

文章编号:1672-4747(2022)03-0001-14

区块链技术在航运业的应用综述

鄢 然¹,王帅安¹,周煜圣²

(1. 香港理工大学,物流及航运学系,香港999077;2. 南洋理工大学,土木与环境工程学院,新加坡639798)

摘要:航运是国际贸易的重要桥梁,全球超过80%的货运量由海上运输完成。相比于其他运输方式,航运的主要优势体现在运输能力、运输网络和运输价格。航运是较为传统和保守的行业,数字化程度低、进程慢,尚有大量的业务场景可以通过物联网、大数据、人工智能和区块链技术进行优化,本文着重讨论区块链技术在航运中的应用。区块链作为一种典型的分布式交易账本,具有去中心化、公开透明、永久存储且不可篡改和可溯源性等特征,适合于解决航运业中信息不互通、商品信息可追溯性差、交易过程中存在大量纸质文件且相关文件被伪造、篡改和丢失的风险高等问题。本文总结了现有的航运区块链相关平台和项目,并对相关学术文献按照内容进行分类,从具体应用案例、应用现状及前景和对航运业的影响等方面进行了综述,然后讨论了区块链技术在航运中的应用情况、前景和挑战,最后提出了未来的相关研究方向。

关键词:水路运输;航运区块链;文献综述;国际航运物流;航运数字化

中图分类号:U268.6

文献标志码:A

DOI: 10.19961/j.cnki.1672-4747.2021.12.024

Application of blockchain technology in the shipping industry

YAN Ran¹, WANG Shuai-an¹, ZHOU Yu-sheng²

(1. Department of Logistics and Maritime Studies, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 999077, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, Singapore 639798, Singapore)

Abstract: The shipping industry is the backbone of international trade and globalization. Shipping and ports are estimated to handle over 80% of global merchandise trade by volume. Compared with other modes of transportation, the main advantages of shipping are its transportation capacity, its direct access to global transportation networks, and its low freight rates. Shipping is a traditional and conservative industry that has experienced slow digitalization. Currently, numerous business scenarios through which the efficiency and effectiveness of shipping can be improved have been considered. These include the use of the Internet of Things, big data technology, artificial intelligence, and blockchain technology. This study focuses on the application of blockchain technology in the shipping industry. As a typical distributed transaction ledger, the main characteristics of blockchain include decentralization, openness and transparency, permanent storage, the ability to prevent tampering, and traceability. Blockchain can solve the problems of information non-interoperability, poor traceability of commodity information, large numbers of pa-

收稿日期:2021-12-28

录用日期:2022-04-21

网络首发:2022-04-29

审稿日期:2021-12-28~12-30; 2022-02-28~03-03; 04-20~04-21

基金项目:国家自然科学基金项目(72071173,71831008);Projects of Strategic Importance of The Hong Kong Polytechnic University (1-ZE2D)

作者简介:鄢然(1996—),女,助理教授,主要研究方向为航运数据分析、绿色航运管理,E-mail:angel-an.yan@connect.polyu.hk

通信作者:周煜圣(1995—),男,博士生,主要研究方向为可持续航运管理、航运风险管理、航运新技术运用,E-mail:zhou0348@e.ntu.edu.sg

引文格式:鄢然,王帅安,周煜圣.区块链技术在航运业的应用综述[J].交通运输工程与信息学报,2022,20(3):1-14.

YAN Ran, WANG Shuai-an, ZHOU Yu-sheng. Application of blockchain technology in the shipping industry[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2022, 20(3): 1-14.

per-based transactional documents, and the high risk of tampering, loss, and forgery of relevant documents, all of which are common in the shipping industry. This study first summarizes existing blockchain-based platforms and current projects in shipping activities. It then reviews relevant studies with respect to specific applications, their status and prospects, and their effects on the shipping industry. Finally, relevant research directions are suggested.

Key words: waterway transportation; blockchain in shipping; literature review; international shipping and logistics; digitalization in shipping

0 引言

航运是推动国民经济发展和全球经济一体化的关键要素,全球超过80%的货运量由海上运输完成^[1]。我国航运业“成绩单”亮眼,港口规模稳居世界第一,在2020年我国有8个港口位列全球港口货物吞吐量前十,另有7个港口位列全球集装箱吞吐量前十。随着我国对“一带一路”高质量发展的不断深化推动,航运作为连接国际货运的重要桥梁作用愈发显著,中国在全球航运业的地位也愈发重要。在大数据时代,数字化正在影响人类生产和生活的方方面面,国际航运作为拥有悠久历史的传统行业,也在经历着数字化转型,由大数据、人工智能、物联网、区块链等相关技术驱动的“智慧航运”“数字化+航运”时代变革正在改造、升级甚至颠覆传统的商业模式。

我国正大力推进数据资源赋能交通发展。2019年10月,国务院印发的《交通强国建设纲要》指出,要大力发展智慧交通,推动大数据、互联网、人工智能、区块链、超级计算等新技术与交通行业的深度融合。同时,我国也正在加大航运数字化进程建设。2020年8月,《交通运输部关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见》提出打造包括智慧航道和智慧港口的多项智慧交通基础设施,并明确要通过区块链技术,实现电子单证、业务在线办理、危险品全链条监管和全程物流可视化。虽然数字化建设在国际航运领域已初见成效,但由于国际航运业相对保守和传统、航运活动涉及多个利益相关者(包括托运人、航运公司、货运代理、港口和码头运营商、内陆承运人和海关)、航运活动国际性较强(受到多种航运法规等外部因素影响,涉及多种通关文件和检查),航运数字化的进程相较于其他传统行业较为缓慢。

近年来,各行各业越来越多地开始关注和使用权区块链技术。区块链是一种去中心化、去信任

的基础架构以及分布式计算范式和账本,可实现数据信息的分布式记录和分布式存储^[2]。我国高度重视区块链技术的发展和运用,区块链已于2020年4月被国家发改委纳入“新基建”范围,各地也纷纷出台区块链发展的专项扶持政策。区块链技术在传统的航运业也受到越来越多的关注。2021年6月,工业和信息化部、中央网络安全和信息化委员会办公室联合发布《关于加快推动区块链技术应用和产业发展的指导意见》,指出要加快推动区块链技术和产业创新发展,积极推进区块链和经济社会融合发展,并明确了未来5年和10年区块链产业的发展目标,涉及供应链管理和航运物流等多个领域。本文结合区块链技术和航运业的主要特征,首先对区块链技术在航运业中的适用性和现有应用场景进行总结,然后结合已有的综述文献,从区块链技术在航运中的具体应用案例、应用现状和前景及其对航运业的影响三方面进行文献综述。以此为基础,本文还提出了区块链技术与航运领域相结合的未来应用和研究方向。

1 概述

1.1 区块链概述

区块链技术最早出现在中本聪编写的论文《Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system》中,最初应用于比特币交易。区块链涉及非对称加密、智能合约、P2P协议、共识机制和链结构等相关技术。在实际应用中,区块链被视作一种去中心化的数据库以及一种分布式交易账本^[3],其应用已经渗透到经济社会的多个领域,包括数字金融、物联网、智能制造、供应链管理和数字资产交易。

区块链可被分为公有链、私有链和联盟链^[2]。其中,公有链是完全去中心化和去信任的,任何人都可以参与公有链的构建和访问。私有链由

于其参与者是中心控制者指定的参与成员,因此对交易量和交易速度无限制,且不存在51%攻击风险。联盟链的参与者是预先设定的具有特殊特征的成员,这导致联盟链容易进行控制权限定,具有很高的可扩展性,但是不能完全解决信任问题。作为分布式存储的信息基础设施,区块链最重要的特征是去中心化,即每个用户都是中心而不需要依赖第三方,所有在区块链网络里的节点都有记账权,共同实现数据的收集、核验、存储和传输^[1]。区块链的另一个重要特征是系统对全网节点公开透明。同时,在密码学技术的保证下,区块链上的信息一旦经过验证并添加到区块链后就会被永久存储且不可篡改,这赋予了区块链上数据信息极高的稳定性和可靠性。另外,区块链上的数据还具有可溯源性,便于数据查询和追踪^[1]。

1.2 区块链结构与实现技术

为使读者对区块链技术有更深入的了解,从而更好地理解其在航运业中的应用现状和前景,本节对区块链本身的结构及其实现技术做进一步介绍。从“区块链”的名字可知,它是将一个个区块前后首尾相连组成的链式结构,每个区块通过一个称为“父区块哈希值”的数值指向其唯一的前一个区块从而实现区块的前后连接。图1展示了区块链的链式结构。其中,每一个区块的内部结构如图2所示,主要包含两部分:区块头和区块体。区块头主要存储本区块的相关属性,区块体则用于存储具体的交易数据。具体而言,区块头主要包括:(1)父区块哈希值,主要用于与该区块的上一个区块连接;(2)时间戳,即该区块产生的时间;(3)难度目标,是指该区块工作量证明算法的难度目标;(4)Nonce(随机数),是矿工(即网络中节点)挖掘完成工作量证明算法时的输入,也是矿工获得奖励的凭证;(5)默克尔根,即默克尔树根的哈希值。在区块体中,区块链的交易被组织为默克尔树的结构。默克尔树是一种哈希二叉树,叶节点存储着每一条交易记录,从叶节点开始通过递归两两合并哈希值直至默克尔根。因此,通过默克尔树对交易信息进行存储可实现快速定位和校验某笔交易,并且当某笔交易发生改变时,这种改变会通过其父节点一直传递到根节点。



图1 区块链的链式结构

Fig.1 Chain structure of blockchain

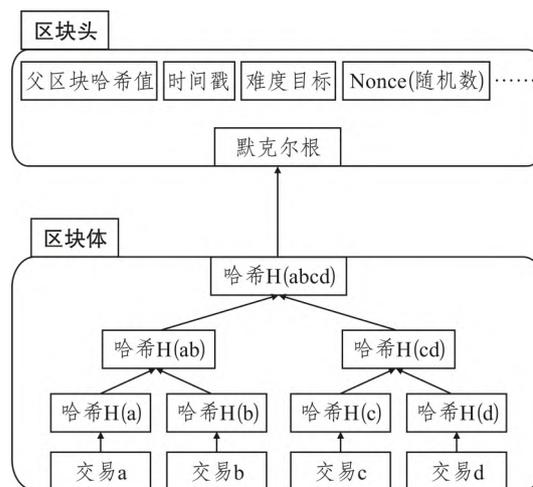


图2 某个区块的内部结构

Fig.2 Inner structure of a block in a blockchain

区块链系统工作在一个分布式网络中,并通过智能合约机制允许其在不需要第三方的情况下执行可追溯、不可逆转和安全的交易,实现“去中心化”。以比特币为例,区块链的工作流程大致如下:在用户发起一项交易后,与之相连的节点(称之为记录信息节点),将会把消息广播到比特币的分布式网络中等待确认。网络中的其他节点(称之为验证交易节点),将会把该交易信息与系统中其他等待确认的交易信息请求打包到一起,并在添加上其他相关字段后组成一个区块结构。然后,验证交易节点将会试图找到一个 nonce 串放到区块中(即“挖矿”的过程,需要耗费一定算力),使得在这种情况下该节点所生成的哈希值满足一定的条件。在找到合适的 nonce 串后,该区块就在系统中合法了,节点随即将其在网络中广播出去,供其他节点进行验证。如果大多数节点都验证并且接受了该区块,就意味着该区块被比特币所在的网络所接受,网络中其他的节点将会保存目前区块链的一个副本,区块中所包含的交易也即得到确认。在区块被验证的过程中,基于算力寻找 nonce 串的共识机制被称为工作量证明(Proof of Work, PoW),可以通过哈希算法对其施加限制,控制合法区块产生的时间和对算出区块的节点的奖励。

区块链节点之间的数据验证主要通过哈希算法和非对称加密技术实现。一个区块本身的哈希值是通过对其区块头的数据进行哈希运算生成的,因此保证了哈希值的独一无二性。所以,区块头中任何数据的改变都将导致其哈希值的改变。例如,交易信息的改变将会导致默克尔根的改变,进而改变该区块的哈希值。常用的哈希算法包括国际通用的 Message Digest (MD) 系列和 Secure Hash Algorithm (SHA) 系列算法,以及国内使用的 SM3 算法^[4]。值得注意的是,哈希值不会存储在该区块中,而是存储在其子区块中用于生成链式结构。将哈希值用作区块链独一无二的识别信息保证了其不可篡改性,因为如果想要改变一个区块的数据,就要将它后面所有的区块全部重新运算一遍,这是目前的算力难以达到的。验证交易节点需要接收记录信息节点所发出的交易信息并进行验证,其中检验的过程主要通过非对称加密实现。非对称加密中的加密密钥和解密密钥是不一样的,一般分别由私钥和公钥实现。其中,私钥是个人持有并严格保密的,不能被他人获取;而公钥一般是公开的,他人可以获取。对于某一项交易,记录节点和验证节点的工作流程如图3所示。其中,当验证交易节点接收到记录信息节点的广播后,它需要确定如下两个问题:(1)签名信息是否由记录信息节点通过自己的私钥产生?(2)原始交易信息是否在传输中发生了更改?因此,验证交易节点首先通过记录信息节点的公钥对签名信息进行解密运算以证明该签名信息属于记录信息节

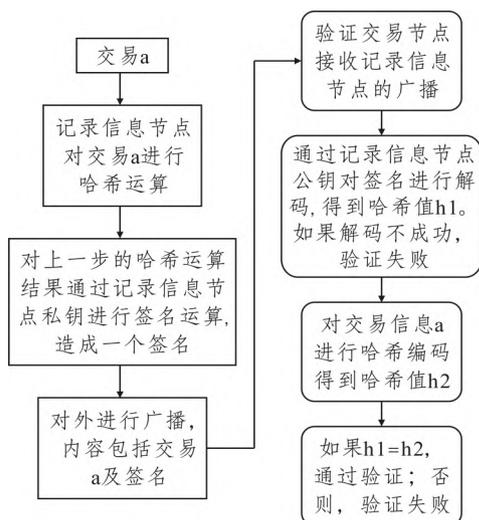


图3 交易在记录节点和验证节点之间的广播和验证
Fig.3 Broadcast and verification of transactions between
blocks in a blockchain

点,并得到交易 a 的哈希值。然后,验证交易节点通过哈希算法对交易 a 进行运算得到一个新的哈希值,将该哈希值与解密得到的哈希值进行对比,即可知道在数据传输过程中交易 a 的信息是否被改变。哈希算法和非对称加密技术使得区块链的安全性得到保障,保障了数据的完整性和真实性。

另外,为了解决系统一致性的问题,比特币网络提出了最长链概念和6次确认概念。最长链概念使得全网节点有如下约定:只在消息最多的那条数据链之后进行数学计算和消息连接,所有节点时刻监听全网状态,确定其处于最长链上。如果不是,则立即切换到最长链上去进行运算。通过保证所有节点都在最长链上进行运算,来保证系统中只有一条合法的消息链条。6次确认是为了防止网络中的信息被篡改,它要求每条信息在经过6次确认没有更改之后才被认为有效。上述两个概念很大程度保证了区块链系统不会出现确认过的信息前后不一致的情况,从而保证了系统的不可篡改性及一致性。

1.3 区块链在航运业中的适用性和现有典型应用

区块链的上述特点使其具有解决航运业中痛点问题的巨大潜力。作为历史悠久的传统行业,航运业涉及复杂的利益主体,其运输效率可通过增进各方信任、实现物流溯源、优化各项流程及增强网络协调等方面实现提升^[5]。具体而言,信息在不同航运企业系统间不互通,信息孤岛现象普遍存在,这使得信任问题变得尤为突出。货物追踪系统的数据失真和信息篡改问题较为严重,主要是由于传统航运网络中心化程度高导致的数据交换和共享的程度低、成本高。国际航运业务由于涉及复杂的合作伙伴和业务流程,过程中会产生大量纸质运输单证等文件。这些文件的存储管理和运输传递将会降低整个航运供应链的效率,增加运营成本,并产生大量温室气体。同时,文件在复杂的航运供应链中被伪造、篡改和丢失的风险较大,给航运供应链的协同发展造成困扰。这些问题都可以借助区块链技术的去中心化、公开透明、永久存储且不可篡改和可溯源性等特征得到部分或全部解决。因此,航运被认为是最适合区块链应用的产业之一^[6]。目前,区块链技术在航运业中已有初步落地应用,本文对相关应用案例总结见表1。

表1 区块链技术在航运业中的典型应用案例

Tab.1 Typical applications of blockchain technology in the shipping industry

区块链平台名称	相关企业、科研院所或组织	应用业务场景	发布时间
Chain of things	香港数码港、香港科技园公司、两家运输协会	智能电子提单、智能代理传感器	2016年4月
BiTA全球区块链 货运联盟	UPS、FedEx、PENSKE、C. H. Robinson、SAP等	提高货运流程安全性,提升透明度及效率,降低运输成本	2017年8月
ShipChain	全球区块链货运联盟、以太坊联盟	货物追踪和溯源	2017年10月
GSCP全球共享 集装箱平台	Blockshipping	实物集装箱通证化	2017年
TBSx3	HAMBURG SUB、DB Schenker、DP World Australia	提高航运供应链透明度、商品追踪溯源能力和工作效率	2018年2月
安永航运保险 区块链平台	安永、Guardtime	航运保险	2018年3月
Insurwave	Ernest & Young、Guardtime	航运保险	2018年5月
Silsalplatform	阿布扎比港、比利时安特卫普港	货物追踪可视化、交易状态访问、物流接口无缝化	2018年6月
Global E-Trade services' open trade blockchain	CrimsonLogic、Global eTrade Services	帮助合作伙伴建立区块链节点,共同开创贸易社区场景	2018年7月
TradeLens 贸易透镜	Maersk、IBM	智能电子提单、与贸易伙伴共享文件、获取端到端集装箱运输和货物运输的综合情况	2018年8月
MarineX	MarineX	全球集装箱开放式分享	2018年9月
Easy trading Connect	ADM、Bunge、Cargill、Louis Dreyfus	降低文件和数据处理时间	2018年10月
GBSN全球航运 业务网络联盟	中远海运集团、中远海运港口、赫伯罗特、和记港口集团、东方海外、山东港口青岛港、PSA国际港务集团、上海国际港务集团	建立新市场参与者之间的桥梁,从而扩展全球贸易生态系统,支持技术驱动型创新的发展,促使整个港运向数字化迈进	2018年11月
CargoX	CargoX	智能电子提单	2018年11月
trustME	Marine Transport International Limited (MTI)	保证集装箱信息的安全和传播,帮助托运人遵守 SOLAS 集装箱验证重量的相关规定	2019年1月

从表1可见,典型的航运区块链平台出现于2016年年中。到了2018年,大量的相关平台上线,覆盖的范围、涉及的合作单位和航运业务也日趋多样和复杂。其中,智能电子提单、资源和数据共享,以及货物追踪溯源是区块链在航运业务中的典型应用。除了上述搭建的区块链平台,区块链技术在航运业还有更具体的应用。例如,现代商船于2017年9月在釜山至青岛的一艘搭载冷冻货物的集装箱船上同时使用了区块链技术与物联网技术,实现了对冷冻货物的实时监控和管理。中远海运、京东和佳农在2018年4月使用搭载区块链技术的集装箱船运送厄瓜多尔香蕉,实现了区

块链技术在国际海上集装箱运输的首次商业落地应用。此外,辽宁自贸试验区大连片区、天津口岸区和招商局港口集团也积极扩大区块链在整个港口业务流程中的应用,推动了智慧港口建设和物流及贸易便利化。

2 国内外研究现状

为收集区块链在航运业中应用的相关学术文献,我们对知网数据库和Scopus数据库进行搜索,使用的中文关键词为“航运区块链”,英文关键词为“blockchain in maritime transport”。根据搜索得到的相关文献,进一步对其进行“向上”和“向下”

的溯源和追踪分析,即找出每篇论文引用的文献和被每篇论文引用的文献。然后,筛选出相关的综述论文及与区块链在航运业各方面应用相关的论文,共计37篇,其中包含2篇中文文献和35篇英文文献。

现有文献从学术论文和工业级应用两方面对区块链技术在航运业中的应用进行了总结和综述。从学术论文的角度,Munim等^[7]首先通过文献计量分析的方法总结了相关文献及作者所在的国家/地区间的网络关系,总结出四大相关研究主题:区块链在航运中的应用、区块链应用的挑战、区块链技术和区块链被采纳情况,并同时对相关文献的内容进行了仔细分析并提出区块链应用的挑战及解决方案。Tsiulin等^[8]对区块链在航运和港口管理中应用的33篇相关文献和23个相关项目进行了总结,并回答了如下两个问题:(1)区块链技术如何影响航运和港口物流?在这两方面有哪些可能的应用场景?(2)新兴的区块链项目如何与现有的航运相关概念相联系?对于第一个问题,该作者认为,区块链技术为解决物流和航运管理中缺乏信任、信息安全、沟通失误和数据伪造等问题的唯一可能的技术手段,可用于文件 workflow 管理、财务流程和设备互联。同时,该作者特别指出,现有项目已从如下方面使用区块链技术促进港口自动化:码头货物分配、码头交易、文件 workflow 跟踪、库存证明和货物装卸。对于第二个问题,区块链系统与现有的港口社区平台有很多相似之处,尤其是两者的目标都是自动化航运文件和统一化、弹性化供应链参与方之间的交流,但是两者在所有权、参与方和整体架构等方面也存在区别。Jović等^[9]基于文献综述从可持续性的三方面,即经济、环境和社会方面总结了基于区块链的信息交换给航运业带来的20条好处以及在这个过程中存在的20条挑战或困难。其中,经济方面的好处包括降低成本、加强与物联网和大数据等新兴技术的结合,以及提升交易效率等;环境方面的好处主要是减少纸质文件的使用和传输过程中的遗失;社会方面的好处包括使数据和信息不可篡改,建立信任和加强分布式网络中的安全与隐私等。在基于区块链的信息交换中存在的挑战和障碍主要包括信息存储和传输、缺乏数据保护、缺乏共识和标准,以及缺乏可靠的信息共享或丢失和被盗数

据规则。Nguyen等^[10]通过文献综述研究了将区块链整合到集装箱航运系统中潜在的运作风险,并将相关文献通过建立有向无环图划分出三个主要风险类别:主动风险、后继风险和过渡风险。

从工业级应用的角度,Pedersen等^[11]根据多年区块链顾问的经验为航运企业提出了一个包含10步的决策路径以决定是否应该采用区块链技术以及应该采用哪种区块链技术。其中,决定是否使用区块链技术的关键判断条件包括是否需要共享的公共数据库、是否有多方参与、相关方是否存在利益冲突或信任问题、各方是否愿意信任第三方、管理系统访问的规则是否因参与者而异、交易规则是否基本保持不变和是否需要一个目标不变的日志。如果这些关键判断条件都是成立的,则还需根据以下条件判断使用何种区块链:如果需要获取和访问公开的数据,则推荐使用公有链;如果无需获取或访问公开的数据,且共识在组织内部达成,则推荐使用私有链;如果共识需要在组织间达成,则推荐使用联盟链。Peronja等^[12]总结了区块链技术在航运中,尤其是在海运提单中的应用。Jović^[13]总结了最有代表性的航运区块链平台,包括TradeLens、BDTS、ShipChain和Global Shared Container Platform,以及它们在应用过程中遇到的挑战。Wang和Qu^[14]总结了区块链技术适用于航运、交通、物流和供应链等领域的特点,涉及智能合约、快捷支付、信息共享、货物追踪与溯源和供应链金融等业务。

现有文献也同时对区块链的相关文献和工业级应用进行了总结。Li和Zhou^[15]首先对2015到2018年间发表的区块链相关文献从硬件、软件、新兴科技和商业应用四个方面进行了总结,然后讨论了区块链的使能技术和主要类型,最后总结了7个区块链在航运中的典型应用。Ahmad等^[16]首先综述了区块链在港口物流业中应用的相关文献,然后总结了7个广泛应用的适用于数字化港口物流服务的区块链平台,并就其中的两项进行了详细使用说明。此外,现有文献也提出了基于区块链的航运管理框架。Jabbar和Bjørn^[17]总结出目前区块链技术在航运业中的三个主要应用:实现港到港运输文件数字化,解决提单、匿名交易和合规性相关问题,以及优化集装箱载重规则。基于此,他们还进一步提出了基础设施研磨(Infrastructure Grind)的概念用以描述某个领域(如航运)与新

技术基础设施(如区块链)相交互的活动。

除了对区块链技术在航运业中应用的综述和相关概念框架的提出,现有文献还对区块链技术在航运中的具体应用案例、应用现状和前景,以及对航运业的影响三方面进行了阐述,具体地总结如下。

2.1 区块链技术在航运中的具体应用案例

区块链技术在航运中的具体应用案例包括已实现的具体应用和未实现的理论技术框架,涵盖在具体业务场景中的应用案例和在一定地区或国家范围内的应用案例。现有文献分析了将区块链技术应用到航运业的多个具体业务场景的可行性和现状,如 Xu 等^[18]提出了一种用于航运货物追踪的基于新型数字身份管理机制的绑定方案以更好地将实际业务流程与信息系统进行整合,从而更好解决货物丢失和检查成本过高的问题。Irannezhad 和 Faroqi^[19]提出了一个基于物联网和区块链技术的部分解决集装箱运输中提单问题的概念模型。该概念模型通过多层架构的结构使得物联网和区块链技术进行互补和整合,着重解决当船东提单和货代提单相同时带来的问题,模型的表现从吞吐量、延迟和安全等级三方面进行了验证。Irannezhad^[20]通过对港口物流业务流程的剖析,展示了区块链技术降低港口社区系统(port community system)交易成本的功能,进一步讨论了开发基于区块链技术的港口社区系统需要满足的要求。Yang 等^[21]讨论了区块链技术能够被用于航运数据安全保护的相关概念和特征,包括数据分布式存储、公开数据高效分享、点对点传输和知识产权保护功能。Solesvik 等^[22]通过对航运从业者的采访分析了业界对于区块链技术的接受程度,着重分析了借助区块链技术减少航运污染的可能性。Sarker 等^[23]通过在 2012 到 2020 年间对多名航

运从业者的采访得出区块链技术可以减缓全球航运业中存在的与业务流程和文档资料相关的腐败现象的结论。Wang 等^[24]提出了一个基于区块链的提高港口船舶运输效率的框架,船代、码头、拖船公司、引航站和政府可将数据存储区块链中以实现信息共享。并基于共享的信息,该作者提出了包含多种场景的三种数据驱动模型以提升港口的运营管理效率。Pu 和 Lam^[25]总结了目前区块链技术在航运业各方面的应用,随后提出了一个概念框架,涵盖了区块链的技术特点、商业利益、适用范围、主要利益相关者和应用的潜在挑战。

除了区块链技术在航运业中的具体应用场景,现有文献还分析了不同国家和地区在航运业中采用区块链技术的现状。以中国为例,Tan 等^[26]提出了一个基于区块链技术的平台(LCL Export Platform, LEP)以实现货代与其客户之间的信息整合和分享,从而提高中国港口在国际贸易中海运拼箱服务的效率和质量。Hafizon 等^[27]提出了名为“E-Toll Laut”的基于区块链的电子政务解决方案。该方案可通过保证问责制、简化监控流程和加快科层制及港口交易流程降低印尼港口的周转时间并提高其管理效率。以丹麦的港口为例,Tsiulin 和 Reinau^[28]通过与丹麦不同特征的港口管理者进行普通访谈和半结构化深度访谈对区块链技术在航运业的具体业务场景中的适用性程度进行了分析,以及这些特征将如何契合港口的长期发展。Philipp 等^[29]通过专家访谈和个案研究展示了将基于区块链的智能合约应用到跨境物流和多式联运供应链的潜力。以新加坡和中国为例,Pu 和 Lam^[30]基于生产过程分析方法比较了包含区块链技术的集中系统和整合独立平台的集中系统的温室气体排放量,结果表明前者可以降低超过 99% 的与文件生产有关的温室气体排放。下面将相关文献的要点整理如表 2 所示。

表 2 区块链技术在航运中的具体应用案例总结

Tab.2 Summary of specific applications of blockchain technology in the shipping industry

文献编号	应用案例	应用场景(地区)及功能	未来发展方向
[18]	与区块链航运供应链管理系统结合的电子身份管理机制	航运货物供应链管理。保证信息正确性,防止货物丢失,降低货物检查负担	—
[19]	物联网与区块链技术结合的多层概念体系模型	集装箱传统提单。解决双重支出、重复文件、伪造信息、欺诈和黑客威胁相关问题	考虑更多微观因素,例如货代和消费者,考虑对于参与方未完成指定任务的惩罚,考虑其他运输方式(如空运和陆运),考虑分析更多种类共识机制

续表2

文献编号	应用案例	应用场景(地区)及功能	未来发展方向
[20]	基于区块链的港口社区系统框架体系设计	港口物流业务流程管理。增强各方信任,实现互操作性,实现近乎无缝的管理和金融交易及验证,明确各方职责,处理大量交易数据	基于模型驱动工程的软件开发对区块链性能基准测试,相关协议构建,在港口供应链工业中采用供应链,增强可用性、监管挑战
[21]	将区块链技术应用到航运数据存储和传输	航运数据安全保护。数据分布式存储,公开数据高效分享,点对点传输,知识产权保护	—
[22]	将区块链用于发展和支持绿色科技	绿色航运。减少航运污染	—
[23]	区块链监管全球航运业腐败现象	减缓业务流程与文档资料相关腐败。流程透明化,不可变信息流,提升供应链效率	通过区块链技术进一步促进行业透明性和声明发表
[24]	基于区块链技术的港口管理理论框架和3个数据驱动模型	港口效率提升。船代、码头、拖船公司、引航站和政府将数据存储于区块链中以实现信息共享	使用多源数据对模型结果交叉验证,考虑更多的利益相关者,例如卡车运输公司、铁路运输公司、托运人和收货人
[25]	航运业中基于区块链技术的整体理论架构	涉及多方参与者、多个业务场景的整体框架。电子化文书工作,增强信息共享、自动化流程	基于该基准模型得到更多的区块链在航运中的应用实例、好处和挑战
[26]	基于区块链技术的LEP平台	中国。通过建立信任减少成本与时间,加速交易,促进货代及其客户之间的信息整合与共享	基于区块链技术设计和实现更智能的信息技术产品,并将其使用从中国推广到全球
[27]	基于区块链的电子政务解决方案E-Toll Laut	印尼。通过保证问责制简化监控流程,加快科层制从而提升港口效率	—
[28]	基于区块链的港口数字化升级方案	丹麦。促进港口内部交流、文档 workflow 管理、设备连通性	通过区块链技术促进多港口间文档 workflow 管理、增加港口社区间互信,将区块链进一步整合到现有会计、运营和控制系统,加快信息在主要利益相关者之间传递
[29]	基于区块链的智能合约方案	欧洲。简化跨境物流和多式联运供应链中的业务流程	关于供应链和智能合约的法律问题
[30]	区块链技术降低航运温室气体排放	中国和新加坡。数字化可降低99%以上与纸质版文件有关的温室气体排放	在更小的地区范围内分析、考虑国际运输的影响

2.2 区块链技术在航运中的应用前景和挑战

不同于上节文献从微观层面对区块链的具体应用进行总结和概述,本节相关文献旨在从宏观层面分析区块链在航运业中应用的现状和前景、给航运业带来的好处、实际应用中遇到的阻碍和困难,以及航运从业者对于区块链技术的接受程度。这类文献从研究方法上又可被进一步分为理论分析研究、定性研究和定量研究。对于理论分析研究,Lambourdiere和Corbin^[31]基于现有文献并

从概念框架的角度出发分析了如何从多方面将区块链技术作为一种数字化的实现形式应用到航运供应链以提高其效率与效力。Irannezhad^[32]讨论了区块链技术提升航运物流和供应链效率的潜力,以及区块链技术的局限性和应用挑战,同时提出,区块链技术可以一步到位地解决货物延迟、双重支付、纠纷和订单取消的问题,并有可能提高其他的经济效益。

定性研究的典型方法包括采访和个案研究。

Gausdal 等^[33]以挪威近海工业为例,通过访谈收集了初始研究数据,并进一步从工业报告、互联网和国内外媒体报道收集了二级数据,然后分析了使用区块链技术的驱动力和主要阻碍。其中,驱动力包括降低成本、提高海事监管水平、有能力处理大量数据和提升工作效率,主要阻碍包括实施成本高、离岸地区网络连接质量低和决策者年龄较大。Bavassano 等^[34]基于三角测量法综合了学术文献和媒体报道,并对区块链技术在航运业中实施的主要促进、影响因素和目前市场上可选方案的主要差异进行了分析并得出结论:监管机构和公共当局可能是区块链技术全面实施的主要障碍,尤其是在目前缺乏市场标准的情况下。通过专家访谈,Papathanasiou 等^[35]通过开展涉及 8 个希腊航运公司的供应链从业者的专题讨论会定性地分析了这些公司对区块链技术的采纳程度。结果表

明,尽管区块链为航运业带来的好处受到一定程度的认可,但这些企业对采纳区块链技术持非常保守的态度,并认为信息共享可能对其在竞争中的生存造成威胁。Zhou 等^[36]通过对 30 名新加坡航运从业者进行采访并结合层次分析法、鱼骨图和 PESTEL 分析得出了影响区块链在航运业中应用的主要挑战和关键成功因素,并从人员、方法、组织、外部环境和科技五个方面进行了总结。

定量分析的典型方法为实证研究。Yang^[37]首先基于文献综述和技术接受模型从现有文献中提取出可能影响区块链使用的因素,然后收集了对于港口、船公司、船代和货代的相关问卷数据以进行实证研究,从而分析影响区块链技术使用的关键因素。我们将本节定性分析和定量分析相关文献的要点整理如表 3 所示。

表 3 区块链技术在航运中的应用现状和前景总结

Tab.3 Summary of the status and prospects of blockchain technology applications in the shipping industry

文献编号	应用前景、驱动力、关键因素	应用挑战
[31]	基于区块链技术的数字化平台提升航运供应链的效率和效力,包括作为航运供应链数字化转型的主要策略、促进各方信息互换和企业间的互相合作协调、增强系统的透明性、增强航运供应链动态能力	—
[32]	区块链技术可一举解决航运业的多种低效率问题,包括减少纸质文件使用,解决信息不对称和缺乏可见性问题,增强各方沟通	区块链设计与选择、采用过程、表现评估,缺乏标准与管理
[33]	主要驱动力包括降低成本,提高海事监管水平,有能力处理大量数据,提升工作效率	主要阻碍包括实施成本高,离岸地区网络连接质量低、决策者年龄较大
[34]	主要促进因素包括高科技硬件和软件发展及基础设施建设、分销渠道、锁定效应	主要阻碍来源于交通基础设施建设局限、劳动力条件、地方性法规
[35]	区块链为航运业带来的一致性(统一平台)、效能(快速回应顾客需求)、安全性(增强互信)提升	区块链技术的复杂性、相关经验和知识的缺乏、文化背景、缺乏使用的安全感
[36]	足够的资本投入、相关人员训练、来自航运业的支持、来自高级管理层的支持、提供专业咨询和协助	技术实现成本,缺乏有经验的合作者,缺乏数据隐私性,缺乏区块链相关知识、可扩展性、对过渡到新的运营结构的恐惧
[37]	清关和管理、数字化和简化文书工作、货物追踪与溯源、标准化与平台开发、商业模式和监管、使用意向	可扩展性、互操作性、数据管理、行业标准及政府法规的不确定性

2.3 区块链技术对航运业的影响

该类文献旨在分析面对新兴的区块链技术,航运业中的利益相关者将会采取怎样的策略以适

应市场行情、提升其竞争力。Zhong 等^[38]采用了基于斯塔克伯格博弈的二阶段模型分析了区块链技术对集装箱运输的影响。具体而言,集装箱航运

公司需在博弈的第一阶段决策是否采纳区块链技术,并在博弈的第二阶段决策在新兴的基于区块链的市场中如何决定运价。Wang等^[39]提出了空间模型以分析当港口间存在竞争时,两个异构港口对于采纳区块链技术的策略。实验结果表明区块链技术带来的单位净利润与其单位运营成本的关系将决定该技术是否可行。Hu和Dong^[40]通过演化博弈论模型分析了主要集装箱运输承运人和小型集装箱运输承运人在启用了区块链的集装箱运

输链中的合作行为。实验结果表明,当引入区块链技术作为监督时,两种承运人在旺季和淡季都会选择进行合作并形成长期稳定的合作联盟,从而解决运营中的低效性。Pu和Lam^[41]通过博弈论模型分析了当大货主要求船主采用区块链模型时船主的策略,并得到以下结论:船主的运货量越高,其加入区块链网络的时间就越早;否则,他们甚至会在十年之后才会采用区块链技术。本节相关文献的要点整理如表4所示。

表4 区块链技术对航运业的影响相关文献总结

Tab.4 Summary of blockchain technology's impact on the shipping industry

文献编号	分析模型	影响因素	如何影响
[38]	基于斯塔克伯格博弈的二阶段模型	运价	运价决定集装箱航运公司是否采纳基于区块链的航运技术,并且将影响后续运价的设定和调整 当单位运营成本低于单位净收益且安装成本较高时,两个港口使用传统技术可以实现双赢。同时,由于囚徒困境将导致三种双输局面,可通过“区块链技术共享+补偿”的横向协作机制(BTSC)解决
[39]	博弈论中的空间模型	单位净收益和单位运营成本之间的关系	在旺季,合作与不合作的运营商群体间存在进化均衡。在淡季,进化均衡状态为运营商不合作。当区块链技术能够被充分监督时,两者将在旺季和淡季均选择合作
[40]	演化博弈论模型	主要集装箱运输承运人和小型集装箱运输承运人的行为	船主的运货量越高,其加入区块链网络的时间就越早;否则,他们甚至会在十年之后才会采用区块链技术
[41]	博弈论模型	大货主对区块链技术采纳的要求	

3 总结与展望

本文首先对近年来受到各界广泛关注的区块链技术进行了概述,介绍了我国对于加快采纳区块链技术的相关政策,然后讨论了航运业目前的痛点问题如何借助区块链技术得到部分或全部解决,并总结了区块链在航运业中的典型应用案例。同时,本文对相关文献进行了归纳整理,主要包括从学术论文和工业级应用两方面对区块链技术在航运业中应用的总结和综述、区块链技术在航运中的具体应用案例、区块链技术在航运中的应用现状和前景以及区块链技术对航运业的影响。基于以上总结和综述,进一步对区块链本身的关键问题和挑战进行总结,然后对区块链技术在航运中的应用前景和挑战以及未来相关研究方向进行阐述。

3.1 区块链技术的关键问题和挑战

从技术角度讲,区块链涉及众多领域,包括但不限于密码学、分布式系统、控制论、网络协议、经济学、心理学等。因此,区块链技术在实际应用中

也会面临来自各方的挑战。首先,隐私安全和保护一直以来都是区块链技术甚至整个分布式系统研究领域广受关注的问题。在分布式系统中,要在信息共享和隐私安全保护之间找到平衡不是一件易事。在分布式场景下,由于缺乏监管机制,无法有效对各参与方的行为进行约束从而保证各方严格遵守相关协议,因此,公有账本的安全问题频发。要解决这个问题,需要采用更新颖和高级的密码学手段,并增强其解决实际问题的实践性。其次,在分布式系统中实现共识,即确保某个变更发生后在分布式网络的各节点中得到的执行结果是一致的、不可推翻的、且被各节点承认的,是分布式系统领域中典型的技术难题。例如,比特币网络中引入了“工作量证明”的共识机制以避免少数人的恶意行为,并通过最长链和6次证明概念保证系统的一致性。但是,这两种达到系统共识的方法都存在运算效率低下和能源极大浪费的问题。因此,更有效和高效的、能在动态的大规模环境中应用的共识机制需要被提出。另外,目前的区块链技术不适用于高频交易的场景。比如,目

前比特币公有区块链的平均吞吐量约为每秒7笔交易,交易确认时间约为1小时,如果要将其应用到高频交易的环境,例如金融系统中,交易系统性能亟待提高。目前,业界提升交易系统性能主要通过提升吞吐量和降低确认延迟两方面实现。

3.2 区块链技术在航运中的应用前景和挑战

区块链技术的优势显著,将其应用到航运业可以大大简化操作流程,减少信息差,提高运营效率,节约运作成本,同时减少对环境的影响。如前所述,区块链技术已在航运业中得到初步应用,主要包括提单去纸质化、加强信息分享、实现货物追踪和溯源、减少索赔欺诈、方便跨境汇款和促进船舶融资。同时,基于区块链技术的概念模型以及未来应用场景和发展方向也在现有文献中被世界各地的学者提出并讨论。可以预见的是,在不久的将来区块链技术会在航运业中得到更广阔的应用,从而促进航运业的数字化进程。例如,将区块链技术更广泛地应用到船舶运营管理,包括船舶与船员登记与注册、船舶维护与检查、电子提单、智能航运合同;航运企业基于区块链上记录的丰富、准确的大数据开展智能信息挖掘,从而制定企业发展规划、部署船队规模和路线、部分解决航运周期性问题;将区块链技术与物联网技术深度融合,以实现船舶和货物更实时、有效和准确地监测、追踪与溯源,并可用所记录的高质量航行数据实现智能航运调度,船舶燃油使用优化和排放监管;将区块链技术与3D打印技术结合,应用于基于3D打印的船舶和港口建造;将区块链应用到航运保险与再保险,可提高船舶资产评估及保费核算效率。

然而,区块链技术在航运业中的落地应用也面临着各种各样的挑战。从区块链技术的角度来讲,如何保障共识系统的安全性是区块链在应用过程中面临的最大挑战之一。区块链技术通过开源代码的方式来提高网络的可信度,但这也使得攻击者对系统的攻击变得更加容易,对系统交易和用户信息的安全造成威胁。另外,私钥是用户在区块链体系中的“身份证”,用户的私钥丢失或被黑客盗取会危及用户的信息和资产安全,且由于区块链的不可篡改性,被盗资产无法追回。已被应用到航运业无纸化运作和货物追踪的基于区块链的智能合约技术也存在一定漏洞,包括重入

漏洞和区块参数依赖漏洞等。其次,区块链的能耗和效率问题也是其在航运业的应用中面临的一大挑战。由于区块链中的每个节点都要求解双哈希函数并生成随机数来竞争记账权,但最终链上的节点只有一个,这意味着其他节点在阶段内付出的算力和电力资源均被浪费,因此区块链的运作过程伴随着大量的能源消耗与浪费,在这个过程中产生的温室气体排放和能源消耗可能比无纸化和自动化业务流程所减少的排放和消耗更大。此外,区块链系统建立初期会对航运公司产生较大的费用,并且需要长期对相关人员进行有针对性的培训。将航运公司原有的数据系统与区块链系统对接也可能产生原有数据丢失或不兼容等问题。同时,由于处于应用的初级阶段,业界尚缺乏对区块链系统的标准化行为准则和管理体系,国家也缺乏相关的法律对黑客入侵等行为进行惩处。对于区块链在未来实际操作中可能出现的商业风险,相关法律法规及保险条款也缺乏相应的责任认定。因此,与区块链相关的法律法规问题还有很大的空缺有待填满。

从航运业自身的角度,由于航运业本身是非常传统和保守的行业,在长期的发展历程中已形成非常固定的运营模式,且对于新技术和新方法的接纳程度较其他行业低。加之航运业本身也是一个传统的高风险高波动行业,引入未成熟的变革性技术会引发行业对于风险不可控的担忧,进而可能影响市场。同时,国际航运本身中心化程度较高,涉及海关、检查、海事等国家主权机构,这与区块链的去中心化特点相矛盾,使得区块链的公信力被降低。因此,区块链技术的引入必将打破原有的生态环境甚至损害利益相关者的利益,从而受到他们的抵制。在这种情况下,如何使用区块链技术高效解决航运业的痛点问题并在解决问题和维持原有生态平衡之间找到平衡点从而说服利益相关者采纳区块链技术,是其广泛应用面临的巨大挑战。其次,目前航运业对于区块链技术的应用也缺乏相关的规则和标准,区块链技术的应用仍处于测试和完善的阶段。制定统一的行业标准和协议以确保各方的正确交互是区块链技术在航运业中全面应用的前提。

在将区块链技术规模化应用到航运业务的过程中将会面临更大的挑战。首先需要解决的问题是区块链的安全性问题。虽然区块链技术本身包

含了防篡改机制,但区块链网络并不能完全免于网络攻击和欺诈。在其规模化应用的过程中,面临不当代码利用、秘钥失窃和员工电脑被黑客攻击风险的概率将会大大增加,从而对数据安全性和商业机密及隐私保护提出更高要求。另外,当区块链系统的参与者(包括政府部门、银行、港口、顾客、货代、船代、船东、船公司、船级社和修船厂等)和业务场景(例如文件去纸质化、电子化提单、货物追踪溯源、电子合约与签名、设备互联和供应链金融等)不断增加时,系统的吞吐量也将会大大增加,与区块链系统可扩展性和TPS性能相关的瓶颈问题将会更加严重。其次,覆盖航运价值链的区块链生态系统需要被建立。这需要每家航运公司与客户、供应商甚至是竞争对手展开合作。这一点在集装箱船市场的联盟中已有初步实施。然而,联盟间的博弈以及公司间的竞争使这一趋势变得并不明朗。最后,航运业中还有很多除了区块链规模化之外亟待解决的问题,如后疫情时代港口拥堵,局部地区战争与海盗风险等。与此同时,航运市场的上升趋势加剧了航运公司之间的市场竞争以及运力扩张。这些现象导致了区块链的规模化应用在航运业中的优先等级被降低,客观上也将推迟甚至阻碍区块链的规模化应用。

3.3 未来研究方向

航运业对于区块链的关注点并非在于技术的创新和迭代,而是在于相关法律法规和行业应用规则的建立和健全。目前对于区块链技术在航运业中应用的相关研究仍处于较为初级的阶段,我们对于未来研究方向进行如下探讨。首先,目前的相关研究多以说理和定性分析为主,几乎没有涉及客观的实际数据,受作者的主观认知影响可能较大。未来研究应更多采用量化分析的方法得出更客观可信的结论。其次,对区块链技术在各种航运业务场景中具体应用的讨论应更多涉及区块链自身的特点和该业务的特征而非仅仅是泛泛而谈,尤其是如何具体地借助区块链技术的特征解决该业务存在的痛点问题。从航运业宏观视角来看,如何运用区块链在航运供应链和价值链的各个节点解决实际商业和操作问题以及进行模式创新值得被深入探讨;从航运业微观角度来看,安全和可靠是社会对航运业的基本要求,如何运用区块链优化船舶上的船员安全管理和船上作业流

程也值得进一步研究。同时,还应对比传统方法与区块链技术对于解决同一实际问题所提供的解决方案有何区别、区块链技术有何优势和劣势,从而进一步增进航运决策者对区块链技术的了解和采纳。对于区块链技术在某一特定地区采纳的分析,还应结合该地区的各项特征,例如地理位置、方针政策和航运业特点和发展情况等,从纵向和横向两方面对比分析,从而更好地为地方决策者提供建议。另外,区块链技术在航运业中尚处于初级试验阶段,主要被应用在电子化提单、智能合约和货物追踪和溯源等基础业务,如何进一步发挥区块链技术的各项优势使其能有更广阔和复杂的应用场景等问题有待解决。区块链在航运业中的具体应用细节也可参考其他行业,例如航空业和制造业。鉴于目前一些大型航运公司的业务已不仅仅局限于海上运输,其与供应链上下游行业的关系日趋紧密。因此,区块链在航运业中的应用不该是闭门造车,而应与其他行业互通有无。最后,虽然目前已有大量文献对区块链的应用现状、前景和挑战各方面进行分析,但是仍然缺乏针对如何有效推动区块链技术在具体航运业务场景和不同地区被采纳的相关指导和建议,针对区块链应用的各项挑战的具体应对方案及其可行性也亟需探讨。未来研究应结合对区块链各方面应用的分析结果提出有针对性和建设性的意见以促进区块链在航运中的应用,从而加快航运业数字化进程。

4 结论

本文从实际落地的商业应用和现有学术文献的角度总结并讨论了区块链技术在航运业务场景中的应用现状和前景。其中,相关商业应用从涉及的机构、具体业务场景和发布时间的角度进行了总结;学术文献从现有相关综述、区块链技术在航运业中的具体应用案例、区块链技术在航运中的应用现状和前景,以及区块链技术对航运业的影响三方面进行了综述。最后,本文进一步讨论了区块链技术本身及其在航运业中的应用前景和挑战以及未来研究方向。

参考文献

- [1] 镇璐, 诸葛丹, 汪小帆. 绿色港口与航运管理研究综述[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(8): 2037-2050.
ZHEN Lu, ZHU Ge-dan, WANG Xiao-fan. Researches on

- green ports and shipping management : an overview[J]. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2020, 40(8): 2037-2050.
- [2] 张亮, 刘百祥, 张如意, 等. 区块链技术综述[J]. *计算机工程*, 2019, 45(5): 1-12.
ZHANG Liang, LIU Bai-xiang, ZHANG Ru-yi, et al. Overview of blockchain technology[J]. *Computer Engineering*, 2019, 45(5): 1-12.
- [3] 邵奇峰, 金澈清, 张召, 等. 区块链技术: 架构及进展[J]. *计算机学报*, 2018, 41(5): 969-988.
SHAO Qi-feng, JIN Che-qing, ZHANG Zhao, et al. Blockchain: architecture and research progress[J]. *Chinese Journal of Computer*, 2018, 41(5): 969-988.
- [4] KAUSHIK A, CHOUDHARY A, EKTARE C, et al. Blockchain-literature survey[C]//2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology. Bangalore, India: IEEE, 2017, 2145-2148.
- [5] 刘家国. 航运业“搭台”区块链“唱戏”[N]. *中国水运报*, 2021-01-31(1).
- [6] 徐凯. 区块链点燃数字化航运创新发展激情[N]. *中国水运报*, 2019-11-29(5).
- [7] MUNIM Z, DURU O, HIRATA E. Rise, fall, and recovery of blockchains in the maritime technology space[J]. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2019, 9(3): 266.
- [8] TSIULIN S, REINAU K, HILMOLA O, et al. Blockchain-based applications in shipping and port management: a literature review towards defining key conceptual frameworks[J]. *Review of International Business and Strategy*, 2019, 30(2): 201-224.
- [9] JOVIĆ M, TIJAN E, ŽGALJIĆ D, et al. Improving maritime transport sustainability using blockchain-based information exchange[J]. *Sustainability*, 2020, 12(21): 8866.
- [10] NGUYEN S, CHEN P, DU Y. Risk identification and modeling for blockchain-enabled container shipping[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2020, 51(2): 126-148.
- [11] PEDERSEN A, RISIUS M, BECK R. A ten-step decision path to determine when to use blockchain technologies[J]. *MIS Quarterly Executive*, 2019, 18(2): 99-115.
- [12] PERONJA I, LENAC K, GLAVINOVIĆ R. Blockchain technology in maritime industry[J]. *Pomorstvo*, 2020, 34(1): 178-184.
- [13] JOVIĆ M, FILIPOVIĆ M, TIJAN E, et al. A review of blockchain technology implementation in shipping industry[J]. *Pomorstvo*, 2019, 33(2): 140-148.
- [14] WANG S, QU X. Blockchain applications in shipping, transportation, logistics, and supply chain[C]// *Smart Transportation Systems*. Singapore: Springer, 2019: 225-231.
- [15] LI L, ZHOU H. A survey of blockchain with applications in maritime and shipping industry[J]. *Information Systems and e-Business Management*, 2021, 19: 789-801.
- [16] AHMAD R W, HASAN H, JAYARAMAN R, et al. Blockchain applications and architectures for port operations and logistics management[J]. *Research in Transportation Business & Management*, 2021, 41: 100620.
- [17] JABBAR K, BJØRN P. Infrastructural grind: Introducing blockchain technology in the shipping domain[C]// *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork*. Sanibel Island: 2018; 297-308.
- [18] XU L, CHEN L, GAO Z, et al. Binding the physical and cyber worlds: a blockchain approach for cargo supply chain security enhancement[C]//2018 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security. Woburn, USA: HST, 2018: 1-5.
- [19] IRANNEZHAD E, FAROQI H. Addressing some of bill of lading issues using the internet of things and blockchain technologies: a digitalized conceptual framework [J/OL]. *Maritime Policy & Management (2021-05-23)* [2021-10-27]. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1930223>.
- [20] IRANNEZHAD E. The architectural design requirements of a blockchain-based port community system[J]. *Logistics*, 2020, 4(4): 1-31.
- [21] YANG Z, XIE W, HUANG L, et al. Marine data security based on blockchain technology[J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, 322(5): 052028.
- [22] CZACHOROWSKI K, SOLESVIK M, KONDRATENKO Y. The application of blockchain technology in the maritime industry[C]//*Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications*. Switzerland: Springer, 2019: 561-577.
- [23] SARKER S, HENNINGSSON S, JENSEN T, et al. The use of blockchain as a resource for combating corruption in global shipping: an interpretive case study[J]. *Journal of Management Information Systems*, 2021, 38(2): 338-373.
- [24] 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): 2040017.
- [25] PU S, LAM J S L. Blockchain adoptions in the maritime

- industry: a conceptual framework[J]. *Maritime Policy & Management*, 2020, 48(6): 777-794.
- [26] TAN A W K, ZHAO Y, HALLIDAY T. A blockchain-model for less container load operations in China[J]. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 2018, 11(2): 39-53.
- [27] HAFIZON M I, WICAKSONO A, FARIZAN F N. E-Toll Laut: Blockchain port as the key for realizing Indonesia's maritime fulcrum[C]// *Proceedings of the 12th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance*. Melbourne, Australia: ICEGOV, 2019: 36-45.
- [28] TSIULIN S, REINAU K H. The role of port authority in new blockchain scenarios for maritime port management: the case of Denmark[J]. *Transportation Research Procedia*, 2021, 52: 388-395.
- [29] PHILIPP R, PRAUSE G, GERLITZ L. Blockchain and smart contracts for entrepreneurial collaboration in maritime supply chains[J]. *Transport and Telecommunication*, 2021, 20(4): 365-378.
- [30] PU S, LAM J S L. Greenhouse gas impact of digitalizing shipping documents: blockchain vs. centralized systems [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 97: 102942.
- [31] LAMBOURDIERE E, CORBIN E. Blockchain and maritime supply-chain performance: dynamic capabilities perspective[J]. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 2020, 12(1): 24-34.
- [32] IRANNEZHAD E. Is blockchain a solution for logistics and freight transportation problems? [J]. *Transportation Research Procedia*, 2020, 48: 290-306.
- [33] GAUSDAL A H, CZACHOROWSKI K V, SOLESVIK M Z. Applying blockchain technology: evidence from Norwegian companies[J]. *Sustainability*, 2018, 10(6): 1-16.
- [34] BAVASSANO G, FERRARI C, TEI A. Blockchain: how shipping industry is dealing with the ultimate technological leap[J]. *Research in Transportation Business & Management*, 2020, 34: 100428.
- [35] PAPATHANASIOU A, COLE R, MURRAY P. The (non -) application of blockchain technology in the Greek shipping industry[J]. *European Management Journal*, 2020, 38(6): 927-938.
- [36] ZHOU Y, SOH Y S, LOH H S, et al. The key challenges and critical success factors of blockchain implementation: policy implications for Singapore's maritime industry[J]. *Marine Policy*, 2020, 122: 104265.
- [37] YANG C S. Maritime shipping digitalization: blockchain-based technology applications, future improvements, and intention to use[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 131: 108-117.
- [38] ZHONG H, ZHANG F, GU Y. A Stackelberg game based two-stage framework to make decisions of freight rate for container shipping lines in the emerging blockchain-based market[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2021, 149: 102303.
- [39] WANG J, LIU J, WANG F, et al. Blockchain technology for port logistics capability: exclusive or sharing[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2021, 149: 347-392.
- [40] HU Z H, DONG Y J. Evolutionary game models of cooperative strategies in blockchain-enabled container transport chains[J]. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 2021, 1-32.
- [41] PU S, LAM J S L. Blockchain adoption time of shipowners: a game theoretic analysis[C]// *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. Singapore: IEEE, 2020: 989-991.

(责任编辑:刘娉婷)