

DOI: 10.19650/j.cnki.cjsi.J2006810

基于地磁序列匹配的大型室内动态定位方法^{*}

金 展, 康瑞清, 王 威

(北京科技大学自动化学院 北京 100083)

摘 要: 基于地磁信号的定位技术无需架设信号发送设备, 成本低且可覆盖室内定位范围广。针对室内地磁定位方法采集工作繁琐复杂需反复测量才能精准映射二维平面坐标点的现状, 提出一种基于移动终端图像可视化映射和自动插入采集数据的方法, 快速采集室内地磁指纹, 动态建立匹配室内二维地图的指纹数据库。在此基础上, 定位阶段使用改进的动态时间规整 (DTW) 算法进行地磁序列匹配, 提高大型数据库的动态定位效率。后续采用粒子滤波算法融合地磁序列定位和行人航位推算 (PDR) 的结果, 在智能移动终端载体上实现快速精准定位。实验结果表明该动态定位方法在大型室内区域的动态实时跟踪定位效率为每步 65 ms, 平均定位精度为 1.4 m 以内。

关键词: 地磁匹配; 快速采集; 室内定位; 动态时间规整

中图分类号: TH89 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Large indoor dynamic positioning method based on magnetic sequence matching

Jin Zhan, Kang Ruiqing, Wang Wei

(School of Automation and Electrical Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Positioning technology based on geomagnetic signal has the advantages of no need to set up signal transmitting equipment, low cost and wide coverage of indoor positioning. Aiming at the present situation that indoor geomagnetic positioning method is complicated and requires repeated measurement to accurately map two-dimensional plane coordinate points, a method based on mobile terminal image visualization mapping and automatic insertion of acquisition data was proposed to quickly collect indoor geomagnetic fingerprints and dynamically establish fingerprint database matching indoor two-dimensional maps. Based on this acquisition method, the improved dynamic time warping (DTW) algorithm is used for geomagnetic sequence matching in the positioning phase, which can reduce the amount of calculation and improve the accuracy of positioning results. Subsequently, particle filter is used to fuse the positioning results based on geomagnetic sequence matching and pedestrian dead reckoning (PDR) results to achieve fast and accurate positioning on the intelligent mobile terminal carrier. Simulation and experimental results show that the proposed method has a pedestrian tracking and positioning efficiency of 65 ms per step and an average positioning accuracy of 1.4 m in large indoor areas.

Keywords: magnetic matching; fast acquisition; indoor positioning; dynamic time warping

0 引 言

随着物联网的高速发展, 基于位置服务 (location based services, LBS) 越来越融入人们日常的生产生活需求。目前, 室外导航定位主要由卫星导航定位系统提供高精度全天候定位导航授时服务, 然而由于室内环境复

杂, 建筑物遮挡卫星信号等因素影响, 传统的卫星导航定位系统无法满足室内定位的需求^[1]。为了突破 LBS 领域这“最后一公里”问题, 国内外学者尝试利用各种新途径来获取室内位置信息, 从定位信号来源大致划分为基于无线信号发射设备的 Wi-Fi 定位^[2], 蓝牙 (iBeacon) 定位, 射频识别定位, 超宽带定位等和基于固有信号源的惯性定位, 地磁定位, 计算机视觉定位等^[3-5]。

收稿日期: 2020-08-23 Received Date: 2020-08-23

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金 (61602041) 项目资助

基于室内区域现代建筑钢筋水泥和铁质管道环境的扰动扭曲后构建出的独特地磁指纹信号源差异性大,且覆盖可定位范围广,依靠终端传感器即可实现室内定位^[6]。文献[7]将地磁序列作为指纹特征,考虑用户步行速度变化以便提供可用于各种用户的应用,运用动态时间规整算法来进行匹配定位,研发了 Locate-Me 定位系统,实验表明该方法能够达到 2~6 m 的定位精度。文献[8]基于采集的原始地磁序列的小局部片段之间的差异,提出了一种使用训练数据学习具有高判别力的基于序列的新型指纹,它可以有效地处理原始地磁序列的局部失真和移位。文献[9]提出了一种从地磁信号序列的空间和时间两种不同的表征来推断位置特征的网络模型,使用卷积和递归神经网络来提取位置特征,并将其融合在一起生成更具有区分度的融合特征,以实现精确的室内定位。文献[10]提出了基于惯性导航系统(inertial navigation system, INS)惯性导航技术辅助地磁匹配的融合定位算法,采用平均平方误差准则在大型的商场内基于智能手机 MEMS 传感器用单点匹配实现行人定位。文献[11]利用室内地磁场的空间波动进行即时定位和地图构建,依据地磁场传感器的 3 个正交方向上的分量和不同的权重计算方式改进粒子滤波算法,结合克里金法对地磁地图进行更新。文献[12]设计了基于粒子滤波磁场匹配的定位方案,改进了行人航迹推测(pedestrian dead reckoning, PDR)算法的步态判断和步

长与航向的估计算法,减少了的累积误差同时提高了匹配的效率,该系统能够实现 2 m 的定位精度。文献[13]使用 K-means 聚类对运用动态时间规整匹配地磁序列算法得到的位置结果进行了优化,使平均定位误差达到了 1.5 m,但 K-means 聚类结果 K 值具有一定的偶然性,会影响定位效果。

本文提出一种应用于大型室内区域的快速自动采集方式和动态精准定位方法,使用该采集方式采集的地磁指纹数据应用于改进的地磁序列动态匹配在大型室内区域可实现行人实时动态定位。后续采用粒子滤波算法融合地磁序列动态匹配定位结果和行人航迹推测算法跟踪行人航迹的结果,进一步提高大型室内区域定位准确性。实验以智能移动终端为载体在实际大型室内场所完成该快速采集方法与改进的定位算法的系统验证。

1 系统结构

位置指纹定位(fingerprinting-based positioning, FP)通常分为离线采集阶段和在线定位阶段^[14],本文设计的大型室内区域定位系统的离线采集阶段完成室内地磁数据基于图像可视化采集如图 1 所示,形成映射室内二维坐标的地磁指纹数据库,在线定位阶段由粒子滤波加权融合基于地磁指纹数据库匹配的观测结果与基于惯性导航的 PDR 估计结果,返回最终的位置信息。

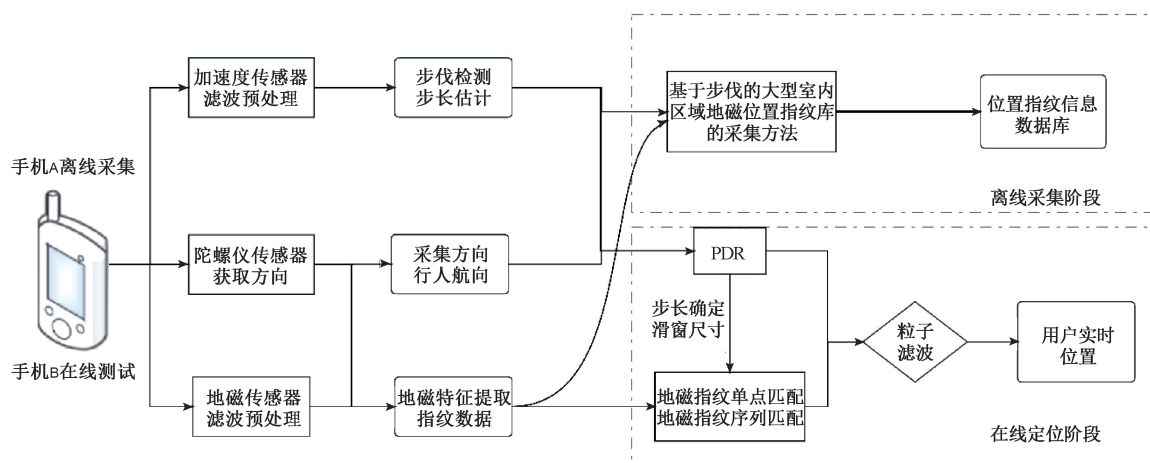


图1 多信息融合的大型室内定位系统

Fig. 1 Large indoor positioning system based on multi information fusion

2 大型室内区域地磁位置指纹库的采集方法

基于 FP 技术的原理,室内每一处的地磁信号都可以作为区分不同位置点的特征信息进行采集,在定位阶段进行匹配^[15]。依赖天然室内地磁信号的定位方法在采

集和定位阶段无需提前布置任何基站,依赖和应用于智能手机的定位系统,可直接使用智能手机内置 MEMS 传感器采集基于手机坐标系的地磁三轴信号构建位置指纹库。离线采集阶段地磁位置指纹库构建原理图如图 2 所示。

地磁数据的采集是建库的基础,构建基准地磁指纹

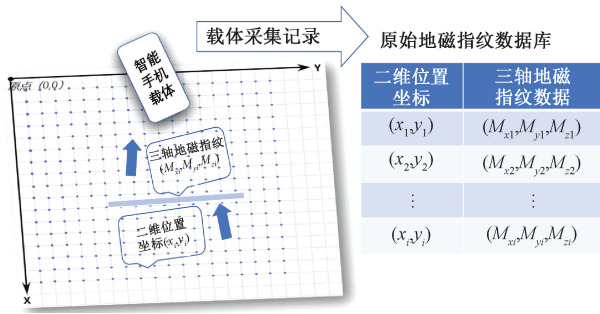


图2 离线采集阶段

Fig. 2 Offline acquisition phase

数据库会对定位结果产生十分重要的影响。传统的地磁指纹采集方式主要为网格单点采集和路径连续采集两种方式^[16]。两种采集方式对应着两种不同的基于地磁的室内定位解决方案,网格单点采集方式直接对应着二维平面空间,路径连续采集方式则对应一维空间。相比之下,网格式指纹采集需要测量收集每个参。路径序列采集方式效率较高,但相对来说室内二维位置信息没有网格单点采集来得准确、丰富。

大型室内区域范围广阔,结合两种采集方式优点且应适用于智能手机,本文采用基于采集人员步伐位置映射基于手机屏幕坐标系的二维地图,是连续路径结合图像可视化快速采集的方法。基于手机屏幕二维坐标系的平面内,网格点处为采集人员步伐所至的采集参考点处,即采样频率取决采集人员步频,同时采集人员采集路径通过地理信息可视化直接映射二维位置信息,此原理完成大型室内地磁信号快速采集。

在复杂多变的室内环境中,研究中发现当用户沿着路径的不同方向行走时,地磁三轴分量数据在同一个二维坐标采集点处差异明显,而三轴分量的模值 M_a 强度变化差异不大,即地磁传感器三轴分量数据的模与采集路径方向无关。因此采集人员可在采集点处以任意方向的连续路径进行反复采集地磁模值。 M_a 的公式如下:

$$M_a = \sqrt{(M_x)^2 + (M_y)^2 + (M_z)^2} \quad (1)$$

为了尽可能的降低信号强度值的时变性对定位精度造成的影响,在同一个二维坐标采集参考点处基于不同连续路径的方向多次测量地磁数据,以地磁传感器滤波后所得基于智能手机坐标系 x, y, z 三轴数据和三轴的模值 M_a 为特征参数进行后续研究,再取不同方向路径采样所得 M_a 的均值作为指纹特征存入数据库。

结合上述采集方式,针对大型室内区域的指纹定位,提出基于智能手机可视化快速采集地磁指纹的应用,建立可动态地匹配二维地图的地磁指纹数据库。采集界面如图3所示。

采集人员可在采集界面的可视化图像二维地图上选

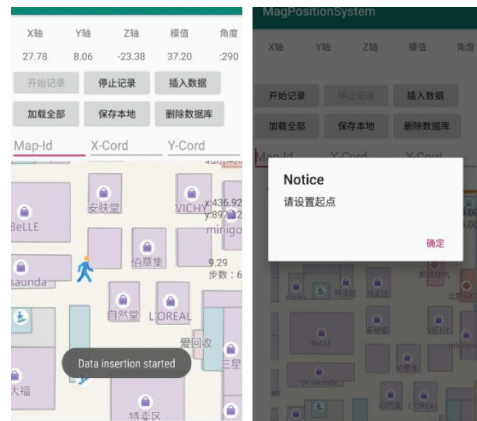
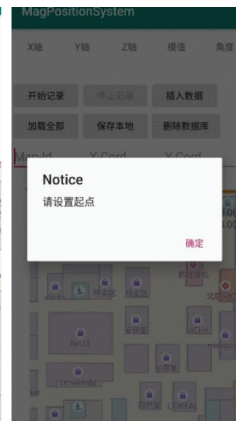
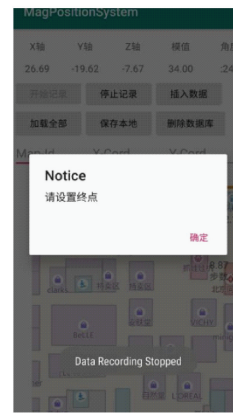
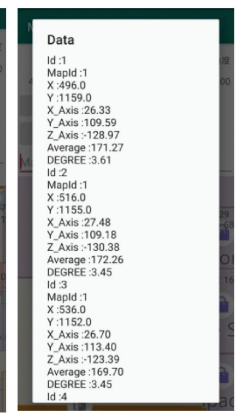
(a) 采集界面
(a) Acquisition interface(b) 设置起点
(b) Starting point setting(c) 设置终点
(c) End point setting(d) 数据库显示
(d) Database display

图3 离线采集 app 界面

Fig. 3 Offline acquisition app interface

择所在的采集起点,直接与实际所处的位置坐标映射。根据计划采集路径继而开启基于采集人员步伐移动自动插入地磁数据的采集模式,采集路径结束时对应映射选择采集终点处后自动保存至数据库,实现在该页面进行数据库的增删改查与保存本地操作。

3 基于序列匹配的指纹定位方法

基于上述采集方法采集的大型室内单点地磁指纹数据庞大,使用传统的单点数据对应指纹数据库匹配方法定位容易出现指纹特征相似度高分度低,定位误差大的问题^[17]。研究发现连续路径上采集的时间地磁序列在同一路径上的变化呈现出一致性,如图4(a)图所示,不同时期同一路径上的数据变化只与研究人员的采集时期频率有关。基于此特性,可以把连续路径上的地磁序列视为一种匹配特征,在匹配阶段借鉴使用语音识别领域的经典算法动态时间规整(dynamic time warping, DTW)算法对序列进行匹配实现定位。DTW 是一种衡

量两个离散时间序列相似度的方法^[18-19],使用满足一定条件的时时间规整函数把不同长度的两个序列进行时间上的“对齐”,如图4(b)所示。

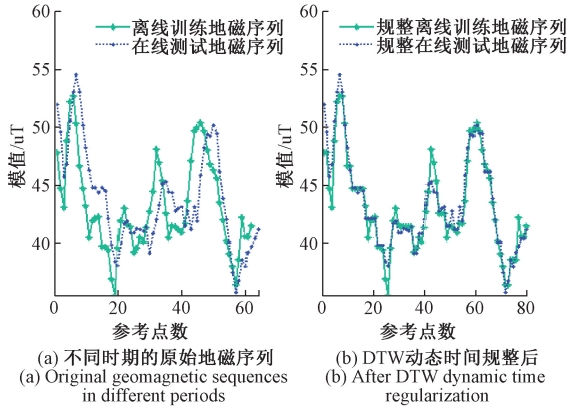


图4 DTW 算法匹配两段地磁序列

Fig. 4 Two geomagnetic sequences matched by DTW algorithm

通过对两个地磁序列采样点之间的相似性进行比较,将原始地磁时间序列进行拉伸到相同时间长度,使得匹配原始地磁序列非线性地映射到参考模板序列的时间轴上,使总的累计失真量最小,进而比较两个时间序列的相似性。

3.1 改进的 DTW 算法匹配地磁序列定位

DTW 算法的目的是找到一条最优规整路径 W :

$$W = w_1, w_2 \cdots w_k \quad (2)$$

其中 $w_k = (i, j)$, 规整路径 W 必须满足 3 个约束条件:

1) 边界条件: 对于长为 M 的序列 A 和长为 N 的序列 B, 起点和终点需满足

$$w_1 = (1, 1), w_k = (N, M) \quad (3)$$

2) 单调性: 路径 W 在矩阵网格中的走势是单调的, 若 $w_k = (i, j)$, 则下一时刻 $w_{k+1} = (i', j')$, 需满足

$$\begin{cases} (i' - i) \geq 0 \\ (j' - j) \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

3) 连续性: 路径 W 中相邻两元素必须是矩阵网格中相邻的元素, 若 $w_k = (i, j)$, 则下一时刻 $w_{k+1} = (i', j')$, 需满足

$$\begin{cases} (i' - i) \leq 1 \\ (j' - j) \leq 1 \end{cases} \quad (5)$$

所有相似匹配点之间的距离之和作为规整路径距离, 用规整路径距离来衡量两个时间序列的相似性。规整路径距离越小, 相似度越高。

现有 DTW 算法解决地磁序列指纹匹配, 需要计算两个时间序列之间的欧式距离矩阵 d 和累积距离矩阵 D , 即从矩阵网格 $(0, 0)$ 点开始匹配两个序列 A 和 B, 每到一个点, 之前所有的点计算的都会累加。到达终点

(N, M) 后, 这个累积距离就描述了序列 A 和 B 的总体相似程度。累积距离 $D(i, j)$ 可以表示成以下公式:

$$D(i, j) = d(i, j) + \min \begin{bmatrix} D(i-1, j), D(i, j-1), \\ D(i-1, j-1) \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中, $d(i, j)$ 是当前格点的距离, 即序列 A 序列 B 中的对应两点 $A(i)$ 和 $B(j)$ 的欧式距离。则累积距离 $D(i, j)$ 为当前格点的距离与到达该点的最小的邻近元素的累积距离之和。

DTW 算法计算过程计算量大实时性差^[20], 尤其是应用于地磁序列匹配时需要遍历指纹数据库比较最佳参考序列, 无效的重复性计算严重地降低了计算定位效率。因此我们需要对匹配算法做出进一步运算效率上的改进, 可以从减少数据匹配和改进算法两个方面入手。

数据匹配方面在以采集阶段存入的指纹数据的采集方向数据为约束条件可进行数据分类, 以此限定在线定位阶段遍历数据库的取值, 初步筛选减少无效遍历。

算法方面, 通过增加全局路径约束和设置失真阈值对 DTW 算法进行效率上的改进, 降低算法时间复杂度^[21]。由于实时地磁序列先后顺序不会变化, 为了避免盲目搜索, 不允许向横轴或者纵轴过分倾斜规整路径; 其次, 由于累积距离矩阵的左上角局部路径约束, 改进的 DTW 算法后不必匹配如图 5 中对角线附近带状区域之外的点, 只保存局部矩阵, 并且在计算过程中可以连续更新。匹配过程只需将它们与带状区域范围内的参考点进行比较, 而无需得出距离矩阵内所有 DTW 距离^[22]。

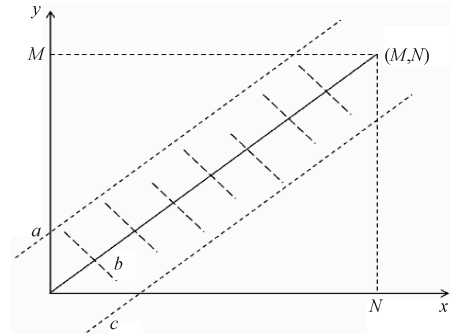


图5 带状约束

Fig. 5 Banding path constraint

用与对角线 b 平行的两条虚线 a, c 做路径搜索范围约束, 将 DTW 搜索的路径控制在这两条虚线以内, 来减少 DTW 算法的运算量以及运算时间。虚线 a 和 c 的间距越小, 运算时间也就越短, 但是太小的间距会使匹配的正确率下降。虚线 a, c 与对角线 b 的距离使用水平方向的参考点数目来表示, 用 H 表示模板序列和测试序列中较小的值, 即 $H = \min\{M, N\}$ 。在保证正确率的前提下, 本文取 a, c 与对角线 b 之间的水平距离为

$\text{ceiling}(H/10)$, 其中 $\text{ceiling}(x)$ 表示取不小于 x 的最小整数。

这样就限定了规整路径的搜索范围处于带状区域范
围中, 再进行优化 DTW 匹配, 并计算待匹配序列与模板
序列的失真度, 如果大于失真阈值, 则识别失败, 如果小
于失真阈值, 则输出识别结果。使模板序列上的参考点
只需要与待匹配测试序列限定范围内的参考点进行比较
即可。

改进 DTW 算法应用于在线定位阶段地磁序列匹配
流程:

- 1) 滑动窗口实时截取 M 步为一段地磁波形作为待
匹配序列 A ;
- 2) 根据实时行人航向限定匹配数据库, 分页遍历截
取长度为 N 的指纹数据地磁波形作为模板序列 B ;
- 3) 初始化两个时间序列的欧式距离矩阵 d 和累计距
离矩阵 D , 累计距离矩阵到达 $D(i, j)$ 的值根据 DP 思想
找最小值;
- 4) 判断是否满足带状区域限制且小于失真阈值;
- 5) 当 $\begin{cases} i \geq N \\ j \geq M \end{cases}$ 时, 输出 A 、 B 序列的 DTW 距离值
 $D(N, M)$ 。

3.2 粒子滤波多信息加权融合定位

基于指纹信息的定位技术需要匹配地磁序列特征量
得出二维定位坐标, 存在一定程序上的不连续跳变或定
位停顿回跳等问题。而基于惯性测量单元 (inertial
measurement unit, IMU) 的 PDR 算法应用于手机载体则
可以恰当地弥补大型区域定位跟踪的连续性。PDR 核
心是根据加速度传感器进行步频探测和步长估计, 根据
陀螺仪传感器与磁强计获取航向信息, 由递推得出相对
定位结果提供连续行人轨迹^[23]。设初始位置坐标为
(X_0, Y_0), 则当前位置坐标 (X_k, Y_k) 的 PDR 计算公式为:

$$\begin{cases} X_k = X_0 + \sum_{n=1}^k S_n \sin \theta_n \\ Y_k = Y_0 + \sum_{n=1}^k S_n \cos \theta_n \end{cases} \quad (7)$$

其中, S_n 为第 n 步步长, θ_n 为第 n 步航向角。

定位跟踪时, 把 PDR 定位结果作为估计值, 地磁定
位结果作为观测值修正位置信息, 使用粒子滤波加权融
合观测值与估计值, 可以得到一个更准确的定位结果。

粒子滤波^[24]是一种用蒙特卡洛模拟贝叶斯概率滤
波的方法, 可以应用于非线性、非高斯模型且具有较高稳
定性。对于室内融合定位可使系统的状态空间模型
为^[25]:

$$\mathbf{X}_k = \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{bmatrix} + (S_k + W_s) \times \begin{bmatrix} \sin(\theta_k + W_\theta) \\ \cos(\theta_k + W_\theta) \end{bmatrix} + W_k \quad (8)$$

系统的观测方程可以表示为:

$$\mathbf{Z}_k = \begin{bmatrix} x'_k \\ y'_k \\ S_k \\ \theta_k \end{bmatrix} + V_k \quad (9)$$

在上述模型中, W_s, W_θ, W_k, V_k 分别表示系统状态方
程和观测方程的均值为 0, 标准差为 ε^2 的高斯白噪声, 即
 $W_s, W_\theta, W_k, V_k \sim N(0, \varepsilon^2)$ 。系统状态噪声和观测噪声协
方差矩阵可以表示为 $\mathbf{Q}_k$ 和 $\mathbf{R}_k$ 。(x_k, y_k) 为粒子滤波预测
的定位坐标, S_k, θ_k 为行人的步长和航向角, (x'_k, y'_k) 为 k
时刻的地磁序列匹配定位结果。使用基于高斯分布的方
程更新粒子重要性权值:

$$W_k^i = \exp\left(-\frac{1}{2} \mathbf{R}_k^{-1} (\|\mathbf{Z}_k - (\mathbf{X}_k)^i\|)^2\right) + 0.001 \quad (10)$$

归一化处理:

$$\bar{w}_k^i = \frac{w_k^i}{\sum_{i=1}^N w_k^i} \quad (11)$$

根据权重对粒子集合进行复制和淘汰, 粒子 i 复制的
粒子数为 δ_i , 重新设置权重为:

$$w_k^i = \frac{1}{N} \quad (12)$$

重采样后根据粒子集和每个粒子的权重, 得到最终
的目标状态估计:

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_k \\ \bar{y}_k \end{bmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

4 实验结果与分析

本文基于地磁序列的采集方法和定位算法都是部署
在 Android 手机载体上测试开发, 调用智能手机内部自带
微传感器硬件有地磁、加速度和陀螺仪传感器等。考虑到
不同型号的手机设备内置传感器测量结果可能存在不同,
选择了不同型号手机分别作为数据库采集设备和在线测
试设备。采集阶段使用 SAMSUNG S8 智能手机进行数据
采集, 测试阶段使用 HUAWEI mate30 在线定位。选定的实
验测试场地为北京南站 B1 层, 长约 130 m 宽约 110 m。

4.1 基于步频的快速构建地磁基准图结果

采用 3.1 节中提出的基于图像可视化结合采集人员
步伐的连续路径采集方式, 使用 SAMSUNG S8 智能手机
进行纵向和横向的基于二维参考点坐标的地磁信号数据
采集, 对应在数据库中生成两张不同方向地磁特征映射
表, 取两表地磁特征的平均值作为地磁定位基准图。大
型室内地磁采真实验结果如图 6 所示。

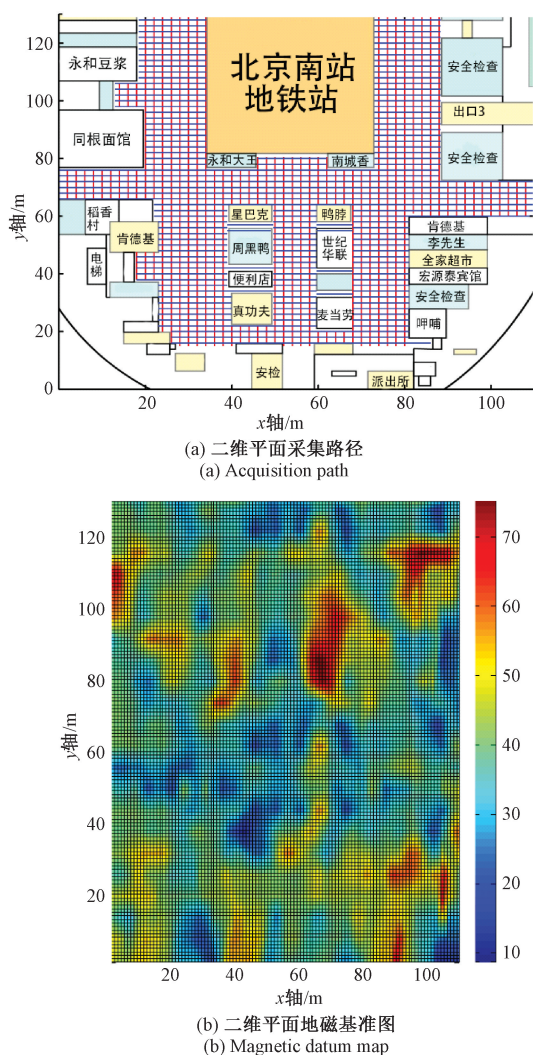


图 6 大型室内地磁采集实验结果

Fig. 6 Experimental results of large scale indoor geomagnetic acquisition

4.2 基于改进 DTW 算法的序列匹配定位结果

使用上述采集方式进行基于改进 DTW 算法的序列匹配,测试与传统 DTW 算法地磁特征序列匹配的定位效率和定位精度比较。

算法运行环境:JDK1.8、Android Studio、SQLite 数据库,实验随机取 50 个测试定位点。

1) 定位效率

本实验使用了滑动窗口匹配的方法来实现基准地磁指纹序列的分帧和匹配。滑动窗口获取子序列时,首先得到待测试指纹序列帧数,记为 n (其中 $n < m$, m 为基准地磁数据序列的长度),然后将整个基准地磁指纹序列按照所确定的路径划分为长段指纹序列,再对此指纹序列进行加窗分帧后提取若干基准地磁指纹子序列。具体加窗分帧提取基准地磁指纹子序列的操作原理为:从长段

指纹序列的第一帧开始,截取 n 帧后提取出来得到第一个子序列。然后向后滑动一帧重复上述过程,以此直到选取出第 $m-n+1$ 个子序列。

由于不同人在定位时采集时间不同或移动距离不同,加上插值算法的影响,导致同样的帧数在基准地磁指纹数据中对应的位置区域大小与待匹配指纹序列的对应的位置范围大小有较大的差距。针对这种情况本文根据步长的大小来修改窗口的大小,通过测试人员在采集待匹配的地磁数据时移动的距离,然后求取基准地磁指纹数据中的此移动距离长度中所包含的地磁数据帧数,记为 n_2 ,以此替换上述加窗分帧中的帧数 n ,进行与上文中滑动窗口匹配步骤相同的加窗分帧操作,得到 $m-n_2+1$ 个地磁基准指纹子序列。

由于大型室内地磁特征数据库数据量多达 9 126 条,每个测试点定位所用的单次定位时间,使用利用算法前后两次 `System.currentTimeMillis()` 方法时间之差得到,然后取 50 个测试定位点的平均定位时间即可。算法中对应的匹配滑动窗口尺寸,是基于步长为单位的地磁特征序列长度。不同窗口尺寸下运行程序得到改进 DTW 算法与传统 DTW 算法的定位耗时平均值如表 1 所示。

表 1 不同算法在不同窗口尺寸下的定位效率比较

Table 1 Comparison of location efficiency of different algorithms under different window sizes

窗口大小	DTW	改进 DTW	ms
1	50.1	24.6	
5	90.4	46.2	
10	130.3	63.0	
15	163.5	80.4	
20	219.1	90.8	

由上表可知,随着滑动窗口数增大,即序列长度越长,则算法耗时越长。改进的 DTW 算法比传统 DTW 算法得出定位结果耗时在上表所测试的不同滑动窗口尺寸下对比明显增快。滑动窗口大小取 10 时,改进的 DTW 定位耗时 63 ms,对比传统 DTW 算法效率增加 51.7%。

2) 定位精度

同上,在不同滑动窗口截取的序列长度下,分别取 50 个测试定位点的平均误差,对比传统 DTW 算法与改进 DTW 算法的定位精度。

由图 7 可知,随着滑动窗口个数增大,定位精度越高。结合定位效率,选择滑动窗口步长为 10 最佳。即待匹配序列和模板序列长度都为 10 时,在线定位阶段使用改进的 DTW 算法在大型室内区域使用本文提出的离线采集方式,定位耗时平均为每步 61.8 ms,定位精度为 2.2 m。

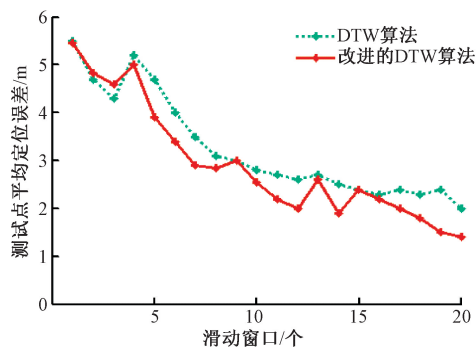


图7 定位误差对比

Fig. 7 Positioning error comparison

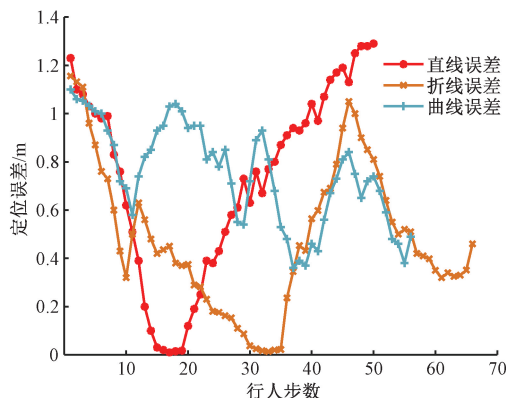


图9 大型室内区域融合定位跟踪误差

Fig. 9 Fusion positioning and tracking error

4.3 融合提高精度

根据3.2节中增加粒子滤波加权融合改进的DTW算法定位结果和PDR定位结果后,实际实验在北京南站B1层从西向东选定三条路径分别是直线路径,直角转弯路径和弯曲路径实地测试连续定位,用户水平持有手机基于步伐每走一步自动触发定位一次,定位跟踪结果如下图8所示。

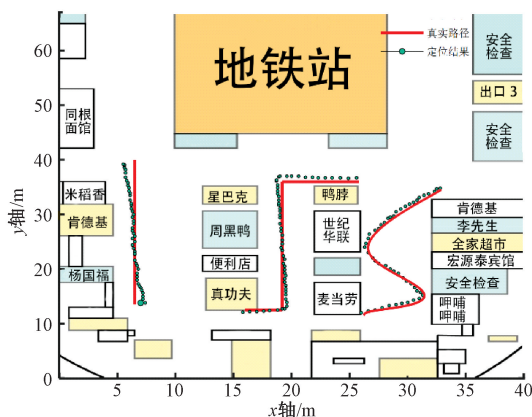


图8 大型室内区域融合定位跟踪结果

Fig. 8 Fusion positioning and tracking results

融合定位跟踪结果数据误差分析如图9所示。

实地实验三条测试路径行走定位结果和误差数据显示,在改进DTW算法进行地磁序列匹配定位的结果上,加入粒子滤波加权融合地磁定位结果与PDR定位结果之后,在连续实时跟踪行人行走方面性能表现优异,有效抑制了单地磁序列匹配定位时可能出现定位结果停顿和跳变等误匹配问题,提高了定位精度。直线、折线或是曲线路径的连续定位误差都在1.4m以内,可完成大型室内行人行走途中提高连续定位,自动实时动态跟踪行人定位速度为每步65ms,满足日常大型室内定位快速且准确的需求。

根据该基于地磁序列匹配的大型室内动态定位方

法,开发Android室内定位app的动态定位界面如图10所示。



图10 在线阶段定位界面

Fig. 10 Online stage positioning interface

5 结论

对于大型室内区域的地磁室内定位而言首先需要解决测量和采集工作复杂,数据库庞大和因此造成的定位计算缓慢,其次需要在快速采集和快速定位的基础上完成动态的精准定位。本文提出的地磁定位系统方法应用于二维的大型室内区域,主要由离线阶段基于采集人员步伐的可视化自动快速采集地磁数据方法,和对应于该采集方法的改进效率的在线定位阶段序列匹配动态定位方法构成。有效地解决大型室内区域采集工作繁杂和定位缓慢等问题。后续采用粒子滤波在算法迭代中加权融合PDR方法结果,使定位精度进一步提高。为验证该定位系统的可用性,基于Android平台开发了一个使用本文

算法的手机 app 实地进行实地实验,实验结果表明本文提出的基于地磁序列匹配的大型室内区域定位方法能够快速准确实现的动态定位,在大型室内场景具有一定的实用价值。

参考文献

- [1] PERRONE G, VALLAN A. GNSS-Global navigation satellite systems[M]. Springer Vienna, 2008.
- [2] 赖朝安,龙漂. 基于高斯过程回归和 WiFi 指纹的室内定位方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(2): 186-193.
LAI CH AN, LONG P. Indoor localization method based on gaussian process regression and WiFi fingerprint[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2021, 35(2): 186-193.
- [3] MAUTZ R. Indoor positioning technologies [M]. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, 2012.
- [4] 陈锐志,陈亮. 基于智能手机的室内定位技术的发展现状和挑战[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1316-1326.
CHEN R ZH, CHEN L. Indoor positioning with smartphones: The state-of-the-art and the challenges[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1316-1326.
- [5] 闫大禹,宋伟,王旭丹,等. 国内室内定位技术发展现状综述[J]. 导航定位学报, 2019, 7(4): 5-12.
YAN D Y, SONG W, WANG X D, et al. Review of development status of indoor location technology in China[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2019, 7(4): 5-12.
- [6] HAVERINEN J, KEMPPAINEN A. Global indoor self-localization based on the ambient magnetic field [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2009, 57 (10): 1028-1035.
- [7] SUBBU K, GOZICK B, DANTU R. Locateme: Magnetic-fields-based indoor localization using smartphones [M]. ACM, 2013.
- [8] CHEN Y, ZHOU M, ZHENG Z. Learning sequence-based fingerprint for magnetic indoor positioning system[J]. IEEE Access, 2019, 7: 163231-163244.
- [9] HE T, NIU Q, HE S, et al. Indoor localization with spatial and temporal representations of signal sequences[C]. 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2019: 1-7.
- [10] 宋鏢,程磊,周明达,等. 基于惯导辅助地磁的手机室内定位系统设计[J]. 传感技术学报, 2015, 28(8): 1249-1254.
SONG B, CHENG L, ZHOU M D, et al. The design of cellphone indoor positioning system based magnetic assisted inertial navigation technology [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2015, 28(8): 1249-1254.
- [11] 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.
ZHANG C C, WANG X H, DONG Y N. Simultaneous localization and mapping based on indoor magnetic anomalies[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2015, 36(1): 181-186.
- [12] 杨增瑞,段其昌,毛明轩,等. 基于磁场指纹辅助的手机室内定位系统[J]. 传感技术学报, 2016, 29(9): 1441-1448.
YANG Z R, DUAN Q CH, MAO M X, et al. Magnetic fingerprinting assisted indoor localization system on smartphone [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2016, 29(9): 1441-1448.
- [13] 徐莉莉,范洪,胡军国. 基于 DTW 的室内指纹定位方法[J]. 传感器与微系统, 2018, 37(11): 34-37.
XU L L, FAN H, HU J G. Indoor fingerprint localization method based on DTW[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2018, 37(11): 34-37.
- [14] ZHUANG Y, SHEN Z, SYED Z, et al. Autonomous WLAN heading and position for smartphones [C]. 2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, 2014: 1113-1121.
- [15] BRIAN Y, GU T, HU A. Integrating Wi-Fi and magnetic field for fingerprinting based indoor positioning system [C]. 2016 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2016: 1-6.
- [16] 林政树. 基于地磁的室内地图创建与存储研究[D]. 广州:华南理工大学, 2017.
LIN ZH SH. Research on creating and storing indoor map base on magnetic field [D]. Gangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [17] CHEN S, CHEN D, WANG Y. GR-PMS: A geomagnetism-based real-time positioning mechanism of smart phones [C]. 2018 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), 2018: 503-5034.
- [18] YANIV R, BURSHTEN D. An enhanced dynamic time warping model for improved estimation of DTW parameters[J]. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 2003, 11(3): 216-228.
- [19] BAUTISTA M A, HERNANDEV A, ESCALERA S, et al. A gesture recognition system for detecting behavioral patterns of ADHD [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2016, 46(1): 136-147.
- [20] 谢扬扬,娄渊胜,商国中. 一种提高 DTW 算法运算效率的改进算法[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(3): 530-534.

- XIE Y Y, LOU Y SH, SHANG G ZH. An improvement algorithm for improving the computing efficiency of DTW algorithm[J]. Computer & Digital Engineering, 2019, 47(3):530-534.
- [21] RUAN X, TIAN C. Dynamic gesture recognition based on improved DTW algorithm [C]. 2015 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). 2015:2134-2138.
- [22] 李凯,王永雄,孙一品. 一种改进的 DTW 动态手势识别方法[J]. 小型微型计算机系统, 2016, 37(7): 1600-1603.
- LI K, WANG Y X, SUN Y P. Improved DTW algorithm for dynamic gesture recognition[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2016, 37(7):1600-1603.
- [23] 石岗,李希胜,王哲,等. 磁传感器输出姿态信息修正方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3):47-53.
- SHI G, LI X SH, WANG ZH, et al. Research on correcting output attitude information of magnetic sensor[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(3):47-53.
- [24] 白中浩,朱磊,李智强. 基于多模型融合和重新检测的高精度鲁棒目标跟踪[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(9):132-141.
- BAI ZH H, ZHU L, LI ZH Q. High-accuracy and robust object tracking based on multi-model fusion and re-detection [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2019, 40(9):132-141.
- [25] 徐诚,王鑫鑫,段世红,等. 基于误差椭圆重采样的粒子滤波跟踪算法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(12): 76-84.

XU CH, WANG X X, DUAN SH H, et al. Particle filter tracking algorithm based on error ellipse resampling[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2020, 41(12): 76-84.

作者简介



金展, 2020 年于北京科技大学获得学士学位, 现为北京科技大学研究生, 主要研究方向为地磁室内定位。

E-mail: 237215993@qq.com

Jin Zhan received his B. Sc. degree from University of Science and Technology Beijing in 2020. He is currently a master student at University of Science and Technology Beijing. His main research interest is magnetic indoor position.



康瑞清 (通信作者), 1989 年于西安交通大学获得学士学位, 1998 年于核工业研究生部获得硕士学位, 现为北京科技大学副教授, 主要研究方向为地磁信号研究、现场总线等。

E-mail: krq@ustb.edu.cn

Kang Ruiqing (Corresponding author) received her B. Sc. degree from Xi'an Jiaotong University in 1989, and received her M. Sc. degree from Graduate Department of Nuclear Industry in 1998. She is currently an associate professor at University of Science and Technology Beijing. Her main research interest is geomagnetic signal, profibus and so on.