

LTE MAC 层低计算量的下行调度及资源分配

崔亚南*, 苏寒松, 刘高华

(天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072)

(* 通信作者电子邮箱 cuiyanan659987@126.com)

摘要:针对现有调度算法不能同时满足多用户的实时和非实时业务的性能需求及算法的计算量大等问题,提出了一种新的基于服务质量(QoS)的长期演进项目(LTE)下行调度算法。该算法在修正的最大加权时延优先(M-LWDF)算法的基础上引入了平衡因子,并利用用户上报的信道质量指示(CQI)值直接替代瞬时速率。仿真结果表明,该算法在保证公平性的前提下,降低了计算复杂度,当小区用户数达到45时,业务的丢包率下降了6.71%,系统整体的吞吐量提高了12.91%。

关键词:长期演进项目;服务质量;信道质量指示;修正的最大加权时延优先;调度

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**A

LTE MAC layer downlink scheduling and resource allocation with low calculation amount

CUI Ya'nan*, SU Hansong, LIU Gaohua

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: This paper proposed a new downlink scheduling algorithm based on the Quality of Service (QoS) Long Term Evolution (LTE), because the existing scheduling algorithms cannot satisfy the needs of multi-users' real-time services and non real-time services and have large amount of calculation. This algorithm introduced a balance factor on the basis of Modified Largest Weighted Delay First (M-LWDF) algorithm. In addition, the users' reported Channel Quality Indicator (CQI) directly replaced the instantaneous speed. The simulation results show that the proposed algorithm can reduce the computational complexity, when users' number added to 45, packet loss rate fell by 6.71%, the system overall throughput increased by 12.91% on the premise of fairness.

Key words: Long Term Evolution (LTE); Quality of Service (QoS); Channel Quality Indicator (CQI); Modified Largest Weighted Delay First (M-LWDF); scheduling

0 引言

为了满足未来十年对于移动通信的技术要求,同时适应新技术和移动通信理念的变革,3GPP提出了长期演进项目(Long Term Evolution, LTE),采用扁平的全IP网络结构,其性能有了很大的提高。LTE媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)层的调度模块处于整个MAC层的核心地位,主要解决什么时刻为哪些用户的哪些业务分配哪些无线资源的问题。而调度算法就是按照一定的规则对待传的数据进行优先级排序,所以调度算法对整个系统的性能起到关键的作用。而现有的算法不能较好地满足业务时延和服务质量(Quality of Service, QoS)要求。文献[1-3]中的三种经典的调度算法最大载干比算法(Maximum Carrier/Interference, Max C/I),轮询算法(Round Robin, RR)和正比公平算法(Proportional Fair, PF)均未考虑分组的时延,不适合实时业务。文献[4]中提出的修正的最大加权时延优先(Modified Largest Weighted Delay First, M-LWDF)算法适合高数据速率业务,考虑对头(Head Of Line, HOL)分组延迟,提高了实时业务的性能,但不适合非实时业务。为了同时兼顾非实时业务和实时业务,本文提出了一种基于QoS的下行调度算法,结合M-LWDF算法的优点,引入一个平衡因子,结合各业务不同的QoS要求和信道状

况,对有限的无线资源进行调度。

1 LTE下行调度和资源分配模型

单层网络传输中,在每个发送时间间隔(Transmission Time Interval, TTI)内,演进型基站(evolved NodeB, eNB)侧的调度器动态地控制哪些时间/频率资源分配给哪些用户。通过下行控制信令通知相应的用户分配了哪些资源和哪种传输格式。调度器可以从可行的方案中瞬间选择最好的调度策略,资源块的选择和多用户间调度的灵活性将会影响整个系统的性能。通常,调度器将依据QoS参数和测量、eNB侧缓存区中准备调度的有效负荷、用户侧的信道质量指示(Channel Quality Indicator, CQI)报告等因素来决定特定的子帧下调度哪些用户^[5]。调度器应使分组能更高效地利用时频资源,它决定了整个无线分组业务系统的质量和效率,同时也对其他技术和算法决策有重大影响。图1为一个LTE下行调度的实例^[6]。

由图1可知,在分组调度中,下行的业务流从高层经过分类器后,根据用户和业务类型的不同,分别存储在基站侧缓存区内的不同位置,调度器根据一定的调度算法和用户侧周期或非周期上报的CQI反馈值,计算各个数据流的调度优先级,并为优先级最高的数据流分配无线资源,传输该数据流。

收稿日期:2013-01-04;修回日期:2013-02-25。

作者简介:崔亚南(1987-),女,河北保定人,硕士研究生,主要研究方向:无线通信; 苏寒松(1960-),男,河南滑县人,教授,博士,CCF会员,主要研究方向:光通信、无线通信; 刘高华(1987-),女,山东烟台人,硕士研究生,主要研究方向:无线通信。

2 提出的调度和资源分配算法

2.1 策略分析

针对不同 QoS 需求的业务进行选择性的分组调度算法的集合^{[3]33-34}如下所示:

第 k 个用户的第 i 个业务的优先级为:

$$P_{k,i} = \sigma_{k,i} \xi_k \lambda_k \frac{[u_k(t)]^\alpha}{[R_{k,i}(t-1)]^\beta} \left[w_{k,i}^D \left(\frac{D_{k,i}(t)}{A_{k,i} + D_{k,i}} \right)^{\eta_1} + w_{k,i}^Q \left(\frac{Q_{k,i}(t)}{Q_{k,i}^{\max}} \right)^{\eta_2} \right] \quad (1)$$

式中: $\sigma_{k,i}$ 、 $w_{k,i}^D$ 、 $w_{k,i}^Q$ 是与 QoS 相关的参数,用来控制各类业务的调度优先级权重; ξ_k 是用户等级系数(LTE 支持 5 个用户等级); λ_k 为控制比例公平系数,它对比例公平性的提高起监控作用; $u_k(t)$ 是用户 k 的瞬时速率; $R_{k,i}(t-1)$ 表示该业务在过去一段时间的平均吞吐量; $\frac{D_{k,i}(t)}{A_{k,i} + D_{k,i}}$ 是延时分式,其中, $D_{k,i}$ 为用户能接受的最大时延, $A_{k,i}$ 为用户分组到达时延,延时阈值 $T_{k,i} = A_{k,i} + D_{k,i}$; $\frac{Q_{k,i}(t)}{Q_{k,i}^{\max}}$ 是队列分式,为了保证用户

的丢包率被控制在一定的范围之内,其中, $Q_{k,i}(t)$ 为调度时的队列长度, $Q_{k,i}^{\max}$ 表示最大队列的长度。

综上,式(1)相当于在 PF 算式的基础上综合考虑了 QoS 参数,延时情况和队列情况,可以用来平衡边缘用户和中心用户间的公平性,而参数 α 、 β 、 η_1 、 η_2 就是不同的分组调度算法优先级计算公式的“开关”。通过对这些参数的设置,式(1)可以转化成一些现有的调度算法。比如,当 $\eta_1 = \omega_{k,i}^Q = 0$ 时,式(1)就转化为 PF 调度算法的优先级公式;当 $\alpha = \eta_1 = \omega_{k,i}^Q = 0$ 时,式(1)就转化为 1/R 调度算法的优先级公式;当 $\beta = \eta_1 = \omega_{k,i}^Q = 0$ 时,式(1)就转化为 Max C/I 调度算法的优先级公式。

当 $\eta_2 = 0$,就可以由式(1)得到 M-LWDF 算法的优先级计算公式^{[4]816},如式(2)所示:

$$P_{k,i} = -\lg(\delta_i) \frac{u_k(t)}{R_{k,i}(t-1)} \left(\frac{D_{k,i}(t)}{T_{k,i}} \right) \quad (2)$$

其中: δ_i 是与 QoS 相关的参数, $u_k(t)$ 、 $R_{k,i}(t-1)$ 、 $D_{k,i}$ 、 $T_{k,i}$ 与上述含义相同。

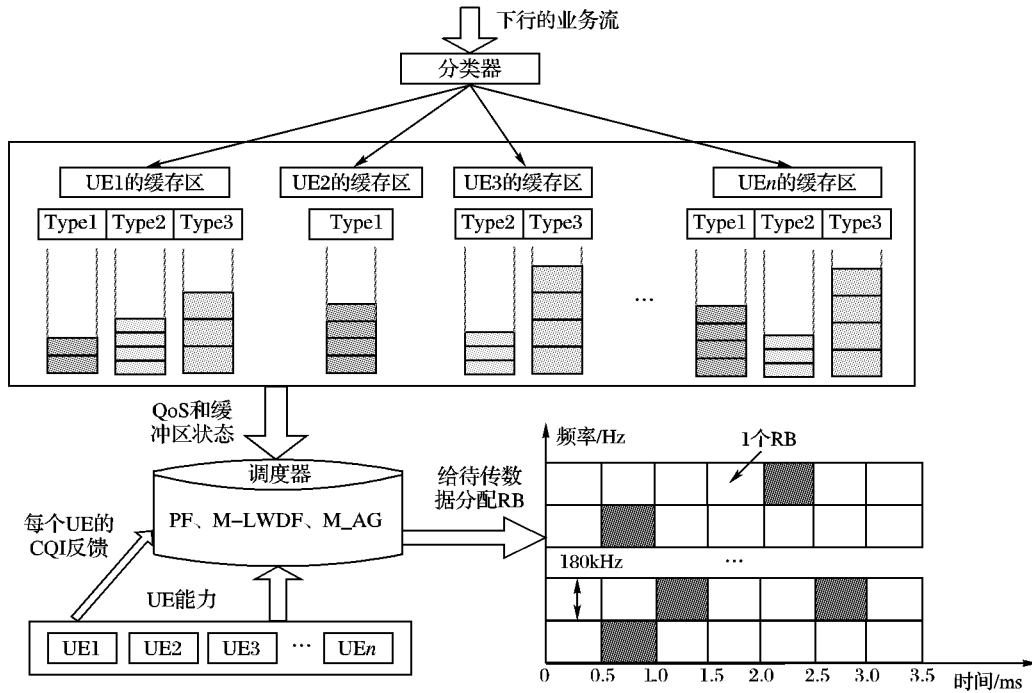


图1 LTE下行调度和资源分配示意图

2.2 提出的算法

M-LWDF 算法优先级计算公式主要考虑了业务的时延性要求,非常适合实时业务(Real Time, RT),但是它没有考虑不同业务的保证比特率(Guaranteed Bit Rate, GBR)要求。本文尝试修改 M-LWDF 算法以使其能够应用于 LTE 频域分组调度,并满足业务的 GBR 要求。

修改后的算法命名为 M-AG,其主要思想是,不仅考虑实时业务的 GBR 要求,而且限制低 GBR 速率的业务获得过多的资源块,为没有满足 GBR 要求的业务进行优先级补偿。此外,传统的 PF 算法的优先级计算是业务的瞬时速率和平均速率的比值。其中业务的瞬时速率是上一个 TTI 估算得到的,由信道条件和调制编码方式决定^{[5]26-34},基站侧根据用户上传的 CQI 值查表得到信道的信干噪比(Signal to Interference plus Noise Ratio, SINR),再根据 SINR 得到有效 SINR 值,然后

计算频谱效率,最后得出瞬时速率,由此我们知道其实 CQI 值就决定了瞬时速率,为了降低算法的计算复杂度,直接用户上传的 CQI 值去替代瞬时速率^{[6]1447},大大降低了算法的开销。该算法的优先级计算公式^[7-8]如下:

$$P_{k,i} = \begin{cases} -\lg(\delta_i) \frac{CQI^Q}{R_{k,i}(t-1)} \left(\frac{D_{k,i}(t)}{T_{k,i}} \right) \max \left(1, \frac{GBR_i}{R_{k,i}(t-1)} \right), & \text{实时业务} \\ \mu \frac{CQI^Q}{R_{k,i}(t-1)}, & \text{非实时业务} \end{cases} \quad (3)$$

该算法按照用户要传输的业务流是否实时,分别采用不同的调度公式计算优先级,当业务流是实时业务时(如视频流,Video),按照修改后的 M-LWDF 算法;非实时业务时(如

尽力而为业务流(Best Effort, BE)),按照修改的 PF 算法进行优先级计算。

式(3)中, θ 是可配置的权重因子,用于权衡整个系统的资源利用率和用户的数据速率公平性。经过多次仿真,最终确定 θ 取值为 2 最佳。 μ 是可调的优先级因子, μ 越大,非实时业务的优先级越高,吞吐量就越大,但是随着 μ 的增大,会导致实时业务的平均分组时延增大,从而增加了丢包的可能性。

$\max\left(1, \frac{GBR_i}{R_{k,i}(t-1)}\right)$ 项是补偿因子,当 $\frac{GBR_i}{R_{k,i}(t-1)} > 1$ 时,用户 k 的平均速率没有达到业务 GBR 要求,此时用户 k 的权重因子在 M-LWDF 权重因子的基础上将获得 $\frac{GBR_i}{R_{k,i}(t-1)}$ 的补偿^{[8]59}。而且 $R_{k,i}(t-1)$ 与 GBR_i 的差值越大,补偿因子的值就越大,用户获得资源块的优先级就越高。而对于达到了业务 GBR 要求的用户以及 Non-GBR 要求的用户,补偿因子的取值为 1,这样该算法尽量利用 M-LWDF 算法的优点,并通过限制和补偿措施保证了用户业务的 GBR 要求,可以支持 LTE 混合业务场景。

3 仿真分析

3.1 仿真环境

本文主要针对两类业务(实时和非实时业务)进行仿真^[9],具体介绍如表 1 所示。

表 1 仿真的业务类型

类型	业务实例	特点	分类	GBR
Type1	BE 业务	假设用户一直有数据要发送	非实时	0
Type2	Video 业务	对延时的要求比较严格	实时	512 Kb/s

该文的仿真使用 C++ 程序,整个系统采用正六边形的规则小区,用户随机地撒入小区中,用户的移动速度为 3 km/h。每个小区中心位置设有一个 eNB,控制所有可用的资源块(Resource Block, RB),所有的用户均共享这些 RB^[10]。系统带宽为 10 MHz 即 50 个 RB。表 2 给出了仿真的基本参数的设置。

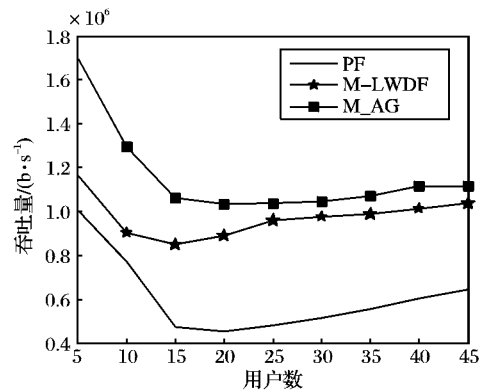
表 2 3GPP LTE 下行系统仿真参数^[11-13]

业务类型	Type1 和 Type2
传输带宽	10 MHz
子载波间隔	15 kHz
每个 RB 的子载波数	12
每个时隙 OFDM 符号的数量	7
RB 数量	50
发送时间间隔(TTI)	1 ms
小区数量	1
小区半径	1 km
用户移动速度	3 km/h
用户移动方式	Random Walk
调制方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
帧结构	TDD
调度类型	PF、M-LWDF、M-AG
路径损失	$L = 1 + 37.6 \lg R$, R 单位 km, $f = 128.1 - 2 \text{ GHz}$, $f = 120.9 - 900 \text{ MHz}$
用户侧的发射功率	23 dBm
基站的发射功率	46 dBm
基站和用户间的最小距离	35 m

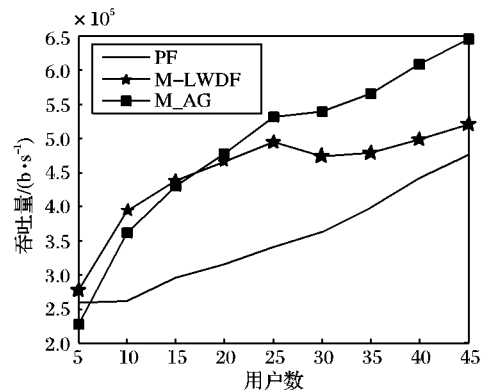
3.2 仿真结果

本文从系统吞吐量、用户公平性和丢包率等^{[3]38-39,[14]}方面对 PF 算法、M-LWDF 算法和 M-AG 算法的性能进行了仿真。

图 2 对不同的调度算法的吞吐量进行了仿真。图 2(a) 为非实时业务的仿真情况,在用户数由 5 增加至 15 时,三种算法的非实时业务的吞吐量均急速下降,此后,随着用户数的继续增加,三种优先级调度算法的吞吐量变化缓慢。总体上看, M-AG 算法的吞吐量相比于 M-LWDF 算法有所提升,且二者的吞吐量均大于 PF 算法。图 2(b) 为实时业务的情况,随着用户数的增加,三种算法的 Video 业务的吞吐量均逐渐上升。在用户数增至 17 时, M-AG 算法的业务吞吐量与 M-LWDF 算法的业务吞吐量持平,之后随着用户的继续增加, M-AG 算法的吞吐量高于其他两种算法的业务吞吐量。在用户数为 45 时, M-AG 算法的吞吐量比 M-LWDF 算法提高了 24.05%,比 PF 算法提高了 35.67%。



(a) Type1 型业务的吞吐量



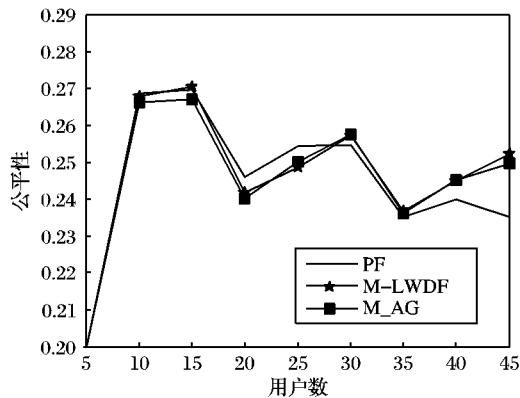
(b) Type2 型业务的吞吐量

图 2 不同调度算法下的吞吐量

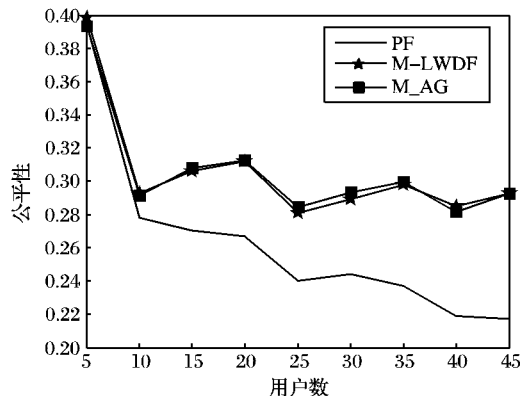
图 3 给出了不同的调度算法的公平性。对于非实时业务如图 3(a) 所示:随着用户数的增加,三种优先级调度算法的公平性基本保持一致;当用户数由 35 增至 45 期间, PF 算法的公平性有所下降, M-AG 算法和 M-LWDF 算法的公平性略高于 PF 算法。对于实时业务来说,如图 3(b) 所示,用户数由 5 增加到 10 时,三种算法的公平性均呈线性下降趋势,之后随着用户数的增加, M-AG 和 M-LWDF 算法的公平性大体相同,但是 PF 算法的公平性仍有下降。从总体上看, M-AG 算法保证了系统的公平性。

图 4 为不同的调度算法的丢包率情况。图 4(a) 中,对于非实时业务, M-AG 算法的丢包率低于 PF 算法和 M-LWDF

算法;用户数由10增至15的阶段,M_AG算法的丢包率迅速上升,在用户数为15时,丢包率增至最大值。这是因为由于队列延时等因素,实时业务的优先级高于了非实时业务,调度器主要为实时业务分配资源。

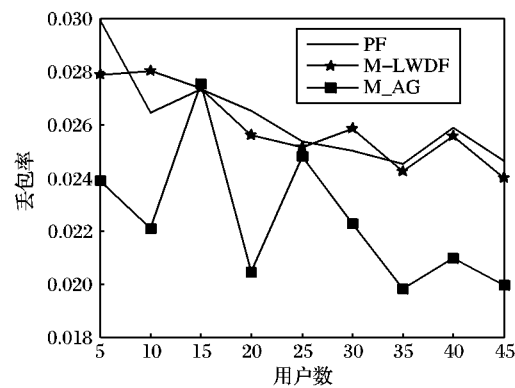


(a) Type1型业务的公平性

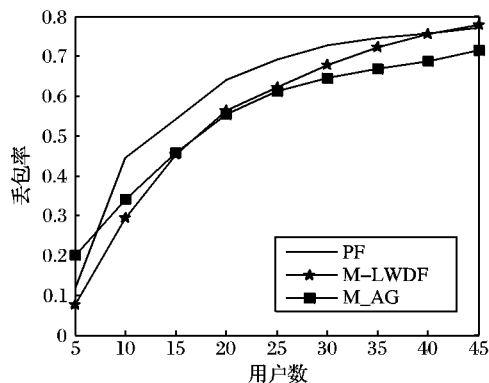


(b) Type2型业务的公平性

图3 不同调度算法下的公平性



(a) Type1型业务的丢包率



(b) Type2型业务的丢包率

图4 不同调度算法下的丢包率

对于实时业务来说,如图4(b)所示,随着用户数的增加,

三种算法的丢包率均呈增大趋势,用户数由7增加至17时,M_AG算法的丢包率高于M-LWDF算法,低于PF算法。之后,随着用户数的增大,M_AG算法的业务丢包率增加的幅度小于其他两种算法。所以从总体上说,M_AG算法降低了业务的丢包率。

4 结语

本文提出了一种新的基于QoS的下行调度算法。通过对吞吐量、公平性和丢包率三个方面的仿真验证得出结论,该算法在保证业务调度的公平性前提下,降低了计算复杂度和业务丢包率,提高了整体系统的吞吐量。在以后的研究中,可以结合半静态调度机制,减少信令的开销。

参考文献:

- [1] 梁倩. 支持实时多媒体业务QoS的LTE下行调度研究[J]. 现代电信科技, 2012(4): 36-40.
- [2] 吴志彪. HSDPA系统中分组调度算法研究[J]. 山东通信技术, 2005, 25(4): 28-31.
- [3] 刘博. LTE中基于QoS的下行分组调度算法的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [4] RAMLI H A M, BASUKALA R, SANDRASEGARAN K, *et al*. Performance of well known packet scheduling algorithms in the downlink 3GPP LTE system[C]// Proceedings of the 9th IEEE Malaysia International Conference on Communications. Piscataway: IEEE, 2009: 815-819.
- [5] 3GPP TS 36.213 V9.3.0, Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) [S/OL]. [2012-10-20]. http://www.3gpp.org/ftp/specs/archive/36_series/36.213.
- [6] SUN S Y, YU Q Y, MENG W X. A configurable dual-mode algorithm on delay-aware low-computation scheduling and resource allocation in LTE downlink [C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference: MAC and Cross-Layer Design. Piscataway: IEEE, 2012: 1444-1449.
- [7] 刘伟. LTE系统中基于混合业务的分组调度算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [8] 钱巍巍. TD-LTE关键技术及系统结构研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2011.
- [9] 刘醒梅. TD-LTE系统的无线分组调度研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [10] 郑华晋, 刘晓林, 宋春林, 等. 基于QoS的LTE下行分组调度算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(1): 288-290.
- [11] 夏鸣. LTE系统一种基于比例公平的调度算法[D]. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [12] TRAN S V, ELTAWIL A M. Optimized scheduling algorithm for LTE downlink system [C]// IEEE Wireless Communications and Networking Conference: MAC and Cross-Layer Design. Piscataway: IEEE, 2012: 1462-1466.
- [13] PIRO G, BOGGIA G. Two-level downlink scheduling for real-time multimedia services in LTE networks[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 13(5): 1052-1065.
- [14] SANDRASEGARAN K, RAMLI H A M, BASUKALA R. Delay-Prioritized Scheduling (DPS) for real time traffic in 3GPP LTE system [C]// WCNC 2010: 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE, 2010: 1-6.