

何静, 陈晓娜. 基于区块链的可信主侧多链绿色食品追溯平台构建研究 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(14): 411-418. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070391

HE Jing, CHEN Xiaona. Research on the Construction of Trusted Main-side Multi-chain Green Food Traceability Platform Based on Blockchain[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(14): 411-418. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070391

· 专题综述 ·

基于区块链的可信主侧多链绿色食品追溯平台构建研究

何 静*, 陈晓娜

(上海海洋大学经济管理学院, 上海 201306)

摘 要: 区块链技术具有去中心化、不可篡改、可追溯等特性, 将区块链技术应用于绿色食品追溯中, 有助于解决信息不对称、不可信带来的绿色食品的质量安全问题。然而随着绿色食品供应链的网络化、复杂化发展, 溯源信息越来越多, 对于绿色食品的追溯平台提出了更高的要求。本文引入区块链侧链, 构建可信的主侧多链绿色食品追溯平台, 通过侧链对主链进行扩容, 提高其存储能力, 并使用布隆过滤器改进后的 Bmerkle 树, 提高溯源的查询效率, 最后以具体的绿色食品为例分析追溯平台的运行流程。可信主侧多链追溯平台的构建能够消除复杂供应链网络中的信息不对称, 保障追溯信息的真实可信, 进而增强消费者对绿色食品的消费信心; 同时能够扩充单条链的存储能力、提高溯源查询效率, 保障隐私数据的私密性, 希望能够为区块链技术在追溯系统中的应用提供参考。

关键词: 区块链技术, 可信主侧多链追溯平台, 绿色食品, 供应链网络, 食品安全

中图分类号: TS201.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)14-0411-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070391

本文网刊:



Research on the Construction of Trusted Main-side Multi-chain Green Food Traceability Platform Based on Blockchain

HE Jing*, CHEN Xiaona

(College of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The technology of Blockchain has the characteristics of decentralization, non-tampering and traceability, and it is applied to the traceability of green food, it helps to solve the quality and safety problems of Information asymmetry and untrustworthy green food. However, with the development of the network and complexity of the green food supply chain, more and more traceability information is needed. In this paper, the blockchain side chain is introduced to build a credible platform for the traceability of green food with multi-chain on the main chain. The main chain is enlarged by the side chain to improve its storage capacity, and the Bloom filter modified Bmerkle tree is used to improve the efficiency of traceability queries. Finally, the running process of traceability platform is analyzed by taking specific green food as an example. The construction of trusted main-side multi-chain traceability platform can eliminate the Information asymmetry in complex supply chain network, ensure the authenticity of traceability information, and enhance consumer confidence in green food. At the same time, it can expand the storage capacity of single chain, improve the efficiency of traceability query and protect the privacy of private data. And it is hoped to provide reference for the application of block chain technology in traceability system.

Key words: blockchain technology; trusted main-side multi-chain traceability platform; green food; supply chain network; food safety

收稿日期: 2022-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71871144)。

作者简介/通信作者*: 何静 (1972-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 供应链管理、食品供需网和食品追溯系统, E-mail: jhe@shou.edu.cn。

随着人民生活水平的提高和健康意识的逐步增强,安全、营养、环保的绿色食品越来越受到广大消费者的欢迎,然而由于绿色食品的特殊属性较难辨别,导致绿色食品市场中问题频发。2011年,沃尔玛在重庆的多家门店,曾经将普通猪肉当作绿色猪肉进行销售,用虚假的产品描述来欺骗消费者。2020年,扬州某公司将未经认证的大米在包装袋上标注了“绿色食品”字样,冒用绿色食品标识欺骗消费者。这些“绿色食品”不仅直接销售给消费者,还会作为原材料进入到各种绿色加工食品的供应链网络中,带来消费者的信任危机。

导致上述现象频发的原因,表面上是由于消费者缺乏识别绿色食品的能力和经验,逐利性的绿色食品企业不够自律,政府监管不力等,但最根本的还是绿色食品市场中存在着信息不对称、不可信。完备的质量分级、绿色认证、标志制度以及建立绿色食品安全追溯系统能够降低绿色食品生产过程中的机会主义行为,缓解信息不对称现象。其中建立绿色食品追溯系统,做好溯源与追踪工作是解决信息不对称的最根本的解决方法^[1-7]。区块链为不可信网络中的信息和价值传递提供了一个可信的通道,其具有的去中心化、可追溯、防篡改、智能合约的特性,能够减少多主体组织中的信息不对称,提高整个组织的可追溯性、信息可信性和透明度,能够有效避免中心网络系统故障导致的系列问题,保障信息的安全,因此区块链技术常常用来作为追溯平台的底层技术^[8-12]。Kumar等^[13]构建了一种基于区块链的大米价值链可追溯性系统,追溯运输过程中的信息,以保障大米质量。Marchese等^[14]建立了一个基于区块链的农业食品供应链可追溯系统,该系统可实现可追溯信息的透明、可靠和不可篡改的存储。Suroso等^[15]结合溯源系统的开发生命周期,同时利用快速结构化方法,打造了水培蔬菜追溯系统。中国移动云南公司依托区块链技术,构建了“从田园到餐桌”的可追溯体系,解决绿色食品生产经营信息不透明、质量保障不足、监管难的问题^[16]。孙熠等^[7]通过对绿色食品的生产加工、存储运输、销售等环节的分析,构建了基于区块链技术的绿色食品溯源体系的框架,发现溯源体系能够使溯源数据可靠、无法被篡改、全面可共享。

然而,研究多是在供应链中直接把溯源数据的部分或全部存储在区块链上,而随着绿色食品供应链的网络化发展,需要存储的溯源数据越来越多,区块链的数据存储能力会受到影响。并且研究未区分溯源信息中的保密性数据和非保密性数据,保密性数据可能被不相关人员获得,泄露企业的核心能力。因此本文以区块链技术为基础,将绿色食品供应链拓展为绿色食品供应链网络,引入侧链技术,构建可信主侧多链绿色食品追溯平台,将保密性数据和非保密性数据储存在不同的主链中,同时采用布隆过滤器改进过的BMerkle树进行溯源查询,并以具体的绿色食品

为例说明了追溯的流程。希望能丰富区块链在绿色食品行业中应用的理论,实现绿色食品原材料供应-生产加工-运输-销售全流程信息的可追溯,扩大区块链的存储能力、提升溯源查询效率、避免保密性数据的泄露,从而解决绿色食品的质量安全问题,提升各主体间的信任,规范绿色食品市场发展。

1 基于区块链的绿色食品追溯面临的挑战

绿色食品在复杂的生产流通过程中涉及到多条供应链的交叉,比如,面粉、牛奶、肉类的生产者可以有自己独立的供应链,直接向终端消费者销售,也可以分别作为糕点、餐饮等行业的原材料供应商节点。绿色食品从生产到销售要经过多个环节,每个环节又涉及到多个企业,涉及到的溯源信息量巨大。除此之外,绿色食品较普通食品而言要满足的条件更高,国家对于不同的绿色食品有不同的绿色标准,例如绿色食品小麦的农药使用准则应满足NY/T 393标准要求,产地环境应符合NY/T 391标准要求,这些标准都应以编码的形式储存于区块链中,只有符合标准的产品信息才可以上传至区块链。

目前的区块链溯源体系,主要是利用智能合约,将溯源数据直接储存在链上。而区块链作为一种分布式的系统,其链上所有节点都会备份存储的数据,这样重复性的储存会造成大量的内存消耗,从而增加追溯系统的维护成本,降低系统的反应速度。在面对绿色食品溯源这种存在大量数据的场景时,区块链的存储能力可能会成为溯源系统的瓶颈^[17-18]。同时,在绿色食品区块链溯源中进行数据查询时,需要查找区块链上的所有交易来获取数据,随着交易信息越来越多,溯源过程越来越繁琐,溯源查询效率越来越低。

2 区块链与绿色食品供应链网络概述

区块链是一种由所有节点共同参与维护、任一节点都有最新完整数据库的拷贝、节点间交易公开透明、使用非对称加密算法进行传输访问的技术,点对点传输、共识机制、加密算法等决定其具有去中心化、分布式记账、开放透明、防篡改、可追溯和智能合约等特性^[19-21]。

侧链是通过加密哈希树以及区块头来验证主链的交易,从而达到拓展主链功能并且提升其性能的目的。侧链是一个独立的区块链系统,具有自身的帐本、共识机制、智能合约等,可以在主链的基础上添加隐私保护、智能合约等新功能,可以将一些需要高频次的交易以及数据的加密解密等放到侧链中,从而为主链扩容。由于主侧链是互相独立的,因此侧链上进行的行为不会影响主链,侧链上发生的风险问题也不会影响到主链的性能与安全,是一种更安全的协议升级方式^[22-23]。

绿色食品供应链网络具有复杂的结构,涉及多条供应链之间的跨链联系。绿色食品供应链网络包含原材料供应、加工、销售、物流等环节,这些环节之间又存在着多个主体的相互作用关系。直接参与

主体有不同的原材料供应商、绿色食品加工商、分销商、零售商、物流服务提供商、消费者,间接参与主体涉及到监管部门、新闻媒体、金融机构、科研高校等,其结构模型见图 1。这些主体的交互往往呈现出一种网状结构,即在各个环节都存在着多个行动主体,一个原材料供应商往往会向多个食品加工企业提供服务,而一个食品加工企业往往会有不同的原材料供应商和分销商,这样多主体的相互合作关系,形成了绿色食品供应链网络化结构。

3 区块链支撑的可信主侧多链绿色食品追溯平台的构建

3.1 设计思路

首先,针对区块链存储的问题,构建主侧多链的溯源系统,将供应链网络中的隐私性数据和非隐私性数据分开存储在不同的主链中,并分别为其锚定侧链。将智能合约部署在侧链上,由侧链实现各类数据的上传与查询,侧链存储了完整的追溯数据,不需要在主链上存储全部的产品信息,只需在侧链中进行哈希运算,将产品追溯信息的哈希值与主链网络进行同步即可^[24-25]。这样可以减少一些无用信息占用的空间,并且主链中各个节点所要储存的数据量也减少了,从而缓解单链的数据存储压力,从某种意义上弥补了区块链在数据存储上的不足,提高了整个区块链网络的性能;同时,将不同保密性质的信息储存在不同的链上,在减轻单链存储压力的同时,防止一些无关人员对保密信息的接触(如消费者节点就无法获得加工节点的具体加工信息),加强了隐私数据的安全性^[26-27]。

其次,针对溯源查询效率较低的问题,参考刘炜等^[28]提出的 BMerkle 树结构,通过布隆过滤器快速查找区块中是否存在所要查询的交易,从而提高查

询的效率。BMerkle 树根的布隆过滤器保存了所有交易的溯源码信息,在输入溯源码查询时,先查找区块头的 BMerkle 根,若其中不包含查询的溯源码,则直接对下一个区块进行查找,而不需要对区块中的所有交易进行搜查,若区块头的 BMerkle 根中包含该溯源码,则直接在其所在的区块查询即可^[28]。

3.2 参与主体

绿色食品可追溯平台的参与主体有:提供绿色食品信息的全流程参与者,包括绿色食品种植/养殖企业、绿色食品加工商、分销商、零售商、物流企业等;消费者;监管机构;第三方检测机构、政府部门、新闻媒体等;为绿色食品追溯提供服务的机构,包括金融机构、科研高校等;平台维护企业,提供专业技术,负责平台的建设和日常维护,没有访问信息的权限,只能查看平台基础的配置。所有的参与主体既是追溯信息的提供者也是使用者和监管者。

3.3 区块链支撑的可信主侧多链绿色食品追溯平台的架构

区块链支撑的可信主侧多链追溯平台自上而下由用户层、应用层、存储层、智能合约层、网络层、数据采集层六层构成,追溯平台架构见图 2。

3.3.1 数据采集层 数据的采集上传主要依靠大数据和互联网的支持,主要利用摄像头、传感器、RFID、信息网络等将产地数据、质量数据、运输数据、交易数据等采集并上传,利用这些可以有效地降低人为因素导致的上链数据的不真实性。

3.3.2 网络层 网络层主要提供数据传输的服务,将 P2P 网络、传播机制、验证机制等进行封装,使数据在各个节点间进行点到点的交互,而不需要通过中心服务器,确保所有节点都有权力收发信息,都能产生新的信息并通过全平台广播传送至其它节点。

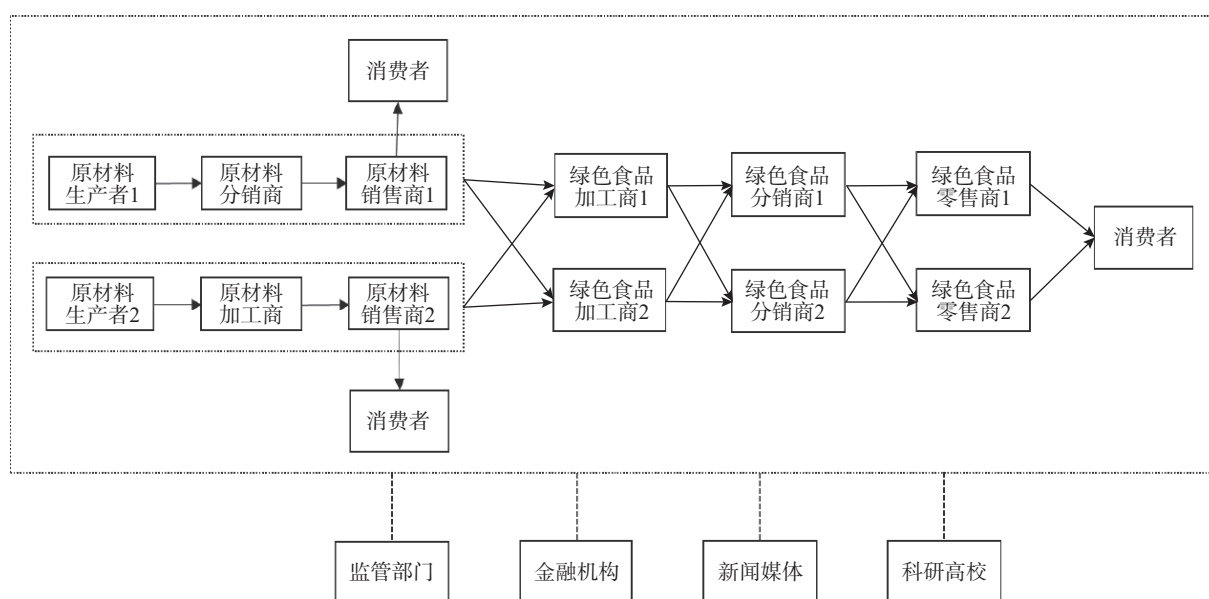


图 1 绿色食品供应链网络结构模型

Fig.1 Network structure model of green food supply chain

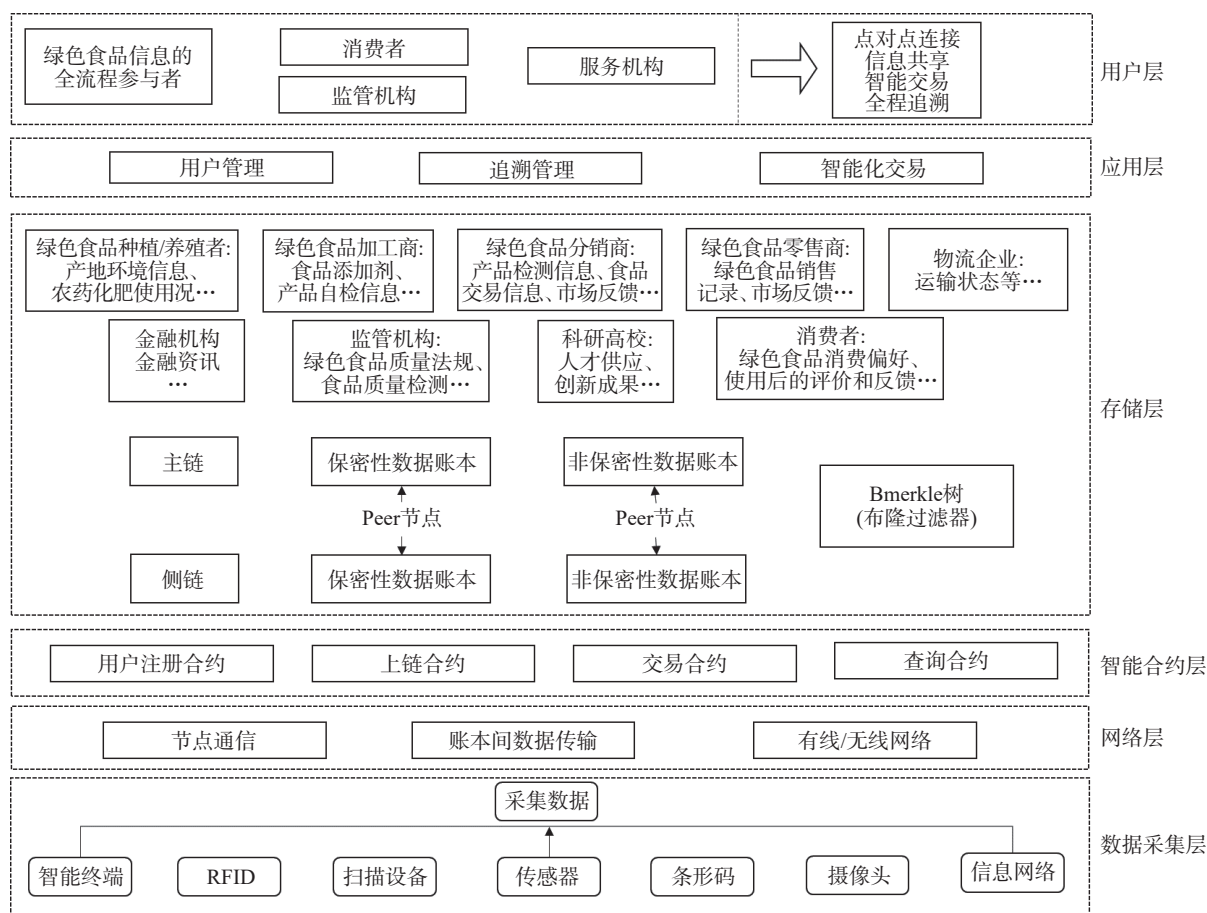


图2 基于区块链的可信主侧多链绿色食品追溯平台架构

Fig.2 Block chain-based trusted main-side multi-chain green food traceability platform architecture

3.3.3 合约层 合约层集成了所需的相关合约,智能合约是一套以计算机程序实现的合约,将协议双方约定的合约内容和触发机制等规则编码后写入区块中,在满足触发条件的情况下,系统会自动完成,不会受到任何外部因素的影响^[29]。可编码性保证合约内容能够根据外部环境的变化及时进行更新处理。本文将有关绿色食品的标准、用户注册信息、交易条件、追溯信息查询条件等以代码的形式嵌入区块链,实现绿色食品追溯过程中的自动化和智能化。

3.3.4 存储层 溯源平台采用主侧多链的区块链技术,分别设计保密性数据账本和非保密性数据账本两条主链,两条链的账本之间互不干扰的运行,各账本分别独立实现数据的查询、录入等操作^[30]。对保密性数据账本建立侧链由 Peer 节点锚定至主链,由侧链实现溯源数据上传以及加密和解密操作。对非保密数据账本建立侧链由 Peer 节点锚定至主链,由侧链完成追溯信息的上传。同时,使用 BMerkle 树结构实现数据的存储与查询,提升了大量数据的录入与查询效率。

3.3.5 应用层和用户层 应用层主要包含用户管理、追溯管理和智能化交易等。只有经过身份认证后的用户才可以上链,并且根据不同的权限进行不同追溯信息的上传和查询,同时保护用户的隐私。用户层则涵盖了绿色食品供应链网络中的所有成员,各成

员之间点对点连接,通过可信追溯平台进行信息的全流程追溯,从而实现协同共赢。

4 区块链支撑的可信主侧多链绿色食品追溯平台的运行分析

常见的绿色食品有:a.水果、蔬菜、鱼类等未经加工的食品;b.豆制品、调味料、速冻食品、果汁等经加工的食品。不同绿色食品所具有的属性不同,在追溯过程中应遵从的标准也不同。下边以绿色食品速冻牦牛肉小馄饨为例,分析可信跨链绿色食品追溯平台的运行。

4.1 用户注册

在绿色食品速冻牦牛肉小馄饨供应链网络中,蔬菜、面粉、牦牛肉、水、调味料等原材料既可以供应给小馄饨加工商,又可以直接销售给消费者,在向加工商供货时,原材料供应商会对不同的加工商进行原料供应,生产出的小馄饨也会由不同的分销商进行销售,最终消费者可以从不同的零售商中购买到小馄饨,这个过程还涉及监管机构、物流企业、科研高校、金融机构等节点的参与,所有的参与主体都要先进行身份认证才可以进行数据的上链与查询。**a. 用户认证。**通过将分布式公钥基础设施(DPKI)、分布式标识符(DID)、可验证凭证(VC)等技术与电子签名、电子签章等技术融合,可以有效实现身份认证,为用户提供唯一的数字身份凭证,实现对用户身份的

合法性确认^[31]。b. 权限管理。主侧链的设计可以将用户管理智能合约写进侧链中,在侧链中进行用户权限管理,平台会按照用户类别的不同设置不同的权限,开放不同的功能,以此保护用户个人隐私信息和数据的安全。

4.2 小馄饨供应链网络业务信息分析

绿色食品小馄饨供应链网的特点是环节众多,监管部门对与绿色食品的要求更高,小馄饨每个环节所需要满足的标准也多,需要记录和传递的数据量较大。本文将小馄饨供应链网络分为原材料供应、加工、物流、销售 4 个环节,最后进入末端消费者手中,小馄饨供应链网络结构如图 3 所示。

各个环节涉及到的企业应遵守相关国家标准对产品进行生产加工、储存、销售、运输等,并且利用

传感器、无线射频识别等技术将相关数据以及形成的产品溯源码一起上传到侧链,并经数据验证后同步至主链,各个环节涉及到的数据见表 1,数据随着小馄饨的加工流通在供应链网络中流动。从企业的角度来看,这些数据又可以分为保密性数据和非保密性数据,例如加工企业的加工工艺、馄饨配料以及企业的销售统计数据等,该类数据为企业的保密性数据,而原材料的种植、养殖、产品的运输条件、储存温湿度等信息为非保密性数据。

4.3 数据存储

原材料供应商、生产商和经销商等企业首先使用物联网采集设备收集产品信息,产生原始数据存储到侧链上,之后使用改进过的 BMerkle 树进行哈希运算,并将 BMerkle 树根同步到主链上,此时主链无

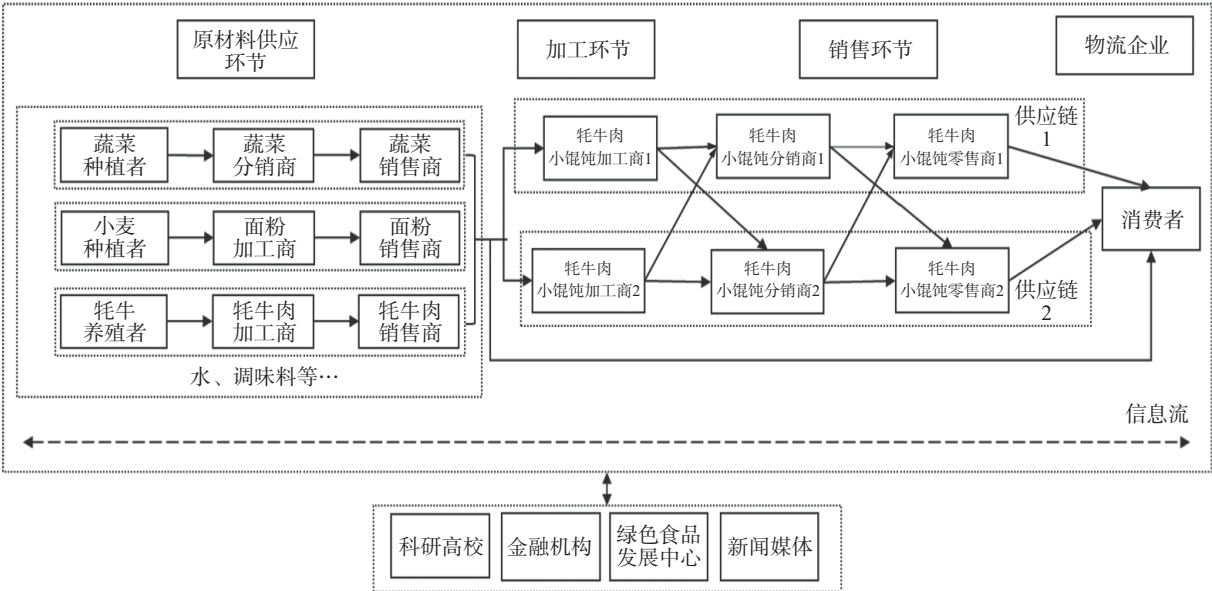


图 3 绿色食品速冻牦牛肉小馄饨供应链网络结构图

Fig.3 Green food quick-frozen yak meat small wonton supply chain network structure diagram

表 1 绿色食品速冻牦牛肉小馄饨供应链网络中的信息

Table 1 Green food quick-frozen yak meat small wonton supply chain network information

参与主体	相关企业	信息	
提供绿色食品信息的全流程参与者	原材料种植/养殖者	牦牛养殖者 产地环境; 饲料、兽药、疫苗投入情况; 放牧等生产过程管理; 残余疫苗、一次性医疗器械、污水处理信息; 检验信息; 交易信息等	
		小麦/蔬菜种植者 产地环境; 种子质量、农药、化肥投入情况; 整地、播种、灌溉、采收等生产过程管理; 生产废弃物的处理信息; 检验信息; 交易信息等	
	绿色食品加工商	牦牛肉加工商 企业自身信息; 食品添加剂、加工厂区环境、加工设备与工具、人员卫生管理、生产废弃物的处理; 食品批次、加工流程、用料含量、包装材料、保质期、出厂记录; 检验信息; 交易信息等	
		面粉加工商	
		小馄饨加工商	
	绿色食品分销商、零售商	牦牛肉、面粉、蔬菜、小馄饨分销/零售商 企业自身信息; 验货记录、储存环境、保质期、出库、销售记录; 检验信息; 交易信息等	
消费者	物流企业	企业自身信息; 食品的状态信息; 温度、湿度、卫生等运输环境信息; 检验信息; 交易信息等	
	消费者	关于食品质量、价格、口感等的反馈信息; 投诉信息等	
监管机构	第三方检测机构	食品添加剂、农药、重金属残留等检测结果; 组织形态、气味、色泽等感官信息等	
	政府部门	种植/养殖、加工、包装、运输、销售相关标准; 绿色食品认证标准; 监管、奖惩信息等	
服务机构	新闻媒体	绿色食品安全问题披露; 绿色食品相关知识; 相关企业形象等	
	金融机构	企业信用等级评估报告、金融资讯等	
	科研高校	相关创新成果信息、人才信息等	

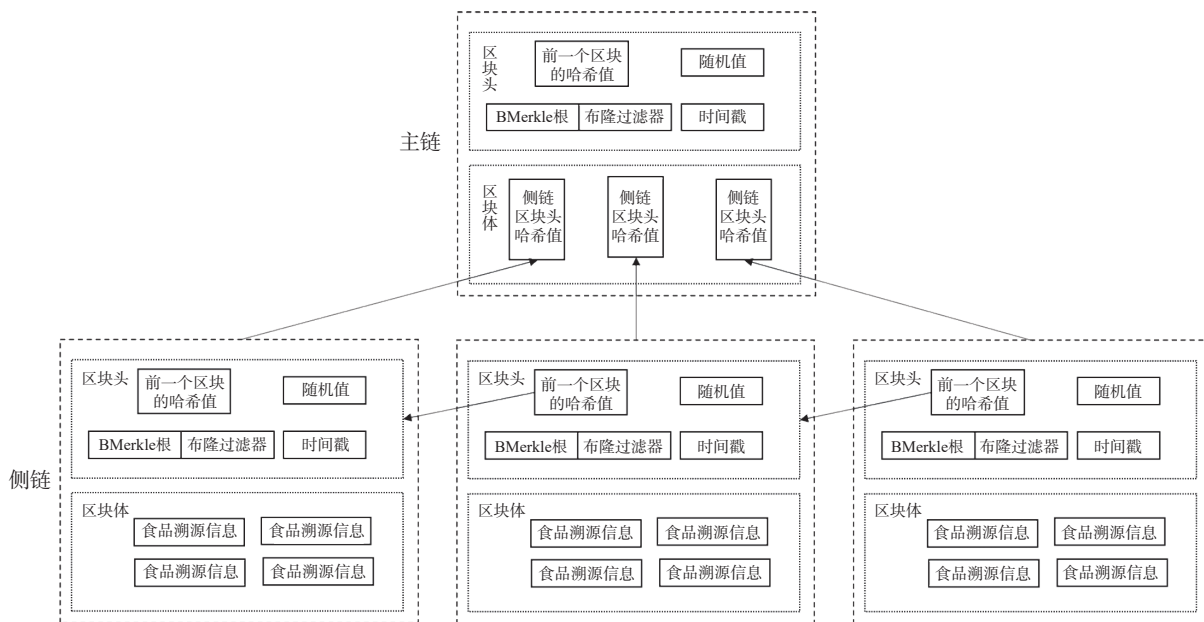


图4 主链和侧链数据结构

Fig.4 Main chain and side chain data structure

需存储大量的溯源具体信息,大大降低了主链的存储压力。主链和侧链的结构如图4所示。

对于非保密性数据可将其直接储存至侧链中,后同步至主链;而对于需要保密的数据,要在侧链中先调用智能合约实现数据的加密操作,并将密文同步至主链,实现密文的数据存储,后再将其数据同步至主链。数据由侧链同步至主链需要经过以下步骤,首先侧链向主链发起同步申请,将侧链区块编号、BMerkle 树根哈希值以及对应产品溯源码信息打包成同步交易,交易被发送至主链;接着主链收到同步

交易后,会对其进行解析,并验证该交易所含内容是否合法,而后将验证结果发送至侧链,侧链收到主链验证结果后,同意产品信息写入,并将确认结果发送至主链;最终,主链收到确认结果后将交易具体内容写入区块中,数据同步完成,数据也就分别存储在了主侧链中。

4.4 溯源查询

小馄饨出现问题时,可以根据小馄饨的溯源码等进行追溯查询,追溯流程见图5。

首先,发出追溯请求。已经注册过的用户登录

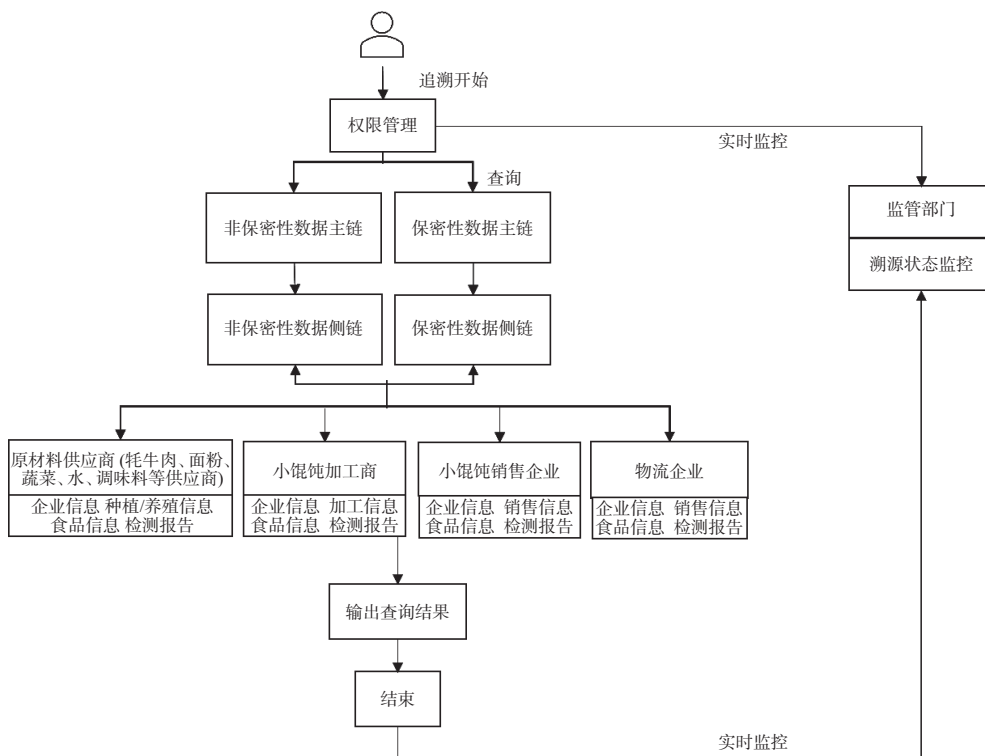


图5 绿色食品速冻牦牛肉小馄饨信息追溯流程

Fig.5 Green food quick-frozen yak meat small wonton information traceability process

平台,输入产品的溯源码,向平台发出追溯申请。

然后,按照权限进行查询,确定要输出的信息。系统通过用户的数据和帐号信息对用户的访问权限进行查询,不同节点权限不同。如消费者只能看到如食品质量检测报告、保质期、生产时间、产品价格等与食品质量相关的非保密性信息,却看不到绿色食品加工具体流程等保密性信息;同一环节的不同节点之间也看不到双方的加工、销售等信息;而监管节点的权限是最高的,可以对整个系统内的用户节点的所有信息进行追溯查询。

在确认用户权限后,主链会根据输入的溯源码信息快速的对区块头的 BMerkle 根值进行搜索,改进后的区块结构示意图见图 6。由于 BMerkle 根不仅包含交易的哈希值,而且包含所有交易溯源码构建的布隆过滤器,在区块间查找时,如果该区块头的 BMerkle 根不包含输入的溯源码信息,则直接转到下一个区块查找,如果包含输入的溯源码信息,则进入 BMerkle 树搜索,同时返回对应的侧链区块编码,快速定位到侧链中的对应区块,在侧链中再次根据 BMerkle 树查找,找到后调用智能合约将相关产品的全部信息输出。引入布隆过滤器的 BMerkle 树无需遍历区块的所有交易,从而缩短了查询时间^[28]。

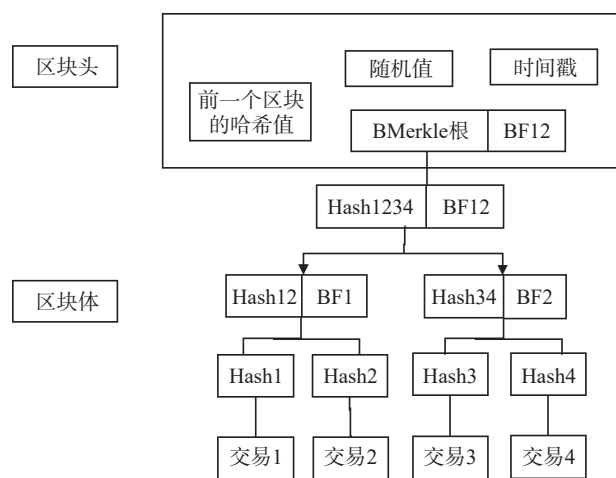


图 6 改进后的区块结构
Fig.6 Improved block structure

需要注意的是,在进行保密性数据查询的过程中,还需在主链中实现密文数据的查询,并将密文数据同步至侧链中,再由侧链调用智能合约实现数据的解密,得到明文数据返回至查询节点,实现数据的查询。

最后,记录追溯过程。追溯完成后,追溯记录和追溯结果将以区块的形式存入区块链中。在整个过程中,监管部门对于追溯行为进行实时的监控,以保证追溯行为的真实性。在追溯过程中,对数据的任何增添、修改、删除都会记录在区块链中,有效杜绝了溯源信息作假的情况。

5 总结与展望

本文引入侧链以及布隆过滤器,将区块链与绿

色食品供应链网络相结合,构建了可信的主侧多链绿色食品追溯平台,并以绿色食品速冻牦牛肉小馄饨为例分析了追溯的流程。分析发现,引入侧链之后能够分担主链的数据存储压力,提高数据处理效率,并且将企业的保密性数据和非保密性数据分别存储在不同的链中,能够有效地防止无关人员获取保密信息,增强数据的安全性。同时,引入布隆过滤器改进后的 BMerkle 树,使得获取某条交易的具体内容时无需遍历区块内所有交易,提高了溯源查询的效率。本追溯平台在保证绿色食品信息的真实不可篡改的基础上,又能够扩容区块链,提高溯源效率以及保障数据安全,希望能够为区块链技术在绿色食品行业的应用提供一定的参考价值。

然而区块链技术作为新兴技术,目前还处于早期探索阶段,在绿色食品市场的应用中仍面临着一系列的挑战。我国绿色食品企业数量众多,但总体规模较小,行业组织化程度较低,而区块链技术开发成本较高,企业应用区块链技术的意愿不详;区块链技术本身的发展尚不完善,仍然面临能源消耗、交易延迟、代码漏洞等诸多问题。这些问题对于区块链技术的推广应用都造成了一定阻碍,后续研究应从控制区块链技术应用过程中的实施成本、绿色食品企业应用区块链的条件以及提高区块链自身安全性等方面展开。

参考文献

- [1] 陈玥婧,周爱莲,谢能付,等. 基于区块链和物联网的农产品质量安全追溯系统[J]. 农业大数据学报, 2020, 2(3): 61-67.
- [2] CHEN J Y, ZHOU A L, XIE F N, et al. An agricultural product quality safety trace-ability system based on blockchain and the Internet of things[J]. Journal of Agricultural Big Data, 2020, 2(3): 61-67.
- [3] 付文斌,周适,刘泉红. 实现优质优价的国际经验及启示[J]. 当代经济管理, 2019, 41(3): 25-31.
- [4] FU W B, ZHOU S, LIU Q H. International experiences and inspirations of realizing good price for higher quality[J]. Contemporary Economic Management, 2019, 41(3): 25-31.
- [5] GIANNAKAS K. Information asymmetries and consumption decisions in organic food product markets[J]. Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne D'Agroeconomie, 2002, 50(1): 35-50.
- [6] 杨智,许进,姜鑫. 绿色认证和论据强度对食品品牌信任的影响——兼论消费者认知需求的调节效应[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2016, 17(3): 6-11,89.
- [7] YANG Z, XU J, JIANG X. Impact of green certification and argument strength on green food brand trust: Based on moderating effects of consumer's need for cognition[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Social Sciences), 2016, 17(3): 6-11,89.
- [8] 刘瑞峰,王剑,梁飞,等. 绿色食品认证对猕猴桃种植的环境效益和经济效益影响——基于倾向得分匹配的实证分析[J]. 农业经济与管理, 2021(3): 39-49.
- [9] LIU R F, WANG J, LIANG F, et al. Effect of green food certification on environmental and economic benefits of kiwi fruit cultivation—Empirical analysis based on propensity score matching[J]. Agricultural Economics and Management, 2021(3): 39-49.

- [6] 周荣华, 张明林. 绿色食品生产中农户机会主义治理分析[J]. 农村经济, 2013(1): 119-122. [ZHOU R H, ZHANG M L. Analysis of peasant' opportunism governance in green food production[J]. Rural Economy, 2013(1): 119-122.]
- [7] 孙熠, 彭晗, 龙伟, 等. 区块链技术背景下绿色食品安全溯源体系构建研究[J]. 南方农机, 2022, 53(16): 30-33. [SUN Y, PENG H, LONG W, et al. Research on the construction of traceability system of green food safety under the background of blockchain technology[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2022, 53(16): 30-33.]
- [8] 王伟, 赵海军, 王紫娟, 等. 区块链在我国出口食品溯源的应用探索研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(20): 8234-8241. [WANG W, ZHAO H J, WANG Z J, et al. Exploratory research on application exploration of blockchain in traceability of export food in China[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(20): 8234-8241.]
- [9] ROECK D, STERNBERG H, HOFMANN E. Distributed ledger technology in supply chains: A transaction cost perspective[J]. International Journal of Production Research, 2020, 58(7): 2124-2141.
- [10] KÖHLER S, PIZZOL M. Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain[J]. Journal of cleaner production, 2020, 269: 122193.
- [11] AHMED S, BROEK N T. Blockchain could boost food security[J]. Nature, 2017, 550(7674): 43-43.
- [12] 唐新华. 技术政治时代的权力与战略[J]. 国际政治科学, 2021, 6(2): 59-89. [TANG X H. Power and strategy in the age of techno-politics[J]. Quarterly Journal of International Politics, 2021, 6(2): 59-89.]
- [13] KUMAR M V, IYENGAR N C S. A framework for blockchain technology in rice supply chain management[J]. Adv Sci Technol Lett, 2017, 146: 125-130.
- [14] MARCHESE A, TOMARCHIO O. A blockchain-based system for agri-food supply chain traceability management[J]. SN Computer Science, 2022, 3(4): 1-21.
- [15] SUROSO A I, RIFAI B, HASANAH N. Traceability system in hydroponic vegetables supply chain using blockchain technology[J]. International Journal of Information and Management Sciences, 2021, 32(4): 347-361.
- [16] 张极. 绿色食品的全流程可溯源[J]. 中国电信业, 2020(8): 67. [ZHANG J. The full process traceability of green food[J]. China Telecommunications Trade, 2020(8): 67.]
- [17] 陈明, 孙浩, 邹一波, 等. 基于区块链的河豚供应链可信溯源优化研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(9): 295-304. [CHEN M, SUN H, ZOU Y B, et al. Trusted traceability optimization of pufferfish supply chain based on blockchain[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(9): 295-304.]
- [18] 张斌, 李大鹏, 蒋锐, 等. 面向区块链溯源的链下扩展存储方案[J]. 计算机与现代化, 2022(10): 106-112, 126. [ZHANG B, LI D P, JIANG R, et al. An off-chain extended storage scheme for blockchain traceability[J]. Computer and Modernization, 2022(10): 106-112, 126.]
- [19] ASTE T, TASCA P, DI MATTEO T. Blockchain technologies: The foreseeable impact on society and industry[J]. Computer, 2017, 50(9): 18-28.
- [20] FERRÁNDEZ-PASTOR F J, MORA-PASCUAL J, DÍAZ-LAJARA D. Agricultural traceability model based on IoT and blockchain: Application in industrial hemp production[J]. Journal of Industrial Information Integration, 2022: 100381.
- [21] 袁勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494. [YUAN Y, WANG F Y. Blockchain: The state of the art and future trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494.]
- [22] 孙浩, 毛瀚宇, 张岩峰, 等. 区块链跨链技术发展及应用[J]. 计算机科学, 2022, 49(5): 287-295. [SUN H, MAO H Y, ZHANG Y F, et al. Development and application of blockchain cross-chain technology[J]. Computer Science, 2022, 49(5): 287-295.]
- [23] LI M, TANG H, HUSSEIN A R, et al. A sidechain-based decentralized authentication scheme via optimized two-way peg protocol for smart community[J]. IEEE Open Journal of the Communications Society, 2020(1): 282-292.
- [24] 刘通, 王凤英. 基于Merkle树的起源完整性解决方案[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2012, 26(3): 68-71. [LIU T, WANG F Y. Research on the integrity of data provenance based on Merkle tree[J]. Journal of Shandong University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 26(3): 68-71.]
- [25] 张朝栋, 王宝生, 邓文平. 基于侧链技术的供应链溯源系统设计[J]. 计算机工程, 2019, 45(11): 1-8. [ZHANG C D, WANG B S, DENG W P. Design of supply chain traceability system based on side chain technology[J]. Computer Engineering, 2019, 45(11): 1-8.]
- [26] 程通. 基于区块链的供应链溯源平台关键技术研究[D]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2021. [CHENG T. Research on key technologies of supply chain traceability platform based on blockchain[D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2021.]
- [27] 郭佳程, 宁德军, 李泱丞, 等. 基于区块链的可信分布式能源共享网络研究[J]. 计算机工程, 2021, 47(3): 17-28. [GUO J C, NING D J, LI H C, et al. Research on trusted distributed energy sharing network based on blockchain[J]. Computer Engineering, 2021, 47(3): 17-28.]
- [28] 刘炜, 王栋, 余维, 等. 一种面向区块链溯源的高效查询方法[J]. 应用科学学报, 2022, 40(4): 623-638. [LIU W, WANG D, SHE W, et al. An efficient query method for blockchain traceability[J]. Journal of Applied Sciences, 2022, 40(4): 623-638.]
- [29] 蔡楚君, 柳毅. 基于以太坊平台的医疗数据安全共享方案[J]. 计算机应用研究, 2022, 39(1): 24-30. [CAI C J, LIU Y. Secure sharing solution for medical data based on ethereum[J]. Application Research of Computers, 2022, 39(1): 24-30.]
- [30] 赵坤. 农产品质量安全高效可信溯源模型研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2022. [ZHAO K. Research on a safe and efficient agricultural product trusted traceability model[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2022.]
- [31] 颜拥, 陈星莺, 文福拴, 等. 从能源互联网到能源区块链: 基本概念与研究框架[J]. 电力系统自动化, 2022, 46(2): 1-14. [YAN Y, CHEN X Y, WEN F S, et al. From energy internet to energy blockchain: Basic concept and research framework[J]. Automation of Electric Power Systems, 2022, 46(2): 1-14.]