

引文格式: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.

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

郭庆胜^{1,2}, 魏智威¹, 王 勇³, 王 琳¹

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

The Method of Extracting Spatial Distribution Characteristics of Buildings Combined with Feature Classification and Proximity Graph

GUO Qingsheng^{1,2}, WEI Zhiwei¹, WANG Yong³, WANG Lin¹

1. School of Resources and Environment Science, 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

Abstract: Spatial distribution characteristics of building clusters should be recognized and detected in generalization of building clusters. Based on analysis of relevant research at home and abroad, four major measures (area of the convex hull, compactness, number of edges, orientation of the smallest minimum bounding rectangle) are summarized and put forward from the existing measures with the help of principal component analysis. According to these selected measures, the building classification are studied. When MST (minimum spanning tree) is used to partition the building clusters, factors such as rivers and roads are taken into consideration. Furthermore, a method detecting linear patterns in building clusters automatically is proposed by means of NNG (nearest neighborhood graph), MST, RNG (relative neighborhood graph) and GG (Gabriel graph). Then the influence factors and usability about the recognized results are analysed. Finally, a part of map from OSM (open street map) in Beijing is chosen as experimental data, classification and clustering of the buildings are realized, and the linear patterns in the sub-clusters are recognized.

Key words: map generalization; building clusters; classification; spatial clustering; spatial pattern

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (No. 41471384); Special Fund for Research in the Public Interest (No. 201512032)

摘 要: 建筑物群综合过程中需要对建筑物群空间分布特征进行认知和识别。本文在分析国内外相关研究的基础上,从描述建筑物空间特征的大量指标中,利用主成份分析方法,总结并提出了有代表性的建筑物空间特征指标集:凸包面积、紧密度 IPQ 指标、边数和最小面积外接矩形方向,并基于这些指标研究了建筑物群的分类。在利用最小生成树邻近图(MST)划分建筑物空间子群时,考虑了建筑物成群与所处地理环境(河流和道路等因素)的关系。另外,基于最邻近图(NNG)、MST、相对邻近图(RNG)和 Gabriel 图(GG)4 种建筑物群邻近图,提出了自动识别具有特定空间排列建筑物子群的方法,并比较分析了识别结果的影响因素和可用性。最后,选择北京某地区建筑物群为试验对象,实现了对建筑物群的分类和空间聚类,并提取了其中直线型空间排列的建筑物子群。

关键词: 地图综合;建筑物群;分类;空间聚类;空间排列

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:1001-1595(2017)05-0631-08

基金项目:国家自然科学基金(41471384);公益性科研专项(201512032)

地图综合在保证读者能清晰阅读地图图形的同时,需表达出地理要素或现象的特性和空间分布。建筑物群空间分布模式是社会政治、经济、文化与自然因素综合作用在地域上的空间反映,在邻近地理空间中建筑物群会呈现出一定的组织规律^[1]。因此,建筑物群综合过程中需要对建筑物群空间分布模式进行探测。

建筑物群空间分布模式探测的研究成果比较多,文献[2]提出了一种基于邻近关系的无参数建筑物群聚类方法;文献[3]在最小生成树(minimum spanning tree, MST)基础上考虑大小、方向等空间特征能探测出用于典型化的建筑物子群;文献[4]应用城市形态学方法和格式塔原则对建筑物群进行聚类;文献[5—7]对影响聚类的建筑物空间特征指标进行了选择和改进。同时,伴随计算机技术的发展,神经网络和能量最小化等智能化方法也被用于建筑物群聚类^[8-10]。在建筑物群聚类基础上,往往还需要找到子群中特殊的空间排列,文献[11]通过模板识别了简单直线排列;文献[12]则利用建筑物间空间关系和建筑物空间特征指标严格定义了 H 型、T 型、E 型、L 型、Z 型、阶梯型和格网型模板;文献[13]提出了用于建筑物群典型化的格网排列识别方法;文献[14]通过对 MST 进行修剪,实现了直线型排列和曲线型排列的识别;文献[1,15]基于邻近图剪枝,识别了多连通直线型排列和格网型排列;文献[16]从空间推理出发,提出了识别建筑物空间排列的层次方法。另外,建筑物自身空间特征指标的研究成果主要包括:欧洲的 Agent 计划详细分析了建筑物图形特征的指标体系,并详细研究了其中几个主要指标^[17];文献[18]研究了建筑物方位的计算方法;文献[19]研究了建筑物空间特征的主成份;文献[20]重点研究了城市建筑物群的区划。

综上所述,不论是从建筑物自身图形特征的相似性,还是从建筑物间的邻近关系,都可以从不同侧面划分建筑物子群。但是,针对建筑物群综合的需要,我们必须同时知道建筑物子群这两方面的信息,并尽可能快速找到有特殊排列方式的子群。因此,本文试图找到有代表性的用于建筑物群分类的特征指标;将建筑物群的分类和空间聚类结合起来,并用多种邻近图探测建筑物群中的特殊空间排列,而不只是用 MST。

1 建筑物群分类的代表性指标

地图上的建筑物图形目标往往有相应的空间特征,可以用不同指标进行描述,有时同一个空间特征可以用不同指标描述,例如,地图上一个建筑物图形目标的大小、形状和方位,其中形状可以从图形的形态特征、形状矩阵特征、力矩特征、光谱特征等方面进行指标描述^[21]。分类时往往需要找到这些指标中更有代表性的指标,笔者从有关建筑物空间特征指标的文献中归纳了描述建筑物图形空间特征的指标共计 24 个,见表 1。

表 1 建筑物图形空间特征指标^[17-25]

Tab.1 Measures for spatial characteristics of a building^[17-25]

项目	特征指标
大小	周长(Perimeter)、面积(Area)、最小面积外接矩形面积(SArea)、凸包面积(CArea)、最长弦(LChord)平均半径(MeanR)
形状	形状指数(ShapeIndex)、凹度(Concavity)、紧密度(IPQCom)、Ritter's measure(RCom)、Richardson's measure(RicCom)、Gibbs's measure(GibCom)、DCM(DCMCom)、Bottema compactness(BotCom)、Boyce-Clark index(BoyClaCom)、延展度(Elongation)、圆度(Ballard and Brown eccentricity(BBEccentricity)、Davis circularity(DCircularity)、椭圆度(Ellipticity)、复杂度(分维数(Fd)、边数(EdgeCount))
方位	最长边方位(MWO)、基于墙的均值方位(SWWO)、最小面积外接矩形方位(SMBRO)

建筑物群分类常用统计学中的聚类方法,这些方法要求指标之间尽量相互独立,但是表 1 所列的指标有些是相互关联的,例如:ShapeIndex 与紧密度中的 IPQCom 指标互为倒数;延展度描述建筑物延伸程度,椭圆度描述建筑物扁度,扁的建筑物延伸程度大,且两者数学原理相似;一个建筑物椭圆度越大,它往往越圆,圆是椭圆的一个特例。因此,利用主成份分析方法对这些指标进行分析。主成份分析通过正交变换将一组可能存在相关性的变量转换为一组新的线性不相关变量,能有效对建筑物空间特征指标进行降维,并分析其中指标的代表性。为防止小样本造成偶然性,随机选择 OSM 地图上北京市海淀区某区域 1390 个建筑物进行了指标计算,并对计算得到的 24 个参数进行了主成份分析。主成分分析前,由于各指标量纲不一样,需进行标准化处理,标准化方法见参考文献[19],主成分贡献率与主成分系数矩阵分别见表 2 和表 3。

表 2 主成分贡献率

Tab.2 Contribution rate of principal component			
成分	特征值	百分数/(%)	累积贡献率/(%)
1	11.871	49.464	49.464
2	5.204	21.682	71.146
3	2.592	10.800	81.946
4	1.643	6.845	88.791
5	0.928	3.865	92.656
⋮	⋮	⋮	⋮

表 3 主成分系数矩阵

Tab.3 Principal component coefficient matrix				
指标	主成分			
	1	2	3	4
Perimeter	-0.185	0.326	-0.008	0.018
Area	-0.055	<u>0.390</u>	-0.053	0.201
SArea	-0.079	<u>0.395</u>	-0.033	0.076
CArea	-0.075	<u>0.397</u>	-0.039	0.114
LChord	-0.208	0.264	-0.022	0.151
MeanR	-0.205	0.259	-0.025	0.168
ShapeIndex	<u>0.263</u>	0.012	0.057	-0.194
Concavity	0.145	-0.087	-0.108	<u>0.580</u>
IPQCom	<u>0.279</u>	0.090	-0.040	0.044
RCom	-0.055	-0.290	0.035	-0.090
RicCom	<u>0.281</u>	0.075	-0.044	0.078
GibCom	<u>0.264</u>	0.148	-0.014	-0.153
DCMCom	<u>0.265</u>	0.145	-0.017	-0.142
BotCom	<u>-0.271</u>	-0.128	0.023	0.110
BoyClaCom	0.232	0.046	-0.057	0.183
Elongation	0.206	0.179	0.030	-0.392
Ellipticity	<u>0.253</u>	0.134	-0.014	-0.171
BBEccentricity	<u>0.275</u>	0.122	-0.026	-0.064
DCircularity	<u>-0.263</u>	-0.012	0.057	-0.193
Fd	<u>0.280</u>	-0.064	-0.036	0.081
EdgeCount	-0.099	0.225	0.055	<u>-0.394</u>
MWO	0.055	0.030	<u>0.572</u>	0.010
SWWO	0.062	0.050	<u>0.580</u>	0.087
SMBRO	0.059	0.041	<u>0.545</u>	0.083

从表 2 的主成分贡献率来看,前 4 个特征值大于 1 的主成分已占有所有指标信息量的 88%以上,能有效描述建筑物的图形特征。表 3 是主成分系数矩阵,反映了主成分与指标间的相关程度,这些相关程度的值可以为选择代表性指标提供依据。从表 3 看出,主成分 1 主要由 ShapeIndex、IPQCom、RicCom、GibCom、DCMCom、BotCom、Ellipticity、BBEccentricity、DCircularity 和 Fd 等

指标决定(见表 3 下划线部分,下文相同),是反映形状的主成分。主成分 2 主要由 Area、SArea、CArea 等指标决定,是反映大小的主成分。主成分 3 主要由 MWO、SWWO、SMBRO 等指标决定,是反映方位的主成分。主成分 4 主要由 EdgeCount 和 Concavity 指标决定,也是反映形状的主成分。因此,建筑物图形空间特征只需从大小、形状和方位 3 个方面描述。建筑物大小通常用面积进行描述,但是主成分分析发现,指标 SArea 和指标 CArea 对于大小描述更有代表性,因而这里选择 CArea 作为代表性指标。在形状特征描述中,代表性的指标有很多,在关联度最大的 3 个指标中,考虑到 IPQCom 指标计算相对简单,且较为常用,因而选择 IPQCom 描述建筑物形状的紧密度,当然,也可以直接选择 RicCom 或 Fd;另外,虽然在统计规律上凹度(Concavity)和边数(EdgeCount)在主成份 4 中都比较重要,但是,建筑物是人工物体,通常形状趋于方正,边数越多就说明越复杂,因此这里选择边数(EdgeCount)作为描述建筑物图形复杂度的一个代表性指标,当然,也可以直接选择凹度(Concavity)。在方位描述方面,可以直接选择基于墙的均值方位(SWWO)这个指标,但是,从视觉认知角度考虑,这里选择了最小面积外接矩形方位作为直观体现一个建筑物整体方位的指标。因此,从统计规律和认知规律来看,可以把凸包面积(CArea)、IPQ 指标(IPQCom)、边数(EdgeCount)和最小面积外接矩形方位(SMBRO)4 个指标作为建筑物图形特征的代表性指标,见表 4。

表 4 建筑物空间特征的代表性指标

Tab.4 Major measures for spatial characteristics of a building		
建筑物空间特征	指标	公式或说明
大小	凸包面积(CArea)	图形凸包面积
	IPQ 指标(IPQCom)	$IPQCom = 4\pi A / P^2$
形状	边数(EdgeCount)	图形的边数或节点个数
方位	最小面积外接矩形方位(SMBRO)	图形最小面积外接矩形的长轴方位

2 基于邻近关系的特定建筑物子群提取

通常利用 MST 表达建筑物间的空间邻近关系,但是 MST 对建筑物间的空间邻近关系描述只限制在最邻近的连通图关系上,而描述空间邻

近关系的图还有最邻近图(nearest neighborhood graph, NNG)、相对邻近图(relative neighborhood graph, RNG)和 Gabriel 图(Gabriel graph, GG)等^[26],本文试图同时利用 NNG、MST、RNG 和 GG 4 种邻近图探测特定空间排列的建筑物子群,并进行比较分析。

建筑物成群与其所处地理环境有关,道路往往对建筑物群形成天然分区,因而对建筑物群进行空间聚类时需优先考虑道路对建筑物群的划分。当利用建筑物重心建立三角网描述建筑物间邻近关系时,由于道路和建筑物的阻隔,很多三角网边连接的建筑物实际上并不相邻,因而需要删除穿过道路或建筑物的三角网边,在得到的新三角网中,利用建筑物间最短距离建立 MST,通过判断 MST 中边属性的连续性,实现对建筑物群的空间聚类^[14]。建筑物群空间聚类结果如图 1 所示,图 1(a)中粗线表示应删除的边,图 1(b)是删除后形成的空间聚类结果。

基于邻近图也可以识别出特定排列方式的建筑物子群,例如直线型空间排列。若只考虑建筑物间的邻近关系,可以直接利用邻近图中邻近边的方向差异和长度差异来提取直线型空间排列。方向差异(D_o)用邻近图中邻近边的夹角表示;长度差异(D_L)用邻近图中邻近边长度的倍数表示。设它们的阈值分别为 δ_o 和 δ_L ,若 $D_o \geq \delta_o$,同时 $D_L \leq \delta_L$,则认为这两条邻近边所关联的建筑物形成了直线排列。设置 $\delta_o = 165^\circ$, $\delta_L = 3$,图 2(a)至图 2(d)分别为利用 NNG、MST、RNG 和 GG 提取的直线型空间排列结果,提取结果用粗线标出。可以看出,从图 2(c)和图 2(d)中发现的排列更有利于作为一个完整的地图综合对象,这说明用多个邻近图进行建筑物子群排列特征挖掘是必要的。

3 试验与分析

3.1 建筑物群分类与空间聚类

采用 OSM 地图上北京海淀区局部 1:8000 居民地作为试验数据,对建筑物群进行系统聚类,聚类终止条件为当类间距离大于 2 时,聚类终止。直接使用凸包面积(CArea)、IPQ 指标(IPQCom)、边数(EdgeCount)和最小面积外接矩形方位(SMBRO)4 个指标的分类结果见图 3,将原始 192 个建筑物分成了 16 类。这里需要说明的是:建筑物方位采用建筑物最小面积外接矩形方位指

标进行计算,系统聚类时方位差异为两建筑物方位的数值差异,但是实际上当建筑物方位差异大于 90° 时,其差异应该为该差异角度的补角,所以导致当两个建筑物方位指标差异过大时,往往会被分为两类,如类 2 和类 3,尽管两类形状和大小相近,但是方位指标数值差异过大,因而被分成两类。利用参考文献[14]所描述的方法所得空间聚类结果见图 3。

3.2 直线型空间排列提取

在建筑物群空间聚类基础上可以进一步提取特定的空间排列,先对聚类形成的子群分别建立 4 种邻近图,然后,利用与前文相同的约束条件,提取子群中的直线型空间排列,结果见图 4。图 4(a)为 NNG 上提取的结果,图 4(b)为 MST 上提取的结果,图 4(c)为 RNG 上提取的结果,图 4(d)为 GG 上提取的结果。从图 4 可以看出,RNG 较 MST 更有利于提取直线型空间排列。另外,GG 虽然能识别更多隐藏的直线型空间排列,但是这些隐藏的直线型空间排列在视觉上并不明显,且会造成提取的排列之间相互交叉,易产生误导。图 4(c)的部分排列中建筑物为同类建筑物,另外,还有些排列中存在两类建筑物,甚至个别排列中存在多类建筑物,这些分布特征在建筑物群综合过程中通常需要考虑。

另外,在建筑物群分类基础上也需要提取类似的空间排列,笔者针对某一个类别的建筑物子群建立 RNG,并利用 RNG 提取直线型空间排列,结果见图 5。对比图 5 和图 4(c)可以看出,在空间特征相似的建筑物子群中能发现新的直线型空间排列,如图 5 中椭圆圈出的标号分别为 1、2、3、4、5 的子群,其中 4 号子群是不相邻的离散直线型空间排列。

3.3 影响因素分析

在邻近图中,建筑物之间的邻近距离可以用建筑物间的重心距离表示,也可以用建筑物间的最短距离表示。用不同的邻近距离计算方法,提取的直线型空间排列会不一致。图 6(a)为在重心距离生成的 RNG 中提取的直线型空间排列,对比图 4(c)可以看出结果不一致,如图 6(a)中椭圆圈出部分,这能作为最终直线型空间排列提取结果的一个有效补充。

建筑物群分类采用的聚类终止条件取决于对建筑物相似程度的定义。若需要对建筑物群进行精细分类,可以设置相对苛刻的聚类终止条件。

另外,提取建筑物群中直线型空间排列时,可以调整相关参数,但是必须符合视觉特征约束。如图 6(b)为在 RNG 上提取的直线型空间排列,其中,调整 $\delta_o=155^\circ$,对比图 4(c)可以看出,由于适当放宽了方向阈值约束,图 6(b)中椭圆圈出部分也被认为属于直线排列。

除了距离计算方法和排列约束条件外,4 种邻近图(NNG、MST、RNG、GG)对直线型空间排列的提取也有非常大的影响,这可以依据图 4 中的提取结果进行客观评价,目前尚无定量的方法来评价基于视觉认知的直线型空间排列提取结果^[1]。图 4(a)是从 NNG 上提取的结果,可以看出有明显的直线型空间排列没有识别出;图 4(b)是从 MST 上提取的结果,这也是目前常用的方法,但是与图 4(c)中从 RNG 上提取的结果相比较,明显有多条直线型空间排列没有识别;图 4(d)是从 GG 上提取的结果,有多处直线型空间排列是建筑物群综合过程中不需要考虑的空间分布特征。

从整个试验结果来看,在基于 4 种邻近图提取的直线型空间排列中,基于 RNG 提取的直线型空间排列结果最为理想,如图 4 所示,符合地图综合中建筑物群结构维护的需要,也为提取建筑物群“矩阵式排列”提供了基础;基于建筑物属性分类结果,从 RNG 上提取的直线型排列结果(图 5)能在空间特征相似的子群中找到新的直线排列;分别在分类和空间聚类基础上提取的直线型空间排列结果可以互相补充,它们的并集能更完备地表达区域内建筑物群空间分布特征。

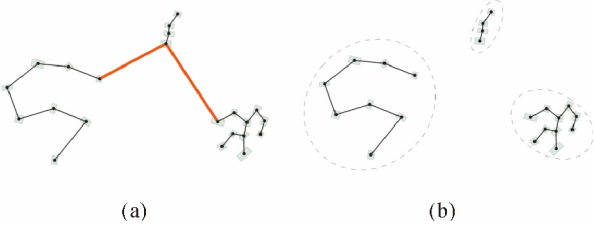


图 1 基于 MST 的空间聚类

Fig.1 Spatial clustering of buildings based on MST

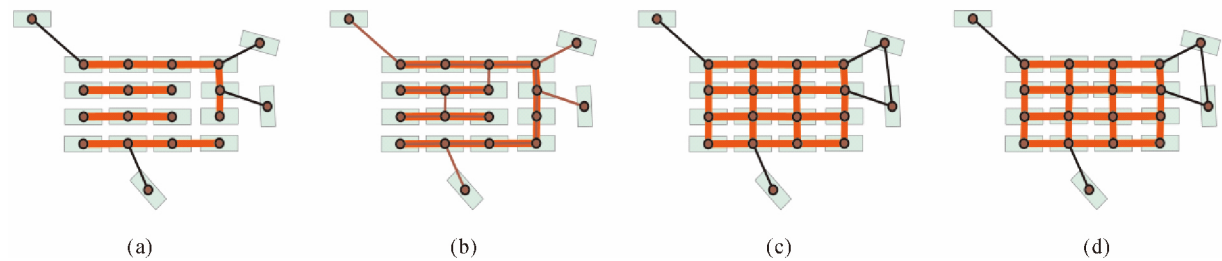


图 2 基于 4 种邻近图的直线型空间排列

Fig.2 Linear patterns recognition based on four kinds of proximity graphs

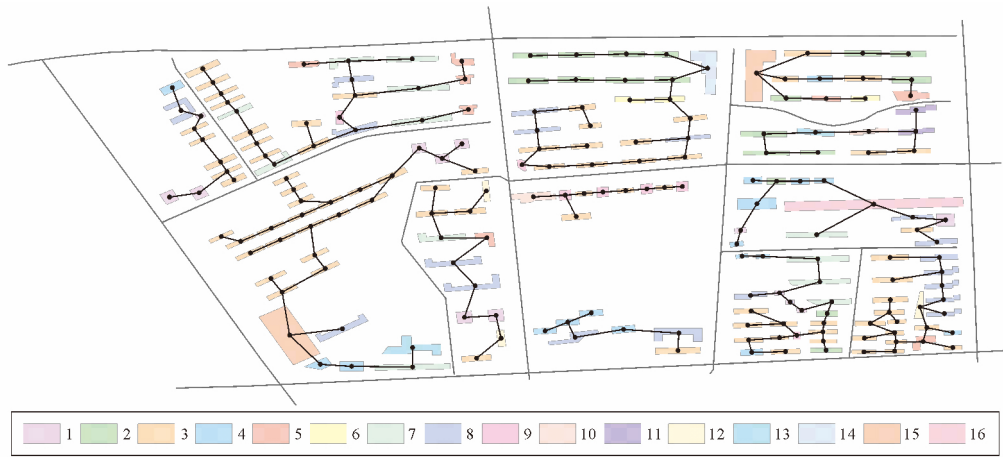


图 3 建筑物群分类与空间聚类

Fig.3 Classification and spatial clustering of buildings

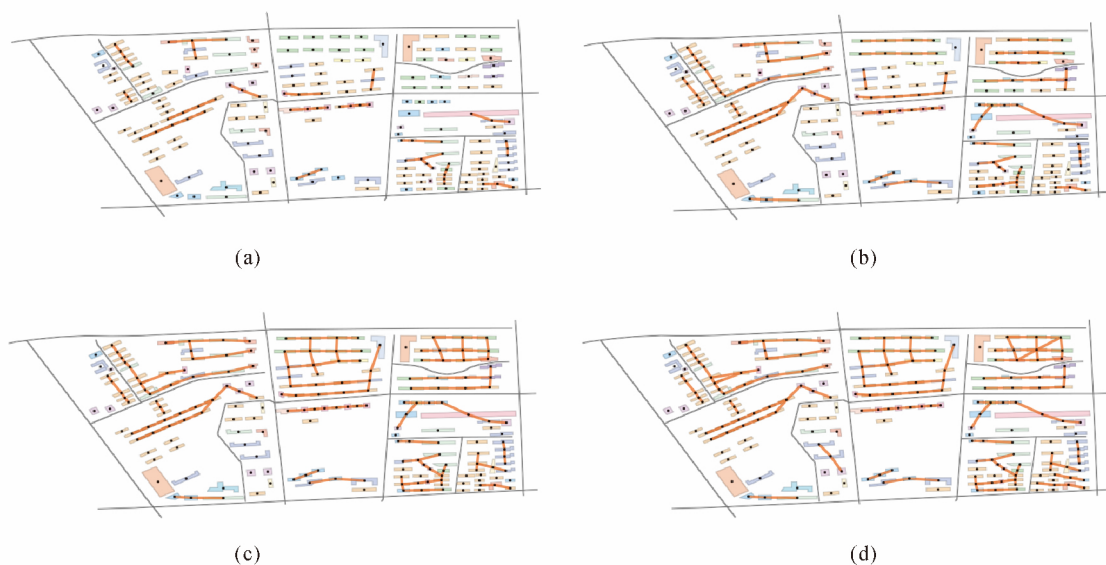


图4 空间聚类基础上基于4种邻近图的直线型空间排列

Fig.4 Linear patterns recognition based on four kinds of proximity graphs and spatial clustering

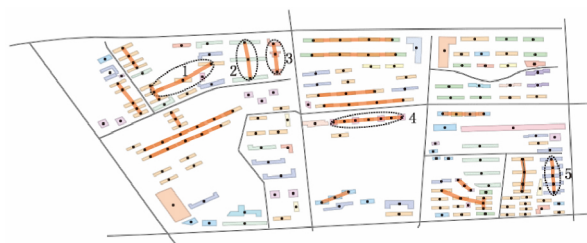


图5 在分类基础上基于RNG图的直线型空间排列

Fig.5 Linear patterns recognition based on RNG and building classification

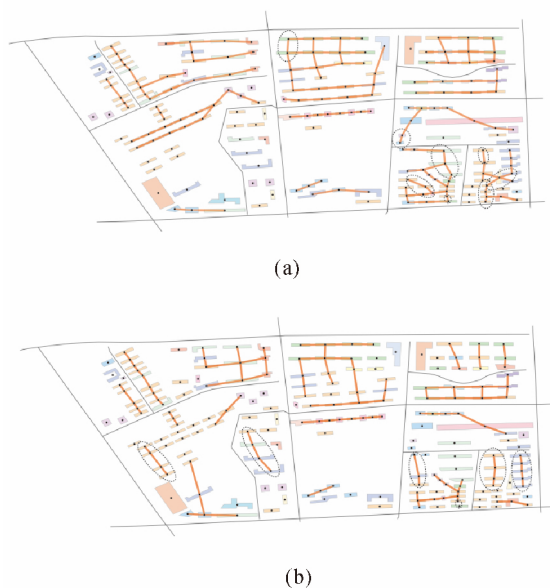


图6 基于RNG图的直线型空间排列

Fig.6 Linear patterns recognition based on RNG

4 结 论

为了有效解决特定建筑物子群的提取问题, 本文既考虑了建筑物自身的空间特征, 也将建筑物所处的空间环境纳入到了建筑物子群的划分中, 更全面地研究了不同邻近图在发现空间排列中的作用。试验证明了 RNG 图更有利于建筑物群空间排列的提取, 利用本文所提出的方法能更有效地找到建筑物群综合中较单纯的综合对象, 有助于建筑物群自动综合中地理特征的保持和表达。此外, 该方法也可用于建筑物其他类型的空间排列特征识别, 并以此为基础实施建筑物群的综合。当然, 该方法同样可用于任意点群的空间排列方式识别。但是该方法所考虑的建筑物是 2 维的, 用建筑物中心点代表了建筑物, 因此算法上有一定的局限性。需要进一步研究的内容主要是: 随着建筑物地理信息内容的逐渐丰富, 例如建筑物的高度、用途等, 建筑物群分类和空间聚类所考虑的因素应该更多; 在直线型空间排列的提取过程中, 约束条件中的阈值应该依据地理区域的不同而有所变化, 不同的直线型空间排列也应该有不同的重要程度; 建筑物群的邻近图也不只这 4 种, 利用多种邻近图识别更多更复杂的空间排列也是后续研究的重点。

参考文献:

[1] 巩现勇, 武芳. 城市建筑群网格模式的图论识别方法[J].

- 测绘学报, 2014, 43(9): 960-968. DOI: 10.13485/j.cnki.11-2089.2014.0125.
- GONG Xianrong, WU Fang. The Graph Theory Approach to Grid Pattern Recognition in Urban Building Groups[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2014, 43(9): 960-968. DOI: 10.13485/j.cnki.11-2089.2014.0125.
- [2] ANDERS K H. A Hierarchical Graph-clustering Approach to Find Groups of Objects[C] // The 5th Workshop on Progress in Automated Map Generalization. Paris: [s. n.], 2003.
- [3] REGNAULD N. Contextual Building Typification in Automated Map Generalization[J]. Algorithmica, 2001, 30(2): 312-333.
- [4] LI Z, YAN H, AI T, et al. Automated Building Generalization Based on Urban Morphology and Gestalt Theory[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2004, 18(5): 513-534.
- [5] 艾廷华, 郭仁忠. 基于格式塔识别原则挖掘空间分布模式[J]. 测绘学报, 2007, 36(3): 302-308. DOI: 10.3321/j.issn:1001-1595.2007.03.011.
- AI Tinghua, GUO Renzhong. Polygon Cluster Pattern Mining Based on Gestalt Principles[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(3): 302-308. DOI: 10.3321/j.issn:1001-1595.2007.03.011.
- [6] YAN Haowen, WEIBEL R, YANG Bisheng. A Multi-parameter Approach to Automated Building Grouping and Generalization[J]. Geoinformatica, 2008, 12(1): 73-89.
- [7] ZHANG Liqiang, DENG Hao, CHEN Dong, et al. A Spatial Cognition-based Urban Building Clustering Approach and Its Applications[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(4): 721-740.
- [8] ALLOUCHE M K, MOULIN B. Amalgamation in Cartographic Generalization Using Kohonen's Feature Nets[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2005, 19(8-9): 899-914.
- [9] WANG Yuebin, ZHANG Liqiang, MATHIOPOULOS P T, et al. A Gestalt Rules and Graph-cut-based Simplification Framework for Urban Building Models[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2015, 35: 247-258.
- [10] 程博艳, 刘强, 李小文. 一种建筑物群智能聚类法[J]. 测绘学报, 2013, 42(2): 290-294, 303.
- CHENG Boyan, LIU Qiang, LI Xiaowen. Intelligent Building Grouping Using a Self-organizing Map[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2013, 42(2): 290-294, 303.
- [11] RAINSFORD D, MACKNESS W. Template Matching in Support of Generalisation of Rural Buildings[C] // The 10th International Symposium on Spatial Data Handling. Berlin Heidelberg: Springer, 2002: 137-151.
- [12] YANG Weiping. Identify Building Patterns[C] // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: ISPRS, 2008: 391-398.
- [13] ANDERS K H. Grid Typification[C] // Proceedings of the 12th International Symposium on Spatial Data Handling. Berlin Heidelberg: Springer, 2006: 633-642.
- [14] ZHANG Xiang, AI Tinghua, STOTER J, et al. Building Pattern Recognition in Topographic Data: Examples on Collinear and Curvilinear Alignments[J]. Geoinformatica, 2013, 17(1): 1-33.
- [15] 巩现勇, 武芳, 钱海忠, 等. 建筑群多连通直线模式的参数识别方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(3): 335-339.
- GONG Xianrong, WU Fang, QIAN Haizhong, et al. The Parameter Discrimination Approach to Multi-connected Linear Pattern Recognition in Building Groups[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2014, 39(3): 335-339.
- [16] 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.
- [17] Department of Geography, University of Zurich. Selection of Basic Measures[EB/OL]. <http://agent.ign.fr/deliverable/DC1.html>, 1999.
- [18] DUCHÊNE C, BARD S, BARILLOT X, et al. Quantitative and Qualitative Description of Building Orientation[C] // 5th Workshop on Progress in Automated Map Generalization. Paris: [s.n.], 2003.
- [19] BURGHARDT D, STEINIGER S. Usage of Principal Component Analysis in the Process of Automated Generalisation[C] // Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference. A Coruna, Spain, 2005.
- [20] STEINIGER S, LANGE T, BURGHARDT D, et al. An Approach for the Classification of Urban Building Structures Based on Discriminant Analysis Techniques[J]. Transactions in GIS, 2008, 12(1): 31-59.

- [21] PEURA M, IIVARINEN J. Efficiency of Simple Shape Descriptors[M]//ARCELLI C, CORDELLA L P, SAN-NITI DI BAJA G. Aspects of Visual form Processing. Singapore: World Scientific, 1997: 443-451.
- [22] LI Wenwen, GOODCHILD M F, CHURCH R. An Efficient Measure of Compactness for Two-dimensional Shapes and Its Application in Regionalization Problems[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(6): 1227-1250.
- [23] MACEACHREN A M. Compactness of Geographic Shape: Comparison and Evaluation of Measures[J]. Geografiska Annaler, 1985, 67(1): 53-67.
- [24] ZHANG Dengsheng, LU Guojun. Review of Shape Representation and Description Techniques[J]. Pattern Recognition, 2004, 37(1): 1-19.
- [25] ŽUNIĆ J, HIROTA K, ROSIN P L. A Hu Moment Invariant as a Shape Circularity Measure [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(1): 47-57.
- [26] 郭庆胜, 郑春燕, 胡华科. 基于邻近图的点群层次聚类方法的研究[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 256-261. DOI: 10.3321/j.issn:1001-1595.2008.02.022.
- GUO Qingsheng, ZHENG Chunyan, HU Huake. Hierarchical Clustering Method of Group of Points Based on the Neighborhood Graph[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(2): 256-261. DOI: 10.3321/j.issn:1001-1595.2008.02.022.
- (责任编辑:丛树平)
-
- 收稿日期: 2016-07-25
- 修回日期: 2017-01-13
- 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