

一种基于用户特征的LTE下行频率选择性调度算法

姚汝贤¹, 蒋玲², 郑创明³

(1. 黄淮学院 信息工程学院, 河南 驻马店 463000;

2. 西南计算机有限责任公司 信息化管理中心, 重庆 400060;

3. 周口师范学院 物理与机电工程学院, 河南 周口 466001)

摘要: 通过对LTE下行频率选择性的调度算法的研究, 提出一种基于用户特征的下行频率选择性调度算法。算法选出低移动性和子带频选特性稳定的用户进行频率选择性调度, 而对其它用户进行一般调度, 通过对用户进行筛选, 该算法能够减少频率选择性调度产生的负增益, 提高频选调度的性能。通过分别与经典调度算法、频选调度算法仿真对比, 结果表明本文提出的算法能够提高现有频选调度算法的性能。

关键词: LTE; 下行; 用户特征; 频率选择性调度

中国分类号: TP31

文献标志码: A

文章编号:

调度算法是LTE系统中无线资源管理中的重要算法之一, 学术界对LTE的关键技术研究中, 对LTE的调度算法研究成为热点, 文献^[1]针对多媒体业务提出两级调度算法, 上层调度器对多媒体业务进行时延计算和GBR速率计算, 下层调度器采用PF算法为上层调度器分配无线资源。文献^[2]结合LTE协议对业务的要求, 对GBR业务和non-GBR业务按照最小QoS速率要求建立一种平衡, 考虑下行多种业务传输过程中保证QoS的算法。文献^[3]结合LTE下行调度的实际, 在调度因子中考虑空口误包, 对调度算法进一步优化。在无线传输中, 当系统带宽大于相干带宽就会出现频率选择性, 在LTE系统中, 可用的系统带宽通常大于一般无线传播要求的相干带宽, 因此频率选择性调度是无线宽带系统的一个特征。目前基于频率选择性的研究主要集中在频率选择性信道下的性能和对抗频率选择性影响的算法。文献^[4]提出了频率选择性衰落信道下对空时编码进行研究, 提出一种在不进行信道估计条件下, 直接对空时分组码进行解码的方法。文献^[5-7]分别在频率选择性存在的情况下从MIMO发射和接收方面进行提高性能。

从无线资源管理方面把LTE频率选择性与下行调度算法结合起来进行研究, 虽然在学术方面研究不多, 但频率选择性调度作为LTE的一个关键技术已经出现在产品中, 文献^[8]给出了对阿尔卡特-朗讯设备下行频率选择性调度(FSS)特性进行测试的数据, 从测试数据可以看出, 频率选择性调度能够得到调度增益, 产品的频率选择性特性受到运营商的关注。本文通过对LTE的频率选择性调度算法进行深入研究, 为了获得比较稳定的正增益, 需要从被调度的用户本身进行研究, 提出基于用户特征的频率选择性调度算法。

1. LTE频率选择性调度

无线信号在传输过程中, 由于多径效应, 在一定带宽内信道幅频特性不为常数, 对带宽内某些频率范围产生较大的衰减, 对带宽内某些频率的产生的衰减小, 这就是无线信道的频率选择性。当输入信号的带宽远小于信道带宽时(第一个零点带宽), 则信道对输入信号的所有频率分量的衰减几乎相同, 这种情况下, 信号经历平坦性衰减, 当输入信号的带宽与信道带宽可比时, 此时信号各频率分量经过信道的衰减不同, 即信号经过了频率选择性的衰减。通常可用信道的时延扩展 T_m 来表示信道的多径扩展情况, 多径时延扩展的倒数称为信道

收稿日期:

资助项目: 河南省重点科技攻关研究基金(No. 142102210335)

作者简介: 姚汝贤, 男, 副教授, 研究方向为无线网络技术, E-mail: yaoruxian@126.com

的相干带宽 B_c 。即 $B_c=1/T_m$ 。如果发射信号的带宽 $B>B_c$, 就认为接收信号经历频率选择性衰落。

图 1 是 TD-LTE 在 20M 带宽场景下, 不同 UE 无线信道频率选择性示意图, 从图中可以看出, 对同一用户在不同的带宽内, 经历的带宽不同。

因此, 当一个小区中存在多个用户时, 利用不同用户的频率选择性衰落是非相关的。调度器可以综合考虑多个用户的频选特性, 使得每个被调度的用户都能得到频选特性较好的频谱资源。

LTE 在标准制定过程中, 提供了频率选择性调度实现的信道质量上报的方法^[9]。UE 上报下行信道质量时, 分为周期性 CQI 上报和非周期 CQI 上报, 在非周期 CQI 上报过程中, eNodeB 可以对需要进行频率选择性调度的用户进行非周期 CQI 上报, 上报子带 CQI, eNodeB 根据 UE 上报的子带 CQI 信息, 结合对应 UE 的调度优先级进行频选调度。具体流程如图 2 所示: 在图 2 中给出了进行频率选择性调度的简单流程, 在实际的实现过程中, 还需要对频率选择性用户进行性能分析, 如果发现采用频率选择性调度性能恶化, 会终止频率选择性调度, 由于与本文关系不大, 在此不再详述。

本文重点研究图 2 中的第一步关键算法, 如果在第一步选择的用户中, 适合频率选择性调度的用户存在偏差, 就会恶化网络的性能。eNodeB 进行频率选择调度, 需要 UE 上报非周期 CQI, 因此, 在选择那些用户需要进行频率选择调度就显得非常关键。

2. 基于用户特征的 LTE 下行频率选择性调度算法设计

算法总体思想: 首先需要对本小区激活用户进行频率选择性判断, 从激活用户中选出能够带来正增益的频率选择性调度用户, 包括对应 UE 的流动性, 信道的频率选择性稳定情况。本算法主要包括三个主要部分: UE 流动性, UE 信道频率选择的稳定性, 频率选择性调度用户类型选择算法。

2.1 UE 流动性判断

在 LTE 系统中, UE 的流动性与移动速度有很强的联系, 但本文提出的流动性与 UE 的移动速度又存在差异: 通常移动通信系统中移动终端速度算法主要有以下三种: 基于附加设备辅助速度估计算法、基于蜂窝网络辅助速度估计算法, 基于 UE 上行信道进行速度估计算法, 其中文献[10]提出通过把频域相关法和经验函数法的优点结合起来进行速度估计。本文中采用的流动性是 UE 单位时间内完成的切换次数, 单位时间内完成的切换次数越多, 说明该 UE 的流动性越强。

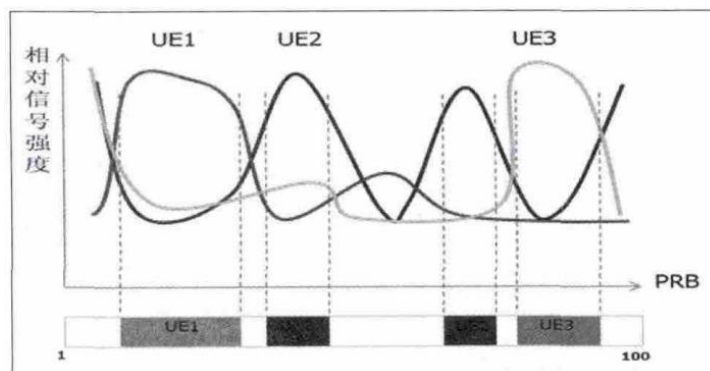


图 1 无线信道频选衰落示意图

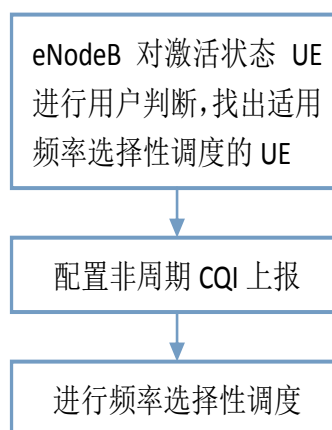


图 2 频率选择性调度的简单流程

本文采用移动网络辅助的UE移动性判断,计算采用滑窗法进行UE的移动性计算,首先设置一个时间窗口T,每次滑动的长度为T/4,UE的移动性计算采用如下的公式(1);

$$UE_i(t)_{mobility} = \left(\sum_{\tau=t-T}^t HO(\tau) \right) / T \quad (1)$$

其中 $UE_i(t)_{mobility}$ t时刻UE的移动性, $HO(\tau)$ 为 τ 时刻切换成功, T 移动性观察窗口时间长度。公式(1)的物理意义是单位时间内UE切换的次数。

2.2 UE信道频率选择的稳定性判断

对UE的子带CQI进行判断,分析UE上报的子带CQI的频率选择调度的稳定性,算法采用UE上报的两个最好子带CQI进行分析,分析采用滑窗分析,设置窗口长度为 T_{win} ,下面的参数分析采用 T_{win} 内的数据,分析采用公式(2)进行计算:

$$CQI_{sb}^{FSS}(i, j) = f_{uCQI}(i, j) + \Gamma_{CQRatio}(i, j) g_{\sigma CQI}(i, j) \quad (2)$$

$CQI_{sb}^{FSS}(i, j)$ 是UE(i)第j个子带的频率选择性调度信道质量稳定因子,对应的取值有正负之分,当计算得到值越大,UE(i)越适合进行频率选择性调度。公式中各个参数计算详见公式(3)(4)(5)。

$$\Gamma_{CQRatio}(i, j) = \frac{n_{sbCQI}(i, j)}{N_{sbCQItotal}(i)} - T_{ratio} \quad (3)$$

$\Gamma_{CQRatio}(i, j)$ 为子带CQI为较好CQI的比率, $n_{sbCQI}(i, j)$ 为在观察窗口 T_{win} 内UE(i)上报为子带j为较好子带的次数, $N_{sbCQItotal}(i)$ 为UE(i)在观察窗口 T_{win} 内上报非周期CQI次数,参数 T_{ratio} 为设置的门限,当小于门限时, $\Gamma_{CQRatio}(i, j)$ 为负,说明不适合频选调度。

$$f_{uCQI}(i, j) = E(CQI_{sb}(i, j) - CQI(i)) \quad (4)$$

$f_{uCQI}(i, j)$ 为UE(i)上报的最佳子带CQI与全带CQI差的期望, $CQI_{sb}(i, j)$ 为UE(i)上报的第j个子带CQI, $CQI(i)$ 为UE(i)上报的宽带CQI, $E(\bullet)$ 为在时间窗口 T_{win} 内求期望。

$$g_{\sigma CQI}(i, j) = \frac{k}{\exp(\sigma_{CQI(i, j)})} \quad (5)$$

$g_{\sigma CQI}(i, j)$ 子带CQI方差因子, $\sigma_{CQI(i, j)}$ 为在时间窗口 T_{win} 内求出的方差。

2.3 频率选择性调度用户类型选择算法

综合2.1和2.2算法准则,频率选择调度用户类型选择准照公式(6)

$$FSSUeRule_i(t) = \frac{CQI_{sb}^{FSS}(i)}{UE_i(t)_{mobility}} \quad (6)$$

其中 $CQI_{sb}^{FSS}(i)$ 由公式(7)计算

$$CQI_{sb}^{FSS}(i) = \sum_j CQI_{sb}^{FSS}(i, j) \quad (7)$$

算法选择 $FSSUeRule_i(t)$ 结果大于一定门限的UE进行频率选择性调度, 否则采用普通调度。

3、算法性能仿真分析

本文采用系统仿真进行算法性能评估, 分别对PF调度、一般FSS调度和基于用户特征的频率选择性调度仿真。仿真评估三种算法在网络吞吐量方面的性能极限, 同时为更好论证频率选择性的调度增益, 本文分别仿真低速场景和高速移动场景。

3.1 系统仿真环境

系统仿真网络设置为19个小区, 每个小区分三个扇区, LTE空口采用同频组网。用户在每个扇区中的分布采用随机撒点的方式, 系统的网络拓扑结构布局如图3所示, 仿真采用wrap-around技术进行用户级SINR计算, 业务类型采用full-buffer。仿真平台采用OPNET 14.0。

3.2 算法的系统吞吐量仿真与评估

由于用户在单个小区中分布存在随机性, 为增加结果的科学性, 采用网络平均法, 计算方法如下:

$$ThroughPut = \left(\sum_{i=1}^{57} ThroughPutSector(i) \right) / 57 \quad (8)$$

首先进行算法的吞吐量仿真, 验证新的算法对网络吞吐量的影响。

3.2.1 500米站间距低速场景下三种算法吞吐量性能

图4为站间距为500米, UE处于低速运动状态, 对三种算法进行仿真, 从图3中可以看出三种算法在2UE/Sector场景下, 三种算法吞吐量性能基本相等, 频率选择性调度增益不明显, 主要原因是当网络内用户较少时, 由于采用full-buffer业务, 每个UE一次分配的PRB资源较大, 在UE分配的PRB资源中, 即包括频率选择正增益带宽, 又包括频率选择负增益带宽, 因此频率选择性增益不明显。同时从图4中又能看出, 网络随着用户数增加, 三种算法网络的吞吐量都在下降, 主要原因是由于, 当网络

表1: 系统仿真平台主要参数

| 仿真参数 | 参数属性 |
|------------|-------------------|
| 信道模型 | SCM模型城区环境 |
| eNodeB天线配置 | 1T2R |
| UE天线配置 | 1T2R |
| 站间距 | 1Km |
| 大尺度衰落 | 128.1+37.6*log(d) |
| 每小区用户 | d: km |
| 仿真系统带宽 | 随机生成用户位置 |
| HARQ重传次数 | 10M |
| PUCCH占用RB数 | 4 |
| LTE参数配置 | 4 |
| | 与协议定义相符 |

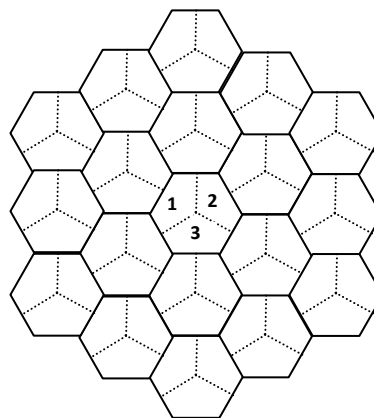


图3: 仿真网络拓扑结构图

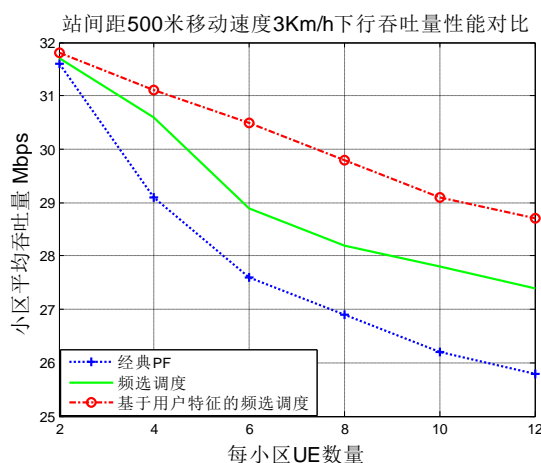


图4: 500m站间距低速场景下三种算法吞吐量性能对比

用户数增加时, 每个用户一次分配的PRB资源变小, 因此一次发送的数据包也就变小, 无线传输中的编码增益就相应变小。通常情况下, turbo编码分组越长, 编码增益越大^[11]。同时也能看到, 当每个扇区用户数目增加时, 随着每个用户在一次调度分配的PRB资源变小, 采用频率选择性调度的增益就越明显, 同时也能看到, 当每扇区小区用户数增加时, 基于用户特征的频率选择性能优于一般的频率选择性调度用户。主要原因为, 频率选择性调度属于一种慢增益, 首先eNodeB需要对UE配置非周期CQI报告, 然后UE进行子带CQI测量、子带CQI上报之后, eNodeB才对UE进行频率选择性调度授权, 整个过程至少需要20个SubFrame周期, 因此当用户信道变化快时, 频选特性随着发生变化, 到给用户分配上次上报的最好子带时, 有可能在实际授权时, 已经变成较差的子带, 因此有可能会带来负增益。本文算法能够对进行频率选择性调度的用户进行部分筛选, 能够滤除大部分负率选择调度负增益的用户, 因此, 性能优于一般频率选择性调度。

3.2.1 500m站间距高速场景下三种算法吞吐量性能

图5作为与图4的对比, 选择高速场景进行仿真, 选择城区环境典型的移动速度, 30Km/h作为小区UE的移动。图4中可以看到, 总体趋势与图3相同, 暗送秋波原因分析见本文3.2.1节。图5与图4不同之处在于, 随着UE移动速度增加, 三种算法网络的吞吐量整体下降, 主要原因由于移动性增加, 出现UE上报的CQI信息用于下行调度时, 出现偏差。这是移动通信固有的特点。

3.2.3 站间距1千米低速场景下算法吞吐量性能

为进一步论证算法增益, 本文对较大站间距进行仿真, 与图6进行对比。在图5中可以看出随着站间距的增大, 网络吞吐量整体增加, 主要原因, 当站间距增加时, 小区内的下行同频信号的干扰分布会有明显改善。因此网络性能增加。

3.3 仿真结论

通过三种典型场景算法仿真性能分析, 仿真结果证明, 与现有的频选调度算法相比, 本文提出的基于用户特征的频选调度算法能够在不同场景下获得频选调度性能增益。主要原因是基于用户特征的频选调度算法考虑了网络调度过程中的特殊场景, 在这些场景中, 频率选择性调度算法存在潜在的负增益, 通过本文提出的基于用户的特征进行频率选择性调度对移动性较强和用户信道频选变化较快的用户进行普通调度, 对移动性较慢和频选特性稳定的用户采用频选调度, 能够获得更好的频选特性增益。

参考文献:

[1] PIRO G, GRIECO L A, BOGGIA G. Two-level downlink scheduling for real-time multimedia

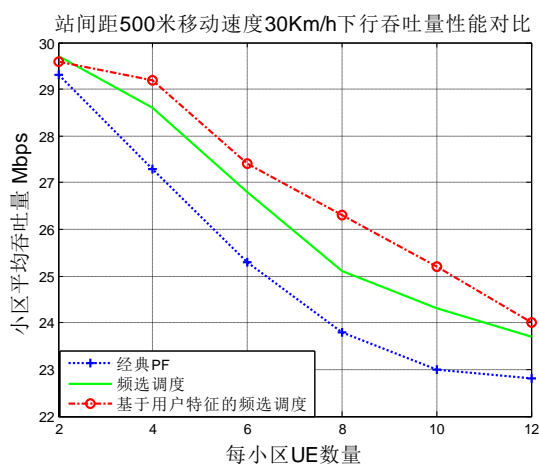


图5: 500m 站间距高速场景下三种算法吞吐量性能对比

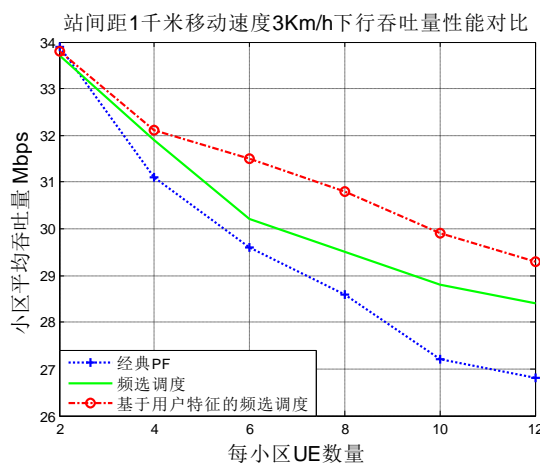


图6: 1千米站间距低速场景下三种算法吞吐量性能对比

services in LTE networks[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2011, 13(5): 1052-1065.

[2] Zaki y, weerawardane t, gorg c, et al. Multi-QoS-aware fair scheduling for LTE[C]

//Proc of the 73rd IEEE Vehicular Technology Conference. 2011: 1-5.

[3]姚汝贤, 郑创明. 一种基于LTE空口误包的下行跨层调度算法研究[J]. 计算机应用与软件, 2014(3): 120-122.

Yao Ruxian, Zheng Chuangming. On a downlink cross-layer scheduling algorithm based on lte air interface bler[J]. Computer Applications and Software, 2014(3): 120-122.

[4]赵铮, 殷勤业, 张红等. 频率选择性衰落信道下一种空时分组码的直接解码[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(11): 1452-1460.

Zhao Zheng, Yin Qinye, Zhang Hong, Zhang Jianguo. Direct Decoding In Space-Time Block Code For Frequency-Selective Fading Channels[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2003, 25(11): 1452-1460.

[5] LEE K F, WILLIAMS D B. A space-time coded transmitter diversity technique for frequency selective fading channels[C] //Proc IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop. Cambridge, MA, 2000: 149-152.

[6]韩圣千, 杨晨阳. 频率选择性信道下的MIMO收发机联合设计[J]. 通信学报, 2010, 31(1): 30-36.

HAN Shengqian YANG Chenyang. Joint linear transceiver design over MIMO frequency selective channels[J]. Journal On Communications, 2010, 31(1): 30-36.

[7] H R Bahrami, T Le-Ngoc. MIMO Precoding Structures for frequency-flat and Frequency-Selective Fading Channels [A]. IEEE International Conference on Communications and Electronics[C]. 2006. 193-197.

[8]陈国忠. LTE频率选择性调度研究和分析[J]. 电信技术, 2014(5): 47-49.

Chen Guozhong. research on LTE frequency selective scheduling [J]. Telecommunications Technology, 2014(5): 47-49.

[9] 3GPP TS 36.213 version 11.7.0 Release 11: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures": 56-78.

[10]黎广, 管鲍, 李平安等. LTE系统中一种有效的速度估计算法[J]. 移动通信, 2012(20): 72-76.

Li Guang, Guan Bao, Li Ping-an, Wang Jun. Research on a effective velocity estimation algorithm in LTE system[J]. Mobile Communications, 2012(20): 72-76.

[11]吴沫, 杨华, 卢伟. 几种信道编码方式的编码增益比较分析[J]. 通信技术, 2007, 40(11): 121-123.

WU Mo, YANG Hua, LU Wei. Research on Coding Gain of Channel Coding[J]. Communications Technology, 2007, 40(11): 121-123.

A LTE downlink frequency selective scheduling algorithm based on UE characteristics

YAO Ruxian¹, JIANG Ling², ZHENG Chuangming²

(1. Department of Information Engineering Huanghuai University, Zhumadian Henan 463000;

2. Center of Information Management of Southwest Computer Co., Ltd., Chongqing 400060;

3. School of Physics and Mechanical & Electronic Engineering, Zhoukou Normal University, Zhoukou Henan 466001)

Abstract: Through the research of scheduling algorithm for LTE downlink frequency selective, proposes A new downlink frequency selective scheduling algorithm based on user characteristics is proposed in this paper. The algorithm selects frequency selective scheduling UEs which have the following characteristics: low mobility and better subband frequency selective stability. Otherwise the algorithm schedules the

UEs according the original scheduling algorithm. By selecting UEs, the proposed algorithm can reduce the frequency selective scheduling negative gain, and improve the performance of frequency selective scheduling. This paper respectively simulates the classical scheduling algorithm, frequency scheduling algorithm and the new frequency selective scheduling algorithm, the simulation results show that the new proposed algorithm can improve the performance of existing frequency selected scheduling algorithm.

Key word: LTE; downlink; User characteristics; Frequency selective scheduling

(责任编辑 游中胜)