昆明学院学报 2016,38(3):102~107 CN 53-1211/G4 ISSN 1674-5639
Journal of Kunming University

基于跳数跳距修正的 DV-Hop 定位算法改进研究

王玉见[1],钱开国[2]
(1.昆明学院 信息技术学院,云南 昆明 650214;2.昆明学院 物理科学与技术系,云南 昆明 650214)

摘要:针对无线传感器网络 DV-Hop 定位算法定位误差较大,定位精度不高的问题,提出一种基于跳数跳距修正的 DV-Hop 定位改进算法.将接收到信号强度应用于节点间跳数计算及采用邻居节点的平均跳数代替未知节点到锚节点的跳数,对平均跳距进行修正和采用二维双曲线法对未知节点进行定位计算,减少定位误差,提高定位精度.仿真实验结果表明,本文算法比 DV-Hop 算法及原改进算法具有更低的定位误差,有效提高了定位精度.

关键词:无线传感器网络;DV-Hop 定位算法;节点定位;定位误差
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **文章编号**:1674-5639(2016)03-0102-06
DOI:10.14091/j.cnki.kmxyxb.2016.03.022

An Improved DV-Hop Localization Algorithm Based On Hops and Hopsize Correction

WANG Yu-jian[1],QIAN Kai-guo[2]
(1. College of Information Technology,Kunming University,Yunnan Kunming 650214,China;
2. Department of Physics Science and Technology,Kunming University,Yunnan Kunming 650214,China)

Abstract: Due to the big positioning error and low localization accuracy of the wireless sensor network DV-Hop localization algorithm, we provided an improved Distance-Vector-Hop (DV-Hop) localization algorithm, in which Received Signal Strength Indication (RSSI) is applied to hops calculation and average hop size is modified to improve the distance estimation precision. Then two-dimensional hyperbolic function is adopted to determine the locations of unknown nodes so as to decrease positioning error and increase localization accuracy. Simulation experiment result showed that the localization accuracy of proposed localization algorithm is better than DV-Hop and its' corresponding improved ones.

Key words: wireless sensor network (WSN);DV-Hop localization algorithm;node localization;positioning error

无线传感器网络(WSNs)是由部署在监测区域大量具有无线通信能力的传感器节点组成的数据采集系统,是物联网技术的底层数据获取手段[1].WSN 具有自组织、便捷部署、高容错等优势,使其在目标跟踪[2]、环境监测[3]、卫生健康[4]、智能家居[5]等领域具有广泛的应用前景,并引起了有关人员的广泛关注.在传感器网络应用中,位置信息至关重要,主要需考虑两个方面的因素:一是构成网络采集数据的上下文信息[6];二是传感器网络核心技术如路由算法、覆盖控制等技术的设计基础[7].目前,传感器网络节点定位方法分为基于测距的定位和无需测距的定位[8].基于测距的技术是指,通过测量出未知节点与锚节点的距离或方位,然后使用三边测量法计算出节点位置.而无需测距技术是利用网络连通特性来估计出未知节点到锚节点距离,进而计算出节点位置.无需测距技术定位精度通常没有基于测距的定位精度高,但无需测距的定位技术不需要硬件支持,实现成本较低,功耗较低.DV-Hop[9]是较经典的无需测距的定位算法,受到了研究人员的广泛关注.文献[10]在 DV-Hop 的基础上,通过实际距离和估计距离的误差来修正每跳平均距离,并采用双

收稿日期:2015-12-29
基金项目:昆明学院物联网应用技术科研创新团队基金资助项目(2015CXTD04);2014 年度云南省哲学社会科学规划资助项目(YB2014098);昆明市物联网及泛在工程技术中心开放课题基金资助项目(KMIOTKFKT2014003).
作者简介:王玉见(1975—),男,云南陆良人,讲师,主要从事物联网定位技术、地理信息系统研究.

曲线定位算法计算节点坐标,来提高定位精度. 文献[11]使用接收到的所有锚节点的跳距平均值来估计未知节点到锚节点的距离. 这两种算法虽然减少了节点定位误差,但在跳数估计上仍存在误差. LI[12] 在DV-Hop的基础上,提出了将未知节点的邻居锚节点作为主要参考节点完成未知节点定位,当锚节点比例较小,非共线邻居锚节点数小于 3 时,未知节点无法完成位置计算. QDV-Hop[13]定位算法利用二次规划方法减小定位误差,但增加了定位计算的复杂性. 本文在分析 DV-Hop 误差产生原因的基础上,对跳数、平均跳距及计算方法均进行了改进.

1　DV-Hop 定位算法

1.1　实现原理

在无需测距的定位算法中,DV-Hop[9] 因其简单的实现机制而受到广泛关注,它利用网络连通信息估计出未知节点到锚节点的距离,然后使用最小二乘法计算出未知节点位置,具体实现分为以下 3 个阶段.

1.1.1　节点间的跳数获取阶段

每个锚节点以节点的通信半径广播位置信息数据给邻居节点,该位置信息中除了锚点的序号 ID,以及位置坐标(x,y) 外,还有跳数 $hops$,初始化值为 0. 邻居节点接收该数据分组后,保存 1 份副本,并将跳数参数加 1,向其邻居节点以广播方式转发. 如果收到来自同一锚节点位置信息,则接收节点保留跳数 $hops$ 最小的数据. 通过位置信息泛洪通信方式未知节点获取了到所有锚节点的最小跳数 $hops$ 和锚节点的位置,而锚节点也保存了其他锚节点的位置信息和最小跳数 $hops$ 值.

1.1.2　平均跳距计算阶段

按公式(1) 计算锚点的平均跳距. 即

$$hopzise_i = \frac{\sum_{j=1,j\neq i}^{m} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j=1,j\neq i}^{m} hops_{ij}}, \tag{1}$$

式中:$hops_{ij}$ 是节点 i 到节点 j 的最小跳数;m 是网络中部署的锚点总数;x_i,y_i 是节点 i 的坐标;x_j,y_j 是节点 j 的坐标.

锚点将上式中的平均跳距 $hopzise_i$ 广播给邻居节点,通过节点存储转发,每个未知节点记录了自己到各个锚节点的最小跳数 $hops$ 和平均跳距 $hopzise$,然后用公式(2) 计算出未知节点到每个信标节点的距离.

$$d_{ki} = hopsize_i \times hops_{k\to i}, \tag{2}$$

式中:$hops_{k\to i}$ 是未知节点 k 到信标节点 i 的最小跳数值;$hopsize_i$ 是信标节点 i 估算的平均跳距.

1.1.3　未知节点位置确定阶段

未知节点利用最小二乘法按公式(3) 计算自身的位置坐标,假设未知节点 p 的坐标为(x,y),锚节点的坐标为(x_i,y_i),未知节点 p 到锚节点 i 的距离为 d_i,共有 m 个信标节点,则有:

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

将公式(3) 线性化,则有:

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

令
$$A = \begin{pmatrix} 2(x_1 - x_m) & 2(y_1 - y_m) \\ 2(x_2 - x_m) & 2(y_2 - y_m) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_{m-1} - x_m) & 2(y_{m-1} - y_m) \end{pmatrix}, \tag{5}$$

$$B = \begin{pmatrix} x_1^2 + y_1^2 - x_m^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_1^2 \\ x_2^2 + y_2^2 - x_m^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_2^2 \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ x_{m-1}^2 + y_{m-1}^2 - x_m^2 - y_m^2 + d_m^2 - d_1^2 \end{pmatrix}, \tag{6}$$

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}. \tag{7}$$

则有：

$$X = (A^T A)^{-1} A^T B. \tag{8}$$

根据公式(8) 可计算未知节点坐标.

1.2 DV-Hop 误差

分析上述 1.1 节 DV-Hop 实现原理,其误差主要来源于以下两个方面.

1.2.1 跳数 *hops* 误差

在节点跳数获取阶段,锚节点以通信半径 R 广播位置信息,收到该广播信息的节点跳数均计数为 1 跳. 如图 1(a) 所示. 图中未知节点 A 和 B 在锚节点 S 的通信范围内,都接收到 S 的跳数广播信息,然后把跳数 *hops* 计算为1 跳. 未知节点 C 虽然靠近锚节点 S 通信范围的边缘,但接收不到 S 的跳数广播信息,*hops* 计数为 2 跳. 而未知节点 A 靠近锚节点 S,位置接近,$hops_A$ 被计数为 1 跳. 未知节点 B 和 C 位置接近,$hops_B$ 被计数为 1 跳,$hops_C$ 被计数为 2 跳,说明这种跳数误差较大.

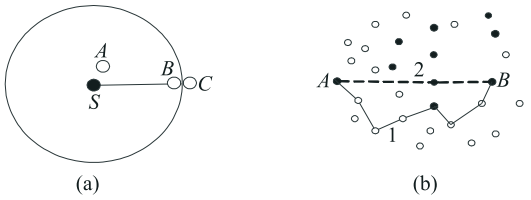

图1 跳数*hops*误差分析图

1.2.2 平均跳距误差

如图 1(b) 所示,锚节点间的跳数路径严重偏离直线路径时,采用公式(1) 计算的平均跳距误差比较大,用来作未知节点到锚节点的距离估计时误差也比较大. 其次,在未知节点定位时,采用最小二乘法,距离估计存在二次项,也会引入较大定位误差.

2 跳数跳距修正的 DV-Hop 定位算法

根据 DV-Hop 产生误差的原因,本文改进的 DV-Hop 算法利用接收节点接收到的 RSSI 信号强度来判定跳数取值,再按照公式(1) 计算平均跳距,并采用锚节点间真实距离和估计距离差值来修正平均跳距,使用邻居节点平均跳数作为自己的跳数来估计未知节点到锚节点距离,然后利用双曲线定位方法完成定位.

2.1 跳数 *hops* 修正

在无线传感器网络的通信中,采用无线电进行数据广播,接收信号强度 RSSI 是传输功率衰减和传输距离之间的函数,理想条件下衰减模型[6] 如公式(9) 所示：

$$PL(d) = PL(d_0) - 10n\lg(\frac{d}{d_0}), \tag{9}$$

式中:$PL(d)$ 是距离发射机 d 处的信号强度;$PL(d_0)$ 是距离发射机 d_0 处的信号强度;n 是信道衰减指数;d_0 是参考距离,即发射机和接收机之间的距离.

在传感器网络节点中,加装接收信号强度指示(RSSI) 模块,用来分析接收信号的强度,将设置为 $R/2$ 时,用公式(9) 计算出 $PL(d)$ 值记为 M,将其设置为 RSSI 的信号判定阈值. 当未知节点收到周围锚节点发送的数据包时,如果 RSSI 值大于设定的信号阈值 M,则该节点到锚节点的跳数 *hops* 为 0.5 跳. 如果小于该阈

值,$hops$ 计数为 1 跳. 然后采用和 DV-Hop 相同的跳数泛洪通信方法,所有节点均保存了到其他节点的经过修正的最小跳数值.

2.2　跳距修正

每个锚节点 i 按照公式(1) 计算平均跳距,并将自身计算的平均跳距 $hopsize_i$ 以泛洪方式广播给全网节点. 其他锚节点利用公式(10) 计算出自己到锚节点 i 的估计距离.

$$d_{e_{j\to i}} = hopsize_i \times hops_{j\to i}, \tag{10}$$

式中:$d_{e_{j\to i}}$ 是锚节点 j 到锚节点 i 的估计距离;$hopsize_i$ 是信标节点 i 估算的平均跳距;$hops_{j\to i}$ 是锚节点 j 到锚节点 i 的最小跳数值.

然后,每个锚节点 i 按公式(11) 计算出平均每跳距估计误差.

$$e_i = \frac{\sum_j d_{est} - d_{ture}}{\sum_j hops_{j\to i}}, \tag{11}$$

式中:e_i 是平均距离估计误差;d_{est} 是锚节点 j 的估计距离;d_{ture} 是锚节点 j 的实际距离.

最后,按公式(12) 完成平均跳距修正.

$$hopsize_i = hopsize_i + e_i, \tag{12}$$

式中:$hopsize_i$ 是平均跳距修正值;e_i 是平均距离估计误差.

2.3　未知节点定位

每个未知节点 u 首先统计自己的 1 跳邻居节点的距离锚节点 i 的最小跳数,然后用邻居节点的跳数均值来作为自己到锚节点 i 的最小跳数 $hops_{ui}$. 利用公式(13) 完成自己到锚节点 i 的距离估计.

$$d_{ui} = hopsize_i \times hops_{ui}, \tag{13}$$

式中:d_{ui} 是未知节点 u 到锚节点 i 的距离;$hopsize_i$ 是锚节点 i 的修正后的平均跳距;$hops_{ui}$ 是未知节点 u 到锚节点 i 的最小跳数.

当计算出到 3 个以上锚节点距离后,设未知节点 u 的位置为$(x_u,,y_u)$,锚节点 i 的位置为(x_i,y_i),采用二维双曲线定位方法,计算过程如下:

$$(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 = d_{ui}^2. \tag{14}$$

如果参与定位的锚节点数为 n,则有:

$$\begin{cases} -2x_1 x_u - 2y_1 y_u + x_u{}^2 + y_u{}^2 = d_{u1}{}^2 - x_1{}^2 - y_1{}^2, \\ -2x_2 x_u - 2y_2 y_u + x_u{}^2 + y_u{}^2 = d_{u2}{}^2 - x_2{}^2 - y_2{}^2, \\ \quad\vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \qquad\qquad\qquad \vdots \\ -2x_n x_u - 2y_n y_u + x_u{}^2 + y_u{}^2 = d_{un}{}^2 - x_n{}^2 - y_n{}^2. \end{cases} \tag{15}$$

令

$$A_i = x_i^2 + y_i^2, B_u = x_u^2 + y_u^2, Z = [x_u, y_u, B]^T,$$

$$G = \begin{pmatrix} -2x_1 & -2y_1 & 1 \\ -2x_2 & -2y_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -2x_n & -2y_n & 1 \end{pmatrix},$$

$$H = \begin{pmatrix} d_{u1}^2 - A_1 \\ d_{u2}^2 - A_2 \\ \vdots \quad \vdots \\ d_{un}^2 - A_n \end{pmatrix}.$$

则公式(15) 的矩阵表达式为:

$$GZ = H. \tag{16}$$

Z 的计算公式为：

$$Z = (G^T G)^{-1} GH. \tag{17}$$

未知节点 u 的位置坐标为：

$$(x_u, y_u) = (Z(1), Z(2)). \tag{18}$$

3 实验结果与分析

在 MATLAB R2012a 中，在 100 m × 100 m 的任务区域投放 300 个传感器节点，传感器节点在任务区域呈随机分布，实验拓扑如下图 2 所示. 对比验证本文算法、DV-Hop 算法和文献[10]算法的定位性能，研究部署锚节点比例和通信半径对定位精度的影响. 实验从整体网络的平均相对定位误差比较 3 种算法的定位性能，平均相对定位误差按公式(19)定义.

$$ARPE = \frac{\sum_i \frac{\sqrt{(\hat{x}_i x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)}}{r}}{n}, \tag{19}$$

式中：$\hat{x}_i$，$\hat{y}_i$ 是无线传感器网络节点 i 的估计位置坐标；x_i，y_i 是节点 i 的实际坐标；r 是传感器节点的无线通信半径；n 定位节点数.

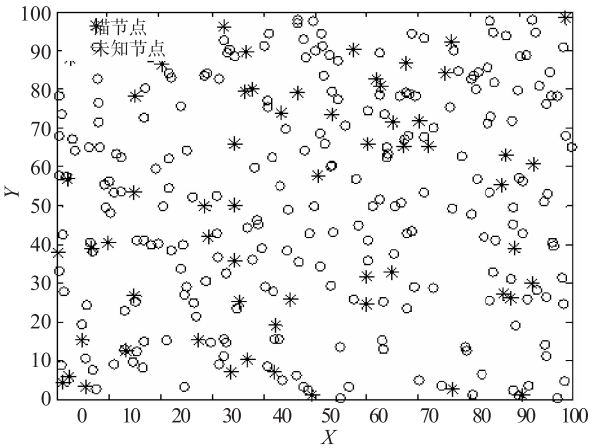

图2 实验网络拓扑结构

3.1 锚节点比例对定位误差的影响

将锚点比例设置为 10%，20%，30%，40%，50%，60% 条件下，平均相对定位误差如下图 3 所示. 结果表明，本文改进后的算法平均相对定位误差最小，文献[10]算法次之，DV-Hop 算法最大. 且本文改进算法的定位误差受锚节点部署数量影响较小.

3.2 通信半径对定位误差影响

将传感器网络节点的通信半径设置为 10，15，20，25，30，35 m 时，可得到 3 种算法的平均相对定位误差，见图 4.

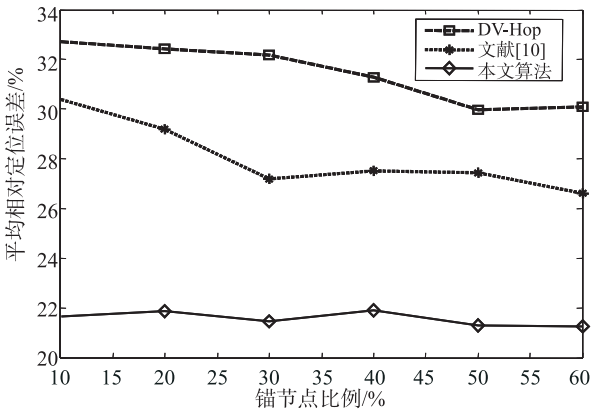

图3 不同锚节点比例下的平均定位误差结果

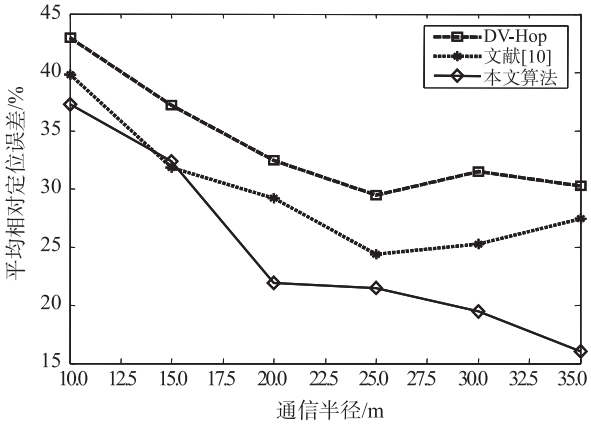

图4 不同通信半径下的定位误差

从图 4 可以看出，总体上随着通信半径的增加，平均相对定位误差降低. 在相同通信半径下，本文改进算法的平均相对定位误差小于 DV-Hop 算法和文献[10]算法.

综上所述，两个实验结果均说明，本文算法定位误差与 DV-Hop 算法及其改进算法相比则更小，且具有更好的定位性能.

4 小结

本文将传感器网络节点在广播无线电信号时的强度信号 RSSI 应用于无线传感器网络的跳数判定中,修正了节点间的跳数,同时利用锚节点间的估计距离和实际距离差修正平均跳距,以及采用双曲线定位方法来提高距离估计精度和减小定位误差.

[参考文献]

[1]LIU Q,HUANG X H,LENG S P. Deployment strategy of wireless sensor networks for internet of things[J]. China Communications,2011,8(8):111 -120.

[2]VIANI F,ROCCA P,OLIVERI G,et al. Localization,tracking,and imaging of targets in wireless sensor networks:an invited review[J]. Radio Science,2011,46(5):1 -12.

[3]MITTAL R,BHATIA M P S. Wireless sensor networks for monitoring the environmental activities[J]. Computational Intelligence and Computing Research,2010,53(4):1 -5.

[4]ALEMDAR H,ERSOY C. Wireless sensor networks for healthcare: a survey[J]. Computer Networks,2010,54(15):2688 -2710.

[5]YANG H J,YANG L L,YANG S H. Hybrid Zigbee RFID sensor network for humanitarian logistics centre management[J]. Journal of Network and Computer Applications,2011,34(3):938 -948.

[6]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 -867.

[7]王小平,罗军,沈昌祥. 无线传感器网络定位理论和算法[J]. 计算机研究与发展,2011,48(3):353 -363.

[8]MESMOUDI A,FEHAM M,LABRAOUI N. Wireless sensor networks localization algorithms:a comprehensive survey[J]. International Journal of Computer Networks & Communications,2013,5(6):45 -64.

[9]DRAGO S,BADRI N. DV based positioning in Ad Hoc networks[J]. Telecommunication Systems,2003,22(1):267 -280.

[10]石为人,贾传江,梁焕焕. 一种改进的无线传感器网络 DV-Hop 定位算法[J]. 传感技术学报,2011,24(1):83 -87.

[11]HOU S, ZHOU X,LIU X. A novel DV-Hop localization algorithm for asymmetry distributed WSNs[J]. Computer Science and Information Technolog,2010,4:243 -248.

[12]LI Y Y. Improved DV-Hop localization algorithm based on local estimating and dynamic correction in location for WSNs[J]. International Journal of Digital Content Technology and its Applications,2011,5(8):196 -202.

[13]KUMAR S K,LOBIYAL D K. Improvement over DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. World Academy of Science,2013,7(4):235 -24.

(上接第 91 页)

[参考文献]

[1]邓华凤,何强,舒服,等. 中国杂交粳稻研究现状与对策[J]. 杂交水稻,2006,21(1):1 -6.

[2]褚庆全,齐成喜,杨飞,等. 我国杂交粳稻发展现状、问题及其对策[J]. 作物杂志,2005(1):9 -12.

[3]黄殿成,梁奎,孙程,等. 杂交粳稻亲本米质性状优异配合力的标记基因型鉴定[J]. 作物学报,2011,37(3):405 -414.

[4]赵全志,李梦琴,刘慧超,等. 粳稻品质与株型的关系研究[J]. 河南农业大学学报,2003,37(1):13 -17.

[5]葛国科,张志,石春海,等. 稻米直链淀粉和蛋白质含量对糙米重与外观品质性状间遗传相关性的影响[J]. 中国水稻科学,2007,21(1):44 -45.

[6]周军,邹小云,周瑶敏. 滇型杂交水稻产量及其相关性状的配合力及遗传分析[J]. 江西农业学报,2008,20(12):20 -23.

[7]赵菊,朱旭东,严钦泉,等. 不同细胞质类型杂交水稻产量及农艺性状杂种优势分析[J]. 作物学报,201,25(5):425 -430.

[8]孙建昌,马静,杨生龙,等. 粳稻粒性对其产量及主要农艺性状的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(9): 50 -53.

[9]聂呈荣,温玉辉,王蕴波,等. 优质稻株的农艺性状与稻米品质关系的研究[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版),2001,19(4):11 -14.

[10]刘金波,宋兆强,王宝祥,等. 几个新选杂交水稻不育系和恢复系的主要农艺性状的配合力分析[J]. 西南农业学报,2016,29(2):209 -213.