

ESP 系统实验平台的研发

陈家琪¹, 王伟哲¹, 高超²

CHEN Jia-qi¹, WANG Wei-zhe¹, GAO Chao²

1. 上海理工大学 计算机与电气工程学院, 上海 200093

2. 上海理工大学 机械工程学院, 上海 200093

1. College of Computer Science & Electrical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

2. College of Mechanical Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China

E-mail: cjq@usst.edu.cn

CHEN Jia-qi, WANG Wei-zhe, GAO Chao. Study and development of simulation platform for ESP. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(19): 72-74.

Abstract: The real-time interaction simulation system is designed by Matlab/Simulink for electronic stability program testing based on the 9 DOF vehicle dynamics simulation model. The relationship between the hardware and software and the interaction progress are described. Effectiveness analysis is done through experiment of the model. The Effectiveness and accuracy are verified. Then the available platform for the ESP testing is established.

Key words: automotive modeling; vehicle stability control; Human Computer Interaction(HCI)

摘要: 采用 9 自由度汽车动力学模型设计了一种基于 Matlab/Simulink 的人机实时交互汽车 ESP 仿真实验系统。描述了系统的软硬件关系和交互过程。通过实验对模型进行了有效性分析, 验证了模型的有效性和可用性。为汽车稳定性控制器的检测提供了一种有效的实验平台。

关键词: 汽车建模; 汽车稳定性控制; 人机交互

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.19.021 **文章编号:** 1002-8331(2009)19-0072-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** U495; TP274

1 引言

汽车稳定性控制系统(ESP)是在汽车防抱死制动系统(ABS)和牵引控制系统(ASR)等技术的基础上发展起来的。ESP 为防止车辆高速行驶时失控状态的出现或加剧, 通过对汽车的制动系统、驱动系统等进行主动控制, 调节横向、纵向力的分布, 从而提高汽车的安全性和稳定性^[1]。

ESP 是一种新型主动安全控制系统, 它能够根据驾驶员的意图、路面状况及汽车的运动状态控制车辆的运动, 防止出现危险状况, 从而更有效、更显著地提高汽车的操纵稳定性和行驶安全性^[2-3]。汽车电子稳定装置使用了 ABS 和 ASR 的部件, 包括检测车轮转速的传感器、调节制动轮制动力的装置和一个用于实现控制算法和处理传感器信号以及制动力分配的电子控制单元。同时还利用一个发动机管理控制器的接口来实现发动机输出扭矩的控制。此外还需要 4 个 ESP 传感器来获得驾驶员的操纵期望以及车辆的实际操纵情况。这些传感器有转向轮转角传感器、横摆角速度传感器、横向加速度传感器和制动轮压力传感器。另外, 系统还包括一个切断牵引力控制系统工作的开关, 用来避免在驱动过程中对驱动轮制侧偏的控制, 一个候补的制动灯开关, 一个手制动开关, 一个制动压力控制开关, 一系列用于诊断的接口和数据总线连接器等。

对操纵动力学研究而言, 若要全面准确地研究和评价系统性能, 就应该考虑驾驶者与车辆的配合问题。然而, 在实际情况下驾驶员的特性是因人而异的, 并可通过训练改变, 很难表达成准确而统一的特性^[4]。因此, 以人实时的参与交互取代驾驶员模型是一种可行的方法。

在汽车控制器的研发过程中对控制器的测试和检验必不可少, 其中使用汽车动力学模拟仿真来检验控制器的方法使用广泛。从基于 ESP 的汽车仿真模型出发, 探讨并研发了一种人机实时交互的半实物 ESP 仿真实验平台, 并对该平台的可用性和有效性进行了分析。

2 系统结构

设计的仿真平台包括汽车仿真模型、刹车系统实物、刹车踏板实物、转向盘实物、油门踏板实物、控制器(ESP)和动画显示等部分组成。系统结构如图 1 所示。与常规仿真中模拟驾驶员行为输入的方式不同, 本系统中驾驶员可以通过动画显示观察汽车的行驶轨迹, 实时的参与仿真实验。系统中各实物通过传感器将模拟信号经 AD 转换后传递给汽车模型。同样, 汽车模型将汽车状态经 DA 转换后传递给各实物模块。汽车模型与 ESP 之间的信息传递遵循 CAN-1939 协议。汽车模型计算出汽

基金项目: 上海市教育委员会科研基金资助项目(No.04EB12)。

作者简介: 陈家琪(1957-), 男, 教授, 主要研究方向: 汽车主动安全控制; 王伟哲(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 汽车动力学与控制; 高超(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 汽车动力学建模。

收稿日期: 2008-05-07 **修回日期:** 2008-07-28

车各时刻的状态信息并通过接口传送给 ESP 控制器, 其中传递的汽车状态量有: 纵向速度、横向速度、横摆角速度、横向加速度等。另一方面, 传感器传递转向盘的转角给 ESP 控制器。ESP 通过这些汽车状态量计算发动机扭矩和施加到每个轮子上的制动力矩实施控制。

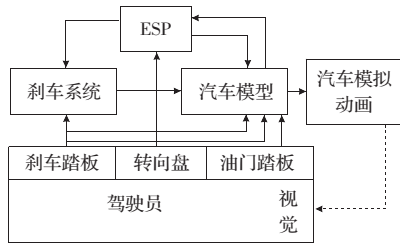


图1 系统结构

利用 Matlab/Simulink 构建汽车仿真模型, 实现后的汽车仿真模型总体模块如图 2 所示。汽车模型运行在一台独立的计算机上, 驾驶员输入、ESP 输入和刹车系统实物的输入通过信号线与汽车模型所在计算机连接, 将信号经数值变换后转换为适合 Matlab/Simulink 计算的数值类型传送给发动机子模型和车体子模型。ESP 施加在各个轮子上的制动力矩信号直接传送给实物刹车系统。动画显示在另一台单独的计算机上运行, 和汽车模型所在计算机通过 UDP 协议进行通信。

3 动力学模型

3.1 车体模型

本系统选用 9 自由度整车模型。主要考虑车辆的纵向运动、侧向运动、簧上刚体运动、侧倾运动、横摆运动、轮子转动运动和侧偏运动等。车辆动力学模型的微分方程为:

$$\begin{cases} M(V_x' - \varphi' V_y) = \sum_{i=1}^4 F_{xi} \\ M(V_x' - \varphi' V_x) = \sum_{i=1}^4 F_{yi} \end{cases} \quad (1)$$

$$I_x \phi'' = (F_{x1} + F_{x3} - F_{x2} - F_{x4}) \cdot c/2 + a(F_{y1} + F_{y2}) - b(F_{y2} + F_{y4}) \quad (2)$$

$$\begin{cases} N_1 = M(b \cdot g - \frac{V_x' h}{2l} + \frac{V_y' h}{2c}) \\ N_2 = M(b \cdot g - \frac{V_x' h}{2l} - \frac{V_y' h}{2c}) \\ N_3 = M(a \cdot g + \frac{V_x' h}{2l} - \frac{V_y' h}{2c}) \\ N_4 = M(a \cdot g + \frac{V_x' h}{2l} - \frac{V_y' h}{2c}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{V_y + a\omega_r}{V_x} \\ \alpha_2 = \frac{V_y - b\omega_r}{V_x} \end{cases} \quad (4)$$

$$I_x \theta'' = M_s h (V_y' + V_x \phi) - K_\phi \theta - C_\phi \theta' + M_s g h \sin \theta \quad (5)$$

其中: M 为整车质量; V_x 为车辆纵向运动速度; V_y 为车辆横向运动速度; ΣF_x 、 ΣF_y 为作用在车辆纵向与横向力的和; ϕ 为车辆横摆角速度; I_x 为整车横摆转动惯量; c 为车辆轴距; l 为车辆轴距; N_i 为车轮对地面的法向反力; a 、 b 为前、后轴到质心的距离; α_1 、 α_2 为前、后轮侧偏角; θ 为车辆侧倾角; h 为质心到侧倾轴线距离; M_s 为簧载质量; K_ϕ 为车辆侧倾刚度; C_ϕ 为车辆侧倾阻尼。

3.2 轮胎模型

轮胎模型主要分为基于实测数据和物理机理两类模型。目前在轮胎力学分析方面使用较为广泛的是基于实测数据的经验公式——魔术公式(Magic Formula)^[5]。

$$y(x) = D \sin\{C \arctan[B(x+S_h)(1-E) + E \arctan(B(x+S_h))]\} + S_v \quad (6)$$

其中: x 为侧偏角, $y(x)$ 为轮胎侧向力, D 为峰值因子, C 为形状因子, B 为刚度因子, E 为曲率因子, S_h 为横向补偿量, S_v 为纵向补偿量。魔术公式中各因子的表达为:

$$\begin{aligned} C &= a_0, D = a_1 F_z^2 + a_2 F_z^2 \\ & a_3 \sin[2 \arctan(\frac{F_z}{a_4})] \\ B &= \frac{CD}{CD} \end{aligned}$$

$$E = (a_6 F_z + a_7) [1 - a_{17} \operatorname{sgn}(\alpha + S_h)]$$

$$S_h = a_3 F_z + a_9, S_v = a_{11} F_z + a_{12}$$

式中: $a_0 \sim a_{12}$ 为曲线拟合参数。

制动时滑移率计算公式为:

$$\begin{cases} S_s = \frac{|V_x - V_c|}{V_x} \\ S_\alpha = \tan \alpha \end{cases} \quad (7)$$

驱动时滑移率计算公式为:

$$\begin{cases} S_s = \frac{|V_x - V_c|}{V_c} \\ S_\alpha = (1 - |S_s|) \tan \alpha \end{cases} \quad (8)$$

式(7)、(8)中 S_s 为纵向滑移率, S_α 为横向滑移率, V_c 为轮胎的圆周速度, V_x 为车辆纵向速度, α 为轮胎侧偏角, $\alpha = \arctan(V_y/V_x)$, V_y 为车辆横向速度。

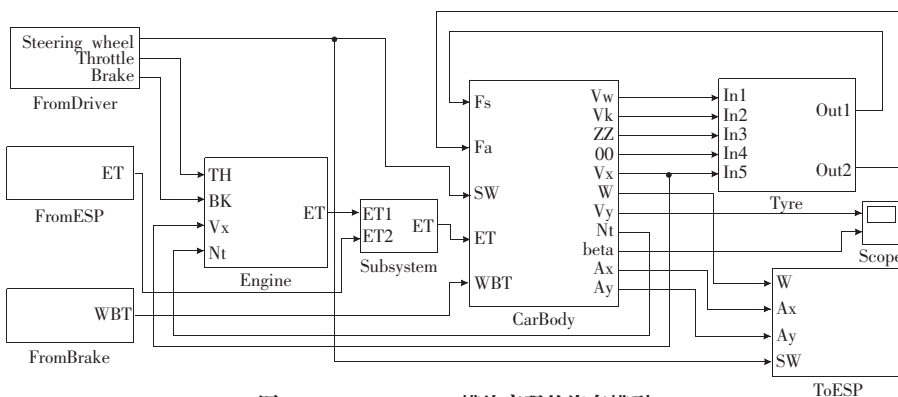


图2 Matlab/Simulink 模块实现的汽车模型

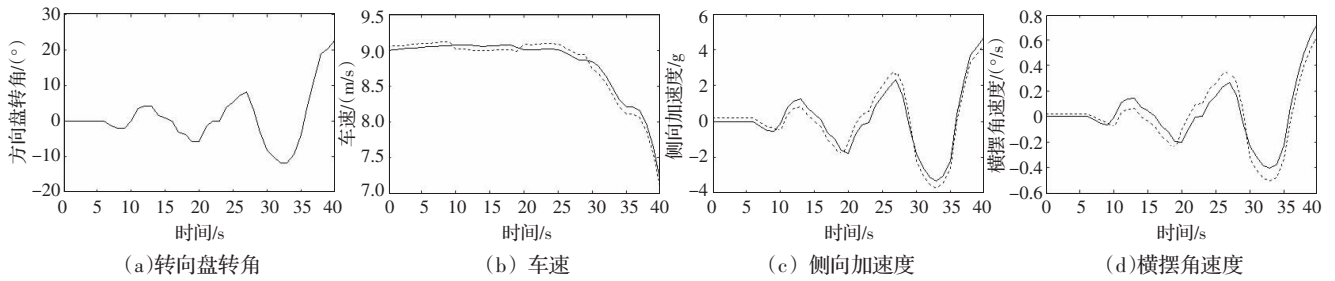


图4 “蛇形”穿杆仿真和实验数据对比

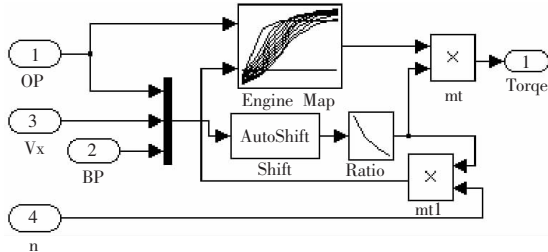


图3 Matlab/Simulink 实现的驱动系模型

3.3 驱动系模型

驱动系模块包括发动机模型和传动系统模型。用发动机的MAP图表模块构建发动机模型,满足实时仿真要求且精度适合。从发动机输出扭矩经离合器、变速箱、传动轴传递到差速器。按照传统的经典理论,由Matlab/Simulink实现的驱动系模型如图3所示。

4 实验结果

为了检测系统的有效性,进行了“蛇形”穿杆实验^[6]对实车和模型的性能进行了比较。仿真初始速度采用实验时用的初始速度,转向盘转角采用实车实验时的实际数据。实验数据与仿真数据的对比如图4所示。

仿真数据和实验数据偏差统计如下:横摆角速度最大值误差为9%,侧向加速度最大值误差为8%。ESP控制算法对横摆角速度和侧向加速度的最大误差允许范围是10%左右^[7],因此上述ESP仿真实验模型能满足ESP控制仿真要求。

5 结束语

随着汽车电子控制技术的不断发展,汽车稳定性控制已成为当前研究的热点。目前国外已经实现了汽车稳定性控制器的生产,而国内研发才刚刚起步。设计了一种人机实时交互的半实物ESP仿真实验平台,以汽车的运行动画和半实物实现了人机实时交互,为更好的检测ESP性能提供了有效的实验平台,对ESP控制器的研发和检测有较强的实用价值。

文中设计的仿真实验平台使用了9自由度车体模型,根据具体应用状况可对模型的精度进一步提高,对模型的自由度进行改造。

参考文献:

- [1] Dongshin K, Kwangil K, Woogab L, et al. Development of mando ESP(Electronic Stability Program)[J]. SAE International, 2003.
- [2] Van Zanten A T, Ertarad R, Pfaff G, et al. Control aspects of the Bosch-VDC[C]//AVEC'96, 1996.
- [3] Hong T, Eric T, Behrouz A, et al. The development of vehicle stability control at ford[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1999, 4(3): 223-234.
- [4] 喻凡, 林逸. 汽车系统动力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] Pacejka H B. Tyre and vehicle dynamics[M]. Bodmin, Cornwall: MPG Books Ltd, 2002.
- [6] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.
- [7] Hong T, Eric T, Behrouz A, et al. The development of vehicle stability control at ford[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 1999, 4(3): 223-234.

(上接67页)

5 结语

通过对不可约三项式生成的有限域 $GF(2^n)$ 上的乘法进行分析,推导出基本的运算形式 $\alpha x \bmod f(x)$ 。基于该运算形式,设计出新颖的有限域乘法器架构。该乘法器实现 $A(x)B(x) \bmod f(x)$ 的运算,其中 $A(x)$ 、 $f(x)$ 作为整体输入,而对于 $B(x)$ 则采取分段输入、多周期迭代运算的方法。段长 r 的选值可根据系统对密码算法的性能需求进行调整,具有很大的灵活性。特别的,当 $r=1$ 时,则为串行乘法器;当 $r=m$ 时,则为并行乘法器。与其他设计的复杂度比较结果表明,作为并行乘法器时,具有同其他最优并行乘法器架构同等的复杂度。因此,本架构具有更广阔的应用前景。

进一步的研究将着眼于由其他类型不可约多项式生成的有限域乘法器,比如不可约五项式,系数全一多项式等。

参考文献:

- [1] Schneier B. 应用密码学——协议、算法与C源程序[M]. 吴世忠, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [2] Halbutogullari A, Koc C K. Mastrovito multiplier for general irreducible polynomials [J]. IEEE Transactions on Computers, 2000, 49(5): 503-518.
- [3] Certicom Research. Standard for efficient cryptography 2: Recommended elliptic curve domain parameters[R]. 2000.
- [4] Koc C K, Sunar B. Low-complexity bit-parallel canonical and normal basis multipliers for a class of Finite fields[J]. IEEE Transactions on Computers, 1998, 47(3): 353-356.
- [5] Fan H, Dai Y. Fast Bit-Parallel $GF(2^n)$ multiplier for all trinomials[J]. IEEE Transactions on Computers, 2005, 54(4): 485-490.
- [6] Wu H. Montgomery multiplier and squarer for a class of finite fields[J]. IEEE Transactions on Computers, 2004, 51(5): 521-529.
- [7] 金意儿. 高性能乘法器的研究与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.