

基于RSSI测距的DV-Hop算法

刘三阳, 胡亚静[†], 张朝辉

(西安电子科技大学 数学与统计学院, 西安 710126)

摘要: 由于DV-Hop算法在不均匀网络中节点定位精度不高,以及RSSI算法受环境因素影响较大,将RSSI算法与DV-Hop算法相结合,提出一种利用RSSI测距技术改进DV-Hop的算法——BRDV-Hop算法.该算法应用RSSI测距技术,定义信标节点的平均跳距误差,并利用信标节点的平均跳距误差对未知节点与信标节点之间的距离进行修正,从而达到减小定位误差的目的.仿真结果表明,与标准的DV-Hop算法相比,在不增加传感器节点硬件的基础上,改进算法能有效降低定位误差.

关键词: 节点定位; RSSI测距技术; DV-Hop算法; 无线传感器网络

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Improved DV-Hop localization method based on RSSI

LIU San-yang, HU Ya-jing[†], ZHANG Zhao-hui

(School of Mathematics and Statics, Xidian University, Xi'an 710126, China)

Abstract: Due to the fact that the DV-Hop algorithm has low positioning accuracy while the RSSI algorithm is greatly affected by environmental factors, this paper presents a BRDV-Hop algorithm by combining the character of RSSI and DV-HOP. To improve computational efficiency, the RSSI distance measuring technique is intergrated into the presented algorithm. By utilizing the distance measuring technique, the average hop distance difference of beacon node is firstly defined, and then the distances of unknown nodes and the beacon nodes are adjusted by using the average hop distance difference of the beacon nodes, such that the location difference is significantly decreased. Simulation results show that, without increasing the sensor nodes, improved algorithm performs much better than the standard DV-Hop algorithm.

Keywords: localization; RSSI distance-measuring; DV-Hop algorithm; wireless sensor networks

0 引言

在传感器的大多数应用中,如果不知道传感器节点的位置,则所感知的数据是没有意义的.传感器节点需要知道自身的准确位置信息,才能清楚地表达出“在什么区域或位置发生了特定事件”^[1],所以定位技术对于无线传感器网络(WSNs)应用的有效性起着关键作用.

WSNs节点的定位:在检测区域内,根据信标节点的坐标,获得其他未知节点的位置.目前文献中,WSNs的节点定位算法可分为无需测距的方法和基于测距的方法两类^[2].基于测距的算法需要测量节点之间的距离、角度、信号强度以实现未知节点定位的目的,几种常见的算法有基于信号传输时间的方法(TOA)、基于信号传输时间差的方法(TDOA)、基于接收信号强度指示(RSSI)^[3-4]和基于信号角度的方

法(AOA).这些基于测距的算法一般可以取得较高的定位精度,但对节点本身硬件要求较高,在某种特定场所,如在一个规模较大且信标节点稀疏的网络中,当未知节点不能与足够多的信标节点进行直接通信时,基于测距的算法便很难进行定位,此时需要考虑无需测距的方法来估计节点的位置.无需测距的算法不需要测量节点间的实际距离,与基于距离的算法相比,其硬件需求及受实际环境影响都有很大的降低.DV-Hop算法^[5-6]是目前使用最广泛的无需测距的定位算法之一,它具有实现简单、易扩展、通信和计算量开销较小等优点,但是当节点分布不均匀时,定位误差会增大.针对这一特点,科学家们提出了多种改进的DV-Hop算法^[7-14].

文献[12]对DV-Hop算法第2阶段中求出的每一个信标节点的平均跳距进行求平均值,作为整个网

收稿日期: 2016-07-12; 修回日期: 2017-01-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61373174); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(150716).

作者简介: 刘三阳(1959-),男,教授,博士生导师,从事运筹优化、非线性分析、系统建模、信息网络等研究; 胡亚静(1991-),女,硕士生,从事无线传感器网络节点定位的研究.

[†]通讯作者. E-mail: hyj1062090052@163.com

络节点的平均跳距,第3阶段利用二维双曲算法对方程进行求解.文献[13]充分利用信标节点的信息,对 DV-Hop 算法中第3阶段的方程给出了一个全新的变形,然后利用加权最小二乘算法求解.文献[14]主要是对平均跳距的修正,参考文献[12],首先对信标节点的平均跳距求平均值,然后在任意信标节点之间引入一个平均跳距误差,最后利用平均跳距的平均值和误差,得到一个新的修正的平均跳距.

上述文献均对 DV-Hop 算法的第2阶段和第3阶段进行了不同的改进.第2阶段主要通过对信标节点平均跳距的不同改进,建立与未知节点平均跳距之间的关系,目的是使节点之间的距离更加逼近实际距离;第3阶段的改进是对方程组的不同解法.通过总结以上思想,以及对 DV-Hop 算法第3阶段采用二维双曲求解的结果,发现定位的精度并没有明显的提高,所以本文将重点放在第2阶段. RSSI 的特点是廉价、低功率,且硬件成本低,因为几乎所有的节点都具有接收信号强度 RSSI 的功能.

本文考虑在不增加成本的前提下,结合 RSSI 测距技术,提高 DV-Hop 算法的定位精度,提出了 BRDV-Hop 算法.在 BRDV-Hop 算法中,首先用 RSSI 测得的距离与欧氏距离的差定义每个信标节点的平均跳距误差;然后,在计算信标节点与未知节点之间的距离时,在原始算法的基础上增加相应的平均跳距误差乘以跳数,使得在未知节点与信标节点之间的距离与实际距离的误差更小;最后利用极大似然估计求出未知节点的位置.通过仿真验证,所提出算法在不均匀的网络中能够有效地降低定位误差.

1 DV-Hop 算法原理

Niculescu 等^[5-6] 基于距离矢量路由的原理提出了 DV-Hop 算法,其基本思想是:用平均跳距乘以跳数表示信标节点到未知节点之间的距离,然后使用极大似然估计解出未知节点的坐标.将定位过程分为3个阶段进行介绍.

第1阶段:获得最小跳数信息.每个信标节点将自己的坐标、编号、跳数(初始化为0)作为一个数据包发送给通信范围内的邻居节点,邻居节点接收到数据包后,记录下到信标节点的跳数,当接收到来自同一个信标节点的更多个跳数信息时,将较大的跳数信息忽略掉,保存最小的跳数信息,然后将跳数值加1继续转发给邻居节点.

第2阶段:计算信标节点与未知节点之间距离.每个信标节点根据在第1阶段所记录的到其他信标节点的最小跳数和坐标,通过下式求得自己的平均跳

距:

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

其中: h_{ij} 为信标节点 i, j 之间的跳数, $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 为信标节点 i, j 的坐标.

信标节点通过式(1)得到平均跳距后,将该信息广播至整个网络中,此刻未知节点的平均跳距便是它接收到的第1个信标节点的平均跳距信息.根据第1阶段未知节点所记录的跳数信息,通过式(2)计算其到信标节点的距离,有

$$d_{iu} = \text{Hopsize}_i h_{iu}. \quad (2)$$

其中: d_{iu} 为信标节点 i 和未知节点 u 之间的距离; h_{iu} 为信标节点 i 、未知节点 u 之间的跳数; Hopsize_i 为信标节点 i 的平均跳距,同时也表明了未知节点 u 接收到的第一个平均跳距信息来自于信标节点 i .

第3阶段:求解未知节点的位置信息.在第2阶段中,未知节点已经记录了到各个信标节点的距离,结合极大似然估计法或三边测量法求解未知节点的位置信息.式(2)中, d_i 还可以表示为

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2, \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2, \\ \vdots \\ (x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = d_m^2. \end{cases} \quad (3)$$

对于方程组(3),用前 $m - 1$ 个方程减去第 m 个方程,得到一个线性方程组

$$\begin{cases} -2(x_1 - x_m)x - 2(y_1 - y_m)y = \\ d_1^2 - d_m^2 - x_1^2 + x_m^2 - y_1^2 + y_m^2, \\ -2(x_2 - x_m)x - 2(y_2 - y_m)y = \\ d_2^2 - d_m^2 - x_2^2 + x_m^2 - y_2^2 + y_m^2, \\ \vdots \\ -2(x_{m-1} - x_m)x - 2(y_{m-1} - y_m)y = \\ d_{m-1}^2 - d_m^2 - x_{m-1}^2 + x_m^2 - y_{m-1}^2 + y_m^2. \end{cases} \quad (4)$$

对于该线性方程组,用矩阵表示为

$$AX = B. \quad (5)$$

其中

$$A = -2 \begin{bmatrix} x_1 - x_m & y_1 - y_m \\ x_2 - x_m & y_2 - y_m \\ \vdots & \vdots \\ x_{m-1} - x_m & y_{m-1} - y_m \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} d_1^2 - d_m^2 - x_1^2 + x_m^2 - y_1^2 + y_m^2 \\ d_2^2 - d_m^2 - x_2^2 + x_m^2 - y_2^2 + y_m^2 \\ \vdots \\ d_{m-1}^2 - d_m^2 - x_{m-1}^2 + x_m^2 - y_{m-1}^2 + y_m^2 \end{bmatrix},$$

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

由于线性方程组中未知量的个数少于方程的个数,要想找到准确解实际上是不可能的.将任何 (x, y) 代到上面各式都会发生误差,因此可以转化为最小二乘问题.由于矩阵 A 是秩为2的实矩阵,矩阵 $A^T A$ 可逆,线性方程组总是有解的.采用标准的最小均方差估计方法得出 $X = (A^T A)^{-1} A^T B$.

2 基于RSSI的DV-Hop改进

在标准的DV-Hop算法中,主要依赖跳数信息来计算节点间实际距离.但是,在WSNs中,传感器节点数目众多且是随机分布的,因此节点之间的通信距离并不是欧氏距离.用两节点间的欧氏距离之和除以跳数之和,求得的平均跳距是存在误差的.然而,在求信标节点与未知节点的距离时,用未知节点的平均跳距乘以相应的跳数,这样节点之间的跳数越多,估计距离产生的误差越大,定位精度便会降低.

如图1所示, L_1 、 L_2 和 L_3 为信标节点, A 为未知节点,未知节点 A 与各信标节点相连通,信标节点 L_1 、 L_2 和 L_3 两两之间的路径是弯曲的.应用式(1)求得平均跳距存在误差,假设未知节点 A 所记录的第1个平均跳距信息来自信标节点 L_3 ,则用信标节点 L_3 的平均跳距作为未知节点 A 的平均跳距,各信标节点与未知节点 A 之间的路径也是弯曲的.用式(2)计算信标节点到未知节点之间的距离时,相对误差便会增大,从而导致所求得的未知节点的坐标是不精确的.

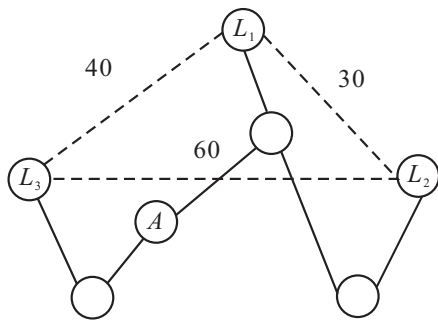


图1 DV-Hop算法的例子

针对上述问题,对未知节点到信标节点之间的距离进行以下修正.

2.1 无线信号传播模型

在本文中,对数-常态分布模型是本文采用的无线信号传播路径损耗模型,有

$$P_{ij} = P(d_0) - 10n_p \lg\left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right) + X_\sigma. \quad (6)$$

其中:节点 i 和 j 的信号强度为 P_{ij} ;其单位为 $\text{dB}\cdot\text{m}$; d_0 为信号参考传输距离, $P(d_0)$ 为接收信号强度,取 $d_0 = 1\text{m}$; n_p 为射频信道衰减指数,一般取 $2 \sim 4$; d_{ij} 为信标节点 i 和 j 的欧氏距离; X_σ 为均值是0、方差是 σ (值为 $4 \sim 10$)的高斯随机分布^[4],在推导距离公式时,可以将误差忽略.

由式(6)可推导出

$$\tilde{d}_{ij} = 10^{\frac{P(d_0) + X_\sigma - P_{ij}}{10 \cdot n_p}}. \quad (7)$$

在实际应用中,为了减小RSSI带来的误差,可以通过多次接收信标节点的传送信号来取得接收功率的平均值,尽可能地降低RSSI的误差的目的.

2.2 对信标节点与未知节点之间的距离进行改进

假设信标节点 i 的平均跳距信息是未知节点 u 收到的第1个信息.在计算信标节点 i 与未知节点 u 之间的距离时,首先对信标节点 i 与其余信标节点之间的RSSI值,通过式(7)转换成距离,记为 \tilde{d}_{ij} .记信标节点之间的欧氏距离为 d_{ij} ,则信标节点 i 的平均跳距的误差 c_i 定义为

$$c_i = \frac{\sum_{i \neq j} |\tilde{d}_{ij} - d_{ij}|}{\sum_{i \neq j} h_{ij}}. \quad (8)$$

信标节点 i 与未知节点 u 之间的距离为

$$d_{iu} = \text{Hopsize}_i h_{iu} + h_{iu} c_i. \quad (9)$$

利用式(8)得到每一个信标节点的平均跳距误差,用信标节点的平均跳距误差乘以跳数,得到节点之间的误差距离,再利用式(9)计算出节点之间的距离,这样更加接近实际距离,从而达到降低节点定位的误差.

2.3 BRDV-Hop算法的具体流程

Step 1: 计算节点之间的最小跳数和信号强度.信标节点将数据包 $\{\text{ID}, (x, y), \text{Hopcount}, \text{RSSIlevel}\}$ 发送给通信范围内的邻居节点,信标节点的编号为ID;信标节点的坐标为 (x, y) ;跳数用Hopcount表示,初始值为0;节点接受该数据包时的信号强度为RSSIlevel,初始值为0.当邻居节点收到此数据包时,可以根据ID号判断是否接收过此数据包.如果邻居节点是第1次接收,则保存好后,将Hopcount加1,将

RSSILevel 设为其接收该数据包时的 RSSI 值, 继续向邻居节点广播; 否则, 对邻居节点已保存的数据包中的 Hopcount 值与接收到的数据包中的相应值比较, 若 Hopcount 大于接收到的值, 则丢弃此数据包, 保存当前接收的数据包, 并将 Hopcount 的值加 1, RSSILevel 值进行累加, 继续向邻居节点广播, 小于则忽略当前接收到的数据包。

Step 2: 求取未知节点与信标节点之间的距离. 在 DV-Hop 算法的第 2 阶段中, 已经求出了每个信标节点的平均跳距, 再利用式 (8) 求出每个信标节点的平均跳距误差, 最后由式 (9) 计算出信标节点与未知节点之间距离。

Step 3: 按照标准 DV-Hop 算法中的三边测量法计算未知节点的坐标, 完成定位。

3 仿真实验

为了更有力地证明本文所提出的改进算法具有更好的性能, 借助 Matlab 软件进行仿真实验. 仿真环境在 200 m × 200 m 的正方形区域中, 传感器节点随机产生, 信标节点也随机分布, 每个节点的通信半径 R 是相同的. 在相同的网络环境下, 模拟实验 50 次, 求得平均值作为最终结果。

选用定位精度作为定位方法的评价标准, 定位精度分为相对精度和绝对精度. 估计的坐标与实际坐标的偏差是绝对精度, 用长度单位表示, 而相对精度是误差值除以通信半径 R . 考虑到未知节点的个数, 采用归一化的处理手段, 定义未知节点归一化的相对定位误差为

$$\text{Error} = \frac{\sum_{i=1}^{N-M} \sqrt{(x_{\text{test},i} - x_{\text{real},i})^2 + (y_{\text{test},i} - y_{\text{real},i})^2}}{(N - M)R}. \quad (10)$$

其中: M 为信标节点的个数, N 为总节点的个数, R 为节点的通信半径, $(x_{\text{real},i}, y_{\text{real},i})$ 为未知节点 i 的真实坐标, $(x_{\text{test},i}, y_{\text{test},i})$ 为通过 BRDV-Hop 算法计算的未知节点 i 的坐标. 由式 (10) 可以明显地看出通信半径、信标节点和总节点个数对定位误差的影响。

图 2 为节点通信半径 $R = 40$ m 的情况下, 信标节点的密度从 0.1 ~ 0.3 变化时, 定位误差的变化. 由图 2 可见, 随着信标节点密度的增加, 定位误差逐渐减小. 当总节点为 200 时, 与标准的 DV-Hop 算法相比, BRDV-Hop 算法的定位误差减小了 11.52%; 当总节点为 300 时, 减小了 16.59%; 当总节点为 400 时, 减小了 20.75%。

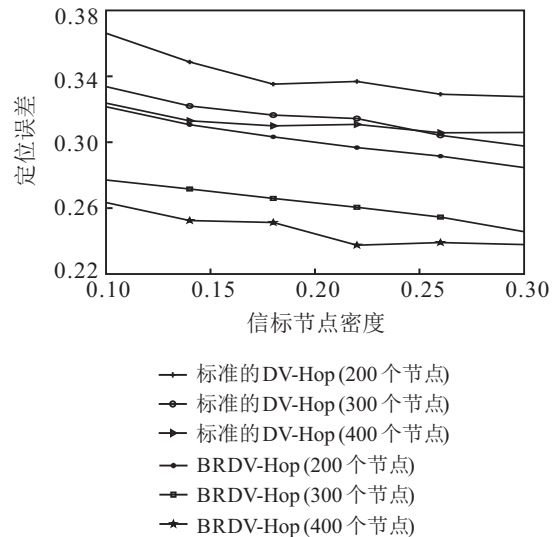


图 2 信标节点密度与定位误差的关系

图 3 为信标节点的密度 $N_r = 0.2$ 时, 定位误差与通信半径的关系. 由图 3 可见, 通信半径从 35 m 变化到 60 m, 定位误差整体呈现下降趋势; 无论总节点数是 200、300 或 400, BRDV-Hop 算法的定位误差曲线都在标准 DV-Hop 算法的下面. 可以得出, BRDV-Hop 算法具有较低的定位误差, 性能优势更明显。

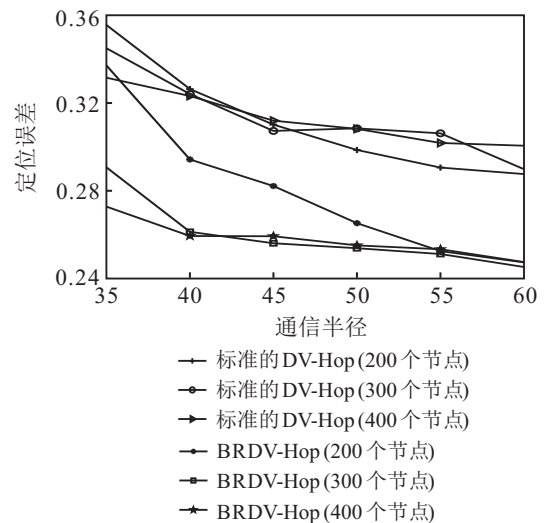


图 3 通信半径变化

图 4 为在通信半径 $R = 40$ m 和信标节点密度 $N_r = 0.3$ 时, 总节点的个数与定位误差的关系。

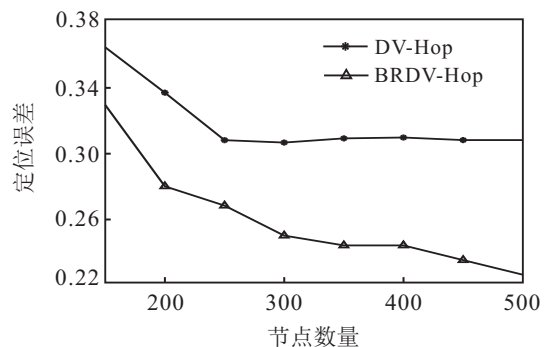


图 4 总节点变化

由图4可见, BRDV-Hop算法的定位节点误差逐渐下降, 但是DV-Hop算法在总节点为300后, 定位误差曲线的斜率趋于0, 处于稳定状态. 从整体上看, BRDV-Hop算法有更小的定位误差.

4 结论

本文在DV-Hop的基础上, 提出了一种改进的算法——BRDV-Hop算法. 从未知节点到信标节点之间的距离出发, 对其进行误差修正. 通过仿真可以验证, BRDV-Hop算法比标准的DV-Hop算法有明显的优势. 本文改进的算法中, 有两个内容可以继续研究: 1) 将距离小于通信半径的两个节点之间的跳数定义为1跳, 这样两个节点之间的距离如果为 $R/4$ 、 $R/2$ 、 $7R/8$, 则跳数都是1跳, 表明跳数没有和距离构成一个一一对应的关系, 跳数并不能反映出节点之间的距离; 2) 在BRDV-Hop算法的第3阶段, 建立的是一个线性方程组, 用共轭梯度法解决, 是否会提高节点的定位精度.

参考文献(References)

- [1] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868.
(Wang F B, Shi L, Ren F Y. Self-Localization systems and algorithms for wireless sensor networks[J]. J of Software, 2005, 16(5): 857-868.)
- [2] 周小波, 乔钢柱, 曾建潮. 无线传感器网络中基于RSSI的加权DV-HOP定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(14): 109-111.
(Zhou X B, Qiao G Z, Zeng J C. RSSI based weighted DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(14): 109-111.)
- [3] Luthy K A, Grant E, Henderson T C. Leveraging RSSI for robotic repair of disconnected wireless sensor networks[C]. IEEE Int Conf on Robotics & Automation. IEEE, 2007: 3659-3664.
- [4] 刘锋, 章登义. 基于RSSI的无线传感器网络质心定位算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(6): 96-98.
(Liu F, Zhang D Y. RSSI-based centroid location in wireless sensor networks[J]. Computer Science, 2012, 39(6): 96-98.)
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system(APS)[C]. Global Telecommunications Conf. IEEE, 2001, 5: 2926-2931.
- [6] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks[J]. Telecommunication Systems, 2003, 22(13/14): 267-280.
- [7] Tomic S, Mezei I. Improvements of DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Telecommunication Systems, 2015, 61(1): 1-14.
- [8] Jang M S, Kim B C, Kim P S, et al. A study on the localization algorithm using RSSI and directional antennas between sensor nodes for the DV-Hop algorithm[M]. Advances in Computer Science and Ubiquitous Computing. Singapore: Springer, 2015: 465-470.
- [9] Kumar S K, Lobiyal K D. Improvement over DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. World Academy of Sciences, Engineering and Technology, 2013, 76: 282-292.
- [10] Zhang B, Ji M, Shan L. A weighted centroid localization algorithm based on DV-hop for wireless sensor network[C]. The 8th Int Conf on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM). IEEE, 2012: 1-5.
- [11] Zhang W, Yang X, Song Q. Improved DV-Hop algorithm based on artificial bee colony[J]. Int J of Control and Automation, 2015: 135-144.
- [12] Chen H, Sezaki K, Deng P, et al. An improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. J of Guangxi Academy of Sciences, 2010, 9(6): 2232-2236.
- [13] Kumar S, Lobiyal D K. An advanced DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Wireless Personal Communications, 2013, 71(2): 1365-1385.
- [14] Bing S, Jie X W. An improved algorithm based on dv-hop localization for wireless sensor network[J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2015, 220(9): 181-190.

(责任编辑: 郑晓蕾)