

文章编号:1671-4229(2022)02-0067-09

# 基于区块链的大宗商品供应链物流方案研究

孙裕俨<sup>1a</sup>, 牛伟纳<sup>1a\*</sup>, 廖旭涵<sup>1a</sup>, 黄世平<sup>1a</sup>, 黄步添<sup>2</sup>, 张小松<sup>1a,b</sup>

(1. 电子科技大学 a. 计算机科学与工程学院; b. 交子金控区块链研究院, 四川 成都 611731;

2. 杭州云象网络技术有限公司, 浙江 杭州 311121)

**摘要:** 大宗商品供应链物流是大宗商品物流的系统化发展方向, 区块链技术有着分布式信任、不可篡改、可追溯和去中心化等特性, 为解决物流全过程中存在的信息孤岛、货权难确认、货物安全难保障和信任度较低等问题提供了有效帮助。文章综述了区块链技术与供应链物流结合的现有研究与应用实例, 对大宗商品供应链物流体系现状和区块链原理进行了简要叙述, 进而提出“区块链加云”的大宗商品供应链物流数据信息存储方案, 设计链上元数据构建方法, 构建基于联盟链的大宗商品供应链物流方案框架, 详细阐述了框架中各层的功能与效用, 在具体描述物流场景的基础上完成仿真实验, 并对所得结果进行分析, 最后展望未来区块链在供应链中的进一步应用, 为同类型的研究提供相关思路。

**关键词:** 供应链物流; 大宗商品; 区块链; 信息孤岛; 元数据

中图分类号: TP 311

文献标志码: A

## Research on the logistics scheme of bulk commodity supply chain based on blockchain

SUN Yu-yan<sup>1a</sup>, NIU Wei-na<sup>1a\*</sup>, LIAO Xu-han<sup>1a</sup>, HUANG Shi-ping<sup>1a</sup>,  
HUANG Bu-tian<sup>2</sup>, ZHANG Xiao-song<sup>1a,b</sup>

(1. a. School of Computer Science and Engineering; b. UESTC-CDFH Joint Institute of Blockchain, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China; 2. Hangzhou Yunphant Network, Technology, Co., Ltd, Hangzhou 311121, China)

**Abstract:** Bulk commodity supply chain logistics are the systematic development direction of bulk commodity logistics. Blockchain technology has the characteristics of distributed trust, immutability, traceability, and decentralization, which has provided effective help to solve problems such as information islands, cargo security confirmation difficulty and low trust. This paper summarizes the existing research and application examples of the combination of blockchain technology and supply chain logistics, briefly describes the status quo of the supply chain logistics system for bulk commodities and the principles of blockchain, and then proposes “blockchain plus cloud” as a bulk commodity supply chain logistics data information storage scheme, the design of a metadata construction method on the chain, the construction of the bulk commodity supply chain logistics scheme framework based on the alliance chain, elaborates the functions and utility of each layer in the framework, and completes a simulation experiment based on the specific description of the logistics scene, analyzes the obtained results, and finally looks forward to the further application of blockchain in the supply chain in the future, which provides relevant ideas for the same type of research.

**Key words:** supply chain logistics; bulk commodity; blockchain; information island; metadata

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(U19A2066)

作者简介: 孙裕俨(1999—), 男, 硕士研究生. E-mail: 202121080532@std.uestc.edu.cn

\*通信作者. E-mail: niuweina@126.com

引文格式: 孙裕俨, 牛伟纳, 廖旭涵, 等. 基于区块链的大宗商品供应链物流方案研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2022, 21(2): 67-75.

供应链是指将产品或服务从采购生产到交付至消费者的整个流程的核心企业及上下游企业组成的一种网链形式。它能够借助网络将地理上不相邻的商业合作伙伴在赛博空间中构成庞大的联合体,并通过相互合作、协同管理及责任分担等信条达到共赢的目的。供应链中的各企业节点通常包括原料供应商、制造商、储存商、运输商、批发商及零售商等<sup>[1]</sup>,最终客户是整条链的终端节点。供应链在经济全球化过程中扮演了重要角色,它让企业不拘泥于一隅之地,而放眼全球找寻利益共通的潜在合作伙伴<sup>[2]</sup>。供应链物流和供应链金融是供应链中最热门的领域<sup>[3]</sup>,在农业、工业、食品和电子等行业供应链中都有举足轻重的作用<sup>[4]</sup>。

2021年,中国物流业总收入超过11万亿元,大宗商品物流在我国物流业中占比极高,有着中流砥柱的作用。大宗商品是指能够流通、存在同质化特性、通常用于工农业大批量产销的商品,分为能源产品、工业基础材料及农副产品等种类。它是国家发展过程中不可或缺的重要资源。目前,大宗商品物流业务正从基础的生产、消费环节逐步向系统化集成方向发展,形成大宗商品供应链物流形式<sup>[5]</sup>,进一步对物流全过程进行管理。但在大宗商品供应链物流的流转和交易等环节中,还存在着许多亟需应对的问题:相关物流企业数量多规模小,使得相应的管理及服务水平不高,它们各自经营,资源分散,导致社会总体物流资源使用效率降低,存在资源浪费现象;供应链物流整体信息化水平较低,难以对大宗商品传输过程进行跟踪,存在层层转包、空载以及拼车运输等情况,易出现货权难确认、货物安全难保障等问题;供应链中缺少明确的责任分担相关合同或协议,某些企业可能通过篡改物流数据、重复质押及交易欺骗等手段谋取不当利益,对政府的相应监管造成困扰。这些问题阻碍了大宗商品供应链物流业务的高质量发展,区块链为解决上述问题提供了新思路。2017年10月,国务院办公厅印发了《关于积极推进供应链创新与应用的指导意见》,明确指出可研究利用区块链、人工智能等新兴技术实现供应链的创新性发展。中国物流与采购联合会发布的《2019中国物流与供应链产业区块链应用白皮书》指出,物流和金融是供应链结合区块链时最契合的应用场景<sup>[6]</sup>。区块链技术有着分布式信任、不可篡改、可追溯和去中心化等特性,能够让大宗商品供应链中各个参与企业完成高效透明的交易,满足产业链上下游企业等各类业务主体对标货物的安全追踪需求以及金融机构的融资监管要求,打通大宗商品供应链物流的关键环节,进而实现大宗商品货权全生命周期

跟踪、交易可信及风险可视可控。

本文的主要贡献如下:①设计了“区块链加云”的大宗商品供应链物流数据信息存储方案,在链上留存元数据,在云上存放完整信息,并基于物流数据的具体属性提出了一种链上的元数据构建方法;②设计了基于联盟链的大宗商品供应链物流方案框架,并通过在具体应用场景的分析,完成了仿真实验。本文后续的内容安排如下:第二部分是供应链物流与区块链融合研究及实施现状的简要阐述;第三部分探讨了传统供应链物流基础情况和特性,阐述了区块链技术原理;第四部分设计并详细描述了基于区块链技术的大宗商品供应链物流方案、框架,通过大宗商品供应链物流具体场景进行仿真实验,最后对结果进行分析。第五部分总结了全文内容,并对区块链应用于大宗商品供应链的前景进行了展望。

## 1 文献综述

区块链在供应链物流场景下的应用问题已得到广泛关注,学者们对其进行了不倦探索。

Tian<sup>[7]</sup>对当前农业市场进行分析,认为传统的农业供应链物流数据记录方式难以满足新时代新需求,从而结合区块链构建了一个农业食品供应链可追溯系统。他们首先对射频识别技术(Radio Frequency Identification, RFID)与区块链技术的发展情况进行阐述,并分析将其用于构建农业食品供应链追溯体系的可行性及优缺点。然后通过对供应链上各类数据的属性提取和具体分析,结合RFID与区块链技术逐步构建供应链可追溯系统。最后使用农产品在生产、加工、仓储、运输和分销等全流程中的现实数据对系统进行演示,该系统能够实现农业食品供应链中相关信息的可追溯性,保障食品安全。但由于使用RFID标签,该系统中供应的农业食品成本很高,难以定价,区块链落地实施比较困难。

孙宇博<sup>[8]</sup>针对普通供应链物流系统在面临突发情况时难以维持正常运行的问题,提出了基于区块链技术的应急物流供应链体系。作者通过对区块链技术和应急物流供应链体系的简单阐述,分析区块链在应急情况下的应用意义,然后在已有架构的基础上构建应急物流供应链体系,该体系包括6个层次,分别为数据层、网络层、共识层、合约层、应用层以及用户层。最后作者为应急物流供应链建设提出了一些建议,但该文章处于理论研究阶段,缺少实际运行验证。

Helo等<sup>[9]</sup>设计了一个基于区块链的供应链物流追踪系统,对物流过程中的包裹进行有效跟踪,具体结构

包括物联网层、数据层、业务层以及用户层,该系统支持对每个包裹的查询。Gopalakrishnan 等<sup>[10]</sup>探究区块链在固体废物逆向供应链物流中的应用,通过跟踪使用过程中易于产生固体垃圾的工业化产品,从而提高固体废物逆向物流管理的工作效率来降低其对环境的不良影响。他们都仅针对供应链物流中的物品追踪问题进行研究,在整体体系建设方面存在缺陷。

除了学术研究,在全球多国政府的支持与有关企业的参与下,部分工业界设想成功提上日程或开始尝试。

新加坡公司 yojee 上线了一个针对物流行为的特殊软件<sup>[11]</sup>,在有效利用已有“最后一公里”交付装备的基础上,有机地综合了人工智能以及区块链技术,便于物流企业优化管理配送方式。该软件借助机器学习合理地分配商品交付任务,减少分配失误,节约人力资源,降低了物流企业的相关成本,提高了配送效率,并为客户提供更佳服务。它同时将物流中的交易细节存于区块链中,让企业在必要时能够跟踪并验证相应数据,更具安全性。该软件在商品配送环节具有优良性能,不过将其应用于供应链整体物流还需进一步拓展。

丹麦哥本哈根、纽约阿蒙克市-马士基集团和 IBM 有意组建一家合资公司<sup>[12]</sup>,通过区块链技术为开展全球贸易提供更为高效、安全的方式。该区块链解决方案由 IBM 在货运行业的全球领军企业马士基集团的帮助下,基于 Hyperledger Fabric 架构完成构建,目标用户为海运和物流行业中有相关需求的企业。他们设计的全新系统将端到端的整个供应链流程数字化,可帮助企业管理和跟踪全球数千万个船运集装箱的书面记录,提高贸易伙伴之间的信息透明度,并实现高度安全的信息共享。但对全球商贸体系的优化需要不断挑战已有贸易秩序,相关研发者仍在默默积蓄力量,与真正投入实践存在一定距离。

腾讯在第三届全球物流技术大会上,与中国物流与采购联合会签署了战略合作协议,并联合公布了双方首个重要合作项目——区块供应链联盟链及云单平台<sup>[13]</sup>。本次战略协议的签订,标志着腾讯正式落子于物流场景,将利用它们在区块链领域的技术突破为我国物流行业提供崭新思路和有益帮助。

区块链在供应链物流方面的研究与应用体现了区块链应用场景的多样性,它的各项特性为供应链物流赋予了新的活力。综观现有的学术界与工业界的众多研究与尝试,由于国外学者受公有链技术的影响更早,区块链技术发展更迅速,与供应链物流的结合较深入,在物品追踪、商品配送等方面都有成熟方案,但这些方案

综合性有所不足,对物流全环节以及整个供应链物流体系的构建缺乏明确思路;相比于国外,国内学者更注重区块链和供应链物流相结合的系统或体系设计,然而因我国的区块链技术起步较晚,仍处于不断探索、不断突破的阶段,许多研究停留于初期理论环节,因此,将区块链应用于供应链物流行业的研究仍有着极大成长空间。本文将针对大宗商品供应链物流中出现的不对称、缺少互信等关键问题,讨论与区块链结合的有效方案。

## 2 相关理论概述

### 2.1 大宗商品供应链物流体系概述

大宗商品供应链物流体系以供应链中的运输、配送等物流相关活动为重心,在物流的基础上对供应链上的进货、储存和分销等众多环节进行协调,涉及生产与采购计划、库存控制方案、销售订单处理与配送方式等具体场景。除此之外,该体系还囊括合作伙伴间的沟通与协作。

#### 2.1.1 大宗商品供应链物流特征

大宗商品供应链物流中的基本活动有配送、运输、储存、分销和加工等,其中最基础也最重要的环节便是运输,因此,将在运输特征分析的基础上,兼顾其余活动的特征进行阐述。

大宗商品供应链物流的特征主要包括以下3点:

(1)主要运输形式为长距离运输与联合运输相结合。我国地大物博,但存在各类资源分布不均的特点。华北、西北地区如山西盛产煤炭,石油、天然气主要分布于西北、东北及华北地区,多种金属矿产资源也并无集中分布地域。除此之外,我国各地的农业、工业和制造业发展水平也不尽相同。这些性质决定了我国大宗商品供应链物流的长距离运输特征。同时,运输过程中大都将铁路、公路和水路运输等有机地结合起来,通过这种联合运输形式将大宗货物有效送达。

(2)对重载化要求较高,对时效性需求较低。大宗商品最突出的特征为大批量,所以在物流过程中需要运输重载化,让运输成本更低,运输效率更高。大宗商品的运输形式决定了其运输时间一般较长,运输过程中遭遇的气象或政策因素都可能导致延期,因此,大宗商品供应链物流对时效性的需求较低。

(3)对物流防护要求高。大宗商品中的矿产资源和能源资源等是散堆类型货物,且可能为化学危险品,在物流过程中需要严密保护,否则将可能出现对周围环境的各种污染,如对土壤的渗透污染或对水资源的扩散污染等。大宗商品中的农副产品也需要物流过程中的合

理防护,否则可能让产品损坏或腐烂,导致商品质量下降,造成严重经济损失。

(4)组织管理方面的有效协作。大宗商品供应链物流过程中涉及到的核心企业及上下游企业数目较多,因此,成功的物流活动背后都离不开合理的组织方式和有效的管理方法<sup>[14]</sup>,它们能够提升合作伙伴间的信任度,实现互利共赢。

### 2.1.2 大宗商品供应链物流现状及存在的问题

大宗商品供应链物流中相关物流企业数量多规模小,使得相应的管理及服务水平不高,运营规范程度差,它们各自经营、资源分散,导致社会总体物流资源使用效率降低,并存在资源浪费现象。较低的行业门槛也使得它们提供的服务愈发类似,趋向同质化,缺少差异化方向的突破。

供应链物流有信息不对称问题。供应链整体信息化水平较低,难以对大宗商品传输全过程进行跟踪,并且在采购、运输和分销等环节的信息割裂情况严重。运输过程中存在层层转包、空载以及拼车运输等现象,易出现货权难确认、货物安全难保障等问题。同时可能有某些企业不能或不愿及时与其他上下游企业共享信息的情况,使得物流过程中形成信息孤岛<sup>[15]</sup>,难以对大宗商品物流进行合理把控。

大宗商品供应链物流中缺少明确的责任分担相关合同或协议,透明度也不高。某些企业可能通过篡改物流数据、重复质押及交易欺骗等手段谋取不当利益,对政府的相应监管造成困扰,并降低行业内企业间的信任度,使得更多潜在的合作难以开展。

## 2.2 区块链概述

区块链是一种分布式分类账本,具有去中心化、不可变性、匿名性、持久性以及可审计性等特点,应用场景包括物联网、政府服务、金融、供应链管理和医疗保健等。

区块链最初出现在大众视野中是因为它支持加密货币领域的交易,如比特币和以太币等。它作为一种新兴技术,并不是一开始就有如此广阔的应用范围,而是随着时间的发展被人们研究得更加透彻,才发现其优良的适配性。区块链发展至今的历程可简单地分为3个阶段<sup>[16]</sup>:①自2008年至2012年被视为区块链1.0阶段,2008年中本聪比特币白皮书的出版使得区块链的概念首次进入大众视野;紧接着,2009年比特币的发行正式拉开1.0阶段的帷幕,该阶段是虚拟货币的阶段,主要借助分布式账本以及工作量证明等核心技术完成虚拟货币的发售与交易。②2013年到2017年处于区块链2.0阶段,该阶段最值得称道的事件为以太坊平台的发

布,它借助智能合约对金融等领域的某些场景与工作流程完成有效优化,使人们将目光投向虚拟货币以外的更多领域;以太坊的开源性与公共性也催化了更多优异的区块链思路。③2018年至今可称为区块链3.0阶段<sup>[17]</sup>,在本阶段中,区块链的应用领域井喷式增加,为更多行业提供了不同于传统思路的去信任化方法<sup>[18]</sup>,并在政府及相关企业的推动下,逐步为社会建立全新的信任体系,力图解决信用问题。

区块链的基础单位是区块,区块分为区块头以及区块载荷,区块头中主要包括块版本、父区块哈希、本区块哈希和时间戳等信息,区块载荷中包含着关于单体或多方的交易过程或事务信息。区块链中加密的哈希函数接收事务信息输入后将生成固定长度的哈希串,后可创建同一时间段内的事务序列,并能通过编码保证其时序性。矿工节点验证该序列后,创建新区块并将其添加入区块载荷,通过共识算法的验证即可将新区块上链添加至旧区块之后,如此便形成了区块链。在区块链的分布式结构中,并无中央节点确保所有分布式节点都可信,因此,借助共识算法确保不同节点中区块链的一致性至关重要。在区块链中,智能合约通常是一种程序,充当用户间值得信赖的中介,广泛应用于各种行业中,它的不可更改性带来了许多便利。

区块链主要被分为3种类型,分别是公有链、私有链<sup>[19]</sup>以及联盟链<sup>[20]</sup>,它们间的区别主要体现在链中节点在访问区块链、将交易上链以及共识过程相关控制等方面的权限设置。公有链的代表是比特币和以太坊,在公有链中,参与者可以是匿名节点,一切交易都能被任意节点访问,并存在一整套激励机制来吸引更多节点加入。而私有链和联盟链在权限方面存在许多限制,其中尤以私有链为最,它通常仅由单个企业控制,几乎可视作另一种概念上的中心化结构。联盟链的参与者是一整个成员联盟,新节点的加入需要成员的共同许可,其内部有数个高算力的受信节点用于验证事务序列以及区块生成,每个节点的读取权限不同,提供了一定程度上的隐私保护。

## 3 基于区块链的大宗商品供应链物流方案设计、实现与分析

### 3.1 基于区块链的大宗商品供应链物流方案设计

#### 3.1.1 大宗商品供应链物流数据信息存储方案设计

大宗商品供应链中时刻产生着海量物流数据,借助区块链将它们完整的存储广播是低效的,并导致整体性

能受到影响。因此,设计“区块链加云”的物流数据信息存储方案,将物流数据属性进行提取形成元数据,链上存放元数据哈希值,云中存放具体物流信息。用户能够通过元数据的查询判断其有效性,后从云上获取完整内容。

元数据清晰地展示着物流数据属性,在区块链中可针对大宗商品的各项属性进行设计,从而将商品抽象为链上的虚拟资产,并依此实现货物实时跟踪及管理、历

史交易数据查询等功能。大宗商品的属性主要包括商品归属权以及商品特性,其中商品特性是对不同类型货物(如能源产品、工业基础材料及农副产品)进行分类的标准。将大宗商品属性分为4点:①基础属性: {名称、型号、生产日期、类别、产品代码};②商品属性: {数目、重量、品质、单价};③归属属性: {拥有者、暂存者};④其他属性: {路线、运输方式、订单号}。设计大宗商品供应链物流方案中的链上元数据属性如表1。

表1 物流信息元数据

Table 1 Metadata of logistics information

元数据项	含义	元数据项	含义
Name	商品名称	Quality	商品品质
Model	商品规格型号	Price	单个商品价格
ProductionDate	商品生产日期	Owner	商品拥有者
Type	商品类别	TemporaryOwner	商品暂存者
Code	商品代码	Route	商品运输路线
Quantity	商品具体数量	ShippingMethod	商品运输方式
Weight	单个商品重量	Order	商品订单号

### 3.1.2 区块链成熟框架的比较与选择

(1) 比特币(Bitcoin)是一种点对点版本电子交易系统构想,人们因虚拟货币而对其熟知。它具有分布式特征,整个比特币网络由用户节点组成,实现了完全去中心化,并有极佳的可扩展性,节点能够随时进出。自2009年以来十余年的积累让比特币网络无比健壮,算力庞大,能够保证交易不可篡改性、安全性以及用户匿名性等。

(2) 以太坊(Ethereum)是带有开源性质的具备智能合约相关功能的区块链平台,其中智能合约通过图灵完备语言完成编写,弥补了比特币网络中存在功能性缺失的不足,并进一步增强了可扩展性。以太坊为用户提供多种类型的模块来构建符合需求的应用,能够减少设计并实现区块链应用的成本,并提高设计效率。

比特币及以太坊都属于公有链,它们虽然有着超强可扩展性、健壮性,但是存在交易费用高、确认时间长和事务处理效率较低等公有链上普遍存在的问题。因此,联盟链应运而生,它具备多节点控制下的可扩展性和较高的事务处理效率,性能优良,下述为2个具有代表性的联盟链框架。

(3) 超级账本(Hyperledger Fabric)是企业级分布式账本平台,它同样是开源的,且设计目的就是为企业提供区块链解决方案。因此,它并不像比特币和以太坊具

备内置加密货币,而更多地关注模块化及适用性,并支持多种语言编写链码,支持可插拔共识协议。

(4) Fisco BCOS是企业级金融联盟链底层平台,它具有安全可控、稳定易用和性能优异等特点,在现实需求的基础上兼顾了可运维性以及可拓展性,并为用户提供了大量可视性工具,有效减少开发区块链应用的时间。与超级账本相比,它更侧重于联盟链在金融领域的应用。

大宗商品供应链中合作企业被视为链上的节点,且整体对授权有较大需求,可看作一种联盟链。上述4个区块链成熟框架中,前两者为公有链的突出代表,并不符合供应链场景,后两者都面向企业并针对联盟链进行周详设计,但综合了框架的适应性、可行性以及扩展性,本方案选择超级账本作为底层平台框架。Hyperledger Fabric能够搭建一个具有授权性质的联盟链,其中的节点在授权后才能参加或离开网络,与公有链不同,参与共识的节点大大减少,因此,能够提供更高的效率,性能更贴近供应链需求。和BCOS更专注于金融行业的联盟链平台构建相比,Fabric的适用性更优良,能够灵活地应用于更多领域,且能根据需求为平台添加定制化组件,设计专用功能。

### 3.1.3 大宗商品供应链物流方案框架设计

本方案中的大宗商品供应链物流方案架构保留了

区块链框架的分层体系结构,包括 5 层:应用层、链码层、网络层、共识层以及数据存储层。其中除应用层外的 4 个层次可被视为基础功能层,为应用提供智能合约、存储、网络和共识算法等基础功能,具体架构如图 1 所示。

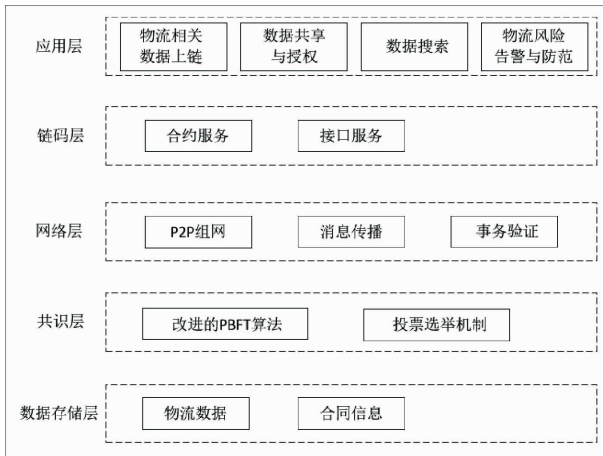


图 1 大宗商品供应链物流方案框架示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the framework of the bulk commodity supply chain logistics scheme

图 1 中,数据存储层将存储大宗商品供应链物流中产生的数据信息,如交易、订单、凭证和合同等;共识层中封装了共识算法等区块链平台使用的共识模型内容;网络层为区块链提供 P2P 组网、消息传播方式以及事务验证机制;链码层具有合约封装、合约部署及信息查询等功能,并为应用层提供相应接口,完成数据交换操作;应用层借助接口实现众多与大宗商品供应链物流相关的功能。

结合大宗商品供应链物流场景,各层的具体描述如下:

(1)应用层对大宗商品供应链物流方案主要场景实现应用拓展,满足供应链在安全性和数据等领域的功能需求。该层所提供的最基础的功能是物流相关数据上链,可对供应链物流运营过程中产生的订单记录、交易信息、签订合同、仓储信息、运输记录和有关凭证等进行保存。在供应链中存在核心企业与上下游企业之分,它们的访问权限存在差异,本层中将设置数据共享与授权模块,消除信息孤岛,在满足数据共享的同时保护企业关键数据的隐私,实现该部分数据的可用不可见。数据搜索模块能让供应链中各节点对重要事务信息随时进行查阅,满足检索需求以及对物流过程的实时监控需求,使货权得以保证。物流风险告警与防范是各企业关

注的重点,该模块能对风险点进行识别并记录,借助区块链保证其追溯能力,在出现意外时企业能及时更新处理,更好地保障货物安全。

(2)链码层中,主要有合约及接口服务。本层中拥有智能合约相关的初始化、部署、调用以及查询功能。初始化功能为供应链中企业节点提供已通过验证的多种智能合约模板,让他们能够根据相应需求,查询并调用合约模板。合约有着多种状态,在正式运行前需要完成合约部署,才能够执行交易。部署功能在节点发起的合约写入申请基础上,查找相应的合约模板,然后进行部署以完成定制功效。调用功能针对供应链物流中出现的交易信息更新需求,在将事务写入区块之前先对已部署的智能合约进行调用并自动执行,然后存储改变的状态,最后将结果记录于区块中,从而实现自动更新。查询功能根据供应链中企业节点的申请或跨链接口的查询请求,提供智能合约的现实执行情况,为交易多方提供实时数据。总的来说,智能合约为大宗商品供应链物流中大量需要信誉担保的情况提供了有效的解决方案,在运行合约时自动执行已约定的合同条款,提升企业间信任度,并有效提高供应链物流的经营效率。除此之外,本层将为应用层提供相应接口,满足在物流应用场景下应用层对基础服务层的智能合约、存储、网络和共识算法等需求。

(3)网络层为区块链提供 P2P 组网、消息传播方式以及事务验证机制。区块链从本质上看是 P2P 网络,才能保证其去中心化特点,因此,为 P2P 组网。当链上某节点生成新区块后,需要及时地将其广播至所有节点,因此,每个节点都在不断地监听网络中其他节点发送的消息,然后对接受的消息进行验证,如最终实现区块链的良性增长。这些流程需借助消息传播方式和事务验证机制实现。

(4)共识层封装了共识算法等区块链平台使用的共识模型内容。共识算法是保证区块链安全性最关键的设计之一,针对大宗商品供应链物流中参与节点众多、中间环节复杂且各方需要更高信任的现状,本层中的共识机制使用改进的实用拜占庭容错(Practical Byzantine Fault Tolerance, PBFT)算法来完成新区块的共识,解决各方互信问题。具体修改方式为将 PBFT 算法中的 3 阶段协议进行简化,去掉 1 次全节点广播;将 PBFT 算法中的 C/S 请求响应模式调整为 P2P 网络拓扑响应模式;引入投票选举机制,限制参加共识环节的节点数量,以提高效率更佳的共识。

(5)数据存储层将存储大宗商品供应链物流中产生

的数据信息元数据,这些信息将被放入区块载荷中,主要包括物流数据以及交易过程中产生的合同信息等。在此过程中,将根据业务类型的差异对事务实现分布式存储,相同类型的信息借助默克尔树进行组织,树根被区块头记录,树叶是该类型下某组事务的哈希值,如此便能够方便且迅速地对某个载荷中存储的数据进行验证。

### 3.2 具体应用场景设计

本方案基于 Hyperledger Fabric 进行联盟链构建,借助其组件化特征,将共识算法和安全策略等添加到框架中,并为应用层的多种现实场景提供适应的接口,从而实现大宗商品供应链物流的数字化转变。

在本节中,将大宗商品供应链物流的场景具象化,选取大宗商品交易过程为实验场景,设计相应的物流联盟链。大宗商品供应链物流过程中运送的货物价值较高,并且环节众多、资金流复杂,需要明确货权并实时跟踪,保证货物安全性。通过区块链完成对物流数据的收集、整理和存储,覆盖原料采购、运输、加工、分销及交易等大宗商品供应链物流中的多个关键步骤,以保障信息的安全性、隐私性及可靠性。按物流合作者、监管者设置对应节点权限,可作为节点查询等操作的依据,既能够为参与企业的物流管理环节提供了支持,保护了企业的商业机密与核心数据,又能够为政府提供该大宗商品供应链物流整体信息,使得政府监管决策更加有效合理。

下面对大宗商品交易过程进行具体阐述,如图 2 所示。其中买方可为消费者、制造商、批发商或零售商,卖方可为原料供应商、制造商、批发商或零售商。

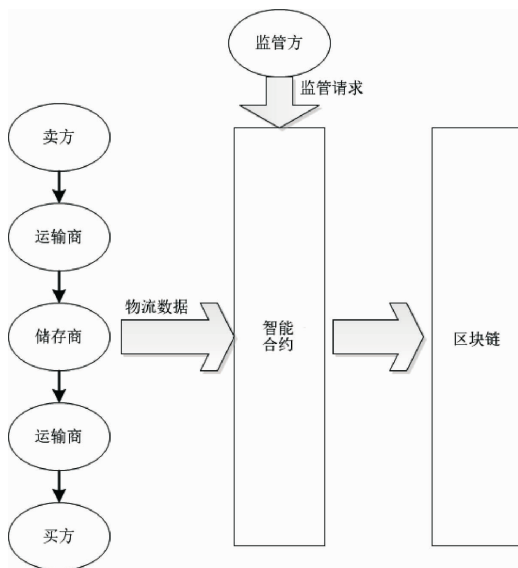


图 2 大宗商品供应链物流场景

Fig. 2 Commodity supply chain logistics scenario

交易进行之初,买卖双方能够在链上对本次交易细节进行协商,确定商品价格、数量和交付日期等,最终记录下这些信息,形成合同并留存于链上,保证其不可篡改性。然后根据所签订的合同,买方需将定金或全款交付至卖方,卖方收到货款后,在平台上签署交易,形成事务,并留存货物及交易基础信息,以备之后的查询。

卖方将货物交由运输商进行配送后,需及时更新链上的货物信息,将货物拥有者变更为买方,并设置暂存者为运输商。运输商负责保证人、运输工具及货物的安全,并实时跟踪货物的配送情况,时刻检查受损程度,将相关信息上链。买方能够通过访问这些信息对货物运送状况做出合理判断,及时与有关企业协商调整配送方案。

大宗商品供应链物流常会使用联合运输方式,在更换运输方式时常需临时进行储存,此时暂存者将变更为储存商。在完成货物入库及清点等步骤后,储存商将所得数据上链,买方能迅速地完成对账工作,验证货物信息。

当运输或储存过程出现货物受损情况,暂存者需在链上尽快更新货物状态,以便买方确认责任归属。

若买方收到的货物品质与交易协商所得结果不同,能够借助链上的时间戳信息及溯源应用对物流全过程进行追踪溯源,从而清楚地界定责任。

监管方能够在需要时经过授权环节,获取链上数据的访问权限,完成高效且清晰的大宗商品供应链物流监察工作。

在大宗商品供应链物流联盟链中,每个参与组织都能通过相应授权,调用已设定完毕的智能合约,实现物流、合同等数据信息上链的需求。链中包含的多个成员数据通道能够支持业务分离,有利于相应监管的展开。

### 3.3 仿真实验及结果阐述

#### 3.3.1 测试环境介绍

本实验搭建供应链物流方案时使用 2 核 4 G 的虚拟机,内存为 20 G,具体实验环境配置如下:

操作系统:Ubuntu 20.04

Docker 版本:20.10.7

Fabric 版本:2.2.1

根据上文所述的具体场景,搭建联盟链过程中将设置 8 个节点,其中 7 个 peer 节点,1 个 order 节点,创建多个成员数据通道。每个 peer 节点包括分布式账本及链码,完成与具体应用的交互。在测试环境中使用 docker 单机部署所有节点。

#### 3.3.2 评测工具及指标

Caliper 是一款由 Fabric 社区推出的性能测试工具,

支持用户通过将某特定事务多次循环发送,完成对已配置区块链网络的测试。Caliper 能够生成包含具体性能参数的测试报告,主要有如下指标:

Succ:成功发送事务数量;

Fail:失败发送事务数量;

Send rate:发送事务速率;

Avg latency:处理 1 次事务请求的平均用时;

Consensus throughput:每秒完成的共识吞吐量,即共识速度;

Query throughput:每秒处理的查询吞吐量,即查询速度。

### 3.3.3 实验结果与分析

通过对用户从某交易发出到完成共识整个流程的时间开销测试,Caliper 所得结果如表 2 所示。

表 2 共识速度测试结果

Table 2 Results of consensus speed tests

测试	名称	Succ	Fail	Send rate/tps	Avg latency/s	Consensus throughput/tps
1	Invoke	2000	0	96	1.59	49
2	Invoke	2000	0	187	6.27	76
3	Invoke	2000	0	285	12.35	92
4	Invoke	2000	0	362	21.41	93

由表 2 可看出,从测试 1 到测试 4,发送共识事务速率自 100 tps 渐进地提高到 400 tps,共识速度随之不断增加并稳定在 90 tps 左右,处理 1 次共识请求所需的平均用时也大幅增加,从 1 s 逐渐延长至 20 s。在同时发起的交易数量很少时,共识速度相对较低,因为通信在处理时间中占比很高,随着交易数量的逐渐增加,通信

的比重越来越小,共识速度稳步提升。由于单机部署,网络中多个节点的共识过程与分布式部署情况存在差异,存在拥塞现象,实际运行过程中平均用时会更加理想。

通过对用户发起查询请求到收到相应数据完整过程的测试,Caliper 所得结果如表 3 所示。

表 3 查询速度测试结果

Table 3 Results of query speed tests

测试	名称	Succ	Fail	Send rate/tps	Avg latency/s	Query throughput/tps
1	Query	5000	0	97	0.65	72
2	Query	5000	0	194	1.79	132
3	Query	5000	0	288	4.27	135
4	Query	5000	0	374	8.63	128

从表 3 中可以看到,在发送查询事务速率以 100 tps 为底持续提升至 400 tps 的过程中,查询速度同样经历了由少变多逐渐稳定的过程,最终保持在 130 tps 左右。处理单次查询事务的平均用时由不到 1 s 增加至 8 s 以上,同样是因为受到单机部署中所存在的拥塞现象困扰。查询前所需的背书操作包含了海量的请求、签名和验证等环节,它们属于计算密集型任务,导致此过程中计算量远大于访存、通信以及 I/O 操作,在实际运行过程中可通过对同一组织下 peer 节点的扩充进行优化,从而提高查询速度并减少平均时延。

## 4 总结及展望

供应链物流是大宗商品物流的演变趋势,让物流全

过程得以紧密联系,但这也让许多深藏的物流问题暴露,亟需解决方案。区块链是发展迅速的新兴技术之一,在众多领域展现了独特价值,已被国家纳入“十四五”规划。区块链在大宗商品供应链物流行业方面的应用能够为我国物流领域提供崭新思路,有着重要的现实意义及研究价值。

考虑到海量数据对区块链性能的影响,本文提出“区块链加云”的大宗商品供应链物流数据信息存储方案,并结合具体物流场景设计了基于联盟链的大宗商品供应链物流方案框架,相关仿真实验结果展示了两者的可行性。不过,本文中的方案仍存在一些需要持续研究,例如本文对具体场景的抽象并未涉及供应链金融,相关情景的设置需要更多调研及统计;所构建的方案并未真实落地,而是借助单机模拟表明可行性,实

际应用时设置节点需满足拜占庭容错性,相关配置要因地制宜,综合企业体量及需求。

展望未来,区块链还能作为诸多新兴技术在大宗商品供应链物流领域加以融合的基点,它能为将来的智能

化生产、工业5G与数字孪生、数字化仓储、多式联运及供应链金融等场景提供数字化可信基础和风险管控技术能力。

#### 参考文献:

- [1] Londe B J L, Masters J M. Emerging logistics strategies: Blueprints for the next century[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 1994, 24(7): 35-47.
- [2] 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.
- [3] 李刚, 扶明亮. 区块链技术在供应链中的应用: 理论述评与研究展望[J]. *供应链管理*, 2021, 2(11): 21-34.
- [4] 田阳, 陈智罡, 宋新霞, 等. 区块链在供应链管理中的应用综述[J]. *计算机工程与应用*, 2021, 57(19): 70-83.
- [5] 秦明. 区块链技术在供应链物流中的应用探讨[J]. *价格月刊*, 2019, 12: 64-69.
- [6] 李勇建, 陈婷. 区块链赋能供应链: 挑战、实施路径与展望[J]. *南开管理评论*, 2021, 24(5): 192-201, 212.
- [7] Tian F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology[C]//2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management. Piscataway: IEEE, 2016: 1-6.
- [8] 孙宇博. 基于区块链技术的应急物流供应链体系构建研究[J]. *商业经济研究*, 2021(19): 119-121.
- [9] Helo P, Hao Y. Blockchains in operations and supply chains: A model and reference implementation[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 136(10): 242-251.
- [10] Gopalakrishnan P K, Hall J, Behdad S. Cost analysis and optimization of blockchain-based solid waste management traceability system[J]. *Waste Management*, 2021, 120(2): 594-607.
- [11] 谭征. 区块链视角下物流供应链重构研究[J]. *商业经济研究*, 2019, 5: 83-86.
- [12] 饶东宁, 王军星, 蒋志华, 等. 区块链技术在物流供应链领域应用综述[J]. *软件导刊*, 2018, 17(9): 1-3, 8.
- [13] 挖链网. 2018 中国区块链应用市场调查报告: 物流业最有可能创造价值[EB/OL]. (2018-05-22) [2019-03-21]. <https://www.walian.cn/news/2096.html>.
- [14] 张南南. 利用区块链技术提升供应链物流运营效率[J]. *物流工程与管理*, 2021, 43(11): 69-70, 74.
- [15] 王微, 闫国东. 区块链在供应链物流中的应用分析[J]. *物流科技*, 2018, 41(12): 122-124, 128.
- [16] 张馨. 新型物流产业供应链体系建设研究——基于区块链技术的分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2019, 7: 103-107.
- [17] 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.
- [18] Zheng Z B, Xie S A, Dai H N, et al. Blockchain challenges and opportunities: A survey[J]. *International Journal of Web and Grid Services*, 2018, 14(4): 352-375.
- [19] Pongnumkul S, Siripanpornchana C, Thajchayapong S. Performance analysis of private blockchain platforms in varying workloads[C]//Proceedings of the 26th International Conference on Computer Communication and Networks. Piscataway: IEEE, 2017: 1-6.
- [20] Wang Y, Han J, Beynon-Davies P. Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda[J]. *Supply Chain Management*, 2019, 24(1): 62-84.

【责任编辑: 周全】