

城市轨道交通 ATO 与 TCMS 功能融合设计

林 业 陈 志 卢昱昊 黄 盼

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘 要 [目的] 基于 ATO(列车自动运行系统)与 TCMS(列车控制及监控系统)的基本功能,采用融合设计的方式可简化重复设计,并优化列车控制功能,故有必要开展相关研究。[方法] 通过综合分析现阶段 ATO 和 TCMS 在城市轨道交通中的功能和应用,研究 ATO 和 TCMS 控制功能融合,提出了一种列车系统集成化和控制功能更佳的一体化设计方案,并分析了功能融合所带来的优势。[结果及结论] 融合 ATO 和 TCMS 功能后,可提高列车的系统集成度,使之更容易实现智能化,但也需要克服技术和管理等方面的挑战。

关键词 城市轨道交通;自动列车运行系统;列车控制及监控系统;功能融合

中图分类号 U284.48:U231

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.05.036

Urban Rail Transit ATO and TCMS Functionality Integration Design

LIN Ye, CHEN Zhi, LU Yuhao, HUANG Pan

(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] Based on the basic functions of ATO (automatic train operation) and TCMS (train control and monitoring system), adopting an integrated design approach can simplify repetitive designs and optimize train control functions, thus it is necessary to carry out relevant research. [Method] By comprehensively analyzing the functions and applications of ATO and TCMS in urban rail transit at the present stage, the integration of ATO and TCMS control functions is studied. A design scheme for integrated train systems with improved control functions is proposed, and the advantages brought by functional integration are analyzed. [Result & Conclusion] After integrating ATO and TCMS functions, the system integration of trains can be enhanced, making it easier to achieve intelligence. However, challenges in technology and management need to be overcome.

Key words urban rail transit; ATO system; TCMS; functionality integration

2018年,中国城市轨道交通协会发布了《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》,其对智能技术

装备部分对列车多专业深度集成、牵引制动系统与信号系统直接交互命令控制信息共享等做出了规划,为下一步车辆与信号深度融合的技术发展提供了指导方向^[1]。

目前,车辆和信号系统仅通过硬线、电流环及网络接口进行少量数据交互,其功能相对独立,系统间的信息无法充分共享,且存在系统间功能重复设计、控制链路长等问题;信号系统控制的对象是车辆,但对车辆的实时状态,例如滑行、制动故障等没有全面了解,无法精准控车。为打破系统间的技术壁垒,优化控车策略,多家车辆及信号厂家开始进行多专业融合的研究,例如文献[2-3]中开展了车辆和信号系统融合的优势、必要性分析。本文基于现有信号系统 ATO(列车自动运动系统)与车辆 TCMS(列车控制及监控系统)的控制方式,对系统间的功能融合方案进行优化设计。

1 ATO 与 TCMS 系统功能概述

1.1 ATO 系统功能概述

ATO 系统主要实现列车的自动驾驶和运行,有效提高列车的运行效率、安全性和乘客体验。ATO 系统的主要功能包括:

1) 自动加速和减速:ATO 系统可以自动控制列车的加速和减速过程,确保列车按照预定的速度曲线运行。

2) 自动启停:ATO 系统可以精确控制列车的停车位置;满足启动条件时,ATO 系统可以自动启动列车。

3) 自动开关门:在站台停稳停准后,ATO 系统可以自动开启和关闭车门。

1.2 TCMS 功能概述

TCMS 主要实现列车控制、故障报警、状态监视、信息管理显示、故障记录、维护管理。TCMS 的主要功能包括:

1) 列车控制:TCMS 负责控制车辆子系统,包

括列车牵引、制动、车门等控制,以及空调、照明启停等控制。

2) 故障诊断和管理:TCMS 能够监测列车各个部件的状态和性能。如果发现故障或异常,系统会进行诊断,并生成警报或报告。

2 功能融合设计方案

根据上述功能分析,ATO 系统与 TCMS 在牵引、制动和车门控制方面存在重复控制,故可对这部分控制功能进行融合设计,减少重复的输入和输出、逻辑判断等环节,以减少控制链路和控制元器件。

同时,信号系统结合速度传感器、应答器及电子地图,可以获得精确的列车位置以及所处位置的坡道、弯道、限速等线路信息;信号系统负责所有列车的运行计划,协调不同列车之间的运行时间和站点停靠。而车辆 TCMS 通过网络总线与牵引、制动、车门、空调等系统通信,可以获得各系统的实时状态及网压等数据。通过融合设计方式,将 2 个系统的各自特有的数据相结合,从而优化列车控制功能。

2.1 简化重复功能

2.1.1 车门控制功能融合设计

2.1.1.1 现有方案

信号系统在车辆停准停稳后,自动给出车门开关信号或采集开关门按钮给出开关门信号,驱动信号开关门继电器,该继电器控制车辆开关门继电器,通过列车线控制车门的开关。

在车辆方面,通过开关门按钮直接控制车辆开关门继电器,通过列车线控制车门开关;同时 TCMS 会采集开关门按钮状态以及信号开关门继电器状态,通过网络接口将信息给车门系统,实现开关门的网络控制,如图 1 所示。

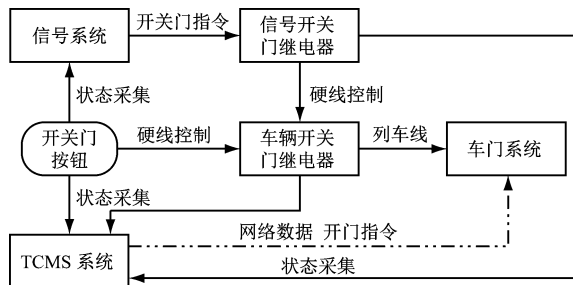


图 1 现有车门控制功能流程图

Fig. 1 Flow chart of existing vehicle door control functions

2.1.1.2 融合设计方案

融合平台统一采集开关门指令,驱动车辆开关门继电器,从而控制开关门;融合平台通过数据流发送开关门指令给车门系统;同时,保留通过开关门按钮直接控制开关门继电器的功能。车门控制功能融合流程如图 2 所示。

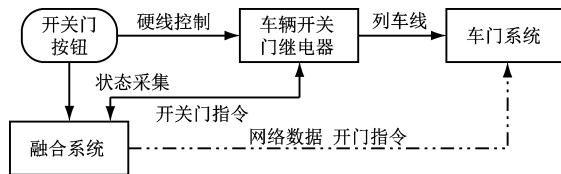


图 2 车门控制功能融合流程图

Fig. 2 Flow chart of vehicle door control functionality integration

2.1.2 牵引制动控制指令功能融合设计

2.1.2.1 现有方案

自动驾驶模式下,由信号系统控制列车以推荐速度运行,自动给出指令并驱动信号牵引制动指令继电器,牵引制动指令通过列车线给到牵引和制动系统;人工驾驶模式下,由司控器给出牵引制动指令,通过列车线给到牵引制动系统;同时在自动驾驶和人工模式下,TCMS 系统采集信号系统的牵引制动指令及司控器的牵引制动状态,通过网络接口将信息给牵引制动系统。牵引制动指令功能流程如图 3 所示。

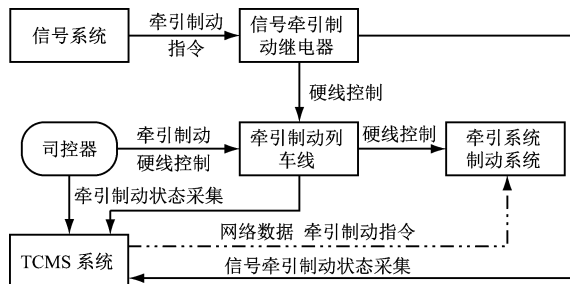


图 3 现有牵引制动控制指令功能流程图

Fig. 3 Flow chart of existing traction braking control command functions

2.1.2.2 融合设计方案

自动驾驶模式下,融合平台控制列车以推荐速度运行,自动给出牵引、制动指令;人工驾驶模式下,由司控器给出牵引制动指令,并通过列车线给到牵引和制动系统;同时融合平台采集司控器的牵引、制动状态,通过数据流给到牵引和制动系统。牵引制动控制指令功能融合流程如图 4 所示。

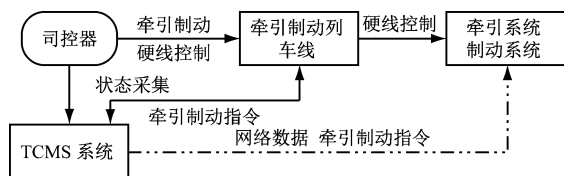


图4 牵引制动控制指令功能融合流程图

Fig. 4 Flow chart of traction braking control functionality integration

2.1.3 牵引制动力值功能融合设计

2.1.3.1 现有方案

在自动驾驶模式下,信号系统通过网络发送参考值信息到车辆 TCMS 系统,同时信号系统输出的级位信息通过电流模拟信号接口传给牵引和制动系统。人工驾驶模式下,通过司控器实现牵引、制动级位输出,给到 TCMS 系统。制动工况下,TCMS 综合列车载荷计算出制动力后发送给牵引系统和制动系统;牵引工况下,TCMS 综合列车载荷计算出牵引力后发送给牵引系统,如图5所示。

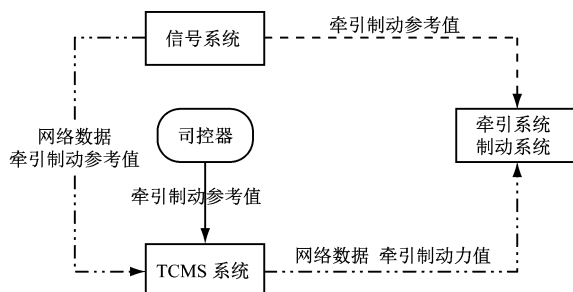


图5 现有牵引制动力值流程图

Fig. 5 Flow chart of existing traction braking force values

2.1.3.2 融合设计方案

在自动驾驶模式下,融合平台控制列车以推荐速度运行,融合平台根据 ATO 推荐速度曲线、车辆牵引制动性能参数表、车辆载重信息等综合计算制动力需求并发送给牵引控制单元、制动控制单元;在人工驾驶模式下,融合平台根据司控器级位信息计算牵引制动力值并发送给牵引控制单元或制动控制单元。牵引制动力值融合流程如图6所示。

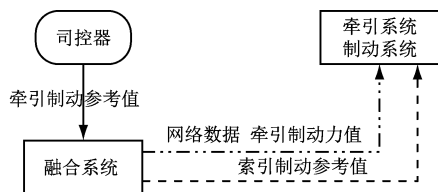


图6 牵引制动力值融合流程图

Fig. 6 Flow chart of traction braking force value integration

2.2 优化控制功能

2.2.1 自动驾驶功能优化

2.2.1.1 现有方案

ATO 从 ATP(列车自动保护)系统获取当前列车位置、方向、速度、EBI(紧急制动触发曲线)、移动授权等信息,在 ATP 的安全防护下,根据运营停车点,考虑了线路条件、列车性能、临时限速以及乘客舒适度等条件对列车运行的推荐速度曲线进行计算,并严格按照计算的速度曲线进行牵引与制动输出控制,使列车按照推荐速度运行。

ATO 接收 ATS(列车自动监控系统)有效的区间运行级别信息,系统可以根据当前运行级别重新计算速度曲线,保证列车高效、舒适运行。

2.2.1.2 融合设计方案

在现有自动驾驶功能的基础上,增加网压、牵引制动状态等数据输入,与调整运行级别等控制方式相结合,从而优化功能。

例如,在融合平台监测到网压较高的情况下,且列车速度不超过常用 SBI(制动触发曲线),融合平台可以控制列车施加微小制动或者惰行,从而避免制动能量消耗到制动电阻上;待网压降低后,施加制动且保证区间运行时间接近。

在融合平台接收到牵引、制动故障的情况下,列车实际牵引制动性能比设计值弱,信号系统仍按照牵引完好时的情况输出,会导致列车牵引、制动力不足,需要 ATO 增大牵引百分比才能达到目的。融合后,ATO 实时获取牵引系统的工作状态,能够根据车辆报告的状态动态调整自身输出,确保车辆总体加、减速度符合要求。

2.2.2 保持制动控制

2.2.2.1 现有方案

信号系统检测到车辆速度 ≤ 0.5 km/h 且持续 1 s 时发送零速标志到 TCMS 系统,TCMS 检测到无牵引指令时发送保持制动施加指令到制动系统。作为保障,若制动系统检测到零速信号有效 2 s 后,仍未收到 TCMS 发送的保持制动施加信号,且此时无牵引指令,制动系统将自动施加保持制动。保持制动功能的目的是防止列车停在坡道上发生溜逸,因此,在设计中考虑列车停在最大坡道不发生溜车,保持制动力为固定值,一般设为当前载荷下最大常用制动力的 70%。

2.2.2.2 融合设计方案

一般站台区域为平直道,因此只需要较小的保

保持制动力值即可满足停车不溜逸的功能需求,融合平台可获得安全位置范围内的最大坡度信息,根据该信息计算此时所需的保持制动力值,从而减少站台区域的保持制动力值,缩短保持制动缓解时间,提升运营效率,同时可以降低启动冲击,提高乘客舒适性。

2.2.3 低黏着条件下的控车功能优化

2.2.3.1 现有方案

在低黏着条件下,车辆容易出现滑行,造成制动距离变长的危害。部分全自动驾驶项目设置雨雪模式,该模式下限制列车的最高速度,降低 GEBR(列车可保证的紧急制动率),从而加大列车间隔,保证行车安全。雨雪模式由 ATS 人工下发,车载信号设备判断在露天环境则执行低黏着条件下的控车模式。

2.2.3.2 融合设计方案

信号的速度传感器仅设置在非动力转向架,车辆制动系统在每个转向架都设置速度传感器,可以更早地发现列车滑行。融合平台实时接收牵引/制动的滑行状态,并将该状态反馈到中心 ATS,ATS 判断多辆车在该位置滑行时,自动下发雨雪模式指令,后续列车在经过该低黏着区段时,融合平台执行雨雪模式,控制列车限速运行。

2.2.4 轮缘润滑控制

2.2.4.1 现有方案

轮缘润滑装置能改善车辆轮缘和轨道的磨损,一般采用距离和弯道控制方式。控制逻辑如下:当车辆运行速度大于 10 km 时,TCMS 给列车行驶方向的轮缘润滑发送喷油使能信号。接收到使能信号后,轮缘润滑装置在每个周期内将执行一次喷油动作:列车在弯道时,轮缘润滑装置每 12 s 喷油 6 s。非弯道时,轮缘润滑装置每 120 s 喷油 6 s。

2.2.4.2 融合设计方案

现有的轮缘润滑装置需要设置单独的弯道传感器。融合平台根据电子地图以及列车定位,可以获得列车当前位置的弯道半径,根据弯道半径给轮缘润滑装置发送不同的喷油周期,从而实现更精准的控制,并且减少弯道传感器的设置。

2.2.5 故障诊断

2.2.5.1 现有方案

列车装备有多种传感器来监测各个系统的状态,这些传感器记录的数据可以被收集、存储和分

析,从而识别异常情况和潜在的故障。部分地铁项目开始研究列车健康管理系统,通过分析历史数据,预测潜在故障,采取预防性维护措施。建立基于知识的专家系统,根据历史故障和经验,提供故障诊断和解决方案建议。

2.2.5.2 融合设计方案

目前故障诊断记录的数据包括时间、车次号等信息,但是没有记录列车故障所处的位置信息,导致部分问题分析困难。融合后,通过分析列车位置信息,可以了解到故障发生时列车所处的轨道位置、区段和站点等信息。这有助于运营人员分析故障的原因,判断是否是特定区段的问题,或者是整个线路的系统性故障。分析历史列车位置数据,可以帮助建立故障模式和趋势,预测可能的故障发生,从而采取预防性维护措施。

3 融合设计优势

本设计方案完成了 ATO 与 TCMS 的系统功能融合设计,解决了 ATO 与 TCMS 的硬软件接口复杂、重复控制的问题,实现了自动驾驶、保持制动、低黏着条件下的控车、轮缘润滑、故障诊断等功能优化,提高了车辆与信号的集成化程度。通过 ATO 与 TCMS 功能融合,简化了原有重复的控制电路,缩短了数据传输链路,可以减少控制设备数量并提高控车精度。将 TCMS 与 ATO 深度融合,采用车上多专业一体化设计思想,丰富了车辆和信号实现相关功能的数据输入,优化原有的控制功能,有利于实现智能化。ATO 和 TCMS 系统融合后,ATO 部分功能的调试可以在工厂调试阶段进行,从而缩短正线的测试时间。

4 结语

通过对 ATO 和 TCMS 融合应用的研究与分析,本论文探讨了城市轨道交通系统功能深度融合的设计方案。融合 ATO 和 TCMS 功能,可以提高列车的系统集成度,更容易实现智能化,但也需要克服技术和管理等方面的挑战。未来城市轨道交通的发展将需要跨学科的合作,以实现更安全、高效和可持续的城市交通,随着新技术和新方法的不断涌现,轨道交通系统间的一体化设计将迎来更多的发展机遇和挑战。

(下转第 189 页)

- Beijing University of Posts and Telecommunications, 2023, 46(6): 64.
- [7] 韩文璇, 朱海龙, 何欣欣, 等. 一种结合入队整形的 TSN 流量调度算法[J]. 物联网学报, 2022, 6(4): 117.
- HAN Wenxuan, ZHU Hailong, HE Xinxin, et al. A TSN traffic scheduling algorithm combined with enqueue shaping[J]. Chinese Journal on Internet of Things, 2022, 6(4): 117.
- [8] 朱海龙, 严园园. TSN 网络中时钟同步可靠性提升方法[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(2): 20.
- ZHU Hailong, YAN Yuanyuan. Measures of reliability improvement of clock synchronization in time sensitive networking[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021, 44(2): 20.
- [9] 张磊, 王盼盼. 时间敏感网络流量整形技术综述[J]. 微电子学与计算机, 2022, 39(1): 46.
- ZHANG Lei, WANG Panpan. Survey of traffic shaping and scheduling in time-sensitive network[J]. Microelectronics & Computer, 2022, 39(1): 46.
- [10] 张彤, 冯佳琦, 马延滢, 等. 时间敏感网络流量调度综述[J]. 计算机研究与发展, 2022, 59(4): 747.
- ZHANG Tong, FENG Jiaqi, MA Yanying, et al. Survey on traffic scheduling in time-sensitive networking[J]. Journal of Computer Research and Development, 2022, 59(4): 747.
- [11] 赵辰阳, 王立德, 简捷, 等. 基于列车实时数据协议的以太网高速通信技术[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(3): 85.
- ZHAO Chenyang, WANG Lide, JIAN Jie, et al. Research on Ethernet high-speed communication technology based on TRDP[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(3): 85.
- 收稿日期:2023-11-02 修回日期:2023-12-30 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-02 Revised:2023-12-30 Published:2024-05-10
· 通信作者: 齐玉玲, 高级工程师, qiyuling_crrc@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

(上接第 178 页)

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要[J]. 城市轨道交通, 2020(4): 8.
- China Association of Metros. Outline of smart urban rail transit development in China[J]. China Metros, 2020(4): 8.
- [2] 李广斌. 城市轨道交通车辆与信号系统一体化设计研究[J]. 城市轨道交通研究, 2016, 19(增刊2): 27.
- LI Guangbin. Research on integrated design of urban rail transit vehicle and signal system[J]. Urban Mass Transit, 2016, 19(S2): 27.
- [3] 邱宝光, 刘波, 赫宏联, 等. 现代有轨电车车辆与信号一体化研究[J]. 中国铁路, 2013(11): 76.
- QIU Baoguang, LIU Bo, HE Honglian, et al. Research on the integration of modern trams and signals[J]. Chinese Railways, 2013(11): 76.
- 收稿日期:2023-11-10 修回日期:2023-12-29 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-10 Revised:2023-12-29 Published:2024-05-10
· 通信作者: 林业, 高级工程师, y_lin2006@126.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

(上接第 183 页)

- HE Liqiang, YE Xinming. Design and implementation of conformance testing environment[J]. Computer Engineering, 2001, 27(8): 27.
- Received:2023-12-05 Revised:2024-01-05 Published:2024-05-10
- 第一作者: 吕红强, 正高级工程师, lhq_125@163.com
通信作者: 雷宇晴, 高级工程师, 279516691@qq.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

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址: tougao. umt1998. com