

5G + 铁运系统智能化的开发与工业应用

程智鹏, 王雪峰, 谢文波, 刘钟军, 皮海平, 陈美蓉

(江西铜业股份有限公司 德兴铜矿, 江西 德兴 334224)

[摘要] 针对铁运电机车无人驾驶技术的开发与应用问题, 本文采用了多传感器融合的感知方案、基于深度学习的目标识别和路径规划算法, 利用 5G + 边缘计算技术、智能管控技术、精准定位技术、AI + 视觉技术、大数据技术。通过在德兴铜矿采矿场铁运工段的铁路沿线上进行的实际应用测试, 结果表明所提出的铁运电机车无人驾驶系统能够实现对电机车的自动驾驶, 提高了铁路运输的效率和安全性。

[关键词] 5G + 铁运系统; 智能化; 监控系统; 调管系统

[中图分类号] TD64 [文献标志码] B [文章编号] 1003 - 8884(2023)06 - 0029 - 05

DOI: 10. 19611/j. cnki. cn11-2919/tg. 2023. 06. 006

0 引言

矿山有轨运输无人驾驶电机车系统是实现生产一线少人无人化的一个有效途径, 使运输有效时间大幅提升。针对矿山有轨运输环节工作环境恶劣、工作效率低、人工作业强度大、系统分散和智能化水平低等难题, 以无人驾驶电机车系统的自动运行和自动装卸技术为基础, 实施矿山有轨运输无人驾驶系统技术。该技术可以取消矿山有轨运输工艺环节的现场工作人员, 从本质上解决了矿山生产运输环节的安全问题。

电机车等采矿主流程 5G + 无人化作业, 智能联动, 实现矿山智能化、减人化应用落地, 云端借助矿山工业云平台能力, 实现各系统设备数据整合, 远程操控, 预测性维护等功能。管侧打造 5G +、4G + 有线环网融合组网, 确保矿区通信网络覆盖的安全可靠。端侧通过超高清摄像头、5G 网关、雷达等设备连接电动轮、电机车, 实现采矿设备的智能数据采集与远程操控, 达到安全绿色高效的最终目的。

[收稿日期] 2023 - 10 - 15

[第一作者] 程智鹏(1990—), 男, 江西鄱阳人, 工程师, 大学本科, 主要从事采矿场智能化建设工作, 现任江西铜业股份有限公司德兴铜矿采矿场数字化室副主任。

[基金项目] 江西省 03 专项及 5G 项目 5G + 铁运系统智能化示范应用(20203ABC03W05)

[引用格式] 程智鹏, 王雪峰, 谢文波, 等. 5G + 铁运系统智能化的开发与工业应用[J]. 有色设备, 2023, 37(6): 29 - 33.

1 存在的问题

根据对国内同类电机车驾驶情况的调研, 行业内存在的主要问题如下所述。

1) 安全难达到: 在矿山铁路运输生产过程中, 电机车司机与放矿工、翻笼工之间仅凭经验配合, 相互联系存在延迟。如果操作不当, 则会影响生产, 不仅安全性能难以保证, 均衡生产、工作效率难以保障, 还会对长期在恶劣环境作业的操作人员带来严重职业危害。

2) 人员补充难到位: 矿山铁路运输系统大多面临用工短缺, 作业环境相对较差的问题。

3) 生产高效难突破: 人工驾驶状态下急启急停操作、超速行为, 易引发掉道、设备运行故障, 操作人员交接班时间长, 综合运输效率低。

4) 生产设备情况难掌握: 对电机车运行转态、设备重点部位监管、装车质量、实时生产数据的统计滞后严重, 不利于安全生产、精准管控, 对运量利用、节能等控制力度不足。

2 5G + 铁运系统智能化框架设计

依据当前现状和存在的问题, 系统建设需要改造若干台变频电机车为无人驾驶, 通过对振动放矿站及翻笼进行自动化改造, 建设通信网络、集控中心、运输安全保障系统、智能调度系统、生产设备信息系统、视频监控及牵引变电所改造, 在现有微机联锁信号系统基础上, 实现适合现场的铁路运输智能

化升级。从而提高运矿铁路安全性,改善操作环境、提高生产效率,实现减员增效,总体设计如图 1 所示。

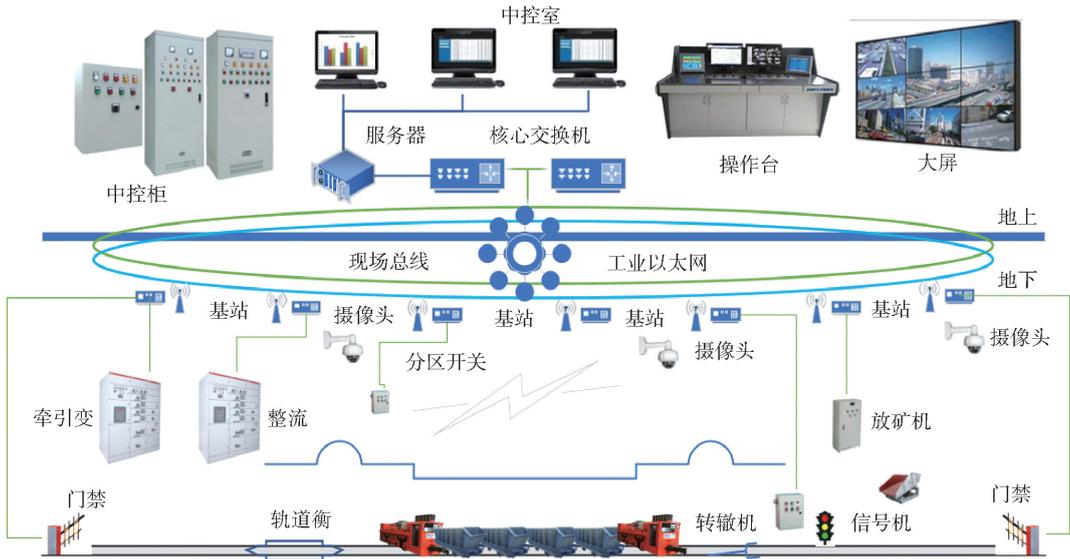


图 1 铁路运输智能化系统总体设计

同时整个项目将以新一代 5G + 工控融合信息技术与边缘计算技术为载体,利用激光定位、水平定位、雷达料位、红外轴温、动态称重等先进的检测技术,及领先的电机车智能控制技术、AI 视觉安全保障技术完成整个铁路运输系统的数据采集、传输、聚

合应用及生产工艺智能化改造。依托大数据技术、数字孪生技术研发铁路智能管控系统,最终达成集控管理可视化、作业控制智能化及运营管理数字化,技术路线如图 2 所示。

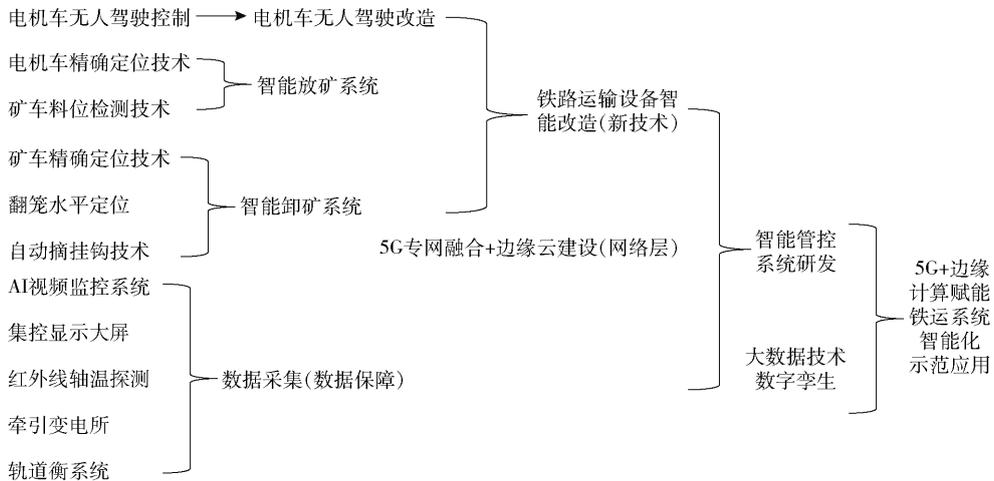


图 2 技术研究路线图

3 解决方案

1)5G 专网融合 + 边缘云:建设覆盖整个运输线路的有线工业环网,实现 5G、WIFI 网络融合通讯,有效解决 WIFI 网络连接时延较高无法满足电机车自动驾驶控制及超清视频回传带宽需求、切换性差、覆盖范围小、单台设备覆盖半径仅 50 m、投资成本

高的问题,同时解决原有部分设备数据采集依赖有线传输,而有线传输方式存在的不足。通过同步覆盖 5G 网络,满足矿区生产专网需求以及员工日常通信需求,部署的 MEC 核心网边缘计算服务器能够将时延降低至 10 ms,达到高可靠、低时延、数据不出厂的目的,同时支持将设置的 VPN 边界接入控制室内网,保证数据不出矿区。

2) 智能调管系统: 设置一套数字拼接墙系统, 综合显示无人驾驶控制系统的调度画面图像、视频监控图像等信息。系统可在控制室的调度工作站对电机车全行程位置、相应区间的道岔、信号灯状态、危险区段报警灯及电机车主要数据进行实时显示。操作员根据派车作业指令, 统一协调指挥电机车运行路线和可开动时间。系统根据信号联锁规则, 自动控制道岔机和信号灯的動作, 自动控制电机车运行到指定地点装矿, 并进行统一协调指挥, 对各电机车进行装卸矿任务分配。ATS 系统会监视所有电机车的运行状态, 自动进行行车路线时间规划、车流规划、转辙机自动控制、信号灯自动控制、电机车行车路线自动控制等, 统筹协调整个运输过程。

3) 集中控制系统: 在控制中心, 仅需 4 人即可完成整个生产系统的放矿、运输及卸矿设备的远程遥控和监视功能。控制中心设备包括核心控制器、上位机、操作台、控制板、UPS、控制柜、电源柜等。集中控制系统根据大矿仓料位和 3 个卸载站料位以及生产需求生成派车作业指令, 自动控制转辙机和信号灯, 自动控制电机车运行到指定放矿点或卸矿点, 并在控制中心实时显示电机车位置、状态及铁路信号等信息。

4) 电机车自动运行无人驾驶改造: 改造若干台变频电机车, 安装无人驾驶控制设备, 升级为具备无人驾驶功能的电机车。电机车应具备整个运输线路的精确定位功能, 且定位精度误差不大于 ± 20 mm, 配备障碍物检测、机械驻车、自动摘挂钩等装置且拥有保护功能。转辙机系统与现有的机车运输监控(信集闭)系统无缝结合, 冗余运行, 实现信号、道岔自动转换, 进路自动开放。转辙机动力电源部分采用原有线路系统, 控制节点及信号反馈部分由转辙机本体增设端子箱就近接入通讯基站, 转辙机设备则就近纳入控制子站中, 实现无人驾驶系统对转辙机的控制。中控室接到电机车装载完成信息后, 可以根据生产需求选择人工确认发车或自动发车的方式下达运输指令。电机车收到运行指令后自动开往分配卸载站, 运行过程中转辙机、升降弓及加减速均自动控制, 同时能系统分析道路状况, 反馈掉道、掉车皮掉块等异常情况。

5) 自动放矿系统: 包括振动放矿站控制系统、配电系统、矿车精确对位检测、大矿仓料位检测、矿车料位检测及放矿机安全保护系统。电机车根据指

令到达指定装载站, 完成矿车自动与放矿斗对位, 并向中控室发出对位完毕、可以装矿的信号, 中控室人员根据集控系统信息及视频监控确认后, 向装载站控制系统发出自动装矿指令, 装载站控制系统自动完成装矿、补矿及电机车移动对位等工作, 中间不再需要人工干预。进入装载区后, 入口处的 RFID 射频检测到电机车, 向调度系统发出信号让电机车开始减速。卸载站中部的激光传感器检测到矿车即将到位时, 发出停车信号, 完成 6 节车斗与 18 个放矿站的对位。对位完成后系统自动连锁给矿机放矿, 通过安装在两侧的三点超声波检测装置, 判断矿车内料位是否装满, 借助冗余检测传感器, 防止下大块或者因缝隙引起检测误差情况的发生, 同时传感器之间可以互相校准; 为了配合有轨运输无人驾驶系统电机车的优化运行, 准确了解卸载站料位的高度, 实现运行系统的最优调度功能, 在系统实施时需要安装矿仓料位在线监测系统。雷达料位计通过透镜式天线连续发射雷达信号, 信号被介质反射, 并被天线作为回波接收, 借助优化固料测量技术, 显著提高信号聚焦效果和灵敏程度, 确保可靠测量范围达到 120 m, 且测量不会因风、温度的变化而波动, 也不会受到粉尘、噪音或气流的影响。

6) 自动卸矿系统: 包括卸载站翻笼控制系统、配电系统、翻笼矿车定位检测装置、翻笼自身对位系统、卸载矿仓料位检测装置。电机车在到达指定卸载站后提醒中控人员准备卸矿, 中控室人员根据集控系统信息及视频监控确认后, 向卸载站控制系统发出自动卸矿指令, 电机车头自动摘钩并绕道至编组后部挂钩, 自动卸矿, 卸载完成后进入下一趟工作循环。

7) 智能监控系统: 高清视频监控设置在电机车、各电动道岔、振动站、翻笼、变电所以及重要道口等区域, 并通过主干网络连接到控制中心, 在控制中心视频监控上位机显示, 实现对监控点位的实时在线监视。智能自动跟踪球机主要应用于矿区的周界防范和出入口跟踪, 利用高速 DSP 芯片对图像进行差分计算, 可自动识别视觉范围内物体运动的方向, 并自动控制云台摄像机对移动物体进行追踪。借助自动变焦镜头, 目标物体在进入智能跟踪球机视线范围内直至离开的这段时间里, 所有动作都将将以特写的形式清晰地传往监控中心。当目标物体进入球机的用户设置检测区域并触发行为分析规则时, 系统就会自动产生报警。

8) 运输安全保障系统:在沿线重点区域设置运输线路障碍自动监测报警系统、门禁系统、封闭式围栏、矿车信息采集及管理系统。地面监控单元可以基于激光扫描技术,对监测范围进行平面扫描,实时采集障碍物特征数据,并对监测范围内落石撞击钢轨的声音进行检测。高清摄像机可以全天候进行视频图像采集,并对获取到的图像信息进行实时存储,同时接收来自核心控制单元的命令,捕捉局部信息。核心控制单元具备前端系统的数据处理、报警发送、无线数据传输、现场紧急控制等功能。辅助装置主要由报警灯、地面防护报警台、本地喇叭报警等报警装置组成。

9) 数字化管理平台:具备生产监控、设备管理、生产统计、生产计划与报表及智能化预警管理功能。应用现阶段主流互联网、智能化、信息化等技术,对无人驾驶控制系统数据及现场人员录入数据进行处理,为管理人员提供计划的执行、跟踪以及所有资源的当前状态。当无人驾驶控制层发生实时事件时,生产管理系统能对此及时做出反应、报告,并用当前的准确数据进行指导和处理。对系统内数据进行多维度的智能分析,生成安全生产、成本分析、设备健康、设备保养提醒等报告,方便生产管理者更直观全面的掌握整个生产过程,让决策者在决策过程中有系统性数据支撑,以数据化的手段最大程度确保生产效率提升、生产过程安全、设备运行稳定、生产成本节减。

4 应用效果

1) 生产作业高效化,生产现场少人化

德兴铜矿采矿场的电机车无人驾驶场景建设完成后,原矿运输段铁路矿石运输可实现装卸全流程无人驾驶,生产过程可视化、运营调管智能化,共计减员 45 个,年度运营成本降低 675 万,在产量不变的情况下,运输时长每天可减少 2 h,综合运输效率提升 9%;沿线作业现场人员、站点全部撤离至无人驾驶控制中心,矿山生产本质安全显著提升,职工作业环境全面优化。

2) 运输工艺过程自动化

实现全国首家 18 个振动放矿斗同时无人化自动放矿、全国首家旋转式无人化摘挂钩、全国首家翻笼无人化自动卸矿。

自动放矿:电机车根据指令到达指定装载站,完

成矿车与放矿斗的自动对位,装载站控制系统自动完成装矿、补矿及电机车移动对位等工作,中间不再需要人工干预;

自动运输:中控室接到电机车装载完成信息后,电机车收到运行指令后自动开往分配卸载站,运行过程中转辙机、升降弓及加减速均自动控制,同时能系统分析道路状况,反馈掉道、掉车皮、掉块等异常情况;

自动卸矿:电机车在到达指定卸载站后,卸载站控制系统发出自动卸矿指令,电机车头自动摘钩并绕道至编组后部挂钩,自动卸矿,卸载完成后进入下一趟工作循环。

3) 集控管理可视化

实现全国首个基于 5G 网络的大规模有色金属矿山电机车无人驾驶,单列 18 节车皮,载重 260 t,发车间隔 6 min 高密度集中控制。智能调度系统可在控制室的调度工作站对电机车全行程位置、相应区间的道岔、信号灯状态、危险区段报警灯及电机车主要数据进行实时显示。操作员根据派车作业指令,统一协调指挥电机车运行路线和可开动时间,系统根据信号联锁规则,自动控制转辙机和信号灯的動作,自动控制电机车运行到指定装矿位置。

5 结语

通过对 5G + 铁运系统智能化项目的开发与应用,实现了采矿场铁路运矿 7 km 的 5G 融合专网覆盖,5G + 边缘 MEC 专网实现电机车超高清运行视频以及控制命令回传,实现全国首个基于 5G 网络的大规模有色金属矿山电机车无人驾驶。对矿山行业具有影响力和示范性,也将对国内有色金属、水泥、稀土矿山开采的发展起到很大的促进及引导作用、有助于矿山的绿色转型,实现矿山开采运作技术革新的同时更有利于企业实现降本增效提质。

[参考文献]

- [1] 温瑞恒,陈功,张维国,等. 矿山有轨运输无人驾驶信息化系统的方案研究[J]. 有色设备,2022,36(6):13-17.
- [2] 马宁,胡亚平. 无人驾驶车辆巷道十字路口交叉点智能决策系统研究[J]. 矿业研究与开发,2023,43(3):179-184.
- [3] 李凤英,季伟伟,张维国,等. 智能矿山 5G 技术发展与应用场景分析[J]. 中国矿山工程,2022,51(4):89-92.
- [4] 郭帅,谷龙飞,李硕. 基于 Anylogic 仿真的矿山有轨运输无人驾驶系统运力研究[J]. 有色设备,2022,36(3):5-11.
- [5] 刘煜祖,马连成,段金刚,等. 露天矿卡车司机驾驶行为

Yolo - V5 检测模型轻量级优化研究[J]. 矿业研究与开发, 2022, 42(11): 171 - 178.

[6] 张维国, 吴桐, 姚宗旭, 等. 矿山有轨运输电瓶车车管控系统研究[J]. 有色设备, 2021, 35(3): 13 - 18.

Intelligent development and industrial application of 5G + rail transport system

CHENG Zhipeng, WANG Xuefeng, XIE Wenbo, LIU Zhongjun, PI Haiping, CHEN Meirong

Abstract: Aiming at the development and application of driverless technology for railway locomotives, this paper adopts multi-sensor fusion perception scheme, deep learning-based target recognition and path planning algorithm, and utilizes 5G + edge computing technology, intelligent management and control technology, accurate alignment technology, AI + vision technology, and big data technology. Through the practical application test on the railway line of the railway transport section of Dexing Copper Mine, the results show that the proposed railway transport locomotive unmanned driving system can realize the automatic driving of the electric locomotive, and improve the efficiency and safety of railway transportation.

Key words: 5G + railway system; intelligent; monitoring system; tuner system



敬告读者

为了加快稿件处理速度,缩短稿件出版周期,方便广大作者投稿及查询稿件处理情况。本刊开通由中国知网提供的“腾云”网络采编系统,作者投稿请注册并登录本刊主页上的“作者投稿系统”进行相关操作,网址 <https://yssb.cbpt.cnki.net/>。注册登录后可以向本刊投稿并查询稿件处理状态。请勿重复注册,否则可能导致您的信息查询不完整。

本刊文章数字版可在中国知网(<http://www.cnki.net>)、万方数据知识服务平台(<https://www.wanfang-data.com.cn/>)、维普网(<http://www.cqvip.com/>)下载使用。

本刊从未委托任何单位或个人组稿或代收、代转稿件,作者咨询投稿事宜请拨打编辑部办公电话 010 - 63936591 联系。

《有色设备》编辑部