

文章编号: 1001-1498(2010)01-0053-06

基于 SPOT5 图像分割的森林小班边界自动提取

李春干, 代华兵, 谭必增, 何柏华

(广西林业勘测设计院, 广西南宁 530011)

摘要: 以 SPOT5 图像为研究对象, 试验了 4 种图像分割方案, 采用基于最终测量精度准则的多指标评价和基于欧氏距离的相似度综合评价两种方法, 对分割效果进行评价, 其中多指标包括圆度(RO)、紧致度(CO)、形状指数(SI)、最小包络椭圆短半径(RE)、椭圆度(EF)、形状因子(P2A)、面积相对误差(RA)、周长相对误差(RP)、中心位置绝对位移(DC) 9 个指标, 相似度采用面积(A)、周长(P)、RO、CO、SI、RE、EF、P2A 等 8 个因子计算。结果表明, 原始图像直接用于分割的效果远好于经直方图均衡化后的图像。在图像分割过程中, 输入图层的权重很大程度上影响分割效果, 根据各输入图层标准差设置权重的分割效果, 略好于根据图层信息量设置权重的分割效果。采用图像分割的方法自动提取小班边界, 经适当处理后编制工作手图用于森林资源规划设计调查, 不但大量节省野外小班勾绘工作时间、降低劳动强度、提高工作效率, 而且大幅度地提高了小班勾绘的准确性, 确保面积调查精度。

关键词: 图像分割; SPOT5 图像; 小班边界; 自动提取

中图分类号: S771.8 S757.27

文献标识码: A

Boundary Auto-delineating of Forest Sub-compartment Based on Segmentation of SPOT5 Remote Sensing Imagery

LI Chun-gan, DAI Huan-bing, TAN Bi-zen, HE Bao-hua

(Guangxi Forest Inventory and Planning Institute, Nanning 530011, Guangxi, China)

Abstract: The present implement of remote sensing in practical forest inventory don't take advantage of imagery processing and analysis technology of remote sensing, and is inefficient. Aimed to the auto-delineation of the boundary of forest sub-compartment for actual application, an imagery segmentation method was studied. SPOT5 imagery was segmented by four protocols, evaluation with nine features separately based on ultimate measurement accuracy, and synthetical evaluation of similarity based on Euclidean distance(ED) were used to evaluate the segmentation, here the features were roundness(RO), compactness(CO), shape index(SI), radius of smallest enclosing ellipse(RE), elliptic fit(EF) and form factor(P2A), relative error of area(RA), relative error of perimeter(RP) and displacement of the center of polygon(DC), while area(A), perimeter(P), RO, CO, SI, RE, EF, P2A were used to calculating ED. The result indicated that segmentation on raw imagery was better than that on histogram equalization imagery, the weights of input layers would affect the output of segmentation, and it would get better result by segmentation with the weight based on the standard deviation than that based on the information content of input imagery layers. It is feasible that preparing draft map for forest resources inventory through boundary auto-delineation based on imagery segmentation, for it is not only efficient and low labor intensity, but also improve the division precision of boundary and area accuracy of forest sub-compartment.

Key words: imagery segmentation; SPOT5 imagery; sub-compartment boundary; auto-delineation

收稿日期: 2009-04-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(30872023);广西壮族自治区林业局科学基金(200246)

作者简介: 李春干(1962—),男,广西横县人,研究员,博士.主要从事森林资源监测与管理研究. E-mail: gxali@126.com

森林资源调查是林业一项重要的基础工作。传统的森林资源调查和监测方法以地面测量为主,存在着工作量大、劳动强度大、时效性差等问题^[1],为此,众多学者长期以来致力于探讨新的适用的技术体系和方法^[2-8],以期提高工作效率和调查精度。遥感技术应用是当今森林资源监测技术发展的主要方向^[1,9]。

我国从上世纪 50 年代应用航空像片开展森林资源二类调查以来,遥感技术特别是航天遥感技术在森林资源调查中的应用得到了长足的发展。20 世纪 90 年代, Landsat TM 数据开始用于森林资源规划设计调查(二类调查)^[7,10-13],但 TM 数据由于空间分辨率低,限制了其在二类调查中的应用^[14],近年来,以 SPOT5 为主的高空间分辨率遥感数据广泛应用于大面积森林资源调查^[15-18]。目前,卫星遥感数据在大面积森林资源调查中主要有两种技术方法:一是用作工作手图进行野外现场勾绘^[15];二是通过计算机人机交互判读,直接在计算机上采用屏矢量化方法勾绘小班边界,通过目视解译方法判读土地各类、优势树种等调查因子^[16]。这两种方法技术含量低,没有充分发挥高空间分辨率遥感数据空间信息丰富的优势,也没有充分利用当今遥感图像处理、分析先进技术,并且工作效率不高。据研究,处理一个县的 SPOT5 卫星数据需要 50 ~ 60 个工作日^[16]。为此,本文研究基于 SPOT5 图像分割的森林小班边界自动提取技术,试图为森林资源二类调查提供一条高效途径。

1 研究区域概况和数据源

1.1 研究区域概况

试验区位于南宁市北面的高峰林场,地理位置为 22°48'48" ~ 23°3'34" N, 108°7'55" ~ 108°32'53" E, 面积 20 km², 低山丘陵地貌, 海拔高度在 70 ~ 500 m 之间, 坡度 25° ~ 35°。地形比较封闭。

区域内绝大部分为人工林, 主要树种为杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.), 马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.), 马占相思 (*Acacia mangium* Willd.), 厚荚相思 (*A. crassicaarpa* A. Cunn. et Benth), 尾叶桉 (*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake), 荷木 (*Schima superba* Grardn. et Champ.), 火力楠 (*Michelia macclurei* Dandy), 八角 (*Illicium verum* Hook. f.), 玉桂 (*Cinnamomum cassia* Presl), 龙眼 (*Dimocarpus longan* Lour.), 荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.), 粉单竹 (*Bambusa chungii* McClure), 麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* Munro) 等。山沟有少量灌木。由于绝大部分为

人工林, 加上地形破碎, 森林分布极为破碎, 表现为斑块小、不同树种呈无规律交叉分布。

1.2 数据源

研究采用两种数据源: (1) 2007 年 10 月 13 日接收的 SPOT 5 HRG 1A 级同时相的 2.5 m 全色和 10 m 多光谱遥感数据; (2) 2007 年 10 月 11 日接收的 Quickbird 全色和多光谱数据, 空间分辨率为 0.61 m/2.44 m。

2 小班边界自动提取方法

2.1 图像预处理

图像预处理包括几何精校正、配准和分辨率融合及光谱增强。

(1) 将全色图像与多光谱图像配准, 采用主成份变换和双线性重采样进行分辨率融合。

(2) 在林区 GPS 控制网支持下, 采用美国 NAVCOM 公司的 SF-2070G GPS 双频 RTG 接收机测量地面控制点 (GCP) 进行图像几何精校正。该机型厂家标称 StarFire 定位精度 (RMS) 为: 水平 < 15 cm, 高程 < 30 cm; 伪距测量精度: C/A 码 20 cm@ 42db-Hz。经检验, 实际定位精度小于 0.5 m。校正后图像为高斯 - 克吕格投影, 北京 54 坐标, 3° 分带。

(3) 采用直方图均衡化方法对 SPOT5 图像进行图像光谱增强。

2.2 图像分割

SPOT5 图像分割在 DifiensTM Developer 7.0 平台上进行, 根据操作图像和分割参数的不同, 共试验了 4 种分割方案, 分别是方案 His、方案 Info、方案 WithStd 和方案 NoStd, 除方案 His 只进行 5 个尺度的分割外, 其余 3 个方案均都进行 6 个尺度的多尺度分割。各方案的分割参数除图层权重不同外, 其余均为 Shape = 0.2 和 Compactness = 0.5。

方案 His 的分割在经直方图均衡化后的图像上进行, 各层权重均为 1。其它 3 个方案的分割均在原始图像上进行。方案 Info 中各图层的权重根据其信息量 (由仙农熵计算) 确定, 信息量最小的图层的权重为 1, 其余各层的权重为其信息量与最小信息量之比值。方案 WithStd 中各图层的权重根据其标准差确定, 标准差最小的图层的权重为 1, 其余各图层的权重为其标准差与最小标准差之比值。方案 NoStd 中所有图层的权重均置为 1。各方案的分割参数见表 1。

表 1 各方案分割参数

分割方案	操作图像	各图层权重	形状	紧致度	分割尺度					
					1	2	3	4	5	6
His	直方图均衡化	1, 1, 1, 1	0.2	0.5	20	50	75	100	150	200
Info	原始图像	1.21, 2.17, 2.54, 1	0.2	0.5	10	20	40	60	75	
WithStd	原始图像	1.33, 1.15, 1, 1.65	0.2	0.5	20	50	75	100	100	100
NoStd	原始图像	1, 1, 1, 1	0.2	0.5	20	50	75	100	100	100

2.3 评价方法

分割效果评价以 Quickbird 图像为基础进行, 其方法步骤是: (1) 在 Quickbird 图像上选取森林或土地类型分布边界明显的区域, 采用屏幕矢量化方法, 描绘其斑块边界, 作为分割效果评价的参考对象, 共选取 33 个参考对象; (2) 通过目视评估方法分析确定每个分割方案中效果最好的分割尺度, 作为评价对象, 选取的 4 个待评价分割图层为 His_200, Info_75, WithStd_75, NoStd_75; (3) 根据与参考对象空间位置相对应的原则, 在 SPOT5 分割图像上确定

待评价的分割对象, 并分别逐一测量分割对象和参考对象的目标特征(评价指标); (4) 采用最终测量精度(UMA)准则^[19-20]和相似度两种方法进行定量评价。

2.3.1 最终测量精度准则 UMA 准则评价的目标特征(评价指标)包括圆度(RO), 紧致度(CO)、形状指数(SI)、最小包络椭圆短半径(RE)、椭圆度(EF)^[21]、形状因子(P2A)^[20]、面积相对误差(RA)、周长相对误差(RP)、中心位置绝对位移(DC)^[22]。各评价指标的含义和计算方法如下:

表 2 评价指标及其计算方法

指标	定义	计算公式
RO	最小外接椭圆短半径(v_{min})与最大内接椭圆短半径(v_{max})之差	$RO = v_{max} - v_{min}$
CO	长度(l_v)和宽度(w_v)之积(矩形面积)与多边形面积(S)之比	$CO = l_v \cdot w_v / S$
SI	多边形周长(P)与 4 倍面积(S)平方根之比	$SI = P / (4 \cdot S)$
RE	最小包络椭圆短半径	$RE = v(x_0, y_0)$
EF	多边形面积与考虑斑块长度、宽度的内接椭圆面积之比	$EF = 2 \cdot \{ (x, y) \in P_v : v(x, y) \leq 1 \} / \#P_v - 1$
P2A	多边形周长(P)与面积(S)之比	$P2A = P^2 / (4 \cdot S)$
RA	多边形面积(S)与参照斑块(由 Quickbird 勾绘得到)面积(S_0)之比	$RA = (S_0 - S) / S_0$
RP	多边形周长(P)与参照多边形(由 Quickbird 勾绘得到)周长(P_0)之比	$RP = (P_0 - P) / P_0$
DC	多边形重心位置(x, y)与参照多边形重心位置(x_0, y_0)之差	$DC = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$

2.3.2 相似度 用欧氏距离作相似度的度量。考虑面积(A)、周长(P)、圆度(RO), 紧致度(CO)、形状指数(SI)、最小包络椭圆短半径(RE)、椭圆度(EF)、形状因子(P2A) 8 个目标特征, 逐一分割方案计算每个多边形与相应参照多边形的欧氏距离。由于各目标特征的度量单位不同, 因此先对数据进行标准化, 然后计算每个多边形(分割对象)与参考对象的欧氏距离。

2.4 小班边界自动提取

根据分割效果评价结果, 选取效果好的分割方案和分割尺度, 在 DifiensTM Developer 7.0 平台上导出其对象边界, 即得到小班边界空间分布图。

3 结果与分析

3.1 定量评价

对 33 个分割对象和参考对象多边形进行统计,

得到各方案的 UMA 准则评价中各目标特征平均值如表 3。表中各个目标特征从形状和面积等多个角度反映了各分割对象与参考对象的差异。方案 WithStd_75 各个多边形的形状特征平均值与参考对象最接近, 且其面积和周长的相对误差最小。方案 NoStd_75 和 Info_75 的各个目标特征都比较接近, 略差于方案 WithStd_75。方案 His_200 与参考对象相差最大, 边长相对误差大, 形状特征也相差甚远。

方案 His_200、Info_75、WithStd_75 和 NoStd_75 的 33 个多边形与参照系的平均距离分别为 0.834 1、0.526 8、0.519 1 和 0.534 5, 其标准差分别为 0.479 1、0.096 6、0.110 3 和 0.127 2。各方案各个多边形与参照多边形的距离见图 1。

由图 1 可以看出, 方案 WithStd_75 各个多边形与目标多边形的相似度最高。

表 3 分割效果定量评价结果

分割方案	RO	CO	SI	RE	EF	P2A	RA	RP	DE
Quickbird	0.800 7	1.631 4	1.504 8	0.841 8	0.713 6	2.980 0			
His_200	1.272 0	2.103 2	2.506 4	3.903 6	0.535 4	8.840 3	0.340 6	0.777 0	53.181 8
Info_75	0.889 8	1.759 1	1.733 5	3.474 7	0.682 9	3.882 5	0.344 8	0.281 2	46.115 2
WithStd_75	0.824 3	1.737 6	1.679 8	3.368 5	0.707 8	3.637 5	0.257 6	0.205 8	37.336 4
NoStd_75	0.888 3	1.763 7	1.712 4	3.525 0	0.697 5	3.799 9	0.265 5	0.252 7	30.245 5

注: 方案 His_200 表示中的 200 为尺度参数, 其它类同。

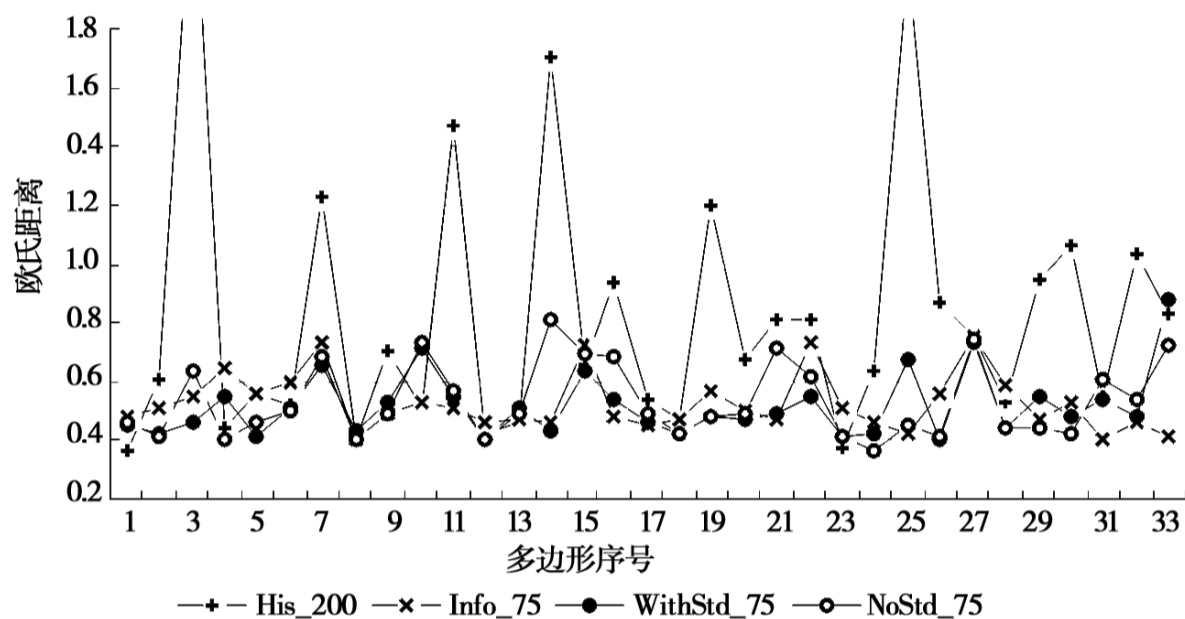


图 1 各方案各个多边形与参照系的欧氏距离

3.2 定性评价

通过分割, 方案 His_200 得到的多边形边界曲折、形状极不规整, 不符合森林资源二类调查中小班区划的习惯。方案 Info_75、WithStd_75 和 NoStd_75 的多边形都比较规整, 但就反映森林分布的准确性而言, 方案 WithStd_75 比其他两个方案略好。

4 讨论

4.1 图像分割策略

图像分割的目的在于信息提取。研究目的不同, 感兴趣的信息不同, 信息提取方法不同, 图像分割的方法也不相同。就一般遥感应用而言, 应尽可能做到分割精确, 确保对象的同质性, 以提高图像分类和信息提取精度。

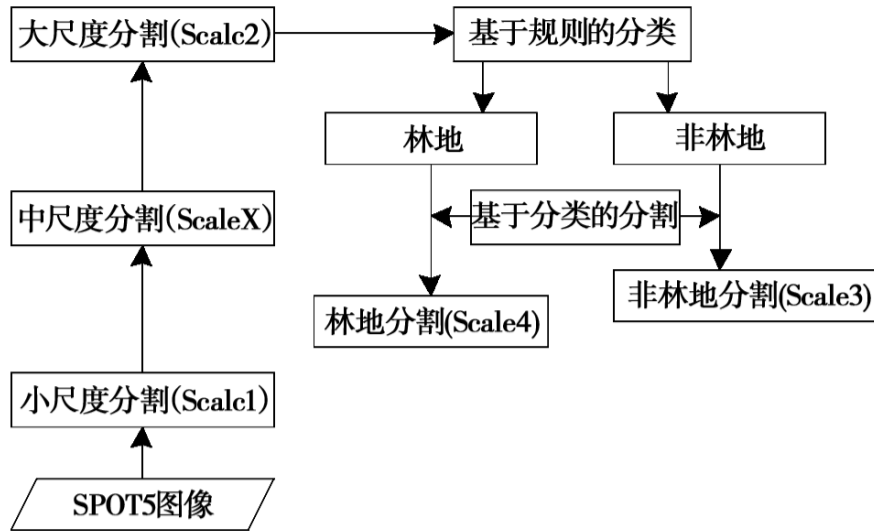
本文研究目的是利用 SPOT5 图像自动区划小班, 旨在通过计算机自动分割、提取边界, 基本满足森林资源规划设计调查(二类调查)应用的小班区划需要, 达到提高小班边界定位精度、降低劳动强度、提高效率。图像分割后, 还需进行后期处理, 采用目视判读方法, 合并类型相近的多边形, 切割自动分割未完全的多边形, 然后将多边形界线、行政和经营区划界线与遥感图像叠合, 打印工作手图, 取代传统方法应用的地形图, 用于野外核对、修正。

鉴于以上目的和应用方法, 在图像分割过程中,

一方面既要保证图像分割得到的对象的同质性, 另一方面必须保证所得的多边形相对规整, 符合二类调查中小班区划习惯, 满足实际林业生产经营需要。因此, 在图像分割过程中, 一般采用多尺度分割, 从小尺度开始, 加大尺度逐级分割, 直至通过目视观察认为基本合适为止。前述研究表明, 方案 Info_75、WithStd_75 和 NoStd_75 的多边形都可用于实际生产, 只是方案 WithStd_75 比其他两个方案略好。

森林资源二类调查的主要对象是林地, 要求林地的小班区划能够充分反映森林分布状况。对于非林地, 除水域外, 统统归为一类, 不作详细调查, 也不需进行细致的区划。因此, 在林、农交错分布区域, 由于大片农地上零星分布的甘蔗 (*Saccharum officinarum* L.)、木薯 (*Manihot esculenta* Crantz) 等高秆经济作物的光谱特性与林分十分接近, 而这些经济作物在实际的二类调查中, 需要与水田等其他农业用地合并, 若采用同一尺度分割, 农地的多边形很多, 后期合并等编辑工作量很大。经过试验, 对于林、农交错分布区, 采用图 2 的分割流程进行分割, 效果较好。首先通过多尺度分割, 然后在合适的图层上采用基于规则的方法进行图像分类, 将全部对象粗略地分为林地和非林地, 最后在此基础上进行基于分类的分割, 对林地采用小尺度分割, 对非林地采用略大的尺度进行分割。这样既保证林地分割的精确

性, 又使农地的多边形数量尽可能减少, 以便于后处理编辑。



分割尺度: Scale2 > Scale3 > Scale4 > Scale1; Scale2 > ScaleX > Scale1

图 2 混农区图像分割流程

4.2 图像分割参数

图像分割参数包括输入层权重、尺度、颜色/形状、平滑度/紧致度。参数不同, 得到的效果不同。输入数据层的权重取决于各个波段的光谱和空间特性、多光谱数据的相关性。就一般的光谱特性而言, 尽管所有波段的数据在某种程度上都有其一定的作用, 如近红外反射系数与区分植被变化的能力密切相关。针对 Ikonos-2 图像分割, Michael 等提出了各波段权重设置的经验公式^[23]:

$$W_{bnd1} + W_{bnd2} + W_{bnd3} = W_{bnd4} = W_{pnd}$$

在本研究中, SPOT5 图像的 4 个波段均为融合后的数据, 空间特征相同。因此权重的确定主要考虑各输入层的光谱特性, 即考虑各波段像元灰度值的变异情况。在本文研究中, 方案 His 的图像经过了直方图均衡化, 各图层变异相同, 故所有输入层的权重均设置为 1。方案 NoStd 不考虑各输入层的灰度值的变异情况。方案 Info 和方案 WithStd 分别从信息量、标准差的角度考虑了输入层灰度值的变异情况。结果表明, 这两方案的效果比其余两个方案更好。至于为何方案 WithStd 的效果比方案 Info 更好? 有待于进一步的研究。

本研究中, 参数 Shape = 0.2、Compactness = 0.5 的设置是经过反复预研究后确定的, 其分割效果一方面既保证图像分割得到的对象具有较高的同质性, 另一方面又保证所得的多边形较为规整。

4.3 评价方法

图像分割评价可以分成两种: 一是性能刻划, 掌握某种算法在不同分割情况中的表现, 以通过选择

参数来适应分割具有不同的内容的图像和分割不同条件下采集到的图像的需要; 二是性能比较, 比较不同算法在分割给定图像时的性能, 以帮助在具体分割应用中选取合适的算法或改进已有的算法。为对分割算法进行评价, 已提出了几十个评价准则, 不同准则又可分为定性的和定量的准则两大类^[20], 或者分为分析方法和实验方法^[24]。本文采用 UMA 准则和相似度两种方法评价分割效果, 属实验的定量方法, 都是围绕图像分割的最终目标, 即获得对图像中目标特征值的精确测量, 通过对目标特征值的测量和计算, 根据其所反映的分割质量而对分割方案作出评价。

在本研究中, 以 Quickbird 图像为基础, 根据实际二类调查方法和要求, 通过屏幕矢量化方法勾绘得到的多边形, 作为评价各个分割方案效果的基准多边形。由于本文研究目的是探讨满足的二类调查实际需要的图像分割方法, 希望 SPOT5 图像分割得到的多边形与基准多边形最大限度地相似。因此采用了多指标逐一评价 (UMA) 和综合评价 (相似度) 两种方法进行分割效果评价。前者旨在从不同的角度, 如面积、形状等对分割效果进行评价, 后者在于评价分割方法 (案) 的总体表现。试验结果表明, 两种方法的结果十分接近, 都认为方案 WithStd 效果最好。

参考对象是评价分割效果的标准, 要对分割效果进行准确的评价, 必须根据实际情况, 分析确定用作对照的参考对象。在森林资源监测实际应用中, 用作对照的参考对象主要有以下两种:

(1) 以用于分割的遥感图像为工作手图, 通过实地勾绘得到的地物 (小班) 分布图。

(2) 以比用于分割的遥感图像具有更高空间分辨率的另一种遥感图像作为工作图像, 采用屏幕矢量化方法得到的地物分布图。

由于图像分割的基础是地物光谱和纹理等特征, 反映了地物的覆盖特征, 因此以上两种方法中, 地物分布的描绘应以地物的覆盖特征为准, 具体地以土地类型、优势树种、郁闭度、龄组等勾画地物边界。

在实地勾绘过程中, 需要输出纸质图像作为工作手图, 由于纸质图像的比例尺有限, 加上笔尖的大小、勾绘过程中的边界定位等都可能产生误差, 因此用作参考对象的图形边界不可避免地存在一定的误差, 由此导致评价结果不够准确。在可获取同一区

域更高空间分辨率图像的情况下,采用第二种方法得到的图形作为参考图,评价结果更准确、可靠。在实际应用中,可用航空遥感图像、Quickbird 图像等屏幕矢量化作为 SPOT5 图像分割效果评价的参考对象。

由于地物结构的复杂性和遥感图像的复杂性,在分割效果评价中,要对所有分割对象进行评价不但工作量大,而且十分困难,甚至无法进行,因此,在实际应用中,往往是选择一些地面分布边界明显、在图像上易于准确描绘其边界的斑块进行评价,一般选择 30 ~ 50 个斑块进行评价即可。

5 结论

(1) 采用图像分割的方法,自动提取小班边界,经适当处理后,制作工作手图用于森林资源二类调查,不但大量节省野外小班勾绘工作时间、降低劳动强度、提高工作效率,而且大幅度地提高了小班勾绘精度,有效确保二类调查的面积精度。该方法是目前理论技术水平条件下,遥感技术替代传统技术最有效的途径之一。

(2) 原始图像直接用于分割的效果远好于经直方图均衡化后再用于分割的效果。在图像分割过程中,输入图层的权重在一定程度上影响分割效果。试验结果表明,根据各输入图层标准差设置权重的分割效果,略好于根据图层信息量设置权重的分割效果。

(3) 采用多指标逐一评价 (UMA) 和综合评价 (相似度) 两种方法对分割效果进行评价,能够更为全面地反映分割结果与参照目标的差异,结论更可靠。

参考文献:

- [1] 赵宪文,李崇贵,斯林,等. 基于信息技术的森林资源调查新体系[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 147 - 155
- [2] 寇文正,肖燕,张瑞玺. 应遥感技术进行森林资源监测方法的研究[J]. 环境遥感, 1990, 5(2): 102 - 109
- [3] 包盈智,赵宪文. 卫星数据用于森林资源二类调查的效益评估和分析[J]. 林业资源管理, 1996(5): 67 - 70
- [4] 冯仲科,游先祥,任谊群. 基于 3S 的森林资源与环境监测系统构想[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(4): 90 - 92

- [5] 唐守正,陈永富. 关于森林资源监测体系改革的一些思考[M] //中国林学会森林经理分会. 森林可持续经营探索与实践. 北京:中国林业出版社, 2006: 27 - 32
- [6] 徐冠华. 三北防护林地区再生资源遥感的理论及其技术应用[M]. 北京:中国林业出版社, 1994
- [7] 赵宪文,李崇贵,斯林,等. 森林资源遥感估测的重要进展[J]. 中国工程科学, 2001, 3(8): 15 - 28
- [8] 赵宪文,李崇贵. 基于“3S”的森林资源定量估测——原理、方法、应用及软件实现[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2001
- [9] 冯仲科,孟宪宇,韩熙春. 建立我国多级分辨率的森林资源调查技术体系[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 156 - 159
- [10] 袁凯先,包盈智. 在森林二类调查中用 TM 影像代替航片的研究实例[J]. 林业科学研究, 1996, 9(5): 449 - 454
- [11] 刘琳. 遥感和地理信息系统在森林分类中的应用[J]. 安徽林业, 2004, (5): 19
- [12] 瞿林. TM 卫星影像在楚雄市森林资源调查中的应用[J]. 林业建设, 2003(4): 25 - 29
- [13] 李留瑜. 林业调查技术的回顾与思考[J]. 林业资源管理, 1999(6): 50 - 57
- [14] 张煜星,王祝雄. 遥感技术在森林资源清查中的应用研究[M]. 北京:中国林业出版社, 2007: 9 - 10
- [15] 王照利,黄生,张敏中,等. 森林资源调查中 SPOT5 遥感图像处理方法的探讨[J]. 陕西林业科技, 2005(1): 27 - 29, 55
- [16] 华朝朗. SPOT5 卫星数据在县级森林资源调查中的应用研究[J]. 林业调查规划, 2005, 30(3): 8 - 12
- [17] 王荣女. QuickBird 和 Spot5 在县级森林资源调查中应用比较研究[J]. 内蒙古林业调查规划, 2007, 30(3): 16 - 18, 51
- [18] 郑天水. SPOT5 卫星遥感信息在森林资源调查中的应用现状与解决思路[J]. 林业调查规划, 2006, 31(5): 24 - 28
- [19] Zhang Y J, Gerbrands J J. Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison [J]. Signal Processing, 1994, 39: 43 - 45
- [20] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社, 2001: 14
- [21] Definiens A G. Definiens Developer 7 Reference Book. Ver. 7.0. 2936[EB/OL]. [2007]. <http://www.deiniens.com>
- [22] 李春干. 小班定位误差评价方法探讨[J]. 林业调查规划, 2002, 27(4): 16 - 17
- [23] Chubey M S, Franklin S E, Wulder M A. Object-based Analysis of Ikonos-2 Imagery for Extraction of Forest Inventory Parameters[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2006, 72(4): 383 - 394
- [24] Carleer A, Debeir O, Wolff E. Comparison of very high spatial resolution satellite image segmentations [C]. Image and Signal Processing for Remote Sensing IX, Proc of SPIE 2004, 5238: 532 - 542