

基于 RSSI 技术与模糊评价的 DV-Hop 改进算法

杨 祥^{1,2,3}, 刘美凤¹, 邓登腾¹

(1 桂林理工大学 信息科学与工程学院, 广西 桂林 541004; 2 桂林理工大学 博文管理学院, 广西 桂林 541006;
3 武汉理工大学 信息工程学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: DV-Hop 算法由于未考虑网络节点的分布情况而直接使用跳数信息和平均跳距估算节点间距离引入较大误差, 针对这一问题, 提出了一种基于 RSSI 技术和模糊评价的 DV-Hop 改进算法. 改进算法引入 RSSI 技术, 根据信标节点的信号强度基值对跳数进行重计算, 并以平均每跳距离对通信半径 R 的隶属度作为修正权值, 对未知节点所接收到的每跳距离进行加权修正, 同时, 设置数据包生存周期跳数限定网络数据包的传输距离, 提高定位算法的定位精度. 通过仿真验证改进算法的定位性能, 改进的定位算法能够降低节点间的跳数和距离估算误差, 提高算法的定位精度.

关键词: 无线传感器网络; DV-HOP 算法; 信号强度基值; 隶属度; 定位精度

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)02-0058-03

An Improved DV-HOP Algorithm Based on RSSI and Fuzzy Evaluation

YANG Xiang^{1,2,3}, LIU Mei-feng¹, DENG Deng-teng¹

(1 School of Information Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2 Bowen College of Management, Guilin University of Technology, Guilin 541006, China;

3 School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: Aiming at the high localization error of DV-HOP caused by the Hop size and Hop count in wireless sensor network of random distribution, a new localization algorithm based on RSSI technology and Degree of Membership to reduce the localization error is proposed. The RSSI technology was introduced to this localization algorithm, according to the signal strength value of the beacon nodes to recalculate the hop count, and the average hop distance pair to communication radius' degree of membership is acted as correction weights to modify the each hop distance of unknown nodes, at the same time, set life cycle of the hop count to limit the transmission distance of network data packets. The simulation result shows that the proposed algorithm can reduce the estimation error of hop count and hop distance between nodes and improve the localization precision.

Key words: wireless sensor networks; DV-HOP algorithm; signal strength value; membership degree; localization accuracy

1 引言

在无线传感器网络中, 很多获取的监测信息需要附带相应的位置信息, 只有得到了节点的位置信息, 节点间所传输的数据才有存在的意义^[1]. 在当前的定位算法研究中, 学者研究的热点多为 DV-

Hop 算法. 在 DV-Hop 算法的研究进展中, 一些研究使用了分级泛洪和跳数加权的方法^[2]、分布式协作的方法^[3]、使用 RSSI 值对跳数进行修正的方法、根据不同的跳段数采用不同的定位算法^[4], 在不同程度上改进了 DV-Hop 算法, 提高了节点的定位精度. 但是这些改进的算法需要额外的硬件支持^[2]或是

收稿日期: 2015-04-20; 修回日期: 2015-05-22

基金项目: 国家自然科学基金(61063001); 广西自然科学基金(2015GXNSFAA139294)

增加了节点的计算量^[4]. 本文通过引入 RSSI 技术和模糊评价中的隶属度概念对 DV-Hop 算法进行改进,在不添加额外硬件支持和在很小程度上增加节点计算量的条件下提高算法的定位性能,减少节点的定位误差.

在真实的物理环境中,无线传感器网络的网络拓扑是不均匀的,在 DV-Hop 算法中,节点在估算距离时是使用跳段与跳数的乘积作为两节点间的距离,将节点间的直线距离近似为曲线距离,该种距离估算方法对节点分布均匀,密度较大的网络来说,会取得较好的定位效果,但是对节点分布稀疏的网络则会造成较大的定位误差^[5].

2 DV-Hop 算法改进

本文在以前学者对 DV-Hop 算法进行改进的基础上,并针对其存在的问题,着力于提高定位算法的定位精度,探讨一种 DV-Hop 改进算法. 改进算法主要体现在平均跳距和跳数的修正两个方面.

2.1 基于 RSSI 的节点间跳数修正

信标节点在进行第一次广播时,以如下的数据包格式进行广播 {ID, (x, y), RSSI, RSSI(sum), Flag} 其中 ID 为信标节点的唯一编号, (x, y) 为信标节点的位置坐标, RSSI 为两节点间的信号强度值且每次转发时清零, RSSI(sum) 为从第零跳开始至接收点的信号强度累计值,初值为 0 且

$$\text{RSSI}(\text{sum}) = \text{RSSI}(\text{sum}) + \text{RSSI} \quad (1)$$

Flag 为标志位,可取值为空, 0 或 1, 初始值为 0. 邻居节点接收到数据包时,检查 Flag 值,若 Flag 值为 0,则改写 Flag 值为 1,若 Flag 值为 1,则在转发数据包之前清空 Flag 标志位,减少传感器节点间的通信能量消耗. 节点数据包内容更新后,继续将该数据包转发至其邻居节点,并重复上述更改过程,直至到达另一个信标节点. 如果同一个节点先后接收到了来自同一个信标节点的数据包,则舍弃 RSSI(sum) 值较小的数据包 (RSSI 值越大,则两节点间的距离越小,这与原算法中只接收最短跳数的数据包原则是一致的).

一次广播完成之后,每个节点完成记录与其连通的其他节点的 RSSI(sum) 值,而后每个信标节点通过查询自身快表信息,查询出 Flag = 1 的信标节点信息,并通过存储的 RSSI(sum) 值进行信号强度基值 $\text{RSSI}_{\text{basic}}$ 的计算,如式(2)所示.

$$\text{RSSI}_{\text{basic}} = \frac{\sum_{i=1}^m \text{RSSI}(\text{sum})}{m} \quad (2)$$

式中, $\text{RSSI}(\text{sum})$ 表示两信标节点间的 RSSI 值, m 为与信标节点 i 相连通的标记位 Flag = 1 的信标节点个数. 完成信号强度基值 $\text{RSSI}_{\text{basic}}$ 的求解之后,就可以根据式(3)进行信标节点间跳数 Hopnum' 的估算,

$$\text{Hopnum}_{ij}' = \frac{\text{RSSI}(\text{sum}_{ij})}{\text{RSSI}_{\text{basic } i}} \quad (3)$$

式中, $\text{RSSI}(\text{sum}_{ij})$ 表示信标节点 i 与 j 之间的 RSSI 值. 在信标节点完成与其他节点间的跳数估算后,可以根据式(4)进行平均跳距的计算.

$$\text{Hopsize}_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} \text{Hopnum}_{ij}'} \quad (4)$$

接下来对未知节点与信标节点间的跳数进行估算,首先计算出未知节点的信号强度基值 $\text{RSSI}_{\text{basic } u}$, 如式(5)所示,

$$\text{RSSI}_{\text{basic } u} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{RSSI}_{\text{basic } i}}{n} \quad (5)$$

式中, n 为参加每跳距离修正的信标节点个数, n 的取值大小由数据包生存周期跳数 Hop 决定^[6]. 在文献[7]中提出通信传输距离为 100 米时, 1 bit 消息的传输能量消耗大约相当于执行 3 000 条计算指令的耗能,因此设定数据包生存周期可以减少网络通信量,节省传感器节点的能量消耗. $\text{RSSI}_{\text{basic } i}$ 为未知节点所接收到的信标节点信号强度基值. 完成未知节点的信号强度基值 $\text{RSSI}_{\text{basic } u}$ 的计算之后,根据式(6)计算出未知节点与信标节点间的跳数即:

$$\text{Hopnum}_{ui} = \frac{\text{RSSI}(u)}{\text{RSSI}_{\text{basic } u}} \quad (6)$$

式中, $\text{RSSI}(u)$ 为未知节点与信标节点间的累积 RSSI 值. 到此,节点间的跳数修正就完成了,整个跳数修正过程没有出现高次方程求解,只有一些简单的比值及加和计算.

2.2 基于隶属度的平均每跳距离修正法(BDMHCM)

在当前 DV-Hop 算法的研究中,一些学者在对平均每跳距离进行加权校正时,是在平均每跳距离的自身上去修正加权^[8],虽然在一定程度上提高了算法的定位精度,但是实际上,对于受多种因素影响的事物来讲,从模糊性上来考虑会取得更好的效果,而在模糊评价中,隶属度起着至关重要的作用.

在本文的改进算法中,未知节点接收来自多个信标节点所广播的平均每跳距离信息. 未知节点以

接收到的 Hopsize 对通行半径 R 的隶属程度作为该 Hopsize 是否参加平均每跳距离修正的条件,并将该隶属度值作为平均每跳距离的修正权值,对未知节点所接收到的 Hopsize 进行加权修正,以此减小由平均每跳距离所引发的定位误差。

在使用BDMHCM修正法时,隶属度函数的确定是关键。未知节点接收到 Hopsize 之后,使用如下隶属度函数 $A(d_H)$ 对其进行加权修正,如式(7)所示,

$$A(d_H) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{R} (d_H - \frac{R}{2}), & 0 < d_H < R \\ 1, & d_H = R \\ 0, & d_H > R \end{cases} \quad (7)$$

式中, d_H 表示未知节点所接收到的信标节点传来的 Hopsize。平均每跳距离对通信半径 R 的隶属程度越大,即表示该平均每跳距离值越接近于通信半径 R ,那么该 Hopsize 值的估算就越精确,则其在未知节点的 Hopsize 计算中其将占据更大的权值。若平均每跳距离的值大于通信半径 R ,则其不具有参加平均每跳距离修正的机会。

为了更直观的描述平均每跳距离对通信半径 R 的隶属程度变化情况,根据式(7)仿真得到隶属度函数 $A(d_H)$ 曲线,如图1所示,通信半径 $R = 10$ 。

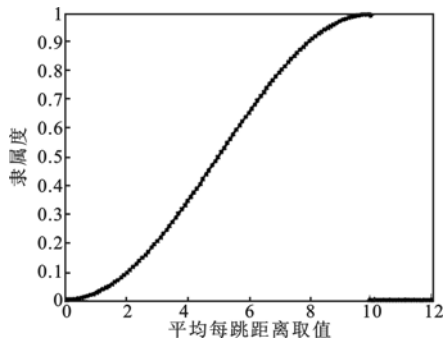


图1 通信半径 $R = 10$ 时隶属度随平均每跳距离变化值

从图1中可以直观看出平均每跳距离对通信半径 R 的隶属程度的变化趋势。在平均每跳距离值逐渐接近通信半径 R 的过程中,变化曲线呈现递增趋势,并会达到一个最大值1,而后,随着平均每跳距离的增加,隶属度会直接变为0,为了简述方便,平均每跳距离大于通信半径的取值范围取为 $(10, 12]$ 。

接下来就使用每个 Hopsize 对通信半径 R 的隶属度 $A(d_H)$ 对未知节点 u 的平均跳距进行修正,如式(8)。

$$\text{Hopsize}_u = \frac{\sum_{i=1}^n (A(d_H))_i \times \text{Hopsize}_i}{\sum_{i=1}^n (A(d_H))_i} \quad (8)$$

式中, $(A(d_H))_i$ 是信标节点 i 的 Hopsize 对 R 的隶属度, n 为未知节点接收到的信标节点个数, n 的取值大小由生存周期跳数 Hop 决定。当跳数的估算完成之后,就可以根据式(9)计算出未知节点与信标节点间的距离 d 。

$$d_{ui} = \text{Hopsize}_u \times \text{Hopnum}_{ui} \quad (9)$$

2.3 改进算法流程

(1)使用基于RSSI节点之间跳数修正法修正节点间的跳数。

(2)使用BDMHCM算法对平均每跳距离修正,计算出未知节点与锚节点之间的距离。

(3)未知节点根据节点定位方法进行定位。

改进算法流程图如图2所示。

3 仿真实验

3.1 仿真参数设置

为验证本文中改进算法的性能,对本文改进算法,文献[4,9]算法与原DV-Hop算法进行了仿真实验,验证采用Matlab进行仿真。考虑到在仿真时RSSI值无法通过仿真软件得到,因此在本算法的仿真过程中RSSI值直接采用节点间的欧氏距离进行代替。本文仿真参数设定如表1所示。

表1 仿真参数设置

图号	节点总数	信标节点比例/%	通信半径/m	生存周期
3	100	10 ~ 50	50	3
4	100	30	20 ~ 50	3
5	40 ~ 200	30	50	3

通过仿真实验研究节点数量,信标节点比例和通信半径对定位精度的影响。每种算法取第50次的仿真结果作为最终结果。定义 e 为节点归一化定位误差,假设节点 i 的测量坐标为 (x_i, y_i) ,实际坐标为 (x_{i_real}, y_{i_real}) ,节点的通信半径为 R , N 为网络中节点个数, n 为信标节点个数,则有归一化节点定位误差 e 为

$$e = \frac{\sum_{i=n+1}^N \sqrt{(x_{i_real} - x_i)^2 + (y_{i_real} - y_i)^2}}{R \times (N - n)} \times 100\% \quad (10)$$

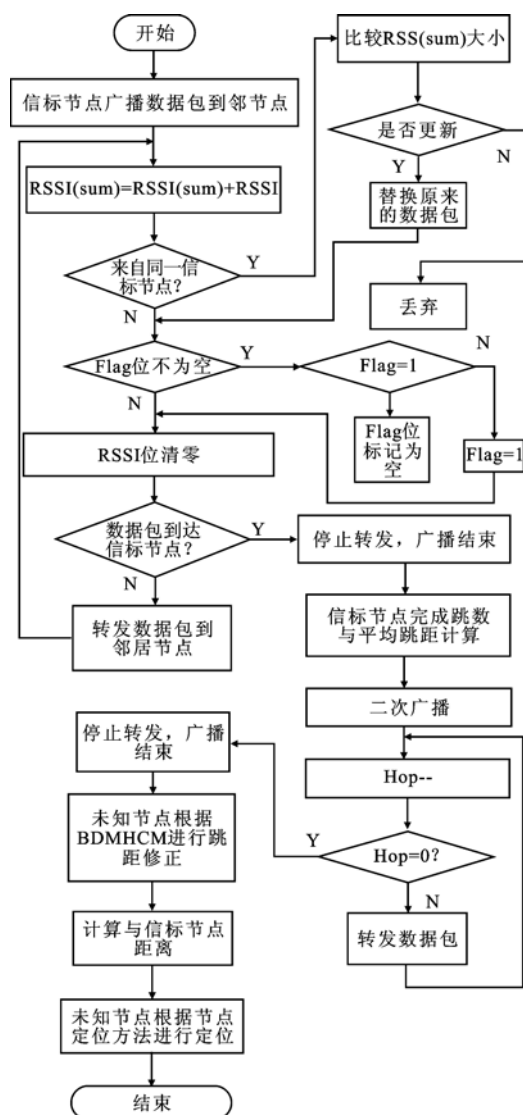


图2 改进算法流程图

3.2 仿真结果分析

根据表1与式(10)得到如图3所示的仿真结果.

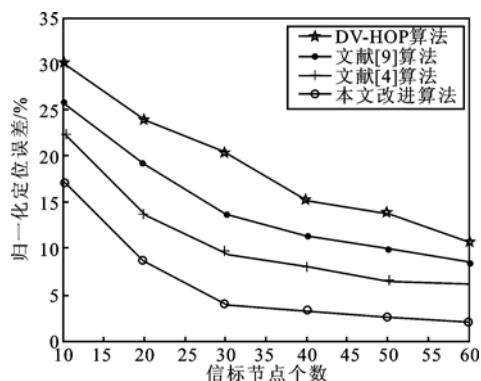


图3 归一化定位误差随信标节点变化对比图

由图3可知,本文改进后的定位算法误差随着

信标节点的增加定位误差减小更为明显,当信标节点个数在10至30变化时,改进算法的定位精度显著提高,随后趋于平缓.这是因为随着信标节点个数的增加,网络的连通性逐渐提高,信标节点可以得到更多的信号强度基值来修正自身的跳数,进而减小未知节点的定位误差,每个未知节点周围会分布更多的信标节点使其接收到更多的Hopszie,进而可以根据隶属度对其修正使得平均每跳更加精确,最终使未知节点的位置估计更加接近真实位置.

由图4可知,随着通信半径的增加,四种算法的归一化定位误差逐渐减小且趋于平稳.在相同条件下,本文改进算法定位误差要小于DV-Hop算法和文献[4]的算法.当通信半径 $R=40\text{ m}$ 时,四种定位算法的归一化定位误差分别为17.7046,14.7094,11.3583和6.1245.

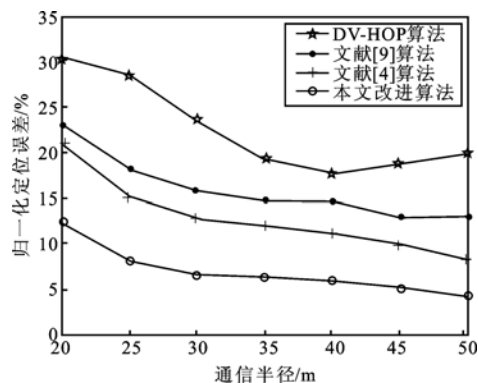


图4 归一化定位误差随通信半径变化对比图

从图5可以看出,随着节点个数的增加,本文改进算法的归一化定位误差较相比较的三种算法而言较小.特别是当节点个数在40至70之间变化时,本文改进算法的定位误差改变较明显,随后定位误差呈现一个缓慢下降的趋势.

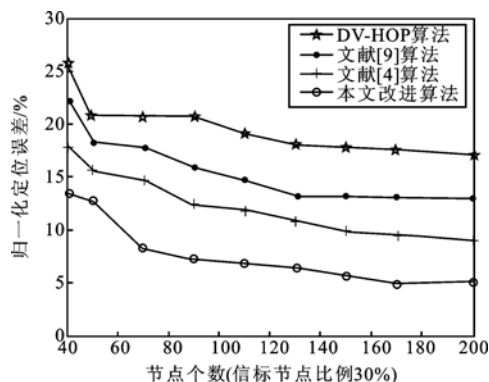


图5 归一化定位误差随节点数量变化对比图

4 结束语

本文研究的一种基于RSSI技术的跳数修正与基于模糊评价的跳距修正定位算法,与其他算法相比,该算法具有定位精度高且不需要额外硬件支持等优点,对于不同的节点分布也保持了较高的优越性能.该算法还通过设定数据包生存周期,减小了数据包在节点之间的传播跳数,降低了网络的能耗开销.但是,该改进算法,在设置了数据包的生存周期之后,仍然会存在一些未知节点无法接收到信标节点的数据包的情况,导致未知节点无法进行定位.

参考文献:

- [1] Jennifer Yick, Biswannath Mukherjee, Dipak Ghosal. Wireless sensor network survey [J]. Computer Networks, 2008, 52(12): 2292-2230.
- [2] Wang Lixia, Zhang Pai. A new DV-HOP algorithm in wireless sensor network [C] // 2013 2nd International Symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA). Toronto, Ontario, Canada, IEEE, 2013: 194-197.
- [3] 王景琿. 一种基于DV-Hop的无线传感器网络节点定位算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(1): 82-86.
- [4] 周小波, 乔钢柱, 曾建潮. 无线传感器网络中基于RS-

SI的加权DV-HOP定位方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(14): 109-111.

- [5] 夏少波, 邹建梅, 朱晓丽, 等. 无线传感器网络DV-Hop定位算法的改进[J]. 计算机应用, 2015, 35(2): 340-344.
- [6] 赵菊敏, 李灯熬, 武健. 基于DV-Hop定位的误差加权改进算法[J]. 自动化仪表, 2014, 35(7): 1-4.
- [7] 刘志华, 刘晓爽, 赵新妙, 等. 一种基于测距的抗虫洞攻击安全定位机制[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(3): 1088-1094.
- [8] Samiru Gayan. PWiMob improved DV-HOP algorithm through anchor position Re-estimation [C] // Wireless and Mobile, 2014 IEEE Asia Pacific Conference on. Bali, Indonesia, 2014: 126-131.
- [9] 祝宇鸿, 历彦恺, 胡俊, 等. 基于跳数阈值和节点分类的DV-Hop改进算法[J]. 吉林大学学报, 2014, 32(4): 407-412.

作者简介:

杨祥男, (1970-), 博士研究生, 教授. 研究方向为传感网技术.

刘美凤(通讯作者)女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络. E-mail: 496003921@qq.com.

邓登腾男, (1992-), 硕士研究生. 研究方向为传感网络.

(上接第57页)

- [2] Zhi-Ping P. A learning algorithm for fuzzy neural network based on NFCS form [J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(11): 1436-1441.
- [3] 贺素良. 遗传算法及模糊神经网络融合技术的研究[J]. 计算机工程, 2003, 29(7): 17-19.
- [4] Leng G, Prasad G, McGinnity T M. An on-line algorithm for creating self-organizing fuzzy neural networks [J]. Neural Networks, 2004, 17(10): 1477-1493.
- [5] 沈艳, 余冬华, 王昊雷. 粒子群K-means聚类算法的改进[J]. Computer Engineering and Applications, 2014, 50(21): 125-128.
- [6] Košmelj K, Batagelj V. Cross-sectional approach for clustering time varying data [J]. Journal of Classifica-

tion, 1990, 7(1): 99-109.

- [7] 罗勇, 向奕雪. 基于改进PSO算法的模糊神经网络研究[J]. 信息通信, 2014(11): 9-18.
- [8] Lin Y, Tong N, Shi M, et al. K-means optimization clustering algorithm based on particle swarm optimization and multiclass merging [M]. Berlin, Heidelberg Springer: 2012: 569-578.

作者简介:

王亮军男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为复杂系统建模、交通信息工程及控制. E-mail: wlj_hz_2012@163.com

李国宁男, (1959-), 副教授. 研究方向为轨道交通信号控制.