

基于 RFID 与区块链的建筑材料 供应链溯源管理技术研究

管 勇

(青建集团股份有限公司, 山东 青岛 266011)

摘 要 为解决建筑材料供应链中存在的信息孤岛、数据造假与溯源断链问题, 本研究构建了一种基于 RFID 与区块链融合的溯源管理技术路径。通过多层系统架构、数据采集中间件、智能合约控制及权限管理机制, 实现对建筑材料从供应到使用全过程的数据采集与可信存证。在典型工程项目中进行试点部署与运行评估, 结果显示系统在数据识别准确率、异常响应效率及平台稳定性等方面表现优异, 能够有效提升材料管理的透明度和协同水平, 具有工程化推广的应用前景。

关键词 RFID; 区块链; 建筑材料; 供应链管理

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.17.025

0 引言

建筑材料在工程项目中流通环节多、信息链条长, 常因多方协作不畅与信息缺失导致材料质量责任难以界定, 影响施工效率与安全保障。随着数字技术在产业领域的不断拓展, RFID 用于状态采集、区块链用于数据确权的融合方式逐步显现出在供应链管理中的技术优势。构建全流程、可验证、难篡改的溯源机制, 已成为推动建筑行业质量管理方式变革的重要方向。

1 RFID 与区块链技术概述

1.1 RFID 技术的基本原理

射频识别技术 (RFID) 是一种利用射频信号实现非接触式信息识别与数据传输的自动识别技术。其系统由电子标签、读写器和数据处理系统构成, 标签内嵌有芯片与天线, 可在特定频率下与读写器进行通信。标签通过电磁感应或微波方式被激活后, 发送包含身份信息信号, 读写器接收并将数据传送至后端系统完成解析^[1]。该过程无需人工干预, 且适用于动态环境中对物品的批量识别与状态监测。

1.2 区块链在供应链溯源中的作用

区块链是一种由去中心化分布式账本构成的数据存储与管理系统, 通过加密算法和共识机制确保数据的完整性与不可篡改性。在供应链场景中, 每一笔关键业务数据可被写入区块并与前一区块链接形成链式结构, 确保数据在各方向同步一致。通过智能合约技术, 系统可自动执行预设规则, 实现供应链各环节的流程

自动化与透明化, 提升信息可信度与协同效率^[2]。

1.3 RFID 与区块链融合的技术优势分析

RFID 负责实时采集物流节点的动态信息, 区块链用于保障数据的时效性与安全性。二者融合形成端到端的可信信息链路, RFID 采集的追溯数据在生成后直接上链, 避免人工干预和数据篡改风险。链上数据可公开验证, 并支持时间戳记录与源头可追溯处理, 从而在建筑材料供应链中实现全过程记录、实时监管与责任定位, 构建高效可靠的溯源体系。

2 建筑材料供应链与溯源管理需求分析

2.1 建筑材料供应链结构与流程分析

建筑材料供应链涉及上游原材料供应商、中游制造加工企业、物流运输单位以及下游施工现场和监管机构。整个流程包括材料采购、入库验收、在途运输、现场接收与使用等多个环节。各环节之间存在频繁的数据交互与实物流转, 供应链跨度大、链条长, 节点信息分散, 形成多源异构的数据体系。缺乏统一的数据标准和实时共享机制, 容易导致数据丢失或滞后, 影响整体流程的可控性与准确性。

2.2 溯源管理在建筑行业的现实需求

建筑行业在项目周期中需处理大量异质材料信息, 包含材料批次、规格参数、运输时间、仓储状态与使用记录。传统信息记录方式多依赖纸质单据或局域系统, 缺乏纵向关联与横向协同能力。在材料质量追责、来源核验、责任划分等方面, 存在信息碎片化与溯源

链断裂的风险。同时，不同参与方的系统孤立性造成信息传递效率低下，难以实现对材料流通过程与状态的全流程追踪。

2.3 现有溯源系统存在的主要问题

当前溯源管理系统多为封闭式架构，主要依赖各自企业内部数据库，难以实现跨主体数据互信。信息录入过程普遍依靠人工操作，存在误录、漏录及篡改风险，且系统间缺乏接口标准，数据难以集成。对于运输状态监测和现场使用记录更新，信息上传存在延迟，影响管理时效性。部分系统缺少可信的身份认证机制，无法确认数据的来源可靠性与行为合规性，不利于建立多方参与下的协同监管机制。

3 基于 RFID 与区块链的建筑材料溯源系统架构设计

3.1 系统总体架构设计

建筑材料溯源系统的架构以多层技术模型为基础，整体划分为感知层、网络层、区块链平台层和应用层。感知层以 RFID 读写设备与传感器为核心，实现对材料在采购、运输、储存及使用过程中的状态数据实时采集。网络层负责数据的上传与传输，基于移动通信网络或企业内部专网构建稳定的数据通道。区块链平台层承载核心数据结构和共识机制，支持数据的加密、存证与同步共享。应用层提供用户交互界面与业务操作入口，实现对物料信息的浏览、跟踪、验证与管理控制^[3]。系统采用 B/S 架构设计，用户可通过网页端或移动端访问平台。

平台部署在多节点联盟链之上，每个节点代表供应链中不同类型的参与方，如材料供应商、承建单位、物流公司和项目监管方。节点间通过共识机制协同记账，确保数据写入的一致性与不可篡改性。平台核心功能包括材料信息录入、状态变更自动记录、溯源路径展示、数据查询与异常报警等，具备良好的可扩展性与兼容性。各层之间通过标准化接口进行数据交互，平台在架构设计中引入微服务理念，将各个功能模块进行服务化拆分，在不影响整体运行的前提下便于系统升级和维护，每个服务可独立部署和扩展，使系统具备更强的灵活性和容错能力。系统在负载均衡方面设计了基于调度规则的分发策略，可以自动分配任务至不同微服务节点，避免单点瓶颈问题并提升运行效率，同时借助统一服务注册中心实现模块间的快速通信与热插拔管理，增强了平台动态适应复杂应用场景的能力。

3.2 RFID 与区块链数据接口机制设计

RFID 设备通过标准化数据接口与区块链平台进行连接，采用中间件系统将采集的原始数据格式化处理后上传至链上。数据传输采用 MQTT 或 HTTPS 协议，确保网络通信的稳定性与安全性。中间件承担数据校验、去重、编码与打包功能，将原始标签信息按照材料唯一标识号、采集时间、采集地点、操作类型等字段结构化后进行数字签名，保障数据在上链前的完整性和合法性^[4]。链上数据写入通过预设的智能合约控制执行流程。每一项状态变更操作需经对应合约规则判断是否满足写入条件，并在满足后生成交易记录。交易记录经过多个节点的共识验证，确认无误后正式写入区块中。数据哈希与时间戳绑定，形成可验证的数据链。系统支持对上链数据的版本管理，避免信息更新过程造成数据丢失或覆盖，便于后续责任追溯与历史分析。接口模块采用异步通信机制以减少系统阻塞，并结合缓存策略优化高频数据的处理效率，同时在设计上预留扩展通道，可兼容其他物联网设备如温湿度传感器、GPS 定位模块等，以实现更加全面的状态数据采集和行分析。平台数据处理层通过链外缓存与链上写入相结合的方式，将部分非关键性冗余数据存储在分布式文件系统中，有效提升整体处理吞吐量并减轻主链负载，形成链上链下协同的数据结构体系^[5]。同时，接口引擎支持数据格式的自定义转换规则配置，可根据接入源结构灵活映射字段属性，提升系统对接效率与部署适配能力。

3.3 身份认证与数据访问权限控制机制

系统内设有完善的身份认证机制，所有参与方必须通过企业注册、信息审核和证书颁发等程序获取合法身份。平台使用基于 PKI 的非对称加密机制进行用户身份验证，并对各方设定不同的访问权限。供应商仅可对本单位上传的数据进行维护和查看，承建单位可查看项目相关的全部材料流转数据，监管单位具备全链条的只读权限与审计权限。权限控制采用基于角色的访问控制（RBAC）模型，结合细粒度数据授权机制，实现对数据字段级别的访问控制。智能合约中内嵌权限判断逻辑，对数据读写操作进行动态授权^[6]。每一次数据访问请求均由系统记录访问时间、访问者身份、操作类型与数据内容摘要，形成完整的访问日志，为后续审计与风险溯源提供依据。平台支持多因子身份验证与动态令牌机制，有效提升系统的安全等级与抗攻击能力。权限设计中将用户操作行为与角色类型绑

定,使得平台能够基于身份标签自动识别用户操作范围并动态加载相应权限规则,同时通过会话管理机制确保多用户并发操作的隔离性与安全性,从而避免数据泄露与操作冲突问题。系统还引入细粒度策略表达式,使权限策略可灵活配置与版本管理,通过策略生命周期控制确保每一次权限调整都具备明确边界、可审计依据与自动回滚能力,有效提升整体系统治理的安全性及透明度,平台还配备基于规则引擎的访问意图识别模块,可结合历史操作模式进行风险级别判断与实时响应。

4 系统试点应用与成效评估

4.1 案例背景与部署情况

本系统在一处大型公共建筑工程项目中开展试点应用,项目建设周期长、材料种类多、供应链参与方结构复杂,具备典型性与代表性。试点部署涵盖混凝土、钢筋、水泥、防水卷材等关键建筑材料的供应、运输、仓储与使用全过程,系统集成应用 RFID 识别技术与区块链存证模块,支持对材料生命周期全过程的信息追踪。平台上线前完成节点规划、数据模型配置与初始标签分发,标识系统接入单位身份信息与关键操作权限,保障供应链各环节数据采集的连续性和完整性。系统部署范围覆盖施工现场主要出入口、材料堆场及施工层作业区,感知终端配置结合现场环境特点进行固定式与移动式布设,数据处理模块基于私有云架构进行集中管理,并通过区块链多节点同步实现数据共享与一致性维护。在设计容量方面,平台预设支持单日处理数据包数量达到 20 万条以上,同时在数据链路层采用动态缓存与轮询调度机制以避免高峰时段的系统阻塞,保障数据写入区块时延稳定在 1 秒以内。

4.2 系统运行效果分析

系统正式运行后,建筑材料在项目流转过程中的信息被实时记录并自动上链,平台可直观呈现每一批次材料的来源、流转路径与使用时间。在使用过程中,平台调度与查询功能帮助施工方有效掌握物资动态分布,提高现场调配效率。系统的异常监测模块基于预设规则触发,包括运输延误、未登记入库、材料超期滞留等情况,一旦满足条件即发出预警,并在平台上标注相关记录,提醒管理人员跟进处理。用户访问界面支持多维度检索操作,可按材料类别、时间节点、使用位置等条件快速获取追溯数据。平台查询模块采用反向索引结构与关键词匹配机制结合设计,能够在 2 秒内完成大批量记录的筛查与呈现,同时结合操作日

志追踪功能可实现跨时段链条级查询,提升信息响应能力。整个数据传输过程由权限控制模块实时验证身份有效性,确保信息来源可控、操作过程可审、记录结果可查。

4.3 系统应用效果总结与优化建议

通过现场反馈与运行记录分析,系统在数据采集的准确性、溯源链条的完整性以及平台使用的稳定性方面均表现出较高水平。项目管理人员表示平台对于材料验收、库存统计和追责定位等操作具有明显的辅助作用。平台界面操作逻辑清晰,用户能够在较短时间内掌握其核心功能,日常维护工作量较小。使用培训周期平均控制在 3 小时以内,系统操作指南通过嵌入式帮助模块提供动态提示,支持新用户快速上手和高频功能快速调用。系统使用过程中也暴露出部分改进需求,如移动终端界面在户外强光环境下可视性不足,部分用户操作路径存在跳转步骤繁琐问题。结合试点表现,建议在后续版本迭代中优化用户交互体验,增加语音辅助与扫码自动跳转功能,同时引入数据脱敏模块以提升多方使用时的数据安全灵活性。

5 结束语

建筑材料供应链的可追溯性建设正逐步从被动记录向主动感知、智能判别方向演进。随着系统功能的不断拓展及新技术的融合应用,未来可实现建筑材料从源头到现场全链条信息的动态联通与协同治理,助力行业向数字化、高效化与透明化发展。在此基础上,强化平台间互操作性与跨区域监管协同机制,将进一步提升系统的适应能力与推广效率。

参考文献:

- [1] 刘致远. 区块链技术在建筑工程招标管理中的创新应用探索 [J]. 陶瓷, 2024(12):207-209.
- [2] 李强年,王雨轩. 基于区块链的建筑材料供应链质量管理研究 [J]. 工程管理学报, 2024,38(04):135-140.
- [3] 刘彩红,周森伟,王姝雨. 基于区块链技术的建筑材料供应链质量数据安全共享方法 [J]. 科技和产业, 2023,23(21):69-72.
- [4] 鲁方林,吴波,毛嘉,等. 基于区块链的建筑废弃混凝土再生管理的诚信评价方法 [J]. 建筑机械, 2024(12):16-21.
- [5] 高丹丹,苗方利. 基于供应链的工程建筑材料物流管理研究 [J]. 物流科技, 2023,46(14):121-123,132.
- [6] 阮乘风. “区块链+BIM”技术在工程项目管理中的应用研究 [J]. 电子元器件与信息技术, 2024,08(11):42-44.