



遥感技术在海洋油污扩散实时监测中的算法改进初探

吴伟华

江苏省生态环境监测监控有限公司南通分公司 南通 210000

摘要: 海洋油污扩散实时监测对海洋环境保护至关重要。本文针对遥感技术在海洋油污扩散实时监测中应用的算法提出改进方案。通过融合多源遥感数据,结合光谱特征与纹理特征构建了改进算法模型,显著提高了油污区域识别精度。同时引入无人机遥感技术,充分发挥其高分辨率和实时性优势,实现了油污面积图快速生成与污染范围精确估算,整合了海流、风速等环境参数,提升了预测准确性。实验结果表明,改进后的算法在实时监测响应速度和识别精度方面均优于传统算法,为海洋油污应急响应提供了可靠的技术支撑。

关键词: 海洋油污监测; 遥感技术; 算法改进; 多源数据融合

中图分类号: TP79 **文章编号:** 1671-9212(2025)04-0100-04

文献标识码: A **DOI:** 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.04.015

随着全球海洋油气开发事业的快速发展,海洋溢油问题愈发严峻,对海洋生态环境和沿海经济构成了巨大威胁。遥感技术具有大范围、实时、动态监测的优势,已成为海洋油污扩散实时监测的重要手段。然而,传统遥感监测算法在处理复杂海洋环境下的油污信息时存在局限性,表现为识别精度不足、实时性较差且易受海洋背景噪声干扰等,难以满足实际监测需求。国外学者在该领域研究起步较早,已发展出多种油污识别技术,技术和理论体系相对成熟。国内学者针对我国海域特点,改进了光学遥感算法,提出了基于多尺度特征融合和深度学习的合成孔径雷达(SAR)图像油污监测算法,并研究了多源遥感数据融合技术,实现了对海洋油污更全面、准确地监测。尽管如此,当前研究仍存在误判率和漏判率较高、处理海量数据时计算时间过长、缺乏广泛适用性等问题。本研究针对上述技术瓶颈,从多源数据融合、算法改进和计算效率等方面进行改进,旨在提升海洋油污实时监测的准确性、时效性和环境适应性,为及时发现油污扩散动态、保护海洋生态系统、科学指导高效清污作业以及降低经济损失提供理论和技术参考。

1 遥感技术在海洋油污监测中的应用

1.1 遥感技术原理与特征

遥感技术是一种非接触式远距离的探测技术,通过卫星、飞机等搭载的传感器收集目标物体反射、散射或发射的电磁波信息,实现对目标物体的监测和分析。在海洋油污监测中,其核心原理是利用电磁波与油污相互作用的特性,通过不同波段的信号差异识别油污。其中,可见光遥感利用 0.38 ~ 0.76 μm 波段,根据油膜与海水反射率差异识别油污,具有空间分辨率高的优势,但受光照条件限制,夜间或阴天无法工作,且对微弱油膜信号的检测能力较弱;红外遥感利用 0.76 ~ 1000 μm 波段,基于油膜与海水的辐射差异监测油污,具备昼夜工作能力,对油膜厚度敏感,但易受大气干扰导致监测精度下降;微波遥感利用 1 mm ~ 1 m 波段,通过 SAR 等传感器实现全天候、全天时监测,可准确识别油膜位置和范围。

1.2 常用遥感传感器及应用

在海洋油污监测中,不同遥感传感器各具优势并适用于特定场景。光学遥感卫星 Landsat、SPOT

[收稿日期] 2025-07-03

[作者简介] 吴伟华,男,1992年生,工程师,主要从事环境监测工作, E-mail: 76544235@qq.com。



及我国高分系列搭载多光谱扫描仪,可通过油膜与海水在可见光、近红外和中红外波段反射率差异,识别油污区域,尤其在近岸海域对小面积油污斑块识别效果显著;雷达遥感卫星 ERS、Radarsat 及高分三号搭载 SAR 通过油膜降低海面粗糙度导致的微波后向散射系数减小这一特征,能准确识别油膜位置和范围,对微小油污区域也能精确探测;红外遥感传感器常用于气象卫星,如 NOAA 和风云系列,利用油膜与海水热辐射差异识别油污,通过温度分布分析确定油污存在并估算油膜厚度。

1.3 典型应用案例分析

在多处海洋溢油事件中,遥感技术均发挥了关键作用。2006年,渤海湾海域溢油事故,通过卫星遥感获取光学与 SAR 影像及图像处理,识别了油污边界^[1]。2018年,大连“7·16”输油管道爆炸溢油,当地海洋监测部门调用高分辨率卫星及航空遥感获取实时影像,卫星遥感获取宏观信息,多时相影像对比跟踪变化、评估清污效果,为环境损害评估提供依据^[2]。2022年,黄海海域船舶碰撞溢油,海洋管理部门协调多方遥感资源全方位监测,如海洋一号、哨兵二号、高分三号等国内外遥感数据开展跟踪监测,实时处理分析协助应急指挥中心掌握动态、调整部署,这些数据还用于事后评估对海洋生态系统的影响^[3]。

2 现有海洋油污扩散实时监测算法的局限性分析

2.1 主流算法原理概述

在海洋油污扩散实时监测领域, SAR 图像后向散射系数算法是一种经典方法。该算法通过分析 SAR 图像中目标区域后向散射系数来识别油污,清洁海水因表面粗糙对微波散射强烈,而油膜覆盖区域因海面粗糙度降低导致后向散射系数减小,在 SAR 图像上呈现暗区。通过设定阈值,将后向散射系数低于阈值的区域识别为油污区域,经过预处理和二值化处理,即可得到油污分布范围。近年来,基于机器学习的分类算法,如支持向量机(SVM)、随机森林(RF)和神经网络,在该领域得到广泛应用^[4]。这些算法通过学习大量样本数据中的特征

模式,实现对油污的准确分类和识别。SVM 通过寻找最优的分类超平面来区分油污和非油污图像,RF 通过集成多个决策树提高分类的准确性和稳定性,而神经网络尤其是深度学习中卷积神经网络(CNN),能自动学习图像的高级特征,展现出更高的精度和效率。

2.2 算法流程与技术瓶颈

SAR 算法流程包括预处理、计算后向散射系数、二值化处理及后处理步骤,确保油污分布范围准确可靠。而机器学习分类算法,如 SVM 和 CNN,则通过收集大量油污和非油污遥感图像样本,提取特征向量并训练模型以实现油污准确分类和识别;SVM 通过寻找最优分类超平面,利用核函数处理非线性可分问题;CNN 则通过卷积层、池化层和全连接层提取图像特征,利用反向传播算法训练模型;但此类算法对训练样本的数量与质量依赖性强,样本分布不均时易出现过拟合。

2.3 存在问题与挑战

尽管现有算法在海洋油污扩散实时监测中取得了一定成果,但仍面临诸多挑战。在准确性方面,恶劣天气如海上强风、暴雨、海浪会模糊油膜特征,增加误判和漏判风险;同时,现有算法对小面积油污检测能力较弱,其特征易被海洋噪声淹没。在时效性方面,随着遥感数据量迅猛增长,算法处理海量数据时计算效率低,难以满足实时监测需求,易错过最佳清污时机。在适应性方面,不同海域的海洋环境参数差异大,影响油膜特征和算法性能,导致算法普适性较差;例如,特定海域训练的机器学习分类算法在其他海域应用时,因海流、潮汐等环境参数差异,导致油污识别准确率大幅降低。

3 海洋油污扩散实时监测算法的改进路径

3.1 多源数据融合策略

在海洋油污扩散实时监测中,单一遥感数据存在局限性,难以全面准确获取信息。因此,融合多源遥感数据以及海洋环境数据成为提升监测准确性的关键。其中,光学遥感数据提供高分辨率图像和光谱信息,但受光照条件限制;SAR 遥感数据具

备全天候监测能力,但空间分辨率较低且图像噪声多;红外遥感数据通过热辐射差异识别油污,但易受大气干扰^[5]。采用多源遥感数据融合技术,数据层融合直接处理原始数据,结合光学遥感高分辨率和 SAR 全天候图像,提高油污识别能力;特征层融合提取不同类型数据特征并组合,增强模型识别力;决策层融合则综合各数据分类结果,通过决策规则提高判断准确性。同时,结合海洋环境数据温度、盐度、海流、风向等,显著影响油污扩散和分布,为油污监测提供更全面的信息。通过校正遥感监测结果、分析疑似油污区域的环境数据,建立海洋环境数据与油污特征的关联模型,预测油污扩散趋势,为油污监测和治理提供科学依据。

3.2 算法模型优化方法

改进机器学习分类算法以提升海洋油污监测性能,神经网络结构改进是关键。传统结构在处理复杂任务时特征提取不充分、泛化能力不足的问题,为此可引入注意力机制,如 Squeeze-and-Excitation (SE) 模块,增强模型对油膜关键信息的提取能力。同时,残差连接能缓解梯度消失问题,提高深层神经网络的训练效果和泛化能力。参数改进方面,采用 Xavier 或 Kaiming 初始化方法可加快网络收敛速度,避免陷入局部最优解。学习率调整策略也至关重要,如指数衰减法和 Adam 算法,能使模型更快收敛到最优解。此外,深度学习技术生成对抗网络(GAN)可扩充训练数据集,提高模型泛化能力;如循环神经网络(RNN)及其变体长短期记忆网络(LSTM)和门控循环单元(GRU)能处理时间序列数据,预测油污扩散趋势,为提前制定清污策略提供重要依据。

3.3 实时性与效率提升方案

在海洋油污扩散实时监测中,数据处理实时性和效率至关重要。随着遥感数据量激增,传统单机处理方式已难以满足需求。因此,并行计算技术成为提升算法效率的关键。该技术将计算任务分解为多个子任务,分配到多个计算单元同时处理,可显著缩短计算时间。在 SAR 图像后向散射系数算法和机器学习分类算法中,均可利用并行计算加速处理过程^[6]。此外,云计算技术为监测提供了强大的

计算资源支持和高效数据处理能力,能够动态调整资源,以避免资源闲置或不足。通过将监测算法部署到云计算平台,可实现对油污的实时监测,在模拟油污泄漏事件中,整个处理过程仅需 5 min,即可及时准确地提供油污信息。

4 改进算法的效果评估

4.1 评估指标体系构建

对改进后的海洋油污扩散实时监测算法进行评估时,准确性、时效性和稳定性是衡量其性能的关键指标。准确性通过准确率、召回率和 F1 值来评估,它们反映了算法识别油污精准度、正确识别油污样本的比例以及准确率和召回率的综合表现,是判断算法对油污识别准确性的核心依据。时效性则强调算法处理遥感数据的速度,要求在油污事故发生后短时间内完成数据处理并输出结果,以确保油污监测及时性和有效性;在实际应用中,设定时间阈值(15 min)来评估算法时效性,超过此阈值导致应急响应延迟,增加损失。稳定性则是评估算法在不同环境条件和数据变化下的可靠性,通过在不同时间、海域、天气条件下采集遥感数据进行多次测试,分析准确性指标的波动情况,以及改变数据噪声水平、数据量大小等因素观察性能变化,以此来判断算法的抗干扰能力和适应性;在恶劣天气条件下,若算法准确率和召回率波动范围在 5% 以内,即可认为其稳定性良好。

4.2 实验设计与数据采集

为了全面准确地评估改进算法在海洋油污扩散实时监测中的性能,本研究设计了涵盖渤海湾、南海、黄海等不同海域和晴天、多云、小雨、强风等天气条件的对比实验,从准确性、时效性和稳定性等多个维度进行考量。实验选取了代表性海域(渤海湾、南海、黄海等),以检验算法在不同海洋环境参数下的适应性和普适性;设置了多种天气场景(晴天、多云、小雨、强风等),以考察算法在不同干扰条件下的性能。为确保实验数据的准确性和一致性,采用了多种数据采集方法:利用卫星遥感技术获取哨兵一号卫星 C 波段 SAR 数据、高



分三号卫星多种成像模式等类型遥感数据，使用无人机进行低空遥感监测以补充卫星数据不足，并结合实地调查方法，在海上部署监测浮标并派遣监测船进行实地采样和测量。在数据采集过程中，严格控制数据质量，对卫星遥感数据进行预处理，对无人机影像数据进行图像拼接和镶嵌处理，对实地调查数据进行质量控制和审核。

4.3 实验结果分析与讨论

通过对改进算法与传统算法在不同海域、天气条件下的对比实验结果显示，改进算法在准确性、时效性和稳定性方面均展现出显著优势。在准确性上，改进算法通过融合多源数据，显著提高了油污识别能力，降低了误判率和漏判率，尤其在复杂海洋环境中表现更佳。在时效性上，采用并行计算和云计算技术的应用大幅缩短了数据处理时间，满足了实时监测需求。在稳定性上，改进算法在不同条件下的性能波动较小，展现出较强的抗干扰能力和适应性。同时，改进算法也存在局限性，对小面积油污的检测易出现漏检，在复杂背景干扰下误判率会上升。针对这些问题，可通过引入超分辨率技术提高图像分辨率，进一步优化特征提取算法，增强对小面积油污的识别能力。

5 结语

本研究聚焦改进遥感技术在海洋油污扩散实时监测中的算法，通过融合多源数据，显著提升了改进算法的准确性，有效降低了误判率和漏判

率；采用并行计算和云计算技术大幅增强时效性，满足了实时监测的要求；改进算法在不同海域和天气条件下性能波动较小，展现出较强的抗干扰能力和适应性。实际案例分析进一步验证了改进算法的有效性和实用性。未来，随着遥感和计算机技术的发展，高分辨率数据获取、智能化自动化技术的深度应用将成为该领域的重要发展趋势。后续研究可围绕算法的轻量化部署、多尺度监测数据的动态融合等方向展开，进一步提升海洋油污监测的精准性与实时性，为海洋生态环境保护提供更有力的技术支撑。

参考文献

[1] 于五一, 李进, 邵芸, 等. 海上油气勘探开发中的溢油遥感监测技术——以渤海湾海域为例 [J]. 石油勘探与开发, 2007 (3): 378 ~ 383.

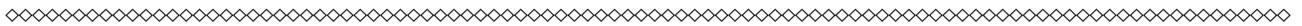
[2] 兰国新, 李颖, 李宝玉, 等. 基于多源遥感的海上溢油应急监测研究与应用 [J]. 大连海事大学学报, 2012, 38 (1): 97 ~ 100.

[3] 刘建强, 安文韬, 梁超, 等. 高分三号卫星在应急监测中的应用 [J]. 卫星应用, 2021 (9): 33 ~ 35, 38 ~ 40.

[4] 李颖, 李冠男, 崔瑾. 基于星载 SAR 的海上溢油检测研究进展 [J]. 海洋通报, 2024, 36 (3): 241 ~ 249.

[5] 李四海. 海上溢油遥感探测技术及其应用进展 [J]. 遥感信息, 2004 (2): 53 ~ 57.

[6] 刘丙新. 基于高光谱特征的水上油膜提取与分析研究 [D]. 大连海事大学博士学位论文, 2013.



(上接第 95 页)

[26] 李小霞, 邱彬崇, 柳碧薇, 等. 发酵啤酒糟替代配合饲料中豆粕对奥尼罗非鱼生长与生化指标的影响 [J]. 中国水产科学, 2016, 23 (2): 396 ~ 405.

[27] 李秋云, 陈光荣, 李烟亮, 等. 桑葚酒糟、玉米和豆粕组合对郴州高山禾花鱼生长及品质的影响 [J]. 中国饲料, 2023 (19): 102 ~ 107.

[28] 李凯年. DDGS 可以替代水产养殖日粮中的鱼粉 [J]. 中国动物保健, 2010, 12 (11): 83 ~ 84.

[29] 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心. 一种用于

青虾养殖的底栖饵料生物培养基及其使用方法: CN201210032225.6[P]. 2013-06-05.

[30] 黄莹, 刘轩宇, 张雯怡, 等. 玉米 DDGS 替代豆粕对中华圆田螺幼螺生长性能、抗氧化能力和消化系统组织结构的影响 [J]. 水生生物学报, 2025, 49 (7): 135 ~ 147.

[31] 郝继浦. 利用海带渣和啤酒糟生产刺参饵料的研究 [D]. 哈尔滨工业大学硕士研究论文, 2014.

[32] 肖玉华. 五粮液牵手新希望生产“酒糟饲料” [J]. 中国酒, 2014 (8): 85.