

LTE 下行基于 QoS 的混合业务调度算法

崔亚南, 苏寒松, 朱世兵

(天津大学 电子信息工程系, 天津 300072)

摘要: 针对现有调度算法不能同时满足多用户多业务的性能需求等问题, 提出了一种新的基于服务质量(QoS)的长期演进(LTE)项目下行调度算法。该算法改进了修正的最大加权时延优先(M-LWDF)算法的延时分式, 用信道质量指示(CQI)值直接替代用户的瞬时速率, 降低了计算复杂度。此外, 兼顾了确保比特率(GBR)和 QoS 等级标识符(QCI)等 QoS 参数。仿真结果表明, 该算法在保证小区的频谱效率的前提下, 降低了实时业务的延时, 提高了非实时业务的吞吐量, 对 LTE 下行链路是一个很好的选择。

关键词: 长期演进项目; 服务质量; 修正的最大加权时延优先; 调度

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)21-0051-04

Mixed services scheduling algorithm based on QoS for LTE downlink

Cui Ya'nan, Su Hansong, Zhu Shibing

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

Abstract: This paper proposes a new long term evolution (LTE) downlink scheduling algorithm based on the quality of service (QoS), because the existing scheduling algorithms could not satisfy the requires of multi-users and multi-services. This algorithm improves the delay fraction of the modified maximum weighted delay first (M-LWDF) algorithm and uses the channel quality indication (CQI) directly instead of instantaneous speed to reduce complexity. In addition, some QoS parameters are taken into account, such as guaranteed bit rate (GBR) and QoS class identifier (QCI). The simulation results show that the proposed algorithm could improve the throughput of non real-time services and reduce the delay of real-time services, and it is a good choice for LTE downlink.

Key words: long term evolution; QoS; the modified maximum weighted delay first; scheduling

为了应对宽带接入技术的挑战, 满足新型业务需求, 3GPP 标准组织在 2004 年底启动了长期演进 LTE (Long Term Evolution) 项目。该项目采用扁平化的全 IP 网络架构, 以正交频分多路复用技术 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、多输入多输出 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 等技术为基础, 支持 1.4 MHz、3 MHz、5 MHz、10 MHz、15 MHz、20 MHz 等系统带宽, 可实现 100 Mb/s 以上速率。LTE 系统中的基站 eNB (Evolved NodeB) 负责管理上下行链路信道的资源调度。该功能的终极目标是满足多用户多业务的服务质量^[1] QoS (Quality of Service) 需求。而调度算法就是按照一定的规则对待传输的数据进行优先级排序, 因此, 调度算法对整个系统的性能起到关键的作用^[2]。

目前, 现有的调度算法不能较好地满足混合业务的吞吐量和服务质量要求。参考文献[3]、[4]中的 3 种经典的调度算法最大载干比算法 Max C/I (Maximum Carrier/Interference)、轮询算法 RR (Round Robin) 和正比公平算法 PF (Proportional Fair) 均未考虑分组的时延, 不适合实时业务。参考文献[5]中提出的修正的最大加权时延优先 M-LWDF (Modified Maximum Weighted Delay First) 算法适于高数据速率业务, 考虑对头 HOL (Head of Line) 分组延迟, 提高了实时业务的性能, 但是一种不公平的调度算法, 不适用于非实时业务。为了同时兼顾非实时业务和实时业务, 本文提出了一种新的基于 QoS 的下行调度算法, 结合 PF 和 M-LWDF 算法的优点, 并考虑了各业务不同的 QoS 要求和信道状况, 对有限的无线资源进

网络与通信

Network and Communication

行调度。

1 LTE 下行调度和资源分配模型^[6]

在每个发送时间间隔 TTI (Transmission Time Interval) 内,调度器根据信道质量指示 CQI^[7] (Channel Quality Indicator) 信息、缓冲区状态信息、QoS 等参数动态地进行无线资源分配。通过下行控制信令通知相应的用户资源分配情况。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。此外,小区中活动用户设备 UE (User Equipment) 信道质量信息的适用性和准确性也对调度算法起到重要的约束作用。图 1 给出了 LTE 下行分组调度的简化模型。

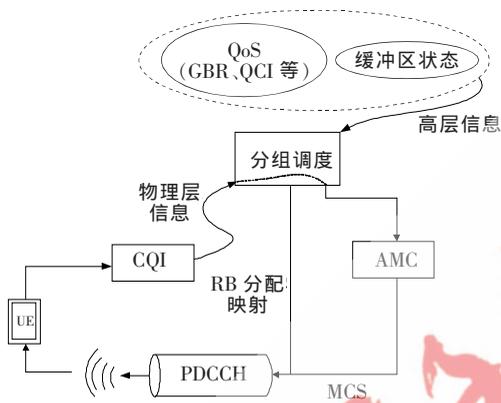


图 1 LTE 下行分组调度的简化模型

2 改进的调度算法

PF 算法未考虑各业务的 QoS 参数和队列情况,不适合实时业务;M-LWDF 算法未考虑不同业务的保证比特率 GBR (Guaranteed Bit Rate) 要求,且是一种不公平的调度算法。本文综合考虑这两种算法,并在此基础上进行了修改,加入了 QoS 等级标识 QCI (QoS Class Identifier)、GBR 等参数,为了进一步降低实时业务的延时,修改了 M-LWDF 算法的延时分式,以满足多用户的混合业务的性能需求。由于业务的瞬时速率是上一个 TTI 估算的,由信道条件和调制编码方式决定^[5],在此直接用用户上报的 CQI 值替代业务的瞬时速率,以降低算法的计算复杂度。

新算法的主要思想是:按照用户传输的业务流是否是实时,分别采用不同的调度公式^[8-9]计算待传输的数据流的优先级,选出优先级最高的数据流进行调度,具体的第 k 个用户的第 i 个业务的优先级计算公式:

$$P_{k,i} = \begin{cases} \frac{-\lg(\delta_i)}{\text{PLR}_{\text{req},i}} \frac{1}{\text{QCI}_i} \left(\frac{1}{T_{k,i} - D_{k,i}(t)} \right) \frac{\text{CQI}^{\theta}}{R_{k,i}(t-1)} \max\left(1, \frac{\text{GBR}_i}{R_{k,i}(t-1)}\right), & \text{实时业务} \\ \mu \frac{\text{CQI}^{\theta}}{R_{k,i}(t-1)}, & \text{非实时业务} \end{cases} \quad (1)$$

其中, δ_i 、QCI、GBR_{*i*} 是与 QoS 相关的参数,参数 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。通过大量仿真, θ 取 2 最佳。PLR_{req,*i*} 是业务 i 要求的最大丢包率, $D_{k,i}(t)$ 为用户能接受的最大时延, $T_{k,i}$ 为延时阈值; $r_{k,i}(t)$ 是用户 k 的第 i 个业务的瞬时速率, $\overline{R_{k,i}(t-1)}$ 表示该业务在过去一段时间的平均吞吐量; 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。 $\max\left(1, \frac{\text{GBR}_i}{R_{k,i}(t-1)}\right)$ 项是补偿因子,当 $\text{GBR}_i > R_{k,i}(t-1)$ 时,表明用户 k 的平均速率未达到业务 GBR 要求,此时用户 k 的优先级权重将获得 $\frac{\text{GBR}_i}{R_{k,i}(t-1)}$ 的补偿。而且

$\overline{R_{k,i}(t-1)}$ 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,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。

此外,基站会在每个 TTI 更新业务的平均传输速率 $\overline{R_{k,i}(t)}$ 的值,其更新公式为^[10]:

$$\overline{R_{k,i}(t)} = 0.8\overline{R_{k,i}(t-1)} + 0.2r_{k,i}(t-1) \quad (2)$$

其中, $r_{k,i}(t-1)$ 代表第 k 个用户在过去一段时间内实现的数据速率。

3 仿真分析

3.1 仿真环境

本仿真使用 LTE-Sim 仿真平台,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 RB (Resource Block),所有的用户均共享这些 RB。系统带宽为 5 MHz,即 25 个 RB。仿真的业务主要有 IP 语音 VoIP (Voice over IP) 类、视频类 (Video)、恒定比特率 CBR (Constant Bit Rate) 以及尽力而为 BE (Best Effort) 等业务^[11]。具体的仿真场景和仿真的基本参数的设置如图 2 和表 1 所示。

3.2 仿真结果

本文从实时业务的延时、非实时业务的吞吐量和小区的频谱效率等方面对 PF 算法、M-LWDF 算法和新算法的性能进行了仿真。

图 3 对实时业务的延时进行了仿真。由图 3(a) 知,3 种调度算法对于 CBR 类实时业务的延时大体一致,新算法相比于原有的两种算法表现略好,在小区用户数较少时,对业务的延时有了略微的降低。图 3(b) 中,对于 Video 流业务,PF 算法的延时很大,在用户数为 65 时,增大到了 12.756 19 s,不适于实时业务对延时的要求;而随着用户数的不断增加,新算法和 M-LWDF 算法均

网络与通信 Network and Communication

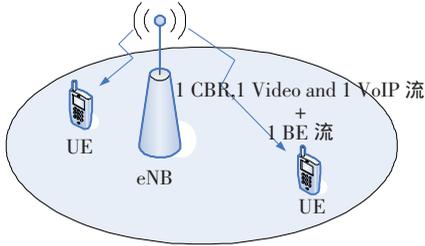
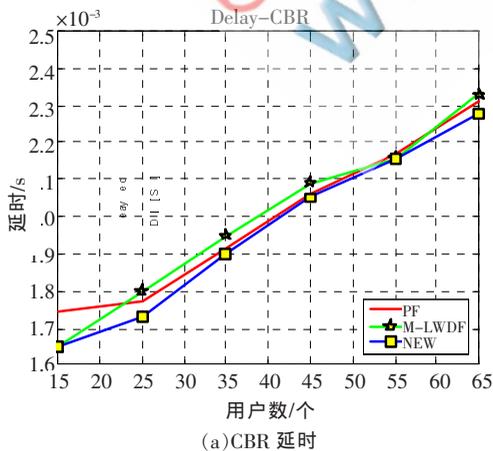


图2 LTE 仿真场景

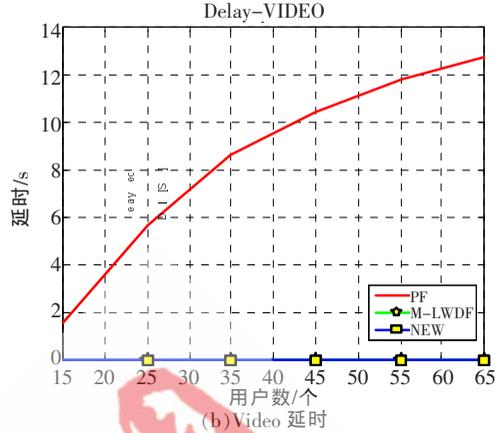
表1 LTE 下行系统仿真参数

业务类型	实时业务:CBR,H264,VoIP
仿真时间	46 s
系统带宽	5 MHz
中心载频	2 GHz
子载波间隔	15 kHz
每个 RB 的子载波数	12
开销	带可靠头压缩的 RTP/UDP/IP:3 B;PDCP:2 B; RLC:2 B;MAC:3 B;CRC:3 B;L1/L2:3 个 OFDM 符号
小区半径	1 km
用户速率	3 km/h
用户移动方式	随机走
调制编码方式	QPSK, 16QAM, 64QAM
用户数	15,25,35,45,55,65
GBR	H264:64 kb/s;VoIP:32 kb/s
QCI	VoIP:1(高);H264:2(中);CBR:3(低)
路径损失	$L=I+37.6\lg(R)$,R 单位 km,其中,I=128.1(dB)
用户的发射功率	23 dBm
基站的发射功率	46 dBm

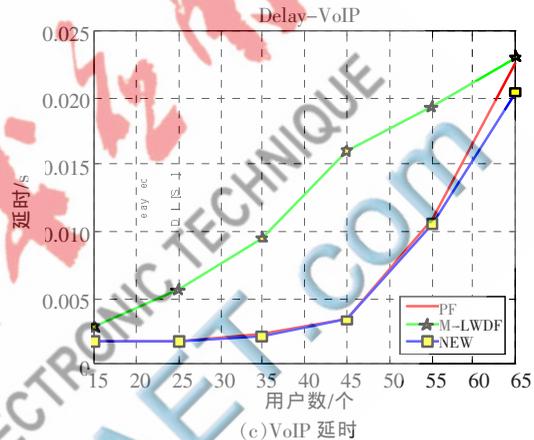
将业务的延时保持在 0.07 s 左右,符合视频流业务的时延要求。对于 VOIP 类业务,如图 3(c)所示,3 种调度算法均表现出良好的时延性能,随着用户数从 5 增加到 65,业务的时延是逐渐增加的,但均在延时阈值内变化。其中,新算法和 PF 算法延时性能相似,均低于 M-LWDF 算法的延时性能。当用户数为 45 时,新算法表现出最佳性能。其延时性能比 PF 算法降低了 5.71%,比 M-LWDF 算法降低了 79.32%。



(a) CBR 延时



(b) Video 延时



(c) VoIP 延时

图3 实时业务的延时情况

图 4 对非实时业务的吞吐量进行了仿真。从图中可以明显看出,新算法极大地提高了非实时业务的吞吐量。当用户数从 25 开始继续增加时,非实时业务的额吞吐量逐渐趋于平衡,这主要是因为调度器除了考虑延时外,还要兼顾用户间的公平性。当用户数为 35 时,性能良好,新算法实现的吞吐量比 PF 算法高 5.17%,比 M-LWDF 算法高 5.54%。总之,新算法相比于 PF 和 M-LWDF 算法实现了较大的吞吐量。

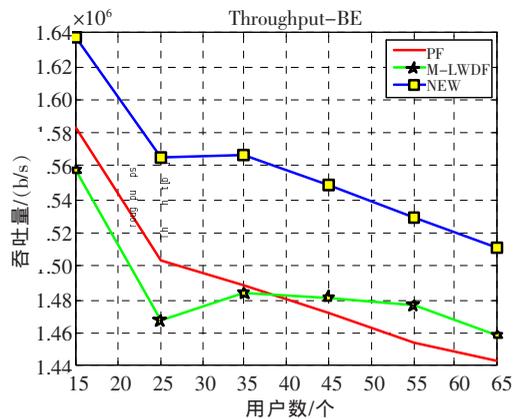


图4 非实时业务的吞吐量

在 LTE 中,小区的频谱效率越高,说明小区内的无线资源利用率越高。图 5 将新算法和 PF、M-LWDF 算法

网络与通信 Network and Communication

进行了比较。由图知,新算法和 M-LWDF 算法的小区频谱利用率相差不大,但都比 PF 算法的高很多。由此得出,新算法保证了小区内无线资源的利用率。

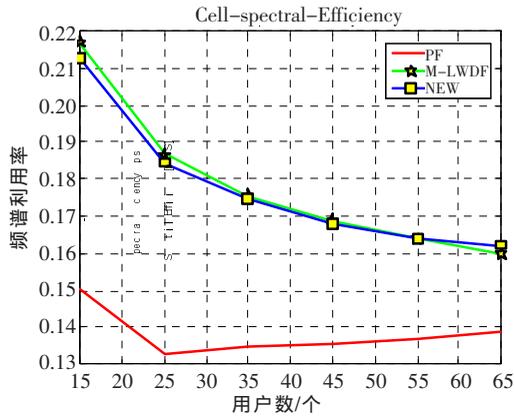


图5 小区的频谱效率

本文提出了一种新的基于 QoS 的混合业务下行调度算法。通过对实时业务的延时、非实时业务的吞吐量和小区的频谱效率等的仿真验证得出结论,该算法在保证小区频谱效率的前提下,降低了实时业务的延时性能,提高了非实时业务的吞吐量。在以后的研究中,可以考虑动态调度和半静态调度机制有机的结合方案,以减少调度信令的开销。

参考文献

- [1] SALMAN A, MUHAMMAD Z. A delay-scheduler coupled game theoretic resource allocation scheme for LTE networks[C]. IEEE Frontiers of Information Technology. Islamabad, Pakistan, 2011:14-19.
- [2] CAPOZZI F, PIRO G, GRIECO L A, et al. Downlink packet scheduling in LTE cellular networks: key design issues and a survey [C]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2012:1-23.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] RAMLI H A M, BASUKALA R, SANDRASEGARAN K, et al. Performance of well known packet scheduling algorithms in the downlink 3GPP LTE system [C]. IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications, Kuala Lumpur, Malaysia, 2009:815-819.
- [6] GIUSEPPE P, LUIGI A G, GENNARO B, et al. Simulating LTE cellular systems: an open source framework [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(2):498-513.
- [7] BASUKALA R, RAMLI H A M, SANDRASEGARAN K, et al. Impact of CQI feedback rate/delay on scheduling video streaming services in LTE downlink[C]. 2010 12th IEEE International Conference on Communication Technology, 2010: 1349-1352.
- [8] MUNTEAN V H, OTESTEANU M, MUNTEAN G-M. QoS parameters mapping for the e-learning traffic mix in LTE networks[C]. IEEE International Joint Conferences on Computational Cybernetics and Technical Informatics. Timisora, Romania, 2010:299-304.
- [9] 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.
- [10] 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, 2012:1444-1449.
- [11] 李俭兵, 周元元, 季小文. TDD-LTE 系统下行资源分配的研究及 DSP 实现[J]. 电子技术应用, 2013, 39(4):35-38.

(收稿日期:2013-07-03)

作者简介:

崔亚南,女,1987年生,硕士研究生,主要研究方向:无线通信。

苏寒松,男,1960年生,博士,教授,CCF会员,主要研究方向:光通信,无线通信。

朱世兵,男,1988年生,硕士研究生,主要研究方向:无线通信。