



基于用户个体的混合 CoMP 模式选择算法

赵季红^{1,2}, 丁小婷¹, 王 炜², 曲 桦²

(1. 西安邮电大学通信与信息工程学院 西安 710061; 2. 西安交通大学电子信息学院 西安 710049)

摘 要: CoMP 的两种传输模式 CoMP-JP 与 CoMP-CB 在对回程容量需求以及提升系统性能方面具有不同的优势。针对回程容量紧缺问题, 在传统以用户群为优化对象的模式选择基础上, 提出了一种混合 CoMP 模式选择算法。该算法针对用户个体选择最佳传输模式, 充分利用回程容量的同时最大化系统吞吐量。仿真结果表明, 所提出的模式选择算法能有效提升系统性能, 并且随着用户数的增加, 其性能增益会更高。

关键词: 混合式协作传输; 回程容量; 模式选择

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015065

Hybrid CoMP Mode Selection Algorithm Based on Pure User

Zhao Jihong^{1,2}, Ding Xiaoting¹, Wang Wei², Qu Hua²

(1. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: CoMP-JP and CoMP-CB are two transmission modes for coordinated multi-point and have different gains in capacity requirements and improving the system performance. Aimed at the backhaul capacity shortage, a hybrid CoMP mode selection algorithm was proposed under the traditional transmission mode selection based on the user's group. The algorithm selects the optimal transmission mode for individual user. It can be full use of the backhaul capacity and achieve the maximal system throughput. Simulation results show that the proposed algorithm enhanced the system performance under the limited backhaul capacity at a large extent, and with the increase of users, the higher performance gain.

Key words: hybrid cooperative transmission, backhaul capacity, mode selection

1 引言

目前, 在 3GPP LTE-Advanced 中, 以 CoMP (coordinated multi-point, 协作多点) 为代表的基站 (BS) 协作传输被广泛应用, 它通过消除 ICI (inter-cell interference, 小区间干扰) 来提高系统吞吐量, 对小区边缘用户效果尤为明显^[1]。

在 CoMP 传输过程中, 存在两种传输模式: CoMP-JP (joint processing, 联合传输) 与 CoMP-CB (coordinated beamforming, 协作波束成形)。在两种传输模式下, 各基站通过回程链路从 CU (central unit, 中央控制器) 处获取用户数据信息并实现 CSI (channel state information, 信道状态信息) 共享。在 CoMP-CB 传输中, 只有 CSI 在协作基站间共

收稿日期: 2014-10-21; 修回日期: 2015-03-02

基金项目: “新一代宽带无线移动通信”国家科技重大专项基金资助项目 (No.2013ZX0302010-003), 国家自然科学基金资助项目 (No.61371087)

Foundation Items: A New Generation of Broadband Wireless Mobile Communication National Science and Technology Major Projects (No. 2013ZX0302010-003), The National Natural Science Foundation of China (No.61371087)

论文引用格式: 赵季红, 丁小婷, 王炜等. 基于用户个体的混合 CoMP 模式选择算法. 电信科学, 2015065

Zhao J H, Ding X T, Wang W, et al. Hybrid CoMP Mode Selection Algorithm Based on Pure User. Telecommunications Science, 2015065



享;在 CoMP-JP 传输中,所有调度用户的数据信息以及 CSI 均在基站间共享。由于 CoMP-CB 是避免 ICI,而 CoMP-JP 是将 ICI 转化为有用信号,因此当数据信息和 CSI 可以充分地簇内基站间共享时,CoMP-JP 的性能优于 CoMP-CB。然而,在实际系统中,回程链路容量越来越有限^[2],已成为 CoMP 提高系统性能的最大约束。对于移动用户,CSI 共享相对于数据信息共享需要较低回程链路容量,所以在回程容量有限的情况下,CoMP-CB 的性能优于 CoMP-JP 的性能。

有限回程容量对 CoMP 传输的影响已经被关注^[3]。参考文献[3]在有限回程容量条件下比较了 CoMP-JP 与 CoMP-CB 的性能,仿真验证结果表明,低回程容量下 CoMP-CB 的性能优于 CoMP-JP 的性能。参考文献[4]采用了一种速率分解的方法来有效利用有限回程容量,将每个基站的数据分为私有部分和共享部分,其中只有共享部分的数据在各基站间用于 CoMP-JP,达到有限回程容量与共享用户数据速率的折中。参考文献[5, 6]根据各用户在协作与非协作模式下平均传输速率的比较,判断用户协作或非协作。参考文献[7]在系统开销有限的情况下,将所有用户分为中心用户和边缘用户,只有边缘用户采用协作传输模式,其仿真结果表明,该方案在提高系统性能方面优于系统内所有用户同时选择协作或非协作算法。参考文献[8,9]提出了一种基于用户群的模式选择算法,将所有用户分为两部分:一部分为 CoMP-CB 用户,另一部分为 CoMP-JP 用户。在回程容量以及功率受限的情况下,通过比较两种传输模式下的总速率来决定用户选择何种传输模式。

上述工作均是针对调度用户的整体来选择传输模式的,系统中只存在单一传输模式,且所选传输模式不一定适用于每一个用户,缺乏灵活性。因此,本文从用户个体的角度出发,提出了一种针对用户个体的混合式 CoMP 模式选择方法,充分利用 CoMP-JP 模式与 CoMP-CB 模式的优势,根据不同用户特点选择合适的 CoMP 模式,在回程容量有限的情况下,最大化系统吞吐量。

2 系统模型

如图 1 所示,协作簇场景由 B 个基站构成,每个基站有 N_i 个天线,其辖内小区有 M 个单天线用户(MS),MS1、MS2、MS3 分别为 BS1、BS2、BS3 的本地用户。各个基站通过回程容量为 C bit/s/Hz 的回程链路与 CU 相连。本文不考虑信道状态信息对回程容量的影响,只考虑数据传输对回程容量的影响。

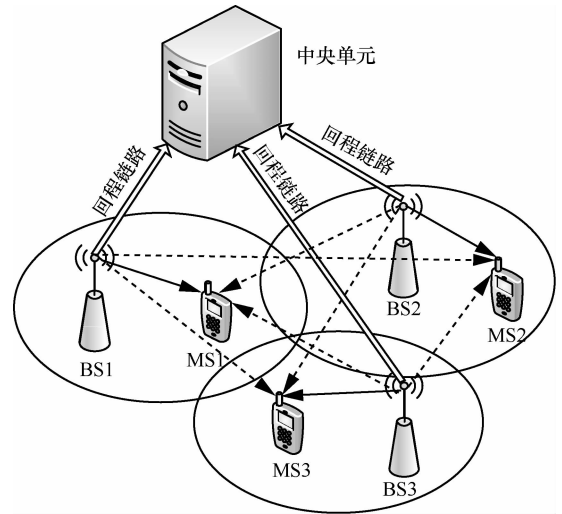


图 1 含有 3 个协作基站的协作簇,各基站通过回程链路与 CU 相连

在 CoMP-CB 传输模式中,每个基站服务 M 个单天线用户;在 CoMP-JP 传输模式中,协作基站共同服务 $B \times M$ 个单天线用户。

定义 $g_{ij_k} \in C^{N_i \times 1}$ 为基站 i 到用户 j_k 的小尺度信道衰落矢量,用户 j_k 表示第 j 个小区的第 k 个用户, $i, j=1, \dots, B$, $k=1, \dots, M$,假设小尺度衰落矢量独立同分布。复合信道矢量 $h_{ji} = \alpha_{ji} g_{ji}$, α_{ji} 为大尺度衰落增益(包括路损和阴影效应)。用户 j_k 的全局信道信息 $h_{jk} = [h_{1jk}^T, \dots, h_{Bjk}^T]^T \in C^{BN_i \times 1}$ 。假设在 CU 中,各用户的全局信道信息已知,每个基站的归一化传输功率 p_0 为单位功率。

2.1 CoMP-CB 传输模式

在 CoMP-CB 传输模式中,每个基站将 M 个本地用户的数据以及协作簇内所有用户的 CSI 通过回程链路反馈到 CU,选择合适的预编码消除小区间干扰。用户 j_k 接收到的信号为:

$$y_{j_k}^{CB} = \sqrt{p_{j_k}^{CB}} h_{j_k}^T v_{j_k} x_{j_k} + \underbrace{\sum_{m=1, m \neq k}^M \sqrt{p_{j_m}^{CB}} h_{j_k}^T v_{j_m} x_{j_m}}_{\text{用户间干扰 (IUI)}} + \underbrace{\sum_{i \neq j}^B \sum_{l=1}^M \sqrt{p_{il}^{CB}} h_{j_k}^T v_{il} x_{il}}_{\text{小区间干扰 (ICI)}} + z_{j_k} \quad (1)$$

其中, m 表示第 j 个小区中除用户 k 以外的其他用户, x_{j_k} 为用户 j_k 所需的传输数据,假设 $E\{|x_{j_k}|^2\}=1$, $v_{j_k} \in C^{N_i \times 1}$ 为基站 j 到用户 j_k 的波束成形矢量,且 $\|v_{j_k}\|^2=1$, $p_{j_k}^{CB}$ 为用户 j_k 的服务基站分配给自身的传输功率, z_{j_k} 是期望为 0、方差为 σ^2 的高斯白噪声。每个基站的传输功率必须满足:

$$\sum_{k=1}^M p_{j_k}^{\text{CB}} \leq 1, \quad j=1, \dots, B \quad (2)$$

在式(1)中,等号右侧第二项为多用户干扰,第三项为小区间干扰。为了消除多用户干扰和小区间干扰,可以引入迫零预编码,迫零预编码满足 $h_{jk}^T v_{jm} = 0, \forall m \neq k$, 且 $h_{jk}^T v_{ji} = 0, \forall i \neq j, \forall l$ 。假设单位带宽条件下,根据参考文献[9]得到的 CoMP-CB 传输模式下的总传输速率为:

$$R^{\text{CB}} = \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M R_{j_k}^{\text{CB}} = \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M \text{lb} \left(1 + \frac{p_{j_k}^{\text{CB}} |h_{jk}^T v_{jk}|^2}{\sigma^2} \right) \quad (3)$$

2.2 CoMP-JP 传输模式

在 CoMP-JP 传输模式中,协作簇内每个用户的数据和 CSI 从 CU 传给每个基站。 B 个基站通过全局预编码共同服务于每个用户。用户 j_k 接收到的信号为:

$$y_{j_k}^{\text{JP}} = \sqrt{p_{j_k}^{\text{JP}}} h_{j_k}^T w_{j_k} x_{j_k} + \sum_{m \neq k} \sqrt{p_{j_m}^{\text{JP}}} h_{j_k}^T w_{j_m} x_{j_m} + \sum_{i \neq j} \sum_{l=1}^M \sqrt{p_{j_l}^{\text{JP}}} h_{j_k}^T w_{j_l} x_{j_l} + z_{j_k} \quad (4)$$

其中, $w_{j_k} = [w_{1j_k}^T, \dots, w_{Bj_k}^T]^T \in \mathbb{C}^{B \times N_t \times 1}$ 是用户 j_k 的全局预编码,且 $\|w_{j_k}\|^2 = 1$ 。 x_{j_k} 为用户 j_k 所需的传输数据, $E\{|x_{j_k}|^2\} = 1$, $p_{j_k}^{\text{JP}}$ 为用户 j_k 的所有协作基站共同分配给它的总传输功率,每个基站的传输功率必须满足:

$$\sum_{i=1}^B \sum_{k=1}^M \|w_{j_k}\|^2 p_{j_k}^{\text{JP}} \leq 1, \quad j=1, \dots, B \quad (5)$$

利用迫零波束成形(ZFBC),用户 j_k 的全局预编码矢量必须满足 $h_{j_k}^T w_{j_m} = 0, \forall m \neq k$, 则 CoMP-JP 传输模式下的总传输速率为:

$$R^{\text{JP}} = \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M R_{j_k}^{\text{JP}} = \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M \text{lb} \left(1 + \frac{p_{j_k}^{\text{JP}} |h_{j_k}^T w_{j_k}|^2}{\sigma^2} \right) \quad (6)$$

3 混合式协作多点传输模式选择算法

混合式协作多点传输是针对调度用户整体定义的。对于某一时刻所有调度用户的传输模式,可在 CoMP-JP 模式与 CoMP-CB 模式之间进行选择,即系统内可同时存在两种传输模式。混合式协作多点传输模式能够满足系统回程容量以及功率的约束,使系统性能达到最优。对于各用户如何选择传输模式,本文将首先建立优化模型,进而通过对优化模型的求解得到各用户的最佳传输模式。

3.1 问题描述

假定所有调度用户的信道正交,各基站的归一化传输

功率 p_0 为 1。

由系统模型可知,在 CoMP-CB 模式和 CoMP-JP 模式下,针对某个基站的总传输速率分别为:

$$R^{\text{CB}} = \sum_{k=1}^M \text{lb}(1 + p_{j_k}^{\text{CB}} \gamma_{j_k}) \quad (7)$$

$$R^{\text{JP}} = \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M \text{lb}(1 + p_{j_k}^{\text{JP}} \gamma_{j_k}) \quad (8)$$

$$\text{其中, } \gamma_{j_k} = \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\sigma_n^2}, \quad \gamma_{j_k} = \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\sigma_n^2}.$$

假设单链路回程容量为 C , 则对于 CoMP-CB 传输模式, CU 通过回程链路只传输本小区用户的数据信息到各基站,每条回程链路的速率限制可表示为 $\sum_{k=1}^M R_{j_k}^{\text{CB}} \leq C$ 。对于 CoMP-JP 传输模式, CU 通过回程链路传输 $B \times M$ 个用户的数据信息到各基站,每条回程链路的速率限制为

$$\sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M R_{j_k}^{\text{JP}} \leq C.$$

基于上述回程容量约束以及各基站功率的约束,本文将最大化系统吞吐量为优化目标建立优化模型,针对用户个体为其选择最佳传输模式。由于各用户只有两种传输模式可选择,所以设定 0-1 变量 xx 来表示用户的传输模式。 $xx=1$, 表示用户选择 CoMP-CB 传输模式; $xx=0$, 表示用户选择 CoMP-JP 传输模式,则系统吞吐量最大化问题可表示为:

$$\max_{xx_{j_k}, p_{j_k}^{\text{CB}}, p_{j_k}^{\text{JP}}} \sum_{j=1}^B \sum_{k=1}^M \{xx_{j_k} \text{lb}(1 + \gamma_{j_k}^{\text{CB}}) + (1 - xx_{j_k}) \text{lb}(1 + \gamma_{j_k}^{\text{JP}})\} \quad (9)$$

$$\text{s.t. } \sum_{k=1}^M xx_{j_k} \text{lb}(1 + \gamma_{j_k}^{\text{CB}}) + \sum_{i=1}^B \sum_{l=1}^M (1 - xx_{j_l}) \text{lb}(1 + \gamma_{j_l}^{\text{JP}}) \leq C, \quad j=1, \dots, B \quad (9.1)$$

$$\sum_{k=1}^M (xx_{j_k} p_{j_k}^{\text{CB}} + (1 - xx_{j_k}) p_{j_k}^{\text{JP}}) + \sum_{i \neq j, j \in J} (1 - xx_{j_i}) p_{j_i}^{\text{JP}} \leq 1, \quad j=1, \dots, B \quad (9.2)$$

其中, J 为基站集合, $\gamma_{j_k}^{\text{JP}} = \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\sigma_n^2}$ 和 $\gamma_{j_k}^{\text{CB}} = \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\sigma_n^2}$ 分别表示用户 j_k 的全局 SNR 和瞬时 SNR;

$p_{j_k}^{\text{JP}}$ 和 $p_{j_k}^{\text{CB}}$ 分别表示在 CoMP-JP 模式下, 基站 j 分配给用户 j_k 的功率和用户 j_k 得到的总功率, 两者关系为

$$p_{j_k}^{\text{JP}} = p_{j_k}^{\text{JP}} \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\|h_{j_k}\|^2}; p_{j_k}^{\text{CB}} \text{ 表示在 CoMP-CB 模式下基站 } j \text{ 分配给}$$



用户 j_k 的功率。式(9.1)表示对某个基站回程容量的约束,即在该基站下采用 CoMP-CB 模式传输的用户回程容量以及采用 CoMP-JP 模式传输的用户回程容量之和不大于 C ;式(9.2)表示对某个基站总的可用功率的约束,即该基站为本地用户分配的功率和为其他协作小区用户分配的功率之和不大于归一化最大传输功率 1。

3.2 算法描述

在上述优化模型中,功率 P 和传输模式变量 x 为优化变量,即该优化问题含有两个优化变量。为了表示该方案所得出的理论结果,假定有两个协作小区,各协作小区中有一个用户,即 $B=2, M=1$ 。在该场景下对该优化问题进行理论分析,可得到如下结论。

(1)若 $C \leq \text{lb}(1+\gamma_{11})$ 且 $C \leq \text{lb}(1+\gamma_{22})$, 回程容量 C 不能满足两个小区的用户采用 CoMP-CB 传输模式的约束条件,因此只能通过降低功率让两个用户选择 CoMP-CB 传输模式,系统总的传输速率为 $R_{\text{sum}}=2C$ 。

(2)若 $\text{lb}(1+\gamma_{11}) < C \leq \text{lb}(1+\gamma_1)$ 并且 $\text{lb}(1+\gamma_{22}) < C \leq \text{lb}(1+\gamma_2)$, 回程容量 C 满足用户 1 和用户 2 采用 CoMP-CB 传输的约束条件,但不满足任何一个用户采用 CoMP-JP 传输的约束条件,所以用户 1 和用户 2 均选择 CoMP-CB 传输模式,系统总的传输速率为 $R_{\text{sum}}=\text{lb}(1+\gamma_{11})+\text{lb}(1+\gamma_{21})$ 。

(3)若 $\text{lb}(1+\gamma_1) < C \leq \text{lb}(1+\gamma_1)+\text{lb}(1+\gamma_2)$ 或 $\text{lb}(1+\gamma_2) < C \leq \text{lb}(1+\gamma_2)+\text{lb}(1+\gamma_1)$, 回程容量 C 满足用户 1 或用户 2 采用 CoMP-JP 模式传输的约束条件,但不满足两个用户同时采用 CoMP-JP 模式传输的约束条件,因此其中一个用户可选择 CoMP-JP 传输模式,另一个用户选择 CoMP-CB 传输模式,形成混合式传输模式,系统总的传输速率为 $R_{\text{sum}}=R_2^{\text{CB}}+\text{lb}(1+\gamma_1)$ 或 $R_{\text{sum}}=R_1^{\text{CB}}+\text{lb}(1+\gamma_2)$ 。

(4)若 $C > \text{lb}(1+\gamma_1)+\text{lb}(1+\gamma_2)$, 回程容量 C 可满足两个用户同时采用 CoMP-JP 模式传输,所以用户 1 和用户 2 均选择 CoMP-JP 传输模式,系统总的传输速率为 $R_{\text{sum}}=\text{lb}(1+\gamma_1)+\text{lb}(1+\gamma_2)$ 。

其中, γ_{11} 和 γ_{22} 分别表示协作小区 1 中用户的瞬时信噪比(SNR)和协作小区 2 中用户的瞬时 SNR,即单个基站为用户服务时的 SNR。 γ_1 和 γ_2 分别表示协作小区 1 中用户的全局 SNR 和协作小区 2 中用户的全局 SNR,即两个基站协作时用户的 SNR。

上述优化模型中存在两个优化变量,功率 P 以及 0-1 变量 xx 。在对优化模型的求解中,本文先确定功率 P ,然后再求解关于 xx 的优化问题,简化了问题的求解。在满足功率

约束条件下,文中采用了两种不同的功率分配方案。

一是以用户为中心的功率分配方案(PUPC)。在用户侧,各基站为各用户所分配的功率为:

$$p_{j_k}^{\text{JP}} \leq \frac{B \times p_0}{B \times M}, p_{j_k}^{\text{CB}} \leq \frac{p_0}{M} \quad (10)$$

二是以基站为中心的功率分配方案(PBPC)。根据各用户的信道强度为各用户按比例分配功率,则各基站为各用户所分配的功率为:

$$p_{j_k}^{\text{JP}} = p_{j_k}^{\text{CB}} = \frac{\|h_{j_k}\|^2}{\sum_{m \in S, j \in \Omega} \|h_m\|^2} (B \times p_0) \quad (11)$$

其中, S 为所有调度用户的集合, Ω 为协作簇集合, $p_0=1$ 。在功率分配确定后,优化模型简化为变量 xx 的优化问题,针对不同的功率分配方案,对模型进行求解,得到不同功率分配下各用户的最佳传输模式。对于模型的求解,本文采用的是隐枚举法。

采用隐枚举法求解 0-1 规划问题时,要根据目标函数的性质增加一个相应的不等式作为附加约束条件,称为过滤条件,以减少运算次数。其基本思想是隐式地枚举一切可行解,是一种求解 0-1 整数规划问题的最常用算法。具体算法描述如下。

步骤 1 找出式(9)的任一可行解,对应其目标函数值为 z_0 。

步骤 2 由于式(9)的目标函数(假定为 f)是最大化其系统吞吐量,因此增加一个约束条件 $f \geq z_0(*)$ 。

步骤 3 列出所有可能的解,对每个可能解先检验式(*),若满足,再检验其他约束;若不满足式(*),则认为不可行。若所有约束都满足,则认为此解是可行解,求出目标值。

步骤 4 目标函数值最大的解就是最优解,即为式(9)的最优解,对应的传输模式为最优传输模式。

若该优化问题无最优解,则所有用户选择 CoMP-CB 传输模式;若优化问题有解,则解对应的模式为对应用户的最佳传输模式。混合式协作多点传输模式选择优化模型的求解流程如图 2 所示。

4 仿真及结果分析

本节利用具体的参数求解上述优化模型,并通过仿真分析评估模式选择后系统的性能。

4.1 系统参数

在仿真中假设 3 个基站协作,每个基站包含两个用户。这两个用户随机地分布于每个小区中,小区半径 $R=250$ m。

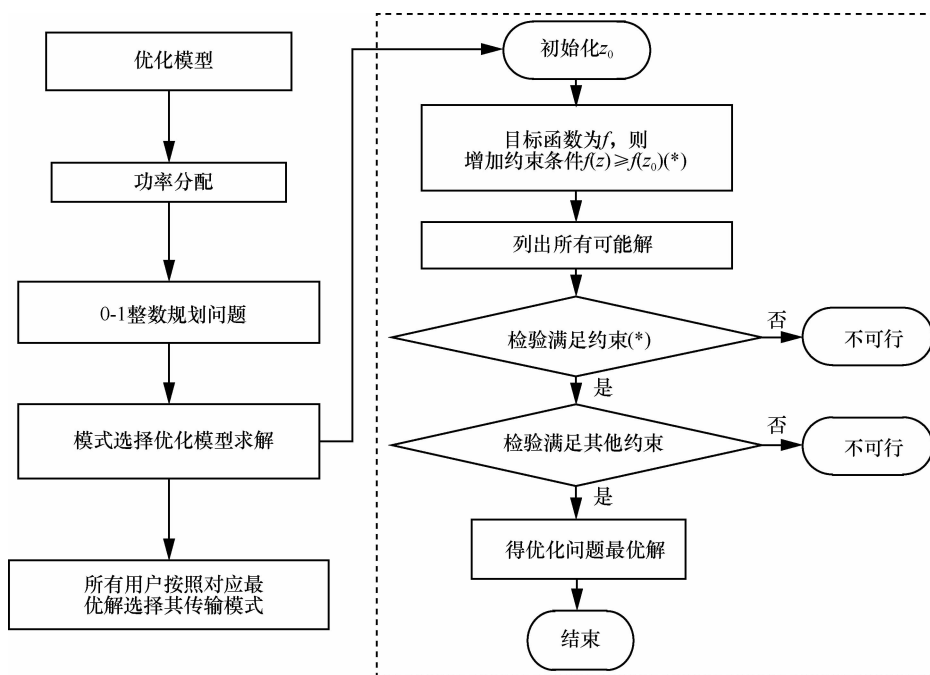


图2 模式选择算法流程

从基站 m 到用户 i 的信道矢量为 $g_{im} = \alpha_{im} \sqrt{G\eta_{im}l_{im}}$, 路损模型为 $\alpha_{im}^2 = \alpha_0^2 (R/d_{im})^\tau$, α_0^2 为在 R 处的路损, d_{im} 代表基站 m 到用户 i 的距离, $\tau=3.76$ 。

4.2 仿真分析

为了验证混合式 CoMP 模式选择算法相对于其他传统算法的优势, 本文分别对系统吞吐量、用户数量对纯 CoMP-JP 与纯 CoMP-CB 模式下系统增益的影响进行了仿

真。图3是以用户为中心的功率分配方案下, 系统平均吞吐量随回程容量变化的曲线; 图4是以基站为中心、基于信道强度的功率分配方案下, 系统平均吞吐量随回程容量变化的曲线。

图3是在 PUPC 下针对不同用户分布情况, 分别对混合式 CoMP 传输模式、基于用户群的传输模式、纯 CoMP-JP 模式、纯 CoMP-CB 模式下的系统吞吐量进行了仿真对比。

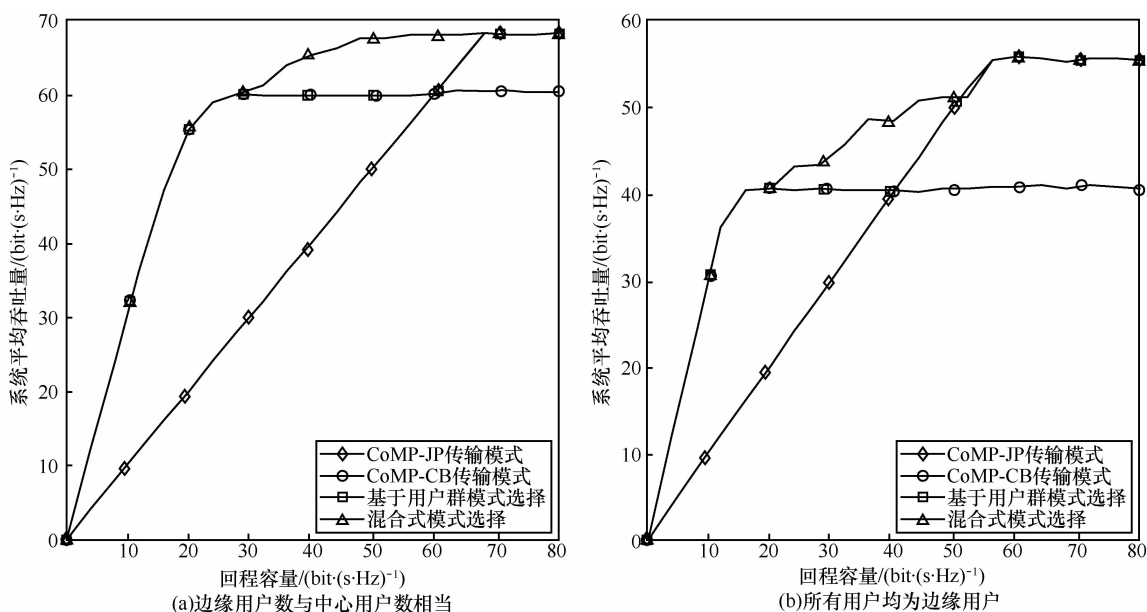


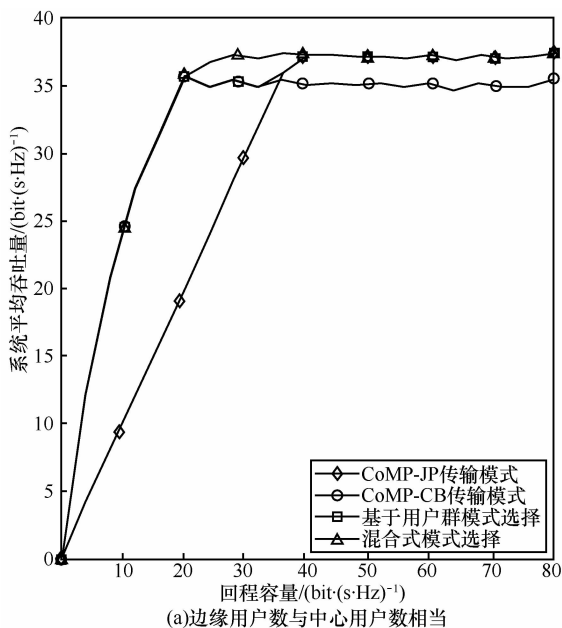
图3 PUPC 下回程容量与吞吐量关系



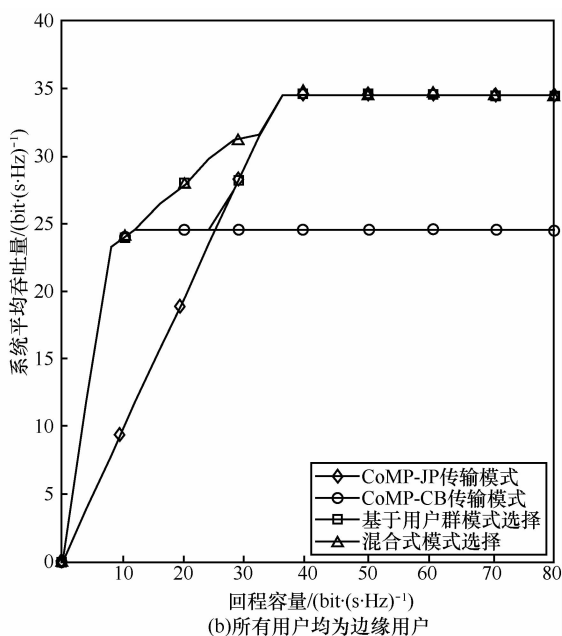
从图3可以看出,当回程容量在 $0 \sim 30 \text{ bit/s/Hz}$ 时,纯 CoMP-CB 模式、基于用户群的传输模式、混合式传输模式下的系统吞吐量相同,且优于纯 CoMP-JP 模式下的系统吞吐量,这是由于回程容量较小,只能允许所有用户选择 CoMP-CB 传输模式;当回程容量大于 70 bit/s/Hz 时,纯 CoMP-JP 模式、传统模式、混合式传输模式下的系统吞吐量相同,且高于纯 CoMP-CB 模式下系统吞吐量,这是由于回程容量达到某一值时,可以满足所有用户选择性能增益较高的 CoMP-JP 传输模式,回程容量已不再是约束;而当回程容量为 $30 \sim 70 \text{ bit/s/Hz}$ 时,混合式传输模式下的系统吞吐量明显高于其他模式下的系统吞吐量,这是由于在该回程容量区间,本文所提出的算法为每个用户选择最佳传输模式,使得系统内可同时存在两种传输模式,在充分利用有限回程容量的同时最大化系统吞吐量,突破了传统的基于用户群的单一模式选择算法,并在性能上得到了优化。

图4与图3类似,区别在于功率分配方式不同。图4是在以基站为中心的功率分配下,针对不同用户分布对不同传输模式下系统吞吐量的仿真对比,从其结果可看出,在回程容量达到某有限区域时,本文算法明显优于其他的模式选择算法。

从图3和图4可以看出,当回程容量有限时,本文算法总能使系统性能保持在最优状态,并且优于其他几种传输模式,这充分证明了混合传输模式在实际系统中是较理想的传输模式。



(a)边缘用户数与中心用户数相当



(b)所有用户均为边缘用户

图4 PBPC下回程容量与吞吐量关系

图5是针对混合式传输模式选择算法在不同功率分配方式下的系统吞吐量比较。可以看出, PUPC 模式下的系统吞吐量高于 PBPC 模式下的系统吞吐量。

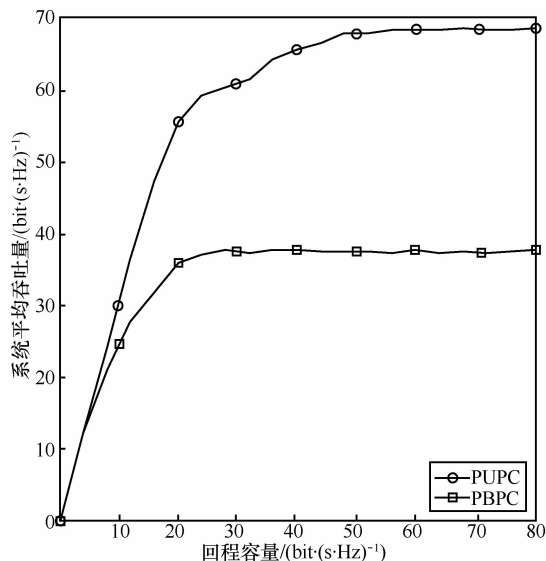


图5 本文算法在 PUPC 与 PBPC 下系统吞吐量比较

从图6可以看出,随着回程容量的增加,本文算法下的系统性能相对于采用纯 CoMP-JP 模式的性能增益逐渐降低,直至为0,而相对于采用纯 CoMP-CB 模式性能增益则逐渐增加。这是由于随着回程容量的增加,本文算法会使越来越多的用户选择 CoMP-JP 传输模式,致使相对 CoMP-JP 增益会逐渐降低,而相对 CoMP-CB 增益则逐渐增

加。此外,当回程容量无限大时,所有用户均选择 CoMP-JP 模式,则相对 CoMP-JP 增益降为 0。从图 6 还可看出,在不同调度用户数量下系统的相对增益不同,且调度用户越多增益越明显。该结果表明,基于用户个体的混合 CoMP 传输模式选择算法在用户密集网络中会有较高的性能增益。

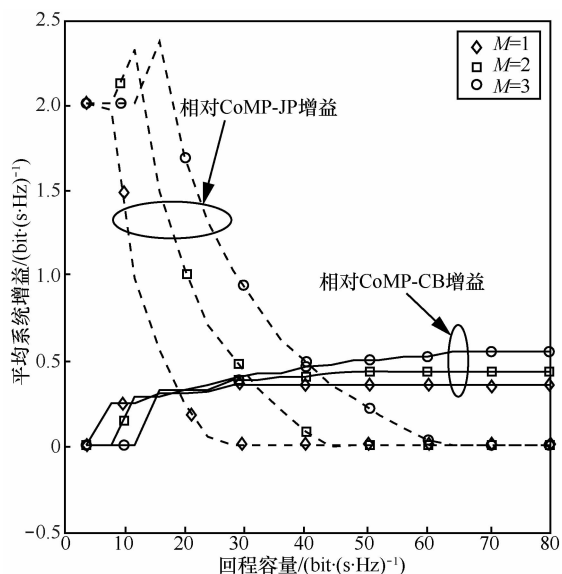


图 6 随着用户数量变化,混合式模式相对于纯 CoMP-JP 及纯 CoMP-CB 的增益

5 结束语

本文提出了一种混合式 CoMP 传输模式选择算法,该算法主要是在回程容量及功率限制下,针对用户个体为其在 CoMP-JP 传输模式与 CoMP-CB 传输模式之间选择最佳的传输模式,最大化系统吞吐量。通过进一步的仿真得知,在回程容量有限的情况下,该混合式 CoMP 传输模式在系统性能方面优于纯 CoMP-JP 传输模式、纯 CoMP-CB 传输模式及传统基于用户群的传输模式,且在用户密集网络中会有较高的性能增益。

参考文献

- 1 3GPP TSG R1-082812. Collaborative MIMO for LTE-Advanced Downlink, 2008
- 2 Tipmongkolsilp O, Zaghloul S, Jukan A. The evolution of cellular backhaul technologies: current issues and future trends. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(1): 97~113
- 3 Seifi N, Viberg M, Heath R W, et al. Coordinated single-cell VS multi-cell transmission with limited-capacity backhaul. Proceedings of the Forty Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, 2010: 1217~1221
- 4 Zakhour R, Gesbert D. Optimized data sharing in multicell

MIMO with finite backhaul capacity. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(12): 6102~6111

- 5 Zhang Q, Yang C Y. Semi-dynamic mode selection in base station cooperative transmission system. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), San Francisco, CA, USA, 2011: 1~5
- 6 Zhang Q, Yang C Y. Transmission mode selection for downlink coordinated multipoint systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012
- 7 Zhang Q, Yang C Y. Downlink transmission mode selection in multicell systems considering training overheads. Proceedings of IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Yokohama, Japan, 2011
- 8 Zhang Q, Yang C Y, Molisch A F. Cooperative downlink transmission mode selection under limited-capacity backhaul. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Network Conference, Shanghai, China, 2012: 1082~1087
- 9 Zhang Q, Yang C Y, Molisch A F. Downlink base station cooperative transmission under limited-capacity backhaul. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(8): 3746~3759

[作者简介]



赵季红,女,博士,西安邮电大学、西安交通大学教授、博士生导师,主要研究方向为宽带通信网、新一代网络的管理与控制。



丁小婷,女,西安邮电大学硕士生,主要从事密集网络中协作多点传输技术研究工作。



王炜,男,西安交通大学博士生,主要从事密集网络中协作多点传输技术研究工作。

曲桦,男,博士,西安交通大学教授,主要从事新一代无线宽带无线通信技术的研究工作。