



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

数字信号处理

赵健 李勇 编著



清华大学出版社



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

数字信号处理

赵健 李勇 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字信号处理的基本理论和算法,并简单介绍了高速数字信号处理器。本书主要内容包括离散时间信号和离散时间系统、序列傅里叶变换和系统频率响应、Z变换及系统函数、系统的网络结构、有限长序列的离散傅里叶变换、快速傅里叶变换(FFT)算法、数字滤波器设计和高速数字信号处理器。

本书的重点放在基本理论和基本概念上,强调对基本理论中的物理概念的透彻理解;同时尽量反映DSP的最新发展。每章后附本章要点,有利于读者抓住重点。精选的习题、上机练习题和部分习题解答将包含在随后出版的与本书配套的学习指导中。

本书可作为理工院校电子和通信等专业教材,也可作为工程技术人员的自学参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理/赵健,李勇编著. —北京:清华大学出版社,2006.1

(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 7-302-11809-4

I. 数… II. ①赵… ②李… 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(2005)第 106228 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 刘 彤

印 刷 者: 北京密云胶印厂

装 订 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

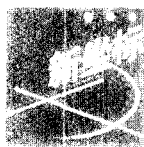
开 本: 185×260 印 张: 13.25 字 数: 320 千字

版 次: 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11809-4/TN·276

印 数: 1~3000

定 价: 21.00 元



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|---------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院 |
| 邬贺铨 | 中国工程院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所 |

主任:

- | | |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|--------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈 怡 | 东南大学高教所 |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院 |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院 |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系 |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院 |
| 胡学钢 | 安徽合肥工业大学计算机与信息学院 |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔 力 | 湖北武汉华中科技大学控制系 |
| 刘振安 | 安徽省合肥市中国科学技术大学自动化系 |
| 陆大绘 | 清华大学电子工程系 |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院 |
| 彭启琮 | 成都电子科技大学通信与信息工程学院 |
| 仇佩亮 | 杭州市浙江大学信电系 |
| 沈伯弘 | 北京大学电子学系 |

- 童家榕 上海复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院
汪一鸣(女) 苏州大学电子信息学院
王福源 郑州市大学路 75 号郑州大学信息工程学院
王华奎 山西太原理工大学信息与通信工程系
王 瑶(女) 美国纽约 Polytechnic 大学
王毓银 北京联合大学
王子华 上海大学通信学院
吴建华 南昌大学电子信息工程学院
徐金平 东南大学无线电系
阎鸿森 陕西西安交通大学电子与信息工程学院
袁占亭 甘肃工业大学
乐光新 北京邮电大学电信工程学院
翟建设 南京解放军理工大学气象学院 4 系
赵圣之 山东大学信息科学与工程学院
张邦宁 南京解放军理工大学通信工程学院无线通信系
张宏科 北京交通大学电子信息工程学院
张 泽 内蒙古大学自动化系
郑宝玉 南京邮电学院
郑继禹 桂林电子工业学院二系
周 杰 清华大学自动化系
朱茂镒 北京信息工程学院



序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的需求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究型和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

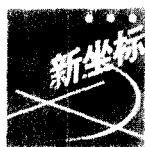
3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材即将陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用过程中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和使用者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”编委会



前言

本书是作者根据多年从事数字信号处理的教學和研究經驗编写而成。書的內容就深度和廣度而言,適合于電子信息、通信、計算機、自動控制等專業本科生,48~60學時的課程教學。本書假定讀者已經具備了連續時間信號與系統的基本知識,不要求讀者預先掌握離散傅里葉變換等內容。

全書共6章,第1章首先介紹數字信號處理的基本概念,數字信號處理的應用,數字信號處理的研究內容;第2章全面敘述數字信號處理的一些具體概念及定義,包括離散時間序列的定義,離散卷積的計算,系統的穩定性和因果性,離散時間信號和系統的頻域表示,連續時間信號的采樣, Z 變換,系統函數,系統的信號流圖,無限沖激響應(IIR)系統的网络結構和有限沖激響應(FIR)系統的网络結構等。

第3章和第4章是有关離散傅里葉變換(DFT)和快速傅里葉變換(FFT),根據作者的體會,這兩章內容是學習數字信號處理中的一個難點。作者在敘述時重點放在對基本原理的概念理解,并通過數學公式和圖形相結合的方法,從定性和定量兩方面清晰地表述DFT物理概念,有利于讀者掌握DFT這一重點內容。FFT內容的重點放在FFT算法的基本原理和思路上,除了經典的基2-FFT算法外,還介紹了應用廣泛的基4-FFT算法和實序列FFT算法。

第5章是关于數字濾波器設計。首先介紹了數字濾波器及濾波器技術指標,特別強調了數字濾波器指標的物理含義,IIR數字濾波器設計中先介紹了巴特沃思和切比雪夫兩種模擬濾波器設計,然后介紹了應用比較廣泛的沖激響應不變法和雙線性映射法。FIR濾波器中特別突出了線性相位特性,并歸納4種對稱情況下FIR濾波器的線性相位及濾波器的特點。設計方法上以窗函數法為重點,同時也介紹頻率采樣設計法,最后對兩種濾波器從多方面進行了比較。

最后一章介紹了當前應用非常廣泛的高速數字信號處理器——DSP。DSP是實現數字信號處理算法的一種比較理想的芯片。特別是可編程的數字信號處理系統越來越多地採用了基本DSP的系統方案,對DSP技術的掌握也是當前和今後一段時間對高級人才的一種迫切要求。本章主要介紹了美國TI公司較新的DSP芯片TMS32054x,并介紹了DSP應用系統的設計和FFT算法的DSP程序。本章內容在上課時教

师可根据课时数选讲。

本书内容侧重于基本理论和算法,没有列出专门章节讨论数字信号处理的应用,而是把它们分散于书中的例题、习题中。由于篇幅有限,本书略去了有限字长效应的内容,有兴趣的读者可以在有关的参考文献中找到。

本书的特点是:

- (1) 对基本理论和算法进行充分的讨论,强调基本原理和基本概念。
- (2) 突出基本理论中所包含的物理概念,使读者透彻理解。
- (3) 精选的习题和上机题内容丰富,将有助于读者牢固掌握基础理论并达到学以致用目的。
- (4) 在理论论述、习题讲解等各个方面尽量理论联系实际,将数字信号处理的工程应用努力在介绍其基本理论的时候就让读者有所了解。
- (5) 反映 DSP 应用方面的新内容,使读者能够了解数字信号处理理论和算法的实现及 DSP 系统的应用开发。

为了使读者提高对数字信号处理课程的学习兴趣,并增加对数字信号处理学科相关科学家的了解,本书在每章后安排了一个科学家简介,介绍与本学科相关的一些著名科学家。

在本书的写作过程中,廉保旺教授、赵乃煌教授、咎积成教授、彭进业教授、种兰祥教授、潘建寿教授给予了大力的支持和帮助,提供了丰富的资料;周欣、陈玉、尹小俊、徐燕、李志芳、朱春香等研究生做了大量的绘图、整理工作,在此向他们表示衷心的感谢!

限于作者的水平,书中不妥之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

作者

2005 年 5 月 于西安

zjctec@Nwpu.edu.cn



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数字信号处理的基本概念	1
1.2 数字信号处理的应用	4
1.3 数字信号处理的研究内容	4
本章要点	6
科学家简介	6
第 2 章 离散时间信号和离散时间系统	9
2.1 离散时间信号——序列	9
2.1.1 序列的定义	9
2.1.2 常用的基本序列	11
2.1.3 序列的基本运算	15
2.2 离散时间系统	16
2.2.1 系统定义	16
2.2.2 线性离散时间系统	16
2.2.3 非时变离散时间系统	17
2.2.4 线性时不变离散系统	18
2.2.5 离散卷积的计算	19
2.2.6 离散卷积的运算规律	20
2.3 系统的稳定性和因果性	21
2.3.1 稳定性	21
2.3.2 因果性	22
2.4 离散时间信号和系统的频域表示	23
2.4.1 线性非时变系统对复指数序列 $e^{j\omega n}$ 的响应	23
2.4.2 频率响应	24
2.4.3 序列的傅里叶变换	25
2.4.4 描述系统输入和输出关系的频域方法	26
2.5 序列傅里叶变换的对称性质	27
2.6 连续时间信号的采样	28

2.6.1	采样的基本概念	28
2.6.2	采样过程中频谱的变化	29
2.6.3	低通信号采样定理	31
2.6.4	信号恢复	32
2.6.5	窄带信号采样定理	33
2.7	Z变换	37
2.7.1	Z变换的定义和收敛域	37
2.7.2	Z变换的性质和定理	40
2.8	系统函数	46
2.8.1	系统函数定义	46
2.8.2	通过系统函数描述系统特性	46
2.8.3	通过系统函数估算频率响应	48
2.9	系统的信号流图	50
2.9.1	信号流图的表示	51
2.9.2	信号流图的转置定理	51
2.9.3	无限冲激响应(IIR)系统的网络结构	52
2.9.4	有限冲激响应(FIR)系统的网络结构	54
	本章要点	55
	习题	56
	科学家简介	58
第3章	离散傅里叶变换(DFT)	61
3.1	离散傅里叶级数(DFS)	61
3.1.1	有限长序列的离散频域表示	63
3.1.2	DFS的性质	64
3.2	离散傅里叶变换的定义及基本性质	66
3.2.1	离散傅里叶变换的定义	66
3.2.2	DFT的性质	68
3.2.3	有限长序列的线性卷积和圆周卷积	72
3.2.4	$X(k)$ 与Z变换 $X(z)$ 、序列傅里叶变换 $X(e^{j\omega})$ 之间的关系	73
3.3	频域采样理论	74
3.4	频率分辨率与DFT参数的选择	77
	本章要点	78
	习题	78
	科学家简介	80
第4章	快速傅里叶变换(FFT)	82
4.1	DFT的运算特点	82



4.2 基 2-FFT 算法	83
4.2.1 按时间抽取基 2-FFT 算法	83
4.2.2 按频率抽取基 2-FFT 算法	87
4.3 IDFT 的快速算法	91
4.4 基 4-FFT 算法	92
4.5 实序列的 FFT 算法	94
4.6 FFT 的软件实现	96
本章要点	99
习题	99
科学家简介	100

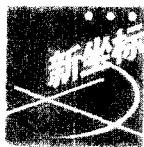
第 5 章 数字滤波器设计 103

5.1 数字滤波器的基本概念	103
5.2 IIR 数字滤波器设计	105
5.2.1 模拟滤波器设计	105
5.2.2 冲激响应不变法	112
5.2.3 双线性映射法	116
5.2.4 IIR 数字滤波器的频率变换设计法(高通、带通和带阻 数字滤波器设计)	120
5.2.5 IIR 数字滤波器的直接设计法	123
5.3 FIR 数字滤波器设计	129
5.3.1 FIR 数字滤波器的线性相位特性	130
5.3.2 窗函数设计法	133
5.3.3 频率采样设计法	144
5.3.4 切比雪夫逼近设计法	148
5.4 IIR 数字滤波器与 FIR 数字滤波器比较	154
本章要点	155
习题	155
科学家简介	157

第 6 章 高速数字信号处理器——DSP 160

6.1 DSP 芯片的特点	160
6.2 TMS320C54x 数字信号处理器的硬件结构	161
6.2.1 总线结构	163
6.2.2 存储器	163
6.2.3 复位电路	166
6.2.4 时钟电路	167
6.3 TMS320C54x 指令系统	168

6.3.1 寻址方式	169
6.3.2 流水线	174
6.3.3 指令系统概述	175
6.4 FFT 算法的 DSP 程序	176
6.4.1 FFT 算法原理	176
6.4.2 FFT 的溢出处理	178
6.4.3 FFT 的实现	179
本章要点	186
科学家简介	187
附录 1 模拟器滤波器设计参数	190
附录 2 切比雪夫滤波器设计参数表	192
附录 3 TMS320C54x 指令系统中的符号和略语	196
参考文献	200



第1章

绪 论

1.1 数字信号处理的基本概念

20 世纪 60 年代以来, 计算机科学、半导体科学和信息科学的迅猛发展和取得的巨大进步, 有力地促进了数字信号处理 (digital signal processing, DSP) 技术的发展, 数字信号处理在很多领域得到了广泛应用, 逐步形成了一门独立的学科体系。目前, 国内外绝大多数重点工科院校中, 都开设了“数字信号处理”课程, 并将其作为一门重要的技术基础课, 在一些著名高校, 还建立了数字信号处理技术研究中心, 把教学、科研和人才培养紧密结合起来, 在理论和实际应用方面取得了丰硕成果。目前, 数字信号处理器 (digital signal processor, DSP) 芯片以及相应的外围设备, 正在形成一个具有巨大潜力的产业和市场。

什么是数字信号处理? 它有哪些应用呢? 它研究的基本内容有哪些呢?

所谓信号处理就是对信号(观测数据)进行所需要的变换, 或按照预定的规则进行简单或复杂的数学运算, 使之便于分析、识别和加以利用。信号处理一般包括: 变换、滤波、检测、频谱分析、调制解调和编码解码等, 其中滤波的物理概念最为人们熟悉和理解。

信号处理按信号的表示和处理形式分为“模拟信号处理”和“数字信号处理”。模拟信号处理是传统的信号处理手段, 它采用模拟设备对模拟信号进行处理。模拟信号处理的优点是它具有实时性和简易性, 但由于模拟系统的局限性, 不能进行复杂的信号处理任务。数字信号处理是利用专用或通用数字系统(包括计算机)以二进制计算的方式对数字信号进行处理。数字信号处理系统具有很多优点, 可以完成复杂的处理任务, 在很多场合正逐步取代传统的模拟信号处理。

通过图 1-1 可以简单说明一个 DSP 系统处理模拟信号的基本过程。

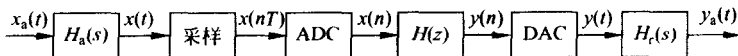


图 1-1 用数字方法处理模拟信号的过程

在这个处理过程中, $H_a(s)$ 称作前置模拟低通滤波器, 它的作用是对模拟信号 $x_a(t)$ 进行预处理, 改善信号的带限性能, 有利于后续的采样, 具有抗混叠作用; 采样的作用是对滤波后的模拟信号 $x(t)$ 进行自变量 t 的离散化, T 为均匀采样间隔; ADC 是模数转换器, 是对采样后的信号进行幅度二进制量化, 使信号变成离散的二进制数据 $x(n)$; $H(z)$ 表示一个 DSP 系统, 它包含具体的数字信号处理算法, 完成对 $x(n)$ 的处理; DAC 是数模转换器, 它把处理后的数字信号 $y(n)$ 转换成模拟信号 $y(t)$, 若系统不要求输出是模拟信号, 这一环节可以省去; $H_c(s)$ 表示一个模拟低通滤波器, 它的作用是平滑 DAC 的输出, 滤除 DAC 引起的高频噪声。在这个典型的处理系统中, $H(z)$ 是核心环节, 数字信号处理研究的主要任务是在理论上建立一套描述 $x(n)$, $y(n)$ 和 $H(z)$ 特性的方法和算法, 并研究在工程上如何实现这一系统, 这也是数字信号处理一个最基本的问题。

数字信号处理技术是从 20 世纪 60 年代中期开始迅速发展起来的, 但就其学科本身而言, 历史却很久远, 经典的数值分析方法(如内插、数值积分、微分等)可以看成早期的数字处理技术。简单地看, 数字信号处理就是将一些信号分析和信号处理的理论方法变成一种能够实际应用的算法, 并采用与之相关的硬件和软件技术加以实现, 因此数字信号处理有很强的应用背景以及与其他学科紧密的相关性。

对信号的分析 and 处理, 人们很早就进行了研究, 例如傅里叶变换, 被广泛用于信号的频域分析, 但由于实际中傅里叶变换实现非常困难, 所以信号处理的水平停留在一些只能进行简单信号处理的模拟方法上, 而且不能达到很高性能。计算机发明后, 数字信号处理方法得到了发展。但因为实时性和经济性还不能满足大多数应用领域, 因此, 数字信号处理方法并没有真正得到应用, 因而 20 世纪 60 年代之前, 数字信号处理技术发展极其缓慢。随着大规模集成电路(芯片)技术的发展和快速算法的出现, 数字信号处理进入了广泛的应用和实用阶段。主要表现在数字信号处理的实时性和经济性方面有了较大改进, 特别是著名的快速傅里叶变换 FFT(Fast Fourier Transform)的发明, 从此, 数字信号处理进入了一个崭新的高速发展阶段。目前, 数字信号处理仍是一个最有活力和发展最快的领域之一。

从数字信号处理的发展过程看, 它是紧紧围绕着“理论、实现和应用”3 个方面展开的, 它以众多学科为理论基础, 其成果也渗透到众多学科, 成为理论和实践并重、在高新技术领域占有重要地位的新兴学科。与模拟信号处理相比, 数字信号处理的突出优点主要体现在: 精度高、灵活性好、抗干扰能力强、体积小、造价低、功能强、速度快和适用范围广。

1. 精度高

DSP 系统的精度主要取决于数字器件的精度, 具体就是字长, 字长越长, 精度越高。众所周知, 计算机的高精度是依靠超字长的结构来保证的。在很多精密的处理和测量系

统中,必须采用数字信号处理技术,否则就无法达到所需的精度和性能要求。另外,有些性能 DSP 系统很容易实现,而使用模拟系统实现却相当困难,例如, FIR 数字滤波器可以实现准确的线性相位特性,这种特性用模拟系统实现比较复杂。

2. 灵活性好

用 DSP 系统完成一个信号处理功能时,可以通过软件方便地调整和改变系统的性能,控制整个系统的运行状态,体现了系统的可编程性。另外,可以在实验室对系统的参数进行硬件和软件仿真模拟,以估计整个系统的质量。

3. 可靠性高

DSP 系统大多是由 CPU、存储器和 I/O 接口器件等数字集成电路器件构成,受环境因素的影响相对模拟器件要小得多,可编程系统还可以采用许多抗干扰方法,大大提高了系统的可靠性。

4. 便于大规模集成

DSP 系统主要由中大规模集成电路等器件构成,便于大规模集成和生产,可大大降低生产成本,特别是在处理极低频率的信号时,体积重量不受影响,比模拟系统要优越许多。

5. 复用性强

利用一套 DSP 系统可以同时处理多路数字信号,因为数字信号的各采样点之间有一定的采样间隔,在这个间隔里可以同时处理几路信号。另外,在级联 DSP 系统中,为节省成本,可以使用一个低阶环节分时执行,来完成总系统的任务。这都属于一种时分复用的结构。图 1-2 是一个 DSP 系统时分复用的示意图。

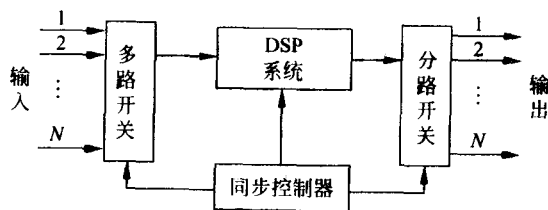


图 1-2 DSP 系统时分复用示意图

同步控制器通过多路开关控制各路信号,在时间上前后错开(利用采样间隔),依次进入 DSP 系统, DSP 在处理完第 1 路的某时刻值后,再处理第 2 路,处理完第 2 路后,再处理第 3 路,依此类推;同步控制器通过分路开关将处理结果分别送到各路输出,然后进行下一时刻的处理,在各路输入信号输入下一个值之前, DSP 系统已将当前时刻的各路信号处理完一次,并将结果送到各路输出,对每路信号来讲,都好像单独使用 DSP 系统一样。实现这种功能要依靠 DSP 系统中处理器的运算速度来保证,即在一个采样间隔里, DSP 系统必须完成每一路信号在当前时刻的处理任务。另外,有一种频分复用系统,利用信号在频谱上的差别来区分系统,它与前面的复用概念不同。

6. 多维处理

DSP 系统可以配备大容量的外部存储器,可以将多帧图像或多路传感器信号存储起来,实现二维或多维信号的处理,例如:激光影碟机、医用 CT 等图像处理设备就是依靠 DSP 系统完成了复杂图像编码、压缩和解码以及扫描成像等处理。

1.2 数字信号处理的应用

数字信号处理技术巨大的应用潜力吸引了众多学科的研究者,数字信号处理在众多领域的成功应用也极大地促进了其本身的发展,它已经成为应用最快、成效最为显著的学科之一。数字信号处理广泛用于通信、雷达、声纳、语言和图像处理、生物医学工程、仪器仪表、机械振动和控制等众多领域。近年来,随着 DSP 芯片技术的发展,DSP 在通信,特别是个人通信(Personal Communication)、网络、家电和外设控制等方面显示了强劲的应用势头。

一些文献^[2,3]将数字信号处理的应用归纳为 11 个大类,100 多个方面,下面仅列出一些典型的应用。

- (1) 通用 DSP:数字滤波、卷积、相关、希尔伯特变换、FFT、信号发生器等;
- (2) 语音:语音通信、语音编码、识别、合成、增强、文字—语音自动翻译等;
- (3) 图像图形:机器人视觉,图像传输/压缩,图像识别、增强和恢复、断层扫描成像等;
- (4) 控制:磁盘控制器、机器人控制、激光打印机、电机控制、卡尔曼滤波等;
- (5) 军事:雷达、保密通信、声纳、导航、导弹制导、传感器融合等;
- (6) 电讯/通信:回声对消、调制解调器、蜂窝电话、个人通信、视频会议、自适应均衡、编码/译码、GPS 等;
- (7) 汽车:自动驾驶控制、故障分析、导航、汽车音响等;
- (8) 消费:数字音响/电视、MP3 播放器、数码相机、音乐综合器等。

数字信号处理技术的应用,目前正以惊人的速度向前发展。随着数字器件的成本降低、体积缩小及运算速度的提高,特别是高速 A/D 器件和高速 DSP 芯片的广泛使用,使得它的应用前景更加广阔。目前,已经有多种专用数字滤波器芯片和 FFT 芯片可供选用,几乎所有的语音宽带压缩系统都采用了全数字化,数字信号处理机已成为现代化雷达和声纳系统不可缺少的组成部分。DSP 的应用和开发成本越来越低,开发手段也越来越先进和方便。

1.3 数字信号处理的研究内容

数字信号处理的研究内容在理论和应用上涉及的范围极其广泛,数学中的微积分、随机过程、数值分析、矩阵和复变函数等都是它的基本工具;线性系统理论、信号与系统等都

是它的理论基础;同时它和最优控制、通信理论以及人工智能、模式识别、神经网络等新兴学科有关联;在算法实现和 DSP 系统开发和应用中,要涉及到模拟电路、计算机及许多新兴集成电路芯片技术。

由于快速傅里叶变换(FFT)的诞生,数字信号处理在理论和应用方面得到了极大发展和丰富。数字信号处理的研究内容一般可以分为 3 大类:一维 DSP、多维 DSP 和 DSP 系统实现。一维 DSP 主要研究一维离散时间信号和系统,是数字信号处理最重要、最基本的研究内容,也是本书所讨论的主要内容。多维 DSP 主要研究二维图像、阵列传感器离散信号和系统,属较深的研究内容。DSP 系统实现主要研究前两类理论中的算法和系统(数字滤波器)的软件和硬件实现,包括系统结构、方案制定、芯片选择、软硬件开发等,主要面向 DSP 的应用领域。前两类研究内容属理论和算法,第 3 类研究内容属应用。

DSP 的理论主要包括:

- (1) 模拟信号的采样(A/D 变换、采样理论、量化噪声分析等);
- (2) 离散信号分析(时域及频域分析、傅里叶变换、Z 变换、希尔伯特变换等);
- (3) 离散系统分析与综合(离散系统描述、因果及稳定性、线性非时变系统、卷积、系统频率响应、系统函数、数字滤波器设计等);
- (4) 信号处理的快速算法(FFT、快速卷积与相关);
- (5) 信号处理的特殊算法(抽取、插值、奇异值分解、反卷积、投影与重建等)。

数字信号处理所研究的信号包括确定性信号、平稳和非平稳随机信号、时变和非时变信号、一维和多维信号、单通道和多通道信号,所研究的系统包括线性和非线性系统、时变和非时变系统、二维和多通道系统。对每一类信号和系统,上述理论又有所不同。

DSP 系统实现方法一般分为下面几种。

(1) 在通用计算机上用软件实现。软件采用高级语言编写,也可利用商品化的各种 DSP 软件(MATLAB、SYSTEMVIEW 等)。这种实现方法简单、灵活,但实时性较差,很少用于实时系统,主要用于教学或科研的前期研制阶段。

(2) 用普通单片微控制器(MCU)实现。单片机技术发展很快,功能越来越强,可以用来做一些简单信号处理,但不能用于复杂的信号处理,可以用于比较简单的控制场合,如小型嵌入系统、仪表等。

(3) 用通用 DSP 芯片实现。DSP 芯片有着 MCU 无法比拟的突出优点:内部硬件乘法器、流水线和多总线结构、专用 DSP 处理指令,具有很高的处理速度和复杂灵活的处理功能。

(4) 用专用 DSP 芯片实现。市场推出的一些有特殊用途的 DSP 芯片可专门用于 FFT、FIR 滤波、卷积和相关等处理,其软件算法已固化在芯片内部,使用非常方便。这种实现方式比通用 DSP 速度更高,但功能比较单一,灵活性不如通用 DSP 好。

目前世界上生产 DSP 芯片的主要厂家有:TI 公司(TMS320 系列)、AD 公司(ADSP210 系列)、Motorola 公司(DSP5600 系列),以及朗讯和 NEC 公司等。

TI 公司的 DSP 产品已经接近占到全球 DSP 市场份额 50%,在我国市场约占 70%。从目前的市场前景看,DSP 技术已经成为今后电子产业的一个主要市场。除了原有的军事应用领域外,它的一个新的主要推动力来自移动通信、Internet、硬盘和家电控制器(数码相机和机顶盒)等。