

纹理分析方法在海岸带地物分类中的应用*

杨慧良^{1,2}, 付 军^{1,2}, 谷东起³

(1. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071;

2. 国土资源部 海洋油气资源和环境地质重点实验室, 山东 青岛 266061;

3. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:在海岸带地物分类过程中引入纹理特征分析,提出了逐步判别法用于纹理特征值的筛选,从 192 个纹理特征值组合中优选出 5 种最能代表海岸带地物纹理信息的特征值进行分类实验,不仅使纹理特征集得到了有效的降维,而且保证了分类精度。在纹理分析的基础上,构建了基于图像纹理的神经网络分类模型,实现了基于纹理信息的海岸带地物分类,分类精度达到 83.4%。

关键词:纹理;特征值;逐步判别法;海岸带分类

中图分类号:P737.1

文献标识码:A

文章编号:1671-6647(2011)02-0196-09

传统的基于像素的光谱分类方法,从本质上讲是基于像元的光谱特征分类,存在一定的局限性,不能达到应用精度的要求^[1]。因此,在遥感影像分类过程中,不能仅仅依靠光谱特征,还应更多地利用遥感影像本身所固有的空间信息。

近年来,利用纹理信息辅助影像光谱分类以增强分类精度的思想逐渐发展起来,成为遥感信息提取方面的一个研究热点。人们习惯把图像中局部不规则的,而宏观有规律的特性称之为纹理。纹理反映了地物的影纹结构及其表面的粗糙度,是影像的重要信息和特征。

海岸带属于水陆过渡地带,具有光谱信息综合的特点。尤其是滩涂部分,混和了部分水体和陆地的光谱信息,致使滩涂在海岸带分类过程中成为一个模糊对象,其信息提取一直是个难点。滩涂是我国沿海的重要资源,具有海水养殖、盐业生产、农业开发和旅游等诸多经济价值,所以有必要对滩涂进行资源调查并开展相应的研究。我们试将海岸带地物进行初步分类,分为陆地、水体和滩涂三部分。重点是为了监测海岸带区域中的滩涂资源,其中主要是潮间带范围内未开发利用的部分。

目前的海岸带地物分类主要基于地物的光谱响应特征,较少使用纹理特征。遥感影像中的各种海岸带地物,大部分呈现纹理型。每种海岸带地物具有不同的形状和表面,反应在图像上为不同粗糙度和方向的纹理,这使得基于纹理特征的海岸带地物分类成为可能。

我们尝试在海岸带地物分类过程中,引入纹理特征分析,并实现了纹理特征值的有效筛选。在此基础上,建立基于神经网络的分类模型,探索基于纹理特征的海岸带地物分类技术。本研究选用 Landsat-7 ETM 图像,在莱州湾典型海岸带区域,开展海岸带地物分类实例研究。

1 方 法

1.1 纹理描述方法

纹理研究一直倍受关注,出现了许多纹理提取和分析方法,如纹理能量法^[2]、灰度共生矩阵法^[3]、小波变

* 收稿日期:2010-4-14

资助项目:国家重点基础研究发展计划项目——我国典型海岸带系统对气候变化的响应机制及脆弱性评估研究(2010CB951200);山东省自然科学基金——山东半岛潟湖湿地演变及其对人类活动的响应(Y2006E01)

作者简介:杨慧良(1977-),男,山西太原人,高级工程师,硕士,主要从事海洋区域地质调查方面研究。E-mail: qdyhuijiang@163.com

(陈 靖 编辑)

换法^[4]和 Fourier 功率谱法等。

灰度共生矩阵法是描述纹理特征最常用的一种统计方法。灰度共生矩阵是研究图像中两个像素灰度级联合分布的统计形式,因此能很好的反映纹理中灰度级空间相关性的规律。灰度共生矩阵通过影像灰度级之间的联合条件概率密度函数 $p(i, j, d, \theta)$ 表示纹理,该函数表示以灰度 i 为始点,在给定空间距离 d 和方向 θ 时,出现灰度级为 j 的概率。 $p(i, j, d, \theta)$ 常用矩阵形式表示,称为灰度共生矩阵。

虽然灰度共生矩阵能揭示图像中纹理的规律,但是其信息量太大,不能直接作为图像分类的数字特征,因此有必要在灰度共生矩阵的基础上定义一些有明显物理意义的、能对纹理的“粗细”、“走向”进行定量描述的统计量。1979年,Haralick 从灰度共生矩阵提出了 14 个描述纹理的统计量,常用的有 8 个统计量,分别为对比度、角二阶矩、熵、相关性、均值、方差、协同性和相异性(表 1)。

表 1 灰度共生矩阵统计量

Table 1 Statistical quantity in gray level co-occurrence matrix

统计量	公 式	统计量	公 式
均 值	$f_{\text{MEAN}} = 1 / \text{MN} \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j, d, \theta)$	方 差	$f_{\text{VAR}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (i - \mu)^2 p(i, j, d, \theta)$
对 比 度	$f_{\text{CON}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j, d, \theta)$	熵	$f_{\text{ENT}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j) \lg p(i, j, d, \theta)$
角二阶矩	$f_{\text{ASM}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N p(i, j, d, \theta)^2$	相关性	$f_{\text{COR}} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (i - \mu)(j - \mu) p(i, j, d, \theta)}{\sigma^2}$
协同性	$f_{\text{HOM}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2}$	相异性	$f_{\text{DIS}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N i - j p(i, j)$

注: M, N 分别代表灰度共生矩阵的行列数; $\mu = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N i \times p(i, j, d, \theta)^2$; $\sigma^2 = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N (i - \mu)^2 p(i, j, d, \theta)$

1.2 纹理特征值筛选

选用 6 个波段(Band1, Band 2, Band 3, Band4, Band5 和 Band 6)的 TM 数据,纹理可以从 4 个方向进行计算($\theta=0^\circ, \theta=45^\circ, \theta=90^\circ$ 和 $\theta=135^\circ$)。选择不同的波段和方向进行组合进行纹理特征提取,可生成 24 组灰度共生矩阵,每组矩阵具有 8 个统计量,由 24 组矩阵可以导出相应的 192 种纹理参数,即特征值。这些特征值随着纹理计算窗口大小的改变,可以延伸出更多的特征值。

选取的特征数过多,会导致计算量大幅度增加,而且在网络运行的时候很难达到收敛。为了避免这种情况,需要从较高维的初始特征集中选取能较好地分开海水、滩涂、陆地三类地物的最佳特征组合参与分类。

首先选定某一纹理窗口大小,针对波段、方向和特征值的多种组合,计算出 192 种特征值,组成初始特征集,特征值均以图像的形式给出。采用逐步判别法进行特征值的筛选,筛选过程如图 1 所示。

1.2.1 纹理窗口大小确定

纹理是由大量微小的纹理基元排列而成,纹理图像全局属性无法体现纹理局部特征,所以纹理图像特征的提取往往采用特征提取窗口,即用一个固定大小的矩形窗在图像中移动,计算在每个位置的该窗口内像素集的某种整体属性作为窗口中心像素的特征,通过在整幅图像中移动窗体可以计算出所有像素的纹理特征^[5]。

选择不同窗口大小计算纹理特征,会导致图像的分类精度有很大的变化:较小的窗口尺寸虽然能够保证窗口内像素的同质性,却无法准确有效地描述各类别像素排列的分布规律性;而较大的窗口虽然能够保证同类地物的纹理统计具有代表性,但又可能包含多余的异类地物像素的信息,使介于不同种地物间的像素模糊,甚至造成误分类。因此,合适的纹理窗口大小对遥感影像的分类尤为重要。

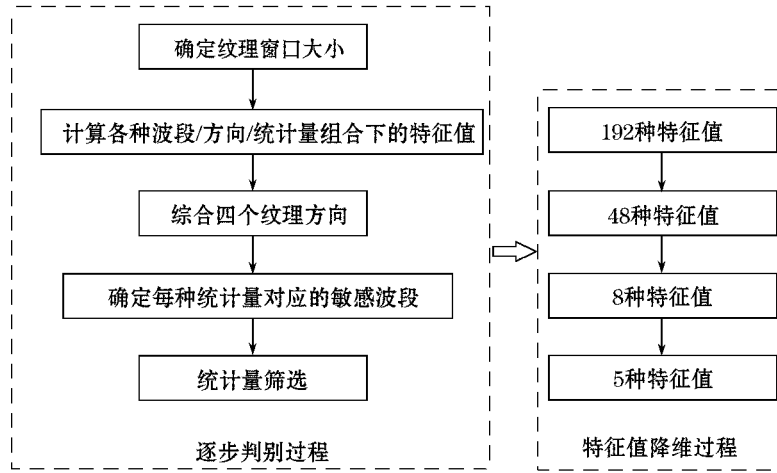


图 1 特征值筛选流程图

Fig. 1 flow chart of eigenvalue selection

协同性是用以衡量局部同质性的灰度共生矩阵的统计量。选取 TM 图像第四波段，计算了窗口大小分别为 1×1 ， 3×3 ， 9×9 和 15×15 的协同性纹理特征图像(图 2)。从图中可以发现，采用 9×9 大小的窗口时，同质地物区域中的协同性值分布最均匀。

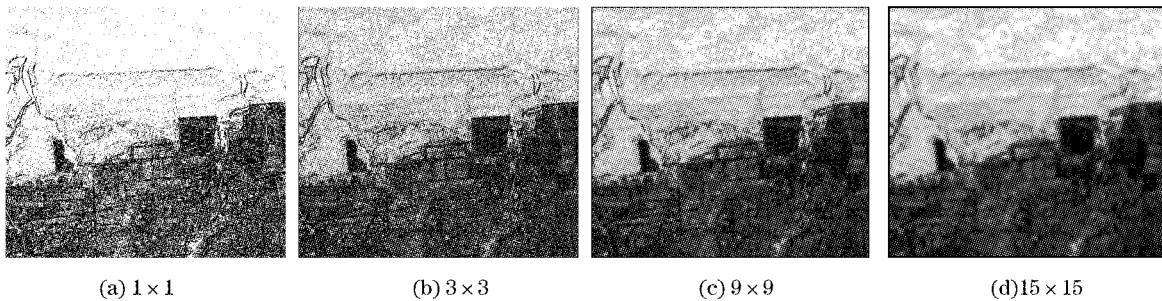


图 2 不同窗口大小的协同性纹理特征比较

Fig. 2 Comparison of texture homogeneity dependent on different window settings

针对图像分类中纹理窗口选择的矛盾性以及海岸带地物的特性，选择中等大小的窗口 9×9 ，避免了小窗口特征分类精度低和大窗口特征分类后图像部分失真的缺陷。分类后的整体图能基本反映出原图的大致轮廓，而且大面积同质地物中误分类的噪声像素相对较少。

1.2.2 方向确定

为了比较由于方向引起的差异，分别沿 0° ， 45° ， 90° 和 135° 方向计算了海水、滩涂和陆地的 8 种纹理统计量(图 3)。从图中可以看出，均值、相异性和熵三个纹理统计量受计算方向的影响较小，海水、滩涂和陆地三种地物在不同方向的统计量取值差异不大，而其它几个纹理统计量的方向性较为显著。

比较 3 种地物在不同方向的纹理统计量可以发现，海水和滩涂由于物质组成比较均匀，纹理细腻，方向性差异不大。而陆地由于地物组分纹理复杂、粗糙，在不同的方向纹理差异显著。由于上述差异的存在，单纯采用某个方向上的纹理统计量难以准确、全面的反映地物的纹理属性，最终影响分类的精度。

为了使纹理统计量具有旋转不变性，同时降低特征空间的维数，将 4 个不同角度 (0° ， 45° ， 90° 和 135°) 下共生矩阵导出的对应纹理参数求和，组成新的特征集，共 48 个特征值。

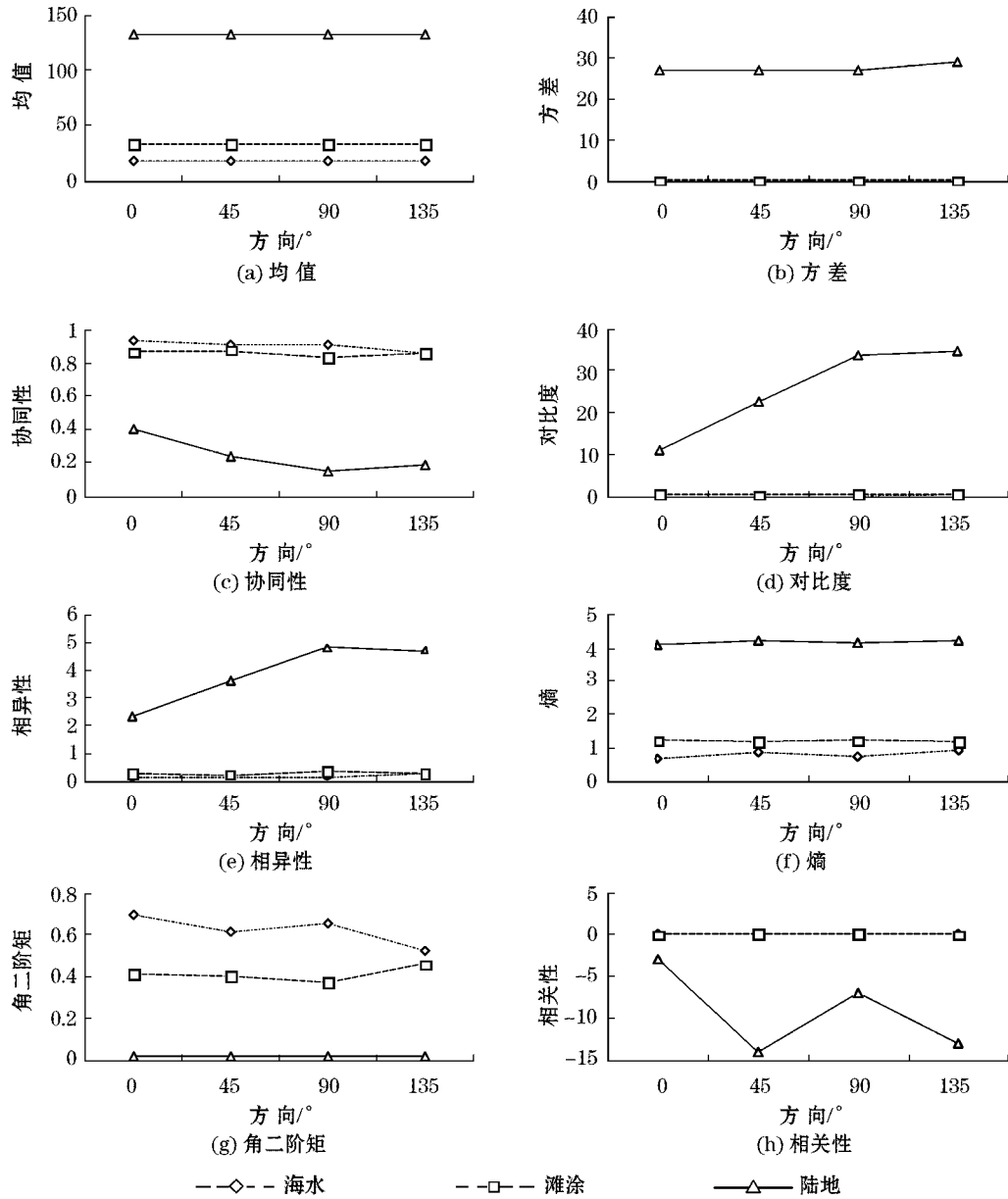


图3 4个方向统计量比较

Fig. 3 Comparison of statistical quantity in four directions

这样不仅降低了特征空间的维数,而且能较好的综合地物区域各个方向上的纹理信息,使特征值图像包含的纹理信息更为丰富和准确。

1.2.3 统计量对应的敏感波段确定

去掉方向的影响后,新特征集包含 48 种纹理参数,可以通过确定统计量对应的敏感波段,进一步降低特征集的维数。每种统计量在不同波段对海岸带地物的敏感响应程度,如图 4 所示。

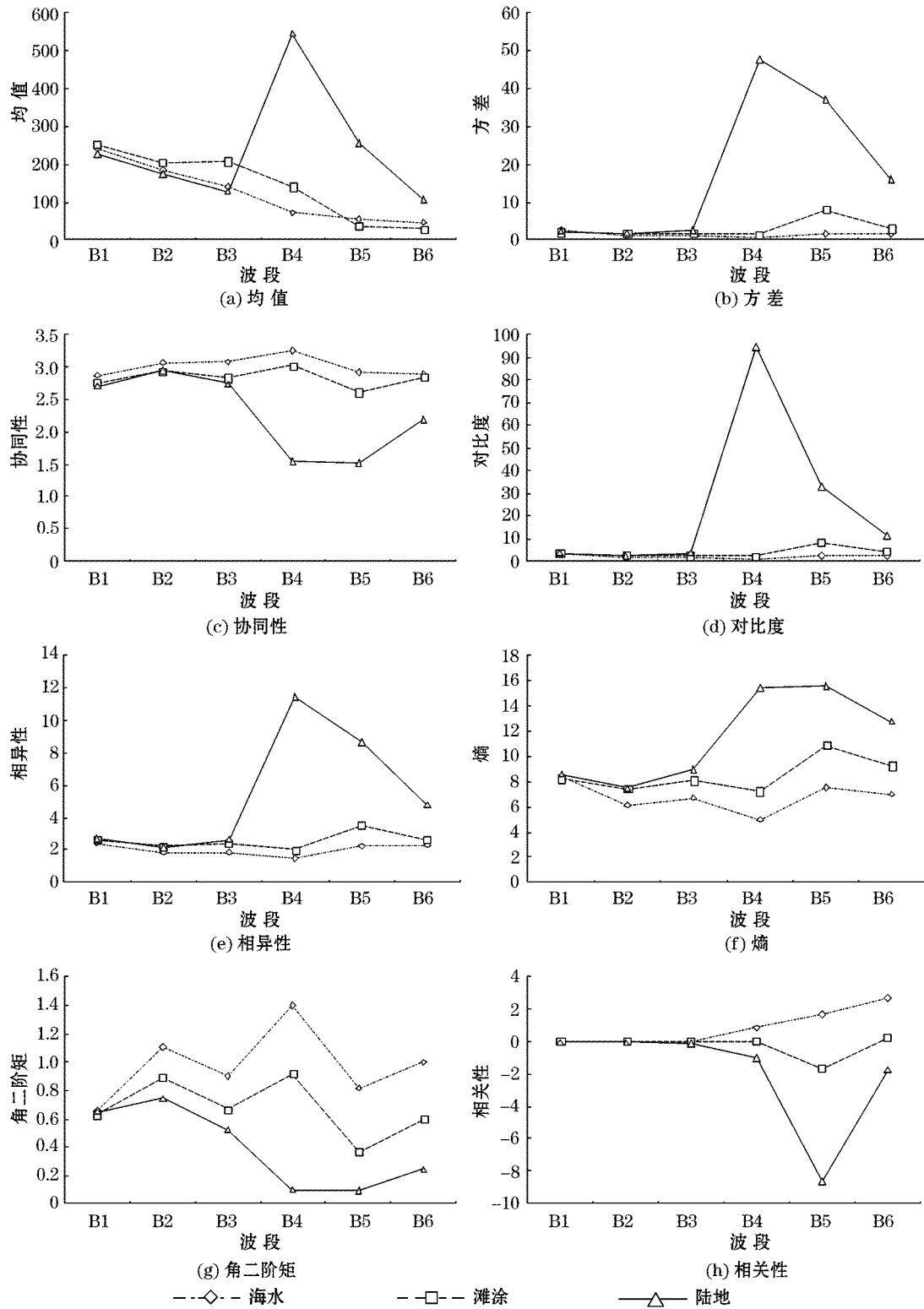


图 4 6 个波段统计量比较

Fig. 4 Comparison of statistical quantity in six bands

从图 4 可以看出,每种统计量在不同波段对海水、滩涂和陆地的敏感响应程度不同。以“相关性”为例,在 TM1, TM2 和 TM3 波段,海水、滩涂和陆地无法区分,在 TM4 和 TM6 波段,3 种地物的相关性存在差异,但差异不明显。而 TM5 波段,3 种地物存在明显差异,能很容易的区分,所以确定 TM5 为“相关性”的敏感波段。比较每种统计量在不同波段对海岸带地物的敏感响应程度,分别确定其对应的最佳波段,从而使特征集中的纹理参数减少为 8 个(表 2)。

需要说明的是,本研究中确定的统计量对应敏感波段是针对利用 TM 数据区分海水、滩涂和陆地三类地物而言的,不具备通用性。

表 2 统计量对应敏感波段

Table 2 sensitive bands corresponding to various statistical quantities

统计量	敏感波段	统计量	敏感波段
均值	TM4	方差	TM5
协同性	TM4	对比度	TM5
相异性	TM5	熵	TM5
角二阶矩	TM4	相关性	TM5

1.2.4 统计量筛选

8 个灰度共生矩阵统计量之间数值差别较大,如均值分布在 0~600 之间,角二阶矩则分布在 0~1.5 之间,为了便于比较,需要做归一化处理。另外,归一化处理也保证了筛选出的各统计量对分类的贡献相对均衡。将归一化后的各统计量进行比较(图 5)。

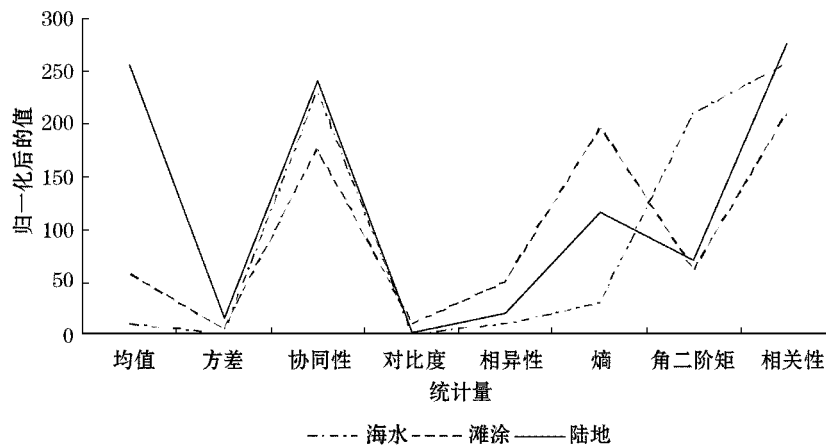


图 5 归一化后的统计量比较

Fig. 5 Comparison of normalized statistical quantities

3 组曲线分别代表陆地、滩涂和海水 3 种地物,从图中可以看出,均值、协同性、相异性、熵和角二阶矩能很好的将海水、滩涂和陆地分开,而方差、对比度和相关性则无法区分出 3 种地物。比较各类统计量的分类能力,以此为依据对统计量进行筛选(表 3)。

表 3 各统计量分类能力比较

Table 3 Comparison of classification ability among statistical quantities

统计量	分类能力	是否参与分类
均值	海水、滩涂、陆地能较好的分开	是
方差	海水和滩涂有混淆	否
协同性	海水、滩涂、陆地能较好的分开	是
对比度	海水和滩涂有混淆	否
相异性	海水、滩涂、陆地能较好的分开	是
熵	海水、滩涂、陆地能较好的分开	是
角二阶矩	海水、滩涂、陆地能较好的分开	是
相关性	海水和滩涂有混淆	否

最终筛选出的 5 个纹理特征值为均值(TM4)、协同性(TM4)、相异性(TM5)、熵(TM5)和角二阶矩(TM4)。

2 纹理方法在海岸带地物分类中的应用

示范研究区域选择渤海莱州湾的典型滩涂区域,位于虞河与胶莱河之间,如图 6 中小矩形方框所示,该区分布有滩涂、盐田、植被、水体、河流和养殖区等地物。

2.1 遥感资料的选取

采用的数据源应该在水陆识别方面有较强的优势,能够较方便、准确地提取出滩涂信息。本研究选取 2001-08-09 获取的莱州湾附近的 Landsat-5 TM 图像(图 7)。数据获取时间接近该区域大潮低潮时刻,滩涂基本出露。

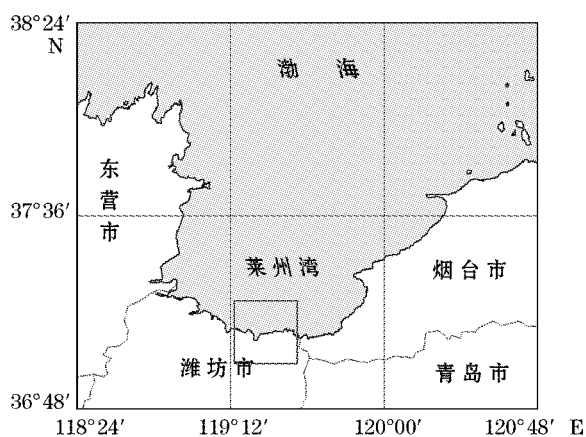


图 6 研究区域位置图

Fig. 6 Location of the studied area

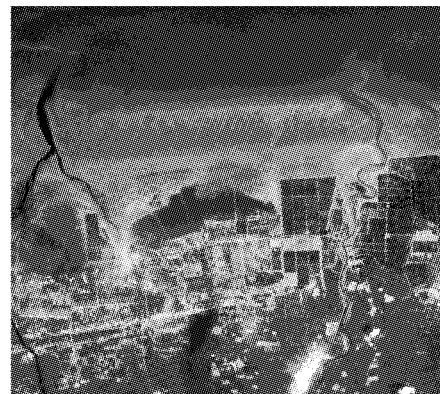


图 7 研究区域 TM 图像

Fig. 7 TM image of the studied area

2.2 基于图像纹理的海岸带地物分类

选择水陆差异明显的 TM 第 4 波段、第 5 波段数据进行纹理特征分析。根据海岸带地物的特点,选取中等大小的纹理窗口 9×9 , 以避免小窗口特征分类精度低和大窗口特征分类后图像部分失真的缺陷。

根据海岸带地物的光谱特点,构建基于像图像纹理的神经网络滩涂信息提取模型,网络输入为描述纹理特征的统计量。一般采用灰度共生矩阵法来描述纹理,灰度共生矩阵共有 14 个描述纹理的统计量,在此选用均值、协同性、相异性、熵和角二阶矩等五个常用的统计量用于纹理分析,做为神经网络的输入。

同样根据目视解译的结果选取训练样本对构建的神经网络模型进行学习训练,并应用于实验数据,得到的滩涂信息提取结果(表 4)。实验结果表明,引入纹理特征进行海岸带地物分类是有效的。

表 4 基于纹理特征分析的分类结果

Table 4 Classification results based on texture feature analysis

类 别	参考像元数/个	分类总数/个	被正确分类数/个	制图精度/%	用户精度/%
海 水	239 490	207 378	206 238	86.6	86.1
滩 涂	218 923	341 812	210 317	96.1	61.5
陆 地	443 488	352 711	335 496	75.7	95.1
总 数	901 901	901 901	752 051		
总分类精度					83.4

3 结 语

通过上述实验可以发现,本研究提出的纹理特征值逐步判别法不仅使纹理特征集得到了有效的降维,而且保证了分类精度,总体分类精度可达 83.4%。分析初步发现,所发展的神经网络模型可以将海岸带地物进行一级分类,构建的神经网络泛化能力较好,发展的分类模型计算效率较高。

参考文献(References):

- [1] CHEN Q X, LUO J C, ZHOU C H. Multiple features based analysis of remotely sensed imagery: A new perspective [J]. Remote Sensing For Land & Resources, 2003, (1):5-7. 陈秋晓, 骆剑承, 周成虎. 基于多特征的遥感影像分析——一个新的视角[J]. 国土资源遥感, 2003, (1):5-7.
- [2] HANTA-KASARI M, PARKKINEN J, JAASKELAINEN T. Generalized co-occurrence matrix for multi-spectral texture analysis [C]// Proceedings of the 13th international conference, Pattern Recognition, 1996, 2(3):785-789.
- [3] BI X J. Research on recognition and synthesis for the texture image based on the information intelligent technology [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2006. 毕晓君. 基于智能信息技术的纹理图像识别与生成研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [4] TAN X Y. A classification method by use of SAR image texture characteristics with combination of large and small windows[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000(4):15-17. 谭湘莹. 一种大小窗口结合的 SAR 图像纹理特征分类方法[J]. 系统工程与电子技术, 2000(4):15-17.
- [5] CEHN X, ZHUANG T G, ZHENG X P. The effect of window settings over the automatic classification of ground-glass opacity based on co-occurrence matrix texture parameters[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2003, 37(suppl.): 91-94. 陈旭, 庄天戈, 郑向鹏. 窗口条件对共生纹理在磨玻璃影自动识别中的影响[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(增刊): 91-94.

Texture Analysis Application to Ground-object Classification for Coastal Zone

YANG Hui-liang^{1,2}, FU Jun^{1,2}, GU Dong-qi³

(1. *Qingdao Institute of Marine Geology*, Qingdao 266071, China;

2. *Key Lab of Marine Hydrocarbon Resource and Geology*, Qingdao 266071, China;

3. *First Institute of Oceanography, SOA*, Qingdao 266061, China)

Abstract: Texture feature analysis is introduced for classification of ground-object in coastal zone. A step-by-step discrimination for selecting the texture eigenvalues is proposed. 5 optimal types of typical texture eigenvalues well-denoting the texture informations for ground-objects in coastal zone are selected from all the 192 cases of texture eigenvalue compositions in order to conduct the ground-object classification experiment. This optimal selection not only enables the texture feature database to be decreased in its demension but also ensures the classification accuracy. Based on the texture analysis, a model is further sep up by means of a neuval-network built on imagery texture analysis to realize the ground-object classification dependent upon the texture informations of coastal zone.

Key words: texture; eigenvalue; step-by-step discrimination; coastal zone classification

Received: April 14, 2010