

区块链在供应链应用中的研究现状与挑战

葛丽娜^{1,3,4}, 徐婧雅^{2,4*}, 王哲^{1,3,4}, 张桂芬¹, 颜亮^{1,4}, 胡政^{1,4}

(1.广西民族大学 人工智能学院, 南宁 530006; 2.广西民族大学 电子信息学院, 南宁 530006;

3.广西混杂计算与集成电路分析设计重点实验室, 南宁 530006; 4.广西民族大学网络通信工程重点实验室, 南宁 530006)

(*通信作者电子邮箱 673253229@qq.com)

摘要: 供应链在发展过程中仍然面临许多挑战, 包括产品溯源过程中信息的真实可靠性以及溯源系统的安全性、物流运输过程中产品的安全性、中小企业融资过程中的信任管理等。区块链的去中心化、不可篡改、可追溯性等特点为供应链管理提供了高效的解决办法, 但是在实际实施过程中仍存在一些技术挑战。为研究区块链技术在供应链中的应用, 对一些典型的应用进行讨论与分析。首先简要介绍了供应链的概念及目前面临的挑战, 接着对信息流、物流以及资金流三个不同的供应链领域进行分析, 阐述了不同领域的行业问题以及区块链在不同供应链领域中的解决方案, 并且对这些不同的方案进行了对比分析。最后对区块链在供应链实际应用中面临的技术挑战加以总结和展望。

关键词: 信息流; 物流; 资金流; 供应链; 区块链

中图分类号: TP399 **文献标志码:** A

Current research status and challenges of blockchain in supply chain applications

GE Lina^{1,3,4}, XU Jingya^{2,4*}, WANG Zhe^{1,3,4}, ZHANG Guifen¹, YAN Liang^{1,4}, HU Zheng^{1,4}

(1. School of Artificial Intelligence, Guangxi Minzu University, Nanning Guangxi 530006, China;

2. School of Electronic Information, Guangxi Minzu University, Nanning Guangxi, 530006, China;

3. Guangxi Key Laboratory of Hybrid Computation and IC Design Analysis, Nanning Guangxi, 530006, China;

4. Key Laboratory of Network Communication Engineering, Guangxi Minzu University, Nanning Guangxi, 530006, China)

Abstract: The supply chain still faces many challenges in the development process, such as the authenticity and reliability of information and the security of the system in the process of product traceability, the security of products in the process of logistics and transportation, and the trust management in the process of SME financing, etc. Blockchain technology has a series of characteristics of decentralisation, immutability and traceability, which bring efficient solutions to supply chain management, but there are still some technical challenges in the actual implementation process. The application of blockchain technology in the supply chain is discussed as well as a comparative analysis. Firstly, the concept of supply chain and the current challenges, the development history of blockchain technology, the architecture and the differences between different types of blockchains are briefly introduced. Secondly, the three different supply chain areas of information flow, logistics and capital flow are analysed, and the pain points of the different areas and the solutions of blockchain in the different supply chain areas are explained and compared. Finally, the technical challenges faced by blockchain in the practical application of supply chain are summarised and discussed.

Keywords: information flow; logistics flow; capital flow; supply chain; blockchain

0 引言

供应链是指通过一定的组织计划, 把产品、服务、资金等相关要素从一端流向最终用户的三个或三个以上实体组成的网链结构^[1]。供应链管理即是协调各个企业内外部的资源

配置关系来共同适应和满足消费者的需求^[2]。通过充分运用供应链管理、信息技术和流动性过程管理控制等技术, 可以建立一个平台以便用于收集和分享供应链中的信息, 同时能有效地进行规划和控制全过程的信息、资金、物流和运输流动。但是, 在供应链管理的过程中依然存在许多问题, 例如:

收稿日期: 2022-11-23; 修回日期: 2023-02-12; 录用日期: 2023-02-15。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61862007)。

作者简介: 葛丽娜(1969—), 女, 广西环江人, 教授, 博士, CCF 会员, 主要研究方向: 信息安全、物联网和智能计算; 徐婧雅(1998—), 女, 江苏盐城人, 硕士, CCF 学生会员, 主要研究方向: 网络与信息安全、区块链技术; 王哲(1991—), 男, 河南南阳人, 副教授, 博士, CCF 会员, 主要研究方向: 能源收集网络、边缘计算、传感器云和物联网; 张桂芬(1974—), 女, 广西南宁人, 副教授, 硕士, CCF 会员, 主要研究方向: 信息安全、物联网和智能计算; 颜亮(1996—), 女, 湖南涟源人, 硕士, 主要研究方向: 网络与信息安全、区块链技术; 胡政(1996—), 男, 广西贺州人, 硕士, 主要研究方向: 网络与信息安全、区块链技术

供应链信息的封闭性和不透明性导致数据传递延迟^[3]；此外由于目前的供应链管理系统的集中化，无法很好地实现产品认证与溯源等。供应链涉及到多个参与者和利益相关者，很难跟踪供应链不同阶段的全过程，各个阶段往往位于不同地方，甚至跨越不同国家，供应链的复杂性给高效的供应链管理带来了挑战^[4]。

区块链具有按照时间序列存储信息数据的功能，与产品在供应链当中流动的形式极其相似。其次，区块链上发送的每一笔交易都记录在单独的区块上，并存储在区块链每个节点的分布式账本中^[5]。这不仅确保了事务内容的完整性，还确保了事务的可靠性和高度透明性^[6]。利用区块链智能合约，系统能够高效且及时地更新数据、不给予任何人工干涉的机会，不仅使得企业能够很好地实现供应商团队的动态化管理，还大大地提升了整个供应链的效率。而且，信息数据在供应链中的更新频率相对较低，回避了目前区块链技术的在性能和数据处理上的一些缺陷^[7]。随着区块链技术的不断成熟，区块链广泛应用在隐私保护^[8-9]、数据共享^[10-11]、医疗^[12-13]等各个领域。

本文研究了国内外学者对于区块链技术在供应链不同领域中的应用解决方案，通过对信息流、物流、资金流三个不同领域面临的困难和挑战进行分析，进而研究如何应用区块链技术解决不同领域的行业问题。

1 供应链

供应链是指通过一定的组织计划，把产品、服务、资金等相关要素从一端流向最终用户的三个或三个以上实体组成的网链结构。供应链管理在更广泛的管理实践中越来越重要，这使公司能够更加密切地关注客户的期望和需求^[4]。通过改进对公司之间的材料、信息和资金流动的管理，以在正确的时间以正确的数量和正确的规格将正确的产品供应到正确的地点，来满足客户的需求^[15]。除了材料到市场的物理移动之外，供应链的第二个功能是市场中介，确保产品的正确混合使其进入市场^[16]。转换、运输和市场中介功能都依赖于各种形式的信息能及时准确的传递，包括库存位置和运输选项以及市场需求和市场调解。信息需求，信息共享和系统集成长期以来一直被视为成功的供应链管理的基本要素^[17]。

供应链目前面临以下挑战：

1) 数据安全性：目前供应链涉及各方之间运输产品的公司的核心领域^[18]，但是供应链规模的扩大可能导致交货延迟和违约等问题。此外，大型经销商需要雇佣大量的员工以满足门店运营的需求，这些都可能是订单处理严重延迟的原因，并且大大增加了订单丢失的可能性。为了解决这个问题，公司不得不将所有流程都实现自动化，导致供应链中的企业和分销商的数量大幅度增加^[19]。但是，数据量的增加和互联网公司的扩张同时也导致了其数据库易遭受攻击，黑客企图修改、窃取或删除数据。

2) 数据可靠性：供应链中信息管理可靠性不足。一方面供应链是通过契约建立的战略联盟，并没有完全统一企业间的利益关系，这使供应链缺少有效的机制保证产品信息溯源工作的顺利开展^[20]；另一方面参与供应链的企业众多，且地理位置分散，为实现企业信息的集中归纳管理带来了挑战。另外核心企业在供应链管理中占据主导地位，无法保证信息在汇集过程中的真实可靠性。这一系列原因导致了供应链中“道德问题”的频频发生，对政府监管部门维护消费者权益、解决企业纠纷造成困难^[21]。

3) 信息不对称：随着生产环节越来越复杂，行业分工不断细化，供应链管理的难度不断加大。尤其是规模比较大的企业，与其合作的企业数量多，供应链上游企业和下游企业之间的跨度变大，核心企业已经失去管理整个供应链的能力。这种情况下，核心企业只能把供应链中一部分管理权限分配给不同级别的供应商。这就导致了供应商之间、供应商和核心企业之间的信息不对称^[22]。供应链上不同位置的企业信息不对称，为个别人或个别企业谋取私利提供了可能，不仅加大了经济犯罪的风险，也会大大增加生产成本。更为严重的是，供应链上的信息不对称，极有可能导致核心企业的决策失误，进而给整个生产经营活动带来灾难性的后果^[23]。

2 区块链

2.1 发展历程

2008年，中本聪提出了去中心化加密货币——比特币的设计构想^[24]，2009年，比特币系统开始运行，标志着比特币的正式诞生。比特币作为一种新型的数字货币，是区块链技术最成功的应用场景之一^[25]。比特币由分布式网络中的每个节点进行管理，各个节点都添加一个工作量证明的共识过程，用来对比验证且记录比特币在网络中的所有交易^[26]。比特币在全球范围内是区块链1.0时代最典型的一个代表。

区块链2.0阶段将数字货币和智能合约紧密地结合在一起，优化了更加宽阔的信息技术领域的市场和应用^[27]。区块链2.0定位于智能合约的应用平台，在该平台上可以上传和执行各类智能合约，并且智能合约的签订能得到及时有效的监督和保障^[28]。且应用平台可以利用智能合约与其它外部IT系统进行交互及信息处理，实现各种业务的应用^[29]。

随着物联网技术的飞速发展，区块链技术进入3.0阶段。区块链网络以服务器分散化架构为基础，彻底改变了现有以服务器集中为中心的网络模式，形成了分散式全分布式结构，提高了整体网络系统的质量和工作效率^[30]。区块链3.0技术是基于价值的互联网内核。价值互联网是自出现于移动互联网之后的一种新兴理论观念，是移动网络在大众中普及以后才出现的一种高级互联网模式^[31]。

2.2 体系架构

目前各类区块链平台所采用的体系架构大同小异，均可以从底向上划分为数据层、网络层、共识层、合约层和应用层五个层次^[32]，如图 1 所示。

1) 数据层。数据层既规定了交易、区块、链式结构在内的狭义区块链的数据结构和存储形式等基本模块，也包括了关于用户身份、地址的密钥管理机制以及区块链所需的其他密码学组件等安全模块，是实现其他五层功能的基础¹。数据区块由区块头和区块体组成，前一个区块节点生成的哈希值将独立的区块连接在一起，形成了区块链^[33]，如图 2 所示。

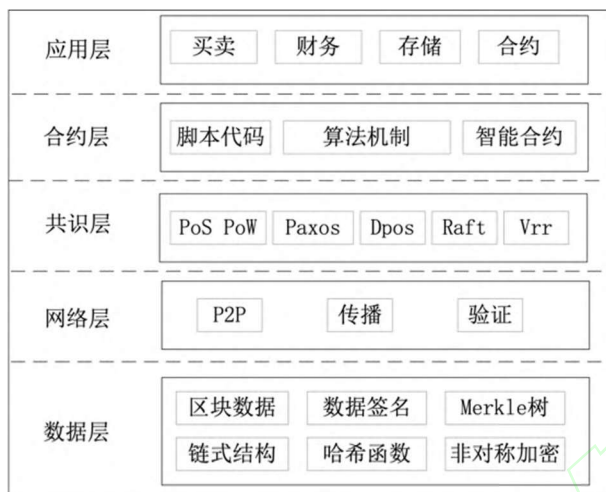


图 1 区块链体系架构图

Fig. 1 Blockchain system architecture diagram

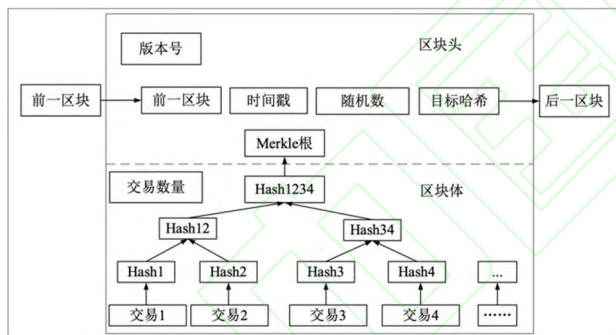


图 2 数据区块结构图

Fig. 2 Data block structure diagram

2) 网络层。区块链网络采用 P2P 组网技术，具有去中心、动态变化的特点。网络中的节点是地理位置分散但是关系平等的服务器，不存在中心节点，任何节点可以自由加入或者退出网络^[34]。在区块链网络中，网络广播数据由每个节点监控。只有经过验证的交易以及区块才能够被用户处理并且转发，这决定了区块链具有“无中心化”的特点^[35]。

3) 共识层。共识层中封装的是共识算法，共识机制是区块链技术的基础和核心，常见的共识机制有工作量证明（Proof of Work, PoW）^[36]、权益证明共识（Proof of Staked, PoS）^[37]、实用拜占庭容错协议（Practical Byzantine Fault Tolerance, PBFT）^[38]、授权权益证明共识（Delegated Proof of Stake, DPoS）^[39]等。表 1 对常见的四种主流共识协议进行了

详细的对比和分析，其中：N 表示系统中的总结点数，f 表示允许出现故障的节点数，S 表示每秒交易数。

4) 合约层。合约层系统封装了每一个代码层的脚本以及其他算法的实现机制，这是如何使整个区块链系统达到编程性的重中之重。智能合约是一种部署在区块链上的数字协议，可以根据规定自动执行。算法和编程共同编制的合同条款可以根据需要进行编码并部署到区块链中，区块链可以由平台自动执行。

5) 应用层。应用层是用来实现区块链系统和应用系统互相交互的接口层。用户不必掌握区块链相关的专业知识，只需要直接调用该层所提供的的一个标准接口，就可以正确地使用该应用层预先定义的各类应用。目前市场上较为主流的应用仍然是以数字货币交换为主，同时存在着一些其他的去中心化应用。

2.3 区块链分类

区块链类型可以分为：公有链、联盟链以及私有链。公有链是区块链的重要组成部分，任何人都可以访问公有链，参与协商过程，决定哪些区块可以添加到区块链中^[40]。公有链对所有人开放，任何互联网用户都能够随时加入并任意读取数据，发送交易和参与区块的共识过程。比特币和以太坊等虚拟货币系统就是典型的公有链系统^[41]。公有链主要采用工作量证明机制和权益证明机制等。但是公有链系统的安全性同时伴随着吞吐量低的缺陷，导致数据上传速度、调取智能合约速度显著变慢。

专门服务一个组织或某一简单业务的区块链称为私有链，私有链有很大的封闭性和排他性，通常在一个较小的范围实施，由于其目标单一，所以构建相对简单^[42]。私有链目前还不能完全解决信任问题，各节点之间虽彼此透明但不对外公开，仅限于有信任关系的个体之间使用。与公有链不同的是，只有被授予权限的计算机才能参与私有链网络，交易速度也比公有链快的多。主要采用拜占庭容错机制，典型应用为多链（Multichain）等。

联盟链是一个特定的区块链，它拥有维护分布式共享数据库的授权节点^[43]。仅由一组具有利益相关的特定区块链服务客户使用，仅有授权节点可接入，接入节点可按照规则参与共识和读写数据的一类区块链部署模型。主要采用拜占庭容错机制和授权证明机制等，与公有链相比，联盟链的承载能力更符合实际，典型应用为超级账本等。详细对比如表 2 所示。

3 区块链在供应链中的应用

供应链的基本组成要素为信息流、物流以及资金流^[44]。在商品流通中，所有信息的流动过程简称信息流，包括了供应链上的供需信息和管理信息，记录整个商务活动的流程，

是分析物流, 导向资金流, 进行经营决策的重要依据^[45]。物流是指物品从供应地向接收地的实体流动过程中, 根据实际需要, 将运输、储存、装卸搬运、包装、流通加工、配送、信息处理等功能有机结合起来实现用户要求的过程^[46]。资金是企业的血液, 资金流是盘活一个供应链的关键^[47]。供应链

中, 资金流是条件, 信息流是手段, 物流是终结和归宿。本节以信息流、物流、资金流三个不同的供应链管理领域的相关行业痛点为基础, 对区块链赋能供应链管理的各种方案进行论述和总结。不同的供应链领域的典型应用及行业问题如表3所示。

表1 主流共识协议对比

Tab.1 Comparison of mainstream consensus protocols

共识算法	PoW	PoS	PBFT	DPoS
应用范围	公有链	公有链	联盟链	联盟链、公有链
应用场景	比特币系统	以太坊、Peercion	Hyperledger Fabric、Pipple	Eos
拜占庭容错	$N > 2f + 1$	$N > 2f + 1$	$N > 3f + 1$	$N > 2f + 1$
带宽要求	低	低	高	低
可拓展性	强 (节点数小于十万)	强	弱 (节点数低于一百)	弱
去中心化程度	高	高	低	低
能耗	高	低	低	低
吞吐量	$S \leq 10$	$S > 1000$	$S \leq 3000$	$S > 100$
算力需求	高	高	低	低
商业化程度	低	高	高	高

表2 区块链类型对比

Tab.2 Comparison of blockchain types

类型	公有链	私有链	联盟链
参与者	任何人	个体或者公司内部	联盟成员
共识机制	PoW、PoS、DPoS等	PBFT等	PBFT、DPoS等
记账人	所有参与者	内部自定义	联盟成员协商定义
激励机制	需要	不需要	可选
中心化程度	去中心化	弱中心化	多中心化
承载能力	每秒3~20笔	每秒1000~100000笔	每秒1000~10000笔
应用场景	比特币、以太坊等	多链等	超级账本等

表3 区块链赋能供应链领域及问题

Tab.3 Blockchain-enabled supply chain areas and pain points

领域	典型应用	行业问题
信息流	服装、农产品、生鲜食品、药品、珠宝等	产品溯源系统对整个供应链上追溯的信息有限, 且未涉及每一个环节; 产品追溯系统在供应链收集的信息可信度低; 产品在不同周期的信息和数据信息化水平不同, 数据存储的架构和接口也各不相同
物流	港口物流、建筑物资运输、生鲜食品运输	物流运输过程中, 载容率低现象频发, 造成一定程度上的资源浪费; 参与物流运输的利益相关者较多, 产品质量难以追溯; 传统的GPS、GIS系统易被恶意操控
资金流	中小微企业融资	中小微企业与大型企业相比规模小、信用风险高; 传统的供应链系统存在信息造假的风险; 风控控制手段有限, 银行对中小微企业审核花费大, 中小微企业融资成本相应增高

3.1 区块链在信息流领域的应用

整个供应链上对信息的收集、传送以及处理的过程组成了信息流系统, 包含着整个供应链上面的所有供需信息和物流管理信息, 并体现在整个货物消息交易的过程, 记录着完

整的货物交易过程, 这些信息在分析货物、资金流的引领和调节经营决策三个方面是一个不可或缺的基础^[48]。产品的溯源系统在区块链赋能信息流中至关重要, 在结合移动互联网技术、物联网以及自动识别技术后, 实现每个物品都有唯一的编码^[49]。在产品从生产到运输、销售的整个过程中都跟踪记录相关信息。区块链溯源系统主要适用于服装^[50]、各种食

用类的产品包括肉类、蔬菜、水果、海鲜等^[51]、药品^[52]、高档消费品(如名贵烟酒)等。实现产品溯源,不仅能够提升企业的品牌价值,还能实时分析市场产品数据,帮助企业制定正确的经营策略。因此本小节将以产品溯源为例来说明区块链在信息流中的应用。

我国目前现有的产品追溯系统大部分是由生产商和企业 在产品发布或销售时为每个产品分配独一无二的标识,用于追溯产品质量。这种产品的溯源系统所能够追溯到的信息量是非常有限的,现阶段产品的溯源系统主要存在以下三个问题:

1)产品溯源系统对整个供应链上追溯的信息是极其有限的,在整个供应链上信息的采集、传递和加工处理过程中,并未涉及到产品的生产、加工、流通、运输、销售等全过程的各个环节。

2)企业产品追溯系统在整个供应链上所收集的大量数据都可信度低,整个企业在供应链上收集到的现有产品信息,例如生产日期等,很容易被恶意造伪,难以确保产品信息的真实可靠性和系统的安全性,因此构建一个安全可信的企业产品追溯系统,使用户更好地获取安全可靠的产品和服务,成为一种迫切的需求。

3)在当前的整个供应链中,产品在不同的生命周期和各个阶段所能够产生的信息和数据都是属于各自独立的实体,这些实体往往拥有不同的信息化水平,数据存储的架构和接口也各不相同。

为了解决产品溯源过程中存在的问题,文献[53]中提出了基于区块链的解决方案。针对服装产业中存在的产品质量安全问题与假冒伪劣现象,构建了一个基于区块链技术的服装产品信息追溯系统。该系统结合区块链技术的去中心化、不可篡改、可追溯性等特征,在进行服装供应链信息追溯时将供应链全流程的信息上传至区块链,从而实现从原材料的种植到产品销售全过程信息的追溯。由文献[53]可知,区块链在服装供应链的应用流程大致可以描述为图3所示。系统中的物理层通过纺织品的唯一识别码,利用通信网络及接口协议将采集到的商品数据信息上传至溯源系统中。利用区块链技术将不可篡改的溯源数据部署成智能合约的持有状态和账本数据。实现了服装产业链的正向监管与逆向追踪溯源。但是方案并未考虑系统的实际实施成本、此外系统的吞吐量以及可拓展性也是一个需要改进的方向。

一个公共服务平台对整合分散的农业资源具有重要作用,针对目前中国公共服务平台存在的一些关键问题,文献[54]中提出了一个基于区块链双链架构的农业供应链系统。研究表明,该系统不仅能够保证交易信息的公开性、安全性

和企业信息的私密性,还自适应地完成资源的寻租和匹配,极大地提高了公共服务平台的可信度和系统的效率。公共服务平台各节点之间是平等且相互操作的,因此农业资源区块链必须采用公有链架构。由于公有链不能保护企业信息的隐私,该方案提出了一个基于“用户信息链”和“交易链”的双链架构的农业供应链系统,该系统的双链结构如图4所示。“用户信息链”用于记录和存储各企业的用户信息,“交易链”用于记录和存储所有交易数据。首先,双链架构不仅保护了企业信息不被泄漏,又保证了交易数据的真实性、完整性和不可篡改性。其次,企业信息和数据的转移减轻了节点的存储压力,提高系统的吞吐率和共识速度。该方案解决了企业信息隐私数据保护的问题,然而实际应用中运输生鲜农产品的冷冻车的碳排放、折旧等实际应用成本仍是等待解决的问题。

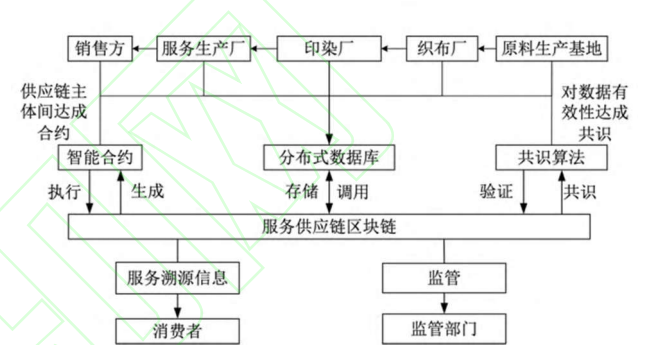


图3 服装供应链区块链结构

Fig. 3 Blockchain-based clothing supply chain structure diagram

针对农业食品溯源体系落后,我国农食品安全事件频发的问题。文献[55]中提出建立一个基于射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)和区块链技术的农食品供应链追溯系统。实现农产品供应链中生产、加工、仓储、配送和销售环节的数据采集及共享。使用区块链技术来保证该系统中信息的可靠性和真实性。该系统不仅涵盖了农食品供应链中的每一家企业,还包括食品安全与质量监督检验中心,如政府部门和第三方监管机构。一旦发生食品安全事故,第三方监管机构可以立即采取紧急措施,防止危害蔓延。该溯源系统结合RFID技术,实时监控产品质量,并通过使用全球定位系统(Global Positioning System, GPS),配送中心可以为每辆冷藏卡车实现车辆定位,并且自动匹配最优运输路线,减少物品运输时间,以达到保证农产品新鲜程度的目的。由文献[55]可知,区块链在农产品溯源的应用流程大致可以描述为图5所示。该方案在充分结合物联网技术和区块链技术保障农产品冷链运输质量的同时,并未考虑方案的实际实施成本,并且系统的拓展性和吞吐量也是未来该方案改进的主要方向之一。

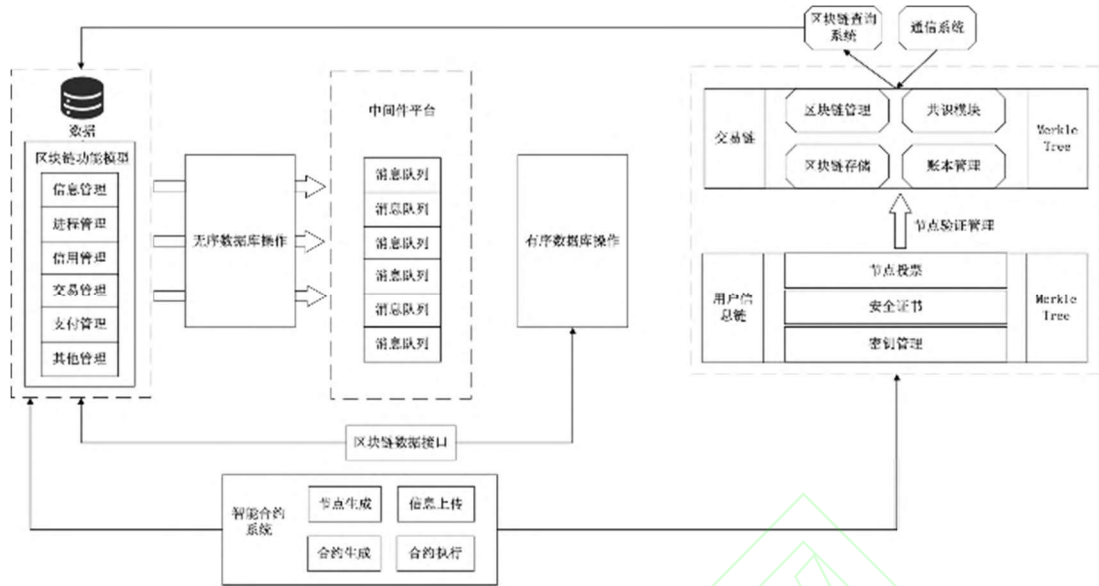


图 4 农业供应链溯源系统双链结构

Fig. 4 Double chain structure diagram for agricultural supply chain traceability systems

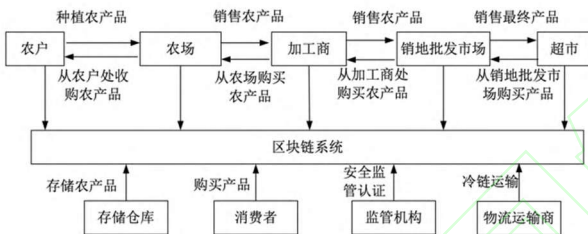


图 5 基于区块链的农产品溯源系统流程

Fig. 5 Blockchain-based agricultural traceability system flow chart

近年来,食品安全问题引起了学术界和商界的高度关注。文献[56]中提出了一个基于危害分析临界控制点(Hazard Analysis and Critical Control point, HACCP)、区块链和物联网的食品供应链实时追溯系统,为所有供应链成员提供一个公开、透明、可靠的信息平台。该系统利用物联网技术进行采集和传输,依靠巨链数据库(BigchainDB)存储和管理食品供应链中产品的相关数据。供应链中的每个成员在BigchainDB上注册并存储用户信息。每个产品都附有一个唯一的数字加密标识符标签,包含产品信息。收获的作物被包装贴上标识符标签,作为新产品进入系统。之后,生产企业和加工企业开始交易,在接收到产品后,加工企业通过扫描标签,读取新数据,并更新产品配置文件。加工后,成品包装上粘贴新标签。通过仓储中心的物联网设备,获取收货信息。同时,在标签中查看并更新产品实时存储信息。在配送过程中,依据危机原则原则建立车载安全监控系统,将产品的实时环境数据添加到其标签中。消费者在购物时可以通过扫描获取商品的基本信息。

假药是制药业面临的最严重威胁之一。互联网药店的兴起,使得药品供应链过程的安全保障更加复杂。文献[57]中提出了一个区块链药品溯源方案,该系统使用 Hyperledger

Fabric 平台,有助于不同制药利益相关者高效、安全地执行药品供应链交易。该系统与星际文件系统(InterPlanetary File System, IPFS)链接存储数据,减轻区块链的存储压力。药品监管机构在区块链网络中识别、登记和注册制药供应链系统中所有参与者。这些参与者通过虚拟专用网连接到注册系统。注册后,药监部门将对记录进行验证,并分配一个区块链地址。在这个注册过程中,创建一个药物交易并提交给系统。交易提议请求将被转发到对等节点。然后,该交易提议将由可用并登记在区块链网络中的对等节点根据背书策略进行验证。一旦对事务提议进行了验证,它将被广播给区块链网络中的对等节点。之后,药品可追溯解决方案可启动和部署智能合约,用于执行药品供应链中的不同功能和流程,包括药品生产、运输、存储、配送、销售、质检等。由文献[57]可知,区块链在药品溯源的应用流程大致可以描述为图 6 所示。但该方案尚未涉及数据隐私保护部分,所有制药供应链利益相关者在系统中记录他们的核心医疗保健相关数据,这些敏感数据都可以在区块链平台上被访问,造成了严重的隐私挑战,这也是该方案未来继续研究的重点方向之一。

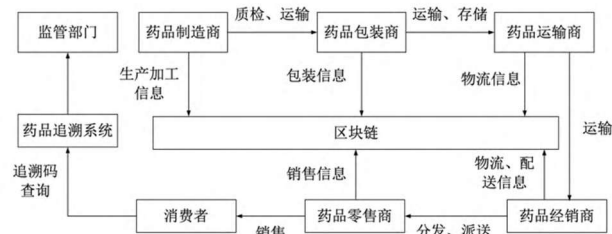


图 6 基于区块链的药品溯源系统流程

Fig. 6 Blockchain-based drug traceability system process

文献[58]中介绍了用区块链技术溯源动力电池的一些应用案例。2019年11月,沃尔沃汽车与中国宁德时代、韩国

LG 化学这两家来自全球各地的电池材料供应商，以及国内多家著名的区块链技术公司合作，保证了动力电池钴材料中贵金属是可追溯的，自此沃尔沃成为第一家采用区块链技术在汽车制造商[59]。 “蜂云”平台是一个针对全电池生命周期的大数据管理平台，对新能源二手车残值评估和动力电池梯次利用有较高的应用价值。目前，北京理工新源信息科技有限公司已完成汽车企业溯源区块链平台系统、电池厂溯源区块链平台系统、售后溯源区块链平台系统 V1.0 版本的开发与试运行工作。该区块链平台在数据传输、数据管理等方面具有优势，能够减轻数据收集及上报压力，得到了奇瑞汽车、枫盛汽车、吉利商用车、宁德时代、合肥国轩等重点试运行企业的认可和支持。

文献[60]中介绍了一个区块链技术应用在艺术行业的具体案例，将区块链技术的特性与艺术品鉴证和交易相结合。开发了一个基于区块链的综合交易系统，ArtChain 平台。它

包括前端、后端、服务、智能合约、链式连接和从下到上的部署脚本。这是澳大利亚第一个部署了区块链功能的艺术品交易平台。它为艺术品资产的登记、出处和可追溯性提供了一个透明而又保护隐私的防篡改交易历史。

总结以上讨论的基于区块链技术的溯源解决方案后，可以得出区块链技术在信息流领域的应用，一般都采用联盟链，由产品的原材料产地、到产品供应商、产品物流运输公司、以及产品销售平台组成各共识节点进行维护。并将通信技术与区块链技术相结合，采用 RFID 以及 GPS 等通信技术监控运输过程中的产品状态。通过共识算法保证区块链中节点的一致性和安全性。一些学者提出将行业标准、法律、规章写入智能合约，通过智能合约对产品质量风险及时预警[61]，还有一些学者则提出利用数字签名技术保证链上数据的安全性[62]。在此过程中，区块链网络节点间的交易无需第三方审核，缩短了产品的在途时间。

表 4 区块链在信息流领域应用方案对比

Tab.4 Comparison of blockchain-enabled information flow solutions

解决方案	区块链类型	应用场景	优点	缺点
文献[53]	联盟链	服装	赋予纺织品唯一识别码，结合通信网络及接口协议上传数据信息至溯源系统中	未考虑系统的吞吐量以及可拓展性
文献[54]	公有链、私有链	农业资源	双链架构既保护企业隐私信息，又保证交易数据的真实性。企业信息和数据的转移减轻节点的存储压力，提高系统的吞吐率和共识速度	未考虑冷冻车的碳排放、折旧以及实际应用成本等情况
文献[55]	联盟链	农食品	结合 RFID 技术，实时监控产品质量，使用 GPS 技术，实现车辆定位，并且自动匹配最优路线，减少运输时间	未考虑方案的实际实施成本，系统的拓展性和吞吐量有待提高
文献[56]	联盟链	食品	利用物联网技术进行采集和传输产品数据，引入 BigchainDB 存储产品的相关数据	未考虑实际成本以及物联网实际应用难度
文献[57]	联盟链	药品	与星际文件系统链接存储数据，减轻区块链的存储压力	未涉及数据隐私保护

3.2 区块链在物流领域的应用

物流是指物品从供应地向接收地的流通过程，将运输、储存、装卸、搬运、包装、流通加工、配送等环节有机结合起来实现用户的要求[63]。物流不仅是全球经济大环境下诞生的产物，也是促进经济在全球范围内发展的重要的服务业。2018 年我国经济和社会物流规模已达到 283.1 万亿元，我国已经成为全球最大的物流市场。虽然近几年物流取得了很大发展，但是仍面临几大挑战。

1) 在整个物流过程实现中，很容易造成去程或者返程的实际载容率比较低，甚至可能会出现空驶现象。物流运输公司一直在寻找需要运输的货物，但往往这类数据会被重复或混淆，为物流运输公司造成一定程度上的资源浪费。

2) 参与整个物流运输过程的利益相关者比较多，不仅包括产品的生产者、产品的加工运输者，还包括产品的销售者

以及产品消费者。这些利益相关者不够重视产品的可追溯程度，一旦产品出现质量问题，容易出现各方相互推脱的现象。

3) 在现代化运输过程中，实时跟踪货物位置等动态信息早已成为服务的必选项，但目前使用的传统 GPS 系统容易被恶意操控，不利于整个物流体系的发展。我国物流运输业普遍存在散乱，规模小，数量多、社会化一体化差等特点，这些问题在公路运输中尤为显著。

由于区块链具有分布式共享账本、公开透明、不可篡改、可追溯等特性，研究人员正在探索使用区块链技术解决供应链物流中存在的问题。

海上货运对全球经济发挥重要作用，区块链技术可以作为建立海上货运跟踪系统的有力工具。然而现有研究都集中于运输数据，忽略了实际货物移动和系统管理信息的一致性。文献[64]中提出了一种与区块链海上货运供应链管理系统集成的数字身份管理方案，以减少信息不一致性。具体来说，参与海上货运的一方 P 使用一个公钥/私钥对作为其数字身

份。P 生成一个公钥/私钥对，为公钥颁发证书，其他人使用该证书来识别 P。与经典的公钥基础设施（Public Key Infrastructure, PKI）系统不同，证书的生成涉及多个机构并包含了审查程序。每个机构可以依次检查 P 的信息，并决定是否签署。然后，证书授权机构（Certificate Authority, CA）可以收集 P 的公钥的所有签名，生成一个组合证书。当 P 参与某些需要在区块链中记录的操作时，P 会签署相应的消息。当另一方需要验证记录是否有效时，他会通过检查所包含的签名来验证数字身份。海上货运供应链管理系统还包括跟踪设备、RFID 标签、智能集装箱等硬件技术，它们的数字身份存储在硬件中，生成方式与参与系统的员工相同。当设备更新货物信息时，会生成新的记录，并使用私钥进行签名，然后将其发送到系统中。其他节点可以通过其数字身份中的公钥检查签名，然后一起决定是否将其更新到区块链中。该方案提出的机制可以让机构在参与者加入基于区块链的货物管理系统前对其进行交叉检查，但是该方案未考虑在实际实施过程中的成本。随着数据量的增加，区块链系统的吞吐量也是该方案未来继续改进的一个方向之一。

文献[65]中提出一个区块链技术与数据分析相结合的智能港口管理框架，以提高港口船舶物流运输效率。船舶代理、码头、拖船公司、引航站和政府这五方都在该框架中共享信息，并将这些信息存储在区块链中。为了维护系统安全，该框架基于私有区块链构成，只有通过政府检查验证的参与者才能加入和访问区块链网络。在区块链系统中，所有各方都可以访问存储的信息；然而该方案的共享信息并不包括敏感信息，因此不存在隐私泄露的问题。并且该系统是针对信息共享而不是货币交易的。因此，共识机制比工作证明或投票机制更适合该系统，以实现快速交易。一方提供的信息可以直接上传到链上，系统可以限制每一方的交易数量（每一方每分钟最多一个交易）。这样既能避免任何一方错误地写入太多的交易，又能抵御黑客攻击，提供了系统的安全性。该框架大大提高了航运计划的完整性，目前该框架作为一个基础版本，可以进行进一步的研究，如何使用多源数据进行交叉验证是该框架下一步改进的目标。

文献[66]中研究了区块链技术在饲料企业物流领域中的应用，并提出了一个相应的体系架构。产品的相关信息，包括生产该产品的工厂数据、产品的指控指标、产品的物流配送等信息全部都存储在区块链上，区块链技术贯穿于产品生产所需的材料运输、产品完成生产以后的售卖以及运给客户等物流过程的全部环节，发挥验证追溯的作用。由于区块链不可篡改的特点以及区块链技术可追溯到的电子凭证，它可以明确界定了物流运输过程中各个参与方所承担的责任，提高了其物流运输的工作效率和安全性。而且区块链技术正被广泛应用于饲料企业的物流系统中，不仅可以最大限度地提高了饲料企业的物流数据和信息传输的安全性，还使得物流数据的传递更加富有了时效和客观价值。该方案在提高物流运

输效率的同时未涉及用户的隐私保护，这仍是该方案未来需要努力的方向。

文献[67]中提出了一个基于区块链的物流监控系统原型。在这个物流监控系统中，通过区块链收集并共享逻辑数据。该系统的功能使客户和物流运营商以及其他所有的合作伙伴能够在生态系统中追踪货物数据，并从系统中获得他们自己的数据信息。该系统基于以太坊平台实现，为实现包裹跟踪提供解决方案，并为供应链中的每一笔交易提供一个开放的、不可更改的历史记录。该系统架构由四层组成，分别为物联网层、数据层、业务层以及用户层。文献中提出的系统架构如图 7 所示。系统流程主要分为五个阶段。首先运营商为已注册用户，一个用户记录包含操作员信息、包裹信息、位置信息、时间信息等。当一个新的物流事务被创建时，一个新的区块被传播给物流网络中的所有对等点。在所有参与者都验证了新区块之后，系统将区块添加上链，与前一个块链接，交易完成。该方案强调了区块链在供应链系统中应用的高可用性及安全性，但尚未涉及用户的隐私保护，这仍是该方案未来需要努力的方向。

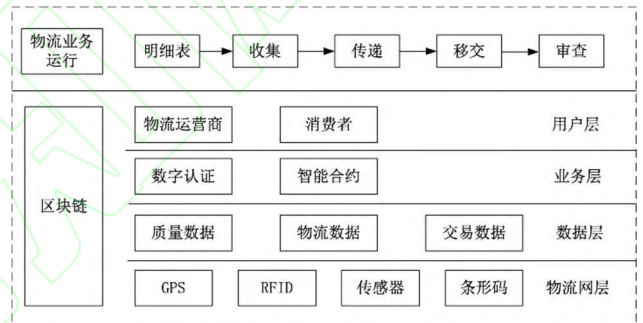


图 7 基于区块链的物流监控系统架构

Fig. 7 Blockchain-based logistics monitoring system architecture

文献[68]中介绍了一个以区块链技术为基础的运输建筑物资的供应链模型，用以解决建筑物资（钢材、水泥、砂石和木材等）供应链存在的信息孤岛等种种弊端，该架构基于联盟链实现。参与区块链的各个节点为采购方、运输方以及施工方，建筑物资总量的需求由链上的各个参与方共同决定。建材供应商以及施工方的任务完成情况由智能合约实时记录上链。当施工任务结束后，施工方和第三方监督以及客户验证任务结束的信息，验证通过以后，由被授权的节点将信息储存在数据库中，并向其他节点传播。智能合约按时比对数据库中的交易数据，满足合约标准以后执行合约的条款，并将执行后的结果生成一个新的区块，连接到已有区块链的链尾，形成完整的建筑物资供应链区块链。

近年来，中国港口的集装箱吞吐量迅速增长。文献[69]中提出利用区块链技术建立一个拼箱出口平台，整合且共享代理机构与客户之间的信息，节约运输资源，优化拼箱业务。拼箱出口平台主要包括两个信息模块。一个包含无船承运人、公路承运人、货物供应和拼箱仓库的信息，提供可靠的提货

服务；一个包含车辆调度系统，通过 GPS 检测车辆，安排最合适的路径，提高运输效率。系统给每个实物产品分配一个唯一的数字编码，以确保其真实性与原产地，为所有出口的实物产品创造一个可审计的物流记录。托运人可以通过拼箱出口平台直接找到合适的无船承运人，而不是联系多家货代机构，有助于简化拼箱物流供应链，从而提高物流的透明度和准确性。通过消除流程中的第三方，降低物流运营的时间和成本。

总结以上讨论的基于区块链技术的物流运输解决方案后，可以了解到区块链技术是如何应用在物流运输领域中的。区

块链上的各个节点由整个物流运输主体共同组成，包括产品生产、质量指标、工厂资料和配送等信息都是存储在区块链当中，利用共识算法和时间戳等技术来确保上传信息的真实性和及时性。一些解决方案建议使用区块链技术来跟踪电子证据，一旦某个物流环节发生了问题，该区块链的电子证据就无法被篡改，因此我们可以凭这个问题来界定每一个方应该自己所负责的权利。另一些方案提倡通过物联网与区块链技术的相结合，及时产品从所产地到具体的运输过程中环境温度以及产品质量，并对交货时的细节进行检验，全方位保证物流运输过程中产品的质量。具体方案对比如表 5 所示。

表 5 区块链在物流领域应用的方案对比

Tab.5 Comparison of blockchain-enabled logistics flow solutions

解决方案	区块链类型	应用场景	优点	缺点
文献[64]	联盟链	海上货运	将数字身份管理方案与区块链海上货运供应链管理相集成，货物移动和系统管理信息的一致性	未考虑系统的吞吐量以及实际投入成本
文献[65]	联盟链	港口船舶物流	参与港口船舶物流运输的各方在区块链系统中共享信息，提高物流运输效率	未实现多源数据交叉验证
文献[66]	联盟链	饲料企业物流	智能化物流运作，掌握产品从生产到客户收货的全过程，提高物流效率与透明度	系统未涉及隐私保护，隐私性低
文献[67]	联盟链	包裹物流检测	结合物联网(RFID、GPS、传感器)技术，物流运营商和客户能实施追踪货物数据，	系统未涉及隐私保护，隐私性低
文献[68]	联盟链	建筑物物流	智能合约规范上下游交易，避免纠纷	系统实际投入成本高
文献[69]	联盟链	港口集装箱	整合共享信息，消除物流运输第三方，降低时间与成本	未考虑系统的吞吐量以及实际投入成本

3.3 区块链在资金流领域的应用

资金流是货币流通的过程，资金是企业的根基，资金流通与供应链的运作密不可分，供应链中企业的资金运作状况直接受到上游链以及下游链的影响，上游链和下游链的资金运作效率、动态优化程度，直接关系到企业资金流通的运行质量^[70]。中小微企业是整个国民经济中重要的一部分，但是目前中小微企业在持续发展的同时仍然有很多困难，最困难的问题是融资难的问题。导致中小微企业以及个人贷款融资难的原因主要有以下三个方面。

1) 中小微企业与大型企业相比较而言，经营规模小，拥有的资产相对较少，向银行寻求融资帮助时，没有一定量的不动产作为抵押物，信用风险和偿债能力的风险相对较高^[71]。银行并不希望借钱给以信用担保等作为主要融资方式和手段的中小微企业，相反的，信用风险低、偿还能力高的大型企业更受银行的青睐。

2) 传统的供应链系统存在信息造假的风险。银行或其他资金提供方关心的不仅仅是企业能否按时还款，同时关注点也在企业上报的信息是否具有真实性。中小微企业与银行之间存在信息壁垒，中小微企业的上报的信息数据有造假的

风险^[72]。银行在不清楚贷款企业的真实经营情况的前提下，采取相应措施来规避向中小微企业贷款融资的风险^[73]。

3) 由于受限于风险控制措施手段有限、操作效率低等影响，银行在对中小微企业以及个体审核贷款融资的过程中的花费较大，这些花费增加了中小微企业的融资成本。导致中小微个体和企业不能及时地获得具有市场竞争力的融资和授信服务，需要自身承担更高的融资费用^[74]。

由于区块链具有分布式共享账本、公开透明、防篡改、可追溯等特性，研究人员正在探索使用区块链技术解决中小微企业融资难的问题。

针对供应链金融上下游之间信息不对等，交易数据易篡改的问题，文献[75]中提出一个基于区块链去中心化平台的数据存储框架。首先，该框架将区块链与 IPFS 相连接，实现供应链资金流关键敏感数据链上、链下分开存储，缓解区块链存储压力，降低存储成本。其次，对于链上数据，该框架提出一种双链结构，分别为金融信息联盟链以及关键文件信息联盟链，通过设计并部署智能合约来访问存储于链上的数据。实验结果表明，该框架的存储效率和拓展性相较一般区块链数据存储框架均有显著提升。改进区块链共识机制，继续提升模型数据存储性能，是该方案未来的研究方向之一。

文献[76]中研究了一种将区块链技术应用于中小型饲料企业金融的方案。方案的核心思想是利用区块链特有的分布式存储、共识算法等功能,有效在核心企业、金融主体和供应商之间共享和传递资源信息。同时区块链的这种不可篡改的技术属性根本上确保了上链数据库中所有信息的完整、安全、有效性。在基于区块链的可编程特点上,帮助金融机构有效实现了结算自动化、简化业务流程,节约运营成本。为中小微饲料企业提出一种创新性的金融融资模式,融资困难的问题得到了有效的解决。

文献[77]中提出利用共识机制和智能合约等区块链特有的功能解决新型农业经营主体融资难的问题。将农业生产历史收益数据存储上链,区块链中存储的数据都是透明可追溯的,有助于工作人员正确评估农业土地的贷款额度。同时,区块链的去中心化特性最大程度的保障了资金流动双方征信数据的一致性,消除双方之间的信息壁垒,建立可靠的金融信用体系,进一步推动了农业金融的建设。

文献[78]中提出一个基于区块链的存货质押交易系统,该系统分为四层架构,包括数据层、资源层、应用层和访问层。数据层主要实现参与方身份认证以及存储存货质押整个流程数据,利用区块链的不可篡改性,保证上链数据信息的完整、安全、有效性。资源层主要传递不同参与方的征信数据,解决传统交易的信用问题,简化信用审核步骤。应用层通过设计智能合约,固定存货质押处理流程规则,多方共同验证交易的真实有效性。访问层依据访问权限的不同,分为私有链和公有链,在区块链系统中,无论公有链还是私有链都需要公钥、私钥以及数字签名的验证,验证完成后,才能进行交易资产的转移。该方案实现多参与方共同协作,降低了企业的融资成本。

文献[79]中研究了疫情下如何运用区块链技术化解中小企业融资难的危机,提出了一个区块链信用证信息传输系统。此系统将银行和买卖双方连接起来,从开证、通知到付款的整个过程记录为一个节点,分布式的储存在区块链上,支持追踪查询,通过每一个节点所有的交易参与者都可以查看信用证业务的流程。利用区块链高度信任与加密机制,数据可以在链上安全、高效地传递,不需要第三方进行监管,可自动代理,实时结算。区块链技术的广泛应用完善了传统贸易和融资的架构,用一种标准化、电子化、智能化的信用平台代替人工核查,不仅保护了各方的数据安全,同时加快了贷款资金审核过程,提升融资效率,帮助中小微企业减少了融资费用。

总结以上论述利用分布式区块链技术来解决中小微企业融资困难的方案以后,能够得出利用区块链分布式记账技术来解决企业融资困难的方法,它可以使每一个企业融资的各个参与者都能够成为区块链上所有信息的记录者、验证人员和维护者,使每个参与者都能够获得公开、透明的资料,且都能够付有对信息进行管理和维护的义务。利用了区块链不可篡改的技术性能,保证了上链数据的安全性、真实性及有

效性。一些解决方案采用标准化、电子化、智能化的信用平台替代了传统的人工核查,在有效保证了数据安全的前提下,大幅缩短了商业银行贷款申请审批的流程,贸易融资的效率得以进一步提升,明显地降低了中小微企业的融资费用和成本。

4 技术挑战与展望

4.1 可拓展性

吞吐量小、信息处理速率低、高延迟、能源消耗高等问题仍制约着区块链技术在供应链领域中的应用宽度。

一是基于分布式账本处理信息,需要占据大量带宽,信息处理速度偏慢,制约了供应链节点的处理能力^[80]。比特币及以太坊都使用的是整个网络共用一条链的单链方案,任意一个节点都有储存以及处理交易信息的职责,实际上区块链系统的整体能力很大程度上取决于由单个节点的处理能力。

二是随着数据总量的增加,如何有效的存储、查询区块链上的供应链数据资源也是急待解决的问题,目前区块链的计算效率不高,在类似能源互联网的应用上,区块链还无法满足实时性要求^[81]。目前,依据各方独立提供的数据,Fabric的交易吞吐量约为3500TPS,Corda的交易提供吞吐量约为1000TPS^[82],Quorum的交易吞吐量约为100TPS,与比特币(7TPS)、以太坊(15TPS)相比已有相当改善,但与传统的数据库系统相比,仍有着不小的差距。

三使用区块链技术对供应链能耗的浪费,对构建绿色供应链产生负面影响,矿工在区块链网络中挖矿时,持续的进行哈希值运算,此举需要巨大的电力资源支持。以太网及比特币验证发生在链上的交易时,都用到了工作量证明机制。不仅需要很大能量来为工作量证明机制而产生的大规模数字技术做驱动,还需要极其多的能量来保证计算机温度正常。

针对上文提到的区块链在供应链领域应用的拓展性问题,目前已经提出了几种解决方案。一种解决方案如文献[54]中提出的方案,用Merkle tree而不是传统的Hash List来验证数据。两种数据结构都有验证数据完整性的功能,都使用根哈希值来确保数据的完整性。有所区别的是,在需要比对的数据量极其多的情况下,一旦根Hash值检测到有不一致的交易数据时,Merkle tree可以及其快速的找到导致不一致的数据块,而Hash list只能通过遍历完整的Hash List才能找到导致不一致的数据块,很显然Merkle tree的效率要比较高。另一种解决方案如文献[57],提出了一种基于IPFS优化的联盟区块链方案,IPFS星际文件系统能够处理大量的数据,并在块链事务中放置不可变、永久的IPFS链接,而不必将数据本身放在块链中,一定程度上解决了区块链吞吐量小的问题。除了以上提出的两种方案,以太坊项目正在研发的分片处理方案,即每个节点只处理一部分交易,也是减轻节点计算和存储负担的一个重要研究方向。此外如何根据业务数量和交

易数据设计多链架构，每条链负责不同的存储业务，扩充系统的存储空间也是改善区块链也拓展性需要研究的问题之一。

4.2 隐私保护

以区块链的去中心化为基础，创建了追溯责任机制和有力监管组织机构，才能规避区块链的安全漏洞。而且作为基于底层的协议和机制，区块链本身就具有比较完善的安全性和保障机制，但在供应链管理中应用的安全性还有待检验。而且区块链技术是一种利于促进供应链贸易中的信息公开和透明化，但另一方面也将为增加不法分子的欺诈和违法犯罪提供契机。在隐匿交易的细节的前提下，验证交易是否有效，是区块链隐私保护的困难之处。共识机制仍存在漏洞、智能合约有被攻击的可能等。共识机制作为区块链整体系统的中心，是解决总体系统性能的关键。迄今为止，众多区块链技术平台先后宣称研发了性能提高的共识机制。但是在没经过前提假设、形式化证明和数字建模之前，无法判断这些共识机制是否安全。能够研究出既具有安全性又保证性能的共识机制，仍是最迫切的研究工作。

各大区块链技术平台都在为研发更完美的隐私保护方案而努力。比如，Corda 采用 Intel SGX 技术实现了加密交易在 enclave 内的解密与验证，使得处理每笔交易时的历史交易验证都在 enclave 内完成，从而避免了历史交易数据的泄露^[83]。此外，如何将零知识证明、可信执行环境、安全多方计算及同态加密等隐私保护方案与区块链系统相结合，也是解决区块链隐私性的一个重要研究方向。

4.3 标准化

供应链管理是区块链技术在应用方面的一个非常重要的领域，但是目前为止供应链管理在如何能够有成效的使用区块链相关技术的方面仍然没有一个统一的标准。有如下几个原因造成：

1) 在区块链技术应用的方面做规划决策时，没有全面的考虑到整个供应链管理存在的问题，研究领域仅仅集中在供应链金融以及供应链相关信任系统，并没有把区块链技术应用在供应链管理的各个领域。

2) 没有一个公认的原型作为区块链技术的测试标准，测试区块链技术不仅需要大量的技术支持同时还需要大量的资金，不是普通的企业能承担的。

3) 目前国家在督促核查区块链应用方面还没有完善的一个检查制度，以规避区块链技术使用不当所带来的风险。目前，我国的区块链标准体系正在逐步完善，发展还不成熟，和建立完备的区块链标准体系仍存在很大差距。以后仍需要及时弥补国内区块链细分领域标准空白，尽快推动达成国内行业的一致共识。

针对结合上文章节所述实际情况，中国的国际区块链货币标准化体系建设相关工作于 2016 年底正式启动，与目前

国际货币标准化体系建设相关工作情况基本相同。根据初步统计，我国目前共编制发布了 8 项区块链/分布式金融帐本应用技术国家行业标准 3 项、省级以及地方性行业标准 5 项、群众性行业标准 34 项。2017 年 5 月我国发布了第一项关于开展区块链获得群众认可参考的国家标准《区块链参考架构》，之后陆续印发颁布了《区块链数据格式规范》、《区块链智能合约实施规范》、《区块链隐私保护规范》和《区块链存证应用指南》4 项获得群众认可参考国家标准^[84]，为开展区块链应用提供了相关国家标准的具体起草并研究制定提供重要参考依据。

4.4 成本

区块链技术为解决供应链领域的问题提供了新的解决方案，但相较于中心化应用要耗费更大量的硬件资源。不使用分布式技术仅需建立一个中心化的服务器集群，将所有参与方需要使用的软件集中安装至这个服务器集群上，减少了额外的费用；而使用分布式技术则需要每个参与记账的企业购买自己的服务器作为节点参与进来。此外，需要大量的 RFID 等相关的物联网设备来收集数据，设备的成本也是目前区块链技术和供应链领域相融合的阻碍之一。

如何最大程度地降低区块链技术的成本，文献[85]中提出了一种基于侧链技术的供应链溯源解决方案，通过智能合约实现供应链中的产品信息溯源，利用侧链技术将区块链上的每笔交易开销降低至 0.07 元。文献[86]中提出了一种融合双区块链的征信数据存储和查询方案，一条链用于存储实时征信数据，一条链用于存储个人征信报告，有效降低了数据冗余，节约了区块链的存储空间成本。除此之外，不同区块链平台提出的轻节点解决方案，也是未来研究降低区块链成本的一个重要方向。

5 结语

利用了区块链技术的去中心化、不可篡改、具有数据可追溯性等优势，可以解决供应链目前面临的一些问题。本文对区块链技术如何应用在供应链领域进行了研究，简要阐述了区块链的发展历史以及体系和分类，介绍了供应链的运作特性以及目前面临的挑战。将区块链与供应链结合应用总结划分为三个主要领域，即区块链赋能信息流、区块链赋能物流、区块链赋能资金流。对比分析了目前国内外提出的一些利用区块链技术解决供应链的经典案例，并梳理了各个方案的优势及缺陷。最后分析了区块链技术在供应链管理中实际应用的技术挑战，包括区块链技术的拓展性问题、隐私保护以及区块链标准化的完善方面。

参考文献

- [1] MIN S, ZACHARIA Z G, S MITH C D. Defining supply chain management: in the past, present, and future[J]. Journal of Business Logistics, 2019, 40(1): 44-55.

- [2] 毋江波,李常洪.供应链环境下的企业竞争情报增值运作模式研究[J]. 情报科学,2019,37(10):146-157. (WU J B, LI C H. The Study of Value-added Operation Modes of Enterprise Competitive Intelligence Under Supply Chain Environment[J]. Information Science, 2019, 37(10):146-157.)
- [3] SABERI S, KOUHIZADEH M, SARKIS J, et al. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(7): 2117-2135.
- [4] SHAKHBULATOV D, MEDINA J, DONG Z, et al. How blockchain enhances supply chain management: A survey[J]. IEEE Open Journal of the Computer Society, 2020, 1: 230-249.
- [5] ZHENG Z, XIE S, DAI H N, et al. Blockchain challenges and opportunities: A survey[J]. International journal of web and grid services, 2018, 14(4): 352-375.
- [6] MONRAT A A, SCHELEN O, ANDERSSON K. A survey of blockchain from the perspectives of applications, challenges, and opportunities[J]. IEEE Access, 2019, 7: 117134-117151.
- [7] CHANG S E, CHEN Y. When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications[J]. IEEE Access, 2020, 8: 62478-62494.
- [8] FENG Q, HE D, ZEADALLY S, et al. A survey on privacy protection in blockchain system[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2019, 126: 45-58.
- [9] WANG D, ZHAO J, WANG Y. A survey on privacy protection of blockchain: the technology and application[J]. IEEE Access, 2020, 8: 108766-108781.
- [10] XIA Q I, SIFAG E B, ASAMOAH K O, et al. MeDShare: Trust-less medical data sharing among cloud service providers via blockchain[J]. IEEE access, 2017, 5: 14757-14767.
- [11] CHENG X, CHEN F, XIE D, et al. Design of a secure medical data sharing scheme based on blockchain[J]. Journal of medical systems, 2020, 44(2): 1-11.
- [12] CHEN Y, DING S, XU Z, et al. Blockchain-based medical records secure storage and medical service framework[J]. Journal of medical systems, 2019, 43(1): 1-9.
- [13] XIA Q I, SIFAH E B, ASAMOAH K O, et al. MeDShare: Trust-less medical data sharing among cloud service providers via blockchain[J]. IEEE access, 2017, 5: 14757-14767.
- [14] 陈剑,刘运辉.数智化使能运营管理变革:从供应链到供应链生态系统[J]. 管理世界, 2021, 37(11):227-240. (CHEN J, LIU Y H. Operations Management Innovation Enabled by Digitalization and Intellectualization: From Supply Chain to Supply Chain Ecosystem[J]. Journal of Management World, 2021, 37(11):227-240.)
- [15] MENTZER J T, DEWITT W, KEEBLER J S, et al. Defining supply chain management[J]. Journal of Business logistics, 2001, 22(2): 1-25.
- [16] FISHER M L. What is the right supply chain for your product? [J]. Harvard business review, 1997, 75: 105-117.
- [17] LEE H L, PADMANABHAN V, Whang S. The bullwhip effect in supply chains[J]. Sloan management review, 1997, 38: 93-102.
- [18] CASADO-VARA R, PRIETO J, DE LA PRIET F, et al. How blockchain improves the supply chain: Case study alimentary supply chain[J]. Procedia computer science, 2018, 134: 393-398.
- [19] 李佳佳,王正位.基于区块链技术的供应链金融应用模式、风险挑战与政策建议[J]. 新金融, 2021(1):48-55. (LI J J, WANG Z W. Application Mode, Risk Challenges and Policy Suggestions of Supply Chain Finance Based on Blockchain Technology[J]. New Finance, 2021(1):48-55.)
- [20] 崔占峰,徐冠清,王瑾珑.信任重建:有机农业追溯-信任体系的区块链嵌入探索[J]. 科技管理研究, 2021, 41(16):130-137. (CUI Z F, XU G Q, WANG J L. Trust Reconstruction: Exploration of Blockchain Embedding in Trace-Trust System of Organic Agriculture[J]. Science and Technology Management Research, 2021, 41(16):130-137.)
- [21] 杨慧琴,孙磊,赵西超.基于区块链技术的互信共赢型供应链信息平台构建[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(5):21-31. (YANG H Q, SUN L, ZHAO X C. Build Mutual Trust Supply Chain Information System based on Blockchain[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2018, 35(5):21-31.)
- [22] KOBERG E, LONGONI A. A systematic review of sustainable supply chain management in global supply chains[J]. Journal of cleaner production, 2019, 207: 1084-1098.
- [23] 刘开军,张子刚.集成供应链中的不确定因素及协调对策[J]. 科技管理研究, 2007(7):229-231. (LIU K J, ZHANG Z G. Uncertainties and coordinated responses in integrated supply chains[J]. Science and Technology Management Research, 2007(7):229-231.)
- [24] 郭上铜,王瑞锦,张凤荔.区块链技术原理与应用综述[J]. 计算机科学, 2021,48(2):271-281. (GUO S T, WANG R J, ZHANG F L. Summary of Principle and Application of Blockchain[J]. Computer Science, 2021, 48(2):271-281.)
- [25] 曾诗钦,霍如,黄韬,等.区块链技术研究综述:原理、进展与应用[J]. 通信学报,2020,41(1):134-151. (ZENG S Q, HUO R, HUANG T, et al. Review of blockchain technology research: principles, progress and applications[J]. Journal on Communications, 2020,41(1):134-151.)
- [26] NICHOLAS TALEB N. Bitcoin, currencies, and fragility[J]. Quantitative Finance, 2021, 21(8): 1249-1255.
- [27] ZHENG Z, XIE S, DAI H N, et al. An overview on smart contracts: Challenges, advances and platforms[J]. Future Generation Computer Systems, 2020, 105: 475-491.
- [28] FC A, TKD B, CP A. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues - ScienceDirect[J]. Telematics and Informatics, 2019, 36:55-81
- [29] ALI O, JARADAT A, KULAKLI A, et al. A comparative study: Blockchain technology utilization benefits, challenges and functionalities[J]. IEEE Access, 2021, 9: 12730-12749.
- [30] CHRISTIDIS K, DEVETSIKIOTIS M. Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things[J]. IEEE Access, 2016, 4:2292-2303.
- [31] 付红安.价值互联网:数字经济时代的网络形态[J]. 重庆邮电大学学报(社会科学版), 2021, 33(1):84-91. (FU H A. The Internet of Value: A New Internet Form in the Era of Digital Economy[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Social Science Edition), 2021, 33(1):84-91.)
- [32] SYED T A, ALZHRANI A, JAN S, et al. A comparative analysis of blockchain architecture and its applications: Problems and recommendations[J]. IEEE access, 2019, 7: 176838-176869.
- [33] BHUTTA M N M, KHWAJA A A, Nadeem A, et al. A survey on blockchain technology: evolution, architecture and security[J]. IEEE Access, 2021, 9: 61048-61073.
- [34] 祝烈煌,高峰,沈蒙,等.区块链隐私保护研究综述[J]. 计算机研究与发展,2017,54(10):2170-2186. (ZHU L H, GAO F, SHEN M, et al. Survey on Privacy Preserving Techniques for Blockchain Technology[J]. Journal of Computer Research and Development, 2017, 54(10):2170-2186.)
- [35] LAO L, LI Z, HOU S, et al. A survey of IoT applications in blockchain systems: Architecture, consensus, and traffic modeling[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 2020, 53(1): 1-32.
- [36] WAN S, LI M, LIU G, et al. Recent advances in consensus protocols for blockchain: a survey[J]. Wireless networks, 2020, 26: 5579-5593.
- [37] LEPORE C, CERIA M, VISCONTI A, et al. A survey on blockchain consensus with a performance comparison of PoW, PoS and pure PoS[J]. Mathematics, 2020, 8(10): 1782-1798.

- [38] 许蕴韬,朱俊武,孙彬文等.选举供应链:基于区块链的供应链自治框架[J]. 计算机应用,2022,42(6):1770-1775. (XU W T, ZHU J W, SUN B W, et al. Election-based supply chain: a supply chain autonomy framework based on blockchain[J]. Journal of Computer Applications, 2022, 42(6): 1770-1775.)
- [39] SAAD S M S, RADZI R Z R M. Comparative review of the blockchain consensus algorithm between proof of stake (pos) and delegated proof of stake (dpos)[J]. International Journal of Innovative Computing, 2020, 10(2):27-32.
- [40] TANG H, SHI Y, DONG P. Public blockchain evaluation using entropy and TOPSIS[J]. Expert Systems with Applications, 2018, 117(MAR.): 204-210.
- [41] 于戈,聂铁铮,李晓华,等.区块链系统中的分布式数据管理技术——挑战与展望[J]. 计算机学报, 2021,44(1):28-54. (YU G, NIE T Z, LI X H, et al. The Challenge and Prospect of Distributed Data Management Techniques in Blockchain Systems[J]. Chinese Journal of Computers, 2021,44(1):28-54.)
- [42] 朱建明,付永贵.区块链应用研究进展[J]. 科技导报, 2017,35(13):70-76. (ZHU J M, FU Y G. Progress in blockchain application research[J]. Science & Technology Review, 2017,35(13):70-76.)
- [43] LI Z, KANG J, YU R, et al. Consortium Blockchain for Secure Energy Trading in Industrial Internet of Things[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2018: 3690-3700.
- [44] 赵娴,冯宁,邢光乐.现代流通体系构建中的供应链转型与创新:内在逻辑与现实路径[J]. 供应链管理, 2021,2(8):69-79. (ZHAO X, FENG N, XING G L. Transformation and Innovation of Supply Chain in the Construction of Modern Circulation System: Internal Logic and Realistic Paths[J]. Supply Chain Management, 2021,2(8):69-79.)
- [45] 陈广仁,唐华军.供应链企业的商业模式创新机制研究[J]. 科研管理, 2018, 39(12):113-122. (CHEN G R, TANG H J. Research on innovation mechanism of the business models of supply chain enterprises[J]. Science Research Management, 2018, 39(12):113-122.)
- [46] 吴文娟,侯敬,冯姗姗.铁路物流服务供应链发展的研究[J]. 铁道运输与经济, 2015, 37(3):35-41. (WU W J, HOU J, FENG S S. Study on Supply Chain Development of Railway Logistic Service[J]. Railway Transport and Economy, 2015, 37(3):35-41.)
- [47] 张先敏.供应链及供应链管理概念重构[J]. 财会通讯, 2015(15):116-123. (ZHANG X M. Supply Chain and Supply Chain Management Concept Reconstruction[J]. Communication of Finance and Accounting, 2015(15):116-123.)
- [48] 李鸣,李佳彬,孙琳.区块链标准化现状及思路[J]. 中国信息安全, 2018(5):96-98. (LI M, LI J N. Blockchain Standardisation Status and Ideas[J]. China Information Security, 2018(5):96-98.)
- [49] DEMESTICHAS K, PEPPESS N, ALEXAKIS T, et al. Blockchain in agriculture traceability systems: A review[J]. Applied Sciences, 2020, 10(12): 4113-4135.
- [50] AGRAWAL T K, KUMAR V, PAL R, et al. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry[J]. Computers & industrial engineering, 2021, 154: 107130-107142.
- [51] GEORGR R V, HARSH H O, RAY P, et al. Food quality traceability prototype for restaurants using blockchain and food quality data index[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 240: 118021-118038.
- [52] UDDIN M, SALAH K, JAYARAMAN R, et al. Blockchain for drug traceability: Architectures and open challenges[J]. Health Informatics Journal, 2021, 27(2): 4571-4579.
- [53] BULLON PEREZ J J, QUEIRUGA-DIOS A, GAYOSO MARTINEZ V, et al. Traceability of ready-to-wear clothing through blockchain technology[J]. Sustainability, 2020, 12(18): 1-21.
- [54] LENG K, BI Y, JING L, et al. Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on blockchain technology[J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 86: 641-649.
- [55] TIAN F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology[C]// Proceedings of the 2016 13th international conference on service systems and service management (ICSSSM). Piscataway: IEEE, 2016: 1-6.
- [56] TIAN F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things[C]// Proceedings of the 2017 International conference on service systems and service management. Piscataway: IEEE, 2017: 1-6.
- [57] UDDOIN M. Blockchain Medledger: Hyperledger fabric enabled drug traceability system for counterfeit drugs in pharmaceutical industry[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2021, 597: 120235-120251.
- [58] 郭苑,祁春玉.基于区块链技术的动力电池溯源管理研究[J]. 汽车与配件, 2021(7):63-65. (GUO Y, QI Y C. Research on power battery traceability management based on blockchain technology[J]. Automobile & Parts, 2021(7):63-65.)
- [59] 沃尔沃汽车与宁德时代、LG 化学合作利用区块链追溯电池中的钴材料[J]. 汽车与配件, 2019(21):16. (Volvo Cars partners with Ningde Times and LG Chem to use blockchain to trace cobalt materials in batteries[J]. Automobile & Parts, 2019(21):16.)
- [60] WANG Z, YANG L, WANG Q, et al. ArtChain: Blockchain-enabled platform for art marketplace[C]// Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain). Piscataway: IEEE, 2019: 447-454.
- [61] HEWA T, YLIABTTILA M, LIYANAGE M. Survey on blockchain based smart contracts: Applications, opportunities and challenges[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2021, 177: 102857-102912.
- [62] KAWAGUCHI N. Application of blockchain to supply chain: flexible blockchain technology[J]. Procedia Computer Science, 2019, 164: 143-148.
- [63] 张志勇,刘心报.对物流几个基本概念问题的认识[J]. 中国流通经济, 2013, 27(2):39-45. (ZHANG Z Y, LIU X B. Several Issues about the Basic Concepts of Logistics[J]. China Business and Market, 2013, 27(2):39-45.)
- [64] XU L, CHEN L, GAP Z, et al. Binding the physical and cyber worlds: A blockchain approach for cargo supply chain security enhancement[C]// Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST). Piscataway: IEEE, 2018: 1-5.
- [65] WANG S, ZHEN L, XIAO L, et al. Data-driven intelligent port management based on blockchain[J]. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 2021, 38(3): 1-16.
- [66] 翟玲.基于区块链技术的饲料企业物流体系构建研究[J]. 中国饲料, 2021(7):143-146. (ZHAI L. Research on the construction of logistics system of feed enterprises based on blockchain technology[J]. China Feed, 2021(7):143-146.)
- [67] PETRI, HELO, YUQIUGE, et al. Blockchains in operations and supply chains: A model and reference implementation – Science Direct[J]. Computers &, 2019, 136:242-251.
- [68] 朱兴培,张公让,刘勇,等.基于区块链的建筑物资供应链风险因素影响评价研究[J]. 建筑经济, 2021,42(4):57-61. (ZHU X P, ZHANG G R, LIU Y, et al. Research on the Influence Evaluation of Risk Factors in the Supply Chain of Building Materials Based on Blockchain[J]. Construction Economy, 2021,42(4):57-61.)
- [69] TAN A W K, ZHAO Y F, HALLIDAY T. A blockchain model for less container load operations in China[J]. International Journal of Information Systems and Supply Chain Management (IJSSCM), 2018, 11(2): 39-53.

- [70] 洪群联,李子文,刘振中等.推动构建现代供应链的若干思考(笔谈)[J]. 宏观经济研究,2019,No.248(7):107-126. (HONG Q L, LI Z W, LIU Z W, et al. Some Thoughts on Promoting the Construction of Modern Supply Chains(Conversation by Writing)[J]. *Macroeconomics*, 2019, No.248(7): 107-126.)
- [71] 满向昱,张天毅,汪川,等.我国中小微企业信用风险因素识别及测度研究[J]. 中央财经大学学报,2018(9):46-58. (MAN X Y, ZHANG T Y, WANG C, et al. Credit Risk Factors Identification and Risk Measurement of Micro, Small and Medium Enterprise in China[J]. *Journal of Central University of Finance & Economics*, 2018(9): 46-58.)
- [72] 郭菊娥,陈辰.区块链技术驱动供应链金融发展创新研究[J]. 西安交通大学学报(社会科学版),2020,40(3):46-54. (GUO J E, CHEN C. Research on the Development and Innovation of Supply Chain Finance Drive by Blockchain Technology[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2020,40(3):46-54.)
- [73] 张向军,卢鹏宇,杨席.小微企业信贷市场的差别化监管与道德风险防范[J]. 西南金融,2017(2):37-42. (ZHANG X J, LU P Y, YANG X. Differentiated regulation and moral hazard prevention in micro and small enterprise credit markets[J]. *Southwest Finance*, 2017(2):37-42.)
- [74] 汪笛晚.新常态下支持小微企业融资的税收政策[J]. 会计之友,2017(6):59-63. (WANG D W. Tax policies to support the financing of micro and small enterprises under the new normal[J]. *Friends and Accounting*, 2017(6):59-63.)
- [75] 李正超,梁志宏,岳昆.基于区块链的供应链金融数据存证模型[J]. 云南大学学报(自然科学版),2022,44(4):681-687. (LI Z C, LIANG Z H, YUE K. Blockchain-based data storage model for supply chain finance[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition)*, 2022,44(4):681-687)
- [76] 左燕.基于区块链的中小型饲料企业金融模式创新分析[J]. 中国饲料,2022(10):141-144. (ZUO Y. Financial model innovation analysis of smart and medium-sized feed enterprises based on blockchain[J]. *China Feed*, 2022(10):141-144.)
- [77] 赵雨舟,王文华,赵丽锦.区块链技术赋能的新型农业经营主体融资模式研究[J]. 财会通讯,2022(14):148-152. (ZHAO Y Z, WANG W H, ZHAO L J. Research on Blockchain Technology Enabled Financing Model for New Agricultural Operators[J]. *Communication of Finance and Accounting*, 2022(14):148-152.)
- [78] 李冰琨.“区块链+存货质押”的供应链金融创新发展研究[J]. 会计之友,2022(5):155-160. (LI B K. Research on the Innovative Development of Supply Chain Finance with Blockchain Inventory Pledge[J]. *Friends of Accounting*, 2022(5):155-160.)
- [79] 张一鸣,丁丽萍.疫情下如何运用区块链技术化解中小企业融资难的危机[J]. 中国管理信息化,2021,24(3):71-72. (ZHANG Y M, DING L P. How to use blockchain technology to solve the crisis of difficult financing for SMEs under the epidemic[J]. *China Management Informationization*, 2021, 24(3):71-72)
- [80] ABEYRATNE S A, MONFARED R P. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger[J]. *International journal of research in engineering and technology*, 2016, 5(9): 1-10.
- [81] 王泓机,戴炳荣,李超,等.针对区块链应用的查询优化模型[J]. 计算机工程与应用,2019,55(22):34-39. (WANG H J, DAI B R, LI C, et al. Query Optimization Model for Blockchain Applications[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2019,55(22):34-39.)
- [82] VALENTA M, SANDNER P. Comparison of ethereum, hyperledger fabric and corda[J]. *Frankfurt School Blockchain Center*, 2017, 8: 1-8.
- [83] 邵奇峰,张召,朱燕超,等.企业级区块链技术综述[J]. 软件学报,2019,30(9):2571-2592. (SHAO Q F, ZHANG Z, ZHU Y C, et al. Survey of Enterprise Blockchains[J]. *Journal of Software*, 2019, 30(9):2571-2592.)
- [84] 李伟民.《民法典》视域中区块链的法律性质与规制[J]. 上海师范大学学报(哲学社会科学版),2020,49(5):46-57. (LI W M. Legal Nature and Regulation of Block Chain[J]. *Journal of Shanghai Normal University(Philosophy & Social Sciences Edition)*, 2020, 49(5):46-57.)
- [85] 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.)
- [86] 刘发升,孙起玄,李江华.融合双区块链的征信数据存储和查询方案[J]. 计算机工程与应用,2022,58(2):123-128. (LIU F S, SUN Q X, LI J H. Fusion of Double Block Chain Credit Data Storage and Query Scheme[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2022, 58(2):123-128.)

This work is partially supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant 61862007.

GE Lina, born in 1969, Ph. D., professor. Her research interests include information security, IoT, intelligent computing.

XU Jingya, born in 1998, M. S. Her research interests include network and information security, blockchain technology.

WANG Zhe, born in 1991, Ph. D., associate professor. His research interests include energy harvesting networks, edge computing, sensor-clouds, IoT.

ZHANG Guifen, born 1974, M. S., assistant professor. Her research interests include information security, IoT, intelligent computing.

YAN Liang, born in 1996, M. S. Her research interests include network and information security, blockchain technology.

HU Zheng, born in 1996, M. S. His research interests include network and information security, blockchain technology.