

基于RSSI的ZigBee动态加权 质心四点定位算法^{*}

王 飞, 童敏明, 白 琪, 吴 璇

(中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 针对传统的基于RSSI的加权质心定位算法中使用静态权重因子指数只能使部分区域的误差得到明显改善而其他区域的误差相对较大的现象,提出了一种基于动态权重指数的四点定位算法。在矩形区域中,通过构造权重因子指数矩阵,使不同区域拥有相对最优权重因子指数。在实际运算时,首先通过传统加权质心算法判断未知节点的大致位置;然后通过查询指数矩阵确定相对最优权重因子指数并重新计算未知节点坐标,并作为未知节点实际坐标。通过仿真实验,其结果表明,该算法较传统的加权质心定位算法明显地降低了定位中的平均误差及最小误差,提高了精度,并且运算量小,硬件要求简单,有很广泛的应用价值。

关键词: RSSI; 动态权重因子指数; 四点定位; 加权质心

中图分类号: TP393.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2018)09-2663-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2018.09.023

ZigBee dynamic weighted centroid four points location algorithm based on RSSI

Wang Fei, Tong Minming, Bai Qi, Wu Xuan

(School of Information & Control Engineering, China University of Mining & Technology, Xuzhou Jiangsu 221008, China)

Abstract: For the traditional RSSI-based weighted centroid localization algorithm, the static weighting factor index can only reduce the error of the partial region obviously, but the error of the other regions is still larger. To solve the problem, this paper presented four points location algorithm based on dynamic weighted index. In rectangular area, different regions had their own relative optimal weighted factor index by building weighted factor index matrix. In practice, the approximate location of unknown nodes could be determined through the traditional weighted centroid algorithm. The relative optimal weighting factor index could be built by querying the exponential matrix. Then, it recalculated the actual coordinates of the unknown node coordinates. The simulation results show that the proposed algorithm can reduce the average and minimum error and increase the accuracy and with slow computation complexity and simple hardware requirements. Therefore, this algorithm has a wide range of applications.

Key words: RSSI; dynamic weighted factor index; four points location; weighted centroid

0 引言

在无线传感器网络技术的多数应用中,对于目标的定位应用占有很重要的位置。因此,无线定位技术在军事、智能家居、公共安全等领域有着至关重要的作用^[1]。而在多种无线传感器网络定位技术中,根据是否基于未知节点和已知节点之间的距离可分为测距算法和无须测距算法^[2]。无须测距算法硬件要求低、计算简单,但是定位精度不高。目前应用最广的算法是基于信号强度指示(RSSI)的测距定位方法,该算法简单易行、成本较低,很适合室内短距离无线定位。其中ZigBee的低功耗、低成本、低复杂度和大容量等优点,使其有着非常大的应用优势^[3]。

在对基于RSSI的定位方法研究的算法中,侯启真等人^[4]改变了加权质心算法中的权重因子,提高了精度,减小了定位值偏大的情况。张宏刚等人^[5]提出了路径损耗因子动态修正的三边质心定位算法,主要是在三边定位中对测距模型进行优化,提高测距精度,进而提高定位精度。杨博雄等人^[6]和张正

华等人^[7]对传统质心算法权重因子进行优化,但是只是采用静态权重指数,只能对局部区域优化,其他区域误差变化不大。冯东栋等人^[8]虽然采用四点定位算法,但是算法只是进行了两次传统质心算法然后求取平均值,精度提高不明显。詹杰等人^[9]和刘宏立等人^[10]采用动态权重指数减小了最大误差、最小误差和平均误差,但是其指数划分过粗,还可以进一步优化。

基于上述不足,本文提出一种基于矩形区域四点定位的算法。相比于其他算法,本文中首先将四个已知节点安装在矩形区域四个顶点上,然后通过实验确定该区域中设定好的位置的最优权重因子指数矩阵,在定位时使测量区域中不同位置权重因子拥有相对最优指数,从而实现未知节点定位精度的提高。

1 RSSI 测距模型

信号在传播过程中会产生衰减,其衰减的程度与距离有关,RSSI测距便是基于此原理^[11]。在已知发射节点所发射的信号强度情况下,根据接收节点所接收的信号强度计算出信号

收稿日期: 2017-04-27; 修回日期: 2017-06-13 基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2016YFC0801808)

作者简介: 王飞(1988-),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置(819862259@qq.com);童敏明(1956-),男,浙江龙游人,教授,博导,主要研究方向为传感器及检测技术;白琪(1991-),女,江苏人,硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置;吴璇(1994-),女,安徽宿州人,硕士研究生,主要研究方向为检测技术与自动化装置。

在传播过程中的损耗,利用物理模型以及经验模型把信号传播过程中的损耗换算成距离,再利用现有的算法计算出未知节点位置。信号传播损耗与距离的函数可由式(1)表示。

$$\text{RSSI} = -(10n \log_{10} d + A) \quad (1)$$

其中: n 代表信号传播指数; A 为节点与发射器相距1 m处所采集到的信号强度; d 为节点与发射器之间的距离。

考虑到在实际应用中,如果只是简单地通过公式计算出信号强度,会因为空气中其他电磁信号的干扰以及硬件自身的问题,导致所测得的信号强度有很大的误差,所以本文中通过一个高斯滤波器来平滑 RSSI 的值。其计算如下:将未知节点在同一位置收到的 n 个信号强度 RSSI 值放入相应的 R 数组中,然后采用高斯分布函数处理数组数据, RSSI 值的密度函数为

$$F(X) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \overline{\text{RSSI}})^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

$$\text{其中:} \quad \overline{\text{RSSI}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{RSSI} \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\text{RSSI} - \overline{\text{RSSI}})^2 \quad (4)$$

为了减少小概率事件对 RSSI 值的影响,对式(2)作如下限制:

$$0.6 \leq \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \overline{\text{RSSI}})^2}{2\sigma^2}} \leq 1 \quad (5)$$

通过式(3)和(4)求出 RSSI 和方差 σ^2 后,在利用式(5)确定 RSSI 值的范围,然后将符合条件的值放入数组 $R_{\text{Gauss}}[i]$ 中,最终可以通过式(6)获得 RSSI 信号的优化值。

$$\text{RSSI} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{\text{Gauss}}[i] \quad (6)$$

2 改进的加权质心算法

2.1 传统的算法

假设已知节点的坐标分别为 $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$, 它们的半径分别为 d_1 、 d_2 、 d_3 。首先计算出三个圆的公共区的三个顶点坐标,如图1中 E 、 F 、 D 所示。其中点 $E(x_E, y_E)$ 坐标的计算方法如式(7)所示。

$$\begin{cases} (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = d_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = d_3^2 \\ (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = d_1^2 \end{cases} \quad (7)$$

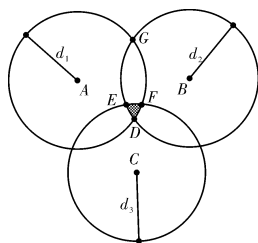


图1 三点定位算法图示

同理,可得 $F(x_F, y_F)$ 、 $D(x_D, y_D)$ 的坐标,然后通过加权质心的算法式(8),可算出未知节点的大概位置 (x_i, y_i) 。

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{\frac{x_E}{(d_1+d_2)^a} + \frac{x_F}{(d_2+d_3)^a} + \frac{x_D}{(d_3+d_1)^a}}{\frac{1}{(d_1+d_2)^a} + \frac{1}{(d_2+d_3)^a} + \frac{1}{(d_3+d_1)^a}} \\ y_i &= \frac{\frac{y_E}{(d_1+d_2)^a} + \frac{y_F}{(d_2+d_3)^a} + \frac{y_D}{(d_3+d_1)^a}}{\frac{1}{(d_1+d_2)^a} + \frac{1}{(d_2+d_3)^a} + \frac{1}{(d_3+d_1)^a}} \end{aligned} \quad (8)$$

但是本文通过实验结果发现,不同的权重因子指数 a 值,对所测区域不同位置产生的误差影响是不一样的。为了验证

此结论,本文设置了一个仿真实验。通过在一个矩形区域内分别布置已知节点 $A(0,0)$ 、 $B(0,20)$ 、 $C(10,20)$ 、 $D(10,0)$,而未知节点分布在 X 轴 1~9 m, Y 轴 1~19 m 范围内,选取未知节点到已知节点所测得的距离最短的三个距离和节点,来确定未知节点的位置,然后计算不同的权重因子指数和误差的关系,如图2所示,图中颜色的深浅分别代表了误差的大小,颜色越深误差越大,颜色越浅误差越小(见电子版)。从中不难看出,在不同的权重因子指数的影响下,不同区域的误差会有很大差别,且通过詹杰等人^[9]的实验以及本文的仿真实验,可以发现误差分布呈现出一定的对称关系。要想获得整体较高的定位精度,必须根据区域中不同的位置,选择不同的权重因子指数。

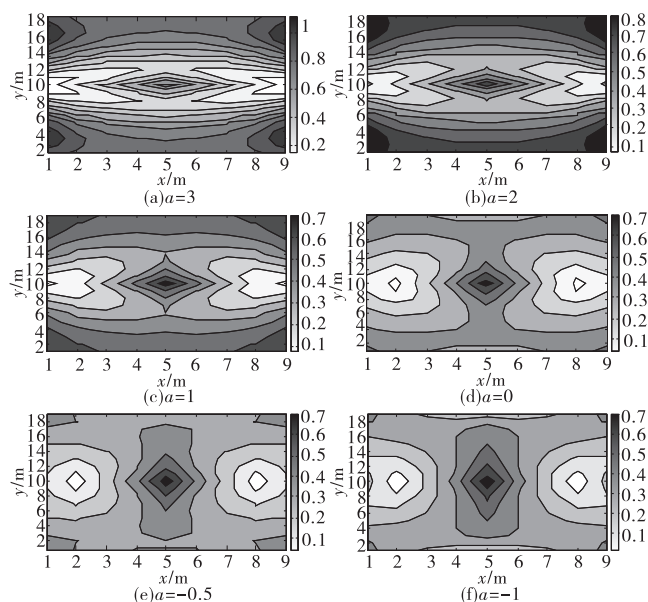


图2 不同权重因子指数下误差分布

2.2 改进后的算法

根据传统质心算法的不足,本文采取了如下算法进行改进:

a) 在一个矩形区域内的四个顶点分别设置参考节点。

b) 通过图2中的六幅图不难发现,在矩形区域中误差分布成对称关系。将图2依据图3所示方式按长和宽的中心点分为四个区域,从图3中可以看出区域1和2、区域3和4按线段 GH 对称,区域1和4、区域2和3按线段 EF 对称,所以在确定区域权重因子指数矩阵时,只需确定其中一个区域的权重因子指数矩阵,其他区域指数矩阵可以经过已测区域的指数矩阵变换即可确定。本文中把区域1设为测量区域。

c) 通过把区域1分成如图4一样的格子,分割线之间的距离可以根据实际情况而定,距离越小精度越高,但是越小的距离测量任务会越重,综合考虑后本文所选取的测量距离为1 m。区域1中的线与线之间的交点为待测点,通过实验测得每个交点上的误差最小时的权重因子指数,多测几次取平均值减小误差,然后记录下每一个点的最优权重系数,形成一个矩阵。并且通过这个矩阵的左右翻转形成区域2的矩阵,通过1和2区域组成的矩阵上下翻转形成区域3和4的矩阵。最后组成整个区域的最优权重因子指数矩阵。

d) 通过测量得到未知节点 M 到四个已知节点 A 、 B 、 C 、 D 的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 如图3所示,选取距离较短的三个距离及相应节点为计算未知节点所用的参考节点及距离。

e) 通过已经选取好的已知节点和相应的距离,首先设权

重因子指数为 1,根据式(7)和(8)计算未知节点的大概位置,然后根据其大概位置确定四个离其比较近的四组测量节点的权重系数。例如如图 4 所示, M 为粗略计算得到的位置,而 H 、 I 、 J 、 K 为离其较近的四组测量节点。通过查询权重系数矩阵中 H 、 I 、 J 、 K 点的权重系数值再一次代入式(8)的计算得到四组未知节点的位置分别为 $a(x_a, y_a)$ 、 $b(x_b, y_b)$ 、 $c(x_c, y_c)$ 、 $d(x_d, y_d)$,通过式(9)取四个节点位置平均值作为未知节点的最终位置坐标。

$$\begin{cases} x = \frac{x_a + x_b + x_c + x_d}{4} \\ y = \frac{y_a + y_b + y_c + y_d}{4} \end{cases} \quad (9)$$

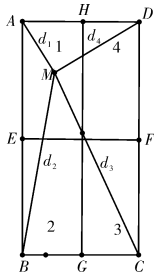


图3 四点定位算法图示

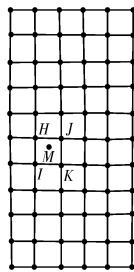


图4 测试点分布图示

3 算法评估

为更好地评估该算法相对于静态加权因子指数定位的优势,本文进行了一个仿真对比实验,在一个长 20 m、宽 10 m 的区域内,分别在四个顶点设置参考节点 $A(0,0)$ 、 $B(0,20)$ 、 $C(10,20)$ 、 $D(10,0)$,并把该区域等分成四个区域,如图 3 所示。如图 4 在区域 1 设置测试点,相邻测试点间距离为 1 m,经实验测得区域 1 中的权重因子指数矩阵为 A (式(10))。区域 2 的系数矩阵 B 为 A 的上下翻转,区域 3 的系数矩阵 C 为矩阵 B 的左右翻转,区域 4 的系数矩阵 D 为矩阵 A 的左右翻转。整个区域的权重系数矩阵为 Z (式(11))。

$$A = \begin{bmatrix} -2.3 & -1.8 & -1.9 & -2.3 & -3.8 & -1.9 \\ -1.6 & -2.1 & -3.9 & -9.2 & -1.9 & -1.0 \\ -1.3 & -1.4 & -7.4 & -14.5 & -0.7 & -0.1 \\ -1.4 & -1.2 & -10.1 & -19.6 & 0.1 & 0.5 \\ -1.6 & -1.1 & -0.6 & -24.8 & 0.6 & 1.2 \\ -2.1 & -1.2 & -0.3 & -30.3 & 1.4 & 2.0 \\ -2.8 & -1.5 & 0.1 & -36.1 & 2.5 & 3.2 \\ -4.3 & -2.4 & 0.8 & -41.8 & 4.7 & 5.4 \\ 2.4 & -3.5 & -6.6 & 13.1 & 11.4 & 10.3 \\ 1.6 & -1.1 & -5.6 & -18.4 & -35.7 & 31.9 \\ 0.9 & -0.9 & -3.4 & -7.4 & -15.7 & -42.6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$Z = \begin{bmatrix} A & D \\ B & C \end{bmatrix} \quad (11)$$

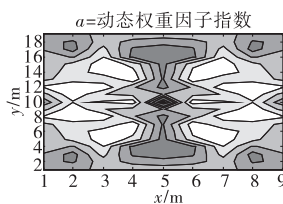


图5 动态权重因子误差分布

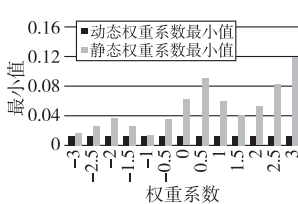
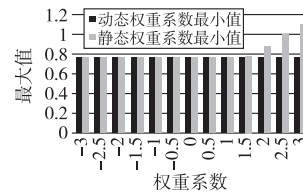
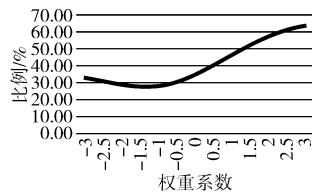


图6 两种算法的最小值比较

通过动态权重因子指数误差分布图 5 与图 2 中六幅常用静态权重因子指数的误差分布图相比较,可以发现白色区域明显增大,深色区域明显减小,说明大部分区域的误差有很大程度的下降。而从图 6 和 7 中可以看出,改进后的算法相对于传

统算法中的最小误差有明显改善,虽然最大误差在静态权重因子小于 0 时改进后的算法减小不明显,但是当指数大于 0 时还是有明显的减低。从图 8 中可以看出,相比于传统加权质心算法,动态加权质心算法对定位误差最少减小了 25% 以上。

图7 两种算法的
最大值比较图8 改进算法与传统算法
相比平均误差减小比例

4 结束语

本文主要对基于 RSSI 的 ZigBee 加权质心四点定位算法进行了研究,提出了动态权重因子指数的加权质心定位算法。该算法不需要增加额外的设备,只需建立动态权重因子指数矩阵,在定位时通过查询建立好的矩阵确定最优权重因子指数,再经过加权质心算法从而得出未知节点的位置。通过实验得出该算法可明显改善传统算法中的不足,减小了最小误差及最大误差,使整体平均误差减小了最少 25%。而且本文算法对于测量区域不是矩形,而是其他多边形,也有很好的应用价值,但是测量区域必须是正多边形。具体测量时应分别在正多边形各顶点以及其几何中心设置已知节点,划分区域时各顶点应分别与中心节点连线,这样测量区域可以分成多个一样的三角形区域,再按照本文算法思想进行测量。但是本文算法也有很多不足之处:a)目前只是适用于二维平面,三维空间的定位还有待研究;b)本文算法考虑的使用场景为空旷的电磁干扰较少的实验场地,在应用到电磁干扰特别复杂的场景时,误差对称关系不存在,此时应该测量整个区域权重因子的分布,再进行动态权重算法,但是这样计算量过大,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李亚. 基于 ZigBee 的无线定位系统的研究与应用 [D]. 西安: 西安工业大学, 2015.
- [2] 李卫东, 郭鹏, 侯丽虹. 基于 RSSI 的改进质心定位算法 [J]. 电子测量技术, 2017, 40(1): 180-183.
- [3] 王亚民, 王海英, 何佩伦. 基于 RSSI 的改进加权质心定位算法 [J]. 计算机工程与设计, 2016, 37(11): 2865-2868.
- [4] 侯启真, 史秉鑫, 刘衍帆. 基于 RSSI 的 ZigBee 定位技术研究 [J]. 计算机应用与软件, 2016, 33(4): 134-137.
- [5] 张宏刚, 黄华. 基于 RSSI 路径损耗因子动态修正的三边质心定位算法 [J]. 传感技术学报, 2016, 29(11): 1731-1736.
- [6] 杨博雄, 倪玉华, 刘琨, 等. 基于加权三角质心 RSSI 算法的 ZigBee 室内无线定位技术研究 [J]. 传感器世界, 2012(11): 31-35.
- [7] 张正华, 戴磊, 黎家文, 等. 基于 RSSI 的优化加权质心定位算法研究 [J]. 电子设计工程, 2013, 21(7): 171-173.
- [8] 冯东栋, 郑文奎. 基于 RSSI 的 ZigBee 加权质心四点定位算法 [J]. 河南大学学报: 自然科学版, 2013, 43(4): 455-458.
- [9] 詹杰, 刘宏立, 刘述钢, 等. 基于 RSSI 的动态权重定位算法研究 [J]. 电子学报, 2011, 39(1): 82-88.
- [10] 刘宏立, 周登, 徐琨, 等. 基于 RSSI 的自适应权重定位算法 [J]. 传感器与微系统, 2017, 36(3): 140-143.
- [11] 张橙, 宋学瑞. 基于 ZigBee 的 RSSI 测距方法精度研究 [J]. 湖南工业大学学报: 自然科学版, 2011, 25(5): 37-41.