

面向新电子电气架构的智能执行机电控系统的设计

张毅鸣 叶子 陈景俊 (联合汽车电子有限公司,上海 201206)

【摘要】 文章主要研究了智能执行机电控单元在整车上的应用技术方案,以满足汽车行业在“新四化”浪潮和整车电子电气架构变革下对新技术的需求。首先,阐述了发展该技术的市场前景和行业技术现状。其次,对比了该领域主要的几种系统应用,并在此基础上提出了平台解决方案。最后,详细讨论了该方案的系统架构、硬件关键技术和软件关键技术。

【Abstract】 The application technology scheme of intelligent executive motor electronic control unit in the vehicle is studied to meet the requirement of new technology under the wave of “new four modernizations” in the automobile industry and the reform of the electronic and electrical architecture of the vehicle. Firstly, both the market outlook and the status of this technology are expounded. Then, a comparison between current system applications is provided to propose the platform solution. Finally, its system architecture, key technologies of hardware and software are detailed.

【关键词】 智能执行器 电机控制 片上系统 平台化

doi: 10.3969/j.issn.1007-4554.2021.11.03

0 引言

当前整车电子电气架构正从分布式向集中式迈进,如图1所示。一个典型的电控单元应该由

感知、决策和执行构成。在传统分布式架构下,各个ECU单元需要同时具备感知、决策和执行的功能。在集中式架构下,各ECU决策的功能被上移集中到域控制器中,剩下感知和执行的部分按功能域或区域的逻辑打散重新组合。

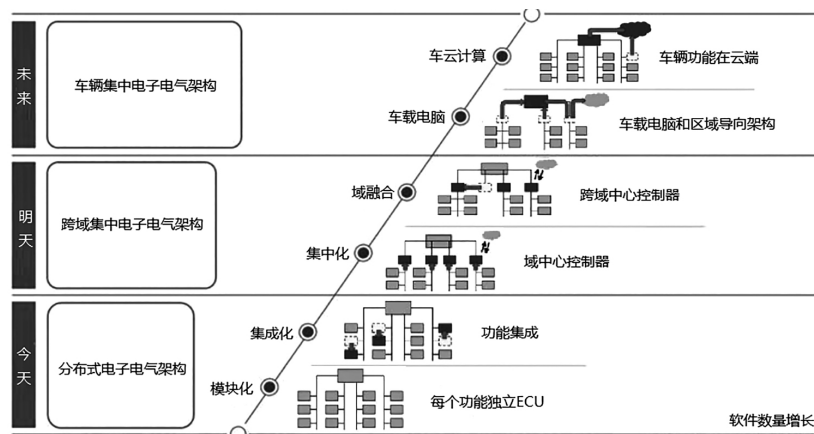


图1 整车电子电气架构演进路线图

收稿日期: 2021-08-18

如图2所示,按功能域划分,决策上移域集中后,原各ECU功能简化为一系列智能传感器或智能执行器,通过总线(CAN或LIN)和上级域控制器交互。按

区域方案,传感器和I/O驱动(执行)通过跨域的方式就近接入区域控制器,一些高安全性和机电一体化程度高的电控单元仍以独立智能节点形式存在。

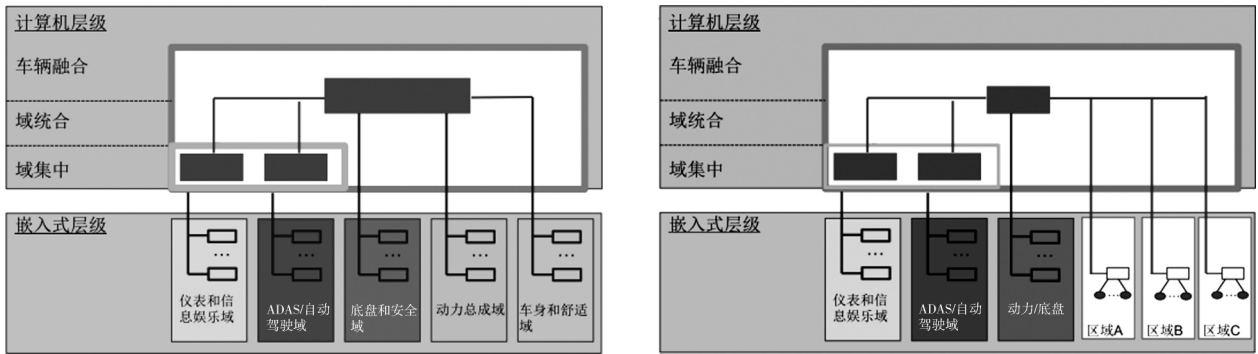


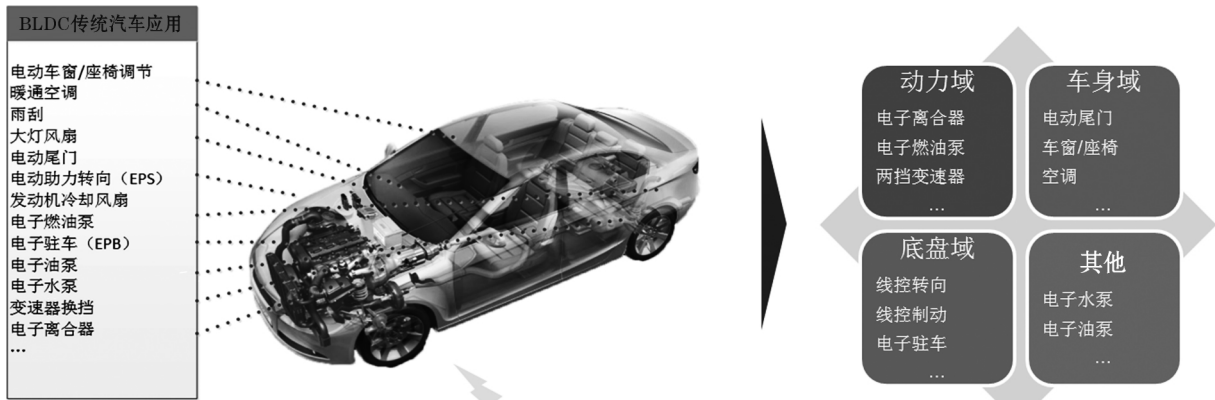
图2 按功能域(左)和区域(右)划分的两种集中式架构方案

另一方面,智能化的趋势如自动驾驶,要求整车各单元能被电能驱动,传统机械或液压系统被机电一体化系统取代,如刹车泵被iBooster替代、方向盘控制被EPS替代、机械手刹被EPB替代等。这就催生了一系列新的智能执行应用场景。

势必带动微电机的普及。如图3所示,在传统汽车应用上,基于微电机打造的执行器因其结构紧凑和高效可控逐步取代纯机械和液压系统。

在结合基于域控的电子电气架构和整车电动化、智能化浪潮成为行业热点的大背景下,势必催生智能执行器的显著发展。而智能执行器的发展

因此,智能执行电机控制正是适应当前汽车技术变革的主要解决方案。根据不同的系统应用场景和负载特性,其可以被设计成平台,广泛分布于各控制节点上,充当边缘计算和执行的角角色。



据统计,普通轿车需要装配30个左右微电机,高级轿车需要装配60个左右微电机,其中约40%为无刷电机。

图3 整车车载执行器及零部件应用

1 技术现状

智能执行电机控制单元的核心是其电控系统设计

其电控解决方案应当具备合适的功能性、扩展性和所需的功能安全。其所需的电子控制模块,通过平台化的软硬件技术来实现高实时性、高精度的控制性能和成本可控的平衡是产品的核心竞争力。当前市

场上的产品主要还是按照客户需求定制开发为主 亟待解决平台化问题。本文结合系统应用分析各智能执行电机控制单元需求给出了系统方案。

2 系统应用

通过分析各类智能执行电机的应用场景,基于通信方式、功能安全等级和功能特征 3 个维度,可以分类归纳出两类系统需求来导出相对应的系统解决方案(见表 1)。

表 1 两类控制器节点系统需求汇总

项目	一类控制器	二类控制器
典型应用场景	两挡变速器、电子 P 挡锁、变速器油泵和分动器等	燃油泵控制器、电子冷却油泵、水泵等
通信方式	公共 CAN 总线	PWM/LIN/私有 CAN 总线
总成方式	独立式或集成式	独立式或集成式
功能安全等级	ASIL-B/C/D	QM/ASIL-B
功能特征	完成某一特定整车功能的感知和执行,完整的诊断、通信和故障管理,需提供 OBD 服务,需提供售后刷新服务	控制命令来自一类节点,只需实时反馈故障信息给上级节点而无须存储故障,故障管理和 OBD 服务由上级节点完成,无须售后刷新

3 系统方案

面向如上两类系统需求,本文给出了平台化电控软硬件解决方案和几大关键技术实现方案。

3.1 系统平台化

总体方案基于不变和可变的原则,不变的部分为核心功能,如核心芯片和基础功能,可变的部分为功率接口,客户可定制,如 MOSFET、电容、电感等功率器件。提供独立式和集成式两种机械方案,独立式依据可复用连接器能力覆盖中低功率等级版本,集成式提供 PCBA 快速开发。软件分为非 AutoSar 和 AutoSar 两个分支,前者针对二类控制器,后者针对一类控制器(见图 4)。

系统功能按整车一类控制器节点和二类控制器节点分类(见图 5)。一类节点需要提供丰富的输入输出资源,输入需支持模拟、数字、SENT、霍尔、PWM 形式的信号,输出支持传感器供电、一路

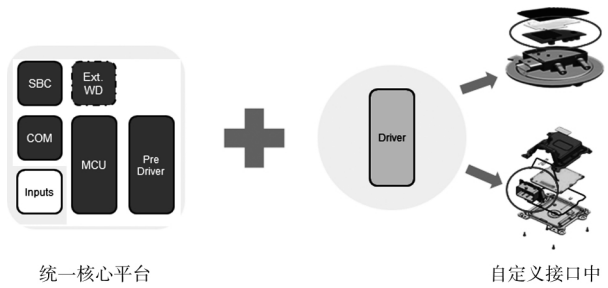


图 4 系统泛平台化概念示意图

无刷直流电机和一路有刷直流电机或低边驱动。通信为两路 CANFD 兼容 CAN 通信接口。二类节点提供有限的输入输出资源,输入至多一路模拟或数字或 PWM 形式的信号,输出支持兼容一路无刷直流电机或一路有刷直流电机驱动。通信为一双向 PWM 或 LIN 或 CANFD 通信接口。

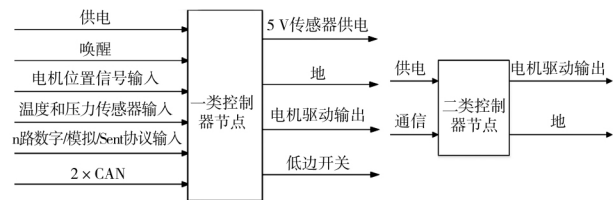


图 5 两类节点系统框图

3.2 硬件平台化

根据图 5 的资源要求,分别选择分立器件方案和片上系统方案来满足系统需求(见表 2)。一类控制器主要芯片应该包含中央处理器(MCU)、电源管理芯片(SBC)、安全监控芯片和电机预驱芯片。为了小型化,优先选择包含安全监控功能且功能集成度较高的电源管理芯片。二类控制器采用片上系统方案,顾名思义,MCU、SBC 和预驱芯片一体封装,高度集成的特性可以带来更袖珍紧凑的控制器。

表 2 两类控制器芯片组方案对比

项目	片上系统方案	分立器件方案 (MCU + ASIC)
成本	低	高
功能性	按一类场景功能需求开发,如单电机驱动	按应用领域需求开发,如动力总成或底盘,片上资源丰富
功能安全	最高 ASIL-B,受限工艺	最高可到 ASIL-D
灵活性	有限预留的硬件功能和软件	资源丰富
标定测量	不支持重映射相关硬件支持	支持地址重映射

3.3 关键电机控制技术

电机控制是智能执行电机控制单元的核心功能,其性能高低直接影响系统目标控制效果。主要包括电机驱动方式选择和控制功能设计。

(1) 电机驱动方案设计

主要的电机驱动方式有方波驱动方式和正弦波驱动方式,根据应用场景的系统功能和性能需求来选择,如表3所示。

表3 两种电机驱动方式对比

项目	方波驱动		正弦波驱动/矢量控制	
适用场景	<ul style="list-style-type: none"> 动力舱或远离乘客的区域,如电子换挡 低成本或资源受限,如电子燃油泵 简单位置控制或速度控制,如两挡变速器和电子水泵 		<ul style="list-style-type: none"> 靠近乘客舱区域,如电子燃油泵 精确位置控制或扭矩控制,如电离合器 	
NVH	+	转矩脉动较大	++	转矩脉动较小(降低至少5dB以上)
控制精度	-	单极对数电机,位置精度60°机械角度	++	位置精度小于1°机械角度
资源消耗	++	<ul style="list-style-type: none"> 毫秒级软件中断 单电流采样 	-	<ul style="list-style-type: none"> 微秒级软件中断 大量浮点运算 多相电流采样

驱动方式的选择主要看应用场景的系统需求,即控制对象、控制精度、成本要求和其他额外要求如噪声。方波驱动适合对噪声不敏感的调速系统和非高精度的位置控制,其对硬件的资源消耗较低。正弦波驱动适合静音及高精度的位置控制,其对硬件的资源消耗较高,相对硬件成本相应提高。

(2) 电机控制功能设计

为了满足不同系统应用和平台需求,控制功能必须满足如下几个功能特性:

- 兼容无刷直流电机方波驱动^[1]和正弦波驱动:应对不同电机角度传感器;
- 实现无位置传感器无刷直流电机方波驱动^[2]和正弦波驱动:支持电机跛行和功能安全对软件多样性设计和合理性诊断的要求;
- 兼容电机电流单电阻和多电阻采样设计:应对低成本和高性能高功能安全应用场合;
- 满足高功能安全的诊断策略:短路故障、开

路故障、预驱芯片故障、供电故障、电机角度传感器故障、电流采样失效、电机工作失效等;

- 满足整车工况的故障抑制策略:特殊工况处理(上下电、异常复位、发动机或电动机冷启动);
- 满足总线丢失情况下的安全策略:应对应用层逻辑部署在其他控制节点上;
- 实现电机电压开环控制、电流扭矩闭环控制、电机速度闭环控制和电机位置闭环控制^[3];
- 满足高分辨率的电机角度解析算法:抗干扰、稳态精度高、跟随性能好。

3.4 软件平台化

一类节点软件架构采用满足AutoSar规范的软件解决方案。二类节点软件架构采用自研的基于ARM Cortex-M内核的片上系统软件平台。工具链和集成开发环境兼容MDK和IAR(兼容主流编译器armcc和iararm)。芯片外设功能可配置和参数自动化生成,同时平台集成了第三方的操作系统。

4 结语

随着“新四化”变革的到来,智能执行电机控制单元变成必不可少的零部件。为了满足国内客户的技术革新需求和行业技术发展要求,本文论述了智能执行电机控制单元电控平台化解决方案及其关键技术,从市场应用分析出发,分别阐述了系统、硬件、软件和机械层面上在保证系统功能的前提下如何取得成本和性能的平衡。该技术方案为设计和开发平台化的智能执行电机电控单元提供了理论指导,具有极大的推广和实用价值。

参考文献

[1] 李家庆,李芳,叶文.无刷直流电机控制应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2015.
 [2] 张毅鸣.一种电机启动阶段转子位置调整方法:2019113988888[P].2020-03-31.
 [3] 张毅鸣.自动变速箱执行机构的控制系统:201710134032.4[P].2020-05-26.