

# 信号强度和运动向量结合的无线传感器网络移动节点定位

李东岳<sup>1,2</sup>, 王英龙<sup>1</sup>, 魏 诺<sup>1</sup>, 刘颖慧<sup>1,3</sup>, 于 伟<sup>1,4</sup>, 郭 强<sup>1</sup>

(1. 山东省计算中心, 山东济南 250014; 2. 山东轻工业学院, 山东济南 250000;  
3. 山东科技大学, 山东青岛 266510; 4. 山东师范大学, 山东济南 250000)

**摘 要:** 无线传感器网络的定位是近年来无线传感器网络研究的重要课题. 本文首先介绍了无线传感器网络的来源、重要性以及无线传感器网络定位的分类. 然后提出了一种全新定位算法, 信号强度和运动向量结合的无线传感器网络移动节点定位, 简称 SSMV 算法, 在外围布置四个锚节点, 得用信号强度和未知节点在运动中向量的变化, 对锚节点在内的未知节点进行定位, 并对该算法进行了仿真和总结. 通过与凸规划法进行比较, 仿真结果表明, 该算法有更高的定位精度.

**关键词:** 无线传感器网络; 移动节点; 定位

**中图分类号:** TP393      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112 (2010) 2A-221-04

## Localization Algorithm for Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks Based on Single Strength and Motion Vector

LI Dong-yue<sup>1,2</sup>, WANG Ying-long<sup>1</sup>, WEI Nuo<sup>1</sup>, LIU Ying-hui<sup>1,3</sup>, YU Wei<sup>1,4</sup>, GUO Qiang<sup>1</sup>

(1. Shandong Computer Science Center, Jinan, Shandong, 250014, China; 2. Shandong Institute of Light Industry, Jinan, Shandong, 250000, China; 3. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China; 4. Shandong Normal University, Jinan, Shandong, 250000, China)

**Abstract:** In recent years, the position of wireless sensor is an import issues in wireless sensor network (WSN). This article first introduced the source of wireless sensor networks, and the importance of position classification. and then this paper proposed the new method location algorithm, localization algorithm for mobile nodes in wireless sensor networks based on single strength and motion vector (named as SSMV), which deploy four anchor nodes in the external, use the signal strength and the change of node vector in motion to locate the unknown nodes, and simulate the algorithm and conclude. The simulation results with the convex programming method of comparison, the results show that the algorithm has higher positioning accuracy.

**Key words:** wireless sensor network; mobile nodes; localization

## 1 引言

无线传感器网络<sup>[1]</sup> (wireless sensor network, 简称 WSN) 是由微机电系统、片上系统、无线通信和低功耗嵌入式的飞速发展而产生. 随着无线传感器网络的发展, 它也被应用到更广阔的领域: 生态环境监测、反恐的信息收集、火灾地震的人员求助、地下煤矿信息采集和预测等生活的方方面面, 已成为各发达国家研究的重点和热点<sup>[2,3]</sup>.

近年来, 位置定位被无线传感器研究者视为最重要的课题之一. 在部署了大量节点的无线传感器网络中, 定位往往是必须的<sup>[4]</sup>, 不携带位置信息的数据通常是无效的.

无线传感器网络定位中一般分为<sup>[5]</sup>: 基于测距的定位 (range-based) 和无须测距的定位 (range-free). 基于距离的常用测距技术有: 接收信号强度 (RSSI), 已知发射

功率, 在接收节点测量接收功率, 计算传播损耗, 使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转化为距离; 到达时间 (TOA) 定位, 通过测量信号传播时间来获得距离信息, 因此需要节点间精确的时间同步. GPS 就是一个采用 TOA 技术实现的定位系统; 时间差 (TDOA), 一般是在节点上安装超声波收发器和 RF 收发器, 两种收发器同时发射信号, 利用声波与电磁波在空气中传播速度的巨大差异在接收端通过记录两种不同信号到达时间的差异, 基于已知信号传播速度, 直接把时间转化为距离. 而此技术又受到超声波传播距离的限制; 到达角度 (AOA), 使得邻居节点之间估计和映射相对的角度信息, 这是一种估算邻居节点发送信号方向的技术, 可通过天线阵列或多个接收器结合来实现.

基于距离的有关算法有着一定的局限性<sup>[6]</sup>: RSSI

定位的主要误差来源是环境所造成的建模复杂性:反射,多径传播、非视距等问题都会对相同的距离产生不同的能量传播消耗.TOA 往往会用到 GPS,而 GPS 有在以下地点会受到限制<sup>[7]</sup>:在地下,比如隧道,沙坑,或洞穴,在水下,条件恶劣的户外环境,如山谷,森林和峡谷等,这些环境都不适 GPS 定位.GPS 大量的能耗也会缩短节点的生命周期.

无须测距的定位技术有:DV-hop 算法,将未知节点到锚节点之间的距离用网络平均每跳距离和两者之间的路数乘积表示;MDS-MAP 定位,是一种集中式定位算法,可以在基于测距和无须测距两种情况下运行,并可根椐情况实现相对定位和绝对定位;凸规划定位算法,将节点间点到点的通信连接视为节点位置的几何约束,把整个网络模型化为一个凸集,从而将节点定位问题转化为凸约束优化问题,然后使用半定规划和线性规划方法得到一个全局优化的解决方案,确定节点的位置.凸规划算法是无须测距定位常用的方法之一.

基于测距的定位算法需要测量相邻节点间的绝对距离或方位,并利用节点实际距离来计算节点位置;后者无需测量节点间的绝对距离或方位,而是利用节点间的估计距离计算节点位置.而且无须测距的定位算法基本不需要额外的硬件.本文提出了一种无须测距的新的定位算法:信号强度和运动向量相结合的无线传感器网络移动节点定位(Localization Algorithm for Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks Based on Single Strength and Motion Vector 简称 SSMV).

## 2 SSMV 算法

将四个已知锚节点:  $N_1, N_2, N_3, N_4$  布置成正方形,如图 1 所示,未知节点为  $U$  在其中移动.其中  $N_1$  与  $N_2$  相距  $D_1$ ,  $N_1$  的通讯半径为  $D_2$ ;  $D_1 > D_2 > (N_2, N_4)/2$  (若  $D_2$  小于这个区域的话,则无法保证  $U$  在正方形中心的时候,能接收到所有的信号;若  $D_2$  大于等于这个区域的话,则精确度下降);通讯时间相隔  $t$ .

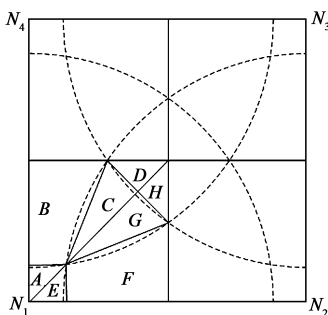


图1 根据信号强度划分区域

### 2.1 SSMV 算法原理

(1)据信号强度将  $N_1N_2N_3N_4$  所组成的正方形划分

成若干个区域,然后确定未知节点  $U$  所在的区域组成的多边形  $P$ .

(2)点  $U$  在正方形中移动时,  $U$  会判断它所能接收到的信号强弱,若  $U$  接收到的信号强度越强,则  $U$  记录其锚节点的位置;接收到的信号强度越弱,设  $U$  从一个位置到现在的位置的向量为  $\vec{S}_1\vec{S}_2 = (x_a, y_a)$ <sup>[8,9]</sup>,则  $U$  记录上一个位置的锚节点位置加上向量  $\vec{S}_1\vec{S}_2$ ,即  $\vec{NN}' = \vec{S}_1\vec{S}_2 = (x_a, y_a)$ ,可以得到;  $N' = (x_n', y_n') = (x_a + x_n, y_a + y_n)$ .

(3)在得到三个以上的锚节点位置时,会组成一个三角形  $T$  或一个四边形  $Q$ .最后由  $P$  和  $T$  或  $Q$  相交得到一个多边形  $Z$ ,则  $Z$  的中心为  $U$  所在位置;若  $T$  和  $Q$  没有形成,或  $P$  和  $T$  或  $Q$  不相交,则多边形  $P$  的中心为  $U$  所在的位置.

### 2.2 SSMV 算法步骤

以图 1 中  $N_1$  所在的四分之一区域为例:

(1)先根据信号强度确定未知节点  $U$  所在的一个多边形  $P$

(i) 如果  $U$  与  $N_1, N_2, N_3, N_4$  之间信号强度相等,则  $U$  在中心位置

(ii) 只接收 1 个信号时,则  $U$  一定在与其相邻的  $N_2, N_4$  通信区域外,  $U$  在 AE 区域,则  $P$  为 AE 区域所组成的四边形.

(iii) 只接收 2 个信号时

假设接收信号的是  $N_1, N_2$ .则  $U$  在 F 区域,则多边形  $P$  为 F 区域的边所组成的梯形.

假设接收信号的是  $N_1, N_4$ .则  $U$  在 B 区域,则多边形  $P$  为 B 区域的边所组成的梯形.

(iv) 只能接受 3 个信号时

假设接收信号的是  $N_1, N_2, N_3$ .如图 1 不可能出现种情况,因为在  $N_4$  以外的区域,只有 EF,而 EF 都不在  $N_3$  的范围内.

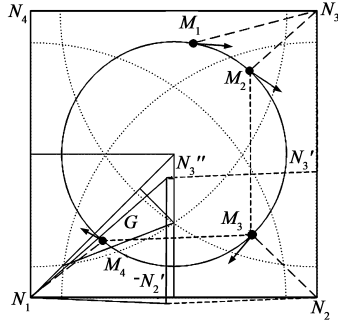
假设接收信号的是  $N_1, N_2, N_4$ .则 CG 区域,若  $N_2 > N_4$ ,则  $U$  在 G 区域,则  $P$  为 G 区域所组成的三角形;若  $N_2 < N_4$ ,则  $U$  在 C 区域,则  $P$  为 C 区域所组成的三角形,若  $N_2 = N_4$ ,则  $U$  在 CG 的中心,则  $P$  为 CG 区域所组成的三角形.

(v) 接收 4 个信号时

假设接收信号的是  $N_1, N_2, N_3, N_4$ .则  $U$  在 DH 区域.若  $N_2 > N_4$ ,则  $U$  在 H 区域,  $P$  为 H 区域所组成的三角形;若  $N_2 < N_4$ ,则  $U$  在 D 区域,  $P$  为 D 区域所组成的三角形;若  $N_2 = N_4$ ,则  $U$  在 DH 的中心,  $P$  为 DH 区域所组成的三角形.

(2)再根据  $U$  在移动过程中所接收到的信号,确定一个三角形  $T$  或一个四边形  $Q$ .

假设  $U$  的位置坐标为  $M_1(x, y)$ , 如图 2 所示, 若  $U$  收到的  $N_3$  的信号强度越大, 即  $U$  与  $N_3$  越近,  $U$  由  $M_1$  运动到  $M_2(x + x_a, y + y_a)$ ,  $U$  在  $M_2$  收到的信号强度大于在  $U$  在  $M_1$  收到的信号强度, 则  $U$  仍记录  $N_3$  相对于  $U$  的位置为  $(D_1, D_1)$ , 当  $U$  运动到  $M_3(x + x_a + x_b, y + y_a + y_b)$ ,  $U$  接收信号强度与以前所接受到的信号强度做相比较, 信号强度弱了, 则  $U$  记录  $N_3$  的位置跟随  $U$  的向量移动,  $U$  从  $M_2$  到  $M_3$  移动了  $(x_b, y_b)$ , 则记  $N_3'$  的位置为  $(D_1 + x_b, D_1 + y_b)$ . 当  $U$  记录信号来自三个节点时, 如图 2 所示, 生成一个三角形  $T$ , 即  $\Delta N_3''N_2'N_1$ . 当接收到四个锚节点时, 会生成四边形  $T$ . 当  $U$  越接近四个锚节点时, 所形成的三角形  $T$  或四边形  $Q$  会越小.



的位置定位为: 以  $P$  与  $T$  或  $Q$  相交后所形成的多边形的中心. 如图 2 所示, 三角形  $\Delta N_3''N_2'N_1$  与三角形  $G$  相交, 得新的多边形, 新多边形的中心为估计定位位置.

### 3 仿真分析

本节以 Matlab 平台进行仿真实验并分析算法的性能, 最后在相同的环境下与凸规划算法进行比较, 进一步验证该算法的优越性.

设锚节点之间距离为  $D_1 = 100\text{m}$ , 锚节点的通讯半径为  $D_2 = 80\text{m}$ . 如图 3 所示, 未知节点以螺旋曲线的方式, 由中心到边上匀速运动  $1\text{m/s}$ .

$$\text{节点的误差为: } error = \sqrt{(x_e - x_r)^2 + (y_e - y_r)^2},$$

$$\text{定位精度为: } \text{Positioning Accuracy} = \frac{\sqrt{(x_e - x_r)^2 + (y_e - y_r)^2}}{D_2}$$

其中  $x_e, y_e$  表示节点的估计定位,  $x_r, y_r$  代表节点的真实位置,  $D_2$  为通讯半径.

节点的定位误差如图 4 所示: 图中很明显有两条定位误差所形成的曲线, 都是先减小后增大. 图 1 被分割成许多小的多边形, 未知节点先开始在整个多边形的位置, 随着节点的移动, 越来越靠近每个多边形的中心位置, 而后又渐渐远离, 所以会有先减小后增大的趋势.

若  $U$  在  $N_2, N_3, N_4$  区域里, 以类推.

(3) 若  $U$  没有接收到三个信号, 则  $U$  的位置定位为  $P$  的中心; 若  $U$  接收到三个或四个信号, 则  $U$

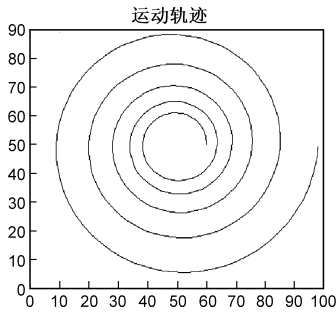


图3 节点的运动轨迹

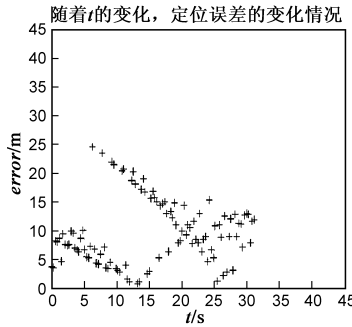


图4 SSMV算法

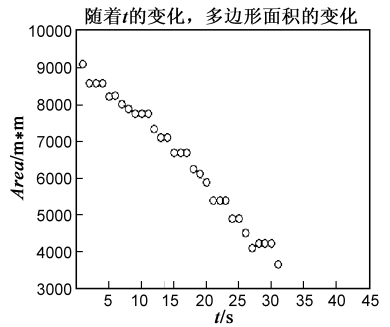


图5 多边形面积的变化

由一个多边形运动到另一个多边形时, 就形成了在一个时间段内, 有两条变化的曲线. 由于开始的时候, 在运动中所形成的多边形  $T$  或  $Q$  面积很大, 对节点误差的变化影响不大, 但随着节点以螺旋曲线的方式

运动, 越来越接近锚节点,  $T$  或  $Q$  的面积越来越小, 如图 5 所示. 当  $t$  运动到 25 以后, 随着多边形面积的稳定, 节点的误差也越来越稳定, 误差定位在  $5 \sim 15$  之间.

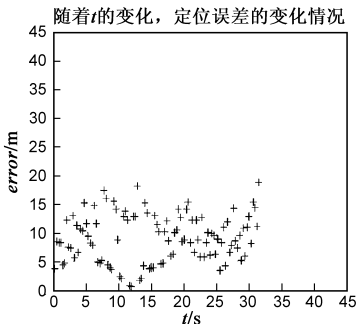


图6 利用SSMV算法, 逆向运动时的误差变化

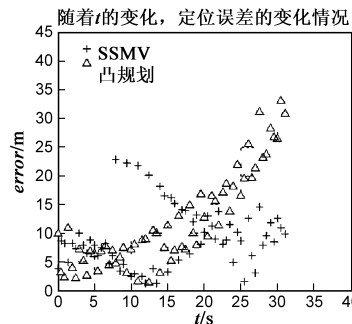


图7 SSMV与凸规划算法进行比较

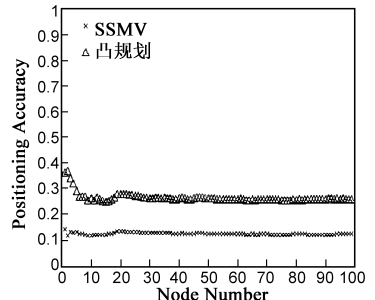


图8 SSMV与凸规划算法定位精度的比较

若节点从螺旋曲线外围开始向中心移动,如图 6 所示,节点的定位误差分布在 5-15 之间,最大的误差没有超过 20,证明了节点的运动中,越接近锚节点,则定位误差会越小。

从图 7 中,我们可以看到,使用凸规划算法和 SSMV 算法在刚开始时定位误差相差不大,但在节点运动中,节点在远离中心位置后,凸规划算法误差总体上会越来越大。因为使用凸规划算法,越靠近中心位置,节点的误差越小。随着  $t$  的变化,SSMV 算法体现其优势,未知节点越来越靠近锚节点,所形成的  $T$  或  $Q$  越来越小,进一步缩小未知节点所在的区域,降低未知节点的定位误差。

100 个节点在正方形区域内运动,随着节点的增加,凸规划和 SSMV 算法的平均定位精度的变化如图 8 所示,SSMV 算法定位精度比凸规划方法高 2 倍多。

因此,根据比较后的结果,进一步证明本文的算法更优。

#### 4 结论

目前的算法大多都是节点的静态定位,本文提出了一种基于信号强度和向量结合的无线传感器网络移动节点的定位算法,先利用移动节点接收信号强度的不同,确定未知节点的区域;根据节点在移动中向量和信号强度的变化得到节点所在的大体区域;再由两个相交后的区域来确定未知节点的位置,最后进行了仿真分析。结果表明,该算法定位精度高,需要的锚节点数量也较少,从而减少成本和通信开销。

从实验中我们可以得到:未知节点在运动中,越靠近锚节点,形成的多边形  $T$  或  $Q$  会越小,定位精度会越高;如果未知节点的运动中,如果始终远离锚节点较远,那么节点在运动中会无法形成多边形  $T$  或  $Q$  或生成的多边形较大,只能依靠信号强度来确定大体区域,无法进一步降低定位误差。对于这个问题,将是下一步需要研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] 孙利民等编著. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] Wei Wang, Srinivasan V, Bang Wang, Kee-Chaing Chua, Coverage for target localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2008, 7(2): 667 - 676.
- [3] Yi Qian, Kejie Lu, Tipper D., A design for secure and survivable wireless sensor networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(5): 30 - 37.

- [4] Younis M. F., Ghumman K., Eltoweissy M., Location-Aware Combinatorial Key Management Scheme for Clustered Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(8): 865-882.
- [5] 段渭军,王建刚,王福豹. 无线传感器网络节点定位系统与算法的研究和发展[J]. 信息与控制. 2006, 02: 239 - 345.
- [6] 史龙,王福豹,段渭军等. 无线传感器网络 Range-Free 自身定位机制与算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 23: 127 - 130.
- [7] Jun-geun Park; Demaine, E. D. Teller, S. Moving-Baseline Localization[A]. Information Processing in Sensor Networks[C]. IPSN '08. International Conference on, 2008. 15 - 16.
- [8] Chia-Ho Ou. Range-free node localization for mobile wireless sensor networks[A]. Wireless Pervasive Computing, ISWPC 2008[C]. 3rd International Symposium on, 2008. 1 - 8.
- [9] B. A. Van Der Pluijm and S. Marshak, Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics[M]. New York: W W Norton & Co Inc, 2003.

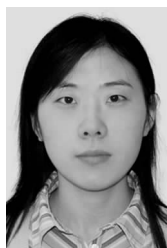
#### 作者简介:



**李东岳** 男, 1982 年生于山东济宁, 山东轻工业学院在读硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络。  
E-mail: lidy@keylab.net



**王英龙** 男, 汉族, 1965 年生于山东菏泽, 山东大学信息科学与工程学院博士, 研究员, 博士生导师。现任山东省科学院副院长, 山东省信息系统测评工程技术研究中心主任, 兼任省信息化专家组成员、山东计算机学会副理事长兼秘书长、中国计算机学会嵌入式系统专委会、山东省信息标准化技术委员会副主任委员、山东省电子政务建设特邀专家、济南市客座信息化专家委员会委员。



**魏诺** 女, 1982 年生于枣庄, 毕业于中国海洋大学, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网络。  
E-mail: wein@keylab.net