引文格式：刘秉鑫,戴特奇,刘庆芳,等. 考虑供需比的出租车可达性评价研究[J]. 地理空间信息, 2024, 22(5): 41-44. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.05.007

考虑供需比的出租车可达性评价研究

刘秉鑫[1]，戴特奇[1]，刘庆芳[1]，李梓桐[1]
（1. 北京师范大学 地理科学学部，北京 100875）

摘　要：出租车是城市公共交通的重要组成。以北京市五环为研究区，基于出租车轨迹数据，考虑交通竞争，借鉴两步移动搜索法中的供需比思想，利用累积机会法计算出租车可达性；并综合运用 Getis-Ord Gi*指数和变异系数对比分析了是否考虑供需比两种情景。结果表明：①研究区域出租车可达性空间分布整体呈现中心高、外围低，连接环路的单元网格较高的特征；②考虑供需比后，出租车可达性减少率高的单元网格主要位于三环外，变异系数增大表明，数值分布差异增大，未考虑供需比计算的可达性会低估空间不平等；③考虑供需比前后热点区域均主要分布在商圈、就业中心区以及客运量较好的交通枢纽附近，而冷点区域在考虑供需比后完全消失。

关键词：出租车可达性；供需竞争；出租车轨迹数据；累积机会法
中图分类号：P228.4　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）05-0041-04

Research on Taxi Accessibility Evaluation Considering Taxi Supply-Demand Ratio

LIU Bingxin[1], DAI Teqi[1], LIU Qingfang[1], LI Zitong[1]
(1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Taxi is an important part of urban public transportation system. Taking the Fifth Ring Road area of Beijing as research area, considering traffic competition, and referencing to the idea of supply-demand ratio in the 2SFCA method, we used the taxi trajectory data to calculate the taxi accessibility based on the cumulative opportunity method, and compared two scenarios with or without considering supply-demand ratio by using Getis-Ord Gi* index and variable coefficient. The results show that ①the spatial distribution of taxi accessibility in research area is characterized by high center and low periphery, and high unit grids connecting the ring road. ②After considering supply-demand ratio, the unit grids with high reduction rate of taxi accessibility are mainly located outside the Third Ring Road. The increase of variation coefficient indicates that the increase of numerical distribution difference and the calculation of accessibility without considering supply-demand ratio will underestimate the spatial inequality. ③Before and after considering supply-demand ratio, the hotspots of taxi accessibility are mainly clustered in bustling business districts, employment centers and transportation hubs with high passenger flow. The coldspots disappear completely with considering supply-demand ratio.

Key words: taxi accessibility, supply-demand competition, taxi trajectory data, cumulative opportunity method

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出，要推进新型城市建设，优先发展城市交通。城市交通的可达性度量随之成为重要的研究议题。越来越多的城市认识到交通是一个多模式构成的复杂系统，应推动交通供给侧结构性改革，实现更加灵活的调度组织，以满足不同区域、不同类型出行需求，提供便利化服务。出租车是城市公共交通系统中较为特殊的交通方式。尽管地铁和公共汽车的运载量比重较高，但通常是固定站点和线路服务，而出租车则弥补了上述不足，为乘客提供“点对点”式的出行服务，且覆盖面更广、更加灵活便捷。出租车的出行特征十分符合城市交通系统提供便利化服务的需求，因此有必要单独评价出租车的可达性，以便对不同区域出租车进行调度组织。可达性的概念最早由 Hansen 提出[1]，是交通运输、人文地理等多个学科的关键概念。可达性有多种分类方式，根据不同空间尺度可划分为区域层面和城市内部两个方面[2]，城市内部可达性包含私家车和公共交通等多种方式[3]，许多研究关注了地铁、公共汽车等模式的可达性，而对出租车可达性的研究较少[4]。出租车可达性是公共交通可达性的重要构成。出租车提供了“点对点”服务，类似于私家车服务，但其可达性

收稿日期：2022-09-20。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（42071152）。
第一作者简介：刘秉鑫（1999—），硕士研究生，研究方向为人文地理学，E-mail：1365504920@qq.com。

评价方法不应简单类比于私家车，通常假设私家车随处可获得，而出租车的公共交通属性很可能形成差异性的供给分布。在缺乏出租车大数据的时代，该问题难以解答。

随着出租车全球定位系统（GPS）数据可获得性的提高，出租车轨迹数据和载客信息得到了研究者的重视。许多学者基于出租车轨迹数据在运量分布与生成[5-7]、优质客源分布[8-9]、更精细时间粒度的动态变化[10-11]、城市空间功能推断[12-13]等方面开展了研究，取得了丰富的研究成果；同时发现出租车供给与需求的空间分布往往是高度不均衡的，出租车出行的公平问题开始得到重视[14]。然而，鲜有文献在出租车可达性评价方法中考虑出租车供给分布的空间差异。实际上两步移动搜索法就考虑了空间竞争，但其考虑的是土地利用供需比，反映的是机会方面的竞争[15]，而不包含交通系统内的竞争。虽然交通系统和土地利用均是可达性度量的关键影响因素，但其他交通模式下的空间竞争与出租车存在较大差异，因此忽略的影响较小。出租车服务是一种稀缺资源，特别是高峰期间出租车乘客间存在较激烈的竞争，不应忽视不同区域之间的出租车供给差异。鉴于此，本文基于出租车轨迹数据，在既有可达性评价方法的基础上，借鉴两步移动搜索法中的供需比思路，尝试将供需比纳入到出租车可达性度量模型中，并以北京市为例进行计算应用，分析考虑供需比对可达性度量结果的影响，以期为城市公共交通的精细规划和出租车行业相关政策制定提供科学参考。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

北京市是我国政治中心、文化中心、国际交往中心和科技创新中心，是典型的巨型城市。本文以北京市五环为研究区，主要涉及东城、西城、海淀、朝阳、丰台、石景山等区域，一方面是由于该区域是北京市典型的高密度建成区，人口密度较高，巨型城市的城市病问题突出且典型；另一方面，北京市作为国家的“4个中心”，探究其出租车可达性问题，具有重大的社会意义和示范效应。参考前人研究[6, 16]，本文将北京市五环区域划分为1 km的栅格，共划分736个单元网格。

1.2 研究方法

1）基于累积机会法的出租车可达性计算。累积机会法的基本思想是设定出行极限时间或距离，计算该阈值内从某点出发能够获得公共服务资源的数量，常用于较小的研究单元和非紧急型设施，综合考虑了设施、需求者、供需双方的空间阻隔等因素[17]。本文采用累积机会法分析出租车可达性。本文的基础情景是不包含供需比的出租车可达性。在基础情景方面，本文采用基于累积机会法的可达性方法[16]，将出租车在一定时间内可以到达的POI数量作为其可获得的机会，具体计算公式为：

$$A_{i,T}^{p}=\sum_{j=1}^{J}O_j f(t_{ij}^{p}) \tag{1}$$

$$f(t_{ij}^{p})=\begin{cases}1, & t_{ij}^{p}\leqslant T\\ 0, & t_{ij}^{p}>T\end{cases} \tag{2}$$

式中，$A_{i,T}^{p}$ 为在时段 p 内地点 i 的出租车可达性，本文中 p 为7：00—9：00；O_j 为地点 j 中的机会；t_{ij}^{p} 为从地点 i 到 j 的旅行时间；T 为时间阈值，既有研究发现出租车出行时长多为10~20 min[16,18]，本文 T 设定为15 min。

本文参考两步移动搜索法，构建包含供需比的出租车可达性度量方法。考虑到居民打车的搜索范围较小，这里不采用两步计算步骤，而直接以出租车供需比系数形式对可达性指标进行修正。将供需比系数纳入出租车可达性计算方法中，得到修正后的计算公式：

$$AT_{i,T}^{p}=R_i A_{i,T}^{p} \tag{3}$$

$$R_i=\frac{S_i}{D_i} \tag{4}$$

式中，R_i 为地点 i 的出租车供需比系数，其值在0~1之间，值越大表明该处出租车供给越充裕；S_i 为地点 i 的出租车供给量；D_i 为地点 i 的出租车需求量，本文采用地点 i 的人口规模来间接反映。

2）Getis-Ord Gi*指数。本文采用Getis-Ord Gi*指数来比较两种出租车可达性度量方法的结果。局域Getis-Ord Gi*指数是一种计算局部空间自相关的方法，根据计算所得的 Z 得分和 P 值之间的关系探索空间聚类的位置，得到高值聚集（热点区）和低值聚集（冷点区），已广泛用于犯罪分析、交通事故等领域[19]。冷热点识别采用ArcMAP 10.4.1软件。

3）可达性得分的公平性度量方法。本文采用变异系数来评价出租车可达性的公平性，变异系数越大说明组内差距越大[20]，出租车可达性的公平性越低。变异系数是出租车可达性的标准差和均值之比。

1.3　数据来源与处理

本文采用的数据主要包括出租车轨迹数据（http://www.datatang.com/）、POI数据（https://www.amap.com/）、人口数据（来源于2018年华夏幸福基业股份有限公司的手机信令数据https://www.cfldcn.com/）和交通时间数据（https://www.amap.com/）。考虑有研究指出14天即可反映出行活动模式[21]，本文选取2016年6月1—14日7：00—9：00早高峰时段出租车轨迹数据进行分析，期间无特殊重大事件。

2　研究结果与分析

2.1　两种方法可达性结果比较

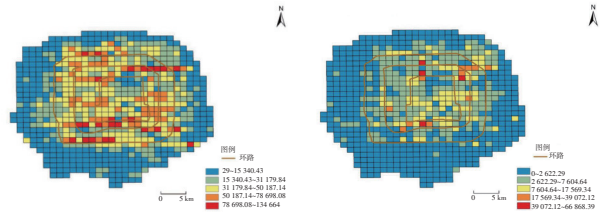
两种方法得到的可达性得分分布情况存在较大差异（表1）。考虑供需比后，可达性得分总体上显著下降，其平均值、最大值、最小值分别下降了87.20%、50.34%、100%，这符合计算方法带来的预期，因为新增的供需比系数在0~1之间，因此 *AT* 必然小于 *A*，但由此带来的出租车可达性的公平性是难以预估的。变异系数结果表明，变异系数由0.83增至1.69，增加了103.61%，说明考虑供需比后不同区域的出租车可达性差异有所增大，换而言之，未考虑供需比时有可能低估了出租车可达性的公平性。

表1　两种方法的可达性结果对比

统计指标	*A*	*AT*
平均值	26 624.00	3 406.84
最大值	134 664.00	66 868.39
最小值	29.00	0
标准差	22 138.61	5 749.93
变异系数	0.83	1.69

两种方法计算的出租车可达性得分的相关系数为0.632（$p<0.05$），考虑供需比后，大部分单元网格的可达性得分被划定在较低水平，部分单元网格高值显著突出，这也符合变异系数对可达性分散程度的刻画。考虑出租车供需比前后的可达性评分差值越大，说明出租车供需比对原方法结果中的高值地区影响更大，这些地区可获取的机会较多，但会因为区域内部对于出租车的竞争（如人多车少），出租车供需比下降，进而导致出租车可达性有较大幅度的下降。

两种方法结果空间分布的总体格局存在较大的相似性，但局部也具有一定的差异。在总体相似性方面，二者均呈现中心高、外围低的特征，环路局部地段周边的单元网格也具有较高可达性（图1）；在格局细节相似性方面，中心区均存在局部低值，如什刹海虽位于二环内的中心区域，但其附近的可达性并不高，这种现象可能是由于早高峰时段北京市中心的交通拥堵造成的。未考虑供需比时，出租车可达性较高的单元网格的空间分布和城市环路的轮廓相匹配（图1a）；而考虑供需比后，出租车可达性高值沿环路分布这一空间特征不再明显（图1b）。



a 未考虑交通供需比的出租车可达性　　b 考虑交通供需比的出租车可达性

图1　两种方法计算的出租车可达性空间分布

计算考虑供需比后出租车可达性得分的减少率发现（图2），高减少率的单元网格位于研究区外缘，即三环外的绝大多数区域，且多数单元网格的减少率高达72.55%；相反，只有区域中心的零星几个单元网格可达性减少率较低。对比图1可知，出租车可达性越低的区域，考虑供需比后其可达性得分减少率越高，说明考虑供需比的出租车可达性得分空间分布差距更大，进一步说明忽视出租车的供需分布特征，将严重低估出租车可达性的空间不公平性。

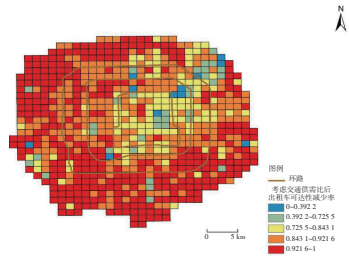
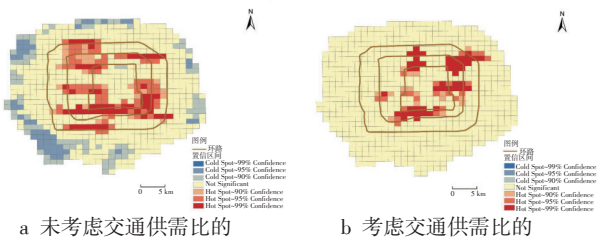


图2　出租车可达性减少率的空间分布

2.2　出租车可达性的冷热点识别

两种出租车可达性空间分布的冷热点分析结果见图3，对于未考虑供需比的出租车可达性而言（图3a），热点区面积为148 km^2，主要分布在四环内的环路沿线区域，包括二、三、四环西北方向的中关村以及学院路、积水潭附近，三元桥、北京南站以及北京站附近等，这些区域为繁华商圈、就业中心区以及交通枢纽附近，是旅客的集散地，出租车上下车的运量较高；冷点区面积为129 km^2，主要位于研究区外缘，多为大型公园附近，如西北部的香山高尔夫俱乐部、西南部的中华文化园、狼垡公园附近、东南部的古塔公园附近。对于考虑供需比的出租车可达性而言（图3b），热点区面积为89 km^2，比未考虑供需比时减少了40%，热点区域的地理位置与前者基本一致，主要分布在四环内，包括马甸—北太平庄、三元

桥（机场线）、北京南站以及北京站附近的区域；可达性得分没有显著的冷点区，说明可达性低值地区的分布没有产生显著的空间集聚特征；整体而言，出租车可达性热点区总面积显著缩小，而冷点区没有集中连片分布，意味着出租车供需的平衡机制对冷热集聚分布起到了一定的平滑作用。



a 未考虑交通供需比的出租车可达性　　b 考虑交通供需比的出租车可达性

图3 两种方法计算的出租车可达性冷热点比较

3 结 语

本文在现有基于累积机会法的出租车可达性计算方法的基础上，引入了出租车供需比，改进了出租车可达性计算方法，并以北京市为例比较了考虑供需比前后的出租车可达性计算结果，主要结论为：

1）北京市五环区域出租车可达性空间分布总体上呈现中心高、外围低，连接到环路的单元网格具备较高可达性的特征。考虑供需比后，高可达性单元网格沿环路分布这一空间特征不再明显。

2）从变异系数来看，考虑供需比后，出租车可达性的变异系数增加了103.61%，说明不考虑供需比有可能低估了单元网格出租车可达性的空间不公平程度。

3）出租车可达性得分减少率空间分布表明，高减少率的单元网格位于三环外的绝大多数区域；低减少率的单元网格零星分布在区域中心。

4）冷热点识别结果表明，考虑供需比前后出租车可达性的热点区空间位置大体一致，但面积减少了40%，主要聚集在繁华商圈、就业中心区以及出租车载客运量较好的交通枢纽附近；冷点区主要位于研究区域边缘的大型公园附近，考虑供需比后冷点区完全消失。

互联网时代的来临，使得网约车行业快速发展。类似地，网约车也存在供需分布的空间不均衡问题，对于网约车的可达性乃至公平性评价，仍应考虑供需的空间不均衡带来的影响，为网约车运营调度、相关政策制定提供参考依据。本文也存在一定局限，特别是出租车供需比系数的测量还需结合出租车潜在需求研究进展进行。未来还需结合可达性方法的发展，开展包含出租车的多交通模式的可达性度量研究，以期为城市交通规划和管理提供决策支撑。

参考文献

[1] Hansen W G. How Accessibility Shapes Land Use[J]. Journal of the American Institute of Planners, 1959, 25(2): 73-76

[2] 张志斌,张翠翠. 区域与城市内部可达性及其应用研究综述[J]. 开发研究,2016(3):33-38

[3] 袁红霞,徐菱,严余松,等. 基于改进两步移动搜索法的轨道交通接驳可达性分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2022,22(4):113-119

[4] Malekzadeh A, Chung E. A Review of Transit Accessibility Models: Challenges in Developing Transit Accessibility Models[J]. International Journal of Sustainable Transportation, 2020, 14(10):733-748

[5] 付鑫,孙茂棚,孙皓. 基于GPS数据的出租车通勤识别及时空特征分析[J]. 中国公路学报,2017,30(7):134-143

[6] 郝新华,周素红,柳林. 广州市高峰小时居住用地交通产生与分布:基于出租车GPS起讫关联的分析[J]. 人文地理,2016,31(6):109-114

[7] 施念邡,杨星斗,戴特奇. 北京市出租车运量分布的时空格局及生成机制[J]. 地理研究,2021,40(6):1 667-1 683

[8] 孙飞,张霞,唐炉亮,等. 基于GPS轨迹大数据的优质客源时空分布研究[J]. 地球信息科学学报,2015,17(3):329-335

[9] 邱端昇,邬群勇,刘萌,等. 一种基于出租车轨迹数据的优质客源评价模型及实证研究[J]. 福州大学学报(自然科学版),2018,46(2):199-203

[10] Li Q, Tong Z, Wang H, et al. Dynamic Accessibility Mapping Using Floating Car Data: A Network-constrained Density Estimation Approach[J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(3):379-393

[11] Guan J, Zhang K, Shen Q, et al. Dynamic Modal Accessibility Gap: Measurement and Application Using Travel Routes Data[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 81:102 272

[12] Cui J X, Liu F, Janssens D, et al. Detecting Urban Road Network Accessibility Problems Using Taxi GPS Data[J]. Journal of Transport Geography, 2016, 51:147-157

[13] Yu L, Wang F, Yu X, et al. Urban Land Uses and Traffic 'Source-sink Areas': Evidence from GPS-enabled Taxi Data in Shanghai[J]. Landscape and Urban Planning, 2012, 106(1):73-87

[14] 季航宇,蔡忠亮,姜莉莉,等. 出租车出行的空间不平等及其与人口结构的关联[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2021,46(5):766-776

（下转第48页）