

一种 Newton 插值的 RFID 室内定位改进算法^①

陈家琪, 严梓乘

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 介绍了基于 RFID 的两种室内定位算法 LANDMARK 算法和 VIRE 算法。针对 VIRE 算法的不足, 提出了一种结合 Newton 插值和利用历史结果对定位值进行校正的改进算法。它通过 Newton 插值来适应求解模型中存在的非线性特性, 并以待定位标签的历史值作为参考, 不断修正测量值来减小干扰对定位精度的影响。实验证明在复杂环境下, 与 VIRE 算法相比, 改进算法在定位精度上有了显著的提高。

关键词: RFID; 室内定位; Newton 插值; 定位算法

Improvement Algorithm of Newton Interpolation for RFID Indoor Positioning

CHEN Jia-Qi, YAN Zi-Cheng

(School of College of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: This paper introduces the LANDMARC algorithm and VIRE algorithm that is based on RFID in indoor location. And after analyzing the drawbacks of VIRE, an improved algorithm is proposed on combining of the Newton interpolation and the positioning results correction which use historical results. The improved algorithm applies Newton interpolation to adapt to nonlinear characteristics in the solution model and uses the historical data of location label as a reference, constantly revising measurements to reduce the influence of interference on positioning precision. The experiment in complex environments proves that the location precision of improved algorithm is significantly higher than VIRE algorithm.

Key words: RFID; indoor location; Newton interpolation; positioning algorithm

1 引言

室内定位就是要在室内环境下对目标进行追踪定位, 且定位的误差在许可的范围以内。目前为大家熟知的定位服务主要有 GPS(全球定位系统)和蜂窝无线定位两种, 但是这两种定位方法精度不够(误差为米数量级), 并且在室内环境由于电磁波屏蔽, 因此无法满足室内用户的定位需求。而基于无线网络、红外线、超声波以及 RFID(射频识别)等技术的方法正快速发展起来, 并成为室内定位的主要研究方向。其中又以 RFID 最为受人关注。RFID 定位技术以其非接触、非视距、高灵敏度和低成本的优点, 正在成为室内定位系统的优选技术^[1-4]。本文首先对现有的基于 RFID 室内定位算法进行了介绍, 并对他们的优缺点进行了分

析, 之后针对现有算法的不足, 提出了一种结合 Newton 插值和利用历史结果对定位值进行校正的改进算法, 文章最后进行仿真实验与原有算法比较。

2 基于 RFID 的室内定位典型算法

2.1 LANDMARK^[5]

在 RFID 定位算法中, 利用 RSSI(Received Signal Strength Indicator)接受信号强度指示来确定物体位置的方法最为常用。

LANDMARK 算法是一种基于有源 RFID 室内定位的经典算法。它首次引入了参考标签的概念。设有 K 个阅读器和 m 个参考标签组成的定位网络。令 S_i 和 θ_i 表示待定位标签和参考标签在第 i 阅读器上的信号

① 收稿时间:2011-04-27;收到修改稿时间:2011-07-08

强度值, 其中 $i \in (1, K)$ 。用公式

$$E_j = \sqrt{\sum_{i=1}^K (S_i - \theta_i)^2} \quad (1)$$

可以得出参考标签与待定位标签的位置关系, 其中 $j \in (1, m)$ 。系统假设有个 m 参考标签, 因此对每个待定位标签, 有 E 矢量: $\vec{E} = (E_1, E_2, E_3, \dots, E_n)$ 。选择 E 向量中拥有最小 E_i 值的 K 个参考标签, 通过参考标签的坐标和权重值, 用经验公式计算出待定位标签的坐标。此方法减小了环境因素对定位精度的影响, 提高了定位效率。但是 LANDMARK 算法也存在着一些问题, 在室内环境中, 由于存在多径效应(radio signal multi-path effects), 使得定位精度不高。同时为了提高定位精度, 就必须增加参考标签的数量, 这样既增加的成本, 也可能会出现射频干扰现象。

2.2 VIRE^[6]

VIRE(Virtual Reference Elimination)虚拟标签消除算法是根据 LANDMARK 算法的不足, 提出的一种改进算法, 并且使用了 RF Code^[7]公司的升级产品, 阅读器(Reader)可以直接提供标签(Tag)的 RSSI 值。这个产品的使用为提高定位精度提供了可能。VIRE 算法的核心思想是:在不增加额外参考标签的基础下, 通过消除那些不可能的位置点来达到提高定位精度的目的。

VIRE 方法中, 所有的参考标签被规则的放置在二维的规则网格中, 待定位标签则任意的放置在这个网格内。在不增加而外参考标签的前提下, 为了提高精度, 减少干扰, 该算法引入了“虚拟参考标签”。原本由 4 个参考标签的覆盖的小网格被进一步分成 $N \times N$ 个大小相同的虚拟网格单元, 其中的每个虚拟网格单元又可以看作被 4 个分布在单元格角上的虚拟参考标签覆盖。通过已知的参考标签的坐标, 我们可以算出虚拟参考标签的坐标。

VIRE 中还引入了近似图(proximity map)的概念, 近似图覆盖整个定位区域, 并且也被划分为很多小区域(小方格), 其中每个区域的中心对应着一个虚拟参考标签。每一个阅读器都有自己的近似地图。阅读器读到待定位标签的 RSSI 值后, 利用该值与地图中所有小区域所对应的 RSSI 值做比较(差的绝对值), 当这个绝对值在某个阈值(threshold)之内, 则将这些区域标记。若我们有个 K 阅读器, 则在获得 K 幅近似地图之后, 通过各个近似地图间的交集运算可以得到待定位标签最可能在的区域。若最后得到的区域数为 t , 通

过下式就能算出待定位标签的坐标:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^t w_i (x_i, y_i) \quad (2)$$

其中, 权重 $w_i = w_{1i} \times w_{2i}$; w_{1i} 表示虚拟参考标签和被定位标签偏差, w_{2i} 是最后所得区域密度的相关函数。

VIRE 算法优点在于引入了虚拟参考标签和近似地图的概念, 使得在不增加额外的标签的前提下提高了定位精度。相比 LANDMARK 算法, 该算法在动态室内环境中适应性更好, 定位精度提高了 17%~73%。

但是在 VIRE 算法中计算虚拟参考标签的 RSSI 值时采取的是直接进行线性插值。而在试验中我们了解到, RSSI 值与距离并非简单的线性关系^[6], 所以对插值进行简单的线性处理会造成比较大的误差。于是考虑用一种新的算法来获取虚拟参考标签的 RSSI 值, 使之能更接近于现实中的相应位置的 RSSI 值。在复杂环境下, VIRE 算法并不能达到很好的定位效果^[7]。所以本文对插值算法进行了改进, 同时在计算待定位标签坐标的时候运用了一种校正算法, 减小了环境因素对测量结果的影响。

3 对VIRE室内定位算法的改进

3.1 对插值部分的改进

上文提到在 VIRE 算法中, 对虚拟标签的插值使用的是线性插值的方法。在文献[6]中得知, 标签的 RSSI 值与距离的函数关系并非简单的线性关系。所以我们考虑用一种非线性的插值算法来描述 RSSI-Distance 曲线图。

多项式插值是一种常见的函数插值。其中 Lagrange 插值和 Newton 插值是两种常见的表达形式。

Lagrange 插值公式是:

$$L_n(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_n \quad (3)$$

其中,

$$l_{n,i}(x) = \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)}$$

而 Newton 插值是利用前一个节点的计算结果去计算新插入节点的值, 公式为:

$$f(x) = f(x_0) + (x-x_0)f[x_0, x_1] + (x-x_0)(x-x_1)f[x_0, x_1, x_2] + \dots + (x-x_0)(x-x_1)\dots f[x_0, x_1, \dots, x_n] \quad (4)$$

其中, $f[x_0, x_1, \dots, x_n] = \frac{(f[x_1, \dots, x_k] - f[x_0, \dots, x_{k-1}])}{(x_k - x_0)}$ 。

因为 Lagrange 插值和 Newton 插值的结果和余项都是一致的，但是观察公式(3)、(4)可知，当增加一个节点时，牛顿插值有更好的扩展性，所以选用牛顿插值。

由于阅读器读取标签的 RSSI 值时，在各个方向上存在差异，因此计算时以阅读器为圆心，将每个 90 度区域平均分为 6 等分，即每 15 度作为一个计算单元。插值过程如下：

1) 把感应区域分成 6 等分，若参考标签落在分界线上，那么就让他此参考标签同属于两个区域。

2) 所有参考标签与阅读器的 RSSI 值 $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$ 按照各自与阅读器的距离 d_i ($0 \leq i \leq n, n$ 为参考标签的数目) 升序排列，其中 r_0 表示对应 d_i 最小的 RSSI 值。

3) 以 d_i 自变量， r_i 为应变量，则 RSSI 值作为牛顿插值的节点。

4) 将每个区域的虚拟参考坐标的 RSSI 值都按第三个步骤算出，即可求出所有虚拟参考坐标的 RSSI。

2.2 对定位计算结果的改进

考虑到移动物体在室内运动的特性，即移动速度较慢，移动距离相对较短。又因为多径效应(multi-path effects)和电磁干扰等影响，本文提出用待定位标签的历史值作为参考，对当前的测量值进行修正，尽量减小室内环境的干扰对定位精度的影响。

假设 t_0 在时刻之前，对待定位标签测量了 n 次，分别在 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 时刻。设 (x_0, y_0) 为当前时刻计算出的待定位标签坐标， (x_i, y_i) 为第 i 时刻计算出的待定位标签坐标。其中只选取最近 3 次的历史记录作为考虑范围。则此刻待定位标签的坐标可以表示为：

$$(x, y) = \sum_{i=1}^3 w_i (x_i, y_i) \quad (5)$$

其中 $w_i = \frac{1}{d_i^2} / \sum_{i=1}^3 \frac{1}{d_i^2}$, $d_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$

当 d_i 中有一个为 0 时，就令 $(x, y) = (x_0, y_0)$ 。公式(5)表示测量值与历史值欧氏距离越接近，则该历史值对测量值影响越大。实践表明，通过上述对定位结果处理，减小了随机干扰的影响，有效的提高了精确度和稳定性。

3 算法流程

算法流程如图 1 所示。具体步骤如下：

1) 初始化各个参数。 R 为阅读器数目， n 为参考标签数目， N 为把由 4 个参考标签组成的网格进一步分成 $N \times N$ 个小网格， T 为阈值。

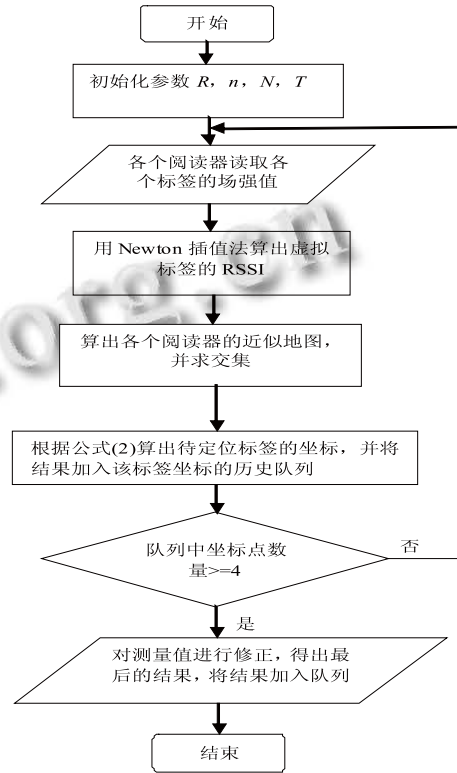


图 1 算法流程图

- 2) 各个阅读器读取各个标签的 RSSI。
- 3) 用 Newton 插值法算出虚拟标签的 RSSI。
- 4) 算出各个阅读器的近似地图，并求各个地图交集。
- 5) 根据公式(2)算出待定位标签的坐标，并将结果加入该待定位标签的历史队列。
- 6) 判断历史队列中是否有至少 4 个值。
- 7) 当该值 ≥ 4 则进入步骤 5)，否则回到步骤 2)。
- 8) 利用该待定位标签历史队列中的最近 4 个历史值对测量值进行修正，得出该标签的坐标，并把结果加入到该标签的历史队列。

采用该算法后，虚拟坐标的计算精度得到了提高，同时对实验结果的校正算法也提高了结果的稳定性和准确度。

4 算法仿真与性能分析

实验环境大致满足文献[6]中所说的容易受到信号

反射和相似波长电波的影响，如图 2 所示。采用 RF code 公司的产品，包括 4 个 M200 阅读器，25 个 M100 有源标签，其中 16 个参考标签，9 个待定位标签。按照 VIRE 算法布置所有设备，各个参考标签之间的距离为 1m，阅读器分布在定位区域 4 个角上，与相邻参考坐标间的距离为 1m，9 个待定位标签分布于测量范围以内，标签 8、9 位于测量边界处，如图 3 所示。

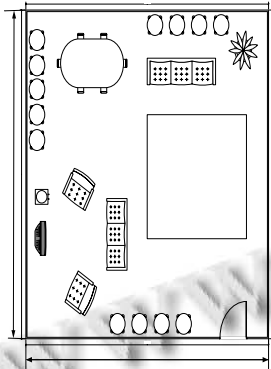


图 2 实验环境

实验中，设置 $N=30$ ，阈值 T 为 1。定位误差使用公式 $e = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}$ 算出，其中 (x,y) 为待定位标签的实际坐标， (x',y') 为计算后所得坐标。分别用 VIRE 算法和改进算法对 9 个标签进行定位计算，两种算法的误差比较如图 4 所示。其中横坐标为 9 个测试标签的标签号，纵坐标为测量值与实际值的误差。改进后的 VIRE 算法比 VIRE 算法精度提高了 20%左右。特别对于标签 8 和 9，这两个标签处于测量边界上，测量结果震动剧烈，受环境影响较大。新算法较好的解决了这个问题。

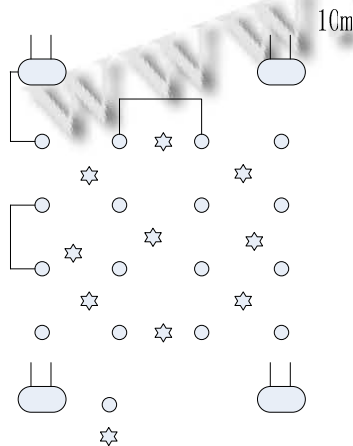


图 3 实验布局

5 结语

本文通过分析 VIRE 算法的不足，提出了一种改进算法。该算法利用具有更好扩展性的 Newton 插值算法对虚拟坐标的 RSSI 值进行计算，同时利用历史数据对定位结果进行了修正。实验证明，在复杂环境下，改进后的 VIRE 算法在定位精度上比原算法有了较大的提高。

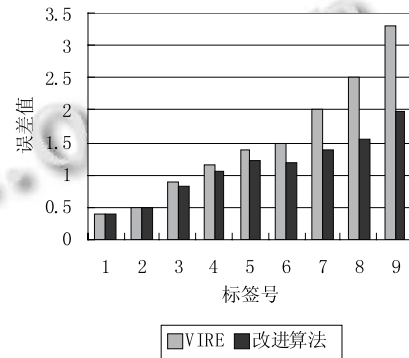


图 4 定位误差比较图

参考文献

- 1 Ni L, Liu Y, Lau Y, Patil A. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. Proc. of the 1st IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. Dallas, Texas, March 2003: 407-415.
- 2 Shiraishi T, Komuro N, Ueda H. Indoor location estimation technique using UHF band RFID. Information Networking, 2008 International Conference on. Busan, Korea, 2008:1-5.
- 3 Shih S, Hsieh K, Chen P. An improvement approach of indoor location sensing using active RFID. Innovative Computing, Information and Control, 2006 First International Conference on. Beijing, China, 2006: 453-456.
- 4 Dai H, Su D. Indoor location system using RFID and ultrasonic sensors. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on. Kunming, China, 2006:1179-1181.
- 5 Ni LM, Liu Y, Lau YC, Patil AP. LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID. Proc. of Percom, 2003.
- 6 Zhao YY, Liu YH, Ni LM. VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination, Parallel Processing, 2007. Xian, 2007:56.
- 7 Zhu FJ, Wei ZH, Hu BJ, Chen JG, Guo ZM. Analysis of indoor positioning approaches based on active RFID. IEEE Press Piscataway, HJ, USA, 2009: 5182-5185.