

基于区块链技术的农产品质量溯源系统构建^①

柳祺祺^② 夏春萍^③

(华中农业大学经济管理学院 武汉 430070)

摘 要 为保障农产品质量,国家在农产品溯源方面做出许多努力,成果颇丰,但是目前依然存在生产环节各方信息不对称、中心数据库易篡改、政府无法有效监管、消费者信心不足等关键问题。本文从区块链的理论研究出发,分析了国内现有农产品溯源方案的特征与不足;结合区块链技术和农产品溯源的各自特点,提出了构建基于 Fabric 的农产品质量溯源系统,并对该溯源系统进行了方案设计,包括系统的整体架构设计、系统核心节点功能设计、系统协作溯源流程及数据流程设计;最后总结了基于区块链技术的农产品溯源系统的优势,以期实现农产品有效追溯。

关键词 农产品质量溯源,区块链,方案设计

0 引 言

民以食为天,近年来,苏丹红鸭蛋、盐酸克伦特罗、三聚氰胺奶粉、毒豆芽、毒镉米、疯牛病、口蹄疫、禽流感等引发的食品安全事故严重损害了消费者利益和社会公众信任。食品主要来源于农产品,建立农产品质量追溯系统是当前国内外广泛采用的一种对农产品质量监督与控制的行之有效的监管手段^[1]。

农产品溯源是指农产品由农田到餐桌各个阶段的信息流的连续性保障体系。溯源技术的出现和进步使得农产品源头逐渐得到有效保障^[2]。然而农产品质量溯源属于全程性溯源,随着科技的发展,农产品质量溯源成为运用互联网、数据库管理和识别码等技术,对农产品生产、存储、运输、销售等各个环节的信息进行采集录入、整理分析,最终实现对农产品跟踪和溯源的整体过程。我国一直非常重视农产品溯源体系的建设,在 2017 年 10 月 13 日,国务院发布的《关于积极推进供应链创新与应用的指导意

见》中就提出:我国农业发展的关键任务是创新农业产业组织体系,提高农业生产的科学水平,提高质量安全可追溯性。将供应链中的上下游企业纳入可追溯系统,构建具有可追溯源、可追溯性和责任的全链可追溯系统,提高消费安全水平。

1 农产品质量安全追溯体系发展现状

1.1 国内外农产品质量安全追溯体系的发展历程

农产品质量追溯起源于 20 世纪 70 年代欧洲疯牛病的爆发^[3]。1997 年欧盟出台《食品安全绿皮书》,在牛肉制品生产过程中最早运用可追溯体系,目前欧盟建立了统一的数据库,对被监控对象的生产销售进行全过程的详细记载^[4]。法国 1998 年基本建成了牛肉质量追溯体系,目前在牛肉生产、加工、销售及消费的各环节,追溯工作已成为一种行为准则^[1]。日本 2001 年将质量追溯系统应用于肉牛业中,要求从零售点到农场实施强制性追溯,目前,产品可追溯终端已经在大部分超市安装^[5]。美国从 2003 年起建立了由政府推动促进、以及企业建立

① 重庆市第三次全国农业普查研究课题(snpktd05)资助项目。
② 女,1993 年生,硕士生;研究方向:农业信息化;E-mail: liuqiqi@webmail.hzau.edu.cn
③ 通信作者,E-mail: xcp@mail.hzau.edu.cn
(收稿日期:2018-09-10)

的农产品自愿追溯制度。荷兰和丹麦也建立了自己的牲畜管理系统,记录每只动物的农场及相关育种和转移群体的信息,以确保发生动物疫情时可以在第一时间追溯到源头^[6]。虽然国际农产品质量追溯系统的建设还处于发展阶段^[7],但一些成功经验和有益做法值得学习与借鉴。

我国农产品质量溯源始于2006年国家农业部正式提出建立农产品质量安全追溯体系,具有“分段、分环节”管理的特征。目前,国家层面开展的农产品质量追溯体系主要有农业部牵头的国家农产品追溯体系、动物标识和疾病追踪系统、水产品质量安全跟踪体系、农产品质量安全追溯体系以及商务部领导的肉类蔬菜流通溯源系统等。2013年我国食品安全监管体制改革后,食品安全监管职能正式步入“全产业链管理”模式,地方政府和企业积极推进相关工作,北京市、江苏省、上海市、山东省等地已经建立了自己的农产品质量安全追溯体系平台。商务部和财政部分5批支持全国58个试点城市建立肉类蔬菜溯源体系,支持18个省市建立中药材溯源体系,目前已经形成了全国城乡辐射追踪网络^[8]。企业层面上,农产品龙头企业如光明牧业、中粮集团等也在致力于建立从原料到餐桌的农产品全程追溯平台。

在农产品质量溯源系统研究方面,国内学者郑开涛等人^[9]对农产品质量安全溯源多边平台的追

溯机制进行了研究,基于时空编码技术,设计了多边平台下的农产品溯源系统。蒋雪灵等人^[10]使用问卷调查法和深度访谈法对会展农产品质量安全溯源体系建设和运行情况进行了研究。王峰和柴守诚^[11]对陕西省汉中市汉台区的农产品质量安全追溯监管体系建设进行了探析,从政府和企业角度提出了农产品质量安全追溯体系监管系统的理想模型。吕芙蓉和陈莎^[12]基于区块链技术提出了构建我国农产品质量安全追溯体系的设想。国内学者的研究思路集中在将经济管理学思想与二维码等电子标签技术相结合,构建农产品质量追溯体系,不能避免窜货、假冒等问题,亦不能解决数据库安全等级较低的问题;部分学者结合区块链技术构建农产品追溯体系,成果停留在体系设想与技术解释方面,缺乏系统本身功能设计、参与方设计等方面的研究。基于此,本文总结了国内现有农产品溯源方案的特征与不足,结合区块链技术和农产品溯源的各自特点,提出了构建基于Fabric的农产品质量溯源方案,并对该溯源系统进行了具体方案设计,以期实现农产品有效追溯。

1.2 我国农产品质量安全追溯系统存在的问题

实际应用中,现行农产品追溯采用分段监管制度,追溯体系“碎片化”状态明显、参与种类繁多、覆盖量巨大。本文总结了现有农产品质量可追溯系统的一般模型(图1)和农产品质量可追溯系统本身的

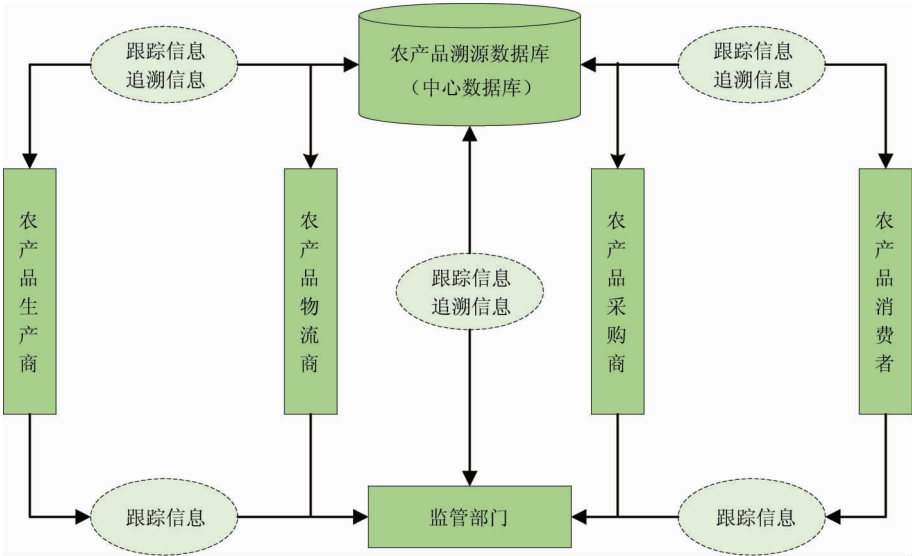


图1 现有农产品质量追溯系统的一般模式

构建问题。发现现有农产品质量追溯系统一般以中心数据库为基础,在农产品流通过程中,生产商、物流商、采购商各方将农产品状态信息上传至中心数据库;消费者在追溯过程中需要申请及调动数据,并缺乏反馈机制;监管部门在质检过程中需要通过中心数据库获取信息。因此现有农产品质量追溯体系本身主要存在以下几个问题。

首先,数据安全性差,中心数据库可篡改。现有溯源系统数据来源于各个流通环节农产品拥有者的数据上传,追溯数据的录入、跟踪主要是依靠企业的自觉自律,数据质量难以保证;农产品溯源标签不具有唯一性,农产品生产及流转数据可修改上传或选择性上传,这就产生了窜货及信息造假问题;现有平台以中心数据库为基础进行建设,中心数据库无论由政府还是第三方监管,数据安全依赖制度制约,系统漏洞下,中心数据库可以单方面修改数据,无法解决修改后信息的“信任”问题,可追溯性的来源可能是虚假的来源。

第二,农产品质量问题责任主体难以确定,追溯成本高,消费者参与度低。由于现有溯源体系下不能精确确认农产品在各个节点的状态,出现农产品质量事故时无法迅速而准确确定责任主体,并需额外承担确认成本,更不利于政府联动监管、快速响应;整个追溯系统效率低下,缺乏便捷的追溯码,进而造成消费者追溯流程繁琐,参与追溯意愿低,只有在农产品质量事故发生之后,才能实现大规模的溯源式查处^[13],无法起预防作用。

第三,追溯系统的信息获取和共享能力不足。从追溯系统建设层面上,我国地大面广,追溯体系覆盖城乡,参与的主体众多,由于采取分段、分环节的监管制度,各部门依据自身需求,自建数据库并设计开发了不同的追溯系统,造成极大的资源浪费,同时由于技术标准不兼容,追溯链条对接困难,溯源信息无法共享,容易产生信息不对称,难以实现对信息完整的跟踪与追溯。从系统使用主体层面上,农产品生产及流通环节过程中企业本身参与追溯意愿不强,管理不够规范,信息记录难度较大;农户文化水平普遍偏低,不愿意花过多的时间和精力用于采集生产过程信息,也增加了农产品质量安全监管及信

息采集的难度。

第四,质量安全追溯体系的管理难度大、效率低。我国农产品经营具有“长距离、多环节、广流通”的特点,农产品流通的主体不仅是生产者和消费者,还包括购买、存储、运输、销售等环节,影响系统运行效率的不确定因素很多,管理难度大。整个系统的管理分为技术管理和系统管理,技术管理主要包括各种标志、数据存储、数据采集和传输等,系统管理主要是由各监管部门发布的法规和制度,工作量大,内容复杂,人工监督和管理无法有效地追溯到其源头。

2 区块链技术内涵及其特点

2.1 区块链技术内涵

区块链技术是一种分布式记账技术^[14],狭义上说,区块链是按时间顺序将数据块按顺序组合在一起的链式数据结构,不能被篡改和无法造假。广义上说,区块链技术采用块链数据结构来验证和存储数据,使用分布式节点、协商一致算法生成和更新数据,并使用密码技术来保证数据传输和访问的安全性,是一种新的分布式基础设施和计算范例。它使用自动脚本代码的智能契约来编程和操作数据。经过不断的发展演进,目前区块链技术形成了由分布式数据存储(distributed)、共识信任(consensus trust)、点对点传输(point-to-point protocol)、非对称加密(asymmetric cryptography)、智能合约(smart contract)和时间戳(time stamp)为主要特征的计算机技术的新型应用模式,是用数学方法解决信任问题的一种机制,允许各个节点在没有中央权威的情况下在彼此之间建立信任。目前区块链技术作为去中心化记账(decentralized ledger technology, DLT)平台的核心技术,被广泛应用于金融、政务、信用报告、物联网和资产管理等领域^[15]。

2.2 区块链的特点

结合区块链的定义,区块链技术具有 4 个主要特征:去中心化(decentralized)、共识信任(consensus trust)、集体维护(collectively maintain)、可靠数据库(reliable database)。

第一,去中心化。整个网络没有集中的硬件或管理机构,任何节点的权利和义务是平等的,任何节点的损坏或丢失都不会影响整个系统的运行,因此,区块链系统具有很好的鲁棒性。第二,共识信任。整个的操作规则是公开和透明的,所有的数据内容都是开放的,所涉及的节点之间不需要相互信任。在系统指定的规则和时间范围内,节点之间不能相互欺骗,因此能够以较低的成本实现协商一致信任。第三,集体维护。系统中的数据块由本系统中的所有维护节点维护,某个节点数据库崩溃不会使整个系统失效。第四,可靠数据库。不对称加密技术和哈希算法的使用,使得数据的记录和传输真实、不可否认和不可篡改。系统通过分布式数据库的形式,

使每个参与节点都能得到相同的账本,除非可以同时控制系统中半数以上的节点,否则更改单个节点上的数据库是无效的,不能影响其他节点上的数据内容。

3 应用区块链技术构建农产品质量溯源系统的方案设计

为了解决我国农产品质量溯源体系面临的矛盾,基于区块链的特点,本文设计了基于区块链技术的农产品可追溯系统模型(图2),为解决问题提供了方案。

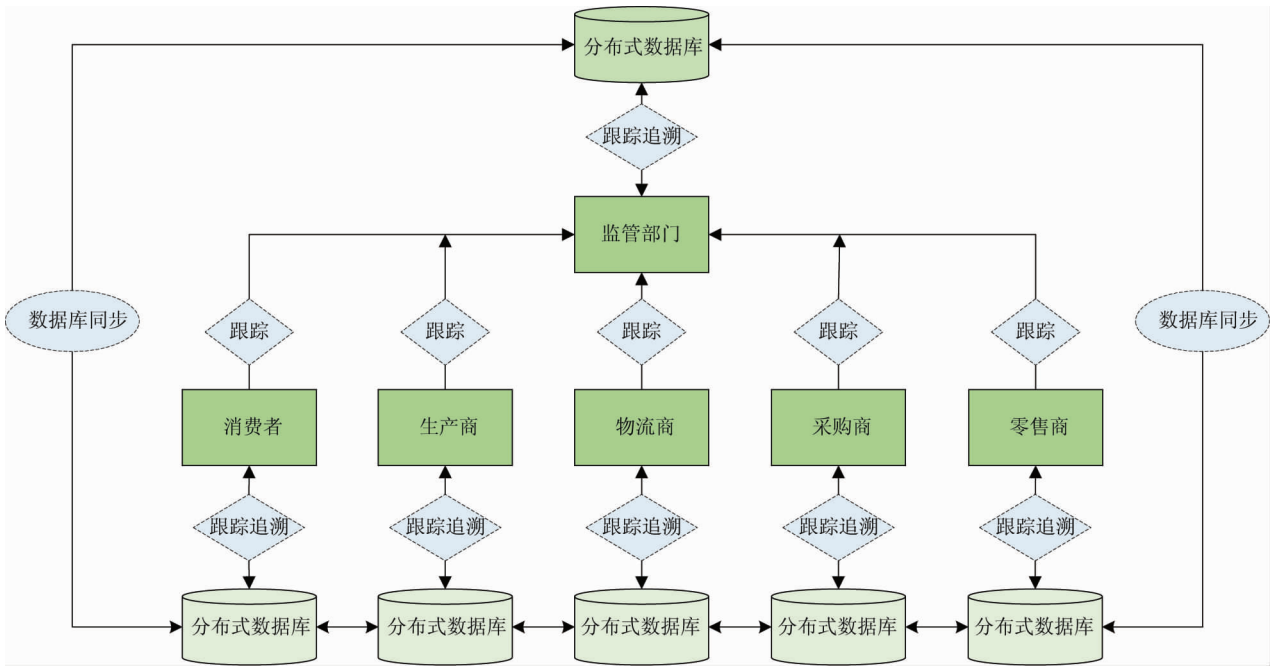


图2 区块链农产品质量追溯系统模式

依据目前我国农产品流通的一般环节,充分考虑规模效应和管理难度,将区块链农产品质量追溯系统模式参与方设定为消费者、生产商、物流商、采购商、零售商、监管部门6大节点。各节点之间数据实时共享,在保证真实的前提下,实现数据的有效跟踪和追溯。

3.1 系统总体架构设计

由于农产品溯源系统具有参与角色多、数据种类繁多、数据量庞大等特点,本文借鉴陆平等人^[16]

的区块链网络构建思想,系统整体架构根据区块链特征采用分布式存储技术与计算技术,在每个节点都部署节点服务器以及分布式数据库。业务系统以及终端设备(包括RFID电子标签、传感器、扫描器等)通过各个分布式节点获取数据(图3)。

射频识别(radio frequency identification, RFID)技术,是一种通信技术,可通过无线电信号识别特定目标并读写相关数据,而无需识别系统与特定目标之间建立机械或光学接触,具有安全性高、标签数据

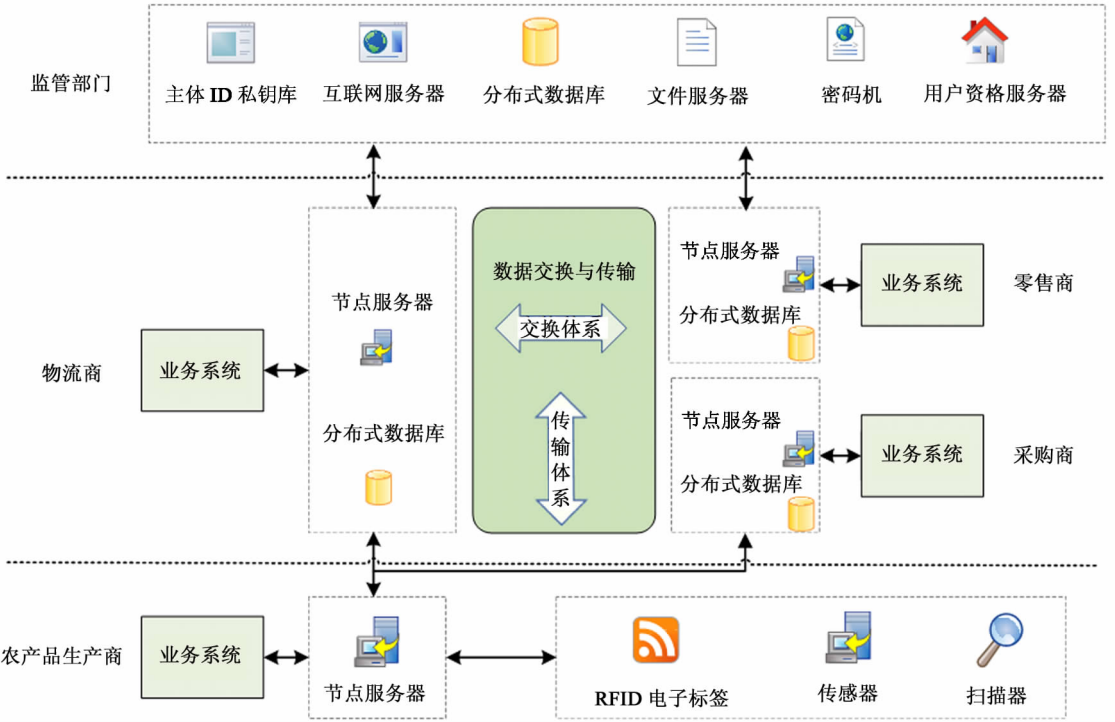


图 3 系统整体架构图

动态变化、识别速度快、批量识别、数据量大、使用寿命长、应用范围广、读取方便等优点。为了杜绝假货、窜货现象,保证追溯码的唯一性,本文采用 RFID 电子标签设计。

该系统逻辑架构具有参与安全性高、用户信息不能被篡改、不同身份具有不同权限的特点,需要采用联盟链技术。系统基于 HyperledgerFabric 开源平台,使用 Node.js 进行开发。HyperledgerFabric 是由 IBM 开发的开源联盟链平台,此平台提供可插拔选项和准入资格授权机制,便于技术人员进行开发和管理;平台使用多个通道,能够将不同账本之间信息相互隔离,信息互不干扰。为了降低开发难度,提高软件平台的可重用性、可扩展性,本系统使用组件式开发技术,把设计与开发中的元素独立化、模块化,并使用 Node.js 进行搭建。

3.2 系统核心节点及协作溯源流程

农产品质量溯源涉及农产品生产、储运、采购、销售、加工等多个环节,系统各个模块之间高效协作是实现农产品有效追溯的重要保障。应用区块链技术构建的农产品质量溯源系统包括 6 个核心节点,分别是:生产商节点、物流商节点、收购商节点、零售

商节点、消费者节点以及监管部门节点(图 4)。溯源流程步骤如下:

步骤 1 生产商节点信息采集。生产商节点在获得相应的权限后,生产农产品并标识唯一 RFID 溯源码,对生产管理和信息进行采集,将企业主体备案、农业投入和生产使用、交易信息备案、农产品溯源码信息和生产管理和采集信息进行上链。

步骤 2 物流商节点信息采集。物流商节点在获得相应权限后,通过采集管理和信息采集,将物流企业主体备案、运输信息、采集管理和采集信息上链。

步骤 3 收购商节点信息采集。收购商节点在获得相应权限后,通过采集管理和信息采集,将企业主体备案、交易信息、采集管理和采集信息以及流通过程中的商品信息如存储、农产品的质量等数据进行上链。

步骤 4 零售商节点信息采集。零售商节点在获得相应的权限后,通过信息管理和采集,将企业主体备案、采集管理和采集信息、交易信息和流通过程中的商品信息如存储状态、产品质量等数据进行上链。

步骤5 监管和监督流程。农产品质量追溯具有公益性、复杂性、链条性、系统性、覆盖性的特点。农产品质量追溯体系的建设离不开政府的监督管理,质检部门等相关机构在确保食品安全等问题上起主导作用,政府监督管理职能贯穿农产品追溯的整个流程。监管部门通过对生产商、采购商、零售商、物流商进行资格认证,将其终端作为节点加入联盟链中,同时将监管信息上链;并根据农产品的生

产、加工、运输、储存、销售环节信息和消费者反馈信息对生产商、物流商、采购商、零售商做出相应的调整或奖惩。

步骤6 消费者追溯流程。消费者节点在获得相应权限后,在特定的设备上通过扫描 RFID 电子标签查询整个交易的流程,并通过此设备将反馈信息(如投诉信息、商品的评价信息等)上链。

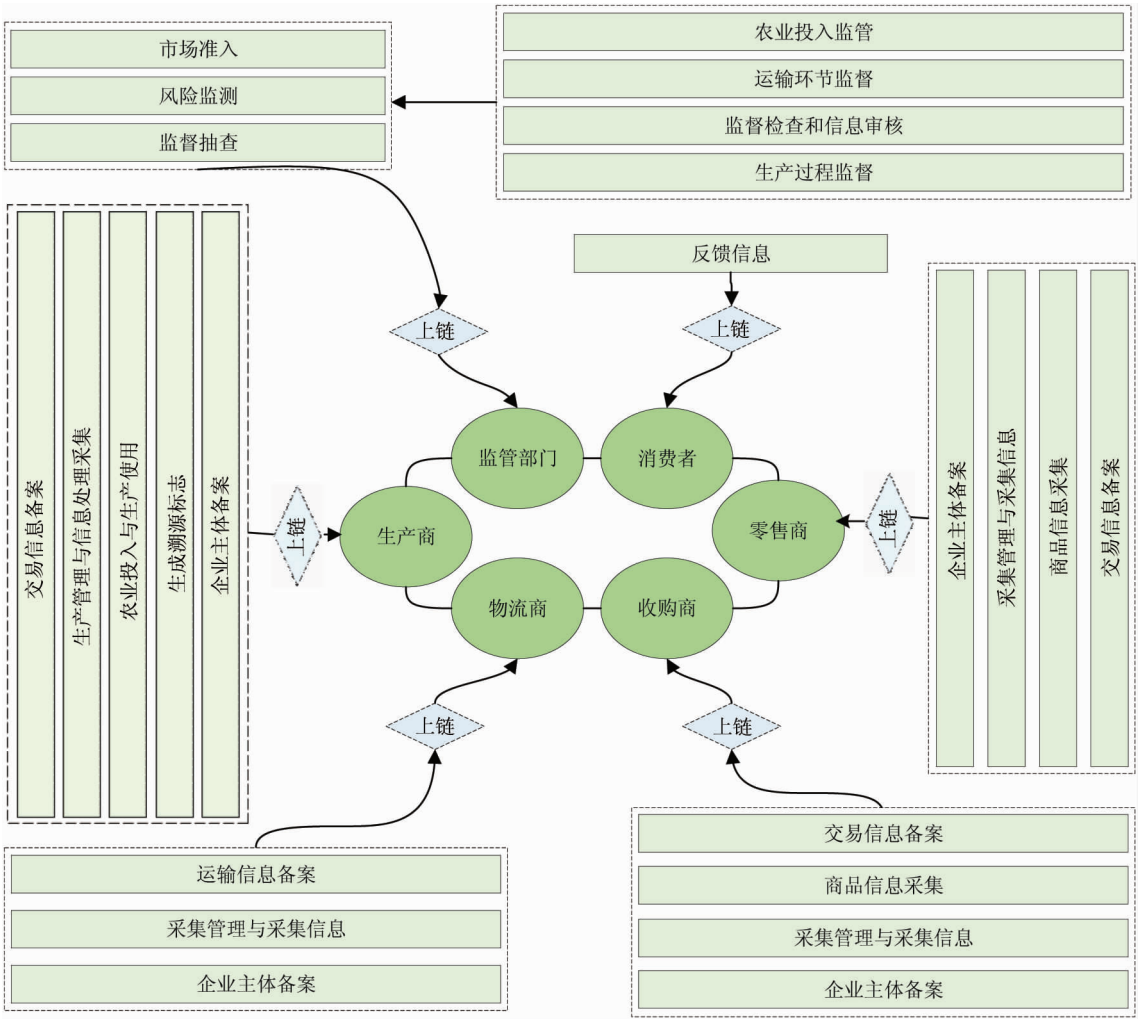


图4 系统溯源管理流程图

上述过程中,信息在各个节点上链后产生区块,联盟链中所有节点的分布式数据库同步更新,且系统中的所有节点均具有查询和追踪货物的功能。

3.3 溯源系统数据流程图

针对农产品普遍存在的质量问题,本文应用关键点控制及故障模式、影响和危害性分析方法^[2],通过各个节点前后质量情况进行排查、分析,对出现

质量问题的农产品进行快速溯源。应用区块链技术的农产品溯源系统数据流程如图5。

在农产品生产过程中,利用物联网技术,将传感器节点^[17]分布在农产品生产基地中,实时采集农产品生长或生产过程的环境信息、农业投入和生产使用信息等。并将信息自动上传到节点数据库,农产品出货时,生产商将生产商信息、农产品单品信息、

箱码信息、剥码信息等上链,为最终农产品溯源提供源头信息。生产商与下一节点进行交易时,商品按剥出仓扫描,此时交易信息上链。物流商接到商品后,按剥扫描,将物流商的信息及物流过程中商品状态信息上链,完成并按剥出车扫描。下一节点购买到农产品后进行入库扫描,并将节点资质信息、拆剥或拆箱信息及商品存储期间的信息进行上链。最终

农产品流转至消费者手中,消费者通过扫描单品 RFID 电子标签溯源。综上,由于区块链的“时间戳”特性,商品在流通过程中的信息被依次记载,各节点接收商品时将资质信息及商品存储、流转状态等信息通过终端扫描器扫描 RFID 电子标签上传至区块链数据库,消费者或监管部门通过扫描 RFID 电子标签获取商品生产及流通信息进行精确溯源。

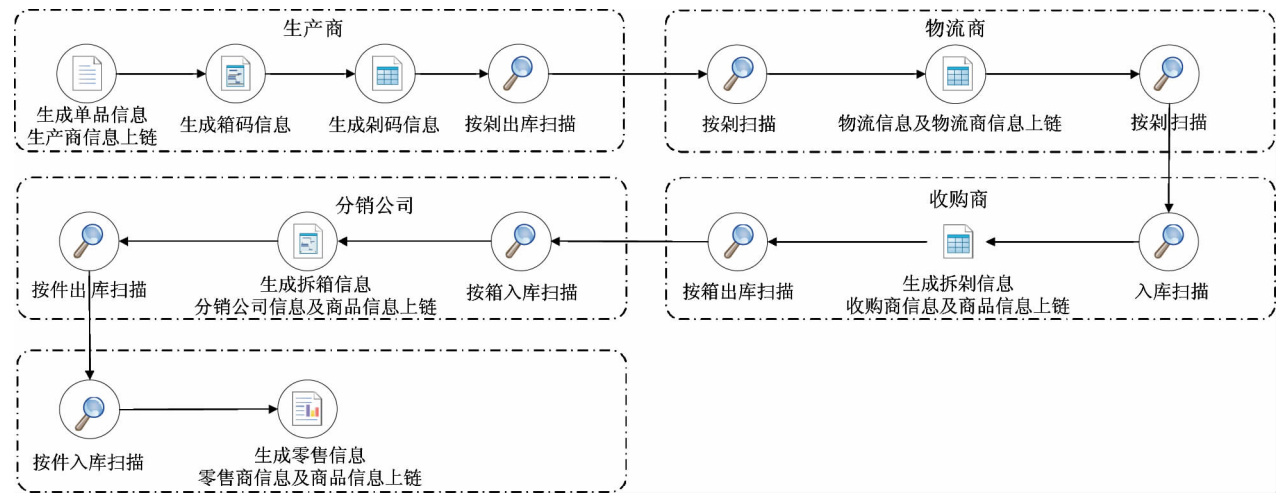


图 5 数据流程图

4 区块链农产品质量安全追溯体系的优势

首先,解决了物联网络的技术问题。传统溯源系统因为节点数量太大,中心平台集中管理数据节点和数据、农业物联网与中心平台数据交互很难实现,而基于 Fabric 的农产品溯源可以通过证书颁发机构 (certificate authority, CA) 认证机制,物联网数据被采集后无需被中心角色认可,即可直接写入数据区块并记录到区块链,进入到整个追溯体系中。

其次,促进产品数据的统一性和有效性。区块链的所有数据都会即时更新,并存储在各个节点数据库中。可以提取整个链中任一节点的数据来验证其他节点数据的正确性,在整个体系中,只有大部分节点 (甚至所有节点) 都认可这个交易,反馈结果全部通过,此交易才能上传到 order 节点,生成区块,并广播到所有记账节点。在此框架下,质量追溯系统的交易信息由所有节点共同维护,既方便了各方进

行大数据分析,又降低了溯源管理系统被黑客攻击或中央数据库被篡改的风险。

第三,建立新的商业信托机制。基于区块链单节点上传信息、多节点共同维护的特点,区块链可以创造新的商业信任机制。真正实现农产品“责任主体有备案、生产过程有记录、主体责任可追溯、产品流向可追踪、风险隐患可识别、危害程度可评估、监管信息可共享”的管理理念。

第四,责任主体明晰,追溯成本低。分布式账本使得摧毁部分节点数据库对系统整个数据安全没有任何影响,且数据记录过程公开透明。基于可靠数据库特性,区块链数据无法造假,发现农产品质量问题后通过溯源直接明确产生问题的节点,无需考虑数据真伪,大大降低了责任成本并提高了追溯效率。

第五,源头遏制假货。一方面,本系统采用 RFID 电子标签技术,非法商贩不能够复制标签内容。另一方面,区块链经过 CA 准入机制,具有一次交易被所有节点记录的特点,整条链的数据库无法篡改,保证了从源头遏制假货进入流通。

第六,有效大数据分析。区块链和 RFID 技术保证了整条链的数据的真实性,根据此链的大数据对行业现状分析更具有真实性、可靠性。其产生的有效大数据,使行业附加值得以显现,进而引起金融机构和场外资金的关注与支持。

5 结 论

本文在分析前人关于农产品溯源研究实践的优势与不足、区块链技术结合溯源系统的可能性和优势的基础上,提出构建基于区块链技术的农产品质量溯源系统。本系统是基于 Fabric 进行设计开发,通过编写链码和软件开发包 (software development kit, SDK) 实现基于区块链的溯源系统,具有解决物联网的技术问题,促进产品数据的统一性和有效性,建立新的商业信托机制,明确责任主体,降低追溯成本,源头遏制假货,有效大数据分析等优点。通过对系统工作模式的研究和设计,实现了农产品生产、流通、消费以及政府监管等多方之间实时交互与信息即时共享;同时,借助区块链中的联盟链技术,吸引更多的农产品生产方、流通方和消费方加入本溯源系统。该模式下,可以实现生产方、流通方、消费方、政府监管部门多方共赢。

本文旨在为农产品溯源研究与建设提供一个新的思路和方法。该溯源系统还存在很多不足之处需要改进:系统的运行机制还有待进一步深入研究,系统的架构设计、定价策略、管理规则和功能设计都需要进一步完善,RFID 标签成本问题亦值得商榷。受限于目前区块链技术条件,只能解决农产品流通环节的信用问题,生产商环节产生的农产品质量问题不能完全避免。运用区块链技术构建农产品质量溯源系统是一项长期而复杂的工作。

参考文献

- [1] 王峰. 农产品质量安全追溯监管体系建设现状探析 [D]. 杨凌:西北农林科技大学农学院,2017. 67-69
- [2] 郑开涛,刘世洪. 农产品质量安全溯源多边平台的研究与设计[J]. 中国农业科技导报, 2017(12):58-64
- [3] 刘秀萍,赵明. 农产品质量安全追溯管理制度的理论与实践[J]. 中国蔬菜,2010,1(7):1-3
- [4] 陈蓉芳,李洁. 欧盟食品安全监管体系研究及启示 [J]. 上海食品药品监管情报研究,2010(3):1-4
- [5] 李炜. 发达国家食品可追溯系统建设及其对我国的启示[J]. 中国防伪报道, 2012(9):26-29
- [6] 白云峰,陆昌华,李秉柏. 畜产品安全的可追溯管理 [J]. 食品科学,2005,26(8):473-477
- [7] 王生. 数学自主学习能力培养的教学策略[J]. 教学月刊(中学版), 2010(23):53-54
- [8] 吕芙蓉,陈莎. 基于区块链技术构建我国农产品质量安全追溯体系的研究[J]. 农村金融研究, 2016(12):23-25
- [9] 郑开涛,刘世洪,胡海燕. 农产品质量安全溯源多边平台的追溯机制研究[J]. 江苏农业科学, 2018,46(10):229-231
- [10] 蒋雪灵,孟岩,于巾禄,等. 会展农产品质量安全溯源体系建设及运行研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017(S2):227-230
- [11] 王峰,柴守诚. 汉中农产品质量安全追溯体系建设现状探析[J]. 农民致富之友, 2017(16):74-74
- [12] 吕芙蓉,陈莎. 基于区块链技术构建我国农产品质量安全追溯体系的研究[J]. 农村金融研究, 2016(12):22-26
- [13] 涂传清,王爱虎. 我国农产品质量安全追溯体系建设中存在的问题与对策[J]. 农机化研究,2011,33(3):16-20
- [14] Chatterjee R, Chatterjee R. An overview of the emerging technology: blockchain[C]. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Intelligence & Networks, Odisha, India, 2018. 126-127
- [15] Mermer G B, Zeydan E, Arslan S S. An overview of blockchain technologies: principles, opportunities and challenges[C]. In: Proceedings of the 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, Turkey, 2018. 1-4
- [16] 陆平,张再军,史俊杰,等. 区块链网络构建和应用:基于超级账本 Fabric 的商业实践[M]. 北京:机械工业出版社, 2018. 7-10
- [17] 盛平,郭洋洋. 基于 ZigBee 和 3G 技术的设施农业智能测控系统[J]. 农业机械学报, 2012(12):229-233

Research and application of block chain in traceability of agricultural product quality

Liu Qiqi, Xia Chunping

(College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070)

Abstract

In order to ensure the quality of agricultural products, China has made many efforts in the traceability of agricultural products, and has achieved many beneficial results. However, there are still some key problems such as asymmetric information of all parties in the production process, easy tampering of the central database, inability of the government to effectively supervise and insufficient consumer confidence. Based on the theoretical research of blockchain, this paper analyzes the characteristics and shortcomings of the existing traceability scheme of agricultural products in China, combines the characteristics of blockchain technology and traceability of agricultural products, puts forward a scheme for the traceability of agricultural products based on Fabric technology, and designs the overall traceability system including the overall architecture design of the package system, system core node function design, system collaboration traceability process and data flow. In the end, it also studies the traceability management process and its advantages of agricultural products based on blockchain technology in order to realize efficient traceability of agricultural products.

Key words: traceability of the quality of agricultural products, blockchain, solution design