



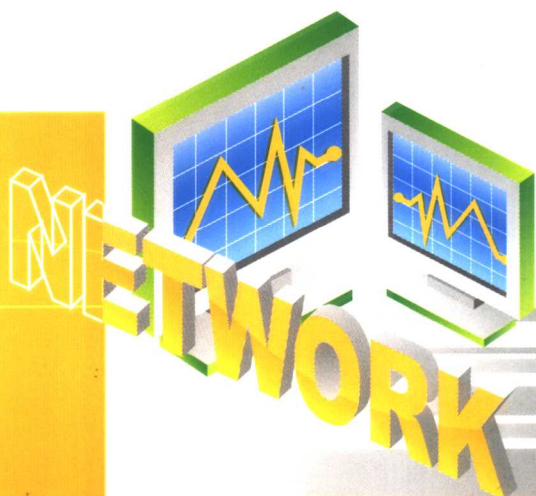
21st CENTURY

实用规划教材

21世纪全国应用型本科

电子通信系列

实用规划教材



DSP技术及应用

主 编 吴冬梅 张玉杰



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

TP332
79

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

DSP 技术及应用

主 编 吴冬梅 张玉杰
副主编 冯立营 于 军

 北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书介绍了 DSP 技术的发展、现状及应用,并以 TMS320C54x 系列 DSP 为描述对象,介绍了硬件结构、指令系统、汇编语言程序设计方法、DSP 集成开发环境(CCS),并结合实例介绍了 C54x 片内外设及应用、基本硬件系统的设计,最后详细介绍了典型 DSP 应用系统的设计和实现方法。本书的突出特点是以 DSP 的基本应用为主,内容安排详略得当,重点难点叙述详细,实用性强。

本书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教材和参考书,也可作为相关技术人员从事 DSP 芯片开发与应用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 技术及应用/吴冬梅,张玉杰主编. —北京:北京大学出版社,2006.8

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 7-301-10759-5

I. D… II. ①吴… ②张… III. 数字信号—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(2006)第 057961 号

书 名: DSP 技术及应用

著作责任者: 吴冬梅 张玉杰 主编

策划编辑: 徐 凡

责任编辑: 翟 源

标准书号: ISBN 7-301-10759-5/TN · 0031

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 440 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自上个世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点:

(1) **强调大基础:**针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) **突出应用性:**教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) **坚持科学发展观:**教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) **教学资源齐全:**与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生,不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

前 言

数字信号处理是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代至今,随着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。随着数字化的急速进程,DSP 技术的地位突显出来。因为数字化的基础技术就是数字信号处理,而数字信号处理的任务,特别是实时处理(Real-Time Processing)的任务,是要由通用的或专用的 DSP 处理器来完成的。因此,在整个半导体产品的增长趋缓时,DSP 处理器还在以较快的速度增长。可以毫不夸张地说,DSP 芯片的诞生及发展对二十多年来通信、计算机、控制等领域的发展起到十分重要的作用。

DSP 芯片的应用几乎已遍及电子与信息的每一个领域,常见的典型应用有:通用数字信号处理、语音识别与处理、图形/图像处理、仪器仪表、自动控制、医学工程、家用电器、通信等。

本书以 TMS320C54x 系列 DSP 为描述对象,重点介绍 DSP 芯片的原理和使用方法,以 DSP 的基本应用为主,介绍 DSP 应用系统的设计和实现方法。使读者通过本书的学习,掌握 DSP 基本技术及应用,并能举一反三,不断扩大应用的深度和广度。

全书共分 8 章。第 1 章概述 DSP 技术发展的两个领域,DSP 芯片的特点、现状及应用,并简单介绍 TMS320 系列 DSP,即 C2000、C5000、C6000 的特点和应用领域;第 2 章是 TMS320C54x 的硬件结构,介绍总线结构、中央处理单元、存储器和中断系统;第 3 章介绍 TMS320C54x 的寻址方式和指令系统;第 4 章介绍软件开发过程和基本汇编语言程序设计方法;第 5 章是 DSP 集成开发环境(CCS),通过举例介绍了 CCS 的使用方法;第 6 章是片内外设,介绍可编程定时器、串行口、主机接口及其应用;第 7 章是基本硬件系统设计,介绍外部存储器和 I/O 扩展、A/D 和 D/A 接口设计、时钟及复位电路设计、供电系统设计;第 8 章介绍了典型 DSP 应用系统的设计和实现方法,包括正弦信号发生器、FIR 数字滤波器、快速傅里叶变换(FFT)、语音信号采集与回放。

本书由吴冬梅、张玉杰主编,冯立营、于军担任副主编。吴冬梅编写第 1 章、第 3 章和第 4 章,张玉杰编写第 7 章、第 8 章的 8.1~8.4 节,冯立营编写第 2 章、第 5 章,于军编写第 6 章、第 8 章的 8.5 节和 8.6 节。全书由吴冬梅统稿。在编写本书的过程中,得到了吴延海教授的大力支持与帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.4 存储器和 I/O 空间	34
1.1 概述	1	2.4.1 存储空间分配	35
1.1.1 DSP 与 DSP 技术	1	2.4.2 程序存储器	36
1.1.2 DSP 技术发展的两个领域	2	2.4.3 数据存储器	40
1.1.3 数字信号处理的实现方法	2	2.4.4 I/O 空间	42
1.1.4 DSP 系统的特点	3	2.5 中断系统	42
1.2 可编程 DSP 芯片	3	2.5.1 中断系统概述	42
1.2.1 DSP 芯片的结构特点	4	2.5.2 中断标志寄存器(IFR)和 中断屏蔽寄存器(IMR)	43
1.2.2 DSP 芯片的分类	6	2.5.3 接收、应答及处理中断	44
1.2.3 DSP 芯片的发展及趋势	7	2.5.4 中断操作流程	46
1.2.4 DSP 芯片的应用	8	2.5.5 重新安排中断向量地址	47
1.3 TMS320 系列 DSP 概述	8	2.6 习题与思考题	48
1.3.1 TMS320C2000 系列简介	9	第 3 章 TMS320C54x 指令系统	49
1.3.2 TMS320C5000 系列简介	10	3.1 汇编源程序格式	49
1.3.3 TMS320C6000 系列简介	11	3.2 指令集符号与意义	51
1.4 DSP 系统设计概要	12	3.3 寻址方式	53
1.4.1 DSP 系统设计过程	12	3.3.1 立即寻址	54
1.4.2 DSP 芯片的选择	14	3.3.2 绝对寻址	54
1.4.3 DSP 应用系统的开发工具	16	3.3.3 累加器寻址	55
1.5 习题与思考题	18	3.3.4 直接寻址	56
第 2 章 TMS320C54x 的硬件结构	19	3.3.5 间接寻址	57
2.1 TMS320C54x 硬件结构框图	19	3.3.6 存储器映射寄存器寻址	63
2.1.1 TMS320C54x 内部结构	19	3.3.7 堆栈寻址	63
2.1.2 TMS320C54x 主要特性	19	3.4 指令系统	63
2.2 总线结构	22	3.4.1 算术运算指令	64
2.3 中央处理单元(CPU)	23	3.4.2 逻辑指令	71
2.3.1 CPU 状态和控制寄存器	23	3.4.3 程序控制指令	73
2.3.2 算术逻辑单元(ALU)	28	3.4.4 存储和装入指令	78
2.3.3 累加器 A 和 B	29	3.5 习题与思考题	82
2.3.4 桶形移位器	31	第 4 章 TMS320C54x 的软件开发	84
2.3.5 乘法器/加法器单元	32	4.1 TMS320C54x 软件开发过程	84
2.3.6 比较、选择和存储单元	33	4.2 汇编语言程序的编写方法	85
2.3.7 指数编码器	34		

4.2.1 汇编语言源程序举例.....	85	5.4.2 一个简单的 DSP/BIOS 实例.....	157
4.2.2 汇编语言常量.....	86	5.5 习题与思考题	162
4.2.3 汇编源程序中的字符串.....	87	第 6 章 DSP 片内外设	163
4.2.4 汇编源程序中的符号.....	88	6.1 DSP 片内外设概述	163
4.2.5 汇编源程序中的表达式.....	88	6.2 可编程定时器	165
4.3 汇编伪指令和宏指令	89	6.2.1 定时器的结构及特点	165
4.3.1 汇编伪指令.....	89	6.2.2 定时器的控制寄存器	166
4.3.2 宏及宏的使用.....	94	6.2.3 定时器的操作过程	166
4.4 公共目标文件格式——COFF	96	6.2.4 定时器应用举例	167
4.4.1 COFF 文件中的段.....	96	6.3 串行口	168
4.4.2 汇编器对段的处理.....	97	6.3.1 标准同步串行口(SP)	169
4.4.3 链接器对段的处理.....	100	6.3.2 带缓冲的串行接口(BSP).....	172
4.5 汇编源程序的编辑、汇编和 链接过程.....	103	6.3.3 时分复用(TDM)串口	176
4.5.1 编辑.....	104	6.3.4 多通道缓冲串行 接口(McBSP)	177
4.5.2 汇编器.....	104	6.4 主机接口(HPI)	187
4.5.3 链接器.....	106	6.4.1 标准 8 位主机接口 HPI8	187
4.6 汇编语言程序设计	111	6.4.2 增强的 8 位 HPI(HPI-8).....	191
4.6.1 程序的控制与转移.....	111	6.4.3 应用举例	193
4.6.2 数据块传送程序.....	117	6.5 外部总线访问时序	194
4.6.3 算术运算类程序.....	118	6.5.1 软件等待状态发生器	195
4.7 习题与思考题	130	6.5.2 分区转换逻辑	196
第 5 章 DSP 集成开发环境 (CCS)	132	6.6 通用 I/O	197
5.1 CCS 集成开发环境简介	132	6.7 习题与思考题	197
5.1.1 CCS 安装及设置.....	132	第 7 章 TMS320C54x 基本系统设计.....	198
5.1.2 CCS 的窗口、菜单和 工具条.....	133	7.1 TMS320C54x 硬件系统组成.....	198
5.1.3 CCS 工程管理.....	139	7.2 外部存储器和 I/O 扩展	198
5.1.4 CCS 源文件管理	140	7.2.1 外部存储器扩展	200
5.1.5 通用扩展语言 GEL.....	142	7.2.2 外扩 I/O 接口电路设计	204
5.2 CCS 应用举例.....	142	7.3 A/D 和 D/A 接口设计.....	209
5.2.1 基本应用.....	142	7.3.1 A/D 接口设计.....	209
5.2.2 探针和显示图形的使用.....	147	7.3.2 D/A 接口设计.....	214
5.3 CCS 仿真.....	151	7.4 时钟及复位电路设计	222
5.3.1 用 Simulator 仿真中断.....	151	7.4.1 时钟电路	223
5.3.2 用 Simulator 仿真 I/O 端口	154	7.4.2 DSP 复位电路	227
5.4 DSP/BIOS 的功能.....	157	7.5 供电系统设计	229
5.4.1 DSP/BIOS 简介.....	157		

7.5.1 DSP 供电电源设计	230	8.3.3 FIR 滤波器应用举例	262
7.5.2 3.3V 和 5V 混合 逻辑设计	231	8.4 快速傅里叶变换(FFT)	266
7.5.3 省电工作方式与设计	234	8.4.1 基 2 按时间抽取 FFT 算法	266
7.6 JTAG 在线仿真调试接口 电路设计	235	8.4.2 FFT 算法的 DSP 实现	267
7.7 TMS320C54x 的引导方式及设计	237	8.4.3 FFT 算法的模拟信号产生 和输入	279
7.7.1 Bootloader 技术	237	8.4.4 观察信号时域波形及其 频谱	280
7.7.2 并行启动模式	239	8.5 语音信号采集	280
7.7.3 自举启动表的建立及引导 装载的过程	240	8.5.1 语音接口芯片 TLC320AD50C 简介	280
7.8 习题与思考题	242	8.5.2 TLC320AD50C 与 DSP 的 连接	282
第 8 章 TMS320C54x 应用系统设计举例	244	8.5.3 语音采集和回放程序	283
8.1 DSP 应用系统设计基本步骤	244	8.6 C 语言编程及应用	285
8.2 正弦信号发生器	247	8.6.1 C 语言编程的基本方法	286
8.2.1 数字振荡器原理	247	8.6.2 独立的 C 模块和汇编 模块接口	286
8.2.2 正弦波信号发生器的设计 与实现	248	8.6.3 C 语言编程应用	287
8.3 FIR 数字滤波器	254	8.7 习题与思考题	290
8.3.1 FIR 滤波器的基本原理 和结构	254	参考文献	291
8.3.2 FIR 滤波器的设计与实现	255		

第 1 章 绪 论

教学提示：本章首先介绍 DSP 技术的内涵、发展的两个领域及实现方法，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 概 述

数字信号处理是一门涉及许多学科而又广泛应用于许多领域的新兴学科。20 世纪 60 年代至今，随着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。

数字信号处理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，以得到符合人们需要的信号形式。图 1.1 所示的是一个典型的数字信号处理系统框图。

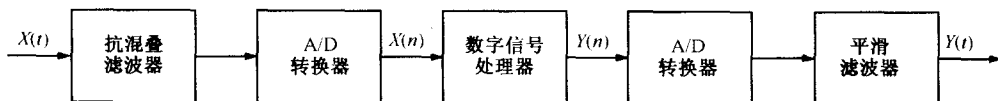


图 1.1 数字信号处理系统框图

图 1.1 中，输入信号可以是语音信号、传真信号，也可以是视频信号，还可以是传感器(如温度传感器)的输出信号。输入信号经过带限滤波后，通过 A/D 转换器将模拟信号转换成数字信号。根据采样定理，采样频率至少是输入带限信号最高频率的 2 倍，在实际应用中，一般为 4 倍以上。数字信号处理一般是用 DSP 芯片和在其上运行的实时处理软件对输入数字信号按照一定的算法进行处理，然后将处理后的信号输出给 D/A 转换器，经 D/A 转换、内插和平滑滤波后得到连续的模拟信号。当然，并非所有的 DSP 系统都具有如图 1.1 所示的所有部件。例如，频谱分析仪输出的不是连续波形而是离散波形，CD 唱机中的输入信号本身就是数字信号，等等。

1.1.1 DSP 与 DSP 技术

DSP 既是 Digital Signal Processing 的缩写，也是 Digital Signal Processor 的缩写，二者英文简写相同，但含义不同。

Digital Signal Processing——指数字信号处理的理论和方法。

Digital Signal Processor(DSP)——指用于进行数字信号处理的可编程微处理器，人们常用 DSP 一词来指通用数字信号处理器。

Digital Signal Process ——一般指 DSP 技术,即采用通用的或专用的 DSP 处理器完成数字信号处理的方法与技术。

自从 20 世纪 70 年代微处理器产生以来,就一直沿着三个方向发展。它们是:

- 通用 CPU: 微型计算机中央处理器(如使用最多的奔腾等)。
- 微控制器(MCU): 单片微型计算机(如 MCS-51、MCS-96 等)。
- DSP: 可编程的数字信号处理器。

这三类微处理器(CPU, MCU, DSP)既有区别也有联系,每类微处理器各有其特点,虽然在技术上不断借鉴和交融,但又有各自不同的应用领域。

随着数字化的急速进程, DSP 技术的地位突显出来。因为数字化的基础技术就是数字信号处理,而数字信号处理的任务,特别是实时处理(Real-Time Processing)的任务,是要由通用型或专用型 DSP 处理器来完成的。因此,在整个半导体产品的增长趋缓时, DSP 处理器还在以较快的速度增长。

1.1.2 DSP 技术发展的两个领域

DSP 技术的发展因其内涵而分为两个领域。

一方面是数字信号处理的理论和方法的发展。数字信号处理是以众多学科为理论基础的,它所涉及的范围极其广泛。例如,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,数字信号处理与网络理论、信号与系统、控制理论、通信理论、故障诊断等也密切相关。近年来新兴的一些学科,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自己的理论基础,同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

数字信号处理在算法研究方面,主要研究如何以最小的运算量和存储器使用量来完成指定的任务;对数字信号处理的系统实现而言,除了有关的输入/输出部分外,其中最核心的部分就是其算法的实现,即用硬件、软件或软硬件相结合的方法来实现各种算法,如 FFT 算法的实现。目前各种快速算法(如声音与图像的压缩编码、识别与鉴别、加密解密、调制解调、信道辨识与均衡、智能天线、频谱分析等算法)都成为研究的热点,并有长足的进步,为各种实时处理的应用提供了算法基础。

另一方面是 DSP 处理器性能的提高。为了满足应用市场的需求,随着微电子科学与技术的进步, DSP 处理器的性能也在迅速地提高。目前的工艺水平,时钟频率达到 1.1GHz;处理速度达到每秒 90 亿次 32 位浮点运算;数据吞吐率达到 2GB/s。在性能大幅度提高的同时,体积、功耗和成本却大幅度地下降,以满足低成本便携式电池供电应用系统的要求。

DSP 技术的发展在上述两方面是互相促进的,理论和算法的研究推动了应用,而应用的需求又促进了理论的发展。

1.1.3 数字信号处理的实现方法

数字信号处理的实现方法一般有以下几种:

(1) 在通用型计算机上用软件实现。一般采用 C 语言、MATLAB 语言等编程,主要用于 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。

(2) 在通用型计算机系统中加上专用的加速处理器实现。专用性强,应用受到很大的限制,也不便于系统的独立运行。

(3) 在通用型单片机(如 MCS-51、MCS-96 系列等)上实现。只适用于简单的 DSP 算法,可用于实现一些不太复杂的数字信号处理任务,如数字控制。

(4) 用通用型可编程 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。特点是灵活、速度快,可实时处理。

(5) 用专用型 DSP 芯片实现。在一些特殊的场合,要求信号处理速度极高,用通用型 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,无须进行编程。处理速度极高,但专用性强,应用受到限制。

在上述几种实现方法中,(1)~(3)和(5)都有使用的限制,只有(4)才使数字信号处理的应用打开了新的局面。

虽然数字信号处理的理论发展迅速,但在 20 世纪 80 年代以前,由于实现方法的限制,数字信号处理的理论还得不到广泛的应用。直到 20 世纪 80 年代初世界上第一片单片可编程 DSP 芯片的诞生,才将理论研究结果广泛应用到低成本的实际系统中,并且推动了新的理论和应用领域的发展。可以毫不夸张地说,DSP 芯片的诞生及发展对二十多年来通信、计算机、控制等领域的发展起到十分重要的作用。

本书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。

1.1.4 DSP 系统的特点

基于通用 DSP 芯片的数字信号处理系统与模拟信号处理系统相比,具有以下优点:

(1) 精度高,抗干扰能力强,稳定性好。精度仅受量化误差即有限字长的影响,信噪比高,器件性能影响小。

(2) 编程方便,易于实现复杂算法(含自适应算法)。DSP 芯片提供了高速计算平台,可实现复杂的信号处理。

(3) 可编程。当系统的功能和性能发生改变时,不需要重新设计、装配、调试。如实现不同的数字滤波(低通、高通、带通);软件无线电中不同工作模式的电台通信;虚拟仪器中的滤波器、频谱仪等。

(4) 接口简单。系统的电气特性简单,数据流采用标准协议。

(5) 集成方便。

1.2 可编程 DSP 芯片

DSP 芯片,即数字信号处理芯片,也称数字信号处理器,是一种特别适合于进行数字信号处理运算的处理器,其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。

1.2.1 DSP 芯片的结构特点

DSP 处理器是专门设计用来进行高速数字信号处理的微处理器。与通用的 CPU 和微控制器(MCU)相比, DSP 处理器在结构上采用了许多的专门技术和措施来提高处理速度。尽管不同的厂商所采用的技术和措施不尽相同,但往往有许多共同的特点。以下介绍的就是它们的共同点。

1. 改进的哈佛结构

以奔腾为代表的通用微处理器,其程序代码和数据共用一个公共的存储空间和单一的地址与数据总线,取指令和取操作数只能分时进行,这样的结构称为冯·诺依曼结构(Von Neumann architecture),如图 1.2(a)所示。

DSP 处理器则毫无例外地将程序代码和数据的存储空间分开,各有自己的地址总线与数据总线,这就是所谓的哈佛结构(Harvard architecture),如图 1.2(b)所示。之所以采用哈佛结构,是为了同时取指令和取操作数,并行地进行指令和数据的处理,从而可以大大地提高运算的速度。例如,在做数字滤波处理时,将滤波器的参数存放在程序代码空间里,而将待处理的样本存放在数据空间里,这样,处理器就可以同时提取滤波器参数和待处理的样本,进行乘和累加运算。

为了进一步提高信号处理的效率,在哈佛结构的基础上,又加以改进,使得程序代码和数据存储空间之间也可以进行数据的传送,称为改进的哈佛结构(modified Harvard architecture),如图 1.2(c)所示。

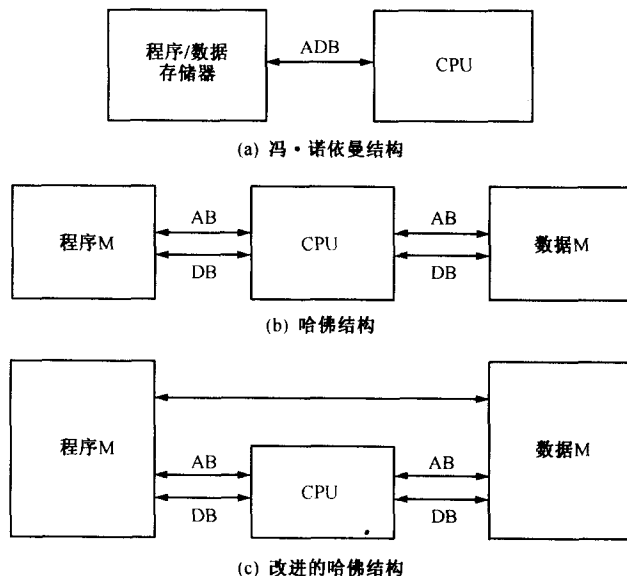


图 1.2 微处理器的结构

2. 多总线结构

许多 DSP 芯片内部都采用多总线结构,这样保证在一个机器周期内可以多次访问程序空间和数据空间。例如 TMS320C54x 内部有 P、C、D、E 等 4 条总线(每条总线又包括

地址总线 and 数据总线), 可以在一个机器周期内从程序存储器取 1 条指令、从数据存储器读 2 个操作数和向数据存储器写 1 个操作数, 大大提高了 DSP 的运行速度。因此, 对 DSP 来说, 内部总线是十分重要的资源, 总线越多, 可以完成的功能就越复杂。

3. 流水线技术(pipeline)

计算机在执行一条指令时, 总要经过取指、译码、取数、执行运算等步骤, 需要若干个指令周期才能完成。流水线技术是将各指令的各个步骤重叠起来执行, 而不是一条指令执行完成之后, 才开始执行下一条指令。即第一条指令取指后, 在译码时, 第二条指令就取指; 第一条指令取数时, 第二条指令译码, 而第三条指令就开始取指, …… , 依次类推, 如图 1.3 所示。使用流水线技术后, 尽管每一条指令的执行仍然要经过这些步骤, 需要同样的指令周期数, 但将一个指令段综合起来看, 其中的每一条指令的执行就都是在一个指令周期内完成的。DSP 处理器所采用的将程序存储空间和数据存储空间的地址与数据总线分开的哈佛结构, 为采用流水线技术提供了很大的方便。

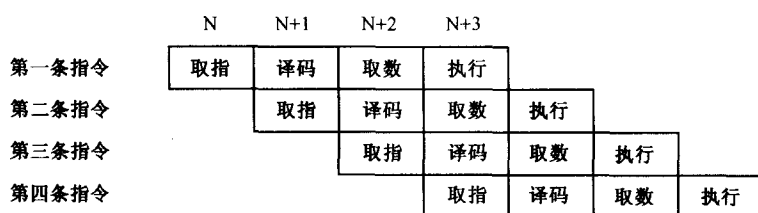


图 1.3 流水线技术示意图

4. 多处理单元

DSP 内部一般都包括多个处理单元, 如算术逻辑运算单元(ALU)、辅助寄存器运算单元(ARAU)、累加器(ACC)及硬件乘法器(MUL)等。它们可以在一个指令周期内同时进行运算。例如, 在执行一次乘法和累加运算的同时, 辅助寄存器单元已经完成了下一个地址的寻址工作, 为下一次乘法和累加运算做好了充分准备。因此, DSP 在进行连续的乘加运算时, 每一次乘加运算都是单周期的。DSP 的这种多处理单元结构, 特别适用于大量乘加操作的矩阵运算、滤波、FFT、Viterbi 译码等。许多 DSP 的处理单元结构还可以将一些特殊的算法, 例如 FFT 的位码倒置寻址和取模运算等, 在芯片内部用硬件实现, 以提高运行速度。

5. 特殊的 DSP 指令

为了更好地满足数字信号处理应用的需要, 在 DSP 的指令系统中, 设计了一些特殊的 DSP 指令。例如, TMS320C54x 中的 FIRS 和 LMS 指令, 专门用于系数对称的 FIR 滤波器和 LMS 算法。

6. 指令周期短

早期的 DSP 的指令周期约 400ns, 采用 4 μ m NMOS 制造工艺, 其运算速度为 5MIPS (millions of Instructions Per Secend, 每秒执行百万条指令)。随着集成电路工艺的发展, DSP 广泛采用亚微米 CMOS 制造工艺, 其运行速度越来越快。以 TMS320C54x 为例, 其运行速

度可达 100MIPS。TMS320C6203 的时钟为 300MHz，运行速度达到 2400MIPS。

7. 运算精度高

早期 DSP 的字长为 8 位，后来逐步提高到 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，一批浮点 DSP，例如 TMS320C3x、TMS320C4x、ADSP21020 等，则提供了更大的动态范围。

8. 丰富的外设

新一代 DSP 的接口功能越来越强，片内具有主机接口(HPI)，直接存储器访问控制器(DMAC)，外部存储器扩展口，串行通信口，中断处理器，定时器，锁相环时钟产生器以及实现在片仿真符合 IEEE 1149.1 标准的测绘访问口，更易于完成系统设计。

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 是一种特殊的微处理器，不仅具有可编程性，而且其实时运行速度远远超过通用微处理器。其特殊的内部结构、强大的信息处理能力及较高的运行速度，是 DSP 最重要的特点。

DSP 芯片是高性能系统的核心。它接收模拟信号(如光和声)，将它们转化成为数字信号，实时地对大量数据进行数字技术处理。这种实时能力使 DSP 在声音处理、图像处理等不允许时间延迟领域的应用十分理想，成为全球 70% 数字电话的“心脏”，同时 DSP 在网络领域也有广泛的应用。DSP 芯片的上述特点，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

DSP 芯片的使用是为了达到实时信号的高速处理，为适应各种各样的实际应用，出现了多种类型、档次的 DSP 芯片。

1. 按数据格式分类

在用 DSP 进行数字信号处理时，首先遇到的问题是数的表示方法。按数的不同表示方法，将 DSP 分为两种类型：一种是定点 DSP，另一种是浮点 DSP。

在定点 DSP 中，数据采用定点方式表示。它有两种基本表示方法：整数表示方法和小数表示方法。整数表示方法主要用于控制操作、地址计算和其他非信号处理的应用，而小数表示方法则主要用于数字和各种信号处理算法的计算中。即定点表示并不意味着就一定是整数表示。数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片，该芯片简单，成本较低。

在浮点 DSP 中，数据既可以表示成整数，也可以表示成浮点数。浮点数在运算中，表示数的范围由于其指数可自动调节，因此可避免数的规格化和溢出等问题。但浮点 DSP 一般比定点 DSP 复杂，成本也较高。

2. 按用途分类

按照 DSP 的用途，可分为通用型 DSP 芯片和专用型 DSP 芯片。

通用型 DSP 芯片一般指可以用指令编程的 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。

专用型 DSP 芯片是为特定的 DSP 运算而设计, 只针对一种应用, 适合特殊的运算, 如数字滤波、卷积和 FFT 等, 只能通过加载数据、控制参数或在管脚上加控制信号的方法使其具有有限的可编程能力。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。

本书主要讨论通用型 DSP 芯片。

1.2.3 DSP 芯片的发展及趋势

1. DSP 芯片的发展历程

在 DSP 芯片出现之前, 数字信号处理只能依靠通用微处理器(MPU) 来完成, 但 MPU 较低的处理速度却无法满系统高速实时的要求。直到 20 世纪 70 年代, 才有人提出了 DSP 理论和算法基础。那时的 DSP 仅仅停留在教科书上, 即便是研制出来的 DSP 系统也是用分立元件组成的, 其应用领域仅限于军事、航空航天部门。

世界上第一片单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司宣布的 S2811。在这之后, 最成功的 DSP 芯片当数 TI 公司 1982 年推出的 DSP 芯片。这种 DSP 器件采用微米工艺、NMOS 技术制作, 虽功耗和尺寸稍大, 但运算速度却比 MPU 快几十倍, 尤其在语音合成和编解码器中得到了广泛应用。DSP 芯片的问世, 使 DSP 应用系统由大型系统向小型化迈进了一大步。

至 20 世纪 80 年代中期, 随着 CMOS 技术的进步与发展, 第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 应运而生, 其存储容量和运算速度都得到成倍提高, 成为语音处理及图像处理技术的基础。20 世纪 80 年代后期, 第三代 DSP 芯片问世, 运算速度进一步提高, 应用范围逐步扩大到通信和计算机领域。20 世纪 90 年代 DSP 发展最快, 相继出现了第四代和第五代 DSP 器件。第五代产品与第四代相比, 系统集成度更高, 将 DSP 芯核及外围元件综合集成在单一芯片上。这种集成度极高的 DSP 芯片不仅在通信、计算机领域大显身手, 而且逐渐渗透到人们的日常消费领域。经过 20 多年的发展, DSP 产品的应用扩大到人们的学习、工作和生活各个方面, 并逐渐成为电子产品更新换代的决定因素。目前, 对 DSP 爆炸性需求的时代已经来临, 前景十分广阔。

现在, 世界上的 DSP 芯片有 300 多种, 其中定点 DSP 有 200 多种。迄今为止, 生产 DSP 的公司有 80 多家, 主要厂家有 TI 公司、AD(美国模拟器件 Analog Devices)公司、Lucent 公司、Motorola 公司和 LSI Logic 公司。TI 公司作为 DSP 生产商的代表, 生产的品种很多, 定点和浮点 DSP 大约都占市场份额的 60%; AD 公司的定点和浮点 DSP 大约分别占 16%和 13%; Motorola 公司的定点和浮点 DSP 大约分别占 7%和 14%; 而 Lucent 公司则主要生产定点 DSP, 约占 5%。

TI 公司自 1982 年成功推出第一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品后, 又相继推出了第二代 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 TMS320C50/C51/C52/C53/C54 和集多个 DSP 于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C80/C82 等, 以及目前速度最快的第六代 DSP 芯片 TMS320C62x/C67x 等。

2. 国内 DSP 的发展

目前,我国 DSP 产品主要来自海外。TI 公司的第一代产品 TMS32010 在 1983 年最早进入中国市场,以后 TI 公司通过提供 DSP 培训课程,不断扩大市场份额,现约占国内 DSP 市场的 90%,其余为 Lucent、AD、Motorola、ZSP 和 NEC 等公司所占有。国内引入的主流产品有 TMS320F2407(电机控制)、TMS320C5409(信息处理)、TMS320C6201(图像处理)等。

目前全球有数百家直接依靠 TI 公司的 DSP 而成立的公司,称为 TI 的第三方(third party)。我国也有 TI 的第三方公司,他们有的做 DSP 开发工具,有的从事 DSP 硬件平台开发,也有的从事 DSP 应用软件开发。这些公司基本上是 20 世纪 80 年代末、90 年代初才创建的,经过 20 余年,现在已发展到相当规模。

对 DSP 的发展,与国外相比,我国在硬件、软件上还有很大的差距,还有很长一段路要走。近年来,在国内一些专业 DSP 用户的推动下,我国 DSP 的应用日渐普及。我们对 DSP 的应用前景充满信心。

1.2.4 DSP 芯片的应用

DSP 芯片的应用几乎已遍及电子与信息的每一个领域,常见的典型应用如下。

- (1) 通用数字信号处理: 数字滤波、卷积、相关、FFT、希尔伯特变换、自适应滤波、窗函数和谱分析等。
- (2) 语音识别与处理: 语音识别、合成、矢量编码、语音鉴别和语音信箱等。
- (3) 图形/图像处理: 二维/三维图形变换处理、模式识别、图像鉴别、图像增强、动画、电子地图和机器人视觉等。
- (4) 仪器仪表: 暂态分析、函数发生、波形产生、数据采集、石油/地质勘探、地震预测与处理等。
- (5) 自动控制: 磁盘/光盘伺服控制、机器人控制、发动机控制和引擎控制等。
- (6) 医学工程: 助听器、X 射线扫描、心电图/脑电图、病员监护和超声设备等。
- (7) 家用电器: 数字电视、高清晰度电视(HDTV)、高保真音响、电子玩具、数字电话等。
- (8) 通信: 纠错编/译码、自适应均衡、回波抵消、同步、分集接收、数字调制/解调、软件无线电和扩频通信等。
- (9) 计算机: 阵列处理器、图形加速器、工作站和多媒体计算机等。
- (10) 军事: 雷达与声呐信号处理、导航、导弹制导、保密通信、全球定位、电子对抗、情报收集与处理等。

1.3 TMS320 系列 DSP 概述

TI 公司的一系列 DSP 产品是当今世界上最有影响的 DSP 芯片。TI 公司常用的 DSP 芯片可以归纳为三大系列:

TMS320C2000 系列——包括 TMS320C2xx/C24x/C28x 等;