

双层网络中一种新的接入控制机制

穆施瑶^{1,2}, 朱 琦^{1,2}

(1. 南京邮电大学教育部宽带无线通信与传感网技术重点实验室, 江苏南京 210003; 2. 江苏省无线通信重点实验室, 江苏南京 210003)

摘要: 在由宏小区和家庭小区构成的双层网络中,合理的进行资源分配可有效的控制干扰和优化容量. 本文通过建立双层网络的下行干扰模型,分析了不同的资源分配方案和接入机制下的网络性能,提出了接入机制的优化算法,在保证用户通信概率要求的前提下对系统容量进行了优化. 仿真结果表明,本文的接入控制机制在保证用户中断概率的条件下,提高了家庭基站允许的最大发射功率,优化了系统容量.

关键词: 双层网络; 接入机制; 网络性能; 通信概率

中图分类号: TN929.531

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2015)06-1231-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.06.029

A New Access Control Mechanism in Two-Layer Network

MU Shi-yao^{1,2}, ZHU Qi^{1,2}

(1. Key Lab on Wideband Wireless Communications and Sensor Network Technology of Ministry of Educations, Nanjing, Jiangsu 21003, China)

(2. Jiangsu Key Lab of Wireless Communications of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 21003, China)

Abstract: In the two-layer network comprised of macro cells and femtocells, reasonable allocation of resources can effectively control interference and optimize capacity. In this paper, network performance when using different resource allocation schemes are analyzed with the model of downlink interference in two-layer network. The optimization algorithm for users is proposed, which can increase system capacity and guarantee users' communication probability. The simulation results show that femtocells' permitted transmit power is improved based on the proposed access mechanism, and system capacity is also optimized.

Key words: two-layer network; access mechanism; network performance; communication probability

1 引言

现阶段无线运营商正引入越来越多的补充设施,其中具有代表性的一种提高室内覆盖率的方法是引入家庭基站^[1]. 家庭基站是一个低功率、小覆盖面积的无线接入点,放置于家庭或企业内部,在降低发射功率的情况下能让用户体验到更好的室内服务. 因此,家庭基站正成为研究的热点^[2].

引入家庭系统后,出现了双层网络,双层网络中的无线资源管理和干扰管理是一项重要的课题^[3]. underlay 和 overlay 是宏基站和家庭基站共享频谱的两种方式. 在 overlay 方式下,家庭基站和宏基站不可共享时间-频率块,因而不存在跨层干扰,但频谱利用率较低^[4]. 在 underlay 方式下,家庭基站和宏基站可共享时间-频率块,此时跨层干扰起主导作用. 家庭基站的接入机制可分为开放和封闭. 封闭机制下,宏用户仅可接入宏基站,开放机制下,宏用户有选择性地接入家庭基站或宏基

站. 开放机制可让用户根据当前环境来选择接入的基站,频谱利用率更高,但如何设计一个好的开放接入机制,能为用户提供满意的服务质量并提高系统容量,还需要深入研究. 本文基于随机几何理论构建了双层网络下行干扰模型,在 underlay 和 overlay 场景下,推导了封闭机制时为了满足用户的信干噪比要求,家庭基站允许的功率上限值. 在开放机制下,引入了家庭基站的接入因子,推导获得接入因子的最优值,以及在满足宏用户性能要求的前提下,家庭基站允许的最大发射功率.

2 系统干扰模型

如图 1 所示,本文考虑一个双层网络,第一层网络由半径 R_m 的宏小区构成,宏基站以功率 P_m 发射信号. 第二层网络由一组半径 R_f 的家庭小区构成,家庭基站服从泊松点分布^[5](密度为 λ_f),考虑实际情况下,家庭基站一般分布在室内,因此增加了墙壁衰落. 每个家庭基站以功率 P_f 发射信号.

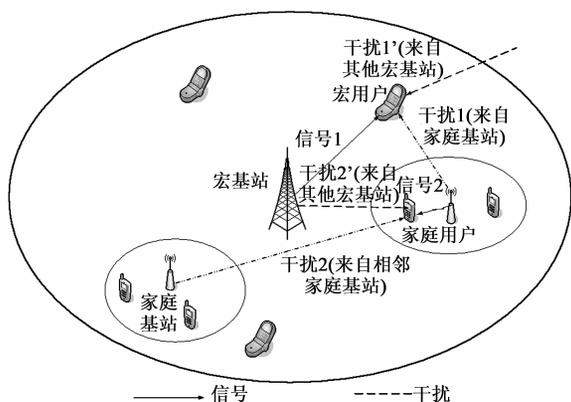


图1 双层网络的下行干扰模型

下文采用随机几何的方法研究网络中的干扰问题^[5,6],采用瑞利衰落信道模型,瑞利信道的增益为 μ , 墙壁衰落为 β ,背景噪声为 N_0 ,路径衰落系数为 α .用户处数据能否成功接收取决于用户处的信干噪比是否高于信干噪比要求 γ^{tar} (宏用户为 γ_m^{tar} ,家庭用户为 γ_f^{tar}),为保证传输质量,用户处的中断概率要求小于等于 ϵ (宏用户为 ϵ_m ,家庭用户为 ϵ_f).

3 接入机制的优化方案

此部分研究了双层网络中不同的资源共享方式,提出了一种接入机制的优化方案,并采用随机几何的方法分析了不同接入机制下家庭基站允许的最大发射功率.

3.1 overlay 场景

在 overlay 场景下,宏基站和家庭基站不能同时占用资源,故对宏用户,干扰仅来自于相邻的宏基站.

家庭用户的信干噪比可表示为 $\gamma_f = \frac{P_f * \mu * r_f^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}}$,

其中 P_f 指家庭基站的发射功率, μ 指信道增益, $I_{f,f}$ 指家庭基站间的干扰.

考察小区边缘用户的信干噪比 $\gamma_f = \frac{P_f * \mu * R_f^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}}$,

其中 R_f 指家庭小区的半径, $I_{f,f}$ 可表示为 $I_{f,f} = \sum_{d_j \in |d_0|} P_f * \mu_{d_j} * \|d_j\|^{-\alpha} * \beta_{f,f}$, j 指相邻家庭基站, d_j 指家庭基站 j 到该家庭用户的距离, $\|d_j\|^{-\alpha}$ 指路径衰落, μ_{d_j} 指 j 到该家庭用户的信道增益, $\beta_{f,f}$ 指家庭小区间的墙壁衰落.对 $I_{f,f}$ 做拉普拉斯变换,可得:

$$E[\exp(-s_1 I_{f,f})] = \exp\left(-2\pi\lambda_f \int_0^\infty \frac{u}{1 + \frac{u^\alpha}{s_1 P_f \beta_{f,f}}} du\right) = \exp(-\lambda_f P_f^\delta \beta_{f,f}^\delta s_1^\delta K_\alpha)$$

(1)

其中: $s_1 = \frac{\gamma_f^{\text{tar}}}{P_f R_f^{-\alpha}}, K_\alpha = \frac{2\pi^2}{\alpha} \sin \frac{2\pi}{\alpha}, \delta = \frac{2}{\alpha}$.

家庭用户的通信概率可表示为 $P[\gamma_f \geq \gamma_f^{\text{tar}}]$,其中 γ_f^{tar} 为家庭用户通信所需的信干噪比最低值,将家庭用户信干噪比的定义代入,通信概率可表示为:

$$P[\gamma_f \geq \gamma_f^{\text{tar}}] = P\left[\frac{P_f \mu R_f^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}} \geq \gamma_f^{\text{tar}}\right] = P\left[\mu \geq \frac{\gamma_f^{\text{tar}}}{R_f^{-\alpha} P_f} (N_0 + I_{f,f})\right] = 1 - \epsilon_f$$

(2)

令 $s_1 = \frac{\gamma_f^{\text{tar}}}{P_f R_f^{-\alpha}}$,则式(2)可表示如下:

$$P[\mu \geq s_1 (N_0 + I_{f,f})] = \exp\left(-\frac{\gamma_f^{\text{tar}} N_0}{P_f R_f^{-\alpha}}\right) * \exp(-\lambda_f R_f^2 (\gamma_f^{\text{tar}})^\delta \beta_{f,f}^\delta K_\alpha) = 1 - \epsilon_f$$

(3)

求解得:

$$P_f = \frac{\gamma_f^{\text{tar}} N_0 R_f^\alpha}{-\ln(1 - \epsilon_f) - \lambda_f R_f^2 (\gamma_f^{\text{tar}})^\delta \beta_{f,f}^\delta K_\alpha}$$

(4)

因此家庭基站发射功率的取值范围为:

$$\left[0, \frac{\gamma_f^{\text{tar}} N_0 R_f^\alpha}{-\ln(1 - \epsilon_f) - \lambda_f R_f^2 (\gamma_f^{\text{tar}})^\delta \beta_{f,f}^\delta K_\alpha}\right]$$

在 overlay 场景下,宏基站与家庭基站不共享资源,故宏用户接入的基站不影响家庭基站的发射功率.

3.2 underlay 场景

如第 2 节分析,在 underlay 场景下,家庭基站的接入机制会影响宏用户接入基站的类型,因而家庭基站允许的最大发射功率会受到接入机制的影响.

3.2.1 家庭基站封闭机制

在家庭基站封闭时,家庭基站对宏用户不开放.

宏用户的信干噪比为 $\gamma_m = \frac{P_m * \mu * r_m^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,m}}$, $r_m^{-\alpha}$ 指路径衰落, $I_{f,m}$ 指家庭基站对宏用户的干扰.考察小区边缘用户的信干噪比 $\gamma_m = \frac{P_m * \mu * R_m^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,m}}$,其中 $I_{f,m}$ 可表示为 $I_{f,m} = \sum_{d_j} P_f * \mu_{d_j} * \|d_j\|^{-\alpha} * \beta_{f,m}$, $\|d_j\|^{-\alpha}$ 指路径衰落, $\beta_{f,m}$ 指家庭小区和宏小区的墙壁衰落.对其做拉普拉斯变换,可得:

$$E[\exp(-s_2 I_{f,m})] = \exp\left(-2\pi\lambda_f \int_0^\infty \frac{u}{1 + \frac{u^\alpha}{s_2 P_f \beta_{f,m}}} du\right) = \exp(-\lambda_f P_f^\delta \beta_{f,m}^\delta s_2^\delta K_\alpha)$$

(5)

其中 $s_2 = \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{P_m R_m^{-\alpha}}, K_\alpha = \frac{2\pi^2}{\alpha} \sin \frac{2\pi}{\alpha}, \delta = \frac{2}{\alpha}$

宏用户的通信概率为 $P[\gamma_m \geq \gamma_m^{\text{tar}}]$,将家庭用户信干噪比的定义代入,可表示为:

$$P[\gamma_m \geq \gamma_m^{\text{tar}}] = P\left[\frac{P_m * \mu * R_m^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,m}} \geq \gamma_m^{\text{tar}}\right] \quad (6)$$

$$= P\left[\mu \geq \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{R_m^{-\alpha} P_m} (N_0 + I_{f,m})\right] = 1 - \epsilon_m$$

又 $s_2 = \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{P_m R_m^{-\alpha}}$ 及式(5), 式(6)可表示如下:

$$P[\mu \geq s_2 (N_0 + I_{f,m})] = \exp\left(-\frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0}{P_m * R_m^{-\alpha}}\right) * \exp\left(-\lambda_f R_m^2 \left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} P_f \beta_{f,m}}{P_m}\right)^\delta K_\alpha\right) = 1 - \epsilon_m \quad (7)$$

可得到封闭机制下家庭基站的功率上限值为:

$$P_{f,1} = \frac{P_m * e^{\frac{-\ln(1-\epsilon_m) - \frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0}{P_m R_m^{-\alpha}}}{\lambda_f R_m^2 K_\alpha \delta}}}{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m}} \quad (8)$$

由上文, 小区边缘用户的信干噪比为 $\gamma_f =$

$\frac{P_f * \mu * R_f^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}}$, $I_{f,f}$ 为 $I_{f,f} = \sum_{d_j \in \mathcal{I}_{d_0}} P_f * \mu_{d_j} * \|d_j\|^{-\alpha} * \beta_{f,f}$, 对其做拉普拉斯变换, 可得: $E[\exp(-s_3 * I_{f,f})] = \exp(-\lambda_f P_f^\delta \beta_{f,f}^\delta s_3^\delta K_\alpha)$, 则家庭用户的通信概率可表示如下:

$$P[\gamma_f \geq \gamma_f^{\text{tar}}] = \exp\left(-\frac{\gamma_f^{\text{tar}} N_0}{P_f * R_f^{-\alpha}}\right) * \exp(-\lambda_f R_f^2 (\gamma_f^{\text{tar}})^\delta \beta_{f,f}^\delta K_\alpha) = 1 - \epsilon_f \quad (9)$$

可以得到封闭机制下家庭基站的功率上限值为:

$$P_{f,2} = \frac{\gamma_f^{\text{tar}} N_0 R_f^\alpha}{-\ln(1-\epsilon_f) - \lambda_f R_f^2 (\gamma_f^{\text{tar}})^\delta \beta_{f,f}^\delta K_\alpha} \quad (10)$$

故家庭基站封闭机制时家庭基站的功率上限值为:

$$P_f = \{P_{f,1}, P_{f,2}\}_{\min} \quad (11)$$

3.2.2 家庭基站开放机制

在家庭基站开放时, 宏用户可选择接入基站的类型, 宏用户判断接入宏基站还是家庭基站的条件为:

当 $P_f * kd_{\|M-u\|} \geq P_m * d_{\|F-u\|}$ 时, 接入家庭基站; 当 $P_f * kd_{\|M-u\|} < P_m * d_{\|F-u\|}$ 时, 接入宏基站, 其中 M 表示宏基站, F 表示家庭基站, u 表示宏用户, $d_{\|F-u\|}$ 表示家庭基站与宏用户的距离, $d_{\|M-u\|}$ 表示宏基站与宏用户的距离, k 定义为接入因子

(1) 对接入家庭基站的宏用户 $P_f * kd_{\|M-u\|} \geq P_m * d_{\|F-u\|}$, 令 $r_u = \frac{P_f}{P_m} * d_{\|M-u\|}$, 则 $d_{\|F-u\|} \leq kr_u$. 取边界用户 $d_{\|F-u\|} = kr_u$, 信干噪比可表示为 $\gamma_m = \frac{P_f * \mu * d_{\|F-u\|}^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}} = \frac{P_f * \mu * (kr_u)^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}}$, 其中 P_f' 指该家庭基站的初始发射功率, $I_{f,f}$ 指来自相邻家庭基站的

干扰, 为 $I_{f,f} = \sum_{d_j \in \mathcal{I}_{d_0}} P_f * \mu_{d_j} * \|d_j\|^{-\alpha} * \beta_{f,f}$, $\beta_{f,f}$ 指家庭基站间的墙壁衰落. 对其做拉普拉斯变换:

$$E[\exp(-s_4 * I_{f,f})] = \exp\left(-2\pi\lambda_f \int_0^\infty \frac{u}{1 + \frac{u^\alpha}{s_4 P_f \beta_{f,f}}} du\right) = \exp(-\lambda_f P_f^\delta \beta_{f,f}^\delta s_4^\delta K_\alpha) \quad (12)$$

通信概率可表示如下:

$$P[\gamma_m \geq \gamma_m^{\text{tar}}] = P\left[\frac{P_f' \mu (kr_u)^{-\alpha}}{N_0 + I_{f,f}} \geq \gamma_m^{\text{tar}}\right] = P\left[\mu \geq \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{(kr_u)^{-\alpha} P_f'} (N_0 + I_{f,f})\right] = 1 - \epsilon_m \quad (13)$$

又 $s_4 = \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{P_f' (kr_u)^{-\alpha}}$, 得:

$$P[\mu \geq s_4 (N_0 + I_{f,f})] = \exp\left(-\frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0}{P_f' (kr_u)^{-\alpha}}\right) * \exp\left(-\lambda_f \left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} P_f \beta_{f,f}}{P_f'}\right)^\delta (kr_u)^{\alpha * \delta} K_\alpha\right) = 1 - \epsilon_m \quad (14)$$

可得到开放机制下家庭基站的功率上限值为:

$$P_f = \frac{P_f' * e^{\frac{-\ln(1-\epsilon_m) - \frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0 (kr_u)^\alpha}{P_f'}}{\ln \frac{\lambda_f (kr_u)^{\alpha \delta} K_\alpha}{\delta}}}{\beta_{f,f} * \gamma_m^{\text{tar}}} \quad (15)$$

(2) 对接入宏基站的宏用户, 可得 $P_f * kd_{\|M-u\|} <$

$P_m * d_{\|F-u\|}$, 令 $r_u = \frac{P_f}{P_m} * d_{\|M-u\|}$, 则 $d_{\|F-u\|} > kr_u$.

宏用户的信干噪比为 $\gamma_m = \frac{P_m * \mu * r_u^{-\alpha} * \left(\frac{P_f}{P_m}\right)^\alpha}{N_0 + I_{f,m}}$,

$I_{f,m}$ 可表示 $I_{f,m} = \sum_{d_j \in \mathcal{I}_{kr_u, +\infty}} P_f * \mu_{d_j} * \|d_j\|^{-\alpha} * \beta_{f,m}$,

由于 $\|d_j\| > kr_u$, 积分从 kr_u 开始.

对 $I_{f,m}$ 做拉普拉斯变换得:

$$E[\exp(-s_5 * I_{f,m})] = \exp\left(-2\pi\lambda_f \int_{kr_u}^\infty \frac{u}{1 + \frac{u^\alpha}{s_5 P_f \beta_{f,m}}} du\right) \quad (16)$$

其中 $s_5 = \frac{\gamma_m}{P_m R_m^{-\alpha}}$

将 $\alpha = 4$ 代入, 可得:

$$E[\exp(-s_5 * I_{f,m})] = \exp\left(-\lambda_f R_m^2 \left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m} P_f}{P_m}\right)^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{\pi^2}{2} - \pi \tan^{-1} \left[\sqrt{\frac{P_m}{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m} P_f} (kr_u)^2} \right]\right]\right)$$

则宏用户的通信概率可表示为:

$$\begin{aligned}
 P[\gamma_m \geq \gamma_m^{\text{tar}}] &= P\left[\frac{P_m * \mu * r_u^{-\alpha} * \left(\frac{P_f}{P_m}\right)^\alpha}{N_0 + I_{f,m}} \geq \gamma_m^{\text{tar}} \right] \\
 &= P\left[\mu \geq \frac{\gamma_m^{\text{tar}}}{P_m * r_u^{-\alpha} * \left(\frac{P_f}{P_m}\right)^\alpha} (N_0 + I_{f,m}) \right] \\
 &= \exp\left(-\frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0}{P_m * r_u^{-\alpha} * \left(\frac{P_f}{P_m}\right)^\alpha} \right) \exp\left(-\lambda_f R_m^2 \left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m} P_f}{P_m} \right)^{\frac{1}{2}} \right) * \\
 &\quad \left[\frac{\pi^2}{2} - \pi \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{P_m}{\gamma_m^{\text{tar}} P_f \beta_{f,m}} \frac{(kr_u)^2}{R_m^2}} \right) \right] = 1 - \epsilon_m \quad (17)
 \end{aligned}$$

可求得如下表达式:

$$\begin{aligned}
 &\left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m} P_f}{P_m} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\pi^2}{2} - \pi \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{P_m}{\gamma_m^{\text{tar}} P_f \beta_{f,m}} \frac{(kr_u)^2}{R_m^2}} \right) \right] \\
 &\quad - \ln(1 - \epsilon_m) - \frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0 P_m}{R_m^4} \\
 &= \frac{\lambda_f R_m^2}{\lambda_f R_m^2} \quad (18)
 \end{aligned}$$

式(15)中 P_f 与 k 是减函数关系,式(18)中 P_f 与 k 是增函数关系,又 P_f 需满足两种情况下宏用户通信概率的要求,故家庭基站功率取两者中的较小值.取两者交点时,家庭基站的发射功率是满足宏用户接入和通信概率条件下允许的最大值.由式(15)和式(18)确定家庭基站开放机制下最优的开放因子 k ,下为式(15)和式(18)组成的方程组:

$$\begin{cases}
 \left(\frac{\gamma_m^{\text{tar}} \beta_{f,m} P_f}{P_m} \right)^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\pi^2}{2} - \pi \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{P_m}{\gamma_m^{\text{tar}} P_f \beta_{f,m}} \frac{(kr_u)^2}{R_m^2}} \right) \right] \\
 \quad - \ln(1 - \epsilon_m) - \frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0 P_m}{R_m^4} \\
 \quad = \frac{\lambda_f R_m^2}{\lambda_f R_m^2} \\
 \quad \quad \quad - \ln(1 - \epsilon_m) - \frac{\gamma_m^{\text{tar}} N_0 (kr_u)^\alpha}{P_f} \\
 P_f = \frac{P_f' * e^{\frac{\ln \left(\frac{\lambda_f (kr_u)^2 K_u}{\delta} \right)}}{\beta_{f,f} * \gamma_m^{\text{tar}}}}
 \end{cases}$$

4 仿真与性能分析

本文仿真场景如图 1 所示,具体参数设置如表 1 所示.

图 2 为家庭基站发射功率随 k 的变化情况,由于 P_f 取满足式(15)和式(18)的小值,式(15)中 P_f 随 k 的增加而减小,式(18)中 P_f 随 k 的增加而增加,两者会有一个交点 $k = 0.022$,此图验证了此交点的存在.

由图 3 可看出,当 k 取不同值时,家庭基站允许的

最大发射功率取不同值,当 k 取 0.022 时,家庭基站允许的发射功率最大.

表 1 仿真参数

宏小区的半径 R_m (m)	500
家庭小区的半径 R_f (m)	20
家庭小区的密度 λ_f (m^{-2})	$100/(\pi * 500^2)$
宏基站的发射功率 P_m (W)	5
宏用户信干噪比要求 γ_m^{tar} (dB)	5
家庭用户信干噪比要求 γ_f^{tar} (dB)	1
路径衰落指数 α	4
墙壁衰落 $\beta_{f,m}, \beta_{f,f}$ (dB)	$\beta_{f,m} = -20, \beta_{f,f} = -5$
噪声功率 N_0 (W)	$10^{(-15)}$
中断概率 ϵ_m, ϵ_f	0.1

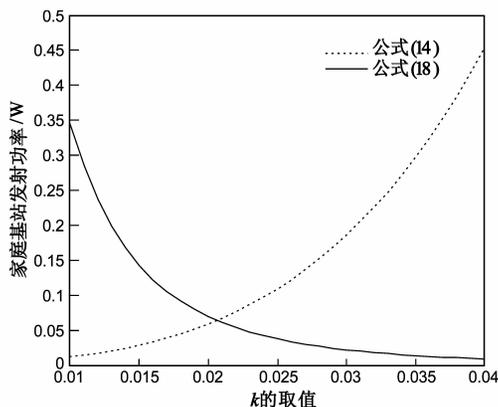


图 2 家庭基站发射功率随 k 的变化

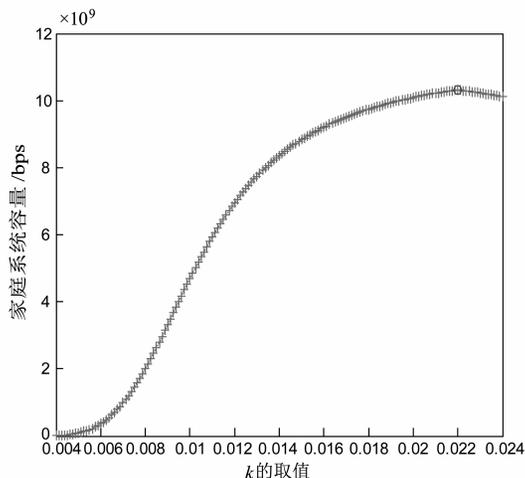


图 3 家庭系统容量随 k 的变化

如图 4 所示,实线为家庭系统容量在开放机制下(用最优接入因子 k)时的家庭系统容量,虚线为家庭系统容量在封闭机制下的容量,可以看出开放机制下的系统容量要大于封闭机制下的系统容量,因为开放时宏用户可选择临近的家庭基站,无需宏基站增大功率,且宏用户选择家庭基站时,路径损耗相对小.

图 5 给出了家庭基站发射功率与宏用户信干噪比

要求之间的关系,可以看出两者为减函数的关系.从式(15)和式(18)也可看出 P_f 与 γ_m^{tar} 为减函数关系,实际上,宏用户信干噪比要求提高,必然要求家庭基站发射功率减小.

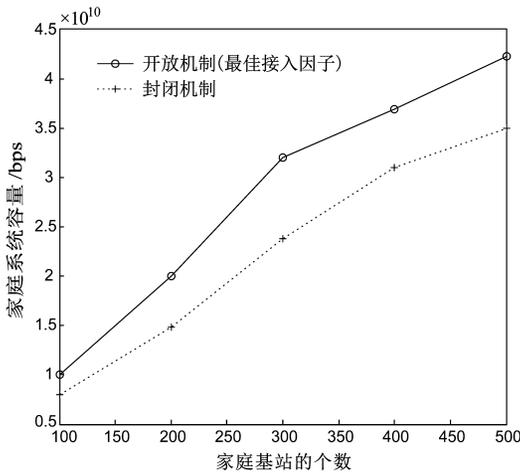


图4 家庭系统容量在开放和封闭情况下的容量比较

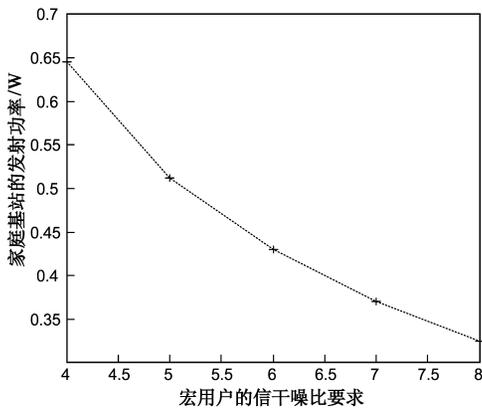


图5 家庭基站发射功率与宏用户信干噪比要求的关系

图6给出了家庭基站发射功率与宏用户通信概率之间的关系,可以看出两者为减函数的关系.式(15)、式(18)也可看出两者为减函数关系,因为宏用户通信概率要求提高,必然要求家庭基站发射功率减小.

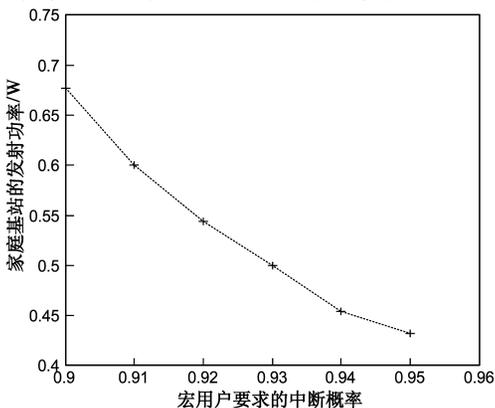


图6 家庭基站发射功率与宏用户通信概率的关系

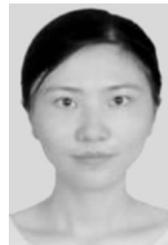
5 总结

作为4G的一种新兴技术,家庭基站正日益进入人们的日常生活,但干扰仍然是其推广的一大问题.本文研究了双层网络系统不同的频谱分配方案和接入机制下的功率分配问题.可以得出家庭基站开放机制下的发射功率要大于封闭机制下的发射功率,同时进一步优化开放因子,改进接入机制,使家庭基站的发射功率在同等条件下达到了最大,容量得到提高.仿真验证了最优因子的存在性以及允许功率的最大性.

参考文献

- [1] V Chandrasekhar, J G Andrews, A Gatherer. Femtocell networks: A survey[J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 9(46): 59-67.
- [2] Vikram Chandrasekhar, Jeffrey G Andrews, Tarik Muharemovic, Zukang Shen, Alan Gatherer. Power control in two-tier femtocell Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2009, 8(8): 4316-4328.
- [3] 盛洁,唐良瑞,郝建红.异构无线网络中基于业务转移和接入控制的混合负载均衡[J].电子学报,2013,2(41):321-328. Sheng Jie, Tang Liang-rui, Hao Jian-hong. Hybrid load balancing algorithm based on service transformation and admission control in heterogeneous wireless networks[J]. Acta Electronica Sina, 2013, 2(41): 321-328. (in Chinese)
- [4] Chung-Kai Yu, Kwang-Cheng Chen, Shin-Ming Cheng. Cognitive radio network tomography[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 4(59): 1980-1997.
- [5] Jeffrey G Andrews, Francois Bacce Ili, Radha Krishna Ganti. A tractable approach to coverage and rate in cellular networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2011, 11(59): 3122-3134.
- [6] Vikram Chandrasekhar, Jeffrey G Andrews. Spectrum allocation in tiered cellular networks[J]. IEEE Transactions on Communications, 2009, 10(57): 3059-3068.

作者简介



穆施瑶 女,1989年11月出生在江苏盐城,硕士研究生,主要研究方向为家庭基站的干扰协调.
E-mail: 425074916@qq.com

朱琦 女,1965年6月出生于江苏苏州,南京邮电大学通信与信息工程学院教授,博士生导师,主要研究方向为移动通信与无线技术.

E-mail: zhuqi@njupt.edu.cn