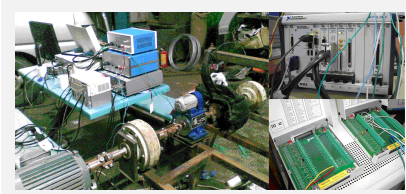


基于PXI的汽车电子稳定程序（ESP）硬件在环测控系统的开发



与实际硬件的连接

"通过NI公司先进的PXI技术，能够准确而快速地对硬件进行控制和数据采集；同时，LabVIEW对其其他的仿真控制软件具有很高的开放性和兼容性，通过仿真接口工具包（SIT），能够很方便地与Simulink进行通讯，从而实现Simulink与硬件的连接"

- 李礼夫, 华南理工大学

The Challenge:
相比传统的采用路面试验来验证ESP控制方法，采用基于虚拟技术的ESP测控系统可大大减低开发成本，缩短开发周期。然而目前绝大多数控制方法都采用Simulink进行开发，如何实现Simulink和实际硬件之间的控制和反馈是解决问题的关键。

The Solution:
使用NI公司的PXI平台，进行相关数据信号的输出控制和采集；使用LabVIEW进行界面的编写，同时采用其仿真接口工具包（SIT）与Simulink进行连接，以LabVIEW为平台，实现基于Simulink模型控制的硬件在环测控系统。

Author (s):
洪兢 - 华南理工大学
李礼夫 - 华南理工大学

介绍：

针对目前ESP常用的如逻辑门控制、普通PID控制等方法鲁棒性和自适应性不强缺陷，本文提出并在Simulink环境中建立了基于汽车横摆角速度和质心侧偏角的参数模糊自整定PID控制方法，以采用ADAMS建立的整车虚拟样机的操纵稳定性状况为目标，通过LabVIEW平台，将Simulink与所开发的实际硬件进行通讯，实现对硬件的实时闭环控制，开发基于虚拟技术的ESP测控系统。

1、ESP的基本原理

汽车在高速或在低附着系数的路面上行驶时，由于受到外界干扰或驾驶员转向作用，侧向附着力常常达到附着极限，容易丧失操纵稳定性和方向稳定性，造成交通事故的发生。这正是汽车电子稳定程序（ESP）所要解决的问题。其基本原理是通过检测汽车的行驶状态，将其与驾驶员的期望值进行比较，来判断汽车的稳定性，当汽车将要进入非稳定状态时，通过调节汽车纵向制动力的大小及在车轮间的匹配来施加主动干预，阻止其进入非稳定状态，从而改善汽车的操纵稳定性。

2、所采用的控制方法

控制策略与方法是ESP技术的核心。目前ESP所采用的控制方法主要有基于大量实验的逻辑门控制、普通PID控制等，这些方法的控制参数一旦确定，控制逻辑就被固定，只能在汽车某些常见的工况下有效地工作，当运行条件改变时，汽车的系统特性也会随之改变，其稳定性就不能得到保证。针对目前常用控制方法鲁棒性和自适应性不强缺陷，本文提出了基于汽车横摆角速度和质心侧偏角的参数模糊自整定PID控制方法。该方法首先检测出汽车运行状态（如横摆角速度、整车质心侧偏角、侧向加速度等）实际值，然后由期望模型计算出汽车运动状态的期望值，将实际值与期望值的偏差通过基于汽车横摆角速度和质心侧偏角的参数模糊自整定PID控制器，计算出所需要施加的附加横摆力矩，再计算出单轮的制动力矩，即通过控制单轮制动力矩来达到控制汽车附加横摆力矩并改善汽车动力学稳定性的目的。其过程如图1所示。

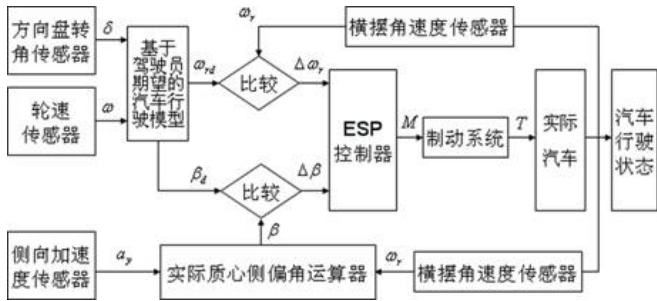


图1 控制过程示意图

3、ESP测控系统的开发

根据以上原理及控制方法的要求，我们选用了NI公司的PXI设备进行数据采集和输出控制，同时，使用ADAMS建立整车虚拟样机，使用Simulink建立虚拟控制器，以LabVIEW作为平台，开发了基于虚拟技术的ESP测控系统。整个系统的基本架构如图2所示。

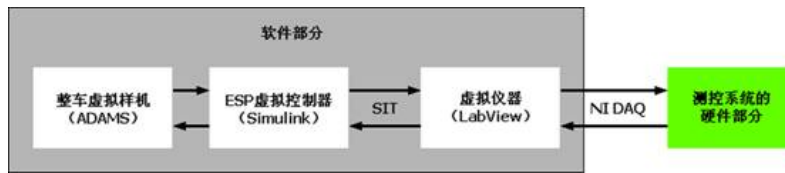


图2 测控系统的基本架构

1) 建立整车虚拟样机

使用MSC ADAMS/CAR 建立基于96自由度的整车虚拟样机模型，设计参数提取和参考了2.4L排量的本田第七代雅阁轿车，其各个子系统的实体模型在动力学和运动学特性上与均实际汽车相一致，而且能够模拟汽车的各种运动工况，向控制器输出横摆角速度、方向盘转角、侧向加速度的值，从而准确模拟用于测量这三个关键量的传感器的功能。在本测控系统中，测试工况、路面状况及驾驶员模型均由 ADAMS/CAR 提供。

2) 设计ESP虚拟控制器

如前面所说，本系统采用基于汽车横摆角速度和质心侧偏角的参数模糊自整定PID控制方法，使用 Simulink建立基于该控制方法的虚拟控制器，并通过 ADAMS和 Simulink的接口，将前面建立的整车虚拟样机导入 Simulink 中，实现ESP的软件在环。虚拟控制器里面固化了质心侧偏角估算模块、驾驶员期望的汽车行驶模型计算模块，由整车虚拟样机输出的横摆角速度、方向盘转角、侧向加速度可估算出汽车实际质心侧偏角并计算出驾驶员期望横摆角速度和质心侧偏角。

3) 搭建系统的汽车硬件部分

根据 ESP测试系统的要求，开发并搭建了硬件在环的汽车硬件部分，如图3所示，采用三菱FR系列变频调速器对Y100L 异步电机进行调速，模拟车轮运行的初始速度；FL-5型磁粉离合器模拟地面制动力产生的力矩，FZ-2型磁粉制动器模拟液压制动器产生的制动力矩，扭矩传感器将实际作用在车轮上的制动力矩采集回来。

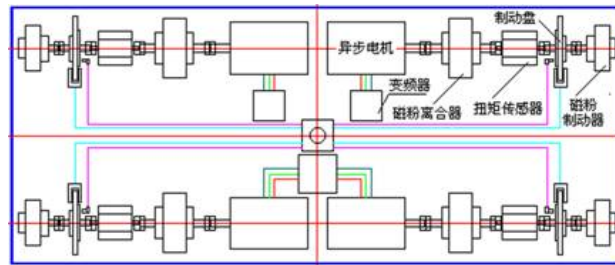


图3 测控系统的实际硬件结构

4) 与汽车硬件部分进行连接

使用 LabVIEW作为平台，通过NI的 DAQ设备，就可以在一台普通PC上灵活地搭建自己的采集和控制系统，实现软件直接与硬件测控对象的通讯。这是实现该系统硬件在环的关键。

本系统采用NI公司的M系列多功能高速采集卡 PXI-6259，该DAQ卡支持模拟量的采集与输出，最大采集速率达 1.25MS/s，最大输出速率达 2.8MS/s，有 32个模拟量输入通道和4个模拟量输出通道，特别适合需要在高采样频率下保证高精度的数据采集应用。通过 LabVIEW，用户可以轻松地图形化编程，创建数据采集程序，对硬件进行测控。输入和输出信号采用SCB-68接口板与硬件连接。其中，AO0 直接与变频器连接，调节电机转速；AO1通过WLY-3A型电流调节器与磁粉离合器连接，调节所传递的最大扭矩；AO2通过 WLY-1A型电流调节器与磁粉制动器连接，调节所产生的制动力矩；AI0与扭矩传感器连接，采集实际制动力矩。如图4所示。



图4 与实际硬件的连接

5) 与ESP虚拟控制器连接

使用 LabVIEW中的 仿真接口工具包：Simulation Interface Toolkit (简称SIT) 作为桥梁,实现 LabVIEW与 Simulink的连接。LabVIEW仿真 接口工具包为从事控制
制系统设计和测试的 工程师提供了 LabVIEW和 MathWorks Simulink® 软件之间的无缝链 接。借助 LabVIEW仿真 界面工具包,用户可 创建自定义的 LabVIEW界面
以查看或控制运行中的Simulink 模型;同时,通过 LabVIEW平台,可以方便地将 Simulink模 型与各种实时硬件 I/O紧密集成,快 速创建基于 Simulink模 型的控制器建模和硬
件在环测试系统。

如图5所 示,将前面建立的软 件在环模型中的 ESP虚拟控制器的 制动力分配模块与整 车虚拟样机之间的连 接线断开,将制动力 分配模块所输出的各 车轮的制动力矩控制
信号定义为输出口,通过SIT与 LabVIEW连 接,并在 LabVIEW中将 该信号转换成电压模 拟信号,再通过 PXI 6259和 SCB-68传给实 际硬件 (磁粉制动器) 进行控制;同
时,将整车虚拟样机 的制动力矩信号的输 入端定义为常数输入,在 LabVIEW中将 PXI 6259采 集回来的实际硬件 (转矩传感器) 的电 压模拟信号转换为制 动力矩信号,同样通
过SIT实时地改变 这四个常数输入的 值,实现对整车虚拟 样机的制动干预。

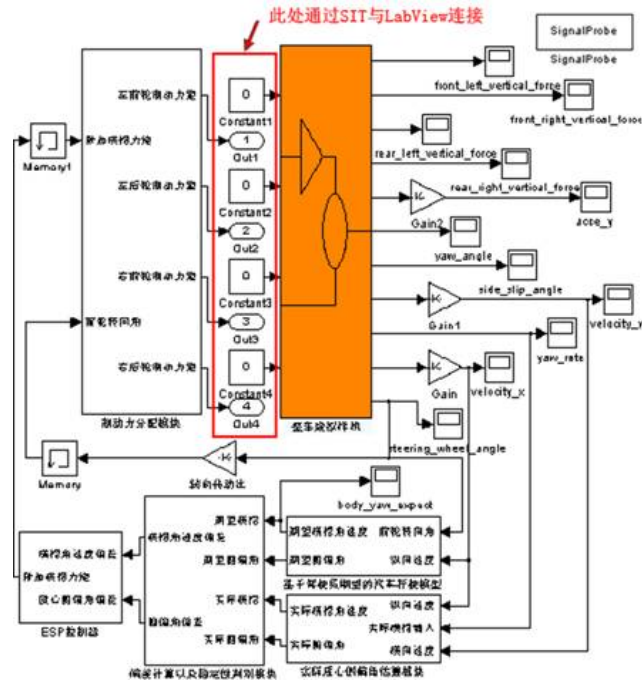


图5 通过仿真接口 工具包 (SIT) 将 LabVIEW与 Simulink连 接

6) 测控系统的界面

LabVIEW 为用户提供了大量虚 拟仪器控件,使界面 设计变得快捷和丰富 多彩。本文采用 LabVIEW为测 试系统开发了友好的人 机界面,如图6所 示。在系统运行之
前,要先进行初始化 设置,选择各硬件与 PXI-6259通 讯所对应的通道,以 及设定车轮的初始转 速和磁粉离合器的最大 传递扭矩;开始运 行后,界面右侧采用 标签分别实时显示横
摆角速度和质心侧偏 角的实际值和期望 值、输出及采集回来 的车轮制动力矩、附 加横摆力矩等数据; 运行结束时按“停 止”按钮,可自动将 所有数据及各参数保 存到硬盘,供后期处
理与分析。整个界面 简洁易懂,操作方 便。

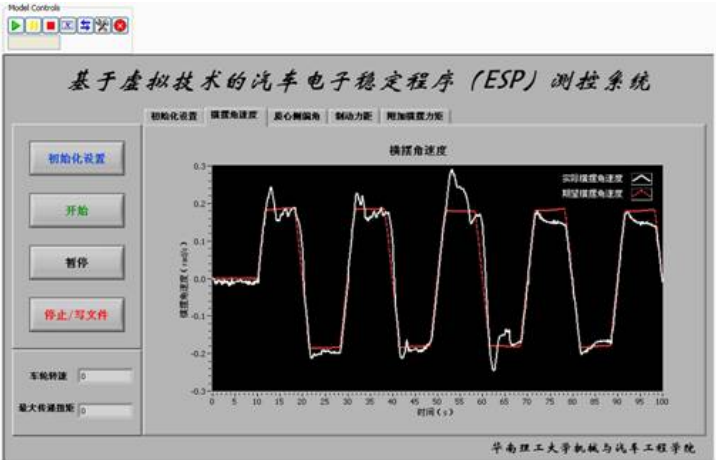


图6 测控系统界面

测控系统 后程序面板如图7所示。上方的循环使用 DAQ Assistant 负责数据采集，换算 后通过SIT将数据 传递给ESP虚拟控 制器；下方的循环负 责输出，通过SIT 将ESP虚拟控制器 计算出来的输出制 动力矩传到 LabVIEW，换 算后经过 DAQ_OUT子 VI输出控制硬件。

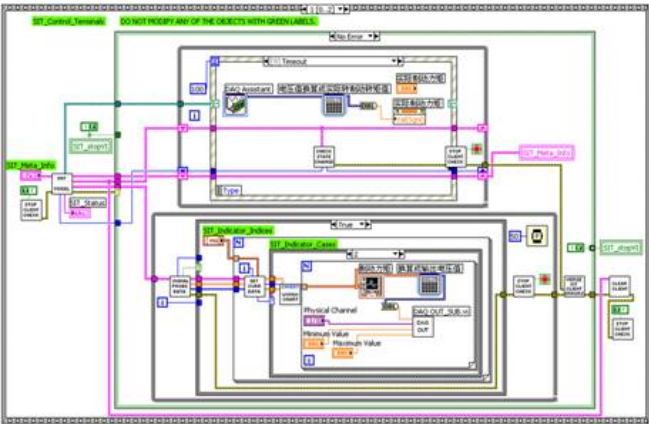


图7 测控系统程序 面板

至此，基于虚拟仪器（LabVIEW）、虚拟控制器（Simulink）和虚拟样机（ADAMS/CAR）这三大虚拟技术的 ESP测控系统已经 开发完成。

4、硬件在环实验结 果分析

在所搭建的ESP测控系统中 分别进行了双移线实 验和方向盘转角多 周期正弦输入实验，以 验证所提出的ESP 控制方法的有效性。如图8、图9所示，通过横摆角速度和质 心侧偏角这两个关键 评价指标分别在硬件 在环实验、软件在环 实验以及硬件开环实 验（无反馈控制）的 结果与理想值的对比 可以看出，该控制控 制方法可以很好地保 证汽车行驶的稳定性，具有良好的鲁棒 性，满足ESP控制的要求。

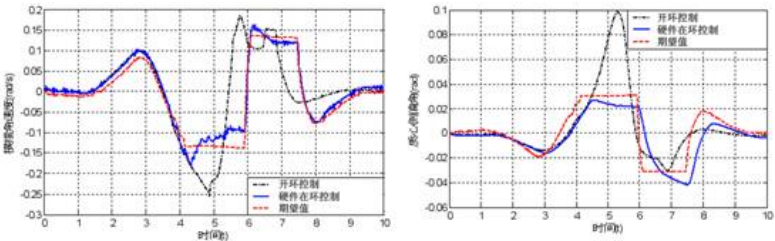


图8 双移线实验结 果

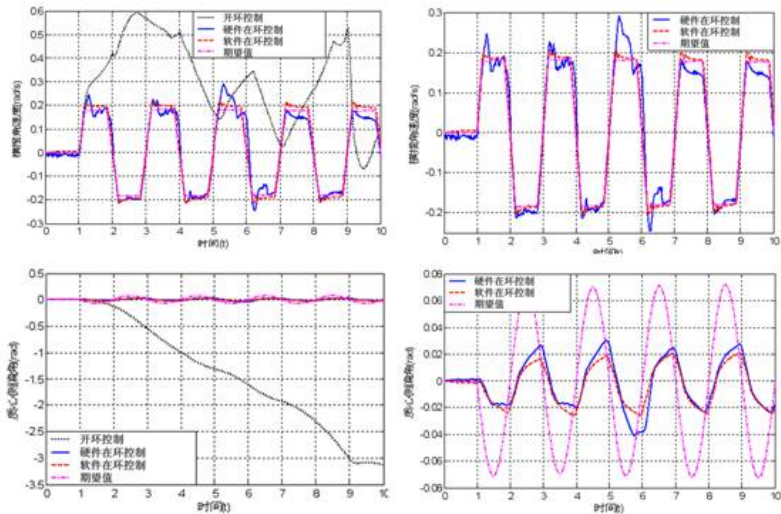


图9 方向盘转角多 周期正弦输入实验结 果

5、结论

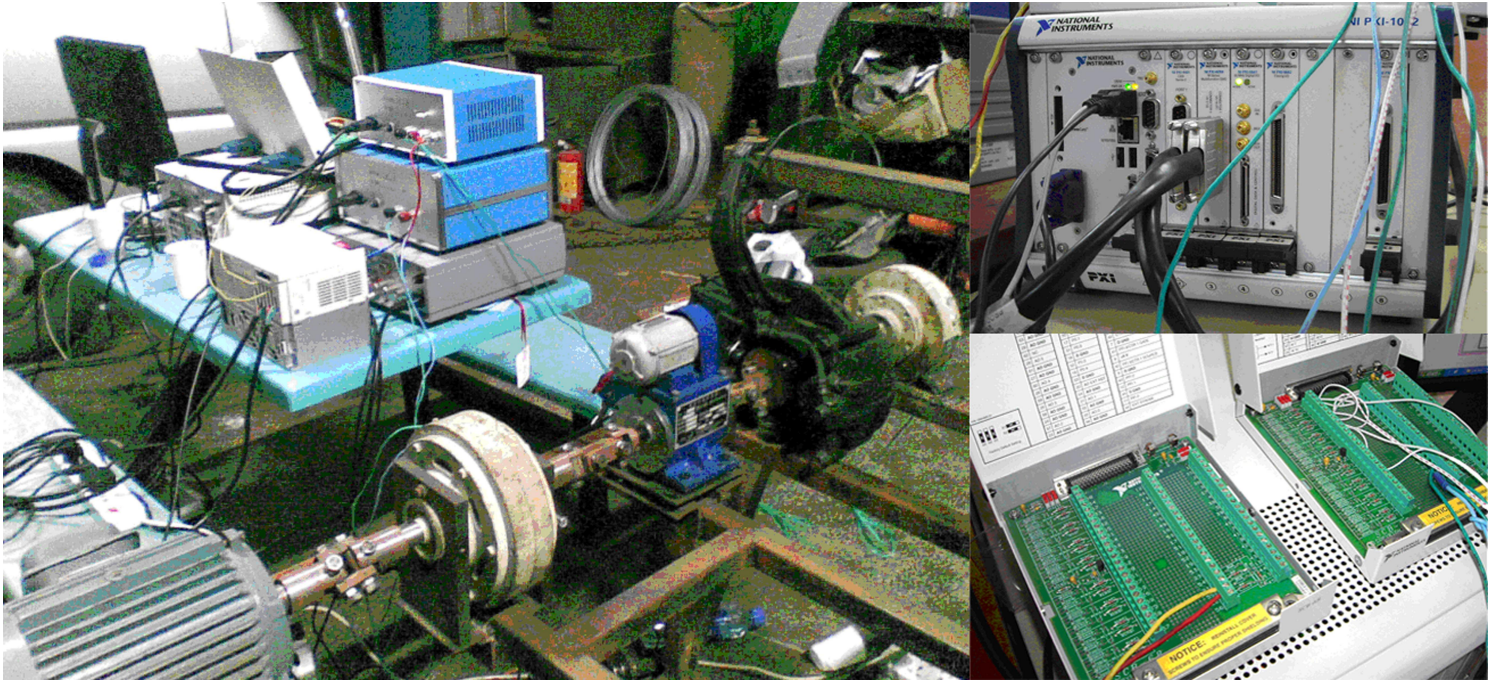
通过NI 公司先进的PXI 技术，能够准确而快速 地对硬件进行控制和 数据采集；同时， LabVIEW对其 其他的仿真控制软件具 有很高的开放性和兼 容性，通过仿真接口 工具包 (SIT)， 能够很方便地与 Simulink进 行通讯，从而实现 Simulink与 硬件的连接；本文充 分发挥相关软件在虚 拟技术不同领域的优 势，实现了虚拟仪器 (LabVIEW)、 虚拟控制器 (Simulink) 和虚拟样机 (ADAMS/CAR) 的联合工作，以 LabVIEW为平 台，开发出基于虚拟 技术的ESP测控系 统，并验证了所提出 的控制方法的有效 性。

欢迎您点击“[请NI工程师回电!](#)”，马上申请NI测 控专家的专业技术咨询！

更多获奖征文请访 问：www.ni.com/china/papercontest

Author Information:

洪 兢
华南理工大学



与实际硬件的连接

Legal

This case study (this "case study") was developed by a National Instruments ("NI") customer. THIS CASE STUDY IS PROVIDED "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND AND SUBJECT TO CERTAIN RESTRICTIONS AS MORE SPECIFICALLY SET FORTH IN NI.COM'S TERMS OF USE (<http://ni.com/legal/termsofuse/unitedstates/us/>).