

基于空间句法的道路布局与 居民出行相关性研究 ——以扬州为例

贺娟¹ 邓卫¹ 刘志明² 杨明¹

1. 东南大学, 交通学院, 南京 210096

2. 天津市渤海规划设计研究院, 天津 300450

摘要: 本文以居民 OD 出行调查中形成的交通中区为分析对象, 通过借鉴空间句法理论的思想, 以 GIS 软件 Arcview 3.3 中的空间句法分析模块为工具, 分别对 2003 年和 2007 年扬州市道路网络与居民出行分布的关系进行了实证研究。在对句法理论与道路网关系的解析基础上, 绘制了扬州市的轴线地图并运用 Arcview 软件得到空间句法分析变量, 随后利用 SPSS 软件对各中区轴线句法指标的平均值与交通中区发生吸引量进行了相关性分析, 结果表明二者具有较高相关性, 这对于城市道路网络布局规划及评价、既定路网条件下各中区居民出行量预测均有重要意义。

关键词: 空间句法; 道路网; 居民出行; 相关性

中图分类号: U491.1

文献标识码:

文章编号: 1672-4747(2010)01-0075-07

Study on Interrelation Between Road Network and Resident Trips Based on Space Syntax ——A Case Study of Yangzhou

HE Juan¹ DENG Wei¹ LIU Zhi-ming² YANG Ming¹

1. Transportation College, Southeast University, Nanjing 210096, China

2. Bohai Urban Planning and Design Institute, Tianjin 300450, China

收稿日期: 2009-04-17.

收稿日期: “十一五”国家科技支撑计划项目(编号: 2006BAJ18B03); 国家高技术研究发展计划 863 项目(2007AA11Z202)

作者简介: 贺娟(1984-), 女, 汉族, 山西运城人, 东南大学交通学院硕士研究生, 研究方向为交通运输规划与管理。

Abstract: By using the space syntax for reference and Arcview 3.3(GIS software) loaded space syntax analysis module, the interrelation between road network and resident trip-distribution in Yangzhou(2003 and 2007) were respectively researched based on the traffic resident trip OD study of the central area. An axis map of Yangzhou was drawn and the variables of space syntax were obtained with Arcview software. Then, the correlation between the mean of syntactic indexes and trip production of the central area was analyzed with SPSS software. The results revealed that there was a high correlation between them. This conclusion has significant value in planning and evaluating the urban road network layout and resident trip prediction of the central areas under certain road conditions.

Key words: Space syntax, road network, inhabitant trip, correlation

0 引言

城市化的快速发展以及机动车辆的迅速增长对道路规划和建设提出了新的要求,道路网络既要起到引导城市空间发展的作用,又要满足城市居民的出行需求。传统道路网规划的一般步骤包括:基于现状居民出行 OD 分布调查,预测未来年的 OD 分布,再将其分配于道路网,进而根据道路网上的交通量来确定道路规划方案,因而,居民出行分布状况是确定城市道路网络布局规划方案的依据。与此同时,道路的建设带动了沿线土地的开发利用,进而对交通需求的时空分布产生影响,居民出行分布亦随之发生改变。可见,城市道路布局与居民出行分布之间存在着相互影响、相互作用的耦合关系。

本文以扬州市为例,采用空间句法对扬州道路网布局进行分析,并结合 2003 年及 2007 年扬州居民出行 OD 调查数据,研究各交通中区(由 2~5 个交通小区组合而成)出行发生吸引量与城市道路网布局的相互关系,并在此基础上探讨了空间句法在城市道路网布局规划及居民出行分布预测上的深入应用。

1 空间句法

空间句法理论最初源于建筑学,是由伦敦大学巴利特学院的 Bill Hillier 及 Julienne Hanson 等人在 20 世纪 70 年代提出的,它以人的空间活动或行为在很大程度上受空间形态或结构影响这一基本假设为基

础,借助先进的计算机模拟技术,分析城市环境的结构,定量地描述了城市空间形态,是一种建立在“图底关系理论”、“联系理论”和“社区分析”综合基础上的城市空间分析方法^[1]。同时,该理论将街道网作为研究中心,通过分析道路网络的几何学形式和拓扑学连接^[2],从图论角度将长期以来仅能定性描述的空间形态特征定量地表述出来,揭示了人类活动行为与城市空间或建筑空间之间的相互关系。

在空间句法理论中,城市道路网络成为研究城市形态空间与人的活动行为之间相互关系的媒介,这就决定了若运用空间句法分析交通网络与居民出行之间的关系,即意味着将城市空间发展、道路网络布局、居民出行三者紧密地结合起来,并将宏观与微观、整体与局部整合起来,因而能更好地反映三者之间相互作用、相互影响的耦合关系,为交通问题的研究开辟了新途径。

1.1 研究现状

在国外,空间句法经过多年的发展,不仅可以有效地描述城市和建筑结构,而且可用来解释人在空间的活动,其典型应用包括城市建筑的结构布局、城市空间形态发展特性、人流和交通流的预测、犯罪的空间分布和人在复杂城市系统中的空间认知行为等^[3];在理论不断完善的同时,该方法也已被大量应用于实践分析中,如获得了巨大成功的英国特拉法加广场和诺丁汉老市场改造工程。当前,基于不断发展的理论、大量的实践以及不同学科间的相互交流,空间句法的研究正朝着多学科的方向迅速发展,如 Hillier 教授研

究了空间、不同规模的人车流以及用地模式之间的相互作用关系，空间句法公司的 Chiaradia 和 Rford 等人发现空间组构性因素有助于对其他空间网络进行深入分析，如自行车网、公共汽车网、地铁以及铁路网等^{[4]-[8]}。因此，应用空间句法揭示城市道路网络布局与居民出行分布之间的耦合关系意味着从一个全新的角度来对城市道路网络进行研究，利用拓扑学从局部到整体定量地描述道路网络特征是该方法的独特之处。

在国内，部分学者也已开始与伦敦空间句法有限公司合作，在城市规划中引入空间句法分析方法，如上海北部东滩生态城开发、伊宁城市结构及公共服务设施配置研究、苏州整体城市设计合作研究等；也有部分学者运用空间句法对城市交通网络特征、道路网与用地、地价、林火分布等进行了研究，总体来说关于这方面的研究工作尚处于起步阶段。

1.2 空间句法分析步骤

(1) 确定研究区域

研究区域大小主要和所研究问题相关，区域太小容易出现“边缘效应”，即在轴线图的边缘，分析所得出的空间指标由于太靠近分析区域的边缘而不能反映它的实际空间属性；同时，研究区域应尽量为凸多边形，接近圆形或方形形态更好^[1]。确定区域大小常用的一种经验法是 30 min 测试^[1]，即在研究区域处画圆，并保证圆的半径是出行时间为 30 min 所对应的距离，

若研究的是步行，则为步行 30 min 的距离；若研究的是机动车，则为机动车 30 min 的车程。在选取具体边界时，宜选取天然的或人为的分隔线（如河流、铁路等），这一点也是交通小区划分时遵循的原则之一。

(2) 空间分割

研究区域确定后，在采用空间句法对实际空间进行构形分析前，需把空间系统转化为由节点及其相互连接组成的关系图解，这种将整个空间系统划分为各组成单元的过程称为空间分割^[9]。现有的空间分割方法主要可概括为三类：凸状、轴线和视区分割方法。在研究城市道路网络时多采用轴线方法进行分析，该方法的基本原则是：首先绘制一条最长轴线代表一条街道，其次绘制第二长轴线与第一条轴线相交，依次绘制，直至整个街道网由一系列轴线连接，进而形成轴线地图（由最少数目的最长轴线组成）^[3]。

(3) 计算空间句法形态分析变量

轴线地图绘制完成后需将其转化为便于构形分析的连接图，转化方法是轴线地图中的轴线由节点表示，轴线之间的连接关系由节点间的连线表示，即可得到用于拓扑分析的连接图，对连接图进行计算分析后可导出一系列的形态分析变量。随着计算机技术的发展，目前轴线图绘制完成后，便可借助加载于 Arcview 的空间句法分析模块 Axwoman，得到如下空间形态分析变量。各变量意义如表 1 所示。

表 1 空间句法分析变量

Tab.1 Analysis variables of the space syntax

参数	名称	计算公式
Connectivity	连接度 C_i	$C_i = k$ ， k 为与轴线 i 直接相连的轴线数
Control value	控制值 K_i	$K_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j}$ ， k 为与轴线 i 直接相连的轴线个数， C_j 为与轴线 i 直接相连的轴线 j 的连接值
Total depth	总深度值 Z_i	$Z_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}$ ， n 为轴线总的个数， d_{ij} 为轴线 i 与轴线 j 之间的最短距离（按步数计算）
Mean depth	平均深度值 P_i	$P_i = Z_i / (n-1) = \sum_{j=1}^n d_{ij} / (n-1)$ ， n 为总轴线个数， Z_i 为总深度值
Global integration value	整合度 G_i	$G_i = \frac{1}{RRA_i} = \frac{D_i}{RA_i}$ ， RRA_i 为真实相对非对称性， RA_i 为相对非对称性
Local integration value/Integration_3	局部整合度（步数为 3） L_i	与整合度 G_i 计算公式相同，但公式中 P_i 为三步远距离 three_depth 的平均深度值

注^[2]： $RA_i = \frac{2(P_i-1)}{n-2}$ ， $D_i = \frac{2n\{\log_2[(n+2)/3-1]+1\}}{(n-1)(n-2)}$

上述形态分析变量描述了轴线所代表的道路在不同水平上的特征,其中连接度、控制值和局部整合度描述了道路在局部水平上的结构特征,而整合度描述了道路在整个路网上的结构特征。连接度和控制值由和该轴线直接相连的轴线个数决定,从拓扑学意义上讲可作为空间可选择性(或空间可动性)的评价方式^[10];而整合度反映了轴线在整个空间上的可达便捷程度,整合度越高,该轴线所代表的道路在整个路网上的便捷程度越大。深度值是指网络中某一道路到其他道路的最小连接数之和,为一非尺度距离变量;平均深度值指某一道路至其他道路的平均连接数,二者均反映了道路的联结性,其值越小联结性越好,整个道路网络效率越高。

2 实证研究

2.1 研究区域概述

扬州市核心建成区的总体路网呈方格网形态,文中将2003年和2007年扬州居民出行OD调查时所划分的交通中区作为研究区域,以调查所得到的扬州道路网和居民出行分布数据为依据,借助空间句法分析方法,分别对2003年和2007年各中区内路网句法指标与居民出行发生吸引量的相关关系进行了研究。考虑到主城人口与就业分布、路网密集程度等,本文选取扬州老城及周边的8个交通中区进行分析,2003及2007年各中区居民出行发生吸引量如表2、表3所示。需要注意的是实际调查中2003年与2007年中区划分不完全相同,2003年中区3的地域范围等同

于2007年中区2和3的地域之和。

表2 2003年主城区各中区出行发生吸引量

Tab.2 Trip generation and attraction of every central area in the downtown area of Yangzhou in 2003

中 区	出行发生量	出行吸引量
1	267 141	281 545
2	339 544	337 858
3	345 378	351 353
4	84 214	93 732
5	64 663	59 469
6	56 282	47 284
7	130 697	116 690
8	122 075	122 063

表3 2007年主城区各中区出行发生吸引量

Tab.3 Trip generation and attraction of every central area of the downtown area of Yangzhou in 2007

中 区	出行发生量	出行吸引量
1	473 700	475 050
2	249 950	249 850
3	129 700	128 750
4	197 050	195 200
5	70 600	70 900
6	416 900	417 250
7	65 200	65 650
8	68 600	69 050

2.2 相关性分析

分别以2003年及2007年扬州路网图为基础,运用GIS软件Arcview 3.3加载空间句法分析工具Axwman3.0,绘制轴线图后,经过计算即可得到图1和图2所示的轴线分析图,进一步计算可得各中区内轴线的句法指标平均值,如表4、表5所示。

表4 2003年各中区内轴线的句法指标平均值

Tab.4 Syntactic index averages of every central area of Yangzhou in 2003

中 区	连接度	控制值	整合度	总深度	平均深度	局部整合度
1	8.692 3	1.395 7	2.134 9	357.230 8	66.846 2	3.649 3
2	8.733 3	1.554 2	2.114 8	362.400 0	60.866 7	3.584 5
3	6.360 0	1.416 5	1.794 9	414.040 0	45.000 0	2.908 3
4	4.909 1	1.002 1	1.669 5	429.181 8	37.454 5	2.673 4
5	4.538 5	1.182 8	1.577 9	449.076 9	31.461 5	2.488 1
6	3.833 3	1.101 2	1.435 5	496.500 0	23.666 7	1.959 6
7	5.650 0	1.256 2	1.654 5	442.300 0	36.750 0	2.750 3
8	5.727 3	1.058 9	1.719 7	419.272 7	42.454 5	2.830 9

表 5 2007 年各中区内轴线的句法指标平均值

Tab.5 Syntactic index averages of every central area of Yangzhou in 2007

中 区	连接度	控制值	整合度	总深度	平均深度	局部整合度
1	9.272 7	1.844 8	2.298 1	322.454 5	66.545 4	3.638 0
2	5.588 2	1.181 0	1.849 2	378.647 1	42.529 4	2.810 7
3	3.142 8	0.884 6	1.479 6	449.214 3	23.571 4	1.996 9
4	5.882 3	1.209 6	1.823 3	376.529 4	42.823 5	2.919 4
5	4.363 6	0.940 2	1.628 1	406.363 6	31.090 9	2.489 0
6	8.421 0	1.518 3	2.230 5	329.526 3	66.315 7	3.551 9
7	4.000 0	0.822 4	1.796 2	380.166 7	41.333 3	2.595 0
8	4.111 1	0.941 2	1.551 8	425.444 4	28.555 5	2.391 2

实际调查表明 2003 年扬子江路、文昌路、汶河路、国庆路、江阳路、漕河路等道路交通量较大，2007 年文昌路、扬子江路、运河路、漕河路及江阳路等道路交通量仍然较大，且主城东西方向联系强度高于南北方向，与图 1、图 2 对比分析可知这些交通量较大的道路正是轴线分析图中连接度较高的轴线所代表的道路。进而通过对路网连接度值的分析即可初步得出交通量较大的道路，对路网规划方案进行评价时该法不失为一种便捷、直观的方式，比尔·希列尔等人的研究亦证明了这一点，其通过街道整合度和观察流量的相关性分析显示 60% 的人行和 70% 的车行流量的不同与城市街道网络的模式有关^[3]。与此同时，将 2003 年与 2007 年轴线图进行对比分析，可直观看出四年间通过新建或改造道路，扬州路网已初步形成，部分道路通达性得到显著提高，断头路减少，贯通性道路增多，路网整体服务水平得到提高。

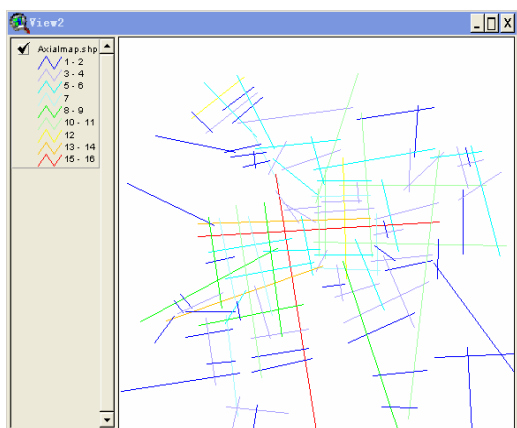


图 1 2003 年路网轴线分析

Fig.1 Axial analysis of the road network in 2003

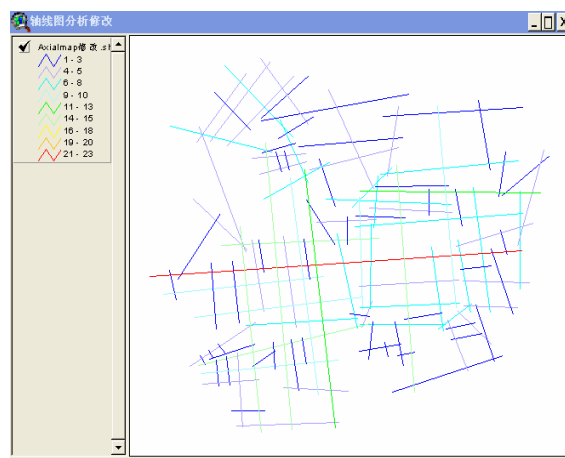


图 2 2007 年路网轴线分析

Fig.2 Axial analysis of the road network in 2007

由表 4 与表 2 对比分析可知，2003 年中区 3 居民出行产生吸引量最大，而其内轴线连接度平均值、局部整合度与其他中区相比处于中等水平，可见中区 3 内部居民出行可选择的道路较少，而道路的缺乏亦造成局部路段过于拥挤；从整合度值来看，中区 1、2 最高，3、8 次之，4、5、6、7 最低，这一指标描述了中区内道路与主城整体路网的通达便捷程度，与中区出行发生吸引量对比分析，同样可知中区 3 与其他中区间联系通道缺乏，道路供给不能满足出行需求。实际调查亦表明中区 3 主要依附扬州老城片区发展，路网主体为老城放射路网的延伸段，其内部路网不成体系，断头路较多，同时该中区内居住用地又占所分析区域的 23% 左右，居民出行量较大，道路供给与需求严重不均衡。表 3 与表 5 对比分析表明，与 2003 年相比，2007 年各中区轴线句法指

标值大小和出行产生量大小相符程度得到提高，但中区3整合度值和局部整合度值均较低，区内和区间道路仍有待完善。

运用SPSS13.0软件对各中区居民出行产生量或吸引量与句法分析指标平均值进行相关性分析，结果如表6、表7所示。从表6、表7中可看出各中区出行发生吸引量与中区内轴线的句法指标平均值存在较高的相关性，除总深度值与中区发生吸引量成负相关外，其余句法指标值均成正相关，而良好的相关性意味着在给定路网条件下可对各中区居民出行发生

吸引量做出初步的估算，这无疑为交通供给与需求分析提供了一个重要通道，这一点亦为上述句法指标分析提供了有力的佐证。与此同时，在2003年与2007年相关系数矩阵中整合度与局部整合度间相关性均达到0.98以上，即局部整合度与全局整合度之间有良好的线性关系，该处局部整合度表示的是三步半径（连接轴线数为三条）内的空间结构关系，其与全局整合度的相关系数越高则二者的空间结构关系越相似。连接度与整合度的相关系数均在0.95以上，该值越高则系统的可理解性越强，即路网的识别性越好。

表6 2003年变量相关系数矩阵

Tab.6 Matrix of the correlation coefficient variables in 2003

变 量	连接度	控制值	整合度	总深度	平均深度	局部整合度	发生量	吸引量
连接度	1.000	0.818	0.990	-0.958	0.983	0.977	0.844	0.851
控制值	0.818	1.000	0.767	-0.690	0.725	0.732	0.898	0.878
整合度	0.990	0.767	1.000	-0.983	0.994	0.986	0.819	0.834
总深度	-0.958	-0.690	-0.983	1.000	-0.982	-0.992	-0.781	-0.801
平均深度	0.983	0.725	0.994	-0.982	1.000	0.985	0.798	0.817
局部整合度	0.977	0.732	0.986	-0.992	0.985	1.000	0.787	0.801
发生量	0.844	0.898	0.819	-0.781	0.798	0.787	1.000	0.998
吸引量	0.851	0.878	0.834	-0.801	0.817	0.801	0.998	1.000

表7 2007年变量相关系数矩阵

Tab.7 Matrix of the correlation coefficient variables in 2007

变 量	连接度	控制值	整合度	总深度	平均深度	局部整合度	发生量	吸引量
连接度	1.000	0.978	0.964	-0.931	0.960	0.981	0.953	0.954
控制值	0.978	1.000	0.912	-0.854	0.898	0.923	0.968	0.968
整合度	0.964	0.912	1.000	-0.982	0.997	0.982	0.917	0.918
总深度	-0.931	-0.854	-0.982	1.000	-0.981	-0.980	-0.841	-0.842
平均深度	0.960	0.898	0.997	-0.981	1.000	0.983	0.908	0.909
局部整合度	0.981	0.923	0.982	-0.980	0.983	1.000	0.898	0.899
发生量	0.953	0.968	0.917	-0.841	0.908	0.898	1.000	1.000
吸引量	0.954	0.968	0.918	-0.842	0.909	0.899	1.000	1.000

通过空间句法分析方法对城市路网形态的描述，结合居民出行调查中交通小区、中区的划分，可将路网分析从整体转向局部，并从局部出发对出行需求与供给进行分析，空间句法的这一优势决定了其可在以下交通规划领域得到应用：①通过句法指标对城市现状或规划道路网进行评价分析，可直观地展示出各等

级道路在整体路网上的拓扑可达性；②从交通中区层面分析局部区域内道路网的特性与居民出行量之间的关系，对未来路网的规划以及规划路网下居民出行量变化趋势的预测有重要的指导意义；③道路车流量及人流量与相应轴线句法指标之间较高的相关性决定了该方法对于道路流量预测有重要意义。

3 结束语

本文从一个全新角度分析了城市道路网络布局与居民出行需求之间的相互关系,以2003年和2007年扬州居民出行调查为依据,研究了主城区各中区居民出行量与轴线句法指标平均值之间的相关关系,结果表明二者具有较高的相关性,这将为城市道路网络布局规划及居民出行分布预测提供新的研究思路。在

此基础上,对2003年及2007年扬州道路网进行了评价,突出了路网中不能满足居民出行需求的交通中区,为未来路网规划提出建议。分析也表明与传统路网布局评价方法相比,空间句法在反映整体路网的同时,也可对局部路网进行分析,因而能更明确地揭示出道路供需矛盾突出的区域。最后,文中对今后空间句法在交通规划领域的深入应用进行了探讨,部分结论尚不成熟,有待今后进一步研究证实。

参考文献

- [1] 付博峰,吴娇蓉,陈小鸿.空间句法及其在城市交通研究领域的应用[J].国际城市规划,2009,24(1):79-83.
- [2] 段进.空间句法与城市规划[M].南京:东南大学出版社,2007.
- [3] 江斌,黄波,陆锋.GIS环境下的空间分析与地学可视化[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [4] Hillier B. Space is the machine[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] Hillier B. Centrality as a process: accounting for attraction inequalities in deformed grids[J]. Urban Design International, 1999(4):107-127.
- [6] Hillier B. A theory of the city as object[J]. Urban Design International, 2002(7):153-179.
- [7] Hillier B. Studying cities to learn about minds: how geometric intuitions shape urban space and make it work[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2007.
- [8] Penn A., Hillier B., Banister D. Xu J. Configurational modeling of urban movement networks [J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 1998 (25):59-84.
- [9] 张愚,王建国.再论“空间句法”[J].建筑师,2004,109(6):33-44.
- [10] 顾频捷.“空间句法”在旧城街道空间形态研究中的应用初探——以南京旧城为例[D].南京:东南大学,2004.

(中文编辑:刘娉婷)