

基于 GIS 与空间句法的道路网结构对城市 商业中心布局的影响*

樊文平¹, 石忆邵¹, 车建仁², 陈华杰¹
(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092;
2. 广州市房地产测绘所, 广东 广州 510030)

摘要: 将空间句法的拓扑分析和 GIS 的定量分析结合, 以上海市为例, 试图解释城市道路网结构对城市商业中心布局及等级的影响。研究结果显示, 城市道路网拓扑结构对城市商业中心的布局具有高度影响: 城市商业中心的布局都倾向于位于轴线的集成度较高(轴线颜色为红色系列)的地区; 此外, 商业中心的等级与各自范围内轴线的控制值、连接值和局部集成度成正比, 即轴线控制程度高、连接值多、局部集成度高的商业中心其等级越高, 而与全局集成度和总深度的关系则要综合考虑其他因素; 再者, 智能度散点图显示, 五个等级商业中心的局部空间智能度高于全市智能度, 即表明各级商业中心倾向于位于全市范围内可被感知性较高的“智能”区域。

关键词: 商业中心; 可及性; 空间句法; GIS

中图分类号: P208; TU984 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)03-0112-06

Influence of Urban Street Configuration on the Location of Urban Commercial Center Based on GIS and Space Syntax

FAN Wenping¹, SHI Yishao¹, CHE Jianren², CHEN Huajie¹

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Department of Real Estate Surveying in Guangzhou City, Guangzhou 510030, China)

Abstract: Taking Shanghai as the empirical study area, this paper combines the topological analysis of space syntax and the quantitative analysis of GIS to explore the influence of urban street configuration on the location and the level of urban commercial centers. Topological configuration of urban streets has strong influence on the location of commercial centers. In commercial centers at different levels, there are one or more axial lines with high integration (red lines) pass through. The level of commercial centers is in direct proportion to the control value, the connect value and the integration value of axial lines in each area. The scatter diagram shows that the local spatial intelligibility of commercial centers at five levels is higher than that of the whole city, suggesting that the commercial centers are apt to be located in the 'intelligibility areas' which are easily to be perceived in the city.

Key words: commercial center; accessibility; space syntax; geographical information system

城市商业活动影响着城市的整体发展, 商业用地直接反映了城市的空间结构特性, 并与城市的社会、经济等活动息息相关。商业中心是城市商业活动的主要载体^[1], 是城市经济水平与城市繁荣的

标志, 其位置布局和等级体系的确定直接影响着其自身社会经济功能的发挥。在影响商业布局的诸多因子中, 城市道路结构及道路网的可及性是重要因素之一^[2-3], 整体交通道路网结构是城市空间经济

* 收稿日期: 2010-03-30

基金项目: 上海市科委科研计划基金资助项目(076921036)

作者简介: 樊文平(1980年生), 女, 博士研究生; E-mail: 08fwenping@tongji.edu.cn

活动与土地利用分布的基础^[4]，可及性则决定了商业中心与城市的联系内容、强度和方向等等，只有当商业中心融入整个城市的整体结构时，才能发挥到最大的社会效益，并且以良好的状态保持这种发展^[5]。因此，探讨城市的整体道路网结构及其可及性对商业中心布局和等级的影响关系具有重要的空间参照意义。

Woudsma等^[6]认为道路网络与土地利用（如商业用地）的关系复杂，但是可及性对城市的影响是毋庸置疑的。Holl^[7]将可及性定义为人们或厂商一种交互活动或交换商品的机会与潜能。可及性可被当做一种人类自由活动的的能力，以便获取维持生活品质的基本需求^[8]。以往在探讨道路交通与土地利用关系的方法中，最常用的是交通需求模型^[9]。近期的相关研究提出了此模型的一些缺点和局限^[10-11]。本研究则提出利用空间句法（Space Syntax）与GIS相结合的定量分析的方法，以上海市为例，从空间因素的角度出发，探讨道路网结构及可及性对上海市商业中心布局及其等级的影响。

1 空间句法与GIS

1.1 空间句法概述

“空间句法”的概念由 Hillier^[4]于20世纪70年代提出，该方法将空间形态具体化，开发出一套可以量化空间元素的数值，使空间组成能够在计算机辅助之下应用于空间的分析与设计。之后，空间句法在城市形态方面取得了突破性进展：建立了比较系统和明确的描述建成环境空间形态的基本概念及可进一步量化计算的空间形态变量，如关系图解、空间连接值（connectivity value）、集成度（integration）、智能度（intelligibility）等；发展了比较系统和成熟的城市空间形态分析方法（如空间分割方法），并基于量化的空间形态变量、拓扑计算和可见性图解客观清晰地描述和模拟建成环境和空间形态关系及空间行为^[12]。空间句法模型已广泛应用于分析预测城市系统中人流与车流^[13-14]、土地的价值^[15-16]、城市交通与土地利用形态的分布^[17-20]、辅助城市设计与建筑等方面^[21-24]。近几年开始出现“空间句法可代表可及性”的相关论述^[18-19,22]。

1.2 空间句法与GIS集成

空间句法与GIS结合可以实现互补功能，空间句法可以增强GIS在空间拓扑分析，尤其城市形态分析方面的功能；GIS丰富的地理数据，完备的空间分析功能、可视化表达等又可以使空间句法分析

更加方便、直观和形象。如今空间句法已经可以集成到GIS中，这对城市研究是一大突破^[25]。文献^[26]认为，空间句法是建构空间模型的理论基础，将此模型结合GIS的技术，可方便地将模型数值化，并且保持空间位置的拓扑关系，运用GIS软件可迅速处理空间分析的参数并将其绘制出来。

将空间句法与GIS结合进行相关课题的研究方法一般是通过功能嵌入与数据交互的方式来实现^[16]，仅仅停留在将空间句法模块导入GIS软件，利用GIS平台的地理数据、制图与可视化功能实现空间句法轴线的绘制和数值的显示，然而对于GIS本身的空间分析功能并未深入利用。

本文则将空间句法的拓扑分析功能和GIS的空间分析功能（如缓冲区分析，叠置分析、空间统计分析）和数据属性查询与统计分析功能综合使用，认为利用空间句法模型将城市道路网的结构和可达性数值化，整合GIS的空间分析、数据统计和可视化表达能力，在对城市商业中心的布局与等级关系研究中具有可行性。

2 道路网结构对城市商业中心布局影响实证研究

2.1 数据来源

道路网数据来源于2008年上海市道路交通管理信息图，在此基础上通过ArcGIS9.2中加载空间句法模块Axwoman4.0提取了上海市区道路轴线（图1）。轴线颜色采用从蓝色到红色的渐变色，依次代表全局集成度从低到高。上海市商业中心区位和等级数据利用文献^[27]的结论，以及作者考察并利用网络查询得到（图2）。其中，一级市商业中心有4个，二级市商业中心有2个，一级区商业中心有8个，二级区商业中心有6个，居住区商业中心有8个，总共28个商业中心。

2.2 实验过程及数据分析

首先参照一级市商业中心的范围标准（本文以南京东路商业中心范围为标准）对上海市区5个等级共28个商业中心同时做600m缓冲区分析（相同大小范围内的道路结构情况才容易反映出各自范围内道路的差异等级优势），结果如图3所示。

然后，分别选择28个商业中心各自600m范围内包含的轴线数据，对其空间句法值进行汇总整理，分等级取各个商业中心范围内空间句法的平均值进行计算，最后将各等级商业中心范围包含轴线的空间句法值平均值汇总于表1。

表 1 各等级商业中心范围轴线空间句法平均值

Table 1 Average values of axial lines in buffer area of commercial centers at different levels

商业中心等级	Control	Connect	GInteg	LInteg	TotalDepth
一级市商业中心	1.626 59	11.553 19	1.947 26	4.127 84	11 246.638 30
二级市商业中心	1.527 96	10.565 22	1.871 34	4.093 32	11 566.913 04
一级区商业中心	1.550 20	9.813 13	1.791 08	3.779 27	12 088.777 78
二级区商业中心	1.429 27	8.567 57	1.683 67	3.656 59	12 662.378 38
居住区商业中心	1.317 41	8.466 32	1.790 02	3.634 58	12 090.196 89



图 1 上海市区道路轴线图

Fig. 1 Axial map of streets in urban area of Shanghai

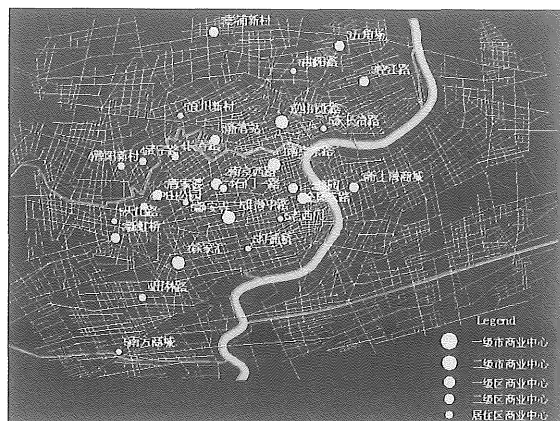


图 2 上海市区商业中心布局及等级

Fig. 2 Locations and levels of commercial centers in urban area of Shanghai

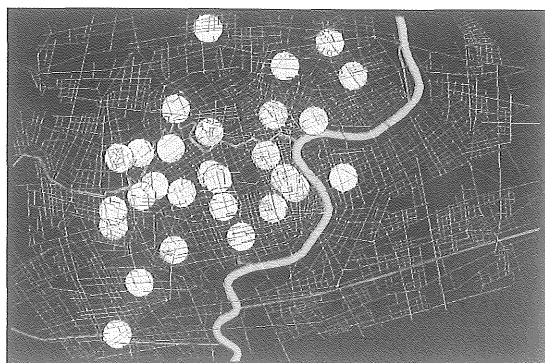


图 3 各商业中心 600 m 缓冲区范围

Fig. 3 Buffer areas of commercial centers with 600 meters

由图 3 各个等级的商业中心 600 m 范围来看, 大多数 (26 个) 都有一条或数条全局集成度较高 (轴线颜色红色系列) 的轴线通过, 其他 (曲阳路、长寿路) 商业中心则其周边也有红色轴线经过, 且等级越高的商业中心范围内所含的集成度高的轴线越多, 轴线颜色越深。城市的商业中心大多位于市域范围内交通可达性高的地区, 道路网结构越密集, 可达性越高的交通便捷地区是吸引商业中心的重要区域。进一步量化的结果如表 1 所示。从结果来看, 连接值和控制值两个变量的变化跟商业中心的级别成正比, 即商业中心的等级越高, 其连接值和控制值越高, 表明该商业中心范围内的道路可直接连通元素越多, 对周围道路的控制程度越高, 局部范围内可及性越强。表 1 还显示, 局部集成度的数值随商业中心等级呈现依次递减的趋势: $4.127\ 84 > 4.093\ 32 > 3.779\ 27 > 3.656\ 59 > 3.634\ 58$, 说明各等级的商业中心位置在局部系统中 (此处是 3 步集成度) 的便捷程度为一级市商业中心 > 二级市商业中心 > 一级区商业中心 > 二级区商业中心 > 居住区商业中心, 正好与各商业中心等级高低成正比: 等级越高的商业中心其所处位置在局部范围内越便捷, 人们到达此地越方便, 因此对于人流吸引力越强, 越能吸引更多人到此消费。

从全局集成度来看, 商业中心等级越高基本上对应的全局集成度值也越高。但是在二级区商业中心和居住区商业中心之间出现了异常: $1.683\ 67 < 1.790\ 02$ 。居住区商业中心的最大特色是与居民日常生活起居密切相关, 因此往往处于各区的大型居民区附近, 其分布的位置相对依赖性较高, 因此其位置的全局便捷程度规律性降低。仔细分析可以发现在 8 个居住区商业中心中, 静安寺商业中心离南京西路二级市商业中心较近, 老西门紧邻豫园二级市商业中心, 打浦桥则离淮海中路一级市商业中心很近, 这在很大程度上大大提高了该几个居住区商业中心的全局集成度。而对于 6 个二级区商业中心来讲, 只有石门一路商业中心紧邻南京西路二级市商业中心并与其商业圈范围相交, 其他 5 个则较分

散地分布于偏离城区中心的位置。因此对于全局集成度来讲，商业中心等级与道路的整体便捷程度并非成正比关系，还应该考虑各商业中心的整体位置。

对比总深度一值可以发现，除了居住区商业中心外，其他各等级商业中心的总深度与等级高低成反比，即商业等级越高，其总深度越低，即该点所处位置较浅，易于外部人流进入，之所以对于居住区商业中心出现异常，其原因与上述全局集成度异常是一样的，由于居住区商业中心有几个离市区中心位置较近，总体上减小了该区位的总深度，使得到达该点变得相对容易。

以上论述也从空间的角度说明了宁越敏等学者对上海市区商业中心等级的划分是基本合理的，由于本文研究侧重空间结构分析，阐述交通路网结构与商业中心等级与布局的关系，而宁越敏等学者则是从构建商业中心等级指标体系入手，侧重分析上海市商业中心变迁的特征，彼此研究重点与方法均有不同，因此相关结论存在部分差异。

对比全市城市空间轴线智能度散点图（图 4a）和商业中心 600 m 范围内智能度散点图（图 4b）可以发现：全市范围内全局集成度与局部集成度相关系数为 0.761（见表 2），两组数据呈现中度相关。商业中心 600 m 范围内全局集成度与局部集成度的相关系数为 0.813，两组数据呈高度相关。这说明对上海市区整体空间和 28 个商业中心 600 m 范围内区域两者来讲，其空间智能度都比较高（全局与局部集成度分别呈中度和高度相关），并且后者要高于前者，则说明对于商业中心范围内的

空间来讲，其被感知的程度要高于全市其他地方，该空间与全市网格成协同关系，其局部中心性能很好地融入全市的空间结构中，在此范围内布局吸引子，可以产生乘数效应使得空间系统的功能多样性和复杂化，是为智能空间。

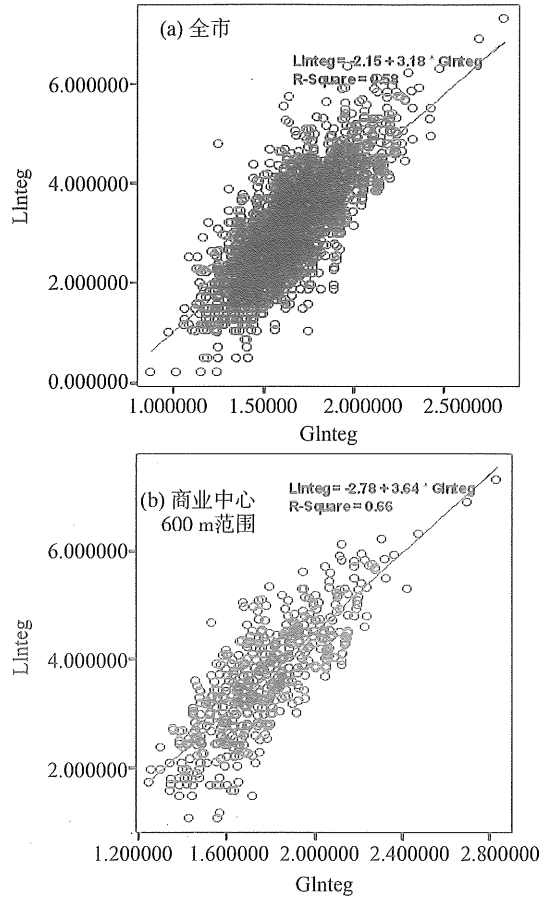


图 4 空间智能度散点图比较

Fig. 4 Comparison of scatter diagrams for spatial intelligibility

表 2 上海市区空间智能度与商业中心 600 m 范围智能度比较¹⁾

Table 2 Comparison of intelligibility between the urban area and the buffer areas of commercial centers with 600 meters

项目	全市范围		600 m 商业中心范围	
	GINTEG	LINTEG	GINTEG	LINTEG
GINTEG	Pearson Correlation	1	0.761 (**)	0.813 (**)
	Sig. (2-tailed)	.	0.000	0.000
	N	2 082	2 082	616
LINTEG	Pearson Correlation	0.761 (**)	1	0.813 (**)
	Sig. (2-tailed)	0.000	.	0.000
	N	2 082	2 082	616

1): ** Correlation at 0.01 significance level (2-tailed).

3 结 论

商业主导了整个城市发展的脉络，其空间的外

在表现影响着整个城市的形态。商业中心的布局和等级是商业活动在空间上的体现，合理布局商业中心及其等级对于平衡商业资源和满足市民需求以及

协调整个城市发展具有重要意义。

城市道路结构及道路网的可达性是影响商业布局的重要因素之一,本文即是从城市的交通道路网结构对商业布局影响的角度出发,集成 GIS 和空间句法理论,定量分析了两者之间的关系。量化结论显示:①城市商业中心的布局都倾向于位于轴线的集成度较高(轴线颜色为红色系列)的地区,因为这种地区的交通可达性高,道路网结构密集,能够吸引更多人流到此消费,是布局商业吸引子的最佳区位;②连接值、控制值和局部集成度的高低与商业中心等级成正比,即在局部性范围内的交通道路网越便捷,可达性越高,该处所拥有的商业中心等级越高;③而对于全局集成度来讲则不一定与商业中心的等级成正比,需要同时考量商业中心的总体区位;④总深度值也是表征路网结构便捷程度和可达性的重要指标,它的高低往往与商业中心的等级成反比,但是也要综合考量其他因素(如全局集成度);⑤商业中心局部范围(本文为 600 m)智能度散点图显示,各商业中心的局部范围智能度要高于全市智能度,与全市网格成协同关系,其局部中心性能很好地融入全市空间结构中,此范围即为智能空间,宜布局吸引子。

以上结论对于城市商业中心的布局及其规划具有实际的指导意义和参考价值。当然,影响商业布局和规划的因素有很多,如经济、人口、资源等因素,本文不对这些因素进行探讨,仅旨在从空间角度研究道路网结构对商业中心的影响。另外由于许多商业中心本身就是沿街分布的,本文的缓冲区分析则是近似找出各商业中心的重心,以一定半径作圆形缓冲得到其范围,所以选定的商业中心内的轴线难免与实际的轴线有偏差,因此更精确的研究有待结合其他 GIS 分析方法。

在研究方法上,GIS 和空间句法的集成无疑增强了 GIS 空间分析的能力,尤其是在有人类的活动行为参与下的城市空间形态分析的能力^[26],然而受空间句法本身原则的限制,城市自由空间都由最少数目的最长轴线来表示,许多非直线的道路将被打断成几条轴线,或者数条道路作为一条轴线进行表达,前者降低了该条道路作为 GIS 中的一个目标对象的集成度,而后者则提升了各条道路本身的句法值。因此,轴线地图对于真实城市空间的解释能力到底多强?文献[28]通过研究发现基于道路的拓扑描述(或者路-路拓扑图)倾向于比轴线地图具有更好的表达性,交通流与街道的形态属性的相关性比轴线地图的相关性更强。因此建议应该

用基于道路的拓扑表达来代替 GIS 轴线表达,并且用拓扑分析作为地理知识发现的一种新的分析途径,这也是本文今后需要改进的地方,以求更精确地确定道路网结构特性,为相关研究做好铺垫。另外,城市的道路网结构对城市的其他功能用地(如服务业用地)以及许多社会现象(如犯罪)也具有重要影响作用,这也是今后值得探讨的方向。

参考文献:

- [1] 于洪俊,宁越敏.城市地理概论[M].合肥:安徽科学技术出版社,1983.
- [2] GALSTER G, HANSON R, RATCLIFFE M R, et al. Wrestling sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept[J]. Housing Policy Debate, 2001, 12: 681 - 717.
- [3] TSAI Y H. Quantifying urban form: Compactness versus 'Sprawl' [J]. Urban Studies, 2005, 42(1): 141 - 161.
- [4] HILLIER B. Space is the machine: A configurational theory of architecture[M]. New York: Cambridge University Press, 1996.
- [5] 汤赜.可达性对于城市商业中心发展的作用—基于上海的四个商业中心的研究[D].上海:同济大学,2007.
- [6] WOUDSMA C, JENSEN J F, KANAROGLOU P, et al. Logistics land use and the city: A spatial-temporal modeling approach [J]. Transportation Research Part E, 2008, 44: 277 - 297.
- [7] HOLL A. Twenty years of accessibility improvements. The case of the Spanish motorway building programme [J]. Transport Geography, 2007, 15: 286 - 297.
- [8] LAU J C Y, CHIU C C H. Accessibility of low-income workers in Hong Kong [J]. Cities, 2003, 20(3): 197 - 204.
- [9] 陈嘉茹.基于空间型构法则与阶层线性模式探讨交通路网结构对都市商业形态影响之研究[D].台湾:成功大学,2008.
- [10] BERTOLINI L. Evolutionary urban transportation planning? An exploration [J]. Environment and Planning A, (2007) 39(8): 1998 - 2019.
- [11] STRAATEMEIER, T. How to plan for regional accessibility [J]. Transport Policy, 2008, 15: 127 - 137.
- [12] 段进, BILL Hillier. 空间研究 3—空间句法与城市规划 [M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- [13] HILLIER B, PENN A, HANSON J, et al. Natural movement or configuration and attraction in urban pedestrian movement [J]. Environment and Planning B, 1993, 20(1): 29 - 66.

- [14] TURNER A. From axial to road-centre lines: a new representation for space syntax and a new model of route choice for transport network analysis [J]. *Environment and Planning B*, 2007, 34: 539 - 555.
- [15] DESYLLAS J. The relationship between urban street configuration and office rent patterns in Berlin [M]. London: University College, 1999.
- [16] 段瑞兰, 郑新奇. 基于空间句法的城市道路结构与地价关系研究[J]. *测绘科学*, 2004, 29(5): 6, 76 - 79.
- [17] MATTHEWS J W, TURNBULL G K. Neighborhood street layout and property value: the interaction of accessibility and land use mix [J]. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 2007, 35: 111 - 141.
- [18] SONG Y, GEE G C, FAN Y, et al. Do physical neighborhood characteristics matter in predicting traffic stress and health outcomes? [J]. *Transportation Research Part F*, 2007, 10: 164 - 176.
- [19] ENSTRÖM R, NETZELL O. Can space syntax help us in understanding the intraurban office rent pattern? Accessibility and rents in downtown Stockholm [J]. *Real Estate Finan Econ*, 2008, 36: 289 - 305.
- [20] 傅搏峰, 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.
- [21] CHOI A S, KIM Y O, OH E S, et al. Application of the space syntax theory to quantitative street lighting design [J]. *Building and Environment*, 2006, 41: 355 - 366.
- [22] FOLT*ETE J C, PIOMBINI A. Urban layout, landscape features and pedestrian usage [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81(3): 225 - 234.
- [23] BARAN P K, RODRIGUEZ D A, KHATTAK A J. Space syntax and walking in a new urbanist and suburban neighbourhoods [J]. *Journal of Urban Design*, 2008, 13(1): 5 - 28.
- [24] SCUPELLI P, KIESLER S, FUSSELL S R. Using isovist views to study placement of large displays in natural settings [C] // *Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2007: 2645 - 2650.
- [25] JIANG B, CLARAMUNT C. Integration of space syntax into GIS: new perspectives for urban morphology [J]. *Transactions in GIS*, 2002, 6(3): 295 - 309.
- [26] JIANG B, CLARAMUNT C, KLARQVIST B. An integration of space syntax into GIS for modeling urban spaces [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2000, 2(3/4): 161 - 171.
- [27] 宁越敏, 黄胜利. 上海市区商业中心的等级体系及其变迁特征 [J]. *地域研究与开发*, 2005, 24(2): 15 - 19.
- [28] JIANG B, LIU C K. Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2009, 23(9): 1119 - 1137.