

城市轨道交通车辆制动系统的车地无线通信数据传输各环节常见问题分析及解决方法

孙全涛 崔晓军 杜振振 赵欣 张乾乾 秦培斌

(中车四方车辆研究所有限公司, 266031, 青岛//第一作者, 工程师)

摘要 基于城市轨道交通车辆制动系统的数据传输,详细阐述了各环节存在的问题及采用的技术策略,为实现智能化运维建立了数据收集的基础。车地无线通信数据传输包括车载维护系统终端的数据收集、数据的无线传输、地面数据中心数据的解析存储等关键环节。针对数据无线传输中的信号弱与数据密度存在的问题,提出了通过合理的数据排列,将数据发送时间间隔放缓至秒级的解决办法。提出地面数据中心应按相关线路、车辆编号及设备等信息,通过数据解析子系统来完成数据通用解析和存储。

关键词 城市轨道交通; 车辆制动系统; 车地无线通信; 数据传输

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.08.037

Analysis and Solutions of Frequent Problems in Vehicle-wayside Wireless Communication Data Transmission Joints of Urban Rail Transit Vehicle Braking System

SUN Quantao, CUI Xiaojun, DU Zhenzhen, ZHAO Xin, ZHANG Qianqian, QIN Peibin

Abstract Based on urban rail transit vehicle braking system data transmission, technical strategies adopted for problems at each joint are elaborated, building data collection foundation for intelligent operation and maintenance. Transmission of vehicle-wayside wireless communication includes technical joints of onboard maintenance system terminal data collection, data wireless transmission, ground data center data analysis and storage. Targeting the problems in weak signal and data density in data wireless transmission, solutions for stretching data transmission time interval to second level through reasonable data array are proposed. Ground data center is suggested to accomplish data analysis and storage through data analytical subsystem according to information including relevant lines, vehicle encoding and equipment.

Key words urban rail transit; vehicle braking system; vehicle-wayside wireless communication; data transmission

Author's address CRRC Qingdao Sifang Rolling Stock Research Institute Co., Ltd., 266031, Qingdao, China

在城市轨道交通领域,车辆自身的自动化、信息化已经得到广泛应用,为智能运维发展提供了数据基础^[1]。智能运维系统概念的出现,为高效的对车辆故障分析、故障预测进行及时诊断提供了途径。如对其健康状态进行评估,结合维修基地维修资源情况,给出合适的维修决策,以实现关键部件的状态修^[2]。

为满足城市轨道交通智能运维的数据需要,本文以城市轨道交通制动系统为应用背景,以4G(第4代移动通信技术)或5G(第5代移动通信技术)为载体,讨论解决车地无线通信数据传输各环节相关问题,对数据收集的各环节相关策略进行思考、实践和分析。

车地无线通信数据传输环节主要包括车载维护系统终端的数据收集、4G或5G网络的数据无线传输及地面数据中心的数据解析与存储(见图1)。在制动系统的车地无线通信数据传输中:由车载维护系统终端负责收集并打包全列车制动系统的数据;由4G或5G网络,按约定的无线通信协议,将数据传输传回地面数据中心;由地面数据中心进行数据计算及数据分析。

1 车载维护系统终端数据的收集

假设列车为6节编组,且每节车厢长度约为25 m。在制动系统中,每节车辆装有1台或2台制动控制装置。设置于头车和尾车的车载维护系统终端可通过CAN(控制器区域网络)总线或以太网来收集并汇总各制动控制装置的数据信息。

1) CAN方式。如图2所示,CAN以总线形式贯穿全列车,每台制动控制装置采用T型分支连接

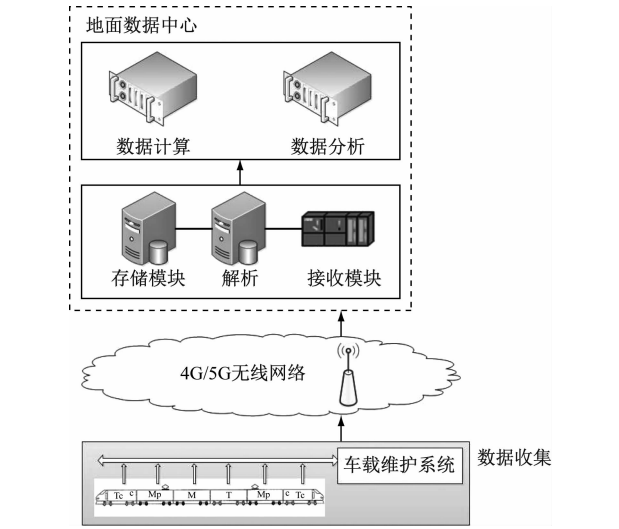


图 1 车地无线通信数据传输示意图

Fig. 1 Diagram of vehicle-wayside wireless communication data transmission

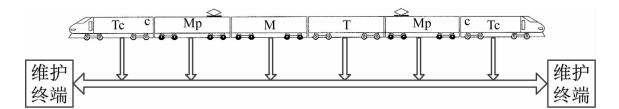


图 2 CAN 总线方案的 T 型网络

Fig. 2 T network of CAN bus scheme

到 CAN。CAN 总线需满足高速 CAN 物理层规范 ISO 11898-2 要求^[3]。CAN 方式的通信波特率为 250 kbit。在实际运用中,CAN 方式能可靠地以 1 帧/ms 速度传递报文。通过 CAN 总线,车载维护系统终端可按照一定的时间周期获取到每台制动控制装置的内部数据,形成有序和一定密度的数据。

2) 以太网方式。列车以太网方式是未来的发展趋势之一^[4]。目前,列车以太网实时通信采用的 TRDP(列车实时数据协议)由 IEC 61375-2-3^[5]定义。TRDP 位于应用层,处于以太网传输层之上。车载维护系统终端可通过列车以太网获取到制动控制装置内部数据,并通过网络地址(IP)和网络身份标识进行特定系统数据收集^[4]。

2 数据的无线传输

目前数据的无线传输运用 4G 或 5G 网络^[6]。在实际运用中,CAN 总线数据一般按照 1 ms 或 2 ms 的间隔对各 CAN 报文排队调度发送。按最大的通信量需求,车地无线通信数据传输能力要达到 10 kB/s 以上。此外,车地无线通信数据传输要配合一定策略将数据全部传回数据中心,要保证数据传输的完整性、数据密度的可分析性。

2.1 通信数据协议

对于城市轨道交通车地点对点的特定数据传输,4G 或 5G 选用 TCP/IP 协议(传输控制协议/互联网协议)。在 TCP/IP 协议中,传输层选用 TCP。车载维护系统终端将实时采集的制动系统数据,以 1 s 为周期上传到服务器。

如图 3 所示,4G 或 5G 的 TCP/IP 协议包含 4 个操作:

- 1) TCP 连接服务器——终端通过 TCP 连接命令确认与服务器通信网络的可用性。
- 2) 设备握手——终端向服务器发送含有设备信息的简单报文,提前从应用层快速确认网络的可用性,并通知服务器使之处于数据接收准备状态。
- 3) 数据发送——终端向服务器发送数据,并获得服务器确认;否则本次发送失败。
- 4) TCP 断开连接——设备的 110 V 电源断电后,终端断开与服务器连接。维护终端的非断电情况数据发送完后,TCP 不断开保持长连接。

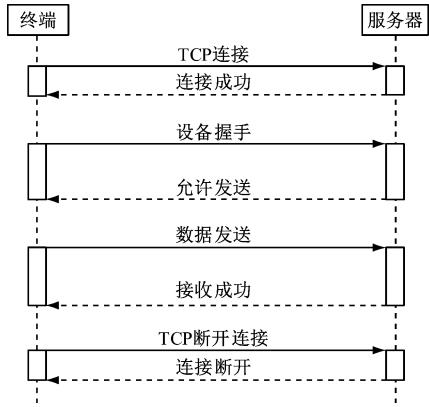


图 3 4G 或 5G 的 TCP/IP 协议操作

Fig. 3 TCP/IP protocol process of 4G or 5G

对于车载维护系统和地面数据中心采用的 TCP 通信,每次设备握手所发送的数据量和所需验证时间如表 1 所示。

2.2 数据发送密度

城市轨道交通车辆制动系统故障分析往往对传输数据的发送密度有一定的要求。如数据发送密度过低,则数据发送时间间隔过长,无法准确分析部分的阀故障或者其他电气故障的原因。

为提高传输数据密度,现有通信方法往往追求极高的数据发送频率。这对地面数据中心的硬件性能和软件性能有很高的要求。随着列车的增多,地面数据中心的通信能力将很快达到饱和状态。

表 1 发送特定数据量和所需验证时间

Tab.1 Specific amount of data to send and the time required for verification

发送数据量/ B	验证时间/ms
26 656	145
26 432	115
26 608	118
13 328	82
13 344	82
13 376	93

针对这一问题,通过 4G 或 5G 网络进行通信数据无线传输时,不再通过加快数据发送频率来满足数据密度的要求,而是将制动控制装置发送到车载维护系统的高密度数据以合理的数据排列形成较大数据包,并将此数据包发送时间周期间隔放缓至秒级。这样不仅能满足不丢包、高数据密度的要求,还能降低对地面数据中心硬件和软件性能要求。车载维护系统将报文内容以相同的时间周期进行打包,并写进时间戳;内部多包相同 ID 号的 CAN 数据给出排列序号。

2.3 数据的缓存与续传

在地铁 4G 网络中,隧道内往往存在通信信号弱或通信异常的情况,而各站点内的通信却能恢复正常。此时,需要采取一定措施,在不影响正常数据传输的情况下对数据进行缓存及续传处理。

当 4G 网络的无线通信数据传输出现异常时,可先将收到的 CAN 或 TRDP 总线数据存储到车载维护系统终端内部的大容量数据循环缓冲区域;当与服务器的网络连接恢复后,为不耽误正常的数据发送,也为了将缓存的数据发回服务器,可在正常数据发送间隔中插空把缓存数据发回服务器。如表 1 所示,发送 1 次数据所需的验证时间为 100 ms 左右,足以插空补发送缓存数据。地面数据中心收到数据后,会按照数据包中的时间戳对数据进行重新排序。

若车载维护系统终端在较长时间(如 10 min)内都无法与服务器建立有效通信连接,则终端循环存储区域会将最新接收到的 CAN 总线或 TRDP 数据依次覆盖旧数据,并将此异常事件写入车载维护系统终端的日志系统中。在通信恢复后,车载维护系统终端只能发送当前循环缓冲区域中的数据,而无法发送已被覆盖的旧数据。车载维护系统终端收到的全部 CAN 总线或 TRDP 数据的副本会同步

存储在终端的 SD 卡(Secure Digital Memory Card)中。如需读取丢失的数据,则可通过终端维护软件读出 SD 卡存储数据,并进行后续处理。

2.4 数据安全性

数据安全性主要从两个方面来保证:在网络层,通过通信公司专设的隧道技术来传输数据;在应用层采用对称加密技术,由车载维护系统终端在业务数据中使用加密算法,由地面数据中心在接收时进行解密。

3 地面数据中心的数据解析存储

地面数据中心的数据解析存储过程如图 4 所示。地面数据中心收到无线通信数据包后,可将数据包中的相关线路、车辆编号及设备等信息存入原始数据队列中,继而解析、存储可按线路、车辆编号及设备等信息区分处理,便于后续数据运用。

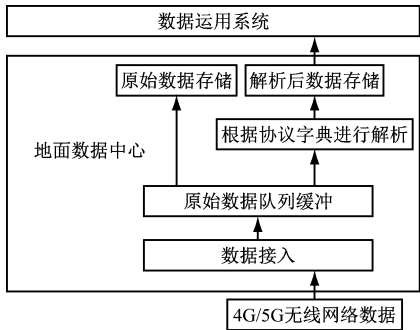


图 4 地面数据中心的数据解析存储过程

Fig.4 Data analyzing and storage process of ground data center

原始数据队列缓冲可通过缓存,以解决地面数据中心各个子系统的性能差异及延迟等问题。例如,通过 Kafka 分布式数据流处理系统对接收到的数据报文进行缓存,可有效解决各子系统数据处理速度差异及可靠性低等问题。

缓存后的数据可按需求解析成各物理量,也可直接按原始数据存储。

不同线路、不同系统的数据协议往往存在差异性。为能够在不同设备的不同协议下实现通用的数据解析和存储,可通过建立数据解析子系统来承载各系统不同线路的数据协议,并将设备和数据协议用模型表示。当数据报文进行解析时,可根据线路、车辆编号及设备去识别子系统内的协议模型,并按照协议模型的语言去解析和存储数据,以实现通用性。

即便数据协议后期增加内容,只要将拓展的数据协议和设备用模型来表示,就可以将增加的内容进行数据的解析存储。统一解析后的数据可按照时间序列进行数据排列,为同一物理量数据进行纵向对比和不同物理量间进行横向对比提供了时间排列基础。

人员对制动系统进行维护及相关故障分析可通过 VPN(虚拟专用网络)技术访问地面数据中心,再根据线路、车辆编号及设备等信息进行数据实时监控或对历史数据进行数据查看分析。

4 结语

本文基于城市轨道交通车辆的制动系统,介绍了制动系统车地无线通信数据传输的流程,分析了数据传输各环节常见的问题,并给出了相应解决办法。车载维护系统终端数据收集的 CAN 总线方案已在实际中装车使用,验证了其有效性。针对无线通信数据传输信号弱与数据密度问题,提出了通过合理的数据排列,将数据发送时间间隔放缓至秒级的解决办法。地面数据中心应按相关线路、车辆编号及设备等信息,通过数据解析子系统来完成数据通用解析和存储。

参考文献

- [1] 冯江华. 轨道交通装备技术演进与智能化发展[J]. 控制与信息技术, 2019 (1): 1.

FENG Jianghua. Technical evolution and intelligent development of rail transit equipments[J]. Control and Information Technology, 2019 (1): 1.

- [2] 常振臣, 张海峰. 动车组 PHM 技术应用现状及展望[J]. 电力机车与城轨车辆, 2016(1): 1.
- CHANG Zhenchen, ZHANG Haifeng. Application state and prospects of PHM technology on EMU[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2016(1): 1.
- [3] 韩妍松, 杨乐, 李作鑫. 基于 CAN 总线的制动维护终端监控系统的设计[J]. 铁道机车与动车, 2019 (11): 16.
- HAN Yansong, YANG Le, LI Zuoxin. Design of brake maintenance terminal monitoring system based on CAN bus[J]. Railway Locomotive and Motor Car, 2019 (11): 16.
- [4] 程艳丽, 尤新, 乔长亮. TRDP 协议在列车控制管理系统中的应用[J]. 通讯世界, 2017 (23): 332.
- CHENG Yanli, YOU Xin, QIAO Changliang. Application of TRDP protocol in train control management system[J]. Telecom World, 2017 (23): 332.
- [5] 李拥军. 基于实时以太网的中低速磁浮列车网络控制系统[J]. 电力机车与城轨车辆, 2018 (2): 12.
- LI Yongjun. Medium-low speed maglev train network control system based on real-time Ethernet[J]. Electric Locomotives & Mass Transit Vehicles, 2018 (2): 12.
- [6] 李彦儒, 申萍. 城轨列车 4G 移动通信性能优化研究[J]. 电子设计工程, 2015 (24): 142.
- LI Yanru, SHEN Ping. The 4G mobile communication performance optimization on city rail trains[J]. Electronic Design Engineering, 2015 (24): 142.

(收稿日期: 2020-06-16)

(上接第 161 页)

锈油影响了螺纹锁固胶的固化效果,从而降低了螺纹副的锁固性能。针对此原因,为有效提高闸瓦吊销轴螺栓紧固强度,提出改用乐泰 272 胶,来提高螺栓紧固扭矩及增加双叠自锁垫圈的优化措施,经验证达到预期效果。

参考文献

- [1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车辆制动系统 第 8 部分: 踏面制动单元技术规范; T/CAMET 04004. 8—2018[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2018.
- China Association of Metros. Brake systems of urban rail vehicles Part 8: technical specification of tread brake units; T/CAMET 04004. 8—2018. Beijing: China Railway Publishing

House, 2018.

- [2] CENELEC. Railway applications-rolling stock equipment-stock and vibration tests; EN 61373: 2010[S]. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), 2010.
- [3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 紧固件横向振动试验方法: GB/T 10431—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 2.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Transverse vibration testing method for fasteners; GB/T 10431—2008[S]. Beijing: China Standard Press, 2009: 2.

(收稿日期: 2020-05-21)