多元指标的海上溢油信息提取

邹亚荣,邹 斌,梁 超,崔松雪,曾 韬
(国家卫星海洋应用中心,北京 100081)

摘要:海上溢油给海洋生态环境带来了巨大的影响,甚至需要几十年才能恢复。运用卫星遥感进行海上溢油监测已成为目前溢油监测的主要手段。本文对海上溢油遥感监测方法进行了分析,鉴此,提出了一种 SAR 数据的多元指标溢油信息提取方法。首先,对图像进行分割,然后,建立溢油形状参数、纹理特征指数、物理特性指数等主要指标,并以层次分析法得出每一类指标的权重。针对每一类指标,以经现场验证的溢油图像为基础,选择形状参数,如周长与面积比值、复杂度等,建立溢油形状判读等级;选择纹理特征参数,以灰度共生矩阵的相关性、熵、变化等来表达溢油的纹理特性,建立溢油纹理特征判断等级;选择溢油物理特征,如溢油与海水的标准差、均方根差、对比度等,建立溢油物理参数判断等级。在此基础上,建立海上溢油遥感信息提取指数,计算分割图斑的溢油遥感信息提取指数,以此判断溢油遥感信息提取的置信度,为溢油识别提供依据。

关键词:多元指标;SAR;溢油;溢油遥感信息提取指数
DOI:10.3724/SP.J.1047.2012.00265

1 前言

作为一个国家的蓝色领土,海洋环境质量越来越密切地同人类社会生存环境发生着相互作用。然而,人类在不断向海洋索取各种生活资料的同时,也在不断地破坏着海洋环境。2010 年 4 月 20 日位于美国墨西哥湾的英国石油公司(BP)"深水地平线"钻井平台爆炸起火,石油形成的污染带直接威胁墨西哥湾海岸生态环境及沿岸民众生活,许多野生动物遭受"灭顶之灾"。此次事故已成为美国历史上最重大的生态灾难,造成了极其严重的社会影响,并引发了广泛的国际关注和反思。2010 年 7 月大连新港输油管道破裂造成海上溢油,对环境造成巨大的危害。溢油对近海海域的污染,已引起了各国政府的广泛重视。2011 年 6 月渤海蓬莱 19-3 平台溢油事故带来 840km^2 的水质污染。因此,利用卫星遥感技术及时、准确、全面地监测海洋溢油污染,积极采取溢油清除和预防措施,保护海洋环境,已是刻不容缓的重要工作。

针对溢油遥感监测,各国学者利用 SAR 数据进行海洋溢油监测的研究。Fabio Del Frate 等人(2000)利用直方图的两个峰值之间的局部最小值来进行图像分割[1]。Mauro Barni 等人(1995)在对 SAR 图像滤波后,采用模糊聚类进行初步分割,利用分配参数来确定聚类数,然后根据边缘梯度值,将聚类所得的结果中梯度值不大且相邻的两个区域进行合并,从而得到最终结果[2]。意大利学者 Giuliano Benelli(1998)利用一种多分辨率的方法,对 1994 年 4 月 18 日热那亚湾 ERS-1 SAR 图像中的溢油开展了分类研究[3]。Solberg 等人认为阈值可设为窗口平均后向散射系数减去 k dB,且阈值的获取可采用多尺度的金字塔方法,通过一次迭代步骤实现[4]。Del Frate 等人采用了疑似暗目标影像直方图的边缘监测技术[5]。Kannaa 等人采用的滞后性阈值算法可成功提取线性暗斑[6]。Huang 等人应用基于水平集的偏微分方程进行油膜分割[7]。Wu 和 Liu 等人使用小波方法进行溢油检测,其研究旨在实现包括溢油在内的海洋目标探测[8]。李军(2010)采用空间密度分割阈值的方法,以克服 SAR 图像的噪声带来的问题,同时提高了监测速度[9]。

在进行油膜和类油膜的分类上,Del Frate 等人

收稿日期:2011-08-02;修回日期:2012-03-21.
基金项目:中国海监总队海洋执法飞机运行费(2012 年);国家海洋局海洋溢油鉴别与损害评估技术重点实验室开发基金 2009 年(基于 SAR 散射的海上溢油监测算法研究)。
作者简介:邹亚荣(1967-),男,江西南昌人,博士,研究员,从事海洋遥感与 GIS 应用研究。E-mail:zyr@mail.nsoas.gov.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2000,2004)使用神经网络进行SAR图像中油膜的半自动探测,使用了一系列特征把候检油膜表示为输入矢量,同时考虑到风速对溢油分类的影响,将风速也作为神经网络的一个特征矢量[10]。

国内针对SAR溢油图像的研究起步较晚,与国外相比存在较大差距。近年来有不少研究机构开展了相关的研究,并取得了一定的研究成果。

黄晓霞等(1999)采用的暗区检测算法,主要是对已进行预处理图像应用自适应的方法,根据图像直方图进行阈值处理,提取海洋SAR图像中的表面油膜特征,结合表面油膜的边缘梯度特征,采用动态聚类的方法对SAR图像中的表面油膜进行分类,并对渤海区域溢油图像进行实验分析,获得比较满意的分类效果[11]。田维(2009)做了油膜对海面雷达后向散射的衰减研究[12]。石立坚(2008)对SAR和MODIS监测海面溢油的方法进行了讨论[13],近年来,大连海事大学针对SAR溢油图像开展了一些研究,主要是运用纹理的神经网络对油膜和类油膜进行分类并取得了一些成果[14]。

目前的研究主要从图像处理与散射等方面开展溢油的遥感监测,但对于提取信息的置信度研究的不多,本文从多元指标入手,开展研究。

2 溢油监测数据源

ENVISAT-1卫星是欧空局的对地观测卫星系列之一,于2002年3月1日发射升空。设计寿命5-10年,重复周期35天。在ENVISAT-1卫星上载有多个遥感器,分别对陆地、海洋、大气进行观测,其中最主要的就是名为ASAR(Advanced Synthetic Aperture Radar)的合成孔径雷达遥感器。与ERS的SAR遥感器一样,ASAR工作在C波段,波长为5.6cm。但ASAR具有许多独特的性质,如多极化、可变观测角度、宽幅成像等。

本文选取2011年6月19日与21日ENVISAT-1卫星Wide模式、VV极化的2景ASAR影像(图1),Wide模式的幅宽为400km,具有大面积监测的特点。

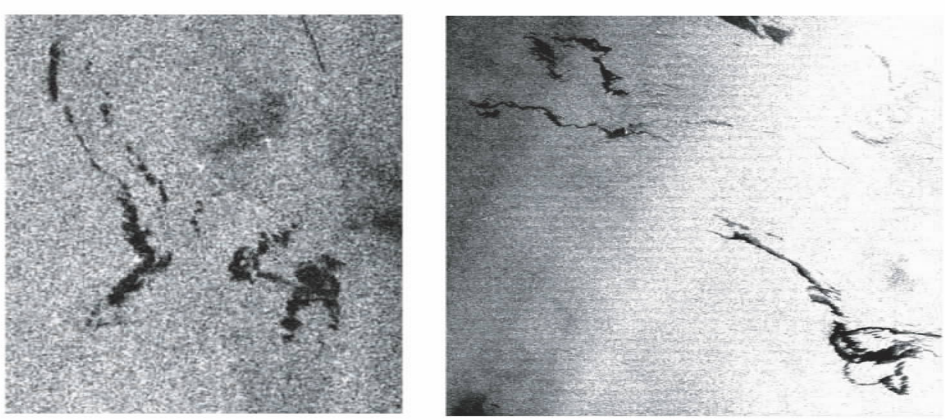

图1 渤海ENVISAT数据((a)2011年6月19日;(b)2011年6月21日)

Fig.1 Bohai Sea ENVISAT date (a: 2011-06-19; b: 2011-06-21)

3 海上溢油遥感监测方法与置信度分析

采用后向散射系数、形状系数、图像纹理特征参数来表达溢油遥感监测的置信度。且假定3个参数对溢油置信的贡献一样,

$$CON = A(\nabla\sigma^0) + B + C \quad (1)$$

式中:CON为置信度,A为散射系数,B为纹理特征,C为形状系数。

本文基于Bragg散射模型开展海上溢油遥感识别,在海面风场为3～10m/s的海况条件下进行。其以影像的样本数据与现场调查检验为准,对样本数据进行验证。

3.1 散射参数

对原始图像数据进行辐射定标处理,并以雷达后向散射系数(σ^0)图像作为海面暗目标区域自动监测算法的研究对象。根据《Envisat Product Handbook V2.2》(ESA),辐射定标公式为:

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\sigma^0_{i,j} = \frac{DN^2_{i,j}}{K}\sin(\alpha_{i,j}) \tag{2}$$

其中:K 绝对定标常数;$DN_{i,j}$ 像元灰度值;$\sigma^0_{i,j}$ 像元雷达后向散射系数,$\alpha_{i,j}$ 像元入射角。

对于海面暗区域的检测,正是基于像元 $\sigma^0_{i,j}$ 值的差异而进行的。

采用后向散射系数梯度均值,

$$\nabla\sigma^0 = \sum_i^n grade(\sigma^0_i)/n \tag{3}$$

式中,i 为目标—海面边界上第 i 个像元;n 为目标—海面边界上像元个数总和;$grade(\sigma^0_i)$为目标—海面边界上第 i 个像元梯度的欧式距离,其计算方法为:

$$grade(\sigma^0_i) = [(S_X\sigma^0_i)^2 + (S_Y\sigma^0_i)^2]^{1/2} \tag{4}$$

式中,SX 、SY 分别为水平、垂直方向的 $Sobel$ 算子[15]

采用公式(4)对图像进行处理,得到表 1 的结果。

表 1　散射计算参数

Tab. 1　Parameter of scattering calculation

序号	均值	标准偏差	梯度
1	−22.28	0.91	28.99
2	−21.97	0.85	30.82
3	−22.54	0.78	18.72
4	−23.01	0.67	19.25
5	−11.93	1.73	41.12
6	−12.10	1.33	53.60
7	−8.54	1.94	60.04
8	−9.26	1.40	53.85

通过表 1 ,根据样本的统计与现场验证数据,如梯度值大于 45,则样本为海面油膜的概率在 80%以上,以此建立散射参数置信度:

$$A(\nabla\sigma^0) = \begin{cases} 0.8 & \nabla\sigma^0 \geqslant 45 \\ 0.6 & 35 \leqslant \nabla\sigma^0 < 45 \\ 0.4 & 25 \leqslant \nabla\sigma^0 < 35 \\ 0.2 & 20 \leqslant \nabla\sigma^0 < 25 \\ 0.1 & \nabla\sigma^0 < 20 \end{cases} \tag{5}$$

3.2　灰度共生矩阵

设定图像为 $M\times N$ 大小,设其灰度级分别为 i,j,(K,l)与(m,n)表示图像空间上的一个点对。取像元对间距为 d,两像元连线的方向为 θ。取不同间距 d,不同方向 θ 的灰度共生矩阵为 $P(i,j,d,\theta)$。P_{ij} 为两个相邻像元在距离 d 和角度 θ 的概率[16]。基于不同 θ ,0°与 180°的表达为:

$$P(i,j,\theta) = \&\{((k,l),(m,n) \in (M\times N)\times (M\times N): k-m=\theta, ||l-n|=0\} \tag{6}$$

90°与 270°的表达为:

$$P(i,j,\theta) = \&\#x0023;\{((k,l),(m,n) \in (M\times N)\times (M\times N): k-m=0, ||l-n|=\theta\} \tag{7}$$

对图像进行灰度压缩,把 256 灰度值压缩为 64 位。提取灰度共生矩阵的关联,变化特征量。

变化:$(\sum(i-\mu_i)^2\sum P_{ij})/(\sum(j-\mu)^2\sum P_{ij})$ (8)

关联:$$\sum_i\sum_j (j-\mu_x)(j-\mu_y)P_{ij}/\sigma_x\sigma_y \tag{9}$$

其中:μ_x,μ_y,σ_x,σ_y 分别为:$\mu_x = \sum_i i\sum P_{ij}$,$\mu_x = \sum_j j\sum_i P_{ij}$

$$\sigma_x = \sum_i (i-\mu_x)^2\sum_j P_{ij} \quad \sigma_x = \sum_j (j-\mu_y)^2\sum_i P_{ij}$$

针对选取的图像进行灰度共生矩阵计算得到图 2。

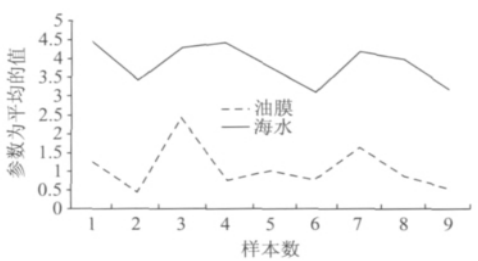

图 2　灰度共生计算结果

Fig. 2　Results of co-occurrence calculation

根据计算的结果及样本的现场验证信息,参数“平均”的值对溢油与海水有比较明显的区分,选择平均参数为置信度 0.8。

3.3　形状指数

根据周长与面积来确定[17]:

$$c = \frac{A}{2+\sqrt{S}} \tag{10}$$

式中:C 为形状指数,A 为周长,S 为面积。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 2 几何参数计算

Tab. 2 Parameter of geometric calculation

序号	面积(km²)	周长(km)	形状指数
1	1.03	9.3	0.20
2	0.22	2.7	0.06
3	2.88	33.22	0.37
4	0.28	3.6	0.07
5	1.42	13.13	0.25
6	4.06	32.55	0.53
7	3.03	18.9	0.48
8	1.31	8.78	0.26

通过表 2，根据样本的统计与现场验证数据，建立几何参数置信度：

$$C=\begin{cases}0.08 & C\geqslant 0.5\\ 0.06 & 0.4\leqslant C<0.5\\ 0.04 & 0.3\leqslant C<0.4\\ 0.02 & 0.2\leqslant C<0.3\\ 0 & C<0.1\end{cases} \tag{11}$$

3.4 多元指标置信度计算分析

2011 年 6 月渤海蓬莱 19－3 平台发生溢油，国家卫星海洋应用中心使用 ENVISAT ASAR 卫星数据(Wide 模式，150m 分辨率，VV 极化)对其进行了跟踪监测。图 3 为 ENVISAT ASAR 图像快视图。



图 3 2011 年 6 月 21 日渤海 ENVISAT 图像

Fig. 3 ENVISAT image of Bohai Sea on Jun 21, 2011

多元指标置信度综合计算结果如表 3。

表 3 计算结果

Tab. 3 Calculation results

均值	标准偏差	梯度	纹理	面积(km²)	周长(km)	几何参数
−13.46	0.99	61.79	0.8	0.19	2.25	0.05
置信度				80.2%		

表 3 表明：梯度为 61.79，置信度为 80%，但几何指标的置信度为 0，纹理的置信度为 0.8，综合置信度为 80.2%。

4 结语

由于存在大气锋面、流等在 SAR 图像的类溢油，通过多元参数进行溢油的遥感监测已具有趋势化，本文采用散射、纹理、几何等参数，开展溢油遥感监测的置信度研究，结果表明：针对条带状溢油，从溢油在 SAR 图像的表现机理、图像特征、形状方面能较全面地反映出溢油遥感监测特性，三者的结合的置信度在遥感监测上具有一定的实用价值。指标的选取是在溢油现场验证的基础上，运用统计学方法得出的，还需作更深一步的研究。

海洋情况多变，影响溢油在 SAR 图像上的表现因素很多，如风，浪等，在本文中该类因素没有反映，这对于溢油的遥感监测置信度将产生一定的影响。如何把 SAR 图像参数与现场的海洋环境要素相结合将是进一步研究的内容。

致谢：感谢中国科学院对地观测与数字地球科学中心对本文的数据支持。

参考文献：

[1] Frate F D, Petrocchi A, Lichtenegger, *et al*. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sencing, 2000,38(5):2282-2287.

[2] Barni M, Betti M and Mecocci A. A fuzzy approach to oil spill detection on SAR images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995, 1:157-159.

[3] Benelli G and Garzelli A. A multi-resolution approach to oil-spills detection in ERS-1SAR images[C]. European Symposium on Remote Sensing, Image and Signal Processing for Remote Sensing IV, September 21-24, 1998, 145-156.

[4] Solberg A, Storvik G, Solberg R, *et al*. Automatic detection of oil spills in ERS SAR images [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1999, 37:1916-1924.

[5] Karathanassi V, Topouzelis K, Pavlakis P, *et al*. An object-oriented methodology to detect oil spills[J]. Int. J. Remote Sens., 2006, 27:5235-5251.

[6] Del Frate F, Petrocchi A, Lichtenegger J, *et al*. Neural networks for oil spill detection using ERS-SAR data

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 2000, 5: 2282-2287.

[7] Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell., 1986, 8:679-698.

[8] Liu A K, Peng C Y, Chang S Y. Wavelet analysis of satellite images for costal watch[J]. IEEE J. Ocean Eng., 1997, 22:9-17.

[9] Yu Li, Jonathan Li. Oil spill detection from SAR intensity imagery using a marked point process[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 1590-1601.

[10] Solberg A H S and Solberg R. A large-scale evaluation of features for automatic detection of oil spills in ERS SAR images[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999, 3:1484-1486.

[11] 黄晓霞,朱振海. 海洋表面膜特征的 SAR 图像探测[J]. 遥感学报,1999, 3(1):48-53.

[12] 田维. 海面油膜雷达遥感检测机理与方法研究[D]. 中国科学院研究生院,2009.

[13] 石立坚. SAR 及 MODIS 数据海面溢油检测方法研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.

[14] 彭博. 基于面向对象的海洋溢油检测的研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2007.

[15] 邹亚荣,卢青,邹斌. 基于 SAR 后向散射的海上溢油检测研究[J]. 遥感信息, 2010(4):76-79.

[16] 邹亚荣,林明森,马腾波,等. 基于 GLCM 的 SAR 溢油纹理特征分析[J]. 海洋通报, 2010, 29(4): 455-458.

[17] Araujo R T S, de Medeiros F N S, Costa R C S, et al. Locating oil spill in SAR images using wavelets and region growing[J]. //Orchard R, et al. (Eds.): IEA/AIE 2004. LANAI, 2004, 3029, 1184-1193.

Multiple Index Information Extraction of Marine Oil Spills

ZOU Yarong, ZOU Bin, LIANG Chao, CUI Songxue and ZENG Tao

(*National Satellite Ocean Application Service, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: The oil spills bring great damage to the marine ecological environment even taking decades to repair. Using remote sensing technologies for marine oil spill detection has become a major direction. In this paper, through analyzing the marine oil spill remote sensing detection methods, a new one based on the multivariate index of oil spill information extraction with the SAR data is proposed. First, segmenting the images, and then establishing the shape parameters, the texture feature indexes, and the physical indexes of the spots, the indexes weights were given based on the hierarchical analysis method. For each category index, on the image processing with the on-site validation information, select shape parameters, e. g. the perimeter-to-area ratio, complexity, to establish oil spill shape interpretive level. Choose the texture characteristics parameters from the gray level co-occurrence matrix, e. g. relevance, entropy and change, to establish the oil spill texture feature judgment level. Choose the physical characteristics, e. g. the standard deviation, RMS and contrast, to establish the oil spill physical parameters judgment level. Finally, by calculating the remote sensing information extraction index of the segmentations image dark spots, we can evaluate the credibility of the oil spill remote sensing information extraction, even get a significant basis for the oil spill identification. From the paper, oil spill in the SAR image performance mechanism, the image characteristics and the shape aspects can comprehensively reflect oil spill remote sensing detection characteristics, and the three combination confidence in the remote sensing monitoring has certain practical value.

Key words: multiple index; SAR; oil spill; oil spill information extraction index

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net