

# 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法

马晓贤, 彭 力

MA Xiaoxian, PENG Li

江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122

School of Internet of Things, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China

MA Xiaoxian, PENG Li. Improved DV-Hop localization algorithm in wireless sensor network. *Computer Engineering and Applications*, 2015, 51(21): 97-101.

**Abstract:** Self-positioning of sensor nodes is one of the important researches in the wireless sensor networks. The main error source of DV-Hop localization algorithm is the estimation error of the distance between unknown nodes and anchor nodes. In order to reduce the error, this paper introduces the ideal anchor nodes' distance. It is used to exclude a part of average single-hop distance calculated by anchor nodes that has large errors. It'll fix the network-wide average single-hop distance. Then it will correct the coordinates of unknown nodes that are obtained by the least squares. The simulation results show that, the algorithm can effectively improve the positioning accuracy of the nodes. And the algorithm has low requirement on the number of anchor nodes and the communication radius. It can effectively save energy and cost of the network.

**Key words:** wireless sensor networks; Distance Vector(DV)-Hop; location; coordinate correction

**摘 要:** 传感器节点的自定位问题是无线传感器网络的重要研究内容之一。由于 DV-Hop 定位算法中误差来源主要是未知节点与锚节点间距离的估计误差, 为了减小该误差, 引入理想锚节点间距, 排除锚节点计算出的单跳平均距离中的误差较大的部分, 修正全网平均单跳距离, 再对使用最小二乘法计算得到的未知节点坐标进行修正。仿真结果表明, 该算法能有效提高节点定位精度, 且算法对锚节点数目和节点通信半径要求较低, 能有效节约网络的能耗和成本。

**关键词:** 无线传感器网络; 距离矢量(DV)-Hop; 定位; 坐标修正

**文献标志码:** A **中图分类号:** TP393 **doi:** 10.3778/j.issn.1002-8331.1310-0380

## 1 引言

无线传感器网络是带有信息采集, 数据处理, 无线传输等功能的无线通信节点通过自组织的方式构成的网络, 这些节点成本低且可以随机分布。该网络通过节点的数据采集处理发送, 达到对周围环境的感知, 探测, 监视等功能。由于组成网络的节点众多, 网络不会因为个别节点的问题而影响工作, 具有很强的容错能力, 在各种紧急场合和特殊领域有着特殊的优势, 同时被广泛应用。

在大部分情况下, 随机撒布的节点需要知道它们的具体位置或坐标才有价值, 对于大多数应用, 不知道传感器位置而感知的数据是没有意义的<sup>[1]</sup>。不过, 如果在所有传感器节点上都附加上定位装置(如 GPS 等设备),

那整个网络的成本和能耗都会大量增加, 这样就背离了无线传感网络低成本、低功耗的特点。因此需要定位算法对节点进行定位。无线传感器网络的定位主要分为两类<sup>[2-3]</sup>: 一类就是对监测目标定位, 而另一类则是对传感器节点本身的定位, 即网络节点自定位。如果节点的位置未知, 那么检测目标定位也是无法实现的, 所以, 节点自定位是后续操作的前提。因此, 在多数应用中, 准确而开销小的传感器定位至关重要。

定位算法根据是否测量节点间距分为两类: 基于距离(range-based)的定位算法和与距离无关(range-free)的定位算法<sup>[4]</sup>。基于距离的定位算法需要测量节点间的距离或角度, 然后使用三边测量法(trilateration)、最大似然估计法(maximum likelihood)等计算节点坐标,

**作者简介:** 马晓贤(1989—), 男, 硕士研究生, 研究领域为无线传感器网络; 彭力(1967—), 男, 博士, 教授, 研究领域为控制与优化以及计算机仿真。E-mail: 272778398@qq.com

**收稿日期:** 2013-10-29 **修回日期:** 2013-12-15 **文章编号:** 1002-8331(2015)21-0097-05

**CNKI 网络优先出版:** 2014-03-18, <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.3778/j.issn.1002-8331.1310-0380.html>

Range-Based定位常用的测距技术有RSSI, TOA, TDOA和AOA等。而距离无关的定位算法不需要测量节点间距离,而是通过节点间的关系进行定位,常用的距离无关定位算法有质心算法、DV-Hop、APIT等<sup>[5-6]</sup>。相较而言,基于测距的定位算法计算结果更为准确,但能耗相对较高,相对的,距离无关的定位算法结果误差较大,但对设备的要求低,功耗低,适用于各种场合。

本文讨论距离无关定位算法中的DV-Hop算法,并对其进行两部分的改进,实现误差率的减小。

## 2 DV-Hop算法

DV-Hop定位算法是基于距离矢量计算跳数的算法,其基本思想是利用锚节点间的已知距离和跳数,计算网络间的平均单跳距离,并用单跳距离与跳数的乘积近似表示未知节点与锚节点间的距离,最后用三边定位法或极大似然估计求得未知节点的坐标。

### 2.1 算法描述

Niculescu等人利用距离矢量路由的原理提出DV-Hop算法。DV-Hop算法的实现过程可分为以下3步<sup>[7-13]</sup>:

(1)计算未知节点与每个信标节点的最小跳数。锚节点将初值为0的跳数信息广播至网络中,其他节点总是记录同一锚节点最小的跳数信息并加一后转发。

(2)计算每跳距离。在获取了未知节点和锚节点的跳数值以及锚节点之间的跳数值之后,可以利用如下公式计算平均每跳距离,对于第*i*个信标节点:

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

其中:*j*为锚节点*i*的数据表中的其他锚节点,  $hops_{ij}$ 为锚节点*i*和*j*之间的跳数。

(3)未知节点根据到各个锚节点的计算距离值,使用最小二乘法计算未知节点的坐标。对于某未知节点*P*,根据以上步骤可得出其与*n*个锚节点距离分别为( $d_1, d_2, \dots, d_n$ ),于是可以根据坐标关系得到如下方程组:

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

经过变换可以得到:

$$\begin{cases} x_1^2 - x_n^2 - 2(x_1 - x_n)x + y_1^2 - y_n^2 - 2(y_1 - y_n)y = d_1^2 - d_n^2 \\ x_2^2 - x_n^2 - 2(x_2 - x_n)x + y_2^2 - y_n^2 - 2(y_2 - y_n)y = d_2^2 - d_n^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 - 2(x_{n-1} - x_n)x + y_{n-1}^2 - y_n^2 - 2(y_{n-1} - y_n)y = d_{n-1}^2 - d_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

式(3)可表示为方程:

$$AX = B \quad (4)$$

其中:

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ 2(x_2 - x_n) & 2(y_2 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

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

对式(4)使用标准的最小均方差估计方法得到未知节点*P*的坐标:

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (5)$$

### 2.2 已有的改进

目前,已经有许多关于DV-Hop的改进方案。文献[14]中考虑到锚节点远近对误差的影响,在计算跳距时进行加权处理;文献[15]中通过锚节点间的实际距离与估计距离的误差来修正网络跳距,同时,根据节点所处区域的情况,找出在最后定位结果中明显不符合实际情况的结果,对这些节点的坐标进行简单修正。在文献[7]中利用全网平均每跳距*cc*代替与未知节点距离最近的锚节点的平均每跳距离*C<sub>i</sub>*,从而使得改进算法的平均定位精度得到提高。

$$cc = \sum C_i / n \quad (6)$$

其中:*C<sub>i</sub>*是第*i*个信标节点计算的平均每跳距离,*n*为网络中的锚节点总数。

## 3 算法改进

### 3.1 平均跳距修正

由于DV-Hop算法的误差大多来源于计算全网平均跳距时的误差,以及将此结果运用于未知节点与锚节点间距离时的累积误差,因此,改进平均跳距对于提高精度很重要。

考虑到在节点随机分布的区域中,存在一种理想状态,即所有节点平均分布,虽然这种情况一般不可能出现,但是对在样本数量足够多的情况下,平均分布时的节点间距对于修正普通计算得出的跳距有一定作用。

所以,定义理想锚节点间距离为:

$$L = \frac{X}{\sqrt{n} - 1} \quad (7)$$

其中*X*为节点分布区域的边长(默认为正方形),*n*为节点数量。

根据*L*,可以对经典DV-Hop算法得出的平均单跳距离进行修正。修正条件为:

$$\begin{cases} C_i > \frac{L}{\left\lfloor \frac{L}{R} \right\rfloor + 1} + K \\ C_i < R \end{cases} \quad (8)$$

其中  $K$  为误差裕量,  $R$  为节点通信半径。

式(8)中,第一个条件考虑到  $L$  与通信半径的大小关系,若  $L < R$ ,则第一个条件可直接转化为  $C_i < L + K$ ,否则需要考虑到节点间通信距离的问题,由于任意两个可通信节点间距离必然小于  $R$ ,因此与通信半径比较后直接应用于平均跳距的修正。

根据式(8),在算法流程中,将所有不满足条件的  $C_i$  排除后再计算全网平均跳距。

### 3.2 最小二乘法后的坐标修正

在3.1节中已改进了全网平均跳距这个量,但在定位过程中使用的最小二乘法对单个未知节点进行定位,结果仍然无法避免使用估算距离时带来的误差,因此需要对得到的结果进行进一步修正。

本文在锚节点中取出一个作为定位目标,其余锚节点分别与未知节点一起对定位目标进行定位,其结果与实际值进行比较,用于修正。修正情况如图1所示。

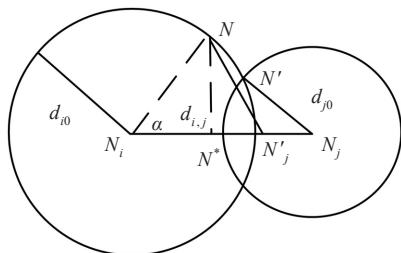


图1 定位结果位置修正

其中,  $N_i$  为锚节点,  $N_j$  为已定位节点,  $N$  为固定锚节点,  $N'$  为根据  $N_i$  和  $N_j$  得出的定位结果。

在坐标修正过程中,  $N$  选择与  $N_j$  距离为两跳的锚节点,  $N_i$  取所有其他锚节点。由于  $N_i$  与  $N$  之间的距离  $d_{i0}$  是精确的, 因此, 无论  $N_j$  结果如何,  $N$  与  $N'$  都会如图 1 所示的左圆上移动, 而  $N_i$  和  $N_j$  定位结果实际就是两圆的交点, 由于圆的半径不会变化且  $N_i$  是固定的, 所以最终的修正方案应该是将  $N_j$  在  $N_i N_j$  上移动, 如图 1 中  $N'_i$  所示。

修正步骤如下:

(1) 计算由  $N_i$  和  $N_j$  定位得到的节点坐标  $N'(x'_0, y'_0)$ , 由于两点坐标及两点间距均已知, 计算方程即可。

(2) 根据(1)中得到的坐标, 计算未知节点在  $N_i N_j$  上的修正距离; 由于  $NN'_j = N'N_j$ , 根据  $\angle\alpha$  的余弦关系就可以求出  $N'_i N_j$ 。

(3)将修正距离换算至坐标。

在步骤(1)中,若方程无实数解,则认为已知的3条距离无法构成三角形,此时将修正条件替换成,将  $N_j$  向  $N_i$  移动至  $N'_j$ ,使  $d_{i0}+d_{j0}=N'_jN_i$ 。当方程有两个实数解时,取与实际锚节点近的结果作为  $N'$ 。

在步骤(2)中首先计算  $N$  在  $N_i N_j$  上的投影  $N^*$ , 可以得到:

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{NN_i^2 + N_i N_j'^2 - NN_j'^2}{2NN_i^* N_i N_j'} \\ \sin \alpha = \frac{NN^*}{NN_j} \end{cases} \quad (9)$$

解式(9),可得到  $N'_i N_i$ 。

在步骤(3)中,由于在所有定位结果中存在定位误差较大的情况,且部分  $N_i$  与定位节点之间的距离过大,导致的  $d_{ij}$  误差过大,因此,在得到修正距离后,排除修正值过大的结果,使得  $N'_j N_j < M$ , 阈值  $M$  可由实际的仿真场景来确定。

坐标计算方法为：

$$(x'_j, y'_j) = (x_j, y_j) + \frac{|N_j N'_j|}{|N_i N_j|} * (x_j - x_i, y_j - y_i) \quad (10)$$

未知节点的坐标修正可进行多次。由于在进行修正时需要取锚节点中的某一个作为定位目标,对此迭代时若以同一个锚节点作为目标,结果必定会有一定的偏向性,甚至会产生新的误差,因此,在多次迭代修正时,应该取用不同的锚节点作为定位目标。

同时每多进行一次,误差率会更小,但同时,整个网络的通信开销和计算量也会增大,在实际应用中需要进行相应的取舍。

## 4 仿真结果

为了验证本文算法的有效性,在MATLAB中对DV-Hop算法和本文算法进行实验仿真,对仿真结果进行分析比较。

模拟在  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  的区域中随机布撒 200 个节点, 固定节点通信半径为  $30\text{ m}$ 。改变锚节点数量, 从 20 个递增至 55, 最后进行的坐标修正次数固定为 3 次。仿真同时比较 DV-Hop 算法, 文献[14]的算法和本文算法。实验进行了 100 次蒙特卡洛仿真, 对所有的误差结果取平均得到如图 2 的结果。

从图2可以看出,在一般情况下,本文算法都优于DV-Hop算法。与文献[14]中方法比对,在锚节点个数较小的时候,误差率曲线下降幅度更大,而在锚节点数目达到一定数量后,误差率基本保持不变,这意味着本文算法对于锚节点数量的要求不高,当锚节点数量满足一定数量即可,在无线传感网中,带有定位功能的锚节

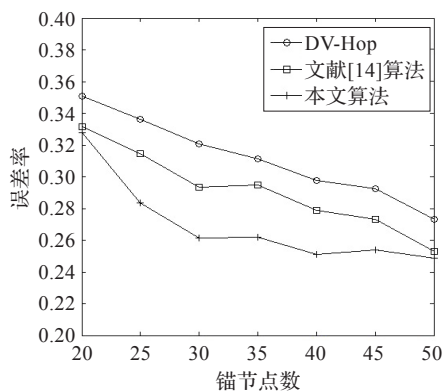


图2 锚节点数对定位误差率的影响

点成本要远远大于未知节点,同时从能耗上来说也是同样的,因此减少锚节点对于减小网络成本和提高网络的生命周期很重要,本文算法不需要大量的锚节点作为保证精度的条件,在无线传感器网络节约资源的方面有较好的效果。

与图2相应的数据如表1所示。

表1 不同数量锚节点下各算法误差率

锚节点数	20	30	40	50
DV-Hop	0.351	0.321	0.298	0.273
文献[14]	0.331	0.293	0.279	0.253
本文算法	0.328	0.261	0.251	0.248

保持锚节点数量为40个不变的情况下,改变通信半径,随着通信半径  $R$  从20 m至50 m增长,同样进行100次蒙特卡洛仿真,结果如图3所示。

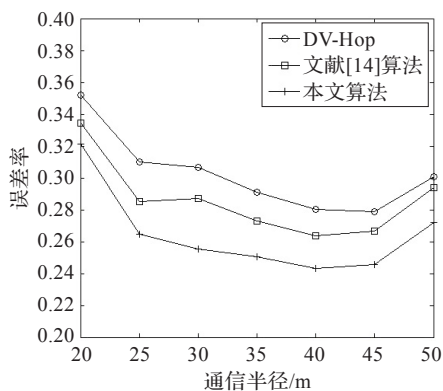


图3 通信半径对定位误差率的影响

相应的数据如表2所示。

表2 不同通信半径下各算法误差率

$R/m$	20	30	40	50
DV-Hop	0.351	0.308	0.282	0.300
文献[14]	0.334	0.287	0.262	0.293
本文算法	0.319	0.256	0.244	0.272

可以看出,随着通信半径从20 m增长到50 m,网络的最大跳数在减小,因此由以折线距离近似为直线距离的误差在减小,因此定位精度会提高,误差率整体呈现

下降的趋势,但是当通信半径过大时(如50 m),节点间的最大跳数只有两跳,此时的单跳估算距离会增加,单跳距离的误差也会增大,因此误差会呈现上升的状态。从整体来看,在任意距离的通信半径下,本文算法均优于DV-Hop算法。与文献[14]中算法比较,本文算法误差率较小,同时在适当的通信半径下,本文算法结果更加平稳。

在保持锚节点数为40,通信半径为30 m不变的情况下,改变最后节点坐标修正的迭代次数,误差率的变化情况如图4所示。

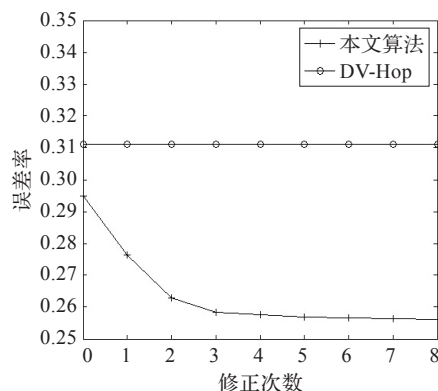


图4 坐标修正次数对误差率的影响

表3所示为图4中相应的数据,由于4次之后的改变很小,在此不再列出。

表3 多次坐标修正下的误差率

修正次数	0	1	2	3	4
DV-Hop	0.310	0.310	0.310	0.310	0.310
本文算法	0.295	0.276	0.263	0.258	0.257

从图4中可以看到,传统DV-Hop算法不受修正次数影响保持不变,而本文算法的误差率随修正次数的增加而减小,当进行修正次数在3次之前,误差率下降幅度比较大,之后的下降幅度则越来越小。

在本文算法中,第一步对于锚节点得到的平均每跳距离的修正中,由于只需要所有节点比较判断接收到的任意锚节点的平均每跳距离,因此几乎不会增加网络开销,而第二步的坐标修正,需要未知节点与锚节点进行一定量的计算,如果需要得到较高的定位精度,需要进行几次迭代,次数越多,网络的开销越大,所以在实际使用中需要在精度和计算量两方面进行权衡。

## 5 结语

本文对DV-Hop算法进行了两方面的改进,首先引入理想锚节点间距,修正全网平均跳距,其次对最小二乘法定位后的节点坐标进行修正。经过算法的仿真可以看到,本文算法能有效抑制误差,提高精度,尤其当锚节点密度不高的情况下,也能保证较小的定位误差,



对节点通信半径的要求不高,能适用于低功耗的网络环境。

### 参考文献:

- [1] Rabacy J J, Ammer M J, Silva J L, et al. Picoradio supports ad hoc ultra-low power wireless networking[J]. Computer, 2000, 33(7): 42-48.
- [2] 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.
- [3] Savarese C, Rabaey J M, Beutel J. Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor network[C]//Proc of the 2001 IEEE Int Conf on Acoustics, Speech and Signal Processing Society, 2001: 2037-2040.
- [4] Li Nianqiang, Li Ping. A range-free localization scheme in wireless sensor networks[C]//Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, 2008: 525-528.
- [5] 张佳, 吴延海, 石峰. 基于 DV-Hop 无线传感网络定位算法[J]. 计算机应用, 2010, 30(2): 323-326.
- [6] 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.
- [7] 彭刚, 曹大元, 孙利民. 无线传感器网络节点定位机制的研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(35): 27-29.
- [8] Tomic S, Mezei I. Improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Intelligent Systems and Informatics(SISY), 2012: 389-394.
- [9] 石为人, 贾传江, 梁焕焕. 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(1): 83-87.
- [10] Wang Jizeng, Jin Hongxu. Improvement on APIT localization algorithms for wireless sensor networks[C]//2009 International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing, 2009: 719-723.
- [11] Dai Ying, Wang Jianping, Zhang Chongwei. Improvement of DV-Hop localization algorithms for wireless sensor networks[C]//Wireless Communications Networking and Mobile Computing(WiCOM), 2010: 1-4.
- [12] Yu Wenqi, Li Hao. An improved DV-Hop localization method in wireless sensor networks[C]//Computer Science and Automation Engineering(CSAE), 2012: 199-202.
- [13] Kaseva V, Hamalainen T D, Hannikainen M. Range-free algorithm for energy-efficient indoor localization in wireless sensor networks[C]//Design and Architectures for Signal and Image Processing(DASIP), 2011: 1-8.
- [14] 刘凯, 余君君, 谭立雄. 跳数加权 DV-Hop 定位算法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(11): 1539-1542.
- [15] 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.
- [16] Mostafa M M. More than words: social networks' text mining for consumer brand sentiments[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(10): 4241-4251.
- [17] Pang B, Lee L. Opinion mining and sentiment analysis[M]. [S.l.]: Now Publishers Inc, 2008.
- [18] Moraes R, Valiati J F, Gaviao Neto W P. Document-level sentiment classification: an empirical comparison between SVM and ANN[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(2): 621-633.
- [19] Paltoglou G, Thelwall M. A study of information retrieval weighting schemes for sentiment analysis[C]//Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 2010.
- [20] Nguyen T T, Kuiyu C, Siu C H. Supervised term weighting for sentiment analysis[C]//Intelligence and Security Informatics, 2011.
- [21] Deng Z, Luo K, Yu H. A study of supervised term weighting scheme for sentiment analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(7): 3506-3513.
- [22] Maas A L, Daly R E, Pham P T. Learning word vectors for sentiment analysis[C]//Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 2011.
- [23] Chang C, Lin C. LIBSVM: a library for Support Vector Machines[J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2011, 2.