

## Implementation of Improved DV-Hop Localization Algorithm for Coal Transportation Line\*

ZHENG Dezhong<sup>1\*</sup>, ZHANG Yuexia<sup>1</sup>, LIAO Wenzhe<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory Of Measurement Technology and Instrumentation of Hebei Province, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China; )  
(2. University of Detroit Mercy, Department of Maths and Computer, Detroit, USA)

**Abstract:** DV-Hop localization algorithm, independent of the distance, is an important localization algorithm. The localization principle and error sources of the DV-Hop localization algorithm, are analyzed. In the complex environment for coal site, a localization supplementary means, RSSI ranging technology, is applied to reduce the localization error and improve the accuracy of this localization system. And LMS is used to improve the DV-Hop localization algorithm in the traditional wireless sensor networks. Simulation with MATLAB shows that, in the same network environment, by the improved algorithm, the accuracy increases by 8%. Therefore, the relative position of duty officer can be monitored more accurately.

**Key words:** wireless sensor networks; DV-Hop localization algorithm; RSSI; least squares

EEACC: 6150P

doi: 10.3969/j.issn.1004-1699.2010.11.024

## 改进的 DV-Hop 定位算法在输煤生产线上的应用\*

郑德忠<sup>1\*</sup>, 张月匣<sup>1</sup>, 廖文喆<sup>2</sup>

(1. 河北测试计量技术及仪器重点实验室, 燕山大学, 河北 秦皇岛 066004; )  
(2. 底特律大学数学与计算机科学系, 美国 底特律)

**摘 要:** DV-Hop 定位算法是一种与距离无关的定位算法, 文中对该算法的定位原理、误差来源进行了分析。在输煤现场复杂环境下, 通过一种定位辅助手段——信号强度(RSSI)测距技术, 来减小定位误差, 提高定位系统精度。并利用最小均方差改进无线传感器网络中传统的 DV-Hop 定位算法。通过 MATLAB 进行仿真, 结果表明, 在相同的网络环境下, 改进后算法的精度大约提高了 8%。从而更加准确地监测到输煤生产线上值守人员的相对位置。

**关键词:** 无线传感器网络; DV-Hop 定位算法; RSSI; 最小二乘法

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)11-1638-04

无线传感器网络(WSN, Wireless Sensor Networks)<sup>[1]</sup>是由多个节点组成的面向任务的无线自组织网络。它在工农业生产, 生态环境监测, 生产安全监测有着广泛的应用<sup>[2]</sup>。无线传感器网络通过部署传感器节点至目标区域, 通过节点算法得到未知节点的正确定位后, 才能准确地监测到输煤生产线上的值守人员的相对位置。对现场的工作人员安全起到一定作用。所以, 无线传感器网络定位是当前研究的热点和难点问题。

目前, 关于节点的定位算法有很多<sup>[3]</sup>, 根据是否需要测距, 定位算法大致分为两类: 基于测距算法(Range-based)和无需测距算法(Range-free)。常用的测距技术有 RSSI<sup>[4]</sup>、TOA<sup>[5]</sup>、TDOA<sup>[6]</sup>和 AOA<sup>[7]</sup>等。因为输煤现场的环境比较复杂, 信号易受到影

响, 直接影响到测量的精确度, 所以不易采用这种方法。无需测距定位算法, 即不需要测量节点间的绝对距离或是方位, 常用有质心算法、APIT 算法、DV-Hop 算法、Amorphous 算法等<sup>[8]</sup>。在以上算法中, DV-Hop 算法的优点是不受测距误差的影响, 定位算法方法比较简单, 定位精度也比较高。一些研究人员已经开始对 DV-Hop 算法从各个方面进行改进: 有选择性的选取信标节点进行求解, 有引入 RSSI 结合 DV-Hop 算法一起定位等<sup>[9]</sup>。例如: 刘艳文等人提出的锚节点平均每跳距离和非锚节点获取跳数值的改进<sup>[10]</sup>; Yu Ning 等人提出的根据跳数来调节节点定位过程中的数据包接收量; Tian Shuang 等人提出的将基于测距技术和非测距技术结合在一起的 RDV-Hop 算法等。

项目来源: 河北省科学技术研究与发展计划项目资助(D5213503D)

收稿日期: 2010-04-20 修改日期: 2010-06-28

## 1 DV-Hop 算法简介

### 1.1 DV-Hop 算法核心思想

为了避免对节点之间距离的直接测量, 因为直接测量易受周围环境的影响, 所以美国的 Rutgers University 的 Dragos Niculescu 等人利用距离矢量路由和 GPS 定位原理提出了一系列分布定位算法, 合称 APS (Ad Hoc Positioning System)。它包含 6 种算法: DV-Hop, DV-distance, Euclidean, DV-coordinate, DV-Bearing 和 DV-Radial<sup>[11]</sup>。其中应用最成功和最广泛的是 DV-Hop 定位方法<sup>[12]</sup>。它是一种基于距离矢量计算跳数的算法, 基本思想就是将未知节点到信标节点之间的距离用计算出来的平均每跳距离和两者之间跳数的乘积表示, 然后使用三边测量法或极大似然估计法来估计坐标, 从而完成定位。

传统 DV-Hop 算法的定位过程分为下面 3 个阶段。如图 1 所示, 是由一个由十个节点组成的小型传感器网络, 其中 A, B, C 是参考节点, 其余为未知节点。以此图为例来简单介绍一下此定位算法的过程。

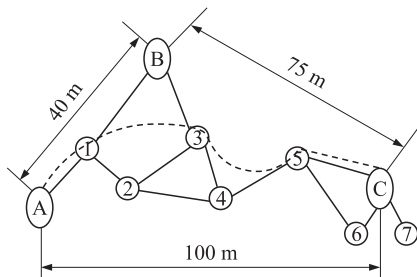


图 1 DV-Hop 算法示意图

(1) 计算未知节点与每个信标节点的最小跳数

信标节点使用距离矢量交换协议, 每个信标节点将其位置信息以数据分组的形式在网络中传播出去, 广播的数据组包含  $\{id_i, x_i, y_i, Hops_i\}$ , 其中包含了信标节点的  $id_i$  号、位置信息  $(x_i, y_i)$  以及跳数信息  $Hops_i$  并初始化为 0, 如果接受到邻居节点则将  $Hops_i$  加 1, 保存此数据组, 然后继续向新的邻居节点广播。当节点收到同一个信标节点较大跳数的数据组时, 则忽略此数据组, 但当收到新的跳数组小于已经存在的跳数, 就用新的跳数来更新数据组。通过这个策略可以保证网络中绝大多数节点能够记录下到每个信标节点的最小跳数。

(2) 计算未知节点和信标节点的距离

以泛洪的形式在整个网络中广播每个信标节点的信息, 使每个信标节点根据第一阶段中的数据组获得距离其他所有信标节点的最短跳数和坐标信

息, 利用公式(1)估算平均每跳的距离:

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

其中:  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  分别为信标节点  $i, j$  的坐标,  $h_{ij}$  为信标节点  $i$  与  $j (i \neq j)$  之间的跳段数。

每个信标节点在网络范围内广播, 计算出每跳平均距离,  $d_{ij}$  是信标节点与所有其它信标节点的每跳平均距离。每个节点仅接受第一个  $d_{ij}$ , 而后继续向其邻居广播, 重复的就丢弃。经过此阶段的广播后, 所有节点都已知所有信标节点计算的每跳平均距离  $\bar{d}$

$$\bar{d} = \frac{\sum d_{ij}}{n} \quad (2)$$

对于图 1 来说, 根据上面两阶段能够计算出信标节点 A、B、C 之间的距离和跳数。那么信标节点 B 计算的平均距离为  $(40 + 75) / (2 + 4) = 19.17$ , 假设未知节点 4 从 B 获得平均每跳距离, 则节点 4 与三个信标节点之间的距离分别为  $A 3 \times 19.17, B 2 \times 19.17, C 2 \times 19.17$ , 然后利用三边测量法计算节点 4 的坐标。

(3) 利用三边测量法或是极大似然估计计算自身坐标。

### 1.2 存在的问题

由于 DV-Hop 算法过分依赖于信标节点间的跳数信息。当一些原因信标节点接受不到准确的跳数信息后, 平均每跳距离的计算就会带来很大的误差。网络中节点间的距离往往是复杂曲折的, 而不是直线的, 同样会给该算法带来很大的定位误差。

本文引入接受信号强度测距技术对改进 DV-Hop 过程中进行约束, 减少误差。RSSI 是一种最简单的测距方法, 它通过理论上和经验性的模型将接受信号强度转化为距离。由于该技术容易实现, 且不需要额外的硬件支持, 所以在很多领域中被广泛使用。然而在实际环境中, 温度, 障碍物传播模式等条件往往是变化的, 对于复杂环境的适应能力弱, 此时多径反射传播、非视距、天线方向都对其产生影响, 使得该技术在实际应用中仍存在困难, 仅可以作为其它测距方法的辅助手段而采用。而且对于该测距技术的使用, 也仅限于对邻居节点距离的一种大小比较。

## 2 DV-Hop 算法的改进

改进 DV-Hop 算法主要分为三步。

(1) 基于最小均方差准则求得平均每跳距离

传统的方法是利用公式(2)来计算平均每跳距离  $\bar{d}$  的值, 即该未知节点到最近的锚节点的平均距离, 由于周围环境不同, 所走的路径不同, 该未知节点到各不同方向的锚节点的误差也不同, 所以定义路径  $i \rightarrow j$  上的距离误差修正值为  $e^{ij}$ ,

$$e^{ij} = d_e^{ij} - d_i^{ij} \quad (3)$$

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

$$d_i^{ij} = h_{ij} \times d_{ij} \quad (5)$$

其中  $d_e^{ij}$  是根据节点的数据组的信息两个信标节点的坐标计算出来两节点之间的距离,  $d_i^{ij}$  是在同一路径上的平均每跳距离。  $e^{ij}$  为用跳数和每跳平均距离之间的乘积和实际距离之间的误差。应令  $e^{ij}$  误差最小, 则根据最小二乘法原则使  $\sum e_{ij}^2$  达到最小, 则令:

$$\sum_{i \neq j} e_{ij}^2 = \sum_{i \neq j} (d_e^{ij} - d_i^{ij})^2 = \sum_{i \neq j} (d_e^{ij} - 2h_{ij}d_{ij}d_e^{ij} + h_{ij}^2d_{ij}^2) \quad (6)$$

令  $\frac{\partial \sum_{i \neq j} e_{ij}^2}{\partial d_{ij}} = 0$ , 则信标节点  $i$  计算的平均每跳距离为:

$$d_i = \frac{\sum_{i \neq j} (h_{ij}d_{ij})}{\sum h_{ij}^2} \quad (7)$$

虽然算法的精确度是提高了, 但是此方法也存在着缺陷, 计算量明显增加了, 每条路径都要计算一次  $d_{ij}$  平均每跳距离, 未知节点记录接受到的平均每跳距离  $d_{ij}$  后, 根据记录的跳数, 计算到每个参考节点的跳段距离。

(2) 约束条件

DV-Hop 算法的原则是: 节点只接受网络中最小的跳数值。当定位系统趋于稳定时, 节点的跳数都有变小的趋势。实验表明: 多数节点容易接收到 hops = 1 的情形, 而且, 这些节点的误差均比较大。重点改善节点 hops = 1 的情形, 有助于大大提高整个定位系统的定位精度。非锚节点收集足够的跳数信息之后, 对于跳数大于 1 的, 不作任何处理。当跳数为 1 时, 提取从锚节点获取的 RSSI 值, 使用 RSSI 模型, 当模型值在平均每跳距离值的一定范围内, 则不修改跳数值; 否则, 取模型值和平均每跳距离的比值, 该值一般是小数。这样, 不仅降低了节点的定位误差, 还很好地解决了节点位置重叠现象。一旦通过 RSSI 模型校正的跳数信息, 将不会再发生大的改

变, 这样定位系统就可以稳定、可靠地运行了。

(3) 计算自身的坐标

因为输煤现场的锚节点部署可以规范化, 可以对输煤现场大致看作为称矩形, 如图 2 以 4 个顶点作为基准节点(也是锚节点)。本文利用节点到已知的基准节点的跳数值来选择新的基准节点, 首先选择  $A$  为源点即坐标为  $(0, 0)$  则与跳离他最大跳数的点  $C$  即为对角线, 再在  $x$  轴和  $y$  轴(即水平和纵向)两个方向同样找到了距离跳数最大值分别为  $B$ 、 $D$  两点。再求自身的坐标, 则未知节点  $E(x, y)$  利用前面讲的算法计算到  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  的距离分别为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 。则可以得到如下公式:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = d_3^2 \\ (x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 = d_4^2 \end{cases} \quad (8)$$

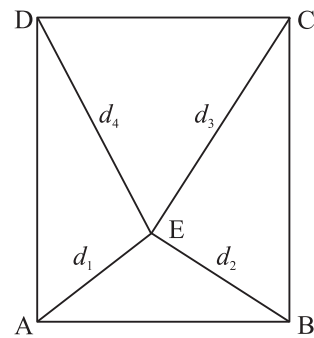


图 2 未知节点的坐标计算

式(8)从第一式开始依次都减去第四式, 就可以转化为  $Ax = b$  的形式的线性方程组, 其中:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_4) & 2(y_1 - y_4) \\ 2(x_2 - x_4) & 2(y_2 - y_4) \\ 2(x_3 - x_4) & 2(y_3 - y_4) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_4^2 + y_1^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_1^2 \\ x_2^2 - x_4^2 + y_2^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_2^2 \\ x_3^2 - x_4^2 + y_3^2 - y_4^2 + d_4^2 - d_3^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

由于存在测距误差, 合理的线性模型应该是

$$Ax + N = b \quad (11)$$

其中,  $N$  为  $K - 1$  维随机误差向量。利用最小二乘原理,  $x$  的值应当使模型误差  $N = b - Ax$  达到最小, 即用最小化

$$Q(x) = \|N\|^2 = \|b - Ax\|^2 \quad (12)$$

求  $x$  的估计, 对关于  $x$  求导并令其等于 0, 可以求解未知节点的最小二乘位置估计:

$$\hat{A}_{LS} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (13)$$

### 3 仿真性能

通过计算机对传统算法和改进的算法进行了仿真分析。在相同的网络布景下,仿真网络区域为  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ ,未知节点的坐标是随机产生的,节点通讯半径  $R = 15\text{ m}$ 。图 3 是在仿真区域内部署了 200 个节点, $k = \frac{n}{N-n}$  ( $n$  为网络中信标节点的数量, $N$  是网络中的总数,它是不变的, $k$  是瞄节点所占比例,从仿真图中可以看出随着瞄节点比例的增加,平均定位误差呈现递减趋势。本文改进的定位算法比传统的定位算法精度提高了大约 8%。图 4 是在实验区域内随机布置 200 个节点,保持瞄节点比例在 10%,节点通信半径从 15 m 增加到 40 m,从仿真图中可以明显得看到改进的算法的定位精确度提高了很多,平均定位误差降低了大于 18%。

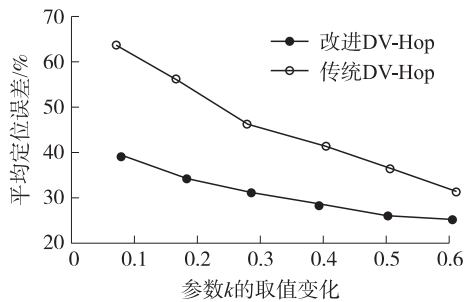


图 3 平均定位误差随瞄节点变化曲线

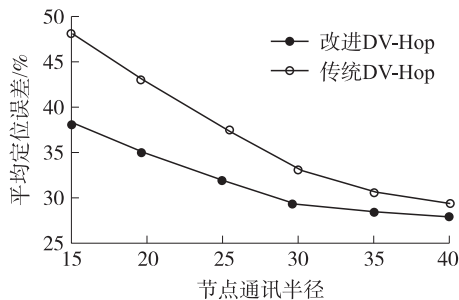


图 4 平均定位误差随通信半径变化曲线

### 4 结束语

本文针对输煤现场环境复杂,在传统的 DV-Hop

算法的基础上,对算法进行了改进,利用最小二乘法对平均每跳距离进行了矫正。在同一路径上的平均每跳距离只用在同一路径上进行计算。提高了定位的精确度。然后根据现场对节点的分布进行了计算,利用信标节点作为坐标系,计算出了未知节点的具体相对位置。利用计算机 MATLAB 软件仿真可得,改进的算法具有良好的扩展性,当节点数目不断增加时,定位误差明显减小。定位的精确度得到明显的提高。但是此方法也存在着缺点,就是计算量大大增大了。硬件的负担就重了。

### 参考文献:

- [1] 王福豹,史龙,任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报,2005,16(5):857-868.
- [2] 尚志军,曾鹏,于海斌. 无线传感器网络节点定位问题[J]. 计算机科学,2004,31(10):35-38.
- [3] 林金朝,刘海波,李国军,等. 无线传感器网络中 DV-Hop 节点定位改进算法研究[J]. 计算机应用研究,2009,26(4):1272-1275.
- [4] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad-Hoc Net-Work[J]. Journal of Telecommunication System, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [5] Woo Cheol Chuang, Dong Sam H A. An Accurate Ultrawideband (UWB) Ranging For Precision Asset Location [C]//VA, USA: Proceedings of the IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies Reston Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 389-393.
- [6] Girod L, Estrin D. Robust Range Estimation Using Acoustic and Multimodal Sensing [C]//Maui: Proc of the IEEE/RSJ Intl Conf on Intelligent Robots and Systems, 2002: 1312-1320.
- [7] Niculescu D, Nath B. Ad-Hoc Positioning Systems (APS) Using AOA [C]//Proc of the IEEE INFOCOM. San Francisco: IEEE Comp Uter and Communications Societies, 2003: 1743-1743.
- [8] Shang Y, Ruml W. Improved MDS-Based Localization [C]//Hongkong: Proc of the IEEE INFOCOM, 2004: 2640-2651.
- [9] 刘艳文,王福豹,段渭军,等. 基于 DV-Hop 定位算法和 RSSI 测距技术的定位系统[J]. 计算机应用,2007:27-516.
- [10] 段渭军,王建刚,王福豹. 无线传感器网络节点定位系统与算法的研究和发展[J]. 信息与控制,2006,35(2):239-244.
- [11] 于宁,万江文,吴银峰. 无线传感器网络定位算法研究[J]. 传感器学报,2007,20(1):187-192.
- [12] 赵清华,刘少飞,张朝霞,等. 一种无需测距节点定位算法的分析和改进[J]. 传感技术学报,2010,23(1):122-127.



郑德忠(1949-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为广义预测控制、虚拟仪器、遥测遥控技术、ARM 嵌入式系统研究;



张月匣(1982-),女,燕山大学测试计量技术及仪器硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、通信技术等, zhangyuexia19@sina.com。