第11期　　　　　　　　电　子　学　报　　　　　　　　Vol. 32　No. 11
2004年11月　　　　　　ACTA ELECTRONICA SINICA　　　　　　Nov.　2004

小区分层依概率寻呼的位置管理策略

朱艺华[1] ,肖　刚[2] ,史定华[3] ,高　济[4]

(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. 浙江工业大学信息工程学院,浙江杭州 310032;
3. 上海大学理学院数学系,上海 200436;4. 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.我国及其他国家目前正在使用的个人通信网络中,基本的位置管理策略(简称"基本策略")的位置查找操作采用的是,在整个位置区中同步寻呼移动台.由于所要寻找的移动台只在由众多小区所组成的位置区内的一个小区中,因此,"基本策略"会造成系统资源的极大浪费.本文给出一种对位置区内的小区进行分层,按移动台在各层小区的概率从大到小的次序,逐层进行寻呼的位置管理策略(简称"分层策略").在假定移动台在各个小区的逗留时间是符合一般概率分布的随机变量的条件下,推导出移动台处于各层小区的概率及"分层策略"所需搜索的小区平均个数公式.证明了"分层策略"的位置管理费用不大于"基本策略".

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: TN929.5　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 0372-2112 (2004) 11-1810-05

A location Management Strategy with Layered Cells and Terminal Paging in Probability Order

ZHU Yi-hua[1] ,XIAO Gang[2] ,SHI Ding-hua[3] ,GAO Ji[4]

(1. *Institute of Information Intelligence and Decision Optimization , Zhejiang University of Technology , Hangzhou , Zhejiang* 310032 , *China* ;
2. *College of Information engineering , Zhejiang University of Technology , Hangzhou , Zhejiang* 310032 , *China* ;
3. *Dept. of Math. , College of Science , Shanghai University , Shanghai* 200436 , *China* ;
4. *Institute of Artificial Intelligence , Zhejiang University , Hangzhou , Zhejiang* 310027 , *China*)

Abstract: Location management ,which consists of location updating and location query ,is a challenging topic in mobile communication. The location query of the basic location management scheme (Basic Scheme for short) used in personal communications services (PCS) networks in many countries , requires to page a mobile in all the cells within a location area (LA) simultaneously. This scheme is likely to waste the system's channel resource and processing resource enormously , since the LA consists of many cells whereas the mobile only resides in one. This paper proposed a new location management scheme ,Cell Layered Scheme ,which grouped all the cells of each LA into layers and made terminal paging one layer after another in probability order. Both the probability of the mobile residing in each layer and the average number of cells searched by the proposed scheme are derived on the assumption that the residence time of a mobile residing in each cell is a generally distributed random variable. It is proved that the cost of the Cell Layered Scheme is no more than that of the Basic Scheme.

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

1　引言

跟踪移动台是蜂窝无线通信系统所面临的主要难题之一.在蜂窝无线通信系统中,位置管理策略用于跟踪移动台[1].位置管理的目的是:平衡位置更新与位置查找的开销,降低系统用于移动台的位置更新及查找的总费用.目前,一些国家的移动通信系统使用两层数据库用于位置管理:归属位置寄存器 HLR(Home location register)和访问位置寄存器(Visitor location register).在这些移动通信系统中,一个移动交换中心 MSC(Mobile Switching Center)管辖的所有小区组成一个位置区 LA(Location area),在每个 MSC 处配置了一个 VLR.基本位置管理策略(下称"基本策略")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动台.由于移动台只在组成位置区的众多小区的一个小区中,因此,"基本策略"有以下缺点:位置更新和位置查找费用均太大.由于近几年移动台的成倍增加,而无线电频率资源极为有限,因此,需要减小小区的半径以更加有效地利用有限的无线电频率资源[2].这会造成位置区中的小区越来越多,于是,位置管理将面临着更加严峻的挑战.

位置管理的费用主要由位置更新和位置查找这两部分费

收稿日期:2003-12-10;修回日期:2004-03-30
基金项目:国家自然科学基金(No. 70171059 ,No. 60473097) ;浙江省自然科学基金(No. 602095 ,No. 600043)

用组成,因此,减少位置管理的费用一般是从位置更新和位置查找这两方面着手研究的. 在减少位置更新的费用研究方面,目前已有许多策略,如各种"指针推进策略"(Pointer forwarding scheme)[3~7];文献[8]提出了不需要进行位置更新的"环状搜索"移动性管理策略. 在减少位置查找的费用研究方面也有诸多文献,例如,文献[9]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. 文献[11]采用与文献[10]相仿的方法——对位置区内的小区进行分层,然后根据移动台在各层小区的概率从大到小的顺序逐层寻呼,旨在减少寻呼的费用. 需要指出的是:文献[10]是基于假设"移动台从一个小区进入到与之相邻小区的概率相等"这个条件的;文献[11]不需要这个假设,是基于移动台自身的移动统计规律进行研究的. 但文献[11]也存在不足之处:假定移动台在各个小区的逗留时间服从指数分布. 众所周知:指数分布具有很特殊的性质——"无记忆性",因此,文献[11]的实用性受到极大的限制. 本文将"移动台在各个小区的逗留时间服从指数分布"这个假定推广为更一般的情形——"移动台在各个小区的逗留时间是一般连续型随机变量",从而将文献[11]的结论推广到一般的情形,并给出数值分析.

2　小区分层及各层转移概率

如图 1,以各小正六边形表示小区(设各个小区的大小相同[10~12]),这些小区组成了一个位置区 LA(大六边形). 位于位置区中心的小区称为中心小区或第 0 层小区(图 1 中标记为"0"),包围中心小区的所有小区称为第 1 层小区(图 1 中标记为"1"),包围第 1 层的所有小区称为第 2 层小区(图 1 中标记为"2"),依此类推.

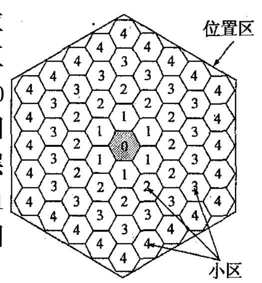

图 1　位置区内小区的分层

移动台离开当前小区,进入到与之相邻的某个小区,称之为越区移动. 移动台在一次越区移动中,从位于第 i 层的一个小区进入到位于第 j 层的一个小区的概率,称为从 i 层到 j 层的转移概率,记为 $a_{i,j}$. 容易得到以下等式:$a_{0,1}=1$,即移动台在一次越区移动中,以概率 1 从第 0 层(中心小区)移动到第 1 层的一个小区;$a_{i,j}=0(j>i+1;i,j=0,1,2,\cdots)$,即移动台在一次越区移动中,只能移动到相邻的小区层,不可能跨层移动.

3　移动台位于各层小区的概率

3.1　假定条件

(1) 设一个位置区共有 K 层小区,从位置区中心向外依次编号为第 $0,1,2,\cdots,K-1$ 层小区.

(2) 移动台在各个小区的逗留时间为独立同分布的一般连续型随机变量 χ,其概率密度函数记为 $f(x)$,分布函数记为 $F(x)$,即

$$F(x)=Pr\{\chi\le x\}=\int_0^x f(t)\,dt=1-e^{-\int_0^x \mu(t)\,dt}$$

其中 $\mu(t)=f(t)/\overline{F}(x)$ 是失败率函数(Failure rate function[13]),而 $\overline{F}(x)=1-F(x)$.

此外,设 $E[\chi]=\dfrac{1}{\mu}<\infty, Var[\chi]=\sigma^2<\infty$.

(3) 上述各随机变量彼此相互独立.

3.2　系统的状态转移图及状态方程组

系统的状态转移图如图 2 所示,其中圆圈表示系统所处的状态,圆圈内的数对 $((n),x)$ 表示移动台位于第 n 层小区 $(n=0,1,2,\cdots,K-1)$,而且在当前小区内所逗留的时间是 x.

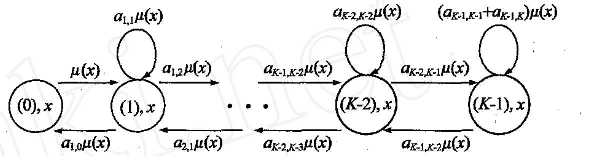

图 2　系统的状态转移图

我们用 (n) 表示第 n 层小区,$X(t)$ 表示移动台在当前小区所逗留的时间,$S(t)$ 表示 t 时刻系统的状态. 这样 $(S(t),X(t))$ 构成一个状态空间为 $E=\{((n),x)\mid n=0,1,2,\cdots,K-1;0\le x<\infty\}$ 的向量马尔可夫过程[14]. t 时刻系统状态的概率密度定义为:

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

记 $p_n(t)=Pr\{S(t)=(n)\}$,于是 $p_n(t)=\int_0^\infty p_n(t,x)\,dx$. 此外,记 $p_n\overset{def}{=}\lim\limits_{t\to\infty}p_n(t)$. 很明显

$$\sum_{n=0}^{K-1}p_n(t)=1 \tag{1}$$

下面推导状态方程组. 因在 $t+\Delta t$ 时刻移动台位于第 n 层小区 $(n=0,1,2,\cdots,K-1)$,而且它在当前小区所逗留时间为 $x+\Delta t(x>0)$ 等价于:t 时刻移动台在第 n 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台没有越区移动,因此可得

$$\begin{aligned}p_n(t+\Delta t,x+\Delta t)\,dx&=Pr\{S(t+\Delta t)\\&=(n),x+\Delta t<X(t+\Delta t)\le x+\Delta t+dx\}\\&=Pr\{S(t)=(n),x<X(t)\le x+dx\}(1-\mu(x)\Delta t)\\&=p_n(t,x)\,dx(1-\mu(x)\Delta t)=p_n(t,x)\,dx(1-\mu(x)\Delta t)\end{aligned}$$

整理得:

$$\frac{p_n(t+\Delta t,x+\Delta t)-p_n(t,x+\Delta t)}{\Delta t}+\frac{p_n(t,x+\Delta t)-p_n(t,x)}{\Delta t}=-\mu(x)\,p_n(t,x)$$

令 Δt 趋于 0,得到 $\left[\dfrac{\partial}{\partial t}+\dfrac{\partial}{\partial x}+\mu(x)\right]p_n(t,x)=0$,

$$(t>0;x>0;n=0,1,2\cdots,K-1) \tag{2}$$

选择初始条件如下:

$$p_n(0,x)=\begin{cases}\delta(x), & n=0\\ 0, & n=1,2,\cdots\end{cases} \tag{3}$$

其中 $\delta(x)$ 是 Dirac 脉冲函数.

下面考虑系统的边界条件. 首先,在 $t+\Delta t$ 时刻移动台位于第 0 层小区,而且它在当前小区的逗留时间为 $s(s\le\Delta t)$ 等价于:t 时刻移动台在第 1 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向内层越区移动. 因此

$$p_0(t+\Delta t,s)\Delta t=Pr\{S(t+\Delta t)$$

$= (0), s < X(t+\Delta t) \le s+\Delta t\}$

$= \int_0^\infty a_{1,0}\mu(x)\Delta t Pr\{S(t)=(1), x < X(t) \le x+dx\}$

$= a_{1,0}\int_0^\infty \mu(x)\Delta t p_1(t,x)\,dx$

上式除以 Δt,令 $\Delta t\to 0$(此时 $s\to 0$),并考虑初始条件(3),得:

$$p_0(t,0) = a_{1,0}\int_0^\infty \mu(x)p_1(t,x)\,dx + \delta(t) \tag{4}$$

其次,在 $t+\Delta t$ 时刻移动台位于第 1 层小区,而且它在当前小区所逗留时间为 $s(s\le\Delta t)$ 的概率等于以下概率之和:

(a) t 时刻移动台在第 0 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向外层越区移动;

(b) t 时刻移动台在第 1 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向同层越区移动;

(c) t 时刻移动台在第 2 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向内层越区移动.

与推导式(4)类似可得:

$$p_1(t,0) = \int_0^\infty \mu(x)p_0(t,x)\,dx + a_{1,1}\int_0^\infty \mu(x)p_1(t,x)\,dx + a_{2,1}\int_0^\infty \mu(x)p_2(t,x)\,dx \tag{5}$$

再次,在 $t+\Delta t$ 时刻移动台位于第 n 层小区($n=2,3,\cdots,K-2$),而且它在当前小区所逗留时间为 $s(s\le\Delta t)$ 的概率等于以下概率之和:

(a) t 时刻移动台在第 $n-1$ 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向外层越区移动;

(b) t 时刻移动台在第 n 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向同层越区移动;

(c) t 时刻移动台在第 $n+1$ 层小区,其逗留时间为 x,在 Δt 时间间隔内移动台向内层越区移动.

与推导式(5)类似,可得:

$$p_n(t,0) = a_{n-1,n}\int_0^\infty \mu(x)p_{n-1}(t,x)\,dx + a_{n,n}\int_0^\infty \mu(x)\cdot p_n(t,x)\,dx + a_{n+1,n}\int_0^\infty \mu(x)p_{n+1}(t,x)\,dx,\quad (n=2,3\cdots,K-2) \tag{6}$$

3.3 系统的状态方程组的解

对任何密度函数 $g(x)$,它的 Laplace-Stieltjes 变换(简称拉氏变换)记为 $g^*(s)$,即 $g^*(s)=\int_0^\infty e^{-st}g(x)\,dx$.由分部积分公式及初始条件(3),得:

$$\int_0^\infty e^{-sx}\left(\frac{\partial}{\partial t}p_0(t,x)\right)dt = e^{-sx}p_0(t,x)\Big|_{t=0}^{t=\infty} - \int_0^\infty p_0(t,x)\,d(e^{-sx}) = -\delta(t) + sp_0^*(s,x)$$

在式(2)中取 $n=0$,再对 t 取拉氏变换,并利用上式,得:

$$\left[\frac{d}{dx}+s+\mu(x)\right]p_0^*(s,x) = \delta(x) \tag{7}$$

解这个微分方程,并利用 Dirac 脉冲函数 $\delta(t)$ 的性质[15],得:

$$p_0^*(s,x) = p_0^*(S,0)\,e^{-sx}\bar{F}(x) \tag{8}$$

同理,在式(2)中,取 $n=1,2,\cdots,K-1$,对 t 取拉氏变换,并利用初始条件(3),可得:

$$\left[\frac{d}{dx}+s+\mu(x)\right]p_n^*(s,x)=0,\ n=1,2,\cdots,K-1$$

解这个齐次微分方程,并利用式(8),可以得到:

$$p_n^*(s,x) = p_n^*(s,0)\cdot e^{-sx}\cdot\bar{F}(x),\ n=0,1,2,\cdots,K-1 \tag{9}$$

对式(4)、(5)及(6)取拉氏变换,得:

$$p_0^*(s,0) = a_{1,0}\int_0^\infty \mu(x)p_1^*(s,x)\,dx + 1$$

$$p_1^*(s,0) = \int_0^\infty \mu(x)p_0^*(s,x)\,dx + a_{1,1}\int_0^\infty \mu(x)p_1^*(s,x)\,dx + a_{2,1}\int_0^\infty \mu(x)p_2^*(s,x)\,dx$$

$$p_n^*(s,0) = a_{n-1,n}\int_0^\infty \mu(x)p_{n-1}^*(s,x)\,dx + a_{n,n}\int_0^\infty \mu(x)\cdot p_n^*(s,x)\,dx + a_{n+1,n}\int_0^\infty \mu(x)p_{n+1}^*(s,x)\,dx,\quad n=2,3,\cdots,K-2$$

将式(9)代入上述各方程,并整理得:

$$\begin{cases} -p_0^*(s,0)+a_{1,0}p_1^*(s,0)f^*(s)+1=0 \\ p_0^*(s,0)f^*(s)+(a_{1,1}f^*(s)-1)p_1^*(s,0)+a_{2,1}p_2^*(s,0)\cdot f^*(s)=0 \\ a_{n-1,n}p_{n-1}^*(s,0)f^*(s)+(a_{n,n}f^*(s)-1)p_n^*(s,0) + a_{n+1,n}p_{n+1}^*(s,0)f^*(s)=0,\quad n=2,3,\cdots,K-2 \end{cases}$$

引入符号:$p_n(\infty,0)\overset{def}{=}\lim_{t\to\infty}p_n(t,0)=\lim_{s\to 0}sp_n^*(s,0)$.将方程组乘上 s,并令 $s\to 0$,注意到 $\lim_{s\to 0}f^*(s)=1$,上述方程组可变形为:

$$\begin{cases} p_0(\infty,0)-a_{1,0}p_1(\infty,0)=0 \\ p_0(\infty,0)+(a_{1,1}-1)p_1(\infty,0)+a_{2,1}p_2(\infty,0)=0 \\ a_{n-1,n}p_{n-1}(\infty,0)+(a_{n,n}-1)p_n(\infty,0)+a_{n+1,n}p_{n+1}(\infty,0) \\ \quad =0,\quad n=2,3\cdots,K-2 \end{cases} \tag{10}$$

在式(1)中,对 t 取拉氏变换,得:$\sum_{n=0}^{K-1}p_n^*(s)=\frac{1}{s}$,即

$$\sum_{n=0}^{K-1}sp_n^*(s)=1 \tag{11}$$

利用式(9),有

$$p_n^*(s) = \int_0^\infty p_n^*(s,x)\,dx = p_n^*(s,0)\int_0^\infty e^{-sx}\cdot\bar{F}(x)\,dx = p_n^*(s,0)\,\bar{F}^*(s) = p_n^*(s,0)\frac{1-f^*(s)}{s}$$

故:

$$\lim_{s\to 0}sp_n^*(s) = \lim_{s\to 0}sp_n^*(s,0)\cdot\lim_{s\to 0}\frac{1-f^*(s)}{s} = p_n(\infty,0)\frac{1}{\mu},\quad n=0,1,2,\cdots,K-1 \tag{12}$$

在式(11)中,令 $s \to 0$,并利用式(12),得:

$$\sum_{n=0}^{K-1} p_n(\infty,0) = \mu$$

联合上式及方程组(10),得出

$$\begin{pmatrix} 1 & -a_{1,0} & & & & \\ 1 & a_{1,1}-1 & a_{2,1} & & & \\ & a_{1,2} & a_{2,2}-1 & a_{3,2} & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & a_{K-3,K-2} & a_{K-2,K-2}-1 & a_{K-1,K-2} \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{pmatrix}_{K\times K} \begin{pmatrix} p_0(\infty,0) \\ p_1(\infty,0) \\ p_2(\infty,0) \\ \cdots \\ p_{K-2}(\infty,0) \\ p_{K-1}(\infty,0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \\ \mu \end{pmatrix} \qquad (13)$$

此外,利用式(12),有:

$$p_n = \lim_{t\to\infty} p_n(t) = \lim_{s\to 0} s p_n^*(s) = p_n(\infty,0)/\mu$$

即:$p_n = \frac{1}{\mu} p_n(\infty,0)$, $n = 0,1,2,\cdots,K-1$

于是,将方程组(13)中的各式均除以 μ,得出:

$$\begin{pmatrix} 1 & -a_{1,0} & & & & \\ 1 & a_{1,1}-1 & a_{2,1} & & & \\ & a_{1,2} & a_{2,2}-1 & a_{3,2} & & \\ & & & \ddots & & \\ & & & a_{K-3,K-2} & a_{K-2,K-2}-1 & a_{K-1,K-2} \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{pmatrix}_{K\times K} \begin{pmatrix} p_0 \\ p_1 \\ p_2 \\ \cdots \\ p_{K-2} \\ p_{K-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdots \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad (14)$$

综上所述,得到以下定理:

定理 1　如果移动台在各个小区的逗留时间为独立同分布的一般连续型随机变量,则移动台位于第 n 层小区的概率 $P_n(n = 0,1,2\cdots,K-1)$ 是方程组(14)的解.

4　一个例子

取 $K=10$,并假定移动台从一个小区进入相邻小区的概率相等,均为 1/6,则由文献[8]知

$$\begin{cases} a_{i,i+1} = 1/3 + 1/(6i) \\ a_{i,i} = 1/3 \\ a_{i,i-1} = 1/3 - 1/(6i) \\ a_{s,t} = 0, \qquad |t-s| \ge 2 \end{cases}$$

(其中 $i > 1$),且 $a_{0,1} = 1$. 通过编制 Microsoft Visual C++(6.0)程序,可以算出如下结果:

表 1　数值计算结果

概率	值	概率	值
p_0	0.003690	p_5	0.110701
p_1	0.022140	p_6	0.132841
p_2	0.044280	p_7	0.154982
p_3	0.066421	p_8	0.177122
p_4	0.088561	p_9	0.199262

由于位置区内最外层的小区个数最多,而我们假定移动台从一个小区移动到相邻小区的概率相等(均为 1/6),因此移动台位于最外层的概率最大. 表 1 的结果可以说明这一点. 实际上,由于移动台的移动规律不一样,它从一个小区移动到另一个小区的概率是不同的,因此,对于实际情况,未必最外层的概率最大.

5　小区分层依概率寻呼策略及费用分析

5.1　小区分层依概率寻呼策略

定义　以下基于 HLR/VLR 的位置管理策略称为"小区分层依概率寻呼位置管理策略"(简称"分层策略"):

位置更新操作:

与"基本策略"相同,即:一旦移动台越过位置区边界,立即进行位置更新,使得 HLR 指向当前的 VLR. 但各移动台需要做些统计工作:每当移动台越区移动,移动台计算各层转移概率 $a_{i,i-1}$, $a_{i,i}$及 $a_{i,i+1}(i = 1,2,\cdots,K-1)$.

位置查找操作:

设所要查找的移动台为 m.

Step1:查找与移动台 m 相关联的 HLR,设 HLR 所指向的 VLR 所对应的位置区为 LA,在 LA 内最近找到移动台 m 的小区(记为 $Cell_{first}$,即下述的 $Cell_{found}$)中查找移动台,如果找到,转到 Step6.

Step2:根据定理 1,计算移动台位于各层小区的概率 $p_n(n = 0,1,2,\cdots,K-1)$,并将概率 p_n 按从大到小的次序排列,设与之对应的小区的层数依次为 $n_0, n_1, n_2, \cdots, n_{K-1}$,即 $p_{n_0} \ge p_{n_1} \ge p_{n_2} \ge \cdots \ge p_{n_{K-1}}$.

Step3:令 $s = 0$ (s 表示上述小区层数的下标).

Step4:在第 n_s 层小区中同步寻呼移动台 m,如果找到,转到 Step6. (注:如果第 n_s 层小区中含有第一次寻呼过的小区 $Cell_{first}$,则不对 $Cell_{first}$进行寻呼)

Step5:$s = s + 1$. 转到 Step4.

Step6:记移动台 m 所在的小区为 $Cell_{found}$(这样,下次查找该移动台 m 时,先从 $Cell_{found}$开始寻呼).

Step7:与移动台建立通信并接收移动台 m 所计算的最新的各层转移概率 $a_{i,i-1}$, $a_{i,i}$及 $a_{i,i+1}(i = 1,2,\cdots,K-1)$的值(只接收发生变化的概率).

Step8:结束.

定理 2　设移动台在各个小区的逗留时间为独立同分布的一般连续型随机变量,则"小区分层依概率寻呼策略"所寻呼的小区的平均个数为　$\overline{N} = p_0 + 6\sum_{n=1}^{K-1} n p_n$

其中:$p_n(n=0,1,2,\cdots,K-1)$ 是方程组(14)的解.

证明:考虑到第 0 层有 1 个小区,第 n 层有 $6n$ 个小区,利用定理 1 以及概率论的数学期望公式,可以证明定理 2.

5.2 小区分层依概率寻呼策略的费用分析

以 C_{basic}, C_{layer},分别表示"基本策略"与"分层策略"的寻呼费用;c 表示寻呼单个小区的费用;f_0 表示在 $Cell_{first}$ 中找到移动台的概率;f_{n_i} 表示对第 n_i 层同步寻呼时,找到移动台的概率. 显然,

$$0 \le f_{n_i} \le 1,\ i=0,1,\cdots,K-1 \tag{15}$$

以 C_{fail} 表示在 $Cell_{first}$ 中找不到移动台但在之后的查找各层小区时找到移动台的费用,以 m_i 表示"分层策略"在查找第 n_i 层小区时实际寻呼的小区的个数$(i=0,1,\cdots,K-1)$. 以 M 表示整个位置区中的小区总数,则 $M=1+\sum_{i=0}^{K-1} m_i$,且

$$M=1+6.1+6.2+\cdots+6(K-1)=3K^2-3K+1 \tag{16}$$

由于"分层策略"首先查找上次位置查找时找到移动台的小区 $Cell_{first}$,如果找不到移动台,则根据移动台在其余各层小区概率,按概率从大到小的次序,对各层进行同步寻呼. 由于只有在前一次同步寻呼找不到移动台的情况下,才同步寻呼下一层小区,于是,其寻呼费用为

$$C_{layer}=f_0\cdot 1\cdot c+(1-f_0)c_{fail} \tag{17}$$

其中,$c_{fail}=f_{n_0}m_0c+(1-f_{n_0})(f_{n_1}m_1c+(1-f_{n_1})(\cdots f_{K-2}m_{K-2}c+(1-f_{K-2})f_{K-1}m_{K-1}c))$

利用(15)可得:

$$c_{fail} \le m_0c+m_1c+\cdots+m_{K-1}c=c\sum_{i=0}^{K-1}m_i=(M-1)c$$

从而由(17)得:$C_{layer} \le c+c_{fail} \le c+(M-1)c=M\cdot c$

由于"基本策略"需要同步寻呼一个位置区中的所有小区,故其寻呼费用为 $C_{basic}=M\cdot c$,于是 $C_{layer} \le C_{basic}$,即"分层策略"的寻呼费用不大于"基本策略"的寻呼费用(一般来说,前者要小于后者). 由于"分层策略"与"基本策略"的位置更新操作是一致的,故"分层策略"的位置管理费用不大于"基本策略"的位置管理费用.

值得指出的是:"分层策略"会增大查找移动台的时延. 因此,如果对时延的要求较高的话,则可以对"分层策略"进行改进,可以按概率对各层小区分组同步寻呼,一次同步寻呼一个组(即一次同步寻呼多层小区),这会缩短查找时延,此处就不赘述了.

6 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,也是前沿研究课题. 本文给出了一种新的位置管理策略——"小区分层依概率寻呼策略",这种策略可以降低现行位置管理策略的费用,具有重要的理论意义及实用价值.

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] M Satyanarayanan. Pervasive computing: Vision and challenges[J]. IEEE Personal Communications, 2001, 8(4): 10-17.

[3] R Jain, Y-B Lin. An auxiliary user location strategy employing forwarding pointers to reduce network impacts of PCS[A]. IEEE Int'l Conf. On Communications[C]. WA, US, June, 18-22, 1995. 740-744.

[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] W Ma, Y Fang. Two-level pointer forwarding strategy for location management in PCS networks[J]. IEEE Transaction on Mobile Computing, 2002, 1(1): 32-45.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Chakraborty G, Bista B B, Chakraborty D, Shiratori N. Location management in PCN by movement prodiction of the mobile host[A]. Proceedings of the 2002 IEEE Int'l Symposium on Industrial Electronics[C]. Japan: Dept. of Software & Inf. sc, Iwate Prefectural Univ, 2002. 78-83.

[10] 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.

[11] Yi-hua Zhu, Gen-gui Zhou, Ding-hua Shi, Ji Gao. A location management scheme with layered cells within location areas[A]. IEEE Wireless Communication and Networking Conference 2004[C]. Atlanta, Georgia, USA, 21-25 March, 2004. 255-259.

[12] Yuguang Fang. General modeling and performance analysis for location management in wireless mobile networks[J]. IEEE Transaction on Computers, 2002, 51(10): 169-181.

[13] S M Ross. Stochastic Processes[M]. New York: Wiley, 1972.

[14] 史定华. 随机模型的密度演化方法[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[15] 南京工学院数学教研组. 积分变换[M]. 北京: 高等教育出版, 1978.

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.

肖 刚 男,1965 年 4 月出生于浙江上虞,工学硕士,教授,研究方向:计算机辅助技术、数据管理技术、电子商务等.