

无人机影像密集匹配点云在贵港市“两违”监测中的应用

全昌文^{1,2}, 李正洪^{1,2}, 庞百宁¹, 熊毅飞^{1,2}

(1. 广西壮族自治区自然资源调查监测院, 广西 南宁 530219; 2. 自然资源部北部湾经济区自然资源监测评价工程技术创新中心, 广西 南宁 530219)

摘要: 当前城市“两违”监测大多基于遥感影像开展, 无法有效发现建筑物加建、加盖等情况, 利用影像密集匹配点云提取建筑物三维变化是“两违”精准监测的有效途径。以贵港市“两违”监测工作为实例, 采用无人机影像密集匹配点云作为基础数据, 通过构建深度神经网络模型自动提取建筑物点云, 并检测不同时相建筑物点云的变化, 经叠加审批、规划等自然资源管理数据, 快速提取出疑似“两违”图斑并开展监测。

关键词: 密集匹配点云; 两违; 无人机; 监测

Application of UAV image matching point clouds in monitoring of “Two Violations” in Guigang City

QUAN Changwen^{1,2}, LI Zhenghong^{1,2}, PANG Baining¹, XIONG Yifei^{1,2}

(1. Guangxi Institute of Natural Resources Survey and Monitoring, Nanning 530219, China; 2. Technology Innovation Center for Natural Resources Monitoring and Evaluation of Beibu Gulf Economic Zone, Ministry of Natural Resources, Nanning 530219, China)

Abstract: At present, the monitoring of “Two Violations” is mostly based on remote sensing images, it can not effectively detect the situation of building addition and construction, etc. so the use of image densely matching point clouds to extract 3D changes of buildings is an effective way to accurately monitor “Two Violations”. In Guigang city “Two Violations” monitoring as an example, using UAV image matching point clouds as the basic data, through the depth of neural network model, extract buildings point clouds, and to detect the change of the different temporal point clouds, after superimposing the management data of natural resources, such as approval and planning, extract the suspected “Two Violations” spots and monitoring.

Key words: Densely matched point clouds; Two Violations; UAV; Monitoring

城市“两违”是指违法用地和违法建设。随着社会经济迅速发展, 在一些城乡结合部及老旧城区, “两违”现象日益突出, 由此引发的楼房坍塌、地面凹陷等事故时有发生, 严重扰乱城乡建设秩序、侵占了城市公共资源、损害了广大人民群众生命财产安全^[1-2]。“两违”问题已经成为中国城市管理的集中问题, 各个城市都设置了专门的

部门加以应对, 大多采用卫星和无人机遥感进行监测, 其原理主要是利用不同时期的影像纹理、色彩等信息开展二维变化检测^[3,4,5]。基于二维遥感影像开展监测, 其结果易受投影差、分辨率、阴影、影像灰度变化等问题影响, 存在一定的局限性, 而LiDAR点云作为精确度非常高的数据源又存在采集成本高的问题。如何快速、精确、低成本的开展

基金项目: 广西重点研发计划(桂科 AB22080077); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20238044); 广西空间信息与测绘重点实验室基金(191851011); 广西壮族自治区自然资源调查监测院“揭榜挂帅”项目(JBGS2022008)

作者简介: 全昌文(1987-), 男, 本科学历, 工程师, 主要研究方向为自然资源调查监测和土地管理。E-mail:qcw148@163.com

“两违”监测受到越来越广泛的关注。

随着多视立体密集匹配技术快速发展,无人机影像密集匹配点云的精度越来越高^[6],为“两违”建筑物三维变化检测提供了一种低成本的数据来源。影像密集匹配点云是基于影像空间相对关系形成的具有空间准确位置的同名点点云,已广泛应用于DSM、DEM和DOM的生产^[7,8,9]。开展密集匹配的方法可以分为基于灰度的密集匹配、基于特征的密集匹配和基于相位的密集匹配3大类型^[10],同时也衍生出多个优化理论,如以Smart3D、PhotoScan等为代表的处理软件普遍采用半全局匹配方法开展影像密集匹配。经处理生成的密集匹配点云具有点的空间三维坐标和影像对应像素的光谱信息。虽不具备激光点云那样的强度信息和回波信息,但具有语义信息^[11],特别是对多视影像开展密集匹配,能够展现更为丰富的地物特征信息和立面信息^[12],因此具备应用于“两违”监测快速提取变化范围的可行性,这是由影像匹配的特性所决定的。

本文以贵港市中心城区及产业园区为研究区域,采用无人机影像密集匹配点云为基础数据,利用深度神经网络模型提取建筑物点云,在此基础上采用分层体系变化检测方法检测建筑物密集点云的变化,实现了疑似“两违”图斑的快速发现与提取。

1 贵港市“两违”监测技术路线

首先利用无人机搭载五镜头相机采集倾斜影像,通过多视密集匹配技术生成密集点云(I期),建立监测区域实景三维模型;然后采用垂直起降固定翼无人机搭载单镜头获取航空影像,生成密集匹配点云(II期)和数字正射影像图。对密集匹配点云进行分类分别提取两期建筑物点云,并开展建筑物点云变化检测,输出矢量范围并叠加管理数据,最终得到疑似违法图斑。另外,疑似图斑矢量数据分别叠加实景三维模型和正射影像图,用于开展外业核查举证工作。整体技术流程如图1所示。

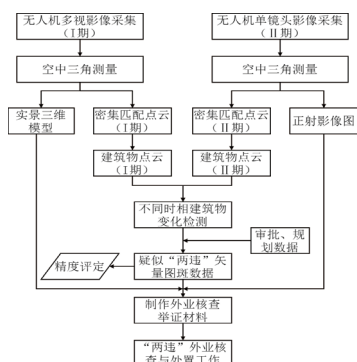


图1 “两违”监测技术路线图

2 基于密集匹配点云的疑似“两违”图斑提取

2.1 测区概况

贵港市地处广西最大的平原—浔郁平原,北回归线横贯中部。作为新兴的工业城市,贵港市近几年来经济社会发展迅速,城市建设日新月异,土地利用变化较为剧烈。监测区域位于贵港市中心城区及周边产业园区,开展“两违”监测总面积245 km²,监测区域内城中村自建房较多,人口密集。长期以来主要依靠传统的人工巡查、询问、走入实地查看等方式开展监测^[13],存在巡查不全面、调查取证困难、存在监管盲区等问题,迫切需要创新监测模式。

2.2 数据采集

本文采用两种无人机影像获取平台,均支持PPK/RTK及其融合作业模式,首先是飞马D200多旋翼无人机,搭载D-OP300五镜头倾斜摄影测量系统,获取地面分辨率0.05m的倾斜影像,采集时间为2022年4月,该数据将用于生成实景三维模型和密集匹配点云,作为“两违”监测的基准数据;其次是飞马V100垂直起降固定翼无人机,搭载V-CAM100单镜头相机,获取地面分辨率0.1m的航空影像,采集时间为2022年7月,该数据将用于生成DOM和密集匹配点云,作为监测数据。两类平台采集影像的参数设计见表1。

表1 无人机数据获取平台及参数设计

飞行平台	载荷	GSD	航向重叠	旁向重叠
D200	D-OP300	0.05m	75%-80%	70%-75%
V100	V-CAM100	0.10m	75%-80%	50%-55%

除航摄影像外,还包括像控点、POS数据和审批、规划等管理数据。像控点采用广西卫星定位连续参考站(GXCORS)网络RTK进行施测,并利用广西似大地水准面精化模型进行正常高转换;管理数据主要用于变化图斑提取后的叠加与分析。

2.3 影像密集匹配点云生产

目前,测绘地理信息行业常用的Smart3D、大势智慧、Pix4D、PhotoScan等实景三维建模软件均可以生产密集匹配点云数据。本项目采用Smart3D软件开展五视影像的密集匹配点云和实景三维模型生产,密集匹配点云的采样间隔设置为0.2m,可在建模完成后输出*.las格式的点点云

据。单镜头下视影像的密集匹配点云和DOM生产采用Pix4D软件进行,采用同一套像控点数据进行空三加密,生成点云的采样间隔设置为0.2m。需要注意的是,在Pix4D软件生产成果类型需要选取“3D Models”模式,该模式对于单镜头像片能够更好的匹配出建筑物侧面密集点云,以便于后续建筑物点云的自动提取。

2.4 实景三维建模和DOM生产

实景三维建模基本流程包括预处理、空三加密、多视影像密集匹配、构建模型三角网、三角网优化和纹理映射等^[14]。本项目中实景三维模型主要用于“两违”监测的基准数据,即作为疑似违法行为发生之前的固化证据,能够客观、真实的反映用地和建设情况。DOM影像作为“两违”的变化监测数据,为外业核查举证提供疑似违法图斑的影像底图。在这里II期不采用实景三维模型作为监测数据,主要是考虑到响应时间效率要求高,而大范围的实景三维建模周期较长难以满足监测的时效性。

2.5 建筑物密集匹配点云提取

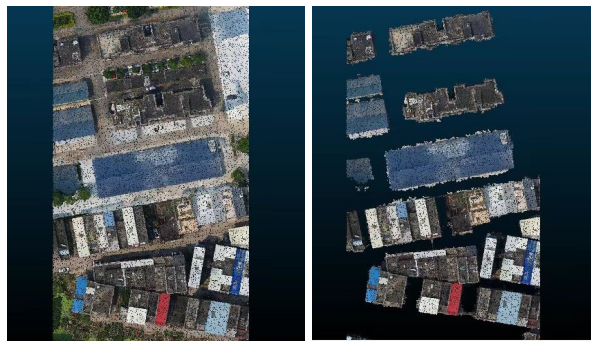
基于无人机影像生产的密集匹配点云,在建筑物边缘等视差不连续区域,点云结构存在无规律的几何变形和扭曲^[15]。特别是单相机下视影像匹配的密集点云,难以通过人工设计判别规则自动可靠的提取建筑物点云。为解决这个问题,本项目通过搭建并训练注意力驱动的深度神经网络模型,以实现两期无人机密集匹配点云中建筑物的快速提取,图2所示,为局部建筑物密集点云提取示例。本项目构建的深度神经网络包括四个模块:

(1) 大比例降采样模块。在面临大场景点云时,由于软硬件的处理性能和内存的约束,往往需要进行降采样处理。为了同时兼顾采样效率和空间覆盖度,采用了一种在采样效率和空间覆盖度之间折中的均匀采样方法。

(2) 注意力机制模块。使用基于SE-Net的SE-Block通道注意力机制从几何空间编码和特征空间编码特征中筛选有效特征。

(3) 局部空间编码模块。该模块通过捕捉局部区域中的点与点之间的几何分布关系和特征分布关系,提升网络模型捕获细节的能力。

(4) 基于跨级连接的特征反向传递模块。跨级连接建立在编码器-解码器结构的基础上,旨在将富含语义信息高层特征层和低层特征进行融合,从而更大程度地保留高层特征中的一些重要细节信息,有利于实现更精细的分割效果。



(a) 提取前

(b) 提取结果

图2 建筑物密集匹配点云示例

2.6 不同时相建筑物点云变化检测

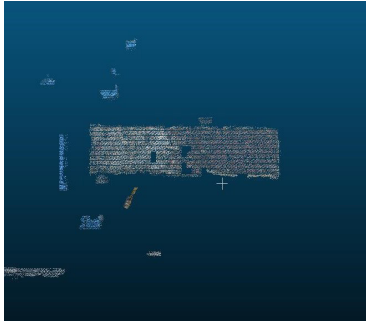
将不同时相建筑物密集点云数据在高程和面积发生的变化量作为变化检测参数。本项目设计了一种分层体素变化检测方法用以检测不同时相建筑物密集点云的变化。它采用从粗到精的策略,首先定位发生重大变化的区域,然后在更精细的尺度上逐层定位变化区域。该分层变化检测方法可以有效地消除离散孤立的变化点,将变化检测聚焦到成区域的变化目标上,有利于由点云变化检测结果中获取变化的建筑物,缓解因密集匹配点云误差造成的建筑物变化误检现象。通过变化检测方法,检测两期密集点云发生高差变化的建筑物,图4所示,a为基准数据、b为监测数据、c为提取的建筑物变化点云。



(a) 基准点云数据



(b) 监测点云数据



(c) 建筑物变化点云粗提取

图3 不同时相建筑物点云变化检测示例

2.7 疑似“两违”图斑提取和分类

变化图斑提取精度按照图斑面积 $\geq 30\text{m}^2$ ，建筑变化高度 $\geq 1\text{m}$ 设定，剔除小于两项阈值的图斑。对提取的建筑物变化图斑，可能存在合法变化与违法变化两种情况，需进一步套合管理数据，筛选出疑似违法图斑。通过比较不同时相建筑物点云的高程和面积是否变化，并以此对建筑物变化检测结果进行分类，本项目将建筑物变化类型分为“未变化”、“新建”、“加盖/加建”、“拆除”四个类别。采用人机交互的方法叠加分析审批、规划等管理数据，在范围线之外“新建”、“加建”等图斑的可初步认定为疑似违法图斑。为便于后续的核查及处置工作，将疑似违法图斑矢量范围分别叠加到实景三维模型和最新影像图，制作外业核查材料，图4所示。

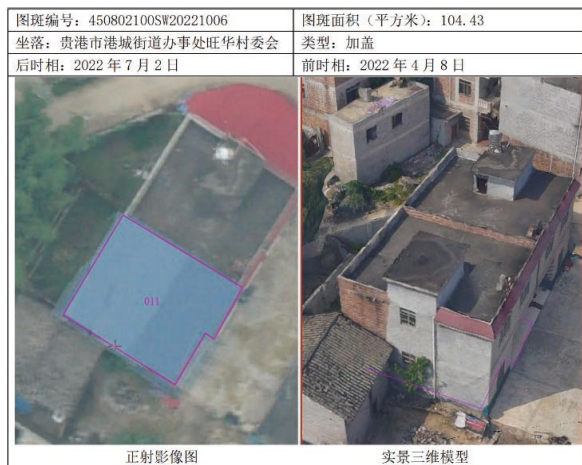


图4 疑似违法图斑提取示例

3 结果与分析

为验证采用无人机影像密集匹配点云快速提取疑似“两违”图斑这一方法的准确性，项目采用最小提取面积、图斑查全率、准确率等指标进行评

定，以判断该区域违法建设、违法用地等监测情况是否满足技术设计要求。具体指标要求见表2。

表2 基于密集匹配点云的监测技术指标

指标要素	指标值
最小提取面积	30m^2
查全率	$\geq 90\%$ (高差大于1m)
查准率	$\geq 85\%$ (高差大于1m)

利用人机交互检查的方法，对采用密集匹配点云提取疑似“两违”图斑的结果进行验证分析。基于2022年4月的基准数据，2022年7月进行监测共提取疑似违法图斑141个，以人机检查提取图斑133个为参考，正确监测129个，遗漏4个，查全率97%；错误监测12个，查准率91%。其中遗漏监测的图斑主要是因为采用单镜头下视影像匹配得到的密集点云，在密集房屋处缺少较多的建筑物侧面点云数据，在建筑物提取环节造成了少量遗漏。错误监测的图斑主要是因为采用单镜头下视影像匹配得到的密集点云存在部分起伏的情况，误判为建筑物高度发生变化。

表3 监测评价结果

人机检查提取图斑数	密集点云提取图斑	正确监测	遗漏监测	错误监测
133	141	129	4	12

4 结语

本文以贵港市城区为例，采用无人机影像密集匹配点云作为“两违”监测图斑提取的基础数据，通过深度神经网络模型快速提取建筑物点云，利用分层体素变化检测方法检测不同时相的建筑物点云变化，实现了“两违”疑似违法图斑的快速发现与提取。经验证，提取图斑的准确率达到91%。研究结果为城市违法用地、违法建设精准监测提供了一种可行的技术方案和实践经验，对推动贵港市城区精细化治理、规范城市用地和城乡建设等具有重要意义。

但是在实际应用中也注意到，采用该技术的监测精度主要依赖于密集匹配点云的质量和精度，而基于单相机下视影像构建的密集匹配点云存在部分起伏或匹配不佳的情况，因而引起一些错误监测图斑，拟增加该区域控制点布控以提高点云的质量和精度；而对于建筑物侧面点云较少的情况，下一步拟适当增加影像重叠，同时增加深度学习样本，以提升建筑物点云提取的准确性。

参考文献:

- [1] 朱本权.“两违”的成因及整治工作中存在的问题及对策[J].重庆行政(公共论坛),2016,17(2):32-33.
- [2] 郑珊珊,傅俏燕,陈君颖,等.“3S”技术在城市“两违”动态监测中的应用[J].测绘与空间地理信息,2021(7):154-158.
- [3] 肖潇,李峰,秦李斌,等.月度亚米级卫星影像在“两违”监测中的应用[J].北京测绘,2021,35(10):1250-1255.
- [4] 徐海滨,邢汉发,王召海,等.基于无人机影像的疑似违法用地精准监测[J].西安理工大学学报.2021,1-9.
- [5] 杨钰琪,陈驰,杨必胜,等.基于UAV影像密集匹配点云多层次分割的建筑物层高变化检测[J].武汉大学学报(信息科学版),2021,46(04):489-496.
- [6] 李彩林,孙延坤,王佳文,等.基于多视影像密集匹配点云的质量评估研究[J].激光杂志,2021,42(11):79-86.
- [7] 付翔翔,邓运员,郑文武,等.基于无人机影像密集匹配点云的传统村落地面点提取及DEM生成——以湘西德夯村为例[J].测绘通报,2021,(12):1-5.
- [8] 黄皓中,苏鹏浩,王冉,等.基于密集匹配点云的DEM生产可行性研究[J].测绘通报,2022,(09):170-174.
- [9] 王月如,高林营,周智勇.基于倾斜影像密集匹配点云的数字高程模型更新方法研究[J].城市勘测,2022,(01):87-90.
- [10] 袁修孝,袁巍,许殊,等.航摄影像密集匹配的研究进展与展望[J].测绘学报,2019,48(12):1542-1550.
- [11] 冯帅.影像匹配点云与机载激光点云的比较[J].地理空间信息,2014,12(06):82-83+3.
- [12] 陈宇,徐青,姚富山,等.影像密集匹配点云的单体化提取[J].测绘通报,2016,(12):51-55.
- [13] 史文中,陈鹏飞,张效康.地理国情监测可靠性分析[J].测绘学报,2017(10):422-428.
- [14] 白阳,万鲁河.基于无人机倾斜摄影测量实景三维模型构建方法[J].哈尔滨师范大学自然科学学报,2017,33(05):81-86.
- [15] 季虹良,戴晨光,张鑫禄,等.深度图像分割的城市区域倾斜影像密集匹配点云滤波算法[J].测绘科学技术学报,2017,34(05):491-495.