

基于 V 流程的驱动防滑控制系统控制器设计与试验^{*}

张为¹ 王伟达² 余贵珍¹ 丁能根¹ 邹红明³

(1. 北京航空航天大学交通科学与工程学院, 北京 100191; 2. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081;
3. 广州汽车集团汽车工程研究院, 广州 510640)

【摘要】 对于驱动防滑控制系统(ASR),传统开发方法通过实车道路试验验证控制算法并完成匹配标定,开发周期长、成本高,且必须在完成控制器硬件之后才能实施道路试验,难以满足软硬件并行工程需要。利用 V 流程方法开发了 ASR 控制器,研究了 ASR 系统建模与仿真、快速控制原型、硬件在环仿真实施以及实车试验标定与验证,完成了 ECU 设计。设计过程和测试结果表明,设计的 ECU 较好地实现了 ASR 控制功能,应用 V 流程设计车辆电子控制系统具有较大的优越性。

关键词: 驱动防滑控制系统 控制器 设计 硬件在环仿真 试验

中图分类号: U461.1

文献标识码: A

Design and Road Tests of ASR Controller Based on the V-flow

Zhang Wei¹ Wang Weida² Yu Guizhen¹ Ding Nenggen¹ Zou Hongming³

(1. School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China
2. School of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
3. R&D Center, Guangzhou Automobile Group Corporation, Guangzhou 510640, China)

Abstract

For acceleration slip regulation system (ASR), the traditional method develops the control algorithm through vehicle road experiments, which needs a long period and a high cost. The experiments are only carried on after the development of ECU hardware, which can't meet the requirement of parallel engineering of software and hardware. The ASR controller was developed based on the V-flow method. Then the development of ECU was accomplished, by the modeling and simulation of ASR system, implementation of rapid control prototype(RCP), hardware-in-the-loop simulation(HILS), and the vehicle road tests. The research results indicate that the developed ECU can realize the ASR function preferably, and the V-flow developing method is ascendant to develop of the vehicle electronic control systems.

Key words Acceleration slip regulation system, Controller, Design, Hardware-in-the-loop simulation, Tests

引言

驱动防滑控制系统(acceleration slip regulation system,简称 ASR)在车辆起步和加速过程中防止车轮过度滑转以获得最佳的地面驱动力和保持方向稳

定性,是继车辆防抱死制动系统(ABS)之后又一车辆动力学电子控制产品,又称牵引力控制系统(traction control system,简称 TCS)。

国内侧重于 ASR 控制策略和控制算法、逻辑等方面的理论研究^[1~6]。王德平、郭孔辉与程军、袁

收稿日期: 2009-08-09 修回日期: 2009-08-31

^{*} 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2009AA11Z216)和国家自然科学基金资助项目(50908008)

作者简介: 张为, 博士生, 主要从事车辆动力学及其控制技术研究, E-mail: zhw@ae.buaa.edu.cn

通讯作者: 余贵珍, 讲师, 主要从事车辆主动安全及其预警技术研究, E-mail: yugzbuaa@gmail.com

金光等较早介绍了车辆驱动防滑控制系统的发展历程、控制方式、工作原理、典型结构和工作过程。同济大学、吉林大学、清华大学等都对 ASR 控制方法进行了深入研究,提出了最优控制、滑模变结构、模糊、神经网络等算法。

由于不拥有车用电控发动机的自主知识产权或难以与发动机电控系统进行通讯,对其进行转矩调节受到限制,我国目前研制的 ASR 系统大多侧重于采用以制动控制为主的策略^[7]。近年来,为了提高算法验证的精度,半物理仿真技术得到了一定程度的应用^[8-10]。清华大学、吉林大学用快速控制原型与 ECU 硬件在环仿真验证了开发的 ASR 控制器;北京理工大学对基于制动干预的对开路面 ASR 控制进行了实车试验。

本文在研究 ASR 控制方法基础上,基于 Matlab/Simulink 和 dSPACE 实时仿真系统提供的一体化设计平台,利用 V 流程方法设计基于制动干预的 ASR 控制器,研究 ASR 系统建模与仿真、快速控制原型与硬件在环仿真实施,以及实车试验标定与验证。

1 V 流程设计方法

V 流程所代表的现代设计方法最重要的特征就是利用计算机辅助控制系统设计 (computer-aided control system design, 简称 CACSD),即将计算机支持工具贯穿于控制系统设计测试的全过程。计算机辅助控制系统设计不仅是进行控制方案的设计和离线仿真,还包括实时快速控制原型、产品代码生成和硬件在回路测试。这是一个完整的流线型的控制系统设计步骤。基于 dSPACE 平台的 V 流程设计方法主要由图 1 所示的 5 个环节组成^[11]。

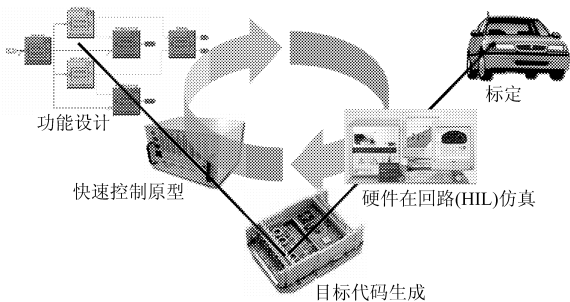


图 1 V 流程设计方法示意图

Fig. 1 V-flow design method

(1) 离线功能设计: 根据系统的功能要求,在 Matlab/Simulink/Stateflow 中进行图形化建模,建立控制器模型和被控对象模型,并进行离线仿真和调试,设计符合系统功能要求的控制器模型和被控对象模型。

(2) 快速控制原型(RCP): 在离线仿真模型中移除被控对象模型,通过 dSPACE 提供的 RTI 模块与实际被控对象物理连接,建立实时仿真模型;通过 Matlab 的 RTW(real time workshop)模块生成实时代码并下载到 dSPACE 板卡中,进行 RCP 实验。RCP 可快速地在接近真实条件下验证控制系统软硬件方案的可行性。

(3) 目标代码生成: 采用 dSPACE 的产品级代码生成软件 Targetlink 对 Simulink/Stateflow 中的控制器模型进行定点数定标和转换,自动生成产品代码。该过程中可针对特定 ECU 进行代码优化。

(4) 硬件在环仿真(HILS): 采用真实控制器,被控对象或者系统运行环境部分采用实际物体、部分采用仿真模型来模拟,从而进行整个系统的仿真测试。

(5) 标定与匹配: dSPACE 的标定系统允许用户对 ECU 进行所有的标定和测试,可在最便利的情况下及最短的时间内对 ECU 进行最后的参数调整。

2 ASR 控制器 V 流程设计过程

2.1 离线仿真

离线仿真初步验证控制器算法的可行性及车辆模型的精确性,根据仿真结果改进控制方案设计。ASR 离线仿真模型由控制器和车辆模型组成,结构和接口定义如图 2 所示。

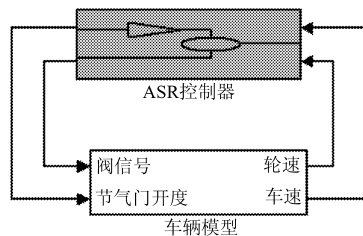


图 2 ASR 离线仿真模型

Fig. 2 Off-line simulation model of ASR

ASR 制动控制逻辑一般采用逻辑门限值控制方法,控制器根据滑转率和车轮角加速度来进行增压、减压或保压操作。利用 Matlab/Simulink 中基于有限状态机理论的 Stateflow 模块可方便地对控制逻辑进行建模。

车辆模型主要由发动机、传动系、车轮(含轮胎模型)、整车等模型组成,如图 3 所示。

采用三次样条插值的方法,利用在试验台上获得的发动机稳态试验数据,构造发动机稳态输出转矩与节气门开度、发动机转速关系的数表并生成模型^[12]。发动机稳态特性如图 4 所示。

研究表明:非稳定工况发动机的输出特性与稳态工况下发动机的特性不同。当油门位置发生变化

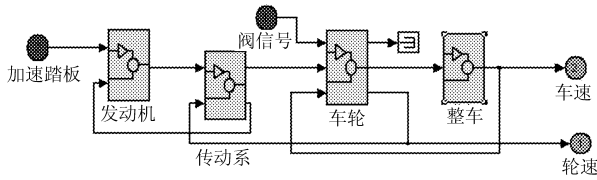


图3 车辆系统模型

Fig.3 Vehicle system model

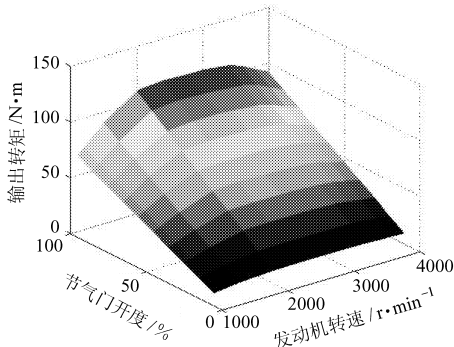


图4 发动机稳态特性图

Fig.4 Static output diagram of engine

时,它的输出特性不能随油门的瞬时变化从一个稳态输出到另一个稳态输出,这中间要经历一个动态响应过程。建立发动机的这种动态特性模型有一定的困难,因此对发动机稳态工况下的输出转矩进行修正,作为非稳态工况下发动机的输出转矩。一般将发动机的动态特性简化为含有纯延时的一阶惯性环节^[13],表示为

$$T_{dyn} = e^{-ts} T_e / (1 + ts) \quad (1)$$

式中 T_{dyn} ——发动机动态输出转矩
 T_e ——发动机稳态输出转矩
 τ ——滞后时间
 t ——系统时间常数

采用 Dugoff 轮胎模型描述地面与轮胎之间的力学关系。Dugoff 模型既可以替代 Fiala 的理论模型计算侧向力,又可替代 Pacejka 和 Sharp 的经验模型计算纵滑-侧偏联合工况下的侧向力和纵向力。Dugoff 模型假设轮胎接地印迹区内垂直力均匀分布。与 Pacejka 和 Sharp 更为真实的二次压力分布假设相比,该假设简单。然而该模型突出的优点是在横向和纵向允许有独立的轮胎刚度值。这是因为轮胎纵向刚度与侧向刚度差异很大。与魔术公式轮胎模型相比,Dugoff 模型的优点在于它是根据力的平衡推导出的解析模型,侧向力、纵向力与路面摩擦因数有可用显式表达的直接关系^[14]。

Dugoff 轮胎模型轮胎纵向力和侧向力分别为

$$F_x = K_x \frac{s}{1+s} f(\lambda) \quad (2)$$

$$F_y = C_\alpha \frac{\tan\alpha}{1+s} f(\lambda) \quad (3)$$

式中, λ 与摩擦因数 μ 有关,它与函数 $f(\lambda)$ 分别定义为

$$\lambda = \frac{\mu F_Z (1+s)}{2 \sqrt{(K_x s)^2 + (C_\alpha \tan\alpha)^2}} \quad (4)$$

$$f(\lambda) = \begin{cases} (2-\lambda)\lambda & (\lambda < 1) \\ 1 & (\lambda \geq 1) \end{cases} \quad (5)$$

其中 $\mu = \mu_0 (1 - As)$

式中 F_Z ——轮胎法向载荷

μ_0 ——路面峰值附着因数

A ——减小因子,一般可设在 0.2 左右

通过调整 μ_0 和 A 的值就可以得到不同峰值附着因数的轮胎模型。

传动系、车轮动力学模型等不一一详述。

通过离线仿真,对控制策略进行了反复修改和初步验证。低附着均匀路面起步 ASR 控制离线仿真结果如图 5 所示。

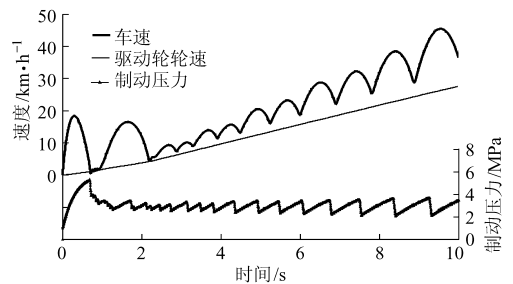


图5 均匀路面起步 ASR 控制离线仿真结果

Fig.5 Simulation results of ASR on uniform road

2.2 快速控制原型

RCP 环节中,移除离线仿真模型中的被控对象模型,利用 dSPACE 软硬件平台可方便地将在 Stateflow 环境下建立的控制模型接入实际车辆,无需将控制逻辑编为软件代码即可进行实车试验,做到了尽可能早地实车测试控制算法。制作信号采集与功率驱动电路,通过修改控制模型来代替实车试验中的修改控制软件程序。RCP 系统构成如图 6 所示。

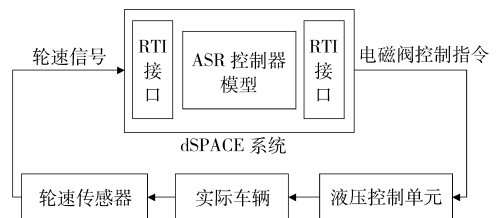


图6 ASR RCP 系统构成图

Fig.6 RCP system of ASR

在 RCP 过程中,控制策略在真实环境中得到测试。针对真实系统参数与试验环境,进一步修正了控制策略。ASR RCP 测试结果如图 7~8 所示。

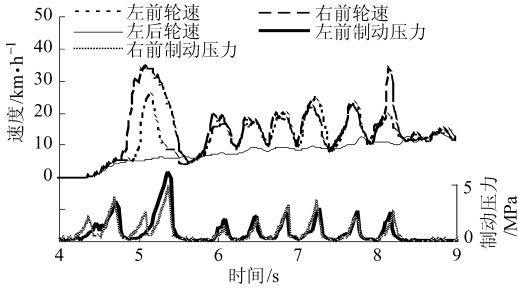


图 7 均匀路面 ASR 控制 RCP 试验结果
Fig.7 RCP results of ASR on uniform road

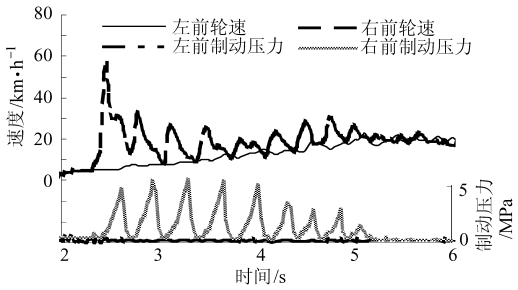


图 8 对开路面 ASR 控制 RCP 试验结果
Fig.8 RCP results of ASR on split road

2.3 硬件在环仿真

设计 ASR ECU 硬件,实现轮速信号采集与处理、存储与运行控制软件、驱动电子节气门电机与压力调节器电磁阀以及其他 ECU 或者计算机进行通讯等功能。代码可采用 dSPACE 的 Targetlink 产品代码生成工具直接生成。因暂不具备这一条件,对所验证的控制算法进行手工编写代码并下载至 ECU 的单片机中。软件流程如图 9 所示。

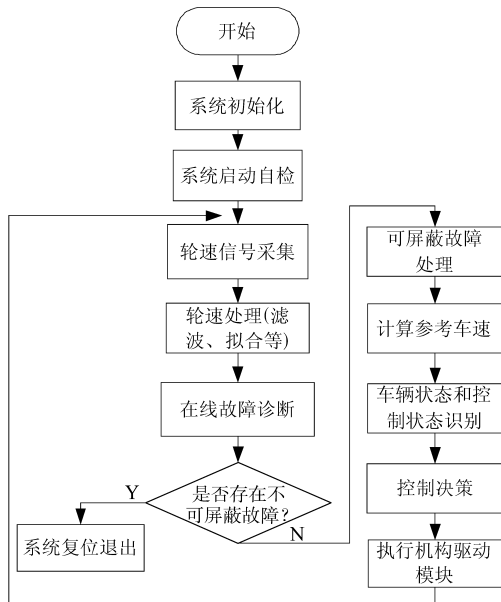


图 9 ASR 控制软件流程图
Fig.9 Software flow of ASR

ECU 软件主要包括:系统初始化模块、系统启动自检模块、轮速采集和处理模块、参考车速计算模

块、控制决策模块、电磁阀驱动模块、在线故障诊断模块等。

在系统上电复位时对系统进行初始化。系统初始化内容主要包括 MCU 内部的时钟、轮速输入通道端口设置、执行机构输出通道端口设置、看门狗定时

器设置、系统变量等,以保证 MCU 正常运行。为了保证 ASR 系统可靠运行,系统在初始化或上电复位后要对系统的关键软硬件部分进行静态监测,以判断系统的软硬件工作是否正常。

轮速信号采集与处理模块根据轮速中断子程序中记录的时

刻值和中断次数,通过滤波和拟合计算出各通道轮速、加速度值。由于试验车辆驱动形式为前置前驱的两轮驱动形式,所以 ASR 参考车速按照两个非驱动轮的平均轮速计算。试验证明,这样计算的车速精确度满足 ASR 控制需要。

控制决策模块根据车轮轮速等车辆状态和当前所处的控制状态产生控制指令。电磁阀控制指令由执行机构驱动模块从单片机输出,经过驱动电路后驱动执行机构。

系统工作过程中还要对其工作状态进行实时监测。一旦发现故障,立即采取相应的措施进行处理。在线故障诊断主要包括轮速信号的动态检测、电磁阀实时监测和 MCU 的实时监测。同时,为充分发挥控制系统作用,将故障划分为可屏蔽故障和不可屏蔽故障两种类型。对实施控制影响不大或可实现部分控制的故障,对故障进行处理后系统继续发挥控制作用。对于使控制系统完全无法工作的不可屏蔽故障,系统复位退出。

为了验证控制器硬件的工作性能,系统中接入真实的液压制动系统。用真实的 ECU 代替离线仿真中的控制器模型,通过 dSPACE 的 RTI 模块将 ECU 和运行在 dSPACE 中的车辆模型相联,即构成了 ASR HILS 系统。系统构成如图 10 所示。

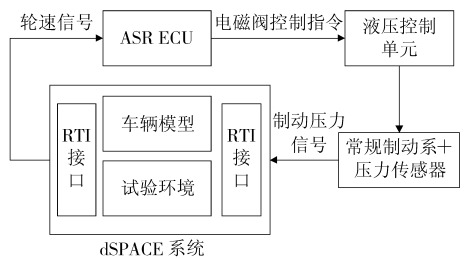


图 10 ASR HILS 系统构成图
Fig.10 HILS system of ASR

通过 HILS 系统对 ECU 进行了低附着、对开、棋盘格等典型路面条件下的硬件在环仿真。棋盘格路面是指车辆两侧车轮所在路面的附着因数一高一

低,且按相同的周期进行高、低附着的跳变,它综合了对开和对接两种路面的特点。通过设定不同的路面-轮胎模型,模拟各种试验工况。硬件在环仿真时,高、低附着因数路面的峰值附着因数分别设为0.8和0.2。

HILS过程中,针对 ECU 软硬件系统的特点,控制策略进行了相应的修改,增加了各种接口程序。通过 HILS 调试,最终使 ECU 实现了和控制模型相同的控制功能。仿真结果如图 11~15 所示。

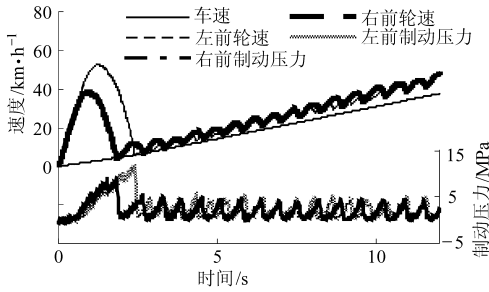


图 11 均匀路面 ASR 控制 HILS 结果

Fig. 11 HILS results of ASR on uniform road

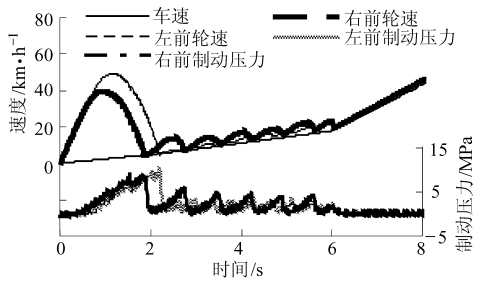


图 12 低到高对接路面 ASR 控制 HILS 结果

Fig. 12 HILS results of ASR on jump road (low- μ to high- μ)

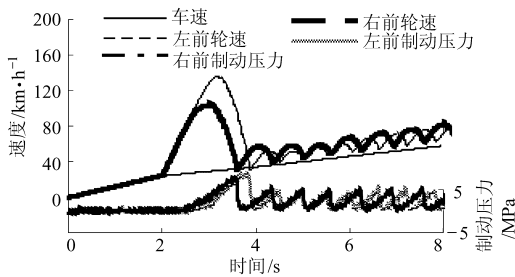


图 13 高到低对接路面 ASR 控制 HILS 结果

Fig. 13 HILS results of ASR on jump road (high- μ to low- μ)

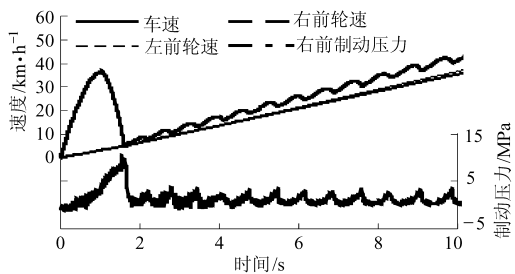


图 14 对开路面 ASR 控制 HILS 结果

Fig. 14 HILS results of ASR on split road

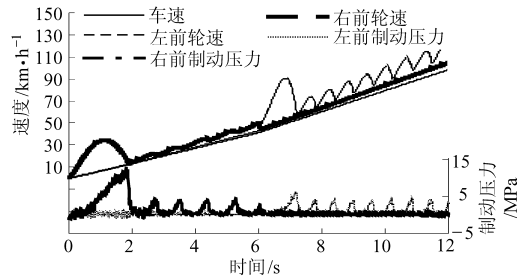


图 15 棋盘格路面 ASR 控制 HILS 结果

Fig. 15 HILS results of ASR on chess-board road

2.4 实车试验标定与验证

由于仿真模型不能完全代替实际车辆,所以一般情况下控制参数需要经过实车试验进行最后的标定与匹配。而且,实车试验是检验 ECU 控制效果的最终标准。

将在 HILS 平台上完成设计的 ECU 安装在某轻型乘用车上进行 ASR 试验,主要试验工况为低附着、对接和对开等路面。低附着路面用洒洗涤剂地板革模拟实现。试验时驾驶员迅速踩下油门踏板至油门接近全开。由于地板革长度的限制,每次试验末段车辆都会驶出地板革,ASR 控制将解除。

实车试验过程中,控制策略和 ECU 软硬件已基本定型,主要对各控制参数做最后标定,并最终验证控制效果。试验结果曲线如图 16~19 所示。图中, V-RR、V-FR、V-RL、V-FL 分别为右后、右前、左后、左前 4 个通道的轮速; P-RR、P-FR、P-RL、P-FL 分别为对应通道的轮缸压力。

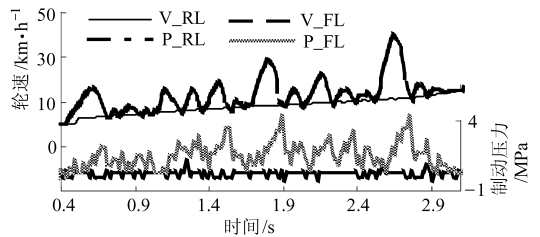


图 16 低附着路面起步时的实车试验曲线

Fig. 16 Road test results of ASR on uniform road

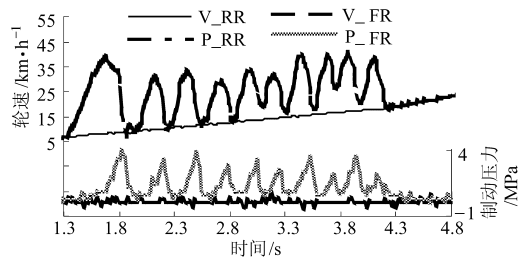


图 17 对接路面(低附着到高附着)的实车试验曲线

Fig. 17 Road test results of ASR on jump road (low- μ to high- μ)

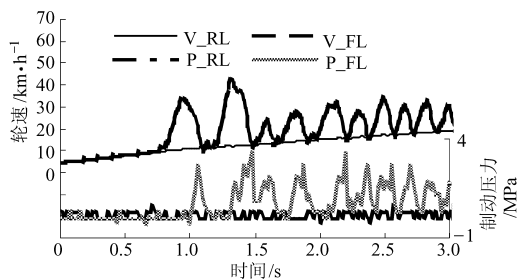


图 18 对接路面(高附着到低附着)的实车试验曲线

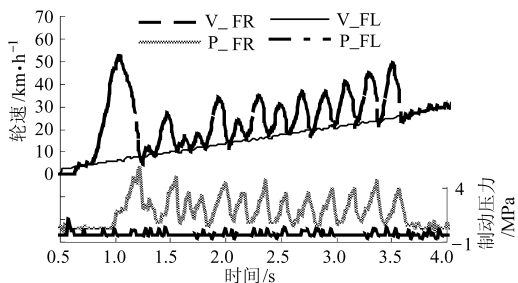
Fig. 18 Road test results of ASR on jump road
(high- μ to low- μ)

图 19 对开路面(右侧为低附着)的实车试验曲线

Fig. 19 Road test results of ASR on split road

3 结果分析

当没有安装 ASR 的车辆在低附着路面上急加速时,驱动轮滑转率会变得很大甚至完全空转。此时不能获得最大驱动力,侧向附着因数也变得很小,极易失去侧向稳定性。由 ASR 控制的各组曲线图可知,施加 ASR 控制后,驱动轮的转速被控制在合理范围内,滑转率保持在最佳值附近,驱动防滑功能得以实现。

由图 5 所示的离线仿真结果可知,驱动轮的过度滑转得到抑制,ASR 控制功能基本得以实现。在此环节,控制算法得到初步验证。还可看出无论是驱动轮轮速还是制动压力,离线仿真结果都和实车试验相差较大,说明离线仿真与实车情况差异较为显著。主要原因是车辆模型进行了大量的简化,很难完全真实地模拟实际车辆的特性和试验工况,只

能近似的反映基本性质和大致趋势。

由图 7~8 所示的快速控制原型试验结果可知,经过实车调整控制逻辑和参数,ASR 控制功能得以实现,在对开路面时,控制器识别了高低附着路面,只对过度滑转的低附着一侧驱动轮进行了制动。在不编写代码、不设计 ECU 的情况下,算法得以进行实车试验,充分验证了算法的可行性,降低了后续设计风险。

由图 11~15 所示的硬件在环仿真结果可知,通过运行在 dSPACE 中的车辆系统模型和试验条件模型,对设计的 ECU 进行了程序验证和修改,最终达到了预期控制效果。在实验室即可快速、方便地设定不同工况(甚至是实际中很难获得或十分危险的工况)对 ECU 进行全面试验,尤其是棋盘格路面实车试验较难获得,体现了硬件在环仿真的优势。这样,大大缩短了设计周期、节约了试验费用。

由图 16~19 所示的实车试验结果可知,经过实车匹配与验证,ASR 控制器设计与开发最终完成,驱动防滑功能得以实现。实车道路试验验证了 V 流程其他环节测试结果的可信度,说明 V 流程为 ECU 设计提供了高效便利的平台,大大节省了设计费用和时间,减少了设计风险。但是,由于实车试验工况的复杂性和实际车辆系统的强非线性,实车试验的滑转率较之硬件在环仿真结果波动较大,这表明硬件在环仿真不能完全替代实车试验。

4 结论

(1) 各种测试结果表明,设计的 ECU 实现了 ASR 控制功能,驱动轮滑转率被控制在最优滑转率附近,车轮过度滑转得到抑制,地面驱动力得以充分发挥。

(2) 应用 V 流程设计车辆电子控制系统所需时间短,高效省力。可大大降低设计风险、缩短设计周期、减少实车试验量、节约设计成本。

参 考 文 献

- 王德平,郭孔辉,高振海. 汽车驱动防滑控制系统[J]. 汽车技术, 1997(4):22~27.
Wang Deping, Guo Konghui, Gao Zhenhai. Automobile driving antiskid control system[J]. Automobile Technology, 1997(4): 22~27. (in Chinese)
- 张成宝,吴光强,丁玉兰,等. 汽车驱动防滑的控制方法研究[J]. 汽车工程, 2000, 22(5):324~328.
Zhang Chengbao, Wu Guangqiang, Ding Yulan, et al. A research on the control method of vehicle anti-slip regulation[J]. Automotive Engineering, 2000, 22(5): 324~328. (in Chinese)
- 李静,张家财,马志敏. 汽车牵引力控制系统神经网络控制算法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12):20~23.
Li Jing, Zhang Jiakai, Ma Zhimin. Research on neural network control algorithm of traction control system for automobiles [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12):20~23. (in Chinese)

- 4 杨财,宋健,李亮,等. 牵引力控制系统中最优驱动力矩控制[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2008, 48(11):1 989~1 992.
Yang Cai, Song Jian, Li Liang, et al. Optimum driven torque control for traction control systems[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(11): 1 989~1 992. (in Chinese)
- 5 张弦,罗禹贡,范晶晶,等. 电动车辆防滑控制方法的研究[J]. 车辆与动力技术, 2007, 13(7):13~19.
Zhang Xian, Luo Yugong, Fan Jingjing, et al. A research on optimal-slip-ratio-identification-based traction control system implemented on EV[J]. Vehicle & Power Technology, 2007, 13(7):13~19. (in Chinese)
- 6 程军,袁金光,王西山. 汽车防滑控制的研究[J]. 汽车工程, 1997, 19(2):96~102.
Cheng Jun, Yuan Jinguang, Wang Xishan. A study on anti-spin control of the vehicle[J]. Automotive Engineering, 1997, 19(2):96~102. (in Chinese)
- 7 任少卿,陈慧岩,黄江波,等. 汽车防滑控制系统 ABS/ASR 基本原理及发展趋势[J]. 汽车电器, 2006(3):1~5.
Ren Shaoqing, Chen Huiyan, Huang Jiangbo, et al. Basic principle and development trend of ABS/ASR[J]. Auto Electric Parts, 2006(3):1~5. (in Chinese)
- 8 黄锦川,何乐,夏群生,等. 集成化仿真系统在气制动 TCS 控制器开发中的应用[J]. 汽车技术, 2007(1):16~19.
Huang Jinchuan, He Le, Xia Qunsheng, et al. Application of integrated simulation system for air-brake TCS control development[J]. Automobile Technology, 2007(1):16~19. (in Chinese)
- 9 李静,李幼德,赵健,等. 基于 MATLAB 的牵引力控制原型半实物仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2):492~494.
Li Jing, Li Youde, Zhao Jian, et al. Hardware-in-the-loop simulation for prototyping of vehicle traction control system based on MATLAB[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(2):492~494. (in Chinese)
- 10 崔海峰,齐志权,王仁广,等. 基于 MC9S12DP256 的轿车 ABS/ASR 集成控制系统[J]. 电子技术应用, 2005(12): 23~25.
- 11 邹红明,丁能根,王伟达,等. ABS“V 模式”开发中的快速控制器样件制作与硬件在环仿真的研究[J]. 汽车工程, 2009, 31(4): 357~361.
Zou Hongming, Ding Nenggen, Wang Weida, et al. Research on the RCP and HILS for ABS V-cycle development[J]. Automotive Engineering, 2009, 31(4): 357~361. (in Chinese)
- 12 吕济明. 汽车 TCS 系统建模及控制逻辑研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
Lü Jiming. Study on traction control system modeling and control logic [D]. Changchun: Jilin University, 2005. (in Chinese)
- 13 王红岩,秦大同,周云山. 无级变速汽车速度巡航模糊控制器的研究[J]. 汽车工程, 2000, 22(4): 230~235.
Wang Hongyan, Qin Datong, Zhou Yunshan. A study on the cruise fuzzy control system of vehicles with CVT[J]. Automotive Engineering, 2000, 22(4): 230~235. (in Chinese)
- 14 Dugoff H, Fancher P S, Segel L. An analysis of the tyre traction properties and their influence on vehicle dynamic performance[C]. SAE Paper 700877, 1970.

关于王铁同志学术不端行为的通报批评

王铁等 4 人共同署名在本刊 2008 年第 9 期发表了“汽车后桥的非保守模糊可靠度设计”一文。因收到读者的邮件举报,本刊编辑部对该文进行了查实,发现作者王铁已将主体内容先于本文在多个期刊上发表,重复度较高。

该论文第一作者王铁曾于 2008 年 3 月 27 日与《农业机械学报》签署了《论文出版承诺书》,其行为违背了他在《论文出版承诺书》中的承诺,将主体内容先于本刊发表,并恶意隐瞒,严重损害了本刊的声誉,造成了极坏影响。经研究,对王铁同志的学术不端行为作以下处理:

1. 由本刊主办单位中国农业机械学会向王铁的工作单位——沈阳理工大学发文,通报其学术不端行为,要求校方对此进行查实和处理;
2. 本刊编辑部向作者本人致函,提出书面批评;
3. 在《农业机械学报》期刊和网页上通报其学术不端行为;
4. 五年之内,本刊将不接收王铁本人的投稿。