



# DSP

## 系统与实验教程

*DSP System  
With Experimental Tutorial*

◎ 何苏勤 主编    ◎ 韩 阳 张 杰 副主编



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

.. 013032858

TN911.72  
301

# DSP 系统与实验教程

何苏勤 主编  
韩阳 张杰 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



北航

C1640668

TN 911.72

301

82858810

## 内 容 简 介

DSP 芯片已成为现代信息处理技术应用的重要器件。本书以 TMS320F2812 为例介绍了 DSP 的基本特点、硬件结构、中断系统和指令系统；详细介绍了 CCS 开发环境和 C 语言在 DSP 芯片的编写特点和方法，以及芯片的外设接口模块。本书还介绍了 DSP 实验开发系统的电路设计，对 10 个应用实例进行详细分析，给出硬件设计电路图和 C 语言程序代码，并标有详细的程序说明，为读者快速应用 DSP 的知识进行应用开发和教学实验提供方便。

本书系统性强，实验项目丰富，具有较强的实用性。全书将 DSP 芯片原理、结构和系统设计、实验融为一体，既方便读者掌握 DSP 的基础知识，也有利于读者进行 DSP 系统的项目开发，可以作为高等学校电类各专业的本科生和研究生的教材，同时也可作为 DSP 开发应用人员的参考书。

本书免费提供 C 语言程序代码，读者可登录华信教育资源网 ([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)) 下载使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 系统与实验教程/何苏勤主编. —北京：电子工业出版社，2013.4

ISBN 978-7-121-19874-8

I. ①D… II. ①何… III. ①数字信号处理—微处理器—高等学校—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 052462 号

责任编辑：王春宁

印 刷：北京市李史山胶印厂

装 订：北京市李史山胶印厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：21 字数：534 千字

印 次：2013 年 4 月第 1 次印刷

定 价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltts@phei.com.cn](mailto:zltts@phei.com.cn)，盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线：(010) 88258888。

# 前 言

TI2000 系列 DSP 不仅具有高速数字信号处理功能,还具有实时性强、低功耗、高集成度等嵌入式微计算机的特点,因此在通信、航空航天、工业控制、医疗、国防、汽车等领域得到了很好的应用。

为了适应 DSP 技术的发展,满足教学和信息技术发展需求,让更多的本科生、研究生和工程技术人员能尽快学习并掌握 DSP 应用技术,促进我国 DSP 技术水平的不断提高,在广泛听取学生和同行意见的基础上,作者依据近几年为本科生和研究生开设“DSP 原理及应用”课程的积累,参考国内外最新的教材和文献资料,在《TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术》一书的基础上,撰写了本书。

TMS320C28x 系列芯片具有很好的性能价格比,以及所具有的低成本、低功耗、高性能和高外设集成度、高 A/D 转换速度,在工业控制系统中具有很好的应用前景。TMS320F2812 数字信号处理器是 TI 公司推出的 C2000 系列中性能优良且广泛应用的芯片之一,几乎覆盖了该系列 DSP 的所有特点。全书共分 10 章:首先介绍业界广泛使用的 DSP 的性能特点、采用的先进技术、性能指标、发展趋势和使用前景等,然后对 TMS320F2812 进行重点讲述,内容包括 F2812 的原理和结构、存储器配置、中断系统结构及 PIE 外设中断扩展的管理机制;对汇编语言指令系统进行简要介绍,重点介绍 CCS 开发环境和 C 语言在 DSP 芯片的编写特点和方法、F2812 的外设接口模块原理及应用方法,并在此基础上通过对大量应用实例的设计,深入浅出地给出实验指导以及难点分析、硬件设计电路图和程序源代码,源代码标有详细的程序说明。实验难度由浅入深,使读者能够结合实际应用尽快掌握 DSP 的原理和应用系统的设计方法。

书中所介绍的 TI-F2812-DSP 实验开发系统,作者 2004 年研制并连续使用了 8 年,期间对最小系统板(基于 TMS320LF2407 芯片)进行了升级和更换(基于 TMS320F2812 芯片)。实验系统采用核心处理板可插拔、整体结构模块化的设计,充分对 DSP 芯片可寻址存储器空间和外设模块进行了扩展,扩展的模块接口采用插孔引出方式,最小系统核心板和外围电路可分离;各模块之间独立工作且互不影响;开放的硬件接口以插孔形式提供给使用者,使其能够自行设计硬件电路,以组成各种应用系统。书中提供的程序代码均在此实验开发系统上调试通过。

本书对电类专业的大学生将是一本理论和实践教学为一体的完整的教材;对从事 DSP 应用设计的工程师将是一本从入门到软/硬件设计的参考书。

本书由何苏勤主编,并编写第 7、8、10 章;韩阳编写第 2、3、4、5、9 章,张杰编写第 1、6 章。陶英、詹明静、单惠喻、赵越、王小庆参加了书稿的录入、图表制作以及程序的调试工作,并参与了 DSP 实验开发系统的设计工作;霍玲军参加了书稿的录入和图表制作工作;薛建伟帮助收集了第 6 章的资料。本书得到北京化工大学和美国德州仪器公司大学计划项目的支持。在此一并向他们表示衷心的感谢。本书在编写的过程中参考了许多优秀的 DSP 技术书籍,在此向这些书籍的作者表示真诚的谢意。

本书免费提供 C 语言程序代码，读者可登录华信教育资源网（[www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)）下载使用。

由于 DSP 芯片发展迅速及编者水平和掌握的资料有限，书中不当和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2013 年 2 月

# 目 录

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                      | 1  |
| 1.1 DSP 的特点 .....                   | 1  |
| 1.2 DSP 芯片分类 .....                  | 2  |
| 1.2.1 按基础特性分类 .....                 | 2  |
| 1.2.2 按用途分类 .....                   | 2  |
| 1.2.3 按数据格式分类 .....                 | 2  |
| 1.3 DSP 的性能指标及选型 .....              | 3  |
| 1.3.1 DSP 的性能指标 .....               | 3  |
| 1.3.2 DSP 的选型 .....                 | 4  |
| 1.4 TI 及其他公司的 DSP .....             | 5  |
| 1.5 DSP 开发方案的设计与选择 .....            | 8  |
| 1.5.1 DSP 的功能需求分析 .....             | 8  |
| 1.5.2 算法的验证与模拟 .....                | 8  |
| 1.5.3 DSP 芯片及其开发工具的选择 .....         | 9  |
| 1.5.4 DSP 系统的软/硬件设计 .....           | 9  |
| 1.5.5 系统的软/硬件调试 .....               | 10 |
| 1.6 DSP 软件开发的流程 .....               | 10 |
| 1.7 DSP 的应用和前景 .....                | 10 |
| 第 2 章 TMS320F2812 内部结构 .....        | 13 |
| 2.1 TMS320F2812 中央处理单元 .....        | 14 |
| 2.1.1 TMS320F2812 CPU 内部结构 .....    | 14 |
| 2.1.2 TMS320F2812 CPU 内部寄存器 .....   | 15 |
| 2.1.3 TMS320F2812 总线结构 .....        | 21 |
| 2.2 TMS320F2812 的存储器配置 .....        | 23 |
| 2.2.1 TMS320F2812 存储器的类型及映射空间 ..... | 24 |
| 2.2.2 TMS320F2812 的片内存储器配置 .....    | 26 |
| 2.2.3 TMS320F2812 外部存储器扩展及其接口 ..... | 27 |
| 2.2.4 TMS320F2812 Flash 存储器 .....   | 28 |
| 2.3 TMS320F2812 的引导加载方式 .....       | 29 |
| 2.3.1 Boot ROM 基本原理 .....           | 29 |
| 2.3.2 引导加载程序 BootLoader 的工作原理 ..... | 30 |
| 2.4 TMS320F2812 的时钟及系统控制 .....      | 31 |
| 2.4.1 TMS320F2812 系统时钟寄存器组 .....    | 31 |

|              |                                     |           |
|--------------|-------------------------------------|-----------|
| 2.4.2        | TMS320F2812 晶体振荡器 OSC 与锁相环 PLL 时钟模块 | 35        |
| 2.4.3        | TMS320F2812 CPU 定时器                 | 37        |
| 2.4.4        | TMS320F2812 看门狗定时器模块及其应用            | 41        |
| 2.4.5        | TMS320F2812 的低功耗模式                  | 44        |
|              | 习题与思考题                              | 47        |
| <b>第 3 章</b> | <b>TMS320F2812 中断系统</b>             | <b>48</b> |
| 3.1          | TMS320F2812 中断的基本原理与结构              | 48        |
| 3.2          | PIE 中断扩展                            | 49        |
| 3.3          | 中断向量表                               | 51        |
| 3.3.1        | 中断向量的分配                             | 51        |
| 3.3.2        | 中断向量表的映射                            | 52        |
| 3.4          | 可屏蔽中断                               | 58        |
| 3.5          | 非屏蔽中断                               | 59        |
| 3.6          | 中断服务程序                              | 61        |
|              | 习题与思考题                              | 64        |
| <b>第 4 章</b> | <b>TMS320F2812 指令系统与汇编程序设计</b>      | <b>65</b> |
| 4.1          | 寻址方式                                | 65        |
| 4.1.1        | 寻址方式选择位 (AMODE)                     | 65        |
| 4.1.2        | 立即寻址方式                              | 66        |
| 4.1.3        | 寄存器寻址方式                             | 66        |
| 4.1.4        | 直接寻址方式                              | 67        |
| 4.1.5        | 间接寻址方式                              | 68        |
| 4.1.6        | 堆栈寻址方式                              | 70        |
| 4.1.7        | 其他寻址方式                              | 71        |
| 4.2          | 指令系统                                | 73        |
| 4.2.1        | 指令系统概述                              | 73        |
| 4.2.2        | TMS320F2812 指令系统                    | 73        |
| 4.2.3        | 指令系统列表                              | 73        |
| 4.2.4        | TMS320F2812 指令集中部分指令简介              | 74        |
| 4.3          | 汇编语言                                | 77        |
| 4.3.1        | 汇编语言格式                              | 77        |
| 4.3.2        | 伪指令                                 | 78        |
| 4.3.3        | 通用目标文件格式                            | 79        |
| 4.3.4        | 链接器与链接命令文件                          | 80        |
|              | 习题与思考题                              | 81        |
| <b>第 5 章</b> | <b>C 语言程序编写基础</b>                   | <b>83</b> |
| 5.1          | C 编译器概述                             | 83        |
| 5.1.1        | C 语言的主要特征                           | 83        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 5.1.2 C 编译器输出文件 .....             | 84         |
| 5.1.3 C 编译器接口 .....               | 84         |
| 5.1.4 C 编译器操作 .....               | 85         |
| 5.1.5 C 编译器工具 .....               | 86         |
| 5.2 C 语言编程基础 .....                | 86         |
| 5.2.1 C 语言数据类型 .....              | 86         |
| 5.2.2 C 语言关键词 .....               | 87         |
| 5.2.3 TMS320F2812 伪指令 .....       | 91         |
| 5.2.4 使用 C 语言编写 DSP 程序的注意事项 ..... | 92         |
| 5.2.5 C 语言开发中工程模板文件 .....         | 93         |
| 5.2.6 传统的#define 方法 .....         | 99         |
| 5.3 C 语言和汇编语言的混合编程方法 .....        | 101        |
| 5.3.1 混合编程概述 .....                | 101        |
| 5.3.2 C/C++ 语言与汇编混合编程 .....       | 103        |
| 5.4 C 程序举例 .....                  | 103        |
| 习题与思考题 .....                      | 104        |
| <b>第 6 章 DSP 系统开发环境 CCS</b> ..... | <b>105</b> |
| 6.1 CCS 的安装与配置 .....              | 105        |
| 6.1.1 CCS 3.3 系统的安装 .....         | 105        |
| 6.1.2 系统配置 .....                  | 106        |
| 6.2 初识 CCS .....                  | 107        |
| 6.2.1 CCS 的组成 .....               | 107        |
| 6.2.2 CCS 的集成开发环境功能说明 .....       | 114        |
| 6.2.3 CCS 的常用工具 .....             | 119        |
| 6.2.4 简单程序开发流程 .....              | 120        |
| 6.3 CCS 的 C 语言程序调试实例 .....        | 127        |
| 习题与思考题 .....                      | 129        |
| <b>第 7 章 通用输入/输出及事件管理模块</b> ..... | <b>130</b> |
| 7.1 通用输入/输出 (GPIO) 多路复用器 .....    | 130        |
| 7.1.1 GPIO 多路复用器工作原理 .....        | 130        |
| 7.1.2 GPIO 多路复用器的寄存器 .....        | 130        |
| 7.2 事件管理器 (EV) 模块 .....           | 134        |
| 7.2.1 通用定时器 (GPT) .....           | 136        |
| 7.2.2 全比较单元和脉宽调制电路 (PWM) .....    | 146        |
| 7.2.3 捕获单元 .....                  | 158        |
| 7.2.4 正交编码脉冲 (QEP) 电路 .....       | 162        |
| 7.2.5 事件管理器 (EV) 模块的中断 .....      | 164        |
| 习题与思考题 .....                      | 169        |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| <b>第 8 章 模/数转换模块与串行接口模块</b>           | 170 |
| 8.1 模/数转换器 (ADC)                      | 170 |
| 8.1.1 ADC 模块的结构特征                     | 170 |
| 8.1.2 自动排序器的工作原理                      | 172 |
| 8.1.3 ADC 模块的工作方式                     | 176 |
| 8.1.4 ADC 模块中的寄存器                     | 178 |
| 8.2 串行通信接口 (SCI) 模块                   | 185 |
| 8.2.1 SCI 模块的结构特征                     | 186 |
| 8.2.2 多处理器和异步通信模式                     | 187 |
| 8.2.3 SCI 的传输方式                       | 189 |
| 8.2.4 SCI 中断                          | 190 |
| 8.2.5 SCI 波特率计算                       | 190 |
| 8.2.6 SCI 的 FIFO                      | 191 |
| 8.2.7 SCI 模块寄存器                       | 192 |
| 8.3 串行外设接口 (SPI) 模块                   | 201 |
| 8.3.1 串行外设接口 (SPI) 的结构和特点             | 201 |
| 8.3.2 SPI 的操作                         | 203 |
| 8.3.3 SPI 的中断                         | 204 |
| 8.3.4 SPI 的配置                         | 205 |
| 8.3.5 SPI FIFO 说明                     | 206 |
| 8.3.6 SPI 的初始化                        | 207 |
| 8.3.7 SPI 模块的寄存器                      | 208 |
| 习题与思考题                                | 215 |
| <b>第 9 章 eCAN 总线及 F2812 的 eCAN 模块</b> | 216 |
| 9.1 F2812 的 eCAN 模块结构特点               | 216 |
| 9.2 F2812 的 eCAN 模块消息邮箱的结构            | 217 |
| 9.3 F2812 的 eCAN 模块的初始化               | 220 |
| 9.4 F2812 的 eCAN 模块的中断                | 223 |
| 9.5 F2812 的 eCAN 模块的寄存器               | 225 |
| 习题与思考题                                | 250 |
| <b>第 10 章 DSP 实验开发系统设计及实验指导</b>       | 251 |
| 10.1 DSP 实验开发系统设计                     | 251 |
| 10.1.1 DSP 最小系统板设计                    | 251 |
| 10.1.2 SCI 串行通信模块设计                   | 254 |
| 10.1.3 CAN 总线接口                       | 255 |
| 10.1.4 语音模块设计                         | 256 |
| 10.1.5 电机控制模块设计                       | 256 |
| 10.1.6 模拟信号产生模块设计                     | 258 |

---

|                                    |            |
|------------------------------------|------------|
| 10.1.7 D/A 转换模块设计 .....            | 259        |
| 10.1.8 键盘—显示模块设计 .....             | 260        |
| 10.1.9 DSP 实验开发系统使用说明 .....        | 260        |
| 10.2 实验一 DSP 实验装置和 CCS 的使用实验 ..... | 261        |
| 10.3 实验二 I/O (输入/输出) 端口实验 .....    | 263        |
| 10.4 实验三 事件捕获实验 .....              | 267        |
| 10.5 实验四 PWM 电路控制步进电机转动 .....      | 271        |
| 10.6 实验五 A/D—D/A 转换实验 .....        | 278        |
| 10.7 实验六 定时器触发 ADC 转换实验 .....      | 281        |
| 10.8 实验七 SCI 异步串行通信实验 .....        | 285        |
| 10.9 实验八 SPI 串行同步模块双机通信实验 .....    | 288        |
| 10.10 实验九 语音信号传输实验 .....           | 292        |
| 10.11 实验十 eCAN 邮箱自收发模式通信实验 .....   | 297        |
| 习题与思考题 .....                       | 304        |
| <b>附录 A</b> .....                  | <b>305</b> |
| <b>附录 B</b> .....                  | <b>316</b> |
| <b>参考文献</b> .....                  | <b>323</b> |

# 第1章 绪 论

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 技术是指理论上的技术, 而数字信号处理器 (Digital Signal Processor) 是针对数字信号处理的需求而设计的一种可编程的单片机, 也称为 DSP 芯片。因此 DSP 既可以代表数字信号处理技术, 也可以代表数字信号处理器, 两者是不可分割的, 前者要通过后者变成实际产品。两者结合起来就成为解决实际问题 and 实现方案的手段——数字信号处理解决方案, 它也是现代电子技术、计算机技术和信号处理技术相结合的产物; 同时具有精确、灵活、可靠性好、体积小、易于大规模集成等优点。随着信息处理器技术的飞速发展, 数字信号处理器在电子系统信息、通信、无线电、自动控制、仪器仪表、家电等高科技领域获得了越来越广泛的应用。

## 1.1 DSP 的特点

DSP 是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器。但它不同于一般的微处理器, 它是微电子学专家、信号处理专家和计算机专家共同合作的结晶。DSP 具有极其高速的数字处理能力和很大的运算量。因此, 它能满足高效实时信号处理的要求。这种新器件具有如下一些特点:

(1) 采用改进的哈佛 (Harvard) 结构, 高度并行运算且大大提高运算速度

传统的处理器采用程序和数据共享一个存储结构 (即 Von—Neumann 结构), 而使处理器的速度受总线速度的限制。DSP 采用改进的哈佛结构, 即将数据总线和程序总线分离开来, 从而可以集合其他的并行处理单元, 实现在同一指令周期内同时将操作数据从程序存储器和数据存储器中取出并送到运算单元。改进型哈佛结构的存储器与数据存储器位于两个独立的空间, 但可以相互传递数据。数据存储器可以通过来自程序存储的固定参数初始化。在一个周期内可以同时准备好指令与操作数。这种高度并行运算, 内部操作采用时间上重叠的流水线结构, 大大提高了运算速度。另外, 片外扩展总线也增加了 DSP 的通用性和灵活性。

(2) 能实现单指令乘加运算和变址运算

DSP 内部专门设置了乘法累加结构, 在硬件上实现了乘法与累加器的并行工作, 能在一个指令周期内完成乘法并将乘积求和运算, 以满足数字滤波、卷积运算以及超越函数、幂级数展开等相乘后求和的运算需要, 并且片内专门设置了专用变址器, 便于实现变址运算。

(3) 采用流水操作

每条指令的运行过程都可划分为取指、译码、取数、执行等若干步骤, 由片内多个单元分别完成, 支持任务的并行处理。

(4) 设置有多种功能很强的外围器件和接口, 大大提高了系统的速度和性能

现今的 DSP 在其结构上一般配备了可编程定时高速串行接口、多处理器连接接口等。因此, 用它来处理数字信号, 特别是线性变换 (快速傅里叶变换、希尔伯特变换、余弦

变换等)、数字滤波(有限冲激响应滤波和无限冲激响应滤波等)、卷积运算等,其速度大大提高。同时芯片内还设置了专门的硬件数据指针的逆序寻址功能。因频谱分析的理论基础是快速傅里叶变换(FFT),从而大大加快了频谱分析处理过程。

#### (5) DSP 支持重复运算,且增加了硬件循环控制

当完成循环初始化后,实际运行中循环不再消耗指令周期,大大提高了数字信号处理的运算速度。

#### (6) 超长指令字(VLIW)结构,使设计简单化

其特点是在单个周期内,将含有多项运算操作的指令划分为多个操作,这些操作的发出与执行都采用并行方式,以提高每次执行的操作总数。

#### (7) DSP 成本及销售价格逐年降低

一般 DSP 并非是为某种功能设计的芯片,其应用范围广,出片量多,因而可以降低其成本。随着 DSP 设计质量的提高,给用户提供了很大的好处,用户量增多,销售价格就会进一步降低。

## 1.2 DSP 芯片分类

市场上 DSP 从廉价型到超高性能型各种类型都有,而世界上生产和开发 DSP 芯片的公司也很多,著名的有德州仪器(Texas Instruments, TI)公司,模拟器件(Analog Devices, AD)公司, Motorola, AT&T, Intel, NEC 等。在我国推广和应用较多的有 TI 公司、AD 公司和 Motorola 公司的 DSP 芯片。通常, DSP 芯片可以按照下述的 3 种方式进行分类。

### 1.2.1 按基础特性分类

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, TI 公司的 TMS320C2xx 系列芯片便属于这类。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引脚结构相互兼容,则这类 DSP 芯片称为一致性 DSP 芯片。例如, TI 公司的 TMS320C54x 系列芯片就属此类。

### 1.2.2 按用途分类

按照 DSP 的用途来分, DSP 可分为通用 DSP 和专用 DSP 两种。通用型 DSP 芯片适合于普通的 DSP 应用场合,如 TI 公司的 TMS320 系列芯片基本上都属于通用型芯片。专用 DSP 往往是实现信号处理的某些专项功能(如数字滤波、卷积和 FFT)而设计的,如 Motorola 公司的 DSP56200 便属于这类芯片。

### 1.2.3 按数据格式分类

这是根据 DSP 芯片工作的数据格式来分类的。以定点数据格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片,如 TI 公司的 TMS320C1x/C2x、TMS320C2xx/C5x 和 TMS320C54x/

C62xx, AD 公司的 ADSP21xx 系列, Motorola 公司的 DSP56000 等。以浮点数据格式工作的 DSP 芯片则称为浮点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x/C8x。AD 公司的 ADSP21xxx 系列, Motorola 公司的 DSP96002。需要注意的是, 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 TI 公司的 TMS320C3x; 而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 标准的浮点格式, 如 Motorola 公司的 DSP96002。从全球范围来看, 生产 DSP 芯片的厂家主要有 TI (Texas Instruments) 公司、AD (Analog Devices) 公司、Motorola 公司以及 Lucent 公司等。其中, TI 公司以其卓越的产品性能、多层次的产品系列、良好的性能价格比以及较好的售后服务, 使其 TMS320 系列 DSP 芯片占据了国际市场接近一半的市场份额。它从定点、浮点到并行芯片, 已形成了一个较为完整的产品系列, 因而获得了最广泛的应用。

TMS320 系列产品大致沿着下面 3 个方向在不断发展:

- ① 定点 DSP: C1x→C2x→C2xx→C5x→C54x→…;
- ② 浮点 DSP: C3x→C4x→…;
- ③ 内含多处理器的 DSP: C8x→C6x→…。

## 1.3 DSP 的性能指标及选型

### 1.3.1 DSP 的性能指标

选择合适的 DSP 器件对产品设计周期的各个方面具有重要影响。但是由于各个 DSP 厂商的 DSP 结构和数据传输能力差别较大, 因此 DSP 的性能不能像 PC 那样可以用 CPU 的时钟频率和型号来表征, 而必须用可量化的性能指标来衡量。

所以, 一般情况下在设计中应重点考虑以下因素, 从而可以使用户依据 DSP 芯片的不同性能指标来确定和选择芯片。

#### 1. DSP 芯片的运算

(1) 指令周期: 即执行 1 条指令所需的时间, 通常以 ns (纳秒) 为单位。

(2) MAC 时间: 即 1 次乘法加上 1 次加法的时间。大部分 DSP 芯片可在 1 个指令周期内完成一次乘法和加法操作。

(3) FFT 执行时间: 即运行 1 个  $N$  点 FFT 程序所需的时间。

(4) MIPS: 即每秒执行百万条指令。

(5) MOPS: 即每秒执行百万次操作。

(6) MFLOPS: 即每秒执行百万次浮点操作。

(7) BOPS: 即每秒执行十亿次操作。

#### 2. DSP 芯片的运算精度

一般的定点 DSP 芯片的字长为 16 位。浮点处理器能够以数字值处理庞大的变量而依然提供极其精确的结果, 且 C 语言编程调试方便, 但是价格较贵。定点处理器价格便宜, 功耗低, 占用硅资源比较少, 但动态变化范围比较小。

### 3. DSP 的硬件资源

不同的 DSP 芯片所提供的硬件资源是不相同的,即使是同一系列的 DSP 芯片,系列中不同的系列芯片也具有不同的内部硬件资源,可以适应不同的需要。

### 4. 软件的可实现性

浮点型 DSP 比定点型 DSP 较易实现编程,在进行产品开发时,如果产品的开发周期很短,在选择芯片时浮点型优于定点型。如果有功能强大的开发工具的支持,如 C 语言支持,则开发的时间就会大大缩短。所以,在选择 DSP 芯片的同时必须注意其开发工具的支持情况。

随着 DSP 结构的多样化、复杂化,以上因素不可能完全表征处理器完成特定算法的特定能力,只能作为系统设计的参考依据。比如说,在应用上也常常使用  $N$  点 FFT 的处理时间, $N$  点的 FIR 处理时间来描述其处理速度。在系统设计时,要想得到具体参数的精确指标,则必须通过软件仿真器和软件评估模块开发工具,在 DSP 上进行实验。

## 1.3.2 DSP 的选型

DSP 处理器的应用领域很广,但实际上没有一个处理器能完全满足所有的或绝大多数的应用需要,因此在拟采用 DSP 进行系统设计时必须根据系统的特点、性能要求、成本、功耗以及技术开发周期等因素进行综合考虑。一般情况下主要考虑以下几个方面的因素。

### 1. 系统特点

每种 DSP 都有自己比较适合的应用领域,在系统设计时必须根据系统的特点进行选择。以 TI 公司的 DSP 为例,C2000 系列处理器提供多种控制系统使用的外围设备,比较适合控制领域;C5000 系列处理器具有处理速度快、功耗低、相对成本低等特点,比较适合便携设备及消费类电子设备使用;而 C6000 系列处理器具有处理速度快、精度高等特点,更适合图像处理、通信设备等应用领域。因此,在系统设计时首先要根据系统的特点进行处理器的具体选择。

### 2. 算法格式

数字信号处理算法有多种,不同的系统、不同的算法对算法的格式和处理的精度要求不同。浮点算法是相对较复杂的常规算法,利用浮点数据可以实现大的数据动态范围。采用浮点 DSP 设计系统时,一般不需要考虑处理的动态范围和精度,更适合采用高级语言编程,因此浮点 DSP 比定点 DSP 在软件编写方面更容易,但成本和功耗高。

由于成本、功耗等问题,定点 DSP 在实际应用中使用更为广泛。工程技术人员可以通过分析和算法模拟,确定算法的动态范围和精度,然后根据确定的动态范围和精度确定选用的 DSP 类型。在采用定点 DSP 实现浮点算法时,要根据确定的动态范围和精度对数据进行合理的定标处理,这种处理必须人为参与,DSP 并不能识别,因此编程相对较难。

### 3. 系统精度

系统的精度要求直接决定采用浮点还是定点 DSP 以及处理器的数据宽度,当然可以采用较低数据宽度的处理器实现高精度的数据处理,比如采用 16 位处理器实现 64 位的数据处理,但只能通过软件来实现,这会相应增加编程的难度。

#### 4. 处理速度

处理速度是选用 DSP 时最重要的考虑因素。DSP 的速度通常是指令周期的时间,有的也指核心功能如 FIR 或 IIR 滤波器的运算时间。有些 DSP 采用超长指令字 (VLIW) 的结构,在一个周期内可执行多条指令。DSP 的处理速度与时钟的工作频率有密切关系。

#### 5. 功耗

很多 DSP 用在手提式设备中,如手机、PDA、手提式音乐播放机等。功耗是这些产品主要考虑的问题。很多处理器供应商降低工作电压,比如 3.3 V、2.5 V、1.8 V;同时增加电源电压管理功能,比如增加“睡眠模式”,在不用时切断大部分电源和不用的外围设备,以降低能量消耗。

#### 6. 性能价格比

在满足设计要求条件下要尽量使用低成本 DSP,即使这种 DSP 编程难度很大而且灵活性差。在处理器系列中,价格越便宜的处理器功能越少,片上存储器的容量越小,性能也比价格高的处理器差。封装不同的 DSP 器件,其价格也存在差别,例如, PQFP 和 TQFP 封装比 PGA 封装的价格便宜得多。

#### 7. 支持多处理器

在某些数据计算量很大的应用中,经常要求使用多个 DSP 处理器。在这种情况下,多处理器互连和互连性能(关于相互间通信流量、开销和时间延迟)成为重要的考虑因素。如 ADI 的 ADSP—2106x 系列提供了简化多处理器系统设计的专用硬件。

#### 8. 系统开发的难易程度

不同的应用对开发简便性的要求不一样。对于研究和样机的开发,一般要求系统工具能便于开发,因此选择 DSP 时需要考虑的因素有软件开发工具(包括汇编、链接、仿真、调试、编译、代码库以及实时操作系统等部分)、硬件工具(开发板和仿真机)、高级工具(例如,基于框图的代码生成环境)以及相应的技术支持情况。

### 1.4 TI 及其他公司的 DSP

TI 公司是全球最大的 DSP 供应商,世界上第一个 DSP 是 1978 年 TI 公司推出的“Speak & Spell”DSP 合成器,用于儿童学习英语的玩具,当孩子说出一个单词,机器就拼出英语单词的写法。1982 年, TI 向市场推出第一款可编程通用型 DSP——TMS32010 DSP,至此, DSP 芯片才开始进入商用 DSP 的里程碑年代。

TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片是目前最有影响、最为成功的数字信号处理器,其产品销量一直处于领先地位,被认为世界 DSP 霸主。从 1982 年推出第一个 DSP 芯片 TMS32010 以来已先后推出 10 类 DSP 产品,它们分别是:定点系列产品、浮点系列产品、多处理器、专用 DSP 系列。每一系列的 DSP 中又有许多不同的品种,总计 100 多个型号,每一个系列的 DSP 对应不同的应用。最近 TI 公司又陆续研制成功几种新型嵌入式 DSP。这些新型的 DSP 对提高电机的工作效率、降低噪声、改善能源利用效率有很大的好处,可以应用于家用电器到工业自动化控制系统等不同领域。

下面对 TI 的 DSP 芯片产品进行分类介绍。

定点 DSP 芯片包括:

TMS320C1x (10, C10, C14, C15, C16, C17)

TMS320C2x (20, C25, C26, C28)

TMS320C5x (C50, C51, C52, C53)

TMS320C2000 系列:

TMS320C20x (C203, C204, C205, C207, C209, F206, F207)

TMS320C24x [C240, C242, C243, F240, F241, F243, LF2402 (A), LF2406 (A), LF2407 (A), LC2402 (A), LC2404 (A), LC2406 (A)] (注: 后缀“A”的芯片带加密位。)

TMS320C28x (F2810, F2812)

TMS320C5000 系列 (C541, C542, C543, C545, C546, C548, C549, C5401, C5402, C5404, C5407, C5409, C5410, C5416, C5420, C521, C5441, C5470, C5471, C5502, C5509, C5510)

TMS320C6000 系列 (C6201, C6202, C6211, C6203, C6204, C6205, C6414, C6415, C6416)

C6000™高性能多核 DSP (TMS320C66x DSP, TMS320C647x DSP)

TI 的 C6000™ 高性能多核 DSP 平台包括用于多核处理的广泛设备选择, 能够以最低的功耗和成本提供最高的性能。该平台的多核处理能力和低功耗能力特别适用于市场上的医疗成像、测试和自动化、关键任务、视频基础设施和高端成像等应用。这些可升级的解决方案充分利用了 TI 在提供可简化多核开发的强大芯片和软件方面的领导地位和经验。设备包括 TI 的 C66x 系列多核处理器, 基于梯形架构并结合了定点和浮点能力, 可提供高达 10GHz 的性能, 以及 TI 的 C647x 高性能和低功耗多核 DSP。

C6000™高性能 DSP (TMS320C647x 低功耗 DSP, TMS320C67x DSP, TMS320C667x DSP, TMS320C645x DSP, TMS320C64x DSP, TMS320C62x DSP)。

TMS320C6000™ DSP 具有行业领先的性能 (高达 24000 MMACS)、功效 (低至~470 mW 工作功耗/~7 mW 待机功耗)、价值 (1 ku 数量的价格低至 6.65 美元) 以及长期的 DSP 经验积累。该平台的处理和低功耗功能非常适合于影像/视频、通信和宽带基础设施、工业、医疗、测试和测量、高端计算和高性能音频等应用。简而言之, TI 提供多种浮点/定点单核和多核 DSP 选项, 可解决大多数低成本或节能型应用需求所面临的大部分任务的关键型设计挑战。

浮点 DSP 芯片包括:

TMS320C3x (C30, C31, C32, VC33)

TMS320C4x (C40, C44)

TMS320C67xx (C6701, C6711, C6712)

多处理器芯片:

TMS320C8x (C80, C82)

DaVinci (达芬奇) 数字视频处理器 (TMS320DM816x SoC, TMS320DM814x SoC, TMS320DM646x SoC, TMS320DM644x SoC, TMS320DM643x SoC, TMS320DM64x SoC, TMS320DM37x SoC, 基于 TMS320DM3x ARM9 的 SoC, OMAP3525/30 处理器)

达芬奇技术是一款针对数字视频应用而定制的 DSP 解决方案,可为视频设备厂商简化设计、加速产品创新提供集成的处理器、软件与工具。其中,达芬奇处理器是基于业界最高性能的 DSP 平台——TI TMS320C6000 的处理器,它利用了 TI 最新的 C66xDSP 内核,包含基于可扩展、可编程 DSP 的 SoC,以及优化的加速器与外设,以全方位满足各种数字视频终端设备对价格、性能以及功能等多方面的需求。因此, DaVinci (达芬奇) 数字视频处理器的应用领域包括: 视频安全监控系统、IP 机顶盒、视频会议、车载信息娱乐系统、便携式媒体,以及数码像机和面向大众消费市场的高集成度产品。TI 总裁兼 CEO 理查德·谭普顿曾指出:“达芬奇是一项重要的数字信号处理技术,能够促进新型数字视频应用市场的增长并使现有应用更加简单易用。”

TI 公司的开放式多媒体应用平台 (Open Multimedia Application Platform, OMAP) 是一种为满足移动多媒体信息处理及无线通信应用开发出来的高性能、高集成度嵌入式处理器。OMAP 的主要特性和优势是将移动娱乐和高性能生产应用组合在一起,它集成了先进的超标量 ARM Cortex-A8 RISC 内核,并采用 45 nm (OMAP36x) 和 65 nm (OMAP34x) CMOS 工艺技术设计,如此先进的制程也给 TI 的产品带来更高的频率和更小的耗电和发热。

与此同时, TI 刚刚发布了旗下最新的移动处理器,主频为 1.8 GHz 的双核 OMAP4470。这颗芯片适用于智能手机与平板产品,相对于其他移动处理器, OMAP4470 能够提供更加优秀的表现。总之,随着双核大众化的普及,主频越来越高,在移动的解决方案中 TI 公司也将发挥自身优势并占有一席之地。

各芯片名称中的英文字母代表意义如下:

C: CMOS LC: 3.3 V, 低功耗, CMOS

F: 片内带 Flash LF: 3.3 V, 低功耗, 片内带 Flash

AD 公司的 DSP 芯片的内部电路有其独特之处,加上编程所用的汇编语言接近高级语言,因而其功能强、灵活性大、有较高的编程效率,近几年广泛应用于各个领域。其产品有:

定点 DSP 芯片: (ADSP2100 系列)

ADSP2100/2101/2103/2105

ADSP2111/2115

ADSP2161/2162/2163/2164/2165/2168

ADSP2171/2173/ADSP2181

浮点 DSP 芯片: (ADSP21000 系列)

ADSP21000/21010/21020/21022

ADSP21060/21062 等

Motorola 公司的 DSP 芯片可分为定点、浮点和专用三种:

定点 DSP 芯片: MC56000、MC56001、MC56002

浮点 DSP 芯片: 以 MC96002 为代表,采用 IEEE-754 标准浮点格式,累加器精度达 96 位,可支持双精度浮点数。

专用 DSP 芯片: MC56200 是一种适合于自适应滤波的专用定点 DSP 芯片。

MC56156 是一种用于蜂窝电话等通信的 DSP 芯片。

AT&T 公司是一家较早推出高性能浮点 DSP 芯片的公司,该公司的 DSP 芯片也包括