

# 基于 DSP 的自动代码生成及应用

杜 磊,薛重德,任志国

(南京航空航天大学机电学院,南京 210016)

**摘 要:**为了提高 DSP 程序的开发效率以及处理程序运行过程中出现的大量数据,介绍如何利用 Matlab 中的 CCSLink 结合 CCS 进行 DSP 程序的调试以及代码的直接生成。利用从概念设计到实时实现的集成、统一的开发环境,完成代码产生、代码加载、执行及与目标 DSP 进行通信,最后通过基于 EKF 的异步电机转速估算试验,验证了该方案的有效性。

**关键词:**异步电机;扩展卡尔曼滤波(EKF);直接代码

DOI 编码:10.3969/j.issn.1002-2279.2010.02.028

中图分类号:TN911,TP93 文献标识码:B 文章编号:1002-2279(2010)02-0093-04

## Automatic Code Generation based on DSP and its Application

DU Lei, XUE Zhong-de, REN Zhi-guo

(Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to improve the efficient of DSP program development and handle the data in process of running program, CCSLink is used to debug DSP program in Matlab and direct code production with CCS. In the integrate and uniform development circumstance, in which the designing can be accomplished from concept to real-time actualizing, producing code, loading code, performing code and communicating with DSP can be all completed. Finally the example of speed estimation of induction motor based on EKF validates the method.

**Key words:** Induction motor; EKF; Direct code

## 1 引 言

Matlab 具有强大的分析、计算和可视化功能,利用 MATLAB 提供的专业工具箱,可以方便、灵活地实现对自动控制、信号处理、通信系统等算法的分析和仿真,是算法设计人员和工程技术人员不可缺少的软件工具。

数字信号处理器(DSP)作为一种可编程专用芯片,是数字信号处理理论实用化的重要工具,在自动控制、语言处理、图像处理等技术领域得到了广泛应用。但对于算法设计人员来讲,利用汇编语言和 C 语言进行功能开发,具有周期长、效率低的缺点,不利于算法验证和产品的快速开发。

由 MathWorks 公司和 TI 公司联合开发的 MATLAB Link for CCS Development Tool(CCSLink)是 MATLAB6.5 版本中增加的一个全新的工具箱,它提供了 MATLAB、CCS 和 DSP 目标板的接口,利用此工具可以像操作 MATLAB 变量一样来操作 DSP 器件的寄存器

和存储器,极大的提高了 DSP 应用系统的开发进展。

## 2 Matlab 与 CCS 及目标板间的连接

Matlab 可通过 3 种方式与 CCS、目标 DSP 进行连接、数据交换。CCSLink 向用户提供了 3 种连接对象,如图 1 所示。

CCS IDE 的连接对象:该对象支持 TI 的 C2000/5000/6000 系列 DSP,利用此对象可创建 CCS IDE 和 Matlab 的连接。用户可以编写用于 DSP 程序的 Matlab 语言批处理脚本,从 Matlab 的命令窗中直接运行 CCS IDE 中的应用程序,向硬件 DSP 的存储器或寄存器发送或取出数据,检查 DSP 的状态,停止或启动程序在 DSP 中的运行。

与 RTDX(实时数据交换)的连接对象:该对象提供 Matlab 和硬件 DSP 之间的实时通信通道。它允许用户在主机和目标板之间进行实时的数据交换而不用考虑目标板程序的运行。RTDX 连接对象实际上是 CCS 连接对象的一个子类,在创建 CCS 连接对象的

同时创建 RTDX 连接对象,它们不能分别创建。

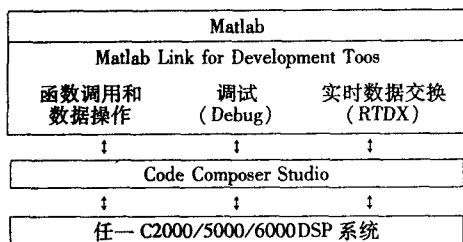


图1 CCSLink 的三种接口

嵌入式对象:在 Matlab 环境中创建,该对象可以代表嵌入在目标 C 程序中的变量,由其直接对嵌入在目标 DSP 存储器/寄存器中的变量进行操作。

### 3 ETTIC2000 环境

由以上所述可知,CCSLink 为 TI DSP 实时应用开发的调试和测试提供了强大的支持,而 ETTIC2000 则为 TI C2000 DSP 实时应用开发的整个过程(概念设计、算法仿真、原代码编写、目标代码生成、调试和测试)都提供了支持。利用 ETTIC2000 能够从 Simulink 模型自动生成 TI C2000 DSP 的可执行代码,从而在 Simulink 统一环境下就可以实现整个硬件的在线仿真。

应用 ETTIC2000 开发实时 DSP 处理的过程如下:

- (1) 概念构思和 DSP 处理算法设计;
- (2) 在 Simulink 环境下,利用 DSP BLOCKSET, FIXED\_POINT BLOCKSET, C2000 DSPLIB 和 Simulink 等库中模块构建算法模型,并在 Simulink 环境下运行仿真;

(3) 如果仿真效果满意,就可以在模型中加入所需的 C2800 DSP Chip Support 中的模块。

(4) 设置 REAL - TIME WORKSHOP 中编译连接(BUILD)选项。

(5) 利用 CCS 中的调试工具、CCSLink 或 RTDX 来调试目标 DSP 中的程序。

## 4 仿真系统的建立及代码生成

### 4.1 ADC 转换及 FIR 滤波器处理程序设计

用 Embedded target for TI C2000 工具包设计 ADC 转换及 FIR 滤波。在新建的 Simulink 文件中,放入 C2000 Target Preference 中的 F2812 eZdsp,并对其参数进行设置。

实现 A/D 转换的功能模块是 C28x ADC, A/D 转换模块可以选择模块 A、B 中的任意六个通道,这里要注意数据格式的转化。

FIR 滤波器设计有很多种,利用 Matlab 中的 FDATool (Filter Design & Analysis Tool) 来设计是经常使用的一种。FDATool 是通过指定滤波器的性能指标来快速设计 FIR 或者 IIR 滤波器,它是一种图形设计界面,如图 2 所示。

指定 FIR 滤波器为低通滤波器 (Low pass), 指定采样频率为 6kHz, 低通频率为 1kHz, 截止频率为 2kHz, 菜单 Analysis 用来选择不同的分析显示方式, 如幅度响应、相位响应、脉冲响应、阶跃响应、滤波系数等。指定完成设计参数后单击 Overwrite generated "filter" block, 完成滤波器的设计。

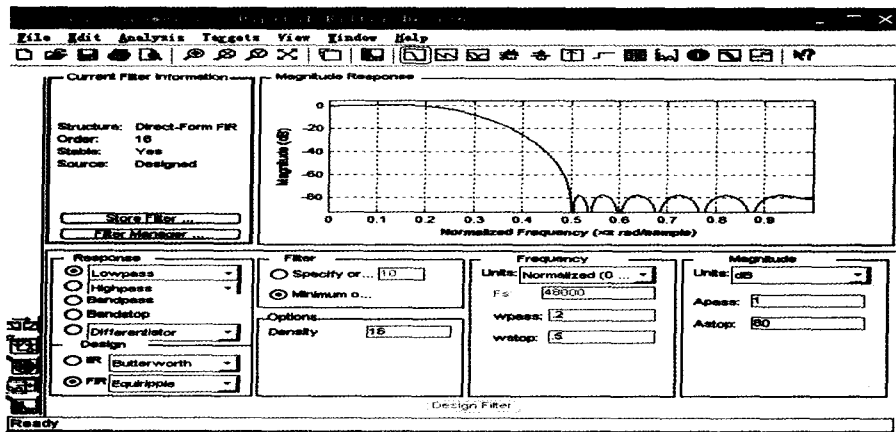


图2 数字滤波器设置对话框

### 4.2 扩展卡尔曼滤波器的设计

扩展卡尔曼滤波器是通过内嵌 S 函数完成的。在 RTW 中一般可以直接应用非内嵌 C MEX S 函数,但是在实时情况下对时间要求比较严格,而非内嵌 S 函数的 Simstruct 数据结构需要大量的存储计

算资源,运行时调用 S 函数需要很大的系统开支,此时就需利用 TLC 技术将 S 函数内嵌。TLC 是 RTW 的一个内部组成部分,利用它可以自定义从 Simulink 模型生成的 C 代码,并为 Simulink 模型图生成优化的内嵌程序代码。通过自定义,可以将自定义

算法和现存的例程结合起来形成一个整体式的程序,提高代码质量,减少代码体积。

内嵌 S 函数的实现是通过生成一个 TLC 文件 mymodel.tlc 完成的。当 TLC 在阅读 mymodel.rtw 时,如果发现有 S 函数 block,并且在 TLC 文件的搜

索路径中有相应的 TLC 文件,则 S 函数被内嵌。

### 4.3 代码生成

以上完成了仿真模型各个模块的建立,如图 3 所示。

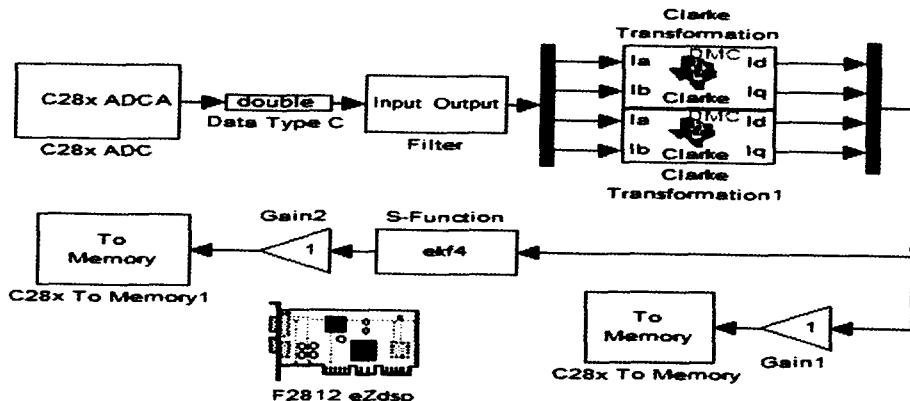


图 3 仿真系统图

其中,电压和电流的 Clarke Transformation 模块和 C28x To Memory 模块是 C28x DMC Library 和 C2800 DSP Core Support 中自带的模型,在使用时只需要拖入仿真系统即可。

进入 Simulink 的 Configuration Parameters 对话框,对 Real-Time Workshop 进行设置完成后,点击 Build 即可生成对应的 DSP 工程文件,并且 DDSLink 自动打开 CCS,进行编译调试,如图 4 所示。

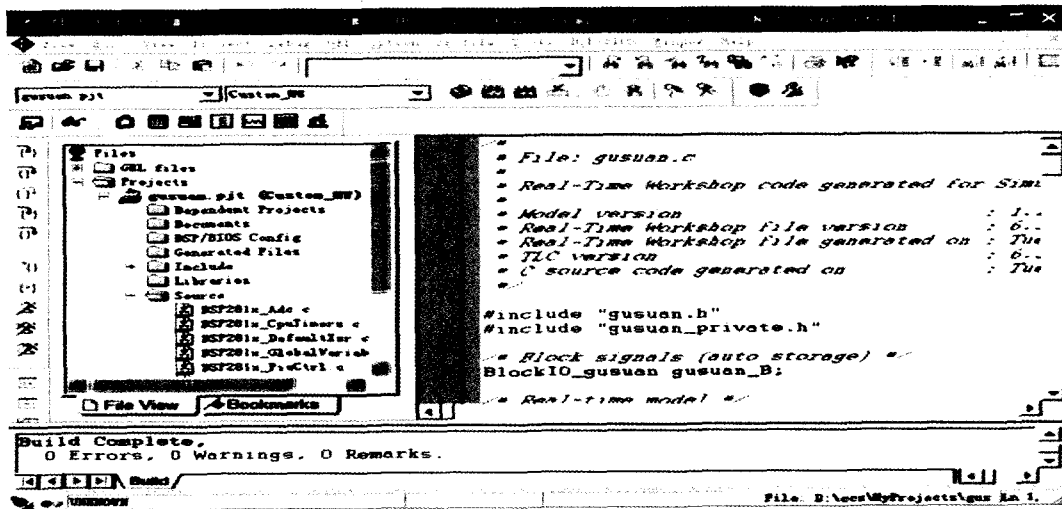


图 4 CCSLink 自动调试 DSP 代码

由 Matlab 自动生成的 DSP 代码能够实现 AD 转换、数字滤波及卡尔曼滤波计算,但是由于程序中使用了太多缺省设置,在运行中还有一些问题,如中断处理程序只对定时器中断进行处理,无法用图形方式观测变量值等,需要进一步完善。

## 5 试验结果及分析

把修改完善后的代码加载到 DSP 实验板上,对电机的电压和电流进行采样,通过图 5 可以验证滤波器的效果。

在利用扩展卡尔曼滤波进行速度估算时,以异步电机在两相静止坐标系下的电流  $I_\alpha$ 、 $I_\beta$ 、转子磁链  $\psi_\alpha$ 、 $\psi_\beta$ 、以及转速  $n$  为状态变量,进行一系列计算,这样就可以很方便的观测到磁链圆如图 6(a) 和估算的速度曲线如图 6(b)。在计算过程中,由于采样噪声、系统噪声、电机参数随温度变化等原因,造成估算值在一定范围内浮动,但是基本稳定。

通过 EKF 完成了异步电机的速度在线辨识,为以后建立异步电机无速度传感器矢量控制系统奠定了基础。

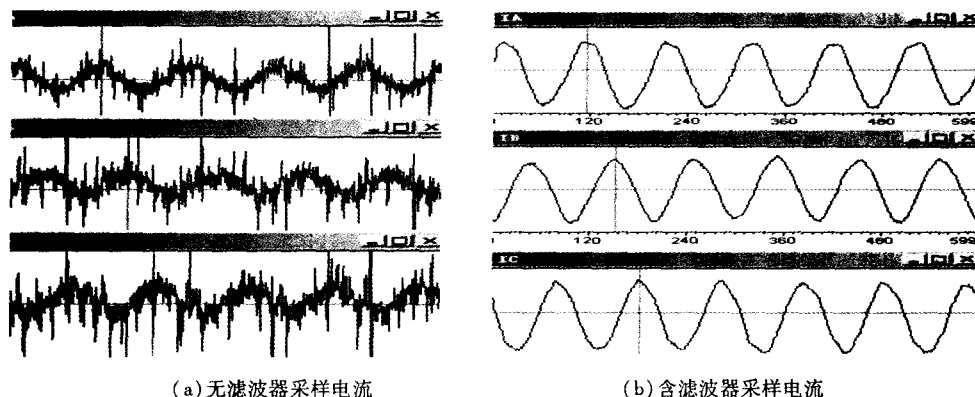


图 5 电流采样对比图

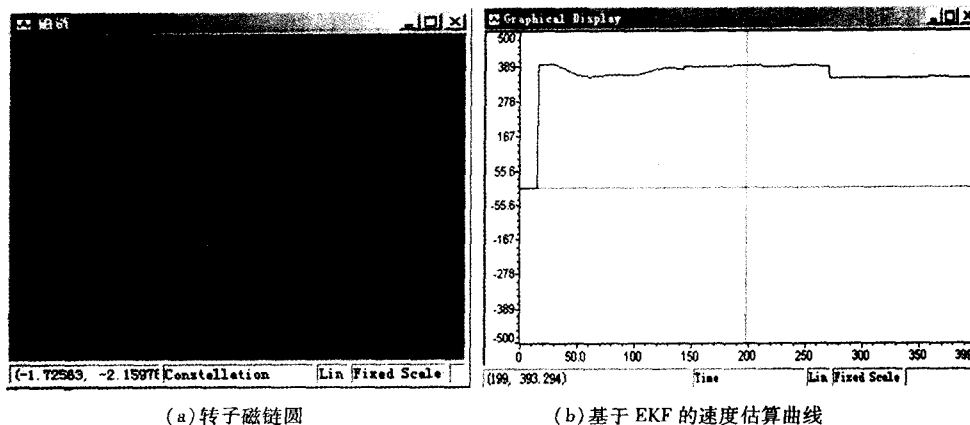


图 6 转子磁链和转速试验结果

## 6 结 束 语

试验证明,应用 Matlab 对 DSP 进行实时调试和代码生成,有效地改变了传统的设计方法。用 Matlab 快速建立 TI DSP 模型及直接生成 C 语言程序的方法,简化了 DSP 软件的开发。在 Embedded target for TI C2000 工具箱中还包含其他工具,如 PWM 控制、CAN 总线控制及通用 I/O 控制等。利用这些工具与 Simulink 中的其他工具相结合,能够完成复杂功能的 DSP 程序设计,并且只需要进行少量修改,就可以实现功能正确的 C 语言程序设计,大大提高了程序开发效率。

### 参考文献:

[1] 陈九科,韩九强. 基于 Matlab 的 TMS320LF2407 程序快速设计[J]. 单片机与嵌入式应用,2005(11):37-39.

- [2] 王奇霞,乔海泉,梁加红. 在 RtLinux 下利用 S 函数和 TLC 开发内嵌驱动程序[J]. 计算机仿真,2003,20(3):85-91.
- [3] 冷斌,李学勇,刘建华. 一种基于 Matlab 的 DSP 调试及直接代码生成方法[J]. 现代电子技术,2008(20):68-75.
- [4] Shi KL, Chan TF, et al. Speed Estimation of an Induction Motor Drive Using an Optimized Extended Kalman Filter[J]. IEEE Trans on Industry Electronics, 2002(49):124-133.
- [5] 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.
- [6] 刘和平,邓力,江渝,张占龙. 数字信号处理器原理、结构及应用基础[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [7] 王成元,夏加宽,杨俊友,等. 电机现代控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

## 特 约 声 明

本刊已入编《中国学术期刊网》(光盘版)、中国科学技术信息研究所《万方数据网》、科学技术部西南信息中心《中文科技期刊数据库》和(台湾)华艺数位艺术股份有限公司《中文电子期刊服务》。其作者文章著作权使用费与本刊稿费一次性付清。凡不同意入编的稿件,请作者在投稿时声明。