

DSP

原理及应用

—跟我动手学TMS320F2833x

侯其立 石岩 徐科军 编著



附赠电子教案、相关源代码

<http://www.cmpedu.com>



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书以非DSP初学者为对象，从入门到精通，循序渐进地介绍了DSP的原理及应用。全书共分8章，其中：第1章为DSP芯片的发展；第2章介绍DSP的组成、性能、应用及最小系统的组成；第3章介绍CCS集成开发环境；第4章介绍DSP的寻址方式、指令系统、并行性、流水线及DMA；第5章介绍DSP片上资源及外设；第6章介绍MIPS、ARM、DSP的集成应用；第7章介绍DSP在嵌入式系统中的应用；第8章介绍DSP在工业控制中的应用。

DSP 原理及应用

——跟我动手学 TMS320F2833x

侯其立 石岩 徐科军 编著



机械工业出版社
 地址：北京市西城区百万庄大街24号
 邮编：100037
 电话：(010) 68993822
 网址：www.cmpbook.com



机械工业出版社
 地址：北京市西城区百万庄大街24号
 邮编：100037
 电话：(010) 68993822
 网址：www.cmpbook.com

本书介绍了 TMS320F2833x DSP 芯片的结构原理、外设模块、示例程序及工程应用。全书共分为 8 章。其中,第 1 章是对 DSP 芯片的概述;第 2 章介绍 DSP 的性能、结构及资源,并介绍最小系统的硬件;第 3 章介绍 CCS 集成开发环境;第 4 章介绍 DSP 系统控制与中断,包括时钟和 PLL、看门狗、CPU 定时器及 PIE;第 5 章介绍 DSP 接口与总线,包括 GPIO、XINTF 及 DMA;第 6 章介绍 DSP 片上控制与采样外设,包括 ePWM、eCAP、eQEP 及 ADC;第 7 章介绍 DSP 片上串行通信外设,包括 SPI、McBSP、SCI、I²C;第 8 章介绍 DSP 工程应用实例。

本书可以作为 DSP 初学者快速入门教材,亦可为从事自动控制、信号检测及仪器仪表等专业的科研工作者提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理及应用:跟我动手学 TMS320F2833x/侯其立,石岩,徐科军编著.
—北京:机械工业出版社,2015.2
ISBN 978-7-111-49650-2

I. ①D… II. ①侯… ②石… ③徐… III. ①数字信号处理 IV.
①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 051445 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:时 静 责任校对:张艳霞

责任编辑:刘 悦

责任印制:乔 宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.75 印张·626 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-49650-2

定价:59.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 是一种运算速度快、处理能力强、外设资源丰富的微处理器, 应用于控制系统、电气设备、信号处理、通信系统、语音图像等方面。C2000 系列 DSP 是美国德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司 TMS320 DSP 的三大系列之一, 其针对实时控制应用而设计, 具有高性能集成外设。其数学优化型内核可提高系统效率、可靠性及灵活性, 是理想的单芯片控制解决方案。

C2000 系列 DSP 主要应用在电动机控制、数字电源及先进传感。编者所在的合肥工业大学电气与自动化工程学院 DSP 实验室, 多年来将 C2000 系列 DSP 应用于工业领域, 从 TMS320LF2407A 到 TMS320F2812, 再到 TMS320F2833x, 特别是近几年来, 以 TMS320F28335 为核心, 成功研制了基于 DSP 的全数字科里奥利质量流量计、基于 DSP 的浆液型电磁流量计、基于 DSP 的不分光红外气体分析仪、基于 DSP 的矢量控制电动执行器等, 均被企业采用, 有的已经形成产业化, 产生了较好的社会效益和经济效益。同时, 编者所在的实验室研制的“基于 DSP 的信号处理与控制系统”在各种 TI DSP 创新设计大赛中都取得了很好的成绩。例如, “基于 DSP 的数字科里奥利质量流量计”获 2010 年 TI DSP 邀请赛系统应用组第一名 (两年一度海峡两岸 TI DSP 竞赛的最高奖); “基于 TMS320F2812 的浆液型电磁流量计”在 2010 年 TI C2000 DSP 大奖赛自由命题组决赛中获二等奖; “数字红外气体分析仪”在 2011~2012 年 TI C2000 创新设计大赛中获三等奖; “基于 DSP 的矢量控制电动执行器”在 2013 年全国大学生测量控制与仪器创新设计大赛上获得专业组特等奖 (最高奖, TI 杯) 等。此外, 编者所在的实验室在 TI 大学计划的资助下, 研制基于 DSP 的数字电源实验教学套件, 将向全国高校的有关专业进行推广。多年来编者所在的实验室出版了多本 DSP 原理及应用方面的教材和技术书籍, 这次基于 TMS320F2833x 系列 DSP 系统的开发经验, 将针对初学者编写一本“手把手”地教读者使用 DSP 芯片进行 DSP 系统设计开发的教材。

本书以 TMS320F2833x 系列 DSP 为代表, 介绍了 F2833x 系列 DSP 芯片内部结构、特点及片上功能模块的工作原理与操作方法, 并介绍了集成开发环境 (Code Composer Studio, CCS) 的使用方法。

本书注重知识点与读者动手实践相结合。在 DSP 资源概述后, 介绍了 DSP 最小硬件系统的组成及搭建方法。之后介绍了 CCS 开发环境的使用, 包括 CCS 工程的建立、调试方法, 以及 DSP 最小软件系统的组成及配置。从第 3 章开始, 在每一章节都会配以 1~2 个应用程序实例, 这些程序是针对 F2833x 系列芯片中资源最为丰富的 F28335 型号 DSP, 供读者参考。所配的程序有的来自 TI 官方网站, 作为基础巩固; 有的来自于编者项目开发中的实例, 作为拓展提高。读者在每学习完一个外设模块后, 都可以结合本书所附程序, 动手编写该外设模块的应用程序, 并在 DSP 目标板上调试, 进而让读者在实际操作中掌握该外设模块的操作方法。本书所附程序均已在 DSP 目标板上调试通过。

本书共分 8 章, 具体内容如下:

- 第 1 章主要介绍 DSP 的定义、特点、发展、应用、选型, 以及本书主要内容与学习方法。

- 第2章介绍 DSP 性能与组成, 主要包括 TMS320F2833x 系列 DSP 的性能概述、引脚描述、功能模块及存储映射、资源简述以及最小系统硬件。
- 第3章介绍 CCS 集成开发环境, 主要包括 CCSv5 的安装、工程的建立、程序的编写及调试方法。
- 第4章介绍 DSP 系统控制与中断, 主要包括系统时钟和 PLL、看门狗、CPU 定时器、外设中断扩展 (PIE), 并给出了 DSP 寄存器控制与中断例程。
- 第5章介绍 DSP 的接口与总线, 包括通用输入/输出端口 (GPIO)、外部接口 (XINTF) 及直接存储器访问 (DMA) 模块。
- 第6章介绍 DSP 片上控制与采样外设, 包括增强型脉冲宽度调制器 (ePWM)、增强型捕获 (eCAP) 模块、增强型正交编码 (eQEP) 模块及模-数转换器 (ADC)。
- 第7章介绍 DSP 片上串行通信外设, 包括串行外设接口 (SPI)、多通道缓冲串行口 (McBSP)、串行通信接口 (SCI) 及 I²C 模块。
- 第8章为 DSP 在工程中的应用实例, 介绍了 TMS320F2833x 系列 DSP 在流量检测、成分分析及电动机控制领域的应用。

本书由徐科军策划, 由侯其立、石岩和徐科军编写。其中, 侯其立编写第1、2章以及第4.4、5.1、5.2、6.2、6.3、7.2、8.1、8.4节, 石岩编写第3章以及第4.1、4.2、4.3、4.5、5.3、6.1、6.4、7.1、7.3、7.4节, 徐科军编写第8.2、8.3节, 并审阅全书。本书编写过程中, 方敏、陶波波对第2.5节进行了审阅修改; 朱永强、李叶、李苗、熊文军和刘翠参与了书稿的部分资料收集与整理工作, 并参加数字式科里奥利质量流量计研制, 为编写8.1节提供了素材; 梁利平、杨双龙、张然、张振和许伟参加浆液型电磁流量计研制, 为编写8.2节提供了素材; 张玉超、陈桃红和陶波波参加了数字式不分光红外气体分析仪研制, 为编写8.3节提供了素材; 张冀参加基于矢量控制的电动执行器研制, 为编写8.4节提供了素材。美国德州仪器 (TI) 公司大学计划工程师和本课题组的杨双龙对本书框架的确定和目录的编写提出了宝贵的意见。在此, 向所有支持编写本书的人员表示衷心感谢。

本书所附的程序代码来源于 TI 官网或由编者编写。对于 TI 官网的程序, 读者可登录 TI 官方网站进行下载; 编者编写的程序可登录机械工业出版社教材服务网 (www.cmpedu.com) 下载。

由于编者水平有限, 书中可能存在不妥之处, 敬请广大读者批评指正。

编者于合肥工业大学电气与自动化工程学院 DSP 实验室

2014年8月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 DSP 定义	1
1.2 DSP 概述	1
1.2.1 DSP 芯片的特点	1
1.2.2 DSP 芯片的发展	2
1.2.3 DSP 芯片的应用	3
1.2.4 DSP 芯片的选型	3
1.3 本书主要内容及学习方法	4
1.4 拓展阅读	5
本章小结	6
习题	6
第2章 DSP 性能与组成	7
2.1 TMS320F2833x 性能概述	7
2.2 TMS320F2833x 引脚描述	9
2.3 TMS320F2833x 功能模块及存储映射	19
2.3.1 TMS320F2833x 功能模块	19
2.3.2 TMS320F2833x 存储映射	21
2.4 TMS320F2833x 资源简述	25
2.5 TMS320F2833x 最小系统硬件	31
2.5.1 电源与复位	32
2.5.2 时钟	33
2.5.3 JTAG 接口	34
本章小结	35
习题	35
第3章 CCS 集成开发环境	36
3.1 CCSv5 的安装	36
3.2 CCSv5 工程举例	38
3.2.1 导入已有 CCS 工程	38
3.2.2 新建 CCS 工程	39
3.2.3 编写 CCS 工程	41
3.2.4 CCSv5 工程调试	44

本章小结	49
习题	50
第4章 DSP 系统控制与中断	51
4.1 系统时钟和 PLL	51
4.1.1 时钟信号概述	51
4.1.2 晶体振荡器和 PLL 模块	51
4.1.3 时钟、PLL 及低功耗模块寄存器	54
4.2 看门狗模块	61
4.2.1 看门狗模块概述	61
4.2.2 看门狗模块寄存器	63
4.3 32 位 CPU 定时器	64
4.3.1 CPU 定时器概述	64
4.3.2 CPU 定时寄存器	65
4.4 外设中断扩展 (PIE)	67
4.4.1 PIE 控制器概述	68
4.4.2 向量表映射	70
4.4.3 中断源及中断操作	71
4.4.4 中断向量表	75
4.4.5 PIE 寄存器	80
4.5 DSP 系统控制与中断例程	85
本章小结	93
习题	93
第5章 DSP 接口与总线	95
5.1 通用输入/输出端口 (GPIO)	95
5.1.1 GPIO 配置	95
5.1.2 GPIO 寄存器	99
5.1.3 GPIO 应用例程	108
5.2 外部接口 (XINTF)	113
5.2.1 XINTF 功能概述	113
5.2.2 XINTF 配置	116
5.2.3 外部 DMA 接口支持 (XHOLD, XHOLDA)	122
5.2.4 XINTF 寄存器	122
5.2.5 XINTF 应用例程	126
5.3 直接存储器访问 (DMA) 模块	133
5.3.1 DMA 模块总线结构	133
5.3.2 CPU 仲裁及通道优先级	136
5.3.3 地址指针和传送控制	138
5.3.4 ADC 模块同步特性	142
5.3.5 DMA 超载	142

5.3.6	DMA 模块寄存器说明	143
5.3.7	DMA 应用例程	151
	本章小结	156
	习题	157
第6章	DSP 片上控制与采样外设	158
6.1	增强型脉宽调制器 (ePWM) 模块	158
6.1.1	ePWM 模块概述	158
6.1.2	ePWM 子模块功能	160
6.1.3	ePWM 寄存器说明	181
6.1.4	ePWM 模块例程	195
6.2	增强型捕获 (eCAP) 模块	197
6.2.1	eCAP 概述	197
6.2.2	eCAP 操作	199
6.2.3	eCAP 寄存器	204
6.2.4	eCAP 应用例程	212
6.3	增强型正交编码脉冲 (eQEP) 模块	217
6.3.1	eQEP 概述	217
6.3.2	eQEP 各功能子模块	220
6.3.3	eQEP 中断结构	230
6.3.4	eQEP 寄存器	230
6.3.5	eQEP 应用例程	241
6.4	ADC 模块	246
6.4.1	ADC 模块的特性	246
6.4.2	ADC 模块的工作模式	247
6.4.3	ADC 模块的校准	256
6.4.4	ADC 模块寄存器说明	257
6.4.5	ADC 模块的应用例程	264
	本章小结	272
	习题	273
第7章	DSP 片上串行通信外设	275
7.1	串行外设接口 (SPI)	275
7.1.1	SPI 模块概述	275
7.1.2	SPI 模块工作模式	277
7.1.3	SPI 模块寄存器说明	283
7.1.4	SPI 应用例程	290
7.2	多通道缓冲串行口 (McBSP)	298
7.2.1	McBSP 概述	298
7.2.2	McBSP 操作	300
7.2.3	McBSP 异常/错误状态	305

7.2.4	多通道选择模式	306
7.2.5	时钟停止模式完成 SPI 操作	307
7.2.6	McBSP 寄存器	309
7.2.7	McBSP 应用例程	322
7.3	串行通信接口 (SCI)	331
7.3.1	SCI 模块概述	331
7.3.2	SCI 模块寄存器说明	337
7.3.3	SCI 应用例程	345
7.4	I ² C 模块	352
7.4.1	I ² C 模块概述	352
7.4.2	I ² C 模块操作	355
7.4.3	I ² C 模块中断请求	360
7.4.4	I ² C 模块寄存器说明	361
7.4.5	I ² C 模块应用例程	373
	本章小结	384
	习题	384
第 8 章	DSP 工程应用实例	386
8.1	数字式科里奥利质量流量计	386
8.1.1	科里奥利质量流量计概述	386
8.1.2	系统硬件	387
8.1.3	系统软件	389
8.2	浆液型电磁流量计	389
8.2.1	电磁流量计概述	389
8.2.2	系统硬件	390
8.2.3	系统软件	391
8.3	数字式不分光红外气体分析仪	392
8.3.1	红外气体分析仪概述	392
8.3.2	系统硬件	393
8.3.3	系统软件	395
8.4	基于矢量控制的电动执行器	395
8.4.1	电动执行器概述	395
8.4.2	系统硬件	396
8.4.3	系统软件	398
	本章小结	398
	习题	399
	参考文献	400

第1章 绪论

1.1 DSP 定义

近年来,数字信号处理(DSP)技术已逐渐发展成为一门非常活跃的、理论与实际紧密结合的应用基础学科。DSP技术包含数字信号处理(Digital Signal Processing)和数字信号处理器(Digital Signal Processor)两方面含义。数字信号处理技术包括信号的离散傅里叶变换、频域分析、时域分析及数字滤波器设计等内容;而数字信号处理器则是伴随着微电子技术的迅速发展而产生的高速可编程处理器,是实现数字信号处理方法的有效工具。本教程中介绍的DSP是指后者,主要阐述数字信号处理器(Digital Signal Processor)的原理、资源及应用。

1.2 DSP 概述

自数字信号处理器(Digital Signal Processor)问世以来,由于其具有处理速度快、外设接口丰富、编程方式灵活等特点,已经在图像处理、工业控制、语音处理、仪器仪表及通信领域发挥了越来越重要的作用。

1.2.1 DSP 芯片的特点

DSP微处理器是为了满足数字信号处理及实时控制而制造的一类微处理器,具有特殊的芯片架构与指令集,有如下特点:

1) 多总线结构。DSP内部一般采用哈佛(Harvard)结构或改进型哈佛结构,其片内至少有四套总线,分别为程序数据总线、程序地址总线、数据总线和数据地址总线。这种完全隔离的程序与数据存储器及双独立总线结构,可允许同时获取来自程序存储器的指令字和来自数据存储器的操作数,这意味着在一个机器周期内,可以同时取指令和操作数而互不干扰。

2) 专用乘法器。一般的算术逻辑单元(Arithmetic and Logic Unit, ALU)的乘法运算由加法和移位实现,乘法运算需要多个指令周期来完成,运算速度慢。DSP设置了专用的硬件乘法器,一次或多次乘法累加运算可以在一个指令周期内完成。

3) 流水线操作。执行一条DSP指令,需要经过取指令、译码、取操作数和执行等几个阶段。DSP的流水线结构使得这几个阶段在执行程序过程中是重叠的,在执行本条指令的同时,后继的若干条指令也在完成取指令、译码、读操作数操作,即在每个指令周期内,多条指令同时处于激活状态,但是,处于不同的阶段。同时处于激活状态的指令数与DSP芯片流水线的深度有关。

4) 多处理单元结构。DSP内部一般包含多个处理单元,如硬件乘法器(MUL)、累加器(ACC)、算术逻辑单元(ALU)、辅助算术单元(ARAU)等。它们都可以在一个单独的

指令周期内执行计算任务，且这些运算往往是同时完成的，因此 DSP 可以完成连续乘加运算，每次运算都是单周期的。

5) 特殊的指令设置。DSP 在指令系统中采用了一些特殊指令，主要包括为实现数字信号处理算法而设置的特殊指令，例如，为了实现 FFT 算法，指令系统中设置了“循环寻址”及“位倒序”等特殊指令。

6) 快速的指令周期。DSP 芯片采用上述哈佛结构、流水线操作，并设计了专用的硬件乘法器和特殊 DSP 指令，使得 DSP 芯片的指令周期能够达到数十纳秒至几纳秒。

7) 资源丰富，接口方便。DSP 芯片上集成了丰富的外设资源，如定时器、ADC 模块、PWM 模块等，并包含许多与外设芯片通信的接口，如 McBSP、SPI、I²C、XINTF 等，这些功能性端口也可以独立配置为通用的输入输出 I/O。

1.2.2 DSP 芯片的发展

(1) DSP 发展概况

在 DSP 出现之前，数字信号处理只能依靠微处理器来完成。但是，由于微处理器的处理速度较慢，根本就无法满足越来越大的信息量需要高速实时运算的要求。

1978 年，美国 AMI 公司发布首个单片 DSP 芯片 S2811。1979 年，美国 Intel 公司发布了可编程 DSP 器件 2920。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必需的单周期乘法器，限制了处理速度的提高，因而并没有成功应用到实际工作中。1980 年，日本 NEC 公司推出了具有硬件乘法器的商用 DSP 芯片 μ PD7720，成为第一款面向商业推广的通用型 DSP 微处理器。

随着大规模集成电路技术的发展，1982 年美国德州仪器公司推出 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品，标志了实时数字信号处理领域的重大突破。

从 20 世纪 80 年代初 DSP 产品推出以来，DSP 产品发展迅速，生产厂家众多，产品种类繁多，工作速度不断提高。其中一个关键转折点是在 20 世纪 90 年代中期，TI 公司开发出并行处理结构并在 1997 年推出了 C6000 系列 DSP，其有 8 个并行运算单元，极大提高了运算速度。

目前，市场上常见的 DSP 产品有美国 TI 公司生产的 TMS320 系列，AD 公司的 ADSP 系列，日本 NEC 公司的 PD 系列，MOTOROLA 公司的 DSP 系列等。TI 公司的 TMS320 系列产品是最成功的 DSP 产品之一，是目前世界上最有影响力的 DSP 芯片。从 TMS32010 问世以来，已经生产出六代产品。

(2) DSP 的发展方向

DSP 发展方向如下：

1) 可编程化。可编程 DSP 给生产厂商提供了很大的灵活性。生产厂商可在同一个 DSP 平台上开发各种不同型号的系列产品，以满足不同用户的需求。同时，可编程 DSP 也为广大用户提供了易于升级的良好途径。

2) 高性能化。用户要求多种多样，在通信基础设施的信号处理中，用户一直在强调低成本、低功耗；而对于越来越复杂的二维、三维图像处理，用户需要并行化的系统并能够运行复杂的算法；在高性能、高强度终端设备中，用户要求能在极短的时间内完成信号处理分析。这些都要求 DSP 不断追求更高的运行速度、更低的功耗和更小的几何尺寸。

3) 多核化。多核 DSP 芯片是在单个芯片内集成了多个 DSP 核和其他类型的处理器核。相比单核 DSP，多核 DSP 具有更强的并行处理能力、更优化的功耗管理方法、更方便的编

程和调试手段,将成为今后高性能嵌入式应用的核心器件。

4) SoC 化。SoC (System on Chip) 技术是一种高度集成化、固件化的系统集成技术,使用 SoC 技术设计系统的核心思想,即是要把整个应用电子系统集成在一个芯片中。

5) 与可编程器件结合。与常规的 DSP 器件相比, FPGA 器件配合传统的 DSP 器件可以处理更多信道,可在基站中实现高速实时处理功能,满足无线通信、多媒体等领域的需求。

1.2.3 DSP 芯片的应用

DSP 技术应用领域广泛,利用 DSP 芯片构造信号处理系统已成为当今数字信号处理技术的一个发展热点。DSP 芯片的应用也涵盖了信号处理、通信、雷达、自动控制、生物医学等领域,主要包括:

- 信号处理。如数字滤波、自适应滤波、快速傅里叶变换、相关运算、卷积等。
- 通信领域。如调制解调器、数据加密、数据压缩、回波抵消、扩频通信、可视电话等。
- 语音处理。如语音编码、语音识别、语音存储、语音邮件等。
- 图像处理。如图像压缩与传输、二维和三维图形处理、图像增强、机器人视觉等。
- 军事领域。如保密通信、雷达处理、声纳处理、导航、全球定位等。
- 仪器仪表。如数据采集、频谱分析、参数估计、函数发生等。
- 自动控制。如电动机控制、自动化装置控制、机器人控制、磁盘控制等。
- 医疗设备。如核磁共振成像、助听器、超声设备、病人监护、心电图等。
- 家用电器。如数字电话、数字电视、玩具游戏、数字相机等。

1.2.4 DSP 芯片的选型

在进行 DSP 应用系统设计时,系统方案确定后,就需要对 DSP 芯片进行选型。根据应用场合和设计目标不同,选择 DSP 芯片的侧重点也各不相同。DSP 芯片的选型可从如下几方面进行考虑。

1) 运算速度。根据所选择的数字信号处理算法的运算量及算法处理的允许时间,即可大概估算所需 DSP 芯片的运算速度下限。衡量 DSP 芯片运算速度的标准主要有:

- 指令周期,即执行一条指令所需的时间。
- MIPS (Million of Instructions Per Second),即每秒可执行的百万条指令。
- MOPS (Million of Operations Per Second),即每秒可执行的百万次操作。
- MFLOPS (Million Floating Point Operations Per Second),即每秒可执行的百万次浮点操作。
- FFT/FIR 执行时间,即运行一次 N 点的 FFT 算法或 N 点 FIR 程序所需的运算时间。
- MAC 时间,即运行一次乘法和加法所需的时间。

2) 片上资源。大多数 DSP 芯片都在片上集成了相关存储模块及外设模块,如 RAM、Flash、PWM、ADC 模块、外部存储器扩展接口、串行通信接口等,如果选用的 DSP 芯片内部已包含系统所需的外设模块,就不需要额外设计外扩电路及选用外部芯片,这有利于提高系统的可靠性。

3) 开发调试工具。方便完善的开发工具和相关支持软件是开发大型复杂 DSP 系统的必

备条件。开发工具包括软件和硬件两部分，软件开发工具主要包括 C 编译环境、汇编器、链接器、程序库等，硬件包括 JTAG 口及仿真器等。

4) 功耗。目前 DSP 系统向着嵌入式、小型化和便携式方向发展，在电池容量一定的情况下，DSP 芯片功耗越小，续航时间越长，开发出的系统所具有的竞争力也就越强。

5) 其他因素。如价格、DSP 芯片的封装形式、环境要求、市场货源等因素。

TI 公司生产的 DSP 产品可分为三大系列：TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列及 TMS320C6000 系列，每个系列产品都面向不同的应用领域和用户需求，以使用户选型。其中，TMS320C2000 系列 DSP 主要应用于自动控制、电气工程和仪器仪表等领域，如电机控制、数字电源和先进传感；TMS320C5000 系列 DSP 具有高性价比、低功耗的优点，主要应用于通信领域，如交换机、路由器等；TMS320C6000 系列 DSP 是高性能 DSP，一般用于高档数字信号处理领域，如数字图像处理。

C2000 系列 DSP 针对实时控制应用而设计，具有高性能集成外设，其数学优化型内核可为设计人员提供提高系统效率、可靠性以及灵活性的方法，是理想的单芯片控制解决方案。本书后续章节将以 TI 公司 C2000 系列 DSP 中 TMS320F2833x 为例，介绍该系列芯片的原理以及其在自动控制、电气工程和仪器仪表领域的应用。

1.3 本书主要内容及学习方法

本书选择目前在控制领域得到广泛应用的 TMS320F2833x 系列 DSP，对其从硬件、软件和开发应用方面进行详细介绍。在后续章节中，将着重介绍 F2833x 芯片内部结构、特点及片上功能模块的工作原理及使用方法，如系统控制与中断（系统时钟、看门狗、CPU 定时器、中断管理）、接口与总线（GPIO、XINTF、DMA）、系统片上控制与采样外设（ePWM、eCAP、eQEP、ADC）、片上串行通信外设（SPI、McBSP、SCI、I²C），同时介绍了 CCS 软件开发环境及 CCS 程序编写。在每一模块介绍完后，均配以 CCS 软件工程实例，软件实例是针对 F2833x 系列中资源最为丰富的 F28335 型号芯片，让读者进一步掌握外设的工作过程。

本书可分为概述、基础、应用及扩展四部分，全书的内容结构如图 1-1 所示。

DSP 原理及应用	第1章：绪论 DSP的定义、特点、发展、应用、选型，本书主要内容及学习方法	概述部分： 了解
	第2章：DSP性能与组成 性能、引脚描述、存储映射、资源简述、最小系统硬件	基础部分： 必须掌握
	第3章：CCS集成开发环境 CCS安装、CCS工程举例	
	第4章：DSP系统控制与中断 时钟及PLL、看门狗、CPU定时器、外设中断扩展	应用部分： 掌握+按需专攻
	第5章：DSP接口与总线 GPIO、XINTF、DMA	
	第6章：DSP片上控制与采样外设 ePWM、eCAP、eQEP、ADC	
	第7章：DSP片上通信外设 SPI、McBSP、SCI、I ² C	扩展部分： 工程实例
	第8章：DSP工程应用实例 科氏流量计、电磁流量计、红外气体分析仪、电动执行器	

图 1-1 本书内容结构

对于概述篇所讲述的内容,读者只需要了解即可;基础篇内容包括:DSP性能结构、CCS开发环境及DSP系统控制与中断,读者需要完全掌握,后继应用篇中的各个模块均是在该基础上进行扩展的;应用篇所讲内容涉及DSP的外设模块,读者可先初步掌握各外设模块的工作原理及操作方法,在用到该模块时,再进行专攻;扩展篇给出了TMS320F2833x系列DSP在流量检测、成分分析、电机控制领域中的工程应用实例。

本书从第3章开始,每章节都会附以1~2个应用实例程序,供读者参考。这些程序来源于TI官方网站(下载网址<http://www.ti.com/tool/sprc530>)或编者根据实际工程应用编写(机械工业出版社官方网站下载)。其中,TI官网实例程序主要作为各模块的基础巩固,而编者编写的实例则是作为拓展提高。读者在学习完基础篇后,就应该了解DSP最小系统的配置,并能编写最小系统软件工程;在应用篇中,每个模块学习完后,即可参考本书所附程序,亲手编程实现该模块的操作方法。

本书的主要实践要点有:

- 了解F2833x系列DSP的结构、特点及资源,熟悉CCS软件开发环境使用方法。
- 掌握DSP最小系统的编程配置,如对锁相环、看门狗、PIE中断的初始化操作,掌握系统中断、GPIO、CPU定时器等编程操作方法。
- 掌握片上各外设的结构及工作原理,掌握DSP与外部器件的各种通信协议及硬件连接方法。
- 掌握片上外设的应用编程,如使用片上ADC模块完成采样;使用SPI接口对外部芯片进行读写访问;通过SCI接口与PC通信;使用PWM对系统进行控制;使用eCAP捕获外部信号,计算信号参数等。
- 掌握基本数字信号处理方法的编程实现,如掌握IIR、FIR滤波、FFT算法在DSP上的具体实现等。
- 掌握DSP系统的设计思路与方案。

1.4 拓展阅读

要掌握DSP技术,读者除了从本书获取基本知识以外,还要掌握数字信号处理理论,研究控制方法和算法,并进行DSP系统软硬件设计,因此推荐以下书目作为拓展阅读:

- 1) 徐科军,等. TMS320X281X DSP原理及应用[M]. 北京,北京航空航天大学出版社,2006.
 - 2) 徐科军,等. 信号处理技术[M]. 武汉,武汉理工大学出版社,2001.
 - 3) 任润柏,等. TMS320F28X源码解读[M]. 北京,电子工业出版社,2010.
 - 4) 刘陵顺,等. TMS320F28335 DSP原理及开发编程[M]. 北京,北京航空航天大学出版社,2011.
 - 5) 王正林,等. 精通MATLAB 7[M]. 北京,电子工业出版社,2006.
 - 6) 郝文化,等. Protel DXP电路原理图与PCB设计[M]. 北京,机械工业出版社,2004.
 - 7) 吴国凤,等. C语言程序设计教程[M]. 合肥,中国科学技术大学出版社,2003.
- 以下网址可以获得DSP相关的技术手册或技术支持:

1) <http://www.ti.com>。

2) <http://www.realtimedsp.com.cn/>。

3) <http://bbs.eeworld.com.cn/TI/>。

4) <http://www.21ic.com/>。

5) <http://e2e.ti.com/>。

本章小结

本章介绍了 DSP 的定义及 DSP 芯片的特点、发展、应用及选型。通过本章学习，读者应了解 DSP 芯片比传统单片机在结构资源上的优势，了解 DSP 芯片的应用范围以及 DSP 在选型时应考虑的因素。

本章还介绍了本书的主要内容及学习方法。全书分为概述、基础、应用及扩展四大部分，读者应重点掌握基础篇及应用篇的内容。在学习完基础篇后，读者就应了解 DSP 最小硬件系统的搭建以及 DSP 最小软件系统的编写；在应用篇中，每一模块理论学习后，都应编写相应模块的应用程序，掌握该模块的操作方法。

习题

1. 数字信号处理器 (DSP) 有哪些特点？应用场合有哪些？
2. TI 公司的 DSP 芯片主要包括哪几个系列？分别应用于哪些场合？
3. 查阅资料，比较数字信号处理方法与模拟信号处理方法的优缺点。
4. 什么是哈佛结构？与传统的冯·诺依曼结构有什么区别？
5. DSP 选型时，要考虑哪些因素？
6. 查阅资料，C2000 DSP 系统一般包含哪些功能模块？系统设计的一般步骤是什么？

第2章 DSP性能与组成

TI C2000 系列 DSP 是专为实时控制量身打造的、支持高性能集成外设的微控制器。目前, C2000 系列 DSP 已经广泛应用于自动化装置控制领域中, 如流量仪表、电机控制、成分检测、电网控制等。而 TMS320F2833x DSP 是 TI 公司新推出的一款浮点型数字信号处理器。它在已有的 C2000 DSP 平台上增加了浮点内核, 在保持原有 C2000 DSP 特点的同时, 又提高了运算速度。此外, F2833x 也新增了一些外设模块, 例如, DMA、I²C、ePWM、HRPWM, 并增大了片上的存储空间。TMS320F2833x 在 C2000 系列 DSP 上的优势将使得其应用越来越广泛。

2.1 TMS320F2833x 性能概述

TMS320F2833x 系列 DSP 包括 F28332、F28334、F28335, 其主要性能如下。

- 高性能静态 CMOS 技术: 最高可达 150 MHz 时钟频率 (时钟频率因具体芯片型号而异, 具体见表 2-1), 内核电压 1.9 V/1.8 V (对于 150 MHz, 内核电压 1.9 V; 对于 100 MHz, 内核电压 1.8 V), I/O 引脚电压 3.3 V。
- 高性能 32 位 CPU (TMS320C28x): 具有 IEEE-754 标准的单精度浮点运算单元 (FPU), 16 × 16 和 32 × 32 的乘法累加操作, 双 16 × 16 乘法累加单元, 采用哈佛总线结构, 快速中断响应及处理, 统一的存储器编程模式, 高代码效率 (可用 C/C++ 和汇编语言)。
- 6 通道 DMA 控制器: 可与 ADC 模块、McBSP、ePWM、XINTF 及 SARAM 通信。
- 16 位或 32 位的外部接口 XINTF: 最大可达 2M × 16 位的访问地址空间。
- 片上存储器: 具有 Flash、SARAM 及 OTP ROM, 存储空间大小见表 2-1。
- Boot ROM (8K × 16 位): 带软件引导模式 (如通过 SCI、SPI、CAN、I²C、McBSP、XINTF 及并行 I/O 口), 带标准的数学表。
- 时钟和系统控制: 支持动态配置锁相环 (PLL) 倍频系数、片上振荡器、看门狗模块。
- 外部中断: GPIO0 ~ GPIO63 可以连接到 8 个外部内核中的任何一个。
- 外设中断扩展 (PIE) 模块: 支持全部 58 个外设中断。
- 128 位安全密码锁: 保护 Flash/OTP/RAM 模块, 防止系统固件被盗取。
- 增强型控制器外设: 最多可达 18 个 PWM 输出、6 个 HRPWM 输出、6 个事件捕获输入、2 个正交编码接口、8 个 32 位/9 个 16 位定时器、3 个 32 位 CPU 定时器。
- 串行接口外设: 最多有 2 个 CAN 模块、3 个 SCI (UART) 模块、2 个 McBSP 模块 (可配置为 SPI)、1 个 SPI 模块、1 个 I²C 模块。
- 12 位的 ADC 模块, 具有 16 个转换通道: 80ns 的快速转换时间, 2 个 8 通道的多路输入选择器, 2 个采样保持器, 单次/连续转换模式, 内部/外部基准电压。
- 多达 88 个独立可编程复用的 GPIO 口 (带输入滤波)。

- 支持 JTAG 边界扫描。
- 高级仿真性能：分析和设置断点功能，硬件实时调试功能。
- 开发工具支持包括：ANSI C/C++ 编译器/汇编器/连接器、CCS、DSP/BOIS、数字电机控制和数字电源软件库支持。
- 低功耗和节能模式：支持 IDLE、STANDBY、HALT 模式，支持外设模块时钟的独立禁止。
- 封装：无铅封装，有 PGF、ZHH、ZJZ 封装形式。
- 温度特性：A 型，温度范围 -40 ~ 85℃ (PGF、ZHH、ZJZ)；S 和 Q 型，温度范围 -40 ~ 125℃ (ZJZ)。

表 2-1 F2833x 系列 DSP 芯片硬件特性

特 性	F28335 (150 MHz)	F28334 (150 MHz)	F28332 (100 MHz)
指令周期	6.67 ns	6.67 ns	10 ns
浮点运算单元	有	有	有
片上 3.3 V Flash 存储器 (16 位字长)	256 K	128 K	64 K
单口随机存储器 SARAM (16 位字长)	34 K	34 K	26 K
OTP 只读存储器 (16 位字长)	1 K	1 K	1 K
片上 Flash、SARAM、OTP 模块密码保护	有	有	有
Boot ROM (8K × 16)	有	有	有
16/32 位外部接口 (XINTF)	有	有	有
6 通道直接存储器访问 (DMA)	有	有	有
PWM 输出	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6
HRPWM 通道	ePWM1A/2A/ 3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/ 3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/3A/4A
32 位捕获输入或辅助 PWM 输出	eCAP1/2/3/4/5/6	eCAP1/2/3/4	eCAP1/2/3/4
32 位 QEP 通道 (每通道 4 输入)	eQEP1/2	eQEP1/2	eQEP1/2
看门狗定时器	有	有	有
12 位 ADC 模块	通道数	16	16
	最大转换速率	12.5MSPS	12.5MSPS
	转换时间	80ns	80ns
32 位 CPU 定时器	3 个	3 个	3 个
多通道缓冲串行口 (McBSP, 可用作 SPI)	2 个 (A/B)	2 个 (A/B)	1 个 (A)
串行外设接口 (SPI)	1 个	1 个	1 个
串行通信接口 (SCI)	3 个 (A/B/C)	3 个 (A/B/C)	2 个 (A/B)
增强型 CAN 控制器 (eCAN)	2 个 (A/B)	2 个 (A/B)	2 个 (A/B)
I ² C 接口	1 个	1 个	1 个
通用 I/O 引脚 (与功能引脚共用)	88 个	88 个	88 个
外部中断	8 个	8 个	8 个