

基于无人机紫外与 SAR 的溢油遥感监测方法研究

张 婷, 张 杰

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 溢油污染不仅会造成巨大的经济损失, 而且给生态环境带来难以修复的破坏。准确、高效地监测海面溢油仍是当前亟需解决的问题。紫外传感器对油膜非常敏感, 可快速发现, 但存在误判; 而 SAR(Synthetic Aperture Radar)溢油探测的精度较高, 两者相结合可准确探测溢油。无人机平台可低成本地实现溢油快速应急响应, 无人机电载 SAR 和紫外传感器的载荷重量小, 可同时集成于无人机上开展联合溢油探测, 以满足业务化监测需求, 此方面的研究尚未见有相关报道。本文拟研究溢油不同种类、厚度、在不同海洋环境条件下的紫外图像特征和 SAR 纹理特征、形状特征、散射特征, 构建溢油特征数据库, 并建立一种基于特征组合的溢油 SAR 与紫外联合探测方法; 在此基础上研究对无人机数据获取模式和控制单元等的改造方案, 进而实现溢油 SAR 和紫外图像的高效获取。

关键词: 溢油; 无人机; SAR(Synthetic Aperture Radar); 紫外

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)06-0141-09

DOI: 10.11759/hyqx20171206001

1 研究背景

海洋溢油污染是当前广泛关注的环境问题之一。海上石油泄漏不仅会造成巨大的经济损失, 而且给生态环境也带来难以修复的破坏。作为中国近海常见的重要环境灾害之一, 海洋溢油事故在过去几十年中从未停歇。中国沿海地区平均每 4~5 d 就发生一起溢油事故。统计数据显示 1973~2008 年, 中国沿海共发生大小溢油事故 2 800 多起, 其中溢油 50 t 以上的重大船舶溢油事故 74 起。2010 年 7 月 16 日, 大连中石油国际储运有限公司原油罐区输油管道爆炸, 原油大量泄漏并引起火灾, 受污染的海域面积达 400 多 km²。2011 年 6 月, 渤海蓬莱 19-3 油田发生海底油井溢油事故, 造成 840 km² 的劣四类严重污染海水面积, 导致其周边约 3 400 km² 的海域由第一类水质下降为第三、第四类水质。2013 年 11 月黄岛发生输油管道爆炸事故, 导致油污进入胶州湾。溢油事故不但直接造成经济损失, 对生态环境的破坏更为深远, 海面溢油准确监测是目前亟待解决的问题。

目前, 用于溢油监测的遥感手段主要有光学传感器、微波传感器和声学传感器。其中光学传感器主要为可见光、红外、紫外、激光荧光等; 微波传感器主要为 SAR、微波辐射计; 声学传感器主要为激光声学。

可见光传感器在溢油监测中有着广泛应用, 但其容易受到观测角、光照和天气状况的影响。热红外波段常用于溢油监测, 红外传感器可以获得油膜的相对厚度信息, 但只能检测出较厚的油膜, 且红外传感器的分辨率较低。紫外波段对于油膜非常敏感, 是溢油监测切实有效的技术手段, 但其受光照条件、气溶胶等因素的影响, 而且不能全天候工作。激光荧光传感器利用激光诱发的荧光光谱的不同可有效辨别出油的种类, 但它自身重量较大, 价格昂贵。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)是溢油探测极为有效的遥感器, 具有全天时、全天候的探测能力, 可以准确探测海面溢油, 但 SAR 不能清楚的区分因流和涡作用下聚集在一起的生物膜和石油膜而造成误判。微波辐射计可用于溢油探测和油膜厚度测量, 但空间分辨率低。激光超声传感器可探测油膜厚度, 但其体积大、价格昂贵。综上可知, 目前溢油探测的每一种传感器都有其优缺点, 尚没有单一的传感器具备较好的溢油应急探测能力, 结合多种传感器来提高探测海上溢油的准确性是十分

收稿日期: 2017-12-06; 修回日期: 2018-01-17

基金项目: 国家自然科学基金(41706208)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41706208]

作者简介: 张婷(1982-), 女, 山东淄博人, 工程师, 硕士, 主要从事海洋微波遥感方面的研究, 电话: 0532-88960569, E-mail: zhangting@fio.org.cn

必要的。

溢油监测平台种类包括卫星、航空、无人机等。卫星遥感具有大面积覆盖、时空同步和重复观测的优势,但受重访周期限制,应急响应速度慢,无法做到溢油实时连续观测,不可避免的遗漏部分重要的溢油发展过程信息;机载遥感可实现快速应急响应但其监测成本较高且受到航空管制;无人机是遥感的新型平台,与传统的卫星和有人机航空遥感相比,无人机具有快速、机动灵活、不受云遮挡、成本低和热点区域悬停凝视等优点,在溢油发生和发展过程中,可以随时拍摄获取第一手资料,是溢油遥感监测的新技术、新平台。

无人机组载紫外和 SAR 传感器的载荷重量小,可同时集成于同一个无人机平台上;紫外对溢油敏感,可以先利用紫外获取疑似溢油信息,然后再获取 SAR 图像,这种组合可实现高效获取。相对于其他的无人机组载传感器来说,这种组合是极为优化的组合;两种传感器有效结合可实现溢油应急监测。目前基于无人机紫外与 SAR 联合探测溢油研究尚未见有相关公开报道,因此,发展溢油无人机紫外和 SAR 遥感联合观测方法、溢油无人机紫外与 SAR 图像高效获取方法,将大大提高溢油检测的精度和效率,是实现溢油快速、实时监测,高效获取低冗余溢油图像的新技术,在未来业务应用中将发挥独特作用。

2 溢油 SAR 遥感研究

工作在微波波段的 SAR 不受日照、云雾等天气条件的限制,具有全天时、全天候、高分辨率成像的能力,已成为业务化溢油遥感监测的重要手段。

目前,国内外学者在 SAR 溢油探测技术方面开展了大量研究工作^[1-11]。其中,单极化 SAR 溢油探测技术方面国内外学者将模式识别技术引用到溢油和疑似溢油现象区分的问题中来。Solberg 等^[1-2]利用贝叶斯分类器对 SAR 图像海洋溢油和疑似溢油现象进行了分类识别,该模型具有较高的溢油识别准确率。Akar 等^[3]基于模糊逻辑分类器开展了油膜和疑似油膜的分类。研究表明,在不同场景中,油膜分类精度不同。Topouzelis 等^[4]提出一种新的基于决策树的溢油特征选取与分类方法,以达到使用溢油特征数目最小但分类精度最高的双重目标。与单极化 SAR 相比,多极化 SAR 所测量的散射回波复散射矩阵,被认为包含散射场能量和相位的“全息”信息,因此,多极化 SAR 在海面溢油监测方面具有较大优势。近

年来,相关学者基于极化参数开展了溢油探测。Migliaccio 等^[5]利用 SIR-C/X-SAR 全极化数据对溢油检测进行研究,将基于特征值和特征向量的 H/A 分解理论应用到溢油检测中,并指出利用散射熵 H 的几率密度函数可以区分清洁与油膜污染海面。Nunziata 等^[6]使用 Muller 滤波器进行了溢油检测。Migliaccio 等^[7]、Velott 等^[8]利用极化数据进行溢油检测,指出海水与生物油膜的同极化相位差的分布相似,而油膜覆盖海面的同极化相位差的标准差较大,同极化相位差的分布特征可以区分海上的油膜与生物油膜。张彪等^[9]提出用一致性参数 μ 作为逻辑算符在低中等风速条件下检测海面油膜的方法,检测效果较好。Nunziata 等^[10]提出在中低风速时,清洁海面的去极化度低而油膜海面的去极化度高,利用极化度参数可较好探测海上溢油。过杰等^[11]将 SAR 结合激光扫描仪来研究溢油乳化过程,建立油膜粗糙度与后向散射系数之间的联系,构建溢油散射模型,在 SAR 监测海面溢油厚度及溢油量方面实现了突破。

综上所述,基于 SAR 图像的海上溢油探测算法尽管取得了一些显著成果。然而,用单一遥感手段难以实现溢油探测。为了能高效、准确地识别海上溢油,需要开展紫外与 SAR 图像的联合探测。

3 溢油紫外遥感研究

紫外遥感使用紫外相机或紫外扫描仪(工作波段一般为 0.3~0.4 μm)来记录海面溢油信息,紫外传感器在其波长范围内,对厚度小于 5 μm 的各种海面油膜敏感。油膜对紫外光的反射率比海水高 1.2~1.8 倍,有较好的亮度反差。国内外相关学者开展了溢油紫外遥感研究^[12-17],研究表明,在紫外遥感工作波段区,油膜覆盖的海面反射率大于洁净海面的反射率。

黄礼贤等^[12]指出紫外分光光度法不仅能定量地研究海洋中的石油,而且用紫外光谱吸收峰比值还可以定性地分析海洋中的石油品种。大连海事大学做的溢油光谱特征实验结果表明,在 0.303~0.400 μm 的紫外区,由于油膜与海水相比有较大的反射率,因此在紫外波段拍摄的图像中油膜与海水间的反差大,且边界清晰明显,油膜由于比海水有较大的反射率而呈亮白色。中国科学院上海技术物理研究所方四安等^[15],通过对汽油、煤油、柴油、润滑油 4 种石油副产品,100、200、400 和 800 μm 四种不同厚度油膜的分析,说明紫外波段各种油膜的反射特性主要取决于油种和厚度两个因素。不同油种的油膜

反射率曲线差异明显,不同厚度影响反射率值的大小。尹达一等^[16]研究并验证了一种新型的针对海面溢油的紫外航空遥感推扫成像方法,并通过航空遥感监测测试飞验证了其探测的有效性,研究表明高探测灵敏度的紫外推扫成像技术能够适用于监测海洋溢油薄油膜污染。Shi等^[17]的研究表明,机载紫外成像系统在海岸带区域探测溢油的效果要优于可见光和红外系统。

综上所述,紫外溢油遥感技术是航空遥感监测海面油膜的主要手段之一,其突出的优点是可以发现海上薄油膜。需要指出的是,用紫外遥感易受外界环境因素的干扰而产生虚假信息^[13],如风、太阳耀斑和水草等的干扰;紫外波段电磁波长短,绕射能力差,探测高度有限(垂直高度2 000 m以内)^[14];另外,紫外传感器依赖于太阳反射,因此夜间无法工作。这些因素都限制了紫外遥感的应用。然而,本文拟采用无人机载 SAR 与紫外遥感联合探测溢油,可大大降低紫外遥感探测的不足,充分发挥多手段联合溢油探测的优势。

4 无人机 SAR 遥感应用

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)是一种有动力、可控制、能携带多种设备、执行多种任务,并能重复使用的无人驾驶航空器^[18]。无人机最早出现在1917年,早期的无人驾驶飞行器主要是用作飞机靶机,后来逐渐扩展到作战、侦察及民用遥感飞行平台;20世纪80年代的科技革命使得无人机进一步发展;随着计算机和通讯技术的迅速发展以及各种数字化、重量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的不断出现,无人机遥感系统的性能不断提高,应用范围和应用领域不断拓展^[19]。

无人机遥感系统中,传感器由早期的胶片相机向大面阵数字化发展^[20],主要有画幅式相机、线阵 CCD 传感器、高光谱成像仪、合成孔径雷达和激光扫描仪等,无人机遥感数据处理的研究热点集中在画幅式相机和线阵 CCD 传感器方面^[21-23]。目前,无人机遥感系统已应用于植被监测^[24]、地形测绘^[25]、精准农业^[26]、海冰监测^[27]等方面;而且,无人机遥感系统正以前所未有的速度向更广的应用领域扩展。

无人机 SAR 技术成像分辨率高,探测距离远,可以全天时全天候工作,在战场监测、目标截获、火力控制、态势感知和精确打击等方面有出色表现,目前

已成为各国发展无人机侦察装备的重要方向^[28-29]。

NASA(美国国家航空和宇宙航行局)的研究人员实际上曾经使用其 UAVSAR(Uninhabited Airborne Vehicle Synthetic Aperture Radar)雷达系统对海洋进行了探测。在2010年的墨西哥湾 DWH 溢油事故中,UAVSAR 于6月22—23日获取了 U.S.Gulf 海岸线和主要油膜区约 120 000 km² 的高分辨率的雷达数据,包括出现重油的 Barataria 湾东北部的大面积区域^[30]。

综上所述,无人机 SAR 遥感技术在很多领域得到了大量的应用,而且正以前所未有的速度向更广的应用领域扩展;然而无人机 SAR 需要有很强的机上处理能力。由于无人机的体积和携带能力的限制,难以实现高速率(约 274 Mbps)传输数据的能力,影响实时图像数据的获得。

5 基于无人机紫外与 SAR 的溢油遥感监测

高效的溢油观测系统要求传感器可以全天时工作。溢油可能随时需要监测,这就要求传感器具有夜间探测的能力。可见光和紫外传感器不能在夜间工作,这也是它们在应用中的最大不足。此外,传感器受天气状况如云雾的影响也应该尽量小,SAR 传感器是在不利天气状况下开展溢油监测的最佳传感器。溢油监测中传感器的成本和大小也非常重要。先进的传感器,如荧光激光雷达非常昂贵,难以应用;此外,大多数先进的传感器需要专用的飞行器,更增加了应用成本;紫外传感器可以较为容易地安装在飞机上,操作方便。目前,溢油探测的每一种传感器都有其优缺点,尚没有单一的传感器能够提供较好的溢油探测能力,结合多种传感器来提高探测海上溢油的准确性是十分必要的。溢油往往是应急事件,卫星遥感的应急响应速度慢,机载遥感可实现快速应急响应但其监测成本较高,而无人机紫外与 SAR 联合探测可在降低溢油监测成本的前提下,实现溢油应急监测,同时也为业务化溢油遥感监测提供技术保证。

5.1 总体研究思路

本文的总体研究思路为:首先对溢油实验区的紫外图像纹理、形状、反射特征和 SAR 纹理、形状、极化散射特性进行分析,建立溢油的紫外图像纹理、形状、反射特征和 SAR 纹理、形状、极化等特征库,

构建区分溢油与清洁海面的敏感特征组合; 然后构建基于敏感特征组合的溢油无人机紫外与 SAR 联合检测方法; 对检测方法进行适应性改造之后, 推广应用到无人机溢油紫外和 SAR 遥感探测中, 发展一种溢油无人机紫外和 SAR 图像的高效获取方法; 开展无人机紫外和 SAR 以及现场同步观测实验, 验证

溢油无人机紫外和 SAR 遥感监测方法。项目总体研究框图如图 1 所示。

5.2 基于现场和无人机观测实验的溢油紫外与 SAR 图像特征及其显著性分析

研究框图如图 2 所示。

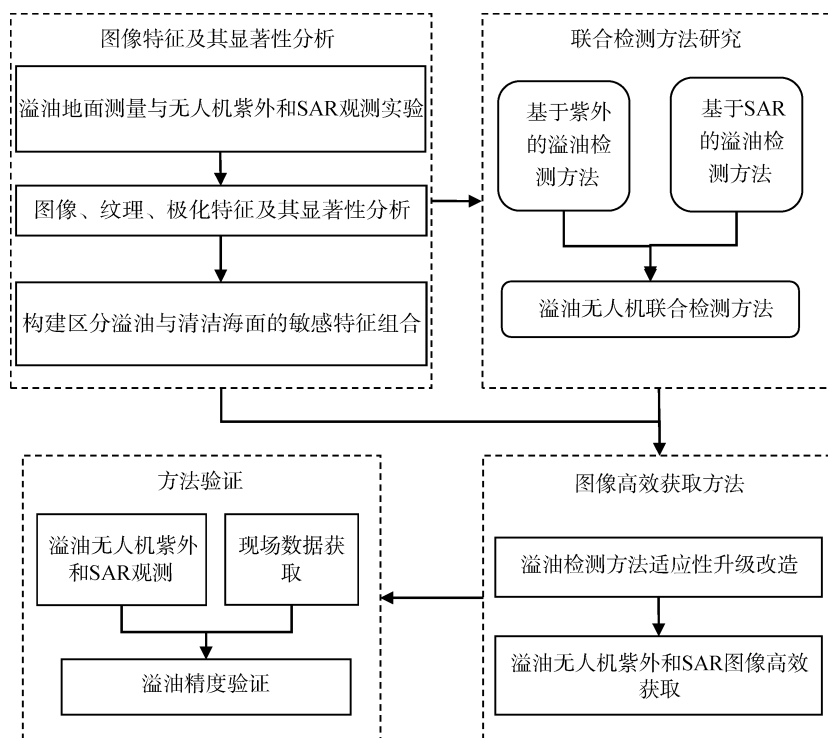


图 1 总体研究框图

Fig. 1 The overall research block diagram

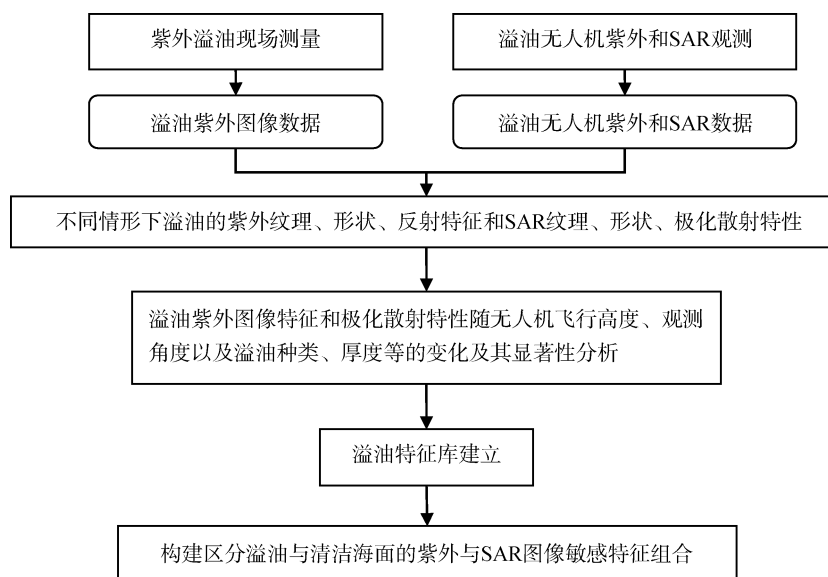


图 2 基于观测实验的溢油紫外和 SAR 特性研究框图

Fig. 2 The research block diagram of oil spill UV and SAR characterization based on observation experiment

5.2.1 溢油紫外和 SAR 观测

开展现场溢油紫外图像纹理、形状、反射特征测量以及无人机平台上紫外和 SAR 图像同步联合观测实验。建立溢油紫外图像纹理、形状、反射特征和 SAR 纹理、形状、极化散射特性等数据库,记录溢油测量的日期、起止时间、经纬度、溢油油种、厚度、油膜间距等信息,获取现场紫外图像并拍摄现场照片;无人机同步观测时,需记录飞行高度、观测角度、观测时刻等信息。在开展溢油实验时,释放油膜种类、油膜厚度、油膜间距应尽量完善,确保溢油特征的典型性和全面性。

5.2.2 不同情形下溢油的紫外图像特征和 SAR 图像特性分析

为使溢油的紫外图像的纹理、形状、反射特征和 SAR 纹理、形状、极化散射特征具有代表性,分析溢油的特征时应考虑到各种情形,主要有:(1)从溢油自身考虑,包括不同种类、不同厚度、不同油膜大小等;(2)从无人机系统参数考虑,包括无人机飞行高度、观测角度、观测时刻等;(3)从环境条件考虑,包括不同风场、不同流场等。不同情形下溢油的紫外图像特征和 SAR 的纹理、形状、极化散射特性不尽相同,应用溢油的紫外数据,提取出溢油的纹理、形状、反射特征。应用溢油的 SAR 数据,提取出溢油的纹理特征、与周围环境的对比度、背景特征、几何形状等。

5.2.3 溢油紫外图像特征变化规律及其显著性分析

分析不同油膜的紫外反射特征与海水的紫外反射特征的区别,并分析溢油紫外图像的纹理、形状、反射特征随无人机飞行高度和观测角度、溢油类型、厚度、油膜大小、形状、间距、光照条件等状况的变化规律,并选取大量溢油区域紫外图像,分析不同条件下反射特征对溢油响应的显著性,建立溢油的紫外图像特征库。

5.2.4 溢油 SAR 纹理、形状、极化散射特性的变化规律及其显著性分析

海面油膜在 SAR 图像上多呈现出较暗的斑点、斑块或条纹,但是在 SAR 图像上呈现较暗斑点或斑块的却不止海面溢油一种,其他海洋表面膜或大气、海洋现象也可以在微波图像上表现出相似的特征。通过大量溢油 SAR 历史数据进行分析,提取目前在溢油检测中常用的 16 个主要特征,包括几何特征、物理特征、纹理特征、极化特征等,分析出油膜和类油膜(海面低风速区、海洋浮游生物、海洋船舶行驶

过后形成的船尾迹、海洋内波、大气现象以及自然溢油)的差别和各自特征以及不同极化特征油水对比度,分析重要特征的分布规律,并选取大量溢油区域 SAR 图像,分析不同条件下极化散射特征对溢油响应的显著性,形成油膜及类油膜的 SAR 特征库,遴选区分溢油与清洁海面的 SAR 图像敏感特征组合。

5.3 溢油无人机紫外与 SAR 联合检测方法研究

5.3.1 基于紫外的溢油检测方法

油膜的存在会改变海面对太阳光的反射,从而在遥感图像上呈现出与清洁海面不同的反射特征。紫外传感器在其波长范围内,对厚度小于 5 μm 的各种海面油膜敏感。油膜对紫外光的反射率比海水高 1.2~1.8 倍,有较好的亮度反差。另外,根据大连海事大学做的溢油光谱特征实验结果,在 0.303~0.400 μm 的紫外区,油膜覆盖的海面反射率大于洁净海面的反射率,润滑油、轻柴油、煤油等的薄油层(厚度小于 300 μm)反射率普遍高于海水;较厚轻油油层(厚度大于 300 μm)及重油(重柴油、原油)反射率在 0.345 μm 附近高于海水。由于油膜与海水相比有较大的反射率,因此在紫外波段拍摄的图像中油膜与海水间的反差大,在溢油紫外图像上呈现为亮斑,且边界清晰明显。紫外传感器可以对甚薄油层进行探测,因为即使是甚薄油层(<0.05 μm)也会有很高的紫外辐射反射,紫外线传感器可以探测 0.01 μm 的油层厚度。

利用阈值法提取所检测海域的亮斑,并基于建立的溢油紫外图像特征库,采用模式识别方法确定目标是否为溢油。

5.3.2 基于 SAR 的溢油检测方法

基于 SAR 的溢油检测方法包括油膜类型的形状、纹理、极化散射特征提取技术。利用小波、分形等图像处理技术,可以提取不同油膜类型的形状特征,如面积、周长、长宽轴比等特征。油膜的纹理特征反映了油膜对雷达的回波响应特征,可用灰度共生矩阵的纹理分析提取法,提取的纹理特征包括均值、方差、对比度、熵等。由于不同的油膜具有不同的复介电系数和粗糙度,而机载微波成像雷达的极化散射特征对地物的介电系数和粗糙度非常敏感,因此可利用极化基变换或极化分解技术,提取对介电系数和粗糙度敏感的特征量(如极化比和极化相位差),得到不同油膜类型的极化散射特征。

5.3.3 基于无人机的紫外和 SAR 图像溢油联合检测方法

由于无人机平台的不稳定性, 无人机 SAR 图像可能会出现照射功率不均匀、拼接不好、噪声大、像素定位误差较大等问题, 因此在进行 SAR 图像溢油检测前需先对无人机 SAR 图像进行天线方向图校正、图像拼接、去噪、高精度几何校正等预处理; 利

用预处理后的无人机 SAR 图像对无人机紫外图像进行配准、研究区裁剪等处理。

利用构建的区分溢油与清洁海面的敏感特征组合, 分别基于处理后的无人机紫外与 SAR 图像提取溢油区域, 基于决策级融合方法, 对紫外与 SAR 的溢油提取结果进行融合, 确定溢油区域。研究框图如图 3 所示。

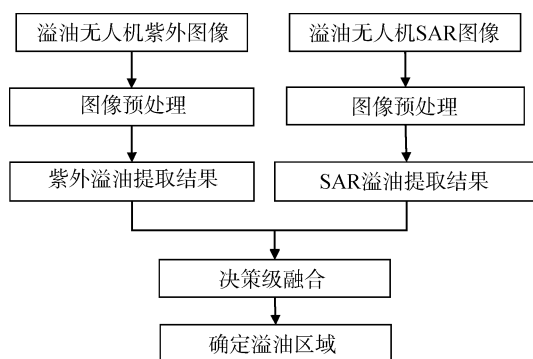


图 3 溢油快速检测方法的研究框图

Fig. 3 The research block diagram of rapid detection of oil spills

5.4 溢油无人机紫外与 SAR 图像高效获取方法研究

由于无人机单次续航时间有限, 无人机 SAR 图像后处理工作量大, 发展一种在有效续航时间内, 既能使无人机大范围循迹、又能获取尽可能准确而冗余数据量少的溢油紫外和 SAR 图像的方法, 是实现溢油快速、准确检测的关键。

由于紫外图像较小, 处理起来较快速, 因此开展溢油监测时, 无人机紫外相机先开机, 根据紫外溢油检测算法获取疑似溢油区域的紫外图像, 这里的疑似溢油区域包括溢油区域及太阳耀斑、风产生的海表亮斑以及生

物物质的干扰等在紫外图像上产生的虚假信息, 由于紫外传感器对溢油相当敏感, 即使是甚薄油层($<0.05 \mu\text{m}$)也会有很高的紫外辐射反射, 紫外线传感器可以探测 $0.01 \mu\text{m}$ 的油层厚度, 因此可以认为紫外传感器对溢油不会产生漏检现象。在紫外图像上显示为溢油区域的海域, SAR 开机获取无人机溢油 SAR 图像, 非溢油区域不获取图像。这种策略可以获取的溢油图像范围准确, 数据量小, 可以快速完成溢油无人机图像的采集, 减少无人机电池损耗和存储设备的重量。紫外和 SAR 图像都获取之后, 再根据紫外与 SAR 联合检测方法进行检测, 根据联合检测方法将紫外图像中疑似溢油的虚假信息剔除, 最终确定是否为溢油。研究框图如图 4 所示。

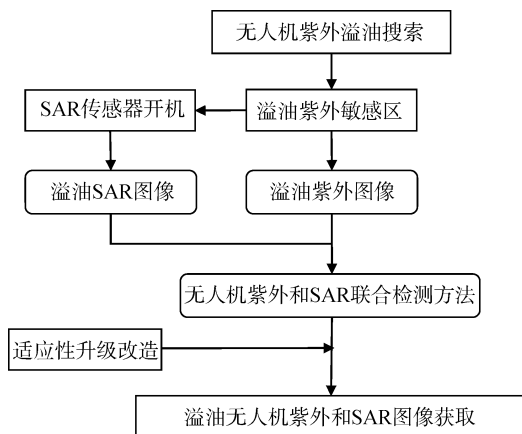


图 4 溢油无人机紫外和 SAR 图像的高效获取方法研究框图

Fig. 4 The research block diagram of efficient acquisition of UV and SAR Images of Oil Spill UAV

5.5 溢油无人机紫外与 SAR 遥感监测技术集成与验证

开展无人机紫外和 SAR 遥感探测溢油围隔实验,验证溢油无人机紫外和 SAR 遥感联合探测方法。在实验过程中,先在实验海域布放围油栏,形成不小于 2 000 m² 的框围海域,在围油栏内分别泼洒实验油种,这样可以防止油膜扩散,保证溢油对海水的阻尼作用,并可通过改变泼洒的油量来控制油膜的厚度,并用风速风向仪记录当时的风速风向,进而定量测量不同油膜厚度、不同飞行高度时原油、汽油、IFO180、棕榈油在紫外图像纹理特征、形状特征、反射特征和 SAR 图像上的纹理特征、形状特征、散射特征等变化,并形成溢油紫外与 SAR

图像特征库。实验结束后回收并清理围油栏内泼洒的油种。由于在真实海洋环境条件下,油膜会迅速聚集到下风处,很难形成具有一定厚度的大面积油膜,不易获取不同油膜厚度条件下的多特征,因此还需要开展水池试验弥补真实场景的不足。计划每年开展一次溢油实验,前两年溢油实验获得的溢油无人机 SAR 数据用于形成溢油数据库,第三年溢油实验获得的溢油无人机数据用于验证本文所建立的溢油紫外与 SAR 联合探测方法的有效性。三次实验中岸基折臂吊所挂紫外相机上获取的图像用于形成溢油数据库,而无人机载紫外相机获取的图像用于验证算法。

溢油无人机紫外和 SAR 遥感监测验证研究框图如图 5 所示。

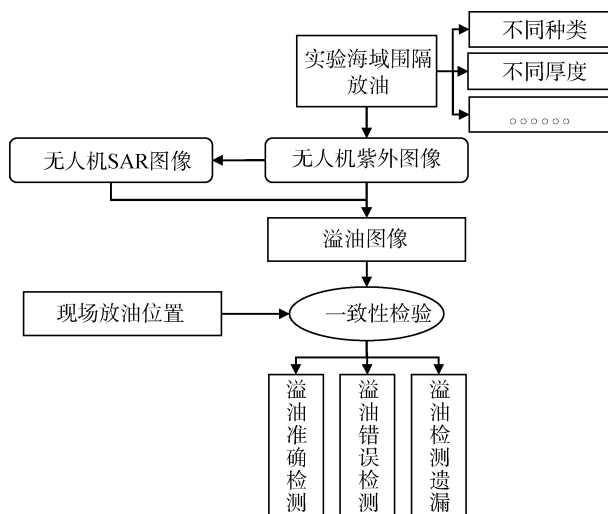


图 5 溢油无人机紫外和 SAR 遥感监测验证研究框图

Fig. 5 The research block diagram of verifying UAV oil spill remote sensing technology in UV and SAR monitoring

6 总结与展望

本研究拟以无人机为平台,搭载紫外和 SAR 传感器,研究不同种类、厚度的溢油在无人机不同观测条件、不同海洋环境条件下的紫外和 SAR 图像特征,发展溢油无人机紫外和 SAR 联合检测方法,实现溢油无人机高精度遥感监测,研究溢油无人机紫外与 SAR 图像高效获取方法,确保无人机在满足大范围循迹条件下,获取尽可能准确而冗余数据量少的溢油紫外和 SAR 图像,减少数据后处理工作,实现溢油快速、准确检测。该技术方法将在业务应用中发挥独到的作用。

参考文献:

- [1] Solberg A H S, Storvik G, Solberg R, et al. Automatic detection of oil spills in ERS SAR images[J]. Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions on, 1999, 37(4): 1916-1924.
- [2] Solberg A H S, Brekke C, Husoy P O. Oil Spill Detection in Radarsat and Envisat SAR Images[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2007, 45(3): 746-755.
- [3] Akar S, Süzen M L, Kaymakci N. Detection and object-based classification of offshore oil slicks using ENVISAT-ASAR images[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2011, 183: 409-423.
- [4] Topouzelis K, Psyllos A. Oil spill feature selection and

- classification using decision tree forest on SAR image data[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2012, 68(1): 135-143.
- [5] Migliaccio M, Gambardella A, Tranfaglia M. Oil Spill Observation by Means of Polarimetric SAR Data[J]. 2006, 613.
- [6] Nunziata F, Gambardella A, Migliaccio M. On the Mueller Scattering Matrix for SAR Sea Oil Slick Observation[J]. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, 2008, 5(4): 691-695.
- [7] Migliaccio M, Nunziata F, On the co-polarized phase difference for oil spills observe[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(6): 1587-1602.
- [8] Velotto D, Migliaccio M, Nunziata F, et al. Dual-Polarized TerraSAR-X Data for Oil-Spill Observation[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2011, 49(12): 4751-4762.
- [9] Zhang B, Perrie W, Li X, et al. Mapping sea surface oil slicks using RADARSAT-2 quad-olarization SAR image[J]. *Geophysical Research Letters*, 2011, 38(10): 415-421.
- [10] Nunziata F, Gambardella A, Migliaccio M. On the degree of polarization for SAR sea oil slick observation[J]. *Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2013, 78(4): 41-49.
- [11] 过杰, 孟俊敏, 何宜军. 基于二维激光观测的溢油及其乳化过程散射模式研究进展[J]. *海洋科学*, 2016, 2: 159-164.
Guo Jie, Meng Junmin, He Yijun. Scattering model research based on two-dimensional laser observation of spilled oil and emulsification processes[J]. *Marine Sciences*, 2016, 2: 159-164.
- [12] 黄礼贤, 廖森标. 用紫外分光光度法检测海洋中的石油[J]. *海洋科技资料*, 1981, 5: 70-73.
Huang Lixian, Liao Senbiao. Detection of oil in the ocean by Ultraviolet Spectrophotometry[J]. *Marine Science Bulletin*, 1981, 5: 70-73.
- [13] Fingas M, Brown C. Review of oil spill remote sensing[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2014, 83(1): 9-23.
- [14] 尹奇志, 初秀民, 孙星, 等. 船舶溢油监测方法的应用现状及发展趋[J]. *船海工程*, 2006, 39(5): 246-250.
Yin Qizhi, Chu Xiumin, Sun Xing, et al. Application and Development Trend of Detecting Techniques for Oil Slick from Vessel[J]. *Ship & Ocean Engineering*, 2006, 39(5): 246-250.
- [15] Fang S A, Huang X X, Yin D Y, et al. Research on the ultraviolet reflectivity characteristic of simulative targets of oil spill on the ocean[J]. *Spectroscopy & Spectral Analysis*, 2010, 30(3): 738-742.
- [16] 尹达一, 周青, 黄小仙, 等. 海面溢油紫外推扫相机航空遥感监测校飞结果分析[J]. *海洋科学进展*, 2014, 32(2), 239-249.
Yin Dayi, Zhou Qing, Huang Xiaoxian, et al. Analysis of Experimental Results From Airborne Remote Sensing Monitoring of Oceanic Oil Spill by Using Ultraviolet Push-Broom Camera[J]. *Advances in Marine Science*, 2014, 32(2), 239-249.
- [17] Shi Z, Yu L, Cao D, et al. Airborne ultraviolet imaging system for oil slick surveillance: oil-seawater contrast, imaging concept, signal-to-noise ratio, optical design, and optomechanical model[J]. *Applied Optics*, 2015, 54(25): 7648-7655.
- [18] 吕厚谊. 无人机发展与无人机技术[J]. *世界科技研究与发展*, 1998, 6: 113-116.
Lü Houyi. Development and Technology of UAV[J]. *World Sci-Tech R & D*, 1998, 6: 113-116.
- [19] 范承啸, 韩俊, 熊志军, 等. 无人机遥感技术现状与应用[J]. *测绘科学*, 2009, 34(5): 214-215.
Fan Chengxiao, Han Jun, Xiong Zhijun, et al. Application and status of unmanned aerial vehicle remote sensing technology[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(5): 214-215.
- [20] 金伟, 葛宏立, 杜华强, 等. 无人机遥感发展与应用概况[J]. *遥感信息*, 2009, 1: 88-92.
Jin Wei, Ge Hongli, Du Huaqiang, et al. A Review on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing and Its Application[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, 1: 88-92.
- [21] 张艳, 王涛, 徐青, 等. 无人机载线阵摆扫 CCD 影像几何校正[J]. *测绘科学技术学报*, 2006, 23(3): 168-170.
Zhang Yan, Wang Tao, Xu Qing, et al. Rectification for Linear Whiskbroom CCD Imagery Acquired on Pilotless Aircraft[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2006, 23(3): 168-170.
- [22] Xiang H, Tian L. Method for automatic georeferencing aerial remote sensing (RS) images from an unmanned aerial vehicle (UAV) platform[J]. *Biosystems Engineering*, 2011, 108(2): 104-113.
- [23] Kelcey J, Lucieer A. Sensor Correction of a 6-Band Multispectral Imaging Sensor for UAV Remote Sensing[J]. *Remote Sensing*, 2012, 4(5): 1462-1493.
- [24] Corcoles J I, Ortega J F, Hernandez D, et al. Use of digital photography from unmanned aerial vehicles for estimation of leaf area index in onion[J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 45: 96-104.
- [25] 陈天恩, 长井正彦, 柴崎亮介. 带有差分 GPS 的多传感器无人直升机航测遥感系统[J]. *测绘科学*, 2012, 37(1): 158-160.
Chen Tianen, Nagai M, Shibasaki R. An unmanned helicopter based mapping system with differential GPS and multi-Sensor[J]. *Science of Surveying and Map-*

- ping, 2012, 37(1): 158-160.
- [26] Herwitz S R, Johnson L F, Dunagan S E, et al. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support[J]. *Computers & Electronics in Agriculture*, 2004, 44(1): 49-61.
- [27] McGill P R, Reisenbichler K R, Etchemendy S A, et al. Aerial surveys and tagging of free-drifting icebergs using an unmanned aerial vehicle (UAV)[J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2011, 58(11-12): 1318-1326.
- [28] 刘亮, 吉波. 无人机载雷达现状及发展趋势[J]. *现代导航*, 2014, 6(3): 227-230.
- Liu Liang, Ji Bo. Status and Development of Radar on UAV[J]. *Modern Navigation*, 2014, 6(3): 227-230.
- [29] 曲长文, 周强, 王颖. 无人机载合成孔径雷达遥测技术[J]. *舰船电子工程*, 2009, 29(1): 23-27.
- Qu Changwen, Zhou Qiang, Wang Ying. Development of UAV-borne SAR Telemetry Technology[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2009, 29(1): 23-27.
- [30] Leifer I, Lehr W J, Simecek B D, et al. State of the art satellite and airborne marine oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon, oil spill[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 124(9): 185-209.

Research on the detecting method of oil spill based on Ultraviolet sensor and SAR of UAV

ZHANG Ting, ZHANG Jie

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Dec. 6, 2017

Key words: oil spill; UAV(Unmanned Aerial Vehicle); SAR(Synthetic Aperture Radar); UV(ultraviolet)

Abstract: Marine oil pollution will not only cause huge economic losses, but also bring damages to the ecological environment which is difficult to be repaired. Accurate and efficient oil spill monitoring is still a serious problem to be solved currently. Ultraviolet (UV) sensors which are very sensitive to the oil film can quickly find the oil film, but there will be misjudgment; and the accuracy of oil spill remote sensing detection using SAR is very high. So the combination of these can detect oil spill accurately. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform can achieve fast emergency response of oil spill inexpensively. The load weight of UAV SAR and UV sensor is light, and they can both be integrated into the UAV to the joint exploration of oil spill for meeting the requirement of operational monitoring, but the research about this aspect has not been any related reports yet. The objective of this project will be designed to study the features of UV images and the shapes, textures, polarization scattering characteristics of SAR images in many different situations such as different types and thickness of oil spill and marine environmental conditions, to construct a feature database of oil spill, and to establish a joint oil spill detecting method of SAR and UV sensor based on feature combination; Then the transformation program of acquisition mode and control unit will be considered, and the method of efficiently acquire UAV SAR and UV images of oil spill will be realized.

(本文编辑: 李晓燕)