

基于区域感知贝叶斯决策的 5G 超密集异构网络联合垂直切换技术研究

谭晓衡^{1,2}, 谢朝臣¹, 郭 坦¹

(1. 重庆大学通信工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆生物感知与智能信息处理重点实验室, 重庆 400044)

摘 要: 针对无线通信异构网络切换中最优接入网的选择问题, 现有研究主要集中于解决在两个网络间选择切换, 而对于未来 5G (5th Generation) 通信系统中超密集网络的切换问题研究较少. 本文就研究了 5G 无线通信系统中超密集异构网络的选择切换. 文中提出了一种基于区域感知贝叶斯决策的联合垂直切换方式, 该方案通过选择超密集异构接入网的最优切换概率从而解决超密集网络切换问题. 通过对移动用户 (mobile station) 从宏基站进入超密集服务小区, 以及在小区内和小区间移动的不同场景进行仿真分析, 研究结果表明本文决策方式能够准确地选择要切换的网络, 因而该方案能够适用于超密集网络的应用场景.

关键词: 切换; 5G; 超密集网络; 区域感知; 贝叶斯决策

中图分类号: TN915.6

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2018)03-0582-07

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

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.03.010

Research of Joint Vertical Handoff Technology Based on Area Sensing Bayesian Decision in Ultra-Dense HetNet for 5G

TAN Xiao-heng^{1,2}, XIE Chao-chen¹, GUO Tan¹

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Bio-perception & Intelligent Information Processing, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The selection problem of an optimal accessing network for wireless heterogeneous networks handover, the existing studies focus mainly on selection handover between two networks. However, few research is done on 5G (5th Generation) ultra-dense network (UDN) handover selection. This paper studies the handoff technology of ultra-dense heterogeneous networks in 5G wireless communication system. We propose a method of joint vertical handoff based on area sensing Bayesian decision. This solution selects the optimal switching probability of each heterogeneous network to deal with ultra-dense network handover. The different scenarios are simulated for a mobile station (MS) which enters an ultra-dense network cell, moves in the cell and crosses the cells. Studies show that Bayesian decision method can accurately select the network, and therefore this solution can be applied to the application scenarios of ultra-dense heterogeneous networks.

Key words: handover; 5G; ultra-dense network; area sensing; Bayesian decision

1 引言

根据现有技术和实际, 未来 5G 通信系统将有多种性质相异的网络, 如 UMTS (Universal Mobile Telephone System), WiMAX (World Interoperability for Microwave Access), WLAN, 3GPP (the 3rd Generation Partnership Project), LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) 等组

成^[1-3]. 因此, 网络融合将是 5G 通信网络系统发展中的一个必经阶段. 这种网络通过底层全 IP (Internet Protocol) 设计并为用户提供无处不在的端到端的接入以及多样的应用服务. 该网络具有设计灵活、构建成本低、简化操作、部署快捷、网络覆盖广等优势, 但网络的复杂度明显提高, 也给网络管理以及不同网络间的切换带来极大的考验. 因此, 5G 通信系统中的密集异构网络切换

收稿日期: 2016-10-28; 修回日期: 2017-03-06; 责任编辑: 覃怀银

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61571069); 国家自然科学基金青年科学基金 (No. 61501065); 重庆市研究生科研创新项目 (No. CYB15030); 中央高校基本科研业务费 (No. 106112017CDJQJ168817)

是急需解决的关键技术并受到了越来越多的研究者重视^[4-6]. 对此,文献[7~12]提出不同的技术解决方案. 对于网络切换技术,目前研究者研究的焦点主要集中在异构网络的垂直切换技术上.

在文献[4,5]中,作者对目前关于异构网络的垂直切换方式和算法进行了归纳和分类. 这有利于对网络切换研究进行总体把握或者提出技术改进. 对于 UMTS 和 WLAN 两种网络间的切换,文献[6]提出一种基于信号强度为代价函数的马尔科夫过程的联合垂直决策方式. 垂直切换标准和决策方案出现在[7,8]中. 在文献[9]中,作者从网络资源和信道分配角度提出一种基于网络效益最大化的异构网络接入机制的经济模型. 同时,异构网络垂直切换的优化决策算法也被广泛研究,如基于信号强度联合优化算法^[4],模糊逻辑控制的信道资源分配接入机制优化算法^[10,11],多标准切换优化粒子群和遗传算法^[12]等. 以上文献资料仅限于在网络稀疏部署条件下的切换方式,而对于超密集异构网络的切换技术目前鲜有研究,并且文献中网络切换方法所涉及的条件、协议以及计算^[4,10-12]都比较复杂.

本文提出了一种基于区域感知贝叶斯决策的垂直切换技术,主要用于解决超密集异构网络间的切换问题. 文中方案是利用现有 GPS(Global Position System)定位技术,通过获取 MS 与 5G 网络系统中各个基站的位置信息,计算 MS 和各服务基站的直线距离,确定 MS 是否到达其可以接收的覆盖区域并计算其覆盖概率. 本文假定每个异构基站的覆盖半径是预先知道的. 如果 MS 达到相应基站覆盖的区域,我们用概率“1”表示;否则用“0”表示,即没有达到基站覆盖的区域. 接下来计算 MS 在各基站覆盖区域条件下的切换概率,然后根据贝叶斯全概率方式计算其可以切换到相应服务基站的概率,最后选择贝叶斯概率最大的基站作为要切换到的服务网络并完成网络切换. 为保证网络切换的可靠性,文中又增加了其它参数,如接收信号强度(Received Signal Strength, RSS),详细内容在第 2 部分阐述.

2 贝叶斯决策及系统模型

2.1 系统模型

本文考虑一个可感知的宏基站覆盖区域内随机部署 N 个异构基站(UMTS, WLAN, 3GPP, LTE-A, WiMAX 等). 5G 基站(宏基站)位于覆盖区域的中心,覆盖半径为 R_0 . 异构基站的覆盖半径用 R_1, R_2, \dots, R_N 表示. 其坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)$. MS(用户)在覆盖区域内的坐标为 (x, y) , 则 MS 同第 i 基站的视距可以表示为:

$$d_i(x, y) = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}, i = 1, \dots, N \quad (1)$$

当 $R_i > d_i$ 时表示 MS 进入到第 i 基站所覆盖的区域. 反

之,当 $R_i < d_i$ 则表示 MS 离开(或者不在)第 i 基站所覆盖的区域. 根据文献[8],MS 接收到来自第 i 基站的 RSS 可以用式(2)表示.

$$\text{RSS}(i) = P_i^T - L - 10n \cdot \log(d_i(x, y)) \quad (2)$$

其中 P_i^T 表示第 i 基站的传输功率, L 表示路径损耗, n 为衰减因子. 对于有 QoS(Quality of Service)要求的 MS 所能获得的切换速率如式(3).

$$\text{MS_rate}(i) = B_i \log\left(1 + \gamma \times \frac{\text{RSS}(i)}{\sigma^2}\right) \quad (3)$$

其中 B_i 表示为第 i 基站为 MS 分配的带宽. γ 系统综合损耗, σ^2 为加性白高斯噪声功率,这里假定了各基站的系统损耗和噪声功率是一致的.

2.2 贝叶斯决策联合垂直切换准则

假定 $\{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ 表示随机部署的 N 个异构基站. H_i 表示第 i 基站, MS 在 H_i 基站覆盖下的概率 $P(H_i)$ 可以用式(4)计算.

$$P(H_i) = \begin{cases} 1, & d_i < R_i \\ 0, & \text{其他} \end{cases}, i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

其中 d_i 和 R_i 分别表示 MS 距第 i 基站的距离和第 i 基站的覆盖半径.

在 H_i 基站下需要切换的条件概率用 $P(T|H_i)$ 表示, $i = 1, 2, \dots, N$. 那么在所有基站下切换的全概率 $P(T)$ 用式(5)表示.

$$P(T) = \sum_{i=1}^N P(T|H_i)P(H_i) \quad (5)$$

根据贝叶斯定理计算在需要切换时各基站的条件概率可以表示为:

$$\begin{aligned} P(H_i|T) &= \frac{P(T|H_i)P(H_i)}{P(T)} \\ &= \frac{P(T|H_i)P(H_i)}{\sum_{i=1}^N P(T|H_i)P(H_i)} \end{aligned} \quad (6)$$

取贝叶斯概率最大值的基站作为要切换的网络用式(7)表示.

$$\text{Bayes_prob} = \max\{P(H_1|T), \dots, P(H_N|T)\} \quad (7)$$

下面设计文中 $P(T|H_i)$ 的切换条件概率分布函数. 假设 MS 与可以切换的服务基站的距离是 $d(x, y)$ (为方便描述用 d 表示)服从独立的 $\frac{1}{\theta}e^{-d/\theta}$ 指数分布, 其中 $\theta > 0$ 的常数. 则在 $\{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ 网络中切换的概率密度分别函数可以表示:

$$P(T|H_i) = P(\max(D_1, D_2, \dots, D_N) < d) \quad (8)$$

其中 D_1, D_2, \dots, D_N 表示 MS 距 $\{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ 异构网络覆盖距离变量且相互独立, 所以式(8)可以表示为:

$$\begin{aligned} P(T|H_i) &= P(D_1 < d)P(D_2 < d) \dots P(D_N < d) \\ &= \left(\frac{1}{\theta_1}e^{-d/\theta_1}\right) \times \left(\frac{1}{\theta_2}e^{-d/\theta_2}\right) \times \dots \times \left(\frac{1}{\theta_N}e^{-d/\theta_N}\right) \end{aligned}$$

$$= \prod_{j=1}^N \frac{1}{\theta_j} \cdot e^{-d \cdot \sum_{j=1}^N 1/\theta_j} \quad (9)$$

令 $\xi = \prod_{j=1}^N \frac{1}{\theta_j}$, $\vartheta = \sum_{j=1}^N \frac{1}{\theta_j}$, 则式(9)可以重写为:

$$P(T|H_i) = \xi \cdot e^{-\vartheta \cdot d} \quad (10)$$

因此 MS 在 H_i 基站覆盖下的切换概率仍然是服从 ξ, ϑ 的指数分布. 其中 ξ, ϑ 是要设计的系统参数.

2.3 切换规则

网络切换就是移动终端为保证最佳的通信或者为获得相应服务在多个通信网络中选择最好接入网的连接过程. 一般网络切换要经历下列过程: 测量 (距离, 信号强度, 数据速率), 触发 (距离触发, 功率门限触发、信噪比触发、误比特率触发), 决策 (决策算法), 执行 (当前网络切换到另一网络). 由于超密集网络构建比较复杂, 因此本文对网络切换应用的不同场景进行简单的阐述分析.

场景 1 假定 MS 在 N 个无重叠覆盖的异构基站中切换, 如图 1 中所示. 图 1 中 d_i 表示 MS 与各个基站的中心距离, R_i 表示系统内各基站的覆盖半径.

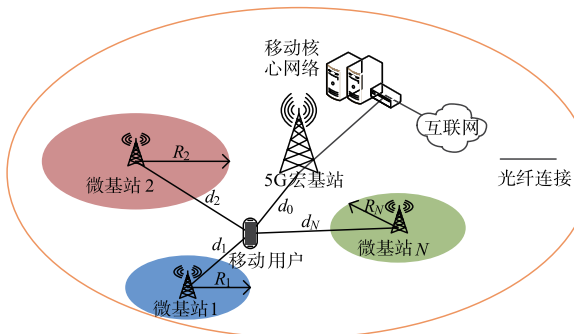


图1 异构网络没有重叠

在 MS 由宏基站区域进入到宏基站下的异构基站服务区域时, MS 计算到各个基站的距离 d_i . MS 可以根据感知各基站的覆盖以及其接收的信号强度完成网络的切换. 实际上, 该方式在稀疏布局的无线网络中可以采用, 而对于有重叠密集部署的 5G 网络往往这种方式有时不能切换到理想的网络.

场景 2 在 5G 系统中基站覆盖区域有重叠甚至是夸多层网络如图 2 所示. 图 2 中标记 d_i, R_i 含义同场景 1. 在此场景下, 如果依然采用场景 1 中的方式进行切换显然不能保证切换是恰当的, 这就是本文提出的采用贝叶斯决策方式进行密集异构网络决策方法的根源. 经分析研究, 本文提出的贝叶斯决策方式也适用于场景 1. 这显示了贝叶斯决策具有很好的适应性.

2.4 切换模式及算法

对于密集异构网络切换有两种不同的切换模式.

模式 1 当 MS 从当前服务的宏基站进入超密集服

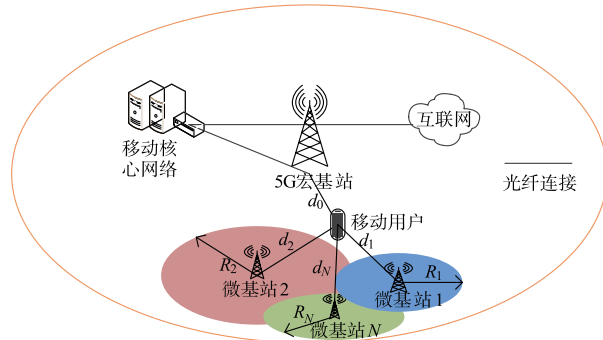


图2 异构网络有重叠

务小区基站的切换. MS 根据系统基站管理单元发送的基站参数信息计算各个基站的距离及基站切换概率, 根据贝叶斯决策选择要切换的网络, 检测是否满足切换条件 (比如阈值, RSS), 若条件满足, 则进行切换处理. 否则, 重新进行测量选择. 切换流程如图 3 所示.

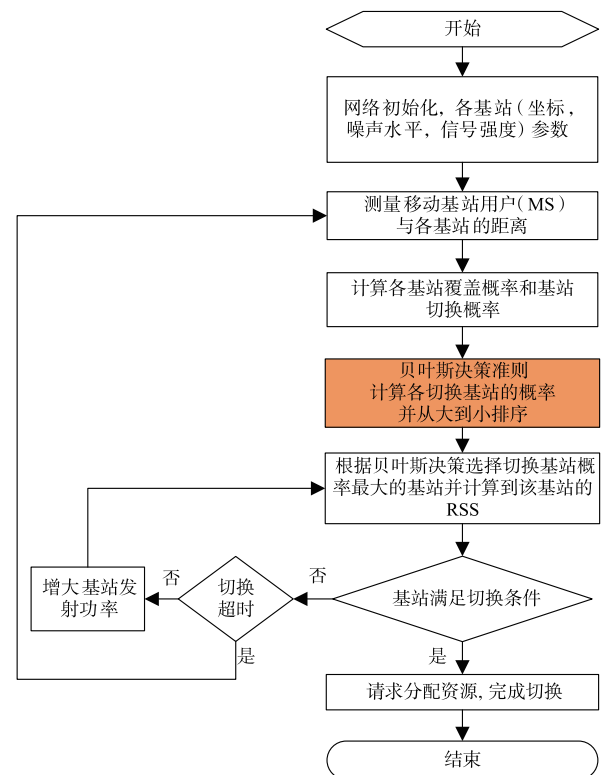


图3 MS由宏基站进入密集服务小区切换流程图

模式 2 当 MS 离开当前服务的基站时, MS 检测到所处区域 RSS 下降到要切换的阈值时, MS 测量各基站的距离, 当有满足 $d_i < R_i$ 的基站时, 按照贝叶斯决策准则进行网络切换, 并与相应基站建立连接. 如果 MS 没有被其它异构基站覆盖时, MS 向宏基站请求资源分配并同宏基站建立连接, 完成从异构小区到宏基站的切换. 切换流程如图 4 所示.

基于模式 1 和 2 的异构网络垂直切换算法如下:

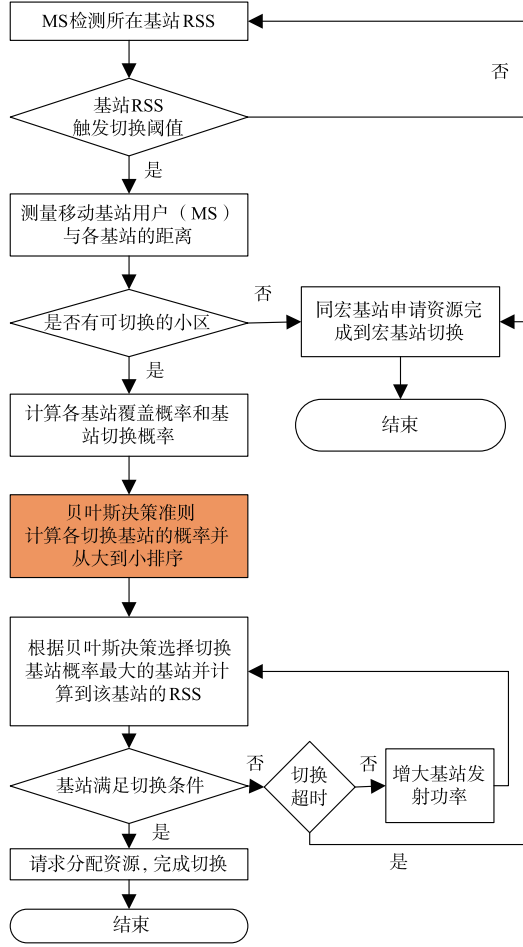


图4 MS由服务小区出来时的切换流程图

算法 1 模式 1

开始:初始化基站坐标 $\{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$, 小区半径 $\{R_1, \dots, R_N\}$, 平均噪声功率水平: σ , MS 在 t 时刻的坐标 (x, y) ;

① for $i = 1 : N$

$d_i(x, y) = \text{sqrt}((x - x_i)^2 - (y - y_i)^2)$;

if $d_i > R_i$;

$P(H_i) = 0$;

else

$P(H_i) = 1$;

end

end

计算 $\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ 和覆盖概率 $\{P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_N)\}$;

转②;

②计算基站切换概率 $P(T|H_i)$ 转③

③根据①中覆盖概率和②中基站切换概率计算贝叶斯概率 $\{P(H_1|T), P(H_2|T), \dots, P(H_N|T)\}$ 转④;

④查找③最大的基站并计算其 RSS 判断是否大于设定初值为真转⑥, 否则转⑤;

⑤增大基站发射功率转④超时转①;

⑥请求分配资源完成切换;

结束

算法 2 模式 2

开始:

①while(所在小区的 RSS < 设定值) 转① 否则转②;

②计算移动用户 MS 到各基站距离③;

for $i = 1 : N$

$d_i(x, y) = \text{sqrt}((x - x_i)^2 - (y - y_i)^2)$;

if $d_i > R_i$

$P(H_i) = 0$;

else

$P(H_i) = 1$;

end

end

计算 $\{d_1, d_2, \dots, d_N\}$ 和覆盖概率 $\{P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_N)\}$;

③if(覆盖 MS 的基站) 为真转④, 为假转⑨;

④计算各基站的切换概率 $P(T|H)$ 转⑤;

⑤计算各基站的贝叶斯概率, 从大到小排序转⑥;

⑥while(贝叶斯概率最大的基站的 RSS > 设定值) 为真转⑧ 为假转⑦;

⑦增大基站发射功率转⑥超时转⑨;

⑧请求分配资源完成切换;

break;

⑨向宏基站申请资源完成切换;

结束

3 仿真分析

仿真平台 MATLAB(R2010b). 基站布局是由 5G 宏基站覆盖 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 的区域, 基站数 9 个, 半径在 $(50 \sim 125)\text{m}$ 范围内, 坐标布局如图 5(a) 所示. 本文的仿真是为定量分析, 即使在不同部署情况下, 经仿真这并不影响本文的结论. 下面对图 5 中含义作简单说明, 图 5(a) 中横坐标和纵坐标表示宏基站覆盖的范围, 内部蓝色圆 $H_1 \sim H_9$ 表示各个异构基站的圆心坐标及覆盖区域. 图 5(b) ~ (d) 中横坐标表示 1 ~ 9 个基站, 而纵坐标分别表示当 MS 在图 5(a) 中区域某一位置时第 1 ~ 9 个基站的覆盖概率、切换概率和贝叶斯概率. 以下所有图中都具有相同的含义.

当 MS 进入到图 5(a) 所在地位置后(红色圆点所示). 根据感知的覆盖概率 $P(H)$ 如图 5(b) 所示, 可以判断此时所在地位置是 H_1 所在覆盖区域. 利用式(10) 计算各基站的切换概率 $P(T|H_i)$ 如表 1.

表 1 MS 在图 5(a) 中位置下各个基站的切换概率

基站	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P(T H_i)$	0.40	0.46	0.11	0.28	0.08	0.03	0.14	0.06	0.02

图 5(c) 也表明了 MS 在图 5(a) 中位置下, 各个基

站能进行切换的概率. 结合表 1 和图 5(c)中可以看出基站切换概率 $P(T|H)$ 最大的是 H_2 基站. 这只是表明距离 MS 最近的基站 H_2 进行切换的概率最大, 而距离最远的基站 H_9 切换概率最小. 这点是与本文期望相一致的. 显然如果仅仅利用距离最近的方式切换到基站 H_2 将发生错误的切换, 因为 MS 此时并不在 H_2 的覆盖

范围, 而是在 H_1 基站的覆盖范围如图 5(b). 根据贝叶斯决策概率式(6) $P(H_i|T)$ 计算各个基站的贝叶斯概率, 如图 5(d) 所示. 利用式(7)得 $P(H_1|T)$ 最大, 因此该选择切换到 H_1 基站. 此时与 MS 在 H_1 基站不在 H_2 基站覆盖范围内相一致.

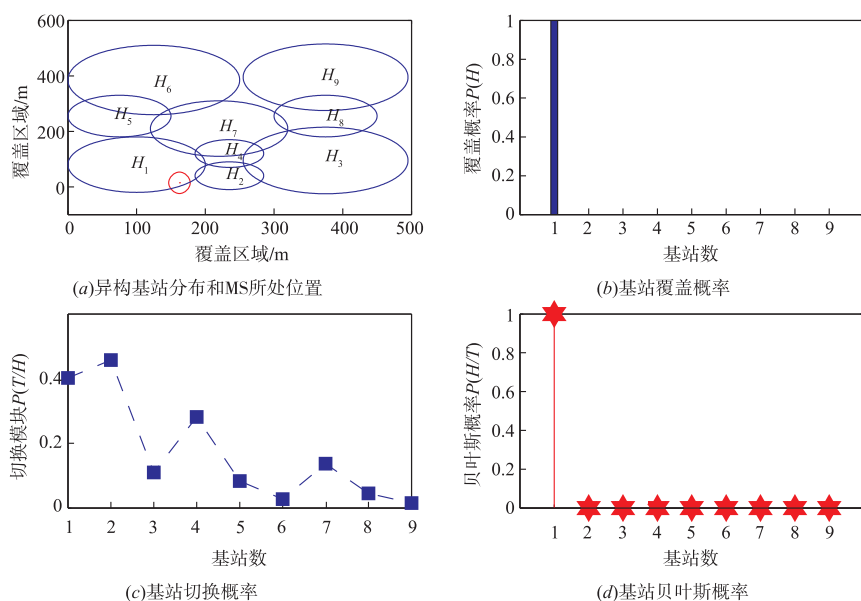


图5 MS在进入小区场景时仿真

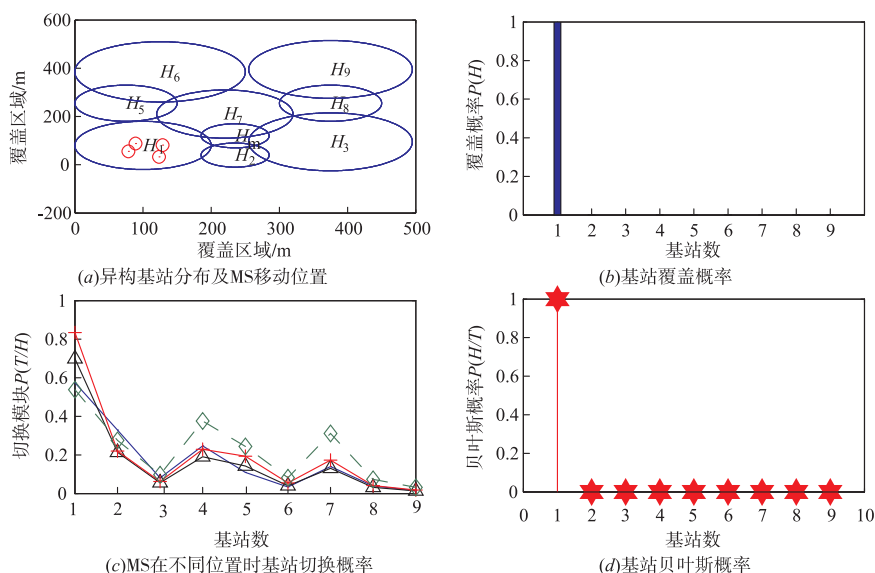


图6 MS在一个小区内移动场景时仿真

当 MS 在一个区域内移动时如图 6(a) 中红色圆圈所示, 从图 6(c) 中能够看到各基站下的切换概率 $P(T|H_i)$ 的变化情况.

而图 6(b) 中各基站的覆盖概率 $P(H_i)$ 并没有发生变化, 始终处在 H_1 基站的覆盖范围. 这一点也是和实际相符合的. 根据式(6) $P(H_i|T)$ 计算各个基站的贝叶

斯决策概率也没有改变, 并且一直处在 H_1 基站的覆盖范围也没用触发网络切换. 这说明此时不需要进行网络切换.

当 MS 沿着一个方向穿越不同的基站比如从位置 1 移动到位置 4 时, 如图 7(a) 所示. 在图 7(a) 中可以看出此时 MS 处在 H_3 和 H_7 的重叠覆盖范围且位于 H_4 的

边缘上,表明此时 MS 离开了 H_4 服务基站已经触发切换机制进入到其它服务基站(H_3 和 H_7)的覆盖范围. 图 7(b)准确的表示了 MS 在各基站覆盖概率 $P(H_i)$. 图

5(c)中显示了各基站的切换概率 $P(T|H_i)$ 的变化情况. 表 2 给出了每一步变化各基站的切换概率 $P(T|H_i)$.

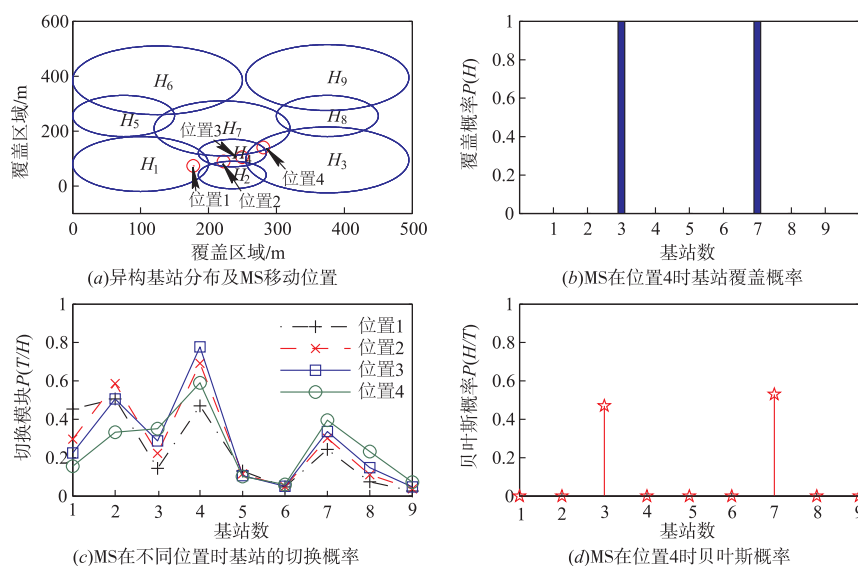


图7 MS在跨越不同小区场景时仿真

表 2 当 MS 穿越不同基站在不同位置时的基站切换概率

位置	基站 $P(T H_i)$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.453	0.505	0.144	0.469	0.106	0.051	0.243	0.074	0.026
2	0.296	0.586	0.222	0.691	0.101	0.060	0.301	0.111	0.047
3	0.222	0.505	0.287	0.777	0.102	0.061	0.336	0.148	0.047
4	0.155	0.333	0.351	0.590	0.101	0.060	0.395	0.232	0.072

当 MS 图 7(a) 中在位置 4 时,以图 7(c) 中显示根据式(6) 计算切换概率 $P(T|H_4) = 0.59$ 最大,由图 7(b) 知, $P(H_3) = 1, P(H_7) = 1$, 即 MS 不在 H_4 覆盖范围内而在 H_3 和 H_7 基站覆盖范围. 这说明 MS 离开 H_4 基站,要切换到相应的服务基站内. 此时 H_3 和 H_7 是要选择切换的基站,并不包含 H_4 . 利用式(6) 计算贝叶斯决策概率得 $P(H_7|T) > P(H_3|T)$ 如图 7(d). 因此,根据式(7) 选择贝叶斯决策概率最大的小区,此时应该选择 H_7 小区作为目标服务小区进行切换.

4 结论

本文针对超密集异构网络的切换问题,提出了基于区域感知、贝叶斯决策的超密集小区联合垂直切换技术. 通过对 MS 进入服务小区,在一个小区内以及小区间移动的仿真分析. 基于贝叶斯决策的网络切换方式能够很好的反映移动基站 MS 在小区的切换变化的概率以及最优决策概率. 结果表明本文提出的贝叶斯决策方式能够有效的解决超密集异构网络间切换问题.

致谢 感谢评审专家对本文提出的修改意见!

参考文献

- [1] Gupta A, Jha R K. A survey of 5G network: architecture and emerging technologies[J]. IEEE Access, 2015, 7(3): 1206 - 1232.
- [2] Hossain E, Hasan M. 5G cellular: key enabling technologies and research challenges[J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2015, 18(3): 11 - 21.
- [3] C-X. Wang, et al. Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 122 - 130.
- [4] Adnan M, Zen H, Othman A K. A survey of vertical handover decision algorithms in fourth generation heterogeneous wireless networks[J]. World Applied Sciences Journal, 2013, 28(5): 629 - 635.
- [5] Márquez-Barja J, Calafate C T, Cano J C, et al. An overview of vertical handover techniques: algorithms, protocols and tools[J]. Computer Communications, 2011, 34(8): 985 - 997.

- [6] Liu B, Wang J, Li J. A joint vertical handover technique for heterogeneous wireless networks[A]. 2009 4th International Conference on Computer Science & Education [C]. Houston, USA: IEEE Conference Publications, 2009. 227 – 232.
- [7] Ahmed A, Boulahia L M, Gaiti D. Enabling vertical handover decisions in heterogeneous wireless networks: a state-of-the-art and a classification[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(2): 776 – 811.
- [8] Maaloul S, Afif M, Tabbane S. A new vertical handover decision based context awareness for ubiquitous access[A]. 2012 International Conference on Communications and Information Technology (ICCIT) [C]. Ankara, Turkey: IEEE Conference Publications, 2012. 231 – 236.
- [9] Pei X, Jiang T, Qu D, et al. Radio-resource management and access-control mechanism based on a novel economic model in heterogeneous wireless networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(6): 3047 – 3056.
- [10] 范鹏. 异构环境下的网络选择和资源分配研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2013.
- [11] Demydov I, Seliuchenko M, Beshley M, et al. Mobility management and vertical handover decision in an always best connected heterogeneous network[A]. The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics [C]. Lviv Polytechnic, Ukraine: IEEE Conference Publications, 2015. 103 – 105.
- [12] Hasan N U, Ejaz W, Ejaz N, et al. Network selection and channel allocation for spectrum sharing in 5G heterogeneous networks[J]. IEEE Access, 2016, 2(4): 980 – 992.

作者简介



谭晓衡 男, 1976 年生于重庆大足. 博士、教授、博士生导师. 国家自然科学基金通信评议专家、国家科技奖励评审专家、重庆市科技奖励评审专家. 主要研究方向: 现代通信技术与系统(扩频技术及码分多址通信、新一代宽带无线移动通信技术、卫星通信等), 通信系统中智能化技术等.

E-mail: txh@cqu.edu.cn



谢朝臣 男, 1975 年生于安徽亳州, 讲师. 现为重庆大学通信与信息系统专业博士研究生. 研究方向: 新一代通信 5G 超密集网络、MIMO 技术等.

E-mail: xie_cc1@163.com



郭 坦 男, 1988 年生于河南周口. 现为重庆大学通信与信息系统专业博士研究生, 主要从事机器学习、模式识别等方面的研究工作.

E-mail: tanguo@cqu.edu.cn