

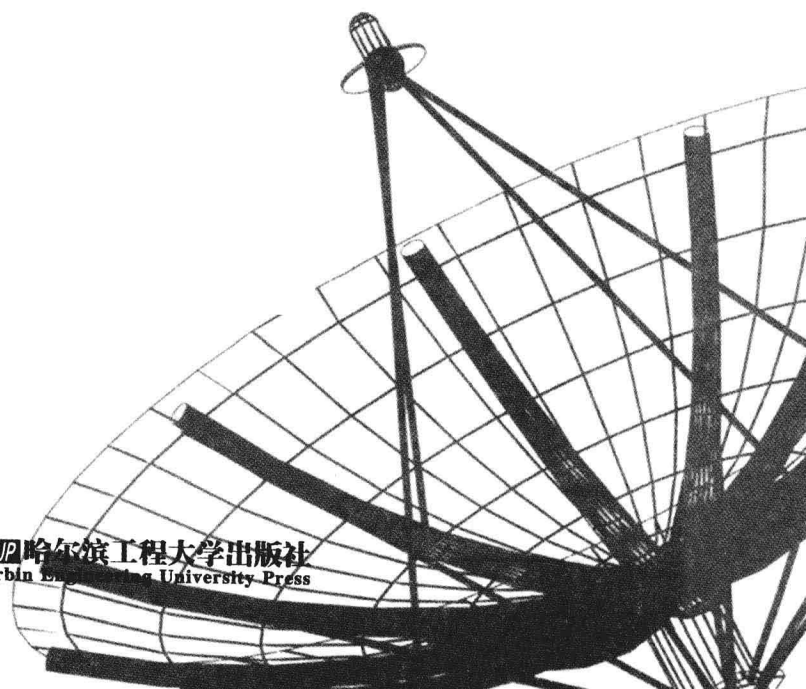
DSP原理 及应用简明教程

徐凤霞 田丽军 姚芝凤/编著 陆仲达/主审

DSP原理 及应用简明教程

徐凤霞 田丽军 姚芝凤/编著 陆仲达/主审

HEUP 哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



内 容 简 介

本书以 TMS320C54x 系列 DSP 为描述对象,重点介绍 DSP 芯片的原理和使用方法,以 DSP 的基本应用为主,介绍了 DSP 应用系统的设计和实现方法。本书主要内容有 DSP 芯片的特点、现状及应用, TMS320C54x 的硬件结构,寻址方式和指令系统,软件开发过程和基本汇编语言程序设计方法, DSP 集成开发环境(CCS),典型 DSP 应用系统的设计和实现方法。

本书可作为信息与信号处理、通信类各专业研究生、高年级本科生教材,也可作为从事信号处理的科研和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理及应用简明教程/徐凤霞,田丽军,姚芝凤
编著. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011. 4
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0110 - 5

I. ①D… II. ①徐… ②田… ③姚… 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(2011)第 062629 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 13. 5
字 数 328 千字
版 次 2011 年 4 月第 1 版
印 次 2011 年 4 月第 1 次印刷
定 价 26. 00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

数字信号处理(Digital Signal Processing,简称 DSP)是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,随着计算机和信息技术的飞速发展,数字信号处理技术应运而生并得到迅速发展。在过去的 20 多年时间里,数字信号处理已经在通信等领域得到极为广泛的应用。

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理,以得到符合人们需要的信号形式。数字信号处理是围绕着数字信号处理的理论、实现和应用等几个方面发展起来的。数字信号处理在理论上的发展推动了数字信号处理应用的发展。

数字信号处理是以众多学科为理论基础的,它所涉及的范围极其广泛。例如,在数学领域,微积分、概率统计、随机过程、数值分析等都是数字信号处理的基本工具,其与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关。近来新兴的一些学科,如人工智能、模式识别、神经网络等,都与数字信号处理密不可分。可以说,数字信号处理是把许多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。

虽然数字信号处理的理论发展迅速,但在 20 世纪 80 年代以前,由于实现方法的限制,数字信号处理的理论还得不到广泛的应用。直到 20 世纪 70 年代末 80 年代初世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生,才将理论研究结果广泛应用到低成本的实际系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地说,DSP 芯片的诞生及发展对近 20 年来通信、计算机、控制等领域的技术发展起到了十分重要的作用。本书共 7 章,以 TMS320C54x 系列 DSP 为描述对象,重点介绍 DSP 芯片的原理和使用方法,以 DSP 的基本应用为主,介绍 DSP 应用系统的设计和实现方法。本书主要内容有 DSP 芯片的特点、现状及应用, TMS320C54x 的硬件结构,寻址方式和指令系统,软件开发过程和基本汇编语言程序设计方法, DSP 集成开发环境(CCS),典型 DSP 应用系统的设计和实现方法。

本书第 1 章、第 3 章、第 5 章由徐凤霞编写,第 2 章、第 4 章由田丽军编写,第 6 章、第 7 章由姚芝凤编写。全书由徐凤霞统稿。

本书在编写过程中得到了齐齐哈尔大学计算机与控制工程学院的大力支持,并得到了齐齐哈尔大学重点教材立项资助,同时得到社会各界的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编著者

2011 年 1 月 10 日

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	2
1.2 可编程 DSP 芯片	3
1.3 TMS320 系列 DSP 概述	9
第 2 章 DSP 芯片的基本结构和特征	10
2.1 引言	10
2.2 DSP 芯片的基本结构	10
2.3 TI 定点 DSP 芯片	12
2.4 TI 浮点 DSP 芯片	22
2.5 多处理器 DSP 芯片 TMS320C8x	29
第 3 章 TMS320C54xx 结构原理	32
3.1 TMS320C54xx 的内部结构框图及主要特性	32
3.2 总线结构	34
3.3 中央处理单元(CPU)	36
3.4 存储器	50
第 4 章 TMS320C54x 指令系统	56
4.1 数据寻址方式	56
4.2 程序存储器寻址	67
4.3 TMS320C54x 流水操作	83
4.4 DSP 芯片的定点运算	91
第 5 章 TMS320C54x 的开发环境和工具	107
5.1 TMS320C54x 的软件开发过程	107
5.2 汇编源文件格式和 COFF 文件的一般概念	109
5.3 汇编器	112
5.4 链接器	116
5.5 TMS320C54x 的 C 编译器和 C/汇编混合编程	122
第 6 章 TMS320C54x 的应用	136
6.1 扩展精度的 32 位乘法和 16 位除法运算	136
6.2 FIR 滤波器的'C54x 实现	138
6.3 IIR 滤波器的'C54x 实现	147
6.4 实序列 $x(n)$ FFT 高效算法的'C54x 实现	153

第 7 章 DSP 集成开发环境 (CCS)	165
7.1 CCS 概述	165
7.2 开发一个简单的应用程序	172
7.3 开发 DSP/BIOS 程序	178
7.4 算法和数据测试	181
7.5 程序调试	188
7.6 实时分析	197
7.7 I/O	201
参考文献	210

第 1 章 绪 论

数字信号处理(Digital Signal Processing, 简称 DSP)是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代以来,随着计算机和信息技术的飞速发展,数字信号处理技术应运而生并得到迅速发展。在过去的 20 多年时间里,数字信号处理技术已经在通信等领域得到极为广泛的应用。

数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理,以得到符合人们需要的信号形式。

数字信号处理是围绕着数字信号处理的理论、实现和应用等几个方面发展起来的。数字信号处理在理论上的发展推动了数字信号处理应用的发展。反过来,数字信号处理的应用又促进了数字信号处理理论的提高。而数字信号处理的实现则是理论和应用之间的桥梁。

数字信号处理是以众多学科为理论基础的,它所涉及的范围极其广泛。例如,在数学领域,微积分、概率统计、随机过程、数值分析等都是数字信号处理的基本工具,与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关。近来新兴的一些学科,如人工智能、模式识别、神经网络等,都与数字信号处理密不可分。可以说,数字信号处理是把许多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。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

(1)在通用的计算机(如 PC 机)上用软件(如 Fortran, C 语言)实现。

(2)在通用计算机系统中加上专用的加速处理机实现。

(3)用通用的单片机(如 MCS-51, MCS-96 系列等)实现,这种方法可用于一些不太复杂的数字信号处理,如数字控制等。

(4)用通用的可编程 DSP 芯片实现。与单片机相比, DSP 芯片具有更加适合于数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法。

(5)用专用的 DSP 芯片实现。在一些特殊的场合,要求的信号处理速度极高,用通用 DSP 芯片很难实现,例如专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关等算法的 DSP 芯片,这种芯片将相应的信号处理算法在芯片内部用硬件实现,无需进行编程。

在上述几种方法中,第 1 种方法的缺点是速度较慢,一般可用于 DSP 算法的模拟;第 2 种和第 5 种方法专用性强,应用受到很大的限制,第 2 种方法也不便于系统的独立运行;第 3 种方法只适用于实现简单的 DSP 算法;只有第 4 种方法使数字信号处理的应用打开了新的局面。

虽然数字信号处理的理论发展迅速,但在 20 世纪 80 年代以前,由于实现方法的限制,数字信号处理的理论还得不到广泛的应用。直到 20 世纪 70 年代末 80 年代初世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生,才将理论研究结果广泛应用到低成本的实际系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地说, DSP 芯片的诞生及发展对近 20 年来通信、计算机、控制等领域的技术发展起到十分重要的作用。

1.1 概 述

1.1.1 DSP 与 DSP 技术

Digital Signal Processing——指数字信号处理的理论和方法。

Digital Signal Processor——指用于进行数字信号处理的可编程微处理器。

Digital Signal Process——指 DSP 技术,即采用通用的或专用的 DSP 处理器完成数字信号处理的方法与技术。

一个典型的 DSP 系统如图 1.1 所示。图中的输入信号可以有各种各样的形式。例如,它可以是麦克风输出的语音信号或是已调制的数据信号,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。

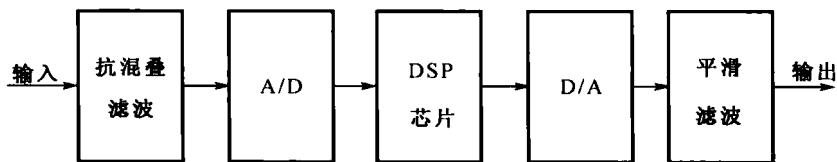


图 1.1 典型的 DSP 系统

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 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,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,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 DSP 技术发展的两个领域

1. 数字信号处理的理论和方法的发展

数字信号处理是把许多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。

2. DSP 处理器性能的提高

DSP 技术的发展在上述两方面是互相促进的,理论和算法的研究推动了应用,而应用的

需求又促进了理论的发展。

1.1.3 数字信号处理的实现方法

- (1)在通用型计算机上用软件实现。
- (2)在通用型计算机系统中加上专用的加速处理器实现。
- (3)在通用型单片机(如 MCS-51, MCS-96 系列等)上实现。
- (4)用通用型可编程 DSP 芯片实现。
- (5)用专用型 DSP 芯片实现。

本书主要讨论数字信号处理的软硬件实现方法,即利用数字信号处理器(DSP 芯片),通过配置硬件和编程,实现所要求的数字信号处理任务。

1.1.4 DSP 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其在通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等领域得到了广泛的应用。

1.2 可编程 DSP 芯片

1.2.1 什么是 DSP 芯片

DSP 芯片也称数字信号处理器,是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器,其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。根据数字信号处理的要求,DSP 芯片一般具有如下主要特点:

- (1)在一个指令周期内可完成一次乘法和一次加法;
- (2)程序和数据空间分开,可以同时访问指令和数据;

- (3) 片内具有快速 RAM,通常可通过独立的数据总线在两块芯片中同时访问;
 - (4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持;
 - (5) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持;
 - (6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器;
 - (7) 可以并行执行多个操作;
 - (8) 支持流水线操作,使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。
- 当然,与通用微处理器相比,DSP 芯片的其他通用功能相对较弱些。

1.2.2 DSP 芯片的结构特点

1. 改进的哈佛结构

哈佛结构不同于传统的冯·诺依曼(Von Neuman)结构的并行体系结构,其主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中,即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,独立访问。

在哈佛结构中,由于程序和数据存储器在两个分开的空间中,因此取指和执行能完全重叠运行。为了提高信号处理的效率,在哈佛结构的基础上,又加以改进,使得程序代码和数据存储空间之间也可以进行数据的传送,称为改进的哈佛结构,如图 1.2 所示。

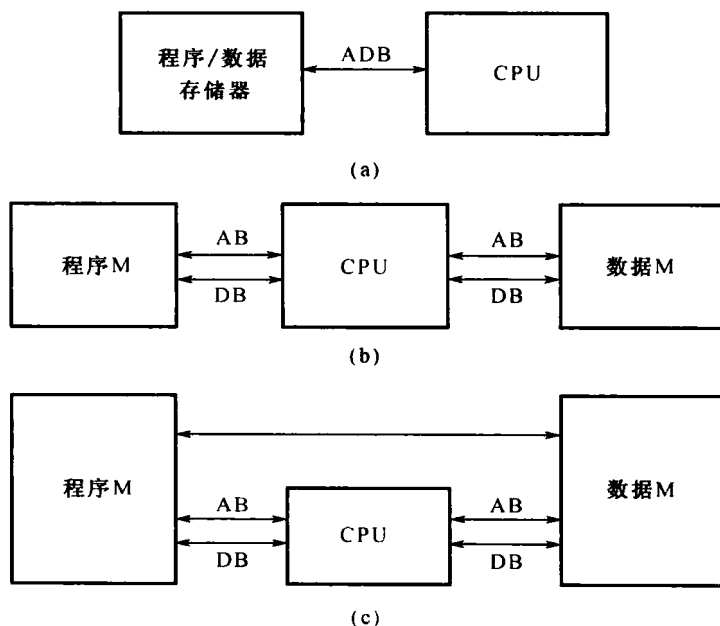


图 1.2 改进的哈佛结构与其他结构的比较

(a) 冯·诺依曼结构; (b) 哈佛结构; (c) 改进的哈佛结构

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多次访问程序空间和数据空间。对 DSP 来说,内部总线是十分重要的资源,总线越多,可以完成的功能就越复杂。

3. 流水线技术

DSP 处理器所采用的是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,为采用流水线技术提供了很大的方便,如图 1.3 所示。

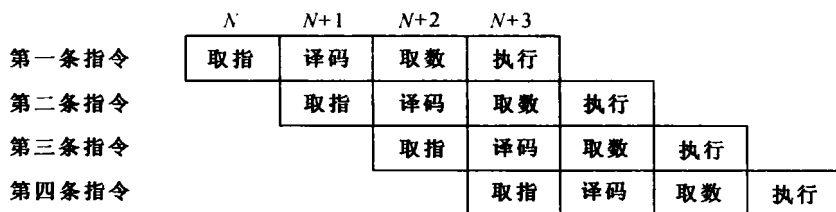


图 1.3 流水线技术

4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元,它们可以在一个指令周期内同时进行运算。DSP 的这种多处理单元结构,特别适用于大量乘加操作的矩阵运算、滤波、FFT、Viterbi 译码等。

5. 特殊的 DSP 指令

为了更好地满足数字信号处理应用的需要,在 DSP 的指令系统中,设计了一些特殊的 DSP 指令。如 FIRS 和 LMS 指令、专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

6. 指令周期短

随着集成电路工艺的发展,DSP 广泛采用亚微米 CMOS 制造工艺,其运行速度越来越快。TMS320C54 其运行速度可达 100 MIPS。TMS320C6203 的时钟为 300 MHz,运行速度达到 2 400 MIPS。

7. 运算精度高

早期 DSP 的字长为 8 位,后来逐步提高到 16 位、24 位、32 位。为防止运算过程中溢出,有的累加器达到 40 位。

8. 丰富的外设

新一代 DSP 片内具有主机接口(HPI),可接存储器访问控制器(DMAC),外部存储器扩展口,串行通信口,中断处理器,定时器,锁相环时钟产生器以及实现在线仿真符合 IEEE 1149.1 标准的测绘访问口,更易于完成系统设计。

9. 功耗低

许多 DSP 芯片都可以工作在省电方式,使系统功耗降低。DSP 芯片只有 0.1 W,可用电池供电。

DSP 是一种特殊的微处理器,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。其特殊的内部结构、强大的信息处理能力及较高的运行速度,是 DSP 最重要的特点。DSP 芯片的上述特点,使其在各个领域得到越来越广泛的应用。

1.2.3 DSP 芯片的分类

DSP 芯片可以按照下列三种方式进行分类。

1. 按基础特性分

这是根据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型来分类的。如果在某时钟频率范围内的任

何时钟频率上,DSP 芯片都能正常工作,除计算速度有变化外,没有性能的下降,这类 DSP 芯片一般称为静态 DSP 芯片。例如,日本 OKI 电气公司的 DSP 芯片、TI 公司的 TMS320C2xx 系列芯片都属于这一类。

如果有两种或两种以上的 DSP 芯片,它们的指令集和相应的机器代码及管脚结构可以相互兼容,则这类 DSP 芯片称为一致性 DSP 芯片。例如,美国 TI 公司的 TMS320C54x 就属于这一类。

2. 按数据格式分

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C1x/C2x, TMS320C2xx/C5x, TMS320C54x/C62xx 系列, AD 公司的 ADSP21xx 系列, AT&T 公司的 DSP16/16A, Motorola 公司的 MC56000 等。以浮点格式工作的称为浮点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x, AD 公司的 ADSP21xxx 系列, AT&T 公司的 DSP32/32C, Motorola 公司的 MC96002 等。

不同浮点 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,如 TMS320C3x;而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式,如 Motorola 公司的 MC96002、Fujitsu 公司的 MB86232 和 Zoran 公司的 ZR35325 等。

3. 按用途分

按照 DSP 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 芯片属于通用型 DSP 芯片。专用 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的,更适合特殊的运算,如数字滤波、卷积和 FFT,如 Motorola 公司的 DSP56200, Zoran 公司的 ZR34881, Inmos 公司的 IMSA100 等就属于专用型 DSP 芯片。

1.2.4 DSP 芯片的发展及趋势

1. DSP 芯片的发展历程

第一代:1978 年,世界上第一片单片 DSP 芯片 AMI 公司的 S2811。

第二代:20 世纪 80 年代中期,基于 CMOS 工艺的 DSP 应运而生,其存储容量和运算速度都得到成倍提高,成为语音处理及图像处理技术的基础。

第三代:20 世纪 80 年代后期, DSP 芯片运算速度进一步提高,应用范围逐步扩大到通信和计算机领域。

第四代、第五代:20 世纪 90 年代相继出现,第五代产品与第四代相比,系统集成度更高,将 DSP 芯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。

TI 公司自 1982 年成功推出第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品后,现已推出目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/C67x。

2. DSP 的发展

世界上第一个单片 DSP 芯片应当是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811,1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必须有的单周期乘法器。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。

在这之后,最成功的 DSP 芯片当数美国德州仪器公司(Texas Instruments,简称 TI)的一系列产品。TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011, TMS320C10/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 TMS320C30/C31/C32, 第四代 DSP 芯片 TMS320C40/C44, 第五代 DSP 芯片 TMS320C5x/C54x, 第二代 DSP 芯片的改进型 TMS320C2xx, 集多片 DSP 芯片于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C8x 以及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/C67x 等。TI 将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列, 即 TMS320C2000 系列(包括 TMS320C2x/C2xx)、TMS320C5000 系列(包括 TMS320C5x/C54x/C55x)、TMS320C6000 系列(TMS320C62x/C67x)。如今, TI 公司的一系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司也成为世界上最大的 DSP 芯片供应商, 其 DSP 市场份额占全世界份额近 50%。

第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本的 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 120 ns, 且具有双内部总线, 从而使处理吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一个高性能浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

与其他公司相比, Motorola 公司在推出 DSP 芯片方面相对较晚。1986 年, 该公司推出了定点处理器 MC56001。1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。

美国模拟器件公司(Analog Devices, 简称 AD)在 DSP 芯片市场上也占有一定的份额, 相继推出了一系列具有自己特点的 DSP 芯片, 其定点 DSP 芯片有 ADSP2101/2103/2105, ADSP2111/2115, ADSP2161/2162/2164 以及 ADSP2171/2181, 浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020, ADSP21060/21062 等。

自 1980 年以来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展, DSP 芯片的应用越来越广泛。从运算速度来看, MAC(一次乘法和一次加法)时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400 ns(如 TMS32010)降低到 10 ns 以下(如 TMS320C54x, TMS320C62x/67x 等), 处理能力提高了几十倍。DSP 芯片内部关键的乘法器部件从 1980 年的占模片区(Die Area)的 40% 左右下降到 5% 以下, 片内 RAM 数量增加一个数量级以上。从制造工艺来看, 1980 年采用 4 μm 的 N 沟道 MOS(NMOS)工艺, 而现在则普遍采用亚微米(Micron)CMOS 工艺。DSP 芯片的引脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上, 引脚数量的增加, 意味着结构灵活性的增加, 如外部存储器的扩展和处理器间的通信等。此外, DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、质量和功耗都有很大程度的下降。TI 公司 DSP 芯片 1982 年、1992 年、1999 年的比较见表 1.1。世界上主要 DSP 芯片供应商的代表芯片的一些数据, 见表 1.2。

表 1.1 TI DSP 芯片发展比较表(典型值)

年份	1982 年	1992 年	1999 年
制造工艺	4 μm NMOS	0.8 μm CMOS	0.3 μm CMOS
运行速度/MIPS	5	40	100
运行周期/MHz	20	80	100
内部 RAM/字	144	1 K	32 K
内部 ROM/字	1.5 K	4 K	16 K
价格/\$	150.00	15.00	5.00 ~ 25.00
功耗/(mW/MIPS)	250	12.5	0.45
集成晶体管数/个	50 000	500 000	

表 1.2 单片可编程 DSP 芯片

公司	DSP 芯片	推出时间/年	MAC 周期/ns	定点位数	浮点位数
AMI	S2811	1978	300	12/16	
NEC	μ PD7720	1980	250	16/32	32
	μ PD77230	1985	150		
TI	TMS32010	1982	390	16/32	32/40 40
	TMS32020	1987	200	16/32	
	TMS320C25	1989	100	16/32	
	TMS320C30	1989	60	24/32	
	TMS320C40	1992	40	32	
	TMS320C50	1990	35	16/32	
	TMS320C203	1996	12.5	16/32	
	TMS320LC549	1996	10	16/32	
	TMS320C62x	1997	5	16/32	
Motorola	MC56001	1986	75	24	32/44
	MC96002	1990	50	32/64	
	MC56002	1991	50	24/48	
AT&T	DSP32C	1988	80	16 或 24	32/40
	DSP16A	1988	25	16/36	32/40
	DSP3210	1992	60	24	
AD	ADSP2101	1990	60	16	32/40
	ADSP21020	1991	40	32	

我国 DSP 产品主要来自海外。国内引入的主流产品有 TMS320F2407(电机控制)、TMS320C5409(信息处理)、TMS320C6201(图像处理)等。

对 DSP 的发展,与国外相比,我国在硬件、软件上还有很大的差距,还有很长一段路要走。

1.2.5 DSP 芯片的应用

自从 20 世纪 70 年代末 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:

- (1) 通用数字信号处理。如数字滤波、卷积、相关、FFT、自适应滤波、谱分析等。
- (2) 语音识别与处理。如语音识别、合成、矢量编码、语音鉴别和语音信箱等。
- (3) 图形/图像处理。如二维/三维图形变换处理、模式识别、图像鉴别、电子地图等。
- (4) 仪器仪表。如暂态分析、函数发生、波形产生、石油/地质勘探、地震预测与处理等。

- (5) 自动控制。如磁盘/光盘伺服控制、机器人控制、发动机控制和引擎控制等。
- (6) 医学工程。如助听器、X 射线扫描、心电图/脑电图、病员监护和超声设备等。
- (7) 家用电器。如数字电视、高清晰度电视(HDTV)、高保真音响、数字电话等。
- (8) 通信。如纠错编/译码、自适应均衡、分集接收、数字调制/解调、软件无线电等。
- (9) 计算机。如阵列处理器、图形加速器、工作站和多媒体计算机等。
- (10) 军事。如雷达与声呐信号处理、导航、制导、保密通信、全球定位、电子对抗等。

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 TMS320 系列 DSP 概述

TI 公司常用的 DSP 芯片可以归纳为三大系列:

TMS320C2000 系列——包括 TMS320C2xx/C24x/C28x;

TMS320C5000 系列——包括 TMS320C54x/C55x;

TMS320C6000 系列——包括 TMS320C62x/C67x/C64x。

1.3.1 TMS320C2000 系列简介

TMS320C2000 系列 DSP 控制器,具有很好的性能,集成了 Flash 存储器、高速 A/D 转换器以及可靠的 CAN 模块,主要应用于数字化的控制。

C28x 是目前为止用于数字控制领域性能最好的 DSP 芯片。

TMS320C2000 系列 DSP 芯片价格低,具有较高的性能和适用于控制领域的功能。因此,它在工业自动化、电动机控制、家用电器和消费电子等领域得到了广泛应用。

1.3.2 TMS320C5000 系列简介

TMS320C5000 系列 DSP 芯片目前包括了 TMS320C54x 和 TMS320C55x 两大类。

C54x 是 16 位定点 DSP,适应远程通信等实时嵌入式应用的需要。

C55x 是 C5000 系列 DSP 中的子系列,是从 C54x 发展起来的,C55x 非常适合便携式器件的应用,以及数字通信设施的应用。

1.3.3 TMS320C6000 系列简介

TMS320C6000 系列是 TI 公司从 1997 年开始推出的最新的 DSP 系列。采用 TI 的专利技术 VeloiTI 和新的超长指令字结构,使该系列 DSP 的性能达到很高的水平。

C6000 所采用的类似于 RISC 的指令集以及流水技术的使用,可以使许多指令得以并行运行。C6000 系列现在已经推出了 C62x/C67x/C64x 等 3 个子系列。

C6000 系列 DSP 广泛地应用在数字通信和图像处理领域。

第2章 DSP 芯片的基本结构和特征

2.1 引言

可编程 DSP 芯片是一种具有特殊结构的微处理器,为了达到快速进行数字信号处理的目的,DSP 芯片一般都具有程序和数据分开的总线结构、流水线操作功能、单周期完成乘法的硬件乘法器以及一套适合数字信号处理的指令集。本章将首先介绍 DSP 芯片的基本结构,然后介绍 TI 公司的各种 DSP 芯片的特征,最后简要介绍其他公司的 DSP 芯片的特点。

2.2 DSP 芯片的基本结构

为了快速实现数字信号处理运算,DSP 芯片一般都采用特殊的软硬件结构。下面以 TMS320 系列为例介绍 DSP 芯片的基本结构。

TMS320 系列 DSP 芯片的基本结构包括:(1)哈佛结构;(2)流水线操作;(3)专用的硬件乘法器;(4)特殊的 DSP 指令;(5)快速的指令周期。

这些特点使得 TMS320 系列 DSP 芯片可以实现快速的 DSP 运算,并使大部分运算(例如乘法)能够在一个指令周期内完成。由于 TMS320 系列 DSP 芯片是软件可编程器件,因此具有通用微处理器具有的方便灵活的特点。下面分别介绍这些特点是如何在 TMS320 系列 DSP 芯片中应用并使芯片的功能得到加强的。

2.2.1 哈佛结构

哈佛结构是不同于传统的冯·诺依曼(Von Neuman)结构的并行体系结构,其主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中,即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,独立访问。与两个存储器相对应的是系统中设置了程序总线 and 数据总线两条总线,从而使数据的吞吐率提高了一倍。而冯·诺依曼结构则是将指令、数据、地址存储在同一存储器中,统一编址,依靠指令计数器提供的地址来区分是指令、数据还是地址。取指令和取数据都访问同一存储器,数据吞吐率低。

在哈佛结构中,程序和数据存储器在两个分开的空间中,因此取指和执行能完全重叠运行。为了进一步提高运行速度和灵活性,TMS320 系列 DSP 芯片在基本哈佛结构的基础上作了改进:(1)允许数据存放在程序存储器中,并被算术运算指令直接使用,增强了芯片的灵活性;(2)指令存储在高速缓冲器(Cache)中,当执行此指令时,不需要再从存储器中读取指令,节约了一个指令周期的时间。如 TMS320C30 具有 64 个字的缓存。

2.2.2 流水线

与哈佛结构相比,DSP 芯片广泛采用流水线以减少指令执行时间,从而增强了处理器的

处理能力。TMS320 系列处理器的流水线深度从 2~6 级不等。第一代 TMS320 处理器采用二级流水线,第二代采用三级流水线,而第三代则采用四级流水线。也就是说,处理器可以并行处理 2~6 条指令,每条指令处于流水线上的不同阶段。一个三级流水线操作的例子如图 2.1 所示。

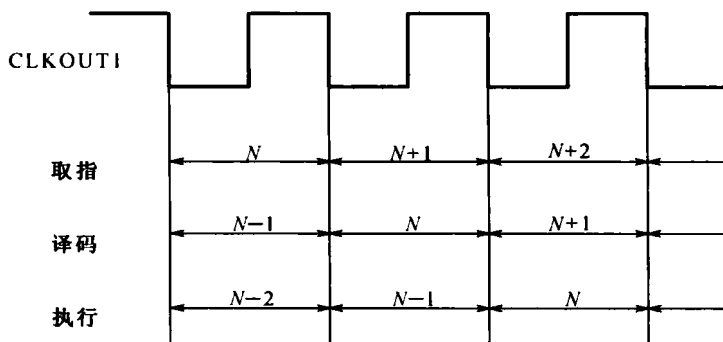


图 2.1 三级流水线操作

在三级流水线操作中,取指、译码和执行操作可以独立地处理,这可使指令执行能完全重叠。在每个指令周期内,三个不同的指令处于激活状态,每个指令处于不同的阶段。例如,在第 N 个指令取指时,前一个指令即第 $N-1$ 个指令正在译码,而第 $N-2$ 个指令则正在执行。一般来说,流水线对用户是透明的。

2.2.3 专用的硬件乘法器

在一般形式的 FIR 滤波器中,乘法是 DSP 的重要组成部分。对每个滤波器抽头,必须作一次乘法和一次加法。乘法速度越快,DSP 处理器的性能就越高。在通用的微处理器中,乘法指令是由一系列加法来实现的,故需许多个指令周期来完成。相比而言,DSP 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器。在 TMS320 系列中,由于具有专用的硬件乘法器,乘法可在一个指令周期内完成。从最早的 TMS32010 实现 FIR 的每个抽头算法可以看出,滤波器每个抽头需要一条乘法指令 MPY:

```
LT           ;装乘数到 T 寄存器
DMOV         ;在存储器中移动数据以实现延迟
MPY          ;相乘
APAC         ;将乘法结果加到 ACC 中
```

其他三条指令用来将乘数装入到乘法器电路(LT),移动数据(DMOV)以及将乘法结果(存在乘积寄存器 P 中)加到 ACC 中(APAC)。因此,若采用 256 抽头的 FIR 滤波器,这 4 条指令必须重复执行 256 次,且 256 次乘法必须在一个抽样间隔内完成。在典型的通用微处理器中,每个抽头需要 30~40 个指令周期,而 TMS32010 只需 4 条指令。如果采用特殊的 DSP 指令或采用 TMS320C54x 等新一代的 DSP 芯片,可进一步降低 FIR 抽头的计算时间。