



高等院校电子信息与电气学科特色教材

# DSP技术与应用实践教程

刘伟 主编

李莹 薛玉利 副主编

清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

# DSP技术与应用实践教程

刘伟 主编

李莹 薛玉利 副主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以“内容够用、理论够简、强调实践”为基本思路,结合实例,以实用为目标讲述 DSP 技术。首先介绍 DSP 技术的硬件结构和指令系统等相关理论知识,为读者提供一定的专业基础知识,然后重点介绍利用汇编语言和 C 语言对 TMS320C54x 系列 DSP 进行应用程序开发的实例,着重强调 DSP 技术的实践应用。

本书可作为高等院校 DSP 技术相关课程的教学参考书,也可以作为自学者学习 DSP 技术的辅导材料。

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 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术与应用实践教程/刘伟主编. —北京:清华大学出版社,2017

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-46661-1

I. ①D… II. ①刘… 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(2017)第 036008 号

责任编辑:张 玥 薛 阳

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京泽宇印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:13

字 数:314 千字

版 次:2017 年 6 月第 1 版

印 次:2017 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:33.00 元

产品编号:054624-01

# 出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才很多是高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科专业建设和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,系列教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求均有不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的修订改

版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人: 王一玲 wangyl@tup.tsinghua.edu.cn

# 前言

数字信号处理(DSP)是一门涉及多门学科并广泛应用于很多科学和工程领域的新兴学科,其以数字的形式对信号进行加工处理,以便提取有用的信息并进行有效的传输与应用。随着计算机技术和信息技术的飞速发展,DSP技术已经在信号处理、通信系统、控制系统等多个领域得到广泛应用。

为了适应DSP技术的发展,很多高校都开设了与DSP技术相关的课程,但是目前关于这方面的书大部分都是以介绍DSP技术的理论知识为主,以实践应用介绍为主的书籍较少。本书以美国TI公司在信号处理领域广泛应用的TMS320C54x芯片为对象编写此书,力求将DSP的软件和硬件基础进行简要介绍,重点突出如何利用汇编语言、C语言和MATLAB语言将数字信号处理中的常用算法在DSP中实现。

本书共分8章。第1章对DSP进行概述,主要介绍DSP的定义,DSP的研究内容和实现方法,DSP芯片的特点、分类、选择和应用等。第2章介绍TMS320C54x系列DSP的硬件结构,包括基本的硬件结构、总线结构、中央处理器、存储器、中断系统以及片内外设等。第3章介绍DSP系统设计和开发的基本方法和过程,包括DSP系统的构成、设计过程、软硬件开发流程等。第4章介绍CCS集成开发环境,包括CCS的安装和使用方法。第5章介绍TMS320C54x汇编语言程序设计方法,包括汇编语言的寻址方式、指令系统以及利用汇编语言进行DSP程序开发的典型实例。第6章介绍TMS320C54x C语言程序设计方法,包括C语言的使用方法、利用C语言进行DSP程序开发的典型实例以及利用C语言和汇编语言进行混合编程的方法。第7章介绍了MATLAB软件在DSP设计中的应用,包括MATLAB软件的基本使用方法、CCSLink的使用方法以及如何利用MATLAB语言实现DSP中的常见算法。第8章介绍现代DSP系统设计,以Altera公司的DSP Builder为例,介绍其设计流程和应用实例。每章后面都提供习题以供参考和巩固。

本书由刘伟担任主编,第1~第5章由刘伟编写,第6章由李莹编写,第7和第8章由薛玉利编写,全书由刘伟统稿,南京大学的方元教授对本书提出了许多宝贵的意见。在编写的过程中,得到了上海师范大学天华学院领导和多位同事的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,疏漏在所难免,欢迎批评指正。

编者

2017年4月

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 DSP 概述 .....                  | 1  |
| 1.1 数字信号处理 .....                    | 1  |
| 1.2 DSP 芯片 .....                    | 2  |
| 1.2.1 DSP 芯片的特点 .....               | 2  |
| 1.2.2 DSP 芯片的分类 .....               | 5  |
| 1.2.3 常用的 DSP 芯片 .....              | 6  |
| 1.2.4 DSP 芯片的选择 .....               | 7  |
| 1.2.5 DSP 芯片的应用 .....               | 8  |
| 习题 1 .....                          | 9  |
| 第 2 章 TMS320C54x 系列 DSP 的硬件结构 ..... | 12 |
| 2.1 基本结构 .....                      | 12 |
| 2.1.1 C54x 芯片的主要特点 .....            | 12 |
| 2.1.2 C54x 芯片硬件基本结构 .....           | 13 |
| 2.2 总线结构 .....                      | 14 |
| 2.3 中央处理器 .....                     | 15 |
| 2.3.1 算术逻辑运算单元 .....                | 16 |
| 2.3.2 累加器 .....                     | 17 |
| 2.3.3 桶形移位寄存器 .....                 | 18 |
| 2.3.4 乘法累加单元 .....                  | 19 |
| 2.3.5 比较选择存储单元 .....                | 20 |
| 2.3.6 指数编码器 .....                   | 21 |
| 2.3.7 CPU 状态和控制寄存器 .....            | 21 |
| 2.4 存储器 .....                       | 23 |
| 2.4.1 存储器地址和空间分配 .....              | 23 |
| 2.4.2 程序存储器 .....                   | 23 |
| 2.4.3 数据存储器 .....                   | 24 |
| 2.4.4 I/O 存储器 .....                 | 25 |
| 2.5 中断系统 .....                      | 25 |
| 2.5.1 中断类型 .....                    | 25 |
| 2.5.2 中断寄存器 .....                   | 27 |
| 2.5.3 中断流程 .....                    | 28 |
| 2.6 片内外设 .....                      | 29 |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 习题 2 .....                             | 31        |
| <b>第 3 章 DSP 系统设计与开发 .....</b>         | <b>34</b> |
| 3.1 DSP 系统的构成 .....                    | 34        |
| 3.2 DSP 系统的设计过程 .....                  | 34        |
| 3.3 DSP 系统的硬件开发 .....                  | 35        |
| 3.4 DSP 系统的软件开发 .....                  | 36        |
| 3.4.1 编程语言的选择 .....                    | 36        |
| 3.4.2 软件开发工具与环境 .....                  | 36        |
| 习题 3 .....                             | 39        |
| <b>第 4 章 CCS 集成开发环境 .....</b>          | <b>41</b> |
| 4.1 CCS 简介 .....                       | 41        |
| 4.2 CCS v5 的安装 .....                   | 42        |
| 4.3 CCS v5 的使用 .....                   | 46        |
| 4.3.1 CCS v5 的窗口 .....                 | 47        |
| 4.3.2 新建工程文件 .....                     | 49        |
| 4.3.3 导入已有的工程文件 .....                  | 51        |
| 4.3.4 调试工程 .....                       | 54        |
| 习题 4 .....                             | 54        |
| <b>第 5 章 TMS320C54x 汇编语言程序设计 .....</b> | <b>55</b> |
| 5.1 汇编语言概述 .....                       | 55        |
| 5.2 寻址方式 .....                         | 57        |
| 5.3 指令系统 .....                         | 59        |
| 5.3.1 数据传送指令 .....                     | 62        |
| 5.3.2 算术运算指令 .....                     | 66        |
| 5.3.3 逻辑运算指令 .....                     | 71        |
| 5.3.4 程序控制指令 .....                     | 74        |
| 5.3.5 并行操作指令 .....                     | 78        |
| 5.3.6 重复操作指令 .....                     | 79        |
| 5.4 汇编语言程序设计实例 .....                   | 80        |
| 5.5 TMS320C54x 应用程序开发实例 .....          | 85        |
| 5.5.1 数字滤波器的 DSP 实现 .....              | 85        |
| 5.5.2 快速傅里叶变换的实现 .....                 | 92        |
| 5.5.3 QPSK 的调制与解调 .....                | 98        |
| 5.5.4 FSK 调制与解调 .....                  | 107       |
| 习题 5 .....                             | 112       |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| <b>第 6 章 TMS320C54x C 语言程序设计 .....</b> | <b>115</b> |
| 6.1 C 语言简介 .....                       | 115        |
| 6.2 C54x DSP 的 C 语言编程 .....            | 118        |
| 6.2.1 C54x DSP 支持的 C 语言数据类型 .....      | 118        |
| 6.2.2 系统的初始化 .....                     | 118        |
| 6.2.3 函数的调用 .....                      | 119        |
| 6.2.4 堆栈的使用 .....                      | 120        |
| 6.2.5 寄存器的访问 .....                     | 121        |
| 6.2.6 存储器的访问 .....                     | 121        |
| 6.2.7 I/O 空间的访问 .....                  | 122        |
| 6.3 TMS320C54x C 语言程序开发实例 .....        | 122        |
| 6.3.1 IIR 滤波器的 DSP 实现 .....            | 123        |
| 6.3.2 FIR 滤波器的 DSP 实现 .....            | 128        |
| 6.3.3 快速傅里叶变换的实现 .....                 | 134        |
| 6.3.4 卷积算法的 DSP 实现 .....               | 138        |
| 6.3.5 相关算法的 DSP 实现 .....               | 141        |
| 6.3.6 离散余弦变换的 DSP 实现 .....             | 144        |
| 6.3.7 自适应滤波器 LMS 算法实现 .....            | 149        |
| 6.4 用 C 语言和汇编语言混合编程 .....              | 152        |
| 6.4.1 独立编写 C 程序和汇编程序 .....             | 153        |
| 6.4.2 C 程序与汇编语言相互访问数据 .....            | 153        |
| 6.4.3 C 程序中直接嵌入汇编语句 .....              | 155        |
| 习题 6 .....                             | 155        |
| <b>第 7 章 MATLAB 在 DSP 设计中的应用 .....</b> | <b>157</b> |
| 7.1 MATLAB 概述 .....                    | 157        |
| 7.1.1 MATLAB 软件的安装 .....               | 157        |
| 7.1.2 MATLAB 的软件环境 .....               | 162        |
| 7.1.3 MATLAB 的基本操作 .....               | 163        |
| 7.2 CCSLink 简介 .....                   | 168        |
| 7.2.1 CCSLink 的功能及特点 .....             | 168        |
| 7.2.2 CCSLink 的配置 .....                | 169        |
| 7.2.3 CCSLink 的组件内容 .....              | 170        |
| 7.2.4 CCSLink 的连接对象 .....              | 171        |
| 7.2.5 CCSLink 的函数 .....                | 174        |
| 7.3 MATLAB 实现 DSP 基本算法 .....           | 177        |
| 7.3.1 相关算法的仿真 .....                    | 177        |
| 7.3.2 快速傅里叶变换的仿真 .....                 | 180        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 7.3.3 离散余弦变换的仿真 .....          | 181 |
| 7.3.4 IIR 滤波器的仿真 .....         | 183 |
| 7.3.5 FIR 滤波器的仿真 .....         | 185 |
| 习题 7 .....                     | 188 |
| <b>第 8 章 现代 DSP 系统设计</b> ..... | 189 |
| 8.1 DSP Builder 及其设计流程 .....   | 189 |
| 8.2 利用 DSP Builder 设计实例 .....  | 190 |
| 习题 8 .....                     | 194 |
| <b>参考文献</b> .....              | 195 |

# 第1章

## DSP 概 述

### 1.1 数字信号处理

信号处理是指将信号从一种形式转换成另一种形式,即把记录在某种媒体上的信号进行处理,以便抽取有用信息的过程,它是对信号进行提取、变换、分析、综合等处理过程的统称。

数字信号处理,也就是信号的数字化处理,是一门涉及多个学科并广泛应用于很多科学和工程领域的新兴学科。数字信号处理是利用计算机或专用处理设备,以数字的形式对信号进行分析、采集、合成、变换、滤波、估算、压缩、识别等加工处理,以便提取有用的信息并进行有效的传输与应用。

DSP 可以代表数字信号处理技术(Digital Signal Processing),也可以代表数字信号处理器(Digital Signal Processor)。前者是理论和计算方法上的技术,后者是指实现这些技术的通用或专用可编程微处理器芯片。

数字信号处理包括以下两个方面的内容。

#### 1. 算法的研究

算法的研究是指如何以最小的运算量和存储器的使用量来完成指定的任务,随着算法的改进,运算处理速度得到了大幅提高,也使得算法真正得到了实际应用。20 世纪 60 年代出现的快速傅里叶变换(FFT)就是其中一个典型的例子,它使数字信号处理技术发生了革命性的变化。

**例 1.1** 对于一幅  $1024 \times 1024$  的图像,用 100 万次/秒复乘运算的计算机进行处理,利用 DFT 和利用 FFT 所需要的时间分别为多少?

**解** 对于  $N$  点的 DFT,其复乘运算次数为  $N^2$ ,  $N$  点的 FFT,其复乘次数为  $(N \cdot \log_2 N)/2$ 。

因此,利用 DFT 所需要的时间为  $\frac{(1024 \times 1024)^2}{100 \times 10\,000} \approx 10^6 (\text{s})$ 。

利用 FFT 所需要的时间为  $\frac{\frac{1024 \times 1024}{2} \log_2 (1024 \times 1024)}{100 \times 10\,000} \approx 10 (\text{s})$ 。

由此可见,FFT 的出现使得用计算机进行实时图像处理成为可能。

**例 1.2** 对于分辨率为  $640 \times 480$  的彩色电视画面图像,每秒播放 30 帧画面,则一秒钟的数据量为多少?

解 一秒钟的数据量为:

$$640 \times 480 \times 24 \times 30b = 221.12\text{Mb}$$

因此,播放一秒钟的数据需要 221Mb/s 的通信回路。在 10MB/s 带宽网上进行实时传输,需压缩到原来数据量的 0.045;1 张 CD 可存 640MB 的内容,如不压缩,仅可以存 2.89s 的数据。

由此可见,若没有算法的改进,信号的存储和传输都会受到很大限制。近几年来,数字信号处理的算法得到了迅速的发展,诸如语音与图像的压缩编码、识别与鉴别,信号的调制与解调、加密和解密,信道的辨识与均衡,智能天线,频谱分析等各种快速算法都成为研究的热点、并取得了长足的进步,为各种实时处理的应用提供了算法基础。

## 2. 数字信号处理的实现

数字信号处理的实现是用硬件、软件或软硬结合的方法来实现各种算法。数字信号处理的实现一般有以下几种方法。

### (1) 软件实现

软件实现的方法就是用户通过自己编写程序(如 Fortran、C 语言)在通用计算机(PC)上实现数字信号处理。此方法易调试、费用低,但速度慢,不适合实时数字信号处理,一般用于教学和仿真研究。

### (2) 专用加速处理机实现

在通用计算机系统中加入专用的加速处理机实现,用以增强运算能力和提高运算速度,但由于其专用性强,不适合嵌入式应用,使其应用受到限制。

### (3) 单片机实现

单片机的接口性能良好,运算速度也不断提高,但由于单片机采用冯·诺依曼结构,处理乘法累加运算的速度慢,只能用于不太复杂的数字信号处理,不适合于以乘法-累加运算为主的密集型 DSP 算法。

### (4) 通用 DSP 芯片实现

用通用的可编程 DSP 芯片实现,具有可编程性和强大的处理能力,可完成复杂的数字信号处理的算法,在实时 DSP 领域中处于主导地位。

### (5) 专用 DSP 芯片实现

可用在要求信号处理速度极快的特殊场合,相应的信号处理算法由内部硬件电路实现。用户无须编程,但专用性强,应用受到限制。

## 1.2 DSP 芯片

DSP 芯片是一种具有特殊结构的微处理器。DSP 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,广泛采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速实现各种数字信号处理算法。

### 1.2.1

#### DSP 芯片的特点

DSP 芯片的主要特点包括哈佛结构、多总线结构、流水线操作、多处理单元、高运算精

度、快速的指令周期、特殊的 DSP 指令以及专用的硬件单元等。这些特点使得 DSP 芯片可以实现快速的 DSP 运算,并使大部分运算(如乘法)能够在一个指令周期内完成。

### 1. 采用哈佛结构

DSP 芯片普遍采用数据总线 and 程序总线分离的哈佛结构或改进的哈佛结构,比传统处理器的冯·诺依曼结构有更快的指令执行速度。各种结构如图 1.1 所示。

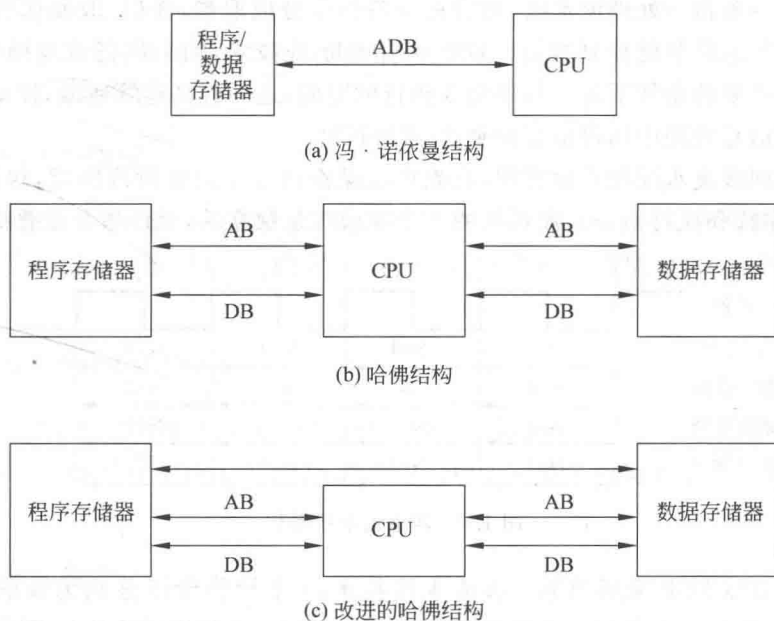


图 1.1 冯·诺依曼结构与哈佛结构

冯·诺依曼(Von Neumann)结构的特点是单存储空间和单一的地址和数据总线,即程序指令和数据共用一个存储空间,取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行的。

哈佛(Harvard)结构采用程序存储器和数据存储器分开的双存储空间,有各自独立的程序总线 and 数据总线,这大大地提高了数据处理能力和指令的执行速度,非常适合于实时的数字信号处理。

改进型的哈佛结构采用双存储空间和数条总线,即一条程序总线 and 多条数据总线,且允许程序空间和数据空间的数据传送,大大提高了指令的执行速度,其特点如下。

(1) 允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据,使这些数据可以由算术运算指令直接调用,增强芯片的灵活性。

(2) 提供了存储指令的高速缓冲器(cache)和相应的指令,当重复执行这些指令时,只需读入一次就可连续使用,不需要再次从程序存储器读出,从而减少了指令执行所需要的时间。例如 TMS320C6200 系列的 DSP,整个片内的程序存储器都可以配制成高速缓冲结构。

### 2. 采用多总线结构

许多 DSP 芯片都采用多总线结构,可以同时进行取指令 and 多个数据存取操作,并由辅

助寄存器自动增减地址进行寻址,使 CPU 在一个机器周期内可多次对程序空间和数据空间进行访问,大大地提高了 DSP 的运行速度。

### 3. 采用流水线技术

流水线(pipeline)技术是指在程序执行时多条指令重叠进行操作的一种准并行处理实现技术。流水线的工作方式就像工业生产上的装配流水线。在 DSP 中由多个不同功能的电路单元组成一条指令处理流水线,然后将一条指令分成取指、译码、取操作数和执行几个阶段后再由这些电路单元分别执行。DSP 采用流水线技术,加上执行重复操作,就能保证在不提高时钟频率的条件下减少每条指令执行的时间,进而提高运算速度,保证在单指令周期内完成数字信号处理中用得最多的乘法-累加运算。

图 1.2 为四级流水线操作示意图,其流水线操作由 4 个操作阶段组成,包括取指令、指令译码、取操作数和执行指令。流水线的 4 个段彼此是独立的,允许指令重叠执行。

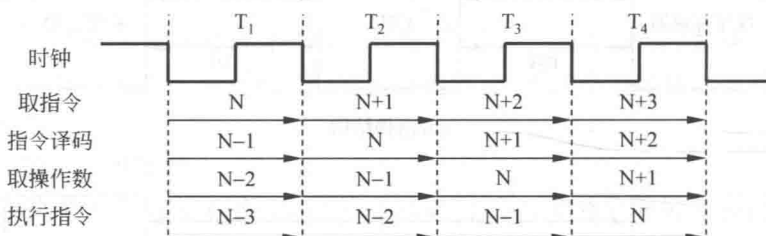


图 1.2 四级流水线操作

TMS320C54x DSP 采用的是六级流水线技术,6 个操作阶段分别为预取指、取值、译码、访问、读数、执行。在任何一个机器周期内,可以有 1~6 条不同的指令在同时工作,每条指令可在不同的周期内工作在不同的操作阶段。每个流水线操作阶段各占用一个机器周期。各操作阶段的功能如下。

- (1) 预取指: 将下一条指令的地址放在程序地址总线上。
- (2) 取值: 从程序总线上取指令字,并将该指令字放入指令寄存器中。
- (3) 译码: 将指令寄存器中的内容译码,确定要访问存储器的类型以及数据地址产生单元(DAGEN)和 CPU 的控制时序。
- (4) 访问: 数据地址产生单元(DAGEN)在数据地址总线输出要读的操作数的地址。如果还有第二个操作数,则在另一个数据地址总线 CAB 上输出相应的地址,同时更新间接寻址模式下的辅助寄存器和堆栈指针。
- (5) 读数: 从数据总线 DB 和 CB 上读取操作数,完成操作数的读取。同时,操作数的写入开始。如果需要写数据,则写数据的地址放在数据写地址总线上。对存储器映射寄存器而言,数据是从存储器中读取,写数据时通过 DB 写入选择的存储器映射寄存器。
- (6) 执行: 在这个阶段完成指令执行,并将数据放在数据写总线上完成操作数的写入。

TMS320C54x 的流水线允许多条指令同时访问 CPU 资源,提高了指令的执行效率,但由于 CPU 资源有限,当几个流水线阶段同时占用某个 CPU 资源时,就可能会发生流水线冲突。有些流水线冲突可以由 CPU 自动插入空周期来解决,有些则需要由程序员来解决。

#### 4. 多处理器单元

为了满足多处理器系统的设计,许多 DSP 芯片都采用支持多处理器的结构。例如 TMS320C40 提供了 6 个用于处理器间高速通信的 32 位专用通信接口,使处理器之间可直接对通,应用灵活、使用方便。

#### 5. 运算精度高

DSP 的字长决定运算精度,目前 DSP 字长主要有 8 位、16 位和 32 位,有些浮点 DSP 还可以提供更大的动态范围。

#### 6. 快速的指令周期

由于采用哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的指令以及集成电路的优化设计,使指令周期可在 20ns 以下。例如 TMS320C54x 的运算速度为 100MIPS,即 100 百万条/秒。

#### 7. 具有特殊的 DSP 指令

为了满足数字信号处理的需要,在 DSP 的指令系统中设计了一些完成特殊功能的指令,如 TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令专门用于完成系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

#### 8. 硬件配置高

新一代的 DSP 芯片具有较强的接口功能,除了具有串行口、定时器、主机接口(HPI)、DMA 控制器、软件可编程等待状态发生器等片内外设外,还配有中断处理器、PLL、片内存储器、测试接口等单元电路,可以方便地构成一个嵌入式自封闭控制的处理系统。

### 1.2.2

#### DSP 芯片的分类

为了适应数字信号处理的各种各样的实际应用,DSP 厂商生产出多种类型和档次的 DSP 芯片。在众多的 DSP 芯片中,可以按照以下两种方式进行分类。

##### 1. 按用途分类

按照用途,可将 DSP 芯片分为通用型和专用型两大类。

通用型 DSP 芯片一般是指可以用指令编程的 DSP 芯片,适合于普通的 DSP 应用,具有可编程性和强大的处理能力,可完成复杂的数字信号处理的算法。

专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的,通常只针对某一种应用,相应的算法由内部硬件电路实现,适合于数字滤波、FFT、卷积和相关算法等特殊的运算,主要用于要求信号处理速度极快的特殊场合。

## 2. 按数据格式分类

根据芯片工作的数据格式,按其精度或动态范围,可将通用 DSP 划分为定点 DSP 和浮点 DSP 两类。

若数据以定点格式工作,则为定点 DSP 芯片;若数据以浮点格式工作,则为浮点 DSP 芯片。不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式有所不同,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 DSP 芯片价格低廉,但是存在运算精度低、动态范围小等不足;而浮点 DSP 运算精度高,但是功耗和价格也随之上升。

### 1.2.3

#### 常用的 DSP 芯片

目前的 DSP 芯片有三百多种,其中定点 DSP 芯片就有两百多种。在生产通用 DSP 的厂家中,最有代表性的公司有美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司、美国模拟器件(Analog Devices, ADI)公司和 Motorola 公司等。

#### 1. TI 公司芯片

TI 公司是目前占领市场份额最大、最知名的 DSP 芯片生产厂商, TI 公司生产的 TMS320 系列 DSP 芯片广泛应用于各个领域。

该公司于 1982 年成功推出其第一代定点 DSP 芯片 TMS32010,这是 DSP 应用历史上的一个里程碑,从此, DSP 芯片开始得到真正的广泛应用,公司相继推出定点、浮点和多处理器三类运算特性不同的 DSP 芯片。其中,定点运算单处理器的 DSP 有 7 个系列,浮点运算单处理器的 DSP 有三个系列,多处理器的 DSP 有一个系列。它们主要按照 DSP 的处理速度、运算精度和并行处理能力进行分类,每一类产品的结构相同,只是片内存储器和片内外配置不同。由于 TMS320 系列 DSP 芯片具有价格低廉、简单易用、功能强大等特点,所以逐渐成为目前最有影响、最为成功的 DSP 系列处理器。

TI 公司的 DSP 芯片已经经历了 TMS320C1x、TMS320C2x/C2xx、TMS320C3x、TMS320C4x、TMS320C5x、TMS320C54x 和 TMS320C6x 等几代产品。目前, TI 公司在市场上主要有三大系列产品:

##### (1) C2000 系列

该系列用于数字控制、运动控制系统,主要包括 TMS320C24x/F24x、TMS320LC240x/LF240x、TMS320C24xA/LF240xA、TMS320C28xx 等。

其中 C24x 系列 DSP 面向控制应用场合进行了优化; LF24xx 系列比 C24x 系列价格更便宜、性能更好; C28xx 系列 DSP 主要用于数字电机控制、数字电源等大存储设备和高性能场合。

##### (2) C5000 系列

该系列用于低功耗的手持设备和无线终端,主要包括 TMS320C54x、TMS320C54xx、TMS320C55x 等。

其中 C54x 系列 DSP 具有功耗低、高速并行等优点,可以满足电信等领域的实时信号处理; C55x 系列 DSP 是 TI 公司新推出的定点 DSP 芯片,它比 C54x 系列性能有了很大提高,

适用于便携式超低功率场合。

### (3) C6000 系列

该系列用于高性能、多功能、复杂的通信系统,主要包括 TMS320C62xx、TMS320C67xx 等。

其中 C62xx 系列为定点 DSP,芯片内部集成了多个功能单元,运行速度快、指令周期短、运算能力得到很大提高,主要用于无线基站、GPS 导航等运算量大的场合;C67xx 系列为浮点 DSP,主要用于电信基础设施等复杂的通信系统。

## 2. ADI 公司芯片

美国 ADI 公司生产的 DSP 芯片在市场上占有一定的份额,其芯片具有一定的特点,如系统时钟一般不经分频直接使用、可从 8 位 EPROM 引导程序等,主要生产的芯片有 ADSP21xx 系列、ADSP21020 系列、ADSP2106x 系列和 ADSP21160 系列超高性能 DSP 芯片等。其中定点 DSP 芯片有 ADSP2101/2103/2105、ADSP2111/2115、ADSP2126/2162/2164、ADSP2127/2181、ADSP-BF532 以及 Blackfin 系列;浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020、ADSP21060/21062,以及虎鲨 TS101、TS201S 等。

## 3. Motorola 公司芯片

Motorola 公司推出的 DSP 芯片比较晚。1986 年该公司推出了定点 DSP 处理器 MC56001;1990 年,又推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。目前 Motorola 公司的 DSP 芯片主要有定点、浮点和专用三种,其中定点 DSP 主要是 DSP56000 系列,浮点 DSP 主要是 DSP96000 系列。还有 DSP53611、16 位的 DSP56800、24 位的 DSP563xx 和 MSC8101 等产品。

除此之外,NEC 公司、Lucent 公司和 Intel 公司也有自己的 DSP 产品。

### 1.2.4

#### DSP 芯片的选择

在进行 DSP 系统设计时,选择合适的 DSP 芯片是一个非常重要的环节,通常依据系统的运算速度、运算精度和存储器的需求等来选择 DSP 芯片。

一般来说,选择 DSP 芯片时应考虑如下一些因素。

#### 1. DSP 芯片的运算速度

运算速度是 DSP 芯片的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主要因素。DSP 芯片的运算速度主要用以下几种性能指标来衡量。

(1) 指令周期:即执行一条指令所需的时间,通常以 ns 为单位,例如 TMS320LC549-80 在主频为 80MHz 时的指令周期为 12.5ns。

(2) MAC 时间:即一次乘法加上一次加法的时间。大部分 DSP 芯片可在一个指令周期内完成一次乘法和加法操作,例如 TMS320LC549-80 的 MAC 时间是 12.5ns。

(3) FFT 执行时间:即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 运算涉及的运算在数字信号处理中很有代表性,因此 FFT 运算时间常作为衡量 DSP 芯片运算能力的一