

Analysis and Improvement for Min-Max Node Localization Algorithm *

LIU Qing, WU Zhefu*, HE Xiongxiang, LIU Kai

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang 310023, China)

Abstract: Distance measurement and error estimation based on RSSI are cost-effective solutions widely applied in WSN localization techniques. The paper focused on the Min-Max positioning algorithm based on RSSI ranging model and proposed an improved solution to resolve the problem that the blind nodes around the edge of localization region had larger position error in indoor environment. The simulation result showed that the improved algorithm could significantly optimize the position accuracy of blind nodes around the localization edge and even effectively reduce the average positioning error in randomly deployed large scale WSN.

Key words: wireless sensor network; distance measurement; node localization; Min-Max localization algorithm; localization edge

EEACC: 6150P

doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2012.08.022

Min-Max 节点定位算法的分析与改进 *

刘 庆, 吴哲夫*, 何熊熊, 刘 恺

(浙江工业大学信息工程学院, 杭州 310023)

摘 要: 无线传感器网络中 RSSI 测距是一项低成本的估算节点间相对距离的技术, 而 Min-Max 算法是适合该技术并能满足网络低功耗要求的节点定位应用。首先在建立 RSSI 测距模型的基础上分析了 Min-Max 算法的性能, 并针对该算法在室内环境中对靠近边缘区域未知节点的定位误差较大的问题, 提出了一种有矩形边缘越界检测法, 改进方法能通过检测重合矩形区域是否越界并做出相应的算法修正, 仿真结果表明能有效提高定位边缘区域未知节点的定位精度。该改进算法在大规模多个节点的网络环境下, 依然可以有效降低网络节点的平均定位误差。

关键词: 无线传感器网络; 测距; 节点定位; Min-Max 定位算法; 边缘区域

中图分类号: TP313.17; TN926

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2012)08-1126-06

无线传感器网络中节点通常可分为两类, 一类是已经知道自身位置的节点, 一般叫锚节点 (Anchor Node) 或参考节点 (Reference Node); 另一类是不知道自身位置的节点, 通常叫未知节点 (Unknown Node) 或盲节点 (Blind Node)。确定节点的位置信息是非常重要的, 没有位置信息的节点几乎是没有任何意义的^[1]。未知节点往往需要利用锚节点来确定自身的位置, 常见的 WSN 节点定位算法有很多, 按是否需要测距可分为无需测距 (Range Free) 的定位算法和基于测距技术 (Range Based) 的定位算法, 本文主要研究基于测距的定位技术。

基于测距的定位算法一般分为 3 个步骤: 测距阶段; 定位阶段; 循环求精阶段。其中测距阶段表示

选择一种测距技术来测量锚节点和未知节点之间的距离, 常见的测距技术有^[2]: 基于到达时间 (TOA)、基于到达时间差 (TDOA)、基于到达角度 (AOA) 以及基于接收信号强度 (RSSI) 等方法。其中 TOA 和 TDOA 测距技术是以信号的传播速度及传输时间作为输入来计算距离, 这要求设备具有高精度的时钟实现同步, 其优点是定位准确度高, 但是成本高昂; AOA 测距技术是利用天线阵列等额外的硬件设备来测量参考节点和盲节点间连线与参考线形成的角度, 实现起来具有一定的困难; 而 RSSI 测距技术是用理论或经验信号衰减模型将传播损耗映射为传播距离, 这种方法容易实现且具有较高的定位精度得到广泛使用, 这也是本文仿真中选用的测距技术。

项目来源: 浙江省科技厅重大专项基金项目 (2011C13011); 浙江省基金项目 (Y1090539)

收稿日期: 2012-02-09 修改日期: 2012-05-14

定位阶段就是利用前面测距方法测得锚节点与未知节点之间的距离,再选取一种合适的定位算法来计算未知节点的位置的过程,常见的定位方法有^[3]:三边测量定位法(Trilateration-based positioning algorithm)、极大似然估计定位法(Maximum likelihood estimation algorithm)和最小-最大定位法(Min-Max localization algorithm),本文选取最简单也最容易实现的 Min-Max 定位方法,并对其在室内环境中靠近定位边缘区域未知节点的定位误差较大的问题分析了两种原因并分别提出了改进方法,最后进行了仿真验证。仿真结果表明改进方法能有效改善定位边界区域未知节点的定位精度。最后循环求精阶段是可选的,且对本文 Min-Max 及其改进算法的性能比较无影响,暂不做讨论。

1 基于 RSSI 测距模型

1.1 测距模型的建立

不同于 TOA、TDOA 和 AOA,基于 RSSI 测距技术由于不需要添加额外的硬件,因此在低成本、低功耗、低复杂度的无线传感器网络中得以广泛使用。本文在测距阶段也使用基于 RSSI 测距方法。一个完整的定位系统的定位精度一直受测距误差和定位误差的影响,一个精确的测距模型能够有效的减小定位误差,通过实际测量并利用高斯滤波、线性回归分析等方法都能有效的得到实际环境中的信号传输模型^[4-5]。常用无线信号在环境中的传输模型是 Shadowing 模型^[6],如式(1)所示:

$$p = p_0 + 10n \lg \frac{d}{d_0} + \xi \quad (1)$$

其中 d_0 为参考距离(一般取 1 m); p_0 表示距离为 d_0 处接收到的信号强度; d 为真实距离; ξ 是以 db 为单位的遮蔽因子,其均值为 0,均方差为 σ_{db} (db)的正态随机变量; p 表示在真实距离 d 处的接收信号强度; n 是路径损耗指数,在不同环境下取不同值。在实际环境中,对信号传输影响最严重的是非视距(NLOS)的影响,因此传输模型可以不考虑遮挡因子对信号的影响,所以实际测量中可以选用以下模型:

$$RSSI = -(10n \lg d + A) \quad (2)$$

射频参数 A 被定义为用 dBm 表示的距离发射节点 1 m 处接收到的平均能量绝对值,也就是发射节点与接收节点相距 1 m 时的接收信号强度绝对值,一般取值在 30 ~ 50 之间,实际应用中可实际测量求其精确值; n 是路径损耗指数,不同环境和建筑物下值都是不同的; d 为真实距离。因此当节点接收到 RSSI 值后可由式(2)计算其距离如下:

$$d = 10^{-\left(\frac{A+RSSI}{10n}\right)} \quad (3)$$

1.2 模型参数的分析

通过 RSSI 测距模型可以看出:接收信号强度与信号传输距离之间的关系取决于常数 A 和 n 的取值,因此要利用式(2)进行信号强度测距时,首先得确定这两个常数的取值。很多文献通过实际的研究给出了不同环境下参数 A, n 的取值范围如表 1 所示,以下分别分析这 2 个常数的取值对信号传输模型的影响。

表 1 不同环境下 A, n 的取值^[4]

环境	A /dBm	n
办公室	39.0-50.5	1.4-2.5
楼道走廊	35.0-38.2	1.9-2.5
巷子	44-48.7	2.1-3.0
公园	32.7-36.0	2.7-3.4
楼梯,阳台	33.5-44.2	1.4-2.4
海边沙滩	37.5-40.8	3.8-4.6
草地	33.2-36.4	3.0-3.9
竹林	35.2-38.2	4.5-5.4
石头墙	37.2-41.5	3.3-3.7
栅栏	34.5-38.2	4.6-5.1
大院子	34.2-39.0	2.8-3.8

参数 A 表示的是两个节点相距 1 m 时的平均接收信号强度绝对值,实际应用中节点使用不同的硬件或在不同的环境下,甚至节点电池电量的变化对 A 值的影响都很大。为了研究不同的 A 值对测距模型的影响,先假设 n 不变, A 变化,得如图 1 所示的关系曲线图,其中横轴表示距离,纵轴表示对应于该距离获取的 RSSI 值。

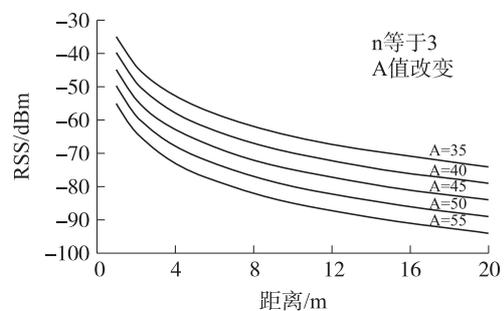


图 1 A 取不同值时 RSSI 与距离曲线图

由图 1 所示,随着距离的增加,RSSI 值越来越小,尤其是在 10 m 内信号衰减非常快,远距离时信号衰减变得缓慢。由图可见在相同距离时 A 取值越大 RSSI 值越小,即在 1 m 处接收到的信号强度越

小,这与理论分析也是相符的,因为 A 表示在 1 m 处接收到的信号强度的绝对值。

当 A 取值不变, n 改变时可得 RSSI 与信号传输距离关系如图 2。

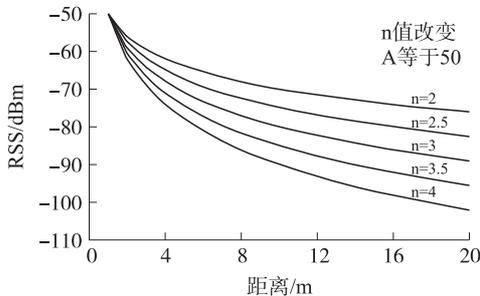


图 2 n 取不同值时 RSSI 与距离曲线图

其中 n 表示的是路径损耗指数,由图可知 n 越小,信号在传输过程的衰减就越小,因此信号也能传输到更远的距离。越理想的环境下,干扰越小,信号传输距离越远,当然实际应用中不一定 n 越小越好,而是越适合该环境下的 n 值越好,适当的选取 A , n 的值可以极大的提高测距精度。

常见室内环境下受到信号反射、多径效应等影响,路径损耗指数一般比较大,因此室内的节点精确定位也是很多文章研究的重点。为了研究 Min-Max 及其改进算法在恶劣的室内环境中的定位效果,本文选取 $A=50$, $n=3$ 的作为 RSSI 测距模型,以后的讨论及仿真都是基于此模型下进行的。

2 Min-Max 定位算法

Min-Max 定位算法相对三边测量定位法和极大似然估计定位法是一个非常简单有效的定位方法,在实际使用中因其计算复杂度小而使节点工作过程能耗低并具有较高实时性等优点而得以大力推广^[7-8]。它是一种基于几何学原理的定位方法,原理如图 3 所示。

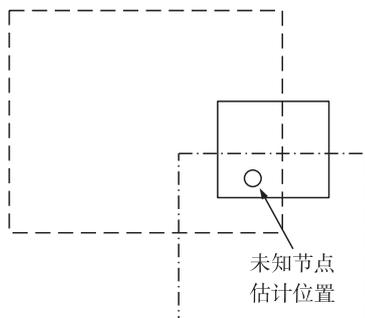


图 3 Min-Max 定位算法原理图

其中未知节点根据接收到的信号强度 RSSI _{i} ($i=1, 2, \dots, n$) 分别计算该锚节点与未知节点之间的距离为 d_i ($i=1, 2, \dots, n$), 然后以每个锚节点为中

心分别向上下左右扩展 d_i 画一个正方形,即正方形边长是 $2d_i$ 。算法实现过程就是去计算这些正方形所包围的最小的重合矩形区域,并以该区域的中心点作为未知节点的估计位置^[9-11]。设各正方形的边界值分别为:左 (x_i-d_i),右 (x_i+d_i),上 (y_i+d_i),下 (y_i-d_i),则重合矩形区域的边界值应该是:左 $\max(x_i-d_i)$,右 $\min(x_i+d_i)$,上 $\min(y_i+d_i)$,下 $\max(y_i-d_i)$ 。因此未知节点的位置可以计算如下:

$$\begin{cases} x = \frac{\max(x_i-d_i) + \min(x_i+d_i)}{2} \\ y = \frac{\max(y_i-d_i) + \min(y_i+d_i)}{2} \end{cases} \quad (5)$$

由 Min-Max 算法原理可知,其定位过程中主要的运算是计算复杂度较小的加减及比较运算,除了在计算未知节点位置时需要一些相除运算外,总体所需要的计算量是很少的,而这在实际节点定位应用中表现为更小的功耗及更短的定位延迟时间,这对于资源有限的节点来说尤其可贵。因此研究如何提高 Min-Max 定位算法的精度对低成本、低功耗且对实时性要求比较高的无线传感器网络节点定位是非常具有价值的。

3 Min-Max 算法的分析与改进

对 Min-Max 定位算法的仿真发现,在定位区域中心附近的节点定位精度普遍高于边缘区域节点。通过对 Min-Max 定位算法原理分析,总结了两点可能导致这种情况的原因:①定位边缘区域锚节点较少,即边缘区域未知节点所能接收到的锚节点数量较少,导致定位误差大于中心区域的未知节点;②定位处于边缘区域未知节点的正方形有可能超出定位区域,即重合矩形区域有可能有一部分在定位区域以外,进而在计算未知节点位置时导致误差增大。

第 1 种情况,边缘锚节点数量对算法定位精度的影响是显而易见的,实际应用中可以通过增加锚节点的数量或适当调整锚节点的部署来解决这个问题。本文主要分析第 2 种情况的影响。

3.1 矩形边缘越界检测法

为了验证第 2 种情况,即定位边缘未知节点的重合矩形区域的边界越界问题对节点定位精度的影响,我们提出了一种方法进行修正,叫“矩形边缘越界检测法”。其原理如图 4 所示。

其工作原理是先对所有的定位未知节点的重合矩形区域进行越界判定,如果有一个边界超出定位区域,就以该方向的定位区域的值作为矩形的边界值。这样可以缩小重合的矩形区域,并在求未知节

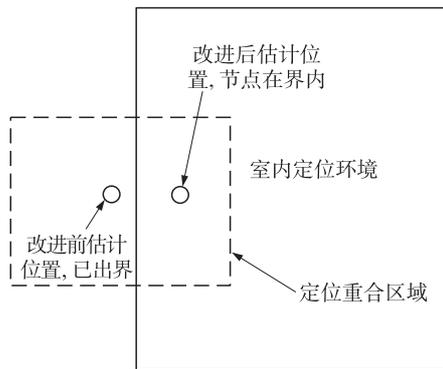


图 4 改进 Min-Max 定位算法原理图

点的估计位置时减小与实际位置之间的偏差,减小定位误差。其伪代码表示如下:

矩形左边界值判定:if $\max(x_i - d_i) < 0, \max(x_i - d_i) = 0, \text{else } \max(x_i - d_i)$;

矩形右边界值判定:if $\min(x_i + d_i) > \text{right}, \min(x_i + d_i) = \text{right}, \text{else } \min(x_i + d_i)$;

矩形上边界值判定:if $\min(y_i + d_i) > \text{up}, \min(y_i + d_i) = \text{up}, \text{else } \min(y_i + d_i)$;

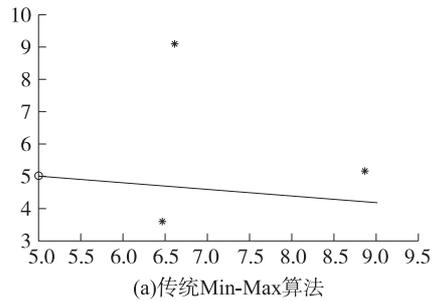
矩形下边界值判定:if $\max(y_i - d_i) < 0, \max(y_i - d_i) = 0, \text{else } \max(y_i - d_i)$;

其中 right, up 分别表示定位区域的右边界值和上边界值。经过边界值判定后可以确保定位所有未知节点的重合矩形区域在有效定位区域内,并且能有效缩小重合区域的范围,减小未知节点的定位误差。

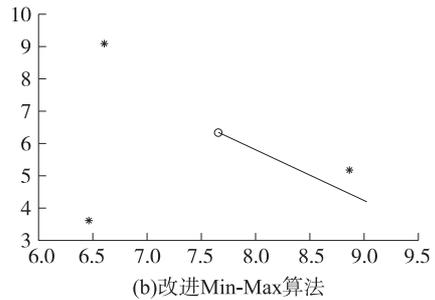
3.2 仿真与分析

为了检验 Min-Max 及其改进定位算法的性能,本文对传统 Min-Max 定位算法和改进算法在 Matlab 平台上分别进行仿真对比分析。其中锚节点和未知节点的位置都是随机产生,节点通信半径 $R=20\text{ m}$ 。

首先在一个较小的区域,设为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 空间内,在相同位置部署 3 个锚节点和一个未知节点。考虑到未知节点靠近定位边缘区域时锚节点的位置主要有 3 种情况,第 1 种是锚节点都靠近中心区域;第 2 种有部分锚节点在中心区域,部分锚节点在边缘区域;第 3 种是锚节点都靠近边缘区域。由改进算法的原理及仿真结果显示在这 3 种情况下改进算法都能有效的提升定位精度,但是第 3 种情况下的改进效果最明显,因为锚节点和未知节点都处于边缘区域时矩形重合区域也最有可能出界,进而在确定未知节点的位置时产生更大的定位误差。由于篇幅所限,本文只给出锚节点及未知节点都处于边缘区域时,在相同情况下分别对 Min-Max 算法及其改进算法的一次仿真结果,如图 5 所示。



(a)传统Min-Max算法

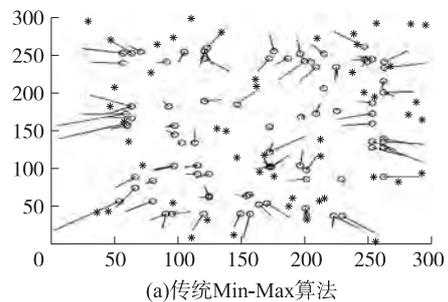


(b)改进Min-Max算法

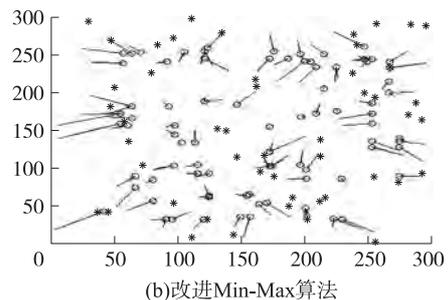
图 5 锚节点靠近边缘区域定位效果图

由图 5(a)可知在锚节点及未知节点都处于边缘区域时使用 Min-Max 定位算法得到的定位误差约为 4 m ,虽然随着节点分布的改变定位误差也会有不同,但如此大的误差实在不可取,而图 5(b)中利用改进定位算法的定位误差是约为 2 m ,定位精度提高了 1 倍。这证明利用矩形边缘越界检测法确实能有效的缩小靠近定位边缘区域未知节点的定位误差,提高其定位精度。

为了验证改进 Min-Max 算法在大规模多个节点环境下的定位性能,我们分别在 $300\text{ m} \times 300\text{ m}$ 定位区域内相同位置部署 50 个锚节点和 100 个未知节点,使用两种算法分别进行仿真得到定位结果如图 6 所示。



(a)传统Min-Max算法



(b)改进Min-Max算法

图 6 定位 100 个未知节点效果图

由图6(a)和(b)比较可以看到靠近定位边缘的未知节点的估计位置与实际位置之间的误差有一定的减小,但是靠近中心区域节点的位置是不变的,因为定位它们的重合矩形区域越界的概率是比较小的。总的来说,改进 Min-Max 算法在改进边缘区域未知节点的定位精度上是非常显著的,因此从总体上提高了系统的定位精度。

为了更直观的比较这两种算法的定位性能,本文利用平均定位误差来表示系统的整体定位性能,设各未知节点的实际位置为 (x, y) ,估计位置为 (x_i, y_i) ,节点通信半径为 R ,平均定位误差定义如下^[6]:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}}{n \cdot R} \quad (6)$$

图7显示的是在100 m×100 m区域内部署150个节点,锚节点比率分别为10%、15%、...、40%下传统 Min-Max 定位算法与改进算法的平均定位误差图。如图7所示,随着锚节点比例的增加,两种算法的平均定位误差都呈下降的趋势,但是改进 Min-Max 算法由于在定位边缘未知节点方面比传统 Min-Max 算法更精确,所以其平均定位误差普遍比传统 Min-Max 算法要低。

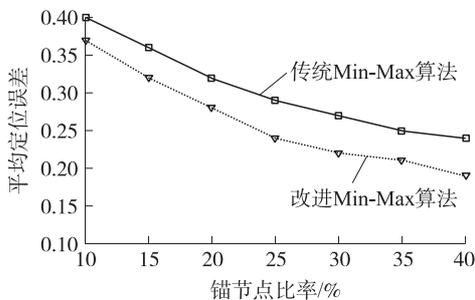


图7 不同锚节点比率下平均定位误差图

图8是在100 m×100 m区域内保持锚节点比率为20%,节点总数从100到400分别运行两种算法得到的平均定位误差图。从图可以看出随着节点数量的增加,两种算法的平均定位误差都呈下降趋势。但是随着节点总数的增加,处于边缘区域的未知节点也增加了,而此时利用改进 Min-Max 算法定位这

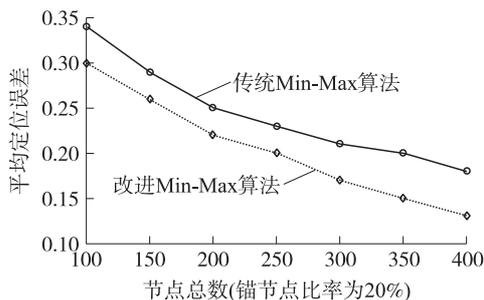


图8 不同节点总数下平均定位误差图

些节点的精度提高也更明显,由图可知在相同条件下改进 Min-Max 算法比传统 Min-Max 算法平均定位误差都要低,且随着节点数量的增加改进 Min-Max 算法的降低幅度更大。

4 总结

节点的位置信息对于 WSN 来说是非常重要的。如何获取更精确的位置信息也是很多文章研究的重点,而基于 RSSI 测距的定位技术由于其低成本、低复杂度广受欢迎^[12]。论文在 RSSI 测距模型基础上对 Min-Max 定位算法进行了详细的分析与讨论,并着重对算法在定位边缘区域未知节点的精度不足方面提出了矩形边缘越界检测法进行改进,该方法能有效的检测重合矩形区域是否越界并做出相应的改进,以提高位于边缘区域未知节点的定位精度。理论及仿真结果表明在未知节点处于边缘区域时,其定位误差与锚节点的所处的位置有关系,但是改进算法都能有效的提高定位精度,尤其是锚节点也处于边缘区域时改进效果更明显。无线传感器网络节点定位算法往往受到功耗、延时等限制,简单有效的 Min-Max 定位方法在实际应用中具有较大的实用价值。

参考文献:

- [1] Priyantha N B, Balakrishnam H, Demaine E, et. Anchor-Free Distributed Localization in Sensor Networks, Technical Report MIT-LCS-TR-892[R]. Cambridge: MIT Lab for Computer Science, 2003.
- [2] 陈红阳. 基于测距技术的无线传感器网络定位技术研究[D]. 成都, 西南交通大学, 2006: 3-6.
- [3] 郜丽鹏, 朱梅冬, 杨丹. 基于 Zigbee 的加权质心定位算法的仿真与实现[J]. 传感技术学报, 2010, 23(1): 149-152.
- [4] 方震, 赵湛, 郭鹏. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526-2530.
- [5] 朱明辉, 张会清. 基于 RSSI 的室内测距模型的研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(8): 19-22.
- [6] 赵清华, 刘少飞, 张朝霞. 一种无需测距节点定位算法的分析与改进[J]. 传感技术学报, 2010, 23(1): 122-127.
- [7] Awad A, Frunzke T, Dressler F. A Daptivedistance Estimation and Localization in WSNs Using RSSI Measures. [C]//IEEE 10th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures Methods and Tools, Aug. 2007: 471-478.
- [8] Goldoni E, Savioli A, Risi M, et al. Experimental Analysis of RSSI-Based Indoor Localization with IEEE 802. 15. 4[C]//Proc. 2010 European Wireless Conference, Pavia, Italy, 2010, 71-77.
- [9] Savvides A, Park H, Srivastava M. The Bits and Flops of the n -Hop Multilateration Primitive for Node Localization Problems [C]//Proc. ACM WSN 2002, Atlanta, Georgia, USA, September 28, 2002, 112-121.
- [10] 戴莹, 王建平, 张崇巍. 无线传感器网络节点定位算法的研究

与改进[J]. 传感技术学报,2010,23(4):567-570.

- [11] 彭宇,王丹. 无线传感器网络定位技术综述[J]. 电子测量与仪器学报,2011,25(5):389-399.



刘 庆(1988-),男,浙江工业大学通信与信息系统硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络及定位算法的研究,liuqing07966@163.com;

- [12] Desai J, Tureli U. Evaluating Performance of Various Localization Algorithms in Wireless and Sensor Networks [C]//Proc. IEEE PIMRC 2007, Athens, Greece, September 3-7, 2007, 1-5.



吴哲夫(1971-),男,浙江工业大学信息工程学院副教授,硕士研究生导师,主要研究方向为移动多媒体通信,智能测试传感技术等,wzf@zjut.edu.cn。