

水下智能安防机器人的系统设计及应用

谢心怡¹, 黄豪彩¹, 贺自力², 王文斌², 方亮², 冯仁栋¹

(1. 浙江大学海洋学院, 浙江舟山 316021; 2. 浙江优威科技有限公司, 浙江舟山 316013)

摘要 为保证正常的海洋航运生产和作业, 提出多功能的水下安防智能机器人技术。突破该机器人的系统集成技术, 实现自主导航高精度定位与目标的识别处理任务, 为水下安防智能机器人的试验工程应用提供技术支撑和可行性方案参考。

关键词 水下安防; 智能机器人; 组合技术; 图像识别技术

中图分类号 TP242.3 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2020)03-0219-04

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.03.007

System Design and Practical Research of Underwater Intelligent Security Robot

XIE Xinyi¹, HUANG Haocai¹, HE Zili², WANG Wenbin², FANG Liang², FENG Rendong¹

(1. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316000, China

2. Zhejiang Youwei Science and Technology Ltd, Zhoushan 316000, China)

Abstract In order to ensure the normal marine shipping production and operation, a technology of a multi-functional underwater security intelligent robot based on the capability combination technology is proposed, which makes a breakthrough in the system integration technology of the robot, realizes high-precision positioning in autonomous navigation and target recognition processing, and provides technical support and feasibility reference for the application of underwater security intelligent robot.

Key words underwater security; intelligent robot; combination technology; image recognition technology

0 引言

海洋是我国经济社会发展的重要战略空间, 加快海洋经济增长和海洋国防建设步伐对壮大国家整体经济实力、维护国家海洋权益、促进我国经济持续健康发展具有十分重要的现实意义。然而, 目前重要经济基础设施不仅受制于复杂的海洋环境, 还要面对非传统的安全威胁^[1-2]。

近年来, 带缆遥控水下机器人 (ROV) 因为经济性好、适应性强、灵活性高、作业效率高等优点得到迅速发展; 随着功能的不断完善和可靠性快速

提高, 越来越被广泛应用于海洋资源调查开发、水下工程作业、水下安防等领域^[3-4]。目前用于深海中, 能够完成高强度、大负荷工作的中大型 ROV 已经较为成熟, 产业化程度很高^[5-7]。而用于浅海作业中, 能够巡检水下船体, 进行检测和维修, 识别拆除危险物, 并具有高机动性、控制灵活快捷、操作携带方便的小型多功能 ROV 并不多见^[8-9]。

国内还未对海上作业设备的智能化水下安全防护进行系统性研究, 在安防能力组合方面的技术与国外相比还有一定的差距, 尤其是智能安防水下机器人的关键技术还处于起步阶段, 急待突破。本文以能力

收稿日期: 2019-11-01

作者简介: 谢心怡 (1997-), 女, 硕士生, 主要从事海洋观测与探测技术研究。

基金项目: 2019 年国防科技创新特区项目 (19-H863-05-ZT-002-010-01)。

组合技术为基础，提出多功能的水下安防智能机器人技术，突破该机器人的系统集成技术，实现自主导航高精度定位与可以目标的识别处理任务，为水下安防智能机器人的试验工程应用提供技术支撑。

1 水下机器人的系统集成设计

水下机器人系统集成设计方案如图 1 所示，系统由湿端水下作业机器人、干端系统控制台和干湿端连接部分脐带缆收发机构 3 部分结构组合而成，结构中包括 5 个分系统：机械结构分系统、电路分系统、控制导航分系统、脐带缆分系统和上位机分系统。

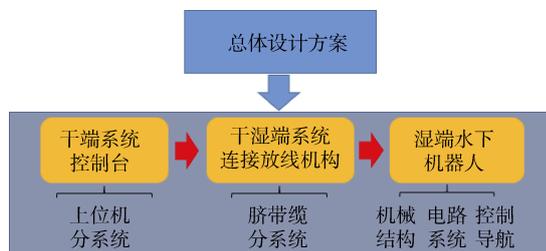


图 1 水下机器人系统集成方案

Fig. 1 System integration scheme of underwater robot

1.1 水下机器人的结构设计

水下机器人设计正常工作水深为 0~50 m，标准航速为 2 kn(净水状态下)，质量不大于 100 kg，水下位置精度在 1%~3%，可以完成 10 cm×10 cm 可疑物体的搜索识别和处置，同时满足水中定深、定向稳定运动的功能，必要时机器人还可以贴壁运动满足特殊功能需求。整机三维模型图如图 2 所示。它主要包括照明灯、吊环、垂直推进器、浮力材料、摄像机、主推进器以及防撞胶条。

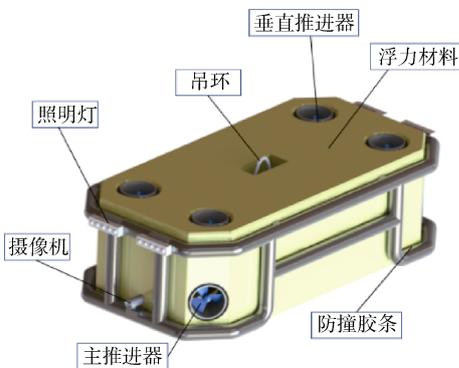


图 2 水下机器人整机三维模型图

Fig. 2 3D model of underwater robot

1.2 六自由度动态建模

水下机器人的几何和物理参数和规格如表 1 所示。水下机器人模型具备高度对称性，关于 xy 、 yz 、 xz 3 个面均对称。因而 I_x 和 I_y 的值非常相似，并且关于 xy 、 xz 和 yz 平面的惯性矩可以近似为 0。

表 1 水下机器人参数表
Table 1 Parameter table of underwater robot

参数	值
尺寸/mm	390(宽)×900(长)×330(高)
质量/kg	98.5
转动惯量/kg·m ²	$I_x = 2.737$
	$I_y = 9.077$
	$I_z = 10.20$
	$I_{xy} = 0$
	$I_{yz} = 0$
重心/mm	0, 0, 0
浮力中心/mm	0, 0, 8.84

根据 Fossen 的理论^[10]，水下智能安防机器人的非线性动力学方程可以描述为

$$M\dot{v} + C(v)v + D(v)v + g(\eta) = \tau_c + \tau_e \quad (1)$$

式中： $v = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$ ，分别是水下智能安防机器人在随体坐标系下的速度和角速度。 $\eta = [x \ y \ z \ \varphi \ \theta \ \psi]^T$ 为地面坐标系的位置和角度。 M 为惯性矩阵(包括附加质量)； $C(v)$ 是科氏力和向心力矩阵； $D(v)$ 是粘性类水动力矩阵； g 是重力和浮力共同产生的力或力矩向量； τ_c 为推进器产生的驱动力或力矩； τ_e 为外界干扰力。

质量和惯性矩阵 M 是刚体惯性矩阵 M_{RB} 和附加质量惯性矩阵 M_{ADD} 的总和。水下智能安防机器人模型具有高度对称性。因此，根据附加质量惯性矩阵的特性，可以得出矩阵系数仅在对角线上为非零。类似地，科里奥利和向心力矩阵 C 也分为刚体项 C_{RB} 与科里奥利和向心力矩阵 C_{ADD} 。水下智能安防机器人的 M 和 C 计算如下：

$$M = M_{RB} + M_{ADD} = \text{diag}\{98.5, 98.5, 98.5, 2.74, 9.08, 10.2\} - \text{diag}\{-67.74, -131.16, -192.62, -8.39, -13.96, -9.95\} \quad (2)$$

$$C_{RB}(v) = C_{RB} + C_{ADD} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 291.12w & -229.66v \\ 0 & 0 & 0 & -291.12w & 0 & 166.24u \\ 0 & 0 & 0 & 229.66v & -166.24u & 0 \\ 0 & 291.12w & -229.66v & 0 & 20.15r & -23.04q \\ -291.12w & 0 & 166.24u & -20.15r & 0 & 11.13p \\ 229.66v & -166.24u & 0 & 23.04q & -11.13p & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

在仿真中, 水下机器人的线性阻力项可以忽略不计, 只取粘性水动力系数的二次项可以简化如下:

$$D(v) = -\text{diag}\{X_{u|u}|u|, Y_{v|v}|v|, Z_{w|w}|w|, K_{p|p}|p|, M_{q|q}|q|, N_{r|r}|r|\} \\ -\text{diag}\{49.68|u|, 150.34|v|, 210.94|w|, 0.98|p|, 7.69|q|, 4.42|r|\} \quad (4)$$

式中: $X_{u|u}, Y_{v|v}, Z_{w|w}, K_{p|p}, M_{q|q}, N_{r|r}$ 为粘性水动力的二次项系数, 其中粘性水动力系数可通过 ANSYS-CFD 仿真软件仿真模拟计算得到。本文在建立运动坐标系时, 将重心设为原点, 浮心的 x, y 坐标均为 0, 重力和浮力矢量 g 可以忽略不计, 因为水下机器人具有中性浮力, 并且重心和浮力几乎重合, 如表 1 所述。

图 3 和图 4 分别是无海流干扰情形下深度控制和无海流干扰情形下巡航控制的实例, 图 3 中水下机器人以下潜 10 m 为最终目标; 图 4 中, 水下机器人以追踪蓝色轨迹为最终目标。从图 3 和图 4 中可以看出, 水下机器人的整体动态特性较好, 实际路径与参考路径基本吻合, 巡航跟踪性能很好。说明了该水下机器人具有稳态误差较小、响应迅速、超调量较小的优点。

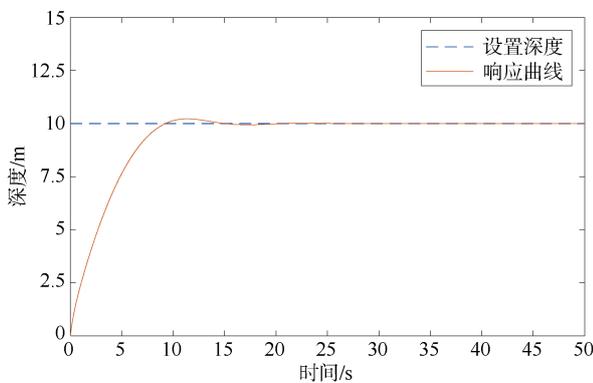


图 3 无干扰情形下深度控制实例

Fig. 3 An example of depth control without interference

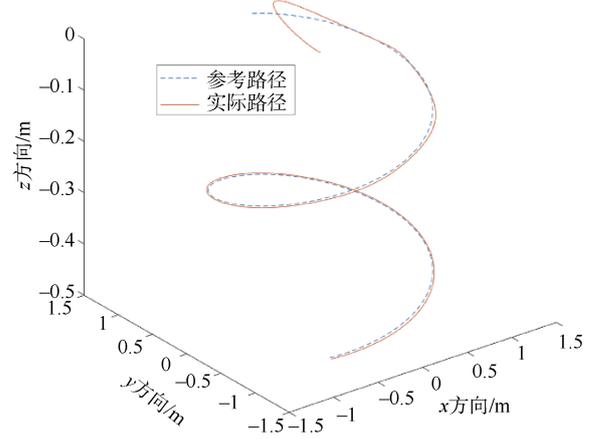


图 4 水下机器人巡航控制结果

Fig. 4 Cruise control results of underwater vehicle

2 水下自主导航高精度定位

水下安防智能机器人作业环境通常为水质较为浑浊的浅海或港口。本文拟采取惯性导航、声呐辅助等多数据融合的定位方法来提高水下定位的精度。首先采用处理能力较强、功耗低、数据传输快捷的芯片; 使用高强度、密度小、防腐蚀的复合材料, 研究一套结构紧凑、成本低、实用可靠的硬件系统。以短基线定位结构为例, 其设备布置方案如图 5 所示。

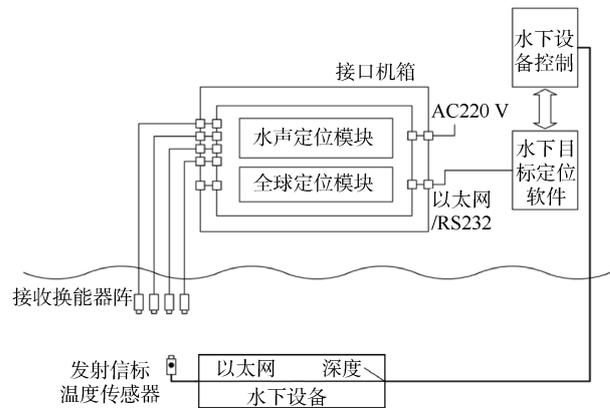


图 5 系统结构示意图

Fig. 5 System structure diagram

采用基于扩展式卡尔曼滤波器和航位推算的定位数据匹配法,开发出识别并剔除定位数据异常点,并对水下目标定位数据缺失部分进行重构的数据融合处理软件。完成软件后,进行模拟仿真,结合实验结果验证其可靠性并进行优化。

3 水下目标智能识别

借鉴国内外在人工智能图像识别领域上取得的研究成果,以水下目标智能识别为目标,通过训练图像数据集构建、分类识别模型训练、模型参数优化等相结合的方法,建立水下窃听装置、爆炸物、追踪装置、毒品外挂物等人工附着物,以及水草、海带和其他的海生植物等环境干扰物的图像识别系统,如图 6 所示。

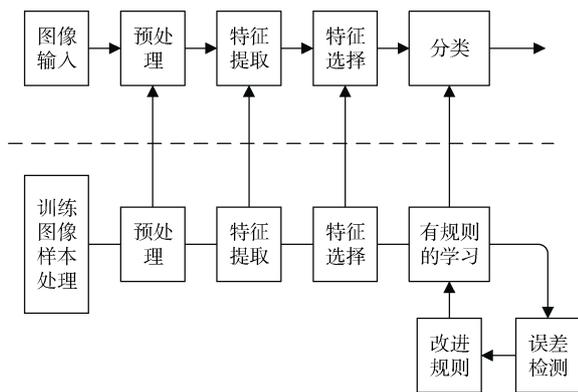


图 6 图像识别系统框图

Fig. 6 Block diagram of image recognition system

该系统包括原始图像的采集、图像的初期预处理、后期图像的特征提取、图像识别判断四大部分。通过平滑、增强、恢复、边缘检测和分割等信息处理方式,把输入图像简化为分段模式。利用特征提取进一步把分割的图像简单地表示为一组特征向量,依据所提取的特征,通过算法把相应原图归属已知的一类人工附着物。

4 结束语

水下智能机器人是水域智能安防的重要组成部分,为正常的海洋航运生产和作业提供保障。本文提出了以能力组合技术为基础,提出多功能的水

下安防智能机器人技术,完成对水下不明物体的智能自动探测识别与驱除任务,为水下安防智能机器人的试验工程应用提供技术支撑和可行性方案参考,实现该领域的创新与超越。

参考文献

- [1] 余湖清, 张斌, 赵加鹏. 水下无人系统发展概念和研究现状[J]. 数字海洋与水下攻防, 2019, 2 (3): 1-6.
- [2] 代笠, 张翔龙. 海洋油田平台水下安防系统航迹融合与报警技术[J]. 数字海洋与水下攻防, 2019, 2 (3): 74-79.
- [3] 白广明, 卢建旗. 水下电视系统设备研制及图像处理研究方法研究现状综述[J]. 水利天地, 2016, 2 (9): 1-5.
- [4] ROBINSON R C. National defense applications of autonomous underwater vehicles[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1986, 11 (4): 462-467.
- [5] NISKI R, WARAKSA M, ZUREK J. Monitoring and protection system of Tricity sea harbors in the context of the EURO 2012[C]// 2008 1st International Conference on Information Technology. US: IEEE, 2008.
- [6] 郭骏, 范赞, 刘立维, 等. 北斗系统在荔湾 3-1 气田海管近岸段监测系统中的应用[J]. 机械与电子, 2015 (6): 53-56.
- [7] 张寅权, 张爽, 孙春健, 等. 水下目标监视系统发展综述[J]. 海洋信息, 2019, 34 (1): 11-18.
- [8] LI M, LIU S, WANG B. Review and analysis on the development of ocean environment observation technologies based on mooring platforms[J]. Journal of Ocean Technology, 2015, 34 (3): 36-42.
- [9] 徐瑜, 倪小清, 夏红梅, 等. 蛙人探测声呐发展现状 & 关键技术[J]. 舰船电子工程, 2017, 37 (3): 1-3.
- [10] FOSSEN T I. Marine control system-guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles[J]. Marine Cybernetics, 2002(28): 8292356002.

(责任编辑: 肖楚楚)