

无线传感器网络质心定位新算法及性能分析

张爱清^{1*}, 叶新荣^{1,2}, 胡海峰²

(1. 安徽师范大学 物理与电子信息学院, 安徽 芜湖 241000; 2. 南京邮电大学 通信与信息工程学院, 南京 210003)

(* 通信作者电子邮箱 aqzhang2006@163.com)

摘 要:针对锚节点非均匀分布的无线传感器网络质心定位算法定位精度较差的缺陷,提出一种新的质心定位算法——基于最小包围多边形定位(SEPL)算法。该算法以包围未知节点邻居锚节点的最小多边形质心作为未知节点的估计位置。仿真结果表明,SEPL算法可以有效改善锚节点分布不均匀时质心定位算法误差较大的问题,平均定位精度比一般的质心定位算法提高15%。

关键词:无线传感器网络;质心算法;定位误差;最小包围多边形

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A

Performance analysis of new centroid localization algorithm in wireless sensor network

ZHANG Ai-qing^{1*}, YE Xin-rong^{1,2}, HU Hai-feng²

(1. College of Physics and Electronic Information, Anhui Normal University, Wuhu Anhui 241000, China;

2. College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu 210003, China)

Abstract: Centroid Localization (CL) algorithm is a representative range-free localization algorithm in Wireless Sensor Network (WSN). To improve the localization accuracy of CL when anchors are unevenly distributed, Smallest Enclosing Polygon Localization (SEPL) algorithm was presented. In SEPL, the centroid of the smallest polygon which enclosed the neighbor anchors of the unknown node was regarded as the estimated location of the unknown node. The simulation results show that SEPL is robust when the topology of anchors is not uniform. The proposed algorithm outperforms CL by an average of 15% in localization accuracy.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); centroid algorithm; localization error; smallest enclosing polygon

0 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织网络系统。该网络能够实时监测、感知和采集网络分布区域内的各种环境或监测对象的信息,扩展了人们的信息获取能力,具有十分广阔的应用前景。在传感器网络的许多应用中,用户关心的一个重要问题是:在什么位置或区域发生了特定事件。因此,WSN节点自身定位是无线传感器网络从设计走向实际应用必须攻克的关键技术之一^[1]。

根据定位机制,可将现有的无线传感器网络自身定位算法分为 Range-Based 和 Range-Free 两类。Range-Based 首先通过测量节点间点到点的距离或角度信息,其中常用的测距方法有接收信号强度指示(Received Signal Strength Indicator, RSSI)^[2]、到达角(Arrival Of Angle, AOA)^[3]和到达时间差(Time Difference Of Arrival, TDOA)^[4],然后使用三边测量、三角测量或最大似然估计定位法计算节点位置。这类算法在获得相对精确定位结果时,对网络的硬件设施提出了较高的要求,产生了大量计算和通信开销。Range-Free 无需直接测量距离或角度信息,仅根据网络连通性等信息实现节点的定位,在成本和功耗方面比 Range-Based 定位方法具有优势^[5],而

且其定位精度对大多数 WSN 应用已足够,因此 Range-Free 定位算法得到了越来越广泛的关注。

质心定位(Centroid Localization, CL)算法^[6]完全基于网络的连通性,是一种典型的 Range-Free 定位算法。该算法原理简单,计算量和通信量较小,容易实现;但在网络节点非均匀分布时定位误差比较大,锚节点部署的位置对定位效果影响很大。为改善在锚节点非均匀分布时的定位效果,本文提出一种新的质心定位算法——基于最小包围多边形定位(Smallest Enclosing Polygon Localization, SEPL)算法。SEPL 算法可以有效改善锚节点分布不均匀时质心定位算法误差较大的问题。

1 质心定位及其改进算法

1.1 质心定位算法

质心定位算法的基本原理是:假设未知节点*i*周围有一定数量的锚节点,锚节点周期性地发出自身的位置坐标信息,未知节点通过记录所接收的锚节点信息来进行定位。计算公式为:

$$(x_i, y_i) = \left(\frac{x_{i1} + x_{i2} + \cdots + x_{in}}{n}, \frac{y_{i1} + y_{i2} + \cdots + y_{in}}{n} \right) \quad (1)$$

其中: (x_i, y_i) 为未知节点*i*的估计坐标, (x_{ik}, y_{ik}) 为未知节点*i*通信范围内锚节点的坐标($k = 1, 2, \cdots, n$)。

收稿日期:2012-03-23;修回日期:2012-05-12。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61071092);高等学校省级优秀青年人才基金资助项目(2010SQRL030);安徽省高等学校省级自然科学研究项目(KJ2010B361, KJ2010B358, KJ2012B069);安徽师范大学创新基金资助项目(2011cxjj08)。

作者简介:张爱清(1982-),女,安徽安庆人,讲师,硕士,主要研究方向:无线传感器网络;叶新荣(1976-),男,安徽安庆人,讲师,博士研究生,主要研究方向:无线通信信号处理;胡海峰(1973-),男,安徽六安人,副教授,博士,主要研究方向:无线传感器网络、分布式信号处理。

1.2 现有的质心改进算法

质心定位算法基于在锚节点均匀分布的情况下,得到了令人满意的仿真定位精度。然而,在大多数实际应用中,锚节点是非均匀分布的。为提高质心算法在锚节点非均匀分布时的节点定位精度,以文献[7-12]为代表对质心定位算法作了改进,取得了一些研究成果。

文献[7-10]属于加权质心算法。文献[7]结合无线信道传输模型和节点的 RSSI 值,将 RSSI 的比值作为权重因子进行定位。文献[8]由 RSSI 值判断最近的锚节点,将该节点当作未知节点计算定位误差,以该误差为权重计算未知节点的补偿误差,从而减小质心定位误差。文献[9]以到达节点的时间差作为权重因子进行定位,提高节点随机分布时质心定位算法精度。文献[10]对单跳质心进行多跳扩展并加入场强加权过程和去中心化过程以提高定位精度。加权质心定位算法需要额外的 RSSI 值或到达节点的时间信息作为辅助手段进行定位,在一定程度上提高了定位精度,但是增加了硬件复杂度。同时,权重因子受无线信道模型能否近似描述实际信道特征和具体无线信道环境的影响较大。文献[11]结合三角形内点测试原理提出一种基于三角形内点(Point in Triangle, PIT)测试的质心定位算法,优化了锚节点对定位的影响,使锚节点随机分布时的定位精度有了较大提高。但 PIT 测试是建立在网络节点布局密集的前提下,如果网络节点过于稀疏,此方法将会失效。文献[12]是一种自适应质心定位算法,适合于基于移动锚节点的无线传感器网络定位。

文献[13]提出基于最小包围圆的算法,该算法的基本思想是采用几何空间上覆盖所有锚节点的区域来估计目标位置,可以有效控制由于锚节点分布不均匀给定位精度带来的波动。本文参考该定位算法的思想,提出基于最小包围多边形的定位算法,缩小覆盖锚节点的几何区域,提高定位精度。

2 SEPL 定位算法

2.1 算法描述

基于最小包围多边形定位算法的基本思想是:根据未知节点周围处于通信范围内的锚节点构建最小包围多边形,以多边形的质心估计未知节点的位置。最小包围多边形是指给定一个平面中 n 个点的集合 S ,包围它们的面积最小的凸多边形。计算点集 S 最小包围多边形 $P(P_x, P_y)$ 的方法如下(P_x 为多边形各顶点横坐标依次组成的向量, P_y 为对应点纵坐标向量):

1) 如图1所示,先计算点集 S 的坐标均值 $O(O_x, O_y)$,取距离 $O(O_x, O_y)$ 最远的3点1,11,3分别作为 A, B, C 三点,组成 $\triangle ABC$ 作为过渡多边形 $T(T_x, T_y)$,图1中用虚线表示。

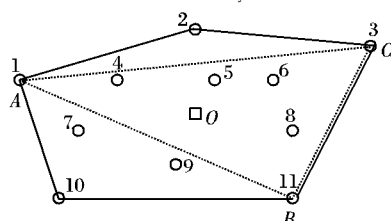


图1 最小多边形生成原理

2) 判断点集 S 中所有点是否在 T 内,若是,该多边形 T 为所求多边形;若不是,转3)。

3) 取处于多边形 T 外部的点作为点集 S ,依次取多边形 T 各边与 O 处于不同侧的点构成外点集 M ,取 M 中距离该边最

远的点加入 T 中。如图1所示,边 AB 的外点集 M 由点7,9,10组成,其中点10距离 AB 边最远,加入 T 中,且点10的坐标处于点 A 和点 B 之间,其他各边按照相同的方法处理,更新 T 后转2)。

4) 重复2)~3),直到形成包围点集的多边形。该多边形为包围点集的最小多边形。

SEPL 算法步骤如下:

1) 锚节点发送包含自身信息的数据包,包括节点 ID 、自身位置信息,未知节点接收数据包,将在通信范围内的锚节点计入自己的邻居节点集 NB 。

2) 计算由节点集 NB 确定的最小包围多边形 $P(P_x, P_y)$ 。

3) 多边形的质心坐标为未知节点的估计位置。

算法的流程如图2所示。

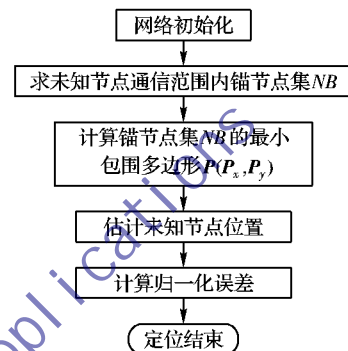


图2 SEPL 算法流程

2.2 算法分析

SEPL 为基于锚节点区域覆盖的定位算法,因此,未知节点的位置和锚节点分布特点对算法的误差有影响,下面以在边长为 100 m 的正方形中随机分布 100 个节点仿真结果为例对 SEPL、SECL^{[13]64-65} 和 CL^{[11]10153} 种算法进行分析。分别讨论未知节点处于非边缘和边缘区域以及锚节点稀疏和密集时两种情况的定位结果。此处边缘区域定义为距离区域边界 10 m 范围内的区域。

如图3为未知节点处于非边缘和边缘区域时 SEPL、SECL 和 CL 3 种算法的定位结果。从图3(a)可看出,未知节点处于非边缘区域时,其通信范围内的锚节点随机分布在未知节点周围,SEPL 的定位结果优于 SECL 和 CL。而当未知节点处于边缘区域时,其通信范围内的锚节点随机分布在以未知节点为圆心、通信半径为半径的半圆内,如图3(b)所示。这时,SECL 定位结果优于 SEPL 和 CL,而 SEPL 与 CL 定位结果近似相同。所以,SECL 能较好地克服边缘效应,而 SEPL 在非边缘区域中节点定位精度能得到提高。

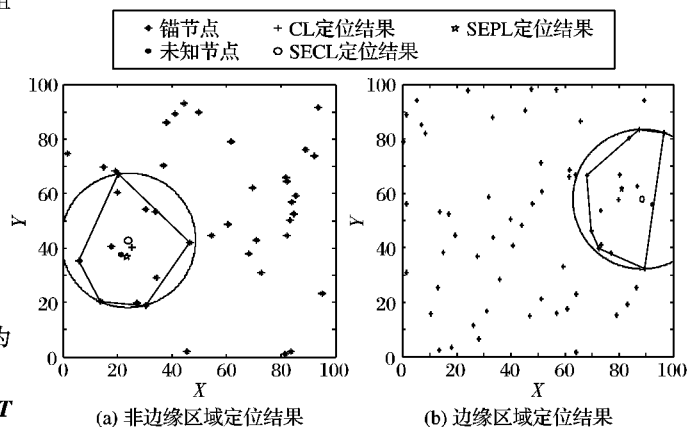


图3 不同区域定位结果

如图4为锚节点稀疏和密集时 SEPL、SECL 和 CL 3 种算法的定位结果。从图4可看出,锚节点稀疏时,未知节点通信范围内的绝大多数锚节点构成了最小包围多边形的顶点,从而,SEPL 和 CL 定位结果近似相等。而当锚节点密度增大时,只有一小部分锚节点构成多边形顶点,锚节点分布不均匀时,SEPL 相对 CL 算法能较好地改善定位误差。

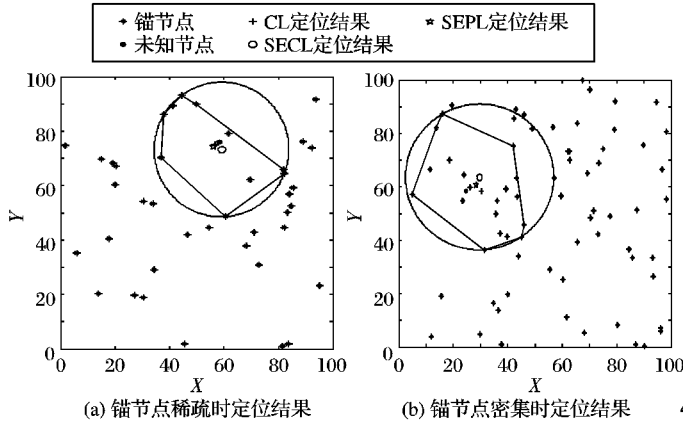


图4 锚节点密度不同时定位结果

3 仿真结果

为了验证 SEPL 定位算法的性能,利用 Matlab 7.0 软件对其进行了仿真,并和 CL 算法进行了比较。

3.1 仿真环境与参数选择

仿真环境是在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的正方形区域中,随机生成 100 个节点,随机选取锚节点,每个节点具有相同的通信半径 R 。相对定位误差(对通信半径归一化)作为衡量算法定位精度的指标。设未知节点为 U 个,节点 i 的真实位置为 X_i ,估计位置为 \hat{X}_i ,记距离误差 $|X_i - \hat{X}_i|$ 为一次网络仿真时节点 i 的定位误差,则进行 1 次仿真后所有未知节点的平均定位误差为:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^U |X_i - \hat{X}_i|}{U} \quad (2)$$

相对定位误差为:

$$\bar{e} = e/R \quad (3)$$

3.2 仿真结果

如图5为某次仿真中各未知节点的定位误差。图5(a)中线段长短表示误差大小,从中可看出,在锚节点不均匀分布程度较大的区域,相对于 CL 定位算法,SEPL 定位误差较小,在锚节点稀疏的区域,两种算法的定位误差近似相等,这与 2.2 节算法特点分析的结果相符。图5(b)是各未知节点的相对误差。由此可见,在锚节点非均匀分布时,SEPL 算法相对质心定位算法的精度有较大改进。

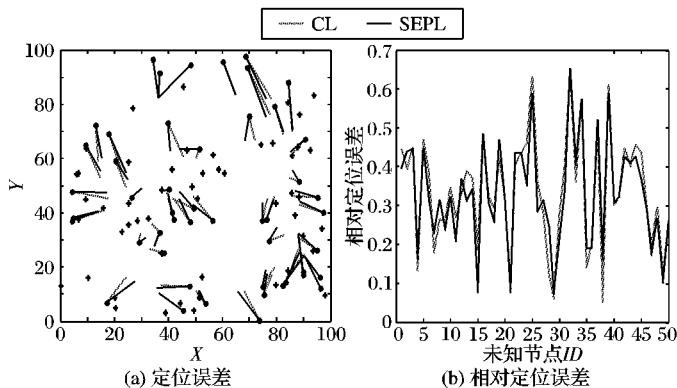


图5 定位误差与相对定位误差

平均相对定位误差与通信半径的关系如图6所示,在仿真中每种算法都随机运行 100 次,最终相对定位误差取 100 次仿真相对定位误差的平均值。图6显示随着通信半径的增大,SEPL 和 CL 相对定位误差都逐渐减小,但是在半径增大到一定程度时,若再继续增大半径,相对定位误差会增大,而 SEPL 的平均相对定位误差比 CL 减少 15% 左右。

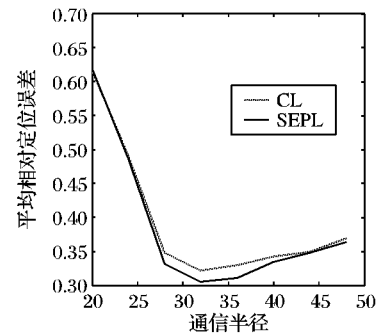


图6 平均相对定位误差与通信半径的关系

4 结语

本文针对无线传感器网络在实际应用环境中锚节点非均匀分布的状况,提出了一种新的质心定位算法——基于最小包围多边形定位算法。该算法根据未知节点周围处于通信范围内的锚节点构建最小包围多边形,以多边形的质心估计未知节点的位置,可以有效改善锚节点分布不均匀时质心定位算法误差较大的问题。仿真结果表明,相对于 CL,在锚节点密度较高和非边缘区域,SEPL 能取得较好的定位效果。但是,SEPL 在一定的通信半径范围内才能达到最优的定位效果。因此,需要进一步研究通信半径的优化算法,以使 SEPL 达到精度和功耗的最优化。

参考文献:

- [1] NICULESCU D, NATH B. DV based positioning in Ad Hoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/2/3/4): 267-280.
- [2] ARIAS J, ZULOAGA A, LAZARO J, et al. Malguki: An RSSI based Ad Hoc location algorithm[J]. Micro Processors and Micro Systems, 2004, 28(8): 403-409.
- [3] BOUSHABA M, HAFID A, BENSLIMANE A. High accuracy localization method using AoA in sensor networks[J]. Computer Networks, 2009, 53(18): 3076-3088.
- [4] PRIYANTHA N B, CHAKRABORTY A, BALAKRISHNAN H. The cricket location-support system[C]// Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2000: 32-43.
- [5] HE T, HUANG C D, BLUM B M, et al. Range-free localization schemes in large scale networks[C]// Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2003: 81-95.
- [6] BULUSU N, HEIDEMANN J, ESTRIN D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications WSN Magazine, 2000, 7(5): 28-34.
- [7] KONG Q R, YANG X Y, DAI X J. Research of an improved weighted centroid localization algorithm and anchor distribution [C]// Proceedings of IEEE 2010 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2010: 400-405.

(下转第 2435 页)

表6 欠定情况下本文算法的估计精度和运算时间

A 的维数	估计精度/dB	运算时间/s
$M=4, N=5$	-155.1909	1.4748
$M=5, N=6$	-149.4912	1.5918
$M=6, N=8$	-146.5334	2.5185
$M=8, N=10$	-144.2351	3.0151
$M=10, N=16$	-140.0284	4.2947
$M=15, N=20$	-134.6824	5.4100
$M=18, N=30$	-111.3785	9.1283
$M=23, N=40$	-72.6443	15.6118

5 结语

本文将盲信源分离混合矩阵的估计转化为观测信号统计量所组成张量的标准分解问题,张量分解通过循环最小化技术实现。该方法不仅能够实现适定、超定情况下的混合矩阵估计问题,而且可以解决一般情况下欠定混合矩阵的估计问题。仿真实验表明,本文方法的估计精度和运算时间较以往算法均有明显的改善,是一种有效的估计盲分离混合矩阵的通用方法。

参考文献:

- [1] HYVARINEN A, KARHUNEN J, OJA E. Independent component analysis[M]. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [2] CICHOCKI A, AMARI S I. Adaptive blind signal and image processing[M]. New York: John Wiley & Sons, 2002.
- [3] COMON P, JUTTEN C. Handbook of blind source separation, independent component analysis and applications [M]. London: Academic Press, 2010.
- [4] BOFILL P, ZIBULEVSKY M. Underdetermined blind source separation using sparse representations[J]. Signal Processing, 2001, 81(11): 2353-2362.
- [5] CICHOCKI A, SABALA I, CHOI S, *et al.* Self-adaptive independent component analysis for sub-Gaussian and super-Gaussian mixtures with unknown number of source signals and additive noise[EB/OL]. [2009-10-10]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.215.776&rep=rep1&type=pdf>.
- [6] YE J M, ZHU X L, ZHANG X D. Adaptive blind source separation with an unknown number of sources[J]. Neural Computation, 2004, 16(8): 1641-1660.
- [7] 冶继民, 张贤达, 金海红. 超定盲信号分离的半参数统计方法[J]. 电波科学学报, 2006, 21(3): 331-336.
- [8] LI X L, ZHANG X D. Non-orthogonal approximate joint diagonalization free of degenerate solution[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(51): 1803-1814.
- [9] YEREDOR A. Non-orthogonal joint diagonalization in the least-squares sense with application in blind source separation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2002, 50(7): 1545-1553.
- [10] LI YUANQING, AMARI S, CICHOCKI A, *et al.* Underdetermined blind source separation based on sparse representation[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2006, 54(2): 423-437.
- [11] AISSA-EL-BEY A, LINH-TRUNG N, ABED-MERAİM K, *et al.* Underdetermined blind separation of non-disjoint sources in the time-frequency domain[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(3): 897-907.
- [12] PENG DEZHONG, XIANG YONG. Underdetermined blind source separation based on relaxed sparsity condition of sources[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2009, 57(2): 809-814.
- [13] de LATHAUWER L, CASTAING J. Blind identification of underdetermined mixtures by simultaneous matrix diagonalization[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(3): 1096-1105.
- [14] 张延良, 楼顺天, 张伟涛. 欠定盲信源分离混合矩阵估计的张量分解方法[J]. 系统工程与电子技术, 2011, 33(8): 1703-1706.
- [15] 张延良. 线性混合盲信源分离的算法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [16] KOLDA T G, BADER B W. Tensor decompositions and applications[J]. SIAM Review, 2009, 51(3): 455-500.
- [17] de LATHAUWER L. A survey of tensor methods[C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 2773-2776.
- [18] CICHOCKI A, ZDUNEK R, PHAN A H, *et al.* Nonnegative matrix and tensor factorizations [M]. New York: Wiley, 2009.
- [19] STOICA P, SELÉN Y. Cyclic minimizers, majorization techniques, and the expectation-maximization algorithm: a refresher [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2004, 21(1): 112-114.
- [20] STEGEMAN A, TEN B, JOS M F, *et al.* Sufficient conditions for uniqueness in CANDECOMP/PARAFAC and INDSCAL with random component matrices[J]. Psychometrika, 2006, 71(2): 219-229.
- [21] WANG FUXIANG, LIU ZHONGKAN, ZHANG JUN. Nonorthogonal joint diagonalization algorithm based on trigonometric parameterization[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(11): 5299-5308.
- [22] de LATHAUWER L, CASTAING J, CARDOSO J-F. Fourth-order cumulant-based blind identification of underdetermined mixtures[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007, 55(6): 2965-2973.

(上接第2431页)

- [8] WANG J, URRIZA P, HAN Y X. Weighted centroid localization algorithm: Theoretical analysis and distributed implementation [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(10): 3403-3413.
- [9] CHENG HAI-QING, WANG HUA, WANG HUA-KUI. An improved centroid localization algorithm based on weighted average in WSN[C]// ICECT: Proceedings of International Electronics Computer Technology Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2011: 258-262.
- [10] 安恂, 蒋挺, 周正. 一种用于无线传感器网络的质心定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20): 136-138.
- [11] 衣晓, 刘瑜, 邓露. 一种基于 PIT 的无线传感器网络质心定位算法[J]. 传感技术学报, 2010, 23(7): 1012-1016.
- [12] BEHNKE R, TIMMERMAN D. AWCL: Adaptive weighted centroid localization as an efficient improvement of coarse grained localization[C]// WPNC 2008: Proceedings of the 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2008: 243-250.
- [13] ZHOU QUAN, LI XIAO-WEI, XU YONG-JUN. Smallest enclosing circle based localization approach for wireless sensor networks[C]// Proceedings of 2009 International Conference on Communications and Mobile Computing. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009: 61-65.