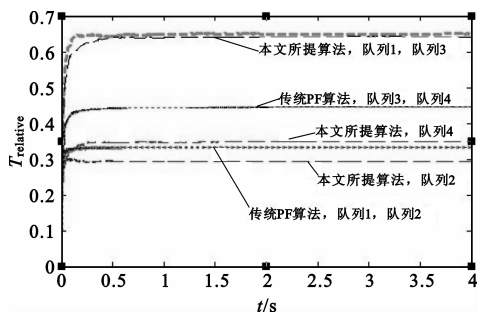


图 4 队列平均相对吞吐量  $T_{Relative}$   
Fig.4 The average relative throughput  $T_{Relative}$  of the queue

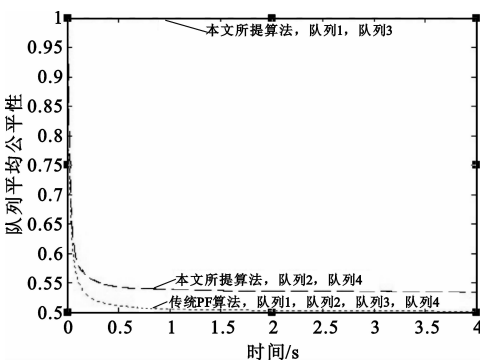


图 5 队列平均公平性  
Fig.5 The average fairness of the queue

6 结 论

本文所提出的 LTE 基站端基于付费 QoS 指标的调度切换算法,不但能保证付费用户相应业务的各项 QoS 质量得以提高,而且所有用户的 QoS 指标也得以保证,可以更好地适应 LTE 业务多样性的特征。下一步的研究可以考虑进各业务信道覆盖差异的因素,以更加完善所提算法。

参考文献:

[1] Nararat Ruangchaijatupon, Yusheng Ji. Simple Proportional Fairness Scheduling for OFDMA Frame-based Wireless Sys-

tems[C]// Proceedings of Wireless Communications & Networking Conferenc. Las Vegas: IEEE, 2008: 1593 – 1597.

[2] 钱耕之,任参军,唐苏文,等.基于多业务 Qos 的 LTE 下行资源分配算法[J].通信技术,2010,43(4):190 – 192.

QIAN Geng-zhi, REN Can-jun, TANG Su-wen, et al. Multi-service Qos-based Downlink Cross-layer Resource Block Allocation Algorithm in LTE system[J]. Communications Technology, 2010, 43(4): 190 – 192. (in Chinese)

[3] 3GPP.TS.36.211 V9.0.0, 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E – UTRA); Physical Channels and Modulation[S].

[4] 3GPP.TS.36.212 V9.0.0, 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E – UTRA); Multiplexing and channel coding[S].

[5] 赵训威,林辉,张明,等.3GPP 长期演进 (LTE) 系统架构与技术规范[M].北京:人民邮电出版社,2010.

ZHAO Xun-wei, LIN Hui, ZHANG Ming, et al. 3GPP Long Term Evolution (LTE) System Architecture and Technical Specifications[M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Press, 2010. (in Chinese)

[6] 盛友招.排队论及其在现代通信中的应用[M].北京:人民邮电出版社,2007.

SHENG You-zhao. Queuing theory and its application in modern communication[M]. Beijing: People's Posts & Telecommunications Press, 2007. (in Chinese)

作者简介:

李校林(1969 – ),男,江西赣州人,1995 年获重庆邮电大学电信专业硕士学位,现为教授级高级工程师、硕士生导师,主要研究方向为移动通信、通信新技术与电信业务;

LI Xiao-lin was born in Ganzhou, Jiangxi Province, in 1969. He received the M. S. degree in Chongqing University of Posts and Telecommunications in 1995. He is now a senior engineer of professor and also the instructor of graduate students. His research interests include mobile communication and new communications technology and telecommunications services.

Email: lixiaolin@cqcyit.com

付 澍(1985 – ),男,贵州贵阳人,硕士研究生,主要研究方向为 TD – LTE 链路仿真及下行资源、功率分配方式,调度算法;

FU Shu was born in Guiyang, Guizhou Province, in 1985. He is now a graduate student. His research interests include TD – LTE link simulation, downlink resources and power distribution and scheduling algorithm.

Email: fshfshu@yahoo.com.cn

胡 楠(1985 – ),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向为 TD – LTE 协议栈、随机接入、网络优化。

HU Nan was born in Handan, Hebei Province, in 1985. He is now a graduate student. His research interests include TD – LTE protocol stack, random access and network optimization.

Email: yjs\_hunan@cqcyit.com