

基于 M2M 相遇区的 PDR 室内定位方法

唐清华, 王玫, 唐超尘, 刘鑫, 梁雯

引用本文

唐清华, 王玫, 唐超尘, 刘鑫, 梁雯. [基于 M2M 相遇区的 PDR 室内定位方法](#)[J]. 计算机科学, 2022, 49(9): 283-287.

TANG Qing-hua, WANG Mei, TANG Chao-chen, LIU Xin, LIANG Wen. [PDR Indoor Positioning Method Based on M2M Encounter Region](#)[J]. Computer Science, 2022, 49(9): 283-287.

相似文章推荐 (请使用火狐或 IE 浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[室内信息服务的基础——低成本定位技术研究综述](#)

Foundation of Indoor Information Services:A Survey of Low-cost Localization Techniques

计算机科学, 2022, 49(9): 228-235. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210900260>

[利用粒子滤波方法求解数据包络分析问题](#)

Solve Data Envelopment Analysis Problems with Particle Filter

计算机科学, 2022, 49(6A): 159-164. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210600110>

[基于无迹粒子滤波的 WiFi-PDR 融合室内定位技术](#)

WiFi-PDR Fusion Indoor Positioning Technology Based on Unscented Particle Filter

计算机科学, 2022, 49(6A): 606-611. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.210700108>

[基于近端策略优化的 RFID 室内定位算法](#)

RFID Indoor Positioning Algorithm Based on Proximal Policy Optimization

计算机科学, 2021, 48(4): 274-281. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.200300028>

[基于 ARIMA 模型的 RFID 室内相对位置定位算法](#)

RFID Indoor Relative Position Positioning Algorithm Based on ARIMA Model

计算机科学, 2020, 47(9): 252-257. <https://doi.org/10.11896/jsjcx.200400038>

基于 M2M 相遇区的 PDR 室内定位方法

唐清华¹ 王 玫^{1,2} 唐超尘^{1,3} 刘 鑫¹ 梁 雯¹

1 桂林理工大学信息科学与工程学院 广西 桂林 541006

2 桂林电子科技大学认知无线电与信息处理省部共建教育部重点实验室 广西 桂林 541004

3 西安电子科技大学通信工程学院 西安 710071

(gxguilin@foxmail.com)

摘 要 在室内定位中,行人航迹推算(Pedestrian Dead Reckoning,PDR)的主要优点在于,其仅需要用户拥有智能手机就能实现定位,无须依赖外部环境,但是存在较大的累积误差,通常需要结合蓝牙、WiFi、地磁等技术融合定位来改善定位精度。此类方法需要架构一定的硬件节点且需要构建大量指纹数据库信息。针对该问题,提出了一种基于机器对机器(Machine to Machine,M2M)区域内纠正 PDR 的室内定位方法。该方法首先在行人行进过程中设置一个距离测量区域,其次在该区域内测量行人手机与其他手机的距离,最后通过三边定位方法进行定位,校正 PDR 的定位误差和精度。该方法不需要额外铺设其他硬件设施。实验结果表明,相比传统的 PDR 定位,该方法适合较长时间定位且平均定位误差降为 0.36 m,具有较高的定位精度。

关键词: 行人航迹推算;室内定位;机器对机器;三边定位;粒子滤波

中图法分类号 TP312

PDR Indoor Positioning Method Based on M2M Encounter Region

TANG Qing-hua¹, WANG Mei^{1,2}, TANG Chao-chen^{1,3}, LIU Xin¹ and LIANG Wen¹

1 School of Information Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541006, China

2 Provincial Ministry of Education Key Laboratory of Cognitive Radio and Signal Processing, Guilin University of Electronic Technology, Guilin, Guangxi 541004, China

3 School of Telecommunication Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China

Abstract In indoor positioning, the main advantage of pedestrian dead reckoning(PDR) is that the user only needs to have a smart phone to realize positioning, without relying on the external environment. However, there is a large cumulative error. Generally, it is necessary to combine Bluetooth, WiFi, geomagnetic or other technologies to improve the positioning accuracy. However, this method requires some hardware nodes and a fingerprint database to be built for this purpose. To solve this problem, an indoor positioning method based on correcting PDR in machine to machine(M2M) area is proposed. Firstly, a distance measurement area is set up during pedestrian travel. Secondly, the distance between pedestrian mobile phones and other mobile phones is measured in this region. Finally, the positioning error and accuracy of PDR are corrected by trilateral positioning method. The method has the advantages that no additional hardware facilities are required. Experimental results show that, compared with the traditional PDR positioning, this method is suitable for long-time positioning, and the average positioning error is reduced to 0.36 m, with high positioning accuracy.

Keywords Pedestrian dead reckoning, Indoor positioning, Machine to machine, Trilateral positioning, Particle filtering

到稿日期:2021-08-31 返修日期:2022-01-27

基金项目:国家自然科学基金(62071135,61961010);广西重点研发计划(桂科 AB17292058);广西科技基地和人才专项(桂科 AD20159018);广西自然科学基金面上项目(2020GXNSFAA159004);认知无线电与信息处理省部共建教育部重点实验室主任基金(CRKL200104);广西高校无人机遥测重点实验室开放基金(WRJ2016KF01);广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2019KY1061)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China(62071135,61961010), Guangxi Keypoint Research and Invention Program(GuiKe AB17292058), Project of Guangxi Technology Base and Talent Special Project(GuiKe AD20159018), Project of Guangxi Natural Science Foundation(2020GXNSFAA159004), Director Fund for Provincial Ministry of Education Key Laboratory of Cognitive Radio and Signal Processing(CRKL200104), Opening Project of Guangxi Key Laboratory of UAV Remote Sensing(WRJ2016KF01) and Project of Improving Research Ability for Guangxi Youth Teachers(2019KY1061).

通信作者:唐超尘(2008046@glut.edu.cn)

1 引言

当前的卫星导航系统尽管最高精度可达 0.1 m 以内,但是由于建筑物对卫星信号的遮拦,无法实现对室内目标的定位。近年来,地下停车场、大型商场、智能监管、紧急救援等诸多面向室内的位置服务需求呈大幅增长态势,使得室内定位成为了信息技术中的研究热点。当前,在室内定位领域,典型的技术有:WiFi 定位、蓝牙信标定位、超声波定位、超宽带定位、惯性导航定位、可见光定位等^[1-2]。本文的研究工作中集中在基于智能手机惯性导航的 PDR 定位研究。

利用智能手机内置的多个惯导(Inertial Measurement Unit, IMU)传感器(磁力计、陀螺仪、加速度计等)提供的测量数据,可实现对行人或物目标的室内定位,且具有不依赖外部环境的优点,因此引起了人们的广泛关注。但是,随着时间的推移,以上传感器获取到的数据存在较大的误差累积,从而导致实际的定位效果并不理想。为此,融合其他设备或技术手段改进 PDR 定位成为了该研究领域的热点课题。融合 WiFi 的位置指纹法的 PDR 定位存在一些不足。首先其指纹采集工作会耗费大量的人力;其次信号接收强度指示(Received Signal Strength Indication, RSSI)易受多径的影响,故定位误差依然较大,需进一步融合地磁指纹、地图信息等进行定位^[3-6]。文献[3]提出了改进地磁匹配精度的算法,然而地磁易受建筑物结构的影响,导致该算法稳定性较差。文献[4]则融合了激光雷达和地图信息,实现了室内机器人的高精度定位,但增加了系统成本开销。文献[5]通过对不同接入点的 2.4 GHz 和 5 GHz 两个频段的 RSSI 进行实测,构建了一幅较为精确的无线电地图,以此获得更高的定位精度。文献[6]提出利用距离测量获得粗定位,然后通过指纹过滤降低离线指纹库中的非相关位置干扰,最后融合在线实测指纹获得目标位置,实时处理性能有所提高。相比 WiFi+PDR 定位类方法,蓝牙+PDR 定位具有低功耗、定位精度较高的特点^[7]。但是,蓝牙信标类方法需要额外部署 Beacon 基站,因此配置和维护成本较高。此外,蓝牙信号的跳变会造成一定的 RSSI 波动,如何降低或消除 RSSI 波动对定位的影响是该类方法要解决的关键问题^[8]。分别基于 WiFi 和蓝牙的室内定位,依然存在覆盖有限的问题,为此一些学者提出了融合 WiFi 和蓝牙的室内定位方案^[9-11]。文献[9-10]首先分别进行 WiFi 定位和蓝牙定位,然后通过一定的算法如质心定位法^[9]、平均加权法^[10]实现 WiFi 和蓝牙的融合定位。文献[11]则在满足覆盖和精度要求的前提下,针对 WiFi 和蓝牙节点的位置进行了优化。这些方案提升了定位精度,但同时也增加了系统处理的复杂度。

在降低系统的复杂度方面,文献[12]提出了一种利用声波测距融合 PDR 定位的方法。不同于超声波测距^[13]、超宽带测距^[14]等室内定位技术,该方法无须设置额外节点,仅利用手机的麦克风和扬声器即可。首先通过向墙壁发射和接收一个预设的线性调频(Linear Frequency Modulation, LFM)信号^[15]进行距离测量,然后将所得距离信息用于改进 PDR 定位,但该方法需要一定的墙壁信息支持。文献[16]将行人手机与其他相遇手机共处于一个小范围内的情况,定义为机器

对机器(Machine to Machine, M2M)相遇区域。在该区域内,首先对行人手机与其他手机实施声波测距,然后融合距离信息、蓝牙信标和 PDR 进行粒子滤波(Particle Filtering, PF),以获得高精度定位,但是该方法需要手机之间交换粒子信息,对支持粒子交互的网络的稳定性要求较高,且计算复杂度依然较高。

针对降低室内定位系统处理的复杂度并提高其实时处理能力的问题,本文提出了一种改进的基于 M2M 相遇区的 PDR 室内定位校正方法。该方法首先利用目标手机内置 IMU 传感器数据估算 PDR。其次,设置一个存在多部手机的相遇区,当目标手机到达该相遇区内时,对目标手机与其他手机启动声波测距,并根据所得距离信息采用三边定位算法对行人进行定位,直至该机离开相遇区。实验结果表明,所提方法无须依赖额外的地图信息、WiFi/蓝牙指纹的辅助,因而降低了系统处理的复杂度,同时也实现了较好的室内定位效果。

2 系统方案

本文基于 M2M 相遇区的 PDR 室内定位系统由 PDR、M2M 相遇区内的声波测距、三边定位、粒子滤波等主要部分构成,其原理结构框图如图 1 所示。

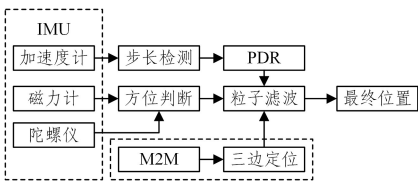


图 1 系统处理流程框图
Fig. 1 Flow chart of system processing

在 PDR 部分,利用行人手机自带的 IMU 传感器(加速度计、磁力计和陀螺仪)获得步长及方位数据,并采用式(1)进行 PDR 推算,即:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_k \\ l_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_k \\ \sin \theta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_k \\ n_k \end{bmatrix} \tag{1}$$

其中, k 为步行数, (x_k, y_k) 和 (x_{k-1}, y_{k-1}) 分别表示当前和上一步的 PDR 位置, l_k 为第 k 步的检测步长, n_k 为当前测量时附加的随机噪声。基于 PDR 的特点,假设目标手机的初始位置是已知的。

本文对 M2M 相遇区域部分进行了两方面的工作:一旦行人手机进入到相遇区域内,首先通过包含 LFM-Chirp 信号的声音测量其与其他手机间的距离,获得 $M \geq 3$ 个有效测量距离;其次,在获得距离的基础上启动三边定位方法以确定行人手机的当前位置,并使用该位置作为新的定位结果。待行人手机离开相遇区域后,将相遇区内的最后一次位置作为初始位置代入式(1)重新进行下一次的 PDR 定位。此部分的内容将在第 3 节给出说明。

粒子滤波部分则贯穿了本系统的整个定位过程。无论是 PDR 定位还是 M2M 相遇区内的定位,对于每一次的定位,抛洒一定数量的粒子,通过粒子采样、加权和重采样的方式进行粒子滤波,最后将获得权值的粒子的中心位置作为最后的定位结果。

3 基于 M2M 的 PDR 定位

3.1 声波信号设计

本文采用文献[15]中的声波信号进行手机之间的测距。如图 2 所示,该声波信号由两部分组成,第一部分为正弦波信号,频率为 2 kHz,信号时长为 5 ms,其作用是对扬声器进行预热;第二部分为线性调频(Linear Frequency Modulation, LFM)chirp 信号,其频率调制范围为 2~6 kHz,信号时长为 50 ms。然后,将该信号的采样频率设置为 $F_s = 44\,100$ Hz,得到的采样信号经科学计算软件 MATLAB 中的 `audiowrite()` 函数处理后变成一个适用于手机播放的 WAV 文件。

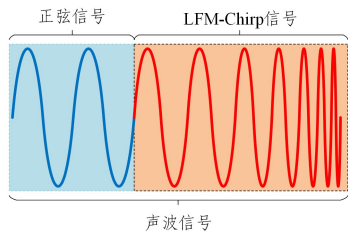


图 2 声波信号波形

Fig. 2 Waveform of voice signal

3.2 距离参数估计

设任意两部手机 X 和 Y 的真实距离即待测距离为 d_{xy} , 手机 X 的麦克风和扬声器的距离为 d_x , 手机 Y 的麦克风和扬声器的距离为 d_y , 则两部手机之间的距离为^[15]:

$$d_{xy} = \frac{c}{2} ((t_{x3} - t_{x1}) - (t_{y3} - t_{y1})) + d_x + d_y \quad (2)$$

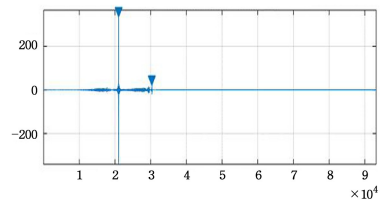
其中,参数 c 为声速,约等于 340 m/s; t_{x3} 为手机 Y 扬声器发送声波到达手机 X 麦克风的时间; t_{x1} 为手机 X 扬声器声波到达自身麦克风的时间; t_{y3} 为手机 Y 扬声器发送声波到达自身麦克风的时间; t_{y1} 为手机 X 扬声器发送声波到达手机 Y 麦克风的时间。

为获取式(2)中的各个时间节点,我们开发了相关的 App,其具体的工作过程分为 3 个阶段:第一阶段为准备阶段,主要是将 3.1 小节生成的 wav 文件存放在手机 X 和手机 Y 中,并通过 WiFi 建立 socket 通信通道,以便发送时间戳。该时间戳的作用在于保证手机 Y 能及时录制到来自手机 X 的声音信号。第二阶段为音频播放和录制阶段,手机 X 先行播放 Chirp 声音信号文件,同时开启自身麦克风进行录音,并向手机 Y 发送时间戳。当手机 Y 接收到该时间戳后,立即启动录音和播放线程,其中播放线程的设置旨在播放手机 Y 中的声音信号至手机 X。第三阶段为距离解算阶段,对手机 X 和手机 Y 获取到的录音文件进行采样后作广义互相关处理,从而获得相应的时间节点。该阶段采用如下广义互相关公式完成^[12]。

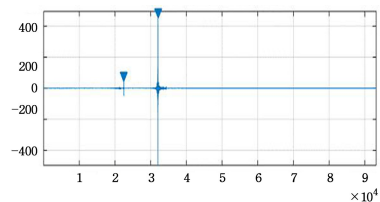
$$R(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) G(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (3)$$

其中, $G(\omega) = S_r(\omega) S_r(\omega)^*$ 为互功率谱函数, $S_r(\omega)$ 和 $S_r(\omega)^*$ 为播放信号和录音信号的频谱函数, $(\cdot)^*$ 表示共轭转置, $F(\omega) = 1/(S_r(\omega) S_r(\omega))$ 为频域滤波器。搜索 $R(\tau)$ 两个峰值所在的位置即可得到相应的时间节点。

图 3 给出了利用两部荣耀 X10 手机所得的录音信号与参考信号的互相关结果。由图 3 可知,手机 X 和手机 Y 的录音文件不仅正常录制了来自自身和对方的声波信号,而且与参考信号相关并出现了预期的峰值节点,据此即可根据式(2)求得双机距离。随后经多次实验改进和测试,测得的最大平均测距误差不超过 12 cm,基本满足本次室内定位的需求。



(a) 手机 X 录音信号的互相关结果



(b) 手机 Y 录音信号的互相关结果

图 3 录音信号与参考信号的互相关结果

Fig. 3 Cross-correlation results of recorded signals and reference signals

3.3 M2M 相遇区内的位置校正

如图 4 所示,在楼宇的通道内设置一个 M2M 相遇区域。本文室内系统设置相遇区域的长宽均为 4 m,对于存在楼宇通道的情況则取宽度为两面墙壁之间的距离。采取这样的设置是考虑到手机麦克风检测声波的有效传输距离大致在 3~5 m 的范围内,因此本文系统取其中间值。现假设进入相遇区内的待定位的行人位置为 (x_k, y_k) ,其中 k 表示行人行进路线中的第 k 步。同时,已知在相遇区域内遇到的另外 3 部手机 a, b 和 c 的坐标分别为 (x_a, y_a) , (x_b, y_b) 和 (x_c, y_c) 。

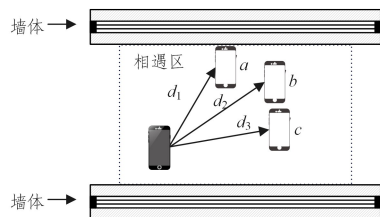


图 4 相遇区内的三边定位

Fig. 4 Trilateral positioning in encounter area

运用 3.2 节所述测距方法,测得它们到 (x_k, y_k) 的距离分别是 d_1, d_2 和 d_3 。于是待定位行人的位置 (x_k, y_k) 可以通过式(4)中的任意两个方程进行求解。

$$\begin{cases} (x_k - x_a)^2 + (y_k - y_a)^2 = d_1^2 \\ (x_k - x_b)^2 + (y_k - y_b)^2 = d_2^2 \\ (x_k - x_c)^2 + (y_k - y_c)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (4)$$

通过式(4)求得 (x_k, y_k) 后,将该位置作为新的位置,由于相遇区域范围比行人步伐长度大,因此在该区域内可进行多次连续校正,从而改善了 PDR 的定位精度,降低了定位误差。与此部分相关的实验验证将在第 4 节实验部分给出。

4 实验及结果

4.1 实验环境

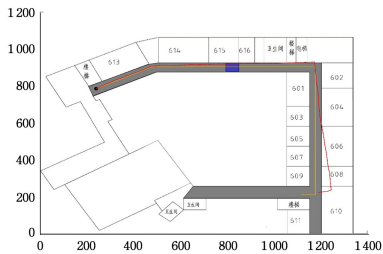
本文的实验地点选取在桂林理工大学雁山校区立信楼 6 楼,该楼层的结构如图 5 所示。其中,图 5(a)为实验测试的实景图,图 5(b)为实验测试场景的平面图(地面分辨率为 1 064/64.8)。在图 5(b)中,灰色部分即为待测人行通道部分,西南角未做标识的空白区域为室外天台开阔区域,不计入实验测试范围。该测试通道部分的总体长度约为 134.5 m,宽度为 2.4 m。图中的黑色圆点为测试位置起始点,蓝色矩形方块表示在该位置处设置了一个 M2M 相遇区域,用于放置其他智能手机,其长度为 4 m,宽度与通道宽度等宽,为 2.4 m。

智能手机配置方面,在不启动 M2M 相遇区域作用的前提下,采用一部荣耀 X10 手机作为行人手机。测试人员手持该手机平放于胸前从初始位置沿着楼道的中心线行走,同时采集手机 IMU 传感器以获取加速度计、磁力计、陀螺仪等关键数据以进行 PDR 定位。

如图 5(b)所示,图中的黄色线是测试者的真实轨迹,红色线表示仅使用 PDR 方法产生的行人航迹。由图 5(b)可见,相比黄色线所对应的真实路径,红色线所对应的纯 PDR 定位产生了较大的定位误差。



(a)测试场景实景图



(b)测试场景平面图

图 5 实验环境示意图(电子版为彩图)

Fig. 5 Schematic diagram of experimental environment

4.2 相遇条件下的 PDR 定位实验

在相遇区域内,设置了荣耀 X10、华为 Nova2s、华为畅享 20plus 等 3 部型号、新旧不同的手机。它们的位置固定与目标手机的距离均在正常的声波测距范围之内。在此条件下实施了相关实验,以验证所提方法的性能。

(1)实验一:单个相遇区域内的 PDR 定位

本次实验中,目标手机的初始位置、步行方向、行走路线与图 5 所述一致。测试人员为女性,身高 1.56 m,正常行走,步长检测约 0.6 m,行走步数共 174 步,折合路线长度约为 104.5 m。在距离起始位置约 35 m 处设置了一个相遇区,

长宽为 4 m×2.4 m。根据相遇区域的长度可知,相应的纠正步数约为 4/0.6≈6 步。

同时,为进一步提高定位精度,降低定位误差,将粒子滤波波引入到本次实验中。对于每一步定位,设定粒子数为 $N=200$,并将每个粒子的初始权重定义为:

$$w_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{d_n}{2\sigma}\right) \quad (5)$$

其中, w_n 第 n 个粒子的权重, σ 为测量噪声方差, d_n 为第 n 个粒子到待测位置的欧氏距离。接着,归一化各粒子权重并执行粒子重采样,得到更新后粒子集合。最后,将新的粒子集的中心位置标识为新的定位位置。

为便于观察,将本次实验结果的相遇区域进行局部放大,如图 6 所示。

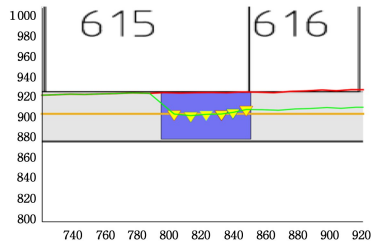


图 6 相遇区内的位置校正结果(电子版为彩图)

Fig. 6 Results of position correction in encounter region

在图 6 中,黄色线为目标手机的真实行走轨迹;红色线为单纯采用 PDR 定位的轨迹,可以看出该轨迹在相遇区域内接近穿墙边缘;绿色线为 PDR+相遇区域所对应的校正轨迹。由图 6 可知,在未采用相遇区域校正之前,由于均属于 PDR 定位,此时红色线和绿色线重合。当行人手机位于相遇区域内,因采用了声波测距和三边定位,在此区域内目标手机的轨迹被校正了 6 步,通过三角标志的方式标记在图 6 中。对比可知,相比该区域内的单独 PDR 定位,行人航迹得到校正。

从图 6 中还可以发现,由于将相遇区域内的最后一次校正位置作为新的起始位置,目标手机在后续一定范围内依然具有良好的定位效果。

(2)实验二:多相遇区域条件下的 PDR 定位

本次实验旨在观测在多个 M2M 相遇区的条件下对 PDR 定位的改善。由于建筑物室内通道较长,目标手机右转后路线还会存在穿墙的情况,从而导致总体的定位结果不理想。为此,在本次实验中,针对经过第一次相遇区域后定位再次出现偏差(穿墙)的情形,在其附近设置了两个相遇区,相应的实验结果如图 7 所示。

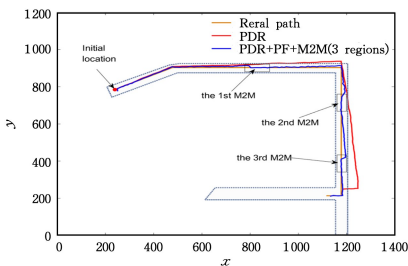


图 7 3 个相遇区下的定位轨迹

Fig. 7 Location trajectories with three encounter regions

图 7 给出了目标手机在 3 个相遇区条件下的定位轨迹。从图中可以看出,增加了两个相遇区后,其定位效果得到了极大的改善。相应的误差结果如图 8 所示。

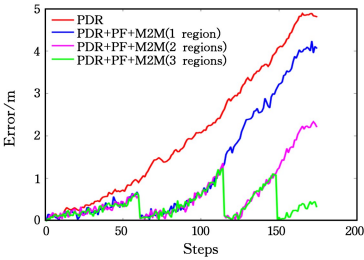


图 8 不同相遇区数的定位误差

Fig. 8 Positioning errors with different number of regions

图 8 给出了单独 PDR 和 PDR+ M2M+PF 分别设置为 1,2 和 3 个相遇区域下取得的定位结果与真实轨迹的误差曲线。对图 8 中的误差数据进行统计分析,结果如表 1 所列。

表 1 不同相遇区数的最大误差和平均误差

Table 1 Maximum error and mean error with different number of encounter regions

(单位:m)		
Method	Maximum error	average error
PDR	4.89	2.04
PDR +PF+M2M (1 region)	4.23	1.25
PDR +PF+M2M (2 regions)	2.33	0.62
PDR +PF +M2M (3 regions)	1.24	0.36

从表 1 可以看出,随着相遇区个数的增加,PDR+PF+M2M 性能改善明显,两次相遇处理的最大误差降至 2.33 m,平均误差为 0.62m。3 次相遇处理的最大误差为 1.24 m,平均误差降为 0.36m。这说明,相比设置单个相遇区的情况,设置多个相遇区并结合粒子滤波方法后,最大误差和平均误差均显著降低。

结束语 本文通过设置相遇区域并在该区域内进行声波测距以及三边定位的方法,对目标手机的 PDR 校正问题进行了分析和研究,并通过实验取得的定位结果和误差分析验证了所提方法的有效性。该方法具有不需要配置额外节点的特点。本文的工作以相遇区域内的其他手机位置较固定为前提展开,未对当其他手机发生移动时的情况进行讨论。针对该问题进行深入研究和分析,是本文的下一步工作的研究重点。

参 考 文 献

[1] SUN D Y,ZHANG R W,LI Z. Survey of Indoor Localization [J]. Unmanned Systems Technology,2020(3):32-46.

[2] KUNHOTH J,KARKAR A G,AI-MAADEED S,et al. Indoor positioning and wayfinding systems;a survey[EB/OL]. <https://doi.org/10.1186/s13673-020-00222-0>.

[3] CHEN J,SONG S J,YU H H. An indoor multi-source fusion positioning approach based on PDR/MM/WiFi[J]. International Journal of Electronics and Communications,2021,135:153733.

[4] HU Z Z,LIU J H,HUANG G,et al. Integration of WiFi,Laser, and Map for Robot Indoor Localization[J]. Journal of Electro-

nics & Information Technology,2021,43(8):2308-2316.

[5] OZDEMIR B N,CEYLAN A. Constructing a precise radio map and application of indoor positioning with dual-frequency Wi-Fi fingerprinting method[J]. Measurement,2020,163:107997.

[6] LI F M,ZHANG T,LIU K,et al. An Indoor Positioning Method Based on Range Measuring and Location Fingerprinting[J]. Chinese Journal of Computers,2019,41(95):111-122.

[7] FARAGHER R,HARLE R. Location Fingerprinting with Bluetooth Low Energy Beacons[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2015,33(11):2418-2428.

[8] LAIAL A,KONG X Y,SANDRASEGARAN K,et al. An Improved Indoor Positioning Accuracy Using Filtered RSSI and Beacon Weight[J]. IEEE Sensors Journal,2021,21(16):18205-18213.

[9] ZHANG F. Fusion positioning algorithm of indoor WiFi and bluetooth based on discrete mathematical model[J/OL]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02635-2>.

[10] ZHU Y J,WANG Z S,G S W,et al. An indoor fusion positioning method based on wi-fi,Bluetooth and PDR;Chinese patent, CN110320495A[P]. 2019-10-11.

[11] TIAN Y,HUANG B Q,JIA B,et al. Optimizing AP and Beacon Placement in WiFi and BLE hybrid localization[J]. Journal of Network and Computer Applications,2020,164:10263.

[12] PANG M,WANG M,SONG X Y,et al. Smartphone-based indoor localization by fusion of acoustic ranging and PDR[J]. Chinese Journal on Internet of Things,2018,2(2):58-64.

[13] VANDERMEEREN S,STEENDAM H. PDR/UWB Based Positioning of a Shopping Cart[J]. IEEE Sensors Journal,2021,21(9):10864-10878.

[14] XU S L,LU Z Q,ZHOU Y Y,et al. Indoor Positioning System Based on Signal Strength and Ultrasonic Distance Measurement [J]. Instrument Technique and Sensor,2019(1):91-96.

[15] PENG C Y,SHEN G B,ZHANG Y G,et. al. BeepBeep: a high-accuracy acoustic-based system for ranging and localization using COTS devices[J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems,2012,11(1):1-29.

[16] QIU J W, TSENG Y C. M2M Encountering: Collaborative Localization via Instant Inter-Particle Filter Data Fusion[J]. IEEE Sensors Journal,2016,16(14): 5715-5724.



TANG Qing-hua, born in 1981, master candidate, engineer. Her main research interests include location awareness and collaborative positioning.



TANG Chao-chen, born in 1981, Ph.D candidate, lecturer. His main research interests include target detection and parameter estimation.