

引用格式:王楠,杜云艳,易嘉伟,等.基于手机信令数据的北京市空间品质时空动态分析[J].地球信息科学学报,2019,21(1):86-96. [Wang N, Du Y Y, Yi J W, et al. Spatial-temporal dynamic analysis of urban space quality based on Cellular Signaling data[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(1):86-96.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.180264

基于手机信令数据的北京市空间品质时空动态分析

王楠^{1,2}, 杜云艳^{1,2*}, 易嘉伟^{1,2}, 刘 张^{1,2}, 王会蒙^{1,2}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

Spatial-temporal Dynamic Analysis of Urban Space Quality based on Cellular Signaling Data of Beijing

WANG Nan^{1,2}, DU Yunyan^{1,2*}, YI Jiawei^{1,2}, LIU Zhang^{1,2}, WANG Huimeng^{1,2}

1. State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Improving urban functions and enhancing urban carrying capacity become new targets for urban planning and development. Quantifying urban space quality has become the research focus of urban planning in recent years. However, the lack of dynamic continuity and spatial accuracy in measuring the space quality weakens the practical value in urban planning. This study used the dynamic population information derived from cellular signaling data of one day and the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to establish a framework for evaluating dynamic spatial quality continuously at the functional block scale. The center region of Beijing within the fifth Ring were selected as a case study to test the evaluation framework. The time-varying spatial quality patterns and the correlation with dynamic population distribution were comprehensively investigated. The results show that the imbalance of the space quality in Beijing varies as the population distribution changes, and the significant differentiation in spatial-temporal and functional dimensions are manifested in the following aspects: We find that there exists spatial heterogeneity in the inner ring and outer ring of the city, which is more significant between the southern and northern parts of the city. On the time dimension, the spatial quality in the research area generally presents the unstable trend of "steep drop-low value stability-steep rise-high stability". On the dimension of function type, there are special changing modes on different functional types' blocks and larger gap in the mean spatial quality values between functional areas. The quality of the living space in the night block has significant level differences in the city. These results show that the spatial quality is significantly differentiated in the time, space and functional nature of the city. Meanwhile, the analysis of the relationship between population activity and spatial quality can evaluate the rationality of current resource allocation in various types of blocks. These results can offer supportive references and recommendations for more scientific and rational urban planning at the microscopic scale.

Key words: urban space quality; cellular signaling data; time-spatial analysis; 5th Ring of Beijing; fairness of resource allocation

收稿日期:2018-05-31;修回日期:2018-09-18.

基金项目:国家自然科学基金重大项目(41590845);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDY-SSW-DQC007-2). [**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41590845; Key Research Program of Frontier Science of The Chinese Academy of Sciences, No.QYZDY-SSW-DQC007-2.]

作者简介:王楠(1994-),女,硕士生,研究方向为时空数据挖掘. E-mail: wangnan171@mailsucas.ac.cn

*通讯作者:杜云艳(1973-),女,博士,研究员,研究方向为时空建模与推理. E-mail: duyuy@lreis.ac.cn

*Corresponding author: DU Yunyan, E-mail: duyuy@lreis.ac.cn

摘要:提升城市功能,增强城市承载力成为城市规划发展的新目标,城市空间品质研究已经成为目前城市规划研究的重点和难点,但是目前空间品质的研究存在动态连续性和空间精确性不足的问题。本文基于手机信令数据获取的城市内部全天的动态人口信息,以街区为尺度定量评价北京市五环内不同功能类型街区的空间品质指数一天内的动态变化,并进行时空分布特征、变化模式以及与人口活跃度关系的分析。结果表明,北京市五环内空间品质随人群活动的变化存在不均衡性,且在时间、空间、功能性质方面存在显著的分化。具体为:空间上城市内环与外环、城市南部与北部的品质差异显著;时间上大体呈现“陡降-低值稳定-陡升-高值稳定”的不稳定趋势;不同功能类型上有着特殊的变化模式,并且功能区之间的空间品质均值差距较大,夜晚街区的居住空间品质在城区内存在明显的等级差异性。这些结果为微观尺度下城市的资源分配和合理规划发展提供了参考和建议。

关键词:空间品质;手机信令数据;时空分析;北京市五环;资源配置公平性

1 引言

城市空间品质是对城市活动空间在“量”和“质”两方面满足城市人群的生理、心理和各种功能适用需求以及对城市社会经济发展适宜程度的评价^[1],直接关系到城市规划建设和资源合理分配,也影响着居民生活质量。开展城市空间品质定量评价研究有助于城市规划与决策部门客观、全面地认识城市人群对于空间品质感知的时空差异。如何科学地衡量与评价城市空间品质实现城市空间资源有效配置,合理和精准化地进行城市规划^[2-3],是当前城市研究的重要问题^[4]。

按照对城市空间品质关注侧重点的不同,现有研究主要从城市宜居性、城市活力、城市动态多样性3个方面开展了广泛的研究工作。当前关于城市宜居性的研究,主要从城市整体尺度开展评价与分析,包括指标体系建立及不同城市宜居性对比分析等;主要采用问卷调查和专家打分等传统方法。尤因等^[5]对城市进行了愉悦度研究,李丽萍等^[6]、张文忠^[7]、李倩等^[8]等以城市为单元针对城市宜居性评价问题分别从物质环境和社会环境容量、人类宜居生活影响因子等方面开展城市宜居评估指标体系构建的探索和改进。这类研究系统地建立和完善了城市宜居评价体系,剖析了影响居住环境形成和演化的显著因子。但是由于评价单元局限于城市尺度,缺乏对城市内部人群活动多样性的考虑,难以反映城市内部的动态变化。

随着众多学者对“城市活力”概念^[9]的深入理解,近年来面向街道或社区尺度融入多源数据的城市活力研究得到重视。该类研究主要从人群活跃度对城市活力的影响、城市内部尺度精细化等方面开展空间品质定量研究工作。龙瀛等^[10]探讨了“街

道活力”和“街道城市主义”概念,构建了定量评价街道活力的指标体系,并利用城市街景图片丰富街道活力评价内容^[11];姜蕾^[12]从街道的社会和环境要素出发定量分析城市的街区活力。这些研究在城市活力定量评价中融入了人群活跃度的信息,但由于数据难以实时获取以及城市人群动态分布制图方法的限制,该类研究在探讨人群动态特征对城市空间品质及活力评价的影响上存在不足。

随着手机信令、出租车轨迹、定位请求以及社交媒体等城市大数据的快速获取、城市计算^[13-14]概念的提出以及城市人群时空动态分布测算方法^[15-17]的不断改进,为开展城市空间品质的评价提供了新思路新方法新途径。近年来,学者们开始从城市空间品质的定量评价角度分别对交通、生活、环境、旅游等不同侧面融入不同活动类型人群的实时数据开展不同主题的定量分析与模式挖掘^[18-21],并为空间品质研究带来了新的发展。Ratti等^[22]、Dewille等^[23]开始使用大规模和细粒度数据对城市空间品质进行了解;Ju等^[24]利用移动数据来实现人口活力与城市内部土地利用的关系;江慧娟^[25]利用包括出租车数据在内的多源数据进行社区宜居性的动态研究。上述研究以人类活动的时空动态性为核心开展城市内部各特定主题的问题发现或者模式挖掘时,或多或少都涉及到了城市内部时空品质的评价,为空间品质的时空定量化提供了新的方向,但从系统性和全面性来看,缺乏对当前城市功能时空多样性及城市空间品质评价的融合研究。

由上述分析可知,当前城市空间品质研究由于受传统数据时空粒度的限制,仅限于从城市尺度给出定量评价结果。如何结合移动互联网技术带来的大数据获取手段,突破传统研究在时空尺度上的

局限,实现更精细尺度、动态的城市空间品质评价,是当前研究的难点问题。街区是人类在城市生活中从事各项活动的单元,是对城市空间结构的自然划分;道路,建筑物,绿地公园等社会资源的分布都是按照道路划分的街区进行自然的分配,相较于格网尺度和行政区划尺度对人与街区社会资源关系的探讨而言,利用街区进行人地关系的研究是更为合适的。对此,本文以北京市为例在街区尺度上开展城市空间品质的时空动态分析研究。首先使用手机信令数据获取城市人群的动态分布制图;其次,基于城市POI和建筑物数据进行城市街区功能识别,并且针对不同类型的街区建立空间品质的时空动态评价体系;最后,基于评价结果进行时间、空间、功能类型多维度的分析和模式挖掘并进一步探索空间品质与人类活动强度关系。

2 研究区域与数据来源

研究范围覆盖北京市五环以内的主城区(116.2°E-116°E, 39.9°N-40.0°N)。截止2017年底,北京市拥有2170.7万常住人口,城区面积396 km²,城市空间结构复杂,功能区丰富,具有频繁的人群流动和职住跨越,对于开展城市空间品质研究具有非常好的代表性,并有助于北京市的资源优化配置和城市功能的合理布局。

数据主要包括3类:①反映城市下垫面信息的城市土地利用、建筑物利用数据、城市地块数据等;②城市基础设施与公共服务数据,包括地铁站、公交站、POI点、学校、公共服务设施等数据;③手机信令数据。其中前两类数据都属于城市空间数据,数据来源于北京市四维图新公司导航电子地图数据产品。手机信令数据来源于中国移动北京分公司,记录了经过匿名处理的北京市2700万手机用户在2015年12月某工作日的手机通话和短信的活动信息,约6亿条记录,记录每次通信发生的时间和所在的基站位置,共覆盖五环内的9875个基站。本文采用Liu等^[17]提出的基于BP神经网络模型的北京市动态人口制图方法,得到北京市基站尺度逐小时的人口动态分布。

3 研究方法

街区尺度城市空间品质的时空定量评价方法主要包括3个步骤:①将手机信令数据和城市基础

地理数据统一转换到街区单元,并进行数据标准化处理;②结合POI、建筑物数据对城市街区功能类型进行识别;③建立街区尺度的城市空间品质定量评价指标体系,采用层次分析法确定各评价指标权重,实现不同功能街区的空间品质动态评价。具体技术流程见图1。

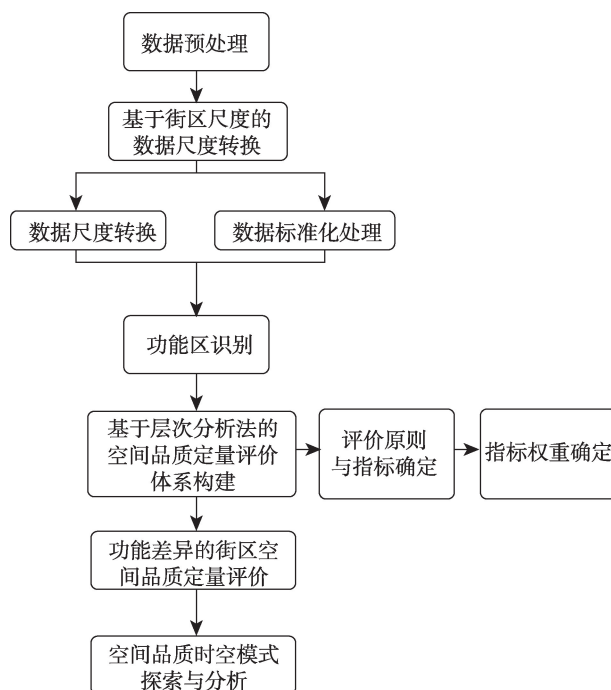


图1 空间品质定量评价研究技术路线框架

Fig. 1 Technical framework for quantitative evaluation of spatial quality

3.1 基于街区尺度的数据融合及功能区识别

本文通过对北京市主要道路网进行扩张细化处理从而获取北京市主要道路网骨架^[15]并进行城市面的切割得到五环以内的街区划分。手机定位数据中的基站分布三角网,与街区多边形进行空间叠加,并按街区的建筑物容积比例对基站范围内的人口估算值进行空间分配。该方法比按街区面积进行人口数量分配更准确^[29]。其他地理数据的融合,主要通过空间叠加、空间连接和空间统计等分析工具实现多源数据到街区尺度的转换^[30]。

为了去除不同指标单位不同或者量纲不同的影响,采用基于原始数据均值和标准差的z-score方法对指标进行标准化处理,公式如下。

$$P_{ij}^* = \begin{cases} \frac{P_{ij} - \bar{P}_j}{S_j} & P_{ij} \neq 0 \\ 0 & P_{ij} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: P_{ij}^* 为标准化后的指标值; i 为街区的序号, $i=1, 2, \dots, 296$; j 为指标的序号, $j=1, 2, \dots, 14$ (见 3.2 节); P_{ij} 为指标的取值; S_j 为第 j 类指标的标准差; \bar{P}_j 为第 j 类指标的平均值。

本研究结合 POI 数据和建筑物用地类型数据对城市的街区进行功能划分。参考传统划分标准^[28], 将北京市五环以内街区划分为 6 种类型: 商业商务区、居住区、公共管理与科教文化区、绿地与风景名胜区、道路与交通设施区、混合功能区。划分方法主要基于频率密度和类型比率, 并结合建筑物面积和 POI 数量建立特征向量对街区进行功能判别。具体采用基于频率密度(FD)和类型比率(CR)的街区功能识别方法^[31], 通过引入建筑物面积参数, 与 POI 点数共同进行街区功能类型的识别。在此过程中对 POI 和建筑用地的分类进行了一致性处理, 以确保与上文提到的城市功能区类型相一致^[32-33]。

3.2 街区尺度空间品质时空动态评价方法

3.2.1 评价指标体系

参考现有文献建立的评价指标体系^[30-31,34-36], 本

研究在科学性、系统性、操作性和适用性的指导原则下, 提出从经济、社会、感官和文化 4 个方面建立城市街区尺度空间品质的静态一级评价指标体系, 并进一步延伸出二级和三级指标(图 2)。其中, 经济空间品质指的是街区内提供商务商业等相关活动的设施资源与能力, 采用商业网点覆盖度和商务类型设施面积进行刻画; 社会空间品质指的是街区提供公共服务的能力, 该指标细分为交通、医疗、和居住 3 个亚类, 具体包括街区内医疗设施分布、街区内公交站点、轨道交通站点布局以及道路密度; 感官空间品质强调影响生态环境与资源可持续利用的要素, 具体包括街区水体及绿地的覆盖面积、公园占有面积以及风景名胜所占比重等指标; 文化空间品质反映街区具备的文化价值及提供精神文化服务的能力, 具体采用不同等级学校覆盖度、博物馆和图书馆等公共教育设施的分布指标来刻画。其次, 为了衡量街区品质的动态变化特征, 本研究引入街区空间动态评价指标, 采用基于手机信令数据的人口动态指标, 表征人群活动资源占有率

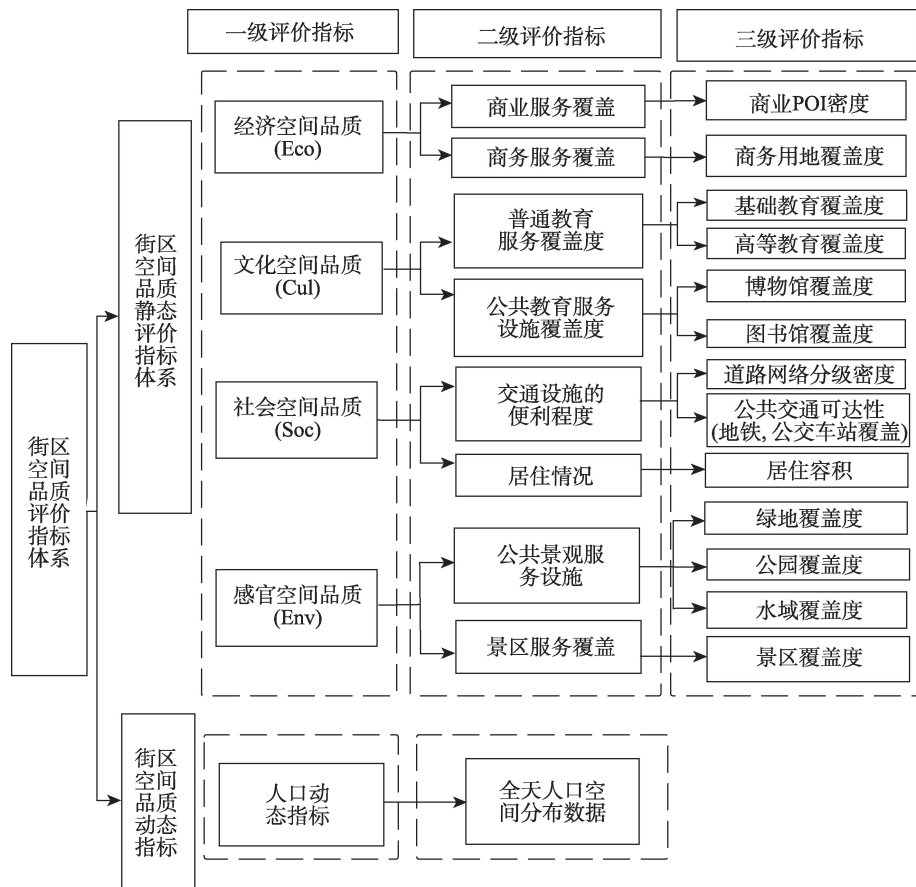


图2 街区空间品质评价指标体系

Fig. 2 Index system for evaluation of block's space quality

随时间的变化。人口动态指标采用3.1节所介绍的基于手机数据的全天动态人口分布。

3.2.2 基于AHP的评价方法

对于不同功能类型街区将空间品质评价体系的各种指标分解成3个层次。根据上述指标,开展每个街区的空间品质时空评价,具体采用指标体系的各层级各指标的加权综合评价方法。第一级指标评价公式见式(2)。第二级和第三级评价指标计算以此类推。

$$R = [Soc(p) \times Q1(1) + Eoc(p) \times Q1(2) + Env(p) \times Q1(3) + Cul(p) \times Q1(4)] / BlockPopTime_i \quad (2)$$

式中: R 为空间品质评价价值; $Soc(p)$ 、 $Eoc(p)$ 、 $Env(p)$ 、 $Cul(p)$ 为第一级指标计算值,其分别对应二级指标下社会、经济、感官和文化的加权评价结果; $Q1(i)$ 分别对应为一级指标下的评价指标权重; $BlockPopTime_i$ 为 i 时段的街区人口相对活跃度指标。

对于每一级指标的权重的获取,运用层次分析法 AHP (Analytic Hierarchy Process) 确定评价因子权重,用标度把评价因子两两比较的重要性主观判断客观量化,主要包括以下步骤:① 判别矩阵的构造,对空间品质评价指标体系的每一层级指标两两比较,将重要性判断写成判断矩阵;② 层次单排序及一致性检验;③ 组合权重的计算与排序;④ 针对不同功能类型的街区带入相应功能的空间品质评价体系依次对 296 个街区进行评估,得到全天街区质量评估的结果。

4 结果及分析

依据 3.2 节中对街区单元的获取及处理方法,在北京市五环内共提取出 296 个街区(图 3),街区平均面积为 2.88 km^2 ,标准差为 4.19551 km^2 。其中,居住区面积占比 54.4%,主要集中在三环内,而商业区圈分布较为分散,公共管理和科教文化区域则集中在五环内西北方向的“海淀高校群”,天安门广场以及圆明园等区域集中分布着大面积绿地及风景名胜,火车站附近被判别为交通设施区。在上述街区功能划分的基础上,本文从时间、空间、功能类型 3 个维度对空间品质评价结果进行详细讨论。

4.1 研究区不同功能街区空间品质值的时间维度分析

空间品质反映了人群在不同街区内不同时刻的活动空间感受质量,值越高代表其质量越高。将

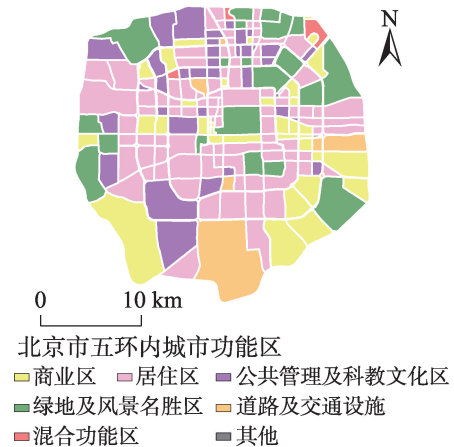


图3 北京市五环以内街区功能类型分布

Fig. 3 Distribution of functional types within the 5th Ring of Beijing

一天划分 13 个时段(7:00–20:00 每个小时为一个时段,20:00 至次日早 7:00 为夜间时段),对北京市 296 个街区 6 种不同的功能类型进行空间品质的动态评价(图 4)。

首先,从不同功能街区时间变化看,空间品质大体表现出“陡降–低值稳定–陡升–高值稳定”的趋势,即大部分街区白天品质值较低而夜晚升高,与五环内人群活跃强度变化密切相关。大部分街区早上 9:00 后到晚上 19:00 时段变化比较平稳,主要因为人们的出行在该时间段内相对稳定,大规模的移动较少,因而空间品质没有明显波动;20:00–7:00 晚间时段有一个明显的上升,五环内的居住场所比较集中,该时间段内人群大规模返回居住地或离开五环使得五环内大部分街区空间品质值得以明显升高;早晨(7:00–8:00)一般为出行时段,五环以外人群涌入五环并分散分布造成大部分街区空间品质的陡降。从街区功能类型来看,商业商务区、公共管理及科教文化区和绿地及风景名胜区的空间品质在 7:00–8:00 和夜间时段明显相对较高;居住区相对在早晨和夜间时段(7:00–8:00、20:00–7:00)的端点变化较为复杂,主要有 2 种模式:2 个端点较高或者白天时段相对较高而 2 个端点出现低谷;道路及交通设施区一天之中波动较大,没有特别明显的变化模式。

其次,为了分析街区空间品质随时间变化的异常,采用时空异常检测“ $k\sigma$ ”准则(σ 是空间单元内评价结果的标准偏差, k 的取值参照以往的研究结果取 1.634^[37])获取时间异常模式。

图 5 显示,296 个街区的异常值主要出现在夜

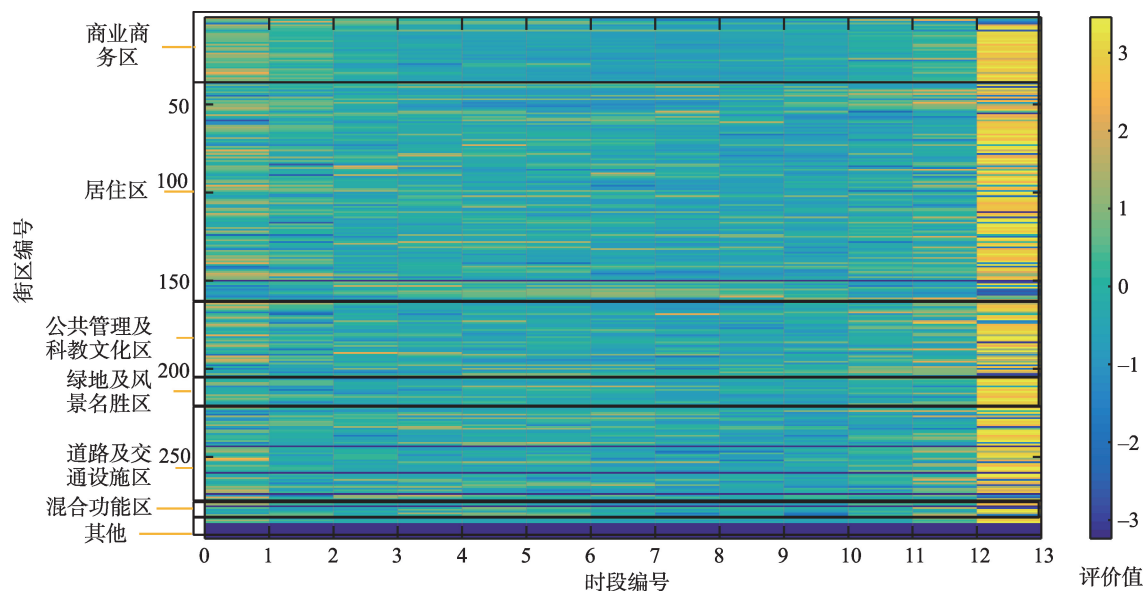
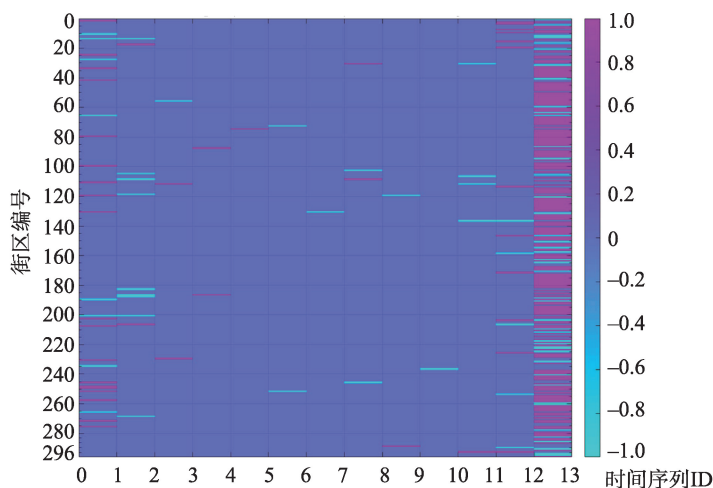


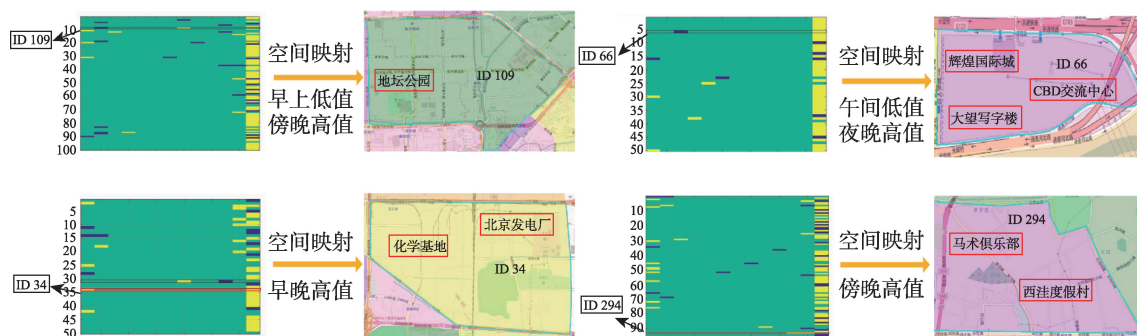
图4 空间品质全时段评价结果

Fig. 4 Space quality full-time evaluation results



注：紫色表示异常高值；亮蓝色表示异常低值；蓝色表示正常值。

(a) 街区空间品质时间序列异常检测结果



注：街区编号为3 466 109 294。

(b) 空间品质时间序列异常模式的典型街区提取

图5 街区空间品质异常检测及典型街区分析

Fig.5 Block space quality anomaly detection and typical block analysis

间时段且以异常高值居多(夜间异常共有220个街区,其中135为异常高,85为异常低;白天异常共有93个街区,35个街区在早晨时段出现异常值,只有28个街区在一天之中未出现异常值),反映北京大部分街区在早晨和夜间时段空间品质存在剧烈变化,选择图5中异常变化最具代表性的4个街区,进行土地利用和人流移动模式分析(图6)。可以看出,以地坛公园为主的109号街区,异常高和低值分别出现在早晨10:00和18:00,呈现出与人群到访公园的出行模式相一致的特点;而以大量工厂和生产基地分布为主的34号街区异常高值出现在早间7:00-8:00和20:00-7:00,呈现出与人群作息负相关的变化模式;以商业商务场所为主的66号街区(北京CBD)空间品质在午间随着人们出行聚集的高峰,达到低谷(异常低值);而以马术俱乐部和度假村为主的294号街区的分布,在17:00以后出现空间品质的异常高值。这4个街区代表了北京市典型的4种变化模式,由于街区主体功能不同导致人群活动在瞬时刻的波动引起空间品质异常值的出现。

4.2 街区空间品质的空间分布特征模式分析

选取5个代表时段(8:00-9:00、12:00-13:00、

14:00-15:00、17:00-18:00、20:00-7:00)进行北京市空间品质空间分布分析(图6)。整体上北京的空间品质维持在相对稳定的区间;早晚两时段(8:00-9:00、20:00-7:00)相比,晚间时段研究区总体空间品质提升,尤以东三环和中关村附近的商业商务集中区表现明显,但西南部丰台区的住宅集中区夜间时段空间品质略有下降;从时间序列来看,全天时段内街区自身的空间品质波动较大,从空间分布趋势来看,各个时间段的北京市街区的空间品质又呈现相对稳定的分布趋势和特点,空间品质较高的街区主要集中在四环以内且北部居多,并且北五环与北二环间有明显的高值聚集区存在,这个区域全天的均值达到0.64;从城市空间格局来看,以南北和东西中轴线对城市进行划分,北部和东部全天所有时段街区空间品质均高于南部和西部,北部街区均值为0.601,南部为0.53,西部为0.56,东部为0.58。

为研究街区空间品质最小值空间分布规律,本文对各个街区全天时段中的最低空间品质值进行归一化处理,并进行空间分布可视化表达(图7(a))。空间品质最低值的均值从小到大依次为绿地及风景名胜(0.167)、商业区(0.398)、居住区(0.562)、道路及交通设施区(0.639)、公共服务及科

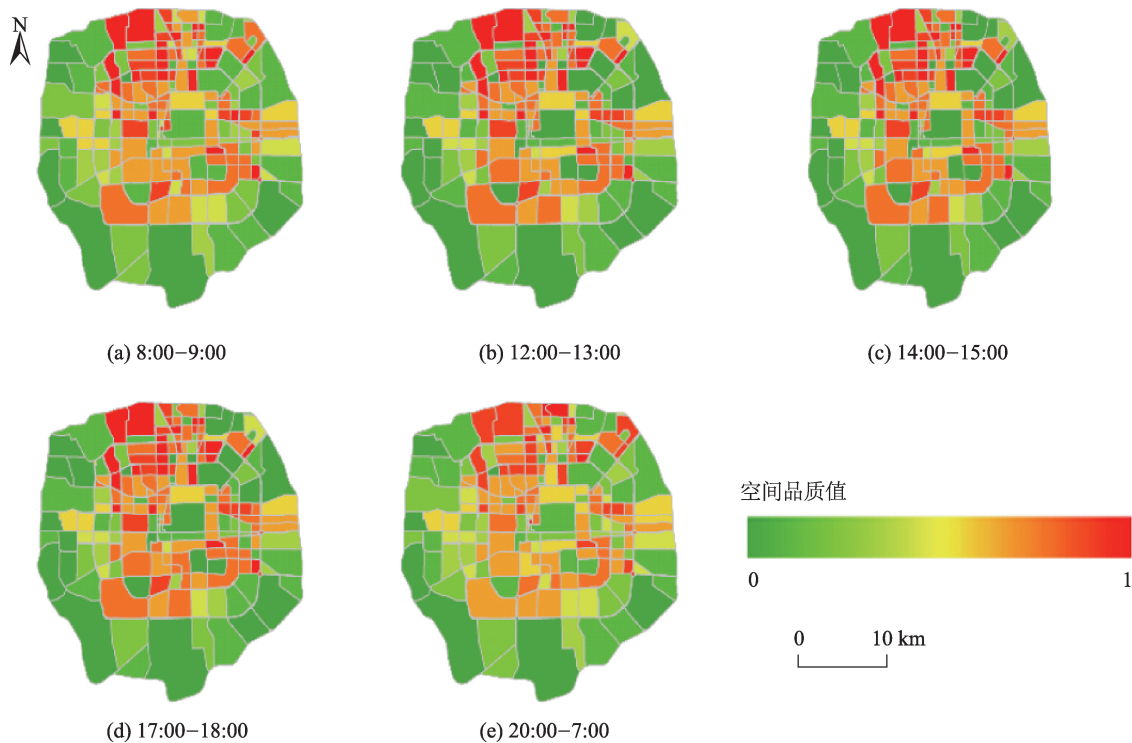


图6 全天5个典型时段的空间品质空间分布情况

Fig. 6 Spatial distribution of space quality in five typical time periods

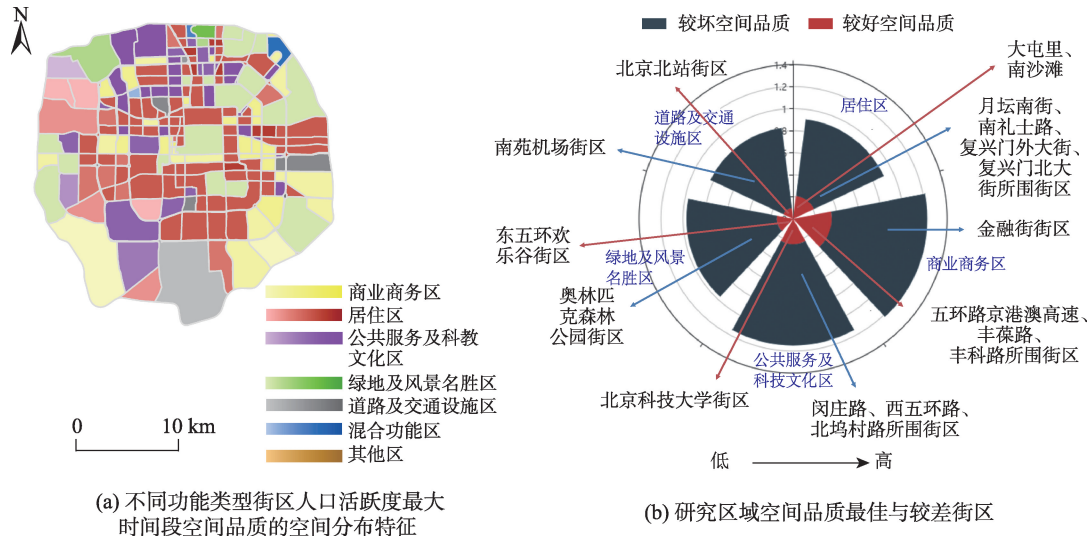


图7 人口活跃最大时间段的不同功能类型街区的空间品质分布情况

Fig. 7 Distribution of spatial quality of different functional types of blocks with the highest population activity period

教文化区(0.765)。从功能类型来看,居住区、公共服务及科教文化区和道路及交通设施区这三类功能区空间品质最低值相对较高,而商业区和绿地及风景名胜整体空间品质最低值相对偏低,这与北京市中心区城市功能集中,旅游人口在景区密度极高有很大关系。在城市的中心区的故宫、CBD、西单等区域集聚着巨大的人口活动,交通拥堵,资源配置近乎饱和但仍然不能满足人们的活动需求,图7(b)显示了短板效应的各个街区空间品质最佳和最差的街区。从空间分布情况来看,整体空间分异明显,北京四环五环的整体空间品质较差并突出表现在西四环、西五环、南五环;北京中轴线穿越以北的10 km缓冲区区域内具有较高的空间品质;同时,西部南部虽然活跃人口较多(主要在夜晚时段),但长期资源配置不够完善,造成其空间质量偏低。

为了进一步分析五环内的居住空间品质状况,把夜间时段所有街区都看做居住区的情况下,按照本文评价方法给出进一步的评价结果(图8(a))。可知居住品质最高值位于奥林匹克森林公园和望京街区,其中奥运体育中心附近有大量的公共服务设施和丰富的绿地资源,给居民带来感官空间品质的提升。而望京附近地区住宅覆盖率较高,拥有完善的交通设施和商业场所;玉泉路地区由于人口密度相对较大,然而交通设施不足,社会资源相对匮乏,不能很好满足街区居民相应社会需求的生活需求,呈现最低的居住品质评价结果。相对高值区集中分布在中轴线与北五环相交处的奥林匹克森林

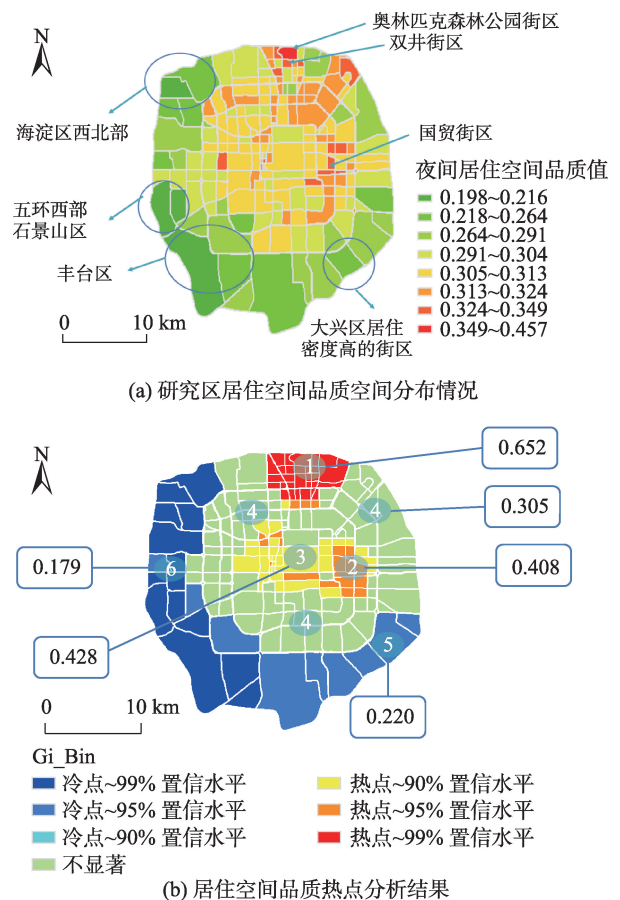


图8 居住空间品质评价结果

Fig. 8 Quality evaluation results of living space

公园5 km缓冲区域和国贸、双井区域;相对低值区域分布在四环以外西南部丰台区、西北部海淀区、西部石景山区和东南部大兴区的居住小区密度很

高的街区和榆树庄村、果园、张仪村等城中村。

此外,基于冷热点(Hot Spot Analysis)分析方法^[38]识别街区在夜间时段空间品质具有统计显著性的热点和冷点聚集区(图8(b))。从居住角度看,呈现出南北差异显著、沿中轴线递减,且呈现沿环线等级差异明显的空间分布规律。靠近北五环的居住空间品质总体高于南部,居住空间品质在研究区内存在明显的6个分级,在三环之外西部和南部有明显的低值区,这表明在北京市居民对居住空间在五环空间不同地域上享受的不公平性十分明显。

4.3 北京市五环内空间品质与人口活跃度关系

城市活力观点下越多的人会让街区变得更有活力,但是空间品质的感受度、人对资源的实际使用率也会与人口数呈现一定负相关关系。由此探讨空间品质与人口活跃度关系能够依据关系中不同类型的典型区域发掘各类规划问题以及规划参考街区,找到空间分布中不同区域的两者关系的分布特点。为了研究人口活跃强度与城市空间品质的关系,制作了人口活跃度与空间品质之间的二元关系图(图9(a))。“自然间断点法”划分数据方法基于数据中固有的自然分组,将对分类间隔加以识别,可对相似值进行分组,使各个类之间的差异最大化。图中按照自然间断点法将所有街区一天之内的平均值与街区空间品质进行“高-中-低”3个等级划分进行组合可以得到9种关系类型,按照每个街区的2个值所属的相应级别归入相应关系类型街区。结果可以看出,北京空间活跃度高同时空间品质也高的区域大多集中在城市的北三环和四环区域,这样的区域是城市的次中心拥有丰富的公共空

间资源,在适度的人口强度下保持较高的空间品质;而二者皆低的区域分布在西部和南部的四环与五环之间,这些区域受传统地理观念的影响难以有足够的资源和人群吸引力;高人口活跃强度低空间品质街区位于研究区东北部和部分景点街区,这些区域是住宅小区密集区或者人流量很高的风景名胜区,有限的空间和资源内无法高效承担人的活动;低人口活跃强度高空间品质街区位于南部的二环和三环区域,这些区域人流量小可以进行资源配置吸引更多人口流入,从而缓解部分城市热点街区的低空间品质压力。具体选取有代表性的3类关系街区如图9(b),分别为“高-高”(高空间品质,高人口活跃强度)、“低-高”,“高-低”。中关村和望京是典型的“高-高”区域,中关村是科教文化中心、望京是商业商务经济中心,也是人口高度集中的地区。从分析结果来看,2个地区很好地调整了人地关系,依据位置特征,功能定位来配置设施,发展互联网经济,高校区域集中,是合理配置资源的参考。故宫风景区则为典型的由于大量旅游团体的集中,活动强度极高出现人地矛盾,需要重点关注该地区的交通以及公共服务设施的加强。

5 结论与讨论

城市空间品质是衡量人地之间和谐程度的一个重要概念。本文在对以往空间品质定量评价体系及当前较为前沿的城市人群时空动态制图研究成果分析的基础上,提出了融合传统空间品质定量评价方法和城市人群时空动态特征方法开展空间品质时空动态评价的框架,并针北京市内部街区尺度开展实例研究。从时间变化来看,北京街区空间

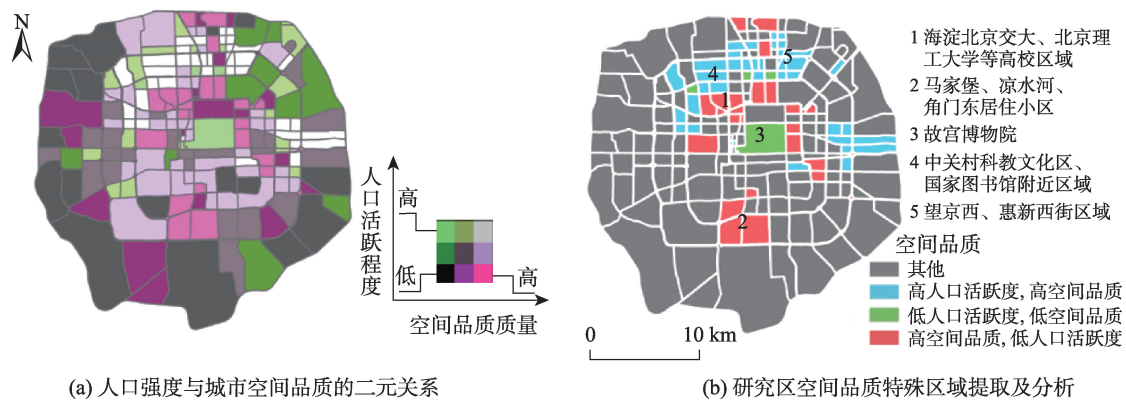


图9 研究区空间品质与人口活跃强度关系及街区分类分析

Fig. 9 Relationship between spatial quality and active human intensity in the study area

品质大多呈现“陡降-低值稳定-陡升-高值稳定”的趋势。从空间分布来看,五环以内,东部和北部空间品质相对高于西部和南部,西部和南部的四五环区间空间品质处在较低水平,呈现半圆形的差异性对比模式,沿北京市的中轴线在北三环至北五环的10 km范围内空间品质相对较高。居住空间品质内环空间品质总体高于外环,北部总体高于南部并且集中体现在四环与五环之间的差异性。研究区存在6个明显的居住空间品质等级,其从中轴线由北及南呈现递减趋势,这与湛丽等^[39]采用问卷调查的北京市居住环境结果较为吻合;对于空间品质和人类活动的关系,在研究区内有着多样的人地关系,在对典型的3类关系研究中能够发现二者关系相互影响的特点和规划较为合理的街区。

为了实现精细动态的城市街区空间品质评估,本文虽然使用手机数据进行了人类分布的刻画,但仅靠手机信令数据还存在一定的片面性,难以全面地反映人群对空间品质的情感认知,未来研究中可进一步结合大众点评数据、微博等多源大数据获取到人对活动空间的感知和认识,提高结果的深度和丰富性。另外,本文对于空间品质中依靠相对人口活跃度与空间品质之间近似的负相关关系存在一定的局限性,未能全面考虑各类型街区对人流量的需求,在今后的研究中需要进一步改进评价体系的全面性与客观性。

参考文献(References):

- [1] 董春方.城市高密度环境下的建筑学思考[J].建筑学报,2010(4):20-23. [Dong C F. Architectural consideration to urban high density[J]. Architectural Journal, 2010(4):20-23.]
- [2] Nadai M D, Staiano J, Larcher R, et al. The death and life of great Italian cities: A mobile phone data perspective[C]. // International Conference on World Wide Web, International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2016.
- [3] Rapoport A. The study of spatial quality[J]. Journal of Aesthetic Education, 1970,4(4):81-95.
- [4] 周进,黄建中.城市公共空间品质评价指标体系的探讨[J].建筑师,2003(3):52-56. [Zhou Jing, Huang J Z. Discussion on quality evaluation index system of urban public space[J]. Architect, 2003(3):52-56.]
- [5] Reid E, Robert C. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. Journal of the American planning association, 2010,76(3):265-294.
- [6] 李丽萍,郭宝华.关于宜居城市的理论探讨[J].城市发展研究,2006,13(2):76-80. [Li L P, Guo B H. A study on the theory of the livable city[J]. Urban Studies, 2006,13(2):76-80.]
- [7] 张文忠.宜居城市的内涵及评价指标体系探讨[J].城市规划学刊,2007(3):30-34. [Zhang W Z. Study on intrinsic meanings of the livable city and the evaluation system of livable city[J]. Urban Planning Forum, 2007(3):30-34.]
- [8] 陈晓勤.城市宜居指数评价体系研究——以北京市为例[C]//2008中国城市规划年会论文集.上海:同济大学,2008. [Chen X Q. Study on the evaluation index system of livable index in cities -- a case study of Beijing[C]//2008 proceedings of the annual conference of China urban planning. Shanghai: Tongji University, 2008.]
- [9] Jacob J. The death and life of great american cities[M]. New York: Random House LLC,1961.
- [10] 龙瀛,周垠.街道活力的量化评价及影响因素分析——以成都为例[J].新建筑,2016(1):52-57. [Long Y, Zhou G. Quantitative evaluation on street vibrancy and its impact factors: A case study of Chengdu[J]. New Architecture, 2016(1):52-57.]
- [11] 姜蕾.城市街道活力的定量评估与塑造策略[D].大连:大连理工大学,2013. [Jiang L. Quantitative assessment and shaping strategy of vitality of urban streets[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.]
- [12] 唐婧娴,龙瀛,翟炜,等.街道空间品质的测度、变化评价与影响因素识别——基于大规模多时相街景图片的分析[J].新建筑,2016(5):110-115. [Tang J X, Long Y, Zhai W, et al. Measuring quality of street space, its temporal variation and impact factors: An analysis based on massive street view pictures[J]. New Architecture, 2016(5):110-115.]
- [13] Zheng Y, Capra L, Wolfson O, et al. Urban computing: Concepts, methodologies and applications[J]. Acm Transactions on Intelligent Systems & Technology, 2014,5(3):51-55.
- [14] 郑宇.城市计算概述[J].武汉大学学报·信息科学版,2015,40(1):1-13. [Zheng Y. Introduction to urban computing[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2015,40(1):1-13.]
- [15] Zhang J, Zheng Y, Qi D, et al. Predicting citywide crowd flows using deep spatio-temporal residual networks[J]. Artificial Intelligence, 2018,259:147-166.
- [16] 陈丽娜,吴升,陈洁,等.基于手机定位数据的城市人口分布近实时预测[J].地球信息科学学报,2018,20(4):523-531. [Chen L N, Wu S, Chen J, et al. The near-real-time prediction of urban population distributions based on mobile phone location data[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(4):523-531.]
- [17] Liu Z, Ma T, Du Y Y, et al. Mapping hourly dynamics of urban population using trajectories reconstructed from mobile phone records[J]. Transactions in Gis, 2018,22(2):494-513.
- [18] 周洋.基于出租车数据的城市居民活动空间与网络时空特性研究[D].武汉:武汉大学,2016. [Zhou Y. Study on urban human activity space patterns and network spatial temporal characteristics in urban cities using taxi trajectory

- ry data[D]. Wuhan: Wuhan University, 2016.]
- [19] Yuan N J, Zheng Y, Xie X, et al. Discovering urban functional zones using latent activity trajectories[J]. Knowledge & Data Engineering IEEE Transactions on, 2015,27(3):712-725.
- [20] 丁亮,钮心毅,宋小冬.上海中心城就业中心体系测度——基于手机信令数据的研究[J].地理学报,2016,71(3):484-499. [Ding L, Niu X Y, Song X D. Measuring the employment center system in Shanghai central city: A study using mobile phone signaling data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016,71(3):484-499.]
- [21] 王德,钟炜菁,谢栋灿,等.手机信令数据在城市建成环境评价中的应用——以上海市宝山区为例[J].城市规划学刊,2015(5):82-90. [Wang D, Zhong W, Xie D, et al. The application of cell phone signaling data in the assessment of urban built environment: A case study of Baoshan district in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2015(5):82-90.]
- [22] Ratti C, Frenchman D, Pulselli R M, et al. Mobile landscapes: Using location data from cell phones for urban analysis[J]. Environment and Planning B-Planning & Design, 2006,33(5):727-748.
- [23] Deville P, Linard C, Martin S, et al. Dynamic population mapping using mobile phone data[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014,111(45):15888-15893.
- [24] Tu W, Cao J, Yue Y, et al. Coupling mobile phone and social media data: A new approach to understanding urban functions and diurnal patterns[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2017,31(4):1-28.
- [25] 江慧娟.基于多源时空数据的城市社区宜居性动态评价方法研究[D].武汉:武汉大学,2017. [Jiang H J. Research on dynamic evaluation method of urban community livability based on multi temporal spatial data[D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.]
- [26] 肖亮.城市街区尺度研究[D].上海:同济大学,2006. [Xiao L. The research on urban block[D]. Shanghai: Tongji University, 2006]
- [27] Zhang, Junbo, Zheng Y, Qi D. Deep spatio-temporal residual Networks for citywide crowd flows prediction[J]. National Conference on Artificial Intelligence, 2016,1655-1661.
- [28] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB/T 50137-2011 城市用地分类与规划建设用地标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2011. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. GB/T 50137-2011 Classification of Urban Land Use And Planning Standards Of Development Land[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.]
- [29] 王瑶莉,高松,刘瑜.青岛城市道路邻近中心性及其应用方法[J].地理研究,2013,32(3):452-464. [Wang Y L, Gao S, Liu Y. Exploration into urban street closeness centrality and its application methods: A case study of Qingdao [J]. Geographical Research, 2013,32(3):452-464.]
- [30] 王劲峰,葛咏,李连发,等.地理学时空数据分析方法[J].地理学报,2014,69(69):1326-1345. [Wang J F, Ge Y, Li L F, et al. A theoretical framework for spatial analysis[J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(9):1326-1345.]
- [31] 池娇,焦利民,董婷,等.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,2016,41(2):68-73. [Chi J, Jiao L M, Dong T, et al. Quantitative identification and visualization of urban functional area based on POI data[J]. Journal of Geomatics, 2016,41(2):68-73.]
- [32] 刘欣葵,彭文英.城市功能分区与分区分类管理[J].城市管理与科技,2010,12(4):20-22. [Urban functional division and division management[J]. Urban Management Science & Technology, 2010,12(4):20-22.]
- [33] 张玲. POI 的分类标准研究[J].测绘通报,2012,(10):82-84. [Zhang L. Research on POI classification standard[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012,(10):82-84.]
- [34] 曾佑海.城市公共空间品质评价及分析研究[D].重庆:重庆大学,2015. [Zeng Y H. An analysis and evaluation of the quality of urban public space[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.]
- [35] Li Q, Xu B, Ma Y, et al. Real-time monitoring and forecast of active population density using mobile phone data [M]// Big Data Technology and Applications. Singapore: Springer, 2015.
- [36] Sun J, Wang Y X, Si H, et al. Aggregate human mobility modeling using principal component analysis[J]. Journal of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, 2010,1(2/3):83-95.
- [37] Cheng T, Li Z L. A multiscale approach for spatio-temporal outlier detection[J]. Transactions in GIS, 2006,10(2):253-263.
- [38] Feng Y, Chen X, Gao F, et al. Impacts of changing scale on Getis-Ord Gi* hotspots of CPUE: A case study of the neon flying squid (*Ommastrephes bartramii*) in the north-west Pacific Ocean[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2018,37(5):67-76.
- [39] 湛丽,张文忠,李业锦,等.北京城市居住环境类型区的识别与评价[J].地理研究,2015,34(7):1331-1342. [Chen L, Zhang W Z, Dan Y X. Identification and evaluation of residential environment types in Beijing city. Geographical Research, 2012,31(4):720-732.]