

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.02.006

基于 RSSI 障碍势能矫正的定位算法^{*}

乐志伟¹ 王 浩¹ 谢小军²

(1. 合肥工业大学 计算机与信息学院 合肥 230009;
2. 国家电网 安徽省电力公司信息通信分公司 合肥 230061)

摘 要:针对因障碍物较多而导致基于 RSSI 测距的室内定位算法精度较低的问题,提出采用基于 RSSI 测距与非测距结合定位算法的思想,在基于 RSSI 测距的原定位算法计算结果的基础上,引入室内障碍物对信号传播干扰的特征信息作参考,修正原定位算法中测得的阅读器到信号源的距离矢量;同时考虑到障碍物与信号源的相对位置关系,采用基于障碍势能的加权质心定位算法,迭代矫正定位结果。相较原定位算法结果而言其定位精度提高了近 50%。

关键词: RSSI 测距;室内定位;障碍物;加权质心法;定位精度

中图分类号: TN961;TP399 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.99

Localization algorithm based on RSSI obstacles potential energy correction

Le Zhiwei¹ Wang Hao¹ Xie Xiaojun²

(1. Computer Science and Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Information communications branch of Anhui Electric Power Company, State Grid, Hefei 230061, China)

Abstract: Aiming at the problem that the accuracy of localization algorithm based on RSSI ranging of indoor positioning is low due to the obstructions indoor, this paper proposes new localization algorithm based on distance ranging and non-ranging. Based on the results using the original positioning algorithm based on RSSI ranging, it corrected the distance vector from signal reader to signal source, which was calculated by original location algorithm, and the characteristic information on the interference of the room internal barrier was imported to the signal propagation and took it as reference. Considering the relationship between the obstacle and the position of the label, it also corrected the positioning result by improving weighted centroid location algorithm based on potential obstacles iterations. The positioning accuracy of the method is increased by 50% compared to the method of scheduled, in which the influences of the information of obstacles is not consider.

Keywords: RSSI ranging; indoor positioning; obstacles; weighted centroid algorithm; positioning accuracy

1 引 言

基于 RSSI(received signal strength indication)的室内定位系统由于其低成本,低功耗的优点,成为当今国内外研究的热点,其组成部分主要分为发射射频信号的标签和接收信号的阅读器。基于 RSSI 测距的经典算法有最小二乘法^[1-2],质心法^[3-11];文献[11]提出了极大似然与加权质心混合定位的算法,通过极大似然估计法对待定

位节点进行粗略估计,然后利用加权质心算法对待定位节点坐标估算,该方法没有考虑障碍物对信号遮挡,以及射频信号在室内会发生反射,衍射,折射等现象,从而导致基于 RSSI 理论衰减测距不稳定的问题,其定位算法的精度不够理想。非测距定位算法主要是指指纹匹配定位算法^[12-15],但由于室内温度变化较频繁,有源标签放在口袋或手中等因素,采用指纹匹配定位算法往往会产生指纹数据不匹配的现象,造成在实际定位时其定位精度不稳定,随着时间延长其定位精度越差;况且需要采集的指

的映射关系如图1中的数据表图形式,存入数据库,这些点组成 $N-1$ 个首尾相连的直线方程 $Line_j^i \in (Line_j^1, Line_j^2, Line_j^3, \dots, Line_j^{N-1})$ 区间, $FLine_j^i$ 为 $Line_j^i$ 的反函数。如此根据阅读器接收的信号强度,可以推算出信号穿过障碍物时的强度,进而修正原先理论测距所求的距离 D_j 。

3.3 采集点的信息求解

假设某时刻信号源 T 在线段 $\overline{R_j P_1}$ 组成的直线上(图1),阅读器 R_j 接收到来自 $\overline{P_1 R_j}$ 方向的信号强度为 pr_j ,将 pr_j 依次带入线性方程 $FLine_j^i, i \in (1, N-1)$ 进行求解,如果通过其中一条线段线性方程 $FLine_j^m$ 求得解 Gpr_j 且 $G_m < Gpr_j < G_{m+1}$ 时, Gpr_j 是 pr_j 在线段线性方程 $FLine_j^m$ 对应的解,属于有解的情况。另外当 $m = N-1$ 时通过线性方程 $FLine_j^{N-1}$ 求得 $Gpr_j < G_N$ 时,即超出了数据采集表示的下限范围,但此时 G_N 表示信号强度较弱, $FLine_j^{N-1}$ 的线性变化已经很小, Gpr_j 依然可作为 $FLine_j^{N-1}$ 的解,属于有解的情况。

当有解时,在直线 $\overline{R_j P_1}$ 上,信号源(信号源在 P_1 的右侧)的能量传播到点 P_1 时,能量衰减为 Gpr_j 。此时 D_j 的真实距离应该是由 $d_{\overline{R_j P_1}}$ (P_1 点与 R_j 的坐标距离)和 d_{Gpr_j} (信号源 T 到点 P_1 的信号衰减距离)组成,从而修正 D_j 的理论衰减距离:

$$\begin{aligned} d_{Gpr_j} &= 10^{[PLA - Gpr_j]/10n} \\ D_j &= d_{\overline{R_j P_1}} + d_{Gpr_j} \end{aligned} \quad (6)$$

当无解时,即通过 $FLine_j^1$ 线性方程求得 $Gpr_j > G_1$,即超出了信号源的上限表示范围,因为信号源的最大功率是 G_1 ,说明信号源不可能穿过点 P_1 传播到阅读器,所以信号源只可能在线段 $\overline{R_j P_2}$ 上,此时 D_j 对应的真实距离应为:

$$D_j = \text{Min}(d_{\overline{R_j P_2}}, 10^{[PLA - pr_j]/10n}) \quad (7)$$

式中: Min 函数取较小值。

3.4 矫正测距算法的距离矢量

根据 MLE-WC 算法定位结果 $T(x_0, y_0, z_0)$ 结合采集点的信息求解,可以修正阅读器到有源标签的距离 D_j 。阅读器 R_j 接收到的信号强度为 pr_j ,阅读器到信号源 T 的方向矢量 V_j :

$$V_j = T - R_j \quad (8)$$

由于信号源 T 能量传播到 R_j 的线段 $\overline{R_j T}$ 路径与室内中 L_j 个不同障碍物几何相交,将这些障碍物按照与 T 的远近关系排序, $Ob_l \in (Ob_1, Ob_2, Ob_3, \dots, Ob_{L_j})$, 其中 Ob_{L_j} 距离 T 最近,线段 $\overline{R_j T}$ 与障碍物 Ob_l 相交于 P_j^1 与 P_j^2 两点, P_j^1 为靠近 T 的那一点。

当 $L_j = 0$ 时, D_j 为 pr_j 对应的理论衰减距离,不需要修正。

当 $L_j \neq 0$ 时,首先选取距离 T 最近的障碍物 $Ob_{L_j}^1$ ($l = L_j$) 为参考对象,求得信号源 T 发出的信号传播到

点 P_j^1 时的信号强度 Gpr_j^1 进而矫正 D_j 。

为了求得 Gpr_j^1 的值,选取障碍物 Ob_l 上以 P_j^1 为圆心 r 为半径(实验中 $r = 40$ cm)的圆 O_j 内的采集点的作为参考信息。假设 O_j 内有 K_j 个信息采集点,将信号强度 pr_j 依次代入该 K_j 个采集点的线性方程组内进行求解。发现通过其中 a_j 个采集点求解出现有解的情况,因为上一次结果在一定程度上给定了目标的大致方向和相对位置,优先将有解的 a_j 个采集点作为参考信息,在一定程度上保留了历史定位结果的准确性。

当 $a_j = 0$, 且 $l \neq 0$, 令 $l = l - 1$, 重复上面求解并选取 a_j 的过程,直至 $a_j \neq 0$ 或者 $l = 0$ 。

当 $l = 0$ 时,说明信号源 T 在 R_j 与障碍物 Ob_j^1 上点 P_j^2 之间,修正 D_j :

$$D_j = \text{Min}(d_{\overline{R_j P_j^2}}, 10^{[PLA - pr_j]/10n}) \quad (9)$$

当 $a_j \neq 0$ 时,那么对于每个阅读器 $R_j, j \in (1, M)$ 而言,通过该 a_j 个信息采集点求得的解的集合为 $Vpr_j(Vpr_j^1, Vpr_j^2, Vpr_j^3, \dots, Vpr_j^{a_j})$, Vpr_j 中的每个分量组成的质心便可作为 Gpr_j^1 的值,通过求得 Gpr_j^1 的值求得信号源穿过障碍物衰减后的距离,进而修正 D_j 的距离。

为求得 $Vpr_j^h, h \in (1, a_j)$ 的质心权重,需要分析这些分量对应坐标信息的特征, $Pos_j^h(x_u^h, y_u^h, z_u^h)$ 表示 Vpr_j^h 对应采集点的坐标。由于选取作为参照的障碍物是立方体,点 Pos_j^h 分布在 YZ 平面或 XZ 平面上。以分布在 YZ 平面上的采集点求解 $Vpr_u^h, u \in (1, M)$ 的质心权重情况为例(XZ 平面的求法一样), Pos_u^h 都是分布在平面 YZ 上一个半径为 r 的圆 O_u 内,将该圆分割成 Q 等份, $O_u^q, q \in (1, Q)$ 表示圆 O_u 内对应的第 q 个角度区域,每个角度区域的初始标志为 0。依次计算 $Pos_u^h, h \in (1, a_u)$ 与点 P_u^1 在平面 YZ 上的相对角度 θ_u^h 。当 θ_u^h 在角度区域 O_u^q 内,则将 O_u^q 区域标志设为 1;而通过所有 O_u 的分布区域叠加分析,相同区域的区域标志相加,便可得到整体 $\bar{O}$ 各个角度区域对应的积数,如图2所示,取 $Q = 8$, 该积数

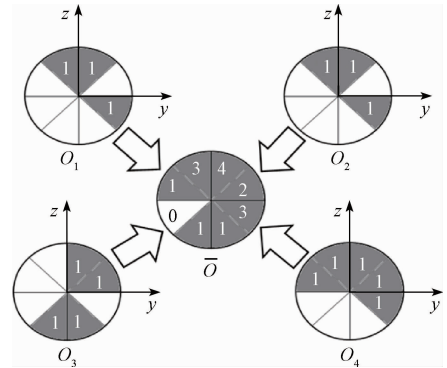


图2 $\bar{O}$ 各角度区域对应积数的求解

Fig. 2 The solution of the corresponding number of $\bar{O}$ in each angle

反应了信号源的真实坐标与上次定位结果在平面 YZ 上的整体偏向,积数越大,该方向上的参考节点的参考价值也越大。

$\bar{O}$ 中 $\bar{O}^q$ 角度区域对应的积数为 C^q , $\bar{O}^q$ 角度区域在整体分布上的权重 w^q 为:

$$w^q = \frac{C^q}{\sum_{i=1}^Q C^i} \quad (10)$$

θ_u^h 所属角度区域范围对应 $\bar{O}^h$, Vpr_u^h 对应的质心权重则为 w^h ,进而求得质心 Gpr_u^1 的解及质心坐标 $Cpos_u^1$:

$$Gpr_u^1 = \frac{\sum_{h=1}^{a_u} (w^h \cdot Vpr_u^h)}{\sum_{h=1}^{a_u} w^h} \quad (11)$$

$$Cpos_u^1 = \frac{1}{\sum_{h=1}^{a_u} w^h} \cdot \begin{pmatrix} \sum_{h=1}^{a_u} (w^h \cdot x_u^h) \\ \sum_{h=1}^{a_u} (w^h \cdot y_u^h) \\ \sum_{h=1}^{a_u} (w^h \cdot z_u^h) \end{pmatrix} \quad (12)$$

由于 Gpr_u^1 的解在质心 $Cpos_u^1$ 处,根据其可以进一步修正阅读器 R_u 与信号源的方向向量 V_u ,信号源 T 是在直线 $\overline{R_u Cpos_u^1}$ 上,而不是在原先的直线 $\overline{R_u P_u^1}$ 上。 D_u 为线段 $\overline{R_u Cpos_u^1}$ 的距离 $d_{R_u Cpos_u^1}$ 与 Gpr_u^1 对应的理论衰减距离两部分组成,有解时同时修正阅读器 R_u 到信号源 T 的方向向量 V_u :

$$\begin{aligned} D_u &= d_{R_u Cpos_u^1} + 10^{\lceil PLA - Gpr_u^1 \rceil / 10n} \\ V_u &= Cpos_u^1 - R_u \end{aligned} \quad (13)$$

4 结合障碍物势能分布的加权质心法

4.1 转换三维参考节点对象

根据初定位结果,矫正阅读器 R_j 到有源标签的距离 D_j 及方向 V_j ,对于阅读器 R_j 来说,都有其各自对应的有源标签的坐标 VR_j :

$$VR_j = R_j + \frac{V_j}{|V_j|} \cdot D_j \quad (14)$$

本文提出新的加权质心法,将 VR_j 作为参考节点,通过分析其与室内各个障碍物的相对关系,提出障碍物具有势能的观点,并通过对障碍物的势能分布的分析得出共性较大的若干个参考节点,进而求得其对应的质心作为有源标签的矫正后的坐标。

4.2 障碍物的势能分布分析

由于 $VR_j, j \in (1, M)$ 坐标跟室内障碍物位置都存在几何位置相对关系。如何提取 VR_j 位置之间的共性差

异,并将其转换成加权质心法中的一个权重是本文研究的重点。本文提出障碍物势能分布的概念,来分析 VR_j 之间的共性差异,以单个障碍物 Ob_i 为例分析,如图 3 所示。

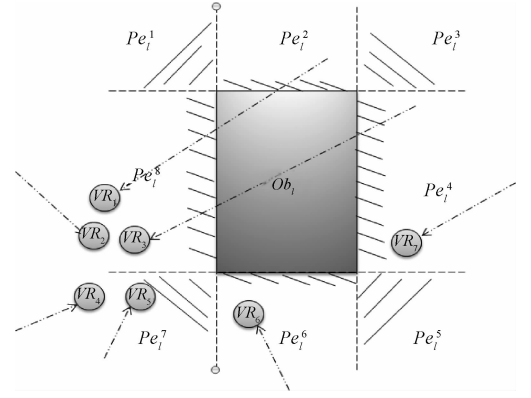


图3 障碍势能分布图

Fig. 3 Potential energy distribution of obstacles

从俯视的角度看, Ob_i 的长度和宽度分别为 b_i 和 a_i , 将 Ob_i 附近的 8 个区域视为不同势能区域 $Pe_i^p \in (Pe_i^1, Pe_i^2, Pe_i^3, \dots, Pe_i^8)$, 对应势能区域的势能统计矢量为 $Pn_i^p \in (Pn_i^1, Pn_i^2, Pn_i^3, \dots, Pn_i^8)$, Pn_i^p 初始值为 0。相对于障碍 Ob_i , VR_j 必然是分布在一个区域 Pe_i^p 中,遍历所有 VR_j 与 Ob_i 的相对位置, Ob_i 对应的区域势能统计值加 1,例如 VR_j 落在 Pe_i^p 区域:

$$Pn_i^p = Pn_i^p + 1 \quad (15)$$

Ob_i 中势能越大的区域,参考价值也越大,为了选择出最大的势能区域,将不同势能区域添加不同边长系数 τ 作为势能大小比较的第 2 参数,其中 Pn_i^1, Pn_i^4 的边长系数为 a_i , Pn_i^6, Pn_i^8 的边长系数为 b_i , 势能区域 $Pn_i^1, Pn_i^3, Pn_i^5, Pn_i^7$ 对应边长系数 $(a_i + b_i)/2$ 。将所得的势能 $(Pn_i^1, Pn_i^2, Pn_i^3, \dots, Pn_i^8)$ 从大到小排序,其中当两个区域势能值大小相等时,以对应边长系数 τ 较小者为大。

根据对 $(Pn_i^1, Pn_i^2, Pn_i^3, \dots, Pn_i^8)$ 排序结果,选取出最大的势能值 $Pn_i^{p_0}$ 及对应的势能区域 $Pe_i^{p_0}$ 作为对比参考。假设 VR_j 是分布在 Pe_i^p 区域,将 Pe_i^p 与最大势能区域 $Pn_i^{p_0}$ 的级差 η_i^j 作为 VR_j 与其他参考节点共性差异的依据,即图 3 势能区域划分模型中 Pe_i^p 到 $Pe_i^{p_0}$ 的最短距离与对应密度差值的乘积, η_i^j 的具体公式如下:

当 $|p - p_0| < 4$ 时,

$$\eta_i^j = |p - p_0| \cdot \frac{Pn_i^{p_0} - Pn_i^p}{M} \quad (16)$$

当 $|p - p_0| > 4$ 时,

$$\eta_i^j = (8 - |p - p_0|) \cdot \frac{Pn_i^{p_0} - Pn_i^p}{M} \quad (17)$$

势能差异 η_j^i 越大,说明以障碍物 Ob_i 为参考对象的话, VR_j 与其它节点的共性越低,参考价值应该更小,通过遍历室内所有 L 个障碍物坐标,求得 VR_j 在整体上的势能级差 $E\eta_j$ 及 VR_j 在整体势能分布上的参考价值权重为 $W\eta_j$ 的倒数:

$$\begin{aligned} E\eta_j &= \sum_{i=1}^L \eta_j^i, \\ \partial &= \sqrt{\sum_{j=1}^M (W\eta_j - \overline{W\eta})^2}, \\ \overline{W\eta} &= \frac{1}{M} \cdot \sum_{j=1}^n W\eta_j, \\ W\eta_j &= \frac{1}{M-1} - \frac{E\eta_j}{(M-1) \sum_{i=0}^n E\eta_i} \end{aligned} \quad (18)$$

式中: $\overline{W\eta}$ 为所有参考节点的平均势能极差,当 $W\eta_j - \overline{W\eta} > 3 \cdot \partial$ 时, VR_j 与其他参考节点相比严重偏离质心,矫正定位时应当删除该参考节点。

4.3 新的加权质心法

VR_j 质心的另一个的加权因子 β_j 与阅读器 R_j 接受的信号强度 pr_j 有关, pr_j 值越高,转换后对应的参考节点 VR_j 可信度越高, β_j 以 pr_j 对应的衰减距离的倒数表示。具体公式如下:

$$\beta_j = \frac{1}{10^{\frac{PLA - pr_j}{10}}}, \varphi_j = \frac{1}{\beta_j \cdot W\eta_j} \quad (19)$$

从 $VR_j(x_j, y_j, z_j)$, $j \in (1, n)$ 中选取 K 个 φ_j 值最大的值作为筛选后的参考节点,即 φ_{-i} , $i \in (1, K)$ 。求得 VR_j 的质心作为矫正后的定位坐标 Tag 。

$$Tag = \frac{1}{\sum_{i=0}^K \varphi_{-i}} \cdot \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^K (\varphi_{-i} \cdot x_i) \\ \sum_{i=0}^K (\varphi_{-i} \cdot y_i) \\ \sum_{i=0}^K (\varphi_{-i} \cdot z_i) \end{pmatrix} \quad (20)$$

4.4 ACRA 算法流程

本文提出在 MLE-WC 初定位的结果上,分析室内障碍物对定位的影响,结合基于测距与非测距的定位算法,矫正定位结果,不断迭代算法逼近有源坐标的真实坐标,给出了 ACRA 定位算法,具体定位流程如下。

1) 根据阅读器接收的信号强度采用 MLE-WC 定位算法计算定位,得到目标坐标 $Tag_i(x_i, y_i, z_i)$, 其中 $i=0$ 。

2) 根据 Tag_i 建立阅读器 R_j 到其的方向向量 V_j , 结合室内障碍物坐标及其表面的信息采集点,基于测距与非测距算法,修正阅读器 R_j 到信号源 T 的距离 D_j 与方向 V_j 。

3) 根据修正后的 D_j 与 V_j , 推算出与阅读器 R_j 对应的有源标签坐标 VR_j 。

4) 根据 VR_j 的坐标,引入室内机柜障碍物势能分布特点,分析参考节点的势能共性差异及对应 R_j 接收的信号强度,筛选出 K 个可信度较高的参考节点进行加权质心定位,得出 Tag_{i+1} 。

5) 当 $i < I$ 时,重复步骤 2), 当 $i = I$ 时退出。

5 实验定位结果

实验以大中型机房为例,机房大小为 $30 \text{ m} \times 45 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ 如图 4 所示,测算出对应的 PLA(距离信号源 1 m 处的信号强度)为 -55.3 dbm ,对应的信号衰减系数 n 为 2.1。将固定不动的机柜箱和石柱视为障碍物参考对象,实验分割圆的分割区域 $Q=8$,实验信号源强度在 $(-90, -30) \text{ dbm}$,采集点内的 $N-1$ 个线性方程区间(即将 $-30 \sim -90$ 划分成 $N-1$ 份)以及障碍物表面采集点的密度是影响修正理论测距误差的重要因素。实验随机选取机房室内 100 个点,信号采集点采取正方形拓扑结构,分别测算在不同线性方程区域的个数及不同采集点分布密度的情况下测距修正测距误差的平均值,如图 5 所示。

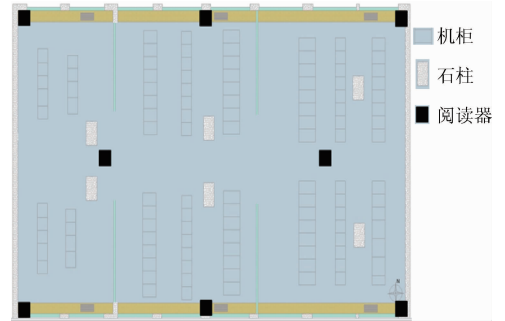


图 4 机房内部部署俯视图

Fig. 4 Top view of arrangement in engine room

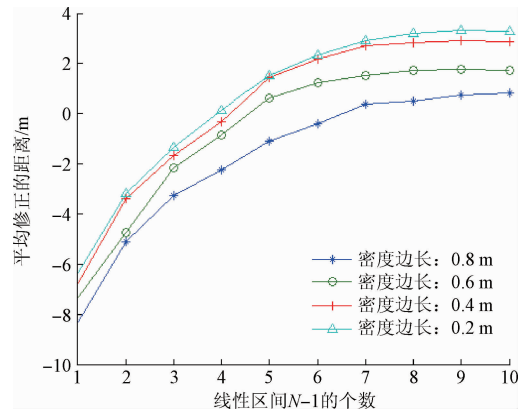


图 5 采集点的信息对修正测距误差的影响

Fig. 5 The influence of point acquisition on the correction ranging error

分析得出,平均修正的距离与线性区间的个数呈正相关,与采集点拓扑结构(正方形)密度边长负相关;且当 $N-1 \geq 7$ 时,正相关性不明显,而当密度边长小于0.4 m时,提升的平均修正距离有限。为了进一步研究分析算法在不同障碍物环境下相对于理论测距修正的距离误差,实验选取线性区间 $N-1=7$,采集点密度边长为0.4 m,分别纪录在50个不同障碍物个数路径下的修正距离,如图6所示,分析得出当障碍物较少时,算法矫正减少的距离有限,此时主要是因为信号源与阅读器之间的实际位置比较近,多径效应产生干扰。而随着障碍物的增加,信号干扰主要受障碍遮挡影响,通过本文算法测距与直接通过理论衰减模型测距相比,相对减少的测距误差比较明显。

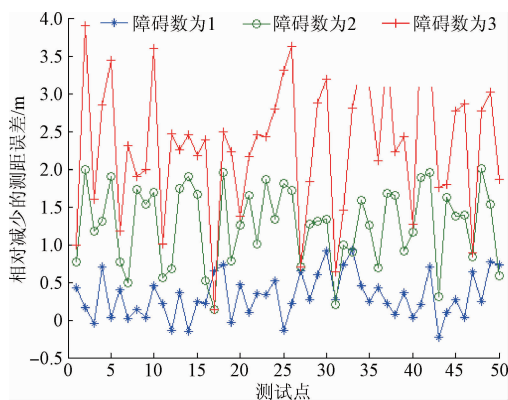


图6 不同障碍路径环境下的修正误差

Fig. 6 Correction errors in different obstacles path environment

为了验证算法的可行性,随机选取机房内100个点进行测试,机房部署采用三角形拓扑结构部署了8个阅读器,统计得出初定位的结果的平均定位误差为2.4 m。而影响本文质心定位算法的因素主要是用于矫正测距误差方向区域 Q 的取值,以及选取 K 个 φ_j 值最大的值作为参考节点中 K 的取值。实验在该100个测试点的原定算法定位的基础上,分别取不同的 Q 和 K 值进行定位矫正,并统计定位的平均误差,如图7所示定位误差与 Q 的取值呈正相关,且当 $Q \geq 8$ 时,这种正相关性较小;当 $K=6$ 时矫正后的定位误差最小,定位误差为1.83 m,当 K 较大时,引入的不可靠测距信息变多,影响定位精度。

为了进一步研究通过迭代本文算法的次数对矫正定位误差及阅读器个数对定位误差的影响,实验选取 $Q=8$ 且 $K=6$,随机选择室内100个点,在不同阅读器个数的条件下,统计初定位平均误差以及算法不同迭代次数矫正定位后的平均误差,实验数据如图8所示,随着矫正定位算法迭代次数的增加,相对于原定算法定位误差逐渐减小,但当算法迭代次数 $I > 3$ 时,矫正后的定位误差减少不明显。定位误差随着部署阅读器个数的增加逐渐减

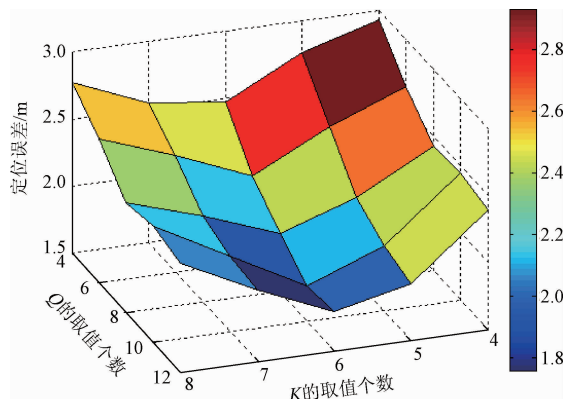


图7 K 与 Q 值对矫正定位精度的影响

Fig. 7 The influence of the K and Q 's value on the poisoning accuracy of the correction

小,在阅读器个数为12时,ACRA算法相对于MLE-WC原定位算法而言,定位精度提高了近50%。当阅读器个数大于16时,部署的阅读器密度较大,选取的参考节点一般信号强度都较强,修正的测距距离不明显,采用本文算法矫正迭代后定位误差降低不明显。当阅读器个数较少时,通过迭代矫正定位算法有效地减少了定位误差。

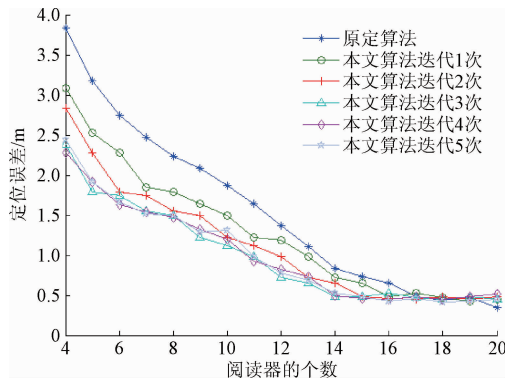


图8 阅读器个数以及算法迭代次数的影响

Fig. 8 Influences from the number of readers and the iterative number of algorithm

6 结论

本文考虑了多障碍物的室内定位特点,提出了引入障碍物对信号干扰的特征信息,在初定位结果基础上采用迭代矫正定位算法的思想。其矫正后的定位结果相较于原定定位而言,定位精度显著提高。但本文未涉及阅读器部署的拓扑结构对矫正重定位的影响。

参考文献

- [1] 程秀芝,朱达荣,张申,等. 基于RSSI差分校正的最小二乘-拟牛顿定位算法[J]. 传感技术学报, 2014,

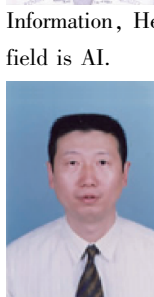
- 27(1):123-127.
- CHEN X ZH, ZHU D L, ZHANG SH, et al. Least squares - quasi - newton localization algorithm based on RSSI differential correction [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(1): 123-127.
- [2] 袁鑫, 吴晓平, 王国英. 线性最小二乘法的 RSSI 定位精确计算方法[J]. 传感技术学报, 2014, 27(10): 1412-1417.
- YUAN X, WU X P, WANG G Y. An accurate calculation method of RSSI positioning based on linear least squares [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2014, 27(10): 1412-1417.
- [3] 王振朝, 张琦, 张峰. 基于 RSSI 测距的改进加权质心定位算法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(21): 63-65.
- WANG ZH CH, ZHANG Q, ZHANG F. Improved weighted centroid location algorithm based on RSSI ranging [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2014, 51(21): 63-65.
- [4] 董海棠, 万国峰, 骆岩红. 基于垂直平分线的无线传感器网络定位改进算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(4): 26-35.
- DONG H T, WAN G F, LUO Y H. An improved algorithm for wireless sensor network location based on vertical bisection [J]. Computer Engineering, 2015, 41(4): 26-35.
- [5] ZHANG W G, ZHANG G H, CAO J, et al. The wireless sensor network node localization algorithm based on beacon[C]. 6th International Conference on Electronics and Information Engineering, 2015.
- [6] LIU S, PENG S L, WANG Z. Maximum likelihood estimation and centroiding hybrid RSSI-based indoor positioning [C]. 3rd International Conference on Materials Engineering, Manufacturing Technology and Control, 2016.
- [7] AMINE C M E, MOHAMED O, BOUALAM B. The implementation of indoor localization based on an experimental study of RSSI using a wireless sensor network [J]. Peer-to-Peer Networking and Applications, 2016, 9(4): 795-808.
- [8] XIE Y Q, WANG Y, NALLANATHAN A, et al. An improved k-nearest-neighbor indoor localization method based on spearman distance [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2016, 23(3): 351-355.
- [9] 张勇, 徐小龙, 徐科宇. 基于加权质心法的 WLAN 室内定位系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(7): 1036-1041.
- ZHANG Y, XU X L, XU K Y. WLAN indoor location system based on weighted centroid method[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2015, 29(7): 1036-1041.
- [10] 彭泓, 赵阳, 夏天鹏. 基于优化 RSSI 精度的 WSN 加权质心定位算法[J]. 计算机工程与运用, 2015, 51(21): 88-91.
- PENG H, ZHAO Y, XIA T P. Weighted centroid localization algorithm for WSN based on optimized RSSI precision [J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(21): 88-91.
- [11] 韩江洪, 祝满拳, 马学森, 等. 基于 RSSI 的极大似然与加权质心混合定位算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(10): 937-943.
- HAN J H, ZHU M Q, MA X S, et al. Maximum likelihood and weighted centroid mixture location algorithm based on RSSI [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2013, 27(10): 937-943.
- [12] GU Z, CHEN Z Q, ZHANG Y X, et al. Reducing fingerprint collection for indoor localization [C]. Computer Communications, 2015, 83: 56-63.
- [13] KNAUTH S, STORZ M, DASTAGEERI H, et al. Fingerprint calibrated centroid and scalar product correlation RSSI positioning in large environments [C]. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 2015.
- [14] WU Z, JEDARI E, MUSCEDERE R, et al. Improved particle filter based on WLAN RSSI fingerprinting and smart sensors for indoor localization [C]. Computer Communications, 2016, 83: 64-71.
- [15] SHU Y C, HUANG Y H, ZHANG J Q, et al. Gradient-based fingerprinting for indoor localization and tracking [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2016, 63(4): 2424-2433.

作者简介



乐志伟, 1990 年出生, 合肥工业大学计算机与信息学院研究生, 目前主要研究方向为人工智能。

E-mail: jianglezhiwei@163.com



Le Zhiwei was born in 1990, M. Sc. candidate in School of Computer & Information, Hefei University of Technology. His main research field is AI.

王浩, 1962 年出生, 毕业于合肥工业大学, 现任合肥工业大学教授、博士生导师, 目前主要研究方向为数字系统设计自动化、嵌入式系统综合与测试等。

E-mail: jsjxwangh@hfut.edu.cn

Wang Hao was born in 1962, graduated from Hefei University of Technology. And he is a professor and

Ph. D. supervisor in Hefei University of Technology now. His main research field is design automation of digital system, synthesis and testing of embedded system and so on.



谢小军, 1975 年出生, 毕业于华北电力大学, 现任国家电网安徽省电力公司信息通信分公司调控中心主任, 主要研究方向为应急通信新技术研究及应用, 数据通信网组网及其运维管理。

E-mail: fangxiaoluu@163.com

Xie Xiaojun was born in 1975, graduated from North China Electric Power University. And now he is a staff in Information Communications Branch of Anhui Electric Power Company. His main research field is the emergency communication new technology research and application, network and data communications network operation and maintenance management.

是德科技推出业界领先的毫米波频谱和信号分析产品 N9041B, 并将现有产品进行升级

是德科技公司日前推出了业界领先的毫米波频谱和信号分析产品 N9041B。N9041B UX A X 系列信号分析仪是业界第一台频率覆盖达到 110 GHz、最大分析带宽高达 5 GHz 的分析仪。

为极高频率分析人员提供专用的工具, 必须借助是德科技经过广泛验证的测量技术和毫米波专业能力。N9041B UX A 具备卓越的特性, 例如先进的前端电路可实现低损耗的高效混频, 在毫米波频段上表征宽带调制信号时可提供低至 -150 dBm/Hz 的显示平均噪声电平 (DANL)。这些特性体现了是德科技独一无二的测量能力。

这款全新 UX A 清晰地反映了是德科技在此方面的领导地位——为客户提供所需的工具, 在快速变化的通信市场实现其产品的上市时间目标。UX A 与 802.11ad 射频测试解决方案一起使用, 让业界对毫米波应用 (如 5G、802.11ad 标准和汽车雷达) 的认识迈上新的台阶, 是德科技的下一步计划是将 50 GHz 以上的技术带入商业应用中。

在如此高的频率上进行系统设计会面临巨大挑战, 同时也对设计、仿真、测量和分析综合工具提出了更高的要求。是德科技设计和仿真软件解决方案提供了高效的工作流程, 可以加速新一代器件和系统的开发。在 N9041B UX A 的开发中用到了这些工具, 它们也确保了毫米波电路的设计一次成功。是德科技工程师还利用公司业界领先的毫米波测量工具, 如网络分析仪、示波器、频谱分析仪、信号发生器及相应的应用软件来充分表征其器件。

这些工具在当前的应用包括 5G 无线通信、毫米波回程、卫星通信、车载雷达、军用雷达和电子战系统的开发。新兴应用包括开发测量器件和系统, 用于在制造、制药和医疗领域执行高分辨率材料测量。

升级 N9030B, 完善毫米波测试能力

继 2016 年推出全新的 X 系列频谱分析仪平台, 是德科技现在 N9030B PXA 系列产品上提供了更宽的带宽 (255 MHz、510 MHz) 和更高的相噪性能 (-136 dBc/Hz @ 1 GHz 载波频率、10 kHz 频偏), 帮助用户从容应对航空航天、国防和无线通信等领域的新兴测试需求, 助力诸

如 5G、802.11ad、802.11ax 以及雷达、电子战等诸多领域的研发与设计。

Fieldfox RTSA

是德科技提供业界第一款高达 50 GHz、具有实时频谱分析 (RTSA) 功能的手持式分析仪。

针对当前广泛分布且日益复杂的通信网络, 作为业界功能最完善、精度最高的是德科技 Fieldfox 手持式分析仪, 以匹配台式仪表的精度提供高达 50 GHz 的便携且牢固耐用的测试工具。现在更是提供了实时频谱分析 (RTSA) 的功能。

具有实时频谱分析 (RTSA) 功能的 Fieldfox 手持式分析仪为工程技术人员提供了干扰捕获及信号监测的手段, 特别适用于信号保密通信、雷达、电子战及民用通信市场。

随着无线技术的发展, 各种干扰层出不穷, 对于网络质量造成严重影响。传统频谱仪可以捕获慢速变化的信号, 但很多新兴的无线信号变化非常快捷而且无序, 从而对其发现、跟踪、捕获造成困难。

实时频谱分析仪 (RTSA) 对这类瞬态、偶发的信号有很强的识别、检测的能力。具备了实时频谱分析 (RTSA) 功能的 Fieldfox 手持式分析仪通过多种不同的显示方式, 可以快速识别、捕获这类干扰信号。

具备 RTSA 功能的 Fieldfox 可以让用户:

- 测量信号: 直流 -50 GHz
- 实时测量捕获的每一个信号
- 测试被大信号覆盖的小信号
- 无缝的测试各种连续信号

具备 RTSA 功能的 Fieldfox 可以提供:

- 检测脉冲宽度 < 1 μ s
- 63 dB 的无杂散动态范围
- 高度集成、轻巧尺寸的手持式设备
- 易于通过软件升级
- 从直流到 50 GHz 的多种不同组合的选择

● 具备频谱仪、矢量网络分析仪、天馈线测试仪、实时频谱功能的多合一设备

- 具有台式仪表的高精度并满足 MIL-Class 2 标准