

引文格式:郭庆胜,李国贤,王勇,等.直线排列建筑物群渐进式典型化方法[J].测绘学报,2020,49(10):1354-1364. DOI:10.11947/j. AGCS.2020.20190495.



GUO Qingsheng, LI Guoxian, WANG Yong, et al. The method of progressive typification for building groups with straight linear patterns[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2020, 49(10): 1354-1364. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2020.20190495.

直线排列建筑物群渐进式典型化方法

郭庆胜^{1,2}, 李国贤¹, 王勇³, 刘纪平³, 魏智威^{1,4}

1. 武汉大学资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 3. 中国测绘科学研究院, 北京 100830; 4. 中国科学院电子学研究所, 北京 100830

The method of progressive typification for building groups with straight linear patterns

GUO Qingsheng^{1,2}, LI Guoxian¹, WANG Yong³, LIU Jiping³, WEI Zhiwei^{1,4}

1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 3. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China; 4. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100830, China

Abstract: The pattern structure of buildings in the map generalization is a key factor to be considered. When there are spatial graphic conflicts among subgroups of buildings in different patterns, the generalization of these buildings becomes more complex. The generalization of straight linear pattern buildings is dominated by typification on large scale topographic maps. This paper proposes a progressive typification method for building subgroups of straight linear patterns with potential spatial graphic conflicts. The proposed method can progressively deal with the spatial graphic conflict between building subgroups in multiple straight linear patterns, and retain the important straight linear pattern structure of building groups. The position, shape, size and orientation of the typical building can be determined automatically with the restriction of visual graphical constraints expressed by the building. This paper also studies the automatic identification method of straight linear pattern of building subgroups based on the spatial proximity graph of building groups, and analyzes the adjacent relationship and intersection relationship between these straight linear patterns. Finally, the buildings on the 1 : 5000 map as a test data were generalized into 1 : 25 000 map, which verifies the availability and effectiveness of the algorithm proposed in this article.

Key words: straight linear pattern; building groups; spatial graphic conflict; typification

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(No. 41871378)

摘 要: 地图综合中,建筑物群的排列结构是需要重点考虑的因素。当不同排列的子建筑物群之间存在空间图形冲突时,这些建筑物群的综合就显得更为复杂。直线排列建筑物群的综合在大比例尺地形图上以典型化操作为主。本文提出一种相互之间存在潜在空间图形冲突的多个直线排列建筑物子群的渐进式典型化方法,渐进式地处理多个直线排列建筑物子群之间的空间图形冲突,保留建筑物群重要的直线排列结构;以建筑物表达的视觉图形约束为限制条件,自动确定典型化后的建筑物位置、形状、大小和方位。本文还研究了基于建筑物群空间邻近图的直线排列建筑物子群的自动识别方法,分析了这些直线排列之间的邻近关系和相交关系。最后,以 1 : 5000 地图上的建筑物群综合为 1 : 25 000 为试验对象,验证了所提出算法的可用性和有效性。

关键词: 直线排列;建筑物群;空间图形冲突;典型化

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:1001-1595(2020)10-1354-11

基金项目:国家自然科学基金(41871378)

建筑物群综合主要表现在建筑物图形简化^[1-3]、建筑物聚合^[4-5]、建筑物群选取/删除^[6-8]、建筑物群移位^[9-11]、建筑物群典型化^[12-17]等。建筑物群典型化的目的是通过较少数量的新对象来重新表示一组对象,并尽可能地保留其空间特征和结构相似性^[17-19]。建筑物群典型化包括模式识别和建筑物子群模式结构的重新表达,如果不考虑建筑物群的结构特点,可能会导致典型化结果丢失这些结构^[17]。为了自动识别出建筑物群中的排列方式,文献[20]基于计算几何、图论和视觉感知理论的知识研究了直线对齐和曲线对齐模式的识别,提出了识别中心对齐和侧边对齐模式的两种算法;文献[21]研究了以DT(Delaunay triangle)为基础的直线排列识别方法,利用位置、尺寸、形状和方位四个约束对邻近图进行细化,从细化后的邻近图中提取直线排列;文献[22]将建筑物投影在直线上,然后在直线上搜索一组距离非常近的投影点,将投影点以相同大小的包聚集在一起,根据物体的位置和对象的相似性评估每个包的邻近性;文献[23]基于建筑物的几何属性及其相互关系,通过制定约束识别出T型、L型、E型、Z型、H型和网格模式的建筑物群;文献[24]提出了一种基于关系的方法来形式化和发现3个抽象层次上的任意构建模式,在底层上定义了参考框架,推导出表示建筑物相对位置的基本关系,在中层上形式化了两个建筑物之间的语义关系,分为平行关系、垂直关系和共线关系,在顶层上基于底层和中层的关系形式化建筑物模式,包括共线模式、结构化模式和其他感兴趣的模式。

建筑物群典型化的已有算法包括:文献[12, 14]采用渐进网格技术,将建筑物群转化为点群进行典型化;文献[25]将图面划分为不同的区,在每个区内划分不同的簇,以簇为单元进行典型化;文献[17]提出了一种渐进式消除直线排列中影响最小建筑物的典型化方法,在总面积保持不变的前提下将剩余建筑物均匀分布在直线排列上,直至删除的数量满足条件;文献[26]将建筑物群网格分解为小的网格,将小网格关联的建筑物用一个建筑物表示,对其重新定位和表达,迭代的结果能够较好地保持网格模式结构,实现网格式的建筑物子群典型化;文献[7]基于邻近图和格式塔理论

将建筑物划分为同质的组,使它们在视觉上可区分,首先将建筑物放置在组的末端,保持末端建筑物位置不变,以确保组的视觉感知效果,然后定位重要建筑物,填补组内缺口。

在目标比例尺地图上直线排列的多个建筑物子群典型化后,可能存在空间图形冲突,这时就必须对次要的直线排列结构线进行剪裁、合并或删除等,以便清晰地表达出建筑物群的主要排列结构。本文试图依据直线排列建筑物群之间的空间图形冲突程度、直线排列的长度和直线排列之间的结构特征,采用渐进式方法对存在潜在空间图形冲突的直线排列建筑物子群集合进行典型化,并对典型化后的直线排列建筑物之间的空间图形冲突进行处理,使建筑物群能够在目标比例尺地图上能清晰表达,同时保持其原来的结构特点。

1 直线排列建筑物群的自动识别

1.1 空间邻近图

一条直线排列内建筑物之间具有邻近关系,识别直线排列首先需要寻找建筑物之间的空间邻近关系。本文用重心点代表建筑物,基于这些重心点建立三角网,三角网中同一条边连接的两个建筑物在空间中具有邻近关系。利用三角网生成的四种邻近图可以反映建筑物之间的不同邻近关系,包括最小生成树(minimum spanning tree, MST)、最邻近图(nearest neighborhood graph, NNG)、相对邻近图(relative neighborhood graph, RNG)和Gabriel图(Gabriel graph, GG)^[27],其中,RNG能够用较少的边较完整地体现建筑物群的直线排列关系^[28],因此本文基于RNG来寻找直线排列建筑物群。在建立空间邻近图时,本文将三角网中每条边的长度定义为这条边所连接的两个建筑物之间的最短距离。

1.2 直线排列的识别方法

邻近图中相连的两条边是否能够形成直线排列,由两条边的最小夹角(U)以及边所连接的建筑物特征是否相似来确定,当该夹角小于设置的阈值 β_1 且边连接的建筑物特征一致时可形成直线排列。考虑到人的视觉感知规则^[20,27],形成直线排列的建筑物数量不少于3。依据格式塔理论,可以选用建筑物形状、尺寸和方位3个参数判

定建筑物相似性,以此确定关联的建筑物特征是否一致^[20,27-28]。

(1) 形状。采用建筑物的边数确定^[27]。两个建筑物的形状相似度(E)是两个建筑物中较多边建筑物边数与较少边建筑物边数之比,当该比值小于阈值 β_2 时认为其形状相似,计算方法见式(1)

$$E = \max(c_A, c_B) / \min(c_A, c_B) \quad (1)$$

式中, c_A 是建筑物 A 的边数; c_B 是建筑物 B 的边数; \max 表示取集合中的最大元素; \min 表示取集合中的最小元素。

(2) 尺寸。用建筑物的面积来表示,两个建筑物的尺寸相似度(M)用两个建筑物中较大建筑物面积与较小建筑物面积比值确定,比值小于阈值 β_3 则认为两个建筑物尺寸相似。计算方法见式(2)

$$M = \max(S_A, S_B) / \min(S_A, S_B) \quad (2)$$

式中, S_A 是建筑物 A 的面积; S_B 是建筑物 B 的面积。

(3) 方位。用建筑物最小面积外接矩形主方向(如 R_A 、 R_B)表示^[27],通过计算两个建筑物的最小面积外接矩形的主方向差(D)是否小于阈值 β_4 来判断两个建筑物方位是否相似。计算方法见式(3)

$$D = \text{ori}(R_A) - \text{ori}(R_B) \quad (3)$$

式中, $\text{ori}(R_A)$ 是建筑物 A 的最小面积外接矩形的长轴方向; $\text{ori}(R_B)$ 是建筑物 B 的最小面积外接矩形的长轴的方向。

最后,根据式(4)可判断两条边能否形成直线排列

$$U \leq \beta_1 \ \& \ E \leq \beta_2 \ \& \ M \leq \beta_3 \ \& \ D \leq \beta_4 \quad (4)$$

1.3 直线排列的信息组织

直线排列模式识别后可以得到直线排列的排列线集合 P ,根据每条直线排列上的建筑物是否存在于其他直线排列中判断该直线排列是否为交叉直线排列。若为交叉直线排列,则标记该建筑物为交叉建筑物,属性值 $\text{ib}=\text{true}$,该直线排列为交叉直线排列,属性值 $\text{ip}=\text{true}$,并记录与该直线排列交叉的其他直线排列集合(CP);若为不交叉直线排列,则标记为独立直线排列,属性值 $\text{ip}=\text{false}$ 。将互相交叉的所有直线排列定义为一个“组”,记为集合 G ,独立直线排列单独为一个“组”,一个“组”内的直线排列之间可能有复杂的交叉关系。

某一条直线排列 P_i 的数据结构是:直线排列的ID、 ip 、 CP 、直线排列上的建筑物集合 $B=\{B_1,$

$B_2, \dots, B_m\}$ 、建筑物的重心点集合 $C=\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ 、直线排列所属的组 g 、直线排列是否需要典型化 iTP 、直线排列典型化后建筑物的长 L 、宽 W 、方位 O 等。

单个建筑物的数据结构是:建筑物ID、 ib 、建筑物是否位于一条直线排列的端点处、建筑物所属直线排列的ID集合等。

2 顾及交叉特征的直线排列建筑物群典型化方法

此处所指的直线排列建筑物群的典型化是狭义上的典型化含义,是对具有直线排列特征的建筑物群的重表达过程,包括对直线排列上建筑物的符号化和重定位过程。

2.1 建筑物群典型化制图约束

典型化是用相对较少的新对象重新表示一组对象,并尽可能保持其原始的空间特征和结构相似性^[17-19],但并不是所有建筑物群都需要典型化,只有具有特定空间结构的建筑物群在目标比例尺下不能清晰地表示时才需要典型化,即主要针对半依比例尺表示的符号化的建筑物群进行典型化。本文首先对在目标比例尺地图上不能清晰表达的建筑物进行符号化,进而对其进行典型化操作并解决直线排列建筑物群之间的空间图形冲突。

对于交叉直线排列,为保持直线排列之间的相互关系,需尽量保留交叉处的建筑物。若典型化后的建筑物之间存在潜在的空间图形冲突,就需要识别空间图形冲突并对次要的直线排列或建筑物进行剪裁和删除,保留主要直线排列,最大限度地保持原始建筑物群的整体特征。建筑物群典型化的地图制图约束见表1。

表1 建筑物群典型化的地图制图约束
Tab.1 Cartographic constraints for typification of building groups

分类	约束条件
建筑物	建筑物尺寸约束(例如 $0.7 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ ^[29])
	建筑物间最短间隔约束 R (例如 0.2 mm ^[29])
	建筑物主方位约束
	排列内建筑物密度约束(主要通过排列虚实比控制)
排列	排列的主方向约束
	排列上建筑物的方位差变小(变化约束)
	所占排列线上的范围约束
	排列典型化前后虚实比变化约束
	排列之间的密度约束(可以通过空间图形冲突间接控制)

此外,典型化过程中需确定建筑物及直线排列的重要性,建筑物及直线排列的重要性排序规则如下:

(1) 建筑物的重要性按照建筑物的面积和位置确定,面积大的建筑物重要性大于面积小的建筑物,位于直线排列端点处和交叉处的建筑物重要性大于直线排列内的其他建筑物,若两建筑物均位于端点处或交叉处,则关联较长直线排列的建筑物更为重要。

(2) 邻近直线排列的重要性首先按照类型区分(不交叉直线排列的重要性小于交叉直线排列);若类型相同,当两条直线排列中建筑物的面积比(较大建筑物比较小建筑物)小于设定的阈值时,则按照直线排列长度区分(短直线排列的重要性小于长直线排列),否则按建筑物面积区分其重要性。

(3) 组内直线排列的重要性依次按照直线排列的长度、直线排列中交叉建筑物是首尾建筑物的数量、交叉建筑物数量从大到小排序,即首先根据直线排列长度从大到小排序,若长度相等则按

$$\left. \begin{aligned} L &= LD \ \& \ W = WD & \text{if } area_{min} < AD \\ W &= WD \ \& \ L = L_{min} & \text{if } area_{min} > AD \text{ and } L_{min} > LD \text{ and } W_{min} < WD \\ L &= LD \ \& \ W = W_{min} & \text{if } area_{min} > AD \text{ and } L_{min} < LD \text{ and } W_{min} > WD \\ L &= L_{max} \ \& \ W = W_{max} & \text{if } area_{min} > AD \text{ and } L_{min} > LD \text{ and } W_{min} > WD \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, L 和 W 分别是直线排列上典型化后建筑物的长与宽; LD 、 WD 和 AD 分别是目标比例尺上建筑物长、宽和面积的最小尺寸,根据国家地形图标准,在 $1:25\,000$ 比例尺下它们分别为 0.7 、 0.5 和 0.35 mm ^[29]; L_{min} 、 W_{min} 和 $area_{min}$ 分别为直线排列上最小建筑物的长、宽和面积; L_{max} 和 W_{max} 分别表示直线排列上最大建筑物的长和宽。

(2) 形状。随着地图比例尺变小,形成直线排列的建筑物群多为矩形,因此本文为了简化算法的描述,将典型化后的建筑物形状确定为矩形^[26]。

(3) 方位。独立直线排列的典型化建筑物的方位由原始建筑物中面积最大的建筑物决定,交叉直线排列的典型化建筑物方位为组内最长直线排列中面积最大的建筑物方位,且组内所有直线排列上典型化建筑物方位相同。

2.3 交叉直线排列的拆分

为了保持直线排列的整体特征和直线排列之间的关系,需要保持交叉处建筑物位置不变。本

照直线排列中交叉建筑物是首尾建筑物的数量从大到小排序,若该数量相等,则按照交叉建筑物数量从大到小排序。

2.2 典型化的条件及建筑物符号化

直线排列建筑物群需要典型化的条件是:目标比例尺地图的直线排列上相邻建筑物(包括符号化后)之间图上距离的最小值小于图上最短距离约束。若直线排列上的建筑物群在目标比例尺上可以清晰独立地表示,则不需要典型化。典型化后的建筑物用下列 3 个参数来描述^[12,26],下文中的建筑物尺寸和建筑物之间的间隔都是图上尺寸,不再特别说明。

(1) 长与宽。若直线排列上最小建筑物的尺寸小于目标比例尺下的最小尺寸约束,则典型化后建筑物的长与宽分别为目标比例尺下建筑物的最小约束尺寸;否则,典型化后建筑物的长与宽为该直线排列内最大建筑物的长和宽。若直线排列为交叉直线排列,则该组内所有典型化建筑物的长与宽都一致,计算方法见式(5)

文将交叉类型的直线排列以交叉处的建筑物作为结点拆分为几段子排列,若交叉处的建筑物出现在多个子排列中,则拆分后子排列所属的原始直线排列为其父排列。一条父排列可能被拆分为几条子排列,独立的直线排列不进行拆分。如图 1(a)中排列 2 为父排列,拆分后变为图 1(b)中的排列 3 和 4 两条子排列。拆分后的子排列需继承其父排列的相关属性。

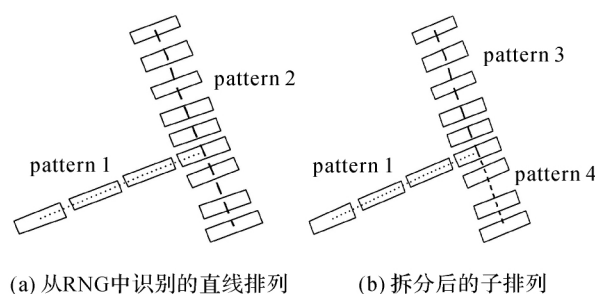


图 1 直线排列及其拆分

Fig.1 Straight linear pattern and its split

2.4 典型化后的建筑物数量计算

直线排列的图形虚实比是指直线排列上的建筑物与排列线相交的图上长度(D)与相邻两个建筑物间隔的图上长度(S)的比值,见图2。典型化前后直线排列上的图形虚实比变化应在一定范围内。

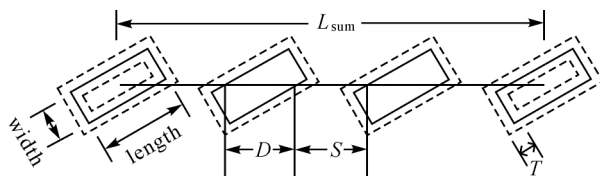


图2 直线排列的建筑物数量计算

Fig.2 Buildings number in a straight linear pattern

根据直线排列的图形虚实比可计算典型化后直线排列上建筑物之间的间隔,根据间隔可计算典型化后直线排列上建筑物的数量^[14,30],算法如下:

(1) 根据直线排列的图形虚实比计算典型化后直线排列上建筑物之间的间隔理论值,计算方法见式(6)。从图2可以看出,在典型化后的单个建筑物尺寸确定的条件下, D 和 T 为已知量,从而可以计算出理论上的 S 值。

$$\frac{S-T}{D+T} = \frac{S_o-T_o}{D_o+T_o} \quad (6)$$

式中, T_o 和 T 是建筑物典型化前后轮廓线的图上宽度,根据国家地形图规范,在1:25 000比例尺的图上为0.1 mm^[29], D_o 和 D 是典型化前后建筑物与排列线相交的长度, S_o 和 S 是典型化前后两个邻近建筑物之间沿排列线的间隔。

(2) 根据理论上的间隔值 S 确定典型化后直线排列上建筑物之间的间隔值。若理论间隔值大于目标比例尺下的可分辨距离 β_d ,则理论间隔值即为典型化后直线排列上建筑物之间的间隔值;否则,就需要调整理论间隔值,将最小可分辨距离作为建筑物之间的间隔值,以便计算合理的建筑物数量,计算方法见式(7)、式(8)

$$\beta_d = R + T \quad (7)$$

$$S_t = \begin{cases} S & \text{if } S \geq \beta_d \\ \beta_d & \text{if } S < \beta_d \end{cases} \quad (8)$$

式中, β_d 是两个邻近建筑物之间的最短距离阈值; R 是目标比例尺下建筑物之间的最短距离约束,在1:25 000比例尺下为0.2 mm^[29]。

(3) 最终确定直线排列上两个邻近建筑物之

间的间隔值。若直线排列上相邻建筑物之间的间隔值在步骤(2)中被调整,则计算此时的典型化前后直线排列图形虚实比的变化值,计算方法见式(9),若变化值小于虚实比变化阈值 ϵ ,则当前间隔值即为典型化后直线排列上建筑物之间的间隔值;否则,需要迭代式调整建筑物在排列线上的长度(D)或间隔(S_t),直至直线排列的图形虚实比变化小于 ϵ ,计算方法见式(10)。

$$t = \left| \frac{S_t - T}{D + T} - \frac{S_o - T_o}{D_o + T_o} \right| \quad (9)$$

$$\begin{cases} D = D + \Delta D & \text{if } t > \epsilon \text{ and } \frac{S_t - T}{D + T} > \frac{S_o - T_o}{D_o + T_o} \\ S_t = S_t + \Delta S & \text{if } t > \epsilon \text{ and } \frac{S_t - T}{D + T} \leq \frac{S_o - T_o}{D_o + T_o} \end{cases} \quad (10)$$

式中, t 是典型化前后图形虚实比的变化值; ϵ 是图形虚实比变化阈值,这里设为5%; ΔD 和 ΔS 是 D 和 S 的变化步长,均为0.1 mm,若 D 被调整,需要根据调整后的 D 计算出典型化后直线排列上建筑物的真实长(L)和宽(W)。

(4) 根据最终的间隔值计算直线排列上的建筑物数量,计算方法见式(11)

$$\text{amount} = 1 + \frac{L_{\text{sum}}}{D + S_t} \quad (11)$$

式中,amount为典型化后单条直线排列中建筑物的数量; L_{sum} 为直线排列总长度,参数含义参见图2。

2.5 单个直线排列上的建筑物群典型化

对拆分后的每一条需要典型化的子排列可以用文献[17]所提出的方法进行典型化。根据已计算出的建筑物数量删除子排列中影响最小的建筑物(影响大小用建筑物的面积衡量)。为了保持直线排列的原始长度和结构特征,删除的建筑物不能是直线排列的首尾建筑物或者交叉建筑物。

根据子排列的 L 、 W 和 O 的值对直线排列上的所有建筑物统一表达,并对建筑物进行移位,将直线排列首尾两端建筑物移动至最外边界与原建筑物相同,以保持直线排列长度不变,直线排列内部建筑物等距离分布,如图3所示,灰色多边形为原始建筑物,图3(a)是按照数量删除建筑物后的情况,图3(b)是直线排列上首尾两个建筑物移位后的结果,图3(c)是直线排列内部建筑物移位的结果。在移位处理后需要将由同一条父排列拆分的子排列合并成为一条新直线排列。

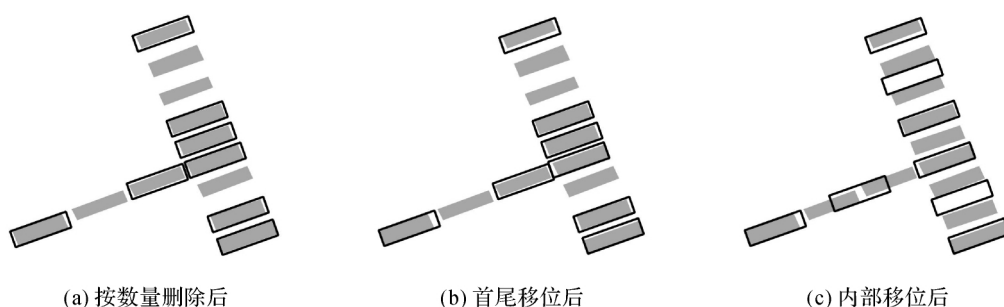


图 3 典型化过程

Fig.3 Typification process

3 空间图形冲突识别与处理

每条直线排列上的建筑物群典型化后可能会在局部空间区域产生空间图形冲突。建筑物之间有重叠或两个建筑物之间距离过近,或者不同直线排列的凸壳重叠或距离过近,都称为空间图形冲突。这些空间图形冲突可以分为:单条直线排列内部的空间图形冲突(A型冲突)、邻近直线排列之间的空间图形冲突(B型冲突)和组内直线排列之间的空间图形冲突(C型冲突)。本文采用渐进式方式处理这些图形冲突。首先计算所有直线排列的重要性,并排序;然后处理好A型冲突;其次,对B型冲突进行渐进式处理,再对C型冲突进行渐进式处理;最后处理需要进一步调整的排列。下面分别讨论这些处理方法。

3.1 单条直线排列内部的空间图形冲突

直线排列内部的空间图形冲突是指典型化后同一直线排列内建筑物重叠或者距离过近,首先需要对直线排列内部有空间图形冲突的建筑物进行检测和处理。在典型化过程中,直线排列被拆分为子排列,在每一条子排列中执行了删除、表达和移位等操作,删除的建筑物不允许是首尾建筑物或者交叉建筑物,因此只有子排列上建筑物全部为交叉建筑物和首尾建筑物时才会出现直线排列内部的空间图形冲突,如图4(a)的冲突1和冲突2。判断两个建筑物冲突的标准是建筑物相交或建筑物之间的最短距离小于规定值 β_d 。对于图4(a)的冲突1,需要将端点处建筑物删除,并更新直线排列的相关信息,直线排列内部空间图形冲突的处理结果如图4(b)所示。对于图4(a)的冲突2,需要采用下文的组内直线排列之间的空间图形冲突处理方法。

3.2 邻近直线排列之间的空间图形冲突

判断两条直线排列之间的空间图形冲突的标

准有两个:①两条直线排列之间的建筑物重叠或距离过近;②两条直线排列的凸壳重叠或距离过近。若有空间图形冲突的两条直线排列不在同一个“组”内,即为邻近直线排列之间的空间图形冲突。

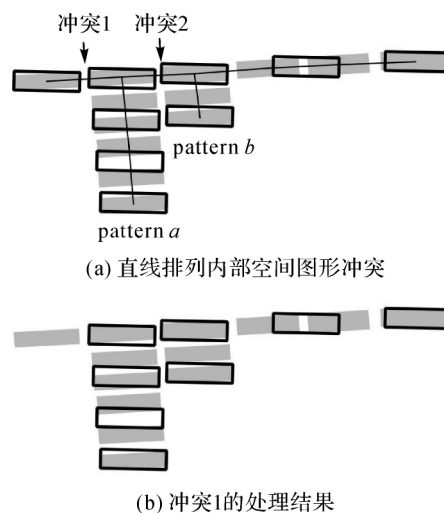


图 4 直线排列内部空间图形冲突及处理

Fig.4 Internal graphic conflicts in a straight linear pattern and its handling

邻近直线排列之间的空间图形冲突可分为3种类型:独立直线排列之间的空间图形冲突(图5(a))、独立直线排列与交叉直线排列之间的空间图形冲突(图5(b))、不同组的交叉直线排列之间的空间图形冲突(图5(c))。本文采用渐进式方法解决邻近直线排列之间的空间图形冲突,删除相对不重要的直线排列中存在空间图形冲突的建筑物。

渐进式消除邻近直线排列之间的空间图形冲突算法如下:

(1) 将典型化后的所有直线排列按照长度从大到小排序,得到集合 PatternSub, 在集合 PatternSub 中选择长度最长的直线排列 Len_{max} 作为当前直线排列。

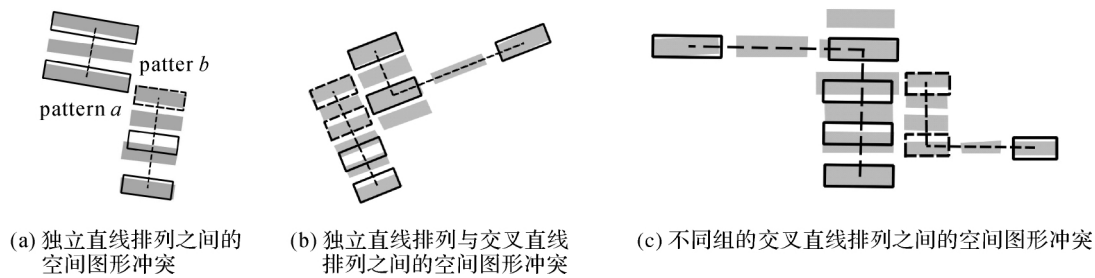


图5 邻近直线排列的空间图形冲突

Fig.5 Spatial graphic conflicts between a straight linear pattern and the proximal one

(2) 以当前直线排列 Len_{max} 为基础,搜索与其之间存在邻近直线排列空间图形冲突的其他直线排列,形成集合 $PatternConflict$ 。

(3) 依次处理当前直线排列与集合 $PatternConflict$ 中所有直线排列之间的空间图形冲突。若集合 $PatternConflict$ 为空,则转步骤(4)。否则,选取集合 $PatternConflict$ 中的一条直线排列,按照邻近直线排列的重要性排序规则确定其与 Len_{max} 的重要性,将不重要的直线排列中存在空间图形冲突的建筑物标记为删除,删除的建筑物可以是首尾建筑物,也可以是内部建筑物。删除存在空间图形冲突的建筑物后,将其余直线排列中含有的该建筑物也删除,并更新所有相关直线排列的空间图形冲突关系、相关属性和集合 $PatternSub$ 。

(4) 选择 $PatternSub$ 中次长的直线排列为当前直线排列。若当前直线排列为空,则结束,否则回到步骤(2)。

根据该算法,图5中虚线建筑物将被删除。

3.3 组内直线排列之间的空间图形冲突

多条交叉直线排列可以形成一个子群,本文称其为“组”直线排列。组内直线排列之间空间图形冲突是指存在空间图形冲突的几条直线排列属于同一组。这种情况出现在一条直线排列中存在连续的交叉建筑物之间,如图6所示。

组内直线排列之间空间图形冲突的渐进式处理方法如下:

(1) 设同一个组内的所有直线排列的集合为 $G=\{P_1, P_2, \dots, P_k\}$,将这些直线排列按照组内直线排列重要性排序规则从大到小排序,得到以该种重要性排序的直线排列集合 $TempG$ 。

(2) 在 $TempG$ 中选择最重要的一条直线排列 $CurPattern$ 作为当前直线排列,提取其所有交叉建筑物,用连续的交叉建筑物进行分段,依次判

断每个分段的空间图形冲突情况,并进行处理。

(3) 按照同样的方法处理完集合 $TempG$ 中的其他所有直线排列。

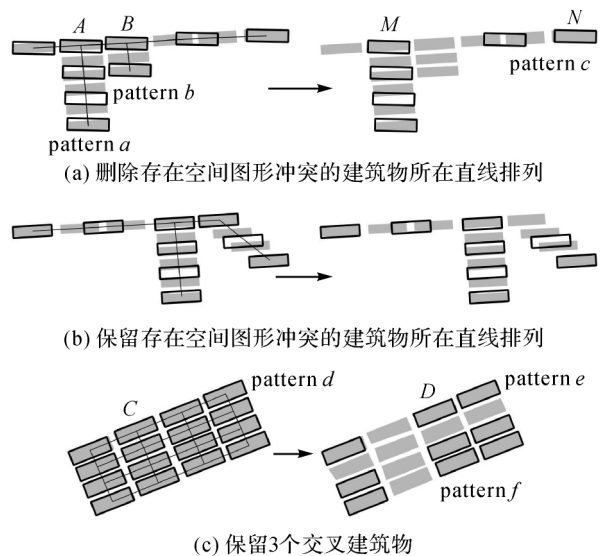


图6 组内直线排列空间图形冲突处理

Fig.6 Handling spatial graphic conflicts in straight linear patterns of an intra-group

处理交叉建筑物空间图形冲突的核心思想是删除相对不重要的交叉建筑物。将每一个分段视作一条直线排列,根据建筑物沿直线排列方向的长度和建筑物间的间隔计算每一个分段(连续的交叉建筑物组成一个分段)最多可以保留的交叉建筑物总数量 $JointNum$,进而确定需删除的交叉建筑物数量,计算方法见2.4节。

根据 $JointNum$ 值按照如下的规则处理空间图形冲突:

(1) $JointNum=1$,表示只能保留一个交叉建筑物,此时保留的该交叉建筑物关联的直线排列需为最长直线排列,将其余所有交叉建筑物删除。

如图6(a)左图,建筑物A和建筑物B构成一个

分段,计算得到 $\text{JointNum}=1$,因此删除较短的直线排列 b 中的交叉建筑物 B ,如图 6(a)右图。

(2) $\text{JointNum}=2$,表示需要保留两个交叉建筑物,选择分段两端的两个交叉建筑物保留,其余交叉建筑物删除。

(3) $\text{JointNum}>2$,表示至少可以保留 3 个交叉建筑物,此时先选择分段两端的两个交叉建筑物,然后从左到右以 β_d 为间距,判断下一个交叉建筑物是否被删除,若两个建筑物之间的间隔小于 β_d ,则删除该交叉建筑物。

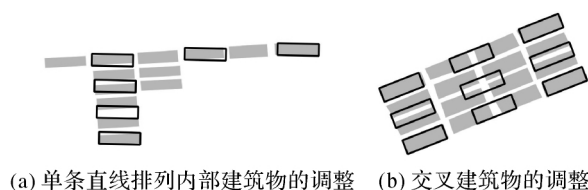
删除存在空间图形冲突的交叉建筑物后,将其余直线排列中含有的该建筑物删除,更新相关直线排列的组织结构关系,并判断删除的交叉建筑物关联的直线排列是否与已有直线排列存在空间图形冲突,若存在,则将关联直线排列上存在空间图形冲突的建筑物删除(图 6(a));若不存在则保留(图 6(b))。

图 6(c)左图中每条直线排列上的首尾建筑物均为交叉建筑物,每一条直线排列用 2.4 节的方法可计算得到 $\text{JointNum}=3$,对于直线排列 d ,保留两端的交叉建筑物,从左到右按照距离 β_d 删除建筑物 C ,按此方法处理组内其他直线排列得到图 6(c)右图,对于首尾建筑物均为交叉建筑物的直线排列,删除存在空间图形冲突的交叉建筑物后,保留的建筑物可能仍然存在空间图形冲突,因此需要对保留的交叉建筑物进行调整,将每条直线排列上保留的中间交叉建筑物(图 6(c)右图建筑物 D)标记为“需调整的交叉建筑物”,以便对直线排列进行调整。

3.4 直线排列组内的典型化调整

调整的对象为前面标记为“需调整的交叉建筑物”及其所在直线排列。如图 6(c)右图,排列 e 删除交叉建筑物后,保留的中间交叉建筑物为 D , D 已被标记为“需调整的交叉建筑物”,此时,需要将直线排列 e 调整至建筑物均匀分布,并将保留的交叉建筑物 D 所在的直线排列 f 随建筑物 D 一起移动到相应的位置。

除交叉建筑物以外,典型化后单条直线排列内部的建筑物也会因为空间图形冲突处理分布不均匀。如图 6(a)右图中,典型化后直线排列 c 的子排列中建筑物 M 为交叉建筑物,建筑物 N 为直线排列的首尾建筑物,子排列(MN)是需要调整的子排列,将该子排列的建筑物调整至平均距离分布,图 6(a)和图 6(c)的调整结果如图 7 所示。



(a) 单条直线排列内部建筑物的调整 (b) 交叉建筑物的调整

图 7 直线排列典型化与调整

Fig.7 Typification and adjustment of straight linear patterns

4 试验与分析

为了验证本文提出的方法,采用 OSM 下载的广州海珠区局部 1:5000 居民地共 242 个建筑物作为试验数据,目标比例尺为 1:25 000。

识别建筑物直线排列时参数设置对直线排列的识别结果有很大影响,不同的直线排列识别结果会产生不同的典型化结果,甚至可能使典型化结果失去合理性。邻近边角度阈值过大会导致识别的直线排列结构杂乱,阈值过小会丢失部分直线排列。当角度阈值 β_1 设为 5° ,面积阈值 β_3 为 1.5 时,由于条件过于苛刻,邻近边角度稍大即不能构成直线排列,可能将一条完整的直线排列分成若干部分,或者在视觉条件下能够形成直线排列的建筑物不被接受,如图 8(a)虚线椭圆部分所示。当角度阈值 β_1 为 15° ,面积阈值 β_3 为 2 时,结果将面积差异较大的建筑物识别为一条直线排列,造成较大的视觉差异,而角度阈值的扩大不仅使识别出的直线排列更加曲折,失去直线排列的特征,还可能形成一些无效的直线排列,破坏固有直线排列结构,如图 8(b)虚线椭圆部分所示。

经过试验对比,选取邻近边角度阈值 β_1 为 8° ,建筑物形状阈值 β_2 为 $1.5^{[31]}$,面积阈值 β_3 为 $1.5^{[31]}$,方位阈值 β_4 为 $20^\circ^{[20]}$ 。建筑物之间的最小间隔 R 设为 0.2 mm,建筑物的最小尺寸设为 $0.7 \text{ mm} \times 0.5 \text{ mm}$ 。

试验中间结果和最终结果如图 9 所示。图 9(a)显示了原始建筑物群,以及基于重心点构成的三角网所识别出的邻近图 RNG 和基于 RNG 识别的直线排列建筑物群,从结果来看,本文的方法能够识别用于建筑物群典型化的直线排列结构。图 9(b)是单条直线排列建筑物群的独自典型化结果,根据典型化的条件,图 9(b)中虚线椭圆圈出的直线排列是无须典型化的建筑物子群;典型化后的建筑物大小和位置可能有所变化,可能存在建筑物

间的空间图形冲突。图 9(c)是解决直线排列内部和直线排列之间的空间图形冲突的典型化结果,图中椭圆圈出的直线排列为调整后的直线排列。

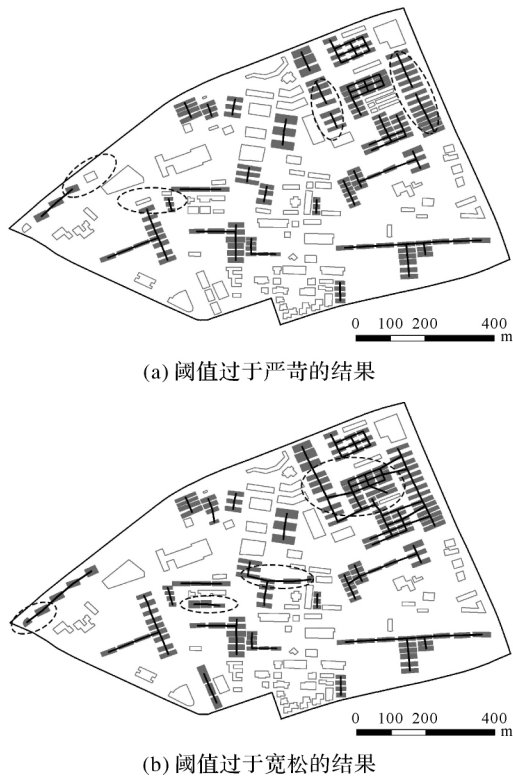


图 8 不同参数设置的直线排列识别结果

Fig.8 The result of recognizing straight linear pattern by different parameters

图 10(a)是直线排列的原始建筑物,原始比例尺为 1:5000,图 10 在原始地图幅面基础上缩小了 68%,图 10(b)左图是图 10(a)建筑物群典型化的结果,目标比例尺为 1:25 000。从试验结果看,本文方法能够保持原直线排列建筑物群的视觉特征,较好地保持原直线排列之间的相互关系和总体结构,解决典型化后建筑物之间和直线排列之间潜在的空间图形冲突。若只是考虑单个直线排列建筑物群的典型化结果,由于建筑物尺寸的变化以及建筑物之间图上距离的变化,可能造成直线排列之间以及建筑物之间的距离过近或者重叠和压盖,如图 9(b)所示。为了验证算法的可行性和实用性,将目标比例尺设定为 1:30 000,建筑物之间的最小间隔 R 设为 0.15 mm,建筑物的最小尺寸设为 0.7 mm × 0.5 mm,再次进行试验,并将结果图缩小至 1:30 000 显示,试验结果如图 10(b)右图所示。当目标比例尺变小时,直线排列和建筑物之间的

空间图形冲突可能会增多,被删除的有空间图形冲突的建筑物数量也会增加。此外,建筑物之间的最小间隔值的变化也会引起典型化结果的变化,当建筑物之间最小间隔值变小时,在原本条件下存在的某些空间图形冲突就可能不再存在。目标比例尺下建筑物之间的最小间隔值和建筑物最小尺寸等参数可以根据地图综合的要求灵活设置,没有对错之分。

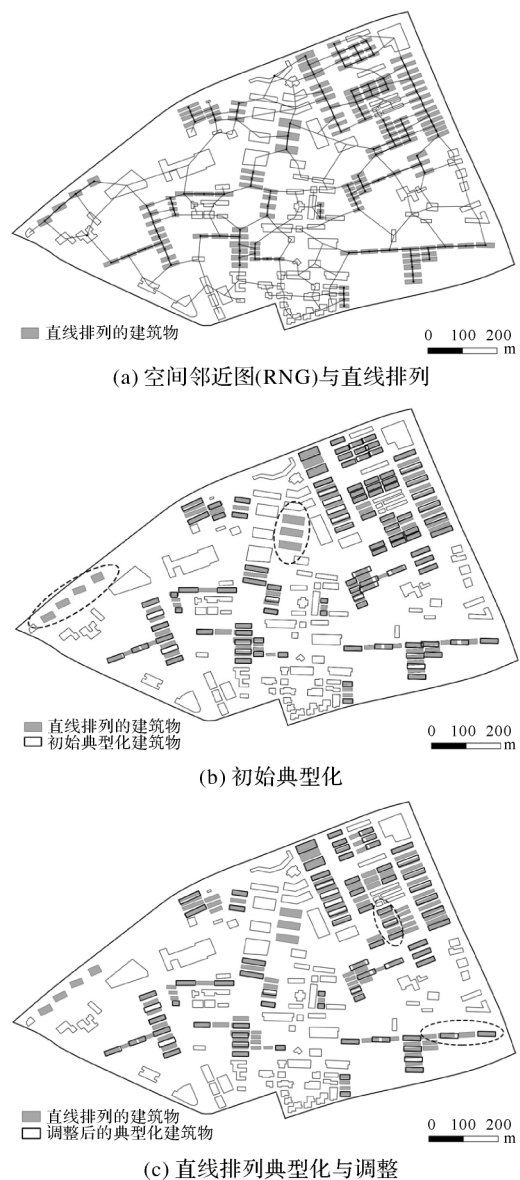


图 9 典型化过程

Fig.9 Typification process

5 结 论

本文提出一种能够保持建筑物群直线排列结构特征和相互关系的渐进式典型化方法,借助邻

近图能够自动识别用于建筑物群典型化的直线排列建筑物群,对于直线排列之间的空间图形冲突,寻找与当前直线排列存在空间图形冲突的其他直线排列的集合,依次逐一处理其与集合中所有直线排列之间的空间图形冲突,每次空间图形冲突处理后需更新直线排列的结构信息,基于更新后的直线排列进行下一次空间图形冲突处理,以实现渐进式直线排列之间空间图形冲突的处理。该方法可以解决建筑物群典型化过程中直线排列内部和直线排列建筑物群之间的空间图形冲突,典

型化结果能够保持原有建筑物群的整体结构。试验结果表明,本文方法保留了直线排列的重要位置,如交叉点;有效地保持了直线排列的结构和相互关系;避免了直线排列建筑物群之间的空间图形冲突;能自动确定目标比例尺上典型化后建筑物的数量、大小和方位等,达到了直线排列建筑物群的典型化目的。深度学习方法肯定可以在测绘领域得到很好的应用^[32],后续将进一步研究用深度学习自动识别需要典型化的建筑物群的算法,提高建筑物群典型化的自动化程度。

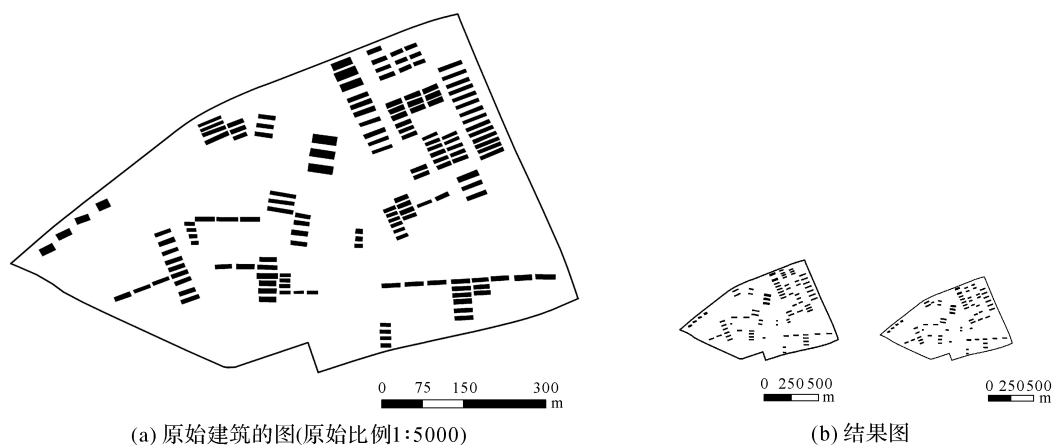


图10 原始的直线排列建筑物群及其典型化结果

Fig.10 Original buildings with straight linear patterns and its typification result

参考文献:

- [1] BUCHIN K, MEULEMANS W, SPECKMANN B. A new method for subdivision simplification with applications to urban-area generalization[C] // Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. Chicago, Illinois: ACM, 2011: 261-270.
- [2] HAUNERT J H, WOLFF A. Optimal and topologically safe simplification of building footprints[C] // Proceedings of the 18th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems. San Jose, California: ACM, 2010: 192-201.
- [3] HAUNERT J H, WOLFF A. Optimal simplification of building ground plans[C] // Proceedings of 21st ISPRS Congress. Beijing: IAPRS, 2008: 372-378.
- [4] HE Xianjin, ZHANG Xinchang, YANG Jie. Progressive amalgamation of building clusters for map generalization based on scaling subgroups [J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018, 7(3): 116.
- [5] 刘洋, 兰泽英, 张荣, 顾及居民地分布特征的建筑物分组合并算法研究[J]. 测绘通报, 2015(12): 50-53. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2015.376.
- [6] WANG Lin, GUO Qingsheng, LIU Yuangang, et al. Contextual building selection based on a genetic algorithm in map generalization[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2017, 6(9): 271.
- [7] REGNAULD N. Contextual building typification in automated map generalization [J]. Algorithmica, 2001, 30(2): 312-333.
- [8] SESTER M. Optimization approaches for generalization and data abstraction [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(8-9): 871-897.
- [9] LIU Yuangang, GUO Qingsheng, SUN Yageng, et al. A combined approach to cartographic displacement for buildings based on skeleton and improved elastic beam algorithm [J]. PLoS One, 2014, 9(12): e113953.
- [10] MACKANESS W A. An algorithm for conflict identification and feature displacement in automated map generalization [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1994, 21(4): 219-232.
- [11] RUAS A. A method for building displacement in automated map generalisation [J]. International Journal of Geographical Information Science, 1998, 12(8): 789-803.
- [12] 郭庆胜, 李洪省, 刘纪平. 基于加权网格简化的建筑物群 residential distribution features [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015(12): 50-53. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2015.376.

- 渐进式典型化[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(4): 293-296.
- GUO Qingsheng, LI Hongsheng, LIU Jiping. Buildings progressive typification based on weighted mesh simplification[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(4): 293-296.
- [13] ZHANG Xiang, STOTER J, AI Tinghua, et al. Automated evaluation of building alignments in generalized maps[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(8): 1550-1571.
- [14] BURGHARDT D, CECCONI A. Mesh simplification for building typification[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, 21(3): 283-298.
- [15] ANDERS K H. Grid typification[M]//RIEDL A, KAINZ W, ELMES G A. Progress in Spatial Data Handling. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006: 633-642.
- [16] SHEN Jie, FAN Hongchao, MAO Bo, et al. Typification for Façade structures based on user perception[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2016, 5(12): 239.
- [17] GONG Xianrong, WU Fang. A typification method for linear pattern in urban building generalisation[J]. Geocarto International, 2018, 33(2): 189-207.
- [18] ROTH R E, BREWER C A, STRYKER M S. A typology of operators for maintaining legible map designs at multiple scales[J]. Cartographic Perspectives, 2011(68): 29-64.
- [19] REGNAULD N, MCMASTER R B. A synoptic view of generalisation operators [M] // MACKANESS W A, RUAS A, SARJAKOSKI L T. Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications. Amsterdam: Elsevier, 2007: 37-66.
- [20] ZHANG Xiang, AI Tinghua, STOTER J, et al. Building pattern recognition in topographic data: examples on col-linear and curvilinear alignments [J]. GeoInformatica, 2013, 17(1): 1-33.
- [21] WANG Xiao, BURGHARDT D. A generalization strategy for discrete area feature by using stroke grouping and polarization transportation selection[J]. Proceedings of the ICA, 2018, 1: 122.
- [22] CHRISTOPHE S, RUAS A. Detecting building alignments for generalisation purposes[M] // RICHARDSON D E, VAN OOSTEROM P. Advances in Spatial Data Handling. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 419-432.
- [23] YANG Weiping. Identify building patterns[EB/OL]. (2015-03-31) [2019-10-22]. https://www.researchgate.net/profile/Weiping_Yang6/publication/268363084_I-identify-building_patterns/links/551b22f70cf2bb754078b799/I-identify-building-patterns.pdf.
- [24] DU Shihong, SHU Mi, FENG C C. Representation and discovery of building patterns: a three-level relational approach[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2016, 30(6): 1161-1186.
- [25] 李洪省, 郭庆胜, 刘纪平, 等. 基于数据匹配的建筑物群典型化快速算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(7): 636-639.
- algorithm of building typification based on data matching [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2006, 31(7): 636-639.
- [26] WANG Xiao, BURGHARDT D. A mesh-based typification method for building groups with grid patterns[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019, 8(4): 168.
- [27] WEI Zhiwei, GUO Qingsheng, WANG Lin, et al. On the spatial distribution of buildings for map generalization[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2018, 45(6): 539-555.
- [28] 郭庆胜, 魏智威, 王勇, 等. 特征分类与邻近图相结合的建筑物群空间分布特征提取方法[J]. 测绘学报, 2017, 46(5): 631-638. DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20160374.
- GUO Qingsheng, WEI Zhiwei, WANG Yong, et al. The method of extracting spatial distribution characteristics of buildings combined with feature classification and proximity graph[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(5): 631-638. DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20160374.
- [29] 国家测绘局测绘标准化研究所. 国家基本比例尺地图图式第3部分: 1:25 000 1:50 000 1:100 000 地形图图式: GB/T 20257.3-2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation of China. Cartographic symbols for national fundamental scale maps-part 3: specifications for cartographic symbols 1:25 000, 1:50 000 & 1:100 000 topographic maps: GB/T 20257.3-2006 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.
- [30] TÖPFER F, PILLEWIZER W. The principles of selection [J]. The Cartographic Journal, 1966, 3(1): 10-16.
- [31] YAN Haowen, WEIBEL R, YANG Bisheng. A multi-parameter approach to automated building grouping and generalization[J]. GeoInformatica, 2008, 12(1): 73-89.
- [32] 龚健雅, 季顺平. 摄影测量与深度学习[J]. 测绘学报, 2018, 47(6): 693-704. DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20170640.
- GONG Jianya, JI Shunping. Photogrammetry and deep learning[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47(6): 693-704. DOI: 10.11947/j.AGCS.2018.20170640.

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2019-12-02

修回日期: 2020-05-06

第一作者简介: 郭庆胜(1965—),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为地图制图综合、地理信息智能化处理与可视化。

First author: GUO Qingsheng(1965—),male, PhD, professor, PhD supervisor, majors in cartographic generalization, intelligent handling and visualization of geographical information.

E-mail: guoqingsheng@whu.edu.cn.com

通信作者: 王勇

Corresponding author: WANG Yong

E-mail: wangyong@casm.ac.cn