

DOI: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2501-5042-4957

基于ROS与YOLO算法的移动式垃圾分拣机器人设计与实现研究

万燕英 张威 陈汉坤 李东恒 马正航

广州铁路职业技术学院信息工程学院 广东广州 511300



摘要:针对复杂高动态环境下的垃圾自动分拣,设计基于机器人操作系统(Robot Operating System,ROS)与YOLO算法的移动式垃圾分拣机器人。利用ROS模块化的框架,构建主控制器、导航、视觉识别、机械臂、语音识别等模块,采用YOLO算法对垃圾图像进行训练、分析和推理,从而快速、准确地识别垃圾的种类、位置、姿态等信息,最终实现高效导航避障、智能视觉识别、机械臂灵活拾取、用户交互等功能。通过搭建移动小车和六关节机械臂实验平台,测试了算法的有效性,为推动公共场所垃圾分类和资源回收利用的发展提供一种参考手段,具有重要的环境效益和社会效益。

关键词:机器人操作系统 YOLO算法 垃圾分拣 机器人

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1672-3791(2025)17-0061-05

Research on the Design and Implementation of a Mobile Garbage Sorting Robot Based on ROS and YOLO Algorithm

WAN Yanying ZHANG Wei CHEN Hankun LI Dongheng MA Zhenghang

College of Information Engineering, Guangzhou Railway Polytechnic, Guangzhou, Guangdong Province,
511300 China

Abstract: For the automatic sorting of garbage in complex and highly dynamic environments, a mobile garbage sorting robot based on Robot Operating System (ROS) and YOLO algorithm is designed. The modular framework of ROS is utilized to construct modules such as the main controller, navigation, visual recognition, robotic arm and speech recognition. The YOLO algorithm is employed to train, analyze and infer garbage images, thereby rapidly and accurately identifying information such as the types, positions and postures of garbage. Finally, functions such as efficient navigation and obstacle avoidance, intelligent visual recognition, flexible picking by the robotic arm and user interaction are realized. By constructing an experimental platform consisting of a mobile cart and a six-joint robotic arm, the effectiveness of the algorithm was tested. It provides a reference means for promoting the development of garbage classification and resource recycling in public places, possessing significant environmental and social benefits.

Keywords: Robot operating system; YOLO algorithm; Garbage sorting; Robot

随着消费结构升级、服务要求提升、服务行业用工短缺与成本高等问题日益凸显,降本提效成为各服务

行业亟待解决的问题。当下,机器人和人工智能技术不断发展,移动服务机器人已经开始渗入家庭、服务、

基金项目:广州市教育局科研项目“基于模仿学习的柔性机器人在汽车4S店无人化钣喷应用的研究”(项目编号:2024312501)。

作者简介:万燕英(1988—),女,硕士,讲师,研究方向为机器人控制与轨道交通信号控制。

工业、农业等领域中,各式各样的服务机器人逐渐走入人们的视野。目前,国内外学者对垃圾分拣机器人开展了一些相关研究^[1-3]。移动式垃圾分拣机器人等作为新兴技术产物,凭借自动化、智能化优势被逐渐应用于城市垃圾处理、校园餐厅垃圾回收、公共场所垃圾清理等领域,能够有效提高垃圾分拣的效率和准确性,减轻人工分拣的劳动强度和人工成本。但在公共场所复杂高动态环境下,垃圾拾取机器人因导航、避障、识别不准确而导致路径规划不合理、避障灵活度不高、反应延迟长、垃圾物品识别不准等问题,不但影响了垃圾分拣的效率,而且加大了人机的安全隐患^[4-5]。本文结合动态激光高精度的导航、避障、定位、智能视觉识别算法等技术,设计了一款基于机器人操作系统(Robot Operating System,ROS)与YOLO算法的新型垃圾分拣机器人系统。本系统依托ROS框架,引入YOLO算法模型,借助复合机器人硬件平台,能够实现高效导航与避障、智能视觉识别、机械臂柔性抓取、用户语音识别等功能。机器人接收用户的语音指令后,前往用户语音所指定的工作区,使用自定义识别模型识别、确认为垃圾后,控制机械臂拾取垃圾物品,并将垃圾物品送往用户语音指定的回收目标位置。

1 垃圾分拣机器人的总体设计

垃圾分拣机器人系统主要由移动小车、六自由度机械臂和末端柔性抓手3个部分组成。其中:移动小车包括Nvidia Orin Nano主控制器、EAI mini-T Pro激光雷达导航、奥比中光深度相机、IMU、语音识别等模块,确保操控性能良好^[6];此外,小车采用4个轮毂电机直驱,进一步提高了系统的稳定性和机动性,可以适应各种地形环境。该垃圾分拣机器人具有较强的环境感知和理解能力,可以实现自主导航与避障、自主探图、移动抓取、视觉识别等功能,其系统模块框架如图1所示。

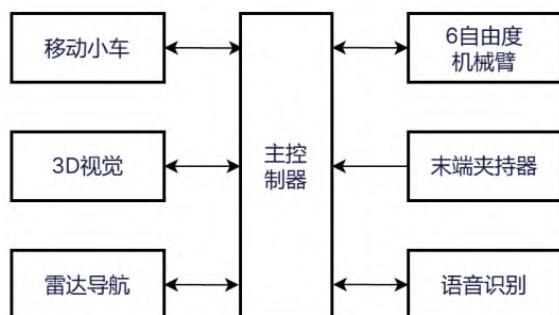


图1 系统模块框图

以Nvidia Orin nano作为核心主控,结合ROS,搭建整个机器人控制平台。通过ROS的节点话题通信机制向其他模块发布(Publish)或订阅(Subscribe)命令。通过控制机器人大车、雷达等ROS节点,使用改进后的采

用动态窗口法(Dynamic Window Approach,DWA)路径规划器进行机器人导航,保证导航路径的安全性与合理性^[7-8]。利用自定义YOLOv8模型,对垃圾物品、人群进行高效、准确识别。采用机械臂和视觉的标定算法,实现对机械臂的精准位置控制,完成垃圾物品定位识别后的准确抓取。通过用户语音识别模块,获取人机交互指令,主控模块收到指令后,对执行任务进行编排并发送到各个模块,实现机器人整机的自动化运行。

2 垃圾分拣机器人的硬件设计

垃圾分拣机器人包括移动小车、机械臂、末端执行器等,其硬件实物如图2所示。



图2 机器人硬件实物图

2.1 移动小车

移动小车带有YDLIDAR T-mini Pro激光雷达、ORBEC®Dabai深度相机等高性能传感器,为机器人实现精确自主定位、各类复杂环境建图、路线规划和自主避障提供了良好的感知信息输入。

选用360°2D YDLIDAR T-mini Pro激光雷达,基于脉冲ToF测距原理,并配以相关光学、电学、算法设计,实现高频高精度的距离测量。同时,机器人自身机械结构360°旋转,不断获取角度信息,从而实现了360°扫描测距,输出扫描环境的点云数据。

采用ORBEC®Dabai深度相机,该相机基于双目结构光3D成像技术,主要包括左红外相机(IR camera1)、右红外相机(IR camera2)、红外投影仪(IR projector),通过左、右红外相机的实时算法分析,实现机器人实时图像数据获取。

2.2 机械臂

myCobot280机械臂为一体化设计,具有机身结构紧凑、运动灵活等特点。其内含6个高性能伺服电机,响应快,惯量小;以M5Stack-basic作为主控,算力充足,可以实现关节角度、笛卡尔坐标、拖动示教等多种控制模式。同时,机身携带两块显示屏,支持fastLED

库,便于拓展应用交互输出。

2.3 末端执行器

末端执行器采用柔性指尖设计,适用于夹持形状不规则的物体。夹爪手指可以形变,夹持不同物体时,会根据物体表面轮廓自适应调整柔性手指形状,以达到最好的夹持效果。同时,该夹爪具有控制方式简单、结构紧凑轻巧等特点。

3 垃圾分拣机器人系统的软件设计

3.1 主控模块

基于ROS框架的垃圾分拣机器人系统实现了各部件之间的高度耦合,并且能够为其提供节点间话题的通信架构。此外,ROS还拥有强大的开源生态,提供大量开源的工具包,如RVIZ等。因此,基于ROS框架开发垃圾分拣机器人系统,无须为系统编写新的通信机制,并通过其他开源程序来强化垃圾分拣机器人的功能拓展和优化。

ROS节点之间最重要的通信机制就是基于发布/订阅模型的消息通信。消息以一种发布/订阅的方式传递,具体如图3所示。一个节点可以针对一个给定的话题发布消息(称为Talker),也可以关注某个话题并订阅特定的数据(称为订阅者/Listener)。整个系统中可以同时有多个节点发布,或订阅同一个话题的消息。

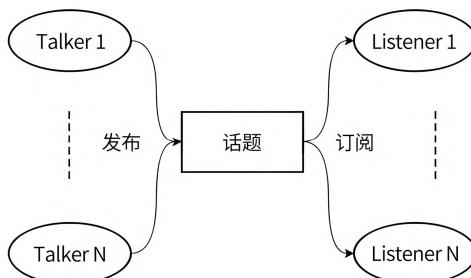


图3 ROS节点通信机制框架示意图

本系统主控模块通过建立多个话题实现对各类指令消息的发布与订阅。例如:主控模块控制导航模块,可以建立 pub_goal 话题,继而在该话题内发布用于导航目的地坐标的move_base_simple/goal 消息,也可以在该话题内订阅用于确认是否到达导航点的move_base/result 消息。

3.2 导航模块

为解决垃圾分拣机器人在高动态环境下的导航、避障两个核心问题,本文对DWA进行优化,借助于RVIZ仿真工具,并通过rqt_reconfigure 动态参数配置工具,将RVIZ的路径规划动态调节。通过反复多次的导航测试,使机器人的导航运动轨迹曲线与实际小车运动轨迹重合度较高。基于优化DWA的小车轨迹仿真图如图4所示,图中黑色虚线为经过调整后的机器

人导航路径。

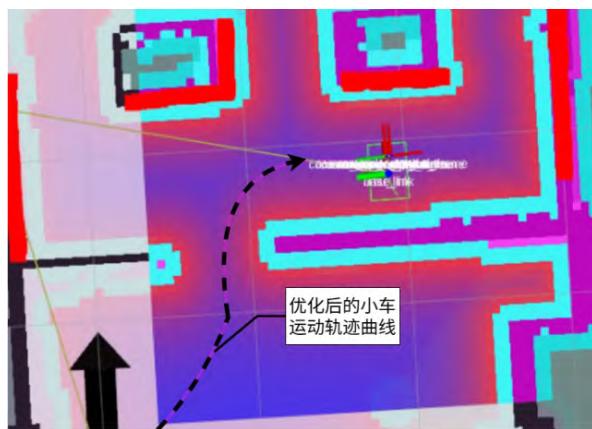


图4 基于优化DWA的小车轨迹仿真图

3.3 视觉识别模块

采用基于深度学习的目标检测算法YOLOv8,它将目标检测视为回归问题,通过单个神经网络实现端到端的训练。相较于传统算法, YOLOv8具有更高的检测速度和更好的准确性^[9-10]。其网络结构包括Backbone(骨干网络)、Neck(颈部网络)和Head(头部预测网络)3个部分。本文根据垃圾分拣机器人系统的实际应用需求,利用YOLOv8网络模型进行数据集训练和仿真,在保证识别效率的同时,提高垃圾物品的识别检测能力。图5为模型仿真labels分析结果,图6为模型仿真loss & smooth分析结果。

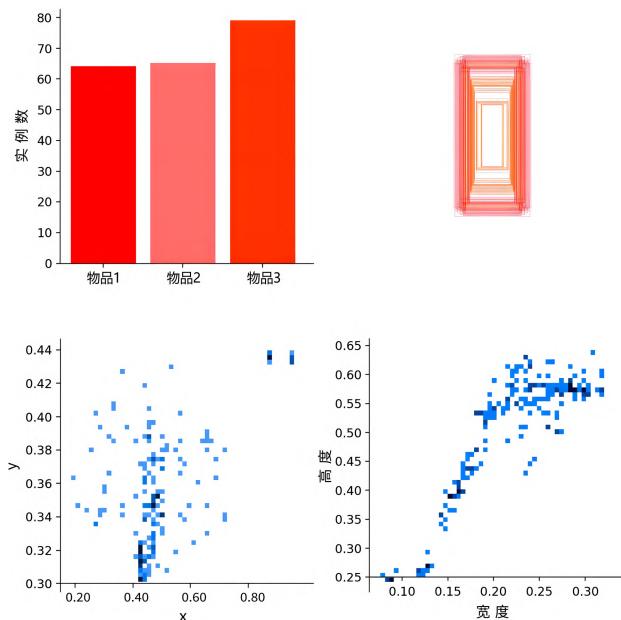


图5 labels的分析结果

3.4 语音识别模块

采用基于科大讯飞开放平台提供的讯飞语音听(流版式)Web API与离线语音库PocketSphinx+SpeechRecog-

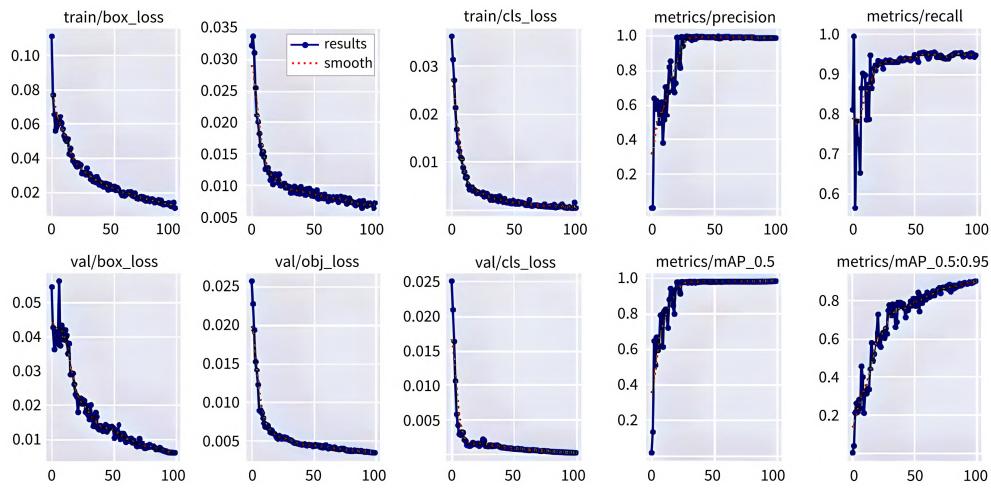


图6 loss & smooth分析结果

nition的离线语音识别2套语音识别方案。在网络连接良好的情况下,优先使用识别率高、鲁棒性强的科大讯飞的在线识别;在无网络连接情况下,自动切换到离线语音识别库。通过自定义使用率高的热词组成“识别字典”,可以完成特殊环境下语音识别。综合两种方式,以期实现兼容各种工况的语音交互。

3.5 机械臂模块

采用六自由度机械臂配合末端柔性夹爪,通过视觉识别模块识别垃圾物品在机器人的具体三维坐标位置,将此三维位置转换为机械臂目标点的三维位置,再通过ROS通信将相关信息应用到机械臂上,机器臂可以自主夹取物品^[11]。经过测试,机械臂自主夹取成功率高于98%。图7为机械臂夹取物品前后的状态。

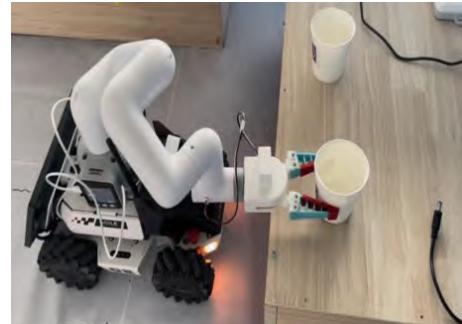
4 测试结果与分析

4.1 导航测试结果及分析

机器人导航与定位存在目标点偏移10~20 cm的误差。为了适应各种类型的工况需求,对导航参数进行调优。经测试,将定位相关的导航参数值取为以下值后,导航位置精度有较为明显的改善,将误差控制在10 cm以内。图8为导航参数调优后的数值。



(a) 夹取物品前



(b) 夹取物品后

图7 机械臂自主夹取物品状态图

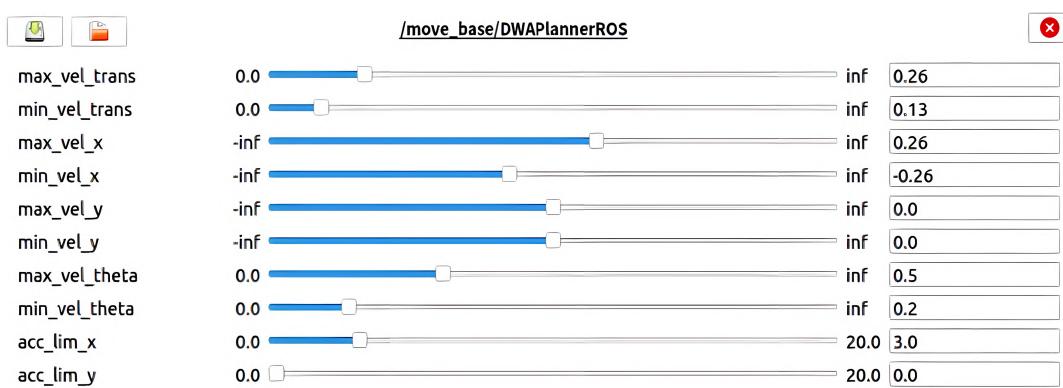


图8 导航参数调优结果

其中: max_vel_x、min_vel_x 表示机器人在 x 轴方向的最大与最小速度; max_vel_y、min_vel_y 表示机器人在 y 轴方向的最大与最小速度; acc_lim_x、acc_lim_y 表示机器人在 x 轴方向、y 轴方向的最大加速度限制。

4.2 视觉识别测试与分析

一般情况下,视觉识别模型的识别准确率处于

60%左右。为了适应垃圾物品的多样性,需要对该模型进行优化,使准确率高于90%。因此,通过拍摄大量不同物品作为训练数据,对模型可能存在的不足进行修正,同时在算法模型加入中文包,使检测结果更直观。图9所示为视觉模型数据训练过程,图10为视觉识别结果。



图9 视觉模型数据训练过程



图10 视觉识别结果

5 结语

本文提出了一种基于 ROS 与 YOLO 算法的移动式垃圾分拣机器人设计与实现方法,解决因导航、避障、识别不准确而导致路径规划不合理、避障灵活度不高、反应延迟长、垃圾物品识别不准等问题。利用 ROS 模块化的框架构建控制器、导航、视觉识别、机械臂、语音识别等模块,使垃圾分拣机器人实现高效导航避障、智能视觉识别、机械臂灵活拾取、用户语音识别等功能。测试结果表明,本系统能够满足校园餐厅等公共场所垃圾物品的自主识别与分拣,为移动式垃圾分拣提供一种机器换人的新思路。

参考文献

[1] ZOU Q, CONG M, LIU D, et al. A neurobiologically in -

spired mapping and navigating framework for mobile robots[J]. Neurocomputing, 2021, 460:181–194.

- [2] 钟诗豪,褚伊哲,孙晨,等.基于深度学习和ROS的垃圾分拣系统[J].工业控制计算机,2022,35(8):59–60.
- [3] 张月文,李松恒,张炜,等.基于机器视觉的可回收垃圾智能分拣系统设计[J].实验室研究与探索,2022,41(7):98–103,107.
- [4] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection[J]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, 28(19):168–176.
- [5] 夏晓俊.基于AI机器视觉的垃圾分拣机器人控制系统研究[J].中国高新科技,2024(20):22–24.
- [6] 孙旭东.基于YOLOv5s的环卫机器人双目视觉系统设计及实现[D].西安:西安理工大学,2024.
- [7] 赵和月.基于深度学习的生活垃圾检测算法研究[D].南京:南京邮电大学,2023.
- [8] 王艺颖,廖育铭,郭韬文,等.基于UWB定位的避障智能垃圾分拣机器人研究与设计[J].信息与电脑(理论版),2021,33(24):134–136.
- [9] 沈雪豪.基于视觉理解的家居服务机器人垃圾分拣关键技术研究[D].株洲:湖南工业大学,2022.
- [10] 彭建兴,卢春,郭贞景,等.一种智慧社区垃圾分拣站设计[J].新型工业化,2022,12(1):33–35.
- [11] 黄梓娘.基于识别与抓取融合算法的机器人垃圾分拣技术研究[D].深圳:深圳大学,2023.