

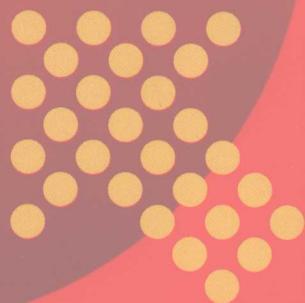
21世纪高等学校规划教材



DSP YUANLI YU SHIJIAN

DSP原理与实践

魏 伟 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材



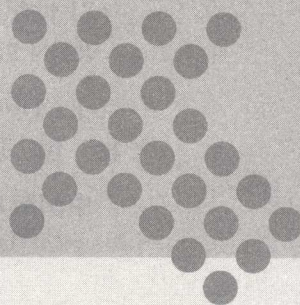
DSP YUANLI YU SHIJIAN

DSP原理与实践

主编 魏 伟

编写 敬照亮

主审 孙晓明



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

可编程 DSP 芯片是一种应用非常广泛的微处理器。本书全面系统地介绍了 DSP 芯片的基本原理、开发和应用。首先,介绍了目前广泛使用的 DSP 芯片的基本结构和特点, DSP 硬件结构模块和各种功能;然后,对硬件仿真器的使用和 DSP 集成开发环境 (CCS) 进行了介绍;接着,以目前应用最广的 TI DSP 芯片为例,介绍了 DSP 芯片的软硬件设计方法、DSP 芯片汇编语言的开发方法以及 DSP 芯片的开发工具及使用,并以 11 个 DSP 实验为例,介绍了 DSP 芯片的使用方法;最后,介绍了 9 个基于 DSP 的应用设计实例。

本书旨在使读者在了解 DSP 芯片基本原理的基础上,能较快地掌握 DSP 芯片的系统设计和软硬件开发方法。本书的突出特点是以 DSP 的基本应用为主,内容新颖,实用性强。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化等相关专业的高年级本科生和研究生的教材或参考书,也可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 原理与实践/魏伟主编. —北京:中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-8779-6

I. D… II. 魏… III. 数字信号-信号处理-高等学校-教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 064823 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.75 印张 478 千字

定价 31.60 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

数字信号处理 DSP (Digital Signal Processing) 是一门涉及许多学科且被广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代至今,随着信息技术的飞速发展,数字信号处理技术也得到了迅速的发展。随着数字化进程的加速,DSP 技术的地位更是突显了出来。可以说,数字信号处理是目前应用最快、成效最为显著的新学科之一。在语音、雷达、声纳、地震、图像、通信系统、系统控制、生物医学工程、机械振动、遥感遥测、地质勘探、航空航天、电力系统、故障检测、自动化仪器等众多领域都获得了极其广泛的应用,它有效地推动了众多工程技术领域的技术改造和学科发展。毫不夸张地讲,只要使用计算机(通用机、专用机、单片机,或一个简单的 CPU)与数据打交道,就必然要应用数字信号处理技术。因此,这一新兴学科有着极其美好的发展前景。

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,是要由通用的或专用的 DSP 处理器来完成的。因此,在整个半导体产品的增长趋缓时,DSP 处理器还在以较快的速度增长。DSP 芯片的诞生及发展对 20 多年来通信、计算机、控制等领域的发展起到了十分重要的作用。

数字信号处理在理论上所涉及的范围极其广泛。在数学领域中,微积分、概率统计、随机过程、高等代数、数值分析、近世代数、复变函数等都是它的基本工具,网络理论、信号与系统等均是它的理论基础。在学科发展上,数字信号处理又和最优控制、通信理论、故障诊断等紧紧相连,近年来又成为人工智能、模式识别、神经网络等新兴学科的理论基础之一,其算法的实现(无论是硬件还是软件)又和计算机学科及微电子技术密不可分。因此,数字信号处理是把经典的理论系统(如数学、系统)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。

数字信号处理中所涉及的信号包括确定性信号、平稳随机信号、时变信号、一维及多维信号、单通道及多通道信号;所涉及的系统也包括一维系统、二维系统、多通道系统,对每一类特定的信号与系统,所涉及理论的各个方面又有不同的内容。伴随着通信技术、电子技术及计算机的飞速发展,数字信号处理的理论也在不断地丰富和完善,各种新算法、新理论正在不断地被提出,不久的将来,数字信号处理的理论将会获得更快地发展。

本书以 TMS320 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。使读者通过对本书的学习,掌握 DSP 基本技术及应用,并能举一反三,不断扩大应用的深度和广度。

全书共分 8 章,主要内容包括 DSP 系统的构成和特点以及 DSP 系统的基本设计方法,DSP 芯片的特点、现状及应用,DSP 芯片的结构特点,DSP 指令系统,DSP 硬件功能模块,硬件仿真器的使用,DSP 集成开发环境 (CCS),DSP 实验及 DSP 综合应用等。

本书可作为电子信息工程、通信工程、自动化等相关专业的高年级本科生和研究生的教材和参考书,也可作为相关技术人员的参考书。

本书由魏伟主编,敬照亮任副主编。魏伟编写第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 7 章、第 8

章，敬照亮编写第4章、第5章和第6章。全书由魏伟统稿并定稿。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编者

于华中科技大学

目 录

前言

第 1 部分 DSP 原 理

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 DSP 系统	2
1.3 可编程 DSP 芯片	5
1.4 DSP 系统设计概要	8
小结	13
习题与思考题	14
第 2 章 DSP 芯片的结构特点	15
2.1 概述	15
2.2 DSP 芯片的特点	15
2.3 TMS320 系列 DSP 概述	18
2.4 DSP 芯片的分类与应用	29
2.5 多处理器 DSP 芯片 TMS320C8X	32
2.6 其他 DSP 芯片简介	34
小结	37
习题与思考题	37
第 3 章 DSP 指令系统	38
3.1 汇编源程序格式	38
3.2 指令集符号与意义	39
3.3 寻址方式	42
3.4 指令系统	51
小结	68
习题与思考题	68
第 4 章 DSP 硬件功能模块	69
4.1 TMS320LF2407 芯片介绍	69
4.2 CPU 内部功能模块	71
4.3 扩展存储器单元	76
4.4 时钟和低功耗模块	78
4.5 数字输入/输出模块	82
4.6 高速 A/D 单元	87

4.7 事件管理器模块	98
4.8 串行外设接口模块 (SPI)	117
4.9 串行通信接口模块 (SCI)	126
小结	135
习题与思考题	136
第5章 硬件仿真器的使用	137
5.1 TDS510-USB 2.0 仿真器简介	137
5.2 系统检查	148
小结	148
习题与思考题	149
第6章 DSP 集成开发环境	150
6.1 CCS 软件设置	150
6.2 CCS 集成环境与使用	152
6.3 CCS 文件和变量	155
6.4 调试应用程序	156
6.5 开发 DSP/BIOS 程序	163
6.6 CCS 应用举例	167
小结	177
习题与思考题	177

第2部分 DSP 实践

第7章 DSP 实验	178
7.1 实验一 常用指令实验	178
7.2 实验二 数据存储实验	180
7.3 实验三 算术运算	182
7.4 实验四 定时器实验	183
7.5 实验五 INT2 中断实验	188
7.6 实验六 AD/DA 实验	191
7.7 实验七 数字滤波实验	194
7.8 实验八 快速傅里叶变换 (FFT) 算法实验	197
7.9 实验九 数字波形产生	205
7.10 实验十 2FSK 调制的 DSP 实现	211
7.11 实验十一 SPWM 控制异步电机调速系统	212
第8章 DSP 综合应用	218
8.1 异步电机矢量控制及其数字化实现的研究	218
8.2 串联混合有源电力滤波器的应用	227
8.3 无速度传感器感应电机直接转矩控制系统	231
8.4 光伏并网逆变器的研究	240

8.5	风力发电并网逆变器控制系统研究	248
8.6	三相逆变电源高精度控制系统实验研究	254
8.7	单神经元 PI 调节器的感应电机软启动器研究	259
8.8	新型多电平混合级联逆变器控制策略	266
8.9	新型谐振阻抗型混合有源滤波器的研究	270
附录		276
附录 A	模块化 DSP 实验系统简介	276
附录 B	TLC320AD50C 寄存器定义	281
附录 C	常用程序	283
参考文献		305

第 1 部分 DSP 原理

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 是一门涉及许多学科且被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的发展。在过去的 20 多年时间里,数字信号处理已经在通信与电子系统、信号与信息处理、自动控制、雷达、航空航天、医疗设备、家用电器等许多领域得到广泛的应用。

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。

数字信号处理在理论上所涉及的范围极其广泛。在数学领域中,微积分、概率统计、随机过程、高等代数、数值分析、近世代数、复变函数等都是它的基本工具,网络理论、信号与系统等均是它的理论基础。在学科发展上,数字信号处理又和最优控制、通信理论、故障诊断等紧紧相连,近年来又成为人工智能、模式识别、神经网络等新兴学科的理论基础之一,其算法的实现(无论是硬件和软件)又和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以认为:数字信号处理是把经典的理论系统(如数学、系统)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、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、卷积等相关算法的 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)种方法才使数字

信号处理的应用打开了新的局面。

信号处理的理论和算法是密不可分的。把一个好的信号处理理论用于工程实际,需要辅以相应的算法以达到高速、高效及简单易行的目的。例如,FFT 算法的提出使 DFT 理论得以推广,Levinson 算法的提出使 Toeplitz 矩阵的求解变得很容易,从而使参数模型估计技术得到广泛应用。

数字信号处理中所涉及的信号包括确定性信号、平稳随机信号、时变信号、一维及多维信号、单通道及多通道信号。所涉及的系统也包括一维系统、二维系统、多通道系统,对每一类特定的信号与系统,所涉及理论的各个方面又有不同的内容。伴随着通信技术、电子技术及计算机的飞速发展,数字信号处理的理论也在不断地丰富和完善,各种新算法、新理论正在不断地被提出,可以预计不久的将来,数字信号处理的理论将获得更快地发展。

1.2 DSP 系统

1.2.1 DSP 系统构成

信号处理的实现可分为“软件实现”与“硬件实现”两种。但这种区分方法是不精密的。因为,无论用什么语言编写的信号处理的程序都需要基本的硬件支持才能运行,同样,除个别特殊的 DSP 芯片外,任何硬件的信号处理装置也必须配有相应的软件才能工作。因此,信号处理的硬件和软件实际上是密不可分的。

由于以 PC 机为代表的计算机已成为最通用的学习和科研工具,因此人们习惯把在通用机上执行信号处理的程序视为“软件实现”,而把使用一些通用或专用 IC 芯片构成的能完成某种信号处理功能的方式称为“硬件实现”。因此,信号处理的硬件实现是指根据自己实际任务的需要,选用最合适的 IC 芯片,设计并完成一个“最佳”的信号处理系统,再配上适合该芯片语言及任务要求的软件,从而达到信号处理的目的。

对于一个 DSP 系统,其核心任务是实现对输入信号的数字处理,即使用数字计算的方法实现一个信号处理系统。因此,数字信号处理系统的核心器件必然是具有计算功能的器件。在现代电子技术中,可以完成计算任务的器件有单片机和 DSP 器件。此外,近年来开始出现了专用于数字信号处理的片上系统 SOC (System - On - Chips) 器件。

图 1.1 所示为一个典型的数字信号处理系统框图。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电话线来的已调制数据信号,也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。

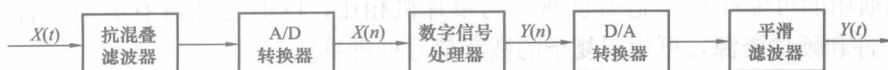


图 1.1 数字信号处理系统框图

输入信号首先进行带限滤波和采样,然后进行 A/D (Analog to Digital) 变换将信号转换成数字比特流。根据奈奎斯特采样定理,为保证信息不丢失,采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 变换后得到的以采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,之后再进行内插和平滑滤波就可得到连续的模拟波形。

上面给出的DSP系统模型是一个典型模型,但并不是所有的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),因此就不必进行模数变换了。

从数字信号处理的角度看,也可以把PC机看成是一个重要的处理器件。实际上,目前广泛使用的多媒体技术和网络技术就是PC机作为数字信号处理应用的最好例子。

1. PC机系统

PC机系统作为数字信号处理的最大优势就是系统资源丰富,其中包括硬件和软件资源,可以使用各种编程技术和应用软件。例如使用PC机进行语音处理就相当方便,不需要开发任何硬件系统,只须利用PC机的多媒体设备、驱动软件,就可进行系统开发。所以,自IEEE DSP Comm于1979年推出第一个信号处理软件包以来,有相当多的应用系统都是以PC机为基本系统开发完成的。使用PC机完成DSP系统的缺点是系统体积大,同时由于系统采用的是微处理器和PIC总线,再考虑操作系统引起的延迟,使系统信号处理速度受到了一定的限制。

2. 单片机

目前单片机的发展速度很快,其功能也很强。从结构上看,单片机的系统管理资源没有微处理器丰富,但却具有多种用户电路。因此,如果系统不需要复杂的管理,就可以充分依靠单片机的硬件环境配以信号处理软件用于工程实际,如数字控制、医疗仪器等。

总的来说,用单片机可以实现各种数字信号处理系统,实际上,任何单片机组成的系统,都可以看作是一个数字信号处理系统。但如果系统复杂、实时性要求强,则单片机就显得能力不足了。因此,在比较简单的系统中可以使用单片机作为数字信号处理器,而要进行复杂计算时(例如实现DVD解码),就必须使用DSP器件。

3. DSP器件

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配有适合于数字信号处理的指令集等。因而,要实现复杂数学计算,或需要进行高速数学处理的数字信号处理系统(例如语音识别、图像实时处理、多媒体处理等),就只能使用DSP器件才能完成系统功能。例如目前迅速发展的软件无线电技术、移动通信技术和多媒体技术,就是DSP器件数字信号处理能力的最好证明。

目前市场上的DSP芯片以美国德州仪器公司(TI)的TMS320系列为主,该公司的DSP芯片形成一个功能、门类较为齐全的大“家族”,已形成一个具有较大潜力的产业与市场。

4. 利用特殊用途的DSP芯片

现在国际上已推出专门用于FFT、FIR滤波、卷积等相关专用芯片,其软件算法已在芯片内部用硬件电路实现,使用者给出输入数据,可在输出端直接得到结果。

5. DSP 的 VLSI 实现

使用 PC 机、单片机和 DSP 器件实现数字信号处理系统的一个共同问题是没有脱离串行计算的范围,因此,在使用这些技术实现数字信号处理系统时,都不可避免地遇到对复杂系统的处理速度限制。这主要就是因为系统的形成是通过软件对硬件的控制来完成的,而串行系统的软件执行速度无法与并行系统相比拟。

为了克服软件执行的串行计算缺陷,近年来出现了使用硬件实现数字信号处理的技术。所谓使用硬件电路实现数字信号处理系统,就是通过数字逻辑电路直接形成数字信号处理系统,而不是通过使用以 CPU 为核心的器件实现数字信号处理系统。这种技术就是目前正以极高速度发展的 VLSI 数字信号处理技术。DSP 的 VLSI 实现赋予了数字信号处理技术更快的速度。不过,由于 DSP 系统的复杂性,DSP 的 VLSI 实现方案目前还无法实现与 DSP 器件相匹敌的系统。

随着计算机技术和微电子技术的发展,SOC(片上系统)已经成为电子技术应用的重要发展方向,这就带动了 VLSI 技术以实现 DSP 系统的迅速发展。

1.2.2 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比较大,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,如与模拟交换机线的电话接口,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之在通信、语音、图像、雷达、生物医学、工业控制、仪器仪表等许多领域得到越来越广泛的应用。

1.2.3 DSP 系统的设计

在设计 DSP 系统之前,第一步必须根据应用系统的目标,确定系统的性能指标、信号处理的要求,通常可用数据流程图、数学运算序列、正式的符号或自然语言来描述。第二步是根据系统的要求进行高级语言的模拟。一般来说,为了实现系统的最终目标,需要对输入的信号进行适当的处理,而处理方法的不同会导致不同的系统性能,要得到最佳的系统性能,就必须在这一步确定最佳的处理方法,即数字信号处理的算法(Algorithm),因此这一步也称算法模拟阶段。例如,语音压缩编码算法就是要在确定的压缩比条件下,获得最佳的合成语音。算法模拟所用的输入数据是实际信号经采集而获得的,通

常以计算机文件的形式存储为数据文件。如语音压缩编码算法模拟时所用的语音信号就是实际采集而获得并存储为计算机文件形式的语音数据文件。有些算法模拟时所用的输入数据并不一定要是实际采集的信号数据,只要能够验证算法的可行性,输入假设的数据也是可以的。

在完成第二步之后,接下来就可以设计实时 DSP 系统,实时 DSP 系统的设计包括硬件设计和软件设计两个方面。硬件设计首先要根据系统运算量的大小、对运算精度的要求、系统成本限制以及体积、功耗等要求选择合适的 DSP 芯片。然后设计 DSP 芯片的外围电路及其他电路。软件设计和编程主要根据系统要求和所选的 DSP 芯片编写相应的 DSP 汇编程序,若系统运算量不大且有高级语言编译器支持,也可用高级语言(如 C 语言)编程。由于现有的高级语言编译器的效率还比不上手工编写汇编语言的效率,因此在实际应用系统中常常采用高级语言和汇编语言的混合编程方法,即在算法运算量大的地方,用手工编写的方法编写汇编语言,而运算量不大的地方则采用高级语言。采用这种方法,既可缩短软件开发的周期,提高程序的可读性和可移植性,又能满足系统实时运算的要求。

DSP 硬件和软件设计完成后,就需要进行硬件和软件的调试。软件的调试一般借助于 DSP 开发工具,如软件模拟器、DSP 开发系统或仿真器等。调试 DSP 算法时一般采用比较实时结果与模拟结果的方法,如果实时程序和模拟程序的输入相同,则两者的输出应该一致。应用系统的其他软件可以根据实际情况进行调试。硬件调试一般采用硬件仿真器进行调试,如果没有相应的硬件仿真器,且硬件系统不是十分复杂,也可以借助于一般的工具进行调试。

系统的软件和硬件分别调试完成后,就可以将软件脱离开发系统而直接在实际系统上运行。当然,DSP 系统的开发,特别是软件开发是一个需要反复进行的过程,虽然通过算法模拟基本上可以知道实时系统的性能,但实际上模拟环境不可能做到与实际系统环境完全一致,而且将模拟算法移植到实时系统时必须考虑算法是否能够实时运行的问题。如果算法运算量太大不能在硬件上实时运行,则必须重新修改或简化算法。

1.3 可编程 DSP 芯片

1.3.1 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。

1.3.2 DSP 芯片的发展

世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811,而 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力的 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 120ns,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、ASDP2111/2115、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 400ns(如 TMS32010)降低到 10ns 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 $4\mu\text{m}$ 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、重量和功耗都有很大程度的下降。表 1.1 是 TI 公司 DSP 芯片 1982 年、1992 年、1999 年的比较表。表 1.2 则是世界上主要 DSP 芯片供应商的代表芯片的一些数据。

表 1.1 TI DSP 芯片发展比较表 (典型值)

推出时间 (年)	制造工艺	运算速度 (MIPS)	频率 (MHz)	内部 RAM (字)	内部 ROM (K 字)	价格	功耗 (mW/MIPS)	集成晶 体管数
1982	4 μ m NMOS	5	20	144	1.5	\$ 150.00	250	50 000
1992	0.8 μ m CMOS	40	80	1K	4	\$ 15.00	12.5	500 000
1999	0.3 μ m CMOS	100	100	32K	16	\$ 5.00~ \$ 25.00	0.45	

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	
	μ PD77230	1985	150		32
TI	TMS32010	1982	390	16/32	
	TMS32020	1987	200	16/32	
	TMS320C25	1989	100	16/32	
	TMS320C30	1989	60	24/32	
	TMS320C40	1992	40	32	32/40
	TMS320C50	1990	35	16/32	40
	TMS320C203	1996	12.5	16/32	
	TMS320LC549	1996	10	16/32	
	TMS320C62X	1997	5	16/32	
Motorola	MC56001	1986	75	24	
	MC96002	1990	50	32/64	32/44
	MC56002	1991	50	24/48	
AT&T	DSP32C	1988	80	16/24	32/40
	DSP16A	1988	25	16/36	
	DSP3210	1992	60	24	32/40
AD	ADSP2101	1990	60	16	
	ADSP21020	1991	40	32	32/40

1.3.3 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机管脚结构相互兼容, 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。

本书主要讨论通用型 DSP 芯片。

1.4 DSP 系统设计概要

本节简要介绍 DSP 系统设计的全过程, 探讨 DSP 芯片选择的原则, 初步了解 DSP 应用系统的开发工具, 包括代码生成工具、系统集成与调试工具、集成开发环境 CCS, 使读者在学习具体内容前, 对 DSP 技术先有一个全面、概括的认识。

1.4.1 DSP 系统设计过程

与其他系统设计工作一样, 在进行 DSP 系统设计之前, 设计者首先要明确自己所设计的系统主要用于什么目的, 应具有什么样的技术指标。当具体进行 DSP 系统设计时, 一般

设计流程图如图 1.2 所示, 设计过程可大致分为如下几个阶段:

1. 算法研究与优化

这一阶段主要是根据设计任务确定系统的技术指标。首先应根据系统需求进行算法仿真和高级语言 (如 MATLAB) 模拟实现, 通过仿真验证算法的正确性、精度和效率, 以确定最佳算法, 并初步确定相应的参数。其次核算算法需要的 DSP 处理能力, 一方面这是选择 DSP 的重要因素, 另一方面也影响目标板的 DSP 结构, 如采用单 DSP 还是多 DSP, 并行结构还是串行结构等。最后算法还要反复进行优化, 一方面提高算法的效率, 另一方面使算法更加适合 DSP 的体系结构, 如对算法进行并行处理的分解或流水处理的分解等, 以便获得运算量最

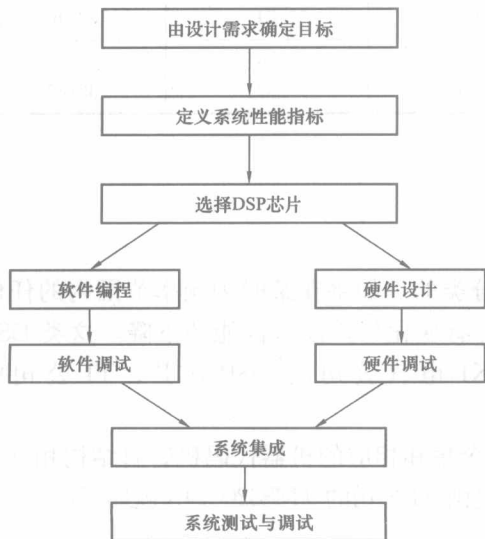


图 1.2 DSP 系统设计流程图

小和使用资源最少的算法。

2. DSP 芯片及外围芯片的确定

根据算法的运算速度、运算精度和存储要求等参数选择 DSP 芯片及外围芯片（详见 1.4.2 节）。每种 DSP 芯片都有它特别适合处理的领域，例如，TMS320C54x 系列就特别适合通信领域的应用，C54x 良好的性能价格比和硬件结构对 Viterbi 译码、FFT 等算法的支持，都保证了通信信号处理算法的实现效率。又例如，TMS320C24xx 系列特别适合家电产品领域，不论是对算法的支持，存储器配置，还是外设支持，都能充分保证应用的效率。

3. 软硬件设计阶段

软硬件设计一般可以分为以下几个步骤：

(1) 按照选定的算法和 DSP 芯片，对系统的各项功能是用软件实现还是硬件实现进行初步分工，例如 FFT、数字上/下变频器、RAKE 分集接收是否需要专门芯片或 FPGA 芯片实现，译码判决算法是用软件判决还是硬件判决等。

(2) 根据系统技术指标要求进行硬件设计，完成 DSP 芯片外围电路和其他电路（如转换、控制、存储、输出输入等电路）的设计。

(3) 根据系统技术指标要求和所确定的硬件编写相应的 DSP 汇编程序，完成软件设计。当然，软件设计也可采用高级语言进行，如 TI 公司提供了最佳的 ANSI C 语言编译软件，该编译器可将 C 语言编写的信号处理软件变换成 TMS320 系列的汇编语言。由于现有的高级语言编译器的效率还比不上手工编写汇编语言的效率，因此在实际应用系统中常常采用高级语言和汇编语言的混合编程方法，即在算法运算量大的地方，用手工编写的方法编写汇编语言，而运算量不大的地方则采用高级语言。采用这种方法，既可缩短软件开发的周期，提高程序的可读性和可移植性，又能满足系统实时运算的要求。

4. 硬件和软件调试阶段

硬件调试一般采用硬件仿真器进行，软件调试一般借助 DSP 开发工具（如软件模拟器、DSP 开发系统或仿真器）进行。通过比较在 DSP 上执行的实时程序和模拟程序执行情况来判断软件设计是否正确。

5. 系统集成与测试阶段

系统的软件和硬件分别调试完成后，就可以将软件脱离开发系统而直接应用系统上运行，评估是否完成设计目标。当然，DSP 应用系统的开发，特别是软件开发是一个需要反复进行的过程，虽然通过算法模拟基本上可以知道实时系统的性能，但实际上模拟环境不可能做到与实时系统环境完全一致，而且将模拟算法移植到实时系统时必须考虑算法是否能够实时运行的问题。如果算法运算量太大而不能在硬件上实时运行，则必须重新修改或简化算法。

1.4.2 DSP 芯片的选择

在设计 DSP 应用系统时，选择 DSP 芯片是非常重要的一个环节。只有选定了 DSP 芯片才能进一步设计其外围电路及系统的其他电路。总体讲，DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。随应用场合和设计目标的不同，DSP 选择的依据重点也不同，通常需要考虑以下因素：

1. DSP 芯片的运算速度

运算速度是 DSP 芯片一个最重要的性能指标，也是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个