

基于系统平均性能增益最大化的基站群协同分簇方案

李坤^{1,2}, 黄开枝¹, 吉江¹, 冯涛¹, 靳彦青¹

(1. 国家数字交换系统工程技术研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 66295 部队, 河北 涿州 072761)

摘要: 提出了一种基于系统平均性能增益最大化的协同基站群分簇方案。首先, 由基站间协同的信干比增益的概率分布得出基站间协同的平均信干比增益; 然后, 以系统平均性能增益最大化为标准生成簇结构。该方案在保证系统性能的同时降低了 CSI 失真对分簇带来的影响, 且降低了系统开销。仿真结果表明, 当信道变化因子和失真因子均为 0.3 时, 该方案和现有利益树分簇方案相比, 系统平均性能增益最大可提高 0.7bit/s/Hz/cell。

关键词: 小区间干扰; 信道状态信息; 分簇; 协同处理

中图分类号: TN929.53

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)11-0144-07

Clustering scheme of base stations cooperation based on maximizing the average system performance

LI Kun^{1,2}, HUANG Kai-zhi¹, JI Jiang¹, FENG Tao¹, JIN Yan-qing¹

(1. National Digital Switching System Engineering & Technological Research Center Zhengzhou 450002, China;

2. Unit 66295 of PLA, Zhuozhou 072761, China)

Abstract: A novel clustering scheme based on maximizing average system performance was proposed. Firstly, according to the probability distribution of signal-to-interference-ratio (SIR) gain of base stations cooperation the average SIR gains were obtained. Then, the cluster structure was generated in the standard of maximizing the average system performance. Not only the average system performance was guaranteed but also the influence of CSI distortion was decreased, while the overall cost was reduced. Simulation results show that when the factors of CSI distortion and channel vibration both are 0.3, the proposed scheme provide a 0.7bit/s/Hz/cell increase of the average system performance compared with the benefit-tree clustering scheme.

Key words: inter cell interference; channel state information; clustering; cooperating process

1 引言

多基站协同处理技术^[1]是抑制小区间干扰的方法之一, 但其需要所有基站共享全部或部分的信道状态信息 (CSI, channel state information) 用户数据信息及少数控制信息。当系统规模较大时, 这将给基站间的通信链路带来难以负荷的信息交互量^[2]。为了降低信息交互量, 可以把整个系统划分为多个小的协同簇^[3-9], 在簇内采用协同处理技术, 通过减

少协同基站数目可以减少基站间交互的信息量。

协同分簇方案大致可分为 2 类: 静态分簇方案^[3,4]和动态分簇方案^[5,6]。由于实际系统中信道的时变性, 静态分簇方案性能较差, 目前研究较少。动态分簇方案利用实时的 CSI, 以最大化系统性能为目标动态构造出多个协同簇, 性能好于静态分簇方案。文献[7]在假设获取无失真 CSI 的情况下, 以最大化系统性能增益为目标采用贪婪算法动态构造出多个协同簇; 文献[8]和文献[9]是在 CSI 无失真的情况下, 对

收稿日期: 2011-11-30; 修回日期: 2012-05-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61171108)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (61171108)

文献[7]中簇规模固定和算法复杂度高的问题进行了改进。文献[10]是在 CSI 无失真的情况下针对以上算法在分簇时存在的顺序性及单向性问题，在协同度模型下提出了利益树分簇算法。可见，现有的动态分簇方案都是在理想情况下进行的，没有考虑信道变化快慢以及 CSI 失真与否对系统开销和系统性能的影响。因此如何降低信道快变时的系统开销，以及在 CSI 失真情况下得到较佳的簇结构是基站群分簇算法应用到现实系统中必须要考虑的问题。

针对以上问题，本文分析了信道快变及 CSI 失真时，现有分簇方案存在的问题，然后提出了一种基于系统平均性能增益最优的协同基站群分簇方案。首先，推导出基站间协同的信干比增益的概率分布，给出了协同分簇后任意两基站间协同能够获得平均信干比增益。然后，以系统平均性能增益最大化为目标，把 N 个基站初始化为 N 个簇，以簇间进行合并的方式生成簇结构 \hat{C} ，使得系统在 ΔT 时间内获得的协同性能增益最大。仿真结果表明，该方案以降低簇结构更新频率的方式降低了系统开销，当信道变化因子和失真因子均为 0.3 时，该方案和现有利益树协同分簇方案相比，系统平均性能增益最大可提高 0.7bit/s/Hz/cell。

2 信道快变及 CSI 失真下协同分簇问题分析

图 1 为 N 小区上行系统，每个小区中有一个基站 BS_i ，小区内有一个用户 u_i 。设用户 u_i 、 u_j 发送的符号向量为 $X_{ij} = [x_i \quad x_j]^T$ ，有 $E[X_{ij} X_{ij}^T] = I_{2 \times 2}$ ， BS_i 、 BS_j 的接收信号为 $Y_{ij} = [y_i \quad y_j]^T$ ， u_i 、 u_j 到 BS_i 、 BS_j 的信道状态 $H_{ij} = \begin{bmatrix} h_{ii} & h_{ij} \\ h_{ji} & h_{jj} \end{bmatrix}$ 。不考虑噪声的影响， BS_i 、 BS_j 不协同处理时接收信号为

$$Y_{ij} = H_{ij} P_{ij} X_{ij} + H_{n \neq i, j} P_{n \neq i, j} X_{n \neq i, j} \quad (1)$$

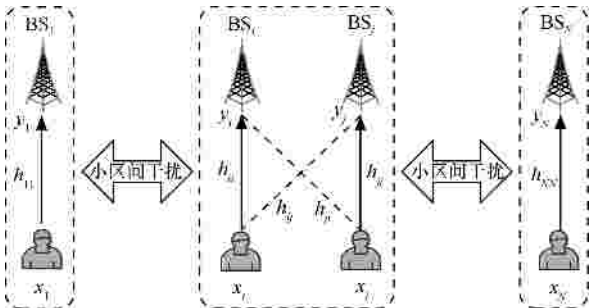


图 1 N 小区上行系统模型

其中， $H_{n \neq i, j} = \begin{bmatrix} h_{1i} & h_{ni} & h_{Ni} \\ h_{1j} & h_{nj} & h_{Nj} \end{bmatrix}$ ， $X_{n \neq i, j} = [x_1 \quad \dots \quad x_n \quad \dots \quad x_N]^T$ ， P 为用户分配的功率，设用户等功率分配，有 $P_{ij} = p \times I_{2 \times 2}$ ， $P_{n \neq i, j} = p \times I_{(N-2) \times (N-2)}$ ， $n \neq i, j$ 。则 BS_i 、 BS_j 不进行协同处理时， BS_i 的信干比为

$$SIR_{ij}^{\text{non-coop}} = \frac{\|px_i h_{ii}\|^2}{\sum_{n=1, n \neq i}^N \|px_n h_{ni}\|^2} = \frac{\|h_{ii}\|^2}{\sum_{n=1, n \neq i}^N \|h_{ni}\|^2} \quad (2)$$

BS_i 的传输速率为

$$C_{ij}^{\text{non-coop}} = \frac{1}{2} \text{lb}(1 + SIR_{ij}^{\text{non-coop}}) \quad (3)$$

若 BS_i 、 BS_j 进行协同处理，协同处理矩阵

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11}^{ij} & w_{12}^{ij} \\ w_{21}^{ij} & w_{22}^{ij} \end{bmatrix}$$
，则对 Y_{ij} 进行协同处理后的信号为

$$Y'_{ij} = W_{ij} Y_{ij} = W_{ij} H_{ij} P_{ij} X_{ij} + W_{ij} H_{n \neq i, j} P_{n \neq i, j} X_{n \neq i, j} \quad (4)$$

因此， BS_i 和 BS_j 协同处理后， BS_i 的信干比为

$$SIR_{ij}^{\text{coop}} = \frac{\|w_{11}^{ij} h_{ii} + w_{12}^{ij} h_{ij}\|^2 \|px_i\|^2}{\sum_{n=1, n \neq i}^N \|w_{11}^{ij} h_{ni} + w_{12}^{ij} h_{nj}\|^2 \|px_n\|^2} = \frac{\|w_{11}^{ij} h_{ii} + w_{12}^{ij} h_{ij}\|^2}{\sum_{n=1, n \neq i}^N \|w_{11}^{ij} h_{ni} + w_{12}^{ij} h_{nj}\|^2} \quad (5)$$

BS_i 的传输速率为

$$C_{ij}^{\text{coop}} = \frac{1}{2} \text{lb}(1 + SIR_{ij}^{\text{coop}}) \quad (6)$$

BS_i 和 BS_j 协同处理给 BS_i 带来的信干比增益为

$$t_{ij} = SIR_{ij}^{\text{coop}} / SIR_{ij}^{\text{non-coop}} \quad (7)$$

BS_i 和 BS_j 协同处理给 BS_i 带来的传输速率增量，即 BS_i 的协同性能增益为

$$Y_{ij} = C_{ij}^{\text{coop}} - C_{ij}^{\text{non-coop}} = \frac{1}{2} \text{lb} \left(\frac{1 + SIR_{ij}^{\text{coop}}}{1 + SIR_{ij}^{\text{non-coop}}} \right) \quad (8)$$

由式(7)和式(8)可以看出， t_{ij} 越大，协同性能增益 Y_{ij} 越大，因此 t_{ij} 可以近似作为基站协作与否的判断标准。

在获取的 CSI 无失真且信道变化较慢的情况

下，现有的实时协同分簇方案如图 2 所示，流程可简化为：1)由 CSI 计算 t_k 时刻 $SIR^{coop}(t_k)$ 的值；2)由 $SIR^{coop}(t_k)$ 为基础，以系统瞬时性能增益最大为标准，按照某种簇结构生成方式 F 得出一种簇结构 $C(t_k)$ ；3)系统按 $C(t_k)$ 进行协同，可得到瞬时协同性能增益 $Y(t_k)$ 。

当信道变化较慢时，系统在 t_2 时刻可使用 t_1 时刻的簇结构 $C(t_1)$ 进行协同而不用进行簇结构更新，同样能使得 t_1 、 t_2 时刻系统协同性能较佳。但是，当信道快变时现有的实时分簇方案会频繁更新簇结构以适应当前系统协同，即在时刻 t_1 、 t_2 、 t_M 都可能进行一次 CSI 搜集、计算 $SIR^{coop}(t_k)$ 、分簇，然后协同处理，大大增加了系统开销。同时，如果信道估计不准确，获取的 CSI 有一定失真，这会使得 t_k 时刻计算得到的 $SIR_{n_0}^{coop}(t_k) = SIR^{coop}(t_k) + \Delta SIR^{coop}(t_k)$ ，其中， $\Delta SIR^{coop}(t_k)$ 是 CSI 失真引起的性能损失。以 $SIR_{n_0}^{coop}(t_k)$ 得到的簇结构 $C_{n_0}(t_k)$ 会比 $C(t_k)$ 的性能差，导致系统协同性能增益 $Y_{n_0}(t_k) < Y(t_k)$ 。

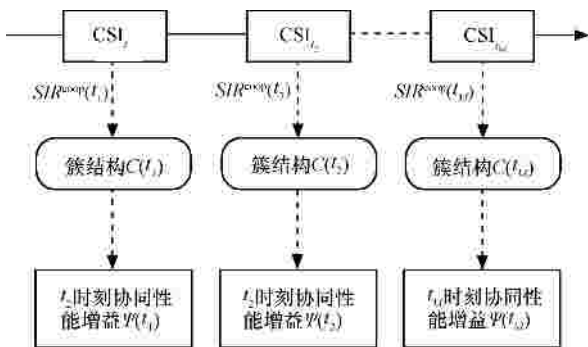


图 2 实时协同分簇方案

3 系统性能增益最大化协同分簇方案设计

针对以上问题，本文设计了一种基于系统平均性能增益最优的协同基站群分簇方案。如图 3 所示，系统在时间段 $\Delta T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$ 内只使用一种簇结构 \hat{C} 进行协同，并确保系统在 ΔT 内得到的平均性能增益最大，即

$$\hat{C} = \arg \max_C \left\{ \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y(t_k) \right\} \quad (9)$$

其中， $\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M Y(t_k)$ 是系统使用簇结构 C 在 ΔT 内达到的平均性能增益。

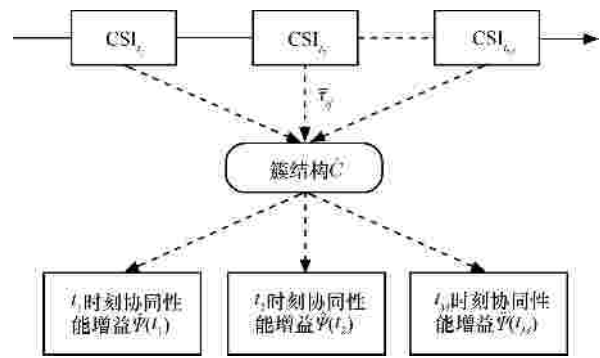


图 3 系统平均性能增益最大协同分簇方案

平均信干比增益 $\bar{f}_{ij} \approx \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M f'_{ij}(t_k) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M f_{ij}(t_k) + \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \Delta t_{ij}(t_k)$ ，其中， $\Delta t_{ij}(t_k)$ 是 CSI 失真引起的性能损失随机量，由于 $\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \Delta t_{ij}(t_k)$ 是随机量 $\Delta t_{ij}(t_k)$ 的均值，以 \bar{f}_{ij} 为基础进行分簇可以降低 $\Delta t_{ij}(t_k)$ 随机性对分簇产生的影响。因此，在进行 \hat{C} 的设计时以 \bar{f}_{ij} 为基础，结合某种簇结构生成方式，以系统平均性能增益最大化为目标得到的簇结构能够满足式(9)。基于系统平均性能增益最大化的协同分簇方案流程如下：1)由 CSI 计算 \bar{f}_{ij} 的值；2)以 \bar{f}_{ij} 结合某种簇结构生成方式，以系统平均性能增益最大为标准得出簇结构 \hat{C} ；3)系统按 \hat{C} 进行协同可得到平均性能增益 $\hat{Y}(t_k)$ 。

由此可见要想得到 \hat{C} 需要完成 2 项工作：1)计算出所有基站间协同的 \bar{f}_{ij} 值；2)以 \bar{f}_{ij} 为基础，设计一种生成 \hat{C} 的方案。

3.1 基站间协同平均性能增益 \bar{f}_{ij} 求解

设估计的信道状态矩阵 $\hat{H} = H + H_{n_0}$ ，其中， H 中的各元素服从高斯分布；信道估计失真分量 H_{n_0} 服从高斯分布，假设 H_{n_0} 的统计特性已知。预处理矩阵 W_{ij} 使用统计值得到，即 $W_{ij} = (\bar{\gamma}_{ij}^{-1} \bar{\gamma}_{ij}^{-1})^{-1} \bar{\gamma}_{ij}^{-1}$ ， $\bar{\gamma}$ 是对 \hat{H} 求平均。设 $q_{ij} = w_{11}^{ij} h_{ii} + w_{12}^{ij} h_{ij}$ ， $h_{ii} \sim (m_i, d^2)$ ， $h_{ij} \sim (m_j, d^2)$ ，所以 q_{ij} 也服从高斯分布

$$q_{ij} \sim \left(w_{11}^{ij} m_i + w_{12}^{ij} m_j, (w_{11}^{ij} d)^2 + (w_{12}^{ij} d)^2 \right) \quad (10)$$

令 $m_i = w_{11}^{ij} m_i + w_{12}^{ij} m_j$ ， $d_i = (w_{11}^{ij} d)^2 + (w_{12}^{ij} d)^2$ ，则 q_{ij} 的概率密度函数 (PDF) 为

$$f(q_{ij}) = \frac{1}{2\sqrt{pd_i}} \exp\left(-\frac{(m_i - q_{ij})^2}{2d_i^2}\right) \quad (11)$$

记式(5) SIR_{ij}^{coop} 的分子 $\|w_{11}^{ij}h_{ii} + w_{12}^{ij}h_{ij}\|^2$ 为随机变量 f_i ，则 f_i 的 PDF 为^[11]

$$f_F(f_i) = \frac{1}{2\sqrt{f_i}} \left(\frac{1}{2\sqrt{\pi}d_i} \left(\exp\left(-\frac{(\sqrt{f_i} - m_i)^2}{2d_i^2}\right) + \exp\left(-\frac{(-\sqrt{f_i} - m_i)^2}{2d_i^2}\right) \right) \right) \quad (12)$$

式(5) SIR_{ij}^{coop} 的分母 $\sum_{n \neq i}^N \|w_{11}^{ij}h_{ni} + w_{12}^{ij}h_{nj}\|^2 = \sum_{n \neq i}^N f_n$ ，

f_n 是相互独立的，记 $w_{ij} = \sum_{n \neq i}^N f_n$ ，则 w_{ij} 的 PDF 为

$f_W(w_{ij}) = f_F(f_1) \otimes f_F(f_2) \dots \otimes f_F(f_n), n = 1, 2, 3, \dots, N$ 且 $n \neq i$ 。所以 SIR_{ij}^{coop} 的 PDF 为^[11]

$$f_{SIR_{ij}^{coop}}(a_{ij}) = \int_0^{+\infty} w_{ij} f_F(a_{ij}w_{ij}) f_W(w_{ij}) dw_{ij} \quad (13)$$

由于 SIR_{ij}^{coop} 和 $SIR_{ij}^{non-coop}$ 是同分布的，所以两基站协同给另一基站带来的信干比增益服从的分布为

$$f_{\Gamma}(t_{ij}) = \int_0^{\infty} b_{ij} f_{SIR_{ij}^{coop}}(t_{ij}b_{ij}) f_{SIR_{ij}^{non-coop}}(b_{ij}) db_{ij} \quad (14)$$

所以， BS_i 和 BS_j 协同给 BS_i 带来的 \bar{r}_{ij} 为

$$\bar{r}_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} t_{ij} \int_0^{\infty} b_{ij} f_{SIR_{ij}^{coop}}(t_{ij}b_{ij}) f_{SIR_{ij}^{non-coop}}(b_{ij}) db_{ij} dt_{ij} \quad (15)$$

由式(15)可以计算出系统中任意两基站间协同的 \bar{r}_{ij} 。当小区数量为 N 的情况下，需要计算 $N^2 - N$ 次平均信干比增益。但是由于任意两基站间的信干比增益概率分布不同，因此需要先计算出所有基站间协同的信干比增益的概率分布，即需要先计算 $N^2 - N$ 次的概率分布。利益树进行分簇时需要计算任意两基站间的协同度，同样需要计算 $N^2 - N$ 次协同度，协同度被定义为基站接收的信干比增益^[10]，可以由式(7)直接计算得到。因此本方案完成一次分簇需要进行 $2(N^2 - N)$ 次计算，利益树完成一次分簇需要 $N^2 - N$ 次计算。但在 $\Delta T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$ 时间内本方案只进行了一次分簇，所以只需进行 $2(N^2 - N)$ 次计算，利益树需进行 M 次分簇，因此

需进行 $M(N^2 - N)$ 次计算。

3.2 使系统平均性能增益最大的簇结构 \hat{C} 设计

若用 $\bar{Y}(C)$ 近似衡量在 ΔT 时间内使用簇结构 C 协同所带来的系统平均性能增益，那么 \hat{C} 的生成问题可描述为：在所有的 $C = \{c_1, \dots, c_n, \dots, c_N\}$ 中找出一个 \hat{C} ，使得在 ΔT 时间内 $\bar{Y}(\hat{C})$ 最大化，且每个簇的规模不超过 K ，即按以下约束条件寻找 \hat{C}

$$\begin{cases} \hat{C} = \arg \max_C \{\bar{Y}(C)\} \\ \max_{c_n \in \hat{C}} (|c_n|) \leq K, n = 1, \dots, N, |\hat{C}| \end{cases} \quad (16)$$

用所有协同簇带来的平均性能增益 $y(c_n)$ 之和描述 $\bar{Y}(C)$ 值， $y(c_n)$ 值用簇内基站间协同的 \bar{r}_{ij} 之和近似衡量，即

$$\begin{cases} \bar{Y}(C) = \sum_{n=1}^l y(c_n) \\ y(c_n) = \sum_{i,j \in c_n, i \neq j} \bar{r}_{ij} \end{cases} \quad (17)$$

把 N 个基站看作为 N 个簇，以上问题就变成了如何进行簇间合并，使得最后得到的所有簇的平均性能增益之和最大。定义簇间具有以下性质。

定义 1 簇 c_n 、 c_m 之间具有相关性，相关性大小为

$$R(c_n, c_m) = \left(\sum_{i \in c_n, j \in c_m} \bar{r}_{ij} + \bar{r}_{ji} \right) / (|c_n| + |c_m|) \quad (18)$$

由式(18)可以看出，簇间相关性越强，两簇合并后带来的平均性能增益就越强。因此，可以按照相关性强的 2 个簇优先进行合并的原则，即按照式(18)选择 $R(c'_n, c'_m)$ 最大的 2 个簇进行合并，从而使系统在 ΔT 时间内获得的性能增益最大。具体流程如下。

1) 初始化：把 N 个基站看作为 N 个簇，每个簇中有一个基站，即 $C = \{c_1, \dots, c_i, \dots, c_N\}$ ，其中， $c_i = \{BS_i\}$ ，由式(18)计算簇之间的相关性。

2) 选取相关性最大的两簇合并成为一个新的簇 $R(c'_n, c'_m) = \max_{c_n, c_m \in C} \{R(c_n, c_m)\}$ ， $c_{new} = c'_n \cup c'_m$ ， $N = N - 1$ 。

3) 由式(18)更新新生成的簇 c_{new} 与其他簇 c_{other} 之间的相关性。如果合并后簇中基站数超过 K ，则令两簇之间的相关性为 0。

4) 重复执行 2)、3) 直到所有簇间的相关性为 0，

最后的合并结果即为分簇结果 \hat{C} 。

4 仿真分析

4.1 仿真条件

设协同基站群小区数量为 37, 每个小区中心分布一个基站。令小区半径 $R = 1\text{km}$, 定义小区边缘区域为半径 $0.8R$ 到 R 之间的环形区域。假设每个小区内有一个用户, 用户随机分布在小区边缘区域内。令簇规模大小为 6。

基站 j 服务的用户和基站 i 之间大尺度衰落信道参数 $a_{ij} = \sqrt{Gd_{ij}^{-a} g_{ij}}$, 其中, g_{ij} 是方差为 8dB 服从对数正态分布的的阴影衰落, d_{ij} 为基站 j 服务的用户和基站 i 之间的距离, G 为路径损耗常量, a 为路径损耗因子, 路径损耗参照 3GPP LTE 路径损耗模型^[12,13], 即 $PL_{ij}^{db} = 148.1 + 37.6\lg(d_{ij})$, a 取 3.76。

本仿真考虑小尺度衰落时, 是以大尺度衰落信道参数的基础上加入扰动的方式等价小尺度衰落。扰动范围服从均值为 0, 标准差为 ma_{ij} 的高斯分布, 即真实的信道参数 $h_{ij} = a_{ij} + ma_{ij}j$, 其中 j 为随机数, 服从均值为 0 方差为 1 的高斯分布, ma_{ij} 为小尺度衰落产生的影响。

失真信道参数同样是在无失真的 h_{ij} 基础上加入扰动, 失真的信道参数设定为 $h'_{ij} = h_{ij} + h h_{ij}$ 。

m 称为信道变化因子, h 称为信道失真因子。进行性能仿真时, 在 m 、 h 分别取 0.1、0.3、0.5 3 种不同值的情况下, 对方案性能进行对比。

4.2 仿真结果分析

首先, 验证 CSI 失真和信道快变情况下的方案性能, 设参数 m 、 h 值同时取 0.3。由本方案得出簇结构 \hat{C} , 在时间段 $\Delta T = \{t_1, t_2, \dots, t_M\}$ 中只使用 \hat{C} , 设 $M = 100$ 。计算出系统在 ΔT 时间内的平均性能增益, 以及利益树分簇方案下的系统平均性能。仿真结果如图 4 所示, 本方案性能要好于利益树分簇方案性能^[10], 当信噪比为 40dB 时性能提升可以达到 0.7bit/s/Hz/cell。这是因为当获取的 CSI 失真时, 实时的利益树分簇方案每一时刻都无法得到较佳的簇结构, 致使系统每一时刻的协同性能变差, 从而平均性能增益较低。而本方案是基于 \bar{r}_{ij} 进行的协同分簇, 降低了 CSI 失真带来的影响, 所以性能好于实时的分簇方案。

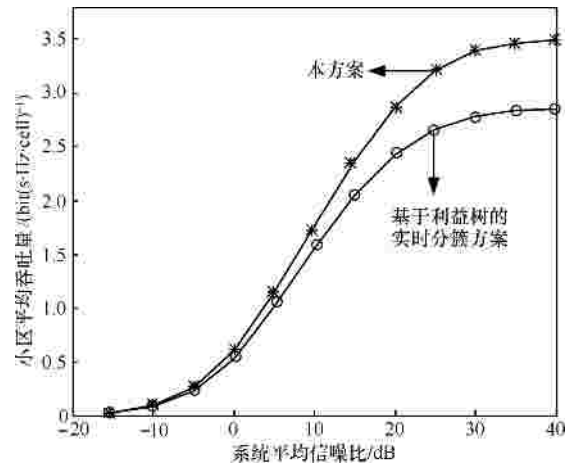


图 4 不同分簇协同方案下系统性能对比

验证在不同 CSI 失真程度及信道变化程度下本方案性能。在信道变化程度不变的情况下改变 CSI 失真程度, 即设 $m = 0.3$, h 值分别设为 0.1、0.3、0.5 时, 对比 2 种方案下系统性能的变化。仿真结果如图 5 所示, 系统使用本方案获取性能变化不大, 而利益树分簇方案随着 CSI 失真程度的增加, 性能下降最大可达到 0.3bit/s/Hz/cell。因此, 本文提出的以系统平均性能增益最大化为目标的协同分簇方案的抗 CSI 失真性能较好。由第 3 节分析可知, 对 $t'_{ij}(t_k)$ 求平均得出的 \bar{r}_{ij} 降低了 $\Delta t_{ij}(t_k)$ 的随机性对分簇产生的影响, 所以 CSI 失真程度大小对本方案系统性能影响不大。在信道失真程度不变情况下, 改变信道变化程度, 即设 $h = 0.3$, m 值设为 0.1、0.3、0.5 时, 信道变化程度对系统性能的影响如图 6 所示。可以看出信道变化程度越大, 系统协同性能越差。这是因为当信道变化越快时, 真实值 $t_{ij}(t_k)$ 和 \bar{r}_{ij} 差距越大, 以 \bar{r}_{ij} 得到的簇结构的适用性越差, 所以系统性能会随着信道变化程度的加大而降低。

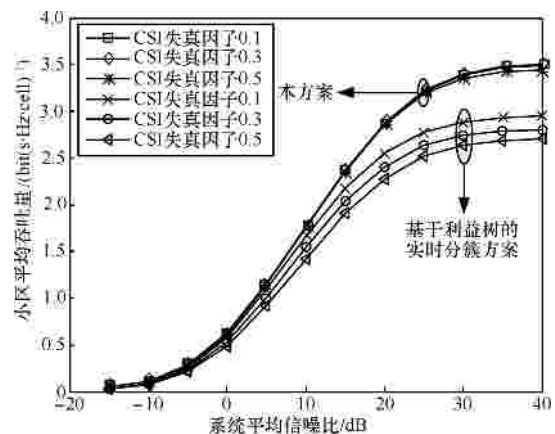


图 5 系统性能与 CSI 失真程度的关系

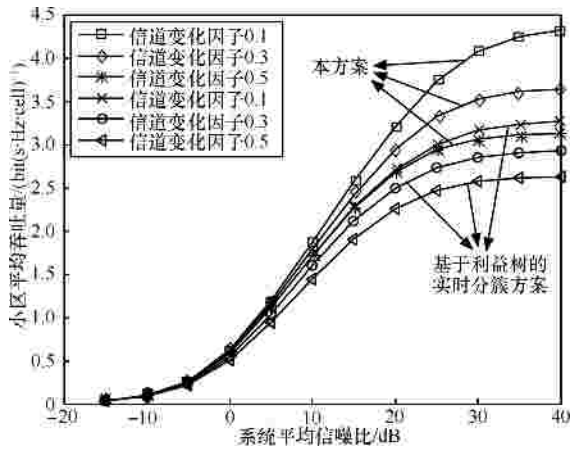


图 6 系统性能与信道变化程度的关系

在以系统平均性能增益最大化进行 \hat{C} 设计时，需要用到基站间协同的平均信干比增益 \bar{r}_{ij} ，可以通过 t_{ij} 的概率分布得到 \bar{r}_{ij} ，因此 t_{ij} 的概率分布会影响 \hat{C} 的生成。以小区 7 和小区 4 协同为例，仿真验证 t_{ij} 的概率分布与信道失真程度的关系。在信道变化程度不变的情况下，改变 CSI 失真程度，即设 $m=0.3$ ， h 值分别设为 0.1、0.3、0.5 时， t_{74} 的概率分布如图 7 所示，横轴为 t_{74} 的值域，纵轴为 t_{74} 出现的次数。从图中可以看出不同 CSI 失真因子对 t_{74} 的概率分布影响不大，即 CSI 失真程度对 t_{74} 的均值 \bar{r}_{74} 影响很小，所以本方案得到的簇结构降低了 CSI 失真带来的影响。其次仿真验证 t_{ij} 的概率分布与信道变化程度的关系，在信道失真程度不变情况下，改变信道变化程度，即设 $h=0.3$ ， m 值设为 0.1、0.3、0.5 时， t_{74} 的概率分布如图 8 所示，从图中可以看出在不同的信道变化下 t_{74} 的概率分布不同，使得不同的概率分布下得到的 \bar{r}_{74} 不同。因此信道变化程度对系统性能影响较大，进一步验证了图 6 的仿真结果。

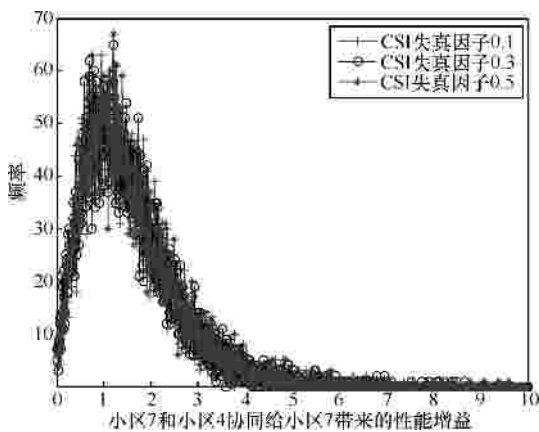


图 7 信道失真程度与 t_{74} 概率分布的关系

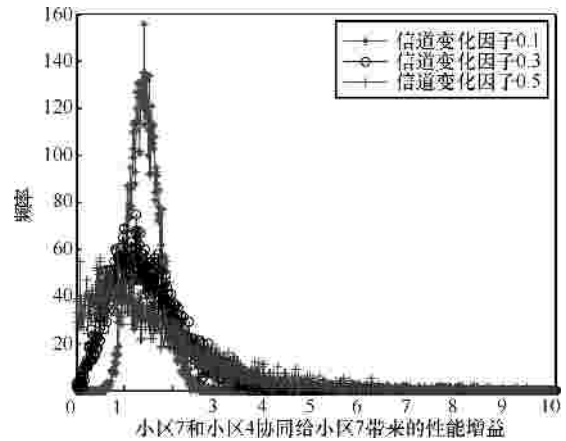


图 8 信道变化程度与 t_{74} 概率分布的关系

5 结束语

在信道快变且获取的 CSI 存在高斯失真分量的情况下，本文对基站群如何进行分簇协同才能使得系统获得最大的性能增益进行了分析研究，主要工作如下。

- 1) 在信道快变且获取的 CSI 存在失真分量的情况下，对基站群分簇存在的问题进行分析后得出，以平均性能增益最大化得出的簇结构在一段时间内保持不变，不但能够降低系统开销而且保证了系统协同性能。
- 2) 理论推导出基站间协同的信干比增益的概率分布，并从概率分布的角度得到该协同分簇方案的关键值（基站间协同的平均信干比增益）。
- 3) 以簇间合并的方式解决了以平均性能增益最大化进行簇结构生成问题。

对提出的协同分簇方案进行仿真验证，仿真结果证明在获取的 CSI 有失真的情况下本方案对系统性能的提升要好于现有利益树分簇方案，并且本方案抗 CSI 失真性能较好。该方案降低了簇结构更新频率，所以系统开销明显被降低，但信道变化较快时，簇结构的适用性变差会导致系统性能的降低。

参考文献：

[1] SHAMAI S, ZAIDEL B M. Enhancing the cellular downlink ity via co-processing at the transmitting end[A]. Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)[C]. Rhodes, Greece, 2001. 1745-1749.

[2] GESBERT D, HANLY S, HUANG H, et al. Multi-cell MIMO cooperative network: a new look at interference[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(9):1380-1408.

[3] BOCCARDI F, HUANG H. Limited downlink network coordination

in cellular networks[A]. Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)[C]. Athens, Greece, 2007. 1-5.

- [4] VENKATESAN S. Coordinating base stations for greater uplink spectral efficiency in a cellular network[A]. Proceedings of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)[C]. Athens, Greece, 2007. 1-5.
- [5] HOYDIS J, KOBAYASHI M, DEBBAH M. On the optimal number of cooperative base stations in network MIMO systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(3): 1282-1293.
- [6] NG C, HUANG H. Linear precoding in cooperative MIMO cellular networks with limited coordination clusters[J]. Selected Areas in Communications, 2010, 28(9): 1446-1454.
- [7] PAPADOGIANNIS A, GESBERT D, HARDOUIN E. A dynamic clustering approach in wireless networks with multi-cell cooperative processing[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC)[C]. Beijing, China, 2008. 4033-4037.
- [8] LIU J, WANG D. An improved dynamic clustering algorithm for multi-user distributed antenna system[A]. Proceedings of the Wireless Communications & Signal Processing (WCSP)[C]. Nanjing, China, 2009. 1-5.
- [9] ZHOU S, GONG J, NIU Z. A decentralized framework for dynamic downlink base station cooperation[A]. Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM)[C]. Honolulu, Hawaii, USA, 2009. 1-6.
- [10] 郑丽清. 协同基站群的动态分簇算法研究[D].河南: 信息工程大学, 2011.
ZHENG L Q. Research on dynamic clustering algorithm for base station cooperation[D]. Henan: Information Engineering University, 2011.
- [11] 朱华, 黄耀宁, 李永庆等. 随机信号分析[M].北京:北京理工大学出版社, 1990. 42-46.
ZHU H, HUANG Y N, LI Y Q, *et al.* Random Signal Analysis[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1990. 42-46.
- [12] 郑丽清, 黄开枝, 李坤等. 基于重叠分簇的联合预编码方案设计[J]. 电子与信息学报, 2011, 33(10): 2293-2299.
ZHENG L Q, HUANG K Z, LI K, *et al.* Joint precoding scheme based on overlapped clustering model[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 33(10): 2293-2299.
- [13] LTE-A evaluation model[EB/OL]. http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG1_RL1/TSGR1_54/Docs/R1-083024.

作者简介:



李坤 (1987-), 男, 河南商丘人, 国家数字交换系统工程技术研究中心硕士生, 主要研究方向为移动通信网络。



黄开枝 (1973-), 女, 安徽来安人, 博士, 国家数字交换系统工程技术研究中心副教授、硕士生导师, 主要研究方向为移动通信网络与异构无线网络。



吉江 (1983-), 男, 河南洛阳人, 国家数字交换系统工程技术研究中心博士生, 主要研究方向为移动通信网络、超宽带技术、物理层加密技术。



冯涛 (1988-), 男, 山东泰安人, 国家数字交换系统工程技术研究中心硕士生, 主要研究方向为移动通信网络。



靳彦青 (1983-), 女, 河南南召人, 硕士, 国家数字交换系统工程技术研究中心工程师, 主要研究方向为移动通信网络。