

轨道交通车-地数据多通道传输方式研究

陈美霞 张金磊 戴国琛 陈 志 蒋陵郡 梁汝军 陈 昊

(中车南京浦镇车辆有限公司, 210031, 南京)

摘 要 [目的] 随着轨道交通车辆投入使用得越来越多, 数据的维护工作量也越来越大, 原有的数据落地方式存在诸多弊端, 需研究新的数据传输方式, 以降低列车的故障率。

[方法] 通过对 Wi-Fi 和 4G 技术的比较, 确定两种技术均可使用; 考虑正线和车辆段都需要有网络, 最终确定了 3 个通道, 用以满足在不同工况下和不同地方都能传输数据; 同时为了保证数据传输的安全性, 设置了一些安全措施, 防止通道被攻击。[结果及结论] 经试验, 证明了该方案可以有效可靠地将数据下载到地面服务器, 且在 1 条通道故障的情况下, 其他通道可以继续使用, 不影响数据的下传。

关键词 轨道交通; 车-地数据传输; 多通道; 自动落地; 网络配置; 安全性

中图分类号 U231+.7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2024.05.016

Research on Rail Transit Vehicle-wayside Multi-channel Data Transmission Methods

CHEN Meixia, ZHANG Jinlei, DAI Guochen, CHEN Zhi, JIANG Lingjun, LIANG Rujun, CHEN Hao
(CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., 210031, Nanjing, China)

Abstract [Objective] With the increasing number of rail transit vehicles in operation, the maintenance workload for data is also increasing. The existing data landing methods have many drawbacks, necessitating research into new data transmission methods to reduce the failure rate of trains. [Method] By comparing Wi-Fi and 4G technologies, it is determined to utilize the both. Considering the need for network coverage on main lines and in depots, three channels are ultimately established to ensure data transmission under different conditions and locations. Meanwhile, to ensure the security of data transmission, several security measures are implemented to prevent channel attacks. [Result & Conclusion] Experimental results demonstrate that the proposed approach can effectively and reliably download data to ground servers. Moreover, in the event of a channel failure, the remaining channels can continue to operate, ensuring uninterrupted data transmission.

Key words rail transit; vehicle-wayside data transmission; multi-channel; automatic landing; network configuration; security

0 引言

传统的城市轨道交通车辆数据落地方式, 主要由维护人员上车将电脑连接到车辆电子控制单元进行数据下载, 然后再转存至地面的存储设备里。这种方式费时费力, 且无人上车下载数据的情况时有发生, 致使大量列车的数据没有在地面备份; 当需要分析故障时, 才发现之前存储的数据不充分, 使得问题不能得到有效、快速的解决。随着轨道交通车辆投入使用得越来越多, 数据的维护工作量也越来越大, 且需要对车辆的数据进行分析和深度挖掘, 找出一些规律, 尽量降低列车的故障率。本文提出了一套自动化数据落地技术的应用, 即能每天把列车上的数据全部自动下载到地面的服务器。

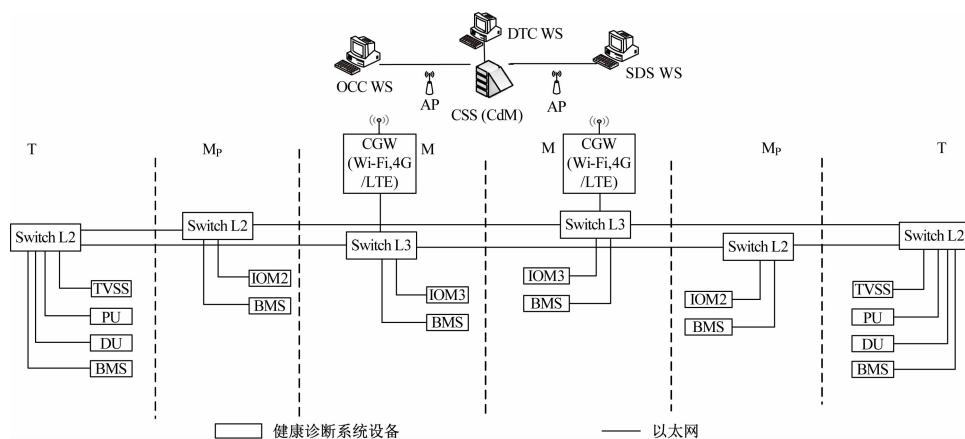
为此, 研究了车-地数据传输的多种技术优缺点, 如 4G、WLAN(无线局域网)和 LTE(长期演进)等。WLAN 技术凭借其优异的传输速率和高速适应性完全能满足未来车-地通信建设的通信性能需求, 同时 WLAN 技术仍然具备较大的性价比优势, 可更好地降低轨道交通建设的初期投资^[1]。WLAN 用于车-地数据传输在多个项目中有实际应用, 如广州地铁 7 号线^[2]。目前 802.11ac 协议最高支持 256-QAM 的调整方式, 理论上在 160 MHz 的无线频率资源, 静止状态可提供不小于 1 Gbit/s 的传输速率, 业务的带宽支持能力较 802.11n 协议更强; 此外, 802.11ac 协议较 802.11n 协议, 工作在 5 GHz 频段, WLAN 网络能避开繁忙的 2.4 GHz 频段, 减少了 WLAN 设备相互间的干扰, 从而提高 WLAN 网络的抗干扰能力及稳定性^[3]。但是 WLAN 也有抗干扰能力差、覆盖距离短、越区切换多、维护不便和服务质量无法保证等局限性^[4]。LTE 无线传输技术在灵活分配频谱, 系统容量及覆盖等方面有着非常重要的优势, 其采用 2X2MIMO 进行传输, 能较大幅度地增加速率, 因此许多运营商都一致支持使用 LTE 无线传输技术^[5]。新加坡地铁东北线项目有

25 列车,用户要求列车上提供 1 套具备 Wi-Fi 和 4G 接口的设备;其中,Wi-Fi 设备用于列车回库时将离线数据发送到地面服务器里,4G 用于在正线上将实时数据发送到地面服务器;同时,要求 CdM(健康诊断)系统能够通过 TVSS(车载视频监控系统)的 Wi-Fi 通道在正线上实时地将数据发回到地面服务器,为此研究出这套车-地数据传输的方式,即使用 4G 实时传输和 Wi-Fi(WLAN)通道相结合的方式,合计 3 条传输通道,将列车数据在任何地方都可以发送到地面服务器。我国早前的相关项目通常只有 1 个通道传输数据,而这种同时多通道传输应用较少。多通道传输需要研究的方面也较多,如不同通道之间的切换、同一通道不同交换机备份、流量

使用均衡、数据中断重传、多个目的地 IP 地址选择、多个通道优先级和多套设备选择等问题,这些都是本文要分析的重点。该方案的优点是,不仅能将数据传输到地面服务器,还能保证若其中一种通道出现故障,其他通道也能将数据传输至地面服务器。

1 系统组成

通过研究分析,经过多次设计讨论和评审,加上部分试验,最终设计了如图 1 所示的拓扑结构。车-地数据传输通信系统组成为:车载以太网网络及数据发射设备,如 CGW(通信网关)、TVSS;AP(无线访问节点),地面服务器和 workstation,健康诊断及智能维护系统软件。



注:CSS 为集中式存储服务器;PU 为处理单元;DU 为显示单元;M 为不带受电弓的动力;T 为拖车;Mp 为带受电弓的动车;BMS 为转向架监控系统;IOM 为输入输出单元;WS 为工作站;OCC 为运营控制中心;DTC 为车辆段列车中心;Switch L2 为二层交换机;Switch L3 为三层交换机;SDS 为车辆段监控室。

图 1 系统架构示意图

Fig. 1 Diagram of system architecture

1.1 车载网络及发射设备

CdM 系统车载部分组成为:PU、DU、BMS、CGW 等,均通过以太网接口连接到交换机上,且和 TVSS 连接,为车-地数据传输多提供一个通道。PU 收集列车上各系统的数据,随后将所有数据发送给 CGW 或 TVSS,再由这 2 个通道将数据发送到地面服务器。由于列车运行时,无线信号接收强度来确定车载无线单元主备。当车头向前运行时,车尾无线单元经过的无线信号覆盖强度是衰减的,切换点相邻 AP 的无线信号场强差异大,车尾无线单元可以减少切换时间。因此,正常情况下,推荐采用以车尾无线单元为主用的工作方式。因为当车尾无线单元发生故障时,其能自动切换至车头无线单元进行通信^[6]。本方案中的 CGW 内置 802.11ac 2.4

GHz/5 GHz 终端模式,最大传输速率为 2 400 Mbit/s(下载),300 Mbit/s(上传)。

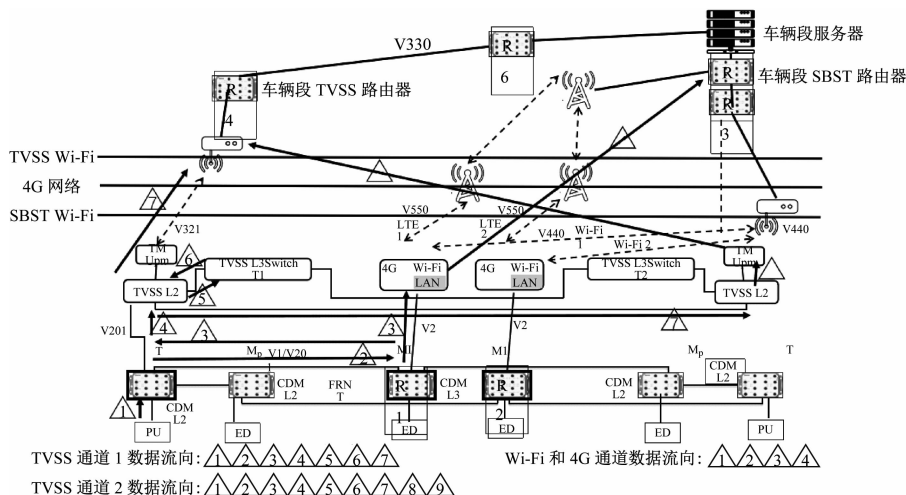
1.2 传输通道

如图 1 所示,车上有 3 种不同类型的通道:TVSS 的 Wi-Fi 通道,CGW 的 Wi-Fi 通道和 4G 通道。列车上全量数据从车载 PU 发出,选择从上述 3 个通道之一发送到地面服务器 CSS。故障类数据按照触发式发送,实时数据按照 300 ms 周期发送。经计算可知,数据传输只需占用带宽约 0.5 Mbit/s。TVSS 通道可预留 2 Mbit/s 给 CdM 使用。该方案中可以实现数据丢包重传,因此地面服务器 CSS 要发送确认信息给车载 PU 设备。按照节省 4G 流量及流量均衡的原则,不管在正线还是车辆段均优先使用 TVSS 的 Wi-Fi 通道,其次选用 CGW 的 Wi-Fi

通道;只有当这 2 个 Wi-Fi 通道都不可用时,才选用 CGW 的 4G 通道发送数据到地面服务器。为了保证 2 套 CGW 4G 流量用量均衡,实行单、双日轮换使用,可避免因一直只用其中 1 套 4G 设备,而导致这套设备的流量很快消耗完,而另 1 套流量未启用的情况;CGW 内部判断优先使用 WLAN 还是 4G。不同通道切换是根据连续 4 包丢 ping 包来进行切换,切换时间是 8 s。

2 网络划分及 IP 地址配置

该方案中,因为有多通道,且有 25 列列车的数据发至地面服务器,为了避免 TVSS 设备和 CdM 系统设备在一个网络里及区分 25 列列车,所以划分了多个 VLAN(虚拟局域网),如图 2 所示。划分 VLAN 如下:PU 等 CdM 设备都在 VLAN1, CGW1 和 CGW2 在 VLAN2,TVSS 在 VLAN3(图中以一列



注:SBST 为新捷运;TMU 为运输移动单元;ED 为终端节点。

图 2 车-地数据传输路径示意图

Fig. 2 Diagram of vehicle-wayside data transmission path

车具体配置示例,VLAN3 标示为 VLAN201),具体配置如下。

2.1 IP 地址分配

主要车载设备地址如下:PU 和 MI 车三层交换机都在同一个网段,即 10 网段。IP 地址示例如下:T1(C1)车和 T2(C6)车的 PU IP 地址分别为 10. a. 1. b 和 10. a. 6. b(因项目需要,一些具体数字用字母代替。);2 个 M 车三层交换机的 VLAN1 IP 是 10. a. 3. 18/20 和 10. a. 4. 18/20;与 CGW 相连的网口划分为 VLAN2, IP 为 192 网段,即 192. c. 10. 3/24 和 192. c. 10. 4/24。CGW 的 LAN 口为 192. c. 10. 7 和 192. c. 10. 8,第 1 列车 WAN 口 IP 为 142. d. e. 13 和 142. d. e. 14,最后一段 IP 地址里十位数表示列车号,所以第 25 列列车的地址是 142. d. e. 253 和 142. d. e. 254。CGW WAN 口地址是 CGW 发数据到地面用的 IP 地址,故每列车都不一样。这是因为给地面服务器发送数据的 IP 地址对于多列车时要考虑每列车地址应不相同的问题,因此每列

车的 CGW 和 TVSS 对地面发送地址都不相同且唯一。与 TVSS 相连的网络被划分为 VLAN3,第 1 列列车和 TVSS 相连的交换机网口 IP 为 142. d. 193. 15/24 和 142. d. 193. 65/24;IP 地址也是每列车不同,区分在地址的第三段,即每列车加 1,因此第 25 列列车的 IP 地址分别是 142. d. 217. 15 和 142. d. 217. 65。PU 所在的 VLAN1 子网掩码是 255. 255. 240. 0(20),VLAN2 和 VLAN3 子网掩码是 255. 255. 255. 0(24)。CGW 的 4G 通道发往地面的 IP 地址由电信公司分配。

为保证地面服务器的安全性,服务器各接收通道的 IP 和车载设备的 IP 地址都不在同一个网段,其经过地面交换机执行路由实现通信。地面服务器接收 3 个通道的数据分别用 3 个不同的 IP 地址:WLAN 地址都是根据地面网络配置,4G 对应的 IP 地址是由电信运营商分配的固定 IP 地址。

2.2 交换机配置

为实现 VLAN1 到 VLAN201 的路由冗余,在

C3 和 C4 车交换机上进行 VRRP(虚拟路由冗余协议)配置。C3 和 C4 车交换机 VRRP 配置如下:在 ID、接口和虚拟 IP 方面,2 个交换机设置相同,ID 均为 10、20,对应的接口分别是 VLAN1 和 VLAN201;对应的虚拟 IP 分别是 10. a. 3. 34 及 142. d. 193. 34;C3 车 VRID10(虚拟路由 ID)的优先级是 160 为主,VRID 20 的优先级是 150 为主;C4 车 VRID 10 和 VRID 20 的优先级均是 100 为备。PU 在 2 个单元都用虚拟 IP 地址 10. 0. 3. 34 作为默认网关。

此外当从 TVSS 通道接收地面服务器发来的确认信息时,给 TVSS 交换机回程路由也配置了一个 VRRP,虚拟 IP 为 142. d. 193. 34。这样 TVSS 交换机往 CdM 的 PU 发送数据时,它不需要配置 2 条路由,只需配置 1 条路由,即发往 VRRP ID 20 即可。

在 2 个 M 车的 CdM 系统的三层交换机里都设置了静态路由,目标 IP 是 172. 19. 1. a,下一跳是 142. d. 193. 16,路由距离是 1,子网掩码是 255. 255. 255. 0。

2.3 TVSS 交换机配置

在 TVSS 交换机里设置 IP 有 VLAN321 的 172. 18. 133. 219/22,VRRP 为 142. d. 193. 16,往地面发送数据的 IP 为 142. 192 + 列车号. 15/24,子网掩码为 255. 255. 255. 0。

3 传输机制及安全协议

如果数据从 4G 通道发送,需要实现流量负载均衡,为此设计为根据日期单双日分别从 2 个 CGW 发送数据到地面服务器,如图 2 所示。单日数据从 T1 车的 PU 发送到 M1 的 CGW1 的 4G 通道出去,双日数据则从 T2 车的 PU 发送到 M2 的 CGW2 的 4G 通道出去。PU 根据日期来切换 UDP 的主从。综上,可以实现多通道不同优先级将数据发送到地面,且 2 套 4G 通道实现流量均衡。

由于 WLAN 和 4G 技术本身的开放性存在系统漏洞^[7],故为了保证数据传输的安全性,在采用 WLAN/4G 传输时,使用了 VPN(虚拟专用网),其主要有 OPENVPN/PPTP/L2TP 协议等,以保证数据在传输过程中不会轻易被外界识别。无线设备 CGW 本身支持 WPA-PSK/WPA2-PSK (TKIP&AES) 和 WPA/WPA2 (TLS, TTLS&PEAP) 等加密和动态密钥。

为了保证车辆网络的安全性,在车-地数据传输

的通道中接收设备地面服务器侧设置了众多安全措施,防止有人在服务器向列车进行攻击。设置的安全措施主要有:Smurf、Land、Fraggle、Ping of Death 和 WinNuke 攻击的防范包,以及带路由记录项的 IP 报文、带源路由选项的 IP 报文、带时间戳选项的 IP 报文、SYN Flood、UDP Flood 和 ICMP Flood 攻击防范等。通过这些措施,尽可能地保证服务器和列车免受攻击。

4 测试验证

通过测试验证,地面服务器能够正确接收到 PU 发送的数据,且关闭一个通道,数据能从其他通道发送到服务器,解决了不同通道之间的切换问题;当关闭一个交换器,数据也能从另外一个交换机发出,解决了同一通道不同交换机备份问题;通过修改日期,实现了单双日使用不同 CGW 发送数据,达到了流量使用均衡的目的;在数据发送过程中,切断了通道,当通道再次建立后,数据继续上传,解决了数据中断重传问题;多个通道同时通信正常,数据能够优先从 TVSS Wi-Fi 发送,当切断 TVSS Wi-Fi 时,数据能够从 SBST Wi-Fi 发送,2 种 Wi-Fi 都不在时,数据还能从 4G 发送,验证了多个目的地 IP 地址和多个通道优先级问题。该试验在实验室和列车上都进行了试验,均得到以上结果,证明了该方案的可行性。

5 结语

本设计方案及具体配置在新加坡翻新项目使用,解决了单一通道发送数据的不足,同时考虑到数据传输的安全性采取了一系列的安全措施,实现了数据在正线或车辆段能够通过不同通道将数据按照需要发送到地面服务器。由于网络配置比较复杂,为此在本文中详细介绍了具体的配置方案以供后续项目参考。采用多通道传输数据在若干项目上都有所要求,本方案可为后续项目提供参考,该方案不仅可应用在地铁上,而且在高速铁路和城际轨道交通等其他类型列车上都具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 刘杰. 城轨云化建设背景下的高速车地通信测试[J]. 都市轨道交通, 2020, 33(5): 28.

(下转第 86 页)

3 结语

结合 EN 50126-2:2017 标准的安全分析方法对地铁开展火灾隐患危害分析,系统地识别各系统可能存在的火灾隐患。通过对火灾隐患进行分析,针对可能存在火灾隐患的区域或设备,制定相关措施。

仿真结果表明,该方法可修正火灾隐患区域,能使地铁更合理地布置火灾报警探测;同时,可用于指导地铁防火系统设计,能够有效确保车辆从防火到救援的消防能力的整体提升。

参考文献

- [1] 王康,李廷.城市轨道交通火灾研究综述[J].消防界(电子版),2022,8(24):31.
WANG Kang, LI Ting. A summary of urban rail transit fire research[J]. Fire Protection Industry (Electronic Version), 2022, 8(24): 31.
- [2] British Standards Institution. Railway applications — the specification and demonstration of reliability, availability, maintainability, and safety (RAMS)—part 2: systems approach to safety: BS EN 50126-2:2017[S]. London: British Standards Institution,

2017:1.

- [3] Modsafe. Modular urban transport safety and security analysis [Z]. Köln: Modsafe, European Commission Seventh Framework Programme, 2012.
- [4] 谢中朋. 消防工程[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
XIE Zhongpeng. Fire engineering[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [5] 王冰洁,冷映丽,薛淑胜.无人驾驶城轨车辆与信号系统接口的安全风险[J].技术与市场,2022,29(12):136.
WANG Bingjie, LENG Yingli, XUE Shusheng. Management of interface safety risk between driverless urban rail vehicle and signal system[J]. Technology and Market, 2022, 29(12): 136.
- [6] British Standards Institution. Maintainability and safety (RAMS) Part 1: Generic RAMS Process; BS EN 50126-1:2017[S]. London: British Standards Institution, 2017:1.

· 收稿日期:2023-11-12 修回日期:2023-12-19 出版日期:2024-05-10
Received:2023-11-12 Revised:2023-12-19 Published:2024-05-10
· 通信作者:冷映丽,正高级工程师,13905170394@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 81 页)

- LIU Jie. High-speed train-ground communication test in the context of metro digital transformation toward cloud[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(5): 28.
- [2] 陈微,管国光.城市轨道交通车-地无线通信稳定性分析[J].铁道通信信号,2019,55(10):91.
CHEN Wei, GUAN Guoguang. Stability analysis of vehicle-ground radio communication in urban rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(10): 91.
- [3] 宁贝贝. LTE 与 WLAN 技术在轨道交通 PIS 系统应用对比[J].数字通信世界,2020(9):175.
NING Beibei. Comparison of LTE and WLAN technology in PIS system of rail transit[J]. Digital Communication World, 2020 (9): 175.
- [4] 刘洋.城市轨道交通全自动运行模式下的车地无线综合通信网络方案分析[J].城市轨道交通研究,2019,22(12):22.
LIU Yang. Analysis of train/ground wireless communication under full automatic operation mode of urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2019, 22(12): 22.
- [5] 王锐,王大成.城市轨道交通车地无线通信的应用[J].电子技术与软件工程,2019(21):26.

WANG Rui, WANG Dacheng. Application of wireless communication between train and ground in urban rail transit[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2019(21): 26.

- [6] 谢红霞,孙林祥.轨道交通车-地通信无线局域网技术应用[J].铁道通信信号,2020,56(2):63.
XIE Hongxia, SUN Linxiang. Application of wireless local area network technology for vehicle-trackside communication in rail transit[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56 (2): 63.
- [7] 李天然.城市轨道交通车地无线通信安全性分析[J].信息通信,2018,31(8):162.
LI Tianran. Security analysis of wireless communication between urban rail transit vehicles and ground[J]. Information & Communications, 2018, 31(8): 162.

· 收稿日期:2023-10-16 修回日期:2023-11-28 出版日期:2024-05-10
Received:2023-10-16 Revised:2023-11-28 Published:2024-05-10
· 通信作者:陈美霞,正高级工程师,cmx313@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