

基于区块链的集疏港“共享集卡”车队联盟运营机制

马梦知¹, 高 涵¹, 孙 健²

(1. 大连海事大学交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026;
2. 大连海事大学航海训练与工程实践中心, 辽宁 大连 116026)

[摘要] 针对目前共享集卡车队联盟运营中存在的问题, 构建了基于区块链的“共享集卡”车队联盟运营机制。为消除成员对信息安全的担忧, 将联盟链相关技术应用在集疏港业务流程设计中, 通过 P2P 网络实现信息“点对点”传输, 通过基于节点权限的信息共享机制来保障所有成员的信息安全。为保证联盟中任务与收益分配的公平性, 设计了“共享集卡”车队联盟交易流程, 并将集卡协同调度规则写入智能合约, 设置响应条件触发合约自动执行, 避免成员舞弊行为; 提出基于 Shapley 值法的收益分配策略, 按照任务共享车队与实际执行车队的贡献分配任务收益, 为联盟的长久发展奠定基础。

[关键词] 区块链; 集疏港; 共享集卡; 联盟运营机制; 收益分配; Shapley 值法

[中图分类号] U 169.62

The Operation Mechanism of ‘Shared Container Trucks’ Fleet Alliances for Port Collection and Distribution Based on the Blockchain

MA Mengzhi¹, GAO Han¹, SUN Jian²

(1. College of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;
2. Nautical Training and Engineering Practice Center, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: In response to the problems existing in the current operation of shared container truck fleet alliances, a blockchain-based ‘shared container truck’ fleet alliance operation mechanism is constructed. To address members’ concerns about information security, alliance chain related technologies are applied in the design of the processes of collection and distribution operations at container terminals, enabling information ‘peer-to-peer’ transmission through a P2P network and ensuring information security for all members through a node permission-based information sharing mechanism. To ensure the fairness of task and benefit distribution in the alliance, a ‘shared truck’ fleet alliance transaction process was designed, and the truck scheduling rules were written into the smart contract. Response conditions were set to trigger automatic contract execution, avoiding member cheating behavior. A revenue sharing strategy based on the Shapley value method was proposed, which allocates task revenue according to the contributions of task sharing fleets and actual executing fleets, laying the foundation for the long-term development of the ‘shared truck’ fleet alliance.

Keywords: block chain; port collection and distribution; shared truck; alliance operation mechanism; benefit distribution; Shapley value method

[收稿日期] 2023-08-28

[基金项目] 辽宁省社会科学规划基金重点项目“基于区块链下集卡共享的集疏港通道拥堵治理模式研究”(L20AGL017)

[作者简介] 马梦知 (1981—), 讲师, 主要从事交通运输系统规划与设计方向研究。

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

0 引言

近些年网络货运平台的出现,在一定程度上改变了信息交互方式和运输组织方式,将社会上的一些零散运力和货源进行了有效整合。但是,现行的网络货运平台多只是一种 SaaS 商务模式的应用,平台仅起到信息撮合的作用,往往存在货源审核不到位、信息不对称、难以管控运输质量等问题^[1]。而集装箱集疏港过程中需要办理的手续又比较繁琐,个体司机难以保障服务质量。因此,现阶段探索港口集疏运服务的网络货运平台多是由自带货源型的港口企业控股的物流企业运营,如,山东港口物流集团青岛港国际物流有限公司运营的“集疏运智能调度平台”,厦门港务运输有限公司运营的“港集运网络货运平台”等。这些网络货运平台对场站货运资源、零散社会运力和稳定的货源进行统一调配,可提高车货匹配效率,减少车辆空驶^[2]。有实力的集卡车队或运输公司为了维护企业品牌形象和信誉,保障货物运输安全及服务质量,多数采用的是自营自销的经营模式。且集卡车队或运输公司作为实际承运人,是运输成本的实际承担者,统筹优化调度车辆的积极性更高,他们组成联盟的网络货运平台,能通过统筹车辆调度,进一步节约成本。已有研究证明了“共享集卡”的集疏港集卡调度组织模式可提高集疏运效率^[3],如: Sterzik 等^[4]在集装箱共享理念下,对空箱分配和集卡路径规划问题进行优化,集装箱资源的优化配置显著降低了集疏运成本; Frederik 等^[5]同时考虑了运输成本和碳排放成本,以联盟整体的利润最大化为目标,构建了一个基于图的集卡协同调度规划模型。

与其他行业的战略联盟一样,“共享集卡”车队联盟运营模式的稳定性是成功的关键。美国麦肯锡公司的报告^[6]指出,超过三分之二的战略联盟在头两年遇到严重的合作问题,只有 40% 的联盟能够维持四年以上。良好的信任关系是维持联盟稳定发展的重要因素,当信任程度较高时,成员会更重视合作关系,并且不太可能负面地解释合作伙伴的意外行为^[7]。“共享集卡”车队联盟成员往往有以下几个方面的担忧: 第一,对交易过程中共享信息准确性与安全性的担忧,合作时运输任务的关键信息传达错误或发生泄露都会对企业造成不可挽回的经济损失; 第二,对联盟任务派遣公平性的担忧,若由联盟内某一核心成员或第三方统一管理订单和运输任务分配,不仅增加了交易成本,而且容易出现舞弊的现象; 第三,对联盟中收益分配公平性的担忧,由于联盟中每个成员贡献的订单数量、集卡数量不同,投入的经营成本不同,利润分配时也容易产生纠纷。成员加入联盟的根本目的是实现自身利益的最大化,当联盟利益分配无法达到成员预期时,成员往往选择退出联盟,独自承揽运输任务。因此,如何保证“共享集卡”车队联盟运营过程中信息准确安全地共享,保证联盟中任务与利益公平地分配是提升成员对联盟信任度,促进“共享集卡”车队联盟运营模式稳定长久发展的关键。

区块链作为一种去中心化的分布式共享记账技术,通过去中心化,使得公司和个人之间的交易行为更加高效、透明和可信,可解决各方之间缺乏信任的问题,提高了联盟的运输组织能力和整个供应链的竞争力^[8]。已有学者将区块链技术应用到物流领域的资源共享中。如: 针对用箱人在集装箱共享过程中对信息安全的担忧,刘伟荣等^[9]设计了基于区块链原理的集装箱共享流程,对交易过程中不同的节点设置了不同的信息访问权限,保障了集装箱所有人和用箱人交易过程的数据安全,并在此基础上,使用 CPN Tools 进行仿真实验,进一步证明了基于区块链原理的集装箱共享模式对集装箱运输流程具有明显的优化作用^[10]; 为解决多式联运中货主企业、运输相关企业、货代等多主体间的信息安全问题,尹传忠等^[11]将区块链技术中的私有链相关技术应用在多式联运信息平台之中,只有当平台用户提交符合相关要求的调用信息请求时才能得到指定信息; 为防止汽车共享与租赁过程中承租人个人信息的泄露,避免出租人在交易过程中的舞弊行为, Auer 等^[12]构建了基于物联网与区块链技术的汽车共享与租赁平台,将承租人与出租人之间的协议写入智能合约,设置特定的触发条件自动执行智能合约中协议内容,增强了承租人对租赁平台的信任; 针对联盟中任务分配的公平性, Xia 等^[13]将区块链技术应用到无人机—集卡车队共享平台构建中,通过去中心化结构保证每个参与者平等地访问资源,结果表明该模式可以有效促进联盟中各节点的资源共享,降低车队成本; 针对联盟中收益分配的公平性,孟召薇等^[14]利用合作博弈中的逆向优化解构建利益分配模型,验证了基于区块链的利

益分配机制比传统的分配机制更有利于调动联盟成员合作积极性。

综上,“共享集卡”车队联盟运营模式可以有效降低集卡车队或运输公司的成本,减少空载行驶,进而缓解集疏港通道拥堵问题。但在集卡共享过程中,仍存在着联盟成员对信息安全、联盟任务与利益分配公平性的担忧。本文针对“共享集卡”车队联盟运营模式面临的问题,从区块链思维角度出发构建了集疏港集卡车队联盟运营机制,设计了基于区块链的集疏港业务流程,构建了任务与利益分配机制,对推进集疏港运力资源共享和解决集装箱码头集疏运不畅和港口拥堵问题具有重要意义。

1 基于区块链的“共享集卡”联盟运营模式

1.1 “共享集卡”车队联盟模式下集疏港作业组织

随着内陆集疏运领域对集装箱共享和集卡共享理念的尝试与探索,集装箱资源和运力资源进一步整合,逐渐形成了集装箱共享运输模式与“共享集卡”车队联盟模式。集装箱共享模式即通过海上承运人共享集装箱的方式减少集卡往返于堆场间的距离。在传统集疏港作业模式下,车队1完成进口重箱疏港的运输任务后,还需返回堆场还空箱,再提空箱后才能前往下一个发货人处装箱,集卡行驶路线为: $a_1 \rightarrow a_2 \rightarrow a_3 \rightarrow a_4$,如图1a所示。当集装箱共享后,集卡可直接前往出口重箱集港任务发货人处,集卡的运输路径简化为: $a'_1 \rightarrow a'_2 \rightarrow a'_3$,如图1b所示。“共享集卡”联盟模式在集装箱资源共享基础上,进一步推进集卡共享,原本车队1与车队2独立运输下的2条运输线路 $a'_8 \rightarrow a'_9 \rightarrow a'_{10}$ 和 $b'_8 \rightarrow b'_9$,可整合为1条运输线路 $a''_5 \rightarrow a''_6 \rightarrow a''_7$,如图1c所示。从图1可以看出:当海上承运人共享集装箱资源,联盟车队间共享运力资源与订单后,集卡完成所承揽集疏港任务的运输路径缩短,并且集卡空载行程大大减少。“共享集卡”车队联盟实现了拥有不同优势资源的集卡车队的资源共享,提高了运力利用效率,降低了运营成本。

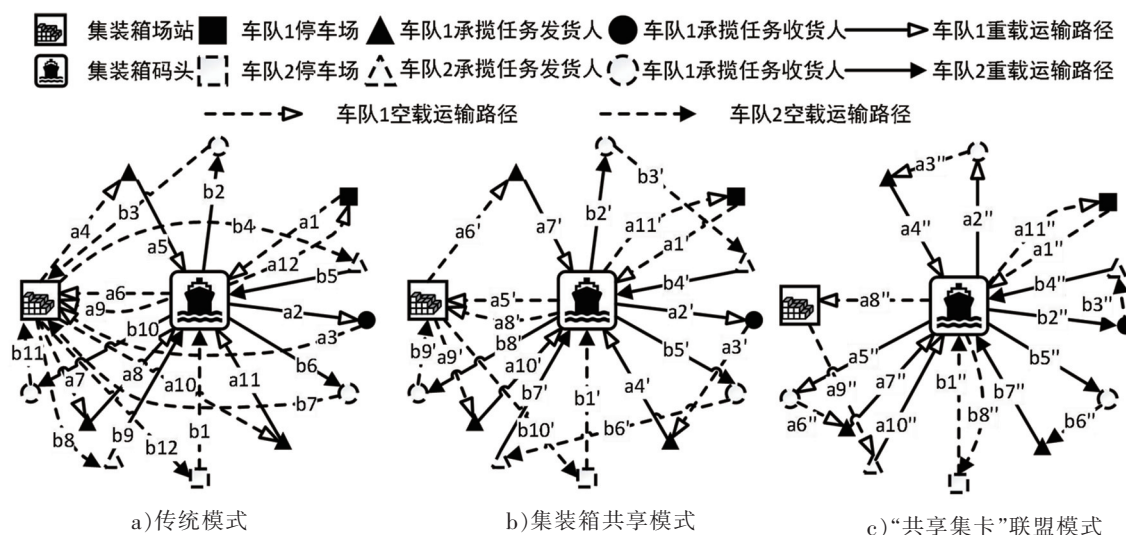


图1 集卡车队运营模式

Fig.1 Operation modes of truck fleet

1.2 “共享集卡”车队联盟的区块链形式

“共享集卡”车队联盟运营模式是集装箱、集卡运力与运输任务的三重共享,因而确保共享信息的安全性和私密性至关重要。区块链技术具有分布式存储、数据难以篡改等特点,可为打破联盟内成员信任壁垒,保证共享信息安全提供有效方案。区块链根据网络范围可划分为公有链、私有链与联盟链。从图1c集卡执行共享任务的流程中可以发现,“共享集卡”车队联盟的本质是由集疏港作业所有参与者形成的广义联盟,是服务于集疏运体系的特定联盟。公有链是面向所有节点开放的,加入公

有链不需要身份验证,去中心化程度最高,但也意味着联盟成员的信息安全难以得到保障。私有链只针对特定的企业内部开放,可以最大程度地保障节点的信息安全,但私有链中读写权限仅被少数节点控制,无法从根本上解决成员间舞弊的问题。联盟链具有半开放的网络,只有经过认证的可信节点才能加入、退出网络,可以避免在合作过程中成员为了自身利益采取不诚信行为,比如伪造自身资质,也可以规避成员退出联盟对当前集卡调度方案及待履行货运合同的影响。联盟中所有集卡车队的运输任务共同组成任务池,在集装箱的共享与运输中,各个节点角色不同,获取的数据与权限也有所区别^[9]。货主对于运输过程中的信息,如集卡运输路径、实际承揽车队等,应具有知情权,但不具备上传的权利;海上承运人仅对集装箱位置、使用状态具有读写的权利,而托运人、收货人的基本信息应对其保密。联盟链中可针对不同节点设置不同的发布与访问权限,保证运输过程中信息共享的私密性。因此,“共享集卡”车队联盟运营中应采取联盟链的形式。

1.3 基于区块链的集疏港业务流程

基于区块链的“共享集卡”车队联盟通过 P2P 网络实现信息无纸化点对点传输,采用非对称加密算法和基于权限的信息共享机制来保证集疏港作业涉及的所有节点的数据安全。以出口重箱集港任务为例(见图 1),联盟根据当日集卡共享与协同调度计划将一项出口重箱集港任务分配给车队,车队在收到任务信息后派遣集卡前往堆场进行取箱,堆场对实际到达集卡信息、集装箱当前状态进行确认,将取箱结果反馈至货主、海上承运人、集卡车队。集卡在货主处装箱完成后前往集装箱码头进行集港作业。码头每小时更新当前拥堵情况、预计等待时间等信息,集卡车队可根据码头反馈信息合理调整集疏运计划,从而达到缓解集疏港通道拥堵的目的。



图 2 基于区块链的重箱出口任务作业流程
Fig.2 Task workflow for export containers based on blockchain

2 集卡协同调度与任务分配机制构建

2.1 基于区块链的“共享集卡”车队联盟交易流程

本文设计了基于区块链的“共享集卡”车队联盟交易流程,如图 3 所示。具体如下:

1) 身份认证。成员加入联盟时,需向联盟链发起身份认证请求,联盟链上的节点根据成员提交的数字签名与身份信息,验证签名的合法性、查询联盟链上的注册信息进行身份认证。

2) 交易匹配。将集卡运力共享与协同调度模型写入区块链合约层,通过智能合约生成调度方案,包括承运车队、集卡位置、集装箱编号、预计送取货时间等。

3) 协议建立。将匹配信息发送至所有交易方,交易方就托运价格、支付方式、货损理赔方式达成协议,进行公钥签名。将交易订单广播至其他联盟成员进行交易认证,联盟中成员通过共识机制完成节点网络对交易的验证和确认。

4) 交易执行。集卡根据协同调度方案执行进出口集疏港运输任务。交易执行期间集装箱的使用权限由所有人交予实际承揽车队。

5) 确认交易结果。交易结束后,实际承运车队将集装箱状态信息、实际承运情况通过 P2P 网络进行广播,由堆场、海上承运人、货主进行审核,此外,实际承运车队还需上传集卡状态信息,等待下一次运输任务。

6) 结算。核算运输协议数据、转账结算,并分布式存储本次交易信息。

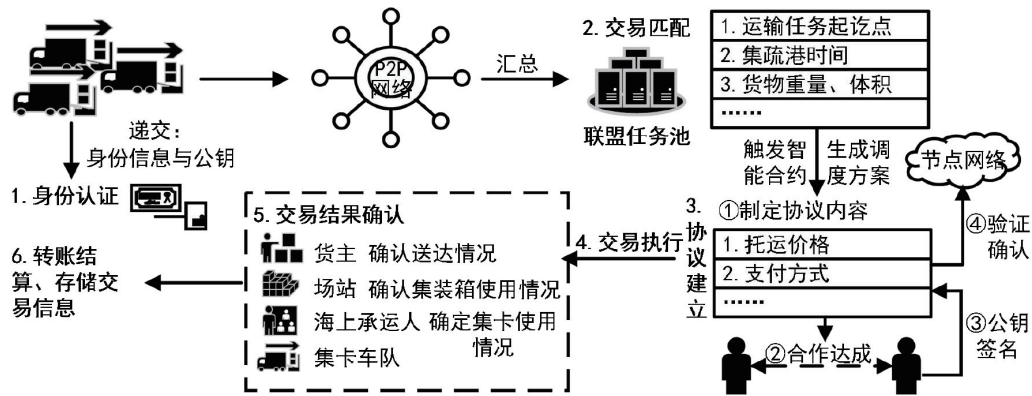


图3 基于区块链的“共享集卡”车队联盟交易流程

Fig.3 The transaction process of "shared trucks" fleet alliance based on blockchain

2.2 集卡共享与协同调度智能合约设计

集卡共享与协同调度任务分配机制是“共享集卡”车队联盟运营模式的核心，而智能合约则是落实这一机制的关键技术。智能合约是一种以信息化方式传播、验证或执行合同的计算机协议，可以减少交易双方对受信任的中间人的需求，降低执行成本，避免欺诈行为和意外损失^[15]。集卡运力共享与协同调度问题可转化为一个带时间窗的多旅行商问题^[16]，通过运筹学方法构建数学模型，将模型约束以程序形式写入智能合约调度规则，如图4所示。调度过程中，集卡车队将实时接受的运输任务广播至联盟内部，汇总至联盟任务池中，以天为单位触发智能合约，根据集卡、集装箱位置、使用状态等生成集卡共享与协同调度次日计划反馈至交易各方。相较于传统合约，智能合约自动执行，且生成的调度方案具有不可篡改、可溯源等特点，保证了联盟内各成员的利益，维持了联盟的稳定性。

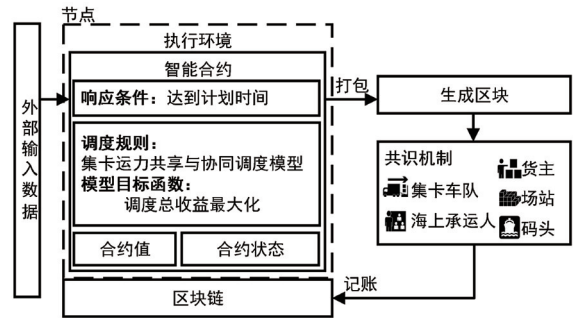


图4 集卡共享与协同调度智能合约设计

Fig.4 Design of the smart contract for shared trucks and collaborative scheduling

3 集卡共享与协同调度利益分配机制构建

3.1 基于 Shapley 值法的收益分配策略

Shapley 值法根据各成员对联盟总目标的贡献进行收益分配，可以避免分配上的平均主义，且分配过程更加简单细致，适用于“共享集卡”车队联盟的运营模式。“共享集卡”车队联盟中设有联盟管理层，由联盟中集卡车队委派代表组成，其主要职能包括制定共识机制、管理节点权限、平台日常维护等，联盟中每笔交易的达成应支付一定手续费，用于联盟管理层的运作。如图5所示，“共享集卡”车队联盟运营模式下完成任务*i*的成本由四部分组成：1) 实际承揽车队在运输过程中的燃料成本；2) 固定成本，包括车队雇佣集卡司机的成本和车辆的折旧成本；3) 支付货主一定返利；4) 支付交易手续费。

设实际承揽车队为 r_1 ，共享任务车队为 r_2 ，任务 i 共享前产生全部收益为 p_i ，共享后产生全部收益为 p_{i1} ，则共享后车队 r_1 与车队 r_2 获得的分配收益 φ_{ir_1} 、 φ_{ir_2} 的计算式为：

$$\varphi_{ir} = \sum_{s \in s_r} w(|s|)(v_{is} - v_{is \setminus |r|}), w(|s|) = \frac{(n - |s|)! (|s| - 1)!}{n!} \quad (1)$$

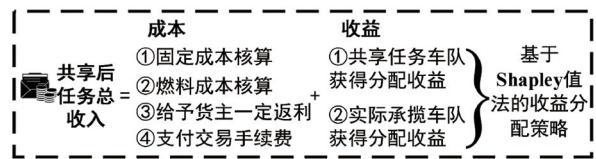


图5 共享后每单任务的收入构成

Fig.5 Revenue composition for each task after sharing

其中: S_r 表示包含车队 r 的所有联盟子集的集合; $w(|s|)$ 表示联盟子集 s 的加权因子; v_{is} 表示联盟子集 s 在这种合作方式中执行任务 i 获得的总收益; n 表示执行任务 i 涉及的车队个数; $|s|$ 表示联盟子集 s 中参与的车队个数。当由车队 r_1 负责任务 i 的实际运输时, 任务 i 的执行涉及到车队 r_1 和车队 r_2 两个主体的合作, 即 $n = 2$ 。根据公式 (1) 可得, 共享运输任务 i 后, 车队 r_1 获得的分配收益为 $\varphi_{ir_1} = (p_{i1} - p_i)/2$, 车队 r_2 获得的分配收益为 $\varphi_{ir_2} = (p_i + p_{i1})/2$ 。

3.2 算例分析

设“共享集卡”联盟运营模式中有两支集卡车队, 分别为车队 r_1 和车队 r_2 , 停车场坐标分别为 (40.14, 42.56) 与 (32.78, 28.65), 港口与堆场的坐标分别为 (20.9, 58.14) 与 (17.12, 56.21)。在传统集疏港集卡车队运营模式与集装箱共享模式中, 车队承揽的各项任务收入, 收(发)货人坐标如表 1 所示, 其中 I_1 与 I_2 分别表示车队 r_1 和车队 r_2 承揽的进口重箱疏港任务, E_1 与 E_2 分别表示车队 r_1 和车队 r_2 承揽的出口重箱集港任务。“共享集卡”联盟运营模式中, 车队 r_2 将任务共享给车队 r_1 实际执行, 三种模式下车队 r_1 和车队 r_2 的集卡运输路线如表 2 所示。设集卡每天的固定成本为 200 元, 燃料成本为 5 元/km, 每单支付货主返利与交易手续费共计任务收入的 5%。三种模式下集卡总运输里程与车队获得收益如表 3 所示, 可以看出, 相较于传统集疏港集卡车队运营模式与集装箱共享模式, “共享集卡”联盟运营模式中集卡总运输里程分别下降了 42.19% 与 31.06%, 总收益分别提升了 62.44% 与 32.37%, 说明基于 Shapley 值法的分配方案保证了每个车队都能从联盟中获益。

表 1 车队承揽运输任务信息

Tab. 1 The information of fleets' transportation tasks

车队	任务编号	收(发)货人坐标	任务收入/元
r_1	I_1	(25.48, 26.29)	910
	E_1	(38.12, 55.25)	610
r_2	I_2	(42.60, 32.14)	980
	E_2	(16.48, 31.45)	770

表 2 三种集卡车队运营模式下集卡运输路线

Tab. 2 The travel routes of trucks in three types of truck fleet operation modes

车队运营模式	车队编号	运输路线
传统模式	车队 r_1	车队 r_1 停车场→港口→ I_1 收货人→堆场→ E_1 发货人→港口→车队 r_1 停车场
	车队 r_2	车队 r_2 停车场→港口→ I_2 收货人→堆场→ E_2 发货人→港口→车队 r_2 停车场
集装箱共享模式	车队 r_1	车队 r_1 停车场→港口→ I_1 收货人→ E_1 发货人→港口→车队 r_1 停车场
	车队 r_2	车队 r_2 停车场→港口→ I_2 收货人→ E_2 发货人→港口→车队 r_2 停车场
“共享集卡”车队联盟	车队 r_1	车队 r_1 停车场→港口→ I_2 收货人→ E_1 发货人→港口→ I_1 收货人→ E_2 发货人→港口→车队 r_1 停车场

表 3 三种集卡车队运营模式下集卡运输里程与车队收益

Tab. 3 Truck travel mileage and fleet revenue in three types of truck fleet operation modes

项目	传统模式			集装箱共享模式			“共享集卡”车队联盟		
	车队 r_1	车队 r_2	合计	车队 r_1	车队 r_2	合计	车队 r_1	车队 r_2	合计
里程/km	151.25	184.33	335.58	130.76	150.64	281.40	194.00	—	194.00
收益/元	563.75	628.35	1192.10	666.20	796.80	1463.00	916.86	1019.64	1936.50

4 结语

“共享集卡”可以帮助集卡车队全面掌握运输需求, 选择合适的集疏港时间, 更有效地调度集

卡,减少空载行驶,从而解决集疏港通道拥堵问题。然而,集疏港集卡联盟运营机制的构建中也存在一定问题。联盟链去中心化程度弱,联盟的主导权仍然掌握在拥有资源较多的少数集卡车队手中,部分节点只有读取权限没有写入权限。在未来集疏港集卡车队联盟运营机制的构建中,可以考虑将物联网、云计算技术与区块链相结合,使集卡运输过程更加智能化,如在集卡运输过程中根据道路拥堵情况对执行运输任务的集卡行驶路径进行调整,通过对集卡到港时间的预测合理调整集疏港预约时间等,进一步推进港口绿色发展。

[参考文献]

- [1] 许洁.拖欠司机运费等问题待解 网络货运平台如何破局 [N]. 证券日报,2022-09-20(B02).
- [2] 刘波.网络货运对集装箱集疏港业务的助力发展以及影响 [J]. 中国储运,2022(5):124-125.
- [3] 曾庆成,于婷.基于码头集卡共享的运输任务分配优化模型 [J]. 上海海事大学学报,2020,41(1):64-70,79.
- [4] STERZIK S,KOPFER H,YUN W Y. Reducing hinterland transportation costs through container sharing [J]. Flexible Services and Manufacturing Journal,2015,27(2/3):382-402.
- [5] SCHULTE F,LALLA-RUIZ E,GONZÁLEZ-RAMÍREZ R G,et al. Reducing port-related empty truck emissions:a mathematical approach for truck appointments with collaboration [J]. Transportation Research Part E:Logistics and Transportation Review,2017,105(9):195-212.
- [6] WAHEED Z. Supply chain performance:collaboration,alignment and coordination [J]. Facilities,2012,30(3/4):177-178.
- [7] NOORDERHAVEN N G. Handbook of qualitative research methods for international business [M]. Cheltenham, U. K. , & Northampton:Edward Elgar,2024:84-104.
- [8] IRANNEZHAD E. Is blockchain a solution for logistics and freight transportation problems? [J]. Transportation Research Procedia,2019,48(5):290-306.
- [9] 刘伟荣,真虹. 基于区块链的集装箱共享模式研究 [J]. 中国流通经济,2018,32(5):34-44.
- [10] 刘伟荣,真虹. 基于区块链原理的集装箱共享模式下集装箱运输流程建模与仿真 [J]. 计算机应用,2019(7):2141-2147.
- [11] 尹传忠,谢毅峰,武中凯,等. 基于区块链技术的多式联运信息平台构建 [J]. 铁道运输与经济,2020(8):33-38.
- [12] AUER S,NAGLER S,MAZUMDAR S,et al. Towards blockchain-IoT based shared mobility:car-sharing and leasing as a case study[J]. Journal of Network and Computer Applications,2022,200(4):103316.
- [13] XIA Y,ZENG W J,XING X J,et al. Joint optimisation of drone routing and battery wear for sustainable supply chain development;a mixed-integer programming model based on blockchain-enabled fleet sharing[J]. Annals of Operations Research,2021,327(1):89-127.
- [14] 孟召薇,王晓光. 基于区块链的航运联盟运力共享利益分配机制研究 [J]. 计算机应用研究,2021,38(6):1631-1636.
- [15] 文斌,王旭泽,刘少杰. 大数据共享与交易:区块链数据服务方法 [M]. 北京:科学出版社,2023:37.
- [16] CARIS A,JANSSENS G K. A local search heuristic for the pre and end-haulage of intermodal container terminals[J]. Computers & Operations Research,2009,36(10):2763-2772.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 周云龙)