

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.05.010

引用格式:韩东升,袁华璐,丁莎莎,等.一种无线异构网络中的分步协作基站分簇方法[J].电讯技术,2016,56(5):531-537.[HAN Dongsheng, YUAN Hualu, DING Shasha, et al. A fractional step clustering method for wireless heterogeneous networks[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(5):531-537.]

一种无线异构网络中的分步协作基站分簇方法*

韩东升**¹,袁华璐²,丁莎莎¹,余 萍¹

(1. 华北电力大学 电子与通信工程系,河北 保定 071003;
2. 中国南方电网有限公司 超高压输电公司,广州 510620)

摘 要:为抑制小区间干扰提高系统性能,基于异构网络提出了一种分步基站分簇方法。该方法首先依据期望用户受到的除主服务基站之外的其余基站的信号干扰强度,确定待分簇基站集合;然后根据期望用户接收到待选集合中各个基站的信号强度,确定最终参与协作的基站集合。分步基站分簇方法通过缩小用户选择范围,同时综合考虑用户所在小区的信号强度和周围基站的干扰信号强度进行协作基站分簇。仿真结果表明:相对于现有功率最大法和阈值法,基于分步的基站分簇方法具有更高的用户端传输速率,更好地提升了系统性能。

关键词:异构网络;协作多点传输;分簇;分步;传输速率

中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)05-0531-07

A Fractional Step Clustering Method for Wireless Heterogeneous Networks

HAN Dongsheng¹, YUAN Hualu², DING Shasha¹, YU Ping¹

(1. School of Electronic and Communication Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2. Ultra-high Voltage Transmission Branch of China Southern Power Grid, Guangzhou 510620, China)

Abstract: In order to suppress inter-cell interference and improve system performance, a new method of fractional step base station clustering is proposed for heterogeneous networks. This method firstly determines the collection for clustering base station according to the signal interference to the desired user from the base stations except the main service stations. Then, according to the signal intensity of each base station in the collection of the desired user received, it determines the final participate collection of the collaborative base station. By reducing the user's selection range, the fractional step clustering method considers the signal intensity and the interference signal intensity in cooperative base station clustering. Compared with the existing power maximum method and the threshold method, the fractional clustering method has a higher user transmission rate and better improves the system performance.

Key words: heterogeneous network; coordinated multi-point transmission; clustering; fractional step method; transmission rate

* 收稿日期:2015-09-01;修回日期:2015-12-15 Received date:2015-09-01;Revised date:2015-12-15
基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(61302106);河北省自然科学基金资助项目(F2014502029);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2016MS98);基于无线 MESH 的高压输电线路监测数据通信传输系统研究与应用(CGY01XT0303140411)

Foundation Item: The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China(No.61302106);The Natural Science Foundation of Hebei Province(F2014502029);Fundamental Research Funds for the Central Universities(2016MS98);Research on Monitoring Communication System for High Voltage Transmission Lines Based on Mesh(CGY01XT0303140411)

** 通信作者:handongsheng@ncepu.edu.cn Corresponding author:handongsheng@ncepu.edu.cn

1 引 言

异构网络 (Heterogeneous Network, HN) 和协作多点 (Coordinated Multiple Points, CoMP) 传输技术能明显改善小区边缘用户的吞吐量。异构网是一种分层的网络结构^[1]。CoMP 把分散在不同地理位置的传输点,通过光纤连接来进行多小区信号的协同传输和接收^[2]。多个站点协作需要共享和反馈大量的用户数据信息、信道状态信息,这会造成 X2 接口开销过大。基站分簇是一种实现多站点协作传输的有效方法。

目前,静态基站分簇主要是基于地理位置的远近和所承载的业务类型的相似程度进行分簇,在网络规划初期完成协作簇的规模划定,这种分簇方法简单,但是实时性差^[3-6]。动态分簇方法^[7-10]通过用户端反馈信道状态信息 (Channel State Information, CSI) 到基站控制器来进行协作分析,选择 CSI 好的基站进行协作,这种分簇方法实时性好,但是计算量大。文献[11]中提出了一种距离最近的基站分簇方案,是在基站类型相同的同构网络结构下分析的,而同构组网形式不能很好地适应目前异构网的分层结构,同时该方案中没有考虑干扰基站对形成的簇结构的影响。文献[12]通过设置路径损耗门限值来进行协作基站的选择,但是路径损耗并不能完整反映传输环境对接收端信号强度的影响,在信号传输过程中,大尺度衰落和小尺度衰落会共同影响接收端信号强度。基于对现有分簇方法特点的分析,考虑到同构组网分簇模型的局限性和传输环境的影响,本文在异构网络的组网结构下,同时考虑无线环境中大尺度衰落和小尺度衰落对接收端信号强度的影响,提出了分步协作基站分簇方法。该方法以最大化接收端传输速率为目标,通过分步选择得到最终的协作基站集合;同时考虑了相邻基站的信号强度以及周围干扰信号强度,并且缩小了用户选择的范围。仿真结果表明该方法优于现有距离最近法^[12]和阈值法中的基站分簇方法。

2 系统模型

考虑一个无线异构网络系统,系统中每个宏基站形成一个小小区,系统中共有 B 个宏基站。每个小小区的边缘和热点区域有多个随机分布的微小区,用户随机分布在某个微小区中^[1]。图 1 为系统下行传输的场景。

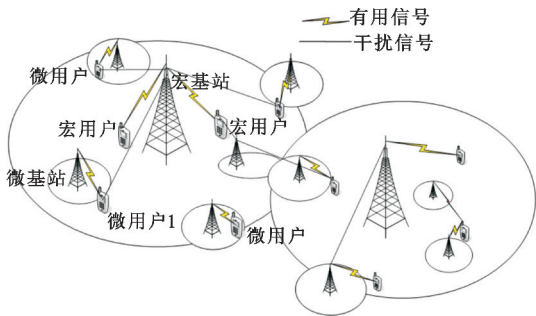


图 1 传输场景示意图
Fig. 1 Transmission scenario

在图 1 所示的传输场景中,微用户 1 不仅接收到所在微基站发送信号,还受到宏基站的干扰。现考虑一个下行异构多基站场景:假设在小区 m 中心有一宏基站 m ,覆盖区域是半径 R 的圆形区域,该宏基站的发送信号功率为 P_M ,在该小区随机分布 L 个微基站,第 m 小区中第 i 个微基站记为 L_{mi} ,微基站的发送信号功率记 P_N ,这些微基站覆盖半径为 r_{pico} 。在小区 m 中随机分布 K 个用户,小区 m 中第 i 个微小区的边缘用户 j 记为 K_{mij} 。宏基站有 M_T 根发送天线,微基站配备 M_F 根天线,用户有 M_R 根接收天线。基站通过无线广播信道向用户传输信息,那么,用户 K_{mij} 接收信号强度为

$$\begin{aligned} P_{mij} = & \underbrace{P_N \cdot (h_{mij}^N) \cdot (w_{mij}^N) \cdot s_{mij}^N}_{\text{所在微小区有用信号}} + \\ & \underbrace{P_M \cdot (H_{mij}^M) \cdot (w_{mij}^M) \cdot s_{mij}^M}_{\text{所在小区的宏基站干扰信号}} + \\ & \underbrace{P_N \cdot \sum_{L=1, L \neq i}^L (h_{Lj}^L) \cdot (w_{Lj}^L) \cdot s_{Lj}^L}_{\text{所在小区微基站干扰信号}} + \\ & \underbrace{P_M \cdot \sum_{M=1, M \neq m}^M (H_{Mij}^M) \cdot (w_{Mij}^M) \cdot s_{Mij}^M}_{\text{小区间的宏基干扰信号}} + \\ & \underbrace{P_N \cdot \sum_{M=1, M \neq m}^M \sum_{L=1, L \neq i}^L (h_{MLj}^{ML}) \cdot (w_{MLj}^{ML}) \cdot s_{MLj}^{ML}}_{\text{小区间的微基站干扰信号}} + \underbrace{N_{mij}}_{\text{加性噪声}} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $H_{mij}^M \in \mathbb{R}^{M_T \times M_R}$ 表示处于小区 m 中的宏基站和用户之间的信道矩阵; $w_{mij}^M \in \mathbb{R}^{M_T \times M_R}$ 表示针对用户 K_{mij} 设计的预编码矩阵; s_{mij}^M 表示处于小区 m 中的宏基站向用户发送的信号, $E[\|s_{mij}^M\|^2] = 1$; $h_{mij}^N \in \mathbb{R}^{M_F \times M_R}$ 表示处于微基站 L_{mi} 与用户之间传输数据的信道矩阵; w_{mij}^N 表示针对用户 K_{mij} 设计的预编码矩阵; s_{mij}^N 表示微基站 L_{mi} 向用户发送的数据流; $h_{Lj}^L \in \mathbb{R}^{M_F \times M_R}$ 表示用户接收到该小区 m 中的非 L_{mi} 微基站发送数据的信道矩阵; w_{Lj}^L 表示针对用户设计的预编

码矩阵; $\mathbf{s}_{L_j}^L$ 表示向用户发送的数据流; $\mathbf{H}_{Mij} \in \mathbb{R}^{M \times M_R}$ 表示用户接收非小区 m 中的宏基站发送信息的信道矩阵; $\mathbf{w}_{Mij}$ 表示预编码矩阵; $\mathbf{s}_{Mij}$ 表示向用户发送的数据流; $\mathbf{h}_{MLj}^M \in \mathbb{R}^{M \times M_R}$ 表示用户接收到非 m 小区的微基站发送数据的信道矩阵; $\mathbf{w}_{MLj}^M$ 表示预编码矩阵; $\mathbf{s}_{MLj}^M$ 表示基站向用户发送的数据流; N_{mij} 为信号传输过程中均值为 0、方差为 1 的高斯白噪声。

所以,用户 K_{mij} 接收信号的信干噪比(Signal Interference Noise Ratio, SINR)为

$$S_{mij} = P_N \cdot \|\mathbf{h}_{mij}^N \cdot \mathbf{w}_{mij}^N\|^2 \cdot [P_M \cdot (\|\mathbf{H}_{mij}^M \cdot \mathbf{w}_{mij}^M\|^2 + \sum_{M=1, M \neq m}^M \|\mathbf{H}_{Mij} \cdot \mathbf{w}_{Mij}\|^2) + P_N \cdot \sum_{M=1, M \neq m}^M \sum_{L=1, L \neq i}^L \|\mathbf{h}_{MLj}^M \cdot \mathbf{w}_{MLj}^M\|^2 + N_{mij}]^{-1} \quad (2)$$

由式(2)可得边缘用户 K_{mij} 的信号接收速率为

$$R_{mij} = B \cdot \ln(1 + S_{mij}) = B \cdot \ln(1 + \frac{P_N \cdot \|\mathbf{h}_{mij}^N \cdot \mathbf{w}_{mij}^N\|^2}{P_{hr} + P_{wr} + N_{mij}}) \quad (3)$$

式中:

$$P_{hr} = P_M \cdot (\|\mathbf{H}_{mij}^M \cdot \mathbf{w}_{mij}^M\|^2 + \sum_{M=1, M \neq m}^M \|\mathbf{H}_{Mij} \cdot \mathbf{w}_{Mij}\|^2); \quad (4)$$

$$P_{wr} = P_N \cdot \sum_{M=1, M \neq m}^M \sum_{L=1, L \neq i}^L \|\mathbf{h}_{MLj}^M \cdot \mathbf{w}_{MLj}^M\|^2 \quad (5)$$

分析式(3),提高边缘用户的信号速率可以增加带宽 B ,或者提高接收端信噪比(Signal-to-Noise Ratio, SNR)。但是频率资源十分匮乏,一般都是通过提高接收端信干噪比来提升传输速率。多基站协作传输就是通过把干扰基站变为可以协作的基站传输有用信号,进而多个基站共同为用户端传输有效信号,提高接收端信号的有效功率,同时降低干扰来实现传输速率的提升。这说明系统中除主基站之外的基站信号强度和产生的干扰大小都会影响接收端传输速率。基于以上分析,本文提出一种分步的基站分簇方法。

3 分步协作基站分簇方法

协作分簇是根据预先设置的分簇方法,找到满足条件的基站进行协作,分析式(2)和式(3),协作后用户 K_{mij} 的协作数据速率 R_{c-p} 为

$$R_{c-p} = B \cdot \ln(1 + \frac{P_{mij} + P_X}{P_{Rmij} - P_X + P_Z}) \quad (6)$$

式中: P_{mij} 表示用户 K_{mij} 接收到的有效信号强度; P_{Rmij}

表示用户 K_{mij} 受到非协作簇外的基站产生的干扰信号强度功率; P_X 表示得到的协作基站的信号强度; P_Z 表示用户接收到噪声功率。

令期望用户所处小区的基站 L_{mi} 作为其主要服务基站。分步协作基站分簇方法是通过确定协作集合的方式,找到可以协作的 A 个基站,这 A 个满足分簇方法的基站和用户的主服务基站共同为用户传输数据。图 2 所示为协作分簇的传输模型。

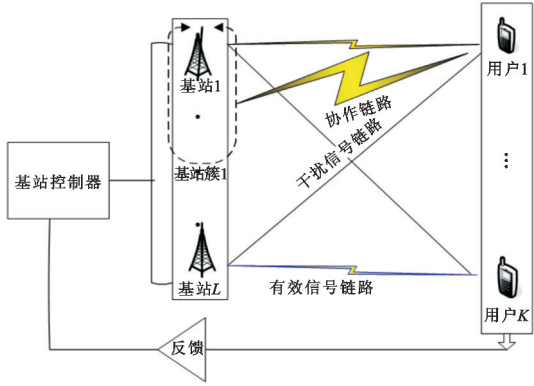


图 2 基站分簇传输过程
Fig. 2 The base station clustering transfer process

假设用户 1 的主基站为基站 1。在图 2 中,最窄折线链路为服务基站的有效信号传输链路,直线链路为其余基站的干扰信号链路。协作传输过程中,用户端需反馈信道状态信息到基站控制器,基站控制器根据协作方法通知相应的基站进行协作,虚线框中表示基站簇 1,里面的基站共同为用户传输有效信号。在本文中进行微站的协作基站分簇,所以,在图 2 中用户端反馈信息所到的基站控制器为宏站中结构单元,宏站通过毫米波技术^[13]与微站之间进行协作信令的传输,通知相应的微站协作为用户服务。在协作基站选择过程中,用集合 B^L 表示小区内所有微基站集合;用 B_{1c-p} 表示待选协作基站集合, B_{c-p} 表示最终协作基站集合。初始状态, $B^L = \{1, 2, \dots, L\}$, $B_{c-p} = B_{1c-p} = \emptyset$ 。分步协作基站分簇步骤如下:

第一步 分析用户 K_{mij} 的主服务基站 L_{mi} 和其余基站分别进行协作得到协作簇后,非簇中基站对协作簇的干扰情况,选出干扰值最小的基站集合,并将基站编号存入待选协作基站集合 B_{1c-p} 。

(1)考虑到用户 K_{mij} 的主基站 L_{mi} 以广播形式发送数据,为消除多用户干扰,信号首先在基站端进行预编码。因此,主基站发送信号形式为

$$s=s_{mij} \cdot w_{mij} \cdot h_{mij}+s_1 \cdot w_1 \cdot h_{mij}+\cdots,+s_{K-1} \cdot w_{(K-1)} \cdot h_{mij} \circ \tag{7}$$

式(7)表示了微基站 L_{mi} 向小区中其他用户发送的数据信号也经过信道 h_{mij} 到达用户 K_{mij} 。其中： $s_{mij}, s_1, \cdots, s_{(K-1)}$ 分别表示用户 $j, 1, \cdots, K-1$ 的请求数据流； $w_{mij}, w_1, \cdots, w_{(K-1)}$ 表示相应用户 $j, 1, \cdots, K-1$ 的预编码矩阵。

本文用信干噪比表示用户的主服务基站和每个非主服务基站协作形成的协作簇受到的干扰大小，因此用户的主服务基站和每个非主服务基站进行协作传输时，期望用户受到的信干噪比集合为

$$G_{g-r}=\{G_{g-r_1}, G_{g-r_2}, \cdots, G_{g-r_p}, \cdots, G_{g-r_{L-1}}\} \circ \tag{8}$$

式中：

$$G_{g-r_p}=\frac{P_N \cdot \|H_{mij} \cdot W_{mij}+H_{mij} \cdot W_{mpj}\|^2}{\sum_{v=1, v \neq L_{mi}, v \neq p}^L P_N \cdot \|H_{mij}\|^2} ; \tag{9}$$

p 表示非 L_{mi} 基站； H_{mij} 表示用户终端接收主服务基站 L_{mi} 发送信息的信道矩阵； L_{mv} 表示除主服务基站 L_{mi} 以及非主服务基站 L_{mp} 以外的第 v 个微基站； W_{mij} 表示针对用户终端 K_{mij} 设计的预编码矩阵； W_{mpj} 表示针对用户终端 K_{mpj} 设计的预编码矩阵； H_{mij} 表示基站 L_{mv} 和用户终端 K_{mij} 之间的信道矩阵。式(9)表示除去主服务基站之外的每个基站和主基站协作时受到的剩余基站的干扰情况。

(2)对计算得到的信干噪比大小进行排序，得出由大到小排列的干扰集合：

$$G_{p-x}=\{G_{g-r_{e_1}}, \cdots, G_{g-r_{e_{L-1}}}\}, \tag{10}$$

相应的基站编号集合：

$$B_{b-h}=\{e_1, e_2, \cdots, e_{L-1}\} \circ \tag{11}$$

此时，从集合 G_{g-r} 中选出信干噪比较大的 e_c 个基站，并将它们的编号存入集合 B_{1-c-p} ，得待选集合。

此时待选基站集和为

$$B_{1-c-p}=\{e_1, \cdots, e_c\} \text{ 且 } 1 \leq A < e_c < L_o. \tag{12}$$

第二步 分析用户 K_{mij} 接收到待选基站集合 B_{1-c-p} 中的基站信号强度大小，最终选出 A 个可以协作的基站，并将编号存入最终协作集合 B_{c-p} 。

(1)由于无线传输环境复杂，大尺度衰落和小尺度衰落都会造成基站发送信号强度发生衰减。因此，考虑衰落对期望用户接收信号强度的影响，计算期望用户接收到来自初始待选集合 B_{1-c-p} 中的发送信号强度，并将强度值存入集合 p_{q-d} ，那么，

$$P_{q-d}=\{P_{q-d_1}, \cdots, P_{q-d_p}, \cdots, P_{q-d_{e_c}}\} \circ \tag{13}$$

计算得

$$P_{q-d_p}=P_N \cdot \left\| \sum_{p=1, p \neq i}^{e_c} W_{mpj} \cdot H_{mpj} \right\|^2 \circ \tag{14}$$

式中： p_{q-d_p} 表示用户终端 K_{mij} 接收到非主服务基站 L_{mp} 的信号强度； e_c 表示得到的待选基站集合中待选基站的个数； W_{mpj} 表示针对用户 K_{mpj} 设计的预编码矩阵； H_{mpj} 表示基站 L_{mp} 和用户终端 K_{mij} 之间的信道矩阵。

(2)对得到的信号强度进行排序，得出由大到小排列的信号强度集合：

$$P_{p-x}=\{P_{q-d_{j_1}}, P_{q-d_{j_2}}, \cdots, P_{q-d_{j_{e_c}}}\} \circ \tag{15}$$

相应的基站编号为

$$B_{q-h}=\{f_1, f_2, \cdots, f_{e_c}\} \circ \tag{16}$$

从集合 B_{q-h} 中选出 A 个信号强度最大的基站存入集合 B_{c-p} ，那么，最终得出的有 A 个基站的可以参与协作的基站集合：

$$B_{c-p}=\{f_1, f_2, \cdots, f_A\} \circ \tag{17}$$

由式(6)可得协作后的接收端信干噪比为

$$S_{cp}=[P_{mij}+(P_{f_1}+\cdots+P_{f_A})] \cdot [P_N \cdot (\|h_{mij} \cdot w_{mij}\|^2+\cdots+\|h_{mij} \cdot w_{m_{lj}}\|^2+\cdots+\|h_{mij} \cdot w_{m_{(L-1)j}}\|^2)-(P_{f_1}+\cdots+P_{f_A})+\alpha^2]^{-1} \circ \tag{18}$$

本文提出的分步基站分簇方法是通过缩小用户的选择范围，令用户在缩小范围后的集合中选择最终的协作基站，而在已有的基于全局的基站分簇方法中，需要用户实时在系统中，进行协作基站选择，计算复杂度高，并且实时的计算复杂度较高，而相比于基于全局的协作基站分簇方法，本文方法具有更低的复杂度。用户首先根据长期 CSI 确定待选集合范围后，在较长的时间内，只要在待选集合中选择最终的协作基站即可。

4 仿真分析

假设宏基站处于坐标系 $(0,0)$ 位置，覆盖半径为600 m的圆形区域，微基站随机分布在该小区的边缘区域，形成多个微小区，用户随机分布在微小区中。根据 3GPP 关于异构网络部署和规范^[14-15]，设置仿真参数如表 1 所示。在表 1 中， d_h 为宏基站和用户之间的距离，单位 km； d_w 为微基站和用户之

间的距离,单位 km。

表 1 仿真参数设置
Tab.1 Simulation parameter settings

参数	数值
宏站发送给功率/dBm	46
微站发送功率/dBm	30
用户天线数/根	1
宏站到用户的路径损耗/dB	$128.1+37.6\lg d_h$
微站到用户的路径损耗/dB	$140.7+36.7\lg d_w$
带宽/(b · s ⁻¹)	1
宏站个数(小区数)	1
宏站覆盖半径/m	600
微站覆盖半径/m	30 ~ 300
阈值	$\gamma_{yz} = \frac{P_{ur}+P_{hr}}{L} + P_N \cdot \ \mathbf{h}_{mij}^N \cdot \mathbf{w}_{mij}^N \ ^2$

在 MATLAB 仿真平台进行仿真验证。不失一般性,设置 $A=2$,即找到除主服务基站之外的两个基站进行基站分簇为边缘用户共同传输数据。对协作后接收端传输速率 R_{c-p} 随信噪比变化情况进行性能分析,如图 3 所示。

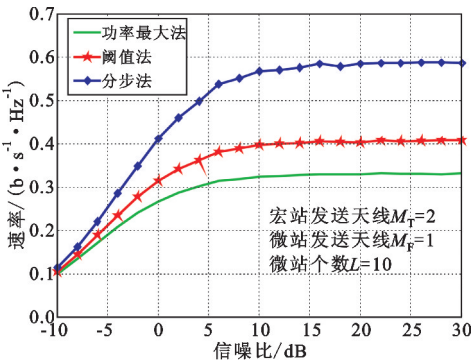


图 3 不同分簇方法下的传输速率变化曲线
Fig.3 The transmission rate curve under different clustering methods

图 3 是设置宏基站发送天线数 $M_T=2$ 、微基站天线数 $M_F=1$ 、微基站个数 $L=10$ 时,比较现有接收功率最大法、阈值法和本文提出的分步法得出的接收端协作传输速率的变化曲线。从图 3 的曲线变化可以看出本文提出的分步法得到的接收端传输速率较高。现有接收功率最大法是用户的主服务基站和接收到相邻基站中信号强度最大的基站之间协作,但是没考虑周围基站的干扰影响。阈值法是通过设置接收信号强度阈值来选择高于该阈值的基站进行协作,当从 L 个微基站中选出的可以协作的基站时,选择出的满足条件的基站协作后传输速率小于分步法得到的协作传输速率,这是由于阈值法选择出的

基站个数对接收端传输速率造成的影响,因此也使得阈值法和功率最大法得到的接收端协作传输速率较小。由图 3 的仿真曲线的变化趋势可以看出:当信噪比为 15 dB 左右时,本文方法的 R_{c-p} 基本达到最大,以后的变化趋于稳定变化,即使再提高信噪比,接收端传输速率也不会有明显变化;而另两种方法是在信噪比为 10 dB 时 R_{c-p} 达到最大,以后趋于稳定变化。本文方法得到的协作传输速率最大值约为 $0.58 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$,其余两种方法得到的 R_{c-p} 大约为 $0.4 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 和 $0.32 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$,虽然协作传输速率较早趋于稳定,但最大协作传输速率 R_{c-p} 都小于 $0.58 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 。所以,由图 3 可以得出在信噪比小于 15 dB 时,分步法得到的传输速率随着信噪比的提高会显著增加。

目前,采用多天线传输技术能显著提升信道容量。图 4 中描述了基站天线数改变后 3 种方法对应的传输速率变化情况。

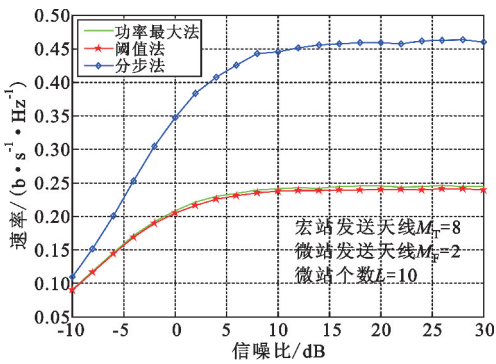


图 4 改变发送天线数后传输速率变化曲线
Fig.4 The transmission rate curve in different transmitting antenna numbers

图 4 中表示的是当基站多天线发送,即宏基站发送天线数 $M_T=8$ 、微基站发送天线数 $M_F=2$ 时,得到不同分簇方法下的接收端传输速率变化曲线。从图 4 中曲线变化趋势可以得出分步法得到的协作传输速率最大,系统性能最好。比较图 3 中传输速率变化情况,在该设置场景下,3 种方法得出的 R_{c-p} 达到最大并趋于稳定变化时的信噪比与图 3 中的变化趋势相同,其信噪比分别为 10 dB 和 15 dB 时 R_{c-p} 有最大值并在以后趋于稳定变化。但是,在相同信噪比值下,3 种方法对应的 R_{c-p} 都小于图 3 中对应的协作速率,其中分步法中最大协作传输速率 R_{c-p} 约为 $0.46 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$;最大功率法和阈值法得到的 R_{c-p} 约为 $0.24 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$ 和 $0.23 \text{ b} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$,并且后两种方法得到的协作传输速率曲线之间的差距

变小。比较图 3 中的情况,传输速率都变小主要是由于天线数增多,每根天线等功率发送后,非协作集合中的基站发送的干扰信号功率增加,并且增加的总和大于有效信号功率增加总和,使得信干噪比 S_{cp} 降低,接收端协作速率 R_{c-p} 变小。由图 3 和图 4 可以得出以下结论:基站端发送天线的个数影响协作后传输速率,并且随着天线数增多, R_{c-p} 变小。

基站个数会影响最终选择的可以协作的基站情况。图 5 是通过改变系统中基站个数得到的 3 种方法对应的传输速率变化情况。

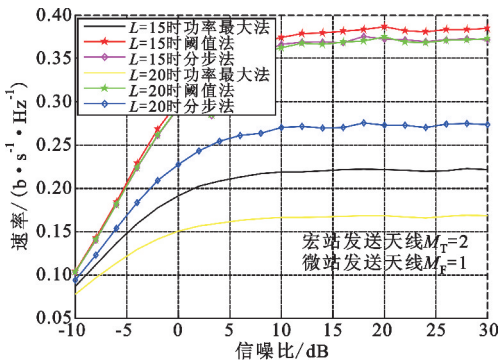


图 5 改变基站数后的传输速率变化曲线
Fig. 5 The transmission rate curve in different numbers of base stations

图 5 是在宏基站发送天线数 $M_T=2$ 、微基站发送天线数 $M_F=1$ 时,系统中基站个数分别为 $L=15$ 和 $L=20$ 时 3 种分簇方法对应的协作传输速率变化曲线。从图 5 中可以看出: $L=15, e_c=5$ 时,得到的协作传输速率 R_{c-p} 最大;但是当 L 增加,待选基站个数 e_c 增加时,协作速率降低。这是由于基站个数增加,在选择出可以协作的基站 A 后,剩余基站产生的干扰增加,致使信干噪比 S_{cp} 减小,所以协作速率降低。阈值法速率曲线位于 $L=15$ 和 $L=20$ 时的分步法速率曲线之间,并且阈值法得到的协作速率值也是随着 L 的增加而减小的,同时说明阈值法在基站个数较多时比分步法有优势。从曲线的变化趋势可以看出当信噪比大于等于 10 dB 时 3 种方法的协作传输速率 R_{c-p} 逐渐趋于稳定。由图 3 和图 5 可知:系统中的基站个数影响协作后传输速率的大小;并且当系统中基站的个数较少时,本文提出的方法性能比较好。

由于基站个数会影响接收端传输速率,分步法需要进行两次协作基站的选择,所以,图 6 分析待选集合 B_{1-c-p} 中基站个数 e_c 的值改变后对协作传输速率的影响。

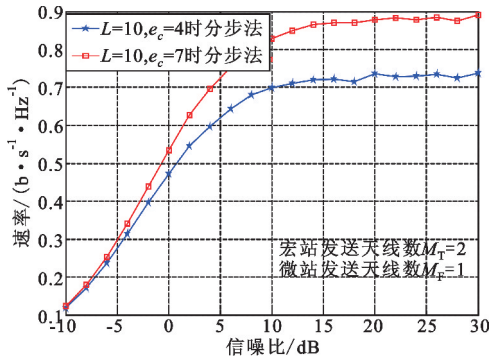


图 6 改变待选基站个数后传输速率变化
Fig. 6 The transmission rate after changing the number of e_c

图 6 是在系统中基站个数 $L=10$ 时,改变待选集合中基站个数 e_c 后得到的协作传输速率变化曲线。从仿真曲线中可以看出待选集合中基站个数 $e_c=7$ 时的速率曲线高于 $e_c=4$ 时的速率曲线。这是由于待选集合中基站个数越多,可以选择的机会越大,那么能够选择的满足条件的可协作基站概率变大。由此可见待选集合的大小影响选择出的可协作基站的协作传输速率。

5 结束语

协作传输技术能改善小区间干扰,提高小区边缘用户的传输速率。分步法以目标边缘用户为研究对象,以最大化接收端传输速率为目标,综合考虑主服务基站和其余基站的信号强度以及干扰大小。仿真结果表明:随着基站的发送天线个数增加,非协作簇中的干扰信号功率增加,使得接收端传输速率是降低的;而当系统中待选协作基站个数较少时,分步法获得的用户端传输速率高于现有方法,有较好的系统性能,因此,在实际中基站较少时进行基站协作具有一定的指导意义。本文是基于信号强度进行分步分簇的,但是对于簇之间重叠的情况需要进一步研究。

参考文献:

[1] DHILLON H S, GANTI R K, BACCELLI F, et al. Modeling and analysis of k-tier downlink heterogeneous cellular networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30(3): 550-560.

[2] DEGHANI M, ARSHAD K, MACKENZIE R. LTE-advanced radio access enhancements: a survey[J]. Wireless Personal and Communications, 2015, 80(3): 891-921.

[3] 姜伟. LTE-A 中协作多点传输的方案研究[J]. 微型机与应用, 2014, 33(2): 55-59.

- JIANG Wei. Research of CoMP clustering scheme in LTE-A[J]. Microcomputer & Its Applications, 2014, 33(2): 55-59. (in Chinese)
- [4] 赵培,周胜,高鹏. 小区分簇方法在 3G 网络规划与优化中的应用[J]. 邮电设计技术, 2009(9): 6-10.
ZHAO Pei, ZHOU Sheng, GAO Peng. Methods on defining cell clusters and its application to 3G network planning and optimization[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2009(9): 6-10. (in Chinese)
- [5] BOCCAEDI F, HUANG H. Limited downlink network coordination in cellular networks [C]//Proceedings of 2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens: IEEE, 2007: 1-5.
- [6] VENKATESAN S. Coordinating base stations for greater uplink spectral efficiency in a cellular network [C] // Proceedings of 2007 IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Athens: IEEE, 2007: 1-5.
- [7] PAPADOGIANNIS A, GESBERT D, HARDOUIN E. A dynamic clustering approach in wireless networks with multi-cell cooperative processing [C]// Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Communications. Beijing: IEEE, 2008: 4033-4037.
- [8] LIU J X, WANG D M. An improved dynamic clustering algorithm for multi-user distributed antenna system [C]//Proceedings of 2009 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing. Nanjing: IEEE, 2009: 1-5.
- [9] ZHOU S, GONG J, NIU Z A. Decentralized framework for dynamic downlink base station cooperation [C]// Proceedings of 2009 IEEE Globak Telecommunications Conference. Honolulu, HI: IEEE, 2009: 1-6.
- [10] 黄开枝,郑丽清,李坤,等. 基于协同度的基站群利益树动态分簇算法[J]. 电子与信息学报, 2012, 34(6): 1469-1475.
HUANG Kaizhi, ZHENG Liqing, LI Kun, et al. Benefit-tree dynamic clustering algorithm based on degree of wiliness to cooperate for base station cooperation [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2012, 34(6): 1469-147. (in Chinese)
- [11] NG C T K, HUANG H. Linear precoding in cooperative MIMO cellular networks with limited coordination clusters[J]. IEEE Journal on Selected Areas in communications, 2010, 28(9): 1446-1454.
- [12] 肖海林,王鹏,聂在平,等. 基于遗传算法的多基站协作通信功率分配方案[J]. 电子科技大学学报, 2014, 43(1): 26-41.
XIAO Hailin, WANG Peng, NIE Zaiping, et al. Power allocation scheme based on genetic algorithm for multi-base station cooperative communication [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2014, 43(1): 26-41. (in Chinese)
- [13] DEB S, MONOGIoudis P, MIERNIK J, et al. Algorithms for enhanced inter-cell interference coordination in LTE hetnets [J]. IEEE ACM Transactions on Networks, 2014, 22(1): 137-150.
- [14] 3GPP Std. TS36. 300, Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (E-UTRAN): overall description [S].
- [15] 3GPP Std. TR36. 814, Further advancements for E-UTRA: physical layer aspects [S].

作者简介:



韩东升(1980—),男,黑龙江人,2012 年于北京交通大学获博士学位,现为华北电力大学电子与通信工程系副教授,主要研究方向为无线通信新技术;

HAN Dongsheng was born in Heilongjiang Province, in 1980. He received the Ph. D. degree from Beijing Jiaotong University in 2012. He is now an associate professor. His research concerns the new technology for wireless communication.

Email: handongsheng@ncepu.edu.cn

袁华璐(1980—),男,山东烟台人,2003 于华北电力大学获学士学位,主要研究方向为电力通信系统;

YUAN Hualu was born in Yantai, Shandong Province, in 1980. He received the B. S. degree from North China Electric Power University in 2003. His research concerns electric power communication system.

丁莎莎(1989—)女,河北衡水人,硕士研究生,主要研究方向为异构无线网络通信;

DING Shasha was born in Hengshui, Hebei Province, in 1989. She is now a graduate student. Her research concerns the heterogeneous wireless network communication.

Email: dss12158@163.com

余萍(1963—)女,浙江人,副教授,主要研究方向为无线通信、信息处理。

YU Ping was born in Zhejiang Province, in 1963. She is now an associate professor. Her research concerns wireless communication and information processing.