

文章编号: 1007-4619(2006)06-0926-06

# SPOT5 影像纹理特征提取 与土地利用信息识别方法

李金莲<sup>1, 2, 3</sup>, 刘晓玫<sup>1</sup>, 李恒鹏<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039;  
3. 南京晓庄学院, 南京 210007)

**摘 要:** 本文以太湖流域西苕溪上游安吉地区 SPOT5 影像 600 像元 × 600 像元为试验区, 首先采用主成分分析对 SPOT5 影像进行数据压缩和几何信息增强, 再采用小波分析方法对影像进行滤波和噪音处理, 利用灰度共生矩阵对高分辨率图像的纹理信息进行分析, 以对比度和熵为统计指标, 确定对比度和熵的最佳阈值, 进行边界匹配和图像的分割, 将此分割结果与 NDVI 阈值法分类结果进行叠合, 得到最终的分类结果。试验结果表明: 将纹理分析方法应用于图像分类中可区分光谱混淆的地物, 光谱与纹理特征结合得到的分类精度高于单纯依靠光谱特征进行分类和单纯依靠纹理分类的分类精度。

**关键词:** 主成分分析; 纹理分析; 小波变换; 灰度共生矩阵; 阈值法

**中图分类号:** TP79/F301.24 **文献标识码:** A

## Extraction of Texture Feature and Identification Method of Landuse Information from SPOT5 Image

LI Jin-lian<sup>1, 2, 3</sup>, LIU Xiao-mei<sup>1</sup>, LI Heng-peng<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of Geography and Linnology, Chinese Academy of Sciences, Jiangsu Nanjing 210008, China;  
2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Nanjing Xiaozhuang College, Nanjing 210007, China)

**Abstract** The threshold of NDVI classification is one of the most popular methods in the classification of remote sensing image. However, based on spectrum characteristics of objects, it cannot correctly identify objects with the same spectrum characteristics and therefore cannot reach the required accuracy. In this paper, we take an area of the upper part of Xitiaoxi River in Anji County as an example and discuss the method of combining texture of high-resolution images with spectrum to improve the accuracy of extracted information of SPOT5 image. Firstly, principal components are extracted from SPOT5 image and high-resolution texture information is acquired by means of the algorithms of signal decomposition and reconstruction of Mallet's Wavelet. Subsequently, textures of the SPOT5 image are analyzed using Gray Level Co-occurrence Matrices and selected statistic index. Then the threshold is selected and an optimal threshold is obtained according to contrast and entropy. Objects with same spectrums, such as residence and water body, are identified using image segmentation in virtue of the optimal threshold. Finally, the final result is compared with the classification results based on single spectrum or texture. The result shows that objects with same spectrum are well identified by using texture analysis in image classification, and higher accuracy is obtained than using single spectrum or texture analysis.

**Key words** principal components analysis; texture analysis; wavelet transformation; gray level co-occurrence matrices; thresholding

收稿日期: 2005-08-04; 修订日期: 2005-09-29

基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 40401056)、知识创新工程特别重点支持项目 (编号: CXNIGLAS-A01-1) 联合资助。

作者简介: 李金莲 (1979—), 女, 2000 年毕业于东北电力学院计算机专业, 现为中国科学院南京地理与湖泊研究所硕士研究生, 主要从事 GIS 与遥感方面的研究。

1 引 言

卫星影像的纹理特征反映自然景观和目标地物的内部结构,是地物识别和信息提取的重要依据之一。近年来已有较多的研究,如吴高洪等为了提高纹理图像分割的边缘准确性和区域一致性以及降低分割错误率,提出了一种基于小波变换进行纹理分割的方法<sup>[1]</sup>;马晓川等提出了基于特征符号随机场描述的纹理分类方法,达到提高遥感影像分类精度的目的<sup>[2]</sup>;肖志涛等设计并实现了基于改进的纹理谱方法提取特征和以神经网络作为分类器的纹理图像分类系统<sup>[3]</sup>,以上研究表明:采用光谱特征与纹理分析相结合的方法,能够提高遥感分类的精度<sup>[4]</sup>。尤其针对近年来出现的高分辨率卫星影像,如 Ikonos Quickbird、SPOT5 等,因纹理信息能够在较小空间范围内观察地表的细节变化,可以反映不同目标地物的空间结构与内部差异,成为此类卫星影像解译与信息提取的主要依据。目前,研究高分辨率卫星影像的纹理特征分析方法,探讨基于纹理的信息发掘技术,已经成为遥感研究的一个重要内容。纹理特征提取方法一般包括统计方法、结构分析法和谱分析法,受遥感影像海量数据、自身复杂性及其不同目标地物边缘、纹理的方向性等因素影响,在遥感影像分类中还存在三个方面的问题:一是已有研究多就纹理分析方法本身进行可行性与试验性分析,应用较多的是对特定物体的图像分析,如在医学、交通等方面的应用,在遥感卫星图像处理应用中尚处于探索阶段,尤其是针对新出现的高分辨率影像的应用实例较少;二是这些分析方法将影像像素之间的结合主要集中于单个波段上,如国外在处理高分辨率多波段影像纹理分析问题,多采取波段选取方法,即看哪一个波段方差较大,以方差作为纹理是否丰富的标志<sup>[5]</sup>,如何针对多波段影像进行纹理分析考虑较少;三是已有的研究多针对纹理提取的具体算法,或分析具体纹理算法的应用效果,如张荣等利用方向可调滤波器的方法识别 TM 图像的道路<sup>[6]</sup>,姜青香、颜梅春等基于灰度共生矩阵来提取 TM 与 IKONOS 影像中的信息<sup>[7,8]</sup>。以上研究表明:目前还需要加强多种图像分析技术综合应用的研究,充分挖掘新近出现高分辨率影像信息,改善地物信息识别与提取过程。本项研究从以上问题出发,选择太湖地区安吉县城及其周边地区为研究对象,采用 SPOT5 的 10m 分辨率多光谱信息,综合应用主成

分降维处理、方向小波变换多尺度辨识、灰度共生矩阵等方法,并结合多波谱的 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 分析,系统地探讨了 SPOT5 卫星数据在土地利用信息提取应用中的技术方法,可以为应用 SPOT5 进行大范围的土地利用/土地覆被,以及生态调查提供技术参考。

2 研究方法

2.1 试验区特征与数据收集

研究区选择太湖地区,该区是我国土地利用集约化程度最高的地区之一,土地利用斑块较为破碎,尤其是农业地区,因农业人口居住地比较分散,以往采用 TM 和 ETM 数据往往只能提取相对集中的居民地,而无法准确提取分散居民点信息。SPOT5 卫星影像数据因其具有较高的空间分辨率,能够反映地表的细节信息,可以更为准确地提取分布斑块较小的地物,提高居民地信息提取的精度,改善对人类活动驱动下地表覆被变化过程的理解。鉴于本文重点针对 SPOT5 在用地类型识别应用的方法论研究,试验区选择太湖上游地区安吉县城及周边地区,采用 600 像元 × 600 像元的子区域,基本上包括了该区的主要用地类型。SPOT5 影像获取的时间为 2004 年 12 月 7 日,分析采用 10m 多光谱数据。图像精纠正采用 1:5 万地形图数据,土地利用识别与分类评价采用实地调查资料。

2.2 纹理特征分析方法

图像纹理代表地物目标分布在波谱空间中的表现形式,高分辨率的 SPOT5 影像纹理特征包含着丰富的地物信息,是地物识别的主要依据,通过提取影像的纹理信息,可以提高用地类型分类的精度。在影像中,纹理信息表现为图像灰度在空间上的变化和重复,或图像中反复出现的局部模式(纹理单元)及其排列规则<sup>[9]</sup>。纹理分析是指应用一定的图像处理技术抽取出纹理特征,并获得纹理的定量或定性描述指标<sup>[10]</sup>。纹理特征可用粗细度(Coarseness)、对比度(Contrast)、方向性(Directionality)、规则性(Regularity)、粗糙度(Roughness)、凹凸性(Indentation)等指标描述<sup>[11]</sup>。本文在提取 SPOT5 纹理特征时,首先采用主成分分析方法,用第一主成分来代替相关性较大的多个原始波段,起到了降维和数据压缩的作用。方向小波具有良好的时频局部化性质,还具有良好的方向分

析能力<sup>[12]</sup>,它能反映出图像在不同分辨率上沿任一方向的变化。图像边缘检测是对图像进一步处理和识别的基础,虽然图像边缘产生原因不同,但反映在图像的基元上,都是图像上灰度的不连续点或者灰度剧烈变化的地方,为图像波谱空间的高频部分,采用小波分析提取各个方向高频纹理信息,有助于地物边界的识别<sup>[13]</sup>。以上方法只从遥感影像数据量、边缘性、方向性出发,并未考虑像元点对间的空间关系,为此用 3×3 选择窗口,求得高频纹理信息图像的灰度共生矩阵 (GLCM),此方法是按影像灰度值的空间关系描述像元点对之间的空间结构特征及其相关性<sup>[14, 15]</sup>,若图像灰度级为 N,则具有一定空间关系的灰度共生矩阵为  $p_{ij}(d, \theta)$ ,其中  $d$  为  $i, j$  像元对间距,  $\theta$  为两像元连线的方向。取一定  $d$  值,  $\theta$  分别设为  $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ ,构成 4 个灰度共生矩阵,采用这 4 个方向的叠加来消除方向影响,用灰度值的空间共生特性作为纹理的度量,可抽取如下统计指标:

对比度 (Contrast Con):用来度量影像中对比的强烈程度,主要监测图像反差边缘及其边缘效应。

$$Con = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N (i-j)^2 \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)}$$

能量 (Energy Ene):用来度量纹理的一致性或均匀性程度。

$$Ene = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)}$$

熵 (Entropy Ent):主要检测图像空间的复杂性和混乱程度。

$$Ent = - \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N C_{ij} \log \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)}$$

同质度 (Homogeneity Homo):用来度量影像均调程度。

$$Hom o = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \frac{1}{1+(i-j)^2} \frac{P_{ij}(d, \theta)}{\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{ij}(d, \theta)}$$

灰度共生矩阵是计算影像空间中每一个像元在不同距离及其方向符合预定条件的发生频率的算法,可以提供很多纹理分析的统计指标,从而辅助光谱分类。

2 3 分类流程

鉴于本文重点针对 SPOT5 在用地类型识别应

用的方法论研究,试验区选择太湖上游地区安吉县城及周边地区,采用 600 像元 × 600 像元的子区域,基本上包括了该区的主要用地类型,根据研究区土地利用的特点,确定土地利用类型分为:耕地、园林地、居民地及建筑用地、水体、未利用土地等五大类。其中未利用地指农用地和建筑用地以外的土地。土地利用信息具体分类流程如图 1 所示:首先采用 1:5 万地形图 30 幅在 ERDAS 软件中,利用一元二次多项式及最近邻采样法对 SPOT5 (2004 年 12 月 7 日) 整景影像进行几何校正,选取 150 个控制点,总 RMS 误差为 0.36。提取试验区,并求得试验区 SPOT5 影像 NDVI。NDVI 是表征区域植被覆盖的重要指标,根据不同地物类型光谱特征,利用 NDVI 阈值法对土地利用进行分类,可以较为准确地提取出耕地和园林地,但很难区分光谱混淆的地物,包括居民地、未利用土地、水体等。而这些光谱混淆的用地类型在纹理特征上有较大差异,故采用纹理分析辅助识别方法,首先对研究区影像进行主成分分析,第一主分量方差贡献率为 92.8058348,它代表图像 4 个波段的高频部分和低频部分,体现地物的边缘纹理信息和基本色调特征,因此可用第一主成分来代替其他波段来参与分类。在 Matlab 软件环境中选用双正交 Bio2.6 小波函数对第一主成分进行小波分解,提取第 6 层的低频系数,然后进行小波的单支重构,得到含有各个方向高频纹理信息的图像。在此基础上,采用灰度共生矩阵的相关算法,求出纹理特征的相应统计指标,包括对比度、熵、角二阶矩和同质度,将纹理分类与 NDVI 分类进行叠合,最后将两种方法的分类结果进行精度评价与对比分析。

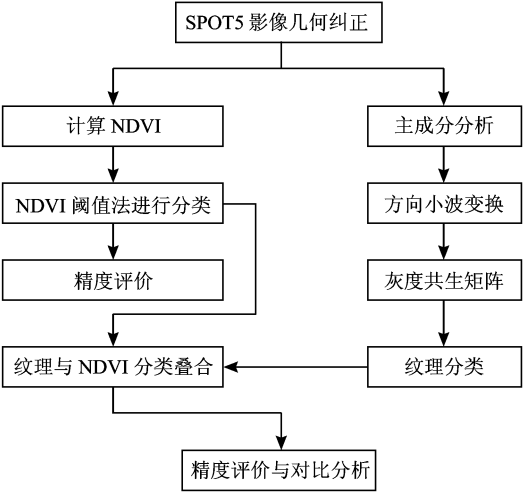


图 1 土地利用分类流程

Fig 1 Flow chart of use land classification

### 3 分析结果与精度评价

#### 3.1 纹理特征提取

根据提取的地物特点,可选取不同纹理统计指标作为土地利用分类的依据,图 2 为试验区灰度共生矩阵中对比度(图 2(a))、角二阶距(图 2(b))、熵(图 2(c))和同质度(图 2(d))的纹理指标图像。图像灰度共生矩阵中的角二阶距、对比度和同质度分别表示的是纹理的全局均一性程度、图像反差边缘及其边缘效应和邻域均值、方差的空间变化等几何结构。从图 2 中对比度指标纹理影像(图 2(a))来看,对于道路、建筑用地、居民点等对比的类别具

有较佳的描述特性,影像中线形特征相当明显,对园林地与耕地反映就相当低。而各种地物在角二阶距与同质度(图 2(b),图 2(d))影像来看呈现的特征较为混乱,因此选取统计指标对比度,可以将水体和建筑用地及居民点提取出来。熵表征的是影像空间关系的复杂性,当图像的地物类型较复杂或图像的纹理比较粗糙时,归一化共生矩阵计算值会很小,按熵的定义进行对数运算并取反后则会得到大值,即空间对象越复杂,对应的熵值越大。未利用土地的地块较小,其在图像(图 2(c))的纹理上显示较为粗糙,熵值较大,而园林地则地块较大,其在图像上的纹理比较均一,熵值亦较小,因此用纹理统计指标熵的阈值来提取未利用土地。

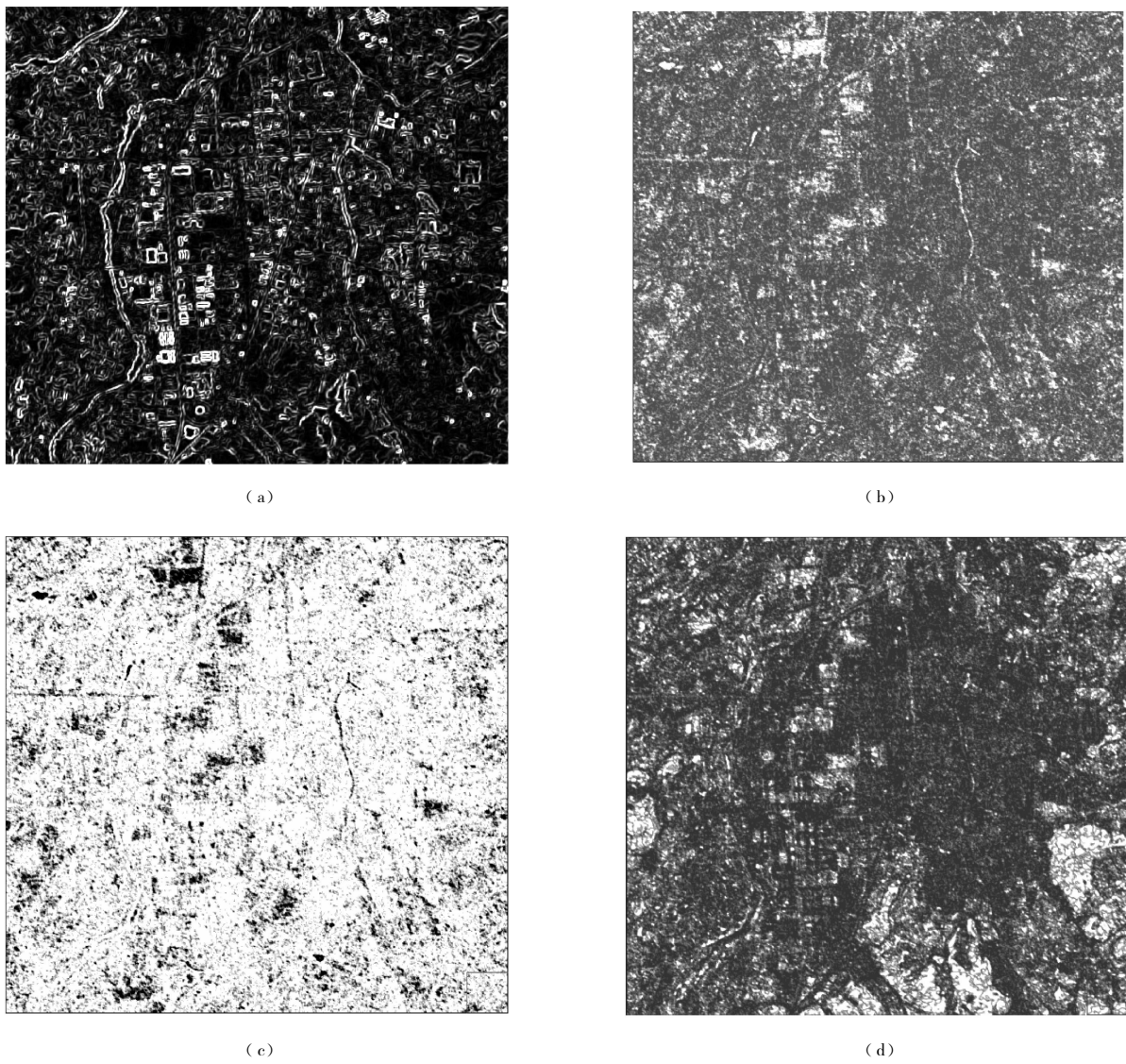


图 2 纹理分析结果  
(a) 对比度; (b) 角二阶距; (c) 熵; (d) 同质度  
Fig 2 The result of texture analysis  
(a) Contrast (b) Angular second moment (c) Entropy; (d) Homogeneity

3.2 NDVI 阈值法分类结果与精度评价

采用 NDVI 阈值法进行分类, 根据不同地物类型的光谱特征, 选取相应阈值, 得到分类图 3。从图 3 中可以看出, 居民地、建筑用地与水体相混淆, 导致分类精度下降。经定点采样, 进行 NDVI 阈值法分类图的位置精度检验, 具体检验结果见表 1。由表 1 可知, 总体分类精度为 69.9%,  $\kappa$  系数为 0.6196。图像的总体分类精度偏低, 其中未利用土地、居民地及建筑用地的分类精度比较低。因此, 单纯依靠 NDVI 阈值法是无法达到准确提取 SPOT5 影像中地物的目的的。

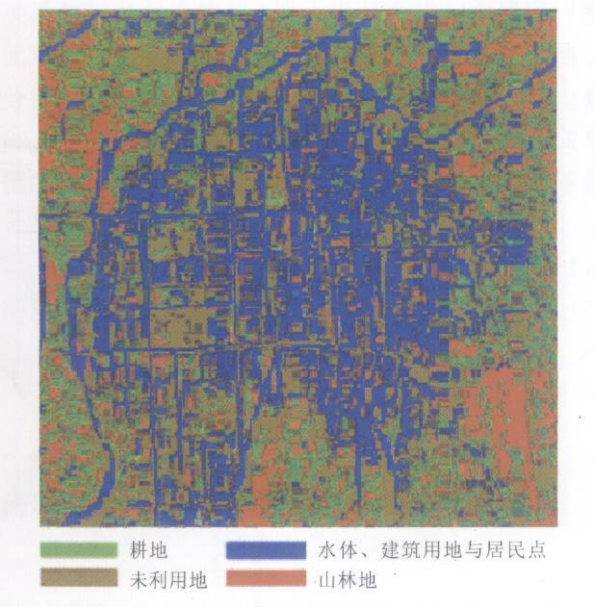


图 3 利用 NDVI 得到的分类图  
Fig 3 Classification result with NDVI

表 1 NDVI 分类图分类精度 Table 1 Classification accuracy of NDVI classification			
分类	生产者精度 /%	用户精度 /%	$\kappa$ 系数
耕地	61.67	63.29	0.5327
园林地	77	75	0.6895
居民地及建筑用地与水体	71.93	73.33	0.6978
未利用土地	57.71	55.71	0.5164

3.3 纹理分析法辅助 NDVI 阈值法分类的结果与精度评价

阈值的选取方法有许多, 本文通过人机交互选择方法, 对图像纹理特征的统计属性对比度和熵进行阈

值选取, 选取最佳阈值, 并对图像进行边界匹配, 将纹理分析的分割结果与 NDVI 阈值法分类结果进行叠合, 得到最后的分类图 4, 对此分类结果用混淆矩阵进行精度检验, 具体检验结果见表 2。由表 2 可见, 总分类精度为 71.28%,  $\kappa$  系数为 0.6803。

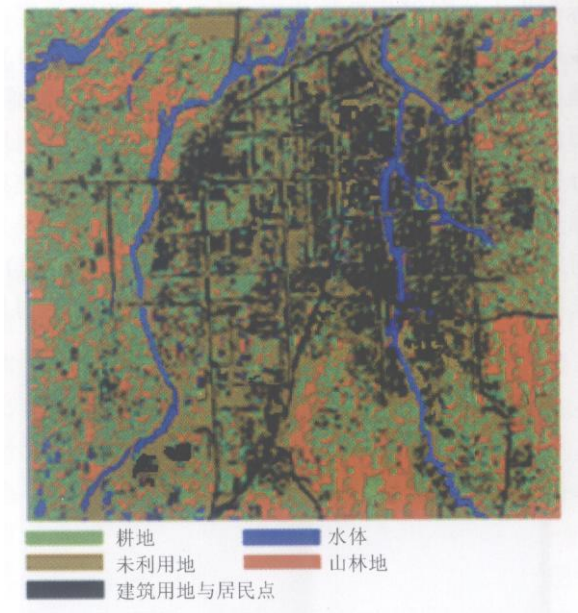


图 4 NDVI 与纹理分类叠合得到的分类图  
Fig 4 Classification result with NDVI and texture

表 2 NDVI 与纹理分类图分类精度 Table 2 Classification accuracy of NDVI classification			
分类	生产者精度 /%	用户精度 /%	$\kappa$ 系数
耕地	62.67	60.29	0.5327
园林地	80	80	0.7895
居民地及建筑用地	79.43	80.33	0.7208
水体	85.21	85.71	0.8164
未利用土地	62.71	61.71	0.5564

对两种分类方法的分类结果及精度检验进行比较发现 (见表 1, 表 2), 采用 NDVI 与纹理分析结合的方法, 可以将单一 NDVI 分类方法中无法识别的用地类型识别出来, 同时大部分用地类型解译精度都有所提高。NDVI 分类方法中因居民地及建筑用地、水体的 NDVI 值相近, 无法区分, 而通过纹理统计指标对比度可以将水体与居民点及建筑用地区分出来, 精度也有所提高, 其中水体分类精度提高到 85.21%,  $\kappa$  系数提高到 0.8164; 而居民点与建筑用地的精度提高到 79.43%,  $\kappa$  系数提高到 0.7208。比较未利用土地的分类结果可以看出, 仅依靠 NDVI 阈值法进行



分类的精度为 57.71%,  $\kappa$  系数为 0.5164, 而利用纹理分析统计指标熵来参与分类, 未利用土地分类精度提高到了 61.71%,  $\kappa$  系数提高到了 0.5564。此外, 分类的总体精度也略有提高。因此, 将光谱信息与纹理信息结合起来可以提高影像分类的精度。

4 结 论

综上所述, SPOT<sup>5</sup>影像具有较高的空间分辨率, 其纹理信息非常丰富, 采用 NDVI 阈值法与纹理特征辅助分类方法可以综合利用影像中的光谱信息与纹理信息, 较好地将不同用地类型信息进行自动识别, 是 SPOT<sup>5</sup>卫星影像提取土地利用信息的快速、有效的方法。基于方向小波分析的低频滤波方法能够突出各类用地的边界信息, 对提高土地利用分类的精度有重要作用, 本项研究采用的土地利用分类体系中, 应用方向小波分析的低频滤波处理后, 与 NDVI 阈值法相结合, 使园林地、居民地及建筑用地、水体和未利用地的分类精度均有较大的提高。灰度共生矩阵统计的纹理指标中, 对比度指标与熵能够分别较好地反映不同用地类型内部结构的同质度与异质性, 是识别光谱特征混淆的用地类型的重要依据, 尤其针对斑块较小、结构差异明显的居民地及建筑用地、水体和未利用地等, 通过比较这两个纹理统计指标, 能够突出不同用地类型的差异。此外, 本文针对纹理统计指标及阈值选取规律未进行探讨, 因此, 在这方面可以进行深一步的研究。

参 考 文 献 (References)

[ 1 ] Wu G H, Zhang Y J, Lin X G, et al Texture Segmentation with Wavelet Transform and Feature Weighting[ J]. Journal of Image and Graphics 2001, 6(4): 333—337. [吴高洪, 章毓晋, 林行刚等. 利用小波变换和特征加权进行纹理分割 [ J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(4): 333—337.]

[ 2 ] Ma X C, Hou C H, Tang S, et al Texture Classification Based on the Feature Symbol Random Field[ J]. Journal of Image and Graphics 1999, 4(5): 387—390 [马晓川, 侯朝焕, 唐珊等. 新的纹理分类算法 [ J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(5): 387—390.]

[ 3 ] Xiao Z T, Yu M. Design and Realization of Texture Image Classification System[ J]. Computer Applications 2000, 20(9): 39—41. [肖志涛, 于明. 纹理图像分类系统的设计及实现 [ J]. 计算机应用, 2000, 20(9): 39—41.]

[ 4 ] KIEMA J B K. Texture Analysis and Data Fusion in the Extraction of Topographic Objects from Satellite Imagery[ J].

International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(4): 767—776

[ 5 ] Shu N. Remote Sensing Image Texture Analysis and Fractal Assessment[ J]. Journal of Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, 1998, 23(4): 370—373 [舒宁. 卫星遥感影像纹理分析与分形分维方法 [ J]. 武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(4): 370—373.]

[ 6 ] Zhang R, Wang Y, Yang R. Researches on Road Recognition in Landsat TM Images[ J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(2): 220—224. [张荣, 王勇, 杨榕. TM 图像中道路目标识别方法的研究 [ J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 220—224.]

[ 7 ] Jiang Q X, Liu H P. Extracting TM Image Information Using Texture Analysis[ J]. Journal of Remote Sensing, 2004, 8(5): 458—464 [姜青香, 刘慧平. 利用纹理分析方法提取 TM 图像信息 [ J]. 遥感学报, 2004, 8(5): 458—464.]

[ 8 ] Yan M C, Zhang Y J, Bao Y S. Deriving Bamboos from KONOS Image by Texture Information [ J]. Journal of Remote Sensing Information, 2004, (2): 31—34. [颜梅春, 张友静, 鲍艳松. 基于灰度共生矩阵法的 KONOS 影像中竹林信息提取 [ J]. 遥感信息, 2004, (2): 31—34.]

[ 9 ] Ren X Y, Zhang G L, Chen C Y, et al Segmenting Texture Images Using Texture Spectrum Method[ J]. Journal of Image and Graphics 1998, 3(12): 983—986 [任仙怡, 张桂林, 陈朝阳等. 基于纹理谱的纹理分割方法 [ J]. 中国图象图形学报, 1998, 3(12): 983—986.]

[ 10 ] Zhang Q, Wang J, Gong P, et al Study of Urban Spatial Patterns SPOT Panchromatic Imagery Using Texture Analysis[ J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(21): 4137—4160

[ 11 ] Shen H F, Li X P, Zhang L P. An Adaptive Algorithm for Resolution Enhancement Considering the Texture Attribute of Images[ J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(3): 253—259 [沈焕锋, 李平湘, 张良培. 一种顾及影像纹理特性的自适应分辨率增强算法 [ J]. 遥感学报, 2005, 9(3): 253—259.]

[ 12 ] Hu F Y, Zhang Y N, Xue C R, et al A Classification Method for SAR Image Based on Tree Wavelet and Gray Level Co-Occurrence Matrix [ J]. Systems Engineering and Electronics 2003, 25(10): 1286—1288 [胡伏原, 张艳宁, 薛笑荣等. 基于树型小波和灰度共生矩阵的 SAR 图像分类 [ J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(10): 1286—1288.]

[ 13 ] Zhu C Q, Yang C M. Study of Remote Sensing Image Texture Analysis and Classification Using Wavelet[ J]. Int J Remote Sensing 1998, 19(16): 3197—3203

[ 14 ] Marceau D J, Howarth P J, Dubois J M, et al Evaluation of the Gray level Cooccurrence Matrix Method for Land cover Classification Using SPOT Imagery[ J]. International Journal of Remote Sensing, 1990, 28(4): 513—518

[ 15 ] Yang S Y, Hu J, Cao Z L Object Recognition System Based on Image Texture Analysis[ J]. Journal of Tianjin Institute of Technology, 2001, 17(4): 31—40