

■ 主编 欧阳名三

DSP原理 与技术

DSP YUANLI YU JISHU

合肥工业大学出版社

DSP 原理与技术

主 编 欧阳名三

副主编 梁 喆 姜媛媛 王 宾

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与技术/欧阳名三主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2009. 8

ISBN 978-7-81093-967-6

I. D… II. 欧… III. 数字信号—信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 074224 号

DSP 原理与技术

主编 欧阳名三

责任编辑 陆向军

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2009 年 8 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2009 年 8 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
电 话	总编室:0551-2903038	印 张	22.75
	发行部:0551-2903198	字 数	553 千字
网 址	www.hfutpress.com.cn	印 刷	合肥工业大学印刷厂
E-mail	press@hfutpress.com.cn	发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-967-6

定价:36.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

数字信号处理(DSP)芯片是一种进行信号处理运算的微处理器芯片,可实时快速地实现各种数字信号处理算法。20多年来,DSP芯片发展十分迅速,已广泛应用于自动控制、通信、电子等领域。

本书以高等院校教材形式编写,适合作为电气信息类(电气工程、自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器、电气信息工程等)专业学生的教科书,也可作为从事DSP开发与应用的广大科技人员的参考书。编者力图使本书有助于读者掌握TMS320LF2407DSP原理和采用DSP为各自所从事的学科解决实际的问题。因此,在编写本书时,力求深入浅出,通俗易懂,并注重理论联系实际,着重实际应用。书中提供了大量实用电路和程序,均是编者多年从事DSP开发的应用实例,供读者引用和参考。

本书共分7章,第1章介绍了DSP的特点、发展和应用;第2章介绍了DSP的内部资源;第3章介绍了DSP的指令系统;第4章介绍了DSP的片内外设;第5章介绍了DSP的硬件接口设计;第6章介绍了C语言在DSP编程中的应用;第7章介绍了TMS320LF240x在电机驱动方面的应用。

本书由欧阳名三教授主编,并统筹定稿。欧阳名三编写了第1章和第5章,姜媛媛编写了第2章、第3章以及附录,梁喆编写了第4章的4.1~4.8节,王宾编写了第4章4.9节、第6章和第7章。在书稿的录入过程中,研究生朱敏静、刘杨斌、王晓娟参与了部分文字录入和插图绘制工作,在此表示感谢!在编写过程中,参阅了不少国内外参考书及资料,学习和吸取了不少经验,在此向这些作者致以谢意!

合肥工业大学出版社为本书出版给与了大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者的水平和掌握的资料有限,书中的错误和不当在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第 1 章 DSP 的基本概述	(1)
1.1 DSP 的含义	(1)
1.2 DSP 的发展和分类	(1)
1.2.1 DSP 芯片的发展	(1)
1.2.2 TI 公司的 DSP 芯片	(2)
1.2.3 DSP 的分类	(3)
1.3 DSP 的特点	(3)
1.3.1 哈佛结构	(4)
1.3.2 多总线结构	(4)
1.3.3 流水线	(4)
1.3.4 硬件乘法器	(5)
1.3.5 特殊 DSP 指令	(5)
1.4 DSP 的应用	(5)
1.5 DSP 系统的设计流程	(6)
1.5.1 算法模拟	(6)
1.5.2 器件选型	(6)
1.5.3 软硬件设计	(7)
1.5.4 调试	(8)
习题	(9)
第 2 章 TMS320LF240x 系列 DSP 内部资源介绍	(10)
2.1 TMS320LF240x 系列 DSP 基本结构和引脚功能	(10)
2.1.1 TMS320LF240x 系列 DSP 基本结构	(10)
2.1.2 引脚功能	(12)
2.2 总线结构	(21)
2.3 中央处理单元(CPU)	(22)
2.3.1 CPU 状态寄存器	(23)
2.3.2 中央算术逻辑单元(CALU)	(25)
2.3.3 输入定标移位器	(27)

2.3.4 乘法器	(27)
2.3.5 辅助寄存器和辅助寄存器算术单元	(28)
2.4 系统配置寄存器	(29)
2.5 存储器和 I/O 空间	(32)
2.5.1 存储器概述	(32)
2.5.2 程序存储器	(33)
2.5.3 数据存储器	(36)
2.5.4 I/O 空间	(37)
2.6 中断系统	(38)
2.6.1 中断简介	(38)
2.6.2 中断的执行过程	(39)
2.6.3 中断向量与中断向量表	(41)
2.6.4 CPU 中断控制寄存器	(43)
2.6.5 外设中断寄存器	(44)
2.6.6 中断响应延时	(50)
2.6.7 可屏蔽外部中断	(51)
2.7 复位操作	(52)
2.8 程序控制	(52)
2.8.1 程序地址的产生	(52)
2.8.2 跳转、调用和返回	(56)
2.8.3 单指令重复操作	(59)
习题	(60)
第 3 章 指令系统和程序编写	(61)
3.1 寻址方式	(61)
3.1.1 立即寻址	(61)
3.1.2 直接寻址	(62)
3.1.3 间接寻址	(63)
3.2 指令系统	(65)
3.2.1 汇编句法格式	(65)
3.2.2 指令集	(67)
3.3 伪指令	(101)
3.4 运算基础	(103)
3.4.1 数的定标	(103)
3.4.2 DSP 定点算术运算	(106)

3.5 DSP 算术运算程序	(108)
3.5.1 加法和乘法运算	(108)
3.5.2 减法运算	(111)
3.5.3 除法运算	(112)
3.5.4 BCD 数转二进制程序	(114)
3.6 几种基本文件	(116)
习题	(118)
第 4 章 DSP 片内外设	(119)
4.1 看门狗(WD)定时器模块	(119)
4.1.1 看门狗(WD)定时器模块的结构	(119)
4.1.2 看门狗(WD)定时器的操作	(122)
4.2 数字 I/O 端口	(122)
4.2.1 I/O 端口概述	(122)
4.2.2 数字 I/O 端口寄存器	(123)
4.2.3 数据和方向控制寄存器	(126)
4.2.4 应用举例	(128)
4.3 事件管理器(EV)模块	(133)
4.3.1 通用定时器的结构和相关寄存器	(135)
4.3.2 通用定时器的工作模式	(141)
4.3.3 事件管理器中断	(144)
4.3.4 通用定时器的应用	(152)
4.3.5 通用定时器的输入和输出信号	(155)
4.3.6 比较单元和脉宽调制电路 PWM	(156)
4.3.7 事件管理的空间矢量 PWM 波形产生	(162)
4.3.8 PWM 波形产生举例	(163)
4.4 捕获单元	(166)
4.4.1 捕获单元概述	(166)
4.4.2 捕获单元操作	(167)
4.4.3 捕获单元应用举例	(170)
4.5 正交编码脉冲(QEP)电路	(172)
4.5.1 正交编码脉冲电路概述	(172)
4.5.2 正交编码脉冲电路的时基	(173)
4.5.3 正交编码脉冲电路的编码	(173)
4.5.4 正交编码脉冲电路的计数	(174)

4.5.5	正交编码脉冲电路寄存器的设置	(174)
4.5.6	应用实例	(174)
4.6	模数转换模块(ADC)	(175)
4.6.1	模数转换模块(ADC)概述	(175)
4.6.2	自动排序器的工作原理	(176)
4.6.3	ADC 时钟预定标	(182)
4.6.4	校准模式	(182)
4.6.5	自测试模式	(183)
4.6.6	ADC 模块的寄存器	(183)
4.6.7	应用举例	(194)
4.7	串行通信接口(SCI)	(196)
4.7.1	串行通信接口的结构	(197)
4.7.2	可编程的数据格式	(199)
4.7.3	SCI 多处理器通信	(200)
4.7.4	SCI 通信模式	(203)
4.7.5	串行通信接口中断	(204)
4.7.6	SCI 波特率计算	(205)
4.7.7	SCI 模块寄存器	(206)
4.7.8	应用举例	(214)
4.8	串行外设接口 (SPI)	(217)
4.8.1	串行外设接口的结构	(217)
4.8.2	SPI 操作	(219)
4.8.3	串行外设接口中断	(221)
4.8.4	数据格式	(222)
4.8.5	SPI 波特率和时钟模式	(223)
4.8.6	SPI 的复位初始化	(225)
4.8.7	SPI 的数据传送实例	(225)
4.8.8	串行外设接口的控制寄存器	(226)
4.8.9	应用举例	(232)
4.9	CAN 控制器模块	(234)
4.9.1	CAN 控制器的结构和内存映射	(234)
4.9.2	邮箱和信息对象	(236)
4.9.3	CAN 控制寄存器	(241)
4.9.4	CAN 状态寄存器	(247)
4.9.5	CAN 中断逻辑	(250)

4.9.6 CAN 配置模式	(253)
4.9.7 应用举例	(253)
习题	(257)
第 5 章 接口电路设计	(258)
5.1 电源电路	(258)
5.2 时钟电路和复位电路	(259)
5.2.1 PLL 滤波电路	(259)
5.2.2 时钟电路设计	(259)
5.2.3 复位电路设计	(260)
5.3 存储器的扩展	(262)
5.4 通讯接口电路设计	(263)
5.4.1 RS232 接口设计	(263)
5.4.2 485 接口设计	(263)
5.4.3 CAN 接口设计	(265)
5.5 JTAG 接口	(266)
5.6 I ² C 接口	(267)
5.7 电平转换	(268)
5.7.1 采用电平转换芯片	(268)
5.7.2 采用三极管实现电平转换	(269)
5.7.3 采用光耦实现电平转换	(269)
5.8 功能引脚和未用的输入/输出引脚的处理	(270)
习题	(270)
第 6 章 C 语言在 DSP 编程中的应用	(271)
6.1 DSP C 语言的特征	(271)
6.2 存储格式的区分	(273)
6.3 CCS 中不同空间的访问	(275)
6.3.1 访问 I/O 空间	(275)
6.3.2 访问数据空间	(275)
6.4 中断处理	(276)
6.4.1 中断处理方法	(276)
6.4.2 回调法中片内外设源的准确判断	(277)
6.5 C 语言与汇编语言混合编程	(282)
6.5.1 独立的 C 程序和汇编程序模块接口	(282)

6.5.2 C 程序中访问汇编程序变量	(284)
6.5.3 在汇编程序中访问 C 程序变量	(285)
6.6 CCS 中 C 语言工程项目的建立与示例	(285)
6.6.1 C 工程项目建立所需的 5 种文件	(285)
6.6.2 C 工程项目示例	(286)
6.7 C 项目编译时生成的段	(292)
6.7.1 段的分配情况	(292)
6.7.2 C 语言生成的复杂的 .const 段	(293)
6.8 定标在 C 语言中的模拟	(295)
6.8.1 加法/减法运算的 C 语言定点模拟	(295)
6.8.2 乘法运算的 C 语言定点模拟	(297)
6.8.3 除法运算的 C 语言定点模拟	(297)
6.8.4 浮点至定点变换的 C 程序举例	(298)
习题	(300)
第 7 章 TMS320LF240x 在电机驱动方面的应用	(301)
7.1 在有刷直流电机中的应用(PWM)	(301)
7.2 在异步交流电机中的应用	(305)
7.2.1 SPWM 波形的调制	(305)
7.2.2 SVPWM 波的调制	(308)
7.3 U/F 控制技术在变频器中的应用	(318)
7.3.1 U/F 控制原理	(318)
7.3.2 变频器中的保护措施及基本工作原理	(321)
7.3.3 系统软件框架的构建	(326)
习题	(338)
附录 1 TMS320LF2407 头文件	(339)
附录 2 TMS320LF240x 系列 DSP 中断优先级和中断向量表	(347)
附录 3 指令功能速查(按字母顺序)	(350)
参考文献	(353)

第1章 DSP 的基本概述

本章主要介绍了数字信号处理器 DSP 的概念及其特点,并对 DSP 的结构和采用的先进技术进行了讨论。同时还介绍了 DSP 的发展历程和应用发展前景,以及目前广泛应用的 DSP 器件的种类和性能。通过本章的学习,可对 DSP 系统的设计过程有初步认识。

1.1 DSP 的含义

DSP 有两个含义:其一是 Digital Signal Processing(数字信号处理)的缩写,是指数字信号处理的理论和方法,是一门以众多学科为理论基础而又广泛应用于许多领域的新兴学科;其二是 Digital Signal Processor(数字信号处理器,也称 DSP 芯片)的缩写,是指用于数字信号处理的可编程微处理器,是微电子学、数字信号处理、计算机技术 3 门学科综合研究的成果。它不仅具有可编程性,而且其实时运行速度远远超过通用微处理器,是一种适合于数字信号处理的高性能微处理器。数字信号处理器已成为数字信号处理技术和实际应用之间的桥梁,并进一步促进了数字信号处理技术的发展,也极大地拓展了数字信号处理技术的应用领域。我们所说的 DSP 技术,一般是指将通用或专用的 DSP 处理器用于完成数字信号处理的方法与技术。

DSP 技术的发展分为两个领域:

(1)数字信号处理的理论和方法近年来得到迅速的发展。各种快速算法,声音与图像的压缩编码、识别与鉴别,加密解密,调制解调,信道辨识与均衡,智能天线,频谱分析等算法都成为研究的热点,并有长足的进步,为各种实时处理的应用提供了算法基础。

(2)为了满足应用市场的需求,随着微电子科学与技术的进步,DSP 处理器的性能也在迅速地提高。在性能大幅度提高的同时,体积功耗和成本却大幅度地下降。

随着数字化的急速进程,DSP 技术的地位将会更加突显出来。因为数字化的基础技术就是数字信号处理,而数字信号处理的任务,特别是实时处理(Real Time Processing)的任务,主要是由通用或专用的 DSP 处理器来完成的。因此,在整个半导体产品增长趋缓的同时,DSP 处理器还在以较快的速度增长。本教材讨论的 DSP 应用技术主要是指数字信号处理器芯片的应用技术。

1.2 DSP 的发展和分类

1.2.1 DSP 芯片的发展

在数字信号处理技术发展的初始阶段,人们只能在通用的计算机上进行算法的研究和系统的模拟与仿真。随着数字信号处理技术和集成电路技术的发展,以及数字系统的显著优越性,导致了 DSP 芯片的产生和迅速发展,DSP 芯片的出现才使实时数字信号处理成为现实。

第一片 DSP 器件是 1978 年 AMI 公司推出的 S2811。

1979 年, Intel 公司推出的 Intel2920 是第一块脱离了通用型微处理器结构的 DSP 芯片, 成为 DSP 芯片的一个重要里程碑。

1980 年前后, 日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一个具有硬件乘法器的商用 DSP 芯片。第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本 Hitachi 公司, 它于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年, 日本 Fujitsu 公司推出的 MB8764, 其指令周期为 120ns, 且具有双内部总线, 从而使处理器的数据吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一片高性能的浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

1982 年前后, 美国德州仪器公司 (Texas Instrument, 简称 TI) 成功推出第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS32C10/C14/C15/C16/C17 等, 之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C25/C26/C28, 第三代 DSP 芯片 TMS32C30/C31/C32, 第四代 DSP 芯片 TMS32C40/C44, 第五代 DSP 芯片 TMS32C50/C51/C52/C53 以及集多个 DSP 于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C80/C82, 第六代为更高性能的 TMS320C64x/C67x 和高性能的 DSP 控制器 C28x 等。

Motorola 公司 1986 年推出 MC56001 定点 DSP 芯片, 1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的 MC96002 浮点 DSP 芯片, 以及此后推出的更新产品, 如 MSC81 $\times\times$ 系列是一款基于 StarCore 技术的 DSP, 是为提升无线设备的容量而设计的, 目前在 DSP 市场仍有一定影响。

美国模拟器件公司 (Analog Devices, Inc. 简称 ADI) 也相继推出了一系列具有自己特点的 DSP 芯片, 如 ADSP-21xx 系列处理器是工作频率达 160 MHz、功耗电流低到 184 μ A、代码兼容和引脚兼容的数字信号处理器 (DSP)。21xx 系列产品包括适合蜂窝通信应用在 Softphone 产品中嵌入的系统芯片 (SOC) 级集成产品, 以及适合电机控制应用的 2199x 系列产品。21xx 系列产品广泛用于从调制解调到工业测试设备多种应用, 在 DSP 市场上也占有一定份额。

还有许多厂家生产 DSP, 市场占有率排名前 4 位的公司有 TI、Agere (原 Lucent, 中文名为朗讯)、Motorola 和 ADI。

未来 10 年, 全球 DSP 产品将向着高性能、低功耗、加强融合和拓展多种应用的发展趋势发展。

1.2.2 TI 公司的 DSP 芯片

在世界上众多的 DSP 厂商中, 德州仪器的 DSP 始终占据着较大的市场份额 (40%~50%)。随着集成电路技术的迅速发展和 DSP 应用市场的迅速扩大, TI 的 DSP 也在不断地发展与更新。目前得到广泛应用的 TI 的四个 DSP 处理器系列分别为 TMS320C2000、TMS320C5000/TMS320C6000、OMAP 系列和 DaVinci 数字媒体处理器。每个系列都有繁多的品种, 新的产品层出不穷, 更新的速度也非常快。

(1) C2000 系列 (定点、控制器): C20x、F20x、F24x、F24xx、C28x, 该系列芯片具有大量外设资源, 如 A/D、定时器、各种串口 (同步和异步)、WATCHDOG、CAN 总线/PWM 发生器、数字 IO 脚等, 是针对控制应用最佳化的 DSP。在 TI 所有的 DSP 中, 只有 C2000 有 FLASH, 也只有该系列有异步串口可以和 PC 的 UART 相连, 处理速度为 20MHz

~150MHz。

(2)C5000 系列(定点、低功耗):C54x、C54xx、C55x,相比其他系列该系列的主要特点是低功耗,所以最适合个人与便携式上网以及无线通信应用,如手机、PDA、GPS 等应用。处理速度在 80MIPS~400MIPS 之间。C54xx 和 C55xx 一般只具有 McBSP 同步串口、HPI 并行接口、定时器、DMA 等外设。值得注意的是,C55xx 提供了 EMIF 外部存储器扩展接口,可以直接使用 SDRAM,而 C54XX 则不能直接使用。两个系列的数字 IO 都只有两条。

(3)C6000 系列:C62xx、C67xx、C64x,该系列以高性能著称,最适合宽带网络和数字影像应用。速度最高达到 1GHz。其中 C62xx 和 C64x 是定点系列,C67xx 是浮点系列。该系列提供 EMIF 扩展存储器接口。该系列只提供 BGA 封装,只能制作多层 PCB,且功耗较大。同为浮点系列的 C3X 中的 VC33 现在虽非主流产品,但仍在广泛使用,其速度较低,最高在 150MIPS。

(4)OMAP 系列:OMAP 处理器集成 ARM 的命令及控制功能,另外还具有 DSP 的低功耗实时信号处理能力,最适合移动上网设备和多媒体家电。

(5)DaVinci“达·芬奇”系列:采用 TMS320C64x+DSP 内核并且包括可升级、可编程的处理器,它们采用各种架构且具有加速器和外设,适用于范围广泛的数字视频终端设备。

在 TMS320C24x 系列中,较早的芯片(如 TMS320F240/F241/C242/F243)采用 5V 电源,最高运算速度为 20MIPS,后来推出了低功耗的 LF/LC240xA,采用 3.3V 电源,最高运算速度为 40MIPS,且其他功能和性能都增强了。本书主要介绍 TMS320C2000 系列中的 TMS320LF240x 系列 DSP 的结构、原理及应用。

1.2.3 DSP 的分类

如上所述,DSP 芯片型号多种多样,分类也有多种方法,但主要有以下两种:

(1)按 DSP 芯片处理的数据格式来分,可以分为定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片,不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式不完全一样,有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式,有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式。

定点芯片只能进行小数点位置固定的数学运算,精度低,但价格低廉,执行速度快。TI 公司的 C2000、C5000、C62x、C64x 系列都是定点芯片。

浮点芯片可以进行小数点位置变动的数学运算,精度高,但价格较高,执行速度慢。TI 公司的 C3x、C4x、C67x、C8x 系列都是浮点芯片。

定点芯片在一般应用场合使用比较广泛,浮点芯片则用于高性能、精度要求高的场合,如音频、视频处理等。

(2)按 DSP 芯片的用途来分,可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用,如 TI 公司的一系列 DSP 芯片。专用型芯片是为特殊使用需求设计的,如特殊运算、数字滤波、卷积、FFT 等,如 Motorola 公司的 DSP56200。

1.3 DSP 的特点

DSP 处理器(DSP 芯片)是专门设计用来进行高速数字信号处理的微处理器。DSP 芯片实际上就是一种单片机,是集成高速乘法器,具有多组内部总线,能够进行快速乘法和加

法运算,适用于数字信号处理的高速、高位单片计算机,因此有时也被称为单片数字信号处理器。与通用的 CPU 和微控制器(MCU)相比,DSP 处理器在结构上采用了许多的专门技术和措施来提高处理速度。尽管不同的厂商所采用的技术和措施不尽相同,但往往也有许多共同的特点。下面以 TI 公司的 TMS320 系列为例进行介绍,TMS320 系列 DSP 主要采取了哈佛结构、流水线技术、多总线结构、硬件乘法器和特殊 DSP 指令等特点,以下对这些特点分别介绍。

1.3.1 哈佛结构

以奔腾为代表的通用微处理器,其程序代码和数据共用一个公共的存储空间和单一的地址与数据总线,这样的结构称为冯·诺依曼结构(Von Neumann Architecture),如图 1.1(a)所示。

DSP 处理器则将程序代码和数据的存储空间分开,各有自己的地址与数据总线,即哈佛结构(Harvard Architecture),如图 1.1(b)所示。程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器,每个存储器独立编址,用独立的程序总线、数据总线或多条总线分别进行访问。之所以采用哈佛结构,是为了并行地进行指令和数据的处理,从而可以大大地提高运算的速度。为了进一步提高信号处理的效率,在哈佛结构的基础上,又加以改善,使得程序代码和数据存储空间之间可以进行数据的传送,称为改善的哈佛结构(Modified Harvard Architecture)。这样做的好处是显然的,例如,在作数字滤波处理时,将滤波器的参数存放在程序代码空间里,而将待处理的样本存放在数据空间里,这样,处理器就可以同时提取滤波器参数和待处理的样本,进行乘和累加。

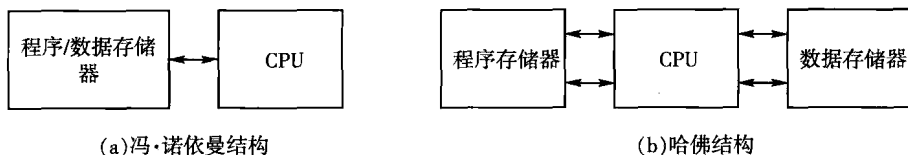


图 1.1 微处理器的冯·诺依曼结构与哈佛结构

1.3.2 多总线结构

DSP 处理器使用两类(程序总线、数据总线)六组总线,包括:程序地址总线、程序读总线、数据写地址总线、数据读地址总线、数据写总线、数据读总线。配合哈佛机构,大大提高了系统速度。

1.3.3 流水线

DSP 芯片广泛采用流水线技术,增强了处理器的处理能力。TMS320 系列流水线深度为 2~6 级不等,也就是说,处理器在一个时钟周期可并行处理 2 条~6 条指令,每条指令处于流水线的不同阶段。

计算机在执行一条指令时,总要经过取指、译码、取数、执行运算等步骤,需要若干个时钟周期才能完成。流水线技术是将各指令的各个步骤重叠起来执行,而不是一条指令执行完成之后,才开始执行下一条指令,即第一条指令取指后,译码时,第二条指令取指;第一条

指令取数时,第二条指令译码,第三条指令取指……依次类推,图 1.2 为四级流水线的例子。尽管每一条指令的执行仍然要经过这些步骤,需要同样的时钟周期数,但将一个指令段综合起来看,其中的每一条指令的执行就都是在一个指令周期内完成的。DSP 处理器所采用的将程序存储空间和数据存储空间的地址与数据总线分开的哈佛结构,为采用流水技术提供了很大的方便。

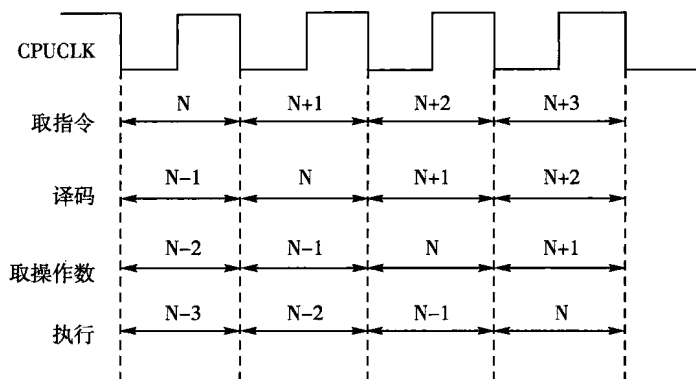


图 1.2 流水线技术

1.3.4 硬件乘法器

在数字信号处理的许多算法中(如 FFT 和 FIR 等),需要做大量的乘法和加法运算。显然,乘法速度越快,数据处理能力就越强。在通用的处理器中,有些根本没有乘法指令,有乘法指令的处理器,其乘法指令的执行时间也较长。相比而言,DSP 芯片一般是一个硬件乘法器,在 TMS320 系列中,一次乘累加最少可在一个时钟周期完成。

1.3.5 特殊 DSP 指令

DSP 芯片的另外一个特点就是采用了特殊的寻址方式和指令。比如,TMS320 系列的位反转寻址方式,LTD、MPY 等特殊指令。采用这些适合于数字信号处理的寻址方式和指令,进一步减小了数字信号处理的时间。

另外,由于 DSP 的时钟频率提高,执行周期缩短,加上以上一些 DSP 的结构特征使得 DSP 实时数字信号处理的实现成为可能。

1.4 DSP 的应用

随着 DSP 的高速发展,性能价格比的不断提高,使 DSP 成为当今和未来技术发展的新热点,使用范围日益扩大,几乎遍及电子技术的所有领域。DSP 的典型应用主要有如下几个方面:

- (1) 数字信号处理,如滤波、FFT、相关、卷积、模式匹配、窗函数和波形产生等;
- (2) 通信,如调制解调、扩频通信、纠错编码、传真、语音信箱、噪音对消和可视电话等;
- (3) 语音处理,如语音编码、语音合成、识别、增强、语音存储及语音邮件等;
- (4) 图形/图像处理,如三维图形变换处理、模式识别、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉和电子地图等;

- (5) 仪器仪表,如频谱分析、函数/波形发生器、数据采集;
- (6) 军事,如保密通信、全球定位、雷达与声呐信号处理、搜索与跟踪导航与制导等;
- (7) 医疗、汽车、消费电子领域;
- (8) 电源变换,如变频器、电机调速、AC/AC、AC/DC、DC/AC、DC/DC 等;
- (9) 自动控制,如机器人控制、磁盘控制、自动驾驶等。

随着 DSP 性价比的不断提高和开发工具的进一步完善,DSP 将应用于更多的领域。

1.5 DSP 系统的设计流程

各个 DSP 系统的设计流程和设计内容根据具体要求会有很大的不同。复杂的 DSP 系统设计可以包括前端模拟电路接口和与其他数字设备的数字接口,可能需要在设计前进行算法的仿真和分析;简单的 DSP 设计只包括数字信息的处理。有的 DSP 系统要求设计者设计开发出完整的软件、硬件,而有的 DSP 系统借助了 DSP 厂商提供的通用硬件平台和软件开发环境,只需编写一些简单的应用软件即可。

这里介绍的设计流程是一个较完备的 DSP 设计过程,如图 1.3 所示。

1.5.1 算法模拟

首先应对一个实时数字信号处理的任务选择一种方案和多种算法,用计算机高级语言(如 c、Matlab 等工具)验证算法能否满足系统的性能指标;然后从多种信号处理算法中找出最佳或准最佳算法。由于 Matlab 等工具提供了强有力的模拟手段,设计者可以在较短的时间内选择出有效的算法,避免了后续设计工作中由于算法选择不当造成的浪费和反复。

1.5.2 器件选型

DSP 是整个处理系统的核心,应从应用的具体要求出发,参照以下准则来选择合适的 DSP 型号。

(1) 速度指标

运算速度是 DSP 芯片最重要的性能指标,也是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个主要因素。DSP 最基本的速度指标是:

1) 指令周期,即执行一条指令所需的时间,通常以 ns(纳秒)为单位。如 TMS320LF2407A 在主频为 40MHz 时的指令周期为 25ns;

2) MIPS,即每秒执行百万条指令。如 TMS320LF2407A 的处理能力为 40MIPS,即每秒可执行 4 千万条指令;

3) MFLOPS,即每秒执行百万次浮点运算。如 TMS320C31 在主频为 40MHz 时的处理能力为 40MFLOPS;

4) 还有 FFT 和 FIR 滤波的速度以及除法、求平方根等特殊运算的速度。如果一片 DSP 不能满足运算速度要求,那么再看此种 DSP 多片并行处理是否方便易行。

(2) 输入/输出带宽

在运算速度达到要求时,还要考虑 DSP 输入/输出数据的速度是否足够快。因为系统的整个响应时间是输入迟延、处理时间、输出迟延之和,要看这个总时间是否在允许的响应

滞后时间限度内。许多 DSP 提供了 DMA 功能,即在运算单元工作的同时,数据的输入/输出可以同时进行。DMA 可以通过数据总线、串口或主机接口进行。但要注意,一般情况下,DMA 无助于减少 DSP 的整个响应滞后时间,因此往往是 DSP 在处理 T 时刻的数据时,只能以 DMA 方式输出 $T-1$ 时刻的处理结果,输入 $T+1$ 时刻的原始数据。DMA 有助于提高 DSP 系统的输入/输出吞吐率。

(3)精度和动态范围

精度和动态范围由 DSP 的数据字宽和定点/浮点数据格式决定。32 位浮点 DSP 基本上可以满足所有运算精度要求,而定点 DSP 就有局限性。需要注意的是,16 位定点 DSP 加法器位数大多是 32 位/40 位的,而 32 位浮点 DSP 的运算寄存器都是 40 位的,所以准确的估算精度是否满足要求还是有困难的,利用 C 等高级语言可以较好地模拟出 DSP 的实际处理精度。定点 DSP 有一个特殊功能是对溢出的饱和处理,如 16 位定点 DSP 会将正向溢出值置为 7FFFH,将负向溢出值置为 8000H,这可以减少溢出幅度不大时所引起的处理性能下降。

(4)特定功能

如果 DSP 上集成有多种上电加载功能、同步/异步串行口、A/D、D/A、片内语音处理功能、编解码、压扩、常用系数表、事件管理器、CAN 控制器等,就可以方便设计,降低成本。

(5)片内存储器

DSP 通常配有容量不等的片内 RAM,可用来存放程序和数据。当程序和数据都放在片内时,DSP 的运行速度要高得多,而 DSP 厂商给出的一些速度指标都假定处理是在片内执行的,如 FFT 片内执行速度比片外快 2~4 倍。因此,片内存储器越多越好。

(6)硬件设计复杂度

如果 DSP 主频很高,封装引脚很密集,就会对电路设计提出很高要求,而低压工作的 DSP 需要在 5V 外围器件间加电平转换器等。

(7)应用开发周期

完善的软件开发环境和调试工具,易学易用的编程方法可以加快设计。

(8)价格

价格是指 DSP 和必要的外围器件的总成本。

(9)体积和功耗

体积和功耗是指 DSP 和外围器件的总和。低压 DSP 功耗比 5V DSP 低得多。

(10)型号延续性

应选择易购的产品型号,大的 DSP 厂家产品更新很快,可以对停产的旧型号提供兼容的新产品。

选择了一种 DSP 后,还应确定其具体的速度、封装、工作温度范围等。如果是大批量定型生产,厂商还提供掩膜 ROM 方式,由厂家将定型的代码烧制到 DSP 片内 ROM 中。这样就减少了体积、功耗、电磁辐射,提高了稳定性,也降低了制造成本。

1.5.3 软硬件设计

当 DSP 型号选定后,就可以开始对 DSP 系统进行设计了。DSP 系统的设计包括软件和硬件两部分。软件是指将包括信号处理算法的程序用 DSP 的汇编语言或通用的高级语言(一般是 C 语言)编写出来并进行调试。这些程序是要放在 DSP 片内或片外存储器中进