引文格式：杨柳,梁俊红,丁凯焱,等. 从夜间灯光数据中提取城市建成区的改进方法[J]. 地理空间信息, 2024, 22(1): 24-28. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.01.006

从夜间灯光数据中提取城市建成区的改进方法

杨　柳[1]，梁俊红[1*]，丁凯焱[2]，何庆芳[1]
（1. 湖北师范大学 城市与环境学院，湖北 黄石 435002；2. 中国地质大学 地理与信息工程学院，湖北 武汉 430074）

摘　要：为提高夜间灯光影像中城市建成区的提取精度，对多源遥感数据融合方法进行了改进。以武汉市1992—2020年3类夜间灯光数据为数据源，在调整多源数据融合方法步骤顺序的基础上，加入了突变检测法，从而过滤出影像中较小的建筑物，使其能更好地反映建成区范围。结果表明：①改进方法保留了多源遥感数据融合方法提取的建成区的城市细节，从影像对比图中能明显看出建成区的划分情况；②改进方法的提取精度从85.76%提高至98.84%，能更精确地反映城市建成区范围；③改进方法去除了冗余步骤，提高了研究效率。

关键词：夜间灯光数据；建成区；改进；提取；精度
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）01-0024-05

Improved Method of Urban Built-up Area Extraction from Nighttime Lighting Data

YANG Liu[1], LIANG Junhong[1], DING Kaiyan[2], HE Qingfang[1]
(1. College of Urban and Environmental Sciences, Hubei Normal University, Huangshi 435002, China;
2. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to improve the extraction accuracy of urban built-up areas from nighttime lighting images, we improved the multi-source remote sensing data fusion method. Taking three types of nighttime lighting data from 1992 to 2020 in Wuhan as the data source, we adjusted the steps of multi-source data fusion method at first. Then, we added the mutation detection method, so that the smaller buildings in the images can be filtered out to better reflect the extent of built-up area. The results show that ①the improved method retains the urban details of built-up areas extracted by the multi-source remote sensing data fusion method, and the division of built-up areas can be clearly seen from the compared images. ②The extraction accuracy of improved method is improved from 85.76% to 98.84%, which can reflect the urban built-up areas more accurately. ③The improved method removes redundant steps, and improves the efficiency of experiment.

Key words: nighttime lighting data, built-up area, improve, extract, accuracy

建成区是指城市行政区内已成片开发建设并基本具备公共设施的区域，是城市建设发展在地区上的客观反映。其动态变化是评价城市发展的重要指标，对城市空间布局和经济发展具有一定的指导意义[1]。夜间灯光遥感可在夜间无云条件下获取地表微弱的灯光强度信息，进而较好地判断建成区的大致范围。夜间灯光的强度可直接反映城市的经济发展状况，在分析社会经济发展和人类活动方面具有重要作用[1-3]。目前，国际上常用的夜光遥感卫星主要包括：①美国国防气象卫星计划（DMSP），搭载了线性扫描传感器（OLS）；②国家极轨合作伙伴（NPP），搭载了可见光红外成像辐射仪（VIIRS）；③我国首颗夜光遥感卫星珞珈一号[4]。国内外学者从夜间灯光数据处理、经济参数空间化、城市建成区提取、灾害评估、渔业研究等方面进行了广泛且深入的研究[5-6]，如Letu H[7]等利用DMSP/OLS的夜间辐射校准影像设计了DMSP/OLS稳定光图像的饱和光校正方法；Liu Z F[8]等研究了一种可校正多年多卫星夜间稳定灯光数据的方法，能有效减少异常值，得到稳定的夜间灯光数据；Xin X[9]等提出了一种基于有理函数模型的DMSP/OLS数据校准新方法，并根据校准数据提取了1992—2013年相应的建成区；Che M Q[10]等利用Sentinel-1 SAR和夜间灯光数据检测和分析了城市内的变化，这些多源数据组合已被证明有助于在城市层面区分城市变化模式；张霖[11]、Chen Z Q[12]等在多个空间尺度下分析了灯光强度与区域发展之间的变化规律；也有学者利用夜间灯光

收稿日期：2022-09-05。
项目来源：国家自然科学基金资助项目（41871182）。
第一作者简介：杨柳（1995—），硕士，研究方向为遥感和地理信息，E-mail：yangliu2548@126.com。
通信作者：梁俊红（1980—），副教授，研究方向为土地可持续利用与GIS遥感应用，E-mail：liangjh314@126.com。

数据探究了社会经济和电力消费与夜间灯光强度之间的变化关系[13-15]。夜光遥感数据存在空间分辨率低、像元DN值饱和性、数据连续性、背景噪声和发射时间迟等问题，因此在提取城市建成区和其他应用领域上仍有困难[16-17]；而Landsat数据具有空间分辨率高、易获取和应用成熟等优点，因此可利用Landsat数据辅助夜光遥感数据提取城市建成区，使得提取的效果更精确[18]。

1　研究区概况和数据来源

1.1　研究区概况

武汉市（113°41′~115°05′E、29°58′~31°22′N）是湖北省省会，中部六省唯一的副省级城市，全国重要的工业基地；地处长江中下游，市内江河交错，水域面积占全市总面积的1/4。武汉市是长江经济带的核心城市，同时作为我国经济地理中心，正在加速建设成为全国的经济中心。改革开放以来，城市化进程加快，建成区范围不断扩张，截至2020年末，全市下辖13个区，总面积约为8 569.15 km^2，其中建成区面积约为885 km^2。本文以武汉市为研究区，其城市建成区较集中、水域众多，能很好地将城市分割成多个部分，有利于城市建成区的提取和精度评估。

1.2　数据来源

本文采用的数据包括：①夜间灯光数据，包含1992—2011年DMSP/OLS数据（空间分辨率为1 km，消除了闪电、火光和渔船等短暂性灯光并经过平均化处理，其稳定夜间灯光数据灯光亮度值在0~63之间），2013—2020年NPP/VIIRS数据（经杂散光校正程序的月平均辐射度无云合成，空间分辨率为500 m，过滤了闪电、月光和云覆盖影响，保留了极光、火光和渔船等暂时性灯光，解决了像元DN值饱和现象[19-20]）以及2018年Luojia1-01数据（空间分辨率为130 m，理想条件下可在15 d内绘制完成全球夜光影像[21]）；②1992—2020年含云量低于3%、成像时间在冬季的Landsat5/8影像（9—12月）；③1992—2020年武汉市建成区面积，数据来源于武汉市统计年鉴。

2　研究方法

2.1　数据预处理

Landsat数据预处理包括影像裁剪、辐射定标和大气校正等步骤，处理后可得到能反映地表实际反射率的武汉市遥感影像，为后续监督分类提供更准确的反射率信息[22-23]。夜间灯光数据易受环境光和辐射定标中暗电流等背景噪声影响，因此需要过滤背景噪声值，以水域中的灯光亮度值为阈值，将小于阈值的亮度值赋值为0，从而去除背景噪声。

2.2　建成区提取

为更好地提高夜光遥感提取城市建成区的精度，本文叠加了多源遥感数据，选择监督分类的方法提取建筑物。以往也有学者利用三指数法[24-25]结合监督分类来提取建成区，虽然提取精度高，但操作相对复杂，不适用于数据量多、时间序列长的研究。为去除繁琐步骤，在保证精度的情况下，本文利用最大似然法提取Landsat影像中的建筑物；再利用突变检测法和Majority/Minority Analysis[26]从建筑物中分离出大小合适的建成区。不断探索发现，阈值为15时，提取建成区的效果最好。

本文首先将Landsat影像中提取的建成区与预处理后的夜间灯光影像进行叠加，以获取更精细、范围更广的城市建成区，从Landsat数据中提取建成区后，需经二值化处理[27]得到完全由建成区组成的影像，并将两种影像进行叠加分析[28]，获得由Landsat数据与夜间灯光数据叠加后的影像（图1）；再将叠加影像中的灯光亮度值按照从大到小的顺序排列，并计算每个建筑物图斑的面积；然后根据统计年鉴中的建成区面积，通过迭代法计算得到阈值[29-30]；最后从叠加影像中提取大于等于该阈值的所有灯光亮度值，此时其对应的图斑面积之和即为叠加影像中的建成区范围。1992—2020年夜间灯光数据像元亮度值范围和阈值见表1，可以看出，1992—2005年阈值增加，说明该时段武汉市夜间灯光亮度随着城市发展不断提高，但DMSP/OLS数据存在像元饱和问题，灯光亮度最大值只有63，而随着城市的发展，强亮度值的区域越来

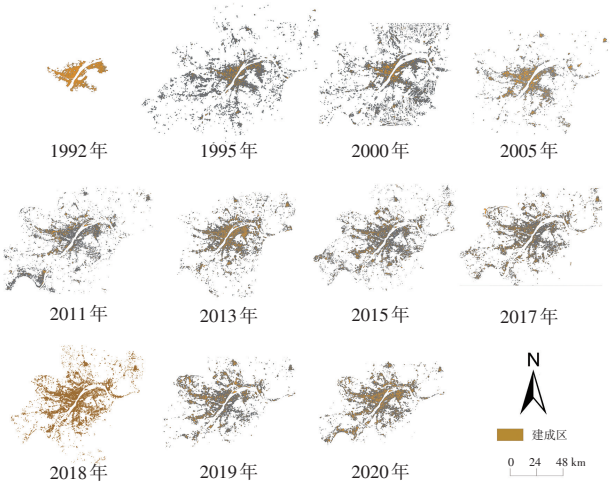


图1　叠加后提取的建成区影像

越多，阈值也越来越大，这也是DMSP/OLS影像亮度集中，没有层次性的原因之一；同样是DMSP/OLS数据，2011年阈值只有4，这是由2005—2011年武汉市快速发展，建成区面积迅速扩大造成的；2013—2020年阈值呈递减趋势，这是由于NPP/VIIRS数据的灯光值上限高，目前不会出现亮度值溢出现象。

表1 夜间灯光影像提取建成区的阈值

时间	数据	最小值	最大值	阈值
1992年	DMSP/OLS	0	61	35
1995年	DMSP/OLS	0	60	47
2000年	DMSP/OLS	0	62	49
2005年	DMSP/OLS	0	62	51
2011年	DMSP/OLS	0	63	4
2013年	NPP/VIIRS	0	4 889	12
2015年	NPP/VIIRS	0	254	9
2017年	NPP/VIIRS	0	139	7
2018年	Luojia1-01	0	1 098 676	1
2019年	NPP/VIIRS	0	311	1
2020年	NPP/VIIRS	0	426	5

2.3 建成区影像渲染

为使改进后影像能更好地反映建成区范围和灯光亮度变化，本文首先将提取的建成区数据反转为栅格数据；然后选择合适的色带对其进行渲染，从黄色到红色表明灯光亮度值不断提高。1992—2020年改进后的夜间灯光影像见图2，可以看出武汉市建成区形态随时间推移的变化趋势，灯光亮度高的区域位于长江左上方，表明该处是武汉市经济较强的区域。

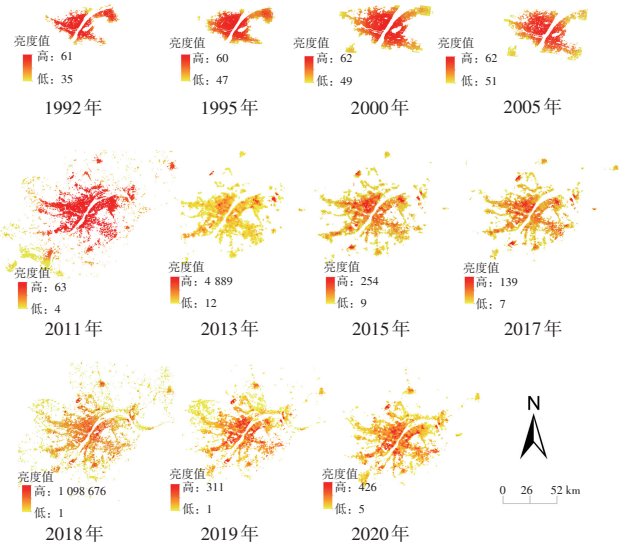
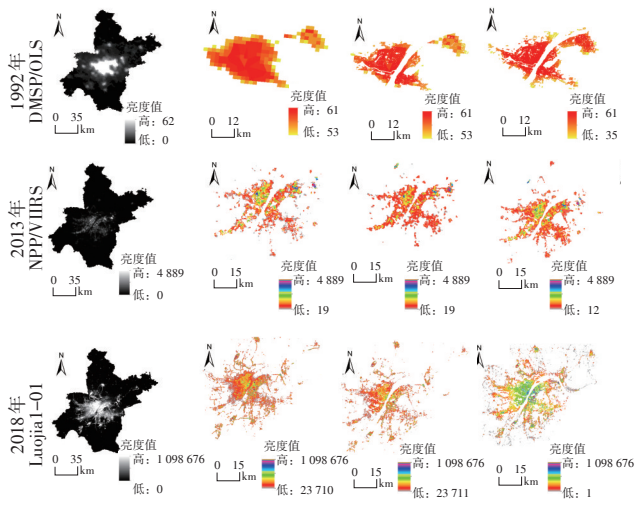


图2 建成区影像渲染

3 研究结果与精度评价

3.1 研究结果

为了对比和分析提取建成区的效果，本文选取1992年DMSP/OLS数据、2013年NPP/VIIRS数据和2018年Luojia1-01数据进行对比分析，结果见图3，可以看出，直接提取法无法识别湖泊、河流和大面积林区等细节，尤其是对于DMSP/OLS等低分辨率数据，更难以分离出较大类别的地物，无法区分长江和东湖两种大型水域；多源数据融合方法提取的建成区虽具备一定的细节，但建成区范围不准确，提取的建成区面积较小，无法完全提取城市建成区；本文改进方法既保留了城市建成区的细节，又准确提取了建成区范围，提取效果也更加精确；Luojia1-01影像提取的城市建成区细节更加清晰，灯光亮度值更细腻，色带过度也更加自然。



a 原始影像 b 直接提取法 c 多数据融合方法 d 本文改进方法

图3 3种提取方法的影像对比

3.2 提取精度评价

为证明本文方法在准确度上的优越性，本文利用常用的数学方法对提取精度进行评价。以武汉市统计年鉴中的建成区面积为真值，有效计算提取的建成区面积与实际建成区面积之间的偏离度，即

$$p=\left(1-\frac{|b_1-b_2|}{b_2}\right)\times 100\%$$

式中，p 为提取精度；b_1 为从影像中提取的建成区面积；b_2 为统计年鉴中的建成区面积。

利用3种方法提取的1992—2020年武汉市建成区精度见表2，可以看出，改进方法在提取的细节和精度上都得到了明显提高；而多源数据融合方法虽在一定程度上保留了建成区细节，但对建成区范围的提取不够准确；效果最差的是直接提取法，建成区范围和细节都不够准确。

表2　3种方法的提取精度对比/%

时间	直接提取法	多源数据融合方法	改进方法
1992年	99.26	79.62	99.73
1995年	97.27	74.94	99.74
2000年	96.10	80.41	99.49
2005年	99.99	83.00	98.96
2011年	99.24	63.88	98.58
2013年	99.03	99.63	98.97
2015年	98.34	93.45	99.35
2017年	97.56	91.04	99.58
2018年	99.99	94.75	94.50
2019年	99.58	88.65	99.45
2020年	98.05	94.00	98.93
均值	98.58	85.76	98.84

4　结　语

夜间灯光遥感在研究人类活动和社会发展等领域具有重要作用，但DMSP/OLS数据存在像元饱和性和空间分辨率低的问题，导致1992—2011年提取的建成区仍只是大概轮廓，更无法反映武汉市灯光亮度的变化趋势。此外，陈宇伦[31]等利用城市摄像头发现夜间灯光强度具有复杂性，随着时间推移会发生变化，且卫星过境也会导致观测角变化，这些都可能造成研究数据在小范围内的一定波动。由于发射时间较晚，且只能获取2018—2019年夜光遥感影像，导致研究中Luojia1-01卫星数据不足，缺乏更多的研究对照，未来将从多个城市的角度，获取多地区的遥感数据进行进一步研究。

本文改进方法为城市建成区提取提供了更精确的数据支撑，提高了建成区范围提取的准确性与科学性，从而能更好地了解城市的发展变化，把握城市的发展特征。相对于目前已发布的大范围、大面积的全球建成区产品（全球不透水面地图等），本文从区域和城市的角度出发，运用多源遥感数据和统计年鉴数据提取城市建成区面积，具有小范围准确性更高的优势。今后，夜间灯光数据研究需要继续走多源遥感数据和非遥感数据融合的道路，并扩大应用领域，突破目前局限于城市发展和社会经济等方面的现状。

参考文献

[1] 张扬,郑凤娇,刘艳芳,等. 基于POI与不透水表面指数的城市建成区提取[J]. 地理科学,2022,42(3):506-514

[2] 仲晓雅,闫庆武,厉飞,等. 一种面向城市收缩地区的DMSP/OLS夜间灯光影像多年连续校正方法[J]. 地理与地理信息科学,2021,37(6):46-51

[3] Levin N, Kyba C C M, Zhang Q, et al. Remote Sensing of Night Lights: A Review and an Outlook for the Future[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 237(C): 111 443-111 459

[4] 植秋滢,陈洁莹,付迎春,等. 基于珞珈一号夜间灯光数据与POI数据的粤港澳大湾区城市群多中心空间结构研究[J]. 热带地理,2022,42(3):444-456

[5] 陈颖彪,郑子豪,吴志峰,等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望[J]. 地理科学进展,2019,38(2):205-223

[6] 郑渊茂,何原荣,王晓荣,等. 夜光遥感数据应用述评与展望[J]. 遥感信息,2020,35(3):1-14

[7] Letu H, Hara M, Tana G, et al. A Saturated Light Correction Method for DMSP/OLS Nighttime Satellite Imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012,50(2):389-396

[8] Liu Z F, He C, Zhang Q, et al. Extracting the Dynamics of Urban Expansion in China Using DMSP-OLS Nighttime Light Data from 1992 to 2008[J]. Landscape and Urban Planning,2012,106(1):62-72

[9] Xin X, Liu B, Ding K C. Monitoring Urban Expansion Using Time Series of Night-time Light Data: A Case Study in Wuhan, China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2017,38(21):6 110-6 128

[10] Che M Q, Gamba P. Intra-urban Change Analysis Using Sentinel-1 and Nighttime Light Data[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing,2019,12(4):1 134-1 142

[11] 张霖,李熙. 夜光遥感视角下的巴基斯坦区域发展差异分析[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(2):269-279

[12] Chen Z Q, Yu B L, Song W, et al. A New Approach for Detecting Urban Centers and Their Spatial Structure with Nighttime Light Remote Sensing[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2017,55(11):6 305-6 319

[13] Shi K F, Yu B L, Huang Y X, et al. Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data[J]. Remote Sensing,2014,6(2):1 705-1 724

[14] 李熙,巩钰. 夜间灯光遥感视角下的中国对中亚地区援助效果评估[J/OL]. (2022-08-23)[2022-08-31]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=rNedIcCUbLDOpOjjPj8LK3ZTBrcRPltBsR5KOQHOVIx3RVH0xaWM1bnbNHg2Uv0JquFVe5m0rrhufLxmEtBIF6Kbt8qk-qeN1XPRlEWA_MgHHPsfHcbEP49g1eFn4FNoJibawj8U1Qs=&uniplatform=NZKPT&language=CH

[15] Min B, Kwawu G. Tracking Electrification in Vietnam Using Nighttime Lights[J]. Remote Sensing, 2014, 6(10): 9 511-9 529

[16] Zhang Q L, Seto K C. Mapping Urbanization Dynamics at Regional and Global Scales Using Multi-temporal DMSP/OLS Nighttime Light Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(9):2 320-2 329

[17] 许正森,徐永明. 整合DMSP/OLS和NPP/VIIRS夜间灯光遥感数据的长江三角洲城市格局时空演化研究[J]. 地球信息科学学报,2021,23(5):837-849

[18] 陈俊,王文,李子扬,等. Landsat-5卫星数据产品[J]. 遥感信息,2007,22(3):85-88

[19] 辛京达,杨栋滨,李亚强,等. 基于建筑用地指数的DMSP/OLS数据去饱和方法[J]. 遥感信息,2022,37(1):80-87

[20] 姜鲁光,杨成,刘晔. 基于夜间灯光数据的1992—2020年老挝经济社会发展时空变化[J]. 资源科学,2021,43(12):2 381-2 392

[21] 王熙,宁晓刚,张翰超,等. 融合LJ1-01夜间灯光和微信定位数据的人口空间化:以北京市为例[J]. 测绘科学,2022,47(2):173-183

[22] Ju J C, Roy D P. The Availability of Cloud-free Landsat ETM + Data over the Conterminous United States and Globally[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 112(3):1 196-1 211

[23] 季杨,蒋金豹. 长三角城市群城市扩张区环境质量变化遥感评价[J]. 遥感技术与应用,2021,36(5):1 131-1 146

[24] 周小成,汪小钦,吴波,等. 城镇扩张的多源遥感图像动态监测分析[J]. 地球信息科学,2008,10(3):332-337

[25] 查勇,倪绍祥,杨山. 一种利用TM图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. 遥感学报,2003,7(1):37-40

[26] Mohamed M M, Elmahdy S. Land Use/Land Cover Changes Monitoring and Analysis of Dubai Emirate, UAE Using Multi-temporal Remote Sensing Data[J]. EPIC Series in Engineering, 2018, 3:175-184

[27] 樊彦国,张淑芹,侯春玲,等. 基于遥感影像提取海岸线方法的研究:以黄河三角洲地区黄河口段和刁口段海岸为例[J]. 遥感信息,2009,24(4):67-70

[28] 唐梁博,崔海山. 基于NPP-VIIRS夜间灯光数据和Landsat8数据的城镇建筑用地提取方法改进:以广州市为例[J]. 测绘与空间地理信息,2017,40(9):69-73

[29] 洪亮,黄雅君,杨昆,等. 复杂环境下高分二号遥感影像的城市地表水体提取[J]. 遥感学报,2019,23(5):871-882

[30] Li C, Duan P, Wang M G, et al. The Extraction of Built-up Areas in Chinese Mainland Cities Based on the Local Optimal Threshold Method Using NPP-VIIRS Images[J]. Journal of the Indian Society of RemoteSensing, 2020, 10(49):1-16

[31] 陈宇伦,陈丹妮,李熙. 利用城市公共摄像头分析夜间灯光变化规律[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2022,47(8):1 318-1 327

(上接第15页)

量良好。江苏省大范围应用效果表明，该滤波算法可在已有较低密度格网DEM辅助下，对高密度待滤波LiDAR点云进行自动化处理，尤其是在植被覆盖密集的山区、建筑物间距较小的城区能发挥更大优势，降低点云滤波的错误率，减少后期人工干预的工作量。当然，对于地形已发生明显变化的区域，已有DEM数据不能提供可靠的参考信息，不适用于该方法，需将变化区域单独划分出来处理。

参考文献

[1] 刘洋,习晓环,王成,等. 一种改进的渐进加密三角网点云滤波算法[J]. 测绘科学,2020,45(5):106-111

[2] 邹正,邹进贵,胡海洋. 不同机载LiDAR点云滤波算法对比分析[J]. 测绘地理信息,2021,46(5):52-56

[3] 阎跃观,陈中章,孙阳,等. 密集低矮植被区LiDAR点云地面滤波算法[J]. 测绘通报,2021(7):1-5

[4] 朱依民,田林亚,毕继鑫,等. 基于PTD和改进曲面拟合的高山区水电工程机载激光雷达点云滤波方法[J]. 水利水电科技进展,2021,41(1):35-40

[5] 吉雨田,张春亢,尹耀. 机载LiDAR点云自适应滤波算法[J]. 测绘科学技术学报,2021,38(2):142-147

[6] 向静文. 基于迁移学习的三维点云数据分类算法[D]. 北京:北京交通大学,2021

[7] 唐菓,邓兴升,王清阳. 基于密度聚类的点云滤波算法研究[J]. 激光与光电子学进展,2022,59(16):436-447

[8] 曲金博,王岩,赵琪. DBSCAN聚类和改进的双边滤波算法在点云去噪中的应用[J]. 测绘通报,2019(11):89-92

[9] 凌晓春. 对渐进三角网点云数据滤波算法的改进[J]. 测绘通报,2020(10):43-47

[10] 朱磊,邓兴升,邢承滨. PTD滤波格网参数的等值线确定方法[J]. 应用激光,2020,40(2):336-341

[11] 王欢,张翰超,张艳,等. 针对山区点云的渐进加密三角网滤波改进算法[J]. 地理空间信息,2020,18(12):27-30

[12] 陈性义,陶思然,毛君亚,等. 渐进加密的点云滤波算法效率分析与优化[J]. 遥感信息,2018,33(5):106-111

[13] 邢承滨,邓兴升,李易馨. 基于置信区间估计理论的PTD算法种子点最优选择方法[J]. 测绘工程,2020,29(5):27-32

[14] 韩东升,徐茂林,金远航. 多源异构点云配准数据的滤波及精度分析[J]. 测绘科学技术学报,2020,37(5):503-508

[15] 张欢,李弘毅,李浩杰,等. 基于机载LiDAR的高寒山区遥感高程数据精度评估[J]. 遥感技术与应用,2021,36(6):1 311-1 320

[16] 江苏省测绘产品质量监督检验站. 测绘成果质量检验报告[R].

[17] 数字测绘成果质量检查与验收:GB/T 18316-2008[S].