

基于 RSSI 测距误差修正的改进型 DV-distance 差分定位算法^{*}

沈 军^{1a}, 黄春华², 付新华^{1b}

(1. 桂林空军学院 a. 科研部; b. 航空兵参谋系 广西 桂林 541003; 2. 广西英华国际职业学院 信息学院, 广西 钦州 535000)

摘 要: DV-distance 是一种基于多跳机制的定位算法,其相邻节点间的距离通过 RSSI 测距技术实际测量得到。为了减少 RSSI 测距误差对定位精度的影响,首先对 RSSI 测距误差进行修正,再对已有的信标节点间计算距离误差修正值的方法作进一步改进,提出一种基于 RSSI 测距误差修正的改进型 DV-distance 差分定位算法。仿真结果表明,相比已有的定位算法,该改进算法不仅能提高节点的定位精度,还能减少网络通信开销及计算复杂度。

关键词: 定位; RSSI 测距; 误差修正; DV-distance

中图分类号: TP393; TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)05-1873-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2012.05.073

Improved DV-distance difference localization algorithm base on RSSI ranging error correction

SHEN Jun^{1a}, HUANG Chun-hua², FU Xin-hua^{1b}

(1. a. Dept. of Scientific Research, b. Dept. of Aviation Staff, Guilin Air Force Academy, Guilin Guangxi 541003, China; 2. Dept. of Information, Talent International College Guangxi, Qinzhou Guangxi 535000, China)

Abstract: DV-distance is a localization algorithm based on multi-hop mechanism. It uses the RSSI ranging technique to measure the distance among the neighboring nodes. In order to reduce the influence of RSSI ranging error on the positioning accuracy, it amended the ranging error of RSSI firstly, and improved the previous computing method of distance error correction among beacons secondly, which proposed an improved DV-distance difference localization algorithm based on ranging error correction. The simulation results prove that the improved algorithm not only can enhance the positioning accuracy effectively, but also can decrease the communication spending and computing complexity compared with the previous algorithms.

Key words: localization; RSSI ranging; error correction; DV-distance

0 引言

在无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)的大多数应用中,传感器节点的位置信息起着至关重要的作用,如在目标监测与跟踪、基于位置信息的路由、网络的负载均衡以及网络拓扑结构等的应用中都要求网络节点预先知道自身的位置,以便在通信和协作过程中利用位置信息完成应用要求^[1]。

现有的节点定位算法以定位方式的不同可以分为两大类^[2],即基于测距(range-free)和无须测距的定位算法。其中 RSSI 是常用的测距技术之一,它是一种低功耗、廉价的测距技术,无须额外的硬件支持,仅利用对接收无线信号的强度判断,推导出收发节点间的距离;其误差主要来源于环境因素的影响。DV-distance 定位算法是著名的 APS 系列定位算法^[3]中的一种,其定位基本思想与 DV-hop^[4]相似;不同之处在于它是利用 RSSI 测距的方法实际测量两个邻居节点间的距离,而不是用网络平均每跳距离来表示,即该算法是利用未知节点到信标节点之间

各跳段的距离之和来表示两者之间距离的。DV-distance 定位算法对距离误差很敏感,且由该算法得到的节点间的距离是折线距离,一般都会大于实际距离,这会带来一定的定位误差。本文在 DV-distance 定位算法的基础上,深入研究一些已有的改进型 DV-distance 定位算法,提出一种基于 RSSI 测距误差修正的改进型 DV-distance 差分定位算法。

1 算法介绍及改进思路

DV-distance 算法的定位过程主要分为两个阶段^[5,6]:a) 计算未知节点与信标节点间的跳段距离之和,信标节点通过典型的距离矢量交换协议向邻居节点广播自身位置信息的分组,各个接收到此信息的节点仅记录与该信标节点的最小跳段数和最小累积跳段距离;b) 当未知节点获得三个及以上信标节点的信息后,就可以利用三边测量法或极大似然估计法计算自身的位置。

DV-distance 定位算法中两个节点间通过多跳后得到的累

收稿日期: 2011-06-05; **修回日期:** 2011-07-21 **基金项目:** 军队装备科研资助项目(KJ08069)

作者简介: 沈军(1966-),男,浙江萧山人,教授,硕士,博士,主要研究方向为无线传感器网络技术、兵器模拟与仿真以及网络通信技术;黄春华(1985-),女,广西玉林人,硕士,主要研究方向为无线传感器网络节点定位技术(chunhuahuang0415@163.com);付新华(1980-),男,湖南攸县人,讲师,博士,主要研究方向为武器系统检测自动化与智能化、导弹精确制导与控制。

积跳段距离之和是折线距离,总会大于直线距离,这会造成一定的定位误差。为了降低这种误差,文献[7]利用信标节点间的折线距离与实际距离之间的差值作为距离误差修正值对未知节点到信标节点间的折线距离进行修正,即计算节点间的有效距离,提出一种 DV-distance 差分定位算法。但该算法存在一个缺点,即没有考虑到同一信标节点某一路径上的各个未知节点的累积距离之和的误差是不同的^[8]。文献[8]针对这个问题,在计算误差修正值时考虑到两信标节点间的跳数,这样就把距离误差平均分配到两个信标节点间的每跳当中,考虑到了未知节点到信标节点间累积距离误差值的差异性,进一步提高了算法的定位精度。但当网络中的节点分布不均匀时,它们之间所分配的距离误差修正值应该也是不同的,而改进的 DV-distance 差分定位算法并没有考虑到这个问题。DV-distance 定位算法是通过 RSSI 测距实际测量两节点间的距离的,虽然节点间的跳距是不等的,但是网络中使用的距离单位长度是相等的,不会因为网络中节点分布均匀而发生改变。基于这一点,文献[9]提出了一种基于单位距离的 DV-distance 差分定位算法,该算法将两信标节点间的折线距离与实际距离的差值除以两者间的折线距离,这样就可以距离误差平均分配到该两个信标节点间的折线距离的每个单位长度上,从而解决了网络中因节点分布不均时所带来的问题。

此外,未知节点将用接收到的第一个信标节点发送来的距离误差修正值计算其到所有信标节点的有效距离,此时会产生这么一个问题,即这个信标节点并不一定只有一个修正值,而可能有多修正值,未知节点该如何判断使用哪个修正值呢?

文献[9]考虑到这一点,就规定未知节点用不同的修正值计算到不同信标节点的有效距离,如图 1 所示,未知节点 P 在计算信标节点 A 、 B 的有效距离时用 A 、 B 之间的误差修正值,而计算到 C 的有效距离时用 B 、 C 之间的误差修正值,此时就会有疑问,为什么在计算信标节点 C 的有效距离时是用 B 、 C 之间的误差修正值而不是用 A 、 C 之间的误差修正值呢?即如何判断使用哪两个信标节点之间的误差修正值计算到相应信标节点间的有效距离才是最合理的。实现该算法需要在节点间大量地发送和接收信息,并增加执行的复杂度,这对于能量有限的 WSN 而言是一个大的挑战。

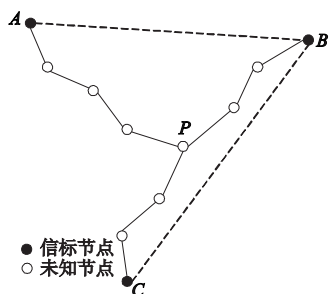


图1 文献[9]定位算法的举例示意图

针对以上分析的问题,本文在文献[9]所提出的算法的基础上,提出一种基于 RSSI 测距误差修正的改进型 DV-distance 差分定位算法。算法首先对节点间基于 RSSI 的测距误差进行修正,以最大限度地降低节点间的测距误差;其次进一步改进计算距离误差修正值的方法,并给出一种可行的节点间传播信息的方法,以减少网络的通信开销和计算复杂度。

2 改进算法的定位流程

下面给出本文改进算法的定位流程。

1) 广播消息,计算节点间的最小跳段数及累积跳段距离。该阶段的实现方法与原 DV-distance 定位算法相似。

2) 信标节点进行 RSSI 测距误差修正和计算距离误差修正值,通过第一阶段的信息广播,每个信标节点会收到多个其他信标节点的信息,此时,各信标节点根据以下的方法进行 RSSI 测距误差修正:

a) 信标节点 i 根据式(1)计算出测距误差修正系数

$$\begin{cases} \alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^k (d'_{ij} \cdot |\Delta d_{ij}|) - \frac{1}{k} [\sum_{j=1}^k d'_{ij}] [\sum_{j=1}^k |\Delta d_{ij}|]}{\sum_{j=1}^k d'^2_{ij} - \frac{1}{k} [\sum_{j=1}^k d'_{ij}]^2} \\ \beta_i = \frac{\sum_{j=1}^k |\Delta d_{ij}| - \alpha_i \sum_{j=1}^k d'_{ij}}{k} \end{cases} \quad (1)$$

其中: d'_{ij} 为信标节点 i 到信标节点 j 的累积跳段距离; $\Delta d_{ij} = d'_{ij} - d_{ij}$, d_{ij} 为 i 和 j 之间的实际距离; k 为 i 接收到的其他信标节点 j 的个数。

b) 信标节点 i 根据式(2)修正其到各个信标节点 j 间的累积跳段距离,得到修正后的跳段距离为

$$\bar{d}_{ij} = \begin{cases} d'_{ij} - \varphi(d'_{ij}), \Delta d_{ij} > 0 \\ d'_{ij} + \varphi(d'_{ij}), \Delta d_{ij} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中: $\varphi(d'_{ij}) = \alpha_i \cdot d'_{ij} + \beta_i$ 。

c) 信标节点 i 根据修正后的跳段距离及接收到的其他信标节点的位置信息,利用三边测量法或极大似然估计法计算出自身坐标,将估计坐标与实际坐标相比较得到一个坐标误差值 ($\Delta x_i, \Delta y_i$)。该坐标误差值将被未知节点用于计算网络近似定位误差^[10]以修正自身的估计坐标。

同时,信标节点 i 根据式(3)计算距离误差修正值为

$$C_i = \frac{\sum_{j=0}^k (d'_{ij} - d_{ij}) / \sum_{j=0}^k \text{hop}_{ij}}{\sum_{j=0}^k d'_{ij}} \quad (3)$$

由此可知,信标节点 i 最终只计算得到一个距离误差修正值,该修正值是它到各个信标节点间距离误差的平均体现。先将 i 到其他所有信标节点的距离误差之和平均分配到所有跳段数上,得到每个跳段的距离误差;再将每个跳段的距离误差平均分配到 i 到其他所有信标节点的累积跳段距离总和的每一个单位长度上,在此将这个距离误差修正值称为每跳的单位距离误差修正值 (unit-distance error correction per hop, UDEC-Hop)。

DV-distance 定位算法源自于 DV-Hop 定位算法,计算节点间的跳段数是其本身具有的一个功能^[11],那么充分利用跳段数信息来修正累积跳段距离的误差将有助于提高节点间的测距精度。UDECHop 既考虑到了到同一信标节点的某一路径上的各个未知节点产生的累积距离误差是不同的问题,也考虑到了网络中节点分布不均匀情况下任意两个相邻节点间的跳距不等时所分配的距离误差修正值也是不同的问题。

3) 未知节点计算到各个信标节点的有效距离,各信标节点将计算得到的自身坐标误差和 UDEC-Hop 加上标志号一起广播给未知节点,其分组格式为 {id, ($\Delta x, \Delta y$), C }。未知节点将接收到的各信标节点的分组信息记录下来,并按以下方法进行处理:

未知节点 p 将所有接收到的信标节点坐标误差按式(4)计算网络近似定位误差。

$$\begin{cases} \Delta x_p = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta x_i \\ \Delta y_p = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Delta y_i \end{cases} \quad (4)$$

其中: m 为 p 接收到的信标节点坐标误差的个数。

p 将接收到的分组信息中的标志号 ID 与在第一阶段中所保存的各信标节点的标志号 id 相比较,分别取出相同 id 分组中的跳数、累积跳段距离和距离误差修正值,如 p 经过比较后取出标志号均为 id 的信标节点的相关信息,然后根据式(5)计算其到信标节点 i 的有效距离为

$$\hat{d}_{pi} = \frac{d'_{pi}}{1 + C_i \times \text{hop}_{pi} \times d'_{pi}} \quad (5)$$

但当未知节点 p 到某信标节点的跳段数为 1 时,无须对此两者间的累积跳段距离再计算有效距离,而是直接使用这两个节点的已知距离进行定位即可。因为 p 到该信标节点只有 1 跳,那么这两个节点间的距离不存在折线距离,其距离误差主要由 RSSI 测距引起,如果再使用上面的方法进行修正,会造成更大的误差。

4) 计算未知节点的估计坐标。当未知节点得到与三个及以上信标节点的有效距离后,就执行三边测量法或极大似然估计法计算自身位置的估计坐标。

5) 未知节点使用网络近似定位误差修正自身估计坐标。假如未知节点 p 的估计坐标为 $(\hat{x}_p, \hat{y}_p)$, 根据阶段 3) 计算得到的网络近似误差为 $(\Delta x_p, \Delta y_p)$, 则修正后的坐标为

$$\begin{cases} \bar{x}_p = \hat{x}_p + \Delta x_p \\ \bar{y}_p = \hat{y}_p + \Delta y_p \end{cases} \quad (6)$$

改进算法的定位流程如图 2 所示。

3 算法的仿真验证

为了检验本文改进算法的性能,对文献[9,11]及本文提出的算法进行仿真对比分析。仿真平台为 MATLAB7.1,假设实验环境为室外广阔平坦的场地,所有节点的通信能力一致。将一定数量的节点随机部署在 $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$ 的仿真区域中,构成一个传感器网络,每个节点的最大通信半径为 30 m ,可以通过调节节点的通信半径来调节网络的平均连通度^[12]。

DV-distance 定位算法中节点间的距离是通过 RSSI 测距技术获得的。在本仿真实验中,将采用对数—距离路径损耗模型作为两节点间 RSSI 值和距离的转换模型,其表达式如式(7)所示,其中取 $A_0 = -30 \text{ dBm}$, $\gamma = 3$, $\sigma = 2$ 。

$$PL(d) = A_0 - 10 \cdot \gamma \lg d + X_\sigma \quad (7)$$

相关仿真参数说明如表 1 所示。

表 1 相关仿真参数说明

仿真参数	参数说明
R	节点的最大通信半径
$PL(d)$	两节点间的 RSSI 值
A_0	节点信号传输 1 m 时接收信号的功率
γ	环境传播因子
X_σ	反映信号传播环境的高斯随机变量
σ	高斯分布的标准差

1) 信标节点密度对定位精度的影响

通常情况下,WSN 中的信标节点越多,网络的定位精度就越高,但是,考虑到成本问题,信标节点的数量一般都会比未知节点的数量少很多。那么,如何在信标节点资源有限的情况

下,使定位精度能够满足网络应用的需求,是定位算法的重要研究方向之一。

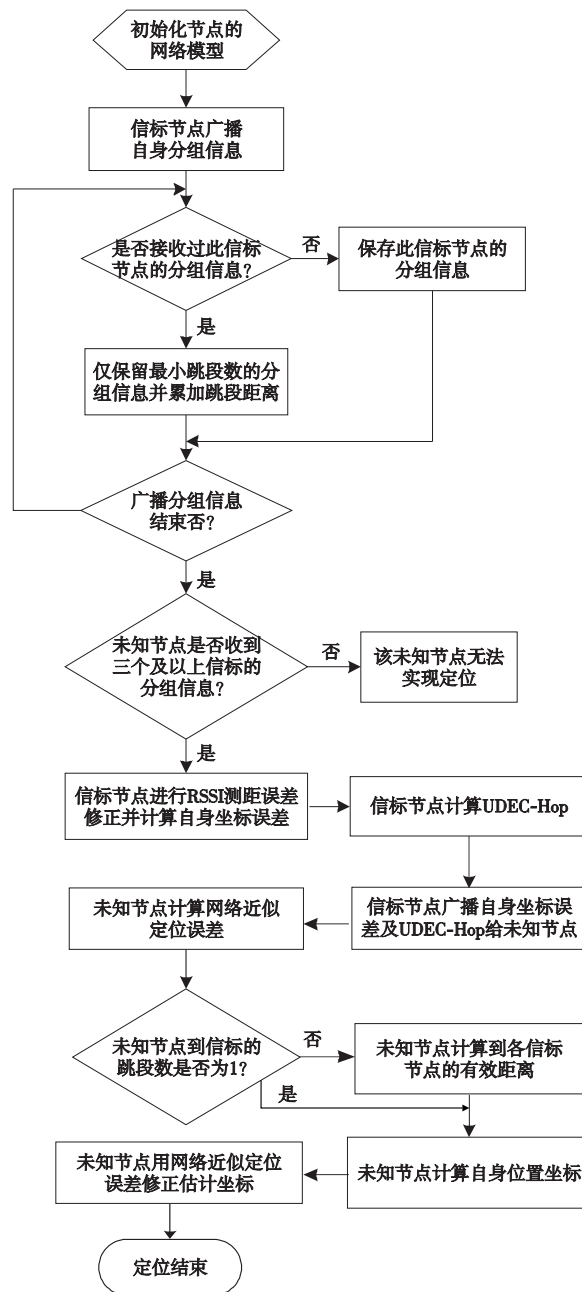


图2 改进算法的定位流程

在仿真区域中随机部署 90 个未知节点,信标节点的数目从 10 个逐渐增加到 50 个,每次增加 5 个,且都是随机部署的。在不同信标节点数量的情况下,多次运行定位算法的程序计算未知节点的位置坐标,并将各次得到的定位误差进行均值统计,以比较三种算法的平均定位误差 (average location error, ALE)。仿真结果如图 3 所示。

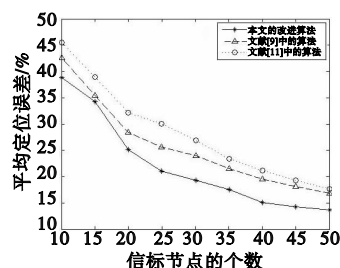


图3 不同信标节点密度下三种算法的平均定位误差分析:由此可见,提高信标节点的密度可以明显降低节点的

定位误差。随着信标节点的逐渐增加,三种定位算法的定位误差都呈下降趋势,而本文提出的改进算法相对于另外两种定位算法,具有更高的定位精度,分别比文献[9]算法提高了3%~8%,比文献[11]算法提高了5%~12%。由图3中还可以看出,当网络中信标节点的数量增加到40个以后,本文改进算法的定位误差开始趋于稳定,而其他两种算法的定位误差还是继续随着信标节点数量的增加而下降,这意味着本文改进算法对信标节点密度具有更低的要求,有利于降低网络的运行成本。

2) 网络节点密度对定位精度的影响

首先在仿真区域中预先部署好30个信标节点,然后将未知节点的数目从30个增加到120个,每次增加10个,且都是随机部署的。在不同未知节点数量的情况下,分别多次运行定位算法的程序计算未知节点的位置坐标,并将各次得到的定位误差进行均值统计,以比较三种算法的平均定位误差。仿真结果如图4所示。

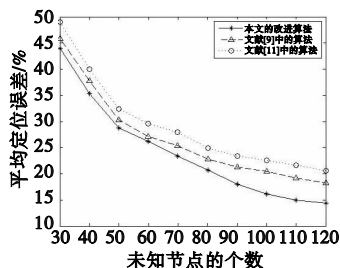


图4 不同未知节点密度下三种算法的平均定位误差

分析:由此可见,提高网络中节点的密度可以降低定位误差,因为节点数量增多,每个节点的网络连通度就会增大,DV-distance是一种基于多跳机制的定位算法,网络平均连通度的增大可以让节点获得更多的信标节点信息,一方面有利于提高定位精度,另一方面有利于提高节点定位的覆盖率。其中,本文改进算法的定位精度都比文献[9,11]中的算法略有提高,刚开始时,提高的幅度并不是很大,因为此时的网络连通度不高,节点间能获得的用于定位的信息很少,但随着节点数的不断增加,本文改进算法的优势越来越明显。本文改进算法中用到RSSI测距误差修正法,这个方法在节点获得更多其他信标节点的信息时,能够得到更佳的网络近似定位误差,这有利于修正未知节点的估计坐标。所以当未知节点数增加到90个以后,本文改进算法的定位精度明显比其他两种算法分别提高了近5%和8%。

3) 三种算法的能耗分析

WSN是一种能量受限的网络,其中的传感器节点在能量、计算和存储能力方面非常有限,这就要求定位算法必须是低复杂性的,且必须减少定位过程中节点间的通信开销,因为用于无线通信的能耗是节点的主要能耗。

本文提出的改进算法着重对信标节点间计算距离误差修正值的方法作了进一步的改进,每个信标节点经计算只得到一个距离误差修正值,这就不会像文献[9,11]算法那样需要广播

多个误差修正值,还避免了接收节点需要不断地判断哪些修正值该保留哪些该丢弃的工作,降低了算法执行的复杂度。本文改进算法只要求各个节点适当地增加计算量,主要表现在:信标节点进行RSSI测距误差修正时的自定位和计算自身坐标误差,未知节点计算网络近似定位误差和修正自身的估计坐标。但这些计算开销相对于大量广播消息时所耗的通信开销要小得多,所以,本文改进算法能有效地减少网络中的通信开销,从而降低网络的能耗。

4 结束语

本文介绍了DV-distance定位算法,并分析其存在的问题及几种已有的改进DV-distance定位算法。在此基础上,考虑到DV-distance定位算法是利用RSSI测距技术测量两个相邻节点间的距离的,对测距误差非常敏感,以及距离误差修正值在广播过程中会带来大量的通信开销等问题,提出一种基于RSSI测距误差修正的改进型DV-distance差分定位算法,并详细描述了算法的定位流程;最后进行仿真验证并对仿真结果进行了分析,结果证明该改进算法具有更好的定位效果。

参考文献:

- [1] 张杰,胡向东. 定位技术在无线传感器网络中的应用[J]. 电信快报:网络与通信,2008(8):34-36.
- [2] 孙利民,李建中,陈瑜,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005:136-148.
- [3] NICULESCU D, NATH B. Ad-hoc positioning systems (APS) [C]// Proc of IEEE Global Telecommunications Conference. San Antonio: IEEE Communications Society, 2001:2926-2931.
- [4] 张佳,吴延海,石峰,等. 基于DV-Hop的无线传感器网络定位算法[J]. 计算机应用,2010,30(2):323-326.
- [5] NICULESCU D, NATH B. DV based on positioning in Ad hoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003,22(1-4):267-280.
- [6] 付华,孙蕾. 无线传感器网络DV-distance定位算法[J]. 计算机系统应用,2010,19(3):56-58,132.
- [7] PERKINS D, TUMATI R. Reducing localization errors in sensor Ad hoc networks[C]//Proc of the 23rd IPCCC. New York:ACM Press, 2004:723-729.
- [8] 刘林,范志平. 一种降低定位误差的无线传感器网络节点定位改进算法[J]. 电路与系统学报,2007,12(2):1-4.
- [9] 宋军钢. 无线传感器网络自身定位算法研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.
- [10] 高国胜,陈俊杰,李刚. 基于RSSI测距的信标节点自校正定位算法[J]. 测控技术,2009,28(8):93-97.
- [11] WANG Dian-hong, JIA Hong-dong, CHEN Fen-xiong, et al. An improved DV-distance localization algorithm for wireless sensor networks [C]//Proc of the 2nd Advanced Computer Control, International Conference. 2010:472-476.
- [12] 王珊珊,殷建平,张国敏,等. 求解无线传感器网络定位问题的线性规划算法[J]. 计算机研究与发展,2009,46(5):705-712.