

文章编号:1007-6735(2011)02-0189-04

汽车 ESP 实验系统及其硬件在环仿真研究

陈家琪, 周晶晶

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 研究了 ESP(电子稳定系统)实验系统和实验方法,构建了一种基于 Matlab/Simulink 人机实时交互的 ESP 硬件在环仿真平台,并通过蛇形穿杆实验对实车和模型的性能进行了比较,结果表明了该仿真平台的合理性、有效性和实时性,为汽车 ESP 产品的开发提供了有效手段。

关键词: 汽车; 电子稳定系统; 硬件在环仿真

中图分类号: U 495; TP 274 **文献标志码:** A

Experimental system and hardware-in-the-loop simulation for vehicle electronic stability program system

CHEN Jia-qi, ZHOU Jing-jing

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Experimental system and methods for electronic stability program (ESP) were studied and a hardware-in-the-loop platform based on Matlab/Simulink was developed, which can make a real-time interaction between human and computer. Through a pylon course slalom test, comparing the performance of real cars with that of models, a significant analysis was done, which provides an effective means for the development of ESP products.

Key words: vehicle; electronic stability program; hardware in-loop simulation

ESP(电子稳定系统)是在汽车防抱死制动系统(ABS)和驱动力控制系统(TCS)等技术的基础上发展起来的一种新型主动安全控制系统^[1]. ESP 实时监控汽车的运行姿态,依据驾驶员对车辆的操作(包括驾驶员对转向盘、制动踏板和油门踏板的操作)决策出理想的车辆运行状态,确保车辆行驶的稳定性 and 安全性.

ESP 是 90 年代初由德国奔驰公司开发的电子稳定系统. 德国 BOSCH 公司一直是这方面技术的

领先者,为国际大多数汽车厂商供应 ABS/TCS/ESP 系统. 在中国 ESP 的研究还处于起步阶段,大多通过软件仿真或硬件在环仿真对 ESP 系统进行研究. 吉林大学、清华大学、上海交通大学及同济大学等高校和中国重汽集团、上海汇众汽车制造有限公司等企业也在这方面开展了研究工作.

本文的 ESP 实验系统设计采用分层模块化结构,在建立 9 自由度整车模型的基础上,以 Matlab/Simulink 软件为主要开发工具,构建一种人机实时交互

收稿日期: 2010-06-25

作者简介: 陈家琪(1957—),男,教授. 研究方向: 汽车主动安全控制. E-mail: cjq@usst.edu.cn

的ESP硬件在环仿真实验平台,介绍了实验平台所需要的软硬件结构,描述了系统软硬件的关系和交互过程,为电子稳定系统的开发和研究提供实验条件.

1 ESP 实验系统结构

ESP 实验系统采用分层模块化设计^[2],整个系统共分为控制层、应用层和执行层这3层.ESP 实验系统结构如图1所示.

控制层根据驾驶员对车辆的输入和车辆的实际状态确定需要施加的使车辆恢复稳定状态的附加横

摆力矩 ΔM . $w_{fl}, w_{fr}, w_{rl}, w_{rr}$ 分别为前左轮、前右轮、后左轮和后右轮的角速度; a_x, a_y 分别为纵向、侧向的加速度; δ_f 为前轮转角. 控制层包含名义横摆角速度 γ_{req} 计算模块^[3]和质心侧偏角 β_{req} 稳定边界模块^[4],这两个模块根据当前驾驶员的输入和外界环境条件计算出车辆稳定所需要的理想运行状态. 将车辆理想运行状态(名义横摆角速度和名义质心侧偏角)与实际状态(横摆角速度和质心侧偏角)提供给横摆力矩决策模块,横摆力矩决策模块对两种状态进行比较判断,决策出当前车辆恢复稳定状态所需要的附加横摆力矩.

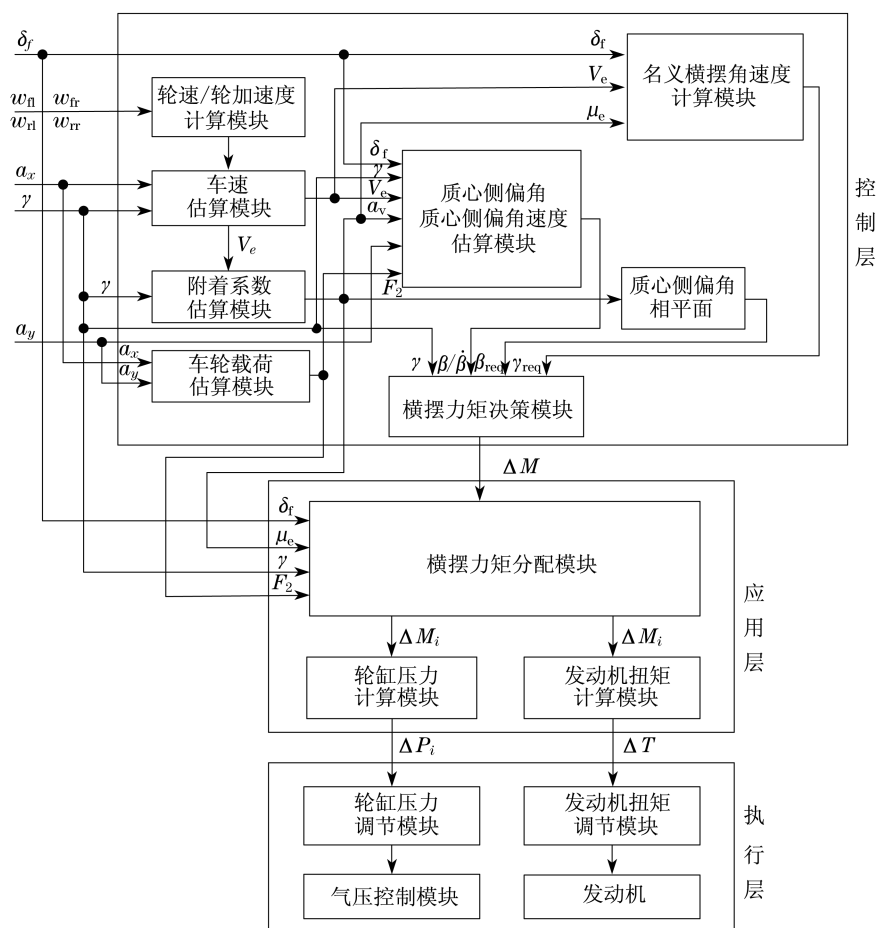


图1 ESP 实验系统结构

Fig.1 Structure of ESP experimental system

控制层输出的附加横摆力矩传递给应用层.当车辆有过度转向趋势时,可以通过主动制动的方式产生附加横摆力矩;当车辆有不足转向趋势时,有主动制动和减小发动机扭矩这两种干预方式.横摆力矩分配模块根据当前的车辆状态决策出所要采取的干预方式,以及在主动制动时横摆力矩的轮间分配.轮缸压力计算模块和发动机扭矩计算模块将横摆力矩转化为轮缸压力的变化量 ΔP_i 或发动机扭矩的变化量 ΔT .

执行层由执行机构和相应的控制模块组成.轮缸压力调节模块将轮缸压力变化指令通过气压控制模块转化为泵和电磁阀的状态指令;发动机扭矩调节模块将扭矩变化指令转化为节气门或喷油量的变化.

2 ESP 实验系统仿真平台

ESP 实验系统仿真平台包括用户操作模块、数据

存储模块、网络通信模块、动力学模型运算模块、数据曲线绘制和动画显示模块。其中,用户操作模块设置汽车动力学模型的参数和控制运行过程,数据存储模块存储仿真数据,网络通信模块负责各个PC机之间的数据通信,动力学模型运行模块单独运行在另一台PC机上,数据曲线模块实时显示汽车各个关键量的曲线,动画显示模块显示汽车运行时的姿态动画。

2.1 硬件组成

ESP实验系统共由3台PC机(目标机上装有多个AD和DA板卡)、方向盘、油门踏板、轮速柜和制动柜实物及发动机CAN(控制器局域网)信号模拟的适配器组成。系统硬件组成如图2所示。

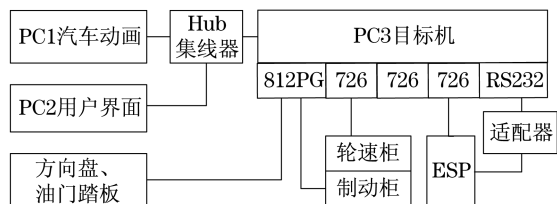


图2 ESP实验系统硬件组成

Fig.2 Hardware of ESP experimental system

PC1中运行仿真过程中的车辆姿态和轨迹动画,车辆运行时的状态数据是由目标机通过UDP协议传给PC1。PC2中运行用户设置界面并显示车辆状态曲线,同样通过集线器与目标机相连,可以进行

车辆参数修改和仿真的启动和终止控制。PC3中运行车辆动力学模型,通过AD/DA、RS232串口,并采取UDP协议与外部进行通信。模拟输出卡PCL726和812PG分别作为DA/AD转换器使用,在转换通道上加入光电耦合器,采取光电耦合技术隔离数字地和模拟地,达到传输通道抗干扰的目的。轮速柜与制动柜之间直接连接,制动柜有刹车板,当踏板刹车时传感器将制动气室产生的制动力信号通过AD转换器传给PC3目标机中的车辆模型。在汽车内部ECU(电子控制单元)里,利用公式计算通过传感器采集到的脉冲数来反算出车速。车辆模型计算出的当前车速和方向盘转角通过DA传递给ESP控制器,ESP根据当前车辆状态对发动机和制动系统进行控制,并将发动机的控制信息以CAN信号的方式发向适配器,适配器经过转换将信息通过RS232串口发给车辆模型,从而完成整个控制过程。其中,RS232串口波特率设为57 600 b/s,以适应模型与ESP之间的快速数据传输,并通过检测接收到的数据帧的首部判断信息帧的开始,信息帧结束有校验和。如果校验和错误,则抛弃整个帧,直到收到新的数据帧为止。

2.2 仿真模型

采用Matlab/Simulink实现的车辆动力学模型如图3所示。

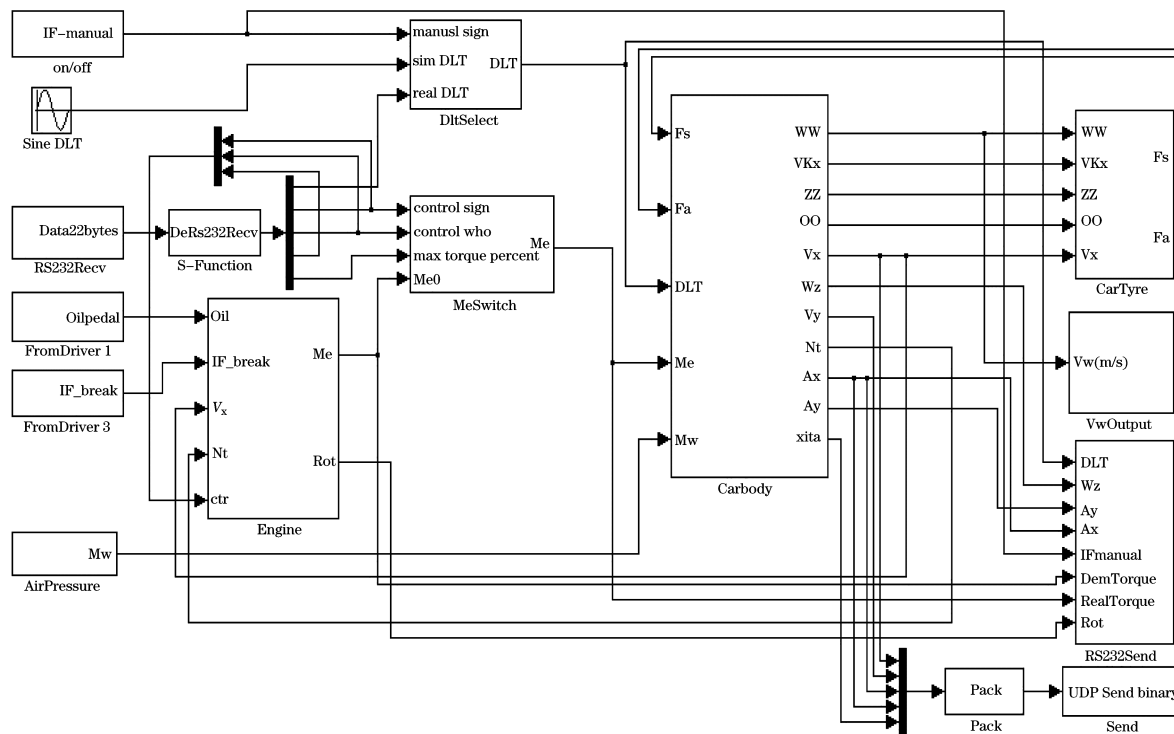


图3 由Matlab/Simulink实现的车辆动力学模型

Fig.3 Vehicle dynaminc model based on Matlab/Simulink

ESP 实验系统选用 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、轮子转动及侧偏运动等.该模型包括整车模型、驱动系、传动系模型及轮胎模型等部分.轮胎模型采用基于实测数据的经验公式——魔术公式(magic formula),发动机模型采用 MAP 图查表建模.具体的模型结构和组成见文献[5].

车体模型模块 CarBody 输出车辆的各种运行参数,轮胎模型模块 CarTyre 输出车辆轮胎的纵向力和侧向力,发动机模型模块 Engine 输出发动机的输出扭矩和发动机的转速,气压采集模块 AirPressure 采集气压制动缸的制动气压,输出各个轮子上的制动力矩,方向盘模块 DltSelect 判断使用的是模拟方向盘输入还是真实方向盘输入,驾驶员模块 FromDriver 采集驾驶员对制动踏板、油门踏板的操作,通信模块 RS232Recv 负责接收 ESP 通过适配器发送的控制信息,轮速模块 VwOutput 负责将当前的各个轮子的转速发送给轮速柜实物,轮速柜体现出当前的轮子的转速,通信模块 RS232Send 负责将车辆的部分状态通过适配器传给 ESP,网络模块 Pack 和 Send 将车辆的部分状态信息打包并在局域网中广播发送,PC1 和 PC2 接收到广播信息并显示车辆动画和状态曲线.

使用 RTW(实时仿真)代码生成工具将构建好的 SIMULINK 模型自动生成可执行代码,下载到 PC3 目标机上进行仿真.该仿真系统可以根据不同的参数设置,合成不同的整车模型进行仿真实验.

3 ESP 实验结果与分析

3.1 车辆动力学性能分析

为了检验车辆动力学模型的有效性,进行了角阶跃实验.车辆以 90 km/h 的速度在模拟混凝土路面(路面附着系数 $\mu = 0.8$)上匀速行驶,以尽快的速度(在 1 s 之内)将方向盘转到 25°角的位置.在该角阶跃输入下可以得到车辆 4 个轮胎所受到的侧向力,如图 4 所示, t 为时间, γ 为横摆角速度.

在角阶跃输入情况下,车辆最终接近圆周运动,车辆的横摆角速度接近定值.通过上述的车辆角阶跃输入模拟实验可以看出,本文中所采用的车辆动力学模型符合车辆角阶跃稳态实验的要求,验证了模型的有效性.

3.2 汽车 ESP 仿真实验

为了检验 ESP 实验系统的性能,车辆以初始车

速 32 km/h 在模拟混凝土路面($\mu = 0.8$)上进行了蛇形穿杆实验^[6],对实车和模型进行比较.仿真初始速度和方向盘转角均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 5 所示. α 为方向盘转角.

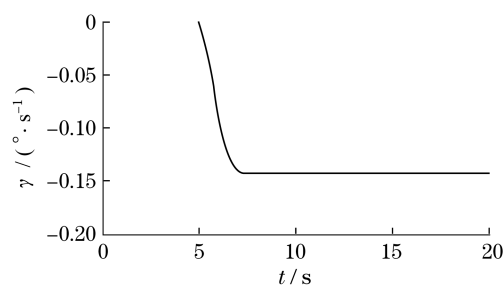


图 4 角阶跃输入下的横摆角速度

Fig.4 Raw rate with angle step input

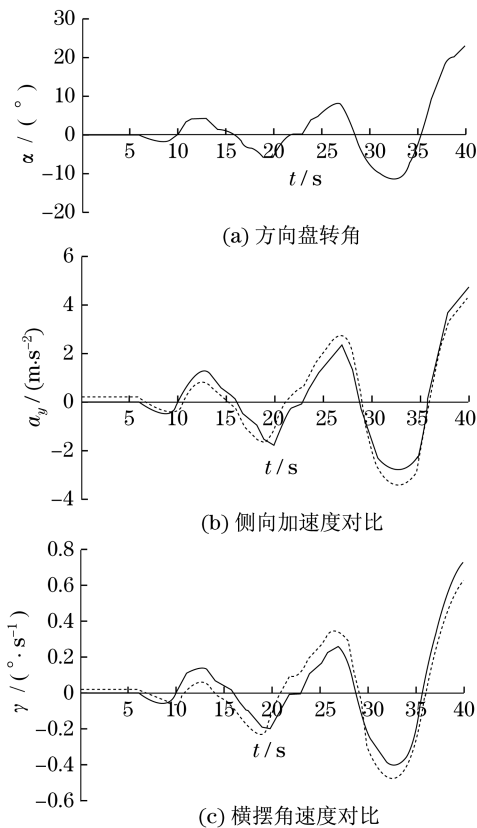


图 5 蛇形穿杆仿真和实验数据对比

Fig.5 Performance comparison of real cars with models through a pylon slalom test

由图 5 可以看出,仿真得到的侧向加速度和横摆角速度与实车实验时的数据保持了较好的一致性,变化趋势吻合良好,因此,上述 ESP 仿真实验模型能满足 ESP 控制仿真要求^[6].车辆 3D 姿态显示界面如图 6 所示.

(下转第 204 页)