

飞小区基站的自配置功率机制

徐鹏^{1,2}, 方旭明¹, 向征³, 何蓉¹

(1. 西南交通大学 信息编码与传输四川省重点实验室, 四川 成都 610031;

2. 西南交通大学 数学学院, 四川 成都 610031;

3. 中国民航飞行学院 空中交通管理学院, 四川 广汉 618307)

摘要: 为了解决分层网络中由于添加飞小区引起的一系列干扰问题, 提出了一种飞小区基站的自配置功率机制。该机制首先分析了飞基站可能受到各种其他基站的干扰和引起对已有用户的干扰类型, 然后设计了一个功率最优化问题, 即在保证已有用户正常通信前提下最大化飞小区的系统容量, 最后通过拉格朗日乘法得到了功率自配置的最优解。仿真结果表明该机制对比于基于接收信号强度设置功率机制, 有效降低了飞基站发射功率, 提高了已有用户的吞吐量, 减少了对已有用户的干扰。

关键词: 飞小区; 发射功率; 自配置; 信噪比

中图分类号: TN929.5

文献标识码: B

文章编号: 1000-436X(2012)02-0119-06

Self-configuration power scheme for femtocell base station

XU Peng^{1,2}, FANG Xu-ming¹, XIANG Zheng³, HE Rong¹

(1. Sichuan Province Key Lab of Information Coding & Transmission, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. College of Maths, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3. School of Air Traffic Management, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China)

Abstract: To solve the issue that new femtocells deployed in hierarchical networks would introduce a series of interference, a power self-configuration scheme was proposed. Various kinds of interference that femtocell base station might receive from other base stations were analyzed. Then an optimal power issue was formulized, as was able to maximize the femtocell system capacity on the condition guaranteeing the existing users' normal communication. And the optimal solution was also obtained with lagrange multiplier method. The simulation results show that the proposed scheme cuts down the transmit power of femtocell, increases the throughput and reduces interference for existing users, comparing with the scheme based on received signal strength.

Key words: femtocells; transmit power; self-configuration; signal to interference plus noise ratio

1 引言

目前越来越多的飞小区(femtocell)由于其廉价及更高的室内通信速率正在被用户广泛地布置于室内, 但是由于其数量巨大及位置的随机性以及随

时都可能被用户移动和关闭, 传统的网络规划设计并不再适用于飞小区网络的优化和设计。另外由于飞小区用户并非都具有技术背景, 因此飞小区为了更好地融入到宏小区中, 必须被设计成具有自配置或自适应的即插即用方式, 以减少对宏小区的影

收稿日期: 2011-04-06; 修回日期: 2011-11-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61071108)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (61071108)

响。飞小区的自配置将使其以更少的人力干涉融入已有网络,自动学习周围的无线环境,自动调整自己的参数。自配置飞小区将能够对网络/业务/信道干扰的变化进行自适应调整,并将提升整个系统的性能^[1]。飞小区基站自配置主要有以下几个方面需求驱动:通过减少人力参与减少资本支出(CAPEX, capital expenditure)和运营成本(OPEX, operational expenditure);在覆盖、容量和服务质量(QoS, quality of service)上最优化网络性能;允许大量小蜂窝的部署^[2]。

飞小区的发射功率自配置将是能否成功部署飞小区的关键,自配置飞小区必须根据环境的变化动态调整发射功率以减少跨层和同层干扰。文献[3]提出了通用移动通信系统(UMTS, universal mobile telecommunications system)网络中减轻跨层干扰的一种方法,主要是采用导频和数据信道的功率控制并保证飞小区的覆盖范围,并分别分析了下行和上行功率如何设置。文献[4]通过终端移动性信息来自适应调整飞小区的覆盖范围,采用功率设置使其最大化覆盖范围同时最小化连接飞小区的用户数。文献[5]提出了通过调整噪声门限来解决上行干扰问题,但会增加对宏小区的上行干扰。文献[6]使用下行功率控制来使宏小区和飞小区用户达到预定信干噪比(SINR)。但是这些技术都没有考虑对已有用户的干扰问题,进而可能造成宏小区/飞小区系统性能的下降。文献[7]考虑了宏基站下行和宏基站用户上行信号对飞小区基站功率设置的影响,并通过仿真验证该方案提高了用户的吞吐率,然而飞小区对宏小区基站可能产生的干扰被忽略了。文献[8]提出了一种新的适用于各种蜂窝部署的系统资源分配和干扰避免的整体方案,结果表明该方案提供了巨大的增益。文献[9]仿真评估了由宏小区和飞小区引起的对飞小区的干扰问题。文献[10]提出了一种新的跨层干扰避免方法,其主要思想是基于跨层干扰信息重新分配蜂窝间功率和子信道。文献[11]从信息论的角度分析了分层网络的干扰管理问题,并给出了每个蜂窝的室外与室内用户的总和速率,分析结果证明了统计干扰管理技术的性能优点。文献[12]分析了分层网络共道配置的性能问题,并定义了分层中断率,得到了飞小区近似干扰分布。文献[13]更加完善了飞小区无线传输信道模型,基于此精确分析了干扰对系统性能的影响。

文献[14]详细分析了LTE分层网络中上行功率控制问题。文献[15]分析了大量密集部署飞小区时功率和信道联合分配的问题,并提出了二进制功率分配机制。但是上述所有文献对飞小区功率自配置的研究并不十分全面,主要存在2个问题。一是已有宏/飞小区下行链路时只考虑宏小区基站和其他所有飞小区基站的影响,因为飞小区基站的低功率特性受到干扰的飞小区基站只能是近距离的有限几个,全部考虑进去只能增加基站的计算量。二是新添加的飞小区基站下行链路对邻近宏小区用户的影响要么被忽略,要么所有宏用户都被考虑。这2个问题在上述文献中往往只着重解决其中一个,如此就会降低系统整体性能。

本文提出了一种飞小区基站功率自配置机制,相对于已有机制,该机制不仅减少了已有蜂窝下行时需要考虑的飞小区数即减少了新飞小区基站的计算量,还限制了新飞小区基站对已有蜂窝用户的干扰。自配置机制主要是基于干扰模型建立了系统容量最优化目标,即在保证已有用户正常通信前提下,最大化了新飞小区的系统容量。其余部分安排如下:第2节分析了飞小区干扰模型;第3节给出详细的自配置机制;第4节对提出机制进行了仿真验证和性能对比;第5节是结束语。

2 飞小区干扰模型

恰当的飞小区功率设置对于能否控制分层网络中的各种干扰至关重要。由宏小区和飞小区构成的分层网络一般结构如图1所示,当用户自主添加一个飞小区时,其发射功率如何配置就变成急需解决的问题。根据3GPP标准,功率自配置指飞小区在初始化阶段首先测量周围的无线环境,包括各种可能接收到的信号和干扰,然后在自优化阶段对发射功率进行最优化^[1]。

对于新加入的飞小区接收到的各种信号和干扰可以用图2表示,主要分为2种类型:各宏小区基站信号和相邻飞小区基站信号。由于宏小区基站(m-BS)和飞小区基站(f-BS)发射功率存在极大差异,通常在13~33dBm之间^[6],因此设置f-BS功率时除了主要考虑宏基站的影响外,邻近f-BS的其他飞小区的影响也要考虑。假定f-BS发射功率为15dBm,覆盖半径为10m, f-BS处于房屋中央,其信号穿过围墙数为1和2时的信号衰减情况如图3所示^[13]。



图 1 宏小区-飞小区构成分层网络结构

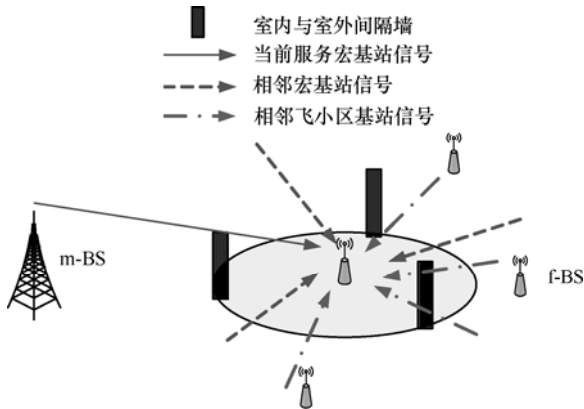


图 2 飞小区接收到的各种信号和干扰

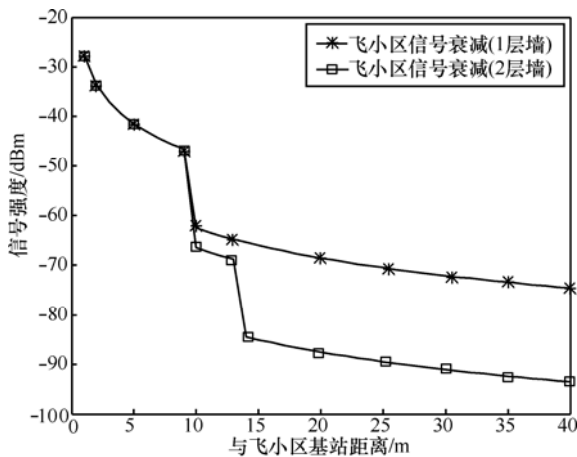


图 3 飞小区信号衰减情况

从图 3 中可以看出，当穿过 2 堵墙时其接收到的 f-BS 信号为-89.1dBm，此时认为设置 f-BS 功率时只需考虑距该 f-BS 最近的其他飞小区基站即可，

即只考虑紧邻且围墙数小于 2 的那些飞小区。具体仿真参数详见文献[13]。

3 自配置功率机制

基于以上分析以及为了满足部署飞小区引起对已有用户的跨层干扰最小化，本文提出了一种飞小区发射功率自配置机制。该机制主要目的是通过自适应调整发射功率来抑制跨层干扰，最大化添加的飞小区吞吐率，并保证原有用户和新飞小区用户的正常通信。对于新加入的飞小区基站，设定其可以像用户终端一样工作^[8]，检测周围无线环境，通过有线回程获取相关网络参数，即可以获得需要的发射功率和信道增益等参数。因此问题可以描述如下：

$$\begin{aligned} & \max \sum_{i=1}^l C_{f_new,i}, \quad i = \{1, 2, \dots, l\} \\ \text{s.t.} \quad & SINR_{m,j} \geq SINR_{m,thr}, \quad j = \{1, 2, \dots, n\} \\ & SINR_{f,k}^s \geq SINR_{f,thr}, \quad k = \{1, 2, \dots, r\}, s = \{1, 2, \dots, t\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中， $C_{f_new,i}$ 表示添加的飞小区中用户 i 的吞吐率， $i = \{1, 2, \dots, l\}$ 表示该飞小区中的用户。 $SINR_{m,j}$ 表示相邻宏小区用户 j 的接收信干噪比， $SINR_{f,k}^s$ 表示相邻飞小区 s 中用户 k 的接收信干噪比。 $SINR_{m,thr}$ 和 $SINR_{f,thr}$ 表示对应的信干噪比阈值。

吞吐量按香农公式计算^[17]，又因为白噪声干扰相对于宏小区和其他飞小区的聚合干扰来说非常小不具有可比性，在计算吞吐量中的信干噪比时将其忽略，则有

$$\begin{aligned} C_{f_new,i} &= W \text{lb} \left(1 + \frac{p_{f,new} g_{new,i}}{I_{new,i}} \right) \\ I_{new,i} &= \sum_{a=1}^q p_{m,a} h_{a,i} + \sum_{s=1}^t p_{f,s} g_{s,i} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} C_{m,j} &= W \text{lb} \left(1 + \frac{p_m h_{m,j}}{I_j + p_{f,new} g_{new,j}} \right) \\ I_j &= \sum_{a=1}^{q-1} p_{m,a} h_{a,j} + \sum_{s=1}^t p_{f,s} g_{s,j} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C_{f,k}^s &= W \text{lb} \left(1 + \frac{p_{f,s} g_{s,k}}{I_k + p_{f,new} g_{new,k}} \right) \\ I_k &= \sum_{a=1}^q p_{m,a} h_{a,k} + \sum_{s=1}^{t-1} p_{f,s} g_{s,k} \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $s=\{1,2,\dots,t\}$ 表示相邻的可以影响功率设置的飞小区, $C_{m,j}$ 表示该飞小区周围邻近的宏小区用户 j 的信道容量, $j=\{1,2,\dots,n\}$, $C_{f,k}^s$ 表示该飞小区周围邻近的飞小区 s 中用户 k 的信道容量, W 表示系统下行带宽。 $p_{f,new}$ 表示新添加飞小区基站的发射功率, $g_{new,ij/k}$ 表示新添加飞小区到用户 ij/k 的信道增益。 $p_{f,s}$ 表示飞小区 s 的基站发射功率, $g_{s,ij/k}$ 表示飞小区基站 s 到用户 ij/k 的信道增益。 p_m 表示当前宏基站的发射功率, $h_{m,j}$ 表示当前宏基站到用户 j 的信道增益。 $p_{m,a}$ 表示宏基站 a 的发射功率, $h_{a,ij/k}$ 表示宏基站 a 到用户 ij/k 的信道增益。 $I_{new,i}$ 表示用户 i 收到的下行干扰, I_j, I_k 分别表示在未添加飞小区时, 用户 j 和 k 收到的下行干扰信号。

根据上面的分析, 式(1)可以表示如下:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^l W \text{lb} \left(1 + \frac{p_{f,new} g_{new,i}}{I_{new,i}} \right), \quad i \in \{1, 2, \dots, l\} \\ \text{s.t.} \quad & p_{f,new} g_{new,j} \leq \left(\frac{p_m h_{m,j}}{\text{SINR}_{m,\text{thr}}} - I_j \right), \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \\ & p_{f,new} g_{new,k} \leq \left(\frac{p_{f,s} g_{s,k}}{\text{SINR}_{f,\text{thr}}} - I_k \right), \\ & k \in \{1, 2, \dots, r\}, s \in \{1, 2, \dots, t\} \\ & p_{f,new} > 0 \end{aligned} \quad (5)$$

为了便于分析, 做如下变换:

$$\begin{aligned} \alpha &= \min \left(\frac{1}{g_{new,j}} \left(\frac{p_m h_{m,j}}{\text{SINR}_{m,\text{thr}}} - I_j \right) \right), \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \\ \beta &= \min \left(\frac{1}{g_{new,k}} \left(\frac{p_{f,s} g_{s,k}}{\text{SINR}_{f,\text{thr}}} - I_k \right) \right), \\ k &\in \{1, 2, \dots, r\}, s \in \{1, 2, \dots, t\} \\ \gamma &= \min(\alpha, \beta) \end{aligned} \quad (6)$$

与式(6)中 γ 对应的必定存在一个 $g_{new,x} \in (g_{new,j}, g_{new,k})$, 将常量 W 从式(5)去掉则有

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{i=1}^l \text{lb} \left(1 + \frac{p_{f,new} g_{new,i}}{I_{new,i}} \right) \\ \text{s.t.} \quad & p_{f,new} g_{new,x} \leq \gamma g_{new,x} \\ & p_{f,new} > 0 \end{aligned} \quad (7)$$

对式(7)进行拉格朗日乘数法求解可表示如下^[18]:

$$\begin{aligned} L(p_{f,new}, \lambda, \mu) &= - \left(\sum_{i=1}^l \text{lb} \left(1 + \frac{p_{f,new} g_{new,i}}{I_{new,i}} \right) \right) + \\ & \lambda (p_{f,new} g_{new,x} - \gamma g_{new,x}) + \mu (-p_{f,new}) \end{aligned} \quad (8)$$

其中, λ, μ 表示拉格朗日乘子, 且 $\lambda \geq 0, \mu \geq 0$ 。其最优功率设置满足 Kuhn-Tucker 条件^[19]可计算如下:

$$\frac{\partial (p_{f,new}, \lambda, \mu)}{\partial p_{f,new}} = \frac{-1}{\left(1 + \frac{p_{f,new} g_{new,i}}{I_{new,i}} \right) \ln 2} \frac{g_{new,i}}{I_{new,i}} + \lambda g_{new,x} - \mu = 0 \quad (9)$$

从 Kuhn-Tucker 条件还可以得到式(10):

$$\begin{cases} \lambda (p_{f,new} g_{new,x} - \gamma g_{new,x}) = 0 \\ \mu p_{f,new} = 0 \end{cases} \quad (10)$$

联合式(9)和式(10)可得

$$\begin{cases} p_{f,new} = \gamma \\ \lambda = \frac{1}{\ln 2 g_{new,x}} \left(\frac{I_{new,i}}{g_{new,i}} + \gamma \right)^{-1} \\ \mu = 0 \end{cases} \quad (11)$$

定义 $x^+ = \max(x, 0)$, 那么最优功率 $p_{f,new}^*$ 可以表示为

$$p_{f,new}^* = [\gamma]^+ \quad (12)$$

从式(12)中可以看出 $p_{f,new}^*$ 不仅与新飞小区位置和已有用户位置有关, 还与其无线网络环境即其他飞小区和宏小区位置有关, γ 将随着新添加飞小区位置变化而变化, 从而实现飞小区功率设置的自配置。

4 数值分析结果

为了体现文中自配置机制的性能, 本节将与传统固定发射功率机制和基于接收信号强度的功率设置机制^[8](scheme-RSS)进行对比。

整个网络采用图 1 所示拓扑结构, 包括 7 个宏小区, 多个飞小区均匀布置在各个宏小区中, 新飞小区其周围受到影响的飞小区(如第 2 节描述仅一墙之隔)个数在 1~4 之间, 受到影响的邻近宏小区用户个数也在 1~4 之间, 此外每个飞小区基站包括 2 个用户。针对下一代移动通信系统基本采用频分正交多址接入 (OFDMA, orthogonal frequency division multiple access) 技术, 本文设定所有基站均采用 OFDMA 技术, 飞小区复用宏小

区所有频谱资源，采用相同的带宽。宏基站在所有子载波间等功率发射，采用轮询调度方式，具体参数详见表 1^[8,20]。

表 1	参数设置
参数	取值
信道带宽	5MHz
载波频率	2GHz
宏基站半径	800m
飞基站半径	10m
宏小区数量	one tier(7 宏小区)
宏基站发射功率	20W(43dBm)
已部署飞基站功率	20mW(13dBm)
信道模型(PL, path loss)	$PL_{outdoor-indoor}=15.3+37.6lg(d)+PL_{out}[dB]$ $PL_{outdoor}=15.3+37.6lg(d)$ $PL_{indoor-indoor}=38.5+20lg(d)+1.5\cdot PL_{in}[dB]$ $PL_{indoor-outdoor}=38.5+20lg(d)+PL_{out}[dB]$ $PL_{indoor}=38.5+20lg(d)$
穿墙损耗(PL_{in}, PL_{out})	15dB, 30dB
阴影衰落标准差	8dB(outdoor), 4dB(indoor)
信干噪比值($SINR_{th}$)	1 dB

图 4 给出了分别采用固定发射功率、基于接收信号强度和自配置功率机制的对比结果。从图中可以看出，基于接收信号强度机制随着远离宏基站飞基站功率逐渐变小。当距离大于 450m 时其功率设置变化较小，这是因为此时飞小区用户接收的信号大于等于来自宏基站的信号。而小于 450m 时，因为宏小区基站信号强度相对于飞基站信号过大，飞基站不得不提高功率以改善飞小区用户的接收信干噪比。然而设置较大的发射功率，可能影响已有宏用户和飞用户。从图中还可以得到自配置功率设置机制随距离缓慢变化，因为有对已有用户的接收信干噪比的限制，从而可以说 3 种机制中对宏小区和已有飞小区影响最小的机制。

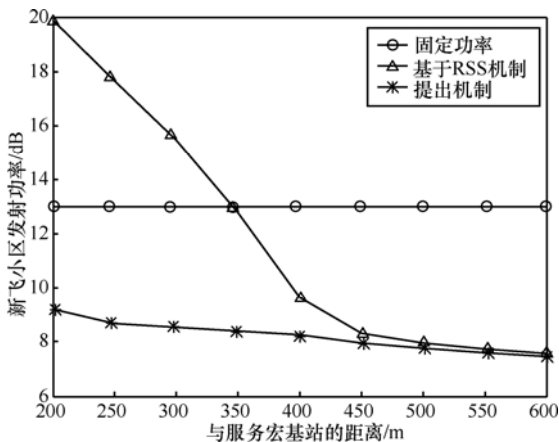


图 4 新添加飞小区功率设置

图 5 给出 2 种功率设置机制对已有用户的影响。从图中可以看出基于接收信号强度机制在距离宏基站较近距离时（小于 400m），由于设置功率较高将降低原有用户吞吐率，在距离较远时（大于 400m）功率设置符合周围无线环境，从而吞吐率的幅度降低有所减少，这是因为此时其功率与周围无线环境相符。而自适应机制因为着重考虑了对已有用户的影响，从吞吐率上看差别不大，即将添加新飞小区引起的干扰降到了最小。

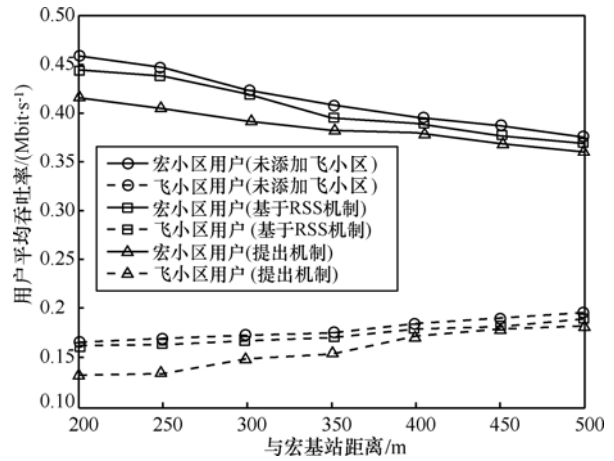


图 5 用户吞吐率对比

图 6 给出了自配置功率设置机制在飞小区功率设置时与宏基站的距离和用户接收信干噪比阈值的关系。从图中可以看出，在固定 SINR 阈值情况下随着距离增大发射功率逐步减小，在固定距离情况下随着 SINR 阈值增大发射功率逐渐增加。确定一个飞小区基站的发射功率要同时考虑上述 2 个因素，才能保证最小化添加飞小区引起的干扰和原有用户的正常通信。

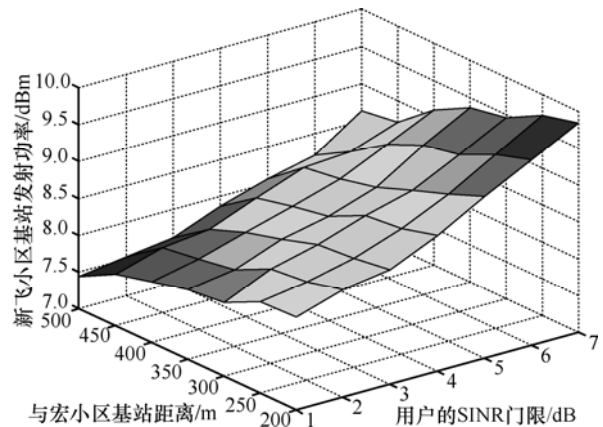


图 6 发射功率自配置与距离和信干噪比阈值关系

5 结束语

根据上述性能分析可以得知自配置功率设置机制将新添加的飞小区周围无线环境自动调整发射功率, 对比基于接收信号强度设置功率机制可以有效地降低对已有用户的影响, 同时保证了新飞小区内用户的有效通信。另外相对于只解决下行或上行干扰问题的已有文献, 因为考虑了飞基站发射功率的特性降低了机制的计算复杂度, 虽然文中分析的是当添加一个新的飞小区时其功率自配置的情况, 明显地该机制可以推广和适用于部署更多的飞小区。该机制存在的缺点在于, 当新加入的飞小区收到原系统干扰较大时将无法满足自身网络的需求, 即新飞小区将无法有效地工作。实际上在新的 LTE-A 标准中, 已经对飞小区进行了相关接口或函数的定义, 以支持飞小区的自配置功能, 从而使得文中提出机制与相关标准兼容。未来的工作将着手于感知无线电技术, 即如何感知或检测其周围无线环境, 只有精确获得无线环境参数飞小区才能将其引起的干扰降到最低, 进而可以极大程度上提升整个宏小区/飞小区分层网络系统的整体性能。

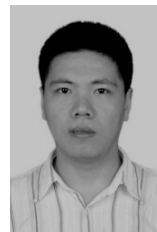
参考文献:

- [1] ZHANG J, GUILLAUME R. Femtocells: Technologies and Deployment[M]. Singapore: Wiley, 2010.225-229.
- [2] Next Generation Mobile Networks. NGMN Use Cases Related to Self Organizing Network, Overall Description[S]. 2007.
- [3] CLAUSSEN H, HO L, SAMUEL L. An overview of the femtocell concept[J]. Bell Labs Technical Journal, 2008, 3(1): 221-245.
- [4] CLAUSSEN H, HO L, SAMUEL L. Self-optimization coverage for femtocell deployments[A]. Wireless Telecommunications Symposium[C]. California, USA, 2008. 278-285.
- [5] 3GPP TR25.967 V8.0.1. FDD Home NodeB (HNB) RF Requirements[S]. 2009.
- [6] LI X, QIAN L, KATARIA D. Downlink power control in co-channel macrocell femtocell overlay[A]. Conference on Information Sciences and Systems (CISS)[C]. Baltimore, USA, 2009, 383-388.
- [7] MORITA M, MATSUNAGA Y, HAMABE K. Adaptive power level setting of femtocell base stations for mitigating interference with macrocells[A]. Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)[C]. Ottawa, Canada, 2010. 1-5.
- [8] MADAN R, BORRAN J, SAMPATH A, *et al.* Cell association and interference coordination in heterogeneous LTE-A cellular networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(9): 1479-1489.
- [9] BOUAZIZ A, KELIF J, DESBAT J. Analytical evaluation of LTE femtocells capacity and indoor outdoor coexistence issues[A].

Wireless Technology Conference (EuWIT)[C]. Paris, France, 2010. 205-208.

- [10] LOPEZ D, LADANYI A, JUTTNER A, *et al.* OFDMA femtocells: intracell handover for interference and handover mitigation in two-tier networks[A]. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)[C]. Sydney, Australia, 2010. 1-6.
- [11] SIMEONE O, ERKIP E, SHAMAI S. Robust transmission and interference management for femtocells with unreliable network access[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(9): 1469-1478.
- [12] KIM Y, LEE S, HONG D. Performance analysis of two-tier femtocell networks with outage constraints[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010, 9(9):2695-2700.
- [13] NAMGEOL O, HAN S, KIM H. System capacity and coverage analysis of femtocell networks[A]. Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)[C]. Sydney, Australia, 2010. 1-5.
- [14] GORA J, PEDERSEN K, SZUFARSKA A, *et al.* Cell-specific uplink power control for heterogeneous networks in LTE[A]. Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)[C]. Ottawa, Canada, 2010. 1-5.
- [15] KIM J, CHO D. A joint power and subchannel allocation scheme maximizing system capacity in indoor dense mobile communication systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(9): 4340-4353.
- [16] 3GPP. TS 25.104 V9.5.0. Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (FDD)[S]. 2010.
- [17] SHANNON C. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27:379-423.
- [18] ROCKAFELLAR R. Lagrange multipliers and optimality[J]. SIAM Review, 1993, 35(2):183-238.
- [19] KUHN H, TUCKER A. Nonlinear programming[A]. Proceedings of 2nd Berkeley Symposium[C]. Berkeley, USA, 1950. 481-492.
- [20] Femto Forum. Interference management in OFDMA femtocells [EB/OL]. <http://www.femtoforum.org/femto/pdfs01.php>. 2010.

作者简介:



徐鹏 (1981-), 男, 河南新乡人, 西南交通大学讲师, 主要研究方向为异构网络与 Macro/ Femtocell 分层网络无线资源管理、无线定位、无线电监测等。

方旭明 (1962-), 男, 浙江义乌人, 西南交通大学教授、博士生导师, 主要研究方向为下一代无线网络无线资源管理。

向征 (1983-), 男, 四川成都人, 博士, 中国民航飞行学院讲师, 主要研究方向为新航行系统通信、导航、监视技术、无线多跳中继网络资源管理等。

何蓉 (1974-), 女, 四川成都人, 西南交通大学副教授, 主要研究方向为无线 Mesh 网络、接入控制、拥塞控制和无线资源管理技术等。