

# 基于 CAN 通信的混合动力系统硬件在环仿真实验

胡建军 赵玉省 秦大同

重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆,400044

**摘要:**以 ISG 型轻度混合动力系统为研究对象,构建了 dSPACE 环境下的混合动力系统硬件在环仿真实验平台,进行了基于 CAN 通信的混合动力系统动力总成控制器的硬件在环仿真实验,对混合动力系统启动、加速助力、匀速充电等不同工况的动态特性进行了仿真实验和分析。

**关键词:**混合动力系统;控制;CAN;硬件在环仿真

**中图分类号:**U467

**文章编号:**1004—132X(2008)03—0300—05

## Hardware—In—Loop Simulation of HEV System Based on CAN

Hu Jianjun Zhao Yusheng Qin Datong

State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing, 400044

**Abstract:** Using the ISG type mild hybrid electric vehicle(HEV) as research object, a Hardware—In—Loop simulation system of hybrid electric powertrain had been built by using dSPACE. A Hardware—In—Loop simulation experiment of hybrid electric powertrain control unit was carried out based on CAN, and the dynamic characteristics of hybrid electric powertrain was tested and analyzed under different working modes such as engine start—up, accelerating assist and battery charging at equable speed. The research lays a foundation for control strategy optimization of hybrid electric powertrain control unit.

**Key words:** hybrid electric powertrain; control; Control Area Network(CAN); hardware—in—loop simulation

## 0 引言

混合动力电动汽车(hybrid electric vehicle, HEV)以其良好的燃油经济性和排放性能,成为当前世界范围内新型汽车发展的重要方向之一。与传统汽车相比,HEV 的动力传动系统和整车控制系统更加复杂,辅助动力源的增加以及电控单元的大量应用使 HEV 控制系统需要交互的数据量急剧增大,且 HEV 要求传递的数据具有很高的实时性,以便及时控制整车的运行状态<sup>[1]</sup>。因此,先进的混合动力系统需要一套高效缜密、具有高可靠性和良好扩展性的通信系统。

CAN 总线是由德国 BOSCH 公司在 20 世纪 80 年代初为解决汽车控制系统与测试仪器之间的数据传输而开发的一种串行多主总线通信协议<sup>[2]</sup>。CAN 总线控制系统强调集成模块化工作方式,具有可靠性高、抗干扰能力强、配置灵活、实时性好、系统错误检测和隔离能力强等优点,同时,各模块都能够比较独立地工作,避免了各模块之间的相互干预。目前 CAN 通信在汽车车载通信网络中的应用相当广泛,并且已经成为汽车电子通信的发展趋势,研究 CAN 通信在混合动力系统中的应用具有十分重要的意义。

CAN 遵从 OSI 模型,按照 OSI 模型标准将

CAN 结构划分为两层:数据链路层和物理层。在 CAN 技术规范 2.0B 中,数据链路层又包括逻辑链路控制子层 LLC 和媒体访问控制子层 MAC<sup>[3]</sup>。

CAN 通信网络在进行数据传送时,发出报文的单元称为该报文的发送器。该单元在总线空闲或丢失仲裁前恒为发送器。如果一个单元不是报文发送器,并且总线不处于空闲状态,则该单元为接收器。CAN 报文传送由 4 种不同类型的帧(数据帧、远程帧、出错帧和超载帧)表示和控制。

目前,随着 CAN 通信网络的广泛应用,CAN 的应用层协议有了很大的发展,出现了很多应用于不同方面的高层协议,如 SAE J1939、CANopen、DeviceNet 等,其中 SAE J1939 由美国汽车工程师协会制定,主要应用于以柴油机为动力的卡车、公共汽车以及非陆地的交通工具<sup>[4]</sup>。而对于乘用车,尤其是采用较多电子器件的轿车,CAN 通信还没有统一的应用层标准。本论文的研究对象——ISG 型混合动力长安轿车为轻度混合动力系统,应针对其结构特点和控制需求而制定相应的应用层协议。

## 1 混合动力系统与硬件在环仿真技术

### 1.1 轻度混合动力系统的构成

ISG 型轻度混合动力系统主要由混合动力系统动力总成控制器、发动机、ISG 电机、无级自动

收稿日期:2006—12—09

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50475067);重庆市自然科学基金资助项目(8718)

变速器 (continuously variable transmission, CVT)、蓄电池、显示仪表等功能模块组成。它具有两个动力源:发动机为主动动力源,ISG 电机为辅助动力源。在混合动力汽车启动时,ISG 电机作为发动机启动电机,可以迅速带动发动机启动,避免发动机处于怠速工况,从而获得较好的燃油经济性;上坡及加速时,ISG 电机作为电动机使用,对整车进行助力,从而提高汽车的爬坡能力和动力性能;在下坡或刹车制动时,ISG 电机作为发电机使用,再生制动的能量通过 ISG 发电,并将电能储存在蓄电池中;当汽车处于驻车工况时,发动机停止工作,达到节能、环保的目的。

系统中每个模块都有自己的电控单元,由自己的微处理器来控制该模块运行。动力总成控制器与其他各节点相互交换数据,其他各节点之间也可以相互交换数据。

ISG 型轻度混合动力系统本身具有非线性动态特性,对控制的安全稳定性及极限环境测试有较高要求。因此,在系统投入实际运用前,使用硬件在环仿真技术对系统进行性能研究及测试是十分必要的。

### 1.2 硬件在环仿真技术

硬件在环仿真系统的基本构成可分为 4 个部分:实物、模型、接口系统以及交互式的实时监控系统<sup>[5]</sup>。其中:实物是系统中的真实控制对象;模型是将系统其他对象以仿真模型代替;实时监控系统是整个系统的指挥中心,通过它可以对参数进行调整,并可以对数据进行实时采集和输出;接口系统则负责实时数据交换和信息传递。

本文的目标是建立基于 CAN 通信网络的 ISG 型混合动力系统的硬件在环仿真系统,为完善混合动力系统动力总成控制器的性能提供研究平台。系统中的硬件必须能满足高实时性的要求,软件则应开发过程相对简单,易于扩展。

因此,本文采用德国 dSPACE 公司生产的实时仿真计算系统。该系统是用于控制器开发的辅助设计与测试平台。使用 dSPACE 实时仿真系统开发控制器硬件在环仿真控制系统,可以方便地使用 MATLAB/Simulink 系统建立被控对象的模型,同时利用与 dSPACE 配套的 ControlDesk 软件快捷地建立和修改模型、配置和扩展接口以及完成整个系统的集成和调试工作。

## 2 混合动力系统硬件在环系统的设计

### 2.1 系统构成

基于 CAN 通信的 ISG 型混合动力系统硬件

在环仿真系统的实物部分包括发动机控制器、ISG 电机控制器、CVT 控制器、电池管理系统和显示控制器,模型则是混合动力系统动力总成控制器,系统主要通过 CAN 通信接口进行数据交换,人机交互主要由 ControlDesk 软件开发的实时监控系统的实现,最终构成一个分布式的 CAN 通信网络控制系统。系统各部分的构成关系如图 1 所示,图中列出了各子系统通过 CAN 通信网络与动力总成控制器之间交换的主要数据:  $O_1$  为扭矩需求、怠速转速等;  $I_1$  为发动机转速、燃料消耗等;  $O_2$  为目标扭矩、启动或停止等;  $I_2$  为 ISG 扭矩、输出最大力矩等;  $O_3$  为电池管理系统目标状态等;  $I_3$  为电池荷电状态值、电流等;  $O_4$  为目标速比、离合器状态等;  $I_4$  为驱动油缸压力、润滑油温度等;  $O_5$  为车辆控制模式等;  $I_5$  为制动板位置、车钥匙状态等。

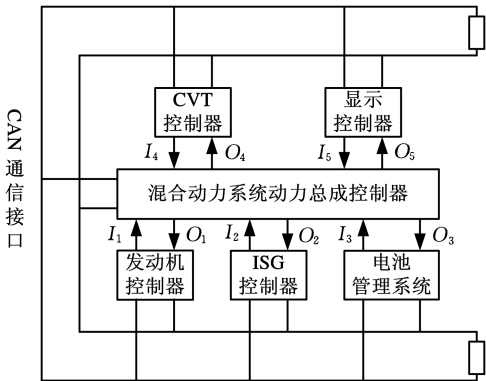


图 1 基于 CAN 通信的硬件在环仿真系统的构成

CAN 通信网络采用多主通信方式,通信节点不分主从,物理地位是平等的,即图 1 中任意两个节点之间都可以直接通信。由于混合动力系统控制方案的需要,研究中把动力总成控制器作为系统的上位控制器(可以理解为主节点),这样更有利于控制系统的开发。

### 2.2 实物节点

CAN 网络通信节点的硬件组成包括:微控制器 MCU、CAN 协议控制器、CAN 收发器三部分。本系统中协议控制器和收发器选用 Philips 公司的 SJA1000 和 PCA82C250,微控制器则根据不同节点的控制需求分别选用。图 2 为实物通信节点驱动电路的原理图。

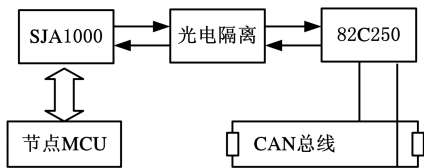


图 2 CAN 通信节点驱动电路原理图

驱动电路内部采用了限流电路,可防止发送输出级短路,可以提供对总线的差动发送能力和对 CAN 控制器的差动接收能力,具有抗汽车环境下的瞬间干扰和保护总线的能力<sup>[6]</sup>。

### 2.3 仿真节点

系统中仿真节点只有混合动力系统动力总成控制器,它是混合动力系统的控制核心,也是混合动力系统控制策略的具体实现。本文采用 MATLAB/Simulink 系统来建立仿真模型,dSPACE 可实现与 MATLAB/Simulink 的完全无缝连接,显著提高了系统的开发效率。

### 2.4 接口系统

混合动力系统硬件在环仿真系统中的接口系统包括软件和硬件两部分。系统的建立中应用了 dSPACE 实时仿真系统,所以仿真模型接口软件的编制工作已经耦合到 Simulink 的仿真环境中。同时由于系统采用 CAN 通信技术进行数据交换,各节点遵循统一的通信规范,因此不需要额外的信号调理电路,把实物节点 CAN 接口和仿真节点 CAN 接口直接用双绞线相连就可以实现通信。

## 3 仿真实验

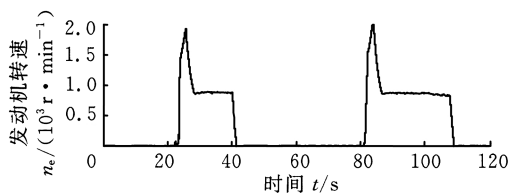
混合动力系统硬件在环仿真实验在 ISG 型混合动力系统实验台上进行,系统中发动机采用的是 1.6L 的 JL475Q3 汽油机,由发动机控制器进行控制;ISG 电机采用额定功率为 10kW 的永磁无刷直流电机,由 ISG 电机控制器进行控制;电池采用的是额定电压为 144V,额定容量为 6.5Ah 的 NiMH 蓄电池组,由电池管理系统进行管理;变速装置采用配备有液力变矩器的无级变速器,由 CVT 控制器进行控制。以上各控制器通过 CAN 总线与混合动力系统动力总成控制器进行数据交换。

在 ISG 电机输出端和制动器输入端分别安装一个转矩转速传感器,其转速转矩信号由工控机采集,通过串口通信方式将数据发送给 dSPACE 系统;仿真模块的模型在笔记本电脑中编写,笔记本电脑通过 LAN 网线,与 dSPACE 的 AUTOBOX 控制箱连接,从而实现硬件在环仿真实验。仿真实验模拟混合动力系统的 3 种工况:启动、加速和匀速充电。

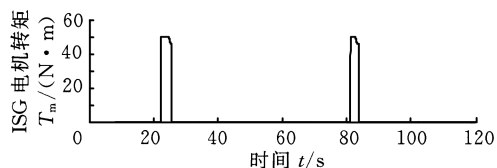
### 3.1 启动工况

启动是指由 ISG 电机取代传统发动机启动电机,将发动机转速带动到 850r/min 左右,发动机点火运行,随后 ISG 电机停止工作。ISG 电机

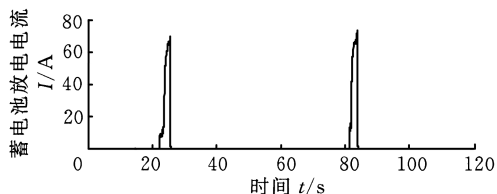
的能量由 NiMH 蓄电池提供。实验记录了各主要参数的变化情况,如图 3 所示。



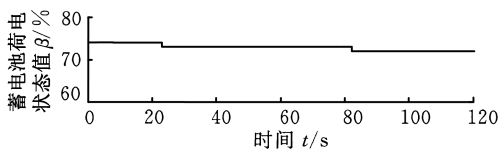
(a) 发动机转速随时间的变化



(b) ISG 电机转矩随时间的变化



(c) 蓄电池放电电流随时间的变化



(d) 蓄电池荷电状态值随时间的变化

图 3 启动工况实验结果

从图 3 中可以看出,先后完成了两次启动实验,两次实验的结果比较一致,ISG 电机启动目标转矩为 50N·m,NiMH 蓄电池的放电电流达到约 60~70A,蓄电池的荷电状态值在启动时也有所降低。

### 3.2 加速工况

在发动机启动后,将 CVT 置于 D 挡,踩下油门踏板,随着油门的增加,模拟车速增加到 50km/h 左右,CVT 速比按照给定的目标速比进行控制,在模拟车速大于 15km/h 时,变矩器闭锁。整个过程中,实时记录下各参数量的变化情况,特别是 ISG 电机的助力情况,并观察蓄电池的荷电状态和电压变化情况。实验结果如图 4 所示。

从图 4 中可以看出,随着油门踏板开度的增加,车速增大,在加速阶段,ISG 电机为发动机提供助力,汽车的动力由 ISG 电机和发动机共同提供,ISG 电机的助力大小与油门开度有关(油门开度越大,提供的助力越大),也与车速变化率即车辆加速度有关。蓄电池放电电流的变化趋势与 ISG 电机助力的变化趋势一致,荷电状态值也相

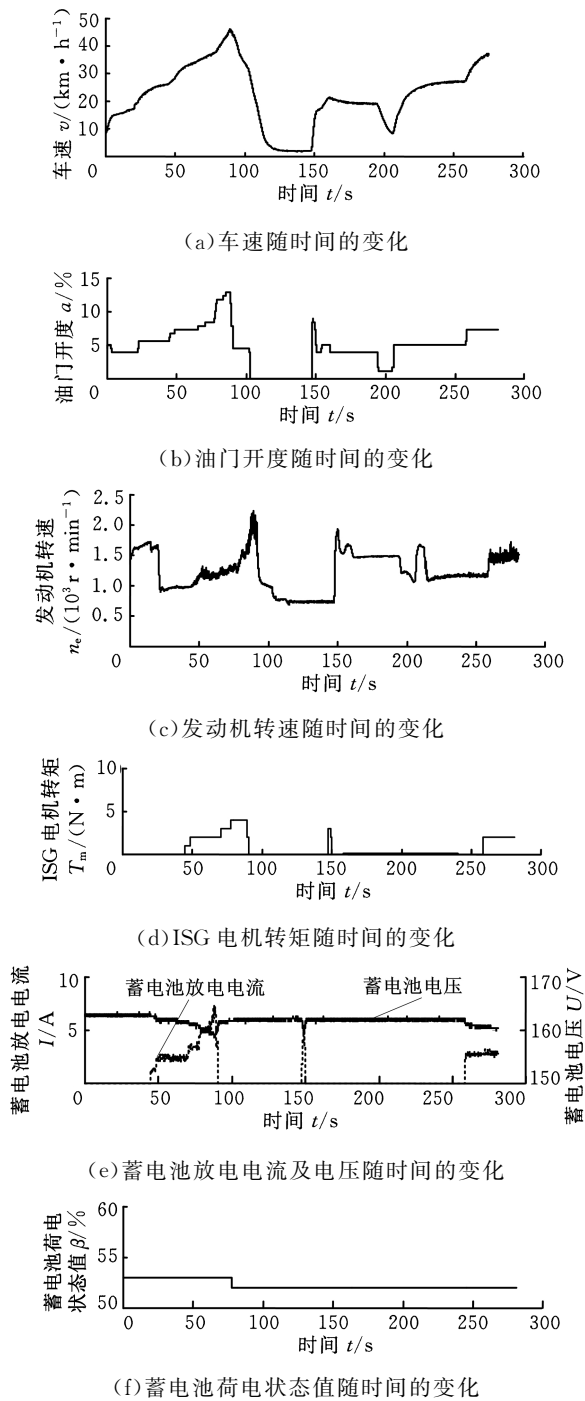


图 4 加速工况实验结果

应的降低。

### 3.3 匀速充电工况

将 CVT 置于 D 挡,踩下油门踏板,将模拟车速增加到 35km/h 左右,ISG 电机工作在发电机模式,将发动机的动力转化为电能来为 NiMH 蓄电池充电。实验结果如图 5 所示。

图 5 中可以看出 ISG 电机发电时的转矩和充电电流的变化情况。蓄电池荷电状态随着充电时间的推移,不断上升,直到充电结束。在整个充电过程中,汽车保持匀速行驶,CVT 速比基本保持恒定。

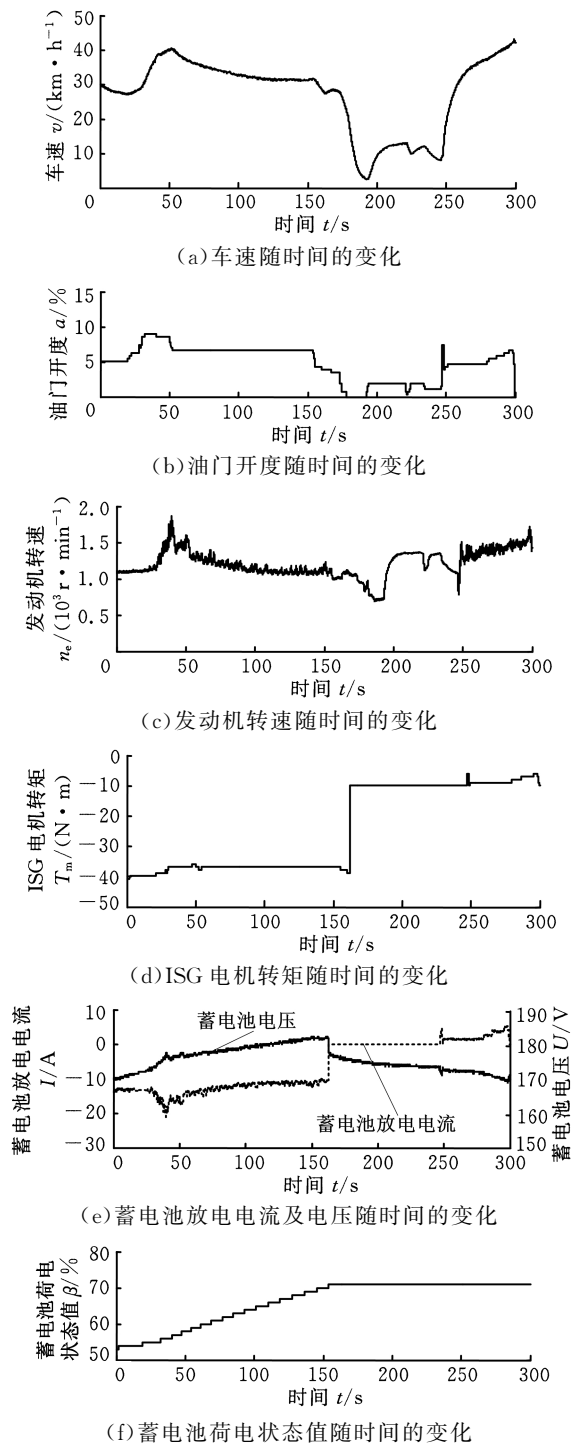


图 5 匀速充电实验

## 4 结论

(1)检验了混合动力系统动力总成控制器的性能,表明系统的控制策略有效,通过怠速启停、加速助力、匀速充电等措施,实现了整车经济性和动力性的提高。

(2)所构建的硬件在环仿真平台,实现了 dSPACE 实时计算系统和 MATLAB/Simulink 的无缝连接以及仿真实验过程中的参数整定、数据观察、分析和储存。



# B 样条曲线曲面的二阶预测压缩算法

刘 俊 王启富 陈立平 刘云华

华中科技大学国家 CAD 支撑软件工程技术研究中心, 武汉, 430074

**摘要:** B 样条曲线曲面密集控制点是造成 CAD 模型数据量庞大的因素之一, 对其进行压缩编码, 能有效减少 CAD 模型数据量。提出一种局部坐标系下二阶预测编码算法, 对 B 样条控制网格构造局部坐标系, 在局部坐标系下对控制点进行一阶预测, 对相邻控制点一阶预测误差再进行二阶预测, 对二阶预测误差量化后进行算术编码。分析了量化参数对曲线曲面误差的影响。实验结果表明, 该算法预测准确性较高, 预测误差分布集中, 可以获得较高压缩率, 达到压缩 CAD 产品模型目的。

**关键词:** 三维 CAD 模型; B 样条; 预测编码; 二阶预测

**中图分类号:** TP391

**文章编号:** 1004—132X(2008)03—0304—04

## Compression of B-spline Based on Local Coordinate Second-order Prediction

Liu Jun Wang Qifu Chen Liping Liu Yunhua

National CAD Support Software Engineering Research Center,

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074

**Abstract:** To reduce the data size of CAD product model, we presented an algorithm to compress the B-spline curves and surfaces based on second-order prediction in local coordinate system. The algorithm procedure included constructing local coordinates for control points, first-order prediction in local coordinate system, second-order prediction, quantization and entropy coding for second-order prediction errors. We analyzed the curve and surface distortion brought by quantization. Experimental results show that of the prediction error is lesser and the distribution is more centralized than that of the previous work. The algorithm can obtain higher compression ratios.

**Key words:** 3D CAD model; B spline; prediction code; second-order predict

## 0 引言

在分布式协同产品开发过程中, 大量 CAD 产品模型需要通过网络传输在协作者之间进行交换与共享。随着产品复杂程度的增加, 产品模型

数据越大, 给模型存储和网络传输带来沉重负担, 导致协同开发效率显著降低。如何压缩产品模型规模使之便于网络快速传输已成为当前迫切需要解决的瓶颈技术。

随着设计产品复杂性的不断提高, 往往产生大量曲线曲面。描述复杂曲线曲面常常需要大量

收稿日期: 2006—10—26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60673030)

(3) 整个仿真实验过程中, 混合动力系统各部分运行正常, 相互匹配合理, 各主要参数变化符合混合动力系统运行规律, 表明 CAN 通信网络满足混合动力系统需求, 能够很好地实现动力总成的控制。

## 参考文献:

- [1] 任勇, 秦大同, 杨亚联, 等. 混合动力汽车的研发实践[J]. 重庆大学学报, 2004, 27(4): 27-30.
- [2] 郭宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [3] 李正军. 现场总线及其应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [4] 董珂, 李克强, 冯能莲, 等. CAN 总线技术及其在混

合动力电动车上的应用[J]. 清华大学学报, 2003, 43(8): 30-33.

- [5] 王建强, 罗禹贡, 程莺, 等. 混合动力汽车多能源动力总成控制器硬件在环仿真系统[J]. 中国机械工程, 2005, 16(16): 1478-1480.
- [6] 肖朝晖, 谭进, 李山, 等. 混合动力汽车中 CAN 总线技术的应用[J]. 重庆大学学报, 2005, 28(6): 68-70.

(编辑 张 洋)

**作者简介:** 胡建平, 男, 1973 年生. 重庆大学机械传动国家重点实验室副教授、博士。主要研究方向为车辆动力传动及其控制。发表论文 38 篇。赵玉省, 男, 1984 年生. 重庆大学机械传动国家重点实验室硕士研究生。秦大同, 男, 1956 年生. 重庆大学机械传动国家重点实验室教授、博士研究生导师。