

# 基于补偿系数的 DV-Hop 定位的改进算法

黄春华<sup>1</sup>, 沈 军<sup>2</sup>

(1. 桂林电子科技大学 计算机科学与工程学院, 广西 桂林 541004;

2. 桂林空军学院 科研部, 广西 桂林 541003)

**摘 要:** DV-Hop 定位算法是一种重要的无需测距定位算法。在各向同性的密集网络中, 它可以获得比较合理的定位精度, 然而在随机分布的网络中, 节点的定位误差较大。根据 DV-Hop 算法的定位过程, 利用最小均方误差法对平均跳距进行改进, 并考虑到传感器节点通常部署在非平面应用场景, 通过补偿系数来校正未知节点到信标节点之间的估计距离, 提出一种基于补偿系数的定位算法。仿真结果表明, 在适当增加节点计算开销的条件下, 改进算法的定位精度有明显改善, 是一种可行的无线传感器网络节点定位解决方案。

**关键词:** 无线传感器网络; DV-Hop; 补偿系数; 定位算法

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)06-0081-04

## Improved DV-Hop Positioning Algorithm Based on Compensation Coefficient

HUANG Chun-hua<sup>1</sup>, SHEN Jun<sup>2</sup>

(1. Dept. of Computer Science & Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2. Dept. of Scientific Research, Guilin Air Force Academy, Guilin 541003, China)

**Abstract:** DV-Hop algorithm is one of the important range-free localization algorithms. It performs better in isotropic density sensor networks, however, it brings larger location errors in random distributed networks. According to the localization principle of the DV-Hop algorithm, improve the estimation of average single hop distance by using the least equal square error, and revise the estimated distance between the unknown node and the anchor node with compensation coefficient considering the wireless sensors deployed in the non-planar application scenarios. This localization algorithm is based on compensation coefficient. Simulation results show that the improved algorithm has better locating performance in locating precision by increasing appropriate computation overhead, and is a feasible locating scheme in WSN in both random distributing and dynamic topology networks.

**Key words:** wireless sensor networks (WSN); DV-Hop; compensation coefficient; localization algorithm

## 0 引言

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 是由大量随机分布的传感器节点构成, 能对覆盖区域进行信息采集、处理、转发的自组织网络。在 WSN 应用中, 位置信息对传感器网络的监测活动至关重要, 在目标监测与跟踪、基于位置信息的路由、网络的负载均衡以及网络拓扑结构<sup>[1]</sup>等应用中都要求网络节点预先知道自身的位置, 以便在通信和协作过程中利用位置信息完成应用要求。由此可见, 无线传感器网络中定位技术是整个网络各种功能实现的基础。

现有的节点定位算法以定位方式的不同可分为两大类<sup>[2]</sup>: 基于测距 (range-based) 算法和无需测距 (range-free) 算法。在无需测距的定位算法中, DV-Hop (distance vector-hop) 算法是一种比较典型的定位算法, 是利用距离矢量路由和信标节点定位而提出的分布式定位方法之一, 实现方法简单, 可扩展性好<sup>[3,4]</sup>, 但它是利用跳段距离代替直线距离, 仅在各向同性的密集网络中才能取得较理想的定位效果。文中针对 DV-Hop 算法在随机分布网络环境中的局限性, 利用最小均方误差法求得网络平均每跳距离, 并考虑到被监测区域为非平面时对定位结果的影响, 通过采用补偿系数来减少被监测区域起伏状况对未知节点与信标节点之间距离计算的影响, 以提高算法的定位精度。

收稿日期: 2010-11-11; 修回日期: 2011-03-05

基金项目: 军队装备科研项目 (KJ08069)

作者简介: 黄春华 (1985-), 女, 广西玉林人, 硕士研究生, 研究方向为无线传感器网络节点定位技术; 沈 军, 教授, 主要研究方向为无线传感器网络技术。

## 1 DV-Hop 定位算法简介

DV-Hop 定位算法的基本思想是将未知节点到信

标节点间的距离用网络平均每跳距离与两者间跳数之积表示,当未知节点获得与三个或更多信标节点的距离时就可以实现自身定位。其定位过程一般分为三个阶段<sup>[2,5]</sup>:首先节点间使用距离矢量广播协议进行信息转发,使网络中所有节点获得与各个信标节点间的最小跳数;其次,当信标节点在获得其他信标节点的位置和最小跳数值后,计算网络平均每跳距离,然后将其作为校正值广播至网络中。每个节点仅记录接收到的第一个校正值,并转发给邻居节点,接着根据记录的最小跳数,计算到附近各个信标节点的跳段距离。最后当未知节点获得与 3 个或更多信标节点间的距离时,执行三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标。

如图 1 所示,信标节点  $i, j, k$ , 根据距离公式可以计算出它们之间的直线距离  $d_{ij}, d_{ik}$ , 假设  $i$  到  $j$  和  $k$  的最小跳段数分别为  $\text{hops}_{ij}$  和  $\text{hops}_{ik}$ , 则信标节点  $i$  根据下式

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

计算得到的网络平均每跳距离为  $C_i = \frac{d_{ij} + d_{ik}}{\text{hops}_{ij} + \text{hops}_{ik}}$ 。

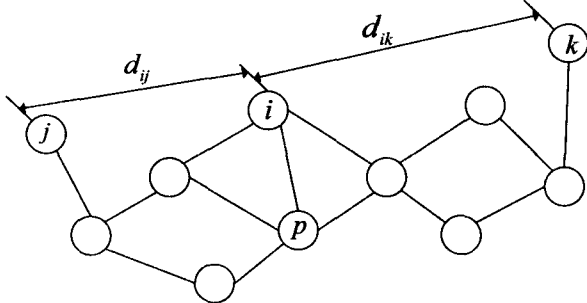


图 1 DV-Hop 定位算法举例示意图

假设  $p$  为待定位节点,信标节点  $i$  与其之间的跳段数最少,即  $i$  距离  $p$  最近。因此  $p$  从  $i$  处获得平均每跳距离值,即  $C_p = C_i$ ,并计算它到各信标节点的估计距离:  $C_p \text{hops}_{pi}, C_p \text{hops}_{pj}, C_p \text{hops}_{pk}$ 。然后使用三边测量法计算节点  $p$  的位置。

## 2 DV-Hop 定位算法的改进

DV-Hop 定位算法根据网络的连通性和距离矢量的信息交换,利用跳段距离代替直线距离,仅在各向同性的密集网络中求得的平均每跳距离才更接近实际距离值,否则误差较大<sup>[6]</sup>。实际应用中 WSN 的节点一般是随机分布的,信标节点和未知节点间往往不是直线路径,并且部署在监测区域中的节点不完全位于同一平面上,则所计算得到的估计距离是未知节点沿地面曲线到信标节点间的估计值,这一般都大于未知节点到信标节点在水平面上的投影距离<sup>[7]</sup>,使用此估计值

去计算未知节点的坐标将会加剧估算坐标值的误差。

本节针对 DV-Hop 算法在随机分布网络环境中的局限性,先利用最小均方误差法改进原算法中计算每跳平均距离的方法,再采用补偿系数来校正未知节点到信标节点间的估计距离,以提高算法的定位精度。

### 2.1 最小均方误差法计算平均跳距

传统的方法都是通过无偏估计法来计算平均每跳距离  $C_i$  的值,即通过使式(2)的值为零来求得平均跳距的估计值<sup>[8]</sup>。

$$f_1 = \frac{1}{m-1} \sum_{i \neq j} (d_{ij} - C_i \cdot \text{hops}_{ij}) \quad (2)$$

$m$  为网络中信标节点的个数。使用这种方法得到的平均每跳距估计值  $C_i$  的估计误差均值为零,而在一般情况下,误差服从正态分布,根据参数估计理论,作为估计值误差的代价函数,使用均方误差比只使用方差或偏差更为合理<sup>[9]</sup>。

因此,文中利用最小均方误差法来计算平均每跳距离,即通过使式(3)最小化求得平均跳距的估计值。

$$f_2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i \neq j} (d_{ij} - C_i \cdot \text{hops}_{ij})^2 \quad (3)$$

令  $\frac{\partial f_2}{\partial C_i} = 0$ , 可得基于最小均方误差法的平均每跳距离的估计值为:

$$C_i = \frac{\sum_{i \neq j} (\text{hops}_{ij} \cdot d_{ij})}{\sum_{i \neq j} \text{hops}_{ij}^2} \quad (4)$$

以图 1 为例,信标节点根据式(4)计算得到的平均每跳距离为  $C_i = \frac{\text{hops}_{ij} \cdot d_{ij} + \text{hops}_{ik} \cdot d_{ik}}{\text{hops}_{ij}^2 + \text{hops}_{ik}^2}$ 。

### 2.2 补偿系数的计算

经过第一阶段节点间信息的相互转发后,每个信标节点就能获得其他信标节点的坐标信息和相距最小跳数。这时每个信标节点根据两点间距离公式分别计算出它到其他信标节点的实际距离,并根据式(4)计算出平均每跳距离。例如,信标节点  $i$  和信标节点  $j$  的坐标分别为  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ , 根据距离公式可求得它们间的实际距离为  $d_{ij}$ , 再根据平均跳距和它们间的最小跳数值求得估计距离为  $d_{ij\text{EST}}$ , 然后求出估计距离和实际距离的差值为  $\Delta d_{ij} = |d_{ij\text{EST}} - d_{ij}|$ , 由此求得这对信标节点的增长比为  $m_{ij} = \frac{\Delta d_{ij}}{d_{ij}}$ 。最后,每个信标节点将计算得到的平均每跳距离和增长比信息广播出去,使得每个未知节点都会收到该平均每跳距离和每对信标节点的增长比,并存储它们的值。从而每个未知节点就会获得以下数据:(1) 每个信标节点的坐标值;(2) 本节点到各个信标节点之间的估计距离;(3) 每对信标节点之间的距离增长比。

设一对信标节点  $i, j$  之间的估计距离为  $d_{ijEST}$ , 增长比为  $m_{ij}$ ; 未知节点  $p$  与信标节点  $i, j$  之间的估计距离分别为  $d_{piEST}, d_{pjEST}$ , 则:

$$D_{pij} = d_{piEST} + d_{pjEST} - d_{ijEST} \quad (5)$$

$D_{pij}$  表示未知节点  $p$  偏离信标节点  $i, j$  连线的偏离程度因子,  $D_{pij}$  越大未知节点  $p$  偏离信标节点  $i, j$  的连线就越大。由于单一的  $m_{ij}$  的增长比并不能完全反映  $p$  到  $i, j$  之间的连通状态, 为了尽可能使未知节点与信标节点间的距离更接近实际距离, 采用加权平均的方法<sup>[10,11]</sup>来计算到未知节点跳数值最少的三个信标节点的补偿系数。具体方法如下:

假设已知未知节点  $p$  到所有信标节点的跳数, 找出跳数最少的三个信标节点, 即离未知节点最近的三个信标节点, 设为  $i, j, k$ 。

首先, 计算出未知节点  $p$  到信标节点  $i$  与其他所有信标节点之间连线的偏离程度因子, 即:

$$D_{pit} = d_{pitEST} + d_{pitEST} - d_{iitEST}, t = 1, 2, \dots, n \text{ 且 } t \neq i \quad (6)$$

其中  $n$  为信标节点个数。

取未知节点  $p$  到信标节点  $i$  与其他所有信标节点连线的偏离程度因子中最小的三个, 设为  $D_{pi1}, D_{pi2}, D_{pi3}$ , 并根据加权平均的方法计算未知节点  $p$  到信标节点  $i$  所对应的补偿系数  $M_{pi}$ , 即:

$$M_{pi} = \frac{\frac{m_{i1}}{D_{pi1} + D_{pi2}} + \frac{m_{i2}}{D_{pi2} + D_{pi3}} + \frac{m_{i3}}{D_{pi3} + D_{pi1}}}{\frac{1}{D_{pi1} + D_{pi2}} + \frac{1}{D_{pi2} + D_{pi3}} + \frac{1}{D_{pi3} + D_{pi1}}} \quad (7)$$

其中,  $m_{i1}, m_{i2}, m_{i3}$  分别为信标节点  $i$  到未知节点  $p$  和其他所有信标节点连线的偏离程度因子最小的三个信标节点的增长比。同理可得未知节点  $p$  到信标节点  $j, k$  所对应的补偿系数  $M_{pj}, M_{pk}$ 。

### 2.3 利用补偿系数校正未知节点到信标节点的距离

通过上面的方法求出离未知节点最近的三个信标节点的相应补偿系数后, 就可对它们间的估计距离进行校正了。例如, 未知节点  $p$  到信标节点  $i$  的估计距离为  $d_{piEST}$ , 相应补偿系数为  $M_{pi}$ , 则校正后的距离为

$$d_{piREV} = \frac{d_{piEST}}{1 + M_{pi}}, \text{同理可得 } p \text{ 到信标节点 } j, k \text{ 的校正后}$$

$$\text{的距离分别为 } d_{pjREV} = \frac{d_{pjEST}}{1 + M_{pj}}, d_{pkREV} = \frac{d_{pkEST}}{1 + M_{pk}}。 \text{这样}$$

未知节点  $p$  就得到了离它最近的三个信标节点校正后的距离信息。

### 2.4 未知节点坐标的计算

通过上述方法得到离未知节点最近的三个信标节点的距离信息后, 就可以利用三边测量法计算未知节点的坐标了。但由于前述计算出的未知节点与最近三

个信标节点的距离与实际情况有一定误差, 这可能会使三边测量方程组无解, 为了避免此种情况, 文中采用最小二乘法<sup>[12]</sup>来计算未知节点的最终坐标值。

## 3 实验验证与结果分析

采用 Matlab7.0 对 DV-Hop 定位算法和基于补偿系数的改进算法进行仿真对比分析。设节点分布区域为  $100\text{m} \times 100\text{m}$  的正方形, 传感器节点在仿真区域内随机分布, 节点数量维持在 150 个, 每个节点都具有相同的通信距离  $R = 35\text{m}$ , 其中信标节点的坐标位置已知, 而未知节点的坐标位置通过算法计算得到。仿真通过设置不同的信标节点数量, 比较算法的平均定位误差。在无线传感器网络定位中, 一般将定位误差定义为节点的估计位置与实际位置的误差值与节点通信半径的比值, 即  $\text{error} = \sqrt{(\hat{x} - x)^2 + (\hat{y} - y)^2} / R$ , 其中  $(\hat{x}, \hat{y})$  和  $(x, y)$  分别为未知节点的估计位置 and 实际位置; 平均定位误差定义为  $\overline{\text{error}} = \sum_i \text{error}(i) / un$ , 其中  $\text{error}(i)$  为未知节点  $i$  的定位误差,  $un$  为未知节点的个数。

文中算法从两个方面对 DV-Hop 算法做了改进: 一是采用最小均方误差法计算网络平均每跳距离的估计值, 二是引入补偿系数来校正未知节点与信标节点间的估计距离。先对第一方面的改进方法做仿真, 在此基础上, 再对第二方面的改进方法做仿真, 以比较改进后的算法与原算法之间的定位精度, 仿真结果分别如图 2 和图 3 所示。

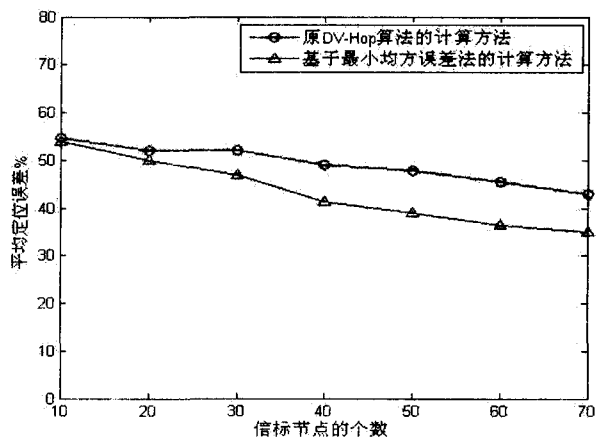


图2 不同方法计算平均跳距时两种算法的平均定位误差

由图 2 可以看出, 当参与定位的信标节点数量逐渐增加时, 两种算法的定位误差都有所降低。刚开始时, 改进后算法的定位精度与原算法的相差不大, 但随着信标节点数增多, 采用最小均方误差法计算得到的网络平均每跳距离更能接近随机网络的实际平均每跳距离, 从而有效地降低了节点的定位误差, 其中最大降

低值达到了 8%。

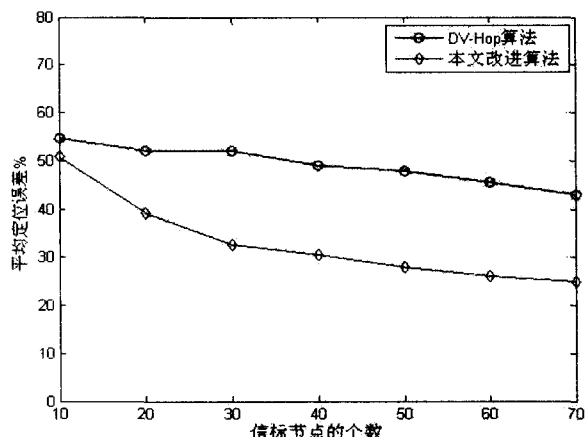


图 3 引入补偿系数后两种定位算法的平均定位误差

在图 3 中,由于进一步通过补偿系数来校正未知节点到信标节点的估计距离,使之更接近实际距离,从而更进一步地降低了未知节点的定位误差,由图中可以看出改进算法的定位误差比传统的 DV-Hop 定位算法平均减少了 15%~18%,定位精度明显有所提高。当信标节点数量达到 60 时,两种算法的定位精度提高的幅度逐渐变小,平均定位误差变化趋于平稳。

总而言之,文中改进算法的平均定位误差始终小于原 DV-Hop 算法且拥有良好的稳定性。但是,在执行算法的过程中要广播大量的信标节点对增长比和计算补偿系数,文中的改进算法在通信开销和计算量方面比原算法会有所增加。

#### 4 结束语

文中针对 DV-Hop 算法在随机分布网络环境中的局限性,先利用最小均方误差法对原算法中计算每跳平均距离的方法做改进,再引入补偿系数来校正未知节点到信标节点间的距离,提出一种基于补偿系数的 DV-Hop 改进算法。经过仿真验证,该改进算法的平均定位误差低于原算法并拥有良好的稳定性。但是,改进算法是通过增加通信量和计算量来提高定位精度

的,算法的开销会有所增加。如何在保持较好定位精度的同时降低通信开销和计算量是将来需要进一步研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] 张杰,胡向东. 定位技术在无线传感器网络中的应用[J]. 电信快报,2008(8):34-36.
- [2] 孙利民,李建中,陈瑜,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:149-151.
- [3] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad hoc Networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1-4): 267-280.
- [4] 王书聪. 无线传感器网络分布式定位算法研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(11):62-65.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad-hoc Positioning System (APS) [C]// Proc. of the IEEE GLOBECOM. San Antonio: [s. n.], 2001: 2926-2931.
- [6] 刘少飞,赵清华,王华奎. 基于平均跳距估计和位置修正的 DV-Hop 定位算法[J]. 传感技术学报,2009,22(8): 1154-1158.
- [7] 徐建波,刘亚辉. 基于不同平面的无线传感器网络节点定位算法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(24):115-117.
- [8] 嵇玮玮,刘中. DV-Hop 定位算法在随机传感器网络中的应用研究[J]. 电子与信息学报,2008,30(4):970-974.
- [9] 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京:清华大学出版社,2002:40-42.
- [10] 刘锋,张翰,杨骥. 一种基于加权处理的无线传感器网络平均每跳距离估计算法[J]. 电子与信息学报,2008,30(5):1222-1225.
- [11] Li Jian, Zhang Jianmin, Liu Xiande. A Weighted DV-Hop Localization Scheme for Wireless Sensor Networks[C]// International Conference on Scalable Computing and Communications; The Eighth International Conference on Embedded Computing. [s. l.]: [s. n.], 2009:269-272.
- [12] 林金朝,陈晓冰,刘海波. 基于平均跳距修正的无线传感器网络节点迭代定位算法[J]. 通信学报,2009,30(10): 107-113.

(上接第 80 页)

- specifications [R]. [s. l.]: Knowledge System Laboratory, 1993.
- [2] 强彦,谢红薇. 基于 Web 数据的本体概念抽取[J]. 电脑开发与应用,2007,20(1):37-39.
  - [3] 唐旭日. WordNet 与 HowNet 之关系研究[J]. 湖北广播电视大学学报,2007,27(7):124-125.
  - [4] 廖剑,冷静,李艳燕,等. 知网的形式概念分析及概念相似度研究[J]. 计算机应用研究,2007,24(1):33-35.
  - [5] 辛日华. HowNet 的构成分析与研究[J]. 呼伦贝尔学院学报,2003,3(6):81-83.
  - [6] 杜小勇,李曼,王珊. 本体学习研究综述[J]. 软件学

报,2006,17(9):1837-1847.

- [7] 聂规划,傅魁. 基于 Web 的中文本体学习研究[J]. 情报杂志,2008(6):13-16.
- [8] 梁健,王惠临. 基于文本的本体学习方法研究[J]. 信息系统,2007,30(1):112-116.
- [9] 唐一之. 基于知网的领域概念抽取与关系分析研究[J]. 湘潭大学自然科学学报,2009,31(1):135-140.
- [10] 李佳,祝铭,刘辰. 中文本体映射研究与实现[J]. 中文信息学报,2007,21(4):27-33.
- [11] 刘群,李素建. 基于知网的词汇语义相似度计算[C]// 第三届汉语词汇语义学研讨会论文集. 台北:出版者不详,2002.