

工程管理

智慧水利背景下堤防险情快速识别技术研究

张小敏 王维 黄旭
扬州市江都区运河管理处

【摘要】堤防险情的快速识别是现代防洪水利管理中的关键问题，尤其在面对复杂多变的自然灾害和水利设施老化的背景下。本文围绕智慧水利背景下堤防险情快速识别技术展开，重点分析了几种新兴技术的应用，包括基于时空卷积神经网络(3D-CNN)的图像分析、边缘计算与自适应阈值算法的动态监测、量子计算辅助的风险评估方法以及区块链技术在实时报告与数据验证中的创新应用。通过具体案例，揭示了这些技术如何有效提升堤防险情的识别速度与准确度，为堤防管理提供精准、实时的决策支持。

【关键词】智慧水利；堤防险情；快速识别

Research on the quick identification technology of dike danger under the background of intelligent water conservancy

Zhang Xiaomin Wang Wei Huang Xu

Yangzhou City Jiangdu District Canal Management Office

【Abstract】The rapid identification of levee danger is a key problem in modern flood control and water conservancy management, especially in the face of complex and changeable natural disasters and aging water conservancy facilities. This paper around the background of wisdom water conservancy levee danger rapid recognition technology, mainly analyzes the application of several emerging technologies, including based on space and time convolution neural network(3D-CNN) image analysis, edge calculation and adaptive threshold algorithm of dynamic monitoring, quantum computing auxiliary risk assessment method and block chain technology in real-time reporting and data validation. Through specific cases, it reveals how these technologies effectively improve the identification speed and accuracy of dike danger, and provide accurate and real-time decision support for dike management.

【Key words】intelligent water conservancy; dike danger; quick identification

引言:

随着全球气候变化及极端天气事件频发,堤防作为防洪体系中的重要环节,其安全性日益受到关注。堤防险情种类繁多,这些险情若未能在早期及时发现,往往会在汛期对堤防的结构稳定性和防洪能力产生严重威胁。传统的堤防监测方法存在着响应滞后、数据处理效率低以及无法实现大范围、实时监测等问题,尤其在险情初期,难以准确判断危险源并及时作出反应。随着科技进步,智慧水利作为一种新型的防洪水利管理模式,借助云计算、大数据、物联网、人工智能等先进技术,能对堤防险情进行更为高效和精确的监测与识别。

1、堤防险情类型与表现

1.1 渗漏与水流异常

渗漏是堤防损伤的前兆,尤其在堤体基础和坡面部分,水流渗透通过土体形成水流迹或地下水涌现,通常伴随土体的膨胀与松动。渗漏的存在不仅影响堤防的水密性,还可能导致局部土体失稳,甚至发生结构性破坏。若未能及时识别和处理,渗漏会快速发展,形成严重的堤防险情。

1.2 裂缝与失稳

裂缝的出现通常由堤防受力不均或材料老化引发,局部

裂缝可能逐渐扩展,导致堤防功能丧失^[1]。裂缝一般在堤坝的坡面、堤脚等部位形成,随着时间的推移,裂缝可加深,严重时会导致堤防局部或整体的失稳。裂缝不仅破坏堤体的整体结构,还可能引发水流通过裂缝加剧侵蚀作用,从而加剧堤防的损害。

1.3 沉降与错位

堤防沉降是由于地基土壤压实、外部荷载或水位变化等因素引起的堤防垂直位移。沉降可能是局部的或均匀的,局部沉降往往会导致堤体的倾斜或断裂,进而引发堤防结构的不稳定。沉降的出现可能是缓慢的,但一旦超出一定范围,便会严重影响堤防的承载能力和防洪功能。

2、智慧水利的主要技术框架

智慧水利是在以智慧城市为代表的智慧型社会建设中产生的相关先进理念和高新技术在水利行业的创新应用,是云计算、大数据、物联网、传感器等技术的综合应用^[2]。

智慧水利的技术框架主要涵盖了以下几个关键组成部分:数据采集与感知层、数据传输与处理层、决策支持与应用层。每一层的技术作用紧密相连,共同构成了智慧水利系统的完整工作链条。

数据采集与感知层是智慧水利的基础,主要负责收集与监测水利设施及其周边环境的实时数据。该层通过部署多种

传感器和智能设备,获得涵盖水质、水位、流量、土壤湿度等多维度的数据。这些设备包括水位传感器、流速传感器、气象站、无人机、遥感卫星等。物联网技术的应用使得各种设备能无缝连接、互联互通,确保数据的准确采集与及时传输。

数据传输与处理层是智慧水利系统中的中枢,负责将采集到的海量数据传输至数据中心,并进行初步的清洗、存储和处理^[9]。这一层的关键技术包括无线传输技术、云计算和边缘计算。无线传输技术如5G、LoRa等,确保数据能够高效且实时地传输到指定平台,而云计算则提供了强大的计算和存储能力,支持大规模数据的存储、计算与管理。

决策支持与应用层是智慧水利系统的核心,旨在通过对采集到的各类数据进行深入分析,生成决策模型,并为水资源管理提供智能化支持。人工智能和大数据分析技术在此层

中扮演着关键角色,特别是在水资源调度、洪水预警、风险评估等方面,能够提供精准的预测与决策支持。

3、智慧水利背景下堤防险情快速识别技术

在智慧水利系统的支持下,堤防险情的快速识别不仅依赖于实时数据采集和智能算法,还需具体针对“快速识别”这一特点进行技术设计。为了在最短的时间内准确发现堤防可能的危险点,现有的传统监测手段往往存在响应延迟和识别不精确的问题。因此,快速识别技术需要突破现有技术瓶颈,通过更高效的数据处理与分析手段,实现从数据采集到险情预警的时间缩短。以下为几种关键的快速识别技术。

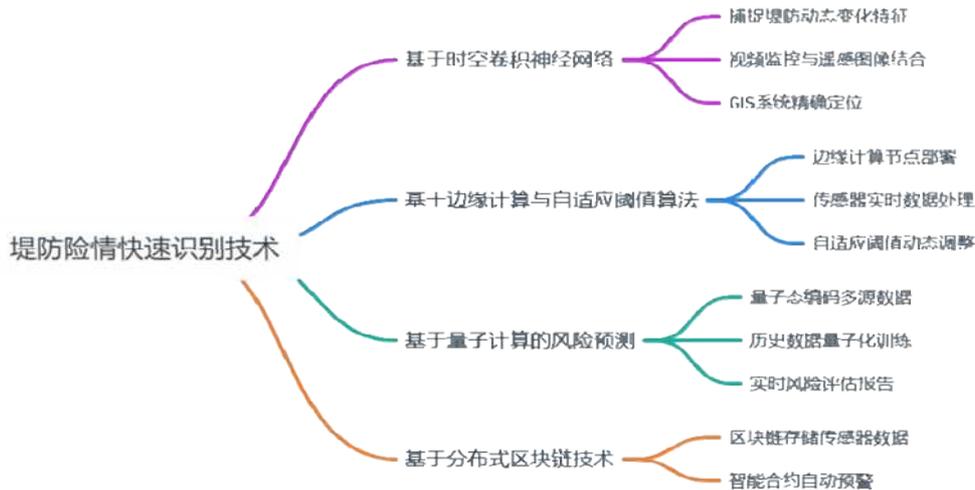


图1 堤防险情快速识别技术

3.1 基于时空卷积神经网络的堤防险情快速识别技术

在智慧水利系统中,堤防的险情识别需要高效捕捉堤防变形、裂缝及渗漏等问题。时空卷积神经网络(3D-CNN)通过对多维度数据的卷积操作,能实时并精确地从视频或时序图像中提取堤防的动态变化特征,从而实现快速的险情识别。

该技术利用视频监控和遥感图像等数据源,进行时空卷积。通过在时空域(空间+时间)上应用卷积神经网络,模型不仅能学习堤防图像的空间特征,还能捕捉堤防的时间演变规律。在每一帧图像的空间维度上,网络可以识别裂缝、沉降等险情特征;而在时间维度上,系统则关注险情的演变趋势,如裂缝的扩展或水位的急剧上升。同时,该网络可针对堤防监测数据进行训练,形成基于时空模式的深度模型。系统在实际应用中,根据实时输入的视频流,迅速提取图像中的堤防变形信息,并利用卷积操作在几毫秒内进行分析和识别。一旦发现异常,系统立即响应,通过阈值判断或决策树模型,给出险情的具体位置和性质。并且,利用实时数据流,该系统能在识别到堤防潜在的险情时,自动生成预警信息,并准确定位险情区域。通过与地理信息系统结合,快速标出问题点的精确坐标和风险等级,实时传送给运维人员,确保响应时间不超过数秒至分钟级别^[4]。

3.2 基于边缘计算与自适应阈值算法的动态监测技术

传统的堤防险情监测系统常常依赖云端处理,这不仅增加了系统的延时,还存在着带宽消耗和数据传输不及时的问题。基于边缘计算与自适应阈值算法的技术则能在现场进行

数据处理和动态识别,实时反应堤防的安全状况,尤其适用于险情的初步预警与快速定位。

此技术需要在堤防沿线安装边缘计算节点,以实现本地化的数据处理。这些边缘节点可直接接入各种传感器(如压力传感器、水位传感器、位移传感器等),对采集到的数据进行预处理和分析。然后,进行局部处理,避免数据传输过程中可能的延迟,减少云端负担。在秒级响应的基础上,系统能迅速对传感器数据做出响应。该技术的核心在于使用自适应阈值算法,根据历史监测数据和实时传感器反馈自动调整异常检测阈值。当堤防监测值(如水位、沉降等)偏离预设阈值时,系统会基于自适应算法动态调整阈值,确保能及时捕捉到任何突发的险情变化。在传感器数据波动较大时,算法自动放宽阈值;当堤防接近溃坝或其他灾难性变化时,阈值收紧,从而提高预警灵敏度。而边缘计算节点不仅执行数据分析,还能利用内置的决策模块进行快速反馈。当系统识别到堤防出现异常状态时,边缘计算节点会立即发出警报,并提供详细的风险评估与应急措施^[5]。例如,如果发现某段堤防的沉降过快,系统会在几秒钟内做出报警并自动推送位置数据,协助决策者进行迅速响应。

3.3 基于量子计算的堤防风险预测与快速评估技术

量子计算在处理大规模复杂问题时,具备传统计算无法比拟的速度和效率。在堤防险情的快速识别领域,利用量子计算可在极短的时间内解决传统计算方法无法实时处理的大规模数据问题,从而快速评估堤防的风险状态。具体而言,

利用量子态编码技术,将实时采集到的水位、土壤湿度、压力传感器数据以及气象信息等多源数据转化为量子比特,通过量子叠加和纠缠特性进行并行处理。接着,构建基于量子支持向量机或量子神经网络的预测模型,这些模型能在量子计算机上高效运行,快速分析堤防状态的变化趋势。通过对历史数据的量子化训练,模型可识别出潜在的风险模式,并在实时数据输入后立即生成风险评估结果。在实际应用中,量子计算系统与堤防监测网络紧密集成,实现数据的即时传输与处理。系统通过量子算法对实时数据进行快速分析,利用量子并行计算能力在极短时间内完成复杂的多变量分析和风险预测。一旦识别出异常风险指标,量子计算平台会自动生成详细的风险评估报告,并通过高带宽网络将结果传输至管理中心。

3.4 基于分布式区块链技术的堤防险情实时报告与验证系统

构建基于分布式区块链技术的堤防险情实时报告与验证系统,首先需要设计并部署一个适用于堤防监测的区块链网络架构。选择合适的区块链类型(如私有链或联盟链),并在堤防监测点安装区块链节点,这些节点负责接收和存储来自物联网(IoT)传感器的实时监测数据。每当传感器采集到新的数据时,数据将通过加密算法进行处理,并作为交易记录在区块链上生成新的区块,确保数据的不可篡改性和透明性。随后,开发并部署智能合约,以自动化处理堤防险情的实时报告与验证流程。智能合约根据预设的风险阈值和规则,实时监控区块链上新增的数据。当监测数据超过特定阈值时,智能合约会自动触发预警机制,生成险情报告并将其记录在区块链上。同时,智能合约还负责验证多源数据的一致性和准确性,确保报告的可靠性。通过与堤防管理系统的集成,区块链技术能够实现数据的实时共享与溯源,支持堤防险情的快速识别与响应。

4、智慧水利背景下堤防险情快速识别技术的案例应用

烂泥湖堤是洞庭湖区重点堤防之一,横跨湘水与资水尾间,涉及益阳、岳阳、长沙三市,堤防的管理任务由赫山区负责,堤段长度达28.9公里。该堤段的基础地质条件较为复杂,长期的人工加固和不当的河道采砂活动增加了堤防的渗流风险。在这个背景下,堤防的应急处置迫切需要借助现代科技手段,尤其是快速识别技术来控制险情。

在该案例中,堤防险情的快速识别与处置主要依赖以下几项技术的应用:

(1) 高分辨率传感监测系统的部署。在羊角堤段

16+520处,堤顶高程为38.70米,堤面宽16米,外坡坡比1:2.5,内坡坡比1:3.0,堤内近堤脚地面高程约30.20米。基于堤防基础存在砂卵石透水层的地质条件,堤防管理单位在险情点附近安装了多种高精度传感器,包括水位传感器、压力传感器及土壤湿度传感器。这些传感器通过无线传输技术,将实时监测数据传送至赫山区的集中控制中心。传感器数据的实时性确保了在管涌初期能够迅速反映堤防的异常状态。例如,7月1日14时压水井开始泛水带沙时,传感器数据即时显示出水位和压力的异常波动,系统通过预设的监测参数自动生成报警信号,通知技术人员前往处置。

(2) 时空卷积神经网络(3D-CNN)的实时图像分析。险情发生期间,赫山区堤防监测系统利用高分辨率摄像头和无人机对堤防段进行实时监控。具体应用中,当7月3日15时堤防处溢水量加大,摄像头捕捉到堤身裂缝扩展和局部土体沉降的图像数据,3D-CNN模型迅速识别出这些异常变化,并将相关信息反馈至控制中心。此技术支持下,堤防管理人员能够在堤身出现明显裂缝和沉降迹象时,立即启动应急响应程序,采取相应的加固和防渗措施。

(3) 边缘计算与自适应阈值算法的动态监测。为了减少数据传输延迟,提高实时响应能力,赫山区在堤防沿线部署了边缘计算节点。这些节点在现场对传感器数据进行初步处理和分析,应用自适应阈值算法实时监控水位、压力和土壤湿度的变化。比如,7月2日10时值守人员报告“管涌的溢水量有扩大迹象”,边缘计算节点通过自适应阈值算法自动调整检测阈值,识别出溢水量的异常增大,并立即发出警报,指导技术人员加大加高反滤围井的处置力度。这一过程大幅缩短了数据处理与决策的时间,提高了应急响应的效率。

结语:

通过本文的深入分析,我们可以得出关键结论,即智慧水利技术的应用为堤防险情的快速识别提供了新的解决方案,尤其是在图像分析、数据传输与处理的智能化方面取得了显著突破。未来,随着智能算法和计算技术的不断发展,智慧水利系统将进一步深化与堤防管理的融合,提升堤防安全管理的全面性与智能化水平。尤其是在大数据、人工智能与区块链技术的持续创新与优化下,堤防险情的监测、预警与响应系统将更加高效与精准,形成更加完善的防洪预警和决策支持体系。这不仅能保障堤防的安全运行,还能为应对未来可能出现的水利灾害提供有力支撑。

参考文献

- [1]田福昌,苑希民,何立新,等.寒区河道-堤防-泛区凌汛灾害风险评估防控研究进展[J].水利学报,2022,53(05):549-559+573.
- [2]王萱子,唐义员,王姣,等.鄱阳湖区堤防险情影响因素敏感性[J].南昌大学学报(工科版),2024,46(03):370-376+394.
- [3]徐兰玉,张波,杨浩东.堤防险情隐患快速巡查系统研究与设计[J].江苏水利,2023,(09):55-58+72.
- [4]黄雍,翁朝晖,覃莲超,等.堤防运行工况变化条件下管涌险情整治研究及实践——以汉江遥堤李家洲险段为例[J].人民长江,2023,54(06):226-230+241.
- [5]鄢爱清,吴庆华.堤防险情演化机制与隐患快速探测及应急抢险技术装备[J].岩土工程学报,2022,44(07):1310-1328.