

基于可塑性面积单元问题的建成环境对交通状态的影响

王琦龙¹, 刘杰^{1*}, 王喆², 郭建民³, 张萌¹

1. 山东交通学院交通与物流工程学院, 山东 济南 250357; 2. 济南市规划设计研究院, 山东 济南 250101;
3. 济南轨道交通集团有限公司, 山东 济南 250014

摘要:针对分析建成环境对交通状态影响时网格单元划分问题,以济南市为研究区域,选取人口密度、购物商场密度、公交站点密度作为济南市建成环境的评价指标,选取车辆轨迹点平均速度作为济南市交通状态的评价指标,考虑可塑性面积单元问题(modifiable areal unit problem, MAUP),分别采用1 km×1 km、5 km×5 km、10 km×10 km的3种正方形网格及1 km×5 km、1 km×10 km、5 km×10 km的3种长方形网格划分研究区域,通过皮尔逊相关系数、普通最小二乘法(ordinary least squares, OLS)、空间自相关分析3种方法分析不同划区方案下建成环境与交通状态间的相关性,通过计算并比较建成环境与交通状态间的皮尔逊相关系数、OLS拟合优度、莫兰指数确定最佳划区方案。结果表明:以5 km×5 km的正方形网格单元划分研究区域时,交通状态和建成环境间的相关性最大,可较好地反映建成环境对交通状态的影响。

关键词:交通状态; MAUP; 建成环境; 网格单元

中图分类号: U491

文献标志码: A

文章编号: 1672-0032(2024)04-0001-06

引用格式: 王琦龙, 刘杰, 王喆, 等. 基于可塑性面积单元问题的建成环境对交通状态的影响[J]. 山东交通学院学报, 2024, 32(4): 1-6.

WANG Qilong, LIU Jie, WANG Zhe, et al. The impact of built environment on traffic conditions based on modifiable areal unit problem[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2024, 32(4): 1-6.

0 引言

随着机动车保有量的增加及城市规模的扩大,交通需求与交通供给间的矛盾增大,交通拥堵现象日益严重。2023年我国有65座城市的通勤高峰拥堵指数大于1.4^[1],交通拥堵问题已成为制约城市健康、可持续发展的重要因素之一。有效提高交通系统的承载力、降低交通拥堵成为当前研究的热点问题之一。

城市土地利用布局、建成环境等是影响交通运行效率的重要因素。建成环境也称为城市形态、城市设计、城市空间结构等^[2]。建成环境对城市交通的影响较大,韩会然等^[3]从测度方法、不同方式出行行为、工作与非工作出行行为、建成环境与出行行为的因果关系等方面梳理建成环境影响出行行为的相关研究;Handy等^[4]考虑出行偏好和社区偏好,分析社区特征与出行行为间的关系;Cao^[5]分析建成环境对出行方式选择的影响;谢蔚翰等^[6]研究建成环境对出租车出行需求影响机制的时空特征与模式;Zhang

收稿日期: 2023-05-01

基金项目: 国家高端外国专家引进计划项目(G2022023003);山东省重点研发计划(软科学)重点项目(2023RZB06052);山东省人文社会科学课题(2021-YYGL-15)

第一作者简介: 王琦龙(2000—),男,新疆奎屯人,硕士研究生,主要研究方向为综合运输网络优化与设计, E-mail: 1505340177@qq.com

***通信作者简介:** 刘杰(1986—),男,济南人,副教授,工学博士,主要研究方向为综合运输网络优化与设计, E-mail: ajiede1986@163.com.

等^[7]认为建成环境对总出行次数、总出行线路数及以家庭为基础的购物出行有显著影响。

可塑性面积单元问题(modifiable areal unit problem, MAUP)是指由人为划分连续地理空间单元产生空间模式变化所引起的问题。周建^[8]以北京市家庭出行数据为基础,考虑 MAUP 效应,分析建成环境的不同特征在不同空间尺度上对家庭出行效率的不同影响;Chen 等^[9]研究社区食品环境中的 MAUP,认为任何可能导致政策变化的社区食品环境评估都应考虑 MAUP;Comber 等^[10]分析 MAUP 在评估生态系统服务并做出合理景观决策时的重要性;朱锦懋等^[11]分析福建北部森林群落物种多样性的 MAUP,发现森林群落物种多样性存在尺度效应和划区效应,其影响随取样面积增大而减小;宋文等^[12]以甘肃陇南两当县为研究区域,基于 MAUP 效应,研究征地补偿标准制定过程中最佳评价单元级别的选择问题;程婧等^[13]考虑 MAUP 对研究结果的影响,采用分层多尺度方法研究地表温度与归一化植被指数及高程间的相关性,相关分析结果与粒度和研究区域的划分密切相关;陈得心^[14]基于多种小区划分方式,研究 MAUP 对出租车出行需求分析过程的具体影响;张宏泽等^[15]探讨土壤重金属空间分层异质性中的 MAUP;刘振锋^[16]分析 MAUP 对西安市文化产业空间集聚过程和格局特征的影响;牛强等^[17]以武汉市为研究对象,基于社区发现算法,在不同尺度下划分通勤交通分析单元;刘晔等^[18]关注 1 km 面要素缓冲区的重新划定对分析结果的影响,分析建成环境对广州市居民幸福感影响的异质性效应。目前 MAUP 在交通状态分析中的应用较少,研究建成环境和交通状态关系时,划区方式较单一,导致研究数据的可操作性较低。

本文以济南市为研究区域,构建建成环境与交通状态的评价指标,考虑 MAUP 的影响,分析不同网格单元下建成环境与交通状态的关联特征,通过皮尔逊相关系数、普通最小二乘法(ordinary least squares, OLS)、空间自相关分析 3 种方法确定最佳网格单元,为分析交通状态时划分网格单元提供理论依据。

1 研究方法

1.1 划区方案

MAUP 通过尺度效应与划区效应描述统计性结果偏差和空间分析结果偏差,能更全面地对比研究结果。构建 MAUP 的尺度效应时,需分析城市内部空间布局与用地属性,确定影响交通状态的关键因素;对城市进行均质化处理,确保各尺度在相似条件下进行比较;根据城市面积、土地利用类型等因素确定合适的网格尺寸。尺度为 1 km 可反映城市内部细节,捕捉局部建成环境特征和交通状态的关系;尺度为 5、10 km 可涵盖城市较大区域,从整体理解交通状态和建成环境的内在联系。

在划区效应方面,国外学者重点关注划分区域是否满足政治和经济效应^[19-20],国内学者主要考虑地区发展差异、区域规划与发展确定网格形状^[21]。网格形状一般为正方形、长方形、五边形、泰森多边形、交通小区等。根据研究区域中土地利用类型、交通小区、研究区域形状和研究区域地理环境等因素选择划区形状。结合建成环境特征,正方形网格和长方形网格 2 种划区方式更易适应城市规划单元。

根据济南市路网密度和占地面积,考虑数据可用性,本文选择 1、5、10 km 3 种尺度,以及正方形、长方形 2 种网格形状划分研究区域,划区方案如表 1 所示。

表 1 研究区域的划区方案

划区方案 编号	网格长/ km	网格宽/ km	网格单元面积/ km ²	网格数	划区方案 编号	网格长/ km	网格宽/ km	网格单元面积/ km ²	网格数
1	1	1	1	8 450	4	5	1	5	1 852
2	5	5	25	403	5	10	1	10	1 017
3	10	10	100	118	6	10	5	50	220

1.2 指标选取与数据来源

根据研究区域实际情况,选取人口密度 x_1 、购物商场密度 x_2 、公交车站点密度 x_3 作为济南市建成环境评价指标。通过数据禾在线平台获取截至 2023 年第一季度末不同划区方案下建成环境指标的兴趣点 (point of interest, POI) 数据,采用软件 ArcGIS 进行数据清洗处理和归一化。

一般采用 15 min 内路段车辆的平均速度作为评估道路拥堵程度的指标,获取车辆轨迹点平均速度数据相对便捷,处理效果更直观,通过数据禾在线平台获取济南市 2023 年第一季度的车辆轨迹点平均速度 y 作为济南市交通状态的评价指标。

6 种划区方案下随机选取某网格的车辆轨迹点平均速度和 3 个建成环境指标数据如表 2 为所示。

表 2 不同划区方案下某网格的车辆轨迹点平均速度和建成环境指标数据

划区方案编号	网格编号	$y/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$x_1/(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	$x_2/(\text{个} \cdot \text{km}^{-2})$	$x_3/(\text{个} \cdot \text{km}^{-2})$
1	3 266	26.26	898.02	3.1	12.1
2	86	24.33	910.60	4.0	8.3
3	102	30.12	801.64	2.3	10.7
4	654	27.21	873.22	3.2	9.6
5	523	38.36	793.17	0.3	1.7
6	112	31.15	774.51	0.8	2.1

1.3 模型构建

1) 皮尔逊相关系数

交通状态指标与建成环境指标的皮尔逊相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}},$$

式中: n 为网格单元数, X_i 为第 i 个网格单元的建成环境指标集成数据, Y_i 为第 i 个网格单元的交通状态指标数据, $\bar{X}$ 为建成环境指标数据的平均值, $\bar{Y}$ 为交通状态指标数据的平均值。

$r = -1 \sim 1$, r 越接近 1, 说明二者正相关; r 越接近 -1, 说明二者负相关; r 接近 0, 说明二者不相关。

2) OLS

通过 OLS 建立交通状态指标与建成环境指标的多元线性回归方程为:

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3,$$

式中 a 、 b 、 c 分别为人口密度、购物商场密度、公交车站点密度的回归系数。

OLS 的拟合优度可解释变量的方差比例, 交通状态与建成环境的多元线性回归方程的拟合优度

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2},$$

式中: $\hat{y}_i$ 为模型预测的第 i 个网格单元车辆轨迹点平均速度, y_i 为第 i 个网格单元车辆轨迹点实际平均速度, $\bar{y}$ 所有网格单元实际平均速度的平均值。

$R^2 = 0 \sim 1$, R^2 越大, 说明多元线性回归方程的拟合效果越好。

3) 莫兰指数

通过莫兰指数分析网格单元变化对济南市建成环境空间聚集与离散特征的影响, 莫兰指数

$$I = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j / \left(s_0 \sum_{i=1}^n z_i^2 \right), i \neq j,$$

式中: s_0 为网格单元权重的聚合, $s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$, 其中 w_{ij} 为第 i 个网格与第 j 个网格单元间的空间权重; z_i 、 z_j 为第 i 、 j 个网格单元的属性。

$I=-1\sim 1$, I 越接近 1,表明数据呈空间正相关; I 越接近-1,表明数据呈空间负相关; I 接近 0,表明数据没有显著的空间自相关。

2 结果分析

2.1 皮尔逊相关系数分析结果

不同划区方案下建成环境与交通状态的皮尔逊相关系数分析结果如表 3 所示。由表 3 可知:6 种划区方案下建成环境与交通状态的皮尔逊相关系数 $r=0.226\sim 0.443$,呈正低度线性相关。采用 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 的正方形网格划分研究区域时,建成环境与交通状态的皮尔逊相关系数最大,为 0.443,显著性(双尾)最小,为 0.051,在该划区方式下,区域内人口密度、购物商场、公交站点和交通状态等因素得以有效划分,尤其市中区和历下区部分街道上的网格表现更突出,建成环境指标变化能直接影响交通状态指标。

表 3 不同划区方案下建成环境与交通状态的皮尔逊相关系数分析结果

划区方案编号	r	显著性(双尾)	协方差	划区方案编号	r	显著性(双尾)	协方差
1	0.243 **	0.084	20 561.460	4	0.284 **	0.080	24 154.453
2	0.443 **	0.051	39 933.948	5	0.226 **	0.094	16 244.568
3	0.374 **	0.062	32 441.651	6	0.241 **	0.089	21 495.659

注:**表示相关性在 0.1 上显著。

2.2 OLS 分析结果

不同划区方案下建成环境与交通状态的 OLS 分析结果如表 4 所示。由表 4 可知:6 种划区分案下建成环境与交通状态的 R^2 和调整后 R^2 均较大,方程拟合效果较好。第 2 种划区方案下建成环境与交通状态的 OLS 的 R^2 和调整后 R^2 均最大,显著性概率 P 与标准估算的误差均最小,说明采用 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 的中等规模网格单元划分研究区域时,网格单元能较好地捕捉区域内建成环境与交通状态间的关系,保证多元线性回归方程拟合效果最好。

表 4 不同划区方案下建成环境与交通状态的 OLS 分析结果

方案编号	R^2	调整后 R^2	显著性概率 P	标准估算的误差	方案编号	R^2	调整后 R^2	显著性概率 P	标准估算的误差
1	0.648	0.648	0.030	1.072 0	4	0.549	0.527	0.030	1.286 9
2	0.843	0.840	0.010	1.034 4	5	0.544	0.530	0.032	1.260 9
3	0.680	0.620	0.025	1.104 3	6	0.550	0.440	0.035	1.425 2

2.3 空间自相关分析结果

不同划区方案下建成环境与交通状态的空间自相关分析结果如表 5 所示。由表 5 可知:6 种划区方案下建成环境与交通状态的 I 均大于 0,且标准差的倍数 Z 均较大, P 均较小,说明样本数据呈空间正相关;第 2、3 种划区方案的 I 、 Z 均较大,说明采用 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 或 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 的正方形网格单元划分研究区域时各样本数据间的空间自相关性较好;第 6 种划区方案($5\text{ km}\times 10\text{ km}$)的 I 最小,说明在该网格单元划分下,研究区域的建成环境与交通状态间的相关性较小,划区方案可能不符合城市实际功能区布局,某些住宅区与商业区被合并为

表 5 不同划区方案下建成环境与交通状态的空间自相关分析结果

划区方案编号	I	Z	P
1	0.414	13.648	0.00
2	0.564	16.329	0.00
3	0.602	17.680	0.00
4	0.497	14.549	0.00
5	0.463	14.440	0.00
6	0.381	12.550	0.00

同一划区,某网格建成环境指标增大,产生局部效应差异,整体的相关性被局部效应变化削弱,导致莫兰指数减小。

第2种划区方案下建成环境与交通状态的空间自相关分析图如图1所示,图中间黄色部分为随机分布,右侧为聚集分布,左侧为离散分布, $I=0.564$, $Z=16.329$,数据呈聚集分布,具有明显的空间效应。

选择适当的划区方案对准确捕捉变量间的关系至关重要,划区方案1、6下的 R^2 较大,但 I 和 r 较小,说明划区方案存在划区尺度过于细碎或过大,导致空间模型的相关性较小,线性关系较弱。划区方案4、5中,3组相关性分析方法的结果较接近,这2种划区方案的网格尺度最接近,证明不同的网格尺度单元对分析结果存在一定影响。划区方案3中的 I 最大,说明 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 的网格单元能更好地匹配数据的空间分布特征,数据在空间上更具相关性,且数据在该划区方案下呈显著的空间聚集性。第2种划区方案的 R^2 最大,在该划区方案下的建成环境对交通状态有较高的解释力,在该划区方案下的 I 和 r 也较大,证明该划区方案用于分析济南市建成环境与交通拥堵状态间关系时,适用性较高。

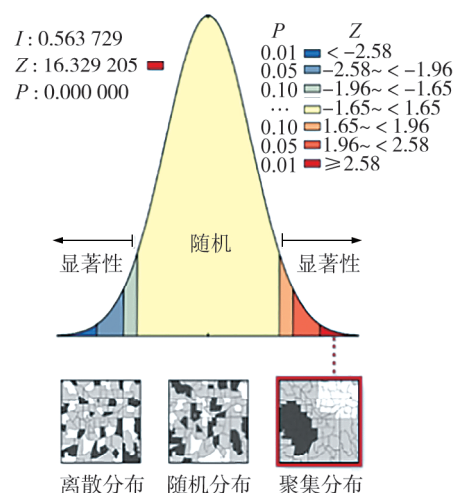


图1 第2种划区方案下建成环境与交通状态的空间自相关分析图

3 结束语

本文基于可塑性面积单元问题分析济南市建成环境与交通状态间的相关性。以6种不同的网格单元划分研究区域,分别采用皮尔逊相关系数、普通最小二乘法模型、空间自相关3种相关性分析方法计算不同划区方案下建成环境与交通状态间的相关性。通过对比不同划区方案下的3组相关性分析结果确定最佳划区方案。结果表明,采用 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 正方形网格单元划分研究区域时,济南市建成环境与交通状态间相关性较大,可较好地反映建成环境对交通状态的影响。

下一步将采用更系统化的方法研究城市建成环境和交通状态间的关系,为划分交通拥堵治理单元提供良好的理论基础及决策支持,从多角度解决城市交通拥堵问题。

参考文献:

- [1] 百度地图,北京交通发展研究院,清华大学数据科学研究院交通大数据研究中心,等. 2023年度中国城市交通报告[EB/OL]. (2024-04-08)[2024-05-21]. <https://huiyan.baidu.com/reports/landing?id=170>.
- [2] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment: a meta-analysis[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.
- [3] 韩会然,杨成凤. 建成环境对出行行为的影响研究进展与展望[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2019, 42(2): 166-173.
- [4] HANDY S, CAO X Y, MOKHTARIAN P. Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2005, 10(6): 427-444.
- [5] CAO X Y. Heterogeneous effects of neighborhood type on commute mode choice: an exploration of residential dissonance in the Twin Cities[J]. Journal of Transport Geography, 2015, 48: 188-196.
- [6] 谢蔚翰,周素红. 建成环境对出租车出行需求影响的时空分异模式[J]. 现代城市研究, 2018(12): 22-29.
- [7] ZHANG Q, CLIFTON K J, MOECKEL R, et al. Household trip generation and the built environment: does more density mean more trips? [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2019, 2673(5): 596-606.

- [8] 周建. 考虑 MAUP 效应的建成环境对家庭出行频率的影响研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2022.
- [9] CHEN X, YE X Y, WIDENER M J, et al. A systematic review of the modifiable areal unit problem(MAUP) in community food environmental research[J]. *Urban Informatics*, 2022, 1: 1-11.
- [10] COMBER A, HARRIS P. The importance of scale and the MAUP for robust ecosystem service evaluations and landscape decisions[J]. *Land*, 2022, 11(3): 399.
- [11] 朱锦懋, 姜志林. 闽北森林群落物种多样性的可塑性面积单元问题[J]. *生态学报*, 1999, 19(3): 16-23.
- [12] 宋文, 裴婷婷, 陈英, 等. 基于空间自相关的征地补偿标准划区可塑性面积单元问题效应研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(3): 101-106.
- [13] 程姝, 康育龙, 梁勤欧. 利用分层多尺度方法研究地表温度与高程及 NDVI 之间的相关性: 以浙江省金华市为例[J]. *浙江师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 41(4): 459-465.
- [14] 陈得心. 考虑可塑性面积单元问题的出租车出行需求影响因素研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2021.
- [15] 张宏泽, 崔文刚, 刘绥华, 等. 基于地理探测器和多源数据的耕地土壤重金属来源驱动因子及其交互作用识别[J]. *环境科学*, 2023, 44(4): 2177-2191.
- [16] 刘振锋. 基于可塑性面积单元的西安市文化产业空间效应研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016.
- [17] 牛强, 牛雪蕊, 唐蕾, 等. 基于社区发现算法的宏中观通勤交通分析单元划分方法探索: 以武汉市中心城区为例[J]. *交通信息与安全*, 2020, 38(4): 95-103.
- [18] 刘晔, 肖童, 刘于琪, 等. 城市建成环境对广州市居民幸福感的影响: 基于 15 min 步行可达范围的分析[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(8): 1270-1282.
- [19] PANI A, SAHU P K, CHANDRA A, et al. Assessing the extent of modifiable areal unit problem in modelling freight (trip) generation: relationship between zone design and model estimation results[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 80: 102524.
- [20] BRIZ-REDÓN Á, MARTÍNEZ-RUIZ F, MONTES F. Investigation of the consequences of the modifiable areal unit problem in macroscopic traffic safety analysis: a case study accounting for scale and zoning[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 132: 105276.
- [21] 王晓全, 邵春福, 管岭, 等. 基于机器学习模型的建成环境对小汽车拥有行为的影响[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2020, 20(4): 173-177.

The impact of built environment on traffic conditions based on modifiable areal unit problem

WANG Qilong¹, LIU Jie^{1*}, WANG Zhe², GUO Jianming³, ZHANG Meng¹

1. School of Transportation and Logistics Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China;

2. Jinan Planning and Design Institute, Jinan 250101, China; 3. Jinan Rail Transit Group Co., Ltd., Jinan 250014, China

Abstract: Aiming at the problem of grid unit division when analyzing the impact of the built environment on traffic conditions. Using Jinan City as the study area, population density, shopping mall density, and bus stop density are selected as evaluation indicators for the built environment, the average speed of vehicle trajectory points is selected as the evaluation indicator for traffic conditions. Considering the modifiable areal unit problem (MAUP), three square grids of 1 km×1 km, 5 km×5 km, 10 km×10 km, and three rectangular grids of 1 km×5 km, 1 km×10 km, 5 km×10 km are used to divide the study area. The correlation between traffic conditions and the built environment is analyzed using Pearson correlation coefficient, ordinary least squares (OLS), and spatial autocorrelation analysis. The best grid division scheme is determined by comparing Pearson correlation coefficients, OLS goodness of fit, and Moran's I. The results showed that when a 5 km×5 km square grid is used as the grid unit to divide the study area, the correlation between traffic congestion and built environment is the greatest, which can better reflect the impact of built environment on traffic status.

Keywords: traffic conditions; MAUP; built environment; grid unit

(责任编辑: 赵玉真)