



高等学校电子信息类专业系列教材

教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材

嵌入式与工业控制技术

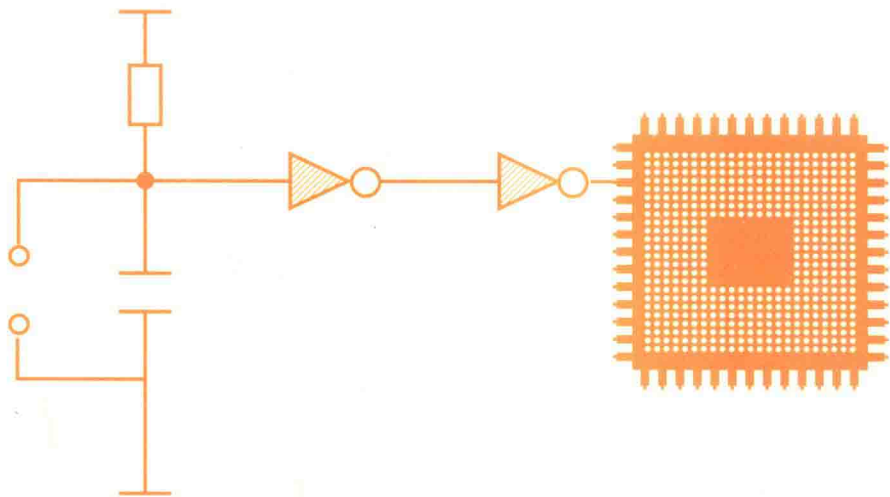
**D**SP Principle and Application

# DSP原理与应用

## 基于TMS320F2833x的实践

杨家强 编著

Yang Jiaqiang



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

DSP Principle and Application

# DSP原理与应用

基于TMS320F2833x的实践

杨家强 编著

Yang Jiaqiang

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书介绍了 TI 公司最新推出的 TMS320F2833x 系列 DSP 的开发和应用,以 TMS320F28335 为代表详细介绍其基本结构、工作原理、应用配置以及实例程序等。

全书共 13 章,首先简要介绍 F28335 DSP+FPU 的架构特点,然后基于 CCS 软件阐述了软件基本使用方法和 F28335 软硬件开发环境。在详细介绍了 F28335 存储器以及外部接口之后,针对 F28335 具有众多功能强大的外设的特点,重点分析了时钟和中断控制的流程,并详细描述了电机控制中常用的外设和接口,包括通用输入/输出端口 GPIO、模数转换器 ADC、增强型脉宽调制器 ePWM、增强型正交编码脉冲单元 eQEP、增强型捕捉模块 eCAP、异步串行通信接口 SCI、同步串行外围接口 SPI 等的使用方法。最后给出了以 F28335 为处理器的电机控制工业和并联型有源电力滤波的应用实例,提供了最直观的技术参考。

本书可作为从事 DSP 开发及应用的初、中级读者学习使用 TMS320F2833x 系列 DSP 的教材,也可为其他层次的 DSP 开发人员提供参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与应用:基于 TMS320F2833x 的实践/杨家强编著. —北京:清华大学出版社,2019  
(高等学校电子信息类专业系列教材)  
ISBN 978-7-302-53613-0

I. ①D… II. ①杨… III. ①数字信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 173914 号

责任编辑:曾 珊  
封面设计:李召霞  
责任校对:李建庄  
责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.75

字 数:450 千字

版 次:2019 年 10 月第 1 版

印 次:2019 年 10 月第 1 次印刷

定 价:56.00 元

产品编号:081990-01



# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学	(教指委高级顾问)	郁道银	天津大学	(教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学	(特约高级顾问)	胡广书	清华大学	(特约高级顾问)
华成英	清华大学	(国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学	(国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学	(国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学	(国家级教学名师)
邹逢兴	国防科技大学	(国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学	(国家级教学名师)

## 一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学			
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学	
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学	
	秦石乔	国防科技大学	何伟明	哈尔滨工业大学	
	刘向东	浙江大学			
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学	
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学	
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学	
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学	
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学	
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学	
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学	
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学	
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学	
	谢泉	贵州大学	卞树檀	火箭军工程大学	
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学	
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学	
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学	
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学	
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学	
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学	
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学	
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学	
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中国科学院上海光学精密机械研究所	
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团股份有限公司	
	蒋晓瑜	陆军装甲兵学院	蔡毅	中国兵器科学研究院	
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学	
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学	
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学	
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学	
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学	
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学	
	苑立波	哈尔滨工程大学			
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社			

# 前言

## PREFACE

数字信号处理是当今嵌入式系统开发中最为热门的关键技术之一。DSP (Digital Signal Processor, 数字信号处理器) 作为一种功能强大的特种微处理器, 自 20 世纪 80 年代诞生以来, 在短短几十年里得到了飞速发展。DSP 主要应用于数据、语音、视像信号的高速数学运算和磁盘驱动器、数控机床、高精度伺服系统控制等的实时控制, 目前已经成为最具发展潜力的产业和市场之一, 在国际和国内都有着广泛的应用群体。美国德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司是 DSP 研发和生产的领先者, 也是世界上最大的 DSP 供应商, 目前 TI 公司新推出的 TMS320F28335 是一款极具影响力的浮点型数字信号处理器。

TMS320F28335 在已有的 DSP 平台上增加了浮点运算内核, 既保持了原有 DSP 芯片的优点, 又能够进行复杂的浮点运算, 可以节省代码执行时间和存储空间, 具有精度高、成本低、功耗小、外设集成度高、数据及程序存储量大和 A/D 转换更精确快速等优点。

TMS320F28335 DSP 的主频高达 150MHz, CPU 采用 32 位定点并包含单精度浮点运算单元 (Float Point Unit, FPU)。片内集成了众多资源: 18 路 PWM 输出端口; 存储资源 Flash、RAM; 标准通信接口 SCI、SPI、eCAN; 两个 8 通道 12 位 ADC; 6 路 DMA; 高达 88 个独立可编程的通用 GPIO 引脚等。另外还有众多的资源可供用户开发利用。

现有的关于 TMS320F28335 的学习资料大多是对数据手册的翻译, 不便于读者学习使用 TMS320F28335。为了更好地帮助读者理解, 作者在长期的 DSP 开发实践的基础上编写了此书。本书汇集了 TI 公司 DSP 开发技术的最新资料, 综合介绍了 TMS320F28335 芯片的功能特点、工作原理, 重点介绍了片内外资源的应用开发和寄存器配置等内容, 并结合实际应用, 给出了以 TMS320F28335 为处理器的电气平台的硬件设计和软件开发。另外, 本书还提供了工程应用实例的 C 语言开发程序, 为读者提供更直观的技术参考。

全书由杨家强编写。在书稿的录入过程中, 许加凯、曾争、俞年昌、高健、彭丹、陈诗澜、张翔、朱洁、王亭、张明晖、杨磊、邓镭峰、高敏、张晓军、郑仕达、张希扬、陈同有、李晓庆、汪俊杰、李文远等做了许多不可或缺的辅助工作。另外, 在全书的编写中, 还参阅了一些优秀的图书和杂志, 并引用了一些参考文献的相关内容, 在此一并对文章的作者表示诚挚的感谢!

由于时间仓促, 编者水平有限, 书中错误和欠妥之处恳请各位读者和同行批评指正。

编者

2019 年 7 月于浙江大学

# 目录

## CONTENTS

<b>第 1 章 DSP 概述</b> .....	1
1.1 DSP 名称解释 .....	1
1.2 DSP 的功能特点 .....	2
1.3 TI-DSP 系列概述 .....	3
习题与思考 .....	4
<b>第 2 章 TMS320F2833x 的特点、结构及其性能</b> .....	5
2.1 TMS320F2833x 的特点 .....	5
2.2 TMS320F2833x 的引脚功能说明 .....	6
2.3 TMS320F2833x 的功能 .....	19
2.3.1 CPU .....	19
2.3.2 总线 .....	19
2.3.3 存储器 .....	21
2.3.4 外设 .....	23
2.4 TMS320F2833x 与 TMS320F2812 的对比 .....	24
习题与思考 .....	25
<b>第 3 章 TMS320F2833x 软硬件开发环境及调试</b> .....	26
3.1 TMS320F2833x 软硬件开发环境及调试 .....	26
3.1.1 电源电路 .....	27
3.1.2 复位电路 .....	30
3.1.3 时钟电路 .....	32
3.1.4 调试接口/JTAG .....	34
3.1.5 模数转换电路设计 .....	35
3.1.6 串行通信端口电路设计 .....	36
3.1.7 PCB 布局布线及硬件调试 .....	36
3.2 TMS320F2833x 软件平台和编程介绍 .....	38
3.2.1 CCS 3.3 简介 .....	38
3.2.2 TI COFF 详解 .....	39
3.2.3 CCS 编程环境 .....	40
3.2.4 CCS 3.3 的配置 .....	41
3.2.5 平台搭建测试 .....	42
3.2.6 构建一个完整的系统 .....	42
3.2.7 CCS 常用操作 .....	45
3.2.8 CCS 调试的一些相关操作 .....	46

3.2.9	CCS 的编译选项 .....	49
3.2.10	CMD 文件详解 .....	50
3.2.11	定点和浮点运算 .....	53
3.2.12	TI 浮点库 .....	58
	习题与思考 .....	60
<b>第 4 章</b>	<b>存储器及外部接口 .....</b>	<b>61</b>
4.1	CPU 内部总线 .....	61
4.2	存储器结构 .....	61
4.2.1	存储器映射 .....	62
4.2.2	代码安全模块 .....	63
4.3	外部扩展接口 .....	64
4.3.1	外部接口功能描述 .....	64
4.3.2	XINTF 功能配置简介 .....	66
4.3.3	XBANK 区域切换 .....	70
4.3.4	XINTF 的 DMA 读/写访问 .....	71
4.3.5	XINTF 的读/写时序图 .....	72
	习题与思考 .....	73
<b>第 5 章</b>	<b>TMS320F2833x 的时钟与系统控制 .....</b>	<b>74</b>
5.1	振荡器 OSC 和锁相环 PLL 模块 .....	74
5.2	外设时钟信号 .....	76
5.3	低功耗模式 .....	78
5.4	看门狗模块 .....	79
5.5	时钟和系统控制模块寄存器 .....	80
5.6	时钟系统基本设置的编程例程 .....	87
	习题与思考 .....	88
<b>第 6 章</b>	<b>TMS320F2833x 的 CPU 定时器 .....</b>	<b>89</b>
6.1	CPU 定时器的结构 .....	89
6.2	CPU 定时器的工作原理 .....	90
6.3	定时器定时时间定量计算 .....	91
6.4	计数/定时功能寄存器 .....	92
6.5	CPU 定时器中断基础设置例程 .....	94
	习题与思考 .....	96
<b>第 7 章</b>	<b>TMS320F2833x 的中断系统 .....</b>	<b>97</b>
7.1	简介 .....	97
7.2	什么是中断系统 .....	97
7.3	数字系统的 4 种信息交换模式 .....	98
7.4	中断系统的三级中断机制 .....	100
7.4.1	外设级 .....	100
7.4.2	PIE 级 .....	101
7.4.3	CPU 级 .....	102
7.5	中断的分类 .....	103
7.6	中断的处理框图 .....	104

7.7	可屏蔽中断的响应过程 .....	106
7.8	PIE .....	107
7.8.1	中断源 .....	107
7.8.2	PIE 中断的作用 .....	107
7.8.3	外设中断在 PIE 的分布 .....	108
7.9	相关寄存器 .....	109
7.10	中断向量表及映射 .....	112
7.10.1	中断向量表 .....	112
7.10.2	向量表映射 .....	116
7.11	处理中断的编程过程 .....	116
7.11.1	文件结构相关 .....	116
7.11.2	具体编程实例 .....	117
7.12	定时器中断主体程序例程 .....	117
	习题与思考 .....	119
<b>第 8 章</b>	<b>TMS320F2833x 的通用 GPIO</b> .....	<b>120</b>
8.1	GPIO 模块概述 .....	120
8.2	输入限制 .....	127
8.3	GPIO 和外设复用功能概述 .....	128
8.4	GPIO 寄存器 .....	131
8.5	GPIO 应用例程 .....	135
	习题与思考 .....	136
<b>第 9 章</b>	<b>TMS320F2833x 的模数转换</b> .....	<b>137</b>
9.1	概述 .....	137
9.2	自动转换排序器的工作原理 .....	138
9.3	顺序采样 .....	141
9.4	同步采样 .....	141
9.5	连续自动排序模式 .....	142
9.6	ADC 预定时钟标 .....	145
9.7	低功耗模式 .....	146
9.8	上电次序 .....	146
9.9	排序器的覆盖功能 .....	147
9.10	ADC 校验 .....	147
9.11	ADC 内外参考电压选择 .....	147
9.12	ADC 到 DMA 的接口 .....	148
9.13	ADC 相关寄存器 .....	148
9.13.1	ADC 控制寄存器 .....	149
9.13.2	最大转换通道寄存器(ADCMAXCONV) .....	150
9.13.3	自动排序状态寄存器(ADCCASEQSR) .....	150
9.13.4	ADC 状态和标志寄存器(ADCST) .....	150
9.13.5	ADC 参考选择寄存器(ADCREFSSEL) .....	151
9.13.6	ADC 偏移调整寄存器(ADCOFFTRIM) .....	151
9.13.7	ADC 输入通道选择序列控制寄存器 .....	151
9.14	ADC 应用例程 .....	152

习题与思考 .....	153
<b>第 10 章 TMS320F2833x 的 ePWM 模块 .....</b>	<b>154</b>
10.1 ePWM 模块概述 .....	154
10.2 ePWM 子模块功能 .....	157
10.2.1 时间基准子模块 .....	157
10.2.2 比较功能子模块 .....	163
10.2.3 动作限定子模块 .....	165
10.2.4 死区控制子模块 .....	167
10.2.5 PWM 斩波器控制子模块 .....	168
10.2.6 故障控制子模块 .....	169
10.2.7 PWM 事件触发子模块 .....	170
10.2.8 应用实例 .....	170
10.3 ePWM 寄存器 .....	171
10.3.1 时间基准寄存器 .....	171
10.3.2 计数比较子模块寄存器 .....	174
10.3.3 动作限定子模块寄存器 .....	176
10.3.4 PWM 死区控制子模块寄存器 .....	177
10.3.5 PWM 斩波控制子模块寄存器 .....	178
10.3.6 故障控制和状态寄存器 .....	179
10.3.7 事件触发子模块寄存器 .....	183
10.4 增强型脉冲编码单元 eQEP .....	187
10.4.1 概述 .....	187
10.4.2 eQEP 模块结构 .....	188
10.4.3 eQEP 正交解码单元 .....	190
10.4.4 eQEP 位置计数器及其控制单元 .....	192
10.4.5 eQEP 位置比较单元 .....	195
10.4.6 eQEP 边沿捕获单元 .....	195
10.4.7 eQEP 看门狗和 eQEP 中断单元 .....	197
10.4.8 eQEP 模块寄存器 .....	197
10.4.9 eQEP 相关例程 .....	203
10.5 增强型捕捉模块单元 eCAP .....	204
10.5.1 eCAP 模块概述 .....	205
10.5.2 eCAP 模块功能 .....	207
10.5.3 eCAP 模块寄存器介绍 .....	208
10.5.4 eCAP 相关例程 .....	215
习题与思考 .....	217
<b>第 11 章 同步串口 SPI 模块和异步串口 SCI 模块 .....</b>	<b>218</b>
11.1 同步串口 SPI 模块 .....	218
11.1.1 同步串口 SPI 模块的通用知识 .....	218
11.1.2 增强型同步串口 SPI 模块的概述 .....	219
11.1.3 同步串口 SPI 模块寄存器概述 .....	220
11.1.4 同步串口模块 SPI 主从工作方式 .....	221
11.1.5 同步 SPI 模块中断 .....	222

11.1.6	SPI 的 FIFO 功能介绍 .....	225
11.1.7	SPI 相关寄存器 .....	226
11.2	异步串口 SCI 模块 .....	234
11.2.1	异步串口 SCI 模块概述 .....	234
11.2.2	异步串口 SCI 模块多处理器通信模式 .....	237
11.2.3	异步串口 SCI 模块相关寄存器 .....	238
11.2.4	应用实例 .....	244
	习题与思考 .....	247
<b>第 12 章</b>	<b>工程应用实例(一)</b> .....	<b>248</b>
12.1	永磁同步电机简介 .....	248
12.1.1	永磁同步电机结构和原理 .....	248
12.1.2	永磁同步电机转子位置检测方法 .....	249
12.2	永磁同步电机矢量控制原理 .....	250
12.2.1	定子三相静止坐标系下永磁同步电机的数学模型 .....	250
12.2.2	转子三相静止坐标系下永磁同步电机的数学模型 .....	251
12.3	矢量控制系统结构 .....	252
12.3.1	$i_d=0$ 的矢量控制原理 .....	252
12.3.2	$i_d=0$ 的矢量控制系统结构 .....	252
12.4	基于 DSP 的实现 .....	253
12.4.1	硬件结构设计 .....	253
12.4.2	软件结构设计 .....	255
12.4.3	系统初始化 .....	257
12.4.4	ADC 模块的配置 .....	258
12.4.5	eQEP 模块的配置 .....	260
12.4.6	Clarke 变换和 Park 变换的实现 .....	261
12.4.7	数字 PID 的实现 .....	262
	习题与思考 .....	265
<b>第 13 章</b>	<b>工程应用实例(二)</b> .....	<b>266</b>
13.1	并联型有源电力滤波器简介 .....	266
13.1.1	并联型有源电力滤波器结构和原理 .....	266
13.1.2	并联型有源电力滤波器谐波检测方法 .....	267
13.2	并联型有源电力滤波器的电流控制原理 .....	268
13.2.1	三相静止坐标系下并联型有源电力滤波器的数学模型 .....	268
13.2.2	同步旋转坐标系下并联型有源电力滤波器的数学模型 .....	270
13.2.3	基于比例谐振的电流控制方法 .....	273
13.3	基于 DSP 的实现 .....	274
13.3.1	硬件结构设计 .....	274
13.3.2	软件结构设计 .....	276
13.3.3	系统初始化 .....	277
13.3.4	ADC 模块的配置 .....	278
13.3.5	同步旋转坐标变换的实现 .....	280
13.3.6	谐波检测方法的实现 .....	280
13.3.7	数字 PR 的实现 .....	282
	习题与思考 .....	283
	参考文献 .....	284

## 1.1 DSP 名称解释

DSP 可以代表数字信号处理技术(Digital Signal Processing),同时也可以代表数字信号处理器(Digital Signal Processor)。前者是理论和计算方法上的技术,后者是指实现这些技术的通用或专用的可编程微处理器芯片。在本书中,DSP 指的是数字信号处理器,主要研究如何把数字信号处理技术应用于数字信号处理器中,从而对数字信号进行分析、处理。

1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片,标志着 DSP 应用系统由大型系统向小型化迈进了一大步。随着 CMOS 技术的进步与发展,第 2 代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生,其存储容量和运算速度成倍提升,成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。20 世纪 80 年代后期,第 3 代 DSP 芯片问世,运算速度进一步提高,应用方向逐渐扩大到通信、计算机领域。到了 20 世纪 90 年代,随着哈佛结构对复杂数字信号处理能力的提升,DSP 迅猛发展,相继出现了第 4 代和第 5 代 DSP 器件。现在的 DSP 属于第 5 代产品,与第 4 代相比,它的系统集成度更高,将 DSP 内核及外围组件综合集成在单一芯片上,应用前景非常可观。

数字信号处理器作为集成专用计算机的一种芯片,其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法,它将接收到的模拟信号转换为 0 或 1 的数字信号,再对数字信号进行修改、删除、强化,并在其他系统芯片中把数字数据解译回模拟数据或实际环境格式。它不仅具有可编程性,而且其实时运行速度可达每秒数以千万条复杂指令程序,远远超过通用微处理器,是数字化电子世界中日益重要的计算机芯片。它的强大数据处理能力和高运行速度,是最值得称道的两大特色。

DSP 作为一种功能强大的特种微处理器,具有灵活、准确、抗干扰能力强、设备尺寸小、速度快、性能稳定、易于升级、扩展性强、外设丰富和性价比高等特点,主要应用在通信、家用电器、航空航天、工业测量、工业控制、生物医学工程及军事等领域。尤其在运动控制方面,DSP 以其高速的运算能力和面向电机的高效控制能力,能对一个或多个机电设备进行高效、可靠、经济、精密的控制。

## 1.2 DSP 的功能特点

数字信号处理相对于模拟信号处理有很大的优越性,表现在精度高、灵活性大、可靠性好、易于大规模集成等方面。随着人们对实时信号处理要求的不断提高和大规模集成电路技术的迅速发展,数字信号处理技术也发生着日新月异的变革。实时数字信号处理技术的核心和标志是数字信号处理器。自微处理器问世以来,微处理器技术水平得到了十分迅速的提高,而快速傅里叶变换(FFT)等实用算法的提出,促进了专门实现数字信号处理的一类微处理器的分化和发展。

数字信号处理有别于普通的科学计算与分析,它强调运算处理的实时性,因此 DSP 除了具备普通微处理器所强调的高速运算和控制功能外,针对实时数字信号处理,在处理器结构、指令系统、指令流程上具有许多新的特征,其特点如下。

### 1. 算术单元

DSP 具有硬件乘法器和多功能运算单元。

硬件乘法器可以在单个指令周期内完成乘法操作,这是 DSP 区别于通用的微处理器的一个重要标志。

多功能运算单元可以完成加减、逻辑、移位、数据传送等操作。新一代的 DSP 内部甚至还包含多个并行的运算单元,以提高其处理能力。

针对滤波、相关、矩阵运算等需要大量乘和累加运算的特点,DSP 的算术单元的乘法器和加法器,可以在一个时钟周期内完成相乘、累加两个运算。近年出现的 TI 公司的很多 DSP(如 C28xDSP),能够在—个周期内完成  $32 \times 32$  位乘法累加运算,或两个  $16 \times 16$  位乘法累加运算,大大加快了 FFT 的蝶形运算速度。

### 2. 总线结构

传统的通用处理器采用统一的程序和数据空间、共享的程序和数据总线结构,即所谓的冯·诺依曼结构。DSP 普遍采用了数据总线和程序总线分离的哈佛结构或者改进的哈佛结构,极大地提高了指令执行速度。片内的多套总线可以同时进行取指令和多个数据存取操作,许多 DSP 内嵌有 DMA 控制器,配合片内多总线结构,使数据块传送速度大大提高。

如 TI 公司的 C28xDSP 采用改进的哈佛总线结构,内部有 3 组地址总线和 3 组数据总线,并采用 8 级流水线,在某一时刻,流水线上最多可以运行 8 条指令,大大加快了指令的执行速度,实现了指令的执行在单机器周期内完成。

### 3. 专用寻址单元

DSP 面向数据密集型应用,伴随着频繁的数据访问,数据地址的计算也需要大量时间。DSP 内部配置了专用的寻址单元,用于地址的修改和更新,它们可以在寻址访问前或访问后自动修改内容,以指向下一个要访问的地址。地址的修改和更新与算术单元并行工作,不需要额外的时间。

DSP 的地址产生器支持直接寻址、间接寻址操作,大部分 DSP 还支持位反转寻址(用于 FFT 算法)和循环寻址(用于数字滤波算法)。

### 4. 片内存储器

针对数字信号处理的数据密集运算的需要,DSP 对程序和数据访问的时间要求很高,

为了减小指令和数据的传送时间,许多 DSP 内部集成了高速程序存储器和数据存储器,以提高程序和数据访问存储器的速度。

如 TI 公司的 TMS320F2812DSP 内部集成有 128K×16 位的 Flash 存储器,18K×16 位的单口随机存储器(SARAM),1K×16 位的 OTP(一次性可编程)ROM; TMS320F28335DSP 内部集成有 256K×16 位的 Flash 存储器,34K×16 位的 SARAM; 1K×16 位的 OTP ROM。

### 5. 流水处理技术

DSP 大多采用流水处理技术,即将一条指令的执行过程分解成取指、译码、取数、执行等若干个阶段,每个阶段称为一级流水。每条指令都由片内多个功能单元分别完成取指、译码、取数、执行等操作,从而在不提高时钟频率的条件下减少了每条指令的执行时间。

### 6. DSP 与其他处理器的差别

DSP、通用微处理器(Micro Processor Unit, MPU)、微控制器(Micro Control Unit, MCU)三者的区别在于: DSP 面向高性能、重复性、数值运算密集型的实时处理; MPU 大量应用于计算机; MCU 则适用于以控制为主的处理过程。

DSP 的运算速度比其他处理器要高得多,以 FFT 为例,高性能 DSP 不仅处理速度是 MPU 的 4~10 倍,而且可以连续不断地完成数据的实时输入/输出。DSP 结构相对单一,普遍采用汇编语言编程,其任务完成时间的可预测性相对于结构和指令复杂(超标量指令)、严重依赖于编译系统的 MPU 强得多。以一个 FIR 滤波器实现为例,每输入一个数据,对应每阶滤波器系数需要一次乘、一次加、一次取指、二次取数,还需要专门的数据移动操作, DSP 可以单周期完成乘加并行操作以及 3~4 次数据存取操作,而普通 MPU 完成同样的操作至少需要 4 个指令周期。因此,在相同的指令周期和片内指令缓存条件下, DSP 的运算速度可以超过 MPU 运算速度的 4 倍以上。

## 1.3 TI-DSP 系列概述

目前市场上主要的 DSP 生产商包括 TI、ADI、Motorola、Lucent 和 Zilog 等,其中 TI 占有最大市场份额。TI 公司是全球领先的半导体公司,为现实世界的信号处理提供创新的数字信号处理及模拟器件技术,生产了世界上第 1 片 DSP 产品 TMS32010。随着 TI 公司的不断发展, TI 公司的产品包括从低端的低成本、低速度 DSP 到高端大运算量 DSP 的各类产品。

TI 公司现在主推以下四大系列 DSP。

### 1. C2000 系列: C20x, F20x, C24x, C28x

C2000 系列是一个控制器系列,该系列芯片除了有一个 DSP 核以外,还具有大量外设资源,如 A/D、定时器、各种串口(同步和异步)、WATCHDOG、CAN 总线/PWM 发生器、数字 I/O 脚等。它是针对控制应用最佳化的 DSP,在 TI 所有的 DSP 产品中,只有 C2000 有 Flash,也只有该系列有异步串口可以和 PC 的 UART 相连。

TI 公司 C2000 系列产品发展路线图如图 1-1 所示, TI 公司最早推出的 16 位定点 C2xx 系列获得了巨大的成功。1996 年 TI 又推出了第一款带有 Flash 的 DSP。随后 TI 在 C24xx 系列的基础上,又推出了 F/C281x 系列。为了适应市场的专业化需要, TI 公司又推出 Piccolo F280xx 系列,其中 TMS320F28335DSP 作为新推出的浮点型数字信号处理器,

在已有的 DSP 平台上增加了浮点运算内核,能够执行复杂的浮点运算。

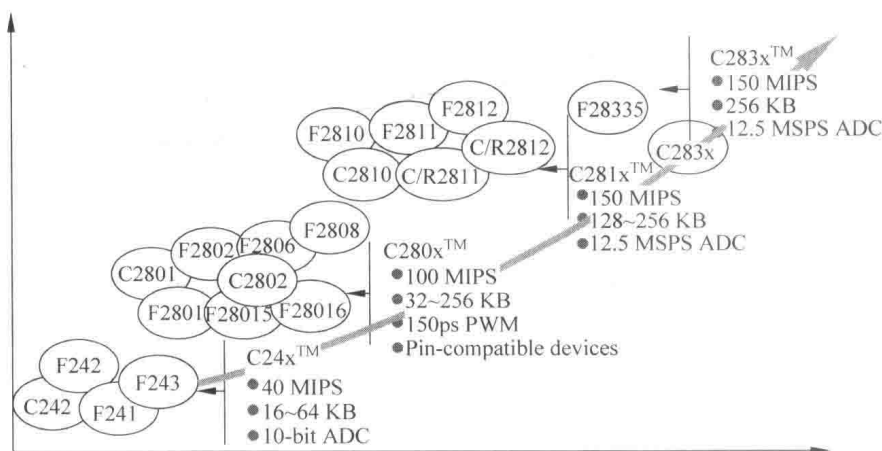


图 1-1 TI 公司 C2000 系列产品发展路线图

C2000 系列 DSP 专为实时控制应用而设计,如今进入市场已超过 15 年,主要应用于自动控制领域,提供数字控制优化的 DSP 解决方案系统和电机控制应用,包括感应电机、直流无刷电机、永磁同步电机和开关磁阻。C2000 具体分为 Concerto 系列、Delfino 系列、Piccolo 系列、24x16 位系列和 28x32 位系列。

## 2. C5000 系列(定点、低功耗): C54x, C54xx, C55xx

该系列的主要特点是低功耗,适合用于个人与便携式上网以及无线通信应用,如手机、PDA、GPS 等应用。处理速度在 80~400MIPS 之间。C54xx 和 C55xx 一般只具有 McBSP 同步串口、HPI 并行接口、定时器、DMA 等外设。值得注意的是: C55xx 提供了 EMIF 外部存储器扩展接口,可以直接使用 SDRAM,而 C54xx 则不能直接使用。两个系列的数字 I/O 都只有两条。

该系列的 DSP 主要用于比较复杂的算法、语音处理等领域。

## 3. C6000 系列: C62xx, C67xx, C64x

该系列以高性能著称,最适合于宽带网络和数字影像应用。其中: C62xx 和 C64x 是定点系列, C67xx 是浮点系列。该系列提供 EMIF 扩展存储器接口。该系列只提供 BGA 封装,只能制作多层 PCB,且功耗较大。同为浮点系列的 C3x 中的 VC33 现在虽然不是主流产品,但也仍在广泛使用,但其处理速度较低,最高仅为 150MIPS。

## 4. OMAP 系列

OMAP 处理器集成 ARM 的命令及控制功能,另外还提供 DSP 的低功耗实时信号处理能力,最适合移动上网设备和多媒体家电。

## 习题与思考

- 1-1 请谈一谈你对 DSP 的认识。
- 1-2 试总结一下 DSP 芯片的特点。
- 1-3 DSP 和 51 系列单片机相比,有什么区别?

# TMS320F2833x 的特点、 结构及其性能

## 2.1 TMS320F2833x 的特点

TMS320F2833x 由 C2000 系列 DSP 发展而来,是 Delfino 系列中的一员,它是 TI 公司新推出的一款 TMS320C28x 系列浮点型数字信号处理器。它在已有的 DSP 平台上增加了浮点运算内核,在保持了原有 DSP 芯片优点的同时,能够执行复杂的浮点运算,可以节省代码执行时间和存储空间,具有精度高、成本低、功耗小、外设集成度、数据及程序存储量大和 A/D 转换更精确快速等优点,为嵌入式工业应用提供更加优秀的性能和更加简单的软件设计。不仅具有强大的数字信号处理功能,又集成了大量的外设,供控制使用,并且具有 MCU 的功能,兼有 RISC 处理器的代码密度和 DSP 的执行速度。

TMS320F2833x 包括 3 款芯片: TMS320F28335、TMS320F28334、TMS320F28332,它们是针对要求严格的控制应用的高级程度、高性能解决方案。在本书中,这 3 款芯片分别缩写为 F28335、F28334、F28332。

TMS320F2833x 具有以下主要特性。

- 高性能静态 CMOS 技术: 主频可达 150MHz,指令周期为 6.67ns; 内核电压为 1.9V,I/O 引脚电压为 3.3V。
- 高性能的 32 位 CPU: 单精度浮点运算单元(FPU), $16 \times 16$  位和  $32 \times 32$  位乘法累加操作,两个  $16 \times 16$  位乘法累加器; 采用哈佛流水线总线结构; 能够快速执行中断响应; 具有统一的寄存器编程模式; 可用 C/C++ 和汇编语言进行高效编程。
- 六通道嵌入式处理器(DMA)控制器。
- 16 位或 32 位的外部接口(XINTF): 超过  $2M \times 16$  位的地址空间。
- 片载存储器: F28335 有  $256K \times 16$  位的 Flash 存储器, $34K \times 16$  位的 SARAM; $1K \times 16$  位的 OTP(一次性可编程)ROM。F28334 有  $128K \times 16$  位的 Flash 存储器, $34K \times 16$  位的 SARAM; $1K \times 16$  位的 OTP(一次性可编程)ROM。F28332 有  $64K \times 16$  位的 Flash 存储器, $26K \times 16$  位的 SARAM; $1K \times 16$  位的 OTP(一次性可编程)ROM。
- 引导 ROM( $8K \times 16$  位): 带有软件引导模式和标准的数学表。
- 时钟与系统控制: 支持动态改变锁相环(Phase Locked Loop,PLL)的倍频系数; 片

上振荡器；看门狗定时器模块。

- GPIO0~GPIO63 可以与 8 个外部内核中断的任一个相连。
- 外围中断扩展模块(PIE)支持全部 58 个外围中断。
- 128 位安全密码：保护 Flash/OTP/RAM 存储器；防止系统固件被盗取。
- 增强的控制外设：18 个 PWM 输出端口；6 个高分辨率脉宽调制模块(HRPWM)；6 个事件捕捉输入端口；2 个正交编码器通道(QEP)。
- 3 个 32 位 CPU 定时器：定时器 0 和定时器 1 用做一般的定时器，定时器 0 接至 PIE 模块，定时器 1 接至中断 INT13，定时器 2 用做 DSP/BIOS 的片上实时系统，连接到中断 14，若系统不用 DSP/BIOS，定时器 2 可用做一般定时器。
- 串行接口外围为 2 个通道 CAN 模块、3 个 SCI(UART)模块、2 个多通道缓冲串行接口 McBSP 模块(可配置为串行外围接口 SPI)、1 个 SPI 模块、1 个集成电路(I<sup>2</sup>C)总线。
- 1 个 12 位 A/D 转换器具有 16 个转换通道：80ns 的快速转换时间；2×8 通道的多路输入选择器；2 个采样保持器；具有单/连续通道转换模式；内部或外部参考电压。
- 多达 88 个独立可编程的复用通用输入/输出(GPIO)引脚。
- 支持 JTAG 边界扫描。
- 先进的仿真功能：具有分析和断点功能；硬件实时调试。
- 支持工具包括：ANSIC/C++ 编译/汇编/连接器；代码设计师工作室(CCS)IDE 平台；基于 DSP 的基本输入/输出系统(DSP/BIOS)；数字化电动机控制和数字化电源软件库。
- 低功耗模式和节电模式：支持 IDLE、STANDBY 及 HALT 模式；禁止外设独立时钟。
- 温度范围：A：-40~85℃(PGF,ZHH,ZJZ)；S：-40~125℃(PTP,ZJZ)；Q：-40~125℃(PTP,ZJZ)。

## 2.2 TMS320F2833x 的引脚功能说明

TMS320F2833x 176 引脚 PGF/PTP 薄形四方扁平封装(LQFP)的引脚分配如图 2-1 所示。

表 2-1 对这些引脚进行了说明。需要注意的是，有些外设功能并不在所有器件上提供，复用引脚的 GPIO 功能在复位时为默认值，列出的外设信号是供替代的功能。所有能够产生 XINTF 输出功能的引脚都有 8mA(典型)的驱动强度，而其他引脚只有 4mA 的驱动能力。所有 GPIO 引脚都可配置为 3 种状态(I/O/Z)，且有一个内部上拉电阻器，可以选择性地启用或者禁用。其中 GPIO0~GPIO11 引脚上的上拉电阻器在复位时并不启用，GPIO12~GPIO87 引脚上的上拉电阻器复位时启用。

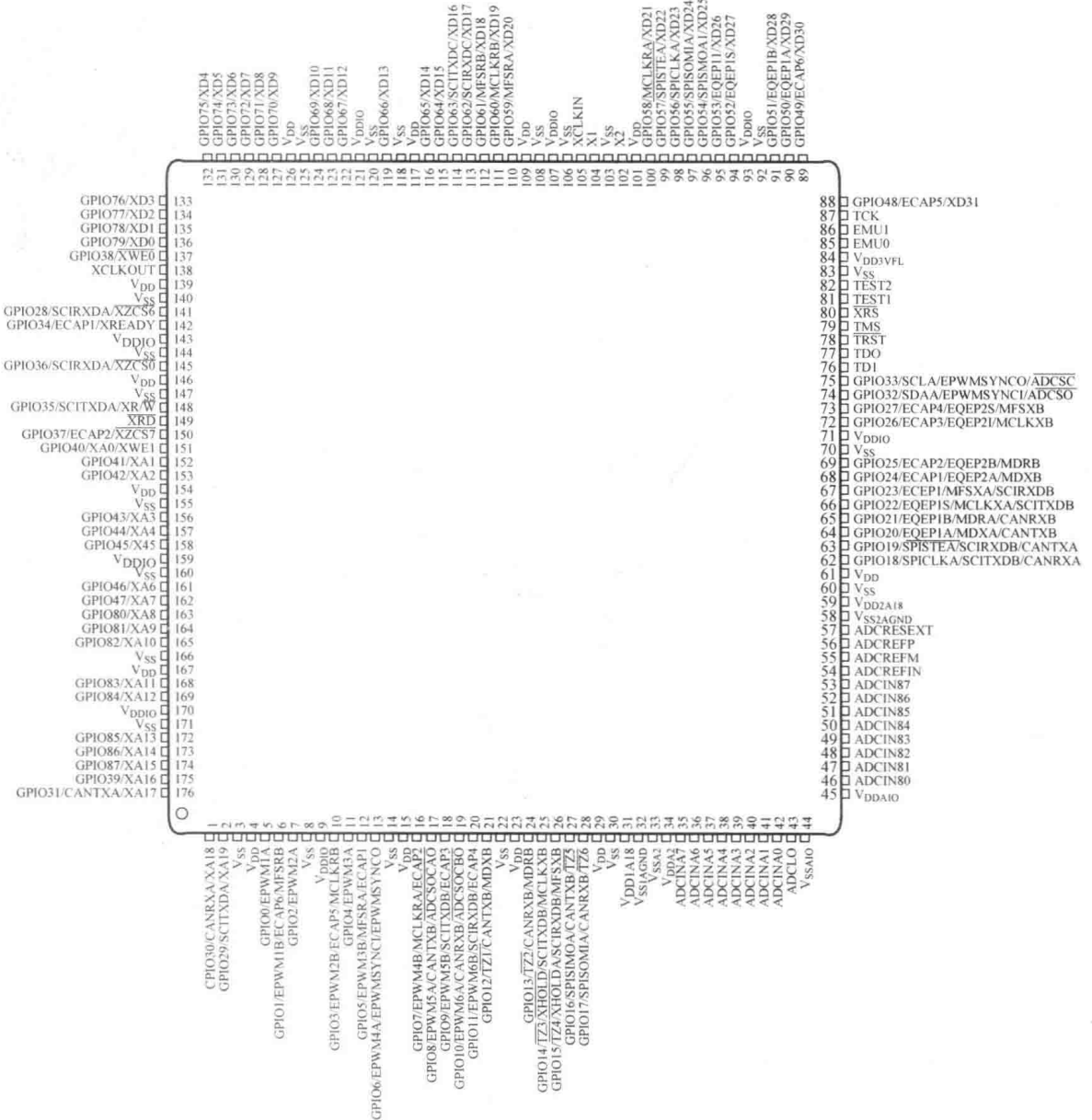


图 2-1 F2833x 176 引脚 PGF/PTP 薄型四方扁平封装 (LQFP) 的引脚分配