

Design of Robotic Arm Garbage Picking and Classification Based on Visual Recognition

Rongkerui Wang Kai Lu Chunlong Lu Suying Hu

Liaoning University of Science and Technology, Anshan, Liaoning, 114051, China

Abstract

In this study, an intelligent garbage sorting robot based on machine vision was designed and implemented to improve the automation level of garbage sorting and reduce the cost of manual cleaning. The system uses Raspberry Pi 4B as the main control unit, combined with computer vision, deep learning, robotic arm operation and path planning algorithms to realize autonomous detection, accurate pick-up and classification of garbage. The robot collects environmental images through the camera, and uses the YOLOv5 object detection model to identify garbage categories and calculate their location coordinates. The motion control part is based on ROS for path planning and obstacle avoidance, ensuring that the robot can autonomously navigate to the location of the garbage. The robotic arm adopts a 6-DOF servo structure, and with MoveIt! The motion planning module completes garbage picking and sorting delivery. This system can replace manual garbage cleaning in parks, closed roads, industrial sites and other environments, improve the intelligent level of garbage classification, and provide technical support for smart sanitation and sustainable development.

Keywords

intelligent garbage classification; machine vision; ROS Robot Operating System; Robotic arm pickup

基于视觉识别的机器臂垃圾拾取分类设计

王荣科锐 路凯 卢春龙 胡素影

辽宁科技大学, 中国·辽宁鞍山 114051

摘要

本研究设计并实现了一种基于机器视觉的智能垃圾分类机器人,以提高垃圾分类的自动化水平并降低人工清理成本。系统采用树莓派4B作为主控单元,结合计算机视觉、深度学习、机械臂操作和路径规划算法,实现垃圾的自主检测、精准拾取与分类投放。机器人通过摄像头采集环境图像,利用YOLOv5目标检测模型识别垃圾类别,并计算其位置坐标。运动控制部分基于ROS进行路径规划与避障,确保机器人能够自主导航至垃圾所在位置。机械臂采用6自由度舵机结构,通过MoveIt!运动规划模块完成垃圾抓取和分类投放。本系统能够在园区、封闭道路、工业场所等环境中替代人工进行垃圾清理,提高垃圾分类的智能化水平,并为智慧环卫与可持续发展提供技术支持。

关键词

智能垃圾分类; 机器视觉; ROS机器人操作系统; 机械臂拾取

1 引言

随着城市化的加速和环境问题的日益严重,城市化进程的加快,城市生活垃圾的产生量急剧增长,垃圾处理问题日益严峻,甚至引发了“垃圾围城”的危机^[1],而在全球范围内,垃圾分类是实现可持续发展的重要举措之一。当前,有学者认为垃圾分类推行困难的一个主要原因在于“公共行动规则”与“私人生活逻辑”之间的冲突^[2],居民往往缺乏分类意识,垃圾分类行为难以长期坚持,近八成居民仅在特

定政策或宣传期间偶尔进行垃圾分类,而非日常习惯^[4],居民家庭垃圾分类收集设施与城市垃圾分类收集设施难以匹配,对于大多数实行垃圾分类的居民家庭来说,居家时往往通过设置干垃圾桶、厨余垃圾桶两类垃圾桶来进行分类,很少采用有分类功能的垃圾桶,而城市往往采用“四分法”设置垃圾分类收集设施,垃圾分类收集从居民家中到社区投放的“最初一公里”没有打通^[5]。居民垃圾分类收集习惯养成难主要表现为三个方面。一是居民对垃圾分类的相关知识了解不够,缺乏养成良好分类习惯的知识储备基础。一项涉及北京、上海、广州等17个城市的居民调查显示,城市居民回答生活垃圾分类问题的正确率仅为27.7%^[6]。鉴于此,提升垃圾分类的执行效果,还需要结合先进技术手段,提高垃圾分类的便利性和执行力。智能垃圾分类机器人可以通过视觉识别技术,实现垃圾的自动识别、拾取与分类投放,降低

【基金项目】辽宁科技大学大学生创新创业计划专项经费资助项目。

【作者简介】王荣科锐(2003-),男,彝族,在读本科生,从事智能建造研究。

居民分类负担,提高垃圾分类的精准度,从而弥补当前人工分类的自觉性低,分类知识缺乏。垃圾的减量化、资源化和无害化已成为城市可持续发展的关键任务。近年来,智能机器人在垃圾分类中的应用受到广泛关注。基于视觉识别的机器臂垃圾拾取系统能够提高垃圾分类的效率,并减少人工干预,传统的垃圾分类方式依赖于人工或固定的自动化设备,存在效率低、灵活性差的问题。为了解决这一难题,本文提出了一种基于视觉识别的机器臂垃圾拾取分类系统,该系统能够自主识别、拾取并分类不同类型的垃圾,提高垃圾处理的自动化水平。本文将在此背景下,探讨基于视觉识别技术的机器臂垃圾拾取分类系统如何提升垃圾分类的效率,并分析其在实际应用中的可行性与潜在影响。

2 设计方案概述

目前已有文献针对垃圾的视觉识别分类^[7]、机械臂抓取^{[8][9]}以及目标检测与移动^[10]方向展开了较为成熟的研究。然而,现有研究大多侧重于单一功能,尚缺乏一体化的系统。其主要缺点包括结构复杂、对检测环境要求苛刻、成本高昂,以及自动化程度较低,不能完整完成垃圾的拾取分类。因此,本研究的创新点在于引入最新的 YOLOv5 识别模型,实现数据融合与统一调度,使各模块协同工作,打造一款能够在道路上自主移动、拾取垃圾并进行分类的全自动化机器人。该系统结构简单,适用于平坦路段的垃圾清理,有助于提升道路整洁度。本系统采用更简洁的拾取方式与分类机构,并利用数据集进行更精准的检测。其工作流程为:摄像头采集环境图像,并利用深度学习算法对垃圾进行分类识别,结合路径规划算法驱动机器人移动至目标垃圾位置,机械臂完成垃圾的拾取,并按照分类规则将其投放至指定的回收区域,从而实现垃圾的自动化回收。

3 工作原理

本研究设计的垃圾分类机器人主要零件包括:树莓派 4B(主控单元)、电源系统(12V 锂电池+5V 稳压模块)、摄像头(用于垃圾识别,选用 Raspberry Pi Camera)、机械臂(使用 MG996R 舵机)、轮式底盘(双驱动直流电机,配合 L298N 驱动模块)、垃圾分类装置(舵机控制垃圾投放口)等核心组件。根据分类系统的设计结构,机器人可以分为三大板块,分别为由树莓派、L298N 电机驱动模块、轮式底盘组成的运动单元、实现自主行走、路径规划和避障功能、由摄像头、PCA9685 舵机控制器、机械臂、夹爪组成的抓取单元,负责识别、抓取垃圾并分类、由垃圾分类模型、旋转分拣盘、舵机组成的分类存储单元,根据识别结果将垃圾投放至不同垃圾仓。工作流程是先将机器人启动,电源开启后,移动单元控制底盘向前行走,摄像头实时扫描地面,检测是否存在异样垃圾。当摄像头捕捉到垃圾,树莓派调用 OpenCV 处理图像,并计算垃圾相对机器人的坐标。机

器人调整方向,使垃圾位于摄像头画面中央,然后向垃圾靠近。当机器人到达目标位置,机械臂根据计算坐标调整角度,夹爪打开,对垃圾进行抓取,随后将垃圾举起至摄像头检测区域。摄像头获取垃圾图像,树莓派加载预训练的 YOLOv5 目标检测模型,识别垃圾类别(可回收物、厨余垃圾、有害垃圾、其他垃圾)。根据识别结果,分类存储单元旋转分拣盘,使垃圾投放口对准对应垃圾仓,夹爪释放垃圾,完成分类。投放完成后,机器人返回初始状态,运动回原运动方向,继续扫描下一个垃圾,重复上述流程。

4 主要结构与算法设计

4.1 视觉识别与定位

本系统采用深度学习模型进行垃圾分类识别,利用目标检测为机械臂拾取和机器人移动提供精准坐标信息。为了确保垃圾识别的高精度,首先需要构建数据集。数据集制作流程如下:使用 Raspberry Pi Camera 采集垃圾图像,包括不同角度、光照条件下的塑料瓶、厨余垃圾、电池、纸张等常见垃圾。进行图像预处理(降噪、对比度增强、尺寸归一化),随后采用数据增强(旋转、翻转、颜色偏移)增加数据多样性,提高模型泛化能力,最后使用 LabelImg 工具手动标注垃圾类别,生成 YOLO 格式的标签文件。系统采用 YOLOv5 目标检测模型进行垃圾识别,具体训练过程如下:基于 PyTorch 训练神经网络,使用迁移学习提高识别效率,将数据集输入 YOLOv5 进行训练,优化损失函数和数据增强策略,提高模型收敛速度,调整模型超参数,增强不同类别垃圾的分类精度,最终达到接近 82%。目标检测与坐标计算则通过摄像头捕捉环境图像,使用 OpenCV 进行图像处理,提高检测准确性。YOLO 模型目标检测识别垃圾类别,并在图像上绘制边界框,输出目标的像素坐标(x, y),后将像素坐标转换为实际世界坐标,并结合深度估计计算垃圾的相对位置,提供给机器人导航和机械臂拾取,机器人不断更新摄像头数据,实现垃圾的动态检测与精准锁定。

4.2 运动控制与路径规划

本系统采用 ROS(机器人操作系统)作为运动控制框架,使机器人能够精准停靠到垃圾前,实现自主导航与避障。ROS 通过模块化的软件架构,将机器人运动控制划分为多个功能单元,包括运动指令发布、路径规划、环境感知、避障机制和定位导航,使机器人具备实时决策与动态调整能力。在 ROS 框架下,机器人使用 cmd_vel 话题来发布速度指令,驱动电机执行前进、转向和停止等动作。同时,利用 move_base 进行路径规划,结合 A* 或 Dijkstra 算法计算最优移动路线,并通过 tf(坐标变换)使机器人能够理解自身在环境中的位置。当机器人检测到垃圾后,ROS 结合计算机视觉与目标检测(YOLOv5 + OpenCV),确定垃圾的相对位置,并通过 move_base 计算新路径,调整方向使垃圾

位于摄像头中心。随后，机器人缓慢向前靠近垃圾，依据设定的最小安全距离停止移动，确保机械臂能够精准抓取目标。垃圾分类完成后，ROS通过局部路径调整，使机器人回到原始前进方向，继续执行垃圾搜寻任务。机器人采用轮式底盘驱动，由树莓派4B控制直流电机。机器人需要在环境中自主规划行走路径，以最优路线移动至垃圾所在位置。本系统采用视觉驱动的动态路径规划，其基本原则如下：机器人默认沿直线路径前进，不断扫描前方区域寻找垃圾，当摄像头检测到垃圾时，计算垃圾在画面中的位置，并调整移动方向，使垃圾逐步对准摄像头中央，当垃圾位于画面中心，机器人向前行驶，逐步靠近垃圾目标，达到垃圾位置后，执行机械臂抓取、分类投放等操作。完成垃圾分类后，机器人继续扫描视野内是否有其他垃圾：若仍有垃圾，直接调整方向，前往下一个目标。若视野内无垃圾，机器人回到原来的前进路线，继续搜索垃圾。

4.3 机械臂设计和拾取

4.3.1 机械臂结构设计

机械臂主体结构采用3D打印材料制作，轻便且易于加工，同时具备一定的刚性，可满足垃圾抓取任务的需求。机械臂的驱动系统采用6个MG996R舵机进行运动控制，分别用于底座旋转、肩关节、肘关节、腕关节、末端旋转和夹爪开合，确保机械臂灵活运动。夹爪设计使用三指夹爪，相比传统双指夹爪，能够适应不同形状和大小的垃圾，提高抓取稳定性。机械臂支架由铝合金或3D打印件组成，每个关节使用轴承与固定座衔接，提升机械臂的耐用性与稳定性。

4.3.2 ROS控制机械臂的流程

机器人视觉系统(YOLO目标检测)获取垃圾的像素坐标，并转换为机械臂的三维坐标(X, Y, Z)。通过逆运动学计算各个舵机的旋转角度，使夹爪对准垃圾。ROS中MoveIt!运动规划框架计算机械臂最佳移动轨迹，防止与自身或其他物体碰撞。机械臂调整角度执行移动，使夹爪末端靠近目标垃圾。使用PCA9685 PWM驱动板控制各个舵机，逐步调整机械臂的姿态。通过ROS发送指令，控制夹爪舵机旋转至张开角度。机械臂缓慢下降，使垃圾处于夹爪中央，触碰到目标垃圾后，夹爪舵机旋转至闭合角度，完成抓取。机械臂接收分类系统的指令，将垃圾移动到相应的投放口。MoveIt!重新计算路径，确保机械臂在不碰撞其他结构的情况下完成投放动作。垃圾释放时夹爪张开，释放垃圾，确保垃圾准确进入分类仓。

5 应用前景

5.1 提高垃圾分类的自动化程度

机器人能够自主巡逻、搜索垃圾、精准拾取并分类投放，实现从垃圾检测到分类的全流程自动化。相比传统固定式垃圾分类系统，机器人具备更高的机动性，能在大范围内灵活工作，提高垃圾处理效率。尤其在工厂、园区、机场、封闭道路等场景中，机器人可替代人工进行垃圾收集，减少人力投入。

5.2 适应不同场景，提高环境管理智能化

结合物联网系统，可远程监控垃圾分类数据，为城市垃圾管理提供数据支持，提升资源回收率，优化垃圾回收管理，推动智慧环卫的发展。

5.3 绿色环保与可持续发展

机器人配备太阳能充电系统，能够自我供电，减少对外部电源的依赖，适用于长期运行。通过智能路径规划，减少不必要的移动，提高能效，降低碳排放，符合智能环保理念。未来，可以结合5G物联网技术，实现远程监控和数据共享，提高垃圾分类的智能化水平。同时，通过优化算法和硬件结构，可提升识别准确率和作业效率，使其在城市环卫、社区垃圾回收等领域具有更广泛的应用价值。

参考文献

- [1] 谭文柱. 城市生活垃圾困境与制度创新——以台北市生活垃圾分类收集管理为例[J]. 城市发展研究, 2011, 18(07): 95-101.
- [2] 孙其昂, 孙旭友, 张虎彪. 为何不能与何以可能: 城市生活垃圾分类难以实施的“结”与“解”[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2014, 14(06): 63-67.
- [3] 蒋睿珈. 城市生活垃圾源头分类收集的调查分析[J]. 资源节约与环保, 2018(12): 105-106.
- [4] 《环球时报》社. 住建部: 明年底46个重点城市建成垃圾分类处理系统[N]. 环球时报, 2019-06-28.
- [5] 陈耘. 抓垃圾分类应精准施策[J]. 宁波经济: 财经视点, 2019(8): 2.
- [6] 王伟杰, 姚建涛, 张敏燕, 王敏. 基于YOLOV4的智能垃圾分类回收机器人[J]. 智能计算机与应用, 2020, 10(11): 182-186.
- [7] 梅志敏, 陈艳, 胡杭, 张融. 机器人与机器视觉的垃圾分拣系统设计[J]. 机械设计与制造, 2022(04): 275-278.
- [8] 李绘英. 智能垃圾分类拾捡机器人抓取角度自动控制研究[J]. 太原学院学报(自然科学版), 2024, 42(03): 34-40.
- [9] 宁凯, 张东波, 印峰, 肖慧辉. 基于视觉感知的智能扫地机器人的垃圾检测与分类[J]. 中国图像图形学报, 2019, 24(08): 1358-1368.