

移动通信网中的一种边界关联位置更新策略

王芙蓉, 涂 来, 张 帆, 黄载禄

(华中科技大学电子与信息工程系, 湖北武汉 430074)

摘 要: 本文针对移动通信蜂窝网固定位置区位置管理中存在的两个主要问题: 边界乒乓效应和边界信令集中, 提出了一种边界关联位置更新策略, 能够在很大程度上抑制乒乓效应, 同时, 部分平滑了位置区边界的信令负荷. 采用随机游走模型和状态转移矩阵理论推导的方法, 对本文提出的更新策略与传统位置更新策略进行了分析比较, 并通过仿真进一步验证了结果. 分析和仿真表明, 本文策略不仅相对易于实现, 而且极大优化了性能.

关键词: 移动通信; 位置更新; 边界关联; 乒乓效应

中图分类号: TN 91 TN 929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2006) 04-0684-06

A Correlated Boundaries Strategy for Location Update in Mobile Cellular Networks

WANG Fu-rong TU Lai ZHANG Fan HUANG Zai-lu

(E. I. Department of Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract This paper proposes a novel strategy called correlated boundaries strategy against the two main problems of location management scheme in cellular networks Ping-pong location update effect existing between two location areas and concentration of signals at boundaries This strategy is able to reduce the Ping-pong effect effectively and balance the load of signals at boundaries by adding certain cells as expansions of the new location area whenever a mobile terminal moves into a cell belongs to a new location area Using random walk mobility model the strategy in this paper is compared with conventional strategy and further proved by results of simulation It is proved by both analysis and simulation that the strategy proposed in this paper is not only easy to implement but improves the performance greatly.

Key words mobile networks location update correlated boundaries ping-pong effect

1 背景

移动通信网中移动性管理的实现基于两类位置区(LA)的定义: 静态位置区和动态位置区. 基于动态位置区的更新策略^[1]固然有很多优势, 但一般来说比较复杂, 难以实用; 而基于固定位置区的更新则相对简单并易于管理. 基于固定位置区的移动管理策略存在的两个主要问题是: 位置区边界处的蜂窝负担了 LA 的全部位置更新信令, 而位置区内部的蜂窝不负担任何位置更新信令; 另一个问题是, 当用户在固定的位置区边界来回穿越移动时, 如图 1 中的频繁位置更新的乒乓效应占了位置更

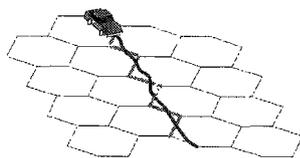


图 1 固定位置区边界的乒乓效应

新总代价的 21%^[2].

已经有多种研究讨论了这个问题, 总的来说, 对该问题的研究提出的解决方案有三类: 本文分别称其为合并位置区方案、重叠位置区方案和多层位置区方案.

1.1 传统 LA 策略

在传统 LA 策略中, 当移动台跨越位置区边界进入到一个新的位置区时, 就立即引发位置更新. 在这种策略中乒乓效应很容易产生.

1.2 合并位置区方案

所谓合并位置区方案是指为了消除频繁位置更新的乒乓效应, 将相邻的两个或三个位置区合并为一个大的位置区的方案, 文献 [2] 和文献 [3] 分别讨论了两位置区合并和三位置区合并的方案:

文献[2]采用了两个位置区 (TLA, Two Location Area) 的方案, 在 TLA 策略中, 一个移动台 (MT) 记录它最近访问过的两个位置区. 如果移动到它所记录的位置区时, 将不触发更新, 否则, 新的位置区将取代记录中访问次数较少的位置区, 并触发更新. 这个策略中, 传统的边界区乒乓效应被消除了, 但是对三个位置区相邻的顶点区域的乒乓 (本文后面简称为三角形乒乓) 却束手无策.

为了解决三角形乒乓, 文献[3]提出了一种三位置区合并的策略, 作者称其为大位置区 (BLA, Big Location Area). 该方案中, MT 在其本地内存中保存了三个相邻位置区的标识, 这样三个位置区合并为一个大位置区 (BLA). 事实上, 大位置区是一个多边形结构, 它的基本元素是位置区 LA (相当于蜂窝). 每次 MT 拜访一个 LA 时, 它就检查该 LA 的标识. 如果它是其内存中三个 LA 里的一个, 就不更新, 否则发送一个包含有新位置区标识的更新消息, 个人通信服务 (PCS) 网络发送新的位置区集合给 MT, 由 MT 存储起来, 任何时候大位置区 BLA 发生变化, MT 总是重写一个或两个记录. 新的 BLA 总是交叉覆盖老的 BLA, 实际上, 新老 BLA 中至少有一个公共的 LA 会被清除. 虽然 BLA 有效克服了乒乓效应, 但由于位置区的扩大, 这个策略合增大网络的寻呼代价.

1.3 重叠位置区方案

所谓重叠位置区 (Overlap Location Area OLA) 方案^[4], 是指相邻两个位置区有一部分蜂窝重叠, 那么边界蜂窝都不只属于一个位置区. 所以移动台在边界蜂窝中移动, 不会频繁引起位置更新, 因此消除了边界乒乓. 但是如果边界重叠度很小, 移动台移出当前位置区后很可能马上进入新的位置区, 并引发区域更新, 无法消除三个位置区相邻的三角区域的乒乓. 如果重叠度大, 三角乒乓也是可以消除的, 但是因为相邻位置区的重叠使得新的位置区比传统的位置区要大很多, 所以这种策略也会增加呼叫代价.

1.4 多层位置区方案

所谓多层位置区方案, 是指通过增加一个或两个虚拟层的方法来降低位置更新代价. 文献[5]和文献[6]分别研究了两层和三层的位置区方案.

在文献[5]中, 作者提出借助虚拟层的位置区更新策略 (Virtual Layer VLA). VLA 策略通过在原有位置区上加一个虚拟层来降低移动台在边界区域的更新. 当移动台移出原位置区时, 它会进入一个覆盖新蜂窝的虚拟位置区. 因此可以有效地减小了边界乒乓, 但该方案对三角形乒乓没有效果.

文献[6]中, 作者提出三层策略 (Triple-Layer TL), 每个蜂窝同时属于三层不同的位置区. 这样, 每个层的边界或边角都被另一个层的位置区所覆盖. 如果移动台移出一个当前层的位置区, 它就能被划分到另外两个层中的一个. 移动台会选择离位置区中心最近的虚拟层来远离边

界. 三层策略很好的消除了两种乒乓效应的更新代价, 但这种策略会增加非乒乓的位置更新代价.

综合考虑以上策略, 为减少乒乓效应带来的频繁更新, 这些策略都在位置区边界上做了一些改进. 无论是加入层的概念还是增大逻辑上的位置区, 都是试图将边界模糊化, 但这些以增加层甚至相邻位置区为途径的模糊化一定程度上等效于增大位置区, 这必然导致寻呼开销的成倍增大. 从模糊边界的思想出发, 本文提出了一种更加高效的边界关联更新策略, 当移动台前进跨越位置区边界, 立即引发位置更新时, 将该移动台的 "拖尾" 作为新位置区的扩展, 从而在很大程度上抑制了乒乓效应, 同时, 部分平滑了位置区边界的信令负荷. 采用随机游走模型和状态转移矩阵, 对本文更新策略与传统策略进行了比较, 并通过实际仿真进一步验证了结果. 分析和实验表明, 本文策略不仅相对易于实现, 而且极大优化了位置更新性能, 而且寻呼代价只有略微增加.

2 固定位置区中的边界关联更新策略

2.1 两种位置区边界的更新

在固定划分位置区的情况下, 移动台跨越位置区边界运动时, 其周围蜂窝位置区拓扑有两种情况, 如图 2 中所示. 为便于分析, 称图 2(a) 描述的 $a1 \rightarrow b1$ 的更新为 "边界区更新"; 称图 2(b) 描述的 $a1 \rightarrow b1$ 的更新为 "三角区更新".

从图 2(a) 中可以看到当移动台从 $a1$ 移动到 $b1$ 时, 需要进行位置更新, 而当移动台处于 $b1$ 时, 一步移动就可能再次回到 $a1$ 或 $a2$, 在传统位置更新策略

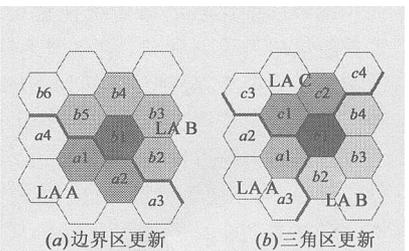


图 2 两种位置更新

中会导致再次发生位置更新; 对于图 2(b) 三角区, 移动台处于 $b1$ 时, 一步移动可能再次回到 $a1$, $c1$ 或 $c2$ 从而也导致再次发生位置更新, 而且如果移动台在这几个蜂窝之间连续运动, 将引发严重的乒乓效应.

2.2 边界关联策略及其实现流程

对于移动台的 "边界区更新", 可以将蜂窝 $a1$, $a2$ 看作是移动台移动到 $b1$ (位置区 B) 后在非位置区 B 的边界关联区域; 对于 "三角区更新" 将蜂窝 $a1$, $c1$, $c2$ 看作是移动台移动到 $b1$ (位置区 B) 后在非位置区 B 的边界关联区域. 为了拉开两次位置更新之间的间隔, 我们将这种边界关联区域看作新位置区 (位置区 B) 的拖尾扩展 (记为位置区 B'), 当使移动台再次移动到边界关联蜂窝时, 将不再立即引发位置更新, 直到其移出边界关联区域. 这样就避免了在近距离内连续发生位置更新, 减少乒乓效应. 本文称这种位置更新策略为边界关联位置更新策略.

由于边界关联区域是随移动用户的运动而变化的,所以,本文将移动用户在扩展位置区移动的状态定义为“受控”状态.当用户移出扩展位置区,回到原位置区或进入新位置区,则立即引发位置更新.回到原位置区后,扩展区自动消失,同时判断当前所处状态有无边界关联区域,如果当前所处蜂窝与上一步蜂窝均属于同一固定位置区,则认为没有边界关联区域,如图 2(a)中 $a1 \rightarrow b1 \rightarrow a2 \rightarrow a3$ 其中 $a2 \rightarrow a3$ 将立即引发位置更新,此时所处蜂窝 $a3$ 无边界关联区域,称此类更新为“2类更新”;否则,称为“1类更新”,如图 2(a)中 $a1 \rightarrow b1 \rightarrow b5 \rightarrow a4$ 中, $b5 \rightarrow a4$ 将引发有边界关联的位置更新,此时所处状态 $a4$ 有边界关联区域,即 $b5, b6$ 对于“三角区更新”情况类似.

通过以上的分析,本文提出的边界关联更新策略通过引入受控区的概念,打破传统位置更新方案中的连续更新的自环,从而达到减小乒乓引发的无效更新代价的目的.算法的基本流程如图 3.

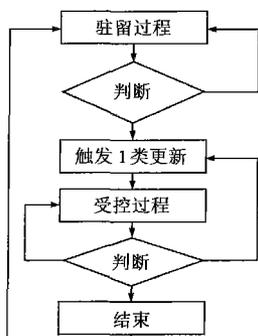


图3 边界关联更新算法的系统框图

3 更新代价分析

本节详细比较分析传统位置更新策略和边界关联位置更新策略的更新代价,建立理论分析模型,以随机游走模型为运动模型,分别计算两种策略下的移动台在边界区和三角区触发位置更新次数的期望.

用户的更新过程分为两类:边界区更新过程与三角区更新过程.为了便于分析,给出如下定义:

定义 1 图 2(a)中以移动台从 $a1$ 蜂窝进入 $b1$ 蜂窝为起始,以移动台出边界区(图 2(a)中所有灰色区域)为结束的过程为一个边界更新过程,称 $b1$ 为该边界区中心.

定义 2 图 2(b)中以移动台从 $a1$ 蜂窝进入 $b1$ 蜂窝为起始,以移动台出三角区(图 2(b)中所有灰色区域)为结束的过程为一个三角更新过程,称 $b1$ 为该三角区中心.

根据以上定义,容易得到,移动台在位置区间的运动过程可以分解为一组边界更新过程、三角更新过程和驻留过程的集合.

驻留过程为移动台在一个位置区除边界区和三角区以外的区域内运动的过程,不会触发位置更新,所有的位置更新代价只会在边界更新过程和三角更新过程中产生.移动台在每个边界更新过程和三角更新过程中的运动独立且服从相同的规律,因此只分析一个边界更新过程和一个三角更新过程即可评估移动台在整个运动过程中的更新代价.

对分析模型做如下假设:

(1)运动模型采用随机游走模型,单位时间移动台在

蜂窝的驻留概率为 q_i 以相等概率 p 向 6 个方向移动, $q_i + p = 1$;

(2)对于边界关联位置更新方案,为分析方便,假设当移动台移出边界区或三角区后拖尾关联蜂窝立即消失.在实际实现过程中,移动台只要不离开扩展位置区,即使从边界区或三角区移出后拖尾关联蜂窝仍然有效,如移动台按 $a1 \rightarrow b1 \rightarrow b5 \rightarrow b6 \rightarrow b5 \rightarrow a1$ 运动时,边界关联位置更新策略下是不触发更新的,但为便于分析,认为从 $b5 \rightarrow a1$ 的运动是一次新的更新过程,触发更新,因此,实际位置更新代价应小于分析计算值.

3.1 边界更新过程更新代价

根据以上假设,移动台在边界更新过程中的位置更新代价可以用移动台在一个边界区域内移动触发的位置更新次数的期望衡量,移动台出边界区域后认为这个更新过程结束,它再回到边界是一个新的更新过程,不做考虑.

定义 3 定义移动台运动转移矩阵为 $M_{8 \times 8} = \{m_{ij}\}$, m_{ij} 表示移动台由蜂窝 i 转移到蜂窝 j 的概率,蜂窝 $1 \sim 7$ 表示边界区域的 7 个蜂窝 $a1, a2, b1, b2, b3, b4, b5$, 蜂窝 8 表示边界区域外的蜂窝,记为蜂窝 o ;

根据分析模型假设,在一个更新过程中,移动台在移出边界区后,即认为进入驻留过程,而用户再次跨越位置区边界,形成边界区是一个新的更新过程,不在本更新过程考虑范围内.因此, $m_{88} = 1, m_{8j} = 0 (1 \leq j \leq 7)$;

M 可以如下表示:

$$M = \begin{matrix} & a1 & a2 & b1 & b2 & b3 & b4 & b5 & o \\ \begin{matrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ o \end{matrix} & \left(\begin{array}{cccccccc} q & p & p & 0 & 0 & 0 & p & 3p \\ p & q & p & p & 0 & 0 & 0 & 3p \\ p & p & q & p & p & p & p & 0 \\ 0 & p & p & q & p & 0 & 0 & 3p \\ 0 & 0 & p & p & q & 0 & p & 3p \\ 0 & 0 & p & 0 & p & q & p & 3p \\ p & 0 & p & 0 & 0 & p & q & 3p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right) \end{matrix}$$

定义 4 定义移动台运动过程中的更新矩阵为 $S_{8 \times 8} = \{s_{ij}\}$, s_{ij} 表示移动台由蜂窝 i 转移到蜂窝 j 的更新次数;显然移动台每次移动更新次数只能是 0 或 1, 因此 $s_{ij} = \{0, 1\}$.

对于传统位置更新方案, S 记为 S_N , 可以表示为:

$$S_N = \begin{matrix} & a1 & a2 & b1 & b2 & b3 & b4 & b5 & o \\ \begin{matrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ o \end{matrix} & \left(\begin{array}{cccccccc} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \end{matrix}$$

注意根据分析模型讨论范围的假设, 从 b2 蜂窝和 b5 蜂窝移动出边界区域可能触发更新, 如 $b2 \rightarrow a3$ $b5 \rightarrow a4$ 但这个更新属于一个新的更新过程, 这里不作计数。

对于边界关联方案, S 记为 S_T , 可以表示为:

$$S_T = \begin{matrix} & a1 & a2 & b1 & b2 & b3 & b4 & b5 & o \\ \begin{matrix} a1 \\ a2 \\ b1 \\ b2 \\ b3 \\ b4 \\ b5 \\ o \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

注意上表达式中除了 $S_{1,8}, S_{2,8}$ 等于 1 其它项都等于 0 因为在边界关联策略中, 从 a1 a2 蜂窝出边界区域会触发 2 类更新; 从更新过程的起始时刻, 移动台从 LAA 中的 a1 蜂窝移动到 b1 蜂窝, 触发 1 类更新, 至移动台出边界区域前它不会再发生更新。

定义 5 定义移动台在边界区域内 n 步移动触发更新次数的期望向量为 $E_{8 \times 1}^{(n)} = \{e_1^{(n)}, e_2^{(n)}, \dots, e_8^{(n)}\}^T$, $e_i^{(n)}$ 表示移动台从蜂窝 i 出发运动 n 步后触发位置更新次数的期望。根据矩阵 M, S, E 的定义, 容易得到以下表达式:

$$e_i^{(1)} = \sum_{j=1}^8 m_{ij} \cdot s_{ij}$$

记 $P = E^{(0)}$, P 的意义为移动台的一步更新期望向量。

$$e_j^{(n)} = \sum_{i^1=1}^8 \sum_{i^2=1}^8 \dots \sum_{i^{n-1}=1}^8 m_{j i^1} m_{i^1 i^2} \dots m_{i^{n-1} i^n} \cdot [s_{j i^1} + s_{i^1 i^2} + \dots + s_{i^{n-1} i^n}]$$

$$= \sum_{i^1=1}^8 \dots \sum_{i^{n-1}=1}^8 m_{j i^1} \dots m_{i^{n-2} i^{n-1}} \cdot [s_{j i^1} + s_{i^1 i^2} + \dots + s_{i^{n-2} i^{n-1}}]$$

$$\cdot \sum_{i^2=1}^8 m_{i^2 i^3} + \sum_{i^3=1}^8 \dots \sum_{i^{n-1}=1}^8 m_{j i^2} \dots m_{i^{n-2} i^{n-1}}$$

$$\cdot \sum_{i^1=1}^8 m_{i^1 i^2} + \sum_{i^2=1}^8 \dots \sum_{i^{n-1}=1}^8 m_{j i^1} \dots m_{i^{n-2} i^{n-1}}$$

注意到:

$$\sum_{i^1=1}^8 m_{i^1 i^2} = 1 \text{ 和 } \sum_{i^1=1}^8 m_{i^1 i^2} s_{i^1 i^2} = p_{i^1 i^2}$$

可以得到

$$e_j^{(n)} = e_j^{(n-1)} + \sum_{i^1=1}^8 \dots \sum_{i^{n-1}=1}^8 m_{j i^1} \dots m_{i^{n-2} i^{n-1}} p_{i^{n-1} i^n}$$

化简, 用矩阵表达可得到:

$$E^{(n)} = E^{(n-1)} + M^{n-1}P$$

迭代计算, 得: $E^{(n)} = \sum_{i=0}^{n-1} M^i P$

两边同左乘以矩阵 $(M-I)$, 对 n 取极限, 可以得到方程

$$(M-I)E^\infty = (M^\infty - I)P \tag{1}$$

通过求相似阵, 可以求得:

$$M^\infty = \lim_n M^n = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

对于两种位置更新策略, 分析模型中不同的参数仅是更新矩阵。更新矩阵的不同导致一步更新期望向量 P 的不同, 代入式 (1) 即可求出两种方案的更新代价。

求解方程, 由于 $|M-I| = Q$ 方程式 (1) 为线性非齐次方程, 求得:

传统位置更新策略:

$$E_N^\infty = \left[\begin{matrix} 1115 & 5581 & 97 & 3901 & 485 & 2179 & 3859 \\ 1722 & 8610 & 123 & 8610 & 1722 & 8610 & 8610 \end{matrix} \right]^T + ke^0 \tag{2}$$

边界关联位置更新策略:

$$E_T^\infty = \left[\begin{matrix} 2837 & 14191 & 97 & 3901 & 485 & 2179 & 3859 \\ 4018 & 20090 & 287 & 20090 & 4018 & 20090 & 20090 \end{matrix} \right]^T + ke^0 \tag{3}$$

其中, $e^0 = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ 。

无论是传统位置更新策略还是边界关联位置更新策略, 在一个更新过程中, 移动台出了边界区域后发生的更新都不计入本次更新过程更新代价, 因此式 (2) 和式 (3) 中 $k = Q$ 则:

传统位置更新策略:

$$E_N^\infty = \left[\begin{matrix} 1115 & 5581 & 97 & 3901 & 485 & 2179 & 3859 \\ 1722 & 8610 & 123 & 8610 & 1722 & 8610 & 8610 \end{matrix} \right]^T$$

边界关联位置更新策略:

$$E_T^\infty = \left[\begin{matrix} 2837 & 14191 & 97 & 3901 & 485 & 2179 & 3859 \\ 4018 & 20090 & 287 & 20090 & 4018 & 20090 & 20090 \end{matrix} \right]^T$$

定义 6 定义边界区域位置更新分析模型中移动台的更新代价为移动台在边界更新过程内触发的位置更新次数的期望, 记做 C_U ;

对于传统位置更新策略, 在一个边界更新过程内触发的位置更新次数等于从 a1 到 b1 触发的 1 次更新加上在边界区运动过程中触发的更新次数的期望 E_N^∞ (3), 得:

$$C_{UN} = 1 + E_N^\infty \tag{3)}$$

对于边界关联位置更新策略, 在一个边界更新过程内触发的位置更新次数等于从 a1 到 b1 触发的 1 次更新加上在边界区运动过程中触发的更新次数的期望 E_T^∞ (3):

$$C_{UT} = 1 + E_T^\infty \tag{3)}$$

综合两种情况, 比较两策略更新代价, 得到更新代价降低:

$$\eta = \frac{C_{UT}}{C_{UN}} = \frac{1 + \frac{97}{287}}{1 + \frac{97}{123}} = 74.8\%$$

根据假设 2 分析中放大了边界关联位置更新方案的更新代价, 实际实现上, 使用该策略的更新代价比分析值更低, 因此在边界区边界关联位置更新方案相比传统位置更新方案, 更新代价至少降低了 25%.

3.2 三角更新过程更新代价

与边界更新过程更新代价计算一样, 分别给出移动台运动转移矩阵 M 和更新矩阵 S .

$$M = \begin{matrix} & \begin{matrix} a1 & b2 & b1 & b3 & b4 & c2 & c1 & o \end{matrix} \\ \begin{matrix} a1 \\ b2 \\ b1 \\ b3 \\ b4 \\ c2 \\ c1 \\ o \end{matrix} & \begin{pmatrix} q & p & p & 0 & 0 & 0 & p & 3p \\ p & q & p & p & 0 & 0 & 0 & 3p \\ p & p & q & p & p & p & p & 0 \\ 0 & p & p & q & p & 0 & 0 & 3p \\ 0 & 0 & p & p & q & 0 & p & 3p \\ 0 & 0 & p & 0 & p & q & p & 3p \\ p & 0 & p & 0 & 0 & p & q & 3p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

对于传统位置更新方案和边界关联位置更新方案, 三角区中的更新矩阵分别可以表示为:

$$S_n = \begin{matrix} & \begin{matrix} a1 & b2 & b1 & b3 & b4 & c2 & c1 & o \end{matrix} \\ \begin{matrix} a1 \\ b2 \\ b1 \\ b3 \\ b4 \\ c2 \\ c1 \\ o \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

$$S_t = \begin{matrix} & \begin{matrix} a1 & b2 & b1 & b3 & b4 & c2 & c1 & o \end{matrix} \\ \begin{matrix} a1 \\ b2 \\ b1 \\ b3 \\ b4 \\ c2 \\ c1 \\ o \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

与边界更新过程的计算方法相同, 可求得两种方案的位置更新次数期望:

传统位置更新方案:

$$E_N^\infty = \begin{pmatrix} 16474 & 50753 & 2881 & 30908 & 6772 & 64487 & 71417 \\ 18081 & 90405 & 2583 & 90405 & 18081 & 90405 & 90405 \end{pmatrix}^T$$

边界关联位置更新方案:

$$E_T^\infty = \begin{pmatrix} 1315 & 2057 & 62 & 1427 & 433 & 6593 & 7223 \\ 1722 & 8610 & 123 & 8610 & 1722 & 8610 & 8610 \end{pmatrix}^T$$

对于传统位置更新策略, 在一个三角更新过程内触发的位置更新次数等于从 $a1$ 到 $b1$ 触发的 1 次更新加上在三角区运动过程中触发更新次数的期望 $E_N^\infty(3)$, 得:

$$C_{UN} = 1 + E_N^\infty(3)$$

对于边界关联位置更新策略, 在一个三角更新过程内触发的位置更新次数等于从 $a1$ 到 $b1$ 触发的 1 次更新加上在边界区运动过程中触发更新次数的期望 $E_T^\infty(3)$:

$$C_{UT} = 1 + E_T^\infty(3)$$

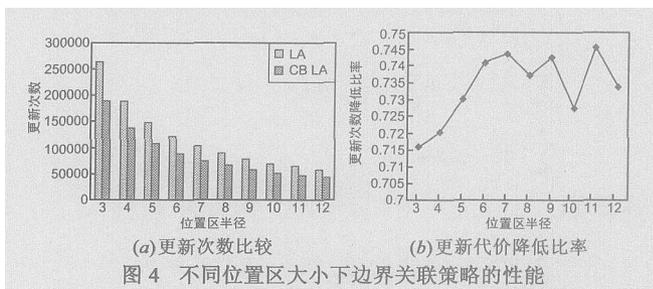
综合两种情况, 比较两策略更新代价, 更新代价降低:

$$\eta = \frac{C_{UT}}{C_{UN}} = \frac{1 + \frac{62}{123}}{1 + \frac{2881}{2583}} = 71.1\%$$

同样根据假设 2 分析中放大了边界关联位置更新方案的更新代价, 实际实现上, 使用边界关联策略的更新代价更低, 因此边界关联位置更新方案相比传统位置更新方案, 使三角区更新代价至少降低了 28%.

4 仿真结果分析

本文提出的边界关联位置更新策略, 除了能消除传统意义上的乒乓效应以外, 也抑制了相当一部分非乒乓更新. 为进一步验证边界关联位置更新策略的效果, 本文通过仿真实验对整个位置更新过程进行模拟. 仿真采用随机游走模型, 位置区半径设置为 3 到 12 个蜂窝, 仿真区域无限扩展, 仿真时间足够长 (106 步以上). 图 4(a) 为边界关联更新策略和传统的位置更新策略下更新次数的比较. 从图 4(b) 中可清晰的看到本文提出的算法的性能提升对区域大小并不敏感, 优化率都在 70% ~ 75% 左右. 仿真结果显示, 边界关联更新算法将总位置更新代价降低了约 25% ~ 30% 左右, 与本文理论分析计算的结论一致. 本文同时也仿真了在不同的驻留概率情况下的更新代价, 结果显示各驻留概率下结论一致. 实验结果充分的反映了边界关联更新策略的稳定性, 也验证的前文的推导分析.



5 全文总结

针对移动通信蜂窝网固定位置区移动性管理中存在的两个主要问题: 边界乒乓效应和边界信令集中, 本文提出了一种边界关联更新策略. 当移动台跨越位置区边界, 立即引发位置更新, 并将该移动台在原位置区的 "拖尾" 蜂窝作为新位置区的扩展, 从而在很大程度上抑制了乒乓效应, 同时, 部分平滑了位置区边界的信令负荷.

通过定义状态转移矩阵和更新矩阵, 采用二维随机游走模型, 对本文提出的更新策略与传统位置更新策略进行

了分析比较, 证明本文提出的边界关联更新策略将更新代价降低了约 25%, 通过实际仿真进一步验证了结果. 与传统位置更新策略相比, 本文策略一定程度上优化了位置更新性能, 而且位置区寻呼蜂窝个数仅比原方案增加了一个, 与前人研究的合并位置区、重叠位置区方案相比, 没有带来多余的寻呼代价, 与多层位置区方案相比, 减少了额外的虚拟位置区的复杂处理, 达到了位置更新代价、寻呼代价以及方案复杂度三方面上的综合性能提升.

参考文献:

- [1] Bar-Noy, et al Mobile Users To update or not to update [J]. ACM-Baltzer J Wireless Networks, 1995, 1(2): 175-186
- [2] Y-B Lin Reducing location update cost in a PCS network [J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1997, 5(1): 25-33
- [3] P Garcia V Casares JM atak Reducing location update and paging costs in a PCS network [J]. IEEE Transaction on Wireless Communication, 2002, 1(1): 200-209
- [4] Gu S S Rappaport Mobile user registration in cellular systems with overlapping location areas [A]. Proceedings of the IEEE 50th Vehicular Technology Conference [C]. IEEE Communication Society, 1999, 802-806
- [5] Chung H Choo, H Y Youn Reduction of location update traffic using virtual layer in PCS [A]. Proceedings of the 30th Annual International Conference on Parallel Processing [C]. IEEE Communication Society, 2001, 331-338

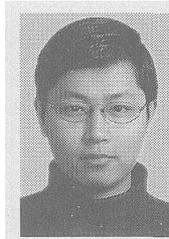
- [6] Fan I Stojmenovic, J Zhang A triple layer location management strategy for wireless cellular networks [A]. Proceedings of the IEEE 11th International Conference on Computer Communications and Networks [C]. IEEE Communication Society, 2002, 489-492

作者简介:



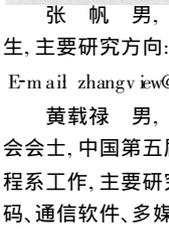
王芙蓉 女, 1966年7月出生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 移动通信网、下一代电信网及智能业务、通信软件、多媒体信息处理, 现为华中科技大学电子与信息工程系通信软件与交换技术研究中心主任.

E-mail wangfurong@mail.hust.edu.cn



涂来 男, 1980年6月出生, 华中科技大学电信系博士研究生, 主要研究方向: 下一代移动通信网、移动性管理.

E-mail tula@publi.wh.hb.cn



张帆 男, 1979年11月出生, 华中科技大学电信系博士研究生, 主要研究方向: 下一代移动通信网、无线通信.

E-mail zhangview@yahoo.com.cn

黄载禄 男, 1937年12月出生, 教授, 博士生导师, 中国通信学会会士, 中国第五届通信学会理事, 现在华中科技大学电子与信息工程系工作, 主要研究方向: 移动通信网、下一代电信网、数字通信及编解码、通信软件、多媒体信息处理. E-mail huangzailu@163.net