

多源数据的面向对象国际河流土地覆被分类研究

孔 博¹ 邓 伟¹ 李爱农¹ 杨 勇¹

1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都, 610041

摘要:作为横跨3个国家(尼泊尔、印度、中国)的国际跨界河流——柯西河流域, 地形高差巨大, 土地覆被结构组成复杂, 进行土地覆被的自动分类研究具有典型意义。基于面向对象方法多源遥感数据、训练规则、丰富的细节信息为复杂土地覆被自动分类研究提供了可能。选择合适的影像分割特征和最优分割尺度, 按照数据挖掘中的规则顺序逐步进行各个土地覆被的提取。总体精度说明分类结果与野外点相一致的概率能达到90.05%, 说明国际跨界河流土地覆被分类方法是可行的, 分类结果是准确、可信的。

关键词:面向对象分类; 国际跨界河流; 多源遥感数据; 分割尺度

中图法分类号: P237; P951

文献标志码: A

中国作为跨国界河流数量丰富的国家, 与周边国家之间的跨国界河流问题主要集中在水资源共享的分配与利用等方面^[1]。跨国界河流的土地覆被信息作为水资源共享和可持续发展的评价基础要素, 其信息获取十分重要。

传统像元的分类方法由于忽略了中高空间分辨率影像中丰富的空间语义和纹理结构等信息, 没有考虑多种遥感信息源的整合互补, 其分类结果难以满足需要^[2-3]; 目视解译方法能够取得较好的分类结果, 但对类型辨识度要求高, 地物定位精度低^[4]。鉴于前两种分类技术在遥感影像信息提取中的缺陷, 新的面向对象影像分析方法与多尺度分割技术应运而生, 基于多源遥感影像的光谱和空间特征进行数据挖掘分类, 已表现出了明显的优势^[5]。面向对象特征的研究主要解决了影像对象实现对地理实体特征的模拟与描述, 建立了像元的光谱、纹理、形状、地物空间关系等地学特征的量化表达模型, 为其分类提供了供选择的分类特征依据^[6-8]。目前, 已有许多学者对面向对象的遥感影像处理方式进行了大量研究和尝试性实验。Lobo等基于基元面向对象进行分类, 与传统结果相比, 处理图斑的完整性更好^[9]。Baatz和Schape运用基于异质性最小原则的区域合并分割算法实现了影像对象的构建^[10-11]。Bhaskaran等基于面向对象

对IKONOS影像进行多尺度城市分割^[12]。相关研究对面向对象分类算法不断地加以验证和改进, 但大多数局限于单一遥感影像分类算法的构建, 对多源遥感参与面向对象自动分类的研究尚显不足。

作为横跨3个国家的柯西河流域, 海拔高差大, 植被类型多样, 气候带谱完整, 属于比较复杂的土地覆被系统, 海拔5 000 m以上的地域使得人类很难到达, 且尼泊尔、印度土地覆被验证困难, 对于这样一个特殊地理位置, 土地覆被自动分类算法显得尤为重要。本文选择Landsat TM和DEM、NDVI、MNDWI、NDBI等具有代表性的多源遥感数据, 在多尺度、多变量的影像分割的基础上建立训练规则提取土地覆被信息, 针对研究区地形高差大、温度带多、植被类型复杂、土地覆被信息提取难度比较大的问题, 尝试了针对不同地物选择最优分割尺度, 建立训练规则体系, 并运用多源遥感数据与数据挖掘算法计算不同阈值分割土地覆被的运算结果。

1 研究区概况和数据源

柯西河流域位于喜马拉雅山中部地区, 介于26°50'1"~29°6'37" N, 85°23'14"~88°57'50" E, 流域总面积6.1万 km²(图1)。它是恒河的一个重要支

收稿日期: 2013-05-02

项目来源: 中国科学院重点部署资助项目(KZZD-EW-08-01); “一三五”方向性资助项目(sds-135-1205-03); 中国科学院战略性先导科技专项(B类)资助项目(XDB03030507); 国家自然科学基金资助项目(41301094); 国土资源部地学空间信息技术重点实验室开放研究基金资助项目(KLGSTT2014-06)。

第一作者: 孔博, 助理研究员, 主要从事生态遥感研究。E-mail: kongbo827@imde.ac.cn

通讯作者: 邓伟, 研究员, 博士。E-mail: dengwei@imde.ac.cn

流,地跨中国、尼泊尔和印度3个国家,从海拔8 844.13 m的珠穆朗玛峰到印度恒河海拔60.00 m

处,其垂直落差约为8 784 m,覆盖了6个地质年代与气候带,高差巨大,植被带谱完整。

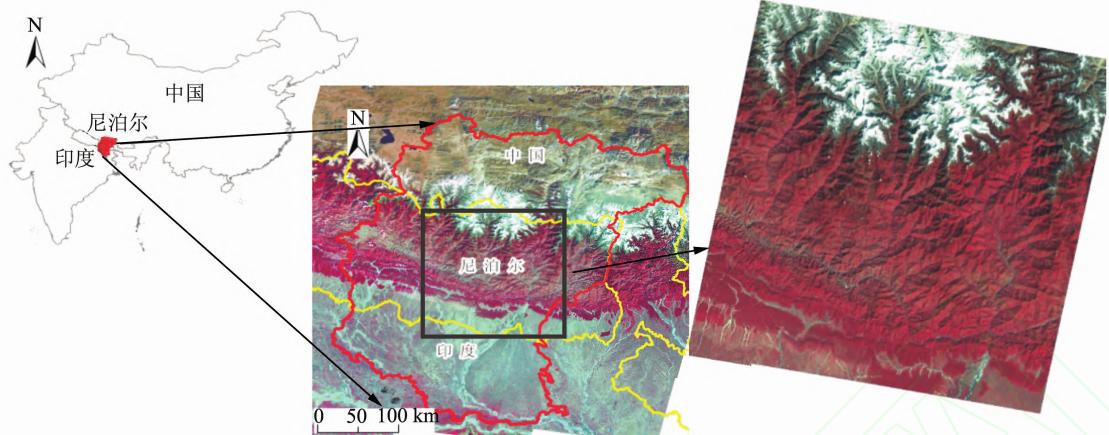


图1 国际跨界河流柯西河流域空间位置图

Fig. 1 Spatial Location in Kosi River as International Trans-Boundary River

本文研究使用了来源于马里兰大学免费Landsat TM 2007年TM1~5、TM7波段数据,ASTER GDEM DEM 30 m共享数据、处理了Slope、aspect、NDVI、MNDWI、NDBI、流域边界、土地覆被数据等9个多源遥感数据,投影统一采用WGS84,其指数计算公式如下。

1) NDVI(normalized difference vegetation index)归一化植被指数,用于检测植被生长状态、植被覆盖度和消除部分辐射误差等。 $NDVI = (TM4-TM3)/(TM4+TM3)$

2) MNDWI(modified normal differential water index)改进后的归一化水指数,未改进前用于研究植被的含水量,改进后一般用来提取影像中的水体信息,效果较好。

$$MNDWI = (TM2-TM5)/(TM2+TM5)$$

3) NDBI(normalized difference built-up index)归一化建筑指数,在TM4和TM5波段之间,除了城镇灰度值变大外,其他地类都变小,用于城镇用地的自动提取:

$$NDBI = (TM5-TM4)/(TM5+TM4)$$

2 研究方法

国际跨界河流土地覆被类型比较多样化,土地覆被分类工作包括最优分割尺度选择和训练规则建立两个步骤,目标是生成属性信息的影像对象,然后根据训练样本对象的属性信息或者成员函数对所要研究的样本进行类别归属的划分。

2.1 分类体系

在Anderson、NLCD、LCCS国际分类规则框

架下设计符合该流域的土地覆盖分类体系,即满足柯西河流域研究的需求,亦能与国际上的相关产品对接;最大限度地利用国际通用的Landsat TM/ETM遥感数据源;同时考虑地理位置、气候带、植被特征等特点,确定该区域的地物信息为:一级分类6类,二级分类16类,主要有林地(针叶林、阔叶林、灌木、其他林地)、草地(高、中、低覆盖度)、耕地(旱地、水田)、湿地(河流、湖泊、沼泽、冰川、滩地)、建设用地、未利用地(裸岩、裸土)等。

2.2 最优分割尺度选择

在面向对象遥感影像分类过程中,尺度参数是一个重要的参数,当分割尺度过大,而分类目标对象过小时,一些较小对象将会被较大对象“淹没”,从而影响其分类结果;如果分割尺度过小,而分类目标对象较大,则会造成分割结果“破碎”。分割过程在面向对象软件Definiens Developer 7.0下实现,分割过程受尺度参数、形状和紧致度等3个主要参数的影响,其中尺度参数的设置是决定目标对象大小的关键参数,本文采用于欢等提出的矢量距离法和最优分割尺度计算模型^[13]来确定尺度大小,基于测量精度基本原理,将精度差值指标取为分割后影像区域对象矢量边界线与分类目标对象的实际矢量边界横、纵两个方向上的距离,根据矢量距离指标的大小,来评判分割效果的好坏,以进一步确定最优分割尺度。在Definiens7.0的Process Tree模块中选择multiresolution segmentation命令,再将形状和紧致度分别设置0.1和0.7,将TM 1~5、TM 7共6个波段参与分割运算。从30到1尺度分别进行分割实验,间隔单位为5,单位为无量纲值。

通过分割过程得到多组分割边线,进一步结合选取的地物类型典型样本边界在 Matlab R2006a 下编程计算其横向距离、纵向距离、矢量距离指数及尺度指数。最后通过这些参数与尺度的关系,找到理论上最佳的分割尺度。根据图 2 确定了草地、沼泽、旱地、水体、林地、建设用地的最优分割尺

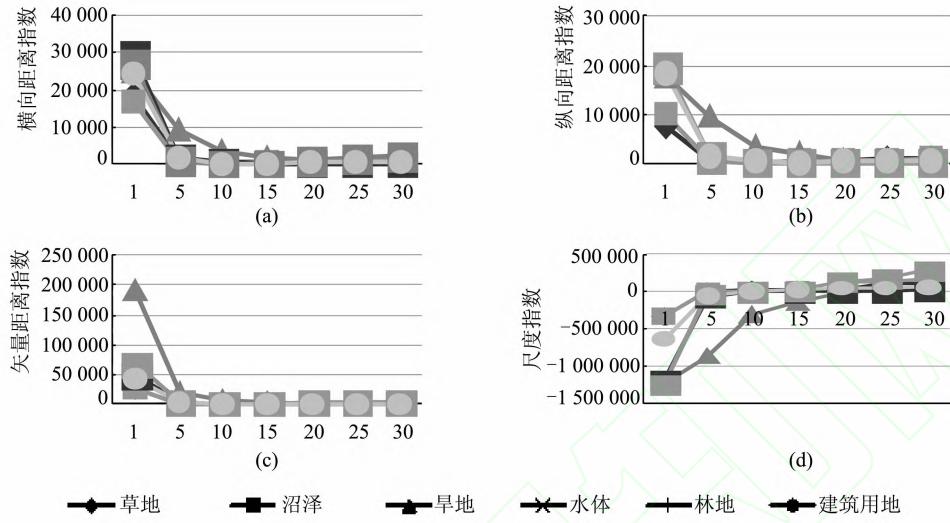


图 2 分割尺度与横向距离、纵向距离、矢量距离和尺度指数的相关性

Fig. 2 Correlation Between Cross Distance, Longitudinal Distance, Vector Distance, Scaling Exponent and Segmentation Scale

2.3 土地覆被信息提取

2.3.1 分类规则建立

建立分类规则的前期准备,是要将 Landsat TM 遥感影像、植被指数、高程等数据一致,投影统一,数据格式统一,加载到工程文件。分割对象,参与运算的仅选择 Landsat TM 1~5、TM 7 这 6 个波段,参考前面计算的最优分割尺度,从而得到图像分割图层。

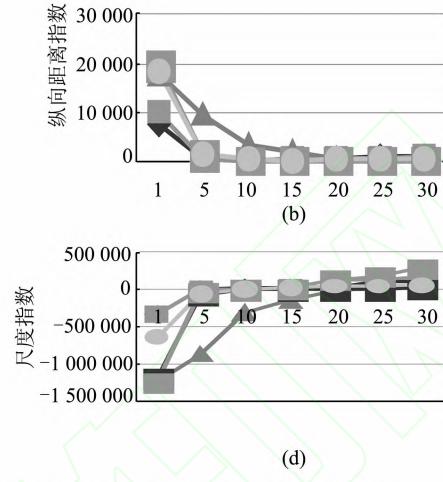
由于特点突出,用 NDVI 植被指数阈值来分割,研究区海拔跨度大,植被类型分布广,选择若干训练样区后,NDVI 阈值设置较低为 -0.13,大于 -0.13 设为植被,小于 -0.13 则设为非植被。多类型分割时,采用数据挖掘中的 ID3 算法^[14],目的是将多源遥感数据加载到分类规则中,再选择不同类型的训练样区,计算每个训练样区中不同遥感数据的均值,将所有类型中全部多源数据均值带入到 ID3 算法中,从而得到树状分类规则,确定多源遥感数据阈值,不同的阈值会分割出类型边缘,建立分类规则如图 3 所示。

$$\text{Entropy}(E_s) = (-P_+) \cdot \log_2 P_+ + (-P_-) \cdot \log_2 P_- \quad (1)$$

$$\log_2 P_- \quad (\text{这里约定 } \log_2 0 = 0)$$

式中,对于每个训练样区集 E_s ,如果符合对象目标的比例为 P_+ ;否则,不符合目标对象的比例为

度分别为 10、10、25、15、10、10。需要说明的是,曲线中存在阶段性平台,这是由于针对不同的地类,在某一特定分割尺度范围内,代表地类的影像区域对象大小没有变化,亦即边界维持不变,因此造成阶梯状形态,最终本研究选择 10 尺度作为国际跨界河流的最优分割尺度(图 2)。



$$P_- = 1 - P_+.$$

2.3.2 非植被地物提取

1) 水体、阴影、永久冰雪

在非植被类型中,对水、阴影、永久冰雪是比较难分辨的,本文引入 MNDWI 归一化水体指数,用来提取影像中的水体信息,效果较好。利用数据挖掘方法找出 TM3 红色波段的叶绿素吸收区域,用于提取冰雪与其他类型。由于阴影与水体在光谱上的颜色不易区分,只能依据 DEM 对这两种类型加以区分。

2) 裸岩、裸土、滩地地物提取

裸岩在光谱中呈现为青灰色,而裸土呈现灰白色,应用数据挖掘算法 TM5 中红外波段,分辨裸土和裸岩。柯西河上游的滩地是多以沙石为主的河漫滩,植被分布稀少,滩地与裸岩、裸土的区别是海拔高度的不同,滩地多分布在河流周边地区,海拔相对较低,裸岩和裸土多数分布在海拔 5 000 m 以上的雪山之上的极易区分这 3 种类型(图 4)。

2.3.3 植被地物提取

由于研究区的地势特殊,通常情况下从海拔高度将植被地物分成以下两大类:海拔在 1 000~5 000 m 左右植被为草地、林地等;海拔小于

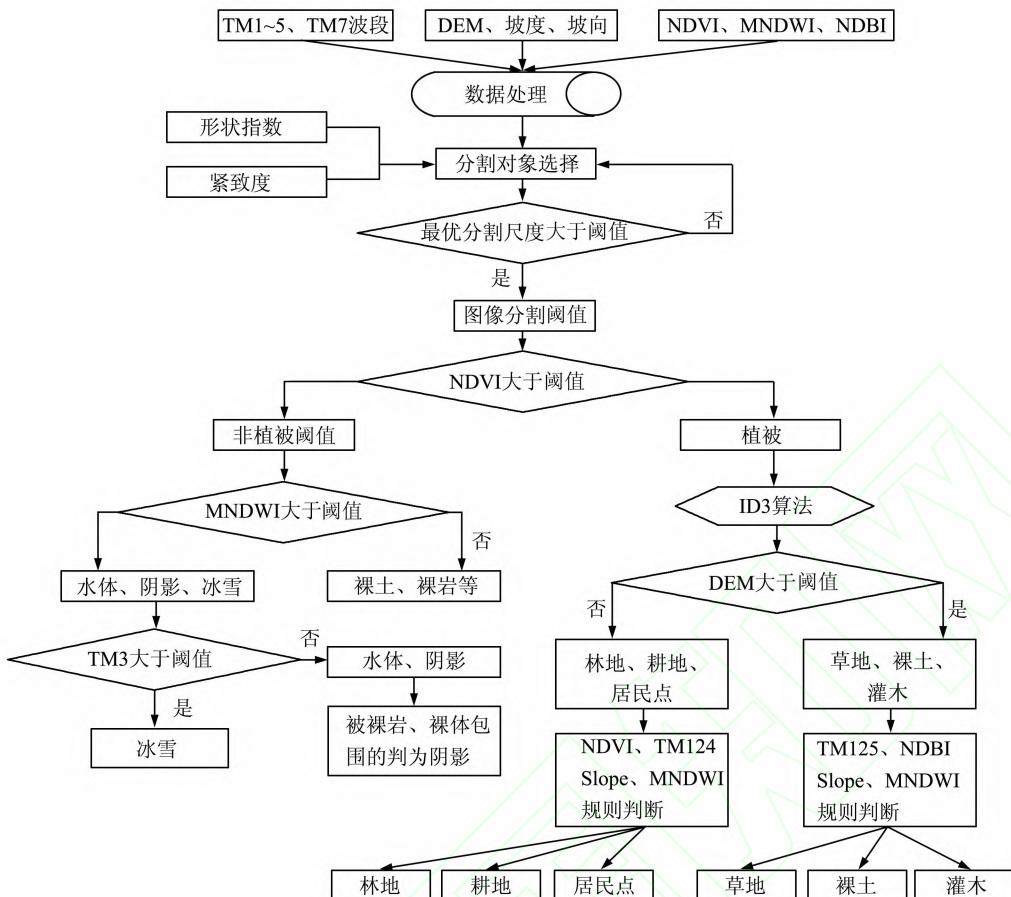


图3 分类规则示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of Classification Rules

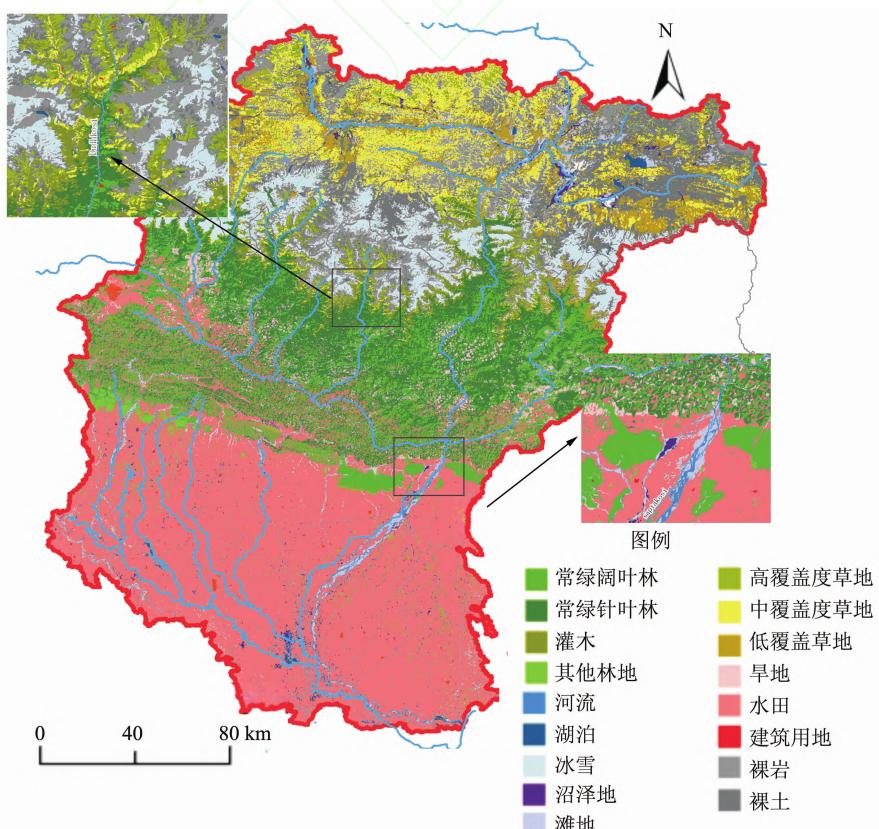


图4 柯西河流域土地覆被分类结果

Fig. 4 Classification Result of Landuse in Kosi River

1 000 m, 在印度平原广泛分布耕地和居民地。

1) 草地、林地地物提取

草地和林地的区分也同样可以用 DEM 来划分, 海拔在高中低覆盖度草地多数分布在青藏高原地区, 海拔在 3 500~5 500 m 左右, 灌木也多数分布在高覆盖草地区域; 而阔叶林、针叶林多数分布在海拔 1 000~3 500 m 区域(图 4)。训练规则中, 应用 TM4 和坡度、坡向影像指数来区分阔叶林和针叶林, TM4 近红外波段多用于估算生物数量, 同时, 阴坡和阳坡的林地自然生长类型不同。但应用不同遥感影像, 训练样区选择不同, 训练规则计算的多源数据的阈值也不相同, 哪个数据最能区分两者的类型也不尽相同。

2) 旱地、水田、建设用地提取

旱地、水田、居民地多数分布在印度平原, 但是位于流域中部的国家尼泊尔 83% 领土都是高山地貌, 只能在高山斜坡上耕作, 所以在海拔 1 000~3 500 m 左右分布一些山区旱地。水田主要沿恒河流域和恒河主要支流柯西河流域分布, 旱地作为印度平原最主要的植被, 占整个印度平原的 85%。印度平原中的大中城市属于密集型分布但规模较小, 乡村居民建设用地分布众多而

且比较分散, 耕地与居民地交错分布。

2.4 精度评价

本研究采用最基本的误差矩阵和精度指标方法来检验国际跨界河流土地覆被分类结果, 本区域野外调查样点 982 个, 调查位置多是以柯西河流域上游中国境内为主, 这些样点与基于面向对象的多源遥感数据分类结果进行比较分析, 得到误差矩阵如表 1 所示。印度和尼泊尔土地覆被数据通过 Google earth 高分辨率遥感影像验证对照, 同样是比较吻合的。制图精度说明该分类方法是可行的, 每种分类验证结果的精度都比较高; 用户精度说明分类结果图反应的可信度, 其中湿地的分类可信度非常高, 只有耕地分布受建设用地的影响较大, 印度平原耕地和建设用地这两种类型在反射光谱上区别不大, 只达到 66.3%, 印度人口众多, 居民点分散不规律, 且由于选择的 8 月份影像, 有的作物收割后与房屋色调一致, 这是造成误差的主要原因。总体精度说明分类结果与野外采样点对应相一致的概率达到 90.05% (表 1), 说明国际跨界河流土地覆被分类方法是可行的, 分类结果比较准确、可信。

表 1 误差矩阵分析

Tab. 1 The Analysis of Error Matrix

		被评价的分类结果						
		林地	草地	耕地	湿地	建筑用地	未利用地	用户精度%
野外	林地	158	1	3	2	0	0	96.25
	草地	3	132	3	1	0	0	95.2
采样	耕地	0	0	122	0	58	4	66.3
	湿地	0	0	0	112	0	1	98.85
类型	建筑用地	1	0	0	16	282	1	93.81
	未利用地	0	0	1	2	0	78	96.35
制图精度/%		97.74	98.91	94.5	84.17	82.94	92.41	
总体精度为 90.05%, Kappa 系数为 0.871 6								

3 结果与讨论

本文使用 Landsat TM 1~5、TM 7 遥感影像、DEM、坡度、坡向、NDVI、MNDWI、NDBI 等数据, 根据不同的提取目的来选择不同的数据源, 选择最优分割尺度和建立分类规则, 对国际跨界河流柯西河流域进行土地覆被分类, 共分为林地、草地、耕地、湿地、建筑用地、未利用地 6 个大类别。本研究在传统多尺度分割基础上, 针对研究区地物类型的形状、海拔、色调、纹理等信息多样性, 很难找到一个相同标准来准确地提取 6 大土地覆被信息问题, 本文选择了 12 个遥感数

据作为数据源, 选择最优的分割尺度提取, 取得了理想的分类结果, 总体精度高达 90.05%。此外, 从图 4 的提取结果来看, 利用该方法提取的永久冰雪、针叶林、阔叶林和水体的形状更接近于实际情况。

本文首先利用 Landsat TM 遥感影像作为分割初始影像, 针对每一种地类选择相应的分割尺度; 再综合利用 12 个遥感数据源, 按照一定的顺序, 分门别类地建立规则, 先将容易提取而又对其他地物信息提取有影响的地物提取出来, 然后再进行其他地物类型的信息提取, 例如, 将永久冰雪、水体和阴影首先从所有类型中提取出来, 不干扰其他地物分割。在分类过程中也存在一些问

题,单纯从遥感影像上来说,无法将非植被地物中的低覆盖度草地和裸土完全区别开,而植被地物未必能将耕地和建设地等全部分开。因此,本文引入了若干与之相关的多源遥感数据,如 NDVI、DEM、水体指数、建筑物指数等,针对不同土地覆盖的训练规则去除干扰噪声,逐层确认每种地物类型。运用本文所提出的基于多尺度、多源影像分割方法,使用面向对象的分类方法,对国际跨界河流土地覆盖分类取得了理想的分类结果。此外,需要进一步完善的地方,就是选择合适的地物边缘检测算子,提取土地覆盖边界信息并进行拟合,以提取更高的分类精度。

参 考 文 献

- [1] Li Zhifei. Trans-boundary River Issues and the Chinese Periphery Security [J]. *Academic Exploration*, 2011(1):1-13(李志斐. 跨国界河流问题与中国周边关系[J]. 学术探索, 2011(1):1-13)
- [2] Chen Yunhao, Feng Tong, Shi Peijun, et al. Classification of Remot Sensing Image Based on Object Oriented and Class Rules[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(4):316-320(陈云浩, 冯通, 史培军, 等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31(4):316-320)
- [3] Chen Qihao. Research and Realization of Multi-Sources Remote Sensing Data on Object Oriented [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2007(陈启浩. 面向对象的多源遥感数据分类技术研究与实现[D]. 武汉: 中国地质大学, 2007)
- [4] Su Wei, Li Jing, Chen Yunhao, et al. Object-oriented Urban Land-cover Classification of Multi-scale Image Segmentation Method——A Case Study in Kuala Lumpur City Center, Malaysia[J]. *Journal of remote sensing*, 2007, 11(4):521-529(苏伟, 李京, 陈云浩, 等. 基于多尺度影像分割的面向对象城市土地覆盖分类研究——以马来西亚吉隆坡城市中心区为例[J]. 遥感学报, 2007, 11(4):521-529)
- [5] Sun Danfeng, Yang Jihong, Liu Shunxi. Application of High-Spatial IKONOS Remote Sensing Images in Land Use Classification and Change Monitoring [J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(2): 160-164(孙丹峰, 杨冀红, 刘顺喜. 高分辨率遥感卫星影像在土地利用分类及其变化监测的应用研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18 (2) : 160-164)
- [6] Blaschke T, Lang S, Lorup E, et al. Object-oriented Image Processing in an Integrated GIS /Remote Sensing Environment and Perspectives for Environmental Applications[C]. *Environmental Information for Panning, Politics and the Public Metropolis* Verlag, Marburg, 2000
- [7] Mauro C, Eufemia T. Accuracy Assessment of Per-field Classification Integrating very Fine Spatial Resolution Satellite Imagery with Topographic Data[J]. *Journal of Geospatial Engineering*, 2001, 3(2): 127-134
- [8] Benz U C, Hofmann P, Illhauck W G, et al. Multi-resolution, Object-oriented Fuzzy Analysis Is of Remote Sensing Data for GIS Ready Information[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58: 239-258
- [9] Lobo A, Chic O, Casterad A. Classification of Mediterranean Crops with Multi-sensor Data: Per-pixel Versus Per-object Statistics and Image Segmentation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17: 2 358- 2 400
- [10] Baatz M, Schape A. Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks[C]. The 2nd International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, Ensehede, 1999
- [11] Baatz M, Schape A. Multi-resolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation[C]. Proceedings of AGIT'00, Heidelberg, Germany, 2000
- [12] Bhaskaran S, Paramananda S, Ramnarayan M. Per-pixel and Object-Oriented Classification Methods for Mapping Urban Features Using IKONOS Satellite Data[J]. *Applied Geography*, 2010, 30:650-665
- [13] Yu Huan, Zhang Shuqing, Kong Bo, et al. Optimal Segmentation Scale Selection for Object-oriented Remote Sensing Image Classification[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(2):352-360(于欢, 张树清, 孔博, 等. 面向对象遥感影像分类的最优分割尺度选择研究[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(2):352-360)
- [14] Li Hui, Hu Xiaomei. Analysis and Comparison Between ID3 Algorithm and C4.5 Algorithm in Decision Tree[J]. *Water Resources and Power*, 2008, 26(2):129-132(李会, 胡笑梅. 决策树中 ID3 算法与 C4.5 算法分析与比较[J]. 水电能源科学, 2008, 26(2):129-132)

Object-oriented Landcover Classification of Multi-source Remote Sensing Data in International Trans-boundary River

KONG Bo¹ DENG Wei¹ LI Ainong¹ YANG Yong¹

1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: Land cover classification is not easy for its inner complexity resulting from huge terrain elevation in Kosi River as international trans-boundary river, it has possible to classification difficulties flowing through three countries. The emergency of multi-source remote sensing images and training algorithm make it possible to classify the land cover for its ample details based on object-oriented method. The paper is about land cover classification method selecting feature and optimal scale of segmentation, the innovation of this method lies in selection of proper scale parameter resulting from proper image data and certain classification order. The total accuracy has highly 90.05% compared with object oriented classification result and actual sampling point, which is a feasible method, and the classification results are more accurate.

Key words: object-oriented classification; international trans-boundary river; multi-source remote sensing data; segmentation scale

First author: KONG Bo, assistant professor, specializes in ecological remote sensing. E-mail: kongbo827@imde.ac.cn

Corresponding author: DENG Wei, PhD, professor. E-mail: dengwei@imde.ac.cn

Foundation support: The Import Deploying Project, Chinese Academy of Sciences, No. KZZD-EW-08-01; the “One-Three-Five” Directivity Innovation Project of IMHE, No. sds-135-1205-03; the Lead Strategic Project, CAS, No. XDB03030507; the National Natural Science Foundation of China, No. 41301094; the Open Found on Spatial Information Technology Key Labs Bases of Minsity of Land and Resources of China, No. KLGSTT2014-06.