

21世纪高等学校电子信息工程型规划教材

数字信号处理—— 原理与实践

方 勇 编著

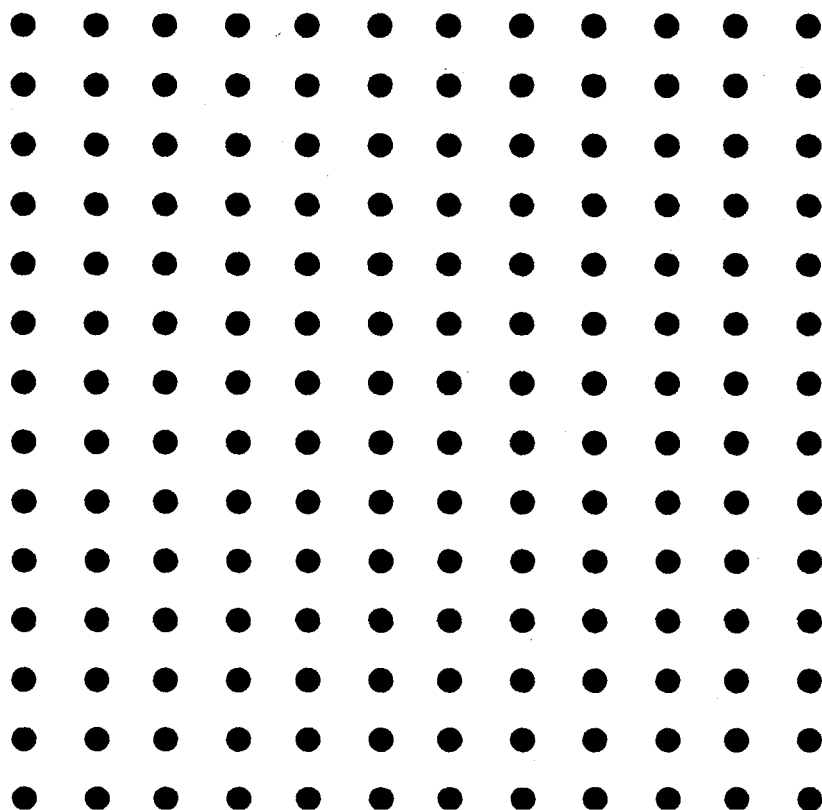


清华大学出版社

21世纪高等学校电子信息工程型规划教材

数字信号处理——原理与实践

方 勇 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书旨在改变传统的教学模式,在全面系统地介绍数字信号处理(DSP)的基本理论、基本方法的同时,强调实际应用。通过大量应用实例,帮助学生建立理论与实践之间的关系,并将MATLAB软件引入到教学中,理论教学与实验相结合,加强学生对基本知识的理解,培养学生应用理论解决实际问题的能力。

本书共分为5章,第1章介绍了数字信号与系统、数字信号处理的基本概念;第2章介绍了数字信号处理最基本的工具:傅里叶变换与分析;第3章介绍了数字滤波器的基本理论、设计方法;第4章简要介绍了现代数字信号处理的另一有效工具——小波变换及分析;第5章简述了数字信号处理硬件实现的特点和方法。教学中可有选择地安排课堂教学、实验教学及课后阅读内容。

本书可作为高等院校信息、通信、电子类专业本科生数字信号处理课程的教材,也可作为从事数字信号处理工作的工程技术人员的参考书。

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:原理与实践/方勇编著. —北京:清华大学出版社,2006.3

(21世纪高等学校电子信息工程型规划教材)

ISBN 7-302-12438-8

I. 数… II. 方… III. 数字信号-信号处理 IV. TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第005680号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客 户 服 务:010-62776969

责任编辑:魏江江

印 刷 者:北京国马印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:17.75 字数:435千字

版 次:2006年3月第1版 2006年3月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-12438-8/TP·7977

印 数:1~4000

定 价:24.00元

出版说明

随着我国高等教育规模的扩大和产业结构调整的进一步完善,社会对高层次应用型人才的需求将更加迫切。各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,合理调整和配置教育资源,在改革和改造传统学科专业的基础上,加强工程型和应用型学科专业建设,积极设置主要面向地方支柱产业、高新技术产业、服务业的工程型和应用型学科专业,积极为地方经济建设输送各类应用型人才。各高校加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的力度,从而实现传统学科专业向工程型和应用型学科专业的发展与转变。在发挥传统学科专业师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势的同时,不断更新其教学内容、改革课程体系,使工程型和应用型学科专业教育与经济建设相适应。

为了配合高校工程型和应用型学科专业的建设和发展,急需出版一批内容新、体系新、方法新、手段新的高水平电子信息类专业课程教材。目前,工程型和应用型学科专业电子信息类专业课程教材的建设工作仍滞后于教学改革的实践,如现有的电子信息类专业教材中有不少内容陈旧(依然用传统专业电子信息教材代替工程型和应用型学科专业教材),重理论、轻实践,不能满足新的教学计划、课程设置的需要;一些课程的教材可供选择的品种太少;一些基础课的教材虽然品种较多,但低水平重复严重;有些教材内容庞杂,书越编越厚;专业课教材、教学辅助教材及教学参考书短缺,等等,都不利于学生能力的提高和素质的培养。为此,在教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议下,清华大学出版社组织出版本系列教材,以满足工程型和应用型电子信息类专业课程教学的需要。本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点:

(1) 系列教材主要是电子信息学科基础课程教材,面向工程技术应用培养。本系列教材在内容上坚持基本理论适度,反映基本理论和原理的综合应用,强调工程实践和应用环节。电子信息学科历经了一个多世纪的发展,已经形成了一个完整、科学的理论体系,这些理论是这一领域技术发展的强大源泉,基于理论的技术创新、开发与应用显得更为重要。

(2) 系列教材体现了电子信息学科使用新的分析方法和手段解决工程实际问题。利用计算机强大功能和仿真设计软件,使得电子信息领域中大量复杂的理论计算、变换分析等变得快速简单。教材充分体现了利用计算机解决理论分析与解算实际工程电路的途径与方法。

(3) 系列教材体现了新技术、新器件的开发应用实践。电子信息产业中仪器、设备、产品都已使用高集成化的模块,且不仅仅由硬件来实现,而是大量使用软件和硬件相结合方法,使得产品性价比很高,如何使学生掌握这些先进的技术、创造性地开发应用新技术是本系列教材的一个重要特点。

(4) 以学生知识、能力、素质协调发展为宗旨,系列教材编写内容充分注意了学生创新

能力和实践能力的培养,加强了实验实践环节,各门课程均配有独立的实验课程和课程设计。

(5) 21 世纪是信息时代,学生获取知识可以是多种媒体形式和多种渠道的,而不再局限于课堂上,因而传授知识不再以教师为中心,以教材为惟一依托,而应该多为学生提供各类学习资料(如网络教材,CAI 课件,学习指导书等)。应创造一种新的学习环境(如讨论,自学,设计制作竞赛等),让学生成为学习主体。该系列教材以计算机、网络和实验室为载体,配有多种辅助学习资料,提高学生学习兴趣。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校电子信息工程型规划教材编委会

联系人: 魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前 言

本教材是为信息技术、通信工程、电子工程以及其他相关专业的本科生学习数字信号处理课程而编写的。

目前,数字信号处理技术已经渗透到几乎所有的工程领域,如电子、通信、信息、生物医学工程、雷达、控制以及金融、证券等领域。近40年来数字信号处理理论与技术飞速发展,已经形成了一门具有广泛应用前景的学科,凡从事电子、通信、信息以及相关领域的工作人员都必须学习和掌握数字信号处理的理论和方法。本教材以现代信号处理技术的应用为背景,突出数字信号分析与处理系统的基本原理和应用方法,全面系统地介绍了数字信号处理的基础概念,时域离散信号与系统的理论与分析方法,傅里叶变换与分析,数字滤波器的设计与实现,数字信号处理软硬件的实现;同时也引入了现代信号处理重要的工具——小波变换与分析,为读者掌握数字信号处理的理论及应用打下坚实的基础。

本教材将基础理论与实际应用紧密结合,通过大量的应用实例,让读者在学习基础理论的同时,掌握数字信号处理技术的应用。本教材不强调严密的数学理论,在算法设计方面并未给出详细的数学证明,有需要的学生可参阅其他书籍。本教材用较大的篇幅介绍了一些基本原理在实际问题中的应用方法,教师可讲解其中的一部分,其余大多数应用例子可供学生自行阅读,以加深学生对基本概念的理解,提高学习兴趣,扩大知识面。

本教材另一特色是改变了传统的、单一的理论教学模式,将近几年国际流行的科学计算MATLAB软件引入到数字信号处理的教学中。MATLAB软件功能日益增强,为数字信号处理提供了图形可视化计算手段,形象生动地揭示了算法设计及实现流程。通过MATLAB进行计算机仿真,能有效地提高数字信号处理课程的教学效果。本教材配有大量的实验源程序。通过理论教学与实验相结合,使读者快速、直观地掌握数字信号处理的基础理论及分析方法,从而全面提高解决实际问题的综合能力。

本教材前3章为本课程教学的基本内容,除课堂教学外,可安排一定时数的实验课程,MATLAB软件的仿真实验在数字信号处理教学中至关重要;本教材后2章可作为扩展内容。前三章配有大量的习题,既有针对理论、概念的计算与证明题,又有上机实验题。学生只有通过大量的练习,才能掌握这门课程的基本方法。

应该指出,本教材虽然提供了大量实际应用例子,但所提供的解决方案并非是最优的。随着数字信号处理技术的发展,新技术、新算法不断涌现,我们编写本教材的目的只是给读者提供一个应用本教材介绍的一些基本理论来解决实际问题的框架,大量的实际应用问题还有待于在专门领域中做进一步探讨。因此,建议读者结合所学内容广泛阅读相关文献。

本书由方勇主编。参加编写工作的还有曹文佳、张瑾、刘燕华、刘盛鹏,他们整理了大量

资料,对编写工作提出了有益的建议,并对书稿进行了校对。吴美武编写了 MATLAB 仿真实验,并对程序进行了调试。

本教材还得到上海大学教材建设基金资助,在此一并表示感谢。

因作者水平有限,书中错误和不当之处在所难免,敬请读者不吝指正。

作者 E-mail:yfang@staff.shu.edu.cn

编者

2006 年 2 月

目 录

第 1 章 数字信号处理基本概念	1
1.1 概述	2
1.1.1 数字信号与数字信号处理	2
1.1.2 数字信号处理的实现方法	3
1.1.3 数字信号处理的特点	4
1.1.4 数字信号处理的应用	6
1.2 数字信号—序列	7
1.2.1 模拟信号的数字处理方法	7
1.2.2 序列的运算	14
1.2.3 常见的典型序列	18
1.2.4 二维数字信号	22
1.3 时域离散系统	22
1.3.1 离散时间线性时不变系统	23
1.3.2 线性时不变系统的时域求解	25
1.4 Z 变换	28
1.4.1 Z 变换的定义	28
1.4.2 Z 变换的收敛域	28
1.4.3 逆 Z 变换	31
1.4.4 Z 变换的性质	35
1.4.5 利用 Z 变换求系统的解	38
1.5 系统的因果性、稳定性与频率响应特性	41
1.5.1 因果性	41
1.5.2 稳定性	41
1.5.3 频率响应特性	43
1.6 数字滤波系统的基本网络结构	48
1.6.1 用信号流图表示系统的网络结构	48
1.6.2 IIR 系统的基本网络结构	50
1.6.3 FIR 系统的基本网络结构	54
1.6.4 线性相位 FIR 滤波器零点分布特点	57

第 2 章 信号的傅里叶变换与分析	64
2.1 离散时间序列傅里叶变换(DTFT)	65
2.1.1 DTFT 的定义	65
2.1.2 DTFT 的性质	69
2.2 周期序列的离散傅里叶级数及傅里叶变换表示式	78
2.2.1 离散傅里叶级数	78
2.2.2 傅里叶变换表示式	80
2.2.3 时域离散信号的傅里叶变换与模拟信号傅里叶变换的关系	83
2.3 有限长序列离散傅里叶变换	85
2.3.1 离散傅里叶变换(DFT)的定义	86
2.3.2 DFT 与 Z 变换的关系	89
2.3.3 DFT 的隐含周期性	90
2.3.4 DFT 的性质	92
2.4 频率采样定理	108
2.5 快速傅里叶变换(FFT)	112
2.5.1 FFT 的基本思想	112
2.5.2 时域抽取法基 2FFT 的基本原理	113
2.5.3 频域抽取法基 2FFT 的基本原理	116
2.5.4 IDFT 的高效算法	119
2.5.5 大点数 FFT 算法的快速并行实现	119
2.6 DFT 的应用	120
2.6.1 计算线性卷积	120
2.6.2 信号的谱分析	124
2.6.3 实际应用举例	134
第 3 章 数字滤波器设计	148
3.1 基本概念	149
3.1.1 频率选择性滤波器	151
3.1.2 滤波器的技术指标	152
3.1.3 数字滤波器的设计方法	153
3.2 IIR 型滤波器的设计	154
3.2.1 模拟低通滤波器	154
3.2.2 巴特沃斯低通滤波器设计	155
3.2.3 模拟滤波器的频率转换——模拟高通、带通及带阻滤波器的设计	163
3.2.4 模拟与数字滤波器的转换方法	170
3.3 FIR 型滤波器的设计	184
3.3.1 线性相位 FIR 滤波器及其特点	184
3.3.2 利用窗函数法设计 FIR 滤波器	184

3.3.3	利用频率采样法设计 FIR 滤波器	202
3.3.4	FIR 滤波器的最优等波纹设计法	212
3.4	有限字长效应	214
3.4.1	数的表示方法对量化的影响	215
3.4.2	A/D 转换的量化效应	217
3.4.3	数字滤波器的有限字长效应	218
3.4.4	FFT 运算中的有限字长效应	225
第 4 章	信号的小波变换与分析	233
4.1	小波变换(WT)	234
4.1.1	小波的基本概念	234
4.1.2	小波分析	236
4.1.3	小波分析与傅里叶分析的区别	238
4.2	连续小波变换	241
4.2.1	连续小波变换的定义	241
4.2.2	连续小波变换的性质	242
4.2.3	几种常用信号的连续小波变换	243
4.2.4	连续小波变换的应用举例	245
4.3	离散小波变换与多分辨率分析	246
4.3.1	离散小波变换与多分辨率分析的基本概念	246
4.3.2	快速离散小波变换的塔形算法	247
4.4	离散小波变换的应用	250
4.4.1	数据压缩	250
4.4.2	信号消噪	254
第 5 章	数字信号处理器	259
5.1	引言	260
5.2	数字信号处理器的特点	260
5.2.1	功能特点	260
5.2.2	结构特点	261
5.2.3	典型的数字信号处理器	263
5.3	DSP 选型	265
5.4	DSP 系统开发	265
5.4.1	DSP 应用系统组成	266
5.4.2	DSP 应用系统的开发流程	266
5.5	TMS320 数字信号处理器家族简介	268
参考文献		269

第1章

数字信号处理基本概念

主要内容

- 数字信号与数字信号处理的基本概念
- 时域离散系统及特性
- Z 变换与性质
- 数字滤波系统的基本网络结构

1.1 概述

1.1.1 数字信号与数字信号处理

信号处理技术已经涉及到几乎所有工程技术领域。信号处理的目的是对被观测到的信号进行分析、变换、综合、估计和识别等,使之容易为人们所使用,如语音识别、语音合成、图像压缩、地震波分析及高清晰度电视等。信号有不同的表现形式,如电、磁、热、光、声等,这里所指的信号一般为电信号,许多其他类型的信号可转换为电信号进行处理,如声音信号可通过麦克风将声信号转变为电信号,数字照相机将物体光信号产生的电荷包转变为二维栅上的电信号。

若一个信号在任意时刻都有值,且可取连续值范围内的任意值,即它的时间变量是连续的,则称该信号为连续时间信号,俗称模拟信号,如正弦信号 $x_a(t) = \sin(\Omega_0 t)$ 、声音信号及图像信号等,如图 1.1.1 所示。然而,模拟信号在任意时刻取值,不适合于计算机处理。

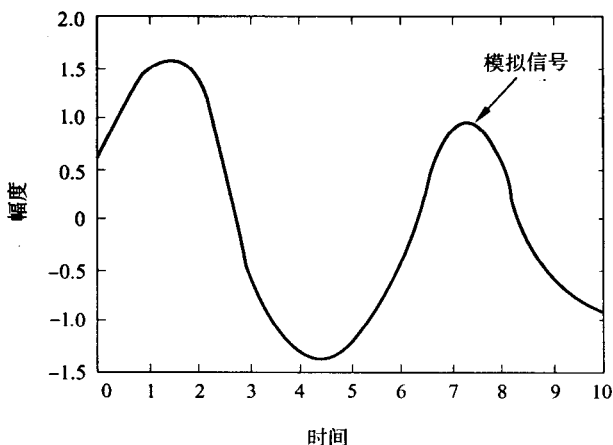


图 1.1.1 模拟信号实例

一个信号的时间变量是离散的,即它只在有限的时间点上取值,就称该信号为离散时间信号。例如, $x(n) = \{0.25, 1.3, 0.5, -0.5, -1, -0.48, \dots\}$, 其中 0.25 表示处在零位置的信号取值为 0.25, $x(n)$ 如图 1.1.2 所示。经过量化、编码后的离散时间信号就称为数字信号,而广义的数字信号还包括许多更为一般的自然离散序列,如人口统计数据、金融股票的交易、每日的气象数据等。数字信号非常适合于计算机处理,是数字信号处理研究的主要对象。通常,模拟信号处理由一些模拟元器件如晶体管、电阻、电容、电感来实现,而数字信号处理(DSP)则是用数值计算的方法来实现,这里“处理”的实质是“运算”。如果系统增加了 A/D(模/数)转换器和 D/A(数/模)转换器,数字信号处理系统就可以处理模拟信号了,模拟信号处理系统也可以处理数字信号。图 1.1.3 反映了模拟信号的数字信号处理过程。

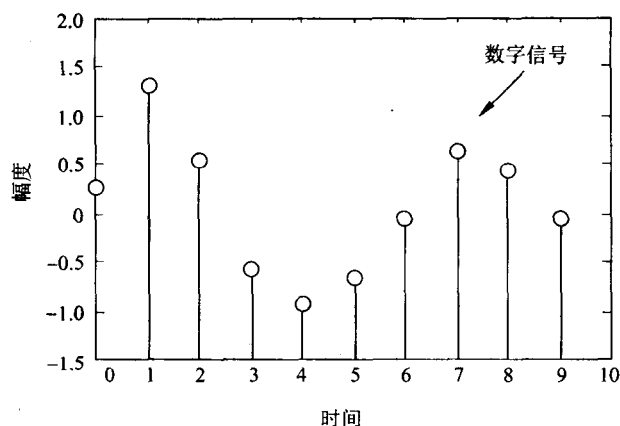


图 1.1.2 数字信号实例

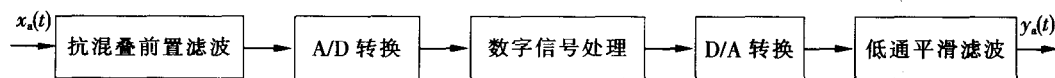


图 1.1.3 模拟信号数字处理框图

1.1.2 数字信号处理的实现方法

我们研究数字信号处理的最终目的是能够将已经开发好的算法付诸于生活、实践以及科学研究之中。通常这种算法应用的方式主要有两种,即软件实现和硬件实现,它们各自有着不同的应用环境。

所谓软件实现主要是指在通用的计算机上调用一些通用的软件包或者是自己编程来实现某些数字信号处理算法。这种方式的速度较慢,一般不能够做到实时处理。因此这种方式多用于教学、科学研究和一些非实时处理场合,如产品开发前期的某种算法的研究及理论仿真,金融、证券交易数据分析与预测等。目前,有关信号处理的最强大的软件工具是 MATLAB 相关软件包。

MATLAB 软件包是当今世界一流专家、学者智慧的结晶。其中与数字信号处理有关的工具箱主要包括:

- (1) Signal Processing Toolbox(信号处理工具箱);
- (2) Filter Design Toolbox(滤波器设计工具箱);
- (3) Wavelet Toolbox(小波工具箱);
- (4) Image Processing Toolbox(图像处理工具箱);
- (5) High-Order Spectral Analysis Toolbox(高阶谱分析工具箱);
- (6) Communication Toolbox(通信工具箱)。

MATLAB 给使用者提供了一个强大的数值计算环境和科学数据可视化软件平台,绝大多数数字信号处理算法都可以很方便地在该环境下得到理论验证与仿真。

而数字信号处理算法的另一种实现方法则是基于特定的硬件,其应用非常灵活,当算法复杂度较低和处理器件处理速度较高时能实现实时处理。大多数的硬件实现是采用通用或

者是专用 DSP 芯片以及某些单片机,通过构成满足数字信号处理任务要求的目标硬件系统来完成的。在这些工作速度要求不太高的场合,DSP 芯片有着非常突出的优点,如内部带有乘法器、累加器(大多数信号处理算法的乘法、累加运算 MAC 都是非常密集的),采用流水线工作方式及并行结构,高总线,速度快,内部配有适合信号处理的指令等。

目前市场上的 DSP 芯片以 TI 公司的 TMS320 系列为主,主要包括 C2000、C5000 和 C6000 系列。TMS320C648 是 TI 公司最高性能的 DSP 芯片,其时钟频率可达 600MHz,运算能力可达 4800MIPS。

随着移动通信多媒体业务、软件无线电和军用雷达系统的迅猛发展,出现了许多高带宽的信号处理应用领域,而现场可编程门阵列(FPGA)技术可以通过一个芯片上的多级 MAC 单元来提供更多的带宽,基于多速率信号处理系统和滤波器组的高带宽系统在某些优秀的硬件实现算法(如 CORDIC)的推动下可能会更多地被 FPGA 所主宰。现在的可编程片上系统(SOPC)信号处理系统往往还集成有许多优秀的 IP 核,给从事信号处理研究的工作者带来了极大的方便。

1.1.3 数字信号处理的特点

模拟信号处理最主要的缺点是难以处理比较复杂的信号,与之相比,数字信号处理有许多明显的优越性。主要包括:

(1) 灵活性。

当模拟系统的功能与性能发生变化时,必须重新进行系统设计,至少需要改变系统中的某些器件或参数,然后再重新进行装配和调试。对于数字信号处理系统而言,则可灵活地通过修改系统中的软件来调整系统参数,从而实现不同的信号处理任务。近年来得到迅猛发展和应用的虚拟仪器技术,也是在以高性能 DSP 处理器技术为核心的硬件平台上,用不同的软件来实现,用传统的仪器(如示波器、频谱仪等)来完成分析测试任务。

(2) 高精度、高稳定性和高性能指标。

数字系统只有“0”和“1”两个信号,受温度和周围噪声的影响比模拟系统要小得多。数字系统的计算精度可以随运算位数的增加而得到显著的改善,并且还可以通过特殊的数字信号处理算法来获得高性能指标,如模拟频谱仪低频一般只能达到 10Hz 的频率分辨率,而借助于 Zoom-FFT 的数字频谱分析仪则可达到 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ Hz,数字频率合成器较强的离散波纹抑制性能也大大超过模拟频率合成器。

(3) 可重复再生性好。

数字系统本身就具有较好的可重复性,这一点在数字中继通信中具有模拟系统所不可比拟的优势。迅速发展的各种数字纠错编解码技术,能够在极为复杂的噪声环境中,甚至在信号完全被噪声淹没的情况下,正确识别和恢复原有的信号。

(4) 强大的非线性信号处理能力。

借助于神经网络,目前盲信号处理和各种各样的自适应算法数字信号处理已经具有极为强大的非线性信号处理能力,同时,这也是目前数字信号处理技术发展的主流方向之一。

(5) 便于大规模集成。

DSP 处理器体积小、功能强、功耗小、性能价格比高,从而得到迅速的发展和广泛的应用。

(6) 对数字信号可以存储、运算,系统可获得高性能指标,且能进行多维处理。

这一优点使数字信号处理不再仅仅限于对模拟系统的逼近,它可以完成许多模拟系统完不成的任务。利用庞大的存储单元,存储数帧图像信号,实现多维信号的处理。例如,电视系统中的画中画、多画面、各种视频特技,包括画面压缩、画面放大、画面坐标旋转、演员特技制作、特殊的配音制作、数字滤波器严格的线性相位特性,甚至非因果系统可通过延时实现等。

尽管如此,数字信号处理也不可避免地存在着不足之处,主要是其处理速度还不够高,不能处理很高频率的信号,一般只能限于几十兆赫以下的信号;其次是算法复杂、运算量大的数字信号处理系统的硬件设计和结构比较复杂,价格比较昂贵。

尽管数字信号处理有诸多优势,但从根本上来说,模拟信号处理还不能完全被数字信号处理系统代替,主要因为以下两点:

(1) 模拟信号处理从根本上来说是实时的。

尽管以 DSP、FPGA 为代表的数字信号处理系统的系统处理速度在很快地提高,但总是在很多情况下不能达到实时的要求。以常规雷达系统为例,常规雷达一般工作在 2~18GHz,目前 ADC 工作速率大约局限在 1GHz。尽管经过分频段扫描处理,目前其瞬时工作带宽也仅仅能达到 1GHz 左右。

(2) 射频(RF)信号的处理要由模拟系统来完成。

国际上一般将 1965 年快速傅里叶变换(FFT)的问世作为数字信号处理这一学科的开始,在接下来的 40 年时间里,随着微电子学科的发展和数字器件运算速度的飞速提高以及人们对生活、实践、科学研究的需要,大量的新算法理论和技术层出不穷。这一学科目前主要的研究领域包括:

- ① 信号的采集(A/D 转换技术、采样定理、多速率信号处理、 Σ - Δ 理论,非等间隔采样等);
- ② 离散信号与系统的分析(时域和频域分析、各种变换、信号特征的描述、系统的频率性能等);
- ③ 信号处理中的快速算法及其实现(FFT、快速卷积与相关、DCT、DWT、数论变换、CORDIC 算法等);
- ④ 信号的估值(各种估值理论、相关函数与功率谱估计);
- ⑤ 滤波器技术(各种滤波器的设计与实现,PR 滤波器组设计及其应用等);
- ⑥ 信号的建模(最常用的包括 AR、MA、ARMA、PROM 等模型);
- ⑦ 信号处理中的特殊算法(如滤波器的裂相,信号的抽取、插值,奇异值分解 SVD,反卷积,基于幅度谱和相位谱的信号重构技术等);
- ⑧ 通信信号处理(信号的设计、信道检测与估计、信道均衡、OFDM、MIMO、数字复用与分集技术、智能天线、数字波束形成 DBF 等);
- ⑨ 非线性信号处理(盲信号处理、神经网络、混沌动力系统、RLS、LMS 算法等);
- ⑩ 时间序列分析(统计、分析和预测等);
- ⑪ 信号处理技术的实现和应用。

信号处理的理论与算法密不可分。要想将一个好的算法成功地应用于工程实际,离不开相应数字信号处理理论的支持。例如,如果考虑一个高效算法的并行实现,则严格的算法分析理论是不可或缺的。

1.1.4 数字信号处理的应用

信号的数字化处理包括两个步骤：一个是信号在时间上的离散化，即采样；另一个是幅度上的离散化，即分层。数字化之后的信号，将全部变为 0、1 序列，这就使得信息的采集、存储、传输、复制、加工异常方便。所以信号的数字化处理推动了各应用领域的发展，并成为这些领域的最重要的技术支撑。反过来，各应用领域对数字信号处理的新要求又促使信号处理理论与技术的发展，包括分层的压扩技术、采样和抽取技术、数字滤波理论、快速傅里叶变换、数字图像处理、模式识别、专家系统、宽带通信网络、多媒体技术等。

数字信号处理的理论与技术已日趋成熟，数字信号处理的应用领域几乎涵盖了国民经济和国防建设的所有领域，包括雷达、航天、声呐、通信、海洋高技术、微电子、计算机、人工智能、消费电子等，如按键电话、图像边缘检测、数字信号及图像滤波、地震波分析、文字识别、语音识别、磁共振成像(MRI)扫描、音乐合成、条形码阅读器、声呐处理、卫星图像分析、数字测绘、蜂窝电话、数字摄像机、麻醉剂及爆炸物检测、语音合成、回波抵消、耳蜗移植、抗锁制动、信号及图像压缩、降噪、压扩、高清晰度电视、数字音频、加密、电动机控制、远程医疗监护、智能设备、家庭保安、高速调制解调器等。

DSP 在许多领域都有惊人的应用，并且应用的数量与日俱增。这些应用的共同之处就是它们主要由软件来确定，即由特定硬件平台上运行的一系列程序指令来确定。换句话说，同样的 DSP 硬件可以适用于多种不同的应用。其中最常用的包括对一维信号(语音或音乐)的处理以及对二维信号(图像)的处理。

利用数字语音信号中的信息可以识别连续语音中的大量词汇。通常，语音识别方法基于语音的频谱分析。尽管这种分析很费时，但快速 DSP 硬件可以实现实时识别。语音识别使用的人越多，声音变化越大，工作就越困难。较长的词汇也会使得单词间的辨认更困难。这几年来，语音单词的辨认技术已经应用于查号系统。单词辨认技术通过寻找连续语音中的号码和简单单词，然后整理出所请求的基本信息。用于无线电控制的自动语音识别系统可以使喷气式飞机驾驶舱内实现无手动的无线电操作。类似的技术也可以使驾车时实现非手动手持式移动电话机(即手机)操作。为语音合成器研制的人声模型已经应用于基于 DSP 的助听器中，这种助听器可以对一个人的具体听力缺陷予以精确的补偿。

DSP 在音乐和其他声音处理方面也有很大的贡献。对旧的音乐录音带可以进行清洗，去除背景中的噪声。同样，真实的录音与数学模型相结合可以对许多乐器进行高质量的合成。一些特殊的 DSP 合成技术，为电影的重新创作开辟了广阔的空间。DSP 也可以用于基于动物声音的研究。

将 DSP 应用于图像处理可以制作出奇异的效果。图像可以被任意组合、剪辑、拼贴等。可以通过从一个均量中的一幅图像减去另一幅图像来实现运动检测，突出两幅图像不同的部分。一幅图像可以修改其色彩，改善对比度。同一物体的几幅图像可以用来合成该物体的三维图像，这种技术已经应用于医疗图像处理中。而视觉检测和机器人视觉系统则是通过目标边缘检测与高级的模式识别相结合来完成对目标的自动识别。

DSP 在通信领域中有重要的作用，尤其在蜂窝电话、数字调制解调器和视频音频传输技术这些方面。数字蜂窝电话中，DSP 主要完成两方面的任务：在保证话音可以识别的基

础上,对语音进行尽可能的压缩编码;在无线传输中可靠地传输该编码的语音。语音编码算法将语音数据对应为仅需少数参数的语音模型。传输时只传输这些参数而不是语音信号本身,接收端再将这些参数用于相同的模型而获得原语音信号的再现。该编码算法的应用使得单个呼叫所需的传输量大为减少,提高了蜂窝电话网的效率。

数字电视无疑是当前业界最热门的话题,关于新一代电视将以何种面貌出现,众说纷纭。从发展历史来看,电视作为最传统的消费类产品,自发明并投入商用至今已有几十年,虽然技术上不断地改进(现在电视的视频和音频质量都有很大的提高),但实质上仍然普遍使用的是模拟技术。数字化将是电视技术一次最实质的飞跃,因此,所谓新一代电视将是多种数字技术应用的产物,其中数字信号处理技术将是极其关键的核心技术。

新一代电视的核心与其说是一个数字解码器,不如说是一个更强的数字媒体处理器。设计人员首先面临两种选择,是采用固定的专用芯片(ASIC),还是可编程芯片。由于目前不少技术标准尚未确定,即便是已确定的标准仍存在较大的改进和完善空间,因此没有任何一家公司可以提供真正完全满足需要的数字电视芯片。在目前阶段下,可编程芯片便成为数字电视开发的一种有效的选择,而这里又存在是选择硬件可编程的FPGA,还是软件可编程的高速DSP的问题。虽然FPGA比较适于早期研发工作,但往往不适宜产品化,一般需要再转为ASIC,这不仅需要增加开发周期,而且DSP平台升级和改进需要重复进行;而利用可编程DSP方案,设计人员可以获得最好的灵活性,开发工作可以基于DSP平台通过软件编程实现,并可尽可能地满足任何公司或任何技术委员会提出的、功能强大的新型数字电视系统的需要,加速产品上市时间。即便在数字电视最初标准发布之后,很可能还需要添加或改进某些功能。另外,DSP平台的升级对软件系统均是兼容的,所以已开发的软件具有最大的再用性。例如,DSP可以在被广泛接受的MPEG2的基础上添加MPEG4功能,或在MPEG2音频之外添加任何其他多声道音频或更强的功能。采用可编程DSP的数字电视系统,从系统架构角度来看最令人满意,从处理能力来看也值得信赖。

DSP以其极高的处理能力、灵活的可编程性,以及强大的可扩展性,将会发挥越来越重要的作用。

数字信号处理涉及的内容非常丰富和广泛,作为专业基础课,本书主要学习其基本理论和基本分析方法。

1.2 数字信号一序列

所有数字信号处理系统的输入均为数字信号。现实世界存在的信号如语音信号、图像信号等大多是模拟信号,但经过采样、量化及编码后可形成数字信号,这一过程可以由模数转换器(A/D)来完成。经过数字信号处理后可通过数/模转换器(D/A)再还原为模拟信号。

1.2.1 模拟信号的数字处理方法

要对模拟信号进行数字处理,首先必须对信号进行采样。如何对模拟信号采样,使得采样后的信号还保持原有的信息,能够还原出原信号是人们所关心的。数字信号处理的重要