

LTE 系统中实用型多用户调度算法的研究

詹 超^{1,2}, 余建国^{1,2}

(1. 光纤通信技术和网络国家重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 武汉邮电科学研究院, 湖北 武汉 430074)

摘要:针对经典多用户调度算法只偏重于信道条件或者公平性的缺点,提出了一种实用型 Max C/I(最大载干比)和一种实用型 PF(比例公平)调度算法。这两种算法将信道条件、用户业务需求和吞吐量作为度量值的计算因子。仿真结果表明,这两种调度算法能兼顾用户承载 QoS(服务质量)要求和频谱效率,实现吞吐量与公平性的平衡。

关键词:多用户调度;最大载干比;比例公平

中图分类号:TN929.5

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2013)02-0062-03

Research on a practical multi-user scheduling algorithm for LTE systems

Zhan Chao^{1,2}, Yu Jianguo^{1,2}

(1. State key Laboratory of Optical Communication Technologies and Networks, Wuhan 430074, China;

2. Wuhan Research Institute of Post and Telecommunications, Wuhan 430074, China)

Abstract: As the classical multi-user scheduling algorithms are biased toward channel conditions or fairness, this paper presents a practical Maximum Carrier to Interference ratio (Max C / I) algorithm and a practical Proportional Fair (PF) scheduling algorithm. These two algorithms take the channel condition, user service requirements and throughput as factors of the scheduling metrics. Simulation results show that they can take into account both the user-bearer QoS requirements and spectral efficiency and achieve the balance between throughput and fairness.

Key words: multi-user scheduling; Max C/I, proportional fair

0 引 言

同以前的无线接入系统相比,LTE(长期演进)系统的控制信道和业务信道是多个用户共用的,这使得系统设计在调度层面上有了更大的灵活性。基站调度器的设计对整个系统的性能有较大影响,作为调度器核心的多用户调度算法直接影响整个调度器的工作效率。

目前各个系统设备商都设计了自己的调度算法,主要是在 RR(轮询)、Max C/I(最大载干比)和 PF(比例公平)3 种经典的多用户调度算法的基础上改进而来,这些算法的目的都是最大限度地提高系统容量和性能。有的偏重某一个或者几个参考指标,有的兼顾了多种因素,但算法复杂度都比较高。例如华南理工大学所提出的一种基于 PF 的改进 LTE 调度算法^[1]就是将有效信噪比引入调度优先因子的计算中,该算法虽然适用于频选用户,但粒度过细,加大了资源分配复杂度,同时不利于非频选用户的资源分配。

为了在兼顾必要参考因素的基础上设计出实用的多用户调度算法,本文提出了两种兼顾用户 QoS

(服务质量)要求和频谱效率的实用型多用户调度算法^[2,3],在保持分配公平性的同时也提高了系统的吞吐量。

1 实用型多用户调度算法

对于 3 种经典的调度算法^[4]可以这样理解它们的原始定义:RR 既不考虑 QoS,也不考虑频谱效率;PF 只考虑 QoS(同时考虑已实现的吞吐量);Max C/I 只考虑频谱效率。经典的多用户调度算法只是算法的基本分类,并不适用于实际的调度器设计,我们需要将用户对业务的要求、信道条件以及公平性综合起来进行考虑,兼顾以上 3 个因素的多用户调度算法可以用于对不同调度模式(频选或者非频选,半静态或者动态)的用户进行优先级调度。

在实际系统中需要根据 UE(用户设备)业务的特点以及 UE 信道的状态来进行 UE 调度模式的管理,例如有些 UE 业务中含有 VoIP(IP 语音承载)类业务,所以该 UE 可能被设定为半静态调度状态^[5];有些 UE 适合频选调度,而有些 UE 不适合频选调度。因此根据不同的 UE 调度模式来设计调度度量值的计算方法具有较强的针对性。

对于下行频选调度 UE 和上行频选调度 UE 而言,资源的分配是以“子带”为单位的,具体来说,下行频选以 RBG^[6](资源块组)为单位,上行频选以包络岛(island)为单位,所以以子带频谱效率作为参与度量值计算的频谱效率值更加有效。具体计算方法如下:

实用 Max C/I 调度度量值: $W_{sch} = W_{ue-QoS} \times W_{sb-se}$

实用 PF 调度度量值: $W_{sch} = \frac{W_{ue-QoS}}{W_{ue-th}} \times W_{sb-se}$

上述公式中, W_{ue-QoS} 为 UE 的 QoS 度量值,是该 TTI(发送时间间隔)参与调度的承载的 QoS 的加权累加; W_{sb-se} 为子带频谱效率,下行可通过 UE 上报的子带 CQI(信道质量)查表获得,上行通过 eNodeB(基站)端测量 SRS(探测参考信号)所得 ulSINR(上行信干比)计算得到; W_{ue-th} 为 UE 的吞吐量,是该 TTI 所调度的承载所实现的吞吐量之和。

对于下行非频选调度的 UE 和上行跳频状态下的 UE、非频选状态下的 UE 以及半静态调度下的 UE,以宽带频谱效率作为参与度量值计算的频谱效率值比较合适。具体计算方法如下:

实用 Max C/I 调度度量值: $W_{sch} = W_{ue-QoS} \times W_{wb-se}$

实用 PF 调度度量值: $W_{sch} = \frac{W_{ue-QoS}}{W_{ue-th}} \times W_{wb-se}$

上述公式中, W_{wb-se} 为宽带频谱效率,下行可通过 UE 上报宽带 CQI 查表获得,上行通过 eNodeB 端测量 SRS 所得 ulSINR 计算得到。

原始的 Max C/I 算法只考虑频谱效率。若考虑实用性, QoS 是承载的要求,必须顾及。本文提出的实用型 Max C/I 算法是在考虑 QoS 的前提下,在调度度量值的计算上体现了 Max C/I 因素。

原始的 PF 算法只考虑 QoS 和已实现的吞吐量。若考虑实用性,频谱效率也是基站的目标,应当顾及。本文提出的实用型 PF 算法是在原始 PF 算法的基础上,在调度度量值的计算上体现了频谱效率因素。

2 仿真及其分析

2.1 仿真配置

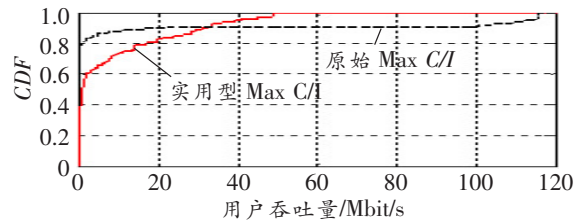
将本文设计的两种实用型多用户调度算法在 TD(时分)-LTE 系统级仿真平台中进行仿真验证,并且与原始的两种多用户调度算法进行对比。仿真基本设定如下:仿真场景为城市宏小区,具体参数

是:小区数目为 7 个,天线配置为下行 2 发 2 收、上行 1 发 2 收,载波频率为 2 GHz,带宽为 20 MHz,信道模型为 SCME(空间信道模型 E),UE 位置随机生成,UE 移动速度为 3 km/h,调度算法是经典 Max C/I、PF 算法和实用型 Max C/I、PF 算法,子帧配置为上下行配置 1、特殊子帧配置 5,仿真时间为 1 000 个 TTI。

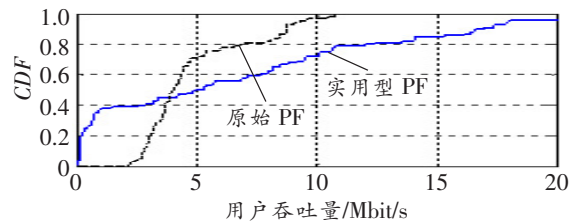
考虑到本文所涉及的调度算法主要是针对时域调度中不同调度模式下 UE 的排序,频域调度均采用频选及非频选方式进行资源分配,以下行仿真结果为参考来评估实用型多用户调度算法对系统吞吐量及公平性的影响。

2.2 仿真结果及分析

图 1~3 的(a)图所示分别为不同 UE 数目时,本文所提出的实用型 Max C/I 算法与原始 Max C/I 算法下行用户吞吐量 CDF(累计分布函数)曲线对比。图 4 所示为不同调度算法下,下行小区吞吐量随 UE 数目变化的曲线。单独分析每个用户吞吐量 CDF 图可以看到,实用型 Max C/I 算法相比原始 Max C/I 算法参与调度的 UE 数目有明显增加,在 1 000 TTI 时间内,10 UE、30 UE 和 50 UE 在原始 Max C/I 算法下被调度的 UE 百分比分别为 21 %、4.4 %和 2 %,而实用型 Max C/I 算法下则分别为 100 %、100 %和 98 %,虽然在原始 Max C/I 算法能获取很高的小区吞吐量,但这是以公平性的降低为代价的,从实用性角度出发并不可取,特别是在 UE 数目较多的时候。因此实用型 Max C/I 调度算法在牺牲少量吞吐量的情况下提高了系统的公平性,从实用性角度是可以接受的。



(a) Max C/I 算法



(b) PF 算法

图 1 10 UE 时,两种算法改进前、后下行用户吞吐量 CDF 曲线

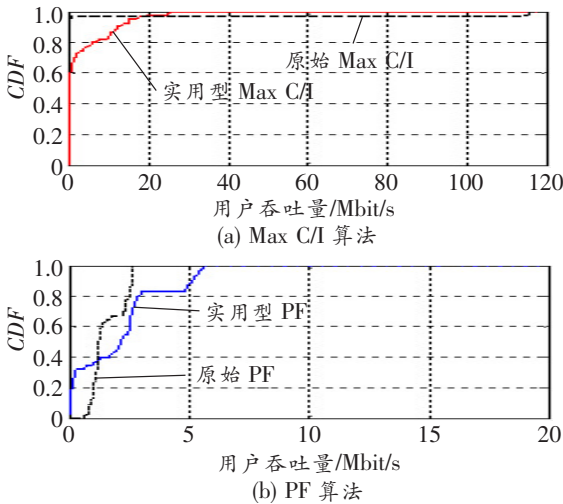


图 2 30 UE 时,两种算法改进前、后下行用户吞吐量 CDF 曲线

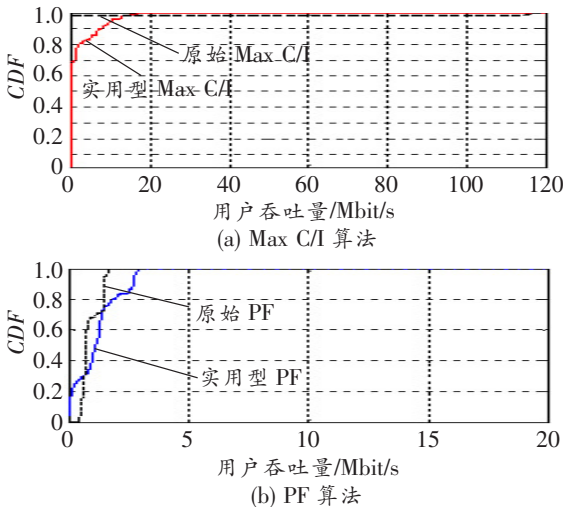


图 3 50 UE 时,两种算法改进前、后下行用户吞吐量 CDF 曲线

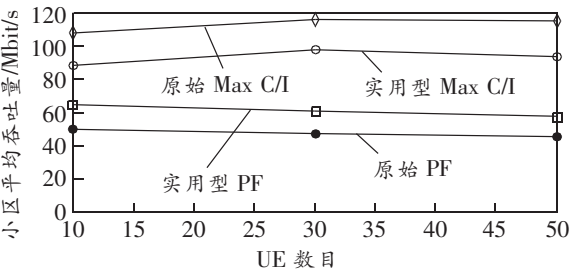


图 4 不同调度算法下,下行小区吞吐量随 UE 数目变化的曲线

图 1~3 的(b)图所示分别为不同 UE 数目时,本文所提出的实用型 PF 算法与原始 PF 算法下行

用户吞吐量 CDF 对比曲线。由图 4 可知,由于在度量值中加入了频谱效率的度量,部分用户的吞吐量有所提高,特别是信道条件好的用户,能够传输更多的数据。从小区吞吐量上对比,原始 PF 算法下小区吞吐量在 10 UE、30 UE 和 50 UE 情况下分别为 49.62、46.94 和 44.94 Mbit/s,实用型 PF 算法下小区吞吐量分别为 64.31、60.6 和 56.94 Mbit/s,可以看出实用型 PF 算法下,小区下行吞吐量相比原始 PF 算法有较大的提高,而且公平性仍然有保障。

3 结束语

本文提出了两种实用型多用户调度算法及其度量值的计算方法,这两种算法是在原始算法基础上综合考虑了用户业务 QoS 要求与频谱效率两个因素,将其量化为调度度量值的计算参数,并且该调度度量值的计算方式区分不同 UE 调度模式,能够与频选调度等频域调度算法一起高效使用,能够改善系统公平性与吞吐量的矛盾。另外,由于资源调度分配涉及时域排序算法以及频谱资源分配算法等多方面,在实际系统中还需要考虑预选以及 ICIC(小区间干扰协调)对调度算法效果的影响,这也是需要进一步研究的问题。

参考文献:

[1] 陈芳炯,夏鸣. 一种基于比例公平的改进 LTE 调度方法 [P]. 中国:201110142133.9, 2011-10-12.

[2] 詹超,姜韬,王讴,余建国. 一种 LTE 系统中实用型最大载干比调度度量值计算方法及装置 [P]. 中国:201210236764.1, 2012-10-24.

[3] 詹超,姜韬,王讴,余建国. 一种 LTE 系统中实用型比例公平调度度量值计算方法及装置 [P]. 中国:201210237232.X, 2012-10-24.

[4] 张新程,田韬,周晓津. LTE 空中接口技术与性能 [M]. 北京:人民邮电出版社,2009.

[5] 沈嘉,索世强,全海洋. 3GPP 长期演进(LTE)技术原理与系统设计 [M]. 北京:人民邮电出版社,2008.

[6] 3GPP TS 36.213 v9.1.0-2010, 3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Physical Layer Procedures (Release 9) [S].