

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005245

多方数据融合的山洪灾害模型应用研究*

李涌波¹ 陈实¹ 陈敏¹ 林禹¹ 潘颖²

(1. 四川省减灾中心 成都 610041; 2. 广州观必达数据技术有限责任公司 广州 510000)

摘要: 山洪灾害预测是应急管理工作中的一个重要部分,如何实时、准确得到灾害数据并进行关联分析,是灾害调查中的一个难点。研究了洪涝与地质灾害多方数据的感知与融合,通过结合多方数据融合组件、天-空-地的立体网格体系、数据分析引擎与算法模型、数据同化技术、核心专业模型以及人工智能分析等关键技术,搭建出轻量版山洪、泥石流、山体滑坡大数据平台。平台囊括了山洪水情预报模型和小型可视化灾情信息系统,可灵活呈现监测分析结果;耦合二维、三维 GIS,实现微观-局部-整体、过去-现在-未来的多方位、高频自动监测-遥感影像解译-流域水文模拟、多视角、多维度展示。此平台内置的数据分析引擎与算法模型通过数值计算形成虚拟监测数据,采用熵值法、热点技术、机器算法等对水位、流量、流速等数据构建统计预测模型,并实现多源数据验证,有助于大幅度减少监测点与运维成本。平台还可将灾害数据关联分析平台与人工指挥决策系统打通,为预测、决策、指挥提供依据。

关键词: 灾害调查;山洪灾害模型;数据融合;关联分析

中图分类号: TP391.5 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.40

Research on the application of flood model based on data fusion

Li Yongbo¹ Chen Shi¹ Chen Min¹ Lin Yu¹ Pan Ying²

(1. Disaster Reduction Center of Sichuan Province, Chengdu 610041, China;

2. Guangzhou Groud Big Data Limited, Guangzhou 510000, China)

Abstract: Flooding disaster prediction is an important part of emergency management; How to get disaster data in real time and accurately and carry out correlation analysis is a difficult point in disaster investigation. This paper is committed to the research on the perception and fusion of multi-source data of flood and geological disasters. Through the fusion of multi-source data, data analysis engine and algorithm model, data assimilation technology, core professional model and artificial intelligence analysis and other key technologies, a lightweight big data platform is built. The platform includes a flood prediction model and a small visual disaster information system, which can flexibly present the monitoring and analysis results. The data analysis system and algorithm model of this platform form virtual monitoring data through numerical calculation. Entropy method, hot spot technology and machine learning method are used to build up statistical models for water level, flow rate and other data. And the multi-source data could be the parallel verification method, which is helpful to greatly reduce the monitoring points and operation and maintenance costs. This platform can also connect the disaster data association analysis platform with the manual command and decision-making system, and provide the basis for prediction, decision-making and command.

Keywords: disaster investigation; flood prediction model; data fusion; correlation analysis

0 引言

洪涝灾害调查是防灾减灾的一个重要内容,内容包括支干流河岸线、水域流量、支流情况调查、泥石流灾害调查以及气象情况的监测与分析。然而现实中洪涝灾害调查却存在着各项难点,对应急管理工作造成了很大的障碍^[1]。大面积

监测需投入大量人力物力,监测能力是一个瓶颈:大型河流水文监测站部署不足,中小型河流水文监测站部署也不足^[2]。监测点自动化程度不高,仅有部分河流、湖泊部署了新型传感器、智能视频摄像头以及定位装置;监测仍以单点信息采集为主,存在测不到、测不准、测不全等问题,缺乏点、线、面协同感知;应急监测装备能力低、应急监测手段不足^[3]。

收稿日期:2020-10-21

*基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0806700)资助

因此,实现实时、准确得到灾害数据并进行关联分析,将灾害数据关联分析平台与人工指挥决策系统打通,对山洪灾害调查与应急管理工作具有重要意义^[4]。本文致力于研究洪涝与地质灾害多方数据的感知与融合,通过结合多方数据融合组件、天-空-地的立体网格体系、数据分析引擎与算法模型、数据同化技术、核心专业模型以及人工智能分析等关键技术,搭建出轻量版山洪、泥石流、山体滑坡大数据平台^[5-6]。具体目标如下:

1)研究利用“无人应急救援装备关键技术研究与应用示范”课题组单位的HW-350小型长航时无人机,获取重点监测区域的高分影像及地形数据信息。

2)搭建轻量版山洪、泥石流、山体滑坡大数据平台,对接水文、气象数据,可实现关联数据分析。

3)搭建山洪水情预测模型。

4)搭建小型可视化灾情信息系统,灵活呈现监测分析结果;耦合二维、三维GIS,实现微观-局部-整体、过去-现在-未来的多方位、高频自动监测-遥感影像解译-流域水文模拟、多视角、多维度展示。

本研究搭载的大数据平台囊括了山洪水情预报模型和小型可视化灾情信息系统,可灵活呈现监测分析结果;耦合二维、三维GIS,实现微观-局部-整体、过去-现在-未来的多方位、高频自动监测-遥感影像解译-流域水文模拟、多视角、多维度展示。

平台内置的数据分析引擎与算法模型通过数值计算形成虚拟监测数据,采用熵值法、热点技术、机器算法等对水位、流量、流速等数据构建统计预测模型,并实现多源数据验证,有助于大幅度减少监测点与运维成本。此平台还可将灾害数据关联分析平台与人工指挥决策系统打通,为预测、决策、指挥提供依据。

1 应对及解决方案

1.1 洪涝与地质灾害多方数据感知与融合

洪涝与地质灾害多方数据感知与融合,目的是打造空-地-水-泥的立体网格,通过无人机、无人船、固定监测站、移动监测站、巡检人员采集的各类数据,通过数据平台进行分析,结合洪涝、泥石流、山体滑坡等专业模型进行关联分析,将监测到的点数据扩展为立体网格数据^[7-8]。

1.2 计算系统架构-融合感知

如表1所示为计算系统融合感知架构,此架构包含了多个模块,如多数据采集归一化模块、地理信息基底网格、综合感知模块等。每个模块都具备不同功能,如综合感知模块将已归类好的洪涝和地质灾害信息数据,建立对应的描述模型,可提取核心数据特征并实施推演;地理信息基底网格模块利用GIS技术构建不同模型的地理信息基底,把复杂的地形用GIS平台展现出来,方便读取和分析。各个模块互补组合成完善的融合感知系统,为进一步数据分析与可视化展示打下基础。

表1 融合感知计算系统架构

序号	模块名称	模块功能
1	多数据源	将多个来源的数据,划归到以实际地理信息为基础的可串联性数据结构中;为时序化模块
2	采集归一化模块	型数据和非时序型数据配置不同方案。
3	地理信息基底网格	利用GIS技术构建不同模型的地理信息基底,把复杂的地形用GIS平台展现出来,方便读取和分析。
4	综合感知模块	将已归类好的洪涝和地质灾害信息数据,建立对应的描述模型,可提取核心数据特征并实施推演。
5	张量计算框架	基于灾害模型网络深度及层宽特点,根据不同神经网络模型算法提供优化计算,提升模型迭代效率。
6	模型表达	实现三维信息表达,生成洪涝、泥石流、山体滑坡综合展示模版,构建山洪水情预警模型。
	人工智能模块	对水利模型的整个建模过程和实时数据预测过程均进行智能化的数据分析、数据评估、水利因素算法预测、结果可靠性分析等来降低决策者的决策风险

2 实验方案设计

2.1 多方数据融合组件

融合各种时空大数据,利用各种计算机技术和地理信息知识有机地形成了一套天-空-地的立体网格体系,实现了对卫星、遥感、无人机、无人船、地面、水面、水下机器人、管道等感知系统的全息时空数据融合与应用。“天”是利用各种卫星提供的数据,发现问题存在的可能性。“空”主要是利用无人机遥感提供最及时、可靠、专业的高分辨率影像。“地”是在地面采用多种监测手段,实现精细化的综合监测^[9]。

1)大数据平台:如图1所示,大数据平台采取轻量化的数据管理模式,可实现快速、简便构建数据平台^[10]。从数据整合、存储、服务、应用、安全、管理需求出发,整合灾害数据,对接省水文、气象数据,打造成一个结构开放和安全的山洪灾害气象预警平台。

2)可视化智能系统:一款模块化、可自由配置的可视化系统,灵活呈现汇报展示和监测分析结果。结合区域空间分布的实际情况,集成空间数据,实现图属一体化,支撑水位、洪水漫延、水量等要素信息的多维可视化,让每一处水体都立体呈现,构建数字化立体沙盘^[11]。如图2所示。

3)洪涝GIS系统:拥有成熟的GBD X-Map系统,为洪涝灾害开发的小型二、三维可配置GIS系统。对河流和站点数据进行整编,包括流域面积统计及站点信息。在此基础上,可以在系统的GIS和表格上按流域、按区域进行查询

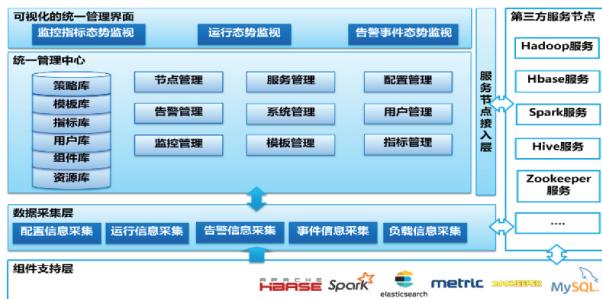


图 1 大数据平台架构

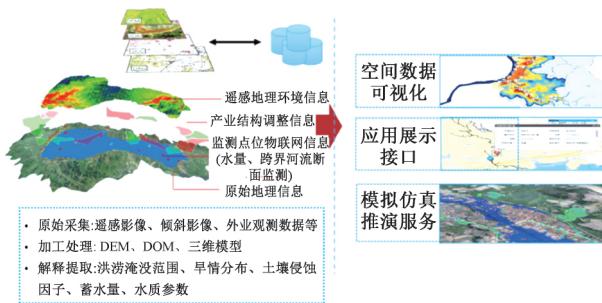


图 2 数字流域在洪涝灾害应用

和统计,同时能够快速定位到流域及定位到流域相关的站点。

如图 2 所示,在 DEM(数字高程)和高分辨率遥感影像基础上,通过精细化的三维实景建模,建立一张融合各类涉及山洪灾害要素信息(水域现状、水文信息、水利工程信息、水情、雨情、工情、灾情、舆情、水质、水生态)的统一坐标、统一标准、统一底图的山洪灾害一张图^[12]。如图 3 所示为洪水灾害 GIS 一张图。通过数据挖掘与大数据分析,建设场景式业务专题服务,直观的对业务数据成果进行情景化、层次化、综合化展示,实现多专题业务场景下的水利业务信息可视化展示,提供快速、直观、有效的业务专题信息及关联应用,辅助领导和工作人员进行业务决策,增强突发事件应急处置能力。

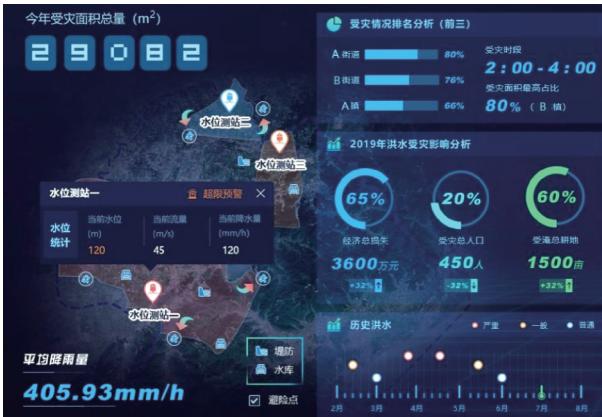


图 3 GIS 一张图

2.2 数据分析引擎与算法模型

通过数值计算形成虚拟监测数据,采用熵值法、热点技术、机器算法等对水位、流量、流速等数据构建统计预测模型,并实现多源数据验证,有助于大幅度减少监测点与运维成本。

2.3 数据同化技术

考虑到观测场、背景场的数据不确定性以及误差,对时空分布数据,可实现在数值模型的动态运行中,融合新的观测数据^[13]。

2.4 核心专业模型

1) 山洪水情预测模型

为了延长洪水预报的预见期,利用陆气耦合的模型,即用数值大气模拟的预报降雨驱动流域水文模型进行洪水预报^[2]。利用区域模式连接高分辨率的大气模式和分布式水文模型,利用其模拟降水场驱动水文模型。这种方法不仅提供相关空间细节,而且可以为水文模型提供高时间分辨率的降水资料^[3]。

依托大数据分析和 3S 技术等互联网技术,利用数值天气预报模式 WRF,预报 7 d 内逐时降雨量及降雨分布情况。由于 WRF 属于中尺度数值大气模式,为了获取更准确降雨预报结果,采用三维变分同化技术(3DVar)实时同化多源气象数据,使得背景场更趋近实际气候情况。利用天气雷达数据和 GTS 数据,形成 WRF-3DVar 模式的天气预报模型^[2]。

从降雨产流、坡面汇流、河道汇流、管网出流及淹没分析全过程,考虑根据实际情况,集成水文模型、一维水动力模型、二维水动力模型。通过 WRF 和 WRF-3DVar 预报的结果,结合耦合的水文模型同时利用自回归滑动平均模型 ARMA 进行实时校正,进行流域的自动化智能预报。预报结果展示流域内测站、关键断面水位流量过程、洪峰流量、峰现时间以及重要河段水面线及洪水频率分析,为风险分析提供数据支撑^[14]。框架预报如图 4 所示。

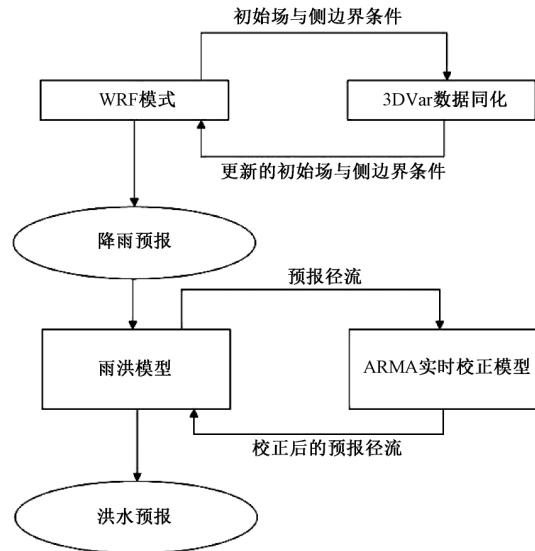


图 4 雨洪预报技术框架

2) 洪涝灾害预警预报模型

基于大数据对水文气象相关的数据进行处理分析,绘制水文气象特性趋势图,为洪涝灾害预警提供更多信息。针对洪涝灾害等自然情况,以不同数据构成水文气象数据,满足预警数据分析需求。同时利用人工智能技术对数据信息进一步验算和模型率定^[4]。

如图5所示,通过气象和水文观测资料的融合技术,基于大数据驱动的产汇流模拟理论及大数据支撑水文模型,建立了大数据驱动的智能型实时预报水文模型,提高了山洪灾害预报精度,提升山洪灾害预报水平和能力。同时设置实时监控模块,结合人工智能与云计算技术,实时掌控水文气象变化情况,增设水位监测传感器,及时采集大气变化数据,并且准确处理,实现洪涝灾害预警的分级预警^[15]。

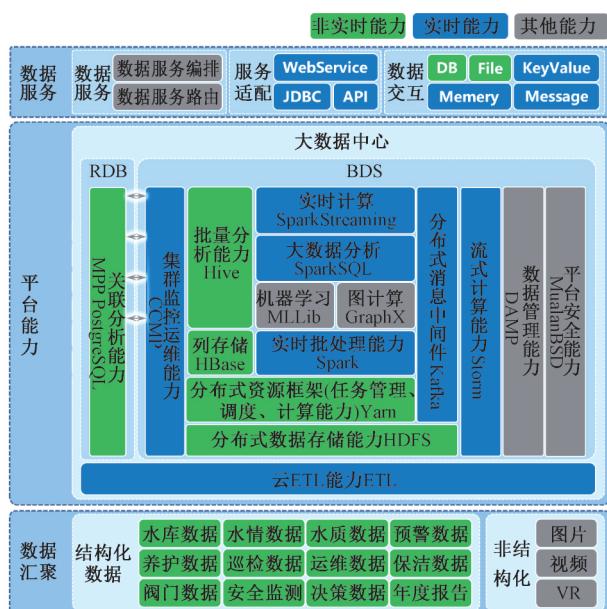


图5 大数据和云计算在洪涝预警系统架构

3) 泥石流灾害监测模型

泥石流是指在山谷或其他深壑、陡峭区域,由于大雨、暴风雪或因山体滑坡等自然灾害形成的携带大量泥沙和岩石的洪流。我国山地面积占总面积67%以上,地质环境复杂,使得我国成为泥石流灾害最多的国家之一。由于泥石流灾害的不可预测性,在频繁的泥石流灾害面前,一般修筑治理工程无法有效应对,这也导致泥石流频繁发生。泥石流的形成需要丰富的物源、有利的地形和充足的降水,地质灾害的活跃为泥石流形成提供了物源,物源的增加会改变泥石流危险范围,甚至超出防治工程的设计防治能力。因此,对泥石流域内物源变化进行监测,对物源变化后的泥石流灾害做危险性评价,预测堆积范围,预估灾害危险范围,对域内防治工程能力做出评估,结合基于雨量的预测构造泥石流灾害监测模型可以为地质灾害监测部门提供决策支持,减少生命财产损失。

如图6所示,具体实现过程:(1)基于3S技术数据获取;(2)数据预处理;(3)数据分析与挖掘;(4)泥石流数值模拟;(5)预估灾害危险范围。

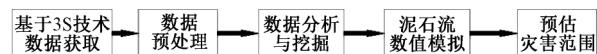


图6 地质灾害监测流程

2.5 人工智能分析

水利模型根据历史几十年一遇的水情数据建模,并结合实时数据对水环境进行模拟仿真并实现实时水情预报和水利灾害预警、防治策略等目标。近年来的发展,水利模型技术日趋成熟,那么也出现了如下核心问题:如何实时提高水利模型的精确性?如何提高模型在实际应用中的智能应用?如何提高模型的快速应变能力?如何让模型对超过预估范围数据进行快速响应?如何让模型自动调节自动处理数据等问题。在传统的水利模型基础上,应用山洪灾害统计学分析,并结合人工智能算法,为模型从数据输入到最后的预测结果输出提供应用层面的技术突破,对水利模型的整个建模过程和实时数据预测过程均进行智能化的数据分析、数据评估、水利因素算法预测、结果可靠性分析等来降低决策者的决策风险,提高水利灾害的治理能力,延长水情预报的有效预见期。

近年来人工智能与山洪灾害的技术研究已日趋完整,主要集中在以下几个方面。

1)围绕基于机器学习和深度学习技术在降雨预报、小流域下垫面遥感数据分类、洪水计算模型参数、洪水预报预警和洪水灾害风险评估等进行了研究和探索性应用。

2)围绕高分辨率数据分类问题,研发了基于深度学习的遥感影像和激光点云的分类和变化图斑检测的系列关键算法,大幅提高了遥感影像和激光点云的分类精度。

3)针对缺资料小流域参数区域化难题,在小流域基础属性数据集、下垫面参数数据集和土壤质地数据集的基础上,研发了基于机器学习的小流域参数区域化方法。

3 应用实例

3.1 前端数据采集

1) 无人机系统概况

HW-350小型长航时无人机,是“无人应急救援装备关键技术研究与应用示范”课题的主力无人机;系统由无人机平台、运输与保障方舱、指挥测控车辆3部分组成。无人机平台具备多种载荷搭载能力,配合地面指挥测控车辆,可实现广域灾害环境信息快速感知;运输与保障方舱用于无人机系统转场及驻场组装、维护;指挥测控车辆可实现无人机的指挥调度、飞行控制、飞行监控、任务规划、载荷控制等功能。

2) 飞行平台参数

无人机平台主要参数如表2所示,无人机平台如图7所示。

表 2 无人机平台主要参数

名称	参数	名称	参数
翼展	8.2 m	载重能力	10~50 kg(视载荷分布情况)
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 °C~55 °C
起飞重量	220 kg	燃料	95# 汽油



图 7 HW-350 小型长航时无人机平台

3) 运输与保障方舱参数

运输与保障方舱内含无人机承载及辅助组装托架、大部件贮存支架、供电装置、工具、备品备件等。主要参数如表 3 所示。

表 3 运输与保障方舱参数

名称	参数/m	名称	参数
舱体长度	6.1	舱体宽度	2.45 m
舱体高度	2.6	转运总重	3 500 kg(含无人机)

4) 地面指挥测控车辆参数

指挥测控车辆主要参数如表 4 所示。

表 4 地面指挥测控车辆参数

名称	参数/m	名称	参数
长度	<6.1	轴距	3.75 m
宽度	<2.2	接近角	22°
高度	<3.2 (天线收缩状态)	离去角	24°
天线伸展高度	>6	整备质量	3 700 kg

3.2 载荷介绍

主要载荷如图 8 和 9 所示, 分别为 CANON5DsR 5100 万像素数码相机以及 GL-70 机载激光雷达。航空数码相机部件用于拍摄采集航空影像数据, 利用高分辨率的数码相机获取地面的地物地貌真彩或红外数字影像信息, 经过纠正、镶嵌可形成彩色正射数字影像, 可对目标进行分类识别, 或作为纹理数据源。机载激光雷达是激光探测及测距系统的简称。机载激光雷达测量系统是一种主动航空遥感装置, 是实现地面三维坐标和影像数据同步、快速、高精确

获取, 并快速、智能化实现地物三维实时、变化、真实形态特性再现的一种国际领先的测绘高新技术。



图 8 CANON5DsR 5100 万像素



图 9 GL-70 机载激光雷达

3.3 后端数据分析

从数据、信息到目标结果的过程主要依靠数据分析平台来完成, 数据分析可将输出理论、行业经验以及计算机工具三者完美结合。目标区域的历史数据和实时监测数据是后端数据分析系统平台的主要数据来源。数据分析系统平台的任务是先对数据进行预处理, 质量分析, 特征工程等, 然后采用传统水文分析方法结合机器学习算法的方式对江河流域内的水位、流量、流速等和泥石流域内物源变化、灾害危险性系数等目标值分别构建统计预测模型进行预测。数据分析系统平台如图 10 所示。

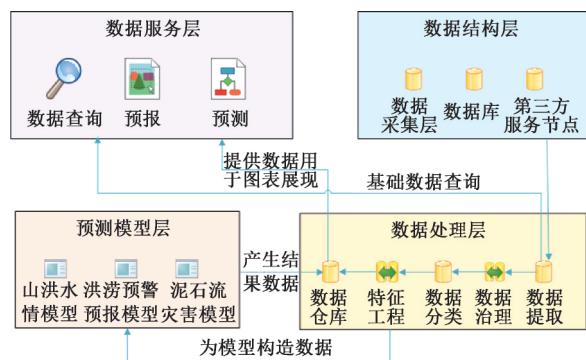


图 10 数据分析系统平台

1) 数据结构层

数据结构层主要基于大数据平台构建, 其将多源数据规划到以实际地理信息为基础的可串联性数据结构中, 以满足数据整合、存储、服务、应用、安全、管理的诸多功能需求。

2)数据处理层

数据处理层的功能是用来构造满足建模要求的数据特征以及存储模型预测输出后的数据。数据处理层主要包括数据提取、数据治理、数据分类、特征工程等部分,其中数据特征工程主要包括数据清洗、数据离散化、数据编码、数据异常值检测和数据修复等模块,数据特征工程是本层的核心,也很大程度地影响到模型最终预测效果。

3)预测模型层

预测模型构建主要以传统分析和机器学习算法相结合的方式。模型主要包括山洪水情预测模型,洪涝灾害预警预报模型以及泥石流灾害监测模型。将历史数据和实测数据相关联,在传统水文系统分析理论的基础上,选择机器学习及神经网络,回归分析,数据运行模拟等手段构建数据模型并优化模型参数,最后输出的数据结果为决策者的决策、指挥提供依据,这些数据结果与原始数据均存储在数据处理层的数据仓库中,方便前端统一灵活调用。

4)数据服务层

数据服务层主要基于可视化智能系统,以机器学习算法和数据运行模拟为理论技术支撑,结合区域空间分布的实际情况,实现多方位多角度查询、预测、预报、预警的图表展示。直观展现水位、洪水漫延、水量、物源、灾害危险性系数等要素信息的历史规律和实时变化。

4 实验与应用成果

1)洪涝、泥石流、山体滑坡监测数据融合打通,通过数据平台进行关联性分析。

2)灾害模型与数据挖掘技术结合,对相关因素进行深挖掘,找出关键因素。

3)GIS 与数据可视化技术结合起来,对洪涝与地质灾害模型进行直观表达,在二、三维 GIS 系统上可视化呈现。

4)把各类监测点数据扩展为立体网格数据进行分析,用水动力模型去验证监测数据,将有限的点数据通过计算扩展成为面数据与体数据,从而大幅度减少硬件监测设备的投入。

5 结 论

本文致力于研究洪涝与地质灾害多方数据的感知与融合,目的是打造空-地-水-泥的立体网格,通过无人机、无人船、固定监测站、移动监测站、巡检人员采集的各类数据,通过数据平台进行分析,结合洪涝、泥石流、山体滑坡等专业模型进行关联分析,将监测到的点数据扩展为立体网格数据。

本文通过结合多方数据融合组件、天-空-地的立体网格体系、数据分析引擎与算法模型、数据同化技术、核心专业模型以及人工智能分析等关键技术,搭建出轻量版山洪、泥石流、山体滑坡大数据平台。平台囊括了山洪水情预报模型和小型可视化灾情信息系统,可灵活呈现监测分析结

果;耦合二维、三维 GIS,实现微观-局部-整体、过去-现在-未来的多方位、高频自动监测-遥感影像解译-流域水文模拟、多视角、多维度展示。

平台内置的数据分析引擎与算法模型通过数值计算形成虚拟监测数据,采用熵值法、热点技术、机器算法等对水位、流量、流速等数据构建统计预测模型,并实现多源数据验证,有助于大幅度减少监测点与运维成本。此平台还可将灾害数据关联分析平台与人工指挥决策系统打通,为预测、决策、指挥提供依据。

参考文献

- [1] 冯进华,张晓秋,张皓.边缘计算在无人机应急测绘中的应用[J].电信科学,2019,35(S2):110-118.
- [2] 田济扬,刘佳,严登华,等.双校正模式下的大清河流域陆气耦合洪水预报研究[J].水文,2019,39(3):1-7,57.
- [3] 余钟波,杨传国.多尺度水文水资源预报预测预警关键技术及应用研究[J].中国环境管理,2018,10(1):103-104.
- [4] 刘若涵,李春静.煤矿水文灾害预警的大数据平台系统[J].黑龙江科技大学学报,2018,28(6):702-705.
- [5] 刘悦,杨桦.基于大数据的自然灾害事件网络舆情信息监测平台[J].灾害学,2018,33(4):13-17.
- [6] 万青林.泥石流监测预警系统的设计与实现[D].长沙:湖南大学,2017.
- [7] 任娟.基于无人机遥感与 GIS 技术的泥石流灾害监测[D].成都:成都理工大学,2015.
- [8] 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.
- [9] 程多祥.无人机移动测量数据快速获取与处理[M].北京:测绘出版社,2015.
- [10] 叶舟.水库安全管理[M].北京:水利水电出版社,2012.
- [11] 余震,何留杰,王振飞.基于点线投影模型与几何误差制约规则的图像匹配算法[J].电子测量与仪器学报,2018,32(4):87-94.
- [12] 刘杰,杨宇恒,王智宏.高光谱入射光通量工作状态参数模型研究[J].仪器仪表学报,2020,41(3):99-106.
- [13] 周琦,朱跃龙,陆佳民,等.组合式水文模型建模方法综述[J].国外电子测量技术,2020,39(2):11-18.
- [14] 王鹏宇,曾路,吴漾.基于大数据集域自适应快速算法的图像特征智能识别模型构建[J].国外电子测量技术,2019,38(4):7-11..
- [15] 王斌.基于云计算的 GIS 大数据分析技术与应用[J].国外电子测量技术,2019,38(9):136-141.

作者简介

李涌波,四川省减灾委专家委专家,主要研究方向为省级自然灾害灾情数据分析研究、灾害风险与损失评估、综合防灾减灾救灾等。

E-mail:182385168@qq.com