

基于改进 Ga2SFCA 的南昌市老城区公园绿地可达性研究

熊涵 李志*

江西师范大学城市建设学院

DOI:10.12238/bd.v9i3.4390

[摘要] 本研究以南昌市老城区为对象,通过改进的高斯两步移动搜索法(Ga2SFCA),整合实时交通、人口及绿地数据,定量评估步行、骑行与公交三种出行方式下的绿地可达性。基于多源数据构建动态时间成本函数,突破静态阈值限制,揭示不同交通模式服务差异。结果表明,研究区可达性呈“核心-边缘”特征,中山路等高密区优势显著,扬子洲镇等边缘区域因路网断裂与绿地缺失形成服务洼地。研究提出分级优化策略,建议补充小微绿地、加密骑行廊道及优化公交接驳,构建多层次绿服体系。本文为高密城区绿地规划提供动态评估方法与优化路径,助力公共资源公平配置。

[关键词] 高斯两部移动搜索法; 公园绿地; 可达性; 南昌市老城区

中图分类号: TU242.7 文献标识码: A

Study on Accessibility of Park Green Spaces in the Historic Urban Area of Nanchang Based on Improved Ga2SFCA

Han Xiong Zhi Li*

College of City Construction, Jiangxi Normal University

[Abstract] This study assessed green space accessibility in Nanchang's old city under walking, cycling, and public transport, using an improved Gaussian two-step floating catchment area (Ga2SFCA) method with real-time traffic, population, and green space data. It constructed a dynamic time cost function, overcoming static assessment limits and revealing service discrepancies between travel modes. Results show accessibility follows a core-periphery pattern: high-density areas (e.g., Zhongshan Road) have high accessibility, while peripheral zones (e.g., Yangzizhou Town) form service voids due to disconnected road networks and green space scarcity. Hierarchical optimization strategies are proposed: adding pocket green spaces, enhancing cycling networks, and improving bus transfers to build a multi-level service system. This offers dynamic assessment methods and optimization pathways for green space planning in dense cities, facilitating equitable public resource allocation.

[Key words] Ga2SFCA; Urban green spaces; Accessibility; Historic urban area of Nanchang

引言

公园绿地是城市生态景观系统中必不可少的一部分,是促进居民体力活动的重要场所^[1]。在城镇化快速推进的背景下,公园绿地的可达性对城市居民的重要性开始受到政府及各领域研究者的关注^[2]。随着人们生活质量的稳步提升,优质的城市公园绿地已成为衡量居民幸福感和实现绿色生活方式的核心要素^[3],并且对居民的身心健康有着非常积极的作用^[4]。以往的城市公园绿化水平评估方法主要采用人均绿地面积、绿地率和绿化覆盖率等宏观指标,用以分析公园资源与人口规模的匹配度及城市间绿化建设水平差异^[5]。然而,现有指标难以评估绿地空间布局与服务公平性,因此,引入可达性分析方法可揭示服务供给的空间均衡特征,为优化资源配置提供依据。

可达性概念的理论渊源可追溯至19世纪古典区位论,这一基础性认识为后续可达性研究奠定了重要理论基石^[6]。1959年,美国学者Hansen首次将其界定为克服空间阻隔的潜在机制,用于衡量交通网络中节点间相互作用的机会^[7]。公共服务设施可达性研究主要聚焦医疗、教育及休闲等设施的时空可及性,为优化资源配置提供决策依据^[8]。当前公园绿地供需匹配研究主要采用两种范式,其一,通过构建综合评价指标体系,运用耦合协调模型量化供需关系^[9];其二,运用空间分析方法测度公园绿地的可达性以反映其供需匹配性。其中测度可达性的方法是衡量公园绿地供需匹配性最常用的方法^[10]。两步移动搜索法(2SFCA)因其整合了供给端、需求端及交通阻抗等多维要素,已成为核心方法^[11]。两步移动搜索法是由Radke等^[12]提出,后经Luo等^[13]进

一步完善,从而发展为“高斯两步移动搜索法”(Ga2SFCA),通过高斯函数优化距离衰减计算。但研究仍存在局限:受数据源、模型选择及计算复杂度限制,研究多依赖开放路网或单一出行方式,难以反映多模式交通特征;现有方法在多尺度、多维度分析方面仍有不足,导致综合评估难度较大。

本文以南昌老城区为研究对象,整合公园绿地AOI数据与人口栅格数据,依托高德地图API获取步行、骑行及公交出行时间成本,为可达性研究提供动态数据支撑。采用Ga2SFCA法计算各人口栅格至绿地的可达性,细致解析可达性差异成因,深入分析现有配置状况。

1 研究区域与研究数据

1.1 研究区概况

南昌市为江西省会,总面积7194.98km²,位于东经115°27′-116°35′、北纬28°10′-29°11′间。辖6区3县(东湖、西湖、青云谱、青山湖、新建、红谷滩区及南昌、进贤、安义县)。研究范围为东湖、西湖两区全域(22个街道,总面积99.95km²)。

1.2 研究数据

1.2.1 需求点数据

本次研究采用WorldPop人口栅格数据作为需求点,该数据提供100米高分辨率人口分布信息。为提高准确性,使用南昌市第七次人口普查分区数据对WorldPop 2020年栅格进行校正。基于研究区划,构建了115个1km×1km的栅格网,将其与校正后人口栅格连接,并提取每个栅格中心点作为需求点。图1展示修正后的南昌市人口密度分布,绿色代表低密度,红色代表高密度;图2显示人口栅格数据,浅色表示人口少,深色表示人口多。

1.2.2 供给点数据

本文供给单元数据源于高德地图南昌市老城区公园绿地AOI(2025年2月Python爬取)。原始数据经融合、去重、几何修复处理后,获得42个含WGS-1984坐标与面积的公园AOI。在Ga2SFCA模型中,除面积表征供给规模外,依据南昌通勤研究^[14],结合老城区范围特性,设定极限通勤时间:步行与骑行15分钟,公交30分钟,以精准刻画服务范围与可达性特征。

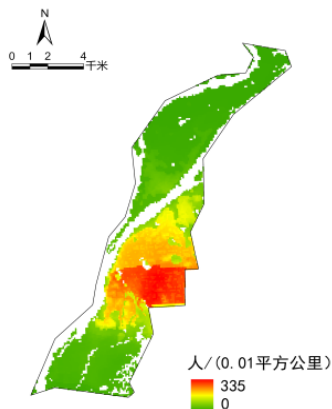


图1 修正后南昌市老城区人口密度分布

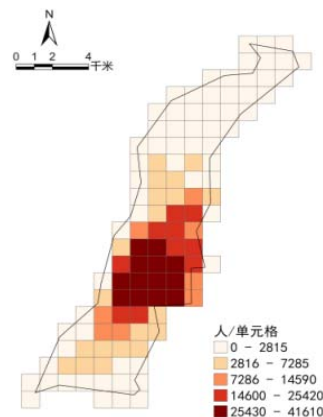


图2 南昌市老城区人口栅格

2 研究方法

2.1 高斯两步移动搜索法

两步移动搜索法通过综合考量供需维度,为公园绿地可达性评估提供高效计算框架,其基于高斯函数的空间衰减规则因普适性广受认可^[15]。本研究对传统高斯两步移动搜索法进行改进,重点优化数据源选择与OD成本计算规则,具体实施流程如下:

第一步,提取公园绿地AOI几何中心点作为供给点j,以居民到达公园的路网最大距离d₀为半径,构建搜索区域j,统计该区域内的人口总量。通过高斯函数G(d_{ij}),依据距离衰减规律对人口进行加权处理,并对加权后的人口数据进行累加,最终计算供需比R_j

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} G(d_{ij}) D_k} \quad (1)$$

式中: D_k是每个人口栅格内k的人口数, D_{kj}为位置k、j之间的路网距离,对于有多个入口的公园,选取需求单元到最近入口的路网距离,单元k需落在搜寻域内(即d_{kj} ≤ d₀); S_j为公园绿地j的面积; G(d_{ij})是考虑空间摩擦问题的高斯衰减函数,其具体形式可表示为:

$$G(d_{ij}) = \frac{e^{-\frac{1}{2} \times (\frac{d_{ij}}{d_0})^2} - e^{-\frac{1}{2}}}{1 - e^{-\frac{1}{2}}} \quad (d_{ij} < d_0) \quad (2)$$

第二步,选取任意公园位置i作为需求点,以居民到达公园的路网最大距离d₀为半径,建立搜索区域I。在该区域内识别所有公园绿地j,基于高斯衰减函数对各公园的供需比R_j进行加权求和,最终得到需求点i基于距离成本的公园绿地可达性指标A_i^D。该指标数值越大,表明该区域的公园可达性水平越高:

$$A_i^D = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} G(d_{ij}) R_j \quad (3)$$

第三步,本研究对传统高斯两步移动搜索法进行了重要改进,将时间成本因素纳入可达性评估体系,突破了单一距离成本评估框架,采用极限通行时间 t_0 取代传统距离阈值 d_0 ,以实际通行时间 t_0 作为OD成本计算基础。改进后的模型整合了多维度交通要素,能够反映真实路网状况并考虑动态交通流特征,从而提升模型评估精度。

$$A_i^T = \sum_{j \in \{t \leq t_0\}} G(t_{ij}) \frac{S_j}{\sum_{k \in \{t_{kj} \leq t_0\}} G(t_{kj}) D_k} \quad (4)$$

式中: A_i^T 为基于时间成本的公园绿地可达性。

第四步,改进后的两步移动搜索法计算得出的公园绿地可达性结果,其数值内涵与广义人均绿地面积指标具有可比性。通过将计算结果与研究区域人均公园绿地面积进行标准化处理,建立可达性评价基准:当比值超过1时,判定为相对可达性优势区域;比值低于1时,则视为相对可达性弱势区域。

2.2 高德地图API路径规划

本研究基于Python开发了对接高德地图API的路径规划程序,支持步行、公交和骑行三种出行方式。程序可批量处理供给点坐标,返回距离与时间数据。通过多线程并行计算及自动重试机制提升采集效率和网络稳定性。

数据采集时间结合居民出行习惯设定:步行与骑行出行方式选择在2025年3月29日周六16时采集;公交出行方式选择在3月30日周日13时采集,确保反映实时交通特征。

3 结果与分析

3.1 步行出行方式下的可达性

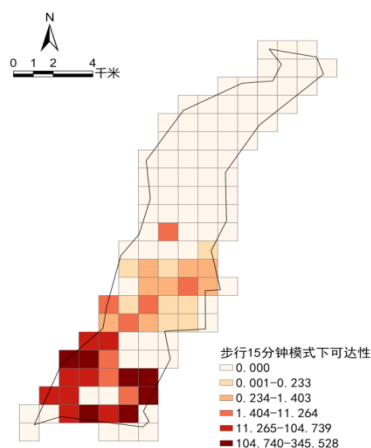


图3 步行15分钟模式下公园可达性结果

研究区域内115个人口栅格中,仅39个(32.17%)能在步行15分钟内抵达公园绿地,覆盖人口19.69%;另有76个无法步行15分钟到达,其中55个(47.83%)超30分钟仍不可达。数据分析表明,南昌市老城区绿地布局未达到“300米见绿、500米见园”规划标准,亟需优化绿地空间配置。

3.2 骑行出行方式下的可达性

研究区域内115个人口栅格中,66个(57.39%)在骑行15分钟内可抵达公园绿地,覆盖人口96.76%;其余49个(42.61%)15分钟不可达(仅覆盖3.24%人口),其中9个可在30分钟内抵达。数据表明骑行出行较步行方式效率优势显著。

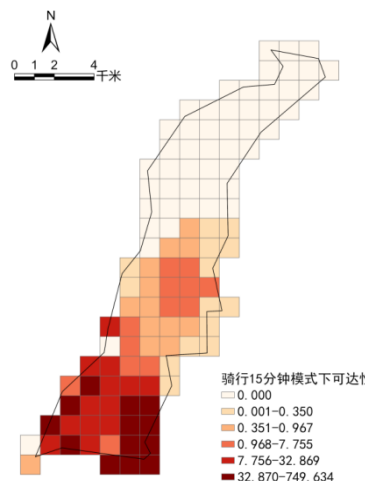


图4 骑行15分钟模式下公园可达性结果

3.3 公交出行方式下的可达性

总体上看,公交出行15分钟内仅覆盖4个栅格(3.48%),为三种模式最低,因其路线灵活性不足。将时间阈值扩展至30分钟后,公交速度优势显现:50个栅格(43.48%)可抵达公园绿地,覆盖86.71%人口。但仍有65个栅格(56.52%)无法30分钟到达,这些区域多仅有一条或无公交线路连接绿地,暴露路网覆盖率不足问题。

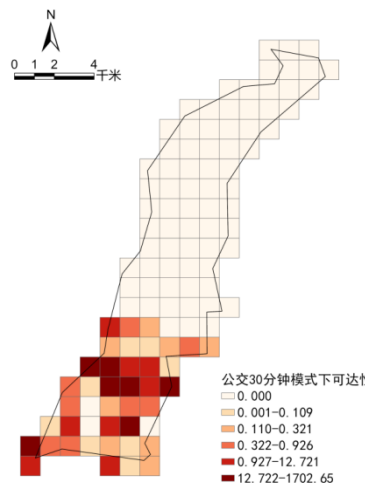


图5 公交30分钟模式下公园可达性结果

3.4 综合分析

本章采用分位数分级法(6级含0值区)结合渐变色阶(浅粉至深红)可视化,对比分析步行、骑行与公交三种模式下的公园绿地可达性空间分布差异(图3-图5),精确揭示区域间梯度变化特征。

图3显示,步行模式15分钟覆盖35%区域,可达性居三种出行方式中位。空间分布上,老城中心区(高密度路网)呈红色高值集聚,可达性最优;扬子洲镇(低人口密度与用地分散)显著弱化,

揭示低密度地区慢行交通适配挑战。该特征提示需在城乡结合部针对性提升步行网络连通性。

图4显示,骑行模式15分钟覆盖60%区域(最优),呈“核心高-边缘低”梯度分布。老城中心路网密集且串联公园,形成深红色高值区;扬子洲镇及跨区边缘因路网断裂/绿地缺失可达性低,需优先修复断头路并强化核心区骑行路径与绿地衔接。

图5显示,公交模式30分钟仅覆盖30%区域,可达性值域跨度大(0-1702.65)。深红高值区集中于老城核心(受益于公交线路密集与枢纽换乘效应),中等值区沿主干道延伸覆盖次级节点;扬子洲镇因路网稀疏及公交盲区,可达性趋近于零。此结果凸显完善公交网络对提升边缘区域可达性的关键性,规划需优先填补盲点并优化核心区线网重复率。

4 结论

本研究采用改进Ga2SFCA法,融合多源数据与动态交通成本,评估老城区公园绿地在步行、骑行及公交模式下的可达性。整合实时路况构建时间衰减函数,突破传统静态阈值限制。结果显示:步行15min覆盖率为32.17%,未达“300米见绿”标准,揭示核心-边缘服务差异;骑行15min覆盖57.39%,成为重要补充方式;公交30min覆盖43.48%,暴露边缘区盲点制约。空间分异呈现中山路等高值区与扬子洲镇等低值区的核心-边缘递减规律。

针对研究揭示的资源配置失衡与交通服务短板,提出以下规划建议:

(1)在步行盲区(如东湖区北部)优先布局社区公园与口袋绿地,加密5分钟生活圈服务节点,针对性填补“300米见绿”缺口。

(2)依托骑行廊道串联碎片化绿地,优化非机动车道与公园入口接驳,形成15分钟绿色通勤网络;同步调整公交线网,增设公园专线巴士,强化边缘区30分钟服务圈层覆盖;

(3)建立交通-人口-绿地的动态耦合评估机制,将实时路况、出行行为数据纳入绿地绩效监测体系,实现资源配置的动态调适

研究表明老城区可达性呈显著核心-边缘差异,未来需通过“精准补缺+动态优化”,推动公园资源向需求旺盛区域转移。构建“5min步行圈-15min骑行网-30min公交链”多级体系,实现规划从规模导向向质量-公平转型。智慧城市技术应用将助力全域服务均衡,塑造更具包容性的绿色生活场景。

[参考文献]

[1]Xingyou Zhang,Hua Lu,James B Holt.Modeling spatial accessibility to parks:a national study[J]:1-14.

[2]周克昊,幸丽君,谭荣辉.基于“动力-阻碍”关系模型的

城市公园绿地感知对公众心理健康的影响[J].生态学报,1-18.

[3]王彩萍,钟雨林,陈思宇,等.城市绿地与企业生产效率:基于劳动力视角的分析[J].系统工程理论与实践,1-18.

[4]Andrew R Maroko,Juliana A Maantay,Nancy L Sohler, et al. The complexities of measuring access to parks and physical activity sites in New York City: a quantitative and qualitative approach[J].International Journal of Health Geographics,2009,8:34.

[5]孙振如,尹海伟,孔繁花.不同计算方法下的公园可达性研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(S1):162-165.

[6]李平华,陆玉麒.可达性研究的回顾与展望[J].地理科学进展,2005,(03):69-78.

[7]Walter G. Hansen. How Accessibility Shapes Land Use[J]. Journal of the American Institute of Planners,1959,25:73-76.

[8]赵翠薇,李朝仙,杨柳英,等.国内医疗服务空间可达性研究进展[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2018,36(4):115-120.

[9]王春晓,黄舒语,邓孟婷,等.供需耦合协调视角下高密度城市公园绿地公平性研究——以深圳龙华区为例[J].中国园林,2023,(01):79-84.

[10]高巍,欧阳玉歆,赵玫,等.公共服务设施可达性度量方法研究综述[J].北京大学学报(自然科学版),2023,(02):344-354.

[11]全德,孙裔煜,谢苗苗.基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J].地理科学进展,2021,40(7):1113-1126.

[12]John Radke,Lan Mu. Spatial Decompositions, Modeling and Mapping Service Regions to Predict Access to Social Programs[J].Annals of Gis,2000,6:105-112.

[13]Wei Luo,Fahui Wang. Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region[J].Environment and Planning B: Planning and Design,2003,30:865-884.

[14]刘琳琳,郑伯红,骆晨.基于交通大数据的南昌市中心城区等时圈划分及特征分析[J].地球信息科学学报,2022,24(2):220-234.

[15]魏冶,修春亮,高瑞,等.基于高斯两步移动搜索法的沈阳市绿地可达性评价[J].地理科学进展,2014,33(04):479-487.

作者简介:

熊涵(2000--),男,汉族,江西南昌人,硕士在读,江西师范大学城市建设学院,城乡规划与设计,江西师范大学城市建设学院。