

# 电动汽车动力总成系统控制器局域网(CAN) 总线通信协议\*

李 芳<sup>1</sup> 张俊智<sup>2</sup> 王丽芳<sup>1</sup> 廖承林<sup>1</sup>

(1. 中国科学院电工研究所 北京 100080;  
2. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室 北京 100084)

**摘要:** 给出制定控制器局域网(Controller area network, CAN)总线通信协议应遵循的基本原则。结合电动汽车的控制结构特点,设计混合动力、纯电动、燃料电池等三种类型电动汽车动力总成系统推荐的网络拓扑结构。针对目前电动汽车应用层协议的不统一现状,在SAE J1939的基础上,制定同时适用于三种类型电动汽车动力总成系统的CAN总线通用协议,并与传统内燃机汽车的通信协议兼容。该通用协议综合考虑了三类电动汽车的拓扑结构以及控制所需参数,并充分利用CAN通信的优势,对电动汽车各节点源地址分配、输出参数以及参数组定义等都做出明确的规定。在总线波特率为500 kb/s时,协议的有效性分别在CANoe软件和自主开发的网络在环平台中得到验证,通信性能满足控制的实时性要求。

**关键词:** 混合动力 燃料电池 动力总成系统 通信协议 应用层

**中图分类号:** TG 156

## Controller Area Network Protocol for Powertrain System of Electric Vehicles

LI Fang<sup>1</sup> ZHANG Junzhi<sup>2</sup> WANG Lifang<sup>1</sup> LIAO Chenglin<sup>1</sup>

(1. Institute of Electrical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080;  
2. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract:** The basic principle of designing controller area network(CAN)-bus protocol is given. Considering the control characteristics of electric vehicles, the recommended network topologies of power train system are designed separately for three kinds of electric vehicles including hybrid electric vehicle, pure electric vehicle and fuel cell vehicle. Due to the disagreement on designing the application layer protocol of electric vehicles at present, a general protocol is proposed based on J1939, which can be applied on the power train system of hybrid electric vehicle, pure electric vehicle and fuel cell vehicle, etc. Meanwhile, the protocol is also compatible with conventional vehicle power train. Considering the topologies and control parameters of three kinds of electric vehicles sufficiently, and taking full advantage of CAN bus communication, the nodes' source address, output parameters and parameter groups are all defined clearly in the general protocol. Under the baud rate of 500 kb/s, the protocol is validated through the experiments in both CANoe and hardware-in-the-loop platform which has been independently developed. The result shows that the communication performance fulfills the real-time requirements for control.

**Key words:** Hybrid electric vehicle Fuel cell vehicle Power train system Communication protocol Application layer

## 0 前言

随着世界能源危机和环境污染日益严重,我国政府将电动汽车列入国家863计划,各单位重点开发燃料电池汽车、混合动力汽车、纯电动汽车三种

电动汽车的整车技术,电动汽车动力总成系统的总线及通信协议研究是其中的关键技术之一,它能有效保证动力总成系统的可靠实时控制。

控制器局域网(Controller area network, CAN)总线<sup>[1-2]</sup>是目前在汽车上应用最广泛的通信协议。为了实施总线协议的标准化工作,针对内燃机汽车,美国电气工程师协会(SAE)基于CAN总线制定了适用于载货车和大客车的J1939协议<sup>[3]</sup>,并得到了广泛的应用,其他处于推广阶段的协议有ISO 11992、ISO

\* 国家高新技术研究发展计划(863计划,2005AA01920)资助项目。  
20070516收到初稿,20071219收到修改稿



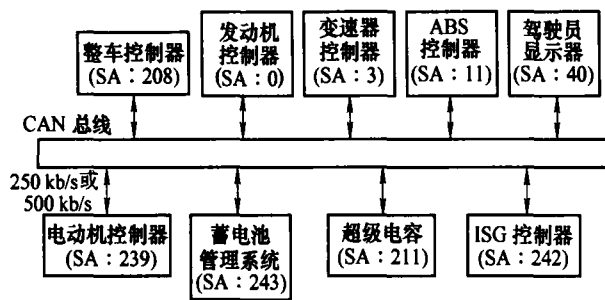


图 2 混合动力汽车动力总成系统推荐的网络拓扑结构

燃料电池汽车推荐的 CAN 网络拓扑结构包含整车控制器、燃料电池发动机控制器、DC/DC 控制器、制动防抱死系统(Anti-lock brake system, ABS)控制器、电动机控制器、蓄电池管理系统、超级电容和驾驶员显示器；纯电动汽车则为整车控制器、ABS 控制器、蓄电池管理系统、电动机控制器和驾驶员显示器。

特别说明的是推荐网络拓扑结构并不是标准配置，而是涵盖了最常用的功能模块，根据不同的应用场合，节点数目可以相应增加或减少，比如有的控制结构中可能需要两个电动机控制器，而有的可能则不包括比如 ABS 控制器、超级电容等。

### 3 电动汽车动力总成控制系统网络总线通信协议

结合三类电动汽车的特点，遵照通信协议制定的基本原则，制定适用于电动汽车特点的通用应用层协议，该协议对电动汽车 ECU 的源地址分配、ECU 输出参数以及参数组定义等都作了明确的规定，最大程度地考虑电动汽车中控制所需参数，充分利用 CAN 通信的优势。本协议兼容标准格式和扩展格式的报文帧，其中标准格式报文帧的 ID 与扩展格式报文帧的 PGN 一一对应，下面重点分析扩展格式报文帧的通信协议制定。

#### 3.1 节点源地址定义

表 1 是电动汽车中可能用到的 ECU 节点名称和分配的地址(十进制)，其中发动机控制器、变速器

控制器等节点为原 SAE J1939 已做定义并分配了地址的节点，而整车控制器、燃料电池发动机等为新定义节点，新地址分配使用 208~231 这段属于公路用车的预留地址，电动机控制器#1~#4、蓄电池管理系统#1~#4 使用 J1939 为电动机控制节点和蓄电池控制节点所预留的地址，并将电动机控制器#4 的地址作为启动机/发电机一体化(Integrated starter and generator, ISG)节点的源地址。

表 1 电动汽车节点源地址分配表

SAE J1939 已定义	
ECU 名称	地址
发动机控制器	0
变速器控制器	3
ABS 控制器	11
组合仪表	23
行车记录仪	24
驾驶室显示器	40
新定义	
ECU 名称	地址
整车控制器	208
燃料电池发动机	209
AMT 控制器	210
超级电容	211
DC/DC#1	214
DC/DC#2	215
氢气供应系统	216
电动助力转向系统	217
电动机控制器#1	239
电动机控制器#2	240
电动机控制器#3	241
ISG 控制器	242
蓄电池管理系统#1	243
蓄电池管理系统#2	244
蓄电池管理系统#3	245
蓄电池管理系统#4	246

注：AMT——Automated mechanical transmission, 自动换挡变速器。

#### 3.2 各 ECU 输出参数定义

根据电动汽车所要实现的控制功能，定义各个节点的输出参数表，参数表包含了节点所有需要处理或发送到总线上的信号，并指定信号的目的地址、刷新率、信号类型以及信号的数据长度、数据范围和分辨率等。表 2 给出了整车控制器节点的部分参数信息。在制定协议时，各节点都需遵循该参数规定。

表 2 整车控制器节点的输出信号表

信号	信号类型	刷新率 t/ms	分辨率 r	数据长度 l/bit	数据范围	偏移量 e/%	目标地址
整车控制器状态	状态值	100	—	2	工作/未工作	—	广播
车辆运行模式	状态值	10	—	4	普通/动力/雪地/高速	—	广播
目标气门开度	测量值	10	0.4 %/bit	8	0~100%	0	广播
发动机启动控制	状态值	10	—	2	启动/未启动	—	广播
发动机目标转速	测量值	激活后 10	0.125 r/min/bit	16	0~8 031.876 r/min	0	发动机
发动机目标转矩百分比	测量值	激活后 10	1% /bit	8	-125%~125%	-125	发动机
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

### 3.3 ECU 参数组的定义

除使用 J1939 已定义的 12 个参数组(主要为发动机、变速器和制动控制等节点发送), 本协议新定义 45 个参数组。为保证扩展方便, 参数组的 PDU 从 PF 值为 241 开始, 即全部采用 PDU2 格式(广播传输), PS 分配方案除保证电动车辆参数组定义的当前需求外, 还保证协议未来发展的需要。按照电动汽车新增节点整车控制器、发动机、变速器、ABS、燃料电池发动机、动力蓄电池管理、电动机、ISG、DC/DC、超级电容、CAN 仪表和行车记录仪等的顺序依次分配 PS(从 0 开始)。同时, 以 100 ms 为刷新率界限, 将每个参数组又分为两部分, 刷新率小于 100 ms 的 PS 值比较小, 刷新率大于 100 ms 的 PS 值比较大。鉴于整车控制器需要定义的 PDU 比较多, 相应的 PS 分配空间比较多。

参数组中的各数据字节都定义为 8 个字节, 并统一将最后一个字节保留, 用于用户自行定义内容或者统一用于传输诊断信息。

限于篇幅, 表 3 只列出了整车控制器节点的参数组信息。整车控制器节点的参数组用于实现动力总成系统中各控制单元的协调控制和管理, 如通过参数组 VCU1, 整车控制器节点向发动机控制器节点发送速度和转矩控制命令。除整车控制器节点外, 其他控制器节点的参数组, 主要用于传送对整车控制器节点的反馈信息, 如电动机状态参数组 MC1 中定义了电动机上电/断电请求、电动机工作状态、电动机运行模式、电动机实际转矩、电动机实际转速等信息。根据各控制器节点的反馈信息和当前状态, 整车控制器节点协调能量的合理流向, 达到动力总成系统的最优控制。

表 3 整车控制器节点参数组信息表

参数组名	刷新率 $t/ms$	PGN	P	PF	PS	参数定义		
						字节	位	
整车控制器#1: VCU1	10	61 696	3	241	0	8-7	整车控制器状态	
						1	6-3	车辆运行模式
							2-1	发动机启动控制
						2	—	整车控制器控制设备源地址
						3	—	目标节气门开度
						4	—	发动机目标转矩
								百分比
						5-6	—	发动机目标转速
						7-8	—	未定义
						整车控制电动机: VCU2	10	61 697
整车控制燃料电池: VCU3	50	61 698	3	241	2			
整车 ISG: VCU4	20	61 699	3	241	3			
整车控制 DC/DC: VCU5	50	61 700	3	241	4			
整车控制电池: VCU6	100	61 701	3	241	5			
整车控制电容: VCU7	50	61 702	3	241	6			
整车控制制动需求: VCU8	10	61 703	6	241	7			
整车控制开关继电器: VCU9	500	61 777	6	241	81			
整车控制器产品序列: VCU10	需要时发	61 796	7	241	100			

## 4 通信协议的分析与应用

为了验证协议的可行性, 在 Vector 公司的 CANoe 和自主开发的网络在环平台<sup>[9-10]</sup>上分别实施所制定的动力总成系统通信协议, 进行 CAN 总线通信试验。试验中使用三类电动汽车动力总成系统推荐的网络拓扑结构, 由于动力总成系统对实时性的要求较高, 总线波特率设定为 500 kb/s。

在建立节点数据库, 完成拓扑结构定义后, 用 CANoe 仿真, 通过 Bus Statistics 窗口、Trace 窗口和 Graphics 窗口观测总线上消息的实时传输情况。

网络在环平台是课题组自主开发的基于 CAN 总线的通信平台<sup>[11]</sup>(图 3)。各节点采用 16 位微处理

器+CAN 通信接口的硬件结构; 上位 PC 机的配置与监控软件可通过 100 BASE 以太网自由配置各节点的参数组。在网络在环平台上挂接监测工具 CANalyzer 实时监测总线运行情况。

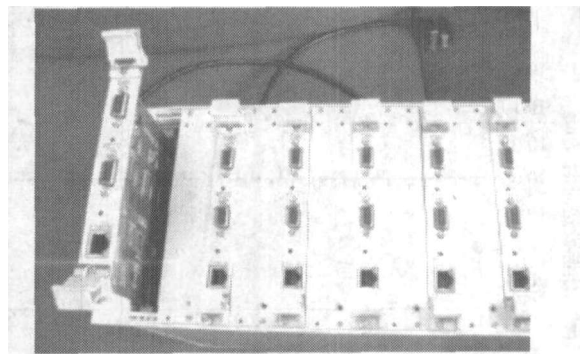


图 3 网络在环平台实物图

以混合动力汽车为例,图 4、5 分别是 CANoe 仿真和网络在环试验中总线负载率及吞吐量的截图。

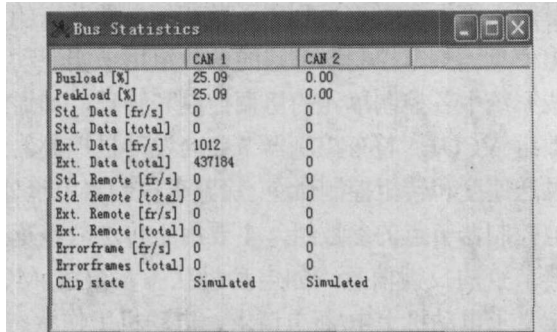


图 4 CANoe 仿真试验总线负载率和吞吐量

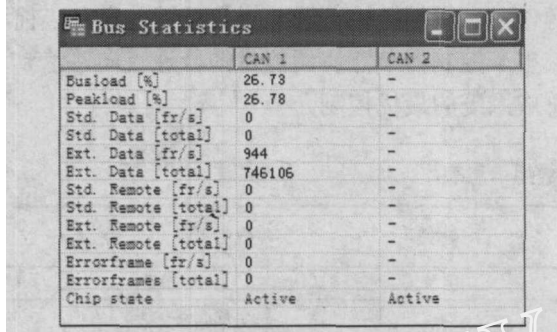


图 5 网络在环平台试验总线负载率和吞吐量

由于 10 ms 消息对实时性要求较高,观测并记录所有 10 ms 消息的周期波动情况。图 6、7 分别为两种试验下某 10 ms 消息——电动机转速/转矩控制 #1(Electromotor torque and speed control #1, ETSC1)的周期波动曲线。

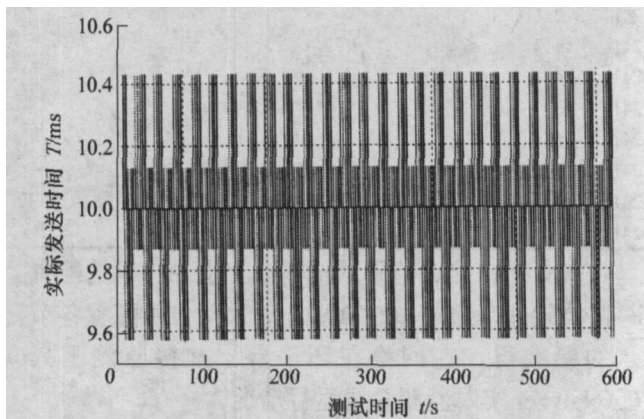


图 6 CANoe 仿真试验中消息 ETSC1 的周期波动

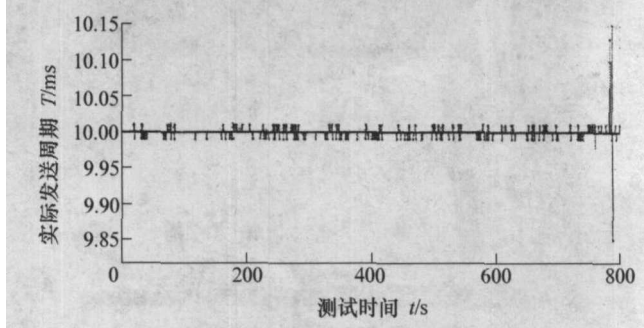


图 7 网络在环平台试验中消息 ETSC1 的周期波动

从试验结果可以看出,三类电动汽车动力总成控制系统在推荐网络拓扑结构下,均可按照协议完成正常传输,各消息满足实时性要求,从而验证了协议的有效性和正确性。

## 5 结论

(1) 给出制定 CAN 总线协议的基本原则,分别设计纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车三类电动汽车动力总成系统推荐的网络拓扑结构。针对目前电动汽车应用层协议的不统一现状,制定电动汽车动力总成系统 CAN 总线通用协议,该协议基于 J1939,同时适用于纯电动汽车、混合动力汽车和燃料电池汽车三类电动汽车,是国家十五“863”计划电动汽车重大专项中的“电动汽车网络、通讯、协议研究”课题的研究成果,在电动汽车重大专项内部推荐使用。

(2) 遵照通信协议制定的基本原则,综合考虑三类电动汽车推荐的网络拓扑结构和控制所需参数,同时充分利用 CAN 通信的优势,制定适用于电动汽车特点的通用应用层协议,该协议明确规定出电动汽车各个 ECU 的源地址分配、ECU 输出参数以及参数组等一系列重要参数,并兼容标准格式和扩展格式的报文帧。

(3) 在总线波特率为 500 kb/s 时,分别在 CANoe 和自主开发的网络在环平台上对制定出的通用协议进行测试试验,观测并记录总线负载率、总线吞吐量,以及对实时性要求较高的所有 10 ms 消息的周期波动情况,可以得出结论:协议传输正确可行,可以满足实时性要求,可进一步的应用于实车,并推动我国电动汽车通信协议的标准化工作。

(4) 电动汽车动力总成系统 CAN 总线协议还需要进一步充实和扩展的地方,比如在增加故障诊断功能时协议的修订问题。另外,随着智能化的不断提升,电动汽车在多总线的复杂拓扑结构下,总线协议的可扩展性和兼容性问题。

## 参 考 文 献

- [1] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.  
YANG Xianhui. Field bus technology and its application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [2] FARSI M, RATCLIFF K, BARBOSA M. An overview of controller area network[J]. Computer & Control Engineering Journal, 1999, 3(10): 113-120.

- [3] MARKUS J. Introduction to J1939 version 1.0[EB/OL]. (2004-05-02) [2007-09-17]. [http://www.vector-group.net/portal/medien/cmc/application\\_notes/AN-ION-1-3100\\_Introduction\\_to\\_J1939.pdf](http://www.vector-group.net/portal/medien/cmc/application_notes/AN-ION-1-3100_Introduction_to_J1939.pdf).
- [4] EMADI A, RAJASHEKARA K, WILLIAMSON S. Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(3): 763-770.
- [5] 肖飞舟, 顾力强, 颜伟超. 混合动力汽车通信网络研究[J]. 客车技术与应用, 2006, 28(2): 26-29.  
XIAO Feizhou, GU Liqiang, YAN Weichao. Research on communication network of hybrid electric vehicle[J]. Bus Technology and Research, 2006, 28(2): 26-29.
- [6] CAN in Automation. Controller area network (CAN)-protocol [EB/OL]. (2007-01-02) [2007-09-17]. <http://www.can-cia.org/can/protocol>.
- [7] ETSCHBERGER K. Controller area network-basics, protocols, chips and applications[M]. Germany: IXXAT Press, 2001.
- [8] RICHARDS P. A CAN physical layer discussion. [EB/OL]. (2002-10-18) [2007-09-17]. <http://www.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00228a.pdf>.
- [9] HEIMING B, HAUPT H. Hardware-in-the-loop testing of networked electronics at Ford[R]. SAE Paper 2005-01-1658, 2005.
- [10] RAMASWAMY D, MCGEE R. A case study in hardware-in-the-loop testing: development of an ECU for a hybrid electric vehicle[R]. SAE Paper 2004-01-0303, 2004.
- [11] 王丽芳, 唐晓泉, 周超. 车用CAN总线测试平台的研发与应用[J]. 高技术通信, 2005, 25(1): 58-61.  
WANG Lifang, TANG Xiaoquan, ZHOU Chao. Research and application of in-vehicle CAN bus evaluation platform [J]. Chinese High Technology Letters, 2005, 25(1): 58-61.

---

作者简介: 李芳, 女, 1982年出生, 博士研究生。主要研究方向为车载网络技术。

E-mail: lifang@mail.iee.ac.cn

张俊智, 男, 1969年生, 副教授。主要研究方向为车用动力总成系统。

E-mail: jzhang@tsinghua.edu.cn

王丽芳, 女, 1971年生, 研究员。主要研究方向为汽车电子和车载网络技术。

E-mail: wlf@mail.iee.ac.cn