

# 移动无线传感器网络采样区域自调整的 MCL 定位算法

叶飞虎<sup>1</sup> 沈航<sup>2</sup> 曹磊<sup>1</sup> 白光伟<sup>1,3</sup>

(南京工业大学计算机科学与技术系 南京 210009)<sup>1</sup>

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>2</sup>

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)<sup>3</sup>

**摘要** 定位技术是无线传感器网络中关键的支撑技术之一。现有的无线传感器网络定位算法大多是针对静态场景的,不能直接应用于移动无线传感器网络。针对移动无线传感器网络的特点,在深入分析现有蒙特卡洛算法的基础上,提出一种改进机制,即采样区域自调整的蒙特卡洛节点定位(SA\_MCL)算法。该算法通过对节点历史位置信息插值模拟获得节点的运动速度和方向,目的是为了自动调整采样区域,从而提高定位精度。仿真结果表明,采用 SA\_MCL 算法,节点的定位精度有较大提高。

**关键词** 移动无线传感器网络,定位,蒙特卡洛,采样区域

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Self-adjusting Sampling Area MCL Algorithm for Mobile WSNs

YE Fei-hu<sup>1</sup> SHEN Hang<sup>2</sup> CAO Lei<sup>1</sup> BAI Guang-wei<sup>1,3</sup>

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)<sup>1</sup>

(College of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>2</sup>

(State Key Laboratory of Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)<sup>3</sup>

**Abstract** Localization technology is one of the key supporting technologies in wireless sensor networks(WSNs). Most existing localization algorithms in literature are designed for static WSNs. Thus, most of them cannot be applied to mobile WSNs. This work began with a thorough investigation of Monte Carlo Localization algorithm. On this basis, we proposed a self-adjusting sampling area localization(SA\_MCL) algorithm, in consideration of the characteristics of mobile sensor node. SA\_MCL uses interpolation simulation method to process historical location information of a node. The purpose is to get the velocity and direction of the node, thereby improving positioning accuracy. Simulation results show that SA\_MCL algorithm improves positioning accuracy of a node significantly.

**Keywords** Mobile WSNs, Localization, Monte carlo, Sampling area

## 1 引言

在无线传感器网络中,由于传感器节点部署的不可控制性,如飞机撒播、节点实时移动等,网络中大多数节点位置不能事先确定,而无线传感器网络的大量应用都需要网络中节点的地理位置信息,如在军事战术中,舰船、战车、士兵等所携带的传感器节点的位置信息是作战指挥的关键依据,节点发回的战术信息无不与该节点当时所处的位置有关。另外,了解传感器节点位置信息还可以提高路由效率,为网络提供命名空间,向部署者报告网络的覆盖质量,实现网络的负载均衡以及网络拓扑的自配置<sup>[1]</sup>。因此,在无线传感器网络(WSNs)的应用中,节点能够自主确定位置被认为是基本能力和系统的基本服务之一。由于 WSNs 自身特点,如受到成

本、功耗、拓展性等问题的限制,寻求 WSNs 自身定位机制成为许多研究机构和学者共同探讨的问题。

现有的定位算法大多面向静态传感器网络,节点的定位相对来说比较容易。随着美国国防部将其武器系统研制的主要技术目标从精确制导转向目标感知与定位,移动无线传感器网络也得到了发展。在一些特定的领域,移动传感器网络也开始得到了应用,比如电子牧场<sup>[2]</sup>,在动物的脖子上系上传感器节点,通过节点传回的信息检测牧场情况。但是移动无线传感器网络中节点的移动性增加了定位的困难,这也是移动传感器网络应用过程中面临的挑战,从而在近年来引起了学术界的广泛关注<sup>[11-13]</sup>。本文首先深入分析现有的一些典型定位算法的原理和性能,针对目前仍然存在的问题,并充分考虑移动无线传感器网络的特点,提出一种采样区域自调整

到稿日期:2011-01-18 返修日期:2011-04-01 本文受国家自然科学基金项目(60673185,61073197),江苏省自然科学基金项目(BK2010548),南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放课题(KFKT2010B08)资助。

叶飞虎(1986—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络节点定位技术,E-mail:njyefei@yaho.com.cn;沈航(1984—),男,博士生,主要研究方向为无线传感器网络;曹磊(1981—),讲师,主要研究方向为无线传感器网络系统;白光伟(1961—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为无线传感器网络、无线自组织网络、网络体系结构和协议、网络系统性能分析和评价、多媒体网络服务质量等。

的蒙特卡洛节点定位(SA\_MCL)算法。其核心思想是通过节点历史位置信息插值模拟获得节点的运动速度和方向。目的是自动调整采样区域,从而提高定位精度。我们通过一系列的仿真实验证明,SA\_MCL算法能够适应移动无线传感器网络的特点,相比于MCL算法,SA\_MCL算法能够提供更加精确的定位服务。

本文第2节深入研究现有一些典型无线传感器网络定位算法,分析这些算法存在的问题;在此基础上,第3节提出SA\_MCL算法,给出理论模型及算法描述;第4节通过仿真的方法对改进算法的性能进行分析与评价;最后总结全文。

## 2 相关工作

根据定位过程中是否测量实际节点间的距离,可以把现有的定位算法主要分为两类:基于距离(Range-based)的定位算法和距离无关(Range-free)的定位算法。很多文献对基于距离的定位算法进行了讨论,提出的测距技术主要包括接收信号强度(RSSI)<sup>[3]</sup>、信号传输时间(TOA)<sup>[4]</sup>、信号传输时间差(TDOA)<sup>[5]</sup>、信号到达角度(AOA)<sup>[6]</sup>等。基于距离的定位算法虽然能够实现精确定位,但是对节点的硬件要求比较高。由于硬件成本、能耗等原因,人们提出了距离无关的定位技术,主要有两大类:一类是先估计未知节点和锚节点之间的距离,然后利用数学方法定位未知节点;另一类方法是通过邻居节点和锚节点确定包含待定位节点的区域,然后把该区域的质心作为待定位节点的位置。典型的距离无关定位算法有APIT算法<sup>[7]</sup>、DV-HOP算法<sup>[8]</sup>、Amorphous算法<sup>[9]</sup>、Centroid算法<sup>[10]</sup>等。距离无关定位算法对硬件要求比较低,定位精度随之降低,但是能够满足大多数应用的要求。以上这些算法都没有考虑节点移动的情况,如果直接应用于移动无线传感器网络中,将不会取得理想的定位效果。

很多学者对移动无线传感器网络中的节点定位问题进行了研究。文献[11]提出了一种基于距离的定位算法,算法要求网络中存在两个特殊的锚节点,即锚节点必须是静态的而且锚节点的通信区域必须能够完全覆盖无线传感器网络的部署区域,这些要求限制了该算法的应用。文献[12]中提出了一种距离无关的定位算法,该算法可以应用于静态无线传感器网络,也可以应用于移动传感器网络,但是在实际应用中有很大的问题,因为该算法要求节点的通信区域必须是理想的圆形,否则将不能很好估算节点的位置。这两种算法对网络模型的要求都非常严格,使二者在实际应用中都具有很大的局限性。

Hu Lingxuan等首次把蒙特卡洛方法应用于移动无线传感器网络的节点定位技术中,提出蒙特卡洛节点定位算法(Monte Carlo Localization, MCL)<sup>[13]</sup>。MCL算法利用节点的移动性来帮助节点定位,是一种距离无关的定位算法。其核心思想是在贝叶斯滤波位置估计的基础上,用若干个带有权重的采样点来描述移动节点在某个位置出现的概率,进而对节点进行定位。

MCL算法能够很好地适应移动无线传感器网络中的节点定位,但是也有自己的不足,如算法中采样区域固定,不能根据节点的实际情况调整采样区域。为此,本文提出一种采样区域自调整的蒙特卡洛节点定位(SA\_MCL)算法。SA\_MCL算法对节点的历史位置信息进行插值模拟,以获得节点

的速度和运动方向,然后根据节点的速度大小和运动方向自动调整采样区域,以提高节点定位精度。

## 3 SA\_MCL算法的理论模型和算法描述

本节首先分析现有MCL算法的核心思想;然后提出改进的SA\_MCL算法的假设及网络模型;在此基础上分预测和滤波两个阶段详细阐述SA\_MCL算法的理论模型以及执行流程。

### 3.1 MCL算法

蒙特卡洛方法是以概率和统计理论方法为基础的一种计算方法,将所求解的问题同一定的概率模型相联系,用计算机实现统计模拟或抽样,以获得问题的近似解。蒙特卡洛方法在粒子输运计算、粒子追踪、机器人定位及空气动力学计算等领域得到了很好的应用。针对移动无线传感器网络, Hu Lingxuan等提出了MCL算法,它利用节点的移动性来帮助节点定位。该算法在定位初始化阶段,从节点部署区域随机选择 $N$ 个样本点,形成初始位置样本集,然后根据节点前一个时刻的位置信息和运动信息预测当前时刻节点的可能位置,并通过滤波去除不符合滤波条件的点。算法重复预测和滤波过程,直到采集到足够的样本,然后根据样本估测出节点的位置。由此可见,MCL算法能够应用于移动无线传感器网络,但通过研究发现MCL算法也存在一些问题。首先,节点只利用了前一时刻的位置信息,没有很好地利用节点更多的历史位置信息;其次,算法的采样区域是以节点最大速度为半径的圆形区域,没有根据节点的实际运动情况自动调整采样区域。针对以上问题,我们对MCL算法进行了改进,提出了SA\_MCL算法,以提高节点的定位精度。

### 3.2 网络模型及假设

为方便对SA\_MCL算法进行理论分析,我们假设网络中的所有节点分布在边长为 $R$ 的正方形区域内。网络中普通节点和锚节点的通信半径都为 $\gamma$ ,锚节点可以感知自己的位置信息而普通节点 $F$ 却不能。根据移动传感器网络在应用中的特点,模型假设节点的通信区域不一定为理想的圆形区域,另外,假设节点在单位时间内不会发生反向运动,所有节点的最大运动速度为 $V_{\max}$ 。

### 3.3 预测阶段

在预测阶段,待定位节点根据运动模型和运动信息预测位置。在SA\_MCL算法中,我们依据前 $K$ 个时刻的历史位置信息通过插值模拟的数学方法估算当前时刻的位置。

节点在 $t-1$ 时刻的前 $K$ 个时刻的历史位置信息用三元组表示,见式(1),前两个参数分别为节点在 $X$ 轴和 $Y$ 轴的坐标,第三个参数表示对应的时刻。

$$(x_{t-k-1}, y_{t-k-1}, T_{t-k-1}), (x_{t-k}, y_{t-k}, T_{t-k}), \dots, (x_{t-2}, y_{t-2}, T_{t-2}) \quad (1)$$

从式(1)可以获得在每一个时刻 $X$ 轴方向的位置信息,即

$$(x_{t-k-1}, T_{t-k-1}), (x_{t-k}, T_{t-k}), \dots, (x_{t-2}, T_{t-2}) \quad (2)$$

对式(2)应用差值模拟方法可以得出位置与时间的函数关系:

$$x = f(T) = N_k(T) + R_k(T) \quad (3)$$

$$N_k(T) = f[x_{t-k-1}] + f[x_{t-k-1}, x_{t-k}](T - T_{t-k-1}) + f[x_{t-k-1}, x_{t-k}, x_{t-k+1}](T - T_{t-k-1})(T - T_{t-k}) + \dots + f[x_{t-k-1}, x_{t-k}, \dots, x_{t-2}](T - T_{t-k-1})(T -$$

$$T_{t-k})(T-T_{t-k+1})\cdots(T-T_{t-2}) \quad (4)$$

$$R_k(T) = f[x, x_{t-k-1}, x_{t-k}, \dots, x_{t-2}](T-T_{t-k-1})(T-T_{t-k})(T-T_{t-k+1})\cdots(T-T_{t-1}) \quad (5)$$

其中,  $f[x_0, x_1, \dots, x_n]$  为均差, 其定义如下:

$$f[x_0, x_1, \dots, x_n] = \frac{f(x_i)}{\prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n (x_i - x_j)} \quad (6)$$

对式(3)  $x=f(T)$  在  $t-1$  时刻求导, 即可得出  $t-1$  时刻节点在  $X$  轴方向上的速度  $v_x$ , 即

$$v_x = f'(T) |_{T=t-1} \quad (7)$$

同理, 我们可以得到  $t-1$  时刻节点在  $Y$  轴方向上的速度  $v_y$ , 即

$$y = g(T) = P_k(T) + Q_k(T) \quad (8)$$

$$v_y = g'(T) |_{T=t-1} \quad (9)$$

由式(7)和式(9)得出  $t-1$  时刻节点的速度和方向(节点运动方向与  $X$  轴的夹角):

$$v_{t-1} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (10)$$

$$\alpha = \arctan \frac{v_y}{v_x} \quad (11)$$

在获得  $t-1$  时刻节点的运动速度和运动方向后, 通过改变采样区域对节点在  $t$  时刻的位置进行定位, 采样区域如图 1 所示。

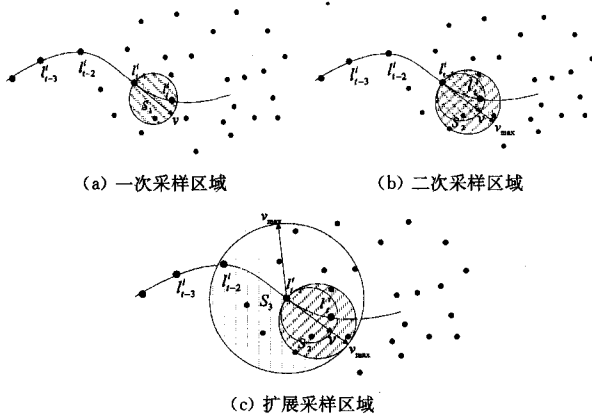


图 1 自调整采样区域

在节点的运动方向上截取线段, 线段长度为节点的速度大小。以该线段为直径可以获得圆形区域  $S_1$ , 并在圆形区域  $S_1$  内采样, 如图 1(a) 所示。其中  $l_t$  定义为节点在当前  $t$  时刻的位置,  $O_t$  定义为从前一时刻( $t-1$ )到当前时刻( $t$ )这一时间段中节点从锚节点处获得的信息。转移方程  $P(l_t | l_{t-1})$  表示根据前一时刻节点的位置获得当前时刻节点的位置的概率, 则根据均匀分布可以得出:

$$P(l_t | l_{t-1}) = \begin{cases} \frac{4}{\pi v}, & l_t \in S_1 \\ 0, & l_t \notin S_1 \end{cases} \quad (12)$$

如果采样点经过滤波后不能达到需要的采样点数, 则扩大采样区域, 即在节点的运动方向上截取线段, 线段长度为节点的最大速度  $V_{max}$  的大小。以该线段为直径可以获得圆形区域  $S_2$ , 并在区域  $S_2$  内采样, 如图 1(b) 所示, 其概率分布如下:

$$P(l_t | l_{t-1}) = \begin{cases} \frac{4}{\pi V_{max}}, & l_t \in S_2 \\ 0, & l_t \notin S_2 \end{cases} \quad (13)$$

经过滤波后, 若仍然达不到需要的采样点数, 则在以  $t-1$

时刻的位置为圆心、节点的最大移动速度  $V_{max}$  为半径的圆形区域  $S_3$  内采样, 如图 1(c) 所示, 设  $d(l_t, l_{t-1})$  表示点  $l_t$  和  $l_{t-1}$  的欧氏距离, 则有:

$$P(l_t | l_{t-1}) = \begin{cases} \frac{1}{\pi V_{max}^2}, & d(l_t, l_{t-1}) < v_{max} \\ 0, & d(l_t, l_{t-1}) \geq v_{max} \end{cases} \quad (14)$$

### 3.4 滤波阶段

在锚节点的通信区域内, 每个节点都能接收到锚节点发出的观测信息, 节点根据新接收到的观测信息滤除掉不符合滤波条件的采样点。

根据锚节点的移动模型, 可以定义以下 4 种类型的锚节点, 其移动分布如图 2 所示。

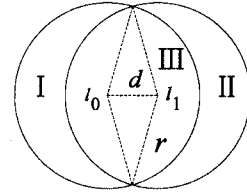


图 2 锚节点的移动分布

外部锚节点: 前一时刻和当前时刻都不能观测到的锚节点;

内部锚节点: 前一时刻和当前时刻都能观测到的锚节点;

到达锚节点: 前一时刻观测不到, 但是当前时刻可以观测到的锚节点;

离开锚节点: 前一时刻可以观测到, 但是当前时刻观测不到的锚节点。

根据到达节点和离开节点的定义可以知道, 到达节点和离开节点都在节点的通信半径以外、两倍通信半径以内, 所以离开节点和到达节点可以提供很多有用信息, 根据这些信息可以得到滤波区域, 如图 3 所示。

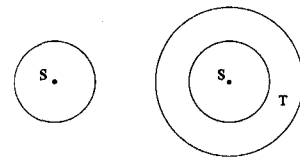


图 3 滤波区域

其中  $S$  表示可以直接与节点通信的锚节点集合,  $T$  表示不能与节点直接通信但是可以和节点的邻居节点通信的锚节点集合。所以位置  $l$  的滤波条件是

$$filter(l) = \forall s \in S, d(l, s) \leq r \wedge \forall s \in T, r < d(l, s) \leq 2r \quad (15)$$

有些点可能不符合滤波条件, 所以在滤波以后采样点数可能达不到定义的采样点数。如果出现这种情况, 预测过程和滤波过程将被重复执行, 直到采样点数符合要求为止。

基于以上描述, 我们给出 SA\_MCL 定位算法的伪代码, 见算法 1。

#### 算法 1 SA\_MCL 算法过程

初始化: 初始时刻节点没有位置信息, 故从部署区域随机选取  $N$  个位置点, 即:

$$L_0 = \{\text{set of } N \text{ random locations in the deployment area}\}$$

算法过程: 根据前  $K$  个时刻的位置信息  $L_t, L_{t-2}, L_{t-3}, \dots, L_{t-k-1}$  获得  $t-1$  时刻节点的速度和方向, 结合观测信息  $O_t$  预测当前时刻的位置信息  $L_t$ , 即:

```

 $L_t = \{ \}$ 
if( $t < k$ )
 $\{ \bar{l}_i$  is selected from  $S_3 \}$ 
else
while ( $\text{size}(L_t) < N$ ) do
 $R = \{ \bar{l}_i \mid \bar{l}_i \text{ is selected from the prediction distribution} \}$  (预测)
 $R_{filtered} = \{ \bar{l}_i \mid \bar{l}_i \text{ where } \bar{l}_i \in R \text{ and filtering condition is met} \}$  (滤波)
 $L_t = \text{choose}(L_t \cup R_{filtered}, N)$ 

```

其中  $\bar{l}_i$  定义为节点  $i$  在当前  $t$  时刻的位置,  $L_t$  表示节点在  $t$  时刻的可能位置的集合,  $O_t$  定义为从前一时刻 ( $t-1$ ) 到当前时刻 ( $t$ ) 这一时间段中节点从锚节点处获得的信息, 转移方程  $P(L_t \mid L_{t-1})$  表示根据前一时刻节点的位置获得当前时刻节点的位置的概率。

## 4 仿真结果及分析

为了有效评估 SA\_MCL 算法的性能, 本文通过仿真实验的方法将其与 MCL 算法进行比较分析。

### 4.1 仿真实验设计

移动传感器网络节点移动模型可分为 3 种: 1) 普通节点移动而锚节点不移动; 2) 普通节点不移动而锚节点移动; 3) 普通节点和锚节点都移动。本文的仿真是在普通节点和锚节点都移动的模型下实现的。影响节点定位精度的因素很多, 本实验主要选择节点最大移动速度、锚节点密度、节点密度、采样点数和节点无线传输模式的不规则度作为仿真参数, 观察这些参数的变化对节点定位精度的影响。参数定义如下:

- 节点最大移动速度定义为单位时间内节点移动的距离, 用  $V_{\max}$  表示;
- 锚节点密度为节点一跳通信区域内锚节点的平均数, 用  $S_d$  表示;
- 节点密度为节点一跳通信区域内节点的平均数, 用  $n_d$  表示;
- 节点无线传输模式的不规则度定义为无线电波在传播方向上传播距离的最大变化范围, 用 DoI (Degree of Irregularity) 表示。

实验中使用的仿真器是 MCL-simulator, 具体的参数取值见表 1。

表 1 实验参数

参数	设置
实验区域	500×500
节点通信半径 $\gamma$	50
锚节点通信半径 $\gamma$	50
节点最大速度 $V_{\max}$	$\alpha_v (\alpha_v \in (0.2, 0.8))$
K 取值	3

### 4.2 仿真结果分析

图 4 给出了节点最大移动速度  $\alpha_v (\alpha_v \in (0.2, 0.8))$  对定位精度的影响。从仿真结果可以看出, 相对于 MCL 算法, SA\_MCL 算法能够提供更加精确的定位服务, 算法的可靠性也有所提高, 尤其是在最大速度比较大的情况下。这是由于 MCL 算法的采样区域是以最大速度为半径的圆形区域, 随着节点最大速度的增大, 采样区域随之增大, 这就导致 MCL 算法的采样具有盲目性, 定位准确性随之下降; SA\_MCL 算法对节点前的历史位置信息进行插值模拟以获得节点的速度和运动方向, 然后根据节点的速度大小和运动方向自动调整采样区域, 这就增强了采样的针对性, 在一定范围内, 节点速度的增

加可以让节点获得更多的观测信息, 有利于提高节点的定位精度。

图 5 显示了锚节点密度对定位精度的影响。在仿真过程中也加入了 Centroid 和 Amorphous 两种算法加以比较。从仿真结果可以看出, 随着锚节点密度的增加, Centroid 算法、MCL 算法和 SA\_MCL 算法的定位精度都在提高, 而在 Amorphous 算法中, 由于节点接收网络中所有锚节点的信息, 因此当锚节点密度达到 1 时, 算法的定位精度不会有明显提高。从仿真结果也可以看出, 在锚节点密度相同的情况下, SA\_MCL 算法的定位精度要高于 MCL 算法。

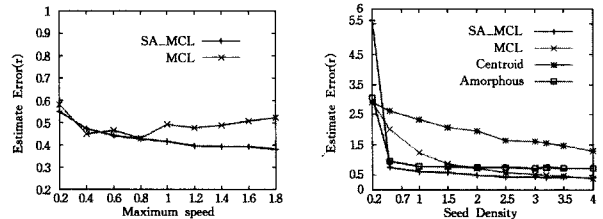


图 4 节点最大速度对定位精度的影响 图 5 锚节点密度对定位精度的影响

从图 6 可以看出节点密度对定位精度的影响。Centroid 算法、MCL 算法和 SA\_MCL 算法的定位精度受节点密度的影响比较小, 而 Amorphous 对网络节点密度的依赖性比较大。

图 7 显示了采样点的数目对定位精度的影响。从图中可以看出, 随着采样点数的增加, 算法的定位精度也在增加; 当采样点数达到一定数目时, 定位精度趋于稳定, 这是因为采样点到达一定数目时就可以为定位提供足够的信息, 没有必要继续增加采样点数。比较 MCL 算法和 SA\_MCL 算法可以看出, 当采样点数相同时, SA\_MCL 算法的定位精度好于 MCL 算法, 这可以有效降低节点的存储要求和节点的硬件成本。

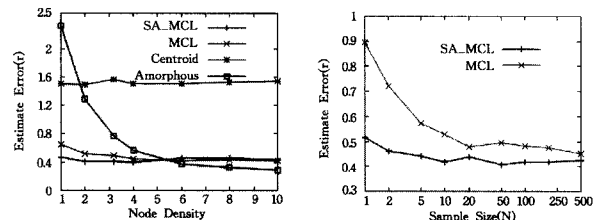


图 6 节点密度对定位精度的影响 图 7 采样点数对定位精度的影响

图 8 反映了节点无线传输模式不规则度对定位精度的影响情况。从图中曲线可以看出, 随着不规则度的增加, SA\_MCL 算法和 MCL 算法的定位误差都有所增加, 最后趋于稳定; 在相同不规则度的情况下, SA\_MCL 算法能够提供更好的定位服务。由于障碍物的存在, 在实际应用中无线传输模式不可能是理想的圆形区域, 因此相比 MCL 算法, SA\_MCL 算法更符合实际应用的要求。

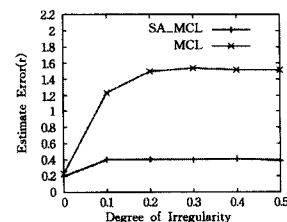


图 8 节点无线传输模式不规则度对定位精度的影响

$$c_{G_1}(q_H + 6q_S + N) \leq t'$$

证毕。

## 5 效率分析及仿真

文献[5]中的聚集签名方案是现在已经出现的基于证书的聚集签名方案,然而其用到了知识证明。知识证明的效率远低于双线性对运算的效率。本方案在验证阶段仅需  $n+1$  次双线性对运算,相较于其它基于双线性对的聚集签名方案也有一定的优势。

利用 PBC 实现双线性对的计算,对无序聚集签名方案进行仿真实现。同时分别进行了不同用户数目的聚集签名仿真实验,对每个过程执行的时间进行监控和记录,效率曲线如图 1 所示。

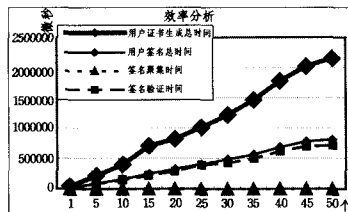


图 1 效率曲线图

在效率曲线图中,签名聚集时间保持平稳,无显著增加。这是由于在签名聚集过程中,仅用到椭圆曲线上的点加运算,相较于点乘和双线性对运算,其时间开销可忽略;在证书生

成、签名聚集过程中,由于采用了计算时间开销较大的点乘和双线性对计算,因此其效率曲线与用户数目的增长成正比。

**结束语** 本文给出了一个高效的基于证书的聚集签名方案,并给出了两种工作模式;对方案的正确性和安全性进行分析,证明本方案在聚集选择密钥模型中是安全的。给出了无序聚集签名方案的仿真结果以及仿真效率曲线。下一步将开发基于本方案实现聚集签名工具平台。

## 参考文献

- [1] Gentry C. Certificate-based Encryption and the Certificate Revocation Problem[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2003, 2656:272-293
- [2] Kang B G, Park J H, Hahn S G. A Certificate-based Signature Scheme[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2004, 2964:99-111
- [3] 陆阳,李继国,肖军模. 一个高效的基于证书的加密方案[J]. 计算机科学, 2009, 36(9): 28-31
- [4] Boneh D, Gentry C, Lynn B, et al. Aggregate and Verifiably Encrypted Signatures from Bilinear Maps[C]// Proceedings of Eurocrypt'03. Berlin: Springer-Verlag, 2003:416-432
- [5] Liu J K, Baek J, Zhou J. Certificate-based Sequential Aggregate Signature[C]// Proceedings of WiSec'09. New York: ACM, 2009:21-28
- [6] 赵昌安,张方国. 双线性对有效计算研究进展[J]. 软件学报, 2009, 20(11):3001-3009
- [7] Savvides A, Han C-C, Strivastava M B. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors[C]// Proceedings of ACM MobiCom. New York, NY, USA, 2001:166-179
- [8] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AoA[C]// Proceedings of ACM INFOCOM. San Francisco, California, USA, 2003:1734-1743
- [9] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks[C]// Proceedings of ACM MobiCom, San Diego, California, USA, 2003, 81-95
- [10] Niculescu D, Nath B. DV-based Positioning in Ad hoc Networks [J]. Kluwer Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22: 267-280
- [11] Nagpal R, Shrope H, Bachrach J. Organizing a Global Coordinate System from Local Information on an Ad Hoc Sensor Network [J]. Information Processing in Sensor Networks, 2003, 2634: 333-348
- [12] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5):28-34
- [13] Bergamo P, Mazzini G. Localization in sensor networks with fading and mobility[C]// The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Lisboa, Portugal, 2002:750-754
- [14] Datta S, Klinowski C, Rudafshani M, et al. Distributed localization in static and mobile sensor networks[C]// IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications. Montreal, Canada, 2006:69-76
- [15] Hu Ling-xuan, Evans D. Localization for Mobile Sensor Networks[C]// Proceedings of ACM MobiCom. Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2004:45-57

(上接第 52 页)

**结束语** 移动无线传感器网络节点的移动特性使得节点的精确定位面临更大的挑战。本文以插值模拟为理论基础对 MCL 算法进行了改进,提出了采样区域自调整的蒙特卡洛节点定位算法(SA\_MCL)。SA\_MCL 算法对节点的历史位置信息进行插值模拟以获得节点的速度和运动方向,然后自动调整采样区域进行节点定位。仿真实验结果证明,SA\_MCL 算法能够适应移动无线传感器网络的特点,在节点最大速度相同、锚节点密度相同、节点密度相同的情况下,SA\_MCL 算法比 MCL 算法能够提供更加精确的定位服务。在获得相同定位精度的要求下,SA\_MCL 算法需要的采样点数比 MCL 需要的少,从而降低了对节点存储能力的要求,降低节点的硬件成本。下一步的工作是研究运动模型及动态特性对算法健壮性、网络能耗等的影响,以使其在更加真实的网络环境中得到较好的结果。

## 参考文献

- [1] 王福豹,史龙,任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5):857-868
- [2] Butler Z, Corke P, Peterson R, et al. Networked Cows: Virtual-Fences for Controlling Cows[C]// Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. Boston, Massachusetts, USA, 2004, 5:4429-4436
- [3] Bahl P, Padmanabhan V. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]// Proceedings of ACM INFOCOM. Tel Aviv, Israel, 2000:775-784
- [4] Ward A, Jones A, Hopper A. A new location technique for the active office[J]. IEEE Personal Communications, 1997, 4(5):42-47