

DOI:10.13203/j.whugis20140862



文章编号:1671-8860(2017)04-0520-05

顾及结构和几何特征的道路自动选取方法

曹炜威^{1,2} 张红¹ 何晶¹ 蓝天¹

1 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都,611756

2 西南交通大学经济管理学院,四川 成都,611756

摘要:提出了一种顾及结构和几何特征的道路网自动选取方法。综合考虑道路的度中心性、集聚系数和路划的几何长度等道路选取影响因素,提出一种道路重要性评价方法。实验结果表明,本文方法能够很好地保持选取道路网的整体与局部结构、拓扑结构以及路网连通性。基于该方法,由大比例尺地图选取出的小比例尺地图与相应标准比例尺地图保持较高的一致性,表明该方法是稳定可靠的。

关键词:道路选取;集聚系数;度中心性;路划长度;地图综合

中图法分类号:P283;P208

文献标志码:A

地理信息的自动综合问题目前仍是困扰 GIS 及地图学界的难题^[1,2]。道路自动选取是地理信息自动综合的关键问题,对多尺度地图表达具有重要意义。道路多尺度表达要求地图比例尺缩小的过程中删繁就简,完整保留重要道路,舍弃不符合目标比例尺要求的冗余对象,并保持所选路网的拓扑连通性^[3,4]。

文献[5,6]依据心理认知的“Gestalt”准则,引入路划(stroke)概念,提出一种基于路划的道路选取方法。该方法有效顾及了道路的几何属性,被公认为是较好的模型。但道路的重要性并不仅仅由几何长度决定,因此该方法也存在一定的局限性。文献[7]基于网眼密度的道路选取方法,有效保持了道路网的连续性和图形结构特征。文献[8]基于多边形的形态分析提出了一种城市主干道提取方法。

道路选取一方面要保留路网的空间形态特征,另一方面还应保持路网结构。基于结构特征的道路选取从图论的角度挖掘道路选取方法,弥补了基于几何和属性特征选取方法的不足。文献[9]提出结构化的道路选取方法,采用节点中心度衡量道路重要性。文献[10]将复杂网络里自我中心网络的概念应用到道路自动选取中,揭示道路网络的等级层次特征。以上方法的不足之处在于忽略了道路的几何属性。

本文在继承路划和网络思想的基础之上,提出了一种综合考虑道路连接度、集聚系数和路划长度重要性的道路选取方法。该方法不仅考虑道路自身的重要性,而且顾及了路划在邻居社团中的功能性作用,取得良好的道路选取效果。

1 基于路划的对偶表示法

空间数据表达中,路段是指两个道路交叉口之间的部分。路段并不是道路的自然形态单元,而是道路网数据建模单元。Thomson 认为,道路选取时,道路的视觉长度对道路的取舍有着至关重要的作用,由此提出了路划的概念^[5]。路划的构建是由路段间偏向角决定的^[11]。

对偶表示法将路网中的道路单元映射成网络节点,道路单元之间的交叉关系映射为节点连边,由此建立几何路网的对偶图。图 1(a)表示真实路网,图 1(b)是图 1(a)的对偶图表示法。

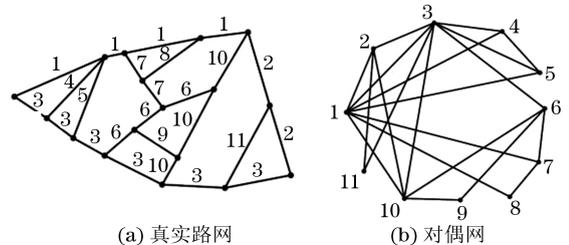


图 1 简单道路网模型

Fig.1 A Simple Road Networks Model

收稿日期:2015-09-17

项目资助:国家自然科学基金(41471383,41101361);中央高校科技创新基金(SWJTU11CX063)。

第一作者:曹炜威,博士生,主要研究方向为空间复杂网络。ywcao@my.swjtu.edu.cn

通讯作者:张红,博士,副教授。zhangh2011@swjtu.edu.cn

2 路划重要性评价指标

2.1 单项指标

2.1.1 度中心性

度中心性指网络中与某一节点直接相连的邻居节点数,表示为:

$$K_i = \sum_{j \in G} \sigma_{ij} \quad (1)$$

式中, $\sigma_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 与 } j \text{ 直接相连} \\ 0, & i \text{ 与 } j \text{ 无直接相连} \end{cases}$ 。道路选取过程

中,度中心值越大,道路的连通性越好,在路网中越重要^[9]。度中心性体现了节点与周围节点之间的联系能力,但没有考虑邻居节点对该节点重要性的影响。

2.1.2 集聚系数

集聚系数是复杂网络理论中非常重要的指标^[12],为网络中邻居节点间的联系紧密程度:

$$C_i = \frac{2e_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (2)$$

式中, e_i 表示节点 i 与其任意两个邻居之间所形成的三角形的个数。与度中心性不同的是,集聚系数越小,表示节点在其与邻居节点组成的小社团中发挥的功能性作用越大。如图 2 所示,实心圆节点的集聚系数为 1,但其存在与否对三个黑色方块的信息交换没有显著影响。图 2(b)中,顶端实心块与右端黑色方块必须借助黑色实心圆才能够实现物质能量交换,该模型中实心圆的集聚系数为 1/3。图 2(c)中,实心圆在该社团中物质信息流的交换中占据绝对控制作用,所有黑色方块必须借助实心圆方能够实现通信,该模型中实心圆的集聚系数为 0。映射到道路网中,受直接相连道路作用的影响,功能上越重要的道路集聚系数越小。对于度值为 1 的点,其集聚系数是不存在的。这些点对应路网中的悬挂道路,某种意义上讲可以认为它们是次要的,在道路综合中常舍弃,因此将其集聚系数值当做 1 处理。

2.1.3 路划长度

事实证明,若通过一条顺直的道路和经过多

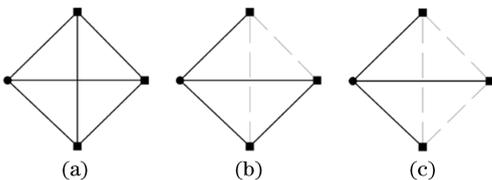


图 2 集聚系数

Fig.2 Clustering Coefficient

次转弯的道路同样能够到达目的地,驾驶司机往往会选择长直的道路链。因此,长度能够反映道路交通流的信息,彰显路划的重要性,是道路选取中必须考虑的重要影响因素之一。路划长度 L 为组成该路划的各个路段长度之和。

2.2 道路选取综合评价指标

基于以上 3 个指标,本文提出了道路选取线性关联模型:

$$I_i = \alpha \frac{K_i - K_{\min}}{K_{\max} - K_{\min}} + \beta \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max} - C_{\min}} + \gamma \frac{L_i - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \quad (3)$$

式中, α 、 β 、 γ 分别表示度中心性、集聚系数、路划长度对道路重要性的影响权重。该模型综合考虑了道路几何和结构特征,顾及道路自身重要性的同时兼顾了邻居节点对该道路重要性的影响。指标之间取值差异较大,为消除量纲的影响,模型采用归一化方式计算各因子对道路重要性的影响。本文通过变异系数法确定各权重的值。影响因子 α 、 β 、 γ 的权重分别为 0.31、0.24、0.45。

3 实验与分析

3.1 道路选取过程

1) 提取矢量城市道路网数据,检查其拓扑连通性,消除路网中的孤立线保证初始路网的拓扑连通性;

2) 设置偏向角阈值为 45° ,构建路划网络;

3) 采用对偶法,以路划为基本单元构建对偶图;

4) 计算对偶图中节点的度中心性和集聚系数;

5) 根据线性关联模型计算综合指标值,按由大到小顺序选取综合指标值较大的路划到小比例尺地图。

3.2 实验结果分析

为评估道路选取结果,采用与标准比例尺地图比较的方式验证该方法的可靠性。文章采用 1:5 万的香港岛道路地图作为基础数据,基于方根模型从该比例尺数据中分别选出与目标比例尺 (1:10 万和 1:20 万) 要素相等的路划数量,并分别与 1:10 万和 1:20 万的标准地图对比,具体如图 3 所示。

目视发现,各选取比例均保持了路网的整体结构,与基础地图几乎保持相同的覆盖范围。各目标比例尺下的选取结果中,路网相对密度特征得到了较好保持,原始路网中密集/稀疏的地方在

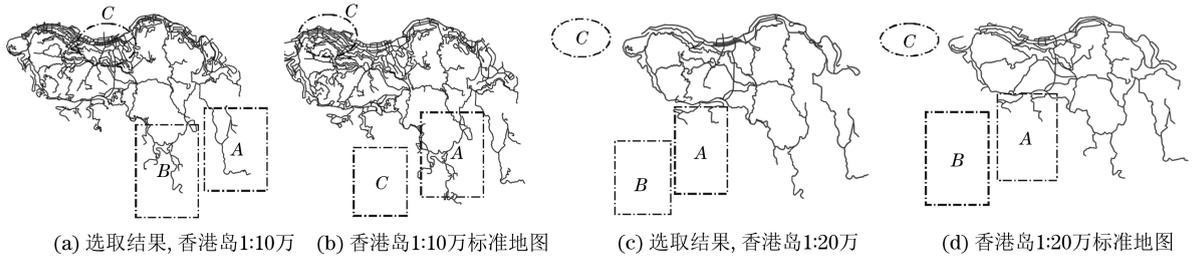


图3 香港岛道路网

Fig.3 Hong Kong Road Networks

选取的路网中依然保持密集/稀疏。与1:5万的基础比例尺地图相比,以图3中A、B、C区域为例,选取出的1:10万和1:20万小比例尺地图明显保留了功能性较强的主要道路,舍去了次要道路。为进一步验证选取结果的可靠性,计算“最大相似度”^[13]值定量描述选取结果与相应标准比例尺地图的一致性。“最大相似度”可描述为:

$$\text{Similarity} = \frac{a \cap b}{a + b - a \cap b} \quad (4)$$

式中, a 是选取出的路网中道路总长度; b 是相应标准比例尺地图的道路总长度; $A \cap B$ 是A和B中共有道路长度之和。计算结果见表1。结果显示,所提方法选取出的结果与相应的标准地图具有更高的一致性,较基于网眼密度的道路网自动选取方法效果更佳。

拓扑连通性是道路选取结果的另一个重要评价指标,文献[14]提出“平均连通性”指标定量描述选取道路的结构特性,可描述为:

$$AC = \left(\sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} \delta_{ij} \right) / [N(N-1)] \quad (5)$$

式中, $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ 与 } j \text{ 连通} \\ 0, & i \text{ 与 } j \text{ 不连通} \end{cases}$; N 为网络中节点对数量。平均连通性用于描述网络节点之间的通达性,值介于0~1之间。本文所提选取方法相应比例尺的标准地图平均连通性值见表2。在不做任何连通性保持的情况下,本文方法选取结果保持

表1 最大相似度计算结果

Tab.1 Results of Maximum Similarity

道路选取方法	最大相似度	
	1:10万	1:20万
本文方法	0.784	0.776
基于网眼密度方法	0.638	0.617

表2 平均连通性

Tab.2 Results of Average Connectivity

连通性对比	平均连通性	
	1:10万	1:20万
标准地图	1.000	1.000
本文选取结果	0.927	0.973

了较高的连通性,表明该方法能够很好地保持选取出道路的拓扑结构和地图连通性。

4 结 语

准确、合理评价道路重要性是道路选取的前提条件。本文在顾及道路几何长度和连通性的同时,将道路在邻接局部社团中的功能考虑在内,提出了综合几何长度、度中心性和集聚系数的线性关联模型。以香港道路网为例,采用本文方法从1:5万的基础比例尺地图中选取1:10万和1:20万的目标比例尺地图。采用定量描述法和目视方法评价选取结果,发现与标准地图具有较高的一致性,表明该方法稳定可靠。选取结果有效地保持了地图的整体、局部结构、路网相对密度和覆盖范围。

本文仅对实验结果进行了简单的目视和定量评价分析,选取结果能否满足实际应用的需要有待讨论。随着GPS浮动车数据获取技术的成熟,下一步将结合实时交通流信息对该方法做进一步验证。

参 考 文 献

- [1] Deng Hongyan, Wu Fang, Wang Huilian, et al. A Generalization of Road Network Based on Topological Similarity [J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2008, 25(3):183-187(邓红艳,武芳,王辉连,等.基于拓扑相似性的道路网综合模型[J]. *测绘科学技术学报*, 2008, 25(3): 183-187)
- [2] Li Z. Algorithmic Foundation of Multi-scale Spatial Representation [M]. London: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2006: 280
- [3] Li Z, Openshaw S. A Natural Principle for the Objective Generalization of Digital Maps[J]. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1993, 20(1): 19-29
- [4] Li Z, Choi Y H. Topographic Map Generalization: Association of Road Elimination with Thematic Attributes[J]. *The Cartographic Journal*, 2002, 39

- (2):153-166
- [5] Thomson R C, Richardson D. The “Good Continuation” Principle of Perceptual Organization Applied to the Generalization of Roadnetworks [C]. The 19th International Cartographic Conference, Ottawa, Canada, 1999
- [6] Richardson D E, Thomson R C. Integrating Thematic, Geometric, and Topological Information in the Generalization of Road Networks [J]. *Cartographica: The International Journal for Geographical Information and Geovisualization*, 1996, 33(1): 75-83
- [7] Hu Yungang, Chen Jun, Li Zhilin, et al. Selective Omission of Road Features Based on Mesh Density for Digital Map Generalization[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2007, 36(3): 351-357(胡云岗,陈军,李志林,等.基于网眼密度的道路选取方法[J].测绘学报,2007,36(3):351-357)
- [8] Luan Xuechen, Fan Hongchao, Yang Bisheng, et al. Arterial Roads Extraction in Urban Road Networks Based on Shape Analysis[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(3): 327-331(栾学晨,范红超,杨必胜,等.城市道路网主干道提取的形态分析方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2014,39(3):327-331
- [9] Zhang Q. Road Network Generalization Based on Connection Analysis [M] // Fisher P F. Developments in Spatial Data Handling. Berlin; Springer Berlin Heidelberg, 2005: 343-353
- [10] Zhang H, Li Z. Weighted Ego Network for Forming Hierarchical Structure of Road Networks[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(2): 255-272
- [11] Jiang B, Zhao S, Yin J. Self-organized Natural Roads for Predicting Traffic Flow: A Sensitivity Study[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008, 07: P07008
- [12] Wang Xiaofan, Li Xiang, Chen Guanrong. Complex Network Theory and Its Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006(汪小帆,李翔,陈关荣.复杂网络理论及其应用[M].北京:清华大学出版社,2006)
- [13] Zhou Q. Selective Omission of Road Networks in Multi-scale Representation [D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2012

Road Selection Considering Structural and Geometric Properties

CAO Weiwei^{1,2} ZHANG Hong¹ HE Jing¹ LAN Tian¹

1 Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

2 School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

Abstract: Generalization of road network is one of the focuses in map generalization, while selective omission is the most important problem in road network generalization. In recent years, many solutions have been proposed for road selective omission, but how to maintain the overall and key local structures of original networks has not been solved yet. Given this, an auto-selection method considering structural, and geometric properties of road networks is proposed. Degree of centrality, clustering coefficient and geometric length were taken into account in this approach. The method is based on dual graph generated by the strokes of road networks and then stroke length, degree of centrality and clustering coefficient were derived by means of network analysis. Feasibility and reliability of this approach were examined by a road selection process at different scales through comparing with benchmarks. An experiment shows that at given scales, roads selected by this approach were consistent with those selected by cartographers. This proposed process performs well not only in maintaining the global and local structures of the road networks, but also in keeping the topological structure in terms of road network connection from a large scale map to a small one. In summary, the method was proved to be stable and reliable.

Key words: road selection; clustering coefficient; degree; stroke length; map generalization

First author: CAO Weiwei, PhD, specializes in spatial complex networks. E-mail: ywcao@my.swjtu.edu.cn

Corresponding author: ZHANG Hong, PhD, associate professor. E-mail: zhangh2011@swjtu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41471383, 41101361; the Fundamental Research Funds for the Central Universities No.SWJTU11CX063.

(上接第 487 页)

Building Height Information Extracting Technique Based on PSInSAR

LIU Xiaolong^{1,2,3} ZHNAG Yonghong² SONG Weidong¹

1 School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China

2 Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

3 Changchun Institute of Surveying and Mapping, Changchun 130021, China

Abstract: This article proposed a new model and algorithm for extracting the height of buildings which applied on high-resolution SAR images based on time-series PSInSAR from the statistical analysis of the interferometric phase. We then extract the height of typical buildings in Beichen District of Tianjin with the proposed model and 27 high-resolution TerraSAR images. Statistical results showed that: for high height of man-made objects, the height difference between the value accounted for a smaller proportion of the actual height. For smaller, low height of man-made objects, the height difference between the value for a large proportion of the actual height, the main feature is its small height corresponding to the phase component, greatly affected by noise and model solver errors. Overall, the sampling verification for some typical features of the experimental results and the actual height difference between the mean and standard deviation were 0.8m and 2.1m. The error indicated the feasibility and effectiveness of this method, when compared with result of field survey.

Key words: time-series; PSInSAR; high resolution; persistent scatter; height of building

First author: LIU Xiaolong, PhD candidate, specializes in the theories and methods of InSAR. E-mail: longliuxiao@126.com

Foundation support: The National High Technology Research and Development Program of China(863 Program), No. 2011AA120402; the First Phase of 927 Engineering, No. A1937.