

最优分割尺度下的多层次遥感地物分类实验分析

李 秦^{1,2}, 高锡章^{2*}, 张 涛^{1,2}, 刘 锐^{1,2}, 龚剑明²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 为了快速、准确地提取我国海岸带地区土地利用及其变化信息, 选择高分辨率遥感影像作为数据源, 提出了最优分割尺度下的遥感多层次地物识别分类方法。首先, 通过改进的局部方差法进行最优分割尺度的确定, 建立影像中各对象的方差均值与变化率随分割尺度变化曲线, 确定方差均值的峰值, 以变化率开始呈现下降趋势时所对应的分割值为最优分割尺度参考; 然后, 针对地物分类特征差异选取各自适宜的分割尺度, 建立多层次地物特征表达与规则, 最后, 实现最优尺度分割选择下的遥感多层次识别分类, 即实现较大尺度下分割形成父对象, 而较小尺度下分割出其若干子对象的目标, 提出了快速、自动化获取土地利用/覆盖图的策略流程。本文选取了广东省珠海市海岸带地区作为实验区, 利用多层次遥感分类方法进行地物识别分类。结果表明, 其目视效果以及总体精度、Kappa系数, 均优于传统方法和单一分割尺度下的影像分类方法。

关键词: 局部方差; 最优分割尺度; 多层次分类; 精度评价

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2011.00409

1 引言

面向对象影像分析(Object-based image analysis, OBIA)自20世纪末发展以来, 已成为遥感技术研究的热点。尤其伴随着高分辨率卫星影像的类型增长, 空间分辨率从米级到亚米级的提升, 使遥感数据包含了更加丰富的空间信息、地物几何结构及纹理信息等, 改变了传统以像元分析的思路, 采取影像分割技术可以得到内部属性相对一致或均质程度较高的图像区域以获取这些斑块单元中的各种特征, 进行对象识别和标识, 最终完成遥感信息的识别分类^[1-5]。

而遥感影像中对地物类型的识别和分类, 其精度与实际采用影像的空间分辨率以及成图比例尺密切相关。对于高分辨率影像, 如以分辨率为2.5m的法国SPOT-5卫星数据作为处理对象, 进行1:5万比例尺下的土地利用分类制图时, 从以往的研究中可以看到, 多数研究者采用相对较小的分割尺度, 即在一种“过分割”状态下对影像中地物进行识别分类。但其实被识别目标斑块的真实大

小对分割尺度的选择有着决定性作用, 若分割尺度过大, 而目标对象过小, 一些较小对象将被“淹没”; 而分割尺度过小, 目标对象较大, 则分割结果过于“破碎”。上述两种状况, 均不利于分割对象对真实地物的表达, 影响了遥感地物的提取精度^[6-8]。因此, 有必要在特定的成图比例尺下, 进行最优分割尺度的选择, 致使分割后的图像对象与真实地物斑块能够达到较好的拟合程度。

但在以往的研究中, 最佳分割尺度的选择多数是研究者通过反复试验, 目视分割结果确定其量值, 被称为“试错法”。同时, 也有一些研究者设计各种模型或算法来确定最佳分割尺度, 以增强对目标物的检测与识别能力, 如局部方差法^[9]、最大面积法^[10]、矢量距离指数^[11], 以及建立图斑显著性变化曲线^[12]等, 研究表明最优分割尺度值应该是一个连续的范围, 而不是一个断点值, 并且不同的地物类别或相同类别的不同分布均存在尺度区间与尺度域。因此, 利用遥感影像进行土地利用识别分类时, 单一尺度下进行的影像分割提取会产生一些问题, 尤其是斑块均质、面积较大的地物被分割过于

收稿日期: 2010-10-20; 修回日期: 2011-05-23.

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA121706, 2009AA12Z148); 国家自然科学基金项目(40971224)。

作者简介: 李 秦(1985-), 女, 河北省石家庄市人, 硕士研究生。研究方向为遥感影像智能处理研究。E-mail: liq@lreis.ac.cn

* 通讯作者: 高锡章(1976-), 男, 河南信阳人, 博士后, 研究方向为GIS理论与应用、生态环境GIS、海洋GIS等。

E-Mail: gaouxz@lreis.ac.cn

破碎,导致原本形状或纹理信息的丧失。本文以一种改进的局部方差算法计算多种地物所对应的多级最优分割尺度,设计多层次地物特征表达,建立规则,最终实现遥感影像多层次识别分类。

2 研究区数据源与地物解译标志的建立

2.1 数据源分析

本文选取了地物类型丰富、比较有代表性的广东省珠海市斗门区南水镇为实验区,位于 $113^{\circ}14' \sim 113^{\circ}15'E, 22^{\circ}02' \sim 22^{\circ}23'N$ 之间(图 1)。所选用的遥感影像为 2005 年 1 月 1 日的法国 SPOT-5 卫星数据,首先对高分辨率全色影像和多光谱影像进行图像匹配,并将多光谱图像重采样分辨率为 $2.5 \times 2.5m$ 。应用 $1:50\,000$ 比例尺的 DEM 数据对全色影像进行正射校正,在此基础上,以校正全色影像的控制点对重采样后的多光谱影像进行校正。同时将全色和多光谱数据进行纹理增强并选用 Pan-sharp 变换方法使两者融合,为下一阶段土地利用解译提供基础底图。本文的研究区域在影像中选取了 500×500 像元的区域,实验区的假彩色影像如图 2 所示。

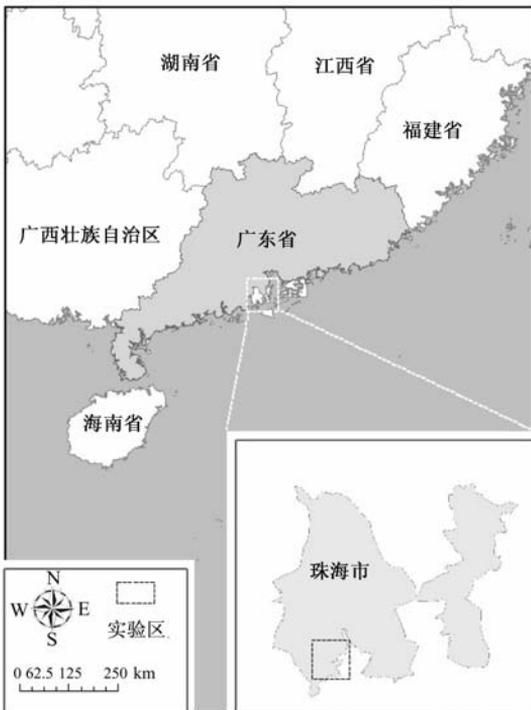


图 1 实验区位置示意图

Fig. 1 Location of the study area



图 2 实验区的假彩色影像

Fig. 2 A false color composite of the study area

2.2 土地利用地物影像解译标志的建立

根据实验区所在区域的背景知识和目视解译情况,参考国家海洋局“我国近海海洋综合调查”专项中要素分类代码和图示图例规程,本文定义了如下土地利用类别:工矿仓储用地、有林地、裸土地、养殖水面、湖泊坑塘水面、河流水面。针对不同地物,选择合适的特征或特征组合是影像分类的关键所在,即目标区别于其他目标的有效标识^[13]。因此,本文引入三类特征,即光谱特征、形状特征和邻接特征(表 1)。

3 最优分割尺度的土地利用类型影像多层次分类实验

3.1 影像最优分割尺度的选择

遥感影像数据是对依赖于尺度的地表空间格局与过程的特征反映,因此,解释不同的地理现象和规律需要在不同的尺度影像数据中进行分析。针对不同类别的对象单元,利用统计分析、模型建立等数学方法进行最优分割尺度的研究。

本文试验采用德国 Definiens 公司开发的 eCognition Developer 8.0 软件。为比较尺度参数变化对分类结果的影响,其他参数统一设置为默认值以排除干扰(波段权重均设为 1,光谱因子权重设为 0.9,形状因子设为 0.1,光滑度与紧致度权重各为 0.5)。通过选择多尺度进行影像分割对比,为同一研究区多种地物类别提取与分析提供最优的分

类斑块。

表 1 基于多特征的类表达

Tab. 1 Class representation based on features

土地利用类型	遥感影像判读标志	光谱特征	形状特征	邻接特征
工矿仓储用地		红棕色	规则矩形	邻接裸地及有林地
有林地		红或深红色	不规则	分布面积及规模大且邻近类型多样
裸土地		亮灰色	不规则	不规则分布
养殖水面		蓝绿色	规则小矩形	邻近河流水面
湖泊坑塘水面		深蓝色	不规则	邻近有林地及裸土地
河流水面		蓝绿色	长宽比较大	邻近养殖水面

合适的尺度选择,我们定义为使得分割之后影像对象的内部异质性尽可能小,而不同类别对象之间的异质性尽量大^[9]。据此原则,应用 Woodcock 的局部方差思想^[10,14]于面向对象影像分析中,当影像中混合对象增多时,与相邻对象之间的光谱异质降低,整幅影像中所有对象的均值方差变小;相反当纯对象增多时,则与相邻对象之间的光谱变异增大,对象的均值方差增大,经多次试验验证,最优分割的参考值发生在均值方差峰值且方差变化率开始呈现下降趋势的分割值处^[8]。本文设置的分割尺度范围为 5—300,其中每间隔 5 进行一次分割并计算其均值方差及其变化率(图 3)。

由图 3 可以得出 160、70、50、25 为 4 个分割尺度的最优参考位置,并依次进行多尺度分割处理(图 4)。经目视选择,针对 6 类地物依次选取了 160、70 和 25 从上到下的三个尺度,并设计了多尺度分割分类层次表(表 2)。

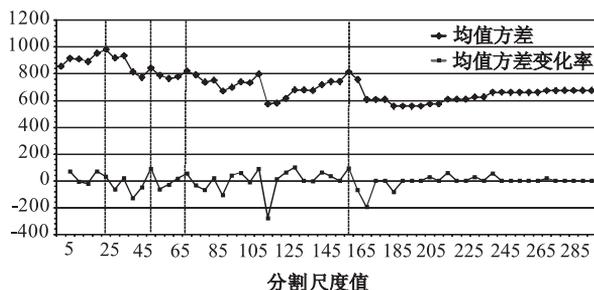


图 3 影像对象均值方差与变化率随分割尺度变化图
Fig. 3 Graph of local variance (solid black) and rate of change (solid gray) with a increasing scale parameter

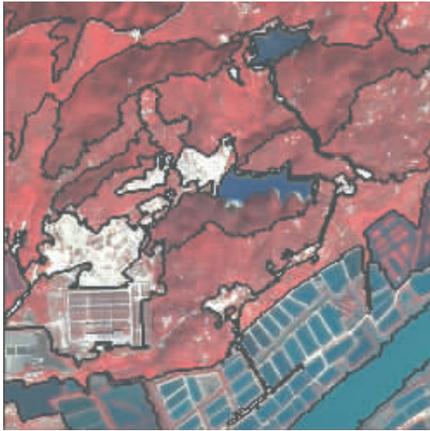
本文通过最优尺度计算方法得到的三个最优尺度参数,仅适用于本实验区域影像的分类实验。在对其他区域影像进行分析时,可利用此方法建立相应的影像均值方差随分割尺度的变化曲线,并得到不同的最优尺度参数。

表 2 多尺度分割分类层次表

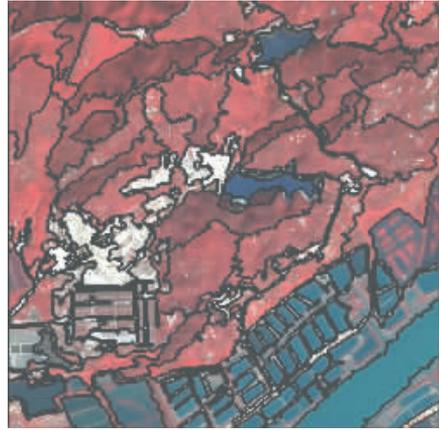
Tab. 2 The classification levels based on multi-scale segmentation

分割层	分割尺度	分割状况	各层适宜提取信息
Level1	160	27 个对象 除裸土地外均欠分割	裸土地
Level2	70	116 个对象 除养殖水面中与河流水面的边界欠分割,其他过分割	有林地 工矿仓储用地 水体
Level3	25	658 个对象 全部地物类型过分割	养殖水面 河流水面 湖泊坑塘水面

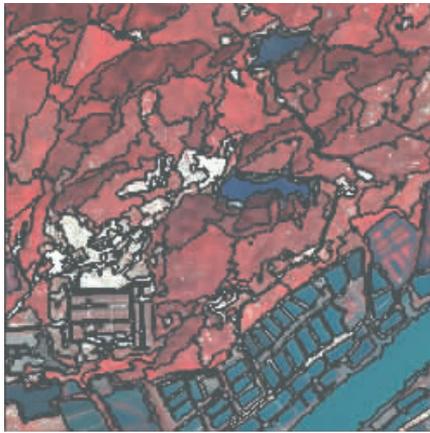
由图 4 和表 2 中可以得到,当分割尺度为 160 时,共产生 27 个影像对象,在裸土地这一地物类型中,真实斑块与影像对象的大小比较接近,而其他地物类别均处于欠分割状态,即图像对象大于真实斑块的面积,则第一层级适宜的提取地物为裸土地;当分割尺度为 70 时,共产生 116 个对象斑块,其中有林地、工矿仓储用地,以及水体处于过分割状态,影像对象的大小略小于真实斑块,适宜在这一层级进行提取,而水体中的养殖水面和河流水面仍保持欠分割状态,其图像对象中存在两者的混合斑块,应继续降低分割尺度;当分割尺度为 25 时,共产生出 658 个对象图斑,水体中的养殖水面、河流水面以及湖泊坑塘水面均处于过分割状态,适宜



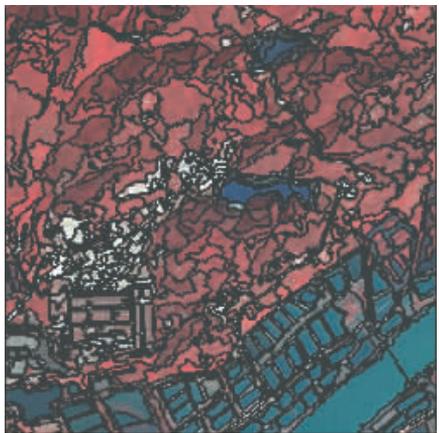
(a) 尺度为160时的分割结果



(b) 尺度为70时的分割结果



(c) 尺度为50时的分割结果



(d) 尺度为25时的分割结果

图4 不同尺度下的影像分割结果

Fig. 4 Image segmentation results on different scales

(a) scale=160 (b) scale=70 (c) scale=50 (d) scale=25

在这一层级提取。

利用多层分割尺度对地物进行识别分类,能够实现较大尺度下分割出一个父对象,而在较小尺度下分割出其若干子对象,最终按照一系列的分类规则重新聚类得到较好的分类结果^[15]。

3.2 多层次土地利用类型的影像识别分类

采用多尺度分割方法(multi-scale segmentation, MSS)^[16]进行影像分类是否优于固定在单一层下(one-level representation, OLR)^[17]进行分割斑块的分析处理,目前还有很大的研究价值^[8],本文进行了如下探讨。

适宜分割尺度的选择,即能够使得影像对象与实际地物斑块形状大小基本一致,在此基础上提取影像对象的特征信息,如光谱、形状、空间分布等,并根据这些特征信息,结合人脑的认知功能与专家

知识,开发出易于快速分类的规则,其中建立分类算法也是面向对象分类的关键步骤之一^[18]。

首先,将地物提取设立层级关系,由上至下三个不同的分割尺度160、70及25,对应各自适宜提取的地物类型,经反复试验及专家知识建立决策树各节点的提取规则,设计了如下多层次遥感多尺度分类策略(图5),其中,融合了各类地物的光谱、形状及空间关系规则,获得这一地区的土地利用分类结果(图6a)。此外,为了对比多尺度多层次分类与单一分割尺度层分类的最终效果,在地物特征所表达的专家知识规则设置不改变的前提下,微调特征参数,获得分割尺度为25及50下单一尺度层的土地利用分类结果(图6b,c)。

值得注意的是,本文采用的专家规则及阈值指标具有区域适应性,是针对本区域影像地物特征所设定,应用于其他区域的影像分析时,需要作出相

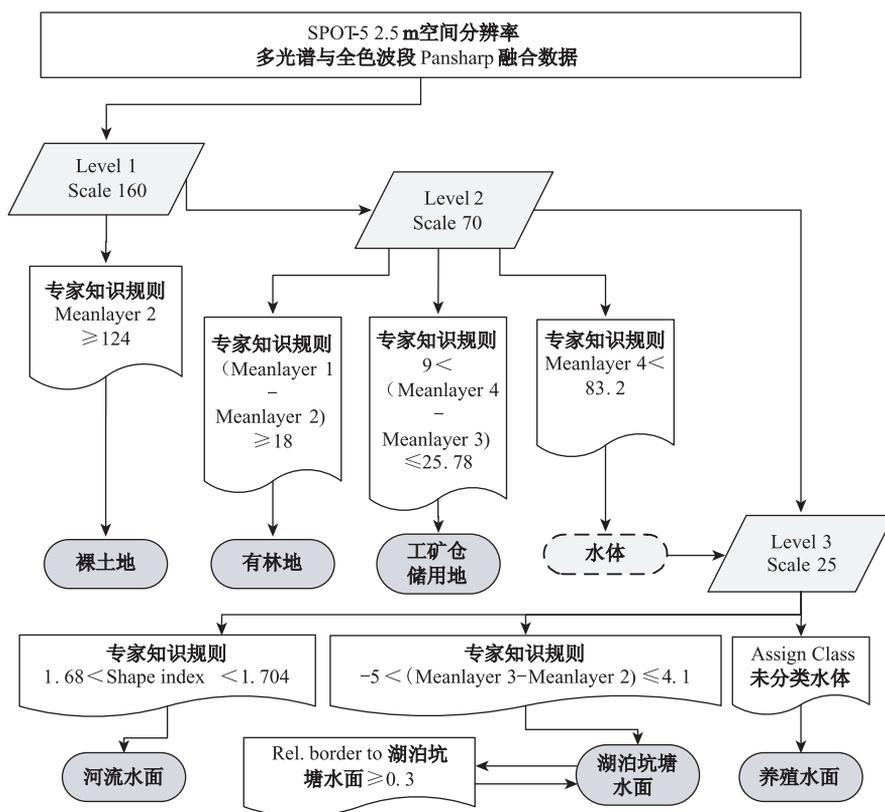


图 5 实验区土地利用识别分类流程图

Fig. 5 Workflow of landuse recognition and classification in the study area



(a)多尺度分割层的分类结果

(b)单一分割尺度为25的分类结果

(c)单一分割尺度为50的分类结果

图 6 面向对象分割尺度选择的分类图

Fig. 6 Classification results based on selection of the optimal segmentation scales

(a: multiscales; b: scale=25; c: scale=50)

应的调整。

通过与传统的分类方法如目视解译和基于像元的影像分类方法进行对比,讨论不同方法下的土地利用分类结果。相对遥感影像的自动分类而言,目视解译(图 7a)具有更高的地物识别精度,可作为对自动分类进行精度评价的参考数据^[19]。此外,本文采用美国 RSI 公司基于交互式数据语言 IDL 开

发的 ENVI 4.5 操作平台,对实验区进行传统基于像元的最大似然监督分类(图 7b)。

4 实验结果与分析

4.1 最优分割尺度的土地利用类型多层次识别分类的结果

从各种分类方法的结果成图(图 6,图 7)中可以

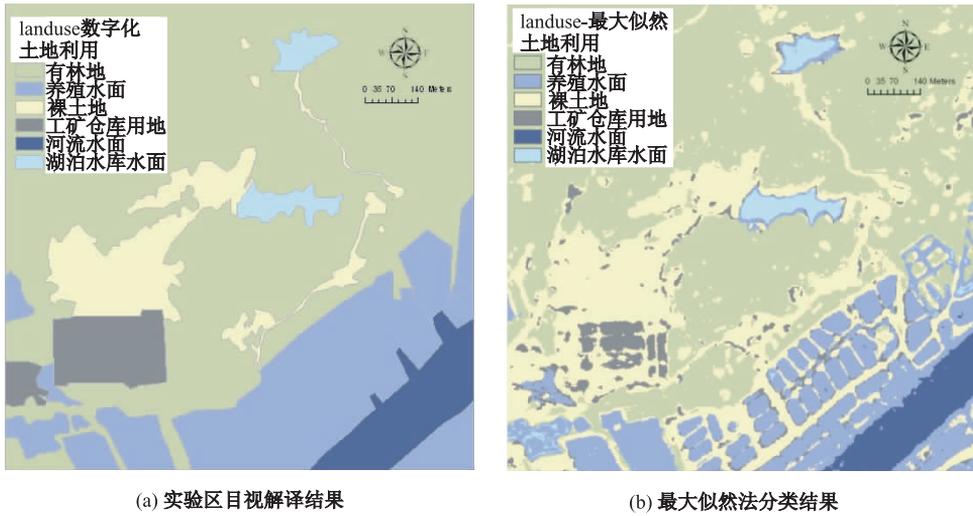


图 7 传统分类方法的影像分类图
 Fig. 7 Classification results based on the conventional approaches
 (a: the visual interpretation map; b: the maximum likelihood method)

发现,传统的像元的分类方法对噪声比较敏感,细小图斑较多,导致被分类区域斑块破碎,如养殖区混有河流水面,裸地中混有建筑用地等,利用面向对象分类方法,在很大程度上解决了这一“椒盐现象”。

但传统的面向对象方法往往采用单一分割尺度,即在一个较小的“过分割”尺度层次下进行各类地物的提取,这种方法对于较为均质的大面积地物来讲,有可能将其大尺度上的空间结构形态特征忽略掉,而采用多层次影像分类方法,更接近于制图

综合,以及今后应用需求,能够根据地物斑块大小选择最适宜提取的分割尺度,不仅具有较强的抗噪声效果,而且空间结构完整,提取效率高,尤其针对因“过分割”引起的分类结果往往十分破碎的地物类型。以本文研究区中的工矿仓储用地为例(图 8),参照上述技术流程图所示,当分割尺度为 70 时进行提取相对 25 与 50 较为适宜,能够保存地物较多的空间结构,并且因规则判断导致的错分漏分较少,得到的提取结果也最接近于目视解译图像。

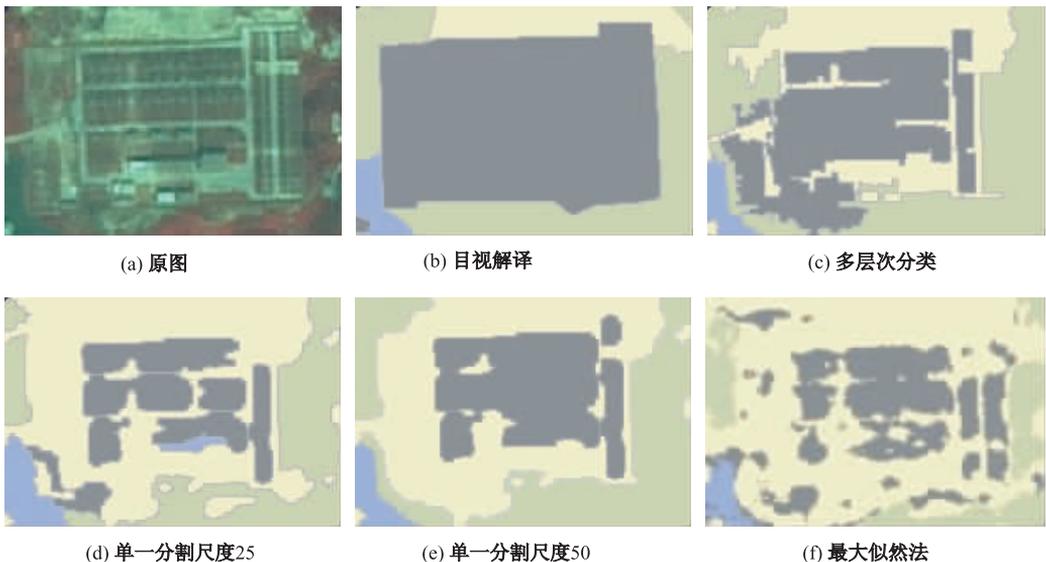


图 8 不同分类方法的工矿仓储用地提取结果对比

Fig. 8 Extraction of the storage based on different methods

(a: a false color composite of the study area; b: the visual interpretation map; c: multi-scale classification; d: scale=25; e: scale=50; f: the maximum likelihood method)

4.2 精度分析评价

将目视解译矢量数据作为真实参考,各种方法下的分类结果与目视解译结果的混淆矩阵及其 Kappa 系数见表 3。从整体精度评价结果表中可以得到,各种面向对象的遥感影像分类的总体精度,以及 Kappa 系数均高于传统像元层次上的分类。其中,在面向对象分类中,多尺度分层分类方法明显优于单一尺度分别设定在 25 与 50 进行分割后的结果,总体精度与 kappa 系数分别为 80.94% 及

0.6583。单一尺度分割参数的选择均使得 6 种地物达到过分割状态,总体来看分割尺度设定为 50,分类效果略好。从各种类别地物来看,工矿仓储用地和养殖水面这两种形状较为规则的地物类别上,进行最优分割尺度选择之后的分割分类,能够达到较高的制图与用户精度,其中就海岸带典型地物养殖水面而言,其制图精度与用户精度有明显提高,分别高出 13.62 和 3.68 个百分点。

表 3 不同方法精度评价结果汇总

Tab. 3 Accuracy assessment on different classification methods

方法	Class Name	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Overall Classification Accuracy	Kappa
a. 面向对象多层次分类法	工矿仓储用地	43.71	85.13	80.94	0.6583
	河流水面	74.80	88.06		
	湖泊坑塘水面	62.86	48.30		
	裸土地	60.73	37.89		
	养殖水面	77.98	78.13		
	有林地	87.54	91.25		
b. 面向对象单一尺度 25	工矿仓储用地	27.41	78.66	76.99	0.5984
	河流水面	75.07	87.77		
	湖泊坑塘水面	84.43	51.72		
	裸土地	65.93	29.62		
	养殖水面	64.62	76.68		
	有林地	84.80	91.64		
c. 面向对象单一尺度 50	工矿仓储用地	29.70	86.20	78.14	0.6062
	河流水面	75.07	87.85		
	湖泊坑塘水面	56.41	56.20		
	裸土地	66.44	32.39		
	养殖水面	64.75	79.91		
	有林地	87.11	89.49		
d. 最大似然法	工矿仓储用地	59.05	18.51	74.51	0.5691
	河流水面	74.23	91.76		
	湖泊坑塘水面	43.02	48.95		
	裸土地	54.59	44.51		
	养殖水面	64.36	74.31		
	有林地	81.57	92.45		

5 结语

本文采用面向对象中多尺度多层次分类方法与单一分割尺度下的分类方法,分别对广东省珠海市斗门区南水镇地区的高分辨率影像进行土地利

用分类,并将两类方法的分类结果进行定性、定量比较,同时对比了传统的像元分类方法,得出以下结论:

(1)通过改进的局部方差法进行最优尺度选择,建立影像对象均值方差与变化率随分割尺度变

化曲线,并确定均值方差的峰值,其变化率开始呈现下降趋势时所对应的分割值为最优分割尺度参考,并依次进行多尺度分割处理,实现较大尺度下分割出父对象,而较小尺度下分割出其若干子对象的目标。

(2)通过最优分割尺度的选择,改进多尺度分割结果与真实地物斑块之间的拟合度,尤其针对因空间尺度差异所影响的地物成像时的结构及整体性问题,实现基于分割尺度的层次化分类,分阶段融入专家判断,确定分割尺度与地物提取的对应关系,有效地提高了应用面向对象方法进行土地利用分类的分类精度。

(3)在面向对象思想指导下最优化选择影像分割尺度,并进行多特征表达与提取,建立相应的光谱、形状与空间关系规则,提出自动获取海岸带地区土地利用图的策略,能为快速准确处理海量数据提供流程参考。

由此可见,通过改进的局部方差法进行最优尺度选择后的分层分类方法,与单一尺度下的分类结果相比,对于海岸带地区较为规则的地物类别如养殖水面、工矿仓储用地等,其制图和用户精度会比较理想。

由于不同区域的地物特征具有较强的区域差异性,因此,本文所提出的分割尺度优选参数,采用的专家规则及阈值不具有广泛的普适性,但本文所提出的最优尺度选择方法及分层次地物分类方法具有泛化能力。发展最优分割尺度与各类地物的最佳提取层次的自适应匹配与具有区域自适应能力的规则体系,是下一步的研究目标。

参考文献:

- [1] Lobo A, Chic O, Casterad A. Classification of Mediterranean Crops with Multisensor Data: Per-pixel versus Per-object Statistics and Image Segmentation[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17: 2358 - 2400.
- [2] Blaschke T and Hay G J. Object-oriented Image Analysis and Scale-space: Theory and Methods for Modeling and Evaluating Multiscale Landscape Structures[J]. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2000,34(4): 22 - 29.
- [3] Blaschke T. Object Based Image Analysis for Remote Sensing[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2010, 65: 2 - 16.
- [4] Ursula C B, Hofmann P, Willhauck G. Multi-resolution, Object-oriented Fuzzy Analysis of Remote Sensing Data for GIS-ready Information[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 58: 219 - 239.
- [5] 周成虎,骆剑承,明冬萍,等. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京:科学出版社, 2009,174 - 186.
- [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.
- [7] 何敏,张文君,王卫红. 面向对象的最优分割尺度计算模型[J]. *大地测量与地球动力学*, 2009, 29(1): 106 - 109.
- [8] Lucian D, Dirk T, Shaun R L. ESP: A Tool to Estimate Scale Parameter for Multi-resolution Image Segmentation of Remotely Sensed Data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(6): 859 - 871.
- [9] Kim M, Madden M, Warner T. Estimation of Optimal Image Object Size for the Segmentation of Forest Stands with Multispectral IKONOS Imagery[C]. *Object-Based Image Analysis*. Thomas Blaschke, Stefan Lang and Geoffrey J. Hay, 2008, 291 - 307.
- [10] 黄慧萍. 面向对象影像分析中的尺度问题研究[D]. 中国科学院遥感应用研究所, 2003,124 - 126.
- [11] 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.
- [12] 陈建裕,潘德炉,毛志华. 高分辨率海岸带遥感影像中简单地物的最优分割尺度问题[J]. *中国科学*, 2006, 36(11): 1044 - 1051.
- [13] Hay G J, Castilla G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A New Name for a New Discipline[C]. // Blaschke T, Lang S, Hay J G (Eds.). *Object-Based Image Analysis*. Springer-Verlag, 2008, 75 - 89.
- [14] Woodcock C E, Strahler A H. The Factor of Scale in Remote Sensing[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1987(21): 311 - 332.
- [15] 龚剑明,杨晓梅,张涛,等. 基于遥感多特征组合的冰川及其相关地表类型信息提取[J]. *地球信息科学学报*, 2009, 11(6): 765 - 771.
- [16] Burnett C, Blaschke T, Shaun R L. A Multi-scale Segmentation/object Relationship Modeling Methodology for Landscape Analysis[J]. *Ecological Modeling*, 2003, 168: 233 - 249.
- [17] Lang S, Langanke T. Object-based Mapping and Ob-

ject-relationship Modeling for Land Use Classes and Habitats [J]. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, 2006, 1: 5-18.

[18] Baatz M, Schape A. Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-

Scale Image Segmentation[J]. Angewandte Geographische Information Sverarbeitung, 2000(12):12-23.

[19] 刘旭拢,何春阳,潘耀忠,等. 遥感图像分类精度的点、群样本检验与评估[J]. 遥感学报, 2006, 10 (3): 366-373.

Optimal Segmentation Scale Selection and Evaluation for Multi-layer Image Recognition and Classification

LI Qin^{1,2}, GAO Xizhang², ZHANG Tao^{1,2}, LIU Kun^{1,2}, GONG Jianming²

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: With the rapid increase of remote sensing image storage, it becomes more critical for the quick and effective information extraction from remote sensing imagery. As a widely-used method, object-based image analysis (OBIA) has been rapidly developed from the beginning of this century, but the automatic procedure for land use mapping is still problematic facing with geographical complexity. Regarding to the complex feature contents in the imagery of costal zones, this paper presents a method of optimal segmentation scale extraction and an object-based multi-layer classification procedure. The proposed approach mainly contains three parts: segmentation, optimal scale generation and multi-level classification. First, we select the high resolution images as the data source, segment the imagery with series of scale parameters. Then choose the appropriate scales with the curve of local variance (LV) variation. Variation in heterogeneity is explored by evaluating LV plotted against the corresponding scale in order to get different types of the landuse/cover with their own extraction scales. Finally, we classify the image with multi-features, including spectral, shape, texture and spatial relationship. This paper selects the coastal area of Zhuhai, Guangdong Province as the experiment zone, the classification results show that overall accuracy and Kappa index of the new method are better than those of the traditional pixel-based classifiers and object-oriented classifiers based on the single-level segmentation.

Key words: local variance; optimal segmentation scale; multi-level classification; precision evaluation