

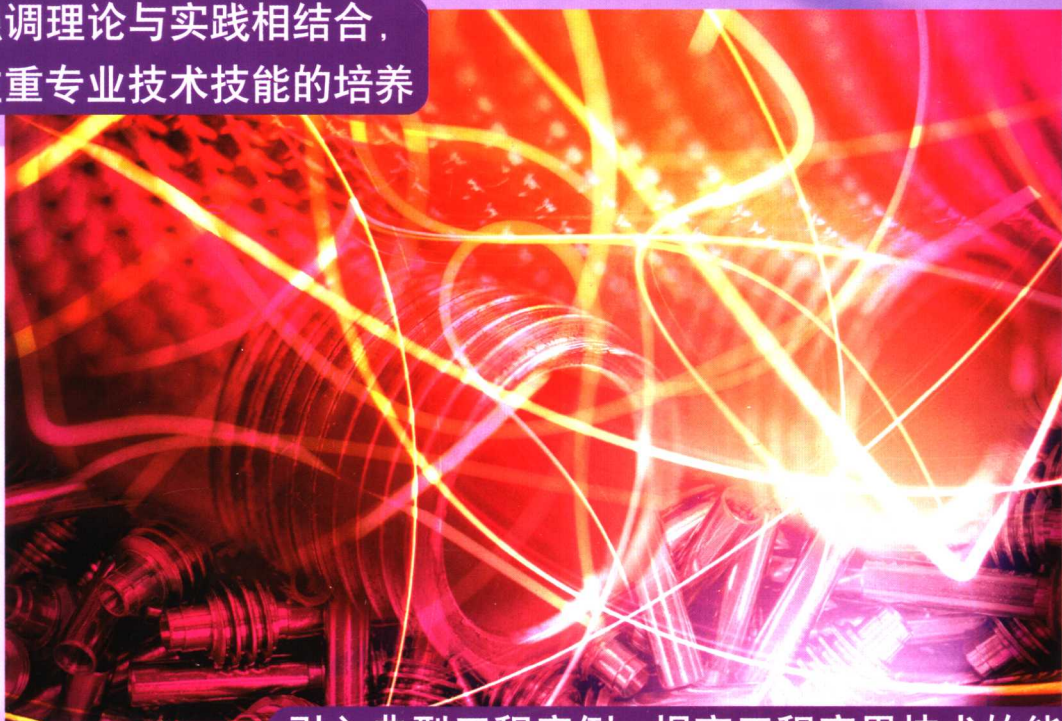
21
世纪

高等院校规划教材

DSP

原理及应用

强调理论与实践相结合，
注重专业技术技能的培养



引入典型工程案例，提高工程实用技术的能力

李利 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校规划教材

DSP 原理及应用

李利 等编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书以 TMS320C54x/54xx 系列 DSP 为例,重点介绍了 TMS320C54x/54xx 系列 DSP 的硬件结构、指令系统以及 DSP 应用程序的设计与开发。书中精选了大量实例,实例中给出了工作原理、完整的源程序及上机汇编、链接、调试过程,初学者可以按照书中给出的步骤动手操作,在实战中掌握 DSP 应用技术。本书最后介绍了 TMS320C54x/54xx 片内外设及其应用,重点讨论了定时器、多通道缓冲串口(McBSP)的工作原理,并给出了具体的应用实例。

本书既可作为高校电子类专业本科生和研究生学习 DSP 的教材和参考书,也可供从事 DSP 芯片开发与应用的广大工程技术人员参考。

本书中的源代码可以从中国水利水电出版社网站下载,网址为:
<http://www.waterpub.com.cn/>。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理及应用/李利等编著. —北京:中国水利水电出版社,2004
(21 世纪高等院校规划教材)

ISBN 7-5084-2445-X

I. D… II. 李… 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(2004)第 112043 号

书 名	DSP 原理及应用
作 者	李利 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机) 68331835 (营销中心) 82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷
规 格	787mm×1092mm 16 开本 14.75 印张 329 千字
版 次	2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	22.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

序

随着计算机科学与技术的飞速发展，计算机的应用已经渗透到国民经济与人们生活的各个角落，正在日益改变着传统的人类工作方式和生活方式。在我国高等教育逐步实现大众化后，越来越多的高等院校会面向国民经济发展的第一线，为行业、企业培养各级各类高级应用型专门人才。为了大力推广计算机应用技术，更好地适应当前我国高等教育的跨越式发展，满足我国高等院校从精英教育向大众化教育的转变，符合社会对高等院校应用型人才培养的各类要求，我们成立了“21世纪高等院校规划教材编委会”，在明确了高等院校应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下，组织编写了本套“21世纪高等院校规划教材”。

众所周知，教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱及基础，作为体现教学内容和教学方法的知识载体，在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索和建设适应新世纪我国高等院校应用型人才培养体系需要的配套教材已经成为当前我国高等院校教学改革和教材建设工作面临的紧迫任务。因此，编委会经过大量的前期调研和策划，在广泛了解各高等院校的教学现状、市场需求，探讨课程设置、研究课程体系的基础上，组织一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的工程实践能力的学术带头人、科研人员和主要从事该课程教学的骨干教师编写出一批有特色、适用性强的计算机类公共基础课、技术基础课、专业及应用技术课的教材以及相应的教学辅导书，以满足目前高等院校应用型人才培养的需要。本套教材消化和吸收了多年来已有的应用型人才培养的探索与实践成果，紧密结合经济全球化时代高等院校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，教材编写采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批地启动编写计划，编写大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论，以确保该套教材的高质量和实用性。

教材编委会分析研究了应用型人才与研究型人才在培养目标、课程体系和内容编排上的区别，分别提出了3个层面上的要求：在专业基础类课程层面上，既要保持学科体系的完整性，使学生打下较为扎实的专业基础，为后续课程的学习做好铺垫，更要突出应用特色，理论联系实际，并与工程实践相结合，适当压缩过多过深的公式推导与原理性分析，兼顾考研学生的需要，以原理和公式结论的应用为突破口，注重它们的应用环境和方法；在程序设计类课程层面上，把握程序设计方法和思路，注重程序设计实践训练，引入典型的程序设计案例，将程序设计类课程的学习融入案例的研究和解决过程中，以学生实际编程解决问题的能力为突破口，注重程序设计算法的实现；在专业技术应用层面上，积极引入工程案例，以培养学生解决工程实际问题的能力为突破口，加大实践教学内容的比重，增加新技术、新知识、新工艺的内容。

本套规划教材的编写原则是：

在编写中重视基础，循序渐进，内容精炼，重点突出，融入学科方法论内容和科学理念，反映计算机技术发展要求，倡导理论联系实际和科学的思想方法，体现一级学科知识组织的层次结构。主要表现在：背靠计算机学科的科学体系，明确目标定位，分类组织实施，兼容互补；理论与实践并重，强调理论与实践相结合，突出学科发展特点，体现学科

发展的内在规律；教材内容循序渐进，保证学术深度，减少知识重复，前后相互呼应，内容编排合理，整体结构完整；采取自顶向下设计方法，内涵发展优先，突出学科方法论，强调知识体系可扩展的原则。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 面向应用型高等院校，在保证学科体系完整的基础上不过度强调理论的深度和难度，注重应用型人才的专业技能和工程实用技术的培养。在课程体系方面打破传统的研究型人才培养体系，根据社会经济发展对行业、企业的工程技术需要，建立新的课程体系，并在教材中反映出来。

(2) 教材的理论知识包括了高等院校学生必须具备的科学、工程、技术等方面的要求，知识点不要求大而全，但一定要讲透，使学生真正掌握。同时注重理论知识与实践相结合，使学生通过实践深化对理论的理解，学会并掌握理论方法的实际运用。

(3) 在教材中加大能力训练部分的比重，使学生比较熟练地应用计算机知识和技术解决实际问题，既注重培养学生分析问题的能力，也注重培养学生思考问题、解决问题的能力。

(4) 教材采用“任务驱动”的编写方式，以实际问题引出相关原理和概念，在讲述实例的过程中将本章的知识点融入，通过分析归纳，介绍解决工程实际问题的思想和方法，然后进行概括总结，使教材内容层次清晰，脉络分明，可读性、可操作性强。同时，引入案例教学和启发式教学方法，便于激发学习兴趣。

(5) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进，举一反三，突出重点，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据各校的教学计划在内容上适当加以取舍。此外还注重了配套教材的编写，如课程学习辅导、实验指导、综合实训、课程设计指导等，注重多媒体的教学方式以及配套课件的制作。

(6) 大部分教材配有电子教案，以使教材向多元化、多媒体化发展，满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作，教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。此外还提供相关教材中所有程序的源代码，方便教师直接切换到系统环境中教学，提高教学效果。

总之，本套规划教材凝聚了众多长期在教学、科研一线工作的教师及科研人员的教学科研经验和智慧，内容新颖，结构完整，概念清晰，深入浅出，通俗易懂，可读性、可操作性和实用性强。本套规划教材适用于应用型高等院校各专业，也可作为本科院校举办的应用技术专业的课程教材，此外还可作为职业技术学院和民办高校、成人教育的教材以及从事工程应用的技术人员的自学参考资料。

我们感谢该套规划教材的各位作者为教材的出版所做出的贡献，也感谢中国水利水电出版社为选题、立项、编审所做出的努力。我们相信，随着我国高等教育的不断发展和高校教学改革的不深入，具有示范性并适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高等院校教学质量的提高。

我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见，以便进一步修订，使该套规划教材不断完善。

21 世纪高等院校规划教材编委会

2004 年 8 月

前 言

数字信号处理器 (Digital Signal Processor, DSP) 以高速数字信号处理为目标进行芯片设计, 采用改进的哈佛结构、内部具有硬件乘法器、应用流水线技术、具有良好的并行性和专门用于数字信号处理的指令等特点。DSP 芯片以其强大的运算能力在通信、电子、图像处理等各个领域得到了广泛的应用。

通用 DSP 芯片代表性的产品主要有 TI 公司的 TMS320 系列、AD 公司 ADSP21xx 系列、Motorola 公司的 DSP56xx 系列和 DSP96xx 系列等单片器件, 其中占市场份额最大的是美国德州仪器 (TI) 公司。TI 的定点 16 位 TMS320C54x/54xx 系列 DSP 芯片以其优良的性能价格比得到了广泛使用。本书对 TMS320C54x/54xx DSP 的原理及应用进行了介绍。

全书共 8 章, 可以分为 3 个部分。

第一部分包括第 1 章~第 4 章, 介绍 TMS320C54x/54xx 系列 DSP 的硬件结构、工作原理、数据寻址方式以及指令系统。使读者初步了解芯片的硬件组成、结构特点及其指令系统。

第二部分包括第 5 章~第 7 章, 介绍 DSP 应用程序的设计与开发。第 5 章详细介绍了基于汇编语言和 C/C++ 高级语言程序设计的方法, 包括汇编器和链接器对段的处理、常用汇编伪指令、链接器命令文件的编写与使用、汇编语言程序编写方法、TMS320C54x C 语言编程以及用 C 语言和汇编语言混合编程。第 6 章介绍了美国德州仪器公司推出的 CCS (Code Composer Studio) 集成开发环境, 主要内容包括 CCS 系统安装与设置、CCS 菜单和工具栏、CCS 中的编译器和链接器有关选项设置, 最后通过具体实例介绍了 CCS 的基本操作与使用方法。在第 5 章介绍汇编语言程序设计和第 6 章 CCS 集成开发环境的基础上, 第 7 章首先介绍了与程序流程控制有关的内容, 然后用具体实例介绍了汇编语言程序设计的方法, 以及在 CCS 环境下使用 Simulator (软件模拟器) 进行程序调试的基本方法, 最后介绍了数字信号处理中广泛使用的 FIR 滤波器、IIR 滤波器及 FFT 算法在定点 C54x 上的实现方法和实例程序。只要使用者安装了 CCS5000 系统软件, 在没有 DSP 目标板的情况下, 可以使用 Simulator 模拟 DSP 程序的运行。第 7 章以实例的方式循序渐进地帮助读者进一步熟悉 DSP 的指令系统、CCS 环境下汇编语言应用程序的设计和调试方法。实例中给出了工作原理、完整的源程序及上机汇编、链接、调试过程, 初学者可以按照书中给出的步骤动手操作, 进行实战练习。

第三部分包括第 8 章, 介绍了 TMS320C54x/54xx 系列 DSP 片内外设及其应用, 内容包括定时器、时钟发生器、多通道缓冲串口 (McBSP)、主机并口 (HPI) 工作原理以及外部总线操作, 重点讨论了定时器、多通道缓冲串口 (McBSP) 工作原理, 并给出了具体应用实例。

目前, 高校开设这门课程一般安排 40 学时左右, 仅仅靠课堂教学, 学生是难以掌握的。

不少初学者感到学习困难，自己看书看不懂或看了书仍不知如何去做题。本书是一本学习 DSP 的入门教材，针对初学者的学习规律，将问题分散，循序渐进。同时，书中精选了大量实例，使读者在实战中掌握 DSP 的应用技术。在学习过程中，开始时不必死记每条指令，只需大概了解有哪几类指令即可，通过后面章节的学习逐步了解、掌握指令的使用。DSP 软件开发离不开开发工具，熟悉 CCS 集成开发环境是进行 DSP 软件开发的基础，在学习 CCS 中编译器、链接器的选项设置时，开始不必追究每一个选项，首先掌握常用选项设置，然后再逐步了解、掌握其他选项。深入理解掌握 CCS 开发环境，开发出高效的 DSP 软件需要经过一定时间的学习和实践。

作者在编写本书的过程中得到了南京解放军理工大学陆辉教授的大力支持和帮助，此外，刘乾、李少宇、王彬、曹珊珊、曹艳利、杨金娜、张烨、李艳丽、吴爱国、陈斌、陈谱等为本书绘制了部分插图并完成了部分文字录入工作，武汉凌特公司和南京恒缔公司提供了部分实验素材，在此一并表示衷心感谢。

本书中的源代码可以从中国水利水电出版社网站下载，网址为：
<http://www.waterpub.com.cn/>。

由于作者水平有限，书中不妥和疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作者 E-mail: Lili@nciae.edu.cn

作者
2004年9月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.1.1 数字信号处理系统的构成	1
1.1.2 数字信号处理的实现	1
1.1.3 数字信号处理的特点	2
1.2 数字信号处理器概述	3
1.2.1 DSP 芯片的种类	3
1.2.2 TMS320 DSP 系列	3
1.2.3 DSP 芯片的主要特点	4
1.2.4 DSP 芯片的应用	5
思考题	6
第 2 章 TMS320C54x 数字信号处理器硬件结构	7
2.1 TMS320C54x 的特点和硬件组成框图	7
2.2 TMS320C54x 的总线结构	9
2.3 TMS320C54x 的存储器分配	9
2.3.1 存储器空间	9
2.3.2 程序存储器	11
2.3.3 数据存储器	12
2.3.4 I/O 存储器	13
2.4 中央处理单元 (CPU)	14
2.5 TMS320C54x 片内外设简介	20
2.6 硬件复位操作	21
2.7 TMS320VC5402 引脚及说明	22
思考题	25
第 3 章 TMS320C54x 的数据寻址方式	26
3.1 立即寻址	26
3.2 绝对寻址	27
3.2.1 数据存储器 (dmad) 寻址	27
3.2.2 程序存储器 (pmad) 寻址	27
3.2.3 端口地址 (PA) 寻址	27
3.2.4 长立即数* (lk) 寻址	28

3.3	累加器寻址	28
3.4	直接寻址	28
3.5	间接寻址	29
3.5.1	单操作数寻址	29
3.5.2	双操作数寻址	32
3.6	存储器映象寄存器寻址	33
3.7	堆栈寻址	33
	思考题	34
第 4 章	TMS320C54x 汇编指令系统	35
4.1	指令系统中的符号和缩写	35
4.2	指令系统	37
4.2.1	算术运算指令	38
4.2.2	逻辑运算指令	42
4.2.3	程序控制指令	44
4.2.4	加载和存储指令	47
第 5 章	TMS320C54x 软件开发	51
5.1	软件开发过程及开发工具	51
5.2	公共目标文件格式	53
5.2.1	COFF 文件的基本单元——段	53
5.2.2	汇编器对段的处理	54
5.2.3	链接器对段的处理	58
5.2.4	重新定位	59
5.2.5	程序装入	60
5.2.6	COFF 文件中的符号	61
5.3	常用汇编伪指令	61
5.4	链接器命令文件的编写与使用	64
5.4.1	MEMORY 伪指令及其使用	65
5.4.2	SECTIONS 伪指令及其使用	65
5.5	汇编语言程序编写方法	68
5.5.1	汇编语言源程序格式	68
5.5.2	汇编语言中的常数和字符串	69
5.5.3	汇编源程序中的符号	70
5.5.4	汇编源程序中的表达式	72
5.6	TMS320C54x C 语言编程	74
5.6.1	存储器模式	74
5.6.2	寄存器规则	76
5.6.3	函数调用规则	76

5.6.4	中断处理	76
5.6.5	表达式分析	77
5.7	用 C 语言和汇编语言混合编程	78
5.7.1	独立的 C 模块和汇编模块接口	78
5.7.2	从 C 程序中访问汇编程序变量	80
5.7.3	在 C 程序中直接嵌入汇编语句	81
	思考题	82
第 6 章	CCS 集成开发环境	83
6.1	CCS 系统安装与设置	83
6.1.1	CCS 系统安装	83
6.1.2	为 CCS 安装设备驱动程序	84
6.2	CCS 菜单和工具栏	85
6.2.1	菜单	86
6.2.2	工具栏	92
6.3	CCS 中的编译器、汇编器和链接器选项设置	94
6.3.1	编译器、汇编器选项	94
6.3.2	链接器选项	99
6.4	用 CCS 开发简单的程序	101
6.5	在 CCS 中读取数据和数据的图形显示	103
6.5.1	探点的设置及从 PC 机文件中读取数据	104
6.5.2	静态图形显示	105
6.5.3	动态图形显示	106
6.6	代码执行时间分析 (Profiler 的使用)	107
6.6.1	函数执行时间分析	107
6.6.2	某段程序执行时间分析	108
第 7 章	汇编语言程序设计	109
7.1	程序流程控制	109
7.1.1	程序存储器地址生成	109
7.1.2	条件操作	110
7.1.3	分支转移	111
7.1.4	调用与返回	113
7.1.5	重复操作	114
7.1.6	TMS320C54x 中断系统	116
7.1.7	堆栈的使用	120
7.2	数据块传送	121
7.3	定点数的基本算术运算	125
7.3.1	加法、减法和乘法运算	125

7.3.2	定点除法运算	132
7.4	长字运算和并行运算	134
7.4.1	长字运算	134
7.4.2	并行运算	137
7.5	FIR 滤波器的 DSP 实现	138
7.5.1	线性缓冲区法	139
7.5.2	循环缓冲区法	140
7.5.3	系数对称 FIR 滤波器的 DSP 实现	146
7.6	IIR 数字滤波器的 DSP 实现	149
7.7	FFT 运算的 DSP 实现	154
7.7.1	基二实数 FFT 运算的算法	154
7.7.2	FFT 运算模拟信号的产生及输入	157
7.7.3	实序列 FFT 汇编源程序及链接命令文件	157
7.7.4	观察信号时域波形及其频谱	163
	思考题	164
第 8 章	TMS320C54x 片内外设及应用实例	165
8.1	定时器	165
8.2	时钟发生器	167
8.2.1	硬件配置 PLL	167
8.2.2	软件可编程 PLL	168
8.3	定时器/计数器编程举例	170
8.4	多通道缓冲串口 (McBSP)	174
8.4.1	McBSP 原理框图及信号接口	174
8.4.2	McBSP 控制寄存器	176
8.4.3	时钟和帧同步	185
8.4.4	McBSP 数据的接收和发送	187
8.4.5	有关的几个概念	187
8.5	多通道缓冲串口应用实例	191
8.5.1	TLV1572 高速串行 ADC 与 TMS320C5402 接口设计	191
8.5.2	TLC5617 串行 DAC 与 TMS320C5402 接口设计	195
8.5.3	语音接口芯片 TLC320AD50C 与 TMS320C5402 接口设计	200
8.6	主机接口 (HPI)	210
8.6.1	HPI-8 接口的结构	210
8.6.2	HPI-8 控制寄存器和接口信号	211
8.6.3	HPI-8 接口与主机的连接框图	214
8.6.4	HPI 的 8 条数据线作通用的 I/O 引脚	215
8.7	外部总线操作	216

8.7.1 软件等待状态发生器	216
8.7.2 可编程分区切换逻辑	217
8.7.3 外部总线接口定时	219
思考题	223
参考文献	224

第 1 章 绪论

1.1 数字信号处理概述

凡是利用数字计算机或专用数字硬件，对数字信号进行的一切变换或按预定规则进行的一切加工处理运算称为数字信号处理。例如，对信号进行滤波、参数提取、频谱分析、压缩等处理。对 DSP 狭义理解可为 Digital Signal Processor 数字信号处理器，广义理解可为 Digital Signal Processing 数字信号处理技术。

1.1.1 数字信号处理系统的构成

图 1-1 所示为一个典型的数字信号处理系统。图中的输入信号可以是各种各样的形式。例如，它可以是麦克风输出的语音信号或是电话线输出的已调数据信号，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。

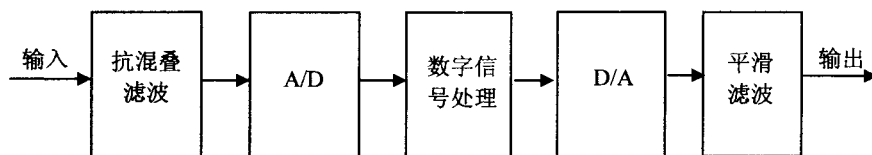


图 1-1 典型的数字信号处理系统

输入信号首先进行带限滤波，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，抽样频率至少是输入带限信号最高频率的两倍。

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，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，之后再经内插和平滑滤波就可得到连续的模拟波形。

需要指出的是，上面给出的系统模型是一个典型模型，并不是所有 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，不必进行模数变换。

1.1.2 数字信号处理的实现

从理论上讲，只要有了算法，任何具有计算能力的设备都可以用来实现数字信号处理。但在实际应用中，信号处理需要及时完成，需要有很强的计算能力来完成复杂算法。数字

信号处理主要有以下几种处理方法。

(1) 在通用的微机上用软件实现。这种方法速度慢, 不便于实时完成, 适于教学与仿真研究, 如 MATLAB 几乎可以实现所有数字信号处理算法的仿真。

(2) 利用特殊用途的 DSP 芯片来实现。如用于 FFT 运算、FIR 滤波的专用芯片, 其特点是速度快, 可用于速度高、实时处理的场合, 缺点是灵活性差。

(3) 利用专门用于信号处理的通用 DSP 芯片来实现。通用 DSP 芯片以高速计算为目标进行芯片设计, 如采用改进的哈佛结构、内部有硬件乘法器、使用流水线结构、具有良好的并行性, 并具有专门适于数字信号处理的指令, 既具有灵活性, 又具有一定的处理能力和处理速度。DSP 芯片的问世及飞速发展, 为数字信号处理技术应用于工程实际提供了可能。

(4) 用 FPGA/CPLD 用户可编程器件来实现。和使用专用 DSP 芯片一样, 该方法也是利用硬件完成数字信号处理运算, 其特点是速度快, 但无软件可编程能力、无自适应信号处理能力, 只适用于某单一运算。

1.1.3 数字信号处理的特点

与模拟系统 (ASP) 相比, 数字系统具有如下特点:

(1) 精度高。模拟系统的精度由元器件决定, 模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上。而数字系统的精度与 A/D 转换器的位数、计算机字长有关, 17 位字长精度就可达 10^{-5} , 所以在高精度系统中, 有时只能采用数字系统。

(2) 可靠性高。模拟系统各参数都有一定的温度系数, 易受环境条件, 如温度、振动、电磁感应等影响, 产生杂散效应甚至振荡等。数字系统只有两个信号电平 0、1, 受噪声及环境条件影响小, 因而可靠性高。

(3) 灵活性大。在模拟系统中, 当需要改变系统的应用时, 不得不重新修改硬件设计或调整硬件参数。而在数字信号处理系统中, 通过运行不同数字信号处理的软件来适应不同的需要。例如, 一个模拟滤波器一旦制造出来, 其特性 (如通带频率范围) 是不容易改变的, 使用微处理器实现数字滤波器, 只需改变滤波的系数, 对其重新编程就可得到不同的滤波特性。

(4) 易于大规模集成。数字部件由于高度的规范性、对电路参数要求不严, 因此便于大规模集成和生产, 特别是 DSP 器件、其体积小、功能强、功耗小、一致性好, 使用方便, 性能/价格比高。

(5) 可获得高性能指标。例如, 模拟频谱仪在频率低端只能分析到 10Hz 以上的频率, 且难于做到高分辨率 (即足够窄的带宽)。但在数字的谱分析中, 已能做到 10^{-3} Hz 的谱分析。又如, 有限长冲激响应数字滤波器可实现准确的线性相位特性, 而这在模拟系统中是很难达到的。

数字信号处理也有其局限性: 数字系统的速度还不算高, 因而不能处理很高频率的信号 (受 A/D 转换和处理器速度限制); 模拟系统除电路引入的延时外, 处理是实时的, 而数字系统处理速度由所选处理器的速度决定; 现实世界的信号绝大多数是模拟的, 因此用

数字信号处理系统处理模拟信号需要先将模拟信号转换为数字信号 (A/D 转换), 经数字信号处理后再转换为模拟信号 (D/A 转换)。

1.2 数字信号处理器概述

1.2.1 DSP 芯片的种类

DSP 芯片可以按照以下 3 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、美国 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 DSP 芯片, 它们的指令集、相应的机器代码及引脚结构相互兼容, 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, 如美国 TI 公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x、TMS320C54x/C62xx 系列, AD 公司的 ADSP21xx 系列, AT&T 公司 (现在的 Lucent 公司) 的 DSP16/16A, MOTOLORA 公司的 MC56000 等。以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x/c67x, AD 公司的 ADSP21xxx 系列, AT&T 公司的 DSP32/32C, MOTOLORA 公司的 MC96002 等。

3. 按用途分

按照 DSP 的用途, 可将其分为通用型 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 芯片都属于通用型 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 Austek 公司的 FFT 专用芯片 A41102、HARRIS 公司的 HSP43168 卷积/相关器、英国 Inmos 公司的 IMSA100 卷积/相关器等都属于专用型 DSP 芯片。

1.2.2 TMS320 DSP 系列

通用 DSP 芯片的代表性产品包括 TI 公司的 TMS320 系列、AD 公司 ADSP21xx 系列、MOTOROLA 公司的 DSP56xx 系列和 DSP96xx 系列、AT&T 公司的 DSP16/16A 和 DSP32/32C 等单片器件, 其中美国德州仪器 (TI) 公司的产品所占市场份额最大。

1982 年, TI 公司推出了 TMS320 系列数字信号处理器中的第一个定点 DSP—TMS32010。至今, TMS320 系列的 DSP 产品已经经历了若干代: TMS320C1x、TMS320C2x、TMS320C2xx、TMS320C5x、TMS320C54x、TMS320C62x 等定点 DSP; TMS320C3x、

TMS320C4x、TMS320C67x 等浮点 DSP；以及 TMS320C8x 多处理器 DSP。同一代 TMS320 系列 DSP 产品的 CPU 结构是相同的，但其片内存储器及外设电路的配置不一定相同。由于片内集成了存储器和外围电路，使 TMS320 系列器件的系统成本降低，并且节省电路板的空间。TI 的三大主力 DSP 产品系列为 C2000 系列主要用于数字控制系统；C5000 (C54x、C55x) 系列主要用于低功耗、便携的无线通信终端产品；C6000 系列主要用于高性能复杂的通信系统。C5000 系列中的 TMS320C54x 系列 DSP 芯片被广泛应用于通信和个人消费电子领域。

1.2.3 DSP 芯片的主要特点

1. 哈佛结构

早期的微处理器内部大多采用冯·诺伊曼 (Von Neuman) 结构，其特点是数据和程序共用总线 and 存储空间，因此在某一时刻，只能读写程序或者只能读写数据。哈佛结构是不同于传统的冯·诺伊曼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，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），从而使数据的吞吐率提高了一倍。改进的哈佛结构还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据。而冯·诺伊曼结构则是将指令、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。

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 4 条总线（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、从数据存储器读两个操作数并向数据存储器写 1 个操作数，大大提高了 DSP 的运行速度。

3. 指令系统的流水线操作

与哈佛结构相关，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，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的不同阶段。如图 1-2 所示为四级流水线操作，DSP 执行一条指令，需要通过取指、译码、取操作和执行四个阶段，在程序运行过程中这几个阶段是重叠的，在每个指令周期内，四个不同的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，第 N-2 个指令正在取操作数，而第 N-3 个指令正在执行。

4. 专用的硬件乘法器

在通用微处理器中，乘法是由软件完成的，即通过加法和移位实现，需要多个指令周期才能完成。在数字信号处理过程中用的最多的是乘法和加法运算，DSP 芯片中有专用的硬件乘法器，使得乘法累加运算能在单个周期内完成。

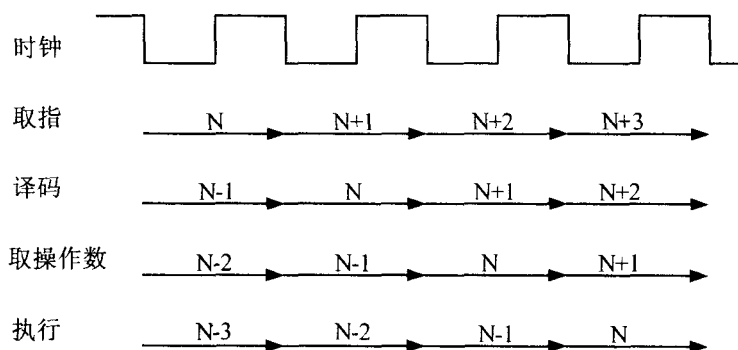


图 1-2 四级流水线操作

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。例如，TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

6. 快速的指令周期

早期的 DSP 的指令周期约为 400ns。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。以 TMS320C5402 为例，其运行速度可达 100MIPS（即每秒执行百万条指令）。快速的指令周期使得 DSP 芯片能够实时实现许多数字信号处理应用。

7. 硬件配置强

新一代 DSP 的接口功能愈来愈强，例如，TMS320C5000 系列芯片片内具有串行口、主机接口（HPI）、DMA 控制器、软件控制的等待状态产生器、锁相环时钟产生器以及实现在片仿真符合 IEEE1149.1 标准的测试访问口，更易于完成系统设计。许多 DSP 芯片都可以工作在省电方式下，使系统功耗降低。

1.2.4 DSP 芯片的应用

DSP 芯片自 20 世纪 70 年代末 80 年代初诞生以来，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了广泛的应用。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) 信号处理——如数字滤波、自适应滤波、快速傅立叶变换、相关运算、谱分析、卷积、模式匹配、加窗、波形产生等。

(2) 通信——如调制解调器、自适应均衡、数据加密、数据压缩、回波抵消、多路复用、传真、扩频通信、纠错编码、可视电话等。

(3) 语音——如语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人辨认、说话人确认、语音邮件、语音存储等。