

基于立体环境智能检测的快速应急响应机器人设计

欧东鹏¹ 丁欣² 杨晶茗¹ 田永军^{1*}

1. 天津职业技术师范大学, 天津 300222

2. 山东化工职业学院, 山东 潍坊 261108

[摘要]针对复杂环境下的多任务检测与应急响应需求, 设计了一种水陆空三栖智能机器人系统。该机器人集成多模态运动机构与智能控制算法, 通过垂直起降结构与自适应推进装置实现复杂环境下的稳定机动。控制系统采用 STM32 主板作为核心控制器, 通过脉宽调制技术控制电机的运动, 并利用 DMA 传输技术高效读取传感器数据。驱动模块基于 TB6612FNG 电机驱动芯片, 支持电机控制模式, 适应多种运动需求。视觉系统采用树莓派主板、WIFI 图像传输模块及高清广角摄像头组成, 实现环境探测。基于 OpenCV 库实现了人脸追踪、颜色识别及手势反馈功能, 增强了机器人的多维交互能力, 为智能移动平台在应急救援、地质勘探等领域的应用提供了新方案。

[关键词]水陆空三栖机器人; 智能检测; 应急响应; 人机交互

DOI: 10.33142/sca.v8i3.15781

中图分类号: TM3

文献标识码: A

Design of Rapid Emergency Response Robot Based on Intelligent Detection of Stereoscopic Environment

OU Dongpeng¹, DING Xin², YANG Jingming¹, TIAN Yongjun^{1*}

1. Tianjin University of Technology and Education, Tianjin, 300222, China

2. Shandong Chemical Engineering & Vocational College, Weifang, Shandong, 261108, China

Abstract: A water land air amphibious intelligent robot system is designed to meet the needs of multi task detection and emergency response in complex environments. This robot integrates multimodal motion mechanisms and intelligent control algorithms, and achieves stable maneuvering in complex environments through a vertical takeoff and landing structure and adaptive propulsion device. The control system uses STM32 motherboard as the core controller, controls the movement of the motor through pulse width modulation technology, and efficiently reads sensor data using DMA transmission technology. The driving module is based on the TB6612FNG motor driving chip, supporting motor control modes and adapting to various motion requirements. The visual system consists of a Raspberry Pi motherboard, WIFI image transmission module, and high-definition wide-angle camera to achieve environmental detection. Based on the OpenCV library, facial tracking, color recognition, and gesture feedback functions have been implemented, enhancing the multi-dimensional interaction capability of robots and providing new solutions for the application of intelligent mobile platforms in emergency rescue, geological exploration and other fields.

Keywords: amphibious robots; intelligent detection; emergency response; human-computer interaction

引言

传统机器人受限于单域地形作业, 在灾害救援、未知区域勘探及军事侦察等高动态场景中存在明显的局限性。近年来, 随着机器人多环境适应性技术的突破, 水陆空三栖机器人成为复杂环境下任务执行的核心研究方向。典型案例显示, 灾害现场救援同时应对水域障碍、废墟地形及空中悬浮物等复杂环境挑战; 军事任务则要求机器需具备陆地、水域及空域的多维环境适应能力。因此, 开发具备多模式自主切换能力的机器人系统成为迫切需求。

水陆空三栖机器人作为跨域作业载体, 其核心技术为跨介质自主切换能力, 通过融合空中飞行、水面航行、陆地移动及潜在水下作业功能, 突破传统空间限制, 拓展了机器人在应急救援、环境监测等领域的应用范围。宾夕法尼亚大学 PICCOLI 等^[1]设计的三栖无人机器平台可以实现

包括空中、陆地和水面运动在内的多种类别的转换, 并且携带方便且成本低廉。沈阳航空航天大学^[2]提出新型变构型三栖机器人方案, 可以进行多模式下的姿态控制、位置控制以及路径跟随控制等, 对未来三栖机器人的设计应用具有一定的指导意义。可以发现, 水下作业模块依托传感器与材料技术已实现一定的成熟度, 能在复杂水下环境中保持稳定运行; 自主决策系统通过算法可实现动态任务规划; 通信技术支持下的远程操控系统可实现实时指令传输。现阶段该领域呈现“技术驱动-场景验证-瓶颈突破”的阶段特征, 未来将向智能自主化、作业专业化及系统可持续化方向演进。本研究基于国家智能装备与应急技术发展需求, 设计了一种基于 STM32 微控制器架构的水陆空三栖机器人系统。通过集成树莓派计算模块与 OpenCV 视觉库, 构建了包括多模态运动控制、激光避障、实时图像传

输及远程操控在内的核心功能模块。采用航空飞行、水面航行与陆地行驶的智能切换机制,可根据环境特征自动选择最优运动模式,突破传统机器人单域作业限制。关键技术突破体现在多传感器融合导航、障碍物识别算法优化及跨介质转换能耗控制。本研究设计的水陆空三栖机器人方案,为灾难救援、军事侦察等领域的机器人应用提供技术方案。

1 多功能机器人的整体设计方案

采用建模手段设计与构建水陆空立体环境感知与快速应急响应机器人系统。机械架构包含能源供给、环境感知及控制中枢四大子系统^[3-6]。运动执行单元由直流减速电机与 TB6612FNG 驱动模块构成,实现陆地移动的精确转矩控制;飞行单元采用无刷电机配合双环 PID 控制策略,通过脉宽调制技术(PWM)完成转速动态调节。控制架构采用分层设计,通过 STM32 微控制器负责底层设备驱动,树莓派计算平台处理激光雷达点云数据与视觉信息,通过 WIFI 协议实现控制指令传输。关键技术实现路径包括:(1)基于 MATLAB/Simulink 平台进行多域联合仿真,完成飞行姿态控制参数优化;(2)构建电机-编码器-舵机闭环控制系统,实现运动机构定位精度;(3)开发数据融合算法,整合 GPS 定位、姿态检测及激光雷达测距信息。

2 机器人控制系统设计

采用 STM32 系列为控制器作为三栖机器人的核心控制单元,硬件配置包括 ARM Cortex-M4 32 位处理器(运行频率 168MHz),1MB 程序存储器,采用 ARM Based Microcontroller-LOFP-144 封装并集成浮点运算单元 FPU 和数字信号处理 DSP 指令集,同时配置多路扩展 GPIO 端口与网络接口。基于嵌入式操作系统,实现分任务实时运动状态控制,底层通过 STM32 实现实时运动控制,上层通过树莓派 4B 单板计算机构建人机交互接口。系统整合五大功能模块:视觉追踪摄像头、RGB 超声波避障、电机驱动单元、WIFI 通信模块、GPS 定位模块,各模块协同实现视觉追踪、图像传输、无线通讯、电机控制与自动避障功能,整体传递路线及设计架构如图 1 所示。

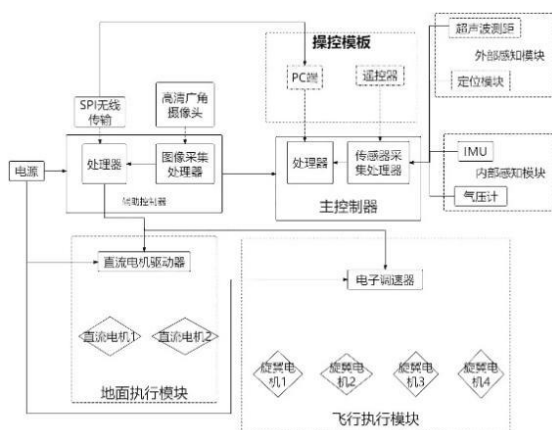


图 1 多功能移动平台控制系统架构

3 三栖机器人设计关键技术

3.1 机械系统设计方法

基于参数化建模方法对水陆空三栖机器人进行结构设计,重点对小车的驱动、无人机的旋翼布局、密封舱体以及多环境驱动模块进行优化。关键技术包括:(1)采用 TB6612FNG 电机驱动模块通过双通道输出,同时驱动 2 个电机,其拥有的 4 种电机控制模式实现正转、反转、制动、停止等一系列动作,可满足小车机器人在多种环境下的运动要求。(2)采用四旋翼交叉对称布局保障无人机空中稳定飞行;(3)设计 IP67 级密封舱体,需满足浮游时的防水与稳定性要求。

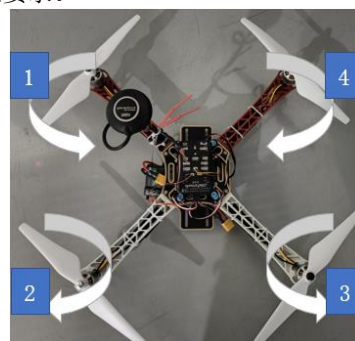


图 2 飞行器模块

3.2 实物原型构建

将设计的三栖机器人模型采用 3D 打印技术制作为实体化模型,通过在环境适应性测试验证设计参数。为实现硬件部分的有效控制,小车的底板采用了自主研发单片机驱动电路,针对各模块的不同需求结构设计和电路搭建,通过仿真建模方法进行组装。旋翼飞行系统中采用交叉对称布局,2、4 号旋翼顺时针旋转,产生顺时针扭矩;1、3 号旋翼逆时针旋转,产生逆时针扭矩,通过扭矩平衡实现飞行姿态稳定。采用适合二次开发的飞控板作为主控单元,并配备高性能的无刷电机、电子调速器以及螺旋桨等原材料,对三栖无人机进行调配组装。通过实际的组装与调试工作,对机器人的各项性能进行实践验证(图 3 所示),确保了动力稳定性。



图 3 实物搭建图

4 控制系统设计

4.1 主控系统设计

核心控制单元采用 STM32 主板,通过脉宽调制技术,

运用电调和无刷电机达成转速与方向的调控。传感器通过 DMA 方式传输数据,实现数据读取并存储于单片机内。通过单片机 ADC 实时监测电池电压,电量阈值不足时触发启动黄色 LED 警报,提示用户充电。运动控制模块集成 4 个直流减速电机与 TB6612FNG 电机驱动模块,该模块支持双通道输出,可同步驱动 2 个电机,具备正转、反转、制动、停止四种控制模式,足以应对机器人在不同环境下的运动需求。利用配备 IIC 接口的发光超声波传感器执行探测与避障任务。为实现协调控制,STM32 飞行控制主板、树莓派主板以及底层单片机利用串口通讯完成数据传输。树莓派微型电脑主板外接 WIFI 图像传输模块,实现实时画面回传。云台上搭载的高清广角摄像头实现采集探测环境图像,提升了探测信息的精准度。

4.2 人机互动设计方面

运用 OpenCV 库追踪视线范围内人脸,实现联动或单独追踪人脸,能追踪视觉范围内用户设定的物体颜色,依据视觉范围内手指个数识别结果,做出扭动、鸣笛等反馈动作,达成人机互动效果。设备发生故障时,能通过 PC 端向管理人员发送报警信号,确保信息及时传达,减少等待时间,避免问题恶化产生不良影响。管理人员可远程监控设备运行状态与视频画面,使用户与管理者全程监控水陆空三栖机器人的工作状况。

5 结论

本研究构建了水陆空三栖多功能机器人系统,通过分层控制架构分析了多模态作业能力。通过探索分析表明:(1)陆地作业模式下机器人系统具备复杂路径规划与跟踪、交通信号识别及高速无线数据传输等功能;(2)空中作业模式支持定点巡航、姿态稳定控制及航拍侦察等任务执行能力;(3)水面作业模式通过多传感器融合实现目标的精确识别与追踪。三栖机器人特点体现在:①采用 STM32 与树莓派协同架构,通过 SPI 协议实现控制端与执行端的实时交互;②基于模块化机械设计增强了环境适应性;③集成协议实现远程控制与高清图传功

能。本研究为跨介质移动平台研发提供了可扩展的技术范式,其系统架构设计方法对特种机器人领域具有一定参考价值。

未来,研究需重点突破仿生机构设计与能源管理技术瓶颈,同时建立多学科交叉创新框架。后续研究工作纳入社会伦理与生态环境影响评估体系,为三栖机器人技术的可持续发展提供理论支撑。

基金项目:天津市级大学生创新创业训练计划项目资助(项目编号:202410066107)。

[参考文献]

- [1] Piccoli M, Revzen S, Yim M. SEAL Pack versatile, portable, and rapidly deployable SEa, air, and land vehicle[C]. IEEE International Symposium on Safety. IEEE, Sweden: IEEE, 2014.
 - [2] 张立超, 姬书得, 胡为, 等. 变构型三栖机器人的控制与仿真模型研究[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(4): 119-123.
 - [3] 孙明迁, 吴晔, 吴忠勋. 三栖机器人设计与分析[J]. 智能物联技术, 2024, 56(2): 65-68.
 - [4] 王军, 申政文, 李明, 等. 水陆空三栖机器人设计与研究[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(11): 75-81.
 - [5] Zhu Y, Li T, Guo Z, et al. Discussion on Problems of Triphibious Robot Control[C]. 2018 11th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID). Hangzhou, China: IEEE, 2019.
 - [6] 王凯. 三栖机器人设计与研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2018.
- 作者简介: 欧东鹏(2006.9—), 研究方向, 低空飞行技术的研发; 机器人设计与优化, 天津职业技术师范大学, 在读学生; 通信作者: 田永军(1988.1—), 研究方向, 低空飞行技术的研发; 机器人设计与优化, 就职单位: 天津职业技术师范大学。