

Research on TACS Train Control System based on Train-Train Communication

Xiwei Yi Yuanyuan Zhao Zhuojin Zhu

UniTTEC Co., Ltd, Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract

In view of the limitations of traditional CBTC system adopting “train-ground-train” control architecture, this paper introduces the composition, working principle and system characteristics of TACS train control system based on “train-rain” communication, and verifies the functions of train active route, train independent protection, train independent adjustment and full automatic operation based on Qingdao test line project. The system adopts the distributed architecture with the vehicle controller as the core, reduces the types of equipment, weakens the design of the center, and realizes the complete safety protection function of moving block based on the safety protection algorithm of resource management.

Keywords

train-train communication; TACS train control system; Qingdao test line; fully automatic operation; resource allocation

基于车-车通信的 TACS 列控系统研究

易希为 赵媛媛 朱卓瑾

浙江众合科技股份有限公司, 中国·浙江 杭州 310051

摘要

鉴于传统 CBTC 系统采用“车-地-车”控制架构的局限性, 介绍基于“车-车”通信的 TACS 列控系统的组成、工作原理, 分析系统特点, 以青岛试验线项目为依托, 验证列车主动进路、列车自主防护、列车自主调整以及全自动运行功能。该系统采用以车载控制器为核心的分布式架构, 减少了设备种类, 弱化中心设计, 以基于资源管理的安全防护算法, 实现了完整的移动闭塞安全防护功能。

关键词

车-车通信; TACS 列控系统; 青岛试验线; 全自动运行; 资源管理

1 引言

目前, 世界各国城市轨道交通信号系统普遍采用列车自动控制系统 (CBTC), 虽然其具有发车间隔小、运营效率较高等优势, 但列车进路和安全防护等关键功能均是基于“车-地-车”的通信链路和控制架构, 仍存在局限和亟待优化的方面。

传统 CBTC 系统以地面设备为列车运行的控制核心, 采用 OBC-ZC/CBI 的集中式控制架构, 以“车-地-车”的通信链路进行数据交互, 即前车将自身定位信息发送给区域控制器 (ZC), 区域控制器收到前车的位置报告, 再结合联锁系统 (CBI) 提供的轨道、信号机、转辙机状态等安全条件, 为后车计算移动授权并将移动授权发送给后车。车车之间无法直接完成信息交互, 须通过地面设备传递信息, 数据流漫长且性能受限。系统对地面设备的依赖程度较高且控制方式

不够灵活, 单点故障影响面广, 尤其在承载无人驾驶功能后, 存在配置设备多、系统接口和结构复杂、列车运行对中心设备依赖大等缺点, 以及因此导致的施工周期长、调试繁杂、故障影响范围大、建设和维护成本高、互联互通困难等问题。随着无线通信技术的高速发展, 第四代无线通信技术 (TD-LTE) 在城市轨道交通中广泛应用, 利用安全高速的 LTE-M 信息传输平台, 优化传统 CBTC 系统的“车-地-车”结构, 实现“车-车”之间的通信, 支持列车安全、高密度、自动化运行, 全生命周期成本明显降低, 这样的新型列车自主运行系统必将成为未来技术发展方向^[1]。

2 TACS 列控系统架构

TACS 列控系统传统 CBTC 信号系统的 OBC-ZC/CBI 的集中式控制架构改为 OBC-OBC、OBC-OC 的分散式控制

架构,如图1所示:

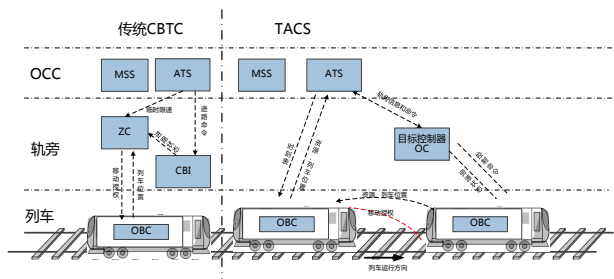


图1 TACS 列控系统架构示意图

TACS 列控系统由车载子系统 (OBC)、目标控制子系统 (OC)、列车运行监督子系统 (ATS)、数据通信子系统 (DCS) 和维护支持子系统 (MMS) 构成, 各子系统功能概述如下:

OBC 子系统, 作为 TACS 列控系统控制核心, 提供自动安全进路、自主运行和调整功能。

OC 子系统, 提供轨旁基础信号设备的驱动采集功能及管理员功能, 登记列车状态信息、实体资源、虚拟资源信息, 并根据实体资源的控制权所有者的命令驱动轨旁设备。提供降级运行运行功能^[2]。

ATS 子系统, 实现列车进路的自动和人工办理、列车运行监督、列车跟踪显示、列车运营调整、信号设备集中监控、临时限速设置等功能。与综合监控 (ISCS) 协作实现无人驾驶运营模式下的综合自动化的集中监控功能。另外 ATS 向其它子系统提供时钟同步服务, 用于非安全的时间显示、事件记录等场合。

DCS 子系统, 主要分为有线网络 (含 LTE 承载有线网) 及 LTE 无线网两部分, 在 TACS 列控系统各设备之间提供双向的、安全的数据交换, 它提供开放的通信接口和体系架构。应用国际通行的协议: 有线网使用 IEEE 802.3 以太网标准, 无线通信使用 LTE 标准。

MMS 子系统, 负责系统的维护支持, 为维护人员提供系统的运行故障信息以及相关维护记录, 便于维护人员对系统进行维护维修。

2 TACS 列控系统工作原理

TACS 列控系统以车载控制器为核心, 车车之间通过网络建立数据通信, 采用基于资源管理的安全防护算法, 列车运行计划或进路命令可以直接下载到列车, 由列车自主执行进路并

持有行车所需资源, 资源是否能够释放完全由列车自主判断, 系统可自动驾驶列车, 同时可根据计划自主调整运行时间, 从而实现列车自主进路、自主防护、自动驾驶、自主调整功能, 最终实现列车的自主运行。其工作原理如图2所示:

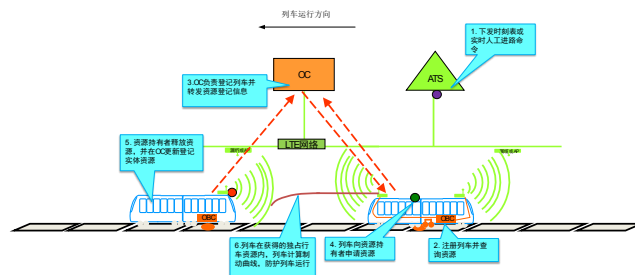


图2 TACS 列控系统工作原理示意图

2.1 下发时刻表或实时人工进路命令

ATS 子系统对列车进路的控制包括自动控制和人工控制。正常情况下, ATS 系统将列车运行图 / 时刻表信息发给列车, 监督在线列车运行。当运营列车故障时, 中心调度员可人工介入控制, 通过 OC 办理进路实现对故障列车的控制。

2.2 注册列车并查询资源

OBC 在 OC 注册后, 周期性向 OC 发送位置报告、行车资源以及位置和资源附着的轨道区段信息。

OBC 获取 ATS 下发的时刻表或进路命令后, 向 OC 发送行车路径内的关注列表, OC 据此向 OBC 反馈行车资源持有者信息。

OBC 根据 OC 反馈的信息, 自行查找资源所有者。

2.3 OC 负责登记列车并转发资源登记信息

所有列车将持有的行车资源状态信息实时告知资源所在控区的 OC, 通过 OC 转发持有行车资源信息。列车根据自身行车资源需求以及 OC 反馈的行车资源持有者信息, 检测行车资源持有者。

若列车行车路径内所需的行车资源不被其他列车持有, 可直接从 OC 获取资源, 并在 OC 登记资源已被本车持有, 拒绝其他列车的申请。OC 依照先到先得的原则登记资源。

确认资源前车的功能不发生资源交互, 是非安全功能; 当前车没有所需行车资源时, OBC 重新执行感知前车功能并和实际持有行车资源列车建立通信。

2.4 列车向资源持有者申请资源

OBC 获取资源持有者后, 尝试与资源持有者建链, 并向

其申请行车资源。列车需要申请的资源,包括列车包络下的未持有的资源和列车进路范围内的所需的未持有的资源。

2.5 资源持有者释放资源,并在 OC 更新登记实体资源

资源持有者在判断所有拥有的行车资源不再使用时,向申请者移交资源,并更新登记实体资源,列车获取到所需资源后使用该资源,认为被本车所持有。已申请但未使用的资源,如 OBC 列车前进方向上的行车资源,不能直接移交,需完成相应的确认流程。行车资源移交的过程是安全功能。

当列车完全驶出 OC 区域,且无资源申请者时,向 OC 释放不再使用的资源;

当列车与 OC 通信中断时,列车清空自己持有资源。OC 通过相邻车的资源持有情况,回收资源。

2.6 列车在获得的独占行车资源内,列车计算制动曲线,防护列车运行

列车在获得的独占行车资源内,生成移动授权,列车根据移动授权自主控制列车运行。TACS 列控系统中,在行车资源化的基础上,列车本身就会负责本车的行车防护,进路不再是地面防护的一段区域而是指以车为主体的路径。

列车在对进路路径进行防护时,依据路径轨道的资源,按照不同资源对象的属性和规则进行行车防护,如进路上的道岔需要通过 OC 移动并锁闭到位。进行进路防护时,列车采用的防护措施是由近及远地、连续式进行防护。因此在释放时也是根据列车位置的移动实时释放资源。对线路资源进行最有效的利用,OC 只对不同资源对象独立进行一对一的管理,不再按照传统联锁的方式对多个不同对象进行组合式的判断处理^[3]。

3 TACS 列控系统的特点

(1) 以车为主:以车载控制器为核心的扁平化架构,减少了设备种类,弱化中心设计,更利于系统部署和扩展,有利于降低运营维护成本。

(2) 基于资源管理的安全防护算法:通过车车协作和车地协作,系统采用基于资源管理的安全防护算法,实现了完整的移动闭塞安全防护功能。

①车车协作:以车载时刻表为依据,结合当前行车意图,由近及远进行行车资源交互,实现行车间隔防护。

②车地协作:列车根据自主进路命令与 OC 协作完成附属资源的登记和锁闭,确保行车路径安全以及防护侧冲风险。

(3) 高可用性:列车自主运行时,除 OBC 正常外,仅需无线网络以及 OC 设备无故障即可,不依赖于 ATS 及 ZC,依赖节点少;其次,车载故障只影响一列车,多车列控系统同时故障的概率低,影响范围减小,大大降低整个系统发生区域性降级的可能性,可用性更高。

(4) 高灵活性:基于资源的安全防护算法,可在任意位置为列车建立任意方向安全进路,可提供更好的运营灵活性。

①紧急情况下灵活的运营调度;

②作业灵活双向运行;

③双向拉箱式运行。

(5) 系统融合:与车辆各子系统采用融合设计,削减冗余功能、整合冗余硬件,优化车载网络布局,减低系统复杂度,提高系统实时性和列车控制性能、提高自动化程度以及更加高效节能。

(6) 互联互通:支持互联互通共线和跨线运行。利用 TACS 列控系统特有的架构,可在现有的互联互通产品更进一步,做到目前的互联互通项目未实现的特性。比如:车载列控系统的互换、地面 OC 设备的互换。

(7) 完整的降级防护功能:提供进路降级防护功能,可实现正常 TACS 列车和降级列车混跑。

4 TACS 列控系统应用实践

TACS 列控系统在青岛试验线进行应用实践,开展基于车载控制平台的列车自主运行控制系统总体方案研究、产品平台开发、试验与测试平台开发、标准/规范体系制定及应用示范线建设,为广泛地铁应用奠定基础。试验线测试和验证主要功能包括:

(1) 列车自主运行功能:实现以列车主动进路、自主防护、自主调整、自动驾驶为特点的列车自主运行。

(2) 车载控制系统深度融合功能:采用实时以太网构建覆盖全车主要控制设备的控制网络,信号的列车控制设备作为节点之一纳入该网络,与列车原有的控制系统如牵引、制动控制功能并行管理,并将传统的车载列控数据采集和输出设备与车辆设备进行融合。

(3) 全自动驾驶功能:实现 TACS 列控系统采用 GOA3

级有人值守的全自动运行模式运行的功能和验证,实现自动驾驶、自动折返、自动开关门等。

(4)接口功能:实现TACS列控系统与其他主要系统(车辆、站台门)的接口功能的测试和验证。

(5)降级运行功能:TACS系统出现故障时,可根据实际情况自动或人工转为降级模式,一定程度上维持系统的运营能力。当单车故障时,主系统级别不受影响,只针对故障车进行处理。当地面的子系统出现故障时,该子系统覆盖的区域整体降级,司机在车载防撞系统辅助下人工行车,行车安全由运营管理制度及ATS调度员、司机人工保证。

(6)跨线互联互通功能:①轨旁设备都由同一家信号集成商提供,装备不同信号集成商车载设备的列车在TACS模式下同时在线混合运行;②轨旁不同区域的OC分别由两家信号集成商提供,装备不同信号集成商车载设备的列车在TACS模式下同时在线混合运行。

5 结语

基于车车通信的TACS列控系统研究和实施,将实现轨

道交通列车从信号控制运行向列车自主运行的技术跨越,为中国各地城市轨道交通的规划、设计、建设和运营提供示范,提升城市轨道交通系统自动化、智能化和网络化水平,推动和引领全球轨道交通产业技术的发展。“车-车”通信的分散式控制架构具有互联互通天然的优势,同一条线上可实现子系统级别的互通互换,对于项目延伸,各子系的选择用户可任意组合,不受既有系统制约。TACS列控系统采用分散控制代替集中控制的创新实践,为列车控制提供了更为灵活的手段,有利于列车安全、智能、节能、高效的运行,是未来城市轨道交通的发展趋势。

参考文献

- [1] 舒晓萌.基于TD-LTE的CBTC车地通信系统及关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2015.
- [2] 开祥宝,张淼,高媛,等.基于北斗导航的列车运行控制系统架构设计[J].铁道运输与经济,2018(10):66-70.
- [3] 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(7):46-49.