基于水下目标检测技术的智能化海水养殖监测和处理系统

刘瑾泽，陈霞*，李欣洋，曹方健
东北大学秦皇岛分校，河北 秦皇岛 066004
DOI: 10.61369/TACS.2026080028

摘　　要： 伴随着深度学习、边缘计算、物联网技术的迅猛发展，水下目标检测技术也逐渐应用到水产养殖中，给养殖全过程智能化监测和精准管理赋予了新的技术途径。水下图像增强和深度学习目标检测技术能够创建起一个包含数据采集、智能检测、数据分析、预警决策、设备联动的智能化海水养殖监测与处理系统，针对海水养殖水体浑浊、光线昏暗、鱼虾目标姿态多变、小目标检测困难等行业的问题，用物理成像优化和算法增强双驱方式创建高质量养殖数据集，通过轻量化 YOLOv11网络结合注意力机制优化检测模型，创建起“端－边－云”协同养殖管理架构。基于此，本文从海水养殖真实的环境出发，针对目前养殖监测存在的技术难题，提出适合于鱼虾养殖特点的图像增强方法和轻量化的检测模型，设计出以云、边、端协同为基础的智能化监测及处理系统，对养殖状态进行实时感知、异常智能预警、养殖决策精准输出、养殖设备联动控制，促进传统渔业向精准化、智能化、绿色化养殖转型。

关 键 词： 水下目标检测；图像增强；轻量化网络；海水养殖；智能监测系统

Intelligent Mariculture Monitoring and Processing System Based on Underwater Object Detection Technology

Liu Jinze, Chen Xia*, Li Xinyang, Cao Fangjian
Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao, Hebei 066004

Abstract: With the rapid development of deep learning, edge computing and Internet of Things technologies, underwater object detection technology has been gradually applied to aquaculture, providing a new technical approach for intelligent monitoring and precise management of the whole breeding process. Combined with underwater image enhancement and deep learning-based object detection technologies, this paper constructs an intelligent mariculture monitoring and processing system integrating data collection, intelligent detection, data analysis, early warning decision-making and equipment linkage. Aiming at industrial bottlenecks of mariculture including turbid water bodies, dim underwater light, variable postures of shrimp and fish targets and difficult detection of small objects, this study builds a high-quality aquaculture dataset driven by both physical imaging optimization and algorithm enhancement. A lightweight YOLOv11 network integrated with attention mechanism is adopted to optimize the detection model, so as to establish an end-edge-cloud collaborative aquaculture management architecture. Considering the actual marine breeding environment and existing technical difficulties of breeding monitoring, this paper proposes an image enhancement method and a lightweight detection model adapted to the characteristics of fish and shrimp breeding, and designs an intelligent monitoring and processing system based on end-edge-cloud collaboration. The system realizes real-time perception of breeding status, intelligent abnormal early warning, accurate breeding decision output and linkage control of breeding equipment, thereby promoting the transformation of traditional fisheries towards precision, intelligence and green development.

Keywords: underwater object detection; image enhancement; lightweight network; mariculture; intelligent monitoring system

引言

水下目标检测技术是以深度学习算法为基础、结合水下成像探测、图像增强处理而形成的一门智能感知技术，在复杂的水下环境中可以准确地识别出养殖鱼虾、残饵、死体、杂质、网箱破损等各种目标，并且可以实时地分析鱼群的密度、生长状况、活动规律等，结

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

合水质传感数据对养殖状态进行全方位的监测并做出智能处置。将水下目标检测技术同海水养殖监测、处理体系深度融合，创建起智能化监测处理系统，可全面冲破传统养殖的技术瓶颈，达成养殖监测自动化、数据分析精确化、问题处置智能化、养殖管理标准化的目的，从而切实提高海水养殖的成活率和产出效益。

一、相关概述

（一）水下目标检测技术内涵与技术优势

水下目标检测技术属于计算机视觉领域的研究方向，不同于陆地视觉检测技术，它专为水下复杂的成像环境设计，用水下摄像头、声呐探测设备获取水下图像和数据，然后用图像增强、降噪处理以及深度学习的目标检测算法来实现对水下各种目标的定位、识别、分类和计数分析。当前主流技术以改进 YOLO 系列、Mask R-CNN 等深度学习算法为核心，融合颜色校正、去雾降噪、多尺度特征提取技术，有效解决海水浑浊、光线衰减、目标重叠遮挡导致的检测精度低、误检漏检等问题，可精准识别养殖鱼类、虾蟹、残饵、死体、漂浮杂质、网箱破损、附着生物等多元目标 [1]。

相较于传统人工监测与普通视频监控，水下目标检测技术具备四大核心优势。一是实时性强，可24小时不间断采集水下数据、实时分析目标状态，突破人工巡检时间与空间限制；二是精度较高，通过算法优化与图像预处理，可在复杂海水环境中精准区分活体、死体、饵料与杂质，识别准确率可达90% 以上 [2]；三是数据量化，能够自动统计鱼群数量、养殖密度、活动频次，实现养殖状态数据化呈现；四是无人化作业，无需人工下水巡检，降低作业风险与人工成本，适配深海大型网箱养殖场景。

（二）智能化海水养殖监测处理系统建设价值

智能化海水养殖监测与处理系统以水下目标检测技术为核心，结合物联网传感、大数据分析、智能控制技术，创建起“监测－分析－研判－处置－溯源”的闭环养殖管理架构，对传统的海水养殖管理方式进行彻底的改变。在养殖监测方面，对水下生物状态、养殖环境、设备状态进行全方位的动态监测，解决传统监测片面、滞后、粗放的问题；在养殖处理上，根据检测数据精确控制投喂量、水质参数、养殖环境，及时清理残饵、处理死体、修复网箱隐患，做到精准养殖、科学管理；在产业发展上，降低养殖病害率、死亡率和资源损耗，提高海水养殖产量和品质，促进海水养殖由经验养殖向数据养殖、智慧养殖转变，推进现代海洋渔业产业升级 [3]。

二、基于水下目标检测技术的智能化海水养殖监测和处理系统设计

系统整体架构采取“端－边－云”协同方式，各个层次有各自的分工并且能够相互配合。终端层依靠水下摄像设备对养殖图像、水质、环境数据实施实时采集，边缘层装设轻量化的检测模型，可以对鱼虾进行识别并作出判断，并且能发出就地报警信号，云端层把诸多数据汇集起来，借助时序算法来创建生长预估模型，给出精确的投喂安排、水质调节等智能化决定，还能达成设备间的联动操控以及数据可视化的管理，全面涵盖海水养殖监测、剖析、预警、处理全过程的需求 [4]。

（一）养殖图像数据增强与专用数据集构建

水下图像质量差、标注数据少是造成海水养殖智能检测精度低的主要原因。海水养殖场景下存在光线昏暗、水体浑浊、目标游动姿态多变、鱼虾体型差异大、幼体目标尺度微小等特点，常规公开数据集不能满足真实养殖检测的需求。因此，本文提出“物理优化＋算法增强”的双驱动图像数据构建方案，创建出专业的、场景化的鱼虾养殖数据集。

在数据采集阶段搭建一个可以模拟全养殖周期环境的实验水池，用精确控制水温、盐度、水体浊度、水流速度、光照强度等参数来还原各个养殖阶段、各种水质环境下真实的环境。使用4K 高清水下摄像机和可移动鱼群追踪设备，从俯视、仰视、侧视等不同角度采集对虾、鲈鱼、石斑鱼等十几种主流养殖鱼虾的游动、聚集、摄食、异常姿态图像，同时将公开养殖数据集和合作养殖场实地拍摄数据进行整合，形成多源原始图像资源库 [5]。

在图像增强阶段用物理增强和算法增强两种方式改善图像质量。从物理上来说，调节补光的角度和强度，改变水流的状态来得到多光影、多动态特征的原始图像；从算法上来说，利用 CycleGAN 实现不同水质、光照环境下图像风格的迁移，有针对性地加强了鱼虾躯体纹理、病变特征、游动轮廓等重要信息，很好地解决了水下图像偏色、模糊、特征弱化的问题。最终得到包含25000多张精细标注的专用数据集，标注维度有鱼虾品种、生长阶段、健康状况、行为特征等，给检测模型训练提供高质量的数据支持，图像增强之后 PSNR 指标平均提高4.2dB，明显提高水下图像成像质量。

（二）轻量化水下目标检测模型优化设计

针对目前检测模型参数量大、推理速度慢、小目标漏检率高、水体折射容易造成误检等缺点，本文以 YOLOv11为基础架构，根据鱼虾养殖目标的特点进行轻量化、高精度检测模型的优化设计，达到检测性能和设备部署效率双提升的目 [1]6。

模型骨干网络采用轻量化 CSPDarkNet 结构，使用 C3Ghost 模块减少冗余的计算参数，保持核心的特征提取能力，同时减小了计算量。对于幼鱼、虾苗等微小目标的检测问题，对 BiFPN 特征融合结构进行优化，加强了多尺度小目标特征融合的能力，提高了毫米级养殖目标识别的精度。同时创新设计 C2PSA 鱼虾注意力感知模块，利用跨通道信息加权和像素重排的方式，适应鱼虾透明躯体、不规则游动轨迹的特点，有效地解决了由于水体折射、散射造成的误检问题，提高了目标轮廓和纹理细节的感知

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

能力。

为了满足养殖现场低功耗边缘设备的部署需求，采用通道剪枝、深度可分离卷积和 INT8 量化感知训练技术对模型进行压缩优化，得到的整体模型参数量比原来少 45%。经过测试，在树莓派 4B 边缘设备上该模型可以达到 18FPS 的实时检测速度，并且在 mAP@0.5-0.95 上达到了 0.875 的好成绩，可以准确地对鱼虾摄食异常、游动失衡、缺氧浮头、体表病变等异常情况进行识别，完全可以满足海水养殖现场实时监测的要求 [7]。

（三）智能化海水养殖监测处理系统搭建

根据优化过的轻量化检测模型，本文搭建起端 - 边 - 云协同的鱼虾养殖智能化监测和处理系统，把智能监测、数据分析、异常预警、决策推送、设备联动、可视化管理等主要功能整合起来，满足养殖户和科研人员不同的使用需求。

终端感知层装有高清水下摄像机和水质监测终端，24 小时不间断采集养殖区的图像、水温、溶氧量、酸碱度等各方面的数据，给智能分析提供实时的数据支持。边缘计算层部署轻量级的检测模型，就地对鱼虾的目标进行检测、行为状态进行识别、异常情况进行判断，将病害、缺氧、密度异常等预警信息实时推送给用户，实现问题就地识别、及时告警，降低数据传输延迟。云端决策层把环境气象、水质参数、生物状态时序数据汇总起来，借助预测算法创建起鱼虾生长模型，智能产生精确投喂、水质调节、增氧换水等养殖方案，达成由被动应对到主动预见的养殖模式革新 [8]。

系统设计双端差异化交互界面，养殖户端使用微信小程序，以简单的可视化图表来显示生长曲线、投喂建议、异常预警等主要信息，操作简便、实用。科研人员端用 Flask+Echarts 搭建起来，可以做多个角度的数据比较，验证模型，并且进行数据统计分析，符合科研实验的需求。系统留有标准化的 API 接口，可以和自动投饵、智能增氧、水循环处理等养殖设备无缝对接，从而完成从监测、分析到决策、设备调控的闭环管理 [9]。依靠微服务架构建立动态扩充机制，可以契合各种养殖品种，各种养殖场景的个性化需求，支持以后的功能更新和第三方设备，算法的加入，具有较好的通用性和扩展性。

（四）系统评估与迭代优化机制

为了保证系统落地的实用性和长久性，本文从技术性能、养殖效益、用户体验三个角度来建立评价优化体系，并且建立起常态化的系统更新机制。从技术上来说，用 mAP、召回率、PSNR、SSIM 等指标不断对模型的检测精度、图像增强效果和系统的稳定性进行评价，在养殖效益上，利用多个合作养殖场做对比试验，统计出精准投喂带来的饲料降耗效益、病害预警挽回的养殖损失，检验系统实际应用的价值，在用户体验上，采用现场访谈、问卷调查、操作测试等方式不断改进界面逻辑、操作流程、功能模块。

同时创建起“养殖问题反馈 - 算法改良 - 系统更新”这样的快速迭代体系，创建起多场景模型版本库，依照不同的水质状况、养殖种类、生长时期来动态调整模型参数和系统功能，不断解决养殖现场各种实际问题，促使智能化监测处理系统实现实用化、规模化落地应用 [10]。

三、结语

综上所述，本文以解决传统海水养殖监测粗放、技术落后、智能化程度低等问题为出发点，把水下图像增强技术和轻量化目标检测算法结合起来，创建起一套完整的智能化海水养殖监测及处理系统。用物理和算法双驱动的方法来解决水下图像质量差、特征缺失的问题，用注意力机制和轻量化网络来提高低功耗设备的高精度实时检测，用端 - 边 - 云协同架构完成养殖监测、智能预警、精准决策、设备联动的一体化闭环控制。系统有效地克服了传统养殖技术的不足，可以明显提高养殖资源利用率，降低病害风险，减少海洋生态污染，促进海水养殖产业绿色化、精准化、智能化转型，给现代智慧渔业发展提供可靠的技术支撑和可复制的应用范式。

参考文献：

[1] 李浪 . 基于深度学习的水下目标检测及机械臂抓取技术 [D]. 中北大学 ,2025.

[2] 赵海峰 . 基于多源数据融合的水下目标检测方法研究 [D]. 哈尔滨工程大学 ,2025.

[3] 宋向阳 . 基于深度学习的水下目标检测方法研究 [D]. 东北电力大学 ,2025.

[4] 林彦荀 , 吴悦 , 林锦淳 , 等 . 汕头南澳海水生态养殖的困境与对策——以南澳县深澳镇为例 [J]. 绿色科技 ,2025,27 (5):138-143.

[5] 杨进 , 李阳 , 曾辉 , 等 . 深度学习在水下目标检测与腐蚀评估中的应用进展 [J]. 腐蚀与防护 ,2024,45 (9):57-66.

[6] 梁清 . 水下目标检测动作区域控制技术 [J]. 电声技术 ,2022,46 (11):31-37.

[7] 方俊 , 邱春荣 . 水下图像目标检测技术研究 [J]. 科技资讯 ,2022,20 (12):26-29.

[8] 管今哥 , 赵勇 , 郑永秋 , 等 . 基于无散射参照偏振成像技术的水下目标光学检测（英文）[J].Journal of Measurement Science and Instrumentation,2020,11 (4):335-342.

[9] 纠手才 , 张效莉 . 海水养殖智能投饵装备研究进展 [J]. 海洋开发与管理 ,2018,35 (1):21-27.

[10] 林可 , 王飞 , 马家志 , 等 . 离岸型智能化浅海养殖围网应用及效益分析 [J]. 水产科技情报 ,2017,44 (5):268-272.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.