

# 基于 AFSA-LSSVM 的三维传感器节点定位<sup>①</sup>

傅 彬

(绍兴职业技术学院, 绍兴 312000)

**摘 要:** 为了提高三维无线传感器的定位精度, 针对最小二乘支持向量机(LSSVM)参数优化问题, 提出了一种人工鱼群算法(AFSA)优化 LSSVM 的传感器点定位方法(AFSA-LSSVM). 首先构建三维无线传感器定位模型的学习样本, 然后采用 LSSVM 构建三维节点定位模型, 并采用 AFSA 模拟鱼群的觅食、聚群及追尾行为找到最优 LSSVM 参数, 最后采用仿真实验测试节点的定位性能. 结果表明, 相对于其它定位方法, AFSA-LSSVM 提高了传感器节点的定位精度, 具有一定的实际应用价值.

**关键词:** 无线传感器网络; 三维节点定位; 最小二乘支持向量机; 人工鱼群算法

## Three-Dimensional Sensor Node Localization Based on AFSA-LSSVM

FU Bin

(Shaoxing Vocational & Technical College, Shaoxing 312000, China)

**Abstract:** In order to improve location precision of three-dimensional wireless sensor nodes, a novel three dimensional node location method of wireless sensor network is proposed in this paper based on least squares support vector machine (LSSVM) which parameters are optimized by artificial fish algorithm (AFSA). Firstly, the study samples are constructed for three-dimensional nodes localization model, and then LSSVM is used to build three-dimensional node localization model in which fish feeding behavior, cluster and rear end behavior are simulated to find the optimal parameters of LSSVM, and finally the performance is tested by simulation experiment. The results show that, compared with other localization methods, the proposed method can improve the precision of the sensor nodes and it has some practical application values.

**Key words:** wireless sensor network; three-dimensional node localization; LSSVM; artificial fish swarm algorithm

节点定位技术是无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)的关键技术, 随着应用范围不断扩大, 传感器节点的分布从应用的角度出发从二维转向三维发展, 传统的二维空间中的传感器的定位方法已经无法满足三维传感器节点定位的要求了, 因此提高三维传感器节点精度成为 WSN 研究中的热点<sup>[1,2]</sup>.

针对三维 WSN 节点的定位问题, 国内外许多专家和学者进行了大量研究, 提出许多的节点定位算法<sup>[3]</sup>. Liu Chong 等提出基于 APIS 的三维无线传感器网络节点定位方法, 该方法不需要测距, 简单、易实现, 但定位精度与信标节点密切相关, 鲁棒性较差<sup>[4]</sup>. 吕家亮等提出在三维基于距离的目标函数来评价微粒的

适应度定位方法, 该方法迭代次数多, 计算复杂度高, 难以满足传感器节点定位的实时性要求<sup>[5]</sup>. 毛科技等提出了基于共面度的三维定位算法, 取得了不错的效果, 但实现比较复杂, 应用范围受限<sup>[6]</sup>. 江禹生等提出一种基于 DV-Hop 的无需测距技术的定位方法, 该方法不需要增加硬件, 成本低, 但受累计误差的不利影响, 定位结果不理想<sup>[7]</sup>. 张晓莲提出了一种改进的 RSSI 测距算法, 但抗干扰能力差<sup>[8]</sup>. 郭晓雷利用 BP 神经网络强大的非线性逼近能力, 将其应用于三维传感器节点定位点, 提高了定位精度, 但是 BP 神经网络存在网络结构难以确定, 易出现过拟合等不足<sup>[9]</sup>. 周松斌等提出基于最小二乘支持向量机(Least Squares

<sup>①</sup> 基金项目:浙江省教育厅科研项目(Y201431515)

收稿时间:2015-01-23;收到修改稿时间:2016-01-25 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005278]

Support Vector Machine Classifier, LSSVM)的无线传感器网络节点定位方法, LSSVM 较好的克服了神经网络的过拟合、标准支持向量机训练速度慢等缺陷, 为无线传感器网络节点定位提供了一种新的研究工具<sup>[10]</sup>. 然而, LSSVM 在实际应用中, 其节点定位性能与参数直接相关, 因此要获得高精度的三维传感器节点定位精度, 首先必须选择最适应的 LSSVM 参数<sup>[11]</sup>.

人工鱼群算法(AFSA)是一种模拟鱼群觅食行为的群智能算法, 具有鲁棒性强、易实现等优点, 在组合优化领域取得了不错的应用效果<sup>[12]</sup>. LSSVM 参数选择实质上是一个大规模空间搜索的组合优化问题, 因此可借助于 AFSA 进行求解, 为此针对 LSSVM 参数优化问题, 提出了一种 AFSA 优化 LSSVM 的三维 WSN 节点定位方法(AFSA-LSSVM), 并通过仿真实验验证 AFSA-LSSVM 的有效性.

## 1 LSSVM的三维WSN节点定位方法

### 1.1 信标节点数据包广播阶段

信标节点向三维的 WSN 广播自身信息的数据包, 节点接收到信息后, 将跳数值加 1, 传到整个网络<sup>[13]</sup>.

### 1.2 计算每跳距离

在三维的 WSN 中, 每个信标节点根据其它信标节点的位置信息和跳数, 通过式(1)估算网络平均跳距:

$$HopSize_{ij} = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}}{\sum_{j \neq i} hopS_{ij}} \quad (1)$$

式中,  $j$  为信标节点  $i$  数据表中的其它信标节点号,  $hopS_{ij}$  为信标节点  $i$  和  $j$  之间的跳数.

信标节点将平均跳距广播至整个网络后, 未知节点仅记录所收到的第一个平均跳距, 并向邻居节点转发, 未知节点接收到平均跳距后, 根据所记录的跳数信息, 按式(2)估算未知节点  $i$  到某个信标节点的距离:

$$L_i = S_i \times HopSize_{ij} \quad (2)$$

### 1.3 LSSVM 对节点进行建模和定位

(1) 假设待定位节点  $S'_l(x'_l, y'_l, z'_l)$ , ( $l=1, 2, \dots, M$ ) 与信标节点  $S_j(j \in 1, 2, \dots, M)$  间的距离为  $d'_{ij}$ , 那么,  $S'_l$  与每个信标节点间的距离向量为:  $R'_l = [d'_{l1}, d'_{l2}, \dots, d'_{lL}]$ , 将  $M$  个待定位节点的距离向量  $R'_l$  和它的坐标  $(x'_l, y'_l)$  构成训练的样本集

$$U_X = \{(R'_l, x'_l) | l=1, 2, \dots, M\}, \quad U_Y = \{(R'_l, y'_l) | l=1, 2, \dots, M\}, \\ U_Z = \{(R'_l, z'_l) | l=1, 2, \dots, M\}.$$

(2) 利用 LSSVM 对样本集  $U_X, U_Y, U_Z$  分别进行训练, 对  $U_X$  构造并求解最优化问题如式(3)所示.

$$\min_{\omega, \xi, b} \frac{1}{2} \|\omega\|^2 + \gamma \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M \xi^2 \quad (3)$$

式中,  $\omega$  为权重;  $\gamma$  为正则化参数;  $\xi_i$  为随机误差<sup>[14]</sup>.

通过引入 Lagrange 算子  $a$  和  $b$ , 将式(3)转化为对偶问题, 即

$$\begin{bmatrix} 0 & \bar{1}^T \\ \bar{1} & \Omega + \gamma^{-1}I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ x' \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中,  $x' = [x'_1, x'_2, \dots, x'_M]^T$ ,  $a = [a_1, a_2, \dots, a_M]^T$ ,  $\bar{1} = [1, 1, \dots, 1]^T$ ,  $\Omega(m, n) = K(R'_m, R'_n)$ .

$$\text{由} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \bar{1}^T \\ \bar{1} & \Omega + \gamma^{-1}I \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ x' \end{bmatrix}, \text{可以得出 } a \text{ 和 } b,$$

可以得到 LSSVM 的决策函数为

$$\hat{x} = f_x(R) = \sum_{l=1}^M a_l K(R_i, R'_l) + b \quad (5)$$

(4) 未知节点  $S_i$  到每个信标节点的距离为  $d_{ij}$ , 构成了距离向量  $R_i = [d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iL}]$ , 作为决策函数  $f_x, f_y, f_z$  的输入向量, 得到  $\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i$ , 即  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i, \hat{z}_i)$  为未知节点  $S_i$  的估计坐标值.

## 2 AFSA-LSSVM

从 LSSVM 建模过程可知, 正则化参数  $\gamma$  值对 LSSVM 性能影响较大, 目前一些智能算法常采用遗传算法和粒子群算法对参数进行求解, 耗时长, 易得到局部最优解, 鉴于 AFSA 具有较强全局搜索能力, 而且具有简单和容易实现等优点, 本文采用 AFSA 来对 LSSVM 参数进行寻优, 找到最优 LSSVM 参数, 以提高传感器节点定位精度.

### 2.1 AFSA

人工鱼群算法(AFSA)是一种模仿鱼群觅食和追尾的群智能算法, 其几种典型行为如下:

(1) 觅食行为. 设人工鱼当前位置为  $X_i$ , 随机选择一个位置  $X_j$ , 如果  $X_i$  的食物密度不小于  $X_j$ , 则向此方向前进一步, 不然, 重新随机选择位置  $X_j$ , 再进行判断; 反复试探  $n_j$  次后, 仍然不能满足前进条件, 就随机前进一步.

$$\begin{cases} X_{i,next} = X_i + Rand() \cdot Step \cdot \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|} & Y_i < Y_j \\ X_{i,next} = X_i + Rand() \cdot Step & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $Rand()$ 为(0,1)范围内的随机数;  $Step$ 为移动步长<sup>[15]</sup>.

(2) 聚群行为. 设人工鱼视野范围内的伙伴数目为  $n_f$ , 中心位置为  $X_c$ . 若  $Y_c/n_f > \delta Y_i$  ( $\delta$ 为拥挤度因子), 表明伙伴食物密度大, 便朝伙伴中心前进一步, 不然执行觅食行为:

$$\begin{cases} X_{i,next} = X_i + Rand() \cdot Step \cdot \frac{X_c - X_i}{\|X_c - X_i\|} & Y_c/n_f > \delta Y_i \\ \text{觅食} & otherwise \end{cases} \quad (7)$$

(3) 追尾行为. 设人工鱼视野范围内食物浓度最高  $Y_j$  的人工鱼位置为  $X_{max}$ , 若  $Y_j/n_f > \delta Y_i$ , 则向  $X_j$  前进一步, 否则执行觅食行为.

$$\begin{cases} X_{i,next} = X_i + Rand() \cdot Step \cdot \frac{X_{max} - X_i}{\|X_{max} - X_i\|} & Y_{max}/n_f > \delta Y_i \\ \text{觅食} & otherwise \end{cases} \quad (8)$$

(4) 随机行为. 人工鱼在视野范围内随机选择一个状态, 然后向该方向移动, 属于觅食行为的缺省行为.

## 2.2 AFSA 优化 LSSVM 参数步骤

(1) 初始化人工鱼参数, 主要有移动步长  $Step$ 、种群规模  $n$ 、最大迭代次数  $max\_iterate$ .

(2) 在可行域范围内随机生成  $n$  条人工鱼, 它们的初始位置为  $(\gamma, \sigma)$ , 根据  $(\gamma, \sigma)$  参数组合值作为 LSSVM 的参数, 然后采用 LSSVM 进行训练和建模, 并得到模型对样本的预测结果.

(3) 根据式(10)计算适应度函数, 并选择适应度函数值最大的人工鱼个体进入公告板.

$$FC = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M ((f_x(R'_i) - x'_i)^2 + (f_y(R'_i) - y'_i)^2 + (f_z(R'_i) - z'_i)^2)} \quad (9)$$

式中,  $R'_i$  为节点到各信标节点的距离向量;  $f_x, f_y, f_z$  为利用优化建模参数建立的回归模型的估计值.

(4) 人工鱼模拟鱼群的觅食、追尾和聚群行为, 得到新的人工鱼位置.

(5) 与公告板人工鱼位置进行比较, 如果优于公告板, 那么将该人工鱼位置记入公告牌.

(6) 将最优公告牌的位置进行解码, 得到 LSSVM 最优参数  $(\gamma, \sigma)$ .

(7) 利用最优参数建立最优传感器定位模型, 并

对其性能进行测试.

## 3 仿真实验

### 3.1 仿真环境

为了测试 AFSA-LSSVM 的三维传感器节点定位方法性能的优劣, 在 Windows XP 操作系统下, 利用 Matlab 2012 工具箱进行仿真实验. 200 个传感器节点随机分布于在  $100\text{m} \times 100\text{m} \times 100\text{m}$  的三维区域内, 未知传感器节点数为 150, 已知位置信息的信标节点数为 50, 选择本文算法, 文献[5]和文献[8]算法进行对比, 进行一定次数的运行之后, 其平均定位误差作为评价标准.

### 3.2 结果与分析

#### 3.2.1 定位结果比较

定位结果如图1所示. 从图1可以清楚看出, 本文的算法在一定程度上可以把目标位置进行较好的拟合, 定位的效果比较理想. 文献[5]和文献[8]的定位位置与实际位置偏差比较大, 这主要由于本文算法中引入了最小二乘支持向量机, 能够在一定程度上克服三维空间中的定位拟合的缺陷, 结果表明, 本文选择 ELM 进行目标位置建模, 充分利用了位置信息场的的数据, 提高了目标定位精度.

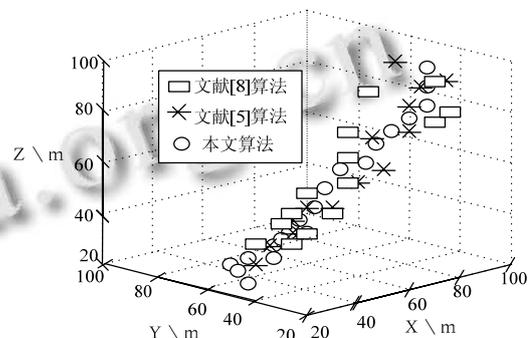


图1 三种算法在三维空间定位结果比较

#### 3.2.2 测距误差对定位误差的影响

在不同距离误差下, 文献[5]算法, 文献[8]算法和本文算法的定位误差如图2所示. 从图2可知, 随着距离误差的增加, 三种算法的节点定位误差呈增大趋势, 定位精度逐渐降低, 但本文算法增大的趋势低于其他两种算法, 这说明定位的性能得到了改善, 这说明在一定程度上, 采用 LSSVM 对 AFSA 算法进行优化, 可以得到了更优的 AFSA 的参数, 从而可以建立更优的

优传感器节点定位模型, AFSA-LSSVM 仍能较好的实现定位, 具有较强的抗干扰能力, 获得了更优的定位效果.

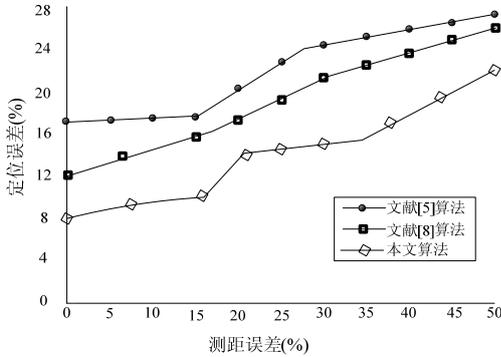


图 2 测距误差对定位精度的影响

3.2.3 不同通信半径下的定位误差对比

不同通信半径条件下, 文献[5]算法, 文献[8]算法和本文算法的定位误差如图 3 所示. 随着通信半径增加, 由于未知节点的可定位信标节点数增加, 同时信号强度增加, 测距更加准确, 3 种方法的传感器节点定位误差慢慢减少, 定位精度不断提高, 本文算法的定位误差相对于其他两种算法, 定位精度最高.

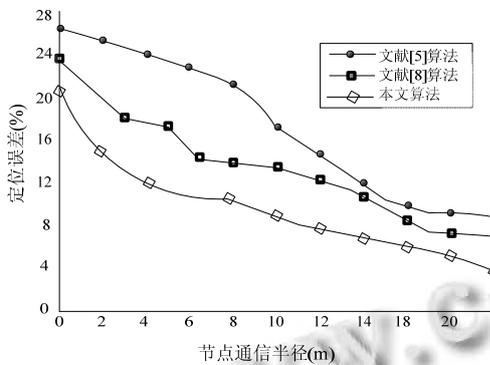


图 3 通信半径对定位精度的影响

3.2.4 不同信标节点密度的定位误差比较

信标节点的密度关系到无线传感中的成本问题. 在不同信标节点密度下, 将文献[5]算法, 文献[8]算法和本文算法的定位误差的变化情况如图 4 所示. 从图 4 可知, 随着信标节点密度的增加, 所有方法的定位误差逐步减小, 相对于其他算法, 本文算法的定位误差最低, 定位精度最高, 这说明 LSSVM 能够较好的优化 AFSA 参数, 本文算法对信标节点密度要求不高, 特别可以适合信标节点稀疏的网络环境.

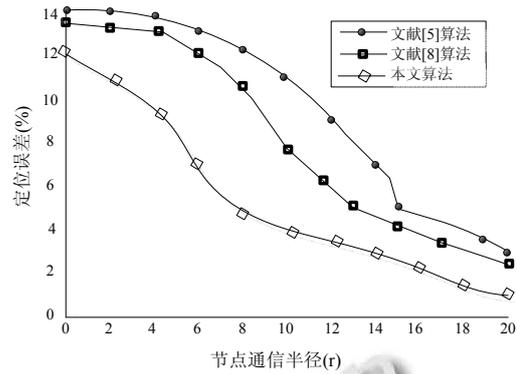


图 4 信标节点密度对定位精度的影响

4 结束语

节点定位是无线传感网络中的重要研究内容, 针对 LSSVM 在传感器节点定位过程的参数优化问题, 提出了一种 AFSA 优化 LSSVM 的三维 WSN 节点定位方法. 仿真结果表明, 本文算法需要较少信标节点可获得高精度的定位结果, 不仅定位的性能得到提升, 同时还可以降低传感器节点定位的成本等, 具有较高的应用价值.

参考文献

- 1 于宁, 万江文, 吴银锋. 无线传感器网络定位算法研究. 传感技术学报, 2007, 20(1): 187-192.
- 2 Yun S, Lee J, Chung W, et al. A soft computing approach to localization in wireless sensor networks. Expert System with Applications, 2009, 36(4): 7552-7561.
- 3 李辉, 李腊元, 李方云. 一种新型的无线传感器网络三维定位机制. 计算机工程与应用, 2010, 46(14): 115-119.
- 4 Liu C, Wu K, He T. Localization with ring overlapping based on comparison of received Signal Strength Indicator. 2004 IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems. 2004, 10: 516-518.
- 5 吕家亮, 王英龙, 崔焕庆等. 基于微粒群优化的三维无线传感网定位算法研究. 山东大学学报(理学版), 2013, 48(5): 78-82
- 6 毛科技, 赵小敏, 邵奔等. 无线传感网络中基于共面度的三维定位算法研究与设计. 传感技术学报, 2011, 24(10): 1484-1487.
- 7 江禹生, 冯砚毫, 管芳, 等. 无线传感网非测距三维节点定位算法. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2012, 39(5): 140-147.
- 8 张晓莲, 唐加山. 基于改进 RSSI 测距的 LSSVR 三维 WSN

- 定位算法.电视技术,2014,38(19):131-134.
- 9 郭晓雷,于宁,吴银锋等.B 神经网络在无线传感器网络三维定位中的应用.高技术通讯,2011,21(5):471-477.
- 10 周松斌,刘桂雄,张晓平等.基于 LS-SVR 的无线传感器网络节点定位方法.华南理工大学学报(自然科学版),2008,30(9):102-107.
- 11 纪玲玲,林振山,王昌雨,等.最小二乘回归支持向量机对非线性时间序列预测的试验分析.解放军理工大学学报(自然科学版),2009,10(1):92-98.
- 12 江铭炎,袁东风.人工鱼群算法及其应用.北京:科学出版社,2012.
- 13 陈嘉兴,刘志华.三维无线传感器网络节点的序列重心定位算法.计算机工程与应用,2011,47(2):81-84.
- 14 冯华丽,刘渊.小波分析和 AR-LSSVM 的网络流量预测.计算机工程与应用,2011,47(20):88-90.
- 15 刘静.基于 AFSA-LSSVM 的短时交通流量预测.计算机工程与应用,2013,49(17):226-229.

WWW.C-S-A.ORG.CN

WWW.C-S-A.ORG.CN