

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.08.016

引用格式:冷家丽,曹永民,王东军.小蜂窝网络中基于速度估计的切换触发时间选择方案[J].电讯技术,2014,54(8):1123-1128.[LENG Jia-li, CAO Yong-min, WANG Dong-jun. Time to Trigger Selection Scheme Based on Speed Estimation in Small Cell[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(8): 1123-1128.]

小蜂窝网络中基于速度估计的切换触发时间选择方案*

冷家丽,曹永民,王东军**

(重庆邮电大学 移动通信技术重庆市重点实验室,重庆 400065)

摘要:在用户对系统带宽以及传输速率要求越来越严格的当下,小蜂窝技术成为解决室内和热点场景覆盖和容量问题的有效途径。为了缓解小蜂窝中切换失败率和乒乓切换率之间的矛盾,首先建立了小蜂窝网络场景下的切换模型,通过采用参考信号接收功率方案对用户终端(UE)的移动轨迹进行跟踪而达到速度估计的目的;之后,推导分析了该模型中切换失败概率、乒乓切换概率与切换触发时间、UE速度的关系;最后,采用遍历算法对切换触发时间进行优化选择。仿真结果表明,所提方案能够将切换失败概率降低到接近于零,同时将乒乓切换率降低了10%,很好地缓解了两者之间的矛盾,更适合于对乒乓切换敏感的高速移动UE。

关键词:小蜂窝网;切换触发时间;切换失败率;乒乓切换率;参考信号接收功率;速度估计
中图分类号:TN929.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)08-1123-06

Time to Trigger Selection Scheme Based on Speed Estimation in Small Cell

LENG Jia-li, CAO Yong-min, WANG Dong-jun

(Chongqing Key Laboratory of Mobile Communications Technology, Chongqing University of Posts and Communications, Chongqing 400065, China)

Abstract: With the more and more strict requirements for system bandwidth and transmission rate, small cell technology is an effective way to solve indoor and hot scenes coverage and capacity issues. In order to alleviate the contradiction between handover failure probability and ping-pong handover probability well, the handover model in heterogeneous networks is established and UE speed is estimated through using the reference signal received power (RSRP) scheme to track UE moving locus. And then the relationship between handover failure probability (HOF) and ping-pong handover probability (PP) with respect to time to trigger (TTT) and UE speed is derived and analyzed. Finally, TTT is optimized and selected by using traversal algorithm. Simulation results show that the proposed scheme can reduce handover failure probability close to zero while decreasing the ping-pong handover rate by 10 percent. Therefore, it can alleviate above contradiction well and is more suitable for high-speed UE which is sensitive to ping-pong handover.
Key words: small cell; time to trigger; handover failure probability; ping-pong handover probability; reference signal received power; speed estimation

* 收稿日期:2014-03-26;修回日期:2014-05-20 Received date:2014-03-26;Revised date:2014-05-20

基金项目:国家科技重大专项(2014ZX03003010-004);重庆市自然科学基金资助项目(cstc2012jjA40049)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of the Ministry of Science and Technology of China(2014ZX03003010-004); The Natural Science Foundation of Chongqing(cstc2012jjA40049)

** 通讯作者:wangdongjun3@163.com Corresponding author:wangdongjun3@163.com

1 引言

小蜂窝网络的移动性能是其与其他无线系统相比较而言的关键优势之一,其主要原因是能够通过切换(Handover, HO)为移动用户终端(UEs)提供一个连续的连接,同时能够保证服务质量(QoS),提升用户体验。随着异构小蜂窝网络(Heterogeneous Networks, HetNets)的迅速发展^[1],移动性能增强技术越来越引起业界的关注,切换性能的增强也成为决定移动性能的关键因素。

文献[2]指出切换失败率和乒乓切换率在性能上是相互矛盾的,降低切换失败率必然导致乒乓切换率的增加。文献[3]指出,对于高速 UE 来讲,切换失败率是其关注的主要问题,而对中低速 UE 来讲,乒乓切换则成为主要问题。因此,UE 的速度估计也是影响其移动性能的关键因素。文献[4]指出基于 UE 速度进行切换参数触发时间(TTT)的缩放,不仅可以改善切换失败率性能,也能够改善乒乓切换率性能,可以带来很明显的性能增益。文献[5]指出,可以根据 UE 的移动速度估计使用较短的 TTT 来降低 HOF,但是这种方案可能会增加乒乓切换概率,从而增加信令负载。文献[6]提出一种具有较高精度的参考信号测量方案,但是这种方案往往只应用于移动 UE 在不同小蜂窝之间的切换。文献[7]给出了一种异构网络下的网络拓扑模型并对切换概率进行了分析,但是所做的切换分析依赖于精确的速度估计,文献没有给出,同时也没有将这种分析加以应用。

针对 HOF 和 PP 之间的矛盾问题,本文建立切换模型,并提出利用 RSRP 方案对 UE 的速度进行估计,之后分析推导 HOF 和 PP 与 UE 速度和 TTT 的关系式,最后根据两者关系提出了一种基于 RSRP 速度估计的 TTT 自适应选择方案。

2 切换系统模型

假设 Picocell 的覆盖范围和无线链路失败域为圆形区域, eNB (enhanced Node Base) 的坐标是 (1 500 m, 1 500 m), PNB (Picocell Node Base) 的位置为 (1 500 m, 1 750 m), 它们之间距离为 250 m, UE 的移动轨迹是线性的^[8]。同时, PNB 的位置并不是在 Picocell 覆盖圆的中心,而是朝向 eNB 偏移,这与文献[9]中的结果是一致的。

本文以单个 UE 为例对 HOF 和 PP 的关系进行研究。假设 UE 初始状态为 Macrocell UE (MUE),

起始位置如图 1 所示,然后直线向任意方向移动。若能成功切换到 Picocell 中,则变成 Picocell UE (PUE)。若之后又成功切换到 Macrocell 中,又变成 MUE。Picocell 覆盖圆的半径用 R 来表示, MUE 的切换失败圆半径和 PUE 的切换失败圆半径分别用 r_m 和 r_p 表示,其中 $r_p > r_m$ 。

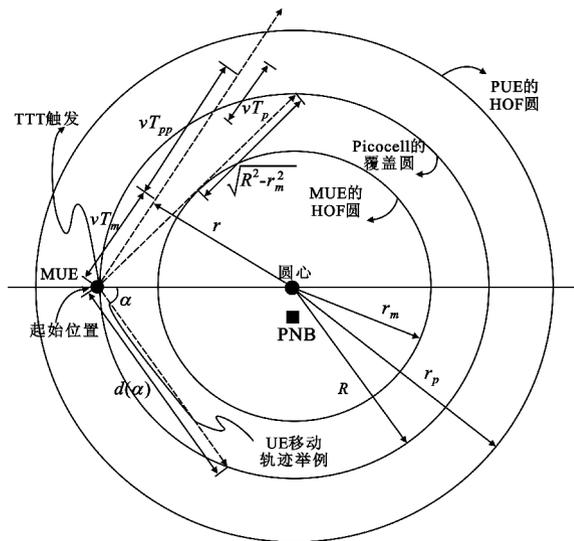


图 1 MUE 和 PUE 的切换模型
Fig. 1 Handover model for MUE and PUE

图 1 中, $d(\alpha) = 2R\cos(\alpha)$ 代表 MUE 移动轨迹和 Picocell 覆盖圆交叉点所决定的弦的长度, v 是 UE 在这条弦上移动的速度, $\alpha \sim U[-\pi, \pi)$ 代表弦(UE 的轨迹)相对于水平坐标的角度, r 代表从 Picocell 覆盖圆的中心到 MUE 移动轨迹的最小距离。由于 UE 的移动轨迹是随意的, 所以其移动角度 α 服从均匀分布, 即 $\alpha \sim U[-\pi, \pi)$, 因此 $r = \sqrt{R^2 - d(\alpha)^2/4}$ 的概率密度函数可以表示为

$$f(r) = \frac{2}{\pi \sqrt{R^2 - r^2}} \quad (1)$$

基于式(1), 对于两个任意方向的弦的长度 d_1 和 d_2 , 有 $d_1 \leq d_2$, 我们可以得出 $d(\alpha)$ 处于 d_1 和 d_2 之间的概率为

$$P(d_1 < d(\alpha) < d_2) = \int_{\sqrt{R^2 - d_2^2/4}}^{\sqrt{R^2 - d_1^2/4}} \frac{2}{\pi \sqrt{R^2 - r^2}} dr = \frac{2}{\pi} \arcsin\left(\frac{r}{R}\right) \Big|_{\sqrt{R^2 - d_2^2/4}}^{\sqrt{R^2 - d_1^2/4}} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg}\left(\frac{r}{\sqrt{R^2 - r^2}}\right) \Big|_{\sqrt{R^2 - d_2^2/4}}^{\sqrt{R^2 - d_1^2/4}} \quad (2)$$

式(2)将会被应用到接下来的 HOF 和 PP 概率的计算中。

3 基于 RSRP 的速度估计方案

基于切换系统模型,本文提出一种用参考信号接收功率(Reference Signal Received Power, RSRP)来标识 UE 在小区中穿行的距离,但是速度估计模型只能用于某一种传输环境,如市区或者郊区。由于速度估计是所提方案能够完整实现的基础和关键,因此速度估计的精确性和实时性也就成为了本方案实施的关键。图 2 展示了两条 UE 穿行轨迹:A 和 B。假设每个颜色代表那个区域的 RSRP。一般来说,由于传播损耗的影响,深色的 RSRP 值>浅色 RSRP 值>白色 RSRP 值。算法的思想是将小区覆盖区域在半径方向上以 0.5 m 为单位划分成多个同心圆,每个圆环区域的 RSRP 值假设相同,且各个环的 RSRP 值提前备份在数据库中。UE 在小区中穿行时,以固定的采样频率 f' 对 RSRP 值进行采样,记录并更新其在采样时刻所获得的 RSRP 值,反推采样时刻 UE 距离小区圆心的距离 d ,这样即可根据前后两次采样时刻的 RSRP 值清晰的判断出 UE 朝向半径方向的垂直移动速度,即

$$v = (d_1 - d_2) \cdot f' \quad (3)$$

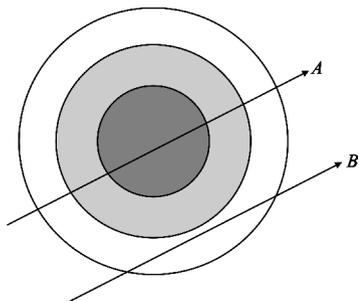


图 2 UE 在 Macrocell 中穿行的轨迹
Fig.2 UE's moving track in Macrocell

4 切换失败率 (HOF) 和乒乓切换率

4.1 MUE 的无切换概率

当 TTT 触发后,如果在 TTT 失效之前 MUE 已经离开了 Picocell 的覆盖范围,那么 MUE 将不会完成到 PNB 的切换,也就是说,当 $vT_m > d(\alpha)$ 并且弦不与 MUE 的切换失败圆相交时,MUE 不会做出向 PNB 的切换。因此,可以得出没有切换(NHO)的概率表达式为

$$P_{\text{NHO}} = \begin{cases} P(d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}), & \text{if } vT_m \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2} \\ P(d(\alpha) < vT_m), & \text{if } vT_m < 2\sqrt{R^2 - r_m^2} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $2\sqrt{R^2 - r_m^2}$ 是 UE 的移动轨迹与 MUE 切换失败圆成切线状态时的弦的长度,如图 1 所示。

4.2 MUE 的切换失败 (HOF) 概率

如果 $d(\alpha) \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$,那么 MUE 的移动轨迹则与 MUE 切换失败圆相交,如此,MUE 的切换失败的可能性才会存在。这种情况下,为了避免 MUE 的切换失败,TTT 应该在 MUE 到达 MUE 切换失败圆之前失效,这取决于 MUE 的移动速度。因此,当 $d(\alpha) \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$ 时,如果 $vT_m \geq d_{\text{HF},m}(\alpha, R, r_m)$,MUE 的切换失败将会发生。

$d_{\text{HF},m}(\alpha, R, r_m) = R\cos(\alpha) - \sqrt{r_m^2 - R^2 \sin^2(\alpha)}$ 是 TTT 的触发位置和 MUE 移动轨迹与 MUE 切换失败圆的交点位置之间的距离。

因此,MUE 的切换失败概率可以用下面的表达式表示:

$$P_{\text{HF},m} = P(d(\alpha) \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}) \times P(vT_m \geq d_{\text{HF},m}(\alpha, R, r_m)) \quad (5)$$

4.3 PUE 的乒乓切换概率

为了研究一个 PUE 的切换失败概率,MUE 必须能够成功完成向 PNB 的切换。这种切换完成之后,只要 PUE 再次进入到 Macrocell 的覆盖范围之内,持续时间 T_p 就开始计时。这种情况下,如果在 T_p 失效之前 PUE 到达了 PUE 切换失败圆,那么 PUE 切换失败将会发生。定义 $d_{\text{HF},p}(\alpha, R, r_p)$ 代表 TTT 触发的位置和 PUE 移动轨迹与 PUE 切换失败圆交点位置之间的距离,表达式如下:

$$d_{\text{HF},p}(\alpha, R, r_p) = R\cos(\alpha) + \sqrt{r_p^2 - R^2 \sin^2(\alpha)} - d(\alpha) \quad (6)$$

应用式(6)和之前的概率公式,针对不同的 vT_m 的值推导出不同的切换失败概率和乒乓切换概率,如下所示。

$$(1) \text{ 若 } vT_m \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$$

这种情况下,根据式(4)和式(5),在 TTT 失效之前 MUE 已经离开 Picocell 的覆盖范围,MUE 将不会切换到 Picocell 中。因此,这种 UE 的 PUE 切换失败和乒乓切换概率为零,即 $P_{\text{HF},p} = P_{pp} = 0$ 。

$$(2) \text{ 若 } \sqrt{R^2 - r_m^2} < vT_m < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$$

这种情况下,当 $d(\alpha) \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$ 时,MUE 通常会发生切换失败,因此将永远不会完成到 PNB 的切换。因此,只有当 $d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$ 时,PUE 才有发生切换失败的可能,其概率为

$$P_{HF,p} = P(vT_m < d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}, vT_p > d_{HF,p}(\alpha, R, r_p)) \quad (7)$$

上式中的第一个条件是 MUE 做出向 PNB 的切换, 第二个条件是 PUE 遭受 PUE 切换失败的条件。对第二个条件应用式(6)进行处理, 可得

$$vT_p > d_{HF,p}(\alpha, R, r_p) \Leftrightarrow d(\alpha) > \frac{r_p^2 - R^2}{vT_p} - vT_p \quad (8)$$

基于式(8)以及条件 $d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}$, 我们可以知道, 只有当 $vT_p > \sqrt{r_p^2 - r_m^2} - \sqrt{R^2 - r_m^2}$ 时, PUE 才会发生 PUE 切换失败, 其概率为

$$P_{HF,p} = P\left(\max\left(vT_m, \frac{r_p^2 - R^2}{vT_p} - vT_p\right) < d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}\right) \quad (9)$$

这种情况下的乒乓切换概率可以以同样的方法得到, 乒乓切换概率即为 PUE 没有遭遇任何切换失败并且在 Picocell 覆盖圆中停留的时间小于时间单元 T_{pp} 。 T_{pp} 是由乒乓切换定义的, 一般来说 $T_{pp} = 1$ s。采用相同方法对乒乓切换概率进行推导可得

$$P_{pp} = P\left(2\sqrt{R^2 - r_m^2} < d(\alpha) < \min\left(\frac{r_p^2 - R^2}{vT_p} - vT_p, \frac{R^2 - r_m^2}{vT_m} + vT_m, v(T_m - T_p + T_{pp}), 2R\right)\right) = P\left(vT_m < d(\alpha) < \min\left(2\sqrt{R^2 - r_m^2}, \frac{r_p^2 - R^2}{vT_p} - vT_p, v(T_m - T_p + T_{pp})\right)\right) \quad (10)$$

(3) 若 $vT_m < \sqrt{R^2 - r_m^2}$

这种情况下, PUE 切换失败概率由两部分组成, 即

$$P_{HF,p} = P(d(\alpha) \geq 2\sqrt{R^2 - r_m^2}, vT_m < d_{HF,m}(\alpha, R, r_m), vT_p > d_{HF,p}(\alpha, R, r_p)) + P(vT_m < d(\alpha) < 2\sqrt{R^2 - r_m^2}, vT_p > d_{HF,p}(\alpha, R, r_p)) \quad (11)$$

式(11)中的第二项与式(7)是相同的。另外, 有

$$vT_m < d_{HF,m}(\alpha, R, r_m) \Leftrightarrow d(\alpha) < \frac{R^2 - r_m^2}{vT_m} + vT_m \quad (12)$$

应用式(2)可以对上式做出更进一步的简化。同样对于式(7), 如果 $vT_p < \sqrt{r_p^2 - r_m^2} - \sqrt{R^2 - r_m^2}$, PUE 将永远不会发生 PUE 切换失败。

这种情况下的乒乓切换概率可以表达为

$$P_{pp} = P\left(2\sqrt{R^2 - r_m^2} \leq d(\alpha) < v(T_m - T_p + T_{pp}), vT_m < d_{HF,m}(\alpha, R, r_m), vT_p < d_{HF,p}(\alpha, R, r_p)\right) + P\left(vT_m < d(\alpha) < \min\left(2\sqrt{R^2 - r_m^2}, \frac{r_p^2 - R^2}{vT_p} - vT_p, v(T_m - T_p + T_{pp})\right)\right) \quad (13)$$

5 TTT 自适应缩放

由于 HOF 和 PP 是相互矛盾的, 降低 HOF 的同时必然增加 PP。分析函数解析式得知, 在速度固定时, TTT 越大, HOF 越大, 而 PP 越低。为了最大程

度的降低 PP, 可以假设一个 HOF 门限 Δ_{HOF} , 在此门限范围内的 HOF 系统均可以接受。此时, 寻找最大的 TTT 即为最优的 TTT, 对应的 PP 即为最小的 PP, 求解步骤如下:

- (1) 初始化 $TTT = 480$ ms, $\Delta_{HOF} = 0.001$, $HOF = 1$, v ;
- (2) While $HOF > \Delta_{HOF}$ do
- (3) $TTT = TTT - 1$;
- (4) 根据式(5)计算 HOF;
- (5) end While;
- (6) 选出最大的 TTT, 计算 PP, 此时对应的 PP 即为其最小值。

6 仿真结果

6.1 RSRP 速度估计算法仿真结果

图 3 和图 4 分别为各种速度估计算法性能比较图和偏差比较图, 仿真假设信道工作频段为 450 MHz, Macrocell 基站天线高度 50 m, 天线增益 6 dB, 移动台的天线高度 3 m, 天线增益 0 dB, 信道环境为市区, 传播路径为中等起伏地, 基站发射机送至天线的信号功率 10 W。仿真比较了频率自相关速度估计算法、经验函数法速度估计算法、改进的经验函数法速度估计算法以及本文提出的 RSRP 速度估计算法的速度估计性能, 并比较了各速度估计算法方案与预设速度值之间的偏差性能, 仿真结果表明, RSRP 速度估计算法方案能够明显提高移动 UE 的速度估计性能, 最大程度地接近速度预设值, 并且具有最小的偏差, 性能优势明显。但是所提方案需要随时从数据库中调用数据进行速度计算, 增加了处理复杂度和时间, 对速度的估计可能会有一定的延时。未来可以将不同的传输环境所包含的衰落因子、功率损耗等建立数据库, 提高速度估计的精度并降低估计时延。

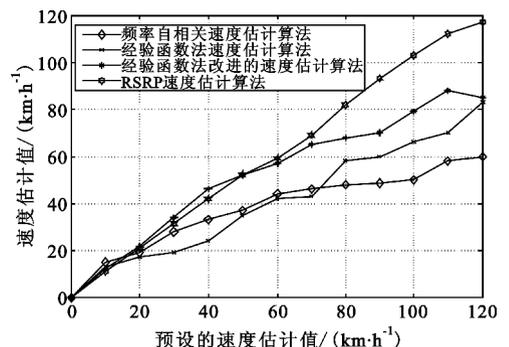


图 3 各种速度估计算法方案性能比较
Fig. 3 Performance comparison between various speed estimation algorithms

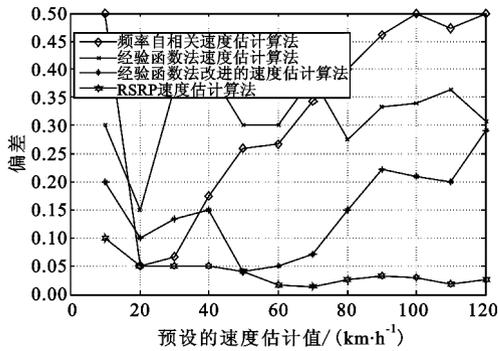


图 4 各种速度估计算法方案精确度比较
Fig. 4 Accuracy comparison between various speed estimation algorithms

6.2 HOF 和 PP 概率仿真结果

仿真的 NHO、HOF、PP 概率与 UE 速度的关系曲线分别如图 5 ~ 7 所示。仿真场景完全根据 3GPP 技术报告 TR 36. 839 中的仿真要求设定,UE 移动速度为 0 ~ 120 km/h, TTT 范围为 40 ~ 480 ms, $Q_{out} = -8$ dB, $Q_{in} = -6$ dB, T310 = 1 s, A3 偏移值为 2 dB, Macrocell-Picocell 的距离为 250 m, Macro 总发射功率 46 dBm, Pico 总发射功率 30 dBm, Picocell 的覆盖范围半径为 21.76 m。假设所有的 eNB 和 PNB 的天线都是全方向的,阴影衰落的影响在此忽略不计。

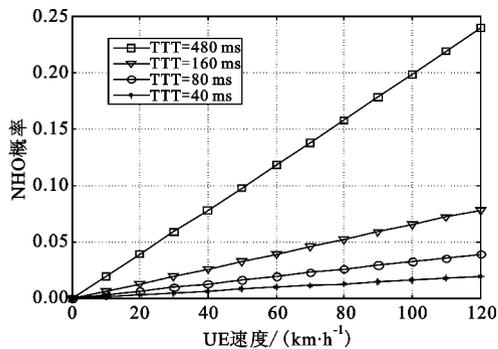


图 5 NHO 概率与 UE 速度的关系
Fig. 5 Relationship between NHO probability and UE speed

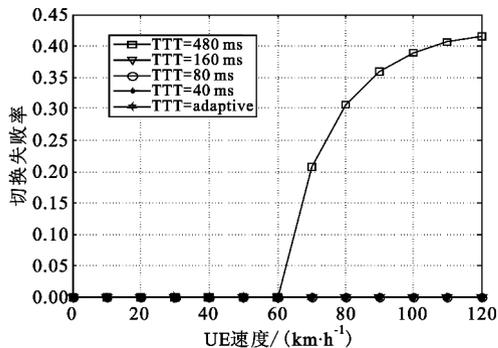


图 6 HOF 概率与 UE 速度的关系
Fig. 6 Relationship between HOF probability and UE speed

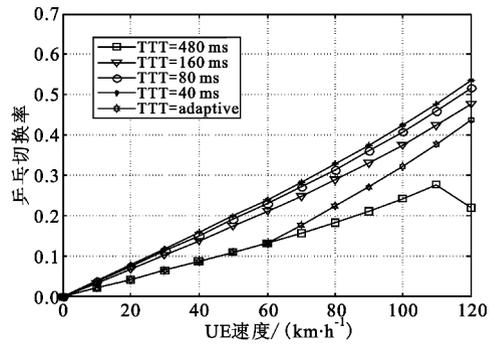


图 7 PP 切换概率与 UE 速度的关系
Fig. 7 Relationship between PP probability and UE speed

图 5 中,NHO 概率随着 TTT 和 UE 速度的增加而增加,原因在于 MUE 在 TTT 失效之前移动出 Picocell 覆盖范围的概率将会变大。而且,PP 概率也会随着 UE 速度的增加而增加。由于高速移动 UE 穿越 Picocell 覆盖范围的速度很快,它们在 PP 门限时间 T_{pp} 内离开 Picocell 覆盖范围的概率将会增加。对于特别高速的 UE 来说,PP 概率将会由于 NHO 概率和 HOF 概率的增加而降低。通过设置切换失败概率容许门限最小化乒乓切换概率,是 TTT 自适应选择方案的关键。由图 5 ~ 7 的 TTT 自适应选择方案性能曲线可以看出,与固定 TTT 值方案相比,该优化方案能够在保证切换失败率在可以接受的范围内的基础上,最大程度地降低了乒乓切换概率,很好地缓解了切换失败概率和乒乓切换概率之间的矛盾。同时,由于 UE 速度的变化是实时性的,根据实时速度选择相应的 TTT,可以减少时隙开支,节约资源。

v 和 TTT 的乘积以及个值对切换失败概率与乒乓切换概率影响的仿真曲线如图 8 所示。由图可以看出,当没有衰落的时候,不论 v 和 T_m 如何变化,同样的 vT_m 将会产生同样的切换失败率,但是,PP 概率将会根据 v 和 T_m 的值的不同而变化。因此,可以在保证 v 和 TTT 乘积不变的基础上对 TTT 进行优化,从而最大程度地降低乒乓切换概率。

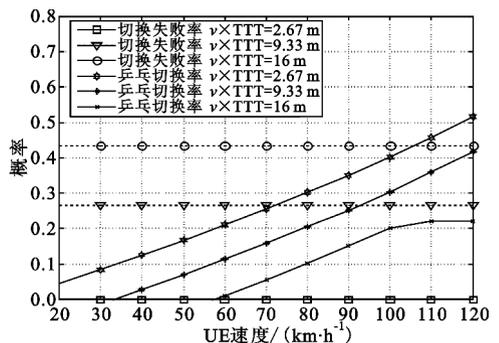


图 8 HOF 概率和乒乓概率与固定值的关系
Fig. 8 Relationship between HOF probability, PP probability and a fixed value

7 结 论

本文采用 RSRP 方案对小蜂窝中 UE 的移动速度进行了较为精确的估计,同时推导分析了小蜂窝网络中的 HOF 概率、PP 概率与 UE 速度、TTT 的关系。推导分析发现,切换失败概率只与 v 和 TTT 乘积的大小有关,与个别值无关,而乒乓切换概率则与其个别值有关。因此,对于一个给定的 UE 速度和给定的小区大小,在保证 HOF 在可接受的范围内的基础上,通常将会存在一个最优的 TTT 使得 PP 概率最小。之后利用 TTT 自适应缩放方案对 TTT 的值进行筛选,仿真结果证明,该算法确实能很好地缓解切换失败概率和乒乓切换概率之间的矛盾,具有很好的切换性能和网络性能。

参考文献:

- [1] Lopez-Perez D, Guvenc I, de la Roche G, et al. Enhanced Inter-Cell Interference Coordination Challenges in Heterogeneous Networks[J]. IEEE Wireless Communication Magazine, 2011, 18(3): 22-31.
- [2] 3GPP TSG RAN WG2, Evaluation on adjusting parameters for the handover type[S].
- [3] 3GPP TSG RAN WG2, MSE-based mobility enhancement [S].
- [4] 3GPP TSG RAN WG2, Discussion on UE based speed estimation for improving the mobility performance in Het-Nets[S].
- [5] Samsung. Mobility support to picocells in the co-channel HetNets deployment [R]. Stockholm, Sweden: 3GPP Standard Contribution, 2010.
- [6] 夏璐. TD-LTE 终端一致性测试容限与参考信号测量的研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2011.
XIA Lu. Research on Conformance Test Tolerance and Reference Signal Measurement of TD-LTE UE[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications,

2011. (in Chinese)

- [7] 余翔,张丽,王蓉. LTE-A 中异构网络的切换分析[J]. 电讯技术, 2014, 54(1): 89-96.
YU Xiang, ZHANG Li, WANG Rong. Analysis on Handover Process for Heterogenous Networks in LTE-A[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(1): 89-96. (in Chinese)
- [8] 3GPP TR 36. 839, Mobility Enhancements in Heterogeneous Networks[S].
- [9] Guvenc I, Jeong M R, Watanabe F, et al. A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation[J]. IEEE Communication Letter, 2008(12): 880-882.

作者简介:



冷家丽(1987—),女,重庆人,2012 年于重庆邮电大学获学士学位,现为硕士研究生;

LENG Jia-li was born in Chongqing, in 1987. She received the B. S. degree from Chongqing University of Posts and Telecommunications in 2012. She is now a graduate student.

曹永民(1987—),男,河北人,2011 年于西安电子科技大学获学士学位,现为硕士研究生;

CAO Yong-min was born in Hebei Province, in 1987. He received the B. S. degree from Xidian University in 2012. He is now a graduate student.

王东军(1988—),男,山东人,2011 年于重庆邮电大学获学士学位,现为硕士研究生,主要研究方向为 LTE-Advanced 异构小蜂窝网络下的移动性管理。

WANG Dong-jun was born in Shandong Province, in 1988. He received the B. S. degree from Chongqing University of Posts and Telecommunications in 2011. He is now a graduate student. His research concerns mobility management in heterogeneous networks.

Email: wangdongjun3@163.com