

基于车-车通信的列车运行控制系统后备系统

赵振杰

(太原轨道交通集团有限公司, 030002, 太原)

摘要 [目的] 目前,以 TACS(列车自主运行系统)为代表的基于车-车通信列车运行控制系统后备系统尚不完善,需对其后备系统进行进一步地深入探讨和研究。[方法] 分析了新的运营需求,结合新技术的发展,对一种基于环境识别的 TACS 后备系统进行探讨。详细介绍了 TACS 后备系统的架构及功能,分析了 TACS 后备系统建设的技术难点,阐述了 TACS 后备系统的列车运行空间监测场景及降级运行场景应用情况。[结果及结论] 在发生故障后列车降级运行的情况下,TACS 后备系统能提高运营 TACS 系统效率,并能增强运营安全性。

关键词 城市轨道交通;列车运行控制系统;车-车通信;后备系统;环境感知

中图分类号 U231.7; U284.48

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.06.011

Research on Backup System of Train Operation Control System Based on Vehicle to Vehicle Communication

ZHAO Zhenjie

(Taiyuan Rail Transit Group Co., Ltd., 030002, Taiyuan, China)

Abstract [Objective] At present, represented by TACS (train autonomous control system) and based on vehicle to vehicle communication, the backup system of train operation control system is not perfect, and needs to be further discussed and studied. [Method] By analyzing new operational requirements and combined with the development of new technologies, a TACS backup system based on environment identification is discussed. The architecture and function of TACS and its backup system are introduced in detail, and technical difficulties in building the TACS backup system are analyzed. The application of the above system in train operation space monitoring and degraded operation scenarios is expounded. [Result & Conclusion] In case of train failure and degraded operation, the TACS backup system can improve operation efficiency and enhance operation safety.

Key words urban rail transit; train operation control system; vehicle to vehicle communication; backup system; environmental perception

基于车-地-车通信的 CBTC(基于通信的列车控制)系统经过多年的应用和发展,其系统架构、功能和性能得到广泛认可,技术已极为成熟。但随着城市轨道交通线网规模的不断增大,客运量日益增加,该系统不仅已无法满足不断提高的运营效率需求,而且还存在轨旁设备多、维护难度大、故障后影响范围广、老旧线路改造困难等缺陷。对此,研究更加高效、智能的新一代列车运行控制系统也被提上了日程^[1]。

目前,基于车-车通信的 TACS(列车自主运行系统)广受关注。TACS 以列车为核心,采用资源管理的理念^[2],优化系统架构,整合系统功能,采用列车对线路资源地申请与释放、移动授权地计算等措施,有效地提高了系统灵活性和运营效率。但目前 TACS 的后备系统还不完善。本文从新的运营需求出发,结合新技术的发展,研究一种基于环境识别技术的 TACS 后备系统。

1 新的运营需求

1.1 系统降级后的运营效率需要提高

目前,基于车-地-车通信的 CBTC 系统后备系统(以下简为“CBTC 后备系统”)主要采用点式 ATP(列车自动防护)模式和联锁控制模式^[3]。

若一段线路的地面无线通信设备发生故障,或某一列车车载通信设备发生故障,或某一 ZC(区域控制器)发生故障时,列车无法进入 CBTC 运行模式,但仍具有车载 ATP 防护功能,则列车运行系统降级,切换至点式 ATP 模式。在点式 ATP 模式下,列车在区间运行过程中无法获取列车运行前方的线路状况,追踪列车之间需保持一定运行间隔,运营效率降幅较大。而且 CBTC 系统由于叠加了点式 ATP 模式后备系统,故其系统复杂性大大增加。

在联锁控制模式下,列车按站间闭塞或进路闭塞行驶,运营维持能力更是大幅度下降。

可见,当采用 CBTC 后备系统时,一旦发生故

障需要降级运行,则故障的影响范围广,运营难以快速恢复,运营维持能力也大幅降低。随着线网规模的增大和客流的增加,系统降级运行给运营组织带来极大的压力。

目前,FAO(全自动运行)系统已得到应用,特别是在UTO(无人值守的全自动运行)运行模式下,从运营的角度出发,即使发生故障,也需要尽量持续运营。具体需求为:首先,在发生故障的情况下,应尽量避免列车迫停区间,尽可能快速地将列车运行至站台,以避免区间乘客疏散或列车救援;其次,尽量减小运营能力的下降幅度,降低局部故障对运营晚点的影响,避免乘客大量积压。

综上所述,系统降级后,TACS 后备系统需要具备有效维持运营并能使运营快速恢复的能力。

1.2 系统降级后的安全防护能力需要提高

经分析,CBTC 后备系统的运营效率低主要是由于安全防护能力较低。比如:在联锁控制模式下,CBTC 后备系统不具备列车自动防护功能;在点式ATP模式下,CBTC 后备系统不具备持续监控SPKS(人员防护开关)状态激活、ESB(紧急停车按钮)按下、站台门关门且锁闭状态丢失等防护功能^[3]。

另外,TACS 精简了计轴及应答器等部分轨旁设备。当发生无线通信故障导致列车降级运行时,如何精准定位列车位置,在提高运行效率的同时如何提高安全防护能力,是 TACS 后备系统必须解决的问题。

1.3 列车运行空间监测能力需要提高

1.3.1 异物侵限监测能力需提高

目前,全自动运行系统的自动化手段是按照既定程序作出相应的控制动作,无法替代司机的眼睛和大脑,不具备对突发异常状况进行思考和判断的能力。近几年,频繁出现的人防门侵限、隧道被打穿等异物侵限轨行区事故,不仅中断了运营,还造成人员伤亡,造成较大社会影响。

2019年1月8日,重庆轨道交通环线海峡路站至南湖站区间人防门侵入列车行驶区域,与列车发生擦碰,造成1人死亡,3人受伤。2021年1月22日,南宁轨道交通1号线百花岭站至埌东客运站下行区间隧道被钻穿,钻头与当时正在运营的列车发生擦碰,造成行车中断。除此之外,2021年,深圳地铁1号线、成都地铁8号线、重庆轨道交通6号线、广州地铁13号线、广州地铁14号线,共计发生了6

起隧道被打穿事故。

可见,为确保行车安全,TACS 及其后备系统的异物侵限监测能力需要提高。

1.3.2 乘客闯入轨行区的安全防护能力需要提高

尽管城市轨道交通车站的站台安装了站台门,但近几年仍发生几起乘客闯入轨行区的事件,导致运营中断,乘客大量滞留,引起较大社会关注。

2020年3月17日,深圳一名男子翻越多道护栏闯入深圳地铁3号线轨行区,被列车挤压后身亡;2015年3月15日,昆明地铁1号线一列运行中的列车与轨行区一名男子相撞,该男子抢救无效后死亡。

1.3.3 工程车运行的安全防护能力需要提高

目前,我国轨道交通线路的工程车通常未安装车载列车控制系统。调度员通过计轴设备或轨道电路等轨旁列车占用检测系统来确定工程车位置。工程车司机按目视行车模式行车。由于工程车运行与各专业系统施工均在夜间天窗点交叉,极容易发生工程车撞人撞物事故。

2 TACS 后备系统

为满足新的运营需求,TACS 及其后备系统需要提高智能化运行控制水平。

随着计算机视觉、雷达、人工智能等技术的发展,特别是这些技术在汽车全自动运行领域的应用,从技术成熟度以及成本造价等方面,为轨道交通全自动运行的智能化发展提供了参考^[4-5]。基于国务院印发的《新一代人工智能发展规划》、中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧发展纲要》等文件要求,应将新型传感器、人工智能等技术同轨道交通深度融合,实现复杂动态场景下的环境感知,以及实时精准测速及定位,提高面向复杂环境的适应性,从而提高列车智能感知水平,实现对运行环境的智能化识别。

2.1 TACS 后备系统架构及功能

结合以上新技术的发展,基于环境识别的智能感知系统可用于 TACS 后备系统。通过给列车安装“大脑”和“眼睛”,使列车具备“思考”和“判断”的能力,不仅能自主定位及测速,还能识别列车运行线路限界内所有物体的体积及形态。此外,通过车载设备与轨旁设备的协同配合,还能实现弯道、岔区、坡道处超视距环境探测,使列车真正具备全时空的自主安全防护能力。

TACS 后备系统由车载感知系统、轨旁感知系统、中央监控系统及车-地无线通信系统组成,其系统架构及功能图如图 1 所示。

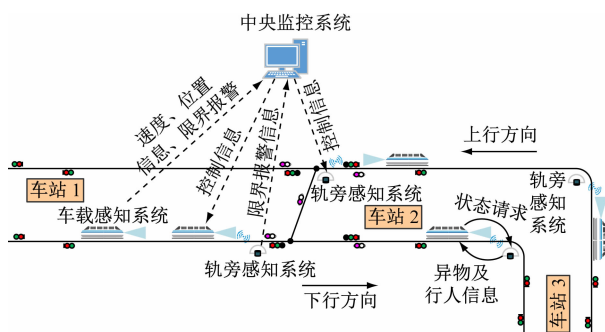


图 1 TACS 后备系统的架构及功能图

Fig. 1 Architecture and function of the TACS backup system

2.2 车载感知系统

车载感知系统由感知单元和逻辑运算单元组成。感知单元由机器视觉、毫米波雷达、激光雷达等多种类型传感器组成,负责实现视觉数据和雷达数据的采集。逻辑运算单元负责完成视觉数据与雷达数据的融合计算,通过持续匹配高精度雷达点云三维地图,实现对列车高精度持续定位和测速、信号机显示的可靠识别,以及对本列车行驶路径上影响行车安全障碍物的可靠监测。

除此之外,通过车-地无线通信系统,车载感知系统将列车实时位置信息和限界报警信息上传至中央监控系统,并实时接收中央监控系统下发的远程控制命令。

2.3 轨旁感知系统

受线路曲线半径和坡道影响,车载感知系统在曲线半径较小处和坡道坡度较大处的探测距离有限。因此,在轨旁弯道及坡道处布置轨旁感知系统(以下简称“轨道星链”),通过与车载感知系统协同配合,实现列车超视距探测。

轨道星链同样由机器视觉及激光雷达等前端感知单元,以及后台逻辑控制单元组成。前端感知单元负责采集所辖区段内视频数据和雷达三维点云数据,后台逻辑控制单元负责实现对图像、点云数据的处理,进而计算出障碍物距离。当经过列车发起列车运行空间状态请求时,轨道星链将障碍物距离信息实时汇报给列车,从而延长列车探测距离。

此外,轨道星链通过无线通信将限界报警信息、实时图片/视频信息及设备状态信息上传至中

央监控系统,并接收中央监控系统的远程视频调看、远程图像抓拍等指令。

2.4 中央监控系统

中央监控系统由工作站和服务器组成,其功能主要包括:列车实时位置的接收与显示,列车探测障碍物信息的接收与告警,轨道星链探测障碍物信息的接收与告警,轨道星链远程实时视频的监控,轨道星链设备状态及地图的显示和管理,通过与 ATS(列车自动监控)的接口将列车信息传输给 ATS,远程控制命令的下发等。

2.5 车-地无线通信系统

目前列车运行控制系统车-地无线通信系统的主备双网均采用 LTE-M(地铁长期演进系统)。主备双网的无线制式相同、工作频段相近,但在高架等无线通信环境复杂区域可能出现双网同时被干扰,进而导致双网通信均不可用的情况。

此外,TAU(车载接入单元)、RRU(射频拉远单元)及 BBU(基带处理单元)也可能发生故障导致列车降级。因此,在 LTE-M 的基础上,增设 WLAN(无线局域网)作为 TACS 后备系统车-地无线通信的传输通道,在 LTE-M 网络发生故障时,可通过 WLAN 实时获取列车信息并指挥列车安全行驶。

2.6 技术难点

车载感知系统和轨道星链为列车高安全主动环境识别系统,除实现列车初始定位、实时位置更新、测速外,还实现对列车运行前方空间范围内车辆、人员、侵限障碍物,以及线路标志、信号机等信息的探测和识别,并基于探测信息实现对列车的控制。由此,车载感知系统和轨道星链需满足 SIL4(安全完整性等级 4)要求,这是建设 TACS 后备系统的技术难点。

3 场景应用

3.1 列车运行空间监测场景

列车运行时,车载感知系统和轨道星链相互配合,实时监测列车运行前方空间内是否有异物侵限或行人闯入,并将探测到的异物或行人距离实时输出给车载 ATP 系统,车载 ATP 系统结合异物或行人距离、线路数据、临时限速、车辆参数、站台门状态、ESB 状态、SPKS 状态等信息,完成列车防护曲线的计算,控制列车正常运行。无论列车处于主系统工作模式还是降级运行模式,都可确保列车在异物或行人之前停车,从而减少异物侵限造成的损

失,以及行人的伤亡,降低对运营的影响。

3.2 降级运行场景

在UTO模式下,当列车在区间运行时,若发生LTE-M系统的车-地通信中断故障,则列车会紧急制动停车,此时,列车只能迫停区间等待人工上车处理,不仅会中断运营,对列车乘客的安全也带来巨大隐患。若列车在区间发生自身测速定位丢失故障时,列车只能通过计轴设备或轨道电路等轨旁列车占用检测系统进行定位,由调度人员远程操作降级为远程RM(限制人工驾驶)模式,按25 km/h限速继续降级运行,此时列车无法获取前方线路信息,无法进站精确停车,也无法联动车门站台门打开,存在安全隐患,运营效率也大幅降低。

采用TACS后备系统的情况下,若发生LTE-M车-地无线通信中断故障或列车测速定位故障,故障列车的车载感知系统可通过WLAN通道获取列车运行前方线路信息并提供测速和定位功能。此时,调度员就可通过WLAN通道远程授权列车起动,故障列车实时探测前方列车位置,并根据探测距离及线路信息控制列车按推荐速度自动行驶;故障列车还可自动识别前方进路信号机显示状态,根据信号显示自动行车;若线路存在临时限速,或ESB、SPKS突然被激活等紧急情况,调度员还可向列车远程下发最高限制速度和停车命令;故障列车进站后仍可精确停车,并联动打开车门及站台门。由于车载感知系统的探测距离可达300 m左右,故列车在区间至少能按45 km/h行驶,不仅保障了行车安全,也提高了降级下的运行效率。

采用TACS后备系统时的故障列车降级运行过程示意图如图2所示。

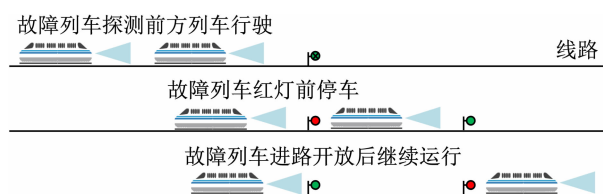


图2 采用TACS后备系统时的故障列车降级运行过程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of degraded operation of faulty trains when the TACS backup system is adopted

除此之外,车载感知系统还可将列车实时位置及速度等信息发送至中央监控系统,调度员可根据列车精准的实时位置指挥列车,提高故障处理效率。

4 结语

列车运行控制系统的后备系统设计同运营需求、技术发展及主系统架构息息相关,本文提出的TACS后备系统使列车具有了自主感知、自主判断的能力,有效提高了运营效率及运营安全。随着物联网、大数据及人工智能等技术在轨道交通行业越来越广泛地得以应用,构建智能协同、安全可靠的列车运行控制系统,赋予列车更加智能的大脑将是未来持续发展的方向。

参考文献

- [1] 夏庭锴,崔科. 城市轨道交通下一代CBTC系统发展展望[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(5): 43.
XIA Tingkai, CUI Ke. Prospect for the development of CBTC system in the next generation[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(5): 43.
- [2] 罗情平,吴昊,陈丽君. 基于车-车通信的列车自主运行系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(7): 46.
LUO Qingping, WU Hao, CHEN Lijun. Train autonomous circulate system based on train to train communication[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(7): 46.
- [3] 胡荣华. 信号系统后备模式研究[J]. 铁道通信信号, 2018, 54(1): 56.
HU Ronghua. Study of back-up mode of signal system[J]. Railway Signalling & Communication, 2018, 54(1): 56.
- [4] 郑云水,郭双全,董昱. 基于雷达测量数据的列车运行前方障碍物检测方法研究[J]. 铁道学报, 2021, 43(3): 101.
ZHENG Yunshui, GUO Shuangquan, DONG Yu. Research on detection method of obstacles in front of operating train based on radar measurement data[J]. Journal of the China Railway Society, 2021, 43(3): 101.
- [5] 张强,杨峰,张宝. 列车智能障碍物检测系统在北京新机场线全自动运行中应用的研究[J]. 铁道机车车辆, 2019, 39(6): 114.
ZHANG Qiang, YANG Feng, ZHANG Bao. Application research for vision-based train intelligent obstacle detection system used on Beijing New Airport Express Line[J]. Railway Locomotive & Car, 2019, 39(6): 114.

· 收稿日期:2022-10-13 修回日期:2023-05-23 出版日期:2024-06-10

Received:2022-10-13 Revised:2023-05-23 Published:2024-06-10

· 作者:赵振杰,高级工程师,jie581@163.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取CC BY-NC-ND协议

© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license