

文章编号: 2095-2163(2022)08-0179-05

中图分类号: TP242.6

文献标志码: A

基于回波强度的 AGV 重定位方法研究

陈远浩, 吴明晖

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 自动引导车(Automated Guided Vehicle, AGV)在具有坡道的多楼层环境导航时,搭载 2D 激光雷达的 AGV 仅仅只能通过激光同时定位与建图(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)进行单个楼层建图,无法直接生成多楼层环境的地图,只能通过建立多楼层地图之间的拓扑关系,才能实现不同楼层地图的转换。为了解决多楼层地图导航之间的重定位问题,提出一种基于回波强度的 AGV 重定位方法。首先基于激光雷达的回波强度,过滤非反光板信息;然后基于 DBSCAN 算法对激光扫描数据进行聚类,并通过最小二乘法拟合数据,获得不同反光板质心的局部坐标集合;最后依据反光板布局信息匹配反光板数据,采用几何关系法实现 AGV 在新地图的重定位。实验结果表明,该方法能有效实现 AGV 的重定位,定位精度高且稳定,不影响后续的导航任务,具有实际应用价值。

关键词: 回波强度; AGV; 重定位; DBSCAN

Research on AGV relocalization method based on echo intensity

CHEN Yuanhao, WU Minghui

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

[Abstract] AGV based on 2D lidar can only map single floor through laser SLAM when navigating multi-floor environment with ramps, and cannot directly map multi-floor environment. The conversion of different floor maps can only be completed by establishing a topological relationship between multi-floor maps. In order to solve the problem of relocalization between multi-floor map navigation, an AGV relocalization method based on echo intensity is proposed. First of all, non-reflective board information is filtered based on the echo intensity of the lidar. Then, the laser scan data is clustered based on DBSCAN algorithm, and the local coordinates of different reflector centroids are obtained by fitting the data by least squares. Finally, AGV relocalization of the new map is realized based on the known reflector layout information matching the reflector data. Experimental results show that the method can effectively complete AGV relocalization with high localization accuracy and stability, avoid affecting the subsequent navigation tasks, and have practical application value.

[Key words] echo intensity; AGV; relocalization; DBSCAN

0 引言

移动机器人技术广泛应用于各个场景,如服务机器人^[1]、农业机器人^[2]、工业物流^[3]等等。自动引导车(Automated Guided Vehicle, AGV)是一种用于物料搬运的移动机器人,激光同时定位与建图(Simultaneous Localization and Mapping, SLAM)是其核心技术之一^[4]。其中,2D 激光 SLAM 按照地图形式分类,常用的有基于栅格地图 SLAM 和基于特征地图 SLAM 等^[5]。

在许多现实应用中,会出现 AGV 多楼层导航的需求。但是由于传感器的限制,2D 激光 SLAM 只能建立多个单楼层地图,而无法直接建立多楼层地图。目前,一些解决多楼层地图的方法多应用于有电梯

的场景。例如:AGV 导航至电梯后,通过基于机器视觉识别电梯按钮,并控制车载操作臂按下目标楼层按钮;到达目标楼层后,AGV 自动定位至另一楼层地图的初始点^[6]。然而在具有坡道的多楼层厂区环境中,该方法并不适用于这种应用场合。由于 AGV 进行爬坡或下坡后,累积误差无法快速精准地定位到另一楼层的初始位置,从而影响 AGV 在新楼层的导航。针对上述问题,通过重定位的方法能够进行误差修正。目前重定位方法主要分为基于激光雷达^[7]和基于视觉传感器^[8],但两者都存在定位时间过长等问题。为解决具有坡道的多楼层厂区环境中 AGV 的重定位问题,本文提出一种基于回波强度的 AGV 重定位方法,以解决 AGV 爬坡或下坡后在另一楼层的重定位问题。多楼层导航整体流程如图

作者简介: 陈远浩(1997-),男,硕士研究生,主要研究方向:AGV 导航;吴明晖(1973-),男,博士,讲师,主要研究方向:特种机器人技术、移动机器人环境感知与控制等。

通讯作者: 吴明晖 Email: wmhui@yeah.net

收稿日期: 2021-11-17

1所示。

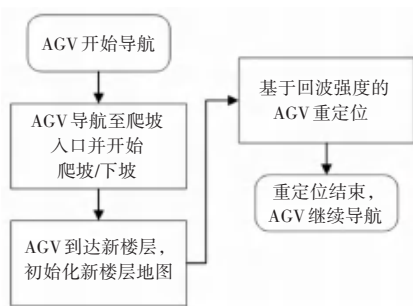


图1 多楼层导航流程

Fig. 1 Multi-floor navigation process

1 基于回波强度的激光雷达数据处理

1.1 数据过滤方法

2D 激光雷达传感器是 AGV 导航的关键传感器。激光雷达在工作时,发射激光信号到目标,并经过目标散射后再接收。激光雷达根据激光信号的飞行时间,计算得出激光雷达到该目标的距离、以及激光雷达转过的角度,最终得出目标相对于激光雷达的极坐标^[9]。目前,市面上中、高端的 2D 激光雷达不仅能够得出目标距离,还能测得目标的回波强度。激光雷达的回波功率公式见如下^[10]:

$$P_R = \frac{P_E D_R^2 \rho \cos \alpha}{4 R^2} \eta_{\text{sys}} \eta_{\text{atm}} \quad (1)$$

其中, P_R 为回波功率; P_E 为发射功率; D_R 为激光雷达接受孔径; ρ 为物体表面反射率; α 为入射角; R 为目标到激光雷达的距离; η_{sys} 为系统传输率; η_{atm} 为大气传输率。

由此可见,回波强度主要与物体表面的反射率及距离有关。为了得出有效的激光雷达数据,采用 3M 钻石级反光膜制作平板型反光板,因此激光雷达

每一帧数据中都会有来自该反射板返回的回波强度偏高的数据。同时设置激光雷达有效探测距离及有效回波强度阈值,获得反光板的激光扫描数据。图 2 为反光板布置的实际环境;图 3(a)、图 3(b)分别为激光雷达数据处理前、后效果。可见,基于上述方法可将激光雷达数据进行有效过滤,得到反光板的激光扫描数据。

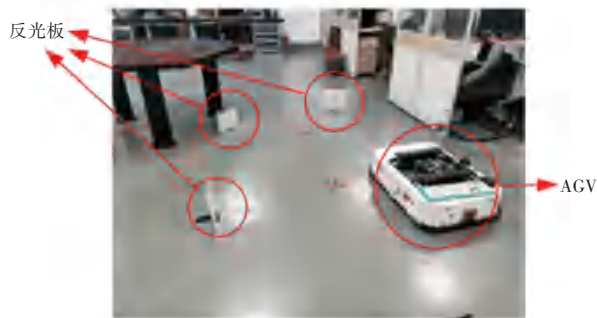


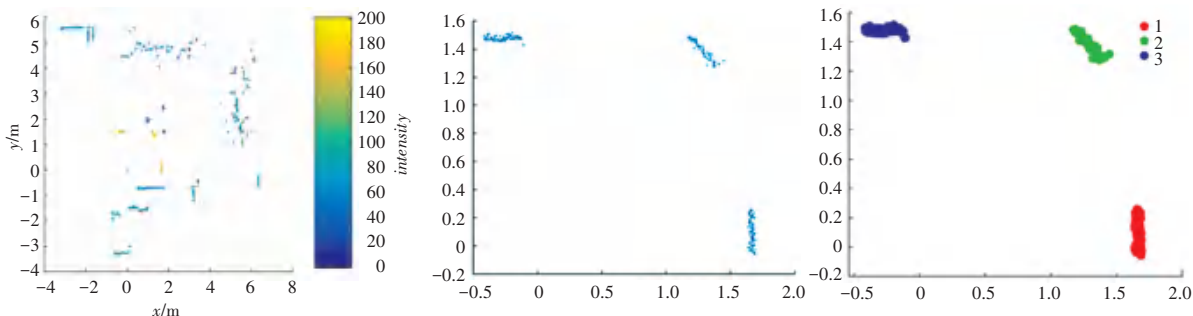
图2 反光板环境布置

Fig. 2 Reflector layout environment

1.2 基于 DBSCAN 的激光雷达聚类

完成基于回波强度的激光雷达数据过滤后,为了进一步识别不同反光板的 ID,需要对激光雷达数据进行聚类。具有噪声的基于密度的聚类方法 (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise, DBSCAN), 是经典的基于密度的聚类方法。该算法不需要先验的聚类簇数量,就能发现噪声环境下不同形状的聚类簇,通过设定 2 个参数:全局邻域半径 E_{ps} 和最小近邻个数 M_{pts} , 就能达到很好的聚类效果^[11]。

反光板的数据特点为:不同反光板的点紧密相连成一类,从而得到了不同的聚类簇;不同类的数据密度均匀,变化不大。以上数据特征反映了 DBSCAN 适用于该问题的求解。由图 3(c)可见,通过 DBSCAN,对反光板数据进行了正确聚类。



(a) 一帧激光雷达数据

(b) 回波强度过滤后数据

(c) DBSCAN 聚类

图3 激光雷达数据处理

Fig. 3 Lidar data processing

2 反光板局部坐标求解及 AGV 重定位

2.1 反光板位置拟合

经处理后获得的反光板信息,需继续求解反光板位置,以得到反光板相对于机器人本体的局部坐标。最小二乘法是线性回归方法,常应用于对离散点的直线拟合,通过最小化离散点到直线的距离,求出优化、且合理的直线方程^[12]。最小二乘法原理为:给定一组激光雷达数据 $\{(x_i, y_i), (i = 1, 2, \dots, n)\}$, 若拟合曲线的数学模型为 $y = f(x)$, 则第 i 个误差距离为 $f(x_i) - y_i$, 所有数据点的平方和则为 $\sum_i^n [f(x_i) - y_i]^2$, 从而求出平方和最小值所对应的参数,得出拟合曲线 $y = f(x)$ 。由于反光板呈直线的特性,通过最小二乘法能快速准确地拟合反光板位置,并求解其几何质心点。反光板拟合示意如图 4 所示。

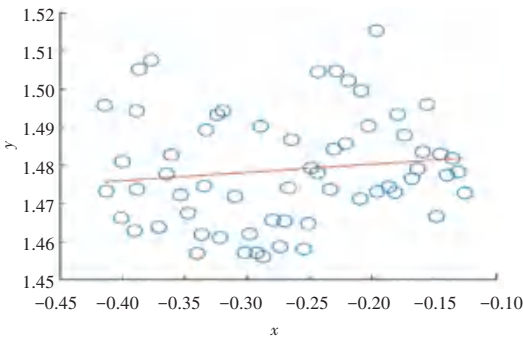


图 4 反光板最小二乘法拟合

Fig. 4 The least squares fitting of the reflector

2.2 AGV 重定位方法

重定位方法流程如图 5 所示。由图 5 可知,AGV 多楼层重定位方法实现步骤如下:

步骤 1 在已知反光板设计布局的情况下,加载世界坐标系下的所有反光板位置。

步骤 2 加载激光雷达扫描数据。

步骤 3 基于回波强度识别反光板数据,并基于 DBSCAN 及最小二乘法计算扫描到反光板的数目及距离信息。

步骤 4 将扫描到的反光板信息与已知布局做匹配,为了快速匹配,反光板布局两两距离各不相等,从而得到反光板到机器人本体的局部坐标。

步骤 5 基于匹配结果,计算扫描到的反光板在世界坐标系下的位置与机器人的定位信息。

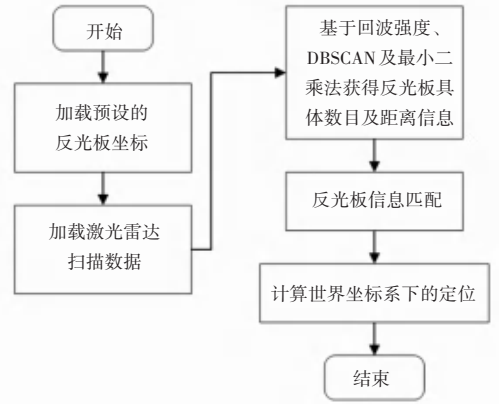


图 5 重定位方法流程图

Fig. 5 Relocalization method flowchart

AGV 在新楼层世界坐标系下的定位,采用基于几何关系的定位方法。对此实现过程拟给出分述如下。

(1) 通过激光雷达扫描到的反光板两两之间的距离,识别反光板 ID。

(2) 求解各个反光板 ID 的几何质心,对反光板质心矩阵进行旋转平移,还原对应反光板在世界坐标系的位置。通过求解奇异阵的方法,获得旋转变量 R 和平移变量 t 的最优解,此时用到的公式分别见如下:

$$H = \sum_{i=1}^N (P_L^i - cen_L)(P_C^i - cen_C)^T \quad (2)$$

$$[U, S, V] = SVD(H) \quad (3)$$

$$R = VU^T \quad (4)$$

$$t = -R \times cen_L + cen_C \quad (5)$$

$$G = RL + t \quad (6)$$

其中, G 为已知布局的反光板数据, L 为扫描到的反光板数据;式(2)为世界坐标系下,反光板质心位置与扫描所得反光板质心位置的关系矩阵表达式; cen_L 和 cen_C 为 n 帧激光数据求得反光板质心点的均值。式(3)~(6)为 SVD 求解最优 R 和 t 的过程。其中,式(3)是对矩阵 H 进行 SVD 分解,式(4)、(5)计算最优旋转变量 R 和平移变量 t , 式(6)求得最优,并得到机器人在世界坐标系的位置坐标。

3 实验结果分析

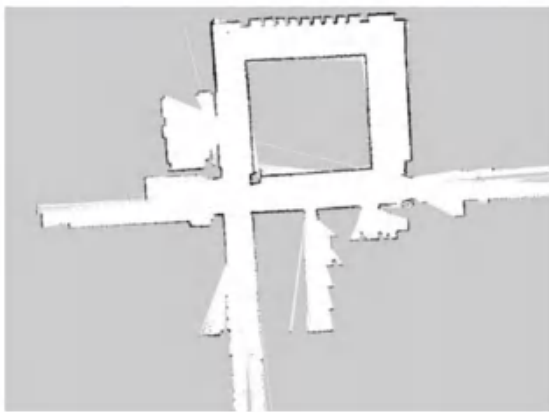
为模拟 AGV 在爬坡到新楼层后产生累计误差,并通过反光板进行重定位的实际场景,通过 gmapping^[13] 激光 SLAM 算法建立新楼层的环境地

图;再人为地将 AGV 放置在偏离初始位置的地方;最后通过基于回波强度的重定位方法进行重定位,记录观察结果并验证方法的可行性。

实验地点选择在上海工程技术大学实训 5 号楼二楼,实际环境及建立的栅格地图如图 6 所示。在初始定位附近布置了 3 块两两距离不同的反光板;AGV 为两轮差速式 AGV;激光雷达型号为镭神 N301,其有效探测距离为 0.15~30 m,角度分辨率为 0.18°,该激光雷达可以识别物体回波强度信息,完全满足实验需求。



(a) 真实环境



(b) 占据栅格地图

图 6 新楼层环境布置

Fig. 6 Environment layout of new floor

将 AGV 放置在偏离初始位的位置,模拟 AGV 爬坡后的累积误差,并初始化新楼层地图,此后再进行重定位。图 7 为 AGV 重定位效果图。由图 7 可以看出,由于累积误差重定位前黄色激光雷达扫描数据与栅格地图实际环境不匹配,经过重定位后激光雷达扫描数据与栅格地图基本匹配,说明定位成功,AGV 可以进行后续的导航工作。研究得到的重定位误差见表 1。



(a) 重定位前

(b) 重定位后

图 7 重定位效果

Fig. 7 Relocalization effect

表 1 重定位误差

Tab. 1 Relocalization error

次数	定位误差/mm
1	32
2	26
3	27
4	30
5	31
6	24
7	27
8	28
9	30
10	29

4 结束语

针对 AGV 在具有坡道的多楼层导航过程中新楼层的重定位问题,本文设计了一种基于回波强度的 AGV 重定位方法。首先基于反光板的高回波强度的特性,提取反光板的信息,通过 DBSCAN 及最小二乘法对数据集进行聚类拟合,并计算反光板的几何质心,然后匹配预设的反光板信息,最后通过几何关系解算 AGV 在地图世界坐标系下的定位。通过实验验证,使用该方法进行重定位效果良好,精度高,具有实际应用价值。接下来的工作将进行 AGV 多楼层导航系统的程序设计,以进一步提升方法的实用性。

参考文献

- [1] 张森,周磊,刘梦,等. 一种面向狭小、拥挤情景的服务机器人运动规划方法[J]. 机器人,2021,43(03):269-278.
- [2] 周云成,许童羽,邓寒冰,等. 基于自监督学习的温室移动机器人位姿跟踪[J]. 农业工程学报,2021,37(09):263-274.
- [3] 霍桂利,王晓亮. 基于农业仓库物流搬运机器人控制算法分析与研究[J]. 中国工程机械学报,2021,19(01):56-60.
- [4] 田野,陈宏巍,王法胜,等. 室内移动机器人的 SLAM 算法综述[J]. 计算机科学,2021,48(09):223-234.

(下转第 186 页)