

城市道路网的度相关性研究

田 晶^{1,2} 吴 荡¹ 湛逸飞¹

1 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079

2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,湖北 武汉,430079

摘 要:研究了基于 stroke 相交关系表示的道路网对偶图中的节点度的相关性。运用同配性系数,对美国 40 个城市道路网进行了实验,发现这些道路网既是同配的,又有异配的。同配性道路网具有易流通性和抗破坏性,这一点在城市规划领域具有潜在应用。本研究与前人的研究结论不同,对可能的原因进行了讨论。

关键词:城市道路网;拓扑分析;stroke;对偶图;度;同配性系数

中图法分类号:P208

文献标志码:A

网络中节点的度是指与该节点相连的其他节点的总数^[1,2]。现实世界中的一些网络呈现出度高的节点倾向于与度高的节点相连的现象,称之为同配 assortative mixing),如演员合作网络和论文合作网络;另外一些网络呈现出度高的节点倾向于与度低的节点相连,称之为异配 disassortative mixing),如互联网和神经网络。当然,还有一些既不是同配也不是异配的网络,如 Erdős-Rényi 随机图。网络的度相关性通常用同配性系数 assortative coefficient^[3-4] 度量。

对于道路网是同配的还是异配的,目前的研究较少。Porta 等^[1]对艾哈迈德巴德(印度)、巴塞罗那(西班牙)、旧金山(美国)、威尼斯(意大利)、维也纳(奥地利)、沃尔纳特克里克(美国)等 6 个城市中 1 km 范围内的道路网进行了研究,得出道路网为异配网络的结论。本研究通过对基于 stroke 相交关系表示的美国 40 个城市道路网的同配性系数的计算发现,这些道路网同配与异配并存,这一点与 Porta 等^[1]关于道路网是异配的研究结论不同。

1 研究方法与基本概念

道路网拓扑分析的常用方法是将道路网中的路段连接成有意义的单元 stroke,然后将道路网转换为基于 stroke 相交关系的道路网对偶图,最后计算该对偶图的各种描述参量,确定网络的全局或局部性质。由于本研究试图运用同配性系数

判定基于 stroke 相交关系表示的道路网对偶图的度相关性,所以先生成 stroke 集,然后将道路网转换为基于 stroke 相交关系的道路网对偶图,最后计算该对偶图的同配性系数。

1.1 有意义的道路单元 stroke

stroke 的概念源于 Gestalt 认知原则中好的连续律^[5]。生成道路网的 stroke,通俗地说,就是将道路网中满足好的连续律的路段连接到一起形成若干 stroke,等同于对道路网中的数据进行结构化处理。

道路网 stroke 的生成方法主要由路段连接规则和连接策略决定。连接规则主要有几何规则、专题规则以及混合规则。几何规则主要指两条路段的转折角小于阈值;专题规则主要是指同名道路相连或者道路等级相同才能相连;混合规则是指同时考虑几何规则和专题规则^[6]。连接策略主要有每对最大适合策略(every-best-fit)、自身最大适合策略(self-best-fit)、自身适合策略(self-fit)^[7]。每对最大适合策略是满足连接规则、互为最适应的路段相连,如与路段 a 转折角最小的是路段 b ,与路段 b 转折角最小的是路段 a ,则路段 a 和路段 b 相连。自身最大适合策略是满足连接规则、某条路段每次都与其最适应的路段相连,不需要考虑被连路段是否有更好的选择。如在同一交叉点,与路段 a 转折角最小的是路段 b ,与路段 b 转折角最小的是路段 c ,与路段 c 转折角最小的是路段 b ,假定从路段 a 开始连接,那么

收稿日期:2013-01-04

项目来源:国家基础科学人才培养基金资助项目(J1103409)。

第一作者:田晶,博士,讲师,主要研究方向为地图自动综合、空间数据挖掘。E-mail: yutaka-2010@163.com

路段 a 和路段 b 相连,而路段 b 不与路段 c 相连。自身适合策略是某一路段随机地从与其满足连接规则的路段中相连的策略。除了 Yang 等^[8]提出在复杂道路交叉点连接道路应该满足所有配对路段凸角之和最大之外,已有的 stroke 生成方法几乎都是上述连接规则和连接策略的组合。

1.2 道路网对偶图

道路网对偶图是基于 stroke 的拓扑表达^[9],

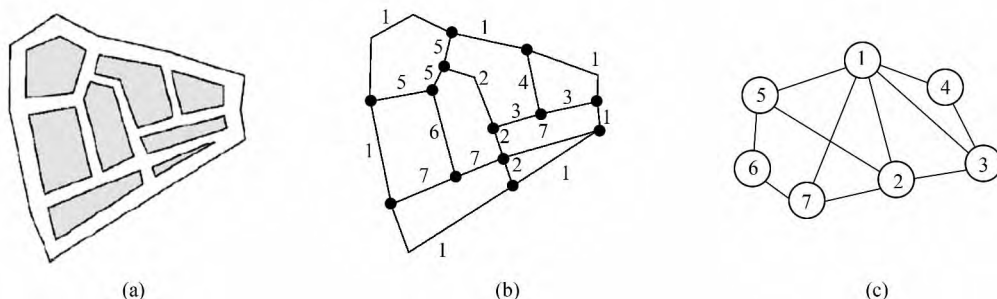


图 1 道路网对偶图(修改自 Porta 等, 2006)

Fig. 1 Dual Graph of Street Network (Modified from Porta et al, 2006)

1.3 同配性系数

同配性系数 r 是网络边的两端节点的度的 Pearson 相关系数,取值范围为 $-1 \leq r \leq 1$ ^[3]。同配性系数为正表示网络为同配,为负表示网络为异配,为零表示网络节点的度不具有相关性:

$$r = \frac{M^{-1} \sum_i j_i k_i - [M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i)]^2}{M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i) - [M^{-1} \sum_i \frac{1}{2} (j_i + k_i)]^2}$$

其中, j_i 和 k_i 分别是网络中第 i 条边连接的两个节点的度, M 为网络的总边数。

2 实验

2.1 数据

实验数据来源于文献^[2],为美国 40 个城市的道路网数据。该数据从按人口排序的前 160 个城市中分层选取,按照每 40 个城市选 10 个的原则,选择 40 个城市的道路网作为初始数据,涵盖美国东部(如 Philadelphia)、南部(如 Dallas)、西部(如 Los Angeles)、北部(如 Saint Paul)和中部(如 Topeka)的城市。数据本身已生成了 stroke 集,生成 stroke 的方法是几何规则与自身最大适合策略的结合,几何规则中转折角阈值为 110° ^[2]。虽然由自身最大适合策略生成的 stroke 集不唯一,但是有证据显示自身最大适合策略比每对最

该图的节点对应于 stroke,图的边对应于 stroke 的相交关系。图 1(a)是一个虚拟的城市区域;图 1(b)是形成了 stroke 之后的道路网,当然这是 Porta 等人^[1]的 stroke 生成方法,并不一定是最好的结果,这里只为示意,不作具体讨论;图 1(c)即为道路网对偶图。如图 1(c),stroke ①与②、③、④、⑤、⑦相交,所以其度为 5。

大适合策略更适宜于道路网的分析^[7]。

2.2 结果与分析

根据 § 1 的基本概念与方法,将美国 40 个城市道路网转换为相应的道路网对偶图,计算其同配性系数。由表 1 可知,美国 40 个道路网同配与异配并存。

Newman 发现^[4]:① 同配网络与异配网络相比,更加支持信息或疾病的扩散和流传,如传染病更易在具有同配性的社会网络中流传;② 在删除某些高度节点时,同配网络比异配网络更加稳健,如互联网这类异配网络,对于高度节点的删除,容易导致网络崩溃。

引申到道路网络中,说明同配性城市道路网结构具有:① 易流通性,即同配网络支持车流的扩散以及向道路网各个部分蔓延;② 抗破坏性,即同配网络能够抵抗某些承载高车流量的道路出现损坏时产生的不良影响。这对城市规划中道路网的布局具有一定的启示作用。

本研究得到的结论与 Porta 等^[1]关于道路网是异配的研究结论不同。可能的原因为:

第一,数据样本的规模和地区不同。Porta 等^[1]研究的数据样本是艾哈迈德巴德(印度)、巴塞罗那(西班牙)、旧金山(美国)、威尼斯(意大利)、维也纳(奥地利)、沃尔纳特克里克(美国)等 6 个城市中 1 km 范围内的道路网,而本研究的数据样本是美国 40 个城市的道路网。来自不同地区的数据会造成影响,来自同一国家、但数据规模

表1 美国40个城市道路网及其同配性系数

Tab.1 The 40 US Urban Street Networks and Their Assortative Coefficients

人口排名	城市	州	stroke 数量	同配性系数 r
1	New York	New York	15 172	-0.085 1
2	Los Angeles	California	57 752	-0.009 1
3	Chicago	Illinois	44 421	0.008 8
4	Houston	Texas	42 873	0.039 4
5	Philadelphia	Pennsylvania	7 834	-0.025 3
6	San Diego	California	30 901	0.029 4
7	Detroit	Michigan	16 148	-0.053 4
8	Dallas	Texas	22 491	-0.008 0
9	Phoenix	California	50 683	0.048 5
10	San Antonio	Texas	16 071	0.009 2
56	Newark	New Jersey	5 485	-0.042 8
57	Saint Paul	Minnesota	5 403	-0.018 2
58	Louisville	Kentucky	9 862	0.003 0
59	Anaheim	California	3 530	0.009 4
60	Birmingham	Alabama	14 987	0.007 1
61	Arlington	Texas	21 652	-0.000 7
62	Norfolk	Virginia	2 808	-0.044 4
63	Las Vegas	Nevada	19 758	0.082 6
64	Corpus Christi	Texas	3 822	-0.069 0
65	St. Petersburg	Florida	16 653	0.005 2
88	Greensboro	North Carolina	6 662	-0.025 8
89	Dayton	Ohio	8 113	-0.030 5
93	Columbus	Georgia	2 878	-0.001 7
94	Spokane	Washington	5 703	0.014 9
95	Tacoma	Washington	14 221	0.016 6
96	Little Rock	Arkansas	6 160	0.011 7
97	Bakersfield	California	5 582	0.064 0
98	Fremont	California	11 916	-0.014 5
99	Fort Wayne	Indiana	4 668	0.008 4
100	Arlington	Virginia	1 703	-0.046 1
151	Laredo	Texas	1 663	0.268 5
152	Hollywood	Florida	22 582	0.019 1
153	Topeka	Kansas	2 656	-0.028 0
154	Pasadena	Texas	37 783	0.031 7
155	Moreno Valley	California	9 871	0.022 4
156	Sterling Heights	Michigan	10 464	-0.015 1
157	Sunnyvale	California	18 253	0.012 4
158	Gary	Indiana	6 365	-0.026 6
159	Beaumont	Texas	1 911	0.000 7
160	Fullerton	California	1 499	-0.008 7

不同亦会造成影响。

第二,生成 stroke 的方法不同。假定对同一城市道路网,不同的 stroke 生成方法必然会生成不同的 stroke 集,进而使得道路网相交关系不同,从而导致结果的差异。

stroke 对道路网综合与道路网分析的影响已获得了一定的关注^[6-7],这一点同时也是本研究的局限性所在。由于本研究中的 stroke 生成方法产生的 stroke 集也是不确定的,所以应进一步研究其影响。

3 结 语

本文研究了基于 stroke 相交关系表示的道路网对偶图中的节点度的相关性。通过对美国40个城市的道路网的同配性系数的计算,发现这些道路网同配与异配并存,这一点与前人的研究结论不同。同配性道路网的布局对城市规划具有一定的启示。进一步的研究将在两个方面展开:第一,研究不同 stroke 生成方法对道路网拓扑分析的影响;第二,得益于志愿者地理信息(VGI)的发展,数据的获取已取得突破进展,拟从 Open-StreetMap 收集世界范围内具有悠久历史的自组织模式与存在现代城市规划痕迹的城市道路网,进行度相关性判定,从中推演出更为普遍的规律。

参 考 文 献

- [1] Porta S, Crucitti P, Latora V. The Network Analysis of Urban Streets: A Dual Approach[J]. *Physica A*, 2006, 369: 853-866
- [2] Jiang Bin. A Topological Pattern of Urban Street Networks: Universality and Peculiarity[J]. *Physica A*, 2007, 384: 647-655
- [3] Newman M E J. Assortative Mixing in Networks[J]. *Physical Review Letters*, 2002, 89(20):1-4
- [4] Newman M E J. Mixing Patterns in Networks[J]. *Physical Review E*, 2003, 67: 1-13
- [5] Thomson R C, Richardson D E. The "Good Continuation" Principle of Perceptual Organization Applied to the Generalization of Road Networks[C]. The 19th International Cartographic Conference, Ottawa, 1999
- [6] Zhou Qi, Li Zhilin. A Comparative Study of Various Strategies to Concatenate Road Segment into Strokes for Map Generalization[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(4): 691-715
- [7] Jiang Bin, Zhao Sijian, Yin Junjun. Self-organized Natural Roads for Predicting Traffic Flow: A Sensitivity Study[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008:1-27
- [8] Yang Bisheng, Luan Xuechen, Li Qingquan. Generating Hierarchical Strokes from Urban Street Networks Based on Spatial Pattern Recognition[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2011, 25(12): 2 025-2 050

(下转第 345 页)

multi-scale data propagation updates; however, this kind of multi-to-multi matching is the most complex and critical roadblock. Firstly, it is certain that most multi-to-multi relationships of neighborhood scale settlements come from typification in map generalization. Secondly, after analyzing settlement cluster characters such as adjacency, order, etc., a new algorithm is proposed to solve the multi-to-multi matching problem. Finally, detailed steps based on a comparison of similarities in shape, structure, area and location of settlement cluster are put into effect. Tests illustrate that the proposed algorithm neatly accords with human cognition habits for settlement matching and is effective for detection and identification of multi-to-multi relationships between neighborhood scale settlement data.

Key words: settlement; map generalization; neighborhood scale; matching; multi-to-multi relationship

First author: XU Junkui, PhD, engineer, specializes in cartographic generalization and spatial database updating. E-mail: xjk_yuu@163.com.

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41171354, 41171305, 41101362; the National 863 Program of China, Nos. 2007AA12Z211, 2009AA12Z305; the Innovation Scientists and Technicians Troop Construction Projects of Henan Province, No. 104200510016; State Key Laboratory of Geo-information Engineering, No. SKLGIE2013-M-4-6.

(上接第 334 页)

- [9] Jiang Bin, Liu Chengke. Street-based Topological *graphical Information Science*, 2009, 23 (9):
Representations and Analyses for Predicting Traffic 1 119-1 137
flow in GIS[J]. *International Journal of Geo-*

Degree Correlation of Urban Street Networks

TIAN Jing^{1, 2} WU Dang¹ ZHAN Yifei¹

¹ School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: In this paper, we use the assortative coefficient to study the degree correlation of urban street networks as represented by stroke intersections. It is found that some street networks demonstrate an assortative mixing pattern and others demonstrate disassortative mining pattern. The assortative networks would percolate easily and are resilient to breaks. This demonstrates potential for general applicability to urban planning. Our conclusions are opposite to previous work and possible reasons are discussed.

Key words: road network; topological analysis; stroke; dual graph; degree; assortative coefficient

First author: TIAN Jing, PhD, lecturer, specializes in automated map generalization and spatial data mining. E-mail: yutaka-2010@163.com

Foundation support: The National Science Foundation for Fostering Talents in Basic Research of the National Natural Science Foundation of China, No. J1103409.