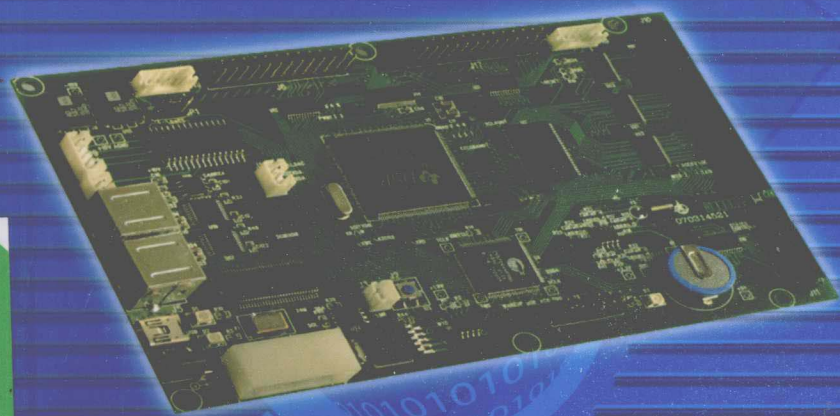


电气信息工程丛书

# DSP 技术及应用

## 系统设计

胡景春 叶水生 张胜 周日贵 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



电气信息工程丛书

# DSP 技术及应用系统设计

胡景春 叶水生 张胜 周日贵 编著



机械工业出版社

本书介绍了 DSP 的概念以及结构、特点、分类、选择等基础知识；定点 DSP 芯片 TMS320F2712 和浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 的性能指标、硬件结构和指令系统；DSP 应用系统的设计，包括硬件设计、软件设计、开发环境、程序设计和综合设计。

本书理论结合实践，对于教学和工程都有较大的参考价值。与本书配套的电子教案，可登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 免费注册，审核通过后下载，或联系编辑索取（QQ：241151483，电话：010-88379753）。

### 图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术及应用系统设计/胡景春等编著.—北京：机械工业出版社，2010.10

(电气信息工程丛书)

ISBN 978-7-111-31973-3

I. ① D… II. ① 胡… III. ① 数字信号-信号处理-高等学校-教材  
② 数字信号-微处理器-高等学校-教材 IV. ① TN911.72 ② TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 185073 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：李馨馨 赵东旭

责任印制：杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2010 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.25 印张·1 插页·624 千字

0001-3500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-31973-3

定价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 芯片的出现极大地促进了数字信号处理技术的发展, 它也使数字信号处理的应用领域得到了极大的拓展。在我国, DSP 技术正以极快的速度被应用于我国国民经济的各个领域。

DSP 芯片的特色是拥有强大的数据处理能力和较高的运行速度。从 20 世纪 80 年代初 DSP 芯片诞生以来, 经过 20 多年的发展, DSP 芯片已经在信号处理、语音通信、图像多媒体、自动控制、航空航天、仪器仪表及家用电器等领域得到了广泛的应用。随着 DSP 芯片的性价比越来越高, 其应用范围也越来越广。DSP 技术已经逐渐成为计算机、电子、通信相关专业的大学生、研究生以及从事电子开发研究的工程技术人员必须掌握的技术之一。

本书以通用定点 DSP 芯片 TMS320F2812 和浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 为基础, 讲述 DSP 应用系统的开发设计。熟悉基本原理、掌握开发工具、突出实际应用, 这是本书编写的基本思想。

本书共 7 章。第 1 章介绍 DSP 芯片的发展和现状、DSP 应用系统的结构特点及设计过程。第 2 章和第 3 章介绍定点 DSP 芯片 TMS320F2812 和浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 的性能指标、硬件结构和指令系统, 对 DSP 芯片内部的电路结构和功能, 以及一些具体的接口电路和汇编指令做了详细的讲述, 并通过举例对指令的具体应用进行了讲解。第 4 章主要讲述 DSP 对外接口扩展设计, 深入讲述了 DSP 应用系统硬件设计的相关技术, 包括电源设计, 多种存储器及其接口设计, A/D、D/A 转换及其接口设计, 以及 FPGA 器件在接口设计中的应用, 讨论了计算机和 DSP 应用系统连接的常用接口技术。第 5 章重点介绍 TI 公司的 DSP 软件集成开发平台 CCS 及其使用方法, 通过软件仿真器 (Simulator) 的应用实例, 讲述了利用 CCS 集成开发平台进行程序设计和调试的技术和方法。第 6 章介绍 DSP 应用系统中常用软件的技术原理及算法和 CCS 集成环境开发平台下 C 语言设计基础, 较全面地介绍了 ANSI C 的关键字和标准函数。第 7 章详细介绍 3 个实际的 DSP 应用系统的硬件设计、软件设计和系统调试。

本书特色如下。

(1) 实例多。本书介绍了大量应用实例, 包括模块设计、软件设计和系统设计。通过设计实例, 详细介绍 DSP 的各种开发技术和应用技巧。这些实例基本上是工程或项目中成功的应用, 读者可以直接借鉴使用。

(2) 实践性强。对于初学者和具有一定经验的开发人员, 都提供了较全面的实践内容和设计方法, 例如, CCS 的软件仿真器 (Simulator) 应用实例、ANSI C 的标准函数介绍及应用、应用系统的在线测试技术等。

(3) 器件新。本书在 DSP 的硬件电路设计中介绍了大量新型器件, 突出了快速 DSP 和外围器件连接的特点, 这对于在不同的应用设计中选用这些器件带来了方便。

本书第 1 章由张胜编写, 第 2 章由胡景春编写, 第 3 章由周日贵、张胜编写, 第 4 章由胡景春编写, 第 5 章由叶水生、胡景春编写, 第 6 章由叶水生、周日贵编写, 第 7 章由胡景

春、叶水生编写，全书由胡景春统稿。

在本书编写的过程中，得到何玉珠、赵矿军、李机闯、吴霄、田吉、王惠强、卢小文、张文涛、孙崇龙、李建英等同志的大力支持，他们在资料收集、整理和技术支持方面为本书的编写做了大量的工作，在此向他们致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中的错误和不足在所难免，恳请读者批评和指正。

编者

2010年6月

# 目 录

## 前言

第 1 章 概述	1
1.1 DSP 的概念	1
1.2 DSP 芯片	1
1.2.1 DSP 芯片的定义	1
1.2.2 DSP 芯片的发展	2
1.2.3 DSP 芯片的结构特点	3
1.2.4 DSP 芯片的分类	4
1.2.5 DSP 芯片的选择	5
1.2.6 DSP 芯片的应用	6
1.2.7 常用 DSP 芯片简介	6
1.3 典型 DSP 应用系统	15
1.4 DSP 应用系统的特点	16
1.5 DSP 应用系统的设计方法	16
1.6 习题	18
第 2 章 定点 DSP 芯片 TMS320F2812	19
2.1 TMS320F2812 的性能指标	19
2.2 TMS320F2812 的硬件结构	19
2.2.1 TMS320F2812 的内部结构及总线	19
2.2.2 TMS320F2812 的引脚	21
2.2.3 中央处理单元(C28x CPU)	26
2.2.4 存储器及扩展接口	30
2.2.5 TMS320F2812 的时钟及系统控制	37
2.2.6 TMS320F2812 的中断系统	49
2.2.7 串行通信接口(SCI)	54
2.2.8 串行外设接口(SPI)	64
2.2.9 事件管理器	74
2.2.10 TMS320F2812 内嵌 eCAN 总线模块	91
2.2.11 TMS320F2812 的 ADC 功能模块	105
2.2.12 多通道缓冲串行口 McBSP 简介	113
2.2.13 基于扫描的仿真接口 JTAG	126
2.3 TMS320F2812 指令系统简介	126
2.3.1 寻址方式选择位(AMODE)	126
2.3.2 寻址方式简介	128

2.3.3	TMS320F2812 汇编指令系统简介	130
2.4	习题	145
<b>第3章</b>	<b>浮点 DSP 芯片 TMS320VC33</b>	<b>147</b>
3.1	TMS320VC33 的性能指标	147
3.2	TMS320VC33 的硬件结构	147
3.2.1	TMS320VC33 的引脚及其功能	147
3.2.2	TMS320VC33 的内部结构	150
3.3	'C3x 指令系统	159
3.3.1	汇编指令集简介	159
3.3.2	寻址方式	162
3.3.3	'C3x 汇编指令	168
3.4	习题	223
<b>第4章</b>	<b>DSP 应用系统的硬件设计</b>	<b>224</b>
4.1	DSP 硬件系统扩展的基本结构	224
4.2	高速、低功耗外围器件	224
4.2.1	采用高速、低功耗外围器件的原因	224
4.2.2	高速外围器件的选择	225
4.3	DSP 应用系统硬件设计的相关技术	226
4.3.1	DSP 电源和混合供电系统的设计	226
4.3.2	存储器及其接口	227
4.3.3	A/D 转换器及其接口	244
4.3.4	D/A 转换器及其接口	247
4.3.5	FPGA 器件在接口设计中的应用	252
4.4	计算机和 DSP 应用系统连接的常用接口	264
4.4.1	计算机总线接口	264
4.4.2	计算机常用外部通信接口	269
4.5	习题	273
<b>第5章</b>	<b>DSP 应用系统的开发环境</b>	<b>275</b>
5.1	DSP 编程基础	275
5.1.1	公共目标文件格式(COFF)	275
5.1.2	COFF 文件中的段	282
5.1.3	DSP 应用系统的开发工具	285
5.2	DSP 软件集成开发平台(CCS)	286
5.2.1	CCS 的基本特征和安装设置	286
5.2.2	CCS 集成环境及使用方法	286
5.2.3	GEL 语言的使用	300
5.2.4	软件仿真器(Simulator)应用实例	308
5.3	习题	318
<b>第6章</b>	<b>DSP 应用系统的程序设计基础</b>	<b>319</b>

6.1 DSP 应用系统中常用的软件处理技术 .....	319
6.1.1 数字滤波器的实现 .....	319
6.1.2 FFT 算法及其实现 .....	322
6.2 CCS 集成环境下 C 语言设计基础 .....	327
6.2.1 C 语言编程简述 .....	327
6.2.2 C 语言程序的编制过程 .....	329
6.2.3 ANSI C 的关键字和函数 .....	330
6.3 习题 .....	353
<b>第 7 章 DSP 应用系统开发实例 .....</b>	<b>354</b>
7.1 基于 PCI 总线的嵌入式 DSP 高精度测量系统 .....	354
7.1.1 PCI 接口卡的硬件设计基础 .....	354
7.1.2 系统硬件设计 .....	360
7.1.3 系统软件设计 .....	366
7.1.4 系统调试 .....	368
7.2 计算机 - DSP 通信实验模板 .....	380
7.2.1 系统硬件设计 .....	380
7.2.2 DSP 并行、串行通信软件设计提要 .....	386
7.3 DSP 高性能信号源 .....	389
7.3.1 系统简介 .....	389
7.3.2 系统硬件设计 .....	389
7.3.3 系统软件设计 .....	392
<b>参考文献 .....</b>	<b>394</b>



# 第1章 概 述

## 1.1 DSP 的概念

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 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, 是利用计算机或专用处理设备, 以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理, 以达到获取信息和便于应用的目的。随着信号处理技术的飞速发展, 数字信号处理器在电子信息、通信、软件无线电、自动控制、仪器仪表、信息家电等高科技领域得到了越来越广泛的应用。

数字信号处理以众多学科为理论基础。在数学领域, 微积分、概率统计、随机过程、数值分析等都是数字信号处理的基本工具, 与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关。近来新兴的一些学科, 如人工智能、模式识别、神经网络等, 都与数字信号处理密不可分。可以说, 数字信号处理是把许多经典的理论体系作为理论基础, 同时由于直接面向许多新的应用领域, 又成为一系列新兴学科的理论基础。

数字信号处理技术的发展, 一般是以 1965 年 Colley-Tukey 提出快速傅里叶变换 (FFT) 作为数字信号处理这一新兴学科的开端, 在 40 多年的发展中, 数字信号处理自身已形成一套较为完整的理论体系。这些理论包括:

- 1) 信号的采集, 如 A/D 技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等。
- 2) 离散信号分析, 如时域和频域分析、各种变换技术、信号特征的描述等。
- 3) 离散系统分析, 如系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特征等。
- 4) 信号处理中的快速算法, 如快速傅里叶变换、快速卷积、快速相关等。
- 5) 信号的估值, 如各种估值理论、相关函数与功率谱估计等。
- 6) 信号滤波技术, 如各种数字滤波器的设计与实现。
- 7) 信号的建模, 常用的有 AR、MA、ARMA、PRONY 等。
- 8) 信号处理中的特殊算法, 如抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重构等。
- 9) 信号处理技术的实现, 包括软件实现和硬件实现。

## 1.2 DSP 芯片

### 1.2.1 DSP 芯片的定义

自 20 世纪 70 年代微处理器诞生以来, 主要有通用 CPU (微型计算机里使用的 CPU)、微控制器 MCU (我国通常称为单片机) 和 DSP 处理器 3 大类, 虽然它们在技术上不断地相互借鉴, 但又有各自的特点和应用领域。

DSP 既是 Digital Signal Processing 的缩写, 也是 Digital Signal Processor 的缩写。前者是指

数字信号处理的理论和方法,后者是指用于数字信号处理的可编程微处理器。而 DSP 技术通常是指使用通用 DSP 处理器或基于 DSP 核的专用器件实现数字信号处理的方法和技术,来完成有关的任务。例如,声音或图像的压缩、加密与解密、调制与解调、信道的识别与均衡、智能天线、频谱分析等。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

- 1) 在通用计算机上用软件(如 C 语言, Matlab 等)实现。
- 2) 在通用计算机系统中加上专用的加速处理机实现。
- 3) 用单片机(如 MCS-51、96 系列等)实现,由于单片机运算速度相对较慢,因此可用于一些不太复杂的数字信号处理。
- 4) 用通用的可编程 DSP 芯片实现。与单片机相比, DSP 芯片具有更加适合数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法。
- 5) 用专用的 DSP 芯片实现。在一些特殊的场合,要求信号处理的速度极高,使用通用 DSP 芯片很难实现,例如,专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关等算法的 DSP 芯片,这种芯片将相应的信号处理算法在芯片内部用硬件实现,无需进行编程。
- 6) 用 ARM (Advanced RISC Machines)、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等新型大规模集成器件实现。近年来 ARM 技术、FPGA 等可编程阵列迅速发展,这些高速器件具有可编程功能,有些内部还直接嵌入了 DSP 部件,具有较强的数字信号处理能力。

在上述几种方法中,第 1 种方法速度较慢,一般用于 DSP 算法的模拟;第 2 种和第 5 种方法专用性强,应用受到很大的限制;第 3 种方法只适用于实现简单的 DSP 算法;第 4 种方法使数字信号处理的应用打开了新的局面,是目前数字信号处理的主要方法;第 6 种方法可以看做 DSP 技术的一个新的扩展, DSP 和 ARM、FPGA 相结合,使 DSP 有更加广泛的应用前景。

## 1.2.2 DSP 芯片的发展

1978 年 AMI 公司发布的 S2811 和 1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是世界上最早的 DSP 芯片,这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必需的单周期乘法器。1980 年,日本 NEC 公司推出的  $\mu$ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。

1982 年美国德州仪器公司 (Texas Instruments, TI) 成功推出其第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS320C10/C14 /C15/C16/C17 等,之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C25/C26/C28,第三代 DSP 芯片 TMS320C30/C31/C32,第四代 DSP 芯片 TMS320C40/C44,第五代 DSP 芯片 TMS320C5X/C54X,以及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62X/C67X 等。TI 将常用的 DSP 芯片归纳为 3 大系列,即 TMS320C2000 系列(包括 TMS320C2X/C2XX)、TMS320C5000 系列(包括 TMS320C5X/C54X/C55X)、TMS320C6000 系列(TMS320C62X/C67X)。如今, TI 公司的一系列 DSP 产品已经成为当今世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司也成为世界上最大的 DSP 芯片供应商。

日本的 Hitachi 公司于 1982 年第一个采用 CMOS 工艺生产出了浮点 DSP 芯片;日本 Fujitsu 公司于 1983 年推出的 MB8764,其指令周期为 120 ns,且具有双内部总线,从而使处理吞吐量有了一个大的飞跃; AT&T 公司于 1984 年推出第一个高性能浮点 DSP 芯片 DSP32;

Motorola 公司在 1986 年推出了定点处理器 MC56001。1990 年推出了与 IEEE 浮点格式兼容的浮点 DSP 芯片 MC96002。

美国模拟器件公司 (Analog Devices, AD) 相继推出了一系列具有自己特点的 DSP 芯片, 其定点 DSP 芯片有 ADSP2101/2103/2105、ASDP2111/2115、ADSP2161/2162/2164 以及 ADSP2171/2181, 浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020、ADSP21060/21062 等。

近年来, DSP 芯片得到了突飞猛进的发展, 从运算速度来看, MAC (一次乘法和一次加法) 时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400 ns (如 TMS32010) 降低到 10 ns 以下 (如 TMS320C54X、TMS320C62X/67X 等), 处理能力提高了几十倍。DSP 芯片内部关键的乘法器部件从 1980 年的占模片区 (Die Area) 的 40% 左右下降到 5% 以下, 片内 RAM 数量增加一个数量级以上。从制造工艺来看, 1980 年采用  $4\ \mu\text{m}$  的 N 沟道 MOS (NMOS) 工艺, 而现在则普遍采用粒度直径为  $100\ \text{nm} \sim 1.0\ \mu\text{m}$  的亚微米 (Micron) CMOS 工艺。DSP 芯片的引脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上, 引脚数量的增加, 意味着结构灵活性的增加, 如外部存储器的扩展和处理器间的通信等。此外, DSP 芯片的发展使 DSP 系统的成本、体积、重量和功耗都有很大程度的下降。

### 1.2.3 DSP 芯片的结构特点

为了快速实现数字信号处理, DSP 芯片采用特殊的软硬件结构。下面以 TMS320 系列为例, 介绍其基本结构。

#### (1) 哈佛结构

哈佛结构 (Harvard Architecture) 是不同于传统的冯·诺依曼 (Von Neuman) 结构的并行体系结构。

通用 CPU 采用冯·诺依曼结构, 将程序代码和数据同用一个公用的存储器空间, 并采用统一编址, 依靠指令计数器提供的地址来区分是指令、数据还是地址, 同一时刻只能访问同一地址空间。DSP 处理器采用哈佛结构, 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分开的程序总线 and 数据总线, 从而可以同时访问数据空间和程序空间, 使信息访问的吞吐量大大提高。

在哈佛结构中, 由于程序存储器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。为了进一步提高运行速度和灵活性, TMS320 系列 DSP 芯片在基本哈佛结构的基础上作了改进, 可使指令存储在高速缓冲器 (Cache) 中, 当执行此指令时, 不需要再从存储器中读取指令, 节约了一个取指令周期的时间。

#### (2) 流水线技术

与哈佛结构相关, DSP 芯片广泛采用流水线技术以减少指令执行时间, 从而增强了处理器的处理能力。计算机在执行一条指令时, 需要经过取指、译码、取数、执行等多个步骤, 需要若干个指令周期才能完成。流水线技术是将指令的各个步骤重叠起来执行, 如图 1-1 所示, 是一个四级流水线, 可以最大重叠执行取指、译码、取数、执行四种操作。如果连续执行指令, 当第一条执行时, 第二指令取数, 第三条指令译码, 第四条指令取指, 依此类推。



图 1-1 流水线操作

### (3) 特殊的 DSP 指令

DSP 芯片的另一个特征是采用特殊的指令。这些指令用来充分发挥不同系列 DSP 芯片的特殊功能，提高 DSP 的处理能力。

### (4) 专用的硬件乘法器

在 FIR 滤波处理中，乘法是数字信号处理的重要组成部分。对每个滤波器抽头，必须做一次乘法和一次加法，这种运算往往要占据 DSP 处理器的绝大部分处理时间。在通用的微处理器中，乘法指令是由一系列加法来实现的，故需要许多个指令周期来完成。DSP 专门设置了硬件乘法器以及 MAC（乘且累加）一类的指令。可以在单周期内取两个操作数相乘，并将乘积加到累加器中，大大提高了 DSP 的处理速度。

### (5) 独立的 DMA 总线及其控制器

DSP 处理器为 DMA 单独设置了完全独立的总线和控制器，这与通用 CPU 和 DMA 需要分时占用总线不同。目的是在进行数据传输时，基本不影响或完全不影响 CPU 及其相关总线的工作，由 DSP 中的 DMA 直接控制 DSP 间的数据高速传送。

### (6) 专门的数据地址发生器

在通用 CPU 中，数据地址的产生和数据的处理都是由 ALU 来完成的。在 DSP 处理器中设置了专门的数据地址发生器来产生所需要的地址。数据地址的产生与 CPU 的工作是并行的，不需要占用 CPU 计算地址的时间，从而提高信号的处理速度。

## 1.2.4 DSP 芯片的分类

通常 DSP 芯片按照下列 3 种方式进行分类。

### 1. 静态 DSP 芯片和一致性 DSP 芯片

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，如 TI 公司的 TMS320C2XX 系列芯片。如果多种 DSP 芯片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，如 TI 公司的 TMS320C3X 系列芯片。

### 2. 定点 DSP 芯片与浮点 DSP 芯片

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 TI 公司的 TMS320C1X/C2X、TMS320C2XX/C5X、TMS320C54X/C62XX 系列，AD 公司的 ADSP21XX 系列，AT&T 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、AD 公司的 ADSP21XXX 系列、AT&T 公司的 DSP32/32C、Motolora 公司的 MC96002 等。

浮点 DSP 芯片中，有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式，如 TMS320C3X，而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式，如 Motorola 公司的 MC96002 等。

### 3. 通用型和专用型 DSP 芯片

这是根据 DSP 芯片的用途来分类。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用，具有可编程性和强大的处理能力，可适应复杂的数字信号处理的算法编程，如 TI 公司的一系列 DSP 芯片都属于通用型 DSP 芯片。专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的，一些主要的算法由内部硬件电路实现，常用于数字滤波、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，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。

## 1.2.5 DSP 芯片的选择

DSP 芯片的选择应根据实际的应用系统需要而确定。一般来说，选择 DSP 芯片应考虑如下因素。

### (1) DSP 芯片的运算速度

运算速度是选择 DSP 芯片时所需要考虑的一个最重要的性能指标，DSP 芯片的运算速度可以用以下几种性能指标来衡量。

- 1) 指令周期：执行一条指令所需的时间，通常以 ns（纳秒）为单位。
- 2) MAC 时间：一次乘法加上一次加法的时间。
- 3) FFT 执行时间：运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。由于 FFT 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 芯片运算能力的一个指标。
- 4) MIPS：每秒执行百万条指令。
- 5) MOPS：每秒执行百万次操作。
- 6) MFLOPS：每秒执行百万次浮点操作。
- 7) BOPS：每秒执行十亿次操作。

### (2) DSP 芯片的硬件资源

如片内 RAM、ROM 的大小，外部可扩展的程序和数据空间、总线接口、I/O 接口、定时器、中断接口等。即使是同一系列的 DSP 芯片，也具有不同的内部硬件资源，可以满足不同的需要。

### (3) DSP 芯片的运算精度

定点 DSP 芯片的字长有 16 位、24 位、32 位等，浮点芯片的字长一般为 32 位，累加器为 40 位，可以根据运算精度需要进行选择。

### (4) DSP 芯片的开发工具

在 DSP 系统的开发过程中，开发工具是必不可少的，包括软件和硬件的开发工具。如果有功能强大的开发工具的支持，则开发的时间就会大大缩短。

### (5) DSP 芯片的功耗

对便携式 DSP 设备、手持设备、野外应用的 DSP 设备等都对功耗有特殊的要求。目前，3.3 V 供电的低功耗高速 DSP 芯片已大量使用。

### (6) 其他

除了上述因素外，选择 DSP 芯片还应考虑封装形式、质量标准、供货情况、生命周期、

DSP 芯片的价格等。有的 DSP 芯片可能有 DIP、PGA、PLCC、PQFP 等多种封装形式，DSP 芯片的商业级、工业级或军用级一些技术指标不一样等，这些因素在选择芯片时都需要全面考虑。

### 1.2.6 DSP 芯片的应用

TI 公司是全球提供 DSP 芯片的最大厂商，其产品对 DSP 芯片的应用给予了最大支持，TI 公司的用户指导概括了 DSP 处理器应用的 11 个方面。

1) 通用场合，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) 电信，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、个人通信系统 (PCS)、个人数字处理 (PDA) 等。

3) 语音，如语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人检验、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/数字地图、机器人视觉、模式识别等。

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，如频谱分析、函数发生、锁相环、模式匹配、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) 消费类产品，如数字收音机、音乐合成、音调控制、玩具与游戏、数字电话/电视等。

10) 工业控制，如数字化控制、电力线监控、机器人、安全检修等。

11) 汽车，如自适应行驶、防滑制动、引擎控制、全球定位、导航、话音命令等。

随着 DSP 芯片的性能价格比不断提高，可以预见 DSP 芯片将会在更多的领域得到广泛的应用。

### 1.2.7 常用 DSP 芯片简介

目前，生产 DSP 芯片的公司主要有美国的 TI 公司、AD 公司、AT&T 公司、Motorola 公司，日本的 NEC 公司。其中，TI 公司是世界上最大的 DSP 芯片供应商。下面对市场流行的 DSP 芯片序列作简要介绍。

#### 1. TI 定点 DSP 芯片

TI 的定点 DSP 芯片经历了 TMS320C1X、TMS320C2X/C2XX、TMS320C5X、TMS320C54X、TMS320C62X 等几代产品。下面简要介绍几种 TI 公司的定点 DSP 芯片。

#### (1) TMS320C2XX 简介

TMS320C2XX 系列包括 TMS320C20X、TMS320C24X 和 TMS320C28X 3 类，是继 TMS320C2X 和 TMS320C5X 之后出现的一种低价格、高性能定点 DSP 芯片，该系列芯片具有如下特点：

1) 处理能力强。如 TMS320F206 指令周期最短为 25 ns，运算能力达 40MIPS；TMS320C28X 指令周期最短为 6.7 ns。

2) 多级流水线。以 TMS320F2812 为例,它具有 8 级流水线,如图 1-2 所示,其流水线还具有自动保护机制,当两条指令方式访问地址冲突时(如图 1-2 中 E 和 G 指令),则自动推迟后面指令流水线的执行。流水线冲突可以分为 3 大类,即跳转冲突、寄存器冲突和存储器冲突。这 3 类冲突都可以采取相应的手段予以解决,如由标准跳转引起的跳转冲突可以采用延迟跳转的方法来解决。

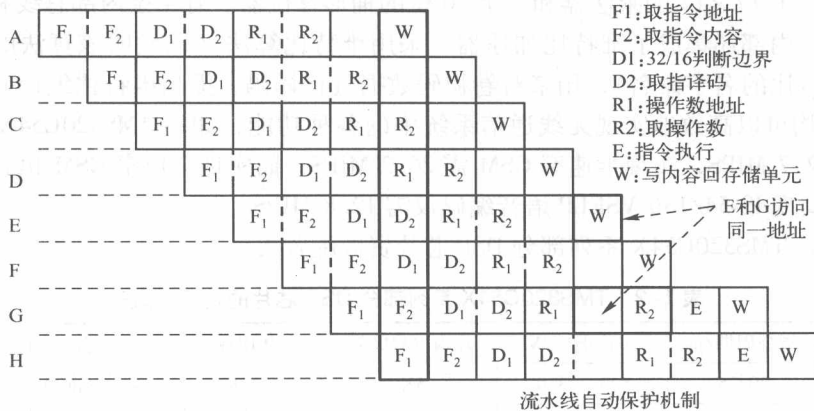


图 1-2 TMS320F2812 的 8 级流水线

3) 功耗低。TMS320C2XX 系列 DSP 芯片在 5 V 工作时每秒连续执行指令 1.9 mA,在 3.3 V 工作时工作电流为 1.1 mA。使用 DSP 核的省电模式可进一步降低功耗。

4) 片内具有较大的闪烁存储器。TMS320C2XX 是最早使用闪烁存储器的 DSP 芯片。TMS320F206 和 TMS320F207 片内具有 32K 字的闪烁存储器和 4.5K 字的 RAM, TMS320F2812 片内的闪烁存储器更是高达 128K 字。利用闪烁存储器存储程序,不仅降低了成本,减小了体积,同时系统升级也比较方便。

5) 资源配置灵活。现有 10 多种具有不同资源配置的芯片。表 1-1 是 TMS320C2XX 系列 DSP 芯片的资源配置表。

表 1-1 TMS320C2XX 系列芯片的资源配置

TMS320C2XX	指令周期 /ns	片内 ROM /字	片内 RAM /字	片内 FLASH /字	同步串行口	异步串行口
C203/C204/C205	25/35/50	0/4K/0	544/544/4.5K	/	1	1
F206/F207	25/35/50	/	4.5K	32K	1/2	1
C209	35/50	4K	4.5K	/		
C240/C241/C242	50	16K/8K/4K	544	/	1	1
F240/F241/F243	50	/	544	16K/8K/8K	1	1
C2810/C2811/ C2812	6.67	64K/128K/128K	18K	/	2	2
F2810 /F2811 /F2812	6.67	/	18K	64K/128K/128K	2	2

## (2) TMS320C54X

TMS320C54X 是为实现低功耗、高性能而专门设计的定点 DSP 芯片,其主要应用是无线

通信系统等。该芯片的内部结构与 TMS320C5X 不同，因而指令系统与 TMS320C5X 和 TMS320C2X 等是互不兼容的。TMS320C54X 的资源配置如表 1-2 所示，其主要特点包括：

1) 运算速度快。指令周期为 25/20/15/12.5/10 ns，运算能力为 40/50/66/80/100 MIPS。

2) 优化的 CPU 结构。内部有一个 40 位的算术逻辑单元，两个 40 位的累加器，两个 40 位加法器，一个  $17 \times 17$  的乘法器和一个 40 位的桶形移位器。有 4 条内部总线和两个地址产生器。此外，内部还集成了维特比加速器，采用维特比算法（以发明该算法的美籍科学家安德鲁·维特比的名字命名），用来对卷积码数据进行译码，提高维特比编译码的速度。先进的 DSP 结构可以高效地实现无线通信系统中的各种功能，如用 TMS320C54X 实现全速率的 GSM 需 12.7 MIPS，实现半速率 GSM 需 26.2 MIPS，而实现全速率 GSM 语音编码器仅需 2.3 MIPS，实现 IS-54/136 VSELP 语音编码仅需 12.8 MIPS。

表 1-2 是 TMS320C54X 系列部分 DSP 芯片资源配置表。

表 1-2 TMS320C54X 系列部分 DSP 芯片的资源配置表

TMS320C54X	指令周期/ns	工作电压/V	片内 RAM/字	片内 ROM/字	串行口	BSP	HPI
C541	20/25	5/3.3/3.0	5K	28K	两个标准口		
C542	20/25	5/3.3/3.0	10K	2K	一个 TDM 口	1	1
C543	20/25	3.3/3.0	10K	2K	一个 TDM 口	1	
C545	20/25	3.3/3.0	6K	48K	一个标准口	1	1
C546	20/25	3.3/3.0	6K	48K	一个标准口	1	
C548	15/20/25	3.3/3.0	32K	2K	一个 TDM 口	2	1
LC/VC549	10/12.5/15	3.3/2.5	32K	16K	一个 TDM 口	2	1
VC5402	10	3.3/1.8	16K	4K		2	1

3) 低功耗方式。TMS320C54X 可以在 3.3 V 或 2.7 V 电压下工作，3 个低功耗方式 (IDLE1、IDLE2 和 IDLE3) 可以节省 DSP 的功耗，TMS320C54X 特别适合于无线移动设备。用 TMS320C54X 实现 IS54/136 VSELP 语音编码仅需 31.1 mW，实现 GSM 语音编码器仅需 5.6 mW。

4) 智能外设。除了标准的串行口和时分复用 (TDM) 串行口外，TMS320C54X 还提供了自动缓冲串行口 (Auto-Buffered Serial Port, BSP) 和与外部处理器通信的 HPI (Host Port Interface) 接口。BSP 可提供 2K 字数据缓冲的读写能力，从而降低处理器的额外开销，指令周期为 20 ns 时，BSP 的最大数据吞吐量为 50 Mbit/s，即使在 IDLE 方式下，BSP 也可以全速工作。HPI 可以与外部标准的微处理器接口直接相连。

### (3) TMS320C62X

这是 TI 公司于 1997 年开发的一种新型定点 DSP 芯片，内部集成了多个功能单元，可同时执行 8 条指令，运算能力达 1600MIPS。其主要特点如下：

1) 运行速度快。指令周期为 5 ns，运算能力为 1600MIPS。

2) 内部同时集成了两个乘法器和 6 个算术运算单元，且它们之间是高度正交的，使得在一个指令周期内最多能执行 8 条 32 位的指令。

3) 使用了超长指令字结构。为充分发挥其内部集成的各执行单元的独立运行能力，使



用了 VelociTT 超长指令字 (VLIW) 结构。它在一条指令中组合了几个执行单元, 结合其独特的内部结构, 可在一个时钟周期内并行执行几个指令。

4) 大容量的片内存储器和大范围的寻址能力。片内集成了 512K 字程序存储器和 512K 字数据存储, 并拥有 32 位的外部存储器寻址。

5) 智能外设。内部集成了 4 个 DMA 接口, 两个多通道缓存串口, 两个 32 位计时器。

这种芯片适合于无线基站、无线 PDA、组合 Modem、GPS 导航等需要大运算能力的应用场合。

## 2. TI 浮点 DSP 芯片

浮点 DSP 芯片的推出比定点 DSP 芯片晚, 下面简要介绍几种主要的 TI 公司浮点 DSP 芯片。

### (1) TMS320C3X

TMS320C3X 是 TI 的第三代产品, 也是第一代浮点 DSP 芯片。TMS320C3X 包括 TMS320C30、TMS320C31、TMS320C32 和 TMS320VC33 4 种。TMS320C31 是 TMS320C30 的简化和改进型, 它是在 TMS320C30 的基础上去掉了一般用户不常用的一些资源, 降低了成本。TMS320C32 是 TMS320C31 的进一步简化和改进。TMS320VC33 在前面 3 款的基础上又进行了改进, 具有更高的性能价格比。表 1-3 给出了 4 种芯片的比较。

表 1-3 4 种 TMS320C3X 芯片的比较

特 征	TMS320C30	TMS320C31	TMS320C32	TMS320VC33
数据/程序总线	主总线 STRB: 32 位数据, 24 位地址 扩展总线 IOSTRB: 32 位数据, 13 位地址	STRB: 32 位数据, 24 位地址	STRB0: 8/16/32 位 STRB1: 8/16/32 位 IOSTRB: 32 位	32 位数据, 24 位地址
内部 RAM	2K 字	2K 字	512 字	32K × 32 位
串行 I/O 口	一个串行口	一个串行口	一个串行口	一个同步串行口
用户程序、数据 ROM	4K 字或 16K 字节	无	无	无
DMA 通道	一个	一个	一个	一个
指令周期/ns	50/60/74	33/40/50/60/74	33/40/50	13/17
程序和数据存储器宽度	32 位	32 位	程序 16/32 位可选 数据 8/16/32 位可选	32
外部中断触发	电平触发	电平触发	电平/边沿可选	电平/边沿可选
中断矢量表地址	固定	固定	用户可重定位	用户可重定位
程序引导	无	有	有	有

1) TMS320C3X 硬件资源。由表 1-3 可知, TMS320C3X 硬件资源基本相同, 其主要硬件资源如下:

① 内部程序总线、数据总线和 DMA 总线都是独立的, 这使得取指、读写数据和 DMA 操作可并行进行, 同时 64 × 32 位的指令 Cache 用来存储经常使用的代码块, 这可大大减少片外访问的次数, 从而提高程序运行速度。由于主总线的地址总线是 24 位, 因此可以访问多达 16M 的 32 位字长的存储器空间, 程序、数据和 I/O 空间都包含在这个 16M 字的空间中。