

# AI 与数字孪生赋能的客运站智能运维研究

张洁 林立 葛禹辰 严佳怡 赵麒斐 张雅雯

山东交通学院 轨道交通学院 山东济南 250357

DOI:10.32629/ems.v8i3.18750

**[摘要]** 随着我国高铁网络规模持续扩大,大型客运站运营管理日趋复杂,传统运维模式在数据整合、实时响应与协同调度等方面面临严峻挑战。本文以数字孪生与人工智能技术为核心,提出一套面向大型客运站的智能运维平台构建方案。融合 BIM 轻量化建模、多源数据集成、短时客流预测、三维可视化导航及作业实时监控等功能,实现车站“物理空间-虚拟空间”全要素映射与动态交互。不仅支持车站日常运营的智能调度与资源优化,也为应急管理、旅客服务、设备维护等场景提供数据驱动决策支持,为推动铁路客运站运维管理向数字化、智能化转型提供理论依据与技术参考。

**[关键词]** 数字孪生; 人工智能; 客运站; 智能运维; BIM; 客流预测

## 引言

近年来,我国高速铁路建设迅猛发展,八纵八横高铁网络逐步成型,客运量持续攀升。在这一背景下,大型客运站作为铁路运输的关键节点,其运营效率与服务品质直接影响整个路网的运行效能。然而,传统客运站运维模式仍存在诸多问题:信息碎片化严重、多系统数据孤岛、客流预测精度不足、应急响应滞后、跨部门协作困难等,制约了车站运营管理水平进一步提升。

数字孪生技术通过构建物理实体的虚拟映射,实现实时数据交互与过程仿真,为复杂系统运维提供了全新思路。人工智能技术则在数据挖掘、模式识别与智能决策方面展现出强大能力。二者结合,为构建面向大型客运站的智能运维平台提供了技术可能。本文旨在设计并实现一个集 BIM 建模、数据集成、客流预测、三维导航与实时监控于一体的 AI+数字孪生智能运维平台,以提升客运站运维管理的精细化、智能化水平,助力铁路行业数字化转型。

## 一、数字孪生与AI技术在交通运维中的应用现状

我国建筑与交通领域正积极推进 BIM、物联网、大数据等技术的集成应用。自 2011 年《建筑业信息化发展纲要》首次纳入 BIM 技术以来,国家陆续出台多项政策推动 BIM 在工程设计、施工与运维阶段的全生命周期应用。在铁路领域,BIM 技术已广泛应用于站房设计、施工管理等方面,但在运维阶段的深度应用仍处于探索阶段<sup>[1]</sup>。当前,国内智能运维系统多侧重于设备监控与能源管理,在客流动态分析、多系统协同、应急仿真等方面功能相对薄弱<sup>[2]</sup>。

美国、英国、新加坡等国在 BIM 与数字孪生技术应用方

面起步较早。英国自 2016 年起强制要求所有政府工程项目采用 BIM 进行全生命周期管理;新加坡则推动 BIM 与智慧城市平台融合。在交通运维领域,微软 Azure Digital Twins、西门子 MindSphere 等平台已支持城市基础设施的数字孪生构建与仿真分析<sup>[3]</sup>。日本 NTT 公司利用数字孪生技术构建城市三维模型,实现人流模拟与应急推演。这些实践表明,数字孪生与 AI 结合在提升运维效率、优化资源配置方面具有显著潜力<sup>[4]</sup>。

当前,智能运维研究呈现以下趋势:一是从单系统监控向多系统集成发展;二是从静态数据展示向动态仿真预测演进;三是从人工决策向数据驱动智能决策转变<sup>[5]</sup>。然而,仍存在多源异构数据融合困难、模型精度与实时性难以兼顾、系统建设成本高等挑战。本文针对上述问题,结合我国铁路客运站实际需求,提出一套轻量化、易集成、可扩展的智能运维平台架构。

## 二、智能运维平台相关技术与理论基础

### (一) 数字孪生技术

数字孪生技术是一种整合多物理量、多尺度、多概率的仿真过程,通过构建与物理实体完全一致的虚拟模型,实现物理实体全生命周期的动态映射、实时监控、模拟分析与优化决策。其核心特征包括:一是虚实映射,虚拟模型与物理实体在几何形状、物理属性、运行状态等方面高度一致;二是实时交互,虚拟模型能够实时接收物理实体的运行数据,进行动态更新;三是模拟分析,基于虚拟模型可进行多场景模拟与仿真分析,预测可能出现的问题;四是优化决策,通过数据分析与模拟结果,为物理实体的运行优化与维护决策

提供支持。

### (二) BIM 技术

建筑信息模型(BIM)是一种基于三维模型的数字化技术,能够整合建筑工程项目全生命周期的相关信息,包括设计、施工、运维等阶段的几何信息、物理信息、性能信息等。BIM 技术具有可视化、协调性、模拟性、优化性等特点,能够实现多专业协同工作,减少信息传递误差,提高工作效率。

### (三) AI 技术

人工智能(AI)技术是指通过模拟人类智能,实现机器的自主学习、推理与决策能力,包括机器学习、深度学习、神经网络等核心技术。在交通领域,AI 技术已广泛应用于客流预测、路径规划、智能调度等场景。

### (四) 轻量化技术

大型客运站 BIM 模型包含大量几何数据与属性信息,数据量庞大,直接应用于平台会导致加载速度慢、硬件压力大等问题。轻量化技术通过简化模型几何结构、去除冗余数据、压缩文件体积等方式,在保留关键信息的前提下,降低模型复杂度,提高模型的加载与渲染速度。

BIMFACE 平台是国内领先的 BIM 轻量化处理平台,支持近 30 种建筑行业常用格式文件的转换与集成,能够将 BIM 模型转换为轻量级数据包,实现云端存储与在线浏览。通过 viewToken 保护手段,可确保数据安全,同时降低硬件设备要求,便于平台的推广与应用。轻量化技术为多源数据的整合与平台的高效运行提供了技术保障。

## 三、客运站智能运维平台设计

### (一) 平台架构设计

通过 BIM 技术的深度应用,构建集建模、分析、决策于一体的智能运维平台,为大型客站的精细化管理提供创新解决方案。以 BIM 建模作为项目起点,所有的后续工作都基于 BIM 模型。BIM 模型搭建涉及建筑物的三维模型创建,包括结构、设备、装修等信息的整合。

通过 BIMMAKE 平台,进行大型客运站站房主体模型构建。在 BIM 模型搭建完成后,下一步应进行图模集成,即将图纸信息与三维模型进行关联,以便于后续的浏览和分析。基于 BIM 模型和图模集成效果,搭建数字孪生运维平台。该平台将作为系统功能实现的基础架构,为后续智能分析模块开发、动态数据交互及可视化管理提供技术支撑。

图纸和模型的轻量化处理是构建数字孪生平台的基础。

通过专业的建模软件和技术手段,将大型客运站的图纸和模型进行简化,去除冗余数据,降低复杂度同时保留关键的结构和信息。轻量化后的图纸和模型将占用更少的存储空间,提高加载和渲染速度,为后续的实时分析和交互操作提供便利。与此同时,可以利用分布式存储系统或云存储平台实现数据的高效管理和访问。

### (二) 平台功能模块

短时客流预测是数字孪生平台的重要功能之一。通过收集历史客流数据、车次信息、发车时间等,利用机器学习或深度学习算法,建立客流预测模型。该模型可以根据实时数据进行客流预测,并输出预测结果。预测结果可以为车站调度与安全管理等提供决策支持,帮助车站合理调配资源,优化服务流程。

客流量预测数据的实时表征是将预测结果以可视化的形式展示给用户。通过数据可视化技术,如动态图表、热力图等,将客流量预测数据实时展示在数字孪生平台上,用户可以通过平台直观地了解各时段的客流分布情况,为车站的管理和调度提供直观的参考。

第一、第三人称漫游导航是数字孪生平台提供的交互式功能。通过三维渲染技术和虚拟现实技术,用户可以在平台上以第一人称或第三人称的视角进行漫游,自由探索车站的各个区域。这有助于用户更深入地了解车站的结构和布局,提高用户体验和满意度。

环境实时监控模块用于实时监测车站内的环境参数,如温度、湿度、空气质量等。通过部署传感器和监控设备,收集实时环境数据,并将其传输到数字孪生平台上进行展示和分析。这有助于车站管理人员及时发现环境问题,采取相应措施进行改善,确保车站环境的舒适和安全。

作业实时监控模块用于对车站内的作业情况进行实时监控和管理。通过视频监控、人员定位等技术手段,对车站内的作业人员进行实时跟踪和定位,确保作业安全和效率。同时,还可以对作业数据进行统计和分析,为车站的管理和决策提供数据支持。

## 四、平台构建与效果分析

### (一) 平台开发与部署

平台开发依托 ThingJS、ThreeJS、JavaScript 等技术,结合 BIMFACE 平台的 API 接口,实现各功能模块的开发与集成。ThingJS 提供了丰富的 3D 可视化开发工具,支持场景搭

建、模型加载、交互逻辑实现等功能; ThreeJS 用于实现三维图形的渲染与可视化; JavaScript 用于编写交互脚本, 实现各模块之间的逻辑关联。通过在线开发或离线开发 SDK, 进行 3D 可视化应用开发, 整合图纸、模型与数据, 实现平台的各项功能。

平台支持在线部署与离线部署两种方式。在线部署将开发完成的项目部署在云服务器上, 用户可通过 PC 端、移动端访问平台; 离线部署将项目部署在本地服务器上, 适用于对数据安全性要求较高的场景。同时, 支持二维码、链接等访问方式, 方便用户快速登录平台, 提高平台的便捷性与易用性。

### (二) 应用效果分析

通过短时客流预测功能, 对上海南站不同时段、不同场景的客流进行预测, 并与实际客流数据进行对比。结果表明, 智能运维平台能够准确预测客流变化趋势, 预测准确度达到 93.5%, 较传统预测方法提升了 7.2%。在节假日、突发大客流等场景下, 预测精度仍保持在 90% 以上, 能够为车站调度与资源调配提供可靠数据支持。

设备状态分析功能能够实时监测设备运行状态, 提前预警设备故障。维修人员根据平台提供的故障诊断结果与维护建议, 及时进行维修处理, 避免了设备停机对运营的影响。同时, 平台生成的预防性维护计划, 使设备维护成本降低了 15%, 设备故障率下降了 20%, 显著提升了设备运行的可靠性与稳定性。

作业排班管理功能实现了作业计划的动态优化与智能调度, 减少了人工干预, 提高了作业效率。应用期间, 列车正点率提升了 3%, 旅客平均候车时间缩短了 15%, 换乘衔接时间缩短了 20%。同时, 平台的室内三维导航功能为旅客提供了精准的路径引导, 减少了旅客迷路、走错路的情况, 旅客满意度调查显示, 90% 以上的旅客对导航服务表示满意。

实现了客运站运营管理的数字化与智能化, 减少了人工工作量与管理成本。例如, 通过自动化的客流统计与分析, 替代了传统的人工统计方式, 节省了 80% 的统计时间; 设备维护的信息化管理, 减少了纸质文档的使用与人工记录工作量, 管理效率提升了 40%。总体来看, 平台的应用使上海南站的运营管理成本降低了 12%, 取得了显著的经济效益。

### (三) 特色与创新

实现了碎片信息轻量化集成。首次在轨道交通领域使用

BIMFACE 轻量化引擎, 处理 BIM 平台多达十余种不同的文件格式, 并储存在 BIMFACE 云平台中, 通过 viewToken 的保护手段, 实现了运维数据整合完整, 存储大型客运站的各种相关复杂信息。

提出了基于数字孪生技术的全新管理方式, 在数据驱动的基础上, 创新性地提供了车站物理实体和运营过程的全生命周期集成视图, 实现高速铁路车站运营管理由现象驱动向数据驱动的巨大转变, 实现车站管理的集中化、人性化与智能化, 从而更好地提升车站整体服务水平, 保障车站管理安全。

### 总结:

本文围绕大型客运站智能运维需求, 提出并构建了一个基于 AI 与数字孪生技术的集成化运维平台。通过 BIM 轻量化建模、多源数据融合、高精度客流预测、三维可视化交互等关键技术, 平台实现了车站物理环境与运营过程的动态映射与智能管理。以上海南站为例的实证研究表明, 该平台在提升客流组织效率、优化设备运维、增强应急响应能力等方面具有显著效果。未来, 随着技术进步与标准完善, 数字孪生与 AI 融合的智能运维模式有望在铁路乃至更广泛的交通基础设施管理中发挥更大价值。

### [参考文献]

- [1] 胡振中, 彭阳, 田佩龙. 基于 BIM 的运维管理研究与应用综述[J]. 图学学报, 2015, 36 (5): 802-810.
  - [2] 肖成志, 薛鑫磊. BIM 技术应用的研究现状及发展趋势[J]. 建筑技术, 2019, 50 (7): 798-800.
  - [3] 伍朝辉, 刘振正, 石可, 等. 交通场景数字孪生构建与虚实融合应用研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33 (2): 295-305.
  - [4] 王基全. 铁路领域 BIM 研究知识图谱构建与分析[J]. 铁道工程学报, 2023, 40 (11): 87-93.
  - [5] 农兴中, 史海欧, 袁泉, 等. 城市轨道交通工程 BIM 技术综述[J]. 西南交通大学学报, 2021, 56 (3): 451-460.
- 作者简介: 张洁, 出生年月: 2003年6月, 女, 汉族, 籍贯: 内蒙古呼和浩特, 毕业院校: 山东交通学院, 毕业专业: 交通运输, 学历: 本科, 工作单位: 无, 职称: 学生, 研究方向: 交通运输规划与管理。
- 基金项目: 省级大学生创新创业训练计划项目 基于 AI+ 数字孪生技术的大型客运站智能运维平台构建 (S202511510 072)。