

# 建筑群多连通直线模式的参数识别方法

巩现勇<sup>1,2</sup> 武芳<sup>1</sup> 钱海忠<sup>1</sup> 马克楠<sup>1,2</sup>

1 信息工程大学地理空间信息学院,河南 郑州,450052

2 地理信息工程国家重点实验室,陕西 西安,710054

**摘要:**结合国内外对建筑群空间分布模式的研究,提出了建筑群多连通直线模式的参数识别方法。首先从其组织规律出发,从距离、方向、大小 3 方面提取直线模式的结构化参数;然后利用 Delaunay 三角网构建建筑群的邻近关系,生成邻近图;考虑直线模式的直线性、紧凑性等,通过模拟直线模式识别的人工过程进行邻近图的同质性修剪,识别出多连通直线模式。实验表明,该方法能够识别出明显直线模式,且具有完备性,允许模式相交,更符合人类空间认知特点。

**关键词:**制图综合;建筑群;多连通直线模式;模式识别

**中图法分类号:**P208;P283.1 **文献标志码:**A

空间分布模式是核心地理要素在空间分布形态上表现出的可以明确命名且能够识别的形状或排列<sup>[1-2]</sup>,对于多模式时空综合、空间数据库更新、多尺度表达、时空数据挖掘等具有重要理论意义和应用价值<sup>[1-5]</sup>。直线模式是建筑物群最简洁、最直接的模式,是其他类型模式识别的基础。Li、艾廷华、赵彬彬和邓敏等从图论的角度出发,通过基于最小支撑树的空间聚类 and 参数控制的修剪来对建筑群进行分组<sup>[5-7]</sup>。此外,还有多参数控制法、区域综合法、智能优化法等建筑群自动聚群方法<sup>[8-10]</sup>。但这些方法只是对建筑群进行了初步聚群,其形态复杂、不规则,大多数不可名状。考虑到直线模式的延展性、紧凑性、线性分布等特点,Zhang 分析总结现有方法,通过对文献[6]中的邻近图进行反复修剪,来实现直线模式的挖掘<sup>[11]</sup>;Rainsford 等采用直线模板匹配方法进行了直线模式的识别<sup>[12]</sup>,但所识别出的直线模式具有单连通性,即只能进行某个方向的识别,不允许模式相交,不符合人类“横看成岭侧成峰”的认知心理。本文通过改进图论方法的识别过程,实现了多连通直线模式的识别,从而为网格模式的识别提供支撑。

## 1 直线模式结构化模型

空间分布模式是知觉对象“部分-整体”的逻辑组合关系,其组织规律主要包括<sup>[4-6,13]</sup>:① 模式与背景:在具有一定配置的地图内,有些对象突显出来形成模式,有些对象退居到衬托地位成为背景。② 邻近性:某些距离较短或相互邻近的部分更容易组成整体的模式,如地形图中距离较近而毗邻的居民地,自然而然地组合形成一个建筑群。③ 连续性:指对线条的一种知觉倾向。④ 完整和闭合性:知觉随环境而呈现最为完善的形式,彼此相属的部分容易组合成整体模式。⑤ 相似性:形状和大小等相似的部分易于组成模式。⑥ 方向性:按相似方向排列的部分易于组成模式。⑦ 同趋势性:具有共同运动方向或发展趋势的部分易于组成模式。⑧ 连通性:拓扑连通的多个部分易于组成模式。⑨ 简洁性:指模式构型的简单倾向性,简单的构型最稳定、最封闭。对于建筑群,以上规律可归结为距离、大小和方向等三者的组合来进行描述<sup>[8,13]</sup>。

如何将直线模式抽象为计算机能够“理解”的规则或者知识,是进行自动识别的基础。利用参数判别法进行建筑群模式识别,需要对感兴趣的模式

收稿日期:2012-12-11

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41171354,41101362,41171305);河南省创新型科技人才队伍建设工程资助项目(104200510016);地理信息工程国家重点实验室开放研究基金资助项目(SKLGIE2013-M-4-6)。

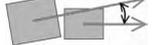
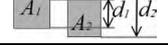
第一作者:巩现勇,硕士生,研究方向为模式识别、自动制图综合和时空数据分析。E-mail: gongxygis@whu.edu.cn

进行参数描述。模式结构化参数是依据模式的组织规律来描述模式的形态和结构规则。对于不同构型的模式,由于知觉对其形态的关注点不同,所选的结构化参数及其约束阈值也会不同。考虑到直线模式的直线性、紧凑性和相似性等特点,顾及

人作为认知主体在感知、识别和推理等不同思维过程中的特点,结合数学方法和几何模型,此处以建筑物的大小、方向和相邻建筑物之间的距离等3个基本参数建立认知意义上的直线模式结构化参数(图表1),从而作为约束条件进行直线模式的提取。

表1 直线模式结构化参数

Tab. 1 Structural Parameters for Linear Pattern

参数	参数含义及计算方法	说明示意图
面积比 (Area Ratio)	描述两个建筑物的大小差异。两个建筑物中较小的面积值除以较大的面积值。	
视觉距离 (Visual Distance)	描述两个建筑物的远近。按文献[6,14],两个建筑物之间通视域的三角元的高表达局部的两点距离,当前三角元内骨架线的长度比例为权重,累积加权求和。	
局部方向差异 (LOrient Diff)	描述两个建筑物之间的方向差异。最小面积外接矩形的主方向之差。	
全局方向差异 (GOrientDiff)	描述一个直线模式的整体方向异质性。按文献[11],采用单侧边方向度量方法,求整条直线模式建筑群链表内的局部方向差异的均方和。	
正对面积比 (Facing Ratio)	描述两个建筑物正对的面积大小。以两者之一为参考,分别在其主方向及其法方向作两建筑物的投影,求投影的最大重叠长度与在该方向上的总投影长度之比。	

## 2 直线模式识别方法与步骤

### 2.1 生成邻近图

囿于矢量数据的离散性和稀疏性等特点,邻近分析是建筑群模式识别的第一步。空间邻近关系是空间对象在特定概念层次上的核心特征,反映对象之间相互联系、相互依存和相互影响的能力。Delaunay三角网具备“外接圆规则”和“最邻近连接”特征,从整体上最佳地反映了区域上对象的空间分布,承载了跟视觉认知模式相似的描述。为避免出现狭长建筑物的边界多边形与“最邻近连接”原则之间的矛盾,对建筑物多边形点集进行内插加密,并以此建立Delaunay三角网,如图1(a)所示。这样就不会产生狭长的三角形,避免了空间剖分的“剧烈抖动”,从而实现了对所研究空间的平稳连续三角剖分<sup>[14]</sup>。然后删除位于建筑物内部及其凹部的三角元,如图1(b),剩下的三角元均连接着不同的建筑物,称之为建筑物间的通视域。对其建立骨架线,实现建筑群剖分<sup>[14]</sup>,如图1(c)。根据通视关系提取每个建筑物的邻近目标,同一条骨架线两侧的建筑物具有空间相邻关系。用图表达该空间邻近关系,图的连接点表示建筑物的质心,图的连接线表明两个建筑物被其间的通视域三角元直接相连,如图1(d)。

### 2.2 同质性裁剪

根据空间分布模式的组织规律,如果两个建筑物性质差异较为明显,表示两者不存在明显的聚群结构,在邻近图中其对应连接边的模式强度越弱;反之,则越强。鉴于不同方向的直线模式可

能存在相交现象,兼顾直线模式的连续性、紧凑性等,此处重点考察面积差异明显和正对面积太小这两类连接边的修剪。此处不利用数学算法进行聚类,而是通过模拟直线模式识别的人工过程,依据群之间的同质性对邻近图进行修剪。其方法为:人工设定面积比、正对面积的阈值 $\delta_{Area}$ 和 $\delta_{Face}$ ;遍历邻近图的所有连接边,如果连接边所连接的两个建筑物的正对面积小于 $\delta_{Face}$ (图1(e)虚线),或者面积比值小于 $\delta_{Area}$ (图1(f)虚线),则删除该连接边。

### 2.3 构建视觉距离加权图

空间分布模式体现了目标群的群体定位、态势和相互依存的空间配置,其倾向于对空间形态和分布的挖掘。邻近图的空间聚类是建筑群模式识别的关键步骤。聚类标准对识别结果的合理与否具有决定性的影响。为了从视觉认知意义上描述地理要素间的差异,基于三角剖分模型的“视觉距离”综合欧氏距离、方向布局 and 尺寸差异,将三者融为一体用于表达不同元素之间视觉识别上的疏密关系<sup>[6]</sup>。对于图1(c),定义两个建筑物间的视觉距离为:

$$W = \sum_{i=0}^k \frac{\|P_i P_{i+1}\|}{L} \|W_{i1} W_{i2}\|$$

其中, $k$ 为两建筑物间通视域三角元的个数, $L$ 为通视域骨架线的总长度, $\|P_i P_{i+1}\|$ 为骨架线落在三角元 $i$ 中的线段长, $\|W_{i1} W_{i2}\|$ 为通视域三角元 $i$ 的垂直于骨架线的高。视觉距离大小与欧氏距离正相关,与方向差异和大小差异负相关。将同质性修剪后的邻近图的连接边赋予建筑物间的视觉距离,构建以视觉距离为权重的加权无向图。

### 2.4 直线模式提取

考虑到直线模式的直线性、延展性等,同一直线模式的建筑群应该具有方向和趋势一致性,其邻近图连接边的内侧夹角应近似为  $180^\circ$ ,而整个直线模式链表内的建筑群的全局方向差异应趋近于  $0^\circ$ 。由于允许直线模式相互交叉,因此这一步不能直接对邻近图进行修剪。直线模式的提取主要通过建筑群的模式链表完成。经过每个连接点的直线模式的数目不可能大于其连通度。节点的连通度定义为:在邻近关系图中,与该节点直接关联的连接边的数目。利用连接点的连通度控制对邻近图的扫描次数,以保证直线模式的完备性。记连接点的连通度  $m$ ,其被访问的次数为  $n$ 。设方向和视觉距离容差分别为  $\delta_{orient}$  和  $\delta_{dis}$ ,则直线模式的提取步骤如下。

- 1) 选一个建筑物作为种子起点。
- 2) 访问与此点相连接的下一个点,如果  $n =$

$m$ ,结束当前模式链;否则,判断  $n$ :

①  $n = 1$ ,若满足直线条件,则此连接点为直线模式的一部分,加入当前模式链表;否则结束当前模式链表提取,重新选择种子起点,执行(2),连接点访问次数加 1;

②  $n > 1$ ,若存在满足直线条件的连接边,则加入当前模式链表;否则,以此连接点为种子起点,新建模式链表,执行(2),连接点访问次数加 1。

3) 如果邻近图所有节点均满足  $n = m$ ,整个图层的直线模式提取过程结束。

上述直线条件是指:连接边内侧夹角与当前模式链表建筑群全局方向的差异的百分比在  $\delta_{orient}$  以内,视觉距离差异与当前模式链表建筑群平均视觉距离的差异的百分比在  $\delta_{dis}$  以内。经过以上步骤可以初步识别出直线模式,并且直线模式之间存在交叉。为便于可视化,将以上所有模式链表转化为线要素存储,如图 1(g)。

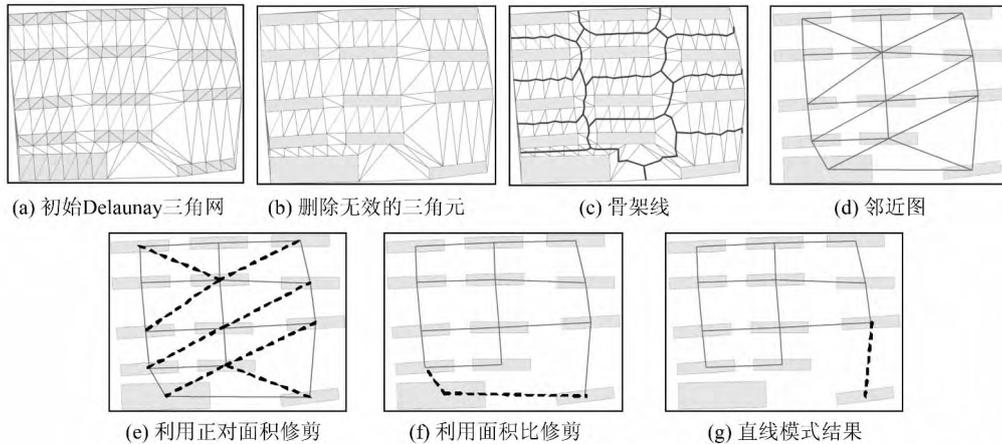


图 1 直线模式提取过程

Fig. 1 Process of Linear Pattern Extraction

### 3 实验与分析

为检验上述识别方法的有效性,本文基于 ArcEngine9.3 设计实现了以上算法,并融入课题组实验平台 GxGIS。实验数据为 2000 年洛杉矶 (Los Angeles) 地区某 1:10 000 比例尺的部分建筑群,实验区域包含 18 个小区、162 个建筑物,如图 2(a)。参考前人经验<sup>[4,11]</sup>,设置面积比阈值  $\delta_{Area} = 0.85$ ,正对面积阈值  $\delta_{Face} = 0.8$ ,方向容差  $\delta_{orient} = 15\%$ ,视觉距离容差  $\delta_{dis} = 15\%$ 。利用文献 [11]方法与本文方法分别对实验数据进行初始直线模式提取,然后进行合并、修剪等后期处理,得到最终的直线模式分别为 47 个和 85 个,如图 2(b)、2(c)所示。结果的差异主要是因为现有方法

中最小支撑树具有单连通性,丢失了建筑群中部分直线模式信息。例如,对图 2 中椭圆框中的部分进行细节对比,如图 3 所示。图 3(a)、3(c)利用现有方法分别识别出 3 条和 4 条直线,而利用本文方法则分别识别出相互相交的 6 条和 7 条,如图 3(b)、3(d)。这也更符合人类“横看成岭侧成峰”的认知特点。

根据认知心理学实验方法的要求,本文通过调查问卷的方式评价算法的可靠性。调查对象为 2 名制图生产单位工程师、3 名助理工程师、1 名地图专业讲师、42 名地图专业学生。通过不同区域数据测试的调查结果表明,本文方法的可信度在 87% 以上,说明该方法能够识别出建筑群中明显的直线模式,其识别结构基本符合人类空间认知心理,与人眼视觉识别的结果比较接近。其优

点在于:① 识别过程仅涉及距离、大小和方向等参数,参数意义明确,易于理解;② 利用连接点的连通度控制对邻近图的多次扫描,实现了所有可能方向的直线模式的提取,保证了其完备性;

③ 对同质性修剪之后的邻近图进行视觉距离加权,降低了算法的时间复杂度;④ 识别出的直线模式允许相交现象的出现,为建筑群网格模式的识别提供了支持。

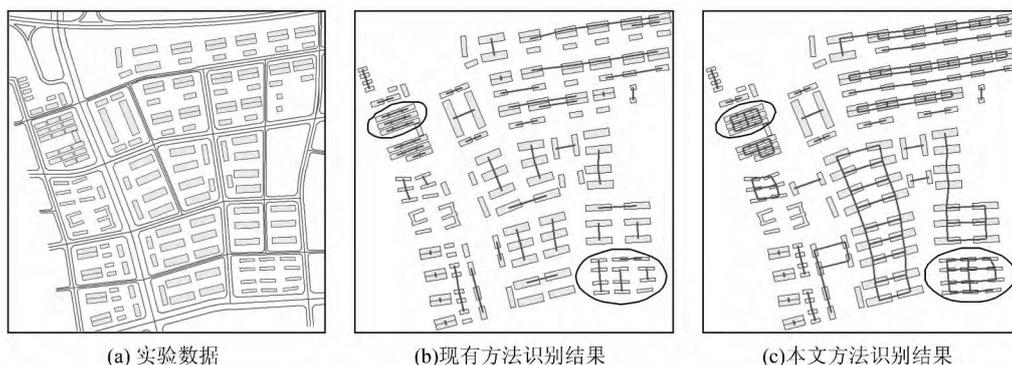


图2 直线模式识别实验结果

Fig. 2 Experiment Results of Linear Pattern Recognition

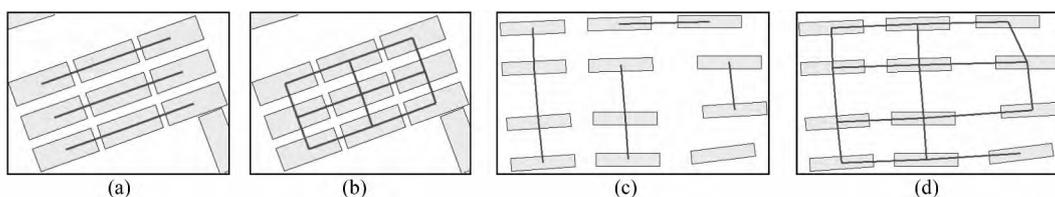


图3 实验结果细节对比

Fig. 3 Experiment Result Detail Comparison

## 4 结 语

本文通过参数判别法挖掘隐含于建筑群中的直线模式。首先从视知觉理论出发分析了空间分布模式的组织规律,然后利用结构化参数直接对邻近图进行修剪,一定程度上克服了现有方法的不足。所提取出的直线模式允许相交现象,更加符合人类空间认知特点。多连通直线模式的识别结果已经成功应用于建筑群网格模式的识别中。需要进一步研究的问题主要包括:① 视知觉拓扑理论对模式识别的指导意义及其参数化表示的影响因素;② 模式的结构化参数的各种阈值等需要经过反复实验确定;③ 将建筑物抽象为最小外接矩形在一定程度上造成了形状信息的损失,如何用量化模型描述形状亦是一个难题。

## 参 考 文 献

- [1] Wu F, Qian H Z, Deng H Y, et al. Intelligent Spatial Information Processing for Automated Map Generalization[M]. Beijing: Science Press, 2008 (武芳,钱海忠,邓红艳,等. 面向地图自动综合的空间信息智能处理[M]. 北京:科学出版社,2008)
- [2] Teiniger S. Enabling Pattern-Ware Automated Map Generalization[D]. Switzerland: Zurich University, 2007
- [3] Ruiz J J, Ariza F J, Urena M A, et al. Digital Map Conflation: a Review of the Process and a Proposal for Classification[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(9): 1 439-1 466
- [4] Qi H B. Detection and Generalization of Changes in Settlements for Automated Digital Map Updating [D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2009.
- [5] Li Z L, Yan H W, Ai T H, et al. Automated Building Generalization Based on Urban Morphology and Gestalt Theory[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2004, 18(5): 514-534
- [6] Ai T H, Guo R Z. Polygon Cluster Pattern Mining Based on Gestalt Principles[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2007, 36(3): 302-308 (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)
- [7] Zhao B B, Deng M, Li G Q, et al. A New Hierarchical Spatial Index Based on Urban Morphology [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*,

- 2010, 39 (4):435-440(赵彬彬, 邓敏, 李光强, 等. 基于城市形态学原理的面状地物层次索引方法[J]. 测绘学报, 2010, 39 (4):435-440)
- [8] Yan H W, Weibel R, Yang B S. A Multi-parameter Approach to Automated Building Grouping and Generalization[J]. *GeoInformatica*, 2008, 12(1): 73-89
- [9] Basaraner M, Selcuk M. A Structure Recognition Technique in Contextual Generalization of Buildings and Built-up Areas[J]. *The Cartographic Journal*, 2008, 45(4):274-285
- [10] Allouche M K, Moulin B. Amalgamation in Cartographic Generalization Using Kohonen's Feature Sets [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2005, 19(8-9):899-914
- [11] Zhang X, Ai T H, Stoter J, et al. Building Pattern Recognition in Topographic Data: Examples on Col-linear and Curvilinear Alignments[J]. *GeoInformatica*, 2013, 17(1):1-13
- [12] Rainsford D, Mackness W. Template Matching in Support of Generalization of Rural Buildings [C]. The 10th International Symposium on Spatial Data Handling, 2002
- [13] Yan Haowen, Ying Shen, Li Lin. An Approach for Automated Building Grouping and Generalization Considering Multiple Parameters[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2008, 33(1):51-54(闫浩文, 应申, 李霖. 多因子影响的地图居民地自动聚群与综合研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2008, 33(1):51-54)
- [14] Ai T H, Oosterom P. GAP-tree Extensions Based on Skeletons [C]. *Advances in Spatial Data Handling*, 2002

## The Parameter Discrimination Approach to Multi-connected Linear Pattern Recognition in Building Groups

GONG Xianyong<sup>1,2</sup> WU Fang<sup>1</sup> QIAN Haizhong<sup>1</sup> MA Kenan<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geographical Spatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Geo-information Engineering, Xi'an 710054, China

**Abstract:** Map patterns in building groups, as one of the essential foundations for cartographic generalization and multi-scale connection-relations, embodies the relationship of the material form of cities to their social-economic functions. On the basis of related research at home and abroad, a multi-connected linear pattern is recognized taking advantage of parameter discrimination. With the analysis of pattern organization laws, the structural parameters of linear patterns are characterized by distance, direction and size; then the neighborhood relationship was captured by proximity graph with the help of a Delaunay triangulation; finally the multi-connected linear pattern is recognized by pruning the proximity graph, modeling the human processes. Experiments show that this approach is effective, feasible and practicable for multi-connected linear pattern recognition in agreement with cognitive characteristics.

**Key words:** cartographic generalization; building groups; multi-connected linear pattern; pattern recognition

**First author:** GONG Xianyong, master, specializes in pattern recognition, automated cartography generalization and spatio-temporal data analysis. E-mail: gongxygis@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41171354, 41101362, 41171305; the Innovative Technology Talents Team Construction Project of Henan Province, No. 104200510016; Funded by State Key Laboratory of Geo-information Engineering, No. SKLGIE2013-M-4-6.