

文章编号: 2095-2163(2019)02-0047-05

中图分类号: TP273

文献标志码: A

# 基于 MVB 控制器的高速动车组门控系统的设计

郭凯, 邵万文, 李伟, 陈杨谨瑜

(华东交通大学电气与自动化工程学院, 南昌 330013)

**摘要:** 门控系统作为高速动车组安全运行的重要部件, 具有状态多、结构功能复杂、可靠性要求高等特点, 其可靠的工作与乘客安全息息相关。为了提高高速列车门控系统的可靠性及安全性, 在列车通信网络的基础上, 提出了高速动车组门控系统的网络结构, 设计出门控器内部硬件结构, 并使用 FPGA+ARM 共同开发列车车门控制器, 有利于提高国内高铁列车门控系统的国产化率。首次提出从门控器的 MVB 通信结构提高了门控系统的可靠性, 经实验测试, 该网络系统很好地实现了门控系统的复杂功能。

**关键词:** 门控系统; 可靠性; 列车通信网络; FPGA; MVB

## Research on door control system of high-speed Electric Multiple Units based on TCN

GUO Kai, TAI Wanwen, LI Wei, CHENYANG Jinyu

(School of Electrical and Automation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**【Abstract】** As an important part of safe operation of high-speed EMU, the door control system has the characteristics of multiple states, complex structure and function, and high reliability requirements. Its reliable work is closely related to passenger safety. In order to improve the reliability and safety of high-speed train door control system, on the basis of train communication network, the paper puts forward the network structure of high-speed EMU gating system, develops the controller hardware structure design, and uses the FPGA + ARM for joint development of train door controller, to improve the localization rate of door system on high-speed trains in China. The MVB communication structure of door controller improves the reliability of door control system for the first time.

**【Key words】** door control system; reliability; Train Communication Network; FPGA; MVB

## 0 引言

伴随着现场总线技术的快速发展, 网络控制系统已经广泛地应用在轨道交通领域, 国内高铁列车作为轨道交通领域技术的代表, 其控制系统具有极高的可靠性要求。在高铁运营过程中, 列车门控系统是搭载在列车通讯网络的被控设备, 肩负着乘客上下车及行车安全的责任, 其安全性及可靠性显得尤为重要。近年来, 动车组列车车门故障趋势有所增加, 而目前针对动车组门控系统的理论分析和研究仍较为缺乏, 国内高铁列车尚有相当一部分门控系统设备仍旧依赖国外技术。本文以 CRH3 型动车组为例, 通过对门控系统的现场调研, 设计出基于 MVB 现场总线技术的高速动车组门控系统设备, 在提高中国门控系统的国产化率方面具有重要意义。

## 1 列车通信网络简介

国际电工委为铁路列车设备的数据通信制定了国标 IEC61375<sup>[1-2]</sup>, 提出符合国际标准的列车通信

网络(Train Communication Network, TCN), 实现了铁路列车不同电气设备的互相通信。TCN 包括绞线式列车总线 WTB(Wired Train Bus)和多功能车辆总线 MVB(Multifunction Vehicle Bus)。其中, WTB 总线主要承载列车车辆间的通信, MVB 总线主要传送各车厢内部设备间的通信。这两级总线系统分别带有冗余传输线的串行数据总线。两级总线之间通过网关进行协议转换<sup>[3-4]</sup>。研究构建的 8 编组高速列车 TCN 网络分层结构即如图 1 所示。

图 1 中描述了 8 编组列车通信网络中的部分电气设备。列车总共分为 8 节车厢(虚线所示)。每节车厢根据功能的不同可以分为: EC01(头车 01)、TC02(变压器车 02)、IC03(中间车 03)、BC04(酒吧车 04)、FC05(一等车 05)、IC06(中间车 06)、TC07(变压器车 07)、EC08(头车 08)。在每节车厢中, 各电气设备使用 MVB 总线(实线)进行通信, 拓扑结构为总线型。REP(Repeater)为中继转发装置, 可以将数据传送至其它车厢。DCU(Door Control Unit)为挂载在网络当中的门控单元。BCU(Brake

Control Unit)为制动控制单元。CCU(Center Control Unit)作为中央控制单元,具有对来自 MVB 及 WTB 总线上的数据诊断功能。每辆头车的司机室内有 2 个中央控制装置 (CCU)<sup>[5]</sup>, 其中一个 CCU 在主 CCU 方式下工作,另一个在从 CCU 方式下运行。在

本务司机室的主 CCU 叫做列车主控 CCU。除了主 CCU 的工作外,还将进行整个车组更高等级的控制。GW(Gateway)为网关装置<sup>[3]</sup>,实现 MVB 总线和 WTB 总线间的协议转换。

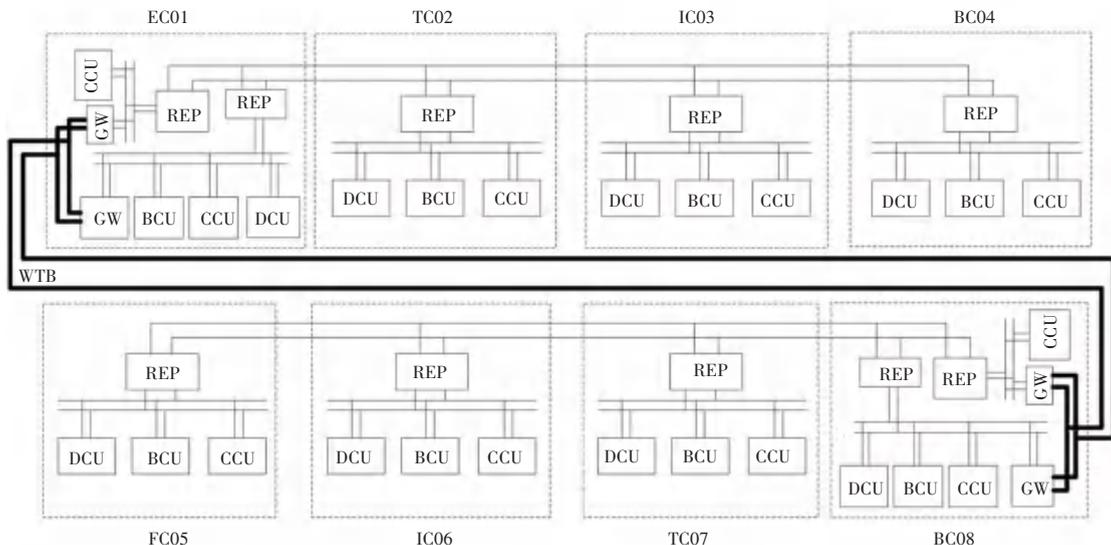


图1 TCN 网络系统结构图

Fig. 1 Structure diagram of TCN network system

## 2 门控器通信网络

门控器是整个客室门的控制系统。门控器是安装在客室门机构上,响应各种指令,控制着车门动作、蜂鸣器和指示灯等。门控器上设有数码管,可以通过数码管的显示,判断出门控器在响应何种指令,及车门处于什么状态或故障代码。在 8 编组高速动车组中,车头两侧各有一个车门,其它车厢均配有 4 个车门,位于车厢两头位置。每个门体上部都安装门控器、指示灯、电机、车门制动器等设备。各门控器之间通过 CAN 总线进行连接,系统设置主门控器和从门控器,负责收集本车车厢车门的状态信息及接收网络发出的门控信号。本次设计得到的动车组车厢内车门通信结构如图 2 所示。

元,其中 MDCU(Master Door Control Unit)为主门控器,SDCU(Slave Door Control Unit)为从门控器。主门控器和从门控器轮流控制该车厢门控系统。门控器之间使用 CAN 总线<sup>[6]</sup>(虚线所示)连接。系统采用双线冗余设计。主从门控器使用 MVB 总线(实线所示)经中继转发装置与列车中央控制单元进行通信<sup>[7]</sup>。与传统列车门控网络不同,增加从门控器的 MVB 通信可以避免主门控器失效而造成整个车厢门的故障,有助于提高列车车门系统的可靠性。

## 3 门控器硬件设计

在分析了门控系统操作方案的基础上,结合可能的硬件条件,依据当前条件及现有技术,考虑采用 XILINX 公司的 SPARTAN6 系列芯片,型号为 XC6SLX9-2FTG256C 来实现。使用 FPGA 开发基于 MVB 的门控器硬件结构如图 3 所示。

由图 3 可知,设计了 MVB 主门控器的硬件结构,门控器使用 STM32 作为门控器的微处理器<sup>[8]</sup>。MVB 控制器使用 FPGA 实现并具有西门子 PC104 总线接口<sup>[9-10]</sup>,以此保障与微处理器之间进行通信。主门控器和其它门控器之间使用 CAN 通信。

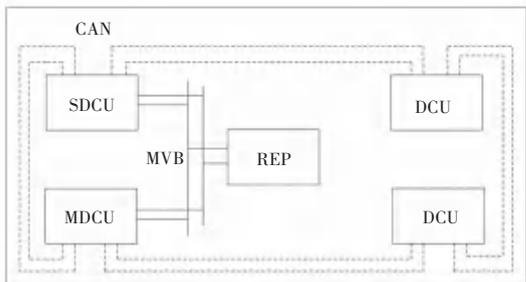


图2 车厢门控结构

Fig. 2 Door control structure of the carriage

由图 2 可见,以中间车厢为例,共 4 个门控单

## 4 数据报文

MVB 网络是一个主从控制网络。网络中,MVB

总线管理器充当总线主,发出主帧,从设备对主帧做出响应,主从帧结构如图 4 所示。

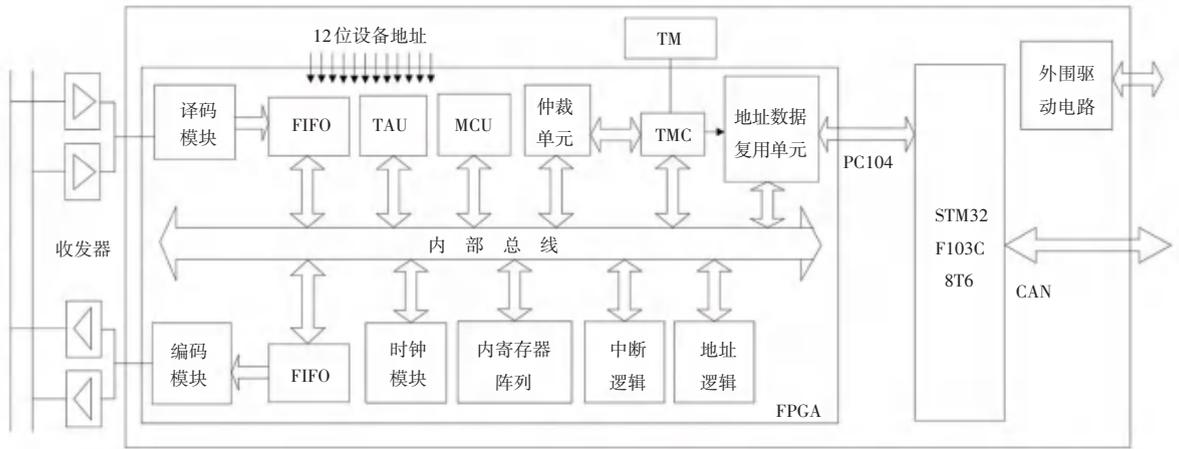


图 3 MVB 门控器硬件结构

Fig. 3 Hardware structure of MVB door controller

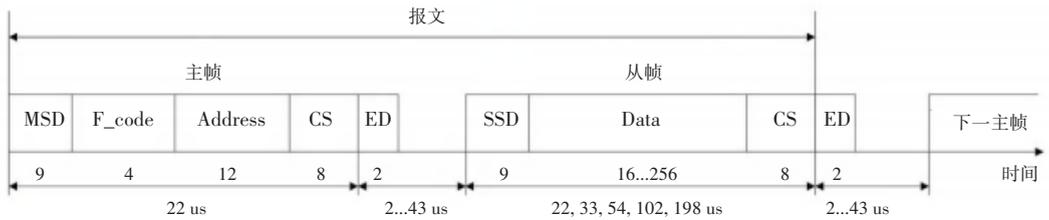


图 4 主从帧结构

Fig. 4 Master slave frame structure

在图 4 中,主帧和从帧共同构成一个报文,主帧中 MSD(Master Start Delimiter)为主起始分界符,F\_code 是功能码,CS(Check Sequence)为校验序列。主帧时间为 22 us,主从帧等待时间最大为 43 us。从帧由于数据类型的不同可以分为过程数据、监视数据和消息数据<sup>[11]</sup>,过程数据为 16~256 位,监视数据固定为 16 位,消息数据为 256 位<sup>[10-11]</sup>。消息数据较为复杂,其结构见表 1。

表 1 消息数据从帧结构

Tab. 1 Slave frame structure of message data

Mode	DD	PT	SD	SZ	Final Origin	MTC	Transport Data
4	12	4	12	8	32	8	176

表 1 中,Mode 是数据的传送方式,传送方式主要分为 2 种:单播传送(0001B)和多播传送(1111B)。具体来说,DD 标识目的设备的地址;SD 标识源设备的地址;PT 表明数据传送过程中所采用的协议类型,一般为固定值,即为 TCN 协议(1000B);Final 标识终点节点地址;Origin 标识起始节点地址;MTC(Message Transport Control)是消息传送控制,表明该从帧属于消息数据;Transport Data

是从帧实际需要传送的数据。

主节点会定期轮询其它节点来处理过程数据,对于每个节点的周期取决于车辆类型。对于相对安全等级较高的车厢,例如:牵引车辆等,该车辆内的节点被轮询次数要比一般车厢多。总线主体循环工作可以将总线的活动分为基本周期,每个基本周期分为周期相和偶发相,基本周期宽度为 1.0 ms。其中,周期相主要传送数据量较大的过程数据,偶发相主要传送消息数据和监视数据,监视数据是指与总线的配置管理有关的数据。MVB 的轮询周期如图 5 所示。

在此基础上,研究给出了根据端口大小配置的每个报文(轮询+响应)的持续时间见表 2。

表 2 报文持续时间

Tab. 2 Duration of messages

端口大小/位	电报持续时间/us
2	130
4	141
8	162
16	220
32	306

## 5 门控系统通信结构及功能实现

在高速动车组中,门控系统通过列车通信网络

连接到司控台及其它子系统。门控网络的结构设计如图6所示。而门控系统各种复杂功能的研发设计可阐释解析如下。

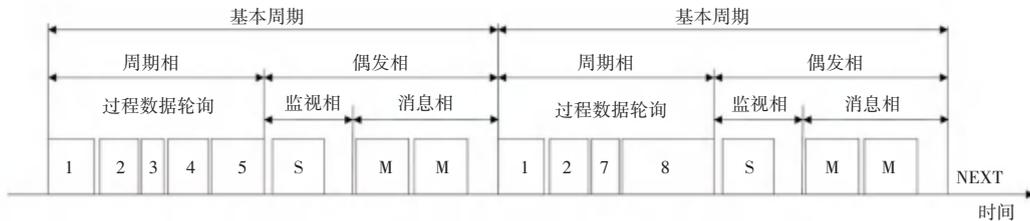


图5 MVB介质分配

Fig. 5 MVB media distribution

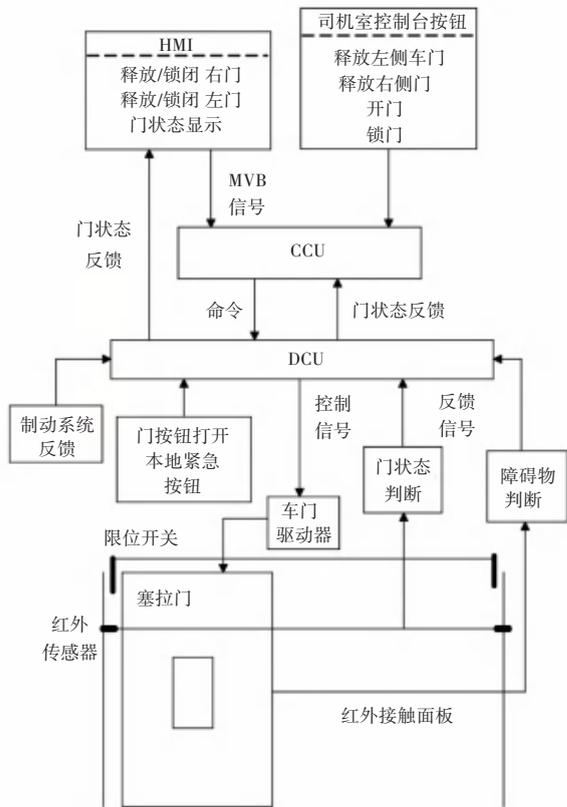


图6 门控网络结构

Fig. 6 Door control network structure

图6中,列车车门可以通过网络、硬线和本地进行操作,网络和硬线均由司机发送信号,两者互为冗余设计。车门紧急操作按钮可以提供本地控制,在列车发生危险时,乘客可以通过操作紧急按钮进行开门。司控台按钮、HMI显示屏按钮共同构成司控台的操作部分。门控单元通过车门上安装的传感器接收车门状态并反馈给中央控制单元。车门驱动器是系统的受控部分,控制电机旋转,进而满足车门的开闭需要。车门开关状态的检测利用限位开关及电机脉冲编码来实现。

列车车门状态较多,主要包括开门、关门、锁闭和释放。处于锁闭状态时必须先通过释放才能打开车门。门控系统功能较为复杂,其重点设计功能

可分述如下。

(1)紧急解锁功能。通常在列车发生紧急故障时乘客可以操作车门。

(2)零速保护功能。在列车速度大于5 km/h时,车门锁闭,即便车门释放,也不能通过乘客按钮打开车门;在列车车速大于10 km/h时,门控器不响应任何车门操作,进而保护乘客安全。

(3)安全互锁功能。安全互锁把车上门到位开关和锁闭开关的常开触点及紧急解锁开关常闭触点串联后和隔离开关常开触点并联在一起,只要有一个门没锁闭到位,门未关好指示灯就会亮。

(4)牵引互锁功能。车门打开状态下牵引互锁实现牵引单元不断电。

(5)紧急切除功能。在车门发生故障时,司机可以将车门隔离,从而保证列车正常运行。

(6)障碍物探测防夹功能。通过电机电流变化、门板传感器胶条及红外传感器实现防夹功能。

(7)故障显示功能。在发生故障后通过数码管显示故障代码,进而为维修人员提供便利。

在安全性方面,正常电控开门的执行必须处于零速信号有效状态( $<5\text{ km/h}$ )。试验测试中,利用控制变量法,以零速信号、使能信号、开门信号和关门信号作为输入,并以门状态结果作为输出,开展门控功能测试,系统工作方式表决结果见表3。

表3 门控系统工作方式表决

Tab. 3 Voting on the modus operandi of the door control system

零速信号	使能信号	开门信号	关门信号	门的状态
0	0/1	0/1	0/1	关
1	0	0	0	保持
1	0	0	1	关
1	0	1	1	关
1	0	1	0	保持
1	1	0	0	保持
1	1	0	1	关
1	1	1	1	关
1	1	1	0	开

注:开门时必须保证零速和门使能信号有效(为1);隔离和紧急解锁信号有效时,不响应开关门命令。(下转第53页)