

# 基于人群搜索优化的无线传感器网络三点定位算法

乔学工<sup>1†</sup>, 王华倩<sup>2</sup>, 曹建<sup>1</sup>, 段亚青<sup>1</sup>

(1. 太原理工大学信息工程学院, 山西 晋中 030600; 2. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206)

**摘要:** 为进一步提高无线传感器网络节点的定位精度, 提出一种基于改进人群搜索优化的无线传感器网络三点定位算法. 首先设计一种三点估计未知节点坐标模型; 然后利用该模型求取未知节点的坐标, 并将计算出的节点位置作为人群搜索的初始位置; 最后采用改进的人群搜索算法优化未知节点的位置. 仿真结果表明, 通过与已有的相关定位算法相比较, 所提出算法具有更高的定位精度.

**关键词:** 无线传感器网络; 定位; 人群优化; 三点模型

**中图分类号:** TP393      **文献标志码:** A

## Three points localization algorithm based on seeker optimization algorithm for wireless sensor networks

QIAO Xue-gong<sup>1†</sup>, WANG Hua-qian<sup>2</sup>, CAO Jian<sup>1</sup>, DUAN Ya-qing<sup>1</sup>

(1. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Jinzhong 030600, China; 2. Institute of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

**Abstract:** In order to increase the localization accuracy of unknown nodes, a localization algorithm of three points localization based on the improved seeker optimization algorithm(TPLSOA) for wireless sensor networks is proposed. In the TPLSOA, a three-point estimation node coordinate model is designed. The model is used to calculate the estimated coordinates of unknown nodes, and the calculated node position is taken as the initial position of the seeker optimization algorithm(SOA). The improved SOA is employed to optimize the position of unknown nodes. The simulation results show that the proposed algorithm has higher localization accuracy in comparison with other localization algorithms.

**Keywords:** wireless sensor network; localization; SOA; three points model

## 0 引言

无线传感器网络<sup>[1]</sup>(WSNs)由大量的传感器节点组成, 这些节点体积小、功耗低、可进行短距离通信. 这些节点准确的位置和感知到的信息在具体应用中都非常关键, 因此研究节点定位具有较高的实际意义.

对于测距定位算法 RSSI(接收信号强度指示), 由于其成本低、功耗小、通信开销小, 得到了越来越广泛的研究. 相关的研究有, 采用传输功率进行调整的基于 RSSI 的无线传感器网络室内定位算法<sup>[2]</sup>; 采用粒子滤波<sup>[3]</sup>、卡尔曼滤波<sup>[4-5]</sup>等方法提高定位算法的定位精度; 将三边定位算法与质心定位算法相结合获取未知节点更为准确的坐标值的三边质心定位算

法<sup>[6]</sup>. 随着研究的不断深入, 人们将智能算法逐渐应用到定位算法中. 文献[7]将粒子群的概念引入到定位算法中, 通过不断的迭代寻优获取未知节点的坐标值; 文献[8]提出了一种针对室内环境的粒子群优化的无线传感器网络非视距节点定位算法; 文献[9]利用蚂蚁寻找食物的特性, 引入了蚁群算法进行定位.

本文在研究现有一些定位算法的基础上提出一种基于改进人群搜索<sup>[10]</sup>优化的无线传感器网络三点定位算法. 首先, 建立一种三点估计未知节点坐标模型, 利用该模型求取未知节点的坐标, 得到的未知节点坐标作为人群搜索算法的初始位置, 再利用改进的人群搜索算法对未知节点的位置进行优化. 仿真实验结果表明, 所提出的算法具有较高的定位精度.

收稿日期: 2016-06-20; 修回日期: 2016-12-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51279122); 山西省自然科学基金项目(2012011013-5); 山西省软科学基金项目(2014041048-4).

作者简介: 乔学工(1968—), 女, 博士, 从事无线传感器网络和智能控制等研究; 王华倩(1993—), 女, 硕士生, 从事电力系统和智能控制的研究.

<sup>†</sup>通讯作者. E-mail: qiaoxuegong@tyut.edu.cn

## 1 算法模型建立

### 1.1 RSSI 信号衰减模型

采用对数-常态分布<sup>[11]</sup>无线信号传播模型

$$PL_{(d)} = PL_{(d_0)} - 10q \lg \left( \frac{d}{d_0} \right) + U(dB). \quad (1)$$

其中:  $PL_d$ 、 $PL_{d_0}$  分别为在距离  $d$  和  $d_0$  处未知节点接收的信号强度;  $q$  为路径损耗因子, 一般取  $2 \sim 5$ , 本文取  $3$ ;  $d$  为未知节点与参考节点之间的距离;  $d_0$  为参考距离, 取值为  $1 \text{ m}$ ;  $U$  为高斯随机变量, 均值设为  $0$ , 标准差设为  $8$ .

### 1.2 初始值估计

建立三点估计未知节点坐标模型, 利用该模型求取未知节点的坐标, 再将通过距离差判断法得到的未知节点坐标作为 TPLSOA 算法的初始值.

#### 1.2.1 三点估计未知节点坐标模型建立

$A$ 、 $B$ 、 $C$  为 3 个信标节点,  $P$  为未知节点, 随机分布, 存在 3 种情形:

- 1)  $P$  点位于  $\angle ABC$  及其对顶角所包含的区域;
- 2)  $P$  点位于  $\angle ACB$  及其对顶角所包含的区域;
- 3)  $P$  点位于  $\angle BAC$  及其对顶角所包含的区域.

三点法求解示意图如图 1 所示.

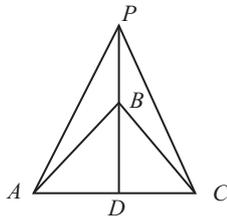


图 1 三点法求解示意图

以情形 1) 为例, 计算  $P$  点坐标  $(x_{p1}, y_{p1})$ .  $D$  为直线  $PB$  与线段  $AC$  的交点, 3 个信标节点到  $P$  的测量距离分别表示为  $L_{AP}$ 、 $L_{BP}$ 、 $L_{CP}$ , 得到  $S_{\triangle ABP}$ 、 $S_{\triangle BCP}$  为

$$S_{\triangle ABP} = \frac{1}{2} L_{AB} L_{BP} \sin \angle ABP, \quad (2)$$

$$S_{\triangle BCP} = \frac{1}{2} L_{BC} L_{BP} \sin \angle CBP. \quad (3)$$

根据文献[12]可得

$$\frac{L_{AD}}{L_{CD}} = \frac{L_{AB} \times \sin \angle ABP}{L_{BC} \times \sin \angle CBP}. \quad (4)$$

由式(2)~(4), 可得

$$\frac{S_{\triangle ABP}}{S_{\triangle BCP}} = \frac{\sin \angle ABP}{\sin \angle CBP}. \quad (5)$$

令

$$G = \frac{L_{AD}}{L_{AC}} = \frac{L_{AD}}{L_{AD} + L_{CD}} = \frac{S_{\triangle ABP}}{S_{\triangle ABP} + S_{\triangle BCP}}, \quad (6)$$

则  $D$  点的坐标可以表示为

$$\begin{cases} x_D = G \times (x_C - x_A) + x_A, \\ y_D = G \times (y_C - y_A) + y_A. \end{cases} \quad (7)$$

$D$  点与未知节点  $P$  的距离  $L_{DP}$ <sup>[13]</sup> 表示为

$$L_{DP} = \sqrt{(1 - G) \times L_{AP}^2 + G \times L_{CP}^2 - L_{AD} \times L_{CD}}. \quad (8)$$

最后得到  $P$  点坐标

$$\begin{cases} x_{P1} = H \times \frac{L_{BP}}{L_{BD}} \times (x_D - x_B) + x_B, \\ y_{P1} = H \times \frac{L_{BP}}{L_{BD}} \times (y_D - y_B) + y_B, \end{cases} \quad (9)$$

其中  $L_{BD}$  为  $B$  到  $D$  点的距离. 若  $P$  点位于射线  $DB$  上, 则  $H = +1$ ; 若  $P$  点位于射线  $BD$  上, 则  $H = -1$ .

互换  $B$  与  $C$  的坐标值可求出  $(x_{p2}, y_{p2})$ , 互换  $A$  与  $B$  的坐标值可求出  $(x_{p3}, y_{p3})$ .

若  $P$  点位于三角形  $ABC$  内部, 则与以上 3 种情形都符合, 都能计算出未知节点  $P$  的坐标值.

#### 1.2.2 距离差判断法

分别计算  $(x_{p1}, y_{p1})$ 、 $(x_{p2}, y_{p2})$ 、 $(x_{p3}, y_{p3})$  的距离差值, 有

$$\begin{aligned} dc(i) = & \left| \sqrt{(x_{Pi} - x_A)^2 + (y_{Pi} - y_A)^2} - L_{AP} \right| + \\ & \left| \sqrt{(x_{Pi} - x_B)^2 + (y_{Pi} - y_B)^2} - L_{BP} \right| + \\ & \left| \sqrt{(x_{Pi} - x_C)^2 + (y_{Pi} - y_C)^2} - L_{CP} \right|. \end{aligned} \quad (10)$$

对  $dc(i)$  的值进行排序,  $i$  取值为  $1 \sim 3$ , 其中最小值所对应的坐标即是 TPLSOA 的初始值.

## 2 基于改进人群优化的 TPLSOA 算法

在人群搜索算法(SOA)的基础上引入自适应权重<sup>[14]</sup>的方法来平衡全局和局部搜索能力, 从而提高算法的性能.

$P$  点接收到  $m$  个信标节点的信号, 以每 3 个不共线的信标节点为一组, 一共  $k$  组, 根据三点估计坐标模型计算出  $k$  个坐标  $(x_1, y_1), \dots, (x_k, y_k)$ . 将  $k$  个坐标作为 TPLSOA 算法的初始值, 进行优化, 最后得到未知节点的最终坐标. 人群搜索算法对未知节点坐标优化的具体实现方法如下.

**Step 1:** 初始化设定.  $r = 0$ ,  $r$  为当前迭代次数, 将  $(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_k, y_k)$  赋值给  $(x_{S1(r)}, y_{S1(r)}), \dots, (x_{Si(r)}, y_{Si(r)}), \dots, (x_{Sk(r)}, y_{Sk(r)})$ , 作为初始位置,  $i$  取值为  $1 \sim k$ ,  $(x_{Si(r)}, y_{Si(r)})$  为搜索个体  $i$  第  $r$  轮的坐标值.

**Step 2:** 计算每个位置的适应度函数值

$$f(i) = \sum_{j=1}^m |\sqrt{(x_{Si(r)} - x_{Lj})^2 + (y_{Si(r)} - y_{Lj})^2} - d_j|. \quad (11)$$

其中:  $(x_{Lj}, y_{Lj})$  为第  $j$  个信标节点的坐标值,  $d_j$  为第  $j$  个信标节点与搜索个体  $i$  的测量距离值,  $m$  为信标节点的总数,  $j$  取值为  $1 \sim m$ .

**Step 3:** 进行搜索. 计算所有个体的搜索方向和搜索步长, 搜索个体  $i$  在  $X$  轴和  $Y$  轴的搜索方向和搜索步长分别表示为  $ST_{Xi(r)}$ ,  $SL_{Xi(r)}$ ,  $ST_{Yi(r)}$ ,  $SL_{Yi(r)}$ . 搜索方向  $ST_{Xi(r)}$  和  $ST_{Yi(r)}$  确定为

$$ST_{Xi(r)} = \text{sign}\left(\frac{r_{\max} - r}{r_{\max}} \times TP_{xi} + e_1 \times TE_{xi} + e_2 \times TA_{xi}\right), \quad (12)$$

$$ST_{Yi(r)} = \text{sign}\left(\frac{r_{\max} - r}{r_{\max}} \times TP_{yi} + e_1 \times TE_{yi} + e_2 \times TA_{yi}\right). \quad (13)$$

其中:  $TE_{xi}$ ,  $TA_{xi}$ ,  $TP_{xi}$ ,  $TE_{yi}$ ,  $TA_{yi}$ ,  $TP_{yi}$  分别表示搜索个体  $i$  在  $X$  轴和  $Y$  轴方向的利己方向、利他方向和预动方向,  $e_1$  与  $e_2$  为  $0 \sim 1$  的常数. 搜索步长  $SL_{Xi(r)}$  和  $SL_{Yi(r)}$  确定为

$$SL_{Xi(r)} = \frac{r_{\max} - r}{r_{\max}} \times |x_{S \min} - x_{S \max}| \times \sqrt{-\ln(\text{rand}(u_i, 1))}, \quad (14)$$

$$SL_{Yi(r)} = \frac{r_{\max} - r}{r_{\max}} \times |y_{S \min} - y_{S \max}| \times \sqrt{-\ln(\text{rand}(u_i, 1))}. \quad (15)$$

其中:  $r_{\max}$  为最大迭代次数,  $r$  为当前迭代次数,  $u_i$  为利用高斯函数产生的随机值,  $(x_{S \max}, y_{S \max})$ 、 $(x_{S \min}, y_{S \min})$  分别为当前所有搜索者中适应度最大值与最小值所对应的坐标.

**Step 4:** 位置更新. 对搜索个体进行更新, 每次迭代都需要确定权重. 搜索个体  $i$  在更新前与更新后的坐标分别表示为  $(x_{Si(r)}, y_{Si(r)})$  和  $(x_{Si(r+1)}, y_{Si(r+1)})$ , 有

$$x_{Si(r+1)} = x_{Si(r)} + \omega(i) \times ST_{Xi(r)} \times SL_{Xi(r)}; \quad (16)$$

$$y_{Si(r+1)} = y_{Si(r)} + \omega(i) \times ST_{Yi(r)} \times SL_{Yi(r)}; \quad (17)$$

$$\omega(i) =$$

$$\begin{cases} \omega_{\min} - \frac{(\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times (f(i) - f_{\min})}{f_{\text{avg}} - f_{\min}}, \\ f(i) \leq f_{\text{avg}}; \\ \omega_{\max}, f(i) > f_{\text{avg}}. \end{cases} \quad (18)$$

其中:  $\omega(i)$  为个体  $i$  的自适应权重函数值,  $\omega_{\max}$  和  $\omega_{\min}$  为权重最大值与最小值,  $f_{\text{avg}}$  为适应度函数均

值,  $f_{\min}$  为适应度函数最小值.

**Step 5:** 令  $r = r + 1$ .

**Step 6:** 若  $r > r_{\max}$ , 则停止搜索, 否则转至 Step 2.

### 3 基于改进人群优化的 TPLSOA 定位步骤

TPLSOA 定位算法步骤如下, 流程如图 2 所示.

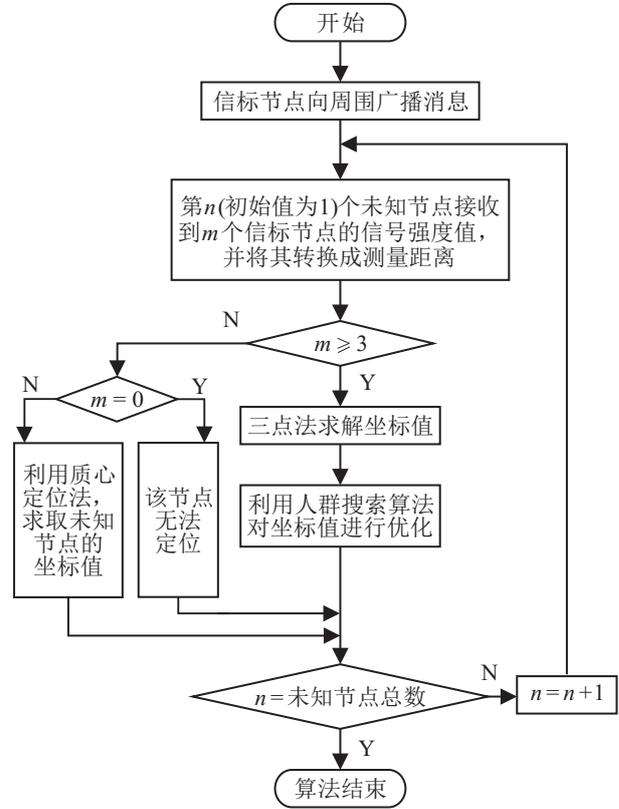


图 2 定位流程

**Step 1:** 在边长为  $100 \text{ m}$  的正方形区域随机分布  $100$  个传感器节点(包括未知节点和信标节点).

**Step 2:** 未知节点将接收的信标节点的信号强度值转化为距离值.

**Step 3:** 开始计算第  $n$  (初始值为  $1$ ) 个未知节点的坐标值, 此未知节点接收到信号值个数设定为  $m$ , 若  $m < 1$ , 则此未知节点无法定位, 转至 Step 6; 若  $0 < m < 3$ , 则调用质心算法计算该未知节点的坐标值, 转至 Step 6; 若  $m \geq 3$ , 则继续运行下一步.

**Step 4:** 将此未知节点可接收到的  $m$  个信标组成  $k$  组, 以每  $3$  个不共线的信标节点为一组, 并计算此未知节点的坐标值, 共有  $k$  个坐标值  $(x_{S1}, y_{S1}), \dots, (x_{Sk}, y_{Sk})$ .

**Step 5:** 将  $k$  个坐标值作为 TPLSOA 初始值进行优化, 得到未知节点最终的坐标值.

**Step 6:** 若  $n$  等于未知节点的总数, 则算法结束, 否则,  $n$  值增加并转至 Step 3, 计算下一个未知节点的坐标值, 有

$$EOR = \frac{\sum_{i=1}^{UN} \sqrt{(x_{R(i)} - x_{E(i)})^2 + (y_{R(i)} - y_{E(i)})^2}}{UN} \quad (19)$$

其中: EOR 表示定位误差 (单位 m),  $(x_{R(i)}, y_{R(i)})$ 、 $(x_{E(i)}, y_{E(i)})$  分别表示第  $i$  个未知节点的真实坐标值与估计坐标值, UN 表示未知节点的总数.

### 4 仿真

为了分析 TPLSOA 算法的特点, 采用 Matlab 进行仿真, 并与已有的人群搜索定位算法、粒子群定位算法和蚁群定位算法进行对比. 仿真条件: 在边长为 100 m 的正方形区域随机分布 100 个传感器节点, 由未知节点与信标节点组成.

图3为基于人群搜索的三点定位算法、人群搜索定位算法、粒子群定位算法和蚁群定位算法的平均定位误差与信标节点所占比率关系比较曲线, 4种算法的迭代次数设为300, 通信距离设定为30 m. 由图3可见, 基于人群搜索的三点定位算法的定位精度要优于人群搜索定位算法、粒子群定位算法和蚁群定位算法, 当信标节点占比达到30%时, 定位误差变化较小, 趋于稳定. 因此在实际环境中, 选择信标节点30%即可满足要求.

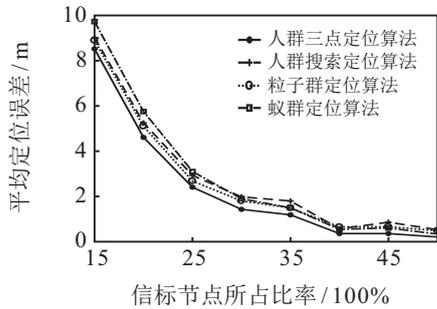


图3 平均定位误差与信标节点所占比率关系比较

图4为基于人群搜索的三点定位算法、人群搜索定位算法、粒子群定位算法和蚁群定位算法的平均定位误差与通信距离关系比较曲线. 4种算法的迭代次数设为300, 信标节点占比为30%. 由图4可见, 在通信距离较短时, 基于人群搜索的三点定位算法的定

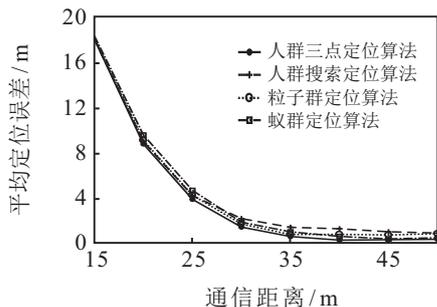
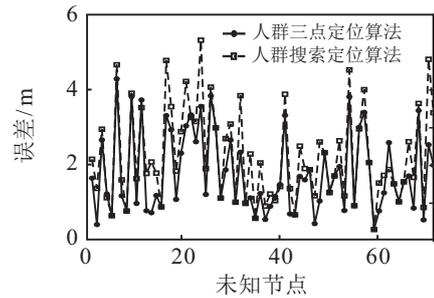


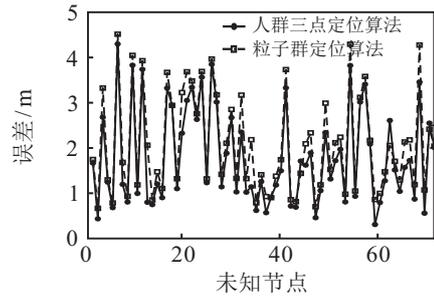
图4 平均定位误差与通信距离关系比较

位精度同样优于人群搜索定位算法、粒子群定位算法和蚁群定位算法, 且通信距离越长, 算法的定位精度越高.

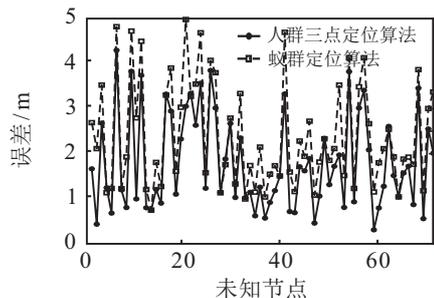
图5为信标节点所占比为30%, 算法的迭代次数设为300时, 基于人群搜索的三点定位算法分别与人群搜索定位算法、粒子群定位算法、蚁群定位算法的未知节点定位误差比较曲线. 以上都是在仿真50次后计算出平均值得到的结果, 可以看出, 基于人群搜索的三点定位算法求解出的坐标值更为准确, 要优于其余3种定位算法.



(a) 与人群搜索定位算法比较



(b) 与粒子群定位算法比较



(c) 与蚁群定位算法比较

图5 未知节点定位误差比较

### 5 结论

本文提出了一种无线传感器网络测距定位算法, 即基于人群搜索的三点定位算法, 建立了一种三点估计未知节点坐标模型. 利用该模型求取未知节点的坐标, 使用距离差法从中选出一个准确的坐标值, 得到的未知节点坐标作为人群搜索算法的初始位置, 再利用改进的人群搜索算法对未知节点的位置进行优化, 从而提高该算法的定位精度. 使用 Matlab 软件, 将基于人群搜索的三点定位算法、人群搜索定位算法、

粒子群定位算法和蚁群定位算法进行了对比分析,结果表明基于人群搜索的三点定位算法具有较高的定位精度.

#### 参考文献(References)

- [1] Remesh Babu Ramans, Suja G J, Philip Samuel, et al. Performance analysis of big data gathering in wireless sensor network using an EM based clustering scheme[C]. Int Conf on Advances in Computing and Communications. Kochi: IEEE, 2015: 109-113.
- [2] Wang J Y, Chen C P, Lin T S, et al. High-precision RSSI-based indoor localization using a transmission power adjustment strategy for wireless sensor networks[C]. IEEE 14th Int Conf on High Performance Computing and Communication. Taipei, 2012: 1634-1638.
- [3] Zheng W, Esrafil Jedari, Roberto Muscedere, et al. Improved particle filter based on WLAN RSSI fingerprinting and smart sensors for indoor localization[J]. Computer Communications, 2016, 83(6): 64-71.
- [4] Liang C, Heidi Kuusniemi, Chen Y W, et al. Constraint Kalman filter for indoor blue tooth localization[C]. European Signal Processing Conf(EUSIPCO). Nice: IEEE, 2015: 1960-1964.
- [5] Cho Seong Yun. A modified residual-based extended Kalman filter to improve the performance of wifi RSSI-based indoor positioning[J]. J of Institute of Control, Robotics and Systems, 2015, 21(7): 684-690.
- [6] 陆霞. WiFi定位技术——基于质心定位的三边定位算法的研究[J]. 电脑知识与技术, 2013, 9(25): 5765-5767.  
(Lu X. WiFi localization technology — Study about three side single localization algorithm based on centroid localization algorithm[J]. Computer Knowledge and Technology, 2013, 9(25): 5765-5767.)
- [7] 陈志奎, 司威. 传感器网络的粒子群优化定位算法[J]. 通信技术, 2011, 44(1): 102-104.  
(Chen Z K, Si W. Particle swarm optimization localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Communications Technology, 2011, 44(1): 102-104.)
- [8] 刘韵婷, 张嗣瀛, 井元伟. 基于粒子群优化的无线传感器网络非视距节点定位算法[J]. 控制与决策, 2015, 30(6): 1106-1110.  
(Liu Y T, Zhang S Y, Jing Y W. Non-line of sight node localization algorithm based on particle swarm optimization for wireless sensor networks[J]. Control and Decision, 2015, 30(6): 1106-1110.)
- [9] 谢松. 基于蚁群算法的无线传感器网络节点定位算法研究[D]. 武汉: 华中师范大学计算机学院, 2014.  
(Xie S. Research on node localization algorithm based on ant colony optimization for wireless sensor networks[D]. Wuhan: College of Computer, Huazhong Normal University, 2014.)
- [10] Dai C H, Zhu Y F, Chen W R. Seeker optimization algorithm[C]. Proc 2006 Int Conf Computational Intelligence and Security. Guangzhou: IEEE, 2006, 1: 225-229.
- [11] 冯秀芳, 吕淑芳. 基于RSSI和分布粒子群算法的无线传感器网络定位算法[J]. 控制与决策, 2014, 29(11): 1966-1972.  
(Feng X F, Lv S F. Wireless sensor networks locating algorithm based on RSSI and split-step particle swarm optimization algorithm[J]. Control and Decision, 2014, 29(11): 1966-1972.)
- [12] 约翰逊 R A. 近代欧氏几何学[M]. 上海: 上海教育出版社, 1999: 47-48.  
(Johnson R A. Advanced Euclidean geometry[M]. Shanghai: Shanghai Foreign Language Education Press, 1999: 47-48.)
- [13] 矢野健太郎. 几何的有名定理[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 39-40.  
(Yano Kentaro. Famous geometrical theorems[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1986: 39-40.)
- [14] 季必晔, 顾燕. 无线传感器网络自适应惯性权重定位算法[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(27): 6967-6973.  
(Ji B Y, Gu Y. An adaptive weight positioning method in wireless sensor network[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(27): 6967-6973.)

(责任编辑: 郑晓蕾)