

文章编号: 1674-2974(2023)##-0000-00

# 区块链多链防伪溯源模型设计与系统实现

李莹<sup>†</sup>, 瞿红红, 王佳, 何自芬

(昆明理工大学 机电工程学院, 云南省 昆明市 650504)

**摘要:** 为了解决烟草供应链各环节数据海量异构, 企业间信息壁垒高筑, 追溯数据可信度低, 监管乏力等问题, 运用超级账本 (Hyperledger Fabric) 构建烟草区块链多链追溯系统, 设计多链数据存储与监管模型, 利用多链结构实现追溯数据共享与隐私数据隔离; 应用 Raft 共识算法, 制定背书策略, 并通过设计智能合约实现消费者追溯及监管部门精准监管; 同时开发追溯系统去中心化应用 (DAPP), 便于用户使用。为验证追溯系统可行性, 利用 Caliper 对区块链多链追溯系统进行性能测试。在网络性能方面, 区块链网络吞吐量稳定维持在 150tps; 在可信度方面, 区块链交易成功率 100%; 在合约效率方面, 写入吞吐量稳定在 150tps, 查询最低延时稳定在 0.01s, 平均延时 0.026s。结果表明, 该系统满足实际应用性能要求, 能实现消费者防伪溯源、监管部门精准监管的需求。

**关键词:** 区块链; 多链; 烟草; 追溯; 监管

中图分类号: TP311.13

文献标志码: A

## Blockchain Multi-chain Anti-counterfeit Traceability Model Design and System Implementation

LI Ying<sup>†</sup>, QU Honghong, WANG Jia, HE Zifen

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan, 650504, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of massive and heterogeneous data of the tobacco supply chain, high information barriers between enterprises, low trustworthiness of traceability data and lack of supervision, the tobacco blockchain multi-chain traceability system was built by using Hyperledger Fabric. A multi-chain data storage and supervision model was designed. Traceable data sharing and privacy data isolation were achieved through the multi-chain structure. Raft consensus algorithm was applied to develop endorsement strategy and smart contracts were designed to achieve traceability for consumers and precise supervision for regulators. At the same time, the traceability system decentralized application (DAPP) was developed to make it easy for consumers to operate. To verify the feasibility of the traceability system, Caliper was used to conduct performance tests on the blockchain multi-chain traceability system. In terms of network performance, the blockchain network throughput was stable at 150tps. The blockchain transaction success rate was 100% in the respect of trustworthiness. As for smart contract efficiency, the write throughput was stable at 150tps, the minimum query latency was 0.01s and the average latency was 0.026s. The results proved that the system met the performance requirements of practical application and was capable to realize the needs of anti-counterfeit traceability for consumers and accurate supervision for regulatory authorities.

**Key words:** Blockchain; Multi-chain; Tobacco; Traceability; Supervision

烟草行业是高税利行业, 在国家财政中一直扮

演着重要角色, 但其容易滋生制假造假、走私等现象。2017年至2021年期间, 我国共办理涉烟犯罪案

收稿日期: 2022-09-22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (62171206), National Natural Science Foundation of China (62171206)

作者简介: 李莹 (1977—), 女, 河南南阳人, 昆明理工大学 副教授, 博士

<sup>†</sup>通讯联系人: E-mail: 7114091@qq.com

件 4.3 万起,案值超千亿元。如何保证烟草产品质量,遏制涉烟违法犯罪活动,对维护消费者权益和国家经济利益都有着重要意义。烟草产品需要可追溯性来明确其身份<sup>[1]</sup>,在种植、加工环节一旦发现质量问题就可以追溯到具体责任主体,在销售环节更需要可追溯性来验证销售主体和产品的合法性。烟草行业在追溯系统构建上已经进行了很多探索和应用,并取得了积极成效,如吴亮等在烟叶物流过程中嵌入 RFID 电子标签进行信息采集,提高数据采集效率,实现过程追溯<sup>[2]</sup>;刘宇晨基于二维码技术设计了烟叶质量追溯系统<sup>[3]</sup>。但其大多是针对烟草供应链中某一环节的追溯,效果比较局限,未能解决各环节间的“信息孤岛”、数据不透明、质量管控精准性差等问题。此外目前烟草追溯大多是基于物联网范畴内的二维码、RFID 等技术和传统的中心化追溯系统,其数据安全性不高,极易被篡改,构建可信的去中心化烟草产品供应链追溯系统至关重要。

区块链由于其去中心化、不可篡改、分布式存储等特点,受到了越来越多人的关注<sup>[4]</sup>。目前区块链技术已经广泛应用于金融、食品安全、医疗健康等领域。基于区块链的溯源技术也是当前研究的热点,近年来,国内外学者对区块链在产品追溯方面做了很多探索,如许继平<sup>[5]</sup>提出“链上+链下”双模存储机制来保证食品追溯数据安全;于合龙<sup>[6]</sup>基于 Hyperledger Fabric 平台设计实现了水稻全供应链信息溯源系统。对于烟草行业而言,基于区块链的追溯技术也有大量学者在积极探索:余坤提出利用区

块链构建烟叶质量追溯体系能够保证信息安全,避免对信息的篡改<sup>[7]</sup>;樊海峰表明了区块链技术在烟草质量追溯中的重要性,并对区块链在烟叶质量追溯中的应用进行了展望<sup>[8]</sup>;林浩瀚针对卷烟销售市场假烟、劣质烟屡禁不止现象,运用区块链技术设计了卷烟质量追溯技术流程和架构,解决卷烟质量追溯难题<sup>[9]</sup>。然而目前还未真正实现区块链技术在烟草产品追溯中的应用。本文利用区块链技术弥补现有追溯技术的不足,设计并开发了烟草供应链追溯系统,实现了烟草产品防伪溯源、监管部门精准监管。

## 1 烟草供应链分析

烟草供应链应从原材料生产开始,即烟农种植环节。烟叶由烟农采收后会进行初步烘烤处理,为后续加工做准备。经过初烤的烟叶会由复烤企业收购,复烤加工涉及打叶、复烤、分级等工序,并根据国家标准生成质检报告<sup>[10]</sup>。复烤后的烟叶会送往卷烟企业进行后续加工,卷烟加工工序也极为复杂<sup>[11]</sup>,可分为制丝工艺、卷包工艺两大工序。加工完成的条烟、箱包会发送到烟草专卖局授权的销售网点进行售卖。烟草制品在各个环节间流通涉及的物流环节也属于供应链一员。因此本文将烟草供应链分为农户种植、复烤加工、卷烟加工、物流流通、销售五个环节,为保证各个环节信息共享同时保护企业隐私数据安全,将供应链环节数据信息分为追溯数据和隐私数据两大类,具体如表 1 所示:

表 1 烟草供应链追溯信息  
Tab.1 Traceability information of tobacco supply chain

供应链环节	采集设备	追溯数据	隐私数据
农户种植	RFID、二维码	烟草种类、批次号、施肥情况、生长环境、生长周期、备注信息、登记时间、操作人员	种植产量、水源状况、轮作方式、农药残留、种子纯度、烟叶各部位检测报告
	传感器、摄像头、农药检测仪、GIS		
复烤加工	RFID、二维码	入库信息、等级信息、分级人员、加工人员、质检报告、出库时间、备注信息、登记时间、操作人员	烟叶化学成分检测、外观质量检测、烟叶虫害、烟叶霉变、加工设备状态、加工监控
	温湿度传感器、摄像头、质检仪		
卷烟加工	RFID、二维码	商品名称、梗丝量、卷接包、辅料、焦油含量、加工人员、备注信息、登记时间、操作人员	车间温湿度、烟(叶、梗)整丝率、填充值、加工设备状态、苯酚释放量、工艺参数、加工监控
	温湿度传感器、摄像头		
物流流通	RFID、二维码	物流商、物流单号、运输方式、司机姓名、出发地、出发时间、目的地、到达时间、仓库名称、仓库地址、仓库负责人、实时位置、备注信息、登记时间、操作人员	运输成本、订单信息、分拣、路线规划、保单信息、工作监控
	北斗定位系统、摄像头		
销售	RFID、二维码	销售单位、销售时间、销售地点、销售人员、售价、备注信息、登记时间、操作人员	进价、专卖零售许可证、进货数量、售卖数量、工作监控
	摄像头		

## 2 基于区块链多链的产品追溯系统设计

### 2.1 烟草追溯区块链多链架构

我国烟草供应链涉及环节多, 追溯数据采用物联网设备采集, 各个环节数据海量异构。目前传统的追溯系统通过企业的中心化数据库存储追溯信息, 而各个企业间互不信任无法共享信息, 即使有信息流通也因传送时间差导致信息时效性较差, 并且中心化追溯系统极易造成企业为维护自身利益肆意篡改追溯信息。基于区块链技术的追溯系统拥有去中心化、不可篡改、分布式存储等特点<sup>[12]</sup>。区块链技术使追溯系统中的每个参与者都有相同的账本副本, 除了共享账本信息外, 还共享更新账本的过程, 这样不仅可以减少信息传递的时间和成本, 同时还可以提高信任和可见性。共享账本和区块结构保证区块中存储的信息不可篡改。如今, 在共享信息的同时还将面临着如何保护企业隐私数据的难题, 隐私数据包括除追溯信息外的企业生产数据、

工艺配方等信息。

针对上述问题, 结合烟草追溯实际情况, 搭建区块链多链烟草追溯系统。考虑供应链环节、监管部门、消费者对产品追踪溯源需求, 由农户节点、复烤节点、卷烟节点、物流节点、销售节点、消费者节点、监管节点建立供应链区块链(主链), 并将供应链区块链作为追溯区块链。利用通道技术建立数据隔离和保密的农户链、复烤链、卷烟链、物流链、销售链五条企业区块链, 每条企业区块链都由企业自身和监管部门两个组织构成, 用于存储隐私数据, 如图 1 所示。以供应链区块链追溯、企业链存储隐私数据、监管部门多链监管的结构形式组建烟草区块链追溯系统, 实现了追溯系统去中心化、产品信息不可篡改、数据存储扩容、企业追踪产品、消费者溯源查询、监管部门穿透监管。供应链区块链作为主链追溯, 将产品可公开信息共享, 打破企业间信息壁垒; 企业区块链将隐私信息隔离保密, 保护企业权益。

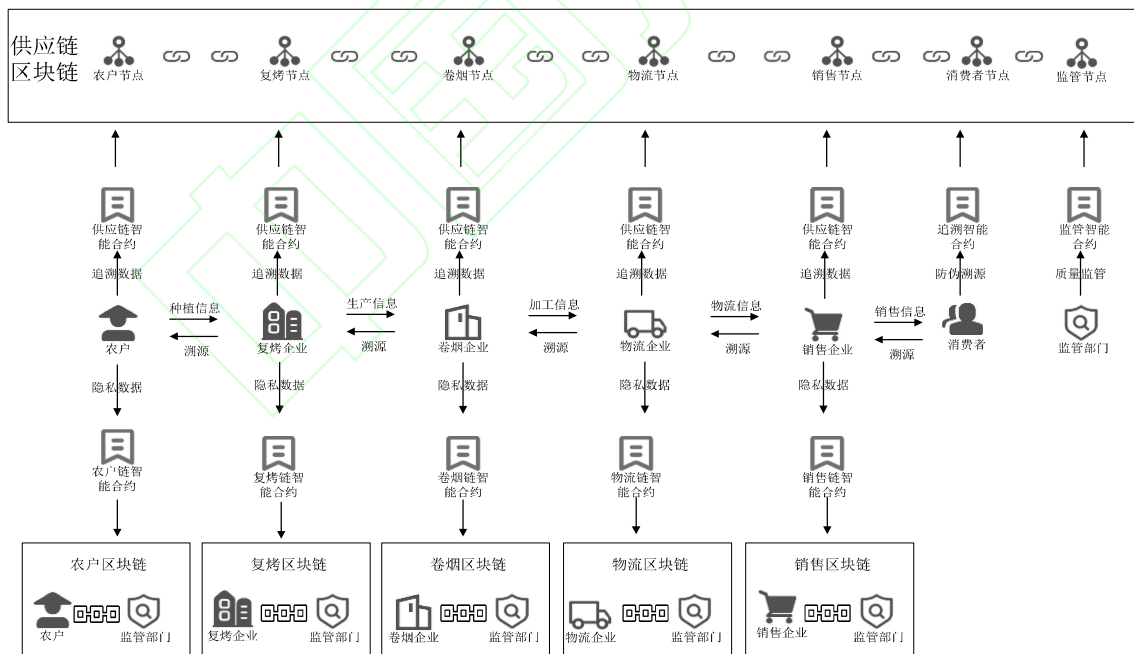


图 1 烟草追溯区块链多链架构

Fig.1 Tobacco traceability blockchain multi-chain architecture

### 2.2 多链数据存储与监管模型

在深入分析烟草供应链后, 组建区块链多链烟草追溯系统的多链数据存储与监管模型, 如图 2 所

示。追溯数据由供应链环节依次补充完整并与消费者和监管部门共享; 隐私数据由企业上传至企业链, 监管部门实时监管。数据追溯与监管过程如下:

(1) 数据上链：追溯数据上链利用供应链区块链智能合约，通过供应链节点共识将数据记录在共享账本上。隐私数据加密存储于企业链，只面对企业自身和监管部门，将隐私数据上链时不同企业调用企业自身区块链上的智能合约存储数据到账本上。

(2) 数据存储：模型中的账本数据存储存储在 CouchDB 数据库中，CouchDB 数据库是以键值对的形式存储数据的文档对象数据库<sup>[13]</sup>，它允许使用 JSON 格式对数据建模，这样不仅可以进行键查询，还可以使用值进行富查询。

(3) 数据追溯：以溯源码（产品 ID）作为关键字，企业名称、时间信息、商品名称等追溯数据为值来更新世界状态。溯源码作为追溯数据的载体，是依据“一号工程”32 位码及国家标准制定的，在产品流转过程中，溯源码记录各个环节的追溯信息，最后生成追溯二维码，消费者通过扫描追溯二维码可以获得产品追溯信息。

(4) 数据监管：监管部门实时接收供应链区块链及企业区块链的实时上链信息，监督产品质量，利用富查询可以更加快速查到产品精确信息，鉴别真伪。

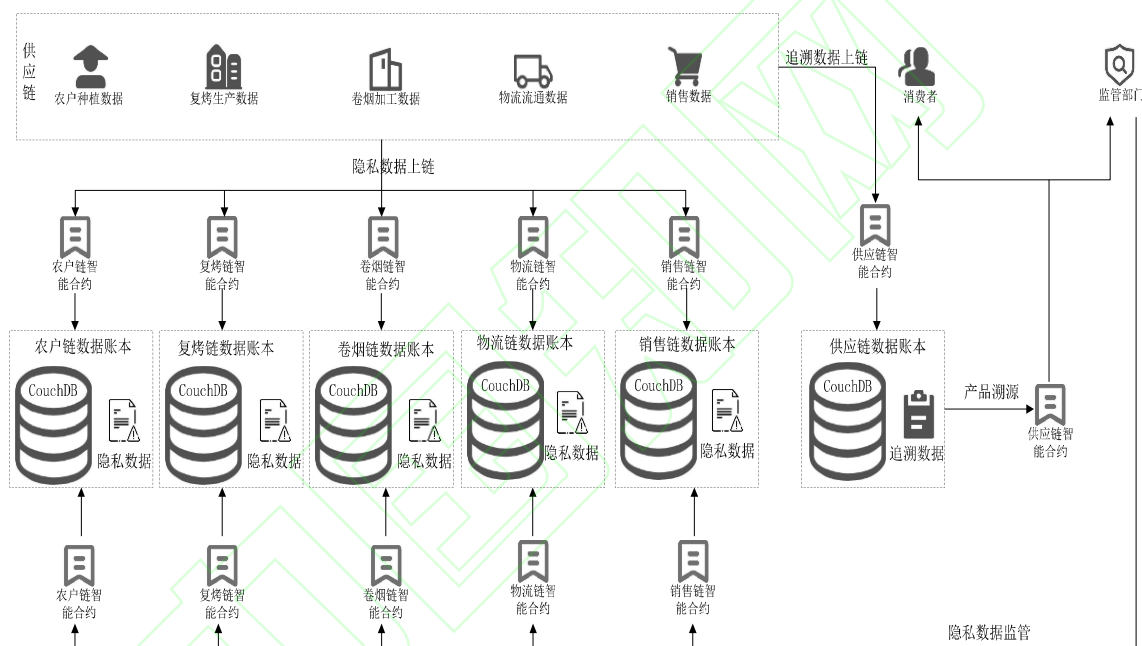


图 2 多链数据存储与监管模型  
Fig. 2 Multi-chain data storage and supervision model

### 2.3 多链网络搭建

区块链基于 P2P 网络协议搭建去中心化网络。利用 Fabric 通道机制组建 1 个供应链区块链和 5 个企业区块链，企业区块链为农户区块链、复烤区块链、卷烟区块链、物流区块链、销售区块链。通道是一个联盟中的成员彼此通信的主要机制。供应链区块链成员包括：农户、复烤企业、卷烟企业、物流企业、销售商、监管部门、消费者；农户区块链成员包括农户、监管部门；复烤区块链成员包括复烤企业、监管部门；卷烟区块链成员包括：卷烟企业、监管部门；物流区块链成员包括物流企业、监管部门；销售区块链包括：销售商、监管部门。供应链区块链网络搭建流程如图 3 所示，在网络中根据网络配置授权监管部门为网络管理员，网络配置

的网络管理规则集中允许监管部门启动排序服务节点、证书中心（CA）。由证书中心颁发的 X.509 证书通过 MSP 验证能够识别组织身份，还可以为交易提供签名来进行背书。由监管部门定义供应链区块链联盟成员，供应链上的各成员在供应链区块链的通道内互相通信，任何成员加入供应链区块链应由监管部门授权。农户、复烤企业、卷烟企业、物流企业、销售商加入供应链区块链中就是将各成员的节点加入区块链中，节点上包括追溯账本、智能合约。客户端应用与对应节点连接，通过节点之间的通信来完成数据共享、信息交互。此外通过修改网络配置在供应链区块链中加入监管节点和消费者节点，监管部门客户端和消费者客户端分别连接监管节点、消费者节点与供应链区块链通信。



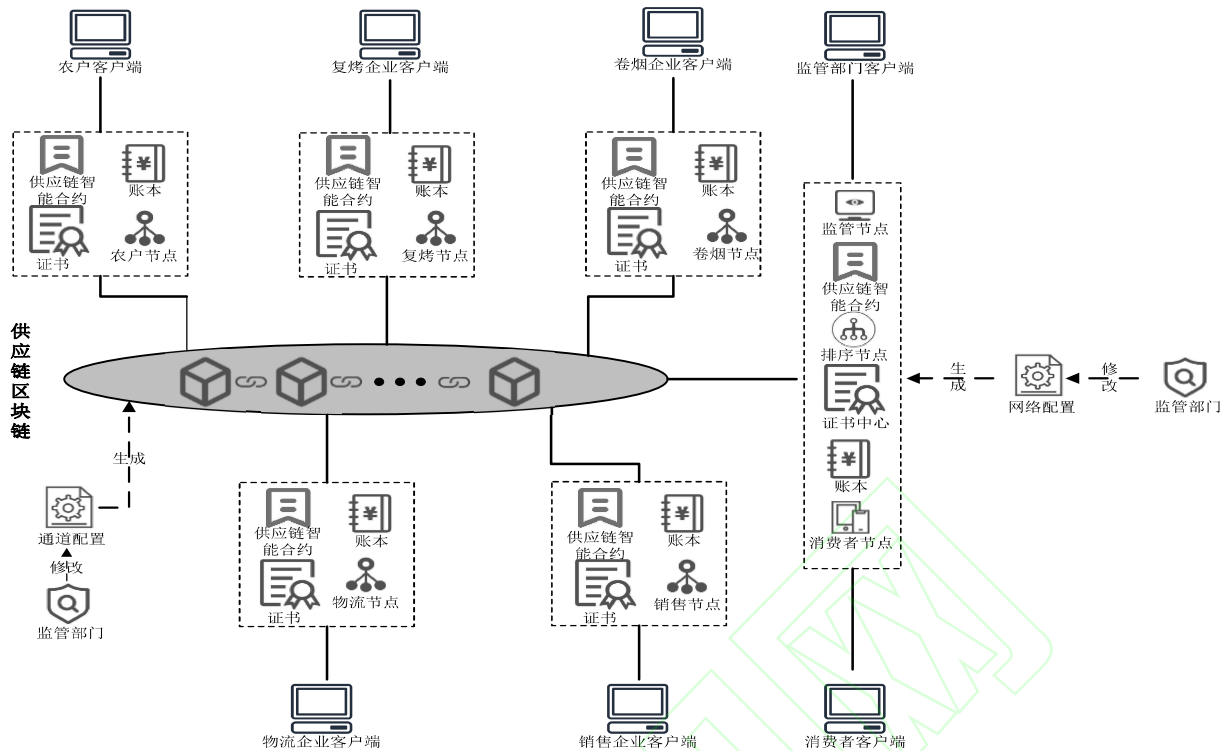


图 3 烟草供应链区块链网络搭建  
Fig.3 Blockchain network construction of tobacco supply chain

## 2.4 共识

Fabric 是授权区块链，组织节点加入网络需要监管部门授权，可以有效防止恶意节点加入，Raft 共识算法<sup>[14]</sup>可以解决节点宕机问题，它可以允许系统中存在 $(N-1)/2$  的故障节点（N 为节点总数），因此区块链网络安全性能、容错率都很高。

## 2.5 智能合约部署

智能合约（chaincode）是部署在 Hyperledger Fabric 网络节点上的用来与分布式账本交互的程序代码。智能合约在节点上的 Docker 容器中执行，通过 gRPC 协议被相应的节点或客户端调用和查询<sup>[15]</sup>。本文针对供应链各组织需求设计存储智能合约和查询智能合约，实现各个组织追溯信息上链存储、产品质量管控。根据供应链组织需求与国家质量标准制定合约细则，其中存储智能合约包括：信息录入、信息保存、存储交易、权限核验、成功上链；查询智能合约包括：溯源码核验、权限核验、查询交易、信息解析与展示。图 4 描述了存储智能合约算法将数据上链存储的具体流程，图 5 描述了查询智能合约算法查询并获取数据的具体流程：

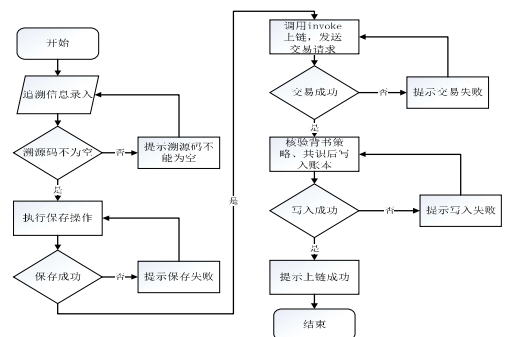


图 4 存储智能合约算法流程图  
Fig.4 Storage smart contract algorithm flowchart

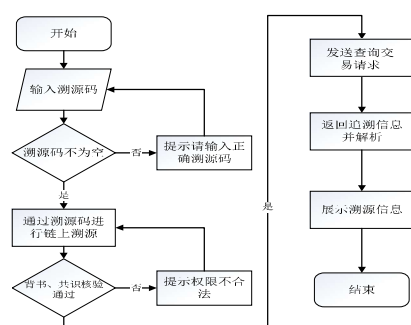
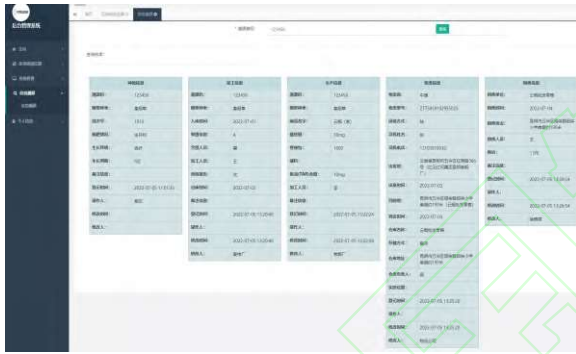


图 5 查询智能合约算法流程图  
Fig.5 Query smart contract algorithm flowchart

## 2.6 追溯系统客户端开发

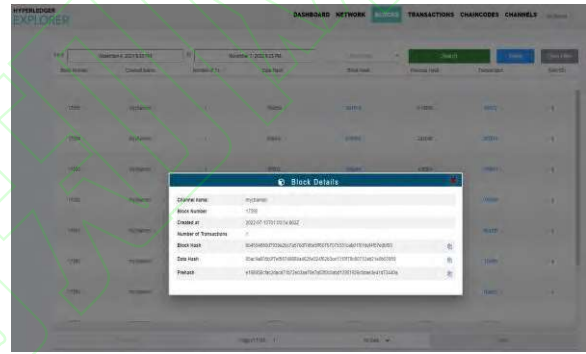
区块链追溯系统客户端是去中心化应用（DAPP），通过智能合约封装的外部接口与前端 API 连接，用户操作客户端网页就可以实现数据的上链与查询。客户端网页开发语言采用 HTML、CSS、JavaScript，项目框架为 SpringBoot。前端追溯系统功能模块包括：用户个人信息管理、节点用户管理、环节信息管理、产品信息溯源。用户个人信息管理负责用户账号注册、密码修改、系统登陆。节点用户管理负责用户身份认证、机构认证、权限设置，供应链成员主体通过节点用户管理进行机构认证、身份认证后由系统授权后，加入到烟草产品追溯系统中。环节信息管理负责各环节信息采集、录入，

首先输入与产品对应的溯源码，溯源码按照监管部门规定生成，是产品的唯一标识<sup>[16]</sup>。接下来输入产品的追溯信息：烟草种类、批次号、施肥情况、生长环境、生长周期、登记时间、操作人员等，用户可以根据溯源码追踪产品流向及产品在后续环节的质量、销售情况。产品信息溯源负责追溯产品生产及质量信息，如图 6a 所示，供应链成员根据追溯码可以实现追踪产品流向，监管部门也可以由产品信息溯源模块管控各环节产品质量。为了能够更加直观地监控区块链情况，将区块链浏览器（Fabric Explorer）嵌于前端追溯系统中，如图 6b 所示，在 Fabric Explorer 中可直接查看区块链网络组成、区块、交易信息、智能合约、通道信息等。



a. 产品追溯信息

a. Product traceability information



b. 区块链数据监管

b. Blockchain data regulation

图 6 烟草区块链追溯系统产品信息溯源及监管详情

Fig.6 Tobacco blockchain traceability system product information traceability and regulatory details

## 3 试验与结果分析

### 3.1 测试环境

系统测试环境基于服务器搭建，服务器 CPU2 核、内存 4GB，操作系统 ubuntu20.04、64 位、网络

带宽 6Mbps，Fabric 版本为 2.4，Docker 版本为 2.4，Fabric 数据库选用 CouchDB，共识机制采用 Raft，chaincode 采用 Java 编写，所有测试均是通过 Hyperledger Caliper 进行，Caliper 版本为 0.50。环境配置如表 2 所示：

表 2 测试环境配置

Tab.2 Test environment configuration

配置	值	说明
链数	6	烟草供应链区块链、农户区块链、复烤区块链、卷烟区块链、物流区块链、销售区块链
组织	6	农户组织、复烤组织、卷烟组织、物流组织、销售组织、监管部门
数据库	23	每个节点都配置 CouchDB 数据库
共识	6	Raft 共识算法
链码	6	每个区块链上一个链码，每个链码包括存储智能合约、查询智能合约
节点	23	供应链每个组织 4 个节点，监管部门 1 个排序节点、1 个监管节点，还有 1 个消费者节点

### 3.2 区块链追溯系统网络性能分析

利用 Caliper 固定负载控制器测试区块链追溯系统网络性能, 将被测系统事务负载设置为 5, 将起始速率依次固定为 50~250tps, 测试时间为 30s, Populate Workers 设置为 2, 如图 7 所示, 吞吐量与实际发送速率基本上保持一致, 起始速率从 50tps 递增到 250tps 时区块链网络吞吐量稳定维持在 150tps; 且分布式网络共识算法 Raft 是故障容错类算法, 因此区块链网络可以允许故障节点存在同时可以保持网络稳定。

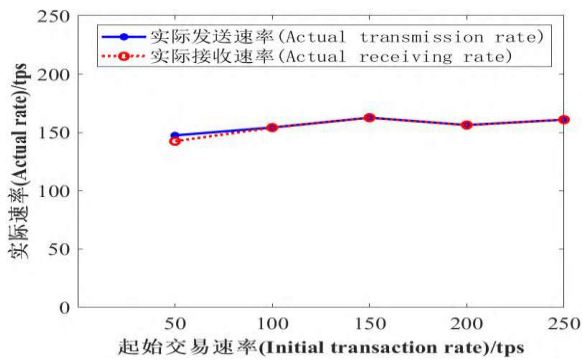


图 7 网络性能测试图  
Fig.7 Network performance test diagram

### 3.3 系统可信度分析

为测试系统可信度, 确保追溯信息上链存储成功、信息查询无误, 本文对数据写入和读取进行了测试, 通过修改测试工具配置文件, 在不同区间的交易数量下, 分别测试写入交易、读取交易的成功次数。结果如图 8 所示, 随着交易数量大幅度增加, 交易成功率一直维持在 100%。交易成功的信息都会被存储在区块链中, 系统提供修改、删除操作,

但这些操作仅仅会改变其世界状态, 并不会改变区块链中的信息。这正是区块链不可篡改的特性, 保证了追溯信息的真实可信。

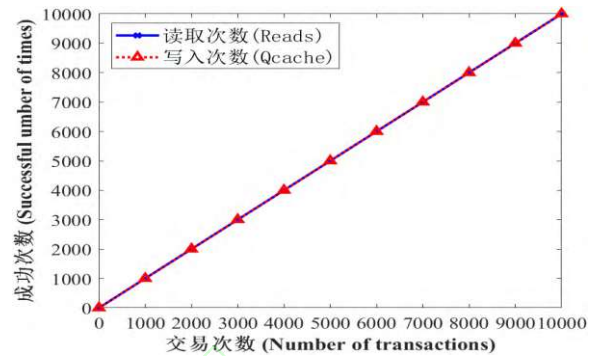
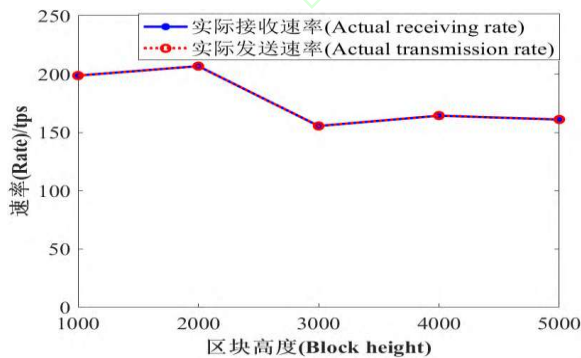


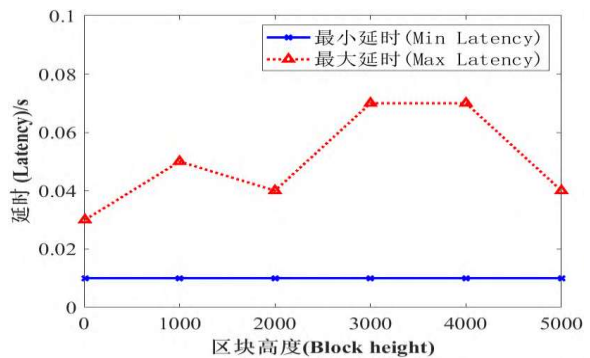
图 8 系统可信度测试  
Fig.8 System reliability test

### 3.4 合约效率分析

为验证本系统写入、查询效率, 分别在区块高度为 1000、2000、3000、4000、5000 时测试存储智能合约、查询智能合约的效率。图 9 中点值均采用十次测试的均值作为测试结果。调用本文设计的存储智能合约将追溯信息写入区块链中的效率, 如图 9(a)所示, 在区块高度较小(1000-2000 以内), 其实际发送速率与吞吐量均在 200tps 以上, 随着区块高度增加, 其吞吐量与实际发送速率线性下降, 到达 150tps 平缓稳定下来。验证查询智能合约的查询效率, 如图 9(b)所示, 随着区块高度增加, 最小延时稳定在 0.01s, 最大延时在 3000~4000 时达到最大值 0.07s, 随后开始下降, 系统平均延时 0.02s, 合约查询平均延时 0.026s。本研究设计的智能合约的吞吐量较高, 交易增多后也能稳定在 150tps, 查询平均延时 0.026s 也完全满足实际应用要求。



a. 写入效率  
a. Transaction efficiency



b. 查询延时  
b. Query delay

图 9 数据存储与查询效率  
Fig.9 Data storage and query efficiency

## 4 结论

本文设计并实现了烟草区块链多链追溯系统,利用多链技术提高区块链网络性能、提升区块链容量。供应链区块链可实现对烟草产品追本溯源,验明正身,防范非法产品流通,打破了各个环节之间的信息孤岛,使追溯信息真实可靠。企业区块链保护了企业的隐私数据安全,完成监管部门对产品质量的精准监控,使得假冒伪劣产品无所遁形,维护国家利益,为烟草行业追溯提供了参考。

未来,考虑改善实验环境、扩大实验规模,提高系统鲁棒性;融合边缘计算技术来做数据处理,提升区块链追溯模型的数据处理效率,加快追溯系统响应速率;融合深度学习技术,对链上数据进行分析,通过迭代训练预测企业隐私数据中的异常数据并警告通知,也可预测追溯信息中是否存在欺诈数据。

## 参考文献:

- [1] 王戈,刘威,李善莲,等.我国烟草行业质量追溯体系建设的现状与展望[J].中国烟草学报,2021,27(05):90-99.  
WANG Ge, LIU Wei, LI Shanlian, et al. The present situation and prospects of tobacco industry quality traceability system in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2021, 27(05): 90-99.(In Chinese).
- [2] 吴亮,周宏,张兵.基于RFID技术的烟叶物流管理信息系统设计与实现[J].烟草科技,2011(9):30-33.  
WU Liang, ZHOU Hong, ZHANG Bing. Design and realization of RFID-based tobacco logistics management information system[J]. Tobacco Science & Technology, 2011(9): 30-33.(In Chinese).
- [3] 刘宇晨.基于二维码技术的烟叶质量追溯系统设计[J].自动化技术与应用,2021,40(10):146-148.  
LIU Yuchen. Design of tobacco quality traceability system based on two dimensional code technology[J]. Techniques of Automation and Applications, 2021, 40(10): 146-148.(In Chinese).
- [4] 谢人强,张文德.基于区块链的在线社区知识共享方案研究[J/OL].湖南大学学报(自然科学版):1-9[2022-09-22].  
<https://doi.org/10.16339/j.cnki.hdxzbzkb.2022297>.
- [5] 许继平,孙鹏程,张新,等.基于区块链的粮油食品全供应链信息安全原型系统[J].农业机械学报,2020,51(02):341-349.  
XU Jiping, SUN Pengcheng, ZHANG Xin, et al. Prototype system of information security management of cereal and oil food whole supply chain based on blockchain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(02): 341-349.(In Chinese).
- [6] 于合龙,陈邦越,徐大明,等.基于区块链的水稻供应链溯源信息保护模型研究[J].农业机械学报,2020,51(08):328-335.  
YU Helong, CHEN Bangyue, XU Daming, et al. Modeling of rice supply chain traceability information protection based on block chain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(08): 328-335.(In Chinese).
- [7] 余坤.基于区块链技术的烟叶质量追溯体系可行性研究[J].现代信息科技,2019,3(15):197-198.  
YU Kun. Feasibility study of tobacco leaf quality traceability system on blockchain technology[J]. Modern Information Technology, 2019, 3(15): 197-198.(In Chinese).
- [8] 樊海峰.区块链技术在烟叶质量安全追溯领域的应用展望[J].科技创新与应用,2019(23):169-170.  
FAN Haifeng. The application perspectives of blockchain technology in the field of tobacco quality and safety traceability[J]. Technology Innovation and Application, 2019(23): 169-170.(In Chinese).
- [9] 林浩瀚.基于区块链的卷烟质量追溯技术研究与设计[J].中国市场,2022(1):62-63,84.  
LIN Haohan. Research and design of blockchain-based cigarette quality traceability technology[J]. China Market, 2022(1): 62-63, 84.(In Chinese).
- [10] YC/T 147-2010, 打叶烟叶 质量检验[S].  
YC/T 147-2010, Threshed tobacco—Quality inspection[S].
- [11] 王震,游敏,李青,等.柔性断丝技术在细支卷烟生产中的应用[J].烟草科技,2021,54(10):63-69.  
WANG Zhen, YOU Min, LI Qing, et al. Application of flexible cutting technology to slim cigarette manufacturing[J]. Tobacco Science & Technology, 2021, 54(10): 63-69.(In Chinese).
- [12] Ndayizigamiye P, Dube M S, Twinomurizi H, et al. A systematic review of the adoption of blockchain for supply chain processes[J]. Journal of Global Information Management (JGIM), 2022, 30(8): 1-32.
- [13] Gyorodi C A, Dumse B D V, Zmaranda D R, et al. Performance analysis of NoSQL and relational databases with CouchDB and MySQL for application's data storage[J]. Applied Sciences, 2020, 10(23): 8524.
- [14] XU J J, WANG W, ZENG Y, et al. Raft-PLUS: improving Raft by multi-policy based leader election with unprejudiced sorting[J]. Symmetry, 2022, 14(6): 1122.
- [15] NEGARA E S, HIDAYANTO A N, ANDRYANI R, et al. Survey of smart contract framework and its application[J]. Information, 2021, 12(7): 257.
- [16] 黄向明,张传杰,王伏林,等.工程机械再制造过程信息追溯模型研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2015,42(02):17-21.  
HUANG Xiangming, ZHANG Chuanjie, WANG Fulin, et al. Research on information tracing model for the construction machinery remanufacturing[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2015, 42(02): 17-21.(In Chinese).