

基于果蝇优化的 WSNs 三维节点定位算法

王海云, 李 洁, 张 姣
(重庆邮电大学 移通学院, 重庆 401520)

摘 要: 利用果蝇算法实现简单, 收敛速度快, 且有很高精度的优势结合三维空间定位特点, 提出一种基于果蝇优化算法(FOA)的三维传感器网络节点定位算法. 该算法将三维立体空间中未知节点与信标节点之间的估计距离和实际距离的误差值以 Taylor 级数展开, 作为果蝇优化算法中适应度函数, 依靠算法较强的全局的搜索能力及其自主寻优能力保留每一组中最接近实际值的坐标; 再通过算法的迭代比较, 从保留值中选出最优坐标. 仿真结果表明, 本算法具有定位精度高、复杂度低、鲁棒性好的特点; 并且通过与基于粒子群(PSO)的定位算法比较, 说明本算法其受到信标节点个数及通信距离变化的影响很小, 验证了算法的实用性.

关键词: 无线传感器网络; 三维定位; 果蝇优化算法; 定位精度; 智能定位

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2018)12-0099-06

Three-Dimensional Localization Algorithm Based on Fruit Flies Optimization Algorithm in WSNs

WANG Hai-yun, LI Jie, ZHANG Jiao

(College of Mobile Telecommunications, Chongqing University of posts and Telecommunications, Chongqing 401520, China)

Abstract: The fruit fly optimization algorithm (FOA) is simple, fast convergence and high accuracy, so a kind of three-dimensional localization algorithm based on FOA is put forward. The error of distance in three-dimensional between the unknown node and beacon node is expanded in a Taylor series as the fitness function of FOA. Relying on the strong global search ability and independent optimization ability of FOA, the most close to the actual value in each set of coordinates can be get; Through the algorithm of iterative comparison, choose the optimal coordinates from retain value. The simulation results show that the three-dimensional localization algorithm has the advantages of high precision, low computational complexity and good robustness; Compared with localization algorithm based on PSO, showing that localization algorithm based on FOA is effected by the changes of beacon nodes and the communication distance very small, this can verify the practicability of the algorithm.

Key words: wireless sensor networks; three-dimensional localization; fruit fly optimization algorithm; location accuracy; intelligent localization

1 引言

节点定位技术是 WSNs(Wireless Sensor Networks)得到广泛应用的核心技术之一, 但由于受到硬件条件和其他因素的制约, 也仍然是难点技术之一.

近年来, 一些学者对三维立体空间定位进行了理论研究. 江禹生等^[1]提出一种新的无线传感网非测距三维节点定位算法; 张美金等^[2]提出以混沌粒子群算法为基础的三维定位算法能够有效降低测距过程中所产生的误差对节点定位精度的影响; 李锋^[3]提出的基于粒子群 APIS-3D 定位算法, 平均定

位偏差较小,能较好满足工程应用要求;刘健等^[4]提出的基于支持向量机的新型传感器三维定位算法平均定位偏差较小,能较好满足工程应用要求;周礼争等^[5]提出的基于球切割的 APIT 定位算法,与传统 APIT-3D 算法相比,降低了计算复杂度,但定位精度的提高并不明显。

这些定位算法从不同方面对于定位的研究有所提高,但三维立体空间涉及到的算法复杂度较高、计算量大,简单移植二维平面的定位算法是不可行的,需要一种算法复杂度低、收敛速度快、通用性强的定位算法。为此本文提出一种基于果蝇优化算法(Fruit Fly Optimization Algorithm, FOA)的三维传感器网络节点定位算法,以实现三维空间内节点的准确定位。

2 无线传感器网络的三维定位技术

2.1 测距算法

本文采用基于信号到达时间差(TDOA)的测距技术,该项测距技术是发送端同时发射出两种不同速率的信号,接收端根据两种信号到达的时间差和速率计算出两点之间的距离。但是实际测量中由于接收端处理信号的时间长短不一致,以及信号传输过程中存在噪声干扰,则使得测出的两个节点之间距离 d 产生误差。

2.2 三维节点位置计算方法

在无线传感器三维立体空间定位系统中,需要获得 4 个或 4 个以上的信标节点的距离来确定一个待测节点的坐标(简称四边测量法)。如图 1 所示,在三维定位系统中,给定 4 个处于不同平面的信标节点 $A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2), C(x_3, y_3, z_3), D(x_4, y_4, z_4)$, 并且通过测距方法可测出 4 个信标节点到待测节点 $M(x, y, z)$ 的测量距离 d_1, d_2, d_3, d_4 , 分别以四个信标节点为圆心,以 d_1, d_2, d_3, d_4 , 为半径做球,理论上,4 个球的交点 $M(x, y, z)$ 即是待测节点的位置。

在定位系统中,由于信号在传输过程中的干扰和环境因素影响,会使测出的距离与实际距离产生一定偏差,因此,通过节点坐标计算方法计算出的节点位置也会出现误差。因此,实际的定位系统中,4 个球并不一定相交于一点,所以需要通过优化算法对距离误差进行优化,尽量实现理论的节点位置。

假设未知节点 M 的实际坐标为 (x, y, z) , 用四边测量法估计的坐标为 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$, 实际坐标与估计

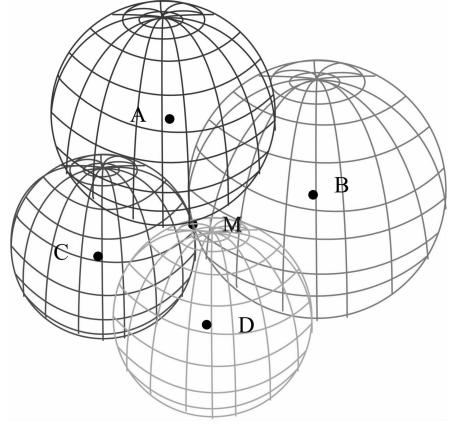


图 1 四边测量法示意图

坐标的偏移量用 $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ 表示,则有:

$$\begin{cases} x = \hat{x} + \Delta x \\ y = \hat{y} + \Delta y \\ z = \hat{z} + \Delta z \end{cases} \quad (1)$$

假若有 n 个信标节点,其坐标分别为 $p_1(x_1, y_1, z_1), p_2(x_2, y_2, z_2), \dots, p_n(x_n, y_n, z_n)$, 因此未知节点的实际坐标与信标节点之间的实际距离 d_i 和估计距离 $\hat{d}_i$ 分别为式(2)、式(3):

$$d_i = f(x, y, z) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (2)$$

$$\hat{d}_i = f(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) = \sqrt{(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2 + (\hat{z} - z_i)^2} \quad (3)$$

则有:

$$f(x, y, z) = f(\hat{x} + \Delta x, \hat{y} + \Delta y, \hat{z} + \Delta z,) \quad (4)$$

将 $f(x, y, z)$ 在估计坐标 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ 处展开成 Taylor 级数,可得:

$$\begin{aligned} f(x, y, z) &= f(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) + \left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial x} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (x - \hat{x}) + \\ &\left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial y} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (y - \hat{y}) + \left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial z} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (z - \hat{z}) + \sigma \end{aligned} \quad (5)$$

为了保证实际坐标与估计坐标之间的线性关系方便计算,将(5)式中的一阶偏导数后所有项省略掉,即忽略 σ 。则(5)式写为:

$$f(x, y, z) = f(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) + \left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial x} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (x - \hat{x}) + \left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial y} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (y - \hat{y}) + \left. \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial z} \right|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (z - \hat{z})$$

$$(x - \hat{x}) + \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial y} \bigg|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (y - \hat{y}) + \frac{\partial f(x, y, z)}{\partial z} \bigg|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} (z - \hat{z}) \quad (6)$$

对(6)式中的后三项求一阶偏导数为:

$$\frac{\partial f(x, y, z)}{\partial x} \bigg|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} = \frac{\hat{x} - x_i}{\hat{d}_i} \quad (7)$$

$$\frac{\partial f(x, y, z)}{\partial y} \bigg|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} = \frac{\hat{y} - y_i}{\hat{d}_i} \quad (8)$$

$$\frac{\partial f(x, y, z)}{\partial z} \bigg|_{\substack{x=\hat{x} \\ y=\hat{y} \\ z=\hat{z}}} = \frac{\hat{z} - z_i}{\hat{d}_i} \quad (9)$$

根据未知节点的实际坐标与信标节点之间的实际距离公式(4)和估计距离公式(5)可得距离误差 Δd_i 的表达式如下:

$$\Delta d_i = d_i - \hat{d}_i \quad (10)$$

$$\text{即: } \Delta d_i = f(x, y, z) - f(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) \quad (11)$$

综合(6)式,(10)式可写为:

$$\Delta d_i = \frac{\hat{x} - x_i}{\hat{d}_i} (x - \hat{x}) + \frac{\hat{y} - y_i}{\hat{d}_i} (y - \hat{y}) + \frac{\hat{z} - z_i}{\hat{d}_i} (z - \hat{z}) \quad (12)$$

由此可见,未知节点的估计坐标 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ 不同时,距离误差 Δd_i 不同.因此,当 Δd_i 取最小值时,估计坐标 $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$ 越接近实际坐标,利用果蝇优化算法优化未知节点位置的问题实质上转化成了求(12)式最小值的问题.

3 基于果蝇优化算法的三维节点定位算法

3.1 果蝇优化算法及算法改进

果蝇优化算法与优化问题有较好的相合性^[6-8].

果蝇优化算法的改进:

本文将果蝇算法引进到无线传感器网络三维节点定位中优化定位误差.在基本的果蝇优化算法中,为了适应优化三维节点误差的特殊性,从两个方面对果蝇算法进行适当优化改进.

第一,将果蝇优化算中的二维平面坐标 (x, y) 扩展至三维立体坐标 (x, y, z) ;

第二,根据实际问题列写的函数表达式,这是果

蝇优化算法的核心点.在三维定位算法中,根据公式(12)计算每个果蝇的估计距离与实际距离差 Δd_i ,即待测节点与信标节点之间的距离误差;再将味道浓度判定值代入味道浓度判定函数(13)式,计算出该果蝇个体位置的味道浓度.因此求解未知节点位置的问题进一步转化成了求(13)式最小值的问题.

$$\text{Smell}(i) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (\Delta d(i))^2 \quad (13)$$

3.2 基于果蝇优化算法的三维节点定位算法

参照图1采用4个信标节点进行定位,信标节点 A, B, C, D 的坐标分别为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3), (x_4, y_4, z_4)$.基于果蝇优化算法的三维节点定位算法步骤:

步骤1:将未知节点和信标节点部署在实验区域,通过未知节点和信标节点之间的相互通信,使用测距算法计算节点间的距离,使每个未知节点都接收并保存其到各个信标节点的距离;

步骤2:初始化果蝇群体.随机初始化种群位置,根据预先确定的种群数量和目标区域的大小确定种群迭代次数;

步骤3:根据公式(12)计算每个果蝇的估计距离与实际距离差 Δd_i ;

步骤4:将味道浓度判定值代入味道浓度判定函数,即公式(13),计算出该果蝇个体位置的味道浓度,保存在数组 $\text{Smell}(i)$ 中;

步骤5:通过比较,在 $\text{Smell}(i)$ 中找出此果蝇群体中味道浓度最高的果蝇个体 bestSmell ,该个体可使误差的平方和最小;

步骤6:保留最佳的保留最佳味道浓度值 $\text{Smellbest} = \text{bestSmell}$, $(X(i), Y(i), Z(i))$ 坐标,此时果蝇群体利用视觉飞向该位置;

步骤7:迭代寻优,判断本次迭代计算出的 bestSmell 是否小于上一次保留的最佳味道浓度值 Smellbest .若是,保留本次的 bestSmell 作为 Smellbest ,并且保留 $(X(i), Y(i), Z(i))$ 坐标;若否,转向步骤2,直至迭代结束.

4 实验仿真与性能分析

本文在 Matlab7.12 环境下进行仿真,仿真区域为 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的三维空间.信标节点按固定位置放置,其它节点随机布置,以信标节点比例为 20% 的情况布置 20 个信标节点和 100 个未知节点,信标节点的通信半径是可变化的,未知节点的通信

半径为 12 m. 仿真区域以及节点布置如图 2 所示.

4.1 三维定位结果分析

为了准确的评价果蝇优化算法在三维节点定位技术中的适用性,先以一个三维节点的定位为例:假设未知节点的坐标为 $M(5,3,2)$ (在实际中该点坐标为待测坐标),已知的三个信标节点坐标分别为 $(1,1,0), (4,2,2), (2,5,7), (3,1,7)$.

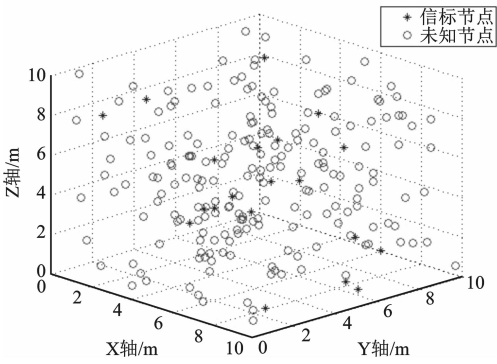


图 2 仿真实验节点分布图

果蝇优化算法的各参数取值为:种群规模为 30,最大迭代次数为 100. 从寻得最小误差及最优值产生的迭代次数来观察果蝇优化算法的定位性能.

由图 3 的节点的最优值收敛图可见,未知节点的误差值随迭代次数的增加而快速衰减,大约经过 25 次迭代之后,最小均方误差几乎衰减为零,故迭代次数选择 100 次足够满足定位误差要求,并且说明了果蝇优化算法的收敛速度很快.

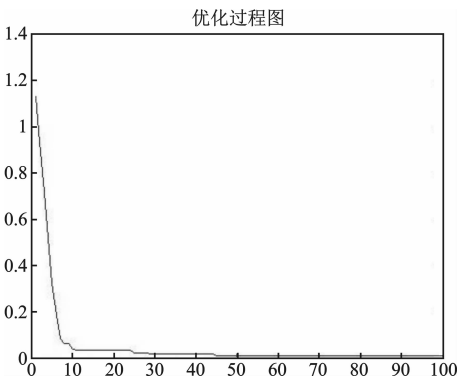


图 3 被测节点最优值收敛图

在图 4 的三维定位结果图中,“o”表示 M 点的实际坐标,“*”是果蝇群体的寻优轨迹. 由图可见,经过寻优比较后,果蝇群体基本都聚集在 M 点附近,通过程序的运行结果可知,果蝇群体寻找到最终的三维坐标为 $(4.974\ 1, 2.007\ 7, 2.991\ 8)$,与 M 点的实际坐标 $M(5,3,2)$ 非常接近;最终寻找到的最小误差值为 0.008 9,取自于第 57 个点.

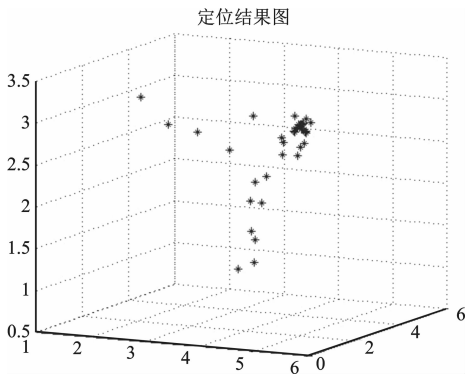


图 4 三维定位结果图

4.2 基于 FOA 与基于粒子群的三维定位算法的性能比较

为了突出说明果蝇优化算法在节点定位中的优越性与准确性,将基于 FOA 与基于粒子群 (particle swarm optimization, PSO) 的三维节点定位算法进行比较. 针对 10 组待测组待测节点所测坐标及它们的实际坐标列成表 1,在此基础上,计算出两种智能算法优化之后的定位节点位置与节点实际位置之间的相对误差和标准误差.

(1)两种三维定位算法的定位精度及鲁棒性分析

为了保证实验的可比性,任选 100 个未知节点中的其中 10 个节点进行定位,信标节点也采用随机布撒的方式进行布置. 算法中其他所有参数的确定都与前面的最优参数值保持一致. 现对任选的 10 节点分别采用两种算法进行定位,定位结果列成表 1,并将这 10 个定位的节点在三维空间中标出来,如图 5 所示.

参照表 1 以及图 5 对两种三维定位算法进行比较,基于 PSO 的定位算法定位的 10 个节点中,有 5 个节点的定位较为准确,剩余 5 个节点的坐标偏差较大;而基于 FOA 的定位算法定位的 10 个节点的坐标都与真实坐标非常接近. 由此可知,基于 FOA 的定位算法具有较好的定位精度.

在图 6 中对两种三维定位算法的误差进行了分析比较. 由图可见,基于 FOA 的定位算法的平均误差都低于 0.03 m,而基于 PSO 的定位算法的平均误差波动很大,最大的超过 3 m;同等条件下,基于 FOA 的定位算法定位每个节点的坐标只需定位一次就可准确估计节点的坐标,基于 PSO 的定位算法对每个节点需要多次定位才能较为准确的估计出节点的坐标,这说明基于 FOA 的定位算法较基于 PSO 的定位算法的稳定性较好,这点在图 8 中也有所体现. 通过表 2 可见这两种算法的程序运行时间基本一致,因此从稳定性方面考虑,基于 FOA 的定位算法具有明显优势.

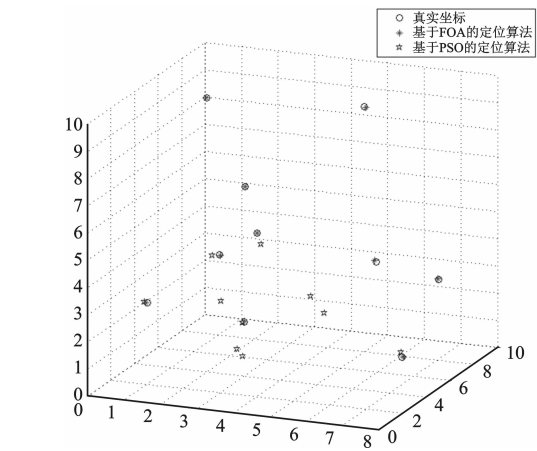


图5 10个节点的空间定位图

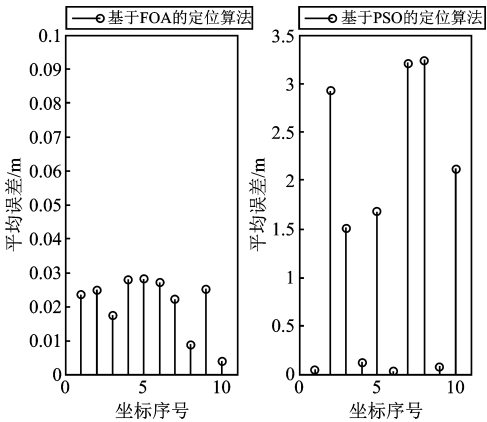


图6 节点坐标的误差比较图

表1 两种三维定位算法的定位结果

真实坐标	基于 FOA 的定位算法		基于 PSO 的定位算法	
	测出坐标	相对误差 (%)	测出坐标	相对误差 (%)
(1,2,3)	(0.988 0, 1.942 7, 3.001 6)	1.37	(0.929 6, 1.974 3, 3.021 7)	3.01
(5,9,3)	(4.966 8, 9.010 3, 3.031 3)	0.61	(4.372 1, 9.375 1, 1.466 9)	22.60
(4,2,6)	(4.006 3, 1.968 5, 6.014 0)	1.96	(2.856 9, 2.535 3, 7.163 4)	27.40
(7,5,1)	(7.042 0, 4.976 6, 1.018 3)	0.96	(6.923 9, 5.162 3, 1.115 8)	5.30
(8,5,4)	(7.963 3, 5.045 0, 4.003 0)	0.48	(5.089 7, 4.334 1, 2.539 0)	28.74
(3,4,2)	(3.106 3, 5.960 8, 2.026 1)	17.95	(2.961 5, 3.998 9, 1.935 7)	1.51
(5,8,9)	(5.049 6, 7.995 4, 8.983 8)	0.41	(4.525 9, 6.949 6, 7.875 3)	11.70
(1,7,9)	(0.990 7, 6.985 0, 9.002 0)	0.39	(1.013 8, 5.829 4, 6.956 1)	13.55
(2,5,4)	(2.034 5, 5.015 7, 3.974 7)	0.89	(1.824 7, 4.970 4, 3.971 6)	3.35
(4,1,8)	(4.000 6, 1.004 7, 8.005 7)	0.18	(3.927 6, 1.036 9, 1.753 3)	27.86
标准偏差	6.06	20.75		

表2 算法复杂度及性能比较

算法名称	定位准确率 (%)	平均仿真耗时/s	算法鲁棒性
基于 FOA 的定位算法	99.70	0.21	高
基于 PSO 的定位算法	82.75	0.23	低

(2)信标节点个数对定位的影响

在仿真区域内随机分布的 100 个节点中,从中选取部分进行定位. 设定测距半径为 10 m,信标节点从初始 4 个逐渐增加,比较使用基于 FOA 的定位算法和基于 PSO 的定位算法在不同信标节点个数时,定位误差的变化情况,实验结果如图 7 所示. 从图中可见,随着信标节点个数增多,未知节点的定位误差逐渐降低,并且基于 FOA 的定位算法的定位误差远远小于基于 PSO 的定位算法的定位误差,

由此可见,基于 FOA 的定位算法能够充分利用信标节点的信息实现空间定位,并且由图中可以看出,在信标节点逐渐增加时,定位误差降低不大,为了节约成本及能耗,节点数应该越少越好.

5 结束语

无线传感器网络三维节点定位技术更符合实际环境,其位置信息更全面. 本文提出的基于果蝇优化的三维传感器网络节点定位算法有效地解决了三维立体空间的定位问题. 仿真结果表明,在信标节点个数较少的情况下,本算法具有很高的定位精度;通过与基于 PSO 的定位算法比较,基于 FOA 的定位算法具有定位精度高、复杂度低、鲁棒性好的特点,并且比较说明本算法其受到信标节点个数的影响很小.

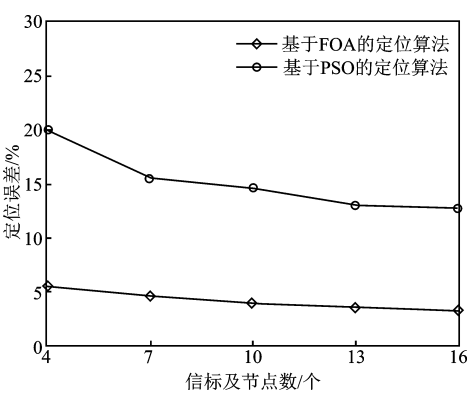


图 7 信标节点个数对定位的影响

参考文献:

[1] 江禹生, 冯砚毫. 无线传感网非测距三维节点定位算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版) 2012, 39(5):182-191.

[2] 张美金, 高俊亮. 混沌粒子群三维定位算法在井下WNS节点中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版). 2017, 36(2):142-146.

[3] 李锋. 粒子群 APIS-3D算法在三维传感网络中的定位研究[J]. 计算机应用与软件. 2017, 34(3):329-333.

[4] 刘健, 沈海斌. 无线传感器网络的三维定位算法研究[J]. 传感器与微系统. 2013, 32(9):66-71.

[5] 周礼争, 唐瑞, 张乙竹, 程俊, 余敏. 无线传感器网络中 APIT-SC 三维定位算法[J]. 传感器与微系统. 2015, 34(7):104-109.

[6] 虞继敏, 王海云, 唐贤伦. 改进果蝇优化算法的 WSNs 节点定位方法[J]. 微电子学与计算机. 2014, 31(11): 111-115.

[7] LIU C L, ZHANG L L, WANG J Q. Application of FOA-GRNN to Prediction of Moisture Content in Crude Oil of Wellheat Metering[J]. Computer Simulation, 2012,29(11):243-246.

[8] Pan, W T. Using Fruit Fly Optimization Algorithm Optimized General Regression Neural Network to Construct the Operating Performance of Enterprises Model [J]. Journal of Taiyuan University of Technology. 2011, 29(4): 1- 4.

作者简介:

王海云 女,(1987-),硕士,讲师. 研究方向为无线传感器网络节点定位、网络控制、智能算法.
E-mail: haiyunwang2011@163. com.

李洁 女,(1987-),硕士,讲师. 研究方向为电力电子技术及应用.

张姣 女,(1985-),硕士,讲师. 研究方向为图像处理,自动控制.