

魏伟 等编著

# DSP

DSP QIANRUSHI XITONG ZONGHE SHEJI

## 嵌入式系统综合设计

第 1 篇 开发基础篇，重点介绍了DSP嵌入式系统开发的基础知识和集成开发环境；

第 2 篇 模块实例篇，通过典型模块实例介绍了DSP嵌入式系统中典型模块的设计技术，包括数字输入/输出、事件管理器、模数转换、串行外设接口等模块，书中案例的程序设计大部分采用C语言编程；

第 3 篇 综合应用篇，是本书的重点，精选出了14个具体的DSP嵌入式系统综合应用案例的完整设计过程

案例  
ANLI JINGJIANG  
精讲



化学工业出版社

魏 伟 等编著

# DSP

DSP QIANRUSHI XITONG ZONGHE SHEJI

## 嵌入式系统综合设计

案例  
ANLI JINGJIANG  
精讲



化学工业出版社

·北京·

本书系统介绍了 DSP 嵌入式系统开发的基础知识和应用设计案例，内容共分 3 篇：第 1 篇为开发基础篇，重点介绍了 DSP 嵌入式系统开发的基础知识和集成开发环境；第 2 篇为模块实例篇，通过典型模块实例介绍了 DSP 嵌入式系统中典型模块的设计技术，包括数字输入/输出、事件管理器、模数转换、串行外设接口等模块，书中案例的程序设计大部分采用 C 语言编程；第 3 篇为综合应用篇，是本书的重点，精选出了 14 个具体的 DSP 嵌入式系统综合应用案例的完整设计过程。

本书语言简洁，层次分明，精选的每个应用案例都对具体的案例背景、设计思路分析、硬件电路设计、软件设计、参考程序、分析与小结做了详细的描述和注释，为读者提供了一套完整的 DSP 嵌入式系统综合设计方法。

本书可供从事 DSP 应用与产品开发等工作的工程技术人员学习使用，也可作为高等院校毕业设计和电子设计竞赛的参考用书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

DSP 嵌入式系统综合设计案例精讲/魏伟等编著.  
北京: 化学工业出版社, 2016.4  
ISBN 978-7-122-26272-1

I. ①D… II. ①魏… III. ①数字信号处理-系统设计  
IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 026680 号

责任编辑: 李军亮  
责任校对: 宋 夏

文字编辑: 陈 喆  
装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司  
装 订: 三河市宇新装订厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 28 字数 732 千字 2016 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

Preface

本书以 TMS320 系列 DSP 嵌入式系统为描述对象, 重点介绍 DSP 嵌入式系统综合设计案例的完整过程, 并以 DSP 的基本应用为主, 介绍 DSP 嵌入式系统的设计和实现方法, 使读者通过本书的学习, 掌握 DSP 嵌入式系统基本技术和应用, 并能举一反三, 不断扩大应用的深度和广度。

本书具有以下特点:

① 本书是一本实用技术书。要求读者具有数字电路与模拟电路、自动控制原理、信号与系统、DSP 原理、C 语言程序设计等基础知识。

② 本书分 3 篇共 15 章内容。第 1 篇为开发基础篇, 重点介绍了 DSP 嵌入式系统开发的基础知识和集成开发环境。第 2 篇为模块实例篇, 通过典型案例介绍了 DSP 嵌入式系统中典型模块的设计技术, 包括数字输入/输出、事件管理器、模数转换、串行外设接口等模块, 案例的程序设计大部分采用 C 语言编程。第 3 篇为综合应用篇, 是本书的重点, 精选出了 14 个具体的 DSP 嵌入式系统综合应用案例。对每个案例的选题背景、设计思路分析、硬件电路设计、软件设计、参考程序、分析与小结六个方面进行了详细的阐述。精选的每个案例在程序设计上给出了汇编语言和 C 语言的源程序, 有利于读者举一反三, 达到快速掌握 DSP 嵌入式系统综合应用的目的。

③ 本书突破了传统的软硬件截然割裂的方法, 使读者对 DSP 嵌入式系统的开发有一个整体的了解。相信本书的这个特点会节省读者进入 DSP 领域的时间, 同时能更清楚认识 DSP 嵌入式系统开发的方法和步骤。

④ 本书从应用的角度出发, 结合了笔者多年教学、科研实践所取得的经验, 系统、全面地以 DSP 应用案例介绍嵌入式系统开发的全过程, 是一本实用教程。

⑤ 案例多。本书通过大量的 DSP 实际应用案例阐述了完整的设计过程, 读者通过这些案例的学习, 可较为容易地掌握 DSP 嵌入式系统综合设计方法。

本书内容系统全面, 论述深入浅出, 循序渐进, 硬件设计和软件设计相结合。本书是从事 DSP 嵌入式系统开发应用与产品开发的工程技术人员的一本实用的参考书, 也可作为电子信息工程、通信工程、自动化等相关专业的高年级本科生和研究生的参考书。

本书提供了所有实例的程序源代码和电路原理图, 读者略作修改即可在工程中直接应用, 下载网址: <http://download.cip.com.cn>, 在“配书资源”一栏中下载。

由于编著者水平有限, 书中难免存在不足之处, 恳请读者批评指正。

编著者

# 目录

Contents

## 第 1 篇

## 开发基础篇

1

第 1 章 ▶ DSP 应用系统开发	1
1.1 概述 .....	1
1.2 DSP 芯片 .....	2
1.2.1 DSP 芯片的发展 .....	2
1.2.2 DSP 芯片的分类 .....	3
1.2.3 DSP 芯片的架构 .....	4
1.3 DSP 应用系统 .....	6
1.3.1 DSP 应用系统构成 .....	6
1.3.2 DSP 应用系统特点 .....	8
1.3.3 DSP 最小系统设计 .....	9
1.4 DSP 应用系统开发流程 .....	10
1.4.1 DSP 总体方案设计 .....	10
1.4.2 DSP 芯片选择 .....	11
1.4.3 硬件电路设计 .....	13
1.4.4 软件程序设计 .....	14
1.4.5 DSP 系统集成 .....	16
1.4.6 DSP 应用系统开发工具 .....	16
小结 .....	17
第 2 章 ▶ DSP 嵌入式系统集成开发环境	18
2.1 CCS 简介 .....	18
2.1.1 CCS 概述 .....	18
2.1.2 代码生成工具 .....	19
2.2 CCS3.3 的基本应用 .....	20
2.2.1 开发 TMS320C28xx 应用系统环境 .....	20
2.2.2 CCS3.3 安装 .....	20
2.2.3 CCS3.3 设置 .....	20
2.2.4 启动 CCS3.3 仿真 .....	24

2.3	典型实例：用 CCS3.3 开发一个音频信号采集、处理输出的程序.....	26
2.3.1	实例目的.....	26
2.3.2	实例原理.....	27
2.3.3	实例步骤.....	27
2.3.4	实例结果.....	33

## 第 2 篇 模块实例篇

34

<b>第 3 章 ▶</b>	<b>数字输入/输出模块</b>	34
3.1	I/O 端口概述.....	34
3.2	I/O 端口寄存器.....	34
3.3	I/O 端口应用实例.....	38
3.3.1	键盘接口设计.....	38
3.3.2	LCD 显示接口设计.....	41
<b>第 4 章 ▶</b>	<b>事件管理器模块</b>	54
4.1	事件管理器模块概述.....	54
4.1.1	事件管理器结构框图.....	54
4.1.2	事件管理器寄存器地址列表.....	55
4.1.3	事件管理器中断.....	56
4.2	通用定时器.....	62
4.2.1	通用定时器概述.....	62
4.2.2	通用定时器功能模块.....	63
4.2.3	通用定时器的计数操作.....	69
4.3	事件管理器应用实例.....	72
4.3.1	事件管理器产生 PWM 波的应用.....	72
4.3.2	捕获单元的应用.....	74
<b>第 5 章 ▶</b>	<b>模数转换模块</b>	77
5.1	模数转换模块 (ADC) 概述.....	77
5.2	自动排序器的工作原理.....	77
5.2.1	连续的自动排序模式.....	78
5.2.2	排序器的启动/停止模式.....	78
5.2.3	输入触发源.....	78
5.3	ADC 时钟预定标.....	79
5.4	校准模式.....	79
5.5	自测试模式.....	80
5.6	ADC 模块的寄存器.....	80
5.7	ADC 转换时钟周期.....	87

5.8	模数转换模块应用实例 .....	87
<b>第 6 章</b>	<b>▶ 串行外设接口模块 (SPI)</b>	<b>90</b>
6.1	串行外设接口概述 .....	90
6.2	串行外设接口操作 .....	91
6.2.1	操作介绍 .....	91
6.2.2	串行外设接口模块 .....	91
6.2.3	串行外设接口中断 .....	92
6.2.4	数据格式 .....	92
6.2.5	串行外设接口波特率设置和时钟方式 .....	93
6.2.6	串行外设接口的初始化 .....	94
6.3	串行外设接口控制寄存器 .....	95
6.4	串行外设接口模块应用实例 .....	100
<b>第 7 章</b>	<b>▶ 串行通信接口模块 (SCI)</b>	<b>103</b>
7.1	串行通信接口概述 .....	103
7.2	多处理器 (多机) 异步通信模式 .....	104
7.2.1	串行通信接口可编程的数据格式 .....	104
7.2.2	串行通信接口的多处理器通信 .....	105
7.2.3	串行通信接口通信格式 .....	105
7.2.4	串行通信接口中断 .....	107
7.2.5	串行通信接口波特率计算 .....	107
7.3	串行通信接口控制寄存器 .....	108
7.4	串行通信接口模块应用实例 .....	112
7.4.1	串行通信硬件电路设计 .....	112
7.4.2	串行通信软件设计 .....	112
<b>第 8 章</b>	<b>▶ CAN 控制器模块</b>	<b>115</b>
8.1	CAN 控制器模块概述 .....	115
8.1.1	CAN 技术简介 .....	115
8.1.2	TMS320 LF2407 CAN 控制器概述 .....	115
8.2	邮箱 .....	116
8.2.1	CAN 信息包格式说明 .....	116
8.2.2	CAN 邮箱寄存器 .....	117
8.3	CAN 控制寄存器 .....	118
8.4	CAN 控制器的操作 .....	128
8.4.1	初始化 CAN 控制器 .....	128
8.4.2	信息的发送 .....	129
8.4.3	信息的接收 .....	129

8.4.4	远程帧.....	130
8.5	CAN 控制器模块应用实例.....	131
8.5.1	CAN 模块发送一个远程帧请求.....	131
8.5.2	CAN 模块自动应答一个远程帧请求.....	133

## 第 3 篇

## 综合应用篇

136

<b>第 9 章</b>	<b>▶ DSP 在电力系统中的应用</b>	136
9.1	光伏并网逆变器的设计实例.....	136
9.1.1	实例功能.....	136
9.1.2	设计思路.....	136
9.1.3	工作原理.....	137
9.1.4	硬件电路.....	139
9.1.5	软件设计.....	143
9.1.6	参考程序.....	145
9.2	风力发电并网逆变器的设计实例.....	158
9.2.1	实例功能.....	158
9.2.2	设计思路.....	158
9.2.3	工作原理.....	159
9.2.4	硬件电路.....	160
9.2.5	软件设计.....	164
9.2.6	参考程序.....	164
<b>第 10 章</b>	<b>▶ DSP 在开关电源中的应用</b>	172
10.1	直流斩波电源的设计实例.....	172
10.1.1	实例功能.....	172
10.1.2	工作原理.....	172
10.1.3	硬件电路.....	173
10.1.4	软件设计.....	176
10.1.5	参考程序.....	177
10.2	三相高精度逆变电源的设计实例.....	185
10.2.1	实例功能.....	185
10.2.2	工作原理.....	185
10.2.3	硬件电路.....	188
10.2.4	软件设计.....	190
10.2.5	参考程序.....	191
<b>第 11 章</b>	<b>▶ DSP 在电动机控制系统中的应用</b>	231
11.1	异步电动机矢量控制的设计实例.....	231
11.1.1	实例功能.....	231



11.1.2	工作原理.....	232
11.1.3	硬件电路.....	233
11.1.4	软件设计.....	236
11.1.5	参考程序.....	241
11.2	感应电动机软启动器的设计实例.....	245
11.2.1	实例功能.....	246
11.2.2	工作原理.....	246
11.2.3	硬件电路.....	247
11.2.4	软件设计.....	249
11.2.5	参考程序.....	251
<b>第 12 章 ▶ DSP 在检测系统中的应用</b>		<b>259</b>
12.1	三相交流参数测试仪的设计实例.....	259
12.1.1	选题背景.....	259
12.1.2	设计思路分析.....	259
12.1.3	硬件电路设计.....	264
12.1.4	软件设计.....	266
12.1.5	参考程序.....	270
12.1.6	分析与小结.....	279
12.2	LCR 数字电桥设计实例.....	279
12.2.1	选题背景.....	279
12.2.2	设计思路分析.....	280
12.2.3	硬件电路设计.....	281
12.2.4	软件设计.....	284
12.2.5	参考程序.....	286
12.2.6	分析与小结.....	299
<b>第 13 章 ▶ DSP 在数字系统中的应用</b>		<b>300</b>
13.1	基于 DDS 的信号发生器的设计实例.....	300
13.1.1	设计背景.....	300
13.1.2	设计思路分析.....	300
13.1.3	硬件电路设计.....	302
13.1.4	软件设计.....	306
13.1.5	参考程序.....	310
13.1.6	分析与小结.....	314
13.2	数字频率特性测试仪的设计实例.....	314
13.2.1	选题背景.....	314
13.2.2	设计思路分析.....	315
13.2.3	硬件电路设计.....	316

13.2.4	软件设计.....	321
13.2.5	参考程序.....	325
13.2.6	分析与小结.....	330
<b>第 14 章 ▶ DSP 在数字通信中的应用</b>		<b>331</b>
14.1	数字电话终端系统的设计实例.....	331
14.1.1	设计背景.....	331
14.1.2	设计思路分析.....	331
14.1.3	硬件电路设计.....	332
14.1.4	软件设计.....	335
14.1.5	参考程序.....	338
14.1.6	分析与小结.....	343
14.2	数字接收机设计实例.....	344
14.2.1	设计背景.....	344
14.2.2	设计思路分析.....	344
14.2.3	硬件电路设计.....	346
14.2.4	软件设计.....	349
14.2.5	参考程序.....	351
14.2.6	分析与小结.....	358
<b>第 15 章 ▶ DSP 在数字音像系统中的应用</b>		<b>359</b>
15.1	嵌入式语音门锁系统的设计实例.....	359
15.1.1	设计背景.....	359
15.1.2	设计思路分析.....	359
15.1.3	硬件电路设计.....	361
15.1.4	软件设计.....	364
15.1.5	参考程序.....	367
15.1.6	分析与小结.....	377
15.2	智能阅读系统的设计实例.....	377
15.2.1	设计背景.....	377
15.2.2	设计思路分析.....	378
15.2.3	硬件电路设计.....	378
15.2.4	软件设计.....	383
15.2.5	参考程序.....	384
15.2.6	分析与小结.....	391

A.1	器件、软件与频率抖动技术.....	392
A.1.1	器件、软件与 EMC .....	392
A.1.2	频率抖动技术与 EMC.....	393
A.2	相关设计实例 .....	393
A.2.1	语音门锁电路板抗干扰及抗 ESD 的布线设计 .....	393
A.2.2	飞控嵌入式系统硬件抗干扰措施.....	394
A.2.3	基于 DDS 的信号发生器电路抗干扰措施.....	395
A.2.4	数字频率特性测试仪电路板抗干扰设计与调试 .....	396
<b>附录 B ▶</b>	<b>常用程序</b>	<b>399</b>
B.1	外扩展存储器程序 .....	399
B.2	自适应滤波器程序 .....	405
B.3	键盘监控程序 .....	408
B.4	中断服务程序.....	412
<b>参考文献</b>		<b>436</b>

## 第①篇 开发基础篇

### 第1章 ▶ DSP 应用系统开发

#### 1.1 概述

DSP 芯片,也称数字信号处理器,是一种具有特殊结构的微处理器。DSP 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,广泛采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速实现各种数字信号处理算法。

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

- ① 在通用的计算机(如 PC 机)上用软件(如 Fortran、C 语言)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 用通用的单片机(如 MCS-51、96 系列等)实现,这种方法可用于一些不太复杂的数字信号处理,如数字控制等。
- ④ 用通用的可编程 DSP 芯片实现。与单片机相比,DSP 芯片具有更加适合于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,要求的信号处理速度极高,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。

在上述几种方法中,第①种方法的缺点是速度较慢,一般可用于 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②种方法也不便于系统的独立运行;第③种方法只适用于实现简单的 DSP 算法;只有第④种方法才使数字信号处理的应用打开了新的局面。

数字信号处理器中所涉及的信号包括确定性信号、平稳随机信号、时变信号、一维及多维信号、单通道及多通道信号。所涉及的系统也包括一维系统、二维系统、多通道系统,对每一类特定的信号与系统,所涉及理论的各个方面又有不同的内容。伴随着通信技

术、电子技术及计算机的飞速发展，数字信号处理的理论也在不断地丰富和完善，各种新算法、新理论正在不断地被提出，可以预计不久的将来，数字信号处理的理论将获得更快的发展。

## 1.2 DSP 芯片

### 1.2.1 DSP 芯片的发展

世界上第一个单片 DSP 芯片应当是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811，1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程器件 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必须有的单周期乘法器。1980 年，日本 NEC 公司推出的  $\mu\text{P}$  D7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。

在这之后，最成功的 DSP 芯片当数美国德州仪器公司 (Texas Instruments, 简称 TI) 的一系列产品。TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 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，第二代 DSP 芯片的改进型 TMS320C2XX，集多片 DSP 芯片于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C8X 以及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62X/C67X 等。TI 将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列，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，其 DSP 市场份额占全世界份额近 50%。

第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本的 Hitachi 公司，它于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年日本 Fujitsu 公司推出的 MB8764，其指令周期为 120ns，且具有双内部总线，从而使处理吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一个高性能浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

与其他公司相比，Motorola 公司在推出 DSP 芯片方面相对较晚。1986 年，该公司推出了定点处理器 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, 简称 AD) 在 DSP 芯片市场上也占有一定的份额，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、ADSP2111/2115、ADSP2161/2162/2164 以及 ADSP2171/2181，浮点 DSP 芯片有 ADSP21000/21020、ADSP21060/21062 等。

自 1980 年以来，DSP 芯片得到了突飞猛进的发展，DSP 芯片的应用越来越广泛。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 400ns (如 TMS32010) 降低到 10ns 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。表 1.1 是 TI 公司 DSP 芯片 1982 年、1992 年、1999 年的比较表。表 1.2 则是世界上主要 DSP 芯片供应商的代表芯片的一些数据。

表 1.1 TI DSP 芯片发展比较表 (典型值)

推出时间/年	制造工艺	运算速度/MIPS	频率/MHz	内部 RAM/字	内部 ROM/字	价格/美元	功耗/(mW/MIPS)	集成晶体管数
1982	4 $\mu$ m NMOS	5	20	144	1.5K	150.00	250	50k
1992	0.8 $\mu$ m CMOS	40	80	1K	4K	15.00	12.5	500k
1999	0.3 $\mu$ m CMOS	100	100	32K	16K	5.00~25.00	0.45	

表 1.2 单片可编程 DSP 芯片

公司	DSP 芯片	推出时间/年	MAC 周期/ns	定点位数	浮点位数
AMI	S2811	1978	300	12/16	
NEC	$\mu$ PD7720	1980	250	16/32	32
	$\mu$ PD77230	1985	150		
TI	TMS32010	1982	390	16/32	32/40 40
	TMS32020	1987	200	16/32	
	TMS320C25	1989	100	16/32	
	TMS320C30	1989	60	24/32	
	TMS320C40	1992	40	32	
	TMS320C50	1990	35	16/32	
	TMS320C203	1996	12.5	16/32	
	TMS320LC549	1996	10	16/32	
TMS320C62X	1997	5	16/32		
Motorola	MC56001	1986	75	24	32/44
	MC96002	1990	50	32/64	
	MC56002	1991	50	24/48	
AT&T	DSP32C	1988	80	16 或 24	32/40
	DSP16A	1988	25	16/36	
	DSP3210	1992	60	24	32/40
AD	ADSP2101	1990	60	16	
	ADSP21020	1991	40	32	32/40

### 1.2.2 DSP 芯片的分类

DSP 芯片可以按照下列三种方式进行分类。

#### (1) 按基础性分

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, 日本 OKI 电气公司的 DSP 芯片、TI 公司的 TMS320C2XX 系列芯片属于这一类。

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, 美国 TI 公司的 TMS320C54X 就属于这一类。

#### (2) 按数据格式分

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, Motorola 公司的 MC56000 等。以浮点格式工作的称为浮点 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, Motorola 公司的 MC96002 等。

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 TMS320C3X, 而有的 DSP 芯片则采用 IEEE 的标准浮点格式, 如 Motorola 公司的 MC96002、Fujitsu 公司的 MB86232 和 Zoran 公司的 ZR35325 等。

### (3) 按用途分

按照 DSP 的用途来分, 可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。通用型 DSP 芯片适合普通的 DSP 应用, 如 TI 公司的一系列 DSP 芯片属于通用型 DSP 芯片。专用 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计的, 更适合特殊的运算, 如数字滤波、卷积和 FFT, 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。

## 1.2.3 DSP 芯片的架构

为了快速地实现数字信号处理运算, DSP 芯片一般都采用特殊的软硬件结构。下面以 TMS320 系列为例介绍 DSP 芯片的基本结构。

TMS320 系列 DSP 芯片的基本结构包括:

- ① 哈佛结构;
- ② 采用多总线结构;
- ③ 采用流水线技术;
- ④ 专用的硬件乘法器;
- ⑤ 特殊的 DSP 指令;
- ⑥ 快速的指令周期;
- ⑦ 硬件配置强;
- ⑧ 支持多处理器结构;
- ⑨ 省电管理和低功耗。

这些特点使得 TMS320 系列 DSP 芯片可以实现快速的 DSP 运算, 并使大部分运算(例如乘法)能够在—个指令周期内完成。由于 TMS320 系列 DSP 芯片是软件可编程器件, 因此具有通用微处理器具有的方便灵活的特点。下面分别介绍这些特点是如何在 TMS320 系列 DSP 芯片中应用并使得芯片的功能得到加强的。

### (1) 哈佛结构

哈佛结构是不同于传统的冯·诺依曼(Von Neumann)结构的并行体系结构, 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程序总线 and 数据总线两条总线, 从而使数据的吞吐率提高了一倍。而冯·诺依曼结构则是将指令、数据、地址存储在同一存储器中, 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。取指令和取数据都访问同一存储器, 数据吞吐率低。微处理器的哈佛结构如图 1.1 所示。

在哈佛结构中, 由于程序和数据存储器在两个分开的空间中, 因此读取指令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, 一是允许数据存放在程序存储器中, 并被算术运算指令直接使用, 增强了芯片的灵活性; 二是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, 节约了一个指令周期的时间。如 TMS320C30 具有 64 个字的 Cache。

### (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,大大地提高了 DSP 的运行速度。如: TMS320C54x 系列内部有 P、C、D、E 等 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:

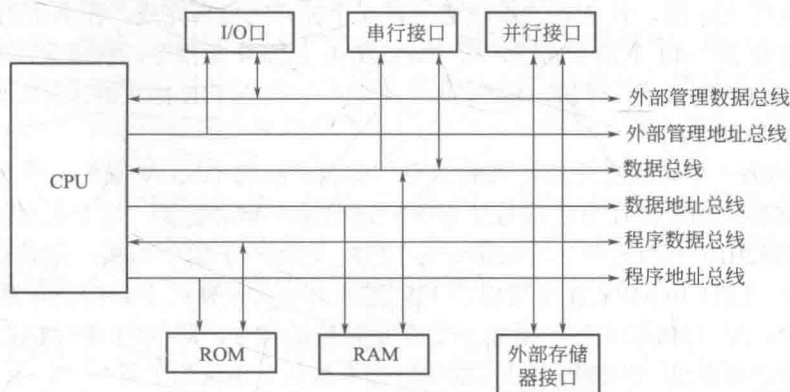


图 1.1 哈佛结构

- 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

与哈佛结构相关, DSP 芯片广泛采用流水线以减少指令执行时间,从而增强了处理器的处理能力。TMS320 系列处理器的流水线深度从 2~6 级不等。第一代 TMS320 处理器采用二级流水线,第二代采用三级流水线,而第三代则采用四级流水线。也就是说,处理器可以并行处理 2~6 条指令,每条指令处于流水线上的不同阶段。

图 1.2 所示为一个三级流水线操作的例子。

在三级流水线操作中,取指、译码和执行操作可以独立地处理,这可使指令执行能完全重叠。在每个指令周期内,三个不同的指令处于激活状态,每个指令处于不同的阶段。例如,在第  $N$  个指令取指时,前一个指令即第  $N-1$  个指令正在译码,而第  $N-2$  个指令则正在执行。一般来说,流水线对用户是透明的。

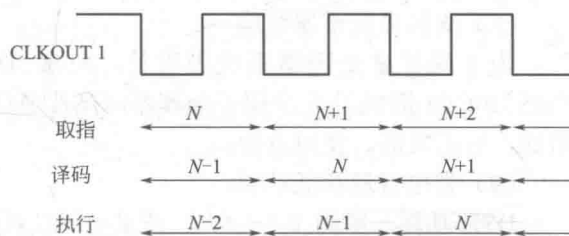


图 1.2 三级流水线操作

### (4) 专用的硬件乘法器

在一般形式的 FIR 滤波器中,乘法是 DSP 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。乘法速度越快, DSP 处理器的性能就越高。在通用的微处理器中,乘法指令是由一系列加法来实现的,故需许多个指令周期来完成。相比而言, DSP 芯片的特征就是有一个专用的硬件乘法器。在 TMS320 系列中,由于具有专用的硬件乘法器,乘法可在一个指令周期内完成。从最早的 TMS32010 实现 FIR 的每个抽头算法可以看出,滤波器每个抽头需要一条乘法指令 MPY:

- LT ; 装乘数到 T 寄存器  
 DMOV ; 在存储器中移动数据以实现延迟  
 MPY ; 相乘



APAC ; 将乘法结果加到 ACC 中

其他三条指令用来将乘数装入到乘法器电路 (LT), 移动数据 (DMOV) 以及将乘法结果 (存在乘积寄存器 P 中) 加到 ACC 中 (APAC)。因此, 若采用 256 抽头的 FIR 滤波器, 这四条指令必须重复执行 256 次, 且 256 次乘法必须在一个抽样间隔内完成。在典型的通用微处理器中, 每个抽头需要 30~40 个指令周期, 而 TMS32010 只需 4 条指令。如果采用特殊的 DSP 指令或采用 TMS320C54X 等新一代的 DSP 芯片, 可进一步降低 FIR 抽头的计算时间。

#### (5) 特殊的 DSP 指令

DSP 芯片的另一个特征是采用特殊的指令。前面介绍的 DMOV 就是一个特殊的 DSP 指令, 它完成数据移位功能。在数字信号处理中, 延迟操作非常重要, 这个延迟就是由 DMOV 来实现的。TMS32010 中的另一个特殊指令是 LTD, 它在一个指令周期内完成 LT、DMOV 和 APAC 三条指令。LTD 和 MPY 指令可以将 FIR 滤波器抽头计算从 4 条指令降为 2 条指令。在第二代处理器中, 如 TMS320C25, 增加了 2 条更特殊的指令, 即 RPT 和 MACD 指令, 采用这 2 条特殊指令, 可以进一步将每个抽头的运算指令数从 2 条降为 1 条:

RPTK 255 ; 重复执行下条指令 256 次

MACD ; LT, DMOV, MPY 及 APAC

#### (6) 快速的指令周期

哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的 DSP 指令再加上集成电路的优化设计, 可使 DSP 芯片的指令周期在 200ns 以下。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 芯片能够实时实现许多 DSP 应用。

#### (7) 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等片内外设外, 还配有中断处理器、锁相环 (Phase Locked Loop, 简称 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。

#### (8) 支持多处理器结构

为了满足多处理器系统的设计, 许多 DSP 芯片都采用支持多处理器的结构。如: TMS320C40 提供了 6 个用于处理器间高速通信的 32 位专用通信接口, 使处理器之间可直接对通, 应用灵活、使用方便。

#### (9) 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。

## 1.3 DSP 应用系统

### 1.3.1 DSP 应用系统构成

信号处理的实现可分为“软件实现”与“硬件实现”两种。但这种区分方法是不严密的。因为, 无论用什么语言编写的信号处理的程序都需要基本的硬件支持才能运行, 同样, 除个别特殊的 DSP 芯片外, 任何硬件的信号处理装置也必须配有相应的软件才能工作。因此, 信号处理的硬件和软件实际上是密不可分的。

由于以 PC 机为代表的个人计算机已成为最通用的学习和科研工具。因此人们习惯把在