

高等学校培养应用型人才教材——计算机系列



# DSP 应用技术教程

颜友钧 朱宇光 主编



中国电力出版社

[www.infopower.com.cn](http://www.infopower.com.cn)

高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

# DSP 应用技术教程

颜友钧 朱宇光 主编  
庄晓峰 陈旌望 参编

中国电力出版社

## 内 容 提 要

本书主要介绍了 DSP 的基础知识、基本结构和主要特征; DSP 实现快速傅里叶变换及滤波器的方法; DSP 的 CPU 结构和寻址方式及指令系统; DSP 的编程方法、文件格式、编程开发工具和调试工具; 还讲解了 DSP 的接口电路等; 最后重点介绍 DSP 芯片 TMS320F240 中的一个重要模块—事件管理器及其控制的电机调速控制系统。

本书内容丰富、结构严谨, 适合作为各类院校工科专业的教材或教学参考书, 也可作为 DSP 开发工程师的参考手册。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 应用技术教程/颜友钧、朱宇光 主编. —北京: 中国电力出版社, 2002.6

高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

ISBN 7-5083-1057-8

I. 计… II. ①颜…②朱… III. 数字信号—信号处理—程序设计 IV. TP911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 032904 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京市地矿印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2002 年 8 月第一版 2002 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 407 千字

定价 25.00 元

版 权 所 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

## 编 委 会

主任委员:

宗 健 常明华

副主任委员:

顾元刚 陈 雁 杨翠南 林全新 华容茂 曹泰斌  
魏国英 邵晓根 庄燕滨 邓 凯 吴国经 常晋义  
许秀林 谢志荣 张家超 陶 洪 龚兰芳 刘广峰  
丁 雁 方 岩 王一曙

委 员: (以姓氏笔画为序)

丁志云 及秀琴 石振国 李 翊 吕 勇 朱宇光  
任中林 刘红玲 刘 江 刘胤杰 许卫林 杨劲松  
杨家树 杨伟国 郑成增 张春龙 闵 敏 易顺明  
周维武 周 巍 胡顺增 袁太生 高佳琴 唐学忠  
徐煜明 曹中心 曾 海 颜友钧

# 序 言

进入 21 世纪,世界高等教育已从精英教育走向了大众教育。我国也适应这一潮流,将高等教育逐步推向大众化。培养应用型人才已成为国家培养国际人才的重要组成部分,且得到了社会各界的广泛支持。于是一大批有规模、有实力、规范化、以培养应用型人才为己任的高等学校得到了长足发展。这类高校办学的一个显著的特点是按照新时代需求和当地的需要来培养学生,他们重视产学研相结合,并紧密地结合当地经济状况,把为当地培养应用型人才作为学校办学的主攻方向。

这类学校的教学特点是:在教授“理论与技术”时,更注重技术方法的教学。在教授“理论与实践”时,更注重理论指导下的可操作性,更注意实际问题的解决。因此,这些学生善于解决生产中的实际问题,受到地方企事业单位的普遍欢迎。

为满足这类高校的教学要求,达到培养应用型人才的目的,根据教育部有关重点建设项目的要求和相关教学大纲,我们组织了多年在这类高校中从教,并具有丰富工程经验的资深教授、高级工程师、教师来编写这套教材。

在这套教材的编写中,我们提倡“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精练、可操作”的编写风格,以解决多年来在教材中存在的过深、过高且偏离实际的问题。

实用——本套教材重点讲述本行业中最广泛应用的知识、方法和技能。使学生学习后能胜任岗位工作,切实符合当地经济建设的需要和社会需要。

适用——本套教材是以工程技术为主的教材,所以它适用于培养应用型人才的所有高校(包括本科、专科、技术学院、高职等),既符合此类学生的培养目标,又便于教师因材施教。

先进——本套教材所选的内容是当今的新技术、新方法。使学生在掌握经典的技术和方法之后,可用教材中的新技术、新方法去解决工程中的技术难题,为学生毕业后直接进入生产第一线打下坚实的基础。

通俗——本套教材语言流畅、深入浅出、容易读懂。尽量避开艰深的理论和长篇的数学推导,尽量以实例来说明问题,在应用实例中掌握理论,使学生轻松掌握所学知识技能,达到事半功倍的效果。

精练——本套教材选材精练。详细而不冗长,简略得当,对泛泛而谈的内容将一带而过,对学生必须掌握的新技术、新方法详细讲,讲透、讲到位,为教师创造良好的教学空间和结合当地情况调整教学内容的余地。

可操作——本套教材所有的实例均是容易操作的,且是有实际意义的案例。把这些案例连接起来,就是一个应用工程的实例。通过举一反三的应用,使学生能够在更高层次上创造性地应用教材中的新思想、新技术、新方法去解决问题。

本套教材面向培养应用型人才的高等学校,同时亦可作为社会培训高级技术人才的教材和需要加深某些方面知识技能的人员的自学教材。

编委会

# 前 言

DSP (Digital Signal Processor, 数字信号处理器) 是一种集微电子技术、数字信号处理技术、计算机技术等学科综合研究成果的新型微处理器。自 20 世纪 70 年代末 DSP 芯片问世以来, 作为高性能的运算部件被广泛应用于数字通信、语言识别、图像处理、自动化仪器仪表等领域。特别是近年来随着大规模集成电路技术的飞速发展, DSP 技术和微处理器技术紧密结合, 使新一代的 DSP 芯片或具有 DSP 内核的微处理器芯片被赋予了更强大的生命力, 成为高档智能化设备中不可缺少的关键部件。

本书介绍的 TMS320C24X/F24X 是美国德州仪器 (TI) 公司专为数字电机控制 (DMC) 推出的一种低价格、高性能的 16 位定点运算 DSP, 它不仅拥有通用 DSP 的高速运算处理能力, 而且内置强大的功能模块电路, 是集运算、检测和控制于一身的多功能芯片。书中以 TMS320F240 为例着重介绍了处理器的性能特点、总线结构、CPU 构成、内部外设指令系统、编程/调试方法及在滤波器、电机控制方面的应用。全书结构严谨, 内容全面, 并配有大量的编程应用实例, 可作为高等及中等职业技术学院电子类教材, 也可作为 DSP 开发工程师的参考手册。

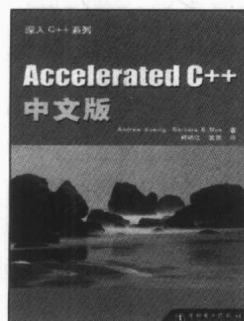
全书共分 9 章, 第 1、2 章介绍了 DSP 的基本知识、基本结构和主要特征。第 3 章介绍了 DSP 实现快速傅里叶变换及滤波器的方法。第 4、5 章详细介绍了 DSP 的 CPU 结构和寻址方法及指令系统。第 6、7 章介绍了 DSP 的编程方法、文件格式、编程开发工具和调试工具。第 8 章介绍了 DSP 的接口电路, 包括通用 I/O 口、数学 I/O 口、串行通信口、串行外设口及数模转换模块等。第 9 章重点介绍了事件管理器模块, 包括通用定时器模块、简单比较器模块、全比较器模块、空间向量、正交编码电路及电机调速应用电路等。

本书第 1、4 章由常州汉科电子公司陈旌望编写, 第 2、3、5 章由常州工学院朱宇光编写, 第 6、7 章由江苏常柴集团庄晓峰编写, 第 8、9 章由苏州职业大学颜友钧编写, 颜友钧、朱宇光参加了全书的整理和校对工作。

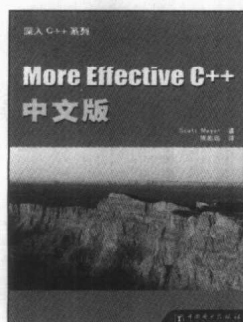
由于作者水平及时间所限, 书中错漏和不妥之处在所难免, 恳请读者批评、指正。

C++ 之父 Bjarne Stroustrup 主编

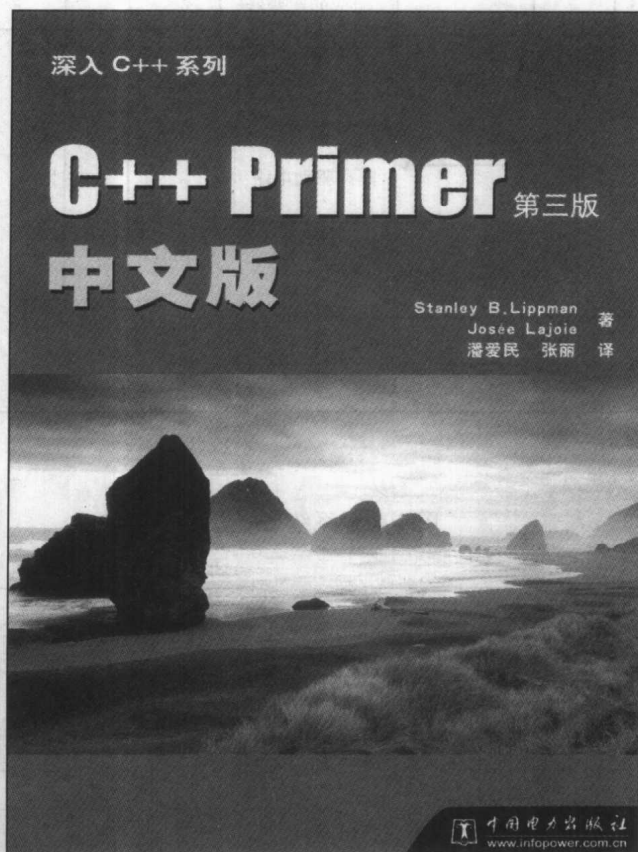
## 深入 C++ 系列



- \* C++ 最佳入门书籍
- \* 快速掌握 C++ 的全新方法
- \* 单刀直入 C++ 核心部分



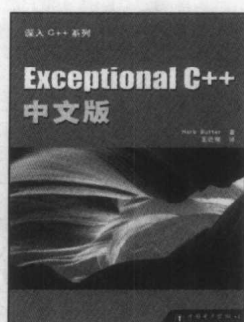
- \* 影响深远的经典著作
- \* 35 条专家经验
- \* 条条精彩



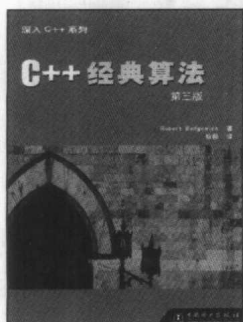
- \* C++ 最佳教程
- \* C++ 最佳参考书
- \* 名著名译
- \* 相得益彰



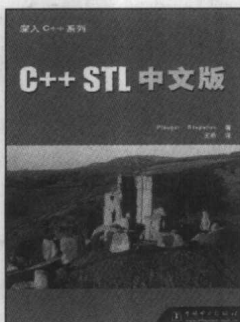
- \* comp.lang.c++.精华荟萃
- \* C++ 程序员进阶必备



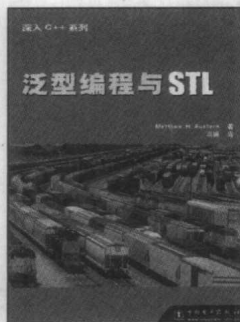
- \* 著名网络专栏 Guru of the Week 的精华荟萃
- \* 47 条专家经验
- \* 条条精彩



- \* 斯坦福大学教授的呕心之作
- \* 与《Art of Computer Programming》齐名的算法巨著



- \* STL 之父权威之作



- \* 最具权威性的 STL 书籍
- \* 侯捷评语：“另辟蹊径”

经典著作  
不容错过

循序渐进  
可收宏效

# 目 录

序 言

前 言

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第 1 章 DSP 的基础知识              | 1   |
| 1.1 概述                       | 1   |
| 1.2 DSP 器件及其应用               | 2   |
| 1.3 DSP 芯片的分类                | 2   |
| 第 2 章 DSP 的基本结构及主要特征         | 4   |
| 2.1 DSP 的基本结构                | 4   |
| 2.2 TMS320C2000 家族           | 5   |
| 2.3 TMS320C5000 家族           | 6   |
| 2.4 TMS320C6000 家族           | 6   |
| 第 3 章 用 DSP 实现数字滤波及傅里叶变换     | 8   |
| 3.1 数字滤波器的 DSP 实现            | 8   |
| 3.2 FFT 的 DSP 实现             | 20  |
| 第 4 章 TMS320F24X—CPU 结构及寻址方式 | 34  |
| 4.1 中央处理器                    | 34  |
| 4.2 存储器与 I/O 空间              | 39  |
| 4.3 系统功能                     | 49  |
| 4.4 寻址方式                     | 59  |
| 4.5 系统复位                     | 65  |
| 第 5 章 汇编语言指令                 | 68  |
| 5.1 数据传送指令                   | 68  |
| 5.2 算术运算指令                   | 89  |
| 5.3 逻辑运算指令                   | 104 |
| 5.4 分支转移指令                   | 111 |
| 第 6 章 公共目标文件格式 (COFF) 和编程方法  | 121 |
| 6.1 COFF 目标文件格式              | 121 |
| 6.2 COFF 格式编程举例              | 126 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| <b>第 7 章 DSP 开发工具及应用</b>   | 128 |
| 7.1 代码生成工具                 | 128 |
| 7.2 代码调试工具                 | 139 |
| <b>第 8 章 片内外设与接口电路</b>     | 150 |
| 8.1 外部存储器接口                | 150 |
| 8.2 数字 I/O 端口              | 154 |
| 8.3 串行通讯接口 (SCI) 模块        | 156 |
| 8.4 串行外设接口 (SPI) 模块        | 176 |
| 8.5 模数转换                   | 205 |
| <b>第 9 章 事件管理器与电机调速</b>    | 212 |
| 9.1 事件管理器 (EV) 模块概述        | 212 |
| 9.2 通用 (GP) 定时器            | 217 |
| 9.3 比较单元                   | 236 |
| 9.4 与全比较单元相对应的 PWM 电路      | 243 |
| 9.5 用比较单元和 PWM 电路产生 PWM 波形 | 249 |
| 9.6 空间向量 PWM               | 252 |
| 9.7 捕获单元                   | 256 |
| 9.8 正交编码器脉冲 (QEP) 电路       | 264 |
| 9.9 事件管理器 (EV) 中断          | 268 |
| 9.10 TMS320F240 在调速系统中应用   | 275 |

# 第 1 章 DSP 的基础知识

## 1.1 概 述

数字信号处理 (Digital Signal Processing, 简称 DSP) 是一门涉及并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、大规模集成电路 (LSI) 和超大规模集成电路 (VLSI) 以及微处理器技术的迅猛发展, 数字信号处理无论是在理论上, 还是在工程应用中, 都是发展最快的学科之一。

图 1-1 所示为一个典型 DSP 系统。此系统将模拟信号变换为数字信号, 经数字信号处理后, 再变换成模拟信号输出。其中抗混叠滤波器将输入信号  $X(t)$  中高于折叠频率 (其值等于采样频率的一半) 的分量滤除, 以防止信号频谱的混叠。然后, 信号经采样和 A/D 变换器转换成数字信号  $X(n)$ 。数字信号处理器对此信号进行处理, 得到输出数字信号  $Y(n)$ , 经 D/A 变换器成为模拟信号。此信号经低通滤波器滤去不必要的高频分量, 最后输出平滑的模拟信号  $Y(t)$ 。

实际的数字信号处理系统, 并不一定要包括图 1-1 所示的所有方框。可能有的系统只需输出数字信号, 就不需要 D/A 变换器; 有的系统输入已经是数字信号, 也就不需要采样/保持器和 A/D 变换器; 对于纯数字系统, 则只需要数字信号处理器这一核心部分就可以了。

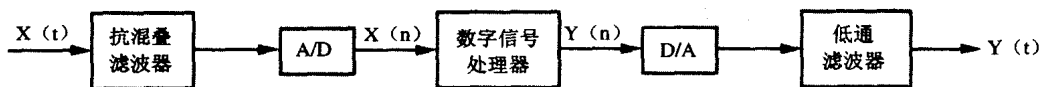


图 1-1 一个典型的 DSP 系统

以众多学科为理论基础的数字信号处理技术, 已广泛应用于数字通信、雷达、遥感、声纳、语言合成、图像处理、测量与控制、高清晰度电视、数字音响、多媒体技术、地球物理学、生物医学工程、振动工程以及机器人等各个领域, 并且日趋完善和成熟。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

- (1) 软件实现法。
- (2) 硬件实现法。
- (3) 软硬件结合实现法。

数字信号处理技术有四个方面的优点:

- (1) 精度高。
- (2) 灵活性大。
- (3) 可靠性高。
- (4) 时分复用。

本书主要讨论数字信号处理的软硬件实现法,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。

## 1.2 DSP 器件及其应用

### 1.2.1 专用 DSP 器件及其特点

专用 DSP 器件是将 DSP 处理的算法集成到 DSP 芯片内部,一般适用于某些专用的场合。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。

### 1.2.2 通用 DSP 器件及其特点

通用型 DSP 器件是一种可编程的 DSP 芯片,适用各种 DSP 应用场合,如 TI 公司的系列 DSP 芯片属于通用型 DSP 芯片。

本书主要讨论通用型 DSP 芯片。

## 1.3 DSP 芯片的分类

### 1.3.1 DSP 芯片的分类

DSP 芯片可按以下三种方式分类:

#### 1. 按基础特性分

根据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型分类,即在某时钟频率范围内的任何时钟频率上,DSP 芯片均能正常工作,除计算速度的变化外,性能上没有下降。这类芯片一般称为静态 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C2XX 系列芯片就属于这一类。

如果有两种或两种以上的 DSP 芯片,则它们的指令集和相应的管脚结构相互兼容,这类 DSP 芯片称为一致性 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C54X。

#### 2. 按数据格式分

根据 DSP 芯片工作的数据格式分类,即数据以定点格式工作的 DSP 芯片称作定点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C1X/C2X、TMS320C2XX/C5X、TMS320C54X/C62XX 等系列。以浮点格式工作的称为浮点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C3X/C4X/C5X 等。

不同浮点 DSP 芯片采用的浮点格式不一定完全一样,有的 DSP 芯片采用 IEEE 的标准浮点格式,如 Motorola 公司的 MC96002 等,而有的 DSP 芯片则为自定义的浮点格式,如 TI 公司的 TMS320C3X 等。

### 3. 按用途分

DSP 芯片可有多种用途, 一般分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用。专用型 DSP 芯片为特定的 DSP 运算而设计, 适合特殊的运算, 如卷积、数字滤波以及 FFT 等。

#### 1.3.2 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需求。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) 信号处理——如数字滤波、自适应滤波、快速傅里叶变换、相关运算、谱分析、卷积、模式匹配、加密、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;

(4) 图形/图像——如二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉等;

(5) 军事——如保密通信、雷达处理、声纳处理、导航、导弹制导等;

(6) 仪器仪表——如频谱控制、函数发生、锁相环、地震处理等;

(7) 自动控制——如引擎控制、声控、自动驾驶、机器人控制、磁盘控制等;

(8) 医疗——如助听、超声设备、诊断工具、病人监护等;

(9) 家用电器——如高保真音响、音乐合成、音调控制、玩具与游戏、数字电话/电视等。

随着 DSP 芯片性能价格比的不断提高, 可以预见 DSP 将会在更多的领域内得到更为广泛的应用。

## 第 2 章 DSP 的基本结构及主要特征

DSP 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 的总线结构一般都采用程序和数据分开形式, 并具有流水线操作功能、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。

### 2.1 DSP 的基本结构

为了快速实现数字信号处理运算, DSP 一般都采用特殊的软硬件结构。以 TMS320 系列 DSP 为例, 其基本结构包括: 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 高速的指令运行周期。

这些基本结构保证了 TMS320 系列 DSP 能进行高速的运算, 并使大部分运算能在一个指令周期内完成。

#### 2.1.1 程序和数据分开的哈佛结构

哈佛结构的主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中, 每个存储器独立编址, 独立访问, 并在系统中相应设置了程序总线、数据总线两条总线。传统的冯诺曼结构则是将指令、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。取指和取数据都访问同一存储器, 数据吞吐率低。

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。另外, 改进的哈佛结构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; 指令存储器在高速缓冲器 (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。

#### 2.1.2 流水线操作

由于 DSP 芯片采用了多组总线的结构, 这将允许 CPU 同时进行程序指令和存储数据的访问, 因而在其内部可以实现多级逻辑流水线操作。比如 TMS320C24X 可以实现四级流水线操作, 即在某一时刻, 第 1 条流水线上在做取指令操作时, 第 2 条流水线可同时进行上一条指令的指令译码的操作, 第 3 条流水线可同时进行再上一条指令的取操作数的操作, 第 4 条流水线可同时进行再上上一条指令的执行指令的操作, 如图 2-1 所示。



图 2-1 4 级逻辑流水线

### 2.1.3 专门的硬件乘法器

在一般形式的有限冲激响应 (FIR) 滤波器中, 乘法是重要组成部分。对每个滤波器抽头, 必须做一次乘法和加法。乘法速度越快, 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。而 DSP 芯片的一个特征就是有一个专用的硬件乘法器。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。

### 2.1.4 特殊的处理器指令

DSP 芯片的一个重要特性是采用特殊的指令。比如 DMOV 指令, 它把指令的数据存储器内容复制到该地址加 1 的地址中, 原单元的内容保持不变, 即完成数据移位功能。在数字信号处理中, 延迟操作非常重要, 在 DSP 中延迟即由类似于 DMOV 这样的指令来实现的。

TMS320C24X 有另一个特殊指令 LTD, 它能在一个指令周期内完成 LT、DMOV 和 APAC 三条指令的内容, 这样就大大简化了程序指令。

### 2.1.5 高速的指令运行周期

采用哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器及特殊的 DSP 指令, 加上集成电路的优化设计, 可使 DSP 芯片的指令周期处于 200ns 以下。而当前 DSP 芯片的指令周期可至 20ns 以下。高速的指令周期使得 DSP 芯片能够实时实现许多数字信号处理的应用。

## 2.2 TMS320C2000 家族

TMS320C2000 DSP 控制器家族通过独一无二的技术, 将闪存、高速 A/D 转换器、增强的 CAN (Controller Area NetWork, 控制器局域网) 总线模块等片内外设备 (片内外设) 集成在一起, 具有功能强、成本低的特点。TMS320C2000 定点 DSP 主要包括 TMS320C24X 及 TMS320C28X 两类产品。

### 2.2.1 TMS320C24X

TMS320C24X 系列为 16 位定点 DSP, 执行速度为 20 ~ 40MIPS (Instructions Per Second,

每秒指令数), 片内具有 SCI、SPI、CAN、A/D、事件管理器、看门狗定时器、片内闪存等片内外设。

### 2.2.2 TMS320C28X

TMS320C28X 系列为 32 位定点 DSP, 执行速度可达 400MIPS, 片内具有 SCI、SPI、CAN、12 位 A/D、MCBSP、看门狗定时器、片内闪存等片内外设。

## 2.3 TMS320C5000 家族

TMS320C5000 DSP 家族提供了融合高性能、多种片内外设选择、小封装及最省电的特点, 适用于因特网及无线通信市场。电源可低至 0.9V 及 0.05mW/MIPS, 运行速度可达 600MIPS, 因此, 非常适合用于如数字音乐唱机、3G 蜂鸣电话及数字相机等袖珍式产品。

### 2.3.1 TMS320C54X 系列

TMS320C54X 系列 DSP 为定点 16 位 DSP, 功耗为 0.32mW/MIPS, 运行速度为 30~532MIPS, 具有 1 个函数单元、1 个乘法器及 2 个算术逻辑运算单元, 程序字宽度为 16 位。

### 2.3.2 TMS320C55X 系列

TMS320C55X 系列 DSP 为 8~48 位浮点 DSP, 功耗为 0.05mW/MIPS, 运行速度为 288~600MIPS, 具有指令长度的结构, 具有 2 个函数单元、2 个乘法器及 4 个算术逻辑运算单元, 程序字宽度为 32 位。

## 2.4 TMS320C6000 家族

TMS320C6000 DSP 家族为高性能的 DSP 芯片。包括 TMS320C62X 定点 DSP 系列、TMS320C64X 定点 DSP 系列及 TMS320C67X 浮点 DSP 系列。

### 2.4.1 TMS320C62X

TMS320C62X 系列 DSP 工作频率为 150~300MHz, 运行速度为 1200~2400MIPS, 内部同时集成了 2 个乘法器及 6 个算术逻辑运算单元, 采用超长指令字 (VLIW) 结构, 具有大容量的片内存储器和大范围的寻址能力, 并具有 4 个 DMA 接口、2 个多通道缓存串口、2 个 32 位计时器等智能片内外设。

### 2.4.2 TMS320C64X

TMS320C64X 系列 DSP 具有特殊功能指令集, 工作频率为 400~600MHz, 运行速度为 3200~4800MIPS, 可达 1600~2400 的 16 位 MMAC, 3200~4800 的 8 位 MMAC。

### 2.4.3 TMS320C67X

TMS320C67X 系列 DSP 为高性能超高速浮点 DSP 芯片, 工作频率为 100~225MHz, 运行速度可达 600~1350MFLOPS, 具有 4 个浮点/定点算术逻辑运算单元、2 个定点算术逻辑运算单元、2 个浮点/定点乘法器。

## 第3章 用DSP实现数字滤波及傅里叶变换

### 3.1 数字滤波器的DSP实现

在数字信号处理中,滤波占有极其重要的地位。数字滤波是语言和图像处理、模式识别、谱分析等应用中的一个基本处理算法。与模拟滤波相比,数字滤波具有很多突出的优点,例如它可以满足滤波器对幅度和相位特性的严格要求,可以避免模拟滤波器所无法克服的电压漂移、温度漂移和噪声等问题。用DSP芯片实现数字滤波除了具有稳定性好、精确度高、不受环境影响等优点外,还具有灵活性好的特点。用可编程DSP芯片实现数字滤波可通过修改滤波器的参数十分方便地改变滤波器的特性。

下面将介绍两种最常用的数字滤波器——FIR(有限冲激响应)滤波器和IIR(无限冲激响应)滤波器的DSP实现方法。

#### 3.1.1 FIR滤波器的DSP实现

图3-1是横截型(又称卷积型或直接型)FIR滤波器的结构图。它的差分方程表达式为:

$$y(n) = \sum a_i x(n-i) \quad (3-1)$$

FIR滤波器的最主要的特点是没有反馈回路,因此它是无条件稳定系统。它的单位冲激响应 $h(n)$ 是一个有限长序列。如果 $h(n)$ 是实数,且满足偶对称或奇对称的条件,即 $h(n) = h(N-1-n)$ 或 $h(n) = -h(N-1-n)$ ,则滤波器具有线性相位特性。偶对称线性相位FIR滤波器( $N$ 为偶数)的差分方程表达式为:

$$y = \sum a_i [x(n-i) + x(n-N+1+i)] \quad (3-2)$$

线性相位FIR滤波器是用得最多的FIR滤波器。

由上可见,FIR滤波算法实际上是一种乘法累加运算。它不断地输入样本 $x(n)$ ,经延时( $Z^{-1}$ ),作乘法累加,再输出滤波结果 $y(n)$ 。

在数字滤波器中,FIR滤波器具有如下几个优点:

- (1) 可以在幅度特性随意设计的同时,保证精确、严格的线性相位;
- (2) 由于FIR滤波器的单位脉冲响应 $h(n)$ 是有限长序列,因此FIR滤波器没有不稳定的问题;
- (3) 由于FIR滤波器一般为非递归结构,因此在有限精度运算下,不会出现递归型结构中的极限震荡等不稳定现象,误差较小;
- (4) FIR滤波器可采用FFT算法实现,从而提高运算效率。