

土地利用图斑自动检测算法研究

程建燕, 康建荣, 周 棒, 胡宗楠

(江苏师范大学, 江苏 徐州 221116)

摘要: 由于土地利用图斑间产生狭窄缝隙会导致空间冲突的问题与小面积图斑过多的问题, 而常规的处理方式不但无法保持拓扑关系与权属关系一致, 而且需要人机交互实现, 自动化程度不足。为解决此问题, 提出了一种顾及地类图斑间拓扑关系与权属关系的土地利用图斑自动检测算法。此算法由图斑多边形的公共交点和公共边界入手, 消除邻近图斑间的“桥梁区域”; 并利用 Weiler-Atherton 算法, 将小面积图斑自动合并到原始拓扑相邻的图斑中。将此算法应用于三调质检中的土地资源业务数据中, 实验结果表明, 此算法在顾及地类图斑间的多重关系下, 不仅能够消除小面积图斑以及土地利用图斑之间的“桥梁区域”, 并且保持了地类图斑间的拓扑一致与权属关系, 维持了土地利用图斑原有的自然弯曲形态。

关键词: 空间冲突; 公共边界; 桥梁区域; Weiler-Atherton 算法; 图斑合并

中图分类号: TP302.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)04-0171-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.04.033

Research on Land Use Map Spot Automatic Detection Algorithm

CHENG Jian-yan, KANG Jian-rong, ZHOU Bang, HU Zong-nan

(Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Due to the problem of space conflict and too many small area map spots caused by narrow gaps between land use map spots, the conventional treatment mode is not only unable to maintain the same topological relationship and ownership relationship, but also requires man-machine interaction and insufficient degree of automation. In order to solve this problem, an automatic land use map spot detection algorithm considering topological relation and ownership relation between map spots is proposed. The algorithm starts from the common intersection point and the common boundary of the polygon to eliminate the “bridge area” between adjacent polygons. By using the Weiler-Atherton algorithm, small area patches are automatically merged into adjacent patches of the original topology. The algorithm is applied to land resources in the business data of the three adjustable quality inspection. The experiment shows that concerning the multiple relationships between the patches of the land class map, this algorithm can not only eliminate the “bridge area” between the small area map spots and the land use map spots, but also maintain the topological consistency and ownership relationship between the land use map spots, and maintain the original natural bending shape of the land use map spots.

Key words: space conflict; public boundary; bridge area; Weiler-Atherton algorithm; map spot merge

0 引言

土地利用现状图是指以地图的形式反映不同行政区内的土地利用类型、利用现状以及与社会、自然关系等的专题地图, 土地利用图斑的自动综合需要考虑拓扑关系、空间关系和语义关系等多方面因素^[1]。在土地利用现状图制图综合过程中, 因多边形几何形状的化简会导致原有图斑拓扑关系的破坏, 因小面积图斑聚集分布会导致原有图斑空间关系的破坏, 因此图斑自动检测成为十分重要的部分。在图斑的自动检测过程中涉及到的空间冲突主要是任意相邻图斑多边形间

间距过小导致产生“桥梁区域”无法分辨^[2], 以及小面积图斑过多、局部图斑密集导致需要进行图斑合并的问题。针对此问题, 众多国内外学者对图斑自动检测进行了相应的研究。比较有代表性的研究成果有如下几类: 艾廷华等根据图斑合并算子进行图斑的聚合和融合^[3], 刘耀林等提出了基于本体的土地利用数据综合研究^[4], 郭庆胜等研究了图斑合并的渐进式方法研究^[5], 杨志龙提出了基于蚁群算法的图斑合并方法^[6], 但是这些研究大多是对符合合并规则的图斑进行合并很少涉及邻近图斑间产生的间隙问题。还有一些

收稿日期: 2019-06-11

修回日期: 2019-10-11

网络出版时间: 2019-12-18

基金项目: 国家自然科学基金(51574132); 江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX18_2159)

作者简介: 程建燕(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为图形处理信息工程; 康建荣, 教授, 研究方向为数据处理信息工程。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190902.1645.004.html>

学者从顾及邻域变化的角度提出图斑群合并的方法,如翁杰提出了顾及邻域变化下的图斑群合并方法^[7],李成名提出了邻域关系维持下的狭长图斑分解方法^[8],李英提出了语义与空间相结合下的图斑自动综合模型^[9]。但是这些研究未能很好地维持同类图斑间的拓扑邻近关系,保持图斑的自然形态结构。文中从计算几何的角度,基于公共边界提出一种解决图斑合并的算法。该算法能够分辨图斑间间隙,消除邻近图斑间的“桥梁区域”,较好地维持地类图斑间的拓扑关系,保持图斑的自然弯曲形态,并结合 Weiler-Ather-ton 算法,删除小面积图斑,优化图斑群自动合并效果。

1 图斑检测基础定义

土地利用现状制图综合过程中图斑检测的对象主要有两类^[6]:一是距离过近导致在图中不易分辨的图斑;二是面积过小导致在图中过于密集的图斑。针对这两类图斑,定义了两种操作即“桥梁区域”检测和图斑自动合并。“桥梁区域”是指具有邻近关系的图斑多边形间间距过小产生的狭窄缝隙,它会导致在图中无法分辨,引起重叠、缝隙等空间冲突,如图1所示。当两图斑多边形具有公共边界时,在拓扑关系上视为邻近;当两图斑多边形在拓扑关系上相离,但相互间的距离非常小且难以区分时,视为邻近^[10-11]。“桥梁区域”检测融入距离关系、拓扑关系,检测并消除相邻图斑多边形间的间隙,保持图斑间的邻近关系。图斑自动合并主要是对小面积图斑进行处理,减少土地利用现状图中密集图斑的数量,使地类图斑变得简洁。图斑自动合并会导致图斑的消失,消失的图斑的拓扑包含关系和邻近关系全部由合并后的大图斑继承,因此图斑自动合并是在与消失的图斑具有拓扑包含关系和邻近关系的图斑中进行^[12-14]。

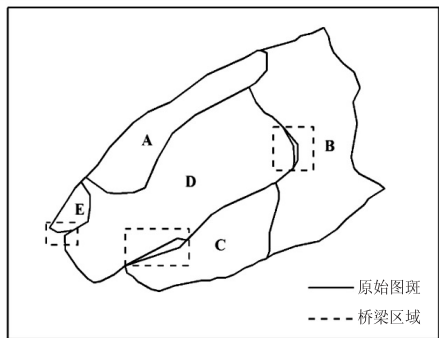


图1 桥梁区域示意图

2 图斑自动检测方法分析

2.1 图斑多边形“桥梁区域”检测

2.1.1 图斑多边形公共边界

在进行矢量化土地利用现状图的过程中,图斑多

边形可能出现自相交区域。自相交是指图斑多边形所有边之间除了顶点外还存在相交的边的情况^[15]。这需要对土地利用图斑进行自相交检测判断,检测算法按照文献[16]中的算法设计,对于自相交区域采用直接删除的方式来进行处理。

图斑多边形看作是封闭的多线段,以边界线段操作为核心求解多边形的交点。利用射线交点法^[17-18]进行点与多边形的关系确定,即待判定点为起点作射线,根据射线与多边形边界交点的奇偶数,确定是否点在多边形内部。若交点数为奇数,则点在多边形内;若交点数为偶数,则点在多边形外。通过点与多边形的关系,进而判断多边形间的相互关系。若没有交点,则为包含关系或相离关系;若有交点,则为交叉关系。包含和分离关系的判定实质是若顶点都在多边形内部,则是包含关系;若顶点都在多边形外部,则是分离关系。

$$f = (x_{n+1} - x_n)(y - y_n) - (y_{n+1} - y_n)(x - x_n), \\ n = j \text{ 或 } k \quad (1)$$

$$f_1 = (x_{n+1} - x_n)(y_j - y_n) - (y_{n+1} - y_n)(x_j - x_n), \\ n = k \quad (2)$$

具有交叉关系的两图斑多边形 M 、 C , 对于多边形 M 的已知线段 $l_1: M_i(x_j, y_j) - M_{i+1}(x_{j+1}, y_{j+1})$, 多边形 C 的已知线段 $l_2: C_i(x_k, y_k) - C_{i+1}(x_{k+1}, y_{k+1})$ 。对于线段 l_1 和线段 l_2 有方程(1)。判断点 M_i 是否在 l_2 , 则将 M_i 点坐标代入方程(2)中, 当 $f_1 = 0$ 时, M_i 点在 l_2 线段或其延长线上。将交点插入到 M 、 C 两个多边形中, 即可得到图斑多边形的公共边界 $\overline{P_1 P_n}$ 。此算法解决了交点求取时多边形存在部分重叠和完全重叠的问题, 并省去了将公共边界的求取分为多种情况的麻烦。采用第三次全国国土调查中的图斑多边形对此算法进行模拟实验, 实验结果如图2所示。

2.1.2 “桥梁区域”检测方法

图斑多边形求取公共边界后, 相邻图斑多边形基于公共边界进行“桥梁区域”自动检测及消除。结合图斑多边形的数据结构, 图斑多边形的顶点序列可分为顺时针或逆时针方向排列。因此, 相邻图斑间的“桥梁区域”可分为多种情况, 即由公共边界出发, 邻近两图斑的顶点序列皆按同方向排列时产生的“桥梁区域”形态存在差别, 并当相邻图斑多边形顶点序列按相反方向排列时产生的“桥梁区域”也大不相同, 具体情况如图3所示。

设相邻图斑多边形间的顶点距离为 length , 两顶点间的距离阈值为 λ 。图斑多边形 M 、 C 进行求交后, 基于公共边界分别以同方向遍历相邻图斑多边形顶点, 在交点处结束遍历。当相邻图斑多边形间的顶点距离 $\text{length} \leq \lambda$ 时, 则取对应两顶点的中点 μ 代替原图斑多边形顶点, 形成新的共享边界, 消除原图斑间

的“桥梁区域”。图斑多边形仅仅在同一方向检查“桥梁区域”不满足所有图斑多边形的情况,在相邻图斑顶点排列方向存在差异时,会产生不同形态的“桥梁区域”。此算法基于公共边界改变图斑多边形顶点的

排列顺序,能够进行多种情况的检查,对相邻图斑多边形进行全面的“桥梁区域”检测。运用此算法进行模拟实验,实验结果如图4所示。

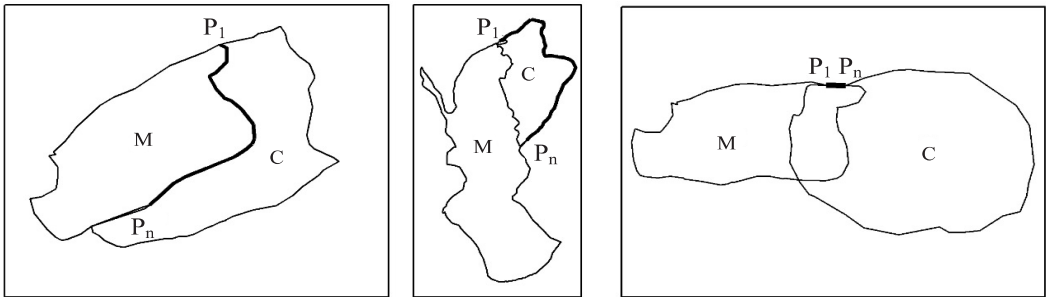
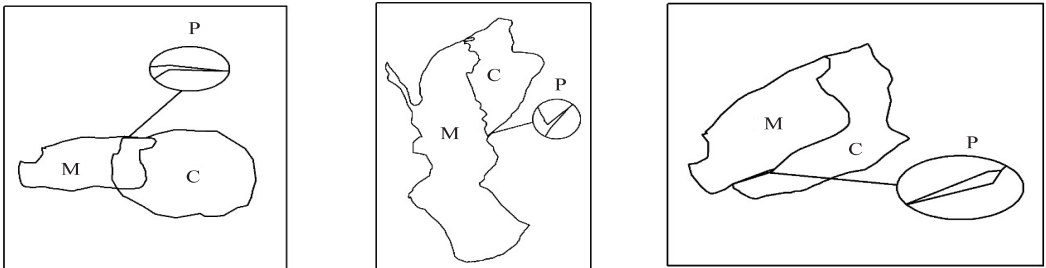
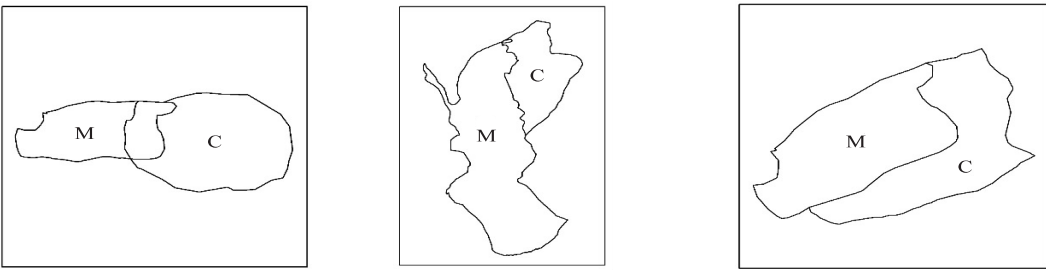


图2 公共边界求取结果



(a)同逆时针排列 (b)同顺时针排列 (c)顺、逆时针相间排列

图3 桥梁区域分类



(a)同逆时针检测结果 (b)同顺时针检测结果 (c)顺、逆时针相间检测结果

图4 桥梁区域检测结果

2.2 图斑自动合并算法

相邻图斑多边形求交后,结合 Weiler-Atherton 算法^[19-22],采用链表的形式判断交点的“入出性”,进而实现图斑的自动合并。两多边形相交时,交点必然成对出现。根据图斑多边形之间的关系,判断交点的“入出性”:一个多边形进入另一多边形的交点,称为“入点”;一个多边形离开另一多边形的交点,称为“出点”。由多边形的某个“出点”进行遍历,碰到出点,则沿着此多边形顺时针方向记录顶点序列,并将“出点”的 flag 记号删除,以免重复。遇到“入点”时,则沿着另一多边形逆时针方向记录顶点序列。按照此规则,如此交替地沿着两个多边形的边界进行遍历,直到回到起始点为止,将所有的出点搜集完毕后则算法结束。由于图斑合并需要考虑到地类等因素的影响,此算法只对于同属于同一地类的图斑进行合并。

以 Region_Line_3D 链表结构来构建相邻图斑多

边形 M 、 C ,相邻图斑多边形 M 、 C 的顶点序列按照顺时针方向排列。求取相邻图斑多边形 M 、 C 的交点,对交点相同的点进行统一命名,并将交点按位置顺序分别插入链表 M 、 C 中。根据多边形 M 、 C 的顶点与交点所形成的边界的中点,由 Weiler-Atherton 合并算法思想,进行判别多边形 M 、 C 中交点的“入出性”。若边界中点在另一图斑区域外,则此交点为“入点”;若边界中点在另一图斑区域内,则此交点为“出点”。初始化多边形链表 line,寻找图斑多边形链表中的“出点”,将“出点”记录到 line 中,并将“出点”标记 flag 删除。沿着一图斑多边形 M 顺序取其顶点,如果顶点不是“入点”,则将其顶点记录到 line 中,否则沿着另一图斑多边形 C 行进。当多边形 C 中顶点不是“出点”时,将其顶点记录到 line 中,否则流程转至上一步多边形 M 中行进。判断找到的最后一点是否为起点,若为起点则形成合并图斑区域 line,查找结束。

当相邻图斑多边形没有交点且为包含关系时,直接删除小图斑,其拓扑关系和权属关系由包含的大图斑继

承。具体流程如图 5 所示。

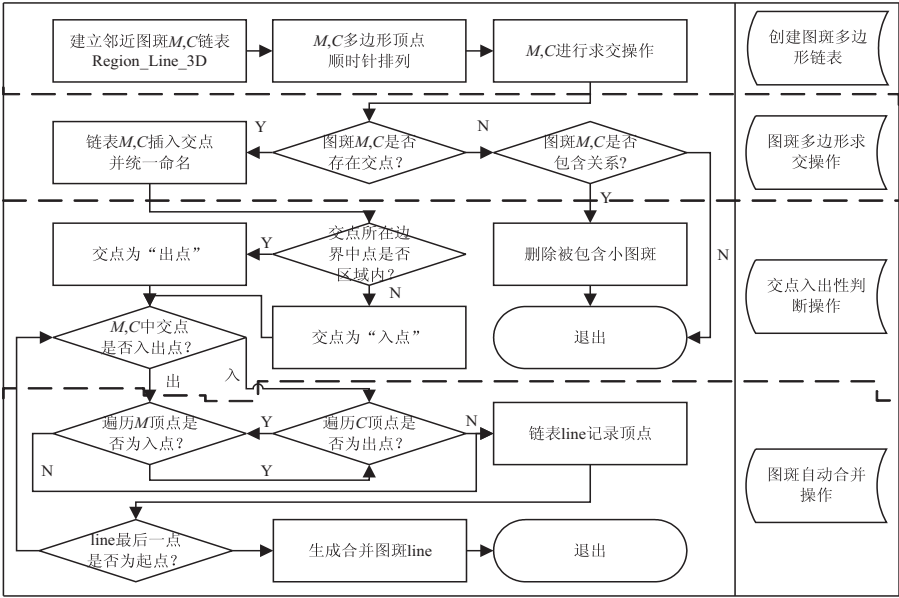


图 5 图斑合并流程

3 应用实例

3.1 程序实现设计

文中将整个程序应用于整幅土地利用图中, $\{Polygon\} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 为土地利用图中所有的图斑集合,对于 $\{Polygon\}$ 中的任一图斑 P_i 都获取其 x, y 坐标的最大值 $maxx, maxy$ 和最小值 $minx, miny$, 形成一个包围此图斑的扩展矩形区域。检测 $\{Polygon\}$ 中其余图斑 P_j 的矩形区域与 P_i 矩形区域是否有交集 Ψ , 若 $\Psi > 0$, 则记录 P_j 的所属地类名称 $Name(P_j)$ 和图斑数据集 $PD\{P_j\}$ 。对 P_i 和 $PD\{P_j\}$ 进行“桥梁区域”检测和图斑自动合并, 合并时将 $Name(P_j)$ 中与 P_i 不属于同一地类的图斑剔除, 遍历

完整个图斑集合 $\{Polygon\}$, 实现整幅土地利用图的图斑自动合并。

整个程序以存储在 *.txt 文件中的图斑坐标数据为研究对象,按照图斑数据准备、图斑数据检测合并和土地利用结果图输出的流程设计,在考虑不同地类间图斑不进行合并的情况下,对土地利用现状图上的大批量图斑进行“桥梁区域”的检测和图斑合并,主要实现土地利用现状图中图斑间的无缝隙、无重叠和小图斑的删除与合并。整个程序借助 C++ 语言和 MFC 控制平台进行操作,并将输出结果在 Auto CAD 软件中进行可视化显示,使得整个程序方便、快捷,便于数据的重复性操作。程序的实现流程如图 6 所示。

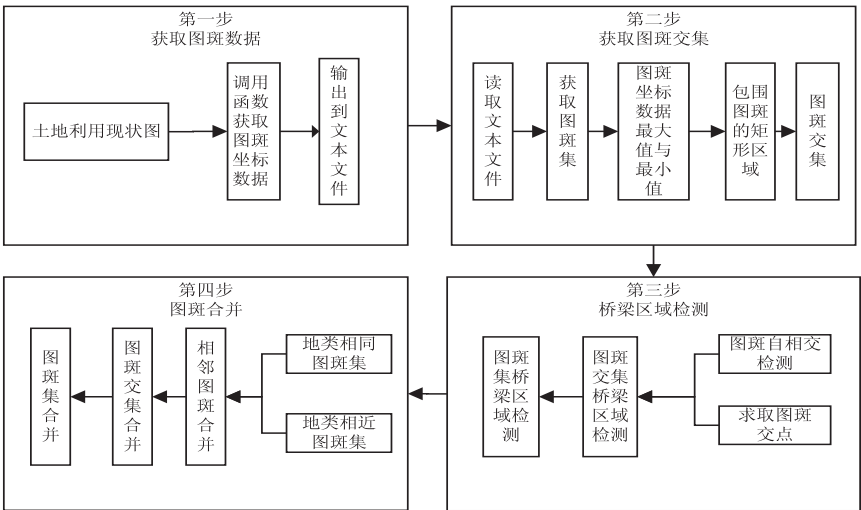


图 6 程序实现流程

3.2 实例验证

文中采用的实验数据为山西省第三次全国国土调

查中的土地资源业务数据,如图 7 所示。该图中因图斑多边形叠置时图斑边界不一致,产生大量缝隙和重

叠,导致邻近图斑间产生“桥梁区域”无法识别,破坏了土地利用现状图的全覆盖、无缝隙特点。并且图中小面积图斑过多,局部图斑密集,不利于图斑的自动综合。利用文中算法,并根据第三次全国国土调查实施

方案的要求^[23],采用最小上图面积需大于 200 m²的规范对此土地利用现状图进行“桥梁区域”检测和图斑的自动合并,经此算法处理后的结果如图 8 所示。

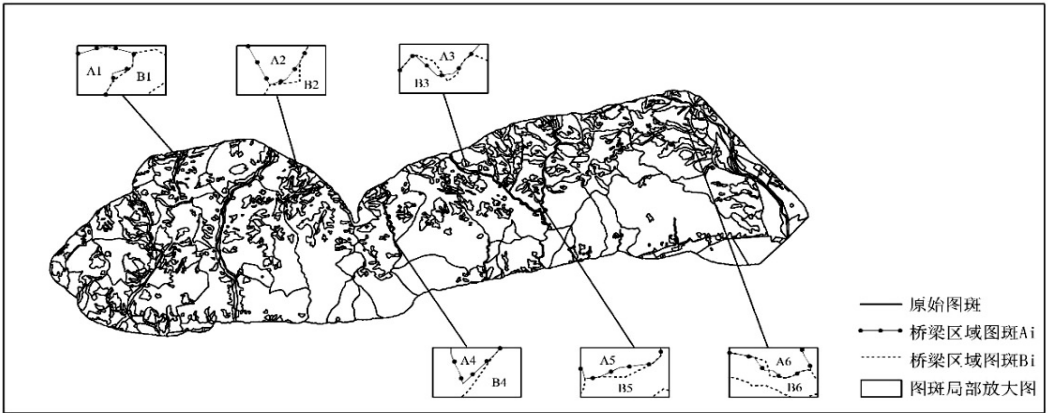


图7 数据原图

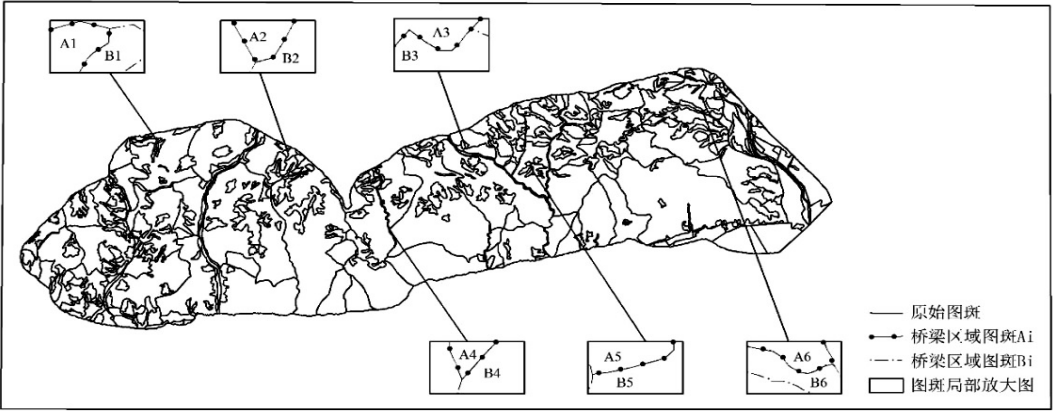


图8 处理结果

3.3 结果分析

土地利用现状图的图斑检测算法中对于小面积图斑的处理,其处理后的结果需要通过各类用地面积的相对平衡进行评价^[24-26]。由表 1 可以看出,土地利用图斑检测前后总的图斑面积保持相对平衡,总的图斑数量相比检测前明显减少。其中农用地、建设用地和未利用地的图斑数量相比较于检测前均减少一半,检测后的农用地图斑面积相对于之前有明显增加,建设用地和未利用地的图斑面积相比较于之前明显减少。土地利用现状图经图斑检测算法后不仅“桥梁区域”问题得到解决,而且图中小图斑密集区域也明显减少。由图 8 可以看出,此土地利用现状图中图斑间的

“桥梁区域”能够被自动检测且修复,从而消除了此图中图斑间的缝隙和重叠区域,保证了土地利用现状图中全覆盖、无重叠、无缝隙的特点,并且从图中也能明显看出面积过小的图斑能够自动合并到同地类的大图斑之中,将原始的小图斑从图斑数据中删除,减少了密集区域的图斑数量。结果表明,此算法能够完全自动化地实现小图斑的自动合并,保持地类的继承性,弥补了 ArcGIS 软件中需要人工主观判断的缺陷,并能够对邻近图斑间的“桥梁区域”实现快速的检测和消除,维持土地利用图斑原有的自然弯曲形态,提高制图综合的效率。

表1 土地利用现状图检测前后对比

地类名称	检测前面积/m ²	检测前图斑个数	检测后面积/m ²	检测后图斑个数	面积百分比/%
农用地	2 532 642.59	581	2 854 378.28	320	+12.7
建设用地	822 548.46	161	556 772.36	85	-32.31
未利用地	418 059.22	73	362 099.63	37	-13.39
合计	3 773 250.27	815	3 773 250.27	442	

4 结束语

文中采用自相交区域直接删除的算法对土地利用图斑多边形进行自相交预处理后,通过定义求交规则的方式求取土地利用图斑多边形之间的公共边界。基于邻近图斑间的公共边界以多边形链表的结构并按照一定方向遍历土地利用图斑,在维持图斑拓扑一致性的基础上,检测并消除图斑间间距过小的“桥梁区域”。

该算法依据交点所在边界的中点,实现图斑多边形间关系判断。同时利用 Weiler-Atherton 算法,判定边界中点是否在另一图斑区域的内部,进行交点的入出性判断。并根据最小上图面积的原则,在图斑群中进行小面积图斑的搜索,在保持地类图斑间的继承关系的基础上批量消除小面积图斑,实现图斑的自动合并。

对于第三次国土调查中的批量图斑数据,整个制图综合过程只需要一幅土地利用现状图的图斑坐标数据,简化了计算过程,快速有效地实现了邻近图斑间的“桥梁区域”检测改正和小图斑群的自动合并,解决了 ArcGIS 软件中存在的制图工具功能简单、自动化程度不高等问题,提高了土地利用现状图的制图效率。

参考文献:

- [1] 杨宝尧,杜震洪,刘仁义,等.基于第二次全国土地调查数据的土地利用现状图制图综合技术研究[J].国土资源遥感,2012(4):107-111.
- [2] 翁杰,郭庆胜,王晓妍,等.一种改进的图斑合并算法[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(9):1116-1119.
- [3] 艾廷华,刘耀林.土地利用数据综合中的聚合与融合[J].武汉大学学报:信息科学版,2002,27(5):486-492.
- [4] 刘耀林,李红梅,杨淳惠.基于本体的土地利用数据综合研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2010,35(8):883-886.
- [5] 郭庆胜,王晓妍,刘纪平.图斑群合并的渐进式方法研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2012,37(2):220-223.
- [6] 杨志龙.基于蚁群算法的土地利用(图)图斑合并方法[J].测绘与空间地理信息,2016,39(2):210-212.
- [7] 翁杰,王志鹏,唐皓,等.顾及邻域变化的图斑群合并方法研究[J].测绘通报,2015(2):113-116.
- [8] 李成名,殷勇,武鹏达,等.一种狭长图斑分块融解方法[J].武汉大学学报:信息科学版,2018,43(12):2259-2268.
- [9] 李英,邹峥嵘.土地利用现状图斑的自动综合[J].测绘

科学,2013,38(5):167-169.

- [10] 陈先伟,郭仁忠,闫浩文.土地利用数据库综合中图斑拓扑关系的创建和一致性维护[J].武汉大学学报:信息科学版,2005,30(4):370-373.
- [11] OHORI G A K A. Validation and automatic repair of planar partitions using a constrained triangulation[J]. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation,2012(5):613-630.
- [12] 李琳.约束 Delaunay 三角网下土地利用空间数据库中的面状要素合并研究[D].西安:长安大学,2016.
- [13] 尤西霞.基于分块的海量地理国情图斑融合及缝补技术研究[D].北京:中国测绘科学研究院,2017.
- [14] LEDOUX H, OHORI K A, MEIJERS M. A triangulation-based approach to automatically repair GIS polygons[J]. Computers & Geosciences,2014,66(3):121-131.
- [15] 陈波,薛本新,钱海忠,等.基于拓扑构建的多边形区域间运算的新方法[J].测绘科学技术学报,2006,23(6):444-447.
- [16] 周兰兰,康建荣.拓扑多边形自相交判断及纠正方法[J].测绘与空间地理信息,2014,37(10):33-35.
- [17] 鲍其胜,王庆,何立恒.基于线段操作的多边形求交算法研究[J].测绘通报,2013(5):35-37.
- [18] 彭杰,刘南,唐远彬,等.一种基于交点排序的高效多边形裁剪算法[J].浙江大学学报:理学版,2012,39(1):107-111.
- [19] ZHANG H, CHEN G, LIU S G, et al. An extension to Weiler - Atherton clipping algorithm for the face-to-face contact in three - dimensional discrete element method [M]// Geotechnical hazards from large earthquakes and heavy rainfalls. [s. l.]: Springer, 2017.
- [20] 冉喆,杨武,李苗,等.一种基于 Weiler-Atherton 算法的 SBR 射线管分裂技术[J].微波学报,2012,28(S3):21-25.
- [21] GALANDA M. Automated polygon generalization in a multi agent system[D]. Switzerland: University of Zurich, 2003.
- [22] 朱磊,章秀华,夏震.基于双向链表操作的多边形求交与并的算法改进[J].计算机与数字工程,2013,41(3):463-465.
- [23] 唐益培.第三次调查线状地物转图斑的技术与方法探讨[J].南方农业,2018,12(20):173-175.
- [24] 胡凤敏.适用于地理国情普查图的图斑自动综合方法[D].焦作:河南理工大学,2017.
- [25] 李晶,孙子云,周书俊,等.土地利用小图斑综合方法及综合工具开发[J].遥感信息,2017,32(5):157-162.
- [26] 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):233-242.