UNIVERSITY OF WEST LONDON
The Career University

UWL REPOSITORY

repository.uwl.ac.uk

Indoor positioning based on multi-sensor of smart phones

Shukun, Wu, Wang, Xinheng ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8771-8901 and Yuning, Dong (2018) Indoor positioning based on multi-sensor of smart phones. Computer Technology and Development. (In Press)

This is the Accepted Version of the final output.

UWL repository link: https://repository.uwl.ac.uk/id/eprint/4716/

Alternative formats: If you require this document in an alternative format, please contact: open.research@uwl.ac.uk

Copyright:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

Take down policy: If you believe that this document breaches copyright, please contact us at open.research@uwl.ac.uk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

基于智能手机的多传感器结合室内定位

吴树坤[1]，王新珩[2]，董育宁[1]

1.南京邮电大学通信与信息工程学院，江苏，南京 210003
2.西苏格兰大学 工程和计算机学院，苏格兰 佩斯利 UKPA12TR

摘要：定位对于当下智能生活的理念有着至关重要的作用。对于室外定位，GPS 是一项可靠易得的技术。而当今，随着智能家居等的推广，以及定位技术的日渐发展，室内定位技术越来越受到关注。GPS 在室内环境搜索到的信号很弱，无法在室内环境使用，另外其在精度方面也无法满足需求。而目前流行的室内定位技术中大多依赖于智能手机的传感器实现，而单一传感器的定位，精度与稳定性不高，降低了定位的体验。其中，基于磁场的室内定位技术与基于 Wi-Fi 的室内定位技术是当前流行的技术手段，但是，单独的磁场定位与 Wi-Fi 定位两种技术都有各自的缺陷，定位效果并不理想。因此，本文利用智能手机采集室内的 Wi-Fi 信号与磁场信号，再利用改进的粒子滤波算法进行定位，有效地提高了定位效果。

关键词：Wi-Fi;地磁场;多传感器;改进的粒子滤波算法;室内定位

中图分类号：TP249

Indoor positioning based on multi-sensor of smart phones

WU Shukun[1]，WANG Xinheng[2]，DONG Yuning[1]

1．College of Telecommunications&Information Engineering，Nanjing University of Posts and Telecommunication，Nanjing 210003，China

2．School of Engineering and Computing，University of the West of Scotland，Paisley UKPAl2TR，Scotland

Abstract:Positioning for the current intelligent life has a crucial role.For outdoor positioning, GPS is a reliable and accessible technology. And today, with the promotion of smart home and the development of positioning technology , indoor positioning technology gets more and more attention. Signal Of GPS in the indoor environment is too weak to be used in the indoor environment, and in terms of accuracy it can not meet demand. And the current popular indoor positioning technology mostly rely on the smart phone sensors to achieve, but accuracy and stability of a single sensor positioning are not high, so that it will reduce the positioning experience. Among them, the magnetic field-based indoor positioning technology and Wi-Fi-based indoor positioning technology are the current popular technical means, but the separate magnetic field positioning and Wi-Fi positioning have their own flaws.Therefore, this paper uses the smart phone to collect the Wi-Fi signals and the magnetic field signals in the room, and then uses the improved particle filter algorithm to position the target, which can improve the positioning.

Key Words:Wi-Fi;magnetic field;multi-sensor;improved particle filter algorithm;indoor positioning

收稿日期：2017-00-00 修回日期 2017-00-00

项目基金：国家自然科学基金(No.61271233)

作者简介：吴树坤（1991-），男，山东泰安人。南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生。研究方向粒子滤波与室内定位。王新珩（1968-），男，山东青岛人，教授，博士生导师，研究方向为室内定位及无

线通信。通信作者：董育宁(1955-)，男，江苏南京人，教授，博士生导师，研究方向为多媒体通信与图像处理，电话：15077858011　E-mail：dongyn@njupt.edu.cn。

0 引言

近些年，智能手机的广泛应用和室内环境的复杂化，国内外许多研究机构开始着力于研究室内定位导航技术。根据文献[1]描述,目前主要的室内定位技术主要有：Wi-Fi 定位、磁场定位、超声波定位、蓝牙定位、红外线定位以及射频识别定位等。其中，随着日益增长的大众移动设备上网需要和公共场所的 Wi-Fi 节点铺设不断成熟,丰富的 Wi-Fi 信号资源为室内定位提供了很好的基础。

如文献[2][3]所述，Wi-Fi 定位一般通过指纹库的方法实现，这种方法一般需要两个阶段。第一阶段需要建立指纹数据库。对于 Wi-Fi 定位而言，我们需要通过手机或其他电子设备在定位区域收集相关点及其对应的 Wi-Fi 信号强度，并根据其对应关系储存在数据库中。而第二阶段，则是在区域内收集相关信息，在已建立数据库的基础上，通过相关信息与数据库中的数据进行比对，实现位置估计。而关于比对过程，目前主要有两种计算方式，一种是利用 K 最邻近算法，K 最邻近算法的核心思想是如果一个样本在特征空间中的 K 个最相邻的样本中的大多数属于某一个类别,则该样本也属于这个类别,并具有这个类别上样本的特性。该方法在确定分类决策上只依据最邻近的一个或者几个样本的类别来决定待分样本所属的类别。K 最邻近方法在类别决策时，只与极少量的相邻样本有关。所以，当样本不平衡时，如一个类的样本容量很大，而其他类样本容量很小时，有可能导致当输入一个新样本时，该样本的 K 个邻居中大容量类的样本占多数，导致定位出现误差。而另一种计算方式，则是以粒子滤波、卡尔曼滤波算法为代表，这类计算方法利用概率分布对实际的状态进行估计与预测，选择概率最接近的值来代替真实值，这种相对于 K 最邻近算法更加有优势，常应用于定位算法，同样，粒子滤波也是这篇文章采用的算法。

由于 Wi-Fi 信号易受建筑物阻挡且采集信号周围信号具有相似性，以及算法本身的限制，Wi-Fi 定位技术存在较大的误差。目前很多投入商用的 Wi-Fi 定位系统都具有定位漂移的情况。与此同时，在室内环境中，受到建筑物本身结构与材料的影响，建筑物内部会产生相对稳定的磁场，这就给我们提供了一种固有的资源来进行定位。

针对以上情况，本文创新性地设计了一种 Wi-Fi 定位与地磁定位相结合的方法，利用手机多个传感器收集 Wi-Fi 与磁场信号，利用磁场信号的合成量，有效地提高了特征收集过程的便利性，同时在算法上利用改进的粒子滤波，可以利用较少数量的 Wi-Fi 热点实现定位而且明显降低定位误差，更简便高效地实现定位。

其余内容安排如下：第一部分简要介绍多传感器定位系统；第二部分详细阐述改进的粒子滤波算法；第三部分为实验结果；最后给出这篇文章结论。

1　多传感器定位系统

Wi-Fi 定位技术目前是应用非常广泛的一种定位技术，这得益于 Wi-Fi 的资源优势，但是通常 Wi-Fi 定位系统收集的 Wi-Fi 信息在相近区域会保持同样的值，根据文献[4]可知，在单纯利用 Wi-Fi 信号进行定位，精度大多在 3m 左右，而且，由于 Wi-Fi 信号易受墙壁阻隔与反射，而且天气状况也会影响到 Wi-Fi 信号的波动，使得目前很多 Wi-Fi 定位技术的体验并不好。传统的用于智能手机的多传感器定位系统有 Wi-Fi、蓝牙结合系统，而由文献[5]可知，此类系统功耗较大且误差波动也较大，也无法提供很好的定位体验。

而近几年，随着国外相关机构对磁场定位的研究增多，磁场室内定位逐渐成为大家对于室内定位研究的新的重点。文献[6—9]描述了地磁场定位的基本原理及可行性。目前的研究，大都将室内磁场信号分解为三个正交分量，三个分量作为定位的三个特征，建立指纹库，实现定位，文献[10]给出了一种实现基于地磁场的室内定位的方法。但是这种方法更适合于定位机器人，因为手机的磁场传感器位置是固定的，在日常的基于智能手机的定位当中，我们

无法保持手机始终处于同一种姿态，这也就无法保证每次收集的信息来自同一方向。但是，考虑到智能手机上的使用，这篇文章将磁场的三个分量进行合成，由于三个方向上的分量稳定，其合成量也就是稳定的。这篇文章则是将 Wi-Fi 传感器与磁场传感器相结合，利用这两种特征实现定位。在以往类似的研究中，文献[11]也介绍了 Wi-Fi 传感器与磁场传感器结合的例子，但是此例是利用 Wi-Fi 先进行区域判定，再用磁场进行下一步区域内定位，这种方法在算法上利用了传统的最邻近算法，所以无法提高很高的精度。

本系统首先需要通过智能手机在预先规划好的测试范围遍历区域内的所有采样点，将相应的信号强度、ＭＡＣ地址以及位置信息等记录在指纹数据库的采样点收集数据建立对应的指纹库，在建立了对应的指纹数据库后利用改进的粒子滤波算法对给定的 Wi-Fi 及磁场信息进行处理匹配，得到估计位置。系统流程如图 1 所示。

2　改进的粒子滤波算法

文献[12][13]详细描述了传统的粒子滤波算法，从中可知，粒子滤波算法核心思想是序贯重要性采样，常用来解决非线性非高斯的分布问题。令所求动态系统中状态变量的先验条件概率为　　，在 k 时刻获得传感器观测信息后 ，粒子的可能分布状态表示为　　，设　　为状态变量　的后验概率密度，　　为重要性概率密度的参考分布。算法中粒子集　　相对应的权值是　　。其中　　表示状态变量　从 0 时刻到 k 时刻的状态集，　　表示从 1 到 k 时刻传感器的观测数据。对同一时刻所有粒子加权和归一化　　。则所要求的后验概率　　可以通过求解粒子的加权和近似获得：

（1）

粒子　　的权值　可以通过重要性概率密度获得：

（2）

对重要性概率密度　　进行如下分解：

（3）

k 时刻传感器新的观测值　　时，把它添加进 $k-1$ 时刻的粒子集　　中得到 k 时刻的粒子集　　。又因为后验概率密度函数 可以表示为：

（4）

把（2）式和（3）式代入（4）式可得粒子的权重为：

（5）

假设系统服从一阶马尔可夫过程，那么重要性密度函数只与　和　相关，即　　和　　相等，那么只需要存储当前粒子集　　，无需关心前面粒子状态集　　，也不需要前面传感器的观测值　　。粒子的权重可以进一步表示为：

（6）

假设重要性概率密度由先验概率表示：

（7）

把（7）式代入（6）式，得到粒子的权重为：

（8）

对权重进行归一化处理：

（9）

后验概率密度　　可表示成：

（10）

当 N 足够大时，由大数定理可知　　无限逼近　　。

基本的粒子滤波算法步骤如下：

（1）初始化。由状态变量的先验概率　　分布情况获得初始粒子集　　，同时把所有粒子的权重设置为 $1/N$。

（2）更新。计算 k 时刻粒子集的权重，更新权重：

（11）

并对粒子权重进行归一化处理：

（12）

计算粒子集的加权和估计状态变量当前时刻的状态值：

（13）

（3）重采样。对粒子集进行采样获得新的粒子集　　。

（4）预测。根据状态转移方程预测下一刻的变量状态　　。

（5）令 $k=k+1$，得到新观测值后转到第（2）步。

但是，基本的粒子滤波其在实际应用中，采样频率越高，粒子越接近正确的状态，追踪效果越好，同时，累积误差也越大，在持续的定位中误差会越来越大。重采样可以有效得抑制这一现象，然而会导致粒子的有效性降低，粒子无法表现目标的后验密度分布。

文献[14]针对上述情况，提出了一种改进的粒子滤波算法，文献中的改进在于，重采样部分，采用式（14）（15）中的方法，其中，　　和　表示第 i 个个体　　的第 j 个分量，　　是方差为 1，均值为 0 的高斯变量。　和　分别表示全局和局部步长系数，传统的粒子滤波令其值为 1，在此改进算法中，考虑到个体的变异步长对算法的影响，通过增加变异步长因子来干预粒子的突变行为。于是，变异步长由粒子的自适应度值计算得到，适应度值直接采用粒子的权值表示。即权值大的粒子表示其适应度高，是正确描述随机量后验概率的好粒子，权值小的粒子表示适应度低，对算法的贡献小。当粒子的适应度较低时，表明与最优解的距离较大，此时需要增大变异步长在较大的范围内生成新的粒子，从而提升粒子的搜索能力。当粒子的适应度较高时，表示目标函数比较接近最优解，该粒子需要缩小其变异步长，提高粒子的搜索精度。同时，把变异步长调整为原来的　　，其中　为归一化后的粒子权重，这样粒子可以根据其自适应度而自适应地调整变异步长，从而在扩大搜索范围和提高搜索精度之间合理的选择。当粒子处于远离最优解的最坏情况时，变异步长会增大为两倍。产生较为分散的子代，有效地扩大搜索范围。在（15）式中，粒子自适应度较差的时候，同时增大高斯随机变量的方差，在较大的范围产生子代。这样，就有效地降低了累积误差。

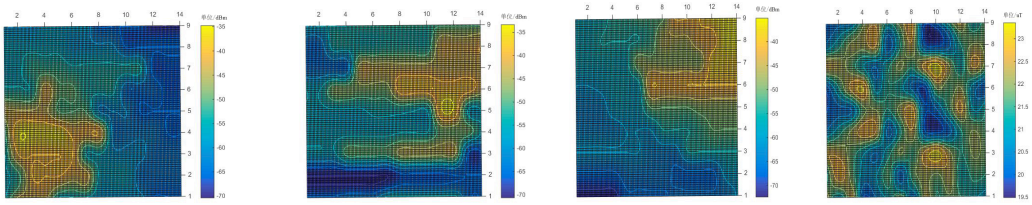
（14）

（15）

3　仿真及实验结果

本次实验场所选取南京邮电大学科技楼 1512 实验室。实验将实验室划分为 14*9 格，每格为 0.6m*0.6m 的正方形，并在实验室布置三个 AP 点用于实验。收集过程中手机置于每格的中心，高度约为 1.4m。共收集到 126 组数据，每组数据包括所在位置处的磁场合成量以及可搜索到的 Wi-Fi 名称及其信号强度大小，其中，信号搜索不到的位置，将此位置的信号强度设为-100dBm。

本次实验在区域中（3,4），（11,5），（14,9）处分别布置 AP1，AP2，AP3 三个热点。



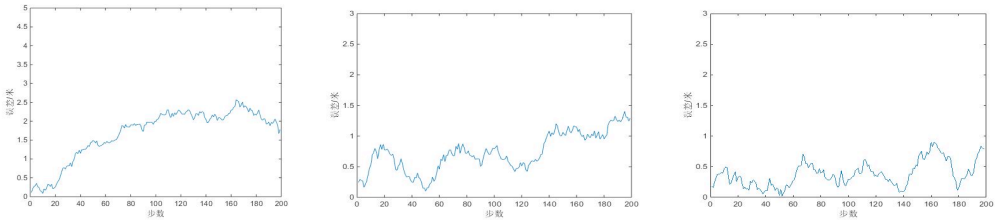
（a）AP1 信号强度　（b）AP2 信号强度　（c）AP3 信号强度　（d）磁场信号强度

图 1　信号强度分布图

图 1 给出了各 AP 点与磁场在室内的信号分布情况，可以看出，Wi-Fi 分布区域变化都没有磁场合成量的变化特征强，相较之下，磁场值更具有定位优势。

将手机采集的数据在 Matlab 中进行处理，利用改进的粒子滤波进行仿真，仿真模拟随机步行 200 次以测误差，并分为以单独的磁场合成量，AP1、AP2、AP3 结合，磁场与 AP1、AP2 结合，三种定位方式进行对比。

根据图 2 可以直观看出，单独磁场合成量的定位，这是由于只是用磁场量这一个特征时，样本匮乏，而文献[13]中提到，粒子滤波需要用大量的样本数量才能很好地近似系统的后验概率密度，所以在这种情况下提取粒子时，无法保证提取的粒子覆盖到真实位置，所以定位误差处于比较高的状态，估计位置偏移较大，定位无法达到理想效果。而当增加特征数量后，由多个特征的观测数据与状态变量构成的对应关系则更加稳定。全部用 Wi-Fi 来定位，起始点定位误差虽小，但是其后验概率密度并不是很理想，某些点的误差较大，而且随着步行距离增长，误差会不断累积，逐渐无法达到定位效果，但整体也要优于单独磁场合成量的定位。而将其中一个 Wi-Fi 换作磁场合成量后，定位误差则进一步改善，一直处在较好的水平，可以很好地提高定位效果。



（a）单独磁场合成量　　（b）AP1、AP2、AP3 结合　　（c）磁场与 AP1、AP2 结合

图 2　仿真定位误差图

为了进一步验证上述结果的可靠性，本此实验共进行了 5 次 200 步实验与 5 次 400 步的实验，并统计了其误差，如表 1、2 所示，磁场与 AP1、AP2 结合的定位精度优于 AP1、AP2、AP3 结合的定位，同时也优于文献[2,3]中的精度，而单独磁场合成量的定位误差最大。另外在 400 步实验中可以发现，每一种定位方式，在定位步数增大后，虽然这篇文章所用算法已有所改进，但是由于粒子重采样次数增多，粒子的多样性也会降低，导致定位误差不断累积。

表 1　5 次 200 步实验误差对比

	单独磁场合成量定位	AP1-3 定位	磁场加 AP1-2 定位
平均误差	2.792m	1.035m	0.332m
最大误差	4.316m	1.779m	1.14m

表 2　5 次 400 步实验误差对比

	单独磁场合成量定位	AP1-3 定位	磁场加 AP1-2 定位
平均误差	4.405m	1.939m	1.002m
最大误差	6.581.m	3.032m	2.118m

4 结束语

磁场可作为一种定位特征用于室内定位，单独的磁场定位，在应用定位机器人实验时，可以达到较好的效果，但是一旦用于实际的智能手机条件下，在收集方面比较困难，本文在收集上简化了操作，这样，收集到的特征会相对减少。一般情况下，单独的 Wi-Fi 定位收集到的特征多，但是受限于 Wi-Fi 自身的分布，其丰富度不够。但在 Wi-Fi 定位的基础上，加入磁场合成量，可以较好地提高定位效果与数据收集的便易性。未来，可以在定位算法上寻求更加可靠简易的算法应用于智能手机。

参考文献

[1] 邓中亮, 余彦培, 袁协,等. 室内定位现状与发展趋势研究[J]. 中国通信(英文版), 2013, 10(3):50-63.

[2] Caso G, De Nardis L, Benedetto M G D. Frequentist inference for Wi-Fi fingerprinting 3D indoor positioning[C]// IEEE International Conference on Communication Workshop. IEEE, 2015:809-814.

[3] Moghtadaiee V, Dempster A G. Wi-Fi fingerprinting signal strength error modeling for short distances[C]// International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. IEEE, 2013:1-6.

[4] 周瑞, 李志强, 罗磊. 基于粒子滤波的 Wi-Fi 行人航位推算融合室内定位[J]. 计算机应用, 2016, 36(5):1188-1191.

[5] 王睿, 赵方, 彭金华,等. 基于 WI-FI 和蓝牙融合的室内定位算法[J]. 计算机研究与发展, 2011, 48(s2):28-33.

[6] LI B，GALLAGHER T，DEMPSTER A G，et al．How feasible is the use of magnetic field alone for indoor positioning?[C]∥International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation(IPIN)．2012：1—9．

[7] 余洪山，王耀南．基于粒子加波器的移动机器人定位和地图创建研究进展[J]．机器人，2007，29(3)：280—281．

[8] MORENO M，SKARMETA A F．An indoor localization system based on 3D magnetic fingerprints for smart buildings[C]∥IEEE RIVF International Conference on Computing&Communication Technologies-Research，Innovation，and Vision for the Future(RIVF)．2015：186—191．

[9] VALLIVAARA I，HAVERINEN J，KEMPPAINEN A，et al．Simultaneous localization and mapping using ambient magnetic field[C]∥IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems(MFI)．2010：14—19．

[10]张聪聪，王新珩，董育宁．基于地磁场的室内定位和地图构建[J]．仪器仪表学报，2015，36(1)：181—186．

[11] Shu Y, Bo C, Shen G, et al. Magicol: Indoor Localization Using Pervasive Magnetic Field and Opportunistic Wi-Fi Sensing[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2015, 33(7):1443-1457.

[12] 郭晓松, 李奕芃, 郭君斌. 粒子滤波算法及其应用研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(9):2264-2266.

[13]王法胜, 鲁明羽, 赵清杰,等. 粒子滤波算法[J]. 计算机学报, 2014, 37(8):1679-1694.

[14] 刘夫玉, 王新珩, 董育宁,等. 基于粒子滤波的定位系统中累计误差消除的进化策略[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2017, 37(2):91-97.