

引用格式:杨建思,柳帅,王艳东,等.融合多源大数据的武汉城市空置区域评估与分析[J].地球信息科学学报,2020,22(5):997-1007. [Yang J S, Liu S, Wang Y D, et al. The assessment and analysis of the phenomenon of vacancy within Wuhan city using multi-source datasets[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(5):997-1007.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190620

融合多源大数据的武汉城市空置区域评估与分析

杨建思¹, 柳 帅¹, 王艳东^{2*}, 廖明生²

1. 武汉大学城市设计学院, 武汉 430072; 2. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

The Assessment and Analysis of the Phenomenon of Vacancy within Wuhan City Using Multi-Source Datasets

YANG Jiansi¹, LIU Shuai¹, WANG Yandong^{2*}, LIAO Mingsheng²

1. School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: With the rapid construction of urban areas, it is necessary to make assessment of the built-up areas. As the city develops and expands, many of the built-up areas may show the phenomenon of vacancy with a small population, few businesses, and seriously low productivity. It is a serious obstacle to urban development and leads to the decrease of street vitality. In order to promote the healthy development of cities, it is necessary to evaluate the existing phenomenon of vacancy in cities. This paper proposes a method to quantify and evaluate the phenomenon of vacancy at the city block level with a vacancy index, as well as investigate its influencing factors. Firstly, a vacancy index is determined by the characteristics of a vacant town based on nighttime light data and land cover information. The nighttime light data of Luojia-1A satellite whose resolution is higher than DMSP-OLS and NPP-VIIR, reflect the intensity of nocturnal activity. In SAR interferometry, coherence is the criteria of phase stability. Stabilized objects in urban areas can be identified as buildings according to the coherence, which shows the external characteristics of vacant towns. By visualizing the vacancy index in the study area, failed construction in urban areas can be identified. Then, based on classical urban design theories on spatial vitality promotion, a series of factors of urban vitality are summarized as the internal influencing factors of the vacancy phenomenon, including the distance to the street, integration, choice, the crowd density, function of street-block, mixture of primary use, and mixture of building ages. These internal influencing factors of the vacancy phenomenon are quantified by social sensing data and road information. Lastly, the extrinsic and intrinsic features of vacancy are combined, a Random Forest model is employed to refine the vacancy index and rank the importance of the influencing factors. We use the urban area of Wuhan as a case study. Wuhan develops and expands fast in recent years. The areas with severe vacancy can be identified by visualizing the vacancy index with this proposed method. Meanwhile, the influencing factors that have the most impact on the degree of

收稿日期:2019-10-23;修回日期:2020-02-29.

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFB2100500)。[**Foundation item:** National Key Research and Development Program of China, No.2018YFB2100500.]

作者简介:杨建思(1963—),江西于都人,教授,博士生导师,主要从事遥感及空间信息技术在城市规划与管理中的应用。

E-mail: Jsyang@whu.edu.cn

*通讯作者:王艳东(1972—),湖南岳阳人,教授,博士生导师,主要从事城市大数据分析计算等研究。

E-mail: ydwang@whu.edu.cn

vacancy, accessibility of road network, and population density, are also identified. In this paper, the phenomenon of vacancy is analyzed from two perspectives, multi-source remote sensing data and multi-source social sensing data, both of which have time series correspondence. Thus, the results of this paper are reliable and can assist with the assessment and analysis of the phenomenon of vacancy in urban areas.

Key words: vacancy; nighttime light; random forest; SAR; vitality of block; heat map; point of interests; space syntax

***Corresponding author:** WANG Yandong, E-mail: ydwang@whu.edu.cn

摘要:在城市不断发展与扩展的同时,许多建成区可能会出现空置,表现为人口、企业稀少,生产水平严重低下,对城市空置区域的评估能够反映当前城市内部各区域发展状况,能够作为城市改造更新的依据。本文提出了一个以空置指数来量化评估城市内部层面空置现象,并对其影响因素进行探究的方法。根据“空城”的外在特征:建筑水平与社会活动水平,空置指数通过较高分辨率夜光遥感影像(Luojia1-01)和土地覆盖信息得到;同时依据城市空间活力营造原则,通过社会感知数据与路网数据量化产生空置现象的内在影响因素;并通过随机森林模型对空置指数精细化以及对影响因素重要性排序。以武汉市城区为例,用该方法对空置指数可视化,可识别出空置现象严重的区域,主要为老旧城区、工厂库房、单一功能的公共设施区域等,同时道路的可达性与人流密度对空置现象影响较大,且建立的随机森林模型精度 R^2 可达 84.6%,对空置指数通过随机森林拟合后,其可视化分辨率由 130 m 优化至 25 m。本研究结果可为城市中空置现象的改进提供依据。

关键词:空置现象;夜间灯光;随机森林;SAR;街区空间活力;热力图;兴趣点;空间句法

1 引言

在城市发展过程中,自然灾害,战争,规划决策等原因会造成城市部分区域建筑利用率低下的空置现象^[1]。而在当今和平发展的世界格局下,随着城市化进程的加快,城市建设项目的过度开发,许多新建区域的建设远远超过了一些城市的实际需求,很多学者从规划决策与实际建设失衡方面出发,对空置现象进行了定义与评价。Shepard^[2]认为“空置现象出现在开发项目产能低下,人口、企业等明显低于可用水平的地区”。Dubeaux^[3]定义未使用的城市市场为“闲置空间”。段禄峰等^[4]将房屋空置率过高、产业空洞,甚至被废弃的城市或城市区域称为“空城”,并从政策层面对其成因进行了分析。总而言之,空置现象可被总结为2个特征:①具备一定的建筑;②社会活动水平低下。

对于空置现象的研究,以往的研究主要落脚于国家或城市规模。在城市层面,许多学者依据不同特征对不同城市空置现象进行了量化排序,得到了一些具有明显“空城”特征的城市。例如,通过比较新旧城区路网密度与兴趣点(POIs)密度构建不同城市的新旧城区差异化指数,认为新旧城区差异较大的城市可能建设与实际失衡^[5];以城区总体夜间灯光强度、建成区面积、建成区高夜光强度的面积等指标并结合其比值构建反映整个城市空置现象的指数并对城市进行排序^[6-8];利用照明面积与建筑

面积间一致性,夜光强度,人口密度构建三元轮廓对不同特征城市进行了比较^[9];利用时序 Landsat 数据构建 1992—2012 年每年的新建区域,并结合相应的时序夜间灯光数据,构建夜间灯光在新建区域的变化率,对一线城市与小城市的新建区域活动趋势进行了比较^[10];从房地产角度出发,统计各个城市商品房销售量与存量之比^[11]等。但在城市或国家层面的研究,只能对单个城市的发展趋势进行评价,无法衡量其内部发展状况。

从城市管理者的角度来看,更细化的研究,如城市微观层面进行动态监测以及估算城市内部的社会经济差异,对于了解城市环境变化以及对城市后续规划十分重要。也有学者展开了对城市内部层面的研究:Chi 等^[12]以鄂尔多斯和乳山为例,利用 POIs 和 GPS 定位数据进行聚类,分别得到住宅区与人流的聚集区,从而识别出人流稀疏的住宅区为空城区,唐如建等^[13]统计了南京市某一年度新建住宅的存量与销售量之比为住房空置率,并对其空间分布进行了分析。同时,城市微观层面的空置现象一定程度上与街区活力有关,存在空置现象的往往是街区活力低的区域。部分研究通过 POIs^[14-15]、社交媒体数据^[16-17]等,量化地描述了街区活力。且 Jendryke 等^[17]将街区活力低的区域描述为潜在的空置区域;Ge 等^[6]与唐如建等^[13]在定义与分析空置现象后,还与各类代表城市活力的因素如基础设施、交通条件等进行了相关性分析。

然而,目前的研究存在着如下问题:对城市内部空置现象的研究,精细化程度低;一般只以部分居民住宅为个例,没有对城市内部整个区域展开研究;对空置现象的内在影响因素缺乏系统化的分析。因此,本文使用区别于DMSP-OLS数据和NPP-VIIRS数据的LuoJia1-01夜间灯光数据,具有130 m较高分辨率;建成环境方面,使用合成孔径雷达数据相比光学遥感构建的建成区,不受天气的影响,使研究结果能更好地体现城市内部。以夜间灯光与建成环境构建指标对空置现象进行评价,夜间灯光反映了区域的产能状况以及人类活动,相比于只考虑居民住宅是否被出售或居民区是否具有一定的人流密度,能更全面地反映城市内空置现象的特征。同时,依据城市空间活力营造原则,构建了一系列对空置现象的影响因素,并融合多源社会感知数据和OSM路网数据对其量化,通过随机森林模型训练,得到各种因素对空置现象的影响程度,并对空置指数可视化进行了随机森林回归拟合,最终能达到25 m×25 m的分辨率。

2 实验区概况与数据来源

研究区域为武汉市主城区,包括了三环线内以及沌口,武钢,庙山等区域。武汉是正处在快速发展的城市,由于其战略地位,2016年武汉被列为国家中心城市,城市不断扩张,发展的步伐也越来越快,越来越多的地块投入到了建设中,但是,“摊大饼”的城市发展模式,不可避免会使得规划与实际失衡,因此以该城市为研究对象具有代表性。

本研究采用的数据主要包括以下3种:

(1)夜间灯光(Night-time Light, NTL)数据作为地区的产能状况以及人类活动的表现,广泛应用于人口密度估计^[18-19]、电力消耗^[20]、环境治理^[21-22]、灾害评估^[23]等诸多社会、环境问题中。目前常用的数据是DMSP-OLS数据和NPP-VIIRS夜间灯光数据,由于累积了一系列时序数据,能对时空变化进行分析,但受制于分辨率,只能分析较大范围内的变化。本研究采用的夜间灯光数据来自2018年发射的LuoJia1-01卫星,成像时间为2018年10月30日。该卫星是全球首颗专业夜光遥感卫星,其影像分辨率可达130 m,远高于目前常用的2种夜光遥感数据。

(2)对城市建成环境的观测。本文采用了2景

Sentinel-1A合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)数据,相较于光学影像,其观测结果不受天气影响,以及重访周期短等优点,也使得逐渐应用于城市社会问题的研究^[24-25]。本文选取IW成像模式的VV极化数据,对于建筑物等光滑的地面, VV极化有较强的后向散射系数,能更好地识别建筑体, IW成像模式分辨率为5 m×20 m,数据成像时间为2018年10月4日与2018年10月16日。

(3)本文还收集了一系列社会感知数据。社会感知是借助各类空间数据描述人的时空行为特征,进而揭示社会经济、环境等现象的时空分布、联系及过程的方法。通过宜出行API(Application Programming Interface)获取了2018年10月10日和2018年10月13日工作日和休息日间隔2 h总共24个时间点的微信定位记录,用于反映人流特征;通过百度API接口收集了15个分类的POIs共计269 663条,用于城市功能区的划分;以及通过爬虫的方式,在去哪儿网,链家,获取了武汉城区的小区,写字楼,酒店的建成年代信息共计6263条,这些数据被应用于构建城市中人的时空行为特征,称之为社会感知数据。同时,还收集了OSM(Open-Street Map)路网作为道路信息应用于街区划分和街道可达性的判定。

3 研究方法

本研究对空置区域的评估与分析通过确定其外在特征与内在特征来实现:①灯光强度与建成环境反映了空置现象特征最直观的外在特征,以人的视角,可以很直观地通过建筑区域存在灯光与否判断是否产生了空置现象,因此构建夜间灯光强度与建成区域的一致性指数,评估空置现象的外在特征;②城市内局部空置现象的实质是街区活力低下,文章基于城市空间活力营造原则构建了一系列城市活力要素,并通过城市计算,量化这些难以被直接感知的各方面城市活力因素,构建了空置现象的内在特征;③通过随机森林模型训练,对各类城市活力因素进行排序,同时对空置指数可视化进行了随机森林回归拟合。研究框架如图1所示,分为构建空置指数、确定影响因素、随机森林训练3个部分。

3.1 外在特征:空置指数的建立

依据前人研究,空置现象具有2个特征:具备一

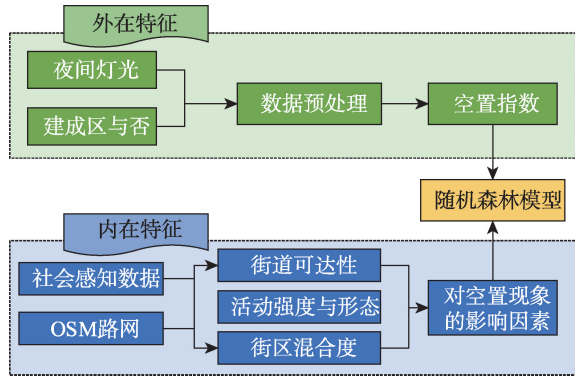


图1 城市空置区域评估与分析的总体研究框架

Fig. 1 Research frame work for assessment and analysis of the phenomenon of vacancy

定的建筑;社会活动水平低下。由于夜间灯光能很好地反映各方面的人类活动与生产水平,而合成孔径雷达也能识别城市内部建成环境的差异。本文从这2个特征出发,考虑夜间灯光强度与建成区域的一致性,构建反映城市内部空置现象的指标。

由 LuoJial-01 获取的原始 NTL 数据定位精度范围为 0.49~0.93 km,为了准确确定夜间灯光强度分布,首先需要对实验图像进行几何校正^[26]:该 NTL 数据分辨率较高,因此使用道路交叉点收集精确的地面控制点(GCP),并估计有理多项式系数(RPC)进行几何校正。然后,将灯光强度像元值 L 进行归一化处理,为了避免归一化后数据分布过于集中接近于 0,采用基于 k 均值聚类的分箱将灯光强度值 L 聚为 32 类并按大小排序,之后将其归一化,得到归一化灯光强度值 L_{nor} 。

对 SAR 数据进行干涉处理。SAR 干涉测量常被用于地表与冰雪变化的检测^[27],相位信息是干涉测量中一个重要参数。以相干值 γ 表示相位信息,即 2 幅影像之间相位差的相对测量,其取值范围为 (0~1),相干值 γ 越高说明在该城市区域存在着稳定的建筑区域,越低则代表着该区域为岩石草木水域等。实验中的 2 幅影像,时间基线为 12 d,空间垂直基线小于 150 m,减小了卫星系统本身变化与时间去相关对结果的影响。其次,对相干值 γ 进行各项异性非线性扩散滤波(ANLD)处理,迭代次数 $t=5$,去除其斑点噪声,得到滤波后的相干值,其值代表了街区建成程度。

对数据预处理后,得到了代表灯光强度,建成与否的特征分布(图 2),本文改进了文献[28]中的人类居住指数(Human Settlement Index)。依据空置现象的特征,以相干值 γ ,归一化灯光强度 L_{nor} 变量,

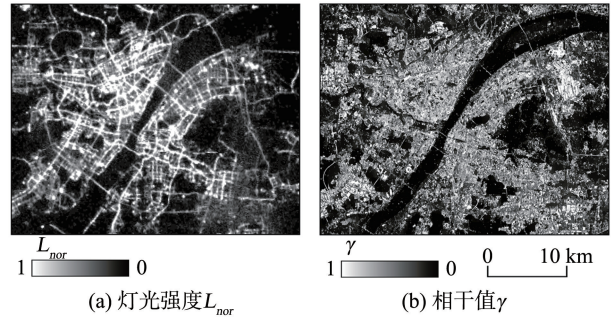


图2 预处理后的武汉城区夜间灯光、相干值

Fig. 2 Pre-processed night-time light and coherence of Wuhan city

构建了一个空置指数(Vacancy Index, VI)。

$$VI = \frac{(1 - \gamma) + \alpha L_{nor}}{\alpha(1 - L_{nor}) + \gamma + \alpha \gamma L_{nor}} \quad (1)$$

$$\alpha = L_{max} / TD_L \quad (2)$$

VI 分别与灯光强度和相干值表示的建筑环境呈正相关和负相关,代表了灯光强度与相干值的一致性与差异性,即灯光强度越低且相干值越高(建成程度越高)时,VI 越低,其存在空置、空城现象的可能性就越大。同时,为避免建成程度高且灯光强度高的区域,由于相干值与 VI 的负相关性导致 VI 值偏低,给归一化灯光强度增加一个权重 α ,该权重为灯光强度最大值 L_{max} 与灯光强度阈值 TD_L 的比值,阈值将灯光强度分为灯光强度高和低的区域,高灯光强度区域由于存在较大的权重因而有较高 VI 指数。

本文结合土地覆盖信息确定灯光强度阈值 TD_L 。建成区可由相干值 γ 确定,设定相干值 γ 阈值为 $TD_\gamma = 0.5$, $\gamma > 0.5$ 的区域为建成区^[17],得到二值化相干值 γ_b 。通过不断变更 TD_L ,以 γ_b 与二值化灯光强度 L_b 的 pearson 相关系数的最大值为准确确定 TD_L 。

$$\gamma_b = \begin{cases} 0, & \gamma < TD_\gamma \\ 1, & \gamma > TD_\gamma \end{cases} \quad (3)$$

$$L_b = \begin{cases} 0, & L < TD_L \\ 1, & L > TD_L \end{cases} \quad (4)$$

$$TD_L = \left\{ TD_L \mid \max(\text{pear son}(\gamma_b, L_b)) \right\} \quad (5)$$

3.2 内在特征:确定并量化空置现象影响因素

城市空间活力是影响空置现象的内在特征,文献[29]归纳总结了 Jane Jacobs、Jan Gehl 等的城市空间活力营造理论,将城市空间活力可被归纳为:街道可达性、活动强度与形态、街区混合度。本文从

这3个方面出发,基于社会感知数据与OSM路网确定并量化一系列对空置、空城现象的影响因素(表1)。同时,本研究将OSM路网中道路交叉围合成的一个区域作为一个街区单元。

表1 基于空间活力营造原则量化的空置现象影响因素
Tab. 1 Influencing factors of phenomenon of vacancy quantified by space vitality

空间活力营造原则	量化的空置现象影响因素
街道可达性	到街道的距离 D 集成度 I , 表示系统中某一道路与其它道路集聚或离散的程度。 穿行度 C , 表示被其他最短路径穿行的可能性。
活动强度与形态	人流密度 $count$ 所在街区属于何种类型(居民区, 商业区等)
街区混合度	街区功能混合度 H 街区建筑年代混合度(高, 低)

3.2.1 街道可达性

街道可达性应用了OSM路网数据,被细化为2个层面:①到街道的便捷程度,以到街道的距离表示;②某一街道在整个城市中的可达性,以集成度与穿行度表示。集成度(Integration)与穿行度(Choice)是空间句法理论中的2个重要变量^[30],在城市中,空间句法将道路的相交看作2个节点的连接,道路本身作为节点,从而构建拓扑结构。集成度 I_i , 代表了系统中某条道路与其它道路集聚离散的程度。

$$I_i = \frac{D_n}{2(MD_i - 1)/(n - 2)} = \frac{n\{\log_2(n/3) - 1\} + 1}{(MD_i - 1)(n - 1)} \quad (6)$$

式中: i 为当前道路编号; n 为道路总数; MD_i 为其他所有道路到当前道路的平均拓扑距离(相交的道路拓扑距离为1); D_n 为拓扑结构完全对称时的平均拓扑距离。 I_i 越高,说明当前道路与其他道路的集聚性越高,处于越便捷的区域,可达性越高。穿行度 C_i , 表示了被其他最短路径穿行的可能性。

$$C_i = \frac{\sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n E_{pq}}{TD_i}, (p \neq q) \quad (7)$$

式中: i 为当前道路编号; n 为道路总数; E_{pq} 为任意两条道路最短拓扑距离经过当前道路的期望值; TD_i 为当前道路到其他道路总的拓扑距离。每个街区的集成度与穿行度为相邻道路集成度与穿行度的平均值,到街道的距离以欧氏距离 D 表示,从而构建了3个街道可达性影响因素。

3.2.2 活动强度与形态

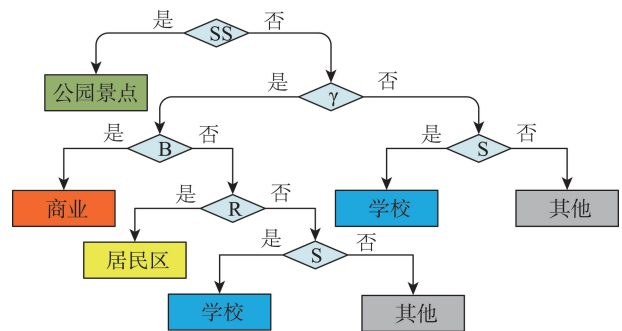
足够的人流密度是城市活动强度的体现,同时不同的街区类型也影响着建设强度和建筑形态,如居民区相对于公园景点有更大的建设强度与密度。

宜出行热力图是基于微信用户定位记录,通过对手机和WIFI热点定位位置插值建立的数据^[31]。通过自动化浏览器驱动获取宜出行的cookie收集了一个工作日和休息日每隔2个小时总共24个时间点的热力图,返回数据格式为: $\{grid_x, grid_y, count\}$,其分辨率为25 m, $count$ 表示一个像元内总体热力值,每个坐标点以24个观测时间点最大的热力值为标准,平衡工作日,休息日以及不同时间段的差异,得到热力图表征的人流密度。

对街区类型的划分,以OSM路网划分的街区为单位,结合百度API接口获取的POIs和相干值代表的土地覆盖信息,按依据经验的决策树对街区进行分类。初步将城市街区分为公园景点、居民区、商业区、其他,以及由于武汉高校遍布考虑到的学校类型。公园景点和学校既包含人文景观和自然景观,因此不以土地覆盖作为此类街区的决策条件,而剩余类型的街区则是以相干值 $\gamma > 0.5$, 即街区为建成区域作为先决条件,并以POIs的数量与密度作为分类标签。如图3所示,首先判断具有一定景点POIs数量和密度的街区为公园景点功能区,其次判断街区是否为建成区,在此基础上依次判断商业区、居民区等街区类型,将街区分为5个类别。

3.2.3 街区混合度

街区功能混合度和建筑年代混合度是 Jane Ja-



注:SS(街区为景点类型):景点类POIs数量>8,密度>5(/km²);
γ(街区为建成区域):街区内平均相干值大于0.5;S(街区为学校类型):学校类POIs数量>5,密度>20;R(街区为居民区类型):住宅类POIs数量>5,密度>20;B(街区为商业区类型):商业类POIs数量>10,密度>50

图3 武汉城市街区类型分类流程

Fig. 3 Classification process of function of street-block of Wuhan city

cobs城市活力理论提出的关于空间活力的影响因素^[32],代表了街区混合度空间和时间维度上2个方面。

街区功能混合度以15类POIs为基础,统计每个街区不同类型POIs密度,通过信息熵表示该街区内功能的混合度 H_i 。

$$a_j = N_{all} / N_{j,all}, (j = 1, 2, \dots, 15) \quad (8)$$

$$U_{ij} = a_j N_{ij} / S_i \quad (9)$$

$$P_{ij} = U_{ij} / \sum_{i=1}^{15} U_{ij} \quad (10)$$

$$H_i = - \sum_{j=1}^{15} P_{ij} \log P_{ij} \quad (11)$$

式中: i 为当前街区编号; j 表示不同POIs的类别; N 为POIs的数量; S 为街区的面积。由于不同类别的POIs总量不同,为了消除影响,以 a_j 为权重,其值为POIs总数与当前类别总数的比值,计算街区 i 每类POIs的密度 U_{ij} 。统计赋予权重的各POIs密度的概率 P_{ij} ,带入信息熵公式中。信息熵代表了不同元素出现的不确定性,信息熵越大,不确定性越大;因而信息熵越大时,不同类别POIs在该街区内出现的可能性越大,即街区功能混合度越高。

街区建筑年代的混合度被分为年代混合度高和低两类。通过python + Beautiful Soup库获取去哪儿网,链家网武汉小区,写字楼,酒店的位置区域,建成年代等详细信息,统计每个街区内所获取的建筑年代信息的标准差,标准差越大,建筑年代混合程度越高,并以 k 均值聚类将街区分为建筑年代混合度高和建筑年代混合度低的两类街区。

3.3 随机森林模型精细化以及对影响因素排序

随机森林在解决多维特征拟合所带来的多重共线性问题时有很好的效果,因此被广泛应用于多维特征的分类^[33]和回归^[34]问题,模型依靠多个决策树的投票结果确定分类与回归结果,采用的决策树是CART树。本文中,随机森林应用于模拟各个城市活力特征作为影响因素与空置现象之间的关系,得到各影响因素重要性排序以及随机森林回归拟合结果。

(1)确定训练数据集。在训练随机森林前,需要确定样本,对武汉城区每个栅格单元,以VI指数为因变量,同时将上文确定的7个影响因素(到街道的距离、集成度、穿行度、人流密度、街区类型、街区功能混合度、街区年代混合度)作为训练的自变量对其进行训练。

(2)影响因素的排序。在对随机森林模型精度

评估时,通常以袋外误差率(OOB error)为标准,因为在构建每个决策树时,采用随机且有放回地抽取,对每棵树,大约有1/3的训练集未被抽取,被称为该树的OOB样本。以OOB样本为训练集,对模型进行验证,误分样本的比例即为袋外误差率(随机森林回归时为OOB残差),从而用于对模型精度的验证。针对每个因素的重要性排序,通过去除某一自变量 $p_i(1 \leq i \leq 7)$ 来训练新的随机森林,得到新的OOB残差 $OOBRE_i$,则该变量重要性为:

$$I(p_i) = OOBRE_i - OOBRE \quad (12)$$

并对其进行如下的归一化处理,以提高其可解释性和可比性^[34]。

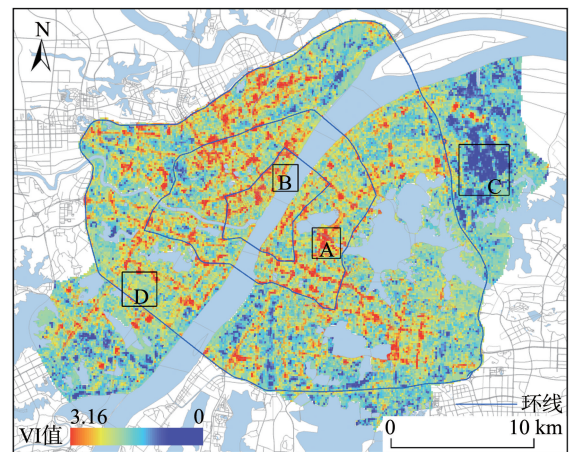
$$\left\{ I(p_i) / \sum_{i=1}^7 I(p_i) \right\} \times 100\% \quad (13)$$

(3)VI指数的精细化。通过VI指数公式计算的VI图层分辨率为130 m,而通过随机森林回归预测的VI图层,由于模型中自变量有更高精度,相较原始图层,回归结果得到了精细化处理。

4 结果及分析

4.1 VI指数对空置现象的判定

以武汉城区的灯光强度与相干值构建VI指数,其可视化结果如图4所示。从整体上来看,内环线内均具有较高的VI指数,这些区域为老城区,城市建设强度大,夜间人流和商业活动密集;一环至二环也基本有较高的VI指数,此区域内有众多商业



注:红色代表该区域具有较高的VI指数,空置现象程度低,蓝色代表较低的VI指数,可能是空置区域。图中A、B、C、D区域为进行实际街景分析的4个区域。

图4 武汉城区VI指数可视化结果

Fig. 4 Visualization of vacancy index of Wuhan city

中心与交通便捷的居民小区,是主要的通勤地带,但也存在着较少区域VI指数较低,如王家墩(一个处于长期在建的地区)等;二环至三环存在着一定VI指数较低的区域,某些街区建筑存在着利用效率不高的现象;三环线外则有大量VI指数低的区域,可能的原因是该片区远离市中心,夜间活动单一,且工业区聚集,有大量的利用率低的库房等。

对图4中A、B、C、D 4个区域结合实际街景进行分析,如图5所示。A为商业步行街(图5(a)),具有较高VI指数,其灯光强度高,且相干值高是建成区域,有较高的夜间活力;B区域为沿江公园(图5(b)),其相干值低,灯光强度高,在夜间承载了各种社会活动,具有较高的VI指数;C区域灯光强度低(图5(c)),相干值高,VI指数较低,通过实景可以看出此处为工业区,对比灯光强度和相干值可知,该区域的建筑在夜间存在着闲置;D区域既包括空地又存在建筑区域(图5(d)),且VI指数均为中等水平,因为空地因为不存在房屋属性,自然其成为空置区域的可能性低,因此与一般小区的VI指数均呈现中等水平。

4.2 基于社会感知数据与OSM路网的影响因素

通过社会感知数据与OSM路网量化了7个对空置现象产生影响的都市活力因素。图6显示了集成度、穿行度、人流密度、功能分区、功能混合度、年代混合度的结果。集成度整体呈现由内向外递减趋势,在道路拓扑系统中,城中心的道路与其它道路联系更紧密,具有更高的可达性。人流密度和功能混合度整体分布呈现非聚集性,在重点街区如商业区,学校有较高的值。穿行度则在主要干道街区有较高值,主要干道作为城市交通的骨架,与一般道路相比,有更多车道并与更多道路相交,在最优路径的选择上具有更高的期望值。在利用POIs和土地覆盖信息的功能分区结果中,随机抽取了5%的街区与实际进行验证,具有89%的准确率,说明该结果能作为街区初步分类的标准。而在统计建筑年代混合度时,对街区进行了合并处理,使最小街区面积大于 0.7 km^2 ,以避免数据稀疏造成的部分小街区为空值,且年代混合度高的区域主要集中在内环线和二环线内,相较于新兴城区,中心城区建筑年代混合度较高。这些指标被确定为空置现象

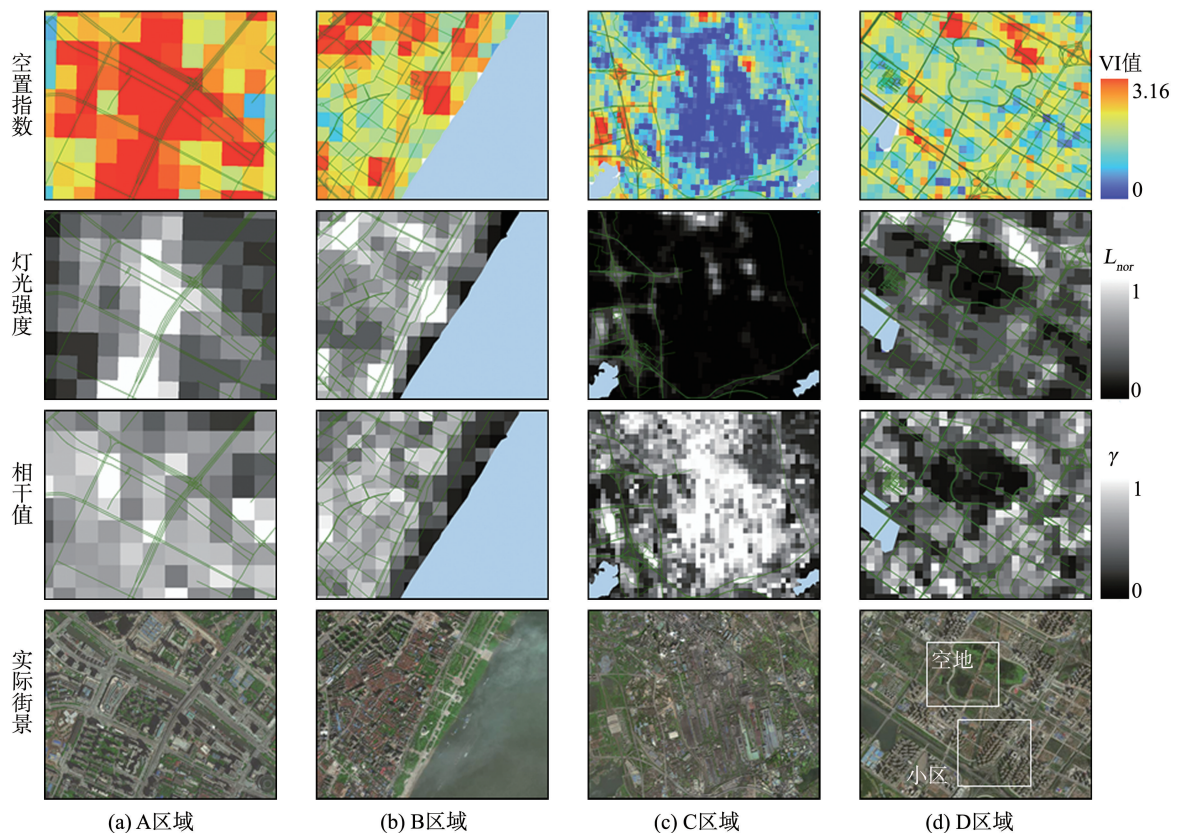


图5 4个典型区域VI指数以及灯光强度、相干值、实际街景分析
Fig. 5 Vacancy index, night-time light, coherence, street view in four areas

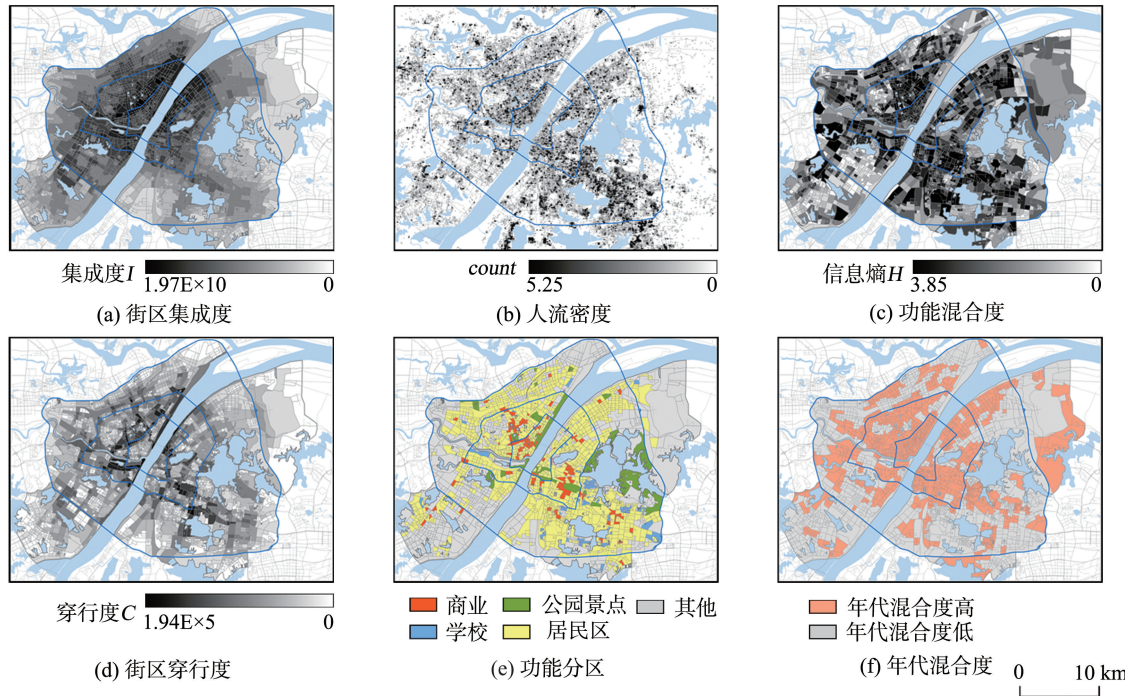


图6 武汉城区空置现象影响因素可视化结果

Fig. 6 Visualization of influencing factors for the phenomenon of vacancy of Wuhan city

的影响因素,将在下一步应用于随机森林回归的拟合。

4.3 VI精细化与影响因素排序结果

如图7所示,在对随机森林模型训练的过程中,需设定一系列模型参数,其中最重要的为弱学习器最大迭代次数,即树的个数 n ,与每个决策树考虑的最大变量数 m 。通过增加树的数量对模型训练,在保证模型精度的前提下,取尽量少的迭代次数,避免模型速度过慢,因此取 $n=500$ 。而当决策树考虑的特征数 m 增加时,每个决策树准确性会增强,但整体容易出现过拟合,因此需确定一个合适的 m ;当 $m=2$ 时,均方误差(MSE)最小,说明利用袋外数

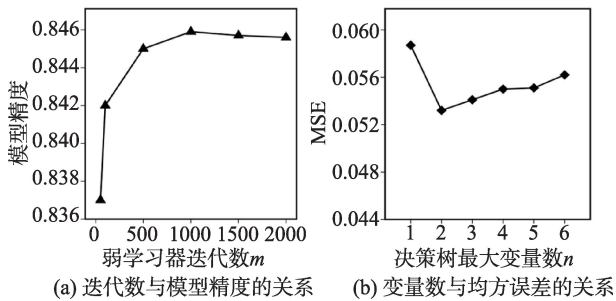


图7 随机森林模型参数与模型精度等指标的关系

Fig. 7 Relationship between parameters of random forest model and model accuracy

据对模型验证的误差最低,因此取 m 为2。

通过模型训练以及随机森林回归拟合,得到精细化的25 m分辨率VI指数分布图如图8(a)所示,

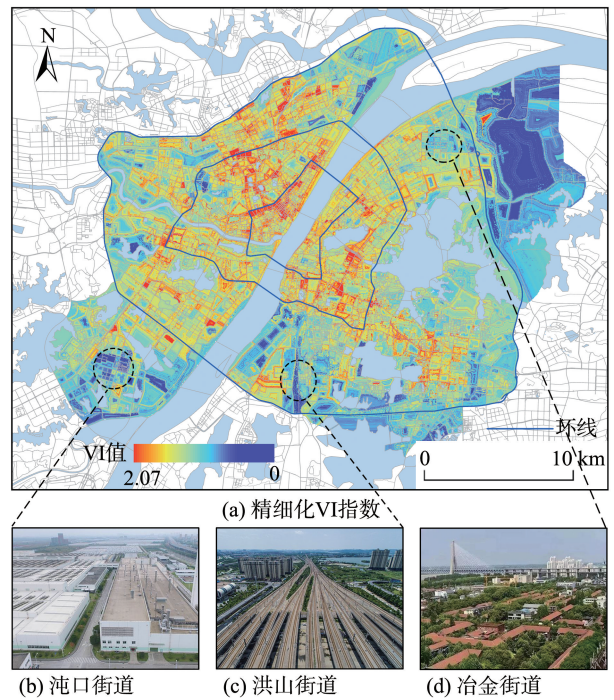


图8 武汉城区随机森林拟合后的精细化VI指数结果

Fig. 8 Refined vacancy index of Wuhan city after random forest fitting

其模型精度 R^2 达 84.6%。拟合后的高值和低值街区更易分辨。

将主城区内各街道办事处 VI 指数进行排序,如图 9(a)所示。城区中常出现 VI 指数低的类型包括:① 沌口街(图 8(b)),是在夜间不进行生产活动的工厂区域,其空置现象程度高;② 洪山街铁轨沿线以及部分行政单位、公共设施等(图 8(c)),由于其特有的服务属性,导致了其 VI 指数低;③ 冶金街的低矮民房或老旧待拆迁的居民区(图 8(d)),由于夜间人类活动少,从而 VI 指数低。

同时,利用随机森林计算影响空置现象的变量重要性 $I(p_i)$,如图 9(b)所示,其中集成度、到街道的距离、人流密度 3 个影响因素具有较高的重要性。① 集成度高的街区代表可达性高的街区,常是重点商业街区和市中心的街区,具有较高的夜间灯光强度和较高的区域活力,因此与 VI 指数密切相关;② 而距离道路越近的地方,存在更多的路灯与店铺,灯光强度更高,社会活动更密集,对 VI 指数影响较大;③ 人流密度反映了人群的聚集,通常伴随着各种社会活动,人流密度高的区域一般具有空置现象的可能性较低,因此也对 VI 指数有较大影响。此外,其余因素也对 VI 指数产生了不可或缺的影响,一定程度上与城市中的空置现象相关联。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文从外在特征与内在特征 2 个层面,对城市区域的空置现象进行了量化与分析,融合 luojial-01 夜光遥感、SAR 以及各类社会感知数据等,借助 GIS 空间分析、机器学习统计方法,为武汉市主城区构建了一个探究潜在空置现象的 VI 指数,VI 指数的高低反映了城市内部各区域存在空置现象的可能

性,并基于城市活力理论,分析了其内部影响因素。主要结论如下:

(1)从外部体现上看,社会活动水平与建成环境是空置现象最直观的外在特征,空置区域通常具备一定的建筑且社会活动水平低下。本文采用归一化灯光强度值表示夜间活动水平,与 SAR 两幅影像之间相位差的相对测量即相干值表示建成程度,构建了分别与灯光强度和相干值表示的建筑环境呈正相关和负相关的 VI 指数,对武汉城区进行了可视化,该指数直观地反映了城市内部发展状况以及街区活力。总体来说,城区由内向外 VI 指数逐步降低,其存在空置现象的可能性也逐步升高,一环线、二环线内部分区域也存在着 VI 指数较低的区域,这些 VI 指数低的区域应在城市更新与发展建设中优先考虑。同时,由于本文采用了具有高分辨率的 luojial-01 夜光数据和不受天气环境影响的 SAR 数据,其结果相较以往的研究有更高的精细度,从而能为城市管理者提供一个建设与规划的参考。

(2)空置现象的产生,实质是街区活力低的表现,因此基于城市空间活力营造原则,融合 OSM 路网、热力图、POIs 等多源数据量化了 3 个方面共 7 个空置现象的影响因素,作为内在特征。通过随机森林模型训练,对其重要性进行了排序,并通过随机森林回归得到精细化的 VI 指数拟合结果,对空置区域进行了识别。在表示空置现象影响因素的各类街区活力因子中,道路的可达性与人流密度对空置现象程度有较大影响,是在改善空置现象中需着重考虑的方面,同时应重点关注老旧城区、工厂库房、单一功能的公共设施区域等。

5.2 讨论

本文以夜间灯光综合代表的人类活动、区域活力为标准,全面描述了城区的空置现象。部分研究

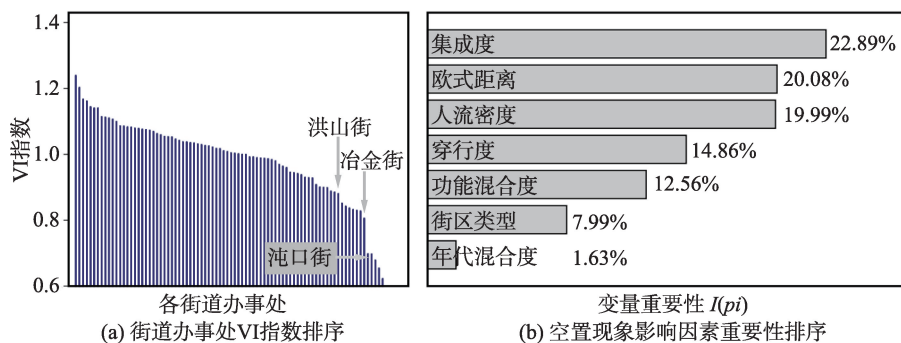


图 9 各街道办事处 VI 指数与空置现象影响因素重要性分析

Fig. 9 Analysis of vacancy index of subdistrict office and the importance of influencing factors for the phenomenon of vacancy

将空置区域等价于工业区^[17]。实际上,本文识别出的空置区域虽然大部分是工厂区,但并未等价于工业区。在特定的工业区域,夜光强度高,同时具有高的VI指数,说明该区域工厂在夜间具有良好的产能,而部分工厂由于多被作为库房进行仓储或是夜间并不进行生产活动,则易被识别成空置地区;而以人类密度为标准对空置区域识别则只以居民区为对象^[12]。此外,本文融合多源遥感数据与多种社会感知数据进行研究,采用了分辨率较高的Luo-jia1-01夜间灯光遥感数据、合成孔径雷达数据、热力图数据、POIs数据、OSM路网数据等,数据易于获取,具有较强的时效性且数据间具有时序对应性,得到的结果具有参考意义。

本研究也存在部分不足之处。空置现象还没有一个广泛认可的官方定义,本文对空置现象的研究基于总结以往研究的空置现象特征。在数据收集时,社会感知数据在部分区域存在数据稀疏性,可能会对结果造成影响。对空置现象的内部特征,本文从城市规划角度对影响因素进行了细化与量化,而经济、社会等方面的因素也可能对空置现象产生一定的影响。

基于本文已有研究和存在的问题,下一步研究将结合多源遥感数据、社会感知数据,OSM路网数据时效性强,易于获取的特点,对城市进行动态的研究;同时进一步细化对空置现象影响因素,并考虑经济、社会等多方面的因素。

参考文献(References):

- [1] 聂翔宇,刘新静.城市化进程中“鬼城”的类型分析及其治理研究[J].南通大学学报(社会科学版),2013,29(4):111-117. [Nie X Y, Liu X J. Analysis of the types of "Ghost City" in the process of urbanization and its governance[J]. Journal of Nantong University(Social Science Edition), 2013,29(4):111-117.]
- [2] Shepard W. Ghost cities of China: The story of cities without people in the world's most populated country[M]. London: Zed Books Ltd., 2015.
- [3] Dubeaux S, Sabot E C. Maximizing the potential of vacant spaces within shrinking cities, a German approach [J]. Cities, 2018,75:6-11.
- [4] 段禄峰,魏明,车志晖.新型城镇化背景下规划型“空城”现象解析[J].生态经济,2017,33(10):116-121. [Duan L F, Wei M, Che Z H. Analysis of the planning-type "empty city" phenomenon under the background of new urbanization[J]. Ecology and Economy, 2017,33(10):116-121.]
- [5] Jin X, Long Y, Sun W, et al. Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data[J]. Cities, 2017,63:98-109.
- [6] Ge W, Yang H, Zhu X, et al. Ghost city extraction and rate estimation in China based on NPP-VIIRS night-time light data[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2018,7(6):219-235.
- [7] 董磊磊,潘竞虎,冯娅娅,等.基于夜间灯光的中国房屋空置的空间分异格局[J].经济地理,2017,37(9):62-69,176. [Dong L L, Pan J H, Feng Y Y, et al. Spatial differentiation pattern of Chinese house vacant based on nighttime light[J]. Economic Geography, 2017,37(9):62-69,176.]
- [8] Zheng Q, Deng J, Jiang R, et al. Monitoring and assessing "ghost cities" in Northeast China from the view of night-time light remote sensing data[J]. Habitat International, 2017,70:34-42.
- [9] Zheng Q, Zeng Y, Deng J, et al. "Ghost cities" identification using multi-source remote sensing datasets: A case study in Yangtze River Delta[J]. Applied geography, 2017, 80:112-121.
- [10] Lu H, Zhang C, Liu G, et al. Mapping China's ghost cities through the combination of nighttime satellite data and daytime satellite data[J]. Remote Sensing, 2018,10(7): 1037-1055.
- [11] 沈晓艳,黄贤金.基于土地供应侧的中国商品住宅空置效应分析——以35个大中城市为例[J].现代城市研究, 2017(10):12-17. [Shen X L, Huang X J. Analysis on the vacancy effect of Chinese commercial residential buildings based on land supply side: A case study of 35 large and medium-sized cities[J]. Modern Urban Research, 2018,10(7):12-17.]
- [12] Chi G, Liu Y, Wu Z, et al. Ghost cities analysis based on positioning data in China[J]. arXiv preprint arXiv: 1510.08505, 2015,11:1-14.
- [13] 唐如建,付光辉.南京市新建商品住宅空置率空间差异分析[J].城市问题,2017(2):77-82. [Tang R J, Fu G H. Analysis on spatial difference of vacancy rate of new commercial residential buildings in Nanjing[J]. City Problems, 2017(2):77-82.]
- [14] 刘云舒,赵鹏军,梁进社.基于位置服务数据的城市活力研究——以北京市六环内区域为例[J].地域研究与开发,2018,37(6):64-69,87. [Liu Y S, Zhao P J, Liang J S. A study on urban vitality based on location service data: a case study of the area within the sixth ring road of Beijing [J]. Regional Research and Development, 2018,37(6):64-69,87.]
- [15] Yue Y, Zhuang Y, Yeh A G O, et al. Measurements of POI-based mixed use and their relationships with neighbor-

- hood vibrancy[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2017,31(4):658-675.
- [16] Cai J, Huang B, Song Y. Using multi-source geospatial big data to identify the structure of polycentric cities[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2017,202:210-221.
- [17] Jendryke M, Balz T, McClure S C, et al. Putting people in the picture: Combining big location-based social media data and remote sensing imagery for enhanced contextual urban information in Shanghai[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2017,62:99-112.
- [18] 王明明,王卷乐.基于夜间灯光与土地利用数据的山东省乡镇级人口数据空间化[J].*地球信息科学学报*,2019,21(5):699-709. [Wang M M, Wang J L. Spatialization of township-level population based on nighttime light and land use data in Shandong Province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019,21(5):699-709.]
- [19] 谭敏,刘凯,柳林,等.基于随机森林模型的珠江三角洲30m格网人口空间化[J].*地理科学进展*,2017,36(10):1304-1312. [Tan M, Liu K, Liu L, et al. Spatialization of 30 m grid population in the Pearl River Delta based on random forest model[J]. *Progress in Geography*, 2017,36(10):1304-1312.]
- [20] 李熙,薛翔宇.基于波士顿矩阵的夜光遥感电力消费估算方法[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2018,43(12):1994-2002. [Li Xi, Xue X Y. Estimation method of nighttime light images' electric power consumption based on the Boston Matrix[J]. *Journal of Wuhan University(Information Science Edition)*,2018,43(12):1994-2002.]
- [21] Zhen J, Pei T, Xie S. Kriging methods with auxiliary nighttime lights data to detect potentially toxic metals concentrations in soil[J]. *Science of The Total Environment*, 2019,659:363-371.
- [22] Duan H, Cao Z, Shen M, et al. Detection of illicit sand mining and the associated environmental effects in China's fourth largest freshwater lake using daytime and nighttime satellite images[J]. *Science of the total environment*, 2019,647:606-618.
- [23] 李德仁,李熙.夜光遥感技术在人道主义灾难评估中的应用[J].*自然杂志*,2018,40(3):169-176. [Li Deren, Li Xi. Use of night-time light remote sensing in humanitarian disaster evaluation[J]. *Natural Journal*, 2018,40(3):169-176.]
- [24] Jendryke M, McClure S C, Balz T, et al. Monitoring the built-up environment of Shanghai on the street-block level using SAR and volunteered geographic information[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2017,10(7):675-686.
- [25] Washaya P, Balz T, Mohamadi B. Coherence change-detection with sentinel-1 for natural and anthropogenic disaster monitoring in urban areas[J]. *Remote Sensing*, 2018,10(7):1026-1047.
- [26] Jiang W, He G, Long T, et al. Potentiality of using LuoJia 1-01 nighttime light imagery to investigate artificial light pollution[J]. *Sensors*, 2018,18(9):2900-2914.
- [27] 廖明生,王腾.时间序列InSAR技术与应用[M].北京:科学出版社,2014. [Liao M S, Wang T. Time series InSAR technology and application[M]. Beijing: Science Press, 2014.]
- [28] Lu D, Tian H, Zhou G, et al. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008,112(9):3668-3679.
- [29] 叶宇,庄宇,张灵珠,等.城市设计中活力营造的形态学探究——基于城市空间形态特征量化分析与居民活动检验[J].*国际城市规划*,2016(1):26-33. [Ye Y, Zhuang Y, Zhang L Z, et al. Morphological exploration of vitality creation in urban design: Based on quantitative analysis of urban spatial form characteristics and inspection of resident activities[J]. *International Urban Planning*, 2016(1): 26-33.]
- [30] Hillier B. *Space is the machine: A configurational theory of architecture*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [31] Liu X, Niu N, Liu X, et al. Characterizing mixed-use buildings based on multi-source big data[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2018,32(4): 738-756.
- [32] Jacobs J. *The death and life of great american cities*[M]. London: Random House LLC, 1961.
- [33] 姚尧,任书良,王君毅,等.卷积神经网络和随机森林的城市房价微观尺度制图方法[J].*地球信息科学学报*,2019, 21(2):168-177. [Yao Y, Ren S L, Wang J Y, et al. Mapping the fine-scale housing price distribution by integrating a convolutional neural network and random forest[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019,21(2):168-177.]
- [34] Li K, Chen Y, Li Y. The random forest-based method of fine-resolution population spatialization by using the international space station nighttime photography and social sensing data[J]. *Remote Sensing*, 2018,10(10):1650-1668.