

基于区块链技术的水利水电运行数据安全与共享机制研究

陈文

武义县清溪口水库工程管理处

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6389

[摘要] 随着水利水电行业数字化转型进程加快,运行数据的安全和共享变成行业发展的主要问题。本文重点研究区块链技术,深入探究它在水利水电运行数据安全与共享方面的应用情况。创建了依靠联盟链的去中心化数据存储体系,借助智能合约做到数据访问权限的动态管理,采用同态加密以及零知识证明技术保证数据隐私和完整度。经过研究得出结论,区块链技术可以有效地解决传统数据管理模式所存在的信任缺失,共享效率低下等难题,给水利水电运行数据的安全可靠共享提供了新的解决办法,对于推动水利水电行业智能化发展有着重要的意义。

[关键词] 区块链技术; 水利水电; 数据安全; 数据共享; 智能合约

中图分类号: F416.9 **文献标识码:** A

Research on Data Security and Sharing Mechanism of Water Conservancy and Hydropower Operation Based on Blockchain Technology

Wen Chen

Wuyi County Qingxikou Reservoir Project Management Office

[Abstract] With the acceleration of the digital transformation process in the water conservancy and hydropower industry, the security and sharing of operational data have become major issues in industry development. This paper focuses on blockchain technology and deeply explores its applications in the security and sharing of water conservancy and hydropower operational data. A decentralized data storage system relying on a consortium blockchain is established, dynamic management of data access rights is achieved through smart contracts, and homomorphic encryption and zero-knowledge proof technologies are adopted to ensure data privacy and integrity. The study concludes that blockchain technology can effectively address challenges such as lack of trust and low sharing efficiency in traditional data management models, providing a new solution for secure and reliable sharing of water conservancy and hydropower operational data. This is of great significance for promoting the intelligent development of the water conservancy and hydropower industry.

[Key words] Blockchain Technology; Water Conservancy and Hydropower; Data Security; Data Sharing; Smart Contract

引言

随着物联网,大数据等技术的全面应用,水利水电系统产生了大量运行数据,这些数据包含许多有价值的信息,对于改进系统运行效率,改良资源调配极为重要。不过,传统的数据管理方式碰上不少难题,数据安全风险大,数据共享机制不健全,极大地限制了数据价值的挖掘和利用。区块链是一种将数据区块有序连接,并以密码学方式保证其不可篡改、不可伪造的分布式账本(数据库)技术,为解决数据安全与共享问题提供了新思路。在水利水电领域,把区块链技术融入运行数据管理,可以冲破数据孤岛,营造安全可靠的数据共享环境,促使数据资源高效流通和协同利用。

1 区块链技术基础与水利水电数据特性分析

1.1 区块链技术核心原理

区块链是一种分布式账本技术,它的核心架构由数据层、网络层、共识层、激励层、合约层和应用层构成。数据层包含区块的链式存储结构和哈希算法、Merkle树等加密技术,每个区块都存放了一段时间内的交易数据,通过哈希指针相互关联,从而保障了数据的不可篡改性;网络层采用P2P网络结构,各个节点之间通过广播消息来开展数据传输,做到去中心化的数据分发;共识层解决了分布式系统中各个节点之间的数据一致问题,像工作量证明(PoW)、权益证明(PoS)、实用拜占庭容错算法(PBFT)等比较常见的共识算法,在不同的场景下保证数据的正确记录

与同步;合约层实现智能合约的部署与执行,智能合约是事先编写的、可以自动执行的代码,在满足某些条件时会自动执行某个操作^[1]。

1.2 水利水电运行数据特性

水利水电运行数据具备多源性、实时性、复杂性以及高价值性等特点,多源性是指数据源自水位传感器、流量监测设备、发电机组控制系统等诸多不同的监测设备和系统;实时性意味着数据要能即时被采集、传送并加以处理,这样才能符合水利水电系统随时监控与调度的要求;复杂性表现在数据种类繁多,既有设备参数这样的结构化数据,也有日志文件这类半结构化数据,并且各种数据之间还存在着繁杂的联系;高价值性则体现于这些数据可为水利水电工程的运作改良、毛病诊治、资源调配等方面给予关键性的决策依照。

2 基于区块链的水利水电运行数据安全机制构建

2.1 去中心化数据存储架构

采用联盟链模式创建水利水电运作数据存储体系,参与节点包含水利管理部门、水电企业、科研机构等有关单位。此种架构之下,数据不再集中存储于单个中心服务器,而是分散存储在各个节点上。当新数据出现时,经过加密处理之后打包成新的区块,各个节点借助P2P网络流传送新区块,通过共识验证之后加入区块链当中。这种存储形式杜绝了单一节点出现故障或者遭受恶意攻击造成的数据丢失或者篡改现象,从而提升数据的安全性和可靠性。水利水电领域里数据数量非常大,每个节点都会参与到数据的存储与校验当中,这也就让整个体系的耐受风险能力更强一些。而且,每条链上都有完整的区块链副本留存下来,这样一来就保证了查询或者阅读信息时的速率需求,哪怕中心服务器突然发生故障也完全不受影响^[2]。

2.2 数据加密与隐私保护

为了保证数据的隐私,采用同态加密技术以及零知识证明技术综合运用同态加密,对加密数据可以直接进行运算计算,不需要先把数据解开。在水利水电运行数据场景中,就可以对加密之后的数据进行统计分析、趋势分析等。保证数据在被处理过程中不会泄露其隐私性。比如,在数据的分享时,各节点之间利用零知识证明进行交互,来证明自己确实具备合法的数据访问权利,但是不用泄露自己所拥有的访问权限的详情,从而保持数据访问控制方面的隐私性。水利水电运行数据的隐私性至关重要,同态加密技术可以保证水利水电的数据在被加密之后仍然可以对其进行复杂的计算。这将为水利水电行业的数据分析与决策支持做出重要的贡献。在数据共享期间,各个节点彼此要相互验证数据访问权限,传统的验证手段也许会泄露权限信息,零知识证明技术却能在不泄露任何有用信息的前提下完成验证,从而保证数据访问过程的隐私性与安全性,为水利水电数据的共享与协同应用给予有力的保障^[3]。

2.3 数据完整性验证

采用区块链的哈希链式结构和Merkle树进行数据完整性验证,每个区块的头部都有前一个区块的哈希值,形成链式结构,

一旦某个区块的数据被篡改,那么该区块之后的所有区块的哈希值都会发生改变,其他节点就能检测出来。对于每个区块内的数据,采用Merkle树进行组织,数据有任何变动都会导致Merkle树根哈希值的改变,节点可以验证Merkle树根哈希值来快速验证区内数据是否完整。也可以定期对区块链数据进行哈希校验,及时发现数据异常。数据完整性是水利水电运行数据存储的重要要求之一,区块链的哈希链式结构为数据完整性提供了强有力的保障。每个区块的头部都有前一个区块的哈希值,这种链式结构一旦某个区块的数据被篡改,那么该区块之后的所有区块的哈希值都会发生连锁反应式的变化,很容易被其他节点检测出异常。而每一个区块的数据通过Merkle树的方式进行组织,这种方式又进一步提升了数据完整性的验证速度,Merkle树的结构决定了,只要区内任何一个数据发生变化,Merkle树根哈希值就会发生改变,节点只需要验证Merkle树根哈希值就可以快速判断出区内数据是否完整,极大地提升了验证的速度和准确度。

3 基于区块链技术的水利水电运行数据安全与共享机制控制策略

3.1 智能合约驱动的数据访问控制机制

利用智能合约来执行数据访问权限的动态管理,采用基于属性的访问控制(ABAC)模型,把用户属性(部门、职位、项目角色),数据属性(数据类型、敏感程度、使用范围)以及环境属性(时间、地点、访问频率)融合起来,制定细致化的数据访问策略。在智能合约里提前设置好数据访问规则,比如水利调度部门的高级调度员在防洪期间可以对实时监测数据进行读写操作。科研人员可以在特定的项目范围内查阅历史运行数据做研究,不过不能修改数据。用户想要访问数据的时候,智能合约就会得到用户的身份信息和请求内容,然后按照预先设置好的访问策略展开验证^[4]。

3.2 数据共享流程优化

当某个节点想要共享数据的时候,先对数据实施加密处理,采用对称加密算法(比如AES)迅速把数据加密起来,再用接收方的公钥对对称加密密钥加以加密,保证数据传输安全。之后在区块链上公布数据共享请求,请求包含数据种类、访问权限需求、共享期限等信息,别的节点收到请求以后,按照自身权限和需求做出回应,如果同意共享,双方通过智能合约自动开展数据传输和权限授予操作。在数据传输的过程中,利用分段传输、断点续传的技术,利用QUIC协议提高数据传输的效率和稳定性,利用智能合约记录数据共享的整个过程,保证了数据共享的可追溯性。利用代理重加密技术,数据所有者不需要直接把解密密钥告诉接收方,而是由代理节点把数据转换成接收方可以解密的形式,进一步提高了数据共享的安全性。

3.3 数据溯源与审计

区块链的可追溯性给水利水电运行数据共享赋予了完整的审计线索,每一次数据的产生、修改、共享操作都会被记录在区块链上,记录的内容涵盖操作时间、操作节点、操作内容、相关

数据版本等信息。通过查询区块链,可以清楚地追查数据的来源和流转过程,知晓数据的责任主体、要达成高效的数据溯源,就要创建数据溯源图谱,用图数据库(像Neo4j)来存贮数据操作之间的联系,把数据操作事件当作节点,操作之间的联系当作边,从而形成一个完整的数据溯源网络。审计人员可以借助时间轴视图,数据流向视图等多种方式来展开追溯分析,假如想要追踪某次异常水位数据修改事件,就能迅速找到操作设备,操作人员以及上下游的相关操作^[5]。同时设置自动化审计智能合约,周期性地对数据操作进行审核,查看其是否符合事先设定的规则及权限。将生成智能合约审计报告,该报告包括了数据操作的时间、类型、涉及的数据和操作是否违规等问题,一旦发现操作异常,就会预警并保证数据共享过程的合规与安全。然后利用数字水印技术在数据共享的时候插入一些不能被看见的数字水印,当发生数据泄漏的时候通过数字水印可以找到数据的最初拥有者和负责人。

4 区块链与其他技术的融合应用

4.1 与物联网技术融合

把区块链技术同水利水电系统里的物联网设备融合起来,做到设备数据可信地被采集并传输,给每个物联网设备赋予独一无二的数字身份,用非对称加密算法,像ECC,来创建设备的公私钥对,私钥存放在设备的安全芯片里,公钥在区块链上注册,设备要接入网络的时候,会通过挑战-应答机制展开双向身份验证,只有经过验证的设备才准许把数据传送到区块链节点。执行数据聚合之类的操作,减轻链上数据的负担。对于那些低功耗的设备来说,选用轻量级的加密算法,比如TinyJambu,还有通信协议,比如CoAP,在保证数据安全的同时,缩减设备的能耗和通信开支。设备采集到的运行数据直接上传到区块链节点上,利用区块链的加密和共识机制保障数据从源头上就是真实且完整的,再通过智能合约对设备的数据采集与传输权限进行管理,比如可以设置设备采集数据的频率、传输的时间段等,防止设备被恶意控制或者数据被非法采集。

4.2 与人工智能技术融合

区块链与人工智能融合之后,水利水电运行数据的价值可以进一步提升,一方面,区块链给人工智能算法赋予可信的数据来源,保证训练数据的质量和安全性,借助区块链的不可篡改特性,保证数据在采集、存储、传输过程中不会被篡改或者伪造,从而给人工智能模型训练给予可靠的依据。采用联邦学习技术,在不

泄露原始数据的情况下,做到多个节点之间的模型协同训练,不同水电站可以在本地利用各自的数据训练设备故障预测模型,通过交换模型参数更新信息,一同改进模型的准确度和泛化能力,另一方面,人工智能技术可以针对区块链上的大量数据展开深入分析和挖掘,用机器学习算法(深度学习、强化学习)对水利水电运行数据加以处理,达成设备故障预测,发电效率改良,洪水风险评判等目的。比如,分析历史设备运行数据和故障记录来训练深度学习模型,预测设备故障发生时间与类型,提前做好维护工作,降低设备停机时间和维修费用;智能合约可以依据人工智能分析结果自动执行相关操作,如人工智能模型预估到水库水位快要超出警戒水位时,智能合约就会自动开始防洪调度预案,控制闸门开度,从而实现水利水电系统的智能化运行。

5 结语

本研究细致探究了区块链技术在水利水电运行数据安全及共享方面的应用情况,形成了较为完整的安全与共享机制体系,利用区块链技术展开去中心化的数据存储,对数据实施加密处理并加以保护隐私,依靠智能合约来推动数据访问控制等技术手段,有效地化解了传统数据管理模式所存在的安全隐患以及共享难题。通过研究得知,区块链技术同水利水电行业相结合之后,可以明显改善数据管理的安全性,可靠性以及共享效率,给水利水电系统的智能化运作给予强有力的支撑。

[参考文献]

- [1]李永峰,覃炆扬,吴海燕,等.基于知识图谱与区块链的水利数据安全共享系统设计[J].水利信息化,2025,(02):19-24.
- [2]卢雪辉.区块链技术在水利水务数据安全与隐私保护中的应用研究[J].水上安全,2024,(15):76-78.
- [3]王爱领,左一鸣,孙少楠.TOE理论框架下我国水利工程区块链技术实施障碍影响因素研究[J].水利水电技术(中英文),1-15[2025-05-22].
- [4]刘秋明,许泽晓,姚哲鑫.融合属性基加密和信用度的水利数据访问控制模型[J].科学技术与工程,2023,23(1):263-273.
- [5]谢敏,朱松挺,许泽晓,等.基于区块链的水利数据共享平台开发与应用研究[J].水利信息化,2023,(03):46-51.

作者简介:

陈文(1976-),男,汉族,浙江武义人,武义县清溪口水库工程管理处,本科,中级职称;研究方向:水利水电工程运行管理。