

人工智能算法在地质灾害预报预警中的应用探索

陈 静

新疆维吾尔自治区地质环境监测研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]人工智能算法给地质灾害预报预警赋予了新的想法和办法。利用人工智能算法对地质灾害相关数据进行分析处理,可以发现隐藏的规律,从而提高预报预警的准确性、及时性。研究了不同的人工智能算法在地质灾害预报预警中应用的模式,分析了它们的优势和不足,给地质灾害防治工作提供科学依据,促进地质灾害防治技术的发展。

[关键词]人工智能算法; 地质灾害; 预报预警; 应用探索

DOI: 10.64635/ja.2026.1236

中图分类号: P694

文献标识码: A

Exploration of the Application of Artificial Intelligence Algorithms in Geological Disaster Forecast and Warning

Chen Jing

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Environment Monitoring Institute, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: Artificial intelligence algorithms have provided new ideas and methods for geological disaster prediction and early warning. By analyzing and processing geological disaster-related data using artificial intelligence algorithms, hidden patterns can be discovered, thereby improving the accuracy and timeliness of prediction and early warning. The application modes of different artificial intelligence algorithms in geological disaster prediction and early warning were studied, and their advantages and disadvantages were analyzed. This provides scientific basis for geological disaster prevention and control work and promotes the development of geological disaster prevention and control technologies.

Keywords: Artificial intelligence algorithms; Geological disasters; Forecast and early warning; Application exploration

引言

地质灾害严重威胁人民生命财产安全和社会经济发展,准确的预报预警至关重要。传统的预报方法有其不足之处,但是人工智能算法由于具有很强的数据处理和分析能力,在地质灾害预报预警方面有着巨大的应用前景。对它的应用进行深入研究,可以提高地质灾害预报预警的水平,减少灾害损失,有重要的现实意义。

1 人工智能算法基础

1.1 算法类型介绍

地质灾害预警领域的人工智能算法可以分为传统机器学习算法、深度学习算法和智能优化算法三个主要类型,传统机器学习以回归类算法、分类判别算法、聚类分析算法为主,主要用于小样本地质监测数据的规律归纳和风险等级划分,在单点边坡短期形变研判中得到广泛应用。深度学习是卷积神经网络、循环神经网络以及其衍生变种架构,依靠多层特征提取结构来完成遥感影像、时序监测数据的深层次信息挖掘,可以从大量的栅格和连续时序资料

里自动地找到灾害发育的隐藏特征。

1.2 算法原理阐释

传统机器学习依靠样本特征和灾害标签之间的联系来建立映射关系,通过归纳已有的实测样本特征来形成判别规则,根据特征权重的分配来实现灾害发生概率和风险等级的量化划分,算法运行依靠浅层数学拟合将输入转化为输出,对于输入数据的规整度有明确的要求。深度学习用多层非线性变换逐层挖掘原始数据隐藏的特征,前端网络层提取基本的环境信息,深层网络拆解多因子耦合规律,循环类网络再加时序记忆单元保存历史监测的变化规律,适合于降雨、位移连续变化类时序数据的推演。

1.3 算法发展历程

人工智能算法总体发展经历了数理统计萌芽、浅层机器学习落地、深度学习规模化应用这三个主要阶段,早期阶段依靠数理统计模型完成简单的灾害相关性分析,算法运行高度依赖人工筛选特征因子,受算力水平限制只能处理小范围的单点监测数据。计算机硬件算力不断上升之后,

各种浅层机器学习算法逐渐从实验室走向区域性地质监测台账,实现从经验判断到半定量计算的转变^[1]。

1.4 算法特点分析

传统机器学习具有结构简单、模型训练门槛低、硬件资源消耗小等优点,在监测站点稀疏、有效样本数量少的偏远山区地质预警项目中使用更加合适,但是面对多因子非线性耦合的复杂灾害演化过程时特征挖掘能力较弱。深度学习依靠多层网络结构来达成自主特征发掘,不需要人工逐项挑选致灾因子,对遥感影像、高频时序传感数据适应性较好,但是模型训练要依靠大量的标注样本支撑,训练过程对于硬件算力和数据质量有较高的要求。

2 地质灾害预报预警现状

2.1 传统预报方法概述

传统的地质灾害预报是以地质人员现场勘查和数理统计分析为主要手段,利用区域地质填图成果、历年灾害台账、气象实测资料等来总结出区域性致灾临界条件,根据降雨阈值、岩土物理指标、地形分级来划定静态预警分区。短临预警工作依靠人工值守观测雨量站和边坡监测点位,结合巡查人员野外踏勘反馈综合判定灾害风险等级,整套研判体系高度依赖从业人员长期野外工作积累的行业经验,数理统计模型只能完成单一诱发因子的关联性分析,很难刻画降雨入渗、岩土蠕变、工程扰动多要素协同致灾的内在机理,预报精度受从业人员专业水平和现场巡查覆盖范围的影响较大,大范围连片山区难以实现精细化逐区块动态预警。

2.2 现有预警系统情况

目前我国大部分地区已经建立了层级化的地质灾害预警平台,系统基础架构以地理信息平台为基础搭建,将区域气象站点雨量数据和重点隐患点的人工上报信息接入进来,依靠预设的临界指标来完成分级预警信息的推送工作。对一些重点管控的高铁沿线、城镇建成区隐患点位进行布设自动化传感终端,将监测到的数据自动上传到本地预警平台,由系统做基本的阈值判断,空基遥感影像也定期上传进来,进行年度隐患更新。现有的系统数据来源分化特点明显,气象数据实现了全域的常态化接入,岩土深层位移、孔隙水压等精细化监测数据只在部分重点高危点位上布设,大部分偏远隐患点仍然依靠人工定期上报数据,系统的预警逻辑大多使用传统的固定阈值判定规则,缺少根据岩土状态动态调整临界值的智能运算模块^[2]。

2.3 存在的问题与挑战

现有的预警体系最突出的缺陷就是缺少多源数据融

合的能力,气象、遥感、地面传感三种数据的存储格式和时空基准不一样,数据孤岛现象比较普遍,大量的监测信息不能在同一个平台上进行统一的解析运算。传统的固定阈值预警规则不能适应岩土在季节性干湿循环中性能的变化,同一个区域雨季和旱季的致灾临界条件差别很大,静态阈值很容易造成误报或者漏报。偏远山区监测设备运维保障不到位,野外传感终端出现故障后无法及时维修,造成长时间的数据断档,现有的系统缺少依靠残缺数据进行自主补全和推演的智能功能,在极端天气下,短时间内的灾害发展速度远远超过人工的判断速度,现有的预警时效不能满足突发地质灾害避险控制的要求。

2.4 发展趋势分析

地质灾害预警整体上向着多源数据智能化融合、短临预警精细化、全域动态研判方向稳步发展,物联网全域布设和高分遥感常态化观测不断丰富基础数据源,人工智能算法逐渐取代传统的固定阈值成为模型的主要运算单元,依靠算法的自主学习能力实现临界预警指标的动态更新。空天地一体化监测数据全部导入智能预警平台,消除各个部门之间存在的数据壁垒,平台由原来的被动阈值触发预警转变为现在的主动预判灾害的发展趋势。

3 人工智能算法应用

3.1 数据采集与预处理

依靠空天地一体化监测体系把多源原始数据归集起来,地面物联网传感设备不间断地采集边坡位移、孔隙水压力、实时雨量时序数据,高分卫星和机载无人机定期传回区域地表影像数据,历史板块同步录入历年灾害记录、岩土勘察试验数据、地形地貌基础资料,多类原始数据天然存在缺失、异常跳变、时空基准不统一等状况。预处理阶段利用智能算法进行异常值识别剔除,用插值算法补齐野外设备故障造成的空缺数据,用坐标转换算法统一遥感和地面监测数据的空间基准,用特征归一化算法消除不同量纲数据带来的运算干扰,按照模型输入规范划分训练数据集和验证数据集,经过规整后的标准化数据直接作为人工智能模型的输入素材。

3.2 模型构建与训练

根据项目数据量和预警目标选择算法组合架构,小样本县域预警项目用机器学习和智能优化算法相结合的方式,海量遥感加高频时序监测的干线工程预警项目用深度学习主体架构加上寻优算法来优化内部参数。建模阶段按照致灾机理拆分输入特征,将地形参数、岩土指标、实时气象、历史灾害记录全部纳入特征集合,利用划分好的训

练数据集进行多轮迭代训练,智能优化算法在迭代过程中不断修正模型内部权重,不断缩小模型预测结果和实测灾害数据的误差区间^[3]。训练结束后用独立验证数据集进行泛化性能测试,根据测试结果不断删减冗余特征、调整网络结构,最后得到适合研究区地质环境特征的专属预警模型。

3.3 预报预警流程设计

整套智能预警流程分成数据实时接入、智能模型运算、风险分级研判、预警信息下发这四个相连的环节,多源监测数据经过自动化预处理之后实时发送给训练好的人工智能模型,模型按照固定的运算周期给出区块灾害发生的概率和风险等级,再联系区域管控区划找到相应的预警阈值来确定蓝黄橙红四级预警。系统自动匹配隐患点位所属的行政辖区和管护责任人,根据预先设定的推送渠道将分级预警信息推送给基层管护人员和监管平台,高风险等级预警触发时同步联动应急管理相关系统,预留应急处置指令对接接口,全流程依靠算法实现自动化运转,削减人工介入造成的研判迟缓,达成从数据收集到预警落实的闭环运转。

3.4 应用效果评估

从预报精准程度、短临预警提前量、错报漏报发生频次三个方面来评价落地效果,将人工智能模型和传统的阈值法在同一个研究区的常年预警情况进行比较,统计汛期强降雨天气下两种方法对于滑坡泥石流灾害的预测准确率。对年度实际发生灾害的位置同模型所确定的区域划分空间上匹配程度加以汇总,并计算出智能模型比传统手段更早能发出的预警时间,整理出现极端天气、特殊工程扰动等情况下模型性能发生波动的现象。根据长时间运行结果反向整理出模型的不足之处,有针对地加入新的特例样本并进行重新训练,不断改善模型在复杂环境下的判定准确性。

4 应用前景与展望

4.1 技术创新方向

后续人工智能算法的创新重点是轻量化模型的研发和多机理融合建模,轻量化算法经过结构剪枝、参数压缩之后可以嵌入野外监测终端的低功耗硬件中,实现边缘端就地智能预警,不用依靠云端大算力设备就可以完成单点灾害预判。机理融合建模依靠岩土力学本构方程约束人工智能模型训练逻辑,打破目前只用数据驱动的建模方式,将灾害演化物理规律融入到网络架构当中去,削弱由于数据样本不足给模型精度带来的影响。同步推进小样本学习算法的迭代升级,针对偏远山区灾害样本缺乏的状况,依

靠迁移学习来重复利用同类地质条件下的训练参数,大大削减了新建立的预警模型所必须面对的样本需求^[4]。

4.2 与其他技术融合

人工智能算法不断加深同遥感解译、物联网监测、三维地理信息、北斗定位等多技术的深度融合,依靠北斗高精度定位数据补充边坡微小蠕变特征,遥感影像经过智能算法自动解译完成大范围地表隐患动态识别,三维地理信息平台承载模型输出的预警区划成果实现可视化展示。物联网终端持续提供新的环境数据给人工智能模型,从而达到人工智能模型长久的自我更新的目的。各种技术要素以预警全流程为依托形成协同联动体系,遥感完成面域普查、地面传感做点位精细化监测、人工智能做数据研判、地理信息做成果落地展示,弥补了单一技术独立运行的固有缺陷。

4.3 实际应用拓展

人工智能预警技术以后由干线高铁、重点城镇等高风险试点区域逐步扩展到县域全域防灾体系当中,把低成本、轻量化的智能模型用在偏远隐患点的预警上。同步扩展到矿山边坡、库区岸坡、山区公路沿线等各种特殊工程地质防护环境,根据各个环境特有的致灾规律调整算法结构,个性开发出相应的预警模块。依靠基层地质灾害网格化管理制度搭建县区级智能预警平台,将算法研判结果同基层群测群防体系融合起来,打通智能预警信息落地的最后环节。

4.4 面临的困难与对策

目前技术落地的主要难题是部分偏远地区缺少连续有效的监测样本,使得模型训练的质量受到影响,野外复杂环境造成的监测数据噪声偏大也会对模型运算的精度造成影响。对硬件的不足分阶段在偏远山区增设简易监测站点,先在每年发生灾害较多的地方补足低成本的传感设备,慢慢累积起真实的观测样本,依靠智能降噪算法去除野外环境产生的无效噪声数据。从业人员算法专业能力欠缺成为推广层面的主要障碍,依靠分层技术培训让基层管护人员熟悉基本平台操作和日常数据管理,同科研院所、地方主管单位形成常态化的技术帮扶机制,依靠项目试点慢慢健全技术落地配套保障体系^[5]。

5 结束语

人工智能算法在地质灾害预报预警方面有初步的研究。伴随着技术的不断发展,它在这一领域的应用也会越来越广、越来越深。未来需要不断加强算法研究与应用,解决碰到的问题,使地质灾害预报预警工作达到新的水平,

为人民生命财产安全和社会稳定发展提供保障。

[参考文献]

- [1]邓维明.融合 AI 的地质灾害智能预警与风险评估[J].中国金属通报,2026,(3):153-155.
- [2]刘占军.人工智能算法在岩土工程勘察数据分析中的应用研究[J].张江科技评论,2025,(5):81-83.
- [3]冯磊,程龙.人工智能在矿山地质工作中的应用研究[J].

山东冶金,2024,46(3):68-70.

- [4]董力豪.基于人工智能算法的福建省区域滑坡预警模型的研究[D].华北水利水电大学,2023.
- [5]张茂省,贾俊,王毅,等.基于人工智能(AI)的地质灾害防控体系建设[J].西北地质,2019,52(2):103-116.

作者简介:陈静(1980.07—),女,汉族,新疆昌吉州博乐市人,硕士学历,高级工程师,研究方向为地质灾害。