

结合共线性因素的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法

张云洲, 项 姝, 付文艳, 贾子熙
(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 无线传感器网络的锚节点近似位于同一条直线上时,构成共线性现象,造成定位数据失真和精度下降. 针对大规模无线传感器网络的非测距定位,结合共线性因素提出了一种 DV-Hop 定位算法,引入 Voronoi 图将网络划分成若干区域,依据共线性进行锚节点组的选取和提纯. 根据跳数阈值的限制,利用每块区域的锚节点信息和符合共线性原理条件的锚节点信息对未知节点进行定位. 仿真实验表明,与传统的 DV-Hop 和共线性算法相比,所提算法能够提高节点定位精度、减少定位误差;对于分布不均匀的网络,能够实现高精度节点定位,并适用于较复杂的环境.

关 键 词: 无线传感器网络;节点定位;DV-Hop 算法;共线性;锚节点组

中图分类号: TP 274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2014)10-1378-04

DV-Hop Localization Algorithm with Collinearity in Wireless Sensor Network

ZHANG Yun-zhou, XIANG Shu, FU Wen-yan, JIA Zi-xi
(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: ZHANG Yun-zhou, E-mail: zhangyunzhou@ise.neu.edu.cn)

Abstract: When anchor nodes form collinearity, which means that the anchor nodes locate in almost the same straight line, negative effect will be caused upon positioning accuracy, and therefore the precision will be declined. Considering the collinearity features, a DV-Hop strategy was proposed for the large-scale range-free localization in wireless sensor network. Voronoi diagram was used to divide the network into several regions. Then anchor nodes were selected and purified by collinearity. According to the hop limit threshold, the information of anchor nodes in each region and conform collinearity condition were utilized to localize the unknown node. Simulation results showed that the proposed strategy, compared with the traditional DV-Hop and collinearity algorithm, could effectively decrease the computational complexity, improve the node positioning accuracy and reduce the localization error. For the asymmetrical networks, the strategy could achieve higher precision node positioning and be suitable for complex environment.

Key words: wireless sensor network; node localization; DV-Hop algorithm; collinearity; anchor node term

节点定位是无线传感器网络(wireless sensor networks, WSNs)的关键技术之一. WSNs 定位可划分为基于测距和距离无关两种方式. 其中,距离无关的定位机制不必实际测量节点间的实际距离或方位,受环境因素的影响较小,精度能够满足多数应用的需求,而且降低了对节点硬件和成本的要求^[1-2]. 作为距离无关定位的典型代表,DV-Hop 算法^[3-5]成本低、开销小,尤其适合于大规模网络节点定位.

在保持 DV-Hop 算法优点的前提下,如何

提高测距精度、高效利用锚节点资源是值得深究的问题. 文献[1]利用锚节点间的平均每跳误差, 加权至未知节点的距离估计对节点进行定位. 文献[2]提出了一种除一跳外不同跳数采用相同跳步的方法, 改进了未知节点与锚节点间的估计距离. 文献[3]提出选择最优的通信半径融合到 DV-Hop 算法中进行信息传播, 再利用多跳理论进行节点定位. 文献[4]采用线性变换解决非均匀网络、描述各向异性特征的定位问题. 在引入 Voronoi 图限制泛洪范围的基础上, 文献[5]利用约束条件对节点进行定位, 使定位精度大幅提高. 文献[6]最先提出共线性原理的方法, 选择三角形高的最小值来确定锚节点组. 文献[7]考虑节点拓扑关系, 利用余弦定理对共线性原理进行改进, 遴选出符合定位要求的锚节点组, 提高了定位精度. 文献[8]利用邻居节点信息, 提高了定位精度.

为抑制 DV-Hop 算法的误差, 本文提出一种改进算法, 结合 Voronoi 图和改进的标准化共线性原理对未知节点进行定位, 降低了计算复杂度, 并显著提高了定位精度.

1 DV-Hop 算法的误差和共线性

1.1 DV-Hop 定位算法

DV-Hop 定位算法可分为信息广播、距离计算和位置估计 3 个阶段^[2]. 在定位过程中, 锚节点向网络广播自身位置信息, 接收到信息的节点将记录自身与广播节点的最小跳数, 将该数值加 1 并转发给邻居节点, 同时计算平均每跳距离. 然后该距离以可控洪泛方式广播至网络中, 未知节点仅接收最近锚节点的每跳平均距离值, 根据记录的跳数, 计算与每个锚节点的距离并估算自身位置.

1.2 DV-Hop 定位算法误差和共线性分析

DV-Hop 定位误差主要来源于 3 个方面: 锚节点之间几乎在同一直线上; 两个锚节点相距较近, 与另一个锚节点相距较远; 3 个进行定位的锚节点间相距较近. 考虑误差产生的原因及特点, 文献[7]对共线性原理提出了改进, 利用余弦定理对共线性原理加以求解, 可以得到每个锚节点组的标准化共线性值:

$$NC = \max \{C_A, C_B, C_C\}. \quad (1)$$

式中: C_A, C_B, C_C 分别表示三角形 3 个角的余弦值.

由于 NC 代表了三角形的最小角的余弦值, 其取值范围从 0.5 ~ 1.0 (对应的角度从 0° 到 60°). 当 NC 等于 0.5 时, 表示三角形为等边三角形, 理论上是最好的定位效果; 当 NC 等于 1 时,

锚节点几乎在一条直线上, 将导致最差的定位结果, 此时选择合适的阈值是节点定位的关键.

针对共线性原理, 文献[9]提出了隐藏的共线性检测方法, 将锚节点存在的共线问题检测出来, 再根据阈值条件选取锚节点进行定位. 锚节点 a_1, a_2 和 a_3 的共线性值表示为 $\Pr_c(a_1, a_2, a_3)$.

$$\Pr_c(a_1, a_2, a_3) \approx \frac{\arcsin \frac{2e_1}{d_{12}} + \frac{2e_1 \sqrt{d_{12}^2 - 4e_1^2}}{d_{12}^2} - \frac{2e_1}{d_{12}}}{\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4}}. \quad (2)$$

式中: d_{12} 表示距离最大的两个锚节点 a_1, a_2 间的距离; e_1 为阈值条件, 与通讯半径相关. 通过该方法得到符合条件的锚节点组进行定位.

C 型、S 型等异型网络存在空洞现象, 节点间的跳数估计距离很难避免路径迂回的缺点. 文献[3]采用了约束跳数的方法提高了定位精度, 根据经验值, 本文设置跳数阈值为 5 跳.

2 改进的共线性 DV-Hop 定位策略

在定位区域中设置 n 个传感器节点 S_1, S_2, \dots, S_n , m 个锚节点 a_1, a_2, \dots, a_m , 每个传感器节点负责附近区域的监测任务. $V(a_i)$ 是由距离锚节点 a_i 比距离其他锚节点 $a_j (j=1, 2, \dots, m, j \neq i)$ 更近的未知节点组成, 因此 $V(a_i)$ 就是关联于 a_i 的一个 Voronoi 多边形, 而 Voronoi 图是由所有 $V(a_i)$ 组成 ($i=1, 2, \dots, m$). 在构造 Voronoi 图前需要选择相应的构造点集, 本文选用定位空间中的锚节点, 更好地区分了未知节点所在的区域.

本文首先根据 DV-Hop 算法使所有锚节点将自身坐标和平均每跳距离遍历到整个网络; 所有未知节点获得锚节点的跳数和平均跳距, 根据共线性原理, 在 0.5 ~ 1.0 之间设定阈值 TNC. 随机选取 3 个锚节点组成锚节点组, 总共得到 C_m^3 组并计算每组的 NC 值, 将其与预先设定的阈值相比较. 若 NC 值不大于阈值, 则选择该锚节点组作为定位的锚节点, 此时将有 t 组 ($t \leq C_m^3$) 符合阈值条件. 利用 Voronoi 图, 根据锚节点位置信息将网络分成若干区域, 各区域的未知节点利用自己区域的锚节点的平均每跳距离信息和满足跳数阈值的锚节点组进行距离计算, 再通过最小均方差法进行位置估计, 这样得到多组位置坐标, 最后利用权值计算最终坐标.

合理设定阈值是定位中的关键因素. 根据文献[6-7]的研究, 本文通过对 NC 阈值仿真和分

析,将 NC 阈值设为 0.9,可以获得相对较小的定位误差.之后,每个信标节点从这些满足阈值条件的锚节点组中选出包括其所在区域中所有满足阈值条件的和满足跳数阈值条件的锚节点组,对未知节点进行定位.由于跳数阈值的限定,参与未知节点定位的锚节点又进行了深入的选择,未知节点只利用在本区域内的、与自身距离相近的相关锚节点组进行定位,减少了不必要的计算.

具体过程如下:

- 1) 锚节点遍历整个网络,未知节点接收锚节点信息,获得其到达所有锚节点的跳数.
- 2) 利用 Voronoi 图对整个网络进行划分,划分出未知节点各自所在的区域,并保存该区域的锚节点的平均每跳距离信息,将其乘以到所有锚节点的跳数,计算到达所有锚节点的距离.
- 3) 随机选取 3 个锚节点作为锚节点组,利用余弦定理求其共线性值.
- 4) 根据共线性原理计算所有锚节点组的 NC 值,找出符合阈值条件的锚节点组,作为对未知节点进行定位的锚节点组.
- 5) 每个未知节点利用其所在区域的锚节点对应的锚节点组,同时限制锚节点在 5 跳距离内的锚节点组进行定位,即:从满足阈值条件的锚节点组中提取出包含该区域的并且在 5 跳阈值内的锚节点对应的组别进行定位.未知节点得到许多组不同的位置值,再根据式(3)计算权重值:

$$W_i = \frac{\frac{1}{NC_i}}{\sum_i \frac{1}{NC_i}}.$$

(3)

6) 把权值与锚节点组对应的估计坐标相乘,得到未知节点的最终位置:

$$\text{Position} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} W'.$$

(4)

3 仿真实验及分析

实验环境假设在 100 m × 100 m 的网络中, NC 代表共线性值,TNC 表示设定的 NC 阈值,实验结果均为 2 000 次实验后的均值.针对同性网络、S 型网络和 C 型网络,将 DV-Hop 算法、标准化共线性 DV-Hop 算法(NC-DV-Hop)与本文的改进算法(INC-DV-Hop)进行比较.假设实验环境为:随机部署 200 个节点,其中锚节点比例为 24%,通讯半径为 25 m.具体实验结果如下.

1) NC 阈值对定位精度的影响.随着 TNC 的增加,INC-DV-Hop 与 NC-DV-Hop 的定位精度均高于 DV-Hop,其中 INC-DV-Hop 的定位精度更高.随着 TNC 值的增大,在 0.6 到 0.9 之间,INC-DV-Hop 的定位误差逐渐减小,但当 TNC 增大到 1 时,定位精度很低.其原因在于:由于共线性情况的存在,仅有较少数量的锚节点参加了未知节点的定位运算.由仿真结果可以看出,DV-Hop 算法和 NC-DV-Hop 算法在 C 型网络中的定位精度很低,而本文算法的精度更高、误差更小.从图 1 可以看出,TNC 约为 0.9 时,定位效果更好,因而选取 TNC = 0.9.

2) 锚节点数量对定位精度的影响.在 TNC 不变的情况下,通过改变锚节点的比例来分析定位精度.由图 1 可看出,随着锚节点比例从 10% 提高至 30%,定位误差不断减小;其中 INC-DV-Hop 在 3 种网络中的定位精度均最高,误差明显小于其他 2 种方法.这表明本文算法适用于复杂环境,更适合实际应用.

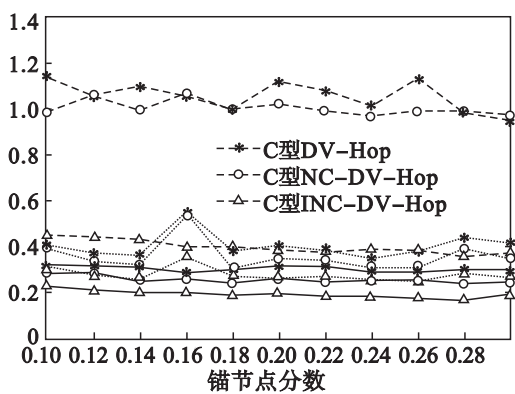
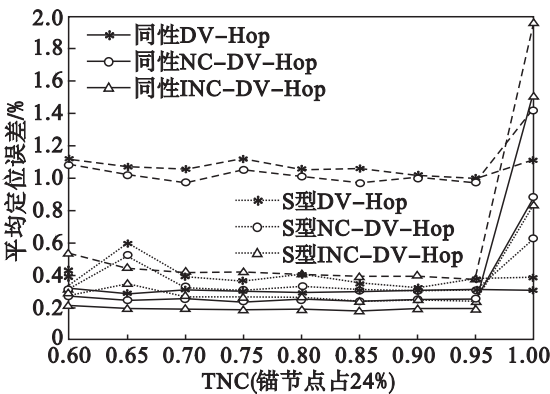


图 1 TNC 和锚节点对定位误差的影响
Fig. 1 Effect of TNC and anchor nodes on localization error

3) 锚节点的平均每跳距离(AHS)对定位精度的影响.本文利用改进的 AHS 算法进行仿真^[7]:

$$\text{HopSize} = \frac{\sum_{i=m} \text{HopSize}}{m}.$$

(5)

在图 2 中,给出了节点数量变化时的仿真结果.可以看出,随着节点个数的增加,改进的 AHS

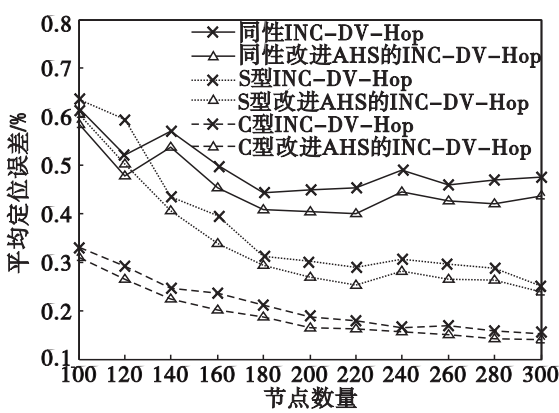


图 2 网络节点个数和锚节点通讯半径对定位误差的影响
Fig. 2 Effect of nodes number and anchor's communication radius on localization error

4) 通讯半径对定位精度的影响. 如图 2 所示,随着通讯半径增加,定位误差逐渐减小,而且 INC-DV-Hop 的定位精度优于前两种算法. 当通讯半径增加到 25 m 时,定位精度基本保持不变,INC-DV-Hop 的定位误差最小. 本文算法在 3 种网络下均表现出高精度、低误差的优势,尤其在异性网络中表现更为明显.

5) 未知节点定位误差. 在同性网络中,未知节点估计坐标误差如图 3 所示. 可以看出,DV-Hop, NC-DV-Hop 和本文 INC-DV-Hop 算法得到的未知节点的平均定位误差分别为 5.6,4.8 和 3.2 m. 此外,DV-Hop 算法得到的每个未知节点的估计坐标值的误差浮动较大,准确度较低. NC-DV-Hop 明显优于 DV-Hop 算法,而 INC-DV-Hop 误差浮动幅度最小,可以获得最佳的定位效果. 在 S 型网络和 C 型网络中,本文算法的定位精度也优于 DV-Hop 和 NC-DV-Hop 算法.

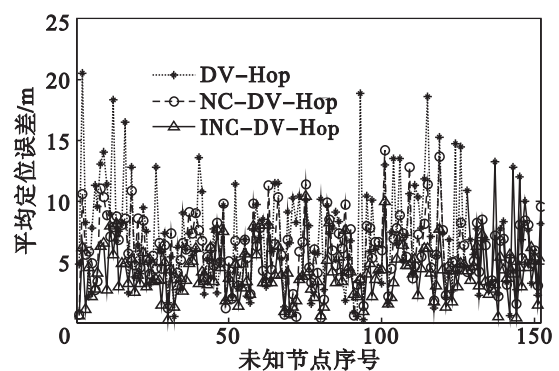
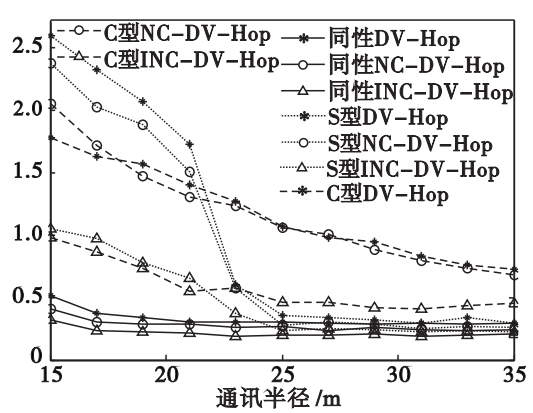


图 3 不同算法的定位误差对比
Fig. 3 Comparison of localization error with different algorithms

4 结 论

针对 DV-Hop 算法的特点和现有方法的缺

方法的定位误差小,INC-DV-Hop 算法的定位精度有明显提高.



陷,本文提出了一种改进算法,Voronoi 图与改进的共线性相结合的方式有效提高了未知节点的定位精度,减少了不必要的计算过程. 对于不同的网络定位,本文算法体现了明显的优势. 仿真结果表明,本文所提出的算法的定位精度较高,优于传统 DV-Hop 算法和现有的共线性原理定位算法,适用于异性网络.

参考文献:

[1] Xiao Y, Yu L, Lu D, et al. An improved DV-Hop positioning algorithm with modified distance error for wireless sensor network[C]//The 2nd International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling. Wuhan, 2009:216-218.

[2] Wei Q, Han J, Zhong D, et al. An improved multihop distance estimation for DV-Hop localization algorithm in wireless sensor networks [C]//The IEEE Vehicular Technology Conference. Quebec, 2012:1-5.

[3] Lee S, Kim K. Determination of communication range for range-free multi-hop localization in wireless sensor networks [C]//The 20th International Conference on Computer Communications and Networks. Maui, 2011:1-4.

[4] Lim H, Hou J C. Distributed localization for anisotropic sensor networks[J]. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 2009, 5 (2): 1-26.

[5] Lee B T, Kim S. Scalable DV-Hop localization for wireless sensor networks [C]//The 14th Asia-Pacific Conference on Communications. Tokyo, 2008:1-4.

[6] Poggil C, Mazzini G. Collinearity for sensor network localization [C]//The 58th Vehicular Technology Conference. Orlando, 2003:3040-3044.

[7] Wu L, Meng M, Huang J, et al. An improvement of DV-Hop algorithm based on collinearity [C]//The International Conference on Information and Automation. Zhuhai, 2009:90-95.

[8] Cao Y, Chen X, Yu Y, et al. Range-free distance estimate methods using neighbor information in wireless sensor networks [C]//The 70th Vehicular Technology Conference Fall. Anchorage, 2009:1-5.

[9] Bu K, Xiao Q, Sun Z, et al. Toward collinearity-aware and conflict-friendly localization for wireless sensor networks[J]. *Computer Communications*, 2012, 35 (13): 1549-1560.