

网络优先数字出版时间: 2016-05-12

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20160512.1516.002.html>

基于星载 SAR 和 AIS 构建海面溢油监测方法*

Conception of Method for Marine Oil Spill Monitoring Based on Spaceborne SAR and AIS

邴磊^{1,2,3}, 邹娜娜⁴, 过杰¹, 丛旭东³, 林勤⁵, 史湘君³

BING Lei^{1,2,3}, ZOU Nana⁴, GUO Jie¹, CONG Xudong³, LIN Meng⁵, SHI Xiangjun³

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 烟台海事局, 山东烟台 264000; 4. 烟台五中, 山东烟台 264001; 5. 北京市遥感信息研究所, 北京 100085)

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong, 264003, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China; 3. Yantai Maritime Safety Administration, Yantai, Shandong, 264000, China; 4. Yantai No. 5 Middle School, Yantai, Shandong, 264001, China; 5. Beijing Institute of Remote Sensing Information, Beijing, 100085, China)

摘要: 溢油事故对海洋环境造成的危害越来越严重, 多种遥感技术被应用于海洋环境的监测, 卫星遥感技术, 特别是合成孔径雷达(SAR)遥感技术已成为海面溢油监测的重要手段; 但由于海面溢油成像特征的复杂性, 单一的遥感识别仍然存在较大难度。本研究提出结合船舶自动识别系统(AIS)等辅助信息, 对海面溢油进行判别, 再利用边缘检测算法自动提取溢油信息的方法, 并以 Radarsat-2 数据为例进行案例分析。结果表明, 该方法能够有效提高溢油识别和检测的准确性。

关键词: 溢油 合成孔径雷达 自动识别系统 边缘检测 Radarsat-2 数据

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2016)02-0079-04

Abstract: In recent years, the frequent occurrence of marine oil spill accidents give a serious threat to marine environment and transportation safety. Satellite remote sensing, especially Synthetic Aperture Radar (SAR) is considered as a powerful tool to be used for marine oil spill monitoring. Because of the complexity of the imaging features, it is difficult to detect oil spills based on SAR images itself. In this paper, we focus on identification technology of oil spills by using spaceborne SAR images and AIS. Then, discusses method of extracting the scope and area of pollution automatically by using edge detection algorithm. A case study of Radarsat-2 was discussed finally. The results show that this method was proved to be effective on SAR images in improving accuracy of oil spill detection.

effective on SAR images in improving accuracy of oil spill detection.

Key words: oil spill, SAR, AIS, edge detection, Radarsat-2 data

收稿日期: 2015-11-10

作者简介: 邴磊(1984—), 男, 博士研究生, 主要从事卫星遥感监视及溢油应急技术的研究和应用。

* 交通运输部海事局 2015 年科技项目(2015-13)资助。

0 引言

随着海洋经济的发展,海洋产业日益壮大,海洋石油资源的开采与运输活动给海洋环境带来沉重负担。近年来,海洋溢油事故频发:2010年美国墨西哥湾“深水地平线”钻井平台爆炸起火,大量原油入海;同年,我国大连发生的“7·16溢油事故”,对沿海与近海生态环境、海洋资源与海洋经济造成了重大损害。海上溢油发生后,能否及时准确地通过监测手段获取溢油污染信息,对保护海洋环境和生态资源具有重要意义。卫星遥感具有快速获取大面积海洋信息的能力,特别是合成孔径雷达(SAR)已经成为海面溢油监测技术的重要手段之一^[1]。但由于溢油入海后,会发生一系列复杂的物理、化学和生物变化,故溢油在 SAR 影像上的成像会受多种因素的影响,使得 SAR 影像上会存在大量“似油膜”现象,严重影响溢油的判别,因此,单纯依靠 SAR 影像往往难以取得理想的监测效果。本文在分析遥感探测溢油原理和方法的基础上,提出利用船舶自动识别系统(AIS)等辅助信息,对海面溢油进行识别,再利用边缘检测算法进行溢油自动提取的方法,以期提高溢油判别的准确率。

1 星载 SAR 溢油监测原理和 AIS 的功能

1.1 星载 SAR 及其溢油识别原理

从 1978 年第一颗星载 SAR 系统 Seasat 成功发射并运行以来,星载 SAR 卫星经过近 40 年的发展,其性能已得到全面提升,影像的空间分辨率越来越高,重访周期逐渐缩短,工作模式和极化方式也日益多样化^[2]。随着 ERS 和 ENVISAT-ASAR 的退役,目前常用的星载 SAR 卫星主要包括 Radarsat-2、TerraSAR、COSMO-SkyMed 等。Radarsat-2 由加拿大 MDA 公司研发,该卫星是 Radarsat-1 的后继星,具有条带扫描、宽幅扫描和聚束 3 种工作模式,在各模式下具备不同的极化数据获取能力。TerraSAR 是德国的高分辨率雷达卫星,采用 X 波段,也采用上述 3 种工作模式获取地表雷达影像,其重访周期为 16 d。COSMO-SkyMed 是意大利的高分辨率对地观测雷达卫星,其工作频率在 X 波段,分辨率达 1 m。这些卫星数据源是利用 SAR 影像进行海面溢油识别的基础。

雷达卫星遥感是一种主动式遥感,它通过接收自身向地面发射的电磁波信息的后向散射信号,组成亮度加相位的雷达记录。在雷达影像上,越粗糙

的表面成像越亮,而平滑的表面由于后向散射回波较少,因而呈现暗色。溢油发生后,会有平滑海面的毛细波,使海面粗糙度降低,进而与周围海水形成反差,此为 SAR 影像上识别海面溢油的基本原理。

1.2 AIS 的功能

AIS 是一种新型船用助航设备,且国际海上人命安全公约(SOLAS)对各类船舶配备 AIS 有具体规定。AIS 主要由船台设备和岸台系统两部分组成。在结合 GPS 导航定位技术的基础上,利用 VHF 通信方式,按照 SOTDMA 通信协议,AIS 给海域内多船之间、船舶和岸基之间提供数据交换和通信的有效渠道,实现了船与船之间、船与岸台之间的“互见”^[3-4]。

根据 SOLAS 公约,AIS 的基本功能包括:(1)自动向岸台、其他船舶和航空器提供本船及其相关安全信息;(2)与岸基设施交换数据,自动接收来自其他船舶的有关信息;(3)识别船只、检测和跟踪船舶;(4)简化信息交流,提供其它辅助信息避免碰撞。

2 构建基于星载 SAR 和 AIS 的溢油监测方法

由于海面溢油成像特征的复杂性,单纯利用 SAR 影像上的信息进行溢油判别存在较大的局限性,容易造成误判,这也是困扰 SAR 影像溢油识别的关键问题之一。AIS 是国际海事组织(IMO)、国际航标协会(IALA)和国际电信联盟(ITU)等国际组织共同推动建立的数字助航系统和设备^[5],其推广和使用对保障海上航行安全、提高航行效率,以及海洋环境保护都具有重要作用。

2.1 遥感影像预处理和溢油初判

原始遥感影像中既包含各种地物信息,也包含大量的干扰和噪声,必须根据需要对数据预处理,才能去除干扰,修正畸变失真信号,抑制不必要的信息,进而达到突出目标信息和有效信息的目的。遥感影像的数据预处理一般包括影像校正、镶嵌和裁剪、信息增强等过程。

利用遥感技术对海面溢油进行识别首先需要判断影像信息是否为油污。根据 SAR 成像原理,溢油的存在改变了海水表面张力,形成了有别于背景海面的后向散射特征,从而可以在 SAR 影像上识别出溢油信息。事实上,在 SAR 影像上,还存在很多干扰的因素会造成雷达回波信号的减弱,在影像上形成暗色区域,即“似油膜”现象。为了有效地进行海

面溢油识别,需要对遥感影像上容易造成误判的假目标进行识别和剔除,逐级筛除假目标,缩小识别范围,实现对疑似溢油的初步分类和判别。

2.2 基于 AIS 辅助溢油分析

遥感分析的最终目的在于信息的应用,这对信息的准确性提出了很高的要求。因此,通过溢油成像特征对遥感影像进行初判后,还需要结合多源辅助信息,对溢油的可靠性进行二次分析。而 AIS 提供了诸如船名、MMSI、船舶类型、船长、船宽等船舶静态数据,以及船舶位置、航向、航速、目的港等动态数据,这便于自动识别船舶和跟踪目标。同时,AIS 记录了船舶航行轨迹等历史信息,能够为调查分析提供基础数据。

2.3 基于边缘检测算法的溢油信息提取

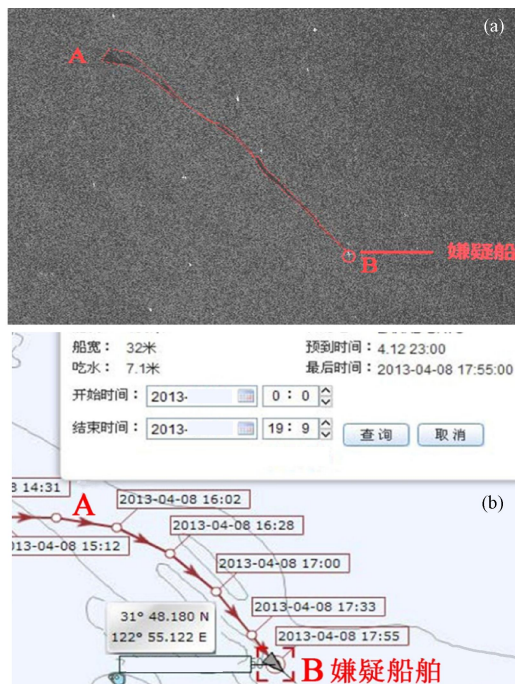
通过解译分析发现溢油后,需要对溢油的范围、面积进行有效估算,以便为应急行动提供决策信息,而边缘检测算法能够迅速准确地提取信息。

在遥感影像上,边缘^[6]是指其周围像素灰度值有阶跃变化的那些像素的集合。边缘检测算法是一种基于影像灰度值不连续的分割算法,它通过检测非同质区域之间的边界来对影像进行分割,从而提取地物的边界范围。边缘检测可以借助于边缘检测算子与影像模板求卷积完成,常见的边缘检测算子有 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplace 算子等。此外,种子点填充算法也是一种有效的边缘检测方法。

3 案例分析

选取 Radarsat-2 雷达图像进行试验。首先进行卫星影像数据预处理,经分析影像发现一条疑似油带(图 1a),而疑似油带前方发现一艘船舶,故初步判断此油带可能为船舶航行途中溢油所致。为进一步分析初判结果的可靠性,通过 AIS 系统调取该海域船舶的历史数据,查询该海域船舶过境情况,并获取嫌疑船舶的 AIS 信息(图 1b)。经比对分析,嫌疑船舶的历史航行轨迹与疑似油带位置和走向吻合,进一步印证初判结果。表明 AIS 信息辅助判读为海面疑似油带的识别提供了重要的参考,有效地提高了溢油判别的准确性。同时,结合 AIS 历史数据也能够为嫌疑船舶排查提供重要线索,增强遥感解译结果的后续应用价值。

图 2 结果显示,Prewitt 边缘检测算法能够对溢油信息进行快速提取,确保信息提取的速度和精确度。

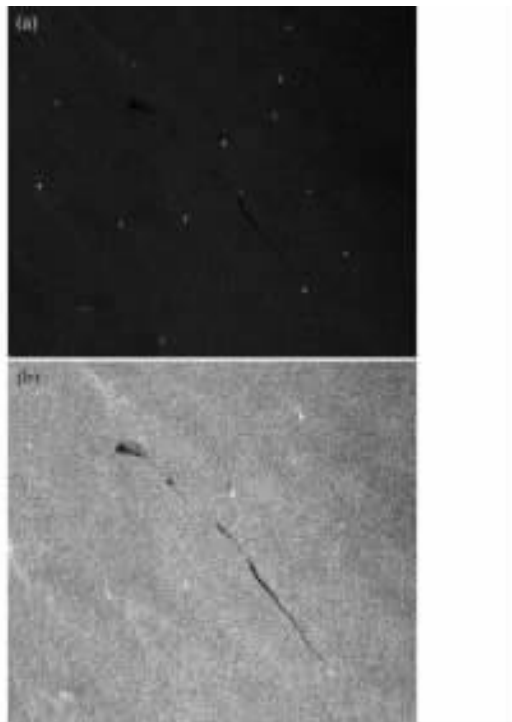


(a)SAR 影像溢油信息初判;(b)基于 AIS 信息的辅助分析

(a)Preliminary of oil spill detection based on SAR;(b) Auxiliary analysis with AIS data

图 1 基于 AIS 辅助的溢油探测

Fig. 1 Auxiliary analysis method of marine oil spills with AIS data



(a)校正后的 SAR 影像;(b)Prewitt 边缘检测

(a) SAR image after geometric corrected;(b) Prewitt edge detection

图 2 海面溢油自动检测和提取

Fig. 2 Automatic oil spill detection and extraction

4 结束语

海面溢油在 SAR 影像上的成像除了受卫星成像过程的影响,还会受到海表面特征、溢油风化阶段等多种因素的影响,单纯依靠微波遥感手段往往难以获得较高的准确性。本研究在 SAR 影像溢油遥感识别的基础上,结合 AIS 等非遥感信息进行辅助解译,并利用边缘检测算法提取溢油信息,构建了海面溢油监测方法。案例分析结果表明,此方法能够有效提高溢油识别和检测的准确性。此方法对船舶溢油行为的有效监测和识别,为监管部门排查嫌疑船舶提供重要线索,为海洋环境保护提供有力的技术支持。

参考文献:

- [1] 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.
- LI S H. Application of remote sensing for oil slicks detecting and its progress[J]. Remote Sensing Information, 2004(2): 53-57.
- [2] 王超, 张红, 吴樊, 等. 高分辨率 SAR 图像船舶目标检测与分类[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [39] HENGSTERMAN T, REUTER R. Lidar fluorosensing of mineral oil spill on the sea surface[J]. Applied Optics, 1990, 29(22): 3218-3227.
- [40] JHA M N, LEVY J, GAO Y. Advances in remote sensing for oil spill disaster management: State-of-the-art sensors technology for oil spill surveillance [J]. Sensors, 2008, 8(1): 236-255.
- [41] 赵朝方, 李晓龙, 马佑军. 多通道海洋荧光激光雷达溢油监测系统[J]. 红外与激光工程, 2011, 7: 1263-1269.
- ZHAO C F, LI X L, MA Y J. Multi-channel ocean fluorescence lidar system for oil spill monitoring[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 7: 1263-1269.
- [42] 吴传庆, 马万栋, 王雪蕾, 等. 基于环境卫星 CCD 数据的黄海浒苔遥感监测[J]. 中国环境监测, 2015, 31(3): 161-165.
- WU C Q, MA W D, WANG X L, et al. Remote sensing monitoring HAB in Yellow Sea by HJ1-CCD[J]. Environmental Monitoring in China, 2015, 31(3): 161-165.
- [43] 李颖, 梁刚, 于水明, 等. 监测浒苔灾害的微波遥感数据选取[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(5): 739-742.
- LI Y, LIANG G, YU S M, et al. Selection of microwave remote sensing data of monitoring of

WANG C, ZHANG H, WU F, et al. Ship Target Detection and Classification on High Resolution SAR Images [M]. Beijing: Science Press, 2013.

- [3] 朱金发, 孙文力, 汤华. 船载自动识别系统手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- ZHU J F, SUN W L, TANG H. Automatic Identification System Manual [M]. Beijing: China Communications Press, 2005.
- [4] 丁天冰. 基于 DGPS、AIS、GPRS 的船舶导航与监控系统[J]. 世界航运, 2006, 29(3): 48-49.
- DING T B. Ship navigation and monitoring system based on DGPS, AIS and GPRS[J]. World Shipping, 2006, 29(3): 48-49.
- [5] 王文成. AIS 与船舶交通安全管理[J]. 中国水运, 2007(3): 41-43.
- WANG W C. AIS and vessel traffic safety management [J]. China Water Transport, 2007(3): 41-43.
- [6] 夏良正, 李久贤. 数字图像处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1999.
- XIA L Z, LI J X. Digital Image Processing [M]. Nanjing: Southeast University Press, 1999.

(责任编辑: 尹 闯)

(上接第 78 页 Continue from page 78)

- [44] 赵文静, 张杰, 崔廷伟, 等. 水下悬浮浒苔海面光谱响应的辐射传输模拟[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(6): 1656-1660.
- ZHAO W J, ZHANG J, CUI T W, et al. *Enteromorpha prolifera* underwater spectral research based on simulation of radiation transmission [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(6): 1656-1660.
- [45] 刘振宇, 江涛. 基于 MODIS 数据的浒苔信息提取方法研究[J]. 测绘科学, 2008, 33: 113-114.
- LIU Z Y, JIANG T. There search on the way of extracting Hu Moss on the basis of MODIS[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33: 113-114.
- [46] 蔡晓晴, 崔廷伟, 郑荣儿, 等. 静止海洋水色卫星(GOCI)绿潮探测算法对比研究[J]. 遥感信息, 2014, 29(5): 44-50.
- CAI X Q, CUI T W, ZHENG R E, et al. Comparison of algorithms for green macro-algae bloom detection based on Geostationary Ocean Color Imager[J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(5): 44-50.

(责任编辑: 尹 闯)