

DSP/FPGA

嵌入式实时处理 技术及应用

孙进平 王 俊 李 伟 张有光 等编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

DSP/FPGA 嵌入式 实时处理技术及应用

孙进平 王 俊 李 伟 张有光 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 DSP 处理器提高处理速度的方法为主线,介绍了流水线、并行结构、哈佛结构、数据传输等 DSP 处理器的常用结构,总结了 DSP 处理器的典型结构和发展体系,同时给出了典型 DSP 系统硬件结构、开发编程方法和系统实例;并介绍 DSP 多片互联与 FPGA 应用和 FPGA 在实时处理中的应用,包括 FPGA 对 ADC 采样的控制、基于 FPGA 的正交采样和数字下变频、脉冲压缩模块和 FPGA 与 DSP 之间的接口设计等。

本书可作为电子类本科高年级学生和研究生专业选修课教材。

图书在版编目(CIP)数据

DSP/FPGA 嵌入式实时处理技术及应用 / 孙进平等
编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2011.9

ISBN 978-7-5124-0545-5

I. ①D… II. ①孙… III. ①数字信号处理②数字
信号—微处理器 IV. ①TN911.72②TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 149943 号

版权所有,侵权必究。

DSP/FPGA 嵌入式实时处理技术及应用

孙进平 王 俊 李 伟 张有光 等编著

责任编辑 刘 晨

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail 邮购电话:(010)82316936

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:18.5 字数:474 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0545-5 定价:39.00 元

前言

随着微电子技术、集成电路技术的飞速发展,DSP 处理器(Digital Signal Processor)利用其内部的特殊结构提高了数字信号处理(Digital Signal Processing)的速度,达到数字信号实时处理(Real Time Processing)的要求,因而推动了数字信号处理的广泛应用。

1904 年弗莱明发明了电子管,1947 年巴丁和布拉顿发明了晶体管,1966 年美国 RCA 公司发明了门阵列电路,1971 年 Intel 公司发明了微处理器 4004,1978 年 AMI 公司发明了 DSP 芯片 S2811。

为了满足数字信号实时处理的要求,针对数字信号处理中大量使用乘加运算的特点,DSP 处理器中增加了专用乘加单元提高了处理速度。DSP 没有采用冯·诺依曼结构,而是采用哈佛结构,提高了指令执行速度。为了进一步提高 DSP 处理器性能,流水线、并行单元、DMA 数据传输、专用地址产生、零开销循环、环形存储等技术得到了应用。上述技术和结构的使用,形成了典型的 DSP 结构。近年来,随着运行时钟极限的到来,多核 DSP 技术得到了发展,同时 FPGA 集成电路内嵌 DSP 核完成数字信号处理的结构得到了广泛应用,形成了新型 DSP 结构。DSP 处理器诞生以来,经历了 30 多年的发展,DSP 处理器在通信工程、电子工程、信号处理、自动控制、导航、医疗卫生、仪器仪表、家用电器等领域得到广泛应用,形成了独特的体系,是电子类工程技术人员必备的一门知识。

本书共分 10 章。第 1 章绪论主要介绍 DSP 发展历史及应用领域。第 2 章从数/模转换的角度先介绍了定点数和浮点数的基本运算,然后给出了实时信号处理的常用方法,最后说明 DSP 的处理速度。第 3 章主要介绍 DSP 处理结构和数据传输,其中包括硬件乘法器和乘加单元、零开销循环、环形 buffer、码位倒序、哈佛结构,并详细阐述了流水线技术和超标量与超长指令字处理器,最后简单介绍了 DSP 的传输速度。第 4 章讲述了 DSP 芯片的构成和开发流程,包括典型的 DSP-TS201S 的基本结构,另外,还介绍了 DSP 中数据的传输和处理方法以及 DSP 系统中常用的编程和控制方法。第 5 章主要介绍 DSP 多片互联与 FPGA 应用,首先介绍了 DSP 并行处理系统中常用的互联结构,然后对 FPGA 进行了简介,并对 FPGA 内部资源的使用做了阐述。第 6 章介绍了 FPGA 在实时处理中的应用,包括 FPGA 对 ADC 采样的控制、基于 FPGA 的正交采样和数字下变频、脉冲压缩模块和 FPGA 与 DSP 之间的接口设计。第 7 章介绍了 DSP 在实时处理中的应用,首先,讲解了 ADSP-TS201S 信号处理系统硬件结构,并阐述了系统中 DSP 内存分配以及不同处理器之间的数据传输;然后,介绍了 ADSP-TS201S 信号处理流程程序设计和 DSP 汇编语言并行优化;最后,给出了部分结果。第 8 章介绍了实时图像处理系统,包括 DSP 芯片介绍、系统功能与总体结构、系统硬件结构设计、电源及时钟电路设计、原理图设计、系统功能调试、系统性能等内容。第 9 章给出了多核 DSP 系统结构与开发应用,包括多核 DSP 处理系统硬件结构、数据传输方法、任务调度、资源优化、系

统编程调试方法。第 10 章介绍了实时处理系统的外部接口。

本书以 DSP 处理器提高处理速度的方法为主线,介绍了流水线、并行结构、哈佛结构、数据传输等 DSP 处理器的常用结构,总结了 DSP 处理器的典型结构和发展体系,同时给出了典型 DSP 系统硬件结构、开发编程方法和系统实例。通过几年的教学、科研实践,内容不断充实、精炼、改进提高,获得同行专家的认可与好评。为进一步深入扩大交流,充实提高,满足社会同行业读者要求而正式出版。本书可作为电子类本科高年级学生和研究生专业选修课教材。

本书在编写出版过程中,张玉玺、武鹏、田继华、张文昊、王伟、于鹏飞、姚旺、蒋海、王强、陈曦、张孚阳、冯珂、袁长顺、毕严先等同学积极参与收集查阅材料、编写测试程序以及校对等,做了大量工作,在此表示衷心感谢。

书中难免疏漏、不当之处,请批评指正。

孙进平
2011 年 7 月 30 日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 数字信号处理概述	1
1.2 数字信号处理系统实现方法	6
1.2.1 ASIC(集成电路)	7
1.2.2 DSP(数字信号处理器)	7
1.2.3 FPGA 现场可编程门阵列	8
1.2.4 其他数字信号处理器	9
1.2.5 常用数字信号处理系统优缺点比较	9
1.3 数字信号处理芯片发展历程	9
1.3.1 ASIC 芯片发展	9
1.3.2 DSP 芯片发展	10
1.3.3 FPGA 的发展	12
1.4 数字信号处理的应用	12
第 2 章 DSP 实时处理与数制表示	14
2.1 数字信号处理系统概述	14
2.2 数字/模拟转换	16
2.2.1 定点数	17
2.2.2 浮点数	26
2.2.3 ADC 采样过程	30
2.2.4 DAC 重构过程	31
2.3 实时信号处理	32
2.3.1 数据流处理方法	32
2.3.2 数据流处理	33
2.3.3 数据块处理	34
2.4 DSP 的处理速度	36
2.4.1 DSP 执行程序时间估计方法	36
2.4.2 DSP 性能指标	37
第 3 章 DSP 处理结构与数据传输	40
3.1 硬件乘法器和乘加单元	40
3.2 零开销循环	41
3.3 环形 buffer	44
3.4 码位倒序	46
3.5 哈佛结构	47
3.6 流水线技术	50

3.7 超标量与超长指令字处理器.....	64
3.7.1 超标量处理器.....	65
3.7.2 超长指令字(VLIW)处理器	67
3.7.3 超标量与超长指令字(VLIW)的区别	68
3.8 DSP 的传输速度	69
3.8.1 DMA 控制技术	69
3.8.2 DMA 控制器与传输控制块	70
第4章 DSP 芯片的构成与开发流程	74
4.1 DSP 芯片的基本结构	74
4.1.1 典型 DSP-TS201S 基本结构	74
4.1.2 ADSP-TS201S 常用引脚分类	78
4.1.3 ADSP-TS201S 算法处理性能	78
4.2 DSP 中数据传输和处理方法	79
4.2.1 ADSP-TS201S 高效数据访问与传输方法	79
4.2.2 ADSP-TS201S 中数据处理方法的优化(实时处理)	86
4.3 DSP 系统常用的编程和控制方法	86
4.3.1 ADSP-TS201S 中 LDF 文件的编写	87
4.3.2 Main 函数及典型处理流程	88
4.3.3 ADSP-TS201S 中系统初始化程序	88
4.3.4 中断的使用方法.....	91
第5章 DSP 多片互联与 FPGA 应用	95
5.1 并行处理系统互联结构.....	95
5.2 DSP 并行处理系统中常用的互联结构	96
5.2.1 利用外部存储器接口组成并行结构.....	96
5.2.2 ADI 公司多处理器并行结构	97
5.2.3 TI 公司多处理器并行结构	98
5.3 DSP 互联技术总结	99
5.4 FPGA 简介	100
5.4.1 FPGA 的内部资源	101
5.4.2 FPGA 的引脚分类	104
5.4.3 DSP 与 FPGA 的比较	105
5.5 FPGA 内部资源使用	107
5.5.1 寄存器的定义和使用	107
5.5.2 FIFO 资源的定义和使用	108
5.5.3 与 DSP 相关的读/写操作	109
5.5.4 时钟管理器的使用	112
第6章 FPGA 在实时处理中的应用	114
6.1 系统概述	114
6.2 FPGA 对 ADC 采样控制	116
6.3 基于 FPGA 的正交采样和数字下变频	118
6.4 脉冲压缩模块	121

6.5	FPGA 与 DSP 之间的接口设计	128
第 7 章	DSP 在实时处理中的应用	131
7.1	ADSP-TS201S 信号处理系统硬件结构	131
7.2	系统中 DSP 内存分配以及不同处理器之间的数据传输	133
7.2.1	DSP 与 FPGA 之间的数据通信	134
7.2.2	DSP 之间 Link 口数据通信	137
7.3	ADSP-TS201S 信号处理流程程序设计	141
7.3.1	中断服务函数声明	143
7.3.2	系统初始化	144
7.3.3	从 FPGA 中 FIFO 使用 DMA 方式读取处理数据	147
7.3.4	数据处理	148
7.3.5	DSP 以 DMA 方式传输数据	149
7.4	DSP 汇编语言并行优化	150
7.4.1	FFT 在 ADSP-TS201S 中的并行优化方法	150
7.4.2	CFAR 在 ADSP-TS201S 中的并行优化方法	157
7.5	实时系统处理结果	160
第 8 章	实时图像处理系统	162
8.1	DSP 芯片介绍	162
8.2	系统功能与总体结构	163
8.2.1	图像数据的采集	165
8.2.2	图像数据的输出	165
8.3	系统硬件结构设计	165
8.3.1	FPGA 功能设计	165
8.3.2	DSP 功能设计	166
8.3.3	系统通信接口设计	168
8.4	电源及时钟电路设计	180
8.4.1	系统电源设计	180
8.4.2	系统时钟设计	182
8.5	原理图设计	183
8.5.1	DSP 原理图设计	183
8.5.2	FPGA 原理图设计	184
8.5.3	整体布局布线	185
8.5.4	PCB 布局	186
8.6	系统功能调试	189
8.6.1	系统电源调试	189
8.6.2	系统时钟调试	189
8.6.3	系统与图像采集系统间接口的调试	190
8.6.4	系统 FPGA 功能调试	191
8.6.5	FPGA 与 SDRAM 接口调试	193
8.6.6	FPGA 与 DSP 之间通信接口调试	195
8.6.7	DSP 功能调试	199

8.6.8	FPGA 之间通信接口调试	200
8.6.9	EMIF 接口调试	201
8.6.10	232 接口调试	204
8.6.11	CAN 总线接口调试	206
8.7	系统性能	208
第 9 章	多核 DSP 系统结构与开发应用	209
9.1	概 述	209
9.2	NVIDIA GPU Fermi GTX470 的 LFM-PD 处理系统	209
9.2.1	Fermi GPU 的硬件结构	212
9.2.2	Fermi GPU 的软件编程	215
9.3	PD-LFM 算法的 GPU 实现	216
9.3.1	CPU-GPU 的数据传输与内存分配	217
9.3.2	GPU 中的 FFT 与 IFFT	218
9.3.3	GPU 中的匹配滤波、加窗与求模	219
9.3.4	GPU 中的矩阵转置	221
9.3.5	GPU 中的 CFAR 操作	222
9.4	多核处理器 Tile64	222
9.4.1	Tile64 多核处理器架构	223
9.4.2	基于 Tile64 的 LFM-PD 处理解决方案	225
第 10 章	实时处理系统外部接口	227
10.1	存储类	227
10.1.1	Flash	227
10.1.2	SRAM	232
10.1.3	SDRAM(MT48LC4M32B2)	235
10.2	硬盘接口	238
10.2.1	硬盘接口简介	238
10.2.2	硬盘读/写控制	241
10.2.3	FAT32 文件系统实现	243
10.3	A/D、D/A 转换器	248
10.3.1	ADC08D1000	248
10.3.2	AD9430	252
10.3.3	AD9753	257
10.4	其他常用接口	261
10.4.1	MAX3100	261
10.4.2	PDIUSB12	270
10.4.3	DS1302	276
10.4.4	CY7C68013A	279
附录 A	电子器件与 CPU 发展史	284
附录 B	DSP 芯片的发展	287
附录 C	FPGA 的发展	288

第1章

绪论

1.1 数字信号处理概述

信号是用声音、光线、电波标志等传送信息的约定通信符号。信号是信息的载体。其形式多种多样,例如早上起床的闹铃声、十字路口的红绿灯、路过饭馆扑鼻的香味,还有作为学生最为关心的考评分数册等。

人们真正关心的不是信号,而是信号所携带的信息。想想看,你关心的是你成绩单上的数字本身呢?还是它所携带的信息?如果出现在你成绩单上的是一个“5”,你是非常高兴,还是极其懊恼呢?你真正关心的是5的含义——即信息。究竟5所携带的信息是“百分制”还是“五分制”呢?所以说,大家真正关心的是信号所携带的信息。

其实,信号是表征某种事物对时间和空间变化现象的描述。如图1-1所示,在成绩单上,“5”是一种文字信号,或者可以说是图像信号。当告诉别人你得了“五分”时,就是一种声音信号了,如图1-2所示。

成绩单	
姓名	张三
科目	DSP 原理与应用
成绩	5

图 1-1 成绩单

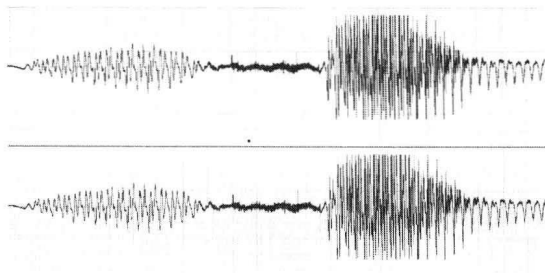


图 1-2 成绩的语音信号波形

信号的表现形式多种多样,我们将其分为模拟信号和数字信号。以上述语音信号为例,模拟信号是指在信号时间和幅度均连续的信号,数字信号是指时间和幅度均为离散值的信号,如图1-3和图1-4所示。显然还有一种信号介于两者之间,就是离散信号——时间离散但是幅度为连续值的信号。

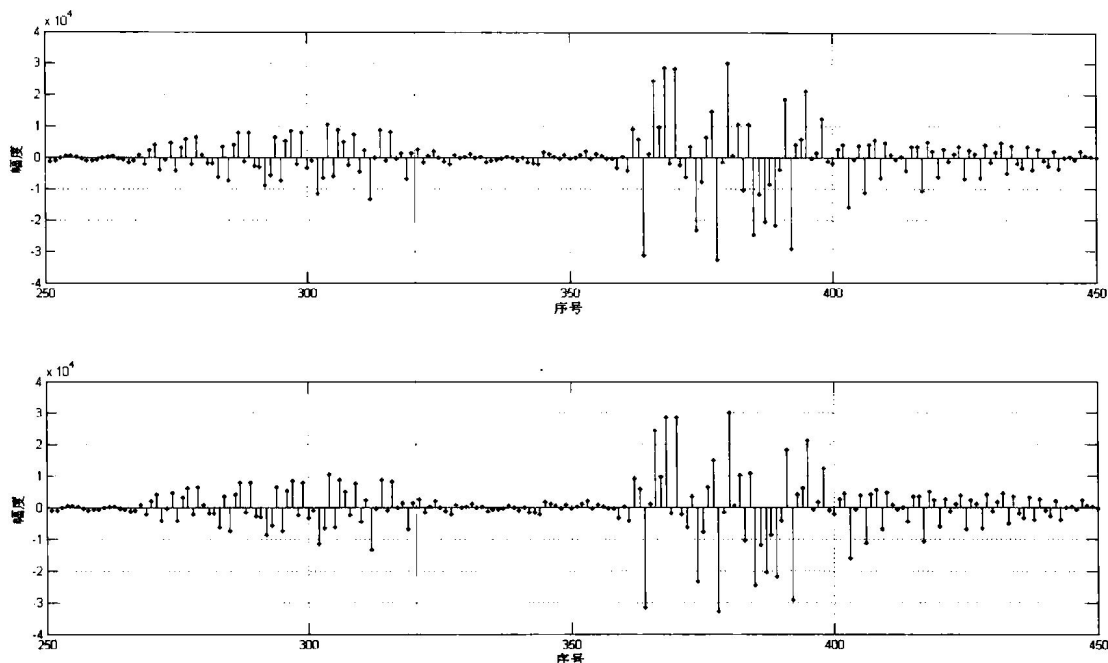


图 1-3 成绩的语音信号波形采样后的数字波形

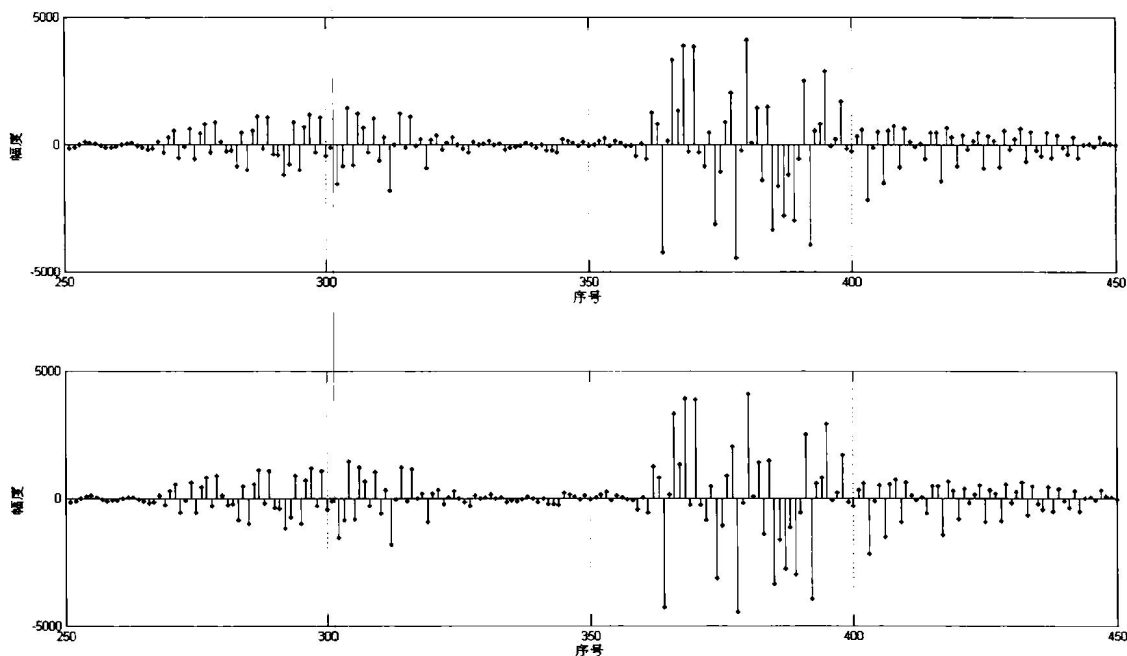


图 1-4 成绩的语音信号波形采样后的数字波形(213 级量化)

信号处理是指对信号进行某种变换,以便更方便准确地提取其携带的信息。最为经典的信号处理方法是使用 FIR 滤波器,可分为模拟滤波器和数字滤波器两种。

滤波器是为了去除信号中的噪声,例如在一个 50 kHz 正弦波信号中混进了一个 400 kHz 的信号,可利用图 1-5 所示的低通滤波器电路滤去噪声信号。

图 1-6~图 1-8 为滤波器输入信号、特性、输出信号图。

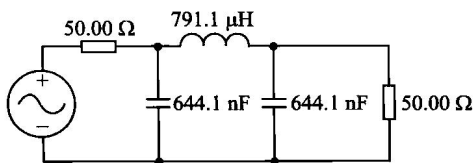


图 1-5 低通滤波器电路

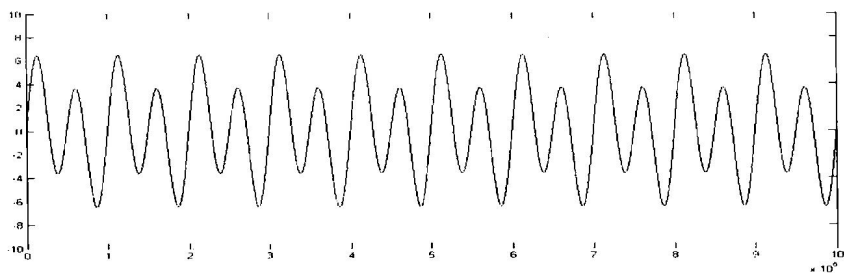


图 1-6 滤波器输入信号

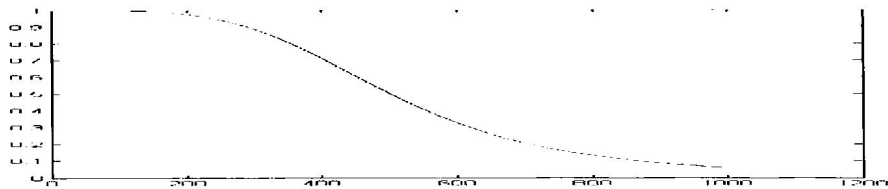


图 1-7 滤波器特性

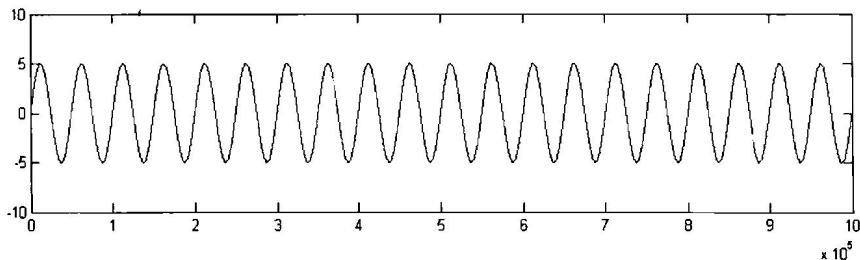


图 1-8 滤波器输出信号

这几个电阻、电感、电容是如何实现这一滤波器呢? 根据信号处理理论,所有的线性数不变系统均可用系统脉冲响应 $h(t)$ 来表征。而系统的输出 $y(t)$ 则可表示成输入信号 $s(t)$ 与 $h(t)$ 的卷积:

$$y(t) = s(t)h(t)$$

即:

$$y(t) = \int s(\tau) h(t - \tau) d\tau$$

为了更直观地分析这一系统,我们还有傅里叶(Fourier)变换这一积分变换工具。

如果对上式进行傅里叶变换,则得到如下公式:

$$Y(j\Omega) = S(j\Omega)H(j\Omega)$$

信号从时域变到了频域,如图 1-9~图 1-10 所示。

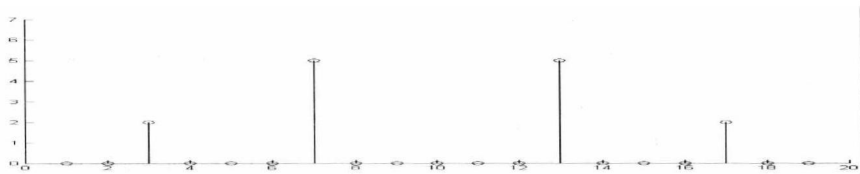


图 1-9 滤波器输入信号频谱

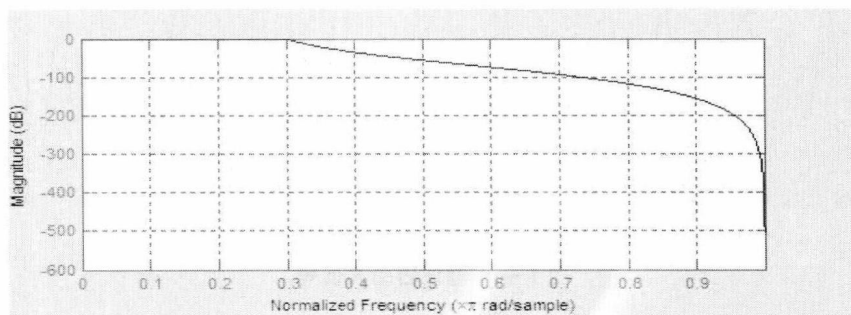


图 1-10 滤波器幅频响应



图 1-11 滤波器输出信号频谱

由于 $H(j\Omega)$ 不允许高频信号通过,所以滤波器可以滤去噪声信号,可借助 Chebyshev 不等式、Gaussian 不等式、Laplace 变换、傅里叶变换等数学工具设计各种滤波器及其他信号处理系统,然后用电阻、电容、电感等电子元器件实现信号处理系统。

信号处理在通信、信息处理、消费电子、控制系统、雷达、声呐、医用电子、地震预报、科学仪器等各个领域发挥着重要作用。

20 世纪 60 年代之前,信号处理的手段几乎无一例外地都采用模拟技术,在连续时间域内进行处理。模拟信号处理是指对模拟信号采用模拟处理的方法,其数学算法通常使用模拟电路实现,其中的数值都以连续的物理量来表示。例如,在打电话时话筒先将声音转换为电信号,然后经过电子系统的放大、滤波等电路,驱动扬声器使对方听见,这个过程的声音和电信号就是模拟信号。工程上广泛应用的集成运算放大器、集成电压比较器、开关电源电路等均属于模拟信号的处理范畴。

1948 年 Claude Shannon 发表了著名的“A mathematical theory of communication”,文中利用 bit 量化信源,阐述了“香农定理”,从而预示了数字信号处理时代的到来。

紧接着 Richard W. Hamming 发明了纠错编码,贝尔实验室发明了晶体管,曼彻斯特大学制造出第一台可存储程序的计算机原型,随后 Maurice Wilkes 在剑桥大学建造 EDSAC、

Presper Eckert 和 John Mauchly 在宾夕法尼亚大学建造的 BINAC、John Von Neumann 计算机出现在普林斯顿的先进学习研究所。

计算机的出现对信号处理产生了巨大影响。1952 年春 Robinson 和 Howard Briscoe 在 MIT 的 Whirlwind 数字计算机上完成了高速数字滤波器的编程。1954 年 Raytheon 提供给工业界第一台商用数字信号处理设备。1956 年 TI 开始设计用于地震信号处理的数字计算机。1961 年 TI 的 TI187 是专门进行地震信号处理。1962—1963 年 Ben Gold 和 Charles Rader, 使用实验室的 TX-2 计算机仿真带通数字滤波器性能。1964 年 A. Michael Noll 利用计算机仿真了 John Tukey 的倒谱概念。

1959 年 2 月 TI 的 Jack Kilby 发布了集成电路专利, 6 个月以后 Robert Noyce 和 Jean Hoerni 在仙童半导体公司论证了一种能够将电子器件经济地联系到一起的平面处理技术, 为后来晶体管集成电路技术的发明铺平了道路。

1960 年 V. C. Anderson 利用数字移位寄存器对信号进行延迟实现水下波束形成。1962 年 Bell 实验室开发了世界上第一个数字通信系统——T1 载波系统投入运行。Bell 实验室的年轻工程师 Robert Lucky 发明了自适应均衡器, 将数据传输率提高到了 9600bps。同时 Bell 实验室还发明了自适应回波对消器。美国 1963 年完工的著名雷达系统——SAGE(Semi-Automatic Ground Environment), 采用了 MIT 和贝尔实验室研制的高速数字调制解调器传输雷达信号。

如前所述, 在 20 世纪 60、70 年代, 数字信号处理领域中的大量研究工作以及发表的大量论文和著作都集中于两个方面。一方面是数字滤波器(仍限于低通、高通、带通、带阻等类型), 即 FIR 数字滤波器设计硬件实现结构以及稳定性、有限字长效应等问题; 另一方面是 FFT 的各种算法。FIR 滤波器和 FFT 算法是数字信号处理中最常用的两种处理方式。1975 年出版的两本代表性的著作, 即 A. V. Oppenheim 和 R. W. Schaffer 合著的《Digital Signal Processing》, L. R. Rabiner 和 B. Gold 合著的《Theory and Application of Digital Signal Processing》, 比较全面、系统地概括了当时数字信号处理领域中上述两个方面的主要研究成果。

1965 年 James Cooley 和 John Tukey 给出了傅里叶快速算法——FFT, 极大地提高了傅里叶变换这一重要工具, 极大地推进了数字信号处理的发展。尤其是数字集成电路按照摩尔定律迅猛发展, 各种 DSP 芯片的出现, 将人们带入了一个全新的数字时代。数字信号处理领域中不断取得新的进展, 其主要特征是突破了以上两个方面(FIR 滤波器、FFT 算法)的局限, 开辟了更为广阔的前景。同时在实现和应用方面, 迅速取得了许多富有重大意义的成果。这同样是与信号处理所依赖的数学基础和数字器件的发展分不开的。近年来, 矩阵理论、随机过程理论、系统理论、控制理论等领域不断取得新的进展, 并对信号处理领域产生了极大的影响, 提供了许多可以借鉴的成果。另一方面, 计算机和数字器件的飞速发展使得人们有可能将利用较为复杂的数学模型、数学处理方法得出的结果加以实现。所有这些促使信号处理领域中产生了新的发展和变革。例如, 今天谈到“滤波”这一术语, 已经远非仅限于低通、带通、高通、带阻这一类简单地按频段划分的滤波方法, 而具有更深刻的含义, 可以是指匹配滤波、自适应滤波、维纳滤波、卡尔曼滤波这样一些信息过滤方式。信号处理领域中的这些新的发展和变革也体现在基本思想方法上的一些突破。例如, 人们已经不再把信号简单地看成是由加权系数不同的成谐波关系的正弦振荡的组合(即 FFT 等经典方法所采用的数学模型), 而是通过对实际物理现象的深入研究, 提出了新的数学模型, 以求更深刻、更准确地刻画信号。信号处理方

法也不再是简单地按不同频段进行分离或选择,而是寻求在某种准则下实现噪声或杂波的最佳滤除和信息的最优提取的数学处理方式。同时,从事信号处理的研究人员,更为关心如何应用新的信号处理理论,如何设计硬件实现系统以求有效地将信号处理的新理论、新方法实现出来,去解决实际问题。

数字信号处理是紧紧围绕着理论、实现及应用 3 个方面迅速发展起来的,它以众多的学科为理论基础,涉及范围极其广泛,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,与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关,其成果又渗透到众多的学科,成为理论与实践并重、在高新技术领域中占有重要地位的新兴学科。

数字信号处理的理论和算法是密不可分的。把一个好的信号处理理论用于工程实际,需要辅以相应的算法以达到高速、高效及简单易行的目的。例如,FFT 算法的提出使 DFT 理论得以推广,Levinson 算法的提出使 Toeplitz 矩阵的求解变得很容易,从而使参数模型谱估计技术得到广泛应用等等。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,在今后的十年中,数字信号处理将获得更快的发展。

数字信号处理与模拟信号处理相比,具有以下优点:

- ① 数字信号处理的动态范围大,有比模拟信号大 30 dB(几十倍)的动态范围,处理过程仅受量化误差和有限字长的影响,具有更高的信噪比和精度。
- ② 接口方便,DSP 应用系统与其他以现代数字技术为基础的系统或设备都是相互兼容的,它与这样的系统接口以实现某种功能要比模拟系统容易得多。
- ③ 稳定性好,模拟系统的性能受元器件参数性能变化的影响比较大,而数字系统基本不受影响,因此数字信号处理系统便于测试、调试和大规模生产。
- ④ 具有高度灵活性,能够快速处理、缓存和重组数据,可以时分多用、并行处理,还可以灵活地改变系统参量和工作方式,实现可编程处理。
- ⑤ 集成方便,DSP 应用系统中的数字部件有高度的规范性,便于大规模集成。

图 1-12 是数字信号处理系统的简化框图。此系统先将模拟信号变换为数字信号,经数字信号处理后,再变换成模拟信号输出。其中抗混叠滤波器的作用,是将输入信号 $x(t)$ 中高于折叠频率(其值等于采样频率的一半)的分量滤除,以防止信号频谱的混叠。随后,信号经采样和 A/D 转换后,变成数字信号 $x(n)$ 。数字信号处理器对 $x(n)$ 进行处理,得到输出数字信号 $y(n)$,经 D/A 转换器变成模拟信号。此信号经低通滤波器,滤除不必要的高频分量,最后输出平滑的模拟信号 $y(t)$ 。

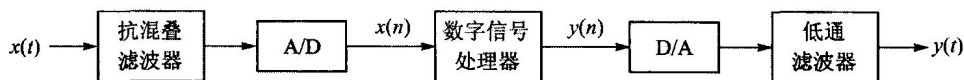


图 1-12 数字信号处理系统简化框图

1.2 数字信号处理系统实现方法

在图 1-12 所示的结构中,数字信号处理器件是整个系统的核心部分,除了 A/D 的采样频率外,它决定整个系统的信号处理性能。

20 世纪 50~70 年代,人们研究的相关算法只能在初级计算机通过编程实现。到了 70 年代末 80 年代初,DSP 芯片的数字信号处理的实现方式发生了革命性的变化。但是由于芯片价格昂贵,并没有进入消费领域,而是在雷达、通信等高端市场得到应用。20 世纪 90 年代,随着微电子技术的飞速发展,DSP 技术得到了飞速发展,各种高性价比的芯片、高性能芯片相继出现。DSP 技术蓬勃发展,无论是手机、MP3、电视、空调等消费领域,还是雷达、通信等高端领域,均得到广泛应用。常用的数字处理器件主要包括 ASIC、DSP 和 FPGA 等。下面分别对这几种数字处理器件实现方法进行介绍。

1.2.1 ASIC(集成电路)

在集成电路(ASIC)界,ASIC 被认为是一种为专门目的而设计的集成电路,是指应特定用户要求和特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路。ASIC 的特点是面向特定用户的需求,利用 ASIC 作为信号处理器件的系统具有体积小、功耗低、可靠性高、性能高、保密性强、成本低等优点。

然而,正是由于 ASIC 具有专用性的特点,导致其编程性差,同一种芯片完成的功能有限,因而其灵活性受到约束。当一套基于 ASIC 的数字信号处理系统完成以后,很难适应变更环境和性能升级的需要。

1.2.2 DSP(数字信号处理器)

DSP(数字信号处理器)是专门为了数字信号处理应用而设计的高速芯片,解决了原来处理器结构复杂、单片微机速度达不到实时系统要求的问题。DSP 不同于早期微处理器的冯·诺依曼结构,其内部采用了程序空间和数据空间分开的哈佛(Harvard)结构,如图 1-13 所示。这种结构允许 DSP 同时取指令(来自程序存储器)和取操作数(来自数据存储器),而且还允许在程序空间和数据空间之间相互传送数据。DSP 工作于流水线模式,而且程序执行中的各种阶段是重叠执行的,即在执行本条指令的同时,还依次完成了后面三条指令的取操作数、译码和取指的任务,将指令周期降到最小值。在某种意义上讲,DSP 通过使用更多的资源换取了高速数据处理的实时性要求。

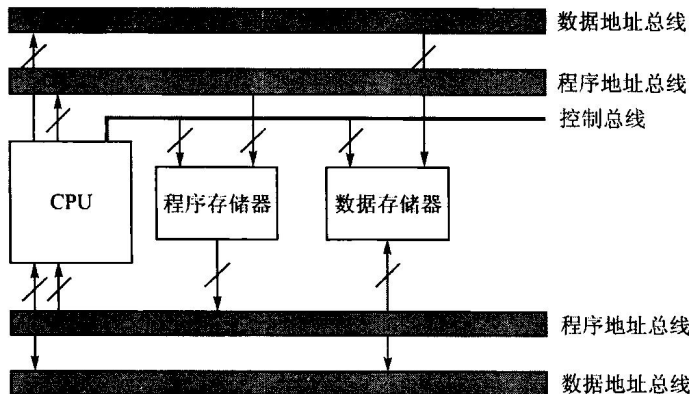


图 1-13 DSP 的哈佛结构

基于 DSP 的信号处理系统,由于 DSP 具有可编程性,而且编程多为 C 语言环境,开发相对容易。这种系统的信号处理速度快,处理能力强,具有很好的实时性能。随着 DSP 信号处理能力的不断提高,DSP 已成为数字信号处理系统中最为重要的信号处理器件之一。目前,常用的 DSP 主要来自 TI(美国德州仪器)公司和 ADI(美国模拟器件)公司的产品。

1.2.3 FPGA 现场可编程门阵列

FPGA 即现场可编程门阵列,是在 PAL,GAL,CPLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。FPGA 采用了逻辑单元阵列 LCA(Logic Cell Array)这样一个概念,内部包括可配置逻辑块 CLB(Configurable Logic Block)、输出输入模块 IOB(Input Output Block)和内部连线(Interconnect)三部分,如图 1-14 所示。用户可以对 FPGA 内部的 CLB 和 IOB 进行,以实现用户的逻辑。它还具有静态可重复编程和动态在系统可重构的特性,使得硬件的功能可以像软件一样通过编程来修改。目前,对于一般的 ASIC 芯片开发流程,通常先要利用 FPGA 进行编程验证,而后流片制造。

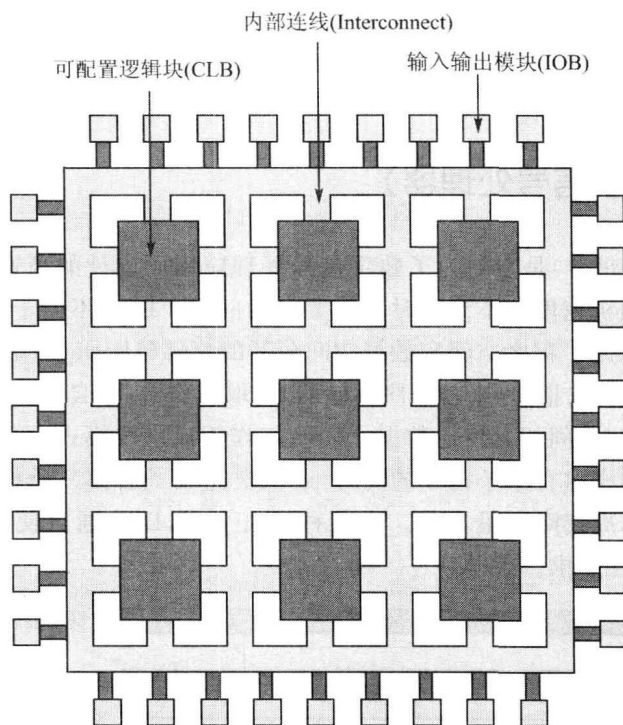


图 1-14 通用 FPGA 内部结构

基于 FPGA 的信号处理系统,FPGA 是具有极高并行度的信号处理引擎,能够满足算法复杂度不断增加的应用要求,具有很好的实时性和信号处理并行性。相对于 DSP 来说,FPGA 的开发相对较难,目前开发 FPGA 的语言主要为 VHDL 和 Verilog HDL 语言。当今 FPGA 内部的逻辑资源、存储资源和 IP 核资源日益丰富,加上其强大的编程性和并行处理能力,FPGA 成为数字信号处理系统中另一个最为重要的信号处理器件。目前,FPGA 的主要厂商包括 Atera、Xilinx、Actel 等公司。