

一种改进无线传感器网络的 DV-Hop 定位算法

顾亦然,蒋璐璐

(南京邮电大学 自动化学院,江苏 南京 210046)

摘要: DV-Hop 算法是非基于测距定位技术的典型算法之一。该算法的实质是:用跳段距离代替实际距离。但同时,这也是产生误差的主要原因。为了降低算法的误差,提高定位精度,文中提出了一种改进的 DV-Hop 定位算法。改进的算法中引入了信标节点的平均每跳误差并对测距误差进行加权处理。经过 MATLAB 仿真分析表明,在相同的仿真环境中,改进的 DV-Hop 算法其误差明显下降,平均定位精度比原算法及部分现有改进算法提高 30%。

关键词: 无线传感器网络;DV-Hop;定位;改进的 DV-Hop;非基于测距

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)10-0109-04

An Improved Localization DV-Hop Algorithm for Wireless Sensor Network

GU Yi-ran, JIANG Lu-lu

(Automation College, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210046, China)

Abstract: In range-free-based algorithm, DV-Hop is one of the typical localization algorithms. The essence of the algorithm is using jump distance instead of the actual distance. But, at the same time, it's the main reason of the distance error. In order to reduce the error of the algorithm, present an improved DV-Hop location algorithm to improve the accuracy of position. The improved algorithm introduces the average distance of each beacon nodes, and weights the processing of ranging error. Simulation analysis by the MATLAB environment shows that, in the same simulation environment, the average localization accuracy of the new algorithm increases by 30% better than those of the original algorithm and some existing improved algorithms, it reduced the positioning error effectively.

Key words: wireless sensor network; DV-Hop; localization; improved DV-Hop; range-free

0 引言

无线传感器网络由部署在一定区域内的许多传感器节点组成,节点间通过无线通信的方式形成一个多跳的自组织网络系统。该网络不需要固定的网络支持,具有部署快速、节点众多、抗毁性较强等优势,并同时具有多跳、自组织、能量资源受限和动态拓扑等特点^[1,2]。

在网络中,如果传感器节点监测到的信息不知道节点的确切信息时,其采集到的数据是不可能应用的。因此,准确定位节点的位置信息是非常必要的,其定位问题是无线传感器网络的关键技术之一^[3,4]。

非基于测距定位^[5,6]是应用最为广泛的定位技术之一。这种定位技术不需要增加额外的硬件设备,成本相对基于测距的定位技术要低廉的多。DV-Hop 算

法作为非基于测距中一种非常典型的定位算法,是目前最有应用前景的定位技术之一。文中在重点分析 DV-Hop 定位算法的理论基础上,根据算法产生误差的原因,提出了改进的 DV-Hop 算法。

1 DV-Hop 算法

DV-Hop 算法^[7,8]是由美国学者 Niculescu 和 B. Nath 共同提出的,利用距离矢量路由的原理采用典型的距离矢量交换机制进行定位。其定位过程主要分为三个阶段,具体实现如下:

1) 计算最小跳数。信标节点以泛洪的方式向网络广播包含其自身位置和跳数信息的 ID 分组,跳数初始为 0。各个节点将接收并记录下到每个信标节点的最小跳数的数据包,丢弃掉来自同一信标节点且具有较大跳数值的数据包。每次被转发后接收节点的跳数值均增加 1。通过这种泛洪方式,网络中的每个节点就都记录了它到各个信标节点的最小跳数值。

2) 计算测距距离。信标节点通过上一阶段,都记录了它到网络内部其他信标节点的位置信息和两者之

收稿日期:2012-01-12;修回日期:2012-04-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60805039)

作者简介:顾亦然(1972-),女,硕士生导师,博士,CCF 会员,研究方向为复杂系统与网络控制;蒋璐璐(1987-),女,硕士研究生,研究方向为复杂网络。

间的跳数值。利用下式计算各信标节点平均每跳距离:

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

其中, Hd_i 表示第 i 个信标节点的平均每跳实际距离, $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 表示信标节点 i, j 的坐标, h_{ij} 则是两个信标节点 i, j 之间的跳数值。

将平均每跳实际距离广播至网络中, 未知节点只记录接收到的第一个每跳距离, 忽略之后收到的其他的每跳距离。根据记录的跳数值和平均每跳距离, 计算未知节点到每个信标节点的距离:

$$d_j = Hd_i \times h_j \quad (2)$$

式中, d_j 表示未知节点到信标节点 j 的估计距离, h_j 为两者之间的跳数。

图 1 为具体计算未知节点到各信标节点的距离。可看出, 未知节点 K 的最邻近信标节点是节点 L_i , 所以它的平均每跳实际距离 Hd_k 就是节点 L_i 的平均每跳距离 Hd_i 。

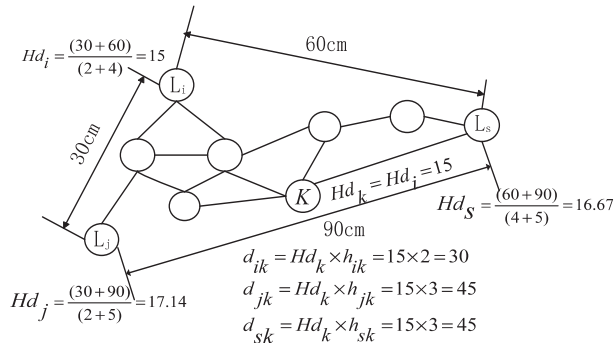


图 1 估算未知节点到信标节点的多跳距离

3) 定位未知节点位置。当未知节点与三个或三个以上信标节点的相对距离已知时, 可利用极大似然估计法求出节点的坐标。假设未知节点 $K(x, y)$ 到各信标节点的距离 d_i 已知时, 其中各信标节点的坐标表示为 $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$, 则根据未知节点到每个信标节点的估计距离可建立方程组:

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

可表示为线性方程: $CX = b$

$$\text{其中, } C = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_n) & 2(y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{n-1} - x_n) & 2(y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix},$$

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

用最小二乘法求解得到的未知节点的估计坐标可

表示为: $\hat{X} = (C^T C)^{-1} C^T b$

2 改进的 DV-Hop 算法

现今, 已有许多的改进算法, 各改进算法的思路均不同。文中假设网络是随机分布的且具有较高的网络密度, 节点的有效通信半径相同, 是相对静止不动的。

文中结合文献[9~12]的改进思路, 提出了一种改进的 DV-Hop 定位算法。算法过程描述如下: 首先, 用单个信标节点的平均跳距误差修正文中的全网平均每跳距离, 得到信标节点新的平均每跳距离; 接着, 根据未知节点到信标节点的跳数越小, 定位误差越小的原理, 对距离加权, 进一步修正到信标节点的估计距离, 使其更加接近于实际值, 减少计算误差; 最后, 用最小二乘法求解节点的估计坐标, 从而求出未知节点的物理位置。

文中提出的改进算法, 主要是对用平均每跳距离和跳数相乘计算产生的误差进行改进, 改进的算法中不仅考虑单个节点的平均跳距, 同时也将综合分析网络内其他节点对定位精度的影响。改进的 DV-Hop 算法的具体实现如下:

根据经典 DV-Hop 算法求出每个信标节点的平均每跳距离后, 根据下式求出所有信标节点的全网平均每跳距离:

$$Hd_{ave} = \frac{\sum_i^n Hd_i}{n} \quad (4)$$

式中, Hd_i 为每个信标节点的平均每跳距离, 由公式(1)计算得到; n 则为信标节点的个数。

考虑信标节点自身的分布情况, 改进全网平均每跳距离。即将各信标节点的平均每跳距离和全网平均每跳距取平均值, 得到新的平均每跳距离 H_i 。

$$H_i = \frac{Hd_{ave} + Hd_i}{2} \quad (5)$$

用公式求得的各信标节点的测距距离是存在误差的, 因此, 文中将此误差修正 H_i , 得出文中提出的平均每跳距离 Hopsizes_i:

$$\text{err}_i = \frac{1}{n-1} \times \frac{\sum_{i \neq j} z_{ij} - \tilde{z}_i}{\sum_{i=j} h_{ij}} \quad (6)$$

$$\text{Hopsizes}_i = H_i + \sum_i^n \frac{\text{err}_i}{n} \quad (7)$$

式中, err_i 表示信标节点 i 的平均每跳距离误差; $z_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ 为两信标节点 i, j 之间的实际距离; $\tilde{z}_i = H_i \times h_{ij}$ 为两者间的测距距离; h_{ij} 为两节点间的跳数。

信标节点与未知节点之间的跳数值越大,计算得出的测距距离误差也越大。跳数越小,误差越小,定位越精确,反之亦然。文中对测距距离加权处理,权值为 w_i 。离未知节点越近的信标节点,跳数越小,权值越大;越远的信标节点,跳数越大,权值越小。

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^{n-1} r_i}$$

(8)

其中, r_i 为未知节点到信标节点 i 的估计距离, n 为信标节点的个数。

由此可得,修正后未知节点到每个信标节点的测距距离为:

$$d'_i = (1 - w_i) \times r_i$$

(9)

改进后的算法的计算步骤如表 1 所示:

表 1 DV-Hop 算法的主要步骤流程

1	随机部署各传感器节点, n 为信标节点的个数
2	计算每个信标节点的平均每跳距离: $Hd_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_{ij}}$
3	得出全网平均每跳距离: $Hd_{ave} = \sum_i \frac{Hd_i}{n}$
4	修正信标节点的平均每跳距离: $H_i = \frac{Hd_{ave} + Hd_i}{2}$
5	计算单个信标节点的平均每跳距离误差: $err_i = \frac{1}{n-1} \times \frac{\sum_{i \neq j} z_{ij} - \tilde{z}_i}{\sum_{i \neq j} h_{ij}}$
6	用信标节点的平均距离误差修正 H_i , 得出文中提出的改进算法的平均每跳距离 Hopsizes _i : $Hopsizes_i = H_i + \sum_i \frac{err_i}{n}$
7	计算出未知节点到各信标节点的估计距离 r_j : $r_j = Hopsizes_i \times h_{kj}$
8	用权值 w_i 修正 r_j , 计算得到文中改进后的估计距离 d'_i : $d'_i = (1 - w_i) \times r_i$

3 仿真与分析

为了验证文中提出的改进的 DV-Hop 算法的性能,在 Matlab 仿真环境下实验比较。其仿真环境为:节点随机分布在 100 * 100 米的正方形区域内,仿真结果数据均取自 100 次仿真的平均值。

为了便于比较,文中主要针对算法误差的对比。评价标准为平均定位误差,并对其做通信半径归一化处理。其定义式为:

$$\text{error} = \frac{\sum_i \sqrt{(x_i - \tilde{x}_i)^2 + (y_i - \tilde{y}_i)^2}}{m \times R} \times 100\%$$

(10)

式中, $(\tilde{x}_i, \tilde{y}_i)$ 为未知节点 i 的估计坐标表示; (x_i, y_i) 为其实际坐标; m 为未知节点的个数; R 为节点的无线射程。

图 2 为未知节点数量的变化对平均定位误差的影响。其信标节点的数量为 20,节点的无线射程为 30 米。

从图中可看出,未知节点数从 40 增加到 140 的过程中,两个算法的平均定位误差均大幅下降,改进的算法比经典的 DV-Hop 算法下降的更快,且其平均定位误差比经典 DV-Hop 算法低 30% 左右。之后再随着未知节点数的增加,平均定位误差下降趋于平缓。因为随着未知节点数的增加,节点之间联系更加紧密,加强了网络的连通性。

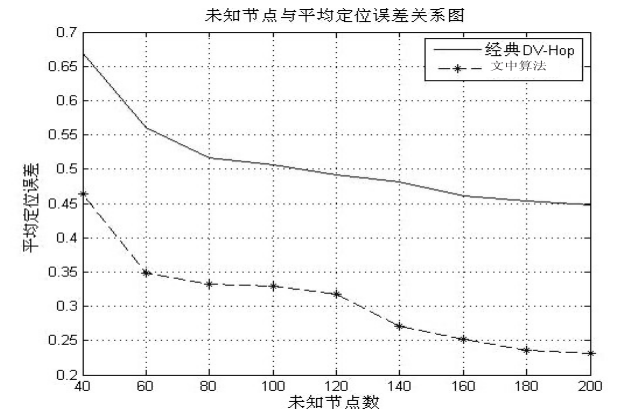


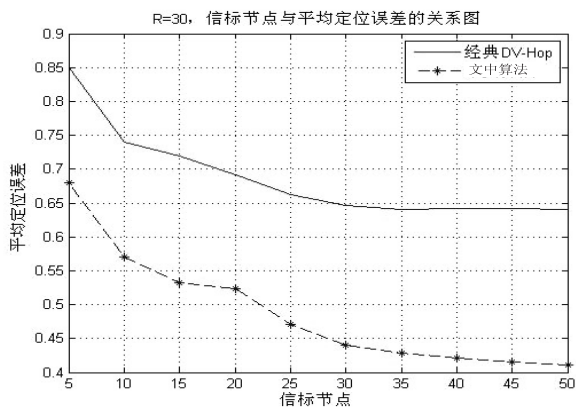
图 2 未知节点与定位误差的关系图

图 3 为信标节点与定位误差的关系图,未知节点数均为 200。

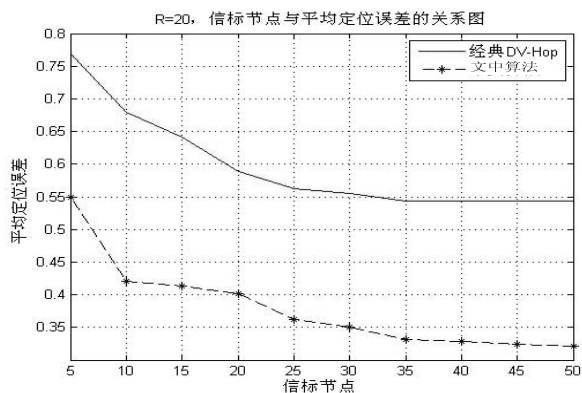
图(a)中节点的通信半径为 30 米,可明显看出,两种算法均随着信标节点数的增加,其平均定位误差迅速下降。但是,在信标节点的数量相同时,文中提出的改进算法其下降速度要快于经典的 DV-Hop 算法,且误差至少要不小 15%。当信标节点数增加到 20 时,误差下降速度明显;之后,随着信标节点数的增加,误差不再快速下降;当节点数增加到 35 后,下降曲线趋于平缓,定位误差变化不再明显。其误差值基本稳定在 41% 左右。

图(b)和图(c)节点的通信半径为 20 米和 15 米,从两张仿真图中可看出,其算法性能与图(a)类似,均是随着信标节点数的增加,改进算法的误差迅速下降,定位精度都提高了。

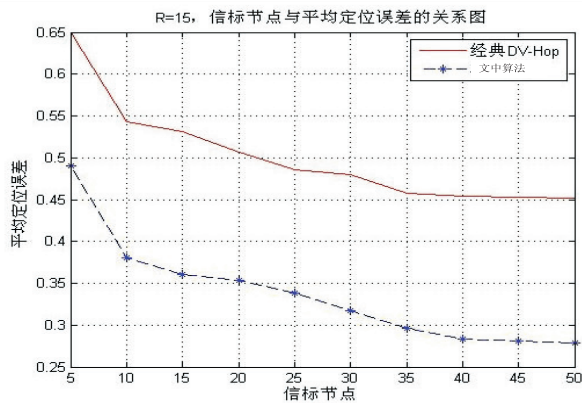
图 4 为在不同的通信半径下,平均定位误差随信标节点的变化情况。通信半径为 15 米时,改进的算法的性能最好,精度最高。节点通信半径的增加,信标节点的每跳距离估计值的误差将增加,导致定位误差增大,精度不高。所以,随着节点的无线射程的减小,算法的定位误差也将减小。



(a) 节点的通信半径为 30 米



(b) 节点的通信半径为 20 米



(c) 节点的通信半径为 15 米

图3 信标节点与定位误差关系图

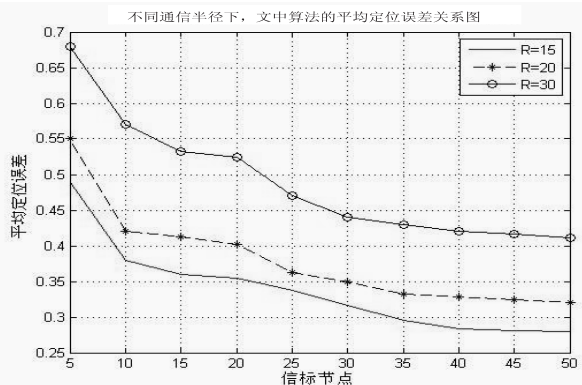


图4 信标节点与平均定位误差的关系图

4 结束语

文中在不使用任何额外硬件和不增加通信量的条件下,根据经典的 DV-Hop 算法误差产生原因,提出了相应的改进方法。

通过 Matlab 仿真实验,将本算法和经典 DV-Hop 算法比较,其评价指标为平均定位误差。在未知节点数、信标节点的所占比例和节点通信变化三个方面评价了文中提出的改进算法与经典算法。

仿真结果显示,文中提出的算法其性能更好,平均定位误差下降速度明显要比经典 DV-Hop 算法快的多,且定位误差下降了至少 20%,有效地提高了算法的定位精度,说明文中提出的算法是可行的、有效的。该算法大大地降低了平均定位误差,更适用于 WSN 的定位算法中。

参考文献:

- [1] Akyildiz L F, Su W L, Sankarasubramanian Y, et al. A Survey on Sensor Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(8): 102-105.
- [2] 杨庚, 陈伟, 曹晓梅. 无线传感器网络安全 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [3] 丁杰. 基于无线传感器网络的定位问题研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [4] 史龙. 无线传感器网络自身定位算法研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [5] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free Localization Schemes in Large Scale Sensor Network [C]//Proceedings of ACM MobiCom. Canada: [s. n.], 2003.
- [6] 孙利民, 李建中, 朱红松. 无线传感器网络 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [7] Niculescu D. Positioning in Ad Hoc Sensor Networks [J]. IEEE Network, 2004, 18(4): 24-29.
- [8] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc network [J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [9] Yang Chenhong, Sezaki K, Deng Ping, et al. An improvement DV-HOP algorithm for wireless sensor networks [EB/OL]. [2009-06-01]. <http://www.ee.cityu.edu.hk/~hcs/iciea08.pdf>.
- [10] 邱婉静, 冯巧玲, 宋威, 等. 基于 WSN 的 DV-Distance 定位算法研究 [J]. 科技信息, 2011(20): 123-124.
- [11] Lu Qingling, Bai Mengliang, Zhang Wei, et al. A New Kind of Ndv-hop Algorithm in Wireless Sensor Network [C]//IEEE International Conference on Network Computing and Information Security. [s. l.]: [s. n.], 2011: 438-441.
- [12] 林金朝, 刘海波, 李国军. 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.

一种改进无线传感器网络的DV-Hop定位算法

作者: [顾亦然, 蒋璐璐](#)
作者单位: [南京邮电大学 自动化学院, 江苏 南京 210046](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2012(10)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjtz201210030.aspx