

黄土丘陵沟壑区乡村道路最优分割尺度

李斌兵, 黄 磊

(武警工程大学 信息工程系, 陕西 西安 710086)

摘 要:以黄土沟壑区甘肃天水桥子沟流域为例,研究乡村道路在高分辨率影像下的最优尺度分割和评价,基于 Definiens 平台面向对象的分割算法,将对象内部像素及灰度共生矩阵(GLCM)纹理的标准差的和作为衡量对象内同质性的标准,空间自相关系数为对象间的异质性度量标准,建立了一个最优分割尺度目标函数,对 World View-2 全色影像的 $2\,876 \times 3\,778$ 个像素,在 1~100 分割尺度范围内进行试验和循环计算。研究结果表明:三类道路对应的最优分割尺度分别为 20、28、43,其中在分割尺度 20、28、43 下,对应的三类、二类和一类道路的差异性距离相比其他 2 类道路的差异性距离为最小,分别为 0.031 7、0.034 4、0.016 8,此结果与最优目标函数计算结果吻合;利用目标函数法得到的分割尺度,在实际对乡村道路的最优尺度分割中是可行的,同时差异距离指数是一个较好的评价最优分割状态的指标。

关键词:道路工程;乡村道路;高分辨率影像;最优分割尺度;评价

中图分类号:U412.12

文献标志码:A

Optimal segmentation scale of village road in loess hilly-gully region

LI Bin-bing, HUANG Lei

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

Abstract: Taking the loess hilly-gully area of Qiaozigou watershed at Tianshui in Gansu province as a case, this paper focused on optimal segmentation scale and evaluation of village road with high resolution image. With object-oriented segmentation algorithm of Definiens software, the sum of the standard deviation of all pixels and intrasegment variance of GLCM from an image object was used as the homogeneity measurement criterium, Moran's I index was served as the measurement criterium of heterogeneity between objects. An objective function for optimal segmentation scale was proposed. The experiment used $2\,876 \times 3\,778$ pixels of panchromatic image of the World View-2, with segmentation scales ranging from one to 100. The results show that the optimal segmentation scale 20, 28, 43 are corresponding to the first, the second and the third grade road. Under segmentation scale 20, 28, 43, the difference distance 0.031 7, 0.034 4, 0.016 8 between the third, second, first grade road is the smallest compared with the other two roads, which is consistent with the calculation results with optimal objective func-

tion. The optimal objective function for selecting optimal segmentation scale of village road is effective and the difference distance is a very useful index for evaluating optimal segmentation.

1 tab, 4 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; village road; high resolution image; optimal segmentation scale; evaluating

0 引言

黄土沟壑区流域内地形破碎、沟壑纵横,流域内道路除了包含等级公路外,还有大量的农田间、林间路等土质路段,非常容易遭受滑坡、泥石流、崩塌等危害^[1],其道路边坡本身也容易诱发和加剧土壤侵蚀,导致生态环境的严重破坏。因此,以水土保持和生态保护为目的的道路识别研究具有重要意义。

在高分辨率影像上提取和识别道路研究是重要的基础性工作,目前,国内外主要集中在高速公路和铁路的识别方面,且多集中在城市间,针对黄土沟壑区内道路提取和识别研究甚少,存在的问题主要有:城市道路在高分辨率影像上的几何空间特征、广谱特征与乡村耕作土路有较大的差异性,城市道路表现为长条状分布,宽度的变化和曲率不是很明显,在结构上具有一定的连续性;在光谱特征上城市道路内部灰度分布均匀、与周围地物光谱信息反差大并有明显的边缘;而耕作土路表现在几何空间特征上并不规则,道路宽度和曲率变化大,光谱特征中的“异物同谱”现象较多见,乡村土路容易和周围植被相混淆,边界模糊,使得乡村道路提取和识别的精度不高。在面向对象的影像分类中,影响道路提取识别精度的一个重要因素是道路的分割尺度确定问题,如果分割尺度选择过大,而道路对象过小,则道路就会被周围较大对象“淹没”;如果分割尺度过小,而道路对象较大,则会造成道路分割结果的“破碎化”从而影响目标对象的分类精度^[2]。围绕选取最优的分割尺度,现有的方法可以总结为定性和定量 2 种^[3],其中定性方法主要是试错法,即通过不断变换多种分割尺度,分别得到多种不同的分割结果,最后根据专家知识来进行尺度的确定,该方法效率低、精度差,且带有较大的主观性,难以保证分割的有效性;定量方法中黄慧萍提出以影像对象均值方差方法确定影像最优分割尺度,并证明了不同类别有其相应的最优分割尺度^[4];Espindola 等利用对象的空间自相关性和变异值,来确定分割尺

度^[5];于欢等以分割后影像区域对象矢量边界线与欲分类目标对象真实矢量边界的吻合程度为标准,通过两者多向距离量化吻合程度,提出了一种最优分割尺度定量选择的矢量距离指数法^[6];Neubert 等提出面积匹配指数(AFI)^[3]、Prieto 等通过边界吻合度来判断分割结果的好坏^[7]。面积匹配指数和边界吻合度法虽然能较好地对分割结果进行评价,但是属于事后评价,不能预先对分割参数选择提供指导。以上方法中,均没有结合分割对象的纹理特征确定最优分割参数,影像的纹理是对象的内在特征,与影像的光谱、几何等特征结合能有效地提高最优分割参数确定的客观性和鲁棒性。为此,本文通过灰度共生矩阵(GLCM)内部对象方差和空间自相关系数,提出一种最优分割尺度定量选择的新方法——最优分割尺度目标函数法,并对最优分割尺度进行评价,实际应用 to 黄土沟壑区道路的最优尺度分割中,为进一步准确提取和分类道路打下基础。

1 研究方法

确定最优的分割尺度的原则是使分割出的道路对象与实际道路边缘接近,对象既不能太破碎,也不能边界模糊,且道路对象内部的光谱和纹理特征同质性尽量的大,但同时不同类别对象之间的异质性尽量的大,保证对象的可分^[8-9]。为了实现最优分割,本文定义了一个目标函数,该函数定义为对象内部同质性和对象之间异质性之和,同时为了克服单一使用道路光谱特征不足以表达对象内部同质性的缺陷,引入了对象的纹理特征,联合计算对象的同质性。计算公式为

$$F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}, I) = F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}) + F(I) \quad (1)$$

式中: $F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}, I)$ 为对象的同质性; $F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}})$ 为对象内部的同质性值; $F(I)$ 为对象间异质性值。

$F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}, I)$ 的计算过程为:针对影像对象,重复代入不同的分割尺度值(Scale)进行影像的粗分

割,影像的粗分割采用了合并代价准则函数^[2],该函数 f 由合并图斑的光谱异质性参量 h_{color} 和形状异质性参量 h_{shape} 两部分构成:即 $f = \omega h_{\text{color}} + (1 - \omega) h_{\text{shape}}$, 其中 ω 为光谱、形状异质性分配的权重,区间为 $[0, 1]$,一般色调权重取 0.9,形状取 0.1 比较合适,形状权重过大往往会造成分割结果和实际视觉效果相差较大;光谱异质性是合并后父图斑标准差与合并前两子图斑标准差之和的差,并按面积进行加权,形状异质性同时由紧致度异质性 h_{compact} 和光滑度异质性 h_{smooth} 两部分加权构成, $h_{\text{shape}} = \omega_{\text{compact}} h_{\text{compact}} + (1 - \omega_{\text{compact}}) h_{\text{smooth}}$,经过影像的粗分割,得到了分割后的相邻无空隙的分布于整个影像内的对象,利用这些对象的光谱、纹理等特征,就可以计算并得到不同分割尺度下的 $F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}, I)$,当 $F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}, I)$ 为最大时,所对应的分割尺度即为最优分割尺度。

1.1 对象内部同质性

对象同质性函数定义为组成对象内部所有像素及灰度共生矩阵(GLCM)纹理的标准差的和,定义为^[10]

$$F(\sigma_{\text{mean}}, \sigma_{\text{texture}}) = \omega F(\sigma_{\text{mean}}) + (1 - \omega) F(\sigma_{\text{texture}}) \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{mean}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \sigma_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (3)$$

式中: σ_{mean} 为分割后区域的所有对象内部方差; σ_i 为对象 i 所有像素的标准差; a_i 为对象 i 的面积; n 为整个区域对象的总个数。

加入面积因子可以使得面积大的对象具有更高的权重,避免了小对象引起的不稳定性。

分割后对象的主方向是对象空间分布的协方差矩阵中 2 个特征值中较大的一个特征矢量的方向,定义为: $\frac{180^\circ}{\pi} \tan^{-1}(\text{Var}(X), \lambda_1 - \text{Var}(Y)) + 90^\circ$, 其中, $\text{Var}(X)$ 、 $\text{Var}(Y)$ 分别为变量, λ_1 为特征值。分割后的道路对象具有在主方向上的基本一致性特征,利用这一特征,在对象的主方向上提取纹理特征,可较好地保证道路对象内部的一致性。

$$\sigma_{\text{textm}} = \sqrt{\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{i,j}(i, j - u_{i,j})} \quad (4)$$

$$u_{i,j} = \frac{\sum_{i,j=0}^{N-1} p_{i,j}}{N^2} \quad (5)$$

式中: σ_{textm} 为沿对象主方向的灰度共生矩阵的标准差; i 为灰度共生矩阵的行号; j 为列号; N 是行或列的总数; P_{ij} 为灰度共生矩阵对应 i, j 行列位置处的标准值; $u_{i,j}$ 为灰度共生矩阵的均值。

用式(6)和式(7)分别对 σ_{mean} 和 σ_{texture} 进行标准化,得到归一化后的 $F(\sigma_{\text{mean}})$ 和 $F(\sigma_{\text{texture}})$ 为

$$F(\sigma_{\text{mean}}) = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma}{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}} \quad (6)$$

$$F(\sigma_{\text{texture}}) = \frac{\sigma_{\text{max}} - \sigma}{\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}} \quad (7)$$

1.2 对象之间的异质性

利用空间自相关系数(Moran's 全局指数 I)来表示对象之间的异质性^[11]

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n c_{ij} (y_i - \bar{y})}{(\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2) (\sum_{i \neq j} c_{ij})} \quad (8)$$

$$F(I) = \frac{I_{\text{max}} - I}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \quad (9)$$

式中: c_{ij} 为对象 R_i 和对象 R_j 的相邻关系,如果对象 R_i 和对象 R_j 邻接(R_i, R_j 具有公共边界),则 $c_{ij} = 1$,否则 $c_{ij} = 0$; y_i 为对象 R_i 的光谱平均值; \bar{y} 为整个影像的光谱平均值。

I 越低,影像对象之间相关性越低,即影像对象之间可分性越好。用式(9)对 I 进行标准化。

1.3 分割结果评价

分割结果的评价是验证目标函数计算出的最优分割尺度是否满足最优分割原则的过程,目前的分割结果评价方法主要分为非监督评价法和监督评价法,其中监督评价法是通过反映影像分割对象与实际对象之间的差异,更符合人类认知的过程,但同时该方法需要一定的先验知识来确定实际的对象,实际对象是通过目视解译获得,并人工指定^[12]。本文采用了监督评价法对分割对象进行评价,定义了 3 种指标,即:过分割指数、欠分割指数和差异距离指数。通过计算分割对象与实际对象的面积差异得到过分割指数、欠分割指数,是一种基于几何的差异性度量评价指标,用来评价和检验过分割和欠分割的程度。过分割是指一个实际对象对应了多个分割对象,过分割会造成分割结果破碎,造成分割对象的属性特征与理想分割对象的属性特征差异较大,例如边界不吻合、大小等属性的差异;欠分割是指多个实际对象对应了一个分割对象,欠分割会造成

分割对象过大,将会给分类造成错分误差;差异距离指数是欠分割指数和过分割指数的均方根值,作为分割结果的评价指标,来度量分割对象和参考对象的差异。

$$O_{i,j} = \frac{R_i - S_i}{R_i} \quad (10)$$

$$U_{i,j} = \frac{R_i - S_i}{S_i} \quad (11)$$

$$D_{i,j} = \sqrt{O_{i,j}^2 + U_{i,j}^2} \quad (12)$$

式中: i, j 分别为分割对象和实际对象; $O_{i,j}$ 为过分割指数; $U_{i,j}$ 为欠分割指数; $D_{i,j}$ 为差异指数; R_i 为实际对象面积; S_i 为分割对象面积。

2 试验与结果分析

2.1 试验区概况及数据准备

本文选定的试验区域设立在甘肃省天水市秦城区北郊的桥子沟流域,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,东经 $105^{\circ}42'19'' \sim 105^{\circ}43'25''$,北纬 $34^{\circ}36'19'' \sim 34^{\circ}37'28''$,如图 1 所示。流域内沟壑纵横,土质疏松,夏季多暴雨,是水土流失、泥石流和滑坡的重灾区,要准确提取道路信息,应选用中、高分辨率影像。影像数据为 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 年的 2 月 9 日,面积 25 km²。影像中有浅沟、切沟、耕地(梯田)、林地、道路、自然村庄等地物。通过实地调查,流域内道路一般分为三类:一类路,指通行机动车辆的油路和路面较宽的土石路大于 5 m;二类路,一般指村村相通的宽度小于一类路的土石路宽度为 2.5~5 m;三类路一般是人们在特定生产需求下形成的宽度小于 2.5 m 的村际路和耕作路等,大部分是自然踩踏形成。针对 World View-2 影像的全色波段,利用 Definiens Developer 8.7 软件,按照下页图 2 所示流程,完成最优尺度分割和评价。首先在 0~100 尺度范围内,将分割参数值以步长为 1 对研究区影像进行粗分割试验,分割时地物的形状(Shape)、紧致度(Compactness)设置保持不变,只考虑尺度大小的改变,然后利用目标函数公式,分别计算 $F(\sigma_{\text{mean}})$ 和 $F(\sigma_{\text{texture}})$,得到一系列离散的目标函数值,按从小到大的顺序依次排序,得到了目标函数值随尺度变化曲线,如下页图 3 所示。目标函数的计算是利用 Definiens De-

veloper 软件内部 CNL 语言结合软件的内部函数编写的程序,该程序作为第三方插件嵌入软件中使用的。

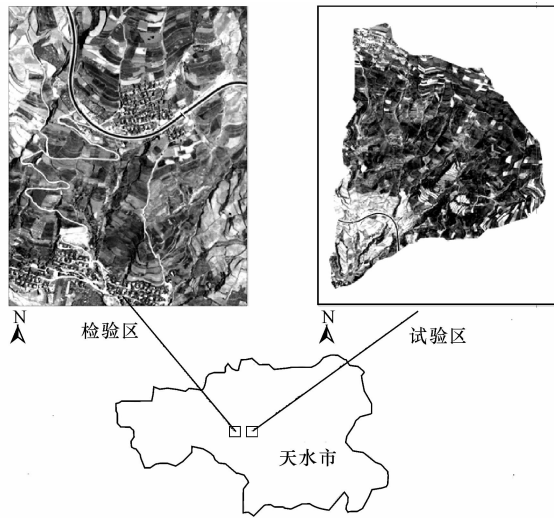


图 1 甘肃天水桥子沟流域

Fig. 1 Qiaozigou watershed at Tianshui in Gansu province

2.2 分割结果分析与评价

下页图 3 曲线显示的所有分割结果中,有若干个对应目标函数峰值的参数值,对所有可能的分割尺度在 Definiens Developer 8.7 分别进行分割试验,当分割尺度为 20,三类道路被较好分割,而对二类 and 三类道路,则出现了过分割,下页图 4(a)、(b)、(c) 中黑色矩形框中显示了这一现象;如果选择分割尺度 28,较适合于二类道路的分割,而对于一类道路,则出现了过分割(图 4(b) 中黑色矩形框显示),对于三类道路,则出现了欠分割(图 4(b) 中白色圆形框显示);选择分割尺度 43,一类道路得到了较好的分割,而对于二类和三类道路均出现了欠分割现象(图 4(c) 中白色圆形框显示)。综上,选择尺度 20、28、43 分别作为三类、二类和一类道路的分割尺度。

选择图 1 所示的样区作为验证区域,采用 20、28、43 不同分割尺度,利用 Definiens Developer 8.7 软件进行分割,得到相应的分割对象 S_i ,经目视解译获得了不同道路对象的实际对象 R_i ,将分割结果导入 ArcGIS 10 软件,与实际对象进行叠置分析,计算 $R_i \cap S_i$ 的面积,然后根据式(10)~式(12)分别计算过分割指数、欠分割指数和差异距离,得到的评价结果见下页表 1。

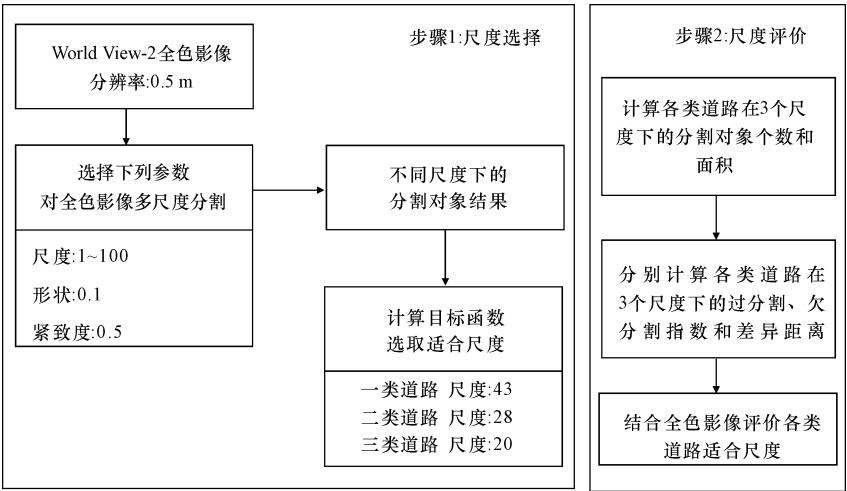


图 2 最优尺度分割和评价流程

Fig. 2 Flow chart of optimal segmentation scale and evaluation

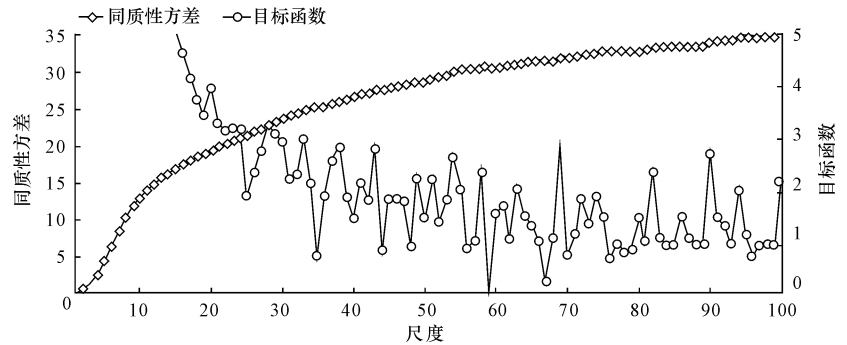


图 3 目标函数

Fig. 3 Objective function

表 1 不同分割结果的几何差异性度量
Tab. 1 Geometric difference measurement
under different segmentations

类 别		一类道路	二类道路	三类道路
实际对象面积/m ²		989.500 0	533.250 0	163.250 0
尺 度 20	$R_i \cap S_i$	897.750 0	504.000 0	168.500 0
	分割对象数/个	44.000 0	40.000 0	9.000 0
	过分割指数	0.092 7	0.054 9	-0.032 2
	欠分割指数	0.102 2	0.058 0	-0.031 2
	差异距离	0.097 6	0.056 5	0.031 7
尺 度 28	$R_i \cap S_i$	958.000 0	563.000 0	216.750 0
	分割对象数/个	33.000 0	36.000 0	8.000 0
	过分割指数	0.031 8	-0.025 8	-0.327 7
	欠分割指数	0.032 9	-0.022 8	-0.246 8
	差异距离	0.045 7	0.034 4	0.290 1
尺 度 43	$R_i \cap S_i$	1 006.250 0	584.750 0	346.250 0
	分割对象数/个	9.000 0	18.000 0	2.000 0
	过分割指数	-0.016 9	-0.096 6	-1.121 0
	欠分割指数	-0.016 6	0.088 1	-0.528 5
	差异距离	0.016 8	0.092 4	0.876 3

表 1 中,一类道路在尺度 20、28、43 以下分割对象分别为 44 个、33 个、9 个,尺度 43 的差异距离最小且分割对象最少,显然更为适合一类道路;二类道路在尺度 20 的差异距离为 0.056 5,分割对象数为 40 个,均大于在尺度 28 下的差异距离 0.034 4,分割对象数为 36 个,且都小于尺度 43 的差异距离(0.092 4)。因此,分割尺度 28 适合二类道路的分割;三类道路在尺度 28、43 以下的差异距离太大,尤其 43 以下接近 0.9。因此,分割尺度 20 适合三类道路的分割。综上分析,通过过分割指数、欠分割指数和差异距离验证了目标函数确定的分割尺度的有效性。

3 结 语

(1)提出了一种基于最优尺度分割方法,即目标函数法,该函数定义为对象内部同质性和对象之间异质性和,同质性定义为组成对象内部所有像素及灰度共生矩阵(GLCM)纹理的标准差的和,利用

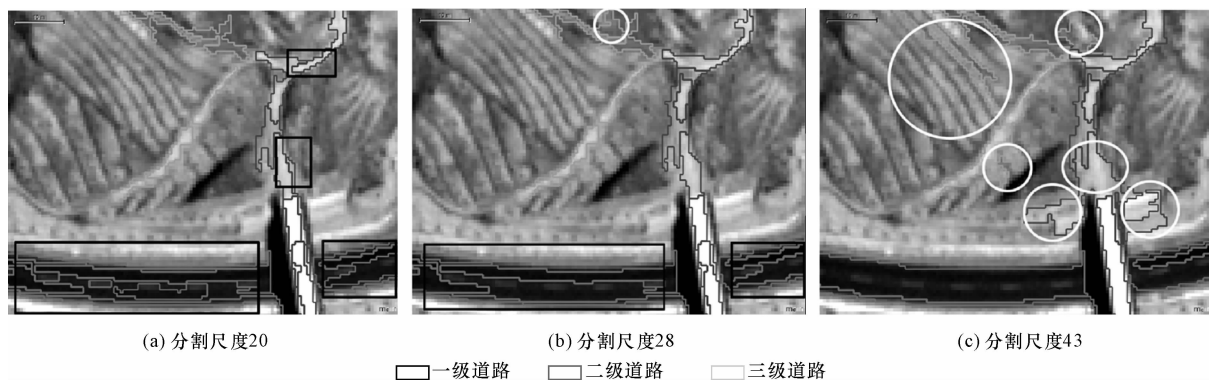


图4 道路分割结果(白色圆圈为欠分割对象,黑色矩形为过分割对象)

Fig. 4 Road segmentation results(white circles are split objects, black rectangulars are too segmented objects)

空间自相关系数来表示对象之间的异质性,通过引入对象的纹理特征,可以较好地克服单一使用对象光谱特征的不足。

(2)根据目标函数法,通过循环计算得到了流域内三类道路对应的最优分割尺度分别为20、28、43。

(3)利用过分割指数、欠分割指数和差异距离指数的评价检验结果表明:利用目标函数法得到的三类道路分割尺度,在实际对高分辨率影像的道路分割中是可行的,尤其能够最优的分割流域内的土质道路,其次,差异距离指数是一个较好的评价最优分割状态的指标。

参考文献:

References:

- [1] 李 文,龙建辉,李同录,等. 陕西泾阳南塬黄土滑坡滑带土残余剪切强度特性[J]. 地球科学与环境学报, 2012,34(4):95-101.
LI Wen, LONG Jian-hui, LI Tong-lu, et al. Residual shear strength characteristics of landslide soil in loess landslide of Jingyang southern highland, Shaanxi[J]. Journal of Earth Sciences and Enviroment, 2012, 34 (4):95-101. (in Chinese)
- [2] Baatz M, Benz U, Dehghani S, et al. Cognition professional: user guide 4[M]. Munich: Definiens-Imaging, 2004.
- [3] Neubert M, Herold H. Assessment of remote sensing image segmentation quality [Z]. Munchen: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission IV, Working Group IV/3, 2008.
- [4] 黄慧萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2003.

HUANG Hui-ping. Research of scale problems in object-oriented image analysis [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences. (in Chinese)

- [5] Espindola G M, Camara G, Reis I A, et al. Parameter selection for region-growing image segmentation algorithms using spatial autocorrelation[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(14):3035-3040.
- [6] 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]. 中国图象图形学报, 2010, 15(2):352-360.
YU Huan, ZHANG Shu-qing, 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. (in Chinese)
- [7] Prieto M S, Allen A R. A similarity metric for edge images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10):1265-1272.
- [8] Trimble. eCognition Developer 8 Reference Book[Z]. Munchen: Trimble Germany GmbH, 2012.
- [9] Trimble. eCognition Developer 8 User Guide[Z]. Munchen: Trimble Germany GmbH, 2012.
- [10] Haralick R M, Shapiro L G. Computer and robot vision(Vol I)[M]. Boston: Addison-Wesley, 1992.
- [11] Fotheringham A S, Brunson C, Charlton M. Quantitative geography: perspectives on spatial analysis [M]. London: Sage, 2000.
- [12] 章毓晋. 客观的图象质量测度及其在分割评价中的应用[J]. 电子科学学刊, 1997, 19(1):1-5.
ZHANG Yu-jin. Objective image quality measure and application in the evaluation of segmentation [J]. Journal of Electronics, 1997, 19(1):1-5. (in Chinese)