

DV-hop 定位算法参数优化仿真研究

傅游¹, 梁建国², 花嵘¹

(1. 山东科技大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 2. 青岛港湾职业技术学院 计算机科学系, 山东 青岛 266404)

摘要: 在低功耗、低成本、低运算的无线传感器网络中, 节点的定位精度受到局限。DV-hop 定位算法作为一种经典的无需测距的定位算法, 在实际应用中较容易实现, 但研究者多致力于提高其定位精度, 而对影响定位精度的参数的优化研究较少。在深入分析 DV-hop 定位算法的基础上, 对影响 DV-hop 定位算法精度的主要参数包括锚节点数、节点通信半径以及网络中的节点总数进行分析和仿真。仿真结果表明, 针对不同的节点总数, 在锚节点数为 12 时, 存在最优节点通信半径使其定位误差最小。

关键词: DV-hop 定位算法; 参数优化; 定位误差; 通信半径; 锚节点

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2014)03-0093-05

Simulation Study of Parameter Optimization on DV-hop Localization Algorithm

Fu You¹, Liang Jianguo², Hua Rong¹

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Department of Computer Science, Qingdao Harbor Vocational and Technical College, Qingdao, Shandong 266404, China)

Abstract: It is challenging to obtain the precise location of sensor nodes with low energy, less hardware requirement and little computation. DV-hop as a classical range-free localization algorithm is easily implemented in wireless sensor networks. However, with much more attention on positional accuracy, research on optimal parameters that influence the positioning accuracy is inadequate. This paper analyzed DV-hop localization algorithm and simulated the main parameters affecting positioning performance of DV-hop localization algorithm, which include the number of anchors, the node communication range and the total number of nodes. The results show that there is the optimal node communication range to minimize the localization error in the different total number of nodes when the anchor node is 12.

Key words: DV-hop localization algorithm; parameter optimization; localization error; communication range; anchor node

无线传感器网络由大量具备感知、计算与通信功能的传感器节点组成, 通过无线通信方式形成分布式、多跳以及自组织的智能网络系统。无线传感器网络的传感器节点通过相互协作, 实时监控、感知和采集各种环境或监测对象的信息, 并通过无线通信网络传输给计算机, 实现对传感器网络覆盖区域的监测^[1]。目前, 无线传感器网络已经广泛应用于目标侦查、环境检测、危险区域的远程控制等多个方面, 而实现节点定位是其得以广泛应用的重要前提, 因为如果不能感知事件发生的位置, 一切将变得毫无意义^[2]。

目前, 节点定位技术已经成为无线传感器网络研究的热点, 定位算法的设计涉及无线传感器网络功耗、

收稿日期: 2013-10-22

基金项目: 山东省高等学校科技计划项目(J11LG22); 青岛经济技术开发区重点科技发展计划项目(2012-2-48)

作者简介: 傅游(1968—), 女, 山东在平人, 教授, 博士, 主要从事分布/并行处理与高性能计算等方面的研究。

E-mail: fuyouh@hotmail.com

梁建国(1981—), 男, 山西霍州人, 讲师, 主要从事无线传感网研究。

成本等多方面因素。借助全球定位系统(global positioning system, GPS)对传感器节点进行定位最为方便,但无线传感器网络对成本、体积和功耗极为敏感,使用 GPS 定位每个节点是极为“奢侈”的。因此,目前无线传感器网络节点定位的实现主要是通过网络中少量位置已知的节点来获取未知节点的位置信息^[3]。

近年来提出的许多无线传感器网络节点定位算法可以分为两类:基于测距的定位算法和无需测距的定位算法^[4]。基于测距的定位方法,通过测量相邻节点间的距离或角度信息进行节点定位,需要额外的硬件支持,势必会增加系统成本;而无需测距的定位方法,不必进行距离或角度信息的测量,虽定位精度比基于测距的定位方法低,但无需额外增加硬件设备,非常适合低成本、低功耗的无线传感器网络。所以,现阶段许多研究者致力于无需测距的定位技术研究,提高其定位精度^[5]。

典型的无需测距定位算法主要有近似三角形内点测试法(approximate point-in-triangulation test, APIT)、质心定位算法、凸规划定位算法、DV-hop(distance vector-hop)定位算法和 Amorphous 定位算法等^[6]。

目前, DV-hop 定位算法是研究和应用最为广泛的无需测距的定位算法, DV-hop 定位算法主要通过网络中的锚节点来估计未知节点的位置,但在计算未知节点和锚节点的距离时误差较大,导致其定位精度较低。针对这一问题,研究者主要从三方面对其进行了改进:①与其他定位算法相结合;②修正第二阶段锚节点平均每跳的距离;③在第三阶段对定位算法进行优化等^[7-9]。

综上所述,目前研究 DV-hop 定位算法的定位性能改进较多,而研究影响其定位性能的参数如何设置的较少。本研究在对影响 DV-hop 定位算法的性能参数进行详细分析的基础上,仿真各参数对算法定位性能产生影响的变化规律,对一定环境下参数的设置提出优化方案。

1 问题的提出

在固定的无线传感器网络区域内,影响 DV-hop 定位算法精度的参数主要有锚节点数、节点通信半径以及节点总数,它们影响算法的精度变化规律如何?是否存在使定位误差较小的各参数设置的最佳方案?这些问题都需要进行认真研究,以便为实际应用中参数的设置提供依据。

2 DV-hop 定位算法

DV-hop 定位算法的实现主要包括三个阶段:

1)跳数信息计算,节点获取与锚节点的最小跳数。锚节点向网络广播信标信息,信标信息中包含该锚节点的位置信息和一个初始值为 1 的跳数参数,接收节点对到每个锚节点的最小跳数进行记录,忽略来自同一个锚节点的较大跳数的分组。然后将跳数加 1,并转发给邻居节点。通过此方法,网络中的所有节点能够记录下到每个锚节点的最小跳数。

2)计算未知节点和锚节点的每跳平均距离。每个锚节点根据第一阶段中记录的其他锚节点的位置信息和相距跳数,利用式(1)估算平均每跳的实际距离:

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

其中: $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 是锚节点 i, j 的坐标; h_j 是锚节点 i 与 j 之间的跳数。

锚节点将计算的每跳平均距离通过可控泛洪法分组广播至网络中,未知节点仅记录接收到的第一个每跳平均距离,并转发给邻居节点。这种机制确保大多数节点能从最近的锚节点接收到每跳平均距离值。当未知节点 p 在接收到每跳平均距离后,将通过式(2)计算与锚节点之间的距离:

$$d_{pk} = C_i \times h_{pk} \quad (2)$$

其中: C_i 是未知节点 p 与最近锚节点 i 之间的每跳平均距离; h_{pk} 是未知节点 p 与锚节点 k 之间的最小跳数。

3)使用多边形法计算未知节点坐标。假定未知节点 p 的坐标为 (x, y) ,锚节点 i 的坐标为 (x_i, y_i) ,锚节点 i 与未知节点 p 之间的距离为 d_i ,那么未知节点的坐标可以通过式(3)计算得到:

$$\begin{cases} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = d_1^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 = d_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

将前面的 $(n-1)$ 个方程分别减去最后一个方程后,线性方程组可以表示为

$$\mathbf{AX} = \mathbf{B}. \quad (4)$$

$$\text{其中: } \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}; \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}; \mathbf{B} = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \vdots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix}.$$

使用最小二乘法解式(4),可以获得未知节点 p 的坐标为: $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{B}$.

3 仿真方案

仿真研究在 Matlab R2008b 上进行,仿真数据使用 100 次仿真结果的平均值。

在仿真过程中,假设无线传感器节点随机分布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的正方形区域中,并且每个节点都有相同的通信半径。为了相对公平地评价算法的定位性能,在仿真过程中,使用平均定位误差 \bar{e} 对其衡量:

$$\bar{e} = \frac{\sum_{i=n+1}^N \sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2}}{R \times (N - n)}. \quad (5)$$

其中: (x_i, y_i) 为未知节点 i 的实际坐标; (\hat{x}_i, \hat{y}_i) 为未知节点 i 的估计坐标; R 为传感器节点的通信半径; n 为锚节点总数; N 为网络中节点总数。

从式(5)可以看出,影响算法定位精度的主要参数是锚节点个数、节点通信半径以及节点总数。因此,按以下方案分析各参数对定位精度的影响:

1) 分别在节点总数固定、节点通信半径变化,节点通信半径固定、节点总数变化的情况下,研究各参数对算法性能的影响。

2) 在固定节点总数的情况下,选定不同锚节点数,研究改变节点通信半径对定位精度的影响以及是否存在使定位误差最小的最优节点通信半径。

3) 在固定锚节点数的前提下,选定不同节点总数,研究改变节点通信半径时定位精度的变化情况,以及使定位误差最小的最优节点通信半径的变化情况。

4 仿真及结果分析

4.1 锚节点数对定位精度的影响

实验方案 1 锚节点数从 3 增加到 30,节点总数分别为 100,300,500,节点通信半径固定为 25 m。

实验方案 2 锚节点数从 3 增加到 30,节点通信半径分别为 20,25,50 m,节点总数固定为 100。

图 1 和图 2 为随着锚节点数的增加,DV-hop 定位算法定位误差变化图,可以看出:①随着区域中锚节点数的增加,DV-hop 定位算法的定位误差在减小,这是因为在固定网络节点总数的前提下,随着锚节点数的增加,未知节点与锚节点之间的跳数将会减少,从而使未知节点与锚节点之间的估算距离误差变小,最终使估算出的未知节点坐标更加接近真实值;②锚节点数增加到一定时,该算法的定位误差一直在减小,但是变化幅度已经趋于平缓,从图中可以看出,在锚节点数为 12 时,其定位误差已经接近最小值。

4.2 节点通信半径对定位精度的影响

为了研究节点通信半径对定位精度的影响,仿真节点通信半径从 10 m 增加到 50 m,锚节点数分别为 6,8,10,12,节点总数固定为 100 时,DV-hop 定位算法定位误差变化情况。

图 3 为节点通信半径变化时,DV-hop 算法定位误差变化图。

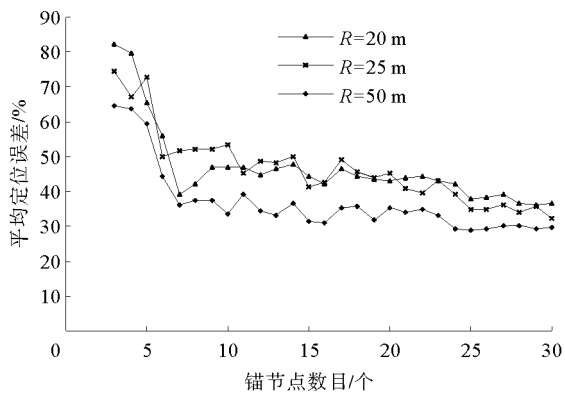


图 1 不同锚节点数下的平均定位误差图($N=100$)

Fig. 1 Anchor nodes vs. localization error($N=100$)

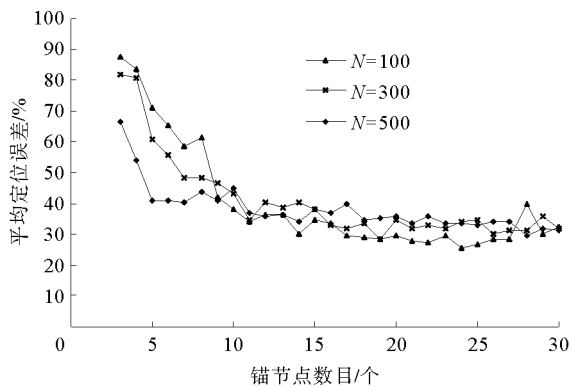


图 2 不同锚节点数下的平均定位误差图($R=25\text{ m}$)

Fig. 2 Anchor nodes vs. localization error($R=25\text{ m}$)

4.3 节点总数改变对定位性能的影响

通过以上分析可知,在节点总数为 100,锚节点个数为 12 时,DV-hop 定位算法存在最优的节点通信半径,接下来研究无线传感器网络中节点总数变化时,对定位误差的影响情况以及最优节点通信半径变化情况。

仿真实验中,锚节点数为 12,节点通信半径从 5 m 增加到 50 m,节点总数分别为 100,200,300,400 和 500。图 4 给出了 DV-hop 定位算法在节点个数为 100,300,500 时,节点通信半径从 5 到 50 变化时,节点定位误差变化情况。从图中可以看出:随着节点总数的增加,算法的定位误差在减小,这是因为随着网络中节点总数的增加,每个节点的邻居节点也在增加,网络的连通性增强,计算出的锚节点每跳平均距离更加精确,这样未知节点与锚节点之间的距离估算值也更加接近真实值,最终将使计算出的未知节点的位置更加接近真实位置。

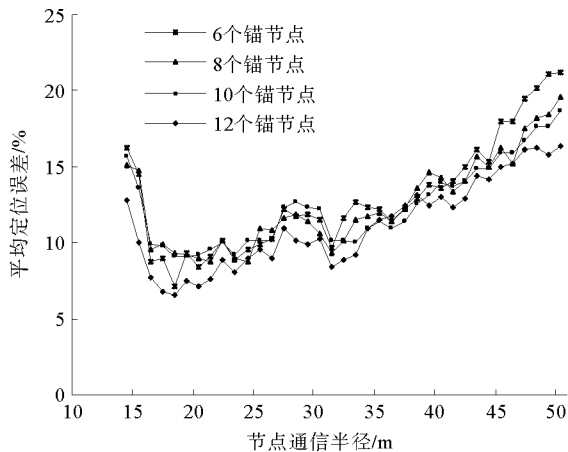


图 3 不同节点通信半径下平均定位误差图($N=100$)

Fig. 3 Communication range vs. localization error ($N=100$)

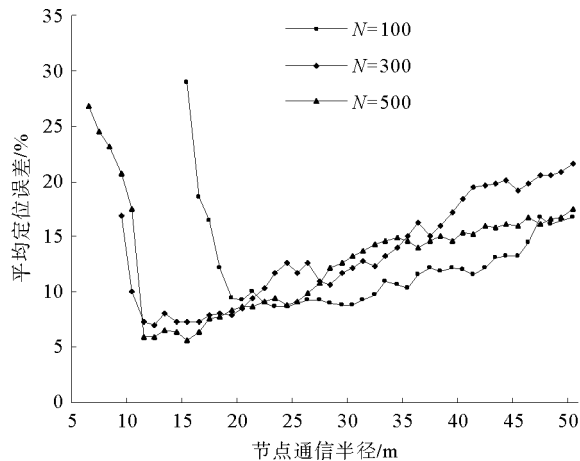


图 4 不同节点通信半径不同节点总数下的平均定位误差(12 个锚节点)

Fig. 4 Communication range and total number of nodes vs. localization error(12 anchor nodes)

从图 4 中还可以看出,随着节点通信半径的变化,不同节点总数下的节点平均定位误差呈现整体下降的趋势,刚开始下降较快,随后有所上升,存在拐点。也就是说,在不同的节点总数下,存在最优的节点通信半径,并且最优通信半径随着节点总数的不同而不同。

表 1 给出了不同节点个数对应的最优节点通信半径以及相应的最低节点平均定位误差值。

5 结论

对无线传感器网络节点定位算法中的 DV-hop 定位算法进行了仿真研究,对影响该算法定位误差的主要参数如锚节点个数、节点通信半径以及网络中的节点总数等进行分析 and 仿真。可以得出如下结论:

1)在 100 m×100 m 的无线传感器网络区域内,对于 DV-hop 定位算法而言,在锚节点数以及节点总数改变时,其定位误差随着它们的增加而减小;存在最优的节点通信半径,并且最优通信半径随着节点总数的不同而不同。

2)不同的节点总数下,存在使定位误差较小的参数设置方案,方案选择可以参照表 1 进行设置。

参考文献:

[1] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices[J]. *Personal Communications, IEEE*, 2000, 7(5): 28-34.

[2] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA[C]//IEEE INFOCOM 2003: Conference on Computer Communications. San Francisco, Mar. 30-Apr. 1, 2003: 1734-1743.

[3] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in Ad hoc networks[J]. *Journal of Telecommunication Systems*, 2003, 22(1-4): 267-280.

[4] NICULESCU D S. Forwarding and positioning problems in Ad hoc networks[M]. New Jersey: State University of New Jersey, 2004: 29-33.

[5] He Q B, Chen F Y, Cai S M, et al. An efficient range-free localization algorithm for wireless sensor networks[J]. *Science China: Technological Sciences*, 2011, 54(5): 1053-1060.

[6] Wang J, Urriza P, Han Y X, et al. Weighted centroid localization algorithm: Theoretical analysis and distributed implementation[J]. *Wireless Communications*, 2011, 10(10): 3403-3413.

[7] 白进京, 严新平, 张存保, 等. 基于加权质心和 DV-hop 混合算法 WSN 定位方法研究[J]. *计算机应用研究*, 2009, 26(6): 2248-2250.

Bai Jinjing, Yan Xinping, Zhang Cunbao, et al. Research of location based on mixed algorithm of weighted centroid and DV-hop in WSN[J]. *Application Research of Computers*, 2009, 26(6): 2248-2250.

[8] Niu Y C, Zhang S D, Xu X Y, et al. An enhanced DV-hop localization algorithm for irregularly shaped sensor networks [M]//*Mobile Ad hoc and Sensor Networks*. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 694-704.

[9] 邢明彦. 基于粒子群优化的无线传感器网络节点定位算法的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010: 45-49

(责任编辑: 吕文红)

表 1 不同节点总数下的最优节点通信半径和定位误差表

Tab. 1 Optimal communication range and localization error vs. total number of nodes

节点总数	锚节点数	最优节点通信半径/m	最小定位误差/m
100	12	19	8.670 3
200	12	18	7.432 1
300	12	16	7.267 7
400	12	12	5.732 2
500	12	10	5.002 3