

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 001

基于聚焦滤波的林业专题地图制图综合方法

陈春祥

(云南省林业调查规划院, 云南 昆明 650051)

摘要: 森林资源规划设计调查成果总是以连续的面状图斑呈现。当大比例尺二类调查成果图缩编为更小比例尺地图时, 常常需要制图综合。如何在制图综合时既要简化多边形边界, 又要保持各类型林相面积和位置的相对不变, 是林业专题制图的一个难题。经大量实验发现, 将实施制图综合的连续面状图斑要素从矢量格式转换为栅格格式, 经 Focal 滤波器以 Majority 方式滤波处理后, 再将滤波后结果从栅格数据转换为矢量数据, 可较好地实现森林资源专题连续面状要素信息的制图综合。以云南省某地一个 1 万 hm^2 的实验区为例, 使用该方法将 1:2.5 万的森林资源二类调查成果图缩编为 1:25 万。结果表明, 缩编后, 多边形边界简化, 目视效果较好, 各类型林相面积变化绝对值平均为 0.2%, 位置精确度平均值为 94.68%。此方法已应用于云南森林资源状况图集相关专题图等的生产实践。

关键词: 林业专题地图; 制图综合; 连续面状图斑; 地图缩编; Focal 滤波器; 位置精确度

中图分类号: S758.6 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2024)01-0001-07

引文格式: 陈春祥. 基于聚焦滤波的林业专题地图制图综合方法[J]. 林业调查规划, 2024, 49(1): 1-7.

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 001

CHEN Chunxiang. Cartographic Generalization Approach of Forestry Thematic Mapping Based on Focal Filtering[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 1-7. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2024. 01. 001

Cartographic Generalization Approach of Forestry Thematic Mapping Based on Focal Filtering

CHEN Chunxiang

(Yunnan Institute of Forest Inventory and Planning, Kunming 650051, China)

Abstract: The results of forest resources planning and design survey are always presented in continuous planar patches. When the large-scale result map is reduced to the smaller-scale map, cartographic generalization is often required. How to simplify the polygon boundary and keep the area and position of various objects relatively unchanged during cartography generalization is still a challenge. A large number of experiments found that the continuous planar patches was converted from vector format to raster format, then the focal majority filter was performed on the raster data in Majority manner to convert the filtered raster data to vector format for thematic mapping, which could effectively achieve cartographic generalization of forest resource thematic continuous planar feature information. This approach was used to reduce the 1:25 000 forest inventory map to a 1:250 000 map over the 10 000 hm^2 study area in Yunnan. The results showed that after reduction, the polygonal boundaries were simplified, and the visual effect was

收稿日期: 2022-07-04; 修回日期: 2023-04-18.

第一作者: 陈春祥 (1975-), 男, 云南弥渡人, 高级工程师. 主要从事 3S 技术在林业调查规划中的应用研究及林业信息化建设工作.

good. The average absolute area change of each land use type was 0.2%, and the average positional accuracy was 94.68%. This approach has been widely used in the production practice of relevant thematic maps of Yunnan forest resources atlas.

Key words: forestry thematic mapping; cartographic generalization; continuous planar patches; map generalization; Focal filter; positional accuracy

近 20 年以来,云南省先后开展了两轮全省县级森林资源规划设计调查(简称“二类调查”)。调查以 1:2.5 万或 1:1 万比例尺遥感影像图作为工作底图,采用 GIS 技术,建成了大比例尺森林资源空间数据库,为各项林草发展规划、森林资源保护、公益林建设、“一张图”建设等工作提供了基础。

森林资源二类调查是林业建设的重要基础性工作,其成果是科学经营和管理森林资源的重要依据^[1],也是生产小尺度林业地图的主要依据^[2]。县级森林资源调查成果形成了大量数字化的林业专题属性数据和空间数据^[3]成果资料,记载了森林资源状态、分布结构,是地理数据的重要组成部分,有着无重叠、无缝隙、全覆盖的分布特点^[4],在空间数据上表现为连续的面状(polygon)图斑。基于数字化的县级森林资源二类调查成果生产多种小比例尺的空间数据,不仅成为林草信息化建设重要的基础数据来源,也是编制各种小比例尺林业专题地图(如森林分布图、森林资源状况图等)最直接、最主要的数据,因此,如何生产满足要求的多尺度林草地理空间数据已成为当前应用日常之需和一项非常重要的工作。

在全省二类调查成果空间数据编制云南森林资源状况图集(以下简称《图集》)过程中,为制作专题图需获取不同比例尺森林资源面状要素,尝试采取 GIS 方法去实现。GIS 作为当前表达空间数据最佳手段,开展基于大比例尺二类调查成果缩编小比例尺地图,实质就是开展 GIS 技术支持下的多尺度地理空间数据生产,属于地图制图综合范畴。地图制图综合因其复杂性和求解的困难性,无论过去、现在或将来,都是现代地图学中最具挑战性和创新性的研究领域^[5]。因此,如何充分利用二类调查得到的森林资源数据聚合(即综合)生成多种小比例尺尺度下的林业地图是当前林业制图领域和森林资源数字化管理中急需解决的技术问题^[2,6]。

从 1:2.5 万比例尺尺度下的二类调查结果连续图斑提取更小比例尺森林资源专题制图要素,获取《图集》各专题图森林资源面状要素时,需要解决两个方面的问题。一是需要将现有 40 余项调查因

子进行分级组合,合并形成最终的制图用林相类型,这个过程实际上完成了制图综合概念上的语义综合。这个问题根据《图集》技术方案的林相类型综合条件,通过属性查询、筛选、赋值来解决;二是需要对语义综合结果图形边界进行综合,完成制图综合概念上的图形综合^[7]。这个问题从实现过程上可分为两个具体步骤,首先,基于语义综合结果,对原始最细图斑进行融合,完成对类型相同且相邻的图形进行合并,图形融合(dissolve)属于制图综合内容的一个部分,目前大多采用 GIS 软件来实现;其次,合并后的图形边界仍保持原始形状,且不因尺度改变(如缩小)而改变,当成图比例尺大幅减小时,原本细节十分详细且丰富的图形边界因缩小而变得有“褶皱”,细长型多边形缩小后显示为一条“线”且不因比例尺的不断缩小而消失,相离较近的多个同类别图形(以下简称“临近同类图形”)在显示时不会因缩小而聚合成一个图形等,如不对因比例尺缩小表示的图形进行边界化简、合并、聚合等制图进行综合操作,最终《图集》在视觉上将会不美观,也不利于使用,易读性差。因此,需要根据《图集》各专题图不同的比例尺(多尺度)对融合后图形边界实施制图综合处理,同时,每一图幅上专题要素综合后要保持自身的合理性。当前,实现这一步骤对林业技术人员来说仍然无现成的经验和好的做法可以借鉴^[2,8]。

在《图集》编制中,经大量试验发现,采用聚焦滤波的方法能实现从大比例尺变换到小比例尺过程中需要完成的制图综合,即实现了小图斑的删除(实则为合并到相邻大面积图斑)、相邻同类别图斑的合并、临近同类图斑的聚合、细长图斑但并非小面积图斑的删除(实则为图斑切分为多个部分后又合并到各自相邻大面积图斑中)、相邻图斑公共边“褶皱”的平滑等连续面状图斑的制图综合,有效解决了基于县级森林资源二类调查成果图斑生产多种不同小比例尺(多尺度)专题空间要素存在的问题。

1 研究区域概况

云南省地处中国西南边陲,位于东经 97°31′~106°11′,北纬 21°08′~29°15′。为多山省份,山地面

积占总面积的 84.0%,高原面积占 9.9%,盆地面积占 6.1%。下辖 16 个州(市),共设县级行政单位 129 个。全省森林资源丰富,呈现滇西北、滇南多,滇中、滇东及滇东北少,森林植被类型多、树种组成复杂等特点^[9]。全省二类调查区划小班数量多达数百万个。

为了便于对该方法作系统阐述,从拼接的全省 1:2.5 万比例尺尺度下的县级二类调查小班数据成果中随机裁切了 10 km×10 km 的数据范围作为实验区域,总面积 1 万 hm²。裁切得到的空间数据已包含有二类调查小班 40 余项属性因子。实验过程与《图集》中各专题图制图要素生产完全相同。专题图制作采用质底法,语义综合后为 8 个林相类型,每一类均由地类、优势树种和龄组组合而得,开始图形综合前,实验区图斑属性只保留了 8 个林相类型,各类型通过属性表中的 Color_id 字段记录(表 1)。

表 1 Color_id 值与林相类型对应表
Tab. 1 Color_id value and forest type table

林相类型	Color_id 值	林相类型	Color_id 值
针叶林	10	经济林	50
阔叶林	20	竹林	60
针阔混	30	无林地	70
灌木林	40	非林地	80

2 研究方法

实验中采用的 GIS 数据处理工具为 ArcGIS 软件。GIS 环境下数字地图有两种存储格式,一种是矢量结构格式,一种是栅格结构格式。两种结构数据均能同时准确地描述地理空间实体,但由于两种结构的差异,导致数字地图制图综合时会有不同的综合方法,或者说当基于矢量数据进行制图综合困难时,可采用基于栅格数据进行制图综合,反之,当基于栅格数据制图综合困难时,可采用基于矢量数据实施综合。

2.1 Focal 滤波器应用于制图综合的理论依据

2.1.1 Focal 滤波器介绍

Focal 滤波器属于统计滤波,是对移动窗口内的各像元值作数学上的统计(最小值 minimum、最大值 maximum、众数 majority、少数 minority、中值 median、平均值 mean、标准差 std、总和 sum、范围 range、变异性 variety),来确定移动窗口中心输出像元值。本实验中的统计方式采用移动窗口内出现值最多(众数)的值作为输出像元值。

2.1.2 Focal 滤波器滤波实现过程

采用 Focal 滤波器实施制图综合实现过程图解(以 7×7 窗口为例)。

1)在图 1 中,移动窗口内存在两种森林分布图林相类型填色值“10”和“20”,“10”共有 18 个,“20”共有 31 个,经采用 majority(众数)统计后,则移动窗口中心输出像元值为优势值“20”,代替原始图上的值“10”,在原始图上中心像元“10”从图形的角度来看表现为“尖角”,在输出的图上变为“20”后,图形表现为去除“尖角”,达到平滑的效果。

10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10
20	20	10	10	10	10	20
20	20	20	10	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20
20	20	20	20	20	20	20

图 1 Focal 滤波器滤波过程图示 1
Fig. 1 Process of Focal filter 1

2)在图 2 中,浅灰色区域是面积较大的地类 A,深灰色区域是零星分布但较集中的地类 B,在图中的移动窗口内,A 地类有 16 个像元,B 地类有 33 个像元,经移动窗口滤波后中心输出的地类变为 B,代替了原始的 A 地类,达到了聚合 B 地类的效果。

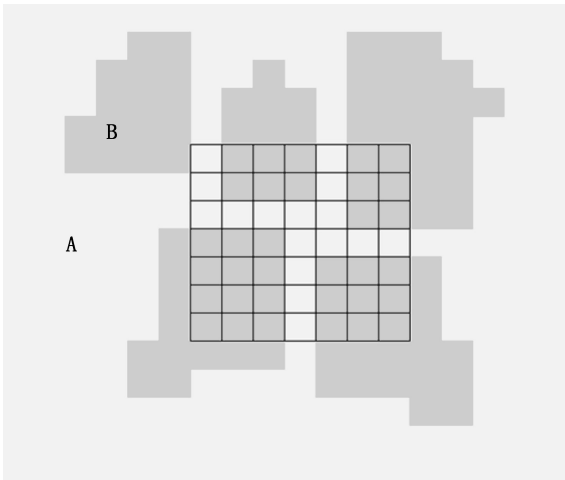


图 2 Focal 滤波器滤波过程图示 2
Fig. 2 Process of Focal filter 2

3) 在图 3 中, 在大片浅灰色地类 A 中, 有一小块深灰色区域 B 地类, 移动窗口中心在 B 地类的任意像元上, 移动窗口内的优势地类为 A, 经过滤波后, 移动窗口中心位置输出的像元值均变为 A 地类, 达到了删除小面积 B 地类的效果 (即地类 B 并入大面积地类 A 中)。

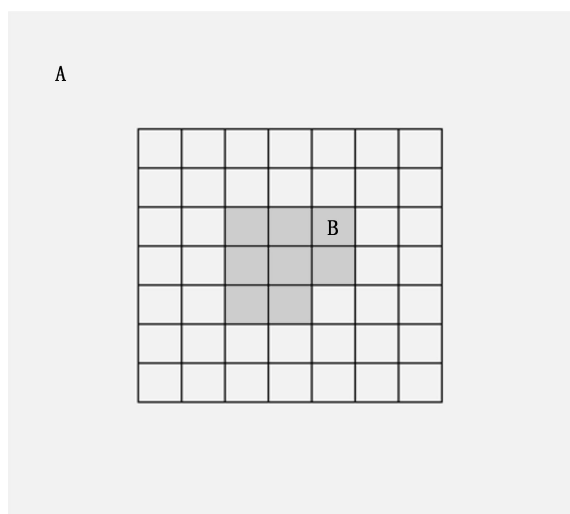


图 3 Focal 滤波器滤波过程图示 3

Fig. 3 Process of Focal filter 3

通过图解方式分析得知, 从理论上证明了 Focal 滤波器可应用于制图综合。

2.2 实验

2.2.1 技术路线

经反复测试后, 确定实验技术路线如图 4 所示。

技术路线流程中几个关键点:

1) 矢量转栅格图像时, 将 Color_id 值指定为输出的栅格像元值大小。

2) 采用 Focal 滤波器对栅格图像滤波时的数学统计方式为众数 (majority)。

3) 滤波生成的栅格图像转为多边形矢量 (polygon) 时, 矢量多边形要素的属性值指定为像元值, 即为 Color_id 值, 这一步骤确保综合后各要素属性并未丢失, 且属性值的种类与综合前种类保持一致。

4) 综合产生的矢量要素图层 (中间结果), 要实施去除面积小于最小上图面积的图斑操作, 这个过程可能要连续多次, 以防止面积较小的图斑存在嵌套情况, 如果只采取 1 次去除操作, 达不到彻底消除的目标。

2.2.2 矢量转栅格

采用 Focal 滤波方法进行连续图斑制图综合处

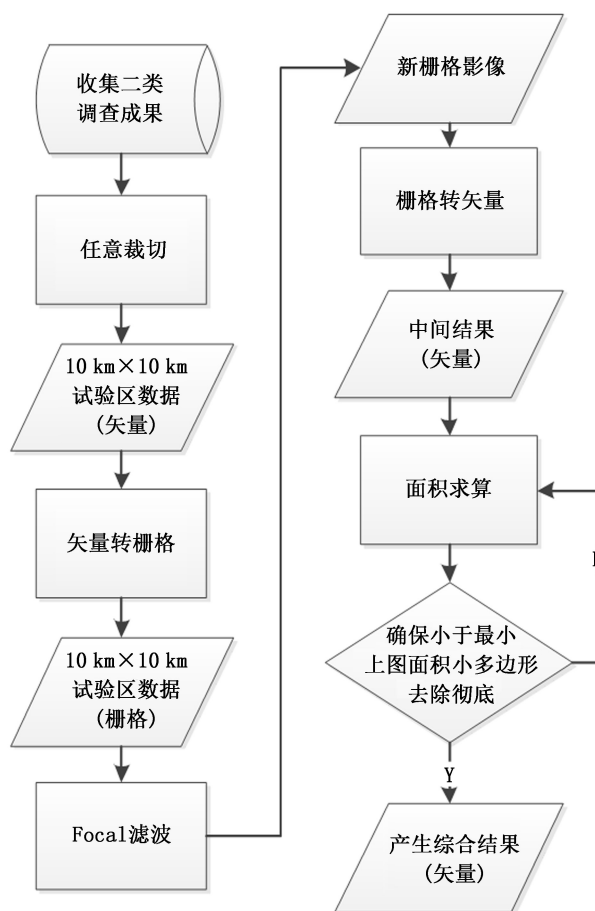


图 4 实验技术路线

Fig. 4 Flow chart of experiment

理时, 首先须将矢量格式的图斑空间数据转为栅格图像格式, 再对栅格图像数据应用 Focal 滤波器进行滤波处理。矢量转栅格时需要确定栅格的分辨率大小。当栅格分辨率设置过低 (即像元大小过大) 时, 一方面会带来信息量丢失太多, 造成失真, 同时由于分辨率过低, 每个像元表示着较大的范围, 当从栅格反转为矢量时, 矢量会出现“锯齿”现象, 最终成果图也不美观; 另一方面, 在分辨率过低情况下, 实施 Focal 滤波处理时, 移动窗口过大, 造成综合过度, 移动窗口过小, 综合效果不佳, 还易产生新的小多边形; 当栅格分辨率过高时, 栅格文件过大, 耗费电脑硬件资源、增加运算时间, 同时滤波时还须选择较大移动窗口的滤波器才满足甚至达到综合的效果。实验中发现, 滤波器窗口的大小与制图综合结果要达到的效果存在着联系, 也与矢量转栅格图像时设定的分辨率有关系。栅格分辨率高则滤波窗口要大, 分辨率低则滤波窗口要小。在生产过程中, 如何确定栅格的分辨率以及基于确定的分辨率要采用多大的滤波窗口显得十分重要。

为确定转栅格图像时的分辨率大小这一关系,在研究中发现,有文献^[10]记载有“数字正射影像图的地面分辨率在一般情况下应不大于 $0.0001M_{\text{图}}$ ($M_{\text{图}}$ 为成图比例尺分母)”的技术规范和要求,依此规定开展了大量实验,发现此规定适用于矢量转栅格图像时分辨率大小的确定,即当《图集》中的森林资源专题图比例尺为1:25万时,则矢量转栅格分辨率确定为25 m。同时,将林相类型Color_id值指定为栅格图像的像元值,本实验中,即为10、20、30、40、50、60、70、80。

2.2.3 Focal 滤波器窗口大小的确定

经大量实验测试,在基于对成图比例尺分母0.0001倍的数值为分辨率大小的栅格图像滤波时,移动窗口大小选择7×7,综合结果效果最佳。评估过程不在此文阐述范围,在此不再详述。

3 结果与分析

对10 km×10 km实验区数据按上述研究技术路线制图综合处理后,对产生的综合结果从视觉、面积和位置精确度3个方面进行评估。

3.1 综合前后视觉感观上的效果评估

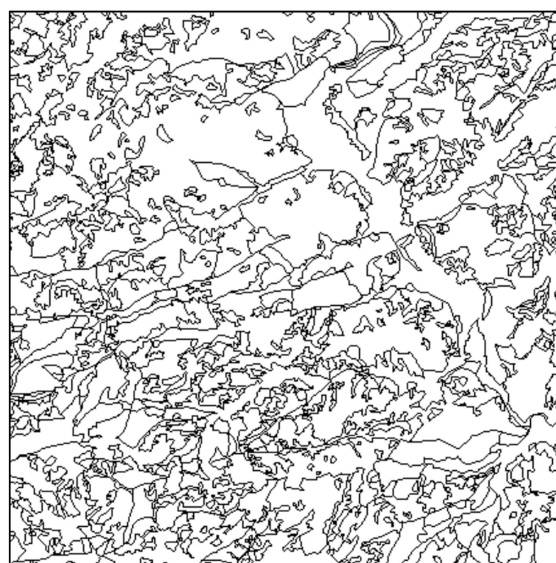
实验区综合前、综合后图斑数的变化及视觉感知对比见图5,区域放大后的综合前、综合后情况对比见图6。

从图5、图6中可以看出:综合后的形状符合现实地物由近至远的视觉观察结果,要素数量大幅减少,小图斑被合并,狭长地物也被归并,边界变得平滑,保留下来的图斑在位置上和整体形状上未发生改变。

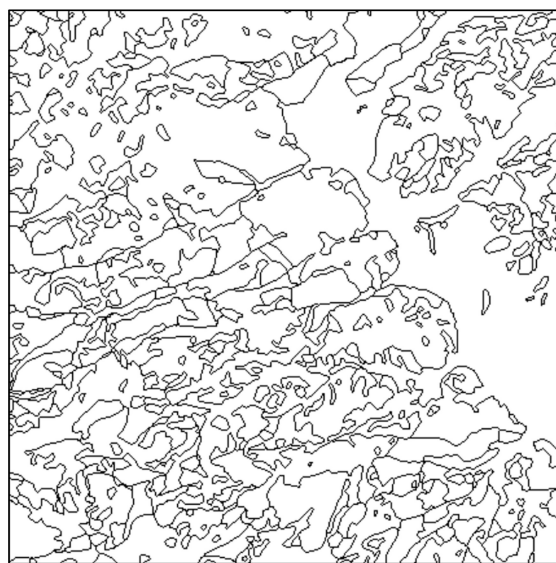
3.2 综合前后面积变化分析

制图综合质量高低可用缩编结构相似度指数来衡量^[11],反映了综合过程对综合前后各林相类型结构变化的影响,与综合前后各林相类型变化及其各林相类型面积统计结果密切相关,可通过综合前后面积变化统计表来对比反映(表2)。

从表2可以看出,综合后,各林相类型总面积占比与综合前基本保持一致;总面积较综合前增加了0.6 hm²,说明综合过程中,实验区边界未发生明显变化,缩编后整体结构相似度极高;各林相类型面积变化绝对值之和为161.0 hm²,变化最大的为针叶林,达72.2 hm²,但变化率仅占总面积的0.71%,说明整个结构变化极小;综合前无灌木林地,综合后也未产生灌木林地,说明综合过程未产生新的类型,符



(a) 综合前

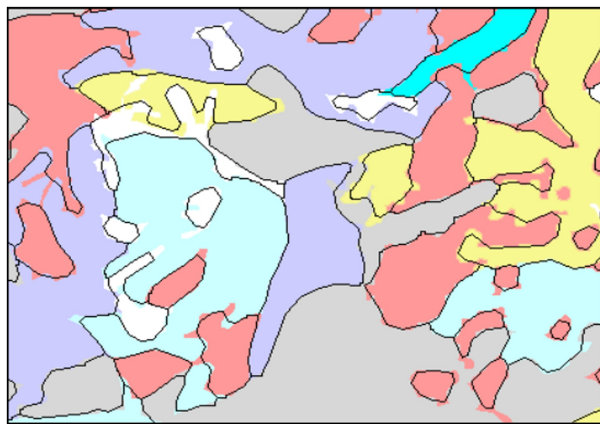


(b) 综合后

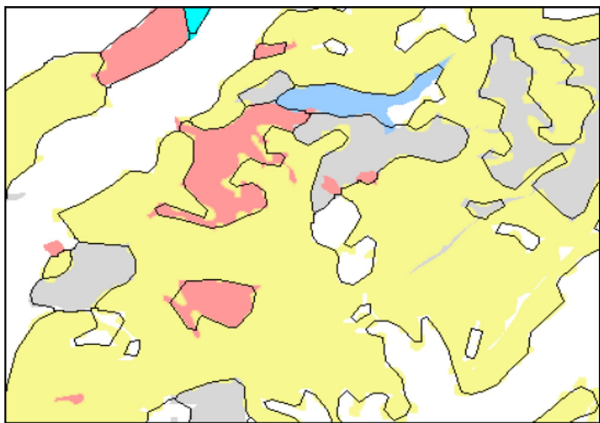
图5 实验区综合前、综合后图斑数的变化及视觉感知对比

Fig. 5 Patches change and visual comparison between the original thematic map and the generalized map

合综合逻辑;竹林占实验区面积最小,综合后面积缩小了3.0 hm²,变化率仅占总面积的0.03%,说明综合过程对劣势类型同样有作用,但并未因整个类型面积占比小而被整体给合并了,占比小的林相类型在综合后仍被保存下来;综合前后各林相类型面积变化绝对值平均为0.2%,单个林相类型面积变化率最大的是经济林,最小的是其他林地,分别为0.75%和0.01%,而林相类型最大的面积为针叶林,说明综合过程中综合程度并非与面积大小成比例关



(a) 综合前



(b) 综合后

图 6 两局部区域放大的综合前(填色表示)、综合后(线条表示)情况对比

Fig. 6 Two local enlarged areas before (coloring display) and after (line display) generalization

系;其他非林地综合前面积为 2 527.3 hm²,面积较大,但面积变化率仅为 0.02%,说明综合过程中并未出现占优势的类型因面积大而不断地得以扩张的

表 2 综合前后各林相类型面积变化

Tab. 2 Area changes of each forest type after cartographic generalization

林相类型	综合前		综合后		综合前后面积变化 /hm ²	综合前后面积占比差 绝对值 /%
	面积 /hm ²	占比 /%	面积 /hm ²	占比 /%		
针叶林	3692.4	36.93	3764.6	37.64	72.2	0.71
阔叶林	358.6	3.59	359.2	3.59	0.6	0
针阔混	521.5	5.21	528.6	5.29	7.1	0.08
灌木林地	0	0	0	0	0	0
竹林	12.5	0.13	9.5	0.10	-3.0	0.03
经济林	1628.3	16.29	1553.3	15.54	-75.0	0.75
其他林地	1257.2	12.57	1258.1	12.58	0.9	0.01
其他非林地	2527.3	25.28	2525.1	25.26	-2.2	0.02
合计	9997.8	100.00	9998.4	100.00	0.6	0.20

情况,综合过程是依各林相类型分布情况、边界“褶皱”情况等进行的合并(删除)、聚合、化简等,综合结果合理,缩编综合质量高。

3.3 综合前后位置精确度分析

制图综合质量高低也可用缩编布局相似度指数来衡量^[11],反映的是研究区域范围内综合过程中未发生林相类型变化的图斑与缩编前相应林相类型的图斑在布局上的相似程度,与综合前后各林相类型变化及相应面积相互转化情况密切相关,可通过综合前后面积交叉表直观反映。

表 3 为综合前后各林相类型面积交叉表。表中第 1 列代表综合前的各林相类型面积,第 1 行代表综合后的各林相类型面积。

表 3 综合后位置精确度按面积统计

Tab. 3 Positional accuracy of each forest type after cartographic generalization

林相类型	针叶林	阔叶林	针阔混	灌木林	竹林	经济林	其他林地	非林地	合计	位置精确度/%
针叶林	3542.3	3.3	2.1	0	0	76.4	16.0	52.3	3692.4	95.93
阔叶林	3.7	338.1	1.1	0	0	4.9	2.0	8.8	358.6	94.28
针阔混	2.3	1.1	506.5	0	4.0	0.1	7.5	0	521.5	97.12
灌木林	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.00
竹林	0	0	0	0	9.0			3.5	12.5	72.00
经济林	132.1	9.4	9.8	0		1440.3	26.8	9.9	1628.3	88.45
其他林地	22.2	2.3	5.0	0		17.6	1198.1	12.0	1257.2	95.30
其他非林地	62.1	5.1	10.0	0	0.4	7.5	10.6	2431.6	2527.3	96.21

从表 3 中可以看出:综合后 8 种林相类型位置精度在 90%以上的有 6 种,有 5 种林相类型在 95%以上,各林相类型位置精确度加权平均值为 94.68%,说明综合后整体类型与综合前保持了空间位置上的高度一致,并未因综合而使空间要素发生位置上的系统性偏差。竹林位置精度最低,仅为 72.0%,主要原因是竹林面积小且边界较弯曲,综合后虽然只有极少部分要素被合并到周边类型中,但由于整体面积较小,计算占比时作为分母也就小,尽管被归并到周边类型的面积很小,但其作为分子少许变化对结果影响较大,降低了位置精度。

通过对实验区数据制图综合前后情况进行对比分析,证明此方法可应用于连续面状森林资源图斑要素的制图综合。

4 结论与讨论

栅格专题图像经过 Focal 滤波器滤波后,达到了制图综合过程中要实现的删除、合并、边界平滑等目的。为实现生产小比例尺度下制图要素,将综合对象通过从矢量格式转换为栅格格式再实施制图综合处理,化解了复杂的、非线性的综合过程,利用对数据结构简单的栅格数据进行概括、简化操作等制图综合操作过程较为容易的特点,有效解决了矢量数据在综合中因空间拓扑关系复杂造成的难以解决的技术难题,对综合后专题栅格图像再转为矢量,达到较好的制图综合效果。把实验总结出的方法全面应用于云南省森资源状况图集不同小比例尺专题图的生产中,最终制作的图集不仅美观,而且质量达到了设定的目标要求。

数字环境下计算机地图综合是一件极其富有挑战性的工作^[12]。本文阐述运用 Focal 滤波器实现林业专题地图制图综合的方法,从理论、实验和生产 3 个方面得到了印证,在生产中具有较好的实用性。实验中关于矢量格式转换为栅格格式分辨率的设置直接参考了“数字正射影像图的地面分辨率在一般情况下下应不大于 0.000 1M_图”的技术规范和要求,基

于此分辨率下滤波窗口采取了 7×7 的大小,综合过程视每一林相类型的重要性相同,而忽略了重要对象因图形面积非常小也被合并而未被保留下来的方面。在后续研究中可进一步对设定矢量转栅格分辨率大小设为多大为更佳、与之对应的滤波窗口应设为多大,以及分辨率、窗口大小与制图综合成图比例尺之间存在的内在关系加以研究探索,力争将这种内在关系数量化或公式化,并探究不同权重各林相类型的制图综合方法。

参考文献:

- [1] 云南省林业厅. 云南省森林资源规划设计调查操作细则(试行)[Z]. 2004.
- [2] 张超. 基于二类调查数据的林业地图制图综合技术研究[J]. 林业调查规划, 2010, 8(4): 6-10.
- [3] 石军南, 刘恩林, 罗鹏. 基于 GIS 的森林分布图的制图综合[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 124-127.
- [4] 李闯. 基于语义优先的多尺度土地利用图斑综合与质量评价[D]. 沈阳: 辽宁师范大学, 2016.
- [5] 武芳, 巩现勇, 杜佳威. 地图制图综合回顾与展望[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1646-1664.
- [6] 罗鹏. 森林资源分布图自动综合技术研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2007.
- [7] 王留召, 梁有, 米振通. 地图自动综合的现状与发展[J]. 中州煤炭, 2001, 114(6): 15-16.
- [8] 王家耀, 成毅. 空间数据的多尺度特征与自动综合[J]. 海洋测绘, 2004, 24(4): 1-3.
- [9] 云南省林业厅. 云南省森林资源调查报告[R]. 昆明: 云南科技出版社, 2016.
- [10] 国家测绘地理信息局职业技能鉴定指导中心, 测绘出版社. 测绘综合能力[M]. 北京: 测绘出版社, 2016.
- [11] 石志宽, 汤国安. 土地利用现状数据缩编的质量评价方法[J]. 地理研究, 2011, 30(2): 233-241.
- [12] 艾廷华, 郭宝辰, 黄亚峰. 1:5 万地图数据库的计算机综合缩编[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(4): 298-300.

责任编辑: 许易琦