

孙书腾, 刘培, 王光彦. 基于多时相主被动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(9): 25-35.

SUN Shuteng, LIU Pei, WANG Guangyan. Cooperative processing of multi-temporal active and passive remotely sensed data for flood disaster monitoring [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53(9): 25-35.

## 基于多时相主被动遥感协同处理的 洪涝灾害应急监测

孙书腾<sup>1</sup>, 刘培<sup>2,3</sup>, 王光彦<sup>4</sup>

- (1. 河南理工大学 测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454000; 2. 海南省海洋与渔业科学院, 海南海口 570100; 3. 海南热带海洋学院 崖州创新研究院, 海南 三亚 572022;  
4. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225002)

**摘要:** 洪涝灾害严重危害人类的生命和财产安全, 洪涝灾害的应急监测对灾情评估具有重要意义。灾害发生时期往往伴随恶劣天气, 针对洪涝灾害期间光学遥感数据使用受限问题, 研究选取“7·20”重灾区(河南省鹤壁市浚县)灾害前后 Sentinel-1、Sentinel-2 多时相主被动遥感影像为数据源, 有效提取洪水淹没范围, 并对土地利用/覆盖类型受灾情况进行评估。首先, 在对 Sentinel-1A 雷达数据进行多视、配准、地理编码等处理的基础上, 进行阈值分割提取水体; 然后, 基于随机森林集成学习对灾前 Sentinel-2 光学影像进行地类提取; 最后, 结合 GIS 地理信息分析技术进行研究区乡镇淹没面积、淹没空间特征分析, 并评估灾情影响。结果显示: (1) Sentinel-1 雷达数据能够快速、有效提取受灾后水体面积, 如监测到的 2021 年 7 月 27 日和 8 月 8 日水体面积分别为 95.755 km<sup>2</sup> 和 103.368 km<sup>2</sup>。(2) Sentinel-2 光学数据结合随机森林算法能够精确获取受灾前研究区土地利用/覆盖类型, 精度达 96.3%, 能够为不同地类受灾评估提供有效支撑。(3) 新镇、小河镇受灾最为严重, 洪水面积均在 34 km<sup>2</sup> 以上, 主要原因为上游泄洪、水满溢出河堤。研究结果表明, 协同多时相 Sentinel-1/2 主被动遥感影像能够在恶劣天气条件下有效提取水淹区域, 可为应急救援提供数据支持。

**关键词:** 主被动遥感; 洪涝监测; 水体提取; 灾害评估; 随机森林算法; GIS 分析

doi: 10.13928/j.cnki.wrahe.2022.09.003

开放科学(资源服务)标志码(OSID):

中图分类号: P237

文献标志码: A

文章编号: 1000-0860(2022)09-0025-11



### Cooperative processing of multi-temporal active and passive remotely sensed data for flood disaster monitoring

SUN Shuteng<sup>1</sup>, LIU Pei<sup>2,3</sup>, WANG Guangyan<sup>4</sup>

- (1. School of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China; 2. Hainan Academy of Ocean and Fisheries Sciences, Haikou 570100, Hainan, China; 3. Yazhou Bay Innovation Institute, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, Hainan, China; 4. Jiangsu

收稿日期: 2021-11-19

基金项目: 热带海洋学院崖州湾创新研究院开放课题资助(2022CXKFKT03); 国家自然科学基金项目(42011530174); 海南省省本级项目(2021, 2022)

作者简介: 孙书腾(1996—), 男, 硕士研究生, 主要从事遥感灾害监测及应用研究。E-mail: 1481106117@qq.com

通信作者: 刘培(1985—), 男, 副教授, 博士, 主要从事资源环境遥感、数据挖掘与模式识别等方面的研究。E-mail: liupeih@hpu.edu.cn

孙书腾, 等//基于多时相主动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

Engineering Exploration & Surveying Institute Co., Ltd., Yangzhou 225002, Jiangsu, China)

**Abstract:** The flood disaster is seriously threatening human community, so emergency monitoring of flood disasters is of great significance to disaster assessment. While the happening of flood disaster is often accompanied by severe weather, aiming at the problem that the use of optical remote sensing data is limited during flood disaster, the Sentinel-1 and Sentinel-2 multi-temporal active and passive remote sensing images before and after the disaster of seriously affected disaster-affected area (Xunxian County of Hebi City in Henan Province) of the Rainstorm on July 20 are taken as the data sources, so as to effectively extract the flood inundation range and then make a further assessment on the disaster-affected situations of land-use and cover-type. Firstly, the processes of multi-view, rectification, geocoding, etc. are performed on the Sentinel-1A radar data for extracting water body by threshold segmentation; and then the extraction of land type before the disaster from the Sentinel-2 optical images is carried out based on the random forests ensemble-learning; finally, the inundated areas and the characteristics of the inundated space of the villages and towns within the study area are analyzed in combination with the GIS analysis technique. The results show that (1) Sentinel-1 radar data can quickly and effectively extract the area of water body after disaster, e. g. the water body areas monitored on July 27 and August 8, 2021 are 95.755 km<sup>2</sup> and 103.368 km<sup>2</sup> respectively; (2) Sentinel-2 optical data combined with random forest algorithm can accurately get the land-use/cover-type of the study area before disaster with the accuracy of 96.3%, and then can provide effective support for the disaster assessment of different land types; (3) the disasters are the most serious in Xinzhen Town and Xiaohezhen Town with the flooded area of over 34km<sup>2</sup>, for which the main cause is upstream flood discharge and overflow of river embankment. The study result shows that the inundated areas under severe weather conditions can be effectively extracted with the collaborative processing of Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 optical remote sensing data, from which the relevant data support can be provided for the emergency disaster relief concerned.

**Keywords:** active and passive remote sensing; flood and waterlogging monitoring; water body extraction; disaster assessment; random forest algorithm; GIS analysis

## 0 引言

洪涝灾害是对人类生活影响最严重的自然灾害之一,具有突发性、季节性、区域性、可重复性等特点,每年在全球造成大量的人员伤亡和巨大的财产损失<sup>[1]</sup>。河南省“7·20”特大洪涝灾害,造成全省150个县(市、区)、1663个乡镇、1453.16万人受灾,给社会造成巨大的损失。快速准确的获取洪水的淹没范围和变化情况对灾情的快速评估和应急处理等方面具有重要意义。目前对洪涝灾害的监测方式主要有地面观测和遥感技术两种,对于突发性的区域洪涝灾害,有限的地面监测站仅能适用于当地情况,而遥感技术具有大面积同步观测、时效性、经济性等特点,可以弥补地面观测方法的不足,因此利用遥感技术对洪水淹没范围的提取在洪涝灾害的应急监测中得到越来越多的应用<sup>[2]</sup>。

洪涝监测的关键在于水体范围的识别和水体信息的提取<sup>[3]</sup>。基于遥感影像提取水体的数据源主要包括光学影像、雷达影像以及两者融合后的数据。数据源提取常用的方法主要包括阈值法、滤波法、深度学习法、结合地形辅助信息法等<sup>[4]</sup>。其中基于光学影像普遍使用的阈值法是根据水体的光谱特征曲线,选

择合适的波段构建模型提取水体<sup>[5]</sup>,如光学归一化差异水体指数(NDWI, normalized difference water index)<sup>[6]</sup>是利用绿光波段和近红外波段的比值以突出水体信息。后续的学者又针对不同的研究背景提出了改进的归一化差异水体指数(MNDWI, modified NDWI)<sup>[7]</sup>、多波段水体指数(MBWI, multi-band water index)<sup>[8]</sup>、多光谱水体指数(MuWI, Multi-spectral water index)<sup>[9]</sup>、背景差异水体指数(BDWI, background difference water index)<sup>[10]</sup>等。但是洪涝灾害发生时往往伴随着云、雨等天气,光学传感器获得无云高质量影像困难,因此研究者们通常通过利用洪灾前光学影像的光谱特征、空间关系、结构信息等构建影像分类的方法,如支持向量机法(SVM)<sup>[11]</sup>、基于专家知识的决策树法<sup>[12]</sup>、面向对象的方法<sup>[13]</sup>等,获取洪水淹没前地表覆盖信息,用作评估灾情和估算损失的背景信息。

合成孔径雷达(SAR)具有全天时、全天候、穿透性强等优点,不受云层、降雨等天气的影响,在洪涝监测中发挥着越来越重要的作用<sup>[14-16]</sup>。SHU等<sup>[17]</sup>基于SAR数据绘制洪水变化监测图,显示了雷达传感器在洪水监测领域的巨大潜力。基于SAR影像的水体信息提取方法中阈值法简单易行,应用广泛。阈

值的确定主要有经验法、双峰法、最大类间方差法等。陈玲艳等<sup>[18]</sup>依据水体服从 Gamma 分布以及背景服从高斯分布的假设,将两种分布的概率密度曲线的分离点作为最佳阈值对 Radarsat-2 进行分割,实现高精度的水体自动提取。谷鑫志等<sup>[19]</sup>将阈值分割法与马尔可夫随机场(MRF)相结合,实现了对 GF-3 影像水体的精细提取,结果优于基于光学影像的水体指数法。李景刚等<sup>[20]</sup>利用改进的最大类间方差阈值法对洞庭湖区域枯水期和洪水期影像进行研究,其确定的阈值提取水体的精度比双峰法和最大类间方差法提取的精度更高。

因此,本文以 Sentinel-1 雷达遥感数据和 Sentinel-2 光学遥感数据为数据源,综合运用随机森林算法和 SDWI VH/VV 极化波段分析对光学和雷达数据进行处理,实现主被动遥感信息优势互补,快速提取洪水信息和不同地表类型的受灾状况。并选取灾前、灾中、灾后多期数据,对“7·20”重灾区河南省鹤壁市浚县进行应用分析,以期洪涝灾害监测的研究提供技术借鉴。

## 1 研究区及数据

### 1.1 研究区介绍

浚县隶属鹤壁市,位于河南省北部,东经

114°11', 北纬 35°54'<sup>[21]</sup>, 是“7·20”河南特大暴雨受灾最为严重的区域之一。浚县北与安阳接壤,东与濮阳毗邻,南与新乡交界,西与鹤壁相连,处于四个市辐射带的中心位置(见图 1)。境内河流总长 435.5 km,淇河、卫河、共产主义渠贯穿全境。浚县地处太行山与华北平原过渡地带,气候适宜,土地肥沃,自古就有“黎阳收,顾九州”之称,是全国粮食生产先进县。

自 2021 年 7 月中旬以来,研究区作为主降雨区和主泄洪区,遭遇了历史极值的强降雨和行洪过程,为保证上下游城市安全度过汛期,境内 5 个蓄滞区全部启用,全县 46.7% 的地区被洪水淹没,42.6 万人受灾,占总人口的 58.7%,其中转移安置 223 个村、31.4 万人。全县房屋倒塌 1.6 万间、严重受损 7.6 万间,农作物受灾占全县耕地面积的 75%、畜牧养殖场、农田水利等基础设施损失严重。

### 1.2 数据源

研究分别以洪灾发生前后的欧空局哨兵一号(Sentinel-1)雷达、哨兵二号(Sentinel-2)光学遥感影像为数据源(表 1)。Sentinel-1A 卫星于 2014 年 4 月发射升空,搭载一台 C 波段合成孔径雷达(SAR),包括 SM、IW、EW、WV 四种成像模式,可提供全天时、全天候的雷达影像。其中, IW 模式的影像为

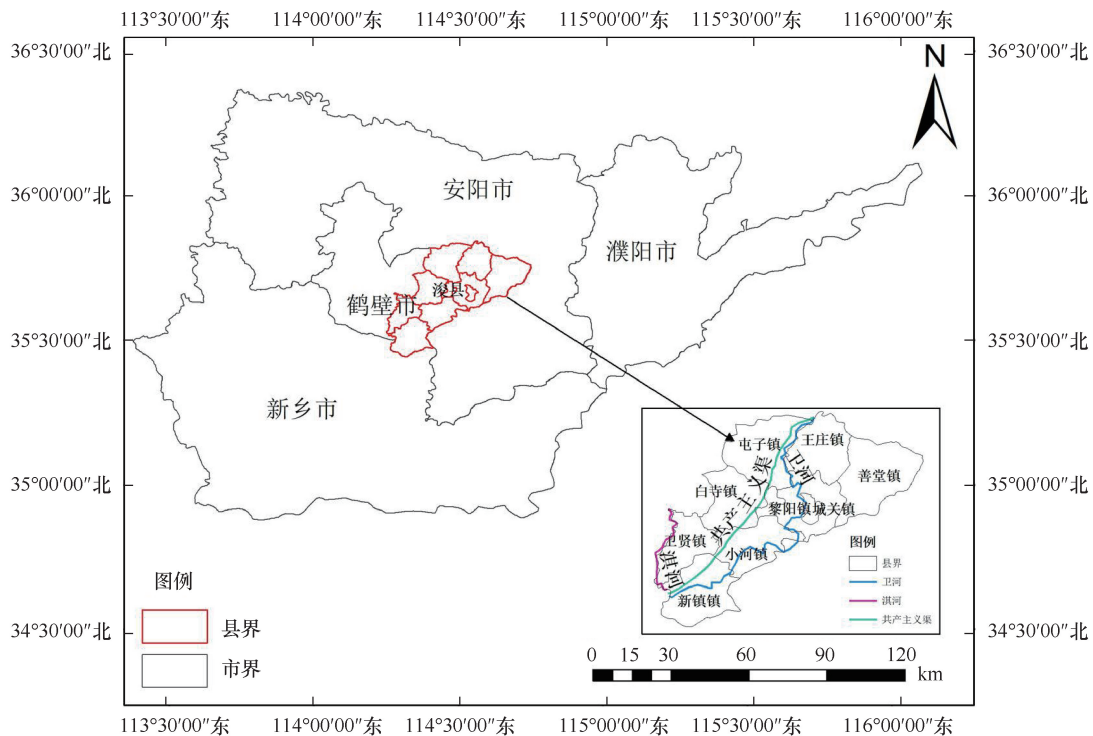


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of study area

孙书腾, 等//基于多时相主被动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

表 1 研究采用的 Sentinel 遥感影像

Table 1 Information of collected Sentinel images

卫星名称	成像时间	分辨率
Sentinel-1A	2021 年 7 月 15 日(灾前)	5 m * 20 m
	2021 年 7 月 27 日(灾中)	
	2021 年 8 月 8 日(灾后)	
Sentinel-2A	2021 年 6 月 6 日(灾前)	10 m
	2021 年 7 月 26 日(灾中)	
Sentinel-2B	2021 年 7 月 31 日(灾后)	

Sentinel-1 的主要拍摄数据<sup>[22]</sup>。本文采用的 Sentinel-1A 数据为斜距单视复数产品(SLC), 成像方式是干涉宽幅模式(IW), 极化方式为 VH、VV, 方位向分辨率为 20 m, 距离向分辨率为 5 m。

Sentinel-2A 卫星于 2015 年 6 月发射成功并投入使用, Sentinel-2B 卫星于 2017 年 3 月发射升空。Sentinel-2A/B 搭载的传感器为多光谱成像仪(MSI), 涵盖了从可见光到短波红外共 13 个波段, 按照空间分辨率可将波段分为 10 m、20 m 和 60 m, 不同分辨率的波段可应用于陆表监测、植被监测、地质监测、海洋监测等不同的应用领域<sup>[23]</sup>。本文采用 Sentinel-2A/B L1C 大气表观反射率产品, 该产品经过正射校正和亚像元级几何精校正, 研究选取 B2、B3、B4、B8 波段的空间分辨率均为 10 m。

除了哨兵遥感数据外, 本研究还收集了包括 2020 年 Globeland30 全球土地类型覆盖产品数据、行政区划的矢量边界和研究区 DEM(见图 2)等基础地理数据。

## 2 研究方法

研究技术流程主要分三个部分: 首先获取研究区灾前的土地覆盖类型, 然后提取灾后洪水的淹没范围, 最后结合 GIS 空间分析技术对浚县各乡镇受灾空间分布和灾情状况进行定量评估(见图 3)。

### 2.1 数据预处理

本研究使用的 Sentinel-1A 数据为一级产品数据, SAR 的单视复数数据(SLC)产品包含很多斑点噪声, 为了抑制这些噪声及后续对光学数据进行协同处理, 需要分别对 Sentinel-1A 进行多视、滤波、地理编码等预处理, 获得后向散射系数。首先对 SLC 影像进行多视处理抑制影像的斑点噪声并将其转化为雷达强度数据; 然后以灾前的影像为基准, 对灾前、灾后的影像进行配准, 使得不同日期的影像像元精确对应地表同一位置。同时为了抑制噪声对影像解译的影响, 对洪灾前后的多时相数据进行滤波; 最后借助研究区 DEM 数据, 对滤波后的雷达数据进行地理编码, 将

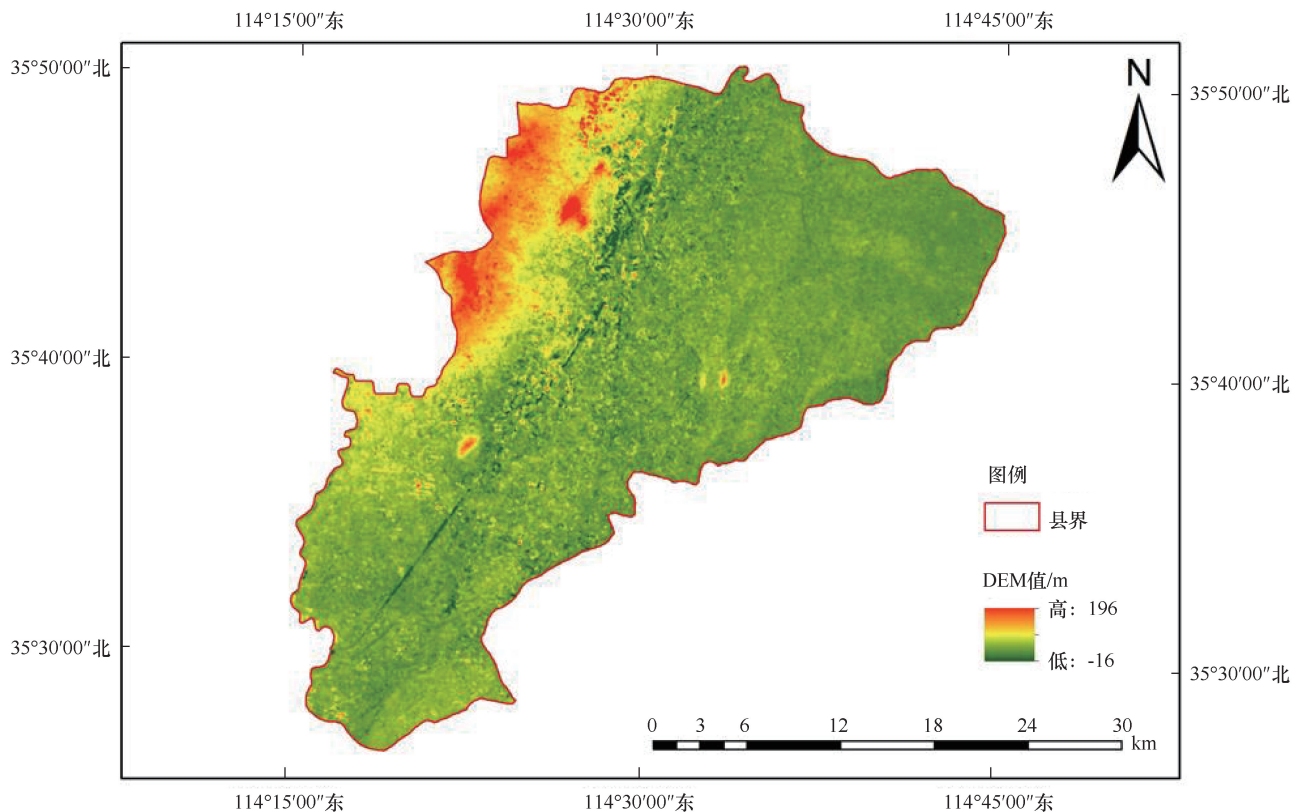


图 2 研究区 DEM

Fig. 2 DEM of study area

孙书腾, 等//基于多时相主动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

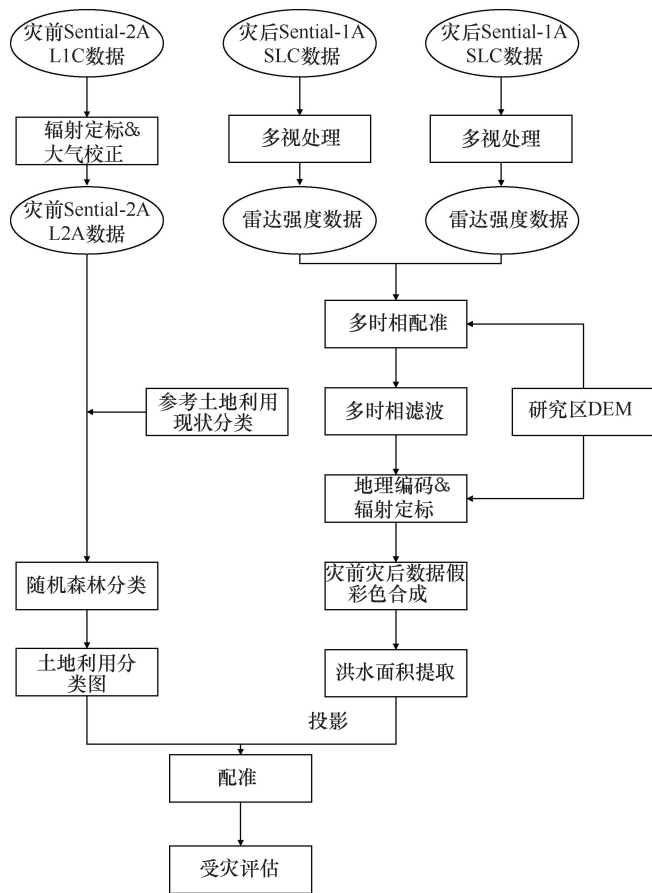


图3 灾害应急监测技术流程

Fig. 3 Flow chart

影像从雷达坐标系统转换到制图坐标系统。

研究选用 Sen2Cor 方法<sup>[24]</sup>对 2021 年 6 月 6 日、7 月 26 日、7 月 31 日的 Sentinel-2 L1C 数据进行大气校正, 预处理后生成 L2A 级别的产品, 将 L2A 级别产品的 10 米分辨率波段 B2、B3、B4、B8 进行彩色合成, 并结合研究区行政区划进行裁剪, 2021 年 6 月 6 日研究区的彩色影像如图 4 所示。

## 2.2 基于随机森林的地表覆盖信息提取

对预处理后的研究区光学影像, 选用随机森林算法进行地表覆盖信息提取。随机森林分类器是使用一组树进行预测的集成分类器, 相比于单棵决策树更加稳健, 泛化性能更加良好<sup>[25]</sup>。首先从给定的训练集中多次随机挑选一部分样本作为 bootstrap 数据集, 对每个数据集构建对应的决策树, 每棵决策树根据一组与输入样本有关的随机向量进行分割产生, 众多决策树构成一个随机森林。最后每棵决策树对训练集进行分类, 用投票的方法对所有决策树的分类结果进行综合, 得票最多的类别将是最终结果<sup>[26]</sup>。

本研究使用 ENVI 软件平台扩展工具 ENMAP-BOX 进行随机森林分类, 将树的数量设置为 500<sup>[25,27]</sup>。根据《土地利用现状分类 & 土地分类国家标准》及参考 2020 年 Globeland30 全球土地类型覆盖产品数据的分类结果, 结合研究区实际情况, 将研究区分为水体、耕地、道路、建设用地、其他用地等

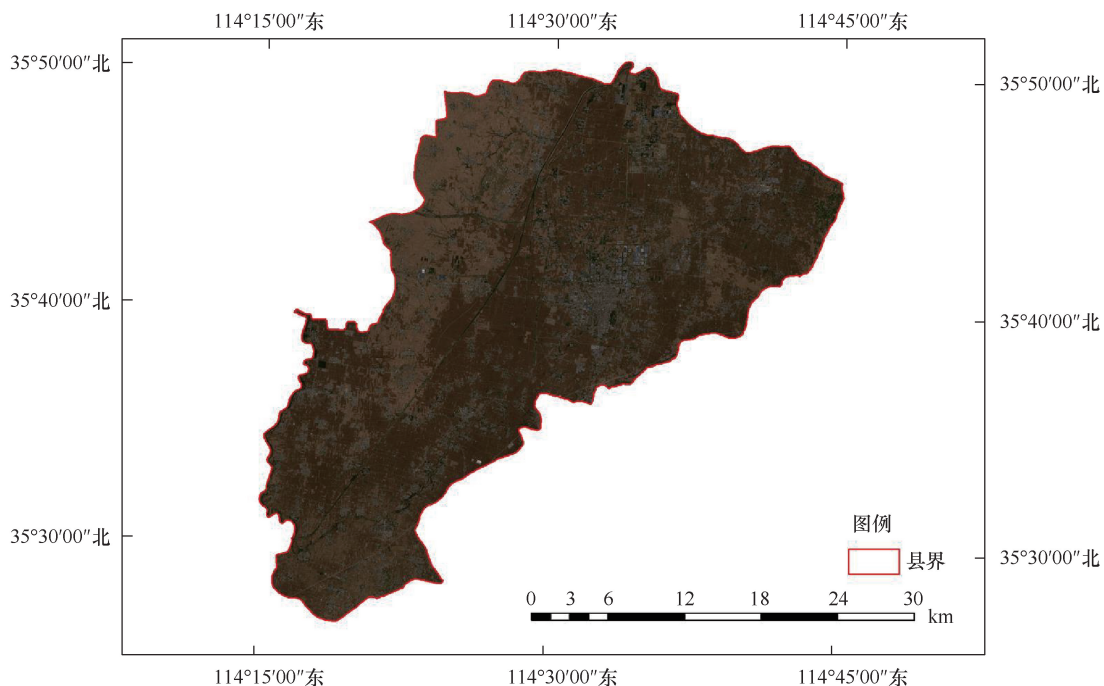


图4 研究区 Sentinel-2A 影像(波段组合为 R=B4, G=B3, B=B2)

Fig. 4 Sentinel-2A images in the study area (band combination R=B4, G=B3, B=B2)

孙书腾, 等//基于多时相主被动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

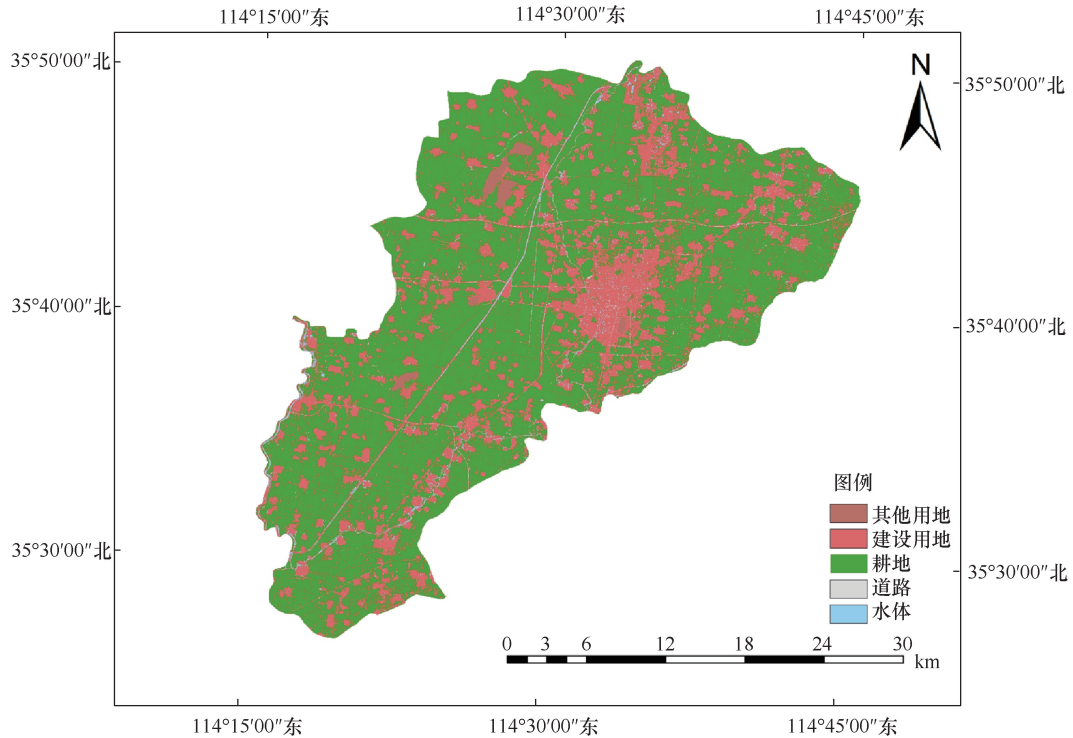


图5 2021年6月6日分类

Fig. 5 Classification on June 6, 2021

5种土地类型。在灾前 Sentinel-2A 波段合成后的影像上目视解译选择样本, 各个类别样本之间的分离度大于 1.8, 运用随机森林分类器进行分类, 分类后的结果如图 5 所示。

参照谷歌地球高分辨率影像, 通过目视解译的方法在研究区内随机选择一定数量的样本作为精度评价的验证样本, 对灾前的土地利用分类图进行评价, 得到总体分类精度为 96.3%, Kappa 系数为 0.93, 分类结果与研究区实际情况基本吻合, 可以用于后续的灾

情分析。

### 2.3 基于 SDWI 的水灾范围提取

图 6 为研究区经过预处理后的 2021 年 7 月 27 日和 8 月 8 日的 SAR VH 极化影像。从图像上可以看出影像呈现不同深浅的色调, 原因在于水体与非水体的后向散射系数不同。对于越不平整的情况, 后向散射的能力就越强, 影像呈灰色或者灰白色, 对于平整的水面, 后向散射能力弱, 在影像上显示暗色或者黑色<sup>[28]</sup>。

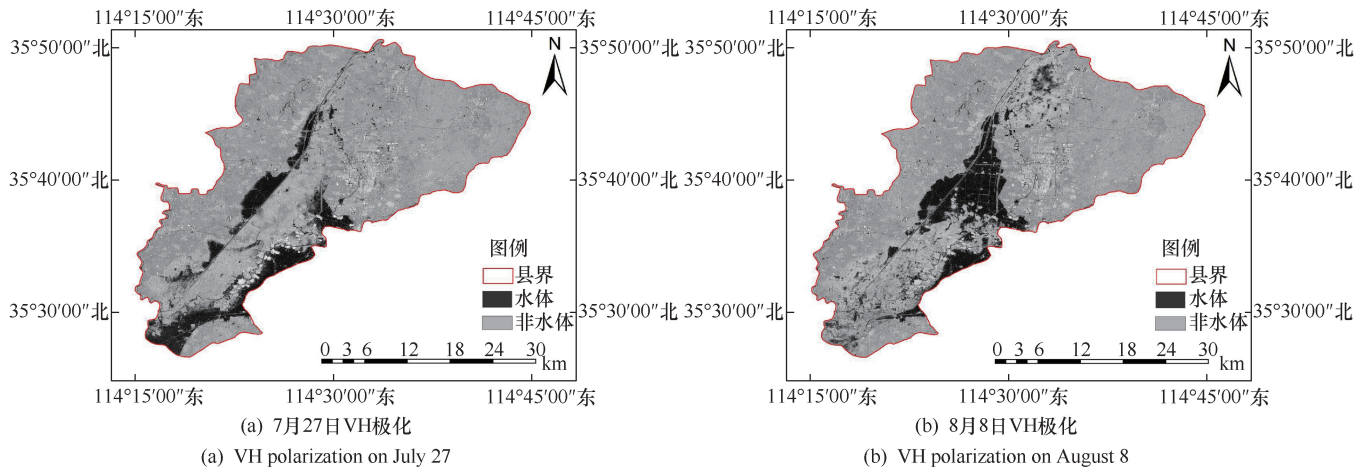


图6 预处理后的 Sentinel-1A 影像

Fig. 6 Preprocessed Sentinel-1A data

孙书腾, 等//基于多时相主动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

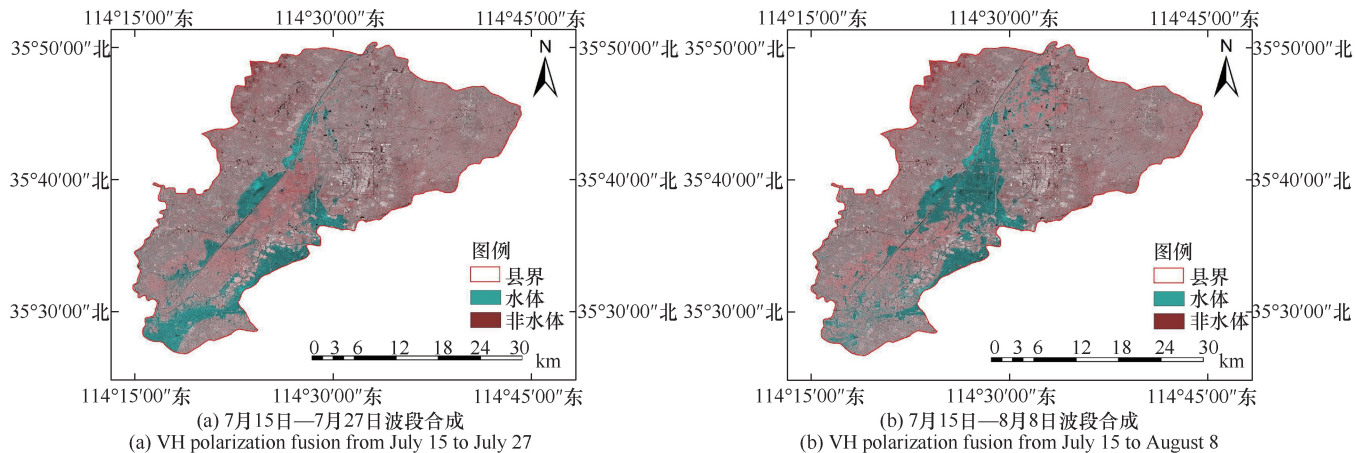


图7 极化波段合成

Fig. 7 VH polarization fusion

在洪涝灾害应急的情况下,对于较大范围内的水体信息提取,应考虑到原理简单、应用方便的需求,综合考虑 SAR 影像的水体提取方法,其中阈值分割法原理简单、分割速度快。阈值分割法是根据不同地物在 SAR 影像上的散射系数不同,设置合适的阈值,将影像中的地物划分为水体与非水体。阈值分割法的难点在于不同雷达数据的水体后向散射系数差异较大,很难确定统一的阈值。

贾诗超<sup>[29]</sup>等受到归一化植被指数(NDVI)和归一化差异水体指数(NDWI)的启发,结合水体在 SAR 影像上的特点,提出了基于 SDWI(Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index)的水体信息提取方法,其核心思想是构建 VH 极化、VV 极化影像之间的拟合关系式。

水体信息提取模型为

$$K_{SDWI} = \ln(10 \times VV \times VH) - 8 \quad (1)$$

式中,  $K_{SDWI}$  为水体提取指数,当  $K_{SDWI}$  大于 0 时为水体,小于 0 时为非水体。

为扩大水体与非水体差异,将 VH 极化、VV 极化方式的影像进行相乘并乘以 10。

本文首先对预处理后的 Sentinel-1 VH、VV 极化影像进行波段运算以增强水体特征,然后将波段运算后的影像进行阈值分割得到二值图,进而提取洪水淹没范围。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 灾后水体范围提取

在洪灾的评估过程中,洪水的淹没范围是最先要确定的。VH 极化方式的灾中、灾前、灾前合成(RGB)假彩色影像[见图 7(a)],及 VH 极化方式的灾后、灾前、灾前合成(RGB)假彩色影像[见图 7

(b)],影像中呈蓝色的为洪水范围。

基于预处理后 VH 极化和 VV 极化的影像,先按照模型  $\ln(10 \times VV \times VH)$  进行波段运算,得到呈现双峰直方图,如图 8、图 9 所示。

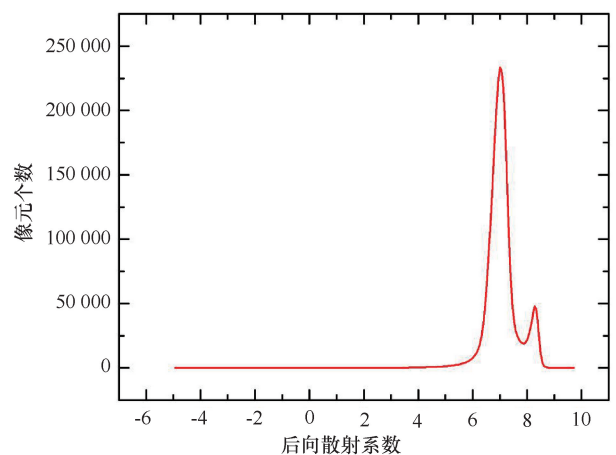


图8 7月27日水体指数直方图

Fig. 8 Histogram of water body index on July 27

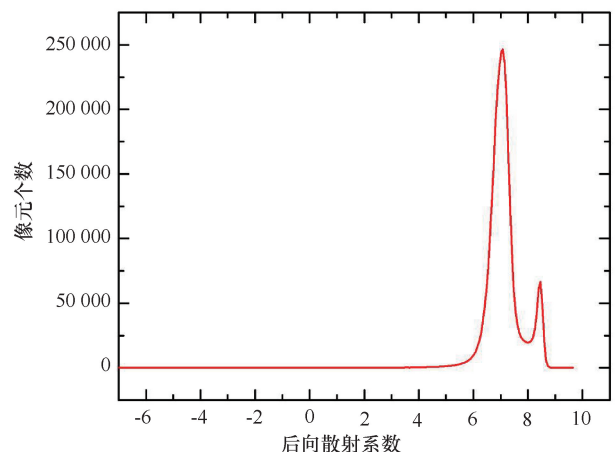


图9 8月8日水体指数直方图

Fig. 9 Histogram of water body index on August 8

孙书腾, 等//基于多时相主动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

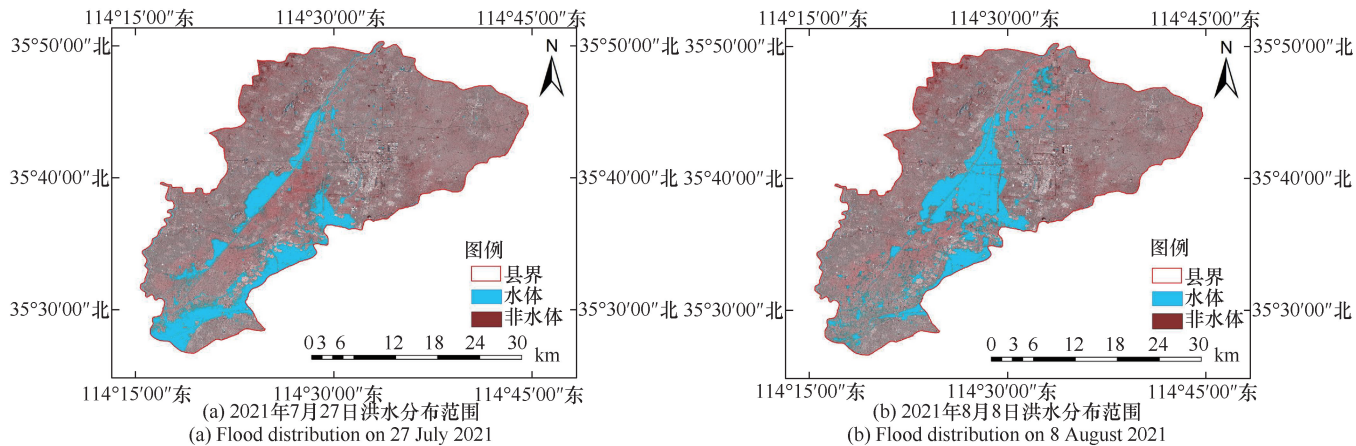


图 10 洪水分布范围

Fig. 10 Flood distribution

从水体指数直方图可以看出, 当像素值在 8 时刚好处于波谷, 故判断当像素值为 8 时为阈值。再按照  $K_{SDWI}$  值大于 0 时为水体,  $K_{SDWI}$  值小于 0 时为非水体, 在波段运算中得到水体的分布范围, 如图 10 所示。与按照 SAR VH 极化方式影像波段合成后确定的洪水范围进行对比, 可以确定阈值取 8 时可以合理的区分水体与非水体。

在 2021 年 7 月 26 日、7 月 31 日影像上随机选取了一定数量的样本, 分别作为 Sentinel-1A 7 月 27 日和 8 月 8 日影像水体提取结果精度评价的验证样本, 基于对象样本的混淆矩阵精度评价方法对水体提取结果进行精度评价。其中 7 月 27 日提取结果的总体精度为 97.9%, kappa 系数为 0.96, 8 月 8 日提取结果的总体精度为 90.8%, kappa 系数为 0.82。相比于 7 月 27 日, 8 月 8 日提取结果精度降低的原因是验证样本是在 7 月 31 日的影像上选取的, 7 月 31 日至 8 月 8 日水体存在变化的情况。

### 3.2 淹没面积统计

将灾前研究区的土地覆盖类型分类图与灾后研究区多时相数据提取的洪水范围重投影到 UTM Zone50 N/WGS84 坐标系下, 通过自动配准进行不同传感器数据之间的空间位置匹配, 对研究区内各乡镇的洪水淹没面积进行统计, 结果如表 2 所列。

监测结果显示, 2021 年 6 月 6 日水体总面积为 5.98 km<sup>2</sup>, 7 月 27 日水体总面积为 95.755 km<sup>2</sup>, 8 月 8 日水体总面积为 103.368 km<sup>2</sup>。洪涝事件发生后, 对比 6 月 6 日和 7 月 27 日的水体面积变化, 洪水面积约增加了 90 km<sup>2</sup>, 其中新镇洪水的面积增加最大, 为 34.319 km<sup>2</sup>。对比 7 月 27 日至 8 月 8 日期间的水体面积变化, 洪水总面积约增加 7.6 km<sup>2</sup>, 其中小河

表 2 汛期各乡镇水体面积统计 km<sup>2</sup>

Table 2 Statistical table of water area of each township

in flood season km<sup>2</sup>

乡镇名	6月6日水体面积	7月27日水体面积	8月8日水体面积	最大变化面积
城关镇	0.150	0.297	0.261	0.147
卫贤镇	1.112	2.799	1.434	1.687
黎阳镇	0.418	3.962	7.564	7.146
小河镇	0.548	28.753	35.941	35.393
王庄镇	0.465	1.659	5.074	4.609
白寺镇	0.550	16.210	34.678	34.128
新镇镇	1.063	35.382	10.516	34.319
屯子镇	1.410	6.353	7.616	6.206
善堂镇	0.265	0.340	0.284	0.075
总面积	5.980	95.755	103.368	

镇和白寺镇的淹没范围进一步扩大, 小河镇水体面积从 28.753 km<sup>2</sup> 增加至 35.941 km<sup>2</sup>, 洪水面积增加了 7.2 km<sup>2</sup>, 白寺镇水体面积从 16.21 km<sup>2</sup> 增加至 34.678 km<sup>2</sup>, 洪水面积增加了 18.5 km<sup>2</sup>。新镇镇的水体面积从 35.328 km<sup>2</sup> 减少至 10.516 km<sup>2</sup>, 洪水面积减少了 24.8 km<sup>2</sup>, 洪水面积大幅度消退。对比 6 月 6 日、7 月 27 日和 8 月 8 日的各乡镇的水体面积变化, 小河镇、新镇、白寺镇三个乡镇洪水淹没面积变化最大, 分别为 35.393 km<sup>2</sup>、34.319 km<sup>2</sup>、34.128 km<sup>2</sup>。城关镇、善堂镇的水体面积几乎没有变化, 没有受到洪涝灾害的严重影响。值得注意的是王庄镇, 虽然提取的水体面积范围变化只有 2.963 km<sup>2</sup>, 但参考卫星的重访周期并结合彩色合成后影像目视解译, 受洪涝灾害的影响应该更加严重。

### 3.3 淹没空间分析与灾情评估

通过对研究区内各淹没乡镇的洪水面积进行统计, 截至 7 月 27 日, 研究区内新镇洪水淹没面积最

大。从降水量来看,7月17日—22日连续几天降雨,新镇累计降水量达410 mm。从空间位置来看,浚县新镇与淇县、滑县、延津县、卫辉市“三县一市”相邻,淇河、卫河、共产主义渠三河交汇。三条河流携上游洪水加上当地的强降水,沿线堤坝多日浸泡,致使浚县新镇彭村段卫河决堤,洪水迅速淹没附近村庄。7月27日至8月8日期间,新镇洪水面积减少,在于7月26日溃口封堵合龙,洪水流到别处或渗入地下。

7月27日到8月8日,小河镇、白寺镇等乡镇洪水面积增加,从空间位置上看,共产主义渠斜贯整个研究区,这些乡镇位于共产主义渠两岸,上游泄洪影响,堤防漫溢导致附近乡镇洪水肆虐。

以洪涝发生前基于 Sentinel-2A 数据的土地利用分类图作为真实地表实况,以洪涝发生后的水体分布范围估算灾情损失。由于单个遥感卫星的重访周期较长,洪涝发生后获得的多时相数据源时间序列并不紧密,为尽量减少水体下渗或流向别处等因素的影响,因此只估算7月27日新镇、8月8日小河镇、白寺镇三个乡镇的受灾情况。具体如表3,从统计的被淹耕地面积来看,三个乡镇受灾都比较严重,被淹耕地达84 km<sup>2</sup>以上。

表3 被淹耕地面积统计 km<sup>2</sup>

Table 3 Statistical table of flooded cultivated

land area km<sup>2</sup>

乡镇名	乡镇面积	被淹耕地面积
新镇	130.057	25.738
小河镇	102.225	29.197
白寺镇	118.123	29.184

## 4 讨论

利用遥感数据绘制洪涝灾害期间的淹没范围,对抗险救灾和灾害财产损失的快速评估至关重要。在洪涝灾害极端天气情况下,光学影像提取水体的有效性受到云层和其它天气条件的限制,波段穿透性有限,被云层、水汽等遮挡地物难以在影像中显现处理。而 SAR 几乎可以在任何天气条件下、全天时的绘制洪涝淹没范围。但由于 SAR 影像成像原理复杂,数据处理、解译难度大,使其使用的领域和范围受到限制。

针对以上问题,本研究提出的主被动遥感数据协同处理的洪涝灾害应急监测方法,具有以下优势:

(1)能够充分利用光学和雷达遥感数据在地表信息提取和灾情解译方面的应用特点,实现优势互补。

本文利用雷达影像 VH、VV 多极化数据进行波段运算以增加水体特征,并将波段运算后影像生成的双峰直方图谷底作为阈值进行分割,解决了阈值选择困难问题,能够快速提取洪水范围并应用于洪涝灾情的评估工作中;

(2)针对洪涝灾害发生时范围大、时间紧、灾情变化快等特点,结合水体在 SAR 影像上的特点,选择的 SDWI(Sentinel-1 Dual-Polarized Water Index)水体信息提取方法,原理简单、应用方便、提取精度高,2021年7月26日洪水提取结果总体精度约为98%,能够满足防汛需求;

(3)针对灾前、灾后评估的需求,研究选取随机森林分类算法提取地表覆盖信息,相比支持向量机、深度学习方法,具有地表淹没范围提取精度高、效率高、速度快等特点,对灾前的土地利用分类图的定量评价结果显示,总体分类精度为96.3%,可以用于后续的灾情分析,有利于支撑灾前快速灾情评估。

影响本研究准确度的主要因素是 Sentinel-1A SAR 影像获取时间与验证样本选取的参考影像获取时间之间存在时间差。由于 SAR 影像的成像原理,阴影的后向散射系数与水体的散射系数相近,在一定程度上会影响到水体提取的精度。同时阈值法中阈值难以确定,自动化程度较低。

在实际的应用情况,需要根据实际情况灵活选择提取方法,根据洪涝灾害和水淹性质,对于淹没的水田/旱地等地物复杂带有地物轮廓区域建议选择本研究监测方法。在后续的研究中可以加强以下方面的工作:(1)进一步研究不同场景下水体散射特性,总结水体多发区最优阈值的确定方法,形成自动化处理流程;(2)结合多种高分辨率 SAR 数据,选择更多时相的数据对洪涝灾害进行动态监测,特别是结合 GEE 云平台,提高监测的时效性;(3)加强主被动遥感数据融合的研究,通过优势互补提高有效信息提取的准确性。

## 5 结论

本文以 Sentinel-1 和 Sentinel-2 影像为数据源,针对2021年河南省鹤壁市浚县洪涝灾害,对灾中、灾后水体信息进行动态监测,统计出研究区内各乡镇的水体面积变化及农作物淹没情况,结论如下:

(1)基于 SAR 数据的水体提取方法中,阈值分割法处理速度快,在平原地区分割效果良好,能够提取洪水的淹没范围,适用于洪涝灾害的应急监测。

(2)本文基于 Sentinel-1A SAR 数据提取洪水淹没

孙书腾, 等//基于多时相主被动遥感协同处理的洪涝灾害应急监测

范围, 提取结果总体精度均在 90%以上, Kappa 系数均在 0.8 以上。表明 Sentinel-1A SAR 数据可以快速、准确的监测受灾区域, 在提取洪水信息方面具有巨大的潜力。

(3) 统计数据显示, 自洪涝灾害发生后, 研究区内水体面积呈现为“陡升”的变化趋势。截至 2021 年 7 月 27 日, 水体面积约增加了 90 km<sup>2</sup>, 增加比例约为灾前水体面积的 10 倍。

(4) 新镇位于浚县县城西南处, 淇河、共产主义渠、卫河三条河流在新镇境内汇流, 卫河上游行洪加上连日强降雨, 堤防漫溢最终转化为决口, 附近村庄受灾严重, 被淹耕地面积达 25.738 km<sup>2</sup>。共产主义渠从浚县东北方向斜贯西南方向, 小河镇、白寺镇、王庄镇等乡镇位于共产主义渠两侧, 上游泄洪、堤防漫溢导致洪水肆虐, 其中小河镇、白寺镇被淹耕地面积分别为 29.197 km<sup>2</sup>、29.184 km<sup>2</sup>。

## 参考文献 (References):

- [1] 陈志国. 高分辨率 SAR 卫星影像洪水区域提取应用研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.  
CHEN Zhiguo. Study on flood area extraction from high resolution SAR satellite images[D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [2] 王敬明, 王世新, 王福涛, 等. 基于 Sentinel-1 SAR 数据洪水淹没提取方法研究[J]. 灾害学, 2021, 36(4): 214-220.  
WANG Jingming, WANG Shixin, WANG Futao, et al. Flood inundation region extraction method based on Sentinel-1 SAR data[J]. Journal of Catastrophology, 2021, 36(4): 214-220.
- [3] 郑伟, 刘诚. FY-3 卫星洪涝灾害监测应用[J]. 上海航天, 2017, 34(4): 73-78.  
ZHENG Wei, LIU Cheng. Application of flood disaster monitoring based on FY-3 satellite data[J]. Aerospace Shanghai, 2017, 34(4): 73-78.
- [4] 李丹, 吴保生, 陈博伟, 等. 基于卫星遥感的水体信息提取研究进展与展望[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2020, 60(2): 147-161.  
LI Dan, WU Baosheng, CHEN BOWEI, et al. Review of water body information extraction based on satellite remote sensing[J]. Journal of Tsinghua University (Natural Science), 2020, 60(2): 147-161.
- [5] 王航, 秦奋. 遥感影像水体提取研究综述[J]. 测绘科学, 2018, 43(5): 23-32.  
WANG Hang, QIN Fen. Summary of the research on water body extraction and application from remote sensing image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, 43(5): 23-32.
- [6] MCFEETERS K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [7] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.  
XU Hanqiu. A Study on information extraction of water body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589-595.
- [8] WANG X B, XIE S P, ZHANG X L, et al. A robust multi-band water index ( MBWI) for automated extraction of surface water from Landsat 8 OLI imagery [ J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2018, 68: 73-91.
- [9] WANG Z, LIU J, LI J, et al. Multi-spectral water index (MuWI) : a native 10 m multi-spectral water index for accurate water mapping on Sentinel-2[J]. Remote Sensing, 2018, 10(10) : 1643.
- [10] LI L, SU H J, DU Q, et al. A novel surface water index using local background information for long term and large-scale Landsat images [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2021, 172: 59-78.
- [11] 段秋亚, 孟令奎, 樊志伟, 等. GF-1 卫星影像水体信息提取方法的适用性研究[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(4): 79-84.  
DUAN Qiuya, MENG Lingui, FAN Zhiwei, et al. Applicability of the water information extraction method based on GF-1 image [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(4): 79-84.
- [12] 沈聪颖, 甘淑, 李新澳, 等. 基于 GF-5 高光谱特征分析的水体提取方法研究[J]. 全球定位系统, 2021, 46(4): 1-6.  
SHEN Congying, GAN Shu, LI Xinao, et al. Research on water extraction method based on GF-5 hyperspectral feature analysis [J]. GNSS World of China, 2021, 46(4): 1-6.
- [13] 崔齐, 王杰, 汪闽, 等. 矢量约束的面向对象高分遥感影像水体提取[J]. 遥感信息, 2018, 33(4): 115-121.  
CUI Qi, WANG Jie, WANG Min, et al. Water extraction from high-resolution remote sensing imagery based on vector data constraint and object-based image analysis [J]. Remote Sensing Information, 2018, 33(4): 115-121.
- [14] 李加林, 曹罗丹, 浦瑞良. 洪涝灾害遥感监测评估研究综述 [J]. 水利学报, 2014, 45(3): 253-260.  
LI Jialin, CAO Luodan, PU Ruiliang. Progresses on monitoring and assessment of flood disaster in remote sensing [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 45(3): 253-260.
- [15] ZHANG M, LI Z, TIAN B, et al. The backscattering characteristics of wetland vegetation and water-level changes detection using multi-mode SAR: A case study [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, 45: 1-13.
- [16] RAHMAN M R, THAKUR P K. Detecting, mapping and analysing of flood water propagation using synthetic aperture radar (SAR) satellite data and GIS: A case study from the Kendrapara District of Orissa State of India [J]. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2017, 21: S37-S41.
- [17] SHU L, ZHOU G, LIU D, et al. On-board wavelet based change detection implementation of SAR flood image [ C ]//IEEE. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Japan: IEEE, 2019: 1502-1505.
- [18] 陈玲艳, 刘智, 张红. 基于水体散射特性的 SAR 图像水体检测 [J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(6): 963-969.  
CHEN Lingyan, LIU Zhi, ZHANG Hong. SAR image water extrac-

- tion based on scattering characteristics[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2014, 29(6): 963-969.
- [19] 谷鑫志, 曾庆伟, 湛华, 等. 高分三号影像水体信息提取[J]. *遥感学报*, 2019, 23(3): 555-565.  
GU Xinzhi, ZENG Qingwei, SHEN Hua, et al. Study on water information extraction using domestic GF-3 images [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2019, 23(3): 555-565.
- [20] 李景刚, 黄诗峰, 李纪人. ENVISAT 卫星先进合成孔径雷达数据水体提取研究: 改进的最大类间方差阈值法[J]. *自然灾害学报*, 2010, 19(3): 139-145.  
LI Jinggang, HUANG Shifeng, LI Jiren. Research on extraction of water body from ENVISAT SAR images: a modified Otsu threshold method[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2010, 19(3): 139-145.
- [21] 高长征, 付晗, 龚健. “文化驱动”视角下传统村落共生发展路径研究: 以河南浚县 5 个传统村落为例[J]. *地域研究与开发*, 2021, 40(2): 169-173.  
GAO Changzheng, FU Han, GONG Jian. Research on the symbiotic development path of traditional villages from the perspective of “Culture Driven”: Taking five traditional villages in Xunxian County of Henan Province as an example [J]. *Areal Research And Development*, 2021, 40(2): 169-173.
- [22] 孙亚勇, 黄诗峰, 李纪人, 等. Sentinel-1A SAR 数据在缅甸伊洛瓦底江下游区洪水监测中的应用[J]. *遥感技术与应用*, 2017, 32(2): 282-288.  
SUN Yayong, HUANG Shifeng, LI Jiren, et al. The downstream flood monitoring application of Myanmar Irrawaddy River based on Sentinel-1A SAR [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2017, 32(2): 282-288.
- [23] 田颖, 陈卓奇, 惠凤鸣, 等. 欧空局哨兵卫星 Sentinel-2A/B 数据特征及应用前景分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(1): 57-65.  
TIAN Ying, CHEN Zhuoqi, HUI Fengming, et al. ESA Sentinel-2A/B satellite characteristic and applications [J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2019, 55(1): 57-65.
- [24] 苏伟, 张明政, 蒋坤萍, 等. Sentinel-2 卫星影像的大气校正方法[J]. *光学学报*, 2018, 38(1): 322-331.  
SU Wei, ZHANG Mingzheng, JIANG Kunping, et al. Atmospheric correction method for Sentinel-2 Satellite imagery [J]. *Acta Optica Sinica*, 2018, 38(1): 322-331.
- [25] BELGIUM M, DRĂGUT L. Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions [J]. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 2016, 114: 24-31.
- [26] 刘毅, 杜培军, 郑辉, 等. 基于随机森林的国产小卫星遥感影像分类研究[J]. *测绘科学*, 2012, 37(4): 194-196.  
LIU Yi, DU Peijun, ZHENG Hui, et al. Classification of China small satellite remote sensing image based on random forests [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2012, 37(4): 194-196.
- [27] 郭玉宝, 池天河, 彭玲, 等. 利用随机森林的高分一号遥感数据进行城市用地分类[J]. *测绘通报*, 2016(5): 73-76.  
GUO Yubao, CHI Tianhe, PENG Ling, et al. Classification of GF-1 remote sensing image based on random forests for urban land-use [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2012, 37(4): 194-196.
- [28] MASON D C, GIUSTARINI L, GARCIA-PINTADO J, et al. Detection of flooded urban areas in high resolution synthetic aperture radar images using double scattering [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2014, 28: 150-159.
- [29] 贾诗超, 薛东剑, 李成绕, 等. 基于 Sentinel-1 数据的水体信息提取方法研究[J]. *人民长江*, 2019, 50(2): 213-217.  
JIA Shichao, XUE Dongjian, LI Chengrao, et al. Study on new method for water area information extraction based on Sentinel-1 data [J]. *Yangtze River*, 2019, 50(2): 213-217.

(责任编辑 王海锋)