

# 基于路径损耗的无线异构网络 多用户基站分簇方法

余萍 杨俊\* 韩东升

(华北电力大学电子与通信工程系, 保定 071003)

**摘要** 在异构网络组网形式下,为了降低小区间干扰对边缘用户的影响,提高系统容量,对基站进行分簇研究。在多用户下的情况,以最大化边缘用户的和速率为目标,通过设置路径损耗门限来选择为用户进行协作通信的基站。分析对比了不同分簇方式下的用户平均速率情况,并且通过观察不同的门限值对应的速率变化情况,合理的选择门限值。仿真结果表明,该方法在一定程度上能够有效提高数据传输速率,当信噪比为 18 dB 时,路径损耗门限法在系统的平均传输速率方面较阈值法提升了 1.02 bit/s,即用户的平均数据速率获得了 17% 的提升。

**关键词** 异构网络 基站协作 分簇 路径损耗门限 传输速率

**中图分类号** TN929.5; **文献标志码** A

异构网络(heterogeneous network, HetNet)改变了传统网络的拓扑结构,在传统宏小区之上,以层叠覆盖的形式加入大量的低功率节点(low power node, LPN),如微基站(Pico)、家庭基站(Femto)等,形成分层的异构网络组网形式,缩短了用户与基站之间的距离,减少了覆盖盲区,能够为系统提供更高的数据传输速率,降低网络成本,实现了移动网络覆盖和容量的双重提升,是 LTE-A 中的一项重要技术<sup>[1]</sup>。本文主要研究的低功率节点为微基站。

多基站协作通信可以有效抑制边缘用户的小区间干扰,各协作基站之间通过高速的光纤互联来实现大量的信息交互<sup>[2]</sup>。为此,在 LTE-A 系统中通过应用 CoMP 传输技术,来协作分布在不同地理位置的站点共同为边缘用户传输数据。但当系统规模比较大时,为避免超负荷的信息量,一般对可协同的基站群进行分簇,令簇内的基站采用协同处理技术<sup>[3]</sup>。目前,协作基站分簇方法主要有静态分簇和动态分簇。静态基站分簇方法是在网络规划初期进行基站簇的划分,根据地理分布位置相邻的基站划分为一簇,其分簇方式简单,容易实现。但是其簇结构固定,小区间干扰得不到最大消除,系统的实时性

较差。针对以上问题提出了动态分簇算法<sup>[4-6]</sup>,用户将实时的信道状态信息(CSI)反馈给基站控制端进行分析,动态的选择 CSI 好的基站去参与协作,形成协作基站簇。但是,随着异构网络的发展,其组网结构不断向分层结构发展,其在异构网中的适应程度和效率仍有待研究。文献[7]在异构组网场景下,通过设定阈值,以最大化接收端的传输速率为目标,考虑用户接收功率大小和其他基站对该用户的平均干扰情况进行分簇。但是对于存在多用户移动情况下的协作基站分簇方法还需要进一步研究。文献[8]提出了一种近邻传播分簇法,用接收功率的大小来表示距离的远近,对于任意基站,与超过一定地理区域外的基站之间的协作可以忽略。但是,实际信号的传输过程会受到环境因素和各种噪声的影响,距离最近的用户接受信号质量可能不是最佳的,因此需要考虑信道的影响和其他发送信号的干扰。针对以上问题,在异构的组网模式下,本文借助路径损耗对基站进行分簇,把基站分簇问题转化为最大化接收端的数据传输速率问题,通过设置路径损耗门限为各用户判决与其通信的协作基站,形成协作基站分簇。

## 1 系统模型的建立

本文讨论的异构网络场景为:考虑异构网络下行系统,系统中有  $B$  个宏基站,一个宏基站形成一个小小区。每个小区的边缘随机分布着  $L$  个微小区,有  $K$  个用户随机分布在微小区中,如图 1 所示。

在图 1 的传输场景中,微基站服务下的用户 Pico user1 不仅接收到微基站 Pico BS1 发射的有用信

2016 年 1 月 19 日收到

国家自然科学基金(61302106)、

河北省自然科学基金(F2014502029)、

中央高校基本科研业务费专项资金(2014MS100)资助

第一作者简介:余萍(1963—),副教授,硕士生导师。研究方向:图像图形处理与识别。E-mail:well\_yp@sina.com。

\* 通信作者简介:杨俊(1989—),硕士研究生。研究方向:异构无线通信。E-mail:amource007@163.com。

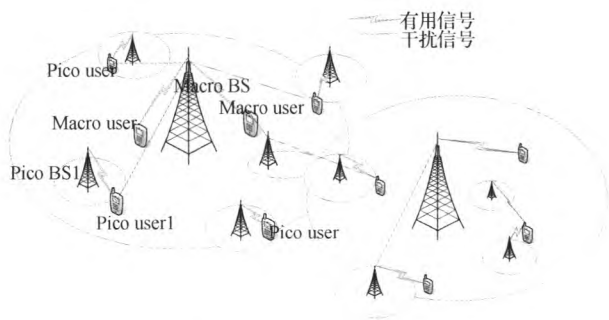


图1 异构网络多小区下行传输系统

Fig. 1 Multi cell downlink transmission system in heterogeneous networks

号,还接收到收到宏基站 Macro BS 的干扰信号以及多用户之间的信息干扰<sup>[9]</sup>。假设宏基站的发射功率为  $P_M$ ,每个宏基站有  $M$  根发送天线,微基站的发射功率为  $P_L$ ,每个微基站有  $N$  根发送天线,用户采用单天线接收。考虑宏小区  $i$  中微基站  $l$  服务下的用户  $j$ ,除了接收到微基站  $l$  发出的有用信号,还受到本小区以及相邻小区基站的干扰,以及多用户之间的干扰,其接收信号强度为:

$$y_{ij} = \sqrt{P_L} H_{l,l,j} V_{l,l,j} x_{l,l,j} + \sum_{k=1, k \neq j}^K \sqrt{P_L} H_{l,l,j} V_{l,l,k} x_{l,l,k} + \sum_{m=1, m \neq l}^L \sqrt{P_L} H_{m,l,j} V_{m,l,j} x_{m,l,j} + \sum_{n=1}^B \sqrt{P_M} H_{n,l,j} V_{n,l,j}^L x_{n,l,j} + \sum_{n=1}^B \sum_{m=1}^L \sqrt{P_L} H_{n,m,j} V_{n,m,j} x_{n,m,j} + N_{i,l,j} \quad (1)$$

式(1)中,  $H_{l,l,j}$  表示第  $i$  个小区中第  $l$  个微基站向其服务下的用户  $j$  传输数据的信道矩阵,  $V_{n,l,j}^L$  和  $V_{l,l,j}$  分别表示宏基站和微基站向用户传输数据过程中的预编码矩阵<sup>[10]</sup>,  $x_{l,l,j}$  表示微基站  $l$  向其服务下的用户发送的数据信息流。基站端发送信号的能量期望式(1)中第一项表示有用信号,第二项表示除用户  $j$  之外的多用户干扰,第三项表示小区  $i$  中其余微基站对用户的干扰情况,第四项表示宏基站对用户的干扰情况,第五项表示其余小区中微基站对用户  $j$  的干扰,第六项  $N_{i,l,j}$  表示均值为1,方差为  $\alpha^2$  的高斯白噪声。

对于宏小区  $i$  中微基站  $l$  服务下的用户  $j$ ,有用信号功率为

$$P_{\text{usefull}} = P_L |H_{l,l,j} V_{l,l,j}|^2 \quad (2)$$

干扰信号的功率为

$$P_{\text{interf}} = \sum_{k=1, k \neq j}^K P_L |H_{l,l,j} V_{l,l,k}|^2 + \sum_{m=1, m \neq l}^L P_L |H_{m,l,j} V_{m,l,j}|^2 + \sum_{n=1}^B P_M |H_{n,l,j} V_{n,l,j}^L|^2 +$$

$$\sum_{n=1, n \neq i}^B \sum_{m=1}^L P_L |H_{n,m,j} V_{n,m,j}|^2 \quad (3)$$

小区  $i$  中微小区  $l$  服务下的用户  $j$  接收到的信干噪比(SINR)为

$$\text{SINR}_j = \frac{P_{\text{usefull}}}{P_{\text{interf}} + P_{\text{noise}}} = \frac{P_{\text{usefull}}}{P_{\text{interf}} + \alpha^2} \quad (4)$$

此时,用户  $j$  的数据速率可以表示为

$$R_{ij} = B \lg(1 + \text{SINR}_j) \quad (5)$$

若在微基站服务范围内有  $K$  个用户,则协作区域内用户的和速率为

$$R_{\text{sum}} = \sum_{j=1}^K R_{ij} = B \cdot \lg(1 + \text{SINR}_j) \quad (6)$$

由于LTE系统频率复用因子为1,这就造成由于资源块的重叠造成的多用户干扰,为消除共信道干扰,通常需要在基站端对需要发送的数据进行预编码。本文采用迫零(ZF)预编码<sup>[11]</sup>,预编码矩阵  $V$  满足:

$$V = H^H (H H^H)^{-1} \quad (7)$$

式(7)中,  $(\cdot)^H$  表示矩阵的共轭转置,  $(\cdot)^{-1}$  表示矩阵的逆。编码后的数据通过信道矩阵  $H$  后非对角线上的数据均为0,从而达到了干扰消除的目的。经过预编码后用户  $j$  的信干噪比为

$$\text{SINR}'_j = \frac{P_L |H_{l,l,j} V_{l,l,j}|^2}{\sum_{n=1, n \neq i}^B P_M |H_{n,l,j} V_{n,l,j}^L|^2 + \sum_{n=1, n \neq i}^B \sum_{m=1}^L P_L |H_{n,m,j} V_{n,m,j}|^2 + \alpha^2} \quad (8)$$

## 2 分簇方案的实现

假设无线信道服从准静态瑞利平坦衰落,各基站端完全已知所有用户的信道状态信息(CSI),基站通过无线信道向用户广播信息。分簇方案具体步骤如下。

(1) 对于微基站服务下的  $K$  个用户,将微基站作为其主服务基站,计算主服务基站到各个用户的路径损耗  $PL_{l,j}^{\text{master}}, j = 1, 2, \dots, K$ ,再对路径损耗值进行求和作为主服务基站对所有用户的路径损耗

$$PL_l^{\text{master}} = \sum_{j=1}^K PL_{l,j}^{\text{master}}; j = 1, 2, \dots, K。$$

(2) 分别计算除主服务基站外其余基站对  $K$  个用户的路径损耗值之和  $PL_m, m = 1, 2, \dots, B + BL - 1$ ,其中宏基站到用户的路径损耗为:  $128.1 + 37.6 \lg(D)$ ,微基站到用户的路径损耗为:  $140.7 + 36.7 \lg(d)$ ,式中  $D, d$  单位均为 km,路径损耗的单位为 dB。

(3) 设置路径损耗门限  $\alpha$ ,将  $K$  个用户到主服

务基站的路径损耗之和与  $K$  个用户到其余基站的路径损耗之和的差值与  $a$  进行比较, 确定需要协作的基站的集合  $C_{\text{coop}}$ , 即

$$\begin{cases} m \in C_{\text{coop}}, |PL_l^{\text{master}} - PL_m| \leq a \\ m \in C_{\text{ncoop}}, |PL_l^{\text{master}} - PL_m| > a \end{cases} \quad (9)$$

(4) 形成协作基站簇。

$$C_{\text{coop}} = \{m \in (B + BL - 1) \mid |PL_l^{\text{master}} - PL_m| \geq a\} \quad (10)$$

此时, 协作后用户的接收信干噪比 (SINR) 表示为

$$\begin{aligned} XZ\_SINR_j = & P_L |H_{l,l,j} V_{l,l,j}|^2 + \sum_{m \in C_{\text{coop}}} P_m |H_{m,l,j} V_{m,l,j}|^2 \\ & \left\{ \sum_{n=1, n \neq i}^B P_M |H_{n,l,j} V_{n,l,j}^L|^2 + \sum_{n=1, n \neq i, m=1}^B \sum_{m=1}^L P_L \right. \\ & \left. |H_{n,m,j} V_{n,m,j}|^2 - \sum_{m \in C_{\text{coop}}} P_m |H_{m,l,j} V_{m,l,j}|^2 \right. \\ & \left. + \alpha^2 \right\}^{-1} \end{aligned} \quad (11)$$

协作后用户的和速率为

$$XZ\_R_{\text{sum}} = \sum_{j=1}^K XZ\_R_{ij} = \sum_{j=1}^K B \lg(1 + XZ\_SINR_j) \quad (12)$$

将式 (11) 与公式 (8) 比较可知, 经过协作干扰信号功率降低, 有用信号功率增加, 分簇后用户的接收信干噪比增加, 从而使用户的数据传输速率得到了提高。

### 3 仿真结果与分析

本文依据异构网络模型下提出的基站分簇方案, 通过设置合适的参数, 利用 Matlab 软件进行了仿真, 通过将微小区中边缘用户的传输速率作为性能指标, 验证其方法的可行性, 仿真参数见表 1。

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数	数值
宏基站发送功率/dBm	46
微基站发送功率/dBm	24
噪声功率/dBm	-96
宏微基站个数/个	10
微基站个数/个	10
微基站服务下的用户数/个	3
宏基站天线数/根	4
微基站天线数/根	4
用户天线数/根	1
带宽/(bit/s)	1
宏基站到用户的路径损耗/dB	$128.1 + 37.6 \times \lg(D)$ , $D$ 取 km
微基站到用户的路径损耗/dB	$140.7 + 36.7 \times \lg(d)$ , $d$ 取 km
路径损耗门限 $a$ /dB	24
宏基站的覆盖半径/km	15
微基站的覆盖半径/km	30 ~ 300

首先, 分别验证不同分簇方法中用户平均速率随信噪比变化的增长趋势; 其次, 通过仿真对比得出二者之间的差值; 最后, 通过改变门限值的大小来观察速率的变化情况, 选择合适的门限值。根据设置的仿真场景与仿真参数, 最后得出的结果如图 2、图 3 所示。

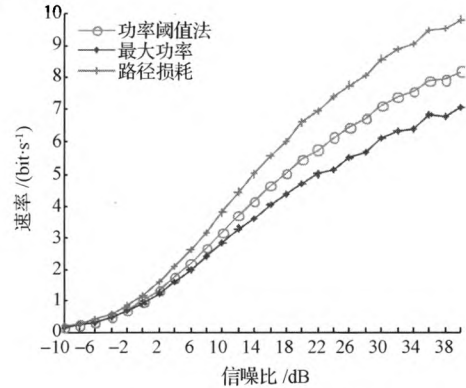


图 2 传输速率比较

Fig. 2 Comparison of transmission rate

如图 2 所示, 随着信噪比的增加, 文献 [7] 中提出的阈值法、文献 [8] 提出的最近距离 (功率最大) 法与本文提出方法 (路径损耗门限值法) 获得的用户传输和速率都呈增长趋势, 且路径损耗门限法的用户速率高于阈值法和最大功率法。在信噪比为 18 dB 时, 路径损耗门限值法获得的速率为 5.82 bit/s, 阈值法获得的数据速率为 4.96 bit/s, 二者相比平均数据速率有大约 17% 的提升。

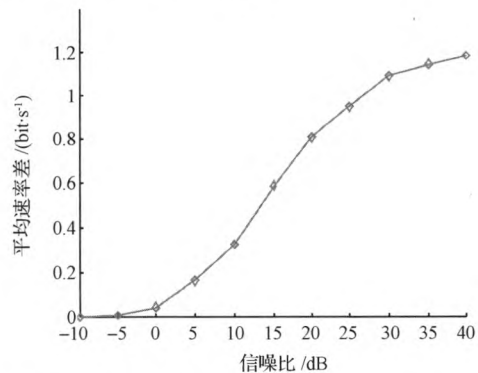


图 3 基于路径损耗分簇和阈值分簇的用户速率差

Fig. 3 The user rate difference based on path loss clustering and threshold clustering

如图 3 所示, 两种算法用户之间的平均速率差随着信噪比的增加而不断变大。随着路径损耗的增大, 受距离、环境等的影响加大, 使得信号在传输过程中的损耗增多, 相当于干扰信号强度增加, 有用信号强度降低, 用户端的接受信干噪比 (SINR) 减小, 数据速率降低。随着各个基站与主机站间路径损耗差值的增大, 需要进行协作的基站数目减少, 满足式

(9)的基站与用户 $j$ 所处小区的微基站协作共同向用户 $j$ 传输数据的速率,与功率阈值法在信噪比增加到一定的数值范围内相差不大,故而信噪比—平均速率差曲线最终会趋于平缓。

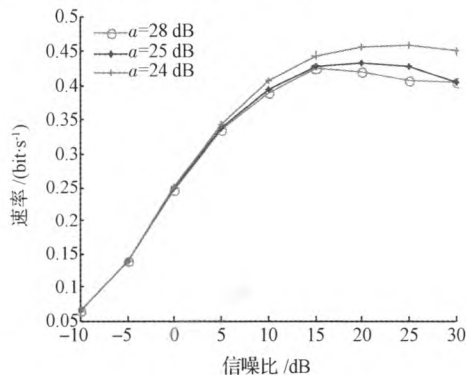


图 4 不同门限值对应的速率  
Fig. 4 The corresponding rate of different threshold values

由于路径损耗门限值设置的不同会影响到其余基站是否与主服务基站进行协作,和用户收到的干扰的大小,从而影响到 SINR 的大小,最终会对接收端的数据传输速率产生影响,所以需要合理的选择参考门限值。图 4 给出了不同门限值的情况下数据传输速率的变化情况。当路径损耗门限设为  $a = 24$  dB 时,获得的数据传输速率最大,也最理想。

## 4 结束语

作为下一代无线网络中的关键组网模式和技术手段,异构网络和协作多点传输在消除小区间干扰,提高接收端数据传输速率等方面起到了至关重要的作用。本文通过分析现有方法的不足,从路径损耗方面着手,提出了基于路径损耗门限的基站分簇方法,并且分析了不同路径损耗门限下数据速率随信噪比变化的情况,通过与最大功率法和功率阈值法的比较,确定了该分簇方法的优越性,在一定程度上能够使数据传输速率得到提升。但是对于阴影衰落情况,多个用户之间共享资源的公平性没有进行考虑,同时对于用户端的移动性问题也需要更深一步的研究。

## 参 考 文 献

1 张 琛,栗 欣,王文清,等. 异构网络跨层协作传输技术研究.

通信学报,2014; 35(8): 198—205

Zhang C, Su X, Wang W Q, *et al.* A cross layer cooperative transmission technology research in heterogeneous network. *Journal of Communication*, 2014; 35(8): 198—205

2 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. *电子科技大学学报*, 2014; 43(1): 26—31

Xiao H L, Wang P, Nei Z P, *et al.* Multi base station cooperative communication power allocation scheme based on genetic algorithm. *Journal of University of Electronic Science and Technology of China*, 2014; 43(1): 26—31

3 郑丽清. 协同基站群的动态分簇算法研究. 解放军信息工程大学, 2011

Zheng L Q. Dynamic clustering algorithm of cooperative base station group. The PLA Information Engineering University, 2011

4 Dehghani M, Arshad K, MacKenzie R. LTE-advanced radio access enhancements: a survey. *Wireless Pers Commun*, 2015; 80: 891—921

5 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. *电子与信息学报*, 2012; 34(6): 1469—1475

Huang K Z, Zheng L Q, Li K, *et al.* A dynamic clustering algorithm of base station group interest tree based on coordination degree. *Journal of Electronics and Information*, 2012; 1469—1475

6 李 坤,黄开枝,鲁国英,等. 基于平均信干噪比的基站群分簇模型. *计算机应用研究*, 2012; 29(12): 4699—4702

Li K, Huang K Z, Lu G Y, *et al.* A base station cluster model based on average signal to noise ratio. *Computer Application Research*, 2012; 29(12): 4699—4702

7 韩东升,丁莎莎,余 萍. 一种基于阈值的无线异构网络基站分簇算法. *电信科学*, 2015; (4): 93—98

Han D S, Ding S S, Yu P. A clustering method based on the threshold in wireless heterogeneous network. *Telecommunications Science*, 2015; 08(6): 93—98

8 Ng C T K, Huang H. Linear precoding in cooperative MIMO cellular networks with limited coordination clusters. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2010; 28(9): 1446—1454

9 唐 浩. LTE-A 异构网络中的干扰协调机制研究. 中国科学技术大学, 2014

Tang H. Research on interference coordination mechanism in LTE-A heterogeneous networks. University of Science and Technology of China, 2014

10 祁美娟. MIMO 系统中预编码技术研究. 重庆大学, 2012

Qi M J. Study on precoding technique in MIMO system (masterdissertation). Chongqing University, 2012

11 王宏宇. 多用户 MIMO 系统下行链路用户选择算法研究. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013

Wang H Y. Research on user selection method for multi-user MIMO systems. Harbin: Harbin Industrial University, 2013

(下转第 221 页)

## Typical Land Cover Characteristics of Airborne LiDAR Intensity Data: an Experimental Study

YI Pi-yuan, TONG Peng, ZHAO Ying-jun

(National Key Lab. of Remote Sensing Information and Image Analysis Technique,  
Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, P. R. China)

[**Abstract**] Utilization of airborne LiDAR intensity is becoming focus of study. Usually, LiDAR intensity data was calibrated by using the normalized method, which take the range and incline angle as main factors, and assume the terrain is flat as Lambert. However, most ground objects are non-Lambertian, and less study focus on the quantitative analysis of radiometric characteristics of backscattered laser intensity. The intensity characteristics and induced factors of 12 typical ground objects were analyzed by comparing the intensity values and measurement results of reflectance, reflectance factor. For the land covers, which are flat and have simple geometric structure, differences of intensity values are in good consistency with measurement results and so it has good reference for classification, while the land covers with inclined or complex structure are not. In practical application, the LiDAR data can be first processed by using other information, such as elevation, echo number, and then it can be further classified by using intensity values for the ground objects with big differences.

[**Key words**] reflectance intensity classification

(上接第 215 页)

## A Clustering Method Based on Path Loss for Multi User Base Station in Wireless Heterogeneous Networks

YU Ping, YANG Jun\*, HAN Dong-sheng

(Department of Electronics and Communication Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, P. R. China)

[**Abstract**] In order to reduce the interference of the inter cell interference and improve the system capacity, the base station is studied in the form of heterogeneous network. In the case of multiple users, to maximize the sum of the edge user's rate, the path loss threshold is set to select the base station for collaborative communication. The average rate of users in different clustering methods is analyzed and compared, and the reasonable threshold value is selected by observing the rate variation of different threshold values. The simulation results show that this method can effectively improve the data transmission rate to a certain extent, when the SNR is 18dB, the Path loss threshold method in the average transmission rate of the system is improved 1.02 bit/s than threshold method, the average data rate of users receive a 17% boost.

[**Key words**] heterogeneous networks base station coordination clustering path loss threshold transmission rate