

文章编号: 1001-9081(2010)07-1736-03

# 基于粒子群优化的无线传感器网络节点定位改进

陈星舟, 廖明宏, 林建华

(厦门大学 软件学院, 福建 厦门 361005)

(shingchow@gnail.com)

**摘要:** 针对无线传感器网络低成本、低功耗的要求, 提出了一种 DV-Hop 改进算法, 利用节点间的估计距离和锚节点的位置, 在 DV-Hop 算法的第三阶段使用粒子群优化的方法校正 DV-Hop 得到的估算位置。该算法不需要任何额外硬件设备和不增加通信量。仿真表明, 改进的算法可以使 DV-Hop 的平均定位误差下降 30%, 并有效降低了成本。

**关键词:** 无线传感器网络; 粒子群优化; DV-Hop 算法; 锚节点

**中图分类号:** TP393.17 **文献标志码:** A

## Improvement of node localization in wireless sensor network based on particle swarm optimization

CHEN Xing-zhou, LIAO Ming-hong, LIN Jian-hua

(Software School, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005 China)

**Abstract** Focusing on the requirements of low cost and low power in Wireless Sensor Network (WSN), the paper introduced a new method which was based on DV-Hop algorithm, using the Particle Swarm Optimization (PSO) to correct the position estimated by DV-Hop during the third stage of DV-Hop algorithm with the use of estimates of the distance between the nodes and the position of anchor nodes. This algorithm does not need any additional devices and increase in traffic. The simulation shows that the improved algorithm can decrease the average location error up to 30%, and effectively reduce the cost.

**Key words** Wireless Sensor Network (WSN); Particle Swarm Optimization (PSO); DV-Hop algorithm; anchor node

### 0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Network, WSN)<sup>[1]</sup> 由大量低成本、具有感知、计算和通信能力的传感器组成, 被广泛应用于实现对复杂环境的监测和追踪。节点定位技术是其中主要支撑技术之一。目前提出的定位算法大体上可分为基于测距的算法与无需测距的算法。基于测距的定位算法有接收信号强度 (Received Signal Strength Indicator, RSSI)<sup>[2]</sup>、到达时间 (Time of Arrival, TOA)<sup>[3]</sup>、到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA)<sup>[4]</sup>、到达角度 (Angle of Arrival, AOA)<sup>[5]</sup> 等。虽然基于测距的算法提高了定位的精度, 但是需要增加额外的硬件装置, 这样加大了定位所需的能量与成本。无需测距的定位算法不需要额外的硬件支持, 虽然定位精度较低, 但对于传感器网络的大多数应用, 这样的精度是可以接受的。当定位误差小于传感器节点无线通信半径的 40%<sup>[6]</sup> 时, 定位误差对路由性能和目标追踪精确度的影响不会很大。典型的无需测距的定位算法有质心算法<sup>[7]</sup>、凸规划定位算法<sup>[8]</sup>、DV-Hop 算法<sup>[9]</sup>。

DV-Hop 算法是利用跳段距离的定位算法中最受关注的一个, 有研究者基于遗传算法<sup>[10]</sup>、模拟退火算法<sup>[11]</sup> 对 DV-Hop 进行了优化。本文利用粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, PSO)<sup>[12]</sup> 的方法来校正 DV-Hop 算法定位结果。仿真显示, 改进的算法不仅可以降低定位误差, 在实际应用中还可以大大降低成本。

收稿日期: 2010-01-06 修回日期: 2010-03-10

作者简介: 陈星舟 (1984-), 男, 福建福州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线传感器网络; 廖明宏 (1966-), 男, 福建泉州人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 网络智能、智能嵌入式软件、普适计算; 林建华 (1986-), 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线传感器网络。

### 1 DV-Hop 算法模型相关工作

DV-Hop 算法的定位过程由三个阶段构成:

第一阶段 计算网络中所有节点到各个锚节点的最小跳数值。锚节点向邻居节点广播一个信标, 其中包括锚节点的坐标和跳数, 初始跳数为 0。邻居节点接收到信标后, 记录锚节点的坐标信息, 并记录和更新到每个锚节点的最小跳数, 而后再将跳数加 1, 继续向它的邻居广播。这样, 网络中的所有节点就记录下它到每个锚节点的最小跳数。

第二阶段 估计各节点间的距离。每个锚节点根据第一阶段记录的其他锚节点的坐标值和到这些节点的最小跳数计算平均每跳距离, 计算公式见式 (1)。锚节点计算出每跳平均距离后将结果广播至网络中, 未知节点仅记录接收到第一个每跳平均距离, 并转发给邻居节点; 然后未知节点将平均每跳距离值与最小跳数数值相乘, 得出该未知节点与锚节点间的距离。

$$Hopsize_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j} \quad (1)$$

其中  $Hopsize_i$  是第  $i$  个锚节点的平均每跳距离,  $h_j$  是当前位于  $(x_p, y_p)$  的锚节点与位于  $(x_j, y_j)$  的锚节点之间的跳数值。

第三阶段 计算出各节点的坐标。每个未知节点根据第二阶段得出的未知节点到锚节点的估计距离计算出自己的估计坐标。一般情况下, 网络中的锚节点数量会多于三个, 本文中采用最小二乘法来定位节点<sup>[13]</sup>。假定  $n$  个锚节点位置为

$A_1(x_1, y_1), A_2(x_2, y_2), \dots, A_n(x_n, y_n)$ , 未知节点位置为  $(x, y)$ , 未知节点到各锚节点的估计距离分别为  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , 则有:

$$AX = b \tag{2}$$

$$\text{其中, } X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}, \quad A = -2 \begin{bmatrix} (x_1 - x_n) & (y_1 - y_n) \\ (x_2 - x_n) & (y_2 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ (x_{n-1} - x_n) & (y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix},$$

$$b = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_n^2 - x_1^2 + x_n^2 - y_1^2 + y_n^2 \\ d_2^2 - d_n^2 - x_2^2 + x_n^2 - y_2^2 + y_n^2 \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 - x_{n-1}^2 + x_n^2 - y_{n-1}^2 + y_n^2 \end{bmatrix}.$$

得到线性方程组后,由最小二乘法求解即可得到普通节点的估计位置:

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A b \tag{3}$$

## 2 粒子群优化改进 DV-Hop 定位算法

无线传感器网络的定位问题本质上是一个基于不同距离或路径测量值的优化问题,是一个 NP 难解的问题<sup>[14]</sup>。目前,有学者提出利用启发式方法来提高定位估计精度,如遗传算法、模拟退火算法。本文提出利用粒子群优化的方法对 DV-Hop 算法求出的未知节点坐标进行校正。相对于模拟退火算法,粒子群优化更易实现并行性;与遗传算法相比,粒子群优化没有许多参数要调整,在大多数情况下更容易收敛,实现容易且计算量很小。

### 2.1 粒子群优化

粒子群优化根据如式 (4) 和式 (5) 来更新自己的速度和位置。粒子  $i$  的信息用  $D$  维向量表示,位置为  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})^T$ , 速度为  $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})^T$ , 则有:

$$v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 \text{rand}_1^k (pbes_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 \text{rand}_2^k (gbes_{id}^k - x_{id}^k) \tag{4}$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \tag{5}$$

其中:  $v_{id}^k$  是粒子  $i$  在第  $k$  次迭代中第  $d$  维的速度;  $x_{id}^k$  是粒子  $i$  在第  $k$  次迭代中第  $d$  维的位置;  $pbes_{id}^k$  是粒子  $i$  在第  $k$  次迭代中得到第  $d$  维的局部最优解;  $gbes_{id}^k$  是第  $d$  维的局部最优解全局最优解;  $c_1, c_2$  是加速系数,分别调节向全局最好粒子和个体最好粒子方向飞行的最大步长;  $\text{rand}_1^k, \text{rand}_2^k$  为随机数。

### 2.2 粒子群优化校正 DV-Hop 算法的定位

由于距离是估算的,误差必然存在,定位问题实质就是使误差最小化,校正节点的位置实质上可以转化为最小化式 (6) 所示的公式:

$$f_i(\hat{X}) = d_i - |\hat{X} - A_i^T| \tag{6}$$

其中:  $\hat{X}$  是由式 (3) 计算得出的未知节点的估计位置,  $A_i^T$  为第 1 章中所描述的锚节点的位置。

为了方便计算,本文采用通信范围的外接正方形作为通信范围的估算<sup>[15]</sup>,如图 1 所示。用式 (4) 和式 (5) 对每一个粒子进行位置和速度更新,采用如式 (7) 所示的适应度函数来评价粒子的适应值,当达到设置的迭代次数后停止算法,以当前找到的最优解作为未知节点的最终估算位置。

$$\text{fitness}(\hat{X}) = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 f_i^2(\hat{X}) \tag{7}$$

其中  $\alpha_i$  与未知节点到第  $i$  个锚节点的跳数成反比,而这个跳

数是由 DV-Hop 算法在第一阶段得到的。

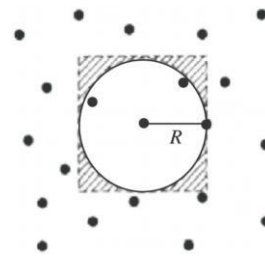


图 1 用圆的外接正方形近似传感器节点的圆形通信区域

## 3 仿真实验

本文使用 Matlab 进行仿真实验。仿真中设置节点的通信半径  $R = 10$  设置仿真区域为  $10R \times 10R$  的平面区域,即将未知节点随机部署到一个  $100 \times 100$  的正方形区域内。由于定位算法中将锚节点均匀放置于区域的边界比随机布置性能要好<sup>[16]</sup>,因此本文分别测试了这两种情况。定位算法的评价标准是平均定位误差,其公式如下:

$$\text{AverageError} = \frac{\sum_{i=1}^N |\hat{X}_i - X_i|}{N \times R} \times 100\% \tag{8}$$

其中:  $N$  是未知节点的个数,  $\hat{X}_i$  是未知节点  $i$  的估计位置,  $X_i$  是未知节点的实际位置,  $R$  是节点的通信半径。

本文仿真了固定锚节点数量、改变节点总数和固定节点总数、改变锚节点比例两种情况。在仿真过程中,为了不失一般性,本文每组 DV-Hop 定位误差和基于粒子群优化校正后的定位误差,值均取自同一分布,结果取 5 次仿真的平均值。

对仿真结果进行分析,可以得出以下几个结论:

1) 由图 2 和图 3 可以知道,改进后的算法在节点数量达到 350 时误差小于 40%,而改进前锚节点平均分布的情况下节点数量需要 700 锚节点随机分布的情况甚至要更多。

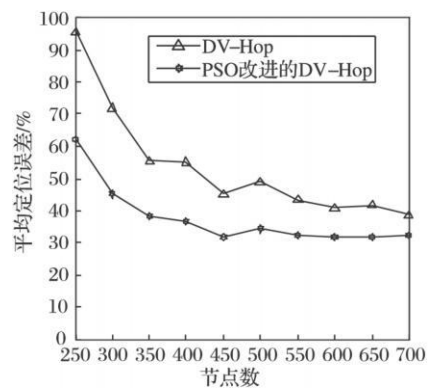


图 2 锚节点平均分布在边界时的平均定位误差

2) 由图 4 可知,通过粒子群优化校正 DV-Hop 算法的结果优化比例达到 30% 左右。当节点密度增加时优化效果有所下降,这是因为当网络连通度增大时, DV-Hop 算法本身对位置的估算更准确了。

3) 图 5 是当节点数量为 400 时,节点中比较锚节点所占节点总数的比例对定位误差的影响。从图中可以知道,当锚节点比例达到一定程度时,再增加锚节点的比例反而会使 DV-Hop 算法求出的平均误差增大,但这对于基于粒子群优化改进后的 DV-Hop 算法没有影响,锚节点增大使改进后的算法定位更精确。

4) 图 6 表明,随着锚节点比例增大,改进后的算法优化比例增加了。这说明锚节点的数量增加有助于改善改进后的算法的定位精确度。

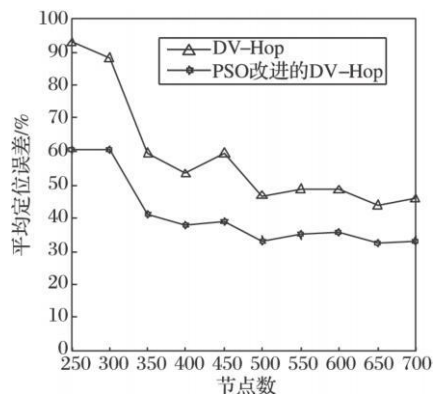


图 3 锚节点随机分布时的平均定位误差

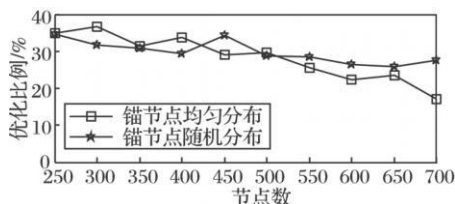


图 4 节点密度与 PSO 优化比例的关系曲线

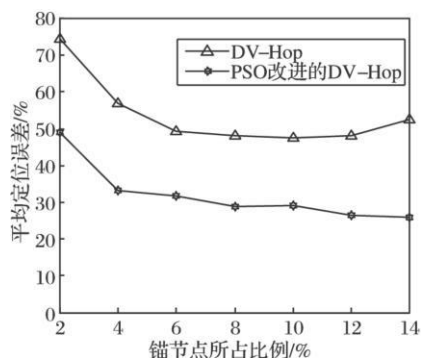


图 5 锚节点所占比例与平均定位误差的关系曲线

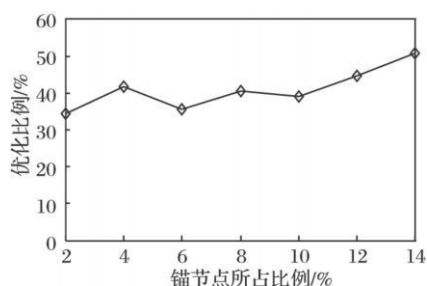


图 6 锚节点所占比例与 PSO 优化比例的关系曲线

文献 [17] 对基于遗传算法和模拟退火算法改进的 DV-Hop 算法进行了分析, 用遗传算法和模拟退火算法改进 DV-Hop 算法的思想。对比本文与文献 [17] 仿真结果, 只有结合了遗传算法和模拟退火算法的 DV-Hop 算法才能达到本文相近的平均误差, 但本文提出的算法实现更简单, 操作要少于文献 [17] 中的算法, 在能源消耗上更少。文献 [18] 也提出使用粒子群优化的方法, 但本文无需使用文献 [18] 中的测量信号方向的设备, 在成本和能量消耗上更有优势。

## 4 结语

在 DV-Hop 算法的基础上, 本文提出了在不使用任何额外硬件和不增加通信量的条件下, 利用粒子群优化的方法校正 DV-Hop 算法的估计位置的方案。仿真实验证明, 基于粒子群优化的 DV-Hop 算法可以使定位误差下降 30%。若要使传感器网络的节点定位平均误差小于 40%, 改进后的算法只需要

原算法一半的传感器节点数量, 在应用中大大降低了成本。

## 参考文献:

- [1] AKYILDIZ I, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al*. A survey on sensor networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-114.
- [2] LIU C, WU K, HE T. Sensor localization with ring overlapping based on comparison of received signal strength indicator[C]// Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2004: 516-518.
- [3] CHEUNG K W, SO H C. A multidimensional scaling framework for mobile location using time-of-arrival measurements[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 460-470.
- [4] CHENG X, ANDREW THAELE R D C, XUE G. TPS: A time-based positioning scheme for outdoor wireless sensor networks[C]// Proceedings of IEEE INFOCOM. New York: IEEE, 2004: 2685-2696.
- [5] NICULESCU D, NATH B. AdHoc Positioning System (APS) using AoA[C]// IEEE Conference on Computer Communications. New York: IEEE, 2003: 1734-1743.
- [6] HE T, HUANG C D, BLUM B M. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]// Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Network. New York: ACM, 2003: 81-95.
- [7] BULUSU N, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Gpsless low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [8] DOHERTY L, PETER K S, GHAOUILE. Convex position estimation in wireless sensor networks[EB/OL]. [2009-08-15]. <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~elghaoui/pdffiles/hfocm.pdf>
- [9] NICULESCU D, NATH B. DV based positioning in AdHoc networks[C]// Telecommunication Systems. Berlin: Springer, 2003: 267-280.
- [10] DUCKETT T. A genetic algorithm for simultaneous localization and mapping[C]// Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New York: IEEE, 2003: 434-439.
- [11] KANNAN A A, MAO G, VUCETIC B. Simulated annealing based localization in wireless sensor network[C]// Proceedings of the 30th IEEE Conference on Local Computer Networks. New York: IEEE, 2005: 513-514.
- [12] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]// Proceedings IEEE International Conference on Neural Networks. New York: IEEE, 1995: 1942-1948.
- [13] 魏叶华, 李仁发, 罗娟, 等. 基于支持向量回归的无线传感器网络定位算法[J]. 通信学报, 2009, 30(10): 44-50.
- [14] ASPNES J, GOLDENBERG D, YANG R. On the computational complexity of sensor network localization[C]// Proceedings of 1st International Workshop on Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks. New York: ACM, 2004: 32-34.
- [15] 王珊珊, 殷建平, 张国敏, 等. 求解无线传感器网络定位问题的线性规划算法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(5): 705-712.
- [16] BENBADIS F, OBRACZKA K, CORTES J *et al*. Exploring landmark placement strategies for self localization in wireless sensor networks[EB/OL]. [2009-08-20]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.116.974&rep=rep1&type=pdf>
- [17] 赵仕俊, 孙美玲, 唐懿芳. 基于遗传模拟退火算法的无线传感器网络定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(10): 189-192.
- [18] 王驭风, 王岩. 基于矢量和粒子群优化的传感器网络节点定位[J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 309-311.