

中文引用格式:高文冰,高扬,许晨成,等.地震灾情数据获取与三维建模现场试验[J].中国安全科学学报,2026,36(1):242-248.

英文引用格式:GAO Wenbing,GAO Yang,XU Chencheng, et al. Field experimental study on earthquake disaster data acquisition and 3D modeling[J]. China Safety Science Journal,2026,36(1):242-248.

地震灾情数据获取与三维建模现场试验*

高文冰¹, 高扬^{**2}助理研究员, 许晨成¹, 王辰阳³, 肖军浩⁴教授, 陈彬⁵教授

(1 中国人民警察大学 研究生院,河北 廊坊 065000;2 中国人民警察大学 智慧警务学院,河北 廊坊 065000; 3 清华大学 安全科学学院,北京 100084;4 国防科技大学 智能科学学院,湖南 长沙 410073; 5 国防科技大学 系统工程学院,湖南 长沙 410073)

中图分类号:X915.5

文献标志码:A

DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2026.01.0340

资助项目:河北省教育厅科学研究项目(ZC2023076)。

【摘要】 为评估无人机(UAV)与救援机器人在地震灾情数据获取及三维建模中的应用效果,在北川地震遗址开展灾害现场空地协同应急响应试验,利用固定翼 UAV 获取地震灾区全域航拍影像,构建高分辨率俯视图;采用旋翼 UAV 补充采集重点区域;NuBot 救援机器人进入受损建筑内部,通过视频图传与激光雷达扫描实时获取室内受灾影像与三维点云数据,并完成建筑内部结构与人工搭建倒塌场景的三维重建;基于三维地理信息与虚拟现实技术构建人机交互平台,实现三维场景的实时可视化与交互操作。结果表明:UAV 可获取地震灾区全域与局部的影像,并形成高精度实景模型;救援机器人可在复杂环境中获取室内影像与三维点云数据,形成建筑内部结构的三维建模型;虚拟现实系统能可视化呈现三维场景并用于人机交互分析。

【关键词】 地震灾情数据; 无人机(UAV); 救援机器人; 三维建模; 现场试验; 人机交互

Field experimental study on earthquake disaster data acquisition and 3D modeling

GAO Wenbing¹, GAO Yang², XU Chencheng¹, WANG Chenyang³, XIAO Junhao⁴, CHEN Bin⁵

(1 Graduate School, China People's Police University, Langfang Hebei 065000, China;

2 School of Intelligence Policing, China People's Police University, Langfang Hebei 065000, China;

3 School of Safety Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4 College of Intelligence Science and Technology, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China;

5 College of Systems Engineering, National University of Defense Technology, Changsha Hunan 410073, China)

Abstract: To evaluate the application performance of UAVs and rescue robots in earthquake disaster data acquisition and three-dimensional (3D) modeling, an air-ground collaborative emergency response field experiment was conducted at the Beichuan earthquake site. In the experiment, fixed-wing UAVs were deployed to acquire aerial images covering the entire earthquake-affected area, from which high-resolution top-view images were generated, while rotary-wing UAVs were used to supplement data collection in key local regions. Meanwhile, the NuBot rescue robot was deployed to enter damaged buildings and collect

* 文章编号:1003-3033(2026)01-0242-07; 收稿日期:2025-08-19; 修稿日期:2025-11-17

** 通信作者:高扬(1988—),男,山东潍坊人,博士,助理研究员,硕士生导师,主要从事公共安全与应急管理方面的研究。E-mail: gaoyang02@cpcu.edu.cn。

indoor disaster images and 3D point cloud data through real-time video transmission and lidar scanning, and 3D reconstructions of interior building structures and artificially constructed collapse scenes were produced. Based on the acquired 3D geographic information, a human-machine interaction platform was developed using virtual reality technology to support visualization and interactive analysis of 3D scenes. The experimental results indicate that multi-scale image data covering both the overall earthquake-affected area and local regions were obtained and corresponding high-precision real-scene models were generated. Indoor images and 3D point cloud data were collected in complex environments, forming 3D models of interior building structures. The 3D scene data were visualized in the virtual reality system and applied to human-machine interaction analysis.

Keywords: disaster data; unmanned aerial vehicle (UAV); rescue robot; 3D modeling; field experimental; human-machine interaction

0 引言

重大综合灾害具有规模大、复杂程度高的特点,严重威胁人民生命财产安全,第一时间获取精准的现场信息是提升应急救援效能的关键^[1]。近年来,空地一体化灾害现场信息获取技术和应用示范得到长足发展和应用。基于北斗卫星导航系统^[2]的国家综合减灾信息平台已经建成,并持续部署国家重点研发计划,旨在融合卫星、无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)、机器人等前沿技术,构建灾害现场信息快速获取与处理体系^[3],实现灾情数据的实时(快速)传输、处理、提取、制图,为灾害现场和指挥决策部门提供准确、及时、可靠的研判信息^[4]。

无人机可快速获取全景、局部灾情影像,而机器人及相关技术则专注于建筑内部探查与三维场景重建。人工智能技术的引入,进一步提升了信息处理的智能化水平。徐志强等^[5]通过无人机试验获取到高质量云南省玉溪县城区全景图。黄恩钊等^[6]基于指挥系统通过无人机实现对广域和特定区域航拍并快速回传影像。郭建兴等^[7]研制了基于“数字地球”的无人机遥感地震应急系统。张顺等^[8]基于低空无人机遥感影像,结合实地调查,开展草原灌丛遥感辨识方法研究。李晓阳等^[9]研究了无人机视频直播快速获取地震灾情关键技术。在建筑内部灾情图和三维建模制图领域,张雪华等^[10]基于无人机遥感影像及其点云特征在四川北川进行建筑物震害提取。任丽艳等^[11]针对空间信息融合督查、人员定位滞后等问题,搭建了测绘无人机集成平台。张辉等^[12]利用虚拟现实和三维建图构建了人机交互系统。汤仕豪^[13]利用小无人机和机器学习构建了建筑内部灾情信息地图。杨建思等^[14]以鲁甸地震为例,通过人工智能技术快速研判了灾情。

尽管相关技术已在多次地震等灾害中得到实践^[9-15],但仍存在明显局限:多数侧重于单一技术或理论分析,缺乏在真实灾害场景中、集成“全景-局部-内部-三维建模-人机交互”多维信息获取与实时交互能力的综合性验证试验^[16],难以满足复杂救援现场的实战需求。鉴于此,笔者拟选取北川老县城地震遗址这一真实灾害耦合环境为对象,搭建空地协同数据采集与人机交互试验平台;集成 ZDK1/2 型无人机与 NuBot 救援机器人,开展灾情数据获取与搜索试验,并基于机器人回传数据快速构建三维地图,以期为后续虚拟现实可视化与救援决策提供精准信息支撑。

1 地震灾情数据获取现场试验设计

1.1 现场试验平台与设备

为完成空地协同灾情数据采集与机器人搜索试验,搭建由无人机系统、救援机器人系统、计算存储系统及电力系统组成的综合试验平台。

1.1.1 无人机系统

采用自主研发的 ZDK1 固定翼无人机与 ZDK2 旋翼无人机(图 1),二者协同作业采集宏观与微观灾情数据。飞行高度均为 0~2 000 m,实际作业时飞行高度为 0~500 m,控制半径为 5~8 km,飞行速度 0~17 m/s,固定翼续航时间 1 h,旋翼续航时间为 40 min,可悬停作业。

1.1.2 救援机器人系统

采用自主研发的履带式 NuBot^[12-17]救援机器人(图 2),搭载紧凑型三维激光雷达(雷达扫描仪的视场为 270°,扫描距离为 30 m,扫描频率为 40 Hz)、惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, IMU)、变焦摄像机、热像仪、多自由度机械臂与麦克风等。机器人可实现±3 cm 测距精度与 0.5 m/100 m 的建图定



图1 ZDK1型和ZDK2型无人机
Fig.1 ZDK1 and ZDK2 of UAV

位精度,具备在复杂灾后环境中稳定运行、实时图传、三维建模与人机交互能力,并可执行开门、转运物品等任务。

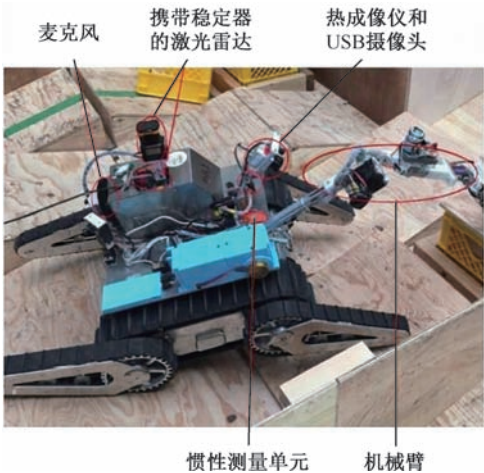


图2 NuBot 救援机器人
Fig.2 NuBot rescue robot

机器人的视觉感知系统由平移-倾斜-变焦摄像头、通用串行总线(Universal Serial Bus,USB)摄像机与热成像仪融合组成,用于检测与定位被困者。机器人还搭载多自由度机械臂,执行开门、操作阀门及转运物品等任务。机器人能够在救援环境中完成环境地图构建、实时人机交互、被困者搜索等任务。

1.1.3 计算存储和电力系统

使用德国某工业控制计算机作为处理与控制中心,运行 Ubuntu 系统。全系统由锂电池统一供电,保障野外长时间作业^[1,12]。

1.2 现场试验场地

为构建与真实灾害高度一致的现场试验场景,选取北川老县城地震遗址作为场地,并依据试验需求将场地划分为3类,以覆盖从宏观到微观、从自然损毁到模拟构造的多层次试验需求。

1.2.1 全域灾区场景

针对全景灾情获取需求,选取占地 266 m² 的北川老县城遗址进行航拍。该区域包含多处保护建筑、事件地与地质灾害点,具备崩塌、塌陷、泥石流、

建筑倒塌等多类灾害形态,试验重点针对地震-泥石流耦合灾害开展数据采集。

1.2.2 特殊建筑场景

为获取局部灾情与建筑内部信息,选取社会事务服务中心大楼(图3)与消防队大楼(图4)2处典型框架结构建筑作为对象。二者分别代表具有民族特色的公共建筑与应急救援类建筑,试验涵盖建筑外部环境与内部结构的数据采集。



图3 社会事务服务中心大楼
Fig.3 Social affairs service center building



图4 消防队大楼
Fig.4 Fire brigade building

1.2.3 人工搭建场景

真实倒塌场景属于危险建筑,搭建人工场景一方面考虑安全因素;另一方面考虑真实场景往往更复杂,一般会存在救援盲区,因此通过搭建人工场景来验证数据采集和快速建模的完整性、准确性。人工搭建试验场地为地震垂直坍塌的单层房间,设定为卧室和书房场景,房间尺寸为 9.6 m×7.2 m,如图5所示。

1.3 试验流程与数据采集方法

灾情设定:模拟特大地震后通信中断、道路受阻、人员被困的灾害场景,开展从宏观到微观、从外部到内部的层次化数据采集。

1.3.1 全域灾情快速获取

使用 ZDK1 固定翼无人机对县城全域进行宏观航拍,辅以 ZDK2 旋翼无人机进行重点区域补充采集,实



图 5 人工搭建场景俯瞰图
Fig. 5 Artificial scene overhead view

现边飞行、边拍摄、边传输、边成图的高效全景制图。

1. 3. 2 重点场景精细勘查

利用 ZDK2 旋翼无人机对选定建筑的外部受损情况、周边环境进行悬停拍摄,为救援营地选址、搜救路线规划提供依据;随后派出 NuBot 救援机器人进入建筑内部,通过实时图像回传与激光雷达扫描,实现人员定位搜索与室内三维地图构建。

2 地震灾情数据获取和现场试验结果分析

2. 1 地震灾区全景拍摄试验结果

为全面展示灾情,通过 ZDK1 无人机飞行器搭载倾斜航摄相机,安装运行地面基站、保障设备和灾情数据分析处理系统,经过相机参数配置试验、飞行参数设定试验,选取最佳相机设备,设定不同高度、不同环境下的最优飞行参数,最终获取高质量高分辨率的航拍影像。无人机按照预设的航线,飞行 36 min,航拍面积 5 km²,总航程 35 km,共拍摄影像 600 余张,通过图像处理软件将拍摄影像无缝拼接,即可获得地震灾区全域高清俯视影像,影像地面分辨率为 0. 03 m。通过构建集群计算环境,采用 skyline 三维建模引擎进行图形处理器并行计算。经过数据预处理、参数设置、像片检查、空三加密、点云匹配等过程,最终获取高精度三维实景模型。

试验结果表明:ZDK1 固定翼无人机系统可实时获取地震现场灾情信息,并快速生成高分辨率全景照片,如图 6 所示。为应急管理部门提供及时准确的受灾整体情况,特别是建筑倒塌、道路破坏、次生灾害隐患等重要情报,在救援指挥决策、灾害快速评估、增强应急响应能力等方面发挥关键作用。

2. 2 特殊场景和人工搭建场景拍摄和三维建模结果

选取地震现场社会事务服务中心大楼和消防队



图 6 地震灾区高清全景合成照片
Fig. 6 high definition panoramic composite photos of earthquake stricken areas

大楼 2 处特殊场景为对象,利用 ZDK2 旋翼型无人机采集建筑外部影像,辅助评估建筑受损程度。



图 7 NuBot 救援机器人实时回传视频截图
Fig. 7 NuBot rescue robot real-time feedback video screenshot

操作人员控制 NuBot 救援机器人进入建筑内部采集室内数据。机器人进入建筑内部后,首先,操作人员通过远程控制机器人在复杂灾害环境中稳定运行,机器人可轻松完成攀爬楼梯、跨越不规则障碍物、视角切换等动作,并实时发回影像信息,并辅助完成搜索定位被困人员、投送应急物资、关闭开启阀门等救援任务。图 7 为机器人实时回传的社会事务服务中心大楼一层室内受灾情况。其次,机器人将通过搭载的激光雷达获取点云数据,基于激光里程计与建图(Lidar Odometry and Mapping, LOAM)^[17]算法实时建立点云地图,再经过配准和去噪,得到三维模型。点云图是利用激光雷达等传感器获取的大量空间点数据集合,每个点包含位置坐标(X, Y, Z)以及强度或颜色信息,真实反映物体和环境的三维几何形态。与传统二维影像相比,三维点云图能够更直观、准确地呈现建筑内部和复杂环境结构,为后续三维建模、虚拟现实渲染和灾情分析提供数据基础。图 8 为社会事务服务中心大楼室内局部圆形楼梯 3D 点云地图,图 9 为人工搭建场景 3D 点云地图。现场试验结果表明:通过无人机和机器人可实现特殊场景建筑物外部和内部影像实时清晰回传。

救援机器人通过激光雷达和 IMU 可快速构建三维环境地图,为人机交互提供基础数据。其中,灾损信息的原始数据主要来自无人机航拍影像和机器人激光雷达生成的三维点云图,而虚拟现实系统仅作为可视化和交互平台,帮助救援人员更直观地理解和利用这些灾损信息。在点云精度方面,所用的紧凑型三维激光雷达测距精度约为 $\pm 3\text{ cm}$,能够满足建筑内部结构和人员目标的厘米级空间重建需求。在轻度和中度损毁场景下,通过几何特征(体型尺寸、点云分布模式等)识别救援对象。但当人员处于半掩埋或完全掩埋状态时,单一激光雷达点云识别存在局限,因此需结合热成像、视频和语音传感器融合多模态信息,以提高识别准确率。通过点云语义分割与深度学习方法,还可进一步区分人体点云与类似人体形态的建筑残骸点云,从而提升快速识别的精度和可靠性。

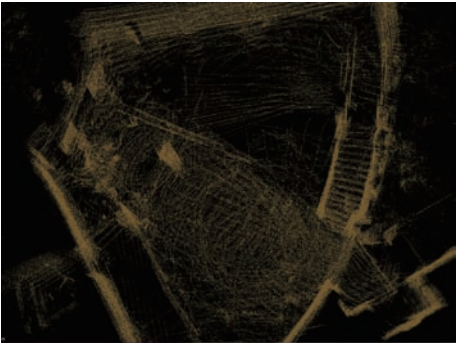


图 8 社会事务服务中心大楼 3D 点云地图

Fig. 8 3D point cloud map of social affairs service center building

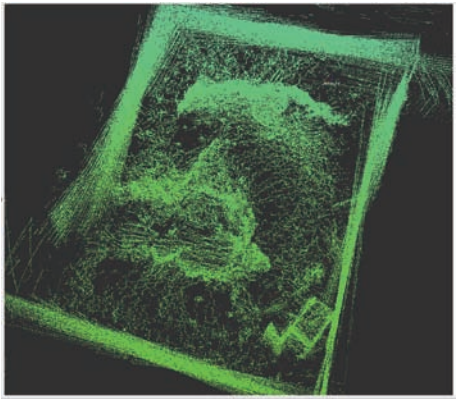


图 9 人工搭建场景 3D 点云地图

Fig. 9 Manually building a 3D point cloud map of the scene

3 地震灾情数据与三维建模结果应用

基于现场试验获取的无人机航摄影像与救援机

器人激光雷达建图结果,虚拟现实系统作为三维数据的展示与交互界面,接收三维点云及重建模型;灾损信息的度量与提取发生在传感器数据与算法处理环节,虚拟现实系统不新增数据、不改变数据语义,仅提升呈现与人机协同效率。为了让救援人员更直观地感受机器人所在救援环境的真实情况,需要营造第一视角给救援人员。因此,借助虚拟现实系统把救援环境的 3D 点云地图进行可视化,以实现救援人员与机器人的人机交互,使救援人员更形象和直观地获取灾害现场的灾情信息。采用三维正态分布变换(3D Normal Distributions Transform, 3D-NDT)^[18]方法更新增量式点云地图,并将其导入虚拟现实系统进行实时渲染,实现三维场景可视化展示。最后,借助扩展现实交互设备,使操作人员能够在“人在回路”的模式下对机器人实施实时操控,从而为救援人员提供更强的沉浸式体验。图 10 和图 11 分别为救援场景和环境的虚拟现实渲染效果。



图 10 消防队大楼虚拟现实渲染效果

Fig. 10 VR rendering effect of fire brigade building



图 11 机器人救援环境虚拟现实渲染效果
(人工搭建场景)

Fig. 11 VR rendering effect of robot rescue environment (manually built scene)

因此,机器人进入建筑内部主要完成 4 项应用:①通过远程控制机器人在复杂灾害环境中平稳运行,通过摄像头传输实时图像信息;②通过激光雷达创建三维环境地图和模型;③借助虚拟现实系统,实现实时人-机器人交互,完成寻找被困者、投送物品和

简单救援等其他任务;④利用雷达扫描重点部位和埋压人员构件,对建筑内部结构和埋压物体进行三维构图,快速输出和分析物体的几何结构和受力情况,识别和评估现场危险特征,以科学指导救援装备的支撑位置、施力大小与方向,减少二次倒塌发生率^[19]。

试验结果表明:NuBot 救援机器人实时回传视频可清楚反应建筑内部破坏和人员被困情况。基于激光雷达采集数据,建立完整场景点云地图并进行三维重建,与航拍图像和摄像头影像对比,三维建模结果具有较高精度^[20],从而在虚拟现实系统中实时可视化机器人所处环境,最后基于虚拟现实交互设备实现实时人—机器人交互。灾害现场机器人试验平台框架如图 12 所示。

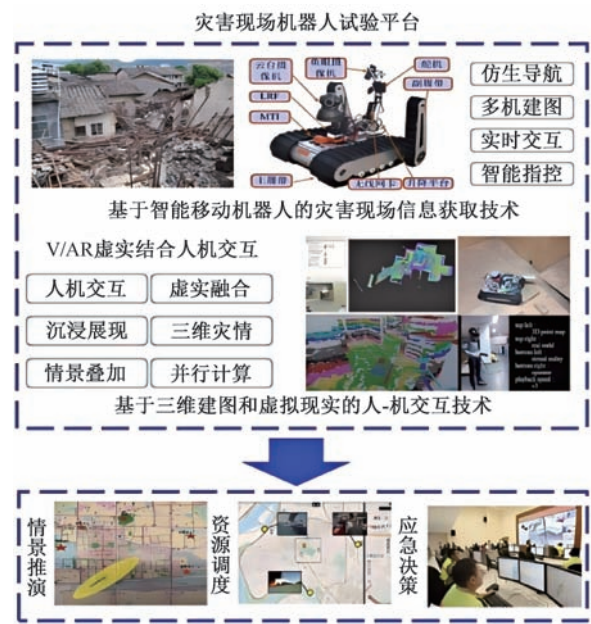


图 12 灾害现场机器人试验平台框架

Fig. 12 framework of disaster site robot experimental platform

4 结 论

- 1) 现场试验结果表明:成功获取并生产覆盖了约 5 km² 的高精度震区遥感影像及全域三维实景模型,可为地震灾区宏观范围的灾情识别与空间结构表达提供可靠数据支撑。
- 2) 重点建筑及关键区域的高分辨率受损细节得到有效提取,能够清晰呈现局部破坏特征,显著提升重点目标区域的灾情判读能力。
- 3) 受损建筑内部结构和空间环境能够实现准确的三维重建,形成完整的室内点云模型和真实场景表达,可直观反映内部受损程度与结构变化。
- 4) 多源灾情数据实现统一融合与三维可视化表达,构建的三维地理信息与虚拟现实平台能够提供从全域到室内的多尺度灾情展示,并支持救援人员开展交互式分析与辅助决策。
- 5) 试验验证了一体化灾情数据获取与三维建模流程的可行性与有效性,证明该流程可实现震区多尺度灾情的综合表达,为地震应急救援应用提供完整的技术支持体系。

参 考 文 献

[1] 张辉.《重大综合灾害耦合实验和模拟技术与装备》(2017YFC0803300)结题报告[R]. 清华大学, 2021.

[2] 廖永丰. 北斗综合减灾与应急典型示范项目总体布局和进展经验[J]. 卫星应用, 2018 (4): 22-25.

[3] 范维澄, 苗鸿雁, 袁亮, 等. 我国安全科学与工程学科“十四五”发展战略研究[J]. 中国科学基金, 2021, 35(6): 864-870.

FAN Weicheng, MIAO Hongyan, YUAN Liang, et al. Development strategy of safety discipline in China during the 14th Five-Year plan period[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2021, 35(6): 864-870.

[4] BA Rui, WANG Chenyang, KOU Luyao, et al. Rethinking the urban resilience: extension and connotation[J]. Journal of Safety Science and Resilience, 2022, 3(4): 398-403.

[5] 徐志强, 杨建思, 姜旭东, 等. 无人机获取区域全景图试验[J]. 地震地磁观测与研究, 2013, 34(3/4): 208-212.

XU Zhiqiang, YANG Jiansi, JIANG Xudong, et al. Testing of regional panorama obtained from UAV[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2013, 34(3/4): 208-212.

[6] 黄恩钊, 何萍, 王挺, 等. 基于指挥系统的无人机在灾情快速获取中的应用[J]. 华南地震, 2018, 38(增 1): 53-56.

- HUANG Enzhao, HE Ping, WANG Ting, et al. Application of UAV based on earthquake command system in rapid disaster acquisition[J]. South China Journal of Seismology, 2018, 38(S1): 53-56.
- [7] 郭建兴, 袁小祥, 韶丹. 基于“数字地球”的无人机遥感地震应急系统研制[J]. 信息通信, 2018(8): 65-68.
GUO Jianxing, YUAN Xiaoxiang, SHAO Dan. Development of unmanned aerial vehicle remote sensing earthquake emergency system based on digital earth platform[J]. Changjiang Information & Communications, 2018(8): 65-68.
- [8] 张顺, 赵玉金, 白永飞, 等. 基于低空无人机的草原灌丛遥感辨识方法[J]. 热带地理, 2019, 39(4): 512-520.
ZHANG Shun, ZHAO Yujin, BAI Yongfei, et al. Remote sensing identification of grassland shrubs using low-altitude unmanned aerial vehicles[J]. Tropical Geography, 2019, 39(4): 512-520.
- [9] 李晓阳, 郭慧, 李晓慧, 等. 地震灾情获取中无人机直播关键技术研究[J]. 震灾防御技术, 2023, 18(4): 773-779.
LI Xiaoyang, GUO Hui, LI Xiaohui, et al. The key technology research of drone live broadcast in earthquake disaster acquisition[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2023, 18(4): 773-779.
- [10] 张雪华, 王晓青, 杜晓霞, 等. 基于无人机遥感影像及其点云特征的建筑物震害提取[J]. 地震研究, 2019, 42(2): 230-235.
ZHANG Xuehua, WANG Xiaoqing, DU Xiaoxia, et al. Extraction of buildings' seismic damage based on remote sensing images of UAV and its point clouds characteristic[J]. Journal of Seismological Research, 2019, 42(2): 230-235.
- [11] 任丽艳, 李英成, 肖金城, 等. 测绘无人机灾害现场多源数据集成与智能服务[J]. 测绘科学, 2020, 45(12): 139-144.
REN Liyan, LI Yingcheng, XIAO Jincheng, et al. Multi-source data integration and intelligent service of surveying and mapping UAV for disaster scene[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(12): 139-144.
- [12] 张辉, 王盼, 肖军浩, 等. 一种基于三维建图和虚拟现实的人机交互系统[J]. 控制与决策, 2018, 33(11): 1975-1982.
ZHANG Hui, WANG Pan, XIAO Junhao, et al. A human-robot interaction system based on 3D mapping and virtual reality[J]. Control and Decision, 2018, 33(11): 1975-1982.
- [13] 汤仕豪. 基于小型无人机的建筑内部灾情信息获取与建图[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
TANG Shihao. Disaster information acquisition and map building for MAVs in the internal scene of a building[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020.
- [14] 杨建思, 李晓丽, 郑钰, 等. 采用无人机获取大震巨灾信息的技术瓶颈及发展展望[C]. 中国地球物理学会地球物理技术委员会第十届学术会议, 2023: 87-90.
- [15] 李金香, 谭明, 孙甲宁, 等. 新疆拜城 $M_s 5.4$ 地震无人机遥感快速灾情获取与分析[J]. 震灾防御技术, 2022, 17(4): 784-794.
LI Jinxiang, TAN Ming, SUN Jianing, et al. UAV remote sensing information acquisition and analysis of Ms5.4 earthquake in Baicheng county, Xinjiang[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2022, 17(4): 784-794.
- [16] 邓青, 施成浩, 王辰阳, 等. 基于 E-LVC 技术的重大综合灾害耦合情景推演方法[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2021, 61(6): 487-493.
DENG Qing, SHI Chenghao, WANG Chenyang, et al. Coupled disaster scenario evaluation and response method based on the E-LVC technology[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2021, 61(6): 487-493.
- [17] 张辉, 蔡向东, 海丹, 等. NuBot 救援机器人整体设计[J]. 机器人技术与应用, 2010(4): 17-19.
- [18] SAARINEN J, STOYANOV T, ANDREASSON H, et al. Fast 3D mapping in highly dynamic environments using normal distributions transform occupancy maps[C]. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, 2013: 4694-4701.
- [19] 王伟, 张思远, 齐庆杰, 等. 地震诱发井工煤矿次生灾害系统研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(7): 196-202.
WANG Wei, ZHANG Siyuan, QI Qingjie, et al. Study on system of secondary disasters induced by earthquakes in underground coal mine[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(7): 196-202.
- [20] 郑金子, 杨奇, 刘君, 等. 道路交通事故现场实景三维建模技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(增1): 138-144.
ZHENG Jinzi, YANG Qi, LIU Jun, et al. Research on 3D real scene reconstruction for road traffic accidents[J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(S1): 138-144.

作者简介: 高文冰 (2001—), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要研究方向为公共安全与情报等。E-mail: bing520915@163.com。

