

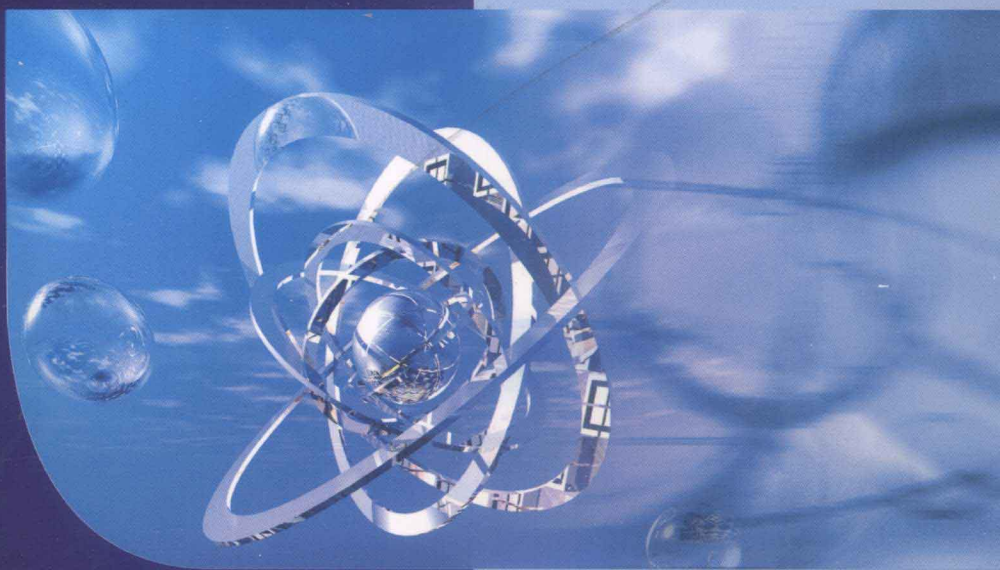


普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

DSP 原理及应用

◎ 郑玉珍 主编

DSP YUANLI JI YINGYONG



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材

DSP 原理及应用

主 编 郑玉珍
副主编 王 凌 陈 才
参 编 施 秧 李 璟 于爱华
主 审 戴伏生

机械工业出版社

本书是面向普通高等教育应用型本科院校的教材。全书内容共分 12 章,以 TI 公司的 TMS320x28x 芯片为主要描述对象,介绍了 DSP 器件的发展、基本结构和系统控制、软件开发环境、各种外设的结构原理和使用方法、DSP 系统的硬件电路设计、应用汇编语言和 C 语言进行软件设计的基本知识,最后给出了 TMS320x28x 芯片在光伏并网发电技术中综合应用的实例。

本书在编写过程中努力贯彻国家“卓越工程师教育培养计划”思想,突出工程实践性的特色,除了综合应用实例以外,几乎每一章都有包含硬件和软件设计的工程应用实例,尤其适合初学者的学习。本书还在第一章提供了用于项目实践的参考题目,有利于学生带着问题去学习研究,培养主动学习的能力。

本书内容全面,通俗易懂,适用于应用型本科院校自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器及电子信息工程等专业的学生,也非常适合使用 TMS320x28x 系列器件的技术开发人员作为参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 原理及应用/郑玉珍主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 2
普通高等教育“十二五”电气信息类规划教材
ISBN 978-7-111-34312-7

I. ①D… II. ①郑… III. ①数字信号处理 - 高等学校 - 教材 IV. ①
TN911. 72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 242197 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王雅新 责任编辑:王雅新

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:杨曦

保定市中画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.25 印张 · 474 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-34312-7

定价:38.00 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

销售二部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着微电子技术的发展，DSP 芯片得到日益广泛的应用，不论在工业控制、汽车电子、移动通信或是消费类电子产品等诸多领域都能发现 DSP 技术的身影，且普及程度不断扩大和加深，DSP 技术也日益平民化，越来越多的工程技术人员研究和应用 DSP 技术。国内高等院校大多开设了相应的课程，其中主要以美国德州仪器（TI）公司的产品为主，介绍 DSP 器件的原理和应用。根据专业的不同，目前最常见的 DSP 教材有 TMS320C5000 系列和 TMS320C2000 系列。本书主要面向自动化、电气工程及其自动化、测控技术与仪器及电子信息工程等专业的学生以及相关领域的技术人员，以 F2812 为例介绍 TMS320x28x 系列 DSP 芯片的特点、结构、工作原理和使用方法。

本书共分 12 章，第 1 章介绍数字信号处理技术的概况，并提供了可开展项目教学的实践题目；第 2 章对 28x 器件的基本结构、引脚功能、CPU 和存储器进行介绍，并提供命令文件样本；第 3 章主要介绍 28x 器件的时钟、定时器和中断控制，并提供中断程序编写框架和例程；第 4 章通过具体工程实例介绍 DSP 集成开发环境 CCS 的使用；第 5~9 章分别介绍 28x 器件的片内外设，包括输入/输出端口 GPIO、事件管理器 EV 模块、模-数转换器 ADC、串行外设接口 SPI 和串行通信接口 SCI，从使用的角度出发，介绍外设的工作原理和结构，寄存器的结构和功能，对每一个外设都配有一个具体的应用实例，从硬件电路设计和软件编写两个方面进行详细介绍，为读者提供学习参考；第 10 章主要介绍 DSP 芯片在各种应用场合的基本硬件电路设计举例、电路板设计原则，并有完整的最小系统电路图；第 11 章介绍 28x 器件的软件设计基础知识，包括寻址方式、汇编语言和 C 语言编程知识，并以 TI 公司官方提供的程序为例介绍了 C 语言的程序框架；第 12 章以光伏并网发电模拟装置为例，详细介绍 TMS320F2812 在工程中的应用，给出了系统多个功能模块的原理、程序流程和源程序代码。

本书以应用性为目标，是对电气工程等专业应用型“卓越工程师”培养方法的摸索和实践，得到了中国计量学院和国家“卓越工程师教育培养计划”首批试点学校——浙江科技学院的大力支持，是中国计量学院重点教材建设资助项目。中国计量学院的王凌和李璟老师，浙江科技学院的郑玉珍、陈才、于爱华和施秧老师参加了本书的编写，其中王凌编写了第 1~3 章，施秧编写了第 5 章和第 7 章，陈才编写了第 6 章、第 8 章和第 9 章，李璟编写了第 11 章，于爱华编写了第 12 章，郑玉珍编写了第 4 章和第 10 章，并负责全书的统稿。哈尔滨工业大学戴伏生教授对全书进行了审阅。

本书在编写过程中，参考了大量国内外相关技术资料以及许多技术网站的公开资料，在此对资料的原作者表示衷心的感谢！由于编者水平所限，对于书中存在的错误或不当之处，敬请读者批评指正！

目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.2 数字信号处理器	1
1.2.1 DSP 芯片的主要结构特点	1
1.2.2 DSP 芯片的发展	3
1.2.3 DSP 芯片的分类及主要技术指标	3
1.2.4 DSP 芯片的应用	4
1.2.5 DSP 芯片的选择	4
1.3 DSP 系统	5
1.3.1 DSP 系统的构成	5
1.3.2 DSP 系统的设计过程	6
习题	8
拓展阅读及项目实践	9
第 2 章 TMS320x28x 的结构	12
2.1 ‘28x 的基本结构和主要特性	12
2.1.1 ‘28x 的基本结构	12
2.1.2 ‘28x 的主要特性	14
2.2 ‘28x 的外部引脚及功能	16
2.2.1 引脚分布	16
2.2.2 引脚功能	16
2.3 ‘28x 的内部总线结构	16
2.4 ‘28x 的中央处理器	17
2.4.1 算术逻辑运算单元	18
2.4.2 乘法器	18
2.4.3 桶形移位器	18
2.4.4 CPU 寄存器	18
2.4.5 状态寄存器	19
2.5 存储器及其扩展接口	21
2.5.1 内部存储空间	21
2.5.2 外部扩展接口	23
2.5.3 编写 CMD 文件	25
习题	30
第 3 章 系统时钟与中断	31
3.1 ‘28x 的时钟和系统控制	31
3.1.1 系统时钟	31
3.1.2 时钟单元寄存器	32
3.1.3 锁相环单元	33
3.1.4 看门狗单元	35
3.1.5 看门狗单元寄存器	36
3.2 CPU 定时器	37
3.3 ‘28x 系列 DSP 的中断	41
3.3.1 DSP 中断概述	41
3.3.2 PIE 中断扩展	42
3.3.3 中断向量表及其映射	45
3.3.4 中断寄存器	48
3.3.5 中断程序编写	51
习题	52
第 4 章 TMS320x28x 软件开发流程和 调试环境	53
4.1 软件开发流程和工具	53
4.2 DSP 集成开发环境 CCS 简介	55
4.2.1 CCS 概述	55
4.2.2 CCS 的安装及配置	56
4.2.3 CCS 的应用界面	58
4.3 CCS 集成开发环境的应用	62
4.3.1 工程项目的创建	62
4.3.2 工程项目的编译和构建	65
4.3.3 工程项目的调试	66
4.4 CCS 软件应用实例	70
习题	75
第 5 章 通用输入/输出端口	76
5.1 输入/输出端口概述	76
5.2 GPIO 寄存器	79
5.3 GPIO 应用举例	83
习题	87
第 6 章 事件管理器	88
6.1 事件管理器概述	88
6.1.1 事件管理器的模块和信号	88
6.1.2 事件管理器的结构	90
6.1.3 事件管理器的寄存器地址	92

6.2 通用定时器	94	8.3.1 SPI 的主机模式	158
6.2.1 通用定时器结构	94	8.3.2 SPI 的从机模式	159
6.2.2 通用定时器的计数模式	96	8.3.3 SPI 中断	159
6.2.3 通用定时器的比较操作	98	8.3.4 SPI 数据格式	160
6.2.4 通用定时器的应用举例	102	8.3.5 波特率和时钟模式	161
6.3 比较单元	104	8.3.6 SPI 复位初始化	163
6.4 PWM 电路	105	8.3.7 SPI 的 FIFO 操作模式	163
6.4.1 可编程的死区单元	105	8.4 SPI 寄存器	165
6.4.2 PWM 电路的输出逻辑	107	8.5 SPI 接口应用实例	171
6.4.3 用比较单元和 PWM 电路产生 PWM 波形	107	8.5.1 硬件电路设计	171
6.5 捕获单元	109	8.5.2 软件设计	172
6.5.1 捕获单元结构和特点	109	习题	175
6.5.2 捕获单元的操作	110	第 9 章 串行通信接口	176
6.6 正交编码脉冲单元	111	9.1 串行通信接口概述	176
6.7 事件管理器中断	112	9.2 ‘28x 的 SCI 模块结构	176
6.8 事件管理器的寄存器	113	9.3 ‘28x 的 SCI 工作原理	178
6.9 利用事件管理器设计正弦波 发生器实例	122	9.3.1 ‘28x 的 SCI 数据格式	178
6.9.1 正弦波发生器的硬件电路设计	122	9.3.2 ‘28x 的 SCI 通信格式	179
6.9.2 利用事件管理器产生 SPWM 的 软件设计	122	9.3.3 ‘28x 的 SCI 中断	181
习题	126	9.3.4 SCI 波特率计算	183
第 7 章 模-数转换器	127	9.3.5 SCI 多处理器通信	184
7.1 ADC 模块概述	127	9.3.6 ‘28x 的 SCI 增强功能	186
7.2 ADC 模块的工作原理	129	9.4 SCI 的寄存器	187
7.2.1 自动排序器	129	9.5 SCI 应用举例	195
7.2.2 顺序采样方式和并行采样方式	131	9.5.1 硬件电路设计	195
7.2.3 ADC 工作模式	136	9.5.2 软件设计例程	196
7.2.4 输入触发源	138	习题	201
7.2.5 序列转换的中断操作	139	第 10 章 TMS320x28x DSP 基本硬 件电路设计	202
7.3 ADC 时钟预定标器	140	10.1 DSP 基本电路设计	202
7.4 ADC 电源操作	142	10.1.1 时钟电路设计	202
7.5 ADC 寄存器	142	10.1.2 复位电路设计	204
7.6 AD 应用举例	150	10.1.3 电源管理电路设计	204
习题	153	10.2 外部存储器扩展电路设计	206
第 8 章 串行外设接口	154	10.3 通用输入/输出电路设计	207
8.1 串行外设接口概述	154	10.3.1 DSP 系统中的键盘电路设计	207
8.2 ‘28x 系列 DSP 的 SPI 模块	155	10.3.2 DSP 系统的显示电路设计	210
8.3 SPI 的操作	157	10.3.3 DSP 系统中缓冲、隔离与驱动 电路设计	212
		10.4 A-D 与 D-A 接口电路设计	213
		10.4.1 片内 ADC 信号接口电路	213

10.4.2 DSP 与 ADC 的接口电路	214	12.1.3 DC-AC 电路结构	258
10.4.3 DSP 与 DAC 接口电路设计	215	12.1.4 信号检测电路	259
10.5 调试和仿真接口电路设计	216	12.1.5 电源管理电路	260
10.6 DSP 电路布局原理	217	12.1.6 保护电路	260
10.7 TMS320F2812 最小系统设计		12.1.7 滤波电路设计	262
举例	218	12.2 光伏并网发电模拟装置的控制	262
习题	221	12.2.1 SPWM 控制方法	262
第 11 章 TMS320x28x 的软件设计		12.2.2 MPPT 的控制方法与参数计算	264
基础	222	12.2.3 频率跟踪控制方法	264
11.1 ‘28x 汇编语言基础	222	12.2.4 相位跟踪控制方法	265
11.1.1 设置 AMODE 位	222	12.3 光伏并网发电模拟装置软件	
11.1.2 寻址方式	223	设计	266
11.2 汇编语言指令系统	233	12.3.1 主程序设计	266
11.3 C 语言编程	245	12.3.2 初始化模块	269
11.3.1 数据类型	245	12.3.3 ADC 模块	273
11.3.2 头文件	246	12.3.4 最大功率点跟踪模块	273
11.3.3 编译预处理	249	12.3.5 频率跟踪模块	274
11.3.4 C 语言与汇编语言的混合		12.3.6 相位跟踪模块	275
编程	250	12.3.7 输入欠电压保护模块	276
11.3.5 关键字	252	12.3.8 输出过电流保护模块	277
11.4 C 语言程序框架	254	12.3.9 中断模块	279
习题	256	附录	281
第 12 章 TMS320F2812 在光伏并网		附录 A TMS320F2812 的引脚分布	
发电模拟装置的应用	257	图	281
12.1 光伏并网发电模拟装置电路		附录 B TMS320F2812 引脚功能和	
结构	257	信号	283
12.1.1 光伏并网发电结构	257	附录 C 寄存器功能定义索引	294
12.1.2 光伏并网发电模拟装置	258	参考文献	300

第 1 章 绪 论

1.1 数字信号处理概述

DSP 技术是当今信息技术学科的热门领域之一，它包含两方面的含义：数字信号处理 (Digital Signal Processing) 理论和数字信号处理器 (Digital Signal Processor)。

数字信号处理理论包括频谱分析和数字滤波器设计等基础内容，20 世纪 60 年代以来得到了迅速的发展。近代数字信号处理学科的突破性研究成果，是 1965 年库利 (J. W. Cooley) 和图基 (J. W. Tukey) 在《计算数学》(Mathematics of Computation) 杂志上发表的“机器计算傅里叶级数的一种算法”论文。从此，实时进行频谱分析的离散傅里叶变换 (Discrete Fourier Transform, DFT) 成为可能，他们提出的算法目前习惯上被称为快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform, FFT)。数字滤波器主要分为两大类：无限长单位冲激响应 (Infinite Impulse Response, IIR) 数字滤波器和有限长单位冲激响应 (Finite Impulse Response, FIR) 数字滤波器，相关的设计理论和设计辅助工具目前都已经较为成熟。乘法累加运算是 DFT、FFT 算法和数字滤波的典型形式。此外，自适应信号处理、信号压缩、信号建模等数字信号处理算法近年来也获得了长足的发展。数字信号处理理论的详细介绍可以参见各类数字信号处理教程。

数字信号处理器 (或称为 DSP 芯片) 是专门针对数字信号的数学运算需要而设计开发的一类集成电路芯片。

1.2 数字信号处理器

1.2.1 DSP 芯片的主要结构特点

为了尽可能快速地完成数字信号处理运算，DSP 芯片一般都采用特殊的软硬件结构。美国德州仪器 (Texas Instruments, TI) 公司生产的 TMS320 系列 DSP 芯片是应用十分广泛的数字信号处理器，其主要结构特点包括：①哈佛结构；②专用的硬件乘法器；③流水线操作；④特殊的 DSP 指令；⑤快速的指令周期。这些特点使得 TMS320 系列 DSP 芯片可以实现快速的 DSP 运算，其中的大部分运算都能够在一个指令周期内完成。

(1) 哈佛结构 传统的微处理器采用冯·诺依曼 (Von Neuman) 结构，即将程序和数据存储在同一个存储空间，统一编址，并且只有一条总线。因此，某一时刻，该处理器中数据和指令的寻址和读写任务必须分时错开完成，这在很大程度上限制了拥有较大数据量的数字信号处理任务运算速度。

DSP 芯片普遍采用哈佛结构。哈佛结构是一种并行体系结构，不同于传统的冯·诺依曼结构。哈佛结构的主要特征是将程序和数据存储空间分开设置，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。此外，与两个存储器相对应，

系统中分别设置了程序和数据两条总线，从而使数据的吞吐率大大提高。典型的哈佛结构如图 1-1 所示。

(2) 专用的硬件乘法器 在传统的通用微处理器中，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一次乘法运算。在典型的 FFT、IIR 和 FIR 等数字信号处理算法当中，乘法是 DSP 运算的重要组成部分，因此，乘法运算的实现速度很大程度上决定了 DSP 处

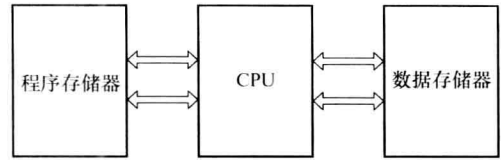


图 1-1 哈佛结构示意图

理器性能的高低。为此，DSP 芯片中一般设计有一个专用的硬件乘法器。TI 公司的 TMS320 系列 DSP 芯片具有专用的硬件乘法器，一次或多次的乘法累加运算都可以在一个指令周期内完成。

(3) 流水线操作 为了有效地减少指令执行时间，DSP 芯片广泛采用流水线机制。要执行某条 DSP 指令一般需要通过取指令、译码、取操作数和执行等几个阶段，DSP 的流水线操作是指它的几个阶段在程序执行过程中是重叠的，即在执行本条指令的同时，下面的若干指令也依次完成了取指令、译码、取操作数的操作。换句话说，在每个指令周期内，几条不同的指令同时处于激活状态，每条指令处于不同的阶段。同时激活的指令数目与 DSP 芯片采用的流水线级数有关。正是利用这种流水线机制，才保证了 DSP 的乘法、加法以及乘加运算可以在单周期内完成，这对于提高 DSP 芯片的运算速度具有十分重要的意义。

(4) 特殊的 DSP 指令 DSP 芯片的另一个特征是采用特殊的指令，主要包括专门为实现数字信号处理的算法而设置的特殊指令。如 DMOV 指令，完成把数据复制到地址加 1 的单元中，原单元的内容不变，即数据移位操作，相当于数字信号处理中的延时操作。此外，为了能够方便、快速地实现 FFT 算法，指令系统中设置了“位倒序寻址”、“循环寻址”等特殊指令，使得 FFT 算法所需完成的寻址、排序的速度大大提高。

(5) 快速的指令周期 DSP 芯片采用上述哈佛结构、流水线操作，并设计了专用硬件乘法器、特殊的 DSP 指令，再加上集成电路的优化设计，使得 DSP 芯片的指令周期能够达到几十纳秒至几纳秒，甚至小于 1ns。TMS320 系列处理器的指令周期已经从第一代的 200ns 降低至现在的 20ns 以下。快速的指令周期使得 DSP 芯片能够实时完成许多 DSP 运算。

其他的 DSP 芯片结构特点包括：快速的中断处理和硬件 I/O 支持；片内具有快速 RAM，通常可通过独立的数据总线在两个数据块中同时访问；具有低成本或无成本循环及跳转的硬件支持；具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器等。一般说来，与通用微处理器相比，DSP 芯片的运算能力极强，而其他通用功能则相对较弱。

很多读者原先对单片机已经有所了解。为了更清楚地说明 DSP 芯片的特点，表 1-1 给出了 DSP 和普通单片机在几个方面的比较。

表 1-1 DSP 和普通单片机的比较

项目		DSP	普通单片机	DSP 的优点
结构和指令系统	总线结构	哈佛结构或改进型哈佛结构	冯·诺依曼结构	消除总线瓶颈，加快运行速度
	乘法累加运算	利用专门的硬件乘法器，单指令即可实现	没有硬件乘法器，多指令实现	减少所需指令周期数

(续)

项目		DSP	普通单片机	DSP 的优点
结构和指令系统	位倒序寻址	利用硬件数据指针, 实现逆序寻址	普通寻址	减少 FFT 运算寻址时间
	指令运行方式	“流水线”方式, 允许程序与数据存储器同时访问	顺序执行	显著提高运算速度
	多处理系统	提供具有很强同步机制的互锁指令	无专用指令	保证了高速运算中的通信以及运算结果的完整性
应用领域		主要是具有较为复杂的高速数字信号处理领域, 例如通信编码、视频图像处理、语音处理、雷达处理、多电动机的伺服控制等	主要是简单的系统控制或事务处理, 例如简单的测试系统、低档电子玩具控制、简单的电动机控制和家用电器控制等	适合于要求高速数据运算处理的应用场合
价格		较贵	低廉	—

1.2.2 DSP 芯片的发展

美国 AMI 公司在 1978 年发布第一个单片 DSP 芯片以来, DSP 芯片技术获得了快速长足的发展, 其运算速度越来越快, 集成度和性价比不断提高, 功耗也不断下降。

美国 TI 公司的一系列 DSP 芯片是最成功的 DSP 产品之一, 是目前世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司也成为世界上最大的 DSP 芯片供应商, 其 DSP 市场份额占全世界近 50%。TI 公司将其 DSP 芯片归纳为三大系列: TMS320C2000 系列 (包括 TMS320C2X/C2XX)、TMS320C5000 系列 (包括 TMS320C5X/C54X/C55X)、TMS320C6000 系列 (包括 TMS320C62X/C67X 等定点、浮点 DSP 芯片)。TMS320C2000 系列主要为自动控制领域 (例如电动机控制、数字电源等) 设计; TMS320C5000 系列 DSP 具有高性价比、低功耗的优点, 在通信领域, 如交换机、路由器、嵌入式 WEB 服务器等领域应用广泛; TMS320C6000 系列是高性能 DSP, 一般用于各种高档数字信号处理领域, 如数字图像处理 (图像的编码、压缩或识别) 等。

此外, 美国的 Motorola 公司、AD 公司和 Lucent 公司在 DSP 芯片的设计、生产和销售方面也都名列前茅。这些 DSP 芯片在性能上都具有自己的特色, 受到用户的欢迎。

1.2.3 DSP 芯片的分类及主要技术指标

DSP 芯片按照不同的分类标准, 可以有不同的分类结果。

1. 根据 DSP 芯片基础特性分类

DSP 基础特性主要包括 DSP 芯片的工作时钟和指令类型。

如果 DSP 芯片在某时钟频率范围内的任何频率上都能正常工作, 只是计算速度有所变化, 而没有性能的下降, 这类 DSP 芯片一般可以称为静态 DSP 芯片。例如, TI 公司的 TMS320C2XX 系列芯片属于这一类, 包括 TMS320C24x/28x。

此外, 对于两种或两种以上的 DSP 芯片, 如果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 芯片称为一致性的 DSP 芯片。

2. 根据 DSP 芯片数据格式分类

根据 DSP 芯片采用的数据格式来分类：数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片；以浮点格式工作的称为浮点 DSP 芯片。不同的浮点 DSP 芯片的浮点格式有可能不同，例如有的 DSP 芯片采用 IEEE 标准浮点格式，有的 DSP 芯片采用自定义浮点格式。

3. 根据 DSP 芯片用途分类

根据 DSP 芯片的用途可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片一般是指可以用指令编程的 DSP，适合普通的 DSP 应用，灵活性强，适用范围广，如 TI 公司的三大系列 DSP 芯片。专用型 DSP 芯片是为某一特定的 DSP 运算而设计，相应的算法由内部硬件电路实现，适合特殊的运算，如数字滤波、卷积和 FFT 等，主要用于信号处理速度要求极快的特殊场合。专用型 DSP 芯片尽管适用范围小，但是批量较大的情况下，其成本往往较低。专用型 DSP 芯片主要有 Motorola 公司的 DSP56200 等。

1.2.4 DSP 芯片的应用

随着 DSP 芯片性能不断改善，性价比不断提高，利用 DSP 芯片构造数字信号处理系统进行信号的实时处理已成为当今和未来数字信号处理技术发展的一个热点。DSP 芯片的应用范围不断扩大，目前 DSP 芯片的应用几乎遍及各个领域，主要包括：

(1) 信号处理领域——例如数字滤波、快速傅里叶变换、相关运算、卷积及自适应滤波等。

(2) 自动控制领域——例如电动机控制、引擎控制、机器人控制、磁盘控制等。

(3) 通信领域——例如调制解调器、数据加密、数据压缩、扩频通信、纠错编码等。

(3) 语音处理领域——例如语音编码、语音解码、语音识别等。

(4) 图像/图形处理领域——例如图像加密、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉等。

(5) 军事领域——例如导航定位、保密通信、雷达处理、声纳处理、红外成像等。

(6) 仪器仪表领域——如数据采集、频谱分析、函数发生、锁相环、特征提取等。

(8) 医疗领域——如 CT 成像、核磁共振成像、助听、超声设备等。

(9) 家用电器领域——如数字电话、数字电视、高保真音响、玩具与游戏等。

1.2.5 DSP 芯片的选择

对于设计和开发 DSP 应用系统，DSP 芯片的选择是重要的基础环节。在确定 DSP 芯片型号之后，才能进一步设计外围所需电路和系统的其他电路。开发实际的 DSP 系统，并不是选用高性能的 DSP 芯片就一定合适。选择 DSP 芯片应根据实际应用系统的需要，最基本的要求一般是运算速度和价格。一般情况下，影响 DSP 芯片选择的因素包括以下几个方面。

(1) 运算速度 运算速度是 DSP 芯片最重要的性能指标，它是选择 DSP 芯片时首先考虑的一个主要因素。目前，DSP 芯片的运算速度可以用以下几种性能指标来衡量，其中指令周期或 MIPS 是比较常用的运算速度指标：

1) 指令周期，即执行一条指令所需要的时间，单位一般为纳秒 (ns)。

2) MIPS, Million Instructions Per Second, 即 DSP 芯片每秒可以执行的百万条指令。

3) FFT 执行时间，即运行一个 N 点 FFT 程序所需的时间。

- 4) MAC 时间, 即运行一次乘法加上一次加法的时间。
- 5) MOPS, Million Operations Per Second, 即每秒可执行的百万次操作。
- 6) MFLOPS, Million Float Operations Per Second, 即每秒可执行的百万次浮点操作。
- 7) BOPS, Billion Operations Per Second, 即每秒可执行的十亿次操作。

(2) 价格 开发 DSP 产品, 必须考虑系统的成本因素, 显然成本越低产品的竞争力越强。但是价格越低, DSP 性能一般也越低。因此, 应当在确定满足性能要求的前提下, 选择价格较低的 DSP 芯片。

(3) 片内硬件资源 为了方便用户开发 DSP 系统, 市场上绝大多数 DSP 芯片产品都在芯片内部集成了一定的存储模块和外设模块, 例如片内 ROM、RAM 以及 ADC、串行通信接口和电动机控制模块等, 其中外设模块一般称为片内外设。如果选用的 DSP 芯片内部已包含 DSP 系统所需的外设模块, 并且片内存储器能满足存储 DSP 程序和数据的需要, 就没有必要选用相应外部芯片和额外设计外扩电路, 这对提高系统可靠性, 降低成本, 加快产品研发速度是很有帮助的。

(4) 开发工具 开发 DSP 系统必须有开发工具的支持, 包括硬件仿真器和软件开发环境等。对于 DSP 工程师们, 很多情况下都会优先选用具有方便、完善的开发工具的 DSP 芯片。TI 公司的 DSP 芯片在我国市场占有率较高, 很大程度上依赖于其成熟和方便得到的开发工具, 包括 CCS 集成软件开发环境和 XDS510 等硬件仿真器, 其相关技术资料也较为丰富。

(5) 功耗 DSP 芯片的功耗也是 DSP 工程师必须考虑的因素。目前的 DSP 系统向着嵌入式、小型化和便携式方向发展, 在电池容量一定的情况下, DSP 芯片功耗越小, DSP 产品续航时间越长, 产品竞争力越强, 例如手机就是最典型的例子。

(6) 其他因素 如供货情况、芯片封装形式等。

1.3 DSP 系统

1.3.1 DSP 系统的构成

一个典型的 DSP 系统构成如图 1-2 所示。系统输入一般是模拟信号, 经过前置预滤波器, 将模拟信号中某一频率 (采样频率一半) 的分量滤除, 称为抗混叠滤波。实际 DSP 系统的输入信号可以有各种形式, 例如, 可以是送话器输出的语音信号、来自电话线的已调数据信号等。A-D 转换器将模拟信号变成数字信号, 作为 DSP 处理器的输入。DSP 处理器对数字信号进行处理, 然后传送给 D-A 转换器, 将其变换成模拟信号, 最后通过模拟滤波器, 滤除不必要的高频分量, 平滑成所需的模拟信号输出。



图 1-2 一个典型的 DSP 系统构成框图

图 1-2 是典型的 DSP 系统组成示意图, 实际中并不是所有的 DSP 系统都由上述五大模块构成。例如, 对存储在硬盘里的数字图像进行处理, 或者 MP3 播放器读取存储器里的数

字歌曲文件，就不需要前置滤波器和 A-D 转换器，因为输入已经是数字量；DSP 处理器在对数字图像处理之后，可能需要使用数字打印机进行打印，这时也不需要 D-A 转换器和模拟平滑滤波器。

图 1-2 中的 DSP 处理器可以是本章中介绍的通用 DSP 芯片（例如 TI 公司的 TMS320C2000 系列 DSP 芯片），也可以是数字计算机（如家用 PC），或者还可以是专用 DSP 处理器（例如语音编码芯片）。

与模拟信号处理系统比较，利用 DSP 系统进行数字信号处理，具有多方面的优越性，主要包括：

(1) 灵活性高 当处理算法或参数发生改变时，DSP 系统只需通过修改软件即可达到相应目的。而模拟信号处理系统在完成设计之后功能就已确定，要改变功能必须重新设计硬件电路，成本高，周期长。

(2) 精度高 DSP 系统精度取决于 A-D 转换的位数、DSP 处理器的字长和算法设计等。模拟信号处理系统的精度由元器件决定，模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上，而数字系统只要 14 位字长即可达到 10^{-4} 的精度。

(3) 可靠性好 模拟系统的元器件都有一定的温度系数，并且电平连续变化，很容易受温度、噪声和电磁感应等影响。而数字系统只有 0 和 1 两种信号电平，受环境温度、噪声和电磁干扰的影响较小。

(4) 可大规模集成 随着半导体集成电路技术的迅速发展，目前数字电路的集成度已经可以做得很高，具有体积小、功耗小、产品一致性好等优点。而在模拟信号处理系统中，电感器和电容器的体积和重量都非常大，系统小型化比较困难。

此外，DSP 系统在时分复用、性能指标和多维处理方面也要大大优于模拟系统，这使得其在通信、语音、生物医学、电视、仪器、雷达、声纳、地震预报等众多领域的应用愈来愈广泛。

1.3.2 DSP 系统的设计过程

DSP 系统的设计开发过程如图 1-3 所示，一般可分为 6 个阶段：需求分析、DSP 体系结构设计、软硬件设计、软硬件调试、系统集成调试和系统集成测试。

(1) 需求分析 设计 DSP 系统的第一步，必须根据应用系统的目标确定系统的详细功能和各项性能指标。在设计需求规范时，应当明确信号处理方面和非信号处理方面的问题。

- 信号处理的问题包括：输入、输出的特性分析和 DSP 算法（可以事先在计算机上仿真）；

- 非信号处理的问题包括：应用环境要求、可靠性指标、可维护性要求、功耗指标、体积、重量、成本等。

(2) DSP 系统体系结构设计 在进行具体的软硬件设计之前，应当根据实际系统的功能目标设计 DSP 系统的体系结构。一般说来，可以从图 1-2 所示的五大基本模块出发进行体系结构设计，根据具体 DSP 应用增加或删除相应的处理模块。

例如，利用 DSP 控制伺服电动机时，DSP 芯片主要是采集电动机的位置或速度信息，然后给出电动机的控制信号。如果电动机的位置或速度传感器为光电编码器，则系统就没有必要包括前置预滤波模块和 A-D 转换模块；此外，DSP 根据控制算法产生的电动机控制信

号，必须通过相应的接口模块传送给电动机，因此，可能需要设计功率放大模块。

(3) 硬软件设计 硬件设计和软件设计是 DSP 系统具体设计实施的两个方面。硬件设计中应根据 DSP 系统运算量、运算速度、运算精度的要求，以及系统成本限制、体积、功耗等几项因素综合考虑，选择合适的 DSP 芯片。然后根据系统结构模块要求，设计 DSP 芯片的外围电路及其他电路，完成电路原理图和印制电路板（PCB）的具体设计。

DSP 系统软件设计主要是根据系统功能分析和选定的 DSP 芯片编写相应的 DSP 程序，一般可以采用汇编语言或高级语言编写。尽管汇编语言编译器的效率高于高级语言，但是高级语言编写的程序具有较好的可读性和易移植性，实际应用中一般首选高级语言（多数使用 C 语言）编写 DSP 程序。如果高级语言的运算实时性和代码效率不能满足要求，也可以采用汇编语言进行编程，或者采用高级语言和汇编语言混合编程的方式。

(4) 硬软件调试 硬件设计完毕之后，制作相应的 DSP 系统硬件实体。硬件调试可以采用模块化调试方法，即针对具有一定独立性的各个硬件模块进行分别调试。DSP 系统各个硬件模块的调试很可能需要借助 DSP 系统调试工具，例如评估板、硬件仿真器、DSK 开发套件和集成开发环境 CCS 等。可以利用一些简单的调试程序对各个硬件模块进行调试。

DSP 程序开发过程中可以利用计算机进行算法程序仿真，例如基于 Matlab 进行数字滤波器的设计仿真，或者直接利用 CCS 软件的仿真功能进行程序调试。

(5) 系统集成调试 在 DSP 系统的硬件和软件都分别调试通过之后，利用 CCS 编译生成 DSP 芯片的可执行文件，并通过硬件仿真器下载至目标板，运行 DSP 程序对整个 DSP 系统进行调试，确定其是否能够实现既定功能。

(6) 系统集成测试 系统集成调试完成之后，就可以将软硬件脱离开发系统直接在应用系统上运行。DSP 系统测试应考虑实际中各种可能的输入组合，确保系统能够正常工作。此外，还需要完成一定工作环境下的可靠性测试、功耗测试和抗震测试等，以满足国家或国际上对相应 DSP 产品的标准要求。

必须指出，在系统设计最终完成之前，设计、开发和调试的每个阶段都可能需要不断的反复和修改。特别是软件的仿真环境不可能做到与现实系统环境完全一致，而且将仿真算法移植到实际系统时必须考虑算法是否能够运行的问题。如果算法运算量太大不能在硬件上实际运行，则必须重新修改或简化算法。最终的系统集成测试如果有性能指标不能满足设计要求，也必须进行 DSP 系统的重新设计。

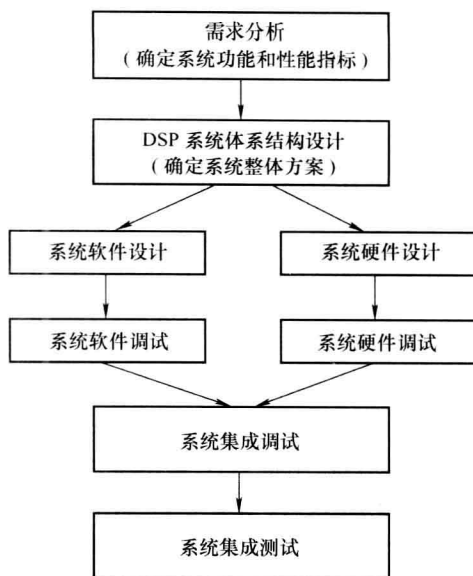


图 1-3 DSP 系统的设计开发过程

本章重点小结

本章介绍了数字信号处理的基本概念、数字信号处理器的基本知识和数字信号处理系统的构成和设计方法。通过本章的学习，读者可以了解数字信号处理的概念和应用领域，以及数字信号处理器的发展历史，理解数字信号处理器的结构特点和芯片选择的原则，理解数字信号处理系统的构成和设计过程。

习 题

- 1-1 TI 公司的 DSP 芯片主要包括哪三大系列？
- 1-2 简要分析 DSP 的结构特点，并说明 DSP 适用于哪些场合？
- 1-3 单片机、DSP、PLC 和 ARM 等控制器/处理器各有什么优缺点？应用场合方面有何区别？
- 1-4 通过查资料，分析 DSP、CPLD 和 FPGA 各有什么优缺点？应用场合方面有何区别？
- 1-5 比较数字信号处理与模拟信号处理的优缺点。
- 1-6 什么是哈佛结构？它和传统 CPU 所使用的冯·诺依曼结构有什么主要区别？
- 1-7 DSP 芯片在提高运算速度方面采取了哪些措施？
- 1-8 简要分析基于 DSP 的振动信号采集与分析系统应该包括哪些模块？其设计过程包括哪些步骤。
- 1-9 你认为未来 DSP 的发展趋势如何？

拓展阅读及项目实践

DSP 技术无论在理论、算法或是器件方面都一直在快速发展, DSP 技术的应用领域也在不断扩展。要掌握 DSP 技术, 除了从教材获取基本知识以外, 还需要掌握数字信号处理的理论, 了解控制对象的属性, 研究控制方法和算法, 勤于动手, 进行硬件电路设计和软件编程调试等实践, 更需要掌握不断获取知识的能力。

1. 拓展阅读书目

以下推荐书目可用于课外拓展阅读:

(1) Texas Instrument. TMS320C28x CPU and Instruction Set Reference Guide. 2009

(2) Texas Instrument. Hardware Design Guidelines for TMS320F28xx and TMS320F28xxx DSCs. 2008

(3) 彭启琮, 等. DSP 技术的发展与应用 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.

(4) 程佩青. 数字信号处理教程. [M]. 3 版. 北京: 清华大学出版社, 2007.

(5) 苏奎峰, 等. TMS320X281xDSP 原理及 C 程序开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.

(6) 江思敏. TMS320C2000 系列 DSP 开发应用技巧: 重点与难点剖析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.

2. 相关技术网站

以下所列网址可以获得关于 DSP 技术的资料或有相关技术论坛:

(1) <http://www.ti.com>

(2) <http://www.hellodsp.com>

(3) <http://www.21ic.com>

(4) <http://www.eeworld.com.cn/>

(5) <http://www.embedstudy.com>

3. 项目实践

以下所列项目可用于 DSP 技术实践, 要求了解各项目(可自定项目)工作原理, 研究 DSP 控制策略, 设计并画出系统框图和控制流程图, 并以各种形式交流汇报。

(1) 交流伺服运动控制系统

利用交流伺服电动机、DSP、滚珠丝杠、光栅传感器设计一个交流伺服运动控制系统, 实现位置控制。

- 运动控制系统各部分具体型号的选择确定
- 光栅传感器正交编码脉冲的输入和处理
- 交流伺服电动机和 DSP 之间的接口设计
- 位置控制的增量式 PID 控制程序设计和参数确定
- 运动控制实验数据的传送和存储方法设计

(2) 振动信号采集与分析系统

基于振动信号可以判定多种旋转机械的故障状态, 试设计基于 TMS320F2812 芯片的振动信号采集与分析系统。

- 振动信号的输入接口和采样频率的确定
- 振动信号的预处理——设计 IIR 滤波器用于滤除 50Hz 以下的低频干扰噪声
- 设计 FFT 算法，实现振动信号的频谱分析
- 设计 DSP 和 LED 的显示接口，用于显示故障编码

(3) 单相 DC-AC 控制系统

- SPWM 波形产生
- 输出 50Hz 正弦电压，THD < 5%
- 具有过电压和过电流保护功能
- 频率和相位可调节功能

(4) 出租车自动计费器

• 设计一个出租车自动计费器，具有行车里程计费、等候时间计费及起价三部分，用四位数码管显示总金额，最大值为即 999.9 元

• 行车里程单价 1 元/km，等候时间单价 0.5 元/10min，起价 3 元（3km 起价）均能通过人工输入

(5) 数字频率计

- 设计一个能测量方波信号频率的频率计，测量结果用十进制数显示
- 测量的频率范围是 1 ~ 10kHz，分成两个频段，即 1 ~ 999Hz，1k ~ 10kHz，用三位数码管显示测量频率，用 LED 显示表示单位，如亮绿灯表示 Hz，亮红灯表示 kHz
- 具有自动校验和测量两种功能，即能用标准时钟校验测量精度
- 具有超量程报警功能，在超出目前量程档的测量范围时，发出灯光和音响信号

(6) 数码相机变焦和自动对焦控制系统

- 对焦窗口像素 512 × 256
- 手动变焦调节
- 自动对焦调节
- 执行机构为步进电动机。

(7) 汽车远光灯的检测控制系统

- 采用四象限硅光电池测量光强
- 具有标准光源标定功能
- 汽车远光灯光轴偏离角度检测
- 与主机通信
- 显示检测结果

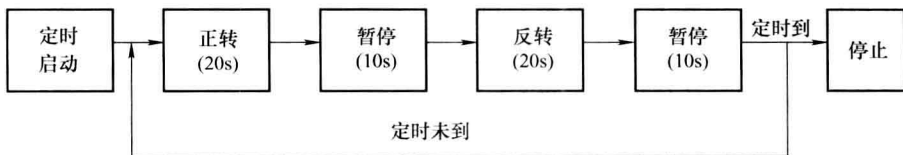


图 1-4 洗衣机程序控制流程