

# 基于图像处理的水域垃圾识别方法及清理机器人应用研究

毛军童<sup>1</sup> 柯诗春<sup>2</sup> 占志炜<sup>2</sup> 徐峰<sup>1</sup> 徐建亮<sup>1</sup>

1. 衢州职业技术学院 浙江衢州 324000; 2. 浙江省储备粮管理集团衢州粮库有限公司 浙江衢州 324000

**[摘要]** 水体垃圾污染已成为影响水质、生态环境及人类健康的重要问题,传统的人工清理方法存在效率低、成本高的缺点。本文提出了一种基于图像处理的小型水域垃圾清理机器人系统,旨在通过自动化和智能化技术提高清理效率,降低人工成本。系统主要由传感器模块、太阳能供电系统、核心控制器、执行机构和远程遥控系统组成。通过结合图像处理技术与深度学习算法,系统能够在复杂水域环境下高效识别和分类水面垃圾。使用 Open MV4 图像处理模块进行垃圾识别,并通过螺旋桨推进和机械臂收集装置实现垃圾的精准清理。实验结果表明,该系统在不同环境下表现出较高的垃圾识别准确性和清理效率,为水域垃圾的智能化清理提供了有效技术支持。该研究为未来水域垃圾清理机器人的应用提供了可行的解决方案,并为智能环境保护技术的发展做出了贡献。

**[关键词]** 水域垃圾; 图像处理; 机器人技术; 智能清理

## 1 引言

水体垃圾污染对水体生态系统、人类健康及水资源利用带来了诸多负面影响。水面垃圾不仅破坏水质,还可能导致水体堵塞、恶化水域生物生存环境,甚至影响人类的生产生活安全。因此,及时、有效地清理水域垃圾成为环境保护的重要课题。传统的水面垃圾清理方法主要依赖人工打捞,效率低、成本高,且在复杂水域环境下存在安全隐患。随着人工智能和机器人技术的发展,智能水域垃圾清理系统的研究逐渐成为热点,以期通过自动化、智能化的方式提高清理效率并降低成本。基于图像处理的水域垃圾识别技术在此背景下应运而生,结合深度学习技术,其已成为水域垃圾识别的主流手段。早期的图像处理方法主要依赖图像的低级特征,如颜色、形状和纹理特征,对单一背景的垃圾识别效果较好,但在水面波动、反光和背景杂乱的情况下识别准确率较低。为应对这些挑战,卷积神经网络等深度学习模型被引入水面垃圾检测与分类任务中。CNN 通过深层特征提取,有效提升了复杂背景下的识别精度。近年来,有研究者提出了多层次特征融合技术,通过结合图像的低级和高级特征,实现了对水面漂浮物的高效检测。然而,现有水域垃圾清理系统在复杂水体环境下仍面临诸多挑战。反光干扰、水面波动、气候变化等因素均可能导致垃圾识别精度的下降。此外,多种类型的垃圾(如塑料瓶、树叶、纸屑)形态各异,且大小不一,增加了识别和分类的难度。为此,本文提出了一种基于图像处理的水域垃圾识别方法,并将其集成于小型清理机器人系统中。该方法利用深度学习模型进行垃圾分类,同时通过图像预处理技术应对水面环境中的光照和背景复杂性问题。实验结果表明,所提出的系统在不同环境条件下均表现出较高的识别准确率和清理效率,为水域垃圾的智能化清理提供了有效的技术支持。

## 2 系统整体设计

为了应对日益严重的水域垃圾污染问题,传统的人工清理方式已经难以满足实际需求。基于此,研究一种智能化的水域垃圾清理系统具有重要的现实意义和应用价值。本文在深入分析水面垃圾分布特点及清理需求的基础上,设计了一套基于图像处理的水域垃圾识别方法,并集成于小型清理机器人系统中,实现了垃圾的自动检测、识别与清理功能。以下将详细介绍系统的整体设计与工作原理。系统整体设计如图1所示,主要分为传感器模块、太阳能供电系统、核心控制器(树莓派)、执行机构及远程手机遥控系统五个部分。

系统通过太阳能供电模块为整个机器人提供能源,确保其在湖面进行长时间、低能耗的作业。传感器模块包括多种传感器,实时采集湖面环境数据,如漂浮垃圾位置、障碍物检测、机器人自身姿态等。该模块的设计旨在实现对多种环境因素动态感知,增强系统的适应性和鲁棒性。传感器模块获取的数据被实时传送至核心控制器,核心控制器以树莓

派为载体,负责数据的接收、处理及指令生成。通过对环境信息和自身状态的综合分析,核心控制器生成相应的控制指令,并将其传递至执行机构,以实现垃圾的精确收集。执行机构的设计包括左右螺旋桨和机械臂。左右螺旋桨控制系统用于调整机器人在湖面上的运动方向和速度,以实现灵活的航行控制。机械臂通过协同控制,将机器人可触及范围内的垃圾精准送入传送带,最终收集于垃圾存储装置内。该设计方案可以保证垃圾的有效收集,减少环境对清理效果的影响。远程手机遥控系统通过无线通信模块连接机器人与手机APP,构建了人机交互的桥梁。手机APP不仅可以实时接收来自机器人端的视频信息,提供远程监控功能,还支持用户发送控制指令,增强了系统的操作性和智能性。

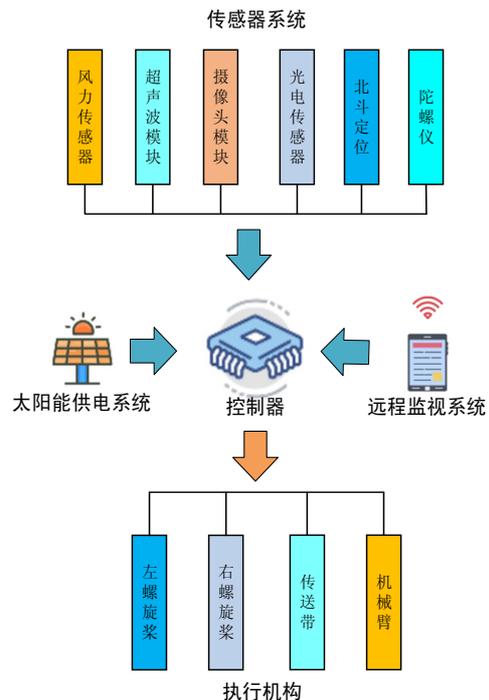


图1 系统整体设计

## 3 机械设计

为满足小型水域垃圾清理机器人的实际应用需求,机械结构设计应遵循小巧灵活、结构简洁、便于拆装的原则,以确保机器人在湖面上高效、稳定地执行垃圾收集任务。根据使用场景的特点,系统设计从局部功能到整体结构逐步展开,

提出了如下设计方案, 设计结构如图2所示。

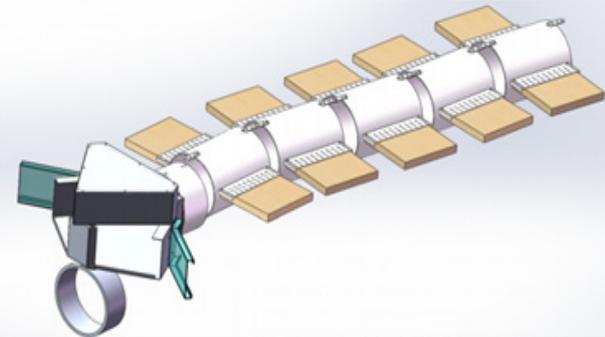


图2 设备主要机械结构

**体型设计与运动控制:** 设备主要用于清理小型水域中的漂浮垃圾, 体积小、分布零散, 因此机器人需具备小巧、灵活的体型。为实现高效运动, 机器人设计了前进、后退、左转、右转等多方向运动功能, 使其能够灵活穿梭于湖面, 确保清理效率。运动控制系统采用螺旋桨推进方式, 以简化控制系统结构, 提升推力稳定性和操控精度。

**收集装置设计:** 本项目设计了一款机械收集臂结合传送带式的垃圾收集装置, 具体结构如图2所示。工作时, 机械收集臂通过开合动作将水面漂浮垃圾引导至传送带边缘, 传送带持续运行, 将垃圾送入船舱内部的垃圾收集网中。此设计既简化了垃圾输送路径, 又保证了清理效率。此外, 传送带在机器人运动过程中持续运转, 可在机器突停时防止后方垃圾溢出, 从而提高了垃圾收集过程的稳定性。

**推进装置的选择:** 水面推进装置通常包括喷水推进与螺旋桨推进两种方案。喷水推进装置虽具备噪音低、操控灵活的优势, 但因其效率较低且增重较大, 不利于小型水域清理机器人长时间作业。相较而言, 螺旋桨推进方式技术成熟, 结构简单, 推力适中, 具有良好的能效比和环境适应性。因此, 本系统选择螺旋桨推进作为主要驱动方案, 以确保在多种水域环境中的稳定推进性能。

**壳体及浮力控制设计:** 机器人壳体材料采用PVC管材, 该材料重量轻、可塑性高, 适合小型清理机器人的壳体制造。壳体左右两侧设置有可调节浮力板, 通过调整浮力板高度, 确保机器人吃水线与传送带平面齐平, 使漂浮垃圾能够顺畅通过传送带进入船舱内部。同时, 内部设置可拆卸垃圾收集网, 通过卡槽与船舱后方连接, 并对准传送带末端, 收集网附带浮球, 可有效防止垃圾堆积导致网兜下沉, 确保收集稳定性。

**能源系统设计:** 为满足机器人在湖面上长时间清理的能源需求, 机器人采用太阳能电池阵列作为能源获取装置。在壳体顶部设计梯形顶盖, 以增加太阳能板布置面积, 保证在光照充足条件下获取足够电能, 从而延长机器人工作时间并提高系统的整体续航能力。本机械结构设计通过结合小型体积与灵活运动的设计要求, 优化了垃圾收集装置和推进方式, 实现了小型水域垃圾清理的高效性和可靠性。

#### 4、图像识别设计

计算机视觉是智能机器人感知外界环境的重要手段之一, 其通过摄像头获取环境图像, 将图像转化为数字矩阵, 从而使计算机模拟人类的视觉判断过程, 以替代人眼识别、检测和理解环境中的关键信息。一般而言, 基于计算机视觉的目标识别技术通常包括如图3所示的几个步骤。



图3 视觉处理步骤

在水面垃圾清理机器人中, 首先通过视觉传感器采集水面图像, 并对图像进行滤波和增强预处理, 以尽量减少水面波纹和光照不均的干扰, 突出图像中的有效信息。随后, 利用图像分割算法将水面目标与背景分离, 目的是更好地识别

水面上的垃圾区域。

在确定待识别的目标区域后, 提取出能够代表水面垃圾特征的图像特征, 以作为分类的依据。接下来, 建立并训练分类模型, 利用所提取的特征进行分类识别, 以区分需要机器人清理的垃圾和需要规避的非垃圾物体, 从而为机器人的后续动作提供指导。

为实现这一识别过程, 本系统选用Open MV4集成微型图像处理模块作为视觉采集设备。Open MV4基于ARM处理器和OV2640图像传感器构建, 属于开源型微型机器视觉模块, 支持Python脚本编程, 具备I/O控制、人脸检测、关键点提取、颜色追踪等功能。在目标识别中, 可直接调用Open MV内部的集成算法模块, 便捷地实现目标检测。

如图4所示, Open MV4模块在实际应用中, 可先导入水域垃圾的预训练数据, 通过内置预训练模块实现特征提取, 并将提取的特征数据存储于内部。在实际识别过程中, 当摄像头捕捉到垃圾图像, 模块内部会触发检测程序, 并通过串口与树莓派主控器实现数据交互。该设备一般安装于垃圾收集装置的顶端, 便于在不增加额外处理设备的情况下获得更佳视野。

Open MV4内置多种图像处理算法, 可进行图像滤波和去噪, 确保分割图像的清晰度。采集到相关图像数据后, 系统最终选用Niblack算法计算像素阈值, 并对图像进行二值化处理, 以加快识别速度, 图4展示了处理后的效果图。

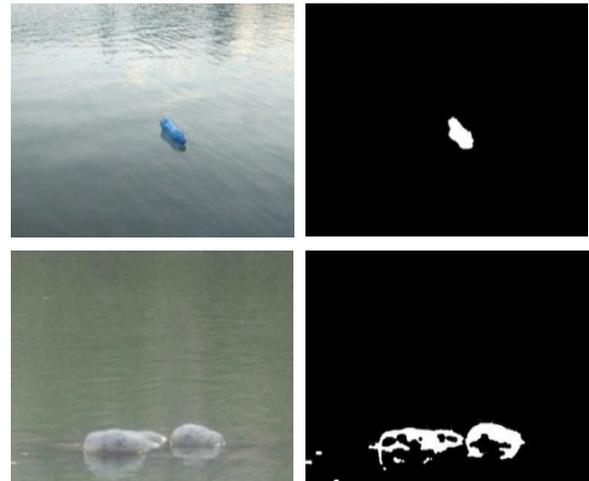


图4 处理后效果图

#### 5、全文总结

本文提出了一种基于图像处理的小型水域垃圾清理机器人系统, 旨在提高水域垃圾清理效率并降低成本。系统结合图像处理和深度学习算法, 能够在复杂环境下高效识别和分类水面垃圾。通过使用Open MV4图像处理模块, 结合螺旋桨推进和机械臂收集装置, 系统实现了精确的垃圾清理。太阳能供电设计保障了机器人在水域中长时间作业。实验结果表明, 该系统在不同环境下具有较高的识别准确性和清理效率, 提供了有效的技术支持。此研究为水域垃圾清理机器人应用提供了可行的解决方案, 推动了智能环境保护技术的发展。

#### 6、项目支持

本项目由浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)编号2024R482A005资助。

#### 【参考文献】

- [1]李秀, 陈慧敏, 窦培林, 等. 交互式水域环卫机器人的设计与实现[J]. 船舶工程, 2023, 45(4): 27-33.
- [2]曾文静. 基于光视觉的无人艇水面目标检测与跟踪研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2013.
- [3]Liu Y, Pu H, Sun D W. Efficient extraction of deep image features using convolutional neural network (CNN) for applications in detecting and analysing complex food matrices[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 113: 193-204.