

陈纯锴 陈义平 李静辉 闫占伟 编著

TMS320C54XDSP

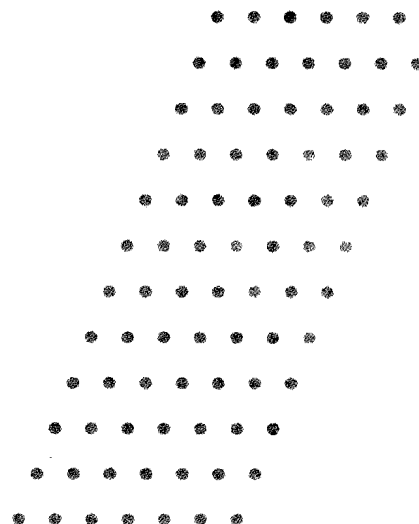
原理、编程及应用



21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材

陈纯锴 陈义平 李静辉 闫占伟 编著

TMS320C54XDSP 原理、编程及应用



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

全书共分9章,内容包括三大部分。以TI公司的TMS320C54X系列数字信号处理器为例,系统地介绍了DSP的结构和原理,CCS软件开发工具的使用方法,汇编语言和C语言进行TMS320C54X软件开发的基础知识和方法,硬件接口电路设计和常用数据/信号处理算法的实现方法,并给出了应用实例。书中给出了大量的例子,使读者尽快掌握DSP入门知识并拥有开发实际系统的能力。

本书的特点是由浅入深,易读易懂,能够使读者循序渐进地掌握DSP的原理、使用和开发。本书既是从事DSP开发和科研人员及硬件工程师不可多得的参考书,也可作为高等院校电子信息与通信类专业高年级本科生和研究生的教材或教学参考书。

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

TMS320C54XDSP 原理、编程及应用/陈纯锴等编著. --北京:清华大学出版社,2012.1
(21世纪高等学校嵌入式系统专业规划教材)

ISBN 978-7-302-26424-8

I. ①T… II. ①陈… III. ①数字信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第162968号

责任编辑:郑寅堃 李玮琪

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.25 字 数:438千字

版 次:2012年1月第1版 印 次:2012年1月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

产品编号:041475-01

前 言

随着电子信息技术的高速发展,数字信号处理技术已经逐渐发展成为一门关键的学科。而 DSP 芯片的出现则为数字信号处理算法的实现提供了可能。这一方面极大地促进了数字信号处理技术的进一步发展;另一方面,也使数字信号处理的应用领域得到了极大的拓展。目前,在微电子技术发展带动下,DSP 芯片的发展日新月异。DSP 的功能日益强大,性能价格比不断上升,开发手段不断改进。DSP 芯片已经完全走下了“贵族”的圣坛,在通信与电子系统、信号处理系统、自动控制、雷达、军事、航空航天、医疗、家用电器、电力系统等许多领域中得到了广泛的应用,新的应用领域也在不断地扩展。本教材就是为适应这种形势而编写的。

本书共分 9 章,内容包括三大部分。

(1) C54X 的结构和原理:包括第 1、2、3 章。第 1 章介绍 DSP 芯片的发展、特点、分类及应用,DSP 系统的构成、设计过程以及 TI 公司的各种 DSP 芯片的主要特点。第 2 章介绍 C54X 芯片的硬件结构,重点对芯片的引脚功能、CPU 结构、内部存储器、系统控制以及内外总线进行了讨论。第 3 章对 C54X 中主机接口 HPI、DMA 控制器、外部引脚、定时器、串行接口和中断系统进行了介绍。

(2) DSP 软件系统:包括第 4、5、6 章。第 4 章介绍汇编语言指令、COFF 格式、汇编源程序的汇编和链接过程。第 5 章介绍 CCS 软件的使用,包括 CCS 的窗口基本操作,工程项目的建立和调试,程序的运行控制,断点和探测点的设置等。第 6 章介绍 DSP 中 C 程序设计原则,C 语言的数据结构,C 语言函数,C 语言开发 C5000 应用系统的编程方法、实例及程序框架。

(3) DSP 硬件系统设计及应用实例:包括第 7、8、9 章。第 7 章对 C54X 的最小系统设计进行了详细讨论,包括时钟及复位电路、供电电路、外部存储器和 I/O 扩展、A/D 和 D/A 接口以及 JTAG 在线仿真接口电路设计。第 8 章介绍几个 DSP 的应用实例,包括 FIR 滤波器、IIR 滤波器、快速傅里叶变换和信号发生器等,给出了详细的原理说明,而且均提供了较完整的实现代码。第 9 章介绍一个指纹识别系统的设计方法,包括系统基本原理、硬件系统组成、软件系统组成及系统调试方法、独立系统实现方法,为读者提供一个开发工程的完整范例。

本书的特点可以概括为:

- 系统:本书结构清晰,按照 C54X 芯片的基本理论、软件设计(主要是 C 程序设计)、硬件设计及实例的顺序进行安排,给出丰富、新颖的 DSP 系统设计实例和翔实的注解。
- C 语言编程:书中使用 C 和汇编语言编程,侧重点是 C 语言,已出版的其他教材见之不多。
- 实用:本书侧重点是应用,为让读者尽快地了解 and 掌握 C54X 芯片 DSP 的设计、仿真与开发过程,介绍了几个 DSP 的应用实例、最小系统及完整系统,给出了系统的

部分软件程序和完整的硬件电路原理图。

本书由黑龙江科技学院陈纯锴策划并编写了第 1、2、9 章及附录,第 3 章由成都理工大学工程技术学院的闫占伟完成,第 4、5、6 章由齐齐哈尔大学的李静辉完成,第 7、8 章由黑龙江科技学院的陈义平完成,全书最后由陈纯锴统稿。

由于作者的水平有限,书中难免会有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正!

目 录

第一篇 TMS320C54XDSP 基本理论

第 1 章 绪论	3
1.1 数字信号处理概述	3
1.2 DSP 芯片介绍	4
1.2.1 DSP 芯片的特点	4
1.2.2 DSP 芯片的分类	6
1.2.3 DSP 芯片的应用	7
1.3 DSP 系统构成及设计过程	8
1.4 DSP 产品简介	10
1.4.1 生产通用 DSP 的厂家	10
1.4.2 TI 公司主要产品介绍	11
1.5 习题与思考题	13
第 2 章 TMS320C54X 硬件结构	14
2.1 TMS320C54X 结构	14
2.1.1 C54X 内部基本结构	14
2.1.2 C54X 主要特性和外部引脚	14
2.1.3 C54X 的内部总线结构	18
2.2 C54X 的中央处理器 CPU	19
2.2.1 算术逻辑运算单元 ALU	19
2.2.2 累加器 A 和 B	21
2.2.3 桶形移位寄存器	21
2.2.4 乘法-累加单元 MAC	23
2.2.5 比较、选择和存储单元 CSSU	24
2.2.6 指数编码器 EXP	25
2.2.7 CPU 状态和控制寄存器	25
2.3 C54X 的存储空间结构	27
2.3.1 存储空间结构	28
2.3.2 程序存储空间	29
2.3.3 数据存储空间	32
2.4 习题与思考题	35

第 3 章 TMS320C54X 片内外设和中断系统	36
3.1 片内外设与外部引脚简介	36
3.2 软件可编程等待状态发生器	38
3.3 可编程分区转换逻辑	38
3.4 主机接口 HPI	40
3.4.1 HPI 结构及其工作方式	40
3.4.2 HPI 接口设计	41
3.4.3 HPI 控制寄存器	42
3.5 串行口	43
3.5.1 串行口的组成框图	44
3.5.2 串行口控制寄存器	45
3.6 定时器	46
3.6.1 定时器结构	46
3.6.2 定时器控制寄存器	47
3.6.3 定时器应用举例	49
3.7 时钟发生器	49
3.8 DMA 控制器	53
3.8.1 DMA 概念	53
3.8.2 DMA 系统组成及工作过程	54
3.8.3 DMA 寄存器的寻址	54
3.9 外部引脚	56
3.10 中断系统	58
3.10.1 中断概述	58
3.10.2 中断分类	58
3.10.3 中断寄存器	59
3.10.4 中断的处理	60
3.10.5 综合实例	60
3.11 习题与思考题	63

第二篇 TMS320C54XDSP 软件编程

第 4 章 TMS320C54X 指令系统及软件开发过程	67
4.1 指令系统概述	67
4.2 汇编源程序格式	69
4.2.1 汇编语言语句格式	70
4.2.2 汇编语言常量	71
4.2.3 字符串	72
4.2.4 符号	73

4.2.5 表达式	73
4.3 寻址方式	74
4.3.1 立即寻址	75
4.3.2 绝对寻址	75
4.3.3 累加器寻址	76
4.3.4 直接寻址	76
4.3.5 间接寻址	77
4.3.6 存储器映像寄存器寻址	82
4.3.7 堆栈寻址	83
4.4 指令系统	83
4.4.1 算术运算指令	83
4.4.2 逻辑指令	90
4.4.3 程序控制指令	91
4.4.4 存储和装入指令	96
4.5 软件开发过程	99
4.5.1 软件开发过程概述	99
4.5.2 汇编语言程序的编写方法	101
4.5.3 公共目标文件格式(COFF)	106
4.5.4 汇编源程序的编辑、汇编和链接过程	113
4.6 习题与思考题	117
第5章 DSP 集成开发环境 CCS 及其使用	118
5.1 CCS 3.3 简介	118
5.2 CCS 3.3 安装及设置	119
5.2.1 系统配置要求	119
5.2.2 安装 CCS	119
5.2.3 CCS setup 配置程序	119
5.2.4 启动 CCS IDE	120
5.3 CCS 3.3 集成开发环境应用	120
5.3.1 概述	120
5.3.2 CCS 的窗口、菜单和工具条	120
5.3.3 建立工程文件	125
5.3.4 编辑源文件	126
5.3.5 构建工程	127
5.3.6 调试	127
5.3.7 断点设置	129
5.3.8 探针断点	130
5.3.9 分析/调整	132
5.3.10 通用扩展语言 GEL	134

5.4	仿真中断与 I/O 端口	134
5.4.1	用 Simulator 仿真中断	134
5.4.2	用 Simulator 仿真 I/O 端口	137
5.5	仿真实例	140
5.5.1	DSP 程序开发过程	140
5.5.2	探点的设置和图形的显示	145
5.6	习题与思考题	148
第 6 章	DSP 中 C 程序设计	149
6.1	简介	149
6.2	C/C++ 程序设计	150
6.2.1	面向 DSP 的 C/C++ 程序设计原则	150
6.2.2	C/C++ 程序设计流程	151
6.2.3	C/C++ 程序设计框架	152
6.3	C/C++ 语言数据结构及语法	154
6.3.1	C/C++ 数据结构	154
6.3.2	C/C++ 控制语句	162
6.4	C/C++ 语言函数	168
6.4.1	C/C++ 自定义函数	168
6.4.2	中断函数	170
6.5	C/C++ 库函数	173
6.5.1	常用库函数	173
6.5.2	CCStudio 库函数	178
6.5.3	DSPLIB 库	179
6.5.4	IMGLIB 库	179
6.6	C++ 类与文件操作	179
6.6.1	C++ 类	179
6.6.2	C/C++ 文件操作	181
6.7	TMS320C54X C 语言编程	183
6.7.1	存储器模式	183
6.7.2	寄存器规则	185
6.7.3	函数调用规则	185
6.7.4	中断处理	186
6.7.5	表达式分析	186
6.8	用 C 语言和汇编语言混合编程	187
6.8.1	独立的 C 模块和汇编模块接口	187
6.8.2	从 C 程序中访问汇编程序变量	189

6.8.3 在 C 程序中直接嵌入汇编语句	190
6.9 习题与思考题	191

第三篇 TMS320C54XDSP 硬件设计及应用实例

第 7 章 DSP 最小系统设计	195
7.1 TMS320C54X 硬件组成及最小系统设计	195
7.1.1 TMS320C54X 硬件组成	195
7.1.2 TMS320C54X 最小系统设计	195
7.2 TMS320C54X 的时钟及复位电路设计	197
7.2.1 时钟电路设计	197
7.2.2 复位电路设计	199
7.3 供电系统设计	200
7.3.1 DSP 供电方案	200
7.3.2 DSP 电源电路	201
7.4 外部存储器和 I/O 扩展设计	203
7.4.1 外扩数据、程序存储器电路设计	203
7.4.2 I/O(输入输出接口)扩展电路设计	206
7.4.3 串口通信电路	210
7.4.4 外部中断控制电路	211
7.5 A/D 和 D/A 接口设计	211
7.5.1 DSP 与 A/D 转换器的接口	211
7.5.2 DSP 与 D/A 转换器的接口	214
7.5.3 3V 和 5V 混合逻辑设计	214
7.6 JTAG 在线仿真调试接口电路	216
7.7 习题与思考题	219
第 8 章 应用实例分析	220
8.1 FIR 滤波器的 C54X 实现方法	220
8.1.1 FIR 滤波器基本原理	220
8.1.2 FIR 滤波器程序设计	220
8.2 IIR 滤波器的 C54X 实现方法	225
8.2.1 IIR 滤波器基本原理	225
8.2.2 IIR 滤波器实现举例	226
8.3 快速傅里叶变换(FFT)的 C54X 实现方法	238
8.3.1 FFT 基本原理	238
8.3.2 FFT 的 C 语言实现	240
8.4 正弦和余弦信号发生器 C54X 实现方法	244
8.4.1 信号产生基本原理	244

8.4.2 信号产生程序设计	245
8.5 习题与思考题	250
第9章 基于 TMS320C54XDSP 软硬件完整系统的开发	252
9.1 系统简介	252
9.2 系统硬件设计	253
9.2.1 整体设计	253
9.2.2 时钟电路	254
9.2.3 电源模块	254
9.2.4 DSP 的存储器扩展	255
9.2.5 DSP 的 BootLoader	256
9.2.6 指纹传感器 FPS200	256
9.2.7 逻辑控制单元 CPLD	257
9.2.8 数据通信单元 USB	259
9.3 系统软件设计	261
9.3.1 概述	261
9.3.2 指纹识别的预处理	261
9.3.3 系统初始化	262
9.4 印刷电路板设计及系统调试	265
9.4.1 印刷电路板的设计	265
9.4.2 系统的调试	266
9.5 独立系统实现	268
9.6 习题与思考题	271
附录 A 常用 C5000 系列 DSP 芯片的引脚图	272
附录 B 缩写词的英文对照	276
参考文献	278

第一篇

TMS320C54XDSP 基本理论

第1章 绪 论

教学内容：本章首先对数字信号处理进行了概述，介绍了 DSP 的基本知识，可编程 DSP 芯片，DSP 芯片的发展、特点、分类、应用和发展趋势；DSP 系统，DSP 系统的构成、特点、设计过程以及芯片的选择，DSP 技术的内涵、发展及实现方法。其次介绍可编程 DSP 芯片的结构特点、分类及其应用情况。最后概括地介绍了 DSP 系统的设计过程。

教学要求：本章要求学生了解 DSP 技术的内涵，掌握 DSP 芯片的结构特点、分类及其应用，并概括性地了解在设计一个 DSP 应用系统时，不仅要熟悉芯片的硬件结构、指令系统等，还要熟悉开发、调试工具的使用，从而使后续各章的学习目标更加明确。

1.1 数字信号处理概述

数字信号处理(简称 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。它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。

数字信号处理以众多学科为理论基础，所涉及的范围极其广泛，如数学领域中的微积分、概率统计、随机过程、数字分析等都是数字信号处理的基础工具。它与网络理论、信号与系统、控制理论、通信理论、故障诊断等密切相关。

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。1965 年库利和图基发表论文《机器计算傅里叶级数的一种算法》，又经过人们的改进，很快形成一套高效计算方法，即快速傅里叶变换(FFT)。这种算法使 DFT 的运算效率提高了 1~2 个数量级，为数字信号处理技术应用于实际创造了条件，使数字信号处理技术发生了革命性的变化。

近几年来，数字信号处理的理论和方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指用硬件、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: 采用 C 语言、MATLAB 语言等用于 DSP 算法的模拟与仿真, 验证算法的正确性和性能。优点是灵活方便, 缺点是速度较慢, 不适合实时数字信号处理, 只用于算法的模拟。

(2) 通用单片机实现: 采用 51 系列等单片机适用于简单的 DSP 算法, 完成一些不太复杂的数字信号处理任务, 如数字控制等。不适合于以乘法-累加运算为主的密集型 DSP 算法。

(3) 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。

(4) 用专用的 DSP 芯片实现, 可用在要求信号处理速度极快的特殊场合, 如专用于 FFT、数字滤波、卷积、相关算法的 DSP 芯片, 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。

本课程主要讨论数字信号处理的软硬件实现方法, 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 芯片介绍

1.2.1 DSP 芯片的特点

数字信号处理不同于普通的科学计算与分析, 它强调运算的实时性。除了具备普通微处理器所强调的高速运算和控制能力外, 针对实时数字信号处理的特点, 在处理器的结构、指令系统、指令流程上做了很大的改进, 其主要特点如下:

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。

1) 冯·诺依曼(Von Neuman)结构

该结构如图 1.1 所示, 采用单存储空间, 即程序指令和数据共用一个存储空间, 使用单一的地址和数据总线, 取指令和取操作数都是通过一条总线分时进行。当进行高速运算时, 不但不能同时进行取指令和取操作数, 而且还会造成数据传输通道的瓶颈现象, 工作速度较慢。

2) 哈佛(Harvard)结构

该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 and 数据总线, 可独立编址和独立访问, 可对程序和数据进行独立传输, 使取指令操作、指令执行操作、数据吞吐并行完成, 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。哈佛结构的微处理器如图 1.2 所示。

3) 改进型的哈佛结构

图 1.3 为改进型的哈佛结构。该结构允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据,

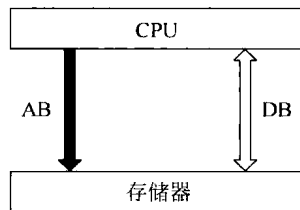


图 1.1 冯·诺依曼(Von Neuman)结构

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。该结构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,不需要再从程序存储器中读出,从而减少了指令执行的时间。如: TMS320C6200 系列的 DSP,整个片内程序存储器都可以配制成高速缓冲结构。

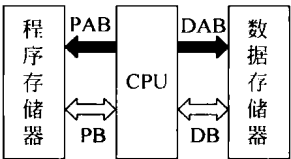


图 1.2 哈佛结构

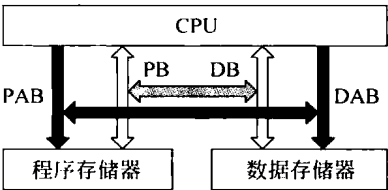


图 1.3 改进型的哈佛结构

2. 采用多总线结构

DSP 芯片都采用多总线结构,可同时进行取指令和多个数据存取操作,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(注意要从流水结构考虑),大大地提高了 DSP 的运行速度。

如 TMS320C54X 系列内部有 P、C、D、E 共 4 组总线,每组总线中都有地址总线和数据总线,这样在一个机器周期内可以完成如下操作。

- ① 从程序存储器中取一条指令。
- ② 从数据存储器中读两个操作数。
- ③ 向数据存储器写一个操作数。

3. 采用流水线技术

每条指令可通过片内多功能单元完成取指、译码、取操作数和执行等多个步骤,实现多条指令的并行执行,从而在不提高系统时钟频率的条件下减少每条指令的执行时间。其过程如图 1.4 所示,流水线技术示意如图 1.5 所示。

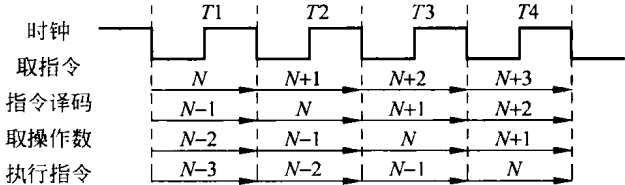


图 1.4 四级流水线操作

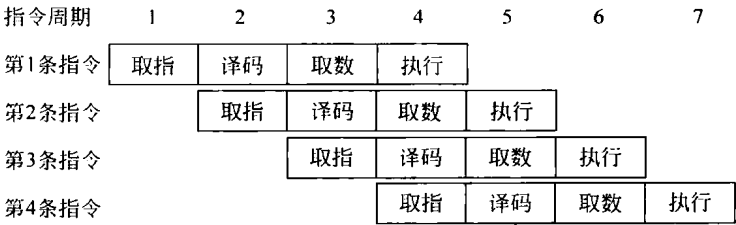


图 1.5 流水线技术示意图

注：单片机的工作过程是取指令、译码、进行微操作，之后依此类推。各指令的微操作在时间上有严格的次序，称为时序。晶振周期为最小的时序单位，晶振信号经过分频器后时钟信号的周期又称为 S 状态，是晶振周期的两倍。晶振信号 12 分频后形成机器周期，或说一个机器周期包括 6 个时钟周期。指令执行时间称为指令周期，80C51 分单周期指令、双周期指令、四周期指令，其中乘除为四周期指令。

4. 配有专用的硬件乘法-累加器

在通用微处理器中算法指令需要多个指令周期，如 MCS51 的乘法指令需 4 个周期。相比而言，DSP 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器，乘法可以在一个指令周期内完成，还可以与加法并行进行，完成一个乘法和一个加法只需一个指令周期。可见，高速的乘法指令和并行操作大大提高了 DSP 处理器的性能。如矩阵运算、FIR 和 IIR 滤波、FFT 变换等密集型的乘法累加运算使用 DSP 来处理可以加快运算速度。

5. 具有特殊的 DSP 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。

6. 硬件配置强

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 etc 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。

7. 省电管理和低功耗

DSP 功耗一般为 0.5~4W，若采用低功耗技术可使功耗降到 0.25W，可用电池供电，适用于便携式数字终端设备。

8. 运算精度高

DSP 的字长一般为 16 位、24 位、32 位。为防止运算过程中溢出，有的累加器达到 40 位。此外，许多 DSP 芯片提供了更大的动态范围。

9. 功耗低

许多 DSP 芯片都可以工作在省电方式，使系统功耗降低。一般芯片为 0.5~4W，而采用低功耗技术的 DSP 芯片只有 0.1W，可用电池供电。如 TMS3205510 仅 0.25mW，特别适用于便携式数字终端。

DSP 芯片的上述特点使 DSP 芯片成为高性能系统的核心，使其在各个领域得到越来越广泛的应用。

1.2.2 DSP 芯片的分类

为了适应数字信号处理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，可以按照下列 3 种方式进行分类。

1. 按基础特性分类

这种分类是依据 DSP 芯片的工作时钟和指令类型进行的，可分为静态 DSP 芯片和一致性 DSP 芯片。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管脚结构相互兼容，则这类