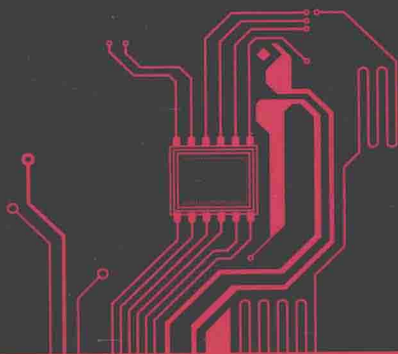




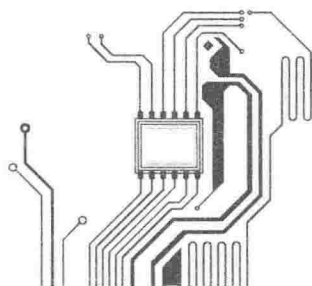
TMS320F28335 DSP 原理、开发及应用

◎ 符晓 朱洪顺 编著



- ◎ 依托多年工程经验，讲述TMS320F28335 DSP的开发和应用
- ◎ 书中实例丰富，硬件设计和程序代码均在实际产品中得到验证
- ◎ 注重实践和调试，讲究细节和方法

清华大学出版社



TMS320F28335 DSP 原理、开发及应用

◎ 符晓 朱洪顺 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍了 TI 公司的 TMS320F28335 DSP 在工业控制与电机驱动系统中的开发与应用。以 CCS 6. x 版本为基础,讲述了其编程开发的方法与流程,并描述了编译器与链接器的各种典型选项及其含义。基于 TMS320F28335 DSP 的众多片上外设,描述了电机控制中常用片上外设与接口,如 GPIO、ADC、ePWM、eQEP、eCAP、SCI、SPI、DMA、XINTF、HRPWM、eCAN 等的使用方法,并附有具体的例程。最后,描述了电机控制常用算法的具体实现,并给出了控制永磁同步电机的典型例子。

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

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

TMS320F28335 DSP 原理、开发及应用/符晓,朱洪顺编著. —北京:清华大学出版社,2017

(电子设计与嵌入式开发实践丛书)

ISBN 978-7-302-43793-2

I. ①T… II. ①符… ②朱… III. ①数字信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 100215 号

责任编辑:刘 星

封面设计:刘 键

责任校对:梁 毅

责任印制:李红英

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 装 者:三河市铭诚印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:33.25

字 数:810千字

版 次:2017年10月第1版

印 次:2017年10月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:79.00元

产品编号:063914-01

前言

TMS320F28335 属于 TI 公司的 C2000 系列 DSP 的高端系列。它具有强大的数字信号处理功能,集成了大量的外设供控制使用,具有微控制器(MCU)的功能,并兼有 RISC 处理器的代码密度(RISC 的特点是单周期指令执行,寄存器到寄存器操作,以及改进的哈佛结构、循环寻址)和 DSP 的执行速度。除此之外,其开发过程与微控制器的开发过程又比较相似(微控制器的功能包括易用性、直观的指令集、字节包装和拆包、位操作),其处理能力强大,片上外设丰富,在高性能的电机控制领域中得到了广泛的引用。

本书作者在 TI 公司从事 C2000 系列 DSP 开发应用多年,书中集合了作者在开发过程中的一些经验,供广大读者交流、讨论。

本书共 18 章。

第 1~15 章讲述基础知识,首先简要介绍目前用于高性能电机控制开发的 DSP 现状,其次重点描述 TMS320F28335 DSP CPU+FPU 的架构特点。接着,基于目前最新的 CCStudio 6. x 软件,描述开发、编程的思想与软件的基本使用方法。最后针对 TMS320F28335(书中简称 F28335)DSP 具有众多功能强大的外设的特点,重点分析时钟与中断控制的流程,并描述电机控制中常用的片上外设与接口,如 GPIO、ADC、ePWM、eQEP、eCAP、SCI、SPI、DMA、XINTF 等的使用方法,并附有具体的例程。

第 16~18 章为应用部分,给出了交流调速中常用算法的 DSP 实现方法,并以永磁同步电机为例,描述了完整的矢量控制系统及其 DSP 实现方案,最后描述了如何自己动手打造一个最小系统板。

在本书的编写过程中,参阅了一些优秀的图书和文献资料,在此对这些作品的作者表示感谢。其中对 TI 公司器件手册、用户指南中图表的直接引用已得到 TI 公司的授权。尤其要感谢清华大学出版社工作人员为本书的出版所做的大量工作。

由于时间仓促,书中的疏漏与不当之处在所难免,恳请广大读者批评、指正。

编者

2017 年 5 月

Foreword

目 录

第 1 章 电机控制 DSP 简介	1
1.1 DSP 芯片的主要特点	2
1.2 常用电机控制芯片	3
1.3 TI 公司的 DSP 介绍	3
1.3.1 C2000 电机控制 DSP 的分类	4
1.3.2 F28335 系列的特点	5
1.3.3 F28335 系列的引脚说明	7
1.4 F28335 DSP 的内核	19
1.4.1 CPU 介绍	21
1.4.2 总线结构	22
1.4.3 流水线机制	23
1.4.4 FPU 流水线	23
1.5 F28335 DSP 的存储器	24
1.5.1 存储器映射	24
1.5.2 代码安全模块	26
1.6 F28335 DSP 的片上外设	26
1.7 习题	27
第 2 章 软件开发平台与编程方法	28
2.1 基于 CCS 的开发流程	28
2.2 链接时的命令文件——cmd 文件	30
2.3 外设寄存器的头文件与初始化	33
2.4 数值的处理	36
2.4.1 二进制下 2 的补码	36
2.4.2 F28335 的符号扩展模式	37
2.4.3 二进制乘法	38
2.4.4 二进制小数	38

Contents

2.4.5	定点编程与浮点编程	39
2.4.6	IEEE-754 单精度浮点	40
2.4.7	调用 TI 的实时浮点库	42
2.5	DSP 编程中的数据类型	43
2.6	基于 CCS 6. x 的开发流程	46
2.6.1	新建工程	46
2.6.2	添加文件	48
2.6.3	工程属性配置	50
2.6.4	程序调试	54
2.6.5	烧写 Flash	58
2.6.6	CCS 在线学习功能	59
2.6.7	controlSUITE™ 学习套件	60
2.7	习题	60
第 3 章	DSP 的高级编程选项	62
3.1	处理器选项	62
3.2	程序优化选项	64
3.3	调试与路径选项	68
3.4	控制与语言选项	70
3.5	预处理与诊断	73
3.6	运行时模型	75
3.7	钩子函数与库函数	77
3.8	汇编器选项	79
3.9	文件、目录与扩展名	82
3.10	代码规范 MISRA-C	84
3.11	链接器的基本选项	86
3.12	C 代码的入口程序 c_int00	90
3.13	典型的编译器配置选项	92
3.14	实时运行库 RTS 的选择	94
3.15	习题	95
第 4 章	F28335 系统时钟与中断控制	96
4.1	OSC 与 PLL 模块	96
4.1.1	PLL 功能配置	96
4.1.2	时钟信号监视电路	97
4.1.3	相关寄存器	98
4.1.4	PLL 配置注意事项	100
4.2	外设时钟信号	100
4.2.1	相关寄存器	100

4.2.2	XCLKOUT 信号	105
4.3	低功耗模式	105
4.4	看门狗模块	107
4.4.1	工作原理	108
4.4.2	相关寄存器	108
4.5	CPU 定时器 0/1/2	111
4.5.1	工作原理	111
4.5.2	相关寄存器	111
4.6	寄存器 EALLOW 保护	115
4.7	外设中断扩展模块 PIE	119
4.7.1	PIE 模块概述	119
4.7.2	中断向量列表的映射地址	121
4.7.3	中断源	123
4.7.4	中断向量列表	126
4.7.5	PIE 模块相关寄存器	131
4.7.6	CPU 中断控制相关寄存器	133
4.7.7	外部中断控制寄存器	135
4.7.8	应用实例	136
4.8	习题	138
第 5 章	通用输入/输出端口	139
5.1	GPIO 概述	139
5.1.1	GPIO 工作模式	140
5.1.2	数字 I/O 工作模式下的控制	141
5.1.3	输入限定功能	143
5.2	相关寄存器	144
5.2.1	功能选择寄存器	144
5.2.2	其他相关寄存器	147
5.3	应用实例	156
5.3.1	GPIO 配置步骤	156
5.3.2	软件设计	157
5.4	习题	158
第 6 章	模/数转换模块	159
6.1	ADC 概述	159
6.2	转换序列发生器工作原理	160
6.3	不间断自动定序模式	165
6.3.1	启动/停止模式	166
6.3.2	ADC 中断控制	167

6.4	转换时钟	167
6.5	ADC 基本电气特性	168
6.5.1	低功耗模式	168
6.5.2	上电时配置顺序	168
6.5.3	片内/片外参考电压选择	168
6.6	ADC 高级功能	169
6.6.1	输入校正功能	169
6.6.2	序列发生器覆盖功能	169
6.6.3	DMA 接口	169
6.7	相关寄存器	170
6.7.1	控制寄存器	171
6.7.2	输入通道选择寄存器	174
6.7.3	其他相关寄存器	175
6.8	应用实例	178
6.9	习题	180
第 7 章	增强型脉宽调制模块	181
7.1	概述	181
7.2	ePWM 各子模块介绍	186
7.2.1	时间基准子模块	187
7.2.2	比较功能子模块	192
7.2.3	动作限定子模块	196
7.2.4	死区产生子模块	206
7.2.5	斩波控制子模块	209
7.2.6	故障捕获子模块	212
7.2.7	事件触发子模块	214
7.3	相关寄存器	218
7.3.1	时间基准子模块寄存器	219
7.3.2	比较功能子模块寄存器	221
7.3.3	动作限定子模块寄存器	223
7.3.4	死区产生子模块寄存器	225
7.3.5	斩波控制子模块寄存器	226
7.3.6	故障捕获子模块寄存器	227
7.3.7	事件触发子模块寄存器	229
7.4	应用实例	232
7.4.1	BUCK 电路的控制	232
7.4.2	半 H 桥逆变器的控制	236
7.4.3	三相逆变器的控制	238
7.5	习题	241

第 8 章 增强型正交编码脉冲模块	242
8.1 概述	242
8.1.1 常用编码器结构	242
8.1.2 转速测量方法	243
8.1.3 eQEP 模块整体结构	244
8.2 正交解码单元	245
8.2.1 位置计数器的输入模式	246
8.2.2 eQEP 输入极性选择	247
8.2.3 位置比较同步输出功能	248
8.3 位置计数器及控制单元	248
8.3.1 位置计数器的运行模式	248
8.3.2 位置计数器的锁存	250
8.3.3 位置计数器的初始化	252
8.3.4 eQEP 位置比较单元	252
8.4 边沿捕获单元	253
8.5 eQEP 看门狗电路	256
8.6 中断结构	256
8.7 相关寄存器	257
8.8 应用实例	265
8.8.1 eQEP 模块配置	265
8.8.2 应用程序	266
8.9 习题	270
第 9 章 增强型捕获模块	271
9.1 概述	271
9.1.1 eCAP 模块简介	271
9.1.2 eCAP 工作模式介绍	272
9.2 捕获工作模式	273
9.2.1 事件预分频	274
9.2.2 边沿极性选择与量化	274
9.2.3 连续/单次捕获控制	274
9.2.4 32 位计数器及相位控制	275
9.2.5 CAP1~CAP4 寄存器	276
9.2.6 中断控制	276
9.3 APWM 工作模式	277
9.4 相关寄存器	278
9.5 应用实例	284
9.5.1 捕获模式下绝对时间的获取	285

9.5.2	捕获模式下差分时间的获取	287
9.5.3	APWM 模式下的应用	290
9.6	习题	290
第 10 章	串行通信接口模块	291
10.1	概述	291
10.2	SCI 模块结构及功能介绍	292
10.2.1	SCI 功能概述	292
10.2.2	SCI 多处理器通信	294
10.2.3	空闲线多处理器模式	295
10.2.4	地址位多处理器模式	296
10.2.5	SCI 通信格式	297
10.2.6	SCI 的中断	299
10.2.7	SCI 波特率计算	299
10.2.8	SCI 增强功能	300
10.3	相关寄存器	302
10.4	应用实例	309
10.5	习题	315
第 11 章	串行外设接口模块	316
11.1	概述	316
11.2	SPI 模块工作方式介绍	318
11.2.1	工作方式概述	318
11.2.2	SPI 模块主控制器与从控制器工作模式	319
11.3	SPI 中断及其他相关配置	320
11.3.1	SPI 中断	320
11.3.2	数据格式	321
11.3.3	波特率及时钟方案	321
11.3.4	复位后的初始化	323
11.3.5	数据传送实例	323
11.4	SPI FIFO 功能介绍	324
11.5	相关寄存器	326
11.6	应用实例	333
11.7	习题	336
第 12 章	直接存储器访问模块	337
12.1	概述	337
12.2	DMA 结构	338
12.2.1	DMA 模块结构	338

12.2.2	外设中断事件触发源	338
12.2.3	DMA 总线	340
12.3	流水线时序及流量	340
12.4	CPU 仲裁	341
12.4.1	外部存储区 XINTF 的仲裁	341
12.4.2	其他区域的仲裁	342
12.5	通道优先级	342
12.5.1	循环优先级方案	342
12.5.2	CH1 高优先级方案	343
12.6	地址指针及发送控制	343
12.7	ADC 同步特性	347
12.8	溢出检测特性	348
12.9	相关寄存器	348
12.10	应用实例	356
12.11	习题	360
第 13 章	外部接口模块	361
13.1	概述	361
13.1.1	与 TMS320x281x XINTF 接口的区别	362
13.1.2	与 TMS320x2834x XINTF 接口的区别	363
13.1.3	XINTF 区域的访问	364
13.1.4	XINTF 的“读访问紧跟写访问”的保护	364
13.2	XINTF 功能配置简介	364
13.2.1	XINTF 配置顺序	364
13.2.2	时钟信号	365
13.2.3	写缓冲器	366
13.2.4	区域访问的建立时间、有效时间及跟踪时间	366
13.2.5	区域的 XREADY 采样	367
13.2.6	数据总线宽度及连接方式	367
13.3	建立时间、有效时间及跟踪时间的具体配置	369
13.4	XBANK 区域切换	371
13.5	XINTF 的 DMA 读/写访问	372
13.6	相关寄存器	373
13.7	读/写时序图	377
13.8	习题	380
第 14 章	高分辨率 HRPWM	381
14.1	HRPWM 的特点	381
14.2	HRPWM 的原理	382

14.2.1	控制 HRPWM	383
14.2.2	配置 HRPWM	384
14.2.3	HRPWM 的运行方式	384
14.2.4	MEP 折算因子的优化软件	389
14.2.5	使用优化的汇编代码的 HRPWM 示例	390
14.3	HRWPM 的寄存器	393
14.4	SFO 的使用	395
14.5	习题	397
第 15 章	增强的控制器局域网络	398
15.1	eCAN 概述	398
15.2	CAN 网络	399
15.3	eCAN 控制器概述	401
15.3.1	标准 CAN 控制器(SCC)模式	401
15.3.2	内存映射	402
15.3.3	到控制和状态寄存器的 32 位访问	404
15.3.4	eCAN 控制和状态寄存器	404
15.4	消息对象	405
15.5	消息邮箱	405
15.5.1	发送邮箱	409
15.5.2	接收邮箱	410
15.5.3	CAN 模块运行在正常配置中	410
15.6	eCAN 寄存器	411
15.7	eCAN 配置	434
15.7.1	eCAN 模块初始化	434
15.7.2	配置 eCAN 的步骤	438
15.7.3	远程帧邮箱的处理	440
15.7.4	中断	441
15.7.5	eCAN 断电模式	446
15.8	应用实例	447
15.9	习题	448
第 16 章	交流调速中常用算法及其 DSP 实现	449
16.1	交流电机变频调速原理	449
16.1.1	变压变频调速基本原理	449
16.1.2	变压变频调速中的脉宽调制技术	451
16.1.3	交流电机矢量控制系统	453
16.2	坐标变换原理及实现	453
16.2.1	坐标变换时的功率不变原则	453

16.2.2	Clarke 变换原理及实现	454
16.2.3	Park 变换原理及实现	459
16.3	电压空间矢量 PWM 技术的实现	461
16.3.1	SVPWM 技术基本原理	461
16.3.2	基于 DSP 的实现	466
16.4	数字 PID 调节器的实现	469
16.4.1	PID 调节器的离散化	470
16.4.2	基于 DSP 的实现	471
第 17 章	永磁同步电机矢量控制系统的 DSP 解决方案	474
17.1	永磁同步电机简介	474
17.2	永磁同步电机数学模型	475
17.3	永磁同步电机矢量控制系统	476
17.3.1	$i_{sd}=0$ 控制策略	476
17.3.2	控制系统结构	477
17.4	基于 DSP 的实现	478
17.4.1	程序整体结构设计	478
17.4.2	ADC 模块配置	478
17.4.3	eQEP 模块配置	483
17.4.4	ePWM 模块配置	484
17.4.5	PMSM 转子磁极定向矢量控制系统源程序	488
第 18 章	自己动手打造最小系统板	496
18.1	Boot 引导方式选择	496
18.1.1	Boot 介绍	496
18.1.2	引导方式的选择	496
18.2	硬件系统设计	498
18.2.1	电源电路设计	498
18.2.2	复位电路设计	505
18.2.3	时钟电路设计	506
18.2.4	JTAG 接口电路设计	507
18.2.5	GPIO 电平转换及驱动电路设计	509
18.2.6	ADC 输入前端处理电路设计	510
18.2.7	XINTF 接口与 FPGA 的通信设计	511
18.3	PCB 布局布线及 EMI 抑制措施	513
18.3.1	PCB 设计原则	513
18.3.2	EMI 抑制措施	514
18.3.3	硬件调试方法	515
参考文献	517

电机控制 DSP 简介

说起 DSP,一般代表 Digital Signal Processing,即数字信号处理,或者 Digital Signal Processor,即数字信号处理器,本书主要针对后者进行描述。

在 DSP 出现之前,数字信号处理只能依靠 MPU(微处理器)来完成,但 MPU 较低的处理速度无法满足高速实时的要求。DSP 数字信号处理器的历史最早可以追溯到 1978 年。在这一年,Intel 公司发布了一种“模拟信号处理器”2920 处理器。它包含一组带有一个内部信号处理器的片上 ADC/DAC,但由于它不含硬件乘法器,因此在市场上销售并不成功。1979 年,AMI 发布了 S2811 处理器,它被设计成微处理器的周边装置,必须由主处理器初始化后才能工作。S2811 在市场上也不成功。1979 年,贝尔实验室发表了第一款单芯片 DSP,即 Mac4 型微处理器。1980 年的 IEEE 国际固态电路会议上出现了第一批独立、完整的 DSP,它们是 NEC 的 μ PD7720 处理器和 AT&T 的 DSP1 处理器。1983 年,德州仪器(TI)公司生产的第一款 DSP TMS32010 取得了巨大的成功,时至今日 TI 已成为通用 DSP 市场的龙头。

DSP 完成数字信号处理的简单过程如图 1-1 所示。



图 1-1 DSP 用于数字信号处理的过程

DSP 所能处理的信号都是数字信号,所以为了接收并处理现实世界中的模拟信号,首先需要把这些模拟信号通过由传感器、滤波器和运算放大器所组成的信号处理电路进行转换和滤波,然后送入模拟/数字转换器(ADC)进行采样和处理,才能转换为 DSP 可以处理的信号。在 DSP 完成算法的执行之后,既可以把数字信号通过数字通信的方式,例如 RS-232、CAN 通信等,送入其他的数字系统,也可以把数字信号通过数字/模拟信号转换器(DAC),转换为模拟信号输出到现实世界中。这里所讲的 DAC 并不一定局限于一个 DAC 转换芯片,而是代表一种转换机制。例如在电机控制系统中,在控制算法计算得到开关器件的占空比之后,通过脉冲宽度调制技术(PWM)来控制变频器,从而达到控制电机中电压的目的。

1.1 DSP 芯片的主要特点

区别于传统的 CPU 和 MCU 等处理芯片,现代 DSP 一般包含以下特点。

1. 哈佛结构或者改进的哈佛结构

传统的通用 CPU 大多采用冯·诺依曼结构,片内的指令空间和数据空间共用存储空间,并使指令和数据共享同一总线,使得信息流的传输成为限制计算性能的瓶颈,影响了数据处理速度的提高。哈佛结构是指程序和数据空间独立的体系结构,目的是为了减轻程序运行时的访存瓶颈,其数据和指令的储存可同时进行,且指令和数据可有不同的数据宽度。改进的哈佛结构增加了公共数据总线,在数据空间、程序空间与 CPU 之间进行分时复用。举例说明哈佛结构的优势:最常见的卷积运算中,一条指令同时取两个操作数,在流水线处理时,同时还有一个取指操作,如果程序和数据通过一条总线访问,取指和取数必会产生冲突,而这对大运算量循环执行的效率是非常不利的,哈佛结构则能基本上解决取指和取数的冲突问题。

2. 多级流水线技术

典型情况下,完成一条指令需要 3 个步骤,即取指令、指令译码和执行指令,通常的流程需要数个机器周期才能完成。流水线技术(pipeline)是指在延时较长的组合逻辑(一般是多级组合逻辑)中插入寄存器,将较长的组合逻辑拆分为多个较短的组合逻辑,以提高设计的执行效率。以 TI 公司 F28335 系列 DSP 的 8 级流水线为例,流水线的处理流程如图 1-2 所示。如果使用串行方法来实现一系列复杂的指令,从 A 的 F1 一直执行到 A 的 W,串行需要 8 次;而改用流水线之后,执行 A 的 F2 的时候,B 的 F1 也同时进行了,相当于进行了“准并行”处理。



图 1-2 TI F28335 系列 DSP 的 8 级流水线

流水线处理方式之所以能够在很大程度上提高数据流的处理速度,是因为复制了处理模块,它是算法的硬件实现中面积换取速度思想的一种具体体现,即“空间换时间”。

3. 乘积累加(MAC)运算

分析常见的数字信号处理算法,可以发现大量消耗处理器资源的主要是卷积运算、点积运算和矩阵多项式的求值运算等,其中最普遍的操作为乘法和累加操作。在现代 DSP 中,普遍内置了 MAC 硬核,可以在一个指令内完成取操作数、相乘并累加的过程,从而极大地提高矩阵运算的效率。

4. 特殊的指令

为了更好地实现数字信号处理的相关算法,DSP 一般带有一些特殊指令,例如常见的蝶形运算指令等。在 TI 公司 F28335 系列 DSP 中,带有大量的特殊指令,例如 MOVAD 指令可以一次完成加载操作数、移位和累加等多个功能。

5. 专门的外设

早期出现的 DSP 芯片中,片上外设资源并不丰富,需要在片外集成其他专用芯片以扩展功能。随着芯片设计工艺的进步,现在的 DSP 芯片已经集成了大量的片上外设,极大地简化了系统设计。以 TI 公司 C2000 系列 DSP 为例,一般都集成了片上 ADC、PWM、SCI、SPI、CAP、QEP、McBSP 等多种常用外设,以满足复杂控制系统的要求。

1.2 常用电机控制芯片

目前的高性能电机控制应用一般都使用了 PWM 技术。在一个 PWM 开关周期内,数据采集、状态观测、信号滤波、坐标系变换、调节器控制、PWM 产生、通信处理和故障保护等操作对数据处理的实时性要求很高,其数据更新周期一般在几 kHz,甚至更高。此外,对于数据精度、片上的外设集成等也有较高的要求。为此,多个芯片厂商都推出了专用的电机控制专业芯片。除了市场占用率较高的 TI C2000 系列之外,还有 ADI 公司的 Blackfin 处理器家族中的 BF50x 系列、Freescale 公司的 MC56F800x/56F801x/56F802x/56F803x/56F824x/ MC56F825x 系列等。此外,随着技术的进步,带有大量并行逻辑、片上系统并集成大量电机控制 IP 核的中高端 FPGA 也逐渐进入电机控制领域,如 Xilinx 公司的 Spartan6、Zynq7000 系列 FPGA 等,当然其性价比目前还无法与 DSP 相媲美。

1.3 TI 公司的 DSP 介绍

作为 DSP 领域技术和市场领先的公司之一,TI 的 DSP 产品线非常丰富。从 1982 年推出 TMS320C10 至今 30 多年的时间里,已经发展出了数个系列的近 300 种 DSP 产品,主要包括以下多个系列。

1. C2000 系列

TI 公司 C2000 系列是支持高性能集成外设的 32 位微控制器,适用于实时控制应用。其数学优化型内核可为设计人员提供能够提高系统效率、可靠性以及灵活性的方法。C2000 系列具有功能强大的集成型外设,是理想的单芯片控制解决方案,可用于电机控制、数字电源、照明及可再生能源等领域。因为 C2000 系列偏重于工业控制功能,所以该系列一度曾

经被称为 DSC(Digital Signal Controller, 数字信号控制器)。

2. C5000 系列

TMS320C5000 系列超低功耗 DSP 平台提供了业界功耗最低的广泛 16 位 DSP 产品系列,性能高达 600MIPS。这些产品针对强大且经济高效的嵌入式信号处理解决方案进行了优化,其中包括音频、通信、医疗、安保和工业应用中的便携式器件。其待机功率低至 0.15mW,工作功率低于 0.15mW/MHz,是业界功耗最低的 16 位 DSP。即使在执行 75% 双 MAC 和 25% ADD 这样的大活动量操作(无空闲周期)时,包含存储器在内的核心工作功率也仍然低于 0.15mW/MHz。

3. C6000 系列

C6000 系列 DSP 平台提供行业最高性能的定点和浮点 DSP,其中包括运行速度高达 1.2GHz 的最快定点 DSP,具体细分又包括高性能多核 C647x DSP、功耗优化的 C62x/64x、DSP+ARM9 的 OMAP-L1x、DSP+ARM Cortex-A8 的 OMAP3525/30 SoC 等。它是高性能音频、视频、影像和宽带基础设施应用的理想选择,主要应用领域包括软件定义无线电(SDR)、指纹识别、专业音频混合器、点钞机、超声波系统及矢量信号分析仪等。

4. DaVinci 系列

DaVinci(达芬奇)数字媒体处理器是信号处理解决方案,专为数字视频、影像和视觉应用而设计。DaVinci 平台提供片上系统,包括视频加速器和相关外设。产品包括 DM64x DSP、DSP + ARM Cortex-A8 的 DM37x/81x、基于数字信号处理器(DSP)的全功能 DM64x SoC 等。DaVinci 系列针对视频编码和解码应用进行了优化,可用于数字标牌、可视门铃、内窥镜、视频通信系统、视频会议、视频安全和视频基础设施等领域。

5. KeyStone 系列

KeyStone 多核系列主要分为不含 ARM 的 C665x/7x 系列和集成了 ARM 的 66AK2Hx/66AK2Ex 系列,针对云计算、媒体处理、高性能计算、转码、安全、游戏、分析和虚拟机基础设施等应用进行了专门的优化。

6. 其他系列

主要指年代相对久远,已经不建议在新的设计中采用的器件,包括 C1x、C2x、C5x、C2xx、C3x、C4x、C8x 等。其中,C3x 特别是 TMS320VC33,以其大容量、高性能和浮点运算的特点在实际应用中仍可以大量见到。

1.3.1 C2000 电机控制 DSP 的分类

TI 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。C2000 系列包含一百多种产品,占目前销售中 TI DSP 产品分类的超过 42% 的比例,从最低价格少于 2 美元、工作频率高达 80MHz 的 Piccolo 定点到频率高达 300MHz 并带有浮点处理 FPU 的 Delfino 系列,覆盖了各种各样的控制应用。

1. Concerto 系列

Concerto 在拉丁语中是“协奏曲”的意思,符合该系列 DSP 的特点,即将 ARM Cortex-M3 内核与 C2000 的 F28335 内核结合到一个设备之上,实现了连接和控制一体化,主要包