

基于AI生物识别的智慧生态体验场景设想

崔伊彤^{1,2}

¹北京市水科学技术研究院, 北京

²北京市朝阳区水土保持与科技管理中心, 北京

收稿日期: 2026年8月4日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月8日

摘 要

本研究拟结合水下可视化技术和行业专业水生生物资料库, 定制化AI生物识别技术, 实现水生物种类识别、水生物行为观察, 满足公众对水生物和河湖水鸟的观察需求。通过整合高清水下摄像头、先进的AI算法及视频云直播技术, 形成一套智能化的水生态监测和观察平台。系统可实现水生物种的实时识别等功能, 为生态保护提供重要数据支撑。通过视频汇聚和分析平台, 整合多源水生态监测数据, 可提高监测效率和精度。通过视频直播的形式, 增强了公众对水生态环境的认识, 丰富了公众对水生态环境的体验方式。

关键词

生物识别, 智慧生态, 水生态

Concept of Smart Ecological Experience Scenarios Based on AI Biometrics

Yitong Cui^{1,2}

¹Beijing Water Science & Technology Institute, Beijing

²Beijing Chaoyang District Soil and Water Conservation and Technology Management Center, Beijing

Received: August 4, 2026; accepted: August 27, 2026; published: September 8, 2026

Abstract

This study integrates underwater visualization technology with specialized industrial aquatic organism databases to customize AI biometric technology, which can identify aquatic species and observe the behaviors of aquatic organisms, thereby meeting the public's demand for observing aquatic creatures as well as waterbirds inhabiting rivers and lakes. An intelligent aquatic ecological monitoring and observation platform is built by integrating high-definition underwater cameras,

advanced AI algorithms and cloud video live streaming technology. Capable of real-time aquatic species identification and other functions, the system delivers vital data support for ecological protection. The video convergence and analysis platform consolidates multi-source aquatic ecological monitoring data to elevate monitoring efficiency and precision. In the form of live video streaming, the platform raises public awareness of aquatic ecological environments and diversifies public experience modes related to aquatic ecosystems.

Keywords

Biometrics, Smart Ecology, Aquatic Ecology

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在新型智慧城市建设向生态化、多元化转型的背景下，城市水生态保护与公众体验提升成为智慧城市建设的重要延伸领域。随着 AI 生物识别技术与水下可视化技术的迭代升级，二者的融合应用为城市水生态监测、公众科普及文旅创新提供了全新路径。当前，城市水生态保护面临监测效率低、数据精度不足、公众参与度不高的难题，传统水生物监测依赖人工采样与识别，不仅耗时费力，还难以实现实时、大范围的动态监测；同时，公众对城市河湖、湿地中的水生物及河湖水鸟的观察需求日益增长，但缺乏便捷、直观的体验渠道，水生态科普与文旅融合发展存在明显短板。国内智能化水生态监测细分市场保持高速扩容态势，基于深度学习的视觉识别方法能够在连续视频流中完成水生生物检测、分类与轨迹跟踪，适合河湖长期原位智能生态观测场景[1]，AI 生物识别逐步成为水生态监测标配模块，技术落地潜力巨大，但针对城市水生态场景的定制化 AI 识别方案仍较为匮乏，难以满足精准监测与公众体验的双重需求。

在此背景下，立足智慧城市生态建设需求与公众体验诉求，将水下可视化技术、行业专业水生生物资料库与 AI 生物识别技术深度融合，构建智能化水生态监测与体验平台，成为破解上述难题、丰富智慧城市应用场景的关键举措。本研究拟定制化开发适配水下环境的 AI 生物识别技术，实现水生物种类精准识别、行为动态观察，同时整合高清水下摄像头、先进 AI 算法及视频云直播技术，搭建集监测分析与直播体验于一体的综合平台。本文将围绕该平台的建设思路、核心场景设想展开研究，明确平台在水生物种实时识别、多源数据整合、公众科普体验等方面的功能价值，探讨其在生态保护数据支撑、文旅模式创新中的应用潜力，旨在通过技术融合与场景创新，既提升城市水生态监测的效率与精度，为生态保护提供科学依据，又丰富公众对水生态环境的认知与体验方式，促进智慧城市建设向生态保护与民生体验协同发展的方向发展，为同类城市水生态智慧化建设提供参考。

2. 文献综述

2.1. 行业研究现状

目前水生生物监测国内外目前仍以人工镜检为主，其监测设备多是基于光谱法或传统图像识别算法，检测误差大。随着技术的不断进步，水生生物识别正在从传统的人工镜检向自动化和智能化转变，AI 识别技术的应用正在从单一的藻类识别扩展到包括浮游动物、鱼类等更多水生生物的自动识别。吴微[2]等针对开放室内光照干扰、图像质量下降带来的样本有效特征不足问题，构建适用于复杂光照的掌静脉识

别网络,改善暗光采集条件下的识别效果。余哲[3]等基于改进 YOLOv8-OBb 构建淡水底栖生物小目标检测算法,有效解决河湖复杂水环境下目标密集、轮廓模糊带来的漏检问题,为水生生态智能监测提供技术支撑。胥婧雯等[4]融合音频、视觉双模态特征构建鱼类识别网络,解决暗光下单模态识别失效问题,但浑浊水体识别能力受限。鱼虾幼体、底栖生物属于典型水下小目标,水草遮挡、鱼群堆叠进一步提升检测难度,基于 YOLO 系列的轻量化检测方案是当前主流技术路线。刘振龙等[5]基于 YOLOv10s 构建海洋生物检测模型,针对堆叠遮挡目标优化损失函数,在海洋牧场场景取得良好效果。王瑞[6]等研究了水下多目标生物持续追踪算法,融合 YOLOv8 检测器与 ByteTrack 跟踪器,缓解水体浑浊与目标遮挡造成的轨迹断裂,适配河湖水下视频监控与长期生态观测场景。为促进社会公众对水生生物的了解关爱,提升水生生物资源保护意识,农业农村部等管理单位正在推动 AI 水生生物识别技术的进一步发展。

2.2. 研究意义

本研究有利于提升数据质量与应用效率,通过构建基于声纳图像的高质量数据集,以及优化成像算法和检测算法,能够显著提升水生生物识别的精度和效率。这不仅为生物多样性研究提供了可靠的数据支持,还使得数据在生态评估、资源管理和保护决策等方面的价值得到更充分的发挥;促进数据资源共享与整合,采用多模态数据融合、时空大数据分析等技术,实现对多源异构水生生态数据的全面整合与管理。这一解决方案打破了数据孤岛,促进了数据的共享与流通,使得数据在更广泛的范围内得到应用,从而放大了数据的价值;创新数据应用模式,利用低延迟视频传输、AR/MR 等先进技术,打造水生生态直播文旅模式,不仅为公众提供了直观、生动的水生态体验,还通过直播形式传播了科普知识和环保理念。这种创新的数据应用模式不仅增强了公众的环保意识,还促进了文旅产业的发展,实现了数据价值的多元化开发。通过对水生生态数据的深度挖掘与分析,可以为政府部门、科研机构和企业提供科学的决策支持。这些决策依据数据而生,更加精准、高效,有助于优化资源配置、提高管理效能和推动可持续发展。

2.3. 创新点

综合来看,当前水下视觉增强、小目标检测、水生生物识别、生态监测系统等领域均已形成成熟技术路线,但各项技术相互独立、场景割裂,大多聚焦海洋场景开发,适配城市内河淡水生态、兼顾生态监测 + 公众文旅体验双需求的方案较为稀缺。

本研究实现技术跨界应用融合,将 AI 技术应用于水生生物识别,既可以提高识别的准确性和效率,推动相关技术的进步。同时通过水生生态直播等方式,为游客提供沉浸式的体验,鼓励公众参与到水生生物的观察活动中,提高公众对生态保护的认识,提出水生生态与文旅直播相结合的新模式。

3. 研究内容及目标成果

3.1. 更准确的 AI 生物识别算法

3.1.1. 研究内容

在复杂的水下环境中,由于其多变性和不确定性(如光线、流动性、颗粒物等)使得传统的监测设备难以提供精确的数据(见图 1),且海洋生物体积小、身形相似,现有检测算法准确性和实时性难以兼顾。本研究优化适配河湖水下环境的 AI 生物识别算法,结合专业水生生物资料库强化物种特征匹配,有效改善水体浑浊、生物游动遮挡带来的识别偏差,实现水生生物高精度实时辨识。

3.1.2. 技术实现方案

采用先进的声纳设备进行水下图像采集与成像,以获取更为准确的环境信息。声纳设备通过发射声波并接收其回波来形成图像,能够揭示水下物体的形状、大小和位置。在此基础上,将运用主成分分析



Figure 1. Real images and distorted images
图 1. 真实图片与失真图片

(PCA)算法和 K-means 算法对声纳图像数据进行优化处理。PCA 算法能够有效地提取数据中的主要特征，降低数据的维度，而 K-means 算法则可以对图像数据进行聚类分析，进一步提高图像的质量[7]。同时，为了提升数据采集的质量，还将引入傅立叶变换和小波变换等数学工具进行深度优化，从而更好地分析和处理声纳数据中的频率和时域特性。在目标检测与分类方面，将采用 YOLO 系列算法，该算法能够在单次前向传播中同时预测多个边界框和类别概率，从而实现高速且精确的检测[8]。通过优化 YOLO 算法的主干网络，可以实现多目标融合，特别提升对小目标的检测效果。同时，对头框架的优化将进一步提高检测的实时性，确保在复杂的水下环境中能够实现快速、准确的目标监测与分类。

3.1.3. 目标成果

本研究预期构建适配河湖水下环境、标注完整的声纳图像高质量专用数据集；研发面向水下场景优化的机器学习声纳图像增强成像算法，改善水体浑浊带来的画面模糊问题；改进轻量化 YOLO 检测模型，适配声纳低分辨率图像实现水生生物快速精准识别，整套成果可支撑水下无人监测终端轻量化部署。

3.2. 低扰动、抗附着水下观测设备的设计与研发

3.2.1. 研究内容

为提升设备的可靠性和耐久性，降低人工维护成本，确保其在复杂水下环境中的稳定运行，为水生生态监测提供长期有效的数据支持，设计和开发低扰动、抗附着的水下观测设备需要从结构设计、材料选择和生态兼容性三方面入手。

3.2.2. 技术实现方案

拟开发具备流线型设计的水下观测设备，减少设备在水中运行时对水生环境的扰动。选用高强度、抗腐蚀材料，并应用抗附着涂层，防止设备表面生物附着，确保设备长期稳定运行。集成智能自清洁技术，如超声波清洁装置，进一步减少生物附着，延长设备使用寿命。

在不同水体环境中进行设备性能测试，评估其在复杂水体条件下的抗腐蚀性、抗附着性和对水生环境的扰动情况。根据测试结果，持续优化设备设计，确保其在生态敏感区域内的长期稳定监测能力。在选定的试点区域进行设备部署，建立监测点并进行长期数据收集。通过现场验证，进一步调整和改进设备，确保其在实际应用中的高效性和可靠性。

3.2.3. 目标成果

本研究完成低扰动、抗附着型高效水下观测设备研发与多类水体实地部署，设备工况稳定、监测成

效突出；依托专用抗附着涂层与智能自清洁技术，有效抑制水下生物附着，大幅拉长运维周期，削减全周期运营成本；设备可适应复杂水环境，持续输出高精度、连续性水生态监测数据，全面提升区域水生态综合监测能力，为河湖生态管控与保护工作夯实数据基础。

3.3. 多源异构水生态数据整合平台

3.3.1. 研究内容

实现多源异构水生态数据的整合与管理这个需求主要涉及两个关键点，包括数据来源的多样性和数据格式的异构性[9]。

数据来源的多样性是指水下生态数据可能来自多种来源，包括但不限于摄像设备、传感器(如温度、光照、压力等)，以及外部数据库(如气象数据、海洋环境数据等)。数据格式的异构性是指每种数据源可能使用不同的格式、结构和协议。这些数据通常以异构形式存在，如图像视频数据、传感器数据、文本数据等。整合这样的多源异构数据需要复杂的数据转换和映射过程。

建立异构数据整合平台，将生物识别数据与水质、气象、地理、污染源等数据源进行融合。平台支持异构数据的自动标准化处理与语义集成，提供统一的数据管理界面。

3.3.2. 技术实现方案

需要自动化、精准地识别水生态系统中的生物物种，分类并监测其数量和分布，以支持生态保护和管。现人工识别生物物种效率低且准确性差，难以应对海量生物数据的处理需求。

基于多模态数据，训练并优化深度学习模型(如 CNN、RNN)，实现对图像、视频、声音等数据的自动识别和分类。构建实时识别系统，能够在数据采集的同时进行生物物种的自动识别，并在检测到异常情况时发出预警。系统自动对识别出的生物物种进行分类，并统计其数量和空间分布，生成相关报告。

3.3.3. 目标成果

研究搭建融合深度学习模型的实时智能生物识别分类系统，可完成多模态水下监测数据一体化解析；系统综合识别准确率稳定超 90%，相较传统识别方案，生物样本数据处理效率提升 40%以上，实现高精度、高实时性的水生生物自动识别与归类。

3.4. 水生态直播文旅、科普新模式

3.4.1. 研究内容

在水下或偏远地区进行高质量视频直播需要稳定的网络连接，任何网络中断或延迟都会严重影响用户体验；此外这也涉及高质量直播内容的生产，制作和维持高质量的水生态直播内容，需要持续提供新鲜、有趣的内容来吸引观众，这要求不断探索和发现新的水生态景点，维护设备以及策划主题内容。

3.4.2. 技术实现方案

部署高性能的视频传输设备和网络，确保水下摄像设备能够以低延迟传输高质量的画面。选择适用于水下环境的摄像机和传感器，确保稳定的信号传输和清晰的图像质量。开发或选用一个支持高并发、低延迟的直播平台，具备视频互动、弹幕等功能，提升用户的参与感和互动性。安排每日或定期的水生态直播内容，展示水生物的自然栖息环境、行为习惯等。通过定点摄像无人潜水器(UUVs)，捕捉多角度、多层次的水下生态画面；设置特定时间段的直播，如清晨、黄昏等生物活动较多的时段，吸引观众持续关注。邀请专家或专业讲解员，在直播过程中实时解说水生物种类、生态关系、生存环境等科普知识。科普知识讲解可以通过 AR, MR 技术在屏幕上叠加生物信息，增强观众理解。定期推出专题科普内容，如“海洋的食物链”、“珊瑚礁生态系统”等，结合直播画面进行深入讲解。

3.4.3. 目标成果

搭建低延迟视频传输系统,并构建动态更新的水生态直播内容数据库,库内涵盖水生生物实景影像、科普专题及环保宣教素材;系统支持 AR、MR 技术实时叠加物种属性信息,实现可视化科普展示,丰富水生态公众体验载体。

4. 研究成果实施风险

4.1. 技术风险

4.1.1. 数据质量和完整性风险

水生生物识别算法的建设高度依赖于大量高质量的水生生物图片数据。如果数据存在质量问题,如不准确、不完整、不一致等,将会严重影响算法的准确性和可靠性。同时,对于某些稀缺数据,模型的训练可能会受到限制,导致模型性能不佳。

4.1.2. 算法和模型设计风险

算法和模型设计的合理性、优化程度直接决定了模型的性能。不合理的设计可能导致模型训练效率低下,甚至无法收敛,同时也可能存在过拟合或欠拟合等问题。

4.2. 组织实施风险

4.2.1. 管理风险

本研究涉及多个环节和团队的协作。管理的不善可能导致项目进度延误、预算超支等问题。缺乏有效的管理方法、沟通不畅或决策失误都可能造成不利影响。

4.2.2. 团队协作风险

本研究需要多个领域的专家团队协同工作,包括数据科学家、算法工程师、业务专家等。团队协作的不畅或沟通效率低下可能导致工作重复、资源浪费等问题,影响项目的进展和质量。

4.2.3. 资源分配风险

不合理的资源分配可能导致资源瓶颈、性能下降或成本增加。同时,对新技术和资源的估算不准确也可能带来资源分配的风险。

5. 结语

本研究围绕智慧城市生态建设与公众体验需求,提出了融合水下可视化技术、专业水生生物资料库与定制化 AI 生物识别技术的水生态监测体验平台设想方案,明确了“监测-科普-文旅”一体化的核心建设思路。该方案所依托的多技术融合原理,在城市河湖、湿地等各类淡水生态场景中具备普遍适用性,可迁移至不同城市的水生态智慧化建设项目。结合现有研究基础来看,本方案与以往相关研究均聚焦于 AI 生物识别技术在水生态领域的应用价值,但区别于单一监测功能的方案设计,本研究创新性地融入公众体验与文旅创新维度,丰富了智慧城市生态场景的建设内涵。本方案的提出,在理论上补充了 AI 生物识别技术与智慧城市生态、文旅融合的应用研究,在实践上为城市水生态监测提质、公众体验升级及文旅模式创新提供了可落地的思路,具备较强的实用价值。需说明的是,本方案尚未针对极端水下环境适配、小众水生物种识别等细节问题形成完善的解决路径,这也是后续完善的重点。后续研究会进一步优化 AI 算法适配性、扩充生物特征样本库,同时结合物联网技术实现数据联动,并通过多城市试点优化方案细节,推动该设想方案的逐步落地与推广。

参考文献

- [1] 周鹏, 李昌永, 步雨馨, 等. 全球尺度下的海洋鱼类图像智能分类研究进展[J]. 电子与信息学报, 2024, 46(5): 1853-1864.
- [2] 吴微, 张源, 林森, 等. 双 Gabor 滤波器手掌静脉识别网络[J]. 中国图象图形学报, 2024, 29(9): 2753-2763.
- [3] 余哲, 文露婷, 孙杰, 等. 基于改进 YOLOv8-OBb 的淡水螺密集小目标检测算法[J]. 水生生物学报, 2025, 49(8): 082502.
- [4] 胥婧雯, 于红, 张鹏, 等. 基于声音与视觉特征多级融合的鱼类行为识别模型 U-FusionNet-ResNet50 + SENet [J]. 大连海洋大学学报, 2023, 38(2): 348-356.
- [5] 刘振龙, 王骥, 麦任贵. 基于改进 YOLOv10s 的海洋牧场水下海参检测方法[J]. 农业工程学报, 2025, 41(10): 186-194.
- [6] 王瑞, 权佳宁, 田云臣. 基于 YOLOV8-ByteTrack 鱼苗自动计数装置的设计与试验[J]. 渔业科学进展, 2025, 46(5): 99-109.
- [7] 汪宝平. PCA-Kmeans-tSNE 融合架构下的图像特征解耦与可解释可视化系统研究[J]. 信息与电脑, 2025, 37(14): 5-7.
- [8] 李柯泉, 陈燕, 刘佳晨, 等. 基于深度学习的目标检测算法综述[J]. 计算机工程, 2022, 48(7): 1-12.
- [9] 秦昊, 秦洪亮, 纪国良. 长江流域水库群数据管理平台设计及关键技术分析[J]. 人民长江, 2026, 57(1): 236-242, 252.