

# 一种改进的最大簇中心定位算法

周少武, 黄博微, 周明辉

(湖南科技大学信息与电气工程学院, 湖南 湘潭 411201)

**摘要:** 针对煤矿井下人员定位困难以及现有定位算法存在较大定位误差的问题, 基于非测距定位技术提出一种改进的最大簇中心定位算法。该算法利用接收信号强度指示器的输出值对移动节点在定位区域中的位置进行归类, 改进簇的生成条件和归类逻辑以解决现有定位算法存在的定位盲点问题。数值仿真与实验结果表明, 该算法具有较高定位精度, 适合于井下复杂多变的通信环境。

**关键词:** 中心定位算法; 最大簇; 网络连通性; 接收信号强度指示器

## Improved Maximal Cluster Center Positioning Algorithm

ZHOU Shao-wu, HUANG Bo-wei, ZHOU Ming-hui

(College of Information and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**【Abstract】** Considering the facts that the terrain under the coal mine personnel orientation is difficult to locate, and the existing algorithm is highly positioning error, this paper designs an improved maximal-cluster centered positioning algorithm based on range-free technology. By using the output of Receive Strength Signal Indicator(RSSI), this algorithm classifies the position of moving nodes in the locating area. By means of the improved cluster generating condition and classification logic, this algorithm solves the locating blind spots problems which are not solved efficiently in the existing literatures. Results of numerical simulation and experimentation indicate that this algorithm is of high accuracy of location and it is adapt to complex communication condition under coal mine.

**【Key words】** center positioning algorithm; maximal cluster; network connectivity; Received Signal Strength Indicator(RSSI)

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.17.073

### 1 概述

无线传感器网络定位算法从定位机制上可分为 2 类——测距定位和非测距定位。测距定位法需要利用节点上的传感器测量移动节点与信标节点之间的距离或角度信息, 然后用三边测量法、三角测量法或极大似然估计法计算移动节点的位置。非测距定位法无需测量移动节点与信标节点之间的位置或角度, 仅须根据网络连通性、信号强度等信息实现节点的定位<sup>[1-2]</sup>。

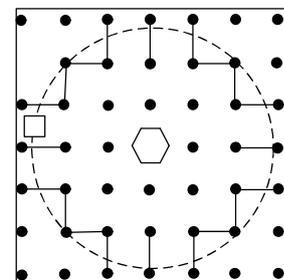
一般来说, 测距定位法在定位的精确性上高于非测距定位法, 不过这种精确性是建立在高成本的硬件设备的基础之上, 而且矿井环境复杂多变, 测量的参数越多越容易因为信号的多径传播而引入误差。在这点上, 非测距定位法有极大的优势, 由于不需要测得精确的距离, 因此硬件设备的成本极大降低, 方便于大面积安装, 而定位的精度可以由算法保证。目前, 常用的非测距定位算法有凸规划<sup>[3]</sup>、DV-Hop<sup>[4]</sup>等。凸规划算法要求定位网络中的发出广播信号的参考节点位于网络边缘, 否则节点位置估算会向网络中心偏移, 这个要求对矿井下复杂地形中的网络布设十分不利。DV-Hop 算法仅在各项同性的密集网络中才能正确进行定位<sup>[5]</sup>, 而在矿井下因为气体浓度, 岩层成分等的影响, 这个条件是难以保证的。本文提出一种用于煤矿井下人员定位的基于 Zigbee 的非测距定位技术, 并改进最大簇中心定位算法<sup>[6]</sup>, 使其更适应井下环境的应用。

### 2 最大簇中心定位算法

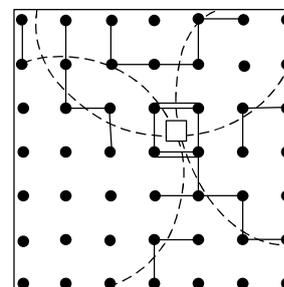
#### 2.1 定位依据

在最大簇中心定位算法<sup>[6]</sup>中, 交换节点和参考节点的位置是事先固定好的。交换节点不断广播含有自己 ID 的信号,

所有的参考节点和移动节点都接收并将接收到的信号强度和自己的 ID 发送回交换节点。定位系统的结构和原理见图 1。



(a) 定位系统的结构



(b) 定位原理示意图

图 1 定位系统的结构和原理

**基金项目:** 国家科技支撑计划基金资助项目(2007BAK23B03); 湖南省自然科学基金资助项目(09JJ9012)

**作者简介:** 周少武(1964—), 男, 教授、博士, 主研方向: 复杂系统控制, 无线定位; 黄博微、周明辉, 硕士研究生

**收稿日期:** 2011-03-17 **E-mail:** shaowuzhou@163.com

在图 1(a)中,小圆点表示参考节点;六边形表示交换节点;方形表示移动节点;虚线圆表示与移动节点所接收到的交换节点信号强度相等的位置。这里假设交换节点所发出的广播信号的覆盖范围是一个标准圆,然后把处在虚线圆两边的相邻参考节点用线连起来,这根连接两两参考节点的线称为定位辅助线,每条定位辅助线的权重为 1。那么,一个交换节点至少能在移动节点周围 4 个参考节点组成的矩形区域中形成 2 根定位辅助线。

图 1(b)表示 3 个交换节点所形成的定位辅助线,在这种情况下,移动节点周围参考节点形成的矩形区域中至少存在 6 根定位辅助线。由图 1(a)、图 1(b)可以发现,在移动节点的附近存在的定位辅助线比其他位置更多。最大簇中心定位算法是利用这个原理进行定位。

**2.2 定位算法存在的问题**

虽然最大簇中心定位法简单易用,且对设备的要求不高,但是它存在一些定位盲点。比如,当移动节点处于两参考节点连线的正中间时,或者当移动节点处在某一参考节点的位置时,最大簇中心定位算法会出现定位错误的现象。

这种情况称为归类错误,这种错误的出现是因为定位算法在生成簇时出现了问题而造成的定位失败。最大簇中心定位算法其实是利用簇这个概念对定位区域分成 2 类:

- (1)移动节点可能存在的区域,这是生成簇的区域;
- (2)移动节点不可能存在的区域,这是没有生成簇的区域。

然后对所有的区域进行归类,归类完成后在所有的簇中找到权重最大的簇并计算出定位结果。

但是,当移动节点处在某些特殊位置时,没有一个交换节点和移动节点产生的等信号线经过移动节点左边 2 个和右边 2 个参考节点之间,如图 2 所示。由最大簇中心定位算法可知,这里就不会生成定位辅助线,不满足生成簇的条件,导致结果错误。

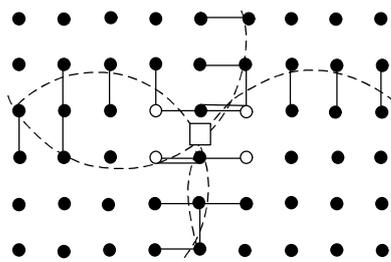


图 2 错误归类示意图

当移动节点处于参考节点的位置时,没有一个簇能很好地包含移动节点所处的区域,而最大簇中心定位算法依然会选择 一个最重簇的质心作为移动节点的位置,这样就会造成很大的定位误差。

**3 最大簇中心定位算法的改进**

令  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$  为移动节点所能检测到的全部交换节点,定位系统中的其他节点接收到它们广播的信号强度以接收信号强度指标器(Received Signal Strength Indicator, RSSI)值计算。

移动节点  $X$  接收到交换节点信号强度的 RSSI 值为  $\langle (b_1, \mu_1), (b_2, \mu_2), \dots, (b_n, \mu_n) \rangle$ ,  $d$  是定位区域中的任一参考节点,接收到这些交换节点的 RSSI 为  $\langle \mu(b_1, d), \mu(b_2, d), \dots, \mu(b_n, d) \rangle$ ,那么改进最大簇中心定位算法所需要的关键量如下:

(1)  $V_B$  表示在交换节点  $b_1, b_2, \dots, b_n$  信号覆盖范围内的全部参考节点。

$$(2) E_B = \{(u, v) \mid u, v \text{ 是 } V_B \text{ 的 2 个相邻的参考节点}\}$$

对于任意  $e = (u, v) \in E_B$ , 连接它们的定位辅助线权重为  $W_{(B,X)}(e) = k$ , 如果存在  $k$  个交换节点  $b_{\pi(1)}, b_{\pi(2)}, \dots, b_{\pi(k)}$  使得:

$$\max(\mu(b_{\pi(i)}, u), \mu(b_{\pi(i)}, v)) > \mu_{\pi(i)} > \min(\mu(b_{\mu(i)}, u), \mu(b_{\pi(i)}, v)) \quad (1)$$

那么式(1)为定位辅助线权重的判决式,改进最大簇中心定位算法中定位辅助线生成的条件更严格,当等信号线经过一个参考节点上时,不会在该参考节点周围生成权重大于 1 的定位辅助线,因此,出现在 2 个参考节点正中或一个参考节点的位置的移动节点不会因为过多的定位辅助线而被错误地归类。

改进最大簇中心定位算法的基本步骤如下:

(1)为了准确地定位处于参考节点位置的移动节点,在接收到移动节点的定位数据后,对移动节点与参考节点数据库中全部的参考节点进行匹配,如果对每个  $1 \leq i \leq n$  都有:

$$\mu_i = \mu(b_i, d) \pm \Delta \quad (2)$$

那么这个参考节点  $d$  的位置是移动节点的位置。式(2)为移动节点是否在参考节点位置判决式,  $\Delta$  是一个阈值,用来平衡干扰或节点布设位置不同所带来的误差。如果没有一个参考节点能够与移动节点匹配,那么进行下一步。

(2)生成全部的定位辅助线和簇。因为归类错误问题是由于簇的生成方法引起的,所以需要调整簇的生成方法进行调整。

由于移动节点可能出现在定位区域中的任何位置,因此将定位区域中所有由 4 个参考节点确定的最小矩形区域认为是簇,这样在生成簇时全部的定位区域都会被簇所覆盖。

(3)进行最重簇定位。若待定位的区域中的由移动节点和交换节点产生的定位辅助线分布图是  $P_{(B,X)} = \langle V_B, E_B, W_{(B,X)} \rangle$ , 它们的权重由判决式(1)决定。 $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  是这个图中生成的全部的簇,  $C_i = \langle V_{c(i)}, E_{c(i)} \rangle$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , 那么对每个簇  $C \in P_{(B,X)}$  它的权重为组成它的 4 条定位辅助线的权重之和  $W_{c(i)} = \sum_{e \in E_{c(i)}} W_{(B,X)}(e)$ 。

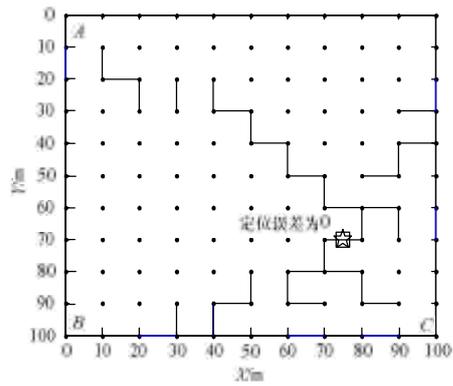
比较这  $n$  个簇的权重:如果能找到唯一的最重簇,取最重簇的质心作为移动节点的位置;如果权重最大的是 2 个相邻的等重簇,则取这 2 个簇所组成的大矩形的质心为移动节点的位置。这种经过改进的最大簇中心定位算法将没有定位盲点,更适合井下复杂环境的定位。

**4 数值仿真与实验结果分析**

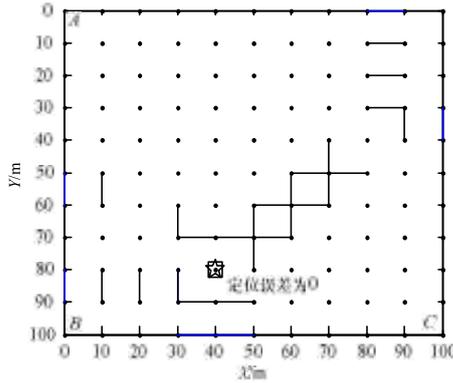
假定定位区域为一块  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  的正方形平面。交换节点处在正方形的  $A, B, C, D$  4 个顶点处,参考节点的间隔为 5 m, RSSI 值由 IEEE 802.15.4 给出的简化信道模型<sup>[7]</sup>公式计算:

$$RSSI(d) = \begin{cases} P_t - 40.2 - 10 \times 2 \times \lg d & d \leq 8 \text{ m} \\ P_t - 58.5 - 10 \times 3.3 \times \lg d & d > 8 \text{ m} \end{cases} \quad (3)$$

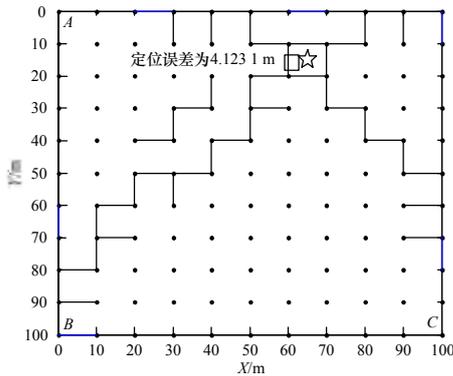
最大簇中心定位算法的仿真结果比较见图 3,限于篇幅,这里只选取部分仿真结果。从图 3(a)和图 3(b)可以看出,原始的算法由于归类错误造成的定位盲点,在改进后的算法中已经不存在。从图 3(c)和图 3(d)可以看出,在定位处在一般位置的移动节点时,改进后的算法比原始的算法减少了 50% 左右的误差。



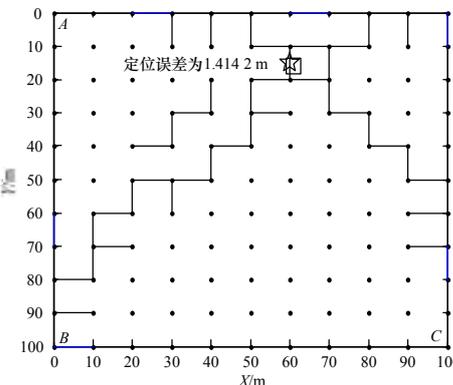
(a)移动节点在两参考节点之间



(b)移动节点在参考节点的位置上



(c)原最大簇中心定位算法结果



(d)改进最大簇中心定位算法结果

图 3 最大簇中心定位算法的仿真结果比较

为了找出影响最大簇中心定位算法误差的因素进行以下实验, 利用自行设计的 Zigbee 无线定位模块, 分别用 2 个、3 个和 4 个交换节点, 在参考节点距离分别为 20 m、10 m 和 5 m 时, 移动节点随机移动 100 次计算它们的定位误差, 实验结果如表 1 所示。

交换节点数	定位误差		
	参考节点距离=20 m	参考节点距离=10 m	参考节点距离=5 m
2	12.10	10.38	6.44
3	6.21	3.03	1.46
4	6.42	3.07	1.68

由表 1 实验结果可以看出, 交换节点数量和参考节点的密度是影响定位结果的因素。当交换节点数量为 2 个时, 虽然可以定位, 但是误差极大。

但当交换节点数量超过 3 个时, 对定位结果的影响可以忽略不计。而参考节点的密度对定位结果始终有很大影响, 定位误差与参考节点密度呈反比关系。但是, 参考节点密度越大导致定位计算时间越长, 这是对实时定位不利的, 因此, 应该按需设置参考节点的密度。

### 5 结束语

本文提出一种用于煤矿井下人员定位的基于 Zigbee 的改进最大簇中心定位算法。数值仿真结果验证了本文方法的有效性。并且该算法对移动节点的定位只需要依据无线电信号的强度, 所需要的设备简单、定位无盲点, 且定位精度和定位时间都可由用户自行调整。今后将研究矿井复杂环境下信号衰减对定位精度的影响, 以及井下复杂巷道情况下参考节点的布置和相对定位问题。

### 参考文献

- [1] 张治斌, 徐小玲, 阎连龙. 无线传感器网络人员定位算法[J]. 煤炭学报, 2009, 34(1): 125-128.
- [2] 孔 军, 季海波. 基于加权变尺度法的无线传感器网络定位[J]. 计算机工程, 2009, 35(21): 108-110.
- [3] Doherty L, Pister K S J, Ghaoui L E. Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks[C]//Proc. of the 20th Annual Joint Conference of Computer and Communications Societies. Anchorage, USA: IEEE Press, 2001: 1655-1663.
- [4] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1-4): 267-280.
- [5] 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.
- [6] Jin Minghui, Wu Hsiao-Kuang, Liao Yunbin, et al. 802.11-based Positioning System for Context Aware Applications[C]//Proc. of Global Telecommunications Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2003: 929-933.
- [7] Zigbee Alliance. Zigbee Document 053474r13[EB/OL]. (2006-12-01). <http://www.zigbee.org/Specifications.aspx>.

编辑 陆燕菲