

基于跳数修正和跳距调整的 DV-Hop 定位改进算法

吴楠^{1,2}, 刘方爱^{1,2}, 王淑娴^{1,2}

(1 山东师范大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250014;

2 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室, 山东 济南 250014)

摘 要: 针对 DV-HOP 算法定位精度不高、对网络拓扑要求较高的缺点, 提出一种新的改进算法, 主要做了以下三个方面的工作: 利用基于测距的 RSSI 方法对跳数信息进行调整; 通过剔除远距离的信标节点从而减少了因路径上跳数过多所造成的误差积累; 通过加权处理各信标节点的平均跳距来得到定位节点平均跳距。仿真结果表明, 在不增加额外硬件开销的前提下, 算法的定位精度有了明显提高, 是一种可行的无线传感器节点定位解决方案。

关键词: 传感器网络; 节点定位; RSSI; 权值

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)01-0091-05

Algorithm for Locating Nodes in WSN Based on Modifying Hops and Hopping Distances

WU Nan^{1,2}, LIU Fang-ai^{1,2}, WANG Shu-xian^{1,2}

(1 School of Information Science and Engineering, Shandong Normal University, Jinan 25001; China;

2 Shandong Provincial Key Laboratory for Novel Distributed Computer Software Technology, Jinan 250014, China)

Abstract: Aiming at the poor positioning accuracy and the higher requirements for network topology of DV-HOP algorithm, nodes, an improved DV-HOP algorithm is proposed, mainly in the following three aspects: The ranging based RSSI method were used to adjust the number of hops; By removing the remote beacon node we can reduce the accumulation of errors caused by the excessive number of hops on one routine; Based on the method of weighting processing hop-distance of each beacon node, the estimated average hop-distance which upon location information will be improved. Simulation results show that the positioning accuracy of the algorithm has been significantly improved without additional hardware overhead. It is a feasible node localization solutions of wireless sensor network.

Key words: WSN; locating nodes; RSSI; weight

1 引言

无线传感器网络已被广泛地运用于野外监控、病房监护以及交通控制等多个领域^[1]。作为无线传感器网络中的关键技术, 节点定位技术使得获取各传感器节点所在位置成为可能, 进而可以确认监测数据的发生地点, 是大多数 WSN 应用的基础。

依据距离测量与否, 可以将定位技术划分为测

距算法和非测距算法。出于对传感器网络的寿命、功耗、硬件需求等各方面的综合考虑, 现阶段将更多地注意力集中于非测距算法的研究。

其中, DV-Hop 定位算法^[2]是一种常见的无需测距定位算法, 在实现上主要依赖于距离矢量路由协议定位, 在向同性的密集网络中有较为广泛的应用。根据仿真试验: 在随机分布的各向同性网络中, 其平均定位精度可以达到 33%, 这对于 WSN 定位

收稿日期: 2014-03-23; 修回日期: 2014-04-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(90612003); 山东自然科学基金项目(ZR2013FM008); 山东省科技发展计划项目(2011GGH20123)

应用显然不够理想^[3].

近年来,已有很多相关人员针对该算法进行了大量的相关研究,通过计算锚节之间实际距离和估计距离的误差来修正平均单跳距离,达到了较好的效果^[4];使用了 RSSI 距技术引入 DV-Hop 之中,通过对跳距或跳数的修正提高了定位精度^[5-8];基于节点之间的连通性差异提出了 CDADV-Hop 算法,根据最终估计位置的信标节点跳距来提高定位精度^[9];利用通信半径对跳数进行了修正,以此减少了误差范围^[10];将全局寻优方面性能优异的人工蜂群算法使用到 DV-Hop 算法的设计中,可以得到更加合理的每跳距离,同时具有较快的收敛速度^[11].

以上算法在增加了通讯量和算法复杂度的前提下,在一定程度上提高了 DV-Hop 算法的定位精度,但对节点的网络拓扑依赖性较强.本文从跳数修正和跳距调整等方面对该算法做了进一步的探究,将 RSSI 作为距离的比征引入来修正跳数,剔除长距离信标节点的干扰,并对平均单跳距离进行加权处理,通过仿真,比较验证了改进方案的性能.

2 DV-Hop 算法介绍

2.1 经典 DV-Hop 算法

DV-Hop 算法包括 3 个步骤.

(1)通过距离矢量交换协议,信标节点向全网络洪泛发送含有自身坐标位置信息的分组 $\{(x, y), \text{Minihop}\}$. 其中, (x, y) 为信标节点的空间坐标; Minihop 为接收节点与信标节点之间间隔的最小跳数信息,其可以随元组的传播而动态增大,但各接收节点只保存该值最小的分组.这样,就使其他所有节点均可得到自身距离信标节点的最小跳数信息及其位置信息.

(2)根据以上所得信息,信标节点可计算自身的平均单跳距离 C_i :

$$C_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} \text{Minihop}_{(i,j)}} \quad (1)$$

式中, j 为信标节点 i 所维护数据表中所有的其他信标节点, (x_i, y_i) 、 (x_j, y_j) 为两信标节点的实际坐标.将 C_i 以洪范的方式进行广播,未知节点仅接收并转发第一次接收的平均单跳距离,再根据记录的信标节点与未知节点之间的跳数值 hops ,计算到每个信标节点的距离,任意未知节点 i 到任意信标节点 j 的距离 d_{ij} :

$$d_{ij} = C_i \times \text{hops} \quad (2)$$

(3)未知节点根据第二步中所得信标节点的距离,通过三边测量法计算出自身的位置坐标.

2.2 DV-hop 算法分析

DV-Hop 位精度不高,受网络拓扑状况影响较大,还有很诸多方面需要改进^[3].

传统的 DV-Hop 算法不需要进行直接测距,而是利用某信标节点的平均单跳距离来代替未知节点平均单跳距离.对于节点密度较大的各向同性的密集网络来说,这种平均跳距的获取是较为可信的,可以实现较高的定位精度,如图 1(a)所示;但在节点密度较为稀疏的网络拓扑中,不同节点之间的路径轨迹往往不在一条直线上,会给平均单跳距离的计算带来困难,进而影响最终的定位结果,如图 1(b)所示.因此,运用相同的平均跳距去估计节点间的距离还不够合理,是 DV-hop 算法应用的主要瓶颈.

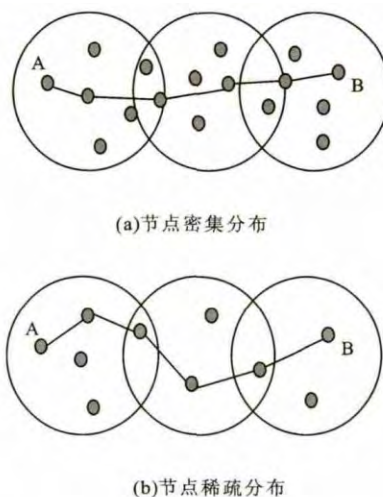


图 1 路径轨迹与节点稀疏度间的关系图

图 2 所示是信标节点 A 与信标节点 D 之间的最短路径,其每跳距离均不相同,其中第二跳的距离接近实际值,但用传统 DV-Hop 定位算法计算信标节点间的跳数间隔时仍然记为 3 跳,而最后一跳距离的过大会影响到全局的稳定性,同样会对 DV-hop 算法的定位精度造成影响.

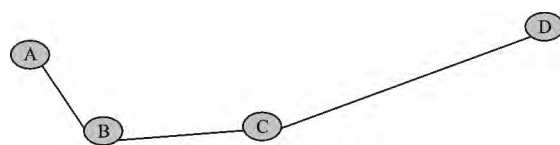


图 2 特殊节点对单跳距离的影响

3 改进的 DV-hop 算法

DV-Hop 算法在节点随机分布的网络拓扑环境

中性能受限,需要对其进行改进,本文主要从 3 个方面着手:(1)将 RSSI 作为距离的比征引入,用路径上节点收到信号的 RSSI 值之间的比值作为相应权值来修正跳数;(2)剔除长距离信标节点的干扰,以进一步减小定位误差;(3)未知节点对其所接收各信标节点的单跳距离进行加权调整,使其能够更好地反映全网平均状况。

3.1 基于 RSSI 值的跳数修正

由于 DV-Hop 算法并未考虑到单跳距离这个因素,在进行跳数统计时将跳距长短不一的每一跳均视为等价,故而会存在较大误差。RSSI 技术的出现为我们提供了新的思路,可以将传输信号的强度作为比征值引入,从而对跳数信息进行修正。

RSSI 技术是一种对硬件要求相对较高的定位技术,其利用 RSSI 信号在传递过程中的衰减特性来进行距离估算。其传输的距离越远,在接收端得到的信号就越弱;传输的距离越近,接收端得到的信号也会越强。其路径耗散函数如下:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \ln \frac{d}{d_0} \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (3)$$

式中, $PL(d)$ 为与距离 d 相关的路径损耗,其单位是 dB; d_0 为从发射端附近测量的一个参考距离; n 为路径损耗指数,表明耗散函数跟传输距离 d 之间的关系。从式(3)中可以得出,路径耗散值与距离呈正比例关系,且增长方式为指数型增长。

RSSI 值可以用来表示 wsn 中节点所接收到通信信号的强度,而该值可以从节点芯片的寄存器中直接读取。充分利用这一点,我们可以对 DV-Hop 算法中节点间的跳数信息进行有效修改。该方法无需经过式(3)中复杂的 RSSI 距离转换,而是直接利用路径中每一节点读取的 RSSI 信号强度来构造修正系对跳数进行修正,具体如下:

(1)信标节点向全网络 Flooding 发送一个元组 $\{\text{Mark}, (x, y), \text{RSSIHops}, \text{RSSIfirst}\}$, Mark 为起始节点代码; (x, y) 是起始节点的空间坐标; RSSIHops 是加权修正后的跳数和,其初值为 0; RSSIfirst 为信标节点的首个邻居节点接收到该元组时的信号强度,作为权值的分母而存在;其中 RSSIHops 和 RSSIfirst 初值为 0。

(2)当信标节点的直接邻居节点接收到该元组时,将 RSSIfirst 置为其接收该元组时的 RSSI 值, R 为接收节点收到该元组时的通信息号强度,据此可以得到本次操作的加权跳数: $H' = R/\text{RSSIfirst}$,更新元组中的 RSSIHops 值: $\text{RSSIHops} = \text{RSSIHops}$

$+ H'$,并将这个元组继续转发;当其非直接邻居节点接收到该元组时, RSSIfirst 值不变,重新计算 RSSIHops 值后继续转发。

经过以上步骤,原始的跳数信息将被 RSSI 加权校正后的跳数 RSSIHops 所取代。

3.2 信标节点的筛选

在 DV-Hop 算法中,由式(1)得出的平均跳距只是一个均值,用该均值乘以加权跳数所得的节点间距离是有偏差的,当未知节点与信标节点之间间隔的跳数增大时,误差的累积会使得这种偏差更为严重。跳数间隔越多,定位精度就会相对越低。因此,未知节点在进行自身定位时,应该尽量降低长距离信标节点的干扰。已知未知节点距离某信标节点的最小跳数 RSSIHops_{jk} ,则其到所有信标节点平均跳数 H_j 如式(4)所示:

$$H_j = \sum_{k=1}^N \frac{\text{RSSIHops}_{jk}}{N} \quad (4)$$

式中, RSSIHops_{jk} 为未知节点 j 到信标节点 k 的最小加权跳数, N 为未知节点 j 所能到达的信标节点总数目,将 H_j 广播到网络中,使所有未知节点获得这一跳数信息。当某信标节点与未知节点间的跳距 RSSIHops_{jk} 大于收到的平均跳距 H_j 时,则剔除长距离信标节点 k 的信息,其后根据仍然保留的信标节点信息来进行定位计算。

3.3 权值设置与平均跳距的调整

在计算待定位节点到信标节点的距离时, DV-Hop 算法需要用到平均单跳距离,而其使用的平均单跳距离源自距离自己最近的信标节点,这样并不能反映整个传感器网络的总体跳距状况。为了更好地解决这个问题,可以对多个信标节点测得的平均单跳距离进行综合考虑,引入更合理的算法机制来估算平均单跳距离。

假设 C_i 为待定位节点接收到的信标节点 i 的平均单跳距离; N_i 为待定位节点与信标节点 i 之间间隔的跳数,其中各跳数最大值记为 m ,然后求各 C_i 所对应的权值 W_i :

$$W_i = \frac{m - N_i + 1}{\sum_{i=1}^n N_i} \quad (5)$$

C_i 所被赋予权值的大小与距离的远近呈反比例关系,这样使得距离待测节点较近的信标节点对平均单跳距离有着更大的影响,进而合理区分了各信标节点对平均跳距的贡献程度。

根据式(5)中得出的权值 W_i ,可以得出待定位节点的平均跳距值 S :

$$S = \sum_{i=1}^n W_i C_i \quad (6)$$

公式(6)利用与距离有关的权值 C_i 对信标节点的平均跳距进行了加权处理,综合考虑了网络中各信标节点的跳距状况,使待测节点中平均跳距的计算变得更加合理。

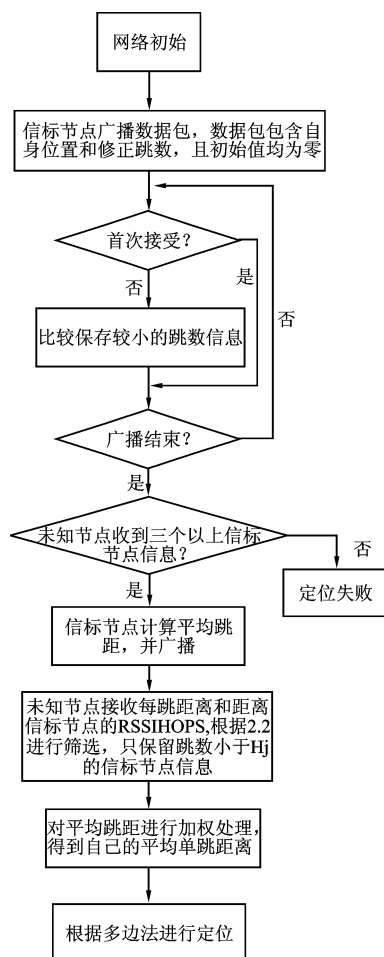


图3 改进后的算法

3.4 算法流程

4 实验与性能仿真

为了对改进后算法的性能进行验证,我们基于 Matlab 7.0 对算法进行了仿真实验,由于我们并不能通过仿真软件得到精确的 RSSI 值,因此可以使用欧氏距离 ED 来进行替换。

通过本文中改进算法可以算得待测节点的空间坐标值,但其与待测节点实际位置之间肯定会存在偏差,我们可以用两者之间的直线距离除以其通信半径来表示误差值 Error,如式(7)所示:

$$\text{Error} = \frac{\sum_m \sum_n \sqrt{(X_i - x_i)^2 + (Y_i - y_i)^2}}{R \times n \times m} \times$$

$$100\% \quad (7)$$

式中,Error 表示经仿真实验测得的平均相对定位误差, (x_i, y_i) 为经改进算法计算所得的坐标, (X_i, Y_i) 为节点的实际坐标, n 为定位节点的个数, m 为仿真次数。为了避免由于节点随机分布而造成的不稳定性,在相同的情景下重复试验 100 次并取平均值。

仿真实验是固定在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的网络区域内进行的,将传感器的通信半径设置为 $R=24 \text{ m}$ 。在此基础上,我们共设置了两种实验场景:场景一是在该网络区域内随机生成 100 个传感器节点,部分节点是信标节点,能够获知自身的位置坐标;其他节点的位置需要通过本文算法来得到,改变信标节点所占比率,由 0.05 逐渐提高到 0.30。算法的性能通过平均相对定位误差来呈现的,平均相对定位误差如式(7)所示;在情景二中,我们将信标节点的数目固定为 10,但改变节点总数,分别设置为 100、150、200、250、300、350 和 400,其他参数设置相同。在这两种情景下分别对不同算法的进行比较,算法的仿真结果是在 100 次实验基础上所求得平均值,并将计算结果与传统 DV-HOP 算法、跳数加权改进算法^[12]进行比较,比较结果如图 4 和图 5 所示:

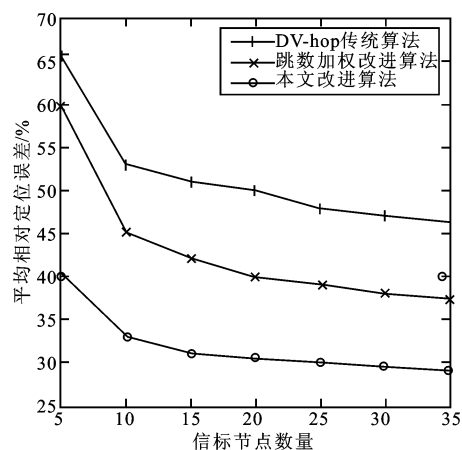


图4 平均定位误差随信标节点数量的变化图

从图4中可以看出:随着信标节点数量的增加,未知节点便可以得到更多用于定位的参考信息,两种算法的定位误差持续减小,且下降趋势较为明显。当信标节点所占比率开始超过 20% 时,定位误差开始趋于平缓。总体来看,本文所提算法较文献^[12]中的跳数加权算法有了明显的提升,在定位精度上有 30% 至 42% 的改善。其中,当节点数为 350 时,定位精度提高了 41.2%,定位精度提高尤其明显。这主要是因为网络区域不变的情况下,随着信标节点比率的上升,各信标节点之间以及未知节点和信标

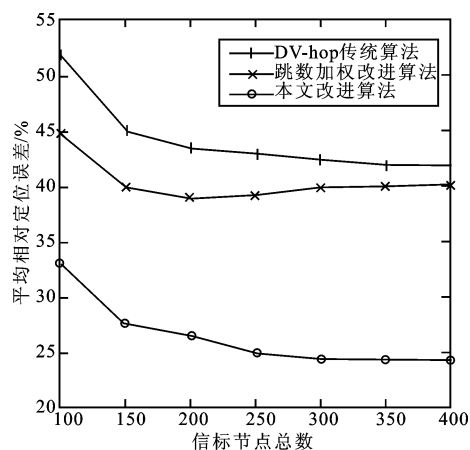


图5 平均定位误差随节点总数的变化图

节点之间间隔的跳数都会随之减小,从而避免了由多跳路由所引起的误差积累,平均单跳距离的计算会变得更加精确,最终的定位精度也会得到相应改善。

节点密度的不同会导致节点的定位精度变化很大,从而影响节点的定位性能。图5给出了本文所提算法在节点总数从100变化为300情况下的节点定位误差变化情况,从中可以看出,当节点总数为100时,本文改进算法的平均定位误差为33.2%,较其他两种算法分别降低了26.6%和36.5%,在定位精度上有了较大程度的改进。而随着节点总数不断增加,定位误差也随之减少,在150至300的区间内,曲线变的相对平缓。这是由于随着节点密度增大,节点之间的通信有更好的路由选择,通信路径中各节点的轨迹便会更接近一条直线,但在节点密度达到一个度之后,节点间的路由选择已不能继续被优化,路由选择也并不一定会随之改变,路径轨迹会相对稳定,定位误差也会相对稳定。

5 结束语

本文通过对传统DV-Hop算法定位过程的分析,针对其应用于节点随机分布的网络拓扑中时存在较大误差的问题,对算法分三个阶段进行了改进,即利用RSSI值对跳数进行调整的方法,剔除远距离的信标节点方法,对各信标节点的平均跳距进行加权处理的方法。仿真实验表明,相比于传统DV-Hop算法,本文在增加了少许计算量和通信开销的情况下,很大程度上提高了定位精度。在之后的工作中,我们会在控制定位误差的基础上,努力去减少计

算量,使改进算法有更好的应用价值。

参考文献:

- [1] 范敏,胡伟. 一种新的无线传感器网络定位算法研究[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(2): 138-141.
- [2] Shrawan Kumar, Lobiyal D K. An advanced DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks[J]. Wireless Pers Commun, 2003(17): 1365-1385.
- [3] Yunhao, Liu, Zheng. Location localization, and localization [J]. Journal of Computer Science & Technology, 2010, 25(2): 274-297.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 张爱清,叶新荣,胡海峰,等. 基于RSSI每跳分级和跳距修正的DV-HOP改进算法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(11): 2552-2559.
- [7] 任红建,朱玲玲,杨爱琴. 基于RSSI测距和DV-HOP误差修正的WSN节点定位[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(10): 2863-2866.
- [8] 杨祥,潘玮. 基于RSSI比值修正的无线传感器网络DV-Hop定位算法[J]. 传感器与微系统, 2013, 32(7): 126-128.
- [9] 李牧东,熊伟,郭龙. 基于人工蜂群算法的DV-Hop定位改进[J]. 计算机科学, 2013, 40(1): 33-36.
- [10] 肖丽萍,刘晓红. 一种基于跳数修正的DV-Hop定位算法[J]. 传感技术学报, 2012, 25(12): 1726-1730.
- [11] 郑吉平,张永平,赵国安,等. 基于节点间连通性差异的DV-Hop定位算法[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(6): 44-49.
- [12] 刘峰,张翰,杨骥. 一种基于加权处理的无线传感器网络平均跳距估计算法[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(5): 1222-1225.

作者简介:

吴楠 男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络. E-mail: 120202795@qq.com.

刘方爱 男, (1962-), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为分布式计算、传感器网络、P2P网络.

王淑娴 女, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为复杂网络、无线传感器网络.