

doi: 10.7690/bgzd.2020.02.022

基于 Python 视觉识别的双模双动力水面垃圾清理船

李嘉琪, 邓彦松, 余国娟

(西南民族大学电气信息工程学院, 成都 610200)

摘要: 为解决目前市面上 2 种最为常见的水面垃圾清理装置存在的不足, 设计一种基于 Python 视觉识别的双模双动力水面垃圾清理船。对其机械结构、双动力装置、视觉识别模块等进行详细说明, 并针对实际工作环境对机器人进行多次测试和改进。结果表明: 该设计能便捷高效地清理小型水域水面漂浮物问题, 完全符合目标要求。

关键词: 水面垃圾清理; 自主智能识别; 双动力模式; 便捷高效

中图分类号: TP249 **文献标志码:** A

Dual-mode & Dual-power Waste Surface Cleaning Vessel Based on Python Vision Recognition

Li Jiaqi, Deng Yansong, Yu Guojuan

(College of Electrical Information Engineering, Southwest University for Nationalities, Chengdu 610200, China)

Abstract: In order to solve the shortcomings of the 2 most common surface garbage disposal devices on the market, a dual-mode and dual-power surface garbage disposal vessel based on Python vision recognition was designed. The mechanical structure, dual power device, and visual recognition modes of the robot are described in detail, and the robot is tested and improved many times according to the actual working environment. The results show that the design can clean up the floating matter in small watershed conveniently and efficiently, and fully meet the target requirements.

Keywords: waste cleaning on water surface; autonomous intelligent recognition; dual power mode; convenient and efficient

0 引言

近年公园等处的湖泊或者池塘的水面上充斥着各种水面漂浮物, 影响景观, 污染环境。现市面上最为常见的水面垃圾清理装置是: 1) 通过人工驾驶小船在水面打捞, 但效率低且危险; 2) 依靠燃油驱动的清理工船, 但存在环境污染问题, 且体积大, 成本高, 不易被推广。

笔者设计制作一种结构简单小巧、操作方便、成本低廉的水面垃圾清理船, 可快速完成水面漂浮物的收集和储运作业, 并降低城市清理水面垃圾的成本。

1 机械结构设计及承载性分析

船体各部分主要度量如表 1 所示。

1.1 机械结构说明

如图 1 所示, 船体采用双体船扁平结构, 甲板面积大, 行驶稳定; 底盘部分由 2 个 PVC 管作浮筒, 浮筒上固定了一块玻璃纤维板, 板上搭载存放控制板电源等的亚克力盒, 用来防止水花泼溅; 盒上开孔, 使电源线和信号线保持畅通; 风力装置位于板

上偏后位置, 可通过舵机控制调整桨叶方向, 提供前进动力; 尾部有一横梁, 可根据实际需求装载 1~3 个推进电机; 在船体偏后浮筒两侧加装泡沫以增加浮力, 平衡船体姿态; 两浮筒间下方为一轻质网兜作为垃圾收集仓, 可快速拆卸并更换。

表 1 船体主要度量

序号	度量内容	尺寸
1	整体尺寸/cm ³	82×78×42
2	空载质量/kg	5.2
3	底盘浮筒长度/mm	800
	直径尺寸/mm	75
4	玻璃纤维板尺寸/mm ²	560×330
5	垃圾收集仓最大容量/dm ³	32.4
6	吃水深度/m	0.4
7	自由航速/(km/h)	约 2
8	作业面宽度/m	1.2

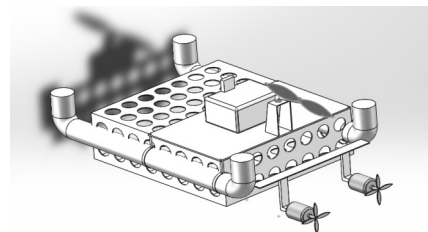


图 1 3 维设计

收稿日期: 2019-11-02; 修回日期: 2019-12-24

基金项目: 2018 年大学生校级创新创业训练项目(X201810656047); 2018 年第 11 届国际水中机器人大赛水面垃圾清理项目组资助

作者简介: 李嘉琪(1998—), 女, 内蒙古人, 学士, 从事移动通信及机械设计研究。E-mail: 1424708633@qq.com。

1.2 承载性分析

经测量计算，浮筒及泡沫体积： $[(75/2)2 \times \pi \times 800 + 300 \times 100 \times 100] \times 2 = 13.065 \text{ dm}^3$ 。

由浮力计算公式 $F_{\text{浮}} = \rho_{\text{液}} g V_{\text{排}}$ 得：船体最大浮力为： $F = 1\ 000 \times 9.8 \times 13.065 / 1\ 000 = 128.037 \text{ N}$ 。整船满载 10 kg 以上，船质量 5.2 kg，由计算结果可知：船体吃水深度为 40 mm，约为浮筒的一半。

物体在水中运动所受阻力的计算公式为： $F = 1/2 \times C_D \rho v^2 s$ ，其中： C 为阻力系数，一般取 $C = 1.1$ ； ρ 为流体的密度， t/m^3 ； v 为运行速度， m/s ； s 为垂直方向浸湿面积， m^2 [1]。由于机器人在水中所承受的荷载不同，其浸湿面积和阻力系数都会相应变化，加上风力等外部因素的影响，因此，其所受阻力不能按照固定公式计算；另外，低速时 F 与 v 成正比，高速时 F 与 v 的二次方甚至三次方成正比，因船速随时变化，所计算的 F 并不准确，这里不作具体计算，以满载时工作情况为设计标准。

1.3 水面漂浮物的清理

清理水面漂浮物时，只需通过遥控控制船体行进方向，使水流携带漂浮物同时流入垃圾收集仓，水流会经网兜流入再流出，仅将收集到的垃圾留在垃圾收集仓内，完成收集。

经下水实测，设计已完全实现对水草、矿泉水瓶、塑料袋等中小型漂浮物的收集。该设计充分利用了水面漂浮物随水流动的特点，使整个机器都作为承载机构，尽可能地扩大承载空间。另外，为避免收集到的垃圾从船首溢出，借助物理学流体运动规律，调整水下螺旋桨的位置，使其位于船体浮筒内侧位置，通过改变船体中部水流速度，使垃圾借助于向后的水流吸附于储存仓后部，使其不会从船首再溢出。该设计不需要增加任何复杂的机械结构就能完成水面漂浮物的收集，减少了不必要的能源与材料浪费。

1.4 总体设计特色

1) 2 种动力模式的任意切换，可依据实际需求灵活选择工作模式。

2) 加入视觉识别辅助，通过视觉模块集成算法辅助垃圾识别，使垃圾清理过程更加智能化，减少人工工作量。

3) 巧妙地将水下螺旋桨设置在船体后部居中位置，在提供动力的同时，也起到内置水泵的作用，避免了为防止垃圾溢出而增加额外的机械控制结构。

2 动力系统与控制模块

2.1 电池

电池采用 DJI 大疆经纬 M100 四轴航拍无人机 TB47D 航空动力电池，内置智能电池管理系统，为电池提供更好的保护，具有安全稳定的特点；在使用过程中，会实时显示剩余电池容量，免除时刻担忧电量不足的困扰。

2.2 2 种动力模式说明

考虑到同时要满足效率与灵活性的需求，将动力设置为双模双动力模式，分别为节能模式与高效模式 2 种：1) 节能模式为纯风力动力源，亦可借助部分环境风力运作；2) 高效模式下采用水下涵道式螺旋桨推进器，动力强劲。经实验结果证明：该机器人可根据实际环境及需求灵活调整工作模式，使清理工作更加高效便捷。

2.2.1 节能模式

节能模式为纯风力运作。多旋翼转动过程中，由于一定会有空气阻力作用，会形成与转动方向相反的反扭矩，所以双桨一般采用正反桨互相平衡来克服反扭矩影响 [2]。该设计采用单螺旋桨设计，不需考虑此因素。由于风力驱动需要较大推力，根据常识选择小 kV 值电机搭配大桨叶以提供足够推力。

经过多次测验，选择 950 kV 值的 4006D 盘式电机（空载电流 0.8 A）搭配 10 寸桨叶，电池为 11.1 V 的航空电池。涉及到的相关计算为：

$$1) \text{ 电机功率为 } P = UI = 11.1 \times 0.8 = 8.88 \text{ W};$$

2) 由电机转速（空转）= kV 值 × 电压得：所选电机空转转速为 $950 \text{ kV} \times 11.1 \text{ V} = 10\ 545 \text{ r/min}$ ；考虑到安装扇叶后阻力会变大，损失约动能的 15%，估算工作时转速约 8 500 r/min。

螺旋桨主要设计参数：查阅相关文献可知，螺旋桨设计主要受制于几个关键参数：螺旋桨直径 D 、叶片宽度、叶片厚度、螺旋角、螺距、叶数 n 、从倾角以及最佳转速。叶数与推进效率、振动和空泡相关，一般会根据所需推力来选择螺旋桨叶数。螺旋桨直径和面积相同时，叶数越少效率越高 [3]；推进器放置于船体尾部，直径过大会降低前向推进力，对于直径的要求，最大一般不超过船体直径的 85%，最小不低于螺旋桨直径的 15% [4]。

$$T = k_T \rho n^2 D^4; \quad (1)$$

$$M = K_Q \rho n^2 D^5. \quad (2)$$

式中： k_T 、 K_Q 分别为推力系数、转矩系数； ρ 为流体

密度； n 为螺旋桨转速。

由式(1)、(2)可知：一般情况下，对于特定的螺旋桨，转速越高，推力越大，所需电机转矩也随之增大，但是转速太高会大大降低推进效率，产生强烈的振动、噪声及严重的空泡现象，为避免产生不利影响，需降低螺旋桨的转速增大螺旋桨的直径^[5]。

螺旋桨拉力计算公式(估算)：直径(cm)×螺距(cm)×浆宽度(cm)×转速平方(r/s)×1 标准大气压×经验系数(0.000 25)=拉力(g)。

由上述信息可得，在大气压为 1 标准大气压，所选的直径 10 寸、螺距 3.8 寸的通用比例的桨叶可提供的推力为： $26 \times 9.5 \times 2 \times 140^2 \times 1 \times 0.000\ 25 = 1\ 210.3\ g$ ，换算成力为 11.86 N，符合需求。

2.2.2 高效模式

高效模式下，水下推进电机也进行工作。防水电机推进器内置驱动，高功率、高效散热，质量轻且体积小^[6]。

由图 2 推算得，工作在 24 V 电压下，推力可达到 50 N 以上，符合需求。

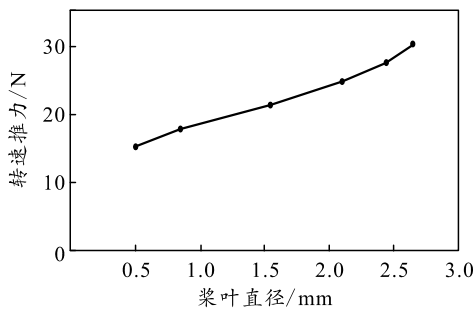


图 2 涵道式螺旋桨电机推力

高效的涵道螺旋桨必须要求叶尖和管道间的间隙非常小^[7]，为此，笔者查阅了扇叶的尺寸及相关参数，使用 3D 打印技术制作了间隙极小的涵道与其配合，用以提高涵道螺旋桨工作效率。与普通螺旋桨相比，涵道式螺旋桨由于叶尖处受涵道限制，具有冲击噪声减小，诱导阻力减少，而效率较高的优点。因此，在同样功率消耗下，涵道螺旋桨，会产生更大的推力^[8]；同时由于涵道的环括作用，其结构紧凑、噪声低、使用安全性好，广泛用于航空及水下领域^[9]。除此之外，涵道可以在一定程度上保护桨叶，减少水草的缠绕，避免水中尖锐物体对桨叶的损害。

2.3 控制及通信

主控模块采用大疆 RoboMaster 主控开发板，主控芯片为 STM32F4，拥有丰富的扩展接口和通信接

口，板载 IMU 传感器，且做了隔离设计，含有温控电路，防止 IMU 温度飙升；直流电机采用 PWM 调速，通过改变电枢电压的占空比来改变平均电压。

硬件框架如图 3 所示。

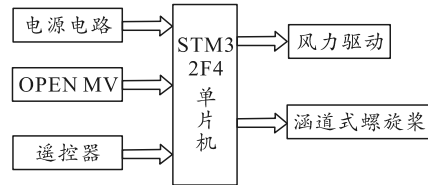


图 3 硬件框架

软件程序是在 keil5 开发环境下采用 C 语言编写。上电后，首先为系统初始化，包括时钟的配置、延时函数和所需串口的初始化等。系统中遥控部分串口 1 的 DMA 进行通信，实现双电机的控制和与遥控部分通信。开始时，主板接收遥控信号，指示电机转动，即遥控端有按键按下，发送对应的代码，主机接收后做出相应的动作。

3 视觉处理

为使机器人适应更多特殊清理环境的需求，加入了视觉辅助系统。Open MV 是一个基于 STM32F7 处理器的单片机和 OV2640 图像传感器的开源型微型机器视觉模块。芯片能够通过 Python 脚本语言编程来实现一系列功能，包括 I/O 端口的控制、人脸检测、关键点提取和颜色追踪等功能^[10]。用简洁的 Python 语言，设定需求目标的阈值，通过 Open MV 实现了清理过程的视觉辅助。视觉识别辅助软件流程图见图 4。

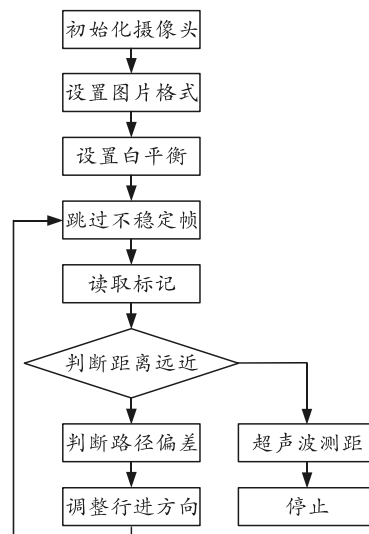


图 4 视觉识别软件流程

图传采用 Open MV 官方专用的 wifi 扩展板 atwinc1500，视频传输速率高达 48 Mbit/s。

4 机器人目标垃圾跟踪控制

在实际运作过程中,对于近距离的水面漂浮物,操作者可用肉眼简单直观判断漂浮物所在位置,然后通过遥控调整船体姿态进行收集。通常情况下,对于稍远的漂浮物,操作者不易通过肉眼判断位置,此时就要借助于视觉处理的辅助,操作端摄像头传回的图像可显示船体第一视角,通过相关算法判定位置,用方框标注出来(如图 5 所示),操作者通过传回并标注好的图像,遥控调整船体姿态进行收集。视觉处理为操作者起到视觉辅助作用,使垃圾清理过程更加便捷高效。



图 5 视觉辅助演示

5 测试结果

船体工作时长及速度测试如表 2 所示。经承载性分析及整体水下实测,船体完全符合设计要求,并符合“绿色环保”“资源利用”“可持续发展”的理念,具有结构合理、操作简便、高效低耗等优点,会在水域环境保护领域发挥其巨大作用,对营造绿色城市生态环境有着积极作用。

表 2 船体工作时长及速度测试表

序号	测试内容	测试所得数据
1	运行速度(空载)	节能模式 0.57
	状态下)/(m/s)	高效模式 ≥ 0.9
2	待机时长/h	≥ 200
3	连续工作时长/h	节能模式 3
		高效模式 1.5

6 结论

经过对机械结构、双动力装置、视觉识别模块等的详细分析可知,该设计可轻松完成对中小型水面漂浮物的收集。经实测发现,该设计对水面体积较大漂浮物的收集仍存在一定困难。下一步,笔者将针对体积较大漂浮物的收集问题进行改进,完善视觉处理,使其能够完全实现自跟踪,通过算法识别并自主地进行收集。

参考文献:

- [1] 孙晓飞. 物体在流体中运动时所受的阻力例析[J]. 教学月刊·中学版(教学参考), 2014(8): 61-63.
- [2] 匡银虎, 刘明远, 石矿林. 四旋翼垂直起降固定翼飞行器设计[J]. 科技视界, 2016(24): 36-38.
- [3] 王超. 螺旋桨水动力性能、空泡及噪声性能的数值预报研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.
- [4] Duelle. Autonomous Underwater Vehicle Propulsion Design[D]. Virginia, US: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2010.
- [5] 秦玉峰, 张选明, 孙秀军, 等. 混合驱动水下滑翔机高效推进螺旋桨设计[J]. 海洋技术学报, 2016, 35(3): 40-45.
- [6] 苟婷婷, 孙丹丹, 王双虎. 环驱式集成电机推进器用永磁无刷直流电动机设计与分析[J]. 电气自动化, 2016, 38(2): 1-3.
- [7] 苏运德, 叶正寅, 许和勇. 桨尖间隙和双桨间距对涵道螺旋桨气动性能的影响[J]. 航空动力学报, 2014, 29(6): 1468-1475.
- [8] 刘立. 一种小型涵道无人机研究设计[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [9] 韩竞择, 陈中原, 蒋炳炎, 等. 涵道风扇式无人机发展现状与关键技术分析[J]. 飞航导弹, 2013(9): 45-49.
- [10] HETLAND M L. Python 基础教程(修订版)[M]. 司维, 曾军道, 译. 2 版. 北京: 人民邮电出版社, 2014: 13-19.