

# 一种 LTE\_A 系统下 COMP 下行用户调度算法

陈 玲

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘 要:**在 LTE\_A 系统中,应用多种协调技术来减少小区间干扰,但对边缘用户性能提升有限。为此,需要应用关键技术 COMP 来解决边缘用户性能受限的问题。COMP 下行用户调度算法已经成为当前的研究热点。基于系统研究,提出了一种改进的 LTE\_A 系统下协作多点传输 (COMP) 的下行用户调度算法,亦即基于干扰最小的调度算法,根据剩余用户的调度因子来选择用户,确保被调度的用户之间干扰较小并且自身信道增益较高,能获得较大的吞吐量。该算法不仅将用户之间的相关性最小和吞吐量最大的特点相结合,而且避免了大量的计算。仿真结果表明,所提出的算法与 PF 调度算法相比较在吞吐量和相关性上得到了进一步的优化,系统性能更加优越。

**关键词:**协作多点传输;基于干扰最小调度;相干性;吞吐量

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2017)03-0189-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2017.03.040

## An Adaptive Algorithm for COMP Downlink User Scheduling in LTE\_A System

CHEN Ling

(College of Telecommunications & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:**In LTE\_A system, a variety of techniques are used to reduce the coordination of inter-cell interference, but it's limited in improvement of the edge of users' performance. Therefore, it needs key technologies COMP to solve the problem mentioned above. COMP downlink user scheduling has become one of research hot spot. Based on systematic study, an improved scheduling algorithm of downlink users has been proposed under Coordinated Multi-Point (COMP) in the LTE\_A system, which means that based on minimum interference scheduling algorithm, the users have been chosen in accordance with remaining user scheduling factor to ensure that interference between scheduled users is small and the self-channel gain is high, getting a larger throughput. This algorithm not only combines the user correlation minimum with maximum throughput, but also avoids a lot of calculations. The simulation results show that the correlation and the throughput of algorithm have been further optimized and that the performance of the system is more superior.

**Key words:**COMP; minimum interference scheduling based; coherence; throughput

### 0 引 言

在 LTE\_A 系统中,虽然使用干扰随机化、干扰消除和干扰协调技术来减少小区间干扰,但对边缘用户性能提升有限。因此,提出用关键技术 COMP<sup>[1-3]</sup>来解决边缘用户性能受限的问题。COMP 通过小区间协作来避开干扰信号或是将干扰信号变为有用信号来提高用户性能,而用户调度直接决定着系统性能,因此 COMP 中的用户调度算法<sup>[4-6]</sup>已成为研究热点之一。

在传统的 LTE 单小区中,通常一个资源块上最多

只能调度 2 个用户,资源利用率低<sup>[7-8]</sup>。在 COMP 中,涉及到多个小区,为了有效利用频谱资源,可以在一个调度时隙上同时调度多个小区的多个用户<sup>[9]</sup>。因此,在 COMP 用户调度时,必须考虑多小区多用户间的干扰<sup>[10-12]</sup>。不同的调度算法<sup>[13-15]</sup>具有不同的算法复杂度、公平性和吞吐量,因此主要讨论 COMP 下行链路用户基于信道干扰方面调度算法的改进。

文献[16]研究了 Co-SINR-BJ 算法,该算法根据信道相关因子之和最小的准则来选择配对用户。算法

收稿日期:2016-04-07

修回日期:2016-08-16

网络出版时间:2017-02-17

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(61372125,61401234);江苏省科技支撑计划(工业)(BE2013019);江苏高校优势学科建设工程(信息与通信工程)资助项目;南京邮电大学宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室开放研究基金资助课题(NYKL201108)

**作者简介:**陈 玲(1992-),女,硕士研究生,研究方向为 LTE\_A 下的协作多点传输。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20170217.1623.014.html>

计算复杂度高,在选择主用户时,要先计算所有用户的 SINR,然后根据 SINR 最大化来选择。但是 SINR 的计算,不仅要考虑用户自身的信道情况,还得考虑其他用户对此用户的干扰,因此计算复杂度高。

文献[17]研究了基于弦距离的用户调度算法,该算法每调度一个新用户时,把用户之间的相关性作为新调度准则的一部分,弦距离选用待调度用户集中未被选中的单个用户与选中用户集信道的距离。尽可能将距离值相距最大的用户作为下一个被调度的用户。但是此算法每一次都要对已选用户集构成的联合信道矩阵的行进行施密特正交化的理,随着待处理用户数目的增多,施密特正交化操作的矩阵会越来越庞大,紧接着带来的影响便是运算复杂度的上升。

为此,提出了一种基于信道干扰最小的调度算法。根据剩余用户的调度因子选择用户,确保被调度的用户之间干扰较小和被选用户自身信道增益较高,能获得较大的吞吐量。该算法结合了用户之间的相关性最小和吞吐量最大的优点,而且避免了大量计算。仿真结果表明,算法在吞吐量和相关性上得到了进一步的优化,性能更加优越。

## 1 系统模型

COMP 下行链路采用联合传输,如图 1 所示。

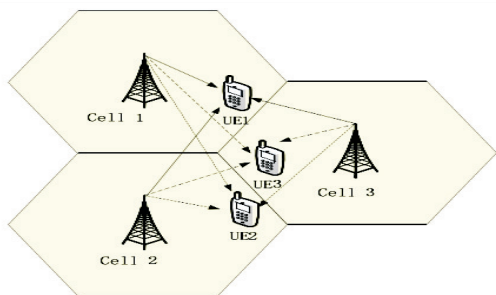


图 1 下行 COMP 协作场景

在联合处理中若为非相干传输,  $UE_k$  为小区  $k$  内的用户,  $UE_k$  的接收信号为:

$$y_k = \sum_{i=1}^3 H_{ik} w_i s_k + n \quad (1)$$

其中,  $H_{ik}$  为小区  $i$  到用户  $UE_k$  的信道增益;  $w_i$  为信道预编码矩阵;  $s_i$  为小区  $i$  传输的信号;  $n$  为高斯白噪声。

$UE_k$  接收信号的信噪比为:

$$\text{SINR}_k^* = \frac{\sum_{i=1}^3 \|H_{ik} w_i\|^2 P}{N} \quad (2)$$

信道容量为:

$$C_k^* = \log_2 \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \|H_{ik} w_i\|^2 P}{N} \right) \quad (3)$$

## 2 基于信道干扰最小的调度算法

基于信道干扰最小的调度算法与 COMP 较有适用性的比例公平调度算法<sup>[16]</sup>相比较仿真部分。比例公平调度算法既考虑了系统吞吐量,又考虑了用户间的速率公平性。PF 算法在时刻  $t$  对满足式(4)的用户进行调度。

$$i(t) = \arg \max_{x=1,2,\dots,k} \frac{R_x(t)}{T_x(t-1)} \quad (4)$$

$$T_x(t) = \begin{cases} (1 - \frac{1}{t_c}) T_x(t-1) + \frac{1}{t_c} R_x(t), & i(t) = x \\ (1 - \frac{1}{t_c}) T_x(t-1), & i(t) \neq x \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $R_x(t)$  表示用户  $x$  在时刻  $t$  时的瞬时速率;  $T_x(t-1)$  表示用户  $x$  在时刻  $t$  之前的平均吞吐量;  $T_x(t)$  的更新如式(5)。

由式(4)可知,调度概率正比于用户的瞬时速率,反比于用户近段时间内接收的信息量。

不难发现,PF 调度算法在每次选择新的调度用户时都需要重新计算干扰和吞吐量,计算量较大;当 UE 数量增加时,计算量骤增。

基于信道干扰最小的调度算法在用户集中选出吞吐量最大的用户作为主用户,根据备选用户在已调度用户投影矩阵上等效信道范数之和最大选为配对用户,直到已调度的用户集吞吐量不再增大停止。

下面首先对变量进行说明。

运用投影矩阵  $Y_j$  将第  $j$  个 UE 到  $M$  个协作小区的信道映射到已被调度的 UE 集  $U$  信道的零空间上,  $Y_j$ <sup>[18]</sup> 定义如下:

$$Y_j = \begin{cases} I_M, & j = 1 \\ Y_j - \frac{Y_j^H H_{j-1}^H H_{j-1} Y_{j-1}}{\|H_{j-1} - Y_{j-1}\|_2^2}, & 2 \leq j \leq M \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $\| \cdot \|_2$  表示向量 2-范数。

由式(6)可得,第一个用户的投影矩阵为单位矩阵。

定义  $UE_k$  的调度因子为:

$$q_k = \frac{\|H_k Y_j\|}{T_k}, \forall k \quad (7)$$

其中,  $T_k$  表示用户  $k$  已获得的平均吞吐量;  $q_k$  中的分子项  $\|H_k Y_j\|$  为用户  $k$  的信道  $H_k$  在  $Y_j$  上投影后的等效信道,  $\|H_k Y_j\|$  越大,用户  $k$  和前面已加入用户集的  $j-1$  个用户的相关性越差,对其干扰越小,同时用户  $k$  自身的信道增益越大,期望的数据速率越高。

基于信道干扰最小的调度算法的调度因子为:

$$k = \arg \max_{k \in \Omega} \sum_{j \in U} q_{k,U}(j) \quad (8)$$

调度算法以最大化  $\sum_{j \in U} q_{k,u}(j)$  为调度目标,由于已加入调度用户集的用户独立于后调度的用户,故要满足  $\sum_{j \in U} q_{k,u}(j)$  最大,因此所选的用户与已调度用户的干扰最小,且吞吐量也最大。

- 具体算法可以分为 5 个阶段,分别如下:
- (1) 用户向基站反馈其与所有协作小区间的 CSI 等信息,  $M$  个协作小区,用户集初始化,即  $\Omega = \{1, 2, \dots, K\}$ ,  $U = \emptyset$ ,  $\emptyset$  表示空集。
- (2) 对该簇中所有用户计算其 SINR 和信道容量  $C_i$ ,并从中选出  $C_i$  最大的用户作为主用户  $U_1$ ,即  $U_1 = \arg \max_{i \in \Omega} C_i = \arg \max_{i \in \Omega} \log_2(1 + \text{SINR}_i)$ ,同时记  $C_{\max} = \max_{i \in \Omega} \log_2(1 + \text{SINR}_i)$ 。
- (3) 更新备选用户集和已被调度用户集,即  $\Omega = \Omega - \{U_1\}$ ,  $U = U + \{U_1\}$ 。

(4) 根据式(6)计算  $U$  已被调度用户集的投影矩阵  $Y_j$ ,根据式(8)在剩余备选用户集中选择用户  $k$  作为暂时配对用户,并记  $U_{\text{temp}} = U + \{k\}$ 。利用步骤(2)中的操作进行多用户 SINR 和信道容量的计算。若  $C_{U_{\text{temp}}} < C_{\max}$ ,则用户配对结束,否则将其标注为已配对用户,并利用步骤(3)重新更新备选用户集和已被调度用户集,即  $\Omega = \Omega - \{U_k\}$ ,  $U = U + \{U_k\}$ ,  $C_{\max} = C_{U_{\text{temp}}}$ 。

(5) 判断用户配对数是否达到  $M$ ,若达到  $M$ ,则停止遍历,若没有,则继续按步骤(4)对其余用户进行遍历,直到不满足  $C_{U_{\text{temp}}} \geq C_{\max}$  为止。当用户遍历结束时,记可配对的协作用户数为  $N$ ,则  $N \geq M$ ,则最终被调度的用户集为  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ 。

调度拥有最大信道增益的用户加入调度用户集,逐步将与已调度用户空间相关性最低的用户加入用户集。具体说来,调度用户集是以具有最大信道增益的 UE 进行初始化,因为这样的用户在单用户情况下获得了最大的吞吐量。接下来在每轮调度中,在待选用户集合中将在已调度用户信道的零空间上有最大调度因子的用户加入调度用户集,即保证了与已调度用户的相干性最小和自身信道增益较高。由于不断加入的用户与已调度的用户的干扰较小并且自身信道增益较高,因而联合调度最后能获得较大的吞吐量,避免了大量的计算。

### 3 仿 真

为了评估测试改进算法的吞吐量、公平性等性能,采用 Matlab 系统级仿真平台进行模拟仿真。

#### 3.1 系统级仿真概述

系统仿真参数如表 1 所示。仿真参数如表 1 所示。

具体的仿真参数如表 1 所示。

表 1 仿真参数

仿真参数名称	参数内容
仿真时间	1 000 TTI
载波频率和带宽	中心频率 2.14 GHz,带宽 5 MHz
热噪声/(dBm/Hz)	-174
接收机噪声/dB	9
天线增益/dBi	15
基站间的距离/m	500
基站的发射功率/dBm	43
有效信噪比算法	MIESM 模型
小区内用户个数	9~30
传播环境	urban
传播模型	$128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$ , $R$ 单位为 km

#### 3.2 算法仿真分析

仿真将提出的算法和 PF 调度算法相比较,采取变量控制方法,除了调度算法外,仿真参数都一样。

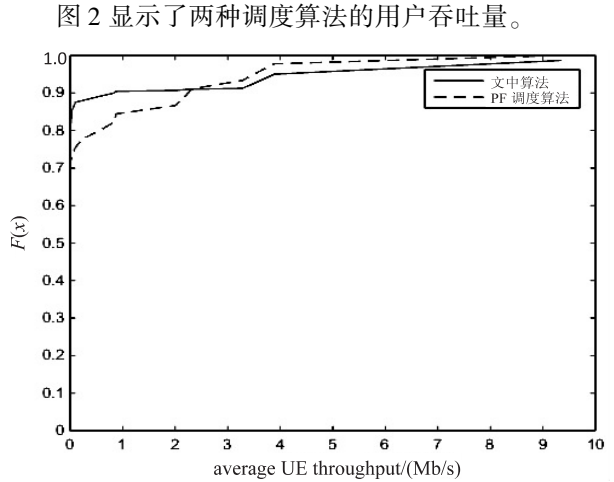


图 2 3 小区协作集的用户吞吐量

由图 2 可知,相比 PF 调度算法,改进算法的吞吐量较大,曲线也较平缓,但公平性较差。采用基于信道干扰最小的调度算法的用户能获得较大的吞吐量。

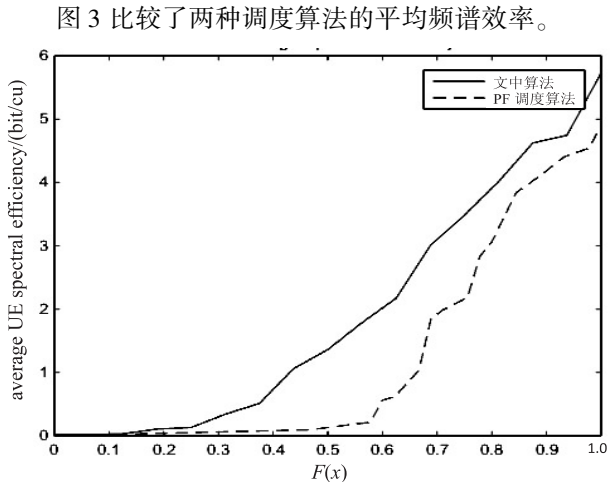


图 3 两种算法平均频谱效率对比

由图 3 可知,不管累积分布函数的大小,基于信道干扰最小的调度算法平均频谱效率比 PF 调度算法大。两者之间的差距由小变大再变小。

图 4 比较了两种调度算法的 SINR。

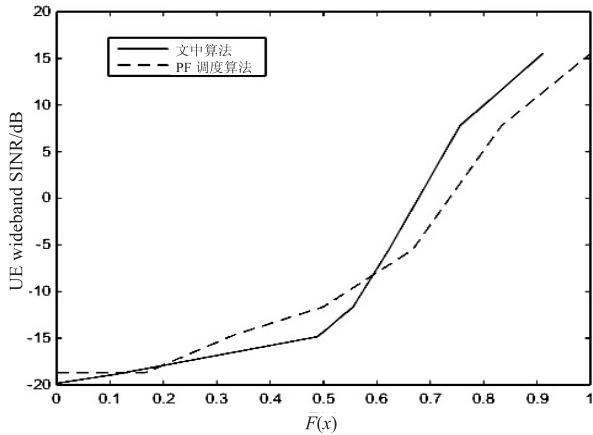


图 4 两种算法的 SINR 对比

由图 4 可知,基于信道干扰最小的调度算法刚开始的信噪比比 PF 算法小,随着累计分布函数概率越高,改进算法的信噪比比 PF 算法大。

## 4 结束语

基于 Co-SINR-BJ 算法、基于弦距离的用户调度算法的计算量较大,用户之间的相关性无法达到最小。为了改进这些缺点,在 LTE COMP 下行系统中研究并提出了一种新型的基于干扰最小调度的方案。由仿真结果可见,此算法相比 PF 调度算法的优点在于用户之间有更小的相关性和更大的吞吐量,而且避免了大量计算,提高了系统整体性能。

## 参考文献:

- [1] Fu S, Wu B, Wen H, et al. Transmission scheduling and game theoretical power allocation for interference coordination in CoMP[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(1): 112-123.
- [2] Zhang X, Sun Y, Chen X, et al. Distributed power allocation for coordinated multipoint transmissions in distributed antenna systems[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(5): 2281-2291.
- [3] Huang C J, Chung G H, Chung W H, et al. Efficient interference alignment aided transceiver design for LTE-A uplink coordinated multipoint systems [C]//IEEE 24th international symposium on personal, indoor and mobile radio communications: fundamentals and PHY track. [s. l.]: IEEE, 2013: 1436-1440.

- [4] 刘邦辉. LTE-Advanced 协作多点传输系统中下行用户调度算法研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2011.
- [5] 郑 晶. 基于 LTE 及 LTE-Advanced 系统的上行调度算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2012.
- [6] 任 敏. LTE-A 中的小区选择和用户调度算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2010.
- [7] Alqahtani S A, Alhassany M. Comparing different LTE scheduling schemes [C]//IEEE 9th international conference on wireless communications and mobile computing. [s. l.]: IEEE, 2013: 264-269.
- [8] Ghariani T, Jouaber B. Energy consumption evaluation for LTE scheduling algorithms [C]//IEEE international symposium on network computers and communications. [s. l.]: IEEE, 2015: 1-5.
- [9] 赵海舜, 冯旭超. 一种下行 LTE CoMP 双门限用户划分方法[J]. 无线电通信技术, 2015, 41(2): 76-78.
- [10] Fu W, Ma L, Wang C, et al. The inter-cell interference suppression algorithm based on the JP-CoMP and performance simulation [C]//International conference on advanced information networking and applications workshops. [s. l.]: [s. n.], 2013: 528-533.
- [11] Sun S, Gao Q, Peng Y, et al. Interference management through CoMP in 3GPP LTE-advanced networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2013, 20(1): 59-66.
- [12] Lagen S, Agustin A, Vidal J. Distributed inter-cluster interference management for CoMP-based cellular networks [C]//Globecom IEEE global communications conference. [s. l.]: IEEE, 2013: 4204-4209.
- [13] Li X, Cui Q, Liu Y. An effective scheduling scheme for CoMP in heterogeneous scenario [C]//IEEE international symposium on personal indoor and mobile radio communications. [s. l.]: IEEE, 2012: 870-874.
- [14] Zhang Yinxian, Hu Pengxiang. A novel coordinated scheduling algorithm for uplink CoMP systems [C]//International conference on telecommunications. [s. l.]: [s. n.], 2014: 241-245.
- [15] Yu Jia, Zhang Qinyu, Chen Peipei, et al. Dynamic joint transmission for downlink scheduling scheme in clustered CoMP cellular [C]//IEEE/CIC international conference on communications in China (ICCC): wireless networking and applications. [s. l.]: IEEE, 2013: 645-650.
- [16] 黄 锐. LTE-A CoMP 下行用户调度算法研究[D]. 重庆:重庆邮电大学, 2015.
- [17] 姜秀梅. LTE-A 系统中下行用户调度算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2014.
- [18] 张银香. 协作通信技术中的调度算法研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2015.