

DSP应用丛书

TMS320x28xxx 原理与开发

苏奎峰 吕 强 邓志东 汤霞清 编著

DSP 应用丛书

TMS320x28xxx原理与开发

苏奎峰 吕 强 邓志东 汤霞清 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是在《TMS320F2812 原理与开发》的基础上编写的,根据近几年 DSP 技术的发展和作者的实际开发经验,对原有内容进行了较大调整。书中内容不局限于 TMS320F2812 处理器,涵盖了 TMS320x28xxx 处理器的基本特点、硬件结构、内部功能模块的基本原理等内容,并以实际开发的测录系统为主线,介绍各功能单元的使用方法,给出了相应模块的硬件设计参考及软件调试方法和代码。书中提供了大量经过验证的硬件原理图和应用程序代码,以方便读者参考设计。

本书既可以作为电子类专业的本科生和研究生“数字信号处理原理及其应用”或“数字运动控制系统”等课程的教材,也可以作为有关工程技术人员很好的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

TMS320x28xxx 原理与开发 / 苏奎峰等编著. —北京:电子工业出版社, 2009.3

(DSP 应用丛书)

ISBN 978-7-121-08403-4

I. T… II. 苏… III. 数字信号—信息处理系统 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 029082 号

责任编辑: 万子芬

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 三河市万和装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 25.5 字数: 686 千字

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

TMS320x28xxx (简称 x28xxx, 早期产品也简称 x28x) 是 TI 公司推出的 32 位数字信号处理器 (DSP), 主要包括定点的 TMS320x281x 和 TMS320x280x (简称 x281x 和 x280x) 系列, Piccolo(TMS320x280xx)系列, 以及浮点的 TMS320x283xx (简称 x283xx) 系列三种类型。定点 TMS320x281x 和 TMS320x280x 又叫 TMS320x28xx (简称 x28xx)。TMS320x28xxx 是目前控制领域最先进的处理器之一, 其频率高达 150MHz, 大大提高了控制系统的控制精度和芯片的处理能力。TMS320x28xxx 基于 C/C++ 高效 32 位 TMS320C28x DSP 内核, 为 TMS320x281x 和 TMS320x280x 定点处理器提供了浮点数学函数库, 可以在定点处理器上方便地实现浮点运算; 而 TMS320x283xx 系列处理器增加了浮点处理内核, 可以直接进行浮点运算, 在高精度伺服控制、变频电源、UPS 电源等领域应用广泛, 同时也是电机等数字化控制产品升级的最佳选择。

TMS320x28xxx 内部集成了 Flash 闪存, 可以用于固化应用软件, 代码保护单元提供 128 位密码保护, 可以有效地保护知识产权。TMS320x281x 优化过的事件管理器包括脉冲宽度调制 (PWM) 产生器, 可以编程通用计时器和事件捕捉接口等, 能够满足多种数字控制系统的应用需求。TMS320x280x 和 TMS320x283xx 提供的 ePWM, eCAP 和 eQEP 在方便使用的同时, 还可以完成更高精度的操作。TMS320x28xxx 包括 12 位模/数转换器, 可达 16.7MB/s 的采样, 其双采样装置可以实现控制环路的同步采样。片上标准通信端口能够为主机、测试设备、显示器及其他组件提供简便的通信接口。

本书是在《TMS320F2812 原理与开发》一书的基础上, 根据作者近几年的项目开发经验和 TI 公司 DSP 相关技术的最新进展, 综合实践中较常遇到的问题编写的, 在保留原书部分原理分析的基础上, 着重增加了应用开发环节及 TMS320x280x 和 TMS320x283xx 浮点处理器的相关内容。全书以基于 TMS320F281x 处理器的测录系统为主线, 在比较 TMS320x28xxx 系列处理器异同的基础上, 详细介绍了各功能模块的基本原理及其应用, 并给出了具体的应用实例。此外, 根据内容的需要对原有的章节进行了相应的调整或删减。

本书共分 13 章: 第 1, 2 章介绍 C2000 平台的特点, 数字控制系统的开发过程, TMS320x28xxx 系列内核及外设的主要功能, 各系列处理器之间的比较等; 第 3 章介绍 TMS320F2812 的内核及中断的使用; 第 4 章介绍存储器接口的特点、寄存器的使用及外部扩展接口的扩展应用等; 第 5, 6, 7, 12 章分别介绍 SCI, SPI, I2C, CAN 通信接口的功能及使用, 并结合具体的应用给出了实例; 第 8, 9, 10, 11 章分别介绍事件管理器模块和由事件管理器演化而来的 ePWM, eCAP 和 eQEP 三个增强功能模块。第 13 章介绍 ADC 模块的原理与使

用。所有章节都给出了相关应用的原理和经过验证的程序代码。

第1章由装甲兵工程学院吕强教授编写,第2章由清华大学邓志东教授编写,第3章由装甲兵工程学院汤霞清编写,其余章节由苏奎峰编写并统稿。在本书的编写过程中,还得到了清华大学郭小梅老师,总参工程兵四所宁固、装甲兵工程学院的常天庆、张志勇、张永谦、张雷、杨国振、朱斌、邱小波等同志的大力支持,在此一并致谢。尤其要感谢电子工业出版社万子芬老师为本书的出版所做的大量工作。

限于作者水平,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

苏奎峰

2009年2月于装甲兵工程学院

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 简介	1
1.2 DSP 平台介绍	2
1.2.1 TMS320 系列 DSP 平台介绍	2
1.2.2 TMS320C2000 平台介绍	3
1.2.3 TMS320C2000 平台应用领域	6
1.3 以 DSP 为基础的数字控制系统	6
1.3.1 控制系统介绍	6
1.3.2 数字控制系统	8
1.3.3 数字控制系统的设计	10
1.3.4 基于 TMS320x28xx 处理器测试平台	11
第 2 章 TMS320x28xxx 系列处理器概述	12
2.1 TMS320x281x 和 x280x 内核	12
2.1.1 TMS320x281x 和 x280x 处理器的主要特点	12
2.1.2 C28x CPU 内核	15
2.2 TMS320x283xx 内核	17
2.2.1 x28x 浮点处理单元简介	17
2.2.2 x28x 浮点处理的优势	18
2.2.3 x28x 浮点处理单元结构	18
2.2.4 指令系统简介	22
2.3 TMS320x28xxx 系列处理器外设比较	26
2.3.1 TMS320x28x 外设概述	26
2.3.2 TMS320x281x 和 TMS320x283xx 的区别	29
2.3.3 TMS320x280x 和 TMS320x283xx 的区别	41
第 3 章 TMS320x28xx 系统控制及中断	42
3.1 时钟及系统控制	42
3.1.1 时钟概述	42
3.1.2 晶体振荡器及锁相环	43
3.1.3 低功耗模式	44
3.1.4 看门狗及其应用	45
3.1.5 定时器及其应用	45
3.2 TMS320F28xx 通用 I/O	47
3.2.1 多功能复用 GPIO 介绍	47
3.2.2 GPIO 寄存器	50

3.3	TMS320F28xx 外设扩展中断模块	51
3.3.1	TMS320F28xx 的 PIE 控制器概述	51
3.3.2	中断向量表	53
3.3.3	中断源及其处理	54
3.3.4	PIE 向量表	58
3.3.5	PIE 寄存器	62
3.3.6	PIE 中断使用例程	63
第 4 章	存储器及扩展接口	70
4.1	F2812 内部存储空间	71
4.2	片内存储器接口	72
4.2.1	CPU 内部总线	72
4.2.2	32 位数据访问的地址分配	73
4.3	片上 Flash 和 OTP 存储器	74
4.3.1	Flash 存储器	74
4.3.2	Flash 存储器寻址空间分配	74
4.4	外部扩展接口	75
4.4.1	外部接口描述	75
4.4.2	外部接口的访问	76
4.4.3	写操作紧跟读操作的流水线保护	78
4.4.4	外部接口的配置	78
4.4.5	配置建立、激活及跟踪等待状态	81
4.4.6	外部接口的寄存器	84
4.4.7	外部接口 DMA 访问	84
4.4.8	外部接口操作时序图	85
4.5	TMS320x283xx 和 TMS320x281x-XINTF 接口的区别	87
4.5.1	XINTF 接口的主要区别	87
4.5.2	存储器扩展操作	88
4.6	外部接口的应用	90
4.6.1	外部存储器扩展	90
4.6.2	外部 ADC 扩展	90
4.6.3	OLED 显示接口	97
第 5 章	TMS320F28xx 串行通信接口	108
5.1	概述	108
5.1.1	增强 SCI 模块概述	108
5.1.2	SCI 结构特点	110
5.2	SCI 寄存器及串口使用	120
5.2.1	SCI 寄存器	120
5.2.2	SCI 串口使用	121
5.2.3	F2812 SCI 软件样例程序	122

第 6 章	TMS320F28xx 串行外设接口	127
6.1	增强的 SPI 模块概述	127
6.2	SPI 模块寄存器的概述	129
6.3	SPI 的操作	131
6.3.1	操作介绍	131
6.3.2	SPI 模块主操作模式和从操作模式	132
6.4	SPI 中断	133
6.4.1	SPI 中断控制位	133
6.4.2	数据格式	134
6.4.3	波特率和时钟设置	134
6.4.4	复位的初始化	136
6.4.5	数据传输实例	136
6.5	SPI FIFO 描述	137
6.6	SPI 通信波形	139
6.7	SPI 应用实例	141
6.7.1	SPI 自测试应用举例	141
6.7.2	ADT7301 及其接口举例	145
6.7.3	基于 SPI 的数/模转换接口设计	148
第 7 章	I ² C 总线	155
7.1	I ² C 总线概述	155
7.1.1	I ² C 总线主要特点	155
7.1.2	功能概述	156
7.1.3	时钟产生	157
7.2	I ² C 总线操作	158
7.2.1	输入和输出电平	158
7.2.2	数据状态要求	158
7.2.3	操作模式	158
7.2.4	I ² C 模块开始和停止条件	159
7.2.5	串行数据格式	159
7.2.6	不响应信号 (NACK) 方式	161
7.3	I ² C 总线应用举例	162
7.3.1	铁电存储器 FM31256 接口	162
7.3.2	I ² C 扩展 EEPROM	182
第 8 章	事件管理器及其应用	191
8.1	事件管理器功能概述	191
8.2	通用定时器	193
8.2.1	通用定时器功能概述	193
8.2.2	使用通用定时器产生 PWM 信号	204
8.2.3	通用定时器应用实例	205

8.3	PWM 电路	208
8.3.1	与比较单元相关的 PWM 电路	209
8.3.2	PWM 波形的产生	213
8.3.3	事件管理器的 PWM 输出产生	214
8.3.4	空间矢量 PWM	216
8.4	捕获单元	222
8.4.1	捕获单元概述	222
8.4.2	捕获单元操作	224
8.4.3	捕获单元 FIFO 堆栈	224
8.4.4	捕获中断	225
8.4.5	正交编码脉冲 (QEP) 电路	225
8.5	事件管理器中断	227
8.5.1	事件管理器 (EV) 中断概述	227
8.5.2	EV 中断请求和服务子程序	227
8.5.3	中断产生	229
8.5.4	中断矢量	229
8.6	应用事件管理器产生 PWM	229
第 9 章	ePWM 模块	238
9.1	ePWM 模块概述	238
9.1.1	ePWM 模块介绍	238
9.1.2	ePWM 模块内部连接关系	239
9.1.3	ePWM 模块寄存器映射	240
9.2	ePWM 内部功能及使用方法	242
9.2.1	ePWM 子模块	242
9.2.2	时间基准 (TB) 子模块	245
9.2.3	计数比较子模块	253
9.2.4	动作限定 (AQ) 子模块	256
9.2.5	死区控制子模块	266
9.2.6	PWM 斩波器子模块	270
9.2.7	错误控制子模块	273
9.2.8	事件触发 (ET) 子模块	277
9.3	高精度脉宽调制模块 (HRPWM)	280
9.3.1	概述	281
9.3.2	HRPWM 的操作	282
第 10 章	增强捕捉单元模块	295
10.1	增强捕捉单元模块概述	295
10.1.1	功能描述	295
10.1.2	捕捉单元和 APWM 操作模式	296
10.2	捕捉操作	297

10.2.1	事件预定标器	297
10.2.2	边沿极性选择和量化控制	298
10.2.3	连续/单次控制	298
10.2.4	32 位计数器和相位控制	299
10.2.5	CAP1~CAP4 寄存器	300
10.2.6	中断控制	300
10.2.7	双映射装载和控制	301
10.2.8	APWM 操作模式	301
10.3	eCAP 模块应用	302
10.3.1	上升沿触发绝对时间标签操作	303
10.3.2	上升下降沿触发绝对时间标签操作	304
10.3.3	上升沿触发时间间隔操作	306
10.3.4	上升下降沿触发时间差间隔操作	307
10.4	APWM 模式	308
10.4.1	单通道 PWM 产生 (独立通道控制)	308
10.4.2	同步多通道 PWM 产生控制	309
10.4.3	带相位控制功能的多通道 PWM 产生操作	311
第 11 章	增强正交编码脉冲模块	314
11.1	增强正交编码脉冲模块概述	314
11.1.1	eQEP 输入信号	316
11.1.2	eQEP 功能描述	316
11.1.3	eQEP 存储器映射	317
11.2	正交编码单元	318
11.2.1	位置计数模式	319
11.2.2	eQEP 输入极性选择	321
11.2.3	位置比较同步输出	321
11.3	位置计数器和控制单元	321
11.3.1	位置计数操作模式	321
11.3.2	位置计数锁存	323
11.3.3	位置事件初始化	325
11.3.4	eQEP 位置比较单元	326
11.4	eQEP 边沿捕捉单元	327
11.5	eQEP 看门狗	329
11.6	eQEP 定时器基准	330
11.7	eQEP 中断结构	330
11.8	eQEP 应用举例	331
第 12 章	eCAN 总线模块及其应用	335
12.1	eCAN 总线模块的结构	335
12.1.1	eCAN 总线的主要特点	335

12.1.2	CAN 网络和模块概述	336
12.1.3	eCAN 控制器概述	338
12.1.4	消息邮箱	340
12.2	eCAN 总线模块的配置方法	343
12.2.1	eCAN 模块初始化	343
12.2.2	eCAN 模块的配置步骤	346
12.2.3	远程帧邮箱的处理	349
12.2.4	中断	349
12.2.5	CAN 模块的掉电模式	354
12.3	eCAN 总线模块的应用实例	355
12.3.1	消息发送例程	356
12.3.2	消息接收例程	361
第 13 章	模/数转换模块及其应用	366
13.1	模/数转换模块的主要特点	366
13.2	自动转换排序器的操作原理	368
13.2.1	顺序采样模式	369
13.2.2	同步采样模式	371
13.2.3	双排序器采样模式实例	372
13.2.4	排序器级联采样模式实例	372
13.3	连续自动排序模式	373
13.3.1	排序器的开始/停止模式	375
13.3.2	同步采样模式	376
13.3.3	输入触发源	376
13.3.4	排序转换的中断操作	377
13.4	ADC 时钟预定标	378
13.5	低功耗模式	379
13.6	上电次序	380
13.7	ADC 校验	380
13.7.1	应用 ADC_Cal 汇编程序	380
13.7.2	函数指针	381
13.8	模/数转换模块应用实例	381
13.8.1	ADC 校准	381
13.8.2	ADC 参考电压	387
13.8.3	TMS320F2812 的 ADC 模块应用例程	387
参考文献		394

第 1 章 概 述

1.1 简 介

传统的信号处理或控制系统采用模拟技术进行分析设计，处理设备和控制器均采用模拟器件（电阻、电容和运算放大器等）实现。自 20 世纪 60 年代以来，数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）日渐成为一项成熟的技术，并在多项应用领域逐渐替代了传统模拟信号处理系统。与模拟信号处理系统相比，数字信号处理技术及设备具有灵活、精确、抗干扰能力强、设备尺寸小、速度快、性能稳定和易于升级等优点，所以，目前大多设备采用数字技术设计实现。

数字信号处理是利用计算机或专用的处理设备，以数值计算的方式对信号进行采集、变换、综合、估计与识别等加工处理，从而达到提取信息和便于应用的目的。数字信号处理的实现是以数字信号处理理论和计算机技术为基础的，在其发展历程中，有两个事件加速了 DSP 技术的发展。其一是 Cooley 和 Tuckey 对离散傅里叶变换的有效算法的解密，其二是可编程数字信号处理器（Digital Signal Processor, DSP）在 20 世纪 60 年代的引入。这种采用哈佛结构的处理器能够在一个周期内完成乘法累加运算，与采用冯·诺依曼结构的处理器相比有了本质的改进，为复杂数字信号处理算法和控制算法的实现提供了良好的实现平台。

在实际应用中，所有的信号都是模拟信号，为实现数字信号处理，用户必须将模拟信号转换成数字信号。模拟信号是连续的变量，它包括声音强度、压力、光强度等。例如，我们可以感知不同的模拟信号：耳朵对声音敏感，眼睛对光学敏感。当接收到一个信号时，传感器器官把它转换为电的信号，并且把它传送到我们的模拟计算机（大脑）中。如果需要使用计算机或其他的处理器实现对语音信号的数字处理，必须对其进行数字化，具体过程如图 1.1 所示。

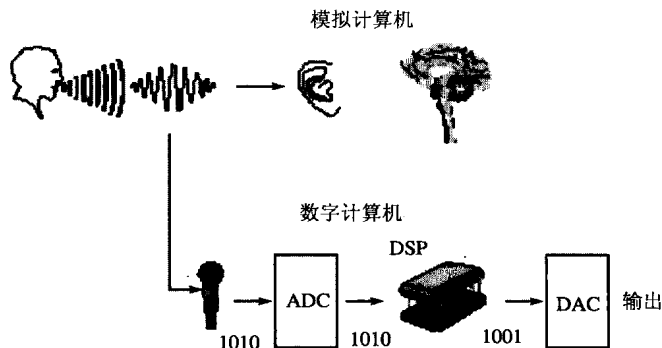


图 1.1 语音的数字信号处理过程

因为 DSP 具有快速计算的特点，所以具有广泛的应用潜力。例如，可以采用 DSP 来实现复杂的数字信号处理或数字控制系统，以满足高性能信号处理或控制的需求。

采用 DSP 实现数字化处理和控制已经成为未来的发展趋势，因此有众多半导体制造商投入到高性能 DSP 的开发中。其中 TI 公司推出的 TMS320x283xx 处理器具有较高的信号处理和

控制功能，在数字控制领域拥有广阔的应用前景。本书以 TMS320x28xx 及 TMS320x283xx 芯片的内部功能模块为主线，在比较各类处理器的基础上介绍各功能模块的基本原理，并结合控制领域的应用详细阐述了各功能模块的使用方法。书中提供了大量硬件原理图和应用程序代码，以方便读者参考。

1.2 DSP 平台介绍

世界正朝着数字化的方向发展，而 DSP 正是这个数字革命的心脏。这些高性能的 DSP 能够充分满足目前数字信号处理的需要，也加快了相关半导体行业的快速发展。半导体技术的进步大大促进了 DSP 的发展。自从 TI 于 1982 年推出第一个 DSP 以来，处理器的技术水平得到了巨大的提高，也缔造了 TI 公司在 DSP 领域中的稳固地位。设计者只要想到 DSP 便会想到 TI，其辅助的技术支持也加速了新产品的上市时间。

从一般性的应用到特殊应用，TI 公司推出的 TMS320 DSP 家族覆盖了非常广的应用领域。用户必须充分理解各类 DSP 的特点和适用领域，才能选择合适的处理器完成数字信号处理或控制任务。根据不同的应用领域，TI 公司推出了三大指令集架构，一般称为“平台”，如图 1.2 所示。平台的指令核心是互相兼容的，但各平台有自己的特点和适合的应用领域。

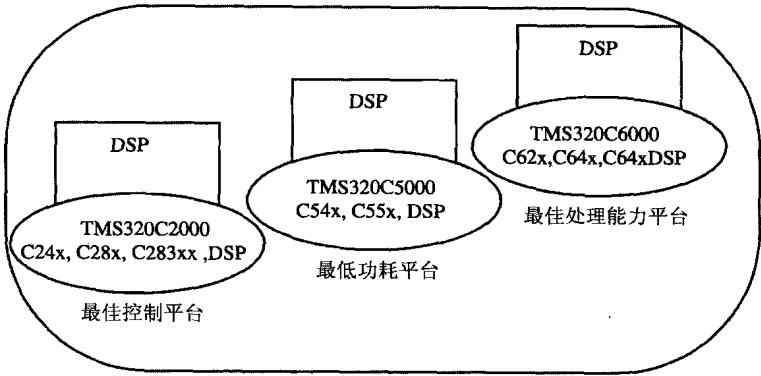


图 1.2 TMS320 系列 DSP 平台

1.2.1 TMS320 系列 DSP 平台介绍

1. 最佳控制：TMS320C2000™ DSP 平台

TMS320C2000™ DSP 平台将各种高级数字控制功能集成于一颗 IC 上。强大的数据处理和控制能力可大幅提高应用效率和降低功耗。TMS320C28x™系列 DSP 主要包括 TMS320C281x, TMS320C280x 及 TMS320C283xx 三种处理器，是目前控制领域较高性能的处理器，具有精度高、速度快、集成度高等特点，而且 TMS320C283xx 处理器内核还增加了浮点处理单元，为不同控制领域提供了高性能解决方案。TMS320C24x™系列 DSP 则为不同应用平台提供了基本解决方案。

2. 最低功耗：TMS320C5000™ DSP 平台

TMS320C5000™ DSP 是专门针对消费类数字市场而设计的。最低耗电为 0.33mA/MHz。TMS320C55x™与 TMS320C54x™ DSP 均可用于便携式产品，如数字随身听、GPS 接收器、便携式医疗设备、3G 移动电话、数码相机等。TMS320C5000™ DSP 平台对于注重运算速度和功

耗的语音及资料应用产品也是最佳解决方案。

3. 最佳处理能力：TMS320C6000™ DSP 平台

TMS320C6000™ DSP 是处理能力最强、易于采用高级语言编程的 DSP。定点及浮点 DSP 市场定位在网络交换、图像处理、雷达信号处理等高端应用领域。TMS320C64x™ DSP 的 CPU 运行速度超过 1GHz，其性能远超过第一代 TMS320C62x™ DSP 近 10 倍，为高端的应用提供了最佳解决方案。

1.2.2 TMS320C2000 平台介绍

TMS320C2000 系列 DSP 集微控制器和高性能 DSP 的特点于一身，具有强大的控制和信号处理能力，能够实现复杂的控制算法。TMS320C2000 系列 DSP 片上整合了 Flash 存储器、快速的 A/D 转换器、增强的 CAN 模块、事件管理器、正交编码电路接口、多通道缓冲串口等外设，此种整合使用户可以以更便宜的价格开发高性能数字控制系统。

在 TMS320C2000 系列 DSP 中，尤其是 C28x 系列高精度 DSP，其性能是目前任何现有的可编程 DSP 无可比拟的。TMS320F2810 及 TMS320F2812 是工业界首批 32 位的控制专用、内含闪存及高达 150MIPS 的 DSP，专门为工业自动化、光学网络及自动化控制等应用而设计。C28x 的内核是当今世界上在数字控制应用方面性能最高的 DSP 内核。C28x 的内核提供高达 150MIPS 的计算速度，因此能够实时地处理许多复杂的控制算法，如无速度传感器控制、随机 PWM 的生成、功率因数校正等算法。C28x 同时也是世界上程序代码效率最高的 DSP，C28x 的程序代码与目前所有的 C2000 DSP 的程序代码兼容，简化了产品升级工作。

TMS320C2000 系列 DSP 主要包括 C24x、C281x 和 C283xx 3 种类型，表 1.1 给出了 3 种处理器的主要特征对比。

表 1.1 3 种 DSP 的主要特征

DSP 系列	DSP 类型	特 性
C24x	16 位定点	SCI、SPI、CAN、A/D、事件管理器 (Event Manager)、看门狗定时器 (Watchdog Timer)、内部 Flash 存储器、20~40 MIPS
C28x	32 位定点	SCI、SPI、CAN、12 位 A/D、McBSP、事件管理器、看门狗定时器、内部 Flash 存储器、高达 150 MIPS
C283xx	32 浮点	SCI、SPI、CAN、12 位 A/D、McBSP、增强 PWM 模块、增强捕捉单元、增强光电编码接口、看门狗定时器、内部 Flash 存储器、高达 150 MIPS

1.2.2.1 TMS320C2000 DSP 结构

1. TMS320C28x™ 结构

32 位的 C28x DSP 整合了 DSP 和微控制器的最佳特性，能够在 一个周期内完成 32×32 位的乘法累加运算，或两个 16×16 位乘法累加运算。此外，由于集成了快速的中断管理单元，使得中断延迟时间大幅减少，满足了实时控制的需要。

- C28x 拥有许多独一无二的特点。例如，可以在一个周期内对任何内存地址完成读取、修改、写入操作，使得效率及程序代码达到最佳。此外，还提供多种自动指令，提高了程序的执行效率，简化了程序的开发。
- 针对嵌入式控制领域应用的特殊要求，已推出一款针对 C28x 内核的 C 编辑器，能够提

供非常杰出的 1.1C 汇编语言转换比例。C28x DSP 的内核还支持 IQ 变换函数库，使研发人员能方便地使用便宜的定点 DSP 来实现浮点运算。

- C28x 系列的 DSP 目前已达到 150MIPS。
- C28x DSP 与 C24x DSP 的程序代码兼容。

2. TMS320C283x™结构

TMS320x283xx 系列处理器首次在原 C28x 中央处理单元的基础上增加了浮点处理单元 (C28x+FPU)，基于 C28x+FPU 架构的控制器除了具有同其他 C28x 处理器相同的 32 位的定点架构外，还包含一个单精度 (32 位) IEEE 754 浮点处理单元。此单元能够高效处理 C/C++ 语言编写的程序，从而使得采用 C/C++ 语言编写系统控制软件和算法更加方便。此外还继承了 TMS320C280x 系列定点处理器的 ePWM, eQEP 及 eCAP 等增强外设的功能，为高性能控制系统应用提供良好的集成平台。

3. C24x™ DSP 结构

C24x 是低成本、低功耗、高性能的处理器，最高速度达 40MIPS，能够实现多种控制算法，特别适合于电机控制等领域的应用。内核采用哈佛总线结构，可以实现对程序和数据空间的同时操作，具有高效率的内存管理功能。

- C24x 采用 4 级流水线结构，能够在一个周期内完成 C24x 的大部分指令。
- 内嵌一个周期内完成 2 次存取操作的 DARAM，再加上 C24x 结构的并行处理特性，C24x 能够在一个机器周期内同时完成 3 个内存的存取。
- 不同编号的 C24x 具有不同的内存组合，包含 DARAM、SRAM、ROM 或 Flash 存储器。

1.2.2.2 TMS320C2000 功能及其特点

TMS320C2000 DSP 平台整合了高性能的 DSP 内核、内部 Flash 存储器、高精度模拟外设、数字控制及通信外设等。为用户提供了单芯片实现高性能控制的解决方案，其主要功能模块如下。

1. Flash 内存

C2000 产品的内部 Flash 存储器大小为 8~128KB。用户可以应用内部 Flash 存储器固化应用软件及进行产品的升级换代。C2000 DSP 提供分区的 Flash 内存，允许改写每个分区，而不清掉整个 Flash 内存；此外 C2000 DSP 采用密码保护程序代码，以保护用户的程序。

2. 事件管理器 (TMS320x281x 和 TMS320x24x)

- 定时器/比较器模块减少了 CPU 完成事件定时、采样循环及 PWM 生成等任务的开销。
- 可编程死区设置。
- 捕捉单元和正交编码电路能够同检测元件直接接口。
- PDP 中断为系统提供无条件保护。

3. 增强的控制外设 (TMS320x280x 和 TMS320x283xx)

- 增强的 ePWM 外设。
- 增强的 eCAP 外设。
- 增强的 eQEP 外设。

4. 模/数转换器

- 10 位模/数转换器 (C24x) 和 12 位模/数转换器 (C28x)。
- LF240xA 最快转换时间为 500ns, F2810 及 F2812 最快转换时间为 60ns。
- 外部模/数转换及事件 (EV) 触发的模/数转换不需占用额外 CPU 时间。
- 具有双缓冲的结果寄存器, 减少中断到取得转换结果所需要的时间。
- 16 个模拟输入通道。
- 转换自动排序器可增加通道数目, 而不需 CPU 介入。

5. CAN 模块

- 完整的 CAN 控制器, 符合 CAN2.0B 规范。
- 发送、接收标准帧 (11 位标志符) 及扩展帧 (29 位标志符)。
- C24x 有 16 个信箱, F2810、F2812 有 32 个信箱。
- 0~8 位可编程数据长度。
- 提供接收信箱、发送信箱及可配置的发送/接收信箱 (信箱 0 及 1)。
- C28x 系列提供低耗电模式, 定时邮递 (Time Stamping) 功能。
- 数字回路自测试模式。
- 可编程通信速率。
- 可编程中断控制。

6. 串行通信接口

- 异步通信格式 (NRZ)。
- 可编程波特率。
- 数据长度 1~8 位可编程。
- 可编程停止位长度 1 位或 2 位。
- 错误检测: 极性错误、过载错误、帧错误、中止错误等。
- 两种唤醒模式: 线空闲唤醒及地址位唤醒。
- 半双工或全双工操作。
- C24x 具有双缓冲器的接收及发送功能, 而 C28x 有 16 层的接收及发送缓冲器。
- 独立的接收/发送中断。
- 独立的接收/发送中断使能位。

7. 串行外围接口

- 1~16 位可编程数据长度 (F/C240 为 1~8 位)。
- 同步的发送/接收帧。
- 主/从操作模式。
- 支持多处理器通信。
- SPI 时钟极性控制。

8. C28x 的多信道缓冲串行端口

- 全双工通信。
- 双缓冲发送, 三缓冲接收, 允许连续的数据流。
- 支持 128 个通道的发送及接收。
- 独立的发送时钟。