

基于不变矩的 SAR 图象海面油膜形态分类

黄晓霞 李红春 朱振海

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘要 应用模式识别中区域内部变换的形状分析方法—不变矩方法, 提取海洋 SAR 图象中的表面油膜特征, 并结合表面油膜的边缘梯度特征, 采用动态聚类的方法对 SAR 图象中的表面油膜进行分类, 获得比较满意的分类效果。

关键词 不变矩 形状分析 边缘梯度 动态聚类

0 引言

海洋表面上普遍存在着各种不同成因的表面油膜, 在较理想的海况状态下(一般指 $2 \sim 3 \text{m/s} < \text{风速} < 6 \sim 7 \text{m/s}$ 的情况下), 直接影响海洋表面波的发育, 从而使一些大气/海洋的相互作用过程、光学和微波波段的电磁波发射以及散射产生一系列变化。

目前遥感方法进行海洋表面膜的检测, 主要是应用 SAR(侧视雷达)技术。但由于不同成因的海洋表面膜, 在 SAR 图象上都表现为黑色斑块的特征, 单纯从海洋表面膜对 SAR 图象后向散射系数的变化很难区分其成因。然而不同成因的表面膜由于其自身的运动特征和海洋表面状况的影响, 表现出与其成因密切相关的形状特征。在本项研究中, 我们试图应用图象处理中的形状分析方法, 对不同成因的海洋表面膜在 SAR 图象中形成的形状特征进行分类。

1 原理

形状分析是指用计算机图象处理和分析系统提取景物的目标形状特征, 图象经过边缘提取、分割后获得诸分割区域, 然后对诸分割区域提取形状特征, 通过对这些特征的空间分布关系的分析, 借助关于景物的知识, 对景物作出分析和理解。形状特征的提

取方法有多种, 其中各阶统计矩是通过区域的内部进行变换来实现的。

不变矩的方法由于具有不随图象的位置、大小和方向而变化的特点, 对于提取二维图象中的形态特征是一个非常有效的工具。在提取 SAR 图象中海洋表面膜的形态特征中, 我们认为这些特征也具有不随其在图象中的位置、大小和方向而发生变化的特点, 因而在描述这些图象的形态特征中应用了不变矩的方法。

不变矩:

数字图象 f 的 $(p+q)$ 阶矩可定义为

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ 是图象 f 在 (x, y) 处的象元值。

为了使图象 f 在各种变换的情况下保持不变, 可将式(1)中的图象 $(p+q)$ 阶矩经变换后获得图象 f 的 $(p+q)$ 阶中心矩 μ_{pq} 。零阶中心矩表示目标物 R 自身区域。二阶矩表示目标物 R 中的灰度相对于灰度重心的分布, 如 μ_{20} 和 μ_{02} 分别表示 R 围绕通过灰度重心的垂直和水平轴线的惯性矩。若 $\mu_{20} > \mu_{02}$, 则表示 R 可能是一个水平方向拉长的物体, 三阶矩 μ_{30} 和 μ_{03} 的幅值可以度量物体对于垂直和水平轴线的不对称性^[1]。中心矩具有不随图象的各种变换而发生变化的特征^[2]。

对图象进行规格化处理可获得图象规格化 $(p+q)$ 阶中心矩, 用 η_{pq} 表示。

由于二阶和三阶规格化中心矩均不因图象的旋

转和变换而改变,利用二阶和三阶规格化中心矩可以推导出下面7个不变矩:

$$M_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (2)$$

$$M_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (3)$$

$$M_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (4)$$

$$M_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (5)$$

$$M_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} - \eta_{12}) \times [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (3\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \times [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (6)$$

$$M_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (7)$$

$$M_7 = (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12}) \times [(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \times [3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{12} + \eta_{03})^2] \quad (8)$$

Hu M K 在1962年就推导并证明了以上7个平面不变矩组不随图象平移、旋转和大小比例变化而改变^[2]。

通常在实际运算中,由于规格化不变矩 η_{pq} 具有很大的动态变化范围,在图象处理中常采用对 η_{pq} 值进行对数运算以缩小 η_{pq} 值的变化范围^[3]。即实际用到的7个平面不变矩为:

$$\Psi_i = \log |\eta_i|, \quad i = 1, 2, \dots, 7 \quad (9)$$

在特征提取和分类决策中一般同时应用多个矩,以对目标进行准确的识别,提取分类器,并用于对未知图象的分类。

2 SAR 图象海面油膜信息提取

海面油膜的成因多种多样,主要有:轮船排污、原油泄露、海洋生物活动形成的海面有机油膜以及海洋油气藏烃类渗漏形成的表面油膜。在海岸带如有城市工业排废造成的污染,以及海岸岬角背风区形成的低风速区,也可使海面的雷达后向散射回波减少,从而在 SAR 图象上形成低灰度区。

不同成因形成的海面油膜其形态特征互不相同。一般来说,在有利于海面油膜成象的海况条件下(海面风速 $< 6\text{m/s}$ ^[4]),轮船排污、原油泄露和船尾迹形成为线状异常,而海洋生物活动和海底油气藏渗漏烃类成因的海面油膜具有团状和面状的特征。我们感兴趣的是海底油气藏形成的海面油膜,进一步

区分面状表面膜的成因,可从采用多时相及多元信息(油气地质、地球物理和地球化学等异常)复合分析方法予以识别。

2.1 研究区数据

研究所用数据为1996年8月3日获取的渤海湾 ERS-2 SAR 图象数据,覆盖范围对应于为渤海湾含油气盆地中有利含油气圈闭构造区。成象时的海况条件为:风速 3m/s 、风向 $\text{SE}135^\circ$ 、海面温度 26°C 。

2.2 数据预处理

SAR 图象的辐射纠正和滤波处理:在对 SAR 图象中海面油膜特征进行聚类之前,必须对原始 SAR 数据预处理,主要包括辐射纠正及斑点噪声滤波。辐射纠正是为了排除 SAR 图象的侧视成象特征带来的影响,斑点噪声滤波主要是为了消除 SAR 的干涉成象带来的高频噪声的影响。

SAR 图象的目标检测:本项研究采用的斑块检测算法,主要是对已进行预处理图象应用自适应的方法,根据图象直方图进行阈值处理,生成抑制背景的区域图象。在此基础上对该图象进行结构开、闭运算,以保持从 SAR 图象中提取出的表面油膜的形态特征(图1)。

SAR 图象的特征提取:提取的特征包括几何形态特征和边缘梯度两个方面的。几何形态特征是根据上述不变矩的理论,获取描述海洋表面油膜区域形状特征的7个不变矩。对图象中的多个海洋表面膜特征的不变矩和目标的边缘梯度计算结果见表1:

在具体处理中对于不同时相或轨道的影象之间的不变矩和边缘梯度进行了标准化变换,即用每个提取出的黑色斑块特征的7个平面不变矩的对数值与边缘梯度的比值进行动态聚类。

3 分类结果

通常采用的系统聚类法要求分类的方法比较准确,样品一旦划到某个类别后就不再变化,分类具有一定的盲目性,并且当增加新的样本时聚类的结果可能差别比较大。本项研究中对基于表面膜不变矩和边缘梯度特征采用的是动态聚类法。先选定一些凝聚点,给出一个粗糙的初始分类,让样品按某种原则向凝聚点凝聚^[5]。动态聚类流程大致如图2所示。

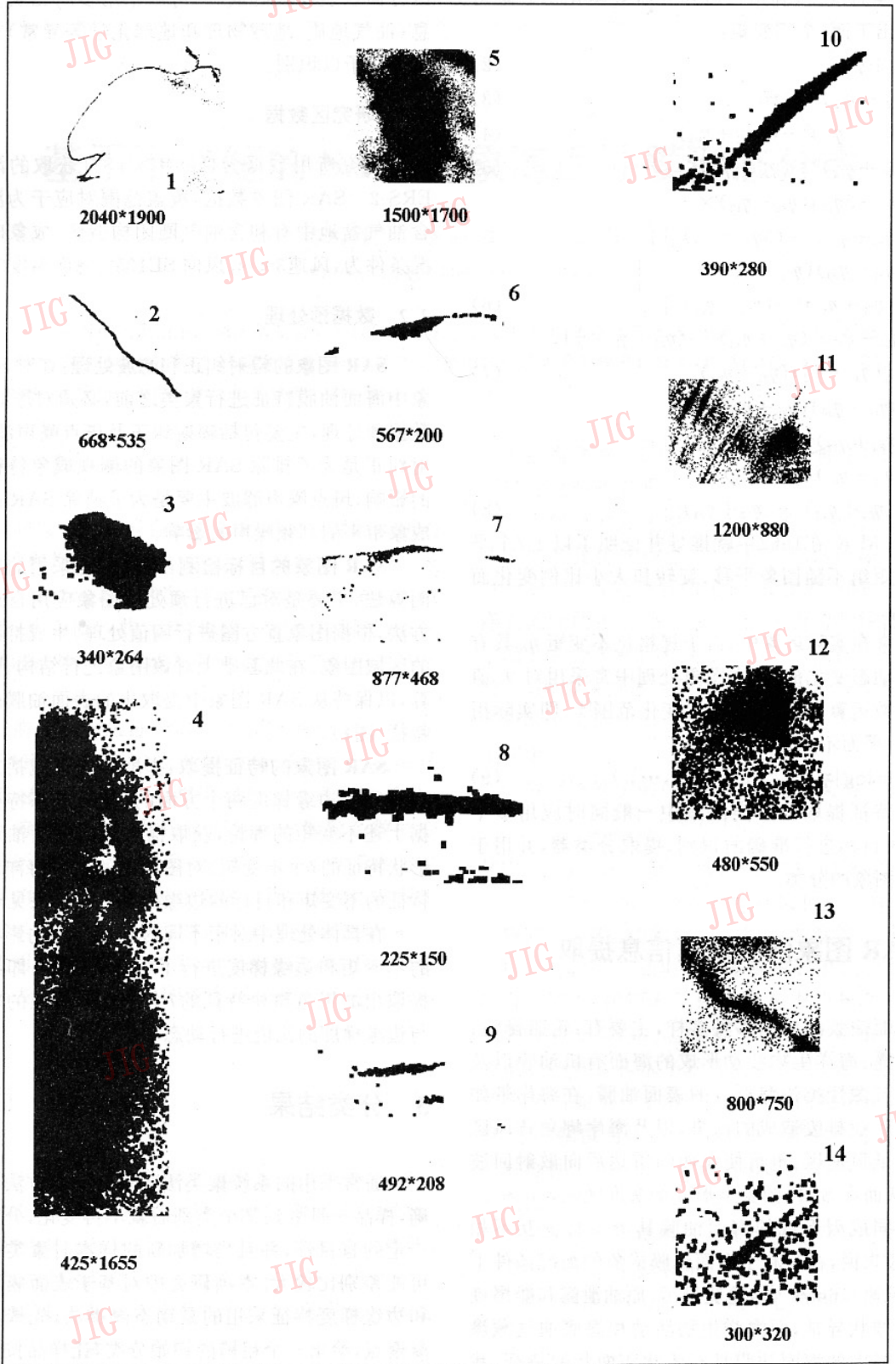


图1 从研究区 SAR 图象中提取出的海面油膜特征

表1 研究区 SAR 图象中海洋表面膜的7个平面不变矩和边缘梯度

样本	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	Gradient
X1	6.623 284 605 e-001	1.629 896 755 e-004	1.520 410 616 e-017	3.372 249 881 e-017	-4.899 917 53 e-034	-5.218 100 51 e-020	-8.760 093 27 e-035	4.116 379
X2	6.701 453 942 e-001	3.465 110 427 e-004	9.725 409 812 e-016	1.145 344 548 e-016	-1.110 961 52 e-031	-1.341 250 64 e-018	3.183 414 975 e-032	3.561 455
X3	8.087 390 830 e-001	6.503 889 284 e-003	5.024 709 979 e-012	3.245 979 701 e-012	-3.819 801 57 e-024	-2.129 175 97 e-013	5.307 557 460 e-024	0.738 232 3
X4	6.201 283 745 e-001	3.122 414 279 e-002	7.289 433 321 e-012	5.019 335 226 e-012	-3.014 696 88 e-023	-6.766 321 93 e-013	1.105 853 662 e-023	1.008 747
X5	9.258 923 218 e-001	5.018 498 774 e-002	2.810 064 461 e-013	8.371 657 167 e-015	-1.384 379 02 e-027	-2.950 490 16 e-016	-4.370 958 92 e-028	0.436 851 5
X6	6.778 700 549 e-001	9.540 295 789 e-005	7.062 036 501 e-014	7.327 555 447 e-014	3.208 973 436 e-031	-7.137 788 80 e-016	3.731 141 928 e-028	4.475 046
X7	6.645 710 504 e-001	1.023 846 832 e-004	1.970 960 215 e-015	8.085 658 798 e-015	-2.290 795 92 e-029	-7.837 222 59 e-017	-3.418 624 73 e-029	2.988 939
X8	7.079 895 182 e-001	1.538 504 441 e-003	1.190 426 242 e-012	2.263 496 127 e-012	3.120 787 654 e-024	3.789 076 211 e-014	-3.132 639 61 e-024	1.104 598
X9	6.882 469 701 e-001	7.503 045 866 e-006	1.458 679 872 e-015	3.025 591 753 e-015	-3.822 994 20 e-030	6.330 245 467 e-018	-4.137 735 84 e-030	1.982 928
X10	6.792 760 088 e-001	6.721 974 133 e-003	6.430 152 727 e-014	3.262 370 498 e-015	-5.356 132 89 e-029	2.559 535 617 e-016	3.637 297 583 e-029	2.007 86
X11	7.001 632 667 e-001	3.430 995 650 e-002	2.945 208 619 e-014	4.011 148 760 e-014	4.328 078 183 e-028	-3.418 164 01 e-015	-8.501 339 99 e-028	0.626 822 9
X12	8.585 568 106 e-001	6.440 886 031 e-003	1.209 544 833 e-012	9.081 346 065 e-013	3.969 594 944 e-026	1.506 622 830 e-014	9.102 478 109 e-025	0.348 839 5
X13	6.564 390 812 e-001	2.654 520 379 e-002	9.669 810 382 e-014	6.173 407 113 e-014	1.282 730 484 e-027	1.076 856 624 e-015	2.666 451 602 e-027	0.612 087 5
X14	6.762 918 306 e-001	6.844 449 581 e-004	1.432 771 943 e-012	1.048 919 330 e-012	4.471 271 513 e-025	2.658 427 434 e-014	5.017 402 461 e-025	0.926 742 9

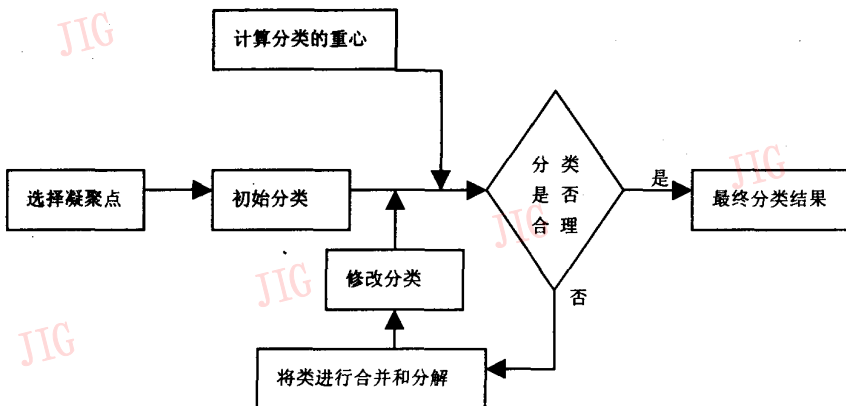


图2 动态聚类流程图

凝聚点的选择:根据 SAR 图象上表面膜的特征,认定样品大体可分为3类,即面状特征、线状特征和介于这两者之间的特征。因此在凝聚点的选择上凭经验,为每一类选择一个有代表性的样本作为凝聚点,各类的凝聚点分别为 X2、X5、X9。

初始分类:根据选择的凝聚点,采用欧氏距离,样本按最小距离进行初始聚类。

修改分类:对于修改初始分类的方法,采用“k-means”逐个修改法(MacQueen,1967)。其修改的步骤如下:

- (1) 人为地定出分类数 k ,取 k 个样本作为凝聚点。
- (2) 将剩余 $n-k$ 个样本逐个加入,每进入一个样品将它归入最近的凝聚点一类,随即计算重心,将该重心代替原凝聚点。
- (3) 将 n 个样本再重新输入一遍,每进入一个样本,即将它归入最近的凝聚点的一类,重新计算该类重心,以重心代替原凝聚点。如果 n 个样品通过后所分的类与原来的类没有改变,过程停止,否则重复步骤(3)。

计算初始分得的3个类计算其原始重心:

$$G_1^0 = 1.314\ 449$$

$$G_2^0 = 1.537\ 412$$

$$G_3^0 = 1.423\ 068$$

用 k-means 的方法进行修改,以初始分类的重心作为凝聚点重新分类,最后分类获得的3个类重心为:

$$G_1^1 = 1.282\ 70$$

$$G_2^1 = 1.519\ 728$$

$$G_3^1 = 1.447\ 758$$

对研究所用的14个样本(图2)分类见表2:

表2 分类结果

类别	样本
I	1,2,6,7
II	3,5,11,12,13,14
III	4,8,9,10



李红晔 中国科学院遥感应用研究所博士研究生,主要研究方向为地理信息系统在区域可持续发展决策中的应用,全球定位系统在车辆监控和智能引导中的应用。

4 结 论

应用不变矩基本上可以把 SAR 图象中海洋表面油膜从形态上分为预想的三类,为进一步实现 SAR 图象中油膜的自动识别提供了一种依据。由于数据获取方面的局限,对该方法的进一步推广和其分类效果的评价,还必须进行大量的野外验证和对不同时相数据的分析处理。在对样本分类时应用动态聚类的方法,也是较为先进和有效的。由于不同时相、不同成象条件形成的图象,存在不同程度的成象系统误差,对图象误差的纠正取决于图象预处理中所用算法的有效性以及对图象的滤波处理。这些处理效果影响到图象异常提取时的阈值的选取,从而影响提取出的不变矩。

另外,在对图象中海洋表面油膜样本聚类分析时,在初始凝聚点的选择上采用经验选定时存在较大的主观性,要求对所分对象有较全面深刻的了解,才能获得理想分类的效果,这些都有待于在今后的工作中进一步完善和提高。

参 考 文 献

- 1 李德仁,边肇祺等. 模式识别. 北京:清华大学出版社,1988,272~274.
- 2 Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants. IRE Trans. Inform. Theory, 1962, IT-8: 179~187.
- 3 Tien C Hsia. A Note on Invariant Moments in Image Processing. IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, 1981, SMC-11(12): 831~834.
- 4 Bern T I, Wahl T, Anderssen T, Olsen R. Oil spill detection using satellite based SAR: experience from a field experiment. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 59(3): 423~428.
- 5 项静恬等. 动态和静态数据处理—时间序列和数理统计分析. 北京:气象出版社,1991,143~154.



黄晓霞 中国科学院遥感应用研究所博士研究生,主要研究方向为海洋遥感应用。



朱振海 中国科学院遥感应用研究所研究员,主要研究方向为固体地球与海洋遥感应用。

The Morphologic Classification of Sea Surface Slicks in SAR Image Based on Invariant Moments

Huang Xiaoxia, Li Hongga, Zhu Zhenhai

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101)

Abstract The image feature of sea surface slicks in a oceanic SAR image has been extracted by using the method of planar invariant moments in patten recognition in addition with the boundary gradient of surface slicks. Using the dynamic clustering method the surface slicks have been classified into three classes, and the result is satisfied with the purpose.

Keywords Invariant moments, Morphologic analyses, Boundary gradient, Dynamic clustering

关于举办“首届全国 电脑动画设计和制作大赛”的通知

各地方协会、各分会、各电视台、广告公司、计算机公司、各有关单位：

为了推广普及电脑动画设计 and 制作的应用知识、促进国内与国外电脑动画技术的信息交流、发展培育优秀人才、推动我国电脑动画设计 and 制作技术的发展，经原电子工业部计算机与信息化推进司[电算(1998)03号]文批准，中国计算机用户协会、中国电视艺术家协会、中央电视台、中国计算机报社研究决定，联合举办“首届全国电脑动画设计 and 制作大赛”。

电脑动画是融电脑技术、艺术、美术和创意于一体的全新的表现形式。本届大赛以歌颂祖国悠久文化，赞美祖国锦绣山河，展现改革开放以来现代化建设所取得的辉煌成就和社会主义市场经济的繁荣景象为主题，是一次全国性的计算机技术应用成果的交流活 动，是电脑动画设计 with 制作应用领域的重要赛事。

现将通知以及有关参赛办法发给你们，希望能够积极参加并支持此次活动，使这项活动取得圆满成功。

中国计算机用户协会
中央电视台

中国电视艺术家协会
中国计算机报社

敬告本刊邮发订户

请本刊邮发订户注意：

凡从邮局订阅1999年《中国图象图形学报》的订户，请将订刊收据的复印件以及你们的联系地址、邮编、电话，及时函告本刊编辑部，以便向你们寄赠本刊B版：《图象图形世界》。

切切，多谢各位的支持与合作。

本刊编辑部