

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.03.013

基于模型的线控转向执行电机测试研究^{*}

胡丽楠, 陈国金^{*}, 陈慧鹏, 金绍勋
(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为了解决传统仿真方法需要人工编写大量程序代码的问题,将基于模型的仿真技术应用到电机的测试中。以 Simulink 和 TMS320 F28335 为工具搭建了基于模型的线控转向执行电机仿真平台。该平台针对转向执行电机在 Simulink 环境中建立了相应的电机测试控制模型,将目标机模型执行编译指令、自动代码生成、连接并下载入目标开发板中。角度传感器的角度变化即为转向执行电机的控制信号源,通过转动角度传感器改变输出电压来对电机进行控制。目标开发板模拟量的接收范围为 0~3 V,设置 1.5 V 为电机正反转基准,通过将实际的模拟量和 1.5 V 进行比较来判断电机的转向。测试结果表明,采用基于模型的设计方法,缩短了测试及开发周期,同时验证了借助所搭建的仿真平台可以有效地对电机进行测试。

关键词:基于模型的设计;仿真平台;线控转向系统;转向执行电机

中图分类号:TH134;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)03-0330-04

Executive motor of steer-by-wire system test based on model

HU Li-nan, CHEN Guo-jin, CHEN Hui-peng, JIN Shao-xun
(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the problem of writing a large number of codes in the traditional simulation, the model-based design was investigated. Simulink and TMS320 F28335 were used as the tool to establish the simulation platform of the executive motor. The corresponding model of the motor was built by the platform in Simulink. The target model was compiled. Then, the codes were generated automatically and downloaded to the target board. The angle change of the transducer was seen as the control source of the motor. By twirling the angular transducer, the output voltage was changed, thus the motor can be controlled. The voltage range of the target board was from zero to three. One volt and a half was set up as the reference of the motor's direction. The direction was judged by comparing the actual voltage with the reference one. The results indicate that the method of model-based design shortens the development cycle, proving that the platform can control the motor effectively.

Key words: model-based design; simulation platform; steer-by-wire system; executive motor

0 引言

目前,市场上含有嵌入式系统的产品已经深入到工作、生活的方方面面。传统的嵌入式系统开发的工作流程主要分为相互独立的需求分析、设计、实现与测试 4 个阶段。其开发流程中技术规范采用电子文档或者纸质文档描述系统对象,系统设计开发人员常存在

理解偏差,同时在实现阶段通常需要手工编写代码,因此工作效率低,同时,不可避免地会引入人为失误。而且,上述问题在最后的测试阶段才能发现,这样不但会增加成本而且会延误开发周期。基于模型的设计为工程师们提供了一种通用的开发与测试平台,使得传统系统开发的 4 个阶段有机结合在一起,通过系统设计过程中一系列的测试和验证可以保证及时发现、查找

收稿日期:2013-12-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51105125)

作者简介:胡丽楠(1990-),女,河南三门峡人,主要从事线控转向系统方面的研究。E-mail:hln3333@163.com

通信联系人:陈国金,男,教授,博士生导师。E-mail:chenguojin@163.com

并修改系统存在的错误^[1-3]。

本研究通过搭建基于模型的设计仿真平台,建立线控转向执行电机控制模型并对其进行转速和转向的仿真测试。

1 基于模型的设计及其仿真平台

1.1 基于模型的设计

基于模型的设计开发过程以一个系统为模型中心,通过模型提炼出可执行的规范,进行设计与仿真及代码自动生成、测试与验证^[4-5]。可执行的规范是系统级模型,是被控对象和控制系统的统一描述,能够与设计的目标清晰地沟通,并且允许通过仿真对规范要求进行可行性和兼容性分析。

基于模型的设计是一种快速、高效的开发动态系统的方法,相对于传统系统开发流程,它的优势在于:

(1)模型是可执行的规范,取代了纸质文档规范,在整个系统开发过程中遵循统一环境下的统一模型,通过仿真计算,在设计初期就可以针对设计思想进行验证;

(2)在统一的开发测试平台上,允许产品从需求分析阶段就开始验证,并做到持续不断的验证与测试,通过仿真、验证和测试,可以考察系统不同组件对整个系统的影响,在开发过程中确保系统的性能指标;

(3)采用自动代码生成技术,摆脱繁琐的代码编写和调试工作,开发者把主要精力放在算法和测试方法的研究上,嵌入式代码的生成和验证过程则留给计算机自动去完成。

1.2 基于模型的仿真平台

目前国际上主流的基于模型设计的软件主要有SCADE和Matlab,并且它们都成功地应用于大型项目的开发上^[6]。Matlab是美国MathWorks公司出品的商业化数学软件,用于动态系统和嵌入式系统的多领域仿真和基于模型的设计仿真。MathWorks公司还为Matlab提供了新的控制系统模型图形输入与仿真工具Simulink,Simulink提供了高效、易用、开放的模块化建

模环境,鼓励协作,弥补了传统的设计和开发工具的不足^[7]。因此,本研究使用Matlab/Simulink建立相应的电机测试控制模型。MathWorks经过和TI公司多年的合作,共同开发出了嵌入式代码集成开发Embedded Coder统一模块,使得针对目标板嵌入式代码开发更具统一性、系统性和完整性。目前,Matlab支持TI C2000、C5000、C6000系列芯片,鉴于TI C2000在控制领域强大的优势,本研究采用C2000系列作为处理芯片。在C2000系列芯片中,由于TMS320 F28335芯片为浮点构架,与其他DSP控制芯片相比,DSP程序运算性能优越、编程结构简单、代码长度短、运算精度高^[8]。因此,本研究采用TMS320 F28335作为硬件仿真平台。

1.3 基于模型的设计流程

基于Simulink和TMS320 F28335仿真平台的设计流程如下:

- (1)根据需求分析建立相应的Simulink系统模型;
- (2)对模型进行编译下载并生成代码,将所生成的代码下载到目标板上;
- (3)目标板对模型代码进行运行、测试与验证。

2 转向执行电机控制模型的建立

2.1 Stateflow逻辑控制模型

线控转向系统中,TMS320 F28335目标板接收并处理方向盘转角信号,转向执行电机从TMS320 F28335目标板中获取经过控制算法处理后的转向执行指令,完成相应的转向动作。为方便对转向执行电机进行测试,这里采用角度传感器代替方向盘组件。目标开发板模拟量接收的范围为0~3V,笔者设置1.5V为转向执行电机正反转基准,通过将实际的模拟量和1.5V基准进行比较,转换为角度传感器转角矢量 θ 。Stateflow通过对 θ 进行分析,判断电机的转向。角度传感器转角矢量 θ 、转向执行电机电压控制模拟量Voltage和高、低电平Logical_level有如下关系:

$$\left\{ \begin{array}{lll} \theta < -700^{\circ} & \text{Voltage} = 0 & \text{Logical_level} = 0 \\ -700^{\circ} \leq \theta < -10^{\circ} & \text{Voltage} = -\frac{2}{690}(\theta + 10^{\circ}) & \text{Logical_level} = 0 \\ -10^{\circ} \leq \theta \leq 10^{\circ} & \text{Voltage} = 0 & \text{Logical_level} = 0 \\ 10^{\circ} < \theta \leq 700^{\circ} & \text{Voltage} = \frac{2}{690}(\theta - 10^{\circ}) & \text{Logical_level} = 1 \\ \theta > 700^{\circ} & \text{Voltage} = 0 & \text{Logical_level} = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

式(1)为分段式逻辑控制,通过Simulink中的Stateflow逻辑建模可以实现。Stateflow是有限状态机

的图形实现工具,它使用流程图和状态转移图等概念,用以解决复杂的监控逻辑问题^[9]。用户可以通过图

形化工具实现在不同状态之间的转换,Stateflow 通常直接嵌入到 Simulink 仿真模型中并在仿真初始化阶段将逻辑图形通过编译程序转换成 C 语言,使两者有机地

结合在一起^[10]。角度传感器转角矢量 θ 、转向执行电机电压控制模拟量 Voltage 和高、低电平 Logical_level 之间的逻辑关系通过 Stateflow 搭建逻辑图形如图 1 所示。

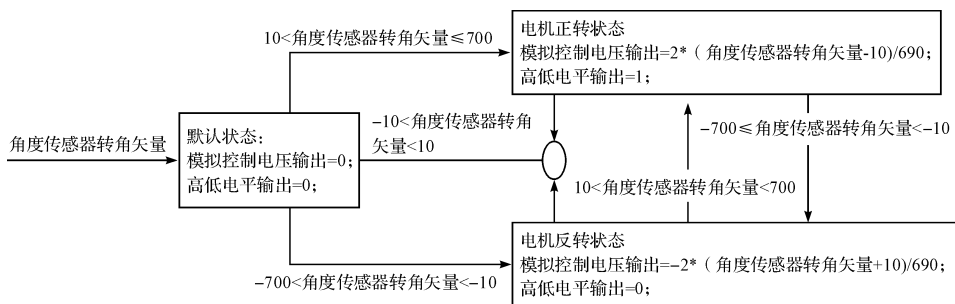


图 1 Stateflow 逻辑控制图

2.2 Simulink 主机模型和目标机模型

针对转向执行电机的测试建立的 Simulink 目标机模型如图 2 所示。其中的 Stateflow block 模块即为逻辑控制模块。由于 F28335 内部进行的运算都是数字量运算,为了方便地进行逻辑判断以及给出模拟量输出,需要在模型中根据模数转换自行封装设置模数转

换子系统和数模转换子系统,通过 direction_excute 模块输出高低电平。另外,为方便在电脑主机中实时观测到相关的数据,本研究在模型中添加串口发送模块 SCI Transmit,将角度传感器输出电压、角度传感器转角矢量和转向执行电机模拟控制电压分别发送给电脑主机进行观测。

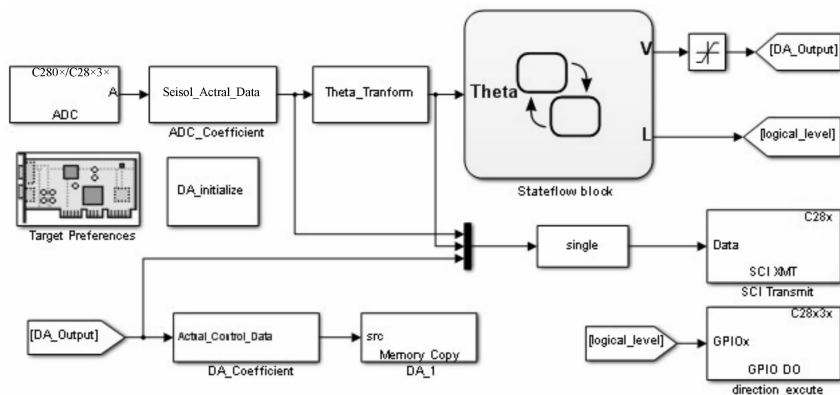


图 2 Simulink 目标机模型

Simulink 主机模型包括串口接收模块 SCI Receive、串口通讯设置模块 SCI Setup 和显示模块,它的主要功能是实时接收采集目标机传递过来的信号并进行监控和分析。其模型图如图 3 所示。

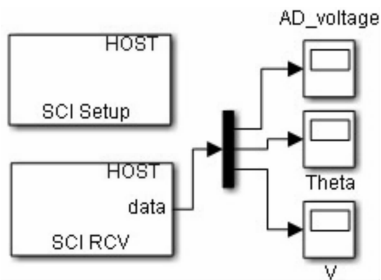


图 3 Simulink 主机模型

3 转向执行电机测试验证及结果分析

3.1 转向执行电机测试

本研究在完成转向执行电机控制模型的建立的基

础上对其进行了测试和验证,主要包括对电脑主机、仿真器、目标板、角度传感器、转向执行电机驱动器、转向执行电机和直流电源的测试,对 Simulink 转向电机控制模型进行编译、自动代码生成、连接并下载到目标板上,角度传感器的角度变化即为转向执行电机控制信号源。为方便对角度传感器输出电压、传感器角度矢量以及目标板电机控制电压的实时获取,本研究在目标机模型中设置串口通信模块将上述实时数据通过串口通信进行数据交互并在电脑主机端实时接收并动态显示。这样既可以保证在测试过程中目标板接收模拟量不超过量程,另外也可将所得的数据和实际电机工作进行对比。

3.2 测试结果分析

转向执行电机测试过程中电脑主机通过串口通信接收到的数据如图 4 所示。

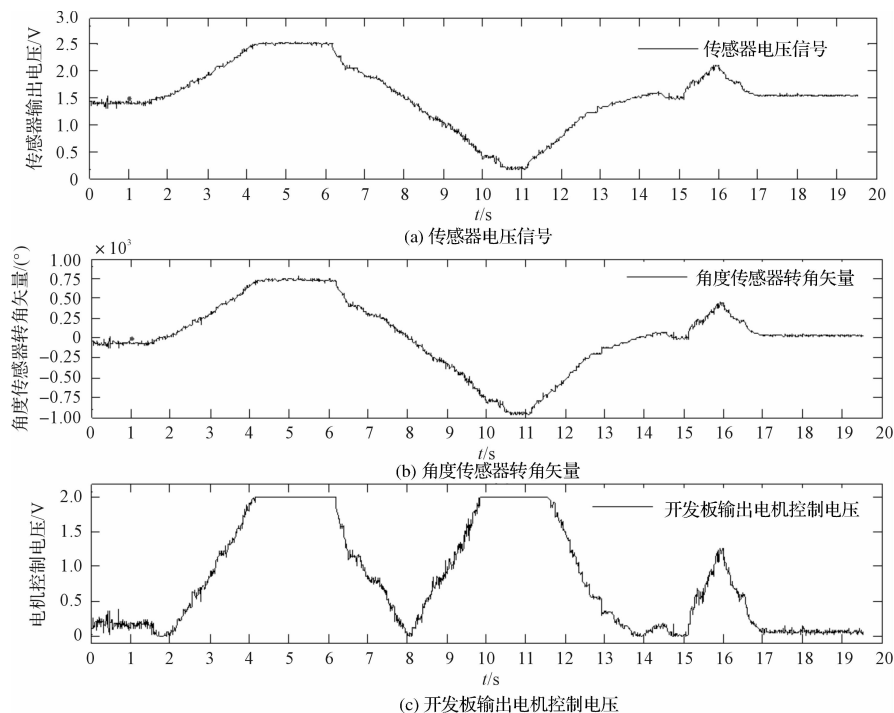


图4 电机测试对应数据图

从图4所示的传感器输出电压和角度传感器转角矢量曲线对比可知,当转动角度传感器改变输出电压信号时,角度传感器转角矢量大小也将发生变化。通过模型中设置的对应算法转换使得电机控制电压产生对应的输出。因为转向执行电机的模拟电压控制量为0~2 V,当电机控制电压超过2 V的时候则达到饱和值维持不变直到其小于2 V。当传感器输出电压低于1.5 V时,角度传感器转角矢量方向随之发生变化,从而使得输出高低电平发生变化,进而控制电机改变转动方向。

4 结束语

本研究通过基于模型的设计对线控转向系统转向执行电机进行测试,在Simulink环境中搭建了电机的控制模型,将模型编译、下载到目标板中进行测试与验证。所得到的数据以及测试效果表明,通过采用基于模型的设计对转向执行电机进行测试,避免了对目标板人工编写程序代码,从而缩短了测试及开发周期,同时验证了转向执行电机能够在本研究所建立的电机控制模型控制作用下正常工作,为汽车线控转向系统的研究提供了理论基础。

参考文献(References):

[1] 俞张辉,张自强,顾美康. 基于模型的设计思想加速电梯

控制算法开发[J]. 电子科技,2011,24(8):28-30.

[2] DUMA R, DOBRA P, ABRUDEAN M, et al. Rapid prototyping of control systems using embedded target for TI C2000 DSP[C]//Proceedings of 2007 Mediterranean Conference on Control and Automation. Athens: Institute of Electrical and Electronics Engineer Computer Society,2007.

[3] 刘杰. 基于模型的设计及其嵌入式实现[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2010.

[4] 华镭. 基于模型设计的控制程序自动生成[J]. 国内外机电一体化技术,2010(6):22-23.

[5] TONY L. 基于模型的机电系统设计[J]. 工业设计,2009(4):48-50.

[6] 施嵘. Simulink/Stateflow 仿真原理和实现的研究[D]. 成都:电子科技大学计算机学院,2011:3-26.

[7] 李占锋. 汽车电子转向系统转向执行电机的控制研究[D]. 西安:长安大学地测学院,2007:36-37.

[8] 陈高,杨家强. 基于TMS320F28335的永磁同步电机数字化矢量控制器设计[J]. 机电工程,2011,28(9):1091-1094.

[9] 王蓓,赵廷弟. 应用Stateflow技术的安全性建模与仿真[J]. 北京航空航天大学学报,2011,37(11):1415-1420.

[10] 刘杰. 基于模型的设计-MSP430/F28027/F28335 DSP篇[M]. 北京:国防工业出版社,2011.

[编辑:洪炜娜]

本文引用格式:

胡丽楠,陈国金,陈慧鹏,等. 基于模型的线控转向执行电机测试研究[J]. 机电工程,2014,31(3):330-333.

HU Li-nan, CHEN Guo-jin, CHEN Hui-peng, et al. Executive motor of steer-by-wire system test based on model[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014,31(3):330-333.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>