

# 基于 LANDMARC 定位算法复杂度的分区算法改进<sup>①</sup>

杨 辉<sup>1</sup>, 蔡坚勇<sup>2</sup>, 高杰星<sup>2</sup>, 陈由甲<sup>2</sup>, 郑 华<sup>2</sup>

(福建师范大学 光电与信息工程学院 福建 福州 350007)

**摘要:** 本文重点讨论研究了基于 RFID 的 LANDMARC 室内定位系统, 然后在此基础上总结了原 LANDMARC 系统的不足, 并针对 LANDMARC 系统中的算法复杂度进行分析, 提出了一种分区算法来减小系统算法的复杂度. 实验结果表明, 相比原系统算法, 改进后的算法在提高系统定位精度和定位性能的前提下, 减小了算法总体的复杂度.

**关键词:** 室内定位; 射频识别; LANDMARC 系统; 分区算法; 算法复杂度

## Improvement of Partition Algorithm Based on Complexity of LANDMARC Location Algorithm

YANG Hui<sup>1</sup>, CAI Jian-Yong<sup>2</sup>, GAO Jie-Xing<sup>2</sup>, CHEN You-Jia<sup>2</sup>, ZHENG Hua<sup>2</sup>

(School of Optoelectronics and Information Engineering, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the basic principle and characteristics of RFID, the existing RFID indoor location system LANDMARC was discussed in detail. Then, the inadequate of LANDMARC system was proposed and summarized. In order to reduce the complexity of the algorithm, the partition algorithm was proposed. Simulation results show that the enhanced partition algorithm can achieve better location accuracy and higher location performance than the original LANDMARC algorithm. At the same time, the partition algorithm reduced the complexity of algorithm markedly.

**Key words:** indoor location; RFID; LANDMARC system; partition algorithm; complexity of algorithm

移动计算器件的发展和无线局域网技术的进步促进了移动定位技术的突飞猛进, 三角定位、图像分析和信标定位是 3 大自动定位技术<sup>[1]</sup>. 目前最为经典的系统是大家熟悉的 GPS 全球定位系统. 由于全球定位系统主要是针对室外环境的定位系统, 同时, GPS 全球定位系统的定位精度无法满足室内定位的要求, 所以必须通过其它定位技术解决室内定位问题. 比如无线局域网技术、红外线技术、超声波技术、超宽带技术、蓝牙技术和 RFID 技术等, 这些室内定位系统都有各自的优缺点, 相比其它的室内定位技术, RFID 技术具有非视距、非接触、传输范围大、成本较低、定位精度较高等诸多优点, 因此 RFID 技术已成为室内定位技术中的首选技术, 而 LANDMARC 系统又是采用 RFID 技术实现室内精确定位的经典系统方案, 具有很大的研究价值和应用前景.

## 1 LANDMARC 系统介绍

### 1.1 LANDMARC 算法

LANDMARC 室内定位系统按照一定的规则在位置固定的坐标节点上部署一定量的参考标签, 这样可以减少使用 RFID 读写器的数量, 从而使得系统的成本大为降低, 同时可获得较高的定位精度<sup>[2]</sup>. LANDMARC 系统具有以下 3 个明显的优点: (1) 由于标签的成本远远低于读写器, 为了提高系统的定位精度, 采用成本低廉的参考标签作为定位参考节点取代成本高昂的读写器, 使得系统的成本大为降低. (2) 系统的环境适应能力强. (3) LANDMARC 定位系统与现有的其他定位系统比较, 定位信息更加可靠、准确, 定位精度提高.

假设有  $n$  个 RFID 读写器,  $m$  个参考标签和  $u$  个待定位标签. 读写器以连续模式进行工作, 由于当前的

<sup>①</sup> 收稿时间:2012-10-19;收到修改稿时间:2012-11-19

RFID 系统并不直接提供标签的信号强度值, 读写器只能检测标签的信号强度等级值, 等级分为 1~8 这 8 个等级, 读写器每 30 秒周期性地检测一次.

这里, 对于参考标签, 定义信号强度矩阵  $S$  为:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{u1} & s_{u2} & \cdots & s_{un} \end{bmatrix}$$

其中,  $s_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,u; j=1,2,\dots,n$ )表示第  $j$  个读写器读取到第  $i$  个待定位标签的信号强度等级值.

对于待定位标签, 定义信号强度矩阵  $\theta$  为:

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \cdots & \theta_{1n} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \cdots & \theta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{m1} & \theta_{m2} & \cdots & \theta_{mn} \end{bmatrix}$$

其中,  $\theta_{ij}$  ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ )表示第  $j$  个读写器读取到第  $i$  个参考标签的信号强度等级值.

待定位标签与参考标签的关联矩阵  $E$  为:

$$E = \begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & \cdots & E_{1m} \\ E_{21} & E_{22} & \cdots & E_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E_{u1} & E_{u2} & \cdots & E_{un} \end{bmatrix}$$

$$其中, E_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (\theta_{ik} - s_{jk})^2} \quad (i=1,2,\dots,u; j=1,2,\dots,m)$$

表示第  $i$  个参考标签与第  $j$  个待定位标签的信号强度等级差值的欧几里德距离, 即关联度. 如果这两个标签之间的关联度值越小, 则表明两个标签之间的距离越接近, 这可以用信号强度与距离的平方成反比这个理论依据来解释.

对于一个未知坐标位置的待定位标签, 同时, 参考标签的位置坐标已知, 分别为  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)$ , 则待定位目标标签的位置坐标可通过对  $k$  个最近邻居参考标签的坐标进行加权求和获得, 即为下式:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k \omega_i (x_i, y_i) \tag{1}$$

$$\omega_i = \frac{1}{E_{pi}^2} \sum_{j=1}^k \frac{1}{E_{pj}^2}$$

其中,  $k$  值表示距离待定位目标标签最近的参考标签的个数. 对于某个待定位标签  $p$ , 也就是在  $(E_{p1}, E_{p2}, \dots, E_{pm})$  中选择最小的  $k$  个  $E$  值, 这  $k$  个  $E$  值分别对应着  $k$  个最近邻居的参考标签;  $\omega_i$  代表第  $i$  个参考标签所占  $k$  个最近邻居参考标签中的权重, 它是一个经验公式.

定义定位估算误差  $e$  为:

$$e = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

其中,  $(x_0, y_0)$  为待定位标签的实际坐标;  $(x, y)$  为由理论公式(1)计算所得待定位标签的坐标值. 定位误差  $e$  越小, 表明定位误差越小, 定位精度越高.

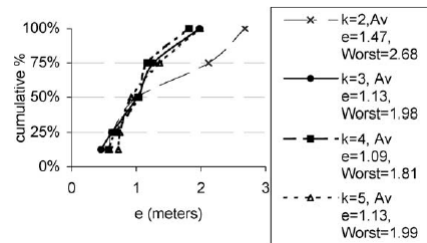


图 1 k 取不同值的误差距离累积分布函数图

图 1 为 LANDMARC 系统放置 4 个读写器、16 个参考标签和 8 个待定位标签的实验结果. 计算待定位标签实际位置和计算坐标位置之差, 得到的最大距离差为 2m, 平均误差距离为 1m.

### 1.2 LANDMARC 算法的不足

虽然 LANDMARC 系统用于室内定位具有明显的优点, 但是它仍然也存在着不足: 系统算法不必要的计算耗时, 增加了算法的复杂度. LANDMARC 系统在确定最近邻居参考标签时, 算法默认所有的参考标签都是待定位目标标签的最近邻居参考标签的候选标签,

根据公式,  $E_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (\theta_{ik} - s_{jk})^2}$  需要计算任意待定位目

标标签与每一个参考标签的欧几里德距离, 然后再根据关联度  $E$  值的大小比较, 来筛选出最小的前  $k$  个  $E$  值所对应的具体的参考标签作为最近邻居参考标签. 理论上, 距离待定位目标标签较远的参考标签在筛选最近邻居参考标签时必将被排除, 对待定位目标标签的精确定位起不到任何的辅助作用, 相反这些距离待定

位目标标签较远的参考标签对最近邻居参考标签的选取确定起到了极大的干扰作用,造成系统算法选取最近邻居参考标签的误判.计算这些待定位目标标签与参考标签之间的欧几里德距离是多余的.特别是待定位目标标签数目和参考标签数量较多的应用场景,系统的算法复杂度会明显地提高,影响系统的定位精度和定位性能.因此,该算法势必导致不必要的计算耗时,并且增加了服务器的工作负担.

## 2 LANDMARC算法的改进

由上节的分析易知,虽然 LANDMARC 系统的实用性好,定位精度高,LANDMARC 算法存在着算法不必要的计算耗时的缺点,因此有必要对原系统算法加以改进优化(对于参考标签的布置密度和分布方式以及读写器的摆放方式的改进以及仿真实验在另外一篇论文已经做了研究工作,在此不再赘述,本文重点研究分析分区算法).如图 2(b)所示,首先,在算法中对待定位标签与参考标签计算欧几里德距离前,将参考标签划分为 A 区、B 区和 C 区 3 个区域,前三行的参考标签归为 A 区内,第三行到第五行的参考标签归为 B 区,最后三行的参考标签归为 C 区.每个区域都有 12 个参考标签.然后分别对各个区域中包含的参考标签对应的读写器所读取的信号强度等级值进行求和取平均值,将待定位目标标签的信号强度等级值分别与 3 个区域的参考标签信号强度等级平均值相减求差值并比较大小,选取差值最小的那个区域等级值所对应的区域作为后续选取待定位标签的最近邻居参考标签的候选区域.以上的算法步骤将其定义为最近邻居参考标签的初筛阶段.

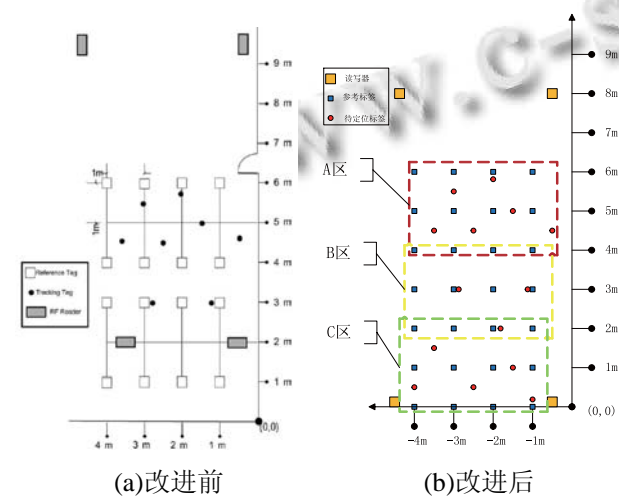


图 2 改进前后的 LANDMARC 系统读写器与标签的分布图

## 3 算法仿真与性能分析

### 3.1 改进后的系统分区后的实验仿真分析

在增加了分区算法的改进步骤后,本文进行了仿真实验结果的分析.表 1 为待定位目标标签在分区步骤中被判定的所属区域结果,表中待定位标签编号顺序与图 2(b)的待定位标签对应规则为:图 2(b)中的待定位标签按照从上到下、从左到右的顺序依次编号为 1、2、3……13、14.将表中的判定区域结果与图 2(b)中的待定位目标标签一一对应作比较,容易得到,本文提出的分区方式得到预期的效果.因此,说明本文提出的分区算法是可行的,并且是有意义的.

表 1 待定位标签判定区域结果

待定位标签编号	1	2	3	4	5	6	7
判定区域	A	A	A	A	A	A	B
待定位标签编号	8	9	10	11	12	13	14
判定区域	B	C	C	C	C	C	C

图 3 为系统的读写器与标签的分布改进后,并且增加分区算法这一步骤,进行的实验仿真结果分析的定位误差比较及累计分布函数图.由图 3 易知,当最近邻居参考标签  $k$  取 4 时,系统的定位精度与定位性能最高.当  $k$  取 4 时,系统的定位误差最大距离为 1.33m,平均定位误差距离为 0.45m.

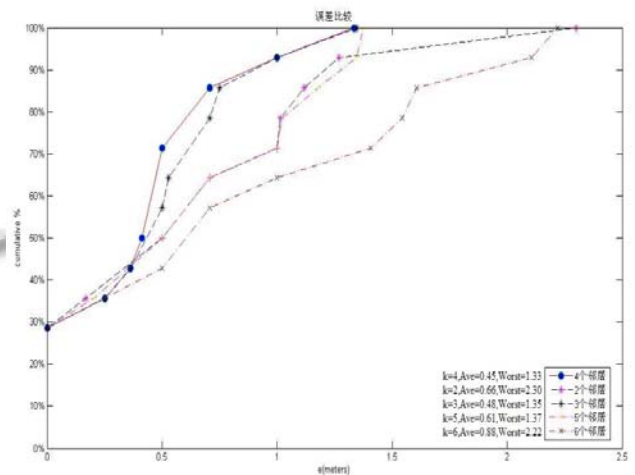


图 3 分区后的改进系统均方根误差与累计分布函数图

### 3.2 改进后的系统分区前后的实验结果对比分析

为了能够进一步比较系统分区前后的定位精度及定位性能的优劣,本文对改进后的系统分区前后的算法进行了进一步的实验仿真并进行了实验结果的分析.由实验仿真结果的分析易知,当最近邻居数目  $k$  取 4

时, 系统的定位性能与定位精度均为最优. 因此, 本文选取最近邻居数目  $k$  为 4 时对系统分区前后进行仿真实验结果的比较分析.

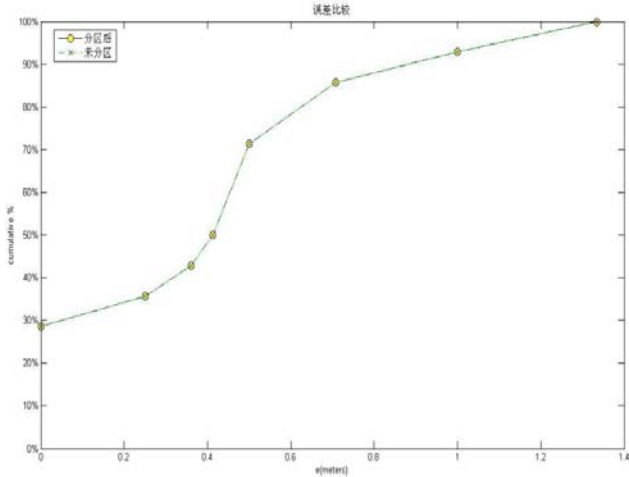


图 4 改进的系统分区前后均方根误差与累计分布函数对比图

由图 4 可知, 改进后的系统分区前后的均方根误差与累积分布函数曲线完全地重合, 说明系统增加了分区的算法步骤之后, 并没有影响系统的定位精度与定位性能. 相反地, 系统增加了分区的算法步骤后, 在保持系统分区前的定位精度与定位性能不变的同时, 很大程度上降低了系统整体的计算复杂度, 优化了算法不必要的计算耗时. 具体地, 如表 1 所示, 若要对编号为 1 的待定位标签进行定位时, 在没有增加分区算法的改进步骤时, 需要将编号为 1 的待定位标签分别与所有的参考标签(本系统共有 28 个参考标签)逐一计算欧几里德距离; 而在增加了分区的算法之后, 编号为 1 的待定位标签被判定为 A 区, 因此只需要将编号为 1 的待定位标签与 A 区的 12 个参考标签计算欧几里德距离, 排除了 B 区和 C 区的 16 个参考标签的干扰, 省去了与这 16 个参考标签计算欧几里德距离的多余计算量. 其他的待定位标签原理也如此. 因此, 系统增加分区的算法步骤是完全可行的.

### 3.3 改进后的系统与原系统的实验结果对比分析

如图 2(b)所示, 本文在图 2(b)的读写器摆放方式和参考标签的布置密度与布置方式的基础上, 选取最近邻居参考标签数目  $k$  为 4, 增加了分区的算法, 最终将改进优化后的系统与原 LANDMARC 系统进行了仿真实验的对比分析, 实验仿真结果如图 5 所示. 从图 5

中, 可知原 LANDMARC 系统的平均误差为 1.09m, 最大误差距离为 1.81m; 改进优化后的系统平均误差为 0.42m, 最大误差距离为 1.26m. 改进优化后的系统定位精度与定位性能明显优于原 LANDMARC 系统.

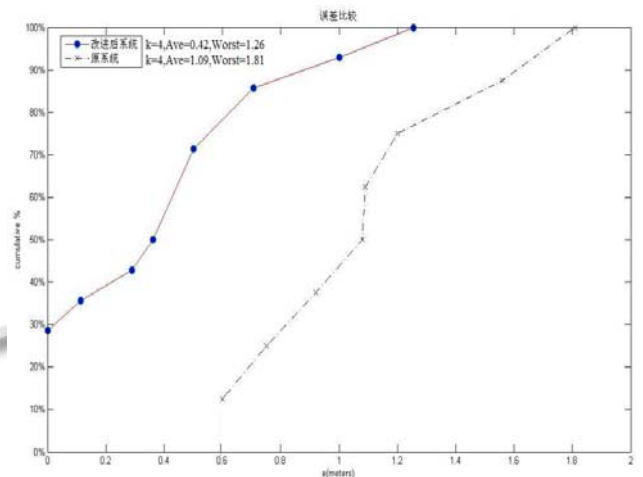


图 5 改进前后的 LANDMARC 系统均方根误差与累计分布函数对比图

同时, 为了能够较为直观明了地体现改进后的系统的优势, 根据实验仿真数据数据绘制了图 6, 比较改进后系统与原系统的定位误差距离. 如图 6 所示, 横坐标代表待定位标签编号; 纵坐标代表均方根定位误差距离, 单位为 m. 从图 6 很直观地就可以对比出, 改进后的系统其定位精度有了很大的提高.

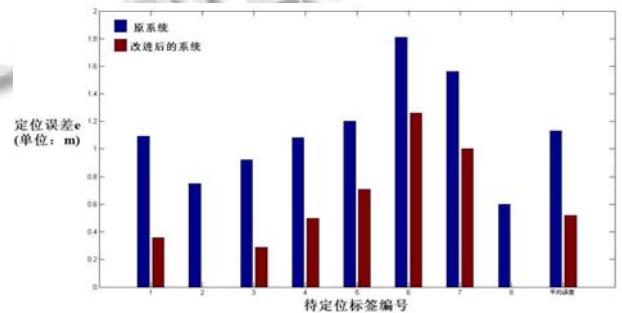


图 6 改进后系统与原系统定位误差直方图比较

## 4 结语

综上所述, 改进优化后的系统最大定位误差距离为 1.26m, 平均定位误差为 0.42m, 相比原 LANDMARC 系统的“最大定位误差距离为 2m, 平均定位误差为 1m, 其定位精度有了很大的提高. 同时系

(下转第 121 页)

- discovering clusters in large spatial databases with noise. Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD1996),Portland,Oregon, 1996:125-138.
- 9 武佳薇,李雄飞,孙涛等.邻域平衡密度聚类算法.计算机研究与发展,2010,47(6):1044-1052.
- 10 Su MC,Chou CH.A modified version of the k-means algorithm with distance based on cluster symmetry.IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001,23(6):674-680.
- 11 Agrawal R,Gehrke J,Gunopulos D,et al.Automatic subspace clustering of high dimensional data for data mining application.Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data (SIGMOD1998),Seattle,1998:94-104.
- 12 李凯,李昆仑,崔丽娟.模糊聚类在集成学习中的应用研究.计算机研究与发展,2007,44(z2):203-207.
- 13 王玲,薄列峰,焦李成.密度敏感的半监督谱聚类.软件学报,2007,18(10):2412-2422.
- 14 王会青,陈俊杰,郭凯.遗传优化的谱聚类方法研究.计算机工程与应用,2011,47(14):143-145.
- 15 Kanungo T,Mount DM.A local search approximation algorithm for k-means clustering.Computational Geometry, 2004,28(2/3):89-112.
- 16 Elkan C.Using the triangle inequality to accelerate k-means. Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning(ICML-2003),Menlo Park,AAAI Press, 2003:147-153.

(上接第 106 页)

统定位性能相较于原 LANDMARC 系统也有很好地改善,系统算法的复杂度得到了明显的减小.从而,验证了本文提出的改进方案以及算法的改进思路是可行的,并且改进优化后的系统对于定位精度和定位性能有较高需求的应用场景具有现实的应用价值及意义.

### 参考文献

- 1 J.Hightower and G.Borriello,A survey and taxonomy of location sensing systems for ubiquitous computing,CSE 01-08-03, University of Washington,Department of Computer Science and Engineering,Seattle,WA,Aug.2001.
- 2 Ni L M,Liu Yunhao,Lau Y C,et al.LANDMARC:Indoor Location sensing Using Active RFID.Wireless Networks,2004,10 (6):701-710.
- 3 孙瑜,范平志.射频识别技术及其在定位中的应用.计算机应用,2005,6(5):1205-1208.
- 4 王远哲,毛陆虹,刘辉,肖基浩.基于参考标签的射频识别定位算法研究与应用.通信学报,2010,31(2):86-92.
- 5 邓辉舫,马启平,周尚伟.使用无线射频识别(RFID)技术进行室内定位.计算机应用,2008,28(7):1858-1865.
- 6 韩下林,赵卫东,季军,卫岗,柳先辉.基于 RFID 的室内定位算法及其改进[A].计算机工程与应用,2008,45(11):47-69.
- 7 周艳,李海成.基于 RSSI 无线传感器网络空间定位算法.通信学报,2009,30(6):75-79.
- 8 中国射频识别(RFID)技术政策白皮书[P].北京:中华人民共和国科学技术部等十五部委,2006.