

# 无线传感器网络 DV-Hop 定位算法的改进方法研究

廖兴宇, 汪伦杰

(江西师范大学 计算机信息工程学院, 江西 南昌 330022)

**摘要:** 为了提高传统 DV-Hop 算法的定位精度, 推动该算法的进一步发展, 文中从平均跳距计算和未知节点坐标计算两个阶段入手对传统 DV-Hop 算法进行改进, 提出了一种基于 RSSI 加权修正的平均跳距计算方法和一种基于最小二乘法修正的未知节点坐标计算方法。为了验证算法改进的有效性, 在 Matlab 中进行了仿真实验。实验结果表明: 文中算法相对于传统 DV-Hop 算法测距精度提高了约 20%; 定位精度较传统 DV-Hop 算法提高了约 30%。理论和实践均表明: 在同等条件下文中的改进算法与传统 DV-Hop 算法相比具有更高的定位精度。

**关键词:** DV-Hop 定位算法; RSSI 加权修正; 最小二乘法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2014)11-0127-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2014.11.032

## Research on Optimization Method of DV-Hop Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks

LIAO Xing-yu, WANG Lun-jie

(School of Computer Information and Engineering, Jiangxi Normal University,  
Nanchang 330022, China)

**Abstract:** In order to improve the positioning accuracy of the traditional DV-Hop algorithm, promoting the further development of the algorithm, the traditional DV-Hop algorithm is improved in two phase of computing average jump-distance and unknown nodes coordinate in this paper, put forward a computing average jump-distance method based on RSSI weighted correction and unknown nodes coordinate computing method based on correction method of least squares. In order to validate the improved method is effective, carry out the simulation experiment in Matlab software. The experimental results show that this algorithm is about 20% higher than the traditional DV-Hop algorithm in ranging accuracy, 30% higher than the traditional DV-Hop algorithm in positioning accuracy. Theory and practice have proved that in same conditions, the improved algorithm has higher accuracy compared with the traditional DV-Hop algorithm.

**Key words:** DV-Hop localization algorithm; RSSI weighted amendment; least square method

### 0 引言

DV-Hop 算法是美国路特葛斯大学的 Niculescu 等人提出的, 该算法的基本思想是:

- (1) 信标节点广播跳数、位置信息分组;
- (2) 相邻信标节点接收分组, 并根据分组中的跳数、位置信息计算出平均跳段距离;
- (3) 未知节点接收分组, 并将分组中跳数与平均跳距相乘, 得出未知节点与相邻信标节点间的距离;
- (4) 未知节点利用三边测量法或者极大似然估计法计算出未知节点的坐标, 从而实现定位。

DV-Hop 算法定位过程中无需测距, 对节点硬件

的要求不高, 环境因素对其定位过程影响较小。在具体的应用场景中, 该算法具有: 设计简单、计算量小、功耗低、易扩展、算法效率高、不易受外界干扰等优点。DV-Hop 算法还存在一些缺陷, 其中定位精度不高是主要缺陷。在节点分布不均匀的网络场景中, 无论相邻两节点间的实际距离远近, 都采用全网络统一的平均跳距来计算, 由于此时的平均跳距已经不能完全真实反映相邻两节点间的实际距离, 所以该算法会产生巨大的定位误差。

针对 DV-Hop 算法存在的定位精度不高的问题, 文献[1]提出了在传感器节点散播阶段人工部署信标节点的方法, 通过人工部署信标节点来减小定位误差;

收稿日期: 2013-11-24

修回日期: 2014-03-06

网络出版时间: 2014-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41164001); 国际科技合作项目(35-14)

作者简介: 廖兴宇(1985-), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 研究方向为无线传感网络。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140911.0942.004.html>

文献[2]提出了通过加权来修正平均跳距的改进方法,从而达到修正定位精度的目的;文献[3]提出了对平均每跳跳距进行误差修正的方法,当未知节点获得全网络的平均每跳跳距后,将计算出到各信标节点的平均每跳跳距的误差,再对原来收到的网络平均每跳跳距结果进行更正,使之更接近实际的平均每跳距离;文献[4]提出了基于信标节点反馈的改进方法,未知节点进行常规定位时,信标节点同时利用三边测量法进行自身定位,并分析比较计算结果与自身实际坐标差值,求出修正因子,然后向网络中其他节点进行广播,收到消息的未知节点对自己的定位结果进行修正,从而降低定位误差。

文中针对上述问题,提出了基于 RSSI 加权修正的平均跳距计算方法和基于最小二乘法修正的未知节点坐标计算方法,对传统 DV-Hop 算法进行改进。仿真实验结果表明,改进型 DV-Hop 算法较原算法具有更高的定位精度。

## 1 DV-Hop 算法的定位过程

DV-Hop 算法的定位过程可分以下三个阶段<sup>[5]</sup>:

(1) 计算未知节点与各信标节点间的最小跳数。

信标节点向邻居节点广播跳数、坐标分组,接收节点根据广播信息,确定到各信标节点的跳数最小值  $h$ 。最小跳数求解过程如图 1 所示。

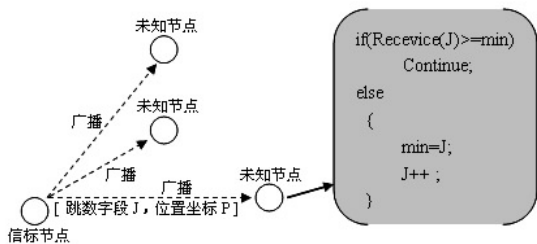


图1 最小跳数计算过程图解

(2) 计算整个网络中的平均每跳距离。

信标节点根据(1)中记录的其他信标节点位置  $(x, y)$  和相距最小跳数  $h$ , 利用公式(1)可估算出全网络的平均每跳距离  $hopsiz$ 。未知节点利用公式(2)可计算出与各信标节点间的距离  $D$ , 平均跳距计算过程如图 2 所示。

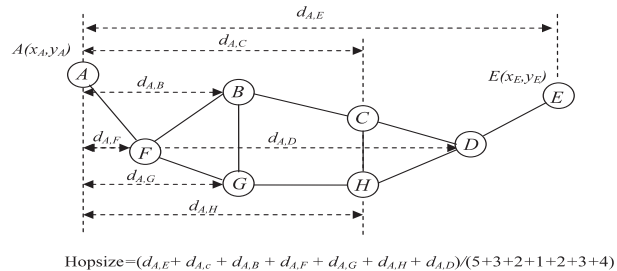


图2 平均跳距计算

$$hopsiz_{ij} = \frac{\sum_{i=j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i=j} h_{ij}} \quad (1)$$

$$D_{ij} = hopsiz_{ij} \times h_{ij} \quad (2)$$

(3) 未知节点利用三边测量法或极大似然估计法计算自身位置,未知节点坐标求解过程如图 3 所示。

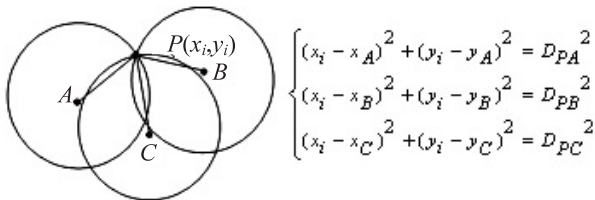


图3 未知节点坐标求解

## 2 DV-Hop 算法修正

### 2.1 DV-Hop 算法存在的不足

定位精度不高是传统 DV-Hop 算法存在的主要缺陷<sup>[6-7]</sup>。文中通过深入分析 DV-Hop 算法的定位过程后,分析总结出了影响该算法定位精度的主要方面,具体如下:

(1) 信标节点的密度及其分布情况将会影响到 DV-Hop 算法定位精度:在网络中信标节点的密度越大,分布越规则时, DV-Hop 算法定位精度就越高,反之精度就越低。信标节点的密度及其分布情况对 DV-Hop 算法定位精度的影响情况如图 4 所示。而在实际应用中,信标节点通常是随机散播在监测区域中,在很大程度上会造成信标节点分布不规则的现象。另一方面,信标节点成本很高,部署代价也很大,因此在监测区域内大面积广泛部署不现实。所以在这种情况下,仅依靠信标节点的位置信息来进行定位会产生较大的定位误差。

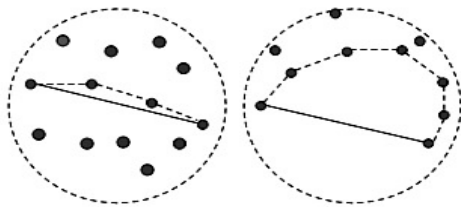


图4 信标节点的密度及其分布情况对定位精度的影响

(2) DV-Hop 定位算法在全网络中采用相同的平均跳距来计算未知节点与锚节点之间的距离。由于信标节点的随机部署会导致网络拓扑结构呈现出不规则的现象,各跳段的距离也会因拓扑不规则而不相同,如果全网络采用同一平均跳距  $hopsiz$ , 势必会产生一定的误差。假如未知节点需经过多跳与信标节点进行通信,那么上述距离误差就会因累积而不断地被放大,从而在很大程度上影响算法的定位精度。

(3) 当未知节点获得 3 个或 3 个以上信标节点的位置和距离值后,则可执行三边测量法或者极大似然估计法计算自身位置。如果某些信标节点距离误差过大(尤其是被减方程中距离  $d$  的误差)代入方程组求解时会产生较大的累积误差,从而严重影响算法的定位精度。

## 2.2 DV-Hop 算法的改进策略

传统 DV-Hop 算法计算平均跳距的方法虽然不受地形、地貌和天气等环境因素的影响,但它却不能准确地反映出由节点分布不均而引起的实际跳距之间的差异,在某些具体应用场景中实际跳距与平均跳距往往相差甚远<sup>[8]</sup>。因此,当节点分布不均时传统 DV-Hop 算法会引起较大的测距误差<sup>[9]</sup>。文中采取以下两种方法对传统 DV-Hop 算法进行改进,以提高 DV-Hop 算法的定位精度。

### 2.2.1 基于 RSSI 加权修正的平均跳距

文中基于 RSSI 测距原理<sup>[10-11]</sup>提出了一种基于 RSSI 加权修正的平均跳距计算方法。该方法用每一跳相关联的两节点间的 RSSI 路径长度与平均每跳的 RSSI 路径长度的比值作为修正系数与 DV-Hop 算得的平均跳距相乘来修正每跳的跳距。该系数由于是“比值”因而受环境因素的影响程度会大大减小。该修正跳距既能反映由节点分布不均引起的实际跳距之间的差异,也能在很大程度上规避环境因素造成的影响<sup>[12-13]</sup>。基于 RSSI 加权修正的平均跳距计算步骤如下:

(1) 信标节点向邻居节点广播位置信息分组,改进算法在原分组中加入了一个基于 RSSI 测距模型测得的理论距离值字段  $\text{RSSI}(n)$ 。接收节点收到分组后,将跳段数  $\text{Hops}+1$ ,并将自身测得的 RSSI 与数据分组中的  $\text{RSSI}(n)$  相加,并将相加后的结果存入  $\text{RSSI}(n)$  字段中。当第  $n$  跳到达某节点时,与传统 DV-Hop 算法相同,当信息分组中的跳数小于已有跳数时,则将其替换掉,否则舍弃。

(2) 当该信息分组经过  $n$  跳到达另一个信标节点时,与传统 DV-Hop 算法相同也要利用公式(1)计算平均跳距,但同时还要利用公式(3)计算 RSSI 理论路径的平均值。

$$\text{RSSI}_{\text{avg}} = \frac{\text{RSSI}(1) + \text{RSSI}(2) + \cdots + \text{RSSI}(n)}{n} \quad (3)$$

(3) 对平均跳距  $\text{hopsiz}$  进行修正,以每跳  $\text{RSSI}(n)$  值与  $\text{RSSI}$  理论路径的平均值  $\text{RSSI}_{\text{avg}}$  的比值作修正系数  $\delta_i$ ,当信标节点与未知节点间的跳数为  $n$ ,利用公式(4)求得两节点间的距离  $d$  为:

$$\delta_i = \frac{\text{RSSI}(i)}{\text{RSSI}_{\text{avg}}}$$

$$d = \text{hopsiz} \times \delta_1 + \text{hopsiz} \times \delta_2 + \cdots + \text{hopsiz} \times \delta_n \quad (4)$$

### 2.2.2 基于最小二乘法修正的未知节点坐标计算

利用上面的基于 RSSI 加权修正的平均跳距计算,尽管可以得到较原算法更为精确的两节点间距离  $d$ ,但是该距离值仍然存在一定的误差,如果直接代入方程组来求未知节点坐标,仍会造成误差累积放大,最后导致前面所做的求精努力都失去意义<sup>[14-15]</sup>。针对这一问题,文中采用最小二乘法对三边测量法和极大似然估计法进行改进。

设有  $n$  个信标节点  $M_1(x_1, y_1, z_1), M_2(x_2, y_2, z_2), \cdots, M_n(x_n, y_n, z_n)$ ,与未知节点  $P(x, y, z)$  间的距离分别为  $d_1, d_2, \cdots, d_n$ ,则满足方程(5):

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = d_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = d_2^2 \\ \cdots \cdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 + (z - z_n)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (5)$$

采用极大似然法求解,从第一个方程到第  $n-1$  个方程依次减去最后一组方程,利用线性方程  $\mathbf{AX} = \mathbf{b}$  表示,其中:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) & 2(z_1 - z_n) \\ 2(x_2 - x_n) & 2(y_2 - y_n) & 2(z_2 - z_n) \\ \cdots \cdots & \cdots \cdots & \cdots \cdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) & 2(z_{n-1} - z_n) \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{b} =$$

$$\begin{pmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + z_1^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_n^2 + y_2^2 - y_n^2 + z_2^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_2^2 \\ \cdots \cdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + z_{n-1}^2 - z_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{pmatrix} \quad (6)$$

得:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b} \quad (7)$$

根据无线信号衰减规律可知,测距误差会随着节点间距离的增大而增加,且增长呈现非线性特征。根据上面的规律可知,测量距离越短测量误差就越小,如果将测距误差最小的方程作为被减方程,则可以在很大程度上减小误差,提高算法精度。其次,还可以根据每段距离的测距误差,在计算过程中加入不同的权值进行计算结果的校正,通过加权尽可能使计算结果实现无偏估计,从而提高算法的精度。加权计算公式为:

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \boldsymbol{\sigma} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \boldsymbol{\sigma} \mathbf{b}, \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{I} - \frac{d}{R^2} \quad (8)$$

其中,加权矩阵  $\sigma$  应为正定矩阵。由许瓦兹不等式可以证明,当  $\sigma = P^{-1}$  时  $X$  的估计均方差最小。

### 3 仿真实验与数据分析

利用 Matlab 软件进行了仿真实验,同时对改进型 DV-Hop 算法和传统 DV-Hop 算法的定位误差进行了对比分析。设节点数目为 200 个,随机分布在  $150\text{ m} \times 150\text{ m}$  的正方形区域内。未知节点和信标节点具有相同的通信半径,且都设置为 50 m。两种算法的测距误差如图 5 所示。用估计坐标与实际坐标的距离差值相对于节点通信半径之比表示算法的定位误差,如图 6 所示。

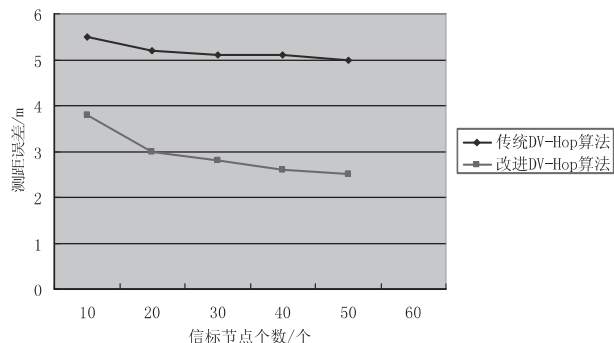


图 5 两种算法测距误差对比分析

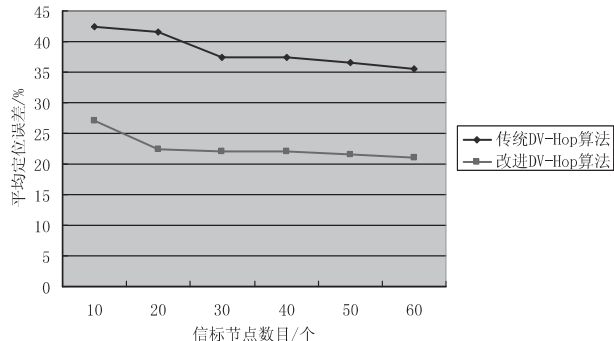


图 6 两种算法定位误差对比分析

从图 5 可以看出,在节点数目为 200,未知节点和信标节点通信半径都设置为 50 m 时,文中算法相对于传统 DV-Hop 算法测距精度提高了约 20%;从图 6 两种算法的定位误差对比分析图可看出,文中提出的改进型 DV-Hop 算法的定位精度较传统 DV-Hop 算法提高了 30%。

### 4 结束语


文中在深入分析 DV-Hop 算法的定位过程后,总结出了该算法的误差主要来源有两个:在平均跳段距离的计算方法中存在误差;计算未知节点坐标时会存在累计误差影响最终的定位结果。针对平均跳段距离计算方法中存在的误差,采取基于 RSSI 加权修正的平

均跳距计算方法来修正。针对三边测量法或极大似然估计法计算中的误差,采取最小二乘法来修正。仿真实验表明,文中提出的两种修正方法可以有效提高 DV-Hop 算法的定位精度,对于该算法的应用推广具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] Zheng Yousi, Wan Lei, Sun Zhi, et al. A long range DV-Hop localization algorithm with placement strategy in wireless networks [C]//Proc of 4th international conference on wireless communications, networking and mobile computing. Dalian: IEEE, 2008: 1-5.
- [2] Liu Shaoqiang, Zheng Yuan, Zhong Zhi, et al. Improved DV-Hop algorithm for high accuracy and low energy consumption [C]//Proc of CSAE. [s. l.]: [s. n.], 2012: 349-353.
- [3] Lu Qingling, Bai Mengliang, Zhang Wei, et al. A kind of improved DV-Hop algorithm [C]//Proc of 2nd international conference on intelligent control and information processing. Harbin: IEEE, 2011: 867-869.
- [4] Wang Yunqi, Tian Wo, Pang Yuanquan, et al. A new improved DV-Hop localization algorithm [C]//Proc of IET international conference on communication technology and application. [s. l.]: [s. n.], 2011: 772-776.
- [5] 顾亦然, 蒋璐璐. 一种改进无线传感器网络的 DV-Hop 定位算法 [J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(10): 109-112.
- [6] 孟侃良, 章民融. 无线传感器网络 DV-Hop 定位算法误差分析 [J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(12): 95-98.
- [7] 赵灵锴, 洪志全. 基于无线传感器网络的 DV-Hop 定位算法的改进 [J]. 计算机应用, 2011, 31(5): 1189-1192.
- [8] 李 濛. 基于 DV-Hop 的改进型 WSN 定位算法及其应用研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [9] 吴嘉玮. 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法的研究 [D]. 上海: 东华大学, 2013.
- [10] 周小波, 乔钢柱, 曾建潮. 无线传感器网络中基于 RSSI 的加权 DV-Hop 定位方法 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(14): 109-111.
- [11] 黄春华, 沈 军. 基于补偿系数的 DV-Hop 定位的改进算法 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(6): 81-84.
- [12] 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.
- [13] 魏焯嘉, 王汝传, 李伟伟, 等. 基于普适计算环境的三维空间 RSSI 位置感知研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(4): 183-186.
- [14] 李 冬. 基于 DV-Hop 的无线传感器网络定位算法研究与改进 [D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [15] 王中生, 曹 琦. 基于 ZigBee 技术的无线定位研究与实现 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(12): 189-192.

# 无线传感器网络DV-Hop定位算法的改进方法研究

作者: [廖兴宇](#), [汪伦杰](#), [LIAO Xing-yu](#), [WANG Lun-jie](#)  
作者单位: [江西师范大学 计算机信息工程学院, 江西 南昌, 330022](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)   
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2014(11)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201411032.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201411032.aspx)