

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.01.053

基于无人机遥感技术的洪涝灾害预警技术研究

魏运芳¹, 曹满², 孙海燕³, 沈天舒¹, 张瑜¹, 慕秀香⁴

(1. 吉林省气象探测保障中心(吉林省气象仪器计量检定站), 吉林 长春 130062;

2. 吉林省突发事件预警信息发布中心, 吉林 长春 130062;

3. 吉林省人工影响天气办公室, 吉林 长春 130062;

4. 长春市气象局, 吉林 长春 130051)

摘要:为对可能发生的洪涝灾害进行预警和有效应对,以避免和减轻自然灾害对人民群众生命和财产造成的损失,研究设计了由旋翼无人机和激光雷达构成的无人机遥感系统对洪涝灾害的靶向区域进行遥感监测,并作出灾害风险的评估。研究表明:无人机拍摄的定位平均误差在 x 轴、 y 轴、 z 轴上最小误差分别为 -10 m 、 -5 m 、 -6 m ,表明了该无人机遥感技术能够提供较为精确的定位信息。在控制点个数为 15 时,图像像素最大值为 3.5 px ,在控制点个数为 10 时,像素最小值 0.2 px ,表明了控制点数量对图像清晰度的影响。

关键词:激光探测;数字高程模型;洪涝灾害;激光雷达;无人机遥感技术

中图分类号:TP249 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2026)01-0283-04

Research on Flood Disaster Early Warning Technology Based on Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Technology

WEI Yunfang¹, CAO Man², SUN Haiyan³, SHEN Tianshu¹, ZHANG Yu¹, MU Xiuxiang⁴

(1. Jilin Province Meteorological Detection Support Center Jilin Province Meteorological Instrument

Calibration and Testing Station, Changchun 130062, China;

2. Jilin Province Emergency Warning Information Release Center, Changchun 130062, China;

3. Jilin Weather Modification Office, Changchun 130062, China;

4. Changchun Meteorological Service, Changchun 130051, China)

Abstract: In order to give early warning and timely response to the occurrence of flood disasters and reduce the huge losses caused by sudden natural disasters, the UAV remote sensing system composed of rotor UAV and laser radar is designed to carry out remote sensing monitoring of the targeted areas of flood disaster and make disaster risk assessment. The results show that the minimum error of the average positioning error is -10 m , -5 m and -6 m respectively, indicating that the UAV remote sensing technology can provide more accurate positioning information. And the maximum value of image pixels is 3.5 px when the number of control points is 15, and the minimum value of pixels is 0.2 px when the number of control points is 10, which suggests the influence on the number of control points on image clarity.

Keywords: laser detection; digital elevation model; flood disaster; lidar; UAV remote sensing technology

0 引言

洪涝灾害自古以来都是人们面临的自然灾害难题之一,具有突发性强、破坏性大等特点,能够冲毁房屋、道路和农田,给人们的生命财产造成重大损失,且其波及范围广泛,对洪涝灾害地区有着深远影响,严重阻碍了社会经济的发展。随着全球气候的变化以及人类活动对植被的破坏,导致

洪水灾害的发生频率和破坏强度也在逐年上升^[1-2]。近年来,随着无人机技术的快速发展,其在自然灾害监测预警中的应用也越来越广泛。因此,利用无人机对人们居住或活动附近区域进行洪涝监测,有效预警和防范洪涝灾害是一个急待解决的问题。然而传统的洪涝灾害预警技术仍存在一些不足,包括预警模型精度较低,在预测洪涝灾害的发生和规模上精确性较差,或者在洪涝监

基金项目:中国气象局创新发展专项(CXFZ2022J007);吉林省气象标准执行专项(QX/BZZX-202402);环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM202209)

第一作者简介:魏运芳(1981—),女,吉林长春人,高级工程师,硕士,研究方向为综合气象探测,mmuxxiang@163.com。

通信作者简介:慕秀香(1981—),女,吉林长春人,正高级工程师,硕士,研究方向为天气预报,Mxx1981@163.com。

测方面,其数据获取和处理能力欠缺,预警信息不够及时等问题。由于无人机能够搭载高分辨率摄像机和激光雷达等传感器,快速获取目标地表清晰的图像和全面的地形数据,为洪涝灾害的识别和分析提供了实时信息支持^[3]。因此利用无人机遥感技术对洪涝灾害预警技术进行研究,以期通过无人机遥感技术实时监测水位、水流速度等指标为灾害的预测和预警提供更为全面的数据支持。研究的创新点在于无人机遥感技术可以在传统的人工监测难以到达的危险区域进行监测,减少人员的工作强度。研究的贡献在于为洪涝灾害的预警工作提供新的思路和方法,进一步提高人们对于洪涝灾害的预警和应对能力,保障了人民生命财产安全和社会稳定。

1 基于无人遥感的洪涝灾害预警技术研究

1.1 基于激光雷达的无人遥感技术研究

无人机遥感(unmanned aerial vehicle remote sensing, UAVRS)技术,是利用先进的无人驾驶飞行器技术、远程遥控技术、通信技术等,实现在无人操作条件下,对目标物体、环境等远程、实时影像信息获取的一项智能化技术^[4]。该技术能够对较大范围的环境进行监测,且其能够对大量的、较细微的环境信息进行捕捉,具有实时性好、动态性强等优势,在洪涝灾害预警技术的研究中,发挥着重要作用^[5-6]。因此通过无人机遥感技术对洪涝灾害的洪水水位、淹没范围、流速等信息实时监测,为洪涝灾害的预防提供有效的预警。此外,该技术还可以对遥感数据进行空间分析和可视化表达,提高预警的准确性和时效性,其具体组成结构如图1所示。

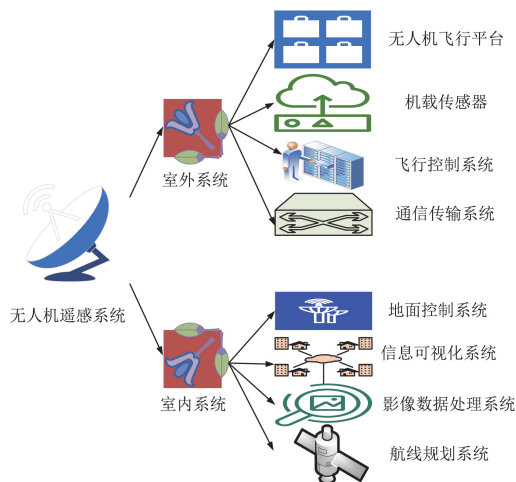


图1 无人遥感系统结构图

由图1可知,无人机遥感技术主要由室内、室外两个部分构成。室外系统中,无人机飞行平台作为执行主体搭载各传感器;机载传感器和通信系统主要对地面影像或无人机数据等进行获取或调控。室内系统主要负责信息与影像的监控与接收以及对数据进行预处理、分析和可视化处理^[7]。整个系统架构协同工作,实现了从数据采集、传输到处理的完整流程。不同于传统的地质灾害监测技术,无人机遥感时能够在更接近地面的空间范围内进行监测,其数据收集具有更高的自由度和精确性^[8]。由于旋翼无人机能够在复杂地形中执行高精度飞行任务,而激光雷达(light detection and rangin, LiDAR)具有高精度的三维扫描能力,能够快速穿透地面障碍物^[9]。由此研究设计了以旋翼无人机和激光雷达为组合的系统来提高遥感技术预警的自动化、智能化以及高分辨率。基于该技术的监测流程如图2所示。

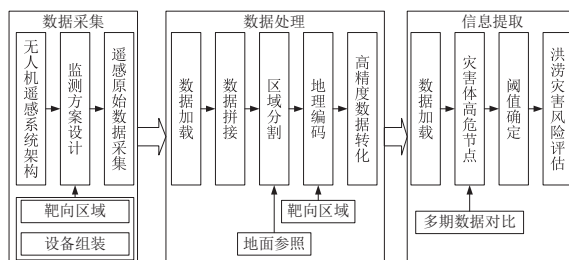


图2 基于无人机遥感技术的洪涝灾害监测

由图2可知,遥感技术对洪涝灾害的监测主要可以分为数据采集、数据处理和信息提取3个部分。1)考虑到无人机飞行能力、续航时间等特性以及监测目标地区的地理特征,如地形地貌、植被覆盖等条件,来进行有针对性的设备组装和监测方案设计,确保重点灾害区域的精细化监测。在实际操作中,还需根据监测需求确定传感器的具体参数。2)通过特征匹配算法对监测数据进行清洗筛选等处理,从而对地面进行区域分割和编码,以匹配灾害体与靶向区域地理位置并将其转化为高精度的数据。3)对高精度数据进行的叠加、对比分析,从而识别出水量变化趋势、速度等可能引发洪涝灾害的因素,并得出风险评估结果^[10-11]。

1.2 洪涝灾害预警技术研究

研究采用了激光雷达的无人机遥感技术对地面的洪涝灾害进行水位、雨量等的监测,其能够为灾害的演化或发展提供清晰的拍摄影像图。洪涝灾害是指由于强降雨、风暴潮等或雨水集中没有

及时得到排放,导致山体滑坡、水淹农田等的水灾害,严重威胁到人们的生命财产安全^[12]。因此在洪涝灾害发生前进行监测和预警,及时、准确地发布预警信息有助于公众和相关部门及时采取防御措施。洪涝灾害技术监测主要围绕降雨雨量、水体水位和水流速度、流量等指标来进行。由于洪涝灾害的发生具有范围大、周期随机等特点,因此对易发生水涝灾害附近区域为目标区域来进行预警技术的研究。数字高程模型(digital elevation model, DEM)是一种用于描述地球表面高程信息的数字化模型,通过测量和记录地表的高程数值,以网格形式表示地形的变化^[13-14],其广泛应用于地形分析、地貌研究、土地规划等领域。基于无人机遥感技术对监测数据的收集,研究采用高精度的 DEM 来进行数据的表征处理,其计算如式(1)所示。

$$V_{\text{DEM}} = (x_i, y_i, z_i) \quad (1)$$

式中 x_i, y_i, z_i 为监测目标的地理坐标。该数字化过程是以横轴和竖轴为地理坐标系、以 z 轴进行的数据统一,可使得数据的表达更加直观,且易于理解。由于证据权重法(weight of evidence, WOE)计算简单、结构简明易懂,具有较好的可解释性特点,因此本研究采用该方法对洪涝灾害进行监测并结合以往的洪涝发生情况,来求得致灾因子贡献大小及其之间的关联^[15]。具体计算如式(2)所示。

$$W_f = \frac{\ln(B|D) - \ln(\bar{B}|D)}{\ln(B|\bar{D}) - \ln(\bar{B}|\bar{D})} \quad (2)$$

式中: W_f 为致灾因子正相关权重对比度; $D, \bar{D}$ 分别为发生和未发生的洪涝灾害网格单元; $B, \bar{B}$ 分别为 D 致灾因子数据下灾害的网格单元数量。在判定目标区域洪涝灾害的高风险节点时,必须综合考虑灾害的触发因素以及危险因子的发展趋势等多种要素。研究基于 DEM 和预警技术对目标区域的洪涝发生可能性进行评估。具体为向目标区域投放无人机、定期监测记录区域风险因子,并对完整周期内的数据进行时序分析。对连续出现高风险因子的地区进行进一步影像采集和细节记录。除此,记录高风险区域雨量、水位、流量等数据,制作高精度的数据集,便于形成对该目标区域灾害详情和风险的评估报告^[16]。根据无人机遥感监测和 DEM 的风险评估,研究设计了一种洪涝灾害预警系统,具体如图 3 所示。

由图 3 可知,洪涝灾害预警系统是一个综合的监测系统,其通过各种传感器对山体形变进行监测,

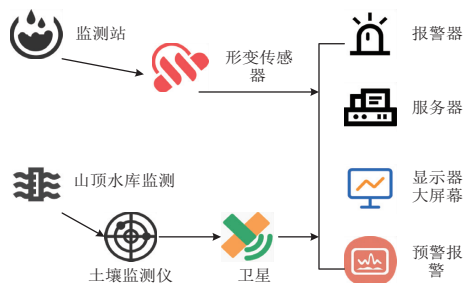


图3 洪涝灾害预警系统

同时结合土壤检测仪与卫星对水库水位变化情况进行记录。服务器作为数据处理和存储的中心,接收来自山脚监测站和山顶水库监测的数据,通信技术监测到的数据将上传至该中心进行分析和处理。显示器可展示监测数据和预警信息,便于操作人员实时监控和响应。紧急情况下系统将触发预警和报警机制,从而及时向相关人员发送预警信息,以预防和减少自然灾害的影响^[17-18]。

2 基于无人遥感技术的洪涝灾害预警分析

无人机可以通过多光谱成像技术,获取植被覆盖、土壤湿度等信息,还能够搭载气象传感器,实时监测大气温度、气压降水等指标。研究通过无人机遥感技术对吉林长春某地区进行洪涝灾情监测,共拍摄到 30 张可用图片。对拍摄到的目标地区影像进行筛选和数据处理,选取了数字正射影像覆盖面积为 80.4 km²,影像中心区域图像重叠数量较多的图片来进行预警分析。目标地区的地面影像如图 4 所示。

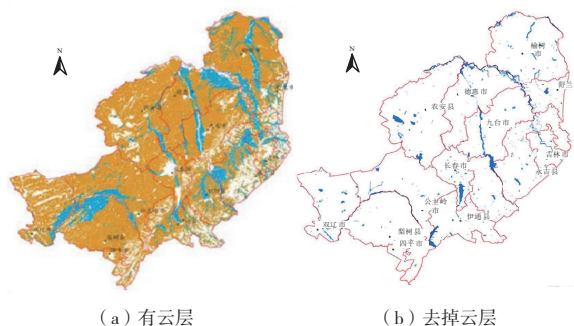


图4 地面影像图

图 4(a)、图 4(b) 分别为数字正射影像和去掉云层后的密集点云正射图。图 4(a) 中可清晰地看见地面的实景状况,包括河流的走向以及分支情况等;而图 4(b) 叠加了多张不同角度的地面倾斜影像的照片,相比于实景照,更加清楚且准确地显示出了地面的河流覆盖情况以及水量的多

少,通过其可对洪涝灾情进行监测和预警。由于相机拍摄间隔、无人机飞行速度以及天气因素等对拍摄的影响,因此实验中根据实际情况选择了20个地面观测点来测得相机拍摄在空间上的误差,如图5所示。

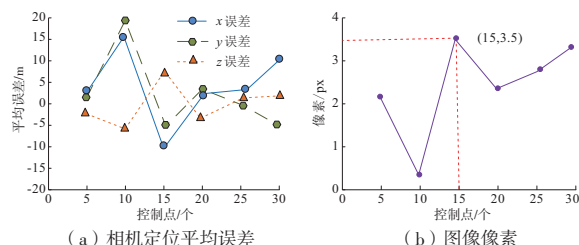


图5 地面控制点误差

由图5(a)可知,实验分别对5、10、15、20、25个控制点收集到的定位数据进行三维坐标上的定位平均误差计算,其中在 x 轴上最大误差为15 m,最小误差为-10 m;在 y 轴上最大误差为19 m,最小误差为-5 m;在 z 轴上最大误差为6 m,最小误差为-6 m。总体来看,控制点在三个坐标系上的定位误差随控制点个数的增加,其平均误差逐渐减小。由图5(b)可知,在控制点个数为15时,图像像素最大,为3.5 pix,在控制点个数为10时,影像像素最小,为0.2 pix。根据所得监测数据,研究采用自然断点法对重点监测的靶向区域面积和灾害点进行统计、分类并预测,具体数据如表1所示。

表1 洪涝预警技术预测结果

发生频率	面积/ km ²	面积 占比/%	灾害点 个数	灾害 占比/%	预测准 确率/%
几乎不发生	1 655.52	62.77	23	6.35	91.62
较少发生	524.25	19.89	36	10.05	85.59
偶尔发生	322.54	12.23	125	34.54	78.06
频繁发生	135.01	5.12	362	48.56	86.44

重点监测区域根据洪涝发生的历史数据及监测数据,对洪涝发生可能性及可能出现的受灾地点进行了划分和统计,并计算出预测数据与历史数据的重合度。由表1可知,目标区域根据发生频率被划分为不易发生区、较少发生区、偶尔发生区和频繁发生区,其面积占比分别为62.77%、19.89%、12.23%和5.12%,可见大部分地区洪涝灾害发生概率较小,对应的灾害点个数分别为23、36、125和162个;预警几乎不发生的区域与历史数据最为吻合,其预测准确率为91.62%。总体来看,灾害点越多的地区,其洪涝发生频率越

高,此研究可对灾害频发区进行重点监测,以便及时实现洪涝灾害发生预警。除此之外实验还利用遥感技术监测河流、湖泊等水域的水位变化,以实时掌握水位动态,为预警和决策提供依据。

3 结语

为进一步提高对洪涝灾害预警的及时性、准确性,研究通过无人机对洪涝灾害进行实时监测,以实现为预警提供准确信息和对洪涝灾害发生后的快速响应等。实验结果表明:在无人机的拍摄误差方面,控制点在三个坐标系上定位的平均误差均随控制点个数的增加而逐渐减小;目标区域根据发生频率划分为四个等级区域,分别为不易发生区、较少发生区、偶尔发生区和频繁发生区,各区域面积占比分别为62.77%、19.89%、12.23%和5.12%,对应的灾害点个数分别为23、36、125和162个。将预测数据与历史监测数据进行对比,发现该技术预测准确率均较高,分别为91.62%、85.59%、78.06%、86.44%。研究结果表明,无人机遥感技术能够提供洪涝灾害地区清晰的相关影像图,且对控制点的监测上也具有较高的精确度。但由于无人机在进行拍摄作业中,受环境、设备等因素影响,获得图像像素点密集程度不同,因此,未来研究将进一步加入对监测时光线、天气、风力等因素的考虑,并加入对图片的几何校正等技术,以进一步提高监测数据的精度,从而更利于洪涝预警的实时与准确的发布。

参考文献:

- [1] 刘光伟,袁杰,柴森霖,等.露天矿无人机遥感边坡地表形变提取方法研究[J].安全与环境学报,2024,24(9):3449-3457.
- [2] 王宇唯,马旭,谭穗妍,等.无人机遥感与地面观测的多模态数据融合反演水稻氮含量[J].农业工程学报,2024,40(18):100-109.
- [3] 卞雪,卢慧中,耿韧,等.基于无人机遥感的植被覆盖与管理因子计算[J].水土保持研究,2024,31(6):103-108.
- [4] NDUKU L, MUNGHEMEZULU C, MASHABA - MUNGHEMEZULU Z, et al. Global research trends for unmanned aerial vehicle remote sensing application in wheat crop monitoring [J]. Geomatics, 2023, 3(1): 115-136.
- [5] 余洁,沈爱红,石云,等.基于无人机遥感影像和面向对象技术的荒漠草原植被分类[J].草业学报,2024,33(7):1-14.

(下转第314页)

- [16] 汤凯,宋灿辉,曹茜斐,等. 低耗往复式膜生物反应器系统的中试应用研究[J]. 中国环境科学, 2025, 45(2):727-735.
- [17] 王斌儒,司海瑞,张乐年. 无线流速监测系统的研究与实现[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(5):206-210.
- [18] 胡瑜,王锁芳,梁晓迪. 基于响应曲面法的涡旋管分离器结构优化[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(3):166-171.
- [19] 邵斌,王蕊,代攀,等. 碳修饰的铁基催化剂催化降解膜生物反应器出水中有机污染物[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(2):206-213, 232.
- [20] 郑榆凯,欧阳肖,朱仁诚,等. 饱和填充生物膜反应器生物膜周期性变化特征[J]. 中国给水排水, 2024, 40(19):75-80.
- [21] 张昱,王辰,韩子铭,等. 厌氧膜生物反应器处理抗生素废水研究进展与展望[J]. 环境工程学报, 2024, 18(3):623-633.
- [22] 袁昌荣,孙中圣,李小宁. 热膜式气体流量传感器异物污染流场仿真分析[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(4):89-91.
- [23] 刘佳乐,雷振,崔耀奎,等. 厌氧膜生物反应器处理市政污水的产甲烷性能及微生物代谢特征[J]. 环境科学研究, 2023, 36(5):932-942.
- [24] 马子欣,文敬博,蒋林巧,等. 重力流膜生物反应器处理农村污水效能与机制[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2024, 56(6):16-24.
- [25] 刘壮壮,鞠然,刘崇涛,等. 电化学膜生物反应器处理污水性能提升策略及研究现状[J]. 化工学报, 2023, 74(11):4433-4444.

收稿日期:2025-05-05

(上接第286页)

- [6] 李强. 基于数字孪生技术的城市洪涝灾害评估与预警系统分析[J]. 北京工业大学学报, 2022, 48(5):476-485.
- [7] 曾世伟,侯学会,王宗良,等. 基于无人机遥感的作物表型参数获取和应用研究进展[J]. 山东农业科学, 2024, 56(4):172-180.
- [8] 张芸硕. 无人机遥感技术在水库泄洪预警系统中的应用[J]. 水利技术监督, 2017, 25(4):38-40.
- [9] 高龙,阎福礼. 基于 Sentinel-1A SAR 影像的上下游水位响应分析及其在洪涝预警中的应用[J]. 中国科学院大学学报, 2022, 39(1):91-101.
- [10] 蒋曦阳,黄健鹏,童一飞,等. 基于物联网的电梯故障监测与预警系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2023, 52(6):213-216, 220.
- [11] 杨文兵. 农田灌溉管理中无人机遥感技术的应用[J]. 乡村科技, 2022, 13(1):153-155.
- [12] 韩佳. 遥感测绘技术在滑坡灾害预警中的应用[J]. 华北自然资源, 2025(1):79-81.
- [13] 黄春建. 地质灾害监测与预警系统的校地联合研发[J]. 防灾减灾工程学报, 2025, 45(1):252.
- [14] 肖武,任河,赵艳玲,等. 无人机遥感支持下的煤矸石山自燃监测与预警[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(2):412-421.
- [15] 刘小莎,董秀军,钱济人,等. 高植被山区泥石流物源 LiDAR 遥感精细识别方法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(3):400-410.
- [16] 廉旭刚,韩雨,刘晓宇,等. 无人机低空遥感矿山地质灾害监测研究进展及发展趋势[J]. 金属矿山, 2023(1):17-29.
- [17] 朱俊清,赵学儒,马涛,等. 基于卫星遥感的路域地质灾害监测方法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2023, 53(6):1861-1872.
- [18] 张俊阳,王昆,赵同彬,等. 矿区地表沉陷与裂缝无人机遥感观测研究现状及发展[J]. 煤炭科学技术, 2024, 52(增刊2):435-444.

收稿日期:2024-10-29