

基于区块链的水稻供应链溯源信息保护模型研究

于合龙^{1,2} 陈邦越¹ 徐大明^{3,4} 杨信廷^{3,4} 孙传恒^{3,4}

(1. 吉林农业大学信息技术学院, 长春 130118; 2. 吉林省精准农业与大数据工程研究中心, 长春 130118; 3. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 4. 农产品质量安全追溯技术及应用国家工程实验室, 北京 100097)

摘要: 针对水稻供应链在使用区块链技术追溯过程中数据共享时隐私数据容易泄露的问题,在分析水稻供应链业务流程和信息分类的基础上,建立了以区块链节点授权保护方法为核心的水稻供应链信息保护模型。在供应链溯源隐私数据上传区块链网络前,利用密码分组链接模式(Ciper block chaining, CBC)对其进行对称加密,采用椭圆曲线算法(Elliptic curve cryptography, ECC)对密钥加密后写入区块链网络中,区块链网络中存储隐私数据加密后的密文,授权节点利用私钥查看区块链上溯源隐私数据,实现在区块链网络中共享隐私数据。在此基础上对方法的安全性能进行了分析,加密算法的扩散性测试密文改变率平均值为0.838。最后,基于Hyperledger Fabric平台设计实现了水稻全供应链信息溯源系统,并通过具体应用案例进行了验证分析。结果表明,本文提出的节点授权法对需要保护的隐私数据进行了节点间的差异化,兼顾了企业隐私数据需要加密保护和供应链溯源数据需要公开监管两方面的问题,解决了水稻供应链生产、加工、流通等多节点之间的数据共享问题,为水稻供应链区块链溯源研究提供了借鉴和参考。

关键词: 水稻; 溯源; 隐私保护; 区块链; 供应链; Hyperledger Fabric

中图分类号: TP309.2; TS201.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2020)08-0328-08 **OSID:**



Modeling of Rice Supply Chain Traceability Information Protection Based on Block Chain

YU Helong^{1,2} CHEN Bangyue¹ XU Daming^{3,4} YANG Xinting^{3,4} SUN Chuanheng^{3,4}

(1. College of Information Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China
2. Jilin Precision Agriculture and Big Data Engineering Research Center, Changchun 130118, China
3. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China
4. National Engineering Laboratory for Quality and Safety Traceability Technology and Application of Agricultural Products, Beijing 100097, China)

Abstract: Aiming to address the issue of rice supply chain's susceptibility to private data leakage in data sharing during the use of block chain technology for traceability, the block chain technology's distributed shared global ledger and non-tampering features were utilized, the block chain-based modeling and system implementation of rice supply chain traceability information protection was studied. Firstly, the supply chain traceability privacy data was symmetrically encrypted by using the ciper block chaining (CBC) model before it was uploaded to the block chain network, while the key was encrypted by using elliptic curve cryptography (ECC) and written to the block chain network, the block chain network stored the encrypted ciphertext of the privacy data and authorized the node to view the block chain traceable privacy data using its own private key to achieve the sharing of privacy data in the block chain network. On this basis, the security performance of the method was analyzed and the cipher diffusion of the encryption algorithm reached 0.838. Finally, the whole supply chain information traceability system of rice was designed and implemented based on the Hyperledger Fabric platform, and validated and analyzed through specific application cases. The results showed that the nodal authorization method

收稿日期: 2020-03-30 修回日期: 2020-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31871525、U19A2061)、北京市自然科学基金面上项目(4182023)和吉林省科技发展计划项目(20190301024NY、20200301047RQ)

作者简介: 于合龙(1974—),男,教授,博士,主要从事精准农业与农业大数据研究,E-mail: yuhelong@aliyun.com

通信作者: 孙传恒(1978—),男,研究员,博士,主要从事农业信息化及农产品质量安全控制研究,E-mail: sunch@necita.org.cn

proposed differentiated between nodes for the privacy data that needed to be protected, striking a balance between the need for encryption protection of privacy data and the need for public regulation of supply chain traceability data, the problem of data sharing between multiple nodes of rice supply chain production, processing and circulation was solved, which provided reference for the research on the traceability of rice supply chain.

Key words: rice; traceability; privacy protection; block chain; supply chain; Hyperledger Fabric

0 引言

水稻是世界上最重要粮食作物之一,是全球农业经济的重要支柱^[1]。近年来,食品安全问题频发,农药、化肥、生长调节剂、兽药等农用化学品滥用,工业废弃物排放增加,造成毒大米泛滥,严重危害了人民的身体健康^[2]。构建水稻溯源系统可以追溯水稻来源,有效解决水稻质量安全问题^[3]。目前,在对水稻供应链系统的研究上,大多通过射频识别^[4]、二维码技术^[5]、物联网^[6]、无线传感网络^[7]等建立溯源系统^[8],对供应链上的信息进行追踪溯源。水稻全供应链具有生命周期长、环节复杂、信息多源异构等特点^[9],而以上研究并不能完全解决供应链信息保护中存在的主要问题:供应链上下游主体处于一种复杂博弈关系中,各个节点间信息不对称,信任成本较高,影响整体效率;传统溯源体系应用中心化数据库,供应链各节点数据由企业自主管理,存在信息丢失和易被篡改的问题,产生纠纷时举证困难、责任难以明确^[10]。

区块链技术具有不可篡改、分布式、去中心化、可追溯等特点^[11],为解决传统农产品追溯体系存在的问题提供了可能^[12]。近几年,国内外学者对区块链技术在供应链追溯领域的应用进行了探索研究^[13-15],这些加快了区块链技术在农产品溯源领域的应用进展,解决了传统溯源数据保护过程中数据备份繁琐^[16]、存储设备有安全风险和单节点易被黑客攻击^[17]等问题。但是由于区块链的公开性,企业隐私数据容易暴露。在区块链网络中对溯源数据的隐私保护需要进行深入研究,目前的数据隐私保护方法往往是单节点数据保护,未能做到节点间共享数据。因此,研究全供应链多节点的供应链溯源信息保护意义重大。

本文通过对水稻全供应链流程进行分析,结合区块链技术构建水稻全供应链溯源信息保护模型,根据水稻供应链实际情况提出隐私数据保护设计方案,构建基于水稻全供应链的信息安全模型,设计水稻全供应链溯源信息保护原型系统,并结合实际案例对本方法的安全性能进行分析。

1 基于区块链的水稻全供应链信息保护模型

1.1 业务流程及关键信息分析

在整个水稻全供应链中,参与主体涉及到种植水稻农户、加工制造企业、分销商、销售商、消费者^[18],因此水稻供应链信息多源异构,种类纷杂。但并非所有关键信息都与质量或安全有关,也不是所有数据都可以完全共享。在实际生产中,在进行逆向追溯的同时也要兼顾供应链上下游的两个主体间的协作、政府监管等问题,部分信息需要对其他环节共享,但又不希望被完全公开。为解决以上问题,保证供应链信息的隐私性,根据水稻全供应链实际情况和水稻生产过程中相关质量和安全标准,本研究把水稻供应链分成种植、仓储、加工、物流和销售等环节,并从以上环节中提取出关键信息并筛选分成完全共享公开数据和有限共享隐私数据,分类如表 1 所示。

表 1 水稻全供应链关键信息分类
Tab.1 Key information of rice whole supply chain

信息类型	种植	仓储	加工	物流	销售
公开数据	操作方式、	入库时间、	加工流程、	运输载具、	进货时间、
	操作时间、	仓库地点、	加工标准、	储运环境、	商家资质、
	操作投入品	仓库环境	质检结果		销售时间
隐私数据	成本价格、	仓储数量、	商品成本、	运输成本、	进货价格、
	收获数量	剩余数量	加工成本、 订单价格	物流客户	销售价格

1.2 供应链追溯信息保护模型

传统溯源信息通常使用数据协同管理的方式实现追溯过程,各个企业数据独立在本地中心数据库中,所属企业一方面需要把供应链相邻企业之间的数据建立联系,另一方面负责数据管理。当生产流程进行到最后一个环节时对产品进行条形码或者二维码标识操作^[19]。当扫描条形码或者二维码时,溯源信息通过各企业间数据的联系逆向追踪,由最后环节向前追溯,然后把溯源信息正向展示来实现产品溯源^[20]。这种模式下主体之间存在信息壁垒,各个主体关注各自利益,存在因自身利益更改数据的情况^[21]。

本研究针对水稻供应链特点,结合实际生产需

求,以区块链技术和密码学原理为手段,建立水稻供应链信息保护模型,如图 1 所示。溯源数据由时间顺序从水稻的种植信息开始记录直到产品销售给消费者,使产品信息正向记录,逆向追溯,同时产品在流通的过程中一旦发现食品安全问题,可以通过溯源数据追踪流向、及时召回。信息保护模型整合供

应链上企业所有数据,存储在区块链网络上,同时区块链网络会把当前数据的存储状态反馈到企业本地中心数据库。信息保护模型集成供应链各个企业生产运作的信息,一方面使得企业间数据无缝衔接,另一方面也保证了数据的可靠性、安全性和即时性。

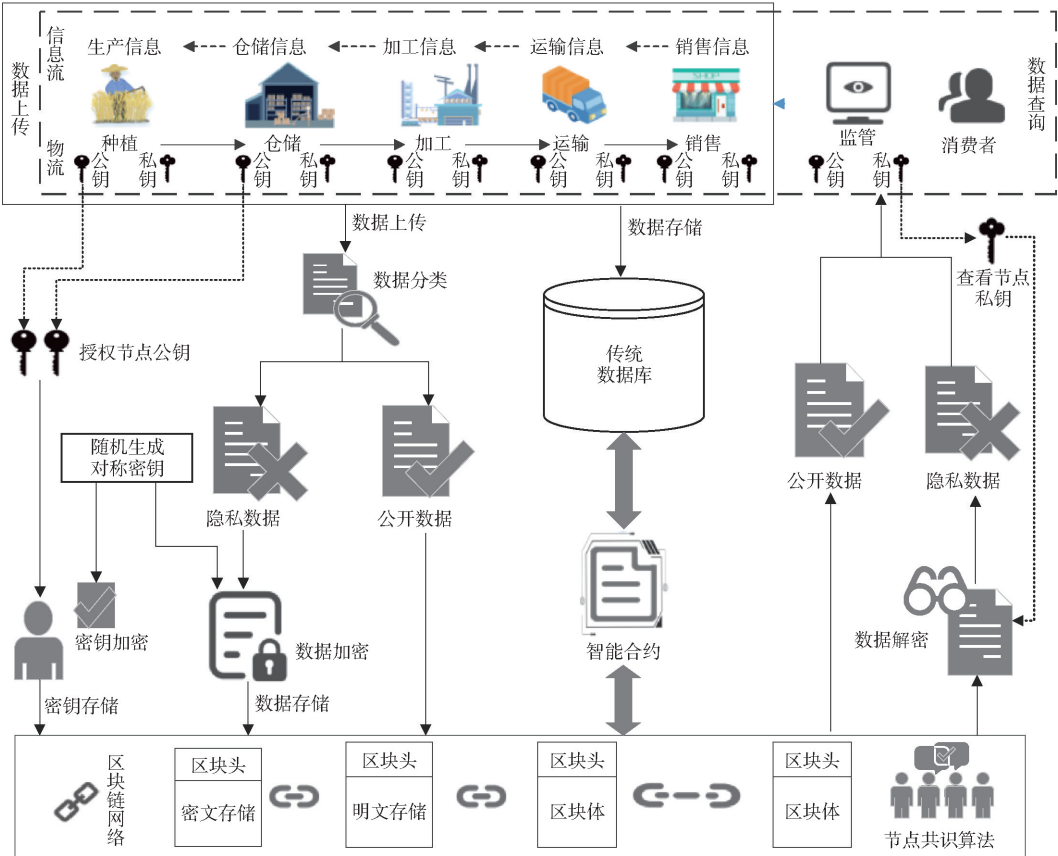


图 1 溯源系统数据保护模型

Fig. 1 Data security management model of tractability system

从数据流动的角度分为:数据采集、数据管理、数据存储和数据查询。数据采集部分由区块链网络中的企业节点负责,各个企业可以同时上传数据,共享同一账本,提高共享数据效率。数据管理部分是数据安全模型的核心,采集的数据上传后首先进行处理分类,由智能合约判定数据是完全共享公开数据还是有限共享隐私数据,随后两种数据分别进行不同的处理,最后上传至区块链网络中。数据存储分为本地数据库存储和区块链网络存储,在当前数据上传到区块链网络后,智能合约将返回当前数据存储的区块高度、交易哈希值等信息存储到当前节点本地数据库中形成映射关系,做到双重保障。数据查询主要服务于在供应链上的企业节点、监管平台和消费者,企业可以对区块链网络上的数据进行查询,同时也可以对本地数据库进行管理。

1.3 区块链追溯节点授权保护模型

在区块链网络中节点平等、数据公开,企业隐私

数据无法得到保护。为保证数据不可篡改性,企业数据必须上传到区块链网络,而企业隐私数据需要进行加密后才能上链,对加密后数据进行分享授权则成为关键信息保护的重点。为解决上述加密数据部分节点可读的问题,本文提出一种基于节点授权的解决方法,把企业隐私数据进行加密处理,使经过授权的节点可以看到相关信息,未授权的节点不能读取其他节点数据,对企业隐私数据进行保护,如图 2 所示。

节点授权是通过编写智能合约实现对区块中的数据合理授权。当企业节点有隐私数据需要上传至区块链系统时,首先需要调用智能合约对隐私数据进行校验,通过校验后把隐私数据转换成固定的格式,利用 AES 加密算法中密码分组链接模式(CBC)对经过转换的隐私数据进行加密,所需密钥(Key)则由智能合约随机生成,加密后密文上传到区块链网络中,再广播到其他节点。由于对称加

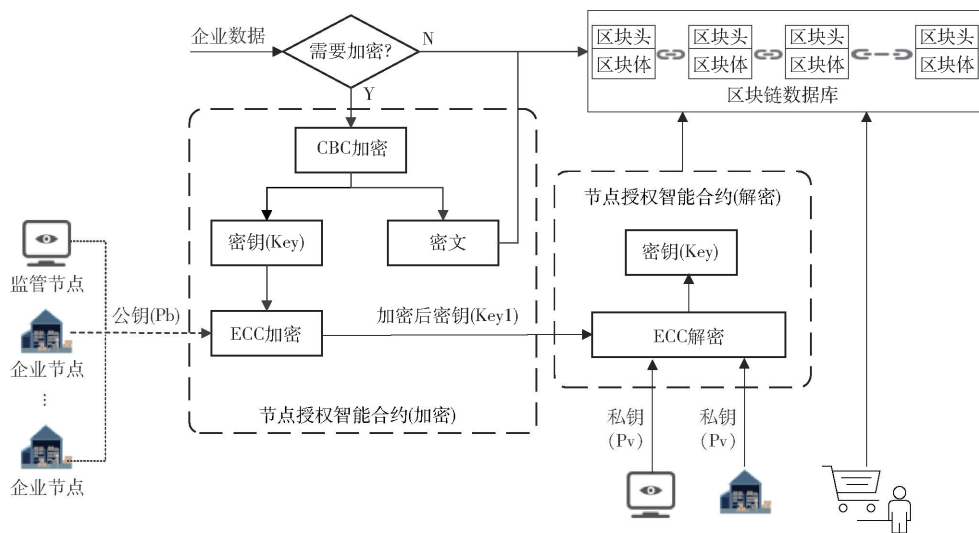


Fig. 2 Block chain node protection model

为了保证密钥 (Key) 的安全性, 本研究采用椭圆曲线算法 (ECC) 对 Key 进行加密, 加密的公钥 (Public Key, Pb) 就是授权查看节点的公钥, 把授权查看节点的公钥和加密过后 Key1 组成键值对, 存放在智能合约世界状态 (World state) 中并写入区块链。当授权节点需要查看区块链上的隐私数据时, 使用当前节点私钥 (Private Key, Pv) 对区块链上 Key1 进行解密得到原始 Key 值, 使用 Key 值对隐私数据解密并查看隐私数据。当部分隐私数据需要对多个节点进行查看授权, 只需多次调用智能合约, 并

2 水稻供应链信息保护算法与性能分析

区块链节点授权加密算法首先生成随机密钥 (Key) 和初始化向量 (Initialization vector, IV) 作为 CBC 模式加密算法需要的参量, 然后对明文块进行切分, 把第一个明文块与初始化向量 IV 做异或操作, 再用密钥加密, 得到密文块, 再把得到的密文块作为下一个明文块的加密向量^[22]。依次类推, 就可以得到很多段密文块, 最后把密文块拼接起来就能得到最终的密文^[23]。表 2 举例给出了追溯隐私数据加密详细信息, 包括具体实现的追溯信息明文、随机密钥、追溯信息密文及区块高度等。

Tab.2 Privacy traceability data encryption details[illegible]

本文将所提出的节点授权加密方法在 4 台阿里云服务器搭建的环境中进行测试,实验使用服务器的配置为 16 GB 运行内存、4 核心处理器、1 Mb/s 带宽。Hyperledger Fabric 联盟网络包括 8 个节点,使

为了对比加密数据和公开数据的上传与查询的效率,本文对两种方法进行了测试。在实验过程中,

相同情况下执行相同操作,操作所需时间都会在一定区间上下浮动,为了保证数据的客观性,对每组数据各执行10次,计算出其平均值作为最终值。通过上述方法对实验进行测试,对实验结果进行相关性分析,

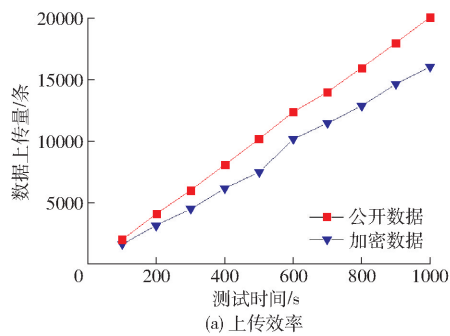


图3a是加密数据和公开数据在相同时间内可以上传数据的数量。图3b是加密数据和公开数据的查询时间,由对比分析可以看出,相比原来未采用数据隐私保护的系

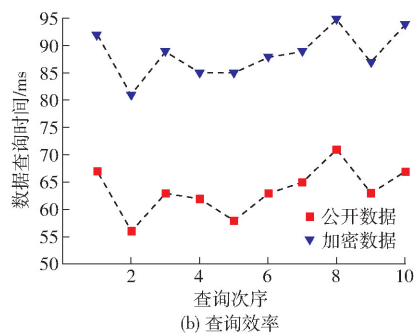


图3 两种数据上传查询对比
Fig.3 Comparison of two types of data upload query

2.2.2 安全性分析

溯源隐私加密数据存储在区块链网络上,加密数据被未授权的节点读取的方式有两种:直接暴力破解密文,由密文直接翻译成明文获取数据;或者破解 Key1 获取 Key,由 Key 对加密数据解密获取明文数据。因此,本研究提出的节点授权加密方法安全性来源于 AES 加密算法的安全性和密钥的安全性。对于 AES 加密算法的安全性来说,扩散性和相关性是两个重要标准,测试方法通过计算密文改变率 P 来衡量。其中 $P = M/N$, M 为密文改变位数, N 为密文总数。对 AES 加密算法的扩散性进行测试,控制明文不变,当密钥改变一位时所引起密文的改

变率如图4a所示;对 AES 加密算法的相关性进行测试,当密钥不变明文改变一个字符时所引起密文的改变率如图4b所示。经 AES 加密算法的扩散性测试密文改变率平均值为 0.838,相关性测试密文改变率平均值为 0.524,证明了算法的高混淆性^[24]。破解 Key1 需要破解 ECC 加密算法,ECC 加密算法的原理是基于椭圆曲线上离散对数计算问题^[25],即使用对于 ECC 算法最有效的攻击方法——Pollard Rho 方法去破译和攻击,它的求解难度是指数级的^[26]。因此理论上利用本文方法实现加密数据存储

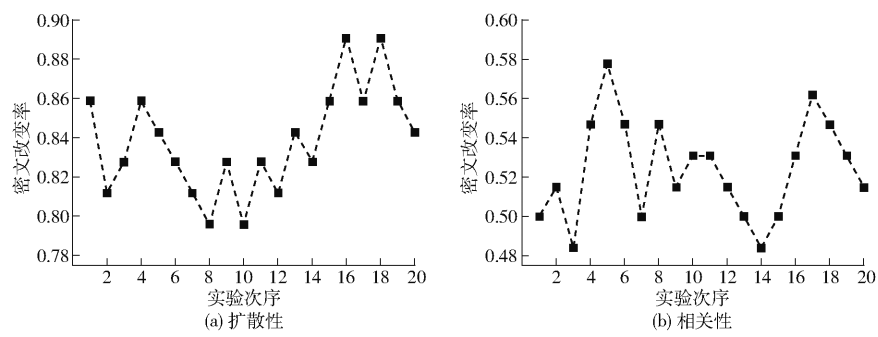


图4 加密算法安全性测试结果
Fig.4 Security test of encryption algorithm

3 水稻全供应链信息保护溯源系统应用

3.1 系统架构

基于区块链的水稻可追溯系统的目的是实时监测和追踪水稻生产到销售过程中各环节产生的数据,并且可以对大规模数据进行处理,为了实现数据信息的分布式储存,需要通过分化各部分功能实现对系统整体控制。如图5所示系统的总体框架构成分为4层:应用层、接口层、服务层、存储层。

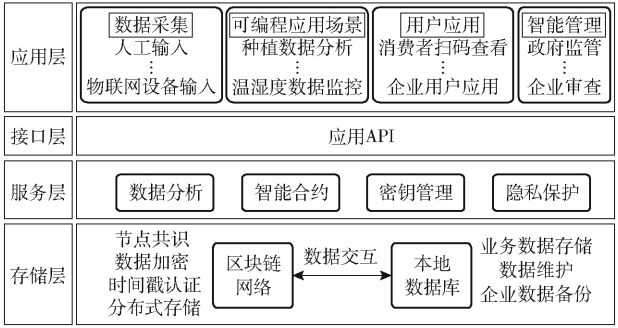


图5 系统整体架构图
Fig.5 Overall architecture of system

应用层主要以Web浏览器的方式为用户提供

数据管理窗口,并根据不同用户的职能分配权限,对数据库的操作权限按照层次严格划分,保证信息的独立性和安全性。

接口层保证供应链企业与区块链网络进行数据交互,可以为企员工和系统提供接口进行数据库访问以及提交水稻溯源信息,同时为手机终端进行查询时提供数据。

服务层作用是对溯源系统中的数据进行分析聚合,包括各级用户登录信息的交互、系统数据的维护、数据分类等,之后调用接口把数据填入到后台数据库中,确保数据的高速处理。

存储层分为链上存储和链下存储,企业在链下由本地数据库保存当前企业的数据,同时企业也作为一个节点在链上存储信息。链上的数据保证了企业数据不会被恶意篡改,链下数据库对企业数据进行备份方便企业管理。

3.2 应用案例分析

为保证供应链流程完整,开发了由基地管理系统、种植系统、加工系统、监管系统等部分组成的水稻区块链溯源系统。系统在吉林省某水稻企业集团进行了应用,该企业主要从事水稻种植、生产和销售,拥有大米生产的完整供应链环节,企业在水稻的生产、收购、仓储、加工、运输、销售等流程信息记录

相对完备,但是数据独立存储在当前环节,数据存储松散,企业各环节节点隐私数据存在信息壁垒,不能有效共享,并不能构成完整的溯源信息链,应用本研究开发的水稻全供应链信息保护系统对其进行了优化。该企业在生产时使用基于区块链溯源系统,所生产出的产品包装上拥有唯一的溯源二维码,如图 6a 所示,使用手机扫描产品包装上的二维码,手机端会显示当前产品从种植到销售的全部流程,如图 6b 所示,同时也会展示当前追溯信息在区块链网络中的存储状态,如图 6c 所示。当消费者使用网页端输入区块高度或者交易哈希值可以快速查询到产品在区块链网络上存证的信息。利用区块链网络的不可篡改特性保证消费者查看到溯源数据的真实性。图 6d 为生产企业订单信息经过加密后,经授权的销售商查看加密订单信息数据,生产企业通过溯源系统把订单信息共享给供应链下游的销售商,使得两节点信息统一。加密后的密文如图 6e 所示,同时也是未经授权的种植节点查看隐私数据的状态。

4 结论

(1)应用密码学原理设计了节点授权加密法,并以此构建了基于区块链技术面向水稻全供应链的信息保护模型,区块链上存储的隐私数据是加密后



图 6 系统工作界面

Fig.6 System working interface

的密文,从而达到保护企业隐私数据的目的。本方法从实际情况考虑,未改变区块链的特性,兼顾了企业隐私数据需要加密保护和供应链溯源数据需要公开监管两方面的问题。

(2)对本文提出的信息保护方法进行了效率分析和安全性测试分析,表明节点授权加密法是安全可靠的,系统交易性能并未明显下降。最后,结合具

体的应用案例进行了验证,结果表明,基于区块链的溯源系统可以为数据共享提供不借助第三方平台即可保证隐私数据的安全性,解决了区块链系统中各节点企业独立、数据信息形成孤岛的问题,保障供应链上的数据能够快速交互,建立全新的供应链管理方式,提高水稻供应链上下游企业的协作效率,实现资源的有效整合和效益的最大化。

参 考 文 献

- [1] 方福平,程式华. 水稻科技与产业发展[J]. 农学学报,2018,8(1):92-98.
FANG Fuping, CHENG Shihua. The development of rice science, technology and industry in China[J]. Journal of Agriculture, 2018,8(1):92-98. (in Chinese)
- [2] 郭利京,王颖. 我国水稻生产中农药过量施用研究:基于社会和私人利益最大化的视角[J]. 生态与农村环境学报,2018,34(5):401-407.
GUO Lijing, WANG Ying. Study on overdose of pesticides in rice production in China: based on the perspective of maximizing social and private interests[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018,34(5):401-407. (in Chinese)
- [3] SUN S, WANG X. Promoting traceability for food supply chain with certification[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 217: 658-665.
- [4] FAN B, QIAN J, WU X, et al. Improving continuous traceability of food stuff by using barcode-RFID bidirectional transformation equipment: two field experiments[J]. Food Control, 2019, 98: 449-456.
- [5] CHEN T, DING K, HAO S, et al. Batch-based traceability for pork: a mobile solution with 2D barcode technology[J]. Food Control, 2020, 107: 106770.
- [6] ALFIAN G, SYAFRUDIN M, FAROOQ U, et al. Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model[J]. Food Control, 2020, 110: 107016.
- [7] XIAO X, LI Z, MATETIC M, et al. Energy-efficient sensing method for table grapes cold chain management[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 152: 77-87.
- [8] 傅泽田,邢少华,张小栓. 食品质量安全可追溯关键技术发展研究[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(7):144-153.
FU Zetian, XING Shaohua, ZHANG Xiaoshuan. Development trend of food quality safety traceability technology [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(7):144-153. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130725&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.07.025. (in Chinese)
- [9] CHERAGHALIPOUR A, PAYDAR M M, HAJIAGHAEI-KESHTALI M. Designing and solving a bi-level model for rice supply chain using the evolutionary algorithms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 162: 651-668.
- [10] 张海涛,王锋,张健,等. 基于可追溯系统的水产品供应链结构优化机制及管理模式[J]. 中国渔业经济,2008,26(6):48-53.
ZHANG Haitao, WANG Feng, ZHANG Jian, et al. Application of traceable system in sea food supply chain[J]. Chinese Fisheries Economics, 2008,26(6):48-53. (in Chinese)
- [11] LU Y. The blockchain: state-of-the-art and research challenges[J]. Journal of Industrial Information Integration, 2019(15):80-90.
- [12] 张盟,李成玉,朱明桐. 区块链技术在供应链管理的应用[J]. 中国储运,2019(7):103-104.
ZHANG Meng, LI Chengyu, ZHU Mingtong. Application of blockchain technology in supply chain management[J]. China Storage & Transport, 2019(7):103-104. (in Chinese)
- [13] ZHAO G, LIU S, LOPEZ C, et al. Blockchain technology in agri-food value chain management: a synthesis of applications, challenges and future research directions[J]. Computers in Industry, 2019, 109: 83-99.
- [14] FENG H, WANG W, CHEN B, et al. Evaluation on frozen shellfish quality by blockchain based multi-sensors monitoring and SVM algorithm during cold storage[J]. IEEE Access, 2020, 8: 54361-54370.
- [15] 杨信廷,王明亭,徐大明,等. 基于区块链的农产品追溯系统信息存储模型与查询方法[J]. 农业工程学报,2019,35(22):323-330.
YANG Xinting, WANG Mingting, XU Daming, et al. Data storage and query method of agricultural products traceability information based on blockchain[J]. Transactions of the CSAE, 2019,35(22):323-330. (in Chinese)
- [16] 石柏青. 计算机网络信息安全及防护策略探究[J]. 软件,2019,40(11):191-194.
SHI Baiqing. Exploring information security and protection strategies for computer networks[J]. Computer Engineering & Software, 2019,40(11):191-194. (in Chinese)
- [17] 徐振国,范硯博,孙昭强. 计算机网络信息安全及防护策略[J]. 数字通信世界,2020(1):47.
XU Zhenguo, FAN Yanbo, SUN Zhaoqiang. Information security and protection strategy for computer networks[J]. Digital Communication World, 2020(1):47. (in Chinese)
- [18] 杨浩雄,王丹,崔丽. 供应链视角下的大米安全监管模式[J]. 江苏农业科学,2015,43(1):267-269.
YANG Haoxiong, WANG Dan, CUI Li. The rice safety regulatory model from a supply chain perspective [J]. Jiangsu

- Agricultural Sciences, 2015, 43(1): 267–269. (in Chinese)
- [19] 杨信廷, 钱建平, 孙传恒, 等. 农产品及食品质量安全追溯系统关键技术研究进展[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 212–222.
YANG Xinting, QIAN Jianping, SUN Chuanheng, et al. Key technologies for establishment agricultural products and food quality safety traceability systems[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 212–222. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20141133&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.033. (in Chinese)
- [20] 郑立华, 冀荣华, 王敏娟, 等. 农产品追溯统一编码方案设计与应用[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(增刊): 385–392.
ZHENG Lihua, JI Ronghua, WANG Minjuan, et al. Design and application of traceable unified coding scheme for agricultural products[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(Supp.): 385–392. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2019s059&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.059. (in Chinese)
- [21] 于丽娜, 张国锋, 贾敬敦, 等. 基于区块链技术的现代农产品供应链[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 387–393.
YU Li'na, ZHANG Guofeng, JIA Jingdun, et al. Modern agricultural product supply chain based on block chain technology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.): 387–393. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2017s059&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.059. (in Chinese)
- [22] 鲍海燕. 基于改进 AES 算法的网络数据安全加密方法研究[J]. 信息技术与信息化, 2019(9): 79–82.
BAO Haiyan. Research on network data security encryption based on improved AES algorithm[J]. Information Technology and Informatization, 2019(9): 79–82. (in Chinese)
- [23] 李莉, 史国振, 杨凤. SM4 算法 CBC 模式的并行化研究与实现[J]. 网络安全技术与应用, 2016(7): 60–62.
LI Li, SHI Guozhen, YANG Feng. SM4 algorithm CBC pattern parallelization study and implementation[J]. Network Security Technology & Application, 2016(7): 60–62. (in Chinese)
- [24] 陈黎震. AES 密码算法的性能研究与实现[J]. 现代计算机(专业版), 2012(25): 15–20.
CHEN Lizhen. Research and implementation of performance of AES algorithm[J]. Modern Computer, 2012(25): 15–20. (in Chinese)
- [25] WANG C, FENG C. The application of dynamic password technology based on ECC algorithm in mobile payment[J]. International Journal of Communication Networks and Distributed Systems, 2014, 13(3–4): 268–276.
- [26] 赵梦婷, 李斌勇, 李文皓, 等. ECC 加密算法分析及应用研究[J]. 网络安全技术与应用, 2018(12): 35–36.
ZHAO Mengting, LI Binyong, LI Wenhao, et al. ECC cryptographic algorithm analysis and applied research[J]. Network Security Technology & Application, 2018(12): 35–36. (in Chinese)
-
- (上接第 222 页)
- [33] HOEKSTRA A Y, MEKONNEN M M. The water footprint of humanity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(9): 3232–3237.
- [34] 卓拉, 王伟, 冯变变, 等. 黄河流域小麦生产水足迹量化与评价[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(9): 264–271.
ZHUO La, WANG Wei, FENG Bianbian, et al. Water footprint accounting and evaluation for wheat production in Yellow River Basin[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 264–271. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190931&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2019.09.031. (in Chinese)
- [35] 郭相平, 高爽, 吴梦洋, 等. 中国农作物水足迹时空分布与影响因素分析[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 295–302.
GUO Xiangping, GAO Shuang, WU Mengyang, et al. Analysis of temporal-spatial distribution and influencing factors of water footprint in crop production system of China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 295–302. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180535&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.035. (in Chinese)
- [36] 任静. 我国碳市场中碳配额交易价格影响因素分析[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2019.
REN Jing. An analysis of factors affecting the trading price of carbon quota in China's carbon market[D]. Chongqing: Chongqing Technology and Business University, 2019. (in Chinese)
- [37] 李红颖, 秦丽杰, 杨婷. 吉林省水稻生产水足迹时空分异研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 32–39.
LI Hongying, QIN Lijie, YANG Ting. Temporal variability and spatial distribution of water footprint for rice production in Jilin Province[J]. Journal of North China University of Water Conservancy and Hydropower (Natural Science Edition), 2018, 39(2): 32–39. (in Chinese)
- [38] 张学礼. 滹沱河流域水环境变迁与区域社会发展研究(1949—2009)[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2018.
ZHANG Xueli. Research on water environmental transition and regional social development in Hutuo River Basin (1949—2009)[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2018. (in Chinese)