



DSP原理与 开发实例

吉建华 主编 贾伟广 副主编
郭继昌 主审



机械工业出版社
China Machine Press

014013102

TN911.72-43
122

21世纪高等院校电子信息类

DSP原理与 开发实例

吉建华 主编 贾伟广 副主编

郭继昌 主审



TN911.72-43

122



北航

C1699870



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 原理与开发实例 / 吉建华主编. —北京: 机械工业出版社, 2014. 1
(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-45249-2

I. D… II. 吉… III. 数字信号处理—高等学校—教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 309335 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书以 TI 公司的 TMS320C54x 系列 DSP 为平台、以提高读者工程应用能力为目的, 由浅入深、全面系统地介绍了 DSP 的相关知识和技术。全书共分为 8 章。第 1 章介绍 DSP 的定义、发展、分类、特点、应用领域以及 DSP 系统的构成、优势和设计流程等内容。第 2 章介绍 CCS 的安装和配置、CCS 的界面和菜单、CCS 的基本功能和通用扩展语言等内容。第 3 章介绍 TMS320C54x 的软件开发过程。第 4 章通过大量翔实的例题详细介绍 TMS320C54x 的汇编语言源程序格式、操作码中的符号和缩写、指令系统中所用到的记号和运算符以及汇编指令系统。第 5 章介绍数据寻址和程序寻址。第 6 章以 TMS320C5416 为例, 介绍 DSP 芯片的总线结构、中央处理单元 (CPU)、存储器和存储空间等基本结构。第 7 章介绍 DSP 的通用 I/O 口、时钟发生器、定时器、主机接口、串口及外部总线等片内外设。第 8 章主要介绍基于 TMS320VC5416 的 DSP 应用系统设计, 包括最小系统设计和扩展系统 (音频系统) 设计以及相应的系统调试方法。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 谢晓芳

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

185mm × 260mm · 17.25 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-45249-2

定 价: 35.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

前言

随着信息技术和超大规模集成电路的飞速发展,数字化进程不断加速,高速实时的数字信号处理系统应用日趋广泛,由此发展起来的数字信号处理器是现代数字系统设计不可缺少的重要手段,其表现出的方便、快捷、简单、移植性好、工程实现容易等特点已得到学术界和企业界的认可,数字信号处理器的相关知识已成为电子信息系统设计人员的必备知识。

本书以 TI 公司的 TMS320C54x 系列 DSP 为平台、以提高读者工程应用能力为目的,由浅入深、全面系统地介绍 DSP 的相关知识和技术。通过对本书的学习,希望读者可以举一反三,了解和掌握 DSP 的相关理论知识和系统设计方法。

本书作为内部教材已使用 4 年,教学效果良好。在此期间,编者不断发现问题、解决问题,最终形成了这样一部具有一定特色的 DSP 教材。

全书共分为 8 章。第 1 章介绍了 DSP 的定义、发展、分类、特点、应用领域以及 DSP 系统的构成、优势和设计流程等内容。第 2 章主要介绍了 CCS 的安装和配置、CCS 的界面和菜单、CCS 的基本功能和通用扩展语言等内容。第 3 章详细介绍了 TMS320C54x 的软件开发过程。第 4 章通过大量翔实的例题详细介绍了 TMS320C54x 的汇编语言源程序格式、操作码中的符号和缩写、指令系统中所用到的记号和运算符号以及汇编指令系统。第 5 章介绍了数据寻址和程序寻址。第 6 章以 TMS320C5416 为例,介绍了 DSP 芯片的总线结构、中央处理单元(CPU)、存储器和存储空间等基本结构。第 7 章详细介绍了 DSP 的通用 I/O 口、时钟发生器、定时器、主机接口、串口及外部总线等片内外设。第 8 章主要介绍了基于 TMS320VC5416 的 DSP 应用系统设计,包括最小系统设计和扩展系统(音频系统)设计以及相应的系统调试方法。

在本书的编写过程中,我们坚持“边学边练、学做结合,践以求知、学以致用”的编写原则,将理论和实践置于同等重要的地位,追求理论和实践的完美结合。总体上来说,本书具有以下几个特点。

- 体系结构合理。本书首先介绍了 CCS 开发环境,然后逐步介绍软件开发过程、汇编指令、寻址方式等内容,这样就为践行“边学边练、学做结合”打开了便利之门。同时,也有利于读者真正掌握并将 DSP 这门技术应用于工程实践。
- 模块设计优化。每章均包括内容提要、重点难点、具体内容、小结和思考题等模块,部分章还包括与本章内容相配套的实验内容。这样的模块设计有利于做到重点突出,便于读者自学并进行实践。
- 理论深入浅出。本书语言流畅、通俗易懂,努力避免繁琐的理论和长篇的数学推导,尽量用实例来说明问题,从而使学生轻松掌握所学的知识,达到事半功倍的效果。
- 实践全面丰富。本书包含 100 余道例题、100 道思考题、12 个实验和两个应用系统

设计,成功地实践了“践以求知、学以致用”的编写原则。让事实说话、用实例释疑,在有效地整合本书内容的同时,最大限度地帮助读者掌握 DSP 这门应用技术。

- 配套资源完善。为方便读者的学习,作者在配套教学资源中提供了本书所有程序的源代码,以便于初学者在实践中快速掌握 DSP 技术。为满足广大教师的教学需求,编者在配套教辅资源中提供了电子课件(PPT 格式)、思考题答案(Word 格式)以及书中所有插图电子版图片(JPEG 格式和 Visio 格式)等教辅资源(参见 <http://www.hzbook.com>)。

本书既可作为高等学校电子类专业本科生和研究生学习 DSP 的教材和参考书,也可供从事 DSP 芯片开发与应用的广大工程技术人员参考。

全书由天津大学仁爱学院吉建华担任主编并编写第 2~5 章及第 7~8 章,国家海洋标准计量中心贾伟广编写第 1 章、第 6 章。本书承蒙天津大学电子信息工程学院郭继昌教授担任主审,郭教授对本书进行了审阅并给予了許多指导和建议,编者对此深表谢意。

本书在编写过程中得到了天津大学电气与自动化工程学院孙雨耕教授和天津大学电子信息工程学院祖光裕副教授的大力支持和帮助。王思力、贾理淳、王鸣骥、张若石等完成了部分程序和电路的调试工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2013 年 10 月

教学建议

【教学目的】

- 1) 了解 DSP 的发展状况和应用领域；
- 2) 掌握 DSP 的基本硬件结构和片内外设；
- 3) 掌握 DSP 开发环境（CCS）的使用方法；
- 4) 掌握 DSP 软件编程和硬件设计的基本方法。

【教学实施】

教学内容	学习要点	课时安排
第1章 绪论	• DSP 芯片的定义、发展、分类、特点、应用领域及选择 • DSP 系统的构成及设计流程	4
第2章 DSP 集成开发环境	• CCS 安装 • 工程维护和程序调试方法 • 图形显示 • 数据交换 • 通用扩展语言	8（含2课时实验）
第3章 TMS320C54x 软件开发基础	• 汇编伪指令 • 汇编宏指令 • 段的定义和用法 • 链接命令文件 • C 语言程序设计 • 混合语言程序设计	16（含8课时实验）
第4章 TMS320C54x 汇编指令系统	• 汇编语言源程序格式 • 汇编语言指令的语法格式和使用方法	8（含2课时实验）
第5章 TMS320C54x 寻址方式	• 直接寻址 • 间接寻址 • 堆栈寻址 • 分支转移 • 调用与返回 • 中断	6
第6章 TMS320C54x 基本结构	• TMS320C54x 的总线结构及其作用 • TMS320C54x 中央处理单元（CPU）的组成及各部分的功能 • TMS320C54x 存储器结构和存储空间的组织与分配 • TMS320C5416 的存储器映像寄存器	10（含2课时实验）
第7章 TMS320C54x 片内外设	• 时钟发生器的实现方式 • 可编程定时器的原理和应用 • 主机接口的原理和使用方法 • 串行接口的4种形式及其使用方法 • 软件可编程等待状态发生器 • 可编程分区转换逻辑	8（含2课时实验）

(续)

教学内容	学习要点	课时安排
第8章 DSP应用系统设计	• 系统电源 • 时钟电路 • 外扩存储系统 • CPLD 系统 • 系统调试方法	4

【教学方法】

数字信号处理器 (DSP) 是一门应用性较强的专业基础课程, 宜采用边学边练、学做结合的方式进行教学, 以便读者真正掌握并能将 DSP 这门技术应用于工程实践。在教学过程中, 要真正做到理论与实践并重。有条件的院校可结合相应的实验平台完成各项实验内容, 对于无法采购相关实验平台的院校, 也可采用 CCS 软仿真的方法进行相关实验, 以达到提高学生工程实践能力的目的。

【说明】

1) 本书建议总学时为 64 学时, 其中, 理论教学 48 学时, 实验教学 16 学时。各学校可根据不同的专业和课程设置对内容进行适当的调整, 以利于学生学习。

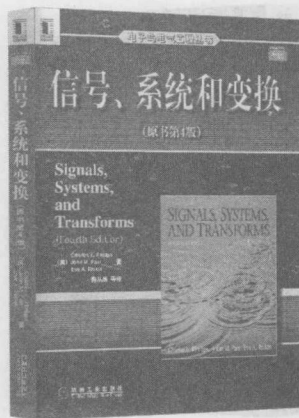
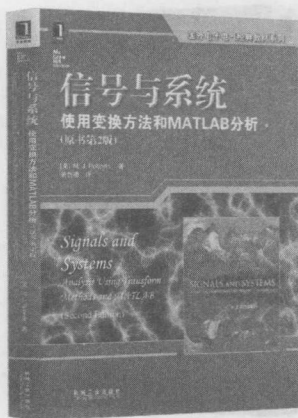
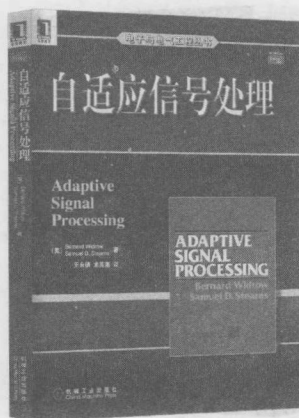
2) 实验一、实验三和实验五为必做实验, 其他实验项目可以根据实际情况进行增减。

3) 7.5 节中的多通道缓冲串口为必修内容, 其他部分可作为选修内容。

4) 第 8 章可作为选修内容, 若不讲授该内容, 可适当增加实验项目以着力提高学生的软件编程能力。

5) 除第 8 章之外, 其他章节的基础性实验可采用实验箱或软件的方式进行, 教学效果基本一致。

推荐阅读



自适应信号处理

作者: Bernard Widrow 等 译者: 王永德 等 ISBN: 978-7-111-22792-2 定价: 45.00元
英文版 ISBN: 978-7-111-23918-5 定价: 56.00元

本书是一本有关自适应信号处理的专业性教科书,也是自适应信号处理方面的一部经典著作。本书主要内容包括自适应信号处理的原理、算法和结构以及在各种领域的应用。全书在理论方面侧重讨论线性组合器这种基本的自适应结构形式,以及LMS(最小均方)算法这种重要且基本的自适应算法;在应用方面,重点讨论自适应信号处理在系统辨识、解卷积、信道均衡、自动控制、干扰对消及空间阵列处理等方面的应用。

信号与系统：使用变换方法和MATLAB分析（原书第2版）

作者: M. J. Roberts 译者: 胡剑凌 预计出版时间: 2013年6月

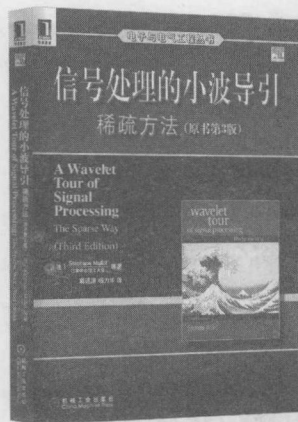
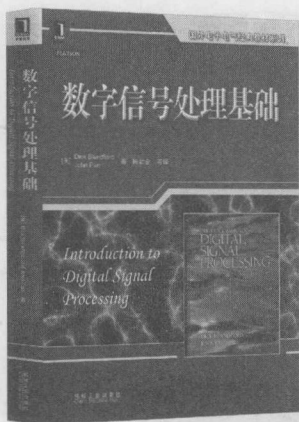
本书在第1版的基础上进行了广泛更新,包含系统的时域分析、傅里叶方法、傅里叶变换、拉普拉斯变换、z变换、采样和信号处理等信号与系统的基本理论和应用。新增加频率响应分析、通信系统分析、滤波器的分析与设计、状态空间分析4章内容。全书给出了大量的例子,并介绍实现上述方法的MATLAB函数和运算。

信号、系统和变换（原书第4版）

作者: Charles L. Philips 等 译者: 陈从颜 ISBN: 978-7-111-26047-9 定价: 78.00元
英文版 ISBN: 978-7-111-26894-9 定价: 55.00元

本书清晰而全面地叙述了关于信号、系统和变换的理论与应用。介绍了信号与系统的数学背景,主要包括:傅里叶变换、傅里叶级数、拉普拉斯变换、离散时间傅里叶变换与离散傅里叶变换,z变换。本版在课程体系的组织上为读者不同的侧重需求提供了极大的灵活性。MATLAB示例贯穿于书中各章,同时也将MATLAB学生版本的先进特征体现于例题和习题的应用之中。

推荐阅读



数字信号处理基础

作者：Dick Blandford 等 译者：陈后金 等 中文版 预计出版时间：2013年10月

全书共10章，其中1-7章介绍了数字信号处理的核心理论与应用；8-10章提供了数字信号处理的典型应用，使学生更好地运用和掌握理论知识。许多实例是用C语言编写的，并给出了MATLAB®仿真；每章末的都有丰富的习题，旨在培养学生DPS系统的分析和设计能力。可作为电子信息 and 电气工程专业的信号处理课程的本科教材。

数字信号处理的实际应用

作者：Richard Newbold 等 译者：李玉柏 等 中文版 预计出版时间：2013年10月

本书着重于数字信号处理硬件和软件的一步步设计和实现。全书包括了数字数据锁定环（DLL）、数字自动增益控制（DAGC）和快速的弹性存储用于同步独立时钟异步数据比特流的设计；更详细阐述了级联积分梳状（CIC）滤波器的详细设计、模拟和数字信号的调谐、数字信道的设计，以及数字频率合成技术。阐明了设计工程师在现代信号处理领域遇到的寻址电路和系统的应用的问题。可作为信号处理专业的研究生教材，也可供工程师参考。

信号处理的小波导引：稀疏方法（第3版）

作者：Stephane Mallat 等 译者：戴道清 等 ISBN: 978-7-111-36549-5 定价：85.00元

英文版 ISBN: 978-7-111-28861-9 定价：69.00元

本书取材于作者在多所国际知名大学讲授“小波信号处理”课程时的讲义，以十分直观和近乎谈话的方式，以信号处理的问题为背景，叙述了小波的理论和应用，使读者可以透过复杂的数学公式来窥探小波的精髓，而又不致陷入小波纯数学理论的迷宫。



北航

C1699870

目 录

前言

教学建议

第 1 章 绪论 1

1.1 DSP 芯片 1

1.1.1 DSP 的含义 1

1.1.2 DSP 的历史与发展 1

1.1.3 DSP 的分类 3

1.1.4 DSP 的结构特点 4

1.1.5 DSP 的应用领域 6

1.2 DSP 系统 7

1.2.1 DSP 系统的构成 7

1.2.2 DSP 系统的优势 7

1.2.3 DSP 系统的设计流程 10

1.3 小结 12

思考题 12

第 2 章 DSP 集成开发环境 13

2.1 概述 13

2.2 CCS 安装 14

2.3 CCS 系统配置 16

2.4 CCS 系统界面 19

2.5 CCS 基本功能 27

2.5.1 工程的维护与构建 27

2.5.2 程序调试 30

2.5.3 图形显示 32

2.5.4 File I/O 36

2.5.5 开销估计 39

2.6 通用扩展语言 40

2.6.1 GEL 函数的语法 40

2.6.2 GEL 函数的关键字 41

2.6.3 GEL 文件的加载与卸载 43

2.6.4 GEL 文件应用举例 43

录

2.6.5 CCS 内建 GEL 函数 45

2.7 小结 49

实验一: CCS 基本操作 49

思考题 51

第 3 章 TMS320C54x 软件开发

基础 52

3.1 TMS320C54x 软件开发过程 52

3.2 汇编伪指令 55

3.3 汇编宏指令 59

3.4 COFF 目标文件 63

3.4.1 COFF 文件中的段 63

3.4.2 汇编器对段的处理 64

3.4.3 链接器对段的处理 67

3.4.4 链接命令文件 68

3.5 C 语言程序设计 75

3.5.1 数据类型 75

3.5.2 变量的作用域和生存期 77

3.5.3 C 语言程序中的段 78

3.6 混合语言程序设计 79

3.6.1 C 语言函数结构和调用

规则 79

3.6.2 独立的 C 模块和汇编模块

接口 81

3.6.3 在 C 语言程序中使用汇编

程序中的变量和常数 83

3.6.4 直接在 C 语言程序的相应

位置嵌入汇编语句 84

3.7 小结 85

实验二: 宏指令应用 85

实验三: 链接命令文件编写 86

实验四: C 语言程序设计 87

实验五：混合语言程序设计	88	第6章 TMS320C54x 基本	
思考题	88	结构	163
第4章 TMS320C54x 汇编指令		6.1 TMS320C54x 结构简介	163
系统	90	6.2 内部总线结构	165
4.1 汇编语言源程序格式	90	6.3 CPU	166
4.2 指令系统中的符号、缩写、		6.3.1 ALU	166
记号与运算符	92	6.3.2 累加器	168
4.3 汇编指令系统	95	6.3.3 桶形移位器	169
4.3.1 算术运算指令	95	6.3.4 乘法器/加法器单元	172
4.3.2 逻辑运算指令	105	6.3.5 比较、选择和存储单元	173
4.3.3 程序控制指令	112	6.3.6 指数编码器	174
4.3.4 数据传送指令	128	6.3.7 CPU 状态和控制寄存器	175
4.4 小结	136	6.4 存储器	177
实验六：汇编语言程序设计	137	6.4.1 DSP 芯片的存储器	177
思考题	137	6.4.2 存储空间分配	179
第5章 TMS320C54x 寻址		6.4.3 TMS320C5416 寄存器	183
方式	138	6.5 小结	186
5.1 程序执行过程	138	实验七：FFT 程序设计	186
5.2 数据寻址	139	实验八：FIR 滤波器设计	188
5.2.1 立即寻址	139	实验九：IIR 滤波器设计	191
5.2.2 绝对寻址	140	思考题	192
5.2.3 累加器寻址	141	第7章 TMS320C54x 片内	
5.2.4 直接寻址	141	外设	194
5.2.5 间接寻址	144	7.1 通用 I/O 引脚	194
5.2.6 存储器映像寄存器寻址	149	7.2 时钟发生器	195
5.2.7 堆栈寻址	150	7.3 定时器	198
5.3 程序寻址	151	7.4 主机接口	205
5.3.1 程序计数器	151	7.5 串口	210
5.3.2 扩展程序计数器	152	7.5.1 标准同步串口	210
5.3.3 分支转移	152	7.5.2 缓冲同步串口	214
5.3.4 调用与返回	152	7.5.3 时分复用串口	218
5.3.5 条件操作	153	7.5.4 多通道缓冲串口	219
5.3.6 重复操作	153	7.6 外部总线	233
5.3.7 复位操作	153	7.7 TMS320C54x 外部引脚	237
5.3.8 中断	154	7.8 小结	240
5.3.9 中断向量表	159	实验十：定时器设计	240
5.4 小结	161	思考题	241
思考题	162		

第 8 章 DSP 应用系统设计	243	8.3.1 DSP 最小系统软件调试	256
8.1 DSP 最小系统设计	243	8.3.2 音频系统软件调试	257
8.1.1 系统电源	243	8.3.3 SARAM 软件调试	258
8.1.2 复位电路	245	8.3.4 FLASH 软件调试	259
8.1.3 时钟电路	247	8.3.5 显示系统软件调试	260
8.1.4 JTAG 接口	247	8.3.6 Bootloader 软件调试	260
8.1.5 DSP 其他引脚电路	248	8.3.7 CPLD 软件调试	261
8.2 DSP 扩展系统设计	248	8.4 小结	262
8.2.1 音频编解码电路	249	实验十一：基于应用系统的音频软件	
8.2.2 外扩存储系统	253	设计	262
8.2.3 CPLD 及显示系统	254	实验十二：基于应用系统的 LCD1602	
8.2.4 PCB 电路设计	255	软件设计	263
8.2.5 系统硬件调试	256	思考题	263
8.3 DSP 系统软件设计与调试	256	参考文献	264

第1章 绪论

内容提要

本章介绍 DSP 芯片的定义、发展、分类、特点和应用领域,以及 DSP 系统的构成、优势和设计流程。DSP 芯片种类较多,但它们的基本原理和开发方法基本一致,因此,本书以 TI 公司的 TMS320C54x 为例展开讨论。

重点难点

- DSP 芯片的定义、特点及分类
- DSP 系统的构成及设计流程

1.1 DSP 芯片

1.1.1 DSP 的含义

20 世纪 60 年代以来,随着计算机技术和信息技术的飞速发展,数字信号处理技术应运而生并得到迅速的发展。迄今为止,数字信号处理技术已经在通信、自动控制、航空航天、军事、仪器仪表、家用电器等众多领域得到了极为广泛的应用。

21 世纪是数字化的世纪,作为数字化最重要的技术之一,DSP 无论在其应用的深度还是广度方面,都正以前所未有的速度向前发展。随着越来越多的电子产品将数字信号处理作为技术核心,DSP 已经成为推动数字化进程的主要动力之一。

数字信号处理把信号用数字或符号表示成序列,通过计算机或者通用(专用)信号处理设备,用数值计算的方法进行处理,以达到提取有用信息、便于应用的目的。数字信号处理的主要内容有滤波、检测、变换、增强、估计、识别、参数提取、频谱分析等。

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),两者不可分割。前者指理论和计算方法上的技术,后者指实现这些技术的通用或专用可编程微处理器芯片。随着数字信号处理器的快速发展,DSP 这一英文缩写已被公认为是数字信号处理器的代名词。

1.1.2 DSP 的历史与发展

DSP 芯片诞生至今已经得到了突飞猛进的发展,其发展历程大致可分为以下三个阶段。

第一阶段,DSP 的雏形阶段(1980 年前后)。在 DSP 芯片出现之前,数字信号处理只能通用微处理器来完成。但由于通用微处理器的处理速度较低,因此其难以满足对数字信号进行高速实时处理的要求。1965 年库利(Cooley)和图基(Tukey)提出了著名的快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT),极大地降低了傅里叶变换的计算量,从而为数字信号的实时处理奠定了

算法基础。与此同时,伴随着集成电路技术的发展,各大集成电路厂商都为生产通用 DSP 芯片做了大量的工作。1978 年 AMI 公司生产出第一片 DSP 芯片 S2811,1979 年美国 Intel 公司发布了商用可编程 DSP 器件 Intel2920,由于内部没有单周期的硬件乘法器,因此芯片的运算速度、运算精度和数据处理能力均受到了很大的限制。1980 年,日本 NEC 公司推出的 μ PD7720 是第一片具有硬件乘法器的商用 DSP 芯片。这个时期,DSP 芯片的运算速度大约为单指令周期 200 ~ 250ns,应用仅局限于军事或航空航天领域。值得一提的是,TI 公司的第一代 DSP 芯片 TMS32010,它采用了改进的哈佛结构,允许数据在程序存储空间(简称“程序空间”)与数据存储空间(简称“数据空间”)之间传输,大大提高了运行速度和编程灵活性,在语音合成和编码解码器中得到了广泛的应用。这个时期的代表性器件主要有 Intel2920 (Intel)、 μ PD7720 (NEC)、S2811 (AMI)、TMS32010 (TI)、DSPI6 (AT&T) 和 ADSP21 (AD) 等。

第二阶段,DSP 的成熟阶段(1990 年前后)。这个时期,国际上许多著名的集成电路厂家都相继推出了自己的 DSP 产品。此时,DSP 芯片在硬件结构上更符合数字信号处理的要求:具有硬件乘法器、硬件 FFT 变换和单指令滤波处理,其单指令周期为 80 ~ 100ns。如 TI 公司的 TMS320C20,它是该公司的第二代 DSP 芯片,采用 CMOS 制造工艺,其存储容量和运算速度成倍提高,为语音和图像硬件处理技术的发展奠定了基础。20 世纪 80 年代后期,以 TI 公司的 TMS320C30 为代表的第三代 DSP 芯片问世,伴随着运算速度的进一步提高,其应用范围逐步扩大到通信和计算机领域。这个时期的器件主要有 TI 公司的 TMS320C20、30、40、50 系列,Motorola 公司的 DSP5600、9600 系列,AT&T 公司的 DSP32 等。

第三阶段,DSP 的完善阶段(2000 年以后)。这一时期,各 DSP 制造厂商不仅使芯片的信号处理能力更加完善,而且系统开发更加方便、程序编辑调试更加灵活、功耗进一步降低、成本不断下降、多核技术开始应用。尤其是各种通用外设集成到片内,极大地提高了 DSP 的数字信号处理能力。这一时期的 DSP 运算速度可达到单指令周期 10ns 以上,可在 Windows 环境下直接用 C 语言编程,使用方便灵活,从而使 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域得到了广泛的应用,而且逐渐渗透到人们的日常消费领域。表 1-1 列出了 DSP 芯片在性能、规模、工艺、价格等方面的变化情况。

目前,DSP 芯片发展非常迅速。硬件方面主要是向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、大容量片内 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。软件方面主要是综合开发平台的完善,使 DSP 的应用开发更加灵活方便。

在如此众多的 DSP 芯片中,最成功的是美国德州仪器(Texas Instruments, TI)公司的系列产品。目前,TI 公司已经成为世界上最大的 DSP 芯片供应商,其市场份额占到了全世界的约 50%。

TI 公司常用的 DSP 芯片可以归纳为四大系列,即 C2000 系列、C5000 系列、C6000 系列和 KeyStone 多核系列。

表 1-1 DSP 芯片性能、规模、工艺、价格变化表

年代 指标	1980	1990	2000	2010
速度/MIPS	5	40	5000	50 000
RAM/字节	256	2k	32k	1M
规模/门	5×10^4	5×10^5	5×10^6	5×10^7
工艺/ μ m	3	0.8	0.1	0.02
价格/美元	150.00	15.00	5.00	0.15

TMS320C2000 系列主要是定点 DSP 芯片,主要用于自控领域,典型芯片是 TMS320C24x 和 TMS320C28x。TMS320C24x 的运算速度为 20 ~ 40MIPS,内部集成了 PWM、ADC 等资源,性价比较高。TMS320C28x 可提供 150MIPS 的运算速度,采用 32 位 CPU,可单片实现大部分应用功能。该系列芯片目前的浮点芯片有 TMS320F283x,运算速度可达到 300MFLOPS。

TMS320C5000 系列主要用于通信、信息技术领域,属于定点 DSP 芯片。TMS320C54x (简称 C54x) 系列芯片最高速度可达几百 MIPS,且品种较多,易于选配。TMS320C55x 采用了高性能的电源管理技术,功耗很低,适合于手持设备选用。OMAP 芯片将 TMS320C55x 和 ARM 集于一体,可真正做到功能的单片实现。

TMS320C6000 系列特别适合于处理图像和视频等性能需求较高的场合。TMS320C64x 属于定点 DSP 芯片,其时钟频率可达 1GHz。TMS320C67x 属于浮点 DSP 芯片,其运算速度可达 1MFLOPS 左右。

KeyStone 多核 DSP 综合了定点和浮点计算能力,是目前 TI 公司的顶级 DSP 芯片。该多核平台的处理能力与低功耗功能特别适合于工业自动化、高性能计算、关键任务、视频基础设施和高端成像等应用领域。多核处理器包括 C667x 系列(如 C6670、C6671、C6672、C6674、C6678)和 C665x 系列(如 C6654、C6655、C6657)。

下面以 TMS320 (B) VC5416PGE (L) 为例介绍 TMS320 系列 DSP 芯片的命名方法。

- 1) TMS: 前缀, TMX 为实验器件、TMP 为样品器件、TMS 为合格器件。
- 2) 320: 器件系列, 320 即 TMS320 系列。
- 3) (B): 自举加载选项, 包括加电自检和磁盘引导。
- 4) VC: 工艺, C = CMOS、E = CMOS EPROM、F = CMOS Flash EEPROM、LC = 低电压 CMOS (3.3V)、VC = 低电压 CMOS (3V)、UC = 超低电压 CMOS 1.8 ~ 3.6V (内核 1.8V)。
- 5) 5416: 器件型号, 如 5410、5502、6455、6711、6657 和 6678 等。
- 6) PGE: 封装形式, DIP = 双列直插封装、PGA = 针栅阵列封装、CC = 芯片载体、QFP = 四边引脚扁平封装、BGA = 球栅阵列封装、TQFP = 薄形 QFP (1.0mm 厚)、N = 塑料 DIP、J = 陶瓷 DIP、GP = 陶瓷 PGA、FZ = 陶瓷 CC、FN = 塑料引线 CC、FD = 陶瓷无引线 CC、PJ = 100 引脚塑料 QFP、PQ = 132 引脚塑料 QFP、PZ = 100 引脚塑料 TQFP、PBK = 128 引脚塑料 TQFP、PGE = 144 引脚塑料 TQFP、GGU = 144 引脚 BGA、PQFP = 塑料 QFP 和 LQFP = 薄形 QFP (1.4mm 厚)。
- 7) (L): 芯片工作的温度范围, L(默认) = 0 ~ 70℃、A = -40 ~ 85℃、S = -55 ~ 100℃、M = -55 ~ 125℃。

1.1.3 DSP 的分类

为了满足数字信号处理的多种应用需求, DSP 厂商生产出多种类型和档次的 DSP 芯片。一般来说, 可以依据 DSP 芯片的基础特性、数据格式和用途对其进行分类。

根据 DSP 芯片的基础特性(工作时钟和指令类型), 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, 性能不会下降, 这类 DSP 芯片就称为静态 DSP 芯片。如日本 OKI 电气公司的

DSP 芯片、TI 公司的 TMS320C2xx 系列芯片等。如果两种或两种以上 DSP 芯片的指令集、机器代码及引脚结构均相互兼容,则称这类 DSP 芯片为一致性 DSP 芯片。如 TI 公司的 TMS320C54x。

根据 DSP 芯片的数据格式(数据精度或动态范围),可分为定点 DSP 芯片和浮点 DSP 芯片。

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/2x、TMS320C2xx/C5x、TMS320C54x/C62xx 系列,AD 公司的 ADSP21xx 系列,AT&T 公司的 DSP16/16A 和 Motorola 公司的 MC56000 等。数据以浮点格式工作的 DSP 芯片称为浮点 DSP 芯片。如 TI 公司的 TMS320C3x/4x/8x、AD 公司的 ADSP21xxx 系列、AT&T 公司的 DSP32/32C 和 Motorola 公司的 MC96002 等。不同的浮点 DSP 芯片所采用的浮点格式有所不同,有的 DSP 芯片采用自定义的浮点格式,如 TMS320C3x。有的 DSP 芯片采用美国电气与电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers, 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。

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 芯片。它适合于普通的 DSP 应用,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算法。如 TI 公司的一系列 DSP 芯片均属于通用型 DSP 芯片。专用型 DSP 芯片是为特定数字信号处理算法设计的 DSP 芯片。此类芯片通常只针对某一种应用,相应的算法由内部硬件电路实现,适合于数字滤波、FFT、卷积和相关等特殊运算,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 和 ZORAN 公司的 ZR32881 等。

1.1.4 DSP 的结构特点

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,DSP 针对实时数字信号处理的特点,在处理器的结构、指令系统和指令流程上作了很大改进。

1. 采用哈佛结构

DSP 芯片普遍采用数据总线和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。

以 Pentium 系列为代表的通用微处理器采用冯·诺依曼(Von Neuman)结构。该结构采用单存储空间,即程序和数据共用一个存储空间,使用单一的数据和地址总线,取指令和取操作数通过一条总线分时进行,其结构如图 1-1a 所示。当进行高速运算时,其不但不能同时取指令和取操作数,而且会造成数据传输通道的瓶颈现象,工作速度较慢。

DSP 芯片采用哈佛(Harvard)结构或改进型的哈佛结构。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,可独立编址和访问。因此,其程序和数据可独立传输,大大地提高了芯片的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,其结构如图 1-1b 所示。

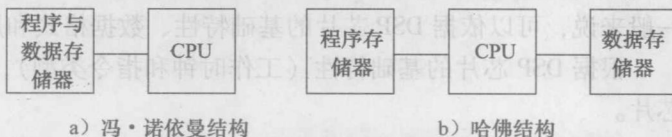


图 1-1 DSP 的微处理器结构

改进型的哈佛结构采用双存储空间和数条总线，即一条程序总线和多条数据总线。它允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据，使得这些数据可以由算术运算指令直接调用，以增强芯片的灵活性。同时，它还提供存储指令的高速缓冲器和相应的指令，当重复执行这些指令时，只需读入一次就可连续使用，不需要再次从程序存储器中读出，从而减少了指令执行所需要的时间。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。

2. 采用多总线结构

对 DSP 芯片而言，内部总线是十分重要的资源，总线越多，可实现的并行度就越高。DSP 芯片采用多总线结构，并由辅助寄存器自动增减地址进行寻址，使得 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 C54x 系列内部有 4 组总线，每组总线都有地址总线和数据总线，这样，在一个机器周期内 C54x 可以并行完成如下操作：

- 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

计算单元在执行一条多周期指令时，一般要经过取指令、指令译码、取操作数、执行指令和保存结果等步骤，需要若干指令周期才能完成。

流水线（Pipeline）技术将各指令的各个步骤重叠起来执行，而不是一条指令完成后，才开始执行下一条指令。即在每个指令周期内，几条不同的指令均处于激活状态，但每条指令处于不同的阶段。如图 1-2 所示，在第 N 条指令取指令时，前面一条即第 $N-1$ 条指令正在译码，而第 $N-2$ 条指令正在取操作数，第 $N-3$ 条指令则正在执行指令。

使用流水线技术后，尽管每条指令的执行仍然经过这些步骤，需要同样的指令周期，但将一个指令段综合起来看，其中每条指令的执行都可近似看作是在一个指令周期内完成的。

DSP 所采用的将程序空间和数据空间的地址与数据总线分开的哈佛结构，为指令系统的流水线操作提供了很大的方便。利用流水线技术，加上执行重复操作，就能保证在单指令周期内完成数字信号处理中用得最多的乘法-累加运算（见式 1.1）。

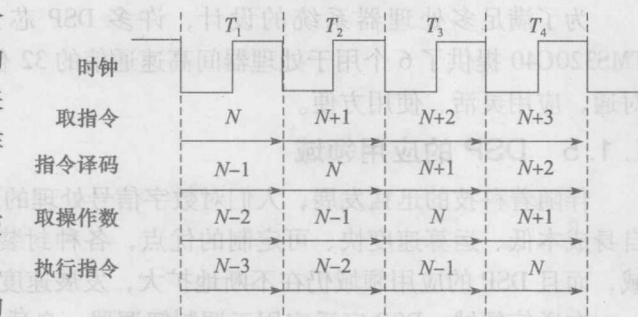


图 1-2 四级流水线操作

$$y = \sum_{i=1}^n a_i x_i \quad (1.1)$$

当然，不同系列 DSP 芯片的流水线深度是不同的。第一代 TMS320 处理器采用 2 级流水线，第二代采用 3 级流水线，第三代采用 4 级流水线，TMS320C54x 采用 6 级流水线，而 TMS320C6000 系列芯片的流水线深度更深。