

铁路客运车站数字孪生客服信息系统建设、应用

罗红元

通号通信信息集团有限公司成都分公司 四川 成都 610000

摘要：随着我国铁路网规模持续扩大和旅客出行需求日益增长，传统铁路客运车站客服信息系统在应对大客流、复杂场景及个性化服务方面逐渐显现出局限性。数字孪生（Digital Twin）技术作为新一代信息技术与物理世界深度融合的产物，为构建高保真、实时交互、智能决策的新型客服系统提供了全新范式。本文深入探讨了铁路客运车站数字孪生客服信息系统的核心架构、关键技术，并结合实际应用场景，系统阐述了其在提升车站运营效率、优化旅客服务体验、强化应急处置能力等方面的巨大潜力。旨在为智慧铁路建设提供理论支撑与实践参考。

关键词：铁路客运车站；数字孪生；客服信息系统；智慧车站；智能服务

引言

“八纵八横”高铁网渐成，大型枢纽客运站日均客流量不断攀升，运营管理复杂度大幅增加。传统铁路客运车站客服信息系统依赖静态广播、LED显示屏等，信息传递单向、服务被动、响应滞后，难以满足旅客对便捷高效精准个性化服务的需求^[1]。与此同时，物联网、大数据、人工智能、5G通信等新一代信息技术蓬勃发展，深刻改变着各行业。数字孪生技术能在虚拟空间构建物理实体动态高保真映射模型，实现物理与信息世界双向闭环交互，为复杂系统全生命周期管理提供革命性方案。引入数字孪生理念到车站客服领域，是技术发展必然，也是破解服务难题、实现车站精细智能人性化管理的关键。

1 系统总体架构设计

1.1 基础设施层（IaaS）

该层是系统的物理与网络根基，主要包括：（1）感知层：部署各类传感器（人流计数器、温湿度传感器、烟雾报警器）、高清摄像头、RFID标签、定位基站（UWB/蓝牙信标）等，用于采集车站内外部环境及对象的原始数据。（2）网络层：构建高速、低时延、高可靠的通信网络，通常采用5G专网与光纤骨干网相结合的方式，确保海量数据能够稳定、快速地传输至数据中心。（3）计算与存储层：提供强大的边缘计算节点（用于本地实时处理）和云端数据中心（用于大规模数据存储与复杂模型训练），支撑上层应用的高效运行。

1.2 数据资源层（DaaS）

此层负责对来自基础设施层的多源异构数据进行汇聚、清洗、融合与治理，形成统一的数据资产。核心数据包括：（1）静态数据：车站BIM模型、设备台账、服务设施目录、时刻表等。（2）动态数据：实时客流热力图、设备运行状态、列车到发信息、安检排队时长、商

业消费数据等。（3）业务数据：票务信息、重点旅客服务记录、投诉建议、应急预案库等。（4）外部数据：天气预报、城市交通信息、社交媒体舆情等。通过建立统一的数据湖仓一体架构和数据标准体系，打破信息孤岛，为上层应用提供高质量、一致性的数据服务。

1.3 数字孪生引擎层（PaaS）

这是系统的核心“大脑”，包含一系列关键功能模块：（1）三维可视化引擎：基于WebGL等技术，渲染高保真的车站三维场景，支持多视角、多尺度的沉浸式漫游与交互。（2）数据驱动建模引擎：将物理实体抽象为具有属性、状态和行为的数字模型，并能根据实时数据自动更新模型状态^[2]。（3）仿真推演引擎：集成客流仿真、应急疏散仿真、设备故障影响分析等专业模型，支持对各种运营场景进行沙盘推演和预案验证。（4）AI智能引擎：封装自然语言处理（NLP）、计算机视觉（CV）、机器学习（ML）等算法能力，用于旅客意图识别、异常行为检测、服务需求预测等。

1.4 应用服务层（SaaS）

面向不同用户群体，提供丰富的智能应用服务：（1）面向旅客的服务：个性化行程助手、AR实景导航、智能问询机器人、无感通行引导、失物招领匹配、重点旅客一键求助等。（2）面向车站管理者的服务：全景运营驾驶舱、智能调度指挥、设备健康监测与预测性维护、客流预警与疏导、服务质量评估、应急指挥联动等。（3）面向商业运营的服务：基于客流画像的精准营销、商铺智能选址、商业坪效分析等。

1.5 用户交互层

提供多样化的交互入口，确保服务触手可及：（1）移动端：官方APP、微信小程序，是旅客获取服务的主要渠道。（2）现场终端：智能问询屏、自助服务机、AR眼

镜等。(3)管理端:PC端或大屏指挥中心,供管理人员监控全局、下达指令。(4)语音交互:集成智能音箱或电话客服系统,提供无障碍服务。

1.6 数据安全管控

系统需构建全生命周期安全防护体系:技术上,用国密算法加密、零信任架构控制访问,网络传输部署5G切片隔离与边缘安全网关,存储依托区块链确保审计可追溯;要通过等保三级及以上认证,定期渗透测试与应急演练;建立数据分类分级管理制度,明确权限与脱敏规则,实现安全与效能统一。

2 关键技术支持

2.1 高精度空间建模与定位技术

构建一个真实可信的数字孪生体,离不开对物理空间的精准刻画。这需要将精细到构件级别的建筑信息模型(BIM)与宏观的城市地理信息系统(GIS)进行深度融合,既保证了室内空间细节的准确性,又实现了车站与城市交通网络的无缝衔接。在此基础上,室内高精度定位技术成为连接虚拟与现实的关键纽带。通过综合运用超宽带(UWB)、蓝牙到达角(AoA)和Wi-Fi往返时间(RTT)等多种定位技术,系统能够实现亚米级甚至厘米级的定位精度,为后续的精准确导航、位置触发式服务以及客流行为分析奠定了不可或缺的基础。

2.2 多源异构数据融合与治理技术

车站运营产生的数据来源极其广泛,格式千差万别,质量也参差不齐。要将这些碎片化的信息整合成有价值的洞察,必须依赖先进的多源异构数据融合与治理体系。该体系采用诸如卡尔曼滤波、深度学习融合模型等算法,对来自视频、传感器、业务系统等不同源头的数据进行时空对齐、冲突消解和语义关联,确保最终形成的统一数据视图具备高度的一致性、准确性和时效性^[3]。同时,严格的数据治理流程贯穿数据全生命周期,从采集、存储到使用、销毁,都遵循明确的标准与规范,保障了数据资产的健康与安全。

2.3 人工智能与大数据分析技术

人工智能与大数据分析是赋予数字孪生系统“智慧”的核心驱动力。通过对海量旅客轨迹数据的深度挖掘,系统能够精准刻画个体与群体的出行规律、停留偏好及潜在服务需求,构建动态演化的旅客画像。在交互层面,基于预训练大语言模型和铁路领域知识图谱构建的智能问答系统,能够理解复杂的自然语言语境,提供流畅、准确的多轮对话服务。更为重要的是,系统利用时间序列预测、图神经网络等先进模型,能够对未来的客流分布、设备健康状态等关键指标进行前瞻性预测,

从而将运营管理从传统的被动响应模式,转变为基于数据的主动预防与优化模式。

2.4 实时渲染与AR/VR交互技术

为了让用户获得直观、沉浸的交互体验,系统必须具备强大的实时渲染能力。高性能的WebGL或Unity引擎确保了即使在普通移动终端上,也能流畅地展示包含大量细节的复杂三维车站场景。在此基础上,增强现实(AR)技术的应用进一步模糊了虚拟与现实的边界。旅客只需打开手机摄像头,便能在真实视野中看到叠加的虚拟指引信息,如动态箭头、文字提示或设施标识,这种“所见即所得”的导航方式极大地降低了信息获取的认知负荷,提升了服务的直观性与易用性。

2.5 数据安全管控

关键技术包括:基于可信执行环境(TEE)的边缘计算安全沙箱,可在本地完成敏感数据处理而不上传原始信息;采用联邦学习框架,在不共享原始数据的前提下实现跨区域模型协同训练;利用差分隐私技术对客流热力图、行为轨迹等聚合数据注入可控噪声,防止个体身份被反推。同时,系统应构建动态风险评估模型,结合AI驱动的异常行为检测(如非授权访问、数据批量导出),实现安全事件的智能预警与自动阻断。此外,需建立统一的身份认证与权限管理中心,支持多因子认证与角色动态授权,确保“最小权限”原则落地。

3 典型应用场景分析

3.1 个性化、全流程旅客服务

从旅客完成购票那一刻起,其数字身份便被系统识别并关联。当其步入车站,系统便能基于其具体的车次信息、座位号、历史出行偏好乃至实时携带的行李情况,主动推送高度定制化的服务。例如,系统会为携带大件行李的旅客自动规划一条全程配备直梯的最短路径;为首次乘车、不熟悉流程的旅客提供分步骤的候车、检票、上车引导动画;一旦其所乘列车出现晚点,系统不仅能第一时间推送通知,还能智能推荐可行的改签方案,并附上候车区域周边的餐饮、休息等便利信息。整个服务过程无需旅客主动发起查询,信息与服务如同一位无形的私人助理,始终伴随左右,实现了真正意义上的“无感”与“有心”。

3.2 智能化车站运营与调度

通过全景运营驾驶舱,管理者可以一目了然地掌握全站的实时运行态势。当系统通过视频分析和传感器数据监测到某候车区域的客流密度即将或已经超出安全阈值时,会立即触发智能预警,并基于内置的仿真模型,自动生成一套或多套最优的客流疏导方案,例如建议开启备用安检

通道、调整广播引导内容或临时增派工作人员^[4]。同样，对于扶梯、空调、照明等关键设备，系统通过对其运行参数的7×24小时监控，能够敏锐地捕捉到性能劣化的早期征兆，从而提前生成预测性维护工单，将故障消灭在萌芽状态，有效保障了车站运营的平稳与可靠。

3.3 高效化应急指挥与处置

在突发事件（如火灾、治安事件、公共卫生事件）发生时，数字孪生系统能迅速切换至应急模式。它能基于实时视频和传感器数据，精准定位事发地点，并自动调取周边所有相关摄像头的画面，为指挥中心提供第一手现场情报。更重要的是，其内置的应急仿真引擎能够结合当前真实的客流分布，快速推演出多条安全、高效的疏散路径和救援力量部署方案。指挥人员可以在三维可视化场景中直接进行圈选、标注和任务指派，指令通过系统即时下发至一线工作人员的移动终端，实现了指挥命令的秒级传达与执行，极大地压缩了应急响应时间，提升了整体协同作战能力。

3.4 精准化商业运营与管理

通过对全站客流热力图、各区域平均停留时长、消费交易记录等数据的深度交叉分析，系统能够为商业管理部门提供极具价值的决策洞察。它可以精准识别出高价值客流的聚集区域和流动规律，为商铺的招商布局 and 商品陈列策略提供数据支撑；能够根据不同时间段、不同客群构成的特点，制定差异化的精准营销和促销活动；还可以对各个商业网点的坪效（每平方米营业面积的产出）进行量化评估，帮助管理者优化空间资源配置，淘汰低效业态，引入高潜力品牌，从而最大化车站商业空间的整体收益。

3.5 数字孪生在车站建设阶段的应用：赋能“建维一体”

传统铁路客运站建设周期长、专业接口多、施工协同复杂，常因设计偏差、施工误差或验收盲区导致后期运维困难。数字孪生技术通过“先虚拟后实体、虚实同步演进”的理念，将客服信息系统从“建成后部署”前移至“建设中嵌入”，实现“建维一体”的全生命周期管理。在设计阶段，基于BIM+GIS的高精度数字模型

可进行多专业碰撞检测与管线综合优化，提前规避空间冲突；在施工阶段，通过激光点云扫描与无人机倾斜摄影，实时比对实体工程与数字模型的几何偏差，确保施工精度；同时，将传感器、通信基站、定位信标等感知设备的预埋位置纳入数字孪生体统一规划，避免后期打孔布线破坏结构。更重要的是，建设期即完成设备台账、拓扑关系、接口协议等静态数据的录入与关联，为后续运维阶段的设备健康管理、故障溯源奠定数据基础。数字孪生不仅服务于“用”，更深度赋能“建”，真正实现“一次建好、长期好用”的高质量发展目标。

4 结语

铁路客运站数字孪生客服信息系统是未来智慧车站的发展方向。它构建物理车站虚拟镜像，打破数据壁垒，让服务模式从被动转为主动智能，既为旅客带来便捷、舒适、安全的出行体验，又为车站管理者提供运营决策利器。展望未来，该系统将有新趋势：一是与“智慧铁路”大系统深度融合，应用范围从单个车站拓展至线路乃至路网，实现跨车站、跨专业协同调度与一体化服务；二是AI大模型深度赋能客服系统，凭借强大通用人工智能能力，提供更有同理心和创造力的交互服务，让虚拟客服更“拟人化”；三是虚实共生体验升级，借助元宇宙概念，车站或成集多种功能于一体的沉浸式公共空间。

参考文献

- [1]冯仕清,李得伟,曹金铭.基于数字孪生的智能高速铁路车站大脑系统研究与设计[J].铁道运输与经济,2020,42(S1):87-92.
- [2]韩正.融合数字孪生技术的高速铁路车站短时客流预测与流线优化研究[D].兰州交通大学,2024. DOI:10.27205/d.cnki.gltec.2024.001067.
- [3]郭喆,任洪权,李超,等.基于数字孪生和BPMN的铁路智能客站数字化研究与应用[J].铁道运输与经济,2026,48(02):164-172.
- [4]武帅,谢尹政,鲁工圆,等.基于数字孪生的铁路客运站技术作业仿真建模[J].铁道运输与经济,2025,47(06):100-108.