

异构网络协作通信技术研究

滕世海, 蒋占军, 陈婧婧

(兰州交通大学 电子与信息工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 由于异构网络中跨层干扰等问题对 Macrocell 用户的影响, 提出利用协作通信技术削弱其影响的方法, 即通过宏基站和 Femtocell 用户的协作分集来改善 Macrocell 用户下行链路性能, 同时还基于软切换原理提出了一种中继选择策略. 理论分析和仿真结果表明, 基于 Femtocell 用户的协作通信技术在 Macrocell 用户性能方面明显优于直接传输.

关键词: 异构网络; 协作通信; 下行链路; 中继选择

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2016)10—0078—04

Research of Cooperative Communication Technology in Heterogeneous Network

TENG Shi-hai, JIANG Zhan-jun, CHEN Jing-jing

(School of Electronic and Information Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Due to the problem of cross-tier interference affects Macrocell users in heterogeneous network, We propose a method that relying on cooperative communication technology to weaken the influence, it is to improve the downlink performance of Macrocell users through MBS and Femtocell users' cooperative diversity, but also a relay selection strategy based on the principle of soft switching is proposed. Theoretical analysis and simulation results show that the cooperative communication technology based on Femtocell users is significantly superior to the direct transmission in terms of the performance of Macrocell users.

Key words: heterogeneous networks; cooperative communication; downlink; relay selection

1 引言

Femtocell/Macrocell 异构网络因其能改善 Macrocell 局部区域(如室内环境)无线覆盖不足的优点逐渐受到越来越多研究学者的关注^[1]. 虽然 Femtocell 的引入能充分利用无线资源来满足其需求^[4], 但 Femtocell 接入点(Femtocell access point, FAP)布置的随意性以及与 Macrocell 工作在相同频段引起的跨层干扰问题或者是移动终端的随机接入与移动性导致的越区切换等问题^[5]. 它们的存在都会造成系统掉话率过高, 严重影响 Macrocell 用户的正常通信. 为了尽量避免频繁切换问题, 文献[3]利用了“集合”的数学概念, 提出了考虑信号强度和速度的切换算法来减少网络中不必要的切换, 以

此来保证用户的通信质量; 为了削弱层间干扰对 Macrocell 用户的影响, 文献[4]提出采用分数频率复用(Fractional Frequency Reuse, FFR)技术来抑制跨层干扰. 而文献[5]则提出在异构网络中通过分层协作架构实现不同基站之间的协作传输来提升用户的性能, 但是这需要基站间彼此共享大量的辅助信息, 实现起来比较困难.

本文主要研究的是 Femtocell/Macrocell 部署场景下, 考虑在宏基站(Macrocell Base Station, MBS)与 Femtocell 用户之间采用协作通信技术以提高 Macrocell 用户下行链路的通信质量. 同时提出了一种中继选择策略, 该策略是基于软切换原理所构造的一个性能稳定的中继集合. 通过仿真验证采取此协作方案的 Macrocell 用户的性能明显优于无协作方案.

2 系统模型

两层异构网络的模型如图1所示,在MBS的覆盖范围内随机分布多个 Femtocells,每个 Femtocells 包含一个 FAP 和多个 Femtocell 用户,它们的回程链路是利用公共 Internet 接入实现与核心网连接^[2]. 而且,位于 FAP 覆盖范围内的用户由 FAP 提供服务;不在 FAP 覆盖范围内的用户则由 MBS 提供服务. 但是,当 Macrocell 用户位于 FAP 的覆盖范围内且 FAP 处于闭合接入方式, FAP 会对 Macrocell 用户的下行链路产生严重的干扰;当 Macrocell 用户位于 MBS 的覆盖边缘或者因为频繁切换问题也会导致 Macrocell 用户的上行链路质量下降. 同时假设系统模型的环境为车载环境,由于行驶车辆导致的快衰落分布一般为瑞利分布,则该模型中假设所有信道为瑞利衰落信道,噪声为加性高斯白噪声^[6].

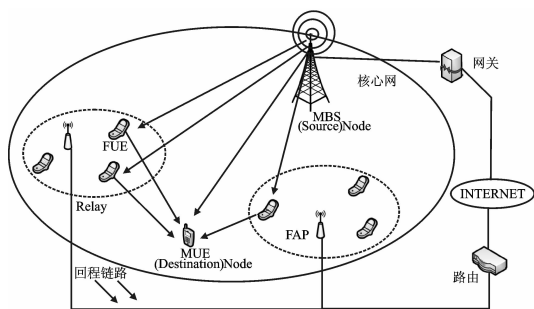


图1 两层异构网络的模型

针对 Macrocell 用户下行链路质量下降的问题,拟采取协作通信技术解决这一问题. 协作方式则是在任意给定的时隙, MBS 将调制好的信号传输给 Macrocell 用户时,除了该 Macrocell 用户接收到传输的信号,其附近空闲的 Femtocell 用户也接收到该信号. 接着,这些用户会在独立的时隙充当中继的角色分别对接收到的信号进行放大转发. 这样做不仅可避免用户在相同的时刻转发造成的数据冲突, MBS 还可以在这段时间与其他的 Macrocell 用户进行数据通信,从而能够提升整个系统的吞吐量. 最后, Macrocell 用户采用最大比合并方式 (Maximal Ratio Combining, MRC) 将多个原始信号的复本合并并恢复出原始信号.

3 中继选择策略

本文主要工作是将空闲 Femtocell 用户当作中继以改善 Macrocell 用户下行链路的质量,但并不是所有空闲的 Femtocell 用户都能充当中继的角色,只有其中一小部分用户可以被当作中继.

图2给出了中继与目的节点之间的信道状态与协作性能的关系. 其仿真环境是假设在两层异构网络中只有一个 Macrocell 用户,不考虑 FAP 对 Macrocell 用户的干扰,因此用中继与目的节点的信噪比 SNR 来衡量它们之间信道状态的优劣, SNR 越高表明中继与目的节点之间的信道状态越好,用 BER 则表示协作性能的好坏.

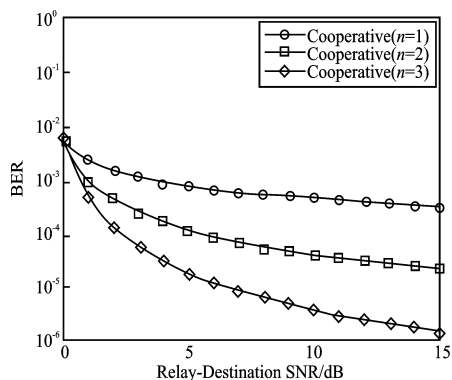


图2 中继与目的节点信道状态对协作性能的影响

从图2看出,在低 SNR 的情形下,协作性能较差;随着 SNR 的不断增大, BER 数值逐渐减小,意味着协作性能逐渐变好,因此中继与目的节点之间信道状态的好坏影响着协作的性能,为此则需要制定一种中继选择方案,选出具有更好更稳定性能表现的 Femtocell 用户来充当中继,使 Macrocell 用户能够获得更大的益处. 本文基于软切换原理制定了一种中继选择方案,其选择过程可以分为以下几步.

步骤1 筛选出对 Macrocell 用户没有益处的 Femtocell 用户,将 Macrocell 用户处的两跳 (MBS-Relay-Macrocell User) 信噪比 SNR 作为筛选的依据,如式(1)所示.

$$\gamma_{th} = \frac{\gamma_{Si}\gamma_{iD}}{\gamma_{Si} + \gamma_{iD} + 1} \quad (1)$$

式中, γ_{th} 表示两跳 SNR; γ_{Si} 表示 MBS 与中继节点 i 的 SNR; γ_{iD} 表示中继节点 i 与目的节点 D 的 SNR.

步骤2 构建两个中继集合:一个是中继候选集;另一个是中继入选集. Femtocell 用户进入中继候选集的条件: Macrocell 用户设定一个最小两跳 SNR 阈值 $\gamma_{th_{min}}$, 当 Femtocell 用户的两跳 SNR 满足式(2),即

$$\gamma_{th} > \gamma_{th_{min}} \quad (2)$$

该用户就加入到中继候选集中,说明该用户的性能对 Macrocell 用户有一定的益处;反之,该用户则无法充当中继的角色. 若中继候选集中的该用户继续在一定的持续时间 Δ_t 内满足不等式(3):

$$\gamma_{th} > \gamma_{max} - \gamma_{th_{min}} \quad (3)$$

则将该用户移入中继入选集,表明其性能与其他用户相比具有一定的优势且不会发生突变,该用户可以充当中继.其中, $\gamma_{\max}$ 是中继入选集中协作性能最优用户的两跳 SNR.

步骤 3 假设中继入选集中中继数目有限,如果中继候选集中 Femtocell 用户满足不等式(3),但中继入选集中用户数目已满,若再符合不等式(4):

$$\gamma_{th} > \gamma_{\min} + \gamma_{th_{\min}} \quad (4)$$

则该用户则替换掉入选集中性能表现最差的用户,式(4)中 $\gamma_{\min}$ 表示中继入选集中协作性能最差用户的两跳 SNR.

步骤 4 当中继入选集中的 Femtocell 用户的两跳 SNR 在 Δ_t 内满足不等式(5),即

$$\gamma_{th_{\min}} < \gamma_{th} < \gamma_{\max} - \gamma_{th_{\min}} \quad (5)$$

则将入选集中的用户移到候选集,说明该用户与入选集中的其他用户相比,其性能对于 Macrocell 用户已经没有太大的益处;若此用户的两跳 SNR 继续降低并低于 $\gamma_{th_{\min}}$,就将其移出候选集.

文献[7]提出一种利用候选中继中最高单跳 SINR 的方法选择中继,通过源节点、中继节点、目的节点的反馈传输获取前向信道和后向信道的取值以此来选择中继.该中继选择策略不仅引入了额外的信令传输,而且由于信道状态变化迅速,无法保证获得的信道取值的精确性,将其作为中继选择的依据是不可靠的.本文提出的中继选择策略实现了中继集合中中继的加入、替换和去除等更新过程,构造了一个性能相对稳定且对 Macrocell 用户有益的中继集合.因为引入了持续时间 Δ ,从而不会引起 Femtocell 用户对于中继集合的频繁加入和移出而导致的协作质量的降低或者是系统性能的下降,也没有增加额外的信令传输.

4 性能分析

假设两层异构网络中只有一个 Macrocell 用户,且不在 FAP 的覆盖范围内,分析其采取协作时的 BER 和吞吐量性能表现.

(1) BER 分析

在 Macrocell 用户处由于协作分集接收到多个原始信号的复本,经过 MRC 合并技术后在其输出端的 SNR 可以表示为

$$\gamma = \gamma_{SD} + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_{Si} \gamma_{iD}}{\gamma_{Si} + \gamma_{iD} + 1} \quad (6)$$

式中, $\gamma_{ij} = \frac{|h_{ij}|^2 P_i}{\sigma_N^2}$; h_{ij} 是节点 i 和节点 j 之间的信道衰落系数,服从均值为 0,方差为 σ_{ij}^2 的独立、循环复高

斯随机分布;包络平方 $|h_{ij}|^2$ 满足均值为 σ_{ij}^2 的指数分布^[6]. σ_N^2 是噪声方差, P_i 是节点 i 的发射功率, γ_{SD} 是从宏基站 S 到 Macrocell 用户 D 直接路径的 SNR, γ_{Si} 是宏基站 S 到中继节点 i 的 SNR, γ_{iD} 是中继节点 i 到 Macrocell 用户 D 的 SNR. 因为条件误比特率 $E(P/\gamma)$ 是关于瞬时接收 SNR 的函数,如式(7)所示.

$$E(P/\gamma) = F\left(\sqrt{\gamma_{SD} + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma_{Si} \gamma_{iD}}{\gamma_{Si} + \gamma_{iD} + 1}}\right) \quad (7)$$

式中, $F(\cdot)$ 是标准高斯误差函数.

根据式(7)即可得到接收信号的误比特率 $E(P)$ 为

$$E(P) = \int_0^\infty E(P/\gamma) P_\gamma(\gamma) d\gamma \quad (8)$$

式中, $P_\gamma(\gamma)$ 为 MRC 合并器输出端 SNR 的概率密度函数.

通过运用标准高斯误差函数 $F(\cdot)$ 的积分形式,误比特率 $E(P)$ 可写为

$$E(P) = \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \int_0^{\pi/2} P_\gamma(\gamma) e^{-\frac{\gamma}{\sin^2 \theta}} d\gamma d\theta \quad (9)$$

同时两跳路径 SNR 的概率密度函数^[8]可近似表示成下式:

$$P_\gamma(\gamma) \approx \frac{1}{\gamma_{SD}} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_{SD}}} \quad (10)$$

式中, $\frac{1}{\gamma_{SD}} = \frac{1}{\gamma_{Si}} + \frac{1}{\gamma_{iD}}$.

而从 MBS 到 Macrocell 用户直接路径的概率密度函数为

$$P_\gamma(\gamma) \approx \frac{1}{\gamma_{SD}} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_{SD}}} \quad (11)$$

最后将式(10)和式(11)代入式(9)中, BER 变成

$$E(P) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \gamma_{SD}} \right) \prod_{i=1}^n \left(\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta + \gamma_{Si}} \right) d\theta \quad (12)$$

(2) 吞吐量分析

信道容量是在通信信道上可靠地传输信息时能够达到的最大速率,系统吞吐量则是在不丢包的情况下单位时间内通过的数据包数量.当 MBS 发送的 L 比特的数据包信息全部被 Macrocell 用户成功接收时,就认为该数据包成功发送.根据前面提出的,本文将吞吐量 ω 定义为 $\omega = C(1 - E(P))^L$. 其中 C 是信道容量, $E(P)$ 是式(12)推导出来的 BER.

(3) 仿真分析

图 3 给出了中继与目的节点间的 SNR 为 10 dB 时,不同的中继数目以及接收 SNR 与 BER 之间的关系.随着接收 SNR 的增加,所有方案的 BER 都随之下降,但是采取协作方案的 BER 下降的更明

显. 另外,对于不同的 SNR 值,中继数目越多,BER 越低. 当中继与目的节点间的 SNR 为 2 dB 时,两图具有相似的性能表现. 只是随着中继与目的节点之间信道质量的下降,采取协作方案与没有采取协作方案所获得的 BER 增益逐渐减小.

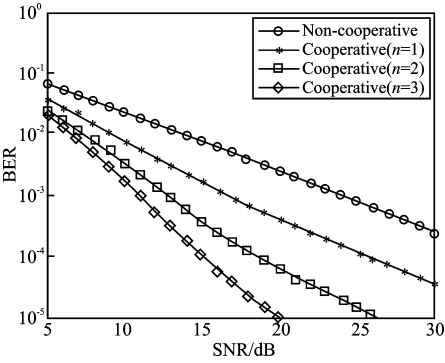


图 3 中继与目的节点间 SNR 为 10 dB 时 BER 性能对比

图 4 给出了中继与目的节点间的 SNR 为 10 dB 时,不同的中继数目以及接收 SNR 对吞吐量造成的影响. 无论是协作方案还是无协作方案,随着接收 SNR 的增加,吞吐量的性能都在提升,只是采取协作方案的吞吐量性能的优势更明显. 另外,采用两种不同方案获得的吞吐量增益随着中继数目的增多而增大. 当中继与目的节点之间信道质量变差时,两图吞吐量的变化趋势相似. 与图 5 相比,在相同的接收 SNR 下,图 6 的吞吐量增益相对较小. 因此,并不是所有的情形都适合采用协作方案. 当中继与目的节点之间的信道质量较差时,可以直接传输而避免采用协作方案.

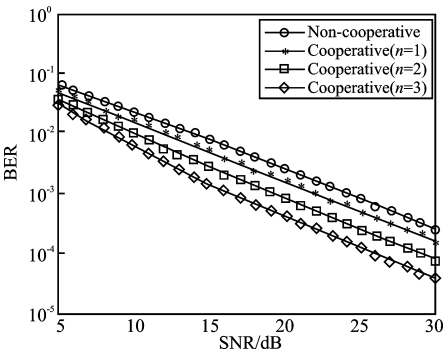


图 4 中继与目的节点间 SNR 为 2 dB 时 BER 性能对比

5 结束语

本文提出了利用 MBS 和 Femtocell 用户的协作通信技术提升 Macrocell 用户下行链路质量的方法. 文章只分析了异构网络中有单个 Macrocell 用户无其它干扰的情形,对于存在多个 Macrocell 用户的情形没有具体分析. 同时还基于软切换原理提出了一种中继选择策略. 最后,通过仿真验证:基于

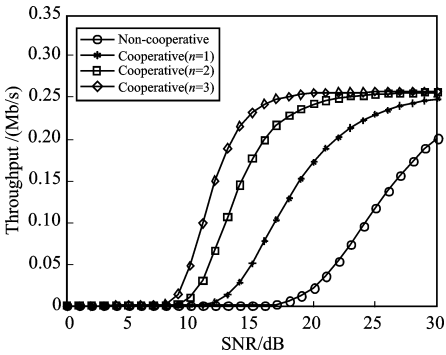


图 5 中继与目的节点间 SNR 为 10 dB 时吞吐量性能对比

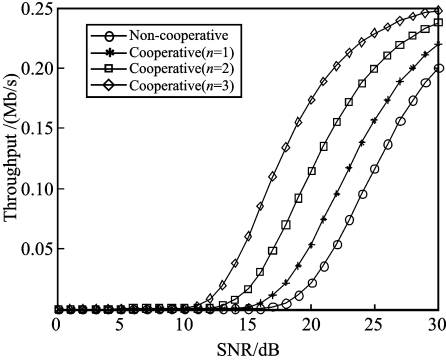


图 6 中继与目的节点间 SNR 为 2 dB 时吞吐量性能对比
Femtocell 用户的协作方案在 Macrocell 用户性能方面明显优于无协作方案.

参考文献:

[1] Andrews J F, Claussen H, Dohler M. Femtocells: past, present, and future[J]. IEEE JSAC on Femto-cellular Networks, 2012, 30(3): 497-508.

[2] 肖竹,李仁发,易克初,等. 两层异构网络中 Femtocell 研究进展与展望[J]. 通信学报, 2013, 34(2): 156-169.

[3] Wu S H, Zhang X, Zheng R M, et al. Handover study concerning mobility in the two-hierarchy network [C]// IEEE Vehicular Technology Conference, Barcelona; IEEE, 2009, 1-5.

[4] AN R, ZHANG X, CAO G. Interference avoidance and adaptive fraction frequency reuse in a hierarchical cell structure[C] // IEEE Wireless Communication and Networking Conference, WCNC. 2010 Sydney; IEEE, 2010, 1-5.

[5] 张琛,栗欣,王文清,等. 异构网络跨层协作传输技术研究[J]. 通信学报,2014,35(8): 198-205.

[6] 林霏,罗涛,路安琼,等. 协同通信系统中基于遍历容量的近似最优功率分配[J]. 通信学报, 2009, 30(6): 26-32.

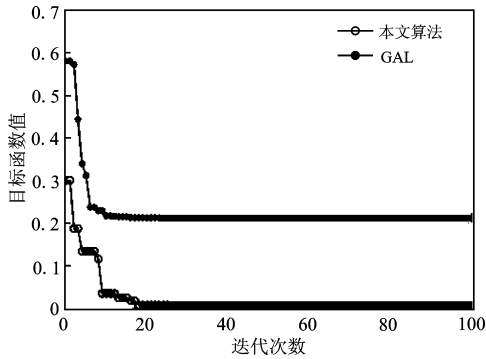


图2 最优解目标函数值变化

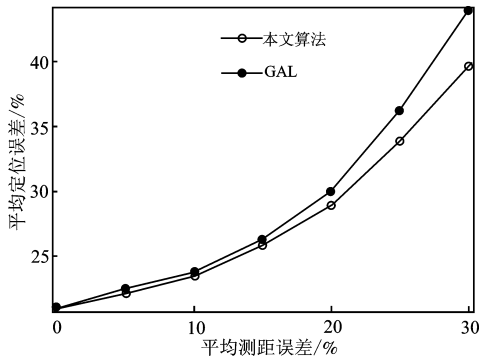


图3 平均测距误差对定位误差的影响

离误差修正的幅度越来越大,适应度有较大的改善,本文所提算法极大地降低平均定位误差。

5 结束语

由于GA本身适合解决定位问题的特性,本文提出的基于RSSI测距自修正的遗传定位算法能够在GAL在低锚节点密度与网络测量误差存在的情况下极大地降低了平均定位误差,与GAL相比具有更优的定位精度。

参考文献:

[1] 方震,赵湛,郭鹏,等. 基于RSSI测距分析[J]. 传感技术学报,2007,20(11):2526-2530.

[2] 刘政. 基于接收信号强度指示的误差自校正定位算法[J]. 传感技术学报,2014,26(7):970-975.

[3] 彭宇,罗清华,王丹,等. 一种基于区间数聚类的RSSI-D估计方法[J]. 仪器仪表学报,2012,33(3):491-498.

[4] 程超,钱志鸿,付彩欣,等. 一种基于误差距离加权与跳段算法选择的遗传优化DV-Hop定位算法[J]. 电子与信息学报,2015,37(10):2418-2423.

[5] 梁栋,张凤琴,陈大武,等. 一种基于决策树和遗传算法-BP神经网络的组合预测模型[J]. 中国科技论文,2015,10(2):169-174.

[6] 王男帅,薛静锋,胡昌振,等. 基于遗传优化支持向量机的软件缺陷预测模型[J]. 中国科技论文,2015,10(2):159-163.

[7] Duckett T. A genetic algorithm for simultaneous localization and mapping [J]. Proceedings of the Sixth Berkeley Symp on Mathematation Statistics Probability, 2003,1(6):434-439.

[8] 方旺盛,曾晶. 基于量子遗传算法的非测距节点定位算法研究[J]. 计算机应用与软件,2013,30(2):180-183.

[9] 刘彦隆,吕显朋,王相国. 混合遗传算法在WSN定位中的应用[J]. 传感器与微系统,2014,33(2):150-153.

[10] 王越,张宇. 基于遗传算法的无线传感网络定位参数优化[J]. 计算机应用与软件,2010,27(7):91-93.

[11] 王小平,曹立明. 遗传算法理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.

[12] Bagheri E, Deldari H. Dejong function optimization by means of a parallel approach to fuzzified genetic algorithm[C]// Proceedings of the 11th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC). Washington, DC, USA: IEEE, 2006: 675-680.

作者简介:

杨路女,(1969-),硕士生导师,高级工程师.研究方向为无线传感网络定位、数据融合.

E-mail:ask19910906@sina.com.

刘慧珍女,(1991-),硕士研究生.研究方向为无线传感网络定位.

(上接第81页)

[7] L Sun, M R McKay. Opportunistic relaying for MI-MO wireless communication: relay selection and capacity scaling laws[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(6):1786-1797.

[8] J Adeane, M Rodrigues, I Wassell. Characterisation of the performance of cooperative networks in ricean fading channels[C]//Int'l Conference on Telecommu-

nications. Bangkok: IEEE, 2005, 1-5.

作者简介:

滕世海男,(1991-),硕士研究生.研究方向为异构网络协作通信. E-mail:1035162047@qq.com.

蒋占军男,(1975-),博士,教授.研究方向为无线移动通信.

陈婧婧男,(1991-),硕士研究生.研究方向为异构网络功率控制研究.