

A Comparison of Interference Management Schemes in Cognitive Heterogeneous Network*

Qian Ge, Rongfang Song

College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing
Email: geqian_23@126.com, songrf@njupt.edu.cn

Received: Sep. 28th, 2012; revised: Oct. 26th, 2012; accepted: Nov. 29th, 2012

Copyright © 2013 Qian Ge, Rongfang Song. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Cognitive radio can be applied to interference management in heterogeneous network. An analysis and comparison of interference management schemes based on channel reuse and opportunistic selection are made. It proves that interference management scheme based on channel reuse is more suitable for macrocell user and the other fits for femtocell user better. Besides, the two interference management schemes both improve the system performance greatly even if femtocells are largely deployed in a macrocell.

Keywords: Heterogeneous Network; Interference Management; Cognitive Radio; Femtocell

认知异构网络中的干扰管理策略比较*

葛 倩, 宋荣方

南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京
Email: geqian_23@126.com, songrf@njupt.edu.cn

收稿日期: 2012年9月28日; 修回日期: 2012年10月26日; 录用日期: 2012年11月29日

摘 要: 将认知无线电运用到异构网络的干扰管理中, 分析了基于信道复用的认知干扰管理策略和基于机会选择的认知干扰管理策略, 并对两种干扰管理策略进行了比较。结果表明, 基于信道复用的认知干扰管理策略适合于宏小区用户, 基于机会选择的认知干扰管理策略适合于家庭用户。使用了认知干扰管理策略后, 用户的性能得到较大的提升, 即使宏小区中的家庭基站较多时, 用户 SINR 的中断概率依然很小。

关键词: 异构网络; 干扰管理; 认知无线电; 家庭基站

1. 引言

随着无线网络的发展, 用户对网络容量和速度的要求越来越高。研究表明, 50% 的话音业务和 70% 的数据业务都是来自于室内^[1], 并且 30% 的商务人士和 45% 的家庭用户感觉到室内的信号覆盖较差^[2], 而现有网络所能提供的速度和覆盖范围是有限的, 近几年出现的家庭基站很好地解决了上述问题。

家庭基站(femtocell)^[3]是在家庭、办公等环境为用户提供服务的室内接入点。在现有的宏小区蜂窝网络中, 引入家庭基站成为异构网络后, 可以带来以下几个方面的变化: 1) 提高了覆盖范围和网络容量; 2) 增强了宏小区网络的可靠性; 3) 降低了设备费用; 4) 减少了网络用户的流失。因此, 家庭基站由于其功率低、价格便宜、架设方便等优点而被广泛接受, 它可以通过宽带连接如数字用户线路(DSL)、独立的无线信道等与宏小区网络相连。同时, 家庭基站的引入也带来

*资助信息: 国家自然科学基金(60972041, 61271234)。

了一些技术问题^[4]，如：移动性管理^[5]、接入模式^[6]、安全性、干扰管理等等。在异构网络中，家庭基站可以在任何时间任意部署，它也可以从一个部署位置移动到另一个位置，因此动态地进行资源管理和干扰管理是一个很复杂的问题^[7]。

近些年来，认知无线电技术的发展使得未授权的用户能够使用原有系统的频谱资源，极大的提高了频谱利用效率^[8,9]。本文研究宏基站和家庭基站共同存在的异构网络中的干扰管理问题，将认知无线电应用到异构网络的干扰管理中，使得网络中的家庭基站具有认知功能，称为感知家庭基站。本文的组织如下：首先分析了异构网络中存在的干扰类型和研究的系统模型，接着详细分析了基于信道复用和机会选择的认知干扰管理策略，最后针对宏小区用户和家庭用户对这两种干扰管理策略分别进行了仿真。

2. 异构网络中的干扰

家庭基站的部署有两种频谱接入方式，即：专有频谱接入和同频接入。为了提高网络的容量，我们更倾向于同频接入的方式，这样就不可避免地带来了同频干扰的问题^[10,11]。根据干扰的源端、目的端和上行的区别，同频干扰可以分为 6 类(图 1)。

图 2 是我们所分析问题的系统模型，在 OFDMA 系统下，一些家庭基站随意的分布在一个宏小区中。家庭基站的接入点功率大小一般为 10 mW~100 mW，其覆盖范围一般为 10~30 m^[4]。图中①~⑥标示了图 1 所列出的异构网络中的干扰。

本文将着重解决下行干扰，即家庭基站对宏用户

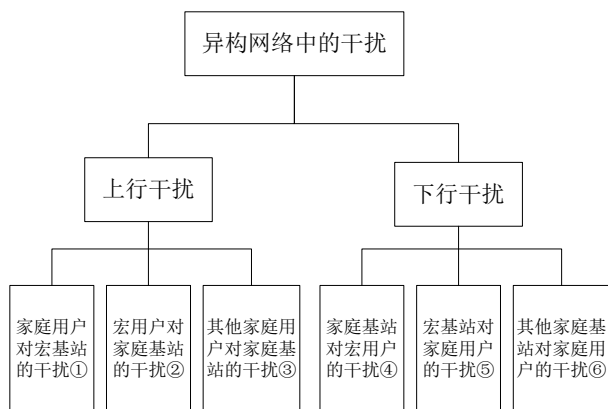


Figure 1. The classification of interference in heterogeneous network
图 1. 异构网络中的干扰分类

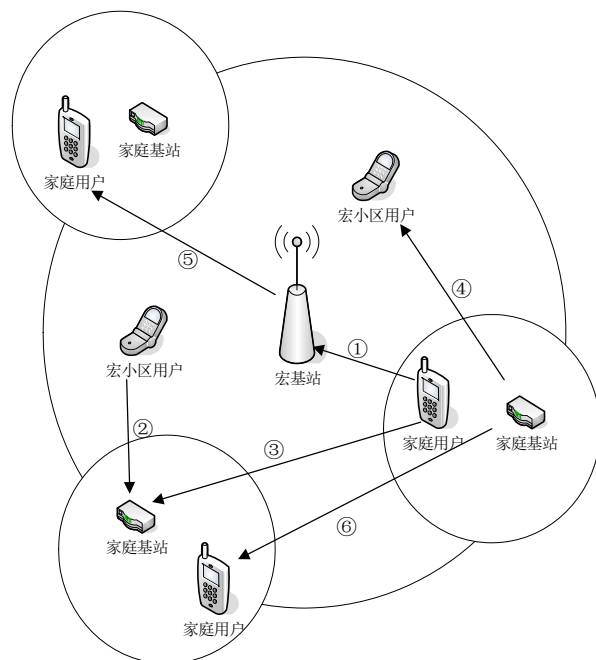


Figure 2. Interference scenarios related to femtocell communications
图 2. 系统模型和干扰示意

的干扰④、宏基站对家庭用户的干扰⑤和其他家庭基站对家庭用户的干扰⑥。这三类干扰可简化为两类：宏用户受到的干扰和家庭用户受到的干扰。宏小区用户收到附近家庭基站的干扰，家庭用户同时受到宏基站和其他家庭基站的干扰，特别是家庭基站较多，部署较为密集的时候，干扰的影响将非常大。

3. 认知干扰管理策略

3.1. 基于信道复用的干扰管理策略

3.1.1. 策略思想

假设将小区用户 1 所使用的信道资源块表示为 $A_1 = \{f_1, t_1, c_1, s_1\}$ ， A_1 是由频率 f 、时间 s 、码字 c 和空间 s 所组成的四维信道模式。在 GSM 系统中， $A_{GSM} = \{f, t\}$ ；在 HSDPA 系统中， $A_{HSDPA} = \{t, c, s\}$ 。一般来说，对于同一个宏小区中的用户 1 和用户 2，我们采用传统的正交信道复用方式，来保证用户之间不发生干扰，即

$$A_1 \perp A_2 \quad (1)$$

同样地，如果小区用户附近的基站能够选择与该用户所占用的信道资源块正交的信道，将可消除其对小区用户的干扰。

基于以上分析,我们提出一种认知的干扰管理策略,基站作为认知干扰管理过程中的次用户,周期性地感知周围一定范围内的小区用户,并复用与其信道资源块正交的信道来避免干扰。具体过程如图3所示(以宏小区用户为例):

步骤1 信号侦听:家庭基站侦听宏小区用户的上行信号,由于上行信号的功率一般都比较大,家庭基站可以很方便的进行干扰信号的判别。家庭基站将其附近一定范围内的宏小区用户视为被干扰用户,这个范围由干扰门限 G 来决定,如果家庭基站到某宏小区用户的路径损耗大于干扰门限 G ,那么将该宏小区用户视为被干扰用户。

步骤2 信道资源获取:上行信道信息决定了使用该信道资源的用户,因此家庭基站可以向宏基站询问使用该信道资源的用户信息,并获知该用户下行信道所使用的信道资源块。

步骤3 认知信道复用:家庭基站复用与其附近宏用户下行信道资源块正交的信道,从而减小干扰。

3.1.2. 信道复用效率

假设宏小区中有 N_p 个宏小区用户和 N_q 个家庭基站,对于任意的宏小区用户 i ,宏基站为其分配了 A_i 个信道。对于给定的干扰门限 G ,假设该用户周围共有 N_i 个家庭基站需要进行正交信道复用,那么,整个宏小区由于使用了认知干扰管理策略而损失的信道数为

$$A_{\text{损失}} = \sum_{i=1}^{N_p} A_i * N_i \quad (2)$$

假设宏小区和家庭小区共同可用的信道资源块的数目为 A ,那么信道复用效率

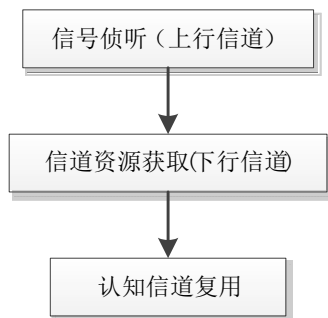


Figure 3. Procedure for interference management based on channel reuse

图3. 基于信道复用的干扰管理过程

$$\eta = 1 - \frac{A_{\text{损失}}}{A * N_q} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_p} A_i * N_i}{A * N_q} \quad (3)$$

当干扰门限 G 越小的时候,家庭基站的感知灵敏度越高, N_i 越大,宏小区用户受到的干扰越小, η 越低。

基于信道复用的干扰管理策略根据给定的干扰门限 G 进行干扰管理,不仅算法较为简单,而且仅仅是距离用户较近的基站,即对用户干扰较大的基站需要牺牲一部分信道资源,避免了离用户较远的基站进行信道复用而产生不必要的信道资源浪费。干扰门限 G 的选取也非常重要,若干扰门限 G 选择过大,则被干扰用户仍然受到较大的干扰,性能得不到提高;若干扰门限 G 选择过小,则损失的信道资源过多,信道复用效率太低。

3.2. 基于机会选择的干扰管理策略

文献[12]研究了分布式信道选择机制来解决异构网络中的干扰,文中提出了两种机会选择机制,分别以最大化信道增益和最小化信道干扰为准则。本文的机会选择机制将这两种准则相结合。

系统中所有可用的正交信道资源块组成集合,称为信道资源池。同一时间,若分配信道资源池中不同的信道资源块给用户,用户所受到的干扰情况也不同。若分配信道资源 $C_i (1 \leq i \leq M, M$ 为总的信道资源块数目)给任意的用户 $x (1 \leq x \leq X, X$ 为用户数目),我们定义

$$\alpha_{x,i} = \frac{G_{x,i}}{I_{x,i} + N_{x,i}} \quad (4)$$

来表示该信道上的干扰。其中, $G_{x,i}$ 表示信道增益, $I_{x,i}$ 表示用户受到的干扰,包括其他家庭基站和宏基站所引起的干扰, $N_{x,i}$ 表示信道的噪声。 α 越大,干扰越小。我们的干扰管理策略是分配最优的信道资源块 i^* 给用户,其中 i^* 满足

$$i^* = \arg \max_i (\alpha_{x,1}, \alpha_{x,2}, \dots, \alpha_{x,i}, \dots, \alpha_{x,M}) \quad (5)$$

同时,为了确保用户的通信质量,该信道上还应该满足用户的 Qos 需求:

$$P_x \alpha_{x,i^*} \geq \gamma_x \quad (6)$$

其中, P_x 表示服务基站的发射功率, γ_x 表示用户的信噪比门限。

一般来说, 一个基站为多个用户服务, 为了减小对整个网络的干扰, 在满足每个用户 Qos 需求的情况下, 应该动态地尽可能小的配置基站的发射功率。根据上面的分析, 用户的干扰问题可以转化为如下的优化问题:

$$\begin{aligned} & \min \sum_{x=1}^X P_x \\ & s.t. P_x \alpha_{x,i^*} \geq \gamma_x, \quad x=1,2,\dots,X \\ & P_x \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

整个认知干扰管理的过程如图 4 所示(以家庭用户为例):

步骤 1 环境感知: 家庭基站周期性的感知周围的无线环境;

步骤 2 干扰确定: 家庭基站根据感知结果和公式(4)确定每个用户所受到的干扰情况 α ;

步骤 3 信道选择: 确定了用户的干扰情况后, 根据公式(5)选择信道资源;

步骤 4 功率分配: 判断所选择信道能否满足用户的 Qos 需求。如果满足, 使用该信道, 并分配功率; 否则, 重新选择。

4. 仿真分析

为了研究本文所提出的认知干扰管理策略的系

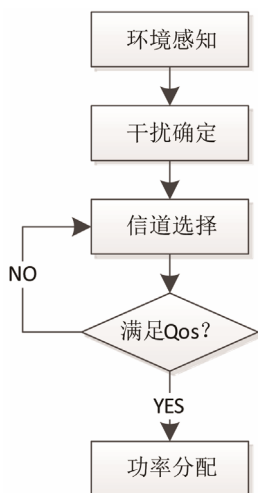


Figure 4. Procedure for interference management based on opportunistic selection
图 4. 基于机会选择的干扰管理过程

统性能, 我们在 OFDMA 的系统模型下, 通过调整宏小区中家庭基站的数目, 观察宏小区用户和家庭基站用户在 10,000 次试验下的 $SINR$ 中断概率。

4.1. 仿真参数设置

Table 1. Simulation parameters
表 1. 仿真系统的参数

仿真参数名称	参数值
宏小区半径	500 m
宏小区衰落模型	$L(d) = 30 + 40\log_{10}(d)$ (dB)
宏基站发射功率	200 mW/信道
家庭基站发射功率	1 mW/信道
总的信道资源数	100
家庭小区衰落模型	$L(d) = \begin{cases} 40 + 25\log_{10}(d) & (d \leq d_0) \\ 60 + 25\log_{10}(d_0) + \log_{10}(d - d_0) & (d > d_0) \end{cases}$ (dB)
	$d_0 = 15$ m

4.2. 仿真结果与分析

图 5 给出了宏小区用户在两种不同的干扰管理策略下 $SINR \leq 5$ dB 的中断概率。从图中可以看出, 基于信道复用的认知干扰管理策略和基于机会选择的认知干扰管理策略都能保持较低的中断概率, 即使当家庭基站的个数逐渐增加时, 两者的性能差异也不大。

图 6 是家庭用户在两种不同的干扰管理策略下 $SINR \leq 10$ dB 的中断概率。家庭基站在采用基于机会选择的认知干扰管理策略时, 即使当干扰门限取值很小, 如图中 $G = -135$ dB, 宏小区中的家庭基站个数

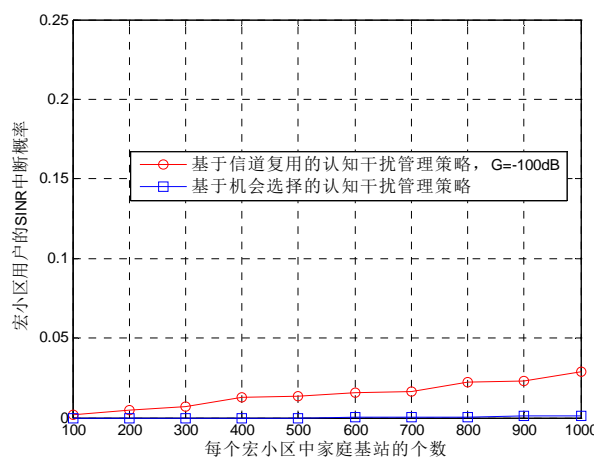


Figure 5. The comparison of macrocell user under different interference management schemes
图 5. 宏小区用户采用两种干扰管理策略的性能比较

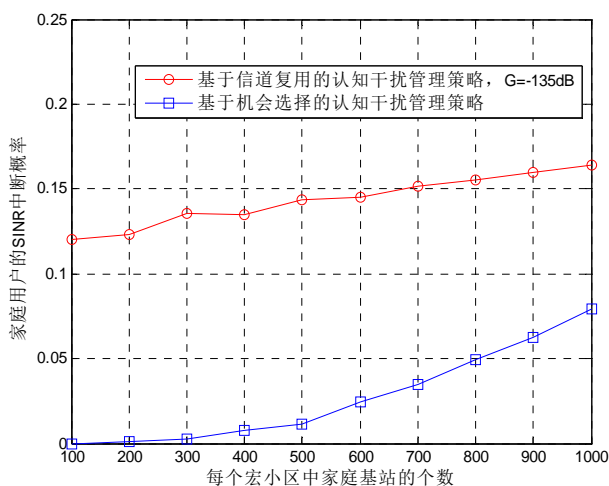


Figure 6. The comparison of femtocell user under different interference management schemes
图 6. 家庭用户采用两种干扰管理策略的性能比较

仅为 100 个时，家庭用户的 $SINR$ 中断概率已经超过 0.1，且随着家庭基站数目的增多而逐渐增大。而当家庭基站的数目达到 1000 时，基于机会选择的认知干扰管理策略则能保持低于 0.1 的 $SINR$ 中断概率。

根据以上分析，宏小区用户在这两种干扰管理策略下 $SINR$ 性能差异不大，但基于信道复用的认知干扰管理策略算法较为简单，复杂度比基于机会选择的认知干扰管理策略低很多(表 2)，且用户能够根据自己的需要选择系统的灵敏度，在实现上存在一定的优越性。对于家庭用户来说，若采用基于信道复用的认知干扰管理策略，其系统性能较差，不能满足 Qos 的需求。因此，宏小区用户适合采用基于信道复用的认知干扰管理策略，家庭用户适合采用基于机会选择的认知干扰管理策略。

图 7 和图 8 分别对比了宏小区用户和家庭用户在两种不同的情况下 $SINR$ 的中断概率，第一种情况是网络中的用户随机地选择信道资源，第二种情况是网络中的用户根据上文所分析的认知干扰管理策略进行信道分配，即宏小区用户(图 7)采用了基于信道复用的干扰管理策略，家庭小区用户(图 8)采用了基于机会选择的认知干扰管理策略。

从图 7 可以看出，随机使用信道资源时，当宏小区中家庭基站的个数达到 2000 个时， $SINR \leq 5$ dB 中断概率已经超过 90%。运用基于信道复用的认知干扰管理策略后， $SINR$ 性能明显提高。当家庭基站数目达到 5000 个时，宏小区用户 $SINR$ 中断概率仍然小于

Table 2. The complexity comparison of different interference management schemes
表 2. 两种干扰管理策略算法复杂度比较

每个宏小区中家庭基站的数目 k	基于信道复用的认知干扰管理策略的时间复杂度	基于机会选择的认知干扰管理策略的时间复杂度
100	400	500,000
500	2000	2,500,000
1000	4000	5,000,000
	$4 \times k$	$5000 \times k$

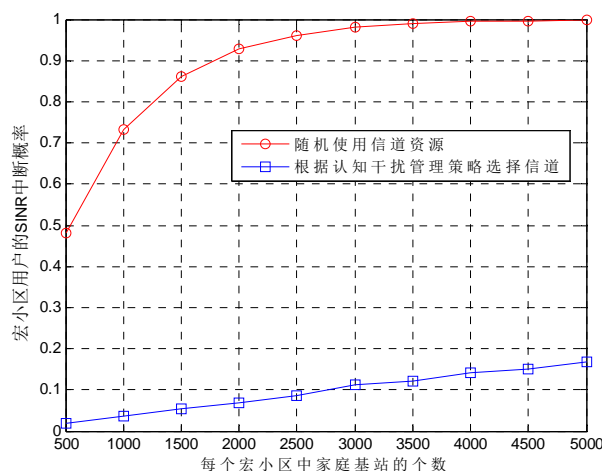


Figure 7. Macrocell user SINR outage
图 7. 宏小区用户的 SINR 性能

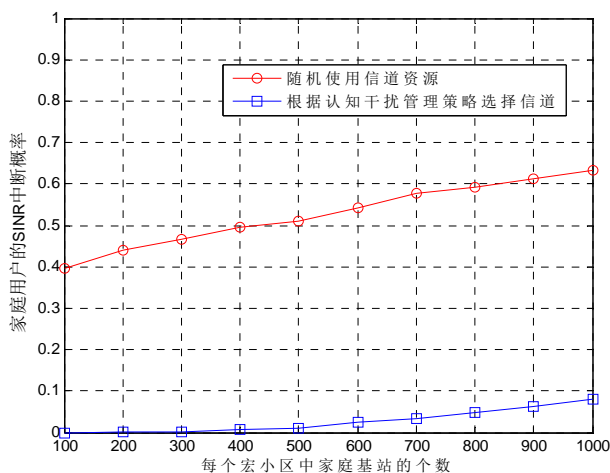


Figure 8. Femtocell user SINR outage
图 8. 家庭小区用户的 SINR 性能

0.2。在进行仿真时，我们选择了干扰门限 $G = -90$ dB。干扰门限 G 越小，家庭用户感知周围的宏小区用户越灵敏，宏小区用户受到的干扰也越小。干扰门限 G 对宏小区用户性能的影响见图 9。

图 8 也很好地体现了家庭用户采用基于机会选择

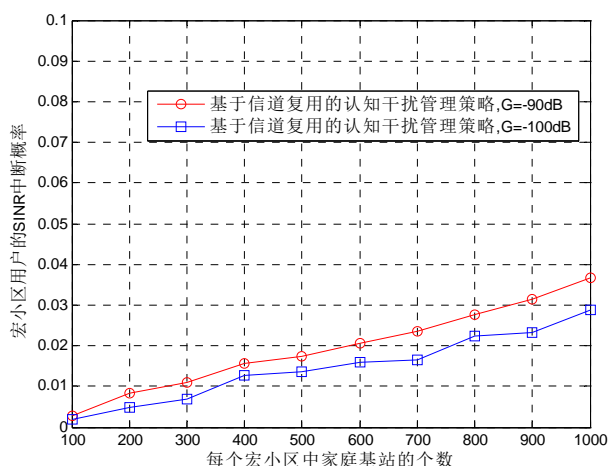


Figure 9. Macrocell user SINR outage under different threshold
图 9. 宏小区用户不同干扰门限下的 SINR 中断概率

的认知干扰管理策略后性能的提高。若家庭用户随机使用信道资源，当宏小区中的家庭基站个数达到 500 个时， $SINR$ 中断概率已经达到 0.5。而进行干扰管理后，家庭基站数目为 1000 时，家庭用户也能够保持低于 0.1 的 $SINR \leq 10$ dB 中断概率。

图 9 显示了当干扰门限分别选取 $G = -90$ dB 和 $G = -100$ dB 的时候，宏小区用户 $SINR \leq 5$ dB 的中断概率。当干扰门限 G 变小时，宏小区用户附近更大范围内的家庭基站需要感知周围环境，并采用基于信道复用的认知干扰管理策略，因此，宏小区用户受到的干扰也越小，同时家庭基站需要牺牲更多的信道资源块，整个小区的信道利用效率 η 降低。

5. 结论

在本文中，针对异构网络中的干扰问题，分析了基于信道复用和基于机会选择的认知干扰管理策略。仿真研究表明：基于信道复用的认知干扰管理策略适合于宏小区用户，基于机会选择的认知干扰管理策略适合于家庭用户。运用了认知干扰管理策略后，宏小

区用户和家庭用户的系统性能得到较大提高，即使异构网络中每个宏小区中的家庭基站较多时，宏小区用户和家庭用户仍然能够保持较低的 $SINR$ 中断概率。

6. 致谢

本文受到国家自然科学基金(60972041, 61271234)资助，特此感谢！

参考文献 (References)

- [1] ABI Research, Picochip, Airvana. IP. access, gartner and telefonica espana. 2nd International Conference on Home Access Points and Femtocells, 2007.
- [2] J. Cullen. Radioframe. Femtocell Europe, 2008.
- [3] V. Chandrasekhar, J. Andrews and A. Gatherer. Femtocell networks: A survey. IEEE Communication Magazine, 2008, 46(9): 59-67.
- [4] T. Zahir, K. Arshad, A. Nakata, et al. Interference management in femtocells. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013, 15(1): 293-311.
- [5] L. Wang, Y. S. Zhang and Z. R. Wei. Mobility management schemes at radio network layer for LTE femtocells. IEEE 69th Vehicular Technology Conference, 26-29 April 2009: 1-5.
- [6] M. Latham. Consumer attitudes to femtocell enabled in-home services-insights from a European survey. Femtocells Europe, 2008.
- [7] M. Neruda, J. Vrana and R. Bestak. Femtocells in 3G mobile networks. 16th International Conference on Systems, Signals and Image Processing, 18-20 June 2009: 1-4, 18-20.
- [8] A. Ghasemi, E. S. Sousa. Spectrum sensing in cognitive radio networks: Requirements, challenges and design tradeoffs. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(4): 32-39.
- [9] S. Xie, Y. Liu, Y. Zhang, et al. A parallel cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(8): 1-13.
- [10] M. E. Sahin, I. Guvenc, M.-R. Jeong, et al. Handling CCI and ICI OFDMA femtocell networks through frequency scheduling. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(4): 1936-1944.
- [11] H.-S. Jo, C. Mun, J. Moon, et al. Interference mitigation using uplink power control for two tier femtocell networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(10): 4906- 4910.
- [12] C. Lee, J.-H. Huang and L.-C. Wang. Distributed channel selection principles for femtocells with two-tier interference. 2010 IEEE 71st Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring), 16-19 May 2010: 1-5.