

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.01.013

# 关系亲密程度的 LTE 异构网络切换算法

杨 静<sup>1,2</sup>, 李鹏程<sup>1,2</sup>, 闫俊杰<sup>1,2</sup>, 周晓军<sup>1,2</sup>

(1. 重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065; 2. 邮电大学光通信与网络重点实验室, 重庆 400065)

**摘要:** 处于宏蜂窝和毫微微蜂窝覆盖范围内的用户设备为满足用户体验质量,需进行大量的切换操作,随着总切换次数的增加,用户设备将持续占用部分物理资源,导致系统吞吐量降低.提出一种关系亲密程度的长期演进(LTE)异构网络切换算法,通过统计用户设备接入毫微微蜂窝的历史信息来估计用户设备与毫微微蜂窝的关系亲密程度,利用该属性对等待切换的用户设备进行优先级排序,结合用户设备的接收信号强度、移动速度、毫微微蜂窝可用带宽进行综合切换判决.数值结果表明提出的切换算法大幅降低总切换次数,显著减少不必要切换次数,有效提高系统吞吐量.

**关键词:** 无线通信技术; 切换算法; 关系亲密程度; 异构网络; 长期演进

**中图分类号:** TP393.04      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0490-6756(2018)01-0073-08

## Relational intimacy degree handover algorithm of LTE heterogeneous network

YANG Jing<sup>1,2</sup>, LI Peng-Cheng<sup>1,2</sup>, YAN Jun-Jie<sup>1,2</sup>, ZHOU Xiao-Jun<sup>1,2</sup>

(1. School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China; 2. Key Laboratory of Optical Communication and Networks, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** To meet the need for Quality of Experience(QoE), the User Equipment(UE) has to handover frequently in the coverage area between Macro cell and Femto cell, with the increase of total handover times, the UE will occupy some physical resources continuously, resulting in lower system throughput. Relational intimacy degree handover algorithm of Long Term Evolution(LTE) heterogeneous network is proposed, which estimates the relational intimacy between UE and Femto cell by gathering the historical information of the former access to the latter, then sorts the priority ordering for UE waited for handover by using this attribute, and makes the handover decision by taking the receiving signal strength, speed and Femto cell bandwidth available into account. Simulation results show that the proposed algorithm can reduce the total handover times obviously, avoid the unnecessary handover times and improve the system throughput effectively.

**Keywords:** Wireless communication technology; Handover algorithm; Relational intimacy degree; Heterogeneous network; Long Term Evolution

收稿日期: 2016-11-29

基金项目: 国家自然科学基金(61371097, 61271261); 重庆市青年科技人才培养计划(CSTC2014KJRC-QNRC40001); 重庆高校创新团队建设计划资助项目(CXTDX201601020)

作者简介: 杨静(1972-), 女, 重庆人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为泛在无线网络. E-mail: yangjingb@cqupt.deu.cn

通讯作者: 李鹏程. E-mail: 2319689173@qq.com

## 1 引言

近年来,随着无线通信技术的广泛发展<sup>[1,2]</sup>,蜂窝移动用户急剧增加,无线频谱资源变得越来越稀缺<sup>[3]</sup>.因此,蜂窝通信系统在增加其吞吐量的同时,还需满足用户一定的体验质量<sup>[4]</sup>(Quality of Experience, QoE).下一代移动网络运营商在宏基站覆盖区域内集中式地部署小基站来增加用户信号覆盖范围以及网络系统容量,这些小基站包括微基站(Micro cell)、微微基站(Picocell)以及毫微微基站(Femto cell)等<sup>[5]</sup>.Femto cell<sup>[6]</sup>的应用使得长期演进(Long Term Evolution, LTE)由传统的宏蜂窝(Macro cell)单层网络架构演变为 Macro cell/Femto cell 双层网络架构<sup>[7]</sup>,由于节点传输功率和覆盖范围不同,因此,LTE 中 Macro cell/Femto cell 双层网络架构又称为 LTE 异构网络<sup>[8,9]</sup>.

异构网络能够突破传统单一网络的限制,进行多网络协同并行传输<sup>[10]</sup>,通过引入新的小功率节点,例如 Femto cell, Picocell 以及中继节点等,可以有效解决覆盖“盲区”和“忙区”问题<sup>[11]</sup>.与单一的 Macro cell 组成的 LTE 相比,LTE 异构网络带来了显著的优点,其中包括室内网络覆盖的增强、系统容量的提升<sup>[12]</sup>、更灵活的网络部署、频谱利用率的提升、更好的 QoE 等.

Femto cell 广泛的应用于 LTE Macro cell 网络中,处于 Macro cell 与 Femto cell 覆盖范围内的用户设备(User Equipment, UE)在此异构网络中进行切换以满足最佳 QoE. 如何选取切换判决参数或判决条件设计合理有效的切换算法,如何保证切换过程中 UE 的操作不发生中断,如何保证所设计的切换算法能够有效的减少总切换次数、减少不必要切换次数和提高系统吞吐量成为重要的技术挑战.

LTE 异构网络中,针对设计合理有效的切换算法这一问题,现有的研究主要从信号强度、信号质量、业务类型等传统的链路状态质量因素方面对切换进行决策.另外根据 Femto cell 接入模式的不同,针对 UE 属性的切换判决也越来越盛行,如 UE 接入属性、位置、速度、接入优先级别等.文献[13]提出一种呼叫接入控制的切换算法(Call Admission Control Handover Algorithm, CAC-HA),其根据 UE 是否为封闭用户组(Close Subscriber Group, CSG)UE 来设定接入属性,同时设

定信号质量门限值和切换触发时间.其虽然能够有效降低不必要的切换,但非 CSG UE 触发时间的设定成了关键因素,所提出的方法普适度不高.文献[14]提出一种预测 UE 位置信息的切换算法,结果表明算法能够有效降低切换次数和切换延时,但是 UE 位置信息的精度很难达到预定要求,并且传输位置信息极大地浪费了网络资源.文献[15]提出一种面向混合参数的切换算法,在充分考虑参考信号接收功率和干扰等链路状态质量的基础上,同时综合考虑 UE 业务是否属于实时业务、UE 接入属性是否属于 CSG 两方面,结果表明算法能够有效降低切换失败率.文献[16]提出一种基于层次分析法的切换算法(Analytic Hierarchy Process Handover Algorithm, AHP-HA),通过将 UE 的接入优先级、带宽、接收信号强度等属性进行多属性切换判决,虽然考虑了多种属性参数,但是各个参数权重的选择对该算法的影响很大,并且 UE 的接入优先级缺乏明确的量化准则.

在 LTE 异构网络中针对 Macro cell 与 Femto cell 之间频繁切换的问题,本文提出一种基于关系亲密程度的切换算法(Relational Intimacy Degree Handover Algorithm, RID-HA).通过 Femto cell 当前系统运行时间内 UE 的历史接入次数获知 UE 接入 Femto cell 的接入强度.然后,采用基于历史信息的混合估计方法预测两者之间的接入持续时间,即通过 UE 与该 Femto cell 的历史接入持续时间序列来准确地预测 UE 与该 Femto cell 的下次接入持续时间,并根据 UE 接入该 Femto cell 的平均历史接入持续时间,可获知该 UE 与该 Femto cell 的下次接入持续度估计值.最后,结合 UE 的接入强度与下次接入 Femto cell 的持续度这两个参数,进行衡量 UE 与 Femto cell 之间的关系亲密程度,通过量化的关系亲密程度结合 UE 的移动速度和链路质量等传统参数来作为切换判决依据.

## 2 关系亲密程度

一般而言,UE 拥有特定的社会属性<sup>[17,18]</sup>,它们每天会按照一定规律出现在某些场所,在此类地点所部署的 Femto cell 能够为 UE 提供接入服务.那么,通过统计历史接入信息,UE 与该 Femto cell 之间会形成一定的关系亲密程度.由于 Femto cell 仅仅支持少数 UE 同时接入,因此,当多个 UE 同时到达同一个 Femto cell 时,为了充分利用 Femto

cell 的网络资源, 根据关系亲密程度的大小对 UE 的切换进行优先级排序, 从而减少总切换次数、降低不必要切换次数、提高系统吞吐量。

## 2.1 UE 历史接入强度

接入间隔时间和持续时间特性对分析切换性能起着重要的作用<sup>[19]</sup>。根据 UE 与 Femto cell 之

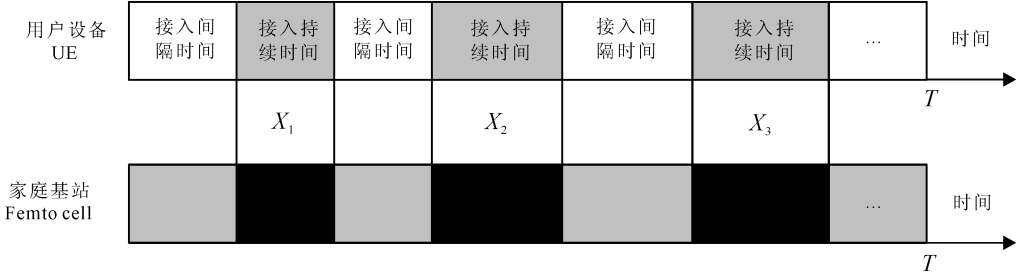


图 1 UE 与 Femto cell 之间的接入状态

Fig. 1 The access state between UE and Femto cell

对于给定的 UE, 其接入 Femto cell 的平均建立时间间隔, 如式(1)所示。

$$t_{\text{int}} = \frac{T}{n} \quad (1)$$

其中,  $T$  表示当前系统的整个运行时间;  $n$  表示时间  $T$  内 UE 总接入次数。

从而, 可以得到 UE 接入到 Femto cell 的历史接入强度, 如式(2)所示。

$$\eta = \frac{1}{t_{\text{int}}} \quad (2)$$

UE 进入 Femto cell 的通信范围且建立连接后, 其接入持续时间如式(3)所示。

$$X_i = t_{i-\text{down}} - t_{i-\text{up}} \quad (3)$$

其中,  $t_{i-\text{down}}$  和  $t_{i-\text{up}}$  分别为 UE 与 Femto cell 之间的接入断开时间和接入建立时间。从而 UE 接入该 Femto cell 的平均接入持续时间如式(4)所示。

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{i-\text{down}} - t_{i-\text{up}})}{n} \quad (4)$$

其中,  $\sum_{i=1}^n X_i$  表示 UE 接入到 Femto cell 的接入持续时间总和。

UE 接入该 Femto cell 的历史信息中, 接入持续时间的波动性可用接入持续时间方差表示, 如式(5)所示。

$$D(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad (5)$$

## 2.2 UE 下次接入持续时间估计

由于 UE 的移动带有较强的规律性, 其接入

间的接入状态, UE 与 Femto cell 之间的接入时间也可分为接入中断时间和接入持续时间, 如图 1 所示。根据 Femto cell 记录的本地历史信息, 统计得 UE 接入 Femto cell 的持续时间集合为  $\{X_i(t), t \geq 0\}$ , 简记为  $\{X_i, i=1, 2, \dots, n\}$  序列。

Femto cell 的接入持续时间  $X_i$  服从参数为  $\lambda$  的指数分布<sup>[20]</sup>, 对于任意的  $i \neq j$ , 序列  $X_i$  和  $X_j$  是独立不相关的, 并且期望均为  $\frac{1}{\lambda}$ 。由此可知  $\{X_i(t), t \geq 0\}$  属于广义平稳随机过程, 证明过程如下。

接入持续时间  $\{X_i(t), t \geq 0\}$  的分布函数如式(6)所示。

$$X_i = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (6)$$

那么, UE 与 Femto cell 的接入持续时间的数学期望如式(7)所示。

$$E[X_i(t)] = \frac{1}{\lambda} \quad (7)$$

从而可以推导得到接入持续时间的自相关函数, 如式(8)所示。

$$R_X(\tau) = E[X_i(t)X_i(t-\tau)] = \begin{cases} \frac{2}{\lambda^2}, & \tau = 0 \\ \frac{1}{2} - \frac{e^{-\lambda\tau}}{6}, & \tau \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

由于式(7)中期望为常数, 式(8)中自相关函数与时间  $t$  无关, 而仅与时间间隔  $\tau$  有关, 因此  $\{X_i(t), t \geq 0\}$  属于广义平稳随机过程。故可利用历史信息对下一次的接入持续时间进行预测, 本文采用指数平滑预测法预测接入持续时间。以  $\alpha, 1 - \alpha (0 < \alpha < 1)$  为权重对该时间序列进行加权平均预测, 如式(9)所示。

$$\hat{X}_{i+1} = S_i = \alpha X_i + (1 - \alpha) S_{i-1} \quad (9)$$

其中,  $\hat{X}_{i+1}$  表示第  $i+1$  次接入持续时间的预测值,

$X_i$  为第  $i$  次接入持续时间的实际值,  $S_i$  和  $S_{i-1}$  分别表示第  $i$  次接入及第  $i-1$  次接入的指数平滑值, 且初始值  $S_0$  为原序列首项表示首次接入持续时间,  $\alpha$  为平滑系数.

根据式(9), UE 可在第  $i$  次接入时预测第  $i+1$  次与 Femto cell 的接入持续时间. 借助历史接入信息来减少预测误差, 从而提高预测下次接入时间的准确度.

当预测值小于实际值时, 两者之间的差值依然为广义平稳随机过程, 则可以利用历史误差信息的均值对接入持续时间误差  $e_i$  进行预测, 如式(10)和式(11)所示.

$$e_i = \frac{\sum_{k=1}^{i-1} f_k(t)}{|\{X_k \geq \hat{X}_k, 1 \leq k \leq i-1\}|} \quad (10)$$

$$f_k(t) = \begin{cases} X_k - \hat{X}_k, & X_k \geq \hat{X}_k \\ 0, & X_k < \hat{X}_k \end{cases} \quad (11)$$

其中,  $f_k(t)$ ,  $1 \leq k \leq i-1$  为接触持续时间预测误差;  $\sum_{k=1}^{i-1} f_k(t)$  表示超过预测值的部分接入持续时间累加,  $|\{X_k \geq \hat{X}_k, 1 \leq k \leq i-1\}|$  表示预测值小于实际值的次数.

当预测值大于实际值时, 则将此值作为 UE 下次接入持续时间预测值, 即  $\hat{X}_{i+1} = S_i$ .

依据上面两种情况, Femto cell 可以通过统计 UE 的历史接入信息, 利用指数平滑时间序列模型来预测 UE 与该 Femto cell 的下次接入持续时间. 至此, 完成 UE 接入持续时间的近似预测, 如式(12)所示.

$$\hat{X}_{i+1} = \begin{cases} S_i, & \hat{X}_{i+1} \geq X_{i+1} \\ S_i + e_i, & \hat{X}_{i+1} < X_{i+1} \end{cases} \quad (12)$$

可见, 根据  $\hat{X}_{i+1}$  可以充分体现该 UE 下次切换到该 Femto cell 后能够保持链路连接状态的持续时间. 进而, 结合 UE 接入该 Femto cell 的平均接入持续时间, 可获知该 UE 下次接入该 Femto cell 的接入持续度估计值  $\mu$ , 它表示 UE 接入 Femto cell 的下次接入持续强度, 如式(13)所示.

$$\mu = \frac{\hat{X}_{i+1}}{\bar{X}} \quad (13)$$

### 2.3 UE 与 Femto cell 之间的关系亲密程度

通过上述分析可知, UE 接入到 Femto cell 的历史接入强度  $\eta$  与 UE 接入 Femto cell 的历史接入次数有关, 它可以充分体现 UE 与该 Femto cell 的历史关系亲密程度,  $\eta$  越大表示两者历史亲密程度越亲

密, 反之则越疏远. UE 下次接入该 Femto cell 的接入持续度估计值  $\mu$  与历史接入持续时间和下次接入持续时间有关, 它可以充分体现 UE 与该 Femto cell 的下次接入亲密程度,  $\mu$  越大表示两者将来亲密程度越亲密, 反之则越疏远. 为了能够准确获知 UE 与 Femto cell 之间的关系亲密程度  $r$ , 本文联合考虑 UE 与该 Femto cell 的历史亲密程度和将来亲密程度, 即结合历史接入强度  $\eta$  和下次接入持续度估计值  $\mu$  这两个参数来衡量 UE 与该 Femto cell 之间的关系亲密程度  $r$ , 如式(14)所示.

$$r = \eta \times \mu \quad (14)$$

## 3 切换算法

如前所述, UE 进行大量切换将极大地浪费系统网络资源, 选取合理的切换判决参数或判决条件来设计有效的切换算法可以有效降低频繁和不必要的切换, 最大程度地保证 UE 的 QoE, 提升系统吞吐量. 在充分考虑 UE 的网络链路相关指标因素和 UE 移动速度的同时, 本文将 UE 与 Femto cell 的关系亲密程度  $r$  作为新的切换判决因素, 从而提出关系亲密程度的切换算法, 其伪代码如表 1 所示. 其中,  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_p\}$  为当前所有等待切换的 UE 集合, 且  $p$  为等待切换的 UE 总数,  $UNC = \{unc_1, unc_2, \dots, unc_q\}$  为源基站为 Macro cell 且不属于 CSG 用户的 UE 集合, 其总数为  $q$ , 算法具体步骤如下.

1) 初始时  $j = 1$ ;

2)  $u_j$  测量并报告链路质量: Macro cell 的信号强度  $RSRP_{eNB}$ 、Femto cell 的信号强度  $RSRP_{HeNB}$ 、切换滞后余量  $HHM$ 、 $u_j$  的速度  $v_j$ ;

3) 监测  $u_j$  的源基站  $S$  和目标基站  $D$ ;

4) 若源基站  $S$  为 Femto cell, 目标基站  $D$  为 Macro cell, 则进行如下步骤.

(1) 判断  $u_j$  的速度  $v_j$  是否低于 Femto cell 的速度阈值  $v_{th}$ .

(2) 判断信号强度是否满足如下条件:

$$RSRP_{eNB} > RSRP_{HeNB} + HHM$$

(3) 若条件(1)和(2)均成立, 则  $u_j$  切换到 Macro cell.

(4)  $j = j + 1$ .

5) 若源基站  $S$  为 Macro cell, 目标基站  $D$  为 Femto cell, 则进行如下步骤.

(1) 计算  $u_j$  与该目标 Femto cell 之间的  $r_j$  值.

(2) 若  $u_j$  是 CSG 用户则进行步骤 3); 否则将  $u_j$  加入到  $UNC$  集合并且根据  $r_j$  的大小对其进行切换优先级排序, 其中  $r_j$  较大者优先等待切换, 然后进行步骤 3)。

(3) 判断  $u_j$  的速度是否低于速度阈值。

(4) 判断信号强度是否满足如下条件:

$$RSRP_{eNB} > RSRP_{HeNB} + HHM$$

(5) 判断 Femto cell 的剩余带宽  $b_F$  是否大于  $u_j$  的需求  $b_{u_j}$ 。

(6) 若条件(3)、(4)和(5)均成立, 则  $u_j$  切换到 Femto cell。

(7)  $j = j + 1$ 。

6) 当  $j \leq p$  时, 重复步骤 2); 否则算法结束。

表 1 RID-HA 算法

Tab.1 RID-HA algorithm

Algorithm RID-HA
1) $U = \{u_1, u_2, \dots, u_j, \dots, u_p\}$ : set of UE
2) $UNC = \{unc_1, unc_2, \dots, unc_q\}$ : set of UE whose $S \in Macro-cell$ and $u_j \notin CSG$
3) $RSRP_{eNB}$ : Macro cell's signal intensity
4) $RSRP_{HeNB}$ : Femto cell's signal intensity
5) $v_j$ : speed of $u_j$
6) $r_j$ : relational intimacy between $u_j$ and Femto cell
7) $j = 1$
8) for all $u_j \in U$ do
9) if $S \in Femtocell$ and $D \in Macrocell$ then
10) if $v_j < v_{th}$ and $RSRP_{eNB} > RSRP_{HeNB} + HHM$ then
11) $u_j$ switch to the Macro cell
12) $j = j + 1$
13) else
14) if $u_j \in CSG$ then
15) if $v_j < v_{th}$ , $RSRP_{eNB} > RSRP_{HeNB} + HHM$ and $b_F > b_{u_j}$ then
16) $u_j$ switch to the Femto cell
17) $j = j + 1$
18) else
19) $u_j$ is added in the set $UNC$ , $j = j + 1$
20) end
21) for all $unc_j \in UNC$ do
22) sort the $unc_j$ in descending order by $r_j$
23) if $v_j < v_{th}$ , $RSRP_{eNB} > RSRP_{HeNB} + HHM$ and $b_F > b_{u_j}$ then
24) $unc_j$ switch to the Femto cell
25) end
26) if $j \leq p$ then
27) Go to Line 8
28) else
29) break

## 4 数值结果与分析

### 4.1 仿真场景

通过采用 LTE-Sim 仿真平台<sup>[21]</sup>, 从总切换次数、不必要切换次数和系统吞吐量三方面来验证关系亲密程度切换算法 RID-HA, 然后根据此三方面依次与呼叫接入控制切换算法 CAC-HA 和基于层次分析法切换算法 AHP-HA 进行对比。仿真场景中多个开放式接入或混合式接入的 Femto cell 部署在单个 Macro cell 区域中, 并且 UE 在 Macro cell 覆盖区域内等可能的向各个方向随机移动。实验结果数据为多次仿真运行得到的平均值, 由于平均值会出现小数, 而切换次数是整数, 所以将切换次数的平均值采用四舍五入方法进行统计。通过多次仿真发现平滑系数  $\alpha = 0.22$  时, UE 接入 Femto cell 的持续时间方差很小, 即波动性不大、比较平稳, 故此时预测比较准确。仿真参数设置如表 2 所示。

表 2 仿真参数设置

Tab.2 Simulation parameter settings

参数	数值
Macro cell 数(个)	1
Femto cell 数(个)	5~50
Macro cell 半径(m)	1000
Femto cell 半径(m)	50
eNB 发射功率(mW)	20000
HeNB 发射功率(mW)	140
eNB 的路径损耗(dB)	$PL_{outdoor} = 28 + 35 \log_{10}(d)$
HeNB 的路径损耗(dB)	$PL_{indoor} = 38.5 + 20 \log_{10}(d)$
UE 数量(个)	50~140
HHM (dB)	5
$v_{th}$ (km h <sup>-1</sup> )	10
仿真时间(s)	8000

其中, eNB 为演进型基站 (Evolved Node B, eNB), 相应的路径损耗<sup>[22]</sup>如式(15)所示。

$$PL_{outdoor} = 28 + 35 \log_{10}(d) \quad (15)$$

另外, HeNB 为家庭基站 (Home eNode B, HeNB), 此时路径损耗<sup>[22]</sup>如式(16)所示。

$$PL_{indoor} = 38.5 + 20 \log_{10}(d) \quad (16)$$

式(15)和式(16)中  $d$  均为 UE 到基站的距离, 不同的是, 式(15)中  $d$  为 UE 到 eNB 的距离, 而式(16)中为到 HeNB 的距离。

### 4.2 下次接入持续时间预测的验证

准确预测 UE 的下次接入持续时间影响到

UE 与 Femto cell 之间关系亲密程度的衡量,是评判该切换算法性能的重要依据.通过统计仿真时间内所有 UE 接入 Femto cell 的持续时间实际值与预测值,针对 UE 接入 Femto cell 的持续时间误差做出累计概率分布(Cumulative Distribution Function, CDF),如图 2 所示.

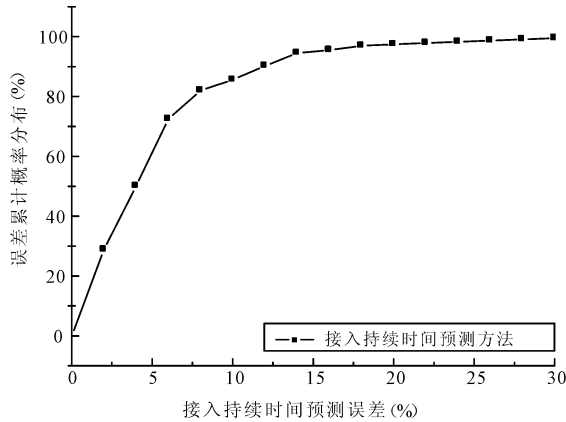


图 2 UE 下次接入持续时间准确性验证  
Fig. 2 Accuracy verification of UE's next access duration

由图 2 可以看出,85%的接入持续时间估计误差小于 9%,接近 100%的接入持续时间估计误差不超过 20%,整体的平均误差为 12%,其结果表明所提出的下次接入持续时间预测方法比较准确.

### 4.3 数值结果

4.3.1 不同 Femto cell 数量下网络的性能 不同 Femto cell 数量下的网络环境中,将 UE 数量设置为 100,通过改变 Femto cell 数量依次从三方面来对比分析.

图 3 中三种切换算法的总切换次数均随着 Femto cell 的增加而增加,这是因为 UE 进出 Femto cell 通信区域的概率随着 Femto cell 的增加而增加.同时,RID-HA 的总切换次数明显低于 AHP-HA 和 CAC-HA 的总切换次数,分别降低了 47.1%和 67.2%.这是因为对于 CAC-HA 虽然考虑了 UE 的接入属性,并且结合了信号质量门限值和切换触发时间,但是其信号质量门限值和切换触发时间都是固定值,不能自适应地随着网络情况变化而改变,并且忽略了 UE 的高速移动因素,因此该机制总切换次数最多.相比于 AHP-HA 因为综合考虑了 UE 的接入优先级、带宽、接收信号强度等属性并且进行多属性切换判决,故该算法总切换次数略少.相比前两种算法,本文所提出的 RID-HA 不仅结合了 UE 的接收信号强度、速度、带宽等因素,而且通过对 UE 与 Femto cell 之间的关

系亲密程度进行预测提高切换成功率,减少了部分不必要切换,因此该算法总切换次数最低.

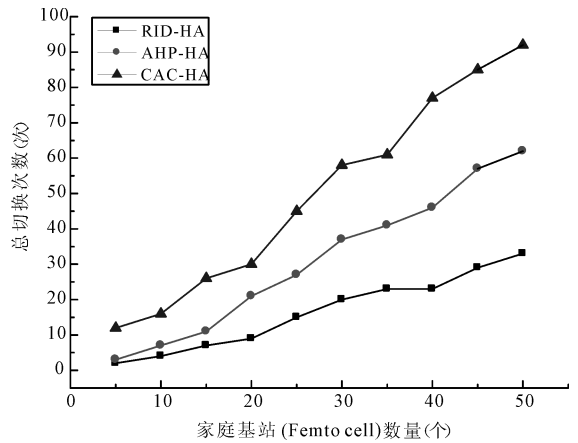


图 3 总切换次数  
Fig. 3 Total handover times

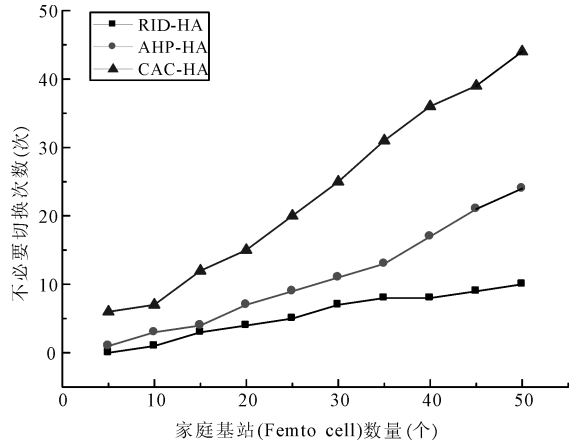


图 4 不必要切换次数  
Fig. 4 Unnecessary handover times

图 4 中三种切换算法的不必要切换次数均随着 Femto cell 的增加而增加,这是因为 Femto cell 的增加导致 UE 频繁进行切换,从而不必要切换次数与总切换次数变化趋势一样,也随着 Femto cell 的增加而增加.同时,RID-HA 的不必要切换次数明显低于另外两种算法的不必要切换次数,分别降低了 49.6%和 76.6%.

图 5 中三种切换算法的系统吞吐量均随着 Femto cell 的增加而增加,这是因为信号覆盖强度和系统容量均随着 Femto cell 的增加而增加.同时,由于 RID-HA 的不必要切换次数最少,相比另外两种机制可以及时释放部分物理资源,故 RID-HA 的系统吞吐量最高,分别提高了 25.8%和 55.6%.

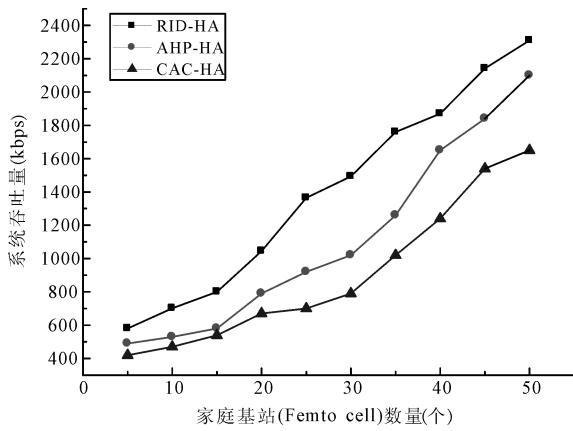


图 5 系统吞吐量  
Fig. 5 System throughput

4.3.2 不同 UE 数量下网络的性能 此处在不同 UE 数量下的网络环境中, 将 Femto cell 数量设置为 100, 通过改变 UE 数量依次从三方面来对比分析。

图 6 中三种切换算法的总切换次数均随着 UE 的增加而增加, 这是因为随着 UE 总数量的增加, 能够进出 Femto cell 通信区域的 UE 也随之增加, 因此总切换次数均增加。同时 RID-HA 的总切换次数明显低于 AHP-HA 和 CAC-HA 两种算法的总切换次数, 分别降低了 40.2% 和 53.1%。

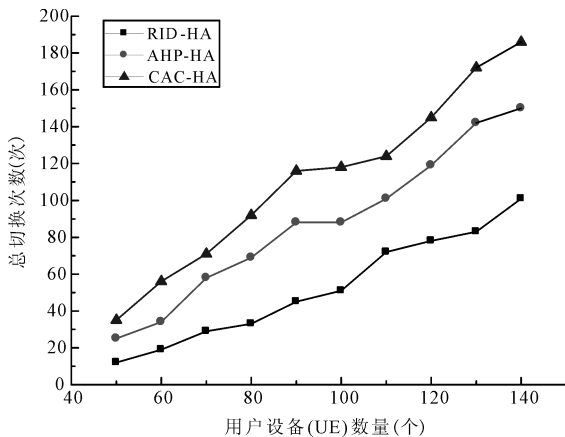


图 6 总切换次数  
Fig. 6 Total handover times

图 7 中三种切换算法的不必要切换次数均随着 UE 的增加而增加, 这是因为 UE 的增加导致 UE 频繁进行切换, 从而不必要切换次数与总切换次数变化趋势一样, 也是随着 UE 的增加而增加。同时 RID-HA 的不必要切换次数明显低于另外两种算法的总切换次数, 分别降低了 54.3% 和 74.9%。

图 8 中三种切换算法的系统吞吐量均随着 UE 的增加而增加, 这是因为 UE 增加了通信业务

量, 提升了利用率。同时 RID-HA 的系统吞吐量明显高于另外两种算法的系统吞吐量, 分别提高了 19.3% 和 45.7%, 这是因为其它两种算法的总切换次数和不必要切换次数比较多, 占用了切换资源、增加了掉话率、降低了业务量, 而本文提出的 RID-HA 机制可以有效降低切换次数, 并且抑制了部分不必要切换, 提高了边缘用户的吞吐量, 从而提升了一定的系统吞吐量。

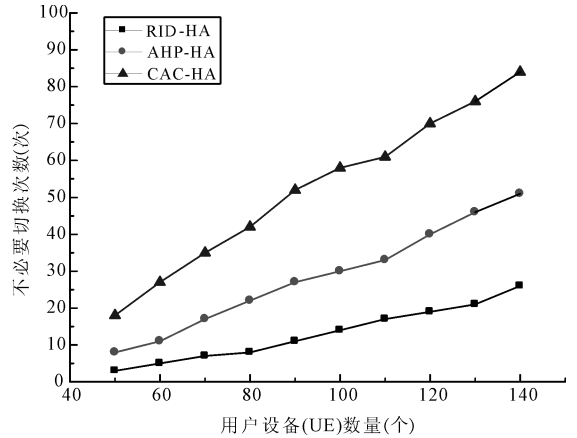


图 7 不必要切换次数  
Fig. 7 Unnecessary handover times

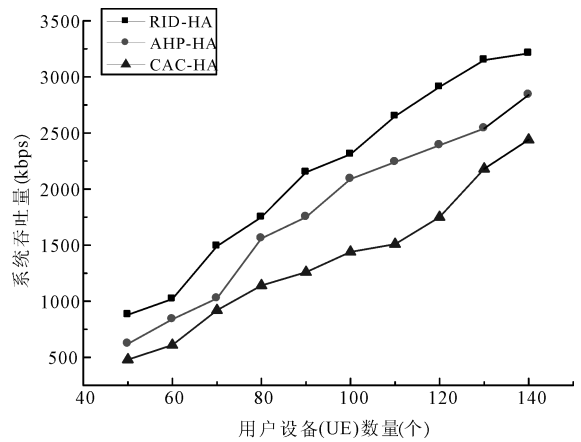


图 8 系统吞吐量  
Fig. 8 System throughput

## 5 结论

LTE 异构网络中针对 Macro cell 与 Femto cell 之间频繁切换的问题, 提出一种关系亲密程度的切换算法。通过统计 UE 的历史接入信息来估计 UE 与 Femto cell 之间的关系亲密程度  $r$ , 利用该属性对等待切换的 UE 进行优先级排序, 再结合 UE 的接收信号强度、移动速度、Femto cell 可用带宽等传统切换判决参数进行切换判决。结果表明所提出切换算法有效提高系统吞吐量。

## 参考文献:

- [1] 何礼, 何培宇, 张晓枫, 等. 一种适合于低空无线信道的改进 SC FDE 技术 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2015, 52: 306.
- [2] 杨国华, 陈鸿星, 刘祝华. 一种多信道感知的无线网络编码方法研究 [J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2016, 53: 1027.
- [3] Luo C, Yu F R, Ji H, *et al.* Optimal channel access for TCP performance improvement in cognitive radio networks [J]. ACM Wirel Netw, 2011, 18: 479.
- [4] Le L B, Niyato D, Hossain E, *et al.* QoS-aware and energy-efficient resource management in OFDMA femtocells [J]. IEEE Trans Wirel Comm, 2013, 12: 180.
- [5] Moon J M, Cho D H. Efficient handoff algorithm for inbound mobility in hierarchical macro/femto cell networks [J]. Comm Lett, 2009, 13: 755.
- [6] Andrews J G, Claussen H, Dohler M, *et al.* Femtocells: past, present, and future [J]. IEEE J Sel Area Comm, 2012, 30: 497.
- [7] Shbat M S, Tuzlukov V. Handover technique between femtocells in LTE network using collaborative approach [C]// Proceedings of the 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC). Jeju Island: IEEE Press, 2012.
- [8] Lopez-Perez D, Guvenc I, Roche G D L, *et al.* Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks [J]. IEEE Wirel Comm, 2011, 18: 22.
- [9] Hossain E, Rasti M, Tabassum H, *et al.* Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks; an interference management perspective [J]. IEEE Wirel Comm, 2014, 21: 118.
- [10] 苗杰. 异构无线融合网络中无线资源管理关键技术研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.
- [11] Khandekar A, Bhushan N, Tingfang J, *et al.* LTE-advanced: heterogeneous networks [C] // Proceedings of European Wireless Conference(EW). Lucca: IEEE Press, 2010.
- [12] Wu D P, Zhang P N, Wang H G, *et al.* Node service ability aware packet forwarding mechanism in intermittently connected wireless networks [J]. IEEE Trans on Wirel Comm, 2016, 15: 8169.
- [13] Kim J S, Lee T J. Handover in UMTS networks with hybrid access femtocells [C] // Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). [s. l.]: IEEE Press, 2010.
- [14] Ulvan A, Bestak R, Ulvan M. Handover procedure and decision strategy in LTE-based femtocell network [J]. Telecommun Syst, 2013, 52: 2733.
- [15] Wu S J, Lo S K C. Handover scheme in LTE-based networks with hybrid access mode femtocells [J]. J Conv Inform Technol, 2011, 6: 68.
- [16] Reguiga K S B, Mhiri F, Bouallegue R. Handoff management in green femtocell network [J]. Int J Comput Appl, 2011, 27: 1.
- [17] Wu D P, Wang Y Y, Wang H G, *et al.* Dynamic coding control in social intermittent connectivity wireless networks [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2016, 65: 7634.
- [18] Wu D P, He J, Wang H G, *et al.* A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor networks [J]. IEEE Comm Mag, 2015, 53: 92.
- [19] Zhang Z F, Zhang J, Sun S H. Model of handover and traffic based on cellular geometry with smart antenna [J]. Int J Antenn Propag, 2014(6):1.
- [20] Wang L, Zhang Y S, Wei Z R. Mobility management schemes at radio network layer for lte femtocells [C] // Proceedings of the 69th Vehicular Technology Conference (VTC). Barcelona: IEEE Press, 2009.
- [21] Piro G, Grieco L A, Boggia G, *et al.* Simulating LTE cellular systems: an open-source framework [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2011, 60: 498.
- [22] Claussen H, Ho T T W, Samuel L G. An overview of the femtocell concept [J]. Bell Labs Tech J, 2008, 13: 221.