

基于面向对象技术的黄土丘陵沟壑区 切沟遥感提取方法研究

李斌兵, 黄磊

(武警工程大学 信息工程系, 西安 710086)

摘 要:基于高分辨率遥感影像,提出了结合高分辨率影像的光谱、地形、几何形态和 GLCM 纹理信息等特征的切沟半自动面向对象提取方法,建立了一组沿径流方向计算纹理特征空间对比度和相关性的公式。以黄土丘陵沟壑第三副区甘肃天水桥子沟小流域 World View-2 影像数据为例,分别建立了耕地(山坡地、梯田)、果园、林地、农路、切沟的分类规则和算法,以影像的目视解译结果结合实地调查进行精度评价,分类结果显示,总体分类精度为 75.17%,总 Kappa 系数为 0.64,切沟的生产者精度为 80%,用户精度为 70.59%,取得了令人满意的结果。

关键词:切沟; 高分辨率影像; 面向对象半自动分类方法

中图分类号: TP751; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0115-05

Study on Recognition of the Gully in Loess Hilly-Gully Region Based on Object-Oriented Technology

LI Bin-bing, HUANG Lei

(Department of Information Engineering, University of Armed Police Forces of Engineering, Xi'an 710086, China)

Abstract: Based on high resolution spatial image, this paper proposed a semi-automatic objected-based classification method to extract gully features using a combination of topographic, spectral, shape(geometric) and contextual information obtained from World View-2 data and a set of GLCMs metrics was calculated based on the flow direction. Taking the third auxiliary district of the loess hilly-gully area of Qiaozigou watershed of Tianshui in Gansu as a case, a rule-set was developed and tested on terrace, orchard, forest, road and gully. The classification results were evaluated by visual interpretation and field investigation which had promising accuracies, and the overall classification accuracy was 75.17%, the overall Kappa coefficient was 0.64, the producer accuracy of gully reached to 80% and the user accuracy was 70.59%.

Key words: gully; high resolution spatial image; semi-automatic objected-based classification

切沟侵蚀产沙对区域侵蚀产沙具有重要的贡献。通过从多期遥感影像上提取的切沟的位置、形态和范围的比对,既可以对大范围的切沟进行准确定位,又可以获得切沟的横截面宽度、深度、沟长、沟岸的变化,由此计算切沟的体积,比较不同时间的体积变化情况,确定切沟沟头溯源侵蚀、沟头前进速度等,从而了解切沟形成的机制及发展状况,对于深入认识切沟发育过程及其发展规律,采取有效的防治措施具有重要的意义。遥感影像的高分辨化和处理技术的发展,

为切沟的提取识别带来了曙光,但是,高分辨遥感影像所特有的地物光谱统计特征不稳定的现象,导致植被、阴影、光照度、沟的大小、形状、分布位置等不同因素下形成的同物异谱、同谱异物现象广泛存在,给切沟的提取带来了很大的困难。

目前,切沟的半自动、自动提取研究开展得极为有限^[1-4],国外学者 Knight^[5]利用 ASTER 影像,提取了热带河流形成的冲积沟,其切沟提取精度仅为 50%;Eustace 等^[6]利用面向对象分类技术,在高分辨

收稿日期: 2012-10-29

修回日期: 2012-12-12

资助项目: 国家自然科学基金资助项目(41171224)

作者简介: 李斌兵(1968—),女,陕西西安人,博士,硕士生导师,主要研究方向: 地图学与地理信息系统,土壤侵蚀预报模型。E-mail: libin-bing8@vip.sina.com

率 LiDAR 数据上成功定位了切沟的范围大小和密度,但是 LiDAR 数据和遥感影像的数据集特征有很大的不同,因此 Eustace 的方法对在遥感影像上提取切沟的实际指导作用有限;Rajesh^[7]首次利用 IK-NOS 影像和 GEOEYE-1 数据,结合地形、光谱、形状信息等,在摩洛哥台地平缓地区提取了切沟,Rajesh 的研究区属半干旱和湿润地区且地形较缓,其切沟提取方法还需进一步在黄土丘陵沟壑区复杂地形进行检验。国内利用遥感影像进行切沟提取的研究鲜见报道。

本文以黄土丘陵沟壑区第三副区甘肃天水桥子沟小流域为例,基于面向对象的分类方法,结合高分辨影像的光谱、地形、几何形态和纹理信息等特征,拟提出切沟提取的半自动方法,为水土保持管理和决策部门确定流域内切沟侵蚀发生的区域、切沟侵蚀的程度以及切沟的动态变化,提供参考从而采取有效的措施,降低切沟侵蚀对土地退化的影响。



图 1a 对应切沟的照片(拍摄于 2012 年 3 月 20 日)
(三角形符号标示的是扫描靶点)

1.2 数据准备

甘肃天水罗玉沟流域数据为 Digital Globe 公司的 World View-2 产品,包括 4 个波段的多光谱影像和 1 个波段的全色影像(空间分辨率分别为 2 m 和 0.5 m),成像时间为 2012 年 2 月 9 日。对影像进行正射处理。从多光谱影像中提取 NDVI 数据并参与影像分割,以辅助植被分类。在桥子沟流域 DEM(5 m×5 m)的基础上,利用 SAGA 开源软件^[8]提取坡度(slope)、径流方向(flow direction)、单位汇水面积(SCA)、地形曲率(curvature)并输出为 .img 文件,其中,在径流方向栅格图基础上,生成黑白二值图,以便于与切沟纹理数据作逻辑与运算,以上图层均作为面向对象分类的输入数据层读入 Ecognition 8.7 软件中。

1 研究区概况及数据准备

1.1 研究区概况

桥子沟流域位于天水市秦城区北郊,系渭河水系藉河北岸罗玉沟下游左侧一小沟谷,属黄土丘陵沟壑区第三副区,位于东经 105°42′19″—105°43′25″,北纬 34°36′19″—34°37′28″。流域面积 2.38 km²,按地形可分为桥子东、西两条独立的支毛沟。东沟干沟长 2.04 km²,沟道平均比降 16.6%;西沟干沟长 2.12 km²,沟道平均比降为 16.7%,平均切沟长 10~60 m,宽 5~10 m。在桥子沟流域实地调查中测量了一条典型切沟(东经 105°43′2″,北纬 34°36′59″),见图 1a,该切沟长度为 34 m,沟头深 0.9 m、宽 6.6 m,坡度 21°,沟底下方有一陡坎长 4 m、宽 1 m、深 0.8 m,断面呈典型的 V 字型。图 1b 为该切沟在 World View-2 全色影像上的位置,其光谱、形状特征阴影与梯田、植被等相似,很容易被混淆。



图 1b 桥子沟流域全色影像上显示的切沟
(边线范围内)

2 研究方法

本文提取切沟的方法步骤为:(1)对影像进行面向对象的尺度分割,生成最优的影像对象作为后续分类的基础;(2)建立分类规则和算法;(3)根据分类规则,识别地表覆盖物中的非切沟类型;(4)提取切沟;(5)进行精度评价。其中第四步的难点在于:遥感影像上,切沟和其他地表覆盖物存在着同谱异物、同物异谱现象,图 1b 显示了切沟与梯田特别是新犁的耕地的影像在光谱和质地上很相似,此外,即使同一切沟,受时间、阴影、光照度等因素的干扰,在影像上的表现也不相同,因此,单纯依靠光谱特征很难准确提取切沟,必须结合地物的几何属性(包括形状、方向和纹理等)、空间关系、地形信息、切沟特征等进行切沟的提取。

2.1 面向对象的影像分割

尺度是一个抽象的概念,它决定着影像分割时所能允许的最大差异性,一般根据对象的色彩,光滑度,紧致度计算最大标准差,再通过一定的算法,对影像进行尺度分割。一般来说,尺度参数值越大,影像对象结果越大^[9-10]。选取合适的分割软件 and 最优的分割尺度,是准确分类的关键。Meinel^[11]和 Neubert^[12]对 Definiens Developer 3.0(eCognition)、infoPACK、Imag Segmentation for Erdas Imagine、SPRING 4.0 等软件的影像分割算法进行了比较分析,得出 eCognition 具有更好的分割性能,因此本文采用 Definiens

公司的 eCognition 8.7 版的分割算法,对 World View 影像进行分割。图 2a 显示了分割尺度为 20 时的效果,边界包围的对象为切沟潜在区,已被分割出来,并能与周围植被区别开来。当分割尺度为 70 时(图 2b),切沟 1 和切沟 3 被包围在周围农田中,说明分割尺度过大。本文实验进行了二次分割,第一次分割尺度为 70,提取较大的对象,避免道路和梯田等被“破碎化”,第二次在第一次分割的基础上,对剩下的未分类对象进行切沟分割,分割尺度为 20,避免被“淹没”,确定分割尺度(scale)为 20,shape 为 0.2、color 为 0.8,compactness 为 0.6、smoothness 为 0.4。

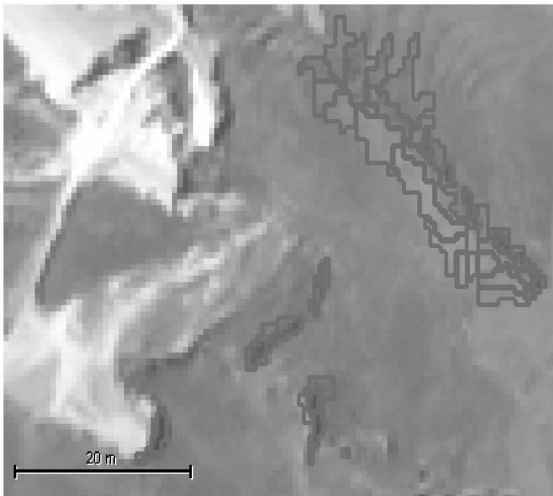


图 2a 桥子沟流域影像分割尺度为 20 的分割效果

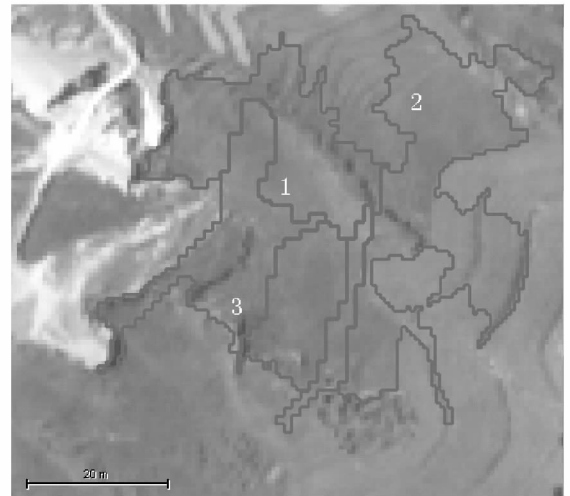


图 2b 桥子沟流域影像分割尺度为 70 的分割效果

2.2 切沟的提取

根据影像特征先通过目视解译,将研究区的地表覆盖类型划分为:耕地(梯田)、林地、道路、未利用地。为了更好地对切沟进行识别,首先进行背景去除,在剩下的未分类区中先提取耕地(梯田)、林地、道路、未利用地等,最后在剩下的未分类区域内识别切沟,背景、耕地、林地、道路、草地的分类规则见图 3。

2.2.1 切沟提取规则 切沟是黄土丘陵区具有线性特征的一类地物,一般深一、二米至十多米,宽二、三米至数十米,切沟的分布一般与斜坡方向一致,表现为下切、侧蚀及沟头溯源侵蚀^[13],切沟在地形特征上,容易发生在坡度、比降、汇水面积较大的地方,在几何属性上产生与斜坡方向的一致性,此外,切沟具有内在的纹理特征,满足在径流方向上灰度值的空间相关性,可作为切沟提取依据之一。依据切沟的分布特点,确定提取规则(图 3),规则 1:径流方向的角度与斜坡方向的角度差在 10° 以内,同时利用了形状特征与径流方向层均值特征作为特征函数,进行成员函数编辑并分类;规则 2:切沟坡度 $> 15^\circ$,提取时可选择坡度层均值做为特征函数,进行成员函数编辑并分

类;规则 3:基于径流方向构建 GLCM 矩阵并与径流方向值进行逻辑乘运算后,再建立阈值,采用成员函数分类器,应用模糊逻辑规则进行分类。

2.2.2 GLCM 纹理特征 在纹理统计分析方法中,灰度共生矩阵(Gray Level Concurrence Matrix, GLCM)是一种效果较好的方法,Haralick 等^[14]在灰度共生矩阵的基础上,定义了若干纹理参数计算公式。比较常用的有对比度(CON)、能量(ASM)、熵(ENT)、相关性(COR)等,本文在其计算公式的基础上,根据切沟内在的纹理特征,定义了一组沿径流方向计算纹理特征空间对比和相关性的公式:

$$p_{i,j} = \frac{v_{i,j}}{\sum_{i,j=0}^{N-1} v_{i,j}} \quad (1)$$

式中: i ——选定层像素矩阵的行数; j ——选定层像素矩阵的列数; $V_{i,j}$ ——像素单元 i, j 的灰度值; N ——行列数; $p_{i,j}$ ——像素单元 i, j 归一化后的值。

$$\text{GLCM}_{\text{CON(all dir.)}} = \sum_{i,j=0}^{N-1} p_{i,j} (i-j)^2 \quad (2)$$

公式(2)用来计算全方向纹理对比度特征。

$$\text{GLCM}_{\text{con}}(\text{FD}) = \text{CLCM}_{\text{con(all dir.)}} \times \text{FD}_{\text{con}} \quad (3)$$

$FD_{con}=1, if(i, j) \in \text{flow direction}$

$FD_{con}=0, if(i, j) \notin \text{flow direction}$

公式(3)用来计算沿径流方向全方向纹理对比度特征。

$$u_{i,j}=\frac{\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}}{N^2} \tag{4}$$

式中： $u_{i,j}$ ——像素单元纹理均值。

$$\sigma_{i,j}=\sqrt{\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{i,j}(i,j-u_{i,j})} \tag{5}$$

式中： $\sigma_{i,j}$ ——像素单元纹理标准差。

$$GLCM_{COR(all\ dir.)}=\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{i,j}=\frac{(i-u_i)(j-u_j)}{\sqrt{(\sigma_i^2)(\sigma_j^2)}} \tag{6}$$

公式(6)用来计算全方向纹理相关性特征。

$$GLCM_{COR}(FD)=GLCM_{COR(all\ dir.)} \times FD_{CON} \tag{7}$$

公式(7)用来计算沿径流方向全方向纹理相关性特征。

2.2.3 主方向 影像对象的主方向是对象空间分布的协方差矩阵中两个特征值中较大的特征矢量的方向。表达式为： $\frac{180^\circ}{\pi} \tan^{-1}(\text{var}XY, \lambda_1 - \text{var}Y) + 90^\circ$ 其中， $\text{var}X, \text{var}Y$ 分别为变量， λ_1 为特征值。如果仅利用坡度、纹理特征进行识别，容易和梯田混淆，而切沟的主方向和梯田的主方向有明显差别，因此，利用切沟沿径流方向的分布特点，确定待提取对象主方向与径流方向一致，可以避免与梯田混淆。

2.2.4 径流算法和单位汇水面积 单位汇水面积定

义为某段等高线上游汇水面积与等高线长度的比率，在 DEM 上求单位汇水面积的关键是确定径流流向，确定径流流向的径流算法各异，其结果决定着最终提取的切沟的形态、位置、长度；此外，单位汇水面积阈值大小也会影响切沟提取结果。如果单位汇水面积阈值选择过大，小规模 的切沟将被忽略，如果单位汇水面积阈值选择过小，则可能造成大量非切沟类地物，例如细沟，被当做切沟进行提取，因此，径流算法和单位汇水面积阈值的选择成为提取切沟的关键。经过试验，本文选择无穷方向法 $Dinf^{[15]}$ 计算径流流向。

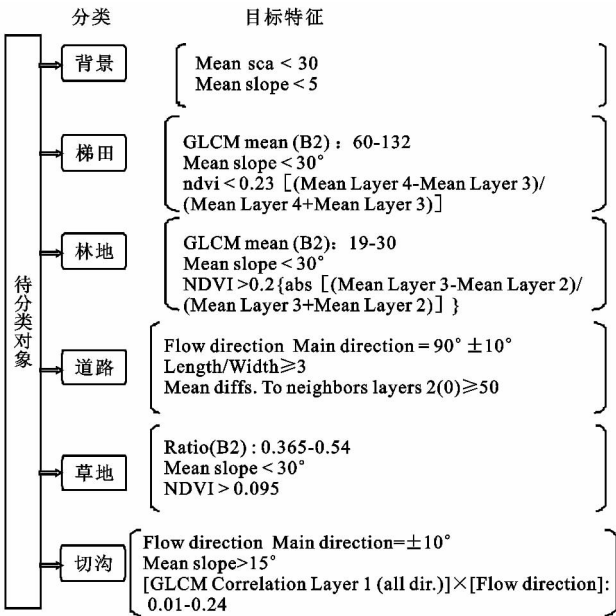


图 3 切沟和非切沟对象分类指标(分类顺序从上至下)

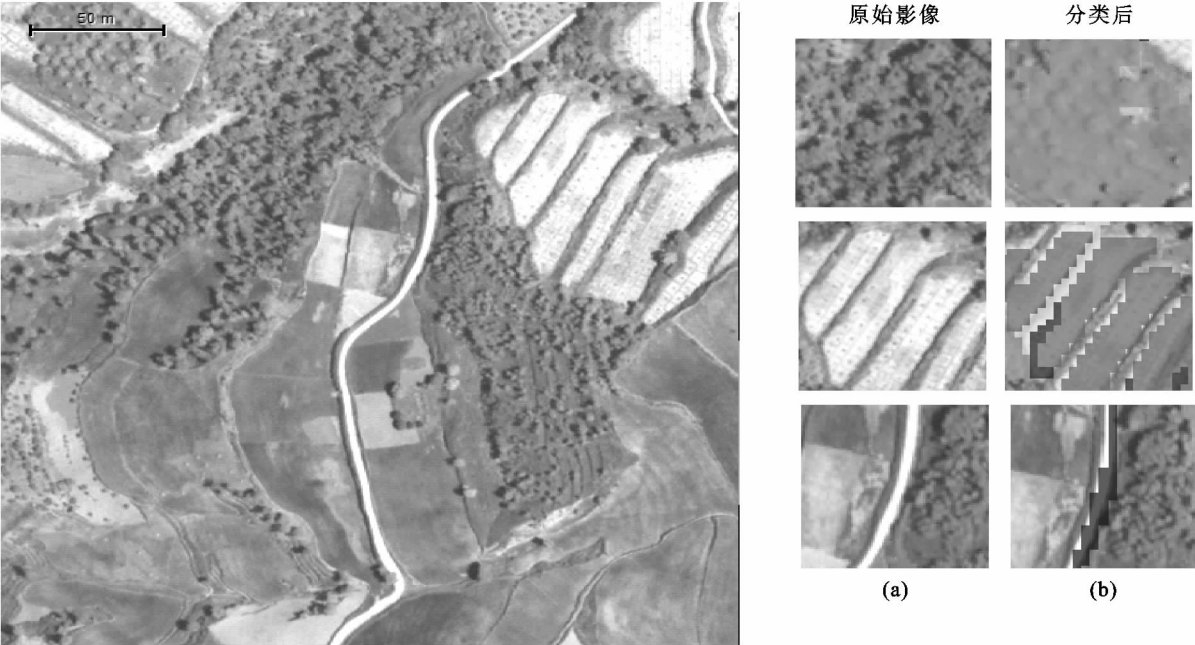


图 4 a 原始影像, 从上至下分别为林地、梯田和道路; b 分类后的林地、梯田和道路

3 精度评价与结论

以影像的目视解译结果结合实地调查对提取结果进行精度评价,图 4 对比显示了原始影像和分类后的林地、梯田和道路的结果,与目视解译相吻合。图 5 对比显示了位于影像上的一条切沟提取前后的结果,与实地调查结果完全一致。

表 1 误差矩阵显示,分类结果比较令人满意,可

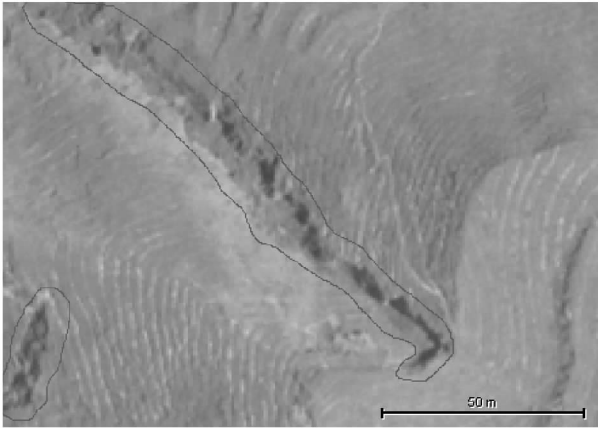


图 5a 原始影像的切沟(边线范围内)

表 1 误差矩阵

项目	林地	道路	梯田	切沟	总数
林地	28	0	0	1	29
道路	0	8	1	0	9
梯田	4	4	61	0	69
切沟	5	0	0	12	17
未分类	9	2	8	2	21
总数	46	14	70	15	145
准确度评价					
生产者精度	0.6087	0.5714	0.8714	0.8000	
用户精度	0.9655	0.8889	0.8841	0.7059	

(1) 切沟提取识别是一项具有挑战性的工作,本文以黄土丘陵沟壑区第三副区甘肃天水典型小流域为例,基于面向对象分类方法,提出了结合高分辨影像的光谱、地形、几何形态和纹理信息等特征的切沟半自动提取方法,并结合径流方向,建立了计算切沟纹理特征的公式,作为建立切沟提取的规则。

(2) 利用试错法确立了影像尺度分割参数,生成最优的影像对象作为后续分类的基础。

(3) 针对不同地物类型,分别建立了耕地(山坡地、梯田)、果园、林地、草地、农路、切沟的分类规则和算法。

(4) 分类结果比较令人满意,总体分类精度达到了 75%,总 Kappa 系数为 0.64,切沟的生产者精度为 80%,用户精度为 71%。

以看出有 80% 的切沟被正确提取,但所有分类为切沟的地区只有 71% 真正属于切沟。总体分类精度为 75.17%,总 Kappa 系数为 0.64。经过分析,漏分切沟大多为小型切沟,切沟表面被荒草覆盖,不能被所设置的规则识别;而错分的主要原因是阴影、林地、人工修建的供灌溉和排水用的沟渠等的影像表现与切沟相似,被当做了切沟。基于本文的研究结果,得出的主要结论如下:

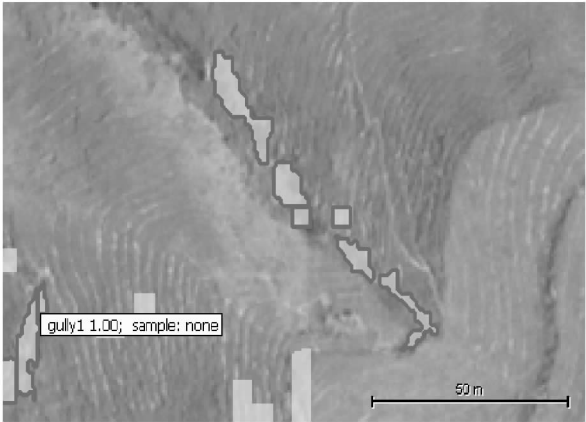


图 5b 提取的切沟(浅色部分)

参考文献:

[1] 杜国明,雷国平,宗晓丹. 东北典型黑土漫岗区切沟侵蚀空间格局分析[J]. 水土保持研究,2011,18(2):94-98.

[2] 秦高远,周跃,杨黎. 切沟侵蚀研究初探[J]. 水土保持研究,2007,14(5):84-86.

[3] 范昊明,王铁良,蔡强国,等. 东北黑土漫岗区侵蚀沟发展模式研究[J]. 水土保持研究,2007,14(6):328-334.

[4] 尹佳宜,伍永秋,汪言在. 采用不同方法测量切沟的误差分析[J]. 水土保持研究,2008,15(1):12-16.

[5] Knight J, Spencer J, Brooks A, et al. Large-area, High-Resolution Remote Sensing Based Mapping of Alluvial Gully Erosion In Australia's Tropical Rivers[C]// Wilson A L, Dehaan R L, Watts R J, et al. Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference, Australian Rivers-Making a Difference. Thurgoona, New South Wales: Charles Sturt University,2007.

[6] Eustace A, Matthew P, Christian W. Give Me the Dirt: Detection of Gully Extent and Volume Using High-Resolution Lidar[C]// Jones S, Reinke K. Innovations in Remote Sensing and Photogrammetry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag,2009.

[7] Rajesh B V S, Norman K, Victor J. Object-based gully feature extraction using high spatial resolution imagery [J]. Geomorphology,2011,134(3/4):260-268.

割尺度为30时可以很好地区分植被、非植被、阴影,应用这一尺度进行分割,既可以将各类地物区分开来,又不显得破碎,可以得到很好的效果;分割尺度为10时对于河流、道路等线状地物有很好的分割效果,但生成的多边形面积很小,整体显得过于破碎,无形中增加了运算和工作量,但是分割尺度的降低能够更加有效地提高分类精度,对于过于破碎的问题可以通过后期合并操作来解决。研究区地物种类共分为林地、草地(高山草甸、草原、稀疏草地)、水域(水库、坑塘)、耕地、人工表面(工业用地、居民地)、冰雪地、盐碱地、其他(裸岩、裸土)八大类,分类结果总体精度较高,可以满足遥感资源调查的需要。对于稀疏植被和人工表面边界的信息提取精度有待于进一步提高。精度较低的原因一方面受限于遥感图像的精度,混合像元较多;另一方面由于草地、稀疏草地没有明显的分界,对这部分地物的分类精度较低。

4 展望

基于面向对象的分类方法在本研究中显示出巨大的潜力,本文所涉及的研究内容仅是少部分,还有许多内容值得进一步深入探讨和完善。分类结果的优劣在很大程度上直接取决于分割的效果,但整个分割过程中还存在许多不确定因素。目前国内还没有统一的影像分割精度评价标准,如何根据对象的尺度、特性来评判分割精度,避免过多的主观因素影响,以及对结果的定量评价方法还需要更多的研究。构建特征空间时可加入地物辅助特征,尤其是对感兴趣的地物的类别特征,这样可以有效地减小计算量,并

且可以通过有效的特征参数组合达到更好的分类效果。

参考文献:

- [1] 付卓,胡吉平,谭衢霖,等. 遥感应用分析中影像分割方法[J]. 遥感技术与应用,2006,21(5):456-462.
- [2] 莫登奎. 中分辨率遥感影像分割与信息提取研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2006.
- [3] 李德仁,楚良才,胡孝沁. 1988-1992年中国摄影测量与遥感的进展(国家报告)[J]. 测绘学报,1993,22(1):1-9.
- [4] 周成虎,骆剑成. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [5] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉:武汉大学出版社,2009.
- [6] 曹宝,秦其明,张自力,等. 基于特征增强技术的面向对象分类方法[J]. 水土保持研究,2008,15(1):135-138.
- [7] 莫登奎,林辉,孙华,等. 基于高分辨率遥感影像的土地覆盖信息提取[J]. 遥感技术与应用,2005,20(4):411-414.
- [8] 依力亚斯江·努尔麦麦提,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜等. 基于支持向量机分类的遥感土壤盐渍化信息监测[J]. 水土保持研究,2007,14(4):209-214.
- [9] 李新萍,郝多虎,段朋,等. 遥感技术在新疆东部主要含煤区地质解译中的应用[J]. 水土保持研究,2012,19(2):253-256.
- [10] 胡广书. 数字信号处理—理论、算法与实现[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [11] 张宝林,贾瑞晨,张倩,等. 基于遥感的达来诺尔湖泊水域面积变化研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):196-199.
- [12] 胡晓东,骆剑承,沈占峰,等. 高分辨率遥感影像并行分割结果缝合算法[J]. 遥感学报,2010,14(5):917-927.
- [8] Böhner J, McCloy K R, Strobl J. SAGA-Analysis and Modeling Applications [J]. Göttinger Geographische Abhandlungen,2006,115(1):130-135.
- [9] Meinel G, Neubert M. A Comparison of Segmentation Programs for High Resolution Remote Sensing Data [EB/OL]. (2004-11-23)[2012-10-29]. https://sharepoint.ngdc.wvu.edu/sites/digital_soils/Remote%20Sensing/References/comparison_of_image_segmentation_software.pdf.
- [10] Trimble. eCognition Developer 8 Reference Book[M]. München: Trimble Germany GmbH, 2011.
- [11] Trimble. eCognition Developer 8 User Guide [M]. München: Trimble Germany GmbH, 2011.
- [12] Neubert M, Herold H. Assessment of Remote Sensing Imag Segmentation Quality [EB/OL]. (2012-10-18)[2012-10-29]. http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-C1/Sessions/Session2/6721_Neubert_Proc_pap.pdf.
- [13] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京:中国科学技术出版社,1990.
- [14] Haralick R M, Shapiro L G. Computer and Robot Vision, Vol I [M]. New York: Addison-Wesley Publishing Company,1992.
- [15] Tarboton D G. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models[J]. Water Resources Research, 1997,33(2):309-319.

(上接第119页)