

铁路运输调度指挥智能化发展方向探讨

盛达

国能朔黄铁路发展有限责任公司调度指挥中心 062350

【摘要】铁路运输调度指挥系统作为保障铁路安全且高效运行的关键部分,其朝着智能化方向的转变对于提高铁路运输效率以及服务质量有着重大价值。本文以铁路运输调度指挥系统的智能化变革作为着手点,剖析了当下运输调度所面临的新挑战以及传统系统存在的限制因素,研究了智能算法、大数据、物联网以及云计算等核心支撑技术在调度指挥方面的创新运用。针对智能化转型里的关键问题,提出了智能决策体系、自适应调度方案、预警处置机制以及人机协同模式等发展方向,并且从技术路线、平台架构、安全体系以及人才培养等多个维度搭建了系统实施路径,为铁路运输调度指挥系统的智能化建设给予了理论支持以及实践指引。

【关键词】铁路调度指挥;智能化;人工智能;大数据分析;物联网技术

Discussion on the intelligent development direction of railway transportation dispatching and command

Sheng Da

National Energy Shuohuang Railway Development Co., LTD. Dispatching and Command Center 062350

【Abstract】 The railway transportation dispatching and command system, as a critical component ensuring the safe and efficient operation of railways, has significant value in enhancing transportation efficiency and service quality through its transformation towards intelligence. This paper focuses on the intelligent transformation of the railway transportation dispatching and command system, analyzing the new challenges faced by current dispatching operations and the limitations of traditional systems. It explores the innovative applications of core supporting technologies such as intelligent algorithms, big data, the Internet of Things, and cloud computing in dispatching and command. In response to key issues in the intelligent transition, it proposes development directions including an intelligent decision-making system, adaptive dispatching plans, early warning and handling mechanisms, and human-machine collaboration models. Furthermore, it outlines a systematic implementation path from multiple dimensions, including technical routes, platform architecture, security systems, and talent cultivation, providing theoretical support and practical guidance for the intelligent construction of railway transportation dispatching and command systems.

【Key words】 railway dispatching and command; intelligence; artificial intelligence; big data analysis; Internet of Things technology

铁路身为国民经济的关键命脉,其运输调度指挥系统所有的智能化程度,与运输安全以及效率紧密相连。近些年来,在国际铁路范畴内,智能调度技术呈现出快速发展的态势,德国的DB公司率先推出了借助人工智能的列车运行计划自动调整系统,而日本的JR东日本公司则研发出了智能化综合指挥平台。国内的铁路部门积极开展智能化建设工作,在列车自动编组、客货运输智能调度等方面收获了一定成果,然而同发达国家相比较而言,依旧存在着差距。面对日益繁杂的铁路网络架构以及持续增长的运输需求,传统的人工调度模式已然难以契合高质量发展的需求,推进铁路运输调度指挥的智能化建设,对于提升铁路运输效率、降低运营成本、提高应急处置能力而言,有着重大的战略意义。

一、铁路运输调度指挥系统智能化变革的必要性

(一) 运输调度新挑战

铁路网络规模持续不断地扩大,使得调度指挥的复杂度

呈现出指数级的增长态势。路网密度以及列车开行数量有了较为十分突出的提升,致使组织运输的难度急剧增大,高铁和普速列车、客运与货运等多个系统相互交织运行,让调度指挥面临着前所未有的协调压力,像京沪、京广这样的干线,每天都承载着数百趟列车的运行,巨大的客货运输需求和有限的运力资源之间的矛盾变得日益凸显^[1]。动车组、普速列车等不同类型的列车在同一条线路上行驶,各类突发状况以及天气因素所产生的影响,对传统的人工调度给予了极大的挑战,运输调度指挥系统需要在保证安全的基础上,达成运输效率的最大化,这对调度决策的精准性、实时性以及科学性提出了更为严格的要求。

(二) 传统系统的制约

传统铁路调度指挥系统在信息处理能力以及决策效率这两方面存在着较为突出的瓶颈,依靠经验判断的人工决策模式在面对复杂路网条件下的多目标优化问题时显得力不从心,现有的系统所采用的串行处理机制使得系统响应时延普遍超过30秒,这一状况远远低于智能化调度所需要的毫

秒级响应要求。依靠数据分析可以发现,人工调度方案的计算周期大多时候需要3至5分钟,这样的情况导致列车运行计划调整难以达成实时动态优化。在系统架构方面,传统指挥平台采用的是封闭式设计,各个子系统之间存在着信息孤岛现象,以至于难以达成数据共享以及业务协同,对铁路运输能力的充分释放产生了严重的制约。

(三) 智能转型的意义

运输调度指挥系统的智能化转变有关键的战略意义,该智能系统依靠深度学习算法,把优化计算以及方案生成整合于同一个平台,达成了组织安排的精确性与科学性^[2]。在日常的运营过程中,系统可以主动分辨出列车运行的最优路径,优化列车的交路设置,提高路网的运输能力以及资源利用效率。在遇到设备故障、极端天气等突发状况时,此系统可迅速展开风险判断,自动生成应急处理预案,提高了运输的响应能力,借助人机协同的智能调度方式,减轻了调度人员的工作负担,又提高了指挥的准确性与可靠性,这一转变会推动铁路运输朝着自动化、智能化的方向发展,为铁路建设增添新的动力。

二、铁路运输调度指挥智能化的核心支撑技术

(一) 智能算法应用

智能算法成为铁路运输调度指挥系统的核心计算引擎,深度强化学习算法借助构建列车运行状态和调度决策之间的映射关系,可以达成调度方案的动态优化^[3]。遗传算法以及蚁群算法于列车编组优化和车次路径规划中发挥关键作用,解决了传统启发式算法难以应对的多目标组合优化难题,知识图谱技术把调度专家经验给予结构化表达,和神经网络模型深度融合,塑造出有经验学习能力的智能决策模型。模糊推理机制的引入提高了系统对不确定性因素的适应能力,让调度决策更具鲁棒性,这些算法的有机整合形成了完整的智能计算体系,为调度指挥智能化奠定了理论基础。

(二) 大数据的运用

大数据技术给铁路运输调度指挥系统给予了全面的数据支持,借助分布式存储架构来采集以及整合列车运行轨迹、客货流量、天气状况等多源异构数据,构建起完备的铁路运输数据资源池。实时流计算引擎针对运行数据开展清洗与特征提取工作,再结合时序数据挖掘技术,以此揭示列车运行规律以及客货运需求特征。预测分析模型依据历史数据展开训练,深度调用 DeepSeek 大模型的先进算法与架构。针对客货流量波动、设备故障等核心指标,模型凭借深度机器学习与复杂数据分析,实现高精度预测。同时,数据可视化技术将繁杂的调度数据,通过直观的图表、图形等形式,转化为可直接用于决策支持的信息,为调度人员提供智能化、可视化的分析视角,助力其高效、精准地制定调度策略。

(三) 物联网的集成

物联网技术搭建起了铁路运输调度指挥系统的智能感

知体系,其中分布式传感网络借助 RFID 标签、红外探测器以及轨道电路等多种感知设备,达成了对列车运行状态和线路设备工况的实时监测工作。边缘计算节点被部署于关键车站与区段,负责执行数据预处理和本地分析任务,以此降低网络传输负载^[4]。NB-IoT 窄带物联网技术为远程站场给予了低功耗广覆盖的通信保障,成功解决了偏远地区的数据采集难题,物联网平台采用微服务架构,凭借统一的数据接口协议达成异构设备的互联互通,构建起覆盖全路网的物联感知网络,为智能调度决策提供可靠的数据基础。

(四) 云平台的构建

铁路云平台运用混合云架构,把私有云资源与公有云资源相融合,以此契合指挥系统对于计算资源的需求。借助基于容器化技术的微服务架构,达成了调度业务的模块化部署,使得系统的可扩展性以及维护效率都有所提升,分布式计算框架可支持并行计算任务,可为算法的高效运行给予算力方面的支撑。多活数据中心的设计保证了系统有高可用性,依靠负载均衡与故障切换机制来保障业务的持续运行,云安全体系采用多层防护策略,并且结合区块链技术来保障数据传输以及存储的安全,构建起安全可靠的铁路调度云环境。

三、铁路运输调度指挥智能化的重点发展方向

(一) 智能决策新体系

铁路运输调度指挥的智能决策体系正朝着知识驱动和数据驱动深度融合的方向不断发展,借助构建运输调度知识图谱,把专家经验以及业务规则给予结构化表达,形成可进行计算的知识基础,深度学习模型借助对历史调度案例展开训练,掌握调度决策的规律,达成对复杂场景的智能研判。知识推理引擎依据语义网络技术,支持多维度的因果分析及方案推演,提升系统的可解释性,智能决策模型采用人机协同机制,在维持人为监督的前提下,逐渐扩大自主决策范围,达成调度指挥从辅助决策向自主决策的平稳过渡。

(二) 自适应调度方案

自适应调度系统借助强化学习机制不断优化调度策略,以此提升应对突发情况的能力。动态规划算法会结合实时路网状态,对列车运行图展开自适应调整,达成运力资源的精准配置,模糊控制系统依据天气、客货流等环境因素,动态改变决策参数,提高调度方案的环境适应性,多智能体协同框架为区域调度中心间的协同决策提供支持,保证跨区域调度方案整体最优。依靠引入自适应神经模糊推理系统也就是 ANFIS,将专家经验与自适应学习能力有效结合,打造出有持续进化能力的智能调度体系。

(三) 预警处置新机制

铁路运输预警处置机制借助时空数据挖掘技术来建立风险事件预测模型,以此达成对运输安全隐患的前瞻性识别。利用基于贝叶斯网络的概率推理框架对多源预警信息开展融合分析,提高预警的准确性以及可靠性,智能预警系统

联合场景关联分析构建风险传播模型,用以评估突发事件的影响范围以及扩散趋势。应急处置决策支持系统运用案例推理技术从历史处置经验里提取有效策略,为突发事件快速响应给予决策支持,依靠引入人工免疫算法,系统可以持续积累处置经验,优化应急预案,形成自我进化的智能预警处置体系。

(四) 人机协同新模式

铁路运输调度系统采用混合智能架构,将调度人员的经验直觉与机器智能的计算能力有机结合。基于认知计算模型,系统能够理解调度员的决策意图,提供符合思维习惯的智能建议。自然语言处理技术支持人机自然交互,通过语音对话与手势识别实现便捷的操作方式。情境感知引擎根据调度场景自适应调整交互策略,在关键决策点保持适度人工干预。知识迁移机制实现人机之间的经验共享,系统通过观察学习不断提升对调度规律的理解,形成动态进化的协同决策体系。

四、铁路运输调度指挥智能化的系统实施路径

(一) 技术路线新规划

运输调度指挥智能化的技术路线所遵循的是“感知互联、数据驱动、智能决策、协同控制”这样一种演进路径。在基础设施层,采用了传感技术以及5G网络,以此来构建全息感知体系,数据处理层运用分布式计算和边缘计算技术,达成海量数据的实时分析,应用层基于深度学习与知识图谱,打造出认知智能平台。借助微服务架构与容器技术,保证系统拥有扩展能力,于安全防护层面引入区块链与加密技术,构建新型网络安全体系,这种多层次的技术架构为智能系统的持续发展提供了基础支撑。

(二) 平台架构新设计

智能调度平台运用云原生架构,借助服务网格技术达成业务模块的灵活编排以及动态扩展^[5]。该平台核心应采用多层次微服务设计方式,将调度业务分解成独立的功能单元,以此支持敏捷开发和持续集成,数据中台以Lambda架构为基础,融合了实时计算和离线分析能力,为智能应用供给统一的数据服务。算法中台封装了深度学习等智能算法组件,可支持模型快速迭代以及复用,凭借容器编排与服务治理,达成平台的自动化运维以及故障自愈,保障系统有高可用性

与可维护性,DevOps持续交付流程的引入加快了平台功能的迭代更新速度。

(三) 安全体系新建设

铁路调度系统的安全体系运用“纵深防御、主动免疫”这种新型架构来进行设计,零信任安全框架达成身份认证以及访问控制的动态管理,以此保障系统运行的安全性。区块链技术在关键指令传输方面的应用,保证了调度指令不被篡改,基于人工免疫算法的安全态势感知系统可以及时辨认并且响应网络攻击,提高系统的自适应防御能力。量子密钥分发技术为核心数据传输给予高强度加密保护,有效抵御量子计算威胁,借助安全运维平台达成全方位安全监测以及风险预警,构建出智能化且自适应的铁路调度安全防护体系。

(四) 人才培养新机制

铁路智能调度人才培养体系运用一种立体化培养模式,此模式应该包含知识赋能、实践引领以及创新驱动等方面。借助构建智能调度知识图谱,对运输调度专业知识体系给予系统梳理,为人才培养奠定理论基础,引入虚拟仿真技术与虚拟现实平台达成了沉浸式场景训练,帮助调度人员掌握智能系统操作技能。基于智能辅助决策系统构建起人机协同训练环境,培育调度人员的智能化思维方式以及决策能力,知识管理平台对经验内化与知识传承给予支持,推动优秀调度经验进行系统化积累与传播。借助设立专业技术创新工作室,搭建人才创新平台,激励调度人员参与智能化技术攻关,人才评价机制着重突出实践能力与创新贡献,形成以创新能力为导向的职业发展通道。

结束语

铁路运输调度指挥朝着智能化方向发展,这是铁路实现现代化发展的必然走向。借助构建智能算法、大数据、物联网以及云平台等一系列核心支撑技术体系,促使调度指挥朝着智能决策、自适应调度、预警处置以及人机协同等多个方向不断迈进。依据技术路线规划、平台架构设计、安全体系建设以及人才培养机制等系统实施路径,可切实有力地推进铁路运输调度指挥智能化的进程。在未来,智能化的铁路调度系统会为铁路运输高质量发展给予强有力的支撑,带动铁路运输效率以及服务水平提升到新的高度。

参考文献

- [1]朱涛,陈栋,张斌,等.铁路运输调度业务中台的研究与实践[J].智慧轨道交通,2024,61(05):91-94+104.
- [2]曹红伟.提升铁路运输调度指挥能力的措施分析[J].中国储运,2023,(12):96-97.
- [3]崔睿.提高铁路运输调度指挥能力的实践与创新研究[J].中国储运,2023,(12):148-149.
- [4]孙飞.铁路运输调度指挥体系优化策略分析[J].中国储运,2023,(12):183-184.
- [5]周洋.信息化铁路运输调度指挥系统探讨[J].中国储运,2023,(12):184-185.

作者简介:盛达(1981.02-)男,汉,江苏徐州人,本科,工程师,研究方向:铁路运输与管理。