

光谱信息与纹理特征结合的 GF-1 海上溢油检测研究

包 萌, 张 杰, 张 晰, 孟俊敏*

(自然资源部 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要: 围绕溢油光学探测工作中油膜信息提取精度低等主要问题, 本文利用 10 景 GF-1 WFI 数据, 发展了一种以光谱信息与多种纹理特征相结合的油膜检测方法。该方法不仅充分考虑了不同光谱组合对油膜与海水的区分能力, 并且在纹理特征选择中尝试并确定了灰度共生矩阵的窗口大小、方向、位移量和灰度量化级四个参数, 结合不同情况的油膜选择了合适的纹理特征; 最后, 将选取的若干纹理特征量与最优光谱组合构成多波段数据, 应用在 4 种监督学习分类器中, 评价分析了油膜检测的准确性, 最终确定支持向量机为最优分类器, 这一结论将为今后的海上溢油监测工作提供参考。

关键词: 光谱信息; 纹理特征; GF-1; 溢油检测

中图分类号: TP79; X55

文献标识码: A

文章编号: 1671-6647(2020)03-0504-09

doi: 10.3969/j.issn.1671-6647.2020.03.012

引用格式: BAO M, ZHANG J, ZHANG X, et al. Oil spill detection from GF-1 images with spectral and textural features[J]. Advances in Marine Science, 2020, 38(3): 504-512. 包萌, 张杰, 张晰, 等. 光谱信息与纹理特征结合的 GF-1 海上溢油检测研究[J]. 海洋科学进展, 2020, 38(3): 504-512.

随着海洋产业的发展, 溢油已是当前破坏海洋生态环境主要原因之一^[1]。如何快速、准确地检测海上溢油已成为当前海洋环境保护的重要课题^[2]。与其他监测手段相比, 遥感监测手段可准实时、快速地获取溢油信息; 而且, 光学遥感影像具有价格低廉、时效性高、真实直观并适合人工目视解译等优势^[3], 所以, 遥感监测手段成为目前监测业务的主要手段之一。

目前, 国内外学者已基于 Landsat, MODIS 和 HJ 等光学卫星遥感数据对海上溢油进行了监测应用^[3-5]。Trabandt 等^[6]认为, 结合利用 Landsat ETM+ 数据的波段比值组合与神经网络算法对海上溢油有较好的区分, 并监测了 2010-05 墨西哥湾溢油事故。中等分辨率成像光谱仪 MODIS 具有丰富的光谱信息, 可以每天提供最高 250 m 分辨率的观测数据, 所以, 其成为了监测海上溢油的重要手段^[7-8]。研究发现, 单一波段的油膜特征除了受外部环境因素影响, 还与溢油种类和油膜厚度有关, 针对不同情况的油膜所适用的光谱有所不同, 例如在长江口、委内瑞拉的马拉开波湖等多次溢油事故中, 学者们利用反射红外(1 000~2 000 nm) 提取了油膜特征^[9], 而在渤海曹妃甸附近海域溢油事故中则应用了第 2 波段(841~876 nm)^[10]。并且, 研究表明^[11-12]光谱比值相较于光谱的和、差处理更能够增强油水反差, 更利于油膜特征的提取。李颖等^[13]基于 HJ-1A/1B 数据的主成分光谱降维和方向性纹理特征, 有效监测了 2011 年蓬莱 19-3 油田溢油事故。

随着监测精度需求的提高, Landsat 和 MODIS 数据因受分辨率的限制已无法满足对油膜的精细提取。2013 年, 我国自主研发的高分一号(GF-1)卫星发射成功, 突破了高空间分辨率(2 m)、多光谱(4 波段)与宽

收稿日期: 2019-01-11

资助项目: 国家重点研发计划项目——海上交通溢油监测预警与防控技术研究及应用(2016YFC1402302); 国家自然科学基金项目——基于无人机紫外与 SAR 的溢油遥感监测方法研究(41706208)

作者简介: 包 萌(1988-), 女, 助理工程师, 硕士, 主要从事海洋遥感应用方面研究. E-mail: baomeng@fio.org.cn

* **通讯作者:** 孟俊敏(1973-), 男, 研究员, 博士, 主要从事海洋遥感方面研究. E-mail: mengjm@fio.org.cn

(王 燕 编辑)

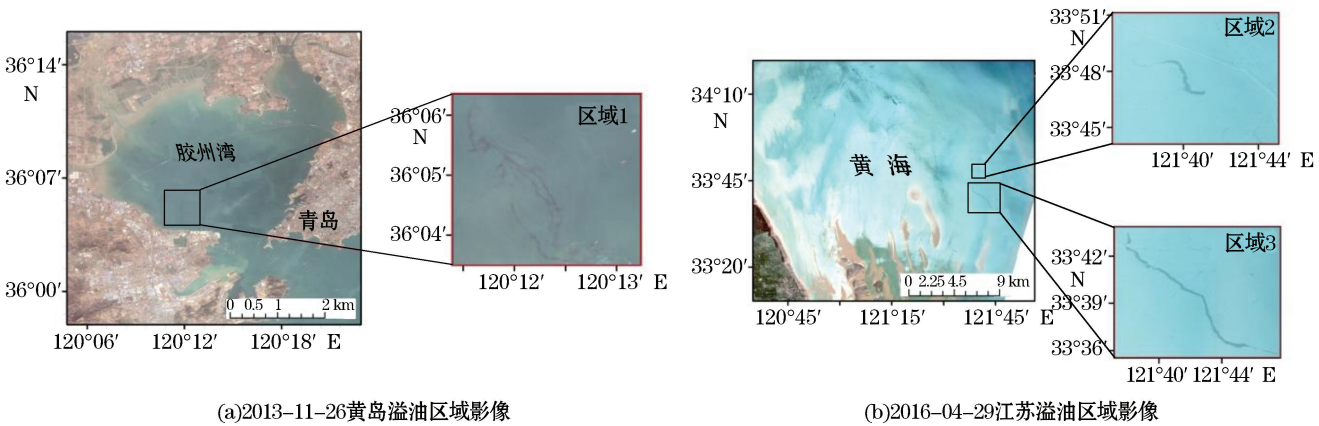
覆盖(700 km)相结合的光学遥感等关键技术,为我国现代农业、防灾减灾、资源环境和公共安全等重要领域提供了信息服务和决策支持。近些年来,学者们陆续开展了基于 GF-1 数据的海洋灾害现象的监测,如海上溢油^[14]、海冰^[15]、绿潮^[16]等研究。在溢油遥感探测方面,王臣等^[14]利用绿光波段结合反射红外波段提取了油膜特征,有效监测了溢油区域,该工作初步证实了 GF-1 数据在溢油遥感探测方面的能力,也是本文研究工作的基础。

目前,在溢油光学探测中存在的主要问题是油膜信息提取精度较低。针对这一问题,本文将尝试以最大程度利用光谱信息为目的,定量评价 GF-1 数据不同光谱组合对油膜敏感程度,在此基础上,将进一步讨论在纹理特征量提取过程中的参数选择问题,并确定适用于不同情况的油膜提取特征量,最终评价并选择出性能较好的分类器,以期为今后的海上溢油检测工作提供参考。

1 数据来源

GF-1 卫星是我国重大科技专项高分辨率对地观测系统的首发星,于 2013-04-26 发射成功。GF-1 卫星搭载了 2 台分辨率均为 2 m 的全色相机(Panchromatic, Pan),2 台分辨率均为 8 m 的多光谱相机(Multi-spectral Imager, MSI)和 4 台分辨率均为 16 m 的宽视场多光谱相机(Wide Field Imager, WFI),这 3 种工作模式分别有 1,4 和 4 个光谱波段,其重访周期均为 4 d。其中 Pan 和 MSI 传感器成像幅宽均为 60 km, WFI 传感器成像幅宽为 700 km^[17]。

本文以 2013-11-22 山东省青岛经济技术开发区(黄岛区)溢油事故(简称黄岛溢油)以及 2016-04-29 江苏附近海域溢油事件(简称江苏溢油)为主要研究对象,获取了 2013-11-26 黄岛溢油影像 No.1(图 1a)和 2016-04-29 江苏溢油影像 No.7(图 1b)。



注:影像波段组合为 R : G : B=3 : 2 : 1

图 1 黄岛和江苏溢油区域影像

Fig.1 Satellite images of the oil spill in the Huangdao and Jiangsu offshore

表 1 实验数据列表

Table 1 Satellite images

影像编号	传感器	波段	分辨率/m	成像时间
No.1~No.5	WFI2	4	16	2013-11-26,11-30;2016-04-06,05-19;2017-02-02
No.6~No.8	WFI3	4	16	2016-04-25,04-29,06-02
No.9~No.10	WFI4	4	16	2016-04-14,05-16

此外,又选取了 8 景(No.2~No.6, No.8~No.10)无云或少云的 GF-1 三台宽视场多光谱传感器(WFI2, WFI3 和 WFI4)影像用于油膜敏感光谱组合的选取和溢油监测分析,并且所有影像中的溢油区域均已通过相关专家判读和确认,影像具体参数如表 1 所示。

2 GF-1 油膜敏感光谱的选取

油膜敏感光谱的选择是基于光学遥感影像监测海上溢油的重要前提。基于表 1 中 2013—2017 年的 10 景 GF-1 WFI 溢油影像,按照空间均匀选取样本的原则,选取了油膜样本 123 个、海水样本 378 个,并分别提取了两类样本的单一波段的归一化光谱值、光谱波段差和比以及光谱波段比共 16 种光谱参数(表 2)用于选择油膜的敏感光谱。

表 2 16 种光谱参数的定义
Table 2 Definition of 16 spectral parameters

光谱参数标识	定义或公式	光谱参数标识	定义或公式
Blue	蓝光归一化光谱值	G_N	(Green-NIR)/(Green+NIR)
Green	绿光归一化光谱值	R_N	(Red-NIR)/(Red+NIR)
Red	红光归一化光谱值	B2G	Blue/Green
NIR	近红外归一化光谱值	B2R	Blue/Red
B_G	(Blue-Green)/(Blue+Green)	B2N	Blue/NIR
B_R	(Blue-Red)/(Blue+Red)	G2R	Green/Red
B_N	(Blue-NIR)/(Blue+NIR)	G2N	Green/NIR
G_R	(Green-Red)/(Green+Red)	R2N	Red/NIR

为了评估最优光谱组合,引入欧氏距离^[18]。在目标分类中,欧氏距离的大小反应了目标点之间的距离,距离越大说明目标之间的区分度越大。基于提取的 16 种光谱参数,本文利用欧氏距离评价各个光谱参数对油膜和海水的区分能力,欧氏距离^[18]为

$$D_{i,j} = \frac{|x_i - x_j|}{\sqrt{\delta_i^2 + \delta_j^2}}, \tag{1}$$

式中, $D_{i,j}$ 是第 i 类和第 j 类的欧氏距离; x_i 和 x_j 是第 i 类和第 j 类样本的平均值; δ^2 表示某类样本的方差。

由光谱参数对油膜和海水的区分能力(图 2)可知: B_G, B2G 和 B2R 三种光谱组合的欧氏距离均大于 1, 并且均优于单波段光谱; 其中 B2G 对油膜和海水的区分能力优于 B_G 和 B2R 两种光谱组合, 因此, 将 B2G 作为本文提取油膜的敏感光谱参数。

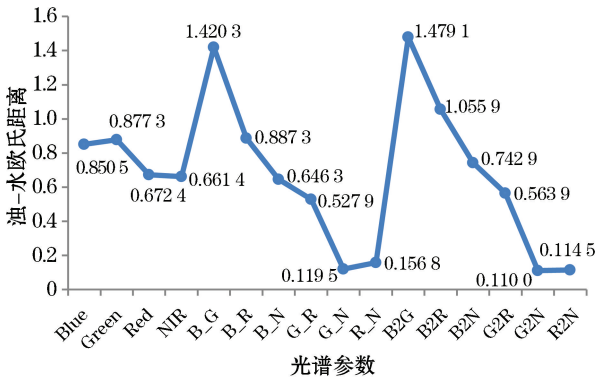


图 2 油膜与海水间的欧氏距离
Fig.2 Euclidean distance between the oil film and seawater

3 基于灰度共生矩阵(GLCM)的特征选取

以最优光谱组合 B2G 作为油膜敏感光谱,采用灰度共生矩阵方法,首先确定计算灰度共生矩阵的各个参数,基于此,选择出油膜纹理特征量。

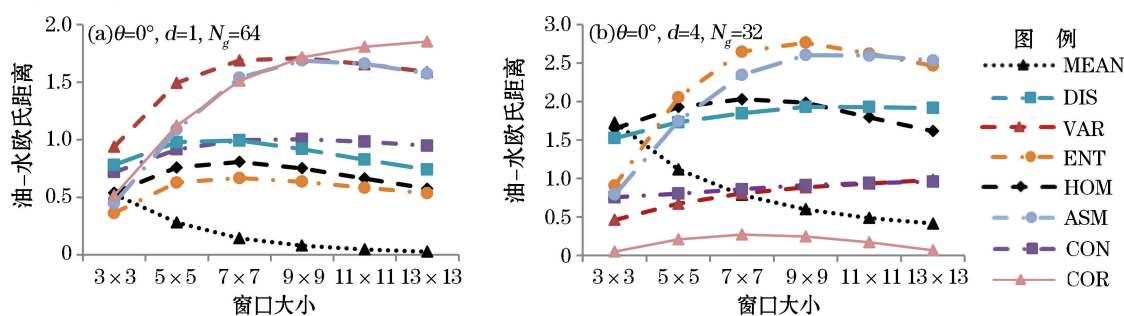
3.1 GLCM 参数的选择

在实际计算中,建立 GLCM 通常由窗口大小、方向(θ)、位移(d)和灰度量化级(N_g)所决定,改变其中任何一个参数都会影响 GLCM 对纹理特征量的计算。本文主要选取了 8 个纹理特征量,分别是角二阶距(ASM)、对比(CON)、差异性(DIS)、熵(ENT)、相关(COR)、均值(MEAN)、变化量(VAR)以及同质性(HOM)。由于油膜纹理特征在不同区域中表现类似,因此,以黄岛溢油(区域 1)为例,确定提取油膜纹理特征量的 GLCM 最佳参数组合。

3.1.1 窗口大小的确定

确定合适的窗口不仅与图像处理速度有关,而且还影响着目标纹理特征的真实性和准确性。溢油通常会形成斑块状或条带状,考虑到实际情况、检测精度及处理速度,本文尝试计算 6 种不同大小窗口(3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9 , 11×11 和 13×13 , 单位为像素 $\times$ 像素)下油膜和海水特征值的欧氏距离(式(1)),此时其他参数统一设置为 $\theta=0^\circ$, $d=1$ 和 $N_g=64$ (图 3a),为了保证实验结果的客观性,另选择一组参数: $\theta=0^\circ$, $d=4$ 和 $N_g=32$ (图 3b)来共同确定窗口大小。

由图 3 可知,当窗口为 3×3 时,除 MEAN 外,其他特征的油膜和海水的欧氏距离基本处于最小值;随着窗口逐渐扩大,除了均值(MEAN)特征外的其他特征区分能力逐渐增大,当窗口像素扩大到 7×7 和 9×9 时,各个特征的欧氏距离基本达到最大值,2 个窗口下的油膜与海水都能较好地进行区分,而后随着窗口的扩大,类间区分能力减弱。在实际情况中,窗口越大,图像处理的速度越慢,因此考虑到处理时间,本文选取了 7×7 (像素 $\times$ 像素)窗口大小。



注:窗口单位为像素 $\times$ 像素

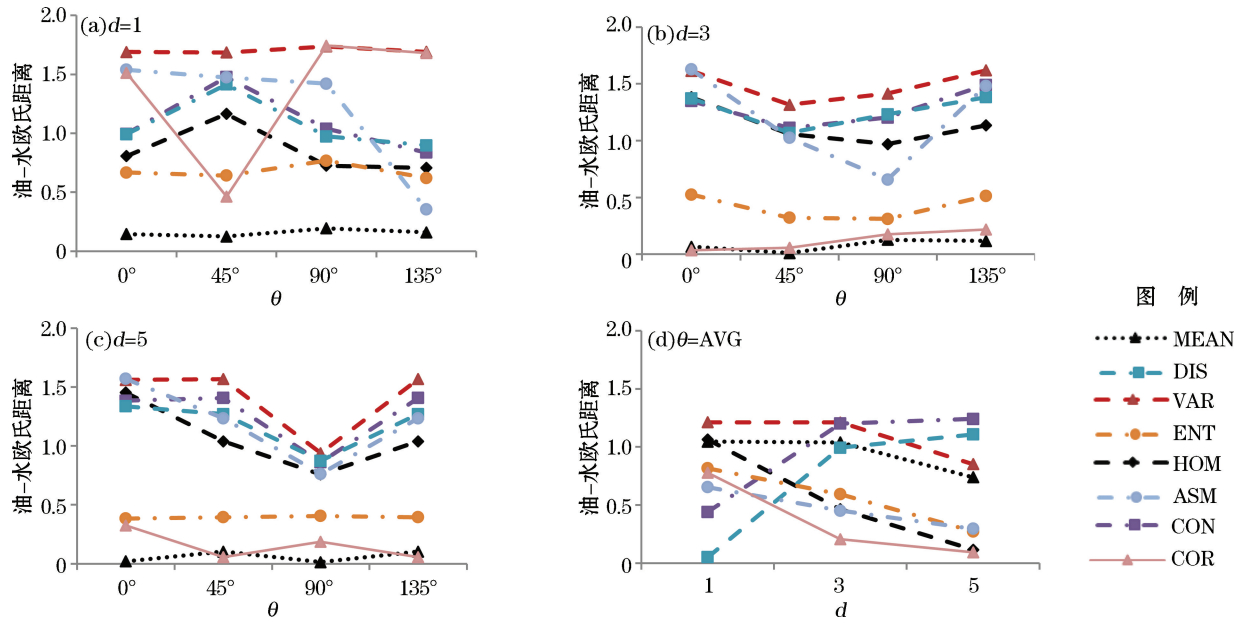
图 3 油膜与海水在各个特征中的欧氏距离随不同窗口大小的变化

Fig.3 Euclidean distance of each feature between the oil film and sea water under different image windows

3.1.2 方向的确定

为了研究 GLCM 的方向对 GF-1 油-水区分能力的影响并确定合适的方向,尝试在 7×7 (像素 $\times$ 像素)窗口、灰度量化级 N_g 为 64 时,分别开展 0° , 45° , 90° , 135° 和平均角度(AVG)即水平、右对角线、垂直、左对角线和 4 个方向的平均共 5 种方向,以及不同位移 d (1, 3 和 5 像素)对各个特征油-水区分能力影响的实验,结果见图 4。

由图 4 可知:当位移量 $d=1$ 时,各个特征的油-水距离在各个方向上表现出较大的起伏变化;当 $d>1$ 时,各个特征量在局部有一定的起伏,但当位移量取到一定大时($d=5$),特征量曲线随着角度的变化呈现出了一致的规律性;同时,由图 4d 中知,当 θ 取平均时,各个特征的油-水距离在不同位移量中均小于 1.3,与其他 4 个方向相比均不是最优。当位移量 $d>1$ 且方向 $\theta=0^\circ$ 时,各个特征对油-水分类能力均为最佳,所以方向参数 θ 取为 0° 。

图4 油膜与海水在各个特征中的欧氏距离随方向 θ 的变化Fig.4 Euclidean distance of each feature between oil film and sea water with various direction vectors θ

3.1.3 位移量和灰度量化级的确定

通过分析确定了窗口大小(7×7 , 像素 $\times$ 像素)和方向($\theta = 0^\circ$)参数,在此基础上,尝试开展 N_g 为 16, 32, 64 和 256 (不进行灰度级量化)四个灰度量化级别及位移量 d 为 1, 2, 3, 4, 5 和 6 像素时,各个特征对油-水区分能力影响的实验,结果如图 5 所示。

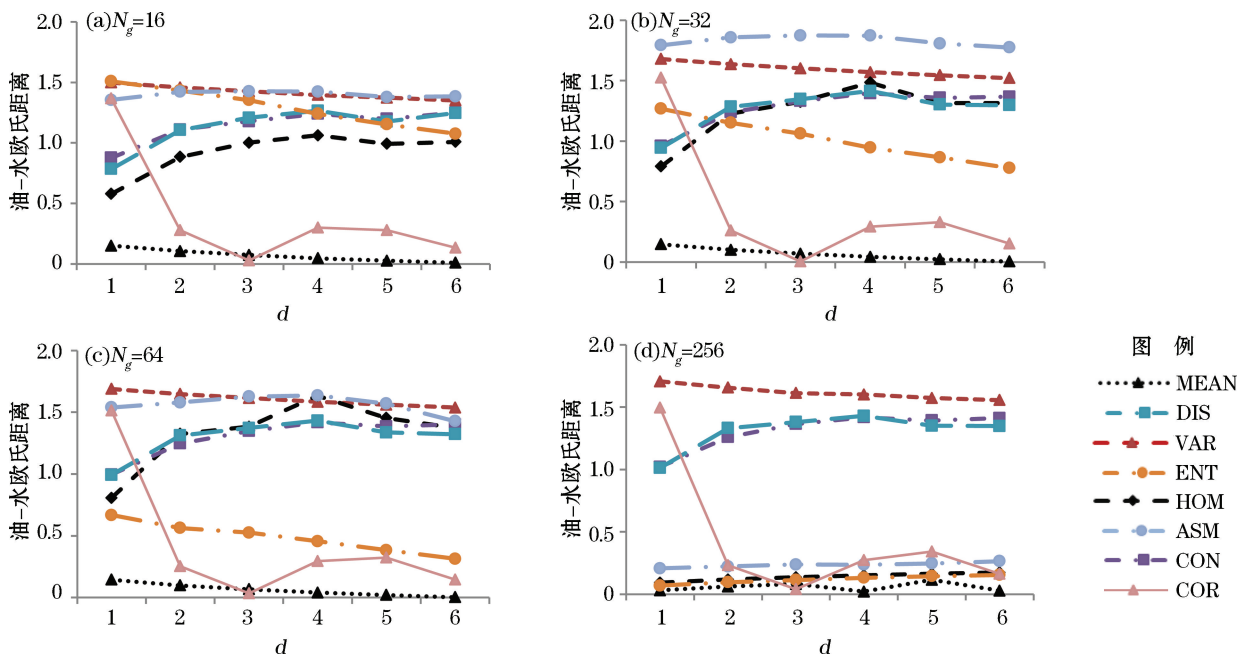


图5 油膜与海水在各个特征中的欧氏距离随灰度量化级的变化

Fig.5 Euclidean distance of each feature between oil film and sea water under various gray quantitative levels

由图 5 可知:在不同的灰度量化级中,变化量(VAR)、对比(CON)、差异性(DIS)、均值(MEAN)和相关(COR)等各个特征参数曲线相似,说明灰度量化级对这些特征影响较小;当 N_g 为 32 和 64 时,除了均值(MEAN)和相关(COR)特征外,其他特征对油膜和海水均有较好的区分能力,故本文选取 $N_g=32$ 为灰度量化水平。结合海面溢油情况,当位移量 $d=4$ 时,特征对油膜和海水的区分能力达到最佳,故位移量参数选取为 4。

3.2 特征选择

通过分析确定了 GLCM 的全部参数,即窗口大小(7×7 , 像素 $\times$ 像素)、方向($\theta=0^\circ$)、位移($d=4$ 像素)和灰度量化级($N_g=32$)。在此基础上提取油膜和海水的纹理特征值并利用式(1)计算各特征中油-水的类间欧氏距离,用于筛选油膜与海水区分能力相对较强的纹理特征量。考虑到所选特征量的普适性,将利用 3 个溢油区域(图 1)共同开展实验,分析基于油膜与海水在各个特征中的欧氏距离变化,结果如图 6 所示。

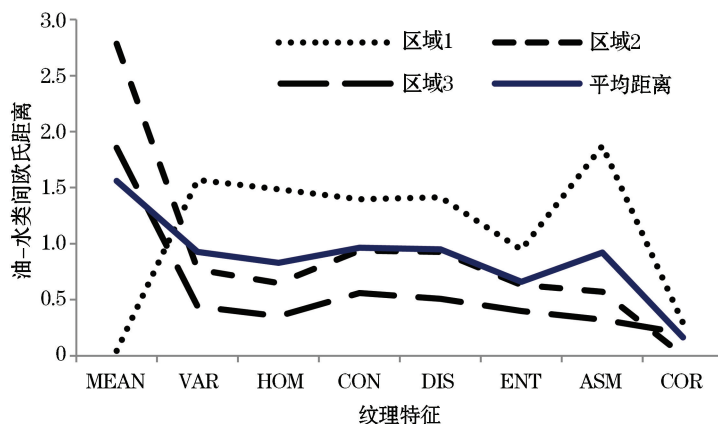


图 6 油膜与海水在各个特征中欧氏距离的变化曲线

Fig.6 Euclidean distance between oil film and seawater of various features

由图 6 可以看出,在 3 个实验区域中,各纹理特征的区分能力表现不同,尤其是均值(MEAN)特征量在不同实验区域差异表现最为明显,但是该特征对某些情况的溢油仍然具有较好的区分能力(区域 2 和区域 3)。所以,参考油-水类间平均距离曲线将均值(MEAN)、对比(CON)、差异性(DIS)、变化量(VAR)四个统计量作为分类器的输入纹理特征量。

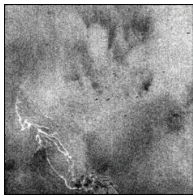
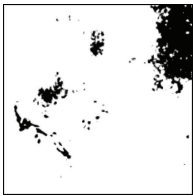
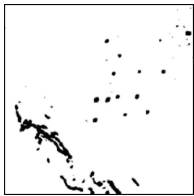
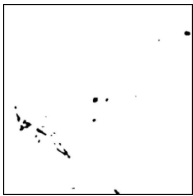
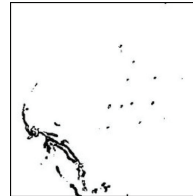
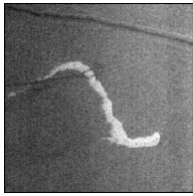
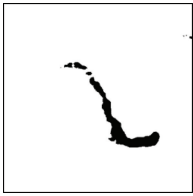
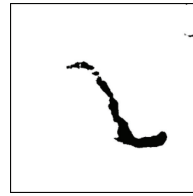
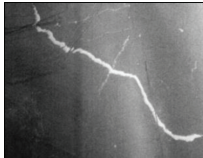
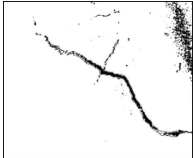
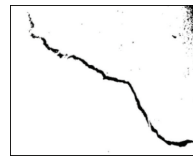
4 最优分类器选择

基于选取的 4 个特征统计量,并与最优光谱参数 B2G 构成 5 波段的数据,在此基础上应用最小距离分类法、最大似然法、神经网络分类法和支撑向量机分类法四种常用的监督学习分类器进行对比,最终确定一种效果最佳的分类器。

本文选取 70% 的样本数据用于分类器的训练,30% 用于测试。其中神经网络采用对数(Logistic)函数,训练贡献阈值为 0.1,权重调节速度为 0.2,训练步长为 0.1。分类结果如表 3 所示。

根据检测结果,主要分为 2 种情况:一是分类方法对油膜检测的是否准确;二是能否抑制影响油膜检测因素,如类似油膜的海面亮斑(B2G 光谱组合中)、海上船只目标等。从 B2G 光谱图像中看出,区域 1 油膜形状复杂、呈窄带状,并且海面上有船只目标和类油膜亮斑;区域 2 油膜形状简单,没有干扰因素;区域 3 油膜形状简单,存在类油膜亮斑。

表 3 4 种分类器溢油检测结果
Table 3 Oil spill detection results by 4 classifiers

研究区域	B2G 光谱图像	最小距离法	最大似然法	神经网络法	支持向量机法
区域 1					
区域 2					
区域 3					

首先,在油膜检测准确性方面,对于简单形状的油膜,4 种方法均可,而在油膜形状复杂情况下,最小距离分类法和神经网络分类法不能准确检测出油膜,存在信息丢失情况,最大似然分类方法和支持向量机分类法都能够检测出油膜的形状,但支持向量机分类法的检测准确性更高;其次,对于影响因子的抑制能力方面,支持向量机方法可有效地抑制海面亮斑,对于船只目标的影响,4 种方法都没有得到有效的抑制,在检测过程中可以通过目视解意的方法进行排除。

5 分类精度评价

在对各分类器的检测结果定性分析的基础上,引入混淆矩阵精度评价方法对分类结果进行定量分析。本文将图像目视解意的结果当作精度验证的参考数据,生成了检测结果的混淆矩阵(表 4),可以看出,由于区域 2 油膜形状简单并且没有干扰因素,所以 4 种分类器的分类精度都在 99%以上、Kappa 系数^[19]大于 0.9;

表 4 分类结果精度验证混淆矩阵
Table 4 Accuracy of classification results based on confusion matrix

方 法	区域 1		区域 2		区域 3	
	总体精度/%	Kappa 系数	总体精度/%	Kappa 系数	总体精度/%	Kappa 系数
最小距离法	83.70	0.16	99.76	0.97	82.45	0.35
最大似然法	99.08	0.82	99.47	0.94	80.73	0.34
神经网络法	98.66	0.68	99.72	0.97	93.57	0.57
支持向量机法	99.32	0.86	99.77	0.97	98.46	0.81

区域 1 和区域 3 由于受到海面亮斑或船只目标的影响,各分类器的分类精度相差较大,最小距离法、最大似然法和神经网络法的 Kappa 系数均低于 0.7,而支持向量机方法能够有效抑制干扰因素,在 4 种分类器中表现最优(Kappa 系数大于 0.8)。

6 结 论

通过 10 景 GF-1 WFI 数据实验选取了最优光谱参数,在此基础上确定了灰度共生矩阵(GLCM)的窗口大小、方向(θ)、位移量(d)和灰度量化级(N_g)四个参数,并利用 4 个参数选择了适用于不同情况的油膜纹理特征;最后,将选取的若干纹理特征量结合最优光谱构成多波段数据,应用于不同分类器中并进行了精度评价,得出结论:

1)基于 10 景 GF-1 影像的 123 个油膜样本和 378 个海水样本,对比了 16 种光谱参数对油膜与海水的区分能力,分析发现 B2G 光谱对油膜最为敏感,更适用于溢油检测。

2)在 GLCM 参数选择方面,考虑到检测精度和处理速度,将窗口大小设置为 7×7 (像素 $\times$ 像素);当位移量 $d > 1$ 且方向 $\theta = 0^\circ$ 时,各个特征分类能力均为最佳,结合实际情况选择位移量参数为 4 个像素,方向 θ 为 0° ;灰度量化级为 32 级和 64 级时均可用于油-水分离,本文选择了 32 级灰度量化。

3)结合油膜的不同情况,选定均值(MEAN)、差异性(DIS)、变化量(VAR)和对比(CON)统计量作为后续溢油检测的纹理特征。

4)将选定的 4 个纹理特征量与最优光谱结合,应用至 4 种常用的分类器,并结合分类器对油膜检测的准确性进行了定性和定量的评价分析,评价结果显示支持向量机分类法表现最优。

参考文献(References):

- [1] GRIMALDI C S L, COVIELLO I, LACAVA T, et al. Near real time oil spill detection and monitoring using satellite optical data[C]// Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS). IEEE International. IEEE Xplore, 2009: IV709-IV712.
- [2] SONG S S, ZHAO Y P, AN W, et al. Research on the oil spill SAR remote sensing and fast numerical simulation[J]. Advances in Marine Science, 2016, 34(1): 138-146. 宋莎莎, 赵宇鹏, 安伟, 等. 海上溢油 SAR 遥感监测及溢油漂移快速数值预报技术研究[J]. 海洋科学进展, 2016, 34(1): 138-146.
- [3] LU Y C, HU C M, SUN S J, et al. Overview of optical remote sensing of marine oil spills and hydrocarbon seepage[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 1259-1269. 陆应诚, 胡传民, 孙绍杰, 等. 海洋溢油与烃渗漏的光学遥感研究进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 1259-1269.
- [4] QU X C. The index based on MODIS oil spill research and application[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2014. 曲先超. 基于 MODIS 的海面溢油指数研究及应用[D]. 大连: 大连海事大学, 2014.
- [5] YANG H, HANG J. Diagnosis of oil spills in Shanghai coastal area based on multi-source satellite MODIS and HJ-1[J]. Marine Sciences, 2014, 38(10): 90-97. 杨红, 杭君. 基于 MODIS 与 HJ-1 多源卫星的上海海域溢油事故诊断[J]. 海洋科学, 2014, 38(10): 90-97.
- [6] TRABANDT A, GAY R E, BIRKEDAL-HANSEN H, et al. Development of band ratioing algorithms and neural networks to detection of oil spills using Landsat ETM+ data[J]. Eurasip Journal on Advances in Signal Processing, 2012(1): 107-114.
- [7] HU C, MÜLLER-KARGER F E, TAYLOR C, et al. MODIS detects oil spills in Lake Maracaibo, Venezuela[J]. Transactions American Geophysical Union, 2003, 84(33): 313-319.
- [8] WANG D, PAN D, ZHU Q. Experiment of monitoring oil spill on the base of EOS/MODIS data[J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2010, 7831(1): 1-8.
- [9] CHEN H, ZHAO C F. A study for detecting marine oil spills by using MODIS multi-spectral data[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2009(3): 46-52. 陈辉, 赵朝方. MODIS 多光谱信息在海上溢油检测中的应用[J]. 海洋湖沼通报, 2009(3): 46-52.
- [10] SU W G, SU F Z, DU Y Y. MODIS based spectral and texture integration oil spill detection method[J]. Journal of Geo-information Science, 2014, 16(2): 299-306. 苏伟光, 苏奋振, 杜云艳. 基于 MODIS 谱纹信息融合的海洋溢油检测方法[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(2): 299-306.
- [11] SHAHINI S G. Oil spill detection and monitoring using MODIS data[C]//5th Symposium on Advances in Science & Technology. Iran:

- Khavaran Higher-education Institute, 2011.
- [12] ZHAO D Z, CONG P F. The research of visual light wave-band feature spectrum of sea0surface oil spill[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2000, 15(3): 160-164. 赵冬至, 丛丕福. 海面溢油的可见光波段地物光谱特征研究[J]. 遥感技术与应用, 2000, 15(3): 160-164.
- [13] LI Y, LAN G X, LIU B X. Oil spill information extraction with texture features HJ-CCD sensors: a case study in PL19-3 oil spill incident[J]. China Environmental Science, 2012, 32(8): 1514-1520. 李颖, 兰国新, 刘丙新. 辅以纹理特征的 HJ-CCD 海上溢油信息提取: 以 PL19-3 溢油为例[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8): 1514-1520.
- [14] WANG C, LIU P, ZHAO C F, et al. Oil spill monitoring of Qingdao pipeline by using GF-1 satellite data[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2014(4): 174-179. 王臣, 刘朋, 赵朝方, 等. 高分一号在青岛输油管道海面溢油监测中的应用[J]. 海洋湖沼通报, 2014(4): 174-179.
- [15] ZHANG X, ZHANG J, MENG J M. Sea ice classification with GaoFen-1 optical remote sensing data in the Bohai Sea[C]// OUWEHAND L. Dragon 3 Mid-Term Results. 2014.
- [16] XU F X, GAO Z Q, ZHENG X Y, et al. Spatial and temporal distribution characteristic of green tides in the Yellow Sea in 2016 based on MODIS data[J]. Marine Sciences, 2017, 41(5): 80-84. 徐福祥, 高志强, 郑翔宇, 等. 基于 MODIS 数据的 2016 年黄海绿潮灾害动态监测研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(5): 80-84.
- [17] China Centre for Resources Satellite Data and Application. Satellite: GaoFen-1[EB/OL]. (2014-10-15)[2019-01-11]. <http://www.cresda.com/CN/Satellite/3076.shtml>. 中国资源卫星应用中心. 卫星资源: 高分一号[EB/OL]. (2014-10-15)[2019-01-11]. <http://www.cresda.com/CN/Satellite/3076.shtml>.
- [18] DEZA M M, DEZA E. Encyclopedia of distances[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
- [19] WANG J. The application of Kappa in assessing agreement[D]. Chengdu: Sichuan University, 2006. 王军. Kappa 系数在一致性评价中的应用研究[D]. 成都: 四川大学, 2006.

Oil Spill Detection From GF-1 Images With Spectral and Textural Features

BAO Meng, ZHANG Jie, ZHANG Xi, MENG Jun-min

(First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China)

Abstract: A new method is proposed for oil spill detection with high accuracy from GF-1 WFI optical images through combining spectral information with a variety of texture features. This method not only takes into account the ability of different band combinations to distinguish oil film from seawater, but also determines the four key parameters (window size, direction, displacement and quantization level) of the gray scale co-occurrence matrix for the selection of the texture features. The suitable texture features quantity and the optimal band combinations are applied as input to 4 kinds of supervised learning classifiers, and the best performance of oil film detection is achieved by the support vector machine classifier. This work will provide information for the monitoring of offshore oil spilling in the future.

Key words: spectral information; texture feature; GF-1; oil spilling detection

Received: January 11, 2019