

基于轻量化 YOLOv8s 模型的 无人机河道漂浮物实时检测方法研究

王子垚, 王梓源, 钱保如, 陆冠臣, 王海蓉

(江苏省骆运水利工程项目管理处, 江苏 宿迁 223800)

摘要:为解决河道漂浮物检测中微小漂浮物的识别问题,提出结合 YOLOv8s、LSKA 和 AKConv 的改进模型,将 YOLOv8s 的参数从 11.1M 降至 8.3M,并在“中国水科院水面漂浮物数据集”上将 mAP50 从 68.0% 提升至 77.9%。结果表明,该方法能提高检测精度,增强遮挡识别能力,使网络更适应河道复杂环境,有效提升无人机在河道中的实时检测能力,为水利管理提供了高效解决方案。

关键词:漂浮物识别; 无人机; 轻量化; 实时检测; YOLOv8s

中图分类号: TP391.4

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2025)01-0021-0005

Research on real-time detection method of floating debris in river using UAV based on lightweight YOLOv8s model

WANG Ziyao, WANG Ziyuan, QIAN Baoru, LU Guanchen, WANG Hairong

(Luoyun Hydraulic Project Management Division of Jiangsu Province, Suqian 223800, China)

Abstract: To solve the problem of identifying small floating objects in river floating object detection, an improved model combining YOLOv8s, LSKA, and AKConv is proposed. The improved model reduces the parameters of YOLOv8s from 11.1M to 8.3M, and increases mAP50 from 68.0% to 77.9% on the "Chinese Academy of Water Surface Floating Object Dataset". The results show that this method can improve detection accuracy, enhance occlusion recognition ability, make the network more adaptable to complex river environments, effectively enhance the real-time detection capability of UAV in rivers, and provide an efficient solution for water management.

Key words: floating debris identification; UAV; lightweight; real-time detection; YOLOv8s

河道中的漂浮物,如水草、树枝、塑料袋等垃圾,如果得不到及时清理,往往会迅速积聚,带来一系列水利管理上的难题。首先,大量漂浮物会加剧水体污染,阻碍水流,影响水质,水中的含氧量可能下降,导致水生生物死亡,破坏河流生态系统的平衡;其次,漂浮物的堵塞会增加设备的负荷,导致其运转效率降低,甚至发生机械故障^[1]。因此河道中漂浮物的及时检测对维护水源清洁、消除潜在危险、保护水利设备并延长其使用寿命至关重要。然

而,河道环境往往地形复杂,部分区域甚至没有公路或桥梁相连,导致巡查人员只能徒步进入。这种复杂的环境使得人工巡查非常困难且耗时,巡查员往往很难获取河面漂浮物的实时分布情况。即使发现了问题,往往也因为信息传递不及时,无法迅速组织清理工作。这不仅增加了河道管理的工作强度,还使得水利设施面临的风险和成本不断上升。

为了应对这些挑战,利用现代技术进行河道漂

收稿日期: 2024-09-23

作者简介: 王子垚(1996—),男,硕士,主要从事水利工程生产运行工作。E-mail: 1214436643@qq.com

浮物的自动化检测和监控变得至关重要,如在河道中布置智能浮标,利用传感器检测水面漂浮物的存在,这些浮标可以实时监测水质和漂浮物情况,并将数据传输到监控中心进行分析和处理;利用卫星遥感技术对大范围河道进行监测,通过高分辨率卫星影像识别水面漂浮物^[2]。上述方法成本太高,不利于推广。除此之外,通过无人机拍摄进行实时检测和监控也是一种有效的方法^[3]。然而,漂浮物在无人机镜头中通常非常小,加上倒影和反光引起的复杂背景,以及多尺度特征,这给传统的图像识别算法带来了诸多挑战。

为了解决无人机在河道漂浮物检测中面临的多尺度、小目标、复杂背景和遮挡问题,研究提出了一种轻量化的YOLOv8s模型,深度融合了垂直一维卷积核(large separable kernel attention, LSKA)、变核卷积(asymmetric kernel convolution, AKConv)、双向特征融合策略(bidirectional SCDOWN feature pyramid network, BSFPN)技术,旨在提升模型在微小物体检测中的能力,特别是针对不同尺寸目标及复杂场景。研究的主要贡献和创新点为

集中模型注意力。LSKA通过大尺寸的可分离卷积核在更大范围内提取图像的关键特征,同时显著减少了计算复杂度。在河道场景中,漂浮物往往与背景混淆,LSKA能充分利用了不同层次特征图来增强模型对小目标的注意力。

适应不同目标尺寸。为应对不同尺寸漂浮物的检测需求,模型结合了AKConv和BSFPN技术。AKConv通过不对称卷积核设计,提升了对多尺度目标的感知能力,确保模型能够灵活处理从微小到较大的漂浮物;BSFPN通过双向特征融合策略,实现了更高效的多尺度特征表达,确保了不同层次特征的共享与交互,从而增强了模型对多尺寸目标的适应性。

轻量化设计。通过融合LSKA、AKConv和BSFPN技术,研究模型实现了轻量化设计。这种设计不仅降低了模型的参数量和计算复杂度,还提升了计算效率,确保了模型在嵌入式设备上的高效运行,适用于无人机的实时河道监控等资源受限的场景。

1 相关工作

YOLO(You Only Look Once)系列模型因其高效的检测速度和较高的检测精度^[4],广泛应用于实时目标检测任务。YOLO模型通过将目标检测问题转

化为回归问题,直接在单次前向传递中预测目标的类别与边界框,从而极大提高了检测速度,实现了端到端的目标检测。YOLOv8s的网络结构可以分为3个部分:主干(Backbone)网络、颈部(Neck)网络和头部(Head)网络。这些部分各自承担特定功能,并协同工作以实现高效的目标检测。通过特征提取、多尺度特征融合以及目标分类和定位,YOLOv8s能够实现实时且精确的目标检测。

尽管YOLOv8s通过增强特征提取、路径聚合和特征金字塔网络在通用目标检测中表现优异,但在河道漂浮物识别任务中仍存在显著缺陷。具体而言,它在小目标检测、复杂背景处理、遮挡情况下的检测精度和高分辨率图像处理性能上表现不足,导致漂浮物漏检和误检。此外,YOLOv8s缺乏针对漂浮物形态特征的专门优化,难以应对漂浮物形状多样化及其与背景的高度相似性。这些问题限制了其在河道漂浮物检测中应用推广。

2 轻量化的YOLOv8s模型

研究提出了一种轻量化的YOLOv8s模型,融合LSKA、AKConv和BSFPN技术,以应对多尺度、小目标、复杂背景和遮挡问题,提升微小物体检测能力。

2.1 LSKA技术

LSKA通过结合大尺度的可分离卷积和注意力机制,解决了传统卷积在捕捉长程依赖特征时的局限性,如图1所示,该模块将大核卷积分解为深度卷积、深度扩张卷积和 1×1 卷积,然后将2D深度卷积核与深度扩张卷积核进一步分解为1D水平和垂直卷积核,最终通过串联这些分解后的卷积核构建LSKA模块。传统卷积虽然可以通过增大卷积核来扩展感受视野,但这会导致计算量急剧增加,影响模型的效率。LSKA引入了大尺度的可分离卷积核,配合注意力机制,使得模型能够在低计算复杂度下有效捕捉远程特征,同时聚焦于重要的区域信息。这种设计尤其适用于河道漂浮物复杂背景中的小目标识别。



图1 LSKA网络结构

2.2 C2FAKConv技术

传统卷积核使用固定的采样网格,限制了其对不规则形状、缩放或变形物体的检测能力,而

AKConv 通过引入任意采样位置集,允许卷积核在训练过程中自适应调整位置,捕捉更广泛的图像特征。用AKConv 替换原普通卷积模块,构建新的C2f模块,成为C2FAKConv,具体如图2所示。在引入C2FAKConv 后不仅减少YOLOv8s的参数和计算量,而且显著提高了模型捕获上下文信息的能力。

2.3 BSFPN技术

为了提升模型在河道漂浮物数据集上的表现,研究在Bi-FPN结构的基础上引入了SCDown模块,构建了全新的BSFPN特征金字塔网络。SCDown模块通过缩放卷积下采样,增强了小目标的识别能力,并与多层次信息融合相结合,使网络在复杂背

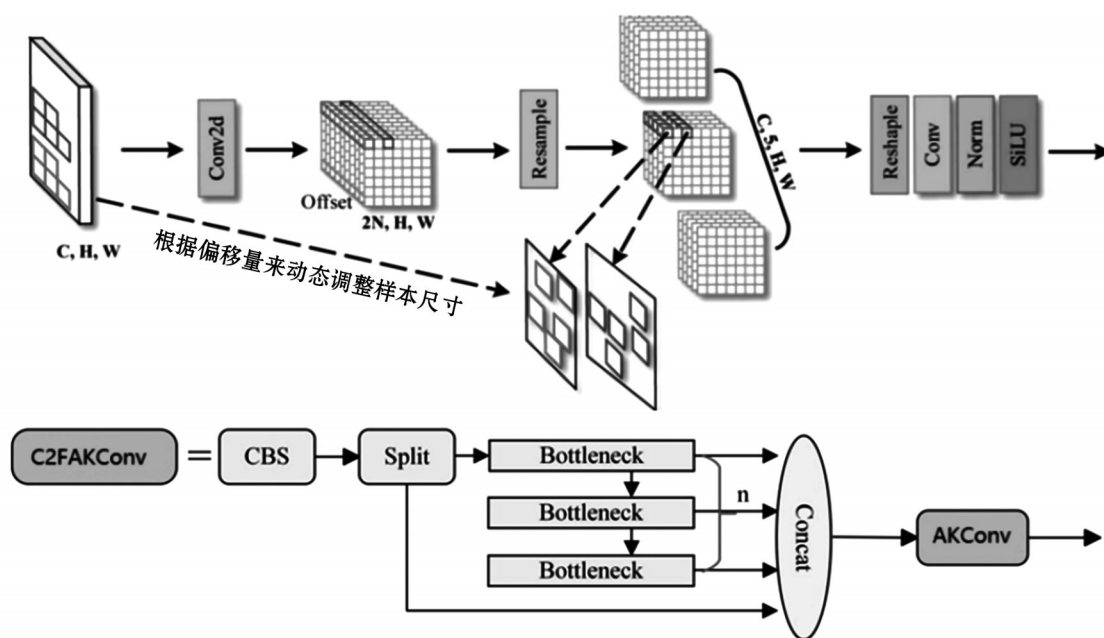


图2 C2FAKConv架构和示意图

景中更加有效地检测难以识别的目标。深度融合LSKA, C2FAKConv 和BSFPN技术来优化YOLOv8s模型,具体网络结构如图3所示。

3 实验

3.1 数据集

研究使用中国水利水电科学研究院开发的“水面漂浮物数据集”来进行算法准确率和性能评估^[5],该数据集大小为2.09GB,包含3 000张图像,标注了23 692个目标,包括塑料瓶、泡沫板、水草、藻类等常见漂浮物,其中监控摄像头和无人机拍摄的画面比较类似。

3.2 实验结果

采用平均精度均值(mean average precision, MAP)作为准确率评价指标,性能评估使用FPS(每秒帧数)、参数量。在训练过程中,优化器采用SGD,初始学习率为0.01,余弦退火参数为0.01,权重衰减为0.0005,学习率动量为0.937。数据集按照4:1的比例划分为训练集和测试集,所有实验均使

用了预训练权重进行初始化。具体实验结果如图4和表1所示。

表1展示了不同目标检测算法在河道漂浮物检测任务中的性能表现,研究提出的轻量化YOLOv8s模型在各项指标上表现出明显优势。优化后模型能够更好地集中注意力于关键特征区域,从而提高对漂浮物的检测精度,MAP达到77.9%,同时参数量保持在8.3 M,且推理时间仅为3.1 ms 每帧。因此优化后算法显著降低了计算复杂度,确保算法可以在资源受限的无人机中实现实时高效的河道监控。

3.3 算法应用

根据3.2章节可了解到轻量化YOLOv8s模型成功地将其参数量缩减至8.3 M,同时推理时间也优化到了3.1 ms 每帧,这一显著的性能提升使得该模型能够顺利部署在无人机所搭载的嵌入式计算平台上。在无人机上,模型通过专用的图像处理模块接收来自摄像头的实时视频流,该摄像头应该具有高分辨率和广角视野,能够捕捉河道的广阔区域。轻量化的算法模型能够迅速识别出河道中的塑料瓶、

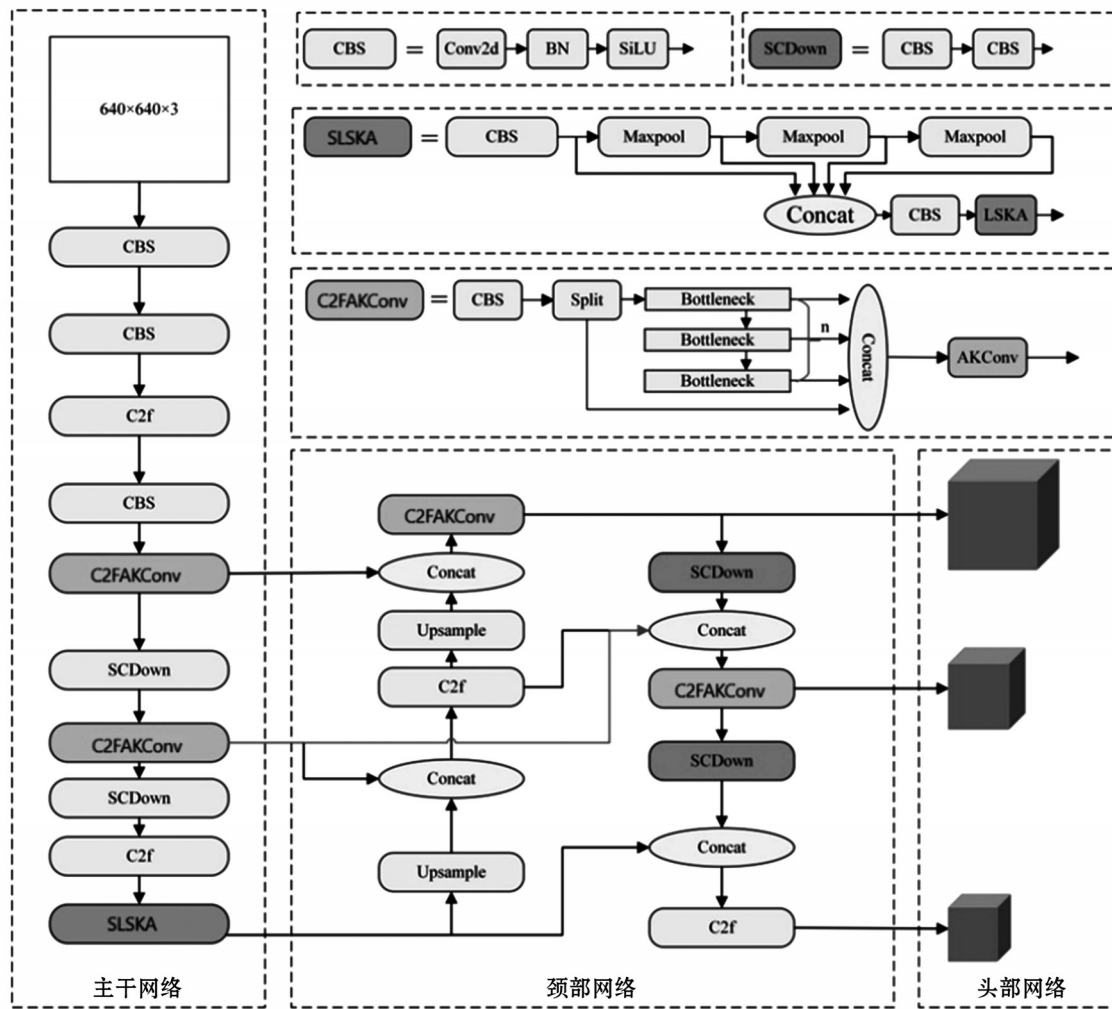


图3 轻量化的YOLOv8s网络架构



图4 轻量化YOLOv8s识别结果

表1 不同目标检测算法在数据集上的测试效果

模型	输入大小 / px	mAPtest 50-95 / %	每帧速度/ms	参数量 / M
Faster R-CNN	600	52.7	142.9	86.3
RetinaNet	640	66.3	51.4	145.7
SSD	300	62.9	26.0	95.0
CenterNet2	640	59.3	140.0	570.9
YOLOv5s	640	67.1	4.5	7.0
YOLOv6s	640	65.2	2.7	18.5
YOLOv7	640	66.3	6.7	6.2
YOLOv8s	640	68.0	4.5	11.1
YOLOv9	640	69.1	6.3	252.2
轻量化YOLOv8s	640	77.9	3.1	8.3

泡沫板、水草、藻类等常见漂浮物,因此能够实现对漂浮物的实时跟踪和定位。

在检测到漂浮物后,无人机将相关信息(如漂浮物的位置、类型、数量等)通过无线传输方式发送至地面控制站。地面控制站接收到数据后,可以进行进一步的分析和处理,及时采取了相应的治理措施,有效减少了河道漂浮物对水质和环境的影响。同时,无人机还可以将检测到的漂浮物图像和相关信息存储在本地存储设备中,以便进行后续的数据分析和研究,这些数据可以为河道治理和环境保护提供有力的支持。得益于算法检测的高准确率,无人机所需传输和存储的数据量得到了大幅度缩减,进而极大地提升了数据传输和存储的效率。

综上所述,研究提出的轻量化YOLOv8s模型在无人机河道漂浮物检测中展现出了显著的优势和实用性。通过优化模型结构和参数,实现了对漂浮物的快速、准确识别,为河道治理和环境保护提供了有力的技术支持。

4 结 论

研究针对无人机在河道漂浮物检测任务中面临的多尺度、小目标、复杂背景和遮挡问题,提出了一种轻量化的YOLOv8s模型,并进行了有效改进。通过引入垂直一维卷积核、变核卷积和双向特征融合策略,该模型在检测精度、速度和模型复杂度上

都取得了显著提升。然而,改进模型仍存在一些局限性,如尽管在河道场景下性能提升显著,但相比于更高精度的检测模型,其识别精度还有待进一步提高,尤其是在更复杂的场景中,模型的检测能力可能会有所下降。

未来,研究可通过引入更多创新的卷积结构和特征融合策略,继续提升模型的泛化能力和鲁棒性,为无人机河道监控和其他实时检测任务提供更高效、智能的解决方案。

参考文献:

- [1] 汤明文,戴礼豪,林朝辉,等. 无人机在电力线路巡视中的应用[J]. 中国电力,2013(3):35-38.
- [2] CHENG Y, XU H, LIU Y. Robust small object detection on the water surface through fusion of camera and millimeter wave radar[J]. Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision,2021,11(4):15263-15272.
- [3] 王乾胜,展勇忠,邹宇. 基于改进 YOLOv5n 的无人机对地面军事目标识别算法[J]. 计算机测量与控制,2024,32(6):189-197,226.
- [4] 张华卫,张文飞,蒋占军,等. 引入上下文信息和 Attention Gate 的 GUS-YOLO 遥感目标检测算法[J]. 计算机科学与探索,2024,18(2):453-464.
- [5] 杨明祥,乔广超,王浩,等. 水面漂浮物数据集 (IWHR_AI_Lable_Floater_V1)[DB/OL]. 中国水利水电科学研究院,2023. <http://123.56.14.89:8008/wfdownload/>.