

# 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法 An Improved DV-Hop Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks

彭 刚, 刘 戎

PENG Gang, LIU Rong

(桂林空军学院, 广西桂林 541003)

(Guilin Air-Force Academy, Guilin, Guangxi, 541003, China)

**摘要:**针对无线传感器网络 DV-Hop 定位算法中信标节点与未知节点之间的平均跳距估算误差较大的问题,提出一种改进的 DV-Hop 算法并进行仿真检验。改进后的算法对传统算法中节点每跳距离选取进行了调整,还采用加权平均法计算节点平均每跳距离。仿真结果表明,改进的 DV-Hop 算法显著提高未知节点的定位精度。

**关键词:**无线传感器网络 DV-Hop 定位算法 平均每跳距离

**中图分类号:**TP393 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2012)01-0016-03

**Abstract:** In order to solve the problem of large error in the estimation on the average hop distance between beacon nodes and unknown nodes, which in the DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks, an improved DV-Hop localization algorithm and simulation experiment are proposed. In the new algorithm, the calculation of average hop distance is improved and the average hop distance based on weighted disposal is refined. Simulation results demonstrate that the localization accuracy of unknown nodes is improved effectively in the new algorithm.

**Key words:** wireless sensor networks, DV-Hop localization algorithm, the average hop distance

无线传感器网络是指由大量成本低廉的传感器节点通过无线方式组成的网络。传感器网络的大量应用都依赖于节点的位置信息,如战场侦察、生态环境监测、地震洪水火灾等现场的监控等。此外,节点的位置信息还可以辅助实现数据路由。

传感器网络节点的定位算法已报道很多。根据定位时采用的距离参数获取方式,定位算法可以分为基于测距(Range-Based)算法和无须测距(Range-free)算法。基于测距的定位算法常采用 RSSI 测距、TOA 测距、AOA 测距等技术得到节点之间较精确的距离<sup>[1]</sup>。无须测距的定位算法是采用一些算法来估算节点之间的距离,或者通过包含未知节点的可能区域,来对未知节点的位置进行估计。

有代表性的无须测距算法主要有 DV-Hop 算法、质心算法、APIT 算法、凸规划算法等<sup>[2]</sup>。基于测距的定位算法需要通过测量节点间点到点的距离或角度信息,在获得相对精确的定位结果时,不仅大大增加硬件成本,还会产生大量的计算和通信开销。而无须测距的算法则不需要距离和角度信息,仅根据网络连通性等信息实现节点的定位,因此无须定位的算法凭借其在成本、功耗方面的优势,越来越受到关注。

由于无线传感器网络中的 DV-Hop 算法,信标节点与未知节点之间的平均跳距估算的误差较大,由此本文对 DV-Hop 算法进行修改,提出了一种新的节点的位置估计算法。

## 1 DV-Hop 定位算法分析

DV-Hop 定位算法<sup>[3]</sup>的基本思想是将未知节点到信标节点之间的距离用网络每跳平均距离和两者之间跳数相乘表示,再采用三边定位测量法计算出

收稿日期:2011-11-10

修回日期:2011-12-05

作者简介:彭 刚(1968-),男,教授,博士,主要从事无线传感器网络和网络安全方面的研究。

节点的位置。

实现过程可以分为 3 个步骤:

(1) 统计未知节点与每个信标节点的最小跳数。

信标节点向邻居节点广播自身位置的数据包, 数据包中还含有跳数信息, 初始值为 0。每个节点将收到的跳数加 1, 然后转发给邻居节点。接收节点保存到每个信标节点跳数的最小值, 丢弃来自同一信标节点的较大跳数的数据包。通过数据包的反复转发, 网络中所有节点都能够获得本节点到每个信标节点的最小跳数。

(2) 计算节点到信标节点的每跳平均距离。

每个信标节点根据第一个步骤中获得的到其他信标节点的位置信息和相距跳数, 采用下面的计算公式估算平均每跳的实际距离。

$$C_i = \frac{\sum \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum Hops_{ij}}, i \neq j, \quad (1)$$

其中,  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  是信标节点  $i, j$  的坐标,  $Hops_{ij}$  是信标节点  $i$  与  $j$  之间的跳数。然后, 信标节点将计算出的每跳平均距离用带有生存期字段的数据包进行广播, 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。

(3) 利用三边定位测量法计算出节点位置。

未知节点接收到每跳平均距离后, 根据到每个信标节点的跳数和每跳距离, 计算到每个信标节点的实际距离。未知节点计算出到每个信标节点的估计距离之后, 采用三边测量法计算出节点的实际位置。

在一个二维坐标系中, 最少需要到三个参考点的距离才能唯一确定一点的坐标<sup>[4]</sup>。一般, 三边定位问题可以阐述为: 给定一组参考节点  $X_i, Y_i, Z_i$  和一组距离测量  $R_i$ 。通过下面的线性等式来解出未知的  $u_x, u_y, u_z$ 。

$$\begin{bmatrix} (x_1 - u_x)^2 + (y_1 - u_y)^2 + (z_1 - u_z)^2 \\ (x_2 - u_x)^2 + (y_2 - u_y)^2 + (z_2 - u_z)^2 \\ \dots \\ (x_n - u_x)^2 + (y_n - u_y)^2 + (z_n - u_z)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ \vdots \\ r_n^2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

此处,  $(x_i, y_i, z_i)$  是节点  $i$  的三维坐标,  $(u_x, u_y, u_z)$  是未知节点的坐标,  $r_i$  是节点  $i$  和未知节点的测量的距离。在(2)式中, 各行减去最后一行, 并进行线性变换, 结果如下。

$$Au = B, \quad (3)$$

$$A = -2 *$$

$$\begin{bmatrix} (x_1 - x_n) & (y_1 - y_n) & (z_1 - z_n) \\ (x_2 - x_n) & (y_2 - y_n) & (z_2 - z_n) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ (x_{n-1} - x_n) & (y_{n-1} - y_n) & (z_{n-1} - z_n) \end{bmatrix},$$

$$u = \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \end{bmatrix},$$

$$B =$$

$$\begin{bmatrix} r_1^2 - r_n^2 - x_1^2 + x_n^2 - y_1^2 + y_n^2 - z_1^2 + z_n^2 \\ r_2^2 - r_n^2 - x_2^2 + x_n^2 - y_2^2 + y_n^2 - z_2^2 + z_n^2 \\ \dots \\ r_{n-1}^2 - r_n^2 - x_{n-1}^2 + x_n^2 - y_{n-1}^2 + y_n^2 - z_{n-1}^2 + z_n^2 \end{bmatrix}.$$

采用最小二乘法, 即可解出

$$u = (A'A)^{-1} * A'B. \quad (4)$$

在 DV-Hop 算法中, 将信标节点之间的每跳平均距离作为未知节点到信标节点的每跳平均距离, 计算出每跳平均距离与跳数的乘积得到未知节点和信标节点之间的距离。DV-Hop 定位算法比较适合信标节点分布均匀、较为密集、各向同性的无线传感器网络, 在这种情况下求得的每跳平均距离值才更接近实际距离值。当信标节点较少、分布不均匀时, 这样得到的每跳距离值会产生较大的累积误差<sup>[5]</sup>。

## 2 DV-Hop 算法改进

### 2.1 节点间跳数计算的修正

改变跳数的计算方法, 跳数值不仅可以以整数值 1 跳递增, 也能以小数 0.5 跳递增。在无线传感器网络中一般使用无线电或超声波等电磁波信号进行数据分组的广播, 而电磁波通信信号在空气中传播时对于不同的传播距离信号的衰减程度是成一定关系的, 信号强度衰减模型为  $PL(d) = PL(d_0) * e^{-\beta d}$ , 其中  $PL(d)$  表示信号传输距离  $d$  之后的电磁波信号强度,  $\beta$  为介质系数,  $PL(d_0)$  为信号发生源的信号强度。

可以在每个传感器节点的接收模块中加入信号强度分析模块, 节点在接收到上一跳的数据信息时, 比较所接收的信号强度与传播距离为  $R$  和  $R/2$  时的信号强度, 确定跳数增值是取 1 还是 0.5 跳, 这样就可以较好地降低跳数计算误差。

### 2.2 平均每跳距离的修正

改进算法后, 未知节点记录到每个信标节点的不同平均每跳距离, 并求加权平均值得到未知节点的平均每跳距离。未知节点的平均每跳距离为

$$D = \sum_{i=1}^n W_i D_i, \quad (5)$$

其中,

$$D_i = \frac{1/N_i}{\sum_{j=1}^n (1/N_j)}$$

$n$  为未知节点收到信标节点的信息个数,  $D_i$  为第  $i$  个信标节点估计的平均跳距离,  $W_i$  为第  $i$  个信标节点平均每跳距离的加权重,  $N_i$  为未知节点距离信标节点  $i$  的跳数。各信标节点的平均跳距离值按照其与未知节点的距离进行加权处理, 从而使未知节点平均每跳距离的估计值更准确地反映实际平均每跳距离。

### 3 仿真实验

为了检验改进算法的性能, 我们在 MATLAB 平台上对传统 DV-Hop 定位算法和改进算法进行性能仿真对比分析, 对算法的性能主要从定位误差方面进行评估。仿真实验网络模型的主要参数如下: 网络规模是 100 个节点, 随机分布在  $100\text{m} \times 100\text{m}$  的地域范围内, 未知节点的坐标随机产生, 信标节点的比例按 10% 和 20% 变化, 节点的通信半径从 15m 到 30m 变化。在仿真实验中, 通过变化信标节点、未知节点的数量及节点的邻居数量, 考察两种算法平均定位误差。每种性能仿真都随机运行 100 次, 然后取其平均值。

节点的定位误差<sup>[6]</sup>定义为

$$d_i = \frac{\sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2}}{R} \times 100\%, \quad (6)$$

其中,  $(x_r, y_r)$  为节点的实际位置,  $(x_e, y_e)$  为节点的估计位置,  $R$  为节点的通信半径, 每次仿真时, 整个网络的平均定位误差为网络中所有未知节点的定位误差之和与未知节点个数  $n$  的比值。平均定位误差  $d_p$  可表示为

$$d_p = \sum_{i=1}^n d_i / n. \quad (7)$$

通过仿真得到的节点平均定位误差随邻居节点数量变化情况如图 1 和图 2 所示。

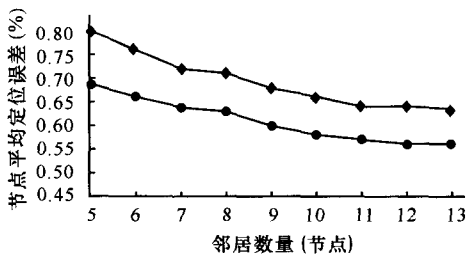


图 1 信标节点比率为 10% 的平均定位误差

◆:改进的 DV-Hop 算法; ●:DV-Hop 算法。

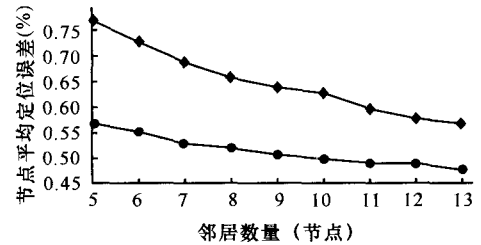


图 2 信标节点比率为 20% 的平均定位误差

◆:改进的 DV-Hop 算法; ●:DV-Hop 算法。

从图 1 和图 2 结果可以看出, 当信标节点的比例从 10% 变化到 20%, 随着信标节点数量的增加, 两种算法的定位误差都在下降。当信标节点的比例为 10% 时, 改进后的 DV-Hop 算法较原算法的误差大约低 24%。当信标节点比例为 20% 时, 误差比原算法低 36%。

由于平均跳距的估计值更加精确, 改进的 DV-Hop 算法的定位精度比原始的 DV-Hop 算法有了明显的提高, 且定位误差抖动也比原始算法小。图 1 和图 2 中传感器节点的邻居的个数, 也是节点无线通信覆盖范围内传感器节点的个数, 当网络邻居个数变化的过程中, 定位误差平均值表现出了更加稳定的变化曲线, 表明改进的算法相对于邻居个数的变化具有较好的稳定性。

#### 参考文献:

- [1] Wang F B, Shi L, Ren F Y. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks[J]. Journal of Software, 2005, 16(5): 857-868.
- [2] Niu Y C, Zhang S D, Xu X Y, et al. An enhanced DV-Hop localization algorithm for irregularly shaped sensor networks[C]. LNCS 4864, 2007: 694-704.
- [3] Zhang S G, Cao J N, Chen L J, et al. Accurate and energy-efficient range-free localization for mobile sensor networks[J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2010, 9(6): 897-910.
- [4] Sun L M, Li J Z, Chen Y, et al. Wireless sensor networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.
- [5] 刘文远, 王恩爽, 陈子军. 无线传感器网络中 DV-Hop 定位算法的改进[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(6): 1071-1074.
- [6] 刘明, 包亚萍, 刘汉义. 无线传感器网络中一种改进的 DV-Hop 算法[J]. 传感器与仪器仪表, 2009, 25(4): 128-129.

(责任编辑:尹 闯)