

高等学校教材

数字信号处理

何方白 张德民 阳 莉 李 强 刘焕淋



高等教育出版社
Higher Education Press

高等学校教材

数字信号处理

何方白 张德民 阳 莉 李 强 刘焕淋



高等教育出版社
Higher Education Press

内容简介

本书系统地论述了数字信号处理的基本理论、基本技术和应用,着重讨论离散时间信号基本的分析和处理方法。全书共九章,第一、二、三、四章介绍离散时间信号与系统的基本理论及分析方法,同时密切联系数字信号处理中的一些具体问题展开讨论,包括离散时间信号与系统,序列的傅里叶变换、 z 变换、离散傅里叶变换及其快速计算方法,离散傅里叶变换的一些重要应用。第五、六、七章介绍数字滤波器的基本理论、设计方法及滤波器的运算结构。第八章主要介绍了数字信号处理在通信中的应用,以给读者一些启发和思考,期望对专业课的学习和实际的工作有所帮助。第九章介绍了本书的上机实验,并简要介绍了MATLAB编程及实验中常用的函数,以便读者参考。本书条理清楚,叙述深入浅出,并有丰富的例题和大量习题,便于学习和理解。

本书可作为高等学校电气信息类专业数字信号处理课程的教材,也可作为相关专业的研究生及相关学科领域的科技人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理 / 何方白等. —北京: 高等教育出版社, 2009.2

ISBN 978-7-04-025746-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 207542 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京宏伟双华印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2009 年 2 月第 1 版
印 张	27.75	印 次	2009 年 2 月第 1 次印刷
字 数	520 000	定 价	35.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25746-00

前言

数字信号处理是高等院校电气信息类各专业的一门重要的技术基础课程。随着计算机和大规模集成电路技术的快速发展,数字信号处理技术已在各种科学技术领域得到了广泛的应用,数字信号处理课程也越来越受到有关专业师生的重视。该课程的理论性和实践性都很强,其理论不断发展,应用十分广泛。数字信号处理技术本身在设计思想、算法、仿真与设计工具、硬件结构等方面也在不断更新发展。为了适应数字信号处理课程的特点,本教材既重视基本理论,也重视基本技术和应用,内容主要围绕信号的频谱分析及数字滤波两个重要的方面展开,突出信号分析、系统分析的地位,强调处理系统的设计与应用。为了让学生能加深对基本概念、基本技术和基本方法的理解,编者根据多年从事数字信号处理的教學和研究心得,对教材的重点和难点部分进行了深入浅出的分析,并配有丰富的例题和大量的习题,便于学生学习和练习。本书增加了数字信号处理在信息通信中的应用,并结合实验内容使学生增强对数字信号处理理论及技术的实际认识,力求使学生通过本教材的学习能用数字处理的方法对实际信号进行分析和处理。

全书共九章,第一、二章简要介绍了离散时间信号与系统,同时密切联系数字信号处理中的一些具体问题展开讨论。第三、四章介绍离散傅里叶变换及其快速计算方法,以及 DFT 的一些重要应用。第五、六、七章介绍数字滤波器的基本理论、设计方法及滤波器的运算结构。第八章主要介绍了数字信号处理在通信中的应用,以给读者一些启发和思考,期望对专业课的学习和实际的工作有所帮助。第九章介绍了本书的上机实验,并简要介绍了 MATLAB 编程及实验中常用的函数,以便读者参考。

本书的编写,力求做到知识的系统性、内容的完整性、编排的科学性和较好的可读性。本书内容丰富,同时也涉及一些较为深入和宽泛的知识,可作为电气信息类各专业数字信号处理课程的教材,也可作为研究生及相关学科领域的科技人员的参考书。

本书由阳莉编写第一、二章,张德民编写第八章,李强编写第九章,其他部分由何方白编写,刘焕淋和肖欢畅参与了第六、七章的编写工作。何方白担任主编,负责全书的统稿、修改和校定。肖欢畅、杨抗、康小军和杜婷在文字和图形的处理方面做了许多工作,在此表示诚挚的感谢。

II // // // 前 言

重庆大学金吉成教授对本书进行了仔细审阅并提出宝贵的修改意见，在此致以衷心的感谢。

此外，还要对本书参考文献的作者表示谢意。

由于编者水平有限，书中可能存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2009.1

目 录

绪论	1
第一章 离散时间信号与系统	7
1.1 离散时间信号——序列	7
1.1.1 几种常用序列	8
1.1.2 序列的基本运算	10
1.1.3 序列的周期性	13
1.1.4 序列的能量	15
1.2 线性时(移)不变系统	15
1.2.1 线性系统	15
1.2.2 时不变系统	15
1.2.3 线性时不变系统输入输出的关系	16
1.2.4 系统的因果性和稳定性	17
1.3 线性时不变系统的输入输出描述法——线性常系数差分方程	19
1.3.1 线性常系数差分方程	19
1.3.2 线性常系数差分方程的求解	20
1.4 连续时间信号的采样	21
1.4.1 理想采样	22
1.4.2 实际采样	28
1.4.3 正弦信号的采样	29
习题	31
第二章 离散时间信号与系统的频域分析	34
2.1 序列的傅里叶变换	34
2.1.1 序列傅里叶变换的定义	34
2.1.2 序列傅里叶变换的性质	36
2.2 z 变换	40
2.2.1 z 变换的定义	40
2.2.2 z 变换的收敛域	40
2.2.3 几种序列 z 变换的收敛域	41
2.3 z 逆变换	45

2.3.1	幂级数展开法(长除法)	45
2.3.2	部分分式法	46
2.3.3	围线积分法	47
2.4	z 变换的基本性质与定理	49
2.5	序列的 z 变换与连续信号的拉普拉斯变换、傅里叶变换的关系	53
2.6	离散系统的系统函数与频率响应	57
2.6.1	系统函数的定义	57
2.6.2	系统函数的收敛域	57
2.6.3	系统函数与差分方程的关系	58
2.6.4	系统的频率响应	58
2.7	全通系统与最小相位系统	61
2.7.1	全通系统	61
2.7.2	最小相位系统	64
	习题	65
第三章	离散傅里叶变换	67
3.1	几种傅里叶变换的形式	67
3.1.1	连续时间非周期信号的傅里叶变换	68
3.1.2	连续时间周期信号的傅里叶变换	68
3.1.3	离散时间非周期信号的傅里叶变换——序列的傅里叶变换	69
3.1.4	离散时间周期信号的傅里叶变换	70
3.2	周期序列的离散傅里叶级数	72
3.2.1	离散傅里叶级数的获得	72
3.2.2	频域采样理论	77
3.2.3	离散傅里叶级数的性质	80
3.3	离散傅里叶变换(DFT)——有限长序列的离散频域表示	83
3.3.1	从离散傅里叶级数到离散傅里叶变换	83
3.3.2	有限长序列的 DFT 与 z 变换, 傅里叶变换的关系	86
3.3.3	由序列的 DFT 表达其 z 变换及傅里叶变换	87
3.3.4	补零 DFT	90
3.4	离散傅里叶变换的性质	93
3.4.1	线性	93
3.4.2	循环移位	93
3.4.3	循环卷积	95

3.4.4 对称性	100
3.4.5 DFT 形式下的帕塞瓦尔 (Parseval) 定理	105
3.4.6 循环相关	105
3.5 有限长序列的循环卷积与线性卷积的关系	108
习题	112
第四章 离散傅里叶变换的计算与应用	119
4.1 离散傅里叶变换的高效计算思路	119
4.2 按时间抽取 (DIT) 的基-2 FFT 算法	121
4.2.1 算法原理	121
4.2.2 DIT-FFT 算法的运算量	127
4.2.3 按时间抽取的基-2 FFT 算法的运算特点及编程思想 ...	129
4.2.4 按时间抽取的基-2 FFT 算法的其他形式流图	135
4.3 按频率抽取 (DIF) 的基-2 FFT 算法	137
4.3.1 算法原理	137
4.3.2 DIF-FFT 算法特点及与 DIT-FFT 算法的异同	141
4.3.3 按频率抽取法与按时间抽取法运算流图的关系	142
4.4 离散傅里叶逆变换 (IDFT) 的快速计算方法	144
4.5 N 为复合数的 FFT 算法	146
4.6 分裂基 FFT 算法	152
4.6.1 按频率抽取的基-4 FFT 算法	152
4.6.2 分裂基 FFT 算法的原理	155
4.6.3 分裂基 FFT 算法的运算量	161
4.7 线性调频 z 变换 (Chirp- z 变换) 算法	162
4.7.1 算法原理	163
4.7.2 线性调频 z 变换的实现	165
4.8 实序列的 FFT 算法	168
4.8.1 利用一次 N 点复序列的 FFT 计算两个 N 点实 序列的 FFT	168
4.8.2 利用一次 N 点复序列的 FFT 计算 $2N$ 点实序列的 FFT ...	169
4.9 用 DFT 的快速算法 (FFT) 实现线性卷积及线性相关	169
4.9.1 用 DFT (FFT) 实现线性卷积	170
4.9.2 分段卷积	171
4.9.3 快速相关	175
4.10 用 DFT 的快速算法 (FFT) 对信号进行频谱分析	176
4.10.1 用 DFT (FFT) 对连续时间非周期信号进行频谱分析 ...	176

4.10.2 用 DFT (FFT) 对连续时间信号进行频谱分析时的 几个问题	179
习题	185
第五章 无限长单位脉冲响应 (IIR) 数字滤波器的设计	188
5.1 数字滤波器的基本概念	188
5.1.1 数字滤波原理	189
5.1.2 数字滤波器的分类	190
5.1.3 数字滤波器的技术要求	191
5.1.4 数字滤波器的设计概述	194
5.2 模拟滤波器的设计	197
5.2.1 模拟低通滤波器的技术指标及逼近方法	197
5.2.2 巴特沃思低通滤波器	199
5.2.3 切比雪夫低通滤波器	208
5.2.4 模拟滤波器的频率变换——模拟高通、带通及带阻 滤波器的设计	217
5.3 用脉冲响应不变法设计 IIR 数字低通滤波器	226
5.3.1 变换原理	227
5.3.2 混叠失真	228
5.3.3 用脉冲响应不变法设计数字滤波器	229
5.3.4 主要特点	236
5.4 双线性变换法	236
5.4.1 变换原理	236
5.4.2 逼近情况	239
5.4.3 主要优缺点	239
5.4.4 用双线性变换法设计数字滤波器	241
5.4.5 设计举例	245
5.5 设计 IIR 数字滤波器的频率变换法	249
5.5.1 用模拟域频率变换法设计各类 IIR 数字滤波器	250
5.5.2 用数字域频率变换法设计各类 IIR 数字滤波器	255
*5.6 IIR 数字滤波器的计算机辅助优化设计	259
5.6.1 频域最小平方误差设计	260
5.6.2 时域最小平方误差设计	264
5.7 IIR 数字滤波器的相位均衡	269
5.7.1 全通滤波器的群时延特性	269
5.7.2 IIR 数字滤波器的群时延均衡	271

习题	272
第六章 有限长单位脉冲响应 (FIR) 数字滤波器的设计	276
6.1 线性相位 FIR 数字滤波器的特点	276
6.1.1 线性相位条件	277
6.1.2 线性相位特点	278
6.1.3 幅度函数的特点	281
6.1.4 零点位置	286
6.2 用窗函数法设计 FIR 滤波器	289
6.2.1 窗函数设计法的基本思想	289
6.2.2 加窗处理对 FIR 滤波器幅频特性的影响	291
6.2.3 几种常用窗函数	295
6.2.4 窗函数法的设计步骤	301
6.3 用频率采样法设计 FIR 滤波器	304
6.3.1 频率采样设计法的基本思想	304
6.3.2 线性相位的约束	305
6.3.3 逼近误差及其改进措施	308
*6.4 FIR 数字滤波器的优化设计	314
6.4.1 数学模型	314
6.4.2 利用切比雪夫最优一致逼近准则设计线性相位 FIR 滤波器	317
6.5 IIR 与 FIR 滤波器的比较	320
习题	321
第七章 数字滤波器的结构	326
7.1 数字滤波器结构的表示方法	327
7.1.1 用信号流程图表示数字滤波器结构	327
7.1.2 用梅森 (Mason) 公式求数字网络的系统函数 $H(z)$	330
7.2 无限长单位脉冲响应 (IIR) 数字滤波器的基本结构	332
7.2.1 直接 I 型	333
7.2.2 直接 II 型 (典范型)	334
7.2.3 级联型	336
7.2.4 并联型	338
7.2.5 转置形式	341
7.3 有限长单位脉冲响应 (FIR) 数字滤波器的基本结构	342
7.3.1 横截型 (卷积型、直接型)	342
7.3.2 级联型	343

7.3.3 线性相位 FIR 滤波器的结构	344
7.3.4 频率采样型结构	346
7.4 梳状滤波器的结构	352
7.5 数字滤波器的格型结构	354
7.5.1 全零点 (FIR) 滤波器的格型结构	354
7.5.2 全极点 (IIR) 滤波器的格型结构	358
7.6 数字滤波器实现中的误差	360
7.6.1 量化误差	360
7.6.2 乘积误差的影响	364
7.6.3 极限环振荡	369
习题	371
第八章 数字信号处理在通信中的应用	376
8.1 数字信号处理在通信信号中的应用	376
8.1.1 数字振荡器	376
8.1.2 离散解析信号	379
8.1.3 双音多频 (DTMF) 信号产生与检测	383
8.1.4 正弦信号的线谱分析	387
8.2 数字信号处理在通信信号传输中的应用	391
8.2.1 伪随机序列的产生	391
8.2.2 数字匹配滤波器	392
8.2.3 离散多音传输	396
8.2.4 扩频通信的概念	399
8.2.5 正交频分复用 (OFDM) 的概念	402
8.3 自适应滤波概念及应用	404
8.3.1 自适应滤波的概念	404
8.3.2 自适应滤波在通信中的应用简介	405
第九章 上机实验	411
9.1 关于实验用计算机语言	411
9.2 实验一 离散时间信号	416
9.3 实验二 用 FFT 进行谱分析	419
9.4 实验三 用 DFT (FFT) 实现快速卷积	422
9.5 实验四 用双线性变换法设计 IIR 数字滤波器	424
9.6 实验五 用窗函数法设计 FIR 数字滤波器	426
参考文献	429

绪 论

从 20 世纪 60 年代以来,随着信息学科和计算机学科的高速发展,数字信号处理 (Digital Signal Processing) 迅速发展成为一门新兴学科。它把信号变换成数字或符号表示的序列,通过计算机或专用的数字硬件,用数值计算的方法来进行处理,可以实现对信号的频谱分析、滤波、变换、压缩、增强、估计、识别等,以获得有用的信息,便于实际应用。随着计算机和大规模集成电路技术的飞速发展、超大规模集成电路的出现、信息的数字化,数字信号处理在理论和应用方面都有了惊人的发展,在越来越多的应用领域中,迅速替代传统的模拟信号处理方式,而且,还开辟出许多新的应用领域。

一、信号、系统和信号处理

1. 信号

信号是信息的载体和表现形式,或者说是转载信息的函数,而信息则是信号的具体内容,例如,交通红绿灯是信号;红灯指示停止,绿灯指示通行,则是信息。自然界有各种不同的信号,有电、声、光、磁、热、振动信号等。由于多种信号都可以转换成电信号,因此我们一般讨论的是电信号的处理。

信号作为一种函数,其自变量常取为时间,当然,也可以取频率、空间等其他的物理量,另外也不只限于一个自变量。若信号只有一个自变量,则是一维信号,若信号有多个自变量,则是多维信号。本书只涉及一维时间信号。

信号从不同的角度有多种分类,例如:除一维信号与多维信号外,还有周期信号与非周期信号,确定信号与随机信号,能量信号与功率信号等分类方式。

另外,根据变量的取值方式有连续与离散之分,信号又可分为连续时间信号与离散时间信号。若自变量是连续数值,则称为连续时间信号,若自变量是离散数值,则称为离散时间信号。而信号幅值的取值方式也有连续与离散之分,因此与自变量的两种取值方式组合起来,信号常分为以下四类。

(1) 连续时间信号:时间是连续的,幅值可以是连续的也可以是离散(量化)的。

(2) 模拟信号:时间是连续的,幅值也是连续的(模拟信号是连续时间信号的一种特例)。

(3) 离散时间信号(或称为序列):时间是离散的,而幅值是连续的。

(4) 数字信号: 时间是离散的, 幅值也是离散(量化)的。由于幅值是离散的, 故数字信号可以用一序列的数来表示, 而一个数又可用二进制数码的形式表示。

因为离散时间信号的一些理论同样适用于数字信号, 所以本书基本上是讨论一维的离散时间信号的分析 and 处理。

2. 系统

系统定义为处理(或变换)信号的物理装置。或者说, 凡是能将信号加以变换使其达到人们要求的各种设备都称为系统, 它是信号处理的手段。

按所处理的信号种类的不同将系统分为以下四类。

(1) 模拟系统: 处理模拟信号, 其输入、输出均为模拟信号。

(2) 连续时间系统: 处理连续时间信号, 其输入、输出均为连续时间信号。

(3) 离散时间系统: 处理离散时间信号, 其输入、输出均为离散时间信号。

(4) 数字系统: 处理数字信号, 其输入、输出均为数字信号。

系统可以是线性的或非线性的, 时(移)不变的或时(移)变的。本书研究的系统是线性时不变离散时间系统。

3. 信号处理

在采集和传递的信号中, 往往在包含了人们需要的有用信息的同时, 也包含了一些不需要的无用成分, 例如, 通信信号中的噪声, 就是不需要的。人们总是希望获得有用的信息而去除无用的成分, 因此就采用各种方法来对信号进行加工处理。

信号处理就是研究用系统对含有信息的信号进行处理(变换), 从而获得人们所希望的信号, 达到提取信息、便于利用的一门学科。信号处理的内容包括对信号的谱分析、滤波、变换、检测、估计、压缩和识别等一系列的加工处理。

因为在大多数科学技术和工程领域中遇到的都是模拟信号, 加之以前电子技术的局限, 所以以往都是研究模拟信号处理的理论和实现。但是模拟信号的处理精度难以提高, 且受环境影响大, 可靠性差, 不灵活。随着大规模集成电路及计算机技术的高速发展, 数字信号处理理论不断地发展和完善, 数字信号处理技术在各个领域得到了广泛的应用。用数字方法来处理信号, 已逐渐取代模拟信号处理。在当今的信息社会, 信息无处不有, 数字无处不在, 数字信号处理已成为一门极其重要的学科, 并形成了一个重要的技术领域。

二、数字信号处理系统的基本组成

通常, 以自然方式产生的信号都是连续信号或模拟信号。要用数字信号处理的方式来对模拟信号进行处理, 首先要把模拟信号数字化。这就需要有一个模拟信号的数字化处理系统。此系统首先把模拟信号变换为数字信号, 然后用数

字技术进行处理,最后再还原为模拟信号,其原理框图如图 0.1.1 所示。

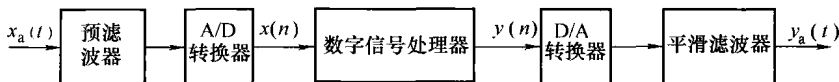


图 0.1.1 模拟信号数字化处理系统的简单框图

此系统由五个部分组成,以完成对模拟信号的处理:

(1) 预滤波器:又称为抗混叠滤波器,它将输入的模拟信号 $x_a(t)$ 中高于某一频率的分量滤除,从而保证进入下一阶段处理的信号的最高频率限制在一定数值之内。

(2) A/D 转换器 (Analog/Digit Converter): 即为模数转换器,用来从模拟信号产生一串二进制码流,即完成对模拟信号的采样、量化、编码的过程,其输出是数字信号。

(3) 数字信号处理器:是整个系统的核心部分,可以代表一台通用计算机,或一个专用处理器,或数字硬件等。对其输入的数字信号序列 $x(n)$ 按预定的要求进行加工处理,得到输出数字信号序列 $y(n)$ 。

(4) D/A 转换器 (Digit/Analog Converter): 即为数模转换器,它从一串二进制的序列 $y(n)$ 中产生一种阶梯形波形,这是产生模拟信号的第一步。

(5) 平滑滤波器:用于滤除模拟量中不需要的高频分量,将阶梯波形平滑为所期望的模拟输出信号 $y_a(t)$ 。

上面给出的是模拟信号数字化处理系统,而实际的系统并不一定要包括它的所有部分。例如有的系统只需数字输出,可直接以数字形式显示或打印,就不需要 D/A 转换器及平滑滤波器了;有的系统的输入就是数字量,因而就不需要图 0.1.1 中的预滤波器和 A/D 转换器部分了。纯数字系统则只需要数字信号处理器这一核心部分。

数字信号处理的实现大致有三种方法:

(1) 软件实现法:在通用计算机上,通过软件编程对输入信号进行处理。

(2) 硬件实现法:用基本的数字硬件组成专用的处理机或用专用数字信号处理芯片作为数字信号处理器 (DSP),实现对信号的处理。这种方法的优点是可以进行实时处理,但是由于是专用的处理机或芯片,因此只能完成某一具体的加工处理,而不能完成其他类的加工处理。

(3) 用通用的数字信号处理器芯片实现法:这种芯片是专门为数字信号处理而设计的,例如 TI 公司的 TMS320 系列芯片,通常有专门执行信号处理算法的硬件和专为信号处理所用的指令。这种方法既具有硬件实现的实时的优点,又具有软件实现的灵活多用的优点,是一种重要的数字信号处理实现方法。

三、数字信号处理的特点

与模拟信号处理系统相比较,数字信号处理系统具有以下一些突出的优点。

(1) 精度高: 在模拟系统中, 模拟元器件的精度很难达到 10^{-3} 以上, 而数字系统 17 位字长就可达到 10^{-5} 的精度。因此, 高精度的系统有时只能用数字系统来实现。

(2) 灵活性高: 数字信号可存储在磁盘或光盘上, 传递及处理都非常方便, 可实现实时处理, 也可在远端脱机处理, 还可以实现一些模拟系统不能进行的处理, 例如同态处理。数字系统是通过完成一些运算来实现的, 数字系统的差分方程 (或系统函数) 的系数反映了系统的性能, 这些系数是存放在系数存储器中的, 只需改变存放在存储器中的系数, 就可以得到不同的系统, 这比模拟系统要方便得多。

(3) 可靠性强: 由于数字系统只有“0”和“1”两个信号电平, 因此受周围环境的温度和噪声的影响较小。而模拟系统的元器件都有一定的温度系数, 且其电平是连续变化的, 易受到温度、噪声、电磁感应等的影响。若数字系统采用大规模集成电路来实现, 其可靠性就更高。

(4) 便于大规模集成: 由于数字部件具有高度规范性, 所以便于大规模集成、大批量生产; 对电路参数的要求不严, 又使产品成品率高。尤其是对于低频信号, 例如地震波, 对其分析所需要过滤的信号只有几赫到几十赫, 频率之低, 是用普通模拟滤波器根本无法处理的, 这时会使模拟滤波器的电感、电容的数值、体积和重量都增加到非常大, 且性能也无法达到要求。而数字信号处理系统对这样低的频率却有着非常优良的滤波性能, 同时凸显出体积、重量的优越性。

(5) 便于时分复用: 时分复用就是利用一个数字信号处理器同时处理几路信号。由于在数字通信系统中, 每一路信号的相邻两个采样值之间存在着很大的空隙时间, 因此, 可在同步器的控制下, 在此时间空隙中送入其他路的信号, 而每路信号只占用其中一小段时间空隙 (时隙), 各路信号就利用同一个信号处理器, 算完一路信号再算另一路信号。处理器的运算速度越高, 能处理的信号路数 (信道数目) 就越多。

(6) 可获得高性能指标: 例如对信号进行频谱分析, 模拟频谱分析仪在频率低端只能分析到 10 Hz 以上的频率, 且其分辨率难以做得较高, 但数字频谱分析仪能做到 10^{-3} Hz 的谱分析; 其数据压缩方法可以极大地减少信息传输所需的信道容量; 有限长单位冲激响应数字滤波器可以实现严格的线性相位等。

(7) 二维与多维处理: 利用庞大的存储单元, 可以存储二维的图像信号或多维的矩阵信号, 实现二维或多维滤波及谱分析等。

四、数字信号处理的基础内容及应用

由于信号处理的目的是通过系统的作用,把一定的输入信号变成人们所希望的输出信号,例如,削弱信号中的多余内容,滤除混杂的噪声和干扰,提取和增强信号的有用分量,估计信号的某些特征参数,变换信号成为容易分析和辨识的形式等,因此信号处理的基本内容主要包括信号分析和处理系统这两个紧密联系、互相渗透的分支。本书主要讨论确定信号的分析与处理。

这里的信号分析主要是指信号的频谱分析,频谱是各类信号参数中物理含义最明显的一类最基本的参数。对于确定信号,谱分析可以采用变换法和滤波法两种。其中,变换法主要是离散傅里叶变换及其快速算法(FFT算法)。

这里的处理系统主要是指滤波器,当然,对于数字处理系统,就是数字滤波器了。和线性时不变离散时间系统一样,数字滤波器通常分为两大类,一类是无限长单位脉冲响应数字滤波器,另一类是有限长单位脉冲响应数字滤波器。本书主要讨论这两种类型的滤波器的设计方法及网络结构。

由于数字信号处理的突出优点,使得它在通信、语音、图像、雷达、地震预报、声呐、遥感、电视、生物医学、仪器仪表、空间技术、自动控制、人工智能、地球与核物理等诸多领域得到了越来越广泛的应用。这里简要列举以下几个方面的应用。

(1) 通信中的信号变换处理:通信技术实际上就是信号的传输与处理技术。通信系统的基本功能包括放大、衰减、滤波、均衡、调制解调,多路复用、同步与变换等,以前这些功能都是用模拟系统进行处理,目前大多已被数字系统所取代。而且,编码调制,信号加解密,多路复用,通信网控制与切换以及通信系统性能测试等都使用了数字信号处理技术。我国已经实现了通信系统的数字化。

(2) 语音信号处理:目前语音信号的压缩,语音的分析与合成,语音的监测与识别,语言理解等等都是通过数字处理系统和技术来实现的。

(3) 图像、图形信号处理:图像、图形信息的传输(通信)和处理(图像增强、识别、压缩、复原、变换、分割与描绘、模式识别以及计算机视觉,电子地图、电子出版等)。

(4) 生物医学信号处理及医疗诊断:通过对反映生物电活动的心电信号、脑电信号、肌电信号的处理,提取信号的数字特征,以更加准确的诊断病情。现在多种医学仪器相继问世,并被广泛用于各种疾病的诊断。例如超声波、CT断层扫描、核磁共振以及血象、血球、肿瘤的识别等。

(5) 电子仪器:目前越来越多的电子仪器利用了数字信号处理技术,例如数字信号源、万用表、示波器、频谱分析仪、函数发生器、地震信号处理器等。

(6) 工业控制与自动化：包括机器人控制、通信网的信令监测系统、电力线监测系统、计算机辅助制造等。

(7) 军事：包括雷达、声呐、导航、全球定位系统、航空航天测试、阵列天线信号处理等。

(8) 消费电子：包括数字音频、视频、音乐综合器、电子玩具和游戏、汽车电子装置等。

总之，数字信号处理技术在各个方面都得到了极为广泛的应用。可以说，凡是需要对信号进行处理或控制的一切领域，都会从数字信号处理技术中得到满意的帮助。而且，随着信息时代和数字世界的发展和进步，数字信号处理的应用会越来越广泛。因此，数字信号处理是一门富有生命力的新兴学科。