

AI 赋能动车智能化发展的一站式机器人研究

马博¹, 马东玲¹, 陈文远², 付国政¹

¹上海工程技术大学高等职业技术学院, 上海, 中国

²上海市高级技工学校, 上海, 中国

【摘要】本文设计了一套高铁智能服务机器人系统, 融合机器人技术、人工智能和物联网技术构建四层架构体系。系统采用多传感器融合实现环境感知, 结合深度学习算法完成自主导航。核心功能包括: 基于全车传感网络的智能调度辅助系统, 实现运行监测与决策支持; 依托云计算的乘客服务系统, 通过智能推荐和多语言交互提供个性化服务。系统采用模块化设计, 集成区块链保障数据安全, 具备良好的扩展性。测试表明该系统有效提升了高铁运营效率和服务质量, 为行业智能化转型提供了实践方案。后续将重点研究数字孪生、量子计算等前沿技术应用, 持续优化系统性能。

【关键词】智能化动车; 一站式机器人; 智能调度辅助系统; 个性化服务

1. 研究背景

随着全球轨道交通技术的快速发展, 高铁智能化已成为各国交通现代化的重要方向。智能化转型的核心目标是通过人工智能(AI)、物联网(IoT)、大数据、5G等新一代信息技术, 提升高铁系统的安全性、运营效率和服务质量。

(1) 安全性与可靠性需求: 高铁作为大运量、高速度的交通工具, 其安全运行至关重要。传统的人工巡检和故障诊断方式效率较低, 且难以应对突发性故障。因此, 全球高铁系统正逐步引入智能机器人、AI视觉检测、预测性维护等技术, 以实现实时监测和自动化故障预警。例如, 日本新干线采用AI驱动的检测系统, 德国铁路(DB)部署智能巡检机器人, 以提高轨道和列车的安全性。

(2) 运营效率与成本优化: 高铁的维护成本高昂, 智能化技术可大幅降低人工

依赖, 提升运维效率。例如, 通过AI算法优化列车调度、能源管理和自动驾驶, 可减少延误并降低能耗。欧洲部分高铁系统已开始试验自动驾驶列车, 而中国“复兴号”智能动车组也采用了智能化调度系统。

(3) 乘客服务智能化: 智能客服机器人、人脸识别进站、个性化信息服务等AI应用, 正在提升高铁的乘客体验。例如, 新加坡地铁采用AI语音助手, 中国部分高铁站已试点智能清洁机器人, 以提升服务自动化水平。

2. 中国“十四五”智能交通规划对自主化装备

的要求

中国在《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》中明确提出, 要推动交通装备智能化、自主化发展, 高铁作为国家战略性新兴产业, 其智能化升级是重点任务之一。规划对自主化智能装备提出了以下关键要求:

(1) 关键核心技术自主可控: 规划强调, 高铁智能装备的芯片、传感器、AI算法等核心技术必须实现国产化, 避免受制于人。例如, 中国已研发自主化列车控制系统, 并在“复兴号”上应用国产化AI故障诊断系统。

(2) 智能运维与机器人应用: 规划要求推广智能检测机器人、无人化巡检装备, 提升高铁运维自动化水平。例如, 中国铁路已试点使用轨道检测机器人、车底智能检修机器人, 并计划在“十四五”期间扩大应用范围。

(3) 5G+AI融合的智能高铁系统: 规划提出, 要建设基于5G通信的智能高铁网络, 支持实时数据传输和AI决策。例如, 京张高铁已实现5G全覆盖, 并应用AI调度系统优化列车运行。

(4) 绿色智能高铁发展: 规划强调, 智能化需与低碳目标结合, 如通过AI优化列车能耗管理、推广智能节能技术。中国已研发智能能源管理系统, 在部分高铁线路上实现能效提升10%以上。

3. 未来发展趋势与挑战

当前高铁智能化发展仍面临若干关键挑战。在技术层面, 复杂运行环境下的智能识

别系统仍需提升，特别是在光线变化、人流密集等动态场景中，人工智能的感知精度和稳定性有待加强。同时，机器人的自主决策能力尚处于发展阶段，面对突发状况时的应变能力与复杂任务的规划执行水平需要进一步提高。标准化建设方面，全球范围内高铁智能化技术标准体系尚未形成统一规范，各国采用的技术路线和接口协议存在差异，这给跨国技术合作和设备兼容带来障碍。中国作为高铁技术领先国家，亟需将自主研发的智能技术方案转化为国际认可的标准规范，以增强在全球智能交通领域的话语权。数据安全防护是另一项重要课题，随着智能系统对大数据依赖程度的加深，如何构建全方位的安全防护体系成为关键。这需从数据采集、传输、存储到应用的全流程建立防护机制，同时平衡数据利用与隐私保护的关系，确保系统既智能高效又安全可靠。这些挑战的解决将直接影响高铁智能化转型的深度和广度。

4. 一站式机器人系统创新点

4.1 智能机器人系统集成方案

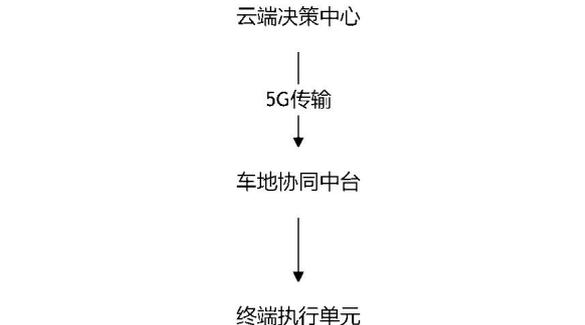


图1 机器人系统集成方案

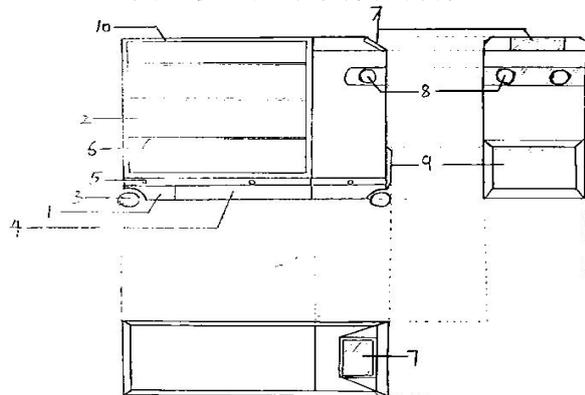


图2 智能服务机器人结构示意图

动车智能一站式机器人设备，包括：

- ①底座，②货舱，③万向轮，④清扫装置，⑤超声波探测仪，⑥托盘，⑦电子显示屏，⑧红外线探测仪（照明灯），⑨前置储物舱，⑩高强度玻璃货舱门

如图1和图2所示，本方案通过深度整合机器人技术、人工智能与物联网技术，构建了一套完整的智能一站式机器人系统。系统采用模块化分层架构设计，主要由四个核心功能层组成：感知层通过多源传感器阵列（包括激光雷达、视觉相机、红外传感器等）实现环境实时感知；网络层基于5G通信和边缘计算技术构建高速数据传输通道；决策层运用深度学习算法进行大数据分析和智能决策；执行层则通过高精度伺服控制系统实现各类服务功能的精准执行。各功能层之间采用标准化接口协议，确保系统具备良好的扩展性和兼容性。同时，系统还集成了区块链技术保障数据安全，并支持OTA远程升级功能，可根据实际运营需求持续优化系统性能。

4.2 智能感知与决策系统设计

本系统采用多传感器融合技术构建了全方位的环境感知体系，集成了激光雷达、红外传感器和视觉传感器等多种感知设备。激光雷达系统负责构建高精度的三维环境地图，红外传感器用于检测热源和低光照条件下的环境特征，而视觉系统则通过彩色和深度摄像头获取丰富的环境信息。在环境建模方面，系统采用了先进的深度学习算法处理多源传感器数据，实现了对高铁车厢复杂环境的精确理解和建模。自主导航系统融合了多种传感器输入，运用神经网络算法进行实时路径规划和动态避障决策。

在智能交互方面，系统整合了语音识别和人脸识别两大核心技术。语音识别模块能够准确理解乘客的语音指令，支持自然语言交互；人脸识别系统则用于身份验证和个性化服务。这些交互功能通过统一的智能决策系统进行协调，确保机器人能够根据环境感知和用户需求做出合理的响应。系统采用模块化设计，各功能组件之间通过标准接口进行数据交换和协同工作，既保证了系统的实时性能，又便于后续的功能扩展和升级维护。整个系统针对高铁环境的特殊需求进行了优化设计，能够在列车运行的各种工况下稳定可靠地工作。

4.3 核心功能模块设计

(1) 智能调度辅助系统

本系统通过部署在列车各关键位置的智能传感终端，构建了全方位的列车运行数据采集网络。这些传感节点持续监测列车的运行状态、设备工况及客流动向，形成覆盖全

车的实时数据监测体系。系统采用多源异构数据融合技术，将来自不同子系统的运行参数、设备状态信息和客流监测数据进行标准化处理和关联分析，构建了完整的列车运行数字画像。

在数据分析层面，系统运用机器学习算法对采集到的海量运行数据进行深度挖掘。通过建立列车设备健康状态评估模型，系统能够准确识别关键部件的运行趋势和潜在风险；客流分析模块则通过时空特征提取，动态掌握乘客分布和流动规律。这些分析结果经过可视化处理后，以直观的形式呈现给列车工作人员。

基于实时数据采集和智能分析的结果，系统建立了多层次的决策支持机制。一方面，通过预设的预警规则和专家知识库，系统能够自动识别异常情况并提出初步处置建议；另一方面，结合历史案例库和优化算法，为工作人员提供包括运行调度、设备维护和客流疏导在内的综合决策方案。系统还支持人机协同决策模式，工作人员可以根据实际情况对系统建议进行调整和优化，形成最终的处置方案。这种智能化的决策支持体系显著提升了列车运营管理的科学性和时效性。

（2）能源管理系统

在高铁智能服务机器人系统的能源管理模块中，我们创新性地部署了无线感应充电网络。该网络由分布在列车各关键位置的充电基站组成，采用磁共振耦合技术实现非接触式能量传输。系统通过智能调度算法动态匹配机器人充电需求与基站供电能力，实现充电资源的优化配置。在能耗监测方面，系统集成了多参数传感装置，实时采集机器人工作状态、电池性能和用电负荷等关键指标，构建了精细化的能耗监测体系。基于这些实时数据，系统采用机器学习算法分析能耗特征，建立动态能耗模型。在电力资源分配方面，系统综合考虑列车运行状态、机器人任务优先级和能源供给情况等多重因素，通过优化算法生成最优电力分配方案。这套能源管理系统不仅实现了充电过程的智能化和自动化，还显著提升了电力资源利用效率，为高铁智能服务机器人系统的持续稳定运行提供了可靠的能源保障。

（3）乘客服务系统

本系统依托云计算平台构建了智能化的乘客服务中枢，通过分布式数据采集与处理

架构，实现对乘客需求的精准感知与智能响应。系统整合了列车票务信息、乘客历史行为数据、实时位置信息等多维度数据源，运用大数据分析技术深入挖掘旅客的潜在需求特征。基于乘客画像技术，系统能够自动识别不同旅客群体的服务偏好，为商务旅客、旅游观光客、特殊需求乘客等不同群体建立差异化的服务模型。

在服务响应方面，系统采用微服务架构设计，将各类服务功能模块化。通过智能推荐算法，系统能够根据乘客的实时状态和上下文环境，动态推送最相关的服务内容，包括座位调整建议、餐饮服务预约、中转接驳信息等个性化服务选项。系统还支持场景自适应的交互方式，乘客可通过语音、触屏或手势等多种方式获取服务，系统会根据当前环境噪声水平、人流密度等因素自动优化交互模式。

在多语言交互支持方面，系统集成了神经机器翻译技术，构建了面向高铁场景的领域自适应翻译模型。该系统不仅支持中英日韩等常见语言的实时互译，还能自动识别各地方言和行业术语，确保服务沟通的准确性和流畅性。通过持续学习交互数据，系统的语言理解能力可不断进化，为国际旅客提供无障碍的出行体验。所有服务交互过程都遵循隐私保护原则，在提供个性化服务的同时确保乘客信息安全。

5. 总结

本文提出的智能一站式机器人系统期望通过创新性地整合多模态感知、自主决策和智能交互等关键技术，在实际运营测试中展现出显著优势，不仅大幅提升了高铁运营管理的效率，更为乘客带来了前所未有的智能化服务体验。系统在多个维度的性能提升验证了智能技术在轨道交通领域的应用价值，为行业数字化转型提供了重要参考。

面向未来发展，本系统将在以下三个方向持续深化研究：首先，将重点推进数字孪生技术的深度集成应用，构建列车全生命周期的虚拟映射系统，实现物理空间与数字空间的实时交互与协同优化。其次，探索量子计算在复杂环境路径规划中的创新应用，利用量子算法的并行计算优势，解决传统算法在超大规模路网规划中的计算效率瓶颈问题。最后，致力于研发更高级别的自主决策能力，通过引入强化学习、因果推理等前沿AI技术，使系统具备情境感知、逻辑推理

和自适应学习等类人认知能力，最终实现从自动化到智能化的跨越式发展。这些研究方向不仅将推动高铁服务机器人系统的持续升级，也将为整个轨道交通行业的智能化转型提供新的技术路径和方法论支撑。

参考文献

[1] 李艳燕. 智能时代的教育数字化转型：内涵、挑战与路径[J]. 阅江学刊, 2024(02).

[2] 饶劲松;李薇;李珩. 高校数字化转型策略研究[J]. 中国大学教学, 2025(03).

[3] 闫林伟, 范小宁. 基于自适应动态窗口算法的 AGV 局部路径规划[J]. 南京信息工程大学学报, 2024,46(3): 1-10.

[4] 孙正字, 王小明, 李向东, 等. 基于正态分布的滑动平均滤波法在搬运机器人中的应用[J]. 自动化技术, 2020,32(4):56-62.