

基于 QoS 优化的 LTE 动态资源分配算法^{*}

郑智华

(深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055)

摘 要: 文中对下一代移动通信系统 LTE 的动态资源分配算法进行研究, 通过分析不同业务类型的 QoS 需求, 设定用户使用业务类型的 QoS 参数, 确定优先级大小, 通过 QoS 来表示不同业务的时间延迟; 同时对小区切换用户的优先等级分析, 设置了切换因子, 提出了基于 QoS 优化的改进算法, 并进行系统仿真计算分析, 结果表明和传统算法相比, 系统性能得到有效改进, 进一步提高了系统公平性并增加小区吞吐量。

关键词: 吞吐量 QoS 动态资源分配

中图分类号: TN929.533 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-0802(2014)12-1405-04

LTE Dynamic Resource Allocation Algorithm based on QoS Optimization

ZHENG Zhi-hua

(Shenzhen Polytechnic, Shenzhen Guangdong 518055, China)

Abstract: LTE dynamic resource allocation algorithm for the next generation mobile communication systems is discussed. Through the analysis on different types of traffic QoS requirements, the QoS parameters of user service types are determined and priority levels also established, and QoS is used to display different service time - delays. Meanwhile, the handoff factor is also set up through priority analysis of the cell handoff users. Thus the modified dynamic resource allocation algorithm based on QoS optimization is further proposed and simulated. Simulation results show that the system performance is effectively improved, moreover, the system fairness and cell throughput also increased as compared with traditional algorithms.

Key words: throughput; QoS; dynamic resource allocation

0 引 言

3GPP 在 2004 年底正式推出了下一代移动通信系统 LTE (Long Term Evolution) 项目, 其后 LTE 网络服务发展迅速。为了更好地满足广大用户多媒体业务需求, 提高上网速度及更好的频谱利用率, LTE 系统的服务质量 (QoS) 成为测试系统性能的一个重要指标。

1 动态资源分配算法概述

1.1 动态资源分配算法概述

在现有的 IEEE802.16 中, 定义了 5 种服务流

媒体业务, 不同的业务类型包括不同标准 QoS 要求。为了确保达到 QoS 标准, IEEE802.16 同时定义了 MAC (Media Access Control) 协议以及数据交付机制来支持不同的 QoS 需求。因此在实际应用中需要设计资源分配方案。如果和 2G 系统一样, 简单应用静态的资源分配算法, 必然导致资源利用率低以及难以满足多媒体业务 QoS 要求。因此, 文献 [1-2] 表明有效的动态资源分配算法是提高 LTE 性能关键技术之一, 可以有效地提高频谱利用率以及满足不同多媒体业务的 QoS 要求。

动态资源分配是根据 LTE 系统的用户 (UE) 状况, 主要是依据用户的信道状态信息, 自适应地为每

^{*} 收稿日期: 2014-09-09; 修回日期: 2014-11-05 Received date: 2014-09-09; Revised date: 2014-11-05
基金项目: 深圳市战略性新兴产业发展专项资金 (No. JCY20120617143714854)
Foundation Item: ShenZhen strategic emerging industry development funds. No. JCY20120617143714854

个用户分配资源,主要包括资源的调度及功率开销。因此在 LTE 动态资源分配中还必须考虑用户的接入类型,CQI(Channel Quality Indicator), 上行及下行功率, RB(Radio Bear) 资源块以及系统负荷等多种因素,利用动态分配的方法使系统 QoS 优化,从而获得更大的系统吞吐量。

在 LTE 系统动态资源分配中,基站需要合理利用有限的资源包括功率和可用的频率带宽资源,和用户之间有效的信息交流,正如引言中提到的需要考虑用户的信道状况,根据 CQI 等情况进行资源自适应分配,来提高系统的 QoS 性能。

1.2 动态资源的经典算法

在 LTE 移动通信系统中,由于每个用户的流动性和位置不确定性,因此用户的信道质量会随着时间不断变化,主要是用户的位置以及周围无线传输的环境对信号的影响。

文献 [2-3] 中 LTE 系统经典动态资源分配算法主要为最大载干比(Max C/I) 算法,提供吞吐量上限,轮询 RR 算法(Round Robin) 提供公平性上限以及根据比例公平 PF(Proportional Fair) 得出的折中算法。在经典的研究算法中最大载干比(Max C/I) 算法只考虑吞吐量而并不考虑不同用户之间的公平性。在每个调度的周期内,对用户的载干比(C/I) 进行计算排队,也就是分配的依据根据用户信道传输质量,信道传输质量好的用户优先得到服务,因此最大载干比(C/I) 算法由此获得系统的吞吐量上限及最优频谱利用率。其用户优先等级可以根据下列算法排序:

$$k = \arg \max_{k=1,2,\dots,N} (C/I)_k(t) \quad (1)$$

但 Max C/I 算法由此引起的问题是处在小区边缘或者周围无线传输环境比较差的用户一直不能分配到系统资源,不能保证系统的公平性。

反之,在 RR 算法中只考虑用户的公平性,在每个调度时隙内,用户非空队列采用轮询方式接受系统的资源分配服务。LTE 系统公平地将资源分配给有数据发送的 UE,无论用户处于长时间及短时间内,轮循算法都可以保证用户之间的时间公平性,算法容易实现。但是由于算法没有分析不同用户信道传输质量,没有考虑到资源的使用效率,系统吞吐量很低的。因此 RR 算法公平性最好,系统吞吐量最差。

于是折中的办法是比例公平 PF 算法,传统的比例公平算法是根据用户优先级别的高低顺序依次

选择用户进行服务。在一个多用户的小区中,当信道条件好的用户被连续分配服务,其平均数据传输速率就会增大,从而降低其优先级别,同时对于信号质量不好的并长期得不到服务的用户提高优先级别,来保证系统用户的公平性原则。比例公平 PF 算法的优先等级可以由以下公式得到:

$$\delta_j(t) = (C/I)_j(t) / R_j(t), j=1,2,\dots,L \quad (2)$$

式中, $(C/I)_j(t)$ 代表 j 用户在 t 时刻的载干比,也表示用户的信道质量, $R_j(t)$ 代表 j 个用户在时隙 t 内的数据平均传输速率。当没有数据传输时候, $(C/I)_j(t) = 0$,因此 PF 算法中,选中分配的用户为:

$$k = \arg \max_{k=1,2,\dots,N} ((C/I)_k(t) / R_k(t)) \quad (3)$$

算法考虑到用户的公平性原则,也兼顾到系统的吞吐量。

2 基于 QoS 优化的动态资源分配

2.1 基于 QoS 优化动态资源建模分析

在下一代移动通信系统 LTE 中多小区多用户的 QoS 优化的动态资源分配实际上可以归纳成带约束条件的优化建模^[4-5],对时隙,子载波,比特,功率等分配要素多样性及不同优化目标的确定成为求解的最大难点。

对于 TD-LTE 系统,每个小区不同用户不能使用同一条子载波,子载波数量是由该用户的业务来决定,系统分配给小区的带宽即子载波的数量有限,因此要解决子载波资源的合理利用,并考虑上下时隙配比,远距离交叉时隙干扰程度等。当然 QoS 优化的结果是希望用户得到最大容量,且保证系统的公平性,让每个用户都能合理使用资源。

假定系统有 M 个小区,每个小区有 I 个用户和 N 个载波, $P_{m,i,j}$ 代表第 i 个用户在第 j 个子载波上的发送功率, P 表示一个小区总的可用发射功率。 $h_{m,i,j}^{m'}$ 表示第 i 个用户在子载波 j 上的信道增益,假定每个子载波的噪声功率均为 σ^2 ,则可以得到用户 i 的信噪比为:

$$\gamma_{m,i,j} = \frac{h_{m,i,j} P_{m,i,j}}{\sum_{m \neq m'} \sum_{i=1}^I h_{m,i,j}^{m'} P_{m,i,j} + \sigma^2} \quad (4)$$

因此用户 i 在子载波上的比特传输速率为:

$$R_{m,i,j} = B_n \log(1 + \gamma_{m,i,j} / \rho) \quad (5)$$

式中, $\rho = -\ln(R_e) / 1.5$, R_e 代表该用户的误码率。而用户 i 的平均吞吐量为

$$T_{pi} = b_i / T\omega n \quad (6)$$

式中, b_i 表示用户在时间 T 内接受到的比特数, n 为小区总数, ω 为信道带宽, T 为传输时间, L 为总的用户数目。因此用户平均吞吐量为:

$$T_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{b_i}{t_i} \quad (7)$$

式中, t_i 是第 i 个用户的激活时间。因此系统的公平性定义为:

$$S_F = \left(\sum_{i=1}^L b_i \right)^2 / L \sum_{i=1}^L b_i^2 \quad (8)$$

实际上在分配的时候还必须考虑到用户的时延及最长可以等候时间等。由式(2)可以得到每个用户平均传输速率更新为:

$$R_i(t+1) = (1 - 1/T_c) R_i + R_j(t) / T_c \quad (9)$$

式中, T_c 代表时间窗的长度, 反映了用户等待资源分配的忍受度。当 T_c 增大时, 表示用户可以忍受较长时间直到信道质量达到良好水平, 这样可以提高系统的吞吐量, 但增加了附加时延。

2.2 基于 QoS 优化的动态资源分配改进算法

对于实时业务, 丢比特率往往是衡量 QoS 的一个重要指标, 若延时时间超过等待时间门限, 则就会产生数据比特丢失; 对于非实时业务类型, 小区的吞吐量是衡量 QoS 的重要指标。

因此根据不同用户业务类型的 QoS 指标, 提出 QoS 优化的改进算法, 设置第 i 个用户使用业务类型的 QoS 权重因子为 β_i , 并由此可以确定用户传输速率是否可变。分析 QoS 权值来分析不同业务的时间延迟, 确定恒定速率实时业务还是可变速率实时业务。对不同的业务设定为不同的权重值。实时业务具有最高优先级, 并采用接入控制算法。对于交互业务来说, 允许时延, 权值设置相对小一些, 背景型业务允许长时延, 其权重值设置相当小。

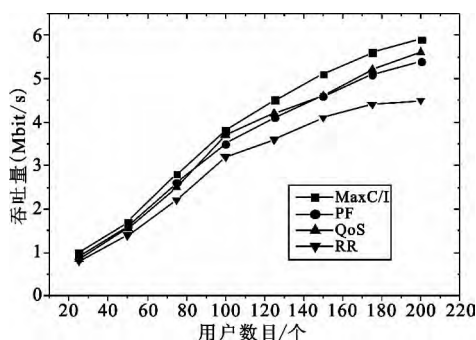


图 1 QoS 改进算法与传统算法吞吐量比较

Fig. 1 Throughput comparison of modified QoS algorithm and traditional algorithm

改进的基于 QoS 优化的动态资源分配算法可以提高用户连续高质量网络服务。其优先分配用户为:

$$k = \arg \max_{k=1,2,\dots,N} \left(\frac{\left(\frac{C}{I} \right) (t) \alpha_i \beta_i}{R_j(t)} \right) \quad (10)$$

式中, α_i 为切换因子。考虑到切换用户处于小区边缘, 往往优先等级较低, 但用户得到实时连续服务是服务等级的一个重要指标, 因此改进的方案中设置了切换因子 α_i , 来提高新进入小区用户的优先等级, 并根据用户的 CQI 数据得到:

$$\alpha_i = \frac{|CQI_i(t) - \text{Medium}\{CQI_i(t)\}|}{\tau_i} \quad (11)$$

式中, τ_i 为小区新用户切换时间因子, $0.5 \leq \tau_i \leq 1$, 非切换用户 $\tau_i = 1$, $\text{Medium}\{CQI_i(t)\}$ 为用户 i 在最近 10 个时隙内的平均 CQI。将式(11)带入式(10), 可以得到:

$$k = \arg \max_{k=1,2,\dots,N} \left(\frac{\left(\frac{C}{I} \right) (t) |CQI_i(t) - \text{Medium}\{CQI_i(t)\}| \beta_i}{R_j(t) \tau_i} \right) \quad (12)$$

因此具体资源分配改进方案如下:

- 1) 当用户进入资源分配时, 首先确定用户的 QoS 需求, 实时性较强用户, 按照接入算法控制, 其他用户直接进行资源调度分配, 执行步骤 3)。
- 2) 若实时用户传输速率恒定, 确定系统是否处于过载, 如果没有, 则进入动态资源分配申请排队, 如果速率可调则给出对应的速率值。
- 3) 资源调度中需确定不同业务的 QoS 权重以及切换用户的连续服务性, 根据式(12)得到优先排队等级, 具有最大优先权的用户请求首先接受服务。

3 仿真结果与性能分析

对改进方案进行仿真, 以便验证算法在多业务下的性能, 仿真包括用户移动切换等过程。路径损耗考虑了快衰落和慢衰落因子, 数据业务和多媒体业务模型, 其中 β_i 权重因子取值可以依据不同类型 QoS 权值大小, 按业务类型进行设置, 话音业务的 $\beta_i = 0.8$, 流媒体业务的 $\beta_i = 0.5$, 交互业务的 $\beta_i = 0.2$ 而背景业务的 $\beta_i = 0.05$ 。仿真包括小区吞吐量和服务公平性等。用户公平性通过式(8)来衡量, 用户 S_F 越大则对应其公平性越好。系统其他参数的设置如表 1 所示。

表 1 系统仿真参数设置

Table 1 Setting up of system simulation parameters

参数项	参数值
小区结构	21 小区 3 扇区
载波频率 / GHz	2
带宽 / MHz	10
站间距 / m	300
最大发射功率 / dBm	46
时延控制因子	0.5
等待时间门限 / ms	40
切换时间因子	0.8
信道模型	典型城市
传输路径损耗	Hata 模型
阴影衰落方差 / dB	8
TTI / ms	1
总资源块数	50
等待时间门限 / ms	30
丢比特率门限	2%
基站噪声指数 / dBm	5

从图 1 的 QoS 改进算法与三种传统算法小区吞吐量比较可以得到,在用户数目逐步增大到 150 以上时,QoS 改进算法在小区吞吐量上比传统的比例公平算法提高约 10%,因为 QoS 优化改进保证实时用户优先等级,提高系统的频谱利用率。同时,通过图 2 的 QoS 改进算法与经典算法的公平性比较,可以看到在用户数目增大的时候,同样提高了系统的资源分配的公平性,因为切换用户在小区的边缘,QoS 改进算法考虑了切换用户的优先等级,因此和传统比例算法比较提高了系统的公平性。

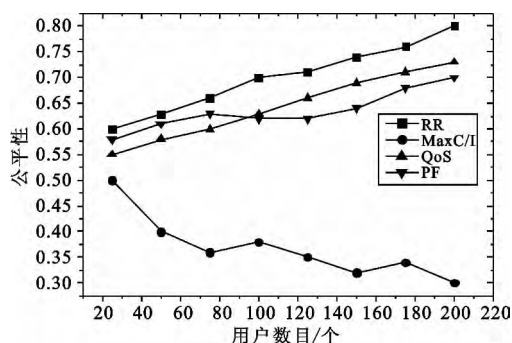


图 2 QoS 改进算法与传统算法公平性比较

Fig. 2 Fairness comparison of modified QoS algorithm and traditional algorithm

4 结 语

本文对下一代移动通信系统 LTE 的动态资源分配算法进行研究,依据用户的信道状态信息,自适应地为每个用户分配资源。通过分析比较了传统经典算法包括最大载干比,轮询及比例公平算法,结合轮询算法和最大载干比算法分别给出的公平性和吞吐量上限,提出了 QoS 改进算法,该算法结合了不同用户的 QoS 需求,确定延时等级,并考虑切换用户优先性,通过仿真结果显示,和传统比例算法相比,提高了小区的吞吐量并增加系统的公平性。

参考文献:

- [1] Amir Esmailpour, Nidal Nasser. Dynamic QoS - Based Bandwidth Allocation Framework for Broadband Wireless Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(06) : 2690 - 2700.
- [2] Yasir Zaki, Thushara Weerawardane, Xi Li and Carmelita. "LTE Radio Schedulers Analytical Modeling using Continuous Time Markov Chains" [C] // IFIP WMNC, IEEE conference publications. Dubai: [s. n.], 2013: 1 - 10.
- [3] WANG Min, Jonas Pettersson, Ylva Timmer, Stefan Wanstedt and Magnus Hurd. "Efficient QoS over LTE - a Scheduler Centric Approach" [C] // PIMRC, IEEE conference publications. Sydney: [s. n.], 2012: 1395 - 1400.
- [4] 钱耘之, 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(04) : 190 - 192.
QIAN Yun - zhi, REN Can - jun, TANG Su - wen, CHEN Ming. "Multi - service QoS - based Downlink Cross - layer Resource Block Allocation Algorithm in LTE System" [J]. Communications Technology, 2010. Vol. 43, No. 04, 190 - 192.
- [5] 陈鑫, 尹睿哲. 支持 QoS 的 LTE MIMO 下行链路资源调度算法研究 [J]. 广东通信技术, 2013, 7(08) : 28 - 33.
CHEN Xin and YIN Rui - zhe. "Analysis of MIMO downlink resource assignment with QoS support in LTE system" [J]. Guangdong Telecommunication Technology. 2013, Vol. 07. No. 008, 28 - 33.

作者简介:



郑智华(1967—),男,博士,教授,主要研究方向为移动通信系统优化设计及资源分配。

ZHENG Zhi - hua, (1967 -), male, Ph. D., professor, mainly engaged in radio resource allocation and mobile system optimization.