

无线传感器网络 DV - Hop 定位算法研究

李牧东¹, 熊伟¹, 梁青², 金灵¹

(1. 空军工程大学信息与导航学院, 陕西西安, 710077; 2. 西安邮电学院电子与信息工程系, 陕西西安, 710121)

摘要 针对无线传感器网络无需测距定位算法中典型的 DV - Hop 算法在不同参数设置时存在定位误差及定位时间差异较大的问题, 分别分析并仿真了对定位误差和定位时间有较大影响的节点个数、网络平均连通度及监测区域等几个重要参数, 考虑到无线传感器网络能量及成本的限制, 通过仿真结果分析得出, 网络平均连通度和节点个数分别对 DV - Hop 算法的定位精度及定位时间起主导作用。理论分析与仿真结果表明, 在不同监测区域内, 在确保 DV - Hop 算法低能量消耗的基础上, 参数优化后的算法有效地降低了节点的定位误差。

关键词 无线传感器网络; DV - Hop 算法; 参数优化

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.04.015

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2012)04-0075-05

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是指由大量成本低廉的具有感知能力、计算能力、无线通讯能力的传感器节点组成的网络^[1]。节点定位是传感器网络进行目标识别、监控、定位等众多应用的前提,也是无线传感器网络研究中的基础性问题 and 热点问题之一^[2]。根据是否需要通过物理测量来获取节点之间的距离或角度信息,可以将定位算法分为基于测距(Range - Based)的定位算法和无需测距(Range - Free)的定位算法^[3]。相比而言,无需测距的定位算法降低了对节点硬件的要求,在成本和功耗方面都具有较强的优势,且定位性能受环境因素的影响较小,因此在 WSN 中无需测距技术的定位算法备受关注。而 DV - Hop 算法是目前无需测距算法中的研究热点。

然而 DV - Hop 算法定位的精度较低,针对这一缺点,文献[4] - [7]提出了不同的改进方法。文献[4]提出了利用最小均方误差准则计算平均跳距的方法;文献[5]提出了通过细化跳数的办法来提高跳数的准确度同时设置虚拟锚节点来提高定位精度;文献[6]将蛙跳算法引入到了 DV - Hop 算法的平均跳距计算阶段从而进行了改进;文献[7]提出了利用几何约束法来提高算法的定位精度。

1 DV - Hop 算法原理

DV - Hop 算法主要通过距离矢量和跳数来估测未知节点到锚节点的距离,然后通过三边测量原理或最大似然估计原理求出未知节点的坐标^[8-9],采用这种方法,可以使未知节点在较小通信半径时获得更多锚节点的距离信息。

在 DV - Hop 算法中,锚节点的平均跳距计算公式为:

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

式中: (x_i, y_i) , (x_j, y_j) 是锚节点 i, j 的坐标; h_{ij} 是锚节点 i, j 之间的跳数。未知节点接收到平均跳距后,根据

¹ 收稿日期: 2012 - 03 - 23

基金项目: 陕西省重点实验室基金资助项目(201102Y07)

作者简介: 李牧东(1987 -), 男, 陕西西安人, 硕士生, 主要从事无线传感器网络定位技术研究。

E - mail: lmd422@163.com

所记录的跳数信息,通过式(2)计算其到锚节点的距离:

$$d_i = \text{Hopsize}_i h_i \quad (2)$$

从上述分析可知,在 DV-Hop 算法定位过程中,节点、锚节点个数的多少,网络平均连通度的大小以及监测区域的大小均会对平均跳距及锚节点到未知节点的距离产生一定影响,从而影响定位精度。

2 定位性能仿真分析

为了分析 DV-Hop 算法的定位性能,分别在节点个数、网络平均连通度、监测区域不同的条件下,对该算法的定位精度及运行时间进行了仿真,分析了不同参数设置下对定位性能的影响,最后给出了在不同监测区域内的较优参数设置以及在这些参数设置下的仿真结果。本文通过计算基于 k 次仿真实验结果统计的归一化平均定位误差作为评价指标^[4],具体计算公式如下:

$$\text{error} = \frac{\sum_{i=m}^n \sqrt{(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}}{kn_c R} \quad (3)$$

式中: k 为实验次数; R 为节点的通信半径; n_c 为可定位的节点个数; m 为锚节点个数; n 为节点个数; (x_i, y_i) 为未知节点的真实坐标; (x'_i, y'_i) 为该未知节点的估计坐标。

2.1 节点个数对定位性能的影响

无线传感器网络中,节点个数不同,节点的定位精度会随之改变。假设节点随机分布在边长 l 为 100 m 的方形监测区域内,图 1、图 2 分别给出了在不同节点个数条件下基于 100 次仿真实验的统计结果。

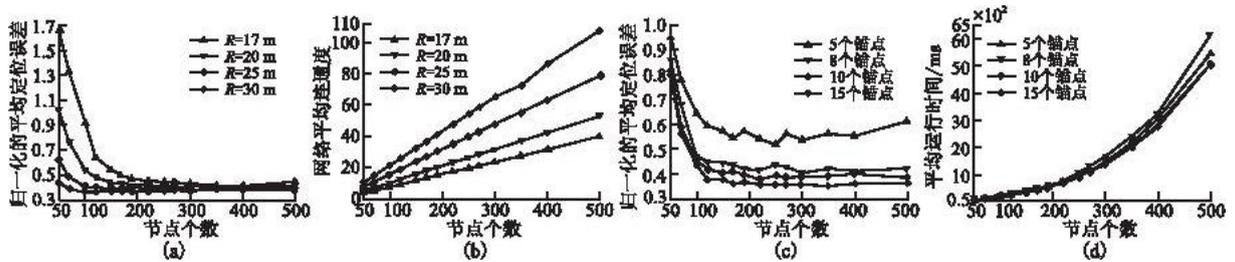


图 1 不同节点个数下的定位性能

Fig. 1 Localization performance of different nodes number

图 1(a)和图 1(b)给出了锚节点为 10 个时不同节点个数分别在通信半径 R 为 17 m、20 m、25 m 和 30 m 的情况下定位误差及网络平均连通度,可以看出,在通信半径一定时,定位误差随节点总数的增多逐渐减小,但当节点总数达到一定数量时,平均定位误差基本保持不变;而在相同节点个数的条件下,通信半径较大时平均定位误差较小,特别是在节点总数较少的情况下,通信半径的变化对定位误差的影响较为明显,如图 1(a)所示,当随机布置 50 个节点时,通信半径为 30 m 的平均定位误差较通信半径为 17 m、20 m 和 25 m 时,分别减小了 122.68%、58.99% 和 18.36%,而整体平均减小了 27.26%、11.96% 和 3.89%;但随着节点总数的增多,通信半径的大小则对定位误差的影响逐渐减小。图 1(b)给出了网络的平均连通度与节点总数的关系,可以看出,在通信半径一定时,网络的平均连通度随着节点个数的增加基本呈线性增加,而在相同节点个数的情况下,通信半径较大的网路平均连通度明显大于通信半径较小的情况,这就说明了网路的平均连通度反映了网路节点个数与通信半径的关系。

图 1(c)和图 1(d)给出了在通信半径 $R = 22$ m 时不同节点个数在锚节点个数分别为 5、8、10 和 15 个时平均定位误差及定位时间随节点个数变化的曲线。从图 1(c)可以看出,在锚节点个数一定时,随着节点个数的增加,平均定位误差逐渐减小,在达到 150 个节点后,定位误差逐渐趋于稳定;而当锚节点个数不同时,显然在锚节点个数较多的条件下,定位误差较低,而在锚节点个数为 5 时,随着节点个数的增多,定位误差变化幅度较大,并未出现逐渐稳定的减小趋势,反而有所增加,说明了在锚节点个数较少时,增加节点个数不能直接提高定位精度。另外在节点个数较少时,锚节点个数的多少对定位精度的影响较小。由图可知,相比于 5、8 和 10 个锚节点的情况,15 个锚节点时的定位误差分别平均减小了 19.65%、6.47% 和 3.05%。图 1(d)给出了同步节点个数下定位时间的变化,从图中可以看出,随着节点个数的增多,平均定位时间逐渐增加,在达到 200 个节点后,定位时间增加的幅度明显变大,而锚节点的个数在节点个数较小时(小于 250 个节点)

对定位时间的影响较小,但节点个数大于 250 后,锚节点的个数对定位时间影响的幅度逐渐变大。

2.2 网络平均连通度对定位性能的影响

从图 1(b)的分析可知,网络连通度反映了节点数量与节点通信半径之间的关系,会对定位精度产生影响。设节点个数为 100,节点的通信半径与网络平均连通度见表 1。

表 1 100 个节点下不同通信半径所对应的网络平均连通度

Tab.1 Average network connectivity of different communication radius based on 100 nodes

通信半径/m	网络平均连通度	通信半径/m	网络平均连通度	通信半径/m	网络平均连通度
15	6.121	25	15.467	40	34.589
17.5	8.069	27.5	18.359	50	47.664
20	10.323	30	21.182	60	61.622
22.5	12.823 6	35	27.539	70	73.182

图 2(a)与图 2(b)给出了在上述不同网络平均连通度的条件下,定位误差及定位时间的变化曲线。

由图 2(a)可知在锚节点数一定的情况下,随着网络平均连通度的增加,平均定位误差逐渐减小并趋于稳定,但在网络平均连通度小于 10 时,由于一些未知节点的可连接节点较少,缺少足够的锚节点信息,从而导致较大的误差,而当锚节点增多时,这一情况有明显改善,相比于 5、8 和 10 个锚节点的情况时,在连通度小于 10 时,定位误差分别平均减小了 19.17%、6.68% 和 1.85%;整体上则分别平均减小了 19.65%、6.47% 和 3.05%。图 2(b)给出了不同网络平均连通度下的定位时间曲线,由图可知,在节点总数和锚节点个数一定时,定位时间随着网络平均连通度的增加而逐渐减小,而锚节点个数的不同,对定位时间的影响较小。

图 2(c)与图 2(d)给出了节点总数为 100 时在网络平均连通度分别为 8、10、16 和 25 时不同锚节点个数对定位精度及定位时间的影响。从图 2(c)中可以看出,在网络平均连通度一定时,随着锚节点个数的增加,平均定位误差逐渐减小,而在网络平均连通度为 8 时,平均定位误差变化幅度并不是很稳定,而随着网络平均连通度的增加,在锚节点个数大于 15 时,平均定位误差变化幅度趋于稳定。相比于连通度为 8、10 和 16 的情况下,连通度为 25 的定位误差平均分别减小了 31.78%、16.39% 和 4.04%。从图 2(d)中可以看出,在网络平均连通度一定时,随着锚节点个数的增加,定位时间基本保持不变,而网络平均连通度的大小直接影响定位时间,在节点个数一定时,连通度较大时定位时间较小。

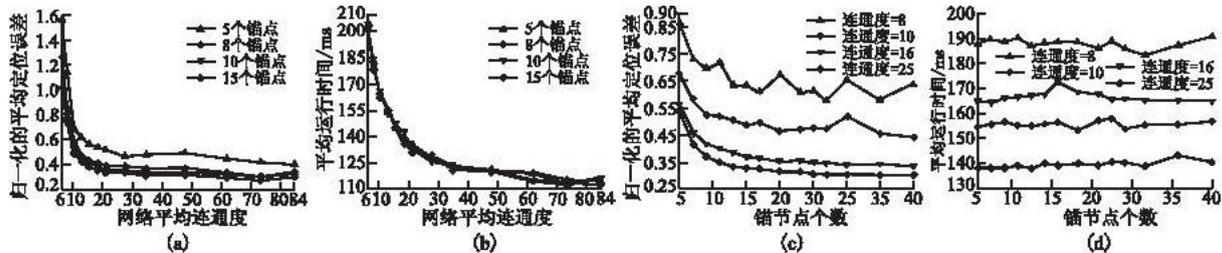


图 2 不同网络平均连通度下的定位性能

Fig.2 Localization performance of different average network connectivity

2.3 监测区域对定位性能的影响

监测区域的大小在其他参数一定的情况下对定位误差存在影响。图 3 给出了 150 个节点、15 个锚节点时在通信半径分别为 20 m、25 m、30 m 和 40 m 条件下定位误差及定位时间与监测区域的关系以及通信半径 $R=20$ m、锚节点个数为 10 时监测区域 l 边长分别为 50 m、80 m、100 m 和 120 m 条件下定位误差及定位时间随节点个数的变化情况。由图 3(a)可知,在通信半径一定时,随着监测区域的增加,定位误差逐渐增大;而通信半径较大时,定位误差对监测区域的变化幅度较小,而在通信半径较小时,则相反;另外,当监测区域边长 l 大于 120 m 时,通信半径为 20 m、25 m 和 30 m 时的定位误差增大的幅度明显增加,相比于通信半径为 40 m 的情况,增加了 90.08%、47.05% 和 14.95%,而整体平均增加了 42.61%、22.50% 和 6.98%。图 3(b)给出了不同监测区域边长时的平均定位时间,由图可知,在节点个数和通信半径一定的条件下,定位时间随着监测区域边长 l 的增大而逐渐增加。在监测区域较小时,不同通信半径的定位时间相差较小,然而随着监测区域的增加,通信半径较小的定位时间增加的幅度较大,而通信半径较大的定位时间增加的幅度较小。

由图 3(c)可知,在区域边长较大时,随着节点个数的增加定位误差逐渐减小,且减小幅度较大,然而当

监测区域边长为 50 m 时,随着节点个数的增加,定位误差小幅度上升,但整体保持在较小状态,相比于区域边长为 80 m、100 m 和 120 m 时,区域边长为 50 m 时定位误差分别平均减小了 9.06%、23.32% 和 51.49%。从图 3(d)中可以看出,随着节点个数的增加,定位时间逐渐上升,而在区域边长较大时,所需要的定位时间相比于区域边长较小的情况上升幅度较大且平均所需时间较长。

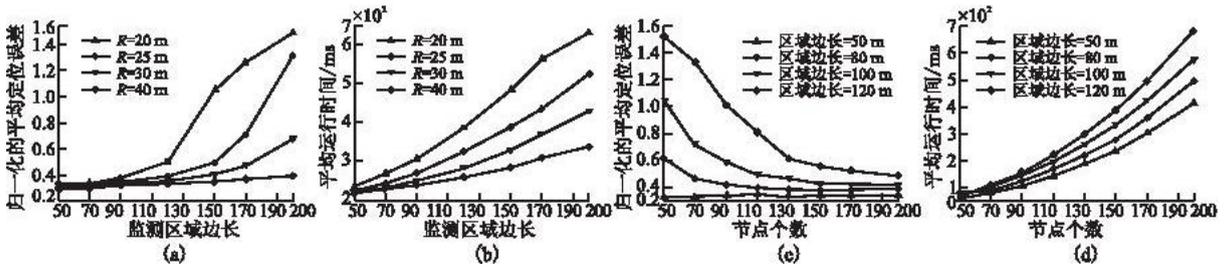


图3 不同监测区域下的定位性能

Fig.3 Localization performance of different monitoring areas

2.4 不同监测区域最优参数设置

综合以上分析可知,在监测区域一定的前提下,存在较优的定位参数,而网络的平均连通度及锚节点个数对 DV-Hop 算法定位误差的影响较大,考虑到无线传感器网络的成本及寿命问题,设锚节点个数为节点总数的 10%,从图 2(a)可知,在网络平均连通度为 16 左右时,存在较优的定位结果。由于网络的平均连通度同时受节点个数及通信半径的影响,而通信半径的大小直接影响节点的能量消耗,节点个数的多少直接决定了定位时间的长短,综合以上因素,由上述的仿真结果,在监测区域边长分别为 50 m、100 m、150 m 和 200 m 时较优的定位参数设置见表 2。

表2 不同监测区域下较优定位参数设置

Tab.2 Optimum parameters setting of different monitoring areas

监测区域边长 l/m	锚节点个数	节点总数	节点通信半径/ m
50	5	55	20
100	10	125	22
150	15	160	29
200	20	200	35

根据以上参数的设置,对上述 4 种区域的定位情况进行了仿真,实验次数 $k=1000$,图 4 为 4 种监测区域条件下较优参数设置后的误差概率分布图。

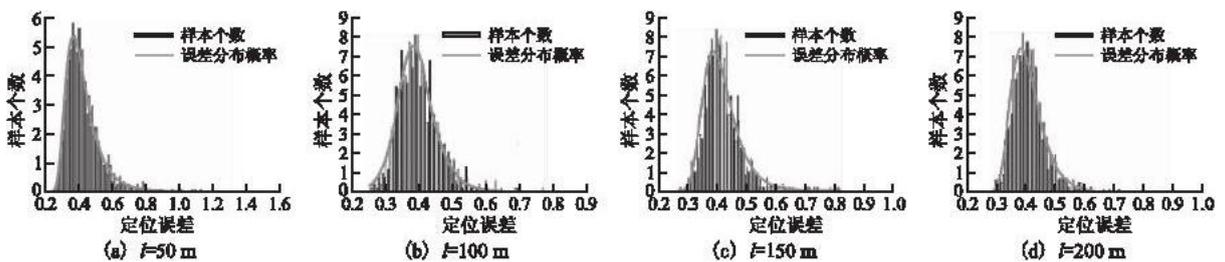


图4 不同监测区域内较优参数设置下的概率分布

Fig.4 Error probability density based on optimum parameters of different monitoring areas

由图 4 可知,通过在 4 种监测区域内设置较优参数,定位误差可以主要集中分布在 40% 左右,且分布在较大定位误差区域的个数极少,从而也说明了通过设置较优的参数,可以在确保定位精度的同时,提高算法的误差稳定性。从图 4(a)可知,在监测区域边长为 50 m 时,最小定位误差为 22.8%,最大定位误差为 129.65%,而平均定位误差为 40.75%,平均每次完成定位的时间约为 64.72 ms。由图 4(b)可知,在监测区域边长为 100 m 时,最小定位误差为 25.79%,最大定位误差为 78.29%,而平均定位误差为 39.941%,平均每次完成定位的时间约为 233.83 ms。如图 4(c)所示,在监测区域边长为 150 m 时,最小定位误差为 25.09%,最大定位误差为 81.13%,而平均定位误差为 39.847%,平均每次完成定位的时间约为 405.21 ms。从图 4(d)中可以看出,在监测区域边长为 200 m 时,最小定位误差为 27.64%,最大定位误差为 90.84%,而平均定位误差为 39.811%,平均每次完成定位的时间约为 685.37 ms。可以看出,DV-Hop 算法在保持网络平均连通度为 16 左右时,在不同的监测区域按上述参数设置均有较好的定位结果。

3 结束语

本文主要针对无线传感器网络无需测距的 DV - Hop 定位算法本身进行了研究,首先介绍了 DV - Hop 算法的基本原理,通过分析发现不同的参数设置对 DV - Hop 算法的定位精度及定位时间存在一定的影响。经仿真实验,验证了节点个数、网络平均连通度以及监测区域与定位精度及定位时间的关系,通过进一步分析得知,在确保算法低能量消耗的基础上,网络平均连通在 16 左右时,具有较优的定位精度,从而得出了在不同监测区域内的优化参数。仿真结果表明,通过在不同监测区域设置的优化参数,可以有效的减小定位误差。

参考文献(References):

- [1] Sangho Lee, Kiseon Kim. Determination of communication range for range - free multi - hop localization in wireless sensor networks[C]//Proc of computer communications and networks(ICCCN). Maui, HI:ICCCN, 2011:1095 - 2055.
- [2] 王新生,赵衍静,李海涛. 基于 DV - Hop 定位算法的改进研究[J]. 计算机科学, 2011, 38(2):76 - 79.
WANG Xinsheng, ZHAO Yanjing, LI Haitao. Improved study based on DV - Hop localization algorithm[J]. Computer science 2011, 38(2):76 - 79. (in Chinese)
- [3] Perkins C, Royer E. Ad hoc on demand distance vector routing[J]. Mobile System and Applications, 1999, 24(3):59 - 81.
- [4] 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):972 - 976.
JI Weiwei, LIU Zhong. Study on the application of DV - Hop localization algorithms to random sensor networks[J]. Journal of electronics & information technology, 2008, 30(4):972 - 976. (in Chinese)
- [5] 姜钧, 程良伦. 采用虚拟锚节点的高精度 VAD - Hop 定位算法[J]. 传感技术学报, 2011, 24(7): 1048 - 1052.
JIANG Jun, CHENG Lianglun. Research on VAD - Hop node localization algorithm of high accuracy based on virtual anchor nodes[J]. Chinese journal of sensors and actuators, 2011, 24(7): 1048 - 1052. (in Chinese)
- [6] 葛宇, 王学平, 梁静. 基于蛙跳算法的 DV - Hop 定位改进[J]. 计算机应用, 2011, 31(4): 922 - 927.
GE Yu, WANG Xueping, LIANG Jing. Improvement of DV - Hop localization based on shuffled frog leaping algorithm[J]. Journal of computer applications, 2011, 31(4): 922 - 927. (in Chinese)
- [7] Zhang Xingping, Hu Binjie. An improved DV - Hop algorithm using hop - count information and geometric constraint[C]//Proc of wireless communications, networking and mobile computing (WICOM). Wuhan:WICOM, 2011:2161 - 9646.
- [8] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in Ad hoc networks[J]. Journal of telecommunication system, 2003, 22(1 - 4): 267 - 280.
- [9] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA[C]//22nd annual joint conference of the IEEE computer and communications. San Francisca:IEEE press, 2003:1734 - 1743.

(编辑:徐楠楠)

Research on DV - Hop Localization Algorithm in Wireless Sensor Network

LI Mu - dong¹, XIONG Wei¹, LIANG Qing², JIN Ling¹

(1. School of Information and Navigation, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Department of Electronics and Information Engineering, Xi'an Institute of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: DV - Hop algorithm is a typical range - free localization algorithm in Wireless Sensor Network (WSN). For the problem that there is great difference in location errors and positioning time because of the different factors settings for DV - Hop algorithm, the algorithm parameters including the number of nodes, average network connectivity and monitoring areas which impact on the location error and positioning time are analyzed and simulated. In view of energy and the cost restriction, and through analyzing the simulation results the conclusion that the average network connectivity and the numbers of nodes have great influence on location precision and positioning time of DV - Hop algorithm respectively. Theoretical analyses and simulation results show that the optimized parameters effectively reduce the node location error at the different monitoring areas based on the low energy consumption of DV - Hop algorithm.

Key words: Wireless Sensor Network (WSN); DV - Hop algorithm; parameter optimization