

1-4-2019

Indoor Positioning Algorithm Based on ZigBee and Improved Radio Frequency Identification

Dahu Yan

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Yangjie Xu

Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Indoor Positioning Algorithm Based on ZigBee and Improved Radio Frequency Identification

Abstract

Abstract: Since the traditional RFID positioning technology relies on the Internet and is especially constrained by the positioning distance in the process of positioning the tags with poor positioning accuracy, a novel positioning algorithm is proposed based on the ZigBee and improved VIRE algorithm. *By using the proposed algorithm, ZigBee nodes are adopted to achieve the formation of network information transmission to replace the traditional wired communication. Gaussian-Kalman filter is used to deal with the sampling data of the limited preselected reference node signal strength. The algorithm adopts signal propagation loss model to calculate the RSSI values of virtual reference tags, so as to be more close to the values of real tags. The Dynamic threshold is employed to predict the positioned tags.* Simulation results show that compared with the traditional RFID method, the proposed algorithm performs better in terms of positioning accuracy, which improves working efficiency of the indoor positioning method.

Keywords

RFID, ZigBee, Gaussian-Kalman filter, adaptive threshold, improved VIRE algorithm

Recommended Citation

Yan Dahu, Xu Yangjie. Indoor Positioning Algorithm Based on ZigBee and Improved Radio Frequency Identification[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4484-4491.

融合 ZigBee 的改进射频识别室内定位算法研究

严大虎, 徐杨杰

(江南大学 物联网技术应用教育部工程研究中心, 无锡 214122)

摘要: 针对传统的 RFID 定位方案依赖网络, 定位过程中受到识别距离限制以及 VIRE 算法精度不高等问题, 提出了一种基于 Zig Bee 与改进 VIRE 的 RFID 室内定位算法。该算法引入 Zig Bee 节点实现组建网络完成信息传输, 以代替传统的有线通信; 采用高斯卡尔曼滤波对有限预选参考点的信号强度采样数据进行预处理; 采用信号传播损耗模型计算虚拟参考标签的 RSS 值, 使其更接近于真实标签的值。估算待测标签位置时引入动态阈值的思想完成定位。实验结果表明, 该算法精度优于传统的 RFID 定位方法, 提高了室内定位方法的工作效率。

关键词: RFID; Zig Bee; 高斯卡尔曼滤波; 动态阈值; 改进 VIRE 算法

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 11-4484-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201811052

Indoor Positioning Algorithm Based on ZigBee and Improved Radio Frequency Identification

Yan Dahu, Xu Yangjie

(Engineering Research Center of Internet of Things Technology Applications Ministry of Education, Wuxi 214122, China)

Abstract: Since the traditional RFID positioning technology relies on the Internet and is especially constrained by the positioning distance in the process of positioning the tags with poor positioning accuracy, a novel positioning algorithm is proposed based on the ZigBee and improved VIRE algorithm. By using the proposed algorithm, ZigBee nodes are adopted to achieve the formation of network information transmission to replace the traditional wired communication. Gaussian-Kalman filter is used to deal with the sampling data of the limited preselected reference node signal strength. The algorithm adopts signal propagation loss model to calculate the RSSI values of virtual reference tags, so as to be more close to the values of real tags. The Dynamic threshold is employed to predict the positioned tags. Simulation results show that compared with the traditional RFID method, the proposed algorithm performs better in terms of positioning accuracy, which improves working efficiency of the indoor positioning method.

Keywords: RFID; ZigBee; Gaussian-Kalman filter; adaptive threshold; improved VIRE algorithm

引言

随着时代的不断高速发展、互联网信息与工业



收稿日期: 2018-06-11 修回日期: 2018-07-05;
基金项目: 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合
研究项目(BY2016022-24);
作者简介: 严大虎(1974-), 男, 江苏无锡, 硕士, 副
教授, 研究方向为制造业信息化; 徐杨杰(1992-), 男,
江苏盐城, 硕士生, 研究方向为 RFID 定位算法。

控制的推进优化, 物联网技术开始飞速发展的同时也逐渐成为现代人们讨论的焦点。室内定位作为一种与人们的日常生活息息相关的服务, 变得越发的重^[1]。在当前的各种无线定位系统中, 全球定位系统(GPS, Global Positioning System)广泛应用于交通运输、医疗救援等领域, 是目前定位领域最为流行的技术之一。但室内环境多变复杂, 各种噪声

<http://www.china-simulation.com>

• 4484 •

干扰, 多径效应与非视距的破坏影响巨大, 导致 GPS 系统难以完成准确定位。因此寻求更可靠、精确的室内定位技术成为社会亟待解决的问题。目前, 国内外的学者和科研机构针对不同的传播信号, 提出了几种室内定位解决方案, 比如红外线定位技术、声纳测距定位技术、无线传感器网络技术等。目前, 应用较为广泛的为射频识别技术及无线传感器网络。

随着时代的发展, 射频识别(RFID, Radio Frequency Identification)定位技术^[2]在定位过程中能够提供丰富的数据信息, 而且 RFID 标签不受环境因素的干扰。此外, 该定位技术还具备信号读取速度快、抗干扰能力和穿透性能强、同时对多个目标进行非可视识别等特点, 成为本世纪最具前景的定位技术之一^[3]。然而, 传统的 RFID 定位技术过于依赖网络, 且对于无源标的定位依然存在识别距离短、成本高等缺陷。并且目前 RFID 的通信方式多以有线为主, 但在一些面积较大且地形较为复杂的环境中, 例如矿井下、幼儿园和医院等, 由于布线等问题, RFID 的应用受到限制。作为一种无线传感网络技术, ZigBee 技术^[4]因其成本、功耗、速率低、距离短, 被广泛应用于环境监测、智能家居和医疗护理等领域^[5]。采用 ZigBee 这一无线传感网络技术, 在 RFID 阅读器上集成 ZigBee 节点^[6], 便捷的将采集的数据传送到上位机进行分析处理, 这样很好的弥补单一 RFID 传输数据不方便这一问题。

最为经典的 RFID 定位系统就是由 Ni 等提出的 LANDMARC 系统^[7], 该系统引入了参考标签代替大量的读卡器, 在定位精度和系统成本等方面有了很大的改善。但是该系统也存在定位精度受参考标签限制这一弊端, 假若参考标签数目设置的不合理, 很容易影响系统的定位精度; 针对这些问题, 文献[8]仅选择邻近的参考标签进行定位, 降低了系统复杂度, 从而提高了定位精度。文献[9]针对半自动式的参考标签, 提出了 PDCA 算法, 通过设计良好的多频相位展开和消除方法提高标签定位的精度。文献[10]在 LANDMARC 系统的基础

上, 引入改进的表决算法以剔除不良标签, 提高了系统的抗干扰能力以及定位精度。文献[11]利用相位差测距方法对无源标签进行定位, 设计了一种 UHF RFID 室内定位系统, 但是该方法需要精确测量出 RFID 的信号频率, 算法的复杂度比较高, 并且需要精密的仪器进行测量, 成本比较高。

针对上述方法的缺陷, 提出了一种 ZigBee 辅助的 IMVIRE 定位算法。该算法在 VIRE 算法基础上, 通过建立回归方程对边界虚拟标签进行插值以及利用 ZigBee 信号采集的信标节点的 RSS 值拟合传播模型来进行网格虚拟标签的插值。估算待测标签时引入动态阈值的思想, 提高定位算法的精度。融合 ZigBee 技术和 RFID 技术的各自优势, 对多种定位方式结合的定位技术发展具有一定指导意义。

1 混合定位系统模型分析

基于 ZigBee 辅助的 RFID 定位系统模型是由智能节点、电子标签、网关、上位机 4 个部分组成, 如图 1 所示, 其中, ZigBee 模块和 RFID 模块构成智能节点, 这两个模块通过 RX/TX 进行数据交互, RFID 阅读器完成对电子标签的识别以及 RSSI 信息的采集; ZigBee 模块负责将阅读器收集的数据通过无线方式转发给网关。同时也可以作为参考节点实现自定位。通过串口线连接网关节点及上位机, 从而实现组网的过程, 当收集到的智能节点发来的数据则转发给上位机软件进行处理。电子标签主要功能是接收阅读器发来的射频信号, 激活自己后将标签信息方向采用反向散射调制的方式将信息传回 RFID 模块。

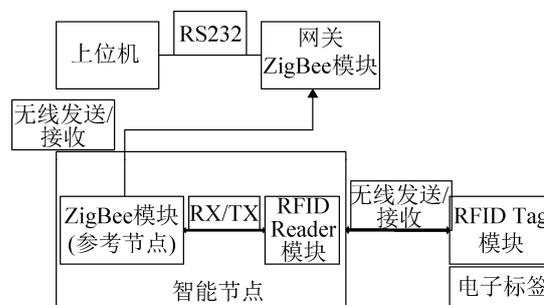


图 1 定位系统框图

Fig. 1 Block diagram of positioning system

2 IMVIRE 定位算法原理

2.1 高斯-卡尔曼滤波

传统的 LANDMARC 定位系统需要阅读器读取 RF 参考标签的信号强度值,而在复杂的室内环境下会使得读取到 RSS 值夹杂很多干扰信息,这使得信号不稳定,系统整体的性能也会降低,因此需要通过滤波算法处理采样的信号。经典的 RSS 滤波算法主要有狄克逊检验法滤波、均值滤波、高斯滤波、卡尔曼滤波等。

通过高斯滤波可以就采集到的 RSS 值进行数据分析,采用高斯数学模型将一些突变的小概率干扰项滤除^[12],再计算其余数据的平均值作为滤波的输出。其拟合处理函数如公式(1)~(3)所示:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi/2}} e^{-2(x-\mu)^2/\sigma^2} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^k RSSI_i}{k} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (RSSI_i - \mu)^2}{k-1}} \quad (3)$$

式中: $f(x)$ 代表密度函数; μ 代表该位置采集到的 RSS 值均值; σ 代表该位置采集到的 RSS 值标准差。这种方法能有效地减少小概率干扰项对整体数据的影响,但其只能筛选部分干扰项,对于长时间误差干扰处理效果欠佳,且不能消除数据的整体波动。

卡尔曼滤波以最小均方误差最佳估计原则,建立观测方程和系统方程对 RSS 值做最小均方误差的估计^[13]。实现过程分为预测阶段和修正阶段:

预测阶段:

$$\begin{cases} \hat{x}_{k+1,k} = \varphi_{k+1,k} \cdot \hat{x}_{k,k} \\ Q_{x(k+1,k)} = \phi_{k+1,k} Q_{x(k,k)} \phi_{k+1,k}^T + \\ \Gamma_{k+1,k}^T Q_{x(k,k)} \Gamma_{k+1,k} \end{cases} \quad (4)$$

更新阶段:

$$\begin{cases} \hat{x}_{k+1,k} = x_{k+1,k} + K_{k+1}(\hat{L}_{k+1} - B_{k+1}\hat{x}_{k+1,k}) \\ Q_{x(k+1,k+1)} = (1 - K_{k+1}B_{k+1})Q_{x(k+1,k)} \\ K_{k+1,k} = Q_{x(k+1,k)}B_{k+1}^T + \\ [B_{k+1}Q_{x(k+1,k)}B_{k+1}^T + Q_{L(k+1)}] \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\hat{x}_{k,k}$ 为 k 时刻 RSS 值的状态估计值; $\hat{x}_{k+1,k}$ 为 k 时刻 RSS 值的下一步预测值; \hat{L}_{k+1} 为 $k+1$ 时刻的预测估计; B_{k+1} 为预测矩阵; $Q_{x(k+1)}$ 为方差矩阵; K_{k+1} 表示增益矩阵。

本文结合高斯滤波和卡尔曼滤波的特点,设计高斯卡尔曼混合滤波对数据进行预处理。首先通过高斯滤波剔除异常干扰项,然后将高斯滤波筛选后的 RSS 值进行卡尔曼滤波,将滤波后的 RSS 值用于定位算法的输入。

2.2 网格虚拟参考标签的 RSS 值

在室内环境下,由于多径效应的影响,使得 LANDMARC 定位系统的定位精度不好,此外参考标签的大量部署使得信号之间相互扰动,同时对硬件性能造成损耗,影响定位精度。

VIRE 系统通过在真实标签之间添加虚拟参考标签的方式,来解决参考标签过量使用带来的问题^[14]。参考标签的布局方式通常分为两种:正方形布局和三角布局,本文划分 4 个邻近参考标签为一小组,并将小组进一步分割成 $N \times N$ 的小正方形组合,即采取参考标签的正方形布局形式,所以采用线性插值的方式估算网格虚拟标签的 RSS 值。

对于水平位置上的虚拟标签,有:

$$S_h(T_{p,b}) = S_h(T_{a,b}) + p \times \frac{S_h(T_{a+n,b}) - S_h(T_{a,b})}{n} \quad (6)$$

对于竖直位置上的虚拟标签,有:

$$S_h(T_{a,q}) = S_h(T_{a,b}) + q \times \frac{S_h(T_{a,b+n}) - S_h(T_{a,b})}{n} \quad (7)$$

式中: $S_h(T_{i,j})$ 指的是第 k 个阅读器读出的坐标为 (i,j) 的 RSSI。参数 $a=[i/n]$, $b=[j/n]$, $0 \leq p = i \bmod n \leq n-1$, $0 \leq q = j \bmod n \leq n-1$ 。

虚拟参考标签采用线性插值法,在实际环境中, RSS 值与距离呈现出复杂的非线性关系,显然直接进行线性插值会带来较大误差。常见的非线性

插值法主要有 Lagrange 插值法、Newton 插值法等。Lagrange 插值法方式有对称性, 易编程实现。但是这种插值多项式随着插值节点的增加, 所有插值基函数必须重新计算。Newton 插值法使用灵活且可继承, 但是节点处有尖点、且插值多项式在节点处不可导, 增加计算复杂度。针对以上问题, 参考对数距离损耗模型适用于无线信号衰减, 本文采用合适的模型来进行网格虚拟标签插值。

本算法采用的对数距离损耗模型^[15]可如下表示:

$$PL(d)_{db} = \overline{PL}(d_0) - 10n \lg \frac{d}{d_0} + X_{\sigma} \quad (8)$$

式中: d 是信号源和信号目标之间的实际距离; d_0 是信号源和信号目标之间的参考距离; $PL(d_0)$ 是处于参考距离 d_0 时的信号强度; $PL(d)_{db}$ 是距离为 d 时的信号强度; n 是路径损耗指数, X_{σ} 是服从 $N(0, \sigma^2)$ 的阴影正态随机变量。

如图 2 所示, 已知 T_1 、 T_2 到读写器 1 的距离和它们分别在读写器 1 上的 RSS 值, 经过高斯卡尔曼滤波预处理后利用式(9)求出 n 。即可以通过读取 T_1 、 T_2 到其他读写器的距离和 RSS 值获得相对应的路径损耗指数, 并求取各个指数的均值来获取最终的 n 值。

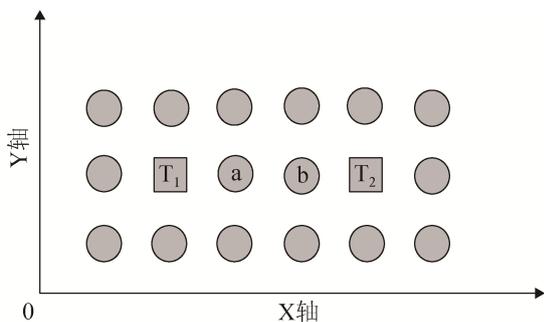


图 2 网格虚拟参考标签计算
Fig. 2 Calculation of grid virtual reference labels

求得对数损耗模型之后, 已知读写器、真实和虚拟的参考标签相应坐标。首先以 T_1 作为该模型参考点, 分别获取读写器 1 到 T_1 的距离 d_0 和到 a 的距离 d , 根据公式(8)计算得到 a 点在读写器 1 上的 $RSSI_{a1}$ 值; 其次以 T_2 作为该模型参考点, 同理

可获得 a 点在读写器 1 上的 $RSSI_{a2}$ 值; 最后求取均值 $RSSI = (RSSI_{a1} + RSSI_{a2})/2$, 即得到 a 在读写器 1 上的 RSS 值, 同理可得到 a 在其他读写器上的 RSS 值。

2.3 边界虚拟参考标签的 RSS 值

经典的 VIRE 算法没有解决位于定位区域边界处的待测标签的定位误差大这一问题, 本文提出通过计算边界虚拟标签的 RSS 值以提高整体定位精度的 IMVIRE 算法。常用的方法有一元一次线性回归方法、一元二次线性回归方法以及一元对数回归方法, 结合算法复杂度和估算准确度, 采用一元一次线性回归算法进行计算 RSS 值。

具体算法如下:

$$S = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (9)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i S_i - n \bar{x} \bar{S}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(S_i - \bar{S})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

$$\hat{\beta}_0 = S - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (11)$$

如图 3 所示, 首先获取阅读器(0,0)中 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 上的 RSS 值 S_{11} 、 S_{12} 、 S_{13} 、 S_{14} , 代入公式(10)、(11), 从而分别获取 β_1 、 β_0 的值; 其次将 B1 的坐标代入式(9)中, 得到 B1 的 RSS 值; 最后, 同理求取正方形布局上的另外三个阅读器所对应的 B1 的 RSS 值。同理参照上述方法可获取左右两边边界的虚拟参考标签的 RSS 值, 若要获取上下两边边界的虚拟参考标签的 RSS 值, 可以对纵坐标进行线性回归获取。

2.4 动态阈值的设定

传统 VIRE 算法估算待定位标签位置所采用的方法是虚拟网格坐标决定法及小概率位置排除法, 其中参考标签的密度和阈值是其中两个重要的指标, 阈值的设定关系到整个系统的定位精度。阈值设置过大会带入许多冗余的标签信息影响定位精度, 阈值设定过小会忽略一些关键的标签信息, 同样会降低系统的定位精度。而传统的 VIRE 算法的

阈值设定是固定的, 这样不适用于动态变化的环境, 系统鲁棒性不强。

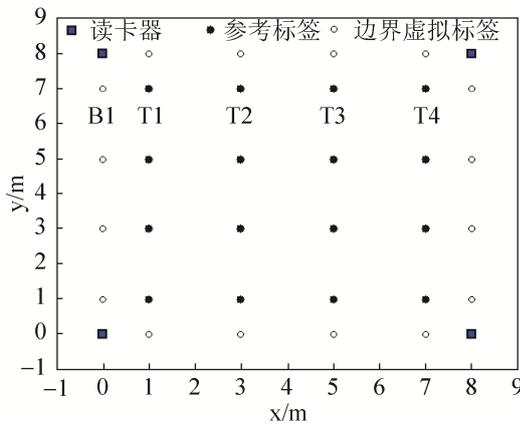


图3 边界虚拟参考标签分布图

Fig. 3 Distribution map of boundary virtual reference labels

针对这一问题, 本文提出自适应阈值的思想来提高整个系统的精度和鲁棒性。根据实验分析, 当邻近标签的数量 k 设置在 4~9 之间时能获得较优的定位结果, 所以在线定位时合理设置阈值的大小保证 k 的值在 4~9 之间, 具体方法如下。首先设置一个初始阈值为 2 dB, 每次循环阈值的差值修正为 0.2 dB。当最近邻参考标签的数目低于 4 个时, 增加 0.2 dB 以增加可选择的最优参考标签数目; 反之当邻近参考标签的数目大于 9 个时, 可能会带来干扰的参考标签, 需要将阈值减少 0.2 dB, 然后根据小概率位置排除法重新估算目标位置, 算出 k 在 4 到 9 之间选出定位精度最好的那一组结果作为最终定位结果。

综上所述, 基于传统 RFID 定位算法的不足, 本文提出了一种 IMVIRE 混合定位算法。该算法包括 3 个部分: 1) 采用高斯卡尔曼混合滤波的方法对采集到的参考标签 RSS 值进行预处理; 2) 采用线性回归方程以及传播损耗模型的方法对虚拟参考标签进行插值; 3) 在 VIRE 定位算法基础上, 引入动态阈值的方法以提高定位结果精确度。

IMVIRE 算法具体实现过程如下:

步骤 1: 初始化各个参数。 R 为阅读器数目, n 为参考标签数量, 将 4 个参考标签所在区域划分

成 $N \times N$ 个小网格, T 为阈值;

步骤 2: 通过阅读器读取定位区域中所有标签的信号强度值;

步骤 3: 利用高斯卡尔曼混合滤波处理标签中的阴影噪声;

步骤 4: 利用一元一次线性回归的方法计算所有边界虚拟标签的信号强度值;

步骤 5: 利用距离损耗模型计算所有网格参考标签的信号强度值;

步骤 6: 设置一个初始阈值, 默认为 2 dB, 采用 VIRE 系统中的小概率排除原理得出临近参考标签的数目, 其值记为; 通过自适应的改变阈值, 使得 k 的数目控制在 4~9 之间, 如果超过了 9 则降低阈值。如果 k 低于 4 则相应的增大阈值;

步骤 7: 计算出所有最邻近标签位置信息的权值;

步骤 8: 对临近参考标签进行加权, 计算出待测标签的最终位置;

步骤 9: 求解出 k 在 4~9 之间的定位误差, 并选出定位精度最好待定位标签的坐标值。

3 仿真实验与结果分析

3.1 仿真环境

本文利用 Jennic 公司的 JN5121 实验平台组建定位系统, 模拟出室内环境。编程语言为 MATLAB 2010b。系统参数为: Windows10, Intel i5 2.50GHz、2.49 GHz 双核 CPU, 3.89GB 内存。各类标签及读卡器分布情况如图 3 所示。标签分布在 8 m×8 m 的正方形区域当中, 共含有 16 个参考标签以及 4 个阅读器。其中各参考标签间距固定为 2 m, 阅读器分布在正方形区域边界顶点处。假设阅读器能够检测到所有标签, 现在该区域放置 16 个待定位标签, 每个阅读器上均已集成相应的 ZigBee 节点阅读器。对每个参考标签和待定位标签分别测量三十次, 通过 ZigBee 节点传到上位机, 求取平均值得到实验仿真结果。

3.2 结果分析

为验证本文提出 IMVIRE 定位算法的性能, 本文采用 LIBSVM 工具箱^[16], 在上述实验条件下分别对传统 LANDMARC 算法、VIRE 算法进行定位仿真, 并与本文提出算法进行对比。在 LANDMARC 算法中, 相邻参考标签数 $K=4$ 。在 VIRE 算法中 $N=3$, 阈值设为 2.2。

图4~6分别为经典的LANDMARC算法、VIRE算法以及本文提出的IMVIRE算法的定位仿真结果图。从图中可以看出, 针对处于边缘的待测定标签, 由于未在边缘处设置参考标签, 因此使用传统LANDMARC算法对它们进行定位时, 定位精度会降低。而本文所提的IMVIRE算法对边界虚拟参考标签进行了预估插值, 同时在线定位时引入了动态阈值的思想, 因此能够较大幅度地提升定位过程中边缘位置标签的实际定位精度, 对比上述传统算法提升较为明显, 最终估计结果最接近实际标签位置, 进一步提高了定位的准确性。

各个待测位置标签的实际定位误差如图7所示。从图中可以看出, LANDMARC算法获得的定位误差最高, VIRE算法次之, 而本文提出的IMVIRE算法具有最低的定位误差。算法在各个待测标签的定位误差基本都处于最优的情况, 对于那些位于边缘的待测标签, 优化效果尤为明显。

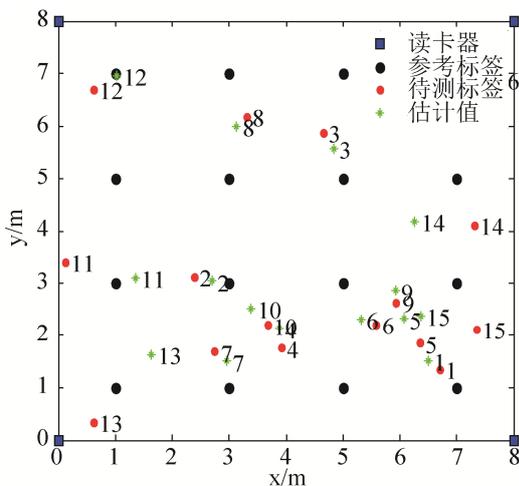


图4 LANDMARC 仿真结果图

Fig. 4 Simulation result diagram of LANDMARC

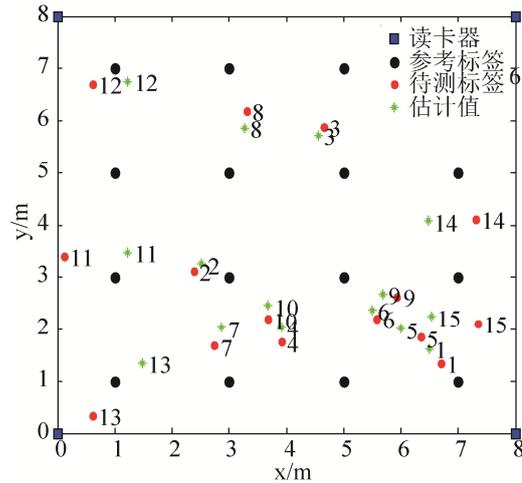


图5 VIRE 仿真结果图

Fig. 5 Simulation result diagram of VIRE

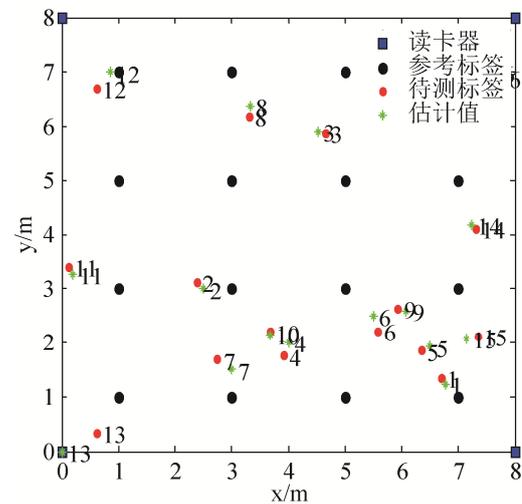


图6 IMVIRE 仿真结果图

Fig. 6 Simulation result diagram of IMVIRE

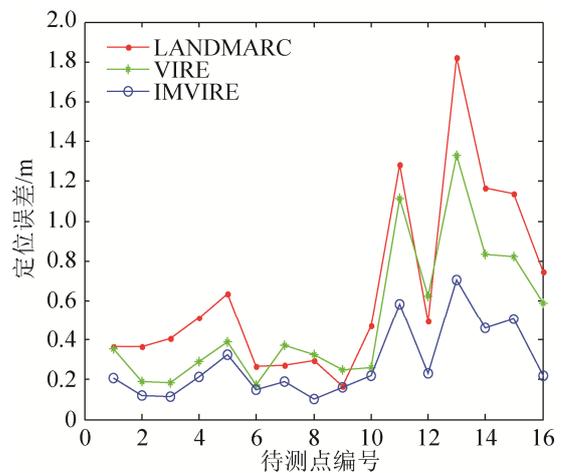


图7 定位误差比较图

Fig. 7 Comparison diagram of positioning error

不同算法的定位误差累计概率曲线图如图 8 所示。由图可知, IMVIRE 算法曲线比其他两种算法都要陡, 以更快的速度上升到 1。本文算法 80% 的概率低于 0.4 m; 而经典的 LANDMARC 和 VIRE 定位算法, 分别以 80% 概率低于 0.8 m 和 1.2 m。由此可见本文提出的算法具有更低的定位精度以及较小的定位误差波动, 因此算法的整体性能更优。

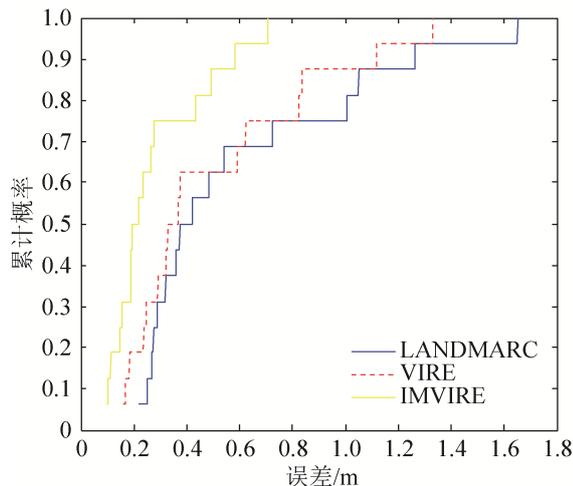


图 8 定位精确度比较图

Fig. 8 Comparison diagram of positioning accuracy

为直观地对比 3 种算法的实际性能, 表 1 分别从最大误差、最小误差、平均误差、预测时间 4 个方面来对它们进行比较。IMVIRE 算法的平均定位误差仅有 0.281 8 m, 在精度上比之其他两个算法有很大优势; 从预测时间上看来, IMVIRE 算法比传统的定位算法略长, 因此实时性略微降低, 但是该算法较其他两种算法具有较小的定位误差, 实际定位精度较高, 能够一定程度上减少在布置密集参考标签时耗费的工作量。综上所述, 本文提出的 IMVIRE 算法能够较好地提高室内定位的实际性能。

表 1 3 种算法的综合性能比较

Tab. 1 Comparisons of three algorithms with respect to comprehensive performance

算法名称	最大误差/m	最小误差/m	平均误差/m	预测时间/s
LANDMARC	1.652 1	0.216 8	0.593 7	0.319 6
VIRE	1.116 6	0.170 6	0.505 9	0.354 9
IMVIRE	0.704 1	0.101 5	0.281 8	0.432 1

4 结论

本文针对传统的 RFID 技术需要消耗大量参考标签以及需要通过有线方式传输数据, 无法获得较为理想的室内定位效果这一问题, 提出了 ZigBee 技术与 RFID 技术想结合的思想。在 RFID 阅读器上集成 ZigBee 节点, 便捷的将采集的数据传送到上位机进行分析处理。针对传统的 LANDMARC 算法定位精度不够高以及需要布置大量参考标签等问题, 提出了 IMVIRE 算法。离线时采用线性回归和实际传播模型的方法布置虚拟参考标签, 同时估算待测标签是引入了动态阈值的方法进行定位。仿真结果表明, 与 LANDMARC 及 VIRE 算法相比, 本文提出的 IMVIRE 定位算法定位精度更高, 稳定性更强。

参考文献:

- [1] 钱志鸿, 王义君. 面向物联网的无线传感器网络综述[J]. 电子与信息学报, 2013, 35(1): 215-227.
Qian Zhihong, Wang Yijun. Internet of Things-oriented Wireless Sensor Networks Review[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2013, 35(1): 215-217.
- [2] 付俊, 陈智军, 陈涛, 等. 声表面波射频频识别的阅读器微带天线小型化[J]. 测试技术学报, 2017, 31(1): 56-63.
Fu Jun, Chen Zhijun, Chen Tao, et al. The Miniaturization Design of Reader Microstrip Antenna for SAW RFID [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2017, 31(1): 56-63.
- [3] 石雪军, 纪志成. 基于射频频识别的室内定位系统算法研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(6): 1294-1300.
Shi Xuejun, Ji Zhicheng. Indoor Positioning System Algorithm Based on RFID[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(6): 1294-1300.
- [4] 彭竞, 刘增军, 朱明, 等. 基于优选 RFID 观测值的 GPS/RFID 组合定位方法[J]. 国防科技大学学报, 2012, 34(2): 70-75.
Peng Jing, Liu Zengjun, Zhu Ming, et al. Research On GPS/RFID Integration Algorithm Based on the Optimal Selection of RFID Observations[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2012, 34(2): 70-75.
- [5] 胡宏泽. 基于 ZigBee 网络的移动节点 RFID 定位技术的研究与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
Hu Hongze. Research and Implementation of Mobile

- Node Positioning Technology Based On ZigBee Network and RFID[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015.
- [6] 叶涛. 基于 RFID 与 ZigBee 的室内定位跟踪技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
Ye Tao. Research on Indoor Locating and Tracking Technology Based on RFID and ZigBee[D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.
- [7] 王小辉, 田磊. 基于 RFID 技术的三维定位算法研究[J]. 电子设计工程, 2017, 25(6): 136-139.
Wang Xiaohui, Tian Lei. Design of the Three-dimensional Positioning Algorithm Based on RFID[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(6): 136-139.
- [8] 董永峰, 周艳聪, 孙陆楠, 等. 基于 RFID 的虚拟参考标签三维室内定位算法[J]. 计算机工程与设计, 2015, 36(6): 1535-1539.
Dong Yongfeng, Zhou Yancong, Sun Lu'nan, et al. Virtual Reference Tags Three-dimensional Indoor Localization Algorithm Based on RFID[J]. Computer Engineering and Design, 2015, 36(6): 1535-1539.
- [9] Ma Y, Zhou L, Liu K, et al. Iterative Phase Reconstruction and Weighted Localization Algorithm for Indoor RFID-Based Localization in NLOS Environment [J]. IEEE Sensors Journal (S1530-437X), 2013, 14(2): 597-611.
- [10] 刘小红, 苏湛, 徐青, 等. 基于 LANDMARC 系统的室内定位算法优化[J]. 信息技术, 2016, 40(12): 181-184.
Liu Xiaohong, Su Zhan, Xu Qing, et al. Indoor Positioning System Optimization Algorithm Based on LANDMARC[J]. Information Technology, 2016, 40(12): 181-184.
- [11] 王峰. 基于 UHF RFID 的室内定位系统研究与设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
Wang Feng. Study and Design on Indoor Localization System Based on UHF RFID[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.
- [12] 吴栋, 纪志成, 张彪. 基于无线传感器网络的改进 APIT 定位算法[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(12): 2965-2972.
Wu Dong, Ji Zhicheng, Zhang Biao. Improved APIT Localization Algorithm Based on Wireless Sensor Network [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(12): 2965-2972.
- [13] 刘静, 姜恒, 石晓原. 卡尔曼滤波在目标跟踪中的研究与应用[J]. 信息技术, 2011, 35(10): 174-177.
Liu Jing, Jiang Heng, Shi Xiaoyuan. Study and Application of Kalman Filtering for Target Tracking[J]. Information Technology, 2011, 35(10): 174-177.
- [14] 邓照群, 李兴广, 陈磊. 基于 RFID 的室内定位算法 VIRE 的改进[J]. 科技创新导报, 2016, 13(18): 72-73.
Deng Zhaoqun, Li Xingguang, Chen Lei. Improvement of Indoor Location Algorithm VIRE Based on RFID[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2016, 13(18): 72-73.
- [15] 陈河军, 何熊熊, 丁海强. 基于 RSSI 动态路径损耗的定位算法[J]. 杭州电子科技大学学报, 2014, 34(2): 24-27.
Chen Hejun, He Xiongiong, Ding Haiqiang. The Localization Algorithm Based on Dynamic RSSI Path Loss[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2014, 34(2): 24-27.
- [16] Al-Hamdan Q Z, Ebaid M S Y. Modeling and Simulation of a Gas Turbine Engine for Power Generation[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines & Power (S0742-4795), 2006, 128(2): 302-311.
- [17] 翁史烈. 燃气轮机性能分析[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987: 4-6.
Weng Shilie. Analysis of Gas Turbine Performance [M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press. 1987: 4-6.
- [18] 马一太, 王志国, 杨昭, 等. 燃气轮机性能评价的模糊综合评判方法[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(9): 218-220.
Ma Yitai, Wang Zhiguo, Yang Zhao, et al. Fuzzy Comprehensive Method for Gas Turbine Evaluation[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(9): 218-220.

(上接第 4483 页)