

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2023.03.007

基于激光雷达和温度传感的高温避障

黄鼎键^{1,2}, 杨华山^{1,2}, 江灏^{1,2}, 钟勇^{1,2}, 林铭昊²

(1. 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建 福州 350118;
2. 福州市汽车机电行业技术创新中心, 福建 福州 350118)

摘要: 激光雷达不宜用于检测障碍物的温度。如果路径规划时仅使用激光雷达而忽视高温障碍物对智能车和其携带货物的热辐射作用, 将会导致安全隐患。针对该问题, 在常规 RBPF SLAM 算法原理基础上, 改进并运用提议分布和自适应重采样两种方法, 融合红外热像模块检测出的环境温度信号, 提出了一种在建图过程中改变高温障碍物栅格状态的方法; 在所搭建的智能车高温避障导航测试场景下进行有无高温障碍物的导航避障对比实验。实验结果表明, 该方法能让智能车在高温障碍物的环境中有效地规划路径并避开高温障碍物, 提高了智能车导航的准确性和可靠性。

关键词: 高温避障; Gmapping 算法; 红外热像; 栅格; 路径规划

中图分类号: TP242

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2023)03-0244-05

High temperature obstacle avoidance based on lidar and temperature sensing

HUANG Dingjian^{1,2}, YANG Huashan^{1,2}, JIANG Hao^{1,2}, ZHONG Yong^{1,2}, LIN Minghao²

(1. Key Laboratory for Automotive Electronics and Electric Drive of Fujian Province,
Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;
2. Fuzhou Automobile Electromechanical Industry Technology Innovation Center,
Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Lidar is not suitable for detecting the temperature of obstacles. If only lidar is used in path planning while ignoring the thermal radiation effect of high-temperature obstacles on the intelligent vehicle and its cargo, it will lead to safety hazards. To solve this problem, firstly, based on the principle of conventional RBPF SLAM algorithm, two methods of improved proposal distribution and adaptive resampling were studied and applied. Secondly, a method of changing the grid state of high-temperature obstacles in the process of mapping was proposed by fusing the ambient temperature signal detected by infrared thermal imaging module. Finally, a comparative experiment of navigation and obstacle avoidance with and without high-temperature obstacles was carried out under the built intelligent vehicle high temperature obstacle avoidance navigation test scenario. Experimental results demonstrate that this method can effectively plan the path and avoid the high-temperature obstacles in the environment where there are high-temperature objects, and improve the accuracy and reliability of the intelligent vehicle navigation.

Keywords: high temperature obstacle avoidance; Gmapping algorithm; infrared thermography; grid; path planning

多层代价地图中重要的静态层是基于 SLAM 技术建立的地图。在导航避障和高温检测方面, 学者们进行了一些研究^[1]。郭园园^[2]、Zhao^[3]开展了基于 ROS 系统和激光雷达机器人的导航研

收稿时间: 2023-02-03

基金项目: 福建工程学院科研启动基金项目 (GY-Z19119); 福州市科技重大项目 (2022-ZD-008)

第一作者简介: 黄鼎键 (1982—), 男, 福建福州人, 副教授, 博士, 研究方向: 智能网联汽车仿真与设计等。

究,主要集中在算法改进和路径优化;郭智鑫^[4]利用温度传感器完成了周围物体的测温,王鹏程^[5]使用红外热像仪生成了完整的红外图像,Watanabe^[6]的机器人可以检测出高温物体并退出当前环境,Cook^[7]通过将超过阈值的热点标记为障碍物以避免热源。这些研究对导航避障和高温检测方面的问题进行了不同程度的分析和处理,但并未在测温的基础上实现对高温障碍物的避障。

为了解决上述问题,本文根据黑体辐射的热成像原理,运用红外热像模块,让高温障碍物在地图上以改变栅格状态的方式显现,达到结合路径规划A*算法和TEB算法后避开高温障碍物的效果。

1 Gmapping 算法

传统RBPf(RB-Particle-filter)算法中通过采样计算例子进行拟合分布,存在因多次重采样操作导致粒子耗散和多样性降低的问题,Gmapping算法是在RBPf-SLAM算法的基础上,运用改进提议分布和自适应重采样两种方法解决上述问题^[8]。

在激光雷达观测数据 $z_{1:t}=z_1, \dots, z_t$ 与里程计数据 $u_{1:t}=u_1, \dots, u_{t-1}$ 已知的情况下,智能车位姿序列集合与地图特征信息的后验概率近似为:

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1}) \quad (1)$$

式中, $x_{1:t}$ 为位姿序列; m 为环境地图的特征信息。

基于粒子滤波的RBPf算法将SLAM问题拆分成定位和构建地图两个部分,为了计算速度更快^[9],在采样过程中降低了状态空间维数,实现过程可表示为:

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t-1}) = p(m | x_{1:t}, z_{1:t}) p(x_{1:t} | z_{1:t}, u_{1:t-1}) \quad (2)$$

RBPf用粒子表示定位的概率分布,每一个粒子都代表了智能车的位姿集合,然后结合观测模型来更新构建的地图。总的步骤为:

(1)初始化粒子:使大量粒子随机分散在空间中的各个位置。

(2)重要性采样:将里程计运动模型作为粒子滤波提议分布的函数,求出当前粒子集合与每个粒子评价其相应的重要性权值^[10]。

(3)计算权重:迭代更新后,权值大小为目标分布和提议分布的比值:

$$w_t^{(i)} = \frac{p(x_{1:t}^{(i)} | z_{1:t}, u_{1:t-1})}{q(x_{1:t}^{(i)} | z_{1:t}, u_{1:t-1})} \quad (3)$$

结合环境地图信息可进一步推出:

$$w_t^{(i)} = \frac{p(z_t | x_t^{(i)}, m_{t-1}^{(i)}) p(x_t^{(i)} | x_{t-1}^{(i)}, u_{t-1})}{q(x_t^{(i)} | x_{t-1}^{(i)}, z_{1:t}, u_{1:t-1})} \quad (4)$$

(4)粒子重采样:根据粒子权重对粒子进行筛选,通过增加大权重粒子比例的方式去除权重小的粒子。新粒子都是通过重采样得到,因此具有相同的权重。

(5)更新地图:根据粒子的观测与位姿信息来更新地图。

Gmapping算法在里程计模型分布函数的基础上,加入激光传感器的观测信息来改进提议分布。

$$\frac{p(x_t^{(i)} | x_{t-1}^{(i)}, z_t, u_{t-1}, m_{t-1}^{(i)})}{p(z_t | m_{t-1}^{(i)}, x_t^{(i)}, u_{t-1})} \quad (5)$$

运用此提议分布的公式为:

$$w_t^{(i)} = w_{t-1}^{(i)} \cdot p(z_t | m_{t-1}^{(i)}, x_{t-1}^{(i)}, u_{t-1}) \quad (6)$$

Gmapping算法不但改进提议分布函数而且采用适应性重采样,重采样的函数为:

$$N_{\text{eff}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N (w^{(i)})^2} \quad (7)$$

式中, N_{eff} 为评估粒子权重分散程度参数,粒子的多样性与其成正比,当 $N_{\text{eff}} < N/2$ 时,进行重采样操作。

重采样的目的是使高权重的粒子逐渐取代低权重的粒子,与此同时,重采样也会把其中状态较好的粒子滤除,随着重采样的进行,粒子总数越少。自适应重采样根据所有粒子自身权重的离散程度决定是否继续进行粒子重采样。

2 红外热成像与高温障碍物的栅格状态

凡是温度高于绝对零度的物体,均会自表面向外发出电磁辐射,且该辐射与物体的固有温度成比例^[11]。基于普朗克和玻尔兹曼辐射定律的原理,红外传感器通过吸收物体发射出的红外辐射对其进行测温。辐射定律为

$$E = \sigma \varepsilon (T^4 - T_0^4) \quad (8)$$

式中, E 是辐射能流密度, W/m^2 ; σ 是斯特藩-玻尔兹曼常数,其值约为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$; ε

为物体的发射率,其取值范围在 $0\sim 1$; T 为物体表面的温度, K ; T_0 为物体周围环境的温度, K 。通过测量物体的辐射能流密度 E , 可得到物体的实际温度。

通过 SLAM 算法建立的栅格地图能准确描述周围环境信息,激光雷达采集数据过程中,对周围环境是否存在障碍物进行判断并生成栅格地图。判断公式如式(9)所示,如果判定不存在障碍物,则标记该位置栅格为空闲状态,否则,标记该位置栅格为占据状态。

$$\begin{aligned} S^+ &= S^- + \text{lofree} \\ S^+ &= S^- + \text{looccu} \end{aligned} \tag{9}$$

使用灰度值表示障碍物存在的概率,路径规划根据栅格地图中存在的障碍物位置实现避障。在常规避障导航场景中,只要保证智能车和障碍物不发生碰撞即可。

在高温避障路径规划中,通过红外测温模块检测高温障碍物的温度,根据障碍物的温度和栅格分辨率大小决定改变占据栅格数量和范围。不同温度区间的栅格变化如式(10)所示:

$$\begin{cases} 0 < T < 50 & \text{不变} \\ 50 < T < 100 & \text{增大 } 0.2 \text{ m} \\ 100 < T & \text{增大 } 0.5 \text{ m} \end{cases} \tag{10}$$

3 实验研究

3.1 实验平台架构

搭建如图 1 所示的智能避障车,验证激光雷达和红外传感高温避障导航的可靠性。该智能避障车主要由阿克曼转向系统、驱动电机、树莓派 4B、STM32 主板、激光雷达、IMU 惯性测量单元和红外热像模块等组成,红外热像模块型号为 MLX90640-D55。装有 Ubuntu18.04 和 ROS 操作系统的树莓派作为智能车的主要控制器,通过串口与激光雷达和红外热像模块建立联系,STM32 从控制器接收里程计、电池电压的信息传送给树莓派主控,并接收主机发送的运动底盘目标速度等指令。

3.2 实验及结果分析

如图 2 所示,搭建高温导航避障测试场景对比高温障碍物对路径规划的影响,该场景地面较为平坦,主要区域长、宽各约 6 m,在场地上布置了 3 个障碍物,通过黑色杯子中有无热水,模拟场景中是否存在高温障碍物。图 2 中,3 个障碍物形成两条通道,且左边比右边通道宽 15 cm。



图 1 智能小车

Fig.1 Intelligent vehicle



图 2 实验场景图

Fig.2 Experimental scene

首先,完成杯子中无热水即正常环境下场景建图,如图 3 所示,图中 1 点即图 2 中智能车所在位置为建图起点,图中 2 点作为导航目标点。通过多层代价地图结合 A* 算法和 TEB 算法进行导航避障实验,如上所述,以图 3 的 1 点和 2 点作为导航起始点,常规避障路径如图 4 所示,从图 4 可知,智能车自动选择左边较宽通道完成避障导航,其常规避障实车实验过程如图 5 所示。



图 3 SLAM 建图

Fig.3 SLAM mapping

其次,将左边水杯装满热水,此时红外热像仪检测到场景中高温障碍物的温度场,如图 6 所示。

高温避障导航实验时,根据上述方法增大高

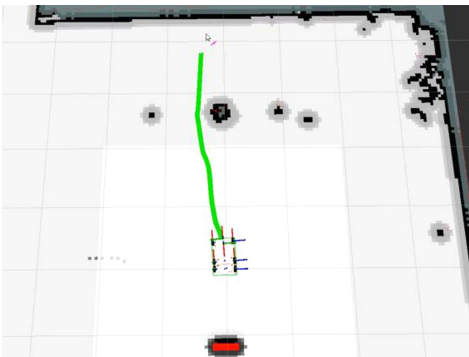


图 4 常规避障路径图

Fig.4 Conventional obstacle avoidance path diagram

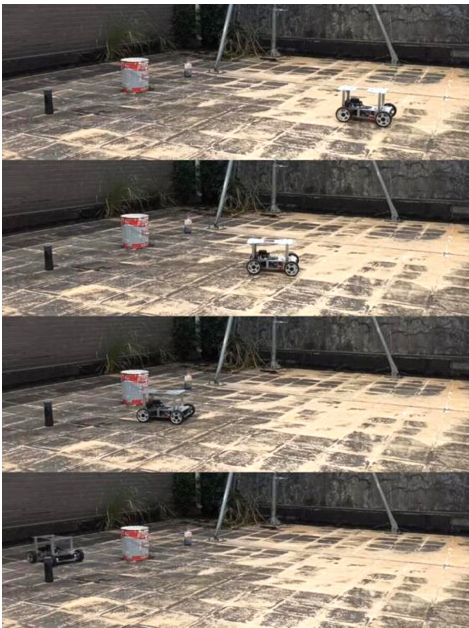


图 5 常规避障过程图

Fig.5 Conventional obstacle avoidance process diagram

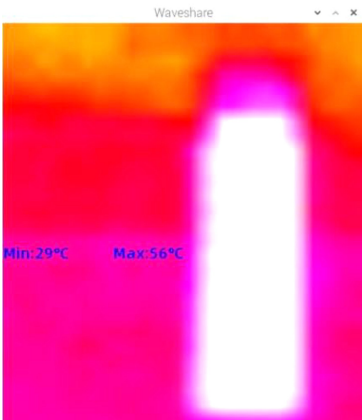


图 6 温差场

Fig.6 Temperature field

温障碍物占据栅格数量,高温避障路径如图 7 所示,从图 7 可知,智能车自动选择避开高温障碍物

在较窄的右边通道完成避障导航,其高温避障实车实验过程如图 8 所示。对比实验结果可知,智能车能有效避开高温障碍物并规划出到达目标点的最优路径。

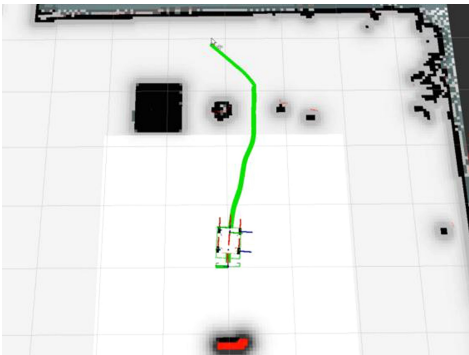


图 7 高温避障路径图

Fig.7 High-temperature obstacle avoidance path diagram

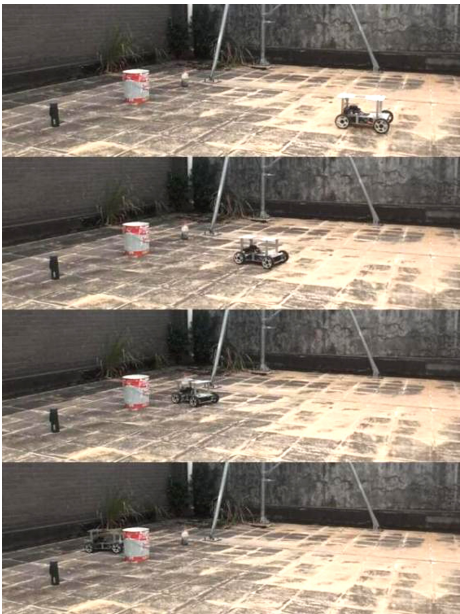


图 8 高温避障过程图

Fig.8 High-temperature obstacle avoidance process diagram

4 结论

1) 运用改进提议分布和自适应重采样的 Gmapping 算法,可以解决 RBPf-SLAM 算法粒子耗散和多样性降低的问题,并能准确构建环境地图。

2) 实现了激光雷达与红外热像仪的融合, Gmapping 算法构建的栅格地图中检测到高温物体时,可将高温点周围的栅格空闲状态改为栅格占据状态。

3)所搭建的智能车结合路径规划算法能够实现导航避障功能,在存在高温障碍物的场景中能够规划一条与常规避障路径不同的线路,并有效地避开高温障碍物。

参考文献:

- [1] 李德胜,孙一杰,张国良. 一种面向动态环境的多层代价地图更新算法[J]. 无线电工程,2022,52(7):1284-1290.
- [2] 郭园园,袁杰,赵克刚. 基于改进 A* 算法和动态窗口法的机器人路径规划[J]. 计算机工程与科学,2022,44(7):1273-1281.
- [3] ZHAO J W,LIU S Y,LI J Y. Research and implementation of autonomous navigation for mobile robots based on SLAM algorithm under ROS[J]. Sensors,2022,22(11):4172.
- [4] 郭智鑫,李明坤,蔡雁培,等. 基于热感与红外感应的火灾救援路线规划小车[J]. 计算机技术与发展,2020,30(4):130-133,138.
- [5] 王鹏程. 基于 ROS 的热成像巡检机器人设计[D]. 青岛:青岛大学,2021.
- [6] WATANABE A,ENDO D,YAMAUCHI G,et al. Neonavigation meta-package:2-D/3-DOF seamless global-local planner for ROS—development and field test on the representative offshore oil plant[C]//2016 IEEE International Symposium on Safety,Security,and Rescue Robotics (SSRR). Lausanne,Switzerland: IEEE,2016:86-91.
- [7] COOK Z,ZHAO L,LEE J,et al. Unmanned aerial system for first responders[C]//2015 12th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI). Goyang: IEEE,2015:306-310.
- [8] WANG H N,NI J Y,QI Y,et al. Optimal design of laser SLAM algorithm based on RBPF improved resampling technology [C]//2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). Beijing,China: IEEE,2020:1245-1250.
- [9] GRISETTI G,STACHNISS C,BURGARD W. Improved techniques for grid mapping with Rao-Blackwellized particle filters [J]. IEEE Transactions on Robotics,2007,23(1):34-46.
- [10] 刘媛媛,公建宁,张萌,等. 基于单舵轮 AGV 的 Gmapping SLAM 导航算法研究[J]. 制造业自动化,2020,42(2):128-130,139.
- [11] 常清洋,郭立稳,武建国,等. 基于红外测温技术的高温热源定位实验研究[J]. 煤矿安全,2022,53(9):100-105.

(责任编辑:陈雯)