

# 城市轨道交通车辆车门系统通信机理 分析及典型故障案例

张亮亮<sup>1</sup> 张 龙<sup>1</sup> 陈东东<sup>1</sup> 吴律贤<sup>1</sup> 李铁男<sup>2</sup> 文永亮<sup>1</sup>

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司工程技术中心, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 车门系统是乘客上下车的通道,也是保护乘客安全的重要屏障。为降低车门系统通信故障率,详细阐述了车门通信机理,分析了列车通信网络对车门控制的实现过程。车门系统通过多功能车辆总线将车门状态信息及故障信息上传至列车控制及管理系统,并在人机界面上显示车门状态。针对人机界面告警的车门通信异常典型故障案例,梳理了故障原因及处理办法,并针对性提出优化建议。

**关键词** 城市轨道交通车辆;车门系统;通信机理;通信故障处理

**中图分类号** U270.38<sup>+</sup>6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.04.015

## Analysis of Urban Rail Transit Vehicle Door System Communication Mechanism and Typical Failure Cases

ZHANG Liangliang, ZHANG Long, CHEN Dongdong, WU Lyuxian, LI Tienan, WEN Yongliang

**Abstract** Vehicle door system is for passengers to get on and off, also an important barrier that protects passenger safety. To lower the failure rate of door system communication, the door system communication mechanism is expounded and the process of realizing train communication network control on doors is analyzed. The door system uploads the door status information and fault information to the TCMS (train control and management system) through MVB (multifunction vehicle bus), and displays door status on the HMI (human machine interface). Targeting the typical failure cases of HMI-warning door system communication abnormality, failure causes and treatment measures are sorted, and specific improvement suggestions are provided.

**Key words** urban rail transit vehicle; door system; communication mechanism; communication failure treatment

**First-author's address** National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

在列车数字化转型年代,人们对网络控车以及网络监控技术提出更高、更严、更多的需求。用户不仅追求性能可靠的列车控制技术,还对信息化、智能化提出更多需求,而这些需求的实现就是通过网络控制来实现。车门系统作为城市轨道交通车辆重要的子系统之一,是乘客上下车的通道,是满足紧急逃生需求的重要列车设备,也是保护乘客的重要屏障。OCC(运营控制中心)及列车控制系统都需要根据车门当前的运行状态来下达列车下一步工作指令。通过车门系统与列车控制系统的网络连接,车门运行状态信息就可以上传至网络。发生车门通信故障,不仅会影响服务水平,还会降低乘客的安全保障。对此,本文从城市轨道交通车辆车门系统通信机理出发,分析典型故障的产生原因和处理方法,并提出优化建议。

## 1 车门系统的通信机理

### 1.1 通信类型

车门系统的通信网络分为外部网络与内部网络:外部网络负责车门系统与车辆级总线的通信,一般采用MVB(多功能车辆总线)或以太网通信;内部网络为一节车辆所有车门组成的内部环网,一般采用CAN(控制器局域网)、RS485(支持多点数据通信的总线结构)或以太网等技术实现通信。

MVB可连接列车内的各个设备。车辆设备是各种信息的发源地,其接收通信节点的命令,将各种信息(如过程数据与消息数据)按一定的格式送往通信节点<sup>[1]</sup>。

列车工业以太网作为维护网在高铁和地铁领域已经得到成熟应用。工业以太网作为控制网的实际运营还处于起步阶段,因此接下来几年会是工业以太网和WTB(绞线式列车总线)/MVB网络同

时并存的时代<sup>[2]</sup>。

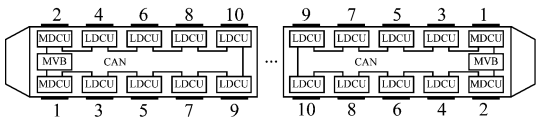
以太网受技术成熟度和成本因素限制,仅应用于智能运维列车。而 RS485 协议通信广泛应用于 2010 年以前生产的列车内部网络通信,但在 2010 年后,车门系统内部网络以 CAN 网为主。

本文以 MVB + CAN 为基础的网络架构为例,阐述车门系统通信原理及典型故障处理。

### 1.2 通信结构

#### 1.2.1 车门布局 and 门地址

目前,成熟的车门网络主要采用主、从网络冗余结构。以地铁 A 型车为例,每节车设置 10 套车门,且车门网络由 2 个 MDCU(主门控器)和 8 个 LDCU(从门控器)构成。其中 2 个 MDCU 为 MVB 转 CAN 的冗余网关,与 MVB 连接,并通过 CAN 总线与 8 个 LDCU 连接。MDCU 除具有控制本门功能外,还具有网关功能。车门网络布局结构如图 1 所示。



注:数字为各节车的门号

图 1 车门网络布局结构

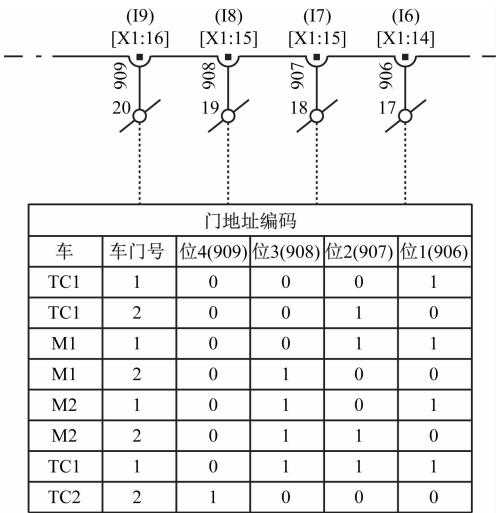
Fig. 1 Train door layout structure

根据图 1,每个车门均可用车节号 + 门号的方式精确定位,并对应通信协议中唯一的端口号。这样,网络就不会混淆每个门发来的数据。在每种通信方式里,每个门的地址都是唯一的,且通过硬线接线或门地址拨码开关来分配。

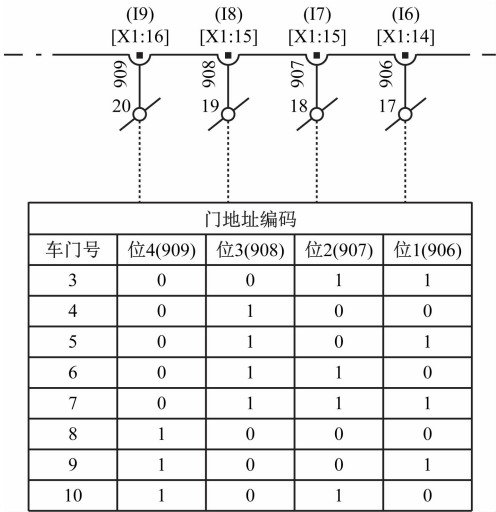
图 2 为通过硬线连接的门地址设置方式示意图。4 个门控器输入的高低电平组成了 4 位的二进制编码,可用来区分不同的门地址。在 10 个车门中,主门进行 MVB 通信,从门进行内网通信,故主门和从门需分开设置门地址。主门地址与从门地址重合对网络通信没有影响。

#### 1.2.2 主、从网络冗余结构

车门系统的 2 个 MDCU(MDCU1 与 MDCU2)互为冗余结构。两者软硬件完全一样,仅根据地址编码来区分。具体哪个 MDCU 进入主控模式是由 MVB 总线交换令牌来决定的。在正常工作中,上电后的 MDCU1 处于主控模式,其通过 CAN 总线获得所有 LDCU 的状态和故障数据,通过 MVB 总线转发给 TCMS(列车控制与管理系统),并转发来自



a) 主门地址



b) 从门地址

注:[X1:16]为 X1 连接器中的第 16 个卡位,余类推;(16)一(19)为输入口号;17—20 为端子排的点位号。

图 2 通过硬线连接的门地址设置示意图

Fig. 2 Diagram of door address setting connected by hard wire

TCMS 的参数与命令数据给所有的 LDCU。当 MDCU1 发生故障时,MDCU2 将获得令牌,处于主控模式,起到与 MDCU1 相同的功能,以实现 MDCU 总线的故障冗余。车门系统的主、从网络冗余结构示意图如图 3 所示。

当车门网络内部的 CAN 总线发生断路时,MDCU1 和 MDCU2 都会切换为主控模式(即“部分主模式”),分管断点两侧的网络通信,并将各自收集的断点两侧 LDCU 信息分别发送给 TCMS,从而实现 CAN 总线断线故障冗余。此时的车门系统网络结构示意图如图 4 所示。

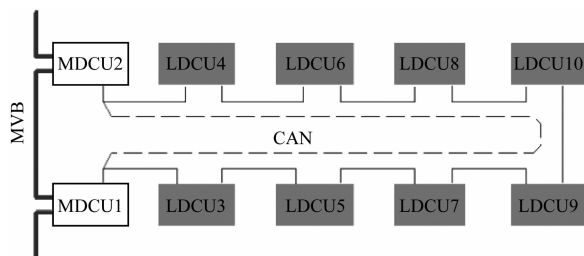


图3 车门系统的主、从网络冗余结构示意图

Fig. 3 Structure diagram of master and subordinate network redundancy of vehicle door system

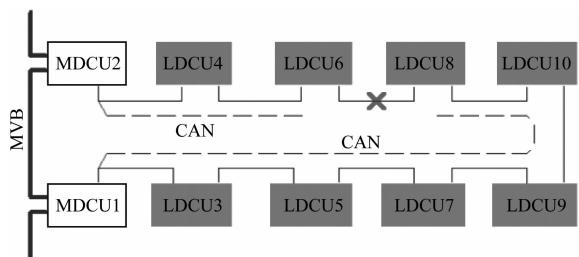


图4 CAN发生断路时的车门系统网络结构示意图

Fig. 4 Structure diagram of door system network in case of CAN open circuit

MDCU 与列车之间需要按照通信协议进行通信。通信协议会对 MDCU 角色进行定义。

TCMS 接收到 MDCU 发送的数据包后,会先检测数据包中的 MDCU 角色定义;如果 MDCU 角色是“主”,说明该 MDCU 为主控模式,则 TCMS 将解析该数据包,得到所有门控器数据;如果 MDCU 角色是“半主”,说明该 MDCU 为部分主模式,则 TCMS 会先通过数据有效位来解析有效的门数据,再从另一个 MDCU 中读取其他有效的门数据;如果 MDCU 角色是“从”,说明另一个 MDCU 为主控模式,则 TCMS 不做处理。由此,TCMS 通过读取 2 个 MDCU 中的数据有效位来得到一节车所有车门的完整数据,否则报通信故障。

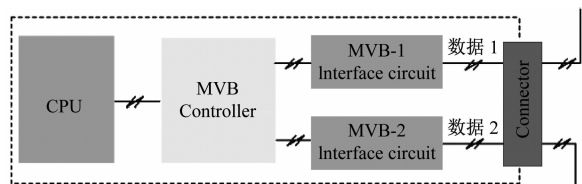
当 MDCU 接收不到一节车中任何一个节点的数据时,其门控器角色定义为“故障”。

## 2 网络机理研究

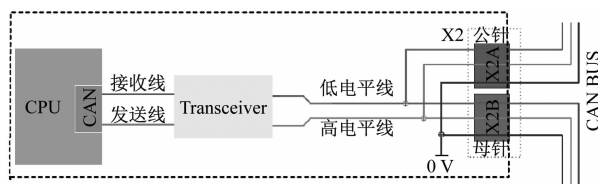
### 2.1 网络通信的软硬件实现

MDCU 和 LDCU 的核心硬件选用德州仪器公司(Texas Instruments,简称 TI)的 DSP(数字信号处理器),并针对工业控制领域进行了优化。该 DSP 的工作频率可达 150 MHz,其硬件外设丰富,内部集成了 CAN 控制器模块,方便了 CAN 的硬件设计。MVB 接口采用 MVBC(外接 MVB 控制器)的方式,

与 DSP 通过 16 位数据总线进行连接。除 MVB 接口外,MDCU 与 LDCU 的其余硬件结构完全一样。门控器通信接口电路原理图如图 5 所示。



a) 门控器 MVB 通信接口



b) 门控器 CAN 通信接口

注:CPU—中央处理器;Controller—控制器;Interface circuit—接口电路;Connector—连接器;Transceiver—收发器;CAN BUS—控制器局域网总线;X2—通信连接器。

图5 门控器通信接口电路原理图

Fig. 5 Principle diagram of door controller communication interface circuit

结合图 5,门控器通信流程为:

1) 列车通过 MVB,向主门发送 TCMS 生命信号、系统时间及控制信号等数据。MVB 通信成功建立后,主门接收数据。

2) 主门通过 CAN,向本节车所有车门发送已接收到的 MVB 数据,发送周期为 200 ms。CAN 通信成功建立后,从门接收数据。

3) 从门依次通过 CAN,向本节车主门发送车门状态及故障信息等数据,主门接收并保存从门数据。

4) 主门通过 MVB,将本节车所有车门数据发送至 TCMS;列车接收数据并在 HMI(人机界面)显示车门状态信息。

MDCU 和 LDCU 的软件平台采用基于中断处理的前后台软件结构,实现了电机驱动及门功能控制,并在 MDCU 上移植了 MVB 协议栈,以实现获取过程数据的功能。此外,MDCU 和 LDCU 均实现了 CAN 控制的功能。基于上述软硬件平台,可实现 MVB 转 CAN 的网关功能及冗余网络切换等功能<sup>[3]</sup>。

### 2.2 故障冗余切换的软件实现

MDCU1 和 MDCU2 均配置了针对一节车 8 套 LDCU 的所有过程数据源端口和宿端口。正常工作

时,MDCU1 和 MDCU2 通过 CAN 总线获取所有 LDCU 的过程数据,并更新其对应的过程数据源端口,同时从过程数据宿端口接收 TCMS 发来的数据。

从程序控制来说,具体逻辑如下:

1) 当门控器上电 30.0 s 以内,为等待下载程序和初始化,MDCU1 约需要 15.0 s,MDCU2 约需要 18.0 s;之后,MDCU1 先开始接收内网数据。若收到来自 MDCU2 的通信数据,则 MDCU2 在内网通信上为从状态,MVB 通信状态也为从状态;若收到来自部分主的 MDCU2 的通信数据,则 MDCU2 为部分主状态,MVB 通信状态为部分主状态;若没收到 MDCU2 的通信数据,则 MDCU1 为主状态,MVB 通信状态为主状态。

2) 当门控器上电 30.0 s 之后,若 MDCU1 在 1.5 s 内没收到 MDCU2 的通信数据,则 MDCU1 为部分主状态,软件自动复位底层串口的接收。若 MDCU1 在 1.5 s 内收到了 MDCU2 的通信数据,则 MDCU1 继续为主状态。若 MDCU2 在 2.5 s 内没收到 MDCU1 的通信数据,则 MDCU2 改为部分主状态,软件自动复位底层串口的程序;若 MDCU2 在 2.5 s 内收到了 MDCU1 数据,则 MDCU2 为从状态。

### 3 典型故障案例

为进一步梳理车门网络通信故障的原因及处理方法,本文对此类典型故障案例进行分析。

#### 3.1 无法建立通信故障

在某项目车辆调试初期,偶尔会发生无法建立通信故障。故障时列车 HMI 的车门状态信息如图 6 所示。

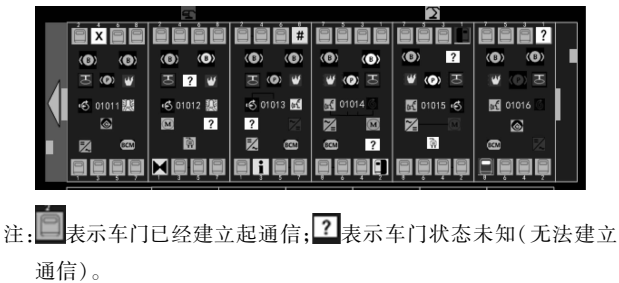


图 6 故障时列车 HMI 的车门状态信息

Fig. 6 Door status information on train HMI screen during failure

经分析,无法建立通信的原因主要有门地址接

线错误、通信线错误、CAN 网络终端电阻未接、门控器未上电等。

#### 3.2 单门或者多门报通信故障

在某项目正常运行的列车 HMI 上,出现单门或多门图标闪烁红色报通信异常故障(以下称为“闪红故障”),过数秒后车门又恢复正常状态。

出现单门闪红故障的主要原因是连接器接触不良或虚接,以及门控器电源模块不稳定(电压跌落、电源反复重启等)。哈尔滨地铁 1 号线及南昌地铁 1 号线等项目,就曾对车门电源模块进行批量整改,以解决电源模块不稳定引起的通信异常问题。

内网任何节点出现断点或主门控器上电重启,也会造成 2 个 MDCU 的主、从切换。若切换不及时,则会造成单门或多门闪红故障。

对此,可将 2 个 MDCU 的主、从状态切换时间由 3.0 s 缩至 1.0 s,同时优化软件逻辑,使 MDCU 在内网通信恢复以后保持 1.0 s 的部分主状态,再进行主、从状态切换,进而实现平稳切换。

#### 3.3 一节车车门闪红故障

某列车曾出现一节车的车门闪红故障,显示车门通信异常。此时的列车 HMI 截图如图 7 所示。



图 7 车门通信异常时的列车 HMI 截图

Fig. 7 Screenshot of train HMI in abnormal train door communication

经分析,当主门控器通信连接器接触不可靠,发生通信插头缩针、松动或错位等情况时,故障灯会闪红警报。此外,门控器硬件发生通信故障、门控器断电,或主、从门控器切换时间过长,也会造成车门闪红故障。

#### 3.4 未检测到生命信号引起的车门闪红故障

某一节车在开关门时,列车 HMI 上显示对应该节车门通信闪红故障,图标闪烁约 2.0 s,之后恢复正常,且 TCMS 中无故障记录。

经分析,门控器检测到 TCMS 生命信号异常(丢码),从而引起一节车车门状态闪红。

TCMS 通过 MVB 发送的生命信号数据每隔 100 ms 变化为 1,生命信号数据范围为 0 ~ 65 535。

若车门子系统检测到一定时间内生命信号数据未发生相应变化,则诊断为故障,并将操作状态切换为0(0表示初始状态);TCMS检测到操作状态为0时,就会报出车门通信故障。

在第一版车门子系统软件中,对生命信号的检测逻辑为:在512 ms内,检测到TCMS发来的生命信号数据变化范围为1~23,就认为操作状态是正常状态。但当TCMS生命信号偶尔发生了丢码现象时,车门子系统就会误报通信异常,进而将操作状态切换为0。

为此,车门子系统软件判断逻辑修改为“在一定时间内判断生命信号是否变化”。若在6个周期(约3.0 s)内,生命信号从未发生过变化,则诊断为故障状态;若在诊断为故障状态2个周期(约1.0 s)内,生命信号发生过变化,则将操作状态恢复为正常。由此增加了抗干扰能力,进而解决了生命信号丢码导致的车门通信异常误报问题。

#### 4 车门网络通信功能的优化建议

针对既有项目出现的车门网络通信故障,建议从以下几方面进行优化,以降低故障率:

1) 优化内网通信的初始化程序、发送程序和接收处理程序。发送数据时加入时间判断,超出1.5倍正常发送时间后退出发送状态。接收数据时判断是否有超时、溢出或帧错误等异常;如果有异常则自动复位内网通信程序,待没有异常再接收通信数据,可有助于解决通信异常问题。

2) 优化MVB底层通信程序,对每个字节的数据采样进行重新校准,以消除误码率的影响,提高数据采样的准确率。

3) 优化MVB程序的主、从切换参数,增加2个MDCU之间的通信数据交换,避免2个MDCU异常抢主控模式情况的发生。

4) 优化CAN通信总线的控制方式。将1个MDCU独占CAN主控的通信方式改为2个MDCU交替占用CAN通信总线。这样无论以哪个MDCU

为主控都能正常上传内网通信数据,从而消除1个MDCU独占CAN总线带来的通信问题。

5) 优化通信协议,取消角色定义,保留数据有效位。TCMS端读取2个MDCU的数据,以其中任意一个为主MDCU,并通过检查数据有效位来判断某个门的数据是否有效。该方案取消了对门控器角色的判断,减少了TCMS端和门控器端的软件逻辑,使数据处理方法更清晰易懂,降低了软件复杂度,减少了故障发生的可能性,提高了软件的可靠性。

#### 5 结语

车门技术总体朝着安全性、舒适性、便捷性、经济性和智能化方向发展,网络通信技术的大量应用势必推动车门系统智能化的进程。本文通过对车门通信机理的研究,详细阐述了列车通信网络对车门控制的实现过程,梳理典型故障案例的原因及处理办法,并制定优化策略。车门通信故障的原因分析及处理经验总结有利于确保车辆正常运营,提高司乘人员及售后人员的故障处理能力。

#### 参考文献

- [1] 刘建伟,王蕾,谭南林,等. 轨道车辆MVB通信网络的实时特性[J]. 中国铁道科学, 2006, 27(6): 79.  
LIU Jianwei, WANG Lei, TAN Nanlin, et al. Real-time performance of MVB communication network in rail vehicles[J]. China Railway Science, 2006, 27(6): 79.
- [2] 张晓晋. 高速动车组列车网络控制系统与车门子系统接口功能分析[J]. 铁道机车车辆, 2019, 39(4): 21.  
ZHANG Xiaojin. Analysis on function interface between door and TCMS in high-speed train[J]. Railway Locomotive & Car, 2019, 39(4): 21.
- [3] 张伟,茅飞,陆驰宇. 基于MVB+CAN总线技术的城轨车门监控网络设计[J]. 工业控制计算机, 2013, 26(11): 25.  
ZHANG Wei, MAO Fei, LU Chiyu. Urban transit vehicle door system's monitoring network based on MVB+CAN bus[J]. Industrial Control Computer, 2013, 26(11): 25.

(收稿日期:2022-08-01)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821