

数字孪生天府新区防洪“四预”业务应用

徐俊伟¹ 孔德彬¹ 李洋洋² 陈成功¹ 孙钦永¹

1. 中科星图亿水(四川)科技有限公司 四川 成都 610213

2. 中国科学院成都分院 四川 成都 610042

摘要: 随着信息技术的快速发展,数字孪生技术在各个领域的应用日益广泛。本文基于四川天府新区防洪管理的实际需求,设计并实施了数字孪生天府新区防洪“四预”(预报、预警、预演、预案)业务应用系统。系统采用云计算、ChatGPT人工智能、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)、自然语言处理(NLP)、知识推理和微服务架构等关键技术,构建了天府新区数字孪生平台,实现了防洪管理的智能化和精准化。通过“四预”功能的实现,显著提升了天府新区的防洪能力和应急响应速度。

关键词: 数字孪生;天府新区防洪;应用;智能预报

引言: 在新时期,总书记提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”治水思路强调了流域治理的重要性。国家“十四五”规划进一步明确了推动大江大河大湖数字孪生和智慧化模拟的要求。四川天府新区作为长江上游岷江水系的重要组成部分,防洪工作尤为重要。本文旨在探讨如何通过数字孪生技术提升天府新区的防洪管理水平,实现“四预”功能。

1 总体设计

1.1 研发目标

本项目的研发目标是通过应用现代水利与信息技术,开展数字孪生天府新区防洪“四预”关键技术研究,探索区域水灾害智慧管理的新技术和新方法,并直接服务于生产实践。具体包括:建设天府新区L2数据底板。构建流域推演模型平台,具备人工智能技术的“四预”能力。研发流域防洪“四预”业务应用,提升区域防汛业务应用智能化水平。

1.2 研究区域

四川天府新区直管区地处长江上游岷江水系,区域内有多条主要河流,年蓄、引、提水能力较强。鹿溪河是天府新区内流域面积最大、流经长度最长的河流,是区域防洪的主要通道。近年来,天府新区连续遭遇洪涝灾害,经济损失严重。因此,开展数字孪生天府新区防洪研究具有迫切的现实需求。

1.3 技术路线与架构

本项目以数字化、网络化、智能化为主线,采用物联网、云计算、人工智能、数字孪生等信息技术,构建天府新区数字孪生平台和防洪“四预”应用平台。系统架构包括监测感知、数据底板、模型平台和“四预”场景四部分。

2 关键技术

2.1 云计算技术

云计算技术通过分布式计算实现数据处理,将大规模任务分解为小程序,由服务器集群高效处理并返回结果。其关键技术包括:①体系结构:构建智能化、自治的云系统,内嵌自动化与虚拟化技术,确保敏捷响应服务需求变化。体系由用户界面、服务目录、管理系统、部署工具、监控和服务器集群组成,协同工作以优化资源分配。②资源监控:鉴于云资源庞大且更新频繁,部署Agent代理程序于各服务器,实时监控资源使用情况,周期性收集数据并评估资源可用性,确保信息准确性,优化资源分配^[1]。③自动化部署:通过脚本自动化配置计算资源,减少人工干预,提升部署效率。利用数据模型和工作流引擎,静默部署存储、网络、软硬件等资源,简化操作过程,促进智能化管理,从而快速响应服务需求变化。

2.2 ChatGPT人工智能技术

ChatGPT,一款先进的聊天机器人,基于Transformer模型构建,该模型由Google于2017年创新推出,擅长处理自然语言任务。不同于传统的RNN和CNN,Transformer通过自注意力与多头注意力机制,优化了长文本与复杂语境的处理能力。ChatGPT经过精心设计的预训练与微调过程:先是在海量文本数据(如维基百科、网页、新闻)中进行无监督学习,累积语言知识与特征;随后针对特定任务进行微调,以优化性能。这一过程涉及数百万参数的优化,赋予ChatGPT强大的语言理解与生成能力。其特点显著:模拟人类思维进行交互,处理信息量大且精准,提供个性化服务;应用领域广泛,覆盖客服、教育、医疗等;显著提升用户体验,为用户带来更高效、贴心的服务。

2.3 地理信息系统技术

在流域水文管理中, GIS尤为关键, 特别是数字高程模型 (DEM) 的应用, 不仅映射了地表高程分布, 还能自动生成水系、分水线及地形坡度等参数, 为流域划分与特性分析提供了坚实基础。GIS不仅是复杂水文过程数字化描述的支撑, 也是水文学与信息技术融合的桥梁。通过GIS, 可以高效、自动化地划分子流域, 并精确提取各子流域的地形地貌、土壤、植被等特征, 为水文模拟与预测提供详实数据。GIS平台与水文模型的结合形式多样, 包括内嵌分析模块、松散型工具集成及紧密型系统耦合, 极大地促进了水文研究的智能化与自动化。在分布式水文模型开发中, GIS的作用尤为突出。它能够捕获、处理及展示模型所需的空数据, 助力模型细化, 深入揭示水文现象本质。GIS支持根据河网等级灵活划分子流域, 优化模型输入输出, 减少数据误差, 为模型构建提供了强大平台。此外, GIS促进了数据可视化与格式转换, 简化了模型操作。

2.4 遥感 (RS) 技术

遥感 (RS) 技术自20世纪60年代兴起, 为水循环研究提供了宝贵的数据源。它能捕获土壤、植被、地形等下垫面信息, 以及降雨分布、蒸散发、土壤水分等关键水文要素, 对确定产汇流特性和模型参数至关重要。在无常规监测资料的地区, 遥感成为唯一或主要数据源, 极大地丰富了水文模型输入, 提升了模拟精度。遥感技术不仅支持土壤分类、模型参数估算等基础应用, 还促进了适应遥感信息的新型水文模型开发。对于分布式水文模型而言, 精确掌握降雨空间分布尤为关键^[2]。传统雨量站难以满足需求, 而测雨雷达和卫星遥感测雨技术能实时追踪降雨动态, 提供流域面雨量数据, 是分布式水文模型发展的重要支撑。

2.5 自然语言处理技术

自然语言处理技术 (NLP) 融合计算机科学、语言学与机器学习, 利用深度学习算法 (如Bert) 及弱监督分类, 高效处理文本数据。该技术能自动识别文本实体、解析实体关系、融合知识库, 并精准理解智能问答中的语义。在数据处理上, NLP运用多种模型 (如条件随机场、规则、远程监督) 提取文本实体与关系; 在问答系统中, 则将问题转换为向量表示, 借助神经网络深度解析, 显著提升问答准确率。NLP技术让计算机更智能地理解与应用人类语言, 推动信息提取与交互的新飞跃。

2.6 知识推理技术

知识推理技术核心在于利用产生式规则进行逻辑推理。这一技术通过构建精细的规则库, 并借助高效的推理引擎, 实现了知识的自动化处理与智能应用。在防

洪“四预” (预报、预警、预演、预案) 系统中, 知识推理技术发挥着举足轻重的作用。它能根据实时气象数据、水文信息及历史灾情记录, 自动生成针对性的防汛预案, 确保预案的科学性与时效性。同时, 该技术还能综合评估洪水风险等级, 为决策者提供精确的风险评估报告。在应对措施推荐方面, 知识推理技术能结合当前资源状况与灾害发展趋势, 智能推荐最优应对策略, 从而有效提升防洪减灾的效能与精准度。

2.7 微服务架构技术

流域推演模型将模型构建、知识计算、标准服务、运维服务、知识处理、自然语言解析等服务, 按照分布式应用与微服务架构进行设计, 形成物理分散、逻辑集中的分布式一体化应用管理与服务机制。在服务层面, 通过服务注册的方式, 将各类微服务统一注册至服务中心, 由其进行统一调度与监控。前端应用系统可以调用其中一个或者组合多个服务接口实现业务功能, 满足应用场景需求。

3 业务场景

3.1 防洪智能预报深化应用

天府新区面临短历时大暴雨引发的洪灾挑战, 准确预判暴雨中心及量级对制定有效预报调度方案至关重要。“四预”平台集成防洪态势分析功能, 融合“四情”数据, 自动锁定降雨预报核心影响流域, 评估大中型水库蓄水、病险水库状态及水文站水情, 即时推送风险工程清单。利用降雨影响知识图谱进行相似性分析, 系统自主推荐历史相似降雨案例, 结合当前工程条件, 提供风险点及影响的确定性分析^[3]。用户可依据专家经验, 灵活调整降雨区域与强度, 或在相似案例基础上进行缩放, 为“四预”工作提供动态边界条件, 支持交互式、智能化洪水预报, 涵盖降雨预报整合、优选发布、洪峰洪量分析、预报方案展示与管理。

3.2 分级分类精准预警体系

依据洪水预报结果, 结合河道洪峰、水库蓄水、堤防标准等信息, 参照洪水预警指标体系及历史洪水、风险分析结果, 明确流域、河段、水库的灾害风险等级。系统采用地图标注、表格展示等方式, 直观呈现预警信息, 包括预警指标、影响范围、等级等, 并按预警等级精确推送至相应防汛责任人及工程管理单位, 确保信息直达一线, 实现水利行业内部预警信息的实时共享与高效传递。

3.3 多尺度数字化预演平台

针对天府新区防汛需求, 构建以鹿溪河河段为核心的多尺度 (宏观、中观、微观) 数字化预演场景, 融合来水预报与洪水演进模拟, 提供高保真视觉效果, 辅助流域防洪决策会商。通过全链条模拟降雨至淹没过程,

识别防控风险点,评估防洪薄弱环节,为天府新区防汛智慧决策提供全面科学支撑。

3.4 河道安全智能巡查方案

创新河道安全巡查模式,结合无人机技术、人工智能与数字孪生理念,设计覆盖主城区的智慧巡查路径,智能识别河湖管理问题、非法排污及漂浮垃圾等,实现“无人机自主巡检—数据自动收集—平台智能解析—隐患预警推送”的闭环智能化管理,显著提升河道管理与治理能力。

4 拟解决的关键技术

4.1 数字孪生场景高效渲染技术

采用先进的双引擎架构,融合空大大数据可视化与视景仿真可视化技术,实现大场景下的批量目标高效渲染与秒级加载,同时在小场景中实现物理级别的精细还原与影视级渲染效果。这一技术革新为数字孪生应用提供了更加丰富、逼真的视觉体验,增强了用户对流域环境的直观感知。

4.2 AI驱动模型智能优化

通过人工智能技术的深度应用,对历史数据进行深度学习与智能分析,自动生成逻辑规则,精确模拟流域内的复杂过程与相互作用机制。这一创新显著提升了模型的稳定性和预测准确性,为防洪减灾提供了更加可靠的技术支撑。

4.3 防洪知识图谱构建与挖掘技术

结合知识图谱与人工智能技术,深入挖掘水利感知数据、业务数据、管理数据等多源信息的内在价值与关联关系。通过图挖掘、推理等高级算法,发现数据中的显式与隐含知识、模式及规则,实现知识的高效计算与智能应用,为防洪决策提供了科学依据。

5 主要创新亮点

5.1 AI在数字孪生流域防汛“四预”中的首创应用

首次将人工智能技术融入数字孪生流域的防汛“四预”推演中,为水旱灾害管理开辟了全新的思路与方法,推动了智慧水利的深入发展。

5.2 原创流域推演模型及关键技术体系

构建了包括建模、模型要素矩阵选择、人工设定逻辑与迭代、约束方向与收敛技术等在内的原创流域推演模型及关键技术体系^[4]。该体系具备自动(人工)条件设定与推演功能,能够智能提出水旱灾害管理的最优方案,为防灾减灾决策提供强有力的技术支持。

5.3 知识图谱驱动的知识计算与发现

利用知识图谱中的丰富知识与数据资源,通过先进的图挖掘、推理等算法,深入挖掘数据中的显式与隐含

知识、模式及规则,实现知识的高效计算与智能发现,为防洪减灾提供了更加精准、全面的决策依据。

6 业务功能

6.1 水情态势感知

系统通过接入雨量、河道水位、流量、城市内涝和水库水情等数据,实现雨情总览、河道水位流量态势、城市内涝统计和水库水情监测等功能。

6.2 水情预报

系统支持江河洪水预报、城市内涝预报、水库预报和网格化降水预报等功能,通过水文模型计算未来一定时间内的流量水位数据,并展示预报结果。

6.3 水情预警

系统支持预警信息总览、预警配置管理、预警发布管理和预警分析报告等功能,确保预警信息及时、准确地传达给相关责任人。

6.4 水情预演

系统支持内涝推演、河道洪水演进和溃坝推演等功能,通过模拟降雨—汇流—产流—演进—淹没全过程,识别防控风险,支撑流域防洪会商决策。

6.5 预案管理

系统支持预案录入、查询、更新和匹配等功能,实现防汛预案的结构化管理和电子化管理,提高防汛应急响应速度。

结语

本文通过设计并实施数字孪生天府新区防洪“四预”业务应用系统,显著提升了天府新区的防洪能力和应急响应速度。系统采用云计算、ChatGPT人工智能、GIS、RS、NLP、知识推理和微服务架构等关键技术,构建了天府新区数字孪生平台,实现了防洪管理的智能化和精准化。未来,随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展,数字孪生技术将在防洪管理中发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1]宁方贵.数字孪生嫩江防洪“四预”应用研究[J/OL].水利发展研究,1-6[2024-09-09].
- [2]李亮亮,陈峰.数字孪生“四预”应用在黄河流域防洪中的应用[C]//河海大学,江苏省水利学会,浙江省水利学会,上海市水利学会.2024(第十二届)中国水利信息化技术论坛论文集.黄河水利委员会信息中心;.2024:8.
- [3]潘益婷,宁海元.基于数字孪生的防洪“四预”智慧水利平台应用研究[J].中国水运(下半月),2024,24(05):99-101.
- [4]任明磊,赵丽平,陈智洋,等.面向防洪“四预”的数字孪生流域水利专业模型研发与实践应用——以数字孪生飞云江流域为例[J].中国水利,2024,(05):58-64.