

An Improved DV-HOP Location Algorithm Based On the Weighted

Shen Shui-Jin

The Department of Maths, Shaoxing University, zhejiang shaoxing, China
e-mail address: zjssj595@yahoo.com.cn

Abstract: Wireless sensor networks is a new technology of information acquisition and procession, and location method is the basic of wireless sensor networks. In dv-hop algorithm, all of the anchor node is equal, and it does not take full advantage of the closer node from the unknown one. The paper brings up a new algorithm using the weighted least-squares method based on the hop size form the unknown node to anchor. The simulation results indicate that the improved algorithm is more precise than the original.

Keywords: DV-HOP; location; weighted least-squares method

一种改进的基于加权的 DV-HOP 定位算法

沈水金

浙江绍兴文理学院数学系 绍兴 312000
Email address: zjssj595@yahoo.com.cn

【摘要】无线传感器网络是一种新兴的信息获取和处理技术，而定位技术是无线传感器网络的基础。DV-HOP 算法中，对网络中的所有锚节点的一视同仁，未充分利用离未知节点较近的锚节点心席。本文针对该缺点，在此基础上提出了根据未知节点到锚节点跳数的大小，赋予一定的权值，最后使用加权最小二乘法进行定位的算法。仿真结果表明，在增加少量计算复杂度的情况下，改进后的算法比原算法提高了定位精度。

【关键词】DV-HOP；定位；加权最小二乘法

1 引言

随着硬件技术和无线通信技术的不断发展和进步，无线传感器网络越来越多的被应用到许多领域中，如军事、环境、健康、家庭和其他商业领域。特别是在空间探索和灾难拯救等特殊领域中，无线传感器网络拥有其得天独厚的技术优势^[1]。在无线传感器网络的应用中，传感器的自身节点定位是提供监测事件位置信息的基础。传感器网络中的节点分为两类：锚节点和未知节点，锚节点的位置信息是确定的，而未知节点则可以根据这些锚节点的位置信息推断出自身的位置信息来实现定位，这就是无线传感器网络中的自定位技术和算法。

根据是否需要测量节点间的距离，定位算法分为距离相关的(range-based)和距离无关的两类定位算法。

目前已经存在多种距离相关的定位算法，如 DV-distance^[3,4]，Euclidean^[3,4]，MDS-MAP^[5]等，该类算法能实现相对精确的定位功能。Range-based 定位算法尽管精度较高，但由于目前的测距技术误差比较大，直接影响了节点的定位精度，因此出于对硬件成本、能耗、计算量和通信量等问题的考虑，近年来提出了距离无关(Range-free)的定位机制，其目标是在不需要 GPS 定位硬件情况下能够提供足够精度的位置估计。它不需直接测量距离，仅仅依靠网络连通性对节点间距离进行估计或通过确定包含未知节点的可能区域，来确定未知节点的位置。该技术在成本和功耗方面比基于测距技术的定位机制具有优势，因此，研究者致力于开发距离无关的定位解决方案。Range-free 定位技术无需测量节点间的绝对距离或方位，降低了对节点硬件的要求。距离无关的定位算法有质心定位法^[6]、ROCRSSI^[7]、凸规划^[8]、DV-HOP^[3,4]

以及 APIT^[9]等。

2 DV-HOP 定位算法简介

DV-HOP算法是由Niculescu等人提出的一种节点定位算法,DV-HOP是将未知节点到锚节点之间的距离用网络平均每跳距离与两者之间最小跳数的乘积来表示,然后再使用三边测量法或极大似然估计法计算得到节点的位置信息。该算法的过程如下:

1) 计算未知节点到参考节点的最小跳数。所有锚节点向网络中的邻居节点广播信息包,该信息包包括自身的位置信息和跳数值(初始值为0)。未知节点每收到一个信息包,就将跳数值加1,并把信息保存在自身的位置信息表中,然后将跳数值加1后的信息包转发给其邻居节点,丢弃来自同一个锚节点的未知节点的较大跳数值的信息包。通过这个位置信息表就可以知道它到各个锚节点的最短跳数。

2) 计算网络每跳的平均距离。每个锚节点根据接收到的其他锚节点的位置信息和相距的最小跳数,利用式1估算出网络中所有节点之间的平均每跳距离:

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

并将其广播至网络中,未知节点仅记录收到的第一个Hopsize,并转发给邻居节点。这有利于保证从最近的锚节点接收到Hopsize。未知节点在收到该Hopsize后,将其与本地信息表中记录的到该锚节点的最小跳数值相乘,就可以估算出未知节点到该锚节点的实际距离,最后用三边测量法或极大似然估计法计算出未知节点自身的位置。

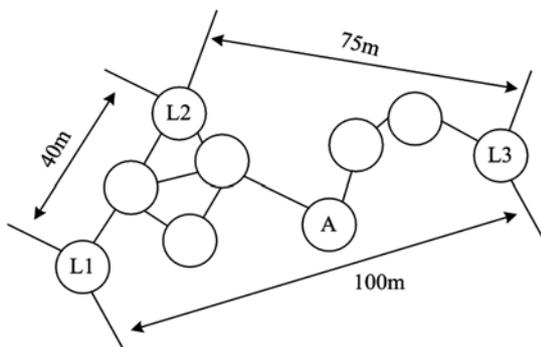


图1 DV-HOP 算法举例

例如,如图1所示,锚节点L2计算出Hopsize为 $(40m+75m) / (2+5) = 16.42$ 。如果未知节点A从L2接收到Hopsize,则其与L1、L2、L3这三个锚节点的距离分别为: $3*16.42$ 、 $2*16.42$ 、 $3*16.42$,则最后使用三

边测量法就可以最终确定A的位置。

DV-HOP与基于测距的算法有相似之处,都需要获得未知节点到锚节点的距离,但是DV-HOP获得距离的方法是通过网络中拓扑结构信息的计算而不是通过无线电波信号的测量得到的。在基于测距的方法中,未知节点只能获得与自己通信范围内的锚节点的距离,而DV-HOP可以获得未知节点通信范围外的锚节点的距离,这样可以获得更多有用数据,提高定位的精度。

3 DV-HOP 存在的问题及改进

DV-HOP算法用跳段距离来代替节点间的实际距离,具有一定的误差。由于未知节点只接收第一个到达的来自锚节点的Hopsize,以确保接收到离未知节点最近的锚节点的Hopsize,但是由于实际网络中MAC层的冲突等问题,将会导致第一个收到的信息包不一定是最近的,因此这存在着一定的误差,有待于改进。本文采用了接收离未知节点最近的3个锚节点的Hopsize₁, Hopsize₂, Hopsize₃,分别求出节点的坐标 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$,然后求质心作为未知节点最后的位置估计,即未知节点的坐标 (x, y) 为式2:

$$\begin{aligned} x &= (x_1 + x_2 + x_3) / 3 \\ y &= (y_1 + y_2 + y_3) / 3 \end{aligned} \quad (3)$$

文献^[10]通过分析实际距离与RSSI之间的关系,提出了锚节点影响力的概念。即在定位算法中,锚节点对未知节点位置都有影响力,RSSI越大的锚节点,即距离越近的锚节点,影响力越大,对节点位置有更大的决定权;RSSI越小的锚节点,即距离越远的锚节点信息,影响力越小,对节点位置决定权小。因此可以赋予距离较近的锚节点较大的权值,而赋予距离较远的锚节点较小的权值。在传统的DV-HOP算法中,并没有对锚节点在位置估计中的决定权加以分别,而是统一地将所有锚节点视为同等重要,没有反映出锚节点对节点位置的影响力的大小,影响了定位精度。为提高定位精度,本文设计了基于加权的DV-HOP算法,它的基本思想是:在DV-HOP算法中,通过加权因子来体现锚节点影响力的大小。

本文采用以下方法来进行加权:未知节点判断与离它最远的锚节点之间的最小跳数值hop,然后将所有未知节点能通信的锚节点进行分类,一跳内的赋予权值1,二跳内赋予权值 $1 - (2-1)/hop$,依次类推,i跳内的赋予权值 $1 - (i-1)/hop$ 。

4 改进的 DV-HOP 算法过程

改进的DV-HOP加权质心定位过程如下:

1) 锚节点周期性地发送自身信息：节点 ID、自身位置信息和跳数（初值为 0）。

2) 未知节点收到锚节点广播的信息包，就将跳数加1，并把信息记录在自己的位置信息表中，然后将跳数加1后的信息转发给其邻居节点，丢弃来自同一个锚节点的未知节点的较大跳数的信息包。通过这个位置信息表就可以知道它到各个锚节点的最短跳数。

3) 每个锚节点利用式 8，计算出平均每跳的距离，并将其广播至网络中。未知节点将存储 3 个离未知节点距离最近的锚节点发来的包，记为 Packet1、Packet2、Packet3，其中包括锚节点的 ID 号，记为 Anchor1、Anchor2、Anchor3，以及对应的平均每跳距离 Hopsiz_{e1}、Hopsiz_{e2}、Hopsiz_{e3}。

4) 先利用锚节点 Anchor1 的 Hopsiz_{e1} 作为平均每跳距离，未知节点判断与离它最远的锚节点之间的最小跳数值 *hop*，然后将所有未知节点能通信的锚节点进行分类，按第 3 节中的加权方式，赋予每跳一定的权值。然后使用加权最小二乘法，计算出未知节点的第一个位置信息 (x₁, y₁)；同样，利用锚节点 Anchor2 的 Hopsiz_{e2} 来得到未知节点的第二个位置信息 (x₂, y₂)，同样可以得到 (x₃, y₃)。

加权最小二乘法的形式如式 3 所示，经过转换成线性方程组，如下所示：

$$\begin{cases} w_1^2 [(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2] = w_1^2 d_1^2 \\ \vdots \\ w_n^2 [(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2] = w_n^2 d_n^2 \end{cases} \quad (3)$$

从第一个方程开始分别减去最后一个方程，得：

$$\begin{cases} w_1^2 w_n^2 [x_1^2 - x_n^2 - 2(x_1 - x_n)x + y_1^2 - y_n^2 - 2(y_1 - y_n)y] = w_1^2 w_n^2 (d_1^2 - d_n^2) \\ \vdots \\ w_{n-1}^2 w_n^2 [x_{n-1}^2 - x_n^2 - 2(x_{n-1} - x_n)x + y_{n-1}^2 - y_n^2 - 2(y_{n-1} - y_n)y] = w_{n-1}^2 w_n^2 (d_{n-1}^2 - d_n^2) \end{cases} \quad (4)$$

式 4 转化成线性方程组得形式：A'x = b'，其中

$$A' = \begin{bmatrix} 2w_1^2 w_n^2 (x_1 - x_n) & 2w_1^2 w_n^2 (y_1 - y_n) \\ \vdots & \vdots \\ 2w_{n-1}^2 w_n^2 (x_{n-1} - x_n) & 2w_{n-1}^2 w_n^2 (y_{n-1} - y_n) \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} w_1^2 w_n^2 [d_1^2 - d_n^2 - (x_n^2 - x_1^2) - (y_n^2 - y_1^2)] \\ \vdots \\ w_{n-1}^2 w_n^2 [d_{n-1}^2 - d_n^2 - (x_n^2 - x_{n-1}^2) - (y_n^2 - y_{n-1}^2)] \end{bmatrix}$$

5) 最后求由三点 (x_i, y_i) i = 1,2,3 所组成的三角形的质心，作为未知节点的最后位置 (x, y)：

$$\begin{aligned} x &= (x_1 + x_2 + x_3)/3 \\ y &= (y_1 + y_2 + y_3)/3 \end{aligned} \quad (5)$$

5 仿真实现

为了检验和比较改进的基于加权的 DV-HOP 算法对定位估计的影响，本文使用了 Windows 环境下的 Matlab7.0 软件对算法进行仿真。仿真中，将节点射频通信距离设置为 25m，在 100m×100m 的正方形二维区域随机部署 200 个节点，锚节点比例分别为 20%~90%的情况下，各仿真 10 次。定位的误差使用实际节点位置与定位后的估计位置之间的欧几里得距离来表示，如式 6 所示：

$$error(i) = \sqrt{(x_{i_{real}} - x_{i_{estimate}})^2 + (y_{i_{real}} - y_{i_{estimate}})^2} \quad (6)$$

图 2 表示，当锚节点比例为 10%时，对传统 DV-HOP 与改进的 DV-HOP 分别进行 10 次仿真，横坐标表示第 i 次，纵坐标表示第 i 次测试时的定位误差，由式 7 计算得到：

$$error = \frac{\sum_{i=1}^M error(i)}{M}, \quad M \text{ 表示可定位的节点总数} \quad (7)$$

从图中可以看出，改进后的算法基本上误差低于 30%，精度高于传统的 DV-HOP。

图 3 中，横坐标表示锚节点的比例，纵坐标为当锚节点比例一定时，仿真 10 次的平均误差。从图中可以看出，当锚节点比例增大时，节点的定位误差明显减小。与传统的 DV-HOP 算法相比，精度提高约 4%。具体的数据如表 1 所示：

6 结论

由于对硬件成本、能耗、计算量等问题的考虑，一些实际应用中采用了距离无关的定位算法，如 DV-HOP、凸规划、质心定位等。本文在保留 DV-HOP 算法优点的基础上，根据其自身的不足，提出了一种基于加权的 DV-HOP 算法。由于锚节点对未知节点的有不同的影响力，即距离越近的锚节点，影响力越大，

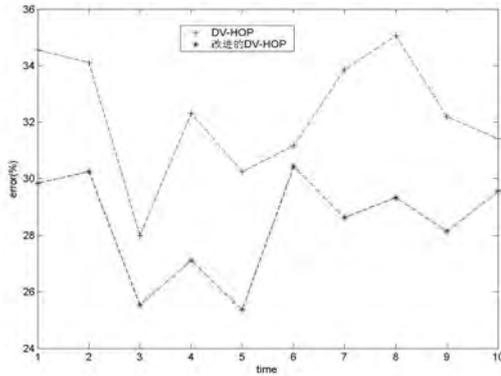


图2 传统 DV-HOP 与改进 DV-HOP 误差比

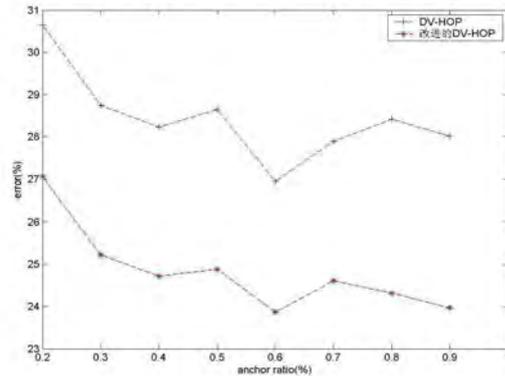


图3 锚节点比例与误差的关系

表 1. 锚节点比例与误差的关系

锚节点比例算法	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
DV-HOP	30.6480	28.7510	28.2361	28.6481	26.9444	27.8920	28.4137	28.0198
改进的 DV-HOP	27.0629	25.2192	24.7177	24.8806	23.8729	24.6122	24.3112	23.9629

对节点位置有更大的决定权；距离越远的锚节点信息，影响力越小，对节点位置决定权小。本文根据这个特点，设置一个加权因子对锚节点地影响力加以区分，并选取离未知节点最近的三个锚节点分别求出未知节点的三个位置点，以这三个位置点组成的三角形的质心作为节点的最后位置。通过在 100m×100m 的正方形区域内随机节点进行仿真，结果显示改进后的定位算法在定位精度上有了的提高。

References (参考文献)

[1] 任丰原,黄海宁,林闯.无线传感器网络.软件学报, 2003, 14(7): 1282~1291.
Ren Feng-Yuan, Huang Hai-Ning, Lin Chuang, Wireless sensor networks, Journal of Software 2003,14(7):1282 ~1291.

[2] Savvides Andreas, Han Chih-chieh, Srivastava Mani B. Dynamic fine-grained localization in Ad-Hoc networks of sensors[C]. NewYork: ACM Press 7th ACM Int Conf on Mobile Computing and Networking (Mobicom), 2001. 166-179.

[3] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system(APS) using AOA. In: Proc 22nd Annual Joint Conf of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM' 2003). IEEE, Vol.3,

2003.

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

[5] Shang Y, Ruml W, Zhang Y, Fromherz MPJ. Localization from mere connectivity. In:Proc. Of the 4th ACM int' l Symp. on Mobile Ad Hoc Networking & Computing. Annapolis: ACM Press, 2003. 201-212.

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

[7] Chong Liu, Kui Wu, Tian He. Sensor localization with ring overlapping based on comparison of received signal strength indicator. Mobile Ad-hoc and Sensor System,2004 IEEE International Conference on 25-27 Oct.2004 Page(s):516-518.

[8] Doherty L, Pister KSJ, Ghaoui LE. Convex positioning in mobile ad-hoc networks. In: Proc. Of the IEEE INFOCOM 2001.

[9] He T, Huang C, Blum B M, Stankovic J A, Abdelzaher T. Range-free localization schemes for large scale sensor networks. In: Proc 9th Annual Int' l Conf on Mobile Computing and Networking, San Diego,CA.,2003.81-95.

[10] 陈维克,李文锋,首珩等.基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法.武汉理工大学学报,2006 Vol.30 No.2 P.265-268.
Chen Wei-ke, Li Wen-feng etc. Weighted Centroid Localization Algorithm Based on RSSI for Wireless Sensor Networks, Journal Of WuHai University of Technology, 2006 Vol.30 No.2 P. 265-268.