

基于 Petri 网的公铁联运信息共享流程分析

向双玲,王 英

(北京交通大学,北京 100044)

摘 要:公铁联运过程涉及的主体众多,信息流动过程繁杂。原有的信息交互流程已不能很好地满足当前公铁联运的发展需求。为此将从流程化角度入手,探讨基于信息平台的新公铁联运信息交互流程,确定联运过程中何时需要相关参与者之间交换最有益且最具成本效益的信息属性。然后,利用着色 Petri 网对主要信息交互过程进行分层建模,揭示不同运输主体之间的信息共享的协同点。并以零散白货运输为例,进一步探索联运中所共享信息属性的经济效益。通过实例仿真验证加入新信息属性的联运信息共享流程具有便于零散白货清点整理工作的开展和货物运输状态的及时更新的经济效益。同时,也有助于提高同一时间内不同运输主体活动的高效性和协同性以及运力资源的利用率,缩短了整个联运的作业时间。

关键词:公铁联运流程;着色 Petri 网;信息共享;分层建模;经济效益

中图分类号:TP391.99

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)05-0162-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.05.028

Analysis of Information Sharing Process of Road-rail Intermodal Transport Based on Petri Net

XIANG Shuang-ling, WANG Ying

(Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: There are many subjects involved in the process of road-rail intermodal transport, which leads to complicated information flow process. And the original information exchange has not been able to meet the current development needs of rail-road intermodal transport. Therefore, from the perspective of process, new information interaction process of road-rail intermodal transport based on information platform will be discussed, determining when it is necessary to exchange the most beneficial and cost-effective information attributes among relevant participants in the intermodal transport process. Then, the colored Petri net is used to model the main information interaction process, revealing the collaborative points of information sharing among different transportation sponsors. And taking the high-value scattered freight transportation as an example, the economic performance of shared information attributes in intermodal transport process are further explored. Through the example simulation, it is verified that the information sharing process with new information attributes has the economic benefits of carrying out the inventory and sorting of high-value scattered freight and updating the transportation status of goods in time. Meanwhile, it also helps to improve the efficiency and coordination of different transport activities and the utilization rate of transport capacity resources, as well as shorten the operation time of the whole intermodal transportation.

Key words: road-rail intermodal transport process; colored Petri net; information sharing; layered modeling; economic performance

0 引言

公铁联运是一种将公路和铁路有机结合,充分发挥各自优势的运输方式。它不仅对城市吸引力和服务的灵活性方面有着重大的影响,而且有利于减少运输的碳足迹^[1]。随着全球能源紧张和城市交通拥挤等问题的加剧,公铁联运受到了政府部门的高度重视和学

者的广泛关注^[2]。

当前已有不少文献从多角度对国内公铁联运进行了探索。例如,文献[3-6]分别从运输方式、公铁联运网络、资源优化方面来尝试解决公铁联运运输效率低下的问题;文献[7-11]探索了公铁联运的实行政策以及运输过程中的相关技术设备;文献[12-13]探讨了

收稿日期:2020-06-17

修回日期:2020-10-20

基金项目:中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划课题(K2019S011);国家自然科学基金项目(71502010)

作者简介:向双玲(1995-),女(土家族),硕士,研究方向为信息系统工程;王 英,博士,副教授,研究方向为信息工程管理、信息系统与企业信息化理论与应用。

公铁联运信息共享平台的整体框架结构。但是,公铁联运信息交互过程涉及到多个参与方之间的业务活动,信息繁多复杂,明确不同主体之间需要共享的主要信息流以及通过信息共享如何实现不同运输部门之间作业的高效协同等问题有待于进一步研究。

该文将以零散白货的公铁联运过程为例,探讨基于信息平台的新信息交互流程。并基于分层着色 Petri 网可简化模型结构^[14-16]的优点,从流程的角度对主要信息交互过程进行建模仿真分析,探索新信息交互流程能否更好地适应货物的运输需求以及还存在哪些有待解决的问题。

1 分层着色 Petri 网的理论及应用

着色 Petri 网是一种用于建模和模拟业务流程的成熟语言^[17],在其中加入层次化概念便形成了分层着色 Petri 网,可对大规模的复杂模型进行模块化建模。分层着色 Petri 网是一个 4 元组 $HCPN = (S, SM, PS, FS)$ ^[18],其中:

(1) S 是一个有限模型的集合,每个模型都是着色 Petri 网模型, $S = ((P^s, T^s, A^s, \Sigma^s, V^s, G^s, E^s, F^s), T_{sub}^s, P_{port}^s, PT^s)$, 满足 $(P^{s1} \cup T^{s1}) \cap (P^{s2} \cup T^{s2}) = \emptyset$, 所有 $s_1, s_2 \in S$ 且 $s_1 \neq s_2$ 。

(2) $SM: T_{sub} \rightarrow S$ 是一个子模型函数,为每个代替变迁分配一个子模型。模型层要满足恶循环的有向图。

(3) PS 是一个接口套接字相关函数 (port - socket relation function), 为每个代替变迁 t 分配一个接口套接字相关 $PS(t) \subseteq P_{sock}(t) \times P_{port}^{SM(t)}$ 。满足: $ST(p) = PT(p'), I(p) \langle \rangle = I(p') \langle \rangle$ 且 $(p, p') \in PS(p)$, $t \in T_{sub}$ 。

(4) $FS \subseteq 2^P$ 是一个非空融合集合,且 $C(p) = C(p'), I(p) \langle \rangle = I(p') \langle \rangle$, $p, p' \in fs \in FS$ 。

目前,着色 Petri 网已经应用到多种研究领域。文献^[19-20]中分别利用 CPN 对复杂系统进行建模仿真,通过 CPN Tools 快速找出系统设计中的不足之处。因此,该文借助 CPN Tools 工具从流程的角度对公铁联运中的不同作业活动进行分层建模,将原本庞大复杂的模型层次化、简单化。同时,能够更清晰地显示出不同作业阶段中的信息交互过程。

2 公铁联运中的主要信息交互过程

整个公铁联运流程中的主要参与者包括生产厂家、客户、货运代理、公路运输企业和铁路局等。各参与方之间进行信息交互流动,构成一个离散动态的过程。在联运过程中,不同运输行业之间传统的交互方式是通过微信、传真、邮件等进行有关计划类信息和货

源信息的交互。但是,现有的信息交互是远远不够的,需要探索新的信息交互流程来支撑当前联运的迅速发展。

目前各省市均有物流配货平台,物流平台集中管理着各区域范围内的车辆,可随时查看司机及车辆位置信息;可根据货源信息对车辆进行智能配货,并实时追踪货物。

该文基于铁路局主要与社会第三方物流企业合作的现状,将通过打通物流平台与相应铁路信息系统之间的接口来探索公路与铁路行业之间所需要的更具经济效益的信息属性,根据相关调研需要诸如货物状态,列车确报信息以及货车信息等。将进一步探索联运中需要在何时共享这些信息,并据此建立新的信息共享流程。

基于信息平台的新公铁联运信息共享流程有以下几个阶段:

(1) 业务办理阶段:资源型企业向货运代理提出托运申请;货运代理通过相关信息平台分别同铁路部门和公路部门商定货物运输事宜,获取运力资源等信息并预先垫付运费。

(2) 不同参与者之间信息共享阶段:物流平台根据货运信息以及铁路计划类信息查找距离货源较近的可用车源,以此制定车辆调度计划并联系相关公路运输企业调配车辆。同时,平台可根据车站作业信息及统计分析信息制定车辆出行时间计划;其次,铁路部门可获知运输计划内货物的位置状态信息以及相关货车及司机信息,可提前安排货车卸货位置并做好卸载前的准备工作。铁路相关人员整理货物运输需求,将有“站到门”服务需求的货物清单及相关的列车到达确报和位置信息通过铁路信息平台传输给物流平台,便于公路部门工作人员及时获取货源相关信息,查看车站周边的车辆情况,为相关货源提前做好好装载货车。

(3) 货物追踪阶段:当确认运费到账后,接受任务的货车上门取货,生成相关货物的电子货单,方便货物位置追踪信息的获取;然后,货车司机根据安排在指定时间内将货物送至车站。货车进场后在指定位置卸货,铁路工作人员通过扫描货物二维码可及时更新货物状态信息,并对货物进行分类整理;随后按照铁路列车调度计划装车编组进行铁路运输。当货物到达铁路终点站后卸载到货场等待配送。同时,由物流平台指派接货的车辆提前开往车站,到指定货场排队等待接货。货车接货后进行末端公路班线运输,平台将取货通知发送给收货方;货物签收后,由货车司机将签收单收回,交至相关公路运输部门。在货物全程运输过程中,货运代理可通过物流平台和铁路相关信息平台获知货物运输状态信息。

3 基于着色 Petri 网的公铁联运信息共享模型

在大宗物资运输需求持续下滑,零散白货运输需求迅速增长的趋势下,探讨更加灵活的公铁联运信息交互流程将有助于提高铁路零散货物运输的市场竞争力和快运业务的服务质量。该文通过对国铁集团相关路局公铁联运的实际调研,以正在运营的辽宁开原站货场为例,利用着色 Petri 网从流程的角度来描述不同主体间基于信息平台的信息交互流程,探索该信息交互流程能否更好地支撑公铁联运中的零散白货的运输需求。该文主要研究公路与铁路间的信息对接和货物

状态追踪这两个阶段。

3.1 顶层模型

顶层模型描述了运输部门与货物之间的信息传递关系,如图 1 所示。变迁 transportation department(运输部门)和变迁 freight tracking(货物追踪)之间通过库所 loading plan(编组装载计划)、e-document(配载单)、vehicles(货车信息)、lot information(货场信息)来进行信息的传递交互。库所 loading plan、e-document 和 vehicles 根据 transportation department 的指令改变货物的运输状态,而货物的状态随着仿真时间的推移将会持续更新。

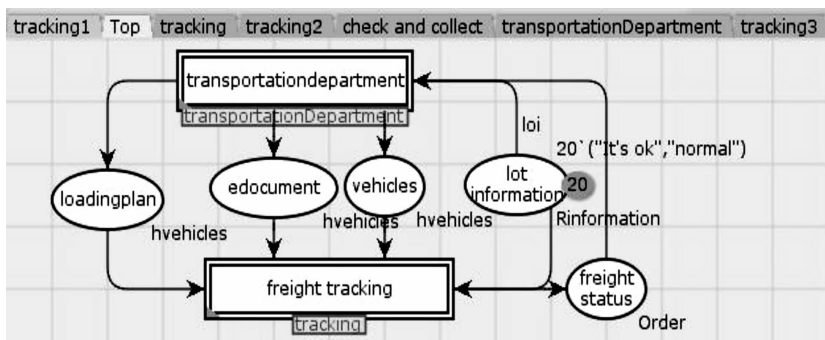


图 1 顶层模型

3.2 不同运输行业之间对接信息模型

该文在如图 2 所示的 transportation department 子

页面上描述了公路与铁路间进行信息交互并进行相应计划决策的过程。

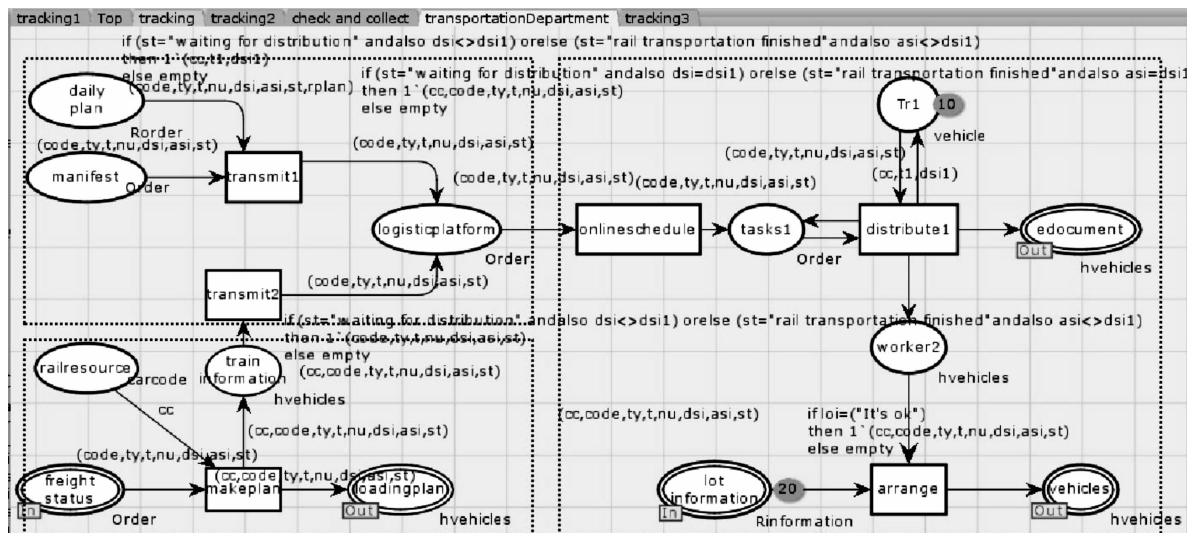


图 2 不同运输行业之间对接信息模型

该模型中的流程主要分为三部分:公路与铁路部门对接信息、铁路部门制定货物调度计划和货车配载计划。物流平台与铁路相关信息系统对接铁路计划类信息、列车开行到达及货物动态信息及车站作业统计信息,平台根据货物发货和收货地址线上调度运力资源,并生成配载单;随后,根据车站作业计划安排货车出行。分别定义货车运力资源的属性为 vehicles,列车运力资源的属性为 carcode,列车及货物信息、装车计划、配载单和货车信息的属性为 hvehicles,货物信息的

属性为 Order,车站信息的属性为 Rinformation。

3.3 货物追踪模型

该文在 tracking 子页面上建立货物追踪模型,如图 3 所示。整个货物追踪模型中又包含三个主要阶段:货物“门到站”追踪阶段(tracking1)、货物中转及铁路运输阶段(tracking2)和货车末端配送追踪阶段(tracking3)。货物状态随着库所(vehicles、edocument、lot information、loading plan)的信息流的变化不断进行更新。首先是货车信息流流向变迁 tracking1,触发货

物开始运输到铁路车站;然后代替变迁 tracking2、tracking3 由到站货物 (freight) 信息流和运输工具

(vehicles) 信息流的变化做出相应的更新;随着货物在不同阶段的运输流动,货物状态得到相应的更新。

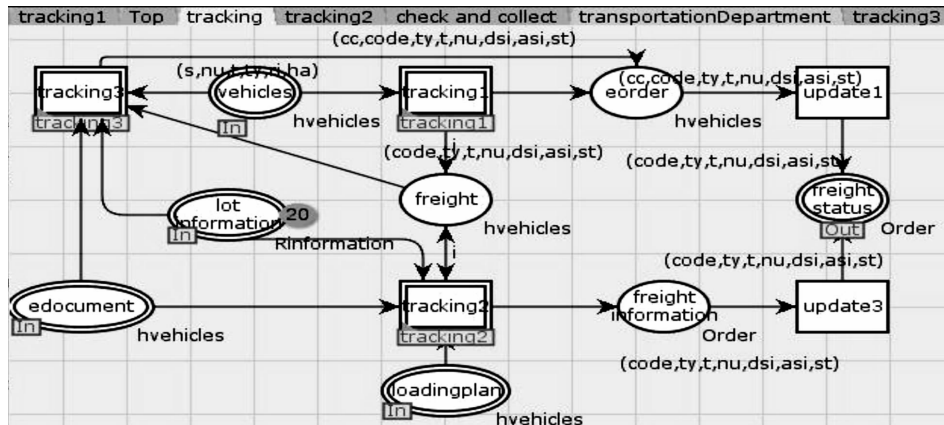


图3 货物追踪模型

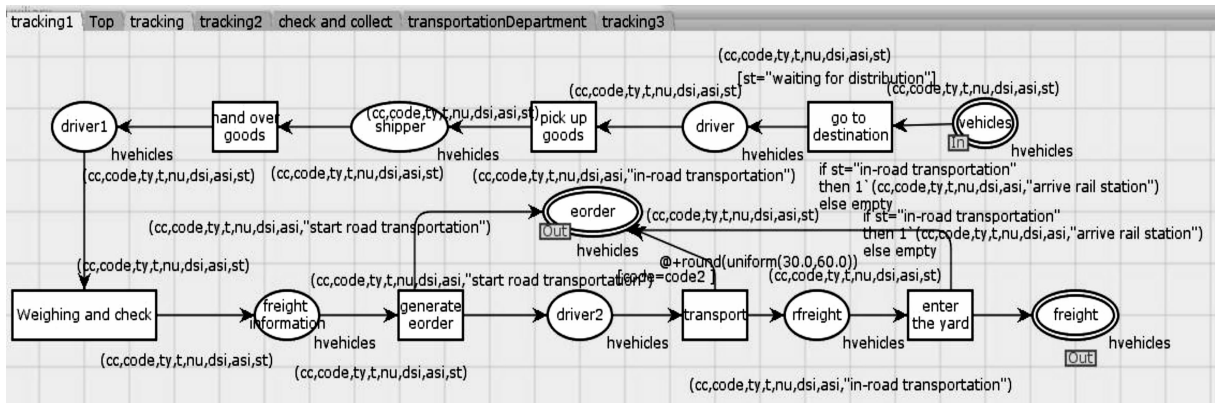


图4 货物中转及铁路运输追踪模型

如图4所示,货物“门到站”追踪模型描述了货车司机上门取货到进入铁路货场信息流的变化过程。该文通过电子运单 (eorder) 来追踪货物公路班线运输的位置状态信息。货物到达货场后,通过接口库所

freight (货物) 来储存当前信息流,并通过该接口输出信息流。

为了提高零散货物的中装效率,该文探讨了基于信息交互的货物核对并装载的作业流程,如图5所示。

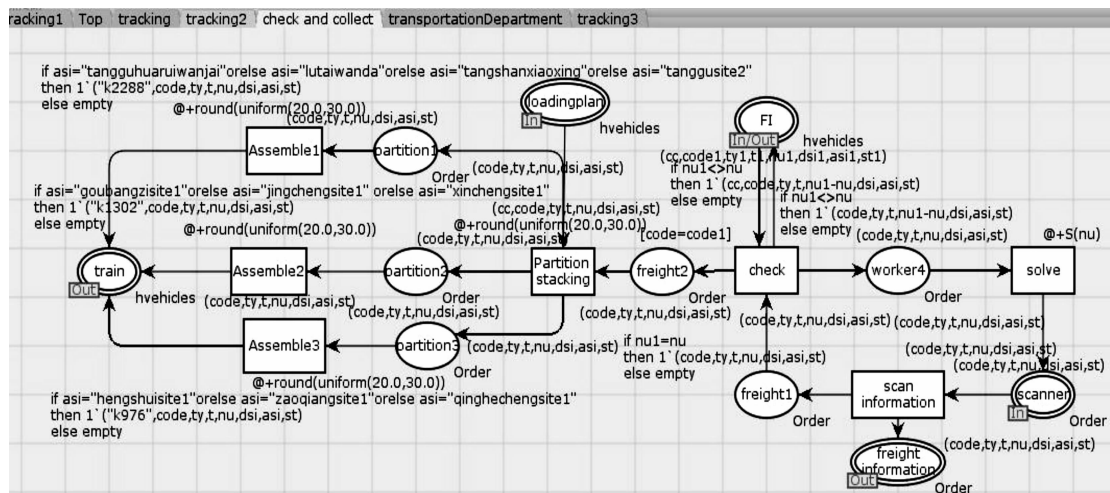


图5 货物清点整理模型

铁路部门从物流平台共享的货车配载信息中获取相应货车的货物配载统计信息 (FI),在录入货物信息 (freight information) 的过程中逐一与货物统计信息核对 (check)。若发现货物数量缺失,工作人员

(worker4) 需立即联系相应货车司机查看是否漏卸。同时,在核对货物的过程中根据货物信息和装车计划 (loading plan) 将货物 (freight2) 分类堆放 (partition stacking),该文根据货物到站信息划分为三个分区

(partition1、2、3);然后,根据列车开行计划将货物装载到相应列车(train)上。

4 基于实例的模型仿真分析

通过调研以正在运营的辽宁开原站货场为例来进行零散白货的运输作业。塘沽某家大型超市从开原的某两家生产厂家分别订购矿泉水、烟酒等商品;同时,该烟酒生产公司还向唐山某超市出售烟酒产品。芦台

某公司从开原的某生产厂家订购了一批机械零件。将上述订单信息变为信息流代入上述公铁联运信息交互模型中进行仿真,分析在不同的情况下所共享的信息流的经济效益。

该文将基于不同情况来讨论新的公铁联运作业流程中新信息流共享的经济效益的仿真结果。

(1) 正常情况下的新公铁联运信息交互流程仿真分析。

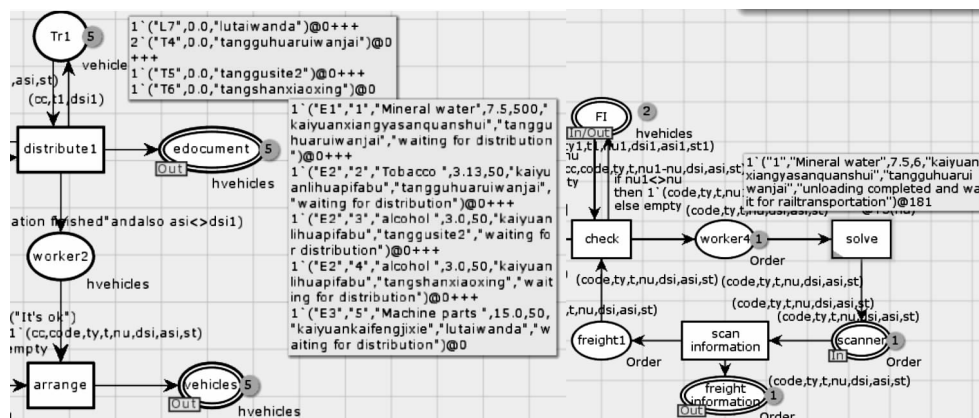


图6 平台线上调度仿真界面图

从图6所示的仿真结果可看出,货车号为E1的货车接取订单号为1的货物,而E2号货车的配载货物有2、3、4号货物,E3号货物配送5号货物。货车根据配载单送货到货场进行货物中转。通过物流平台调配车辆,可根据零散货物的批量大小,灵活调车,更能充分合理调配运力资源,做到随时有货装货,更能满足运输客户的个性化需求。同时,对于货场已卸货的货车可根据货源信息及时配载,在一定程度上提高货车的装载率。

而当零散货物卸载过程中出现漏卸情况时,通过将扫描录入的货物信息与提前获得到货车配载统计信息核对,可有效解决零散货物易丢失的情况。如图中右侧的仿真结果所示,当货物订单1由于批量大而发

生漏卸时,工作人员通过核对信息,可马上发现这批货物的数量缺失情况,便可及时采取解决措施,找到丢失的货物。同时,货物信息核对无误后,需对货物进行分类整理,便于后续的货物装车。如紫色框中的仿真结果所示,订单2、5和3是分区(partition1)中的货物,它们将被装上同一趟列车K2288。将货物进行有序的分区分堆,便于工作人员管理货物,可在一定程度上提高装载效率,避免同一到局的货物装卸在多辆车上,增大卸车作业的难度。因此,在货场卸货/装货时共享货车及货物的相关信息能更好地应对车站作业高峰期时段发生的各种突发情况,提高货物运输的安全性。通过扫描仪扫描电子货签代替人工手录信息,可有效提高货物中转效率,降低获取的货物信息的错误率。

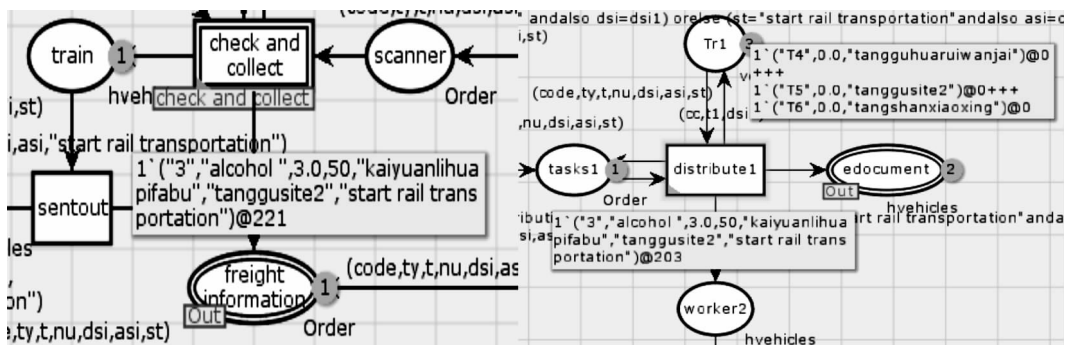


图7 列车及货物运输状态信息对接

如图7所示,当货物订单3在列车K2288上运输时,其动态信息将由库所(train information)接口共享给物流平台。然后,平台根据列车到达确报信息线上调配运力资源(Tr1),其调配的货车编号为T6。可看

出共享列车及货物铁路运输的动态信息经济效益在于可协调铁路和公路运输部门间的业务流程,改变原有的货物到站后,铁路工作人员才联系相应的公路部门安排货车取货导致货物需在货场长时间等待的情

况,进一步提高货物中转效率。

(2) 车站作业高峰期情况下的公铁联运流程分析。

该文选择在变迁中加入时间参数的方式进行仿

真,由于不同货物在同一阶段的时间消耗具有一定的波动,可设定同一阶段的时间服从均匀分布。根据调研设定作业时间仿真参数如表 1 所示。

表 1 货物运输过程时间仿真参数

变迁	时间/分钟	变迁	时间/分钟
Tacking1' transport	(30,60)	Tacking2' transport	480
Tacking2' prepare	(10,20)/(60,120)	Tacking3' prepare	(10,20)/(60,120)
Tacking2' unload	(20,30)	Tacking3' loading	(20,30)
Tacking2' storage	(10,30)/(30,120)	Tacking3' delivery	(60,80)
Check and collect' solve	(5,10)	Tacking2' unloading	(20,30)
Check and collect' Assemble	(20,30)		

分析仿真结果,比较货物运输的不同阶段的平均

时间,如图 8 所示。

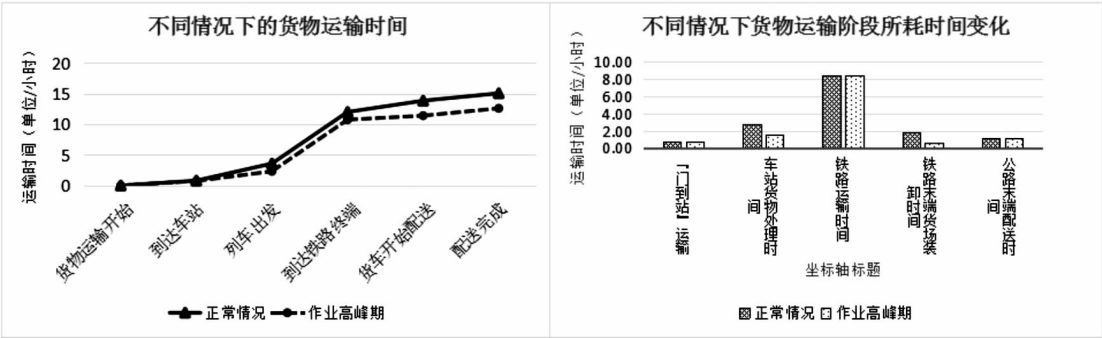


图 8 不同情况下的货物运输时间差异

根据对不同情况下的货物运输时间进行仿真分析,其对比结果如图 8 所示。可知若遇作业高峰期时,货物在货场的等待时间将大大延长,导致货物将晚大约 3 小时才能到达客户手中。同时,也会增大零散货物清点整理分拣的难度,使得货物清点整理时间进一步增加。因此,为提高零散货物公铁联运的中转效率,铁路与公路运输部门需在货物运输之前进行货场作业信息的共享,并通过对其信息的深入挖掘与分析,合理安排货车出行计划,缓解货场因装卸工具及工作人员有限而导致货车严重堵塞的情况,使其与货运相关的资源在时间和空间上都能得到更好的利用。

5 结束语

为了明确不同运输主体之间信息共享的协作点以及如何实现更高效的共享,该文以零散白货运输为例,利用着色 Petri 网探讨公铁联运过程中不同运输主体之间所需的新信息属性。根据仿真结果可知,加入新信息属性的联运信息交互流程能从一定程度上减少货物漏装漏卸的情况发生,增加货物运输的安全性保障;可在较短时间内准确统计货场的所有货物信息,为相关工作人员根据货物信息数据做进一步的货运预测、营销、客户分析提供了基础。同时,各运输部门之间通过信息系统间资源共享,及时更新货物运输状态,可为

客户提供货物运输的实时查询服务。最后,基于列车及货物动态信息的共享,公路部门可提前安排货车到货场取货并合理调配运力资源,提高同一时间内不同运输主体活动的高效性和协同性。

今后可进一步探讨如何通过各部门、各环节之间的信息共享来有效缓解在车站作业高峰期时期,因人员、工具设备有限导致货物流通不畅,严重堵塞的情况。同时,可进一步探讨如何根据业务共享需求,从时间、空间、安全、业务、技术等方面对数据进行加工、处理,实现各环节之间更好的数据共享。

参考文献:

[1] UDDIN M, HUYNH N. Reliable routing of road-rail intermodal freight under uncertainty[J]. Networks and Spatial Economics, 2019, 19(3): 929-952.

[2] 王建建, 赵 瑜. 基于公铁联运的连接技术研究[J]. 物流技术, 2011, 30(9): 24-26.

[3] BIERWIRTH C, KIRSCHSTEIN T, MEISEL F. On transport service selection in intermodal rail/road distribution networks [J]. Business Research, 2012, 5(2): 198-219.

[4] 杨 博. 集装箱智能化公铁联运系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2019.

[5] SUN Y, ZHANG C, DONG K, et al. Multiagent modelling and