

DOI:10.13203/j.whugis20190266



文章编号:1671-8860(2021)06-0825-11

利用夜间灯光POI的城市建成区提取精度研究——以珞珈一号01星和NPP/VIIRS夜间灯光影像为例

厉 飞¹ 闫庆武^{1,2,3} 邹雅婧¹ 刘保丽¹

1 中国矿业大学环境与测绘学院,江苏 徐州,221116

2 中国矿业大学江苏省资源环境信息工程重点实验室,江苏 徐州,221116

3 中国矿业大学公共管理学院,江苏 徐州,221116

摘要:近年来,夜间灯光影像被广泛应用于城市建成区提取,但由于数据分辨率低以及灯光溢出效应的影响,提取的建成区结果精度有待提高。基于中国珞珈一号01星(Luojia 1-01)和美国国家极地轨道伙伴卫星搭载的可见光红外成像辐射仪(national polar-orbiting partnership's visible infrared imaging radiometer suite, NPP/VIIRS)提供的两种夜间灯光影像,提出了夜间灯光&兴趣点(nighttime light & point of interest, NTL&POI)综合指数,首先利用阈值法实现了NTL&POI综合指数处理前后的建成区提取,然后与参考建成区进行对比分析。结果表明,NTL&POI综合指数在反映建成区整体形态的同时,也保留了其边界等细节信息;景观格局指数表明,建成区提取结果有更好的连通度和复杂度;查准率、查全率和F1分数证明NTL&POI综合指数有效提高了建成区的提取精度,Luojia 1-01结果提升了约5%,NPP/VIIRS结果提升了约3%,且在发展程度不一的主城区和非主城区均取得良好的效果。相较于NPP/VIIRS,Luojia 1-01融合POI后,能在保证高精度的同时,在建成区边界和细节信息方面表现更优,具有广阔的应用前景。

关键词:城市建成区提取;夜间灯光遥感;珞珈一号01星;NPP/VIIRS;NTL&POI综合指数

中图分类号:P237

文献标志码:A

城市建成区的位置和范围的准确获取可以辅助政府决策,用于改善城市功能空间布局、加强界限管控,因此城市建成区的提取一直是遥感和城市规划领域的热点问题^[1]。目前已有的基于Landsat等多光谱遥感影像的建成区提取方法中,非监督分类法^[2-3]和监督分类法^[4-5]提取的建成区的边界准确性不足,且存在漏检、误检的情况,因此精度有限。基于谱间特征的归一化指数法常被用于建成区提取,其中文献[6]提出的归一化建筑指数(normalized difference built-up index, NDBI)和文献[7]提出的遥感建筑用地指数(index-based built-up index, IBI)应用最为广泛,该方法具有快速、便捷的特点,但也存在建成区和非建成区(植被、水体等)混分的问题。文献[8-9]通过构造纹理波段并使用各种学习和分类算法在

高分辨率影像上提取建成区,但该方法忽视了地物丰富的光谱特征并且耗时过长。

目前夜间灯光(nighttime light, NTL)数据已被广泛地应用于建成区提取^[10-11],且取得了不错的效果,其中1 km分辨率的DMSP/OLS(defense meteorological satellite program/operational linescan system)和500 m分辨率的美国国家极地轨道伙伴卫星搭载的可见光红外成像辐射仪(national polar-orbiting partnership's visible infrared imaging radiometer suite, NPP/VIIRS)数据应用最为广泛。然而,受到低分辨率的限制,二者多被用于大尺度上的建成区提取研究,在中小尺度上,仅利用夜间灯光数据,很难获取精确的城市建成区。因此许多研究采用多源数据融合的方法来获取更精细尺度的城市建成区,例如将归一化植

收稿日期:2019-10-15

项目资助:武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金(18T03);内蒙古自治区科技计划项目(2060399-273);国家自然科学基金(51874306)。

第一作者:厉飞,硕士生,研究方向为GIS应用与空间统计。525406290@qq.com

通讯作者:闫庆武,博士,副教授。3403175@163.com

被指数 (normalized differential vegetation index, NDVI) 和 Landsat 影像等数据与夜间灯光数据相结合^[12-13], 但是使用 NDVI 数据易造成建成区和植被背景混分的问题, Landsat 影像易形成混合像元, 因此效果并不理想。由于灯光溢出现象, 基于夜间灯光数据提取的建成区结果大于实际建成区范围^[14], 为文献[15-17]提出可以从图像亮度校正、阈值选取规则和邻域统计关系等方面改善这一问题。随着夜间灯光遥感技术的快速发展, 2018年6月, 由武汉大学牵头研制的珞珈一号01星 (LuoJia 1-01) 成功发射, 并开始提供 130 m 分辨率、250 km 幅宽的灯光影像。该数据极大地提高了夜间灯光遥感影像的时间和空间分辨率, 有望改善传统夜间灯光数据分辨率低、灯光溢出的问题^[18], 因此探究 LuoJia 1-01 夜间灯光影像在建成区提取研究中的应用效果势在必行。

近年来, 大数据技术的快速发展有效带动了其在地学领域中的应用, 其中电子地图兴趣点 (point of interest, POI) 在建成区提取方面取得了不错的成果。文献[19]提出了基于 POI 核密度等值线分布规律来识别建成区的 Densi-Graph 分析法, 该方法具有较强的时效性和客观性。POI 具有精确的位置信息和属性信息, 其密度分布在城市建成区边界存在突变, 即城市建成区 POI 密度明显高于周边农村和郊区, 运用这一规律可以获得精确的建成区边界^[20]。这恰好可以弥补目前夜间灯光数据在建成区提取方面存在的分辨率低、灯光溢出等劣势。由文献[21-22]可以发现, 目前将 POI 和夜间灯光数据相结合用于提取建成区的研究较少。文献[23-24]表明, 夜间灯光数据和 POI 数据之间具有很好的耦合关系, 在城市空间结构研究中具有较高的一致性和较好的适用性, 将二者有效结合提取建成区的方法亟待进一步研究。

本文首先通过对 POI 数据进行核密度分析, 同时与 LuoJia 1-01 和 NPP/VIIRS 两种夜间灯光影像相结合, 建立 NTL&POI 综合指数; 然后采用阈值法提取建成区, 并使用参考建成区数据和统计学分类指标对提取结果进行精度评定。在此基础之上, 选取景观格局指数对建成区提取结果的连通性、复杂度和完整性进行测度。

1 数据与方法

1.1 数据来源与处理

本文选择南京市为研究区域, 南京市下辖 11 个区, 其中既包括鼓楼区、玄武区等经济发达的

主城区, 又包括溧水区、高淳区等地处偏远、发展较慢的行政区, 如图 1 所示。该区域发展水平的空间异质性高, 可为验证 NTL&POI 综合指数在不同发展水平的地区适用性提供良好的条件。

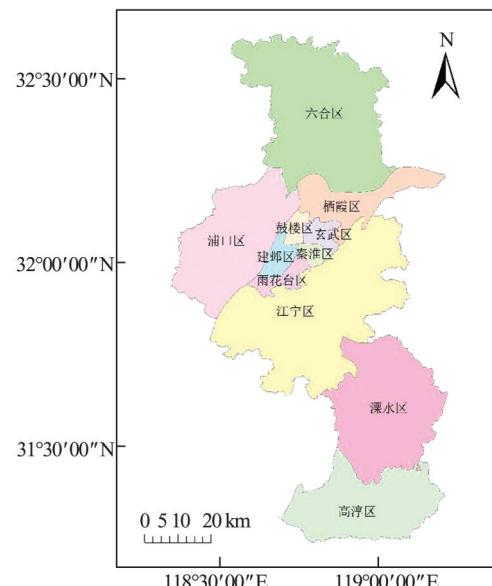


图 1 南京市行政区划图
Fig.1 Administrative Divisions of Nanjing City

本文研究数据包括夜间灯光数据、POI 数据、建成区面积统计数据和参考建成区数据。

夜间灯光数据包括 LuoJia 1-01 数据和 NPP/VIIRS 数据。LuoJia 1-01 夜间灯光数据来源于高分辨率对地观测系统湖北数据与应用中心高分数据管平台, 研究采用的几何纠正产品的分辨率为 130 m; NPP/VIIRS 数据来源于美国国家地球物理数据中心 (National Geophysical Data Center, NGDC), 本文选用 NGDC 提供的全球月度数据灯光产品中排除了可能受任何散射光影响的 vcmcfg 数据, 空间分辨率为 500 m。珞珈一号 01 星于 2018-07 开始成像, 选取完整覆盖研究区并且云量小于 10% 的数据, 最终满足条件的为 07-15、09-26、11-23 的数据。NPP/VIIRS 夜间灯光数据选取月份与其保持一致。将两种夜间灯光数据的投影坐标转换为通用横轴墨卡托投影, 并以研究区范围作为掩膜进行裁剪, 具体参数见表 1。

POI 数据通过高德地图官方网站提供的应用程序编程接口进行爬取, 采集时间为 2018 年 5 月。对数据进行清洗后, 南京市的 POI 数据共计 366 123 条, 分为 13 大类, 主要包括餐饮、购物、文化和生活等方面。将整理后的 POI 数据进行坐标转换, 并投影为通用横轴墨卡托投影。

参考建成区数据来源于由中国科学院资源

环境科学数据中心提供的《2018 年南京市土地利用数据》,该产品是在 2015 年土地利用遥感监测数据的基础上,基于 Landsat 8 遥感影像,通过人工目视解译并配合实地考察得到的,分辨率为 100 m,具有较高的精度,因此将其作为本文方法的先验数据和精度评价参考。首先将其中的城镇建成区数据提取并转换为矢量数据,然后统一投影为通用横轴墨卡托投影,同时从《2018 江苏统计年鉴》获取南京市建成区面积统计数据用于辅助精度评定。

1.2 数据提取方法

本文提取方法的主要流程如图 2 所示。首先对 Luojia 1-01 和 NPP/VIIRS 影像进行几何校正、辐射校正、掩膜和均值法合成处理,对 POI 数

据进行清洗、投影和核密度分析;然后构建模型将 POI 核密度数据分别与 Luojia 1-01、NPP/VIIRS 影像结合得到 LJ(Luoja)&.POI、NPP&.POI 两种综合指数;最后利用阈值法分别基于 Luojia1-01、NPP/VIIRS、LJ&.POI、NPP&.POI 4 种数据提取建成区。

表 1 Luojia 1-01 和 NPP/VIIRS 数据规格参数

Tab.1 Parameters of Luojia 1-01 and NPP/VIIRS Data

参数	Luoja 1-01	NPP/VIIRS
空间分辨率/m	130	750
幅宽/km	250	3 060
光谱范围/μm	0.46~0.98	0.5~0.9
辐射分辨率/bits	14	14
可获取时间段	2018-06 至今	2012 年至今

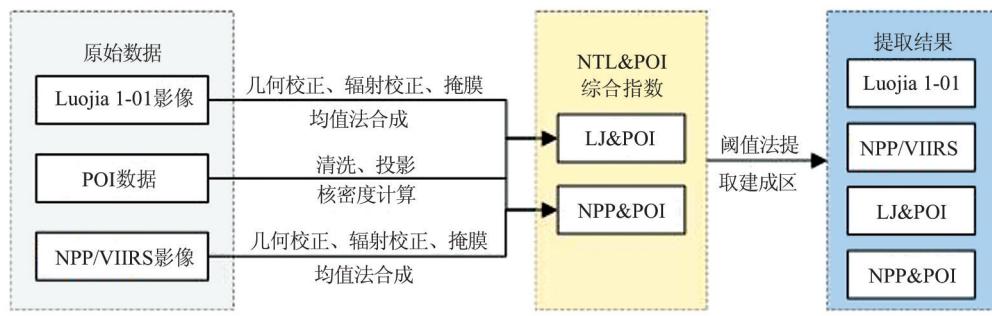


图 2 本文方法的技术流程图

Fig.2 Flowchart of Our Proposed Method

1.2.1 核密度估计

城镇具有集聚效应和规模效应,在 POI 密度分布图上表现为城镇建成区的 POI 分布相对密集,其 POI 密度明显高于城镇以外的郊区及农村地区,这一现象对建成区的提取有很大的意义。因此,本文选取核密度估计方法来建立 POI 概率密度的空间分布,该方法不受栅格大小和位置的影响,可以高质量地对 POI 点数据进行密度估计^[25]。

核密度估计是将区域中任意点附近一定带宽的规则区域作为密度分析的计算范围,通过计算结果来分析研究对象的空间分布状态。根据与中心点的距离赋予权重,计算区域内距离中心点近的数据点权重较高,反之较低,所以得到的结果都是研究区域内所有点的加权平均密度。任意点 i 的核密度 P_i 的计算如下:

$$P_i = \frac{1}{n\pi R^2} \times \sum_{j=1}^n K_j \left(1 - \frac{D_{ij}^2}{R^2}\right)^2 \quad (1)$$

式中, n 为计算规则区域内数据点 j 的数量; R 为计算规则区域的带宽; K_j 为数据点 j 的权重; D_{ij} 为空间点 i 与数据点 j 的欧氏距离。文献[26-27]发

现,根据研究问题合理地选择带宽 R 对结果有关键影响。研究密度分布的局部变化需要选择较小的带宽,研究全局尺度的密度变化需要选择较大的带宽。由于本文需要使用 POI 核密度数据提取建成区的局部细节信息,故选用较小的带宽,由此产生的孔洞可以由夜间灯光数据填补。参照文献[26]选取 500 m 带宽,同时使用带宽的 1/10 即 50 m 作为 POI 核密度分析结果的栅格单元,结果如图 3 所示。

1.2.2 NTL&POI 综合指数

本文利用城镇建成区的 POI 密度明显高于周围郊区和农村地区的规律,结合夜间灯光数据,获得城镇建成区更精确的边界范围,同时 POI 数据固有的稳定性和有效性能消除一些短暂灯光噪声的影响,可进一步提高建成区提取精度。因此,基于夜间灯光数据和 POI 数据权重相同的前提下,提出 NTL&POI 综合指数,用来消除夜间灯光影像背景噪声和削弱灯光溢出的影响。由于夜间灯光数据的亮度值和 POI 数据的核密度值都与建成区之间呈正相关关系,故本文选用平均值法来综合两种数据与建成区的正相关性,以达到理想的

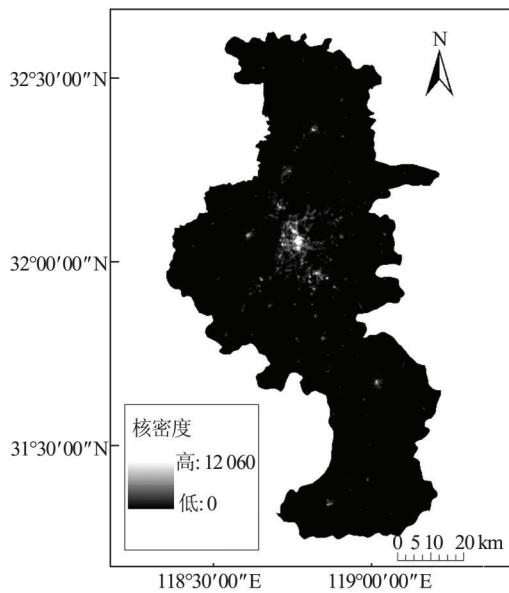


图3 POI核密度计算结果

Fig.3 Calculation Result of POI Kernel Density

效果。计算公式如下：

$$POI_NTL_i = \sqrt{P_i \times NTL_i} \quad (2)$$

式中, POI_NTL_i 为 NTL & POI 综合指数; P_i 为 i 点 POI 核密度值; NTL_i 为 i 点夜间灯光亮度值。

1.2.3 建成区提取的精度评价指标

本文采用统计学分类指标查准率(P)、查全率(R)和 $F1$ 分数^[28]对提取的建成区进行定量评价,其中 $F1$ 分数是对查准率和查全率的调和平均值。具体计算公式如下:

$$P = \frac{S_o}{S_e} \times 100\% \quad (3)$$

$$R = \frac{S_o}{S_r} \times 100\% \quad (4)$$

$$F1 = 2 \times \frac{P \times R}{P + R} \quad (5)$$

式中, S_o 为提取结果与参考建成区重合部分的总面积; S_e 为本文各种情形下提取的建成区总面积; S_r 为参考建成区的总面积。

1.2.4 景观格局指数

建成区作为典型的人造景观,其连通性、复杂度和完整性可以选用景观生态学中的景观格局指数来度量。采用景观格局指数的度量方法可以定量化研究建成区的空间格局,通过简单的定量指标反映建成区空间配置和结构组成的特征。本文选取的景观格局指数如下:

1) 斑块个数

斑块个数(number of patches, NP)指某一景观类型中所有斑块的数量,可以直观地反映斑块的分离度和破碎性,计算公式如下:

$$NP = \sum_{i=1}^n n_i \quad (6)$$

2) 景观破碎度

景观破碎度(landscape fragmentation, LF)可用来对提取建成区的完整性进行测度。景观破碎度表示景观被分割的破碎程度,反映景观在空间结构上的复杂性,在一定程度上反映了人类对景观的干扰程度^[29]。计算公式如下:

$$LF = \frac{NP}{A} \quad (7)$$

式中, A 为建成区的总面积。LF 值越高, 表示破碎化程度越高。

3) 边缘密度

边缘密度(edge density, ED)是指某一景观类型中所有斑块的边界总周长与斑块总面积之比。计算公式如下:

$$ED = \frac{E}{A} \quad (8)$$

式中, E 代表建成区的边界总周长。ED 值越小, 代表景观的连通性良好, 反之, 表示景观被分割得越破碎。

4) 景观形状指数

景观形状指数(landscape shape index, LSI)是以正方形斑块为参考,参考值为 $LSI=1$, 景观中斑块的形状越不规则,其 LSI 值就会越大。计算公式如下:

$$LSI = \frac{0.25E}{\sqrt{A}} \quad (9)$$

2 结果与分析

2.1 NTL&POI综合指数处理前后的影像对比

首先进行夜间灯光数据合成,为了消除偶然噪声的影响,采用平均值法^[30]分别对两种高精度夜间灯光影像进行处理,得到的夜间灯光影像结果如图4(a)、4(b)所示。具体的计算如下:

$$R_{\text{mean}} = \frac{1}{3} (R_7 + R_9 + R_{11}) \quad (10)$$

式中, R_{mean} 为夜间灯光数据在 7、9、11 月亮度值(R_7 、 R_9 、 R_{11})的平均值。

对比平均值法处理后的 NPP/VIIRS 和 Luojia 1-01 两种夜间灯光影像可以发现,受到空间分辨率的限制,NPP/VIIRS 影像在高度城市化地区有比较明显的灯光溢出现象,城镇边界模糊,部分地区亮度过高,并且在城市化较低地区灯光亮度值低,边界模糊不清(如高淳区),而且灯光主要集中在城镇地区,对农村等周边地区的信息反

映较少。相比而言,Luojia 1-01 影像灯光溢出现象有了明显改善,能清楚地辨识城市边界,同时街道信息表达清晰,涵盖了更丰富的细节信息。但建成区外的公路信息可能干扰建成区的提取,需要对其进行修正。将 POI 数据分别与 Luoja 1-

01 和 NPP/VIIRS 数据相结合,得到的影像如图 4(c)、4(d)所示。可见融合 POI 数据后,两种影像中灯光溢出现象得到了明显的改善,同时背景噪声被有效去除,对建成区提取影响较大的道路信息也得到修正。

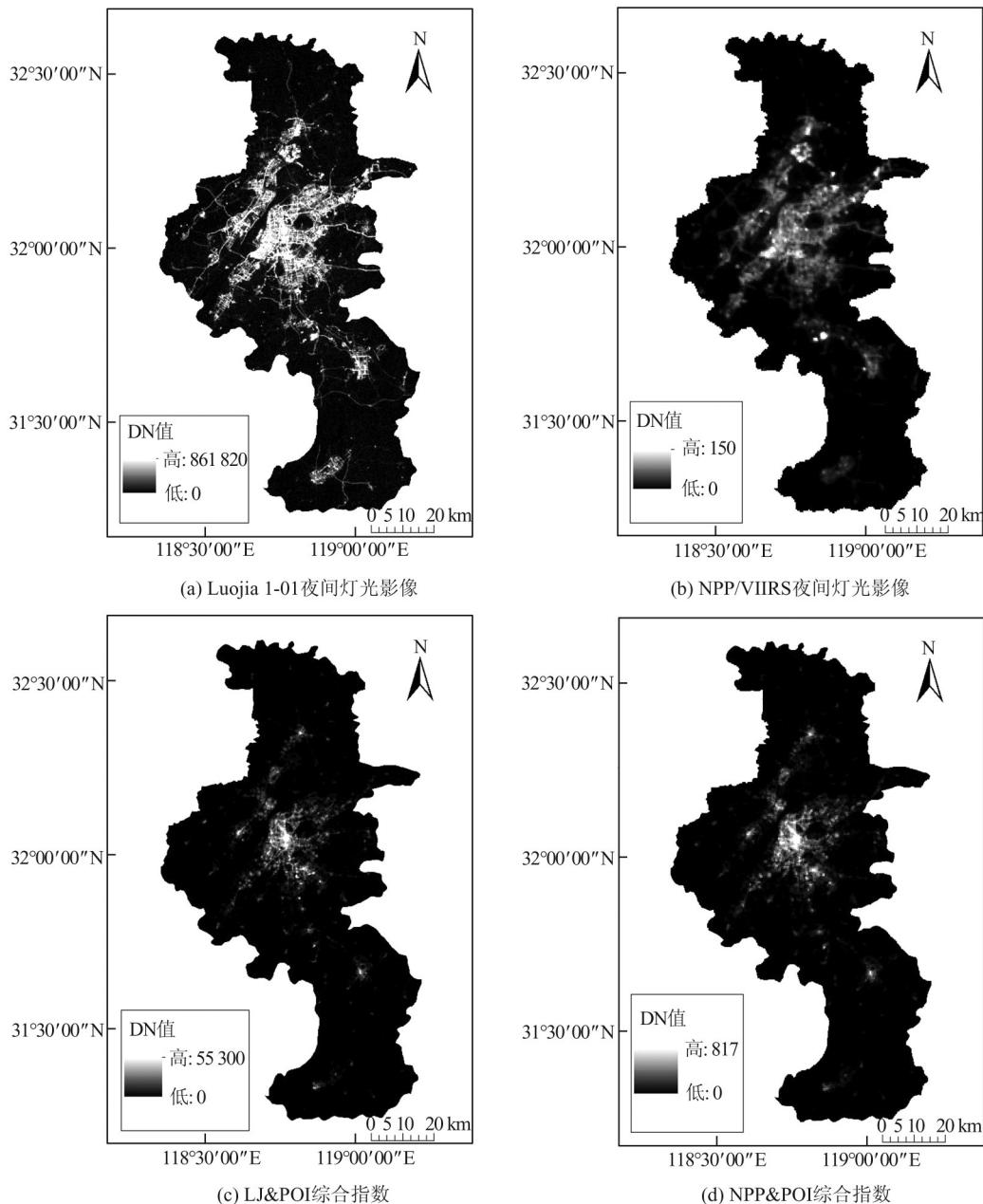


图 4 NTL&POI 综合指数处理前后的夜间灯光影像

Fig.4 Nighttime Light Images Before and After NTL&POI Composite Index Processing

2.2 NTL&POI 综合指数处理前后的建成区提取结果对比分析

近年来,已有大量研究使用夜间灯光影像提取建成区,其中比较常使用的是阈值法^[31],该方法以统计数据作为辅助选取建成区提取的阈值,采用二分法不断改进阈值来使提取结果逼近统计数据,最佳阈值提取的结果即为城市建成区,一定程度上

能改善灯光溢出问题^[32],因此本文选用该方法进行南京市建成区的提取。利用阈值法分别从 Luojia 1-01、NPP/VIIRS 夜间灯光影像和 LJ&POI、NPP&POI 两种综合指数中提取南京市建成区,将得到的 4 种提取结果与参考建成区作对比,确定提取阈值分别为 22 500、16、900、23。为减小边缘误差,本文使用保留关键点算法^[33]对提取的建成区做

简化面处理,用于消除建成区边缘锯齿化,使结果

更加符合实际,提取结果如图5所示。

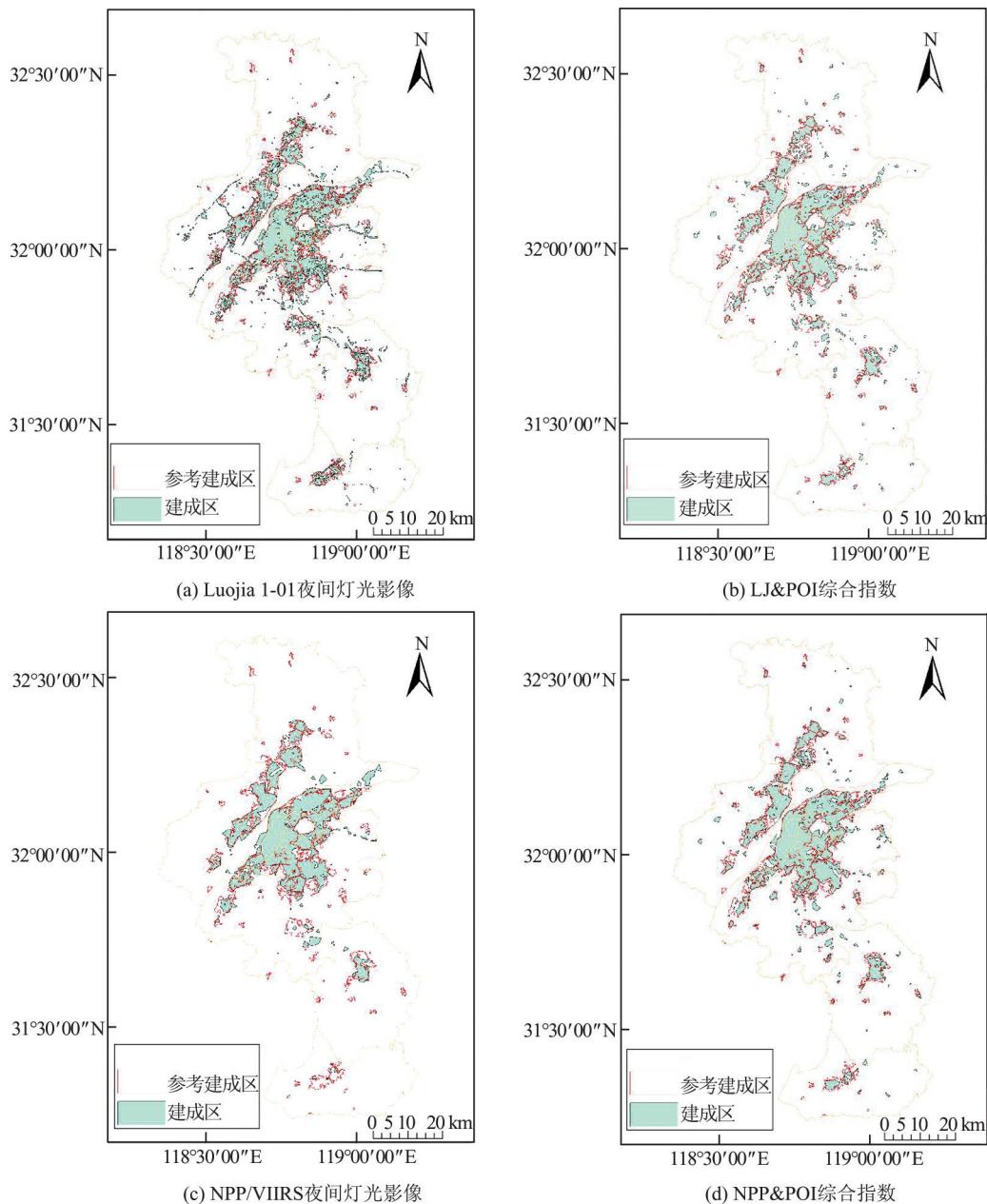


图5 建成区提取结果对比

Fig.5 Comparison of Extraction Results of Built-up Area

由图5(a)、5(b)可以看出,由于Luojia 1-01夜间灯光影像具有130 m的高空间分辨率,影像包括道路、桥梁和街道等诸多细节信息,因此单独使用Luojia 1-01数据提取的建成区斑块较多,建成区内部有破碎现象,存在许多孔隙,许多道路等非建成区信息也被提取出来。通过构建LJ&POI综合指数有效解决了以上问题,提取的建成区更加完整,合理地填补了孔隙,被误提取的道路等非建成区信息也被很好地修正。

由图5(c)、5(d)可以看出,NPP/VIIRS夜间灯光影像分辨率为500 m,单独使用NPP/VIIRS

数据提取的建成区受灯光溢出现象影响明显,建成区连片,内部孔隙被覆盖,边缘过于规则,建成区复杂程度较低;同时城市周边建成区信息缺失严重,小面积建成区缺失,最明显的是位于南京市最南端高淳区的建成区提取效果不理想,建成区大部分缺失。NPP&POI综合指数解决了以上问题,修正了建成区内部和边缘的细节信息,补足了城市周边小面积建成区的信息,得到了较完整的高淳区建成区。

景观格局指标对比结果如表2所示,建成区提取结果精度如表3所示。

表 2 景观格局指标结果对比

Tab.2 Comparison of Results of Landscape Fragmentation

数据名称	斑块数	景观破碎度	景观形状指数	边界密度
Luojia 1-01 影像	746	0.95	24.73	35.21
LJ&.POI 综合指数	357	0.45	14.17	20.17
NPP/VIIRS 影像	62	0.08	7.02	9.94
NPP&.POI 综合指数	165	0.21	10.57	14.96

表 3 提取建成区结果精度对比

Tab.3 Accuracy Comparison of the Extraction Results

研究区域	指标	Luojia 1-01 影像	LJ&.POI	NPP/VIIRS 影像	NPP&.POI
南京市	查准率/%	75	80	78	81
	查全率/%	64	68	67	70
	F1 分数	0.69	0.74	0.72	0.75
主城区	查准率/%	84	87	81	86
	查全率/%	74	76	82	79
	F1 分数	0.79	0.81	0.82	0.82
非主城区	查准率/%	65	72	72	75
	查全率/%	52	60	50	59
	F1 分数	0.58	0.66	0.59	0.66

由表 2 可知, 基于 LJ&.POI 综合指数提取的建成区相较于单独使用 Luojia 1-01 数据提取的建成区, 斑块数明显减少, 景观破碎度明显降低, 这表明建成区较高的分离度和破碎性得到有效的改善; 景观形状指数由 24.73 减少到 14.17, 这说明建成区形状复杂度过高的问题有所改观; 边界密度从 35.21 降到 20.17, 这表明建成区连通性明显提高, 建成区的边缘分割程度明显降低。NPP&.POI 相较于 NPP/VIIRS, 斑块数、景观破碎度有所提高, 表明集中连片建成区破碎度有所增加, 内部细节信息和缺失信息得到补充; 景观形状指数由 7.02 升高到 10.57, 这说明建成区形状复杂程度得到提高; 边界密度从 9.94 提高到 14.96, 这表明规则的边缘得到有效的分割, 建成区边界信息得到修正。

由表 3 可知, 在查准率、查全率和 F1 分数方面, LJ&.POI 均优于 Luojia 1-01。从南京全市角度看, 3 项精度指标提升约 5%, 建成区提取精度提高明显; 从南京主城区角度看, 两种提取结果的 3 项精度指标数值均在 80% 左右, 表明提取结果有很高的准确度, 在这种情况下, 3 项精度指标仍提升了约 3%, 进一步提高了建成区的提取精度; 从南京市非主城区角度看, 3 项精度指标提升

约 8%, 提取精度明显提高, 表明 LJ&.POI 综合指数相较于主城区发展较慢, 灯光亮度较低的非主城区提取建成区的效果更好, 具有良好的适用性。从南京全市和南京市非主城区角度看, NPP&.POI 综合指数的提取结果均优于单独使用 NPP/VIIRS 夜间灯光影像的提取结果, 3 项精度指标提升分别约为 3% 和 7%, 建成区提取精度提升明显; 从南京市主城区角度看, 两种提取结果的 3 项精度指标数值均在 82% 左右, 保证了较高的提取精度, 在此前提下, 景观格局指数的变化表明建成区复杂程度得到提高, 边界信息得到修正, 细节信息得到补充, 表明 NPP&.POI 综合指数具有良好的适用性。但同时查全率有所下降, 查全率是提取结果和参考建成区重合部分的总面积与参考建成区总面积的比值, 在参考建成区面积不变的情况下, NPP/VIIRS 数据在主城区灯光溢出问题严重, 提取的建成区面积大且连片, 而融合 POI 密度后提取的建成区可能会有一些孔洞, 前者重叠建成区面积较大, 后者重叠建成区面积较小, 因而会出现查全率下降的情况。但此时 F1 分数同为 82%, NPP&.POI 的查准率为 86%, 提升了 5%, 也证明了 NPP&.POI 综合指数有效地改善了灯光溢出的问题。

2.3 两种夜间灯光影像建成区提取结果对比分析

2.3.1 NPP/VIIRS、Luojia 1-01 原始影像建成区提取结果对比分析

由图 5 可知, 单独使用 Luojia 1-01 和 NPP/VIIRS 夜间灯光影像提取的结果存在着明显的差异, Luojia 1-01 数据的提取结果斑块较多且分散; 建成区内部破碎现象明显, 导致孔隙较多, 同时误提取出许多道路等干扰信息。NPP/VIIRS 数据的提取结果受灯光溢出影响明显, 具体表现为斑块较少且集中连片; 建成区内部信息模糊, 孔隙被覆盖; 建成区边界规则, 细节信息不足, 高淳区等部分夜间灯光亮度较弱地区, 建成区信息缺失严重。

由表 2 可知, 基于 Luojia 1-01 的提取结果的各项景观格局指数均明显高于 NPP/VIIRS。斑块数过多和景观破碎度过高都表明建成区破碎度和分离性过高, 景观形状指数过高表明建成区复杂程度过高, 边界密度过高表明建成区的斑块连通性较差。相反, NPP/VIIRS 的各项景观格局指数中, 斑块数过少和景观破碎度过低都表明建成区集中度高, 聚集程度高, 景观形状指数过低表明建成区复杂程度低, 边界密度过低表明建成

区边界细节信息不足。这也从数据角度佐证了图5所示问题。

由表3可知,在查准率、查全率和F1分数3项精度指标方面,Luojia 1-01和NPP/VIIRS在南京全市、主城区和非主城区均有相近的高精度(70%、80%、60%),主要差异体现在南京市主城区,NPP/VIIRS数据提取的主城区结果略高于Luojia 1-01数据,这是因为Luojia 1-01数据能清楚地反映街道信息,提取的主城区建成区孔隙较多,而NPP/VIIRS数据提取的主城区建成区集中连片,聚集程度高。Luojia 1-01和NPP/VIIRS在南京市非主城区的查准率方面存在较大差异,NPP/VIIRS的提取结果中高淳区等部分夜间灯光亮度较弱地区建成区信息缺失严重,作为分母的提取建成区总面积会异常小,因而NPP/VIIRS在南京市非主城区的查准率大幅高于Luojia 1-01。但从F1分数来看,F1分数兼顾了查准率和查全率,是二者的调和平均数,Luojia 1-01和NPP/VIIRS在南京市非主城区的表现相差无几。

2.3.2 NTL&POI综合指数建成区提取结果对比分析

将两种NTL&POI综合指数提取的建成区结果与中国科学院提供的参考建成区数据作对比,从边界角度看,提取的建成区与参考建成区较为贴合,有效地改善了灯光溢出现象引起的提取建成区边界大于实际边界的问题,较好地反映了建成区的整体形态、空间分布和分布零散的小面积建成区,建成区块和边界细节也得到很好的体现。相比于NPP&POI,LJ&POI综合指数提取的建成区在内部和边界细节信息方面表现更优,提取的小面积和周边建成区更加完整、准确,比如高淳区的建成区提取效果明显更符合实际情况。

在各项景观格局指数方面,LJ&POI与NPP&POI的提取结果相近,但前者略高(见表3)。表明LJ&POI综合指数提取的建成区破碎度和复杂程度较高;同时边界分割程度较高,细节信息更丰富。

在查准率、查全率和F1分数3项精度指标方面,LJ&POI与NPP&POI的提取结果十分接近,在南京市、主城区和非主城区,提取的建成区精度均较高,表明NTL&POI综合指数在城市化水平差距较大的主城区和非主城区均取得良好的效果,具有良好的适用性。

3 结语

本文针对目前单独使用夜间灯光数据提取建成区存在着灯光溢出现象造成的提取建成区边界比实际边界大且空间分辨率较低的问题,利用POI数据密度分布能准确反映建成区边界的优势,提出将POI数据与两种高精度夜间灯光数据结合建立NTL&POI综合指数的方法,以期有效提高建成区提取精度。通过本文研究,得到以下结论:

1) NTL&POI综合指数提取的建成区结果既能填补建成区内部过多的孔隙,提高建成区的连通性,又能解决由于灯光溢出效应产生的边界外扩等问题,补充边界信息,保证建成区的复杂性,并且在整体形态和局部细节信息上都与参考建成区数据接近,精度明显提高。

2) NTL&POI综合指数提取的建成区结果在发展程度不一的主城区和非主城区均取得较好的效果,在主城区能够保证较高的提取精度的同时,补充细节信息和修正边界信息;在非主城区提取精度显著提高,补充了缺失的建成区,由此证明了其良好的适用性。

3) NPP/VIIRS的提取结果存在明显灯光溢出问题,建成区过度集中在主城区,边界和细节信息不足;Luojia 1-01的提取效果有效地改善了灯光溢出问题,并良好地反映了南京市建成区的整体情况,但存在孔隙较多、误提信息较多的问题。

4) LJ&POI不仅可以保证与NPP&POI几近相同的提取精度,而且在建成区的边界和细节信息方面表现更优。本文在一定程度上也验证了Luojia 1-01夜间灯光数据的可用性及高空间分辨率的优势,未来在相关领域将具有更加广阔的应用空间。

参考文献

- [1] Pendall R, Martin J, Fulton W. Holding the Line: Urban Containment in the United States [R]. Washington D C: The Brookings Institution Center on Urban and Metropolitan Policy, 2002
- [2] Xin H, Zhang L. Morphological Building/Shadow Index for Building Extraction from High-Resolution Imagery over Urban Areas[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing*, 2012, 5(1): 161-172
- [3] Tao C, Tan Y H, Zou Z R, et al. Unsupervised De-

tection of Built-up Areas from Multiple High-Resolution Remote Sensing Images [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letter*, 2013, 10(6): 1 300-1 304

[4] Weizman L, Goldberger J. Detection of Urban Zones in Satellite Images Using Visual Words [C]. IEEE Conference Geoscience and Remote Sensing Symposium, Melbourne, Australia, 2013

[5] Shan Y, Berthod M, Giraudon G. Toward Robust Analysis of Satellite Images Using Map Information-Application to Urban Area Detection [J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2002, 37(4): 1 925-1 939

[6] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of Normalized Difference Built-up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(3): 583-594

[7] Xu H Q. A New Index for Delineating Built-up Land Features in Satellite Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, 29(14): 4 269-4 276

[8] Wen Qi, Wang Wei, Li Lingling, et al. Extraction of Built-up Area in Plain from High Resolution Remote Sensing Images [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(10): 2 557-2 564 (温奇, 王薇, 李苓苓, 等. 高分辨率遥感影像的平原建成区提取 [J]. 光学精密工程, 2016, 24(10): 2 557-2 564)

[9] Li Haijiang, Liu Yaolin, Tan Ronghui, et al. A New Algorithm of Urban Built-up Area Boundary Extraction Based on High-Resolution Panchromatic Image [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2015(7): 36-41 (李海江, 刘耀林, 谭荣辉, 等. 一种新的基于高分辨率全色影像的城市建成区边界提取算法 [J]. 测绘通报, 2015(7): 36-41)

[10] Wang Haiyu, Pang Xiaoping, Li Yanhong, et al. Urban Expansion in the Wuhan City Circle Using DMSP/OLS Nighttime Light Data [J]. *Journal of Geomatics*, 2015, 40(1): 80-83 (王海羽, 庞小平, 李艳红, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的武汉城市圈拓展研究 [J]. 测绘地理信息, 2015, 40(1): 80-83)

[11] He Chunyang, Shi Peijun, Li Jinggang, et al. Reconstruction of Urbanization Spatial Process in Mainland China in 1990s Based on DMSP/OLS Nighttime Lighting Data and Statistics [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(7): 856-861 (何春阳, 史培军, 李景刚, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据和统计数据的中国大陆 20 世纪 90 年代城市化空间过程重建研究 [J]. 科学通报, 2006, 51(7): 856-861)

[12] Wang Ruoxi, Li Jian, Li Xi, et al. Extraction of Built-up Areas Using Combination of Landsat and DMSP Data: A Case Study of Jiangxi Province [J]. *Journal of Central China Normal University*, 2018, 52(1): 130-136 (王若曦, 李建, 李熙, 等. DMSP 夜间灯光数据与 Landsat 数据结合的建成区提取研究——以江西省为例 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2018, 52(1): 130-136)

[13] Li Jingye, Gong Jian, Yang Jianxin, et al. Urban Spatial Pattern Evolution of Wuhan City Based on Nighttime Light [J]. *Remote Sensing Information*, 2017, 32(3): 133-141 (李靖业, 龚健, 杨建新, 等. 利用夜间灯光数据的武汉城市空间格局演化 [J]. 遥感信息, 2017, 32(3): 133-141)

[14] Small C, Pozzi F, Elvidge C D. Spatial Analysis of Global Urban Extent from DMSP-OLS Night Lights [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 96(3): 277-291

[15] Su Yongxian, Wang Chongyang, Zhang Hong'ou, et al. Neighborhood Statistics Analysis Method for Extracting the Build-up Urban Area with DMSP/OLS Night Light Data [J]. *Tropical Geography*, 2015, 35(2): 193-201 (苏泳娴, 王重洋, 张虹鸥, 等. 基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据提取城镇建设用地的邻域分析法 [J]. 热带地理, 2015, 35(2): 193-201)

[16] Jing Xin, Yan Yizhen, Yan Lei, et al. A Novel Method for Saturation Effect Calibration of DMSP/OLS Stable Light Product Based on GDP Grid Data in China Mainland at City Level [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2017, 33(1): 35-39 (景欣, 晏艺真, 晏磊, 等. 基于 GDP 格网的中国大陆城市 DMSP/OLS 稳定灯光数据饱和标定方法 [J]. 地理与地理信息科学, 2017, 33(1): 35-39)

[17] Zou Jingui, Chen Yanhua, Ding Ge, et al. A Clustered Threshold Method for Extracting Urban Build-up Area Using the DMSP/OLS Nighttime Light Images [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2016, 41(2): 196-201 (邹进贵, 陈艳华, 丁鸽, 等. 利用 DMSP/OLS 灯光影像提取城镇建成区的聚类阈值法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(2): 196-201)

[18] 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): 2 900-2 914

[19] Xu Zening, Gao Xiaolu. A Novel Method for Identifying the Boundary of Urban Build-up Areas with POI Data [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 928-939 (许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣

点的城市建成区边界识别方法[J]. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939)

[20] Zhao Weifeng, Li Qingquan, Li Bijun. Extracting Hierarchical Landmarks from Urban POI Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(5): 973-988 (赵卫锋, 李清泉, 李必军. 利用城市POI数据提取分层地标[J]. 遥感学报, 2011, 15(5): 973-988)

[21] Li Xi, Xue Xiangyu. Estimation Method of Night-time Light Images' Electric Power Consumption Based on the Boston Matrix [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(12): 1 994-2 002 (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): 1 994-2 002)

[22] Li Deren, Yu Hanruo, Li Xi. The Spatial-Temporal Pattern Analysis of City Development in Countries Along the Belt and Road Initiative Based on Night-time Light Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(6): 711-720 (李德仁, 余涵若, 李熙. 基于夜光遥感影像的“一带一路”沿线国家城市发展时空格局分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(6): 711-720)

[23] Yu Bingchen, Liu Yuxuan, Chen Gang. Urban Spatial Structure of Port City in South China Sea Based on Spatial Coupling Between Nighttime Light Data and POI [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2018, 20(6): 854-861 (于丙辰, 刘玉轩, 陈刚. 基于夜光遥感与POI数据空间耦合关系的南海港口城市空间结构研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(6): 854-861)

[24] Pan Sidong. Spatial Coupling Between Housing Development and Economic Growth Based on Night Light Remote Sensing and Residential POI [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017, 19(5): 646-652 (潘思东. 基于夜光遥感和小区POI的住宅发展与经济增长的空间耦合研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(5): 646-652)

[25] Silverman B W. Density Estimation for Statistics and Data Analysis [J]. *Technometrics*, 2012, 29(4): 495-503

[26] Zheng Honghan, Gui Zhipeng, Li Fa, et al. Urban Build-up Area Extraction Method Based on Night-time Light Images and Point of Interest Data [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2019, 35(2): 25-32 (郑洪晗, 戈志鹏, 栗法, 等. 夜间灯光数据和兴趣点数据结合的建成区提取方法[J]. 地理与地理信息科学, 2019, 35(2): 25-32)

[27] Heidenreich N B, Schindler A, Sperlich S. Bandwidth Selection for Kernel Density Estimation: A Review of Fully Automatic Selectors [J]. *Asta Advances in Statistical Analysis*, 2013, 97(4): 403-433

[28] Lüscher P, Weibel R. Exploiting Empirical Knowledge for Automatic Delineation of City Centres from Large-Scale Topographic Databases [J]. *Computers Environment & Urban Systems*, 2013, 37(1): 18-34

[29] Chen Chundi, Wu Shengjun, Meurk Colin Douglas, et al. Identifying and Evaluating Functional Connectivity for Building Urban Ecological Networks [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(22): 7 367-7 376 (陈春娣, 吴胜军, Meurk Colin Douglas, 等. 阻力赋值对景观连接模拟的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(22): 7 367-7 376)

[30] Hu Yunfeng, Zhao Guanhua, Zhang Qianli. Spatial Distribution of Population Data Based on Nighttime Light and LUC Data in the Sichuan-Chongqing Region [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2018, 20(1): 68-78 (胡云峰, 赵冠华, 张千力. 基于夜间灯光与LUC数据的川渝地区人口空间化研究[J]. 地球信息科学学报, 2018, 20(1): 68-78)

[31] Shu Song, Yu Bailang, Wu Jianping, et al. Methods for Deriving Urban Build-up Area Using Night-light Data: Assessment and Application [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(2): 169-176 (舒松, 余柏良, 吴健平, 等. 基于夜间灯光数据的城市建成区提取方法评价与应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 169-176)

[32] Henderson M, Yeh E T, Gong P, et al. Validation of Urban Boundaries Derived from Global Night-time Satellite Imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(3): 595-609

[33] Douglas D H, Peucker T K. Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitised Line or Its Caricature [J]. *Cartographica*, 1973, 10(2): 112-122

Extraction Accuracy of Urban Built-up Area Based on Nighttime Light Data and POI: A Case Study of Luojia 1-01 and NPP/VIIRS Nighttime Light Images

LI Fei¹ YAN Qingwu^{1,2,3} ZOU Yajing¹ LIU Baoli¹

1 School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

2 Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

3 School of Public Policy and Management, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: **Objectives:** In recent years, nighttime light images have been widely used in urban built-up area extraction. However, the accuracy of the extraction results is not satisfactory due to the low data resolution and the blooming effect. **Methods:** To solve this problem, the NTL (nighttime light) & POI (point of interest) composite index is proposed, which is based on the nighttime light images of Luojia 1-01 of China and NPP/VIIRS (national polar-orbiting partnership's visible infrared imaging radiometer suite) of the United States. The threshold method is used to extract the built-up areas before and after NTL&POI composite index processing. **Results:** Compared with the reference built-up areas, results extracted by NTL&POI composite index not only reflect the overall shape of the built-up areas but also retain details such as boundary information. The landscape pattern indexes indicate that the extracted results have better connectivity and complexity. Recall, precision and F1 score prove that NTL&POI composite index effectively improves the extraction accuracy of built-up areas, and achieves good results in main and non-main urban areas with different development degrees. Combined with POI data, the extraction accuracy of built-up areas of Luojia 1-01 increases by approximately 5% and that of NPP/VIIRS increases by about 3%. **Conclusions:** Compared with NPP/VIIRS, Luojia 1-01 ensures high precision and satisfying performance in terms of boundary and detail information of built-up areas, which brings it a broad application prospect.

Key words: urban built-up area extraction; remote sensing of nighttime light; Luojia 1-01; NPP/VIIRS; NTL&POI composite index

First author: LI Fei, postgraduate, specialized in GIS application and spatial statistics. E-mail: 525406290@qq.com

Corresponding author: YAN Qingwu, PhD, associate professor. E-mail: 3403175@163.com

Foundation support: Open Fund of State Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University (18T03); Science and Technology Project of Inner Mongolia Autonomous Region (2060399-273); the National Natural Science Foundation of China (51874306).

引文格式: LI Fei, YAN Qingwu, ZOU Yajing, et al. Extraction Accuracy of Urban Built-up Area Based on Nighttime Light Data and POI: A Case Study of Luojia 1-01 and NPP/VIIRS Nighttime Light Images[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2021, 46(6): 825-835. DOI:10.13203/j.whugis20190266(房飞, 同庆武, 邹雅婧, 等. 利用夜间灯光POI的城市建成区提取精度研究——以珞珈一号01星和NPP/VIIRS夜间灯光影像为例[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2021, 46(6):825-835. DOI:10.13203/j.whugis20190266)