

文章编号: 1003-1421(2021)02-0075-07

中图分类号: U297

文献标识码: A

DOI: 10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.2021.02.13

多式联运数据交换区块链 技术应用研究

A Study of the Application of Block Chain Technology on Multimodal
Transportation Data Exchange

黄敏珍, 王瑞民, 林晓蕾

HUANG Minzhen, WANG Ruimin, LIN Xiaolei

(中国铁道科学研究院集团有限公司 电子计算技术研究所, 北京 100081)

(Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

摘 要: 针对多式联运数据交换中存在的数据中心化、作业协同效率不高等问题, 对铁水联运、公铁联运过程中数据交换需求进行分析, 阐述多式联运和区块链技术在数据共享、信任机制、安全机制和合约机制等方面的契合点, 提出基于区块链的包括基础层、区块链核心层、应用服务层、应用接口和业务层的总体架构方案, 设计基于联盟链的网络架构方式, 模拟基于区块链技术的铁水联运运单流转过程, 以实现共享数据的去中心化, 提高多式联运作业的协同性和安全性, 促进多式联运“一单制”建设。

关键词: 多式联运; 区块链技术; 一单制; 全程物流; 铁路货运

Abstract: In order to solve the problems of data centralization and low cooperative efficiency in multimodal transportation data exchange, this paper analyzes the demand of data exchange in the process of railway-water intermodal transportation and highway-railway combined transportation, expounds the convergence points of multimodal transportation and block chain technology in data sharing, trust mechanism, security mechanism and contract mechanism, proposes an overall architecture scheme based on block chain, including the basic layer, the core layer, the application service layer, the application interface and the business layer, designs a network architecture based on alliance chain, simulates the waybill transfer process of railway-water intermodal transportation based on block chain technology. The research results can realize the decentralization of data sharing, improve the coordination and safety reliability of multimodal transportation operation, and promote the construction of “one-order system” of multimodal transportation.

Keywords: Multimodal Transportation; Block Chain Technology; One-order System; Total Logistics; Railway Freight

多式联运在充分利用运输资源、降低综合物流成本、促进“节支降耗”，以及在提高运输服务水平，促进现代物流、现代产业链和供应链发展方面具有重要作用。铁路作为综合交通运输体系的骨干企业，在铁路多式联运信息化建设方面不断推进，随着铁路多式联运数据交换平台的研发，实现铁路与港口生产数据互联互通，为铁公水业务深度融合、多式联运全面贯通奠定技术基础。多式联运业务涉及铁路、公路、海运、港口，以及国际多式联运的各方，存在数据共享困难、存证困难、业务协同作业困难及业务数据流转繁杂等问题，而区块链技术具有去中心化、多方共识、安全不可篡改等特点，应用区块链技术对多式联运的数据交换方式进行研究，可以更好地实现多式联运各主体间运单及业务数据共享，优化整体作业流程，加速运输协调、信息流转，提高物流效率。同时，利用区块链技术可以打通铁路、港口、公路、口岸站、物流园区之间的信息壁垒，提升各运输方式之间的作业协同能力，构建全程物流信息链条，为实现多式联运“一单制”奠定基础，从而降低社会整体物流成本，促进“节支降耗”，提升经济社会综合效益。

1 多式联运数据交换需求分析

1.1 数据交换业务需求

多式联运包括公铁联运、铁水联运、公水联运、空陆联运、组合运输等多种联运方式，多式联运参与者包括多式联运经营人、实际承运人、无车承运人、无船承运人、货运代理人等，要实现多式联运多方的作业协同，利用新技术更好地实现各方之间的数据高度共享和交换是非常关键的一

个环节，选取与铁路相关的典型的铁水联运、公铁联运数据交换等场景进行分析研究。

在铁水联运数据交换方面，铁路运输包括整车、零担、集装箱等组织方式。对于整车运输，主要业务流程包括托运人提报需求、需求受理、装车、制票、在途、到达和在站等阶段。对于集装箱运输，还包括配箱、用具回送等阶段。铁路运输流程如图1所示。

在铁水联运过程中，整个业务过程复杂，不仅涉及到铁路内部各部门各作业环节之间的数据交换，还涉及到铁路和港口之间的数据共享交换，而且在各个作业环节需要共享的信息非常复杂。从铁路业务系统角度分析，托运人在95306网站提报需求和受理需求后，铁路需要将铁路箱下水信息、承认车信息传送给港口；在受理需求之后，对于各种类型的运输方式，其交换数据也不一样，对于整车运输的货物，需要将装车制票、货检、在途和到达等信息实时反馈给港口；对于集装箱运输，还需要将集装箱信息、运送用具回送清单等信息传送给港口系统。从港口业务系统角度分析，港口需要把船期、港存信息、集疏运信息、港口铁路日阶段作业计划、整车运输的阶段需求和装车需求等信息共享给铁路系统。另外，对于集装箱运输，还需要共享舱单、订箱、装车和企业在车等信息。

在公铁联运数据交换方面，公铁联运业务涉及客户需求受理、站内作业、途中运输、跨局中转、全路物流调度、物流配送、预警监控、质量考核等物流全过程信息化管理。公铁联运作业流程如图2所示。

公铁联运数据共享主要面向公铁联运的站段作

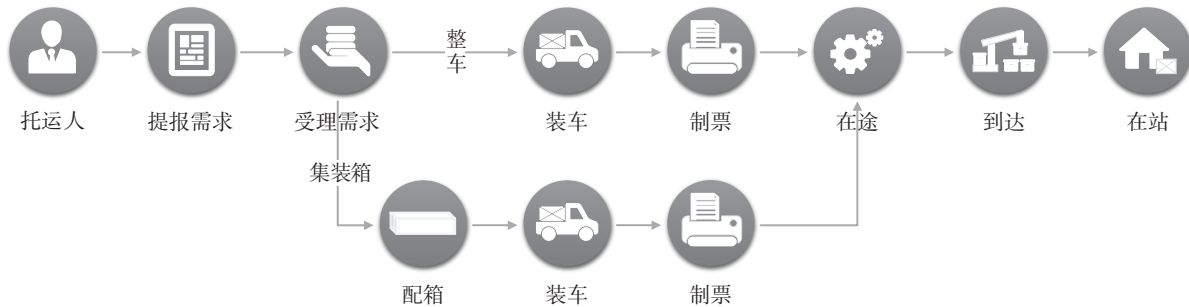


图1 铁路运输流程图

Fig.1 Railway transportation flow chart

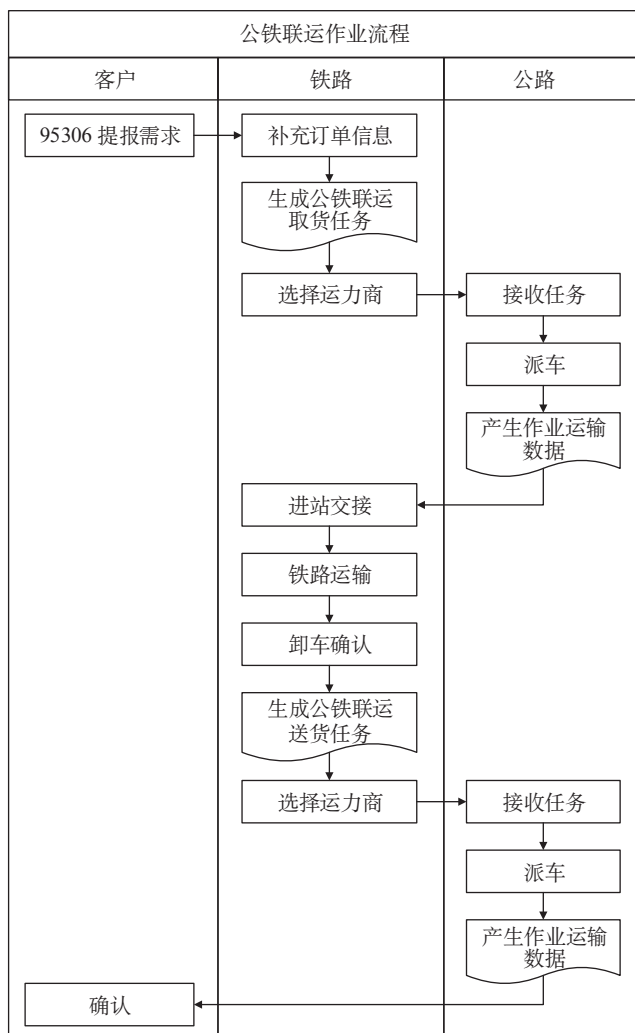


图2 公铁联运作业流程图

Fig.2 Operation flow of highway and railway combined transportation

业人员，需要具备取配任务管理和作业管理、运营监控和统计分析、车辆动态管理、司机配送管理等。对于公铁联运的货物，客户提报联运需求后，由铁路系统生成公铁联运取货任务，然后选择相关的运力商，公路获取到取货任务后进行派车，然后货物运送到铁路进行进站交接装车，接着货物进入铁路运输环节，货物到达铁路货运站后，如果需要通过公路进行送货，由铁路系统生成公铁联运的送货任务，选择相关运力商后，公路系统接收任务，派车送货并将运输信息反馈给铁路。

除了铁水联运、公铁联运以外，多式联运数据交换还包括铁路与电厂、煤矿等大型生产企业、物流企业、专用线，运输装备所有者，船公司，专业物流公司、集装箱公司、口岸和物流园

区等企业之间的数据交换。通过传统电子数据交换(Electronic Data Interchange, EDI)的方式，可以实现系统之间的数据交换，但是多式联运业务对数据交换提出了更高的要求。从管理角度看，需要实现跨系统、跨区域、跨部门之间的实时数据共享与协同；从技术角度看，需要各层级各系统之间的数据同步交换，保障数据安全可信。为了更好地进行多式联运数据交换，将区块链技术与多式联运业务进行融合，探索“区块链+多式联运业务”模式，提升各运输方式之间的作业协同能力，不断推进多式联运“一单制”运输。

1.2 区块链与数据交换的关系

在区块链技术方面，2008年以来，国内外学者对区块链技术进行了大量研究^[1-5]，区块链技术已经从数字货币领域延伸到证券、金融、物流、电子发票等领域，在集装箱、海运^[6-7]、铁路^[8-11]等领域都有区块链技术的融合应用研究。在多式联运数据交换方面，铁路多式联运数据交换平台上线，实现了铁路货运数据与宁波港、上海港、连云港港等港口数据的无缝对接，虽然铁路与港口、公路之间的数据交换共享可以实现，但是在数据共享机制、信任机制、安全机制和合约机制方面提出了更高的要求，而区块链技术具有去中心化、不可篡改、多方共识、公开透明等特点。多式联运和区块链技术有如下关联性和契合点。

(1) 共享协同机制方面。多式联运数据交换涉及托运方、收货方、铁路、港口、公路、海关等之间的共享协同实现信息交换共享。而区块链技术作为分布式共享数据库技术，每个节点都存储了完整账本，不同节点互为备份，数据更新与维护由多个节点共同完成。区块链技术在解决多方协作共享问题方面有很多方面的优势，可以通过架构灵活，可伸缩、可扩展的底层联盟链技术，建立一个适应复杂场景的多式联运联盟链，打通多式联运各承运人企业，实现各种运输过程中信息流对称。

(2) 信任机制方面。多式联运数据交换涉及到多式联运企业之间的充分信任，按照传统的方式，往往是通过第三方机构监管等方式建立信任机制。而区块链技术则通过去信任化实现数据的交互，不必再需要担保机构的介入。这种机制可以大大提高

多式联运主体间的信任程度,改善信任关系,在此基础上,交易信息可以准确、快捷地交换。

(3) 安全机制方面。多式联运的数据交换对安全性有很高的要求,需要保障多层级数据同步交换、数据安全可靠,尤其是交易信息和用户信息的安全。而区块链对信息有很强的安全保障,区块链的安全机制可以有效解决多式联运数据交换中的安全问题。

(4) 合约机制方面。在多式联运数据交换中,涉及到很多合同条款以及业务逻辑。而区块链技术内置于区块中的智能合约经编译后被触发时可自动执行,如果使用智能合约,其自动执行的特点可以避免人为恶意干扰,提高了执行效率。

2 基于区块链技术的多式联运数据交换总体架构设计

2.1 总体架构

基于多式联运数据交换的铁水联运、公铁联运典型的业务场景,结合区块链技术架构方式,设计基于区块链技术的多式联运数据交换方式。基于区块链技术的多式联运数据交换总体架构如图3所示,包括基础层、区块链核心层、应用服务层、应用接口层和业务应用层。

(1) 基础层。基础层处于架构的最底层,为区块链提供节点和网络运行所需的数据库存储、文件存储、P2P通信协议以及虚拟化技术。其中数据库存储包括区块链数据存储和区块链数据缓存,区块链数据存储包括关系型数据库和非关系型数据库的存储,区块链数据缓存包括交易数据、块数据、运行数据等的存储。在通信协议方面,区块链平台一般采用分布式的P2P协议进行网络传输,每个节点均可以发布和广播信息。

(2) 区块链核心层。区块链核心层提供区块链整个网络运行和维护的所有功能。包括智能合约、共识机制、密码算法、隐私保护、权限管理和安全通信、区块链运维管理等核心技术。①在智能合约方面,构建安全的智能合约机制,包括注册发布、合约执行以及合约模板的管理。基于多式联运业务,用户根据公铁联运、铁水联运以及不同联运场景制定相应的合约机制,并对智能合约进行发布和部署,同时对部署运行的合约进行实时监控和定期审查,防止合约漏洞造成危害。②在共识机制方面,设计可靠高效共识机制。为了实现更加灵活可靠高效的共识机制,提供可插拔的共识机制,包括分布式一致性共识机制或者基于分片技术的双层共识机制,以适应多式联运跨系统和跨部门各类应用场景,极大提升共识效率。③在密码算法和隐私保护方面,提供安全可靠的密码和隐私保护机制。在密码算法方面,提供支持国密算法的密码算法,支持对第三方可信CA的用户身份认证;在隐私保护方面,提供多种隐私保护技术用于在不同条件下保

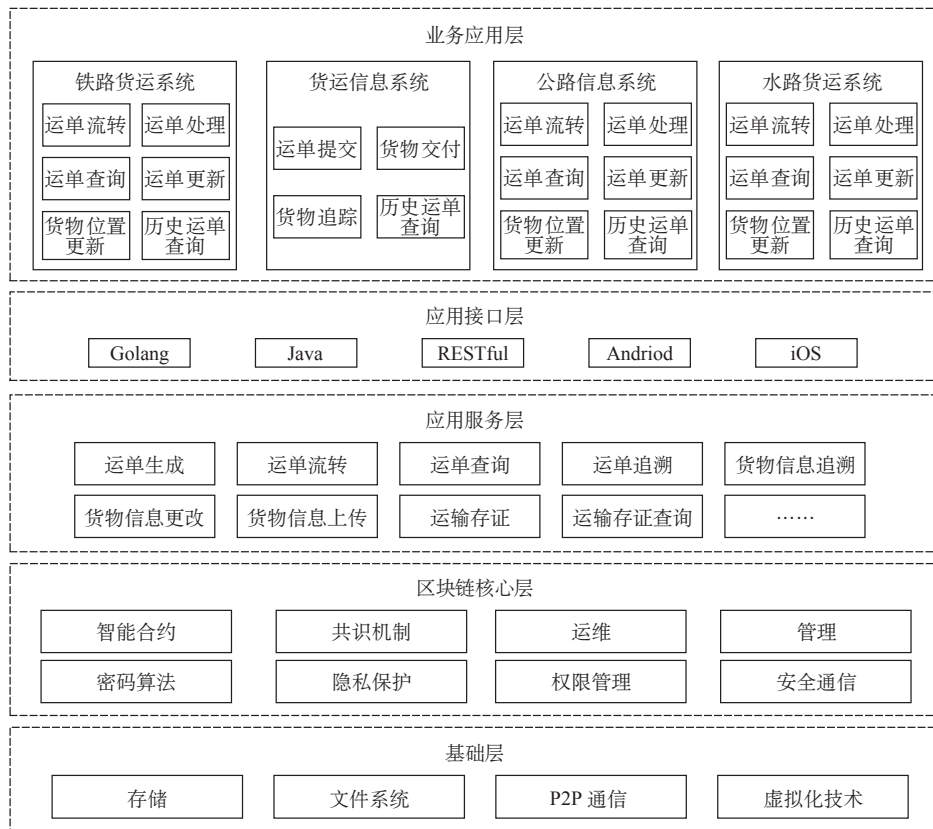


图3 基于区块链技术的多式联运数据交换总体架构图

Fig.3 Overall architecture diagram of multimodal transportation data exchange based on blockchain technology

证隐私安全。主要的隐私技术包括：基于多通道的隐私保护，基于可信存证库的隐私保护，基于密码学的隐私保护工具，如环签名、零知识证明、隐形地址等方式。^④在安全通信方面，为不同需求提供多种 CA 接入方案。提供基于国密算法的密钥认证体系，一方面使网络摆脱 CA 的限制，可以在更小的资源使用情况下达到更高的性能，另一方面，支持多种 CA 接入方案可提高系统的兼容性。同时，为保证区块链网络的传输安全，可设计基于商密算法的安全传输层协议来保障数据的传输安全，在建立安全通信前，发送端和接收端会交换一些必要信息，协商安全通信使用的密码套件，验证对方的身份，对数据进行加密，防止数据被窃取，并验证数据的完整性。为了方便区块链平台的运行和维护，构建的运维管理包括监控区块链运行状态、配置和部署区块链，以及设置预警等；定制权限和用户管理，可采用基于属性证书与区块链相结合的方式，实现基于属性证书的访问控制模型，可灵活配置的访问策略，可适用于多种业务场景。

(3) 应用服务层。应用服务层提供多式联运业务所需的智能合约、隐私保护相关合约以及为业务系统提供的集成接口。在智能合约和隐私保护合约方面，多式联运各方协商一致，利用相关的安全保障和机密技术，制定统一的合约机制，并形成统一可调用的服务或接口。在业务服务方面，结合多式联运业务的特点，分析区块链技术与多式联运主要的业务场景，梳理可以提供业务系统公用的服务，主要包括运单生成、运单流转、货物信息上传更改以及追溯、运输存证等服务。同时，随着公路、铁路以及港口等系统应用需求的需要，应用服务层的服务可进行不断的拓展和增加完善。

(4) 应用接口层和业务应用层。上层业务系统包括多式联运区块链系统、货运信息系统、公路信息系统、港口信息系统。其中多式联运区块链系统包括运单流转、运单处理、运单更新、运单查询、货物位置更新和历史运单查询。铁路货运信息系统、公路信息系统、港口信息系统主要用于采集各个节点相关信息，如铁路货运信息系统把铁路运单信息、货物信息、运单追踪等信息共享到区块链中，联盟链中的其他节点就可以及时查询到权限内

多式联运运单的状态及位置信息等。

2.2 网络架构

在铁水联运、公铁联运场景中，系统的参与方包括收发货人、铁路、公路、港口、水运等角色。系统由 4 个节点组建的区块链网络以及外围业务系统组成。4 个节点分别是铁路节点、公路节点、港口节点和运输交易节点。外围业务系统包括铁路货运系统、公路信息系统、港口信息系统、货运信息系统。上述节点构成基于区块链技术的联盟链。基于区块链技术的多式联运数据交换网络图如图 4 所示。

其中，运输交易节点通过货运信息系统将货物、收货人、发货人、运输方式、目的地等信息上链，完成发货及收货信息采集和业务办理，并通过对网络中各类承运人节点提供的货物运输信息进行归集，为发货人、收货人提供对货物信息的查询、修改等功能。铁路节点将多式联运中相关铁路业务信息，如铁路运单、铁路运输货物信息进行上链实现信息共享，并根据其他目的地为铁路提供的运单信息进行作业安排。公路节点将多式联运中相关公路业务信息，如运单、货物状态、收费信息提交上链，并根据其他目的地提供的运单信息进行作业安排。港口节点将多式联运中相关港口业务信息，如水运运单，水运货物状态、收费信息进行上链实现信息共享，根据其他目的地提供的运单信息进行作业安排。

2.3 典型业务流程设计

2016 年，国家发展和改革委员会《营造良好市场环境推动交通物流融合发展实施方案》中提出推行物流全程“一单制”，交通运输部提出引导企业建立全程“一次委托”、运单“一单到底”、结算“一次收取”的服务方式。按照传统的方式，由于多式联运涉及到铁路、公路、港口，以及承运人、货运代理人等，业务流程交错复杂，尝试在区块链的架构下，以铁水联运为例来说明基于区块链技术的运单数据在系统中的流转过程。基于区块链的多式联运数据交换业务流程图如图 5 所示。

以铁水联运运单为例，发货人填写运单信息，通过运输交易节点生成运单。运单生成后由区块链的隐私保护合约识别运单内容，判断第一程运输为

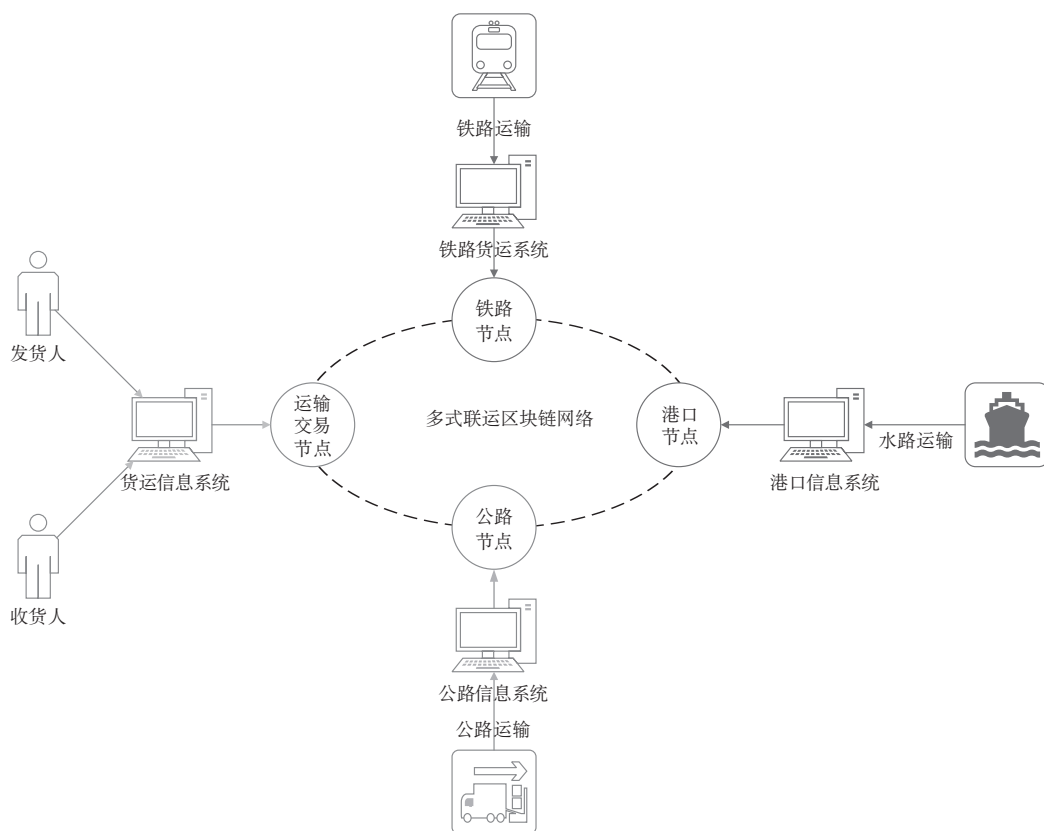


图4 基于区块链技术的多式联运数据交换网络图

Fig.4 Network diagram of multimodal transportation data exchange based on blockchain technology

铁路运输，隐私保护合约将运单分发到铁路节点的账本中。同时，发货人、收货人可全程查看货物运送情况。

铁路货运系统在铁路节点中收到新的运单，确定接收将运单流转至铁路，开始铁路货运作业及运输，并将过程中的运单状态、货物状态等信息通过货运系统更新到铁路节点中。此时隐私保护合约判断运单状态，根据规则将运单信息共享到目的地港口节点，并向运输交易节点更新运单信息。

港口信息系统在港口节点中收到新的运单，根据铁路货运轨迹安排港口作业计划，在货物到达后，确定接收，将运单流转至港口，开始港口货运作业及水路运输，并将过

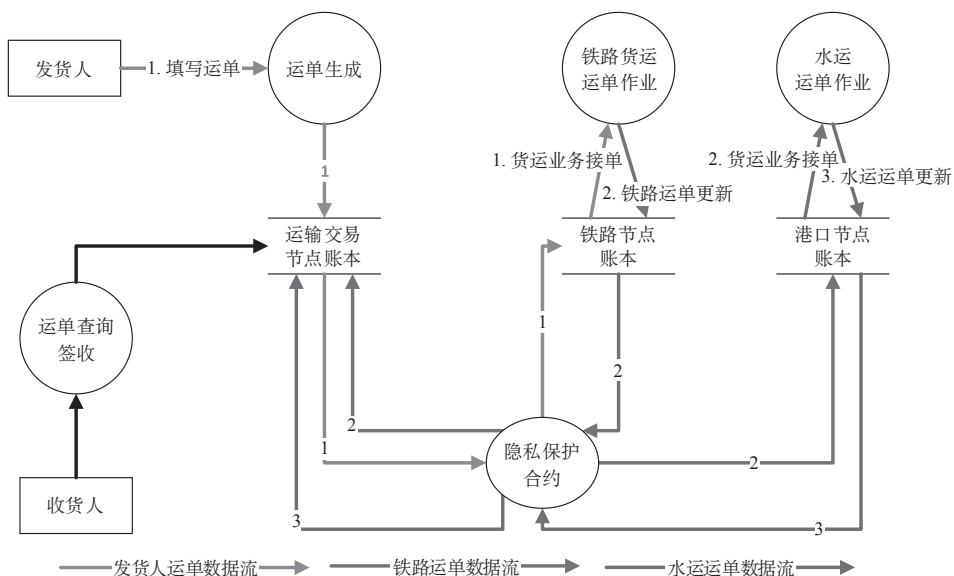


图5 基于区块链的多式联运数据交换业务流程图

Fig.5 Business flow of multimodal transportation data exchange based on blockchain technology

程中的运单状态、货物状态等信息通过货运系统更新到港口节点中。此时隐私保护合约判断运单状态，根据规则将运单信息共享到运输交易节点。

3 结束语

铁路是多式联运的核心运输环节,依托铁路开展多式联运数据交换,实现铁水联运、公铁联运、国际联运信息共享,是多式联运融合发展的重要基础性工作。区块链技术与多式联运数据交换的融合创新应用,可解决传统 EDI 数据交换中的数据中心化、协同性不高以及安全防篡改等问题。随着区块链底层技术的不断发展和成熟,区块链技术将结合大数据、人工智能、云计算及 5G 技术,共同促进多式联运智能化和数字化发展,推进多式联运以及国际联运各主体间的数据共享和高效协同,提升各运输方式之间的作业协同能力,构建全程物流信息链条,为实现多式联运“一单制”奠定基础,从而降低社会整体物流成本,促进节支降耗,提升经济社会综合效益。

参考文献:

- [1] 袁 勇, 王飞跃. 区块链技术发展现状与展望[J]. 自动化学报, 2016, 42(4): 481-494.
YUAN Yong, WANG Feiyue. Blockchain: The State of the Art and Future Trends[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(4): 481-494.
- [2] 沈 鑫, 裴庆祺, 刘雪峰. 区块链技术综述[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 2(11): 11-20.
SHEN Xin, PEI Qingqi, LIU Xuefeng. Survey of Blockchain[J]. Chinese Journal of Network and Information Security, 2016, 2(11): 11-20.
- [3] TSCHORSCH F, SCHEUERMANN B. Bitcoin and Beyond: A Technical Survey on Decentralized Digital Currencies[J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2016, 18(3): 2084-2123.
- [4] 黄俊飞, 刘 杰. 区块链技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2018, 41(2): 1-8.
HUANG Junfei, LIU Jie. Survey on Blockchain Research[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2018, 41(2): 1-8.
- [5] 斯雪明, 徐蜜雪, 苑 超. 区块链安全研究综述[J]. 密码学报, 2018, 5(5): 458-469.
SI Xueming, XU Mixue, YUAN Chao. Survey on Security of Blockchain[J]. Journal of Cryptologic Research, 2018, 5(5): 458-469.
- [6] 朱盛军, 吴 翊, 郝杨杨. 区块链技术在集装箱运输行业中的应用[J]. 集装箱化, 2018(2): 1-3.
ZHU Shengjun, WU Yi, HAO Yangyang. Application of Block Chain Technology in Container Transport Industry[J]. Containerization, 2018(2): 1-3.
- [7] 赵 毅. 区块链背景下马士基的数字化战略与启示[J]. 中国远洋海运, 2018(7): 66-69.
- [8] 王 成, 史天运. 区块链技术综述及铁路应用展望[J]. 中国铁路, 2017(9): 91-98.
WANG Cheng, SHI Tianyun. Technical Review of Blockchain and Prospects of Its Application on Railway[J]. China Railway, 2017(9): 91-98.
- [9] 黄敏珍, 李国华, 林晓蕾, 等. 铁路物流与区块链融合应用研究[J]. 铁路计算机应用, 2020(3): 11-14.
HUANG Minzhen, LI Guohua, LIN Xiaolei, et al. Convergence Application of Railway Logistics and Blockchain[J]. Railway Computer Application, 2020(3): 11-14.
- [10] 周亮瑾, 王富章. 铁路客运私有链共识机制关键技术研究[J]. 铁道运输与经济, 2018, 40(6): 59-63.
ZHOU Liangjin, WANG Fuzhang. A Study on the Key Technologies of the Consensus Mechanism for the Private Chainblock of Railway Passenger Transport[J]. Railway Transport and Economy, 2018, 40(6): 59-63.
- [11] 袁磊磊, 王洪业, 朱建生, 等. 基于区块链技术的铁路餐饮积分链应用研究[J]. 铁路计算机应用, 2020(1): 21-24.
YUAN Leilei, WANG Hongye, ZHU Jiansheng, et al. Application of Railway Catering Credit Integral Chain based on Blockchain Technology[J]. Railway Computer Application, 2020(1): 21-24.

收稿日期: 2020-09-21

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFB1600401); 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(J2019X008)

责任编辑: 张婷钰