

城市道路网几何结构模式的自动识别方法

杨必胜^{1),2)} 栾学晨^{1),2)}

¹⁾(武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉 430079) ²⁾(武汉大学交通研究中心,武汉 430079)

摘要 在路网结构几何形状分析的基础上,提出了一种基于模式识别的方法对城市路网中的格网结构模式进行自动识别。该方法从方向一致性、形状相似性出发对路网数据中的格网结构进行识别,并在区域增长算子的基础上对识别出的相邻的格网进行聚合。实验结果表明,该方法能够有效地对城市路网中的格网结构进行自动识别,为路网数据的匹配、多尺度表达奠定基础。

关键词 模式识别 道路网 格网结构识别

中图法分类号:P208 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2009)07-1251-05

An Automated Method for Structural Pattern Recognition of Road Networks

YANG Bi-sheng^{1),2)}, LUAN Xue-chen^{1),2)}

¹⁾(State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079)

²⁾(Transportation Research Center, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract Structural patterns of road networks play a vital role in the simplification, multiple representations of road networks. This paper proposes an automated method for identifying grid-like patterns from road networks. The proposed method firstly identifies grid-like patterns according to the shape similarity, and the direction similarity of road networks. Then it clusters grid-like patterns based on a region incremental algorithm. Experiments show that the proposed method is capable of automatically identifying grid-like patterns from road networks.

Keywords pattern recognition, road network, grid structure recognition

1 引言

道路作为连通城市中各个功能区块的媒介,其构建本身不仅反映了城市的地形地貌特点,而且体现了城市中各个功能区块的拓扑关系,以及人们对城市整体结构的感知。因此,在城市中,每条道路不是孤立存在的个体,而是综合了地形地貌,城市功能结构,甚至包括城市历史发展等多方面因素所形成的复杂的空间网络,可称之为空间结构模式特征。

空间数据的结构模式特征主要指空间数据中重复出现的一些特征,如:形状、方向、连通性、密度和分布等特征^[1]。目前,在识别建筑物平面形状、相邻建筑物的相似性、方向等模式特征方面已经有了一系列研究成果,如基于图论的建筑物分组^[2],基于空间聚类的建筑物空间排列研究^[3-4]等。而对于城市道路网而言,道路网的结构模式特征不仅对于道路数据的自适应可视化、LOD(level_of_detail)表达质量的提高、LOD道路数据库的建立十分必要^[5-8],而且在提高道路数据 LOD 模型表达算法的效率、提高

基金项目:国家自然科学基金项目(40871185);国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2007AA12Z241, 2007AA12Z212);教育部重点基金项目(108085)

收稿日期:2009-04-21; **改回日期:**2009-04-25

第一作者简介:杨必胜(1974 ~),男,教授,博士生导师。主要研究方向为空间数据的渐进传输、多尺度表达、3 维重建。
E-mail: bshyang@whu.edu.cn

网络传输效率、增强道路数据的可读性方面同样具有十分重要的作用^[1,6,9-10]。道路网结构模式的识别是构建 LOD 表达时保留路网主要结构特征的前提条件,只有识别出道路网中的具体模式,才能对道路网进行有针对性的简化和保留,以保持道路网的整体形态特征。Mackanness 与 Mackechnie 在研究城市制图综合时,将城市道路网中的立交桥交叉点作为一种模式并进行了有效的识别^[11]。Zhang 把道路网数据的结构模式大致归为方格型、星型以及不规则型 3 种模式^[7],但是其识别算法以整个城市道路网为研究对象,而无法识别城市中局部的结构模式特征。在 Zhang 提出的这 3 种结构模式中,星型和不规则型道路模式属于小比例尺上的结构模式特征,在城市内部的道路网中并不常见。而格网结构则是道路网中普遍存在的一种结构模式,对于城市道路网的 LOD 模型表达非常重要,这也是本文的研究重点。道路网中格网模式的最基本特征是其由两组近乎平行的直线道路正交而成^[12],如图 1(a)所



图 1 道路网中的格网结构模式

Fig. 1 Examples of grid-like patterns

示。Heinzle 与 Anders 总结前人经验并结合自己的研究,将城市道路网中的模式循序渐进地划分成点、线、网 3 大类^[13]。并给出了由识别结点模式开始,最终识别道路网中方格网、星状以及环形 3 种模式。其中,Heinzle 等人^[12-13]提出了两种识别方法用于格网结构的识别,即基于道路结点类型的识别算法和基于 Hough 变换的识别算法。上述两种算法对比较标准的方格网识别效果较好,但对于道路交点不重合、格网形状不规则结点的格网等情况下的路网结构则难以识别,如图 1(b),图 1(c)所示。

针对上述格网识别算法中存在的不足,本文从模式识别的角度出发,对城市路网的几何结构进行分析,从而有效地提取出城市路网中格网结构的模式特征,为路网的简化和 LOD 表达提供技术支撑。

2 道路网中格网模式的自动识别方法

本文从格网区域形状相似性的角度出发对格网进行识别,从而避免已有的基于结点类型模式识别算法对结点形态质量要求较高的不足之处。而且该方法仅使用道路网的空间矢量数据,未使用其语义信息,因而还具有较好的普适性。本方法的核心思想是,首先建立道路网数据中结点、路段之间的拓扑关系,形成具有封闭区域的多边形。然后对相邻多边形排列方向和几何形状的相似性进行判断,并采用区域增长的方法对其进行模式聚类,实现无预先指定分类数目和内部特征的情况下的格网归类的自动化识别。该方法包括以下 3 个关键步骤。

(1) 建立拓扑关系

判断每个结点所连接的路段数,将连接数为 2 的结点所连接的路段进行合并。建立路段、结点以及闭合区域之间的拓扑关系,从而获取到每条路段的左右相邻的多边形。

(2) 格网模式识别

本文提出的格网模式识别算法主要基于 3 条规则,即格网排列方向一致、形状相似,以及具有方格形状。笔者将它们量化为 3 个判别值,即主方向差异、重叠面积比例与方格指数。分别阐述如下,

① 主方向差异。多边形主方向的定义和计算方法如图 2 所示。

一个多边形的主方向即该多边形最小外接矩形(MER)的长边方向,副方向垂直于主方向。所谓多边形的 MER,就是指能够完全包含该多边形的面积

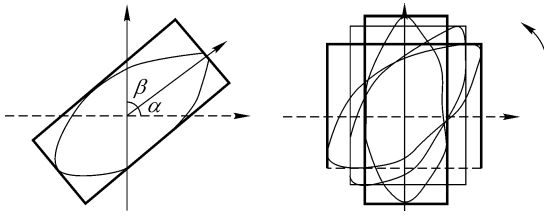


图2 多边形的主方向与计算方法
Fig. 2 Main directions of polygons

最小的矩形。计算 MER 的一种方法是多边形绕质心在 90° 范围内等间隔地旋转,每次记录其坐标系方向上的外接矩形参数,取其面积为最小的矩形为该多边形的 MER。假设一个多边形在旋转角度 β 后得到该多边形的 MER,则将该多边形的 MER 反旋转 β 角度,即可得到该多边形的主方向角 $\alpha(90^\circ - \beta)$,其副方向和主方向相差 90° 。道路网主方向的部分计算结果如图 3 所示,图中每个多边形中的细线方向即为主轴方向。



图3 道路网中多边形的主方向计算结果
Fig. 3 An example of main directions of polygons

为了判断相邻的两个多边形是否可以归为一组,除了判断两个多边形的主方向是否一致外,还需要判断多边形的主方向与多边形的质心方向的角度差异,综合考虑上述两个条件的情况下,判定相邻的两个多边形是否可以归为一组。如图 4(a) 所示。

根据图 4(a),多边形 A 和 B 的主方向角度差异 $\Delta\theta$ 以及主方向与多边形质心向量之间的角度差异 $\Delta\theta'$ 分别为

$$\Delta\theta = \alpha_1 - \alpha_2 \quad (1)$$

$$\Delta\theta' = \max(\theta_1, \theta_2) \quad (2)$$

式中, α_1, α_2 分别为主方向的角度。图 4 中 p_1, p_2 为主方向向量, q 为连接 C_1, C_2 的向量, C_1, C_2 分别为多边形 A 和 B 质心。

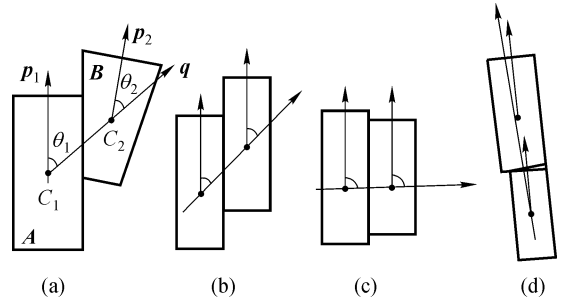


图4 基于主方向角度差异的判定方法以及几种可能的多边形排列方法

Fig. 4 Difference of main directions of polygons and arrangement of polygons

则相邻的两个多边形归为一组的条件是 $\Delta\theta$ 的数值应该在 0° 左右, $\Delta\theta'$ 的数值应该在 0° 或 90° 左右。同时满足上述两个条件表明相邻的两个多边形沿主方向或副方向紧密排列,如图 4(c),图 4(d) 所示。图 4(b) 的排列不能同时满足上述两个条件,因此不能归为一组。

② 重叠面积比例。排列方向一致的格网,其几何形状可能千差万别。因此,在识别排列方向一致的同时,还必须保证形状的一致性。作者将邻接多边形进行叠加分析,判断重叠部分的面积所占的比例。如果两多边形形状相似,重叠面积比例应当接近于 1。以图 5 所示的多边形 A 和 B 为例,将多边形 A 沿其中心点 C_1 与多边形 B 的中心点 C_2 所构成的向量 q 平移,然后对 A 与 B 进行叠加分析,求出其交集 C ,再利用式(3)计算 C 的面积与 A, B 面积最大值的比值 R 。如果 A 与 B 的形状相似, R 应该接近于 1。

$$R = C / \max(A, B) \quad (3)$$

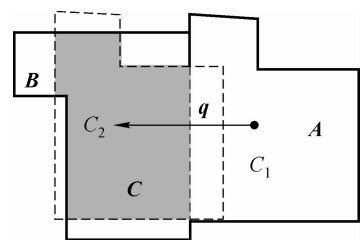


图5 形状相似性判断示意图
Fig. 5 Identification of shape similarity

③ 方格指数。主方向差异和重叠面积比例两个判别参数确定了相邻两个多边形的排列和相似关系。然而,由于所要识别的是格网结构模式,因此还

必须保证所识别的多边形具有方格的形态特征。为此,将多边形的面积与其 MER 的面积之比定义为方格指数,其公式为

$$\hat{R} = S_{\text{polygon}} / S_{\text{MER}} \quad (4)$$

对于方格网来说,方格指数应当接近于 1。

(3) 基于区域增长算子的格网归类

区域增长算子的关键步骤是,首先选定一个多边形,判断其与邻接多边形的相似性系数是否满足设定的阈值,如果满足,便将其邻接多边形同其归为一类。再递归地判断其邻接多边形与其他多边形的关系,直至没有邻接多边形或者所有的邻接多边形都不符合判别规则,则该类格网的识别结束。然后再选定一个未归类的多边形,重复进行前面的识别过程,产生一个新的归类。如此循环,直至所有多边形都被归类为止。

在上述 3 个步骤的基础上,该方法能够对城市路网数据中的格网结构进行自动识别和归类。

3 实验与分析

本实验数据使用的是英国爱丁堡和加拿大某城市的道路网数据。爱丁堡的道路网数据在建立节点、路段以及闭合区域的拓扑关系后具有 1 486 个结点,1 793 条路段和 328 个待归类的多边形格网。加拿大某城市的道路网数据在建立节点、路段以及闭合区域的拓扑关系后具有 2 849 个结点,3 680 条路段和 834 个格网。然后计算相邻多边形之间的主方向差异、重叠面积比例和方格指数。

在进行格网结构的自动识别时,作者对主方向的参数即主方向角度差异 $\Delta\theta$ 和主方向与多边形质心向量间的角度差异 $\Delta\theta'$ 分别设置为 $\Delta\theta < 5^\circ$, $\Delta\theta' > 80^\circ$, 或 $\Delta\theta' < 10^\circ$, 重叠面积比例参数 $R \geq 0.7$, 方格指数 $\hat{R} \geq 0.7$ 。上述参数的设置是在分析所有相邻多边形格网间的主方向差异、重叠面积比例和方格指数 3 个参数的基础上设置。图 6 和图 7 分别给出了在上述参数条件下上述两组实验数据中的格网模式识别结果。

从实验结果可以看出,本算法能够较好地识别出道路网中的格网模式,能够对格网结构的路网进行自动的识别和归类,实验结果中相同颜色标识的部分为一组格网结构区域。本算法能够在没有人工

干预的情况下对识别出的方格网模式进行聚类,其结果能够反映出聚类内部格网形态结构的相似性与以及不同聚类之间的差异性。而且,本算法对于一些结点形状并不十分标准的方格网也能够进行准确而有效的识别。但由于道路网结构的复杂性,本算法也存在着一些错选和漏选。对于识别结果的评价,目前只能通过实验人员人工进行评价,因而不可避免地带有主观性。由于不同城市道路网结构的存在巨大差异,无法保证本实验所设定的阈值对于所有的城市路网都是最优的识别结果。

图 6 爱丁堡城市道路格网模式识别结果
Fig. 6 Identification of grid-like patterns from Edinburgh road network

图 7 加拿大某城市路网格网模式识别结果
Fig. 7 Identification of grid-like patterns from a urban road network of Canada

4 结 论

城市道路网中存在着大量的诸如格网结构、环型结构等模式特征,这些模式特征来自于人们对于地图的感知,是一个城市道路网结构的重要特征,也是人们认识一个城市形态特征的重要标志,对于城市道路的 LOD 表达起着十分重要的作用。本文从矢量数据模式识别的角度出发,提出了一种城市道路格网模式识别的有效算法。本算法综合考虑的城市道路网中方格间的方向一致性、形状一致性和格网形状特征,能够正确有效地识别道路中的格网。而且,本算法突破了以往算法中对于道路格网结点数据质量和格网形态上的限制,能够识别出边角形态不十分规范的方格网,具有良好的普适性。

本算法所识别出的方格网,属于最小单位的方格网,即其中不再嵌套或包含其他路段。而对于类似图 8 所示的“粗”层次格网结构(深色边界的区域)的模式自动识别问题仍需进一步地研究。



图 8 “粗”层次格网结构的识别

Fig. 8 Failed identification of coarser grid-like patterns

参考文献 (References)

1 Mackaness W, Edwards G. The Importance of Modelling Pattern and

Structure in Automated Map Generalisation[EB/OL]. www.ikg.uni-hannover.de/isprs/workshop/macedwards.pdf. 2002.

- 2 Regnaud N. Recognition of building clusters for generalization[A]. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling[C], Delft, the Netherlands, 1996: 185-198.
- 3 Anders K H. A hierarchical graph-clustering approach to find groups of objects[A]. In: Proceedings of the 5th Workshop on Progress in Automated Map Generalization[C], Paris, France, 2003: 5-10.
- 4 Anders K H. Grid typification[A]. In: Progress in Spatial Data Handling [C], Heidelberg, Germany: Springer Verlag, 2006: 633-642.
- 5 Edwardes A J, Regnaud N. Preserving the pattern of density in urban network simplification[EB/OL]. www.geo.unizh.ch/~aje/pdf/preserving-the-pattern-of-density.pdf. 2000.
- 6 Steiniger S. Enabling Pattern-aware Automated Map Generalization [D]. Switzerland, Zurich University, 2007.
- 7 Zhang Q. Modeling Structure and Patterns in Road Network Generalization[EB/OL]. <http://aci.ign.fr/Leicester/paper/Zhangv2-ICAWorkshop.pdf>. 2004.
- 8 Ai Ting-hua, Guo Ren-zhong. Polygon cluster pattern mining based on gestalt principles[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, **36**(3): 302-309. [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): 302-309.]
- 9 Yang B S. A multi-resolution model of vector data for rapid transmission over the internet [J]. Computers&Geosciences, 2005, **31**(5): 569-578.
- 10 Yang B S, Purves R S, Weibel R. Efficient transmission of vector data over the internet [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2007, **21**(2): 215-237.
- 11 Mackaness W A, Mackechnie G. Detection and simplification of road junctions in automated map generalization [J]. GeoInformatica, 1999, **3**(2): 185-200.
- 12 Heinzle F, Anders K H, Sester M. Graph Based Approaches for Recognition of Patterns and Implicit Information in Road Networks [EB/OL]. http://www.ikg.uni-hannover.de/publikationen/publikationen/2005/ICC_2005_Heinzle.pdf.
- 13 Heinzle F, Anders K H. Characterising space via pattern recognition techniques: identifying patterns in road networks[A]. In: Mackaness W, Ruas A, Sarjakoski L T. (ed.), The Generalisation of Geographic Information: Models and Applications [M], Amsterdam, The Netherlands; Elsevier, 2007: 233-253.