

基于区块链的机采棉质量溯源模型研究

刘康^{1,2} 张梦芸^{1,2} 常金强^{1,2} 徐健康^{1,3} 宋宇涵^{1,3} 胡蓉^{1,2}

(1. 石河子大学机械电气工程学院, 石河子 832003; 2. 农业农村部西北农业装备重点实验室, 石河子 832003;
3. 兵团智慧农场数字化装备技术创新中心, 石河子 832003)

摘要: 随着新疆地区棉花机械化采收的普及, 机采棉质量追溯面临数据孤岛、信息共享滞后及全程监控缺位等问题, 导致籽棉到皮棉的质量追溯难以精准透明。为此, 结合区块链去中心化、不可篡改的特性与物联网设备实时采集的协同优势, 提出了基于区块链的机采棉质量溯源模型。该模型引入了基于逻辑回归的链下-链上协同数据查询优化, 实现高频数据智能预缓存, 设计了结合强化学习与椭圆曲线加密的访问控制模型, 增强了数据安全性 and 隐私保护能力, 最后, 基于长安链开源区块链平台开发了机采棉质量溯源系统。系统性能测试结果表明, 常规查询场景下, 本系统查询时延从 72.37 ms 缩短至 60.14 ms; 高频查询场景下, 查询时延降至 32.75 ms, 优化效果随数据量增长而提升, 可以满足用户实时查询需求。此外, 通过明文敏感性与密钥敏感性测试, 密文平均变化率分别为 87.78% 和 82.68%, 确保了数据在跨机构协作过程中的隐私安全。该模型形成了“物联网采集-区块链存证-智能合约验证-多级权限访问”的闭环架构, 满足了企业对隐私数据的权限控制与安全共享需求, 提高了信息检索效率。

关键词: 机采棉; 质量溯源模型; 区块链; 物联网; 机器学习; 长安链

中图分类号: TP309.2; TS101.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2025)05-0141-09

OSID:



Traceability Model of Machine-picked Cotton Quality Based on Blockchain

LIU Kang^{1,2} ZHANG Mengyun^{1,2} CHANG Jinqiang^{1,2} XU Jiankang^{1,3} SONG Yuhang^{1,3} HU Rong^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

2. Key Laboratory of Northwest Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi 832003, China

3. Innovation Center for Digital Equipment and Technology for Smart Farms,
Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi 832003, China)

Abstract: With the widespread adoption of mechanical cotton harvesting in Xinjiang, challenges such as data silos, delayed information sharing, and inadequate whole-process monitoring have hindered precise and transparent quality traceability from seed cotton to lint cotton. To address this, a blockchain-based quality traceability model for machine-harvested cotton was proposed by leveraging the decentralized and tamper-resistant features of blockchain technology and the real-time data acquisition capabilities of IoT devices. A logistic regression-based off-chain/on-chain collaborative data query optimization was introduced to achieve intelligent pre-caching of high-frequency data. Additionally, an access control model integrating reinforcement learning and elliptic curve cryptography was designed to enhance data security and privacy protection. The quality traceability system was developed on the ChainMaker open-source blockchain platform. Performance tests demonstrated that the system reduced query latency from 72.37 ms to 60.14 ms in regular scenarios and further decreased it to 32.75 ms in high-frequency scenarios, with optimization efficiency improving as data volume increased, meeting real-time user query demands. In addition, through plaintext sensitivity and key sensitivity tests, confirming average ciphertext change rates of 87.78% and 82.68%, respectively. These results ensured the privacy and security of data during cross-institutional collaboration. The model established a closed-loop architecture of “IoT data collection – blockchain notarization – smart contract verification – multi-level access control”

收稿日期: 2025-02-10 修回日期: 2025-03-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2002400)和兵团科技攻关计划项目(2023AB014、2022DB003)

作者简介: 刘康(2000—), 男, 硕士生, 主要从事棉花质量追溯研究, E-mail: liukangmy@163.com

通信作者: 胡蓉(1981—), 女, 教授, 主要从事农业数字技术与装备研究, E-mail: hurong@shzu.edu.cn

fulfilling enterprises' requirements for privacy data permission management and secure sharing while enhancing information retrieval efficiency.

Key words: machine-picked cotton; quality traceability model; blockchain; internet of things; machine learning; ChainMaker

0 引言

机采棉的普及在显著提高生产效率的同时,也带来了质量控制的复杂性^[1],具体而言,在采收、交售、加工和公证检验等环节,机采棉质量数据的真实性与可追溯性问题日益突显^[2]。在国内外市场对高品质棉花需求不断增长的背景下,确保机采棉质量数据的准确性与可追溯性已成为产业发展的迫切需求^[3]。实施机采棉质量溯源不仅能够提升产业透明度,还能对实际棉花种植者进行精准补贴,增强其种植信心和积极性,同时也为监管机构和消费者提供可靠的信息支持^[4]。

传统的农业数据质量追溯主要依赖人工记录和集中式数据库,存在易出错、数据传递效率低等问题^[5],已难以满足现代农业对数据真实性和实时性的需求^[6]。为解决这一痛点,基于物联网技术的追溯框架通过传感器、射频识别(RFID)等设备^[7]实现数据自动化采集,提升了数据获取的时效性与准确性。然而,此类传统物联网架构在数据存储、共享与安全性方面仍面临诸多挑战^[8],例如中心化服务器易受攻击、企业间数据共享权限模糊等^[9],制约了溯源系统的可靠性。

区块链技术结合分布式存储、共识机制和加密算法,具备去中心化^[10]、不可篡改^[11]和可追溯^[12]等特性,为突破物联网架构瓶颈提供了技术保障。具体而言,物联网技术为区块链系统提供实时、可靠的溯源信息源,而区块链则在开放网络环境下,通过维护安全可信的公共账本^[13],系统性解决传统溯源中的数据篡改风险、信息链断裂及透明度缺失等核心问题^[14],二者的协同应用^[15-16],最终构建出机采棉质量溯源的完整技术闭环。

现有研究如文献[17]提出的标识解析方法,虽初步探索了机采棉质量数据的追溯,但仅覆盖加工环节且未整合区块链技术,难以满足全链路追溯的需求。即使技术闭环已初步形成,但在新疆棉区的实际落地仍面临地域化挑战。该地区棉花的采收期高度集中于9—11月,高峰期日均加工量达 $7 \times 10^4 \text{ t}$ ^[18],质检环节需要实时处理海量数据^[19]。在面对大规模、高频次的数据处理时,传统区块链架构的检索性能瓶颈逐渐显现^[20]。另一方面,棉花产业链涉及采收、加工、公证检验等多个环节,数据异构性

强,产业链多主体参与带来的动态权限管理的适配困境,如公证检验机构、加工企业、棉农间的隐私数据共享,难以直接应用现有的区块链解决方案^[21]。

基于此,本文提出一种基于区块链的机采棉质量溯源模型,旨在利用物联网与区块链技术的协同作用,构建高效、透明、安全的机采棉质量数据追溯体系。该模型依托物联网技术,实现棉花在采收、加工及公证检验环节的质量数据实时采集,并利用区块链技术保障数据的不可篡改性和溯源透明度。针对区块链在数据检索和动态管理方面的局限性,本文进一步引入轻量化机器学习技术,构建链下轻量化建模与链上智能合约的闭环反馈机制,以提升高频数据处理效率,实现智能预缓存,增强数据安全性和隐私保护能力。通过智能化和自动化的质量追溯体系,提升新疆棉花产业的信息透明度与质量监管水平,推动产业价值由“产量-补贴”的平面扩张向“质量-品牌”的立体增值转型,为棉花产业提供可靠的质量追溯解决方案。

1 基于区块链的机采棉质量溯源模型建立

1.1 机采棉质量数据分类与关键信息分析

在机采棉供应链管理中,参与主体包括棉农、加工企业、公证检验机构等,各环节产生的质量数据类型繁多且用途各异^[22-23]。为实现质量追溯、监管与商业机密保护的双重目标,需对质量数据进行合理性分类及差异化处理^[24]。为此,本研究将机采棉供应链划分为采收、收购、过磅、开包、加工和公证检验等主要环节^[2],并从各环节中提取关键质量数据。根据质量数据的共享需求和安全性要求,分为公开数据和隐私数据。满足供应链各主体之间的质量数据共享需求,又能有效保证隐私数据的安全性。具体的机采棉质量数据分类见表1。

1.2 机采棉质量溯源模型构建

传统的棉花供应链追溯系统大多采用中心化的数据管理模式,各参与主体(如棉农、加工企业、公证检验机构等)独立存储数据,仅通过有限的数据共享机制实现数据互通^[17]。这种模式存在以下问题:首先,数据分散且难以整合,容易形成信息孤岛,从而导致追溯效率低下;其次,缺乏有效的数据验证机制,易发生数据篡改或伪造,影响追溯的准确性和可信度;最后,难以满足全流程透明化需求,无法为

1.3 基于逻辑回归的链下-链上协同数据查询优化模型

随着区块链技术在质量溯源、供应链管理等多个领域的广泛应用,如何高效地检索关键数据已成为亟待解决的重要问题^[26]。传统的线性索引检索方法面临数据规模扩展带来的性能瓶颈,尤其在棉花产业的高并发场景下,难以满足实时性的要求。本研究提出了一种链下-链上协同机制,采用逻辑回归构建轻量级识别模型,该方法通过分析用户的历史查询数据,判定热点数据,结合动态缓存策略与索引优化,降低遍历开销兼顾区块链环境的计算效率与数据安全需求。

选用逻辑回归算法主要是利用其独特的计算特性与区块链场景的适配性。首先,逻辑回归采用线性决策边界建模,时间复杂度为线性复杂度,相较于深度学习模型的多层非线性运算,显著降低了区块链节点的计算负担,与隐私计算场景下对计算效率的需求高度契合。其次,逻辑回归的模型参数仅包含权重向量和偏置项,参数规模较小,可以直接嵌入智能合约的存储限制范围,避免了复杂模型部署时可能出现的存储瓶颈^[27]。

为提升模型泛化能力并防止过拟合,本研究在损失函数中引入 L2 正则化项,在梯度下降优化过程中,正则化系数 λ 直接影响链上模型的稀疏性与计算效率。

在数据特征提取与模型训练的阶段,本研究从系统的查询日志中提取用户的行为数据,构建逻辑回归模型的输入特征矩阵。该特征矩阵包括以下维度:查询 Key,被查询的数据标识符;时间戳,用于分析查询时序规律;查询频率,量化数据短期访问热度;用户标识,区分棉农、监管方、企业等角色。特征经标准化后,通过链下训练,直至损失函数收敛,获得兼具预测精度与轻量化特性的模型参数。

如图 2,模型训练完成后,最优的模型参数将被上传至区块链的智能合约中,用于链上实时评估。当用户发起查询请求时,智能合约计算热点概率,如果判定结果显示数据为高频查询数据,系统将优先把该数据存入缓存,或者调整索引至靠近根节点的位置,以减少数据遍历路径;反之,如果显示为低频查询数据,则系统将采用常规的线性查询策略进行检索。

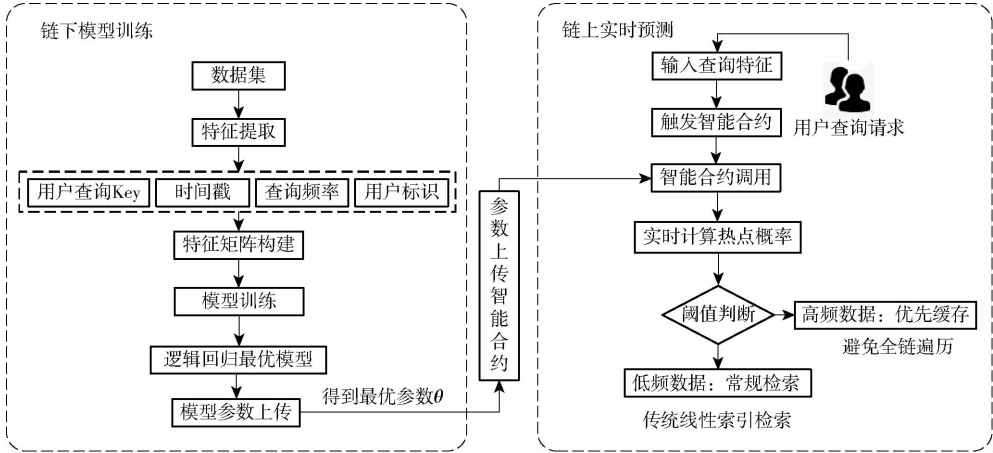


图 2 基于逻辑回归的链下-链上协同数据查询优化模型流程图

Fig.2 Flowchart of collaborative data query optimization model based on logistic regression

与传统线性索引检索相比,嵌入逻辑回归模型后,系统能够在链上动态识别高频访问的数据。有效减少了区块链数据的遍历和冗余查询的发生。只需要存储少量参数,并通过简单的线性计算即可完成识别,适合区块链智能合约环境。

1.4 基于强化学习与椭圆曲线加密的动态访问控制模型

在机采棉质量数据管理过程中,部分数据可能涉及敏感信息或隐私内容,传统的权限管理方法难以灵活适应复杂的动态环境。因此,本文提出一种融合强化学习与椭圆曲线加密的动态访问控制模型,通过智能合约实现实时权限优化。相较于传统

机器学习算法,如监督学习需前期大量数据标注、无监督学习的聚类与异常检测等问题,强化学习具备离线训练、轻量部署的优势,能够动态微调权限等级,其中策略梯度在动态适应性及链上部署效率上具有显著优势^[28]。

1.4.1 强化学习模型访问控制策略

强化学习模型通过策略优化实现权限的动态调整。具体的目标函数可表示为

$$J(\theta) = IE_{\pi} \left[\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \right] \tag{1}$$

式中 γ ——折扣因子,用于衡量未来奖励的重要性,取 0 ~ 1

r_t ——第 t 步的即时奖励
 IE_{π} ——在给定状态下选择动作的概率分布
 t ——时间

通过与环境的反复交互,强化学习代理能够在不断学习中得到最优的访问控制策略,实现权限的动态分配。具体步骤如下:

状态定义:在本模型中,状态信息包括当前用户身份、访问请求数据类型、数据敏感级别以及用户历史访问记录等关键要素。

动作空间:系统可采取的动作包括授权访问、拒绝访问、调整权限等级。

奖励函数:奖励函数的设计依据访问行为的安全性、数据使用效率和用户满意度等多个维度进行综合评估。

策略优化:本研究采用策略梯度方法对访问控制策略进行优化,通过学习率 η ,控制策略更新的步长,旨在最大化累积奖励。

1.4.2 椭圆曲线加密的密钥管理

椭圆曲线加密具有安全性高、计算效率高的特点^[29]。其密钥生成、加密和解密流程如图 3 所示。

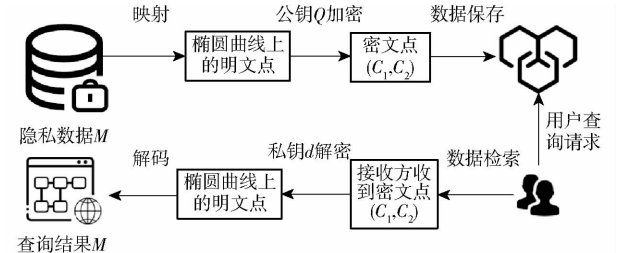


图 3 基于椭圆曲线加密的加解密流程图
Fig. 3 Flowchart of encryption and decryption based on elliptic curve encryption

(1) 密钥生成

选择椭圆曲线:选择一个椭圆曲线 E 和一个基点 G (生成元),该基点的阶为 n 。

生成私钥:随机选择一个整数 d 作为私钥($1 < d < n - 1$, 其中 n 是基点 G 的阶)。

生成公钥 Q , 即

$$Q = dG \tag{2}$$

(2) 加密过程

要加密的明文为 M ,使用椭圆曲线加密的过程如下:选择一个随机整数 $k, k \in (1, n - 1)$,计算椭圆曲线上两个点进行加密明文

$$C_1 = kG \tag{3}$$

$$C_2 = M + kQ \tag{4}$$

得到密文

$$C = (C_1, C_2) \tag{5}$$

(3) 解密过程

接收者使用私钥 d 解密密文 $C = (C_1, C_2)$, 其中

C_1, C_2 分别为密文的两个组成部分。

解密明文

$$M = C_2 - dC_1 \tag{6}$$

访问控制流程如图 4 所示,用户在发起数据存储或查询请求后,首先进行身份验证。随后,智能合约调用强化学习代理对访问权限进行评估,根据访问历史及全局访问策略动态判定是否授权。公开数据无需加密,可直接存储、访问;隐私数据采用椭圆曲线加密算法进行公钥加密保护,查询时需授权用户通过私钥解密,保证数据安全性。最后,采用分布式存储机制,将密钥存储于区块链与本地数据库中,以形成双重防护机制,确保即使部分节点遭受攻击,密钥仍能保持安全和完整。

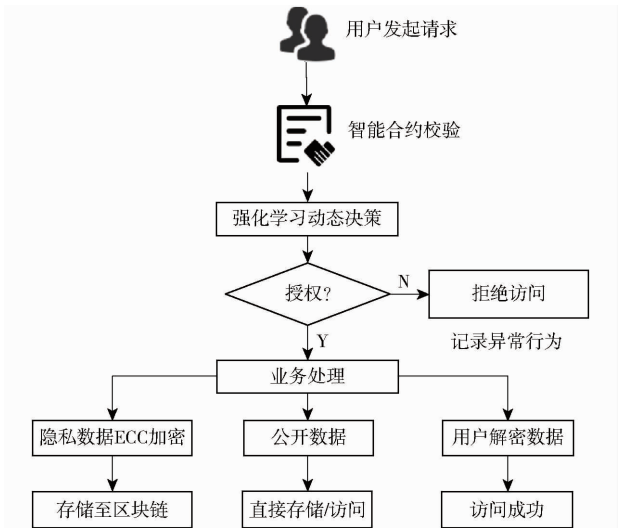


图 4 融合强化学习与 ECC P-256 的动态访问控制流程图
Fig. 4 Flowchart of dynamic access control integrating reinforcement learning and ECC

2 性能与安全性分析

2.1 测试环境

基于长安链 v2.3.1 平台构建了测试环境,采用 Ubuntu 22.04 LTS 操作系统,硬件配置包括 16 GB 内存、Intel i5-12490F, 3.00 GHz CPU 及 1 TB 硬盘。在实验过程中,长安链网络的运行、测试和智能合约部署均通过 Docker 容器化技术在单机多节点环境中完成,采用 Golang、Java、Vue 等语言进行链码编写及前后端开发。

2.2 模型参数敏感性分析

为验证逻辑回归与强化学习模型的实际效能,通过实验分析关键参数的敏感性。对逻辑回归的正则化系数 λ 进行网格搜索,记录判别精度与响应时间;对强化学习的折扣因子 γ 和策略网络学习率 η 开展组合测试,统计授权准确率。如图 5 所示,在 $\lambda = 0.1$ 时逻辑回归取得最优平衡,准确率 91.5%,

响应时间 14.7 ms。 $\lambda > 0.2$ 时会因优化收敛速度降低,导致响应时间增长;如图 6 所示,在 $\gamma = 0.7$ 、 $\eta = 0.01$ 时强化学习授权准确率达 89.2%。 $\gamma > 0.8$ 则会引发远期奖励权重失衡,使策略网络陷入局部最优。所以,参数优化需在模型性能与计算开销间建立动态平衡,当逻辑回归的正则化系数 $\lambda \in [0.05, 0.15]$ 和强化学习的折扣因子 $\gamma \in [0.65, 0.75]$ 时,可兼顾模型鲁棒性与链上计算效率。

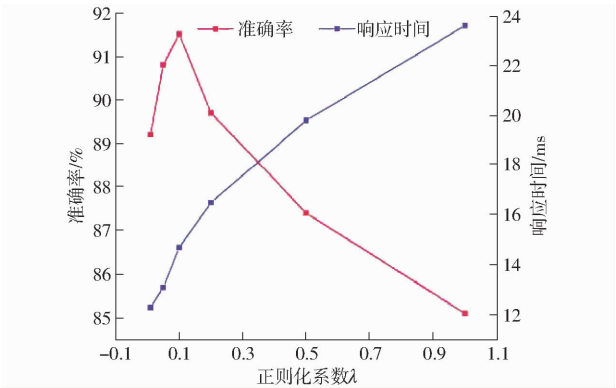


图 5 正则化系数对模型性能的影响
Fig. 5 Influence of regularization coefficient on model performance

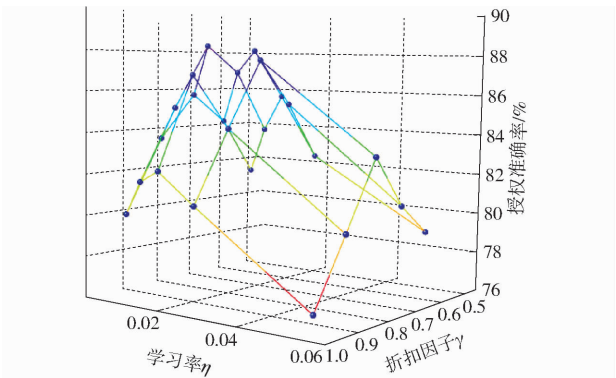


图 6 折扣因子与学习率对授权准确率的影响
Fig. 6 Effects of discount factor and learning rate on authorization accuracy

2.3 加密敏感性测试与抗统计攻击评估

椭圆曲线加密的安全性主要基于椭圆曲线离散对数问题的数学困难性^[29]。为评估其抗统计分析能力,设计了明文敏感性与密钥敏感性测试。明文敏感性通过固定公钥,改变明文的某一位,观察密文变化。如图 7 所示,明文的微小变化导致密文显著差异,平均变化率为 87.78%,可有效抵抗统计分析攻击。

密钥敏感性测试通过固定明文,改变公钥的某一位并校验其有效性,观察密文变化。如图 8 所示,密文对密钥的微小变化极为敏感,平均变化率为 82.68%,可抵御基于密钥的逆向推导攻击。初步验证了其在实际应用中的安全性和可靠性。

2.4 效率分析

为验证基于逻辑回归的链下-链上协同数据查

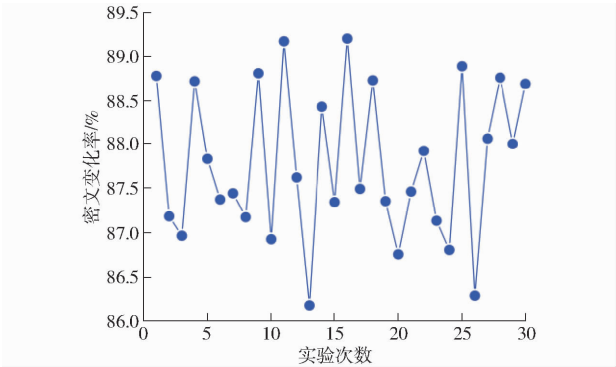


图 7 明文扰动下的密文敏感性曲线
Fig. 7 Ciphertext sensitivity curve under plaintext perturbation

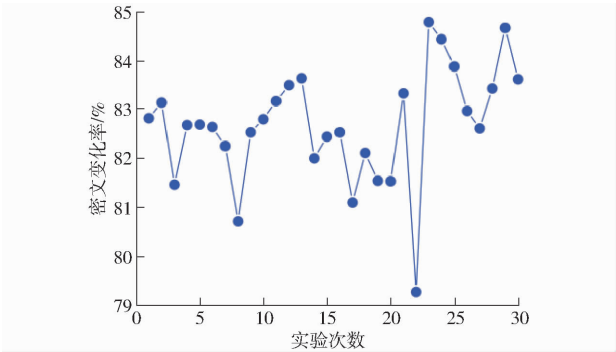


图 8 密钥扰动下的密文敏感性曲线
Fig. 8 Ciphertext sensitivity curve under key perturbation

询方法的实际效能,本研究进行了 30 轮系统性测试,对比分析了传统线性索引检索方法与逻辑回归优化方法在不同查询场景下的性能表现。重点关注系统在处理普通查询(即访问非热点数据)和高频查询(即访问热点数据)时的响应延迟。测试结果如图 9 所示,在普通查询场景下,逻辑回归优化方法将平均时延从传统方法的 72.37 ms 减少至 60.14 ms;在高频查询场景中,通过识别和预缓存热点数据,查询时延进一步降至 32.75 ms。逻辑回归优化方法能够基于用户查询历史识别高频查询项,有效减少数据遍历量,从而提高查询效率。尽管低频查询的时

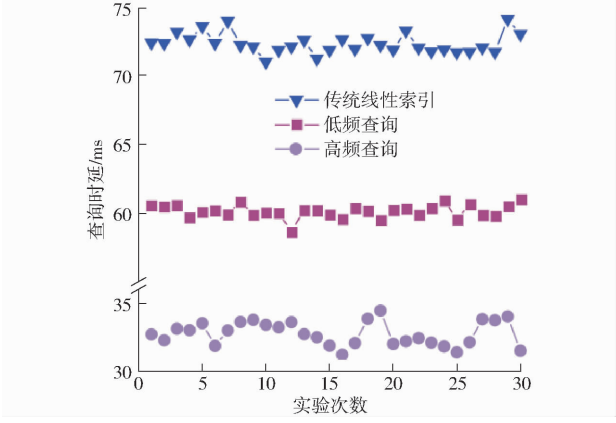


图 9 两种方式查询时延对比
Fig. 9 Comparison of two types of query delay

延改善不及高频查询显著,整体响应速度仍有所提升。

此外,为验证逻辑回归优化方法在不同数据规模下的稳定性,扩展了数据量敏感性实验。采用混合查询负载,设置 5 个数据梯度 10 000、25 000、50 000、75 000、100 000,每组重复 30 次取平均值以消除偶然误差。测试结果如图 10 所示,该方法平均时延降低率达到 18.44%~27.86%,且随着数据量的增加,优化效果进一步增强。证明其能通过识别-预缓存机制有效减少无效数据遍历。

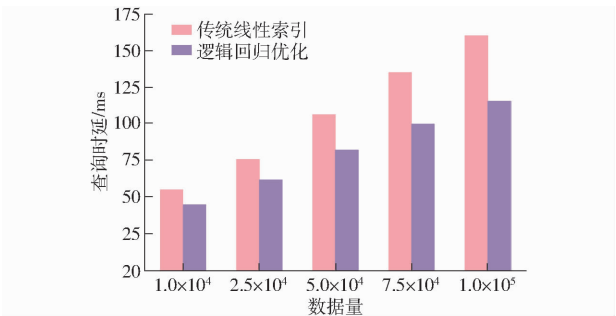


图 10 数据规模对优化方法时延性能的影响
Fig. 10 Impact of data scale on latency performance of optimization method

3 基于长安链的机采棉质量溯源系统设计与实现

3.1 系统架构设计

本系统基于长安链区块链平台,采用分层架构设计,如图 11 所示。通过物理层、区块链层、接口层和应用层的多级协同实现全流程数据的可信溯源。

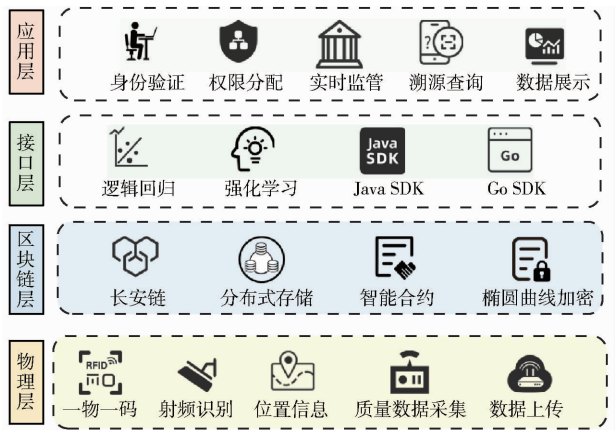


图 11 机采棉质量溯源系统架构图
Fig. 11 Machine-picked cotton quality traceability system architecture diagram

在物理层,系统集成北斗定位、RFID 电子标签等监测设备,实时采集采收、加工和公证检验等环节的数据,确保数据的准确性和实时性。

区块链层利用长安链的分布式架构和共识算法,采用智能合约模块实现数据存证、业务规则判定

和动态权限分配,确保操作可审计、可追溯。

接口层提供 Java SDK、Go SDK 等,保障企业与区块链网络的高效稳定数据交互。同时,结合强化学习和椭圆曲线加密技术,确保数据传输和存储的安全性。逻辑回归算法加速链上数据查询,提升响应速度。

应用层作为系统与用户之间的交互窗口,主要通过 Web 浏览器呈现,用于展示追溯信息、质量报告及相关数据,同时支持查询、反馈、举报和系统设置等功能。

3.2 应用案例分析

为验证基于长安链的机采棉质量溯源系统的实际效果,在新疆生产建设兵团第十二师二二二团进行了实地部署。该地区拥有涵盖种植、采收、收购、加工及公证检验等环节的完整供应链体系。尽管各环节已建立了相对完备的信息记录,但由于数据分别存储在不同环节,缺乏有效的数据共享机制,存在信息壁垒。因此,本研究开发的机采棉质量溯源系统旨在优化现有流程。

在实际应用中,首先在棉花打包膜的生产过程中,通过机采棉质量溯源系统为每个棉包的打包膜申请唯一的 RFID 电子标签和溯源二维码即棉包追溯码,如图 12a 所示。通过棉包追溯码作为标识,链接到区块链上的溯源数据。系统通过物联网设备实时采集采收、收购、加工等环节的数据,并将其保存至区块链网络,如图 12b 采收环节。所有环节的数据均记录在区块链上,确保了数据的实时性、准确性和不可篡改性。



图 12 应用案例展示图
Fig. 12 Application case display diagrams

用户可以通过系统网页端,如图 12c 所示,输入区块高度或棉包追溯码,查看从棉花采收 to 公证检验的全过程数据。图 12d 展示了查询结果界面,用户能够直观查看各环节的质量数据,从而确保数据的真实性和可靠性。

通过区块链技术,所有溯源数据均存储在分布式账本中,借助区块链的不可篡改性和透明性,保证

数据的真实性,避免信息篡改或数据丢失的风险。该系统有效优化了二二二团的生产管理流程,解决了数据孤岛问题,并提供了可靠的质量保障。

4 结 论

(1)提出了区块链-物联网协同的机采棉质量溯源模型,通过区块链的去中心化和不可篡改特性,结合物联网设备的实时数据采集,实现了单包棉花从籽棉到皮棉全生命周期的可信数据锚定。有效解决了传统集中式物联网架构中的信息孤岛、数据篡改以及透明度不足等问题。验证了“物联网采集-区块链存证-智能合约验真-多级权限访问”架构在保障数据不可篡改性的同时满足实时追溯需求,让棉农从被动接受技术转向主动参与质量共建,形成

“质量追溯-精准补贴-收益增长”的良性循环,为新疆棉花从“规模优势”向“质量品牌优势”转型提供了技术支撑。

(2)提出的逻辑回归链下一链上协同数据查询优化模型,通过构建动态预缓存策略,有效减少无效数据遍历。测试结果表明,该模型将高频查询时延从 72.37 ms 降至 32.75 ms。扩展实验进一步验证了其在不同数据规模下的性能优势,能够满足实际应用中用户对高频数据检索的需求。同时,结合强化学习的动态权限调控与椭圆曲线加密技术,构建了细粒度访问控制体系,明文敏感性与密钥敏感性测试结果显示,密文平均变化率分别为 87.78% 和 82.68%,确保了实际应用中的可靠性与安全性,有效平衡跨机构协作中数据共享与隐私保护的需求矛盾。

参 考 文 献

[1] 熊伟. 机采长绒棉质量控制与梳理效果探析[J]. 纺织器材, 2024, 51(增刊1): 28-31, 45.
XIONG Wei. Analysis on quality control and carding effect of machine-picked long-staple cotton[J]. Textile Accessories, 2024, 51(Supp. 1): 28-31, 45. (in Chinese)

[2] 张杰, 王红艳. 兵团棉花质量追溯补贴: 现状、问题与对策[J]. 新疆农垦经济, 2024(10): 20-29.
ZHANG Jie, WANG Hongyan. The current situation, problems, and countermeasures of the corps cotton quality traceability subsidy[J]. Xinjiang State Farms Economy, 2024(10): 20-29. (in Chinese)

[3] 孙戈兵, 于芊芊. 中国棉花产业链安全评价与对策研究[J]. 边疆经济与文化, 2025(2): 36-43.
SUN Gebing, YU Qianqian. Evaluation of China's cotton industry chain security and countermeasures research[J]. The Border Economy and Culture, 2025(2): 36-43. (in Chinese)

[4] 陈明, 苏丽丽. 博州棉花质量提升新途径——质量追溯[J]. 中国棉花加工, 2024(4): 23-25.
CHEN Ming, SU Lili. A new way to improve cotton quality in Bozhou: quality traceability[J]. China Cotton Processing, 2024(4): 23-25. (in Chinese)

[5] ELLAHI R M, WOOD L C, BEKHIT A E D A. Blockchain-based frameworks for food traceability: a systematic review[J]. Foods, 2023, 12(16): 3026.

[6] 王晓平, 魏郅琦. 农产品溯源研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(18): 1-9.
WANG Xiaoping, WEI Zhiqi. Research progress and prospects of agricultural product traceability[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2024, 52(18): 1-9. (in Chinese)

[7] WEI Z, ALAM T, AL SULAIE S, et al. An efficient IoT-based perspective view of food traceability supply chain using optimized classifier algorithm[J]. Information Processing & Management, 2023, 60(3): 103275.

[8] MEHANNAOUI R, MOUSS K N, AKSA K. IoT-based food traceability system: architecture, technologies, applications, and future trends[J]. Food Control, 2023, 145: 109409.

[9] 白翔, 许从方, 柳兴, 等. 区块链物联网安全技术综述及关键技术分析[J]. 信息技术, 2022(10): 24-30, 40.
BAI Xiang, XU Congfang, LIU Xing, et al. Review of blockchain-based Internet of things security technology and key technology analysis[J]. Information Technology, 2022(10): 24-30, 40. (in Chinese)

[10] MOHD SHARI N F, MALIP A. Enhancing privacy and security in smart healthcare: a blockchain-powered decentralized data dissemination scheme[J]. Internet of Things, 2024, 27: 101256.

[11] HIMEUR Y, SAYED A, ALSALEMI A, et al. Blockchain-based recommender systems: applications, challenges and future opportunities[J]. Computer Science Review, 2022, 43: 100439.

[12] THARATIPYAKUL A, PONGNUMKUL S. User interface of blockchain-based agri-food traceability applications: a review[J]. IEEE Access, 2021, 9: 82909-82929.

[13] FERDOUSI T, GRUENBACHER D, SCOGGIO C M. A permissioned distributed ledger for the us beef cattle supply chain[J]. IEEE Access, 2020, 8: 154833-154847.

[14] 刘双印, 雷墨鹭兮, 徐龙琴, 等. 基于区块链的农产品质量安全可信溯源系统研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(6): 327-337.
LIU Shuangyin, LEI Moyixi, XU Longqin, et al. Development of reliable traceability system for agricultural products quality and safety based on blockchain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(6): 327-337.

(in Chinese)

[15] 孙传恒, 于华竟, 徐大明, 等. 农产品供应链区块链追溯技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2021, 52(1): 1 – 13. SUN Chuanheng, YU Huajing, XU Daming, et al. Review and prospect of agri-products supply chain traceability based on blockchain technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(1): 1 – 13. (in Chinese)

[16] WANG L, SUN W, ZHAO J, et al. A non-fungible token and blockchain-based cotton lint traceability solution[J]. Applied Sciences, 2024, 14(4): 1610.

[17] 路程, 孙文磊, 常赛科, 等. 基于标识解析的机采棉质量数据追溯方法[J]. 毛纺科技, 2024, 52(7): 122 – 130. LU Cheng, SUN Wenlei, CHANG Saikē, et al. Traceability of machine picking cotton quality data based on identity resolution [J]. Wool Textile Journal, 2024, 52(7): 122 – 130. (in Chinese)

[18] 王建, 李林琳. 2023 年国内棉花及纺织行业形势分析[J]. 农业发展与金融, 2024(3): 66 – 69. WANG Jian, LI Linlin. Analysis of the situation of domestic cotton and textile industry in 2023[J]. Agricultural Development and Finance, 2024(3): 66 – 69. (in Chinese)

[19] 李培松, 陆永迪, 郭郁, 等. 基于棉花公证检验数据的新疆原棉品质区域分布规律[J]. 中国农业科学, 2025, 58(1): 58 – 74. LI Peisong, LU Yongdi, GUO Yu, et al. The regional distribution of raw cotton quality in Xinjiang based on notarized inspection data for cotton[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2025, 58(1): 58 – 74. (in Chinese)

[20] 兰亚杰, 马自强, 陈嘉莉, 等. 基于区块链的可搜索属性加密技术应用综述[J]. 计算机科学, 2024, 51(增刊 1): 882 – 895. LAN Yajie, MA Ziqiang, CHEN Jiali, et al. Survey on application of searchable attribute-based encryption technology based on blockchain[J]. Computer Science, 2024, 51(Supp. 1): 882 – 895. (in Chinese)

[21] 王少华, 孙传恒, 罗娜, 等. 面向预制食品溯源的隐私数据加密共享方法研究[J]. 农业机械学报, 2024, 55(5): 405 – 418. WANG Shaohua, SUN Chuanheng, LUO Na, et al. Privacy data encryption sharing method for prepared food traceability[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(5): 405 – 418. (in Chinese)

[22] 张晓军. 影响棉花加工质量的因素和解决措施[J]. 中国纤检, 2023(7): 41 – 43. ZHANG Xiaojun. Factors affecting cotton processing quality and solutions[J]. China Fiber Inspection, 2023(7): 41 – 43. (in Chinese)

[23] 程海燕, 刘林林. 棉花纤维质量检验的评价指标及提升措施研究[J]. 化纤与纺织技术, 2023, 52(11): 39 – 41. CHENG Haiyan, LIU Linlin. Research on evaluation indicators and improvement measures for cotton fiber quality inspection [J]. Chemical Fiber & Textile Technology, 2023, 52(11): 39 – 41. (in Chinese)

[24] 刘晓辉, 罗娜, 邢斌, 等. 基于属性可搜索加密的农产品区块链追溯隐私数据访问控制方法[J]. 农业机械学报, 2024, 55(10): 433 – 443. LIU Xiaohui, LUO Na, XING Bin, et al. Attribute-based searchable encrypted agricultural blockchain traceability private data access control method[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(10): 433 – 443. (in Chinese)

[25] 刘晓. 浅谈兵团棉花质量追溯政策对棉花质量的影响[J]. 中国棉花加工, 2024(4): 20 – 23. LIU Xiao. A brief discussion on the impact of the corps cotton quality traceability policy on cotton quality[J]. China Cotton Processing, 2024(4): 20 – 23. (in Chinese)

[26] 高官岳, 孙传恒, 罗娜, 等. 基于区块链的农产品供应链溯源数据多条件查询优化方法研究[J]. 农业机械学报, 2024, 55(3): 362 – 374. GAO Guanyue, SUN Chuanheng, LUO Na, et al. Blockchain-based multi-condition query optimization method for traceability data of agricultural product supply chain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(3): 362 – 374. (in Chinese)

[27] 蔡丽. 基于 Hyperledger Fabric 区块链的机器学习技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022. CAI Li. Research on machine learning technology based on Hyperledger Fabric blockchain[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2022. (in Chinese)

[28] HU Z, GAO H, WANG T, et al. Joint optimization for mobile edge computing-enabled blockchain systems: a deep reinforcement learning approach[J]. Sensors, 2022, 22(9): 3217.

[29] 于永波. 椭圆曲线加密体制的关键算法优化及其应用[D]. 北京: 北京化工大学, 2024. YU Yongbo. Key algorithm optimization and application of elliptic curve cryptography system[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2024. (in Chinese)