

## 网联无人机在灾害调查中的应用研究\*

陈实<sup>1</sup> 林禹<sup>1</sup> 陈敏<sup>1</sup> 淡芳芳<sup>2</sup> 陈泽楷<sup>3</sup>

(1.四川省减灾中心 成都 610021; 2.南昌航空大学 南昌 330063; 3.北京理工大学 北京 100081)

**摘要:**针对数据链无人机受起降方式与场地、续航时间、影像精度等限制的问题,设计了基于5G网联技术的网联无人机。该无人机利用机载专业航天设备依托5G网联技术,实现了超视距远程测控与周期性、大面积自动巡航功能。地质灾害应急分析实验中,该无人机实现了对于目标区域进行数据采集、分析、预处理、空计算、高程提取、正摄影像制作、建模、成果输出的全流程作业。相较于数据链无人机,5G网联无人机具有传输数据速率高、延时低、传输数据量大、安全可靠的技术特点。结果表明,5G网联无人机在灾害调查中能够实时掌握目标区域情况,为灾情提供第一手资料,助力灾情的精准评估,提高管理效率,健全巡检手段,辅助指挥部们进行决策指挥。

**关键词:** 无人机;无线电通信;灾害防控与预警分析

**中图分类号:** V249.31; TP391.7 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.6510

## Research on the application of networked UAV in disaster investigation

Chen Shi<sup>1</sup> Lin Yu<sup>1</sup> Chen Min<sup>1</sup> Dan Fangfang<sup>2</sup> Chen Zekai<sup>3</sup>

(1. Sichuan Disaster Reduction Center, Chengdu 610021, China; 2. Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China; 3. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that data link UAV is limited by take-off and landing mode and site, endurance time, image accuracy and so on, a network UAV based on 5G network technology is designed. The UAV uses the airborne professional equipment, relying on 5G networking technology, to achieve the beyond visual range remote measurement and controllable-periodic, large-area automatic cruise function. In the experiment of geological disaster emergency analysis, the UAV realized the whole process of data acquisition, analysis, preprocessing, spatial calculation, elevation extraction, positive photography production, modeling and output. Compared with data link UAV, 5G networked UAV processed the characteristics of high data transmission rate, low delay, large data transmission capacity, safety and reliability. The results showed that 5G networked UAV is able to grasp the real-time situation of the targeted area, provide first-hand information for the disaster situation, help the accurate assessment of the disaster situation, improve the management efficiency, improve the inspection means, and assist the headquarters in decision-making and command.

**Keywords:** UAV; radio communication; disaster prevention and control and early warning analysis

## 0 引言

自然灾害的发生通常让人始料未及,所以发生灾害后迅速展开应急救援极为重要。及时快捷的灾情信息有助于第一时间将救援策略制定出来,促进救援效率与质量的提高<sup>[1]</sup>。正确科学地应对自然灾害既是强化防灾减灾工作任务,是保障国家利益和广大人民群众的生命财产安全的一个重要的方面<sup>[2]</sup>。

在灾害预报、监测与评估中,灾害勘查与救援人员往往受制于灾区环境风险,导致一时无法安全抵近的问题,灾害

发生后快速高效的应急处置是降低灾害损失的关键,而应急调查作为灾害应急处置的首要 and 基础环节,必须突出“快”且“高效”,即需在尽量短的时间内为科学确定减灾方案提供尽量准确、完整、详细的相关信息,而无人机系统的遥感无疑是一种快速部署、零伤亡的灾情获取技术手段<sup>[3-4]</sup>。灾害区域多、人员难以到达,无法进行外业像控点布设,与此同时数据链无人机受起降方式、起降场地、续航时间、影像精度等限制的问题,大大降低了灾害预报、监测与评估的应急处置效率;随着无人机市场的发展,对网络、飞控等技术的要求也愈加严格和迫切<sup>[5]</sup>。与此同时新一代

收稿日期:2020-10-13

\* 基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0806700)资助

蜂窝移动通信网络 5G 为网联无人机赋予的实时超高清图传、远程低时延控制、永远在线等重要能力,7×24 h 不间断地提供航拍、勘探、数据传输等功能,能够满足无人机在自然灾害防治应急措施场景的需求<sup>[6]</sup>。

本文通过简要分析数据链无人机存在的问题,针对问题着力将 5G 网络与无人机进行完美结合,依托 5G 网络具备高速率、大带宽、低时延、大连接的特性,完美匹配无人机在安全风险防控与应急措施场景的需求。依托 5G 网络的大带宽传输能力,对灾害频发区域进行周期性历史数据对比,通过机载摄像头实时拍摄并回传现场高清视频画面,结合边缘计算能力与 AI 技术,实现快速的人员识别及周边环境分析,便于灾前对风险进行防控,便于灾后开展有针对性地营救工作,提高公共机关应对突发灾害的能力,从而把生命财产损失降到最低。

### 1 数联无人机现状与问题

在汛期防汛工作中,看不清、望不远、测不准,是汛情侦察中经常遇到的难题,严重影响制约着防汛工作的落实。无人机遥感作为一项数据获取的重要手段,具有影像实时传输、高位地区探测、机动灵活等特点。在防汛工作中,可立体查看蓄洪区的地形、地貌、堤坝等情况,在交通不便地区,无人机可快速赶到险情地区为防洪提供准确的信息<sup>[7]</sup>。

在多次的防汛救灾工作中,无人机遥感都发挥了作用,搭载多种遥感传感器,实时获取了灾区高分辨率(0.1~0.5 m)的遥感影像数据,完成灾区的 DOM 影像获取和灾情解译任务,获取溃口、堤防、淹没区域高清影像作为灾害评估、指挥决策的数据资料。

自然灾害导致无人机作业环境复杂,这对无人机本身提出了很高要求。防汛抗洪是大面积区域作业,地形复杂,无人机参与防汛抗洪,对起降方式、起降场地、续航时间、影像精度都有很高要求。但是,传统的数据链无人机仍然存在几点不足:

1)容易受复杂地形影响。无人机通过数据链控制,或者实时回传图像,易受当地地形、气象条件的影响,高山、峡谷、或者雨天气候,都能对数据链或图传链路产生很大影响。

2)数据链无人机一次作业地面面积有限,因为受链路距离影响,所以仅适用于小面积作业。

3)无人机实时图传链路,通常在 5~10 km 左右,很难满足长距离、高质量的清晰图像回传。

### 2 网联无人机概况

#### 2.1 无人机系统概况

无人机选用“无人应急救援装备关键技术研究与应用示范”课题组的 HW-350 小型长航时无人机。

1)对于面状、线状目标而言可以考虑使用固定翼,其具有成本低、操作简单、维护容易、航程远、效率高、无污染等优势,可用于大面积、远距离的自动巡检任务。其配套的吊

舱设备一般为可见光。HW-350 小型长航时无人机参数与飞行器实物照片如表 1、图 1 所示。

表 1 HW-350 小型长航时无人机参数

名称	参数	名称	参数
翼展	8.2 m	载重能力	10~15 kg
机长	5.5 m	巡航速度	130 km/h
机体高度	1.5 m	适用环境温度	-40℃~55℃
起飞重量	220 kg	燃料	95# 汽油



图 1 HW-350 小型长航时无人机平台

2)对于点状任务或目标可以考虑使用带有无人值守仓的多旋翼无人机,其具有无需现场人员操作、远程一键起飞、自主定点回收、机仓防风防雨防雷保温、可悬停、飞行高度相对较低、航时长等优势,多执行精度较高的各类航测任务。其配套设备一般为可见光、可见光/热成像、激光雷达、高光谱雷达等。适用可见光/热成像双光吊舱的仪器参数与实物图片如表 2、图 2 所示。

表 2 双光吊舱参数

	指标	参数
可 见 光 相 机	尺寸	113×123×157.5 mm
	重量	676 g
	动作范围	俯仰角: -90°~90°
		横滚角: -85°~85°
		航向角: -170°~170°
		无极旋转
	像素	408 万
	输出分辨率	1 920×1 080 P/60 帧
	变焦倍数	10.5 倍
	工作温度	-30℃~80℃
热 像 仪	工作制式	非制冷长波
	测量器像素	640×480
	MIRTD(最小可分辨温差)	≤650 Mk(特征频率)
	调色板	黑热、白热、伪彩
	电子倍焦	1X、3X
	温度预警	-20℃~120℃
	跟踪速度	±32 pixel/场
	目标记忆时间	4 s
	目标尺寸	16×16~128×128 pixel



图 2 10 倍可见光/热成像双光吊舱

激光雷达可满足大数据量,高速传输的需求,广泛应用于机载测量。在灾害监测中,激光雷达凭借自身探测频率高、范围广、抗干扰能力强的优势,配备人工智能算法,可以更精准的实现目标探测、识别定位并减少虚警率及漏报率<sup>[8]</sup>。适用激光雷达吊舱的仪器详细参数与实物图片如表 3、图 3 所示。

表 3 激光雷达吊舱

指标	参数
激光类型	脉冲式
IP 等级	IP67
扫描频率	5~20 Hz
扫描线程	16 线程
最大量程	120 m
数据获取速率	700 000 点/s
线性误差	±2 cm

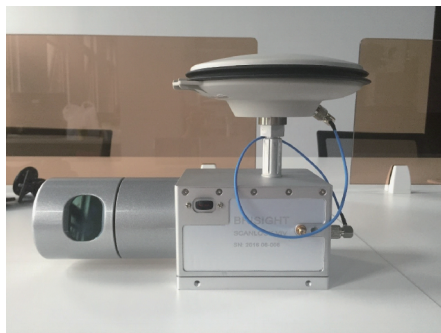


图 3 激光雷达吊舱

3)选用多光谱相机能够捕获光在特定波段的地物信息数据,选用多旋翼无人机搭载多光谱相机,产生的数据能够有效识别特征信息,为早期病虫害、荒漠化灾害提供准确依据。光谱相机的 3D 视觉系统相比于 2D 成像能提高机器人信息获取能力,能对环境做出快速反应,并适应新的环境<sup>[9]</sup>。光谱成像吊舱的仪器参数如表 4 所示。

## 2.2 5G 通信技术概述

随着移动通信技术的发展,5G 已成为移动通信领域的

表 4 激光雷达吊舱

指标	参数
重量	232 g(包括 DLs2 和线缆)
尺寸	8.7 cm×5.9 cm×4.54 cm
RGB 输出	全局快门,与所有波长匹配
空间像素	120 m 高, 8 cm/pixel
采样频率	1 次/s, RAW12-bit
视场角	47.2°HFOV
波段	400~900 nm(QE of 10% at 900 nm)
触发选项	时间模式、重叠率、外部触发

竞争焦点,5G 的到来将引发信息革命,引领万物互联<sup>[10]</sup>。5G 是最新一代的移动蜂窝通信技术,是 4G 系统的扩展。5G 技术全面应用后会大大提升传统通信技术传输速度低、信息安全性不好、保密性不高、高清视频卡顿等情况<sup>[11]</sup>。无人机基于以下基本技术特性和技术。

### 1)5G 技术特性

(1)高速率:5G 使用毫米波,采取毫米波频段,带宽可高达 10 倍,传输速度更快,峰值速度符合 gbit/s 的传输标准,可用于以灾害防控与应急处理大数据量传输。

(2)低时延:5G 技术支持多个用户再同一时间使用同一个网络,在通信领域有效降低了通信过程中传输延时发生的可能性<sup>[12]</sup>。以 5G 作为通讯网络的无人机空中接口的时间约为 1 ms,可以满足无人机操作的实时应用。

(3)大链接:网络容量超大,具有更高的无人机设备连接能力,对无人机网络通信的满意度、流量密度和连接密度比以前更高。

### 2)5G 的主要技术

(1)网络切片:网络切片将无人机的访问网络划分为多个虚拟网络,每个虚拟网络均根据速度、持续时间、安全性和可靠性服务的需求进行划分,以便在不同时间灵活响应无人机的不同应用场景。

(2)边缘计算:5G 边缘云计算技术是将传统的云计算技术应用在边缘基础设施之上的创新,其本质上是边缘基础设施的云计算系统,通过边缘云计算技术,能够实现边缘位置的计算、网络、存储、安全等能力全面的弹性平台基础设施能力<sup>[13]</sup>。通过将计算和存储资源沉入网络边缘节点,减少延迟并节省传输资源,为低速,高带宽服务提供最佳的操作环境。

(3)大规模天线技术:大规模天线技术(Massive MIMO)是 5G 最具有潜力的传输技术。该技术利用空分多址技术,可在同一时频资源上服务多个用户<sup>[14]</sup>。大规模天线技术使用 3D-MIMO 技术,不仅以水平波束形式,而且还以波束立体形式以及信号更抗干扰的方式发送多个天线,接收多个天线。

(4)AI 深度融合:深度学习与机器学习模型的监督学习机制需要大量数据作为训练材料,5G 自然伴随的海量数

据为高质量 AI 的发展及其感知、推理等智能化功能提供了丰富的资源<sup>[15]</sup>。其功能也有助于将 5G 技术应用于灾害防控与应急处理的需求。

### 2.3 网联无人机的技术实现

网联无人机融合 5G 网联技术,利用无人机搭载专业航天设备,完成数据采集、分析、预处理、空计算、高程提取、正摄影像制作等、数据建模、成果输出全流程,为灾情提供第一手资料,辅助指挥部决策指挥。

#### 1) 网联无人机的技术特点

(1) 网联模块依托通信运营商已搭建完成的通信基站,将基站上加装对空天线及配套设备并进行参数调优,

对空天线的扇形信号覆盖区形成无人机低空通信区域,任一扇形区域对应的通信基站均可作为无人机数据入网节点。而位于国内任意一点的远端指挥中心可通过运营商无处不在的网络实现超远程控制与监控,突破空间距离限制。

(2) 实时数据处理。无人机数据可通过机载边缘计算机将各种数据进行预处理、同时融合至图像内并实时向地面发送回传,包括测控指令反馈、图像数据及其他数据与指令的接收与发送进入云平台后通过存储、算法处理、再分发到任一授权客户端,形成统一数据展示与管理云平台如图 4 所示。

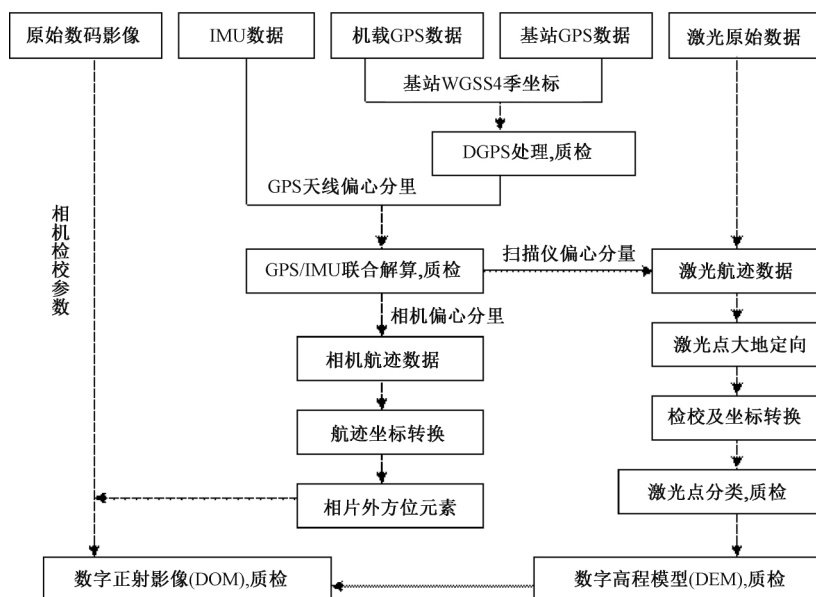


图 4 无人机数据处理系统

(3) AI 识别(对观测区域内的水利灾害点、灾害面进行提取和识别,对灾情进行准确评估)。

无人机可在日常巡查及应急灾害调查中,按照预先设定或临时航线和任务计划,从空中识别可能引起灾害的威胁目标、感知灾害点及灾害面变化。

#### 2) 网联无人机的实际功能

无人机平台可提供动目标检测、特征目标识别、变化检测与卷帘分析、河道位置叠加等智能分析功能。

(1) 动目标检测:能识别实时回传视频画面内的运动目标,实时跟踪并标记河道周边及警戒区域内出现的可疑目标。

(2) 特征目标识别:运用智能算法,自动对包含但不限于人员、车辆、施工设备、火情烟雾等出现在警戒区域内的特定目标进行告警。

(3) 变化检测与卷帘分析:实时对图像进行像素级对比,通过变化检测算法,系统将图像基于时间、空间自动对比和卷帘分析。

(4) 河道位置叠加:应支持在视频中实时动态叠加河流(如枯水期主干河流河床、地下河流)和警戒区的走向。

## 3 项目目标及方案实现

### 3.1 项目目标

依托电信运营商“网联无人机”实现超视距远程测控,进行无人飞行器的自动巡航。对汛情巡查,能够凭借其自有独立平台、软件系统、AI 智能算法实时传输图片,进行定位,卷帘分析,极大地提高了效率,也保障了人员安全。

#### 1) 重点灾害监测区域周期性自动巡检

山洪、泥石流灾害易发区域,利用工业级多旋翼无人机搭载可见光摄像机、激光雷达,定期巡检,提前发现风险。

可以利用垂直起降固定翼无人机搭载高光谱吊舱配合云平台进行超视距巡检,对山体的土壤的含水量进行快速探测,并将实时的巡检数据传输到无人机云平台中分析并预警,最终展示到指挥中心。



自动巡检实时报警,由于降雨量的变化,需对重点监测区域进行日常监控,实时调整,及时避险。可以利用无人机搭载可见光吊舱或者高光谱吊舱,配合自有的独立平台,进行自动巡航,将拍摄的画面实时直播,并进行卷帘分析。

通过卷帘分析巡检无人机采用无线电通信方式则会遇到诸多困难和不便。

首先,测控半径短,无法对远处监测区域进行巡检,当恰巧遇到禁飞区域时,受到测控距离的限制,无人机不能够绕过该区域完成飞行任务。从而需要频繁转场,进而易引发人身危害,为日常的巡检工作带来了极大的不便。

其次,灾害易发区域往往地形变化较大,点对点单测控站极易受到影响,通信信号衰减幅度大,巡检人员转场时间长、信号断断续续,回传的图像也时有时无、及时性无法保证。

然后,测控站接力方式需在地面大量部署测控站,形成区域性覆盖,但是,灾害易发区域周边环境复杂,搭建测控站难度高、成本大,也就极大地增加了地面保障和维护的工作量。

## 2) 应急场景下实时数据的快速回传

利用固定翼无人机搭载高光谱吊舱配合云平台进行超视距巡检,对山体的土壤的含水量进行快速探测,并将实时的巡检数据传输到无人机云平台中分析并预警,最终展示到指挥中心。依托电信运营商的“网联无人机”,可以通过长距离网络通信,对于水库长距离的水域岸线能够实现远程自动化飞行巡检、实时的视频回传、应急喊话、降低应急响应及灾害调查反应时间,提高管理效率和健全巡检手段。遥测和视频数据点播、直播,将险情地区进行标记定位,并将实时视频进行指挥中心直播,辅助应急工作人员制定方案,即时实施救援。

## 3.2 方案实现

灾害发生以后,常诱发原生灾害、次生灾害和衍生灾害形成灾害链,造成重灾区通信信息中断,大量建(构)筑物等瞬间倒塌,同时造成交通中断,导致灾情传递受阻,继而造成更大的损失和次生灾害<sup>[16]</sup>。该类绝大多数灾害常位于地形高差较大的山谷斜坡,人眼可视范围有限,地面人员短时间内无法进入调查,对灾害调查的要求更快、更高效。图 5 所示为典型涉及洪涝、滑坡与泥石流的灾害链。

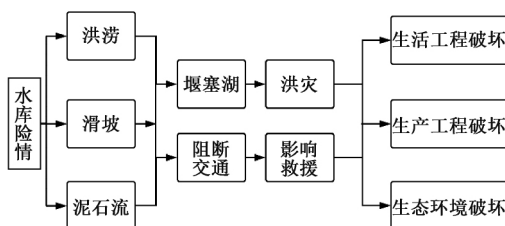


图 5 灾害链

通过无人机挂载不同任务载荷获得的数据可在后端云平台进行分析处理,使得无人机数据处理、分析、监测等技术手段在洪涝、泥石流、滑坡等自然灾害上的成功实现。

以某山体滑坡为例,滑坡一度堵塞河道形成堰塞湖。如果利用网联无人机参与工作,可以对灾害区域进行如下多种应急响应。

1) 通过网联无人机实现周期性、大面积对重点防洪区域的数据更新,随时掌握该区域情况,以便利用多期影像对山洪历史变化情况进行对比分析。

2) 基于运营商公网(4G/5G),实现数据实时回传,快速完成各类影像数据处理,最快完成各类灾害地图制作,提供实时灾情信息供决策部门使用。

3) 提供分辨率高、光谱信息丰富的无人机影像数据,对沿河村落、大型水库、堰塞湖等重点区域进行监测和分析;对观测区域内的水利灾害点、灾害面进行提取和识别,对灾情进行准确评估。

4) 长距离网络通信:对于长距离的巡检路线能够实现远程自动化飞行巡检、实时的视频回传、降低应急响应及灾害调查反应时间,提高管理效率和健全巡检手段。

5) 健全的图像数据分析:支持视频数据的实时处理(如视场解算、高后果区、变化检测、目标检测)、数据存储。

6) 遥测和视频数据点播、直播:将险情地区进行标记定位,并将实时视频进行指挥中心直播,辅助应急工作人员制定方案,即时实施救援。

## 3.3 方案实验

由网联无人机构成的远程空中无人机系统在 2020 年 3 月至 5 月期间于山东省济南市莱芜区进行了应用实验。

实验选定雪野水库周边区域为实验场景,利用无人机对已选择区域的山区及丘陵进行高分辨率影像获取,开展地质灾害遥感解译,为地质灾害应急救援、灾情评估提供数据,飞行计划作业区域与指定区域内飞行路线如图 6 中矩形框范围所示,作业面积不小于  $50 \times 10^6 \text{ m}^2$ 。

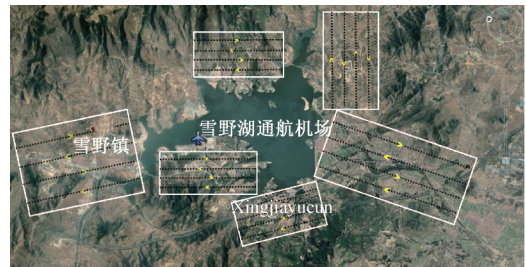


图 6 实验区域

实验选定雪野湖通航机场作为起降场地,无人机平台挂载立体探测载荷,从雪野湖通航机场起飞后飞往指定区域作业。过程中,实验人员按照图 7 所示的实验流程进行操作。

过程中,实验人员还搭建了涉及无人飞行器与地面设备的“空天一体”系统,其具体构成如图 8 所示。

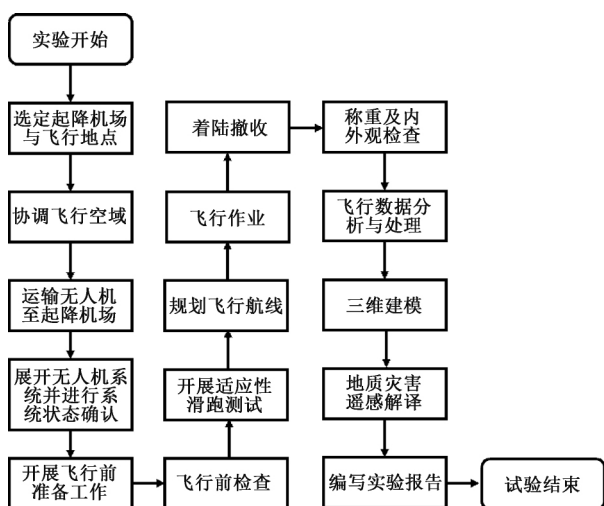


图 7 实验流程

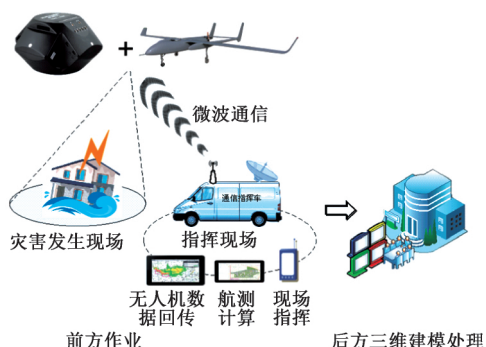


图 8 立体载荷系统实验设备结构

实验通过无人机倾斜航摄系统获取影像数据,通过后处理制作成符合视觉效果和精度要求的三维模型,基于高精度三维模型、地质环境特征开展地质灾害遥感解译,用于辅助应急救援、指挥决策等工作。相较于数联无人机的传统方法,采用基于 5G 的网联无人机系统具有传输数据快,数据传输实时性高,数据传输容量大、安全可靠,数据传输受到空间距离限制小的特点,在灾害调研与相关领域拥有光明的发展前景。

#### 4 结 论

在突发的自然灾害防治中,网联无人机能够准确、快速、高效开展自然灾害详细调查和次生灾害的评估,突出其实时性好、速率高、灵活性强、精确度高等优点;与此同时,网联无人机在逐步的尝试运用与自然灾害的风险防控与灾后防治中,其精度和操作流程还有很大的改进空间,需要进一步完善。在网联无人机应用与自然灾害的风险防控与灾后防治中,其结论与建议简要概括如下:

1) 无人机与运营商的 5G 网络相结合,能突破数据链距离限制,大幅提升无人机巡航半径,实现大面积、远距离的自动巡航观测。

2) 分辨率高、光谱信息丰富的影像数据,是无法通过传统数据链实时回传的;运营商的 5G 网络提供了足够的带宽和回传速率,对灾害现场数据的快速回传和灾情分析,提供了时间保证。

3) 建议搭建数据链与 5G 相结合的无人机灾害监测网络,实现重点区域的周期性、大面积监测,并能在灾情发生时,快速回传各类灾害点的影像数据,快速生成专题影像地图,供给指挥决策使用。

#### 参考文献

- [1] 李晓阳,韩贞辉,谢恒义,等. 无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J]. 技术与场,2020,27(3):126-128.
- [2] 彭大雷,许强,董秀军,等. 无人机低空摄影测量在黄土滑坡调查评估中的应用[J]. 地球科学进展,2017,32(3):319-330.
- [3] 李德仁,李明. 无人机遥感系统的研究进展与应用前景[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(5):505-513.
- [4] 郭晨,许强,董秀军,等. 无人机在重大地质灾害应急调查中的应用[J]. 测绘通报,2020(10):6-11,73.
- [5] 钟剑峰,王红军. 基于 5G 和无人机智能组网的应急通信技术[J]. 电讯技术,2020,60(11):1290-1296.
- [6] 杜新远,冯磊,胡江伟. 基于无人机倾斜摄影的应急测绘系统设计与应用[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(12):193-196,201.
- [7] 张勤,黄观文,杨成生. 地质灾害监测预警中的精密空间对地观测技术[J]. 测绘学报,2017,46(10):1300-1307.
- [8] 刘汝卿,吴宇佳,李锋,等. 激光雷达实时数据传输存储系统设计与实现[J]. 电子测量技术,2020,43(20):16-20.
- [9] 蒋威,易定容,孔令华,等. 多光谱 3D 成像方法[J]. 仪器仪表学报,2019,40(8):140-147.
- [10] 孙昊. 5G 通信测试技术发展分析[J]. 国外电子测量技术,2019,38(7):17-21.
- [11] 于莎莎. 大数据 5G 移动通信技术的应用及发展前景[J]. 科技经济导刊,2020,28(35):50-51.
- [12] 程宝林. 5G 通信的主要特点和所需的主要技术分析[J]. 数字通信世界,2021(1):112-113.
- [13] 张呈宇,李红五,屈阳,等. 面向工业互联网的 5G 边缘计算发展与应用[J]. 电信科学,2021,37(1):129-136.
- [14] 刘宁,袁宏伟. 5G 大规模天线系统研究现状及发展趋势[J]. 电子科技,2015,28(4):182-185.
- [15] 孙志军,薛磊,许阳明,等. 深度学习研究综述[J]. 计算机应用研究,2012,29(8):2806-2810.
- [16] BERARIU R, FIKAR C, GRONALT M, et al. Understanding the impact of cascade effects of natural disasters on disaster relief operations[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2015, 12: 350-356.

#### 作者简介

陈实,本科,工程师,主要研究方向为省级自然灾害遥感应用分析、自然灾害应急处置、灾害现场信息采集传输、综合防灾减灾救灾。

E-mail: 182385168@qq.com