



热点覆盖中小区范围扩展的差异化偏移量设计

门 乐¹, 王 坦²

(1. 国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心 北京 100190; 2. 国家无线电监测中心 北京 100037)

摘要

热点微基站作为异构部署的重要组成部分,具有部署灵活、可规划性高、室外覆盖能力强等特点。由于宏、微基站并存,干扰环境复杂,给系统的无线资源管理带来了新挑战。本文以热点覆盖的小区选择为研究内容,在小区范围扩展技术的基础上,结合每个热点微基站所处的干扰环境,设计了差异化的接入偏移量,并对其可行性进行了讨论,有效地提高了小区边缘与平均谱效率。

关键词 热点覆盖;小区选择;小区范围扩展;偏移量

1 引言

热点微基站(PeNB或Picocell/Pico)覆盖作为异构部署网络的重要组成部分,具有自己独特的优势,在网络规划中扮演着重要角色^[1-2]。首先,热点基站部署灵活,如图1所示,PeNB的覆盖半径平均为40 m,服务高密度用户热点区域,其站址选择由运营商完成,有利于主动规划;其次,PeNB面向附近所有室内和室外用户,尤其针对室外,避免了家庭基站只服务授权用户而对其他邻近用户干扰难以控制的情况;第三,PeNB是具备无线资源控制层协议的实体基站,通过X2接口与宏基站(MeNB)进行连接^[1]。

在PeNB的部署中,运营商可以依照不同热点地区的

特征进行相应的规划,这将有助于最大化系统的性能。然而,开放式的PeNB部署带来了新的问题,主要体现在以下几个方面^[3-5]。

- 干扰环境复杂。PeNB的部署针对热点地区,其数量、功率等配置参数和地理位置在一定程度上是由热点地区的性质随机决定的。
- 用户分布不均匀。热点用户群密度与宏小区用户密度不同,结合用户对服务质量的不同要求,给PeNB选址、参数配置以及接入控制等带来了新的挑战。
- 小区边缘用户的位置发生变化。由于PeNB的产生,介于PeNB与MeNB覆盖交界处的用户群体成为新的小区边缘用户,传统的服务小区边缘用户的方式需要进行相应调整。

因此,热点覆盖网络对传统无线资源管理带来了新的挑战。作为PeNB部署的重要研究内容,小区选择(CS)一直以来都受到人们的高度重视。传统的小区选择通常由用户根据网络情况自行发起,如典型的基于参考信号接收功率(RSRP)的小区选择方法,用户测量若干基站的RSRP

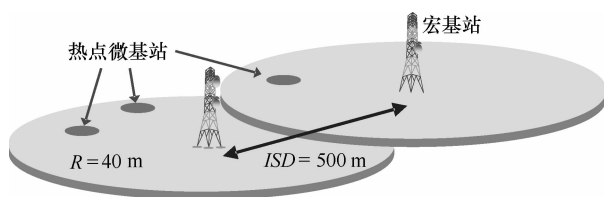


图1 PeNB大小示意



信号,然后选择信道质量最好的:

$$cellID_{\text{serv}} = \arg \max_i \{RSRP_i\} \quad (1)$$

在 PeNB 的现实部署中,当 MeNB 与 PeNB 共存时,这种简单的小区选择方法不再适用。参考 3GPP LTE 关于 PeNB 的配置可以看出,其受限于天线高度与发送功率等因素,覆盖能力十分有限^[1]。如果仅按照大尺度衰落选择接入基站,那么实际选择 PeNB 的用户会小于期望,这容易造成 MeNB 与 PeNB 之间的负载失衡。因此,适当调整接入准则,如图 2 所示,使得用户能够接入 PeNB,从而获得更好的系统性能,即使该 PeNB 不是 RSRP 最强^[6-8]。

参考文献[6]提出一种较为直观的调整办法,在 PeNB 的 RSRP 强度的基础上增加一个正值的偏移量,适当提高其接入用户设备(UE)的能力,即小区范围扩展(CRE):

$$cellID_{\text{serv}} = \arg \max_i \{RSRP_i + \text{bias}\} \quad (2)$$

这种方法能够有效平衡 MeNB 与 PeNB 的负载,实现更好的系统性能,尤其是边缘用户性能得到了明显提高。然而,这些方案为所有 PeNB 增加了同样的偏移量,这在实际情况中是不合理的。PeNB 的覆盖具有不确定性,每个 PeNB 周围的干扰环境不一致。在这种背景下,为每个 PeNB 设定不同的偏移量将使得接入算法更加精细,这种不同的偏移量主要来自不同的干扰环境。

本文对 PeNB 与 MeNB 共存下的小区选择进行研究。以小区范围扩展为基础,为每个 PeNB 设定不同的偏移量,修正其接入用户的能力。不同的偏移量计算主要由干扰环境决定。本文创新地提出了干扰区域(IR)的概念,将每个 PeNB 的干扰特定偏移量与干扰区域进行关联,其中

干扰又分为 MeNB(扇区天线)对本 PeNB(全向)的干扰以及其他 PeNB 带来的干扰。

2 系统模型

MeNB 的天线配置为扇区天线。每个 MeNB 分为 3 个扇区,每扇区覆盖 120°的角度范围。整个区域有 N 个热点小区。小区 i 的覆盖半径为 $r_i, i=1,2,\dots,N$,仅考虑大尺度衰落。任意一个区域内的用户接收到的 MeNB m 与 PeNB i 的信号功率(dB)可以表示为:

$$\begin{aligned} P_{r,m} &= P_m - a_m - b_m \lg d_m + A_H(\varphi) \\ P_{r,i} &= P_p - a_i - b_p \lg d_i \end{aligned} \quad (3)$$

其中,对于 MeNB, P_m 表示发送功率, b_m 表示用户到 MeNB 的路径损耗因子, a_m 表示用户到 MeNB 的其他大尺度衰落参数(如阴影衰落与其他常数), d_m 表示用户到 MeNB 的距离, $A_H(\varphi)$ 表示天线模式增益。同理,为 PeNB i 分别定义 a_i, b_p, d_i 。假设不同的 PeNB 有相同的发送功率 P_p ,这并不会降低问题的形式和难度。在此模型下,传统 RSRP 进行小区选择的准则可以表示为:

$$cellID_{\text{serv}} \leftarrow \arg \max \{P_{r,m}, P_{r,1}, P_{r,2}, \dots, P_{r,N}\} \quad (4)$$

结合了固定偏移量(记为 β_c ,由系统预先进行配置)的小区选择准则可以表示为:

$$cellID_{\text{serv}} \leftarrow \arg \max \{P_{r,m}, P_{r,1} + \beta_c, P_{r,2} + \beta_c, \dots, P_{r,N} + \beta_c\} \quad (5)$$

本文为每个 PeNB 小区设计独立的偏移量 β_i :

$$\beta_i = \beta_c + \beta_{i,l} \quad (6)$$

其中, β_c 是常数,所有 PeNB 保持一致; $\beta_{i,l}$ 表示由干扰环境决定的偏移量。本文使用全频率复用的频率规划策略。

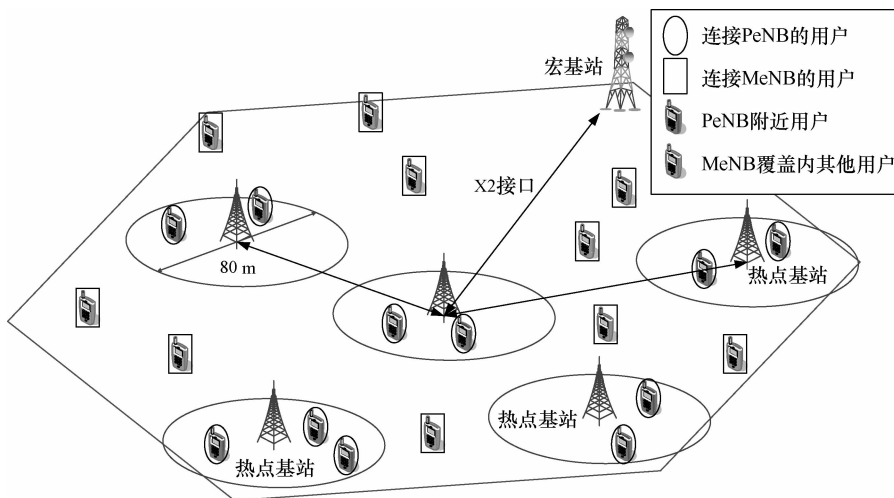


图2 热点覆盖网络的用户分布与接入示意

3 基于干扰环境的差异化偏移量设计

当一个用户的低信干比(SIR)已经不能保证其正确接收网络服务时,PeNB 选择接入这个用户是不合理的。把这个用户释放掉,将其交给 MeNB 或者其他服务能力相对较好的 PeNB 是个可行的办法。这类 UE 大都处于覆盖边缘。PeNB 可以通过提高其接入门限,缩短覆盖半径以释放用户。

将这种地处小区边缘、内部 UE 的 SIR 低于门限 λ_{th} 的区域定义为干扰区域。为了建立 IR 与目标设计干扰环境偏移量 $\beta_{i,l}$ 的关系,将 IR 假设为一个理想的圆环,如图3 左半部分所示,并认为这个圆环是整个区域其他干扰小区综合作用的结果。参考文献[9]对于这种假设给出了支持,在一个高密度多小区环境,干扰情况比较复杂的前提下,可以认为干扰均匀地来自各个方向。待设计的 $\beta_{i,l}$ 与理想 IR 区域的圆环宽度 $\Delta r_{i,l}$ 密切相关。首先计算圆环的面积,记为 δ_i 。

在实际网络中,干扰源的数量是有限的,如图3 右半部分所示。实际的 IR 是一个不规则的区域。为了计算 IR 的面积,首先假设理想情况下圆环的面积与实际网络中不规则的面积相等,接下来转为求实际网络中不规则的 IR 的面积,设为 δ_i 。为求 δ_i ,将这个不规则的 IR 区域分解为若干个互不相关的子部分,每一部分定义为 $\eta_{i,j}$,表示仅有一个干扰小区 j 时小区 i 的 IR,其中 $i \neq j$ 。定义 $S(\eta_{i,j})$ 为区域 $\eta_{i,j}$ 的面积。进一步假设整个不规则 IR 的面积是每一个互不相关的子部分 IR 得到的面积的集合,表示为:

$$\delta_i = S\left(\bigcup_{j=0, j \neq i}^N \eta_{i,j}\right) \quad (7)$$

因此,将问题转化为当目标小区只有一个干扰小区时,如何求目标小区 IR 面积的问题。

3.1 干扰小区为宏基站

对于 PeNB i , 仅有 MeNB m 对其造成干扰时, SIR 低于门限 λ_{th} 的条件为:

$$P_{r,i} - P_{r,m} \leq \lambda_{th} \quad (8)$$

将式(3)代入式(8),可以得到:

$$b \lg \frac{d_i}{d_m} + A_H(\varphi) \geq \lambda'_{th} \quad (9)$$

其中, $\lambda'_{th} = P_p - P_m - (a_i - a_m) - \lambda_{th}$ 。根据 3GPP LTE 规范中的 PeNB 部署信道模型 1^[1],路损因子分别为 $b_p = 36.7$ 、 $b_m = 37.6$ 。假设 $b_m = b_i = b$, $A_H(\varphi)$ 定义为(仅考虑水平增益)^[1]:

$$A_H(\varphi) = -\min\left[12\left(\frac{\varphi}{\varphi_{3dB}}\right)^2, A_m\right], A_m = 25 \text{ dB} \quad (10)$$

MeNB 对 PeNB 的干扰区域示意如图4 所示,假设 MeNB 与 PeNB 分别处于 $(0,0)$ 和 (p_x, p_y) , 扇区天线的主瓣朝向沿 x 轴方向。当 $|\varphi| \leq \left(\frac{A_m}{12}\right)^{\frac{1}{2}} \varphi_{3dB} = \varphi'$ 时,式(9)经过数

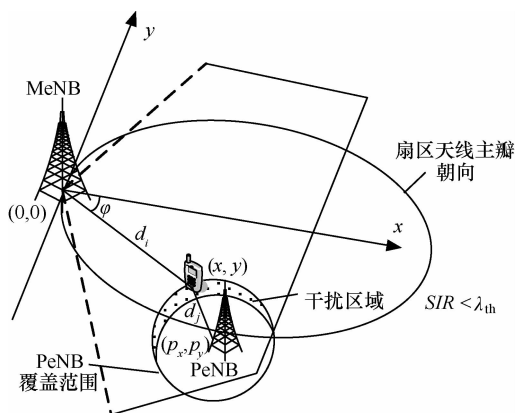


图4 MeNB 对 PeNB 的干扰区域示意

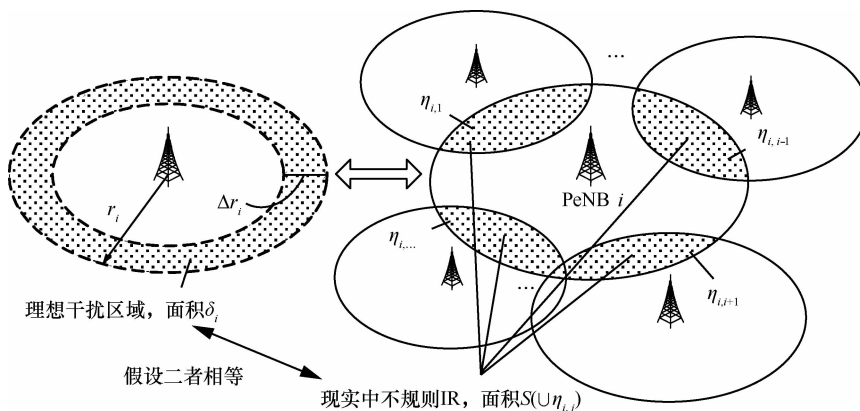


图3 干扰区域示意



学变换,在集合上等价于:

$$P_1 = \left\{ (x, y) \mid \frac{b}{2} \lg \frac{x^2 + y^2}{(x - p_x)^2 + (y - p_y)^2} - \frac{12}{\phi_{3\text{dB}}^2} \left(\arctan \frac{y}{x} \right)^2 \geq \lambda'_{\text{th}}, |\phi| \leq \phi' \right\} \quad (11)$$

式(11)是一个超越函数,其闭式解不易直接表示,可通过计算机工具求解。

当 $|\phi| > \phi'$ 时,类似有:

$$P_2 = \left\{ (x, y) \mid \frac{b}{2} \lg \frac{x^2 + y^2}{(x - p_x)^2 + (y - p_y)^2} - A_m \geq \lambda'_{\text{th}}, \phi' < |\phi| \leq 180^\circ \right\} \quad (12)$$

这部分区域将被证明是一个扇形区域,最终求得 $\eta_{i,m}$ 为:

$$\eta_{i,m} = (P_1 \cup P_2) \cap \{(x, y) \mid x^2 + y^2 < r_i^2\} \quad (13)$$

3.2 干扰小区为热点基站

当干扰小区为 PeNB j ($j \neq i$) 时,用户接入小区 i 且 SIR 不满足门限要求的条件可以表示为^[3]:

$$\frac{d_p^2}{d_m^2} \leq 10^{\frac{2}{b}} \left[(P_p - P_m) - (a_p - a_m) - \lambda_{\text{th}} \right] \quad (14)$$

其中,设 $10^{\frac{2}{b}} \left[(P_p - P_m) - (a_p - a_m) - \lambda_{\text{th}} \right] = \lambda'_{\text{th}}$ 。结合 MeNB 与 PeNB 的坐标,式(14)可表示为:

$$\frac{(x-d)^2 + y^2}{x^2 + y^2} \leq \lambda'_{\text{th}} \quad (15)$$

可将式(15)进一步转化为圆的标准形式:

$$\left(x - \frac{d}{1 - \lambda'_{\text{th}}} \right)^2 + y^2 \leq \left(\frac{d}{1 - \lambda'_{\text{th}}} \sqrt{\lambda'_{\text{th}}} \right)^2 \quad (16)$$

PeNB 之间的干扰区域示意如图 5 所示,按照等 SIR 线分布的实际覆盖区域 $P = \{(x, y) \mid d_i^2 \lambda'_{\text{th}} > d_j^2\}$ 是一个圆形区域(对于 3.1 节中的 P_2 来说是扇形区域)。因此有:

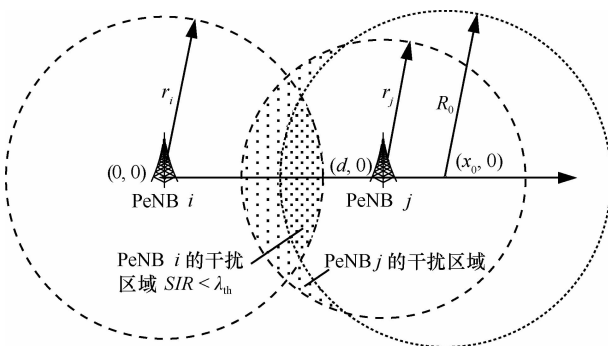


图 5 PeNB 之间的干扰区域示意

$$\eta_{i,j} = P \cap \{(x, y) \mid x^2 + y^2 < r_i^2\} \quad (17)$$

即 IR 是两个圆形区域的交集, P_2 的情况类似。

至此,每个独立的干扰区域已经通过式(13)和式(17)得到,通过式(7),可以得到理想的 IR 的面积。因此,理想 IR 圆环的宽度可以计算为:

$$\Delta r_{i,l} = r_i - \sqrt{r_i^2 - \delta_i / \pi} \quad (18)$$

所提干扰区域与偏移量的映射方式为:假设 PeNB i 将其覆盖半径缩短到 $r_i - \Delta r_{i,l}$, 以确保其服务用户的 SIR 保障,这等于提高了小区接入门限,因此在原始 RSRP 上要叠加一个负值的偏移量 $\beta_{i,l}$, 计算如下:

$$\beta_{i,l} = b_p \lg(r_i - \Delta r_{i,l}) - b_p \lg r_i = b_p \lg \frac{r_i - \Delta r_{i,l}}{r_i} \quad (19)$$

需要注意的是, $\beta_{i,l}$ 始终是一个负值,在叠加了通用的常数部分 β_c 之后可能成为正值。

4 差异化偏移量的可行性讨论

3GPP LTE 认为 PeNB 是一个具有独立资源控制层实体的基站,基站间通过 X2 接口进行传输,这种结构赋予本文所设计方法的可行性,一种可行的执行流程如图 6 所示,具体介绍如下。

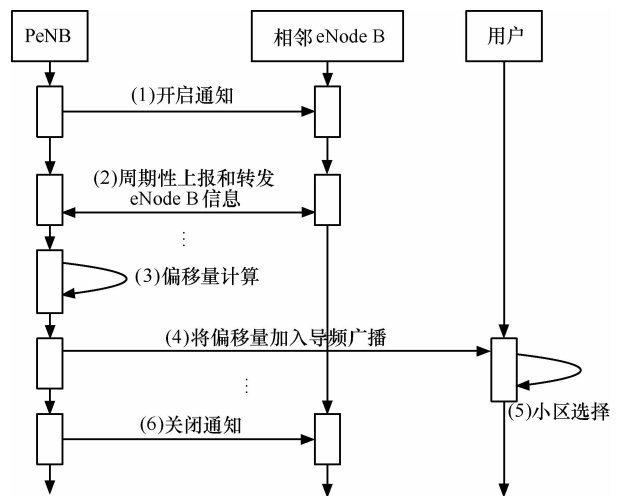


图 6 差异化偏移量的可行性流程

(1) 每个 eNode B 为自己建立一个关于其他 eNode B 的数据库。

(2) 当一个 PeNB 开启或者关闭时,向周围 PeNB 发出通知。

(3) 每个 eNode B 周期性地本小区的配置报告发送给其他小区,包括其他小区在计算偏移量时的所需信息,

如 eNode B 编号、坐标、大尺度参数、用户密度等。每个 eNode B 还可以被视为路由，负责转发邻近 eNode B 的信息给其他 eNode B。

(4)每个 eNode B 周期性地更新自己的数据库,并计算自己的偏移量。

(5)每个 PeNB 将偏移量嵌入导频信息,广播给区域内用户。

(6)用户根据 RSRP 并结合偏移量进行小区选择。

对于每个 PeNB,只有邻近的 PeNB 信息对其偏移量计算有较大影响,远方的 PeNB 可以忽略不计。信令的交互周期可以非常长,大尺度衰落信息与用户密度等信息的变化周期较慢;而 PeNB 的开启与关闭周期就更加慢。

接下来对方法的开销做出分析。假设 PeNB 间的信息交互周期是 10 s。每次交互每个 PeNB 要转发共 10 个 eNode B 的信息(包括自己)。在这些信息中,PeNB 的位置、发送功率等信息只需被传输一次,在之后的周期性交互中可以忽略不计。假设 PeNB 交互的信息(包括大尺度、用户密度等)需要花费 50 bit,这是一个非常激进的假设,50 bit 的信息量已经相当大。此时,一个 eNode B 传输所有上述信息所需的数据速率为: $(10\times10\times50+10\times50)/10=0.55$ kbit/s (包括转发比特和接收比特)。在激进的估计下,其信令交互对有线回传的 PeNB 组网来说,完成并不困难。在现实

中,这个数据会更加小,因为交互周期会更长,干扰 eNode B 的数量会更少。

另一方面,在导频中增加偏移量也会占用宝贵的资源。然而,本文所提方法是基于已有的偏移量策略进行优化,所增加的部分不会对相关传输带来新的开销负担,因此该方法具有一定的可行性与实用性。

5 仿真结果

将所提方法与 RSRP 以及固定偏移量方法结果进行比较,仿真的主要参数配置^[1]见表 1。

每个 PeNB 的 IR 依据最强的 10 个干扰 eNode B 进行计算(包括 MeNB 或 PeNB)。注意到 $\beta_{i,l}$ 总是一个负值,因此可通过 β_c 调整其范围。仿真中将 λ_m 设定为 1 dB。PeNB 与 UE 的撒放参考 3GPP LTE 的配置 4^[1],遵循如下原则:每个 MeNB 区域内的用户总数为 60 个,PeNB 总数为 4 个或者 10 个(下面将 PeNB 总数设为 N),均匀撒放 PeNB 之后,每个 PeNB 周围均匀撒放 4 个 UE,将其余 UE 均匀撒放在整个 MeNB 区域中。在仿真结果中,RE- x dB 表示传统固定偏移量的接入办法,proposed(y dB)表示所提方法的结果, $\beta_c=y$ 。

图 7 显示了用户大尺度分布的 CDF 曲线,PeNB 数量为 4 个。可以看出,随着偏移量的增加,边缘用户的宽带

表 1 标准化场景仿真配置

参数	假设
场景	3GPP Case 1, ISD 500 m, 带宽 10 MHz, 用户速度 3 km/h
小区拓扑	六边形规则部署, 7 小区, 3 扇区/小区, 4/10 个 PeNB/每扇区
用户分布	总数 60 个, 以 4 个/PeNB 均匀撒放, 余下的均匀撒放在整个区域
最小间距	PeNB 间隔 40 m, PeNB 与 MeNB 间隔 75 m, UE 与 MeNB 间隔 35 m, UE 与 PeNB 间隔 10 m
发送功率	MeNB 46 dBm, PeNB 39 dBm
路径损耗	MeNB 到 UE: $L = 128.1 + 37.6\lg R$; PeNB 到 UE: $L = 140.7 + 36.7\lg R$, 2 GHz, R 单位为 km
阴影衰落	MeNB 到 UE 的标准差为 8 dB, PeNB 到 UE 的标准差为 10 dB
天线配置	2×2 SU-MIMO, 不含极化
调度器	比例公平, 用户为满寄存器业务
链路自适应	频选 PMI/CQI, 5 ms 上报周期, 6 ms 时延
接收机	MMSE, 理想信道估计
其他	穿透损耗 20 dB, MeNB/PeNB 天线增益 14/5 dBi, 用户天线增益 0 dBi

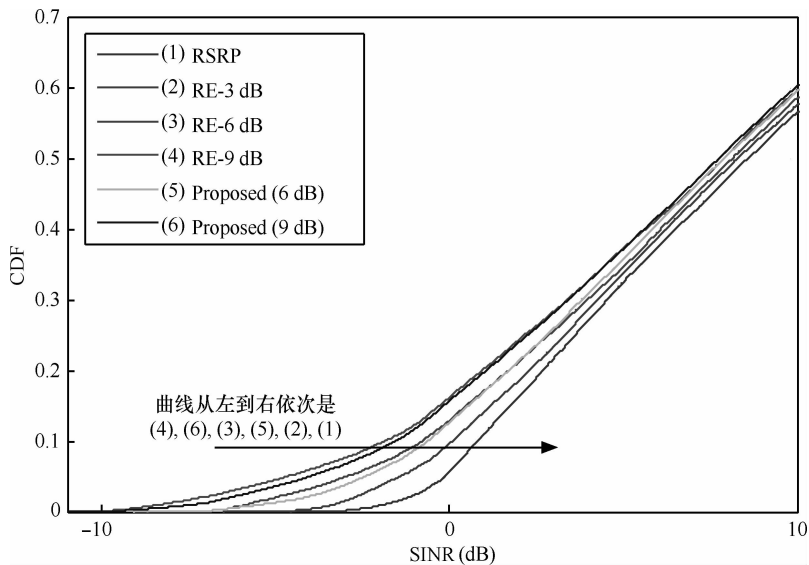


图7 全部 UE 的大尺度分布(宽带 SINR), $N=4$

SINR 在下降。这是因为,偏移量的增加将使得更多用户接入并不是最强径的 PeNB,这些 PeNB 与 MeNB 的接收信号差距会越来越大,因此会收到来自 MeNB 的更强的干扰。当 PeNB 数量是 10 时,情况类似。

图 8 和图 9 分别显示了各个方法的小区平均和小区边缘频谱效率。与 RSRP 相比的增益百分比见表 2 和表 3。

可以看出,在全频率复用的场景下,随着 CRE 偏置的增加,小区平均吞吐量逐渐降低;小区边缘吞吐量在 6 dB

时达到一个最优值,超过 6 dB 时,小区边缘吞吐量降低。在所有 CRE 的结果中,所提偏移量接入方法能够带来更多的小区边缘用户的性能提升,同时,减少了小区平均频谱效率的损失。不同 PeNB 由于所处干扰环境不同,其接受边缘用户 UE 的能力不同。本文的方法能够较好地将 PeNB 区分对待。收到干扰较为严重的 PeNB 时,在固定偏移量的作用下,仍会选择接入边缘用户,而所提方法将会对此做出合理修正。

小区平均频谱效率对比

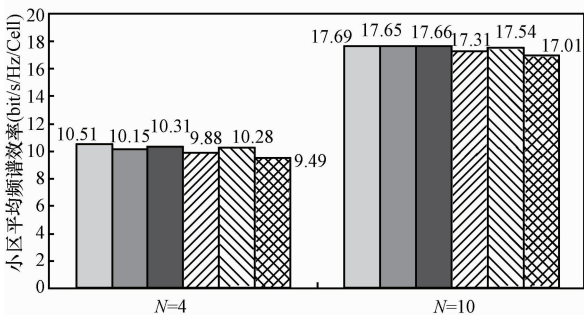


图8 小区平均频谱效率对比

小区边缘频谱效率对比

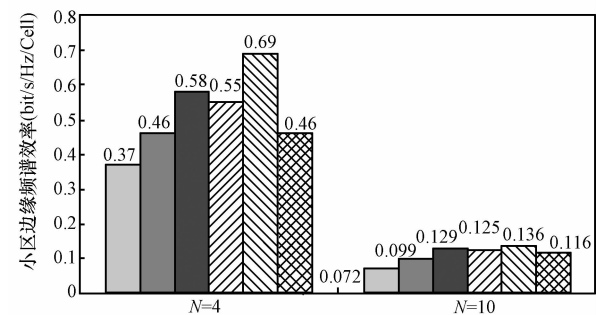


图9 小区边缘频谱效率对比

表2 与 RSRP 相比的百分比增益结果 ($N=4$)

方案	RSRP	3 dB	$Beta_{i,l}=6$ dB	6 dB	$Beta_{i,l}=9$ dB	9 dB
cell SE	10.51	-3.42%	-3.15%	-6.00%	-4.72%	-9.75%
cell edge SE	0.37	24.11%	42.39%	48.99%	69.82%	25.51%

表3 与 RSRP 相比的百分比增益结果 ($N=10$)

方案	RSRP	3 dB	$Beta_{i,l}=6$ dB	6 dB	$Beta_{i,l}=9$ dB	9 dB
cell SE	17.69	-0.24%	-0.15%	-2.16%	-2.01%	-3.82%
cell edge SE	0.072	37.57%	67.51%	73.57%	81.13%	60.72%

6 结束语

小区选择是热点覆盖系统的重要研究内容之一。一种直观的小区选择办法是小区范围扩展,在 PeNB 的 RSRP 强度的基础上增加一个偏移量。本文针对每个小区设计了独立的接入偏移量,其计算与小区所处位置的干扰环境有关。本文创新地定义了干扰区域,将每个 PeNB 受到的来自各方向的干扰建模为一个环状区域。接着,分别针对 MeNB 与 PeNB 作为干扰源的情况进行了探讨。评估结果表明,与固定偏移量相比,所设计方法有效地提高了小区边缘频谱效率与平均频谱效率。

参考文献

- 1 TR 36.814 v9.0.0. Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects. 3GPP Technical Report, 2010
- 2 Alouini M S, Goldsmith A. Area spectral efficiency of cellular mobile radio systems. IEEE Transactions on Vehicular Technical, 1999, 48(4):1047~1066
- 3 Wang Tan, Zhu Xin. A pico-eNode B deployment algorithm for the coverage of outdoor hotzone users. Proceedings of WMC, 2011
- 4 Guvenc I. Capacity and fairness analysis of heterogeneous

networks with range expansion and interference coordination. Communications Letters, IEEE, 2011, 15(10): 1084~1087

- 5 Li H, Hajipour J, Attar A, *et al.* Efficient HetNet implementation using broadband wireless access with fiber-connected massively distributed antennas architecture. Wireless Communications, IEEE, 2011, 18(7): 72~78
- 6 Qualcomm Europe. R1-083813. Range Expansion for Efficient Support of Heterogeneous Networks. 3GPP TSG RAN WG1 #54bis, Prague, Sep 2008
- 7 Huawei. R1-101083. Cell Association Analysis in Outdoor Hotzone of Hetero-Geneous Networks. 3GPP TSG RAN WG1 #60, San Francisco, USA, Feb 2010
- 8 Ericsson. ST-Ericsson R1-101752. Considerations on Non-CA Based Hetero-Geneous Deployments. 3GPP TSG RAN WG1 #60bis, Beijing, China, Apr 2010
- 9 Kiani S G, Oien G E, Gesbert D. Maximizing multicell capacity using distributed power allocation and scheduling. Proceedings of IEEE WCNC 2007, 2007

【作者简介】 门乐, 硕士, 现就职于国家知识产权局专利局专利审查协作北京中心, 主要研究方向为无线通信网络; 王坦, 博士, 现就职于国家无线电监测中心, 主要研究方向为无线资源管理与系统性能评估。

Specific Bias Design in Cell Range Expansion for Picocell Network

Men Le¹, Wang Tan²

(1. Patent Examination Cooperation Center of the Patent Office, SIPO, Beijing 100190, China;

2. China's State Radio Regulatory Center, Beijing 100037, China)

Abstract As an important part of the heterogeneous deployments, picocells are flexible to be deployed, easy to be planned and better for outdoor coverage. Due to the coexistence of macro and micro base stations, interference environment is complex, but also brought new challenges to the system radio resource management. This paper studies the cell selection for picocell networks. Based on cell range extension, a specific bias for each picocell is designed, according to its interference environment, which can effectively improve the cell average and cell edge spectrum efficiency, compared with those of fixed bias value.

Key words picocell network, cell selection, cell range extension, bias value

(收稿日期: 2012-07-06)