

基于无人机遥感影像及其点云特征的 建筑物震害提取*

张雪华¹, 王晓青², 杜晓霞¹, 赖俊彦¹, 许建华¹

(1. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049; 2. 中国地震局地震预测研究所, 北京 100039)

摘要: 以北川老县城地震遗址为研究对象, 通过使用点云 CSF 滤波算法得到研究区建筑物高度特征 nDSM 数据, 并通过点云格网化处理以及坡度值计算得到建筑物坡度特征, 再结合研究区 DOM 数据进行建筑物震害提取, 实验结果表明该方法能够较好地提升建筑物震害的提取精度。

关键词: 无人机; 遥感影像; 点云三维特征; 面向对象; 建筑物震害提取

中图分类号: P315.941

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)02-0230-06

0 引言

地震的发生往往会在瞬间导致大量建(构)筑物等倒塌、道路中断, 同时还有可能引起山体崩塌, 形成滑坡, 造成巨大的生命财产损失(许建华等, 2017)。震后快速、准确地获取灾区灾情信息是开展有效应急救援、最大程度减轻地震灾害损失的重要保障(王晓青等, 2015)。

遥感技术具有观测范围大、信息量丰富、技术手段多、更新周期短等优势, 自1966年邢台地震后, 开始被应用于地震灾害调查, 现已成为快速获取灾情信息的主要手段之一(柳稼航等, 2004)。目前, 第一时间在大范围内进行地震灾害监测与损失评估使用的数据源主要是卫星光学遥感影像。由于卫星位于云层之上, 而震后灾区的天气状况往往不佳, 使得卫星光学影像的质量较差; 另外多数遥感卫星只能获取地物的二维平面信息, 在后续的震害信息提取中无法使用到地物的三维信息, 而地物三维信息的变化直接显示了震害的严重程度, 是进行震害信息提取的重要特征(黄树松, 2016)。

目前获取地物三维特征的主要手段是机载激光雷达(Light Detection and Ranging, 简称LiDAR)技术, 依靠发射红外和近红外波段快速获取高精

度、高密度的地形信息。相对于传统的航空摄影测量技术, 机载LiDAR具有受天气条件影响较小、可提供三维空间信息等特点(王金霞等, 2017)。宿渊源(2015)总结了震害建筑物在光学、合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, 简称SAR)、LiDAR数据中的不同表现特征, 在此基础上展开了多源遥感数据建筑物震害信息的联合分析, 最后利用不同数据源组合进行面向对象的建筑物震害信息提取研究, 得到较好的建筑物震害信息提取效果。但是, 受灾区道路条件、雷达设备和费用限制, 在震后第一时间获取雷达数据依然存在一定的局限性(张雪华等, 2017)。无人机倾斜摄影技术的出现和发展解决了这一难题, 即在同一无人机飞行平台上搭载多个不同角度的相机, 同时从垂直、倾斜等多个不同角度获取同一目标的影像(陈晋等, 2018)。帅向华等(2018)对倾斜摄影技术在2014年鲁甸6.5级地震现场的应用进行了研究, 发现使用该技术不仅可以表现地震建筑物灾害的布局、破坏程度等具体灾害特征, 还可以对滑坡、堰塞湖等地震地质灾害进行解译和分析。同时, 由于倾斜影像数据具有建筑物的立面信息, 经过空三测量、多视影像密集匹配等流程, 可以得到建筑物的三维点云数据。已有研究表明该点云数据具有较好的精度, 如James和Robson(2012)使用无人机遥感系统获取了高分辨率

* 收稿日期: 2018-12-24.

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFB0504104)和中国地震应急搜救中心青年科技基金项目(SJ1806)联合资助.

的海岸地形照片数据，经过处理得到该区域的三维点云数据，通过比较其与差分 GPS 观测点之间的误差，认为其水平和垂直误差不超过 10 cm。

基于前人研究的影像匹配点云可靠性和结合其他数据（如 LiDAR 数据）的三维信息辅助数字正射影像图（Digital Orthophoto Map，简称 DOM）可提升震害提取精确性的研究成果，本文针对多源数据获取成本高、耗时长，以及不同数据源配准方面的不足，使用无人机单一数据源，结合 DOM 产品及其密集匹配点云的高度、坡度特征，对北川老县城地震遗址的建筑物震害进行提取。

1 研究方法

1.1 倾斜摄影测量技术

倾斜摄影测量是在同一飞行平台上搭载多台不同倾斜角度的传感器，获取地物全方位的遥感影像，同时记录每张影像拍摄时的位置、航高、飞行姿态等信息，由此得到的遥感影像不仅能够真实、全面地反映地物情况，还具备精确的地理信息。与正射影像相比，在后期数据分析中可精确确定影像上每个点的三维空间坐标，对建筑物高度等进行厘米级精度量测；可挖掘更多的真实环境信息；通过专门软件处理可得到较为精细的三维模型（Gerke, Kerle, 2011；王伟等, 2011；黄敏儿等, 2014）。目前倾斜相机系统的镜头个数有 2~6 个（Petrie, 2009），常用的 5 镜头倾斜摄影原理如图 1 所示。

在倾斜影像处理方面，除了对原始影像数据进行几何纠正、影像增强等预处理工作外，还包括空三测量、多视影像密集匹配和真正射纠正、三维建模等主要步骤（图 2）。目前已经形成了较为成熟的后期影像处理技术和智能影像处理系统，数据后处理软件不仅整合了倾斜摄影技术的数据处理功能，还具备有空间分析和应用功能，在地震应急、规划建设、测绘等行业发挥着越来越重要的作用。

1.2 面向对象影像分析

相对于传统的基于像元的遥感影像分类方法，面向对象的方法是通过影像分割，将影像分割为由若干个像元组成的对象，然后分析影像对象的光谱、纹理、形状、几何等特征，最后进行影像

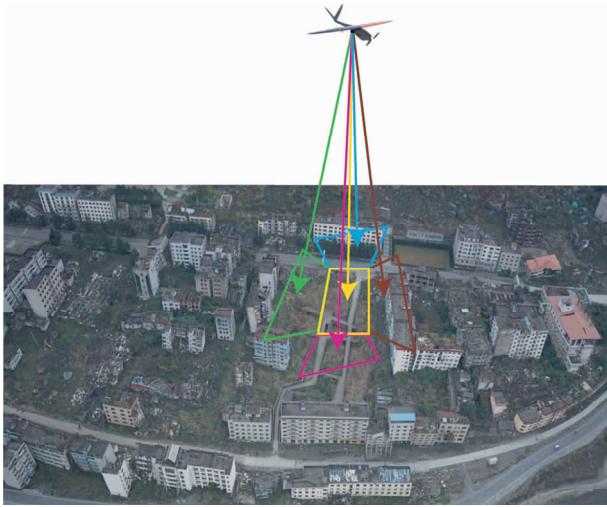


图 1 五镜头倾斜摄影系统拍摄示意图

Fig. 1 Schematic photo of five-lens oblique photography system

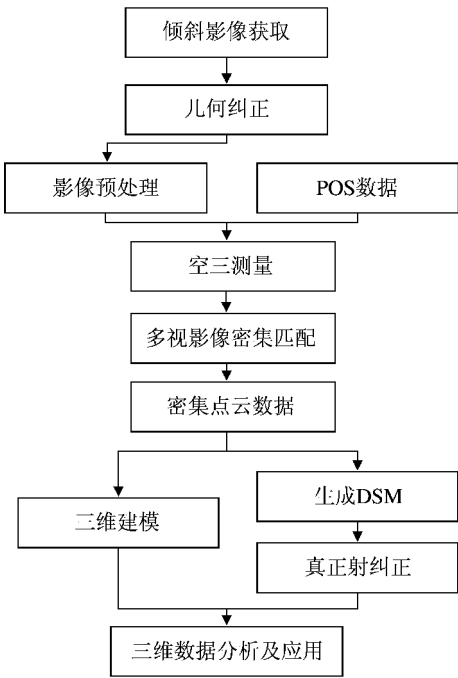


图 2 倾斜影像处理流程

Fig. 2 Data processing flow of oblique photogrammetric

分类。研究表明，对于高分辨率影像，使用面向对象方法不仅弥补了像元分类使用特征种类少、容易产生“椒盐”现象等不足，同时减少了计算量，提升了分类精度（蔡银桥, 毛政元, 2007；Khoshelham *et al*, 2010）。

影像分割是指将相同或者相近的像元合并成同质性高（或异质性小）的互不相交的一系列对

象,常用方法有阈值法、边缘检测法、聚类分割法、多尺度分割方法等。影像分类时根据对象的光谱、形状、纹理等特征值,选择监督或者非监督分类方法。本文使用多尺度分割算法和非监督分类方法,依据数据源特点选择合适特征进行建筑物震害的提取。

2 实验分析

2.1 实验数据

本文选取北川老县城地震遗址为研究区,使用飞马 F200 双镜头倾斜摄影系统获取研究区高分辨率遥感影像,影像分辨率为 0.08 m,旁向重叠度为 70%,航向重叠度为 80%,共采集影像 852 张。通过对倾斜影像数据的处理得到研究区高分辨率 DOM 和密集点云数据,输出 DOM 分辨率为 0.1 m。通过对点云数据的去噪、布料模拟滤波 (Cloth Simulation Filter, 简称 CSF) (Zhang 等, 2016)、可见光波段差异植被指数 (Visible-Band Difference vegetation, 简称 VDVI) 去除植被和地面点,得到较为纯净的建筑物点云数据。

$$VDVI = \frac{2 \times \rho_{\text{green}} - \rho_{\text{red}} - \rho_{\text{blue}}}{2 \times \rho_{\text{green}} + \rho_{\text{red}} + \rho_{\text{blue}}} \quad (1)$$

式中: ρ 代表不同波段的分量值。

为了更好使用点云数据的高度特征,使用数字化表面模型 (Digital Surface Model, 简称 DSM) 减去数字高程模型 (Digital Elevation Model, 简称 DEM) 得到归一化 DSM (Normal DSM, 简称 nDSM) (图 3)。本文使用点云魔方 V1.1 软件完成点云去噪、CSF 滤波和 nDSM 数据的生成。

2.2 点云坡度特征提取

由点云产生原理可知,该数据存在密度及误差分布不均匀的缺点 (冯帅, 2014),会对建筑物坡度计算精度造成影响,故本文首先对点云数据进行高程格网化处理,然后计算坡度特征,实验流程如图 4 所示。

2.2.1 点云格网化

使用二维平面网格对点云进行划分。由于该点云含有大量建筑物立面点,而计算坡度只需建筑物顶部点云信息,使用网格均值作为计算值往往导致计算点平面位置和高程值不准确,为了减少此类

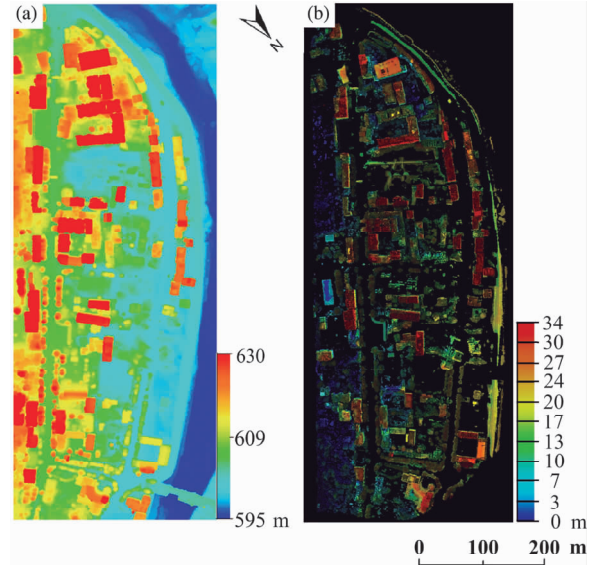


图 3 研究区 DSM (a) 和 nDSM (b) 图像
Fig. 3 DSM (a) and nDSM (b) images of research area

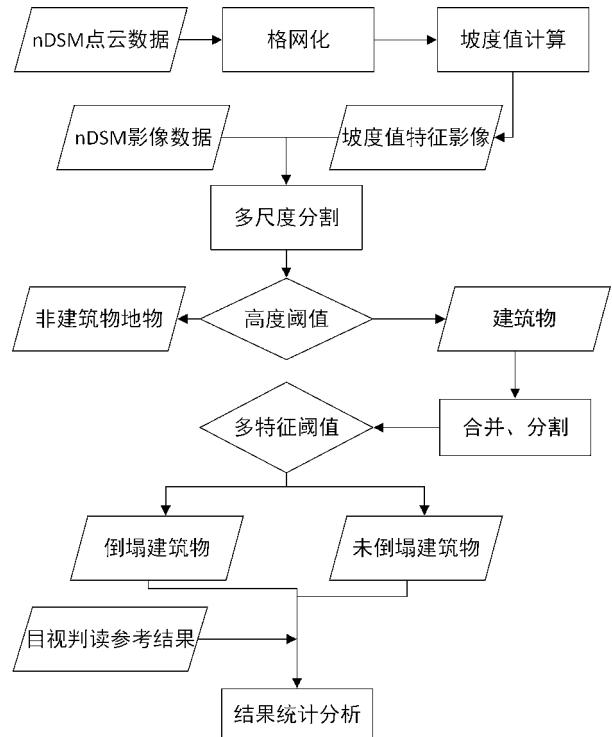


图 4 建筑物震害提取流程图

Fig. 4 Flow chart of building damage extraction

误差,经过试验,本文使用格网内高程值分布大于 1 倍标准差的点进行计算,标准差计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \mu)^2} \quad (2)$$

式中： n 为该格网内的点数； μ 为网格内点的平均值。

截取建筑物边缘点云进行实验，图 5 为 0.5×0.5 m 格网计算结果。从图中可以看出，使用标准差处理后的格网点云计算出的高程值比使用格网中所有点云平均值的计算结果更加准确。

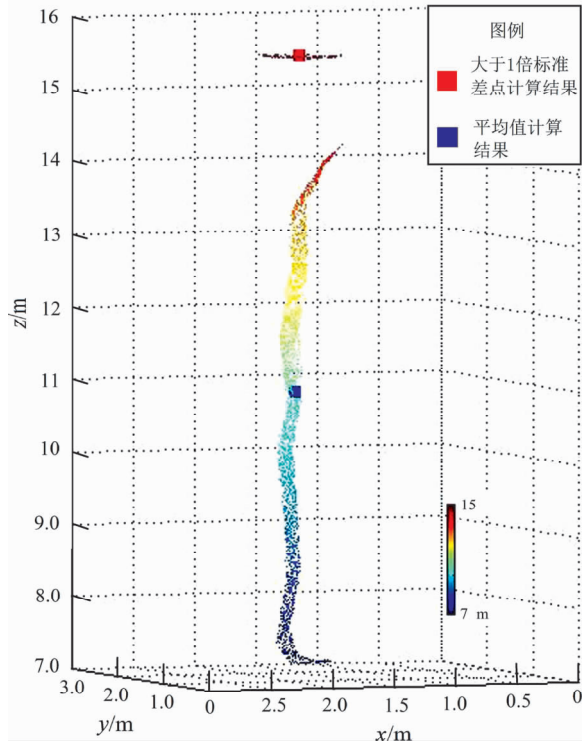


图 5 点云格网化计算示例图

Fig. 5 Calculation example of point cloud gridding

2.2.2 坡度值计算

完好建筑物屋顶相邻点云间的坡度具有规律性，建筑物倒塌后，物体高度分布不一，点云分布较为散乱，坡度值也会随之变化，利用这一特征可以进行倒塌和未倒塌建筑物的区分。

通过搜索查询与目标点平面距离最近的点进行坡度值计算：

$$S = \frac{|z_1 - z|}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}} \quad (3)$$

式中：点 $p_1(x_1, y_1, z_1)$ 为点 $p(x, y, z)$ 投影到二维平面上的最近邻点。

2.2.3 影像分割

本文主要借助影像处理软件 - eCognition 的多尺度分割功能，使用 nDSM 特征数据进行分割。设

置光谱异质性权重为 0.9，形状光滑度权重为 0.5。通过对比多次不同尺度参数效果，最终选择 200 作为分割尺度，分割效果如图 6 所示。从图中可以看出，建筑物可以较为完整地分割出，但是屋顶会有部分细碎对象，分析原因是屋顶有部分绿色植物被去除。

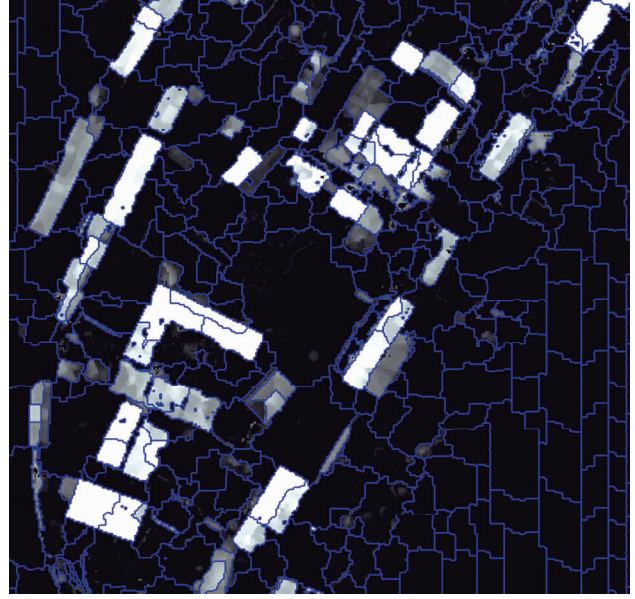


图 6 nDSM 影像分割结果

Fig. 6 nDSM segmentation result

2.2.4 建筑物震害提取

前期处理已经得到研究区 nDSM 影像，根据研究区特点，设置 nDSM 高度值大于 1.5 m 时，可区分道路、裸露土地等地物，剩下的为倒塌和未倒塌建筑物。再使用对象的坡度标准差（式 4）和形状密度（式 5）参数对倒塌、未倒塌建筑进行区分。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad (4)$$

式中： n 为对象像元数； C_i 为对象第 i 个像元的坡度值； \bar{C} 为该对象的坡度平均值。

$$DEN = \frac{\sqrt{n}}{1 + \sqrt{\text{Var}(X) + \text{Var}(Y)}} \quad (5)$$

式中： n 为对象像元数； $\text{Var}(X)$ ， $\text{Var}(Y)$ 为对象所有像素 x ， y 坐标的方差。

经过多次试验，坡度标准差阈值取 3.5，形状

密度参数取 2。对结果进行相邻类别对象合并,分类结果如图 7 所示。

本文研究以目视解译结果为参考(图 7a),不考虑目视解译误差。使用研究区 DOM 数据,结合建筑物 nDSM 和坡度影像的特征值,使用面向对象方法进行建筑物震害提取的结果如图 7b 所示。

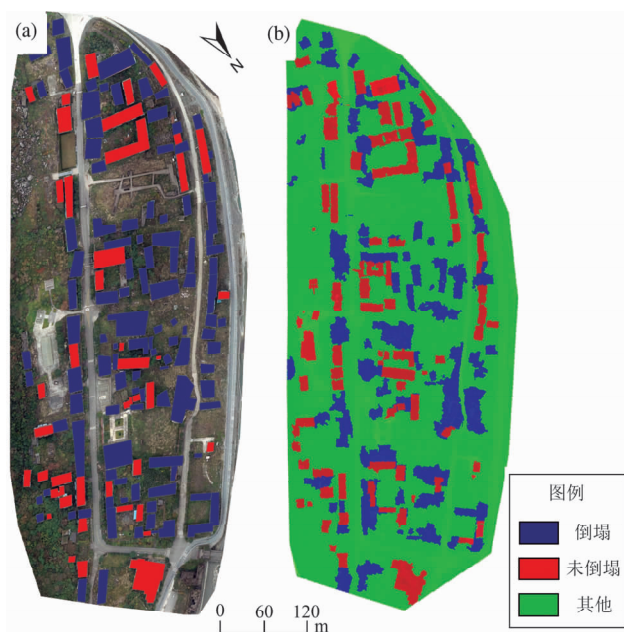


图 7 目视解译 (a) 和建筑物震害提取结果 (b)

Fig. 7 Results of visual interpretation (a) and building damage extraction result (b)

2.2.5 结果分析

由于 DOM 影像空间分辨率较高,目视解译精度得到极大提升。本文以目视解译结果为参考,对分类提取结果进行分析,具体结果如表 1 所示。

表 1 实验分类结果与目视解译结果精度评价表

Tab. 1 Evaluation for the accuracy of experimental classification and visual interpretation results

实验分类	目视解释		合计
	倒塌建筑	未倒塌建筑	
倒塌建筑	61	12	73
未倒塌建筑	15	80	95
合计	76	92	168

通过计算得到该分类结果的 Kappa 系数为 0.67,总体分类精度为 0.83,与使用单一 DOM 数据进行非监督分类方法相比,该分类方法的精度有所提升。

3 结论与讨论

本文通过对无人机点云数据的处理,得到建筑物的高度和屋顶坡度特征,使用该特征辅助研究区 DOM 数据,采用面向对象的方法对建筑物震害进行提取,得到较好的建筑物震害提取精度。本文所用方法解决了传统方法只使用单一 DOM 影像而无法利用建筑物三维信息进行震害提取的不足,同时一定程度上解决了 LiDAR 点云与 DOM 影像配准的问题。由于本文在数据获取时缺少控制点测量,故没有对点云数据及高程、坡度计算值进行精度验证。但从实验结果来看,使用无人机获取灾区高分辨率遥感影像数据和三维信息辅助 DOM 数据进行建筑物震害提取的方法,不仅大大提升了灾情信息获取的速度,还进一步提升了应急现场的灾害评估精度,可为应急救援、决策指挥、灾害评估等提供更加快速、可靠的数据支撑。

中国地震局地震预测研究所袁小祥为本研究数据获取方面给予了极大帮助,在此表示衷心感谢。

参考文献:

- 蔡银桥,毛政元. 2007. 基于多特征对象的高分辨率遥感影像分类方法及其应用[J]. 国土资源遥感, (1): 77-81.
- 陈晋,习聪望,陈文凯,等. 2018. 基于无人机、高分卫星遥感影像的甘肃省陇南市建筑物空间化研究[J]. 地震研究, 41(2): 192-200.
- 冯帅. 2014. 影像匹配点云与机载激光点云的比较[J]. 地理空间信息, 12(6): 82-83.
- 黄敏儿,杜志强,朱庆,等. 2014. 利用像素高度图的三维建筑物屋顶和立面提取方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 39(10): 1221-1224.
- 黄树松. 2016. 震后机载 LiDAR 点云建筑物震害提取因子研究[D]. 北京: 中国地震局地震预测研究所.
- 柳稼航,杨建峰,魏成阶,等. 2004. 震害信息遥感获取技术历史、现状和趋势[J]. 自然灾害学报, 13(6): 46-52.
- 帅向华,刘钦,甄盟,等. 2018. 倾斜摄影技术在云南鲁甸地震现场的应用研究[J]. 震灾防御技术, 13(1): 158-167.
- 宿渊源. 2015. 多源遥感数据建筑物震害信息联合分析[D]. 北京: 中国地震局地壳应力研究所.
- 王金霞,窦爱霞,王晓青,等. 2017. 地震后机载 LiDAR 点云的地物区分方法研究[J]. 震灾防御技术, 12(3): 677-689.
- 王伟,黄雯雯,镇姣. 2011. Pictometry 倾斜摄影技术及其在 3 维城市

- 建模中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 34(3):181-183.
- 王晓青, 窦爱霞, 王龙, 等. 2015. 2013年四川芦山7.0级地震烈度遥感评估[J]. 地球物理学报, 58(1):163-171.
- 许建华, 张雪华, 王晓青, 等. 2017. 无人机倾斜摄影技术在地震烈度评估中的应用——以九寨沟7.0级地震为例[J]. 中国地震, 33(4):655-622.
- 张雪华, 王晓青, 王金霞, 等. 2017. 基于SfM方法生成的密集点云数据的典型建筑物分类研究[J]. 地震, 37(3):127-137.
- Gerke M, Kerle N. 2011. Automatic structural seismic damage assessment with airborne oblique pictometry imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 77(9):885-898.
- James M R, Robson S. 2012. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 117(F3). doi: 10.1029/2011JF002289.
- Khoshelham K, Nardinocchi C, Frontoni E, et al. 2010. Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(1):123-133.
- Petrie G. 2009. Systematic Oblique Aerial Photography Using Multiple Digital Frame Cameras[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 75(2):102-107.
- Zhang W, Qi J, Wan P, et al. 2016. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation[J]. Remote Sensing, 8(6):501.

Extraction of Buildings' Seismic Damage Based on Remote Sensing Images of UAV and Its Point Clouds Characteristic

ZHANG Xuehua¹, WANG Xiaoqing², DU Xiaoxia¹, LAI Junyan¹, XU Jianhua¹

(1. National Earthquake Response Support Service, Beijing 100049, China)

(2. Institute of Earthquake Forecasting, China Earthquake Administration, Beijing 100039, China)

Abstract

Taking earthquake sites in the old county town of Beichuan as research area, the nDSM data of the height information of the building in the study area are obtained by using the point cloud CSF filtering algorithm. The slope characteristic of the building is obtained through the points cloud grid processing and the slope value calculation. Combine the DOM and nDSM and slope image of the research area, we extract the seismic damage of building through the object-oriented method. The results show that the method of combine DOM and height and slope information can improve the extraction the accuracy of building damage than only use DOM.

Keywords: UAV; remote sensing image; 3D feature of points cloud; object-oriented; building damage extraction