

## An Improved DV-Hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks \*

SHI Weiren \*, JIA Chuanjiang, LIANG Huanhuan

(Department of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Conventional DV-Hop localization algorithm considers the average hop distance as the expected distance, so it will lead to larger error in position. In response to this problem, an improved DV-Hop localization algorithm is proposed. In the improved algorithm, anchor nodes correct the average hop distance by the total error between calculated distances and estimated distances. Improving the method of nodes coordinates computing, we will not adopt traditional Triangulation algorithm but use 2-D Hyperbolic location algorithm. Then, we will get the ultimate node coordinates which includes error correction. It is closer to the actual coordinates. The simulation results show that the improved algorithm can improve the localization accuracy effectively without increasing hardware consumption in nodes comparing it with conventional DV-Hop algorithm.

**Key words:** sensor networks; DV-Hop localization algorithm; average hop distance; hyperbola location algorithm

EEACC: 6150P

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2011.01.018

## 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法 \*

石为人 \*, 贾传江, 梁焕焕

(重庆大学自动化学院, 重庆 400044)

**摘要:** 针对 DV-Hop 定位算法以平均跳段距离代替实际直线距离而导致定位误差较大这一问题, 提出了一种改进的 DV-Hop 定位算法。在改进算法中, 锚节点通过实际距离和估计距离的误差来修正每跳平均距离。改进 DV-Hop 节点坐标计算方法, 摒弃传统的三边定位算法而采用新的二维双曲线定位算法计算节点坐标。最后求得包含误差修正值的最终节点坐标, 它更接近实际节点坐标。仿真结果表明, 与传统 DV-Hop 算法相比, 改进算法在不需要增加节点的硬件开销的基础上能更有效地提高定位精度。

**关键词:** 传感器网络; DV-Hop 定位算法; 每跳平均距离; 双曲线定位算法

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2011)01-0083-05

无线传感器网络由布撒在区域内的大量传感器节点组成, 传感器节点具有感知、处理和通信的能力<sup>[1]</sup>。

节点定位是无线传感器网络非常重要的技术之一, 目前已经提出了许多以获取节点准确坐标位置为目的的定位算法。按照定位所采用的距离参数获得方式, 把定位算法分为基于测距算法 (Range-based) 和无需测距算法 (Range-free)<sup>[2]</sup>。基于距离的定位算法常用的测距技术有 TOA<sup>[3]</sup> 或 TDOA<sup>[4]</sup> 测距、AOA<sup>[5]</sup> 测距和 RSSI<sup>[6]</sup> 测距。距离无关的定位算法通过估计节点间的距离或者确定包含未知节点的可能区域, 来确定未知节点的位置。目前有代表性

的算法主要有质心算法<sup>[7]</sup>、凸规划算法<sup>[8]</sup>、DV-Hop<sup>[9]</sup> 算法和 APIT<sup>[10]</sup> 算法等。Range-based 定位算法对网络的硬件设施提出了较高的要求, 同时 Range-based 定位算法通常需要多次测量, 这些算法在获得相对精确定位结果的时候, 都要产生大量计算和通信开销。因此, Range-free 定位算法受到越来越多的关注。

DV-Hop (Distance Vector-Hop) 定位算法是目前应用最广泛的定位算法之一, 其基本思想是将未知节点到锚节点之间的距离用每跳平均距离和两者之间跳数的乘积表示。针对 DV-Hop 算法在节点随机分布的网络环境下存在较大误差的问题, 文献[11-

项目来源: 博士点基金资助(20060611010); 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助(2009ZX07528-003)

收稿日期: 2010-06-01 修改日期: 2010-07-02

12]分别对其进行了改进。在文献[11]中,未知节点对接收到的多个锚节点的每跳平均距离信息进行算术平均处理;文献[12]提出了一种基于网络局部拓扑的自适应共线度阈值确定方法。本文重点分析了DV-Hop算法在每跳平均距离计算和坐标计算阶段中的不足,对DV-Hop算法提出相应改进方案,并通过仿真,比较验证改进方案的性能。

## 1 DV-Hop 算法

Niculescu 等人提出的 DV-Hop 定位算法,是一种基于距离矢量无需测距定位算法,其基本思想是将未知节点到锚节点之间的距离用网络每跳平均距离和两者之间跳数之积表示,再使用三边定位运算法获得节点位置信息。

### 1.1 算法基本思想

DV-Hop 算法的定位过程分为三个阶段<sup>[13]</sup>:

(1) 计算未知节点与每个锚节点的最小跳数。

锚节点向邻居节点广播自身位置信息的分组,其中包括跳数字段,初始化为0。接收节点记录具有到每个锚节点的最小跳数,忽略来自同一个锚节点的较大跳数的分组。然后将跳数加1,并转发给邻居节点。通过这个方法,网络中的所有节点能够记录下到每个锚节点的最小跳数。

(2) 计算未知节点和锚节点的每跳平均距离。

每个锚节点根据第一阶段中记录的其他锚节点的位置信息和相距跳数,利用公式(1)估算平均每跳的实际距离。

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

其中,  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  是锚节点  $i, j$  的坐标,  $h_{ij}$  是锚节点  $i$  与  $j$  之间的跳数。然后,锚节点将计算的每跳平均距离用带有生存期字段的分组广播至网络中,未知节点仅记录接收到的第一个每跳平均距离,并转发给邻居节点。这个策略确保了大多数节点从最近的锚节点接收到每跳平均距离值。未知节点接收到每跳平均距离后,根据记录的跳数,计算到每个锚节点的跳段距离。

(3) 利用三边/多边测量法计算自身位置。

当未知节点获得到附近锚节点的估计距离之后,通常采用三边测量法进行位置估计。假设某一未知节点  $u$  坐标为  $(x, y)$  测得到  $n$  个锚节点的距离,第  $i$  个锚节点的坐标为  $(x_i, y_i)$ , 节点  $u$  到锚节点  $i$  的距离为  $d_i$ 。根据上面的已知数据,可以得到如式(2)所示的系统方程:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (2)$$

节点  $u$  的坐标有如下公式(3)可以得到,

$$P = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (3)$$

其中,

$$A = -2 \times \begin{bmatrix} x_1 - x_n & y_1 - y_n \\ x_2 - x_n & y_2 - y_n \\ \vdots & \vdots \\ x_{n-1} - x_n & y_{n-1} - y_n \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_n^2 - x_n^2 + x_1^2 - y_1^2 + y_n^2 \\ d_2^2 - d_n^2 - x_n^2 + x_2^2 - y_2^2 + y_n^2 \\ \vdots \\ d_{n-1}^2 - d_n^2 - x_n^2 + x_{n-1}^2 - y_{n-1}^2 + y_n^2 \end{bmatrix} \quad P = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

### 1.2 DV-Hop 算法的不足

在 DV-Hop 算法中,采用锚节点之间的每跳平均距离作为未知节点到锚节点的每跳平均跳距,通过每跳平均距离与跳数的乘积来表示未知节点和锚节点之间的距离。DV-Hop 定位算法比较适合锚节点分布均匀、各向同性、密集型的无线传感器网络,因为在这种情况下求得的每跳平均距离值更能接近实际距离值。如图1所示,当节点密集分布时,网络中节点间的多跳路径距离更接近实际距离。然而,当节点稀疏分布时,节点间路径不能趋于直线,这样计算的跳数会产生很大的累积误差。

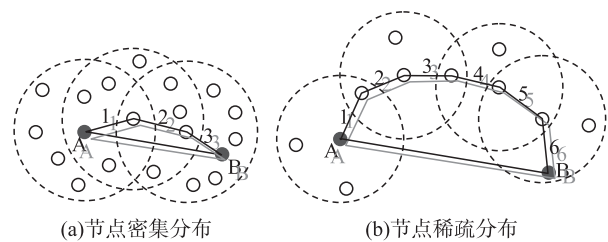


图1 节点分布对路径选择的影响

## 2 改进的 DV-Hop 定位算法

本文对上述传统的 DV-Hop 算法进行了改进,改进算法的区别主要体现在定位过程的第2步中对每跳平均距离的修正和第3步中对未知节点坐标的计算进行了改进。

### 2.1 每跳平均距离计算

在 DV-Hop 算法第2阶段中,计算任意两个锚节点之间的跳数,并以到其它锚节点的距离之和除以跳数之和作为每跳平均距离,每个锚节点计算出

估计跳段距离并发送到网络中。改进算法采用相似的步骤来估计每跳距离, 不同之处在于锚节点通过实际距离和估计距离的误差来计算每跳平均距离的误差。

假如  $(x_i, y_i)$  为锚节点  $i$  的坐标,  $(x_j, y_j)$  为锚节点  $j$  的坐标。那么, 锚节点  $i$  到锚节点  $j$  的实际距离  $D_{ij}$  为:

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (4)$$

根据第 1 步获得锚节点  $i$  和锚节点  $j$  的跳数和估计的每跳平均距离, 可以得到两个锚节点之间的估计距离  $\hat{D}_{ij}$  为:

$$\hat{D}_{ij} = \hat{\text{HopSize}}_i \times h_{ij} \quad (5)$$

其中,  $\hat{\text{HopSize}}_i$  表示锚节点  $i$  和锚节点  $j$  之间每跳平均的估计距离,  $h_{ij}$  表示锚节点  $i$  和锚节点  $j$  之间的跳数。

由公式(4)、(5)可以得到锚节点  $i$  和锚节点  $j$  的距离总误差:

$$E_{ij} = \sum_{j \neq i} (D_{ij} - \hat{D}_{ij}) \quad (6)$$

这里,  $D_{ij}$  是锚节点  $i$  到锚节点  $j$  的实际距离,  $\hat{D}_{ij}$  是锚节点  $i$  到锚节点  $j$  的估计距离。

由于  $n$  个锚节点间的跳数总和为  $C_n^2$ , 所以由锚节点的距离总误差可以得到每跳平均距离误差为:

$$e_{ij} = \frac{E_{ij}}{C_n^2} = \frac{\sum_{j \neq i} (D_{ij} - \hat{D}_{ij})}{C_n^2} \quad (7)$$

这样, 更新锚节点  $i$  和锚节点  $j$  之间的每跳平均距离为:

$$\text{HopSize}_i = \hat{\text{HopSize}}_i - e_{ij} \quad (8)$$

## 2.2 未知节点坐标计算

在 DV-Hop 算法第 3 阶段中, 如果能估计未知节点与 3 个及以上锚节点的距离, 则可通过三边定位法或多边定位法<sup>[14]</sup> 估计未知节点的坐标。多边定位法对测距误差敏感, 当测距误差较大时, 通过多边定位法计算出的估计坐标与真实坐标之间存在较大的偏差。针对这一缺陷, 提出了使用二维双曲线定位算法来提高多边定位法定位精度的思想。把二维双曲线定位算法应用到具体的无线传感器网络节点定位计算中。

假如  $(x_j, y_j)$  为未知节点  $j$  的坐标,  $(x_i, y_i)$  为锚节点  $i$  的坐标。那么, 未知节点  $j$  到锚节点  $i$  的距离  $d_{ji}$  为:

$$d_{ji}^2 = x_i^2 + y_i^2 - 2x_i x_j - 2y_i y_j + x_j^2 + y_j^2 \quad (9)$$

令

$$A_i = x_i^2 + y_i^2, B_j = x_j^2 + y_j^2.$$

可得,

$$d_{ji}^2 - A_i = -2x_i x_j - 2y_i y_j + B_j \quad (10)$$

令

$$\mathbf{Z}_a = [x_j, y_j, B_j]^T, \mathbf{G}_a = \begin{bmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_i & -2y_i & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_a = \begin{bmatrix} d_1^2 - A_1 \\ d_2^2 - A_2 \\ \vdots \\ d_i^2 - A_i \end{bmatrix}$$

由公式(10)可得:

$$\mathbf{G}_a \mathbf{Z}_a = \mathbf{h}_a \quad (11)$$

利用最小二乘法可得:

$$\mathbf{Z}_a = (\mathbf{G}_a^T \mathbf{G}_a)^{-1} \mathbf{G}_a^T \mathbf{h}_a \quad (12)$$

这样, 可得到未知节点  $j$  的坐标为:

$$\begin{cases} x_j = Z_a(1) \\ y_j = Z_a(2) \end{cases} \quad (13)$$

## 3 算法仿真

为了检验算法的性能, 本文对传统 DV-Hop 定位算法和改进算法在 MATLAB 平台上进行了仿真对比分析。对网络模型<sup>[15-16]</sup> 做如下假设, 在一个  $100\text{m} \times 100\text{m}$  的区域里随机布撒传感器节点, 未知节点的坐标随机产生。下面分别讨论锚节点密度、节点数量对传统 DV-Hop 定位算法和改进算法测距误差和定位精度的影响。每种性能的仿真都是随机进行 100 次所得。节点随机分布如图 2 所示。

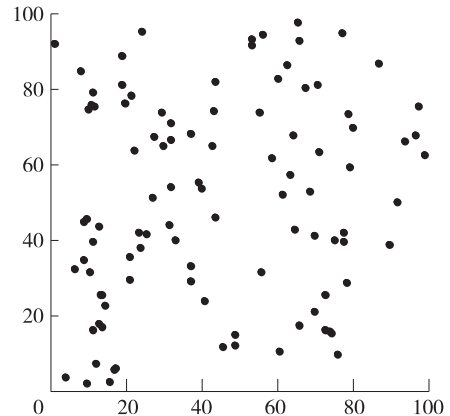


图 2 节点随机分布图

### 3.1 仿真参数定义

测距误差  $E_{ij}$  表示一次仿真时, 第  $i$  个未知节点的距离测量误差。

$$E_{ij} = \frac{\|\hat{D}_{ij} - d_{ij}\|}{d_{ij}} \quad (14)$$

这里,  $\hat{D}_{ij}$  表示未知节点  $i$  和锚节点  $j$  之间的测量距离,  $d_{ij}$  表示未知节点  $i$  和锚节点  $j$  之间的实际距离。

定位误差  $E_i^r$  表示一次仿真时, 第  $i$  个未知节点的定位误差。

$$E_i^r = \frac{\sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2}}{R} \quad (15)$$

这里,  $(\hat{x}_i, \hat{y}_i)$  是未知节点  $i$  的估计坐标,  $(x_i, y_i)$  是未知节点  $i$  的实际坐标。  $R$  是节点的通信半径。

平均定位误差  $E(E^r)$  表示一次仿真时, 整个网络区域的平均定位误差。

$$E(E^r) = \frac{\sum_{i=1}^n E_i^r}{n} \quad (16)$$

这里,  $n$  是节点的数量。

### 3.2 仿真结果分析

图3是在实验区域内保持锚节点比例为20%, 节点总数从20变化到100, 比较传统DV-Hop算法和改进DV-Hop算法的测距误差。从图中可以看出, 随着节点数的增加, 两种算法的平均定位误差都呈现递减趋势, 并逐渐趋于平稳。由于改进算法对每跳平均距离进行了误差修正, 在相同条件下, 改进算法测距误差要明显小于传统DV-Hop算法。改进DV-Hop算法比传统DV-Hop算法平均测距误差降低了12.5%。

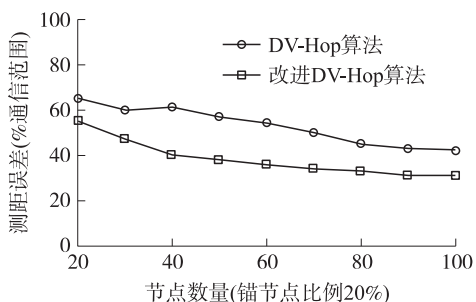


图3 节点数量对测距误差的影响

图4是在仿真区域内随机部署了100个节点, 锚节点比例分别是5%、10%、...、40%。传统DV-Hop算法和改进DV-Hop算法在不同锚节点比例时平均定位误差的比较。如图4所示, 横轴为锚节点比例, 纵轴为定位误差率。随着锚节点比例的增加, 两种算法的平均定位误差呈现递减的趋势, 并逐渐趋于平稳。在相同条件下时, 改进算法的平均定位

误差明显小于传统DV-Hop算法。例如, 在锚节点比例为20%时, 改进DV-Hop算法比传统算法平均误差降低了约11.3%。

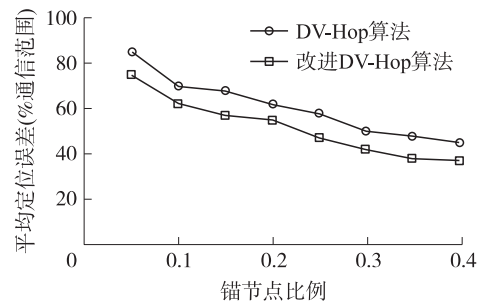


图4 锚节点比例对定位误差的影响

图5是在实验区域内保持锚节点比例为20%, 节点总数从20变化到100, 比较传统DV-Hop算法和改进DV-Hop算法的平均定位误差。从图中可以看出, 随着节点数的增加, 两种算法的平均定位误差都呈现递减趋势, 并逐渐趋于平稳。在相同条件下, 改进算法平均定位误差要明显小于传统DV-Hop算法。例如, 在节点数量为50时, 改进DV-Hop算法比传统DV-Hop算法平均误差降低了约17.1%。

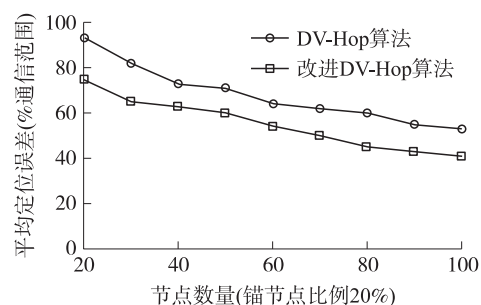


图5 节点数量对定位误差的影响

### 3.3 算法开销分析

算法的通信开销主要体现在定位过程中所传输的数据包数目。改进算法和传统算法的区别在于对每跳平均距离进行修正, 而这个过程所用到的数据都是传统算法定位过程中待定位未知节点中储存的数据, 不需要额外的通信开销, 故两种算法通信量大致相同。在计算量方面, 改进算法在对每跳平均距离进行修正, 比传统算法计算量稍大, 但与以往改进算法相比, 本文改进算法可以相对较小的计算量获得较高的定位精度。

## 4 结论

本文针对传统DV-Hop算法在节点随机分布的网络拓扑环境下存在较大误差的问题, 提出了一种改进DV-Hop定位算法。通过修正每跳平均距离, 使得到的结果更加接近实际每跳距离。重点分析多边定

位法计算未知节点坐标估计值误差较大的问题, 提出新的节点坐标计算方法, 把二维双曲线定位算法引入未知节点坐标的定位计算中。理论分析和算法仿真显示, 与传统算法相比, 在定位节点计算量不明显增加和无须额外增加传感器节点硬件开销的条件下, 可明显提高节点定位的精度, 改善算法的稳定性。改进算法比较适合锚节点分布相对均匀、各向同性、密集型的无线传感器网络。比较不适合用于节点随机分布和网络拓扑动态变化的无线传感器网络。实际应用环境比较复杂, 有时节点分布随机, 网络拓扑结构多变, 改进算法在这种情况下的应用有一定的难度, 这也是本文算法需要继续改进的地方。

### 参考文献:

- [1] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal. Wireless Sensor Network Survey[J]. Computer Networks, 2008, 52: 2292-2330.
- [2] Chen Min Xiou, Wang Yin Din. An Efficient Location Tracking Structure for Wireless Sensor Networks [J]. Computer Communications, 2009, 32: 1495-1504.
- [3] Mao Guoqiang, Fidan Baris, Anderson Brian D O. Wireless Sensor Network Localization Techniques [J]. Computer Networks, 2007, 51: 2529-2553.
- [4] Priyantha N B, Chakraborty A, Balakrishnan H. The Cricket Location-Support System [C]//ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, 2000: 181-195.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA [C]//IEEE INFOCOM, 2003: 1124-1136.
- [6] Bahl P, Padmanabhan V. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and Tracking System [C]//IEEE INFOCOM, 2000: 379-391.
- [7] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices [J]. IEEE Personal Communications Magazine, October, 2000, 7(5): 28-34.
- [8] Lance Doherty, Laurent El Ghaoui, Kristofer S J Pister. Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Anchorage, AK, USA: IEEE Computer and Communications Societies, 2001, 3: 1655-1663.
- [9] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks [J]. Telecommunication Systems, 2003, 22: 267-280.
- [10] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks [C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2003: 81-95.
- [11] Hui Qu, Stephen B Wicker. Co-Designed Anchor-Free Localization and Location-Based Routing Algorithm for Rapidly-Deployed Wireless Sensor Networks [J]. Information Fusion, 2008, 9: 425-439.
- [12] Wang Xinwei, Ole Bischoff, Rainer Laur, et al. Localization in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks Using Multilateration with RSSI for Logistic Applications [J]. Procedia Chemistry, 2009, 1: 461-464.
- [13] Wang Sheng Shih, Shih Kuei Ping, Chang Chih Yung. Distributed Direction-Based Localization in Wireless Sensor Networks [J]. Computer Communications, 2007, 30: 1424-1439.
- [14] 李晓维, 徐勇军, 任丰原. 无线传感器网络技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2007: 191-221.
- [15] Yun S, Lee J, Chung W, et al. Centroid Localization Method in Wireless Sensor Networks Using TSK Fuzzy Modeling [J]. International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2008: 971-974.
- [16] Liao Wen-Hwa, Shih Kuei-Ping, Lee Yu-Chee. A Localization Protocol with Adaptive Power Control in Wireless Sensor Networks [J]. Computer Communications, 2008, 31: 2496-2504.



石为人 (1948-), 男, 重庆大学教授, 博士生导师, “985 工程” 科技创新平台重庆大学测控及遥感信息传输研究院院长、特聘专家。主要研究方向为信息控制与智能系统、无线传感器网络及其应用、嵌入式系统等, wrs@cqu.edu.cn;



贾传江 (1986-), 男, 重庆大学硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络、信息控制等, jialeisansi@126.com。