



TMS320X281x

DSP原理及C程序开发

苏奎峰 吕 强 常天庆 张永秀 编著

DSP



北京航空航天大学出版社

TN911.72/205D

2008

TMS320X281x DSP 原理及 C 程序开发

苏奎峰 吕 强 常天庆 张永秀 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从 DSP 的基本开发方法入手,介绍基于 DSP 的系统软/硬件开发方法,并以 TMS320X281x 系列处理器的各模块功能为主线详细介绍各模块的硬件使用和 C 语言编程。此外还根据 DSP 的特点介绍基于定点处理器实现浮点算法的方法。在介绍功能的同时,列举了相应的应用实例,给出了硬件原理和 C 语言程序清单,并标有详细的程序说明,为用户快速掌握处理器各功能单元的使用提供了方便。附光盘 1 张,内含 C 语言程序代码。

本书可以作为大学本科和研究生的“数字信号处理器原理与应用”相关课程的教材,也可以作为数字信号处理器应用开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

TMS320X281x DSP 原理及 C 程序开发/苏奎峰等编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2008.2

ISBN 978-7-81124-078-8

I. T… II. 苏… III. ①数字信号—信息处理系统②C 语言—程序设计 IV. TN911.72 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 010086 号

© 2008,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。

侵权必究。

TMS320X281x DSP 原理及 C 程序开发

苏奎峰 吕 强 常天庆 张永秀 编著

责任编辑 张 楠 王 松

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:25.25 字数:646 千字

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-078-8 定价:48.00 元(含光盘 1 张)

前言

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,此种整合使用户能够以很便宜的价格开发高性能数字控制系统。

32 位的 TMS320X28xx 系列 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,能够完成 64 位的数据处理,从而使该处理器能够实现更高精度的处理任务。快速的中断响应能够使 28xx 保护关键的寄存器以及快速(更小的中断延时)地响应外部异步事件。28xx 带有 8 级流水线存储器访问保护机制,流水线使得 28xx 高速运行时不需要大容量的快速存储器。专门的分支跳转(Branch-look-ahead)硬件减少了条件指令执行的反应时间,条件存储操作更进一步提高了 28xx 的性能。

TMS320X28xx 信号处理器集成了事件管理器(281x 处理器)、ePWM、eCAP、eQEP(F2808、F2806、F2801)、A/D 转换模块、SPI 外设接口、SCI 通信接口、eCAN 总线通信模块、看门狗、通用目的数字量 IO、PLL 时钟模块、多通道缓冲串口、外部中断接口、存储器及其接口、内部集成电路(I²C)等多种外设单元,为功能复杂的控制系统设计提供了方便。

作者根据多年采用 TMS320X28xx 数字信号处理器开发工程项目和教学的经验编写此书,本书的主要目的是介绍 C 语言的编程方法及在 C2000 处理器中的应用。书中以 TMS320F2812 为基础,详细介绍了 TMS320X28xx 系列处理器的硬件结构、DSP 的基本开发方法、处理器外设资源的使用、C 语言编程开发、浮点算法开发、程序固化等内容。在介绍各功能单元的同时提供了相关的应用实例,给出了硬件原理图和 C 语言程序清单及程序分析。本书力求为学习 DSP 并希望使用 C 语言或 C 和汇编语言混合编程的人士提供有益的参考,为能够熟练使用 TMS320X28xx 处理器提供帮助。随书光盘中提供的所有程序都在 F2812 评估板上经过验证,部分程序在实际项目中也得到了充分的检验。有关评估板或本书内容方面的问题欢迎与作者及时沟通,邮箱地址:sukf@sina.com。

参加本书编写工作的有王国胜、张永谦、张雷、武萌、杨国振、汤霞清、朱斌、周伟科、李小龙、杨海奎、郭勇、韩意、崔伟宁、王钦钊、单东生、金俊、朱竞夫、周启煌、程海斌、李光生、谢国栋、李长兵、张健等同志。他们为本书提供了大量资料并进行了大量实验。本书的成书过程中还得到了装甲兵工程学院张蔚、邱晓波、荣明、颜南明、魏曙光、谢永成、易泉、纪伯公、王春忠、谢志宏、陈玉强等老师的大力支持,他们参与了本书的编写和录入工作。本书在选题和出版过程中得到了北京航空航天大学出版社胡晓柏编辑的大力支持,在此一并表示感谢。另外,还要感谢我的妻儿和父母,如果没有他们的关爱、鼓励和支持,此书难于完成。

限于编者水平,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

苏奎峰

2008 年 1 月于装甲兵工程学院

目 录

第 1 章 绪 论

1.1 DSP 概述	1
1.1.1 DSP 的发展	1
1.1.2 DSP 的特点	2
1.1.3 DSP 的选型	2
1.1.4 TI 公司的 DSP	4
1.2 DSP 的典型应用	5
1.3 DSP 的发展	5
1.4 DSP 系统开发	6
1.4.1 系统的需求分析	7
1.4.2 系统的基本结构	7
1.4.3 系统开发	8

第 2 章 CCS 软件应用基础

2.1 CCS 介绍	12
2.2 Code Composer Studio3.1 的安装与配置	12
2.2.1 Code Composer Studio3.1 的安装	12
2.2.2 目标系统配置	13
2.2.3 启动 GEL 文件	15
2.2.4 主机开发环境设置	16
2.3 Step-by-Step 简单应用	17
2.3.1 CCS 常用工具	17
2.3.2 简单程序开发	18
2.4 代码创建	19
2.4.1 新建一个工程	19
2.4.2 工程配置	21
2.5 CCS3.1 基本应用	21
2.5.1 编辑源程序	22
2.5.2 查看和编辑代码	23
2.5.3 查找替换文字	23
2.5.4 书签的使用	24
2.5.5 全速运行(Running)/单步运行(Step Run)	24
2.5.6 断点设置	26
2.5.7 探针的使用	28

2.5.8 观察窗口	30
2.6 分析和调整	31
2.6.1 应用代码分析	32
2.6.2 应用代码优化	33
第3章 C/C++程序编写基础	
3.1 C/C++编辑器概述	34
3.1.1 C/C++语言的主要特征	34
3.1.2 输出文件	34
3.1.3 编译器接口	35
3.1.4 编译器操作	35
3.1.5 编译器工具	37
3.2 TMS320X28xx 的 C/C++编程	37
3.2.1 概述	37
3.2.2 传统的宏定义方法	37
3.2.3 位定义和寄存器文件结构方法	39
3.2.4 位区和寄存器文件结构体的优点	45
3.2.5 使用位区的代码大小及运行效率	46
3.3 C/C++语言与汇编混合编程	49
3.4 TMS320X28xx 定点处理器算法实现	57
3.4.1 定点与浮点处理器比较	57
3.4.2 采用 Iqmath 库函数实现定点处理器的运算	58
第4章 TMS320X28xx 系列 DSP 综述	
4.1 TMS320X28xx 系列 DSP 内核特点	73
4.2 TMS320X28xx 系列 DSP 比较	75
4.2.1 工作频率和供电	77
4.2.2 存储器	77
4.2.3 外设	78
4.3 TMS320X28xx 处理器外设功能介绍	79
4.3.1 事件管理器(281x 处理器)	80
4.3.2 ePWM、eCAP、eQEP(F2808、F2806、F2801 处理器)	80
4.3.3 A/D 转换模块	82
4.3.4 SPI 外设接口	82
4.3.5 SCI 通信接口	83
4.3.6 CAN 总线通信模块	83
4.3.7 看门狗	83
4.3.8 通用目的数字量 I/O	84
4.3.9 PLL 时钟模块	84
4.3.10 多通道缓冲串口	84
4.3.11 外部中断接口	84
4.3.12 存储器及其接口	84
4.3.13 内部集成电路(I ² C)	85
4.4 TMS320X28xx 的应用领域	85

第 5 章 双供电 DSP 电源设计	86
5.1 总线冲突	86
5.2 内核和 I/O 供电次序控制策略	87
5.2.1 3.3 V 单电源上电次序控制	87
5.2.2 输入电压大于 3.3 V 的上电次序控制	92
5.3 TMS320F28xx 电源设计	94
第 6 章 TMS320F2812 的时钟及看门狗	95
6.1 时钟单元	95
6.1.1 时钟单元基本结构	95
6.1.2 锁相环电路	96
6.1.3 时钟单元寄存器	98
6.2 看门狗	101
6.2.1 看门狗的基本结构	101
6.2.2 看门狗基本操作	101
6.2.3 看门狗寄存器	103
6.2.4 看门狗应用	105
第 7 章 可编程数字量通用 I/O	108
7.1 功能概述	108
7.2 端口配置	109
7.3 数字量 I/O 寄存器及其应用	111
7.3.1 I/O 复用寄存器及其应用	111
7.3.2 I/O 数据寄存器及其应用	117
7.4 数字量 I/O 应用举例	119
第 8 章 中断系统及其应用	122
8.1 中断概述及中断源	122
8.2 PIE 中断扩展	123
8.2.1 外设级中断	125
8.2.2 PIE 级中断	125
8.2.3 CPU 级中断	126
8.3 中断向量	126
8.3.1 中断向量的分配	126
8.3.2 中断向量的映射方式	127
8.4 可屏蔽中断处理	134
8.4.1 中断标志设置(产生中断)	134
8.4.2 中断使能(单独使能中断)	134
8.4.3 全局使能(全局使能中断)	135
8.5 定时器中断应用举例	135
8.5.1 定时器基本操作	135
8.5.2 定时器寄存器	136
8.6 定时器中断应用举例	139
第 9 章 事件管理器及其应用	143
9.1 事件管理器概述	143

9.2 通用定时器	144
9.2.1 通用定时器计数模式	145
9.2.2 定时器的比较操作	147
9.2.3 通用定时器寄存器	154
9.3 比较单元及 PWM 输出	159
9.3.1 比较单元功能介绍	159
9.3.2 PWM 信号	160
9.3.3 与比较器相关的 PWM 电路	161
9.3.4 PWM 输出逻辑及死区控制	162
9.3.5 PWM 信号的产生	164
9.3.6 比较单元寄存器	169
9.4 捕获单元	175
9.4.1 捕获单元的应用	175
9.4.2 捕获单元的结构	176
9.4.3 捕获单元的操作	176
9.4.4 捕获单元相关寄存器	178
9.5 正交编码脉冲单元	180
9.5.1 光电编码器原理	180
9.5.2 正交编码脉冲单元结构及其接口	181
9.5.3 QEP 电路时钟	182
9.5.4 QEP 的解码	182
9.5.5 QEP 电路的寄存器设置	183
9.5.6 QEP 电路应用	183
9.6 事件管理器中断	185
9.6.1 中断产生及中断矢量	187
9.6.2 定时器的中断	187
9.6.3 捕获中断	188
9.6.4 中断寄存器	188
9.7 事件管理器应用举例	192
第 10 章 SPI 接口及其应用	200
10.1 SPI 模块功能概述	200
10.2 SPI 的数据传输	202
10.2.1 主控制器模式	203
10.2.2 从设备模式	204
10.2.3 FIFO 操作	204
10.3 SPI 寄存器	205
10.3.1 SPI 配置控制寄存器 (SPICCR)	205
10.3.2 SPI 操作控制寄存器 (SPICTL)	207
10.3.3 SPI 状态寄存器 (SPISTS)	208
10.3.4 SPI 波特率设置寄存器 (SPIBRR)	209
10.3.5 SPI 仿真缓冲寄存器 (SPIRXEMU)	210
10.3.6 SPI 串行接收缓冲寄存器 (SPIRXBUF)	211

10.3.7	SPI 串行发送缓冲寄存器(SPITXBUF)	211
10.3.8	SPI 串行数据寄存器(SPIDAT)	212
10.3.9	SPIFFTX 寄存器	213
10.3.10	SPIFFRX 寄存器	214
10.3.11	SPIFFCT 寄存器	215
10.3.12	SPI 优先级控制寄存器(SPIPRI)	215
10.4	应用实例	216
第 11 章 eCAN 总线及其应用		
11.1	CAN 总线概述	222
11.1.1	CAN 总线特点	222
11.1.2	CAN 总线数据格式	223
11.1.3	CAN 总线的协议	225
11.2	C28x 的 eCAN 模块介绍	228
11.2.1	eCAN 总线模块概述	228
11.2.2	eCAN 总线模块特点	229
11.3	eCAN 总线模块的使用	232
11.3.1	eCAN 模块初始化	232
11.3.2	消息发送	250
11.3.3	消息接收	254
11.3.4	过载情况的处理	260
11.3.5	远程帧邮箱的处理	261
11.3.6	CAN 模块中断及其应用	263
11.3.7	eCAN 模块定时器管理	272
11.3.8	CAN 模块的掉电模式	275
11.4	CAN 总线应用举例	276
11.4.1	消息发送例程	277
11.4.2	消息接收例程	282
第 12 章 SCI 接口应用		
12.1	SCI 接口特点	286
12.2	SCI 数据格式	288
12.3	SCI 增强功能	291
12.3.1	SCI 的 16 级 FIFO 缓冲	291
12.3.2	SCI 自动波特率检测	292
12.3.3	多处理器通信	293
12.4	SCI 接口应用	296
12.4.1	硬件设计	296
12.4.2	SCI 寄存器	297
12.4.3	SCI 初始化	298
12.4.4	SCI 发送数据	304
12.5	接收发送数据	317
第 13 章 A/D 转换单元		
13.1	A/D 转换单元概述	329

13.2 排序器操作	331
13.2.1 排序器操作方式	332
13.2.2 排序器的启动/停止模式	345
13.2.3 输入触发源	346
13.2.4 排序转换的中断操作	346
13.3 ADC 的时钟控制	348
13.4 ADC 参考电压	349
13.5 ADC 单元寄存器	350
13.5.1 ADC 模块控制寄存器 1	350
13.5.2 ADC 模块控制寄存器 2	352
13.5.3 ADC 模块控制寄存器 3	355
13.5.4 最大转换通道寄存器(MAXCONV)	357
13.5.5 自动排序状态寄存器(AUTO_SEQ_SR)	358
13.5.6 ADC 状态和标志寄存器(ADC_ST_FLG)	359
13.5.7 ADC 输入通道选择排序控制寄存器	361
13.5.8 ADC 转换结果缓冲寄存器(RESULTn)	361
13.6 ADC 应用举例	362
第 14 章 存储器应用及 Boot 引导模式	
14.1 F28xx 映射空间概述	367
14.2 XINTF 接口扩展	369
14.2.1 XINTF 接口概述	369
14.2.2 XINTF 接口操作	370
14.2.3 XINTF 接口应用举例	371
14.3 Flash 及其应用	372
14.3.1 Flash 存储器特点	372
14.3.2 Flash 存储器寻址空间分配	372
14.3.3 C28x 启动顺序	373
14.3.4 Flash 初始化	374
14.3.5 Flash 编程	375
14.4 其他引导方式	381
14.4.1 处理器引导配置	381
14.4.2 C28x 中断向量表	383
14.4.3 BOOTROM 基本情况介绍	383
14.4.4 BootLoader 数据流	384
14.4.5 BootLoader 传输流程	386
14.4.6 初始引导汇编函数	386
14.4.7 SCI 引导装载	387
14.4.8 并行 GPIO 装载	387
14.4.9 SPI 引导模式	389

参考文献

第1章

绪论

数字信号处理(DSP)技术领域是当今半导体工业最热门的技术领域之一。近年来,大量高性能集成 DSP 器件的出现,使得 DSP 的使用,尤其是在低端产品中的应用中越来越容易。而且,越来越多的软件和开发工具帮助整机厂商逐步掌握了 DSP 的使用方法,DSP 的销量因而得到迅速提升。

数字信号处理器(DSP)主要针对描述连续信号的数字信号进行数学运算,以得到相应的处理结果。这种数学运算以快速傅立叶变换(FFT)为基础,对数字信号进行实时处理。近二十年来,由于集成电路技术的高速发展,用硬件来实现各种数字滤波和快速傅立叶变换成为可能,从而使 DSP 得到了极其迅速的发展和广泛的应用。在数字化的世界和互联网的时代,DSP 变得越来越重要,可以说是无处不在。

军事方面是 DSP 最早应用的领域。例如,侦察卫星收集到了由照相机或摄像机拍摄到的模拟图像资料后,必须对它们进行处理以便去除背景噪声,获得有用的信息,同时还要发回地面接收站。在整个过程中,以数字化形式处理信号具有显而易见的优势。DSP 可以使这些信号以加密的方式,高速传回地面。DSP 用于 GPS 制导系统中,可以高速分析定位卫星信号并将指令传给飞行器,大大提高了制导效率和精度。另外,军事通信、数据处理和传输都是 DSP 的应用范围。

在民用方面,数字移动蜂窝电话是 DSP 最重要的应用领域。DSP 强大的计算能力以及低廉的价格使得数字移动通信系统迅速普及,原来笨重、昂贵、功能单一的模拟机被小巧、廉价、功能丰富的手机取代。另外,由于采用 DSP 技术,蜂窝电话的升级换代更加方便,在统一的硬件平台上就可以通过软件设计进行,这也是新款手机不断推出的主要原因。

1.1 DSP 概述

DSP 是在模拟信号变换成数字信号以后进行高速实时处理的专用处理器。由于 DSP 采用改进的哈佛结构,并集成了多种便于数字运算和信号处理的硬件,其数字信号处理速度比普通的 CPU 快得多。在当今的数字化时代背景下,DSP 已成为通信、计算机、消费类电子产品以及控制等领域的基础器件。

1.1.1 DSP 的发展

DSP 的发展历程大致分为 3 个阶段:20 世纪 70 年代理论先行,80 年代产品普及,90 年代突飞猛进。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。直到 20 世纪 70 年代,才有人提出了 DSP 的理论和算法基础。那时的 DSP 仅仅停留在教科书上,即便是研制出来的 DSP 系统也是由分立元件组成的,其应用领域仅局限于军事及航空航天部门。

随着大规模集成电路技术的发展,1982 年世界上诞生了首枚 DSP 芯片。这种 DSP 器件采用微米工艺 NMOS 技术制作,虽功耗和尺寸稍大,但运算速度却比 MPU 快了几十倍,在语音合成和编码解码器中得到了广泛应用。DSP 芯片的问世标志着 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高,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,其应用范围逐步扩大到通信和计算机领域。

20 世纪 90 年代 DSP 发展最快,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,系统集成度更高,将 DSP 内核及外围元件综合集成在单一芯片上。这种集成度极高的 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域大显身手,而且逐渐渗透到人们的日常消费领域。经过 20 多年的发展,DSP 产品的应用已扩大到人们的学习、工作和生活的各个方面,并逐渐成为电子产品更新换代的决定因素。目前,对 DSP 爆炸性需求的时代已经来临,前景十分可观。

1.1.2 DSP 的特点

虽然应用于不同领域的 DSP 有不同的型号,但其内部结构大同小异,都具有哈佛(Harvard)结构的特征。DSP 含有处理器内核、指令缓冲器、数据存储器、程序存储器、I/O 接口控制器、程序地址总线和程序数据总线、直接读取的地址总线和数据总线等单元,其中最核心的是处理器内核。概括起来 DSP 有如下特点:

- DSP 采用改进的哈佛总线结构,内部有两条总线,即数据总线和程序总线。采用程序与数据空间分开结构,分别有各自的地址总线和数据总线,可以同时完成获取指令和读取数据操作,目前运行速度已经达到每秒 1 G 次定点运算。
- 采用流水操作,每条指令的执行划分为取指令、译码、取数、执行等若干步骤,由片内多个功能单元分别完成,支持任务的并行处理。
- 在一个指令周期内实现一次或多次乘法累加(MAC)运算。
- 在 DSP 中集成了多个地址产生单元,支持循环寻址(Circular Addressing)和位倒序(Bit-reversed)等特殊指令,使 FFT、卷积等运算中的寻址、排序及计算速度大大提高。1024 点 FFT 的时间已小于 1 μ s。
- DSP 有一组或多组独立的 DMA 控制逻辑,提高了数据的吞吐带宽,为高速数据交换和数字信号处理提供了保障。
- DSP 支持重复运算,避免循环操作消耗太多时间。
- DSP 提供多个串行或并行 I/O 接口以及特别 I/O 接口,来完成特殊的数据处理或控制,从而提高了系统的性能并且降低了成本。

1.1.3 DSP 的选型

DSP 处理器的应用领域很广,但实际上没有一个处理器能完全满足所有的或绝大多数的应

用需要,在拟采用 DSP 进行系统设计时需要根据系统的特点、性能要求、成本、功耗以及技术开发周期等因素进行综合考虑。一般情况下主要考虑以下几个方面的因素。

1. 系统特点

每种 DSP 都有自己比较适合的应用领域,在系统设计时必须根据系统的特点进行选择。以 TI 公司的 DSP 为例,C2000 系列处理器提供多种控制系统使用外围设备,比较适合控制领域;C5000 系列处理器具有处理速度快、功耗低、相对成本低等特点,比较适合便携设备及消费类电子设备使用;而 C6000 系列处理器具有处理速度快、精度高等特点,更适合图像处理、通信设备等应用领域。因此,在系统设计时首先要根据系统的特点进行处理器的具体选择。

2. 算法格式

数字信号处理算法有多种,不同的系统、不同的算法对算法的格式和处理的精度要求不同。浮点算法是相对较复杂的常规算法,利用浮点数据可以实现大的数据动态范围。采用浮点 DSP 设计系统时,一般不需要考虑处理的动态范围和精度,更适合采用高级语言编程,因此浮点 DSP 比定点 DSP 在软件编写方面更容易,但成本和功耗高。

由于成本、功耗等问题,定点 DSP 在实际应用中使用更为广泛。工程技术人员可以通过分析和算法模拟,确定算法的动态范围和精度,然后根据确定的动态范围和精度确定选用的 DSP 类型。在采用定点 DSP 实现浮点算法时,要根据确定的动态范围和精度对数据进行合理的定标处理,这种处理必须人为地参与,DSP 并不能识别,因此编程相对较难。

3. 系统精度

系统的精度要求直接决定采用浮点还是定点 DSP 以及处理器的数据宽度,当然可以采用较低数据宽度的处理器实现高精度的数据处理,比如采用 16 位处理器实现 64 位的数据处理,但只能通过软件来实现,相应的会增加编程的难度。

4. 处理速度

处理速度是选用 DSP 时最重要的考虑因素。DSP 的速度通常是指令周期的时间,也有的指核心功能如 FIR 或 IIR 滤波器的运算时间。有些 DSP 采用特大指令字组(VLIW)的结构,在一个周期内可执行多条指令。DSP 的处理速度与时钟的工作频率有密切关系。

5. 功耗

很多 DSP 用在手提式设备中,如手机、PDA、手提式声音播放机等。功耗是这些产品主要考虑的问题。很多处理器供应商降低工作电压,比如 3.3 V、2.5 V、1.8 V;同时增加电源电压管理功能,比如增加“睡眠模式”,在不用时切断大部分电源和不用的外围设备,以降低能量消耗。

6. 性能价格比

在满足设计要求条件下要尽量使用低成本 DSP,即使这种 DSP 编程难度很大而且灵活性差。在处理器系列中,越便宜的处理器功能越少,片上存储器越小,性能也比价格高的处理器差。封装不同的 DSP 器件价格也存在差别,例如,PQFP 和 TQFP 封装比 PGA 封装便宜得多。

7. 支持多处理器

在某些数据计算量很大的应用中,经常要求使用多个 DSP 处理器。在这种情况下,多处理器互连和互连性能(关于相互间通信流量、开销和时间延迟)成为重要的考虑因素。如 ADI 的 ADSP-2106X 系列提供了简化多处理器系统设计的专用硬件。

8. 系统开发的难易程度

不同的应用,对开发简便性的要求不一样。对于研究和样机的开发,一般要求系统工具能便

于开发,因此选择 DSP 时需要考虑的因素有软件开发工具(包括汇编、链接、仿真、调试、编译、代码库以及实时操作系统等部分)、硬件工具(开发板和仿真机)、高级工具(例如基于框图的代码生成环境)以及相应的技术支持情况。

1.1.4 TI 公司的 DSP

TI 公司于 1982~1983 年推出了 TMS 系列第 1 代 DSP 产品,可使调制解调器在 1 s 内处理 5000000 条指令,标志着实时信号处理技术的重大突破。从 TMS 系列的第 1 代产品 TMS32010 到今天的 TMS320C2000/5000/6000 产品系列,TI 公司的 DSP 产品结构更加合理,速度更快,性能更优越,DSP 系统的设计与开发环境也日趋完善。1988 年 TI 公司推出了第 1 代应用于高性能 3D 绘图和视频会议系统的 DSP 产品;1991 年,TI 公司突破了 \$5 的价格壁垒,使 DSP 系列开始广泛应用于汽车(发动机控制、方向控制、防滑)和其他消费类产品;1994 年,TI 公司的 DSP 技术又取得了一个重大突破,实现了每秒 2 亿次运算,即运算速度达到了原来 DSP 芯片的 10 倍;此后,他们一直致力于将闪存(Flash Memory)和 DSP 集成在同一芯片上,这一举措使得芯片在速度被提高的同时,价格进一步下跌。总之,随着技术的改进和产量的增大,DSP 的成本与售价大幅下降,使其应用范围不断扩大,现已广泛用于通用信号(数字滤波、FFT、生成波形等)和音频/视频信号处理、通信、控制、仪器、医学电子学、军事、计算机和消费类电子产品领域,蜂窝式电话是其中特别强大的一个市场。

根据不同的应用领域,TI 公司推出的三大指令集架构,一般称为“平台”(Platform),如图 1.1 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。

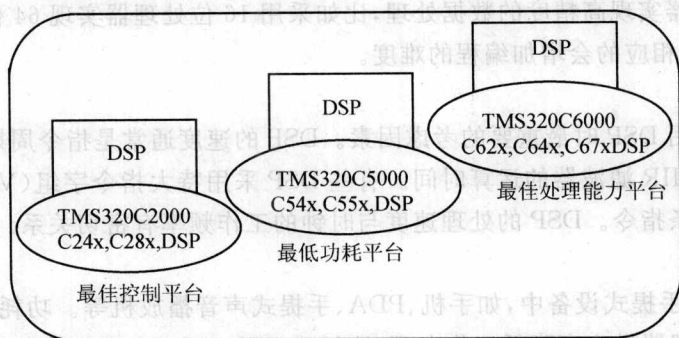


图 1.1 TMS320 系列 DSP 平台

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 是目前控制领域最高性能的处理单元,具有精度高、速度快、集成度高等特点,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 专门针对消费类数字市场而设计。最低耗电为 0.33 mA/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 平台也是特别注重运算速度和功耗的语音及资料应用产品的最佳解决方案。

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 运作速度超过 1 GHz,性能比第 1 代 TMS320C62x DSP 提高近 10 倍,为高端的应用提供了最佳解决方案。

1.2 DSP 的典型应用

DSP 技术的迅猛发展以及应用领域的不断拓展,使得 DSP 的功能越来越多样。例如,厂商们新推出多种款式可选择的独立器件、DSP 与 MPU 相结合的器件、为执行 DSP 功能量身定做的 MPU 器件,以及许多公司为 ASIC 或 SoC 解决方案所提供的软/硬 DSP 内核。但无论是通用 DSP 还是专用的 DSP 器件,其应用可以归结为以下几个方面。

首先,目前通信领域中的通信基站、网络服务器等高端产品大多采用 DSP 技术实现,而且由于 3G 和 VoIP 将开始商业运营,3G 宽带无线基础通信系统、IP 电话系统、多信道调制解调器以及多信道 xDSL 也是高端 DSP 的主要应用领域,针对这些通信与网络基础设施应用的 DSP 也将得到迅猛增长。Freescale(原摩托罗拉半导体部)的 Onyx DSP 系列如 DSP563xx 系列 DSP 产品、TI 公司的 C6000 系列 DSP 产品将是上述广泛应用的最佳选择。

其次,DSP 是消费类电子产品中的关键器件,例如应用于 VoIP 网关产品。VoIP 包括压缩语音信号并将它们通过使用 IP、基于信息包的网路以数据的形式传送。拨号连接到 VoIP 网关的可以是 modem、传真或者话音,整个通路中的语音采集与压缩、数据转换与传输、数据获取与恢复等均采用 DSP 器件实现。音响产品也是 DSP 的巨大应用市场,例如 MP3/MP4 播放机、高保真音响设备等,DSP 算法允许将 CD 品质的录音从 Internet 下载到 PC,然后传送到便携式播放机,通过解压 DSP 芯片实现回放。这些强调性能、成本、功耗等综合性能指标的产品采用 DSP (比如 TI 公司的 C5000 系列)是非常理想的选择。

此外,原本基于 MCU 的家电、系统控制等应用领域现在越来越多地采用 DSP 器件。目前市场上的处理器多数是基于 MCU 的处理器。为了赢得市场,大多数客户正寻求更高性能的处理器产品,以加强家电及控制产品的功能和性能,采用 DSP 的家电产品将越来越多。在这方面,Freescale 公司的 DSP56800 系列及 TI 公司的 C2000 系列具有 MCU 的简单易用性,可针对家电应用市场。

1.3 DSP 的发展

随着技术的发展和各种应用领域的需求,DSP 面临的要求是处理速度更高,性能更多更全,功耗更低,存储器用量更少,价格更低。专家认为,其技术发展将会有以下趋势。

1. 系统级集成 DSP 是潮流

缩小 DSP 芯片尺寸始终是 DSP 的技术发展方向。当前的 DSP 多数基于 RISC(精简指令集计算)结构,这种结构的优点是尺寸小,功耗低,性能高。各 DSP 厂商纷纷采用新工艺,改进 DSP 芯核,并将 DSP 芯核、MPU 芯核、专用处理单元、外围电路单元、存储单元统统集成在 1 个芯片上,成为 DSP 系统级集成电路。TI 公司的达芬奇处理器基于业界最高性能 DSP 平台——TI

TMS320C6000,充分利用了 TI 最新的 C64x+DSP 内核,包含基于可扩展、可编程 DSP 的 SoC (可从 DSP 与 ARM 内核进行定制),同时还包含优化的加速器与外设,全方位满足各种数字视频终端设备对价格、性能以及功能等多方面的需求。

2. DSP 和微处理器的融合

微处理器是低成本的,主要执行智能定向控制任务的通用处理器能很好地执行智能控制任务,但是数字信号处理功能很差。DSP 正好与之相反,在许多应用中均需要同时具有智能控制和数字信号处理两种功能,如数字蜂窝电话就需要监测和声音处理功能。因此,把 DSP 和微处理器结合起来,用单一芯片的处理器实现这两种功能,将加速个人通信机、智能电话、无线网络产品的开发,同时简化设计,减小 PCB 体积,降低功耗和整个系统的成本。例如,有多个处理器的 Freescale 公司的 DSP5665x、有协处理器功能的 Massan 公司 FILU-200、把 MCU 功能扩展成 DSP 和 MCU 功能的 TI 公司的 TMS320C28xx 以及 Hitachi 公司的 SH-DSP,都是 DSP 和 MCU 融合在一起的产品。

3. DSP 和 FPGA 的融合

FPGA 是现场编程门阵列器件。它和 DSP 集成在一块芯片上,可实现宽带信号处理,大大提高信号处理速度。据报道,Xilinx 公司的 Virtex-II FPGA 对快速傅立叶变换(FFT)的处理速度可提高 30 倍以上,它的芯片中有自由的 FPGA 可供编程。Xilinx 公司还开发出一种称作 Turbo 卷积编译码器的高性能内核。

4. 可编程 DSP 是主导产品

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 平台上开发出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。人们已经发现,许多微控制器能做的事情,使用可编程 DSP 将做得更好更便宜。冰箱、洗衣机这些原来装有微控制器的家电如今已换成可编程 DSP 来进行大功率电机控制。

5. 追求更高的运算速度

由于电子设备的个人化和客户化趋势,DSP 必须追求更高更快的运算速度,才能跟上电子设备的更新步伐。DSP 运算速度的提高,主要依靠新工艺改进芯片结构。目前,TI 公司的 TM320C6X 芯片由于采用 VLIW(Very Long Instruction Word,超长指令字)结构设计,其处理速度已高达 2000 MIPS。

6. 定点 DSP 是主流

从理论上讲,虽然浮点 DSP 的动态范围比定点 DSP 大,且更适合于 DSP 的应用场合,但定点运算的 DSP 器件的成本较低,对存储器的要求也较低,而且耗电较小。因此,定点运算的可编程 DSP 器件仍是市场上的主流产品。据统计,目前销售的 DSP 器件中,80%以上属于 16 位定点可编程 DSP 器件,预计今后的比重将逐渐增大。

1.4 DSP 系统开发

如图 1.2 所示,数字信号处理系统设计一般由 5 个阶段构成:需求分析、体系结构设计、硬件/软件设计、系统集成以及系统测试。各个阶段之间往往要求不断地反复和修改,直至完成最终设计目标。

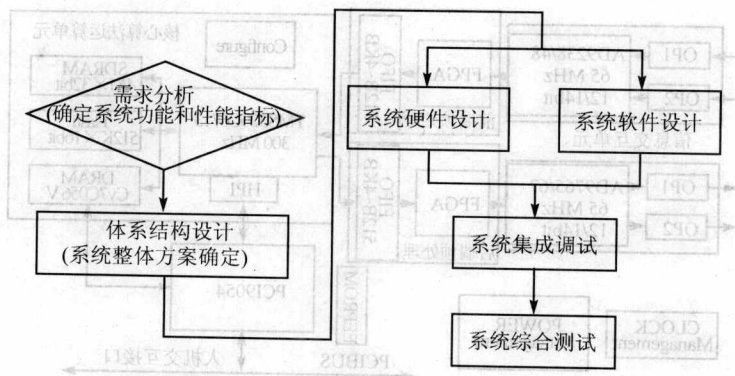


图 1.2 数字信号处理系统的设计流程

1.4.1 系统的需求分析

当今,在一个新的产品中,控制或处理系统的功能和数量越来越多,每个子系统也越来越复杂,然而产品的生命周期却越来越短。同时产品的风险变得越来越大,这就要求方案设计、系统实现、测试等工作并行处理。如何尽可能短时间、低风险地进行研究或产品开发是每个科研工作者和研发人员需要迫切解决的问题。快速原型技术能够更好地解决产品设计中的上述诸多问题。

TI TMS320C2000 DSP 嵌入式目标系统集成 Simulink、MATLAB 和 eXpressDSP 工具于一体,让用户能够开发验证数字信号处理设计,并能够更快地完成从算法到应用代码的自动生成。TI TMS320C2000 DSP 嵌入式目标系统支持快速原型的 C2000 硬件目标系统,Real-Time Workshop 和 TI 公司的 DSP 开发系统自动为目标系统直接产生执行代码,并且 Real-Time Workshop 可以创建并装载代码于 C2000 系统当中。同时系统还可以加入设计的 S 函数,实现主机 Matlab 环境和 DSP 硬件之间实时的数据交换。这样可以充分利用仿真工具进行算法研究与仿真,并能够在目标硬件上得到部分验证,为制定良好可行的技术方案提供可靠的保证。

在设计需求规范,确定设计目标时,要解决信号处理和非信号处理两方面的问题。

- 信号处理的问题包括:输入、输出结果特性的分析,DSP 算法的确定,以及按要求对确定的性能指标在通用机上用高级语言编程仿真。
- 非信号处理问题包括:应用环境、设备的可靠性指标和可维护性、功耗、体积重量、成本、性能价格比等项目。

1.4.2 系统的基本结构

在数字信号处理系统设计之前,首先要确定系统的基本结构。当今数字信号处理技术广泛应用于电子通信、工业控制、信息家电、军事国防等领域。在不同的应用场合,数字信号处理系统呈现出不同的外观和形式。但通过对内部结构的分析可以发现,数字信号处理系统一般由信号处理单元和信息交互单元组成。图 1.3 为典型高速信息处理平台结构图,其中信号处理单元是整个数字信号处理系统的核心,由前端处理、核心算法以及后端处理组成。信息交互单元主要完成信号处理主机和处理对象之间的信息交换,通常情况包括信息的获取和输出两个部分,根据应用领域和应用场所的不同,信息的获取与输出有不同的形式。

随着 DSP 与 MCU 的融合,DSP 除了基本的信息处理外,在控制领域也得到了广泛的使用。