

无线传感器网络中一种修正 DV-Hop 算法^①

吴黎爱, 周力

(南昌航空大学 信息工程学院, 南昌 330063)

摘要: 阐述了 DV-Hop 算法的基本原理。针对原算法中由于节点间跳数过大及小范围的部分节点聚集形成的相似误差使得未知节点的定位精度不高的问题, 提出了一种修正 DV-Hop 定位算法。新算法通过设置门限值修正节点间的跳数, 并利用信标节点的估计坐标和实际位置的偏差作为修正因子来修正未知节点的定位结果, 同时剔除区域外的未知节点, 提高了跳段距离估算精度, 降低了定位误差。仿真实验结果表明, 在不增加额外硬件的基础上, 修正算法的定位精度明显要优于原算法, 证明了修正算法的正确性。

关键词: 定位算法; 相似误差; 跳数值; 门限值; 修正

Modified DV-Hop Algorithm for Wireless Sensor Network

WU Li-Ai, ZHOU Li

(College of Information Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: This paper describes the basic principles of DV-Hop algorithm. As for the original DV-Hop algorithm, the number of hops between nodes is too large and some small part of nodes assembled can cause a analogue error, both of which make the positioning accuracy of unknown nodes not high. To overcome these shortcomings, a modified DV-Hop localization algorithm is proposed. The new algorithm modifies the number of hops between nodes by setting the threshold and use the estimate coordinates of beacon nodes and the deviations of actual position as a correction factor to correct positioning results of unknown nodes. It is the proposed algorithm that not only improves the estimation accuracy of jump distance but also reduces the positioning errors and removes the unknown nodes outside the region. The experimental results have shown that the positioning accuracy based on modified algorithm is much better than original one without adding additional hardware, and proved the correctness of the improved algorithm.

Key words: location algorithm; analogue error; hop count; threshold value; modification

1 引言

无线传感器网络^[1]作为一种新的技术为科学工作者提出了具有挑战性的研究课题。而定位就是其中之一^[2]。节点定位是确定传感器的每个节点的相对位置或绝对位置, 它是大多数应用, 特别是军事应用的基础。一个没有传感器节点位置信息的无线传感器网络是没有应用意义的^[3], 因为几乎所有的无线传感器网络应用场合都需要知道节点的位置信息。目前, DV-Hop 算法是应用最广泛的定位算法之一, 该算法是一种分布式无需测距定位算法, 故对节点的硬件要求

低。算法存在不足的一个原因是未知节点的定位精度不高, 为了更好的给未知节点定位, 国内外对原有的 DV-Hop 算法已做出一些改进。如文献[4]中引入了接收信号强度指示器 RSSI 测距模块辅助定位。文献[5]中在节点上增加 RF 能量调节模块, 即对单跳距离估算过程进行辅助约束的方法。这类算法均是在无线传感器节点上增加额外硬件的方法, 虽然在定位精度上有所提高, 但是也增加了额外的开销。不适合低功耗、低成本的无线传感器网络, 同时也违背了基于距离矢量定位算法无需硬件支持的条件。

^① 收稿时间:2011-07-31 收到修改稿时间:2011-09-10

因此本文在不增加额外硬件的条件下对算法进行修正。在 DV-Hop 定位算法中, 算法存在的最大误差在于用估算的跳段距离代替两点的直线距离, 两点的跳数越多则误差越大。文中对节点间的最小跳数设置门限值避免了由于节点间跳数过大造成的误差, 并利用信标节点的反馈因子对定位结果进行修正由于部分节点聚集形成的相似误差, 通过仿真验证, 该算法能够很好的减小未知节点的定位误差, 定位精度也明显优于原算法。

2 DV-Hop定位算法

DV-Hop 算法作为 APS 分布式定位系统中的一种^[6], 2001 年由美国路特葛斯大学 (Rutgers University) 的 Nieulesu 等人根据距离矢量和 GPS 定位的原理提出的。该算法其中少数节点(信标节点)具备 GPS^[7]功能, 其他节点属于待定位的未知节点, 他们根据信标节点的位置信息及到信标节点的估计跳段距离来进行自身定位, 无需测量距离, 因此对节点的硬件要求低, 正是由于这一特性使得 DV-Hop 算法在对硬件条件支持有限的无线传感器网络环境中得到很好的利用。

DV-Hop 算法的基本思想是: 利用信标节点计算出的平均每跳距离与未知节点到信标节点的路由跳数的乘积来表示未知节点到信标节点的距离, 然后使用最大似然法估算未知节点的位置。

DV-Hop 定位算法大致可以分为三个阶段:

第一阶段, 计算节点的最小跳数: 网络中的每个节点都有通讯能力, 算法开始时, 每个信标节点发送一个包括自己位置信息和跳数值为 0 的广播信号, 邻居节点(也就是跳数为 1 的节点)接收到信标后, 记录信标节点的坐标信息, 并记录到每个信标节点的最小跳数。忽略来自同一个信标节点的较大跳数值, 然后将跳数加 1, 再向其他的邻居节点传播。利用这种泛洪或其他路由方式, 使网络中所有节点获得信标节点的位置信息及距离信标节点的跳数。

第二阶段, 估算到信标节点的跳段距离: 每个信标节点根据第一阶段中记录的其他信标节点的坐标值和相距跳数值利用 (1) 估算平均每跳距离:

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

其中, (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 是信标节点 i, j 的坐标, 是信标节点 i 和 $j (i \neq j)$ 之间的跳数。

然后, 信标节点将计算的每跳平均距离广播至网络中, 未知节点仅记录接受到第一个每跳平均距离, 并转发给邻居节点。未知节点将平均每跳距离值与最小跳数值相乘, 用以估算与信标节点距离。

第三阶段, 利用最大似然法计算自身位置: 未知节点利用第二阶段中记录的到每个信标节点的跳段距离, 利用最大似然法计算自身坐标。

假设 $(x_i, y_i) (i=1, 2, \dots, n)$ 为信标节点的坐标, d_1, d_2, \dots, d_n 为未知节点到信标节点的跳段距离, 则可以得到如公式 (2) 所示的方程组。

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

其中 (x, y) 为未知节点 u 的待定位坐标。式 (2) 可以转化为 $AX=b$ 形式的线性方程组, 其中:

$$A = 2 * \begin{bmatrix} (x_1 - x_n) & (y_1 - y_n) \\ \dots \\ (x_{n-1} - x_n) & (y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$b = \begin{bmatrix} x_1^2 - x_n^2 + y_1^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_1^2 \\ \dots \\ x_{n-1}^2 - x_n^2 + y_{n-1}^2 - y_n^2 + d_n^2 - d_{n-1}^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

方程 $AX=b$ 可用标准的最小二乘方法求解:

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (5)$$

3 DV-Hop算法修正策略

DV-Hop 算法的最大误差如下图 1 所示, 网络中利用距离矢量交换协议, 通过节点间的信息交换使节点 B、C 获得与信标节点 A 之间的跳距均为 4, 信标节点计算网络平均每跳距离且采用可控洪泛法在网络中传播, 未知节点 B、C 接收到距离最近的信标节点 A 的平均每跳距离并乘以跳数得到 AB 和 AC 跳段距离(如图虚线所示), 但是 AB 和 AC 的实际距离应为 L1 和 L2。由图 1 所示 AB 和 AC 的实际距离远远小于跳段距离, 误差由此产生。

为了更好的给未知节点定位, 针对这一问题对 DV-Hop 算法进行修正, 主要做了以下两步的修正:

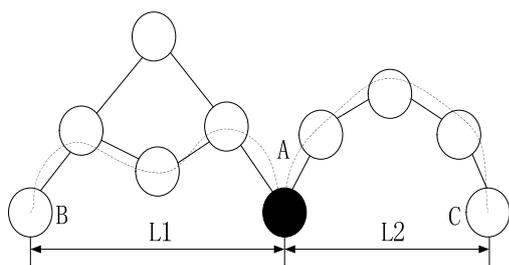


图 1 DV-Hop 节点分布图

1. 节点间跳数的修正。

2. 通过信标节点的反馈因子和区域限制修正未知节点的定位结果。

3.1 修正算法的第一步

在 DV-Hop 算法中，当网络中所有节点获得距离信标节点的最小跳数 $h(i, j)$ 之后，将跳数参与跳段距离的运算，这个策略虽然能计算出未知节点到信标节点的距离，但当最小跳数过大时容易给未知节点的定位造成误差如上图 1 所示，且跳数过大误差越大。为了减少这一误差，对最小跳数进行判定，假定 M 为某一门限值，若 $h > M$ ，则 $h = M$ ；若 $h < M$ ，则保持跳数不变。

该修正算法与 LDV-Hop^[8]算法具有相似性。LDV-Hop 在计算最小跳数时丢弃大于门限值的跳数分组并拒绝转发，算法提高定位精度是以降低网络节点覆盖率为代价，即使能定位的未知节点个数减少。本文修正把门限值赋予大于门限值的跳数分组，保证了网络中所有节点接受到信标节点的数量，在提高定位精度的同时也避免了降低网络节点覆盖率。

3.2 修正算法的第二步

修正节点间的跳数减少了由于跳数过大造成的误差，但同时使部分节点聚集易形成相似误差，必然会大幅度的降低定位精度。在文献[9]中，为了克服这一特点引入了“反馈”思想，信标节点也参与 DV-Hop 算法的计算，并估算出坐标位置。信标节点根据估算的定位结果与实际位置的偏差按照公式(6)计算修正因子，并将修正因子传播到邻近的未知节点。

$$\begin{cases} \alpha = (x_a - x_e) / (x_a - x_e) \\ \beta = (y_a - y_e) / (y_a - y_e) \end{cases} \quad (6)$$

其中 (x_a, y_a) 是信标节点的实际位置， (x_e, y_e) 是信标节点的估算位置。未知节点（也就是跳数为 1 跳的节点）将接收到的修正因子取平均， $\bar{\alpha} = \alpha / n, \bar{\beta} = \beta / n$ (n 为

接收到的信标节点的个数) 得到平均修正因子。并将其广播到网络中。然后通过公式(7)对定位结果进行修正。

$$\begin{cases} X = X' (1 + \bar{\alpha}) \\ Y = Y' (1 + \bar{\beta}) \end{cases} \quad (7)$$

(X', Y') 为估算位置， (X, Y) 为修正后的位置。

区域修正^[10]即算法结束之后为保证所有的节点估计坐标都在区域范围之内，则对定位结果做如下限制。 $[BL \times BL]$ (BL 为区域的边长 BorderLength) 是节点的分布区域，即估计坐标的区域范围， $S_{area} \{X_{area}[0, BL], Y_{area}[0, BL]\}$ 若估计节点的定位坐标 $x < 0$ ，取 $x = 0$ ； $x > BL$ ，取 $x = BL$ 。同理 $y < 0$ ，取 $y = 0$ ； $y > BL$ ，取 $y = BL$ 。

4 算法仿真与分析

为了验证修正算法的性能，本文采用 MATLAB 软件分别对经典 DV-Hop 算法和修正后的算法进行仿真。假设节点随机分布在区域 $150m \times 150m$ 的范围内，节点总数固定在 100，信标节点为 16，设所有的节点的通信半径是一样的都为 40m，同时限定门限值 $M = 3$ 。接着对改进算法前后的每个未知节点的定位误差仿真比较，定位误差根据式(8)进行计算，仿真结果见图 2 所示。平均定位误差根据式(9)计算。

$$error = \sqrt{(X_e - X_i)^2 + (Y_e - Y_i)^2} \quad (8)$$

$$ave_error = \sum_i error / una \quad (9)$$

其中， $error$ 为每个未知节点的定位误差， (X_e, Y_e) 是未知节点的估算坐标， (X_i, Y_i) 是未知节点的真实位置， una 是未知节点的个数。

分析：从图 2 中看到的未知节点定位误差的变化曲线可知，修正算法要优于原 DV-Hop 算法。平均定位误差由原来 DV-Hop 的 41.4596 变为文献[9]的 32.5955，最后修正算法的 29.0249，与经典 DV-Hop 算法比较文献[9]算法提高了 21.38%，本文的修正算法提高了 29.9%。

仿真通过设置不同的信标节点的数量和通信半径，来比较算法的平均定位误差。在仿真中对算法随机运行 50 次，然后取整体平均定位误差的算术平均值。仿真结果分别如下图 3 和图 4 所示。

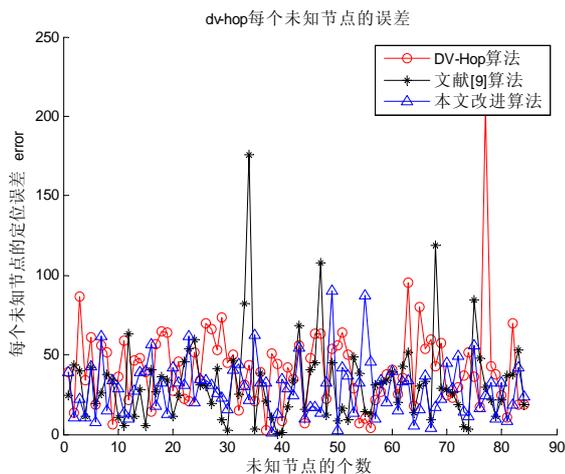


图 2 算法修正前后定位误差分布图

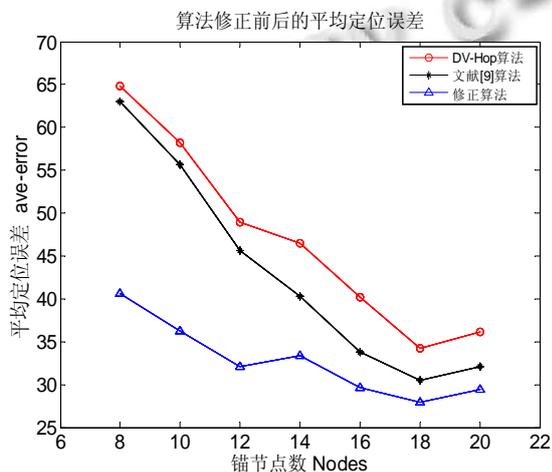


图 3 三种算法在不同信标节点下的误差示意图

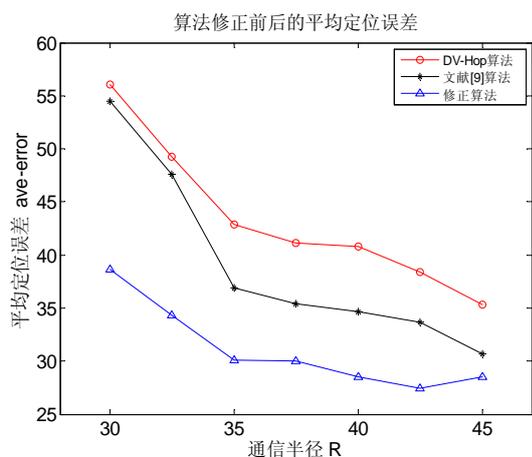


图 4 三种算法在不同通信半径下的误差示意图

分析：图 3 中是在保持通信半径 $R=40$ 不变，信

标节点分别取值为 8、10、12、14、16、18、20 的情况下对三种算法定位误差进行的比较。从仿真结果中可以看出，随着信标节点数量的增加，三种算法的定位误差都在下降。在相同的信标节点下，文献[9]的算法优于经典 DV-Hop 算法，而修正算法优于文献[9]的算法，平均定位误差明显减小。与 DV-Hop 算法比较，文献[9]平均定位误差提高了 3%~15%，修正算法平均误差提高了 18%~37%。由此说明定位性能明显改善，也就是本文改进算法优于前两种算法。

图 4 中是在保持信标节点为 16 不变，通信半径分别取值为 30、32.5、35、37.5、40、42.5、45 的情况下对三种算法的定位误差进行比较。从图中可以看出，三种算法的定位误差随着通信半径的增加而减小。在相同的通信半径下，文献[9]的平均定位误差比原来的 DV-Hop 算法提高了 15%以下，修正算法的定位误差比 DV-Hop 算法提高了 30%以下。因此修正改进算法要优于前两种的算法。

由以上分析可知，在信标节点稀疏以及通信半径较小的情况下，本文的改进算法表现的效果更好。当信标节点增多和通信半径较大时，定位误差也有所提高但是效果没有那么明显。

为了进一步的验证修正算法的性能，对跳数的门限值 M 进行仿真，设 $M=3、4、5$ ，同时设置不同的信标节点个数以及通信半径，随机仿真 50 次取平均定位误差的算术平均值对修正后的算法进行仿真，仿真结果如下图 5 和图 6 所示。

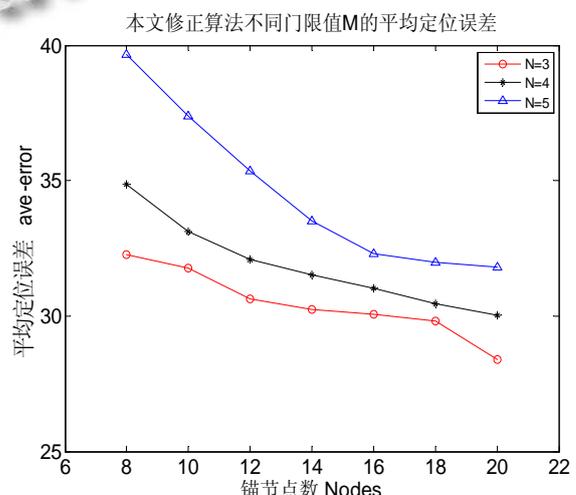


图 5 不同信标节点下修正算法跳数限制误差示意图

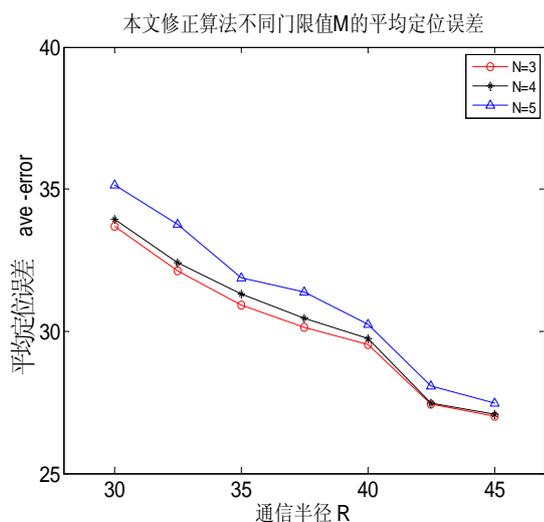


图6 不同通信半径下修正算法跳数限制误差示意图

分析：从图5和图6中可以看出，修正算法在相同的信标节点或通信半径下跳数门限值M越小，平均定位误差就越小，这说明了通过设定节点间跳数门限值能有效的改善节点的定位误差。

5 结语

通过对DV-Hop算法原理以及特点的分析，在此基础上，本文提出了一种改进的修正算法，改进算法的核心思想是：修正节点间的跳数值并结合了信标节点的反馈值对定位结果进行修正。经仿真验证，表明改进后的算法能有效的改善由于节点间跳数过大造成的误差及部分节点聚集形成的相似误差。在不增加额外硬件的情况下，能有效的提高算法的定位精度。显然信标节点的数量和通信半径的大小会影响定位的精度，因此变量参数的取值以及门限值的设定都是提高

定位精度的有效途径，也是以后研究的工作重点所在。

参考文献

- 1 Estrin D, Culler D, Pister K, et al. Connecting the physical world with pervasive networks. *IEEE Pervasive Computing*, 2002,1(1):59-69.
- 2 高翔,王喆,朱正军.基于无线传感器网络的管道检测精确定位. *计算机研究与发展*,2010,47:50-54.
- 3 Priyantha NB, Balakrishman H, Demaine E, et al. AnclorFree Distributed Localization in Sensor Networks, Technical Report MIT-CS-TR-829.Cambridge: MIT Lab for Computer Science,2003:349-353.
- 4 刘文艳,王福豹,等.基于DV-Hop定位算法和RSSI测距技术的定位系统. *计算机应用*,2007,27(3):516-518.
- 5 Chen WM, Tao M, et al. A Localization Algorithm Based on Discrete Imprecision Range Measurement in Wireless Sensor Networks. *IEEE*, 2006: 644-648.
- 6 Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system(APS). *Proc. of IEEE Globecom*, 2001.
- 7 武昊然.GPS和无线传感器网络融合定位算法研究. *计算机仿真*,2009,26:145-147.
- 8 于宁,万江文,吴银锋.无线传感器网络定位算法研究. *传感技术学报*,2007,20(1):187-192.
- 9 黄浩,卢文科,徐晨辉,等.无线传感器网络中一种增强DV-Hop算法. *中国海洋大学学报*,2008,38:217-220.
- 10 林金朝,刘海波,李国军,等.无线传感器网络中DV-Hop节点定位改进算法研究. *计算机应用研究*,2009,26(4):1292-1295.