

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

DSP技术实践教程

——TMS320F28335设计与实验

姚晓通 李积英 蒋占军 编著

清华大学出版社



高等院校计算机实验与实践系列示范教材

DSP技术实践教程

——TMS320F28335设计与实验

姚晓通 李积英 蒋占军 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书以美国 TI 公司常用芯片 TMS320F28335 的实践应用为主线,重点介绍了数字信号处理器 DSP 的基础知识、硬件设计及大量的实验开发项目等。

本书的特点是紧紧围绕 DSP 技术的实践教学主线,从基础理论、软硬件设计到大量的实验开发,实验内容涵盖常规实验、算法实验和扩展实验。本书本着循序渐进的原则,着眼逐步提高读者的 DSP 技术实际应用能力。书中的所有程序均实际调试通过,并免费提供给读者。

本书内容全面、通俗易懂、实用性强,可作为电子信息、通信工程、自动化等专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供从事 DSP 技术应用的工程技术人员参考。

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 技术实践教程: TMS320F28335 设计与实验/姚晓通,李积英,蒋占军编著.--北京:清华大学出版社,2014

高等院校计算机实验与实践系列示范教材

ISBN 978-7-302-37807-5

I. ①D… II. ①姚… ②李… ③蒋… III. ①数字信号处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 198053 号

责任编辑:郑寅堃 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

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:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:20.75 字 数:502 千字

版 次:2014 年 12 月第 1 版 印 次:2014 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:057656-01

出版说明

当前,重视实验与实践教育是各国高等教育界的发展潮流,我国与国外教学工作的差距也主要表现在实践教学环节上。面对新的形式和新的挑战,完善实验与实践教育体系成为一种必然。为了培养具有高质量、高素质、高实践能力和高创新能力的人才,全国很多高等院校在实验与实践教学方面进行了大力改革,在实验与实践教学内容、教学方法、教学体系、实验室建设等方面积累了大量的宝贵经验,起到了教学示范作用。

实验与实践性教学与理论教学是相辅相成的,具有同等重要的地位。它是在开放教育的基础上,为配合理论教学、培养学生分析问题和解决问题的能力以及加强训练学生专业实践能力而设置的教学环节;对于完成教学计划、落实教学大纲,确保教学质量,培养学生分析问题、解决问题的能力 and 实际操作技能更具有特别重要的意义。同时,实践教学也是培养应用型人才的重要途径,实践教学质量的好坏,实际上也决定了应用人才培养质量的高低。因此,加强实践教学环节,提高实践教学质量,对培养高质量的应用型人才至关重要。

近年来,教育部把实验与实践教学作为对高等院校教学工作评估的关键性指标。2005年1月,在教育部下发的《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》中明确指出:“高等学校要强化实践育人的意识,区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。要切实加强实验、实习、社会实践、毕业设计(论文)等实践教学环节,保障各环节的时间和效果,不得降低要求。”、“要不断改革实践教学内容,改进实践教学方法,通过政策引导,吸引高水平教师从事实践环节教学工作。要加强产学研合作教育,充分利用国内外资源,不断拓展校际之间、校企之间、高校与科研院所之间的合作,加强各种形式的实践教学基地和实验室建设。”

为了配合开展实践教学及适应教学改革的需要,我们在全中国各高等院校精心挖掘和遴选了一批在计算机实验与实践教学方面具有潜心研究并取得了富有特色、值得推广的教学成果的作者,把他们多年积累的教学经验编写成教材,为开展实践教学的学校起一个抛砖引玉的示范作用。

为了保证出版质量,本套教材中的每本书都经过编委会委员的精心筛选和

严格评审,坚持宁缺毋滥的原则,力争把每本书都做成精品。同时,为了能够让更多、更好的实践教学成果应用于社会和各高等院校,我们热切期望在这方面有经验和成果的教师能够加入到本套丛书的编写队伍中,为实践教学的发展和取得成效做出贡献;也衷心地期望广大读者对本套教材提出宝贵意见,以便我们更好地为读者服务。

清华大学出版社

联系人:索梅 suom@tup.tsinghua.edu.cn

近年来,随着 DSP 技术的迅速发展,DSP 芯片的速度、性价比不断提高,并被广泛应用在控制、通信、语音、图像及军事等各个领域。目前 DSP 技术已成为电子信息、通信、自动控制及仪器仪表等专业学生和从事相关学科工程技术人员掌握的前沿技术。为此迫切需要将相应的研发结果应用到工农业和人们的生活中去。

目前国内有关 DSP 技术理论介绍的教材较多,而着重介绍实践内容的书较少,为了便于提高学生应用开发能力,笔者结合多年的教学经验编写了此书,希望对学习使用 DSP 技术的相关人员有所帮助。

本书重点介绍 TMS320F28335 的软、硬件设计和实验项目开发,全书共 10 章,第 1 章概述;第 2 章介绍基本结构与特征;第 3 章介绍存储器与通用 I/O 口;第 4 章讲解中断管理;第 5 章介绍片内外设;第 6 章介绍了寻址方式和汇编指令;第 7 章介绍了伪/宏指令和目标文件链接;第 8 章介绍 CCS 软件使用;第 9 章介绍了实验系统介绍;第 10 章是实验指导。

本书由姚晓通、李积英和蒋占军合作编写。本书的第 6~10 章由姚晓通编写,第 1~3 章由李积英编写,第 4、5 章由蒋占军编写,全书由姚晓通统稿。在编写过程中,参阅了不少国内外书籍、TI 公司的原版资料,并得到北京精仪达盛公司大力支持,研究生王记荣等做了大量的整理文字工作,在此一并表示衷心的感谢!

由于作者的水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2014 年 8 月

于兰州交通大学

第 1 章 概述	1
1.1 数字信号处理系统	1
1.1.1 数字信号处理系统的构成	1
1.1.2 数字信号处理系统的特点	2
1.2 DSP 芯片应用	2
1.3 DSP 芯片的开发现状	3
1.4 F2833x 系列的特点	4
1.5 TMS320F28335 外部引脚和信号说明	6
第 2 章 基本结构与特征	21
2.1 CPU 概述	21
2.1.1 CPU 组成及特性	21
2.1.2 CPU 信号	22
2.1.3 CPU 结构	22
2.1.4 地址和数据总线	24
2.2 CPU 寄存器	25
2.2.1 累加器	26
2.2.2 被乘数寄存器	27
2.2.3 结果寄存器	28
2.2.4 数据页指针	28
2.2.5 堆栈指针	29
2.2.6 辅助寄存器	30
2.2.7 程序指针	31
2.2.8 返回程序寄存器	31
2.2.9 中断控制寄存器	31
2.2.10 状态寄存器 0	31
2.2.11 状态寄存器 1	34
2.3 片上锁相环	37
2.3.1 PLL 功能配置	38

2.3.2	时钟信号监视电路	38
2.3.3	相关寄存器	39
2.3.4	PLL 配置注意事项	41
2.4	CPU 定时器	41
2.4.1	工作原理	41
2.4.2	相关寄存器	42
第 3 章	存储器与通用 I/O 口	47
3.1	存储器	47
3.1.1	存储器映射	47
3.1.2	代码安全模块	49
3.2	通用输入输出端口	49
3.2.1	GPIO 概述	49
3.2.2	GPIO 工作模式	50
3.2.3	数字 I/O 工作模式下的控制	51
3.2.4	输入限定功能	53
3.2.5	相关子寄存器	54
3.2.6	GPIO 配置步骤	66
第 4 章	中断管理	67
4.1	中断向量和优先级	67
4.1.1	中断标志寄存器	69
4.1.2	中断使能寄存器和调试中断使能寄存器	70
4.2	不可屏蔽中断	71
4.2.1	INTR 指令	71
4.2.2	TRAP 指令	72
4.2.3	不可屏蔽硬件中断	74
4.3	复位操作	74
4.4	低功耗模式	75
4.5	外设中断扩展模块 PIE	77
4.5.1	PIE 模块概述	77
4.5.2	中断向量列表的映射地址	79
4.5.3	中断源	80
4.5.4	中断向量列表	83
4.5.5	PIE 模块相关寄存器	88
4.5.6	CPU 中断控制相关寄存器	90
4.5.7	外部中断控制寄存器	92

第 5 章 片内外设	94
5.1 增强型脉宽调制	94
5.1.1 ePWM 概述	94
5.1.2 ePWM 各子模块介绍	96
5.2 SCI 模块结构及功能介绍	120
5.2.1 SCI 功能概述	120
5.2.2 SCI 多处理器通信	122
5.2.3 空闲线多处理器模式	123
5.2.4 地址位多处理器模式	124
5.2.5 SCI 通信格式	125
5.2.6 SCI 的中断	127
5.2.7 SCI 波特率计算	127
5.2.8 SCI 增强功能	128
5.3 串行外设接口	130
5.3.1 概述	130
5.3.2 SPI 模块工作方式介绍	131
5.3.3 SPI 中断及其他相关配置	133
5.3.4 SPI FIFO 功能介绍	136
5.4 增强型正交编码脉冲	139
5.4.1 概述	139
5.4.2 正交解码单元	142
5.4.3 位置计数器及控制单元	145
5.4.4 边沿捕获单元	150
5.4.5 eQEP 看门狗电路	153
5.4.6 中断结构	153
5.5 增强型捕获	154
5.5.1 概述	154
5.5.2 捕获工作模式	154
5.5.3 APWM 工作模式	160
5.6 模/数转换模块 ADC	160
5.6.1 转换序列发生器工作原理	162
5.6.2 不间断自动定序模式	165
5.6.3 转换时钟	167
5.6.4 ADC 基本电气特性	168
5.6.5 ADC 高级功能	168
第 6 章 寻址方式和汇编指令	170
6.1 寻址方式	170

6.1.1	寻址方式选择位 AMODE	172
6.1.2	直接寻址方式	172
6.1.3	堆栈寻址方式	173
6.1.4	间接寻址方式	173
6.1.5	寄存器寻址方式	175
6.1.6	其他可用的几种寻址方式	176
6.1.7	32 位操作的定位	177
6.2	汇编语言指令集	177
6.2.1	指令集概述	177
6.2.2	指令句法描述	190
6.3	汇编源程序	190
6.3.1	汇编源程序格式	190
6.3.2	常量	191
6.3.3	表达式与运算符	192
6.3.4	源列表文件	192
第 7 章	伪/宏指令和目标文件链接	194
7.1	伪指令	194
7.1.1	伪指令作用及分类	194
7.1.2	伪指令汇总	195
7.2	宏指令	195
7.2.1	宏定义和宏调用	196
7.2.2	与宏相关的伪指令	197
7.3	目标文件链接	197
7.3.1	段	198
7.3.2	段程序计数器	198
7.3.3	链接器命令文件和链接器伪指令	198
7.3.4	重定位	203
第 8 章	CCS 软件使用	205
8.1	软件开发工具	205
8.2	安装调试软件	207
8.2.1	安装 DSP 调试软件——CCS3.3	207
8.2.2	CCS3.3 软件升级包的安装	210
8.2.3	安装 DSP 仿真器——XDS510 USB 驱动	210
8.3	配置 XDS510 USB(使用 CCS3.3)	212
8.3.1	更改设置管理器设置	212
8.3.2	CCS3.3 软件的设置	213
8.4	初步建立工程	213

8.5	配置工程	216
8.5.1	添加文件	216
8.5.2	配置工程选项	218
8.5.3	添加 GEL 文件	222
8.6	编译和仿真环境的进入	224
8.7	程序的固化	225
第 9 章	实验系统介绍	228
9.1	EL-DSP-E300 型 DSP 实验系统介绍	228
9.2	硬件资源	229
9.3	器件片选地址(CPLD 译码)说明	230
9.4	拨码开关介绍	232
9.5	E_LAB 总线接口介绍(E300 板上)	233
第 10 章	实验指导	236
10.1	常规实验指导	236
10.1.1	拨码开关实验	236
10.1.2	CPU 定时器实验	238
10.1.3	外部中断实验	241
10.1.4	键盘接口实验(E300)	243
10.1.5	A/D 实验(CPU)	246
10.1.6	A/D(外部)实验	249
10.1.7	D/A 实验	254
10.1.8	PWM 波形产生实验	258
10.1.9	语音实验	260
10.1.10	LCD 实验(E300)	271
10.1.11	USB(从模式)实验	272
10.1.12	USB(host)实验	275
10.1.13	DTMF(双音多频)信号的产生和检测实验	280
10.1.14	二维图形生成实验	287
10.1.15	数字图像处理实验	290
10.2	算法实验指导	292
10.2.1	快速傅里叶变换(FFT)算法实验	292
10.2.2	有限冲击响应滤波器(FIR)算法实验	295
10.2.3	无限冲击响应滤波器(IIR)算法实验	298
10.2.4	卷积(Convolve)算法实验	301
10.2.5	离散余弦变换(DCT)算法实验	305
10.2.6	相关(Correlation)算法实验	308
10.2.7	μ _LAW 算法实验	311
参考文献		318

DSP(数字信号处理器)是专门为快速实现各种数字信号处理算法而设计、具有特殊结构的微处理器。

本章主要讲述有关 DSP 的一些基础知识,介绍 DSP 技术的发展历史、特点以及相关的应用领域、如何根据自己的具体需求制定系统解决方案以及选择合适的数字信号处理器来实现等。

1.1 数字信号处理系统

1.1.1 数字信号处理系统的构成

图 1-1 所示为一个典型的 DSP 系统。图中的输入信号可以有各种各样的形式。例如,它可以是话筒输出的语音信号或是由电话线来的已调数据信号,可以是编码后在数字链路上传输或存储在计算机里的摄像机图像信号等。



图 1-1 典型的 DSP 系统

输入信号首先进行带限滤波和抽样,然后进行 A/D(Analog to Digital)变换将信号变换成数字比特流。根据奈奎斯特抽样定理,为保证信息不丢失,抽样频率至少必须是输入带限信号最高频率的两倍。

DSP 芯片的输入是 A/D 变换后得到的以抽样形式表示的数字信号,DSP 芯片对输入的数字信号进行某种形式的处理,如进行一系列的乘累加操作(MAC)。数字处理是 DSP 的关键,这与其他系统(如电话交换系统)有很大的不同,在交换系统中,处理器的作用是进行路由选择,它并不对输入数据进行修改。因此虽然两者都是实时系统,但两者的实时约束条件却有很大的不同。最后,经过处理后的数字样值再经 D/A(Digital to Analog)变换转换为模拟样值,之后再进行内插和平滑滤波就可得到连续的模拟波形。

必须指出的是,上面给出的 DSP 系统模型是一个典型模型,但并不是所有的 DSP 系统都必须具有模型中的所有部件。如语音识别系统在输出端并不是连续的波形,而是识别结果,如数字、文字等;有些输入信

号本身就是数字信号,如 CD(Compact Disk)。因此,就不必进行模数变换了。

1.1.2 数字信号处理系统的特点

数字信号处理系统是以数字信号处理为基础,因此具有数字处理的全部优点。

(1) 接口方便。DSP 系统与其他以现代数字技术为基础的系统或设备都是相互兼容的,与这样的系统接口以实现某种功能要比模拟系统与这些系统接口要容易得多。

(2) 编程方便。DSP 系统中的可编程 DSP 芯片可使设计人员在开发过程中灵活、方便地对软件进行修改和升级。

(3) 稳定性好。DSP 系统以数字处理为基础,受环境温度以及噪声的影响较小,可靠性高。

(4) 精度高。16 位数字系统可以达到 10^{-5} 的精度。

(5) 可重复性好。模拟系统的性能受元器件参数性能变化的影响比较大,而数字系统基本不受影响,因此数字系统便于测试、调试和大规模生产。

(6) 集成方便。DSP 系统中的数字部件有高度的规范性,便于大规模集成。

当然,数字信号处理也存在一定的缺点。例如,对于简单的信号处理任务,如与模拟交换线的电话接口,若采用 DSP 则使成本增加。DSP 系统中的高速时钟可能带来高频干扰和电磁泄漏等问题,而且 DSP 系统消耗的功率也较大。此外,DSP 技术更新的速度快,数学知识要求多,开发和调试工具还不尽完善。虽然 DSP 系统存在着一些缺点,但其突出的优点已经使之在通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等许多领域得到越来越广泛的应用。

1.2 DSP 芯片应用

自从 20 世纪 70 年代末到 80 年代初 DSP 芯片诞生以来,DSP 芯片得到了飞速的发展。DSP 芯片的高速发展,一方面得益于集成电路技术的发展,另一方面也得益于巨大的市场。在近 20 年时间里,DSP 芯片已经在信号处理、通信、雷达等许多领域得到广泛的应用。目前,DSP 芯片的价格越来越低,性能价格比日益提高,具有巨大的应用潜力。DSP 芯片的应用主要有以下几个方面:

(1) 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、谱分析、卷积、模式匹配、加窗、波形产生等。

(2) 通信。如调制解调器、自适应均衡、数据加密、数据压缩、回波抵消、多路复用、传真、扩频通信、纠错编码、可视电话等。

(3) 语音。如语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人辨认、说话人确认、语音邮件、语音存储等。

(4) 图形/图像。如二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉等。

(5) 军事。如保密通信、雷达处理、声呐处理、导航、导弹制导等。

(6) 仪器仪表。如频谱分析、函数发生、锁相环、地震处理等。

(7) 自动控制。如引擎控制、声控、自动驾驶、机器人控制、磁盘控制等。

(8) 医疗。如助听、超声设备、诊断工具、病人监护等。

(9) 家用电器。如高保真音响、音乐合成、音调控制、玩具与游戏、数字电话/电视等。

随着 DSP 芯片性能价格比的不断提高,可以预见 DSP 芯片将会在更多的领域内得到更为广泛的应用。

1.3 DSP 芯片的开发现状

1978 年 AMI 公司发布的 S2811 芯片是世界上第一个单片 DSP 芯片。另一款早期 DSP 芯片是 1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 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。1980 年,日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。这以后,众多公司推出了各自不同系列的多款 DSP 芯片产品。其中较为成功的 DSP 芯片当数 TI 公司的一系列产品,它为各种应用开发提供了多种 DSP 平台。目前常用的 TI 公司 DSP 包括实时控制处理器、低功耗 DSP、高性能 DSP、高性价比 DSP、浮点 DSP、数字媒体处理器、OMAP 应用处理器及数字信号控制器等。TI 公司各系列产品介绍如下。

1. TMS320C2000 处理器平台

C2000 器件是具有高性能集成外设(针对实时控制应用而设计)的 32 位微处理器。其优化的内核可在频率要求极其严格的场合执行多种复杂的控制算法。这些功能强大的集成外设与 SPI、UART、I²C、CAN 和 McBSP 通信外设配合使用,使 C2000 器件成为最理想的单芯片控制解决方案,它包括 24x 和 28x 系列芯片。

2. TMS320C5000 低功耗 DSP

该系列 DSP 芯片提供业界最低的待机功耗和先进的自动电源管理,适用于个人和便携式产品,如数字音乐播放器、VoIP、免提配件、GPS 接收器和便携式医疗设备等,其代表芯片有 TMS320C54x 和 TMS320C55x。

3. TMS320C6000DSP

(1) 高性能 DSP。TMS320C6414T/15T/16T 和 TMS320C645x 系列 DSP 芯片主频高达 1GHz,可以提供业界最快的定点运算速度,并且还针对视频、语音音频代码转换及视频收发、转换应用进行了特别优化。

(2) 高性价比 DSP。TMS320C6410/12/13/18、TMS320C642x 和 TMS320C62x 系列 DSP 芯片具有较高的运算速度和相对低廉的成本,因此具有较高性价比,同时也针对无线基础设施、电信基础设备和成像应用进行了优化。

(3) 浮点 DSP。TMS320C672x 系列 DSP 芯片可以提供高速的浮点运算,并针对高性能音频应用进行了优化。

本书主要介绍的是 TMS320F28335 型数字信号处理器 TI 公司的一款 TMS320C28x 系列浮点 DSP 控制器。与以往的定点 DSP 相比,该器件具有精度高、成本低、功耗小、性能

高、外设集成度高、数据以及程序存储量大和 A/D 转换更精确快速等特点。

TMS320F28335 具有 150MHz 的高速处理能力,具备 32 位浮点处理单元,6 个 DMA 通道支持 ADC、McBSP 和 EMIF,有多达 18 路的 PWM 输出,其中有 6 路为 TI 特有的更高精度的 PWM 输出(HRPWM),12 位 16 通道 ADC。得益于其浮点运算单元,用户可快速编写控制算法而无需在处理小数操作上耗费过多的时间和精力,与前代 DSC 相比,平均性能提高 50%,并与定点 C28x 控制器软件兼容,从而简化软件开发,缩短开发周期,降低开发成本。TMS320C28x 系列芯片有 3 个主要部分:中央处理单元(CPU)、存储器、片内外设。所有 C28x 系列器件都采用同样的 CPU、总线结构和指令集。不同器件具有各自不同的片内存储器配置和片内外设。CPU 负责控制程序的流程和指令的处理,可执行算术运算、布尔逻辑、乘法和移位操作。当执行有符号的数学运算时,CPU 采用二进制补码进行运算。下面介绍 CPU 的基本组成、总线结构、寄存器阵列和 CPU 的基本功能等。

1.4 F2833x 系列的特点

F2833x 作为 Delfino 系列的一员,是由 C2000 DSP 发展来的。这首先说明它具强大的数字信号处理功能;其次,它又集成了大量的外设,供控制使用,又具有微控制器(MCU)的功能,兼有 RISC 处理器的代码密度(RRISC 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。此外,其开发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、字节包装和拆包及位操作),其处理能力强大,片上外设丰富,在高性能电机控制领域中呈现出迅猛的发展趋势。

下面介绍 F2833x 系列的主要特性。

(1) 高性能静态 CMOS 技术。

- 主频最高达 150MHz(6.67ns 时钟周期)。
- 1.9V/1.8V 内核,3.3V I/O 设计。

(2) 高性能 32 位 CPU(F2833x)。

- IEEE-754 单精度浮点单元(FPU)。
- 16×16 和 32×32 介质访问控制(MAC)运算。
- 16×16 双 MAC。
- 哈佛总线架构。
- 快速中断响应处理。
- 统一存储器编程模型和高效代码(使用 C/C++ 语言和汇编语言)。

(3) 6 通道 DMA 处理器(用于 ADC、McBSP、ePWM、XINTF 和 SARAM)。

(4) 16 位或 32 位外部接口(XINTF),可处理超过 $2\text{MB} \times 16$ 位地址范围。

(5) 片内存储器。F28335 含有 $256\text{KB} \times 16$ 位闪存、 $34\text{KB} \times 16$ 位 SARAM。

(6) 引导 ROM($8\text{KB} \times 16$ 位)。支持软件引导模式(通过 SCI、SPI、CAN、 I^2C 、McBSP、XINTF 和并行 I/O),支持标准数学表。

(7) 时钟和系统控制。支持动态锁相环(PLL)比率变化,片载振荡器,安全装置定时器模块。

(8) GPIO0~GPIO63 引脚可以连接到 8 个外部内核中断其中的一个。

(9) 可支持全部 58 个外设中断的扩展(PIE)块。

(10) 128 位安全密钥/锁。保护闪存/OTP/RAM 模块,防止固件逆向工程。

(11) 增强型控制外设。

- 多达 18 个脉宽调制(PWM)输出。
- 高达 6 个支持 150ps 微边界定位(MEP)分辨率的高分辨率脉宽调制器(HRPWM)

输出。

- 高达 6 个事件捕捉输入。
- 多达 2 个正交编码器接口。
- 高达 8 个 32 位定时器(6 个 eCAP 和 2 个 eQEP)。
- 高达 9 个 32 位定时器(6 个 ePWM 和 3 个 XINTCTR)。

(12) 3 个 32 位 CPU 定时器。

(13) 串行端口外设。

- 多达 2 个控制器局域网(CAN)模块。
- 多达 3 个 SCI(UART)模块。
- 高达 2 个 McBSP 模块(可配置为 SPI)。
- 一个 SPI 模块。
- 一个内部集成电路(I²C)总线。

(14) 12 位模/数转换器(ADC),16 个通道。

- 80ns 转换率。
- 2×8 通道输入复用器。
- 2 个采样保持。
- 单一/同步转换。
- 内部或者外部基准。

(15) 多达 88 个具有输入滤波功能可单独编程的多路复用通用输入输出(GPIO)引脚。

(16) JTAG 边界扫描支持 IEEE 1149.1—1990 标准测试端口和边界扫描架构。

(17) 高级仿真特性。

- 分析和断点功能。
- 借助硬件的实时调试。

(18) 开发支持。

- ANSIC/C++ 编译器/汇编语言/连接器。
- Code Composer Studio IDE。
- DSP/BIOS。
- 数字电机控制和数字电源软件库。

(19) 低功耗模式和省电模式。

- 支持 IDLE(空闲)、STANDBY(待机)、HALT(暂停)模式。
- 可禁用独立外设时钟。

(20) 字节序:小端序。

