

全自动运行城市轨道交通的列车控制管理系统

焦曰里 陈建兵

(中铁轨道交通装备有限公司, 210031, 南京//第一作者, 高级工程师)

摘要 列车控制管理系统(TCMS)在无人值守的全自动运行(UTO)中与有人驾驶相比具有更为复杂的功能应用。介绍了TCMS的功能和架构,对比了TCMS在全自动运行和有人驾驶系统中的区别,并详细分析了TCMS在UTO下的控制方案。TCMS应用的关键在于其可靠性和稳定性,并应重点关注TCMS的自愈能力及智能化数据分析处理能力。

关键词 城市轨道交通;无人值守的全自动运行;车辆;列车控制管理系统

中图分类号 U29-39

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.06.039

TCMS in Urban Rail Transit Unattended Train Operation

JIAO Yueli, CHEN Jianbing

Abstract Compared with manned operation, the application of train control and management system (TCMS) in the unattended train operation (UTO) is more complicated. In this paper, the functions and architecture of TCMS are introduced, then the TCMS in UTO is compared with the manned train operation, the control scheme of TCMS in UTO is analyzed in detail. Since the key of TCMS application depends on its reliability and stability, more attention should be focused on the self-healing ability, the intelligent data processing and analysis capability of TCMS.

Key words urban rail transit; unattended train operation; rolling stock; train control and management system

Author's address China Railway Rail Transit Equipment Co., Ltd., 210031, Nanjing, China

近年来随着车辆、信号、通信和综合监控等核心专业自动化水平的不断提高,全自动运行(FAO)技术已在北京、上海等城市轨道交通中进入了实际应用阶段,且国内有越来越多的城市轨道交通项目加入到全自动运行车辆的研制过程中^[1]。

UTO(无人值守的全自动运行)是指列车上无需司机,而是由系统自动实现自动化等级为GoA4(无人干预列车运行)的列车全自动驾驶模式^[2]。

UTO的实现主要依靠列车的信号、通信和车辆等核心系统的综合协调控制。列车控制管理系统(TCMS)是UTO车辆运行的大脑,也是车辆与信号ATC(列车自动控制)数据通信的唯一接口,用于收集和控制车辆运行的牵引辅助、制动、车门、空调等信息,因此TCMS在UTO的功能实现中起到关键作用。

1 TCMS的结构与功能

TCMS负责整合和处理所有车辆的控制设备数据,并实现故障诊断、数据监测和网络控制功能。对于车辆系统内部,TCMS通过多功能车辆总线(MVB)协议与牵引辅助、制动、车门、空调、乘客信息系统(PIS)等其他车辆子系统相连接;对于车辆系统外部,TCMS通过串口RS485/CAN(控制器局域网)协议与信号系统、无线电及地面WLAN(无线局域网)系统进行通信。由此可知,TCMS对于车辆整体运行的安全可靠至关重要。

以3节编组为例,TCMS主要由中央控制单元(CCU)、人机交互界面(HMI)、输入输出模块(RI-OM)以及中继器(Rep)等设备组成,其拓扑结构如图1所示。其中:CCU作为TCMS的核心,主要负责MVB管理和列车控制逻辑设计,两端司机室的CCU互为热备份冗余;HMI设置在司机室,用于显示列车网络所采集的牵引高压、制动、车门和空调等实时工作状态,并显示故障诊断信息及报警;RI-OM用于采集列车运行控制电气设备的输入硬线信号,并能通过输出硬线信号实现对子系统的控制,其电气设备包括开关、按钮、断路器、继电器和接触器等;Rep主要起中继和放大信号的作用,可增加MVB连挂节点的数量以及提高MVB信号的传输质量。

2 TCMS在有人驾驶和UTO下的区别

2.1 列车驾驶模式种类

列车的驾驶模式根据IEC 62290-1—2014的定

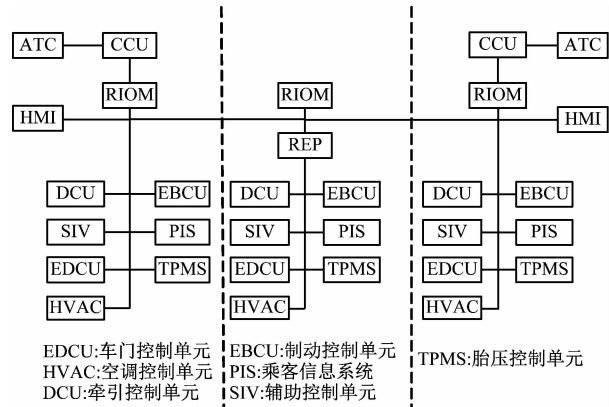


图 1 TCMS 的拓扑结构

义可以划分为 5 个自动化等级,如表 1 所示^[3]。

由表 1 可知,GOA0 是完全人工驾驶模式,GOA1 和 GOA2 是有信号系统 ATP 保护的运行。

表 1 列车自动化等级分类

| 自动化等级 | 运行模式 | 安全速度控制 | 牵引制动 | 车门控制 | 列车上下线 | 应急事件处理方 |
|----------------|-----------------|--------|------|------|-------|---------|
| GOA0(人工目视列车运行) | 人工目视 | 司机 | 司机 | 司机 | 司机 | 司机 |
| GOA1(非自动化列车运行) | ATP(列车自动防护) | 自动 | 司机 | 司机 | 司机 | 司机 |
| GOA2(半自动化列车运行) | ATO(列车自动运行) | 自动 | 自动 | 司机 | 司机 | 司机 |
| GOA3(无人驾驶列车运行) | DTO(有人值守的全自动运行) | 自动 | 自动 | 自动 | 乘务员 | 乘务员 |
| GOA4(无人干预列车运行) | UTO(无人值守的全自动运行) | 自动 | 自动 | 自动 | 自动 | 自动 |

2.2 TCMS 在不同驾驶模式下的应用区别

TCMS 在 GOA0、GOA1 和 GOA2 这三种模式下均可通过收集列车各系统数据及司机操作列车行为信息,实现对车辆各子系统的控制和管理,如可以通过 HMI 界面实现对列车空调温度的集中调节控制。但在 UTO 模式下,司机大部分的驾驶操作被 OCC(运营控制中心)和 ATC 所取代,由此作为车辆与 ATC 唯一通信接口的 TCMS 就起到至关重要的作用。

比如,UTO 列车的唤醒/休眠需要由 OCC 发出指令,通过 ATC 将指令发给列车,此时 OCC 需要校验列车的状态是否与 OCC 发出的指令相一致,这就要求 TCMS 采集列车信息并反馈给 ATC 做校验。由于 ATC 不可能实现对所有车辆子系统的控制,因此与有人驾驶车辆相比,需要 TCMS 增加控制功能,并与 ATC 进行大量的实时通讯数据交互。考虑到 TCMS 在 UTO 中的重要性,对 TCMS 系统的安全和可靠性等级要求随之增加,UTO 列车对 TCMS 软硬件系统的安全完整性等级需要满足 SIL2(安全完整性等级 2)的认证要求。

GOA1 和 GOA2 的区别是 GOA2 的牵引和制动指令是由信号系统 ATC 发送给 TCMS,然后由 TCMS 发送给牵引和制动系统,无需司机操作司控器;而 GOA1 的牵引和制动参考指令则需司机通过操作司控器输出牵引制动命令。目前国内大多数城市轨道交通线路上运行的列车多为 GOA2 模式。GOA3 和 GOA4 均属于较高的自动化等级,均可以实现全自动运行的功能,二者的区别在于 GOA3 下还需要乘务员在列车上进行值守看护,而 GOA4 下列车上无乘务员,是真正意义上的全自动运行^[4]。

由于 GOA3 和 GOA4 的功能需求差异不大,近期不少城市新建的城市轨道交通项目均采用 GOA4 予以推进。

3 TCMS 在 UTO 下的控制方案

3.1 TCMS 内部控制方案

UTO 功能的实现需要增加较多 RIOM 硬线数字输入信号的采集以及数字输出信号的控制,与 GOA2 车辆相比,其数量增加 2 ~ 3 倍,因而硬件 RIOM 模块的数量也随之需要增加。

UTO 车辆的故障数据和环境数据除了在 CCU 中记录之外,还需要增加司法记录仪硬件进行单独存储。该司法记录仪具有较高的抗冲击和抗高温性能,可作为第三方设备对列车故障进行具有法律效益的裁决。

TCMS 的 MVB 连接器采用两个单通道形式,以保证连接器的松动或脱落不影响整体 MVB 网络的运行,并提高整体网络运行的可靠性。

RIOM 模块对关键信号的输入采集采用双路输入方式,根据该信号引起不同故障等级的大小进行分类处理,确保列车的可靠性和可用性。

3.2 TCMS 参与控制列车远程自动唤醒和休眠

车辆车载信号系统的远程自动唤醒模块通过

列车提供不间断供电,以保证列车在休眠状态下能够实时接收到地面 ATC 发送的唤醒请求。车辆通过信号系统输出的硬线控制指令使唤醒继电器得电,TCMS 在采集到唤醒继电器得电后会通过 MVB 向各个车载控制模块发出自检指令。比如,牵引和制动系统在收到自检指令后需要对系统内部的电气元件进行检测,若发现有继电器通断故障,则会将故障信息告知 TCMS。只有当 TCMS 收到各系统自检结果均正常,并将自检正常的信息反馈给 ATC 后,列车才得以正常唤醒。

列车休眠指令由地面 OCC 发出,经由地面 ATC 发送给车载 ATC 设备。车载 ATC 将休眠指令通过自身硬线信号数字输出 $i(\text{DO}_i)$ 发送给 TCMS。TCMS 通过软件分析有效性后通过 RIOM 硬线信号数字输出 $j(\text{DO}_j)$,在 DO_i 和 DO_j 硬线信号都为 1 时,车辆的休眠继电器得电,列车进入休眠状态,具体电路如图 2 所示。

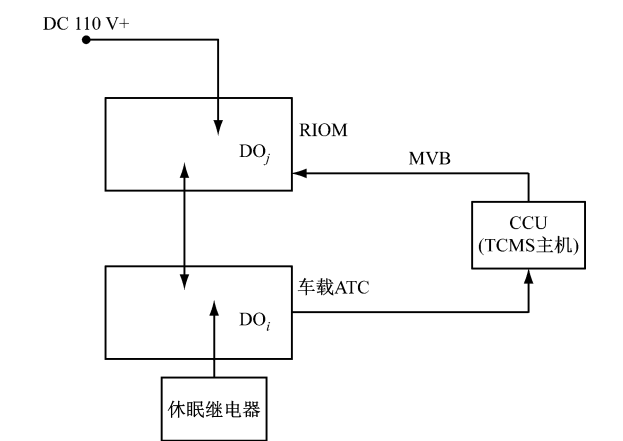


图2 UTO 列车休眠电路设计图

3.3 TCMS 实现关键断路器远程复位

列车在运行过程中可能出现部分重要断路器跳脱,这会直接引起部件功能丧失,甚至导致列车停止运行。为增加 UTO 车辆运行的可用性,可通过增加复位电磁继电器动作来使断路器复位。由 TCMS 监测相关断路器的状态,当发生断路器跳脱时 TCMS 会通过控制 RIOM 的数字输出模块得电,驱动复位电磁继电器动作,以此来完成断路器的复位功能。

TCMS 的 RIOM 在输出控制信号时列车应处于零速且没有火灾报警的情况下。由 TCMS 驱动自动复位一次,若断路器复位不成功需再次复位,此时需要由 OCC 通过 ATC 发送复位信号给 TCMS 驱动。断路器远程复位示意图如图 3 所示。

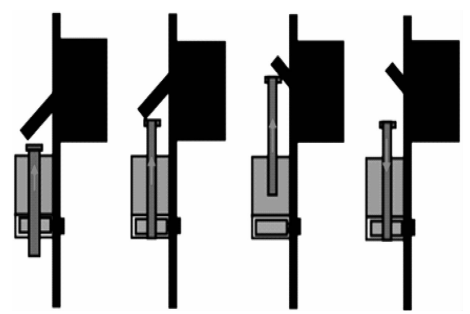


图3 断路器远程复位示意图

3.4 列车车门和站台门联动互锁

当列车车门出现故障或隔离的情况下,站台门也需要被设定为禁止打开的模式,反之亦然。其目的是为了禁止乘客进入车门与站台门之间的夹缝区域中。这就需要 TCMS 与 ATC 之间的数据协议定义好车门和站台门的对应位置,在站台门出现故障或隔离的情况下,由地面 ATC 收集站台门信息并告知车载 ATC 设备,再由车载 ATC 设备将故障信息转发给 TCMS,最终由 TCMS 发出车辆门禁止打开命令发给相对应的车门控制器。其具体流程图如图 4 所示。

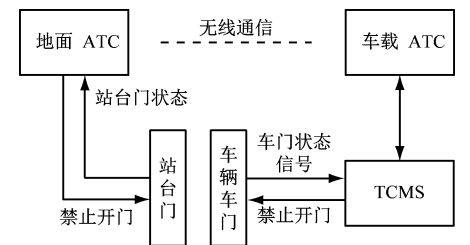


图4 车门和站台门同步互锁流程图

3.5 乘客紧急报警(PECU)与 OCC 远程同步

有人驾驶模式下乘客若操作 PECU,只需要司机在司机室操作广播控制盒,接通或拒绝其通话即可。但在 UTO 模式下,需要 TCMS 将 PECU 请求先发送给无线电系统(RADIO),再由 RADIO 传送到 OCC。待 OCC 确认并反馈给列车 PIS 系统后,PIS 再发送通信数据给 TCMS,再通过 RADIO 传递给 OCC。在 PECU 和 OCC 的远程同步过程中,TCMS 是车辆与地面通信的桥梁,其具体流程如图 5 所示。

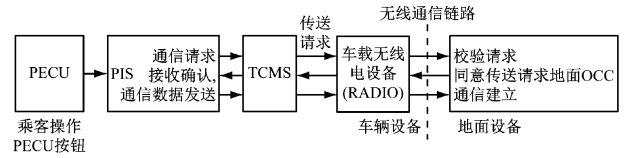


图5 PECU 与 OCC 间的通信逻辑图

4 TCMS 在 UTO 中的应用难点及研究方向

由于 UTO 列车具有完全无人驾驶的特性,可靠性和安全性是 UTO 最重要的指标,对于 TCMS 来说更是如此。UTO 运行模式下对 TCMS 的要求包括:在故障发生前要有预警机制,故障发生过程中要有自愈及指示性操作建议;在故障发生后要有数据库的积累和分析,用来指导故障再次发生的预警和判定。

由于 TCMS 作为车辆的运行大脑,也是对外接口(ATC 和 RADIO)的桥头堡,今后 TCMS 的研究方向如下几点:

1) 提高 TCMS 的内部故障自愈能力。可以通过增加硬件的冗余性和提升软件的裁决机制的稳定性,如在目前列车单端的 CCU 内部增加 CPU 数量,经由单端 CCU 内部实现冗余机制算法;也可增加 RIOM 配置数量以及内部硬线双通道采集来提高 TCMS 的可靠性。

2) 实时以太网控制网(TRDP)和 MVB 的结合应用。通过列车总线使用实时以太网提高传输带宽

和容量,车辆总线使用 MVB 协议来保证对高时延数据的可靠性要求,可降低列车总线的数据负载率,将故障节点数据限制在车辆级,防止影响整列车的网络性能。

3) 实现车载故障诊断和处理决策机制。拥有众多车载控制系统运行/状态数据以及对外接口数据的 TCMS,如何安全、可靠地实时处理故障,产生合理的决策显得至关重要。这就需要 TCMS 系统具有海量数据分析和特征提取的能力,以实现故障前、故障时和故障后的三级预警处理机制。

参考文献

- [1] 张海涛,梁汝军. 地铁列车全自动无人驾驶系统方案[J]. 城市轨道交通研究,2015(5):33.
- [2] 王曰凡. 全自动无人驾驶系统——全新理念的城市轨道交通模式[J]. 城市轨道交通研究,2006(8):1.
- [3] IEC. Railway Application-Urban Guided Transport Management and Command/Control Systems-Part1: System Principles and Fundamental Concepts; IEC 62290-1—2014[S]. Geneva: IEC, 2014:17.
- [4] 张程贻. 卡斯柯技术专家解读地铁列车无人驾驶技术[J]. 城市轨道交通研究,2012(7):135.

(收稿日期:2018-05-29)

(上接第 161 页)

依次经过 P1915-P1901 道岔插入正线下行作业,发车间隔为 184 s,与 X1915 处插车能力一致。

4 结语

龙阳路停车场 CBTC 改造后可具备列车自动出入库功能,实现龙阳路基地与正线匹配 1:1 并满足 3 min 出库能力的要求。通过仿真得出该停车场的运营能力为:库内追踪间隔在 110 s 左右;转换轨追踪间隔为 106 s 左右;与正线 1:1 插车出库时间间隔为 200 s 左右。很显然,停车场的插车能力是决定线路运营能力的关键。本文进而分析了不同插车进路排列场景下的效率,提出了缩短插车间隔、提高运营效率的优化措施。以上论述可为城市轨道交通线路车辆基地在进行 CBTC 改造后如何提升运营能力提供参考。同时,对于高峰运能不足的城

市轨道交通线路而言,车辆基地 CBTC 改造的同时若能结合插车优化分析,可显著提升其运能。

参考文献

- [1] 北京市地下铁道公司. 城市轨道交通信号系统通用技术 GB/T 12758—2004[S]. 北京:中国标准出版社,2015:6.
- [2] 周明,李瑜芬,卢弋,等. 上海轨道交通运能规划实践与分析[J]. 都市快轨交通,2015(3):39.
- [3] 李洁. 简谈全自动无人驾驶系统车辆段/停车场信号系统设计[J]. 铁路通信信号工程技术,2017(4):48.
- [4] 徐霄. 城市轨道交通无人驾驶信号系统设计需求分析[J]. 城市轨道交通研究,2016(7):32.
- [5] 赵玉慧. 列车运行仿真系统在地铁信号改造过程中的运用[J]. 铁路通信信号工程技术,2009(4):35.
- [6] 韩臻. 既有地铁线路运能提高信号系统局部改造方案举例[J]. 上海节能,2014(11):84.

(收稿日期:2018-06-04)