

武汉市道路结构与商业集聚空间关联分析

韩宇瑶¹, 焦利民^{1,2*}, 许刚¹

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室, 武汉 430079)

摘要:城市道路结构是影响城市商业集聚的重要因素,研究二者之间的关联对于商业布局和道路规划具有重要支撑作用。本文以武汉市都市发展区为例,运用空间句法模型计算道路结构指标,采用GIS核密度法计算2014年商业兴趣点(C-POI)密度以分析商业集聚的空间结构,通过双变量相关分析道路结构变量与商业集聚程度的关联关系。结果显示:①道路结构指标中,与商业集聚关联最强的是道路全局集成度。在各商业类型中,与道路结构相关程度最大的是金融保险服务集聚。②道路连接值和全局集成度值分别与商业POI密度呈显著正相关,呈现“高一高”集聚的空间关联模式;总深度值与商业POI密度呈现显著负相关,呈现“高一低”集聚的空间关联模式;商业POI密度随控制值升高呈现先升高后降低的趋势。③商业集聚分布呈现为“核心—过渡区—边缘区”的多核心多层次结构,“高一高”集聚与“高一低”集聚模式集中分布于“核心”及其附近的“过渡区”。

关键词:空间句法;核密度估计;道路结构;商业集聚;空间关联;武汉市

1 引言

商业集聚是指大量关联密切的商业企业在空间上集聚,从而形成一定区域内商业网点密度和专业化程度很高的商业经营场所,是城市商业发展的重要特征(蒋三庚, 2005)。道路如同城市血脉,深刻影响着城市中人口和物质流动(Barabási et al, 1999)。道路结构对城市空间经济活动与土地利用分布有重要影响(Hiller, 1996),对商业集聚分布起关键作用。研究城市道路结构与商业集聚的定量关系对于城市商业与城市功能区规划具有重要意义。

空间句法由Bill Hillier等于20世纪70年代提出,是建立在图论基础上关于空间和城市的理论,强调将城市非物质形态中的空间秩序与城市物质形态中的社会经济逻辑结合起来予以研究(引自邓毅等, 2016)。近年来,空间句法作为一种重要分析工具,广泛应用于城市空间结构与社会经济活动的关系研究。具体研究有:城区空间结构与社会关系

(Jiang et al, 2000; Lima, 2001; Liu et al, 2012)、环境意象的空间组构(周瑄等, 2014; Jeong et al, 2015)、城市道路网与社会经济关系(Dzhambov et al, 2014; Omer et al, 2015; 刘承良等, 2015; Koohsari et al, 2016)、形态空间与社会经济文化间的联系(Jiang, 2009; Önder et al, 2010; 吴志军等, 2012)等。目前国内外基于空间句法分析商业集聚的研究较少,且多局限于“点”(中心)或者“面”(中心区域),如以地铁站点或片区为单元分析商业集聚(王浩锋等, 2013)。而对“线”的研究不够(朱东风, 2006),部分研究讨论了应用空间句法分析整体空间结构(王益等, 2016)或交通通达性(刘承良等, 2015);陈晨等(2013),如Wang等(2014)探究了交通网中的商业空间分布。作为线性要素的街道在塑造城市结构与形态、组织用地布局等方面发挥了重要影响(Wang et al, 2011),但线状道路结构与商业集聚的关联还有待深入研究。

本文以武汉都市发展区为例,基于Open Street

收稿日期:2017-04;修订日期:2017-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(41571385)[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41571385]。

作者简介:韩宇瑶(1993-),山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为地理空间分析与城市化,E-mail: hanyy@whu.edu.cn。

通讯作者:焦利民(1977-),汉族,河南安阳人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为土地信息建模,地理空间分析和数据挖掘,LUCC与城市扩展,E-mail: lmjiao027@163.com。

引用格式:韩宇瑶, 焦利民, 许刚. 2017. 武汉市道路结构与商业集聚空间关联分析[J]. 地理科学进展, 36(11): 1349-1358. [Han Y Y, Jiao L M, Xu G. 2017. Correlation analysis of road structure and commercial agglomeration in Wuhan City[J]. Progress in Geography, 36(11): 1349-1358.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.11.004

Map(OSM)道路数据与网络电子地图的商业POI数据,首先采用空间句法模型计算道路连接值、控制值、全局集成度与总深度值4个变量并对其分级,然后运用GIS核密度法计算商业POI密度分析商业集聚空间结构;在此基础上,通过Pearson相关系数分析各道路空间句法变量与商业POI密度的相关性,获得最强相关因子与空间关联模式。研究结果可为商业功能区布局与道路规划提供指导。

2 研究区域与数据

2.1 研究区概况

武汉位于东经113°41′~115°05′,北纬29°58′~31°22′,是华中地区最大的工商业城市(黄经南等, 2014),地处长江中下游江汉平原东北部,长江最大支流汉江与长江在武汉市区交汇(Jiao et al, 2015),形成汉口、武昌、汉阳三镇鼎立格局(Xu et al, 2016)(图1)。武汉素有“九省通衢”之称,是全国首个综合交通枢纽试点城市(卢燕等, 2016);市内形成了以环线为主、中心辐射的道路交通网络框架。武汉独特的区位优势 and 交通优势使其商业发展极具优势,遍布武汉三镇的商业网点构成了多层次结构的现代商品流通网络(郑星, 2005)。经过多年培育和营造,已经基本形成了较具规模的8大零售商圈。本文选取武汉都市发展区为实例研究区,武汉都市发展区以外环高速公路附近的乡、镇行政边界为基本界线,总面积3261 km²,是城市功能主要集聚区和城市空间重点拓展区(薛东前等, 2002)。

2.2 数据来源与处理

本文数据主要包含武汉都市发展区内的矢量

路网数据和商业兴趣点(POI)数据。道路数据来源于Open Street Map(OSM),参照道路属性分级以及网络电子地图与武汉市交通图等图件,结合人工判读剔除社区内部道路等非公共交通设施,进行拓扑关系检查和编辑修改,完成数据预处理。利用Arc-GIS 10.2通过加载空间句法模块Axwoman 6.3提取武汉都市发展区道路轴线,计算各道路空间句法变量值。

商业POI数据来源于2014年网络电子地图,由于原始POI数据分类较多,且许多类型中都包含具有商业性质的POI,因此需对原始数据重分类。本文参考池娇等(2016)的研究,从原始POI数据分类中选取具有商业性质的POI数据,最终分类如表1所示。

3 研究方法

3.1 空间句法原理

空间句法是一种通过对包括建筑、聚落、城市甚至景观在内的人居空间结构的量化描述,用于研究空间组织与人类社会之间关系的理论和方法(Bafna, 2003)。空间句法有3种空间分割的方法:凸多边形法、轴线法和视区法(张晓瑞等, 2014)。本文分析道路结构与商业集聚程度的关系,故采用适合于城市道路网空间形态分析的轴线法,并采用较常用的四个变量:连接值、全局集成度、总深度值和控制值(江斌等, 2002)。

表1 商业POI最终分类及占比

Tab.1 Classification of commercial points of interest (C-POI) and the proportion of each class

一级分类	二级分类	占比/%
餐饮服务	外国餐厅,中餐厅,餐饮相关场所,咖啡厅,茶饮馆,糕饼店,快餐店,冷饮店,甜品店,休闲餐饮场所	30.81
购物服务	超级市场,商场,购物中心,商业街,家电电子卖场,家居建材市场,服装鞋帽皮具店,花鸟鱼虫市场,个人用品,体育用品店,专卖店,特殊买卖场所	37.89
住宿服务	宾馆酒店,旅馆招待所,住宿服务相关	3.76
金融保险服务	银行,银行相关,自动提款机,证券公司,保险公司	3.39
商务写字楼	商务写字楼,商住两用楼宇	0.87
科教文化服务	传媒机构,驾校,培训机构	3.18
生活服务	旅行社,美容美发店,摄影冲印店,事务所,洗浴场所	14.99

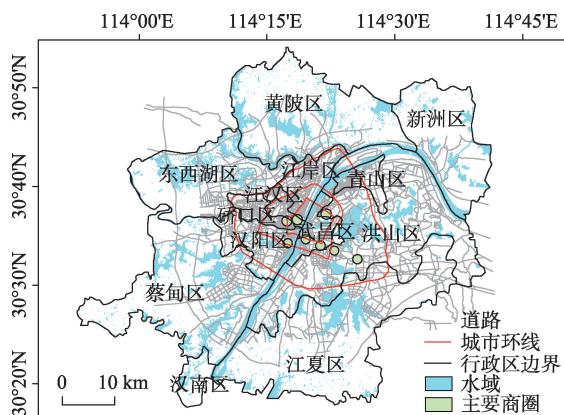


图1 武汉都市发展区概况

Fig.1 Location of the Wuhan metropolitan area

连接值(Connectivity Value)表示道路的连接性,是系统中与某节点相邻的节点个数。道路连接值越高,与其连接的道路越多,对整个空间连通的快捷程度越重要。表达式为:

$$C_i = k \quad (1)$$

式中: C_i 表示道路*i*的连接值; k 表示与道路*i*直接相连的其他道路总数。

控制值(Control Value)表示一个节点对与之相邻的节点的控制程度,可反映某条道路对其周围道路的影响程度,数值上定义为与指定道路直接相连的所有道路连接值的倒数之和。道路控制值越高,则该道路在城市道路网络中是交通节点的可能性越高。表达式为:

$$Ctrl_i = \sum_{j=1}^k \frac{1}{C_j} \quad (2)$$

式中: $Ctrl_i$ 表示道路*i*的控制值; k 表示与道路*i*直接相连的其他道路总数; $j(j=1, 2, \dots, k)$ 表示与道路*i*直接相连的道路; C_j 表示道路*j*的连接值。

总深度值(Total Depth Value)是某个节点到系统中其他所有节点的最少步数总和(假设2个邻近节点的距离为一步),表示位置深浅。总深度值表达的是节点在拓扑意义上的可达性,道路总深度值越低,可达性越好。表达式为:

$$TD_i = \sum_{j=1}^n d_{ij} \quad (3)$$

式中: TD_i 表示道路*i*的总深度值; n 表示道路总数; d_{ij} 表示道路*i*到道路*j*的最小步数。

全局集成度(Global Integration Value)表述了整个系统中某节点对其他节点的可达程度。道路全局集成度值越高,则与其他系统空间的障碍阻隔越少,公共性越高,该道路在系统中便捷程度越高。表达式为:

$$G_i = 1/RRA_i = RA_i/D_n = \{2[TD_i/(n-1) - 1]/(n-2)/D_n\} \quad (4)$$

$$D_n = 2 \left\{ n \left[\log_2 \left(\frac{(n+2)/3}{1} \right) - 1 \right] + 1 \right\} / [(n-1)(n-2)] \quad (5)$$

式中: G_i 表示道路全局集成度; RA_i 表示全局集成度的相对不对称值; RRA_i 表示全局集成度的实际相对不对称值; D_n 表示为相对不对称值的标准化值; TD_i 表示道路*i*的总深度值; n 表示道路总数。

3.2 核密度聚类

核密度估计法是地理空间数据挖掘的重要方法和工具,可表达城市空间POI点的分布模式、分布密度等特征。它是一种非参数估计的方法,对原

始数据分布不基于任何数学前提假定,可弥补参数估计法中需要人们依靠经验来假定参数的缺陷。核密度估计函数通过以下几个步骤在研究区域内构造一个表示点群密度变化的平面:首先,将网格置于研究区域及点群分布之上;然后用一个移动的三维函数观察每个单元,计算搜索半径内每个点的权重值,越接近搜寻中心的点权重越大;最后通过求每个位置的圆表面的权重值之和计算得到格网单元的密度值(毛政元等, 2004)。因此,核密度分析能反映距离衰减规律(詹璇等, 2016)。本文基于ArcGIS的核密度分析功能,对武汉都市发展区的商业POI进行核密度计算,得到商业POI密度的空间分布。

3.3 缓冲区分析与双变量相关分析

本实验基于空间句法,采用缓冲区分析和双变量相关分析探究武汉都市发展区道路结构与商业集聚的关系。依据自然断裂法将道路的各空间句法变量值分为7级并标准化,对各等级变量值所对应的道路轴线分别建立半径500 m的缓冲区。该缓冲距离可使居民在10 min内到达缓冲区内相应位置,符合居民对便利日常出行的认知(Moudon et al, 2006),常用于出行活动分析(Cerin et al, 2006)。

统计各级缓冲区内商业POI的密度,将其与各级缓冲区内道路空间句法变量平均值进行双变量相关分析,得到道路结构与商业集聚的相关方向和程度。并采用最小二乘法进行数据拟合,分析空间句法变量值对商业POI密度的解释效果。双变量相关分析中采用Pearson相关系数(焦利民等, 2016),计算公式为:

$$r = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

式中: X 、 Y 表示2个不同变量; \bar{X} 、 \bar{Y} 表示轴应变量期望值,本文中指空间句法形态变量值和商业POI密度。

4 结果与分析

4.1 商业集聚与城市道路结构空间分布特征

采用核密度估计法计算商业POI的空间分布密度(图2)。基于ArcGIS的Axwoman模块,计算每条道路的句法变量值,结果如图3所示。

如图2所示,商业POI密度整体呈现核心多层次结构,具有空间不均衡性。借鉴“核心—边缘”理论,将该结构划分为“核心—过渡区—边缘区”3个

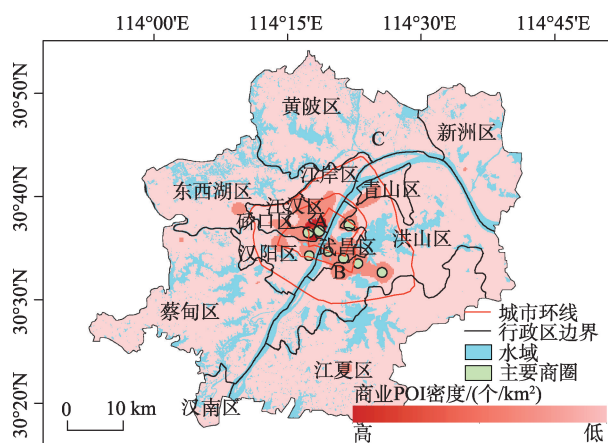


图2 商业POI密度空间分布

Fig.2 Spatial distribution of density of commercial points of interest (C-POI)

层次,根据自然断裂法确定商业POI核密度各层次的阈值范围,“核心”区域(图2中A区)核密度范围为1368~3320个/ km^2 ,“过渡区”(图2中B区)核密度范围为326~1367个/ km^2 ,“边缘区”(图2中C区)核密度范围为0~325个/ km^2 。中心城区拥有商业POI密度“核心”(图2中A区)。核心高值区位于汉口中心商业区附近,邻近商业高度集中、各类商业业态业种齐全的江汉路商圈和武汉广场商圈。汉阳区域的钟家村商圈与武昌区域的徐东商圈、司门口商

圈、中南路商圈、街道口商圈及光谷商圈附近商业活动频繁,商业网点较密集,商业POI密度较高,是商业POI密度的“过渡区”。与“核心”相比,“过渡区”虽位于中心城区,商业POI较密集,但集聚程度明显减小。而都市发展区边缘区域商业POI数量相对较少且分布分散,商业集聚程度低。

分析图3a、3b、3c可知,商业POI密度较高区域对应道路连接值与全局集成度的高值区以及总深度的低值区,主要分布于江岸区、江汉区、汉阳区与武昌区等中心城区各商圈附近。而城市环线 and 绕城高速等对外交通线附近的道路连接值与全局集成度同样偏高,总深度值相对偏低。图3d显示:在都市发展区内,商业POI密度高值区域的道路影响力较强,但道路控制值高值区位于城市对外交通线与城市环线附近。商业集聚度较高的中心城区道路网络相对复杂密集,具有良好的空间渗透性,可达性较高;城市环线与对外交通线具有较多道路节点,能快捷地实现空间连通,被到访机会多。因此本文道路空间句法形态变量值呈现图3中的分布状态。

4.2 商业集聚与城市道路结构总体关联关系

通过计算得到2014年武汉都市发展区道路空间句法变量值的各等级平均值与相应等级500 m缓冲区内的商业POI密度,分析二者相关性以研究城市

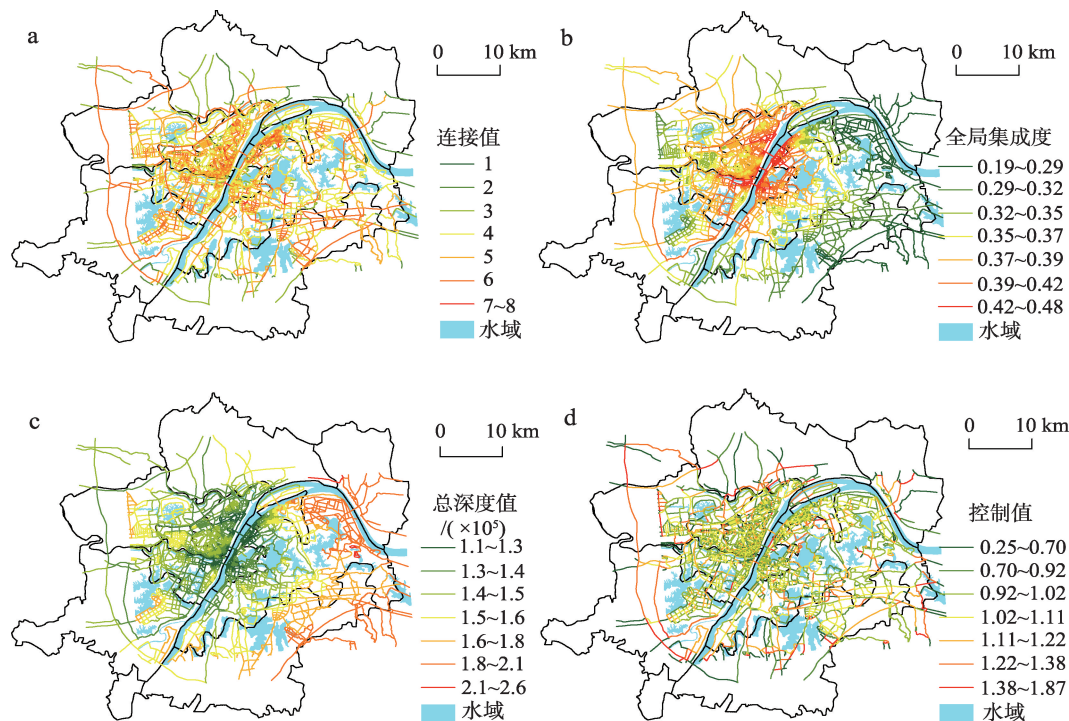


图3 道路空间句法形态变量空间分异

Fig.3 Distribution of spatial syntactic variables of roads

道路结构与商业集聚的总体关联关系。相关性分析结果如表 2 所示,各级缓冲区空间句法变量平均值与商业 POI 密度的散点图拟合曲线如图 4 所示。

表 2 与图 4 结果显示,道路结构与商业集聚的空间关联模式主要为“高一高”集聚与“高一低”集聚,道路结构中商业集聚相关性最强的影响因子为全局集成度,最弱的影响因子为控制值。“高一高”集聚具体表现为道路连接值、全局集成度分别与商业 POI 密度呈显著正相关;“高一低”集聚表现为总深度值与商业 POI 密度呈现显著负相关。而表 2 显示控制值与商业 POI 密度相关性不显著,主要是由于中心城区商业集聚“核心”和“过渡区”的道路控制值与商业 POI 密度呈现“高一高”分布,但城市环线与城市外围的对外交通线与商业 POI 密

度呈现“高一低”分布,影响了相关性检验结果,因此需根据图 4 拟合曲线结果作进一步分析。

图 4 显示,(a)、(c)、(d)方程的决定系数(R^2)分别为 0.7881、0.9615、0.9947,道路连接值、全局集成度、总深度值与商业 POI 密度指数方程拟合效果良好,拟合曲线趋势与表 2 中统计相关性检验结果一致。各商圈附近的商业“核心”及“过渡区”内部区域是道路连接值与全局集成度高值区,呈现“高一高”集聚模式,表示该区域内道路可直接连通的系统内道路较多,空间渗透性良好,交通可达性高,使道路所处位置在系统中被到访的机会更高,因此对人流的吸引力更强,促使商业优先在此选址,形成较强商业集聚。

上述区域同样是道路总深度值的低值区,呈现“高一低”集聚。该区域在系统中所处位置较浅,易于外部人流进入,便捷程度高。便捷的交通和服务对象的较大消费需求利于商业的发展,促使上述区域商业 POI 密度较高,商业集聚较强;而在商业集聚的“过渡区”外缘与“边缘区”,道路连接值、全局集成度值相对较低,总深度值相对较高,商业集聚相对较弱。

图 4a、4b 散点与曲线图存在明显波动,图 4a 中连接值最高的第七级缓冲区与其他缓冲区商业 POI 密度差异较大,由于第七级缓冲区道路分布区属于商业 POI 密度“核心”与“过渡区”内部,而其他各级

表 2 空间句法形态变量与全部商业 POI 密度的统计相关性检验

Tab.2 Bivariate correlation analysis between spatial syntactic variables and whole commercial points of interest (C-POI) density

	相关性	连接值	全局集成度	总深度值	控制值
商业 POI 密度	r	0.762*	0.945**	-0.789*	-0.309
	$Sig.$	0.047	0.007	0.035	0.500
	N	7	7	7	7

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关

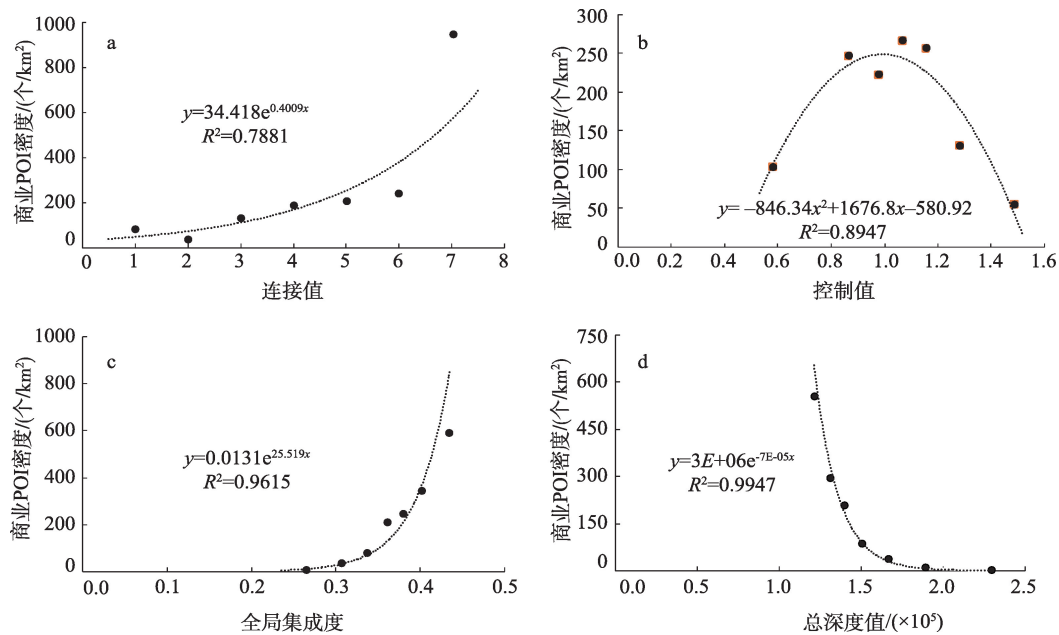


图 4 道路空间句法形态变量与商业 POI 密度散点图

Fig.4 Scatter plots of roads' spatial syntactic variables and commercial points of interest (C-POI) density

缓冲区道路分布区包含大片商业“边缘区”,导致第七级缓冲区商业POI密度值远高于其他各级缓冲区。图4b呈现商业POI密度随着控制值升高先升再降的趋势。其中,前五级缓冲区呈现商业POI密度随控制值升高而升高的趋势,呈现“高一高”集聚。高值缓冲区主要包含中心城区内的主次干道,分布于中心城区商业“核心”附近。其所包含的道路对周围道路的影响程度较大,包含众多城市道路网络中的交通节点,因此易吸引商业布局,形成武汉广场商圈、江汉路商圈等较强的商业集聚“核心”。低值缓冲区主要包含中心城区支路及其外围支路,可达性相对较差,缺乏商业集聚的有利条件,促进了商业“过渡区”外缘与“边缘区”的形成。图4b中拟合曲线的后两级缓冲区的商业POI密度随控制值升高而降低,是因为研究区后两级缓冲区内道路主要分布在城市环线 and 对外交通线附近,虽然交通便捷程度高,但根据城市对外交通规划要求,对外交通线沿线商业网点设置较少,对商业支撑度较大的主要是城市内部交通线,使得商业在此附近区域不够集聚,属于商业“边缘区”。

4.3 不同商业类型集聚与城市道路结构的关联

计算道路空间句法变量值各等级平均值,将其与相同等级缓冲区内不同商业类型POI的密度进行相关分析,研究不同商业类型集聚与城市道路结构的关联关系。相关性检验结果如表3所示。

由表3结果可知,关联程度最高的道路结构指标为全局集成度;各商业类型POI密度与道路全局集成度呈显著正相关,表现为“高一高”集聚;各商业类型POI密度与道路总深度值呈显著负相关,表现为“高一低”集聚。与商业集聚与道路结构的总体关联关系类似,2种集聚的空间分布同样以商业“核心”与“过渡区”内部为主。

各商业类型中,金融保险服务POI密度与道路

全局集成度及总深度值的相关程度最大,区位优势是金融保险服务发展必不可少的条件,道路全局集成度较高而总深度值较低的区域意味着可提供便利交通,易于外部资源流入,促使金融保险服务优先在此形成集聚。而餐饮服务和购物服务POI密度与道路全局集成度及总深度值的相关程度最小。虽然餐饮服务与购物服务集聚区域的道路全局集成度较高且总深度值较低,交通可达性高,但小餐馆、小超市及菜市等小型餐饮服务与购物服务POI众多,且多分布于居民区内部或附近等对可达性要求不高的区域,从而降低了其与道路全局集成度及总深度值的相关性。

表3结果显示,道路连接值与住宿服务、生活服务、体育休闲服务3种商业类型的POI密度相关性不显著,而与其他几种商业类型的POI密度呈显著正相关。但根据图5可以看出,住宿服务、生活服务、体育休闲服务3种商业类型的POI密度呈现随

表3 道路空间句法形态变量与不同商业类型POI密度的统计相关性检验

Tab.3 Bivariate correlation analysis between spatial syntactic variables of roads and commercial points of interest (C-POI) density of different types of services

相关性	连接值	控制值	全局集成度	总深度值
餐饮服务POI密度	0.761 [*]	-0.224	0.885 ^{**}	-0.783 [*]
购物服务POI密度	0.782 [*]	-0.240	0.926 ^{**}	-0.770 [*]
住宿服务POI密度	0.744	-0.229	0.948 ^{**}	-0.805 [*]
金融保险服务POI密度	0.785 [*]	-0.268	0.961 ^{**}	-0.815 [*]
商务写字楼POI密度	0.782 [*]	-0.277	0.955 ^{**}	-0.799 [*]
科教文化服务POI密度	0.785 [*]	-0.272	0.957 ^{**}	-0.804 [*]
生活服务POI密度	0.753	-0.270	0.944 ^{**}	-0.789 [*]
体育休闲服务POI密度	0.733	-0.249	0.945 ^{**}	-0.811 [*]
医疗保健服务POI密度	0.779 [*]	-0.306	0.954 ^{**}	-0.802 [*]

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

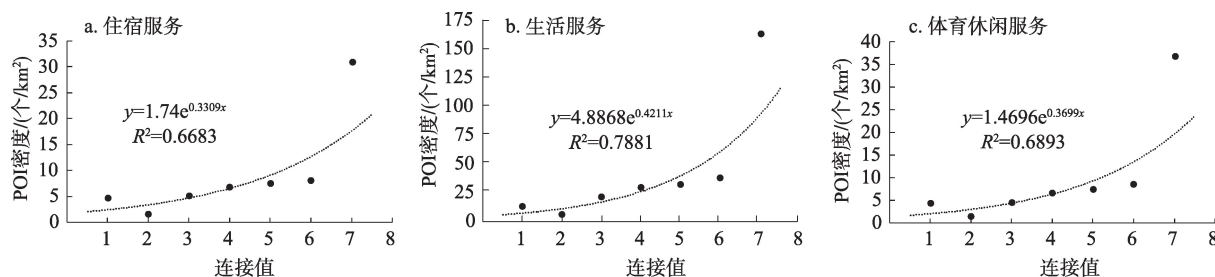


图5 道路连接值与住宿服务POI密度,生活服务POI密度,体育休闲服务POI密度散点图

Fig.5 Scatter plots of connectivity value and commercial points of interest (C-POI) density of (a) accommodation services, (b) domestic services, and (c) sports and leisure services

连接值升高而升高的趋势。总的来说,道路连接值较高的区域道路相对密集,交通可达性相对较好,各种商业类型的POI密度也相应较高,属于“高一高”集聚模式。

根据表3结果,道路控制值与各商业类型POI密度不相关。但图6显示其与全部商业POI密度与道路控制值的关联关系一致,同样由于研究区前五级缓冲区包含的主要是城市内部交通线,对周围道路影响程度大,吸引各商业类型在此布局形成集聚。而后两级缓冲区内道路主要分布在城市环线和对外交通线附近,沿线较少设置商业网点,各商业类型集聚效果较弱。

总体看来,不同商业类型集聚与道路连接值、全局集成度呈正相关,呈现“高一高”集聚;而与道路总深度值呈负相关,呈现“高一低”集聚。道路控制值则呈现集聚程度随控制值升高先上升后降低的趋势。这同前述商业集聚与道路结构的总体关联关系基本保持一致。

5 结论与讨论

城市道路结构与商业集聚之间存在联系似乎

已达成共识,但两者之间具体的关联模式尚未进行很好的定量研究。本文基于空间句法,结合核密度法分析道路结构与商业集聚的关系,通过定量分析发现武汉都市发展区道路结构与商业集聚具有显著关联性,并得到两者的具体关联模式。研究发现:①道路连接值和全局集成度分别与商业POI密度显著正相关,呈现“高一高”集聚的空间关联模式;总深度值与商业POI密度显著负相关,呈现“高一低”集聚的空间关联模式。②商业集聚分布总体呈现“核心—过渡区—边缘区”结构,“高一高”集聚与“高一低”集聚主要分布于“核心”及其附近的“过渡区”。③统计相关性结果显示,道路结构指标中,全局集成度是商业集聚的最强相关因子;在各商业类型中,金融保险服务集聚与道路结构的相关程度最大。该研究表明,基于城市道路结构的空间句法变量研究商业集聚特征具有可行性,研究结果可为商业选址、城市商业功能区布局以及道路规划提供支持。进行城市交通规划与土地利用规划时可结合道路等级、人口密度、建设用地密度、企业年营业额等其他土地利用指标与经济指标,选择道路全局集成度与连接值高值区、总深度低值区与城市内部道路控制值高值区优先进行商业布局,并根据“高

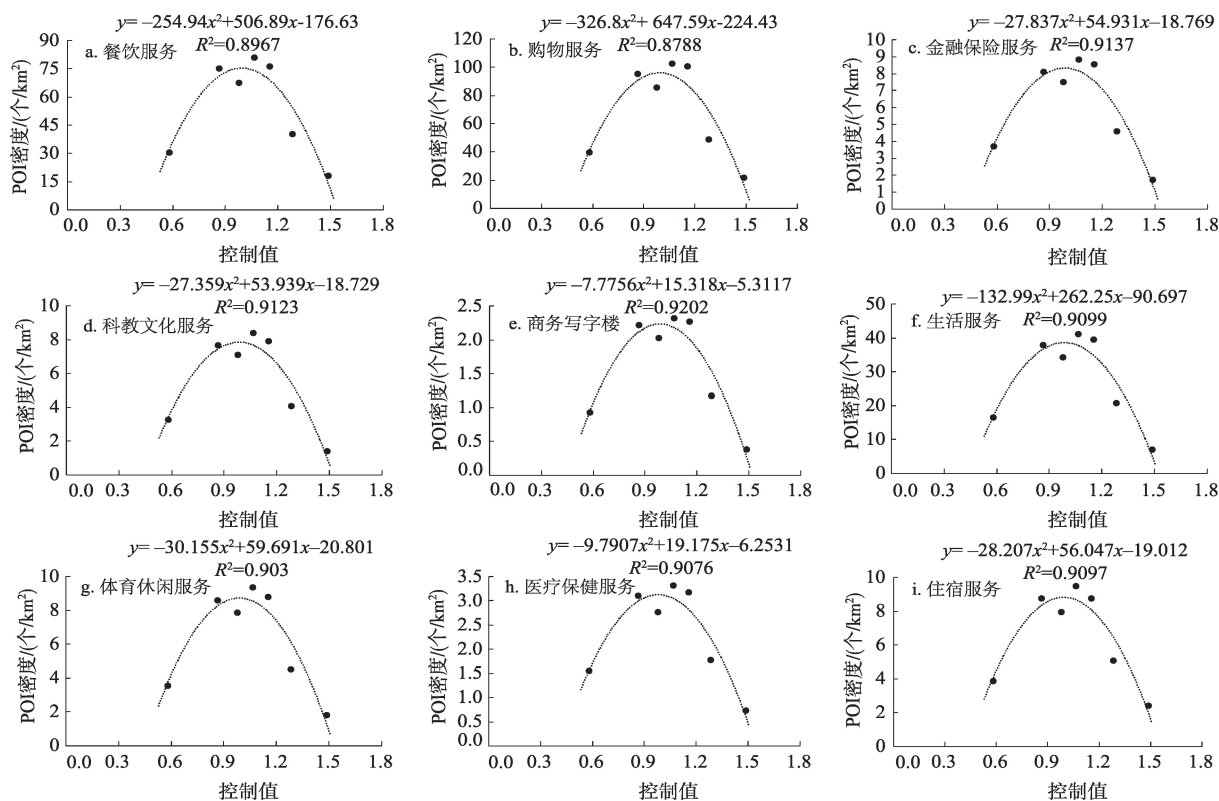


图6 道路控制值与不同商业类型POI密度散点图

Fig.6 Scatter plots of control value and commercial points of interest (C-POI) density of different types of services

—高”集聚与“高一低”集聚的空间关联模式布局商业中心,尤其是金融中心,从而促进城市土地利用与交通协调发展。

本文针对城市整体展开,未比较不同尺度下道路结构与商业集聚的关系变化,且受数据精度和研究方法限制,尚未考虑其他土地利用指标与经济指标的影响,有可能会对道路结构理解的片面性,不能完整和全面地揭示道路结构与商业集聚之间关系变化的深层次机制。下一步研究中可采用格网、街道、圈层等不同尺度的研究单元进行比较分析,并加入道路等级、企业税收、年营业额、人口密度、建设用地密度等土地利用指标与经济指标,在研究道路结构与商业集聚的关系的基础上,深入探讨道路结构与土地利用强度的关系。

参考文献(References)

- 陈晨,王法辉,修春亮. 2013. 长春市商业网点空间分布与交通网络中心性关系研究[J]. 经济地理, 33(10): 40-47. [Chen C, Wang F H, Xiu C L. 2013. The relationship between the spatial distribution of commercial networks and street centrality in Changchun[J]. Economic Geography, 33(10): 40-47.]
- 池娇,焦利民,董婷,等. 2016. 基于POI数据的城市功能区定量识别及其可视化[J]. 测绘地理信息, 41(2): 68-73. [Chi J, Jiao L M, Dong T, et al. 2016. Quantitative identification and visualization of urban functional area based on POI data[J]. Journal of Geomatics, 41(2): 68-73.]
- 邓毅,胡彬. 2016. 基于空间句法的城市公共空间适老性规划设计框架[J]. 城市问题, (6): 53-60. [Deng Y, Hu B. 2016. Planning framework of urban public space for the aged based on space syntax[J]. Urban Problems, (6): 53-60.]
- 黄经南,高浩武,但梦薇. 2014. 基于空间句法的商场室内空间可识别性研究:以武汉光谷步行街为例[J]. 城市问题, (6): 46-52. [Huang J N, Gao H W, Dan M W. 2014. Urban commercial interior space identification based on space syntax: A case study of Wuhan Optical Valley Walking Street[J]. Urban Problems, (6): 46-52.]
- 江斌,黄波,陆锋. 2002. GIS环境下的空间分析和地学可视化[M]. 北京: 高等教育出版社. [Jiang B, Huang B, Lu F. 2002. Spatial analysis and geovisualization in GIS[M]. Beijing, China: Higher Education Press.]
- 蒋三庚. 2005. 论商业集聚[J]. 北京工商大学学报: 社会科学版, 20(3): 1-4. [Jiang S G. 2005. Research on commercial enterprise concentration[J]. Journal of Beijing Technology and Business University: Social Sciences, 20(3): 1-4.]
- 焦利民,张博恩,许刚,等. 2016. 气溶胶光学厚度与PM_{2.5}浓度相关关系的时空变异[J]. 干旱区资源与环境, 30(12): 34-39. [Jiao L M, Zhang B E, Xu G, et al. 2016. Spatio-temporal variability of correlation between aerosol optical depth and PM_{2.5} concentration[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 30(12): 34-39.]
- 刘承良,余瑞林,段德忠. 2015. 基于空间句法的武汉城市圈城乡道路网通达性演化分析[J]. 地理科学, 35(6): 698-707. [Liu C L, Yu R L, Duan D Z. 2015. The evolution of spatial accessibility of urban-rural road network based on the space syntax in Wuhan metropolitan area[J]. Scientia Geographica Sinica, 35(6): 698-707.]
- 卢燕,余斌,韩勇. 2016. 基于客流结构的高铁经济辐射效应研究:以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 25(1): 39-47. [Lu Y, Yu B, Han Y. 2016. Economic radiation effect of high-speed rail based on structure of passenger flow: A case study of Wuhan City[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 25(1): 39-47.]
- 毛政元,李霖. 2004. 空间模式的测度及其应用[M]. 北京: 科学出版社. [Mao Z Y, Li L. 2004. Kongjian moshi de cedu jiqi yingyong[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 王浩锋,施苏,饶小军. 2013. 街道形态与城市密度[C]//城市时代,协同规划: 2013中国城市规划年会论文集. 青岛: 中国城市规划学会. [Wang H F, Shi S, Rao X J. 2013. Jiedao xingtai yu chengshi midu[C]//Chengshi shidai, xitong guihua: Annual national planning conference 2013. Qingdao: Urban Planning Society of China.]
- 王益,吴永发. 2016. 基于句法变量分析的徽州古村落空间安全机制研究[J]. 规划师, 32(3): 101-107. [Wang Y, Wu Y F. 2016. Syntax parameter analysis based Huizhou ancient village space crime prevention mechanism[J]. Planners, 32(3): 101-107.]
- 吴志军,田逢军. 2012. 基于空间句法的城市游憩空间形态特征分析:以南昌市主城区为例[J]. 经济地理, 32(6): 156-161. [Wu Z J, Tian F J. 2012. The analysis of urban recreational space shape characteristic and influencing factors based on space syntax: Taking Nanchang as an example[J]. Economic Geography, 32(6): 156-161.]
- 薛东前,王传胜. 2002. 城市群演化的空间过程及土地利用优化配置[J]. 地理科学进展, 21(2): 95-102. [Xue D Q, Wang C S. 2002. A study on the spatial process for the evolution of urban agglomerations and optimal land use[J]. Progress in Geography, 21(2): 95-102.]

- 詹璇, 林爱文, 孙铖, 等. 2016. 武汉市公共交通网络中心性及其与银行网点的空间耦合性研究[J]. 地理科学进展, 35(9): 1155-1166. [Zhan X, Lin A W, Sun C, et al. 2016. Centrality of public transportation network and its coupling with bank branches distribution in Wuhan City[J]. Progress in Geography, 35(9): 1155-1166.]
- 张晓瑞, 程志刚, 白艳. 2014. 空间句法研究进展与展望[J]. 地理与地理信息科学, 30(3): 82-87. [Zhang X R, Cheng Z G, Bai Y. 2014. Review and prospect of space syntax[J]. Geography and Geo-Information Science, 30(3): 82-87.]
- 郑星. 2005. 武汉市大型零售商业设施空间布局研究[D]. 武汉: 华中科技大学. [Zheng X. 2005. Spatial location analysis of large retail stores in Wuhan[D]. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology.]
- 周琄, 鲁政. 2014. 环境意象的空间句法解读[J]. 建筑学报, (3): 1-6. [Zhou X, Lu Z. 2014. Rereading environmental image in terms of spatial syntax[J]. Architectural Journal, (3): 1-6.]
- 朱东风. 2006. 基于空间句法(Spacesyntax)分析的城市内部中心性研究: 以苏州为例[J]. 现代城市研究, 21(12): 60-67. [Zhu D F. 2006. A case study of city Suzhou on urban inner centralities basing on spacesyntax methods[J]. Modern Urban Research, 21(12): 60-67.]
- Bafna S. 2003. Space syntax a brief introduction to its logic and analytical techniques[J]. Environment and Behavior, 35(1): 17-29.
- Barabási A L, Albert R. 1999. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 286: 509-512.
- Cerin E, Saelens B E, Sallis J F, et al. 2006. Neighborhood environment walkability scale: Validity and development of a short form[J]. Medicine and Science in Sports and Exercise, 38(9): 1682-1691.
- Dzhambov A M, Dimitrova D D, Turnovska T H. 2014. Improving traffic noise simulations using space syntax: Preliminary results from two roadway systems[J]. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 65(3): 259-272.
- Hiller B. 1996. Space is the machine: A configurational theory of architecture[M]. New York, NY: Cambridge University Press.
- Jeong S K, Lee T H, Ban Y U. 2015. Characteristics of spatial configurations in Pyongyang, North Korea[J]. Habitat International, 47: 148-157.
- Jiang B. 2009. Ranking spaces for predicting human movement in an urban environment[J]. International Journal of Geographical Information Science, 23(7): 823-837.
- Jiang B, Claramunt C, Klarqvist B. 2000. Integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2(3-4): 161-171.
- Jiao L M, Mao L F, Liu Y L. 2015. Multi-order landscape expansion index: Characterizing urban expansion dynamics [J]. Landscape and Urban Planning, 137: 30-39.
- Koohsari M J, Sugiyama T, Mavoa S, et al. 2016. Street network measures and adults' walking for transport: Application of space syntax[J]. Health & Place, 38: 89-95.
- Lima J J. 2001. Socio-spatial segregation and urban form: Belém at the end of the 1990s[J]. Geoforum, 32(4): 493-507.
- Liu X T, Jiang B. 2012. Defining and generating axial lines from street center lines for better understanding of urban morphologies[J]. International Journal of Geographical Information Science, 26(8): 1521-1532.
- Moudon A V, Lee C, Cheadle A D, et al. 2006. Operational definitions of walkable neighborhood: Theoretical and empirical insights[J]. Journal of Physical Activity and Health, 3 (S1): S99-S117.
- Omer I, Jiang B. 2015. Can cognitive inferences be made from aggregate traffic flow data[J]. Computers Environment and Urban Systems, 54: 219-229.
- Önder D E, Gigi Y. 2010. Reading urban spaces by the space-syntax method: A proposal for the South Haliç Region[J]. Cities, 27(4): 260-271.
- Xu G, Jiao L M, Zhao S L, et al. 2016. Examining the impacts of land use on air quality from a spatio-temporal perspective in Wuhan, China[J]. Atmosphere, 7(5): 62.
- Wang F H, Antipova A, Porta S. 2011. Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana[J]. Journal of Transport Geography, 19(2): 285-293.
- Wang F H, Chen C, Xiu C L, et al. 2014. Location analysis of retail stores in Changchun, China: A street centrality perspective[J]. Cities, 41: 54-63.

Correlation analysis of road structure and commercial agglomeration in Wuhan City

HAN Yuyao¹, JIAO Limin^{1,2*}, XU Gang¹

(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: Urban road structure is one of the most important factors influencing commercial agglomeration. Research on the relationship between urban road structure and commercial agglomeration plays a supporting role for the layout of services and traffic planning. Based on theories of space syntax combined with GIS and bivariate correlation analysis, we explored the correlation between road structure and commercial agglomeration in the Wuhan metropolitan area. The space syntax model was used to compute road structure indicators. The kernel density estimation method was used to calculate the density of commercial points of interests (C-POI) in 2014 to analyze the spatial structure of commercial agglomeration. We used the Pearson correlation coefficient to analyze the correlation between road structure and commercial agglomeration. The results show that: (1) Global integration showed the highest correlation with the commercial agglomeration among the four spatial syntactic variables. Finance and insurance services had the highest correlation with road structure. (2) Connectivity value and global integration value were significantly and positively correlated with C-POI density, with a spatial correlation pattern of "high-high" agglomeration. Total depth value showed a significant and negative correlation with C-POI density, with a spatial correlation pattern of "high-low" agglomeration. C-POI density increased first and then decreased with increasing control values. (3) The spatial distribution of commercial agglomeration presented a "multicore- transitional area- periphery" multiple level structure. "High- high" agglomeration and "high-low" agglomeration were concentrated in the "core area" and the "transitional area" in the vicinity of the cores.

Key words: space syntax; kernel density estimation; road structure; commercial agglomeration; spatial correlation; Wuhan City