

动车组网络控制系统及技术分析

孙梅玉¹, 于庆斌²

(1. 中车工业研究院有限公司, 北京 100067; 2. 中车长春轨道客车股份有限公司, 长春 130062)

摘要: 动车组的网络控制系统相当于人的大脑和神经, 它在保证列车的行车安全、可靠性、舒适性方面具有至关重要的作用; 为了给相关产品的网络控制系统设计提供借鉴, 通过梳理中车已有典型动车组产品的网络控制系统, 提取共性特征, 总结归纳了动车组网络控制系统的组成、系统功能、拓扑功能、主要参数等内容; 同时, 乘客需求的提升以及轨道交通装备技术的不断升级, 对动车组在速度、舒适性、智能化等方面提出了更高要求, 为了明确动车组列车网络控制系统的发展方向, 通过查询专利文献等途径, 得出动车组网络控制系统新技术研究多集中在多网融合、列车冗余优化设计、列车自动驾驶、无线通信等方向, 可以为轨道交通技术特别是网络控制系统技术的相关研究提供参考。

关键词: 动车组; 网络控制系统; 多网融合; 轨道交通技术

Analysis of EMU's Network Control System and Technology

Sun Meiyu¹, Yu Qingbin²

(1. Dept. of Technology Research, CRRC Institute, Beijing 100067, China;

2. CRRC Changchun Railway Vehicles, Co., LTD., Changchun 130062, China)

Abstract: The working of EMU network control system corresponds to that of the human brain and nerves. It plays a critical role in ensuring the EMU's safety, reliability, and comfort. In order to provide reference for the design of the related network control system, by analyzing CRRC's main EMU products and extracting their common features, the key elements of the EMU's network system have been described, such as its structure, the system function, the topological function and its main parameters. Meanwhile, the promotion of passenger demand and the continuous upgrading of rail transportation equipment technology, are putting forward higher requirements to the EMU's speed, comfort and intelligence. In order to clarify the development direction of EMU's network control system, through querying the patents and literatures, the new technology research on EMU network control system is also considered, which is focused on the multi-network convergence, the optimization design of train redundancy, train automatic driving, wireless communication and so on. This can provide reference for the design of the train's network system technical research.

Keywords: EMU; network control system; multi-network convergence; rail transportation technology

0 引言

动车组的控制、监测与诊断系统(简称TCMS)是车载分布式的计算机网络系统,承担动车组牵引及制动控制等指令的传输,同时对列车上的主要设备进行状态监测,并具有故障诊断及故障记录功能^[1]。信息通过车载网络进行传输,减少了硬线的数量,从而减轻了列车重量并提高了系统可靠性。该系统能够给司乘人员提供操作指导,并给维修人员提供技术支持。

本文总结中车已有典型动车组产品的网络控制系统技术^[2-4],提取共性要素,对动车组的网络控制系统进行简单介绍。

1 动车组网络控制系统组成

网络控制系统组成主要有:主控/网关单元(CCU/GW)、主控/网关/事件记录仪单元(CCU/GW/ERM)、远程输入输出单元(RIOM)、二层网管型以太网交换机(CS)、三层网管型交换机(ETB)、人机交互单元(HMI)、接口网关单元(ECN/MVB/Lonworks)。

收稿日期: 2017-07-14; 修回日期: 2017-07-26。

作者简介: 孙梅玉(1983-),女,山东泰安人,博士,高级工程师,主要从事轨道交通产品平台研究工作。

1.1 主处理单元

主处理单元主要负责列车控制、监视和故障诊断的功能。所有列车网络控制系统的子系统都通过车辆总线与主处理单元进行通信,交换数据。主处理单元根据所连接车辆总线的不同分为牵引主处理单元和舒适主处理单元,其中牵引主处理单元(MPU-LT)连接到MVB信号线和MVB牵引线,用于牵引、辅助和制动等列车运行相关系统的控制、监视和故障诊断,而舒适主处理单元(MPU-LC)连接到MVB信号线、MVB舒适线和CAN总线上,用于空调、厕所、塞拉门等其他辅助系统的控制、监视和故障诊断。

1.2 TCN 网关

TCN网关具有WTB接口和MVB-EMD接口,它负责列车总线WTB和车辆总线MVB两个总线之间的信息转换和路由任务,并保证列车级总线和车辆级总线网络通信的实时性、可靠性,以及确保列车级总线和车辆级总线网络数据分配的合理性。网关依照TCN和UIC标准控制WTB和MVB间的信息传输。从MVB总线角度来看,它作为仲裁者的设备,从WTB总线角度看,它是一个可以配置为主或者从的节点。

1.3 远程输入输出模块

远程输入输出模块负责完成列车各种数字量、模拟量信号的采集和控制信号的输出,并将这些变量根据通讯协议与主处

理单元进行信息交互。功能模块的组成可以根据实际需要进行配置,从而满足车辆整体设计要求?

1.4 监视器(显示屏)

监视器(显示屏)具有 MVB-EMD 接口,内嵌 Windows XP Embedded 操作系统,可对连接到 MVB 车辆总线上的子系统状态、列车的基本运行数据、状态信息和故障诊断信息进行监视、存储,同时也可根据实际情况通过显示屏切除系统中的故障设备。

1.5 高压控制单元

高压控制单元 CLT 用于对高压电路的管理,主要负责高压开关管理、能量管理、高压保护、电流不平衡保护、谐波电流检测等功能。

2 动车组网络控制系统功能

网络控制系统是列车的神经系统和指挥中枢,它实现各子系统信息传输共享,协调中央控制系统与各子系统的控制、监视与诊断任务,汇总各子系统工作状态和故障诊断信息,提供信息显示和人机交互接口,完成列车自动编组与解编、实现整车级的控制、故障诊断、状态监视等功能^[5]。

2.1 通信功能

动车组网络采用符合 IEC61375 标准的列车通讯网络,采用列车总线和车辆总线两级总线。列车总线为 WTB 总线,用于传输各牵引单元间的信息。车辆总线为 MVB 总线和 CAN 总线,用于连接一个牵引单元内的设备,实现设备的控制、监视和故障诊断功能。该系统能够实现网络通信协议,为网络上的车载设备提供实时、确定的信息交互通道,保证网络上设备通信正常。

2.2 控制功能

基于网络通信功能,完成对包括牵引系统、辅助系统、制动系统、空调系统等在内的列车控制。

网络控制系统具备对牵引系统的控制功能与接口,能够传输牵引系统控制指令,并监视牵引系统工作状态,能够实现对牵引设备的隔离和恢复。

网络控制系统能传输制动指令,并监视制动系统工作状态,可为制动系统提供与列车运行控制系统车载设备的制动指令接口。

网络控制系统具备与辅助变流器、充电机、蓄电池、负载设备(包括空气压缩机、牵引变流器冷却系统、牵引变压器冷却系统、空调等)的电气或通讯接口,对相应设备进行控制。

网络控制系统能根据地面过分相信号(列车运行控制系统或过分相装置提供)实施自动过分相控制。

网络控制系统具备恒速运行控制功能,司机可通过人机界面或恒速手柄等方式激活恒速运行模式。

2.3 故障诊断功能

动车组列车网络控制系统具有完善的系统诊断功能,便于对车辆进行维修及保养;对重要的子系统及设备进行状态监视和诊断,指导维护人员快速排除故障;具有本地故障数据的记录存储功能并且提供便携式设备传输接口和无线信息传输接口,可用便携式设备采集数据和分析,也可根据需要将诊断设备记录的数据以无线方式传送到地面维护基地。

2.4 人机交互功能

通过司机室和机械师室显示屏,司机和机械师可实时在线

观测列车运行状态,司机、机械师和维修人员可观察列车各子系统当前的故障代码和故障发生的时间,能识别故障发生车辆,提供故障描述并可通过显示器控制相关系统的操作。

3 动车组网络控制系统拓扑结构

动车组通信网络包括列车总线(WTB)、车辆总线(MVB和CAN)两个总线层。在MVB总线上,又被分为MVB牵引线和MVB舒适线两个层次,每个层次分别由一对冗余的MPU进行管理,即牵引主处理单元MPU-LT和舒适主处理单元MPU-LC各两对。这两个层次的MVB总线通过第三条MVB总线(信号总线)连接在一起。信号总线由牵引主处理单元MPU-LT控制。两个动力单元通过TCN网关实现动力单元间和连挂列车间的通讯。每四节车辆为一个MVB网段称作一个动力单元,两个网段之间通过TCN网关上的WTB总线进行信息交互。每个动力单元根据设备功能设有三条MVB总线,分别承担牵引、信号、旅客服务信息的传输。此外还有一个CAN总线,主要用于充电机、自动车钩、厕所单元等在性能和冗余方面没有特殊要求的次要设备的互连。

4 动车组网络控制系统主要参数

动车组采用基于TCN标准的网络控制系统,列车总线(WTB)和车辆总线(MVB)通过网关节点来连接,每个牵引单元或每节车辆设有一个节点。WTB总线和MVB总线均采用集中控制、周期性预分配的主从方式对总线介质进行访问控制。其中,WTB总线负责列车车辆间的数据通信,是一种用于连接可动态编组的车辆间的绞线式列车总线,能自动识别车辆在列车编组中的位置和方向。MVB总线负责车辆内部的数据通信,是一种用于连接车辆内部设备的多功能车辆总线。

动车组还采用CAN总线连接对网络性能要求低、重要性也比较低的设备。CAN是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信总线,具有突出的可靠性、实时性和灵活性。其传输介质可采用双绞线、同轴电缆和光纤等,支持总线型拓扑结构。CAN采用带优先级机制的载波监听/冲突避免方式对通信介质进行访问控制。CAN只需通过报文滤波即可实现点对点、一点对多点及全局广播等几种方式接收数据,无需专门的“调度”。

4.1 传输速率

列车网络控制系统采用符合TCN标准的WTB+MVB两级总线结构,4辆车为一个牵引单元,根据IEC61375-1标准,传输速率如下:牵引单元内部为车辆总线MVB,传输速率为1.5 Mbit/s;2个牵引单元之间采用列车总线WTB,传输速率为1 Mbit/s。

4.2 系统最大响应时间

主处理器单元MPU的任务周期不超过100 ms;同一条总线上RIOM到RIOM的最大响应时间(≤ 350 ms);牵引-舒适总线上的RIOM到RIOM的最大响应时间(≤ 450 ms);经过TCN网关的RIOM到RIOM的最大响应时间(≤ 700 ms)。

5 网络控制系统的发展方向

目前我国对列车网络控制系统的研究还在不断进行中,在列车控制技术领域涉及到的技术主要有故障诊断系统、网络控

制系统、显示系统、通信系统、报警系统、广播影视娱乐系统及视频监控系统等。通过专利查询方法, 对近五年申请的相关专利进行了整理, 图 1 为列车控制技术的专利分布图。

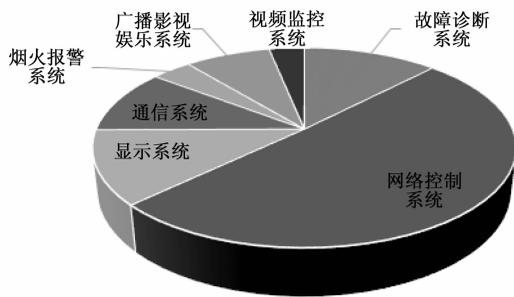


图 1 列车网络控制系统技术专利分布

在网络控制系统方面涉及的新技术有多网融合技术、列车冗余优化设计及列车自动驾驶技术。在通信系统领域, 无线通信也有相关新技术出现。

5.1 多网融合技术

多网融合技术可以实现各总线之间的互相通信功能, 使多网能兼容使用, 可靠性及稳定性高。

网络架构中以太网与 MVB、CAN、TCN 网关等多网融合通信是网络控制技术领域的重点。在列车控制领域, 网络控制技术领域近五年内在美国、德国、日本、韩国、中国、世界知识产权组织及欧洲专利局共查询到 89 件专利申请。这 89 件专利中的网络架构应用于多种控制子系统, 例如数字广播系统、视频监控、列车信息显示系统、通信系统等。

5.2 车辆冗余优化设计

当前列车网络控制系统在硬件设备、功能及通信上均存在冗余, 导致建设与运营维护成本高、维护难度大等问题。对车辆冗余进行优化设计可以降低设备安装、维护成本, 提高系统可靠性, 能够使列车网络更加经济、高效地运行, 有效节约成本, 减少不必要的浪费和冗余。

近五年各国在车辆冗余优化设计上着力研究, 在查询到的近五年公开的 50 件相关专利中, 涉及到硬件显示器、通信设备、广播设备、主机系统、主处理器, 以及通信系统、数据传输、网络拓扑结构等。

5.3 列车自动驾驶技术

目前列车网络控制系统主要采用超速防护功能, 列车自动驾驶技术还不成熟。列车自动驾驶技术可以提高运营效率、保证乘坐舒适, 替代司机驾驶等, 因此近五年各国都在大力研发列车自动驾驶技术。

列车自动驾驶技术涉及车一地通信方式下, 列车自动驾驶运行计划信息的获取方式与控制方法、列控系统车载设备工作模式的转换等。

5.4 无线通信新技术

目前的列车网络控制系统存在诸多独立的子系统, 例如信号子系统、无线数字集群子系统、乘客信息子系统 (PIS) 等, 各独立子系统分占无线网络资源的结构将导致各子系统间存在无线信号干扰, 影响列车网络控制系统的传输稳定性、网络传输速率等。

通过研究无线通信新技术, 可以整合各个独立的无线通信传输网络, 实现车载信息平台和地面信息平台的融合。车载信息平台包括列车的实时运行数据、故障数据、历史运行数据、旅客娱乐和通信需求等; 地面信息平台包括列车的基础数据、维护数据、检修数据等。通过信息交互可以实现车辆自动驾驶、在线评估车辆运行状态、紧急情况时可提前向行车指挥中心发出预警等功能, 必要时还可自动停车并通知附近车辆避让。

无线通信新技术主要从加大带宽、提高抗干扰能力、提升适应性和传输稳定性等方面研究。同时, 无线通信技术还应该满足列车在大空间范围内高速移动状况下的通信需要。

6 总结

动车组网络控制系统较为复杂, 系统涉及方面较多, 是列车技术中的研发热点和重点之一。通过对中车已有典型动车组产品的网络控制系统进行分析总结, 提取了动车组网络控制系统的共性, 并对其进行了简单介绍。同时, 分析了动车组网络控制系统发展的方向, 在多网融合技术、车辆冗余优化设计、列车自动驾驶技术、无线通信新技术等方面进行研究, 有助于提升当前网络控制系统的综合性能, 并可为其设计提供一定指导。

参考文献:

- [1] 倪文波, 王雪梅. 高速列车网络与控制技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- [2] 常振臣, 李强. CRH380CL 高速列车网络控制系统 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2017, 40 (3): 1-5.
- [3] 沙森, 王伟, 徐建波. CRH5 型和 CRH3 型动车组列车网络控制系统的比较 [J]. 铁道车辆, 2012, 50 (1): 25.
- [4] 崔玉龙, 田鹏, 张永明. 某型城际动车组列车网络控制系统 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2017, 40 (2): 30.
- [5] 李方方, 赵娟, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [6] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [7] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [8] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [9] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [10] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [11] 李方方, 冯伟. 高速动车组网络控制系统探究 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (2): 60.
- [12] 裴九芳, 王海, 许德章. 基于迭代学习控制的移动机器人轨迹跟踪控制 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48 (9): 222-225.
- [13] 陈梅, 陈艳燕. 两轮智能车跟踪控制系统的研究 [J]. 合肥工业大学学报自然科学版, 2015 (3): 319-324.
- [14] Kausar Z, Stol K, Patel N. Nonlinear control design using Lyapunov function for two-wheeled mobile robots [A]. Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2012 19th International Conference [C]. IEEE, 2012: 123-128.
- [15] Furtat I B, Tupichin E A. Modified backstepping algorithm for nonlinear systems [J]. Automation & Remote Control, 2016, 77 (9): 1567-1578.
- [16] Azimi M M, Koofgar H R. Adaptive fuzzy backstepping controller design for uncertain underactuated robotic systems [J]. Nonlinear Dynamics, 2015, 79 (2): 1457-1468.
- [17] 杨敏. 轮式移动机器人控制算法研究及其伺服系统设计 [D]. 南京航空航天大学, 2014.
- [18] 闵颖颖, 刘允刚. Barbalat 引理及其在系统稳定性分析中的应用 [J]. 山东大学学报: 工学版, 2007, 37 (1): 51-55.

(上接第 104 页)

- [12] 裴九芳, 王海, 许德章. 基于迭代学习控制的移动机器人轨迹跟踪控制 [J]. 计算机工程与应用, 2012, 48 (9): 222-225.
- [13] 陈梅, 陈艳燕. 两轮智能车跟踪控制系统的研究 [J]. 合肥工业大学学报自然科学版, 2015 (3): 319-324.
- [14] Kausar Z, Stol K, Patel N. Nonlinear control design using Lyapunov function for two-wheeled mobile robots [A]. Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), 2012 19th International Conference [C]. IEEE, 2012: 123-128.
- [15] Furtat I B, Tupichin E A. Modified backstepping algorithm for