

城市道路与公共交通网络中心性 对住宅租赁价格的影响研究 ——以北京市为例

杜超¹, 王姣娥^{2,3*}, 刘斌全¹, 黄鼎曦¹

(1. 广东省城乡规划设计研究院, 广州 510290; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:住房市场化与较高住房需求带来住房价格的迅速提升,进而引发住房可负担性下降等问题,租赁住房逐步成为居民的另一主要择居方式。城市交通作为重要因素之一,对住宅租赁价格的影响仍需深入探讨。论文以北京市为例,运用交通网络中心性指标,研究道路网络及公共交通网络对住宅租赁价格影响的空间差异。结果表明:①以出行时间为基础构建交通网络,公交网络总体拟合程度高于道路网络;公交网络中邻近中心性即相对可达性拟合程度最高,而道路网络中介中心性即中转功能拟合程度最高;②城市中心-城市中部-城市外围的环状结构中,中心性影响程度存在空间差异,道路邻近中心性及公交各类中心性对城市中心及中部具有重要影响,城市外围主要受道路邻近中心性及介中心性影响;③基于拟合程度最高的公交网络邻近中心性的影响模式分析,综合交通枢纽、轨道交通换乘站点、轨道交通站点、重要地面公交站点等在城市中心及中部对租赁价格影响较高,而城市外围仅轨道交通站点及换乘站点影响较高;④道路设施网络与公交组织网络结构特性导向下的驱动力差异、交通网络各功能空间效应的区位指向、城市不同空间重要基础设施建设的外部效应差异促进了道路与公交网络中心性对租赁价格影响的空间分异。

关键词:交通网络;租赁价格;空间格局;影响模式;北京

近年来,在住房政策向租购并举制度转型的背景下,住宅租赁逐步成为解决居住问题的关键途径。“租售同权”强调了租赁住房的重要性,政策的推动将在一定程度上增加住房租赁的需求,住宅价格的研究有助于推动租赁政策的实施。

住宅价格影响因素的研究多采用供需视角下的特征价格模型,以建筑因素、邻里因素、区位因素等进行评价(王洋等, 2014),交通条件是住宅价格影响研究中区位因素的重要组成部分,分别产生时间和空间上的影响。在时间上,由于交通基础设施的

建设和优化产生的空间效应较为持久,轨道交通站点的建设、道路的建设与升级及综合交通枢纽的建设等通过改善区域的交通条件,提升周边住宅价格(Enstrom et al, 2008; 石忆邵等, 2009; 蔡媛媛等, 2018)。交通基础设施配置的差异带来了区域不均衡的发展,导致住宅价格的空间分异,交通基础设施的提升推动了住宅价格的扩散效应(Tsai, 2018)。

在空间上,城市公交特别是轨道交通为研究重点,导致了住宅价格空间分异的复杂化。轨道交通的区位及数量决定了住宅价格,距离轨道交通站点

收稿日期:2018-12-21;修订日期:2019-05-28。

基金项目:国家自然科学基金项目(41722103);住房和城乡建设部科技计划项目(2018-R4-004)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41722103; Technology Project of the Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China, No. 2018-R4-004.]

第一作者简介:杜超(1989—),女,吉林长春人,城市规划师,研究方向为交通运输地理与城市规划。

E-mail: alinato.bj@hotmail.com

*通信作者简介:王姣娥(1981—),女,湖南涟源人,研究员,研究方向为交通运输地理与区域发展。E-mail: wangjie@igsrr.ac.cn

引用格式:杜超,王姣娥,刘斌全,等. 2019. 城市道路与公共交通网络中心性对住宅租赁价格的影响研究:以北京市为例[J]. 地理科学进展, 38(12): 1831-1842. [Du C, Wang J E, Liu B Q, et al. 2019. Impacts of street and public transport network centralities on housing rent: A case study of Beijing. Progress in Geography, 38(12): 1831-1842.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.12.001

越远,住宅价格越低(王慧敏等, 2006; 冯艳芬等, 2011);周边地铁站点、公交站点越多,住宅价格越高(卢茜等, 2010; 江永等, 2007)。轨道交通的服务频率影响住宅价格,轨道交通服务频率越高,住宅价格越高(Debrezion et al, 2011)。基于不同的城市区位,轨道交通站点对价格的影响存在差异。城市郊区的轨道交通站点对住宅价格的影响在幅度和范围上均超过城市中心区(谷一桢等, 2010; 聂冲等, 2010; 何丹等, 2014)。可达性要素对居住区位的选择具有重要影响,尤其是中低收入家庭,择居行为通常建立在住房价格与通勤成本的权衡上,住宅可达性的提升将增加居住吸引力(刁晶晶等, 2018)。轨道交通空间可达性的提升影响住宅价格,但随着价格增长,可达性的影响逐步减弱,存在边际效应(潘海啸等, 2016)。部分研究认为交通对价格有负向影响,交通拥堵等导致住宅价格一定程度下降(冯长春等, 2011; Xiao et al, 2015)。在交通因素研究的方法应用上,学者多数采用最短距离、缓冲区分析等以局部视角为分析尺度的指标。随着城市快速发展,交通网络复杂性从系统复杂程度、组织与效率等层面改变了城市地块的可达性和便捷性,节省的交通费用及时间反映在住宅价格中。城市交通评价逐步由单一指标转向网络指标,特定区位在综合网络中的交通地位可更精准地反映空间效应,其中,网络中心性指标从交通的各方面功能全面解释了区位的交通特征(莫辉辉等, 2008)。在城市尺度,交通网络中心性与土地利用密度(Wang et al, 2011)、不同类型经济活动(Porta et al, 2012)等存在相关性,评价结果可应用于社区规划、住宅小区规划、城市土地利用研究等(Wang et al, 2014; 陈晨等, 2013)。

现有研究集中探讨住宅出售价格的交通影响,较少涉及租赁价格的空间格局及成因。交通条件通过影响居住效用及居民的支付意愿而决定租赁价格,对其深入研究仍具有重要意义。工作地可达性影响租赁价格,且与交通方式和租赁层级相关;对中低收入群体工作地可达性呈现正影响,而对于高收入群体呈现负影响(苏亚艺等, 2014; Lin et al, 2016)。基于交通影响的租赁价格研究是建立租赁市场合理定价机制的关键性基础,且相关政策的可实施性较强。因此,本文以北京市为例,深入分析和评价网络化交通对租赁价格的影响,细化不同交通方式及其空间特性,探讨交通网络促进租赁价格

空间分异的机制,为城市交通及其带来的空间效应研究提供新视角。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

本文道路网络数据来源于2013年北京市各等级道路,包括国道、城市快速路、主干道、次干道、城市主干路、市道、支路、城市次干路、县道及城市支路。公共交通网络数据来源于2013年轨道交通及地面公交站点及线路数据,其中,轨道交通为2013年12月以前开通运行的线路及站点。租赁价格影响因素研究数据来源于高德地图POI数据,包括医院、商场、公园绿地、餐饮服务、公司企业。

北京市一直是住房政策实施的先行地,其租赁市场稳步发展并具有一定典型性。本文以住宅小区为基本研究单元,对住宅小区界定的基本原则是相同物业管理单位。住宅租赁价格数据采用“搜房网”(http://bj.fang.com/)房地产交易网站2013年12月北京市六环路以内住宅小区的挂牌价格。数据选取两居室房源,以统一房屋分类,消除合租的特殊租赁方式对价格的影响,计算得出租赁单价,并以每一个研究单元计算得出平均租赁单价。将住宅小区作为研究单元在图层中以点属性表示,共计2258个研究对象。

北京市住宅租赁价格空间差异较大,平均价格为55.96元/(m²·月),最高为222.81元/(m²·月),主要分布于40~60及60~100元/(m²·月)区间(图1)。租赁单价基本呈现与北京市城市空间结构相匹配的圈层结构。租赁单价较高的区域主要包括中关村地区、亚奥地区、东直门—三元桥枢纽、燕莎使馆区及三里屯—朝阳公园地区;顺义区部分区域总体居住环境较好,因此价格较高。

1.2 研究方法

1.2.1 中心性测度

道路设施网络与公交组织网络基于不同模式反映其连接能力,其中,道路设施网络反映设施布局的合理性,而公交组织网络反映线路及站点的编排和服务频率的设定。因此对二者分别采用不同的指标评价,道路设施网络以邻近中心性、介中心性和直达中心性3个指标分别评价道路网络的相对可达性、中转功能及直接到达的便利程度(Porta et al, 2006);公交组织网络以度中心性、邻近中心性和

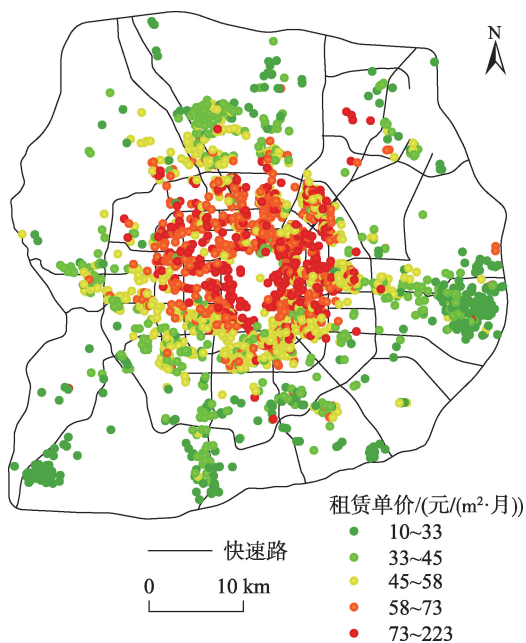


图1 住宅小区租赁单价空间格局

Fig.1 Spatial distribution of housing rent for communities

介中心性分别评价公交网络的直接可达性、相对可达性及中转功能。道路网络的分析及可视化采用城市空间网络分析技术(Urban Network Analysis Toolbox, UNA)^①。

中心性指标测度方法如下:

(1) 度中心性

度中心性可以直观反映该节点与网络中其他节点发生直接联系的可能性大小。节点的度中心性(C^d)值越大,则与其他节点联系的可能性越大。公式为:

$$C^d = \frac{1}{n-1} k_i \quad (1)$$

式中: n 表示网络中所有节点的数量, k_i 是与节点 i 有直接联系的节点总数。

(2) 邻近中心性

邻近中心性(C^c)反映节点在网络中与其他所有节点的邻近程度,用给定节点到所有节点的最短距离和的倒数衡量,即节点在网络中的相对可达性大小。公式为:

$$C^c = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} \right)^{-1} \quad (2)$$

式中: d_{ij} 是节点 i 到节点 j 的最短距离。

(3) 介中心性

介中心性(C^b)反映节点在网络中的中转和衔接功能,用所有节点间的最短路径经过给定节点的次数和衡量。公式为:

$$C^b = \frac{2}{n^2 - 3n + 2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq k}^n \frac{\delta_{ij}^k}{\delta_{ij}} \quad (3)$$

式中: δ_{ij} 表示节点 i 到节点 j 最短路径的总数, δ_{ij}^k 是这些最短路径需要经过节点 k 的数量。

(4) 直达中心性

直达中心性(C^s)衡量2个节点间最短路径与直线路径(欧氏距离)的偏离程度,偏离程度越小,直达性越好,交通效率越高。如果某节点能够以最短的直线路径到达网络内任一节点,那么该节点直达性最佳,交通效率也最高。公式为:

$$C^s = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{d_{ij}^{\text{Eucl}}}{d_{ij}} \quad (4)$$

式中: d_{ij}^{Eucl} 为节点 i 与节点 j 之间的欧氏距离。直达中心性即某一节点可以从其他节点直接到达的可能性,可直观反映节点在网络中的连接效率(Conroy-Dalton, 2003)。

将计算所得各网络中心性分别赋值于住宅小区,以此对住宅小区的交通网络中心性进行评价。赋值原则如下:① 搜索每一个住宅小区周围1000 m范围内的道路节点及500 m范围内的公交站点;② 基于每一个住宅小区分别计算其1000 m范围内道路节点及500 m范围内公交站点各类中心性平均值分别为该住宅小区的道路网络中心性及公交网络中心性。

1.2.2 网络构建

基于道路交通构建拓扑网络,按不同等级道路设置不同的设计速度,并计算通行时间作为网络阻抗,将时间成本纳入网络中心性的计算中,生成道路网络^②。网络节点为所有的道路交叉点,每2个节点连接的道路为网络中的边,共计网络节点12087个、边19961条。道路网络邻近中心性呈现明显的圈层结构;由于路网的构建考虑了道路设计时速,介中心性高值点分布与快速路、高等级道路布局相匹配;直达中心性较高的区域分布于环路与快速路沿线(图2)。

基于地面公共交通站点及线路和轨道交通站点及线路构建单一网络,由于地面公共交通与轨道交通速度存在较大差异,在构建单一网络中对其分

① 资料来源: <http://cityform.mit.edu/projects/urban-network-analysis.html>。

② 设计时速参考文献 Cheng等(2012)。

别赋予不同的权重。基于高德地图(<http://ditu.amap.com/>)2013年12月28日数据,依据北京市已开通的17条轨道交通线路起点站—终点站平峰时段的运行时间及与其相同站点的地面公交线路的运行时间,分别计算得出平均速度,以轨道交通与地面公交速度的比值作为权重(图3)。经整合后,研究区轨道交通及地面公交站点为网络节点,共计5213个,其中轨道交通站点224个;实际公交及轨道交通线路为网络中的边。高度中心性站点空间分布与轨道交通网络高度匹配;邻近中心性较高站点主要集中于城市东北部;介中心性高值点多分布于轨道交通沿线(图4)。

1.2.3 影响程度评价

地理加权回归模型(geographical weighted regression, GWR)是一种改进的空间线性回归模型,依据传统的线性回归而建立,扩展了变量间的相关性分析,将地理位置考虑到模型中,进行空间异质性的分析并可视化(Fotheringham et al, 2002)。GWR实现了属性系数估计空间模式的分析(孙倩等, 2015),通过引入数据的空间地理位置信息,侧重对局部而不是全局进行参数估计,即将空间权重矩阵应用到线性回归模型中,形成的结果更为直观(尹上岗等, 2018)。

运用地理加权回归模型探讨交通网络中心性对住宅租赁价格的影响程度,使得住宅价格影响因素的分析形成空间化表达。由于研究区内住宅小区节点要素空间分布不均,本文在模型评价中选取调整型、带宽AICc的方法进行估计,分别对道路网络和公共交通网络各中心性对租赁价格的影响进行回归,得到并比较总体拟合程度及回归系数。

地理加权回归模型公式为:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \xi_i \quad (5)$$

式中: y_i 表示住宅小区*i*的住宅租赁价格; x_{ik} 为*i*的解释变量; $\beta_0(u_i, v_i)$ 为*i*的参数; $\beta_k(u_i, v_i)$ 为解释变量*k*在*i*的局部回归系数; ξ_i 为*i*的偶然误差。

回归系数的计算矩阵为:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (X^T W(u_i, v_i) X)^{-1} X^T W(u_i, v_i) y \quad (6)$$

式中: X 为矩阵的解释变量; y 为单一变量的向量; $\hat{\beta}(u_i, v_i)$ 为*n*+1局部回归系数的向量; $W(u_i, v_i)$ 是地理加权观测值的判断矩阵。

$$W_{ij} = \exp[-(d_{ij}^2/b)^2] \quad (7)$$

式中: W_{ij} 为观测点*j*在*i*观测范围的权重; d_{ij} 为观测点*i*和*j*的距离; b 为带宽。

2 交通网络中心性空间格局

2.1 道路网络

住宅小区邻近中心性分布呈现明显的圈层结构,由城市中心向外围递减,同时呈现“东高西低、北高南低”的格局(图5)。前20位小区均分布在城市北部二环与三环之间,其中,中景濠庭、安德馨居和巷上嘉园居前3位,分别位于鼓楼大街、德胜门附近。介中心性高值区沿主要快速路分布,西部高值点多于东部,其中京藏高速沿线集中了较多高介中心性住宅。前20位小区集中于鼓楼大街—积水潭及西直门地区,其中前3位志新村小区、月季园、苇子坑住宅区均分布在京藏高速沿线和三环与四环之间区域。直达中心性前20位小区均靠近城市快速路或国道沿线。

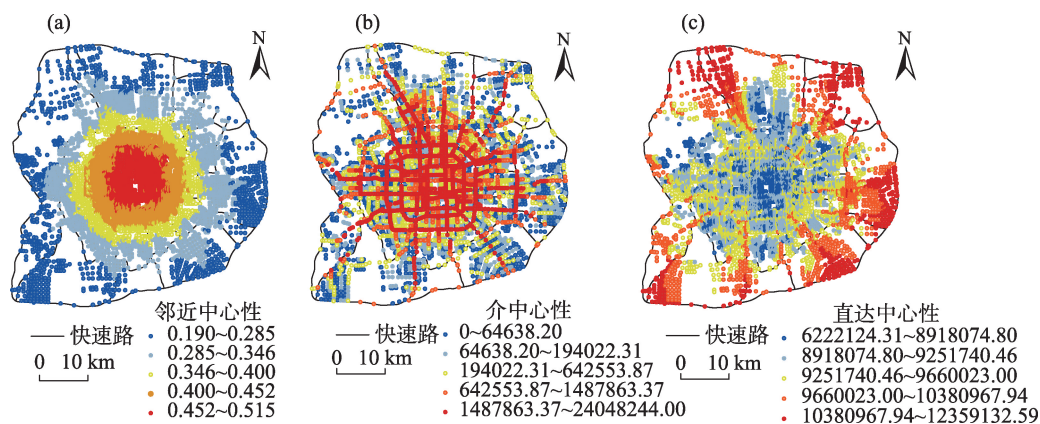


图2 道路网络中心性空间格局

Fig.2 Spatial distribution of street network centrality

2.2 公交网络

住宅小区度中心性高值区集中在城市中心,但少数中心区度中心性仍然较低,主要由于其未覆盖轨道交通导致仅依靠地面公共交通而在整体网络

中的地位不高(图6)。前20位小区空间上主要集中在东北部及中部、三元桥、安贞桥等地区,如安贞苑;西三旗部分小区也具有较高的度中心性,如永泰园、清景园等位列前5位。邻近中心性城市中心较高而外围较低,但通州、房山及大兴等由于轨道交通的便利而呈现少数小区邻近中心性较高的特征。高值区主要位于东北部,东直门—三元桥及朝阳公园地区。前20位小区全部位于东三环与东四环,如泛海国际居住区、嘉和丽园等。介中心性高值区分布较为分散,东直门有较明显优势,前20位小区有一半位于东直门,如和平街十五区、海晟名苑等。城市外围存在介中心性较高的小区,主要位于上地—西三旗、回龙观等,由于该区域依托3条轨道交通线路连接城市中心和外围,同时有专线公共汽车经过。

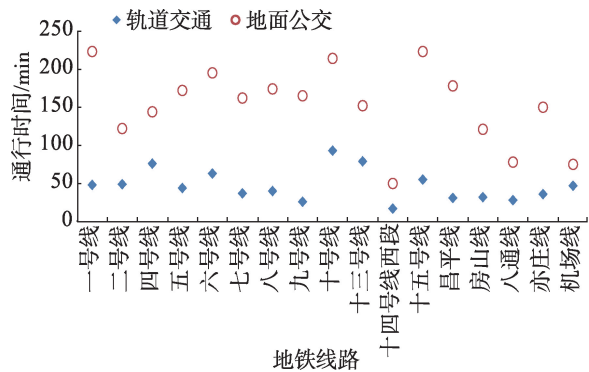


图3 地铁与地面公共交通的旅行时间
Fig.3 Travel time of subway and ground public transport

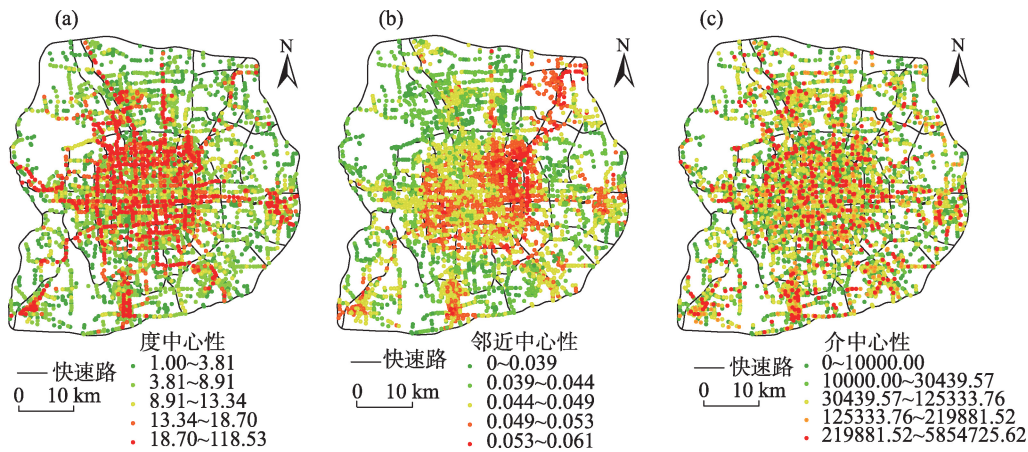


图4 公共交通网络中心性空间格局
Fig.4 Spatial distribution of public transport network centrality

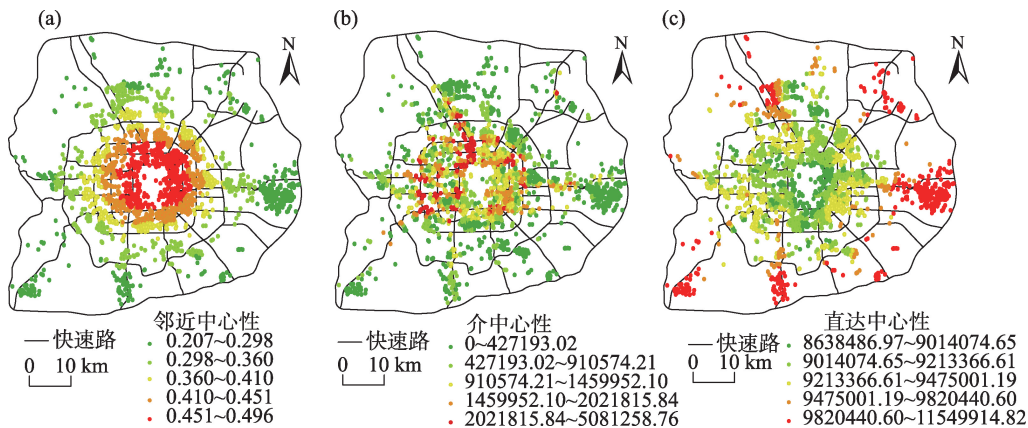


图5 住宅小区道路网络中心性空间格局
Fig.5 Spatial distribution of street network centrality for communities

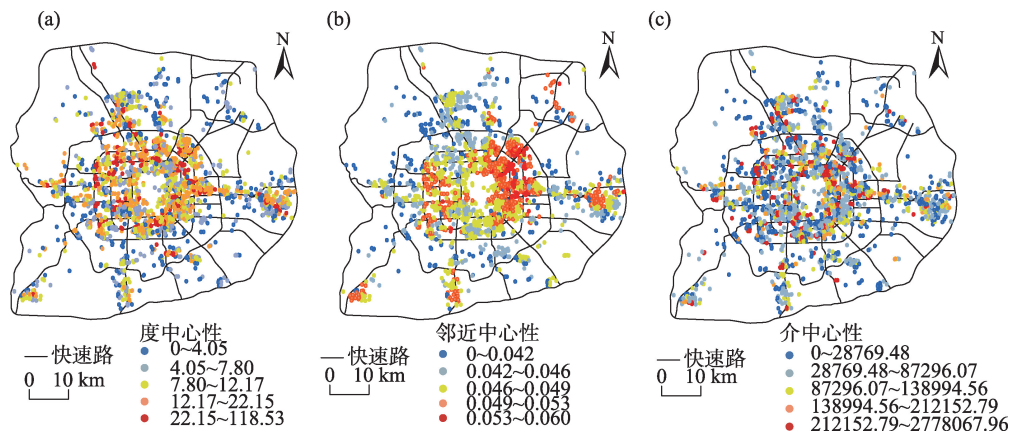


图6 住宅小区公共交通网络中心性空间格局

Fig.6 Spatial distribution of public transport network centrality for communities

3 交通网络中心性对租赁价格的影响程度

3.1 统计特征
3.1.1 总体统计特征

地理加权回归模型中选取以下指标作为解释变量:① 建筑因素,采用房屋面积表征;② 区位因素,采用与最近企业距离、与最近医院距离、与最近公园绿地距离、与最近商场距离、与最近餐饮服务距离表征;③ 交通网络中心性,采用道路网络中心性、公交网络中心性等指标表征。在GWR模型中,每个研究单元对应一个回归系数,结果表明(表1):① 对比模型1及模型2,公交网络中心性拟合程度总体大于道路网络;② 模型3至模型11将道路网络

与公交网络各中心性进行组合分析,模型6即“道路介中心性+公交邻近中心性”为9类模型中的拟合最高值,其次为“道路介中心性+公交度中心性”,即道路中转功能与公交相对可达性对租赁价格拟合程度最高,其次为道路中转功能与公交直接可达性。相对可达性在与租赁价格的拟合程度上优于直接可达性,进一步表明了全局网络视角的评估优于局部视角,同时,最短时间的衡量优于仅仅考虑站点线路连接多少的衡量。

选取各网络中心性作为单一指标加入回归模型,结论表明(表2):① 公交网络各中心性拟合程度均高于道路网络;② 公交网络邻近中心性拟合程度最高(0.655),其次为介中心性及度中心性,即仅考虑公交单一交通方式时,其相对可达性与价格拟合

表1 基于交通网络中心性指标选取的GWR模型比较

Tab.1 Comparison of street and public transport network centrality indices in geographical weighted regression (GWR)

变量	回归估计结果										
	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7	模型8	模型9	模型10	模型11
房屋面积	0.029	-0.078	0.022	0.021	0.021	-0.079	-0.072	-0.076	-0.067	-0.063	-0.066
与最近企业距离	-0.248	-8.813	0.837	1.474	1.668	-10.386	-8.222	-8.343	-10.893	-9.337	-9.496
与最近医院距离	1.075	0.664	1.411	1.191	1.357	1.042	0.754	1.007	0.854	0.673	0.808
与最近公园绿地距离	-2.037	-3.597	-1.588	-1.642	-1.632	-3.938	-3.950	-3.952	-4.576	-4.621	-4.591
与最近商场距离	-2.668	-3.332	-2.692	-2.649	-2.860	-3.410	-3.327	-3.507	-3.226	-3.114	-3.237
与最近餐饮服务距离	11.419	12.669	12.834	11.627	12.094	13.650	11.693	11.624	12.008	9.978	10.242
道路网络邻近中心性	12.840	—	13.972	13.908	14.197	—	—	—	—	—	—
道路网络介中心性	-0.480	—	—	—	—	-0.095	0.004	-0.004	—	—	—
道路网络直达中心性	-5.326	—	—	—	—	—	—	—	-7.400	-7.349	-7.440
公交网络邻近中心性	—	1.676	0.828	—	—	1.608	—	—	1.469	—	—
公交网络介中心性	—	-0.039	—	0.692	—	—	0.074	—	—	-0.036	—
公交网络度中心性	—	-0.363	—	—	0.480	—	—	0.238	—	—	0.344
R ²	0.555	0.661	0.558	0.558	0.559	0.655	0.649	0.652	0.638	0.634	0.635

表 2 基于 GWR 模型的道路网络与公交网络中心性拟合程度比较

Tab.2 Comparison of street and public transport network impacts on housing rent by geographical weighted regression (GWR)

变量	邻近中心性		介中心性		公交网络	道路网络
	道路网络	公交网络	道路网络	公交网络	度中心性	直达中心性
房屋面积	0.021	-7.892	-0.077	-0.084	-0.079	-0.065
与最近企业距离	1.020	-7.892	-9.267	-9.829	-7.834	-9.868
与最近医院距离	1.257	0.639	1.005	0.863	0.768	0.759
与最近公园绿地距离	-1.726	-3.743	-3.943	-3.606	-3.733	-4.667
与最近商场距离	-2.812	-3.309	-3.454	-3.490	-3.583	-3.251
与最近餐饮服务距离	12.252	12.537	12.452	14.597	12.404	10.733
交通单一变量	14.002	0.027	0.048	1.689	0.136	-7.159
R ²	0.555	0.655	0.646	0.648	0.647	0.629

程度最大;③道路网络最高值为介中心性(0.646),即中转功能拟合程度最大,其次为直达中心性及邻近中心性。基于设施网络与组织网络的不同特性,中转功能与出行的便捷性分别在设施网络及组织网络中起到最大影响。

3.1.2 分类统计规律

根据 GWR 的回归系数将城市交通网络对住宅租赁价格的作用强度划分为 6 个类型:高度正影响(>1.00)、中度正影响(0.50~1.00)、低度正影响(0~0.50),低度负影响(-0.50~0)、中度负影响(-1.00~-0.50),高度负影响(<-1.00)(表 3)。道路网络邻近中心性均为高度正影响;介中心性高度正影响小区为 760 个(33.66%);直达中心性高度正影响的小区有 594 个(26.31%)。公交网络邻近中心性高度正影响的有 917 个(40.61%)住宅小区;介中心性高度正影响的有 789 个(34.94%)小区;度中心性高度正影响小区有 725 个(32.11%)。

3.2 空间特征

高度正影响区体现了租赁住宅对交通的高需求(图 7)。对于道路网络,邻近中心性均为高度正影

响区,高值区呈现组团分布于城市中心南三环内,主要区域为复兴门—金融街、建国门、CBD 等。道路邻近中心性无负影响区,表明道路网络节点的相对可达性的提升在六环范围内均带来租赁价格的上涨。道路邻近中心性为道路节点与其他所有节点的连接程度,在“点对点”模式下,以小汽车为主要方式的居住者至所有出行目的地的便捷程度对价格产生正向影响。道路介中心性高度正影响区在城市中心主要分布在东直门—三元桥地区、天通苑及城市东南部三环内,城市外围主要集中在通州区、房山区等。东直门—三元桥为综合交通枢纽,天通苑为大型居住区,当提升道路中转功能时以上区域租赁价格上升,表明居住功能的密集区对于道路中转功能的需求较高。道路直达中心性高度正影响区主要分布于城市中心二环至三环之间东北部,城市外围主要分布于通州区。

对于公交网络,邻近中心性高度正影响区分布在城市中心及城市中部,主要集中于五环内东北部、四环内西南部及四环与六环之间的西北部。公交介中心性高度正影响区主要集中于东直门—三元桥地区、城市西部及通州区。通州基于八通线显

表 3 交通网络中心性对租赁价格影响程度类别

Tab.3 Classification of the results by geographical weighted regression (GWR)

	道路网络			公共交通网络		
	邻近中心性	介中心性	直达中心性	度中心性	邻近中心性	介中心性
高度正影响(>1.00)	2258	760	594	725	917	789
中度正影响(0.50~1.00)	0	147	34	208	171	201
低度正影响(0~0.50)	0	125	58	219	220	286
低度负影响(-0.50~0)	0	166	118	159	253	202
中度负影响(-1.00~-0.50)	0	150	54	190	208	167
高度负影响(<-1.00)	0	910	1400	757	489	613
合计	2258	2258	2258	2258	2258	2258

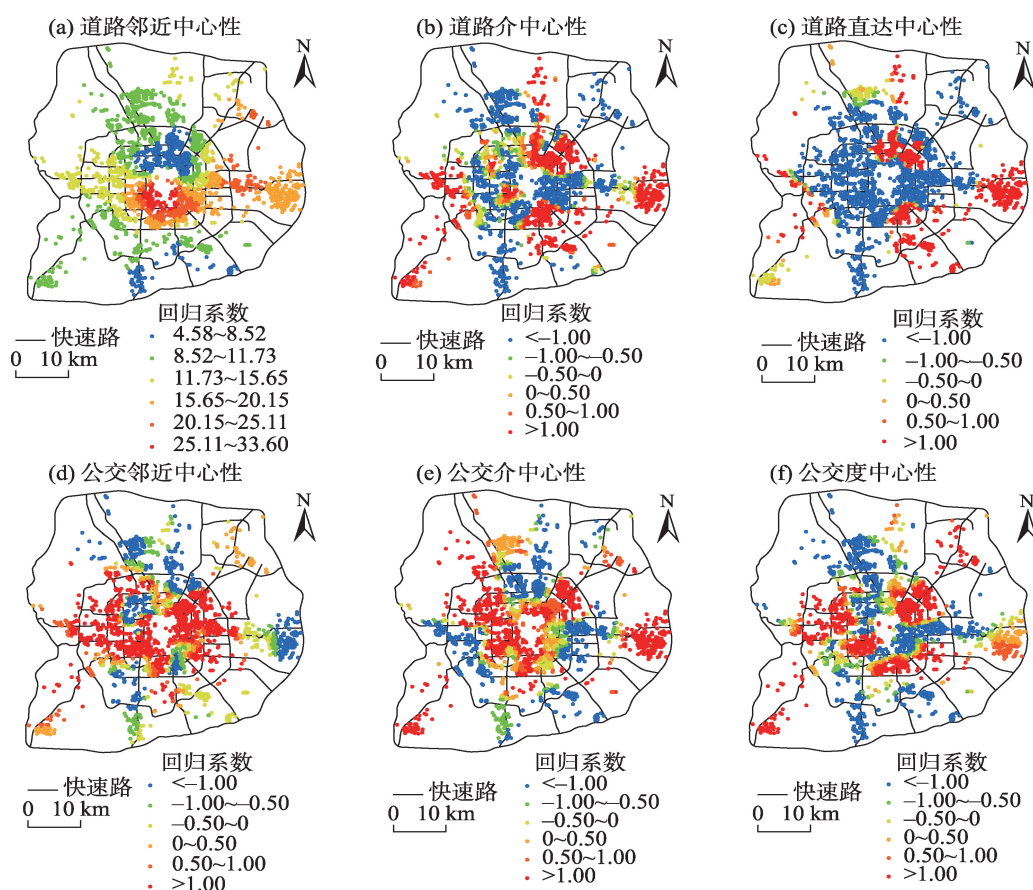


图7 道路及公共交通网络影响住宅小区租赁价格的回归系数空间格局

Fig.7 Comparison of street and public transport network centrality impacts on housing rent

著提升了其到城市中心的通行效率,轨道交通推动住宅对租赁群体吸引力的提升。公交度中心性反映了站点经过的线路总数,高度正影响区多邻近综合交通枢纽,分布于北京西站、东直门—三元桥、西北部四环至六环之间。北京西站与东直门—三元桥地区集中了较多轨道交通线路、快速公交线路等,形成了轨道交通及地面公共交通的多层覆盖,提供更加便捷的换乘条件,随着公交线路的增加,表现为租赁价格上升。

高度负影响区反映以下2种趋势:其一,交通网络中心性增加,租赁价格下降;其二,交通网络中心性下降,租赁价格上升。道路网络与公交网络存在互补影响,同时各中心性间也存在互补影响,每一住宅小区存在一个或多个中心性为主要影响租赁价格的指标,而其他指标可能显示为负值。针对每一住宅小区,在主要影响的中心性指标下降时,租赁价格下降,但其余非主要影响的中心性指标可能出现上升的情况,表现负影响。如中关村为公交介中心性高度正影响区,但道路直达中心性为高度负

影响,表明中关村的租赁群体主要依赖公共交通的中转功能,而对道路的需求较低;三元桥地区与各中心性均呈现正影响,体现了租赁对各种交通方式及功能的重要需求。

4 影响模式与机制

4.1 影响模式

4.1.1 不同交通方式

对比不同交通方式的影响程度,基于环路分布,计算各环路范围内所有住宅小区回归系数的平均值(表4)。基于邻近中心性,道路网络全部范围为正影响,而公交网络五环以内的4个环路范围为正影响。道路邻近中心性总体影响程度在城市中心—城市中部—城市外围呈先下降后上升的趋势,二环以内为最高值(23.207);其次为二环至五环3个分区,分别为14.552、13.689、11.717;五环至六环高于四环与五环之间,为13.557。公交网络中,邻近中心性总体影响程度在城市中心—城市中部—城市

表4 基于环路的不同交通方式各中心性对租赁价格影响程度比较

Tab.4 Impacts of street and public transport network centralities on housing rent for different ring road divisions							
区位	环路	邻近中心性		介中心性		直达中心性	度中心性
		道路	公交	道路	公交	道路	公交
城市中心	二环内	23.207	7.280	-2.500	1.391	-27.193	0.307
	二环与三环之间	14.552	3.446	-0.420	1.352	-11.814	0.367
城市中部	三环与四环之间	13.689	1.810	0.123	0.239	-6.437	0.809
	四环与五环之间	11.717	1.558	0.992	-1.385	-6.921	0.217
城市外围	五环与六环之间	13.557	-0.444	0.145	-0.194	-1.108	-0.570

外围呈逐步递减趋势,二环以内为最高值(7.280),远高于二环至三环之间(3.446)。基于介中心性,道路网络回归系数先上升后下降,城市中部与城市外围为正影响,最高值为四环与五环之间(0.992)。公交网络城市中心至城市中部正影响逐步降低,二环内为最高值(1.391)。公交度中心性先上升后下降,在城市中部三环与四环之间出现1个峰值(0.809),五环内4个环路分区均为正影响。

基于城市空间结构的道路及公交网络影响对比,城市中心二环内及二环与三环之间2个分区中,公交各中心性均为正影响,影响程度总体上优于道路网络,表明城市中心区域租赁群体对于公共交通的需求较强,公共交通的增加往往会带动租赁价格的上涨。城市中部三环与四环之间,5类中心性影响均为正值,仅道路直达中心性影响为负值,表明该区域租赁群体对于2种交通方式的需求均较高。四环与五环之间,道路网络总体影响优于公交网络,道路邻近中心性、公交邻近中心性、道路介中心性、公交度中心性影响为正。城市外围五环与六环之间,道路网络总体影响优于公交网络,道路邻近中心性与介中心性影响为正,表明城市外围的区域对道路特别是快速路的依赖性较高。

4.1.2 重要节点

基于上文分析,北京市交通网络中各中心性指标与住宅租赁价格拟合程度最高的为公交网络邻近中心性。因此,以公交网络邻近中心性为例,探讨其对住宅租赁价格的影响模式(图8)。传统城市地租理论考虑了与城市中心的距离对城市地租的影响,随着交通方式、时间成本越来越成为出行考虑的因素,交通功能表现出复杂的差异化影响,从而改变住宅的吸引力。租赁价格表现为不再呈现单一随距离增加递减的模式,而在某些特定的交通节点形成波峰,但整体趋势仍呈随距离增加递减的规律。

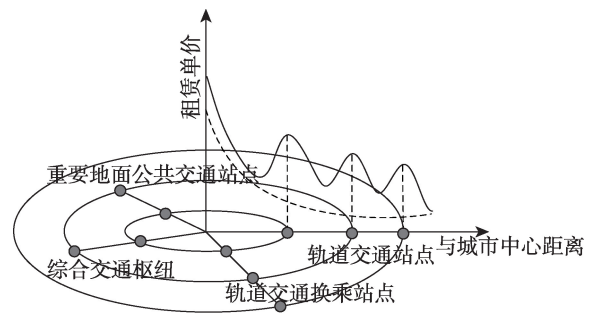


图8 公交网络邻近中心性影响下的城市住宅租赁价格示意图

Fig.8 A model of housing rent influenced by public transport network closeness

基于与城市中心距离及租赁单价的影响模式显示(图8),随距离增加,租赁价格总体趋势呈现下降,但出现3个波峰,各租赁价格波峰出现的影响因素基于公交网络邻近中心性呈现以下特征:距城市中心最近的波峰主要受轨道交通站点、轨道交通换乘站点、重要地面公交站点影响,同时少数住宅位于综合交通枢纽附近;第二个波峰同样受以上4个因素的影响;而城市最外围的租赁价格波峰主要受轨道交通站点及轨道交通换乘站点的影响,通常位于轨道交通站点或换乘站点附近的住宅小区便捷性较好,租赁价格相对较高。

4.2 影响机制

4.2.1 道路设施网络与公交组织网络驱动力差异

城市路网作为城市基础设施建设的重要组成部分,其投资建设在规划阶段需要作出多方案比较,对添加路段的区位整体影响进行评估,选取最优方案(王法辉等, 2014)。城市公交作为组织网络,其组织优化体现城市交通的运行效率及服务水平,尤其是轨道交通线路及站点的增加影响范围不仅仅是周边区域,更是整体公交网络结构,依据中心性的识别可为公共交通系统核心站点的规划设计提供基础。

道路介中心性与公交邻近中心性分别为两类网络中对租赁价格影响最高的指标,网络结构特性的差异决定了网络节点的空间效应。道路设施网络影响小汽车出行的群体,区域内租赁住房的价格变化倾向于受其所在区位交通中转功能强弱变化影响。中转功能较强的区位通常是便捷性较强的区位,同时是交通流量较大的区位。在以通行时间为基础的道路网络分析中,最短距离路径转换为最短时间路径,强调了小汽车出行的“点对点”效率对租赁价格的首要影响。

公交网络作为组织网络,其线网的设计和规划影响网络总体运行效率,各线路、站点、班次、速度、客流量等均经过有效编排。因此,组织网络中不仅要关注站点、线路等设施的增加,更需要关注频次、速度等改变所产生的空间效应。公交邻近中心性衡量了站点与网络中所有其他站点的直接关联程度,优于既有对于住宅价格研究中仅考虑周边交通的局限。公交站点在全网络中的中心程度影响租赁群体出行的便捷性,进而影响住宅价格。

4.2.2 交通网络各功能空间效应的区位指向

高度正影响显示了住宅小区对于交通的高需求。一方面,租赁价格已经较高的区域,租赁市场通常较大,需求较高,对交通有持续的需求,中心性的提升仍推动租赁价格的上涨。在该区域,可同时考虑租赁住宅和交通基础设施的投放,以达到租赁市场与交通需求的平衡。另一方面,租赁价格较低的区域,交通的补充对其区位条件的影响较为明显,可在该区域以投放交通基础设施为主,满足居民交通需求。

基于6类中心性的不同功能及空间效应分析,部分区域受多个指标正影响,表明区域对于交通不同功能的需求均较高;受单一指标正影响的区域表明仅对某一交通功能需求较高,应考虑针对这一交通功能提升的相关规划策略。邻近中心性反映区位在总网络中与其他所有站点的连接程度,即相对可达性。邻近中心性越高表明站点的中心程度越高,其对城市多数区域租赁价格的解释性均较强。介中心性的解释性在道路与公交中具有一定互补效应,道路介中心性主要影响城市中部及城市外围,而公交介中心性主要影响城市中心,相关政策可考虑在城市中心培育公交枢纽、换乘车站,而在城市外围培育道路枢纽等。公交度中心性反映站点的直接可达性,其影响的变化依托区域本身公交线网密度,城市中心线网密度较高,直接可

达性的提升对周边产生的扩散效应更大,表现为对城市中心和中部影响较高。

4.2.3 城市不同空间重要基础设施建设的外部效应差异

城市道路线路的规划、轨道交通站点的建设、换乘站点的选取与优化对交通网络中心性各功能有重要影响,在城市不同区域的空间效应存在差异,因此需要进行具有针对性的基础设施规划。交通促进价格提升的区域反映了对于交通较大的需求,可考虑在城市中心与城市中部培育公交枢纽、优化轨道交通换乘站点等;在城市外围则关注轨道交通站点的设置。

5 结论

城市交通网络中心性更精细化衡量交通区位,是指导城市道路、城市公交线网合理规划的重要基础,交通线网的规划影响住宅区位特性的改变,进而影响租赁价格。本文基于道路相交节点、轨道交通站点、地面公交站点,建立道路交通及公共交通的出行时间网络,以直接可达性、相对可达性、中转衔接功能、可直接到达程度等评价指标,分析了交通网络对住宅租赁价格的影响。主要结论为:

(1) 以时间为基础的城市交通网络突出了城市快速路及轨道交通的重要作用,邻近城市快速路和轨道交通站点的区域通常网络中心程度更高。总体上,公交网络与租赁价格的拟合程度高于道路网络。公交网络邻近中心性拟合程度最高,其次为介中心性及度中心性;道路网络介中心性拟合程度最高,其次为直达中心性及邻近中心性。

(2) 不同交通方式、重要节点对租赁价格的影响模式存在空间差异。城市中心租赁价格受道路相对可达性及公交的综合交通功能等影响;城市中部受道路相对可达性、中转功能及公交综合交通功能影响;城市外围主要依托道路网络,受道路相对可达性及中转功能影响。从城市中心至外围,租赁群体总体上由对交通综合优势的需求逐步转变为对道路网络的需求。

(3) 网络化城市交通使租赁价格随城市中心距离增加而递减,但存在3个峰值。综合交通枢纽、轨道交通换乘站点、轨道交通站点、重要地面公交站点等在城市中心及中部对租赁价格有重要影响,而城市外围仅为轨道交通站点及换乘站点。

(4) 道路设施网络与公交组织网络的影响驱动

力差异决定了影响程度的空间分异;交通网络各类中心性影响程度的评估反映了不同交通功能的空间效应,各功能效应具有一定的区位指向;重要基础设施的建设对城市不同区位交通功能的外部效应具有空间差异,因而应进行基础设施的针对性投放。本文以网络化视角,深入剖析了租赁住房在交通系统复杂性下的价格空间特征及差异,以期为交通规划与住房规划的协调提供建议。

参考文献(References)

- 蔡媛媛,郑琰琳,袁丰. 2018. 城市住宅价格国内外研究动态与未来展望 [J]. 地域研究与开发, 37(1): 46-53. [Cai Y Y, Zheng Y L, Yuan F. 2018. Research on urban housing price at home and abroad: Progress and prospects. *Areal Research and Development*, 37(1): 46-53.]
- 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. *Economic Geography*, 33(10): 40-47.]
- 刁晶晶,赵鹏军. 2018. 通勤成本对居民迁居意愿的影响: 基于北京市地铁调价引发的迁居需求研究 [J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 54(1): 107-118. [Diao J J, Zhao P J. 2018. The influence of commuting costs on moving intentions: Based on the subway pricing policy in Beijing City. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science)*, 54(1): 107-118.]
- 冯长春,李维瑄,赵蕃蕃. 2011. 轨道交通对其沿线商品住宅价格的影响分析: 以北京地铁5号线为例 [J]. 地理学报, 66(8): 1055-1062. [Feng C C, Li W X, Zhao F F. 2011. Influence of rail transit on nearby commodity housing prices: A case study of Beijing subway Line Five. *Acta Geographica Sinica*, 66(8): 1055-1062.]
- 冯艳芬,梁小斯,吴大放. 2011. 基于Hedonic模型的广州地铁1号沿线住宅价格分析 [J]. 广州大学学报(自然科学版), (8): 90-95. [Feng Y F, Liang X S, Wu D F. 2011. Study on housing price along the Guangzhou metro Line 1 based on Hedonic Price Model. *Journal of Guangzhou University (Natural Science Edition)*, (8): 90-95.]
- 谷一桢,郑思齐. 2010. 轨道交通对住宅价格和土地开发强度的影响: 以北京市13号线为例 [J]. 地理学报, 65(2): 213-223. [Gu Y Z, Zheng S Q. 2010. The impacts of rail transit on property values and land development intensity: The case of No.13 Line in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 65(2): 213-223.]
- 何丹,金凤君. 2014. 北京市住宅价格的影响因素和轨道交通效应 [J]. 地域研究与开发, 33(5): 59-64. [He D, Jin F J. 2014. Impact factors and rail transit effects of urban housing prices in Beijing. *Areal Research and Development*, 33(5): 59-64.]
- 江永,叶霞飞,王治. 2007. 上海轨道交通1号线对沿线房地产价格的影响范围研究 [J]. 城市轨道交通研究, (2): 28-31. [Jiang Y, Ye X F, Wang Z. 2007. Impact area of Shanghai Rail Transit Line 1 on development benefits. *Urban Mass Transit*, (2): 28-31.]
- 卢茜,林涛. 2010. 基于交通可达性的上海郊区新城房价研究 [J]. 上海师范大学学报(自然科学版), 39(4): 426-431. [Lu X, Lin T. 2010. Research on the housing price of Shanghai metro suburbs based on the highway accessibility. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences)*, 39(4): 426-431.]
- 莫辉辉,王姣娥,金凤君. 2008. 交通运输网络的复杂性研究 [J]. 地理科学进展, 27(6): 112-120. [Mo H H, Wang J E, Jin F J. 2008. Complexity perspectives on transportation network. *Progress in Geography*, 27(6): 112-120.]
- 聂冲,温海珍,樊晓锋. 2010. 城市轨道交通对房地产增值的时空效应 [J]. 地理研究, 29(5): 801-810. [Nie C, Wen H Z, Fan X F. 2010. The spatial and temporal effect on property value increment with the development of urban rapid rail transit: An empirical research. *Geographical Research*, 29(5): 801-810.]
- 潘海啸,魏川登,施澄. 2016. 轨道交通可达性对房价影响的差异性分析: 以上海市中心城区为例 [J]. 规划师, 32(S2): 203-214. [Pan H X, Wei C D, Shi C. 2016. Difference analysis of rail traffic accessibility effect housing price: Shanghai center city example. *Planners*, 32(S2): 203-214.]
- 石忆邵,郭惠宁. 2009. 上海南站对住宅价格影响的时空效应分析 [J]. 地理学报, 64(2): 167-176. [Shi Y S, Guo H N. 2009. Temporal-spatial impacts of the Shanghai South Railway Station on housing prices. *Acta Geographica Sinica*, 64(2): 167-176.]
- 苏亚艺,朱道林,耿槟. 2014. 北京市住宅租金空间结构及其影响因素 [J]. 经济地理, 34(4): 64-69. [Su Y Y, Zhu D L, Geng B. 2014. The spatial structure and affecting factors of the housing rental in Beijing. *Economic Geography*, 34(4): 64-69.]
- 孙倩,汤放华. 2015. 基于空间扩展模型和地理加权回归模型的城市住房价格空间分异比较 [J]. 地理研究, 34(7): 1343-1351. [Sun Q, Tang F H. 2015. The comparison of city housing price spatial variances based on spatial expansion and geographical weighted regression models. *Geographical Research*, 34(7): 1343-1351.]
- 王慧敏,张振国,林涛. 2006. 轨道交通影响下的上海市住宅空间分布特征研究 [J]. 现代城市研究, (7): 65-69. [Wang H M, Zhang Z G, Lin T. 2006. On the spatial distribution characters of residence in Shanghai influenced by the rail transportation. *Modern Urban Research*, (7): 65-69.]

- 王洋, 李强, 王少剑. 2014. 扬州市住宅价格空间分异的影响因素与驱动机制 [J]. 地理科学进展, 33(3): 375-388. [Wang Y, Li Q, Wang S J. 2014. Determinants and dynamics of spatial differentiation of housing price in Yangzhou. *Progress in Geography*, 33(3): 375-388.]
- 尹上岗, 宋伟轩, 马志飞, 等. 2018. 南京市住宅价格时空分异格局及其影响因素分析: 基于地理加权回归模型的实证研究 [J]. 人文地理, 33(3): 68-77. [Yin S G, Song W X, Ma Z F, et al. 2018. Spatial differentiation and influencing factors analysis of housing prices in Nanjing: Based on Geographically Weighted Regression model. *Human Geography*, 33(3): 68-77.]
- Cheng Y, Wang J, Rosenberg M. 2012. Spatial access to residential care resources in Beijing, China [J]. *International Journal of Health Geographics*, 11(1): 32. doi: 10.1186/1476-072X-11-32.
- Conroy-Dalton R. 2003. The secrete is to follow your nose: Route path selection and angularity [J]. *Environment and Behavior*, 35: 107-131.
- Debrezion G, Pels E, Rietveld P. 2011. The impact of rail transport on real estate prices: An empirical analysis of the Dutch housing market [J]. *Urban Studies*, 48(5): 997-1015.
- Enstrom R, Netzell O. 2008. Can space syntax help us in understanding the intraurban office rent pattern? Accessibility and rents in downtown Stockholm [J]. *Journal of Real Estate Finance & Economics*, 36(3): 289-305.
- Fotheringham A S, Brunsdon C, Charlton M. 2002. Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships [M]. Chichester, UK: Wiley.
- Lin J J, Cheng Y C. 2016. Access to jobs and apartment rents [J]. *Journal of Transport Geography*, 55: 121-128.
- Porta S, Crucitti P, Latora V. 2006. The network analysis of urban streets: A primal approach [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 33: 705-725.
- Porta S, Latora V, Wang F, et al. 2012. Street centrality and location of economic activities in Barcelona [J]. *Urban Studies*, 49: 1471-1488.
- Tsai I C. 2018. Housing price convergence, transportation infrastructure and dynamic regional population relocation [J]. *Habitat International*, 79: 61-73.
- Wang F, Antipova A, Porta S. 2011. Street centrality and land use intensity in Baton Rouge, Louisiana [J]. *Journal of Transport Geography*, 19: 285-293.
- Wang F, Chen C, Xiu C, et al. 2014. Location analysis of retail stores in Changchun, China: A street centrality perspective [J]. *Cities*, 41: 54-63.
- Xiao Y, Orford S, Webster C J. 2015. Urban configuration, accessibility, and property prices: A case study of Cardiff, Wales [J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 43(1): 108-129.

Impacts of street and public transport network centralities on housing rent: A case study of Beijing

DU Chao¹, WANG Jiaoe^{2,3*}, LIU Binqun¹, HUANG Dingxi¹

(1. Guangdong Urban & Rural Planning and Design Institute, Guangzhou 510290, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Higher housing demand leads to housing price increasing rapidly, with lower housing affordability. Under these circumstances, renting a place has progressively become an alternative way for residents of cities. Urban transportation is one of the most significant influencing factors for housing rent, which needs to be examined at greater depth. This study used complex network analysis to explore how transportation centrality impacts housing rent. The conclusions are: transportation network shows significant impacts on housing rent, with higher impacts of public transport network than street network. Closeness in public transport has the highest impact on housing rent. Each centrality aspect influences housing rent differently, and relative accessibility in public transport network and transfer capacity in street network have the greatest impacts on housing rent. This article discussed two modes of urban transportation and their spatial characteristics. By refining the impacts of different transportation modes by network analysis, it provides a new perspective of urban transportation research and its spatial effects.

Keywords: transportation network; housing rent; spatial pattern; influence mode; Beijing