

[文章编号] 1003-4684(2019)02-0001-04

基于 RFID 定位技术的室内人员行为分析系统

付 波, 毛嫚嫚, 袁旺军, 权 轶

(湖北工业大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 针对实际场景中室内定位系统误差大、稳定性差的问题, 建立一种基于射频识别技术的室内定位行为分析系统。该系统首先对信号强度进行拟合平滑处理并改善了无线信号传播损耗模型; 然后提出了新的加权质心定位算法, 考虑信标节点之间的影响, 引入新加权因子, 从三圆相交和两圆相交进行修正; 最后对轰趴馆的区域热度和个体行为偏好进行了分析。实验结果表明, 定位精度得到提高, 人员行为分析结果具有一定参考价值。

[关键词] 射频识别技术; 室内定位; 加权质心定位算法; 行为分析

[中图分类号] TP13

[文献标识码] A

全球定位系统和北斗卫星导航系统能实现室外精准定位, 但室内环境错综复杂, 建筑物遮挡信号, 无法满足室内定位的需求, 因此研究人员提出了基于蓝牙、WiFi、ZigBee、红外线、RFID 等室内定位技术^[1-2]。与其他技术相比, RFID 对硬件设备要求低、响应速度快、稳定性强且定位精度高, 因而成为室内定位技术的首选^[3-4]。传统的 RFID 定位方法通过采集信号接收强度得到电子标签与读卡器的距离, 然后利用几何方法计算待定位电子标签的坐标^[5]。质心定位算法^[6-7]因其原理简单和计算量小而广受欢迎, 但其并没有考虑到各个信标节点对待测节点的影响不同, 因而有人提出了加权质心定位算法^[8], 其主要是利用距离的倒数作为权重因子来修正定位算法, 但又忽略了信标节点之间的影响。本文以轰趴馆为对象, 提出了一套新的室内无线信号传播损耗模型, 并改进了加权质心定位算法, 以减小环境和偶然误差的影响, 提高了定位精度。

1 系统模型分析

用 RFID 定位技术的测量方法, 对轰趴馆室内各个区域人员进行实时追踪定位, 结合客户数据, 挖掘出更多有用信息, 最终提高用户的体验并增加轰趴馆效益。具体模型分析见图 1。

系统整体流程: 电子标签发送信号; 读卡器接收

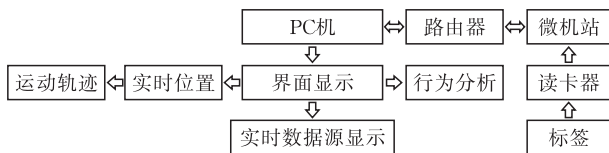


图 1 总体方案设计图

有效范围内电子标签发送的信号并将其传送给微基站, 微基站通过路由器将数据传送给 PC 机, 同时微基站可以接收 PC 机通过路由器的指令信号; 数据到达 PC 机后由编写的定位管理系统软件进行数据处理, 然后在界面上显示, 显示界面主要包含检测到的标签的实时位置、标签的运动轨迹; 结合定位数据和其他有效信息得到的行为分析结果; 读卡器接收到实时数据源显示。

2 系统设计及算法

2.1 主程序设计

主程序主要分为两部分, 前台界面显示和后台数据运算, 通过多线程任务完成。电子标签发送的信号被读卡器接收, 数据信息最终会被电脑捕获。数据捕获后有两个去向: 一个是实时数据, 对实时数据进行数据转换, 然后进行坐标计算, 得到的坐标作为位置信息显示在地图界面中; 一个是历史数据, 将其存储在数据库文件中, 查看标签的运动轨迹和行为分析时需要调用该文件。其流程见图 2。

[收稿日期] 2018-12-21

[基金项目] 国家教育部科研项目(教外司留[2014]1685); 国家自然科学基金(61072130); 湖北省科技厅重大专项(2013AEA001)

[第一作者] 付 波(1973-), 男, 湖北武汉人, 工学博士, 湖北工业大学教授, 研究方向为图像处理

[通信作者] 毛嫚嫚(1993-), 女, 湖北荆州人, 湖北工业大学硕士研究生, 研究方向为图像处理

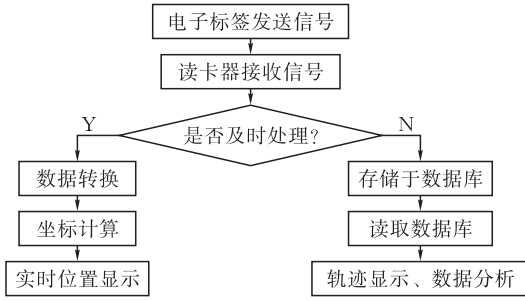


图2 主程序流程图

2.2 三角质心算法的改进

理想情况下,分别以三个信标节点的位置为圆心,以待测节点到信标节点的距离为半径画三个圆,三个圆的交点即为待测节点的位置。但由于室内环境的复杂性,障碍物会削弱信号,实际采集到的RSSI小于真实值,导致待测节点与信标节点间的距离偏大^[8],三个圆产生三个交点,构成一个三角形区域,传统的三角质心算法取三角形的质心作为待测节点的位置。根据RSSI测距原理,不同的信标节点与待测节点的距离不同,其占待测节点的位置准确度的权重也不同,而该算法将三个信标节点的作用等同,容易产生较大的定位误差,因而产生了加权质心算法^[9],但由于信标节点会相互干扰,因此本文引入了新的加权因子,考虑到信标节点之间的影响,提出了改进的加权质心算法,分别从三圆相交和两圆相交进行修正。

2.2.1 三圆相交的加权三角形质心算法 如图3所示,三圆两两相交产生三个交点分别为

$$A(x_{dA}, y_{dA}), B(x_{dB}, y_{dB}), C(x_{dC}, y_{dC})$$

构成的三角形质心坐标为 $O(x_0, y_0)$

$$x_0 = \frac{x_{dA} + x_{dB} + x_{dC}}{3}, y_0 = \frac{y_{dA} + y_{dB} + y_{dC}}{3} \quad (1)$$

如图4所示,三个交点与质心的距离分别为 d_A, d_B, d_C ,比较 d_A, d_B, d_C 的大小。待测节点距离信标节点越远,信标节点对待测节点位置的影响力越小,加权因子越小;距离越近,影响力越大,加权因子越大,加权因子为

$$\begin{cases} w_{\max} = \frac{\max\{d_A, d_B, d_C\}}{d_A + d_B + d_C}, \\ w_{\text{mid}} = \frac{\text{mid}\{d_A, d_B, d_C\}}{d_A + d_B + d_C}, \\ w_{\min} = \frac{\min\{d_A, d_B, d_C\}}{d_A + d_B + d_C} \end{cases} \quad (2)$$

其中 $\text{mid}\{d_A, d_B, d_C\} = d_A + d_B + d_C - \max\{d_A, d_B, d_C\} - \min\{d_A, d_B, d_C\}$ 则待测点 P 的坐标为 (x_p, y_p)

$$\begin{cases} x_p = w_{\min} * x_{\max\{d_A, d_B, d_C\}} + w_{\text{mid}} * x_{\text{mid}\{d_A, d_B, d_C\}} + w_{\max} * x_{\min\{d_A, d_B, d_C\}} \\ y_p = w_{\min} * y_{\max\{d_A, d_B, d_C\}} + w_{\text{mid}} * y_{\text{mid}\{d_A, d_B, d_C\}} + w_{\max} * y_{\min\{d_A, d_B, d_C\}} \end{cases} \quad (3)$$

2.2.2 两圆相交的加权质心算法 如图5所示,连接交点 AB, CD ,过圆心 E 点分别作 AB, CD 的垂线,交点分别为 $M(x_{dM}, y_{dM}), N(x_{dN}, y_{dN})$,取 EM, EN 的长度分别为 d_M, d_N ,比较两者的大小,距离小的权值大,距离大的权值小,则

$$w_{\max} = \frac{\max\{d_M, d_N\}}{d_M + d_N}, w_{\min} = \frac{\min\{d_M, d_N\}}{d_M + d_N} \quad (4)$$

待测点 P 坐标为 (x_p, y_p)

$$\begin{cases} x_p = w_{\max} x_{\min\{d_M, d_N\}} + w_{\min} x_{\max\{d_M, d_N\}} \\ y_p = w_{\max} y_{\min\{d_M, d_N\}} + w_{\min} y_{\max\{d_M, d_N\}} \end{cases} \quad (5)$$

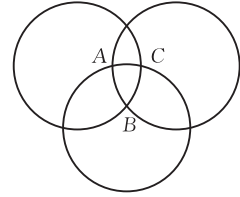


图3 圆周模型三角质心法

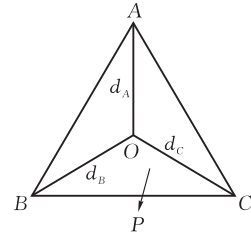


图4 公共三角形部分

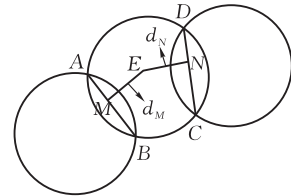


图5 两圆相交

2.3 数据采集与处理

射频信号的传输容易受到障碍物等环境因素以及其他电子设备的干扰,为了减小这些因素的影响,对室内无线信号传播损耗模型进行了改进。改进后的室内无线信号传播损耗模型如下:

$$r = \begin{cases} 0 & \text{RSSI} \geq L_0 \\ 100(L_0 - \text{RSSI}) / (L_0 - L_1), & L_1 \leq \text{RSSI} < L_0 \\ 85 + 0.6(\text{RSSI} + 36)(\text{RSSI} + 36), & L_2 \leq \text{RSSI} < L_1 \\ 1.6(\text{RSSI} + 34.5)(\text{RSSI} + 34.5) - 180.7, & \text{RSSI} < L_2 \end{cases} \quad (6)$$

其中 r 表示电子标签到读卡器的距离, RSSI 表示电子标签到读卡器的信号强度, $L_0 = -22$ dB, $L_1 = -41$ dB, $L_2 = -50$ dB。

在数据采集,首先对读卡器和电子标签进行初始化处理,定位系统开启以后,电子标签会以自定义的形式向读卡器发送它传递的信息,读卡器接收

到标签发送的数据以及信息强度(RSSI 数据),利用曲线拟合平滑 RSSI 曲线,对得到的数据进行筛选,然后将其代入改进后的室内无线信号传播损耗模型中将 RSSI 信息转换成距离,通过带入定位算法求得待测点坐标。信号采集流程如图 6 所示。

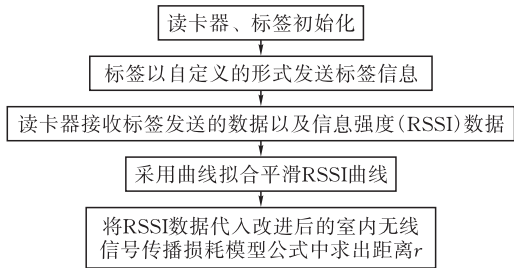


图 6 数据采集流程图

在数据采集的过程中,会触发定时器,在未达到预定时间时,会继续进行数据采集,当数据采集到了预定时间则会对数据信息(信号强度信息)进行拟合去抖动处理,过滤掉异常值。计算标签到某个读卡器的距离 r_i 与上一次测量的距离 r_{i-1} 的差,若该值大于阈值,则为异常数据, r_i 取前三次测量的数据中的最小值,即

$$r_i = \min(r_{i-1}, r_{i-2}, r_{i-3}) \tag{7}$$

若该值小于阈值,则 r_i 为正常数据。为了便于坐标计算,将原始的信息格式即每个标签到每个读卡器(单对单)转换成每个标签到各个读卡器(单对多)的格式。将转换后的信息传递给坐标计算模块便可得到各个标签的位置信息,存储于数据库文件(图 7)。

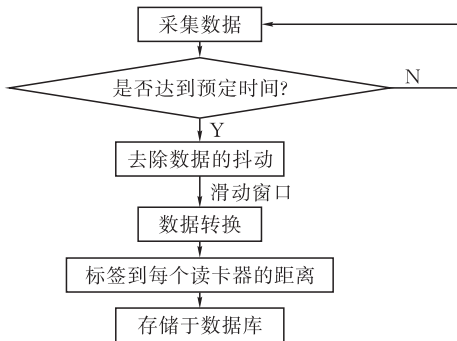


图 7 数据处理与转化流程图

2.4 行为分析模块

行为分析是根据轰趴馆内消费者在不同区域的停留次数以及停留时间来判断消费者的行为喜好和区域热度,帮助经营者合理的规划轰趴馆的场地布局以及设施投资与维护,使经营者做出最契合于消费者习惯的轰趴馆规划。

首先将轰趴馆内不同的娱乐设施场地进行区域划分,消费者随身携带作为消费凭证的会员识别卡(内附我们的电子标签设备),在进入轰趴馆的时

候需要刷卡进入,即该电子标签进入划分的坐标区域,消费者刷卡都会有相应的消费记录,则:

第 i 个人对第 j 个区域的喜爱程度

$$h_{ij} = \frac{s_{ij}}{t_{ij}} \tag{8}$$

其中 t_{ij} 表示第 i 个人在第 j 个区域的停留时间, s_{ij} 表示第 i 个人在第 j 个区域的消费金额。

第 j 个区域的热度

$$p_j = \frac{n_j}{N} * s_j \tag{9}$$

其中 n_j 表示一定时间段内出现在第 j 个区域的人数, N 为该时间段内在所有区域出现的总人数, s_j 为该时间段内第 j 区域的消费金额。

3 实验环境及结果分析

本文选取了 4 个读卡器、1 个微基站、15 个待测点在 6 m×4 m 的场地进行测试,4 个读卡器分布在场地边界的中心点上,根据实际需要将场地划分成 5 个区域,分别用 1—5 编号。

3.1 结果分析

个体行为分析如图 8 所示:Station 表示读卡器 ID, S_Number 是标签 ID, Distance 是标签到读卡器的距离,图中展示的是编号 1800020 的电子标签携带者的行为偏好分析,可以看出其对区域 3 和区域 4 有浓厚的兴趣,对区域 1 和区域 5 显得较为平淡。

区域热度分析如图 9 所示,可以看出区域 4 是最受欢迎的,商家可以考虑扩大该区域的建设或增加其他设施促进二次消费。

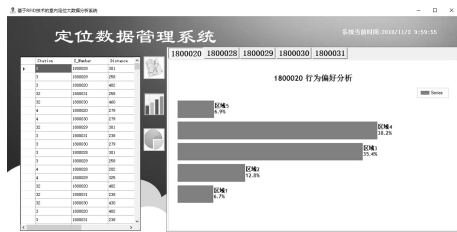


图 8 个体行为偏好分析

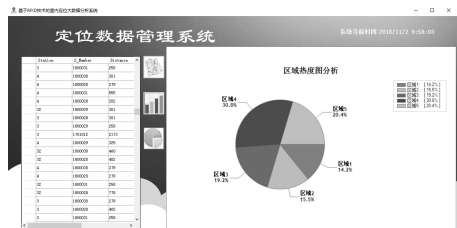


图 9 区域热度分析

3.2 误差分析

15 组待测点的位置分布如图 10 所示,与改进前的算法相比,本文采用的算法的定位结果更接近真实值,对于靠近边缘的待测点也能实现较准确的

定位。从图中可以看出,该定位系统的性能较稳定,没有出现较大的波动。

如图 11 所示,改进后的算法最大误差为 50.6 cm,平均误差为 30.4 cm,大部分待测点的误差在 40 cm 以下;而改进前的最大误差为 73.3 cm,平均误差为 49.9 cm;显然改进后的算法降低了定位误差,进一步提高了系统的定位精度和稳定性。

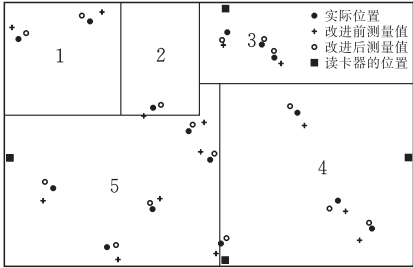


图 10 系统定位结果

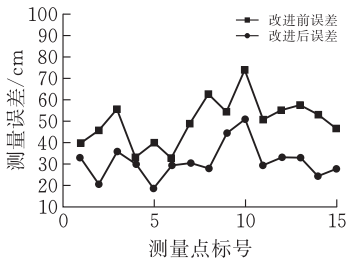


图 11 误差曲线图

4 结 论

本文通过对 RFID 定位技术进行研究,设计出一套改进的室内定位系统,对定位系统的软硬件进

行开发,介绍了主程序设计模块,数据采集与处理模块,并提出改进的三角定位算法,对定位系统进行了调试,最后利用实地场景对定位系统进行了验证,实验结果表明该系统满足轰趴馆定位所需精度。但系统的定位精度还是存在一定的误差,后续将通过改进系统软硬件性能来减小误差。

[参 考 文 献]

[1] 杨奎河,胡新红.室内定位技术研究综述[J].信息通信,2018(8):106-109.

[2] 黄勇,鹿安.基于双天线蓝牙基站双技术的室内定位系统研究与设计[J].计量与测试技术,2018,45(4):93-95.

[3] 李航.基于 RFID 的室内定位(RSSD)[J].数字技术与应用,2018,36(6):127-128.

[4] 赵锐,钟榜,朱祖礼,等.室内定位技术及应用综述[J].电子科技,2014,27(3):154-157.

[5] 陈珊珊,吴飞,史志才,等.基于 PSO 优化的 RFID 室内定位算法[J].通信技术,2018,51(9):2069-2074.

[6] 何艳丽.无线传感器网络质心定位算法研究[J].计算机仿真,2011,28(5):163-166,219.

[7] 陆霞.WiFi 定位技术——基于质心定位的三边定位算法的研究[J].电脑知识与技术,2013,9(25):5765-5767.

[8] 郭瑞,马寅飞.基于 RSSI 的三角形质心定位算法的优化策略[J].微电子学与计算机,2014,31(3):111-114.

[9] 邵丽鹏,朱梅冬,杨丹.基于 ZigBee 的加权质心定位算法的仿真与实现[J].传感技术学报,2010,23(1):149-152.

Indoor Personnel Behavior Analysis System
Based on RFID Location Technology

FU Bo, MAO Manman, YUAN Wangjun, QUAN Yi

(School of Electrical and Electronic Engineering, Hubei Univ. of Tech., Wuhan 430068, China)

Abstract: In view of inaccuracy and instability of indoor positioning system in a real scenario, this thesis proposes an indoor positioning behavior analysis system based on the Radio Frequency Identification Technology (RFID). The proposed system first processed the signal intensity by means of polynomial smoothing and improved the loss model of wireless signal transmission. In addition, a new weighted centroid localization algorithm was presented, which took into account the influence between beacon nodes and introduced a new weighting factor to correct three—circle intersection and two—circle intersection. Finally, regional heat and individual behavior preference of the Home Party were analyzed. Experimental results show that the proposed system could improve the positioning accuracy, and the findings of the behavior analysis results are beneficial for reference.

Keywords: RFID; indoor positioning; weighted centroid localization algorithm; behavior analysis

[责任编辑: 张岩芳]