

基于最大化容量增益的小区关闭算法

周涛¹, 罗汉文^{1,2}

(1. 上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234; 2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 随着智能终端的大量使用,使得传统的异构网络很难满足用户对数据速率的追求,面对这样的需求,小小区技术成为了未来移动通信的热点.然而在此场景下,小区间干扰严重制约着系统容量的提升.为了解决这一问题,一些小小区关闭策略被提出,如随机关闭、基于负载关闭等算法,但是这些方法的应用都没有考虑小区的系统容量.所以对基于每个小小区基站关闭前后带来系统容量增益进行了研究,有效地选择合适的小小区基站关闭策略,来减少小区间干扰,从而提高小区的系统容量.最后,仿真比较了基站在全开情况以及随机关闭和基于负载状况关闭的系统吞吐量,结果验证了所提方案的有效性.

关键词: LTE-A; 小小区; 干扰; 关闭; 吞吐量

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2015)01-0011-05

0 引言

传统的蜂窝通信系统虽然能够很好地提供大面积覆盖,但是系统的数据速率很低,很难满足日益增长的数据需求.同时在现有的网络部署中,过大的穿墙损耗以及覆盖空洞的存在,使得用户很难获得较高的传输速率.为了克服上述问题,人们通过采取缩短移动终端与基站的距离,来改善信道状况,从而推动了异构网络的部署^[1-2].在异构网络中包含多种类型的小区,如宏小区、家庭基站、微小区、微微小区等.这些小区有效地提高了空分复用和减少了覆盖空洞.在此基础上,小小区(small cell)的概念被提出来.3GPP组织在未来移动蜂窝网络技术标准化进程中,对small cell的应用场景显示出了极大的关注^[3].

随着小区半径的缩短,导致基站之间的干扰越来越严重,那么如何减少基站之间的干扰成为小小区场景下主要问题之一.这种干扰总的概括来有两个方面,一是跨层干扰即宏小区与小小区的干扰^[4],二是同层干扰即小小区之间的干扰^[5].本文作者分析的场景为宏基站与small cell异频部署,从而有效地避免了跨层干扰,所以本文作者重点考虑同层小区间干扰.

为了有效地减少小区之间的干扰,采取合适的小区关闭会带来明显的性能增益.文献[6-8]基于能源消耗来分析小区关闭,得出小区关闭后带来明显的能源效率,但这些文章都没有分析小区关闭带来的系统性能变化.在[9]中提到几种关闭小区策略,仿真证明了小区关闭后的吞吐量能得到提高,但是容量提高有很大的随机性,不能很好地保证吞吐量的绝对增益.针对[9]中提出的随机关闭和基于负载关闭的情况,给出一种能够保证小区关闭后绝对增益提升的小区关闭算法.

1 系统模型

考虑一个small cell簇内有 N 个小基站的场景,服务于 M 个用户,它们采用收到最大的信号强度基

收稿日期: 2014-12-12

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ126); 上海师范大学重点学科(DZL126)

通信作者: 罗汉文, 中国上海市东川路800号, 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 邮编: 200240, E-mail: hwlw@sjtu.edu.cn.

站作为接入小区, small cell 之间采用频率复用, 宏基站与小区基站部署在不同频段. 基站和用户都配备单根天线. 系统模型如图 1 所示. 由于小区间由于频率复用, 会带来小区间干扰. 随着 N 的增大, 不仅增加能源消耗, 同时使小区间干扰越来越严重, 导致小区的系统性能下降, 从而带来整个系统性能下降. 为了有效地避免系统性能损失, 本文作者提出一种最大化容量的算法选择小区关闭, 来获得系统性能的提升.

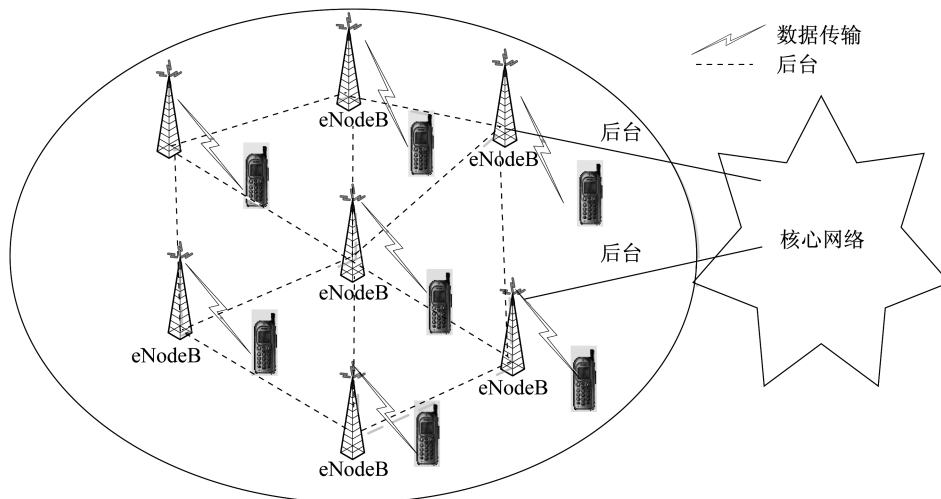


图1 小小区场景

设 N 个基站中包含有随机分布的 M 个用户. 用户根据自己的信道状况选择服务基站, 记基站的指示表示为 $j \in J, J = \{1, 2, \dots, M\}$, 用户指示表示为 $i \in I, I = \{1, 2, \dots, N\}$, 用户根据自己的信道状况选择服务基站. 假设每条链路的发射功率都相等且记为 P , 小区用户获得相等带宽. 开启基站向用户发射下行参考信号, 关闭基站向下发射发现信号, 用来获取基站间的信道状态信息, 假设这里信道信息获取是完美的, 基站 j 与用户 i 之间的信道增益记为 $G_{i,j}$, 包括路径损耗、小尺度衰落. 背景噪声记为 N_0 . 记基站 j 服务的用户集为 U_j . 接收端信号噪声比 $SINR_{i,j}$ 表示如下:

$$SINR_{i,j} = \frac{PG_{i,j}}{\sum_{\substack{k \neq j \\ k \in B}} PG_{i,k} + N_0} = \frac{PG_{i,j}}{\sum_{\substack{k \neq j \\ k \in B}} PG_{i,k} + N_0}. \quad (1)$$

其中 B 表示开启基站集, 根据香农公式可以计算出小区 j 的容量为:

$$R_j = \sum_{i \in U_j} \log_2(1 + SINR_{i,j}). \quad (2)$$

系统总的容量计算如下:

$$R = \sum_{j \in B} \sum_{i \in U_j} \log_2(1 + SINR_{i,j}). \quad (3)$$

与传统蜂窝网络中较少基站节点的异构网络相比, small cell 不仅部署密集, 而且数目增多. 带来 $SINR_{i,j}$ 的干扰项增大, 为了克服基站的浓密部署带来的干扰问题, 通过小区基站的状态转换来减少干扰, 同时也减少了能源消耗.

2 基于最大化系统容量增益的小区关闭算法

当小区基站部署密集, 彼此之间的干扰越来越严重, 传统的干扰消除方法, 如单纯的功率控制、几乎空白帧技术、小区面积扩展(CRE)技术等, 这些技术在一些异构场景, 很好地实现了负载均衡和干扰消除, 有效地提高了系统吞吐量. 但是在小小区场景下, 用户的信道状态都很好, 所以给出一种有效的小区关闭算法, 该算法的中心思想是根据基站获取到的状态信息, 假设信道是平坦的, 无线资源管理器可以

根据当前的信道状况分析基站关闭后系统的容量变化情况, 计算出系统在这前后的容量增益, 从而选择合适的小区关闭, 仿真结果表明, 能有效地减少了小区的干扰, 提高整个系统的吞吐量. 设计流程如图 2 所示.

初始化基站位置, 随机用户分布, 用户根据当前信道状况, 选择下行信道状态最好的基站作为自己的服务基站. 当小区从开启到关闭的触发条件满足时, 无线资源管理器开始选择合适的小区关闭策略.

选择触发条件为系统中有小区内用户数目少于 1 个阈值时, 开始选择小区关闭. 根据式 (1)、(2)、(3), 可以计算出开启集 B 中小区总的容量. 当满足开启到关闭的触发事件时, 从基站 B 中选择第 j 个小区关闭, 在这里关闭小区 j 内的用户, 需要转移到其他开着的基站内服务, 选择他们作为接入服务小区

的方式和初始接入小区方式一样即选择开启集中与该用户之间的信道状况最好的基站接入. 为了防止覆盖空洞, 将其他开启基站的功率提高 β 倍. 同时计算出此时系统容量为:

$$R_j^{off} = \sum_{k \in B^{new}} \sum_{i \in U_k} \log_2(1 + SINR_{i,k}). \quad (4)$$

其中 $B^{new} = B \setminus \{j\}$, 表示开启小区 B 集中选择 j 小区关闭.

根据关闭前后与关闭前系统容量增益不同选择小区关闭, 为了保证关闭后系统容量的绝对增益, 每次选择使系统增益最大的且值为正数的小区关闭, 即:

$$\rho = \max_{j \in B} \{\Delta R_j, 0\}. \quad (5)$$

其中 $\Delta R_j = R - R_j^{off}$, 则开启基站集更新如下:

$$B = \begin{cases} B \setminus \{j\} & \rho = \Delta R_j^{off} \\ B & \rho = 0 \end{cases}. \quad (6)$$

如果 $B = B \setminus \{j\}$, 那么继续计算 B 中小区基站关闭情形. 直到 B 集中元素不再变化. 算法步骤如下:

a) 初始化系统状态, 根据用户接入服务基站, 获取开启的基站集为 B , 关闭的基站集为 C , 获取完美的信道状态信息.

b) 当满足某基站用户设备数目少于设置的门限值 λ_{th} , 执行 c). 如果不满足, 使用开启集 B 中基站为用户服务.

c) 根据公式 (2)、(3), 计算开启集 B 中所有接入用户的小区总的容量.

d) 根据公式 (4) 开始计算 B 集中不同小区基站关闭时系统的容量增益.

e) 由步骤 d) 可以根据公式 (5) 得出最优的小区关闭策略.

f) 根据公式 (6) 更新 B 集和 C 集, 执行步骤 c).

3 仿真及结果

考虑一个开放的热点区域环境. 长 100 m, 宽 100 m. 一个 small cell 簇中有 8 个基站服务这个区域, 用户数目 $N = 60$, 随机地分布在这个区域, 如图 3 所示. 基站的发射功率设为 30 dBm, 天线数目都为 1, 不考虑天线增益. 路径损耗模型如 [1]. 系统带宽归一化, 取 $\beta = 1.2$, 快衰信道模型采用瑞丽衰落信道.

作为比较方案 1, 即为基站全开的情况, 不选择任何基站关闭. 考虑其他的关闭策略, 方案 2 采用基于负载的关闭策略, 即当基站服务用户数少于某个门限值 δ_{th} 的基站关闭, 这里取 $\delta_{th} = 6$. 方案 3 采用随机关闭方法, 从已知簇中选择随机的 20% 基站关闭, 为了保证覆盖空洞, 假设关闭小区的用户都能切换到其他开启小区. 方案 4 即为本文作者给出的策略.

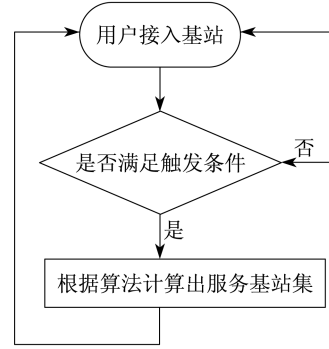


图 2 设计流程

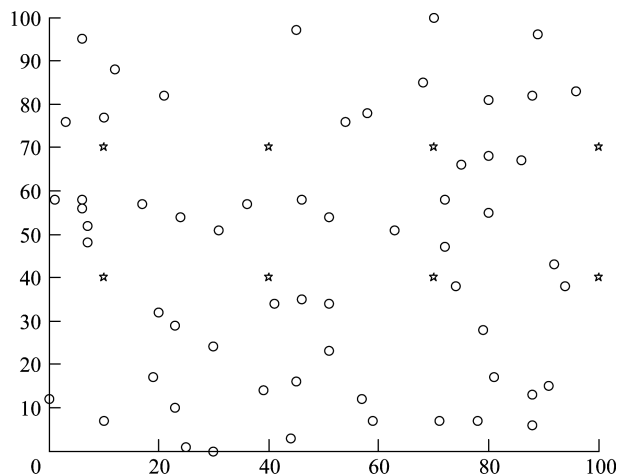


图3 用户和基站的位置

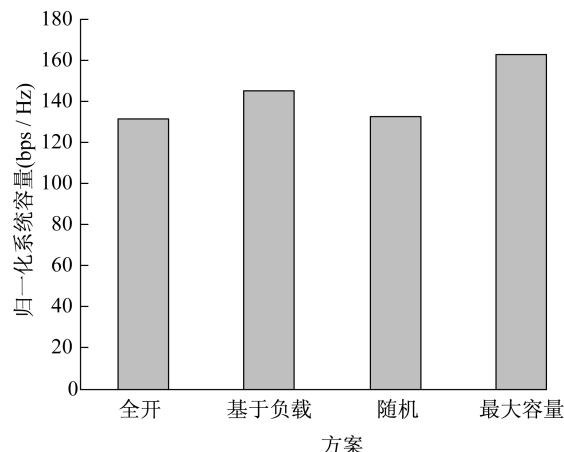


图4 各方案下的系统容量

方案1作为比较方案.从图4系统容量的仿真结果中,可以看出方案4的系统容量有明显增益.方案2采用基于负载关闭,使得服务少数用户而选择关闭基站.方案3采取随机关闭,使得小区的性能增益与基站全开几乎相等,这也符合理论分析结果.从表1中可以看出本方案的系统性能增益达到24.14%.

表1 各方案相对于比较方案的增益

方案	基站全开	随机关闭	基于负载	本方案
系统增益	0.00%	1.11%	10.63%	24.14%

图5仿真了小区内每个用户容量的CDF,从图5中可以看出作者给出的方案,归一化速率在4 bps/Hz以上的用户有30%,6 bps/Hz以上的用户有12%,其他方案的用户速率分布虽然比参考方案要好,但也明显差于作者给出的方案.

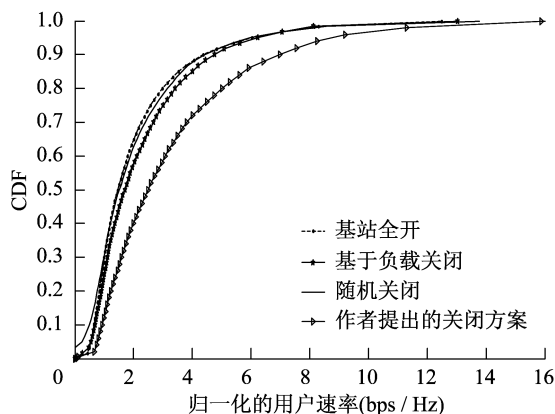


图5 用户数据速率的CDF曲线

4 结论

在未来移动网络中,用户高数据需求是未来的趋势,本文作者考虑了一个在 small cell 场景中,宏基站和 small cell 不共道部署,small cell 之间频率复用.通过对基站的合理关闭,减少了用户之间的干扰,从而提高系统吞吐量,并且通过仿真得到系统容量比不采用关闭有24.14%的增益,相对于其他两种方

案分别有 22.78%、12.22% 的增益,体现了算法的有效性. 但本算法建立在理想的后台条件下,非理想后台对算法的影响还需要研究. 未来可以进一步考虑共道场景下用户调度、资源分配以及考虑其他降低复杂度的小区关闭策略.

参考文献:

- [1] DAMNJANOVIC A, MONTOJO J, WEI Y B, et al. A survey on 3GPP heterogeneous networks[J]. *Wireless Communications, IEEE*, 2011, 18(3): 10–21.
- [2] DING M. Research on Key Technologies of Multi-Point Cooperative Communications[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2011.
- [3] 3GPP TR 36.814 V1.2.1. Further advancements for EUTRA: Physical layer aspects[S]. Valbonne: 3GPP, 2009.
- [4] CHANDRASEKHAR V, ANDREWS J G, MUHAREMOVICT T, et al. Power control in two-tier femtocell networks[J]. *Wireless Communications IEEE Transactions on*, 2009, 8(8): 4316–4328.
- [5] CHANDRASEKHAR V, ANDREWS J G, GATHERER ALAN. Femtocell networks: a survey[J]. *Communications Magazine IEEE*, 2008, 46(9): 59–67.
- [6] PENG J L, TANG H, HONG P L, et al. Stochastic geometry analysis of energy efficiency in heterogeneous network with sleep control[J]. *Wireless Communications Letters IEEE*, 2013, 2(6): 615–618.
- [7] WU J, ZHOU S, NIU Z S. Traffic-aware base station sleeping control and power matching for energy-delay tradeoffs in green cellular networks[J]. *Wireless Communications IEEE Transactions on*, 2013, 12(8): 4196–4209.
- [8] PENG J L, HONG P L, XUE K P. Stochastic analysis of optimal base station energy saving in cellular networks with sleep mode[J]. *Communications Letters IEEE*, 2014, 18(4): 612–615.
- [9] 3GPP R1-132933. Performance evaluation of small cell on/off[S]. Fukuoka: 3GPP, 2013.

Selecting base station closed based on maximum capacity gain algorithm

ZHOU Tao¹, LUO Hanwen^{1,2}

(1. College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. Electronic and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: With the using of intelligent terminal, which makes the traditional heterogeneous network is hard to satisfy our customer's demand of data rate, in the face of such requirements, small cell technology become the focus of future mobile communication. Under this scenario, however, interference seriously restricts the system capacity of ascension. In order to solve this problem, a few small cell closed strategies have been proposed, such as random close, based on the load algorithm, but these methods can not consider the system capacity. So this article is based on each small cell before and after the closing system capacity gain, effective to choose the appropriate small cell closed, to reduce the interference between them, so as to improve the system capacity of community. Finally, the simulation comparison of the base station in fully open and random close and based on the load status of system throughput, the results verify the effectiveness of the proposed scheme.

Key words: LTE-A; small cell; interference; closed; throughput

(责任编辑:包震宇)