

陈林蔚. 区块链技术在智慧农业领域中的应用[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(6): 1358-1365.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.06.011

区块链技术在智慧农业领域中的应用

陈林蔚

(南京农业大学人工智能学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 随着科学技术的蓬勃发展,中国传统农业正升级转型,在融合信息技术的基础上发展智慧农业,成为现代农业发展的主要方向。本研究指出了智慧农业的发展现状及面临的主要问题,并分析了区块链技术在智慧农业中的应用优势,通过细化区块链技术在智慧农业应用中各模块功能,可在追溯、监管上更加智能化和现代化,为智慧农业的发展提供技术支撑。

关键词: 区块链技术; 智慧农业; 溯源

中图分类号: TP311.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2023)06-1358-08

The application of blockchain technology in the field of smart agriculture

CHEN Lin-wei

(College of Artificial Intelligence, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China)

Abstract: With the vigorous development of science and technology, traditional agriculture in China is undergoing upgrading and transformation. The development of intelligent agriculture based on the integration of information technology has become the main direction of modern agricultural development. This study pointed out the development status and main problems of smart agriculture, and analyzed the application advantages of blockchain technology in smart agriculture. By refining the functions of each module of blockchain technology in the application of smart agriculture, it can be more intelligent and modern in traceability and supervision, and can provide technical support for the development of smart agriculture.

Key words: blockchain technology; smart agriculture; traceability

智慧农业在实现农业产业高效、可持续发展方面发挥了重要作用^[1],是应对未来全球农业可持续发展挑战的必然选择。但随着智慧农业的发展,数据安全、网络安全、责权归属等一系列问题也相伴而生。这些问题为智慧农业的可持续发展和广泛应用带来了挑战。

区块链技术是一项新兴的数据信息处理技术,区块链的核心特性包括去中心化、分布式存储和安全性,这些特性为智慧农业解决了现有技术所面临

的一系列问题,特别是在数据安全和追溯方面具有明显优势。区块链的去中心化使得智慧农业系统不依赖于单一的中心机构或服务器,而是由多个节点组成的网络共同维护和验证数据的完整性。这种分布式的数据存储方式使得数据更加安全可靠,不易受到单点故障或恶意攻击的影响。当单个节点出现故障或被攻击时,其他节点仍然能够继续运行,确保了系统的可靠性和稳定性。分布式存储意味着数据被分散存储在网络的多个节点上,而不是集中存储在单一数据库中。这种分布式存储方式不仅提高了数据的容错性和可用性,还减少了数据被篡改或损坏的风险。每个数据块都包含了前一个数据块的哈希值,形成了一个链式结构,任何数据的篡改都会

收稿日期:2023-06-03

作者简介:陈林蔚(2002-)男,江苏南京人,本科,主要从事人工智能与智慧农业研究。(E-mail) hongyv99@163.com

被其他节点检测到。

区块链技术具有强大的安全性。数据在区块链中以加密的形式存储,并通过密码学算法进行验证和授权。所有参与节点必须达成共识才能添加新的数据块,对于智慧农业而言,这意味着农作物种植、农药使用、环境监测等数据可以被可靠记录和验证,确保了农产品的质量和安全。区块链技术还可以解决智慧农业中的责权归属问题。由于智慧农业涉及多个参与方,包括农民、企业、供应链伙伴等,责权归属往往难以明确。区块链通过智能合约等机制,可以确保参与方之间的权益和义务得到明确和执行,提供了一种可信的合作框架。这有助于促进各参与方之间的合作和协调,推动智慧农业的发展和可持续性。

区块链技术通过去中心化、分布式存储和安全性等特性,有效解决了智慧农业中的数据安全和追溯等问题。随着区块链技术的进一步发展和创新,相信它将为智慧农业的可持续发展提供更多支持,并在农业领域发挥重要的作用。

1 智慧农业的发展现状

1.1 智慧农业的概念

智慧农业指的是运用先进的信息技术^[2]、互联网技术、传感器技术、智能控制技术、无人机技术等现代技术手段,对农业生产、管理、决策等环节进行全面、系统的信息化、智能化改造,以提高农业生产效率、降低生产成本、提高农产品质量与安全等为目标,使农业生产更加智能化、精准化、集约化^[3]、可持续化,从而实现高效、绿色、可持续的农业发展。相较于传统农业,智慧农业的特点体现在以下几个方面:

(1)数字化管理:智慧农业利用物联网等技术采集大量农业生产数据,通过云计算、区块链以及大数据分析对农业生产过程进行精准监测、管理和预测。实现农业生产的可视化、可控化和智能化。

(2)智能化设备:智慧农业采用先进的设备和传感器,可以对农作物进行实时监测和控制,对农田土壤、水质、气象等环境因素进行高精度监测,这些设备不仅可以自动执行任务,还可以对作物生长过程进行快速响应和精细化管理^[4],避免了传统农业中存在的大量浪费和环境污染问题。

(3)生产环节优化:智慧农业可以对生产的各

个环节进行优化和调整,如对种植、养殖、管理等环节进行优化和升级,提升农业生产效率和质量,降低生产成本。

总的来说,智慧农业更加注重数据化、精准化和智能化管理,通过技术手段实现对农业生产的全过程监测和调控,达到了提高农业生产效率、农产品质量和农业可持续发展的目的。同时,智慧农业也对农村的经济、社会和生态环境带来积极影响,有利于推动农村现代化进程,促进农村经济增长和农民增收。

1.2 智慧农业的发展困境

智慧农业的发展离不开数据的支撑,在智慧农业系统中,包括了农业生产、气象、市场、运输等多种数据,这些数据要经过收集、处理、存储和使用,如果这些数据泄露或被攻击,可能会造成严重的经济损失和社会问题。而中国农村信息化建设成熟度不高,没有健全的农业信息数据共享平台^[5],农业生产主体对信息安全重视不够,部分智慧农业企业未能对全产业链进行完整的风险评估^[6]。

1.2.1 数据来源和收集阶段 智慧农业需要依靠各种传感器、探测器、监控设备等进行数据收集。这些设备往往需要联网,这就带来了网络安全问题。一旦设备被黑客攻击,就可能导致数据泄露或被篡改。由于农业生产的复杂性,数据的收集往往面临着多样性和分散性的问题。各种传感器和设备的数据格式和标准不统一,导致不同的企业和组织在食品追溯的标准和流程上存在差异,不利于数据交换和共享。

此外,在食品生产和加工过程中,会涉及到多个环节,包括播种、施肥、灌溉、采摘、加工等,每个环节都会产生大量的数据,这些数据来源的真实性和准确性也是食品追溯的基础。

1.2.2 数据处理和存储阶段 智慧农业需要进行大量的数据处理和分析,这些数据具有来源复杂、结构复杂、数据周期长等特点,在数据处理和分析过程中,往往需要使用到各种算法和模型,这就带来了数据隐私和安全的问题。另外,智慧农业的数据量往往非常大,不同环节的数据存储和管理也是一个重要的问题。由于传统的数据存储和管理技术往往面临着数据丢失、数据损坏等问题,并且基于物联网设备的中心化管理成本难以估量^[7],因此需要采用更加安全和可靠的数据存储和管理技术,以实现数据

可追溯性。

1.2.3 数据使用和共享阶段 智慧农业往往涉及多个参与方,包括政府、农民、消费者和销售商等。这些参与方之间的数据共享和交互会涉及到数据隐私和安全的问题^[8]。智慧农业的数据往往需要在不同的应用场景中进行使用和共享,这些数据包括了生产过程中的敏感信息,如生产成本、品种选择、肥料用量等,如果数据被非法使用或泄露,将给农民和企业带来严重的经济损失和社会影响。

此外,由于数据来源分散、数据量大、数据传递方式不规范等问题,数据传递和管理变得非常困难,由于缺乏有效的数据流通和信息交互,产生信息孤岛问题,影响智慧农业的整体效益和质量。如何在保证数据共享的前提下,保护用户的隐私和数据安全,是智慧农业面临的重要挑战。

2 区块链技术在智慧农业领域的应用前景

在智慧农业中,农业生产环节会涉及到大量的数据采集、传输、存储和处理,因此数据的安全和溯源问题也越来越受到人们的关注。传统的农业数据管理方式往往采用集中式存储和管理,这种方式存在单点故障、数据篡改和信息泄露等风险,容易导致数据不可信。而区块链技术的去中心化、分布式存储和安全性,能够有效解决智慧农业中的数据安全和溯源问题。“区块链+农业”已经成为智慧农业发展的必然趋势,区块链技术在促进智慧农业高质量发展方面发挥了重要作用。

2.1 区块链核心技术

2.1.1 联盟链技术 区块链分为公有链、私有链和联盟链三大类^[9](表 1)。公有链是一种完全去中心化的区块链,是全球范围内所有人都能访问的。通过对项目数据的读取、写入、验证和共识等行为,实现了对数据的有效获取并存储。私有链是一种集中式的区块链,可有选择地向社会公开,主要应用于企业内部数据管理。因私有链的权限是有限的,所以适用于一些具体的机构或者小型的公司,并且是以一群实体为目标。

联盟链是分布式区块链,它的数据能供联盟中所有成员进行读取和传输。在这个区块链中,所有成员都能决定自己是否加入某个联盟,并将自己的决策提交给其他成员进行讨论和协商。通过共识协

议使若干组织结合在一起以实现共同目标而建立联盟系统。相对于公有链节点过多而造成的效率低下、性能偏低的问题,联盟链具有较少节点,可以快速实现信息同步,提高业务性能^[10]。

表 1 区块链分类及其特点

Table 1 Classification and characteristics of blockchain

项目	公有链	私有链	联盟链
中心化程度	完全去中心化	单一中心化	分布式去中心化
参与主体控制	任何节点	中心者控制参与成员	一定数量的节点
信息公开程度	完全公开	公司内部公开	联盟内部公开

2.1.2 数字签名 数字签名是一种基于非对称加密的技术,用于验证信息的发送者和信息的完整性。发送者使用自己的私钥对信息进行加密,生成一个数字签名。得到权限的使用者可以通过公钥查看信息并与数字签名进行比对。如果解密结果与数字签名匹配,那么可以确定该信息的发送者是真实可信的,且信息在传输过程中未被篡改。

2.1.3 时间戳 时间戳技术的重要性在于,它防止了对区块链中数据的篡改。由于区块链是一个不可变的分布式账本,任何对已存在的区块进行篡改的尝试都会破坏区块链的完整性^[11]。因为任何对已存在的区块进行篡改都会改变区块的哈希值,进而影响到后续区块的链接。通过时间戳技术,每个区块的时间戳都会被固定在区块链中,保证了数据的时间顺序和不可篡改性。

2.1.4 智能合约 智能合约是一种可编程的自动执行的合约,可以实现自动化的数据管理和控制。在智慧农业中,智能合约可以用来自动记录和验证农业数据,从而实现数据的可追溯性和透明性。例如,可以使用智能合约记录每一次农业生产的过程,包括播种、施肥、灌溉等信息,并将这些信息存储在区块链上。在农产品销售时,消费者可以通过扫描产品上的二维码来查询这些信息,保证产品的质量和安全性。

2.2 区块链应用场景

2.2.1 区块链与农业大数据 农业大数据涉及农田、养殖场等敏感信息,但是数据孤岛和信息壁垒的问题,限制了数据的流动和利用,数据的安全性和隐私性也需要一定的保障,区块链的去中心化、不可篡改性和分布式记账可以确保数据的安全存储、传输

和共享,数据拥有者可以通过智能合约授权其他用户访问其数据,从而促进跨部门、跨组织的数据合作和共享。此外通过分析和挖掘农业大数据,并将各个环节和结果记录在区块链上,消费者可以实现对产品来源、种植、养殖信息的追溯,农业相关的决策者可以基于数据驱动的洞察来制定更加精准和可持续的农业策略。

2.2.2 区块链与农业物联网 通过物联网技术,农场可以实现对农作物、畜禽、农业机械等的全面监测和数据自动采集。但物联网设备数量庞大且分散,涉及到各类传感器、监测设备等,区块链技术能够有效管理大量设备产生的数据,减少了单一故障点的风险^[12]。此外,采集的数据分散在各个设备中,造成数据管理和整合困难,数据安全性也面临重要挑战,将物联网设备的数据记录在区块链上可以实现数据的统一管理和共享,任何数据的篡改都会被其他节点发现,此外,通过智能合约技术,可以与物联网设备进行自动化的交互和执行,实现设备之间的自动协作,减少中间环节和人为干预,提高效率 and 可靠性。

2.2.3 区块链与农业金融 区块链记录着农业数据和交易历史,农民可以建立可靠的信用记录,为金融机构提供欲贷款者更全面的信息。农民在申请贷款时,银行、征信公司等机构不用提供证明,可以在区块链上直接提取信息,从而提高农民的信用评级和融资机会^[13],为他们提供更加个性化和灵活的金融产品和服务。此外区块链技术还可以提供去中心化的金融交易和结算系统,减少金融中介环节,使得农民能够更便捷地进行融资、贷款和支付操作。

2.2.4 区块链与农业保险 区块链技术可以提供透明和可靠的数据和验证。通过将农业数据和保险合同等相关数据记录在区块链上,保险公司和农民可以共享和访问数据,减少欺诈和纠纷的可能性。智能合约的自动执行机制可以根据预设条件自动触发理赔流程,减少人为干预和减轻农民的负担。区块链记录的数据可以提供准确的信息,帮助保险公司快速、准确地评估风险、处理理赔^[14]、定价和设计保险产品,有助于提高保险的可负担性和适应性,为农民提供个性化的保险。

2.2.5 区块链与农产品质量安全追溯 区块链技术应用于智慧农业领域形成有效的追溯体系,能够确保农产品全过程的透明度,通过将农产品的种植、养殖、加工和运输等环节的数据记录在区块链上,消费者可

以追溯产品的全过程,了解产品的来源、生产条件、使用的农药或饲料等详细信息,监管机构可以实时获取农产品的数据和信息,加强对农产品质量的监管和追踪能力^[14]。通过区块链记录的数据和智能合约的机制,农产品的生产、加工和运输等环节可以得到准确的验证和认证,确保了产品的质量安全。

2.2.6 区块链与供应链 随着农业的发展,供应链变得越来越复杂,涉及上百个流程和多个参与主体。这种复杂性导致了一系列问题,包括信息无法集中保存、各参与主体之间缺乏信任以及信息共享困难^[15]。这些问题对于供应链的可追溯性、透明性和可信度构成了挑战。传统的农业供应链中,信息的记录和传递往往依赖于中心化的管理机构或第三方中介,这会导致信息不对称和不透明。例如,农产品的生产、加工、运输和销售环节的数据可能分散在多个组织和系统中,无法实现全面的信息共享和整合。这使得追溯农产品的来源、生产条件、质量和安全等信息变得困难,消费者和监管部门难以获取准确的数据,增加了食品安全和质量管理的难度。此外,由于供应链中的参与方众多,相互之间缺乏信任,且各个环节的数据可能受到人为操控,无法保证数据的真实性和可信度,存在信息篡改和欺诈的风险。这种问题限制了供应链的高效运作。

区块链技术提供了解决这些问题的机制。通过将供应链中的各个环节、节点的信息和交易记录存储在区块链上,可以实现从原材料采购到生产、加工、物流和销售等全过程的溯源。每一次的数据记录都会被记录在区块链上,形成一个可追溯的数据历史记录。这使得参与方能够实时、透明地共享和验证数据,确保供应链的可追溯性、透明性和可信度。

区块链技术与农业供应链之间存在着紧密的关联^[16-18]。通过提供去中心化、不可篡改的数据记录和共享机制,区块链技术能够解决农业供应链中的信息不对称、信任缺失和信息共享困难等问题。它实现了供应链的可追溯性、透明性和可信度,促进了农产品的质量管理和食品安全监管,提高了供应链的运行效率和透明度。

3 区块链技术与智慧农业的融合

3.1 应用框架

针对智慧农业中数据安全和农产品追溯问题,

应用区块链技术可以建立一个可信的、透明的数据共享平台^[19],以实现对农业生产全过程的实时监控和溯源追踪,该平台包含数据采集与传输模块、区块链模块、数据处理与存储模块、智能合约模块以及应

用模块(图1),这些模块在整个数据共享平台中进行协同工作,实现了对农业生产全过程的实时监控和溯源追踪,为保障农产品的质量和安全提供了有力的技术支持。

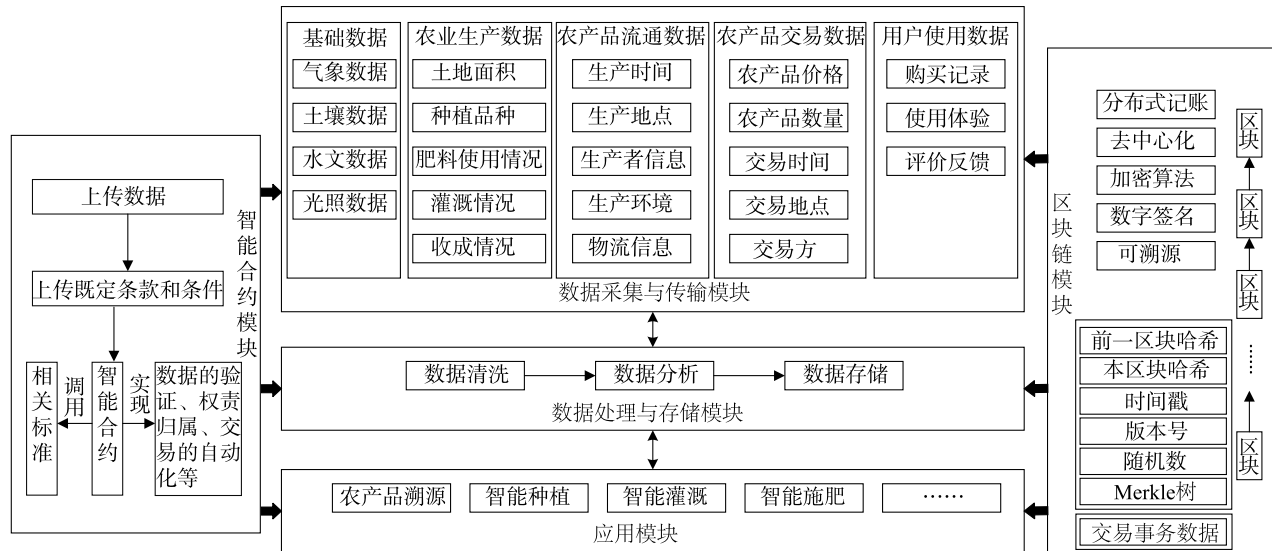


图1 区块链技术在智慧农业领域应用框架

Fig.1 Application framework of blockchain technology in the field of smart agriculture

3.1.1 数据采集与传输模块 该模块是实现数据共享的基础,也是智慧农业中基础模块,通过采用物联网和区块链技术,实现农业生产数据的实时采集、加密传输和共享管理,提高农业生产的效率和可靠性。这些数据包括了种植品种、施肥和灌溉情况等生产数据,以及农产品流通、交易及用户使用等数据^[20]。因此需要建立一个可靠的数据采集系统,通过安装各种传感器和监测设备,对农业生产中的各项数据进行采集,并通过数据接口传输到数据模块。

输入的数据会经过全网广播给各节点,链上其他各节点通过共识机制进行真实性和完整性查验,验证成功后,将信息备份到自己维护的区块中。经确认后的信息会经过哈希算法生成唯一的哈希值,加盖时间戳,生成不易篡改的新区块。该模块利用区块链技术进行数据加密和传输,自动存储更新智慧农业相关数据信息。

3.1.2 区块链模块 区块链模块是智慧农业中的核心模块,它能够增强数据的可信度和不可篡改性,从而确保数据的安全性和可追溯性。该模块主要是使用区块链技术来实现智慧农业中数据的存储和管理,同时也是数据共享和数据交换的核心。通过该

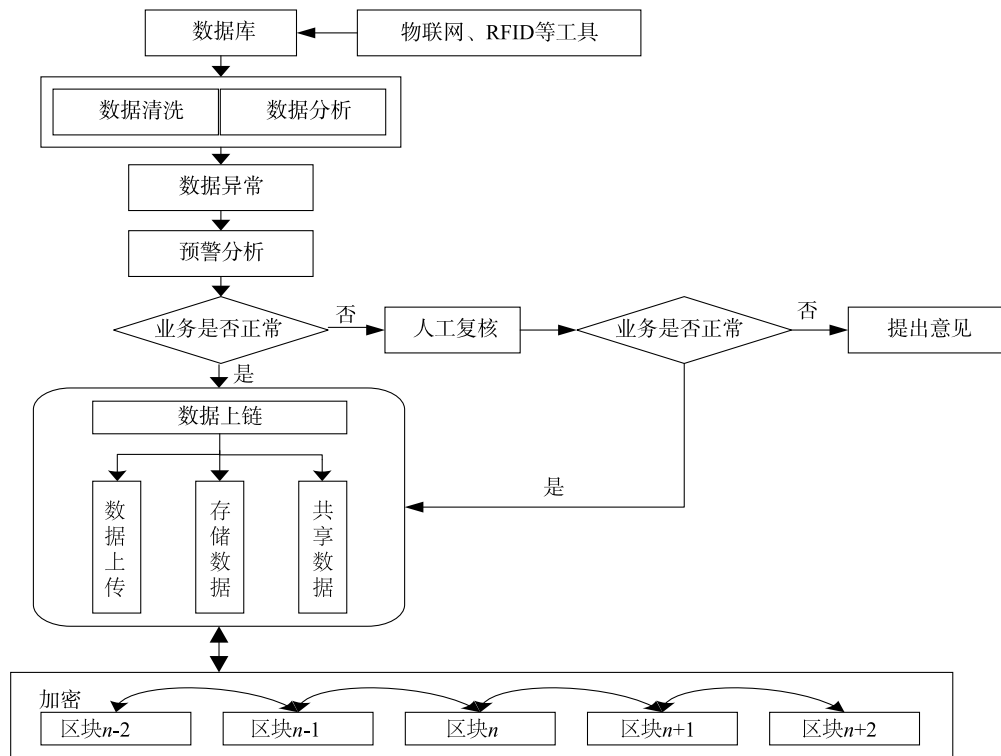
模块,可以将智慧农业中产生的数据以区块链的方式进行存储,并保证数据的不可篡改性和可追溯性,从而确保数据的安全性和可信度。

3.1.3 数据处理与存储模块 数据处理与存储模块是智慧农业中非常重要的一部分,它主要负责将采集到的数据借助物联网或射频识别技术(Radio frequency identification, RFID)等工具进行进一步处理,并存储到区块链中,以保证数据的安全性、可信度和完整性。

在该模块中,数据的处理分为两个主要阶段:数据清洗和数据分析。数据清洗是指对采集到的原始数据进行处理,以确保数据的准确性和一致性。数据分析则是基于可追溯性,对交易信息的关联性进行深度挖掘和分析,基于数据采集模块提供的完整数据链,进行多角度深层次分析数据的真实性和合理性,从而为智慧农业的决策提供支持。当收到预警信号项目发生异常情况时,自动将问题汇总发送给分析人员,分析人员基于区块上唯一的跟踪代码来实现信息追溯和人工复核,人工复核后再经过数据接口传送到数据处理模块,如此循环直到信息确认无误后及进行上链存储(图2)。

数据存储则需要通过区块链技术实现。在智慧农业中,由于涉及到大量的数据采集和处理,因此需要使用分布式存储的技术来存储数据^[21]。区块链

技术中的分布式存储可以有效实现数据的存储和共享,并通过智能合约来保证数据的访问和使用的安全性。



RFID:射频识别技术。

图2 数据处理与存储模块

Fig.2 Data processing and storage module

3.1.4 智能合约模块 智能合约是区块链技术的核心功能之一,也是智慧农业数据追溯方案中不可或缺的一部分。在智慧农业中,智能合约可以用来实现数据验证、权限控制、交易自动化等多个功能^[21]。智能合约可以被看作是一份自动执行的合同,其中包含了事先约定的条款和条件。智能合约的执行基于区块链网络上的节点和算法,无需人为干预,从而保证了数据的安全性和可靠性。

在智慧农业中,智能合约可以用来验证农产品的品质、来源和交易记录(图3)。当一个农产品被采摘后,该农产品的生产信息将被输入到智能合约中。当消费者购买这个农产品时,智能合约将验证该农产品的生产信息,并确定该农产品是否符合标准,从而保证了产品质量和消费者的权益。此外,智能合约还可以用来控制数据的访问权限。在智慧农业中,不同类型的数据需要不同级别的访问权限。

例如,农产品的生产信息应该只能被农场管理人员和政府监管机构访问,而农产品的销售信息则可以被销售商和消费者访问。智能合约可以根据事先设定的访问规则,自动控制数据的访问权限,从而保证数据的安全性和隐私性。

3.1.5 应用模块 该模块主要是针对不同的智慧农业应用场景,进行应用开发和部署。通过该模块,可以快速构建智慧农业应用,如农产品溯源、智能灌溉、智能施肥等,并提供相应的接口,以方便其他系统调用。例如,针对智慧农业中的追溯需求,可以设计一个基于区块链的追溯查询平台,用户可以通过该平台轻松查询农产品的生产、加工、运输等信息^[22]。应用模块是智慧农业和区块链融合框架中至关重要的一环,它决定了区块链技术是否能够真正发挥作用,为智慧农业的可持续发展提供有效支持。因此,在应用开发过程中,需要充分考虑用户需

求,灵活运用技术手段,实现应用场景的最优化设计。

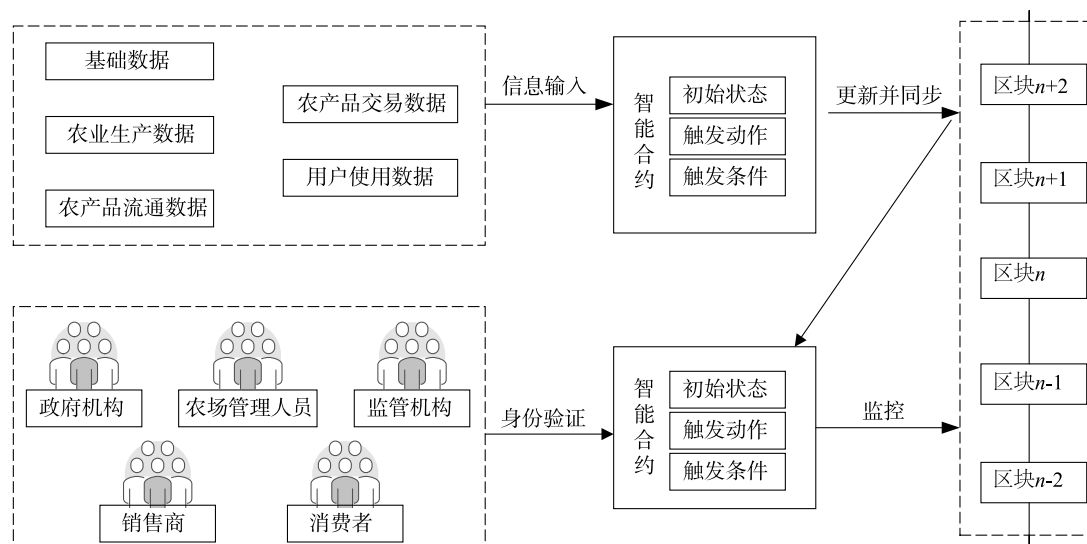


图3 智能合约技术原理

Fig.3 Principle of smart contract technology

4 区块链技术应用智慧农业的成功案例

“步步鸡”项目是由众安科技与沃朴物联共同打造的,于2017年6月首次在国内公开^[23]。该项目与靖江市政府、华源禽业合作社等合作,在靖江市成立了科技扶贫养殖基地。“步步鸡”项目整合了区块链、农业物联网和防伪技术,旨在实现对鸡成长过程的全程追溯。通过将鸡苗的供应、养殖、加工、物流等环节的数据全程上链,并通过共识算法确保信息的透明性和不可篡改性。在该项目中,每只雏鸡都被赋予了独特的身份码,也称为鸡牌。这些鸡牌内置传感器,能够实时记录养殖过程中的详细数据。消费者可以通过扫描鸡身上的二维码获取溯源信息,其中包括培育记录、疫苗信息、质检证书等,这样的可追溯性措施增加了消费者对产品的信任。此外,该项目还与农业保险和农业金融进行合作,将区块链技术应用用于这些领域。农业保险机构利用区块链平台存储的数据,可以实时判断理赔金额并解决养殖户资金短缺等金融问题。这种合作为养殖户提供了更及时、准确的理赔服务,并通过区块链的不可篡改性确保数据的可信度。

5 结论

随着信息技术的不断发展,智慧农业已经成为

现代农业的重要组成部分,区块链技术也逐渐成为智慧农业领域的重要支撑技术。本文围绕智慧农业在数据安全和追溯方面面临的困境,分析了区块链技术在智慧农业领域中的应用前景。总的来说,区块链技术在智慧农业中的应用,能够实现农业数据的安全存储和有效追溯,提高农业生产过程的透明度和公正性,降低生产成本,改善农产品的质量和安全性。同时,区块链技术也为智慧农业的发展提供了新的思路和方向。

参考文献:

- [1] 宁甜甜. 新发展阶段我国智慧农业:机遇、挑战与优化路径[J]. 科学管理研究,2022,40(2):131-138.
- [2] 梁 仓. 现代信息技术在智慧农业中的应用[J]. 中国果树,2022(7):129.
- [3] 赵春江,李 瑾,冯 献. 面向2035年智慧农业发展战略研究[J]. 中国工程科学,2021,23(4):1-9.
- [4] 喻保华. 农业现代化进程中的智慧农业发展困境与路径选择[J]. 农业经济,2022(9):22-23.
- [5] 李建军,白鹏飞. 我国智慧农业创新实践的现实挑战与应对策略[J]. 科学管理研究,2023,41(2):127-134.
- [6] 夏 辉,刘 江,秦 哲. 区块链技术如何与农业融合发展?——基于日本经验的启示[J]. 农村经济,2022(1):20-29.
- [7] 段树谨. 绿色发展背景下我国智慧农业发展问题及实现路径[J]. 农业经济,2022(5):3-5.
- [8] 王尔媚,贾先文. 区块链在生态食品安全管理中的应用研究[J]. 商业经济,2023(4):4-5,15.

- [9] 陆丽娜,尹居峰,于 啸,等. 基于联盟链的农业科学数据共享模型构建研究[J]. 图书情报工作,2022,66(17):60-68.
- [10] 卞立平,孙爱东,孙晓明,等. 基于区块链技术的农产品深度溯源系统建设思考和设计方案[J]. 江苏农业学报,2022,38(4):1092-1098.
- [11] LIN J, SHEN Z Q, ZHANG A T, et al. Blockchain and IoT based food traceability for smart agriculture; Proceedings of the 3rd International Conference on Crowd Science and Engineering[C]. Singapore: ACM, 2018.
- [12] 王文琦. 智慧农业背景下区块链赋能物联网技术的应用[J]. 山西农经,2021(24):161-162,168.
- [13] 刘光星. “区块链+金融精准扶贫”:现实挑战及其法治解决路径[J]. 农业经济问题,2020(9):16-30.
- [14] 党 苗. 基于“区块链+农业”技术的发展模式探析[J]. 现代农业科技,2020(7):244,246.
- [15] 陈佳渲,陈宝国,彭雅琴. 区块链技术在数字农业领域的应用与探索[J]. 现代营销(经营版),2021(11):196-198.
- [16] 应 毅,王志瑞,刘亚军,等. 基于联盟区块链的进口农产品溯源系统研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(14):207-213.
- [17] 李旭东,杨千河,姚竞发,等. 基于区块链的农产品溯源技术研究综述[J]. 江苏农业科学,2022,50(6):16-24.
- [18] 倪卫红,陈 太. 基于区块链的生鲜农产品冷链物流集成化服务平台研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(23):207-212.
- [19] XIONG H, DALHAUS T, WANG P, et al. Blockchain technology for agriculture; applications and rationale [J]. frontiers in Blockchain, 2020,3:7.
- [20] 梁 昊,刘思辰,张一诺,等. 农产品信息区块链技术架构设计及应用展望[J]. 智慧农业,2019,1(1):67-75.
- [21] KAMILARIS A, FONTS A, PRENAFETA-BOLDY F X. The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains [J]. Trends in Food Science & Technology, 2019,91:640-652.
- [22] 赵 维. 基于区块链技术的农业食品安全追溯体系研究[J]. 技术经济与管理研究,2019(1):16-20.
- [23] 王 菲,吕 可. 浅析区块链和农业物联网在养殖业中的应用——以众安科技“步步鸡”为例[J]. 农村经济与科技,2020,31(1):71-72,360.

(责任编辑:成纾寒)