

文章编号: 2095-4980(2025)02-0165-05

## 基于 DV-Hop 修正算法的移动物联感知传感定位

雒晓凤, 吴宏岐

(西安汽车职业大学 电子信息工程学院, 陕西 西安 710600)

**摘要:** 为解决经典距离向量跳段(DV-Hop)定位算法存在较大误差问题, 提出一种基于多通信半径修正跳数计算未知节点位置的 DV-Hop 改进扩展算法。通过对无线传感器网络(WSN)中多通信半径与信邻/信标节点间跳数分级细化, 精确移动物联感知传感定位跳数, 修正网络拓扑结构不规则多级通信半径。研究表明: 不同通信半径下, 该算法定位误差较传统 DV-Hop 算法、基于改进的樽海鞘群算法的 DV-Hop(ISSA\_DV-Hop)算法、基于差分进化的 DV-Hop(DE\_DV-Hop)算法分别降低约 36.78%、10.63%、21.15%; 不同信标节点数下, 该算法定位误差比上述 3 种算法定位误差平均减小约 33.17%、15.36%、21.07%。由此说明, 基于 DV-Hop 修正算法可提高移动物联感知传感定位精确度, 在无需添加硬件情况下能够减少数据误差, 并确保 WSN 中未知节点平均跳距更符合 DV-Hop 定位算法实际和网络传感要求。

**关键词:** 不规则拓扑; DV-Hop 修正算法; 多通信半径; 无线传感器网络(WSN); 移动物联网

中图分类号: TP391

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2023217

## Mobile object sensing location based on DV-Hop correction algorithm

LUO Xiaofeng, WU Hongqi

(School of Electronic Information Engineering, Xi'an Vocational University of Automobile, Xi'an Shaanxi 710600, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of significant errors in the classic Distance Vector-Hop(DV-Hop) positioning algorithm, an improved DV-Hop extension algorithm based on multi-communication radius correction for calculating unknown node positions is proposed. By grading and refining the number of hops between multiple communication radii and neighboring/beacon nodes in Wireless Sensor Network(WSN), the precise number of hops for mobile Internet of Things(IoT) sensing positioning is determined, which corrects the irregular multi-level communication radii of the network topology. The research results show that under different communication radii, the positioning error of this algorithm is reduced by about 36.78%, 10.63% and 21.15% compared to that of traditional DV-Hop, Improved Salp Swarm Algorithm DV-Hop(ISSA\_DV-Hop) and Differential Evolution DV-Hop(DEDV-Hop) algorithms, respectively; under different numbers of beacon nodes, the positioning error of this algorithm is reduced by an average of about 33.17%, 15.36%, and 21.07% compared to that of the three algorithms mentioned above. This indicates that the DV-Hop correction algorithm can improve the positioning accuracy of mobile IoT sensing, reduce data errors without adding hardware, and ensure that the average hop distance of unknown nodes in WSN is more in line with the actual DV-Hop positioning algorithm and network sensing requirements.

**Keywords:** irregular topology; DV-Hop correction algorithm; multiple communication radii; Wireless Sensor Network(WSN); mobile Internet of Things

无线传感器网络(WSN)是一种自组织、大规模、动态化的分布式传感网络, 基于末梢传感器实现无线通信, 组成灵活多跳自组织网络<sup>[1]</sup>。在 WSN 无线传感定位技术领域, 美国学者 Dragos Niculescu 基于距离向量(Distance

收稿日期: 2023-08-08; 修回日期: 2023-10-20

基金项目: 陕西省教育厅科研基金资助项目(17JK1062); 陕西省教育厅 2021 年度陕西高等职业教育教学改革研究资助项目(21GZ024); 陕西省“十四五”教育教学规划 2024 年度课题资助项目(SGH24Y3100)

Vector, DV)路由和 GPS 定位思想, 在 Ad Hoc 中提出基于 DV 的定位网络算法 DV-Hop, 但由于无线传感节点受能量、运算能力、部署成本及应用环境限制, 很难广泛应用。国内魏焕等<sup>[2]</sup>利用修正因子和最小均方差准则, 运用最小二乘法引入全局寻优性能优异的改进蜜獾算法代替传统 DV-Hop 算法, 得到 WSN 中未知节点坐标, 降低不同条件下定位精确度误差。刘川洲、张玲华等<sup>[3]</sup>在研究随机传感器网络节点密度、节点通信半径、信标比例对 DV-Hop 算法性能影响基础上, 提出一种基于节点分类和跳数阈值的改进算法。通过对信标距离加权修正, 根据跳数信息对跳数阈值估计, 提高了跳距信息估测精确度。梁建国等<sup>[4]</sup>根据 WSN 节点定位问题, 采用改进灰狼优化器修正基于测距定位算法中未知节点坐标, 运用个体记忆策略, 引入非线性收敛因子和可变比例权重调整优化灰狼优化器中的收敛因子, 提高算法前期搜索能力和非线性收敛速度, 缩短了算法运行时间。

上述算法虽能实现快速定位, 但计算复杂, 成本高, 定位精确度低。文中针对 DV-Hop 定位算法存在的定位缺陷、需要较高的信标节点比例、要求网络均匀分布等优点改进优化, 通过调节平均跳距信息计算机制, 基于 DV-Hop 修正算法实现移动物联感知传感定位, 提高定位精确度。

## 1 传统 DV-Hop 定位算法定位误差问题分析

利用 DV-Hop 经典算法实现 WSN 定位, 其精确度受 WSN 结构中的网络连通度影响<sup>[5]</sup>。若基于 DV-Hop 定位, 利用 WSN 未知节点最近的信标节点对网络连通的最小跳数、平均跳距等定位参数进行估算, 并用两者乘积等效替代经典 DV-Hop 定位直线距离, 则引起 WSN 定位误差的主要干扰因素为最小跳数信息精确度<sup>[6]</sup>。对算法模型进行分析, 在利用经典 DV-Hop 算法实现 WSN 定位过程中, 若所选择的几个跳段折点越少, 则数据传感网络连通度越佳。此时将跳段折点等效为 WSN 信标节点与未知节点之间的直线段, 即可使最少折点的几个跳段中各折线段中各折点与共线接近, 降低数据传输误差, 实现精确定位<sup>[7]</sup>。但 WSN 中各信标节点与未知节点随机分布, 因此 DV-Hop 定位算法的信标节点和 WSN 未知节点的跳数越多, 与其有关的平均跳距、算法定位测量误差距离就越大。

由上分析可知, DV-Hop 定位误差主要由主、客观因素所致。客观因素与网络环境、硬件部署有关; 主观因素与算法相关。WSN 现有定位算法所涉及的算法成本、环境影响等是本文研究重点, 通过精确节点间跳数信息、修正未知节点平均每跳距离和改进定位计算方法, 提高定位精确度, 如在 WSN 中基于更高精确度的测距方案, 将接收信号强度(Received Signal Strength Indicator, RSSI)引入传统 DV-Hop 定位算法中。基于 RSSI 测距技术, 借助无线电传播路径损耗模型, 根据信号强度衰减估计距离, 利用 RSSI 改进节点间的跳数值计算机制, 降低通信开销。考虑到实际应用中, 有些传感器节点可能并不具备测量 RSSI 的功能, 对于这种类型网络, 需用其他方法如 WSN 中非视距环境下的 ToA/AoA(Time of Arrival/Angle of Arrival)混合定位算法, 改进 DV-Hop 定位算法。

## 2 基于多通信半径的 DV-Hop 定位算法修正改进与仿真分析

### 2.1 算法思想

在传统 DV-Hop 定位算法中, 若 WSN 信标节点-未知节点间的直线距离小于无线传感网络通信半径, 可将这一跳段记作“1跳”<sup>[8]</sup>。但实际上信标节点-未知节点间存在较大的间距, 若信标节点-未知节点间距离跳数记为“1跳”, 此时会对无线传感网络通信链路中的信标节点平均跳距的计算结果产生影响和干扰<sup>[9]</sup>, 采用 DV-Hop 定位算法计算 WSN 信标节点与未知节点间的最小距离(最小跳数)会导致误差逐渐累积<sup>[10]</sup>。为减小 DV-Hop 传统算法定位误差, 提出基于 DV-Hop 修正算法的移动物联感知传感定位方法, 即利用多通信半径精确 WSN 通信链路中各信邻节点与信标节点之间的跳数减小误差。

### 2.2 基于 DV-Hop 修正算法的移动物联感知传感定位实现

#### 1) 信标节点平均跳距修正

在 DV-Hop 算法中, 当节点位置既定时, 一般平均跳距值越精确, 移动物联感知传感定位误差就越小。此时, 算法定位误差服从高斯分布函数, 采用均方误差作为信标节点平均跳距修正的目标函数对均方误差进行最小化处理, 即可求得信标节点平均跳距。

#### 2) 未知节点平均跳距的修正

基于信标节点平均跳距误差, DV-Hop 修正算法修正未知节点平均跳距的策略为:

- a) 信标节点  $i$  根据平均每跳距离公式得到平均跳距, 再计算自身平均跳距误差  $\varepsilon_i$ ;
- b) 信标节点分别将平均跳距及  $\varepsilon_i$  广播到网络中;

c) 未知节点接收最近的  $N$  个信标节点  $i$  平均每跳距离加权；

d) 计算自身平均跳距。权值与平均跳距误差有关，若自身平均跳距误差越小，信标节点加权处理后权值越大，该平均跳距在计算未知节点平均跳距时贡献度也越大。在此过程中，对于阈值  $N$  取值及信标节点选择至关重要，网络能耗、计算复杂度也会随阈值  $N$  的取值增大而增加。

3) DV-Hop 修正算法的实现

假设无线传感网络通信半径为  $R$ ，将 WSN 信邻节点与信标节点间的多通信半径分为  $m$  级，同时将无线传感网络中各邻居节点、信标节点间的实际距离记为  $d$ ，多通信半径跳数记为  $H_i$ ， $i$  的初始值为 1，取值范围为  $1\sim m$  且为正整数<sup>[11]</sup>。若无线传感网络通信半径  $R$  取值 30，多通信半径  $m$  分级数取 3，此时 WSN 信邻节点与信标节点间的跳数值不再为非精确整数，而是与实际定位距离更接近正比关系且更加无限精确的小数。该修正算法模型的引入使 WSN 分布式移动物联感知传感网络定位精确度大大提高，减少了数据误差。

a) 设定无线传感网络通信半径  $R$  及 WSN 信邻节点与信标节点间的多通信半径分级数  $m$  的取值。假设  $i \in [1, m] = 1$ <sup>[12]</sup>，如果  $i \in [1, m] < m$ ，则转向锚节点，以双通信半径广播数据包，信标节点以通信半径  $iR/m$  向网络中广播一次信息分组；反之，如果  $i \in [1, m] > m$ ，则重新进行网络初始化，即将对应信标节点最小跳数记为  $i/m$ ，且不转发信息分组。本文以无线传感网络多通信半径  $iR/m$  为参照，向 WSN 中广播一次信标节点的信息分组，根据信标节点评价判断 WSN 实时接收到的信标节点信息分组中是否已对该分组信息进行完整记录。若信息分组节点信息未被准确记录，则将与之相对应的 WSN 信标节点最小跳数记作  $i/m$ ，并将其存储，且不在 WSN 中转发信标节点信息分组<sup>[13]</sup>；

b) 假设无线传感网络中信标节点分组信息转发间隔时间为  $t$ ，则令  $i(i \in [1, m]) = i + 1$ ，然后以无线传感网络多通信半径  $R$  为参照，在 WSN 中广播信标节点自身的信息分组。当无线传感网络信息接收节点每接收到一个信标节点自身的信息分组信息时，随之评价判断其是否为已被准确记录的最小跳数值，若该信息分组节点信息被准确、完整记录，则及时将该无线传感网络多通信半径信标节点的最小跳数保存，同时向其最近的邻居节点转发节点信息<sup>[14]</sup>；若该信息分组节点信息未被准确、完整记录，则将原来已完整保存的无线传感网络多通信半径信标节点的最小跳数值加 1，并将其转发给与其最近的邻居节点；若该信息分组节点信息来源于同一网络链路中的同一信标节点，则该信标节点的最小跳数分组信息可忽略不计<sup>[15]</sup>。

2.3 实验仿真与结果

为验证 DV-Hop 定位修正算法的有效性，采用 Matlab 仿真软件进行实验仿真分析，比较不同通信半径下、不同信标节点数下各算法的定位误差。

1) 不同通信半径下各算法定位误差比较

图 1 为信标节点数为 30、节点总数  $N=100$  及通信半径在 20~50 m 范围内变化时，4 种不同算法的定位误差。由图可知，当信标节点数、节点总数  $N$  保持相同时，4 种算法下移动物联感知传感定位误差均随通信半径增大而减小。在不同的通信半径下，本文算法的移动物联感知传感定位误差均优于另外 3 种算法，误差较其他 3 种算法 DV-Hop、ISSA\_DV-Hop、DE\_DV-Hop 分别降低约 36.78%、10.63% 和 21.15%。

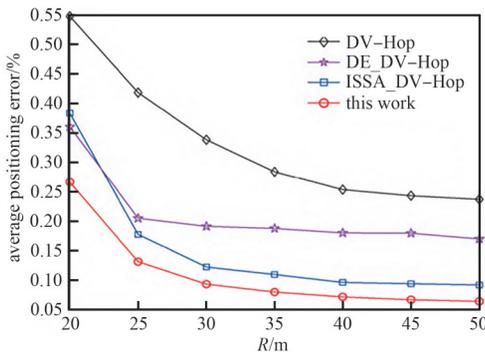


Fig.1 Positioning error of different algorithms when communication radius changes  
图1 通信半径变化时,不同算法定位误差

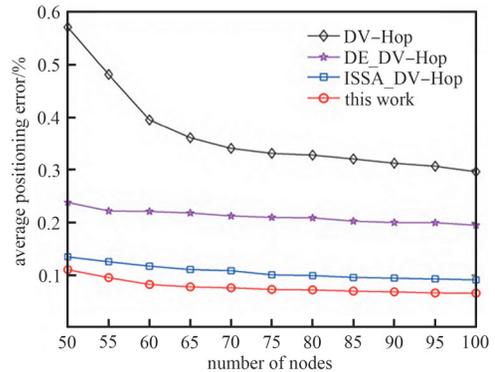


Fig.2 Location error under different algorithm conditions when the total number of beacon nodes changes  
图2 信标节点总数变化时,不同算法条件定位误差

2) 不同信标节点数下各算法定位误差比较

图 2 为当通信半径  $R=30$  m，节点总数  $N=100$  及信标节点比例在 5%~35% 区间内变化时，修正算法与现有传统

算法的误差随未知节点个数变化曲线。由图可知,当通信半径 $R$ 、节点总数 $N$ 不变时,不同算法下移动物联感知传感定位误差均随信标节点数增加而降低,且在任意信标节点条件下,DV-Hop修正算法定位误差均小于其他3种算法。相比其他3种算法DV-Hop、ISSA\_DV-Hop、DEDV-Hop的移动物联感知传感定位误差,DV-Hop修正算法误差平均减小约33.17%、15.36%、21.07%。

综上所述,本文提出的基于多通信半径修正跳数计算未知节点位置的DV-Hop改进扩展算法在硬件成本不变的情况下,可较好地提高定位精确度。

### 3 结论

为提高DV-Hop算法在网络拓扑结构不规则随机传感器网络中的定位性能,提出一种基于多通信半径的无线传感器网络DV-Hop定位修正算法。文中对经典算法DV-Hop定位误差原因进行深入分析,在不改变DV-Hop经典定位算法框架基础上,基于“多通信半径”对传统DV-Hop定位算法进行修正,通过获得无线传感器网络WSN-DV-Hop模型第一阶段信标节点与未知节点间定位误差最小跳数,使修正改进后DV-Hop算法基于多通信半径的移动物联感知传感距离定位误差无限接近真实值。改进修正后多通信半径分级细化节点间跳数更接近实际坐标,在相同复杂网络拓扑结构下,修正DV-Hop定位算法有效节约了多通信移动物联感知传感定位时的传感器网络能量消耗,提高了未知节点定位精确度,降低了WSN中的锚节点部署成本。下一步工作:a)如何降低节点能耗和算法复杂度;b)本算法只适用于二维空间,考虑在三维空间的算法设计与应用。

#### 参考文献:

- [1] 周凯,周培钊,付文涵,等. 无线传感器网络的改进DV-hop定位算法研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2021,53(4):137-143. (ZHOU Kai,ZHOU Peizhao,FU Wenhan,et al. Research on improved DV-hop localization algorithm in wireless sensor networks[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2021,53(4):137-143.) doi:10.16163/j.cnki.22-1123/n.2021.04.021.
- [2] 魏焕,白鹤,胡天存,等. 移动通信微波部件无源互调干扰综述[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2023,21(3):257-262,277. (WEI Huan,BAI He,HU Tiancun,et al. Review of passive intermodulation interference of mobile communication microwave components[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2023,21(3):257-262,277.) doi:10.11805/TKYDA2022174.
- [3] 刘川洲,张玲华. 基于DV-Hop算法的无线传感器网络定位精度优化[J]. 激光与光电子学进展, 2021,58(22):490-496. (LIU Chuanzhou,ZHANG Linghua. Optimization of localization accuracy of wireless sensor network based on DV-Hop algorithm[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021,58(22):490-496.) doi:10.3788/LOP202158.2228007.
- [4] 张悦,梁建国,张浩,等. 无线传感器网络质心和DV-Hop混合定位算法研究[J]. 仪表技术与传感器, 2021(4):122-126. (ZHANG Yue,LIANG Jianguo,ZHANG Hao,et al. Research on centroid and DV-Hop mixed localization algorithms in wireless sensor network[J]. Instrument Technique and Sensor, 2021(4):122-126.) doi:10.3969/j.issn.1002-1841.2021.04.026.
- [5] 宋跃才,林海涛,卞媛,等. 基于测距修正和蜜獾优化的改进DV\_Hop定位算法[J]. 电子测量技术, 2022,45(9):147-153. (SONG Yuecai,LIN Haitao,BIAN Yuan,et al. Improved DV\_hop localization algorithm based on ranging correction and honey badger optimization[J]. Electronic Measurement Technology, 2022,45(9):147-153.) doi:10.19651/j.cnki.emt.2108573.
- [6] 赵小强,吴帅,高传义,等. 基于测距修正及改进灰狼优化器的DV-Hop定位算法研究[J]. 物联网学报, 2021,5(4):62-70. (ZHAO Xiaoqiang,WU Shuai,GAO Chuanyi,et al. Research on DV-Hop location algorithm based on range correction and improved gray wolf optimizer[J]. Journal of the Internet of Things, 2021,5(4):62-70.) doi:10.11959/j.issn.2096-3750.2021.00222.
- [7] 罗施章,张晶,王健敏. 基于三维坐标修正的改进型3D DV-Hop定位算法[J]. 计算机工程与科学, 2021,43(10):1766-1772. (LUO Shizhang,ZHANG Jing,WANG Jianmin. An improved 3D DV-Hop localization algorithm based on 3D coordinate correction[J]. Computer Engineering and Science, 2021,43(10):1766-1772.) doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2021.10.008.
- [8] 金锋,巨尔寅. 多通信半径DV-Hop定位算法的改进[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2022,36(3):52-56. (JIN Feng,JU Eryin. Improved DV-Hop algorithm of multiple communication radii[J]. Journal of Shanxi Normal University(Natural Science Edition), 2022,36(3):52-56.)
- [9] 时雨农,刘海隆. 基于跳数与跳距优化的三维DV-Hop定位算法研究[J]. 传感技术学报, 2022,35(8):1080-1085. (SHI Yunong,LIU Hailong. Research on 3D DV-Hop algorithm based on the optimization of hop number and hop distance[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2022,35(8):1080-1085.) doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2022.08.011.

- [10] 余修武,秦晓坤,刘永,等. 基于全局人工鱼群算法优化的 DV-Hop 定位算法[J]. 工程科学与技术, 2022,54(4):228-234. (YU Xiuwu,QIN Xiaokun,LIU Yong,et al. DV-Hop localization algorithm optimized based on global artificial fish swarm algorithm[J]. Advanced Engineering Sciences, 2022,54(4):228-234.) doi:10.15961/j.jsuese.202100251.
- [11] 王磊,刘晶晶,齐俊艳,等. 基于测距修正及改进鲸鱼优化的 DV-HOP 定位算法[J]. 仪表技术与传感器, 2022(2):116-121, 126. (WANG Lei,LIU Jingjing,QI Junyan,et al. DV-HOP location algorithm based on ranging modification and improved whale optimization[J]. Instrument Technique and Sensor, 2022(2):116-121,126.) doi:10.3969/j.issn.1002-1841.2022.02.024.
- [12] 周鼎东,张春,张洁,等. 基于模拟退火算法改进的 DV-Hop 无线传感器定位算法[J]. 电脑与电信, 2020(5):29-32. (ZHOU Dingdong,ZHANG Chun,ZHANG Jie,et al. DV-Hop wireless sensor location algorithm based on simulated annealing algorithm[J]. Computer & Telecommunication, 2020(5):29-32.)
- [13] 唐德红,王一多,马新国. 斯蒂芬森迭代改进 DV-Hop 的无线传感器节点定位[J]. 吉林大学学报(工学版), 2022,52(12):3015-3021. (TANG Dehong,WANG Yiduo,MA Xinguo. Stephenson iterative improvement of DV-Hop wireless sensor node localization[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2022,52(12):3015-3021.) doi:10.13229/j.cnki.jdxbgxb 20210552.
- [14] 李忠成,解滨,张文祥. 基于多元分层感知的移动物联网区域分割算法[J]. 计算机工程, 2021,47(9):51-58. (LI Zhongcheng,XIE Bin,ZHANG Wenxiang. Region segmentation algorithm for mobile internet of things based on multi-layered perception[J]. Computer Engineering, 2021,47(9):51-58.) doi:10.19678/j.issn.1000-3428.0060662.
- [15] 陈媛媛,李贤阳. 基于综合权值校准与均跳估测的移动物联网终端坐标感知算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020,34(1):43-50. (CHEN Yuanyuan,LI Xianyang. Coordinate sensing algorithm for mobile Internet of things terminal based on comprehensive weight calibration and mean jump estimation[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2020,34(1):43-50.) doi:10.13382/j.jemi.B1902270.

#### 作者简介:

雒晓凤(1988-),女,硕士,副教授,主要研究方向为电子信息技术、物联网工程.email:lxflxf09@163.com.

吴宏岐(1963-),男,学士,教授,主要研究方向为高等教育、智能控制及故障诊断.