

基于 RFID 的虚拟标签改进算法

陈 冰, 刘开华, 史伟光

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要: 针对 VIRE 算法定位精度低的不足, 提出一种改进算法, 其中包括非线性插值算法、动态阈值的设定以及模糊地图的标签自校正。构建基于参考标签的室内定位系统, 并开发界面软件。实验结果表明, VIRE 改进算法能在不增加参考标签数目的情况下, 提高定位精度, 改善恶劣环境定位结果的稳定性。

关键词: 参考标签; 无线射频识别; 室内定位; VIRE 算法; 虚拟标签

Virtual Tag Improved Algorithm Based on RFID

CHEN Bing, LIU Kai-hua, SHI Wei-guang

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

【Abstract】 Aiming at the shortage that the positioning accuracy of the VIRE algorithm is low, the improvement algorithm is introduced. It includes the nonlinear interpolation algorithm, and the dynamic threshold setting as well as the self-correcting of tags in the dim map. The indoor positioning system based on reference tag is constructed. Then the interface software is built. Experimental results show that the improvement VIRE algorithm improves the positioning accuracy and the positioning stability in complex environments significantly without adding reference tag numbers.

【Key words】 reference tag; Radio Frequency Identification(RFID); indoor location; VIRE algorithm; virtual tag

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.16.096

1 概述

随着无线技术、超声波带宽以及无线射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)等技术的发展, 室内无线定位技术越来越受到关注^[1-3]。研究人员开发的 LANDMARC (Location Identification Based on Dynamic Active RFID Calibration)室内定位系统^[4], 以其方法简单、定位精确度高的特点被广泛应用, 并作为室内定位算法的理论基础发展出很多定位更精确的算法。VIRE(Virtual Reference Elimination)算法^[5]是在 LANDMARC 算法的基础上, 加入网格虚拟标签, 通过线性插值的方法实现更精确的定位。本文提出 VIRE 算法的改进算法并进行实测。

2 VIRE 算法简介

VIRE 方法的核心思想是在 LANDMARC 算法布置的参考标签基础上将每 4 个参考标签看作一个单元网格, 再将其进一步等分为 N^2 个小网格, 在小网格处加入网格虚拟参考标签, 如图 1 所示。

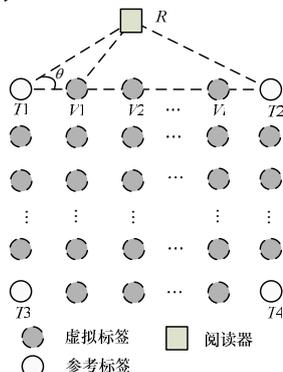


图 1 网格虚拟参考标签分布

实际参考标签位置已知, 因此, 网格虚拟参考标签的坐

标易求得。

假设网格虚拟标签的场强值与实际参考标签成线性关系, 如式(1)、式(2)所示。

对行上的虚拟标签场强值:

$$S_k(T_{p,b}) = S_k(T_{a,b}) + p \times \frac{S_k(T_{a+n,b}) - S_k(T_{a,b})}{n} \quad (1)$$

对列上的虚拟标签场强值:

$$S_k(T_{a,q}) = S_k(T_{a,b}) + q \times \frac{S_k(T_{a,b+n}) - S_k(T_{a,b})}{n} \quad (2)$$

其中, $S_k(T_{i,j})$ 表示第 k 个阅读器读到的在 (i, j) 坐标位置上的场强值; $a = \lfloor i/n \rfloor$, $b = \lfloor j/n \rfloor$, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整; $0 \leq p = i \% n \leq n-1$, $0 \leq q = j \% n \leq n-1$ 。

所有实际参考标签和虚拟参考标签的位置坐标和场强值都为已知量。选取一定阈值并求解最邻近参考标签权值, 将参考标签权值加权得到最终定位结果。

3 VIRE 算法的优化算法

3.1 非线性插值算法

由于虚拟参考标签与实际参考标签的能量差值与两者距离的变化关系不是线性的, 因此直接采用非线性插值来获取虚拟参考标签的场强值更加准确。依据虚拟标签与阅读器的距离信息, 结合室内环境信道的衰落服从对数正态分布的特性, 选用对数距离路径损耗模型以获取虚拟标签的场强值。得到“距离-损耗”为:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“情境感知服务位置信息获取机理与算法”(60872001)

作者简介: 陈 冰(1987—), 女, 硕士研究生, 主研方向: 定位算法, 无线传感器网络; 刘开华, 教授、博士生导师; 史伟光, 博士研究生

收稿日期: 2011-02-22 **E-mail:** bchen.hust@gmail.com

$$P = P_0 + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \delta \quad (3)$$

其中, P 表示读写器接收到标签发送回来的信号强度; P_0 表示读写器在参考点 d_0 接收到标签发送的信号强度; n 为路径损耗指数, 表示路径损耗随距离增长的速率; δ 是以 dB 为单位表示的标准偏差为 σ 的零均值正态分布随机变量。

实际参考标签的场强值由阅读器读取, 而虚拟标签的场强值通过实际参考标签的场强值求得。在图 1 中, 参考标签 $T1$ 、 $T2$ 的场强值可从阅读器 R 上读取, 由式(3)可推出对应 $T1$ 与 R 、 $T2$ 与 R 的距离 R_{RT1} 、 R_{RT2} , 同时, $T1$ 与 $V1$ 、 $T1$ 与 $T2$ 的距离 R_{TV1} 、 R_{TV2} 已知。由余弦定理得:

$$R_{RT1}^2 + R_{TV1}^2 - 2 \times R_{RT1} \times R_{TV1} \times \cos\theta = R_{RV1}^2 \quad (4)$$

$$R_{RT1}^2 + R_{TV2}^2 - 2 \times R_{RT1} \times R_{TV2} \times \cos\theta = R_{RV2}^2 \quad (5)$$

由式(4)和式(5)可求得 $V1$ 与 R 的距离 R_{RV1} , 由式(3)可得虚拟标签 $V1$ 的场强值, 以此类推可以得到所有网格虚拟标签的场强值。

3.2 动态阈值设定方法

将目标标签场强值及参考标签场强值的绝对差值与用 VIRE 算法选取的阈值作比较, 对于小于该阈值的位置置为 1, 大于该阈值的位置置为 0, 对于这些置 1 的地方就组成一张模糊地图^[4]。而对于待定位标签来说, k 个阅读器对应 k 个模糊地图, 将各模糊地图取交集得到最终优选的最近邻参考标签, 即 k 个模糊地图都置 1 的位置。如果阈值取值过小, 则得到 k 个阅读器对应的模糊地图交集置 1 的位置较少, 那么将漏掉部分有效最近邻参考标签; 如果阈值取值过大, 则不能有效去除冗余位置信息, 将造成定位不准。为避免这 2 种状况发生, 可将模糊地图中位置置 1 的个数作限定。

在对定位程序初始化时, 可先设定一个较大的阈值, 在程序中检测模糊地图中已被置为 1 的最近邻参考标签个数, 如果不在 4~8 之间, 则修改阈值。修改方法为: 当最近邻参考标签个数小于 4 时, 则阈值自动加 1; 当最近邻参考标签个数大于 8 时, 则阈值自动减 1。经过上述调整后, 使最近邻参考标签个数在 4~8 范围内, 从而得到理想的模糊地图。

3.3 模糊地图的标签自校正

针对定位精确度(比如, 要求绝大部分定位误差保持在 0.2 m 或 0.1 m 以内)或稳定性要求高的定位场合, 提出一种改进的方法, 使定位的精确度、环境的适应性有一定提升。

模糊地图以置 1 的 k 个最近邻参考标签作为目标, 采用上述改进的 VIRE 算法进行定位后, 得到每个最近邻参考标签的估计位置, 由于每个最近邻参考标签位置已知, 可利用最近邻参考标签的定位误差 $(Vx, Vy) = \left(-\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Vx_i, \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k Vy_i\right)$, 修正目标标签的定位结果, 最终得到修正后的目标标签位置。其中, (x_0, y_0) 为通过算法定位出的目标标签位置, 则加上修正误差后的最终修正位置为 $(x = x_0 + Vx, y = y_0 + Vy)$ 。

4 硬件定位系统实现

本文定位系统的硬件部分主要由 Intel R1000 射频开发平台、Impinj 阅读器远场天线和远望谷 XCTF-8030A 型 Inlay 无源标签组成。该系统可读出 256 个等级的信号强度值, 同时能通过使用 4 对天线和分时复用的方法替代多个阅读器。

在 LANDMARC 算法和 VIRE 算法以及其改进算法中, 每个标签的场强值是对最终完成目标标签定位的一个必要参数, 因此, 硬件操作程序主要用于控制硬件系统, 以完成对每个参考标签与目标标签对应的每一对天线的场强值的提取

与存储, 因此, 本文提出一个动态链接库用于独立完成多个阅读器读取标签场强值。通过对参数的传递, 实现 3 种算法对各个标签场强值的获取。以改进的 VIRE 算法为例的算法流程图如图 2 所示。本文设计的定位系统界面程序, 可通过界面操作控制硬件系统完成定位功能, 并在坐标系中显示定位界面与定位结果, 显示界面如图 3 所示。

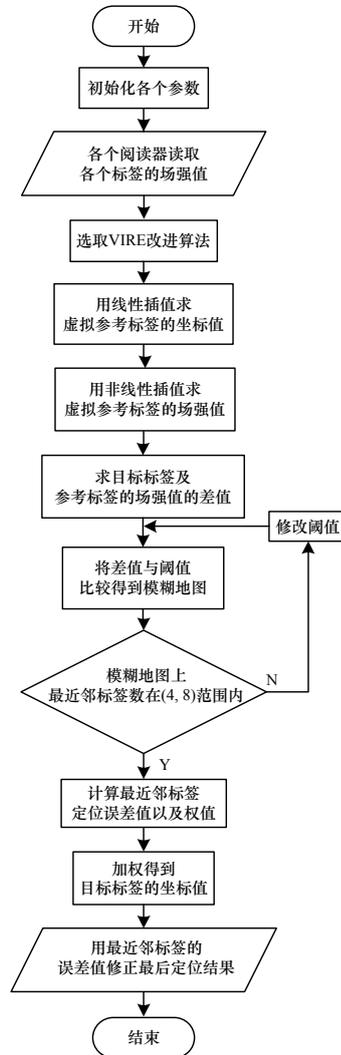


图 2 VIRE 改进算法流程



图 3 室内定位算法显示界面

5 测试优化与实际应用

测试环境如下: 在空旷的实验室内搭建定位系统, 参考

标签按照界面的排列方式摆放, 网格的边长是 0.7 m, 天线高 1.3 m, 向下倾角为 45°。定义定位误差为 $s = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}$, 其中, (x_0, y_0) 表示目标标签的实际位置, (x, y) 表示目标标签的估计位置。当定位误差 s 小于某个值 x 时, 定位误差的累积概率分布函数为 $y = P(s \leq x)$, 其中, y 是一个概率累积量没有单位, 反映定位误差在小于某个值的累积概率分布情况, 通过累计概率分布函数可以看出定位误差的大体分布区间。

5.1 算法性能比较

LANDMARC 算法最近邻参考标签数 $k=4$ 时定位效果最佳^[4], 对 VIRE 算法中插入 30 个虚拟参考标签, 场强值阈值为 1 或 1.5 的定位效果最佳^[5]。通过多次实际测量确定 VIRE 算法中场强值的阈值初始值应选取 5。在同样的平台和环境下对改进算法与原有算法进行比较得到结果如图 4 所示。

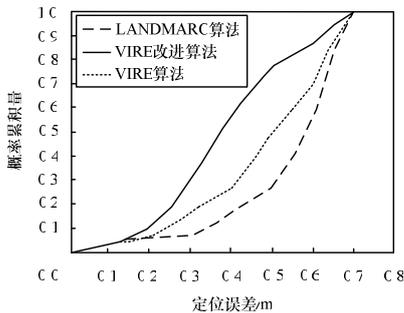


图4 定位误差曲线

由图 4 可知, 改进的 VIRE 算法的定位效果最好, 76.7% 的定位误差小于 0.5 m, 平均定位误差为 0.28 m, 该算法程序平均运行 40.609 s; VIRE 算法的平均定位误差为 0.46 m, 程序平均运行 38.437 s; LANDMARC 算法的平均定位误差为 0.54 m, 程序平均运行 35.813 s。在同样的 256 等级硬件平台上, 采用改进的 VIRE 算法运算复杂度最高; VIRE 算法运算复杂度次之; LANDMARC 算法运算复杂度最低。因为 VIRE 算法及其改进算法的运算复杂度与插入虚拟参考标签数目有密切关系, 所以当虚拟标签数目越多时, 运算复杂度越高。可以看出, 改进的 VIRE 算法使定位精度明显提高。

5.2 优化参数和环境对定位误差的影响

为研究改变参数和环境对于定位精度的影响, 以改进的 VIRE 算法为例, 在其他条件相同的情况下, 通过分别改变天线对数、设置障碍物、加另一位置已知的参考标签的方法, 对定位结果进行分析。

在无障碍物的环境里, 改变天线对数(N)对定位误差的影响的结果如图 5 所示。

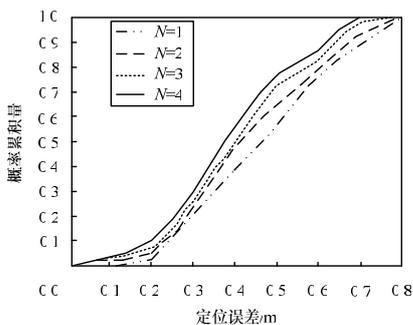


图5 不同天线对数对定位误差的影响

由图 5 可知, 当 $N=4$ 时定位效果最好, 76.7% 的定位误差小于 0.5 m, 平均定位误差为 0.28 m; 当 $N=3$ 时的平均定位

误差为 0.32 m; 当 $N=2$ 时的平均定位误差为 0.37 m; 当 $N=1$ 时的平均定位误差为 0.42 m。可以看出当天线对数越多时, 定位结果越好, 这是因为当天线对数越少时, 定位结果对其中一对天线的读取效果的依赖越大。以及各种偶然因素的影响, 比如环境的影响致使某一对天线对某个标签的读取效果不好的情况等, 都会对最近邻标签的判定造成很大干扰, 继而影响定位结果。

为研究环境因素对测量精度的影响, 以现有定位系统为基础, 在参考标签的摆放环境里摆其他物品(纸盒、泡沫等)充当障碍物, 用以模拟室内的复杂定位系统。测量时, 假设天线对数为 4, 则最近邻参考标签数设定为 4。测量结果与没有障碍物的定位结果对比如图 6 所示。

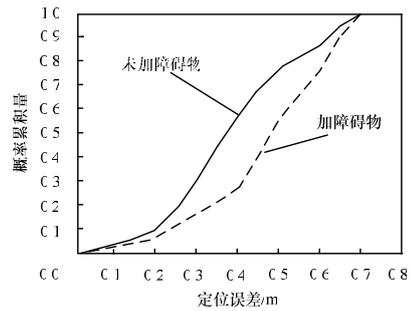


图6 有无障碍物对定位误差的影响

由图 6 可知, 加上障碍物之后的定位精度出现明显的下降。原先无障碍物系统定位误差在 0.5 m 的概率为 76.7%; 有障碍物的环境中定位误差在 0.5 m 的概率为 56%。由于障碍物的阻挡作用, 和室内系统中无线信号传播过程中的反射、绕射和折射等现象, 标签返回给阅读器的信号场强值将会受到一定的影响。但考虑到障碍物的影响一般对环境里每个标签都存在, 参考标签与目标标签对各对天线的场强值一般会同时变化, 并且影响是同一方向的, 故小的障碍物对定位结果的影响不是很严重, 基本的定位精度依然能够保证。

对原先的 16 个参考标签增加一个位置已知的参考标签, 利用该新添加的参考标签定位误差修正目标标签的定位结果。采用此改进方法得到的定位误差与之前得到的定位误差的对比结果如图 7 所示。

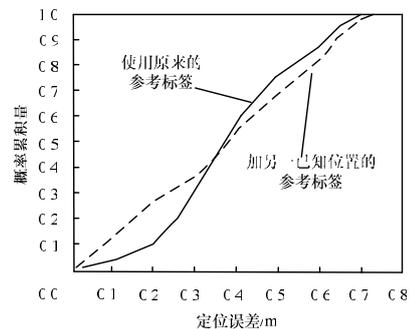


图7 参考标签对定位误差的影响

由图 7 可知, 在采用改进方法后定位误差在 0.3 m 以下的概率为 36%; 在 0.2 m 以下的概率为 26.6%; 小于 0.1 m 的概率为 12%。这些参数说明通过此种修正方法优化效果明显。并且可以看到, 校正后的定位结果在误差大于 0.35 m 以后的概率反而大于原有的定位结果。从这种校正方法的原理上可以分析出现这种现象的原因: 在同样的定位环境中, 对 2 个标签定位结果的误差偏向性应该一致, 当对其加上校正后会

(下转第 290 页)