

基于 PSO 的测距模型参数估计三维定位算法

李国柱

(西安文理学院 物理与机械电子工程学院, 西安 710065)

摘要: 节点定位技术是无线传感器网络应用的重要支撑技术之一; 针对粒子群优化 (PSO) 定位方法的定位精度依赖于测距模型参数与实际值的符合程度, 在接收信号强度指示 (RSSI) 测距模型的基础上, 提出一种测距模型参数估计的三维定位算法; 该方法无需计算距离, 将未知节点的位置和 RSSI 测距参数作为自变量, 以信号强度误差为目标函数, 采用粒子群优化算法估算未知节点坐标; 仿真结果表明所提算法不依赖于测距模型参数的选取, 并取得了理想的定位精度。

关键词: 无线传感器网络; 接收信号强度指示; 三维定位; 粒子群优化算法; 参数估计

Ranging Model Parameters Estimate Three-dimensional Localization Algorithm Based on Particle Swarm Optimization

Li Guozhu

(School of Physics and Mechatronics Engineering, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an 710065, China)

Abstract: The node localization technology is a key support to wireless sensor networks application technology. The accuracy of Particle Swarm Optimization (PSO) localization method depends on the conformity of the ranging model parameters with the actual values. Using the Received Signal Strength Indicator (RSSI) ranging model, a three-dimensional localization algorithm is introduced based on estimate of ranging model parameters in this paper. Without calculating the distances, the algorithm takes the coordinates of unknown nodes and ranging model parameters as arguments, the signal strength errors as target function, and applies PSO algorithm to estimate the unknown node coordinates. The simulation results show that the proposed localization algorithm does not depend on the ranging model parameters, and obtains the ideal location accuracy.

Keywords: wireless sensor network; received signal strength Indication; three-dimensional localization; particle swarm optimization; parameters estimate

0 引言

无线传感器网络 (wireless sensor network, WSN)^[1] 的实际应用中, 必须要解决传感器网络的定位问题。基于接收信号强度指示 (received signal strength Indication, RSSI) 的定位方法^[2-3] 无需额外硬件, 成本低, 在无线传感器网络定位算法中被广泛使用。针对基于 RSSI 测距的定位算法定位精度低的问题, 已有科研人员将遗传算法^[4]、粒子群算法^[5-7] (particle swarm optimization, PSO) 应用于节点定位以提高定位精度。但这些方法均需要先通过测距模型计算未知节点和锚节点之间的距离, 若测距模型参数选取不当则所计算出的距离误差会增大, 从而影响定位精度。本文以具有一个移动锚节点的无线传感网为背景, 提出基于粒子群优化的测距模型参数估计三维定位算法, 将 WSN 中未知节点的位置和 RSSI 测距模型的参数同时作为目标函数自变量, 以 RSSI 的估计值和实际值误差最小为优化目标, 利用 PSO 方法进行未知节点坐标的估算, 提高了定位精度。

1 基于 RSSI 的测距模型

无线信号传播路径损耗对 RSSI 测量精度有很大影响, 实

际应用环境中, 由于多径、绕射、障碍物等因素, 使得无线信号传播模型十分复杂, 无线信号传输中普遍采用的模型如式 (1) 所示^[8-9]。

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\alpha \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_0 \quad (1)$$

其中: $PL(d)$ 为经过距离 d 后的路径损耗; $PL(d_0)$ 为经过单位距离后的路径损耗; d_0 为单位距离, 通常为 1 m; X_0 为均值为 0 的高斯分布随机数, 其标准差范围为 4~10; α 为信号衰减因子, 范围一般为 2~4。

接收端接收到的信号强度为:

$$P_R(d) = P_T + G_T - PL(d) \quad (2)$$

其中: $P_R(d)$ 为 RSSI; P_T 为发射信号的功率; G_T 为发射天线增益。

结合公式 (1), 上式可以改写为:

$$P_R(d) = A - 10\alpha \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_0 \quad (3)$$

其中: $A = P_T + G_T - PL(d_0)$ 是接收端在单位距离时的信号强度, 对于同一个锚节点和同一个未知节点可以认为 A 是一个常数。

2 基于 PSO 的测距模型参数估计三维定位算法

2.1 测距模型参数估计定位问题描述

对于仅有一个锚节点的 WSN 而言, 定位的实现依赖于锚节点的移动, 锚节点按照一定的轨迹遍历整个网络, 移动锚节点在移动的过程中, 以一定的时间间隔不断地广播自己的当前

收稿日期: 2014-05-04; 修回日期: 2014-06-05。

基金项目: 西安市科技计划项目 (CXY1352WL14)。

作者简介: 李国柱 (1976-), 男, 山西长治人, 讲师, 硕士, 主要从事智能算法和智能控制方向的研究。

位置。当移动锚节点位于某一个未知节点的通信区域时，该未知节点就能够接收到移动锚节点当前位置的坐标，同时该未知节点还能获得其相应的 RSSI 值。假设在移动锚节点遍历网络的过程中，该未知节点共接收到 n 个锚节点的坐标值 $m_1(x_1, y_1, z_1), m_2(x_2, y_2, z_2), \dots, m_n(x_n, y_n, z_n)$ 和相应的 RSSI 值分别为 $RSSI_1, \dots, RSSI_n$ 。可以把未知节点的定位问题看成是一个优化问题，这样通过迭代计算目标函数的最小值，来降低未知节点的坐标误差。传统方法是通过接收信号强度指示方法测量得到包含噪声信息的距离值，通过优化算法寻找未知节点的坐标估计值。但在实际应用中，未知节点对于测距模型公式 (3) 中的常数 A 以及信号衰减因子 α 均是未知的，因此得到的估计距离与实际距离的偏差会增大，使得优化后的结果与实际值偏离较大。

为了减少测距参数对定位精度的影响，本文将测距参数 A 与 α 直接作为估算对象，以未知节点坐标和测距参数作为目标函数自变量，以 RSSI 的估计值和实际值误差最小为优化目标，按照式 (4) 构建目标函数。

$$f(x, y, z, \tilde{A}, \tilde{\alpha}) = \frac{\sum_{i=1}^n |\tilde{A} - 10\tilde{\alpha} \lg(\tilde{d}_i) - RSSI_i|}{n} \quad (4)$$

式中， (x, y, z) 为未知节点的三维坐标估计值， \tilde{A} 和 $\tilde{\alpha}$ 分别为测距模型中的参数 A 和 α 的估计值， \tilde{d}_i 为 (x, y, z) 与所接收的锚节点的第 i 个坐标 $m_i(x_i, y_i, z_i)$ 之间的距离，定义为：

$$\tilde{d}_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} \quad (5)$$

2.2 粒子群算法及其改进

粒子群优化算法 (PSO) 具有收敛速度快、实现简单的特点，是一种高效实用的搜索算法。本文采用 PSO 算法来解决上述优化问题。

PSO 算法根据粒子本身和同伴的飞行经验来更新自己的速度和位置，假设 D 维搜索空间中的第 i 个粒子的位置和速度分别为 $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{iD})$ 和 $V_i = (v_{i1}, \dots, v_{iD})$ ，在每一次迭代中，粒子通过根据式 (6) 和式 (7) 更新自己的速度和位置。

$$v_{id} = \omega \cdot v_{id} + c_1 r_1 (p_{gd} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \quad (6)$$

$$x_{id} = x_{id} + v_{id} \quad (7)$$

其中： $i=1, 2, \dots, N$ ； ω 为惯性权重； c_1 、 c_2 为学习因子，分别调节向个体最优粒子和全局最优粒子方向飞行的最大步长，合适的 c_1 、 c_2 可以加快收敛且不易陷入局部最优，通常令 $c_1=c_2=2$ ； r_1 和 r_2 为 $0 \sim 1$ 之间的随机数； p_{id} 为粒子 i 迭代过程中局部最优解 p_{best} 的第 d 维分量； p_{gd} 为粒子群迭代过程中全局最优解 g_{best} 的第 d 维分量。

在本文所提算法中，粒子的位置定义为五维向量 $(x, y, z, \tilde{A}, \tilde{\alpha})$ ，考虑到 WSN 节点的实际情况分别对第 d 维空间定义搜索上限 u_d 和搜索下限 l_d 。在位置更新过程中，若粒子位置的第 d 维分量 x_d 的值超出了可行解空间范围，则重复下式，直到 x_d 值位于可行解空间。

$$\begin{cases} x_d = 2u_d - x_d, x_d > u_d \\ x_d = 2l_d - x_d, x_d < l_d \end{cases} \quad (8)$$

惯性权重 ω 对粒子群算法的性能影响较大，较大的惯性权重 ω 可以增强算法的全局搜索能力，而较小的 ω 能加强局部搜索能力。本文中 ω 按下式取值：

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{T} \cdot t \quad (9)$$

其中： t 为当前迭代次数； T 为最大迭代次数； ω_{\max} 、 ω_{\min} 分别表示惯性权重的最大值和最小值。惯性权重 ω 随着迭代次数的增加而减小，避免粒子在全局最优解附近出现振荡现象。

2.3 定位流程

对于任意一个未知节点来说，采用粒子群算法进行定位的工作流程如图 1 所示。

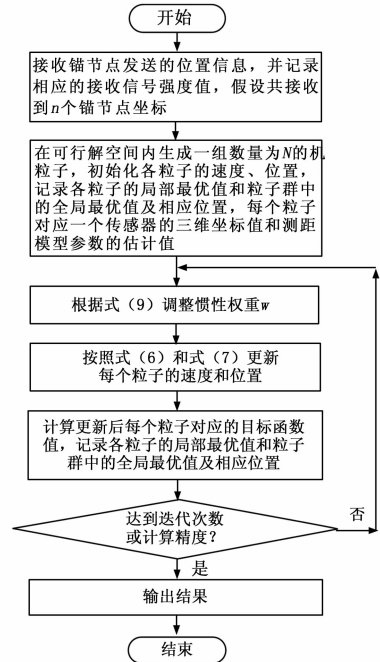


图 1 PSO 测距模型参数估计定位算法流程图

3 仿真分析

本文利用 Matlab 进行仿真。50 个未知节点随机散布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高) 的空间内。一个可以飞行的移动锚节点按照预定轨迹，在空中边飞行边向地面的传感器节点周期性发布自己的位置信息，通信半径为 80m。接收信号强度指示测距模型中的常数 A 取 -45.8 dB ，衰减因子 α 取 3， d_0 为 1 m，其中引入的高斯白噪声标准差为 5 dB，RSSI 采用 10 次接收信号强度值的平均值。图 2 给出了移动锚节点的路径和发布信息的位置分布情况，本文中移动锚节点路径采用 S 形遍历方式，如图 2 中的粗实线所示，锚节点发布信息的位置用“ \circ ”表示，同一平面内广播位置间隔 10 m，飞行平面高度分别取 50 m 和 70 m。

3.1 算法有效性实验

将本文算法与文献 [6] 所提 PSO 三维定位算法进行比较，为验证本文算法的有效性，对于文献 [6] 所提算法分别用不同的测距模型参数，重复实验 30 次比较各算法定位误差，其中定位误差表示每个未知节点得到的估计坐标和未知节点自身坐标的距离之差。

图 3、图 4 分别给出了当 A 和 α 取不同值时，文献 [6] 算法的结果。本文算法结果也显示在图 3、图 4 中，其中各算法中的最大迭代次数取 100。

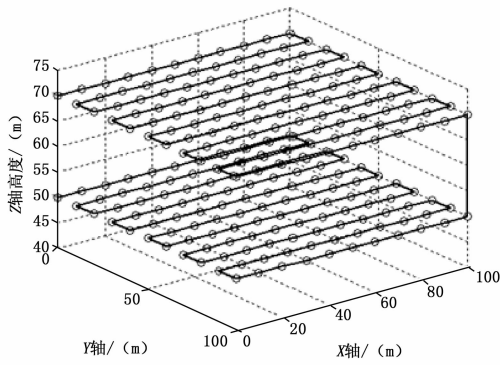


图 2 移动锚节点路径和发布信息的位置分布

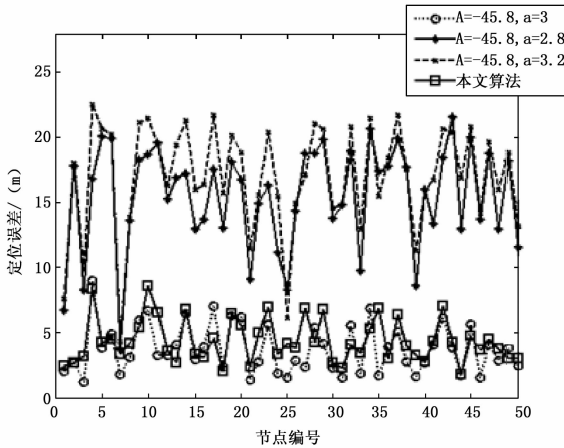


图 3 α 取不同值时文献 [6] 与本文算法的比较

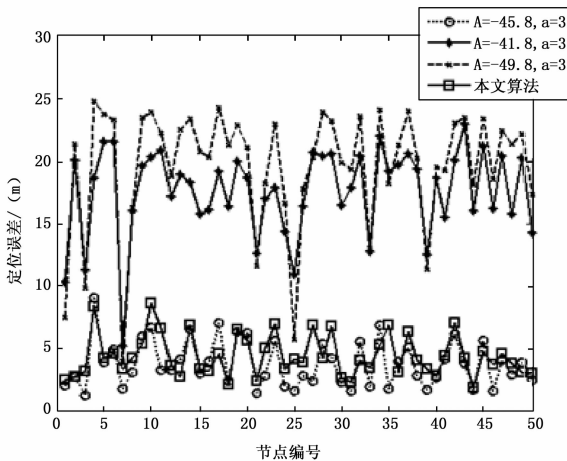


图 4 A 取不同值时文献 [6] 与本文算法的比较

从图 3、图 4 中可以看出, 当文献 [6] 所提算法中常数 A 和衰减因子 α 的取值与实际情况相符时, 可以取得较小的定位误差, 而当该算法中常数 A 和衰减因子 α 的取值与实际情况有差距时, 算法的定位误差较大。可见该算法对于测距模型参数的取值有较大的依赖性。本文算法直接将 A 和 α 作为自变量进行寻优, 不再依赖测距模型参数的取值, 同时从图中可以看到本文算法的定位精度同文献 [6] 算法中模型

参数取值与实际值一致时定位精度相当。实验证实了本文所提算法的有效性。

3.2 噪声强度对算法定位精度的影响

无线信号传输过程中引入的噪声强度对无线传感器网络的定位精度有较大的影响。针对本文所提算法, 高斯白噪声标准差取 4~10 dB, 重复实验 30 次求平均定位误差。平均定位误差表示是经过 30 次重复实验之后得到的所有未知节点的误差之和的平均值。实验结果如图 5 所示。可以看出节点的定位精度随着噪声强度的增加而降低, 当噪声标准差为 10 时, 算法的平均定位误差不超过 8 m, 可知本文所提算法具有一定的抗噪性能。

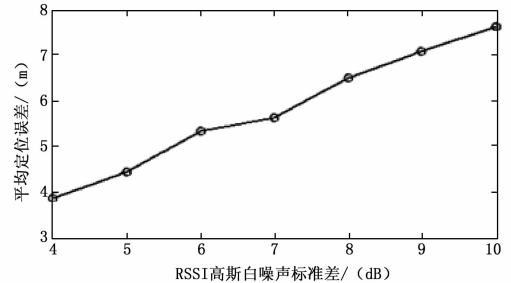


图 5 定位误差与噪声强度关系图

4 结论

本文以具有一个移动锚节点的无线传感网为背景, 将测距模型中的常数 A 和衰减因子 α 作为自变量, 以信号强度计算值与实际值的误差最小为优化目标, 采用粒子群优化算法进行未知节点的位置估算。本文所提算法不依赖于测距模型参数的取值, 无需计算距离, 适合于不同规模的传感器网络。仿真测试结果表明了本文所提算法的有效性。

参考文献:

- [1] Low K S, Nguyen H A, Guo H. Optimization of Sensor Node Locations in a Wireless Sensor Network [J]. Fourth International Conference on Natural Computation, 2008: 286-290.
- [2] 任红建, 朱玲玲, 杨爱琴. 基于 RSSI 测距和 DV-HOP 误差修正的 WSN 节点定位 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (10): 2863-2866.
- [3] 陈群, 高星伟, 郭杭, 等. 一种基于 RSSI 的三维加权质心定位算法 [J]. 测绘科学, 2013, 38 (4): 91-93.
- [4] 王金鑫, 赖旭芝, 吴敏, 等. 基于遗传算法的三维无线传感器网络定位新算法 [J]. 高技术通讯, 2008, 18 (6): 579-584.
- [5] 金彦亮, 薛用, 张勇. 基于 RSSI 的 WSN 节点室内定位分析 [J]. 上海大学学报 (自然科学版), 2012, 18 (5): 470-474.
- [6] 赵成林, 魏雄烈, 孙学斌, 等. 一种基于粒子群算法的三维无线传感器网络定位方法 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6 (1): 77-81.
- [7] 王新芳, 张冰, 冯友兵. 基于粒子群优化的改进加权质心定位算法 [J]. 计算机工程, 2012, 38 (1): 90-92, 95.
- [8] Guan W G, Deng Z L, Ge Y T, et al. A Location Fingerprinting Algorithm Based on RSSI Statistic Parameters Matching Estimate [J]. Key Engineering Materials, 2011, (6): 480-481.
- [9] 谭志, 张卉. 无线传感器网络 RSSI 定位算法的研究与改进 [J]. 北京邮电大学学报, 2013, 36 (3): 88-91.