

指针推进移动性管理策略中指针链长度的概率

朱艺华¹, 史定华², 高 济³, 周根贵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 上海大学
理学院数学系, 上海 200436 3. 浙江大学人工智能研究所, 浙江杭州 310027)

摘 要: 为了降低移动通信网络中位置跟踪操作的代价, 指针推进策略被提出. 显然, 指针链长度的确定对这一策略的有效应用是至为重要的. 已有论文假定移动台在位置区的逗留时间服从指数分布的条件下, 对指针链的长度进行研究, 但指数分布的特殊性, 限制了其研究结果的应用. 本文推广了上述结果, 研究了移动台在位置区的逗留时间服从一般概率分布的指针推进策略, 通过构造向量马氏过程, 利用密度演化方法, 导出了指针链长度的概率公式, 这个公式可用于对各种指针推进策略性能的评价.

关键词: 移动计算; 移动性管理; 位置管理; 向量马氏过程; 密度演化方法

中图分类号: TN929. 5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372 2112 (2002) 08 1145 03

Probability of the Length of the Pointer Chains of Pointers Forwarding Mobility Management Strategy

ZHU Yi hua¹, SHI Ding hua², GAO Ji³, ZHOU Ger guai¹

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

2. Dept. of Math., College of Science, Shanghai University, Shanghai 200436, China;

3. Institute of Artificial Intelligence, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract: Location tracking operations in personal communications services (PCS) network are expensive. A location tracking algorithm called Pointer Forwarding has been proposed to reduce the location update cost. Obviously, determining the length of pointers' chain is significant for this scheme to be used efficiently. Hitherto, a useful formula of the length of pointers' chain has been proposed on the assumption that the residence time of a mobile has an exponential distribution. However, this assumption restricts the result to be used widely. This paper extends the result enormously. Utilizing the density evolution method of vector Markov processes, we obtain a probability formula of the length of the pointers' chains of Pointer Forwarding scheme, where the residence time of a mobile has a general distribution. The formula is suited for evaluating the performance of a variety of Pointer Forwarding mobility management scheme.

Key words: mobile computing; mobility management; location management; vector markov process; density evolution method

1 引言

移动性管理包含两种操作: 位置更新和位置查找. 目前, 一些国家正在使用的移动通信系统(如 GSM, IS-41)均使用两层数据库: 归属位置寄存器 HLR(Home Location Register)和访问位置寄存器 VLR(Visitor Location Register)进行移动性管理. 这些移动通信系统中, 基本的移动性管理策略(下称之为“基本策略”)为: 当移动台从 VLR₀ 移动到 VLR₁ 时, 则引起位置更新操作——首先移动台向 VLR₁ 申请登记, VLR₁ 向 HLR 发登记申请, HLR 更改 VLR 地址使其指向 VLR₁, 并通知 VLR₀ 删除用户数据(如图 1); 建立呼叫时首先进行查找操作——移动交换中心 MSC 向被叫的 HLR 发查询要求, HLR 找出移动台

当前的 VLR 并向它发查询请求, VLR 将被叫在 VLR 管辖范围内更详细的位置信息告诉 HLR, HLR 将得到的被叫当前位置告诉 MSC(如图 2).



图 1 位置更新



图 2 位置查找

考虑到随着用户增多,HLR 本身以及 HLR 与 VLR 之间的通信链路会成为瓶颈,文献[1]提出基于前向指针移动性管理策略(下称“前向指针策略”),即位置变化时不通

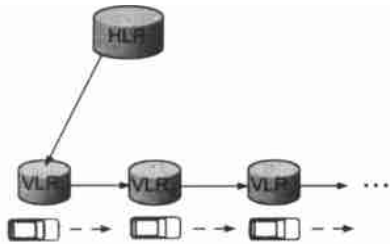


图3 “前向指针策略”

知HLR,而是在原VLR中设置一指针指向用户的当前位置(如图3)。此外,为了避免查找移动台遍历过长的指针,当指针长度大于正整数 K (常数)时,通知HLR更改VLR地址,并删除指针链。

文献[2]在假定呼叫到达服从参数为 λ 的泊松分布,用户在VLR内的逗留时间服从平均时间为 $1/\mu$ 的负指数分布的条件下,利用马氏链,求出了指针链最大长度为 K 时指针链长度的分布概率(此处将原文的两个式子合并成为一个式子):

$$P_n = \left[\frac{1}{1+\rho} \right]^n \cdot \frac{\rho/(1+\rho)}{1 - [1/(1+\rho)]^{K+1}}, \quad n=0, 1, \dots, K \quad (*)$$

(其中 $\rho = \lambda/\mu$)。接着原文利用公式(*)对“前向指针策略”的性能进行了研究,同时提出了自适应调整指针链最大长度的算法。

值得注意的是:“用户在VLR内的逗留时间服从负指数分布”这一假定,大大限制了文献[2]方案的应用范围。事实上,对于用户在VLR内的逗留时间服从任意的连续型分布(其它条件与文献[2]相同),仍然可以求出分布概率。本文通过构造向量马氏过程,利用密度演化方法^[3],导出了指针链长度的分布概率。

2 模型的数学描述

2.1 几个假定

(1) 设移动台的呼入是一个泊松过程,其呼叫到达率为 λ 。

(2) 对移动台所经过的VLR依次编号为 $0, 1, 2, \dots$,移动台在第 n 个VLR的逗留时间 $\{x_n\}$ 为任意的连续型随机变量,假定 $\{x_n\}$ 独立同分布,其概率密度函数记为 $f(x)$,分布函数记为 $F(x)$,设

$$F(x) = P\{X_n \leq x\} = \int_0^x f(t)dt = 1 - e^{-\int_0^x \mu(t)dt}, \quad n=0, 1, \dots$$

此外,记 $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$ 。并设 $E[X_n] = \frac{1}{\mu} < \infty$,

$$\text{Var}[X_n] = \sigma^2 < \infty.$$

(3) 上述各随机变量彼此相互独立。

(4) 每当移动台收到呼叫,就将移动台当前所在的VLR的编号记为 0 ,并且逗留时间重新开始计算。

2.2 系统的状态及概率密度的定义

以 (n) 表示移动台位于第 n 个VLR, $X(t)$ 表示 t 时刻移动台在当前VLR已经花去的逗留时间, $S(t)$ 表示 t 时刻系统所处的状态。这样, $(S(t), X(t))$ 就成为一个向量马尔可夫过

程。系统在 t 时刻各状态的概率密度定义如下:

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

此外,记 $p_n(t) = P\{S(t) = (n)\}$,则 $p_n(t) = \int_0^\infty p_n(t, x)dx$,

$$\text{且 } \sum_{n=0}^\infty p_n(t) = 1.$$

2.3 系统的状态转移图

根据上述假定,可以得到系统的状态转移图(图4)。

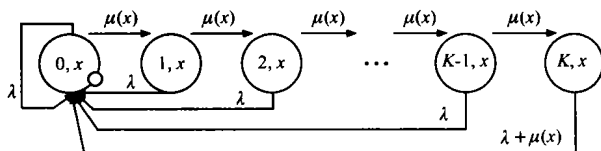


图4 系统的状态转移图

2.4 状态方程组

考虑时间间隔 Δt 内的状态转移情况,再令 $\Delta t \rightarrow 0$,得到下述微分、差分方程组:

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} + \lambda + \mu(x) \right] p_n(t, x) = 0, \quad n=0, 1, 2, \dots, K; x > 0 \quad (1)$$

边界条件:

$$p_0(t, 0) = \lambda \sum_{j=0}^K \int_0^\infty p_j(t, x)dx + \int_0^\infty p_K(t, x)\mu(x)dx + \delta(t) \quad (2)$$

$$p_n(t, 0) = \int_0^\infty p_{n-1}(t, x)\mu(x)dx, \quad n=1, 2, \dots, K \quad (3)$$

初始条件: $p_n(0, x) = \begin{cases} \delta(x), & n=0 \\ 0, & n=1, 2, \dots \end{cases}$ 其中 $\delta(t)$ 为Dirac脉冲函数。

2.5 状态方程组的解

用 $f^*(s)$ 表示函数 $f(x)$ 的Laplace变换(简称 L 变换),即

$$f^*(s) = \int_0^\infty e^{-sx}f(x)dx \quad \text{对式(1)取} L \text{变换,得}$$

$$\left[\frac{d}{dx} + s + \lambda + \mu(x) \right] p_n^*(s, x) = 0, \quad n=0, 1, 2, \dots, K; x > 0$$

解这个微分方程,得:

$$p_n^*(s, x) = p_n^*(s, 0)e^{-(s+\lambda)x}\bar{F}(x), \quad n=0, 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

对式(2)取 L 变换并利用式(4):

$$\begin{aligned} p_0^*(s, 0) &= \lambda \sum_{j=0}^K p_j^*(s) + \int_0^\infty p_K^*(s, x)\mu(x)dx + 1 \\ &= \frac{\lambda}{s} + 1 + p_K^*(s, 0)f^*(s+\lambda) \end{aligned} \quad (5)$$

对式(3)取 L 变换并利用式(4),有:

$$\begin{aligned} p_n^*(s, 0) &= \int_0^\infty p_{n-1}^*(s, x)\mu(x)dx \\ &= \int_0^\infty p_{n-1}^*(s, 0)e^{-(s+\lambda)x}\bar{F}(x)\mu(x)dx \\ &= p_{n-1}^*(s, 0)f^*(s+\lambda) = p_{n-2}^*(s, 0)[f^*(s+\lambda)]^2 \\ &= \dots = p_0^*(s, 0)[f^*(s+\lambda)]^n, \quad n=1, 2, \dots, K \end{aligned} \quad (6)$$

取 $n=K$,并利用式(5),得:

$$p_0^*(s, 0) = \frac{s+\lambda}{s} \frac{1}{1 - [f^*(s+\lambda)]^{K+1}} \quad (7)$$

由式(4)、(6)和(7),得:

$$p_n^*(s, x) = \frac{s + \lambda}{s} \cdot \frac{1}{1 - [f^*(s + \lambda)]^{K+1}} \cdot [f^*(s + \lambda)]^n e^{-(s + \lambda)x} \bar{F}(x), n = 0, 1, 2, \dots, K \quad (8)$$

因此, 在稳态时, 指针链最大长度限制为 K 时指针链长度的分布概率

$$\begin{aligned} p_n &\stackrel{\text{def}}{=} \lim_{t \rightarrow \infty} p_n(t) = \lim_{s \rightarrow 0} p_n^*(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \int_0^\infty p_n^*(s, x) dx \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s + \lambda}{s} \cdot \frac{1}{1 - [f^*(s + \lambda)]^{K+1}} [f^*(s + \lambda)]^n \bar{F}^*(s + \lambda) \\ &= \lambda f^*(\lambda)^n \bar{F}^*(\lambda) \cdot \frac{1}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} \\ &= \frac{1 - f^*(\lambda)}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} [f^*(\lambda)]^n \end{aligned}$$

指针链的平均长度

$$\begin{aligned} \bar{L} &= \sum_{n=0}^K n p_n = \frac{1 - f^*(\lambda)}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} \sum_{n=0}^K n [f^*(\lambda)]^n \\ &= \frac{f^*(\lambda)}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} \left[\frac{1 - f^*(\lambda)^{K+1}}{1 - f^*(\lambda)} - K \cdot f^*(\lambda)^{K+1} \right] \end{aligned}$$

于是, 可以得到以下定理.

定理 如果移动台的呼入是一个泊松过程, 其呼入到达率为 λ , 移动台在各个 VLR 的逗留时间为一般的连续型随机变量, 其密度函数为 $f(x)$, 并且指针链最大长度限制为常数 K , 那么, 在稳态时, “前向指针策略”的指针链长度的分布概率

$$p_n = \frac{1 - f^*(\lambda)}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} [f^*(\lambda)]^n, n = 0, 1, 2, \dots, K$$

指针链的平均长度

$$\bar{L} = \sum_{n=0}^K n p_n = \frac{f^*(\lambda)}{1 - [f^*(\lambda)]^{K+1}} \left[\frac{1 - f^*(\lambda)^{K+1}}{1 - f^*(\lambda)} - K \cdot f^*(\lambda)^{K+1} \right]$$

例 如果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 $f^*(\lambda) = \frac{1}{1 + \rho}$ (其中 $\rho = \lambda / \mu$), 利用定理立刻得到(*)式.

考虑到 $0 \leq f^*(\lambda) < 1$, 在定理中, 令 $K \rightarrow \infty$, 可以得出以下推论.

推论 如果移动台的呼入是一个泊松过程, 其呼入到达率为 λ , 移动台在各个 VLR 的逗留时间为一般的连续型随机变量, 其密度函数为 $f(x)$, 并且指针链最大长度无限制, 那么, 在稳态时, 指针链长度的分布概率

$$p_n = [1 - f^*(\lambda)] [f^*(\lambda)]^n, n = 0, 1, 2, \dots$$

指针链的平均长度

$$\bar{L} = f^*(\lambda) / [1 - f^*(\lambda)]$$

3 结束语

移动性管理是移动通信中的一个难题. 为了有效降低移动性管理的费用, 各种各样的移动性管理策略如雨后春笋. 本文定理及其推论所提出的指针链长度的分布概率公式, 对评价指针推进策略的代价及性能有着重要意义.

参考文献:

- [1] 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]. June 18-22, WA, US: 1995. 740-744.
- [2] 吴晏, 文源, 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.
- [3] 史定华. 随机模型的密度演化方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.

作者简介:



朱艺华 男, 1961 年 10 月出生于浙江省玉环县, 博士生, 副教授, 硕士生导师, 1993 年取得上海交通大学运筹学与控制论专业硕士学位, 现为浙江大学计算机应用技术专业博士生, 主要研究领域为移动计算、信息智能与决策优化, 发表论文 30 余篇. Email: yhzhu@mail.hz.zj.cn

史定华 男, 1941 年 11 月出生于江西省, 教授, 博士生导师, 上海大学理学院数学系运筹学与控制论博士点学科带头人, 研究方向: 随机模型、智能算法、生物信息和系统科学.

高 济 男, 1946 年 2 月出生, 硕士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 计算机应用, 人工智能, 软件工程, 网络计算.

周根贵 男, 1958 年 6 月出生, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 信息网络拓扑结构, 管理信息系统.