蜂窝网络中环状搜索移动性管理策略

朱艺华[1] ,高 济[2] ,周根贵[1] ,彭 静[1]
(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: 位置管理是移动通信领域的一个具有挑战性的问题,涉及到位置更新和位置查找操作.在现行蜂窝系统的位置管理策略(简称"基本策略")中,一旦移动台越区,就需要进行位置更新.由于移动台的越区具有局部性,基本策略会造成系统资源的极大浪费.因此,降低位置管理的费用成为移动通信领域的一个研究热点.该文给出不需要进行位置更新的环状搜索位置管理策略(简称"环状策略"),并推导出搜索位置区平均层数的一个公式,然后利用这一公式对基本策略、指针推进策略与环状策略的费用进行了对比研究,得出:在一定条件下,环状策略的费用要比基本策略及基本指针推进策略小.

关键词: 蜂窝网络; 移动性管理; 位置管理
中图分类号: TN929.5 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2003) 11-1655-04

A Mobility Management Strategy with Ring Search in Cellular Networks

ZHU Yi-hua[1] ,GAO Ji[2] ,ZHOU Gen-gui[1] ,PENG Jing[1]
(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 ,which consists of location update and location query ,is a challenging topic in mobile communication. The basic location management scheme of personal communications services (PCS's) networks requires that location update be initiated whenever a mobile crosses the boundary of location areas. Obviously ,this scheme is likely to waste the system resources due to the locality of mobiles' roaming. Therefore ,reducing the cost of location management has become a hotspot of mobile communication. A location management schema with ring search (Ring Schema for short) was conceived ,where no location update is needed. Additionally ,a formula of the layer number of the location areas queried by Ring Schema was derived. According to this formula ,the cost of Ring Scheme ,on certain conditions ,is less than both the cost of the basic scheme and that of the basic pointer forwarding schema.

Key words: cellular networks ;mobility management ;location management

1 引言

在蜂窝无线通信系统中,为了使主叫与被叫移动台能够通信,系统需要确定被叫移动台的当前位置,因此,位置管理(包括位置更新与位置查找)在移动通信中有着举足轻重的作用.目前,一些国家正在使用的移动通信系统(如 IS-41 ,IS-54 ,IS-95 ,GSM)均配置了归属位置寄存器 HLR 和访问位置寄存器 VLR 用于位置管理.一般来说,移动通信区域由一些位置区 LA(Location Area)覆盖而成,而 LA 由数个蜂窝组成.

跟踪移动台是蜂窝无线通信系统所面临的主要难题之一.为了跟踪移动台,用于位置登记及基站与移动台之间的广播需要占用带宽,此外,还要消耗电力等无线网络的有限资源.另一方面,如果失去移动台的位置信息,系统用于查找移动台就要进行大范围的广播,付出相当大的开销,这同样会消耗无线网络的有限的资源.因此,移动性管理的目的是:平衡位置登记与位置查找的开销,降低系统用于移动台的位置更新及查找的总费用.

现行移动通信系统的基本位置管理策略(下称"基本策略")要求:每当移动台越区,系统立即进行位置更新,使 HLR 指向移动台的当前 VLR.因此,"基本策略"的优点是位置查找费用低,缺点是位置更新费用太大.于是,有许多文献对各种"指针推进策略"(Pointer Forwarding Scheme)进行研究,以减小位置更新的费用[1~5].此外,文献[6]基于环状搜索思想,提出了由移动台根据系统查找该移动台所耗的历史时间预测下一次系统的查找时间,进而决定是否进行位置更新的移动性管理策略——移动台自调控的移动性管理策略.

收稿日期:2002-12-24;修回日期:2003-03-10
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,No.600042)

2 策略的定义

如图 1,以各实线小正六边形表示位置区 LA(设各个位置区的大小相同[8,9]).

定义 1 以位置区 LA_p 为中心向外依次画正六边形环线(图中虚线部分),称第 n 个正六边形环线上的每个位置区与中心 LA_p 的距离为 n. 同时,称第 n 个正六边形环线上的每个位置区为位于第 n 层的位置区.

定义 2 以下查找移动台 b 的方法称为环状搜索位置查找方法(简称为"环状策略"):

首先查找与 b 相关联的 HLR,设 HLR 所指向的移动台 b 的位置区为 LA_c(称为搜索中心),在 LA_c 中查找移动台 b,如果找不到移动台 b,那么依次在与搜索中心 LA_c 的距离为 1,2,…的正六边形环线上查找移动台(如图 1). 如果在某个位置区 LA_{found} 找到移动台,就将 HLR 的指针指向 LA_{found}(这样,下次查找该移动台时,以 LA_{found} 为搜索中心).

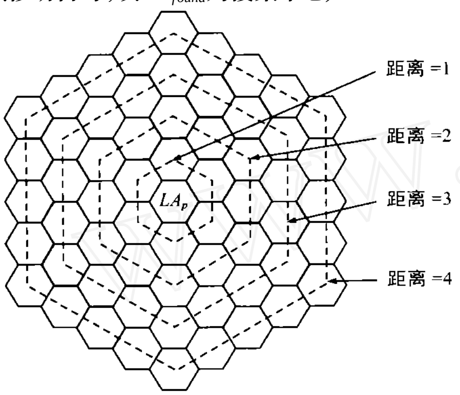

图 1 各位置区与中心位置区 LA_p 之间的距离

3 环形搜索策略的平均搜索层数

设移动台的呼入是一个泊松过程,其呼入到达率为 λ,移动台在各位置区的逗留时间为一般的连续型随机变量,而且是独立同分布的,其概率密度函数记为 $f(x)$.

下面引入两个概率(其中后一个是条件概率):

$$p_k = P\{移动台处于第\ k\ 层\}$$

$$g_k^{(n)} = P\{移动台处于第\ k\ 层 | 移动台越区\ n\ 次\}$$

于是,

$$\begin{aligned} p_k &= P\{移动台处于第\ k\ 层\} \\ &= \sum_{n \geq k}^{\infty} P\{移动台处于第\ k\ 层,移动台越区\ n\ 次\} \\ &= \sum_{n \geq k}^{\infty} P\{移动台处于第\ k\ 层 | 移动台移动了\ n\ 次\} \\ &\quad \cdot P\{移动台移动了\ n\ 次\} \\ &= \sum_{n \geq k}^{\infty} g_k^{(n)} \cdot P\{移动台移动了\ n\ 次\} \end{aligned}$$

由文献[7]定理 1 知,移动台越区 n 次的概率:

$$P\{移动台移动了\ n\ 次\} = [1 - f^*(\lambda)][f^*(\lambda)]^n,\ n = 1,2,\cdots$$

因此

$$p_k = [1 - f^*(\lambda)] \sum_{n \geq k}^{\infty} g_k^{(n)} \cdot [f^*(\lambda)]^n$$

从而,移动台所移动过的位置区的平均层数

$$\bar{L} \overset{\text{def}}{=\!=} \sum_{k=1}^{\infty} k p_k = [1 - f^*(\lambda)] \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{n \geq k}^{\infty} g_k^{(n)} \cdot [f^*(\lambda)]^n$$

这样,得到以下定理:

定理 1 设移动台的呼入是一个泊松过程,其呼入到达率为 λ,移动台在各位置区的逗留时间为一般的连续型随机变量,而且是独立同分布,其概率密度函数记为 $f(x)$,则"环状策略"所搜索的位置区的平均层数为

$$\bar{L} = [1 - f^*(\lambda)] \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{n \geq k}^{\infty} g_k^{(n)} \cdot [f^*(\lambda)]^n$$

下面计算 $g_k^{(n)}$. 在图 1 中,用三条对角线将各正六边形环线分隔为六个部分,就可得到图 2.

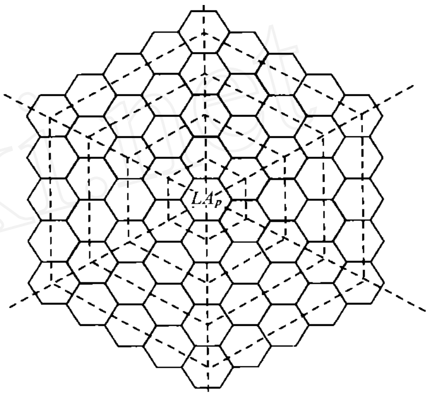

图 2 正六边形环线与其对角线

以 $a_{i,j}$ 表示经过一次越区从第 i 层到第 j 层的概率,以 $a_{i,j}^{(n)}$ 表示经过 n 次越区从第 i 层到第 j 层的概率.

从图 2 可以看出:除搜索中心外,从第 1 层开始,对于各正六边形环线上的位置区,如果它在对角线上,则它可以向 3 个外层位置区,2 个同层位置区,1 个内层位置区移动;如果它不在对角线上,则它向 2 个外层位置区,2 个同层位置区,2 个内层位置区移动. 由于移动台从一个位置区向其相邻的六个位置区移动的概率是相同的,均为 1/6. 于是,可以得出结论:对于各正六边形环线上的位置区,如果它在对角线上,则它以 3/6(即 1/2)的概率向外层位置区,以 2/6(即 1/3)的概率向同层位置区,以 1/6 的概率向内层位置区移动;如果它不在对角线上,则它各以 2/6(即 1/3)的概率向外层、同层与内层位置区移动.

因为第 i 层正六边形环线上共有 $6i$ 个位置区,其中在对角线上的点即顶点 6 个,非顶点 $6(i-1)$ 个,故第 i 层正六边形环线的位置区处于顶点的概率为 $1/i$,处于非顶点的概率为 $(i-1)/i$. 于是,

$$\begin{aligned} a_{i,i+1} = &P\{移动台处于第\ i\ 层顶点,经一次越区进入第\ i+1\ 层\} + P\{移动台处于第\ i\ 层非顶点(即在边上),经一次越区进入第\ i+1\ 层\} \\ &= \frac{1}{i} \cdot \frac{3}{6} + \frac{i-1}{i} \cdot \frac{2}{6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6i} \end{aligned}$$

同理可得:

$$a_{i,i-1} = \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{6} + \frac{i-1}{i} \cdot \frac{2}{6} = \frac{1}{3} - \frac{1}{6i},\ a_{i,i} = \frac{1}{3}$$

即:
$$\begin{cases} a_{i,i+1} = 1/3 + 1/(6i) \\ a_{i,i} = 1/3 \\ a_{i,i-1} = 1/3 - 1/(6i) \\ a_{s,t} = 0, t - s \geq 2 \end{cases} \tag{1}$$

其中 $i > 1$. 由于 $a_{0,0} = 0, a_{0,1} = 1, a_{0,j} = 0 (j = 2,3,\cdots)$,利用式(1),可以得到状态转移图(图 3),图中的圆圈表示移动台所处的位置区的层数,箭头表示各层位置区向外层位置区、同层位置区和内层位置区的转移概率.

定义 3　以下矩阵称为移动台在各层位置区之间一次越区的转移矩阵:

$$A = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,k} & \cdots \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,k} & \cdots \\ \cdots & & & \cdots & \\ a_{k,0} & a_{k,1} & \cdots & a_{k,k} & \cdots \\ \cdots & \cdots & & \cdots & \cdots \end{pmatrix}$$

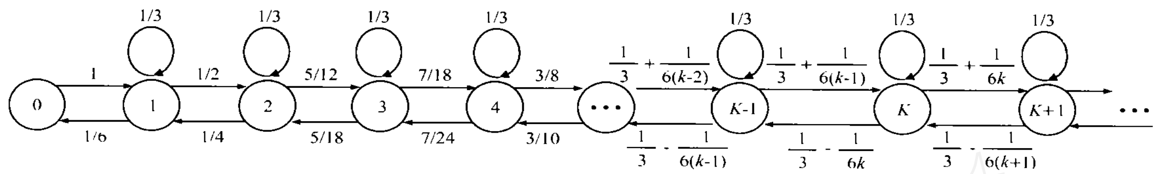

图 3　状态转移图

由式(1),可得:

$$A = \begin{array}{c} \left(\begin{array}{ccccccccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/3 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/4 & 1/3 & 5/12 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5/18 & 1/3 & 7/18 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & \ddots & & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \frac{1}{3}-\frac{1}{6k} & 1/3 & \frac{1}{3}+\frac{1}{6k} & \cdots \\ \cdots & & & & & & & & & \ddots & \end{array}\right) \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \cdots \\ k \\ \cdots \end{array} \\ \begin{array}{ccccccccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & \cdots & k-1 & k & k+1 & \cdots \end{array} \end{array}$$

将移动台在各层位置区之间的 n 次越区的转移矩阵记为 $A^{(n)}$,易知:$A^{(n)} = \overbrace{A \cdot A \cdots A}^{n\text{个}}$,即 $A^{(n)}$ 是矩阵 A 的 n 重乘积. 设 $A^{(n)}$ 的元素为 $a_{i,j}^{(n)} (i = 0,1,2,\cdots; j = 0,1,2,\cdots)$,则 $a_{i,j}^{(n)}$ 就是移动台从第 i 层开始经过 n 次越区到达第 j 层的概率.

因此,得到下述定理:

定理 2　移动台在 n 次越区之后处于第 k 层的概率 $g_k^{(n)} = a_{0,k}^{(n)}$,其中 $a_{0,k}^{(n)}$ 就是移动台从第 0 层开始经过 n 次越区到达第 k 层的概率.

定理 1 和定理 2 刻画了环状搜索移动性管理策略中,移动台所移动过的位置区的平均层数即"环状策略"所搜索的位置区平均层数.

4　实例

取移动台的逗留时间服从参数为 μ 的负指数分布,即 $f(x) = \mu e^{-\mu x}$,则可以得到 $f^*(\lambda) = 1/(1+\rho)$(其中 $\rho = \lambda/\mu$ 为"呼入移动比率"),根据定理 1 和定理 2,得:

$$\bar{L} = \frac{\rho}{1+\rho} \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{n \geq k}^{\infty} a_{0,k}^{(n)} \cdot \left(\frac{1}{1+\rho}\right)^n$$

由于 $a_{0,k}^{(n)}$ 难以用解析式表示,所以我们用数值逼近的方法,分别针对 λ 是 μ 的倍数以及 μ 是 λ 的倍数即取 $\lambda/\mu = 2, 3, \cdots, 10$ 及 $\mu/\lambda = 2, 3, \cdots, 10$ 这两种情况,求它的数值解,利用 Visual C++(6.0) 编制程序,可以算出表 1 及表 2 所示的数值(计算时选取精度为 0.001,程序源代码略去).

表 1　$\rho \geq 1$ 时的平均层数

$\rho = \lambda/\mu$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{L}$	0.468	0.315	0.240	0.192	0.161	0.139	0.122	0.107	0.096

表 2　$\rho < 1$ 时的平均层数

$\rho = \lambda/\mu$	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
$\bar{L}$	1.728	2.521	3.291	4.053	4.806	5.552	6.293	7.029	7.761

以 U_H 与 U_V 分别表示更新 HLR 与 VLR 的费用,Q_H 与 Q_V 分别表示查询 HLR 与 VLR 的费用,并以 C_{Basic}、$C_{Pointer}$ 和 C_{Ring} 分别表示"基本策略"、"指针推进策略"和"环状策略"用于位置管理(位置更新与位置查找)的总费用. 由文献[7]可得:移动台的平均越区次数为 $1/\rho$. 考虑到在"环状策略"中,第 $\bar{L}$ 层位置区中含有 $6\bar{L}$ 个位置区,因此"环状策略"在最坏的情况下(搜索了所有的位置区),需要搜索 $1 + 6(1 + 2 + \cdots + \bar{L})$ 个位置区,于是得到以下式子

$$C_{Basic} = \frac{1}{\rho} \cdot U_H + (Q_H + Q_V)$$

$$C_{Pointer} = \frac{1}{\rho} U_V + (Q_H + \frac{1}{\rho} \cdot Q_V)$$

$$C_{Ring} = Q_H + (3\bar{L}^2 + 3\bar{L} + 1)\, Q_V$$

从而

$$C_{Ring} - C_{Basic} = \frac{Q_V}{\rho}\left[3\rho\left(\bar{L}^2 + \bar{L}\right) - \frac{U_H}{Q_V}\right] \qquad (2)$$

$$C_{Ring} - C_{Pointer} = \frac{Q_V}{\rho}\left[\left(\rho(3\bar{L}^2 + 3\bar{L} + 1) - 1\right) - \frac{U_V}{Q_V}\right] \qquad (3)$$

一般来说，$U_H > Q_V$，$U_V > Q_V$. 由式(2)及式(3)，可以得出："环状策略"在最坏的情况下，

(1)若 $U_H > 3\rho(\bar{L}^2 + \bar{L})\, Q_V$ 则"环状策略"比"基本策略"费用小；

(2)若 $U_V > \left(\rho(3\bar{L}^2 + 3\bar{L} + 1) - 1\right) \cdot Q_V$ 则"环状策略"比"指针推进策略"费用小.

5 结束语

在现行蜂窝网络的移动性管理策略中，一旦移动台越区，就需要进行位置更新操作：或者更新 HLR，或者更新 VLR. 位置更新消耗了系统大量的资源，本文基于环状搜索思想，提出了一种不需要位置更新的移动性管理策略，在这种策略中，一旦移动台越区，系统不进行位置更新操作，而是"放任自流"，等到有呼入且在找到该移动台时只进行一次位置更新(将 HLR 指向该移动台所在的位置区). 由于位置更新与位置查找是对立的，因此，一般地，无位置更新类型移动性管理策略的位置查找费用，比有位置更新类型移动性管理策略的位置查找费用要大. 但在一定的条件下，"环状策略"的位置管理费用可以比"基本策略"和"指针推进策略"低.

参考文献：

[1] 朱艺华，史定华，高济，周根贵. 指针推进移动性管理策略中指针链长度的概率[J]. 电子学报，2002，30(8)：1145 - 1147.

[2] 朱艺华，高济，周根贵. 带门槛的指针推进移动性管理策略[J]. 计算机研究与发展，2002，39(5)：557 - 560.

[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)：79 - 82.

[4] Kuen-Liang Sue，Chien-Chao Tseng. One-step pointer forwarding strategy for location tracking in distributed HLR environment[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications，1997，15(8)：1455 - 1466.

[5] Yi-Bing Lin，Wen-Nung Tsai. Location tracking with distributed HLR's and Pointer Forwarding[J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology，1998，47(1)：58 - 64.

[6] 朱艺华，高济，周根贵. 移动台自调控移动性管理策略[J]. 计算机研究与发展，2002，39(6)：656 - 659.

[7] 朱艺华，史定华，周根贵，高济. 移动台越区次数的概率[J]. 通信学报，2002，23(8)：8 - 13.

[8] Wha Sook Jeon，Dong Geun Jeong. Performance of improved probabilistic location update schema for cellular mobile networks[J]. IEEE Transaction On Vehicular Technology，2000，49(6)：2164 - 2173.

[9] Ian F. Akyildiz，Yi-Bing Lin，Wei-Ru Lai，Rong-Jaye Chen. A new random walk model for PCS networks[J]. IEEE Journal On Selected Areas In Communications，2000，18(7)：1254 - 1260.

作者简介：

朱艺华 男，1961 年 10 月生于浙江玉环，博士，教授，硕士生导师，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@mail.hz.zj.cn.

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