

doi:10.3799/dqkx.2010.055

# 面向基元的高空间分辨率矿区遥感影像土地利用分类

陈启浩<sup>1,2</sup>, 刘志敏<sup>1</sup>, 刘修国<sup>1,2</sup>, 罗红霞<sup>1</sup>, 高伟<sup>1,2</sup>, 王红平<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

2. 地理信息系统软件及其应用教育部工程研究中心, 湖北武汉 430074

**摘要:** 为了合理开发矿产资源和有效监测矿区生态环境, 采用面向基元的分类方法, 对广西横县某矿区的高分辨率航空遥感影像进行了土地利用分类。通过优化分形网络演化多尺度分割方法, 高效提取了矿区两个尺度上的影像基元层; 基于基元信息, 详细分析了各地表地物光谱特征、空间特征以及类相关特征, 建立了研究区土地利用的分类知识库; 采用决策支持的模糊逻辑推理法进行分类, 使分类的精度从53%提高到了90%。表明面向基元的方法能较好地利于高空间分辨率矿区影像的各种特征进行高精度的土地利用分类。

**关键词:** 高空间分辨率; 面向基元; 矿区土地分类; 分形网络演化; 知识库。

中图分类号: TP75

文章编号: 1000-2383(2010)03-0453-06

收稿日期: 2010-01-15

## Element-Oriented Land-Use Classification of Mining Area by High Spatial Resolution Remote Sensing Image

CHEN Qi-hao<sup>1,2</sup>, LIU Zhi-min<sup>1</sup>, LIU Xiu-guo<sup>1,2</sup>, LUO Hong-xia<sup>1</sup>, GAO Wei<sup>1,2</sup>, WANG Hong-ping<sup>1,2</sup>

1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Engineering Research Center of GIS Software and Applications, Ministry of Education, Wuhan 430074, China

**Abstract:** For the purpose of rational exploitation of mineral resources and effective monitor of ecological environment in mining areas, we did experiments about land-use classification of the high spatial resolution airborne image from a mining area in Heng County of Guangxi province using element-oriented method. By optimizing the evolution of multi-scale fractal network segment process, two levels of image elements were extracted efficiently. Based on the multi-scale image elements, the land-use classification knowledge base of the study area was established through analyzing spectral, spatial and class-relation features in this area. The classification precision improved from 53% to 90% by decision supporting fuzzy logic reasoning of the knowledge base. The experiments show that the element-oriented method can obtain high precision land-use classification for taking full advantage of various features of the mining area from the high spatial resolution image.

**Key words:** high spatial resolution; element-oriented; land-use classification of mining area; fractal net evolution approach; knowledge base.

矿区土地利用的精确分类对指导矿产资源的合理开发以及有效监测矿区生态环境, 具有重要的现实意义(甘甫平等, 2004)。国内外许多学者对此进行了研究, 目前有两种分类方法: 一种是人工目视解译, 利用高分辨率卫星影像或航空像片, 参照同地区的地形图等基础空间数据目视解译提取矿区各种地物, 这种方法分类精度高, 但特别耗力费时; 另一种

是传统的基于像元的影像自动分类, 依据影像特征建立各个地物的分类模板, 用神经网络、最大似然等方法自动分类, 这种分类方法精度不够高(Llorens *et al.*, 2000; 孙贇等, 2004), 特别是对高空间分辨率卫星影像和航空像片, 无法充分利用其丰富的空间信息进行分类, 同时基于像元的方法难以综合多尺度、多层次的信息(Blaschke and Strobl, 2001;

陆关祥等, 2002; 明冬萍等, 2005).

面向基元的遥感影像分类技术是针对高分辨率影像应用而兴起的一种新的分类技术. 这种分类方法在分类时不仅依靠地物的光谱特征, 更多的是要利用其几何信息和结构信息. 其基本原理是根据像元的形状、颜色、纹理等特征, 把具有相同特征的像素组成一个影像基元, 然后根据每一个影像基元的特征进行分类. 国内外有学者运用基于异质性最小原则的区域合并分割算法实现影像基元的构建 (Baatz and Schape, 2000; Hay *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2009), 基于面向基元的方法, 引入模糊逻辑推理机制, 提出基于影像基元的逻辑推理系统进行遥感信息提取 (Benz *et al.*, 2004). 而且, 国内外很多的研究学者利用面向基元的方法进行土地利用和土地覆盖分类研究, 结果证明分类的精度明显比传统的分类方法提高很多 (Benz *et al.*, 2004; 杜凤兰等, 2004).

## 1 研究区及遥感数据概况

### 1.1 研究区地质地理概况

本研究区位于广西东南部横县 (北纬  $22^{\circ}08' \sim 23^{\circ}30'$ , 东经  $108^{\circ}48' \sim 109^{\circ}37'$ ), 首府南宁市的东部 (图 1), 东西最大横距约 81 km, 南北最大纵距约 77 km. 横县属于亚热带季风气候区, 日照充足, 气候温暖, 雨量充沛, 该县有较为丰富的金属矿、非金属矿和水产资源. 本次研究区域土地利用主要以

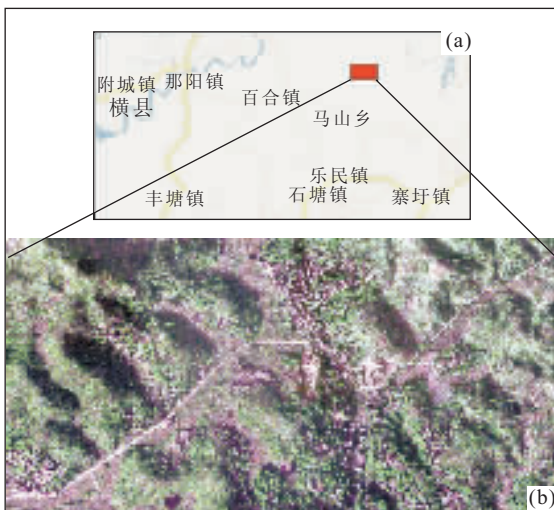


图 1 研究区位置 (a) 和研究区高空间分辨率航空影像 (b)  
Fig. 1 Location of the study area (a) and high spatial resolution aerial image of the study area (b)

采矿区、农田、居民地、水体、林地和道路为主.

### 1.2 遥感数据描述

本次实验采用 2007 年该区航空遥感影像, 数据的空间分辨率为 1 m, 经过从研究地区的地形图选择的相应控制点进行了几何精校正, 可以满足 1 : 10 000 矿区土地利用分类的需要.

## 2 面向基元的分类方法原理

### 2.1 分形网络演化多尺度分割

分形网络演化算法 (fractal net evolution approach, FNEA) 利用模糊子集理论提取感兴趣的影像基元, 在感兴趣的尺度范围内, 影像的大尺度基元与小尺度基元同时存在, 从而形成一个多尺度影像基元层次等级网络.

FNEA 技术从影像中的单个像元开始, 采用像元合并过程中基元间的异质性最小原则, 单个像元 (或像元集合) 与其相邻的像元 (或像元集合) 同时计算与合并, 两个相邻基元之间的差异通过启发式处理过程进行比较 (Baatz and Schape, 2000).

FNEA 技术的关键在两个影像基元间异质度的定义与描述. 通过描述合并前两个相邻基元的异质度 ( $h_1$  和  $h_2$ ) 与合并后新基元的异质度 ( $h_m$ ) 间的差异  $h_{diff}$ , 来定义这两个影像基元的同质度 (Baatz and Schape, 2000). 理想的单个影像基元的异质度定义应该能保证合并后新基元异质度增加最小. 设两相邻基元内像元个数分别为  $n_1$  和  $n_2$ , 则异质度变化可描述为:

$$h_{diff} = (n_1 + n_2)h_m - (n_1h_1 + n_2h_2). \quad (1)$$

考虑到遥感影像多个波段或多源空间融合后的多个数据层, 对给定的每个波段的权值, 通用的异质度变化差值计算公式如下:

$$h_{diff} = \sum_c w_c [n_1 (h_{mc} - h_{1c}) + n_2 (h_{mc} - h_{2c})]. \quad (2)$$

### 2.2 决策支持的模糊逻辑分类

通过多尺度影像分割方法获取影像基元并不是最终目的, 而是为后续分类提供更多的描述特征, 为后续的分类过程中尽可能准确地描述真实地物提供分析依据.

模糊分类作为一个基于知识的专家系统倍受重视. 模糊分类由一个  $n$  维的隶属度元组组成, 该元组描述某个被考虑的基元  $obj$  属于  $n$  个被考虑的类的隶属度. 确定分类只给出隶属度最高的信息, 同时该

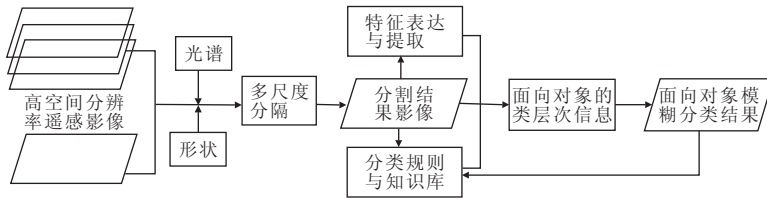


图 2 面向基元的遥感影像分类流程

Fig. 2 The flow chart of remote sensing image classification by element oriented method

元组包含了所有有关可靠性、稳定性以及混合类的信息 (Benz *et al.*, 2004).

$$f_{c,obj} = [\mu_{c1}(obj), \mu_{c2}(obj), \dots, \mu_{cn}(obj)]. \quad (3)$$

模糊分类需要一个完全模糊的系统,由 3 部分组成:模糊化、模糊规则库和反模糊化。模糊化描述从布尔系统到模糊系统的转换,根据隶属度函数来确定隶属度值,产生模糊集的输入变量;模糊规则库是指这些模糊集的模糊逻辑组合,即分类知识库;反模糊化与模糊化相对,将模糊结果转回确定的类别,在分类时一般选择最大隶属度的那一类。

分类知识库的建立在整个遥感影像分类过程中起重要的作用。由于地物要素的复杂性,面向基元的影像分类作为一种智能的影像处理方法,不可避免地要涉及到知识的表达与运用。

面向基元的模糊分类采用分类层次来表述某一分类任务的所有地物知识库,实际上就是一棵决策树。依据这样的分类层次,可以方便地按逻辑组织专家知识,快速地根据决策树进行分类。

值得提出的是,专家知识库中的知识可以应用于面向基元的遥感影像模糊分类,同样分类或信息提取的经验知识反过来又可以反馈到专家知识库。

### 3 优化的多尺度分割

#### 3.1 面向应用的棋盘预分割

虽然高空间分辨率遥感影像提供了在不同应用方面的很多清晰地表数据,但是在实际应用中很可能不需要那么高的分辨率。本研究区土地利用分类图的比例尺要求为 1:10 000,2 m 分辨率的影像足以满足需求,而影像数据为 1 m 分辨率。显然,这个高空间分辨率的影像将不再有优势,而伴随其将会产生复杂的计算量。为了使 1 m 分辨率影像的分割速度接近于 2 m 分辨率影像的速度,此时面向应用的棋盘预分割策略可以很大程度地减少初始基元的

数量。

类似于影像重采样、影像金字塔技术,通过依据一定的分割尺寸(2 个像元单位)将影像分成许多的正方形基元来减小影像的分辨率。邻近像元之间的异质性不会被考虑,每个 2×2 方形区域内的像元被合并成一个单一的方形基元。因此,初始基元的数量降低到先前的 1/4,同时理论上来看计算量也降低到了先前的 1/4 左右。用该试验区影像分割,在保证分割后影像基元数目和效果相当的情况下,直接分割耗时 28 s;棋盘预分割耗时 1 s,基于预分割的分割耗时 8 s,在满足应用需求的情况下,分割的速度提高了 3 倍左右。

#### 3.2 多尺度分割

结合研究区影像的特征以及相关的辅助地理数据,通过分割实验,发现区域内的农田、道路和水体的特征在大尺度上表现明显,居民地、矿区等地物特征在大尺度上存在过分割现象。最终采取两层分割策略:小尺度分割参数为尺度 40,形状权值 0.1,紧致度 0.5;大尺度分割参数为尺度 80,形状权值 0.1,紧致度 0.5。

## 4 地物特征提取

#### 4.1 水体信息提取

水体与阴影因其较弱的反射率而具有类似的光谱信息,在遥感影像上,对每类地物测定光谱值,发现水体表现出如下特征:影像第 1、3 波段上的光谱值分别分布在坐标(32,84)、(28,62),且水体光谱值大致按照 3 次高斯函数分布;另外,第 2 与第 1 波段的光谱值比大于 1.2。利用光谱特征采用 3 次高斯模糊化函数,提取出的水体信息会包括部分阴影区域,增加波段比值分类规则后,很好地滤除了阴影区域。

#### 4.2 农田信息提取

农田与林地同属植被信息,和林地相比,尽管研

究区影像空间分辨率较高,农田的空间分布依然连续成块,利用农作物的光谱信息提取农田信息。在遥感影像上,对每类地物测定光谱值,发现农田表现出如下特征:影像 3 个波段上的光谱值分别分布在坐标(107,132)、(120,151)、(83,110),同时各个波段上农田光谱值大致按照 3 次高斯函数分布。利用该特征采用 3 次高斯模糊化函数,可以提取出研究区的农田信息。

#### 4.3 道路信息提取

道路与矿区、居民地屋顶因其较强的反射率而具有类似的光谱信息,但是道路的形状为狭长形,因此利用影像基元的长宽比可以从中区区分出道路。通过对道路基元测定光谱值,发现道路基元的第 3 波段光谱值大于 152;为消除了居民地的干扰,对影像基元长宽比的统计计算,利用长宽比大于 2 的规则基本上可以提取出全部道路。

#### 4.4 居民地信息提取

居民地的房屋空间分布规整均匀,并具有一定的方向性,体现出很好的纹理特征。实验选取影像第 2 波段的灰度级差向量(grey level difference vector, GLDV)特征提取居民地信息,灰度级差向量的对比度特征值大于 980 的基元被认为是居民地。

#### 4.5 矿区信息提取

矿区一般存在人为的干扰场地,这些场地中的地物光谱反射特征与周围未被扰动的地物有较大差异。在本研究区中矿区特征表现为反射率特别强、靠近道路、空间分布不均匀和纹理特征不明显。通过对矿区基元测定光谱值,发现矿区基元的第 2 波段光谱值大于 220,利用光谱信息即可提取矿区分布情况。一般有矿区的地方就有房屋、道路,通过类属性特征将紧邻矿区的居民地分为矿区。

#### 4.6 林地信息提取

由于影像空间分辨率较高,随之带来研究区内林地的空间分布不连续成块,同时受到阴影的干扰,无论是利用光谱信息还是空间信息均很难直接提取出林地信息,通过掩膜已分类区域间接提取研究区的林地信息。

### 5 基于知识库的决策分类

通过以上各类地物特征分析,确定了研究区决策支持的模糊分类知识库,分类规则如表 1 所示。用 Definiens 7.0 选取特征并录入规则,将研究区遥感

表 1 研究区分类知识库规则

Table 1 The classification rule of knowledge base from the study area

地类	推理规则
水体	$32 < L1 < 84$ and $28 < L2 < 62$ (3 次高斯模糊函数) and $L2/L1 > 1.2$
农田	$107 < L1 < 132$ and $120 < L2 < 151$ and $83 < L3 < 110$ (3 次高斯模糊函数)
道路	$L3 > 152$ and 长宽比 $> 2$
居民地	GLDV 对比度 $L2 > 980$
矿区	$L2 > 220$ and 紧邻矿区的居民地
林地	非水体 and 非农田 and 非道路 and 非居民地 and 非矿区

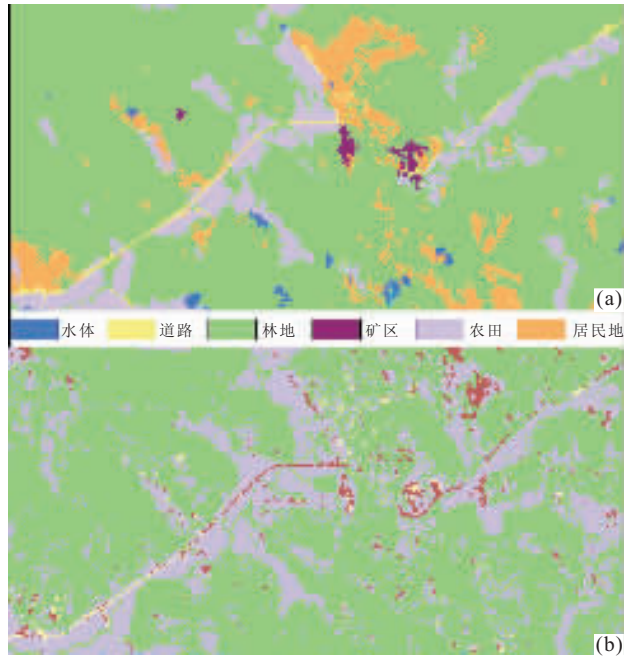


图 3 (a)面向基元方法的分类结果和(b)LVQ 神经网络监督分类结果

Fig. 3 (a) The classification result by element-oriented method and (b) The supervised classification result by LVQ neural network method

影像分为 6 类,分类结果如图 3a 所示。作为比较,对试验区的航空影像进行学习矢量量化(learning vector quantization, LVQ)神经网络监督分类,并对结果进行小斑去除处理,最终分类结果如图 3b 所示。

然后用 MapGIS 遥感平台中的分类精度评估模块,根据该研究区的土地利用现状等基础数据信息,选取精度评价样本分别对分类结果进行评价分析,得到的分类精度评价结果见表 2 和表 3。可以看出,利用面向基元的分类方法,道路、林地的分类精度非常高,在 95.00% 以上;矿区因与山体林地和建筑物特征相近,精度只有 75.15%,能够较好地提取矿区

表 2 面向基元分类误差矩阵及精度评价

Table 2 Error matrix and accuracy assessment on basic element-oriented

结果\参考	水体	道路	林地	矿区	农田	居民地	像元数	用户精度
水体	381	0	0	0	0	59	440	0.8659
道路	0	406	0	0	0	24	420	0.9667
林地	28	0	6139	68	102	83	6420	0.9562
矿区	0	0	17	248	0	9	274	0.9051
农田	0	8	90	0	1417	0	1515	0.9353
居民地	0	7	39	14	37	1254	1351	0.9282
像元数	409	421	6285	330	1556	1429	10430	
生产精度	0.9315	0.9644	0.9768	0.7515	0.9107	0.8775		
总精度				0.9439				
Kappa 系数				0.9042				

表 3 监督分类(LVQ)误差矩阵及精度评价

Table 3 Error matrix and accuracy assessment on supervised classification

结果\参考	水体	道路	林地	矿区	农田	居民地	像元数
水体	0	0	0	0	0	0	0
道路	0	541	0	449	0	1080	2070
林地	565	0	4680	1	37	3402	8685
矿区	0	280	245	719	0	461	1705
农田	0	20	759	333	4537	1782	7431
居民地	0	0	0	0	0	0	0
像元数	565	841	5684	1502	4574	6725	19891
生产精度	0.000	0.643	0.823	0.479	0.992	0.000	
总精度				0.53			
Kappa 系数				0.45			

开采点,但没有很好地自动提取出整个矿区的范围。基于像元的 LVQ 神经网络分类方法,很难提取出居民地与道路,而将它们错分为光谱相似的矿区、林地和水体信息也很难提取出来。

## 6 结论

(1) 本文采用面向基元的模糊逻辑分类的思想,使研究区内多特征多模式的土地覆盖划分条理清晰,分类结构简单、明确、直观。克服了以往土地覆盖类型识别中指标多且混乱不清的缺点,易于计算机实现自动判别。

(2) 高空间分辨率影像因数据量大而使得分割效率较低,面向应用的棋盘预分割,能在满足应用需求的情况下提高影像基元构建的速度,进而提高面向基元分类的效率。

(3) 一般有矿区的地方就有房屋、道路,面向基元分类方法能通过类相关属性特征将紧邻矿区的居民地分为矿区,这种语义特征可以在一定程度上解决此类同谱异物的问题。

(4) 针对高空间分辨率遥感影像,面向基元分类方法因综合了光谱信息、空间信息以及类相关语义信息,分类结果精度达到 90.00% 以上,明显好于基于像元的神经网络分类方法;同时,分类结果消除了基于像元分类中的固有的“椒盐”现象。

面向基元的高空间分辨率影像分类方法提高了分类的自动化、智能化程度,不仅可以较好地完成矿区土地利用分类,而且将会在矿山开发监测、矿区土地复垦、矿区环境监测等方面发挥更为重要的作用,能够为合理开发矿产资源和有效监测矿区生态环境提供有用资料。

致谢:感谢广西机电工业学校许贵林博士的指导以及提供研究区相关资料。

## References

- Baatz, M., Schape, A., 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. [http://www.ecognition.com/download/baatz\\_schape.pdf](http://www.ecognition.com/download/baatz_schape.pdf)
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., et al., 2004.

- Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58 (3-4): 239-258. doi: 10. 1016/j. isprsjprs. 2003. 10. 002
- Blaschke, T., Strobl, J., 2001. What's wrong with pixels? some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GeoBIT/GIS*, 14(6): 12-17. doi: 10. 1016/j. isprsjprs. 2009. 06. 004
- Chen, Q. H., Liu, X. G., Gao, W., et al., 2009. A fast and efficient high spatial resolution multi-scale image segmentation strategy. The 2nd international conference on earth observation for global changes (EOGC2009), Chengdu, 25-29.
- Du, F. L., Tian, Q. J., Xia, X. Q., et al., 2004. Object-oriented image classification analysis and evaluation. *Remote Sensing Technology and Application*, 19(1): 20-23 (in Chinese with English abstract).
- Gan, F. P., Liu, S. W., Zhou, Q., 2004. Identification of mining pollution using hyperion data at Dexing copper mine in Jiangxi Province, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(1): 119-126 (in Chinese with English abstract).
- Hay, G. J., Blaschke, T., Marceau, D. J., et al., 2003. A comparison of three image-object methods for the multi-scale analysis of landscape structure. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 1253: 1-19. doi: 10. 1016/S09L4-2716(02)00162-4
- Llorens, J. F., Fernandez-Turiel, J. L., Banninger, C., et al., 2000. A remote sensing based approach for the restoration of an open-cast coal mine site in Spain. In: Casanova, ed., *Remote sensing in the 21st Century: economic and environmental applications*. Barcelona, Spain, 491-496.
- Lu, G. X., Zhou, D. W., Wang, J. L., et al., 2002. Geological information extracting from remote sensing image in complex area; based on wavelet analysis for automatic image segmentation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27(1): 50-54 (in Chinese with English abstract).
- Ming, D. P., Luo, J. C., Zhou, C. H., et al., 2005. Information extraction from high resolution remote sensing image and parcel unit extraction based on features. *Journal of Data Acquisition & Processing*, 20(1): 34-39 (in Chinese with English abstract).
- Sun, Z., Bai, Z. Q., Fan, G. M., et al., 2004. Application of decision tree method in remote sensing geological mapping. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(6): 753-758 (in Chinese with English abstract).

#### 附中文参考文献

- 杜凤兰, 田庆久, 夏学齐, 等, 2004. 面向对象的地物分类法分析与评价. *遥感技术与应用*, 19(1): 20-23.
- 甘甫平, 刘圣伟, 周强, 2004. 德兴铜矿矿山污染高光谱遥感直接识别研究. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(1): 119-126.
- 陆关祥, 周鼎武, 王居里, 等, 2002. 复杂结构构造区遥感图像的地质信息提取方法——基于小波变换的多层次图像分割. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(1): 50-54.
- 明冬萍, 骆剑承, 周成虎, 等, 2005. 高分辨率遥感影像信息提取及块状单元特征提取. *数据采集与处理*, 20(1): 34-39.
- 孙贇, 白志强, 樊光明, 等, 2004. 决策树方法在遥感地质填图中的应用. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(6): 753-758.