

一种基于状态的动态位置管理方法

曹 鹏^{1,2}, 杨学军¹, 黄载禄¹

(1. 华中科技大学电子信息工程系, 湖北武汉 430074; 2. 广州金鹏集团有限公司, 广东广州 510665)

摘 要: 在蜂窝移动通信系统中, 用户位置管理方法性能的好坏直接影响系统的服务质量. 本文提出了一种基于运动状态的动态位置管理方法. 系统根据用户不同的运动状态动态地决定其位置区的大小. 其性能较传统方法有显著提高, 接近基于个体移动特征的方法; 同时, 它保持了传统算法实现简单的特点, 不增加任何系统负担, 不改变现有的信令流程, 较好地兼顾了性能与工程实用性两方面的要求, 适合 3G 系统的应用要求, 具有很好的工程应用前景.

关键词: 移动通信; 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 (2002) 07-1038-03

A Dynamic Location Management Scheme Based on Movement State

CAO Peng^{1,2}, YANG Xue jun¹, HUANG Zai lu¹

(1. Dept. of Electronics & Information Eng., Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Guangzhou Jinpeng Group Co. Ltd., Guangzhou, Guangdong 510665, China)

Abstract: In cellular mobile communications system, the performance of location management scheme has great influence on the service quality of system. This paper proposes a state-based dynamic location management scheme. In which, the location area size is decided according to the user's movement state. Experimental result shows its performance is much better than the conventional scheme, near to the schemes based on user's characters. Besides, it needs not to change the current location update procedure and paging procedure, and has not any signaling cost adding. It has a great prospect of engineering application.

Key words: Mobile Communications; mobility management; location management

1 引言

在蜂窝移动通信系统中, 用户位置管理方法性能的好坏直接影响系统的服务质量和信令负荷. 现有 2G 系统 (IS 95CDMA^[1], GSM^[2]) 采用的是基于固定位置区 (LA) 的划分的传统位置管理方法^[2]. 用户按照预先规定的位置区大小进行位置更新与寻呼. 由于位置区大小是固定的, 因此, 其工程实现非常简单. 但是, 此方法没有考虑到用户移动特性与呼叫到达特性的动态性与差异性. 近来的研究^[3~8]集中在基于用户个体移动特性的位置管理方法上. 文献[3]提出了一种基于时间的用户位置管理方法, 用户基于对其移动特性的估计决定位置更新的时间, 然而, 由于不同用户个体的移动特性不同, 它需要每个用户不断地收集其移动特征信息, 并进行分析估计, 从而增加了移动终端的处理负荷. 文献[4]提出了一种基于距离的方法, 用户移动一定距离后进行位置更新. 它同样存在与文献[4]相同的问题, 同时, 在实际系统中, 距离信息的测量是困难的; 文献[5]对文献[4]进行了改进, 提出了一种基于距离预测的方法, 用户基于对其位置分布的预测, 决定进行位置更新的距离, 但仍然没有解决信令交互过多的问题. 文献[6]提出了一种基于时间的动态方法, 用户根据呼叫到达时间的分布决定其位置更新频率. 这些方法的基本思路是依据对

用户个体移动性特征的预测, 当用户某一特征 (如时间、距离、小区数目等) 超过一定门限时进行位置更新. 因此, 从理论上讲, 这一类方法的性能要比传统方法好. 然而, 随之而来的是对终端处理能力的较高要求, 以及用户与网络间信息交互的较高要求. 而在实际移动通信系统的设计中, 通常的要求是尽量减少终端的处理负担以及用户与网络间的信令交互. 因此, 这些方法不适于工程应用. 寻找基于用户个体移动特性且适于工程应用的方法是当前位置管理研究的重点^[9].

本文提出了一种基于状态的动态位置管理方法. 用户利用基站广播的小区标记, 决定其运动状态, 然后依据其状态, 按照预先规定的对应位置区尺寸进行位置更新与寻呼. 它对终端的处理能力没有额外的要求, 不增加系统的信令负担, 同时, 它不改变现有系统的信令流程, 因此, 具有很好的工程实现性. 在性能上, 分析结果表明, 与基于用户个体移动特性的位置管理方法接近, 较传统方法有显著提高.

2 系统模型

单位时间内, 用户的位置管理代价包括两部分: 位置登记代价、寻呼代价. 设用户运动速度为 v , 小区大小为 L_C , 位置区大小为 L_A , 对用户的呼叫满足泊松分布, 单位时间呼叫到达率为 λ . 单位位置登记所需的信令代价为 p_r , 单位寻呼所需的

信令代价为 $p_p \cdot N()$ 为取整函数. 则寻呼代价 C_p 满足:

$$C_p = P_p \mathcal{N}(L_A/L_C) \tag{1}$$

位置登记代价为:

$$C_R = P_r T \frac{v}{L_A} \tag{2}$$

总代价为:

$$C_{total} = C_p + C_R \tag{3}$$

则用户位置管理问题可归结为如下最优化问题:

$$\min_{L_A} C_{total} = \min_{L_A} \left(P_p \mathcal{N}(L_A/L_C) + P_r T (v/L_A) \right) \tag{4}$$

最优位置区大小 L_A^* 满足:

$$\frac{\partial C_{total}}{\partial L_A} = \frac{P_p \mathcal{N}'}{L_C} - \frac{P_r T v}{(L_A^*)^2} = 0 \tag{5}$$

故

$$L_A^* = \sqrt{P_r v L_C / P_p \lambda} \tag{6}$$

设系统总用户数为 m , 用户的速度分布为 $m(v)$, $v \in [0, V]$, 则系统位置管理代价为:

$$C = \int_0^V C_{total}(v) m(v) dv \tag{7}$$

图 1 所示为 L_A^* 与 v 、 λ 关系曲线. 由图不难看出最优位置区增加的速度远较用户运动速度的增加缓慢. 且随着用户移动速度的增加, 位置区大小增加的趋势变缓. 这是因为当用户处于低速运动状态时, 用户位置更新的频率慢, 位置管理的主要代价是寻呼代价, 故要求每一位置区包含的小区数目应小; 当用户处于高速运动状态时, 位置更新的频率快, 位置更新代价占位置管理代价的主要部分, 每一位置区包含的小区数目要多, 以减少位置更新的频率, 从而减少位置更新代价, 但是, 位置区的扩大同时会导致寻呼代价的增长. 故最优位置区大小并不随速度线性增加. 位置区与速度间的这种非线性关系启发我们考虑适度扩大控制粒度, 不直接根据用户速度决定用户位置区大小, 而是根据用户所处的速度区间决定其位置区大小. 虽然控制粒度的扩大会导致用户个体性能的下降, 但是, 在实际系统中, 控制粒度的扩大却对工程应用具有重要意义, 它意味着用户特征信息测量难度的降低及用户与网络间交互信令的显著减少. 后面的分析结果表明, 适度的控制粒度的扩大并不会导致的性能的显著下降.

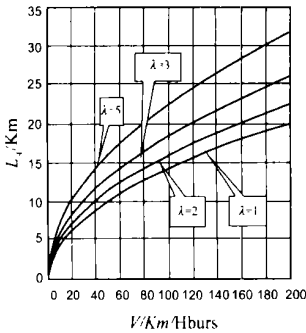


图 1 L_A 尺寸与速度关系曲线

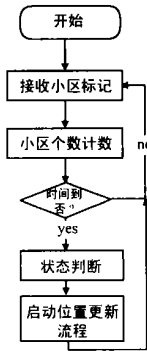


图 2 位置管理流程图

3 基于状态的动态位置管理方法

基于状态的位置管理流程如图 2 所示. 用户接收基站广播的小区标记, 判断是否进入了新的蜂窝小区, 若是新的蜂窝小区, 则将其小区更新计数器加 1. 然后依据单位时间内小区更新次数决定其运动状态, 并将此状态信息传递给网络. 双方按照预先设定的位置区尺寸进行位置更新与寻呼. 此流程周期进行, 因此, 用户位置区尺寸随用户运动状态动态改变. 位置更新流程与寻呼流程采用现有 2G 系统的位置更新流程与寻呼流程.

由于移动台会接收基站定期广播的小区信息, 它只需记录单位时间通过的小区个数, 即可对其所处状态进行判断. 所以, 状态信息的获取非常容易, 基本上不增加任何系统负担. 同时, 它无需改变现有系统的位置更新流程与寻呼流程.

设用户状态集合为 $Z = \{S, M, H\}$, S, M, H 分别代表用户处于低速、中速、高速运动状态. 其状态区间的划分为:

$$z = \begin{cases} S, & v \in [0, V_1] \\ M, & v \in [V_1, V_2] \\ H, & v \in [V_2, \infty) \end{cases} \tag{8}$$

L_A^* 对应的位置区尺寸分别为:

$$L_A^* = \begin{cases} \sqrt{\frac{P_r V_1 L_C}{2 P_p \lambda}} = L_{AS}^*, & v \in [0, V_1] \\ \sqrt{\frac{P_r (V_1 + V_2) L_C}{2 P_p \lambda}} = L_{AM}^*, & v \in [V_1, V_2] \\ \sqrt{\frac{P_r V_2 L_C}{P_p \lambda}} = L_{AH}^*, & v \in [V_2, \infty) \end{cases} \tag{9}$$

单位时间内, 系统位置管理总代价为

$$C = \int_0^{V_1} C_{total}(L_{AS}^*) m(v) dv + \int_{V_1}^{V_2} C_{total}(L_{AM}^*) m(v) dv + \int_{V_2}^{\infty} C_{total}(L_{AH}^*) m(v) dv \tag{10}$$

4 数值结果与性能比较

设每次寻呼所需的信令代价 $p_p = 1$ (条/次), 每次位置更新所需的信令代价 $p_r = 10$ (条/次), 小区尺寸 $L_C = 1$ (公里), 单位时间呼叫到达率 $\lambda = 3$ (次/小时), $V_1 = 20$ (公里/小时), $V_2 = 100$ (公里/小时). 用户分布为满足 $\sigma^2 = 100$ 的高斯分布, 单位时间内, 几种方法的位置管理代价如表 1 所示. 不难看出, 基于用户个体特征的位置管理方法性能普遍要比传统方法好. 本文提出方法在性能上与基于时间的方法接近, 比动态 LA 划分方法性能要提高 13%, 比传统方法性能要提高接近三分之一. 因此, 从工程应用角度而言, 综合考虑性能与实现性, 本文方法的综合性能要较其它方法好.

表 1 几种位置管理方法的性能比较

结果	基于状态方法	基于时间方法	动态 LA 划分方法	自适应 LA 划分方法	固定 LA 划分方法
平均寻呼代价	13.54	11.8	15.27	13.36	17.57
相对值	1	0.87	1.13	0.98	1.29

5 进一步的讨论

在蜂窝移动通信系统中,位置管理的目的是为了能正确将对某一用户的呼叫转发给用户,它面向的是用户个体.传统方法依据整体的分布特性来对用户的位置进行估计,与个体间的差异性较大.以用户个体移动特征为位置估计依据的方法虽然能较精确地对用户位置进行跟踪,但是,控制粒度的缩小带来单位问题是信息交互的难度与费用显著增加.因此,必须在二者之间进行折衷.本文提出的方法将用户区分为不同的状态,对处于相同状态的用户采取固定的控制模式,其控制粒度介于系统整体与用户个体之间,它缩小了与用户个体间的差异性,同时又使控制粒度保持在适度的规模.因此,在性能上比传统方法好,接近基于用户个体特征的方法.

在基于状态的位置管理方法中,一个重要的问题是如何根据测量信息确定用户的状态,使其与用户个体移动性差异最小.即状态区间的划分问题.它可以归结为一个最优化问题,其目标函数为:

$$\min_{V_1, V_2} C = \int_0^{V_1} C_{\text{total}}(L_{AS}^*) m(v) dv + \int_{V_1}^{V_2} C_{\text{total}}(L_{AM}^*) m(v) dv + \int_{V_2}^{\infty} C_{\text{total}}(L_{AH}^*) m(v) dv \quad (11)$$

约束条件:

$$V_1 > 0 \quad (12)$$

$$V_2 > 0 \quad (13)$$

$$V_1 < V_2 \quad (14)$$

这是一个目标函数为非线性函数,约束条件为线性函数的最优化问题,解此类问题有效方法是线性规划方法与最小坡度投影方法^[10].

图 3 为用户在区间 $[0, 200]$ 内均匀分布时系统移动性

管理代价 C 与 V_1 、 V_2 的关系曲线. 对应的最优区间划分及移动性管理代价分别为 $V_1^* = 33$, $V_2^* = 100$, $C = 12.54$. 它较传统方法性能提高 30% 左右.

6 结语

即将部署的 3G 移动通信系统(WCDMA、CDMA2000)支持的用户将远较现有 2G 系统多,因此要求尽量较少用户位置管理的信令代价.本文提出的基于状态的动态位置管理方法,

依据用户不同的运动状态动态地确定其位置区的大小.在性能上比传统方法提高 30% 左右,接近基于个体移动特征的方法;同时,它保持了传统算法实现简单的特点,不增加任何系统负担,不改变现有的信令流程,较好地兼顾了性能与工程实用性两方面的要求,适合 3G 系统的应用要求,具有很好的工程应用前景.

参考文献:

- [1] TIA/EIA PN 2991. Cellular radio telecommunication intersystem operations [S].
- [2] S Mohan, R Jain. Two user location strategies for personal communications services [J]. IEEE Personal comm, 1994, 1(10): 42-50.
- [3] C Rose. Minimizing the average cost of paging and registration: A time based method [J]. ACM Journal of Wireless Networks, 1996, 2(2): 109-116.
- [4] U Madow, et al. Optimization of wireless resource for personal communications mobility tracking [A]. Proc. IEEE INFOCOM'94 [C]. 1994, 577-584.
- [5] B Liang, Z J Haas. Predictive distance based mobility management for PCS networks [A]. Proc. IEEE INFOCOM'99 [C], New York: INFOCON, 1999, 367-342.
- [6] I F Akyildiz, J S Ho. Dynamic mobile user location update for wireless PCS networks [J]. ACM Journal of Wireless Networks, 1995, 1(2): 187-196.
- [7] I F Akyildiz, J S Ho. Movement based location update and selective paging for PCS networks [J]. IEEE Transactions on Networks, 1996, 4(4): 629-636.
- [8] 殷蔚华, 黄载禄. 一种自适应位置更新方案 [J]. 电子学报, 2000, 28(11A): 45-49.
- [9] Akyildiz, I F, McNair, J, Ho, J S M, Uzunalioglu, H, Wang W. Mobility Management in Next Generation Wireless Systems [J]. IEEE Proceedings Journal, 1999, 87(8): 1347-1385.
- [10] H Robbins. A stochastic approximation methods [J]. Annals of Mathematical Statistics, 1951, 22(4): 400-407.

作者简介:



曹 鹏 男, 1973 年出生于湖北省鄂州市, 1995 年于武汉大学获无线电技术专业、经济法专业双学士学位, 1998 年获武汉大学电路与系统专业硕士学位, 现为华中科技大学电子与信息工程系通信与信息系统专业博士研究生, 从事第三代移动通信系统的研究与开发, 主要研究兴趣包括: 移动通信、通信保密、认证、移动互联网等.