

doi: 10.7690/bgzd.2023.08.016

小型水深测量无人艇

刘家乐, 陈 玮, 任福瑞, 冯家乐, 刘俊楠, 杨 雪

(南京工程学院创新创业学院, 南京 211167)

摘要:针对水库、湖泊等浅水水域测量问题,提出一种智能化、无接触、机动灵活的小型水深测量无人艇(unmanned surface vehicles, USVs)设计方案。对船体、测量装置、核心控制舱和动力装置等机械结构进行设计,并对样机进行室内水池和室外湖泊的水深测量测试。测试结果表明:无人艇能通过GPS导航在设定的路径点间移动,准确测量并上传水域水深信息,具有结构简单、机动灵活的特点,有一定实用价值和市场前景。

关键词:机器学习; 水域水深测量; 人工智能; 嵌入式系统

中图分类号: TP24 **文献标志码:** A

Miniature Bathymetric USV

Liu Jiale, Chen Wei, Ren Furui, Feng Jiale, Liu Junnan, Yang Xue

(School of Innovation and Entrepreneurship, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: A design scheme of intelligent, non-contact and flexible small unmanned surface vehicles (USVs) for bathymetric survey in shallow waters such as reservoirs and lakes is proposed. The mechanical structure of the hull, the measuring device, the core control cabin and the power plant are designed, and the water depth measurement tests of the prototype indoor pool and outdoor lake are carried out. The test results show that the USV can move between the set path points through GPS navigation, accurately measure and upload the water depth information, and has the characteristics of simple structure and flexibility, and has certain practical value and market prospects.

Keywords: machine learning; bathymetry; artificial intelligence; embedded system

0 引言

水深信息与人们日常生活和生产密不可分,降雨、洪水、涨潮等自然情况都会导致水深信息的不断变化,尤其是在防洪和抗旱方面,水位数据尤为重要^[1-2]。在水域水深测量工作中,传统的人工测量方法通过肉眼观察水域环境中提前插入的水深尺,由人工录入深度与环境状态信息,主要依赖人力与经验,测量效率低,判断准确率易受身体状况与主观意识影响;另外,由于待测水域的环境复杂,特别在汛期,人工测量方法危险性高,存在人身安全风险^[3]。

无人艇(USVs)也称无人水面航行器或无人船,是一种受到远程控制并能在水面进行较长时间自动航行的航行器,能够在复杂环境中自主执行预设任务^[4-5]。

针对水深测量实际问题,笔者设计一套水面无接触测量无人艇,参照实验测试方法^[6],能实现高效、实时的测量并上传水位信息。

1 设计要求

在设计适用于水库、湖泊等浅水水域的水深测

量无人艇时需考虑以下问题:

- 1) 该类场所水面开阔、面积较大,无人艇往返多个观测点需具备一定的机动性,以便快速完成1次巡查测量。
- 2) 室外作业时,天气因素需重点考虑,无人艇需具有一定的抗风、抗雨、抵御极端天气的能力,在极限情况下需提醒人工干预。
- 3) 在测量水位数据时,测量算法应充分考虑到异常情况,如水深尺歪斜、缺损等,在算法给出的置信度较低时,能够上传图像由人工进行复核。

2 总体方案设计

小型水深测量无人艇的设计主要包含船体结构、控制舱、控制系统和识别算法设计。如图1所示,水深测量无人艇主要由船体、推进器、云台摄像头、结构框架以及控制电路舱组成。船体由2个橡胶浮筒组成双船体结构;推进器采用防水无刷电机,为船体提供充沛的动力;云台摄像头是由摄像头配合由2个舵机组成的云台组成,使摄像头能够在水平、上下方向旋转从而提供更广阔的视野;结构框架采用铝合金材料,整体轻盈且硬度大,保证

收稿日期: 2023-04-23; 修回日期: 2023-05-20

基金项目: 江苏省大学生创新训练计划(202011276007Z; 202111276010Z)

作者简介: 刘家乐(2000—),男,江苏人。

船体结构的稳定性；控制电路仓主要由采用 STM32F405RGT6 芯片的控制电路^[7]以及 Jetson Nano 计算机组成。

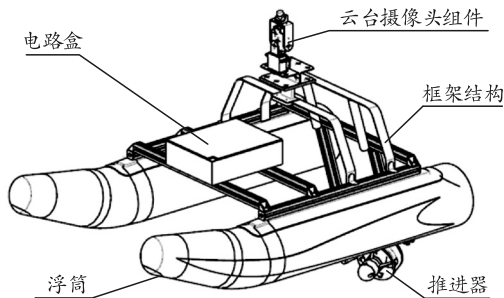


图 1 小型水深测量无人艇外观

2.1 船体结构设计

常见的船体结构包括单船体结构、双船体结构以及多船体结构。根据水深测量艇的设计要求，双船体结构设计更具有机动性，并且双船体具有良好的稳定结构，使得船体工作更加平稳，故笔者采用双船体作为船体的总体结构。

船体采用双充气式浮筒对称结构，使用铝合金连接框架将 2 个船体固定连接，如图 2(c)所示，这样能够减少机器重量，并且整体结构拆装简易，可快速收纳与部署。船体两侧的浮筒形状设计为 V 字型，能够减小船体在水中行进的阻力。铝合金的镂空框架，减少了船体在水面航行时所产生的阻力，使船体在水面上能够稳定运行。最终设计船体明细如图 2 所示。

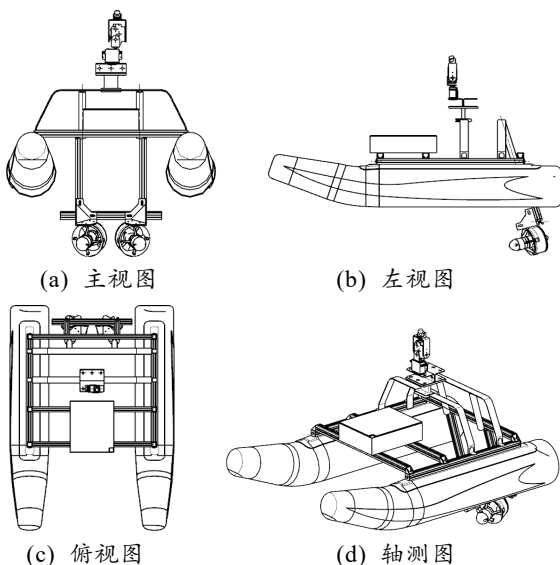


图 2 小型水深测量无人艇明细

2.2 控制舱设计

控制舱位于船体铝合金连接框架顶部。如图 1 中电路盒所示，为提高舱体的防水性，使用 3D 打

印的矩形箱体，内部使用树脂进行涂抹，使装置避免被水侵蚀，能在污染严重的水域中工作。舱体内部放置有控制系统和电源部分，控制系统由控制器、无线通信模块、电子调速器等组成，电源部分由 4S 锂离子电池与分电板组成。

2.3 控制系统设计及识别算法设计

2.3.1 控制系统设计

控制电路仓主要由采用 STM32F405RGT6 芯片的控制电路以及 Jetson Nano 嵌入式计算机组成，采用 4 200 mAh 电池进行供电，控制系统整体组成如图 3 所示。

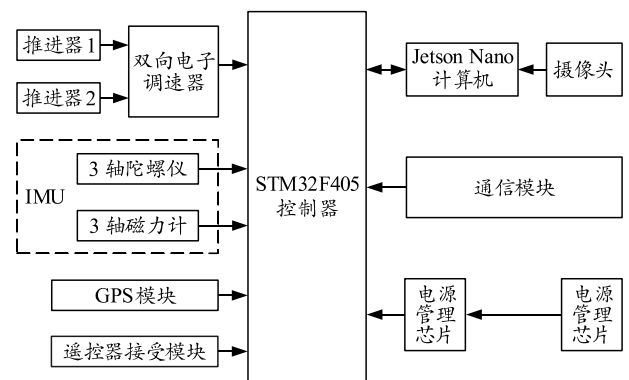


图 3 控制系统整体组成

STM32F405RGT6 为意法半导体专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用设计的芯片，通过采集 IMU (inertial measurement unit) 数据并利用 AHRS (attitude and heading reference system) 姿态解算获取船体实时的姿态，并配合 GPS 信号、遥控器信号使用双向调速器对推进器进行控制来移动船体。

Jetson Nano 为英伟达公司开发的嵌入式计算设备，具有体积小、算力强、硬件接口丰富、易于开发等优点。Nano 可以安装 linux 嵌入式操作系统，同时英伟达公司为 Nano 开发了 CUDA 和 PyTorch 环境支持，服务器训练得到的模型可直接上传运行，便于部署深度学习算法，方便水深测量无人艇对水深尺进行快速识别。

2.3.2 系统工作流程

水深测量无人艇工作流程如图 4 所示。当无人艇上电后，用户通过通信模块录入观测点坐标并下达开始指令。控制系统收到指令后，读取 GPS 信号，通过采集传感器的数据进行 AHRS 姿态解算，获取船体实时的方位角^[7]。控制系统根据 GPS 坐标、船体方位角与观测点坐标进行比对，驱动推进器首先

将船体方位角对准观测点的大致方位，接着根据船体当前 GPS 坐标控制船体移动，向观测点坐标行进。

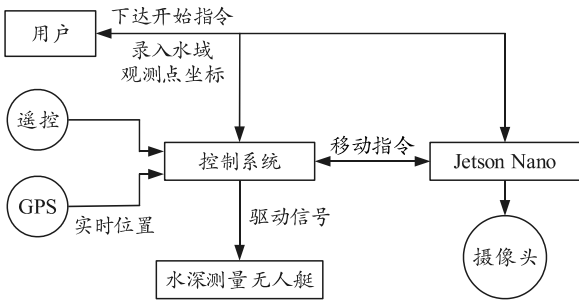


图 4 系统工作流程

当船移动至观测点附近时，控制系统发送信号给 Jetson Nano 计算机进行水深尺识别，Jetson Nano 控制云台摄像头旋转、移动直至识别到水深尺，检测到目标后静止，进行水深识别，完成后发送水深数据至用户端，并发送下 1 观测点坐标到无人艇，控制系统重复上述流程直至观测点全部测量完毕，返回起始点。

当无人船作业遇到大风、大雨、极端天气时，在极限情况下需要提醒人工干预，用户可以使用遥控控制无人艇进行返回。

2.3.3 识别算法设计

水深尺采用现有白底红字方案，同时支持人眼和无人艇测量，无需对已部署水深尺作更改，极大地节省了更换新型水深尺的人力成本，水深尺样式如图 5 所示。

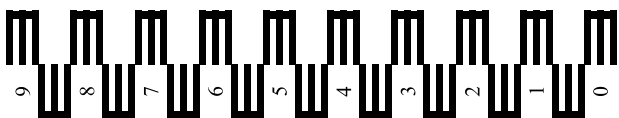


图 5 水深尺示例

该水深尺适合采用机器学习方法进行识别，通过摄像头捕捉到水深尺目标后，识别其上的数字标记获取水深信息。水深识别算法由控制电路仓中 Jetson Nano 计算机运行，使用 PyTorch 机器学习开发框架，实验中采用 ResNet18 模型可以达到 98% 的准确率，满足实际水深测量的基础需求^[8]。

识别算法流程针对无人艇的工作环境，首先对摄像头采集的图像进行预处理：通过灰度化、二值化处理^[9]，分离蓝色水体与红色水深尺，并在红色水深尺位置使用超像素分割^[10]，切割出水深尺本体图像，再利用腐蚀和膨胀减少图像的干扰噪点^[11]，最后采用 ResNet18 模型^[12]进行数字识别，从而获得水深信息，识别算法流程如图 6 所示。

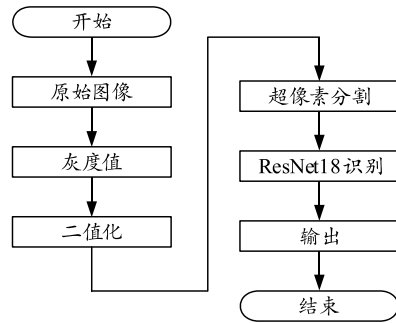


图 6 识别算法流程

测试过程中，系统获取原始图像样例如图 7 所示，机器可以自行控制云台拍摄多角度图片，方便人工标注水深尺标签值。



图 7 摄像头采集原始图像

经过预处理之后的图像如图 8 所示。



图 8 预处理后的图像

由预处理图像通过超像素分割，截取数字如图 9 所示。

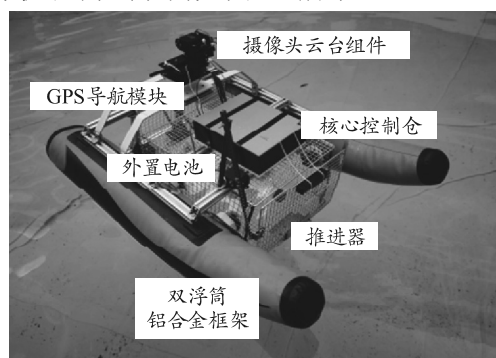


图 9 系统分割出的数字

根据结果显示,使用本系统测量水深尺示数,不能分辨到小数位数,但是对于整体的水深信息误差数据不会超过 ± 10 cm,在一定程度上满足精度要求不高的水深测量与水深的检测和预警,为水域深度测量方面提供了更便捷的测量方案。

3 样机制作及测试

笔者根据小型水深测量无人艇机械结构和控制系统的设计,进行了样机制作。其船体采用铝型材搭建了基本框架,浮筒采用双充气式对称浮筒结构,控制电路舱使用 3D 打印制作并进行了防水处理。最后样机和测试示例如图 10 所示。



(a) 样机和室内测试



(b) 室外人工湖测试

图 10 小型水深测量无人艇样机和测试

为验证笔者使用的识别算法可行性,笔者在光照良好情况下的室外人工湖进行测试,将系统输出结果与人工读数进行比较,实验结果如表 1 所示。

表 1 系统测量结果与人工读数对比

实际水深 尺示数/cm	系统检测 示数/cm	人为读 数/cm	系统误 差/%	人为误 差/%
52	60	51	15.00	1.9
53	60	53	13.20	0
61	60	61	16.90	0
89	90	89	1.12	0
90	90	90	0	0

在昏暗照明条件下,人工读数会有较大误差,

经测试本系统具有比人工更优的效果,实验结果如表 2 所示。

表 2 系统测量结果与人工读数对比

实际水深 尺示数/cm	系统检测 示数/cm	人为读 数/cm	系统误 差/%	人为误 差/%
52	60	56	15.3	7.69
53	70	58	3.2	9.43
61	70	68	14.7	11.40
89	90	95	1.1	6.74
90	90	92	0	2.22

4 结束语

笔者设计一种用于水域水深测量的小型无人艇,具备一定的机动能力,能够拍摄水深尺图像获得实时数据,持久稳定地获得水深信息,同时避免恶劣水域环境的作业风险,满足既定设计要求。该无人艇机动灵活、成本低廉、稳定可靠,具有一定的实用价值和市场前景。

参考文献:

- [1] 王彬. 水位自动测报系统在河道险情中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2017(2): 17-19.
- [2] 刘克武. 多功能汛情监测系统的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2018, 47(5): 91-92.
- [3] 申家双, 潘时祥. 沿岸水深测量技术方法的探讨[J]. 海洋测绘, 2002, 22(6): 60-65.
- [4] 严汝建, 庞硕, 孙寒冰. 水面无人船的发展与使命(英文)[J]. Journal of Marine Science and Application, 2010, 9(4): 451-457.
- [5] 张树凯, 刘正江, 张显库. 无人船艇的发展及展望[J]. 世界海运, 2015, 38(9): 29-36.
- [6] 金久才, 张杰, 马毅. 一种无人船水深测量系统及试验[J]. 海洋测绘, 2013, 33(2): 53-56.
- [7] 熊伟. 基于 STM32F4 地图测距模块的设计案例[J]. 集成电路应用, 2021, 38(8): 90-91.
- [8] 李阳. 基于无人船视觉的水面目标识别与跟踪研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2020.
- [9] 赵洪圣. 基于数字图像处理的液位检测[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [10] 龙建武, 陈鸿发, 鄢泽然. 基于局部模糊聚类的超像素分割算法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2021, 35(11): 116-125.
- [11] 王一竹. 基于改进神经网络的图像识别方法研究[J]. 信息与电脑(理论版), 2021, 33(18): 185-187.
- [12] 赵春霞. 基于 ResNet18 的图像分类在农作物病虫害诊断中的应用[J]. 农业与技术, 2021, 41(19): 10-13.