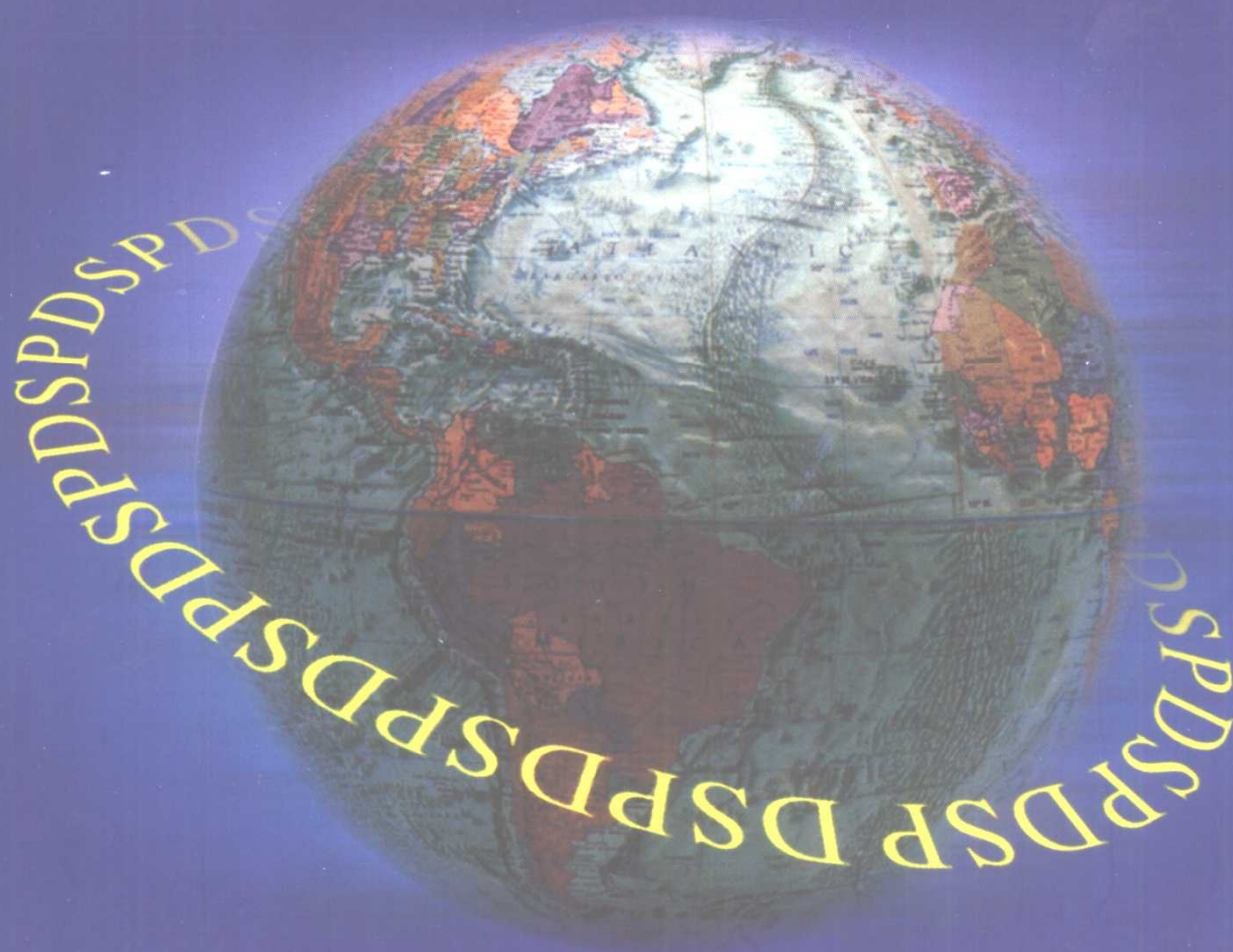




DSP 基础与 应用系统设计

王念旭等 编著



北京航空航天大学出版社

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

DSP 基础与应用系统设计

王念旭等 编著

北京航空航天大学出版社

内容简介

主要介绍 TI 公司 DSP 芯片硬、软件的应用与开发。对硬件不仅深入地介绍 TMS320C3X 和 TMS320C6000 两个系列的芯片,也详细地介绍了它们的各种外围芯片及其外围的扩展:存储器扩展;PCI 及 USB 扩展、A/D 与 D/A 扩展、数字 I/O 扩展及多 DSP 之间的通信,还给出了丰富的设计实例。在软件方面,对 DSP 系统的开发工具、COFF 文件格式、用汇编语言和 C 语言进行 DSP 开发等做了详细介绍。最后给出了 DSP 的数字滤波器及 FFT 设计的实例。本书内容丰富、新颖,实用性强,适合从事数字信号处理(DSP)的科技人员和高校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 基础与应用系统设计/王念旭编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2001.8
ISBN 7-81077-031-4

I. D… II. 王… III. 数字信号处理器
IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 74180 号

DSP 基础与应用系统设计

王念旭等 编著

责任编辑 许传安

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:82317024 传真:82328026

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

E-mail:pressell@publica.bj.cninfo.net

河北省涿州市新华印刷厂印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:40.75 字数:1043 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷 印数:5000 册

ISBN 7-81077-031-4/TP·020 定价:62.00 元

前 言

随着信息技术革命的深入和计算机技术的飞速发展,数字信号处理技术已经逐渐发展成为一门关键的技术学科。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,它也使数字信号处理的应用领域得到了极大的拓展。在国外,DSP 芯片已经被广泛地应用于当今技术革命的各个领域;在我国,DSP 技术也正以极快的速度被应用到科技和国民经济的各个领域。

DSP 芯片,即数字信号处理器,是专门为快速实现各种数字信号处理算法而设计的、具有特殊结构的微处理器。它们一般具备以下特点:(1) 内部采用程序和数据分开的哈佛总线结构;(2) 具有专门的硬件乘法器;(3) 广泛采用流水线操作;(4) 提供特殊的 DSP 指令集。DSP 芯片可分为通用型和专用型。本书主要介绍软件可编程的通用型 DSP 芯片。

目前,在微电子技术发展的带动下,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。DSP 芯片已经在通信与电子系统、信号处理系统、自动控制、雷达、军事、航空航天、医疗、家用电器、电力系统许多领域中得到了广泛的应用,而且新的应用领域在不断地被发掘。

TI、AD、AT&T、Motorola 和 Lucent 等公司是 DSP 芯片的主要生产商。其中 TI 公司的 TMS320 系列的 DSP 占据了全球 DSP 市场的 50% 左右。该系列产品在我国同样被用户广泛使用,市场份额更高。因此,本书以 TMS320 系列为例来讲述 DSP 系统的开发。

本书共分 13 章。内容包括三部分:

一、DSP 技术基础,包括第 1 章和第 2 章。主要介绍: DSP 技术的发展历史;主要内容、特点及其应用领域; DSP 系统的开发步骤; TI 公司的各种 DSP 芯片的主要特点等。

二、DSP 硬件开发,包括第 3,4,5,6,7,8,9 章。在这一部分里,从 DSP 小系统的设计开始,在深入介绍 TMS320C3X DSP 芯片的基础上,以 TMS320C3X 为例,深入浅出,循序渐进地对 DSP 小系统的设计(包括存储器扩展、数字 I/O 扩展、中断与等待的设计、复位与仿真等); DSP 的通信(包括多机通信、PCI 总线扩展、USB 接口、3XPACK 总线、现场总线等); A/D 与 D/A、人机接口等 DSP 系统设计中的主要硬件问题进行了系统的介绍。在这一部分,还简要地介绍了 ASIC 技术在 DSP 开发中的应用。由于 TMS320C6000 系列 DSP 以其卓越的性能得到了越来越多的关注,在这一部分中还深入地介绍了 TMS320C6000 系列 DSP,并对 TMS320C6000 与闪存、FIFO、SBSRAM、SDRAM 及 PCI 总线的接口作了深入介绍。最后以四个基于 TMS320C3X 或 TMS320C6000 系列 DSP 芯片的 DSP 系统为例,对 DSP 系统的硬件设计进行了综合。

三、DSP 软件开发,主要包括第 10,11,12,13 章。在这一部分里,首先对 COFF(公共目标文件格式)进行了介绍,并介绍了 DSP 的各种开发工具。在此基础上以 TMS320C3X 系列 DSP 的汇编编程为例,详细地介绍:用汇编语言进行 DSP 编程的基本知识和基本技巧;用 C 语言进行软件开发是一种趋势,也以 TMS320C3X 为例进行了介绍。最后以 FFT 及数字滤波器的各种算法的 DSP 实现为例介绍了 DSP 技术的应用。

本书是作者近几年进行 DSP 开发的总结和提高。由于工作繁忙,应该说本书的创作过程是艰难的,能以如此完整的方式与读者见面,非常感谢北京航空航天大学出版社对我的鼓励和

支持。谭瑞民、胡伟卷、倪豹、张纲、朱海、徐雪平等同志为本书的创作做了大量的工作。在此向他们致以诚挚的谢意！

本书的特点可以概括为：

1. 系统：内容结构的设置到对于 DSP 软硬件开发的介绍，都极具系统性。
2. 新颖：书中介绍的众多 DSP 外围芯片及其 TMS320C6000 系列 DSP 都是在国内首次与读者见面。在 DSP 的开发手段、设计理论、理念等方面也有许多新颖的内容。
3. 实用：作者都是从事 DSP 开发工作的，比较了解 DSP 开发人员之所需，在内容的安排上针对性比较强。介绍的系统均为实用的 DSP 系统，具有很高的参考价值。

希望此书对读者有所裨益，也希望有助于 DSP 技术的推广。限于作者的水平，书中的错误在所难免，恳请读者不吝赐教！

作者

2000 年 7 月 20 日晚

于北京·清华园

目 录

第 1 部分 DSP 技术基础

第 1 章 概 论

1.1 信息时代与数字信号处理	2
1.1.1 引 言	2
1.1.2 数字信号处理的发展历程及主要内容	3
1.1.3 数字信号处理的实现	4
1.1.4 DSP 适合于数字信号处理的特点	5
1.1.5 DSP 的应用	9
1.2 典型 DSP 系统的集成方案及开发方法	10
1.2.1 典型 DSP 系统的构成	10
1.2.2 DSP 系统的特点	11
1.3 DSP 系统的设计及开发简介	14
1.3.1 总体方案设计	14
1.3.2 软件设计阶段	15
1.3.3 硬件设计阶段	17
1.3.4 系统集成	18
1.4 本章小结	18

第 2 章 DSP 芯片

2.1 引 言	19
2.2 DSP 芯片概述	19
2.2.1 DSP 芯片的特征	19
2.2.2 DSP 芯片的发展历程	21
2.2.3 DSP 芯片的发展方向	22
2.2.4 DSP 芯片的分类	23
2.2.5 DSP 芯片的选择	24
2.3 TI 公司的 DSP 芯片	24
2.3.1 TI 公司的 DSP 芯片的发展历程	24
2.3.2 TI 公司定点 DSP 芯片	26
2.3.3 TI 公司浮点 DSP 芯片	36
2.3.4 多处理器 DSP 芯片 TMS320C8X	41
2.4 其他公司的 DSP 产品	43
2.5 本章小结	44

第 2 部分 DSP 硬件开发

第 3 章 DSP 小系统的构成

3.1 引言	48
3.2 TMS320C3X 介绍	48
3.2.1 TMS320C3X 的发展过程	48
3.2.2 TMS320C3X 的特点	50
3.3 基于 TMS320C31 的 DSP 小系统的构成	56
3.3.1 复位与监控	56
3.3.2 时钟电路的选择与设计	66
3.3.3 等待	66
3.3.4 存储器与 DSP 的接口	72
3.3.5 DSP 系统中断电路的设计	84
3.3.6 总线驱动与总线锁存	86
3.4 DSP 基本系统的构成	92
3.4.1 DSP 基本系统介绍	92
3.4.2 原理图	92
3.4.3 地址分配表	97
3.4.4 GAL1, GAL2 文件清单	97
3.4.5 硬件调试的主要步骤	97
3.5 本章小结	98

第 4 章 DSP 通信

4.1 引言	99
4.2 DSP 与 DSP 之间的通信	100
4.2.1 引言	100
4.2.2 串口通信方式	102
4.2.3 DMA 通信方式	102
4.2.4 用双口 RAM 实现 DSP 之间的通信	104
4.2.5 用 FIFO 实现 DSP 之间的通信	113
4.2.6 用公共存储器实现多机并行运行	117
4.3 适合便携仪表的通信方式	125
4.3.1 引言	125
4.3.2 RS232 系列串行通信总线技术及标准	126
4.3.3 USB 与 IEEE1394	129
4.3.4 并行接口	144
4.4 紧凑型总线	147
4.5 计算机总线	147
4.5.1 引言	147
4.5.2 ISA 总线	149

4.5.3	PCI 总线	153
4.6	Internet, Intranet 和 Infranet	172
4.6.1	引 言	172
4.6.2	现场总线的特点	173
4.6.3	几种有影响力的现场总线	173
4.6.4	CAN 总线介绍	174
4.7	本章小结	178
第 5 章 DSP 处理器的前向通道和后向通道以及人机接口设计		
5.1	引 言	180
5.2	前向通道	181
5.2.1	引 言	181
5.2.2	DSP 系统的 A/D 芯片的选择与使用	181
5.3	后向通道	217
5.3.1	引 言	217
5.3.2	并行接口 D/A 转换芯片	218
5.4	DSP 系统前后向通道中的其它常用芯片	228
5.4.1	引 言	228
5.4.2	集成有源滤波器	228
5.4.3	可编程放大器	237
5.5	DSP 系统前后向系统设计的几个基本结论	240
5.6	DSP 系统的人机接口设计	240
5.6.1	引 言	240
5.6.2	单片机+DSP 的人机接口方案	241
5.6.3	8279 可编程键盘/显示控制器	242
5.6.4	绝对时钟 MC146818/DS12887 及其应用	244
5.6.5	LCD 接口	247
5.7	本章小结	248
第 6 章 可编程专用集成电路在 DSP 系统中的应用		
6.1	概 述	249
6.1.1	ASIC 与通用集成电路	249
6.1.2	半定制 ASIC	249
6.2	可编程 ASIC 的基本结构	250
6.2.1	简单可编程逻辑器件(EPLD)	251
6.2.2	复杂可编程逻辑器件	252
6.3	现场可编程逻辑门阵列(FPGA)	252
6.3.1	FPGA 的基本结构	253
6.3.2	FPGA 的设计流程	254
6.3.3	FPGA 的开发系统	257
6.4	VHDL 语言概述	259

6.5	MAX7000 系列及其使用	260
6.5.1	简介	260
6.5.2	EPM7192E 功能	261
6.6	FLEX 10K 系列及其配置	267
6.6.1	FLEX 10K 系列简介	267
6.6.2	FLEX 10K 器件的配置	273
6.7	本章小结	288
第 7 章 TMS320C6000 系列 DSP		
7.1	TMS320C6000 数字信号处理平台	289
7.1.1	简介	289
7.1.2	TMS320C62X/C67X 的主要特征	290
7.2	CPU 数据通道及其控制	292
7.2.1	简介	292
7.2.2	通用寄存器文件	292
7.2.3	功能单元	295
7.2.4	寄存器文件交叉通道	296
7.2.5	存储器存取通道	296
7.2.6	数据地址通道	296
7.2.7	TMS320C62X/C67X 控制寄存器文件	296
7.2.8	TMS320C67X 对控制寄存器文件的扩展	299
7.3	TMS320C6000 指令	303
7.3.1	TMS320C62X/C67X 定点指令集	303
7.3.2	TMS320C67X 浮点指令集	317
7.4	TMS320C67X 流水线	325
7.4.1	简介	325
7.4.2	流水线操作概述	326
7.4.3	各类指令的流水线执行	333
7.4.3	功能单元竞争冒险	336
7.4.5	性能考虑	343
7.5	中断	348
7.5.1	中断概述	348
7.5.2	全局使能或屏蔽中断(控制状态寄存器——CSR)	353
7.5.3	单个中断控制	354
7.5.4	中断检测和处理	357
7.5.5	性能考虑	360
7.5.6	编程考虑	361
7.6	存储器	362
7.6.1	存储器空间	363
7.6.2	内部存储器	364

7.6.3	数据存储器访问	366
7.6.4	片内外围总线	367
7.6.5	扩展总线	367
7.6.6	外部存储器接口(EMIF)	368
7.7	外围器件	368
7.7.1	直接存储器访问(DMA)控制器	368
7.7.2	增强直接存储器访问(EDMA)	369
7.7.3	主机端口接口(HPI)	370
7.7.4	扩展总线(XB)	371
7.7.5	外部存储器接口(EMIF)	372
7.7.6	引导配置逻辑	373
7.7.7	多通道缓冲串口(McBSP)	374
7.7.8	定时器	375
7.7.9	中断选择器	376
7.7.10	节能逻辑	376
7.8	本章小结	377
第 8 章 TMS320C6000 与外部存储器及 PCI 总线的接口		
8.1	TMS320C6000 的 FIFO 外部存储器接口	378
8.1.1	概 述	378
8.1.2	FIFO 接口	378
8.1.3	TI FIFO 选用指南	390
8.1.4	EMIF 概述	391
8.1.5	读数据接口举例	393
8.2	TMS320C6000 EMIF 与闪存接口	397
8.2.1	'C6201/'C6202/'C6701 EMIF 的 ROM 模式	397
8.2.2	'C6211/'C6711 EMIF $\times 8/\times 16$ 异步模式	397
8.2.3	闪存接口	398
8.3	TMS320C6000 EMIF 与外部 SDRAM/SGRAM 接口	402
8.3.1	SDRAM 器件介绍	402
8.3.2	'C6000 EMIF 与 SDRAM/SGRAM 的接口	403
8.3.3	'C6000 EMIF 接口对 SDRAM/SGRAM 的支持	407
8.3.4	SDRAM 命令	412
8.4	TMS320C6000 EMIF 与外部 SBSRAM 的接口	413
8.4.1	4MB(256KB $\times 18$, 128KB $\times 32/36$)SBSRAMMT58L256L18P 介绍	413
8.4.2	EMIF 与 SBSRAM 的接口	420
8.4.3	SBSRAM 的操作	428
8.5	TMS320C6000 的 PCI 总线扩展	432
8.5.1	概 述	432
8.5.2	C6202 扩展总线	432

8.5.3 异步模式下的'C6202	436
8.6 本章小结	453
第9章 DSP 应用系统的开发	
9.1 引言	454
9.2 TMS320C32 的 32 路同步采集系统的开发	454
9.2.1 简介	454
9.2.2 系统介绍	454
9.2.3 部分硬件设计原理	455
9.3 TMS320C3116 路的 D/A 板	456
9.3.1 性能指标及系统构成	456
9.3.2 系统介绍	456
9.3.3 典型电路原理	457
9.4 TMS320C32 的双 DSP 开发系统的开发	458
9.4.1 系统性能	458
9.4.2 系统框图	458
9.4.3 系统介绍	459
9.5 四片 TMS320C6000 构成的四机系统	459
9.5.1 系统硬件功能	459
9.5.2 存储空间分配	459
9.5.3 系统初始化	462
9.5.4 外部存储器	463
9.5.5 FIFO 端口输入/输出扩展	463
9.5.6 传输和接收 FIFO 端口数据	464
9.5.7 监视 FIFO 状态	465
9.5.8 FIFO 端口复位	465
9.5.9 控制 FIFO 端口可编程接近满标志	466
9.5.10 定时器输入/输出和 FIFO 端口	466
9.5.11 设计与 FIFO 端口一起使用的外部硬件	466
9.5.12 FIFO 链路处理器间通信网络	467
9.5.13 发送和传输 FIFO 链路数据	468
9.5.14 监视 FIFO 状态	468
9.5.15 FIFO 端口复位	469
9.5.16 处理器间中断	469
9.5.17 处理器识别	470
9.5.18 串 口	471
9.5.19 定时器	471
9.5.20 中 断	471
9.5.21 JTAG 测试总线	475
9.5.22 系统的 PCI 总线接口	476

9.5.23	PCI 总线输入/输出和存储变换	476
9.5.24	系统的引导	477
9.6	本章小结	478

第 3 部分 DSP 软件开发

第 10 章 DSP 编程基础

10.1	引 言	481
10.2	COFF——公共目标文件格式	481
10.2.1	段的概念	481
10.2.2	汇编器对段的处理	482
10.2.3	链接器对段的处理	484
10.2.4	程序重定位	486
10.2.5	COFF 文件的符号	488
10.3	DSP 芯片的开发工具	489
10.3.1	引 言	489
10.3.2	代码生成工具	489
10.4	代码调试器	493
10.4.1	概 述	493
10.4.2	初学者工具 DSK	494
10.4.3	软件模拟器	494
10.4.4	评价模块 EVM	495
10.4.5	软件开发系统	495
10.5	调试器(调试 C3X 程序)	495
10.5.1	第一步:准备用于调试的程序	495
10.5.2	第二步:定义存储器空间分配	497
10.5.3	第三步:装载目标代码	503
10.5.4	第四步:运行程序	503
10.5.5	第五步:检查管理数据	504
10.5.6	第六步:修改程序代码	512
10.6	本章小结	513

第 11 章 DSP 汇编语言编程基础

11.1	引 言	514
11.2	TMS320C3X 的指令系统	514
11.2.1	TMS320C3X 的寻址	514
11.2.2	TMS320C3X 的指令系统	515
11.3	TMS320C3X DSP 基本编程技巧	517
11.3.1	定时器编程	517
11.3.2	串行口	521
11.3.3	DMA	535
11.3.4	中断的编程	541

11.3.5	程序引导装载功能	545
11.4	汇编语言编程流程	560
11.5	本章小结	562
第 12 章 用高级语言开发 DSP 程序		
12.1	引言	563
12.2	TMS320 ANSI C 编译器	563
12.2.1	优化 ANSI C 编译器	563
12.2.2	优化编译器	565
12.3	TMS320C3X/C4X C 语言开发的运行环境	576
12.3.1	存储器模式	577
12.3.2	目标表征	579
12.3.3	寄存器规约	582
12.3.4	函数结构与调用规约	584
12.3.5	中断处理	588
12.3.6	运行支持算术程序	589
12.3.7	系统初始化	591
12.4	DSP 芯片的汇编语言与 C 语言的混合编程	594
12.4.1	用 C 语言和汇编语言进行混合编程的方法	594
12.4.2	汇编语言模块	595
12.4.3	预定义标识符	596
12.4.4	C 调用汇编函数的例子	596
12.4.5	从 C 中访问汇编语言变量	597
12.4.6	在 C 程序中嵌入汇编语句	599
12.4.7	DSP 的其它高级语言编程	600
12.5	本章小结	600
第 13 章 FFT 及数字滤波器		
13.1	引言	601
13.2	FFT 的基本原理	602
13.2.1	DFT	602
13.2.2	常用 FFT 算法	603
13.3	滤波器的基本原理	607
13.3.1	经典滤波器	607
13.3.2	现代滤波器	608
13.4	FFT 及滤波器的实现	617
13.4.1	FFT 算法实现	617
13.4.2	滤波器的实现	627
13.5	本章小结	637

第 1 部分

DSP 技术基础

- ⇒ DSP 技术发展历史
- ⇒ DSP 主要内容、特点
及其应用领域
- ⇒ DSP 系统的开发步骤
- ⇒ TI 公司各种芯片的主要特点

自从 1982 年美国德州仪器(TI)公司推出通用可编程 DSP 芯片以来,DSP 技术取得了突飞猛进的发展。在 DSP 技术与 DSP 芯片的相互推动下,在计算机与微电子技术飞速发展的基础上,DSP 芯片的性能得到了极大的提高。DSP 的应用领域取得了不断的拓展。DSP 芯片已经走下其高贵的舞台,深入到了我们的工作与生活中。无论是在计算机外设、通信、工业控制、航空航天、精密仪器,还是在家用电气中,都有 DSP 的身影。处在信息时代的科研人员有必要了解,甚至掌握这一门前沿的基础学科,有必要掌握实现 DSP 算法的 DSP 的应用。

作为本书的基础知识部分,主要介绍 DSP 技术的发展历史;DSP 技术的主要内容、特点及其应用领域;DSP 系统的开发步骤及相关注意事项。希望读者能对 DSP 技术有一个初步的了解。在这一部分的最后,还以 TI 公司的 DSP 芯片为主,比较全面地介绍了各种 DSP 芯片的主要特点。

第 1 章 概 论

1.1 信息时代与数字信号处理

1.1.1 引 言

计算机技术的发展使我们身不由己地步入了信息时代、网络时代……。虽然不能说这个世界已经是一个数字化的世界,因为这个世界本身主要还是由模拟的信息组成。但毫无疑问,数字信号处理技术的飞速发展极大地提高了人们对模拟世界的把握能力。可以毫不夸张地说,数字信号处理技术是这个时代最核心的技术之一。未来世纪是一个数字信号处理技术大展身手的世纪。

在阐述数字信号处理之前,有必要先明确信号、系统与信号处理的定义,弄清它们之间的关系。

信号是信息的载体。所谓信息是指人类对外界事物的感知。人类在不断地进步,对信息的表达、获取、传递的能力也在不断地进步。从远古时代的手势、烽火、击鼓、旗语到今天的电报、电话、广播、传真、电视、多媒体网络,人们对信息的表达越来越准确,获取手段越来越广泛,获取方式越来越先进,信息的传递也越来越有效、可靠和迅速。

人们对信息的处理是通过对信号的处理来实现的。通常把对信号进行处理的整个设备称为系统。如果对信号的处理是通过模拟部件来进行的,则设备被称为模拟系统;如果对信号的处理是通过数字部件进行的,则被称为数字系统。

所谓信号处理是指将信号从一种形式变成另一种形式,比如将信号从时域转化到频域,从模拟信号转化为数字信号等。信号处理的内容很广泛,这将在以后的篇幅中有比较详细的介绍。

由信号、系统和信号处理的定义,可以清晰地看到它们之间的关系,即信号分析是基础,系统分析是桥梁,信号处理是手段,系统综合是目的。信号处理作为手段贯穿信号分析、系统分析、系统综合等的始终。假如把世界本身视为一个大系统,那么对这个世界的认识能力在某种意义上无非是信号获取与分析能力、系统分析与综合能力、信号处理能力的综合。

信息时代正使这个世界发生日新月异的变化,无论是信息获取与分析手段、系统的分析与综合能力,还是信息传递的质量都取得了极大地进步。可以说,这一切的变化首先是由信号表达方式的突破引发的。由 1,0 来表达一切信号的表达方式直接导致了 A/D, D/A 的快速发展;另外,信号处理理论与技术的萌芽、诞生和飞速发展是导致这一变化的重要原因。这一新

兴学科的理论 and 算法的不断发展,使得许多信号处理运算的运算量得以极大的降低,从而也使这些运算的实现逐渐成为可能。FFT 算法的提出使 DFT 的实现与应用成为可能便是最好的例子。信号处理理论与技术的发展还促进了数字信号处理器的诞生和发展。最后,是由微电子技术的飞速发展造成这一变化的另一重要原因。首先,微电子技术的高速发展是 DSP 芯片诞生并取得快速发展技术基础,而各种 DSP 芯片是使数字信号处理理论成果不断转化为现实的重要物质基础。同时 DSP 芯片的发展又极大地促进了新的数字信号处理和算法的诞生。因此,从某种视角可以说,数字化技术的发展是数字信号处理理论与算法的发展和数字信号处理器的发展相互促进的结果。

1.1.2 数字信号处理的发展历程及主要内容

数字信号处理亦称信号的数字处理。若从信号的数字处理技术的研究史来看,可以归纳为几个阶段:

- ① 信号解析手段的研究阶段。
- ② 各种模拟信号的数字化阶段。

前两个阶段在时间上处在 17 世纪到 18 世纪离散数学诞生到 20 世纪 60 年代之间。

③ 信号数字处理技术本身的发展阶段。这一阶段是以 1965 年 Colley - Tukey 提出快速傅里叶变换算法为标志的。这时 DSP 技术主要用于图像处理、快速数据传输、生物医学系统等。

④ 现代数字信号处理阶段。这一阶段的特点是随着数字信号处理的飞速发展,新理论、新算法不断涌现,而数字信号处理的应用领域也正在飞速发展。

从信号的数字处理技术的发展历程,可以看出数字信号处理技术在理论上所涉及的范围是相当广泛的。在数字领域中,微积分、概率统计、随机过程、高等代数、数值分析、近世代数、复变函数、线性代数、泛函分析等都是它的分析工具。网络理论、图论、信号与系统均是它的理论基础。在学科发展上,数字信号处理又是现代控制理论(包括最优控制、人工智能、模式识别、神经网络、模糊控制)、现代通信理论、故障理论和现代测量等的理论基础。在算法的实现上(无论是硬件还是软件),数字信号处理技术和计算机学科及微电子技术密不可分。因此可以说,数字信号处理是把经典的理论(如数字、系统)作为自己的理论基础,把现代计算机技术、微电子技术作为技术支撑的一门新兴学科。同时它又是许多新兴学科的理论基础,并与它们相互交叉、相辅相成、相互促进。

数字信号处理理论经过 30 年的发展已经形成了比较完善的理论体系。主要内容有:

- ① 信号的采集(A/D 技术、抽样定理、多抽样率、量化噪声分析等)。
- ② 离散信号的分析(时域及频率分析、多种变换技术、信号特征的描述等)。
- ③ 离散系统分析(系统的描述、系统的单位抽样响应、转移函数及频率特性等)。
- ④ 信号处理中的快速算法(快速傅里叶变换、快速卷积与相关等)。
- ⑤ 信号的估值(各种估值理论、相关函数与功率谱估计等)。
- ⑥ 滤波技术(各种数字滤波器的设计与实现)。
- ⑦ 信号的建模(最常用的是 AR, MA, ARMA, PRONY 等各种模型)。
- ⑧ 信号处理中的特殊算法(如抽取、插值、奇异值分解、反卷积、信号重建等)。

现在,信号处理进入了一个新的发展时期。信号处理在优化、自适应、高分辨率、多维多通道等一些主要领域内的理论和方法日趋系统化。对系统的分析已不再限于理想模型,而是考虑到各种实际因素,研究其鲁棒性;对性能的描述也不仅仅停留在定性的水平,而是要作出系统的统计性能评价。

以前通常假设信号及其背景是高斯的、平稳的,而对信号的分析只是基于它的二阶矩阵和傅氏谱,其对象系统也限于时不变(准时变)的线性因果最小相位系统。随着数字信号处理应用领域的不断扩大,人们开始研究非平稳、非高斯的信号与背景噪声,研究时变、非因果、非最小相位、非线性的系统。这一些都是现代信号处理的热点问题。

总之,随着基础理论的不断完善、交叉学科的不断发展和微电子技术与计算机的不断进步,可以预见在 21 世纪将是数字信号处理理论与算法的大发展时期。

1.1.3 数字信号处理的实现

数字信号处理的实现,大体上有如下几种方法。

① 在通用的微计算机上用软件实现。软件可以是自己编写的,亦可使用现成的软件包。这种方法缺点是速度太慢,不能用于实时系统,只能用于教学与仿真研究。如,近年发展迅速的 Matlab,就几乎可以实现所有数字信号处理的仿真。而且 Matlab 下的部分仿真程序还可以通过转化为 C 语言,再通过 DSP 的 C 编译器直接在 DSP 硬件上运行。这对非实时系统或准实时来说是有吸引力的。

② 用单片机来实现。单片机也在不断地发展,如 Intel 96000 的运算速度就非常可观,而且单片机的接口性能比较好,容易实现人机接口。但由于单片机采用的是冯·诺依曼总线结构,所以单片机系统复杂,尤其是乘法运算速度慢,在运算量大的实时控制系统中很难有所作为。

③ 利用专门用于信号处理的可编程 DSP 芯片来实现。与单片机相比,DSP 有着更适合于数字信号处理的优点。如,采用改进的哈佛总线结构,内部有硬件乘法器、累加器,使用流水线结构,具有良好的并行特性,并有专门设计的适于数字信号处理的指令系统等。DSP 芯片的这些特点使得对不允许延迟的实时应用领域,如蜂窝电话、计算机驱动器等非常理想。因此,可以说,DSP 芯片的问世及飞速发展,为信号处理技术应用于工程实际提供了可能。

目前市场上的 DSP 芯片以美国德州仪器公司(TI)的 TMS320CX 系列为主流。其他的公司,如 AT&T, Motorola, AD 公司也都推出了个具有特色的 DSP 产品。TI 公司的 TMS320 系列从 TMS320C10 至 C20, C30, C40, C50, C80, C2000, C5000, C6000 已经形成了一个门类齐全的大家族。近些年,DSP 芯片在我国的应用已越来越广泛。在这些 DSP 芯片中,TI 公司的产品占 70%,而且随着 DSP 产品的性能价格比的不断上升,DSP 将在我国得到更广泛的应用。DSP 芯片在我国已经逐渐成为一个具有较大潜力的产业与市场。

④ 利用特殊用途的 DSP 芯片实现。现在国际上已推出了不少专门用于 FFT、FIR 滤波、卷积等的专用芯片,如 TDC 1028 可以实现 FIR 滤波器和相关运算。美国 INMOS 公司推出的 IMSA100 芯片,可以完成 FIR、FFT、相关、卷积等运算。它可以在 2 ms 内完成 1 024 点复数 FFT 运算。美国 TKW 公司 1990 年推出的超快速单片 FFT 处理芯片 TMC2350,可在 514 μ s 内完成基 2 时间抽取法的 1 024 点复数 FFT 运算。其他的,如 Motorola 公司的