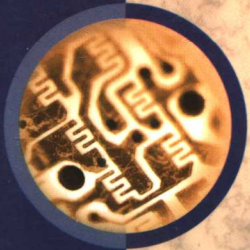


- ☑ 通过56个实例对TMS320C2000系列DSP进行剖析式讲解
- ☑ 以现有模块为基础讲解基本原理，基础知识与案例练习相结合
- ☑ 使用C语言与汇编语言混合编程开发DSP控制应用程序
- ☑ 内容覆盖全面，涉及了几乎所有DSP开发知识
- ☑ 作者有十多年DSP及单片机应用开发经验

王茂飞 程 昱 编著

TMS320C2000

DSP 技术与应用开发



清华大学出版社

TMS320C2000

DSP 技术与应用开发

王茂飞 程昱 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书以 TI 公司 TMS320 系列 DSP 芯片中针对工业应用的 C2000 为例,分基础篇和提高篇两部分,通过 56 个实例,引导读者认识该系列芯片、熟悉该系列芯片的使用,直至完成应用系统的自主开发。

全书共分 15 章和 1 个附录,基础篇(第 1~6 章)介绍 LC24xx 系列 DSP 的指令及其使用方法,可使读者熟练使用 LC24xx 和 LF24xx 系列 DSP 进行通用应用系统的开发;提高篇(第 7~15 章)则重点讲述以 C24x CPU 为内核的 LC240xA 和 LF240xA 系列 DSP 的硬件结构及其用法。本书的最大特点是用大量来自工程一线的实例代码,深化理解,强化应用。

本书内容全面、架构清晰、实用性强,特别适合 DSP 工程技术开发人员、数字电路设计人员以及大中专院校相关专业的师生。同时由于本书具有较高的实用性和较强的启发性,也可以作为高级用户的参考手册。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

TMS320C2000 DSP 技术与应用开发/王茂飞,程昱编著. —北京:清华大学出版社,2007
ISBN 978-7-302-15007-7

I. T... II. ①王...②程... 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(2007)第 048339 号

责任编辑:潘秀燕

责任校对:刘雪莲

责任印制:科海

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

印装者:北京市鑫山源印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:25

版 次:2007 年 5 月第 1 版

印 数:1~4 000

定 价:39.00 元

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

字 数:608 千字

印 次:2007 年 5 月第 1 次印刷

前 言

近几十年来, 数字信号处理器 (DSP) 的性能得到迅速提高, DSP 的应用范围不断扩大。从经典数字信号处理到现代数字信号处理, 从语音信号到图像信号, 从个人设备到网络产品, 从有线通信到无线通信等各个领域, DSP 都已经成为最基本的器件之一。

C2000 系列 DSP 是 TI 公司 (美国德州仪器公司) 的 TMS320 系列 DSP 的三大主流产品之一, 它是针对工业应用提供的高性能和高代码效率控制器。C2000 系列数字信号处理器在提供通用处理器性能的同时, 将微控制器 (MCU) 丰富的集成外设与 TI 领先的 DSP 技术融合在一起, 其中外设包括大容量 Flash 存储器、快速 A/D 转换器和稳定的 CAN 控制器模块等。利用 TI 强大的低成本、高集成度的 C2000 控制器平台, 开发人员可以在降低系统成本的同时提高产品性能, 并能快速地投向市场。TMS320C2000 系列 DSP 广泛应用于电机控制、智能仪表和使用复杂信号处理的高端控制应用领域。

本书立足于应用 DSP 的工程技术人员和普通高等院校的研究人员如何最终熟练掌握该系列 DSP 芯片应用的角度, 在内容的安排上力求使读者能够循序渐进地从认识该款芯片到熟悉该款芯片的使用直至完成自主开发的应用系统。全书以 TMS320C2000 系列的主要产品——C24xx 子系列 DSP 为基础来讲解, 而所讲的内容也适用于 C2000 全系列 DSP。对于各款芯片中的差异部分, 我们将以目前最流行的 LC240xA 和 LF240xA 为例来介绍。

全书分为两个部分共 15 章并有 1 个附录, 在第 1 部分 (基础篇) 中介绍了 LC24xx DSP 的指令及其使用方法, 适用于 TI 公司的 C24xx 全系列 DSP, 读者完成本篇的学习后必定能够熟练地使用 LC24xx 和 LF24xx 系列 DSP 进行通用应用系统的开发。在第 2 部分 (提高篇) 中着重介绍了以 C24x CPU 为内核的 LF240xA 和 LC240xA DSP 的硬件结构及其使用。

本书主要面向广大 DSP 工程技术人员和数字电路设计人员以及大中专院校的师生, 同时本书还具有较高的实用性和较强的启发性, 也可以作为高级用户的使用参考手册。

本书由王茂飞和程昱共同执笔编写, 在全书的编写过程中, 杨宏涛、何永刚、石建飞、雷伏容、魏星、青海、王新月、郇君、徐红、刘峰、周晓杰、冒小飞、高林宇、张爱华、施伟伟、黄瑜等同志提出了许多宝贵的意见并提供了很多有益的帮助, 在此向他们表示衷心的感谢。

书中内容是作者多年来从事 DSP 及单片机应用开发的一种总结式陈述, 但是由于本人水平有限, 加之编写时间仓促, 书中的缺点和不足在所难免, 恳请广大读者给予批评及谅解。本书作者的电子邮箱是 sckj0001@163.com 或 morphywon@sina.com。

作 者

2007 年 2 月

目 录

第 1 部分 基 础 篇

第 1 章 数字信号处理概论	1	3.2.6 I/O 口及存储器操作指令	70
1.1 DSP 概述	1	3.3 C24x 汇编指令系统	75
1.1.1 DSP 的发展	2	第 4 章 DSP 系统开发实例	80
1.1.2 DSP 的特点	3	4.1 认识 CC 集成开发环境	80
1.1.3 DSP 的技术应用	5	4.1.1 主菜单	80
1.2 DSP 应用系统的构成和设计方法	7	4.1.2 常用工具	81
1.2.1 DSP 应用系统的构成	7	4.2 系统开发实例	82
1.2.2 DSP 应用系统的设计方法	7	4.2.1 工程的建立及编译	82
1.3 DSP 应用系统的开发流程和 开发工具	9	4.2.2 程序编程及调试	99
1.3.1 DSP 应用系统的开发流程	9	第 5 章 汇编语言程序设计实例	102
1.3.2 DSP 应用系统的开发工具	10	5.1 数制转换	102
1.4 TMS320C2000 系列 DSP 简介	12	5.2 通用算术运算	103
1.5 LF240x DSP 引脚及其说明	14	5.2.1 扩展精度的乘法运算	103
1.6 240x 系列 DSP 封装图介绍	22	5.2.2 除法运算	103
第 2 章 数据寻址模式	25	5.2.3 正弦和余弦运算	106
2.1 立即寻址	25	5.3 通用数字信号处理	113
2.1.1 短立即寻址模式	25	5.3.1 无限长单位脉冲响应数字 滤波器 (IIR)	114
2.1.2 长立即寻址模式	26	5.3.2 有限长单位脉冲响应 滤波器 (FIR)	118
2.2 直接寻址	26	5.3.3 快速傅立叶变换 (FFT)	126
2.3 间接寻址	28	5.4 汇编程序的指示符列表	140
第 3 章 指令系统	32	第 6 章 汇编语言与 C 语言的混合 编程	144
3.1 概述	32	6.1 C24x 混合编程概述	144
3.2 汇编指令系统	34	6.2 C 语言与汇编语言的应用	144
3.2.1 累加器算术逻辑指令	35	6.2.1 C 语言主程序的编写	145
3.2.2 辅助寄存器指令	46	6.2.2 汇编语言子程序的编写	145
3.2.3 乘法相关指令	50	6.2.3 全局变量及局部变量的使用	146
3.2.4 程序转移指令	58		
3.2.5 控制指令	63		

6.2.4 C 语言中的帧指针和 堆栈指针	146	6.2.5 现场保护	147
6.2.6 算法的执行	148		

第 2 部分 提 高 篇

第 7 章 C24x DSP 内部结构及

其系统配置 149

7.1 C240x DSP 内部硬件结构	149
7.1.1 240x DSP 内部结构及其功能 模块概述	149
7.1.2 内部总线结构	152
7.2 中央处理单元 (CPU)	153
7.2.1 输入移位模块	154
7.2.2 乘法器模块	155
7.2.3 中央算术逻辑模块	155
7.2.4 辅助寄存器算术单元 (ARAU)	156
7.2.5 状态寄存器 (ST0 和 ST1)	158
7.3 存储器	159
7.3.1 片上存储器	163
7.3.2 外部存储器及 I/O 空间	164
7.4 系统配置寄存器	166
7.5 代码保护模块 (CSM)	169
7.6 时钟及其低功耗模式	170
7.6.1 工作时钟	171
7.6.2 低功耗模式	173
7.7 Watchdog (WD) 定时器	175
7.7.1 C24x 的 WD 定时器概述	175
7.7.2 C24x 的 WD 相关寄存器	175
7.7.3 C24x 的 WD 定时器的使用	177

第 8 章 240x 的中断系统 179

8.1 240x DSP 中断系统的结构	179
8.1.1 中断请求结构	179
8.1.2 中断应答结构	181
8.2 中断相关寄存器	183
8.2.1 CPU 中断寄存器	183
8.2.2 外设中断寄存器	185

8.3 中断系统的使用	189
8.3.1 中断向量	189
8.3.2 中断的操作	189
8.3.3 中断服务程序应用实例	191

第 9 章 数字输入输出端口 197

9.1 数字输入输出端口概述	197
9.2 I/O 口控制寄存器	198
9.3 I/O 口应用实例——通用串口的 状态信息交换器	203
9.3.1 实例详述	203
9.3.2 状态信息交换器的 DSP 电路 设计	203
9.3.3 状态信息交换器的程序设计	204
9.3.4 程序说明	207
9.4 I/O 口应用实例——3 线-8 线 译码器	208
9.4.1 实例详述	208
9.4.2 3 线-8 线译码器的 DSP 电路 设计	209
9.4.3 3 线-8 线译码器的程序设计	210
9.4.4 程序说明	219

第 10 章 事件管理器 221

10.1 事件管理器的结构	221
10.1.1 事件管理器的构成	221
10.1.2 事件管理器的中断	223
10.2 通用定时器	228
10.2.1 通用定时器的基本结构	228
10.2.2 通用定时器的寄存器	229
10.2.3 通用定时器的使用	233
10.2.4 通用定时器应用实例	239
10.3 比较单元	240
10.3.1 比较单元控制寄存器	241

10.3.2 比较单元的使用	243	12.2.1 SCI 外设寄存器	301
10.4 脉宽调制电路	244	12.2.2 多机通信模式	306
10.4.1 PWM 概述	244	12.3 SCI 应用实例	308
10.4.2 可编程死区单元	245	第 13 章 串行外设接口 (SPI)	318
10.4.3 PWM 波形的生成	248	13.1 概述	318
10.4.4 功率驱动保护中断	250	13.2 串行外设接口结构及使用	319
10.4.5 空间矢量 PWM	250	13.2.1 SPI 控制寄存器	319
10.4.6 应用实例——PWM 波形 产生器 (方法 1)	253	13.2.2 SPI 的工作原理	323
10.4.7 应用实例——PWM 波形 产生器 (方法 2)	255	13.2.3 SPI 时钟工作方式	325
10.5 捕获单元	268	13.2.4 SPI 的使用	326
10.5.1 捕获单元概述	268	13.3 SPI 应用实例	327
10.5.2 捕获单元寄存器	269	第 14 章 控制器局域网	335
10.5.3 捕获单元的使用	271	14.1 概述	335
10.5.4 捕获单元应用实例	272	14.2 C24x CAN 的使用	337
10.6 正交编码脉冲电路 (QEP)	275	14.2.1 C24x 内嵌 CAN 模块概述	337
10.6.1 QEP 电路概述	275	14.2.2 CAN 帧结构	338
10.6.2 QEP 电路的使用	276	14.2.3 CAN 控制器相关寄存器	338
10.6.3 正交编码脉冲电路的寄存器 设置	277	14.2.4 CAN 模块初始化	350
第 11 章 数模转换 (ADC)	278	14.2.5 信息的发送	350
11.1 概述	278	14.2.6 信息的接收	351
11.2 240x ADC 的结构及其基本操作	279	14.3 CAN 控制器应用实例	352
11.2.1 ADC 寄存器内容及设置	279	14.3.1 硬件设计	352
11.2.2 排序器的使用	286	14.3.2 软件设计	353
11.2.3 ADC 时钟设置	292	第 15 章 工业控制中的应用实例	359
11.2.4 ADC 模块电气特性	293	15.1 三相正弦 SPWM 波形发生器	359
11.3 240x ADC 的提高功能	294	15.1.1 实例详述	359
11.3.1 ADC 输入校准	294	15.1.2 正弦 SPWM 波产生器的 DSP 电路设计	361
11.3.2 过采样	295	15.1.3 正弦 SPWM 波产生器的 程序设计	363
11.4 ADC 应用实例	296	15.1.4 程序说明	369
第 12 章 串行通信接口 (SCI)	299	15.1.5 小结	370
12.1 概述	299	15.2 数字 PID 控制器	370
12.1.1 SCI 数据格式	299	15.2.1 实例详述	371
12.1.2 C24x DSP 的串口特征	300	15.2.2 数字 PID 控制器的 DSP 电路设计	373
12.2 C24x DSP 串行接口的使用	301		

15.2.3 数字 PID 控制器的程序 设计	373	15.3.1 实例详述	382
15.2.4 程序说明	379	15.3.2 模糊 PI 控制器的程序设计	385
15.2.5 小结	381	15.3.3 程序说明	387
15.3 模糊 PI 控制器.....	382	15.3.4 小结	388
附录 240x DSP 封装尺寸图	389		

第1部分 基础篇

第1章 数字信号处理概论

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 是针对数字信号处理的需求而设计的一种可编程的单片机, 也称 DSP 芯片, 是现代电子技术、计算机技术和信号处理技术相结合的产物。随着信息处理技术的飞速发展, 数字信号处理器在电子系统信息、通信、无线电、自动控制、仪器仪表、家电等高科技领域获得了越来越广泛的应用。

1.1 DSP 概述

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备, 以数值计算的方法对信号进行采集、变换、综合、估值和识别等加工处理, 以达到提取信息和便于应用的目的。数字信号处理在理论上所涉及的范围极其广泛。在数学领域, 微积分、概率统计、随机过程、复变函数等都是数字信号处理的基本工具, 网络理论、信号和系统等均是它的理论基础。在学科发展上, 数字信号处理和最优控制、通信理论、故障诊断等紧密相连, 近年来成为人工智能、模式识别、神经网络等新兴学科的理论基础之一, 其算法实现 (无论是硬件还是软件) 和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以说, 数字信号处理是把经典的理论体系作为自己的理论基础, 同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

国际上, 一般把 1965 年快速傅立叶变换 (FFT) 的问世, 作为数字信号处理这一新兴学科的开端, 在这 40 多年的发展中, 数字信号处理自身已基本上形成一套较为完整的理论体系, 这些理论包括:

- ❖ 信号的采集, A/D (模/数转换) 技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等;
- ❖ 离散信号的分析, 时域和频域分析、各种变换技术、信号特征的描述等;
- ❖ 离散系统分析, 系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特性等;
- ❖ 信号处理中的快速算法, 快速傅立叶变换、快速卷积、快速相关等;
- ❖ 信号的估值, 各种估值理论、相关函数与功率谱估计等;
- ❖ 信号滤波技术, 各种数字滤波器的设计和实现;
- ❖ 信号的建模, 最常用的有 AR、MA、ARMA、PRONY 等模型;
- ❖ 信号处理中的特殊算法, 如抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重构等;
- ❖ 信号处理技术的实现, 包括软件实现和硬件实现;
- ❖ 信号处理技术的应用。

数字信号处理器是利用专用或通用的数字信号处理芯片,通过数字计算的方法对信号进行处理,是微型计算机技术发展的一个重要分支,也是数字信号处理理论实用化过程的重要技术工具。作为专用数字信号处理芯片主要用于 FFT、数字滤波器、卷积等运算,而通用数字信号处理芯片可以通过编程完成各种用户要求的信息处理任务。

数字信号处理系统相对于模拟信号处理系统具有如下优点。

(1) 接口简单、方便

由于数字信号的电气特性简单,不同的 DSP 系统相互连接时,在硬件接口上容易实现。在数据流接口上,各系统间只要遵循特定的标准协议即可。

(2) 精度高,稳定性好

数字信号处理仅受量化误差和有限字长的影响,处理过程不会叠加其他噪声,因此具有较高的信噪比。另外,模拟系统的性能受元器件参数性能影响较大,而数字系统基本不变,因此数字系统更便于测试、调试及批量生产。

(3) 编程方便,容易实现复杂的算法

在 DSP 系统中, DSP 芯片提供了一个高速计算平台,系统功能依赖于软件编程实现。当其与现代信号处理理论和计算数学相结合时,可以实现复杂的信号处理功能。

(4) 集成方便

现代 DSP 芯片都是将 DSP 内核及其外围电路综合集成在单芯片中。这种结构便于设计小型化产品。

1.1.1 DSP 的发展

基于数字滤波和快速傅立叶变换的数字信号处理 (Digital Signal Processing) 在 20 世纪 70 年代有了飞速发展,到 20 世纪 80 年代,数字信号处理已应用到各个工程技术领域,不管在军用还是在民用系统中都发挥了积极的作用。进入 20 世纪 90 年代,情况又发生了根本性的变化,首先处理方法发展到以自适应技术为代表的先进的信号处理,但此时虽然可以提取到信号的更深层的信息,却以付出巨大的运算量为代价,因此继而又发展出一种通用的 DSP,它既有高速度,又是低成本,因此大大促进了数字信号处理技术的普及和推广。

通用数字信号处理器 (DSP) 可以通过编程来满足不同的应用需求。当前全世界使用最多的 DSP 是 TI 公司 (Texas Instruments, 美国德州仪器公司) 的 TMS320 系列 DSP 器件,它采用改进的哈佛结构,即程序和数据采用独立的总线,芯片内有独立的硬件乘法/累加器。由于它的运算速度已足够处理语音和声频信号,因而广泛地用于调制解调器,数字移动电话、硬盘控制器等。特别是 TMS320C62x、C64x 和 TMS320C67x 高性能 DSP,可以广泛应用在超高速实时信号处理系统中。TMS320C62x DSP 是定点处理器,片上包括 2 个乘法器和 6 个加法器,能在 200MHz 时钟周期内完成 8 段 32 位指令,其性能达到 1.6GIPS (每秒十亿条指令); TMS320C67x DSP 是浮点处理器,其性能达到 1GFLOPS (每秒十亿次浮点运算)。

通用数字信号处理器是可编程的，但它是针对某一 DSP 应用问题而设计优化程序，其并发操作的调度是在编译时完成的，运行时只是执行程序，因此芯片相对简单。一般来说，相同速度的 DSP 在价格上比微处理器（MPU）低 10 倍左右，而且具有更低的电源电压和功耗，所以拥有更大的应用市场。

另一种 DSP 技术的实现方案是采用专用的 DSP 芯片，由于近年来微电子技术已取得突破性进展，已经能够在单个芯片上设计出多个运算节点的阵列信号处理结构，以提高运算的并行度，而且相同规模的专用 DSP 芯片，其运算速度比通用 DSP 芯片提高 10 倍以上，这种专用的信号处理芯片为 DSP 技术实用化奠定了物质基础，如数字电视、多媒体、DVD 播放机、数字摄像机等都采用了这种专用的 DSP 芯片。

由于近 10 年微电子工业的飞速发展，DSP 技术已经成为工程实用技术，其标志在于 DSP 技术的成本大幅度降低。以平均每秒完成 100 万次乘加运算为例，20 世纪 70 年代 DSP 系统的费用为数十万美元；20 世纪 80 年代由于采用通用 DSP 处理器，费用降至数千美元；20 世纪 90 年代，由于采用专用 DSP 芯片，费用降至数十美元；目前某些通用的 DSP 芯片，费用已降至十美元以下。

目前，国外众多厂商涉足我国的 DSP 产品市场，TI 公司、Motorola 公司、Lucent 公司、ZSP 公司、Analog Device 公司、NEC 公司等跨国公司都不同程度地和国内有关企业及政府机构建立了联系，市场竞争日趋激烈。在国内，DSP 的应用已经有了相当的基础，有 10 多家集成电路设计企业从事数字信号处理系统及相关产品的开发和应用，但在 DSP 芯片的研发上除了某些大学、科研院所做过预研性的课题外，目前 DSP 芯片市场上并没有国内厂商自己生产的 DSP 器件，国内市场完全由国外厂商占领。

从应用范围来看，数字信号处理器（DSP）的市场前景广阔。DSP 不仅成为手机、个人数字助理等快速增长产品中的关键元件，而且它正向数码相机、电机控制等领域挺进。在扩展应用领域过程中，DSP 不断衍生出多种体系结构，越来越多的新公司的加入也为 DSP 市场注入了新的活力，创造出一个崭新的 DSP 市场格局。

随着 DSP 芯片的品种和技术档次不断提高以及向多功能化、高性能化、低功耗化方向发展，DSP 日益融入人们的生活，在未来相当长的一段时间，我国数字信号处理器市场将蓬勃发展，今后几年里我国 DSP 市场的销售额将保持 40% 以上的增长率。

1.1.2 DSP 的特点

数字信号处理器（DSP）具有如下一些特点。

1. 改进的哈佛结构

早期的微处理器内部大多采用冯·诺依曼（Von Neumann）结构，其片内程序空间和数据空间是合在一起的，取指令和取操作数是通过一条总线分时进行的。当高速运算时，不但不能同时取指令和取操作数，而且还会造成传输通道上的瓶颈现象。而 DSP 内部采用的是程序空间和数据空间分开的哈佛（Havard）结构，允许同时取指令（来自程序存储器）和取操作数（来自数据存储器），而且还允许在程序空间和数据空间之间互相传送数据，即改进的哈佛（Havard）结构。

2. 多总线结构

许多 DSP 芯片内部都采用多总线结构,这样可以保证在一个机器周期内可以多次访问程序空间和数据空间。例如 TMS320C54x 内部有 P、C、D、E 总线(每条总线又包括地址总线和数据总线),可以在一个机器周期内从程序存储器取 1 条指令,从数据存储器读 2 个操作数和向数据存储器写 1 个操作数,大大提高了 DSP 的运行速度。因此对 DSP 来说,内部总线是一个十分重要的资源,总线越多,可以完成的功能就越复杂。

3. 流水线结构

DSP 执行一条指令,需要通过预取指、取指、译码、寻址、取操作数和执行等流水线阶段。在 DSP 中,采用流水线结构,在程序运行过程中这几个阶段是重叠的。在 C5000 和 C6000 系列 DSP 中采用 6 级流水线结构;而在 C2000 系列 DSP 中采用 4 级流水线结构,如图 1-1 所示,在执行本条指令的同时,还依次完成了后面 3 条指令的取操作数、译码和取指,把指令周期降到最小值。

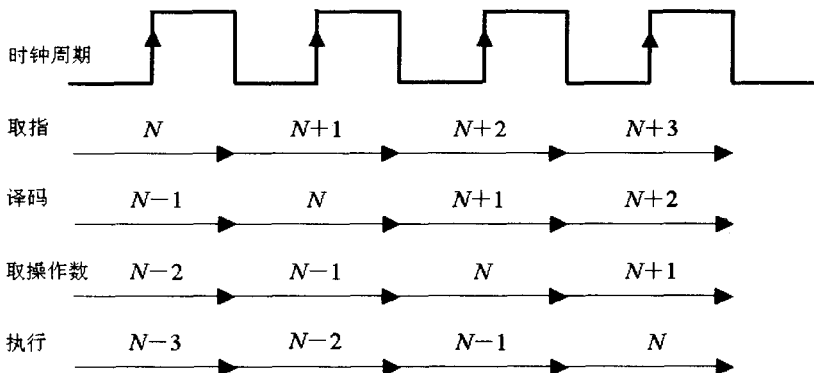


图 1-1 4 级流水线操作

DSP 利用这种流水线结构,再加上执行重复操作,就能保证数字信号处理中用得最多的乘法/累加运算可以在单个指令周期内完成。

4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元,如算术逻辑运算单元(ALU),辅助寄存器运算单元(ARAU),累加器(ACC),硬件乘法器(MUL)等。它们可以在一个指令周期内同时进行运算。例如,当执行一次乘法和累加的同时,辅助寄存器运算单元已经完成了下一个地址的寻址工作,为下一次乘法和累加运算做好了充分的准备,所以 DSP 在进行连续的乘法和累加运算时,每一次乘加运算都是单周期的。DSP 的这种多处理单元结构,特别适用于 FIR 和 IIR 滤波器。此外,许多 DSP 的多处理单元结构还可以将一些特殊的算法,例如 FFT 的位码倒置寻址和取模运算等在芯片内部用硬件实现,以提高 DSP 的运行速度。

5. 特殊的 DSP 指令

为了更好地满足数字信号处理应用的需求,在 DSP 的指令系统中,设计了一些特殊的

DSP 指令。例如, TMS320C54x 中的 MACD (乘法、累加和数据移动) 指令, 具有执行 LT、DMOV、MPY、APAC 四条指令的功能, 还有 FIRS 和 LMS 指令, 则专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

6. 指令周期短

早期的 DSP 的指令周期约 400ns, 采用 4 μ m 的 NMOS 制造工艺, 其运算速度为 5MIPS (每秒执行五百万条指令)。随着集成电路工艺的发展, DSP 广泛采用了亚微米静态 CMOS 制造工艺, 其运行速度越来越快。例如 TMS320C2xx 的运行速度可达 40MIPS; TMS320C54x 的运行速度可达 100MIPS 和 160MIPS; TMS320C55x 的运行速度可达 200MIPS; TMS320C62x 是 TI 公司在 1997 年开发的一种新型的定点 DSP 芯片, 其运行速度可达 2400MIPS; TMS320C67x 是一种新型的浮点 DSP 芯片, 其运行能力可达 1GFLOPS; 而 TMS320C64x 是 C6000 系列中最新的高性能定点 DSP 芯片, 其软件和 C62x 完全兼容, 与 C62x 相比, 其总体性能提高了 10 倍。

7. 运算精度高

早期 DSP 的字长是 8 位, 后来逐步提高到 16 位、24 位、32 位, 为防止运算过程中产生溢出, 有的 DSP 的累加器字长是 40 位。此外, 一批浮点 DSP 以及采用超长指令字 (Very Long Instruction Word, VLIW) 的结构, 例如 TMS320C3x、TMS320C67x、ADSP21020 等, 则能提供更大的动态范围。

8. 硬件配置强

新一代 DSP 的接口功能越来越强, 片内具有串行通信口, 并行 8 位主机接口, 并行 16 位主机接口, DMA 控制器, A/D 转换器, 软件控制的等待状态发生器, 带锁相环的时钟发生器, 片上定时器, 分区转换控制逻辑, 符合 IEEE 1149.1 标准的 JTAG 测试仿真接口, 更易于完成系统设计。另外许多 DSP 芯片都能工作在省电模式下, 使得系统的功耗进一步降低。

1.1.3 DSP 的技术应用

信息产业和电子工业在最近的 40 多年有了长足的发展, 20 世纪 70 年代的电子工业以消费电子为主, 具有代表性的产品是录像机、摄像机、彩电等; 20 世纪 80 年代是计算机时代, 具有代表性的产品是 PC、打印机、硬盘驱动器等; 从 20 世纪 90 年代至今是信息时代, 具有代表性的产品是个人通信设备、嵌入式设备、数字化消费类电子产品等, 它们都是以 DSP 为核心技术。DSP 正在改变我们生活方式的各个方面, 它应用广泛, 其主要的应用市场是 3C (Communication、Computer、Consumption, 通信、计算机、消费) 领域, 占整个市场需求的 90%, 如人与人之间的联系方式正由电话转向个人通信方式。总之, 以 DSP 为核心技术的产品已经大批量地投放市场, 形成了年产值数千亿元的大产业。

DSP 技术日益融入人们的生活, 许多学科在自身发展过程中对数字信号处理技术的要求越来越迫切, 这些要求又促进了数字信号处理技术的发展, 以下是数字信号处理技术在不同学科的应用情况。

1. 通信

通信系统中处处都有数字信号处理技术的应用,例如各种编码调制、对通信信道的均衡、电话线路的回声对消、频分多址和时分多址等。

2. 图像处理

图像信号是照度和反射度这两个分量的乘积,如果把这两个分量分离,分别乘以不同的加权系数,再加以合成就能得到新的满足系统要求的图像信号。例如对月球或深空探测器送回的电视图像、卫星气象照片、航空照片等,如果混有噪声或聚焦不好,则可以用数字信号处理技术进行图像恢复和增强。用数字信号处理技术进行图像识别,已经用于导弹或航天器的控制,甚至是机器人的视觉系统实现。

3. 语音处理

语音信号是声门脉冲串和声道响应的卷积。为了提高通信效率而进行的语音压缩和为治安、加强人机联系而进行的语音识别均要求把语音信号中的两个分量分离开。而语音合成则需要把两个分量合成为语音信号。卷积信号的分离与合成运用同态滤波技术,即根据卷积定理先求其傅立叶变换,使之转变为频域乘积信号,再做对数变换,将其转变为相加的信号,然后给予不同的加权处理,最后经反对数变换和反傅立叶变换恢复为卷积信号。此外,还有很多数字信号处理技术也可用于语音处理。

4. 地质探测

石油与天然气勘探的重要手段就是地质探测。地震法利用人工地下爆破来产生一个脉冲激励,以地层作为传输通道,在观测点上接收地震信号,该信号是由激励分量和反映地质构造的响应分量卷积而成的,同时受到其他一些因素的影响,因此要采用包括同态滤波、最佳滤波在内的一套特殊的地震信号提取技术和信息改善技术。

5. 雷达和声纳

在雷达系统和声纳系统中,应用数字信号处理技术进行复杂的背景噪声环境下的信号检测,实现对动目标的自动跟踪。数字信号处理技术还用于相控阵雷达天线阵列和声纳换能器基阵设计。

6. 生物医学

生物医学中的脑电、心电、肌电、心音分析等均需要经过信号处理,再提取有关参数,CT机是数字信号处理技术成功应用的一个典型例子。

7. 自动控制

自动控制中的速度伺服控制、位置伺服控制、过程控制,它们的控制算式中常包含积分、微分等数值计算,利用DSP技术可以很方便地实现这些数值计算。另外,最优控制的卡尔曼滤波、自适应控制等复杂的控制规律本身就是数字信号处理算法。

以上的总结归纳表明,数字信号处理技术,即DSP技术已经广泛地应用于社会生活的

各个领域,并推动了其他各学科的发展和创新。同时,DSP技术在传统的机械、冶金、钢铁、气象、土木工程等方面的应用也日益深入。

1.2 DSP 应用系统的构成和设计方法

目前 DSP 的应用已经渗透到社会生活的各个领域,DSP 应用系统的构成多种多样,在此不能一一列举,本节将介绍一个典型的 DSP 应用系统的构成和设计方法。

1.2.1 DSP 应用系统的构成

图 1-2 所示是一个典型的 DSP 应用系统,图中的输入信号可以有各种各样的形式,例如它可以是由天线送入的中频信号,也可以是由摄像机送入的视频信号等。



图 1-2 一个典型的 DSP 应用系统

输入信号首先进行带限滤波和抽样,然后进行 A/D (模/数) 转换把模拟信号变换成数字信号。根据 Nyquist 抽样定理,为保持信息不丢失,抽样频率必须至少是输入带限信号最高频率的 2 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,例如进行一系列的乘法/累加操作(MAC)。数字处理是 DSP 的关键,这与其他系统有很大的不同,如在交换系统中,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过数/模变换把数字信号转换为模拟信号,对其进行内插和平滑滤波就可以得到连续的模拟波形。



注意

图 1-2 给出的 DSP 应用系统模型是一个典型的模型,并不是所有的 DSP 系统都必须具有模型中的所有部件。例如语音识别系统在输出端并不是模拟信号,而是识别结果,如数字、文字等。有的系统的输入信号本身就是一个数字信号,显然不必再进行模/数变换了。

1.2.2 DSP 应用系统的设计方法

一个数字信号处理系统是电子技术、信号处理技术和计算机技术相结合的产物,系统设计通常分为信号处理部分和非信号处理部分。信号处理部分包括系统的输入和输出、数据的处理、各种算法的实现、数据显示和传输等,非信号处理部分则包括电源、结构、成本、体积、可靠性和可维护性等。一个 DSP 应用系统的设计方法大致可分为以下 7 个部分。

1. 系统要求的描述

在这一步,根据用户对应用系统的要求,提出一组系统级的技术要求和相关说明。这些要求包括人机接口、信号类型和特征、处理的项目和方式、处理系统的所有性能指标要求(包含系统非信号处理部分的性能)以及系统的测试和验证方式等。由此形成相应的文档,作为今后设计的依据。

2. 信号的分析

在这一步定义输入/输出信号的类型,例如分析随机或确定信号,分析模拟或数字信号是一维还是多维信号等,确定描述输入信号的模型。分析信号的频率范围和系统的带宽,估计信号的最大和最小电平以及信号噪声比,确定是否需要进行预处理等。确定输出信号使用的方式、数据的吞吐率和对实时性的要求。

3. 信号处理算法的设计

这一步是 DSP 应用系统的核心,它根据第 2 步对信号分析的结果,对不同类型的信号和所要求的处理方式确定相应的算法。这部分要求设计者对信号处理的各种算法有较好的了解。首先是要保证算法的正确性,其次是保证算法的有效性,当硬件给定后,算法的有效性决定了系统的处理能力和吞吐能力。信号处理算法设计的主要目标是对于一个特定的任务,获得运算量最小和使用资源最少的处理算法,有时这两者是矛盾的,这就需要找出最好的折中方案。

4. 资源的分析

系统的资源分为 3 大类:数据吞吐率、存储器容量和输入/输出带宽。这 3 大资源主要决定于系统所使用的核心处理器或有关硬件,例如 DSP 器件的运算速率、串行口或并行口数据传送的能力以及存储器空间的大小。一个信号处理系统通常可分为系统控制、信号处理、数据存储、数据通信。资源分析的目的就是把前述的 3 大资源在功能块之间进行合理地分配,以取得最佳的性能。

5. 硬件结构的分析和设计

这一步将根据第 3 步和第 4 步的结果进行硬件的结构分析和设计。这包括 DSP 芯片的选择、存储器的配置和输入/输出通道的设计、控制和显示电路的设计、电源电路以及其他相关硬件电路的设计。以 DSP 器件为核心的信号处理系统大致可分为两种,一种是主从式系统,这时 DSP 的功能为主机的一种信号算法的加速处理器,数据由主机传送给 DSP 器件, DSP 完成数据处理后再将数据返回到主机,所有工作都在主机的控制下进行。另一种是 DSP 自成体系的系统,这时所有的控制、信号处理工作都由 DSP 本身完成,这样的 DSP 系统一般都要有自举引导功能。

6. 软件设计和调试

基于第 3 步所设计的算法和第 5 步的硬件设计,这一步的任务是完成系统的所有的软件设计和调试。软件设计包括系统软件和信号处理软件。系统软件包括人机接口界面、系

统的控制软件、输入/输出管理、显示以及如何与主机的操作系统（包括嵌入式操作系统）接口等。信号处理软件主要是用程序语音来实现第3步所确定的信号处理算法，以完成各种特定的处理功能。信号处理软件既可用高级语言（C语言编写），也可用汇编语言编写，但对于一些关键的核心代码最好采用汇编语言编写，这样可获得最佳的性能。对DSP自成本体系的系统，则要根据具体硬件来定，对于一些小的单一功能的系统，大都采用汇编语言编写。

7. 系统集成与测试

当所有的硬件和软件设计完成后，最后是把系统的各个部分集成为一个整体，进行实际的运行测试。由于信号处理系统是一个相当复杂的系统，牵涉到电子电路、硬件技术、软件设计的各个方面，设计出来的DSP应用系统是否能满足最初提出的要求，必须通过实际的测试，如果不能满足要求，必须再对硬件和软件进行相应的修改。

1.3 DSP应用系统的开发流程和开发工具

一个DSP应用系统的开发要选择合适的开发工具和开发环境，目前，大多数DSP器件都提供了完善的开发工具和开发环境。只有在合适的开发工具和开发环境的支持下，才能正确、快速地开发出符合要求的DSP应用系统。

1.3.1 DSP应用系统的开发流程

当应用系统的硬件结构和处理算法基本确定，并选择DSP作为核心处理器时，DSP的应用软件开发主要完成以下的工作。首先是选择编程语言，DSP提供两种编程语言：汇编语言和C/C++语言。对于完成一般性功能的代码，这两种语言都可使用，但对于一些运算量很大的关键代码，最后采用手工编写的汇编语言来完成。当源程序编写好后，选择开发工具和开发环境，DSP器件生产商目前都提供集成开发环境（Code Composer Studio, CCS），它是在Windows操作系统下运行的，集成了以前的非集成开发环境的所有功能，并扩展了许多其他功能。如图1-3所示是典型的DSP应用系统开发环境下的流程图。

如果源程序是C/C++语言，需要调用DSP开发环境下的C编译器将其编译成汇编语言后，再送到DSP开发环境下的汇编器进行汇编；而对于用汇编语言编写的程序则直接送给汇编器进行汇编。汇编后产生COFF格式的目标文件，再调用链接器进行链接，生成在DSP上可执行的COFF格式的目标代码，并利用调试工具对可执行的目标代码进行调试，以保证应用软件的正确性。最后根据需要，可以调用Hex代码转换工具，把COFF格式的目标代码转换成EPROM或FLASH等存储器能接受的十六进制代码，并把代码烧写进存储器中。