

无需测距的综合节点定位算法^①

吕 振¹, 林振杨¹, 张晓红², 何武林¹

¹(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 葫芦岛 125105)

²(辽宁工程技术大学 应用技术学院, 阜新 123009)

摘 要: 针对基本的 DV-Hop 节点定位算法会产生不良的节点和多级跳带来的累积误差、定位精度不高以及能量消耗方面等缺点, 提出一种改进的综合定位算法, 即基于一种无需测距的综合节点定位算法, 这种算法能够节省附加节点的硬件开销进而能达到准确的定位。改进以后的算法的定位误差率明显比改进前的定位误差率小, 表明了定位误差率随锚节点数量的增加而减小。通过 MATLAB 软件对节点定位误差方面进行仿真验证, 仿真实验结果证明该改进后的算法稳定、可靠, 易于实现, 提高了定位精确度、降低了能量消耗水平, 达到了预期的目标。

关键词: 无线传感器网络; 质心算法; DV-Hop 算法; CDLS 算法; MATLAB 仿真软件

Range-free Synthesized Localization Algorithm Based on WSN

LV Zhen¹, LIN Zhen-Yang¹, ZHANG Xiao-Hong², HE Wu-Lin¹

¹(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

²(Institute of Technology, Liaoning Technical University, Fuxin 123009, China)

Abstract: This paper applies a new modified Synthesized algorithm based on the ill-natured nodes which produced by the primary DV-Hop nodes localization algorithms and the weakness of accumulated error brought by the multi-level jumps. It is that Centroid and DV-Hop Localization Synthesized. The algorithm helps to lower the hardware overhead so as to fix an accurate position. Improve the algorithm of positioning error rate after the positioning before than improved significantly less error rate, showed the positioning error rate increased with anchor the number of node is decreased. It checks the errors of the node localization by simulation verification through the MATLAB software, which also proves that the algorithm itself is stable and reliable, easily to carry out. Improved positioning accuracy reduces the energy consumption level, achieves the expected goal.

Key words: WSN; DV-Hop algorithm; centroid algorithm; DV-Hop algorithm; CDLS algorithm; MATLAB simulation software

质心算法和 DV-Hop 算法是两种基本的定位算法, 后者是根据连通性与大量冗余信息完成对节点的定位, 不用其他辅助硬件支持, 这种算法存在不良的节点和多跳带来的累积误差等缺点; 而前者则以未知节点附近的一些锚节点为多边形的顶点, 以该多边形的质心为未知节点的物理坐标的估算值^[1-4]。这两种算法的定位精度均不高。因此, 本文提出一种无需测距的综合节点定位算法 CDLS(Centroid and DV-Hop Locali-

zation Synthesized)定位算法, 这种算法综合了质心算法和 DV-Hop 算法的各种优势, 并对这两种基本算法进行改进, 从而实现了定位精度的提高以及能量消耗水平的降低。

1 节点位置的基本计算方法

本文利用三边测量法与极大似然估计值法来计算未知节点的位置。首先介绍一下这两种方法的基本计

① 收稿时间:2011-09-06;收到修改稿时间:2011-10-13

算方法。

1.1 三边测量法

如图 1(a)所示, 已知 A、B、C 三点的坐标分别为 (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) 、 (x_c, y_c) , 且到未知节点 $D(x, y)$ 的距离分别是 d_a 、 d_b 、 d_c , 这种情况一般都采用三边测量法进行求解^[5,6], 则有:

$$\begin{cases} \sqrt{(x-x_a)^2+(y-y_a)^2}=d_a \\ \sqrt{(x-x_b)^2+(y-y_b)^2}=d_b \\ \sqrt{(x-x_c)^2+(y-y_c)^2}=d_c \end{cases} \quad (1)$$

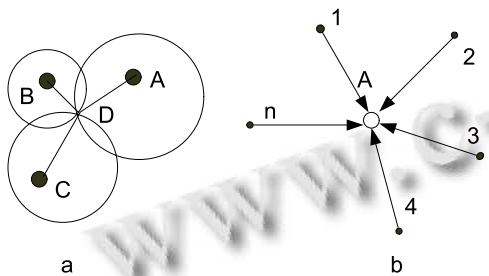


图 1 计算节点位置的基本方法示意图

由式(1)即可得到 D 点坐标:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c), 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c), 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix}$$

1.2 极大似然估计值法

如图 1(b), 当已知节点的个数大于或者等于 4 时, 一般都采用极大似然估计值法来进行求解。则有式(2):

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

假设它的线性方程为 $Ax = b$, 由式(2)就可以计算出

$$A = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n), 2(y_1 - y_n) \\ \dots & \dots \\ 2(x_{n-1} - x_n), 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \dots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix}$$

则由以上各个方程可得到线性方程 $Ax = b$ 的解为: 即是未知节点 D 的坐标。

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b$$

2 两种基本定位算法的过程

2.1 基本 DV-Hop 算法的定位过程

基本的 DV-Hop 定位算法的过程可分为三个基本阶段^[7,8]。

① 计算未知节点与每个信标节点的最小跳数。

② 假设网络中节点的通信半径相同, 平均每跳距离为节点的通信半径, 未知节点计算到每个信标节点的跳段距离。

③ 利用三边测量法或极大似然估计值法计算未知节点的自身位置。根据下面公式可估算平均每跳的实际距离。

$$HopSize_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j} \quad (3)$$

其中: $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 是参考节点 i, j 的坐标, h_j 是参考节点 i 与 $j(j \neq i)$ 之间的跳段数。最后结合前面的两个阶段, 再利用三边测量法或者极大似然估计值法即可计算出自身坐标。

2.2 质心定位算法

质心定位算法如图 2 所示, 此算法是依据已知锚节点的位置信息来, 从而实现对未知节点的坐标的估算, 同时每个锚节点向附近广播本身已知的物理位置信息。如果设每一个已知锚节点的物理坐标为 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 \dots 、 (x_n, y_n) , 则根据下列公式可以估算出自身的坐标。

$$(X_{est}, Y_{est}) = \left(\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} \right) \quad (4)$$

2.3 两种基本算法存在的问题

假设某个网络平均连通度是 10, 锚节点所占的比例是 10%, 则此时传统的 DV-Hop 算法的定位精度可以提高到 33%^[9,10]。其实改变其参数, 定位精度还能再提高。例如, 已知某一个各向同性网络的平均连通度是 28, 其锚节点所占的比例是 20%, 则该网络模型定位精度是可以达到 30%左右^[11]。这样的数据对于那些对定位精度要求高的场合显然是不理想的。

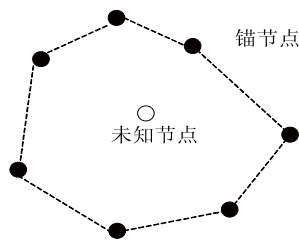


图 2 质心算法

3 CDLS定位算法

3.1 节点定位算法的网络模型

CDLS 的核心思想是使锚节点层次化以及迭代求精运算, 在定位的各个阶段都结合改进的质心定位算法和改进的 DV-Hop 定位算法。为了方便分析, 图 3 是其随机生成的网络模型图, 其中红色的点为锚节点, 黑色的点为未知节点。该网络模型图具有以下几个特点:

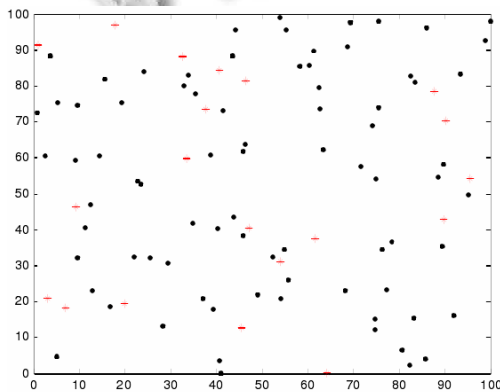


图 3 网络模型图

① 锚节点所占的比例保持不变: 即已知物理位置信息的锚节点的个数以及其占总节点的比例是不能变化的。

② 网络的静态化: 在该网络模型中不能出现可移动的节点, 即所有的节点其物理位置是固定的。

③ 随机分布性: 全部节点均随机分布在 100*100 的方形区域中。

④ 各向同性网络: 从各个方向上测量, 与到锚节点距离一样的节点须有一样的发射信号强度且该发射模型是相同圆心的一个圆。

⑤ 发射半径是固定的: 锚节点与未知节点的发射半径须保持相同, 且发射功率和衰减模型也须一样。

3.2 DV-Hop 算法的改进

改进的 DV-Hop 定位算法的步骤如下几个过程:

① 抛弃距离最远的一部分锚节点, 防止距离较远的锚节点参与平均距离估算所产生的较大误差。

② 接收到跳数大于 2 的锚节点信息相对多时, 该改进的算法抛弃跳数小于 1 的锚节点。由于邻居锚节点的距离计算与该区域内的两个随机分布的锚节点的所在的位置有关, 因此, 在计算时引入 1 跳邻居锚节点将会产生较大的平均误差。

③ 最后改进的算法利用与该节点的距离较短的、较近的且跳数出现次数较多的锚节点做平均每跳距离进行计算。则有平均每跳距离可按下列式 5 进行计算。

$$AB_j = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2}}{m} \quad (2 < m < n) \quad (5)$$

式中, (x, y) 为该节点的物理坐标, (x_i, y_i) 为已接收到物理坐标信息的锚节点的物理坐标, AB_j —平均每跳距离, m —选中的锚节点个数, n —区域内一共接收到的锚节点个数。

3.3 改进的质心定位算法

改进的质心定位算法和基本的质心定位算法不同, 改进后的算法是采用在跳数小于 1 的区域内进行任意的多边形定位为原则, 当其附近的跳数小于 1 的区域内的锚节点的个数不足以达到这个多边形所构成的边数, 则不采用改进的质心定位算法, 而利用改进后的 DV-Hop 定位算法进行定位。下面假设以构成六边形进行定位, 当某个未知节点附近且跳数小于 1 的区域内的锚节点数目没有达到六边形的边数 6, 则 CDLS 算法会选择改进的 DV-Hop 定位算法进行定位; 反之, 当这样的锚节点数目超出 6 及以上的话, 则 CDLS 算法会选择改进质心定位算法进行定位。

3.4 CDLS 算法的具体过程

CDLS 算法是一个迭代求精的算法, 其过程为:

① 选定一个未知节点, 判断跳数小于 1 的区域内有多少个锚节点, 若锚节点的个数比某个整数 N 还大, 则利用上述式 3 和式 4 即可求出该未知节点的坐标。此时, 无论上述两种改进后的定位算法定位的全部节点均会被上升为高一级的锚节点, 且是虚拟的。这些

虚拟的二级锚节点对下次迭代计算其他未知节点的物理坐标起到辅助作用。

② 当未知节点附近的锚节点的个数不大于或等于 N ，则利用改进后的 DV-Hop 定位算法进行定位计算。如果估算平均每跳距离时，应尽可能选用与节点距离较短的和跳数较相近的坐标进行计算，再利用上述的式 5 进行定位计算，这样能避免出现过大的平均估算距离误差。

③ 可以与数量较多的锚节点跟未知节点进行正常通信的信标节点，此时锚节点的坐标位置是利用 CDLS 定位算法进行计算，并且把计算出来的结果与它们实际的物理坐标进行对比，得出一个误差修正因子，同时将这个误差修正因子在被定位区域内进行广播，此时附近的未知节点依据得到的修正因子来修正本身计算的屋里坐标的结果，从而改善了未知节点的定位精确度。修正因子按以下方法进行计算：

$$\partial_i = \frac{x_i - x_j}{x_i + x_j} \quad \beta_i = \frac{y_i - y_j}{y_i + y_j} \quad (6)$$

其中， (∂_i, β_i) 是锚节点的修正因子、 (x_i, y_i) 是锚点实际的物理坐标、 (x_j, y_j) 是利用 CDLS 算法估算的坐标。

由于每个未知节点可能接收来自于不相同的锚节点处的不相同的修正因子，因此，锚节点就会对跳数小于 1 的区域内的未知节点进行计算它们的平均修正因子 (∂_1, β_1) ，具体的计算公式如下所示：

$$\partial = \frac{\sum_{i=1}^n \partial_i}{n}, \quad \beta = \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i}{n} \quad (7)$$

未知节点根据下列式子对它们的估算物理位置坐标进行修正：

$$\begin{cases} \tilde{x} = x * (1 + \partial) \\ \tilde{y} = y * (1 + \beta) \end{cases} \quad (8)$$

式中 (x, y) 为原估算的物理位置坐标、 (\tilde{x}, \tilde{y}) 为依据修正因子进行修正的物理坐标。通过修正因子对其物理坐标进行修正后，估算的物理坐标其精确度明显得到改善。

④ 已定位过的全部未知节点均会成为更高一级的且已知它们的物理位置坐标的锚节点，即二级锚节点，同时为下一次计算未知节点的定位估算做准备，

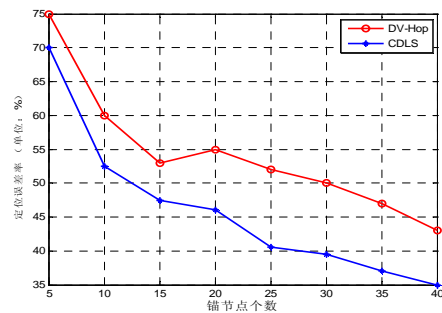
直至定位出最后一个可以定位的节点。

3.4 算法阈值

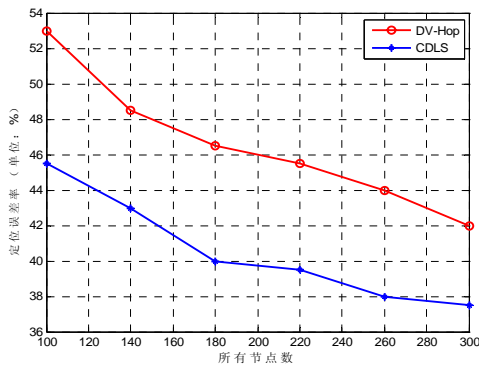
锚节点个数 n 的大小对定位误差率影响也是比较明显的， n 值与锚节点的密度、网络的连通性、锚节点的辐射半径和锚节点占总节点数目的比例以及网络参数等密切相关。在本改进算法中，适当的 n 值能让绝大部分的锚节点被改进的 DV-Hop 准确的定位，而对质心算法来说， n 值得大小能够使定位的节点占总节点的比例大约在 20%-50%左右。当 n 值选择不当，使得比例小于 20%或者大于 50%，前者的定位精度虽然得到了改善，但是通信和计算的开销相当大，而后者虽是降低了通信和计算的开销，但定位精度不尽人意。所以，适当的 n 值可以改善定位精度、降低通信开销以及计算开销。

4 仿真结果分析

利用 MATLAB 对基本 DV-Hop 算法与质心算法同 CDLS 算法进行了比较并仿真，仿真结果如图 4 所示，其中节点的通信半径为 20m。在(a)图中，随着锚节点个数的增加，且锚节点个数在 20 个以内的时候，DV-Hop 算法和 CDLS 算法都改善了定位误差率，当锚节点个数大于 20 个时，平面与距离无关的节点混合定位算法的定位误差率明显要比 DV-Hop 算法低很多，这表明定位误差率随锚节点数的增加而减小。在图(b)中，锚节点的比例是固定的，且在整个区域内 (100*100)，CDLS 定位算法的定位误差明显比 DV-Hop 算法好。但是由于定位误差精确度受到网络连通性的影响，因此在仿真实验中把节点的通信半径增加到 30m，仿真图如图 5 所示。从图 5 的(a)、(b)图可以很明显的看到，CDLS 定位算法的定位误差明显比节点通信半径在 20m 的定位误差率还要小且通信开销和计算开销都得到了很好的控制。

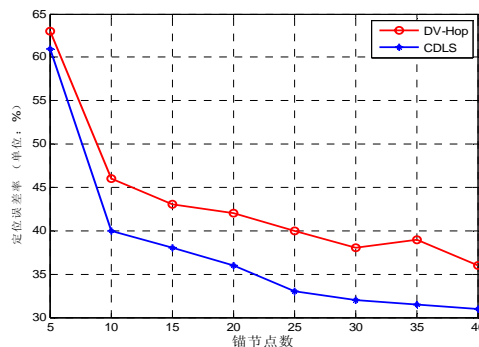


(a) 通信半径 20m 100 个锚节点

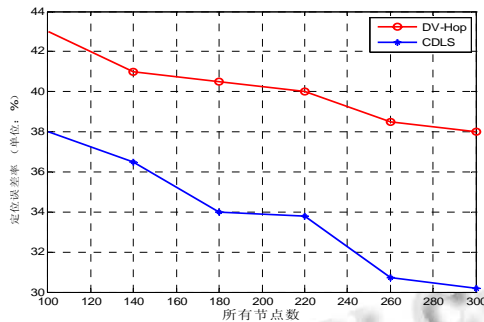


(b) 通信半径 20m 20%锚节点

图 4 定位精度



(a) 通信半径 30m 100 个锚节点



(b) 通信半径 30m 20%锚节点

图 5 定位精度

5 结论

本文通过对改进前的定位算法与改进后的定位算法作比较, 利用 MATLAB/Simulink 仿真软件的仿真,

得出改进后的算法改善了定位精确度、降低通信开销和计算开销, 而且还符合了 WSN 的低成本、低功耗的要求, 同时不需要增加节点的硬件开销。得出改进后的算法具有稳定、可靠以及容易实现等优点。

参考文献

- 姜晓荣. 无线传感器网络中 DV-Hop 定位算法的研究. 太原理工大学, 2010.
- Wu X, Chen G, Das S. On the Energy Hole Problem of Nonuniform Node Distribution in Wire-Less Sensor Networks. Proc. of IEEE MASS. 2006.
- Cheng XZ, Thaeler A, Xue GL, et al. TPS: a time-based Positioning scheme for outdoor Wireless Sensor Networks. Proc. of IEEE Conference on Computer and Communications Societies (INFOCOM). 2004(4):2685–2696.
- Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small devices. IEEE Personal Communications Magazine, October 2000.7(5):28–34.
- 倪海燕, 应祥岳, 简家文. 无线传感器网络中基于 DV-Hop 的一种改进算法. 工业控制计算机, 2008, 21(12):43–45.
- 刘少飞. 无线传感器网络中基于 DV-Hop 的节点定位算法研究. 太原理工大学, 2010.
- 王晟. 无线传感器网络节点定位于覆盖控制理论及技术研究. 武汉理工大学, 2006.
- 解慧英. 无线传感器网络中一种改进的 DV-Hop 定位算法. 武汉科技大学, 2008.
- Niculescu D, Nath B. AD-Hop positioning systems(APS). Proc. of the 2001 IEEE Global Telecommunications Conference. IEEE Communications Society San Antonio, 2001, 5:2926–2931.
- Niculescu D, Nath B. DV-based positioning in ad-hoc networks. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4):267–280.
- Zhao LJ, Liu HB, et al. Study for improved DV-Hop localization algorithm in WSN. Application Research of Computers, 2009, 26(4).