



5G 在铁路智能车站中的应用

陈瑞凤¹, 李君², 徐春婕¹, 程清波¹, 吕晓军¹

(1. 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所, 北京 100081;

2. 北京经纬信息技术有限公司, 北京 100081)

摘要: 加速推进 5G “新基建” 战略方针已成为铁路智能车站建设的必然发展趋势。首先分析了我国铁路智能车站相关业务的发展现状, 然后梳理了 5G 通信在智能车站中的应用需求, 并构建了基于云边协同的智能车站 5G 通信网络架构, 最后分别针对旅客出行服务、车站生产组织、安全保障和绿色节能业务, 提出了基于 5G 通信和云边协同的智能车站业务应用模式。基于 5G 通信的智能车站应用可推动车站转型升级, 优化旅客服务品质, 提升旅客出行体验, 提高车站客运生产组织效率。

关键词: 5G 通信; 铁路智能车站; 边缘计算; 云边协同; 应用需求

中图分类号: TN929.5; U238

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021117

Application of 5G in railway smart stations

CHEN Ruifeng¹, LI Jun², XU Chunjie¹, CHENG Qingbo¹, LV Xiaojun¹

1. Institute of Computing Technologies, China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., Beijing 100081, China

2. Beijing Jingwei Information Technology Co., Ltd., Beijing 100081, China

Abstract: Accelerating the 5G “new infrastructure” strategy has become the inevitable development trend of railway smart stations. Firstly, state-of-the-art of relevant business of railway smart stations in China was analyzed. Afterwards, the application requirements of 5G communication in railway smart stations were outlined, and then 5G communication network architecture of railway smart stations was constructed based on cloud edge collaboration. Finally, the application modes of railway smart stations based on 5G communication and cloud edge collaboration were respectively proposed for passenger travel service, station operating organization, security guarantee and green energy saving. The application of railway smart stations based on 5G communication can promote the transformation and upgrading of stations, enhance the quality of passenger service, improve passenger travel experience, and increase the efficiency of passenger transport operating organization.

Key words: 5G communication, railway smart station, edge computing, cloud edge collaboration, application requirement

收稿日期: 2020-12-29; 修回日期: 2021-06-10

通信作者: 徐春婕, 437623629@qq.com

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.62001519); 国家重点研发计划项目 (No.2020YFF0304100)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.62001519), The National Key Research and Development Project (No.2020YFF0304100)

1 引言

5G 通信的全面商用是我国发展“新基建”的重点工作之一,加速 5G 发展已上升为国家战略,对抢占全球科技制高点、推进产业转型升级意义重大,也是驱动我国经济社会发展和生产生活方式发生巨大变革的重要引擎。

5G 通信与物联网、边缘计算、大数据、人工智能、增强现实等新型信息技术的融合应用^[1-2],推动了智能交通、工业、医疗、教育、能源等相关行业利用高新技术改造传统产业的转型进程,也催生了一系列通用产品,例如车联网、群体无人机、云 VR/AR 可穿戴设备、智能机器人、摄像头、安检仪等智能监控识别设备等,在自动驾驶、运维巡检、远程监控、高清直播传输、远程培训等应用场景将发挥巨大的潜力和优势^[3]。

随着数字化、智能化技术的突飞猛进,各应用领域均取得了突破性进展,作为综合运输体系骨干的铁路行业也面临着前所未有的机遇和挑战。“智能铁路”的概念应运而生^[4],近年来德国、法国、日本等发达国家围绕智能铁路技术已展开了一系列创新实践。与此同时,我国的高速铁路发展也取得了显著成就,积极响应“交通强国”战略方针,形成了具有中国特色、拥有自主知识产权的高铁成套技术装备和体系,为高速铁路建设发展提供了强有力的技术支撑。

智能车站作为“智能铁路”的重要组成部分^[5],借助先进的客运管理理念和新型信息技术,具有为旅客提供便捷精准的出行服务、营造温馨舒适的候车环境、提升客运管理效率、实现绿色节能环保等优点。目前,国内智能车站已在长沙南站、昆明南站、中国铁路郑州局集团有限公司等都开展了试点推广应用,取得了良好的经济效益和社会效益。但是,一部分客运服务应用(例如旅客站内出行引导、环境舒适度监控等),目前仍采

用传统的蓝牙定位、无线传感器网络等技术,存在部署成本高、施工量较大、运维困难等问题。随着 5G 技术的规模化商用,人们有必要将 5G 应用于智能车站信息化建设中,只需借助既有的运营商网络,便可实现智能车站出行引导、环境舒适度监控等客运服务业务信息的可靠、稳定、高速传输。

因为 5G 通信具有高速率、低时延、广连接、高可靠、支持快速部署、支持高速移动性等优势,其在智能车站的建设中具有非常可观和广阔的应用前景。随着智能车站的迅猛发展,5G 通信对支撑智能车站客运服务与管理业务具有着重要意义,因此非常有必要采用 5G 通信技术实现智能车站相关业务信息的可靠、稳定、高速传输,为旅客出行和客运管理提供智能化、全方位的信息服务。

2 铁路智能车站发展现状

作为铁路运输系统的重要组成部分,铁路客运车站是客运服务过程中占据着举足轻重的作用。客运车站是直接面向旅客并提供客运服务的主要场所,为旅客提供进站、候车、换乘、出站等全行程出行的综合信息服务。

随着 5G 通信、人工智能、物联网、大数据、云计算等新型信息和通信技术的迅猛发展,铁路客运车站也将向数字化、智能化的发展方向转型,因此,铁路智能车站应运而生^[6]。铁路智能车站借助先进的现代铁路管理理念,在 5G 通信、人工智能、物联网、大数据、边缘计算等新信息技术的基础上,实现旅客便捷出行、车站温馨服务、生产高效组织、安全实时保障、设备节能环保等功能。智能车站服务主要涉及旅客出行服务、智能生产组织、智能安全保障、智能绿色节能等业务,具备全面感知、自助服务、资源共享、协同联动、主动适应等特征^[7],如图 1 所示。

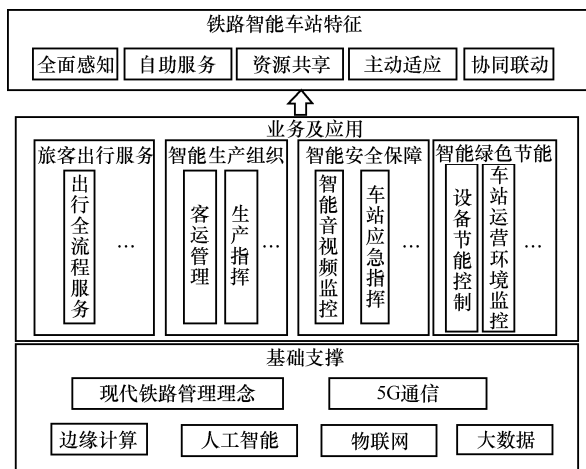


图1 智能车站概念示意图

目前,智能车站已在国内数个铁路客运车站开展了试点应用,在旅客出行服务、生产组织、安全应急、绿色节能等方面部署了大量的信息系统及自助化设备,实现了车站相关业务的信息化,为旅客提供便捷温馨的出行服务,为工作人员提供生产作业过程的智能化手段^[8]。

2.1 智能车站旅客出行服务

在旅客出行过程中的进站核验、出行引导、查询交互以及重点旅客服务等方面,智能车站都采用了智能化信息系统和自助设备,提升旅客出行体验。随着全面“电子客票”的普及实施,我国铁路客运车站已实现了基于人脸和身份证的实名制进站核验系统,通过刷脸进站方式,缩短旅客排队验票时间,提升进站通行效率。国内一部分车站已上线应用了基于蓝牙定位技术的站内旅客引导导航系统,可以实现站内定位、目的地语音导航、室内外一体化导航等旅客出行引导功能。此外,北京西站在站台上设置了电子引导标识,可以动态显示列车车厢位置及编组情况,引导旅客快速乘车。目前,针对旅客查询交互业务,在西安北站、广州南站、太原站等客运车站已经应用了智能旅客服务机器人,为旅客提供车次、候车室、正晚点、车站概况、车站布局等信息的查询服务和移动导航服务。国内大中型车站均设置自助查询机,便于旅客查询列车车次及时间信息、

停靠站信息、公交地铁等换乘信息、周边旅游信息、宾馆住宿信息等。针对老弱病残孕等重点旅客的出行服务需求,智能车站为重点旅客提供多渠道预约服务、无障碍出行服务以及母婴室、阅读室、按摩室、休息室、无障碍卫生间等延伸服务。

2.2 智能车站生产组织

在传统的铁路客运车站生产组织模式中,工作人员排班基本采用“定员定岗”的形式,人员组织安排也采用传统的人工组织和通知,按照以天为时间单位制订并打印的行车计划进行作业,通过站内对讲机完成作业计划的通知和反馈。

随着智能车站的上线应用,客运车站生产和服务业务流程得以重组和优化,实现客运作业计划一体化编制,紧密衔接和组织各生产业务。智能车站管理平台可以基于运营图信息和调度信息,生成和调整列车到发计划,结合车站运营环境,一体化编制全站作业计划,涵盖排班、广播、导向、上水、检票等计划,并根据车站实际运行状态的变化情况,按需配置作业、人员和设备等生产资源,统一、自动调整全站客运计划,实现业务组织的快捷、高效管理,提升车站客运生产组织和管理效率。智能车站将编制好的作业计划和命令下发至广播、导向屏、闸机等客运设备和相关信息系统,实现作业、人员和设备的一体化协同联动,打造客运生产指挥新模式。

2.3 智能车站安全保障

智能车站采用智能视频监控、感知传感器、人工智能和通信技术,在车站重点区域部署智能监控摄像头,对车站的整体运营环境进行感知,基于人工智能算法对旅客聚集密度、异常聚集与扩散、异物侵入、人群异常行为等情况进行检测、识别与分析,做出评判和决策建议,以快速开展应急响应处置,保障客运组织的有序开展和旅客出行的安全。

智能车站构建了完善的应急处置办法，当发生突发事件时，启动相应的应急策略，保障车站的日常运营安全和旅客财产生命安全。应急疏散采用一体化设计方案，通过部署独立的应急疏散标识和设备设施的协同联动，构建旅客安全疏散流线。当发生地震、火灾等突发紧急事件时，自动检票机、闸机、安全门等各类服务设备设施采用联动设计，自动畅通疏散流线，并通过消防广播、应急照明、地面 LED 标识等，指示旅客快速疏散。

2.4 智能车站绿色节能

智能车站采用物联网、智能感知等技术，实现对站内温度、湿度、亮度、噪声、空气质量等运营环境要素的状态信息实时感知、采集和捕获，并采用人工智能算法对运营环境要素的变化趋势进行预测预警和动态展示。同时，在为旅客营造舒适候车环境的基础上，采用自动控制等技术，结合列车到发业务，对空调、照明、导向屏等能耗设备进行合理的节能控制，达到绿色环保、节能降耗的目的。

基于运营环境要素的在线实时监测和发展趋势预测情况，智能车站可生成对空调、照明、广

播、通风等客运设备的控制作业计划和辅助决策，自动控制客运设备并调节运营环境，在为旅客提供温馨舒适的候车环境的同时，也实现设备节能降耗的目标。

3 智能车站的 5G 应用需求

5G 通信面向增强型移动宽带（enhanced mobile broadband, eMBB）、超可靠低时延通信（ultra reliable low latency communication, uRLLC）、大连接物联网（massive machine type communication, mMTC）三大应用场景^[9]，其中，eMBB 具有大带宽高速率特性，uRLLC 具有低时延高可靠特性，mMTC 具有多连接广覆盖特性。5G 通信将全面提升包括峰值速率、移动性、时延、体验速率、连接数密度、流量密度和能效等能力，同时满足“人与人通信”和“物与物连接”的需求。

5G 通信具备大带宽高速率、低时延高可靠、多连接广覆盖等特性，结合人工智能、物联网、边缘计算、云计算等信息技术，借助机器人、高清摄像头、传感器等多种手段，可满足对旅客出行服务、生产组织、安全保障、绿色节能等智能车站业务的全面、精准管理需求。表 1 详细列出

表 1 5G 通信三大场景对应的智能车站业务需求

5G 场景	业务应用	业务描述	端到端传输指标需求
eMBB	4K 超高清视频监控	实时监控车站不同区域的运营状况并传输至指挥中心	带宽约 50 Mbit/s，往返时延<20 ms
	智能服务机器人	机器人所搭载的高清摄像头将监控视频信息传回后台实时处理，并将结果返回	视频传输上行带宽约 40 Mbit/s，下行 2~8 Mbit/s
	旅客问询交互	采集旅客视频和图像信息，并提供语音交互服务	上行带宽为 20~40 Mbit/s，下行带宽约 2 Mbit/s
	旅客出行引导导航	为站内旅客提供基于站内实景地图的语音导航服务	单用户导航带宽需求 2~8 Mbit/s
uRLLC	客运设备管控	实时监测站内设备的运行状态，并在线远程控制设备	往返时延<20 ms，带宽约 40 Mbit/s
	移动终端作业	工作人员手持作业终端办理乘客验检票、客运信息交互、语音通信、移动办公等客运作业	往返时延<100 ms，多媒体业务传输带宽 20 Mbit/s
	应急处置	实现异常紧急状况的视频实时回传，以及应急处置多媒体信息传输	往返时延<20 ms，视频带宽约 40 Mbit/s
mMTC	运营环境监测	采用大规模智能感知设备，实时监测不同区域的环境状态	满足>10 ⁴ 个感知设备的同时接入，时延<500 ms
	客运设备能耗监测	采集不同区域的各类能耗数据，并实时传输至后台	往返时延<500 ms



了 5G 通信三大场景分别对应的智能车站业务需求,具体描述了不同的智能车站业务应用和传输指标需求^[10]。

移动边缘计算(mobile edge computing, MEC)作为 5G 核心网的重要应用功能^[11-12],对满足 5G 在铁路智能车站应用的业务需求具有重要作用。以大型铁路客运站为例,根据业务需求,通常在车站的信息接入机房部署 MEC 服务器,并在 MEC 服务器上部署智能车站的不同应用,以支持车站视频监控等大带宽业务、应急处置等高可靠业务和运营环境监测等大规模物联网业务。

智能车站 5G 应用需求架构如图 2 所示,智能车站基于 5G 通信、物联网、人工智能、边缘计算等新型信息技术,依托智能视频监控、感知传感器、手持作业终端、智能机器人等监测和服务设备,通过智能车站管理平台,实现对旅客服务、生产组织、安全保障、绿色节能等智能车站业务

的支撑,为旅客提供便捷、舒适的出行体验,提升客运组织管理的工作效率和智能化水平。

4 基于云边协同的智能车站 5G 通信网络

智能车站的机电装备在日常运营中将会产生海量的图像、视频等客运服务数据,需结合 5G 通信、人工智能、边缘计算、云边协同等技术,对海量数据进行实时分析及智能识别。5G 通信的高速率、低时延、广覆盖特性能够满足云端人工智能对运算和存储能力的网络要求,并且 5G 的免布线特性能够满足设备现场部署实施的快速施工、灵活部署需求,因此,5G 与边缘计算、云计算和人工智能的融合将有助于智能车站运营模式的升级转型。

云边协同的智能车站 5G 网络架构示意图如图 3 所示,基于云边协同的智能车站 5G 通信网络部署方案具体流程为:在面向旅客服务、生产组织、安全保障和绿色节能业务的各类终端设备上

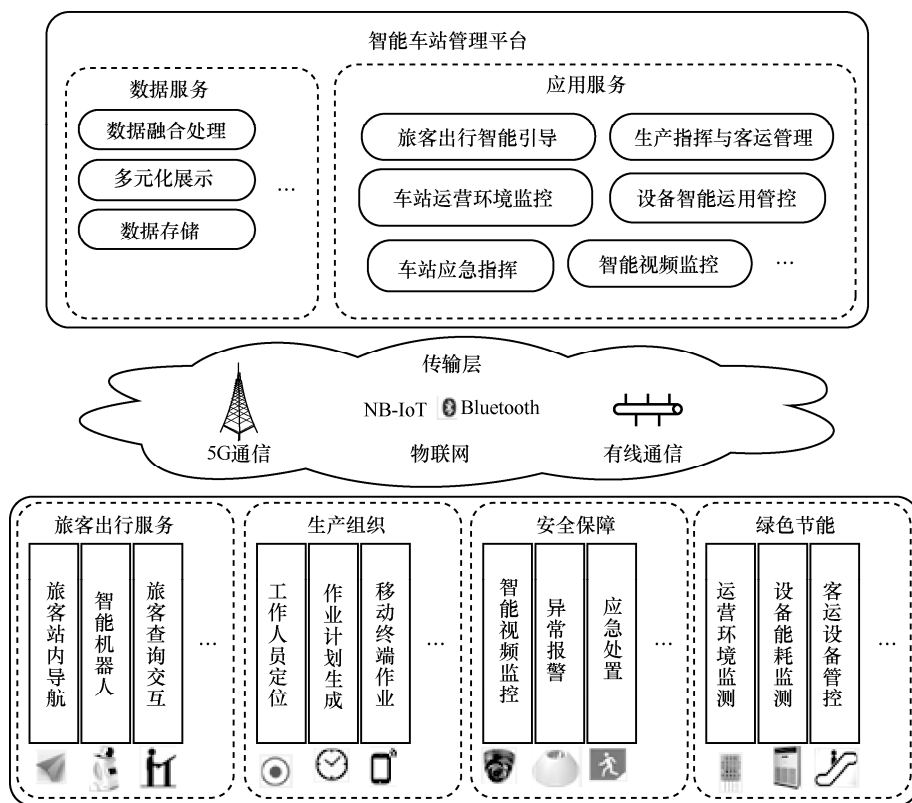


图 2 智能车站 5G 应用需求架构

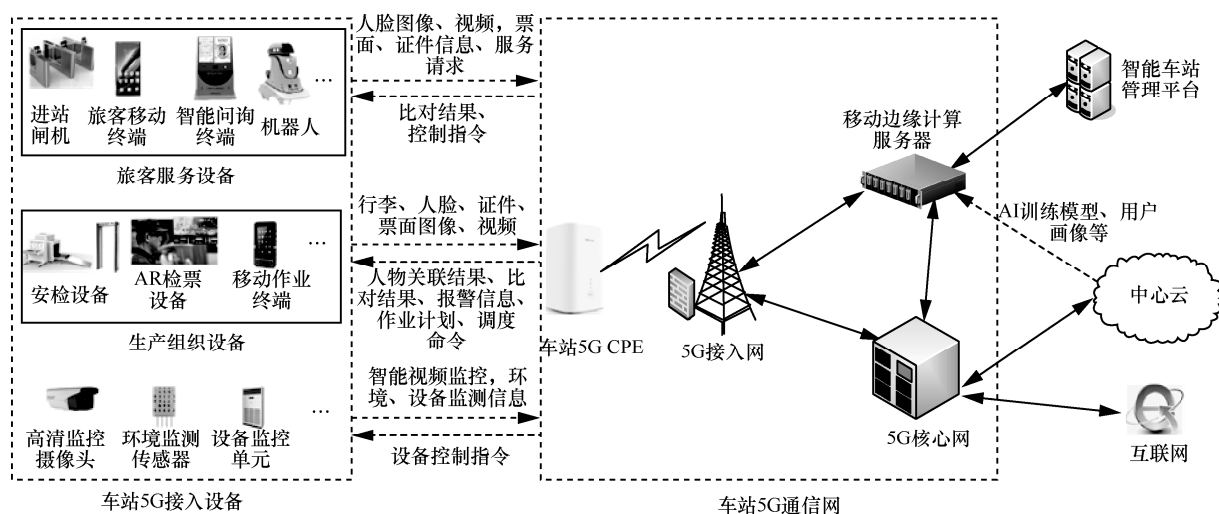


图3 云边协同的智能车站 5G 网络架构示意图

搭载 5G 通信模组，在车站内部署 5G 客户前置设备（customer premise equipment, CPE）等通信网络设备，并将智能车站客运服务系统功能部署到车站本地边缘计算服务器上，云端部署人工智能算法并将训练模型、用户画像等信息推送至本地边缘云，通过 5G 大宽带高速率的实时通信，可以为智能车站客运服务与管理提供新型的、便捷灵活的运营模式。

为了满足车站用户访问不同业务的需求，智能车站将采用 MEC 数据分流机制，5G 核心网的用户面功能（user plane function, UPF）网元在支持 MEC 分流机制中发挥着重要作用^[13]。根据智能车站的业务需求，UPF 需要下沉到网络边缘，与车站 MEC 相连，灵活部署在车站本地，以实现数据流量的本地分流。通常的，智能车站的 UPF 和 MEC 服务器部署在车站信息机房，MEC 服务器与智能车站应用服务器直接相连，并与 5G 核心网、车站 5G 基站建立通信路由。当用户访问不同业务时，MEC 侧 UPF 进行数据业务分流，通过 MEC 分流机制将用户 5G 公网业务分流到核心网，将智能车站的业务分流到智能车站应用服务器，满足智能车站低时延和数据安全需求，并降低数据回传对核心网的压力。

在智能车站 5G 网络安全保障方面，通过建立

一套完善、全面的安全架构体系及安全防护体系，确保智能车站的业务数据安全、网络传输安全和系统运行安全。在智能车站管理平台网络出口部署防火墙、安全通信部件等安全设备，对进入平台网络的实体（包括用户、网络设备等）实施访问控制和基于角色的授权管理，确保系统不被非法访问。智能车站 5G 网络的各部分带宽要保证接入网和核心网满足业务高峰期需要，按照业务需求的重要次序定义带宽分配的优先级，在网络拥堵时优先保障重要业务传输。承载重要业务系统及数据的重要网段不能直接与外部系统连接，需要和其他网段隔离，单独划分区域。

车站本地移动边缘云能够与中心云的客运服务系统协同，整合资源，形成“中心—边缘”的云边协同融合架构，有助于系统扁平化，系统运行更加便捷，更便于智能车站旅客服务、生产组织、安全保障和绿色节能等业务的管理。

5 基于 5G 和云边协同的智能车站业务应用

围绕 5G 通信 eMBB、uRLLC 和 mMTC 三大场景，本文将详细描述 5G 在旅客出行服务、生产组织、安全保障、绿色节能等智能车站业务的应用架构和关键技术。



5.1 基于 5G 和云边协同的旅客出行服务应用

旅客对铁路出行服务的信息化、智能化水平要求越来越高,传统的铁路出行服务已经不能满足市场需求,探索基于 5G 的智能旅客出行服务技术在智能车站建设中具有非常重要的现实意义。

基于 5G 通信的 eMBB 特性,借助车站智能问询机、服务机器人和旅客移动终端等设备,结合智能人脸识别、语音交互、机器学习等关键技术,构建基于 5G 通信的智能车站旅客出行服务系统架构,通过直观、友好的交互接口实现定位导航、信息问询、资讯推送等功能,为旅客提供便捷、无障碍、精确的智能出行服务。

基于 5G 的旅客出行服务应用示意图如图 4 所示,旅客可采用车站问询机、服务机器人和智能移动终端等服务设备,通过人脸识别和语音交互技术,提供站内出行引导、问询、查询等信息服务功能。通过 5G 网络将设备自动采集的旅客头像信息上传至边缘计算服务器,服务器经过快速精准的数据处理,从而获取进站旅客的出行信息,通过 5G 将在本站的开检时间、检票口、乘车引导等信息回传至服务设备,精准地为旅客投送候车、检票等信息,并按照旅客需求推送站内定位导航服务,全方位、多层次、图形化、智能化地满足旅客的候车需求,使得旅客可以全程无忧地候车,不误点不漏乘,提升旅客的出行体验。

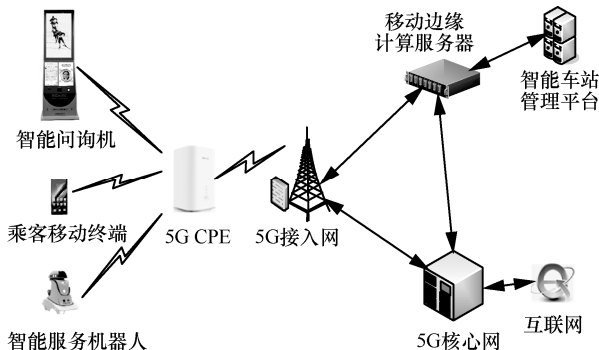


图 4 基于 5G 的旅客出行服务应用示意图

5.2 基于 5G 和云边协同的智能车站生产组织应用

随着 5G 通信、云计算和边缘计算等技术的广泛应用,智能车站生产组织的业务架构将采用云化模式,手持检票机、移动作业终端等相关生产作业设备都将支持接入云化系统,出现云检票、云办公、云作业等新型生产组织业务,可以实现精准检票、智能生产作业、移动办公等多功能。

结合 5G 切片网络能力、增强现实、边缘计算、云计算和大数据等技术,实现智能检票、云作业等立体生产作业模式,改变既有生产组织方式。基于 5G 的智能车站生产组织业务信息交互示意图如图 5 所示,边缘计算具有较强大的计算和存储能力,可以通过车站 5G 通信网将生产作业的处理结果传输至车站工作人员,经移动作业终端显示后,同时也将工作人员的执行反馈结果传输回车站边缘云。

(1) 基于 5G 通信的 AR 云检票

工作人员佩戴 AR 检票眼镜,可对旅客的人

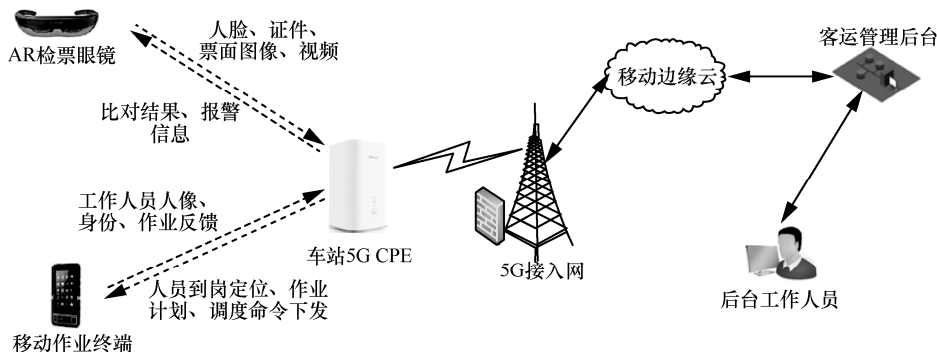


图 5 基于 5G 的智能车站生产组织业务信息交互示意图

脸、票面和证件的图像进行实时采集和智能识别，并将旅客信息通过车站 5G 通信网上传至移动边缘云，通过人证比对算法实时获得结果，将人证比对结果通过车站 5G 通信网实时反馈回工作人员。同时，工作人员也能借助 AR 眼镜实现对站内人员的安全巡检，如果发现重点危险人员，通过 5G 通信和云计算，实现对重点人员的智能识别，将报警信息反馈回工作人员。

(2) 基于车站 5G 通信网的移动生产作业

工作人员在日常生产作业中，随身携带的移动作业终端可以自动识别工作人员人脸和身份信息，并通过车站 5G 通信网实现人员到岗定位功能，客运管理后台将生产作业计划和调度命令等下发至移动终端，工作人员在完成相关指令之后，将作业反馈结果通过车站 5G 网络返回至客运管理后台。

5.3 基于 5G 的智能车站安全保障业务

5G 通信能够满足大带宽传输、超高清分辨率

以及快速部署场景的监控需求，因此在智能车站超高清视频监控和智能识别等安全监控业务中具有巨大的应用前景，例如精准人脸识别、车站人群异常行为监测等应用。

基于 5G 的智能车站安全保障业务架构示意图如图 6 所示，基于 5G 网络的智能车站安全保障应用系统主要由感知层、承载层、平台层和应用层组成。其中，感知层的感知设备主要由视频和图像采集器（例如站内高清监控摄像头、人脸识别进站闸机等）以及环境异常报警器组成，感知对象包含人员、设备和环境等生产要素的状态信息；承载层主要由 5G 传输网、视频监控专网和物联网等构成，其中，覆盖车站的 5G 网络可支撑站内快速部署的高清监控数据的可靠传输；平台层涵盖人脸库、事件库、模型库等各类基础数据库，并提供用户认证、权限、接口、配置、查询等平台管理和服务功能；应用层借助显示终端设备，提供精准人脸识别、人群密度与客流量监测、越

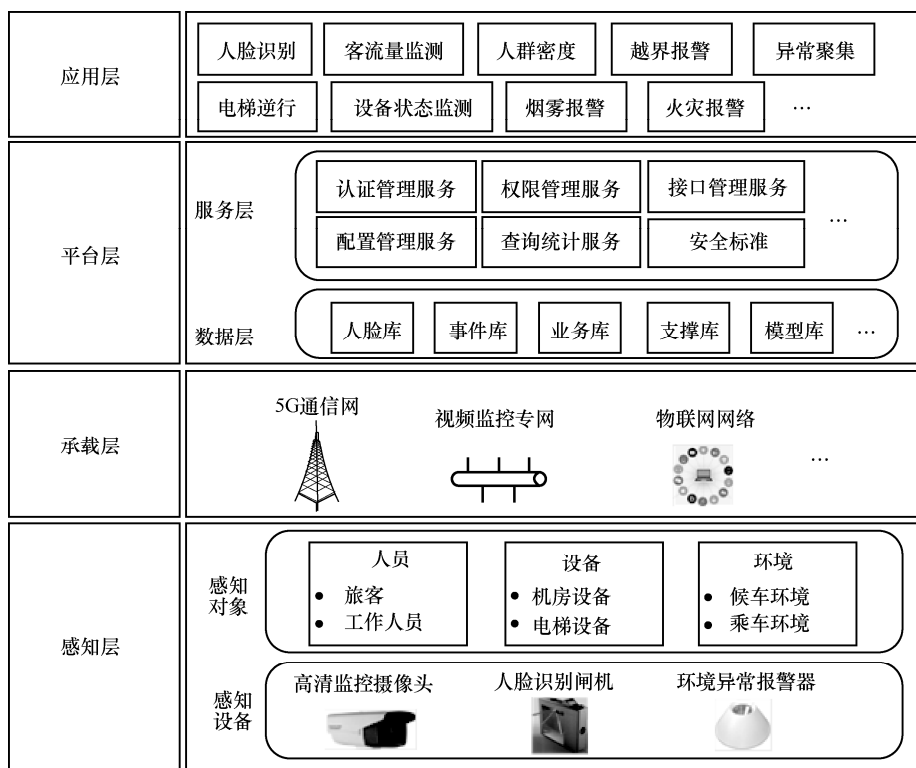


图 6 基于 5G 的智能车站安全保障业务架构示意图



界报警、人群聚集等异常行为识别、电梯逆行、设备监测、烟雾报警等安全监控应用以及报警功能。

5.4 基于 5G 的智能车站绿色节能业务

5G 泛在互联、低功耗、低时延、安全可靠的特性,极大地解决了智能车站运营环境监测物联网设备的部署实施和数据传输的瓶颈问题,也保障了智能车站设备管控数据的安全传输,能够实现对智能车站运营环境的实时可靠监测以及客运设备的连接管理、智能管控和节能降耗等功能。

(1) 基于 5G 的运营环境监测

基于 5G 的智能车站绿色节能业务架构如图 7 所示,在智能车站内部署各类环境监测传感器、5G 窄带物联网(narrow band internet of things, NB-IoT)、5G 接入设备和边缘云,实时监测站内不同区域的温度、湿度、亮度、空气质量、噪声等环境信息,通过

5G 上传至边缘云服务器,服务器在强大的数据资源池进行算法分析和预测,并将相应客运设备的管控决策指令下发至车站,例如在预定时间调节空调的温度、控制站内的照明、调节不同区域广播的音量等,对车站的环境舒适度调控进行辅助决策。

(2) 基于 5G 的设备能耗监测及节能控制

针对车站客运设备(照明、通风、空调、给排水、电扶梯、变配电、供热等设备),实现基于 5G 的设备状态实时监测和在线远程控制。在智能车站客运设备上搭载 5G 通信模组,采集不同区域、不同设备的能耗数据,并通过车站 5G 通信网传输至后台,为能耗能效评估分析提供数据支撑,超出阈值时报警提醒,提示工作人员查看设备的运行状态,并通过 5G 通信网远程控制相关能耗设备,达到节能降耗的目标。

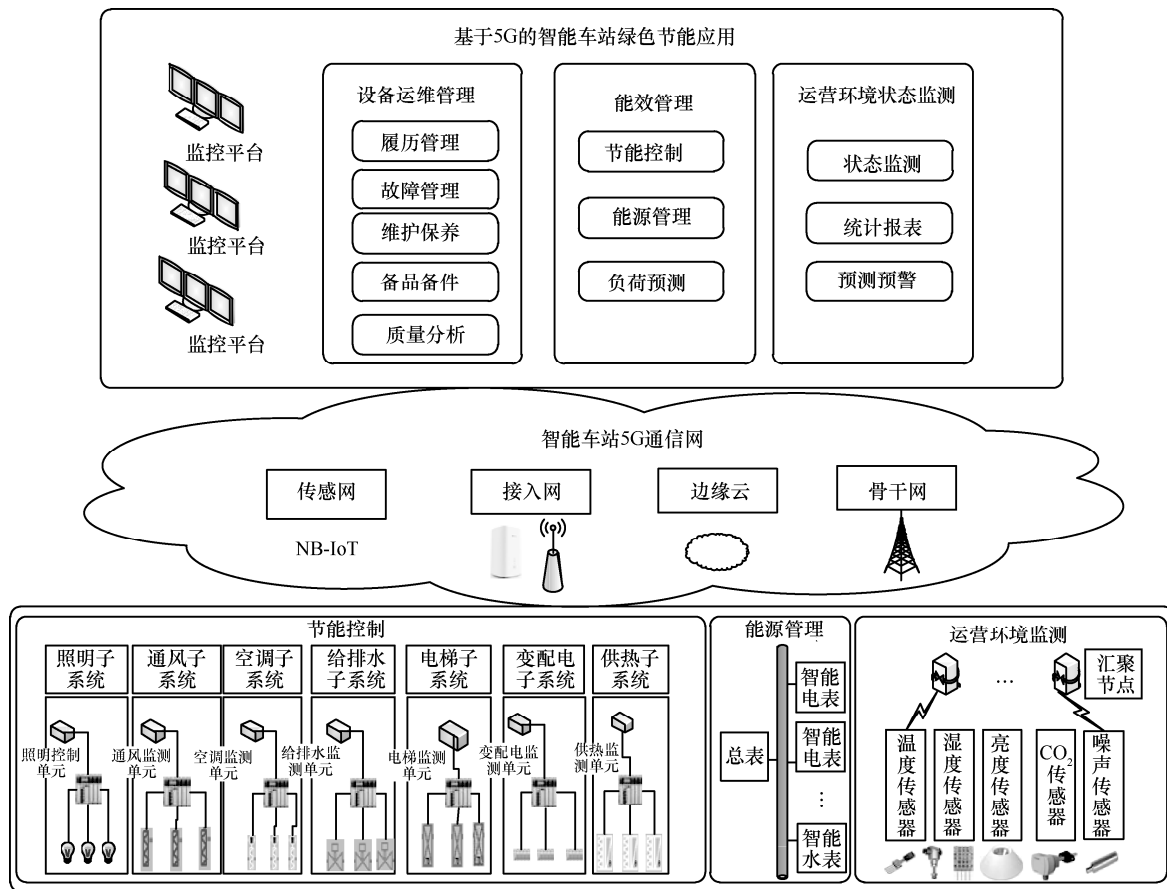


图 7 基于 5G 的智能车站绿色节能业务架构

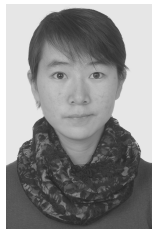
6 结束语

随着我国 5G 商用服务的开启, 通信运营商、垂直行业以及技术公司正在积极合作与实践, 将 5G 通信技术逐步应用于工业制造、交通运输、传媒与物流等诸多垂直行业。顺应 5G 科技革命的潮流, 铁路客运行业也孕育着重大的技术创新需求和发展机遇, 将 5G 通信、物联网、大数据、人工智能、边缘计算等先进技术应用在智能车站客运服务与管理的各个业务领域中, 打造更加安全可靠、经济高效、温馨舒适、方便快捷、节能环保的智能车站运营服务, 从而助力开启智能车站的新时代。

参考文献:

- [1] AI B, MOLISCH A, RUPP M, et al. 5G key technologies for smart railways[J]. Proceedings of the IEEE, 2020, 108(6): 856-893.
- [2] NIGHTINGALE J, SALVA-GARCIA P, CALERO J M A, et al. 5G-QoE: QoE modelling for ultra-HD video streaming in 5G networks[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2018, 64(2): 621-634.
- [3] GARRO E, FUENTES M, CARCEL J L, et al. 5G mixed mode: NR multicast-broadcast services[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2020, 66(2): 390-403.
- [4] WANG H R, NÚÑEZ A, LIU Z G, et al. A Bayesian network approach for condition monitoring of high-speed railway catenaries[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2020, 21(10): 4037-4051.
- [5] YUAN Y, JIANG X, LI Y X. An ineffective transport-focused, causality-based approach to station-to-station railway freight network design[J]. IEEE Access, 2020(8): 143891-143901.
- [6] HODGE V, O'KEEFE S, WEEKS M, et al. Wireless sensor networks for condition monitoring in the railway industry: a survey[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2015, 16(3): 1088-1106.
- [7] 史天运, 张春家. 铁路智能客运车站系统总体设计及评价[J]. 铁路计算机应用, 2018, 27(7): 9-16.
SHI T Y, ZHANG C J. Overall design and evaluation of intelligent railway passenger station system [J]. Railway Computer Application, 2018, 27(7): 9-16.
- [8] 叶年发, 杨岗, 严瑾, 等. 浅析铁路智能旅客车站系统的现状和发展[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(2): 40-45.
YE N F, YANG G, YAN J, et al. Analysis of current situation and development of intelligent system for railway passenger station[J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(2): 40-45.
- [9] GHOSH A, MAEDER A, BAKER M, et al. 5G evolution: a view on 5G cellular technology beyond 3GPP release 15[J]. IEEE Access, 2019(7): 127639-127651.
- [10] 钟章队, 艾渤, 陆平, 等. 综合轨道交通 5G 应用技术白皮书[R]. 2019.
ZHONG Z D, AI B, LU P, et al. White paper report on 5G application technology in integrated rail transit[R]. 2019.
- [11] MAO Y, YOU C, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: the communication perspective [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 13(4): 2322-2358.
- [11] MAO Y Y, YOU C S, ZHANG J, et al. A survey on mobile edge computing: the communication perspective[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2017, 19(4): 2322-2358.
- [12] 张呈宇, 李红五, 屈阳, 等. 面向工业互联网的 5G 边缘计算发展与应用[J]. 电信科学, 2021, 37(1): 129-136.
ZHANG C Y, LI H W, QU Y, et al. 5G edge computing development and application for industrial internet[J]. Telecommunications Science, 2021, 37(1): 129-136.
- [13] 李毅, 董根才, 蔺伟, 等. 边缘计算技术在铁路 5G 移动通信中的应用研究[J]. 中国铁路, 2020(11): 23-30.
LI Y, DONG G C, LIN W, et al. Research on application of edge computing technology in railway 5G mobile communication[J]. China Railway, 2020(11): 23-30.

[作者简介]



陈瑞凤(1989-), 女, 博士, 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所副研究员, 主要研究方向为 5G 通信、智能车站物联网等。

李君(1982-), 女, 北京经纬信息技术有限公司高级工程师, 主要研究方向为铁路客运站车建设及信息化。

徐春婕(1976-), 女, 博士, 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所副研究员, 主要研究方向为高速铁路运行环境监测系统。

程清波(1983-), 男, 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所副研究员, 主要研究方向为智能铁路信息化技术。

吕晓军(1968-), 男, 博士, 中国铁道科学研究院集团有限公司电子计算技术研究所研究员, 主要研究方向为交通信息工程及控制、模式识别与智能系统。