

# 一种自适应位置更新方案

殷蔚华, 黄载禄

(华中理工大学电信系, 武汉 430074)

**摘 要:** 在移动通信的位置更新过程中, 传统的静态位置区方案存在着缺乏变化的灵活性、边界振荡、信令负载过于集中等问题, 本文提出了一种新的自适应位置更新方案, 采用不同级别的位置区, 位置区的选择根据移动台当时的移动和呼叫情况, 按照使位置更新和寻呼的无线信令总代价最小的原则确定。该方案可有效地解决静态位置区的各种问题, 并能方便地与其它位置区方案切换。

**关键词:** 位置更新; 位置区; 移动通信

**中图分类号:** TN91; TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 11A-0036-04

## A Scheme of Personalized Adaptive Location Areas

YIN Wei-hua, HUANG Zai-lu

(Dept of Electronic and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The traditional static location area scheme used in the location updating procedure of mobile communications has many problems, such as lack of flexibility, MS oscillating between LA borders, focused signaling load on border cells, etc. In this paper we present a new adaptive location updating scheme, which can solve the above problems, and can change easily to other LA schemes. The scheme uses multi-level LAs, selected according to single MS's mobility and call characteristics, to make the best tradeoff between wireless signaling cost of location updating and paging.

**Key words:** location update; LA; mobile communications

### 1 引言

在移动网中, 为了将呼叫传递到移动用户, 必需知道用户当前的位置, 即移动台的定位, 它涉及到位置更新和寻呼两个过程, 它们都要占用一定的无线资源。传统方法是将位置区设计为静态的固定大小的区域, 它们在地理上连续而又不重叠, 相应的寻呼方法为在整个位置区范围内同时进行一次寻呼。一般而言, 高移动性、低呼叫率的终端适用大的位置区, 而低移动性、高呼叫率的终端适用小的位置区。最佳位置区大小的选择应使无线信道上位置更新信令代价和寻呼信令代价的总和达到最小。无论从单个用户而言, 还是就用户群的整体而言, 移动性和呼叫特性都是在变化的, 因此, 基于一段时间内某个地区用户群体的统计数据所确定的静态位置区并非总是最佳的, 当统计特征变化时缺乏灵活性。静态位置区还带来其它的问题: 一是用户在位置区边界来回运动时产生不必要的多次位置更新; 二是位置更新的无线信令集中于位置区边界的蜂窝上, 使得这些蜂窝的位置更新负载过重。因此, 位置区应该是灵活的, 适应用户不同特点而可调整的动态的个人化的位置区。

针对上述问题, 与静态位置区相对地提出了个人化的位置区设计, 如用户档案法<sup>[1]</sup>, 和各种动态位置更新方

式<sup>[2~4]</sup>。用户档案法只适用于用户的运动区域是已知的和很少变化的情况。动态位置更新则改变了位置更新的触发方式, 主要有三大类: 基于时间<sup>[2]</sup>、基于运动<sup>[3]</sup>和基于距离<sup>[4]</sup>的位置更新。其缺点是不能确切地确定用户位置区的范围, 因而相应的寻呼方式也由单次寻呼转为不同的多次寻呼方案。文献[5]提出了一种自适应调整位置区的方案, 其基本设想是为具有不同移动性的用户分配不同级别的位置区, 从而使位置更新的信令负载与用户移动行为无关, 而只取决于用户数量。由于位置区大小是可变的, 而且位置更新时移动台总是位于新的位置区的中心, 因而可以很好地解决边界振荡和信令集中于边界蜂窝的问题, 但这一方案并未考虑使无线信令总代价最小的问题。文献[6]的自适应位置区方案则以使无线信令总代价最小为目的, 使位置区大小和边界都达到最佳化, 但它只适用于一维运动模式。总结以上各种方案的优劣所在, 本文提出了一种新的自适应位置更新方案, 方案基于使无线信令代价最小化的原则, 避免了静态位置区的边界振荡和信令集中的问题, 对用户的运动情况没有限制, 有确定的位置区边界, 可以采用不同的寻呼方式。

### 2 自适应动态位置更新方案

本方案的位置区结构借鉴文献[5]的结构, 为具有不同大

小的多个级别的层次型位置区。为简单起见,蜂窝结构近似为圆形,蜂窝半径为  $R_{\text{cell}}$ 。用户的位置区是以用户更新时所在蜂窝为圆心,包含一个或多个蜂窝的圆形,不同级别的位置区表现为具有不同大小的同心圆。位置区内的各蜂窝可近似看作一层层环绕于中心蜂窝之外。选择最佳的位置区圆半径  $L_a$ ,使得在该位置区下用于位置更新和寻呼的总的无线信令代价最小。

系统实现  $N$  个不同的位置区级别的方法是:每个基站维护  $N$  个不同的清单,每个清单对应一个位置区级别,清单内容是形成某个一定级别的位置区的边界外圈蜂窝的识别号。每个基站在位置更新时向移动台传递选定位置区所对应的边界外圈蜂窝清单,或者在下行控制信道上周期性地广播这些清单,由基站附近的移动台收听这些广播。

假设一个移动台在蜂窝  $X1$  开机,并发起位置更新。移动台基于对自身移动性和呼叫率的估计,向基站  $X1$  请求分配一个对应的位置区级别。基站将移动台 ID、蜂窝  $X1$  的 ID 和位置区级别等位置信息存入系统的数据库中,用于呼叫传递。移动台则将以蜂窝  $X1$  为中心的相应位置区级别的边界外圈蜂窝 ID 存入自身的寄存器中。此时移动台总是位于位置区的中心(即蜂窝  $X1$ )。

系统中的每个蜂窝都周期性地在其广播通道上广播其蜂窝 ID,移动台在运动中比较收听到的蜂窝 ID 和自身存贮的边界外圈蜂窝 ID,如果二者相符,则说明穿越了位置区边界,从而发起新的位置更新请求(在当前蜂窝  $X2$ )。

在收到位置更新请求后,蜂窝  $X2$  要更新系统数据库中关于该移动台的位置信息。新的位置区级别由移动台在前一位置区中的驻留时间和平均呼叫率决定,其计算可由基站或移动台完成。此后,移动台更新所存贮的蜂窝外圈 ID。由此,移动台所对应的位置区级别随着其移动性和呼叫特性的变化动态地改变。

如果在位置更新后新的位置区由另一系统层提供(例如由原来的微蜂窝层变为宏蜂窝层),则覆盖移动台当前所在微蜂窝的宏蜂窝作为新的位置区的中心,此后的位置更新操作将在相应宏蜂窝层的数据库中进行。

本方案包括两个层面的位置更新:越界时的位置更新—自适应位置更新,和边界内的位置更新—强制位置更新。其目的是使总的无线信令代价降至最低。

## 2.1 自适应位置更新

移动台每到达一个新的蜂窝时,将当前蜂窝的 ID 与所存贮的位置区边界外圈的各蜂窝 ID 相比较,若两者相符,则发起位置更新。移动台需记录在当前位置区内的驻留时间和被叫次数,位置更新时,根据这些数据计算出当前使无线信令代价最小的位置区半径  $L_a$ ,由此申请相应级别的位置区,更新所存贮的位置区边界外圈的蜂窝 ID 号。

设蜂窝半径为  $R_{\text{cell}}$ ,每个蜂窝的平均面积为  $S_{\text{cell}} = \pi R_{\text{cell}}^2$ ,待定的新位置区半径为  $L$ ,平均寻呼一个蜂窝的无线信令代价为  $C_c$ ,一次位置更新的平均无线信令代价为  $C_u$ 。为简单起见,假设寻呼方式为在位置区范围内同时进行一次寻呼,则每次用于移动台定位的寻呼代价为  $C_c \times L^2 / R_{\text{cell}}^2$ 。设在当前

位置区的驻留时间为  $T_u$ ,根据在当前位置区发生的呼叫次数  $m$  和记录的平均呼叫率  $f$  可确定当前的平均呼叫率  $f$ ,若

$$|1 - f| > \epsilon$$

则令  $f = 1$ 。根据当前位置区的大小  $L_a$  和在当前位置区的驻留时间  $T_u$ ,确定当前的位置区越界速度:

$$v = L_a / T_u$$

以  $v$  和  $f$  为计算依据,则预期移动台在新位置区时单位时间下的无线信令代价的期望值为:

$$E(L, v, f) = C_c \times L^2 / R_{\text{cell}}^2 \times f + (C_u \times v) / L \quad (1)$$

选定某个最佳的位置区,使得其单位时间下的无线信令代价的期望值与其它位置区方案相比最小。由于

$$\frac{d^2 E(L, v, f)}{dL^2} = \frac{2 \times C_c \times f}{R_{\text{cell}}^2} + \frac{2 \times C_u \times v}{L^3} > 0$$

说明关于  $L$  有最小值,令  $\frac{d E(L, v, f)}{dL} = 0$ ,则可求得最佳的位置区半径  $L_{\text{opt}}$ :

$$L_{\text{opt}} = \sqrt[3]{\frac{C_u \times R_{\text{cell}}^2}{2 \times C_c} \times \frac{v}{f}} = \sqrt[3]{\frac{v}{f}} \quad (2)$$

其中  $\sqrt[3]{\frac{C_u \times R_{\text{cell}}^2}{2 \times C_c} \times \frac{v}{f}}$  是系数。根据  $L_{\text{opt}}$  选择与之最接近的相应级别的位置区,则新的位置区的半径为  $L$ 。在新的位置区下,单位时间下的无线信令代价的期望值为:

$$E(L, v, f) = C_c \times \frac{L^2}{R_{\text{cell}}^2} \times f + \frac{C_u \times v}{L} \quad (3)$$

## 2.2 强制位置更新

由于每个移动用户的移动行为,包括速度、方向等,是随时变化的,如果这些变化导致移动台在预计的下一次位置更新时间之前越过位置区,则将发生新的位置更新,从而确定新情况下的最佳位置区。但如果这些变化使得移动台长期逗留在当前位置区内,或始终在当前位置区内的一个较小的范围中运动,则当前位置区可能不再是最佳的。此外,对于每个用户而言,呼叫行为也是有变化的,当呼叫行为变化很大时,当前位置区对于无线信令代价而言也可能不再是最佳的,需要判断是否强制进行一次位置更新,以确定当前的最佳位置区。设移动台在当前位置区逗留的时间  $t$ ,预计在当前位置区内驻留时间  $T_u$ ,则强制位置更新的判断发生在下列时机:

(1) 当  $t \leq T_u$  时,若在当前位置区内呼叫的次数  $m > \epsilon \times T_u$ ,则此后每发生一次呼叫后都要进行是否强制更新的判断;

(2) 当  $t > T_u$  时,移动台每到达一个新的蜂窝,或发生一次新的呼叫,都要进行是否强制更新的判断。

设由上次位置更新至当前进行强制更新判断时经历的时间为  $t$ ,其间共发生呼叫  $m$  次,当前的位置区半径为  $L_a$ ,原预期在当前位置区的驻留时间为  $T_u$ 。在进行判断时首先确定当前呼叫率  $f$ ,和当前预计的穿越位置区的速度  $v_f$ :

$f = (m \times T_0 + m) / (T_0 + t)$ ,其中  $T_0$  为  $f$  的计算起点至上次位置更新所经历的时间。

$$f = \begin{cases} 1, & |1 - f| > \epsilon \\ \text{其它}, & \text{其它} \end{cases}$$

根据当前位置区的大小  $L_a$  和在当前位置区的驻留时间  $T_u$ ,确

定当前的位置区越界速度:

$$v_f = \begin{cases} L_a / T_u = v, & t < T_u \\ L_a / t, & t \geq T_u \end{cases}$$

根据  $v_f$  和  $f$  求最佳位置区的大小,可得

$$L_{off} = \sqrt[3]{\frac{L_a^2}{v_f f}}$$

按最相近原则选择相应级别的位置区,则强制更新后的实际位置区半径为  $L_f$ . 由上次位置更新时起经历时间  $n \times T_u$  (其中  $n$  为正整数,且  $t < n \times T_u < t + T_u$ ) 后,不进行强制更新的预计总代价  $C_{old}$  为:

$$C_{old} = C_u + f \times n \times T_u \times C_c \times (\sqrt[3]{L_a^2}) / R_{cell}^2 \quad (4)$$

当前进行强制更新的预计总代价  $C_{new}$  为:

$$C_{new} = C_u + C_u \times \frac{n \times T_u - t}{L_f / v_f} + f \times n \times T_u \times C_c \times \frac{L_f^2}{R_{cell}^2} \quad (5)$$

强制位置更新的判断准则是:

(1) 若当前位置区  $L_a$  是最小级别的位置区,则不进行强制更新;

(2)  $t < T_u$  时,若当前测定的呼叫率  $f$ ,则不进行强制更新;

(3) 在当前测定的速度  $v_f$  和平均呼叫率  $f$  下,求最佳位置区  $L_f$ ,若  $L_f < L_a$ ,则不进行强制更新;

(4) 判断当前位置区下的信令代价与最佳位置区下的信令代价之差是否在允许范围内,若  $(C_{old} - C_{new}) / C_{old} > c$  (其中  $c$  为正,是某一预置的代价判断阈值),则当前应进行强制位置更新.

### 3 实验分析

设静态位置区的半径  $R_s = 5\text{km}$ ,  $C_u = 10$ ,  $C_c = 1$ ,  $R_{cell} = 1\text{km}$ . 用户的运动模型为二维随机游走模型,前进概率为  $P$ ,后退概率为  $Q$ ,并设  $P_x = 0.9$ ,  $Q_x = 0.1$ ,  $P_y = 0.7$ ,  $Q_y = 0.2$ . 仿真实验的步长  $h = 0.1\text{km}$ ,总步长数  $N_{step} = 40000$ ,设参数  $\beta = v/f$ . 呼叫的到达按泊松分布,呼叫率为  $\lambda$ . 呼叫到达间隔的概率密度分布为:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0$$

在以下图表中,static、adaptive、force 分别表示静态位置区、自适应位置更新和强制更新方式. 不同方式下单位时间的无线信令代价随呼叫率或运动速度的变化情况见图 1 和图 2. 可以看出:两者的代价在某个点附近 ( $\lambda = 1$  次/hour 或  $v = 33\text{km/hour}$ ) 是相近的,当速度或呼叫率离该点越远时,自适应更

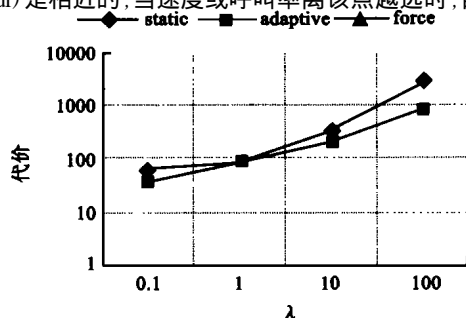


图 1  $v = 33\text{km/hour}$ , 代价随  $\lambda$  的变化情况

新方式相对于静态位置区的代价优势越明显. 研究表明:代价比  $a/s$  和  $f/s$  取决于  $\beta = v/f$  的值,而与具体的速度或呼叫率无关,如图 3 所示. 进一步的研究表明:当自适应更新方式的位置区大小  $R_a$  与静态位置区大小  $R_s$  相近时,代价比  $a/s$  和  $f/s$  有可能大于或等于 1,  $R_a$  与  $R_s$  越接近,代价比越高.

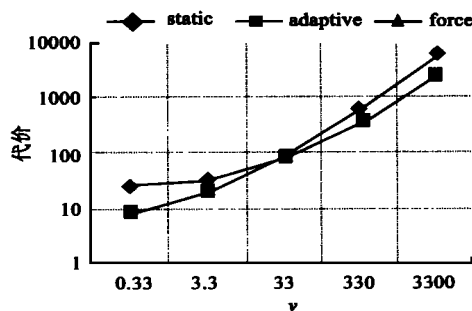


图 2  $\lambda = 1$  次/hour, 代价随  $v$  的变化情况

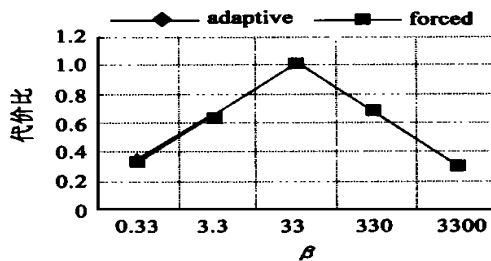


图 3 代价比与  $\beta$  的关系

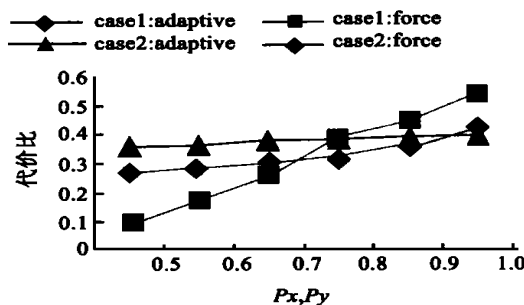


图 4 不同  $v$  和  $\lambda$  情况下代价比与运动规则性的关系,其中: case1:  $v = 330\text{km/h}$ ,  $\lambda = 0.1$  次/h; case2:  $v = 3.3\text{km/h}$ ,  $\lambda = 10$  次/h.

图 4 表明,运动不规则性越大,代价比越低. 当运动趋向于不规则时,即使  $R_a = R_s$ ,代价比仍远远小于 1. 而在运动较规则时,当  $R_a$  与  $R_s$  相近时,自适应更新的代价有可能接近或超过静态位置区方式,其主要原因是此时自适应方式的位置更新率超过了静态位置区方式. 由此可得出结论:自适应更新方式特别适合于运动不规则时,以及由于速度和呼叫率的变化而使最佳位置区与静态的位置区大小相差很大时.

相对于自适应更新,强制位置更新可使代价进一步降低,其作用主要发生在:

- (1) MS 长期逗留在某一位置区内时;
- (2) MS 在某一位置区内时呼叫次数有显著增加时.

图 5 显示了在呼叫率和运动速度发生变化的情况下三种

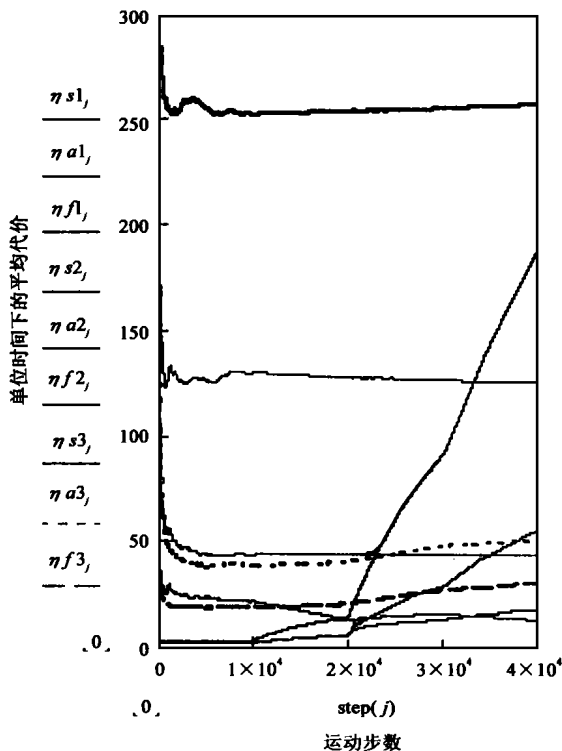


图5 速度、呼叫率等变化时的代价曲线

不同的位置更新方式下的代价曲线,其中: $s$ 、 $a$ 和 $f$ 分别表示静态位置区、自适应更新和强制位置更新方式下的单位时间下的平均代价。三种情况为:

- (1) 速度不变,呼叫率在不同时间段取不同的值时;
- (2) 速度和呼叫率均保持不变,运动过程中在某些点停留时间较长时;
- (3) 呼叫率不变,运动过程中多处改变运动速度时。

在上述三种情况下,自适应更新的代价均显著低于静态位置区方式,而采用强制更新方式时代价也明显低于不采用强制更新的自适应位置更新方式。说明自适应更新方式特别适用于速度、呼叫率和运动状态发生变化的场合,而强制更新则可在上述情况下进一步降低代价。

#### 4 总结

仿真实验表明:自适应位置更新方案在大多数情况下可以降低无线信令代价,当运动路线不规则,速度和呼叫率发生变化时,其效果更明显。在自适应位置更新的同时采用强制位置更新,可以根据用户在位置区内时运动状态和呼叫情况的变化,进一步降低代价,达到实时动态地实现最佳化的目的。当运动较规则,且最佳位置区接近于静态位置区时,自适应更新方案的效果有可能劣于静态位置区方案,解决这一问题的方法一是改变自适应位置区的形状以降低更新率,这在实现

上比较困难;二是使自适应更新方式与静态位置区方式可以互相切换,其方法是:在采用自适应更新方式时,MS同时收听静态位置区的越界信号,并估计若采用静态位置区方式的相应代价 $s$ ,若在连续几次位置更新时都有 $a - s >$ 某一代价阈值,则切换为静态位置区方式;同样,在静态位置区方式下,在每次位置更新时根据实测的更新率和呼叫率估计在静态最佳位置区下的代价 $ops$ ,并与实际的静态方式代价 $s$ 比较,若连续几次位置更新时都有 $s - ops >$ 某一代价阈值,则切换为自适应更新方式。自适应位置区方案本质上是一种个人化的动态变化的位置区方案,可以很方便地与用户档案法和各种动态位置更新方案互换。

#### 参考文献:

- [1] Pollini G. P., et al. A profile-based location strategy and its performance [J]. IEEE J. Select. Areas Commun., 1997, 15 (8): 1415 - 1424.
- [2] Rose C. Minimizing the average cost of paging and registration: a time-based method [J]. ACM-Baltzer J. Wireless Networks, 1996, 2 (2): 109 - 116.
- [3] Akyildiz I. F., et al. Movement-based location update and selective paging for PCS networks [J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1996, 4 (4): 629 - 636.
- [4] Madhoo M., et al. Optimization of wireless resources for personal communications mobility tracking [J]. IEEE/ACM Trans. on Networking, 1995, 3 (6): 698 - 707.
- [5] Hu L.-R., et al. Adaptive location management scheme for global personal communications [J]. IEE Proc.-Commun., 1997, 144 (1): 54 - 60.
- [6] Lei Zhu Yu, et al. Wireless subscriber mobility management using adaptive individual location areas for PCS systems [Z]. <http://www.Winlab.rutgers.edu>.

#### 作者简介:



**殷蔚华** 1965年出生,1989年毕业于浙江大学,获硕士学位,现为华中科技大学(原华中理工大学)电子信息与工程系博士,从事移动通信技术方面的研究与开发工作,主要研究方向为移动网中的数据库技术、网络管理、移动性管理技术等。

**黄载禄** 1937年出生,1962年毕业于华中工学院,1981~1983年在美国俄亥俄大学作访问学者,现为华中科技大学电信系教授,博士生导师。从事通信、信号处理等方面的研究工作,发表论文近百篇,获多项科研成果奖,所主持的EIM-601数字程控交换机获电子部科技进步特等奖。