

新世纪电子信息课程系列规划教材

# DSP 原理与应用

DSP YUANLI YU YINGYONG



主 编 胡圣尧

副主编 茅靖峰 汪小锋

关 静



東南大學出版社  
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

国家“十一五”期间重点图书出版规划项目

# DSP 原理与应用

第二版

张松海 张松海 张松海

张松海



清华大学出版社

新世纪电子信息课程系列规划教材

# DSP 原理与应用

主    编    胡圣尧  
副 主 编    茅靖峰  汪小锋  关  静  
参    编    陈  娇  葛钟琴

东南大学出版社  
· 南 京 ·

## 内 容 提 要

本书以 TMS320C5402 为例,系统的介绍了'C54X 系列 DSP 控制芯片的硬件结构、系统寻址方式、指令系统软件开发环境及软件开发过程、汇编语言程序设计、开发环境及 C/C++ 程序开发、'C54 的硬件电路设计、'C54X 的片上外设以及 C5402 应用举例。本书在介绍具体内容时语言通谷易懂,深入浅出,并结合一些具体应用进行讲解。本书适用于本科生教材,特别是以应用为主的一些应用型本科院校、高职高专等院校,还适用于一些技术人员作参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理与应用 / 胡圣尧主编. —南京:东南大学出版社,2008.7

(新世纪电子信息课程系列规划教材)

ISBN 978-7-5641-1217-2

I. D… II. 胡… 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(2008)第 054078 号

## DSP 原理与应用

---

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江 汉

社 址 南京市四牌楼 2 号

邮 编 210096

---

经 销 江苏省新华书店

印 刷 南京京新印刷厂

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 14.25

字 数 356 千字

印 次 2008 年 7 月第 1 次印刷

版 次 2008 年 7 月第 1 版

印 数 1—4 000

书 号 ISBN 978-7-5641-1217-2/TP·191

定 价 26.00 元

---

(凡因印装质量问题,请与我社读者服务部联系。电话:025-83792328)

# 前 言

目前,很多高校的专业课程都增设了《DSP 原理与应用》这门课程。本书将以 TMS320C5402 为主,面向高年级大学生,系统地介绍 TMS320C5000 系列 DSP。

现在介绍 TMS320C5000 的书很多,那么为什么还要编写本书? 主要因为现在很多 DSP 书籍面向的读者是以本科及以上学历的学生为主,没有考虑到学生的知识背景进行编写,从而导致一些学生一谈到 DSP 就厌烦,《DSP 原理与应用》在很多高校里只是作为知识结构更新和课程设置更新的标志,从而使很多学生学完之后,要么对 DSP 一知半解,要么畏之如虎,并没有真正地理解和应用 DSP。其次,许多书籍只是先介绍 DSP 的结构原理,再介绍 DSP 的应用案例,在介绍的时候往往只给出分析结果,没有给出“所以然”,这样一来,书中介绍的内容就没有实际的指导作用。造成了对 DSP 精通者不屑阅读此类书籍,不懂者看了似乎懂,一旦进行实际操作还是模棱两可。再者,DSP 器件以高速数字运算为主要特征,所以它在应用时对电磁兼容性等指标的要求较高。学习者一般没有实际工程经验,很难画出 PCB 图,所以 DSP 在学生的印象中不如单片机那么直接,就更谈不上积累经验了,即使开设实验也是一些验证性的实验。本书的编写就考虑到上述的问题,争取汲取其他书籍的优点,突出 DSP 的特点,用简单的语言来引导那些想涉足 DSP 领域的人员,告诉他们 What is DSP? What to do and how to do。希望本书能成为一把钥匙,让你顺利地开启 DSP 开发的大门。

对于 DSP 的初学者而言,学习 DSP 这门课需要做到如下几点:

(1) 坚持 坚持就是胜利! 获取任何知识都是艰难的,做任何事情都需要努力。万事开头难,学习 DSP 也一样,但是只要能够坚持就能够成功。

(2) 多问 学习的工程就是解决问题的过程,所以在学习的过程中,一定要多问自己为什么。为什么 DSP 能完成这些任务? 为什么 DSP 内部这样进行设计? 为什么算法这样进行设计? 你要不断地问自己怎么样才能有学习的动力,只有不断地解决为什么,才能够获得知识。所有的问题也可以用实践来回答。

(3) 多交流 一定要多和其他的 DSP 学习者进行充分的交流,也许其他人对 DSP 有不同的理解方式,有不同的应用方式,或者在学习过程中有不同的心得体会。也许你百思不得其解的问题,别人已经详细地说明了原因,这样做能够节省你大量宝贵的时间和精力,当然最好你也要把自己的心得说出来,不是完全是为了帮助别人,也许别人能够发现你的学习体会中的问题,不让你一直错

下去。

(4) 博学 目前学科交叉非常厉害,学好 DSP 的主要目的是用好 DSP。而用好 DSP 牵扯一些基础知识:工程数学、信号与系统、数字信号处理,还有一些相关知识:C 语言、数据结构、算法设计、操作系统等。博学不是一下都要学会,而是要不断地用,不断地学。

本书的第 2、3 章及附录由胡圣尧编写,第 1 章、第 4 章由南通大学的茅靖峰老师编写,第 5 章、第 6 章由常州工学院的关静老师编写,第 7 章由江苏技术师范学院的汪小锋老师编写,第 8 章由常州信息职业技术学院的陈娇老师编写,第 9 章由南京大学的葛钟琴老师编写,全书由胡圣尧统稿。

由于本书的作者水平有限,且时间仓促,在一些问题的描述或表达上难免有错,真诚的希望一些读者能够提出宝贵的意见,作者将不断的改进,进一步提高本书的质量(作者的邮箱:hoosainyor@163.com)。

胡圣尧于常州工学院

2008 年 3 月

# 目 录

|          |                         |      |
|----------|-------------------------|------|
| <b>1</b> | <b>概 述</b>              | (1)  |
| 1.0      | 引言                      | (1)  |
| 1.1      | DSP 发展概况                | (1)  |
| 1.2      | DSP 器件的产品分类             | (3)  |
| 1.3      | DSP 的特点及应用              | (4)  |
| 1.4      | TMS320C54X 系列           | (6)  |
| 1.5      | 构建 DSP 系统               | (9)  |
| 1.5.1    | DSP 系统模型                | (9)  |
| 1.5.2    | 数字信号处理器的选择              | (9)  |
| 1.5.3    | DSP 系统的开发过程             | (10) |
| <b>2</b> | <b>TMS320C54X 的硬件结构</b> | (11) |
| 2.0      | 引言                      | (11) |
| 2.1      | 'C54X 的硬件结构             | (11) |
| 2.2      | 中央处理器                   | (13) |
| 2.2.1    | 多总线结构                   | (13) |
| 2.2.2    | 运算部件                    | (15) |
| 2.2.3    | 控制部件                    | (16) |
| 2.3      | 存储器结构                   | (19) |
| <b>3</b> | <b>寻址方式及指令系统</b>        | (24) |
| 3.0      | 引言                      | (24) |
| 3.1      | 寻址方式                    | (24) |
| 3.2      | 流水线                     | (30) |
| 3.3      | 指令系统                    | (36) |
| 3.3.1    | 数据传输指令                  | (36) |
| 3.3.2    | 算术运算                    | (38) |
| 3.3.3    | 逻辑运算指令                  | (42) |
| 3.3.4    | 程序控制                    | (43) |
| 3.3.5    | 单指令重复                   | (45) |
| <b>4</b> | <b>'C54X 的片上外设</b>      | (47) |
| 4.1      | 'C54X 中断系统概述            | (47) |
| 4.1.1    | 中断请求                    | (47) |
| 4.2      | 中断控制                    | (49) |

|          |                       |              |
|----------|-----------------------|--------------|
| 4.2.1    | 中断屏蔽 .....            | (49)         |
| 4.2.2    | 中断优先级 .....           | (50)         |
| 4.2.3    | 外部中断响应时间和外部中断触发 ..... | (51)         |
| 4.3      | 定时器结构 .....           | (51)         |
| 4.3.1    | 定时器结构图 .....          | (51)         |
| 4.4      | 定时器/计数器应用步骤 .....     | (53)         |
| 4.5      | 'C54X 串行及并行接口 .....   | (54)         |
| 4.5.1    | SP 标准串口 .....         | (55)         |
| 4.5.2    | BSP 串口 .....          | (57)         |
| 4.5.3    | TDM 时分复用串口 .....      | (67)         |
| 4.5.4    | McBSP 多通道带缓冲串口 .....  | (68)         |
| 4.5.5    | McBSP 结构及工作原理 .....   | (68)         |
| 4.5.6    | McBSP 串口配置 .....      | (70)         |
| <b>5</b> | <b>程序开发过程 .....</b>   | <b>(80)</b>  |
| 5.0      | 引言 .....              | (80)         |
| 5.1      | 'C54X 软件开发过程 .....    | (80)         |
| 5.2      | COFF 的一般概念 .....      | (83)         |
| 5.2.1    | COFF 文件的基本单元 .....    | (83)         |
| 5.2.2    | 汇编器对段的处理 .....        | (84)         |
| 5.2.3    | 链接器对段的处理 .....        | (88)         |
| 5.2.4    | 链接器对程序的重新定位 .....     | (89)         |
| 5.2.5    | 程序装入 .....            | (91)         |
| 5.2.6    | COFF 文件中的符号 .....     | (91)         |
| 5.3      | 汇编程序 .....            | (92)         |
| 5.3.1    | 汇编语言源程序格式 .....       | (92)         |
| 5.3.2    | 汇编语言中的常数与字符串 .....    | (94)         |
| 5.3.3    | 汇编源程序中的符号 .....       | (95)         |
| 5.3.4    | 汇编源程序中的表达式 .....      | (99)         |
| 5.3.5    | 汇编伪指令 .....           | (102)        |
| 5.3.6    | 宏定义和宏调用 .....         | (110)        |
| 5.3.7    | 汇编器命令及参数 .....        | (111)        |
| 5.4      | 链接器的使用 .....          | (113)        |
| 5.4.1    | 链接器的运行 .....          | (113)        |
| 5.4.2    | 链接器命令文件的编写与使用 .....   | (115)        |
| 5.4.3    | MEMORY 指令 .....       | (116)        |
| 5.4.4    | SECTIONS 指令 .....     | (117)        |
| 5.4.5    | 多个文件的链接实例 .....       | (120)        |
| <b>6</b> | <b>汇编语言程序设计 .....</b> | <b>(124)</b> |

|          |                               |              |
|----------|-------------------------------|--------------|
| 6.0      | 引言 .....                      | (124)        |
| 6.1      | 堆栈的使用方法 .....                 | (124)        |
| 6.2      | 控制程序 .....                    | (125)        |
| 6.2.1    | 分支操作程序 .....                  | (125)        |
| 6.2.2    | 循环操作程序 .....                  | (128)        |
| 6.3      | 算术运算程序 .....                  | (129)        |
| 6.3.1    | 加减法运算和乘法运算 .....              | (129)        |
| 6.3.2    | 除法运算 .....                    | (130)        |
| 6.3.3    | 长字运算和并行运算 .....               | (131)        |
| 6.4      | 重复操作程序 .....                  | (133)        |
| 6.4.1    | 单指令重复操作 .....                 | (133)        |
| 6.4.2    | 块程序重复操作 .....                 | (134)        |
| 6.4.3    | 对数组 x[8]中的每个元素加 1 .....       | (134)        |
| 6.4.4    | 循环嵌套 .....                    | (135)        |
| 6.5      | 数据块传送程序 .....                 | (135)        |
| <b>7</b> | <b>开发环境及 C/C++ 程序开发 .....</b> | <b>(138)</b> |
| 7.0      | 引言 .....                      | (138)        |
| 7.1      | CCS 初步探索 .....                | (138)        |
| 7.1.1    | 开发环境及驱动的安装 .....              | (138)        |
| 7.1.2    | 软件设置及使用简介 .....               | (145)        |
| 7.1.3    | CCS 界面操作 .....                | (148)        |
| 7.1.4    | GEL 语言 .....                  | (154)        |
| 7.2      | C/C++ 程序设计 .....              | (160)        |
| 7.2.1    | DSP 上的 C 语言程序设计 .....         | (160)        |
| 7.2.2    | C/C++ 程序设计流程 .....            | (162)        |
| 7.3      | C/C++ 语言数据结构及语法 .....         | (162)        |
| 7.4      | C/C++ 控制语句 .....              | (170)        |
| 7.4.1    | C/C++ 顺序语句 .....              | (170)        |
| 7.4.2    | C/C++ 分支语句 .....              | (171)        |
| 7.4.3    | C/C++ 循环语句 .....              | (174)        |
| 7.5      | C/C++ 语言函数 .....              | (176)        |
| 7.5.1    | C/C++ 自定义函数 .....             | (177)        |
| 7.5.2    | 中断函数 .....                    | (177)        |
| 7.6      | 混合编程 .....                    | (181)        |
| 7.6.1    | C 编译器生成的段 .....               | (181)        |
| 7.6.2    | 存储器分配 .....                   | (181)        |
| 7.6.3    | TMS320C54X 混合编程 .....         | (182)        |
| <b>8</b> | <b>'C54X 的硬件电路设计 .....</b>    | <b>(185)</b> |

|                     |                         |              |
|---------------------|-------------------------|--------------|
| 8.0                 | 引言 .....                | (185)        |
| 8.1                 | 'C54X 的引脚功能 .....       | (185)        |
| 8.2                 | 时钟发生器及时钟电路 .....        | (188)        |
| 8.3                 | 存储器和 I/O 扩展基本方法 .....   | (190)        |
| 8.3.1               | 外部总线特性 .....            | (190)        |
| 8.3.2               | 外部总线等待状态控制 .....        | (191)        |
| 8.3.3               | 外部总线接口分区转换时序 .....      | (194)        |
| 8.4                 | 节电模式和复位时序 .....         | (199)        |
| 8.5                 | 程序存储器扩展应用 .....         | (201)        |
| 8.6                 | 静态数据存储器扩展 .....         | (202)        |
| 8.7                 | I/O 扩展应用 .....          | (203)        |
| 8.7.1               | I/O 配置 .....            | (203)        |
| <b>9</b>            | <b>C5402 应用举例 .....</b> | <b>(205)</b> |
| 9.0                 | 引言 .....                | (205)        |
| 9.1                 | FIR 滤波器的设计及实现 .....     | (206)        |
| 9.2                 | 串口应用 .....              | (207)        |
| 9.3                 | 定时器的使用 .....            | (211)        |
| 9.4                 | 外部中断 .....              | (212)        |
| 9.4.1               | 外部中断电路 .....            | (212)        |
| 9.5                 | 键盘扩展 .....              | (214)        |
| 附录 本书采用的符号及意义 ..... |                         | (216)        |
| 参考文献 .....          |                         | (220)        |

# 1 概述

## 1.0 引言

国内的很多名词都是由英语缩写来的,那么什么是 DSP?

这要从数字信号处理说起,数字信号处理简单的可分为数字信号处理的理论研究和数字信号处理的硬件实现。

DSP 一方面是 Digital Signal Processing 的缩写,意思是数字信号处理,就是指数字信号处理理论研究。这是一门新兴的学科,具有非常广阔的前景。本书主要介绍的是如何使用这些硬件的原理以及应用。本章主要是介绍这些器件的发展、分类、特点以及发展方向。

## 1.1 DSP 发展概况

最初的 DSP 器件只是被设计成用以完成复杂数字信号处理的算法。DSP 器件紧随着数字信号理论的发展而不断发展。在 20 世纪 60 年代,那时数字信号处理技术刚刚起步。由于一般的数字信号处理算法运算量大,因此,算法只能在大型计算机上运行模拟仿真,无法实现实时数字信号处理。60 年代中期,快速傅立叶算法的出现及大规模集成电路的发展,奠定了硬件完成数字信号处理算法和数字信号处理理论实用化的重要技术基础,从而促进了 DSP 技术与器件的飞速发展。

在介绍 DSP 器件的发展之前,首先本书将简单地介绍一下计算机的分类及发展。我们经常遇到这样一些词汇:GPP、MPU、MCU、EP、DSP、ASP、ASSP、ASIC、SoC。我们把它们的英文缩写展开解释一下:GPP 是指 General Purpose Processor,就是通用处理器。广义的讲,这类的处理器不直接实现某一具体功能,而是由工程师对处理器进行相关的配置或编程,才能被应用。与此相对有各种专用处理器 ASP(Application Specific Processor)或专用标准产品 ASSP(Application Specific Standard Product),它们都是针对一些特定应用而设计的,如用于 HDTV、ADSL、Cable Modem 等的专用处理器。与 GPP 相比,ASP/ASSP 集成的资源可能比一般 GPP 更多、更专业化。但因为它的应用在相关领域中又是通用、标准和开放的,所以任何一个公司都能应用它构成自己的系统或产品。另一种是应用上较封闭的专用集成电路 ASIC(Application Specific IC)类的定制片上系统 SoC(System on Chip)的投入成本就要比 ASP 高得多。但这可以根据设计人员的要求来构建定制 SoC,这样就可设计人员提供满足量体裁衣式的应用需求。MPU(Micro Processor Unit)是微处理器单元(简称微处理器),说到微处理器,不得不提到 Intel 公司,下面我们 Intel 公司为主线,简述一下微处理器的发展。

第一代微型器(1971~1972 年) 1971 年美国 Intel 公司首先研制出 4004 微处理器,它是一种 4 位微处理器,随后又研制出 8 位微处理器 Intel 8008。由这种 4 位或 8 位微处理器

制成的微型机都属于第一代。

第二代微型机(1973~1977年) 第二代微型机的微处理器都是8位的,但集成有了较大的提高。典型产品有 Intel 公司的 8080, Motorola 公司的 6800 和 Zilog 公司的 Z80 等处理器芯片。以这类芯片为 CPU 生产的微型机,其性能较第一代有了较大提高。

第三代微型机(1978~1981年) 1978 年 Intel 公司生产出 16 位微处理器 8086, 标志着微处理器进入第三代,其性能比第二代提高近 10 倍。典型产品有 Intel 8086、Z8000、M68000 等。用 16 位微处理器生产出的微处理器支持多种应用,如数据处理和科学计算。

第四代微型机(1981~1993年) 随着半导体技术工艺的发展,集成电路的集成度越来越高,众多的 32 位高档微处理器被研制出来,典型产品有 Intel 公司的 Pentium 系列;AMD 公司的 AMD K6、AMD K6-2; Cyrix 公司的 6X86 等。用 32 位微处理器生产的微型机,一般将归于第四代,其性能可与 20 世纪 70 年代的大、中型计算机相媲美。

第五代高档 32 位微处理器 1993 年, Intel 公司推出了新一代高性能处理器 Pentium (奔腾), Pentium 最大的改进是它拥有超标量结构(支持在一个时钟周期内执行一至多条指令),且一级缓存的容量增加到了 16 KB,这些改进大大提升了 CPU 的性能。

当前的处理器可以称为第六代处理器,它的主要特征是 64 位、双核芯处理器。

MCU(Micro Control Unit)为微控制器单元。与 MPU 相比,它把处理器、存储器、内存等单元全部集中到一块芯片上,也可集成越来越多的内置部件。常用的部件有存储器类:程序存储器 MROM/OTPROM/EPROM/EEPROM/Flash 和数据存储器 SRAM/SDRAM/SSRAM;有串行接口类: UART、SPI、I2C、CAN、IR、Ethernet、HDL C;有并行接口类: Centronics、PCI、IDE、GPIO 等;有定时和时钟类:包括 Timer/Counter、RTC、Watchdog、Clock out;有专用和外围接口类: Comparer(比较器)、ADC、DAC、LCD 控制器、DMA、PWM、PLL、MAC、温度传感器等。尽管如此,越来越多的应用需求推动系统设计向功能更强大的嵌入式 16/32 位 MCU 过渡。这就是 EP(Embedded Processor)。嵌入式处理器与嵌入式系统相配合,使开发更为容易,成本更低,能够实现的功能越来越丰富,但是对开发者的要求更高。

DSP 器件的发展大致可分为三个阶段,我们把它和计算机的发展相比较进行阐述。

第一阶段: DSP 锥形阶段。在 1980 年前后,开始出现单片机和 PC,这是标志着计算机将不断进行细化分类的一个非常明显的标志。在这段时间内,个人计算机进入了人们的生活。单片机的发展更加成熟, Intel 公司在 80 年代初推出了至今还在使用的 MCS-51 内核。单片机被不断地用在控制领域。但是在数字信号处理领域,单片机的运算速度与数据处理能力及运算精度等方面具有很大局限性。像 Intel、TI、AD 等公司开始研制专门用于数字信号处理的微控制器,并推出了一些代表性的器件,如 Intel 2920、(NEC)  $\mu$ PD7720、(TI) TMS32010、(AMI) S2811、(AT&T) DSP16、(AD) ADSP-21。尤其是 TI 的 TMS32010,采用了改进的哈佛结构,这种结构允许数据在程序存储空间与数据存储空间之间传输,大大提高了运行速度和编程灵活性。

第二阶段: DSP 成熟阶段。在 1990 年前后,很多国际上生产集成电路芯片的著名厂家都相继推出了自己的 DSP 器件, DSP 器件得到了空前的发展,并且日益成熟。在第一阶段后期, Intel 公司采用了一种内核授权的方式来推广 51 内核,使得 51 单片机被广泛用在很多场合。与此同时,如 TI 公司推出了 TMS320 系列, Motorola 公司推出了 DSP5600、

9600 系列, AT&T 公司推出了 DSP32 等。这一时期的 DSP 器件在硬件结构上更适合数字信号处理的要求, 如硬件乘法器、硬件 FFT、单指令滤波处理等, 使得 DSP 运算速度达到每个指令周期 80~100 ns。但是, 在编程灵活性、软件调试、功耗、外部通信功能等方面都还不尽如人意。

第三阶段: DSP 完善阶段。在 2000 年之后, 这一时期各 DSP 生产厂家不仅使 DSP 的信号处理功能更加完善, 而且在系统开发的方便性、程序编程调试的灵活性、功耗降低节能性等方面做了许多工作。尤其是各种通用外设集成到片上, 不仅提高了数字信号处理能力, 而且为 DSP 器件的通用化及为数字处理取代模拟电路带来了极大的便利, 更重要的是使 DSP 芯片的性价比更高。现在 DSP 可以在 Windows 平台上直接用 C 语言编程, 使用灵活方便。同时, 成本也不断下降, 使 DSP 器件得到了广泛的普及和应用。

目前, DSP 的发展非常迅速。硬件结构上, 一方面主要是向采用多处理器的并行处理结构、便于外部数据交换的串行总线传输、大容量片上 RAM 和 ROM、程序加密、增加 I/O 驱动能力、外围电路内装化、低功耗等方面发展, 而且应用越来越细化, 尤其在多媒体处理领域 TI 推出了新的专用处理器——达·芬奇系列; 另一方面现在很多的 FPGA 也开始支持软 DSP 内核, 就是在用 FPGA 也能够进行数字信号处理, 并且能够根据客户的需求进行定制, 开发环境也不同于传统的开发, 但目前还没有被广泛应用。

## 1.2 DSP 器件的产品分类

DSP 芯片有很多分类方式, 现分别介绍如下:

(1) 按照编程方式分, 可分为专用芯片和可编程芯片。专用芯片是指功能是固定的, 不可更改的 DSP 芯片; 可编程芯片是指用户可以按照不同的需求编制程序, 以实现不同的功能。

(2) 按照对数据的处理方式分, 可分为定点 DSP 和浮点 DSP, 本书主要介绍定点 DSP。目前, 随着定点 DSP 主频的不断提高, 应用最多的就是定点 DSP。

目前世界上较为著名的 DSP 芯片生产厂家和主要定点运算机型如下:

- 美国 TI(Texas Instrument)公司的定点运算 DSP 系列

TMS320C2000, TMS320C5000, TMS320C6000 系列。

- 美国 Motorola 公司的定点运算 DSP 系列

DSP56XXX, DSP96XXX 系列。

- 美国 AD(Analog Devise)公司的定点运算 DSP 系列

ADSP210X, ADSP21X, ADSP21MODX, ADSP21MSPXX 系列。

- 美国 AT&T 公司的定点运算 DSP 系列

DSP16, DSP32。

- 日本 NEC 公司的定点运算 DSP 系列

$\mu$ PD7711X,  $\mu$ PD7721XX。

目前在中国应用的 DSP 芯片主要有 TI 公司和 AD 公司的生产。我们主要介绍 TI 公司的产品。

TI 公司的产品主要分成浮点和定点两种类型。

TI 公司的定点主要有 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列、TMS320C6000 系列和达·芬

奇系列。TMS320C2000 系列主要用于高速的控制领域,C2000 系列的 DSP 器件集成很多外设,性价比非常高。TMS320C5000 系列主要用于音频处理等。TMS320C6000 系列主要用于视频处理等。达·芬奇系列主要用于多媒体处理,集成各种编码器和 ARM 内核,并可以根据需求进行定制,可以用在媒体播放等领域。本书主要介绍 C5000 系列的 C54X。

### 1.3 DSP 的特点及应用

由于 DSP 具有体积小、成本低、易于产品化、可靠性高、易扩展及方便实现多机分布并行处理等能力,所以在航空航天、工业控制、医疗设备及科学研究的各个领域获得了越来越广泛的应用。

DSP 的特点主要由它的内部结构决定,大致有以下几个方面:

1) 高速、高精度运算能力

(1) 硬件乘法累加操作

DSP 同早期的 MCU 区别开来的第一个重大技术改进,就是添加了能够进行单周期乘法操作的专门硬件和明确的 MAC 指令。

(2) 哈佛结构和流水线结构

这里有必要简单地介绍一下微处理器的结构。微处理器的结构一般可以分为冯·诺曼结构、哈佛结构和增强型哈佛结构。

① 冯·诺曼结构

冯·诺曼结构采用单存储空间,程序和数据存放在同一个存储空间内,使用唯一的地址总线 and 数据总线进行操作。取指令操作和取操作数是通过同一总线分时进行的,如果进行高速的数字信号处理,速度就比较慢,示意图如图 1.3.1 所示。

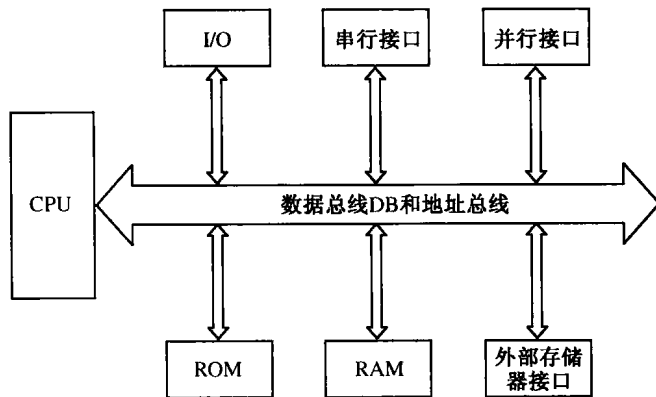


图 1.3.1

② 哈佛结构

哈佛结构采用双存储空间,程序存储器和数据存储器分开,有各自独立的程序总线和数据总线,可以分别编址和独立访问,可对程序和数据进行独立传输,这样就大大提高了数据处理能力和指令的执行速度,现在的一些增强型单片机也采用哈佛结构,哈佛结构示意图如图 1.3.2 所示。

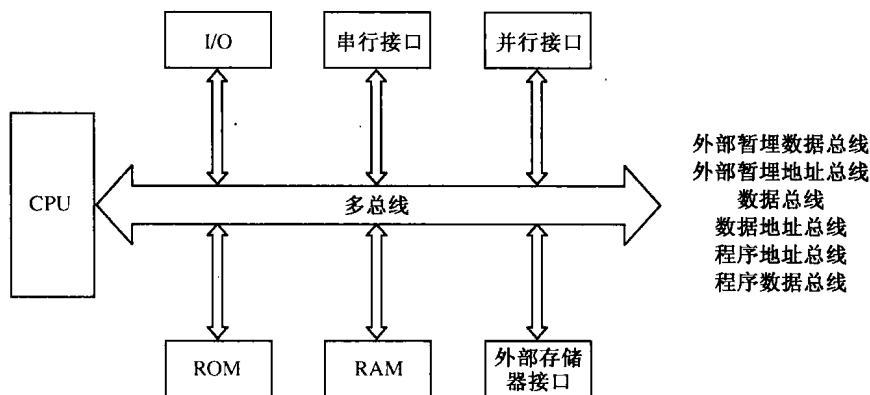


图 1.3.2

### ③ 增强型哈佛结构

增强型哈佛结构与哈佛结构的不同点是：增强型哈佛结构采用了多总线机制。其特点是：允许在程序空间和数据空间之间互传数据，使这些数据可以直接被调用；提供了存储指令的高速缓冲器(Cache)和相对应的指令，当需要重复指令时只需读入一次就可以了，该特点主要反映在 TMS320C6000 系列中。

传统的 MCU 使用冯·诺曼存储结构，在这种结构中，有一个存储空间通过两条总线（一条地址总线和一条数据总线）连接到处理器内核，这种结构不能满足 MAC 必须在一个指令周期中对存储器进行四次访问的要求。DSP 一般使用哈佛结构，在哈佛结构中，有程序存储空间和数据存储空间两个存储空间。处理器内核通过两套总线与这些存储空间相连，允许对存储器同时进行访问，这种安排使处理器的带宽加倍。在哈佛结构中，有时通过增加第二个数据存储空间和总线来实现更大的存储带宽。现代高性能 MCU 通常具有两个片上超高速缓冲存储器，其中一个存放数据，另一个存放指令。从理论角度讲，这种双重片上超高速缓存与总线连接等同于哈佛结构。但是，MCU 使用控制逻辑来确定哪些数据和指令字驻留在片上高速缓存里，这个过程通常不为程序设计者所见，而在 DSP 里，程序设计者能明确地控制哪些数据和指令被存储在片上的存储单元或缓存中。DSP 采用多总线的机制，使用流水线结构可以在单个周期内充分利用各条总线，提高了 CPU 的运算速度和效率。

#### (3) 硬件循环控制

DSP 算法的共同特征在于大部分处理时间花在执行包含在相对小循环内的少量指令。因此，大部分 DSP 处理器具有零消耗循环控制的专门硬件。零消耗循环是指处理器不用花时间测试循环计数器的值就能执行一组指令的循环，硬件完成循环跳转和循环计数器的衰减。有些 DSP 还通过一条指令的超高速缓存实现高速的单指令循环。

#### (4) 特殊寻址模式

DSP 经常包含有专门的地址产生器，它能产生信号处理算法需要的特殊寻址，如循环寻址和位翻转寻址。循环寻址对应于流水 FIR 滤波算法，位翻转寻址对应于 FFT 算法。

#### (5) 具有丰富的外设

DSP 具有 DMA、串口、PLL、定时器等外设。

#### 2) 强大的数据通信能力

数字信号处理往往涉及较大的数据吞吐量，因此，DSP 都具有 DMA、串行/并行以及多

CPU 之间的通信方式。

### 3) 灵活的可编程性

通用 DSP 完全是通过编程来实现数字信号处理能力,因此,DSP 配置片内 RAM 和 ROM,可以方便地扩展程序、数据及 I/O 空间,同时,允许 ROM 和 RAM 之间的直接数据传送。时钟频率可通过内部锁相环电路调节。系统各种特性的软/硬件控制为方便灵活的编程提供了充分的空间。

### 4) 低功耗设计

DSP 可以工作于省电状态,节省了能源。

DSP 的应用范围几乎可以遍及电子应用的每一个领域,下面仅将一些典型的应用陈述如下:

#### (1) 通用数字信号处理

包括数字滤波、卷积、相关、Hilbert 变换、FFT、自适应滤波、窗函数、波形发生器等,可用到数字信号处理技术的各类系统及产品中。例如,各种智能检测仪器、示波器、通信设备等。

#### (2) 声音/语音处理

包括语音信箱、语音编码、语音识别、语音合成、文本—语音转换等。

#### (3) 图形/图像处理

包括三维图形变换、机器人视觉、图形转换及压缩、模拟识别、图像增强等。

#### (4) 控制

包括伺服控制、机器人控制、自适应控制、神经网络控制等。

#### (5) 仪器仪表

包括频谱分析、函数发生器、模态分析、暂态分析、锁相环等。

#### (6) 军事

包括保密通信、雷达及声呐信号处理、导航及制导、调制解调、传感器融合、全球定位系统、搜索与跟踪等。

#### (7) 通信

包括回音消除、高速调制解调器、数字编码/解码、自适应均衡、移动电话、扩频通讯、噪声对消、网络通信等。

#### (8) 消费电子

包括高清晰度电视、音乐合成器、智能玩具、游戏等。

#### (9) 工业

包括机器人、数字控制、安全监控、电力系统监控、机床监控、CAM(计算机辅助制造)等。

#### (10) 医学

包括助听器、病源监控、超声波设备、自动诊断设备、心电图/脑电图、核磁共振、胎儿监护等。

## 1.4 TMS320C54X 系列

TI 公司是世界上应用最广、品种最多的 DSP 芯片生产厂家之一,该公司自从 1982 年推出第一款定点 DSP 芯片 TMS32010 以来,相继推出了 TMS320 系列'C1X、'C2X、'C2XX、'C5X、'C54X 及'C6X 定点运算 DSP,'C3X、'C4X、'C67X 浮点运算 DSP,以及'C8X、多处理器 DSP 三类运算特性不同的 DSP 芯片。

定点运算单处理器 DSP 已发展了七代,浮点运算单处理器 DSP 发展了三代,多处理器发展了一代。主要按照处理器的处理速度、运算精度及并行处理能力分类,每一类的各代产品的 CPU 结构相同,只是片内存储器及片外配置不同。

TMS320 系列产品命名方法如下:

|              |      |      |
|--------------|------|------|
| TMS320 *     | NX   | —Z   |
|              |      |      |
| 外设配置         | 产品代号 | 时钟频率 |
| C: CMOS 工艺   |      |      |
| E: 带 EPROM   |      |      |
| P: 带 OTP     |      |      |
| LC: 低功耗      |      |      |
| BC: 自动加载     |      |      |
| LBC: 低功耗自动加载 |      |      |
| VC: 极低电压     |      |      |

例如: TMS320C5402 表明这个芯片的制造工艺是 CMOS, 第七代产品, 其时钟频率可调, 所以没有固定时钟频率后缀。TMS320C240 表明芯片的制造工艺是 CMOS, 第七代产品, 时钟频率可以根据需要调整。

TMS320C54X(简称'C54X)是 TI 公司于 1996 年推出的第七代定点数字信号处理器。它的微处理器采用修正的增强型哈佛结构, 片内有 CPU、8 条总线、RAM、ROM 及片内外设等硬件配置, 加上高度专业化的指令系统, 使'C54X 具有如下特点:

#### 1) 集成度高

片上集成了最大 192KB 存储空间(64KB RAM、64KB ROM、64KB I/O), 全双工串行口, 支持 8 位或 16 位数据传送, 具有时分多路口串口 TMD、缓冲串口 BSP、8 位并行主机接口 HPI、可编程等待状态发生器、可编程分区转换逻辑电路、内部振荡器或外部时钟源的片上锁相环 PLL 时钟发生器、16 位可编程定时器。外部总线关断及保持控制器。在许多应用场合只要一片 DSP 便可满足数据处理及控制要求。

#### 2) 结构简单

'C54X 系列内部为模块式结构, 增加或更换一个片上外设模块电路是可以的, 代指令系统和引脚全兼容。

#### 3) 扩展方便

'C54X 系列具有外扩最大 1 MB×16bit 的 ROM、64KB RAM、64KB I/O 的能力。当片内存储空间和 I/O 口不够用时, 可方便地进行系统扩展。许多公司生产的 I/O 接口芯片和各大公司生产的通用存储芯片可以直接与'C54X 系列 DSP 相连。

#### 4) 可靠性强

'C54X 的总线大多在片内不易受干扰, 其应用系统体积小, 容易采取屏蔽措施。适应范围宽, 在各种恶劣环境下都能可靠工作。'C54X 根据其抗干扰性有军品与民品之分, 用户可根据应用环境, 选择相应档次的芯片, 一般军用的抗干扰及环境参数应用范围较宽。

#### 5) 处理能力强

高速、先进的多总线结构, 可以完成并行指令操作。40bit 算术逻辑运算单元 ALU, 以