

带门槛的环形搜索移动性管理策略中移动台所越过的位置区环数

朱艺华¹, 周根贵¹, 叶 枫¹, 高 济²

(1 浙江工业大学信息智能与决策优化研究所, 浙江杭州 310032;

2 浙江大学人工智能研究所, 浙江杭州 310027)

摘 要: 位置管理或移动性管理是移动计算研究领域的一个具有挑战性的问题. 我国及其他国家目前正在使用的个人通信网络如 GSM、IS-41 中, 用两层数据库 HLR/VLR 支持位置管理. 在这些网络中, 每当移动台从一个位置区 LA (Location area) 移动到另一个位置区, 其基本的位置管理策略 (简称/ 基本策略 0) 不管是否必要均立即进行位置更新操作, 因而造成系统资源的极大浪费, 降低了系统的性能. 本文给出一种带门槛的环形搜索策略 (简称/ 门槛环形策略 0)) 将位置区分成环, 设定一个门槛 (整数), 当移动台越过的位置区的环数没有达到门槛时, 系统不进行位置更新操作, 以减少位置管理的费用. 在假定移动台的呼入是一个泊松过程, 移动台在各个位置区的逗留时间是符合一般概率分布的随机变量的条件下, 推导出在两次呼入之间移动台处于各位置区环的概率及移动台所越过的位置区环数公式, 给出了/ 门槛环形策略 0 的位置管理费用小于/ 基本策略 0 的条件.

关键词: 位置管理; 移动性管理; 个人通信网络; 向量马尔可夫过程

中图分类号: TN929.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 081248-05

The Number of Location Area Rings Crossed by a Mobile Between Two Call Arrivals in the Ring Search Scheme with a Threshold

ZHU Yihua¹, ZHOU Gen2gui¹, YE Feng¹, GAO Ji²

(1 Institute of Information Intelligence and Decision Optimization, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang 310032, China;

2 Institute of Artificial Intelligence, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: Location management or mobility management is a challenging topic in mobile computing environment. HLR (Home Location Register) and VLR (Visitor Location Register) are currently used in some Personal Communication networks (PCN), such as GSM and IS-41, in many countries to support location management. In these networks, the basic location management scheme, called the basic HLR/VLR scheme below, updates the HLR whenever a mobile crosses the boundary of an LA (Location Area) regardless of whether the updating is necessary. As a result, this scheme produces enormous location updating cost, wastes substantial networks resources, and reduces networks performances. A ring search scheme with a threshold, where HLR is not updated until the number of LA rings crossed by a mobile reaches the threshold, an integer, is proposed to decrease the location updating cost. Both the probabilities of a mobile residing in LA rings and the number of LA rings crossed by the mobile between two successive call arrivals in the proposed scheme are derived on the assumption that the incoming calls to the mobile form a Poisson process and that the time of the mobile residing in each LA is a general distributed random variable. Besides, the conditions on which the proposed scheme outperforms the basic HLR/VLR scheme are given.

Key words: location management; mobility management; personal communication networks (PCN); vector Markov process

1 引言

个人通信系统可以给移动中的用户提供服务. 为了有效服务这些移动用户, 系统需要在短时间内确定他们的位置. 位置管理用于跟踪移动用户^[1]. 目前盛行的两种标准: 用于北美的 IS-41 和用于欧亚的 GSM, 使用两层数据库 HLR (Home location register) 和 VLR (Visitor location register) 用于位置管理. 其中 HLR 记录了移动用户的资料 and 位置信息, VLR 包含一份位于其控制区内的漫游用户的数据备份. 在上述个人通信网络中,

配置了许多基站, 基站的无线电覆盖范围称为小区 (cell), 一个移动交换中心 (Mobile switching center) 管辖的所有小区组成一个位置区 LA (Location Area), 一般在每个 MSC 处配置了一个 VLR.

位置管理由位置更新和位置查找组成. 基本的位置管理策略 (下称/ 基本策略 0) 要求: 每当移动台越过位置区边界, 系统立即进行位置更新, 使 HLR 指向移动台的当前 VLR; 当系统查找移动台时, 首先查找 HLR, 找出 HLR 所指的 VLR, 然后在与这个 VLR 相对应的位置区内的所有小区中同步寻呼移

收稿日期: 2003-07-17; 修回日期: 2004-03-10

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60074035); 浙江省自然科学基金 (No. 602095)

动台. 这种策略造成了资源的大量浪费, 其原因主要有两点: (1) 移动台只在所寻呼的位置区中的某个小区中, 但在查找时却对整个位置区的所有小区进行了寻呼; (2) 移动台每次进入一个相邻的位置区就进行位置更新, 可能这种位置更新是不需要的(如某移动台进入到另一个位置区又回到原先的位置区, 期间没有呼入, 但系统进行了两次无用的位置更新操作, 特殊地, 如移动台居住在两个位置区的边界, 如果它每次在两个位置区之间来回移动, 均要进行位置更新(/ 乒乓效应)). 因此, 有许多学者从不同的角度对/ 基本策略0进行改进, 如各种 指针推进策略^[2-4]; Inq Rey Chen 等人利用随机 Petri 网理论, 用呼入移动比 CMR(Call to mobility ratio) 作为门槛, 提出了统一的位置管理策略: 当 CMR 低于门槛时, 启用指针推进方法, 否则, 启用复制方法, 并证明: 对所有的 CMR, 这种策略比普通的 指针推进移动性管理策略0及普通的复制策略的性能更优^[5]; Chakraborty G 等人利用神经网络提出了根据移动台不同时间段的移动规律的自学习模型, 以提高寻呼的准确度, 减少所寻呼的小区个数^[6]. 本文将位置区分成环, 设定一个门槛(整数), 给出一种带门槛的环形搜索移动性策略22当移动台越过的位置区的环数没有达到门槛时, 系统不进行位置更新操作, 以减少位置管理的费用; 在查找移动台时, 以某个位置区为中心, 逐层向外搜索移动台.

2 带门槛的环形搜索移动性策略

位置区的环的设置如图 1, 图中的正六边形表示位置区(与文献[7]一样, 假设各位置区的大小相同).

定义 设 K 是一个整数, 以下策略称为门槛为 K 的环形搜索移动性管理策略(简称/ 门槛环形策略0):

- (1) 位置更新操作
HLR 所指向的位置区, 称为/ 搜索中心0. 每当移动台从一个位置区(称为/ 源区0)进入到另一个位置区(称为/ 目的区0)时, 如果/ 目的区0在第 K 环内, 则系统不进行位置更新操作; 如果/ 目的区0在第 K 环上, 则系统进行位置更新操作22使 HLR 指向在 K 环上的当前位置区(此时, 这个位置区就成为新的 搜索中心0).

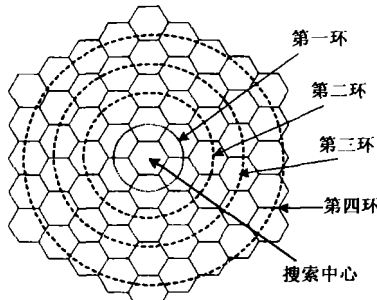


图 1 / 搜索中心0及位置区环

- (2) 位置查找操作
设要查找的移动台为 m .

Step 1 查找 HLR, 设 HLR 所指向的当前位置区为 LA_0 (/ 搜索中心0), 在 LA_0 内查找移动台 m , 如果找到, 则转到 Step 5.

Step 2 令 $i = 1$.

Step 3 在第 i 环上的所有位置区内查找移动台 m . 如果找到, 则转到 Step 5.

Step 4 $i = i + 1$, 转到 Step 3.

Step 5 使 HLR 指向移动台所在的位置区.

Step 6 结束.

3 移动台在位置区环之间的转移概率

设 $a_{i,j}$ 是移动台在一次越区移动中从第 i 环的一个位置区进入到第 j 环的一个位置区的概率, 设移动台从一个位置区进入到相邻的位置区的概率相等, 即均为 $1/6$. 由文献[7], 可得:

$$\begin{cases} a_{i,i+1} = 1/3 + 1/(6i) \\ a_{i,i} = 1/3 \\ a_{i,i-1} = 1/3 - 1/(6i) \\ a_{s,i} = 0, \quad t = s \pm 2 \\ a_{0,0} = 0, a_{0,1} = 1, a_{0,j} = 0, \quad j = 2, 3, \dots \end{cases} \quad (1)$$

其中 i, t, s 是正整数.

4 位置区环数公式

4.1 几个假定

(1) 设移动台的呼入是速率为 K 的泊松过程.

(2) 移动台在/ 搜索中心0的逗留时间是一个随机变量 V_0 , 其分布函数是 $H(x)$, 密度函数是 $h(x)$, 即

$$H(x) = \Pr\{V_0 \leq x\} = \int_0^x h(t) dt = 1 - e^{-\int_0^x S(t) dt}$$

其中 $S(t)$ 是失败率函数 V 数^[8], 即 $S(t) = h(t)/H(t)$, $H(t) = 1 - H(t)$. 此外, 设 $E[V_0] = 1/S < \infty$, $\text{Var}[x_0] < \infty$.

(3) 移动台在除/ 搜索中心0外的其他位置区的逗留时间是符合一般概率分布的随机变量 V , 其分布函数是 $F(x)$, 密度函数是 $f(x)$, 即

$$F(x) = \Pr\{V \leq x\} = \int_0^x f(t) dt = 1 - e^{-\int_0^x L(t) dt}$$

其中 $L(t)$ 是失败率函数, $L(t) = f(t)/F(t)$, $F(t) = 1 - F(t)$. 类似地, 设 $E[x] = 1/L < \infty$, $\text{Var}[x] < \infty$.

(4) 一旦移动台进入到位于第 K 环上的某个位置区, 那么当前位置区就选为/ 搜索中心0.

(5) 一旦移动台收到呼入, 那么它所在的当前位置区就选为/ 搜索中心0, 其逗留时间重新开始计算.

(6) 上述所有随机变量是独立的.

4.2 系统的状态方程组

以 (n) 表示第 n 环, $X(t)$ 表示移动台在当前位置区的逗留时间, $S(t)$ 表示 t 时刻系统的状态, 则 $(S(t), X(t))$ 是一个向量马尔可夫过程^[9]. 利用第 4.1 节的假定以及式(1), 可以作出系统的状态转移图(如图 2), 其中圆圈表示系统的状态, 圆圈内的数对 $((i), x)$ 表示移动台位于第 i 环的一个位置区内, 且在当前位置区内所逗留的时间是实数 x ($i = 0, 1, 2, \dots, K-1$).

以 $P_n(t, x)$ 表示系统在 t 时刻的状态概率密度, 它可以定义如下^[10]:

$$p_n(t, x) dx = \Pr\{S(t) = (n), x < X(t) \leq x + dx\}$$

记 $p_n(t) = \Pr\{S(t) = (n)\}$, 则 $P_n(t) = \int_0^\infty p_n(t, x) dx$. 显然,

$$\sum_{n=0}^{K-1} P_n(t) = 1 \quad (2)$$

由于在 $t + \Delta t$ 时刻移动台位于/ 搜索中心0, 且它在/ 搜索

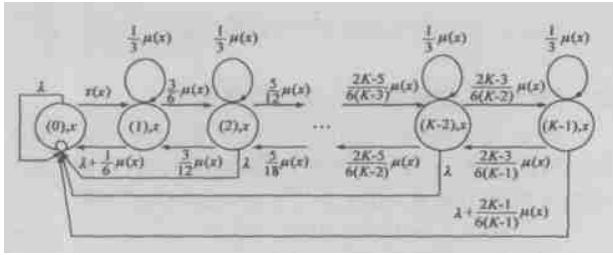


图 2 系统的状态转移图

中心0的逗留时间是 $x + S(t, x > 0)$ 的概率等于: 在 t 时刻移动台位于/ 搜索中心0, 其逗留时间是 x , 且它在 $S(t)$ 时间间隔内无呼入且没有移动到另外位置区的概率. 利用概率论知识, 并令 $S(t)$ 趋于 0, 可以得出以下方程(推导过程参见文献[10]):

$$\left[\frac{9}{9t} + \frac{9}{9x} + K + S(x) \right] p_0(t, x) = 0, t > 0; x > 0 \quad (3)$$

类似地, 在 $t + S(t)$ 时刻移动台位于第 n 环的一个位置区内 ($n = 1, 2, \dots, K-1$), 且它在当前位置区的逗留时间是 $x + S(t)$ ($x > 0$) 的概率等于: 在 t 时刻移动台位于第 n 环的一个位置区内, 其逗留时间是 x , 且它在 $S(t)$ 时间间隔内无呼入且没有移动到另外位置区的概率. 由此可得^[10]:

$$\left[\frac{9}{9t} + \frac{9}{9x} + K + L(x) \right] p_n(t, x) = 0, n = 1, 2, \dots, K-1; t > 0; x > 0 \quad (4)$$

我们选择系统的初始条件如下:

$$p_n(0, x) = \begin{cases} D(x), & n = 0 \\ 0, & n = 1, 2, \dots \end{cases} \quad (5)$$

其中 $D(x)$ 是 Dirac 函数.

现在考虑系统的边界条件. 首先, 在 $t + S(t)$ 时刻移动台位于/ 搜索中心0, 且它在/ 搜索中心0的逗留时间是 s ($s \leq S(t)$) 的概率等于以下概率之和:

(a) 在 t 时刻移动台位于第 n 环的一个位置区内 ($n = 1, 2, \dots, K-1$), 它在当前位置区的逗留时间是 x ($x > 0$), 且它在 $S(t)$ 时间间隔内没有移动到另外的位置区, 但有一呼入到达的概率;

(b) 在 t 时刻移动台位于第 1 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x ($x > 0$), 且它在 $S(t)$ 时间间隔内向内移动到 搜索中心0, 但没有呼入到达的概率;

(c) 在 t 时刻移动台位于第 $K-1$ 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x ($x > 0$), 且它在 $S(t)$ 时间间隔内向内移动到第 K 环的一个位置区中, 但没有呼入到达的概率.

利用概率论及式(1)可得:

$$\begin{aligned} p_0(t + S(t), s) &= \Pr \{ S(t + S(t)) \\ &= (0), s < X(t + S(t)) F_{s + S(t)} \} \\ &= \int_0^1 Q_1 - S(x) S(t) K S t e^{-K S t} p_0(t, x) dx \\ &\quad + \int_0^{K-1} Q_1 - L(x) S(t) K S t e^{-K S t} p_n(t, x) dx \\ &\quad + \frac{1}{6} Q_1(x) S t e^{-K S t} p_1(t, x) dx + \frac{2K-1}{6(K-1)} \\ &\quad \int_0^1 Q_1(x) S t e^{-K S t} p_{K-1}(t, x) dx \end{aligned}$$

将上式除以 $S(t)$, 令 $S(t)$ 趋向 0 (这时, s 也趋向 0), 利用式(5), 得:

$$\begin{aligned} p_0(t, 0) &= \int_0^{K-1} Q_1 p_n(t, x) dx + \frac{1}{6} Q_1(x) p_1(t, x) dx \\ &\quad + \frac{2K-1}{6(K-1)} Q_1(x) p_{K-1}(t, x) dx + D(t) \\ &= \int_0^{K-1} Q_1 p_n(t) + \frac{1}{6} Q_1(x) p_1(t, x) dx \\ &\quad + \frac{2K-1}{6(K-1)} Q_1(x) p_{K-1}(t, x) dx + D(t) \end{aligned}$$

利用式(2), 得

$$\begin{aligned} p_0(t, 0) &= K + \frac{1}{6} Q_1(x) p_1(t, x) dx \\ &\quad + \frac{2K-1}{6(K-1)} Q_1(x) p_{K-1}(t, x) dx + D(t) \quad (6) \end{aligned}$$

其次, 在 $t + S(t)$ 时刻移动台位于第 1 环的某位置区内, 且它在当前位置区的逗留时间是 s ($s \leq S(t)$) 的概率等于以下之和:

(a) 在 t 时刻移动台位于/ 搜索中心0, 它在/ 搜索中心0的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台向外移动到第 1 环的一个位置区内, 且没有呼入到达的概率;

(b) 在 t 时刻移动台位于第 1 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台移动到第 1 环的另一个位置区内, 且没有呼入到达的概率;

(c) 在 t 时刻移动台位于第 2 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台向内移动到第 1 环的一个位置区内, 且没有呼入到达的概率.

与推导式(6)类似可得:

$$\begin{aligned} p_1(t, 0) &= \int_0^1 Q_1(x) p_0(t, x) dx + \frac{1}{3} Q_1(x) p_1(t, x) dx \\ &\quad + \frac{1}{4} Q_1(x) p_2(t, x) dx \quad (7) \end{aligned}$$

再者, 在 $t + S(t)$ 时刻移动台位于第 n 环 ($n = 2, 3, \dots, K-2$), 且它在当前位置区的逗留时间是 s ($s \leq S(t)$) 的概率等于以下之和:

(a) 在 t 时刻移动台位于第 $n-1$ 环, 它在当前位置区的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台向外移动到第 n 环的一个位置区内, 且没有呼入到达的概率;

(b) 在 t 时刻移动台位于第 n 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台移动到第 n 环的另一个位置区内, 且没有呼入到达的概率;

(c) 在 t 时刻移动台位于第 $n+1$ 环的一个位置区内, 它在当前位置区的逗留时间是 x , 在 $S(t)$ 时间间隔内移动台向内移动到第 n 环的一个位置区内, 且没有呼入到达的概率.

与推导式(6)类似可得:

$$p_n(t, 0) = \frac{2n-1}{6(n-1)} Q_1(x) p_{n-1}(t, x) dx + \frac{1}{3} Q_1(x) p_n(t, x) dx$$

逗留时间是上述分布的剩余分布,由指数分布的/无记忆性0可知 $h(x) = Le^{-Lx}$,从而 $h^*(K) = f^*(K) = L / (K + L) = 1 / (1 + Q)$. 选取 $K = 50, Q = K / L = 1, 1/2, 1/3, \dots, 1/30$. 利用定理 1 及 Microsoft Visual C++ (6l 0) 程序设计语言,可以算出以下结果(其中 N 是位置区环数平均值):

表 1 位置区环数平均值数值计算结果

Q=K/L	1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
N	01660	11059	11367	11624	11850	21053	21239	21411	21573	21725
Q=K/L	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20
N	21870	31008	31139	31266	31389	31506	31621	31732	31839	31944
Q=K/L	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	1/26	1/27	1/28	1/29	1/30
N	41046	41146	41243	41338	41432	41523	41612	41700	41786	41871

6 / 门檻环形策略0优于/基本策略0的条件

设 U_H 与 U_V 分别为更新 HLR 与 VLR 的费用, Q_H 与 Q_V 分别为查询 HLR 与 VLR 的费用. 由文献[10]知:在两次呼入之间,移动台越过位置区的次数为 $P = h^*(K) / [1 - f^*(K)]$.

由于第 i 环有 $6i$ 个位置区($i > 0$). 因此/门檻环形策略0所需搜寻的位置区的平均数为: $1 + 6(1 + 2 + \dots + N) = 3N^2 + 3N + 1$, 其中 N 是定理 1 中位置区环数的平均值. 于是/门檻环形策略0与/基本策略0的位置管理费用之差是

$$C_{Ring} - C_{Basic} = [Q_H + (3N^2 + 3N + 1)Q_V] - [P U_H + (Q_H + Q_V)] = 3Q_V(N^2 + N) - P U_H = 3Q_V(N^2 + N) - \frac{h^*(K)}{1 - f^*(K)} U_H$$

通常 $U_H > U_V > Q_V$, 由上式可知:在下述条件下,/门檻环形策略0的位置管理费用比/基本策略0低:

$$U_H > 3(N^2 + N)Q_V [1 - f^*(K)] / h^*(K).$$

7 结束语

移动性管理是移动通信领域的一个具有挑战性的课题,也是国际前沿的研究课题,国内外有许多学者对此进行研究. 本文所给出的带门檻的移动性管理策略)) / 门檻环形策略0,可以降低现行位置管理策略中位置更新的费用,在一定条件下可以降低现行位置管理策略的费用. 值得指出的是:在门檻 $K = 1$ 时,/门檻环形策略0等同于/基本策略0;通过选择适当的门檻 K ,可以解决一些移动台的位置更新的/乒乓效应0. 考虑到/门檻环形策略0是由/搜索中心0开始逐个环向外搜索的,越到外层,其搜索的位置区越多,相应地位置查找费用就会增大,因此,在实际应用时,应结合移动台所经过的位置区的历史记录,按移动台过去所经过的位置区的次数从大到小的次序搜寻移动台,这样可以减少位置查找的费用.

参考文献:

[1] E Pitoura, G Samaras. Locating objects in mobile computing [J]. IEEE Transactions On Knowledge and Data Engineering 2001, 13(4): 571-592.
 [2] R. Jain, Y2B Lin. An auxiliary user location strategy employing forward

ing pointers to reduce network impacts of PCS [A]. IEEE Int. l Conf. On Communications[C]. WA, US, June, 18- 22, 1995. 740- 744.
 [3] 吴晏,文灏,黄载禄,洪新伟. 一种基于前向指针的移动性管理策略[J]. 电子学报, 1998, 26(7): 7982.
 [4] WMa, Y Fang. Two2level pointer forwarding strategy for location management in PCS networks [J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2002, 1(1): 32- 45.
 [5] In2Rey Chen, Baoshan Gu. Quatitative analysis of a hybrid replication with forwarding strategy for efficient and uniform location management in mobile wireless networks [J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2003, 2(1): 3- 15.
 [6] Chakraborty G, Bista B B, Chakraborty D, Shiratori N. Location management in PCN by movement prediction of the mobile host [A]. Proceedings of the 2002 IEEE Int. l Symposium on Industrial Electronics [C]. Italy, 2002. 17883.
 [7] 朱艺华,高济,周根贵,彭静. 蜂窝网络中环状搜索移动性管理策略[J]. 电子学报, 2003, 31(11): 1655- 1658.
 [8] S M Ross. Stochastic Processes [M]. New York: Wiley, 1972.
 [9] 史定华. 随机模型的密度演化方法[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
 [10] Y2hua Zhu, Ding2hua Shi, Yong Xiong, Ji Gao, He2zhi Luo. A general probability formula of the number of location area boundaries crossed by a mobile between two call arrivals [J]. J Comput. Sci. & Technol, 2004, 19(2): 177- 182.

作者简介:



朱艺华 男,1961年10月生于浙江玉环,工学博士,教授,研究方向:移动计算、移动商务、信息智能与决策支持,工作单位:浙江工业大学信息智能与决策优化研究所. Email: yhzhu@zjut.edu.cn.



周根贵 男,1958年6月生于浙江杭州,博士,教授,研究方向:信息网络拓扑结构,管理信息系统.



叶枫 男,1964年5月生于浙江杭州,硕士,教授,研究方向:管理信息系统,决策支持系统,地理信息.

高济 男,1946年2月生于江苏太昌,硕士,教授,博士生导师,工作单位:浙江大学人工智能研究所,研究方向:计算机应用,人工智能,软件工程,网络计算.