



异构无线网络中边缘用户小区选择算法

赵振东, 牛伟娇, 韩东升, 丁莎莎

(华北电力大学电气与电子工程学院 保定 071003)

摘要: 在异构网络中, 部署多种小功率基站, 会出现大量的“小区边缘区域”, 边缘用户的性能会受到影响。为此, 提出了一种边缘用户小区选择算法, 通过发送端进行预编码抑制干扰, 提高用户接收到的信干噪比。根据小区当前用户数, 动态地调整给微小小区边缘用户参考接收信号添加的偏置值, 避免边缘用户接入用户数过多的拥堵小区。仿真结果表明, 该算法与参考算法相比, 能够有效降低宏小区负载, 平衡不同微小区间负载, 提高轻载微小小区的网络吞吐量和资源利用率。

关键词: 异构网络; 小区选择; 负载均衡; 吞吐量

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015340

Cell Selection Algorithm for Edge Users in Heterogeneous Wireless Network

Zhao Zhendong, Niu Weijiao, Han Dongsheng, Ding Shasha

(School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: A large number of “cell-edge area” can arise when deploying a variety of low-power base stations in heterogeneous networks, this can affect the property of edge users. So a cell selection algorithm for edge user was proposed, by using the transmitting end to precoding to suppress interference and improve user received signal-to-interference-plus-noise-ratio (SINR). According to the current number of user in the cell, dynamically adjust the reference received signal added bias to the picocell edge users, to avoid edge users accessing heavily loaded cells. The simulation results show that, compared with the reference algorithms, the proposed algorithm can effectively reduce the load of macrocells, balance the load between different picocells and improve the throughput and resource utilization of the light load picocells.

Key words: heterogeneous network, cell selection, load balancing, throughput

收稿日期: 2015-07-17; 修回日期: 2015-12-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61302106), 河北省自然科学基金资助项目 (No.F2014502029), 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (No.2014MS100)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61302106), The Natural Science Foundation of Hebei Province (No.F2014502029), Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.2014MS100)

论文引用格式: 赵振东, 牛伟娇, 韩东升等. 异构无线网络中边缘用户小区选择算法. 电信科学, 2015340

Zhao Z D, Niu W J, Han D S, *et al.* Cell selection algorithm for edge users in heterogeneous wireless network. Telecommunications Science, 2015340

1 引言

为了满足不断增长的数据业务需求,3GPP LTE-Advanced 引入了异构网络,以实现较高的频谱效率^[1]。参考文献[2~4]提出了在传统的蜂窝网络中部署的中继网络以提高网络的频谱效率、能量效率和网络的总速率,异构网络与传统的中继网络不同,它在传统的宏蜂窝基站覆盖下融合了多种不同类型的基站,包括宏蜂窝基站、微蜂窝基站、毫微微蜂窝基站、中继基站和射频单元节点,每个小功率基站可以组成完整的小区,使用户更接近服务基站以获得更好的服务。其中微基站是在这些低功率基站中的重要基站之一^[5]。在异构网络中部署小功率基站,使得通信热点地区用户的性能得到了提高,获得了更大的小区分裂增益,全网络的容量得到了提高^[6]。在异构网络中,如果按照下行最强接收信号接入基站,有可能出现用户所选接入的基站出现过载的情况,导致用户得不到很好的服务。针对异构网络的接入问题,参考文献[7,8]提出了 CRE (cell range expansion, 小区覆盖扩展) 接入算法,然而在该算法中使用固定的偏置值,无法满足实际用户的需求。参考文献[9]提出了使用动态门限的负载均衡算法,根据多目标的用户需求选择用户的接入网络,实现了负载均衡,系统网络的吞吐量却没有得到提高。参考文献[10]只针对单个用户提出了基于模糊逻辑的小区网络选择方法,而没有优化整个网络的吞吐量。参考文献[11]从网络的整体角度出发,使用户的归一化速率最大化,实现了最大化用户速率性能的提高。参考文献[12]中为网络中的每个用户设置了不同的偏置,来优化性能。参考文献[13]提出为不同分布情况的用户,动态地设置不同的偏置,以适应实际情况,主要用来解决负载和小区边缘用户的服务质量。但是该算法却引入了太多的参数。

经过以上分析,提出了一种边缘用户小区接入算法,通过发送端进行预编码抑制用户间干扰,提高用户接收的信干噪比(SINR),在负载均衡方面,考虑到小区现有的用户分布情况,引入单一的参数来动态调整微小区的偏置值,避免微小区出现过载情况。从仿真结果可以看出,该算法能有效平衡微小区之间的负载,提高微小区的资源利用率,降低宏基站的负载。

2 系统模型

考虑一个有单个宏基站和多个微基站共存的 3GPP

LTE-Advanced 网络下行传输系统模型^[14]。系统模型如图 1 所示,宏基站形成一个宏小区,微基站覆盖范围在宏基站覆盖范围内。每个基站覆盖范围内随机分布若干个用户,并且用户每次只能由一个基站服务。假定系统中有 1 个宏基站组成一个宏小区,宏小区中有 L 个微小区,微小区被宏基站完全覆盖且随机分布在宏小区边缘和热点区域。每个小区基站配置 M 根发射天线,用户端配置一根接收天线,并且用户可以准确地估计各个基站到移动用户端的信道状态信息,所有的信道矩阵都是满秩矩阵,且服从复数高斯独立分布,小区 i 的当前用户数表示为 K_i 。

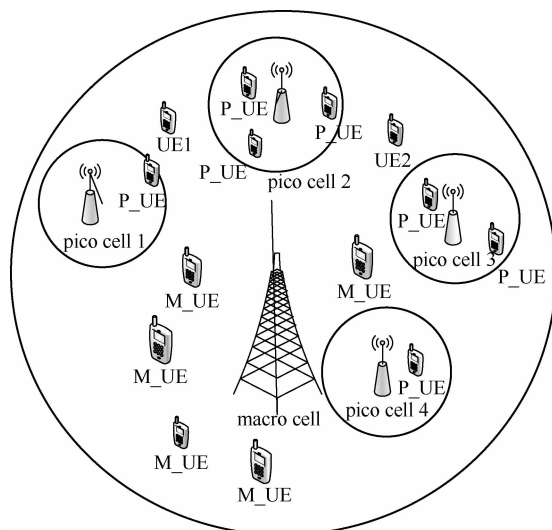


图 1 异构网络拓扑结构

假设接收端信道状态信息已知,即基站到所有用户的传输信道矩阵 $H = \{h_{i,1}, \dots, h_{i,K_i}\}$ 已知,其中 $h_{i,1}$ 表示小区 i 到该小区用户 1 之间的传输信道矩阵, K_i 表示 i 小区内的用户数。 $i \in (1, 2, \dots, L)$ 。为了不失一般性,不妨设 $i=1$ 时代表宏小区, $i \neq 1$ 时代表两个微小区。

那么小区 i 中用户 k 接收到的信号可以表示为:

$$y_{i,k} = h_{i,k} w_{i,k} s_{i,k} + h_{i,k} \sum_{l=1, l \neq k}^{K_i} w_{i,l} s_{i,l} + \sum_{j \in L, j \neq i} h_{j,k} w_{j,k} s_{j,k} + n_{i,k} \quad (1)$$

式(1)中,第一项表示用户 k 期望接收到的信号,而第二项则是多用户干扰,第三项是小区间干扰。基站发射信号矢量为 $S \in C^{M \times 1}$, 矢量信号 $S = [S_1, \dots, S_M]^T$ 代表了发射信号 M 条平行数据流。 $h_{i,k} \in C^{1 \times M}$, 是基站 i ($i=1, 2, \dots, B$) 到用户 k 的信道矢量, L 表示所有小区的集合, $L = \{1, 2, \dots, L\}$ 。 K_i 表示所属小区 i 内的用户数。 $S_{i,k}$ 是基站 i 发射到用户 k 的矢量信号。 $h_{j,k}$ 是基站 j 到用户 k 的信道矢量, $w_{i,k}$ 表示基站 i 发



送到用户 k 的矢量信号预编码矩阵, $n_{i,k}$ 是传输过程中均值为 0、方差为 1 的高斯白噪声。

本文采用迫零 (ZF) 预编码方法^[15,16]抑制共信道干扰, 即抑制小区 i 内其他用户信号对用户 k 的干扰, 满足: $H = H^H(H H^H)^{-1}$, 使得 $h_{i,k}w_{i,k} = 0 (\forall b \in K_i, b \neq k)$ 。

在设计预编码的时候, 需要满足发射功率限制, 即:

$$E[\|Hs\|^2] = \text{tr}(HH^H P_s^2) = M P_s^2 \quad (2)$$

其中, P_s 表示预编码前的信源信号功率。

采用预编码后, 小区 i 的用户 k 接收的信号和信干噪比可以分别表示为:

$$y_{i,k} = h_{i,k}w_{i,k}s_{i,k} + \sum_{j \in L_j \neq i} h_{j,k}w_{j,k}s_{j,k} + n_{i,k} \quad (3)$$

$$\text{SINR}_{i,k} = \frac{P_i \|h_{i,k}w_{i,k}s_{i,k}\|^2}{P_j \|h_{i,k}\|^2 \sum_{b=1, b \neq k}^{K_i} \|w_{i,b}s_{j,b}\|^2 + \sigma^2} \quad (4)$$

其中, P_i 表示基站 i 的发射功率, $w_{i,k}$ 表示基站 i 发送到用户 k 的矢量信号预编码矩阵。分母中, 第一项是用户接收到的小区内干扰, σ^2 为噪声功率。

则小区 i 内用户 k 可以获得的速率为:

$$R_{i,k} = B \log(1 + \text{SINR}_{i,k}) \quad (5)$$

相应的小区的吞吐量为:

$$R_i = \sum_{k \in K_i} R_{i,k} \quad (6)$$

其中, B 表示系统带宽。

3 小区选择算法

如图 1 所示, 在由单个宏基站和多个微基站共存的异构网络下行传输系统中, 两个相邻微小区中, 如 cell 1 相对于 cell 2 负载较高, 如果为两个小区设置相同的固定的偏置值来卸载宏小区的用户, cell 1 可能出现过载情况, 即使其用户的信道条件很好或者 SINR 很高, 分配给用户的可用资源却是非常有限的, 而 cell 2 的资源却没有得到充分的利用。针对这种现象, 根据小区的用户分布情况动态地更新每次为微小区设置的偏置值, 使得负载高的小区偏置值低于低负载的小区。让位于两个小区边缘的用户 UE1 处于 cell 1 扩展范围之外, 而处于 cell 2 的覆盖扩展范围内, 用户 UE1 就可以接入 cell 2 中, 利用该小区中空闲的无线资源进行数据传输, 提高该小区的吞吐量, 而减少附近过载微小区的负载。

传统的 CRE 算法为小区信号加一个固定偏置值可以表示为:

$$i^* = \arg \max \{RSRP_{i^*} + bias_i\} \quad (7)$$

其中, i^* 表示用户 k 将要接入的小区编号, $RSRP_{i^*}$ 表示用户 k 接收到来自小区 i 的下行参考信号, $bias_i$ 表示小区 i 的偏移量。当 $bias_i = 0$, i 表示宏小区, 当 $bias_i > 0$, i 表示微小区。

根据小区现有用户分布情况设置小区 i 的偏置值为:

$$bias_i^{k+1} = bias_i^k + a(N_m - N_i) \quad (8)$$

其中, N_m 为宏小区内用户数, N_i 表示微小区 i 内用户数, 系数 a 是一个正值, 可以用来调整 $bias$ 值的步长, 避免偏置值设置过大。分析式 (8) 可以得出, 当 i 为宏小区时, 小区的偏置值始终为 0, 当 i 为微小区时, 偏置值随着用户数 N_m 的增加而减小。

假设信道在相关时间 T 内保持恒定。用 S 表示系统基站集, U 表示用户集。用户在小区内均随机分布, 并且一个用户在一段时间内只能接入一个基站。算法仅适用于低移动性场景。算法流程如下。

步骤 1 初始化偏置值 $bias^0 = c$ 集 (K_1, K_2, K_3), 基站集 (L_1, L_2, L_3)。根据现有文献研究偏置的取值范围, $c \in [0, 20 \text{ dB}]$, 若为宏小区则初始值 $c = 0$, 若为微小区则 $c > 0$ 。

步骤 2 边缘用户根据偏置初始值按照式 (7) 进行小区选择, 各小区统计其区域内的用户数 N_p 。

步骤 3 根据式 (8) 调整其偏置, 用户根据调整后的偏置和式 (7) 进行小区的重新选择和接入。

步骤 4 微小区每次统计偏置调整前后 CRE 区域内的用户数, 如果用户数发生改变, 说明负载没有达到均衡, 返回步骤 3; 如果用户数不变, 则进行步骤 5。

步骤 5 结束。

算法流程如图 2 所示。

步骤 3 中, 边缘用户在每次进行小区接入选择时, 都要实时获取每个小区的用户状态信息, 以确定每次接入时的偏置值。用户状态信息的获得还需要进一步研究, 将在后续文章中进行讨论。

4 仿真结果与分析

仿真时, 假设 1 个宏基站分布在坐标位置 (0,0), 覆盖范围内随机分布 30 个用户, 为了更好地体现算法的性能, 在仿真中仅验证了两个微小区相邻分布的情况, 并将两个微小区分布在了确定的位置。两个微基站分布在宏基站覆

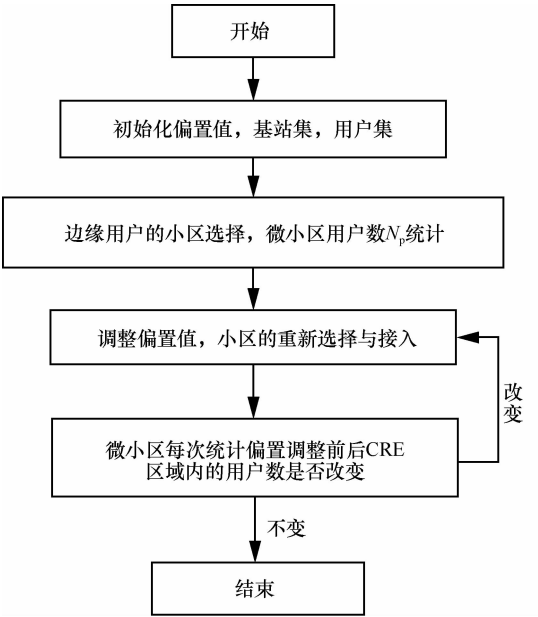


图2 算法流程

盖范围内的边缘位置,坐标分别为(45,350)和(-45,350)。仿真验证了微基站覆盖范围内分别随机分布4个和10个用户时的情况。待选小区的用户为的应用选择算法的边缘用户,随机分布在两个微小区覆盖范围之间的边缘区域。

仿真参数设定见表1。表1中 dm 和 dp 分别表示宏基站和微基站到用户间的距离。

图3给出了轻载的微小区2采用不同算法的吞吐量曲线。从图3中可以看出,添加偏置值之后,两个微小区的

表1 仿真参数设定值

参数	数值
宏基站数	1
微基站数	2
宏基站发送功率/dBm	46
微基站发送功率/dBm	30
宏基站覆盖半径/m	500
微基站覆盖半径/m	50
宏基站到用户的路径损耗/dB	$128.1+37.6 \lg dm$
微基站到用户的路径损耗/dB	$140.7+36.7 \lg dp$
系统带宽	10 MHz,下行
宏基站用户数	30
微小区1初始用户数	10
微小区2初始用户数	5
边缘用户数	5~25
宏基站发射天线数	4
微基站发射天线数	4

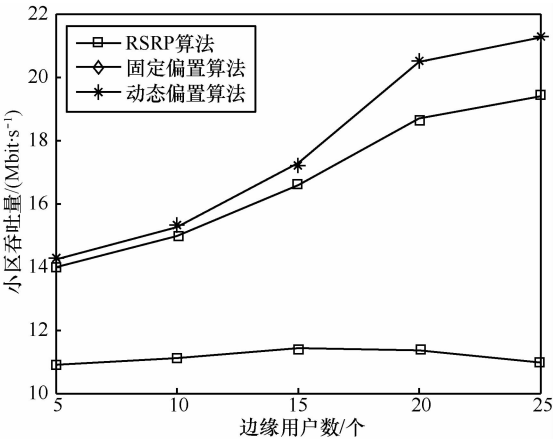


图3 微小区2吞吐量变化比较

吞吐量得到了有效的提高。采用最大参考接收信号(RSRP)接入算法,边缘用户更多地接入了发射功率较大的宏小区,因此随着边缘用户数的增多,微小区2的吞吐量基本不变。轻载微小区由于小区内用户较少,在根据式(8)设置偏置值时,偏置值较大,因此更多的用户将会接入该小区,从而提高了该小区的吞吐量。从图3中可以看到,当边缘用户数小于20时,曲线升高趋势较快,当用户数继续增多,曲线走势趋于平缓。是因为当微小区用户数过多时,其偏置值逐渐减小,导致新接入的用户数逐减少。当边缘用户数超过20以后,随着边缘用户数的增加,设置固定偏置和动态偏置小区的吞吐量增加量基本一致,因此可以得出,动态偏置值算法适合边缘用户数较少时的场景。分析式(8)可以得出,随着边缘用户数更多的接入微小区,两个微小区设置的偏置将越来越小,设置动态偏置还可以防止两个微小区过载。

图4显示了边缘用户数为10个时,应用选择算法后每个小区的用户数量。从图中可以看出采用RSRP、固定偏置算法和动态偏置算法时,3个小区的用户数分别为:38、11、6;30、17、7;30、12、12。边缘用户进行小区选择时,

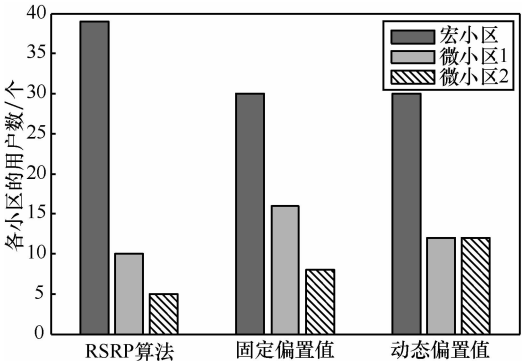


图4 小区用户分布比较



动态的设置偏置值可以有效的平衡小区间的负载,实现把宏小区的用户卸载到微小区的同时,平衡了两个微小区的负载。

图5显示了边缘用户数为20时,采用不同算法后,两个微小区的吞吐量比较。可以看出,设置动态的偏置值,由于微小区2用户数较少,根据式(8)设置偏置,微小区2的偏置大于微小区1,用户进行小区重选时,使得边缘用户更多的接入微小区2,实现了把宏小区的负载卸载到两个微小区,并使两个微小区达到了负载平衡,可以看出微小区2的吞吐量提高了9.63%。

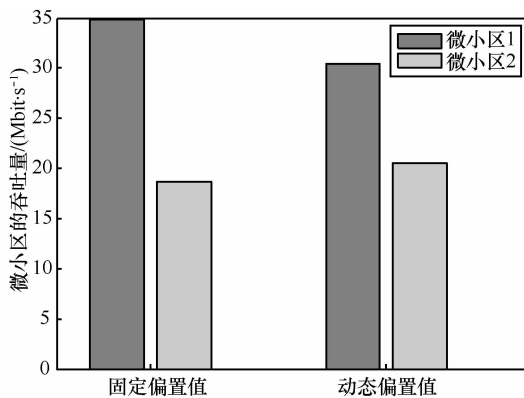


图5 不同小区吞吐量比较

图6显示了两种算法的用户分布,图中右侧小区表示初始用户数较多的微小区1,左侧小区是初始用户数较少的微小区2。比较图6(a)、图6(b)可以看出,设置动态偏置值,边缘用户更多的接入了轻载的微小区2。

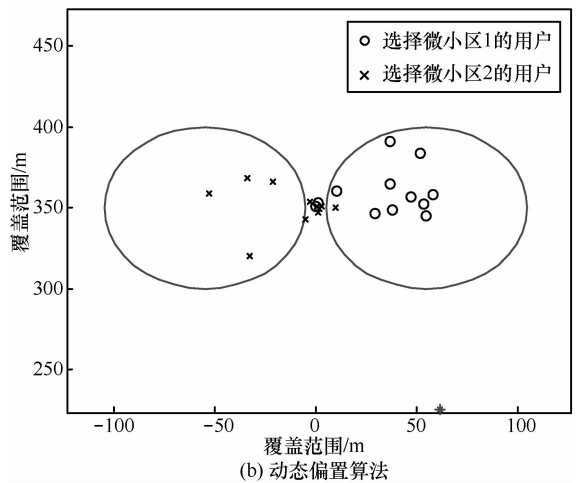
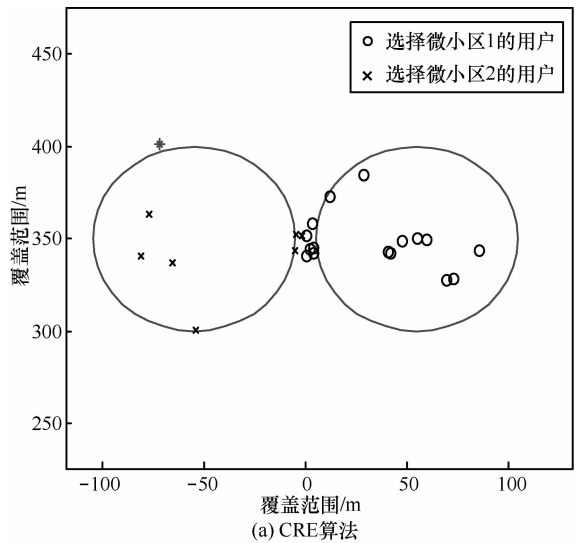


图6 微小区用户分布

5 结束语

在异构网络中,如何合理的将宏小区的负载卸载到微小区上去是当前异构网络技术研究的一个重点。本文通过分析目前负载均衡算法的不足,相对于参考小区选择算法,提出了一种边缘用户小区选择算法,能够使边缘小区用户更多的选择轻载的微小区作为自己的服务小区,实现了该小区容量提升的同时,也对宏小区起到了负载均衡的作用,通过仿真分析可以看到所提出的小区选择算法与固定偏置 CRE 算法相比,轻载微小区的吞吐量提高了1.77%~9.63%,实现了宏小区和微小区、不同微小区之间的负载均衡。动态偏置值的设定需要实时获得小区内的用户状态信息、用户状态信息的获取所带来的系统复杂性的提升以及不理想用户状态信息对算法性能的影响将是未来进一步的研究内容。

参考文献

- 1 Khandekar A, Bhushan N, Tingfang J, *et al.* LTE-Advanced: heterogeneous networks. Proceedings of 2010 European Wireless Conference (EW), Lucca, Italy, 2010: 978~982
- 2 Li C G, Yang H J, Sun F, *et al.* Multi-user overhearing for cooperative two-way multi-antenna relays. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015(5)
- 3 Li C G, Sun F, John M. *et al.* Energy efficient MIMO relay transmissions via joint power allocations. IEEE Transactions on Circuits and Systems- II, 2014, 61(7): 531~535
- 4 Li C G, Liu P, Sun F, *et al.* Spectral-efficient cellular communications with coexistent one- and two-hop transmissions. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2015(3)
- 5 Damnjanovic A, Montojo J, Cho J, *et al.* UE's role in LTE-Advanced heterogeneous networks. IEEE Communications Magazine, 2012,50(2): 164~176

- 6 3GPP TR 36.814 V9.0.0. Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, 2010
- 7 Aamod K, Naga B, Ji T F, *et al.* LTE-Advanced: heterogeneous networks. Proceedings of 2010 European Wireless Conference, Lucea, Italy, 2010: 978~982
- 8 Chiu C S, Huang C C. An interference coordination scheme for picocell range expansion in heterogeneous networks. Proceedings of 2012 Vehicular Technology Conference(VTC Spring), Yokohama, Japan, 2012: 1~6
- 9 Zhang Y J, Zhang K, Chi C. An adaptive threshold load balancing scheme for the end-to-end reconfigurable system. Wireless Personal Communications, 2007, 46(1):47~65
- 10 Falowol O, Zeadally S, Chan H. Dynamic pricing for load-balancing in user-centric joint call admission control of next generation wireless networks. International Journal of Communication Systems, 2010, 23(3): 335~368
- 11 Xue P, Gong P, Park J H, *et al.* Radio resource management with proportional rate constraint in the heterogeneous networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11(3): 1066~1075
- 12 Shirakabe M, Morimotoand A, Miki N. Performance evaluation of inter-cell interference coordination and cell range expansion in heterogeneous networks for LTE-Advanced downlink. Proceedings of 8th International Symposium on Wireless Communication Systems(ISWCS), Aachen, Germany, 2011
- 13 Peng T. An adaptive bias configuration strategy for range extension in LTE-Advanced heterogeneous networks. Proceedings of International Conference on Communication Technology and Application(ICCTA2011), Beijing, China, 2011
- 14 3GPP TR 36.814 v9.0.0. Further Advancements for EUTRA Physical Layer Aspects, 2010
- 15 Spencer Q H, Swindlehurst A L, Haardt M. Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels. IEEE Transactions on Signal process, 2004, 52(2): 461~471
- 16 顾军, 仲元红, 张振宇等. 用于多小区多用户 MIMO 系统的干扰抑制方法. 华南理工大学学报(自然科学版), 2013, 41(6):42~46

Gu J, Zhong Y H, Zhang Z Y, *et al.* Interference suppression for multi-cell multi-user MIMO systems. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 41(6): 42~46

[作者简介]



赵振东,男,华北电力大学电气与电子工程学院教授,主要研究方向为电力通信网和语音与图像处理。



牛伟娇,女,华北电力大学电气与电子工程学院硕士生,主要研究方向为异构无线通信。



韩东升,男,博士,华北电力大学电气与电子工程学院讲师,主要研究方向为无线通信新技术。



丁莎莎,女,华北电力大学电气与电子工程学院硕士生,主要研究方向为异构无线通信。