文章编号:1671-8860(2012)02-0220-04　　**文献标志码**:A

图斑群合并的渐进式方法研究

郭庆胜[1,2]　王晓妍[1]　刘纪平[3]

(1　武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(2　武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)
(3　中国测绘科学研究院,北京市海淀区莲花池西路 28 号,100039)

摘　要:图斑合并(聚合和融合)是专题地图综合中一个很重要的任务。将小于面积阈值的图斑群的空间视觉冲突分为四类,针对不同的类型采取不同的策略,重点讨论了邻接小图斑群的渐进式合并方法。该方法有效地简化了整个计算过程,提高了计算效率,并使得合并前后的变化值达到最小。

关键词:地图综合;图斑合并;图斑群;空间视觉冲突;渐进式合并

中图法分类号:P283.1

图斑布满整个制图区域的分类图是一种常见的专题地图,为了能自动解决这种分类图的综合,国内外学者已进行了大量的研究。Peter 和 Weibel 提出了分类型数据综合的概念框架和相关约束条件,而且还尝试利用矢量和栅格相结合的方法完成综合操作[1]。目前,图斑群自动综合的研究主要体现在以下 3 个方面:① 基于 CDTN(约束性 Delaunay 三角网)的图斑合并的计算几何方法[2-5];② 顾及有关规范的图斑群智能综合方法[6-8];③ 从全局出发的图斑群合并的最优化方法[9-11]。在分类图中,图斑群的合并一般采用计算几何方法,但是从全局角度考虑,图斑群的合并效果也是地图综合中必须考虑的问题。有关学者对土地利用图已从不同的角度提出了不同的方法,如从土地利用数据的几何特性和拓扑特性出发的合并方法[12-14];顾及土地利用数据语义的合并方法[15,16]。

土地利用图斑合并既涉及到计算几何算法,又必须考虑图斑群分布规律的保持和语义变化的最小化,但是目前的图斑合并最优化方法是从全图出发,且只考虑了邻接图斑的合并。实际上,图斑合并只涉及小于面积阈值的图斑群的相关区域。本文在考虑图斑群邻接和邻近两种空间关系的基础上,将小于面积阈值的图斑群的空间视觉冲突分为四类,然后针对不同的类型采取不同的策略。当图斑群是由多个小于面积阈值的图斑组成时,才应该考虑图斑合并前后变化值差异的全局最优化问题。

1　空间视觉冲突类型的划分

当地图比例尺缩小时,图斑面积的大小会引起空间视觉冲突,在地图综合中,可以定义一个空间图形最小视觉可分辨图斑面积。另外,当地图比例尺变小时,图斑之间的间距也有一个最小视觉可分辨尺寸。这两种可分辨最小尺寸就是图斑群空间视觉冲突区域确定的依据。

设原始图斑群集合为 $T=\{T_i, i=1,\cdots,N\}$,N 为图斑群内图斑的个数;图斑最小可分辨面积为 $\varepsilon_i(i=1,\cdots,M)$,$M$ 为 T 中图斑的种类数;图斑间的最小可分辨距离为 d。以 ε_i 为条件,在 T 中检索面积小于 ε_i 的所有图斑,组成图斑集合 $R=\{R_j, j=1,\cdots,L\}$。然后按照邻近和邻接关系对 R 进行聚类,相互邻接在一起的 R_j 应该聚为一类,邻近距离小于 d 的相同类型的 R_j 也需要归并为一类。按照这种方法,就可以划分出四类空间视觉冲突区域:① 只有一个小图斑的空间视觉冲突区域;② 只相互邻近的小图斑群;③ 只相互邻接的小图斑群;④ 邻近和邻接关系同时存在的小图斑群。如图 1 所示,其中灰颜色的图斑为

收稿日期:2011-12-15。
项目来源:国家自然科学基金资助项目(41071289,41171350)。

小于面积阈值的小图斑,1、2、3、4、5 表示不同类型的图斑。

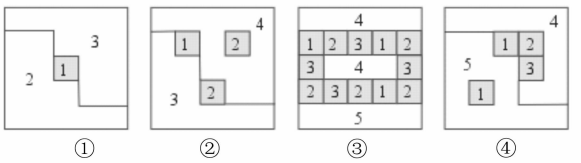


图 1　空间视觉冲突区域类型

Fig. 1　Types of Spatialvisual Conflict Regions

对类似于面状道路的图斑,因地图比例尺缩小所产生的空间视觉冲突类型在这里不作讨论。

2　图斑群合并的策略

从图 1 可以看出,为了消除空间视觉冲突,需要利用不同的地图综合算子,即融合和聚合[12]。对于图 1 中第①类空间视觉冲突,可以通过把小图斑合并到邻接的大图斑中来解决,在合并过程中,必须考虑邻接图斑的类型和邻接的程度等。利用邻接图斑类型从语义角度确定图斑类型之间的语义距离,邻接程度是用于避免再次产生空间视觉冲突的参数,主要指两个图斑公共弧段的长度,该值必须大于 $3d$(实验中确定的经验值)。若该图斑是可聚合的类型,则需要在其周围搜索可聚合的对象,以便进行聚合。

对于第②类空间视觉冲突,需要考虑这个图斑群中图斑的类型是否一致,并且是否允许被聚合。因此,对于这类空间视觉冲突,只有图斑群中的图斑都符合聚合条件时才能用聚合算子,否则,转换为第①类空间视觉冲突,对各个图斑按面积从小到大分别进行处理。

对于第③类空间视觉冲突,则显得有些复杂。这些图斑的合并有多种选择,需要考虑图斑群变化量的总和是否已达到最小。Haunert 等尝试利用混合整数规划的方法解决土地覆盖图综合的最优化问题[13,14]。

第④类空间视觉冲突类型属于第②类和第③类的混合类型,可以先按照第②类的处理方法剥离出邻近小图斑集合,然后再处理剩下的第③类空间视觉冲突。

3　图斑群的渐进式合并

人们以往都是从全图出发来求解图斑群合并的最优化问题,但实际上,在考虑多种约束条件后,只有第③类空间视觉冲突区域才会出现非线性的最优化问题。为了简化此问题的求解方法,提高土地利用图斑合并的计算效率,本文采用了渐进式合并和再调整的优化策略。算法如下:

1) 从前文可知,该冲突区域是 R 的一个子集 R',为了提高运算速度,先对 R' 中的图斑按照面积从小到大进行排序。

2) 依据第①类空间视觉冲突的处理方法对 R' 中面积最小的图斑进行合并,并保证当前合并的最优化。

3) 当一个图斑被合并后,需要从集合 R' 中删除被合并的图斑(作删除标志),并改变与之合并的另一个图斑的几何特征和属性值。

4) 重新对 R' 中的图斑按面积从小到大进行排序,已作删除标志的图斑除外,若合并后的图斑面积大于面积阈值 ε_i,也需要在 R' 中作删除标志,表示不再参与合并。

5) 当被合并的两个图斑都属于集合 R' 时,需要记录它们的图斑号和合并前后的图斑类型,形成一个集合 P。记录这些值的目的是便于调整合并后图斑的类型。

6)判断 R' 中是否还有需合并的图斑,若有,则返回步骤 1),否则,依据集合 P 和原始集合 R' 的图斑邻接关系,判断是否存在 3 个或更多的小图斑合并为一个大图斑的情况。

7) 调整合并后大图斑的类型,使合并后的变化值达到最小。

如图 2 所示,图 2(a)是三个属性值分别为 1、2、3 的小图斑,理论上,图 2(a)合并后可能会出现图 2(b)、2(c)和 2(d)三种情况,但它们的变化程度却不同,假设直接用属性值计算它们的变化程度,则图 2(b)与图 2(a)相比,三个小图斑(按照 x 坐标从小到大)的变化程度分别为 1、0、2,所以总的变化程度为 3。依此类推,图 2(c)和图2(d)分别与图 2(a)相比,变化程度分别为 2 和 3。因而,从图斑类型变化最小的角度来看,图 2(c)是最合理的。若合并图斑中存在这种情况,则需要根据它们最原始类型语义之间的差别选择一个最合适的图斑类型,使合并结果达到最优。

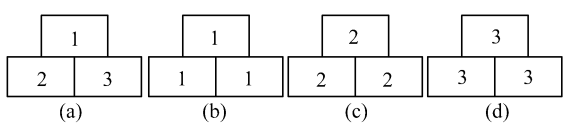


图 2　不同属性的邻接小图斑合并后的 3 种情况

Fig. 2　Three Kinds of Combination Results of Touched Polygons with Different Attributes

通过前文所述的小图斑群渐进式合并,已记

录了合并过程中多个小图斑合并为一个大图斑的情况。为了说明该处的最优化处理方法，设合并后的大图斑内包含了 m 个小图斑，每个图斑的原始类型为 C_{ij}（$i=1,\cdots,m$；$j=1,\cdots,n$，其中，n 为图斑类型数），每个图斑的面积为 A_i（$i=1,\cdots,m$），这 m 个小图斑的图斑类型集合为 CC，则图斑群合并的最优化控制目标为：

$$\min\sum_{i=1}^{m}|C_{ij}-CC_{ik}|\cdot A_i/\sum_{i=1}^{m}A_i \tag{1}$$

其中，$|C_{ij}-CC_{ik}|$ 表示两个类型之间的语义距离，采用文献[16]中的方法，通过计算语义相似度求得。约束条件是：$CC_{ij}\in CC$，$CC_{ik}\in CC$，$CC_{ij}\neq CC_{ik}$，$1\leqslant j\leqslant n$；$1\leqslant k\leqslant n$。理论上，第 i 个图斑的原始类型 C_{ij} 可以转换为集合 CC 中的任何一类，在渐进式合并过程中已记录了该大图斑可转换的图斑类型集合。由于这 m 个小图斑的面积都比较小，可以认为面积近似相等，因此，最优化控制目标函数(1)可转换为：

$$\min\sum_{i=1}^{m}\frac{1}{m}\cdot|C_{ij}-CC_{ik}| \tag{2}$$

由于合并后的大图斑内所包含的小图斑数很有限，所以可以采用枚举法计算最优解，从而得到合并后的大图斑的图斑类型。若大图斑所包含的小图斑数比较多，则应适当缩小最小图斑的面积阈值，再进行渐进式合并。也就是说，当图斑群合并的比例尺跨度比较大时，应当选择一个或多个过渡性比例尺进行图斑群合并。

4 图斑群合并的实验

图斑群合并过程中涉及到很多约束条件，这些约束条件在本实验中采用“参数表”方法表示。本实验数据是县级土地利用图，初始比例尺为1∶1万，综合后比例尺为1∶7.5万。依据图斑群合并的需要建立约束条件表，主要考虑最小阈值和聚合的条件。该实验由 ArcGIS Engine + Visual Basic 开发的软件完成，其主要流程如图3所示。渐进式图斑合并体现为空间视觉冲突类型③的处理，依据图斑面积的排序，对图斑进行渐进式合并。当该类型的一个图斑群中图斑数量超过一个限定值时，可以先缩小图斑的面积阈值，重新划分空间视觉冲突类型，以便提高图斑合并的效率。也就是说，图3中对空间视觉冲突类型①、②、③和④的处理可以是一个渐进过程。由于该实验中地图的比例尺跨度不大，因此只对类型③的渐进式处理进行了实验。

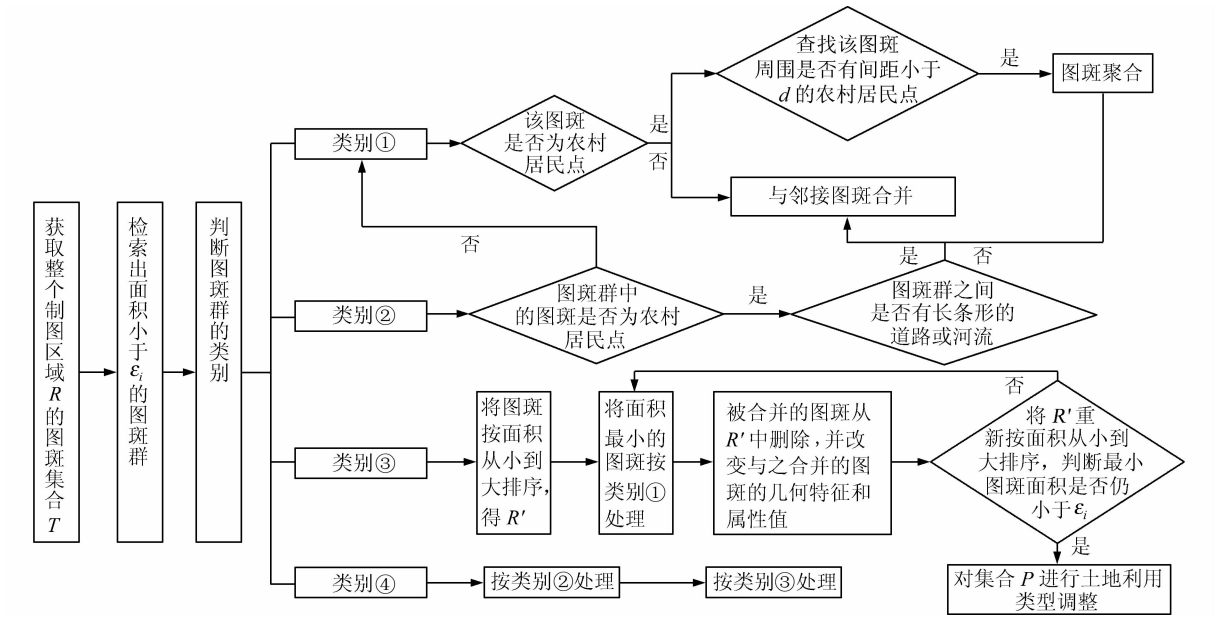


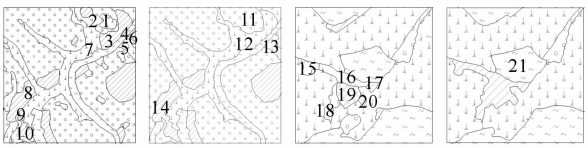
图3 土地利用图斑群合并的数据流程

Fig. 3 Data Flow of Combination of Land-use Polygon Groups

图4是选取实验中的两块局部地区综合前后的对比图。为了表达清楚，在此将图4(b)和图4(d)放大了7.5倍。实验过程严格按照县级土地利用总体规划制图规范进行编制[17]，但为了图形表达清晰，将图4中的图斑依据土地利用类型的不同采用不同的晕线表示。

在图4(a)中，图斑1为耕地，与之相邻接的只有图斑2，所以将图斑1合并到图斑2中，见图4(b)中的图斑11，这属于第①类空间视觉冲突。图斑3、4为农村居民点，由于它们之间有河流存

在,所以无法对其进行聚合,只能分别按照第①类空间视觉冲突类型的处理方法进行合并,将图斑 3 合并到图斑 7 中,图斑 4 合并到图斑 6 中,见图 4(b)中的图斑 12 和 13。图斑 8、9、10 均为小于上图面积的农村居民点,且图斑间距小于 d,所以综合时将它们进行聚合,见图 4(b)中的图斑 14,这属于第②类空间视觉冲突。



(a) 综合前　(b) 综合后　(c) 综合前　(d) 综合后

图 4　土地利用图斑综合前后的对比图

Fig. 4　Comparison Before and After the Generalization

在图 4(c)中,图斑 15、16、17、18、19、20 为相互邻接的均小于上图面积的小图斑群,它们的土地利用类型分别为坑塘水面、园地、农村居民点、林地、建制镇、农村居民点,按照第③类空间视觉冲突的解决方法,将图斑按面积从小到大进行渐进式合并。经实验,综合后,土地类型转变为农村居民点所引起的变化量最小,如图 4(d)中的图斑 21 所示。

5　结　语

本文将小图斑群的空间视觉冲突类型划分成四类,使解决的问题更有针对性,然后对不同的类型采用了不同的图斑合并策略。与从全图角度计算图斑群合并的最优化方法相比,计算效率更高,因为综合过程中只需要处理图斑空间视觉冲突部分,所以本文所采用的方法仍然达到了全局优化的综合结果。从实验结果来看,同一幅图,其计算效率平均提高约 50%。

参　考　文　献

[1] Peter B, Weibel R. Using Vector and Raster-Based Techniques in Categorical Map Generalization[C]. The 3rd ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Ottawa, 1999

[2] Ware J M, Jones C B, Bundy G L. A Triangulated Spatial Model for Cartographic Generalization of Areal Objects[C]/Kraak M J, Molenaar M. Advances in GIS Research II. London: Taylor & Francis, 1997

[3] Bader M, Weibel R. Detecting and Resolving Size and Proximity Conflicts in the Generalization of Polygonal Maps[C]. The 18th ICC, Stockholm, Sweden, 1997

[4] Liu Xingjian, Zhan F B, Ai Tinghua. Road Selection Based on Voronoi Diagrams and "Strokes" in Map Generalization[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009, 12(2):194-202

[5] 艾廷华,郭仁忠,陈晓东. Delaunay 三角网支持下的多边形化简与合并[J]. 中国图像图形学报,2001(7):701-709

[6] 高文秀,龚健雅. 基于知识的 GIS 专题数据综合的研究[J]. 武汉大学学报・信息科学版,2005,30(5):400-404

[7] 王家耀,钱海忠. 制图综合知识及其应用[J]. 武汉大学学报・信息科学版,2006,31(5):382-386

[8] Ruas A, Dyevre A, Duchene C, et al. Methods for Improving and Updating the Knowledge of a Generalization System[C]. The 16th AutoCarto Conference, Vancouver, Canada, 2006

[9] Sester M. Optimization Approaches for Generalization and Data Abstraction[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(8/9): 871-897

[10] Monnot J, Hardy P, Lee D. An Optimization Approach to Constraint-Based Generalization[C]. The 23th ICC, Moscow, Russia, 2007

[11] Regnauld N. Algorithms for the Amalgamation of Topographic Data[C]. The 21st International Cartographic Conference, Paris, France, 2003

[12] 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

[13] Haunert J, Wolff A. Generalization of Land Cover Maps by Mixed Integer Programming[C]. ACM-GIS'06, Virginal, USA, 2006

[14] Haunert J, Wolff A. Area Aggregation in Map Generalization by Mixed-integer Programming[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(12): 1 871-1 897

[15] 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

[16] Cheng T, Li Zhilin. Towards Quantitative Measures for Semantic Quality of Polygon Generalization[J]. Cartographica, 2006(2):135-147

[17] 中华人民共和国国土资源部. 县级土地利用总体规划编制规程[M]. 北京:中国标准出版社,2010

第一作者简介:郭庆胜,教授,博士,博士生导师,主要从事地图制图综合、地理信息智能化处理与可视化研究。

E-mail:guoqingsheng@126.com

(下转第 232 页)