

基于 Matlab 7.0 和 DSP 的位置 伺服系统在线仿真

郭林娜¹, 方 鹏², 胡 林¹

(1.西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072;

2.中石化南化公司化工厂, 江苏 南京 210038)

摘要: 以位置伺服系统为研究对象, 介绍一种基于 Matlab 7.0 系统级工具和 TMS320F 2812 DSP(数字信号处理器)实现位置伺服系统在线仿真的方法。以经典比例积分微分(PID)控制方法和 Matlab 7.0 中 Embedded Target for C 2000 DSP 工具箱为平台搭建系统的实时仿真模型, 进行了代码的在线生成、下装至代码编写集成工作台 CCS(Code Compose Studio)及参数实时调整。实践结果表明: 该方法具有较好的灵活性和可靠性。

关键词: Matlab 7.0; TMS 320 F 2812 芯片; 在线仿真; 无刷直流电机

中图分类号: TM 921.54+1; U 675.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)07-0069-03

本文提出一种利用 Matlab 7.0 的 Embedded Target for C 2000 DSP 工具箱和 TI 公司 TMS 320 F 2812 DSP 的位置伺服系统在线仿真的算法设计、测试与实现方法。

1 Matlab 7.0 实时仿真功能

1.1 软件平台概述

Matlab 软件集数据分析、算法开发为一体的集成开发环境及模块化的建模方法, 从问世以来一直受到广大用户的青睐; 尤其是最新版本的 Matlab 7.0, 由于其针对编程环境、代码执行效率、数据可视化、数值计算、文件 I/O 等方面进行了大量升级, 从而使它得到更广泛的应用。本文仅对 Matlab 7.0 新增的 Embedded Target for C 2000 DSP 工具箱作介绍。

Embedded Target for C 2000 DSP 工具箱是一种基于实时操作台 RTW(Real Time Workshop)的类 xPC 目标式在线仿真工具箱^①。xPC 采用了宿主机-目标机的技术途径, 即双机模式^[1]。其中, 宿主机用于运行 Matlab / Simulink, 而目标机用于执行所生成的代码, xPC 提供了一个高度浓缩型的实时操作核运行在目标机上。双机之间的实时代码及数据传输可通过串口线、并口线或以太网等连接。该工具箱可以将 Simulink, Matlab 开发的算法直接与 Texas Instrument sXpress DSP 平台和 C2000 DSP 处理器集成起来^[2], 进行代码自动在线生成、加速原型及嵌入式系统的开发工作。按照代码编写集成工作台 CCS(Code Compose Studio)的项目文件要求生成 TI DSP 要求的 C 代码, 自动在 TI C 2000 系列的 DSP 上进行算法的验证与实时实现。目前的 Matlab 7.0 支持 F2812 eZdsp 和 F2407 eZdsp, 并且通过模块形式集成了 PWM、ADC 和 CAN 等模块^②, 为用户的开发和应用提供了很大的便利。

因此, 在本文所叙述的系统中, 要先在宿主机(PC 机)安装 Matlab, Simulink 和 Stateflow 等相应软件, 用 S 模块和 Stateflow 图创建模型并进行离线仿真, 然后用 RTW, Stateflow 代码生成器和 C 代码编译器生成可在目标机运行的代码(.asm 和 .obj 等), 并通过 JTAG 口下装至 TI DSP 中实时运行。

1.2 实时仿真参数调节方法

在该开发环境下, 有 2 种方式对模块参数进行调整^[1]。

a. 交互方式是在目标应用程序实时运行中对参数进行交互式调整, 在用户界面输入参数将立即反映到输出信号中。

b. 脚本和批处理方式是在目标程序运行时或运行期间改变参数, 用户可以通过脚本程序改变参数, 并对信号输出实时监控获得参数的最佳值。

在本系统中, 采用交互方式调整模块中的参数。

2 高精度位置伺服系统构成

2.1 控制系统基本构成

高精度全数字舵机位置伺服系统由经典三闭环控制器和执行机构(无刷直流电机数学模型)组成, 如图 1 所示。经典的三闭环控制从外向内依次为位置环、速度环、电流环, 外环采用比例积分微分(PID)控制, 内环采用 PI 控制。

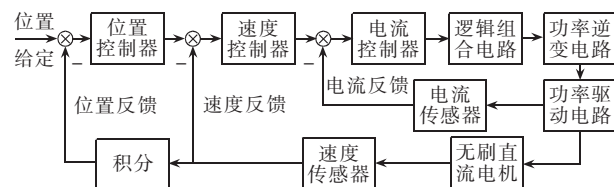


图 1 位置伺服系统三闭环控制结构图

Fig.1 Tri-closed-loop control of position servo system

① Matlab xPC Target User's Guide, The Math Works, Inc. 2001.

② Developer's Kit for Texas Instruments DSP User's Guide, Mathworks Inc. April 2004.

2.2 系统数学模型及仿真结果

在假设电机三相绕组完全对称的前提下,根据无刷直流电机的电压平衡方程式以及电磁关系^[3],在 Matlab 的 Simulink 的环境下,利用电力系统仿真集(SimPowerSystems)及其他的集成化仿真模块,搭建了无刷直流电机的数学模型^[4]BLDCM;同时,根据图 1 所示的经典三环控制结构搭建位置伺服系统的离线仿真模型,该模型的搭建并非本文重点,不作细论。在额定电压 28V、反电势系数 $0.02 \text{ V} \cdot \text{s} / \text{rad}$ 、相电阻 0.95Ω 、相电感 0.15 H 、相互感 0.05 H 的条件下,进行离线仿真得到的结果如图 2 所示($\Delta\theta$ 为角位移),可见,系统经过约 150 ms 的时间达到稳态,且没有出现超调;完全满足项目所要求的 250 ms 的响应时间、半波振荡及 5% 超调的要求。采用该控制方法理论上可以达到控制要求。

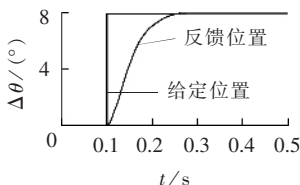


图 2 离线仿真结果

Fig.2 Off-line simulation result

3 系统在线仿真方案与实现

半实物仿真是指在仿真实验系统的仿真回路接入部分实物的实时仿真。它区别于数学仿真之处在于避免建模的困难和克服建模不准确而造成的误差,且实时性是半实物仿真最必要的前提。因此,本系统中采用了 150 MHz 的 TMS320F 2812 DSP 进行数据的快速、周期性的采集,保证了系统的实时性^[5-6]。

为了实现快速控制,将无刷直流电机的实物接入到舵机位置伺服系统的控制回路,进行该系统的半实物实时仿真。同时,该系统采用经典 PID 控制,因此,只需修改 3 个仿真参数,方便、简捷,修改参数时无需进行代码的重新编译下载,可直观、快速地观测不同参数所产生的控制效果,从而提高了系统的调试效率。这充分体现了 Matlab 7.0 的快速原型化的强大功能。

3.1 半实物仿真系统快速原型化的实现

舵机位置伺服系统的半实物仿真测试采用了 MathWorks 公司的 Matlab、Simulink、RTW 与 Embedded Target for C 2000 DSP 等系列产品。图 3 所示为位置伺服系统在线仿真体系结构。系统由上位计算机、控制器部分和控制对象 3 部分组成。在模型中,上位计算机采用工业 PC 机,用于在线设计控制方法、实时的代码生成和曲线显示;控制器部分选用 TI 的 TMS320 F 2812 DSP 目标板^[6],并添加必要的外围电路;控制对象是舵机位置系统中的无刷直流电机。

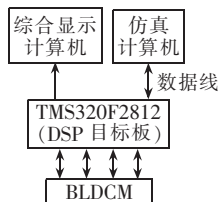


图 3 在线仿真体系结构

Fig.3 On-line simulation architecture

3.2 半实物实时仿真系统实现

半实物实时仿真系统采用 1 个无刷直流电机、相应的调理电路及传感器作为控制电路的实物,将离线仿真中相应的数学模型进行硬件在回路中的仿真,相对应的在线仿真模型如图 4 所示。

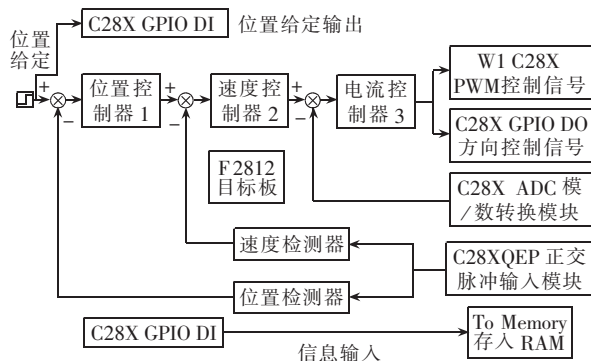


图 4 半实物实时仿实现模型

Fig.4 On-line simulation model

图 4 所示的半实物仿真的控制结构中,以增量式光电编码器作为位置和速度传感器,其输出的正交脉冲接入 DSP 的 QEP 引脚,因此,只要对图中的 C28XQEP 模块作相应的设置即可获得位置信号或者速度信号;由霍尔电流传感器得到的信号经 DSP 中的 AD 转换后得到电流环的反馈信号。三环控制的输出有 2 个信号:其一是作为控制电机转速的 PWM 信号,其二是控制电机转向的高低电平信号;两者与无刷直流电机的 3 个霍尔信号按一定的逻辑组合得到功率逆变器的驱动信号。另外,为了得到绝对位置,需要从编码器引入 1 个位置基准信号,该信号可由 C28XGPIO_DI 里的 1 个端口得到。

4 系统在线调试

在设计过程中,首先预定出在原理上能满足系统各种动/静态性能指标的控制算法参数,然后,在 Simulink 下将相应的控制算法和控制参数通过 CCSLink 下装到 TMS 320 F 2812 DSP 目标板中^[6-7]。此时 PC 机可脱离当前在线仿真环境,将系统的控制权交给 DSP。同时,在系统运行过程中,可以建立工业 PC 和 TMS 320 F 2812 DSP 间的通信通道,使得工业 PC 机可接收实时电机反馈信号,从而,在系统运行过程中实时地显示响应曲线。根据曲线所反应的控制情况修改 Simulink 中相应的控制参数,经过更新、修改后的参数就能反应在 DSP 的控制代码中。再重复上述步骤,一直到系统动/静态特性达到要求为止。

4.1 代码的在线生成

代码在线生成需要设置,具体设置步骤如下:

a. 根据将离线仿真调试所得的或者经验所得的 P、I、D 3 个参数存入 PID.mat 文件中,作为在线仿真的参数初始值;

b. 根据 DSP 目标板的不同,可在 Matlab/Simulink 下,双击 F2812eZdsp 模块修改目标板的类型,选择好目标板后^[2,8],在 Matlab/Simulink 编译环境下双

击 Build & Run 按钮或 Matlab/Simulink 页面下按钮进行代码的在线生成;

c. 通过并口线将代码下装到 DSP 后,系统便可自动运行。

4.2 模型参数的在线调整

采用对参数进行交互修改的方法调节参数,为方便调试并使波形能较好地反应控制参数所对应的控制效果,采用方波信号作为位置输入。当 TMS 320F2812 DSP 自动运行后,上位机将立即得到反馈的位置信号,调试者根据反馈的控制效果调整 PID.mat 中的参数,然后点击 Edit->Update Diagram 更新参数。当在 Simulink 环境下更新参数时,新设置的参数将立即反应在输出结果中,从而改变控制效果,而不需要重新生成代码和下装。此外,也可采用脚本和批处理的方法,通过编写或修改脚本程序实现参数的在线修改。

4.3 实验结果

利用 xPC Target for Scope 获取的方波跟踪和阶跃响应的实验曲线如图 5 所示。从响应曲线可看出,在线仿真的响应速度和稳态精度都达到了比较好的效果。

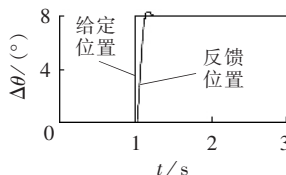


图 5 在线仿真结果

Fig.5 On-line simulation result

5 结论

实践证明,采用基于 Matlab 7.0 和 TMS 320 F 2812 DSP 对伺服系统进行在线仿真在实际工程中显示的优越性如下:

a. 控制算法可以很方便地在硬件平台上实现,同时,可以实时地在线观测控制算法的控制效果,根据被控对象的反馈信息实时地校正控制算法和控制参数,从而大大地缩短了研发时间,提高了模块的可移植性;

b. 在线模型可以使用 Matlab 语言实现 DSP 的控制算法,增加了算法实现的灵活性,不需要进行大量的 C 或汇编编写代码,提高了硬件在回路仿真的能力,同时,还降低对开发人员硬件知识的要求^[2];

c. 在线仿真可以采用 M-Function, S-Function 和 Matlab/Simulink 中的各种模块实现算法控制,尤其是可以采用 Simulink 模块实现以往需要在 DSP

中大量代码实现的模糊控制、数字信号处理等方面的算法,使得系统控制更加简便,同时增加了算法设计的灵活性。

总之,基于 Matlab 7.0 和 TMS 320F2812 DSP 进行在线仿真的方法大大缩短了系统开发时间、提高了可靠性,为电机伺服控制系统的设计与 TMS 320 F 2812 程序的开发提供了新的思路和方法。本文以舵机伺服系统中的无刷直流电机为实物的在线仿真,实验结果验证了基于 Matlab 7.0 和 TMS 320 F 2812 DSP 的在线调试方法的实用性和可行性,为其他伺服控制系统带来了新的设计思路和方法。

参考文献:

- [1] 陈永春. 从 Matlab/Simulink 模型到代码实现[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [2] 武晓光,丁新宇. 利用 Matlab 和 Simulink 对 DSP 进行系统级的设计方法[J]. 电子设计应用,2003(3):53-54,58.
WU Xiao-guang, DING Xin-yu. The systematic design method of DSP based on Matlab and Simulink[J]. Electronics Design & Application, 2003(3):53-54,58.
- [3] 邓兵,潘俊民. 无刷直流电机控制系统计算机仿真[J]. 计算机仿真,2002,19(5):104-110.
DENG Bing, PAN Jun-min. Computer simulation for control system of BLDC[J]. Computer Simulation, 2002, 19(5):104-110.
- [4] 纪志成,沈艳霞,姜建国. 基于 Matlab 无刷直流电机系统仿真建模新方法[J]. 系统仿真学报,2003,15(12):1745-1758.
JI Zhi-cheng, SHEN Yan-xia, JIANG Jian-guo. A novel method for modeling and simulation of BLDC system based on Matlab[J]. Journal of System Simulation, 2003, 15(12):1745-1758.
- [5] GEROSA G. A 80 MHz superscalar RISC microprocessor[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1994, 29(6):1440-1454.
- [6] 苏奎峰,吕强,耿庆峰,等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [7] 李真芳,苏涛,黄小宇. DSP 程序开发:Matlab 调试及直接目标代码生成[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [8] 许儒全,高雪清. 基于 Matlab 的 DSP 系统级设计方法[J]. 现代电子技术,2004(15):75-76,81.
XU Ru-quan, GAO Xue-qing. A method of system design for DSP based on Matlab[J]. Modern Electronics Technique, 2004(15):75-76,81.

(责任编辑:汪仪珍)

作者简介:

郭林娜(1982-),女,山西长治人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动(E-mail: xinlinyixiu@126.com);

方 鹏(1979-),男,山西运城人,工程师,研究方向为电气设备的保护与控制;

胡 林(1980-),男,浙江临海人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动。

On-line simulation of position servo system based on Matlab 7.0 and DSP

GUO Lin-na¹, FANG Peng², HU Lin¹

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. Sinopec Group Nanjing Chem Corp. Chemical Plant, Nanjing 210038, China)

Abstract: A method of on-line simulation is presented by using the systematic kit of Matlab and TMS 320F 2812 DSP (Digital Signal Processor), which aims at a position servo system. The on-line simulink model is built based on the classic PID (Proportional-Integral-Derivative) control method and the Embedded Target for C2000 DSP in Matlab. The code generation, the code download to CCS (Code Composer Studio) and the parameter adjusting are on line carried out. Experiment results show its better flexibility and reliability.

Key words: Matlab 7.0; TMS 320 F 2812; on-line simulation; BLDCM