

Simulink

建模基础及C2000 DSP

代码自动生成

刘杰 编著



科学出版社

Simulink 建模基础 及 C2000 DSP 代码自动生成

刘 杰 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要介绍 C2000 DSP 控制代码的自动生成。由此从两个方面(建模与代码自动生成)逐次展开,引导读者学习自动生成算法模型 DSP 控制代码的方法。

在建模部分:重点介绍 Simulink 的常用模块功能与基于 MATLAB R2017a 版的 Simulink 建模基础,以及用户模块的定制方法。此外,还介绍基于有限状态机(Stateflow)的建模基础。在算法模型 C2000 DSP 控制代码的自动生成部分:重点介绍 F28027 DSP 模块的功能及基于 MATLAB R2017a 版的算法模型代码的自动生成方法。

本书可作为航空航天、汽车、新能源、高铁、电气自动化、软件等行业的工程师在从事基于模型设计时使用,也可作为高校工科专业学生学习 Simulink/Stateflow 建模和基于模型设计的教材,以及相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

Simulink 建模基础及 C2000 DSP 代码自动生成 / 刘杰编著. —北京:科学出版社, 2018.6

ISBN 978-7-03-057292-9

I. ①S… II. ①刘… III. ①系统建模 IV. ①N945.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 084382 号

责任编辑:余江 张丽花 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍兵 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中画美凯印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 6 月第一版 开本:787×1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张:29 1/2

字数:700 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

首先,目前大多数高校仅开设了 MATLAB 使用及编程基础课程,致使不少师生还停留在 M_file 的水平,对 Simulink/Stateflow 建模了解甚少,因而编写一本 Simulink/Stateflow 建模基础的教材势在必行。

其次,随着国内“2025 战略”的临近,“中兴通讯事件”的发生给工业界和科技界靠借鉴和“抄袭”过日子的行为敲响了警钟。编写一本直接由数学公式与逻辑关系等建模而自动生成具有完全自主知识产权的控制代码的教材成为必然。

本书就是为了适应上述两种需求而编写的。这是因为,采用基于模型设计可以大大降低 C2000 DSP 软件开发人员的入门门槛,让软件工程师把主要精力投入到产品的构思和实现算法上,把编写 C2000 DSP 控制代码的任务留给计算机去自动生成,以期缩短产品的开发周期、降低产品的开发难度、增强代码的一致性与鲁棒性,规避由人的先天不足带来的软件缺陷。让枯燥的软件编程变成一种愉悦的工作,即一边使用虚拟可视化平台(MATLAB)对工程师构想的算法进行仿真验证,一边着手部署,规避传统手工编程不得不多次重复的弊端,以期实现从产品构思到产品部署一步完成,既提高工作效率,也降低研发成本(爱迪生为了发明电灯进行 3000 次实验的创举,在新的基于模型软件开发中,不但不被推崇,而是应该尽量避免的事件)。目前,这种高效的软件方法已经在发达国家被广泛采用。该方法特别适用于新能源汽车和太阳能储能电池管理系统的代码生成,例如,特斯拉在开发 Roadster 纯电动跑车时采用了这种技术(图 1),在软件的设计中机器代替人已经成为世界潮流。

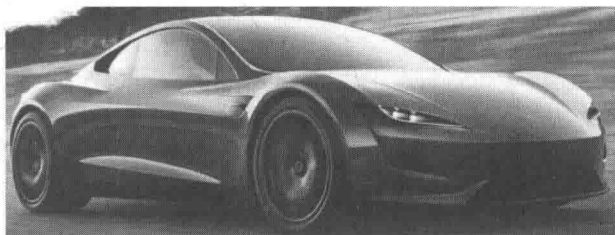


图 1 Roadster 纯电动跑车

本书适用于零基础的读者阅读,主要内容如下:

第 1 章介绍如何搭建软件开发环境与传统编程方法。

第 2 章主要介绍 M 文件的函数和脚本的编写及调试基础。

第 3 章介绍基于 MATLAB R2017a 版的 Simulink 建模新方法。

第 4 章主要介绍基于 MATLAB R2017a 版的 Stateflow 建模基础。

第 5 章介绍如何定制用户模块,这是基于模型开发必须具备也是比较难掌握的知识。

第 6 章简介 C2802x DSP 原理及相关 Simulink 模块的功能与设置。

第 7 章介绍基于 C2802x 模块的控制算法的代码自动生成,包括新能源汽车同步电机的

FOC 算法的实现。

在本书的编写过程中得到了美国德州仪器公司大学计划部谢胜祥工程师的大力支持，他为本书提供了全部的实验用板。同时实验室的所有学生也参加了本书的资料收集、部分文献翻译及部分章节的编写工作，在此一并感谢！

由于作者对数万页的新版 MATLAB 用户手册理解不够透彻，以及软件本身存在的缺陷，有些功能实现欠佳，加之时间紧、任务重、作者的水平有限等原因，书中难免存在不妥及疏漏之处，敬请读者批评指正。

作者

2018年4月于福州大学怡园

目 录

第 1 章 软件开发环境与传统编程	1
1.1 CCS6.1.2 的下载与安装	1
1.2 安装 C2000 处理器支持包	3
1.3 运行一个现有的 CCS 工程	7
1.4 如何新建/运行一个 ADC 转换及显示的 CCS 工程	15
1.5 创建一个 LCD1602 显示驱动工程	22
第 2 章 MATLAB 编程基础	28
2.1 MATLAB R2017a 新增功能简介	28
2.2 M 文件的编写	28
2.2.1 M 文件结构	29
2.2.2 M 脚本文件	31
2.2.3 M 函数	33
2.3 M 文件的调试	40
2.3.1 代码分析器	40
2.3.2 使用 cell 加快调试	40
2.4 MATLAB Coder 简介	44
2.4.1 MATLAB Coder 支持/不支持生成 C 代码的类型	44
2.4.2 MATLAB Coder 的使用要求	45
2.4.3 Embedded Coder 的常用命令	46
2.4.4 C 编译器的设置	47
2.4.5 应用实例	48
第 3 章 Simulink 建模基础	56
3.1 Simulink 基本操作	56
3.1.1 模块库和编辑窗口	56
3.1.2 Simulink 模块库	58
3.1.3 模块的基本操作	72
3.2 建模实例	76
3.2.1 由系统的物理含义或微分方程创建模型	76
3.2.2 数学表达式模型的搭建技巧	84
3.2.3 物理建模	97
3.2.4 子系统	101
3.2.5 创建自定义模块库及知识产权保护	108
第 4 章 Stateflow 建模基础	110
4.1 Stateflow 概述	110

4.2	流程图	123
4.3	状态图的层次	127
4.4	并行机制	132
4.4.1	广播	132
4.4.2	隐含事件	139
4.4.3	时间逻辑	140
4.5	非图形对象	142
4.5.1	真值表	142
4.5.2	图形盒	144
4.5.3	图形函数	145
4.6	MATLAB 函数	147
4.6.1	建立调用 MATLAB 函数的 Simulink 模型	147
4.6.2	编写 MATLAB 函数	149
4.6.3	调试	149
4.7	Simulink 函数	152
4.8	Stateflow 建模实例	156
4.8.1	搭建流水灯模型	156
4.8.2	搭建开关控制器模型	160
4.8.3	计算乘法与平方和	163
第 5 章	定制用户模块	166
5.1	S 函数	166
5.1.1	S 函数运行机制	166
5.1.2	Simulink 引擎与 C MEX S 函数的交互过程	168
5.2	C MEX S 函数模板	172
5.2.1	打开 C MEX S 函数模板	172
5.2.2	基本 C MEX S 函数模板介绍	173
5.2.3	C MEX S 函数的简单例子	187
5.3	目标语言编译器	191
5.3.1	概述	191
5.3.2	TLC 文件的语法、指令、函数简介	195
5.3.3	TLC 入门及 TLC 文件的简单例子	200
5.3.4	model.rtw 文件和编写 S-Function 与数据对象	213
5.4	S-Function Builder 定制用户模块	219
5.4.1	S-Function Builder 简介	219
5.4.2	初始化 (Initialization) 页面	220
5.4.3	数据属性 (Data Properties) 页面	221
5.4.4	库文件 (Libraries) 页面	222
5.4.5	输出 (Outputs) 页面	224
5.4.6	连续状态求导 (Continuous Derivatives) 页面	225
5.4.7	离散状态更新 (Discrete Update) 页面	227

5.4.8	编译信息 (Build Info) 页面	228
5.4.9	S-Function Builder 简单示例	229
5.5	定制用户模块举例	239
5.5.1	Wrapper S-Function 的写法	239
5.5.2	代码继承工具 (Legacy Code Tool)	244
5.5.3	定制 Freescale HC12 ADC 模块	248
5.5.4	定制 LCD1602 模块	269
第 6 章	C2802x DSP 原理及模块介绍	277
6.1	C2802x DSP 的特点及功能框图	277
6.2	GPIO 模块	280
6.2.1	GPIO 运行机制简介	280
6.2.2	Digital Input 模块简介	283
6.2.3	Digital Output 模块简介	284
6.3	ADC 模块	285
6.3.1	ADC 功能简介	285
6.3.2	ADC 模块简介	290
6.4	SCI 模块	292
6.4.1	SCI 模块功能简介	292
6.4.2	SCI Receive 模块简介	298
6.4.3	SCI Transmit 模块简介	299
6.5	SPI 模块	300
6.5.1	SPI 模块功能简介	300
6.5.2	SPI Receive 模块简介	304
6.5.3	SPI Transmit 模块简介	306
6.6	I2C 总线	307
6.6.1	I2C 模块功能简介	307
6.6.2	I2C Receive 模块简介	315
6.6.3	I2C Transmit 模块简介	316
6.7	ePWM 模块	317
6.7.1	ePWM 模块功能简介	317
6.7.2	ePWM 模块简介	332
6.8	PIE 模块	343
6.8.1	PIE 模块功能简介	343
6.8.2	Software Interrupt Trigger 模块简介	345
6.9	eCAP 模块	346
6.9.1	eCAP 模块功能简介	346
6.9.2	eCAP 模块简介	347
6.10	Watchdog 模块	351
6.11	其他模块	352
6.11.1	eCAN 总线	352

6.11.2	eCAN Transmit 模块	355
6.11.3	CCP 模块	357
6.11.4	eQEP 模块	359
6.11.5	CLA Task 模块	365
第 7 章	C2802x DSP 算法代码的快速生成	367
7.1	自动生成 C2802x DSP 代码的一般流程	367
7.1.1	生成 C2802x DSP 闪烁灯代码的示例	367
7.1.2	为 C2802x DSP 生成流水灯代码的流程	384
7.1.3	简易单侧交通灯代码自动生成	401
7.2	SCI/ADC 模块的应用实例	405
7.2.1	使用 SCI/ADC 模块向主机发送 SE 字符	405
7.2.2	通过 SCI 模块在主机上显示 ADC 模块采集到的数据	410
7.3	串行外部模式示例	414
7.4	SPI/I2C 模块的示例	420
7.4.1	SPI 模块示例	420
7.4.2	I2C 模块示例	428
7.5	自动算法代码加手写驱动代码	436
7.6	永磁同步电机的 FOC 控制仿真及代码生成	442
7.6.1	与电机有关的几个常用定则/定理的回顾	442
7.6.2	磁场定向(FOC)控制算法简介	443
7.6.3	PMSM 的 FOC 算法框图	444
7.6.4	PMSM 的 FOC 算法部分模块分解	445
7.6.5	用 TI 的 DMC 模块库搭建 PMSM 的 FOC 算法模型	451
7.6.6	对搭建的 PMSM 的 FOC 算法模块进行功能仿真	460
7.6.7	为 PMSM 的 FOC 算法模型生成代码	461
7.6.8	软件在环(SIL)测试	463
7.6.9	硬件测试	463
	参考文献	464

第 1 章 软件开发环境与传统编程

本章介绍 CCS6.1.2 软件的下载、安装与使用方法，以及在 Simulink 库中 C2000 处理器的支持包“Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors”的下载与安装方法，最后扼要介绍基于 C2000 处理器的传统编程方法。

本章主要内容：

- ◇ CCS6.1.2 软件的下载、安装与使用方法
- ◇ Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors 支持包的下载与安装方法
- ◇ 基于 C2000 处理器的传统编程方法

1.1 CCS6.1.2 的下载与安装

本节将扼要介绍 CCS6.1.2 的下载与安装。

1. CCS6.1.2 的下载

CCS6.1.2 软件的下载地：http://processors.wiki.ti.com/index.php/Download_CCS。

说明：如果读者安装的是最新版的 MATLAB R2017b，CCS 软件可选用 CCS7.3、CCS7.4 等版本。

2. CCS6.1.2 的安装

在安装 CCS6.1.2 时：①关闭杀毒软件接受安装协议(图 1.1)；②按默认路径安装

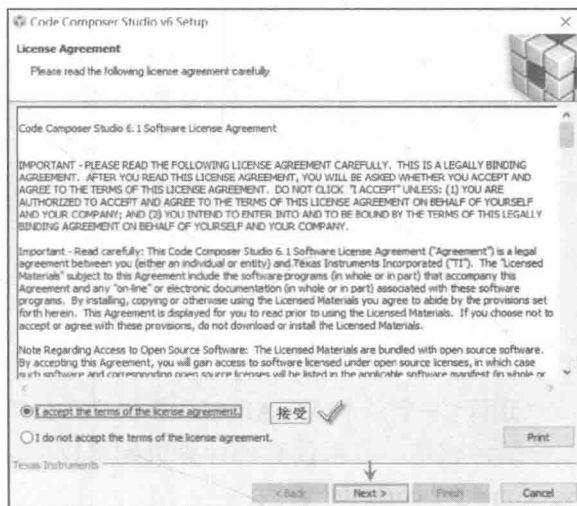


图 1.1 关闭杀毒软件接受安装协议

(图 1.2); ③需手工选中与 C2000 有关的组件(图 1.3), 默认条件下该组件为非选中状态。其他步骤按提示完成安装。

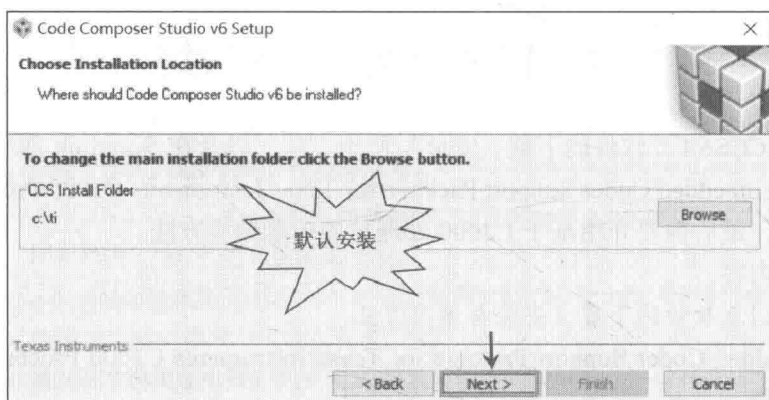


图 1.2 按默认路径安装

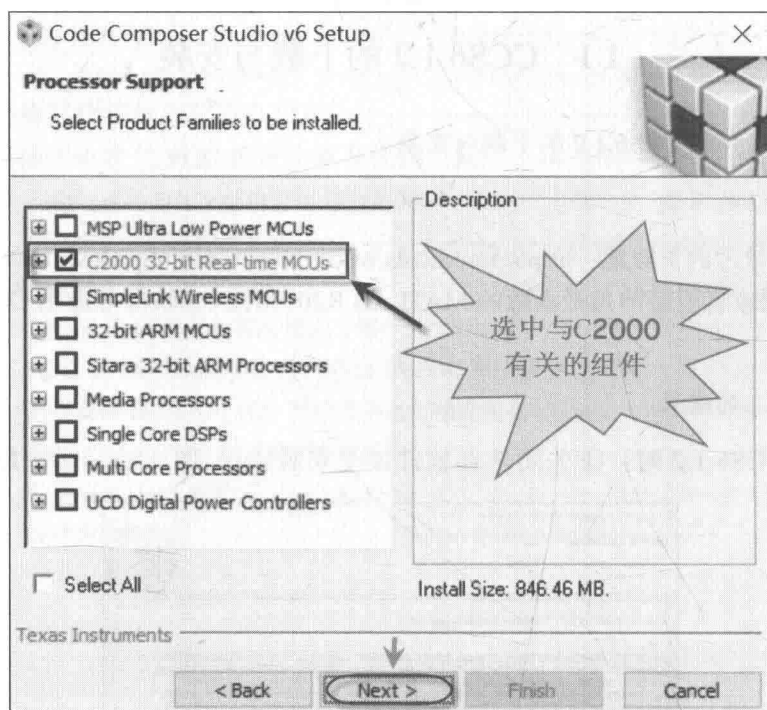


图 1.3 选中与 C2000 有关的组件



图 1.4 CCS6.1.2 图标

单击 Next 按钮等待 CCS6.1.2 安装结束。如果 CCS6.1.2 安装成功, 会在计算机的桌面上生成一个 CCS 图标, 如图 1.4 所示。

建议: 在安装 MATLAB R2017 和 CCS6.x 时应先行安装 VS 2017 C++ 编译软件。如果读者的计算机配置较低, 可安装 MinGW-w64 version 4.9.2 compiler 替换。

1.2 安装 C2000 处理器支持包

1. 打开获取硬件支持包页面

其操作步骤为：单击“主页”→“附加功能”→“获取硬件支持包”，打开获取硬件支持包页面，通过滚动鼠标寻找需要的硬件支持包，C2000 处理器的硬件支持包如图 1.5 所示。



图 1.5 硬件支持包页面

2. 安装 C2000 处理器支持包的步骤

单击 Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors, 启动安装 C2000 处理器支持包, 其过程请按照提示进行。需要注意的是, 待 C2000 支持包安装完成后, 需对其进行设置, 如图 1.6~图 1.12 所示。

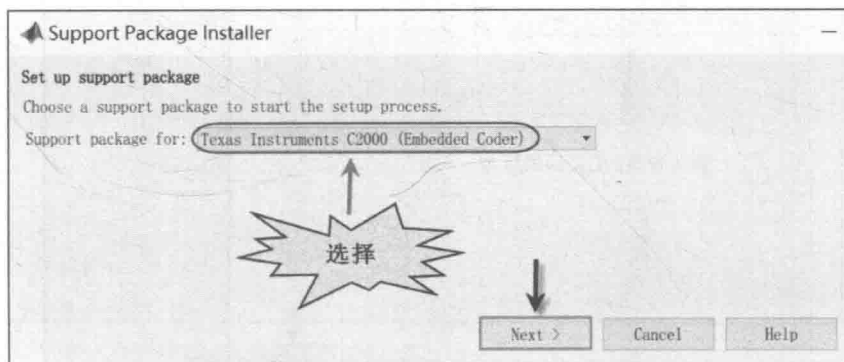


图 1.6 选择 CCS

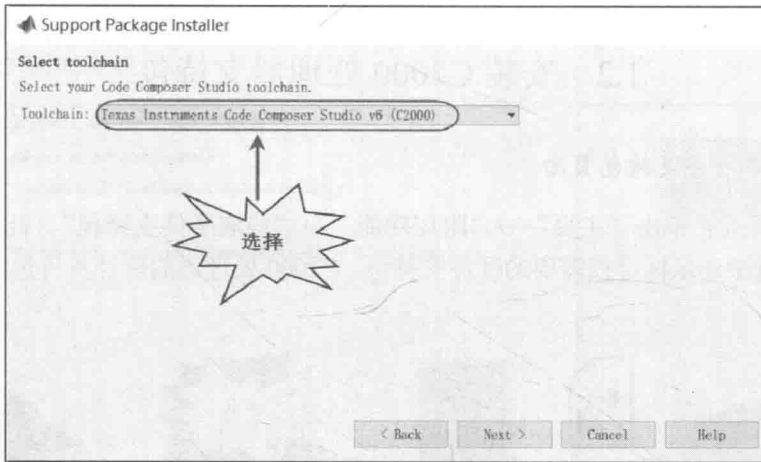


图 1.7 选择 CCS v6

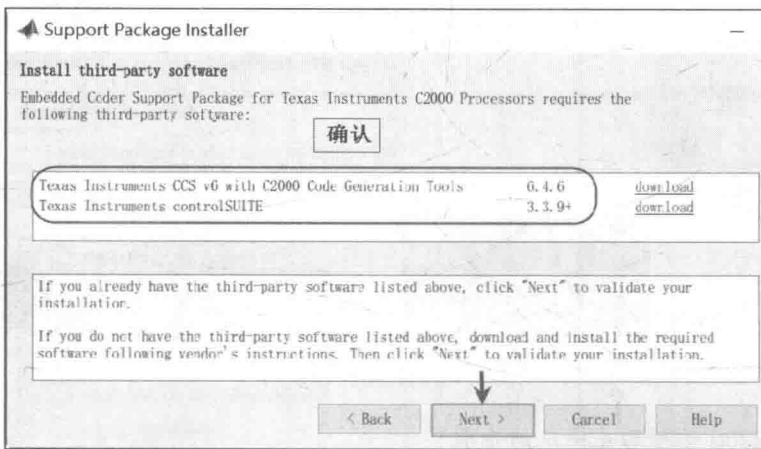


图 1.8 确认安装的 CCS 和 controlSUITE 的版本

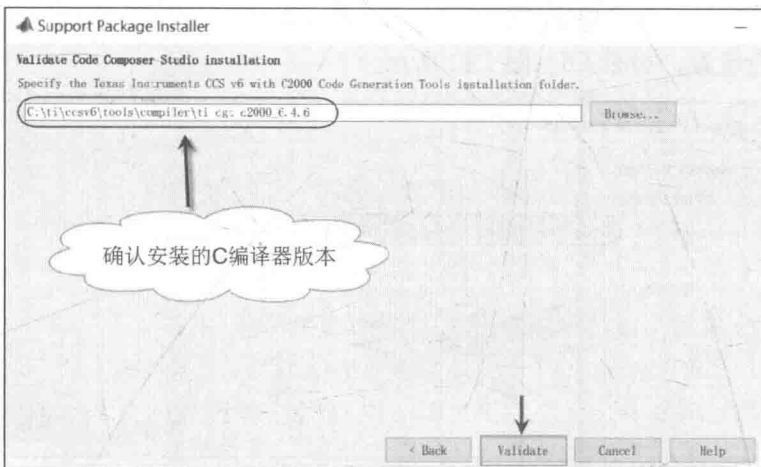


图 1.9 确认安装的 C 编译器版本



图 1.10 确认安装的 controlSUITE

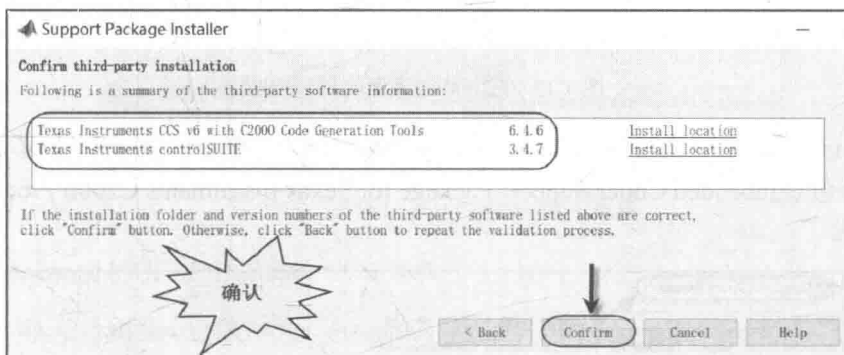


图 1.11 确认 C 代码生成器工具和 controlSUITE 的版本号



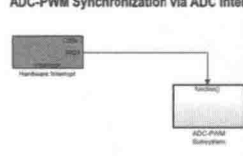
图 1.12 单击 Finish 按钮完成安装

单击 Finish 按钮后将会弹出 C2000 处理器支持包自带的例程，如图 1.13 所示。

Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors Examples

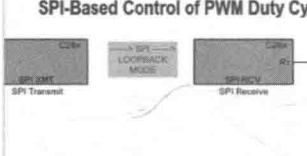
Examples

ADC-PWM Synchronization via ADC Interrupt



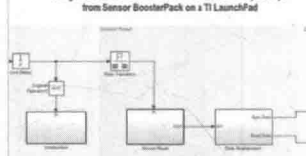
Use the ADC and PWM blocks. In the generated code, changes in the voltage of the ADC input alter the duty cycle of the PWM output. The

SPI-Based Control of PWM Duty Cycle



The use of the SPI Receive, SPI Transmit and PWM to generate a PWM waveform.

Using the I2C Bus to Access Sensors



Use the I2C blocks to communicate with I2C based devices.

图 1.13 C2000 处理器支持包例程

打开 Simulink 库浏览器 (Simulink Library Browser), 将看到其中新增加了一个 C2000 处理器支持包 (Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors), 如图 1.14 所示。

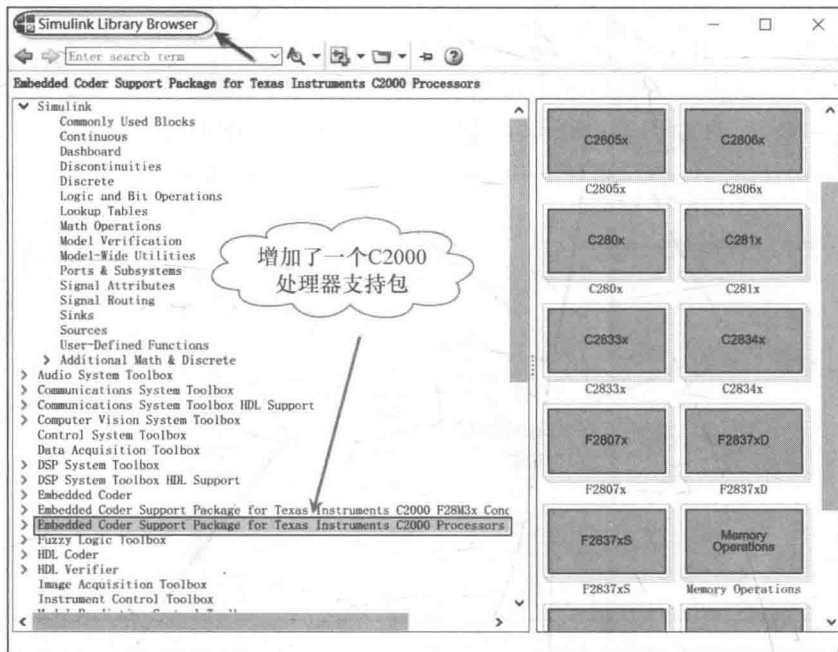


图 1.14 Simulink 库浏览器中的 C2000 处理器支持包

1.3 运行一个现有的 CCS 工程

本例介绍如何打开一个 controlSUITE 中的 CCS 过程，其步骤如下。

1. 选择 Import CCS Projects 选项

选择 Import CCS Projects 选项的步骤如图 1.15 所示。

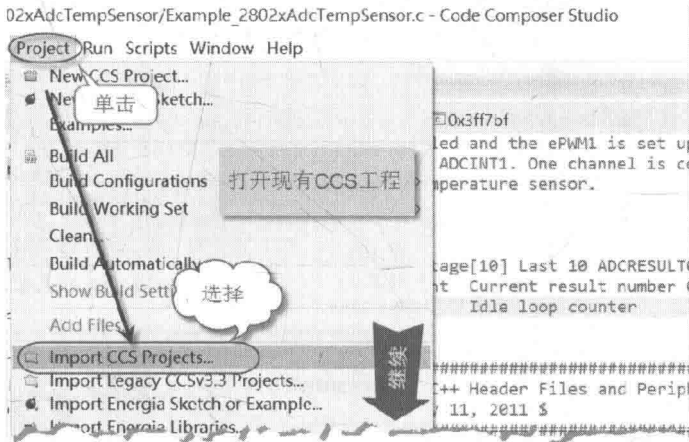
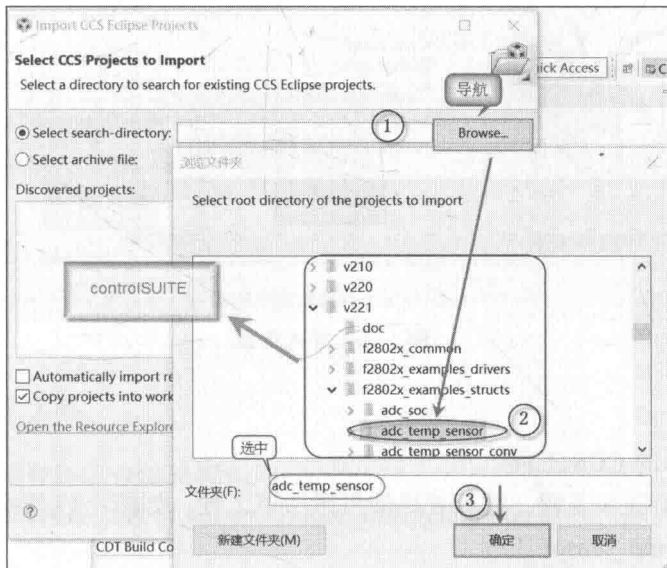


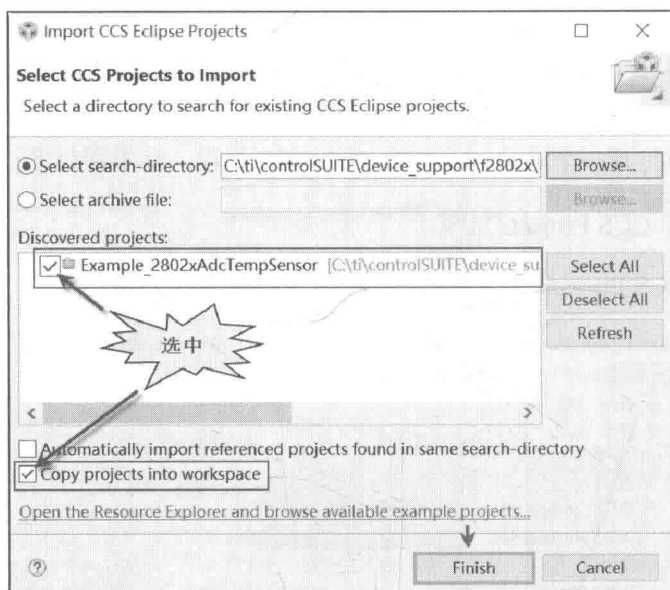
图 1.15 选择 Import CCS Projects 选项

2. 导入 controlSUITE 中需要的 CCS 工程

例如，导入 f2802x/v221/f2802x_examples_structs 中的 adc_temp_sensor 工程的步骤，如图 1.16(a)~(c)所示。



(a) 导入 f2802x/v221/f2802x_examples_structs 中的 adc_temp_sensor 工程的步骤



(b) 将 adc_temp_sensor 工程导入工作空间



(c) CCS 软件编辑视图界面

图 1.16 导入步骤

3. 编译工程

1) 激活待编译的 CCS 工程

单击待编译的 CCS 工程，使其变黑即可激活该工程，如图 1.17 所示。

2) 编译 adc_temp_sensor 工程

单击工具栏上的  图标，编译 adc_temp_sensor 工程，结果如图 1.18 所示。