

Research on the innovative mode of transportation scheduling management of coal and steel logistics parks empowered by digital technology

Li Chen

Shandong Wushang Group Co., Ltd., Linyi, Shandong, 276017, China

Abstract

In the transportation scheduling management of coal and steel logistics parks, it is often difficult to coordinate logistics operations in the park due to insufficient transportation resources or mismatch between transportation scheduling and actual demand. Based on this, in order to improve the quality of transportation scheduling management in coal and steel logistics parks, digital transformation is proposed, innovative scheduling management mode is proposed, and digital technology is used to empower the transportation scheduling management of coal and steel logistics parks, and then a four-dimensional technical architecture of the Internet of Things perception layer, digital twin modeling layer, intelligent decision-making layer and blockchain collaboration layer is constructed, so as to realize the dynamic and full-link collaborative management and control of transportation resources driven by data. This study shows that the innovative mode of transportation scheduling management empowered by digital technology in coal and steel logistics parks can be realized with the help of the deep integration of intelligent algorithms and digital technology, which can realize the dynamic and real-time optimization of transportation scheduling, ensure risk prediction and cross-subject collaboration, and provide a theoretical reference for improving the efficiency of bulk commodity logistics.

Keywords

intelligent scheduling; digital twins; Internet of Things; Blockchain; Dynamic optimization

数字科技赋能煤炭钢材物流园区运输调度管理的创新模式研究

陈丽

山东物商集团有限公司, 中国·山东 临沂 276017

摘要

在煤炭钢材物流园区运输调度管理环节, 往往因为运输资源不足或者运输调度与实际需求不匹配等, 导致园区物流作业协同难度大。基于此, 为提升煤炭钢材物流园区运输调度管理工作质量, 提出数字化转型, 创新调度管理模式, 利用数字技术赋能煤炭钢材物流园区运输调度管理, 进而构建物联网感知层、数字孪生建模层、智能决策层与区块链协同层的四维技术架构, 在数据驱动下, 实现运输资源的动态化、全链路协同管控。研究表明: 数字科技赋能煤炭钢材物流园区运输调度管理的创新模式, 主要可借助于智能算法与数字技术的深度融合, 可实现运输调度的动态、实时优化, 保障风险预判与跨主体协同, 为提升大宗商品物流效率提供理论参考。

关键词

智能调度; 数字孪生; 物联网; 区块链; 动态优化

1 引言

煤炭钢材类大宗商品物流具有作业环节复杂、安全要求高、资源调度动态性强等特点。传统物流园区依赖人工经验与静态规则进行运输管理, 存在决策滞后、信息孤岛及资源错配等痛点。随着物联网、人工智能等技术的成熟, 构建数据驱动的智能调度系统成为突破传统管理瓶颈的关键路

径。本文通过整合前沿数字技术, 提出一种覆盖“感知-建模-决策-协同”全流程的创新管理模式, 旨在为大宗商品物流园区的智能化转型提供系统性解决方案。

2 数字科技赋能技术框架设计

2.1 物联网感知层

物联网感知层作为智能调度系统的数据采集基础, 通过部署多源异构传感设备实现对物流园区内运输要素的全域动态监测。在设备状态感知方面, 集成振动、温度与压力传感器, 实时采集装卸机械、运输车辆等关键设备的运行参

【作者简介】陈丽(1988-), 女, 中国山东莒南人, 本科, 中级经济师, 从事物流经济管理研究。

数,构建设备健康度评估模型,为预防性维护提供依据。环境参数感知模块则通过融合气象监测终端、道路负荷传感器等外部数据源,动态分析天气变化、路面承载能力等风险因子,生成多维环境风险评估矩阵。资源定位追踪系统采用高精度定位技术,结合惯性导航与射频识别技术,实现对车辆、货物及人员的厘米级实时定位,形成动态时空轨迹数据库。上述感知技术的协同应用,不仅突破了传统人工巡检的时空局限性,更通过边缘计算节点完成数据清洗与特征提取,为上层决策模型提供低延迟、高可信度的数据输入,形成从物理世界到数字空间的精准映射通道。

2.2 数字孪生建模层

数字孪生建模层通过构建物流园区的虚实交互仿真平台,实现物理实体与数字模型的深度耦合。空间建模模块融合地理信息系统(GIS)与建筑信息模型(BIM),重构园区三维立体场景,精确呈现堆场容量、道路拓扑、设备布局等空间约束条件。流程建模子系统采用离散事件仿真技术,对装卸作业、车辆调度、库存周转等业务流程进行动态推演,通过蒙特卡洛模拟识别流程瓶颈与资源冲突节点^[1]。行为建模引擎则基于机器学习算法,从历史调度日志中挖掘车辆路径选择偏好、设备利用率波动规律等隐性知识,构建具有自适应能力的调度策略知识库。该建模层通过虚实交互的闭环反馈机制,支持对运输方案的多维度评估与迭代优化,使得管理者能够在虚拟环境中预演不同调度策略的实施效果,显著提升决策过程的科学性与前瞻性。

2.3 智能决策层

智能决策层可依托强化学习与多目标优化算法,生成可动态调度的物流信息处理模型,构建在线物流数据分享模块,可通过滑动时间窗口持续接收物联网感知层上传的实时数据流,动态调整车辆路径规划与设备分配方案,确保调度策略与现场工况的瞬时匹配。针对多目标优化模块来说,可引入帕累托前沿搜索算法,在最小运输成本的基础上,实现作业高效化,将物流运输风险降到最低,支持管理人员能够通过业务处理优先级,保障方案科学合理^[2]。异常处理子系统集成故障预测与自愈控制技术,借助于数字孪生平台的仿真推演能力预判设备过载、交通拥堵等潜在风险,并可自动触发应急预案重构调度逻辑。

2.4 区块链协同层

区块链协同层通过构建去中心化的分布式信任机制,为解决物流园区多主体协作中的信息壁垒与信任缺失问题提供了底层技术支撑。该层采用联盟链架构设计,融合非对称加密算法与默克尔树数据结构,确保运输订单、质量检测报告、电子磅单等核心业务数据在加密上链过程中的完整性与真实性。数据存证模块通过时间戳技术固化业务流程中各节点的操作记录,形成不可篡改的链式证据链条,使得货物交接、权属转移等关键操作具备可追溯性,为事后审计与纠纷仲裁提供可信依据。智能合约引擎通过将运输协议条款转

化为可编程逻辑代码,实现运输任务分配、费用自动结算、违约赔付判定等流程的自动化执行,显著降低跨组织协作中因人工介入导致的效率损耗与操作风险。权限管理系统引入零知识证明与属性基加密技术,构建动态访问控制模型,在确保企业敏感数据隐私性的前提下,实现供应链上下游企业间数据的分级共享与定向授权。

区块链协同层通过重构物流园区与供应链主体间的协作模式,推动传统封闭式管理向开放式生态协同转型。在数据互信层面,联盟链的节点准入机制与共识算法设计,使得园区运营方、运输企业、仓储服务商等参与方能够在去中心化网络中建立价值交换的信任基础,消除因信息不对称导致的协作摩擦。智能合约的自动执行特性,将运输合同履行过程转化为链上可验证的机器信任行为,不仅缩短了协议签署、费用结算等环节的周期,更通过违约条款的代码化预设,形成具有约束力的数字化契约关系。在生态协作层面,基于属性加密的数据共享机制,允许上游供应商实时获取货物在途状态,下游客户精准掌握库存动态,实现供应链全链条的供需信息实时对齐^[3]。

3 数字科技赋能煤炭钢材物流园区运输调度管理的创新模式核心特征

3.1 动态适应性

为实现物流数据分享、实时传递及即时性,此动态适应性机制主要依托于物联网感知层,可实现毫秒级数据采集,借助于边缘计算节点对物流数据进行动态化处理,可实现对煤炭钢材设备、运行环境参数、资源位置的可持续化监控处理。例如,当货物的装卸设备存在动作异常行为,或者设备自身存在振荡、升温等现象时,系统会自动触发反馈控制系统,保障煤炭钢材资源的重新分配,并且能够在秒级时间窗口内,完成对设备的启停、作业队列重组及人员调度管理等,保障物流生产的连续性、稳定性。该自适应能力可打破传统静态调度规则的刚性约束,使系统能够在不确定性环境中保持稳定输出,形成“感知-决策-执行”闭环反馈的智能控制体系,为复杂物流场景下的动态资源调配提供了创新解决方案。

3.2 全链路协同

针对煤炭钢材物流园区,由于货物自重大、调度空间相对较小,就会导致物流环节出现一定的信息壁垒,因此需要构建跨域协同资源优化管理体系,例如生成三维可视化孪生模型,实时监控运输轨迹,标明仓储货位状态,保障与装卸设备负载信息的动态化协同,实现毫秒级同步管理,进而形成覆盖“入场-作业-离场”全流程的数字镜像。在此基础上,系统开发出逆向调度优化算法,可根据实时仓储周转率动态调整车辆入场时序,通过预约制调度消除传统模式中因信息不对称导致的车辆积压问题。同时,可实现多环节耦合的协同决策模型,将运输路径规划、货位分配策略与设备调度指令进行联合优化,避免局部优化引发的全局效率损失^[4]。

3.3 风险预判驱动

创新模式可通过对多源信息构建前瞻性风险防控机制的融会贯通,将传统被动应对转化为主动预防。系统可将气象传感器、设备健康监测终端与视频识别装置进行统一布设,构建涵盖环境风险、设备风险与操作风险的三维预警指标体系。借助于时序预测模型对设备振动频谱、轴承温度等参数进行趋势分析,提前48小时识别潜在故障隐患并生成预防性维护计划。例如,在发生极端天气等外部风险时,系统通过数字孪生平台进行多维度仿真推演,评估暴雨、大风等气象条件对装卸作业、道路通行的影响权重,自动生成包括作业时序调整、运输路线变更、应急资源配置在内的组合应对方案。

4 应用价值

4.1 方法论创新

本研究提出的“感知—建模—决策—协同”四层主要架构,在方法论层面,可借助多科学理论知识,构建系统化、稳定化的数据分析资源。感知层通过物联网技术构建全域数据采集网络,实现对传统调度系统依赖离散化人工录入局限性的调控与管理,为动态决策提供实时、连续的数据输入。

第一,在建模层,其可借助数字孪生技术建立物理空间的数字化影像,将传统基于二维平面图的静态管理模式升级为四维时空动态仿真,显著提升复杂系统的可解释性与可预测性。

第二,决策层通过引入深度强化学习算法,将运筹学优化模型与机器学习动态适应能力相结合,形成兼具全局规划与实时响应的混合智能决策范式。

第三,协同层通过区块链技术重构多方协作机制,在确保数据主权与隐私安全的前提下,破解了供应链主体间的“信任困境”。

4.2 决策科学化的管理

通过智能算法替代传统人工经验决策,本研究在管理实践层面推动调度系统从“人主导”向“人机协同”的范式跃迁。基于深度强化学习的动态调度引擎,能够持续学习历史调度数据中的隐性规律,自主生成适应不同场景的优化策略,有效规避人工决策中常见的认知偏差与情绪干扰。多目标优化算法通过详细的前瞻性分析,实现数据、信息的交互处理,将运输成本、时效要求、能耗指标与安全约束等多元目标转化为可视化决策空间,辅助管理者进行科学权衡与方案选择。异常处理模块集成故障预测与自愈控制技术,通过数字孪生平台的仿真推演能力,将传统事后应急响应转变为事前风险消解,大幅降低作业中断概率。在此智能化转型处理的环节,可大大提升调度理论、调度方案模型的调控与管理,实现调度设计思路的可行性较高,保障算法模型能够达到最优化利用,确保系统稳定,数据传输精准^[5]。

4.3 信任机制重构

基于区块链构建的可信协同网络,在产业生态层面重塑了物流园区与供应链主体的协作模式。联盟链架构通过分布式账本技术,将运输订单、质检报告等关键业务数据转化为不可篡改的链上存证,既保障了数据真实性,又通过时间戳机制实现全流程追溯,为解决传统物流纠纷提供了技术仲裁依据。智能合约的自动化执行特性,将运输协议条款转化为可编程逻辑,实现费用结算、责任划分等流程的机器信任执行,显著降低跨组织协作的沟通与监督成本。知识证明与属性基加密技术的融合应用,在确保企业商业隐私的前提下,构建了分级数据共享机制,使上下游企业能够按需获取授权信息。在此技术驱动下,所有的物流信息模型都具备信任体系重构的理论基础,可持续性推动物流园区从封闭式独立运营转向开放式生态协作,形成以数据互信为基础的供应链协同网络,为构建现代化物流服务体系提供了可扩展的协作框架^[6]。

5 结论

综上所述,上文通过构建数字化技术,可充分的融合框架为破解煤炭钢材物流园区运输调度中的动态性、复杂性与协同性难题,进而为煤炭钢材物流园区提供系统性解决方案,通过集成感知建模、智能决策与可信协同技术,实现了调度模式从经验驱动向数据驱动的范式转变。未来研究可在三个维度深化探索:其一,推进数字孪生模型与元宇宙技术的深度融合,构建具备多模态交互能力的虚拟调度空间,提升复杂场景的仿真推演精度与决策沉浸感;其二,探索量子计算在超大规模组合优化问题中的加速机制,针对物流园区海量设备协同调度需求,开发新型量子启发式算法以突破经典运筹模型的求解效率瓶颈;其三,将全生命周期碳足迹追踪模块嵌入调度优化模型,建立运输路径、设备启停策略与碳排放量的动态耦合关系,形成兼顾效率提升与低碳目标的绿色调度体系。

参考文献

- [1] 周洋帆,邢虎松,张桐.我国港口煤炭物流供应链发展形势分析[J].中国港口,2023,(02):16-18.
- [2] 王杏.不确定环境下的煤炭物流系统协同运营策略研究[D].东南大学,2021.
- [3] 张翔.数字化如何赋能煤炭物流智慧转型?[N].中国煤炭报,2020-12-19(007).
- [4] 侯贵宾,杨鹏南.大型散货港口数字化应用实践[J].港口科技,2020,(02):1-5.
- [5] 潘万伟,马晶星,朱晓芳.大型煤炭物流园区智能质检技术设计分析[J].能源与环保,2019,41(05):111-114+120.
- [6] 罗琪,严俊男.数字孪生技术在烟草物流园区调度管理中的应用——以武汉区域物流园区为例[J].中国战略新兴产业,2023:85-88.