

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2313365

基于地图匹配的辅助定位算法研究*

王伟 杜旭洋 黄平 史高峰

(哈尔滨工程大学智能科学与工程学院 哈尔滨 150001)

摘要:在对室内环境进行定位的过程中,基于粒子滤波的地图匹配算法能够实现室内定位结果与地图数据的有效融合。目前此类方法主要存在地图匹配时穿墙检测算法计算量大以及定位结果位于不可达区域的问题。针对穿墙检测算法计算量大的问题,在栅格地图的基础上建立地图信息矩阵,提出了一种基于地图信息矩阵的穿墙检测算法,在保证正确检测出穿墙粒子的同时,降低计算量;针对定位结果位于不可达区域的问题,提出了一种基于粒子滤波多重权重更新的地图匹配算法进行改进。理论分析和实测结果均验证了改进算法的合理性和有效性。

关键词:室内定位;粒子滤波;地图匹配;辅助定位;穿墙检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Research on assisted location algorithm based on map matching

Wang Wei Du Xuyang Huang Ping Shi Gaofeng

(School of Intelligent Science and Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: During the process of indoor positioning, the map matching algorithm based on particle filtering can effectively fuse the indoor positioning results with the map data. Currently, this method mainly faces two problems: the calculation complexity of the wall-crossing detection algorithm during map matching and issue of the positioning results being in unreachable areas. To address the issue of high calculation complexity in the wall-crossing detection algorithm, we propose a wall-crossing detection algorithm based on a map information matrix on a grid map, which reduces the calculation complexity while ensuring the correct detection of wall-crossing particles. To address the issue of positioning results being in unreachable areas, we propose a map matching algorithm based on particle filtering with multiple weight updates to correct positioning results in unreachable areas. Theoretical analysis and experimental results demonstrate the rationality and effectiveness of the improved algorithm.

Keywords: Indoor positioning; particle filter; map matching; assisted positioning; wall detection

0 引言

随着物联网的快速发展,定位结果的精确程度影响着人们的社会和商业生活^[1]。目前,常用的室内定位导航系统有INS、RFID、WIFI、蓝牙、UWB、SLAM等^[2-4]。根据实际的应用场景与系统性能的要求可选择合适的定位方法。地图匹配算法是一种辅助定位算法,利用其他室内定位技术进行定位,再借助地图数据对定位结果进行修正,从而得到更准确的位置坐标^[5-6]。该算法一般经过定位和地图匹配两个过程。常用的地图匹配算法通常有3种:基于几何的地图匹配算法^[7]、基于拓扑结构的地图匹配算法^[8]和基于粒子滤波的地图匹配算法^[9]。基于几何的地图匹配算法对定位结果的异常值非常敏感,容易误匹配得到不理

想的结果^[10]。基于拓扑结构的地图匹配算法依赖室内地图拓扑结构的完整性,如果构建地图时拓扑结构不完整,将对最终的匹配结果产生严重影响^[11]。基于粒子滤波的匹配技术通过概率方法,更细粒度表达每个位置的概率,并通过地图的空间约束等信息更新概率。但算法的复杂度随着粒子数量的增加快速提高,导致实时性不高^[12-14]。另外,匹配精度还与地图的构建精度有关,室内地图信息越准确,匹配精度越高。因此,研究基于地图匹配的室内定位算法具有重要意义。

现阶段的室内地图匹配算法多使用基于粒子滤波的地图匹配算法,能够充分利用状态的更新过程与室内地图的墙壁信息,具有较高的定位精度^[15],典型的基于粒子滤波的地图匹配算法通过检验粒子更新过程中是否穿墙来判断

收稿日期:2023-04-14

* 基金项目:国家自然科学基金(61871143)、中央高校基本科研业务费专项(3072022QBZ0401)资助

粒子的有效性。Wang 等^[16]、Mokhtari 等^[17]、Perttula 等^[18]利用基于粒子滤波的地图匹配方法来估计位置,提高了室内定位精度,但在定位过程中实时性还是得不到满足。黄鹤等^[19]在此基础上,结合了动态时间扭曲(dynamic time warp,DTW)与粒子滤波(particle filter,PF),构造基于路径的二维匹配模式进行穿墙检测,降低了粒子滤波的计算量,但其需要足够的穿墙粒子数,并且主要考虑了墙壁信息,未考虑其他室内布局,导致精度提升有限。

针对在地图匹配时穿墙检测算法计算量大的问题,本文改进了地图建模过程,在栅格化地图的基础上建立地图信息矩阵,提出了一种基于地图信息矩阵的穿墙检测算法,在保证正确检测出穿墙粒子的同时,减少了算法运行时间。针对定位结果位于不可达区域的问题,本文提出一种基于粒子滤波多重权重更新的地图匹配算法,对定位在不可达区域的定位结果进行修正。

1 基于地图信息矩阵的穿墙检测算法

1.1 室内地图图像矩阵建立

地图匹配算法的定位过程如图 1 所示。在地图匹配算法中,地图数据是实现匹配算法的先决条件,地图数据的准确性严重影响算法的精度。因此,设计合理的地图信息获取方法得到室内地图数据是必要的,本文采用地图信息矩阵实现室内地图数据获取。

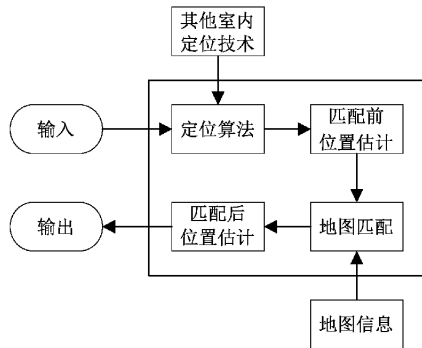


图 1 地图匹配算法的定位过程

假设建筑平面地图的总长度为 L ,宽度为 W ,选定的网格宽度为 l ,该地图总共可划分为 $m \times n$ 个网格,其中 m 和 n 为:

$$m = \left\lceil \frac{L}{l} \right\rceil \quad n = \left\lceil \frac{W}{l} \right\rceil \quad (1)$$

其中, $\lceil \cdot \rceil$ 是向上取整符号。因为地图是从 0 开始,而矩阵索引位置是从 1 开始。假设某位置在地图信息矩阵的第 i 行第 j 列,其位置在矩阵中可表示为 (i, j) , $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ 。根据该网格处的地图,可以将地图数据转换成 $m \times n$ 的矩阵 Map 。例如,当位于墙壁处时, $Map(i, j)=0$;当位于桌椅等室内布局时, $Map(i, j)=1$;当位于人们日常活动区域时, $Map(i, j)=2$;当位于门等连接区域时, $Map(i, j)=3$,这样就可以将地图数据以数字

的形式存储在矩阵里。

假设某房间大小为 $10 \text{ m} \times 6 \text{ m}$,包含 1 个门、2 张桌子、4 把椅子,选择网格宽度为 0.5 m 。由式(1)可将房间划分为 20×12 的网格,根据网格内表示的地图信息,对网格进行赋值,可以得到地图信息矩阵,实现对室内环境数字化。网格化处理过程如图 2 所示。

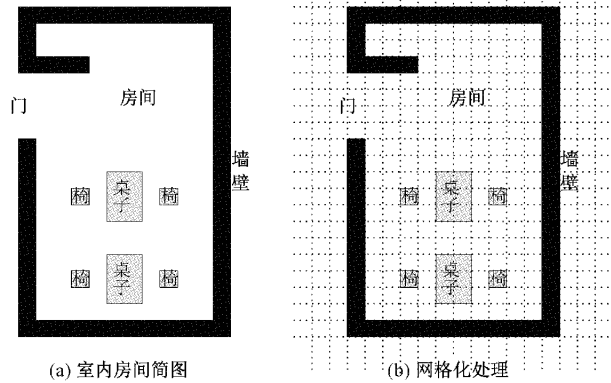


图 2 网格化处理过程

根据网格化处理后的房间简图,将 $Map(i, j)$ 根据图中对应区域进行赋值,地图信息矩阵可表示为:

$$Map = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 1 & 2 & 1 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

1.2 穿墙检测算法

穿墙检测是基于粒子滤波的地图匹配算法中的核心步骤,算法的准确性将直接影响到地图匹配算法的精度^[20]。传统的穿墙检测算法是跨立实验法,通过判断粒子轨迹与墙壁线段是否相交来判断粒子的更新过程是否穿墙,该方法计算量大,实时性差。本文基于地图信息矩阵,提出了一

种通过循环检测粒子轨迹中的矩阵元素值判断粒子是否穿墙的检测方法。

设 $k-1$ 时刻第 i 个粒子的坐标为 $X_{k-1}^i(x_{k-1}^i, y_{k-1}^i)$, 对应预先构建的地图信息矩阵 **Map** 中所在的行列为:

$$m_{k-1}^i = \left\lfloor \frac{x_{k-1}^i}{l} \right\rfloor \quad n_{k-1}^i = \left\lfloor \frac{y_{k-1}^i}{l} \right\rfloor \quad (2)$$

粒子的状态更新后, 在 k 时刻第 i 个粒子的坐标为 $X_k^i(x_k^i, y_k^i)$, 对应地图信息矩阵 **Map** 中所在的行列为:

$$m_k^i = \left\lfloor \frac{x_k^i}{l} \right\rfloor \quad n_k^i = \left\lfloor \frac{y_k^i}{l} \right\rfloor \quad (3)$$

根据 $k-1$ 时刻和 k 时刻第 i 个粒子的相对位置可分如图 3 所示的 6 种情况。

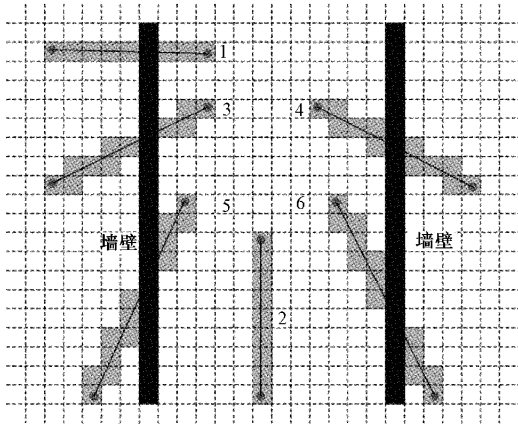


图 3 粒子相对位置关系

图中红色圆点表示第 i 个粒子 $k-1$ 时刻和 k 时刻在地图信息矩阵中的位置, 虚线表示构建地图信息矩阵时划分的网格, 黑色网格表示该位置被墙壁占据, 灰色网格表示粒子轨迹穿过该网格位置。判断粒子轨迹与墙壁线段是否相交可转换为判断灰色网格与黑色网格是否重合。若灰色网格与黑色网格重合, 证明粒子轨迹与墙壁线段相交, 粒子穿墙, 进行地图匹配时需剔除。

若两位置关系位于同一行或同一列, 如图 3 中 1 或 2 所示, 则直接循环遍历轨迹网格中是否存在代表墙壁信息的 0 即可。若两位置关系如图 3 中 3 或 4 所示, 则进行列循环遍历, 在遍历时选择在网格边缘左侧和右侧均进行遍历。若两位置关系如图 3 中 5 或 6 所示, 则进行行循环遍历, 在遍历时选择在网格边缘上侧和下侧均进行遍历, 这样虽然会有部分网格重复遍历, 但不会漏掉网格。遍历过程若存在代表墙壁信息的 0, 则表示粒子穿墙, 遍历示意图如图 4 所示。

1) 若 $m_k^i = m_{k-1}^i$, 即两时刻坐标连线如图 3 中 1 所示。令 $q = \min(n_{k-1}^i, n_k^i); \max(n_{k-1}^i, n_k^i)$, 若存在 $Map(m_k^i, q) = 0$, 则粒子穿墙;

2) 若 $n_k^i = n_{k-1}^i$, 即两时刻坐标连线如图 3 中 2 所示。令 $p = \min(m_{k-1}^i, m_k^i); \max(m_{k-1}^i, m_k^i)$, 若存在 $Map(p, n_k^i) = 0$, 则粒子穿墙;

3) 令斜率 $a = (y_k^i - y_{k-1}^i) / (x_k^i - x_{k-1}^i)$, 若 $|a| < 1$, 如图 3 中 3 或 4 所示。此时进行列循环遍历, 当 y 方向发生变化时, 相应的 x 方向变化为 $\Delta x = \Delta y / a$ 。若 $n_k^i > n_{k-1}^i$, 令 $p = 1; (n_k^i - n_{k-1}^i)$, $y_1 = (n_{k-1}^i + p) \cdot l - 1.1l, y_2 = (n_{k-1}^i + p) \cdot l - 0.9l$, 则 $x_1 = x_{k-1}^i + (y_1 - y_{k-1}^i) / a, x_2 = x_{k-1}^i + (y_2 - y_{k-1}^i) / a$; 若 $n_k^i < n_{k-1}^i$, 令 $p = 1; (n_{k-1}^i - n_k^i)$, $y_1 = (n_k^i + p) \cdot l - 1.1l, y_2 = (n_k^i + p) \cdot l - 0.9l$, 则 $x_1 = x_k^i + (y_1 - y_k^i) / a, x_2 = x_k^i + (y_2 - y_k^i) / a$ 。令 $p_1 = \lfloor x_1 / l \rfloor, q_1 = \lfloor y_1 / l \rfloor, p_2 = \lfloor x_2 / l \rfloor, q_2 = \lfloor y_2 / l \rfloor$, 若存在 $Map(p_1, q_1) = 0$ 或者 $Map(p_2, q_2) = 0$, 则粒子穿墙;

4) 若 $|a| \geq 1$, 如图 3 中 5 或 6 所示。此时进行行循环遍历, 当 x 方向发生变化时, 相应的 y 方向变化为 $\Delta y = \Delta x / a$ 。若 $m_k^i > m_{k-1}^i$, 令 $p = 1; (m_k^i - m_{k-1}^i)$, $x_1 = (m_{k-1}^i + p) \cdot l - 1.1l, x_2 = (m_{k-1}^i + p) \cdot l - 0.9l$, 则 $y_1 = y_{k-1}^i + (x_1 - x_{k-1}^i) / a, y_2 = y_{k-1}^i + (x_2 - x_{k-1}^i) / a$; 若 $m_k^i < m_{k-1}^i$, 令 $p = 1; (m_{k-1}^i - m_k^i)$, $x_1 = (m_k^i + p) \cdot l - 1.1l, x_2 = (m_k^i + p) \cdot l - 0.9l$, 则 $y_1 = y_k^i + (x_1 - x_k^i) / a, y_2 = y_k^i + (x_2 - x_k^i) / a$ 。令 $p_1 = \lfloor x_1 / l \rfloor, q_1 = \lfloor y_1 / l \rfloor, p_2 = \lfloor x_2 / l \rfloor, q_2 = \lfloor y_2 / l \rfloor$ 若存在 $Map(p_1, q_1) = 0$ 或者 $Map(p_2, q_2) = 0$, 则粒子穿墙。

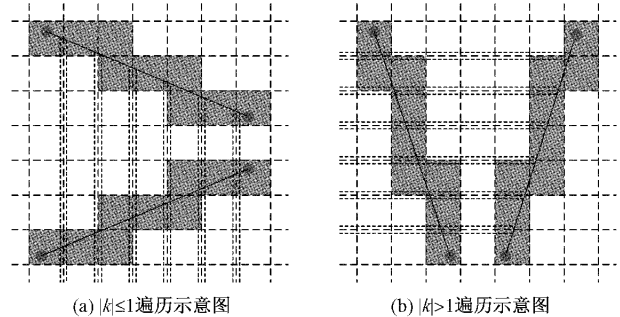


图 4 循环遍历示意图

2 基于多重权重更新的地图匹配算法

本文在粒子滤波算法的基础上融合了 UWB 的定位结果和地图数据。利用 UWB 的定位结果进行粒子更新, 并借助地图信息进行权重更新, 其核心思想是将室内地图信息与每个粒子的权重融合。粒子的权重越接近真实值, 根据加权求和得到的状态估计越接近真实坐标。传统基于粒子滤波的地图匹配算法只用到了墙壁约束, 地图信息并没有得到充分的利用。为了更有效的利用地图数据, 本文提出了一种基于粒子滤波多重权重更新的地图匹配算法, 整体框架如图 5 所示。

可以将其分为以下 4 个部分。

1) 粒子的初始化: 进行粒子滤波之前, 首先要完成粒子的初始化。以 UWB 的初始定位坐标 $X_{u,0}(x_{u,0}, y_{u,0})$ 为中心, 其定位误差 δ 为半径生成一个圆, 在该圆形区域内随机均匀生成 N_p 个粒子。粒子的坐标为 $X_0^i(x_0^i, y_0^i), i = 1,$

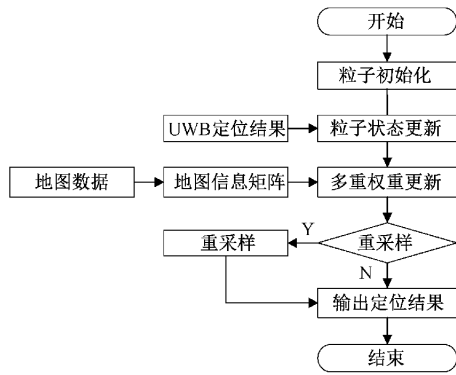


图 5 算法整体框架流程图

2, …, N_p, 每个粒子的权重均为 1/N_p。

2) 状态更新: UWB 的量测信息只能得到定位坐标, 其运动的更新方程并不能直观得到。仿照行人航位推测 (pedestrian dead reckoning, PDR) 中位置的递推过程, 可以得到较为合理的粒子状态更新方程, 即:

$$X_k^i = X_{k-1}^i + X_{u,k} - X_{k-1} \quad (4)$$

其中, X_kⁱ 表示 k 时刻粒子的坐标, X_{k-1}ⁱ 表示 k-1 时刻粒子的坐标, X_{u,k} 表示 k 时刻 UWB 的量测坐标, X_{k-1} 表示 k-1 时刻地图匹配后的坐标。

3) 多重权重更新: 为了更有效的利用地图数据, 本文基于地图信息矩阵, 提出了一种多重权重计算方法, 包括初始权重、地图范围权重、所在区域权重、距离权重、穿墙权重共 5 个权重, 各个权重的计算方法如下:

(1) 初始权重

在粒子的初始化过程中, 粒子随机均匀分布, 各个粒子的权重均为 1/N_p。初始权重可表示为:

$$\omega_0^i = 1/N_p \quad (5)$$

(2) 地图范围权重

在完成粒子的状态更新后, 坐标不超出地图范围的粒子是合理的。地图范围权重可表示为:

$$\omega_r = \begin{cases} 0, & \text{其他} \\ 1, & \text{存在 } Map(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

(3) 所在区域权重

室内区域一般分为可定位区域和不可定位区域。可定位区域一般指人可以到达的区域, 在地图信息矩阵里表现为 Map(i, j)=2, 不可定位区域一般指桌子、椅子等室内布局所在的区域, 在地图信息矩阵里表现为 Map(i, j)=1。在完成粒子的状态更新后, 坐标位于室内可定位区域的粒子是合理的。所在区域权重可表示为:

$$\omega_l = \begin{cases} 0, & Map(i, j) = 1 \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

(4) 距离权重

在完成粒子的状态更新后, 若粒子的位置与 UWB 观测位置之间的距离小于某个阈值 λ, 则认为粒子的定位结

果合理。距离权重可表示为:

$$\omega_d = \begin{cases} 0, & d > \lambda \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

(5) 穿墙权重

穿墙权重是多重权重更新中最重要的权重, 也是基于粒子滤波的地图匹配算法中最重要的部分。基于地图信息矩阵的穿墙检测算法在 2.1 节已进行详细介绍。穿墙权重可表示为:

$$\omega_c = \begin{cases} 0, & \text{穿墙} \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

(6) 粒子总权重

粒子的最终权重由以上 5 个权重共同表示, 由于权重之间相互独立, 若有一个权重值为 0, 该粒子就无效。因此粒子的总权重可表示为:

$$\omega_k^i = \omega_0^i \cdot \omega_r^i \cdot \omega_d^i \cdot \omega_l^i \cdot \omega_c^i \quad (10)$$

通过多重权重更新得到粒子的最终权重后进行权重归一化操作, 得到新的权重:

$$\tilde{\omega}_k^i = \omega_k^i / \sum_N \omega_k^i \quad (11)$$

用该权重加权求和就可以得到状态的估计值, 状态的估计方程如下:

$$\hat{X}_k = \sum_{i=1}^N X_k^i \tilde{\omega}_k^i \quad (12)$$

4) 重采样: 经过粒子的多重权重更新, 每一次状态更新后, 总会有粒子的权重置为 0, 导致有效粒子的数量越来越少, 如果不加以限制, 有效粒子数量最终会趋于 0, 导致算法失效。为了防止粒子退化, 加入了重采样判断, 当有效粒子数小于总粒子数的一半时, 启动重采样。

3 结果分析

3.1 仿真分析

为了验证基于地图信息矩阵的穿墙检测算法的准确性, 将其与传统跨立实验法的穿墙检测算法进行了对比仿真, 通过设置标志位 flag 来表示穿墙检测算法是否检测到粒子穿墙, 仿真结果如图 6 所示。为了验证基于地图信息矩阵的穿墙检测算法的运行效率, 在仿真环境不变的条件下, 改变仿真过程中粒子的数量, 从而得到两种算法进行穿墙检测所消耗的时间, 仿真结果如图 7 所示。

由图 6 和 7 可知, 在准确性方面, 基于地图信息矩阵的穿墙检测算法与传统跨立实验穿墙检测算法的检测结果一致。在运行速度方面, 基于地图信息矩阵的穿墙检测算法的运行时间小于传统跨立实验穿墙检测算法。综合可得, 基于地图信息矩阵的穿墙检测算法优于传统跨立实验穿墙检测算法。

3.2 试验分析

为了验证基于地图匹配的辅助定位算法的有效性, 在哈尔滨工程大学某试验房间内搭建了场景。房间的大小为

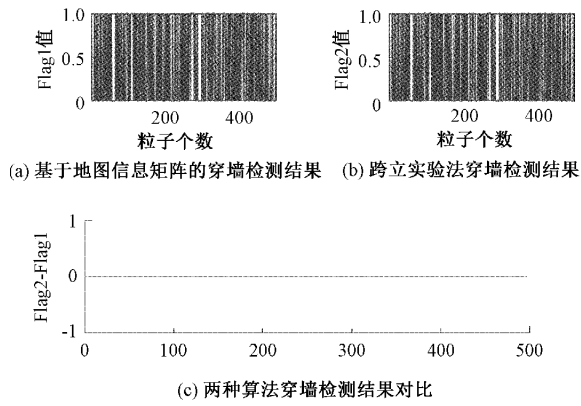


图 6 穿墙检测算法结果对比

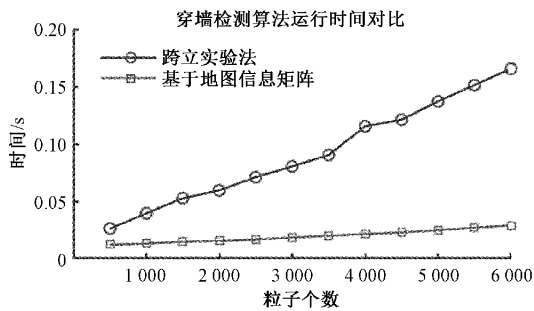


图 7 算法运行时间对比

8.85 m×12.40 m,选择网格的大小为 0.05 m,利用激光测距仪得到室内桌椅等布局的相对位置,可将房间地图数据转换为 177×248 的地图信息矩阵。房间简图如图 8 所示,其中黑色部分表示墙壁,灰色部分表示桌椅等室内布局,圆点表示 UWB 基站的位置。预设轨迹如图 8 中实线所示,行走方向如其中的箭头方向。

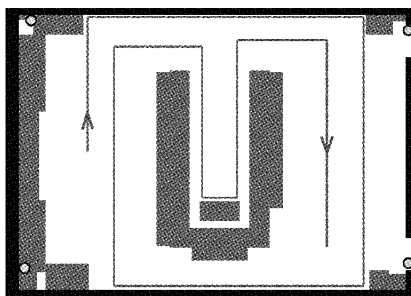


图 8 房间预设轨迹

实测过程中行人沿着图 8 中的实线行走,UWB 的量测坐标如图 9 中的深色圆点位置。由于人行走过程中与真实预设轨迹存在偏差以及 UWB 存在定位误差,定位结果会出现穿墙以及定位在不可定位区域的现象。穿墙现象如图 9 中上方方框所示的位置,定位在不可定位区域如其中下方方所示的位置。

利用本文提出的基于粒子滤波多重权重更新的地图匹

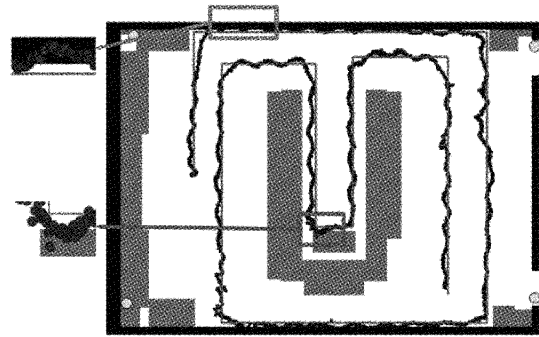


图 9 UWB 的量测结果

配算法和传统单个穿墙权重的地图匹配算法对 UWB 的量测坐标进行修正后的结果如图 10 所示。

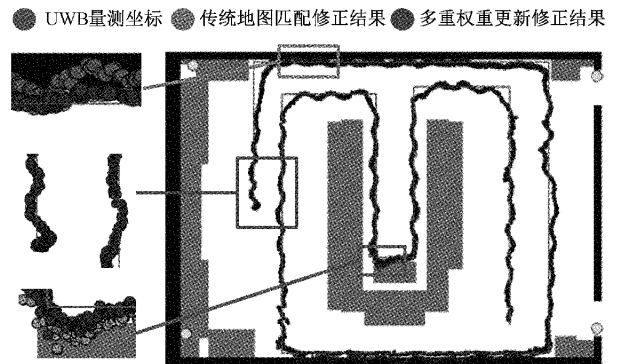


图 10 地图匹配算法定位结果对比

在图 10 中,由图 10 最上方方框处可知,传统算法和本文算法都可以将穿墙的定位结果进行修正,而本文算法在运行速度上具有明显优势。由图 10 中中间方框处可知,本文算法在无地图信息约束的区域,此时的定位结果高度依赖 UWB 的量测,UWB 定位结果、传统地图匹配以及多重权重更新地图匹配结果重合。由图 10 中最下方方框处可知,对于远离墙壁的定位结果,传统算法没有修正作用,而本文算法利用房间内的桌椅等室内布局对定位结果仍具有修正作用。二者对比可得本文提出的多重权重更新的地图匹配算法优于传统单个穿墙权重的地图匹配算法。

4 结 论

本文针对传统基于粒子滤波的地图匹配算法对穿墙粒子的检测速度较慢以及对于远离墙壁的定位结果无法进行修正的问题进行研究,提出了一种基于地图匹配的辅助定位算法。通过结合地图信息矩阵并利用多重权重更新的方式,在保证正确检测出穿墙现象的基础上减少了算法运行时间,并对位于不可达区域的定位结果进行修正。最后,在实际测试的过程中也证明了本文算法的优越性和有效性。未来将会进一步优化辅助定位算法,将其应用于复杂结构的动态室内环境中。

参考文献

- [1] 张青春,周玲,吴峥. GPS/BDS 和 IMU 融合技术在无人配送车定位解算中应用研究[J]. 电子测量技术, 2022,45(21):36-41.
- [2] SAFWAN M A, NG G W, HASNAH S. A brief comparative of indoor positioning system [C]. Proceedings of the 8th International Conference on Computational Science and Technology. Springer, Singapore, 2022: 61-74.
- [3] 高伟,侯聪毅,许万昀,等. 室内导航定位技术研究进展与展望[J]. 导航定位学报,2019,7(1):10-17.
- [4] PENG P, YU C, XIA Q, et al. An indoor positioning method based on UWB and visual fusion[J]. Sensors, 2022, 22(4): 1394-1415.
- [5] SHANG J G, HU X K, GU FQ, et al. Improvement schemes for indoor mobile location estimation: A survey[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 7(2): 1563-1568.
- [6] 李瑞远,朱浩文,王如斌,等. 基于路网层次收缩的快速分布式地图匹配算法[J]. 计算机研究与发展,2022, 59(2):342-361.
- [7] YANG S, FAN G, BAI L, et al. MGC-VSLAM: A meshing-based and geometric constraint VSLAM for dynamic indoor environments[J]. IEEE Access, 2020, 8: 81007-81021.
- [8] 朱递,刘瑜. 一种路网拓扑约束下的增量型地图匹配算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2017,42(1): 77-83.
- [9] 周瑞,鲁翔,卢帅,等. 基于粒子滤波和地图匹配的融合室内定位[J]. 电子科技大学学报,2018,47(3):415-420.
- [10] CHO W, CHOI E. A basis of spatial big data analysis with map-matching system[J]. Cluster Computing, 2017, 20(3):2177-2192.
- [11] ABDULRAHIM K, HIDE C, MOORE T, et al. Integrating low cost IMU with building heading in indoor pedestrian navigation[J]. Journal of Global Positioning Systems, 2011, 10(1):30-38.
- [12] DENG Z L, RUAN FL, LU S B, et al. A method of map matching based on particle filter in indoor positioning[J]. AER, 2016, 6(12): 923-928.
- [13] LUO S W, GU FQ, XU F, et al. Effect evaluation of spatial characteristics on map matching-based indoor positioning[J]. Sensors, 2020, 20(22): 6698-6702.
- [14] DU X, LIAO X, GAO Z, et al. An enhanced particle filter algorithm with map information for indoor positioning system [C]. 2019 IEEE Global Communications Conference, IEEE, 2019: 1-6.
- [15] ZHANG L, CHENG M, XIAO Z, et al. Adaptable map matching using PF-net for pedestrian indoor localization[J]. IEEE Communications Letters, 2020, 24(7): 1437-1440.
- [16] WANG J, HU A, LIU C, et al. A floor-map-aided WiFi/pseudo-odometry integration algorithm for an indoor positioning system [J]. Sensors, 2015, 15(4): 96-124.
- [17] MOKHTARI K E, REBOUL S, CHOQUEL J B, et al. Indoor localization by particle map matching[C]. IEEE International Colloquium on Information Science & Technology, IEEE, 2017.
- [18] PERTTULA A, LEPPAKOSKI H, KIRKKO M, et al. Distributed indoor positioning system with inertial measurements and map matching[J]. IEEE Transactions on Instrumentation & Measurement, 2014, 63(11):2682-2695.
- [19] 黄鹤,仇凯悦,李维,等. 基于粒子滤波联合算法的地磁室内定位[J]. 西南交通大学学报,2019, 54(3): 604-610.
- [20] 杨小龙,吴世明,周牧,等. 室内穿墙场景下的无源人体目标检测算法[J]. 电子与信息学报,2020, 42(3): 603-612.

作者简介

王伟,博士,教授,主要研究方向为组合导航、室内定位、环境感知与智能决策等。

杜旭洋(通信作者),硕士研究生,主要研究方向为室内定位、目标检测。

E-mail:18334504342@163.com

黄平,博士,副教授,主要研究方向为组合导航、雷达探测一体化。

史高峰,硕士研究生,主要研究方向为地图匹配、室内定位。