

高等学校“学历教育合训”系列教材

信号分析与处理

Signal Analysis and Processing

吴京 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校“学历教育合训”系列教材

信号分析与处理

吴 京 王 展 万建伟 编著
丹 梅 张汉华 陶华敏

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是为高等院校工程类信息技术、机电控制各专业本科生编写的教材,目的是为信息工程与机电控制工程领域的初学者打好基础,以适应后续课程的需要。全书共 11 章,主要内容包括信号的基本概念和基本运算、信号分析与处理的基本方法、连续和离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换及其快速算法、拉普拉斯变换、 z 变换,并对连续时间和离散时间系统及其分析方法、模拟和数字滤波器的基本原理及其设计进行了简单介绍。书中配有大量的例题和习题及参考答案,附录中配有一些应用实例的 Matlab 脚本。

本书可作为高等院校本科生教材,也可供从事相关技术领域的科技人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

信号分析与处理/吴京等编著. —北京:电子工业出版社,2008.7

(高等学校“学历教育合训”系列教材)

ISBN 978-7-121-06467-8

I. 信… II. 吴… III. ①信号分析—高等学校—教材 ②信号处理—高等学校—教材 IV. TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 099604 号

策划编辑:陈晓莉

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:569.6 千字

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数:4000 册 定价:35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

《信号分析与处理》主要介绍信号的基本概念及信号分析与处理的基本方法。内容包括信号的基本概念和基本运算、连续和离散时间傅里叶变换、离散傅里叶变换及其快速算法、拉普拉斯变换、 z 变换,并对连续时间和离散时间系统及其分析方法、模拟和数字滤波器的基本原理及其设计进行了简单介绍。

本书强调了信号、系统、变换和滤波器的基本原理及应用。它涉及全面了解时域和频域关系的重要概念。目标是使学生能够对时域和频域知识进行清楚的思考,并能在两者中进行转换。全书采用了理论推导和应用分析相结合的方法,着重让读者掌握信号分析与处理的基本原理、分析和处理方法;配以一定量的习题和实验,通过让学生对实际的信号和系统进行变换域分析,训练学生解决实际问题的能力;通过介绍一些最新的信号处理方法,培养学生运用已掌握的信号处理知识来学习、理解和掌握新方法与新技术的能力。

全书突出了模拟和数字信号方面的联系。书中内容可以分成以下几个大的范围:

- (1) 信号与系统的介绍,它们的表示方法和分类。
- (2) 卷积积分法和卷积和法是一种时域分析方法,可用来把时域和频域联系起来。
- (3) 傅里叶级数、傅里叶变换及其应用。用来对模拟信号进行频谱分析。
- (4) 拉普拉斯变换及其应用。它是处理系统分析及其应用的有效工具。
- (5) 傅里叶变换和拉普拉斯变换在模拟滤波器设计中的应用。
- (6) 采样和采样信号的离散时间傅里叶变换(DTFT)以及 DFT 和 FFT,它们都强调了一个中心概念,就是在一个域的采样导致了在另一个域的周期延拓。
- (7) z 变换。把 DTFT 扩展到离散时间系统的分析。
- (8) IIR、FIR 数字滤波器的设计与应用。

本书分为 11 章和 1 个附录。第 1 章:从信号的分类入手,介绍了常用的连续时间信号和离散时间信号,并讨论了信号的运算和卷积运算;第 2 章:线性时不变系统的时域分析;第 3 章:连续时间信号的频域分析;第 4 章:连续时间信号及系统的复频域分析;第 5 章:连续时间滤波器,主要讨论模拟滤波器的原理和设计方法;第 6 章:抽样,从连续到离散的过渡;第 7 章:离散时间信号的频域分析;第 8 章:离散 LTI 系统的 z 域分析;第 9 章:离散傅里叶变换;第 10 章:快速傅里叶变换;第 11 章:数字滤波器设计,主要讨论数字滤波器的原理和设计方法。

本书的第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 7 章由吴京编写,前言、绪论、11.3 节由万建伟编写,第 9 章、第 10 章、11.1 节、11.2 节由王展编写,第 4 章、第 8 章由丹梅编写,第 5 章、第 6 章由张汉华编写,附录、参考答案、参考文献由陶华敏编写与整理。吴京负责全书的组织和修改。感谢

冯德军、杨鹏、彭金龙、许可、何元为本书的文字录入、绘图、排版等所做的工作。

本书在编写过程中参考了很多优秀教材和著作。编者向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。

限于作者的水平,不妥及错误之处在所难免,恳切希望读者给予批评指正。

编著者

2008年5月于长沙

目 录

符号一览表	1
绪论	2
0.1 信号与系统	2
0.2 信号处理	4
0.3 信号分析与处理的主要研究内容	4
第1章 信号与系统的基本概念	7
1.1 信号及其分类	7
1.1.1 确定性信号和随机性信号	7
1.1.2 连续时间信号和离散时间信号	7
1.1.3 周期信号和非周期信号	8
1.1.4 功率信号和能量信号	9
1.1.5 对称信号和非对称信号	10
1.2 常用信号及其基本特性	10
1.2.1 连续时间复指数信号	11
1.2.2 连续时间单位阶跃和单位冲激信号	12
1.2.3 离散时间单位样值信号和单位阶跃信号	15
1.2.4 离散时间复指数信号	17
1.3 信号时域运算	19
1.3.1 信号的和、积运算	19
1.3.2 信号的积分与微分运算	20
1.3.3 信号波形的翻转、展缩与平移	21
1.3.4 信号的分解	24
1.4 系统及其表示	27
1.4.1 系统	27
1.4.2 系统的表示	27
1.5 系统的分类	29
1.5.1 因果与非因果系统	29
1.5.2 连续与离散系统	29
1.5.3 有记忆系统与无记忆系统	30
1.5.4 时不变系统与时变系统	30
1.5.5 线性与非线性系统	31
1.5.6 其他的系统分类	33
习题一	33

第 2 章 线性时不变系统的时域分析	37
2.1 连续时间系统的时域分析	37
2.1.1 微分方程的建立	37
2.1.2 微分方程的求解	39
2.1.3 零输入响应与零状态响应	42
2.2 离散时间系统的时域分析	44
2.2.1 差分方程的建立	44
2.2.2 差分方程的求解	46
2.2.3 零输入响应与零状态响应	48
2.3 系统的单位冲激响应与单位样值响应	49
2.3.1 连续时间系统的单位冲激响应	50
2.3.2 离散时间系统的单位样值响应	51
2.4 连续时间 LTI 系统: 卷积积分	52
2.4.1 利用卷积积分计算系统的零状态响应	52
2.4.2 卷积积分的图解法	54
2.4.3 卷积积分的性质	56
2.5 离散时间 LTI 系统: 卷积和	59
2.5.1 零状态响应: 卷积和	59
2.5.2 卷积和的性质	60
2.5.3 卷积和的计算	60
2.6 系统的特征根及特征模式对系统行为的影响	63
2.6.1 系统行为对特征模式的依赖	63
2.6.2 系统时间常数	63
2.6.3 系统时间常数与上升时间	64
2.6.4 系统时间常数与滤波	65
2.6.5 时间常数与脉冲色散	66
2.6.6 时间常数与信息传输速率	66
2.6.7 谐振现象	66
习题二	67
第 3 章 连续时间信号的频域分析	73
3.1 任意信号分解为正交函数	73
3.2 周期信号的傅里叶级数	73
3.2.1 三角函数形式的傅里叶级数	74
3.2.2 指数函数形式的傅里叶级数	78
3.2.3 周期信号的频谱	80
3.2.4 LTI 系统对周期信号的响应	85
3.3 非周期信号的傅里叶变换	86
3.3.1 傅里叶变换的导出	86
3.3.2 常用信号的傅里叶变换	88

3.3.3 傅里叶变换的性质	91
3.3.4 周期信号的傅里叶变换	103
习题三	104
第4章 连续时间信号及系统的复频域分析	109
4.1 拉普拉斯变换	109
4.1.1 从傅里叶变换到拉普拉斯变换	109
4.1.2 收敛域	110
4.1.3 单边拉普拉斯变换	111
4.1.4 拉普拉斯变换和傅里叶变换的关系	113
4.1.5 单边拉普拉斯变换的性质	114
4.2 单边拉普拉斯反变换	118
4.2.1 利用拉普拉斯变换性质求解	118
4.2.2 部分分式展开法	119
4.3 利用拉普拉斯变换求解 LTI 系统的响应	120
4.3.1 微分方程的复频域求解	121
4.3.2 电路系统的复频域求解	122
4.4 系统函数分析	124
4.4.1 系统函数	124
4.4.2 系统因果性和稳定性分析	127
4.5 系统的图形表示方法	128
4.5.1 系统框图	129
4.5.2 信号流图	130
4.5.3 梅森公式	132
4.5.4 系统模拟	133
习题四	136
第5章 连续时间滤波器	140
5.1 线性时不变系统的频率响应	140
5.2 线性时不变系统中信号的传输	144
5.2.1 无失真传输条件	144
5.2.2 信号的无失真传输	146
5.2.3 信号的滤波	149
5.3 理想和实际滤波器	150
5.3.1 理想滤波器的频域特性	150
5.3.2 理想滤波器的时域特性	152
5.3.3 实际低通滤波器特性	154
5.4 系统函数极零点对滤波器特性的影响	156
5.4.1 系统函数的极零点与系统频率响应的关系	156
5.4.2 巴特沃斯(Butterworth)滤波器	163
5.4.3 切比雪夫(Chebyshev)滤波器	165

习题五	167
第 6 章 抽样:从连续到离散的过渡	171
6.1 时域抽样	171
6.1.1 抽样的数学模型	171
6.1.2 冲激串抽样	172
6.1.3 时域抽样定理	173
6.2 实际抽样的过程	178
6.3 实际信号的重建过程	181
6.3.1 内插公式和内插函数	181
6.3.2 零阶保持内插和线性内插	182
6.4 频谱混叠	184
6.5 频域抽样定理	188
习题六	190
第 7 章 离散时间信号的频域分析	194
7.1 离散时间傅里叶级数(DTFS)	194
7.1.1 周期信号的离散时间傅里叶级数表示	194
7.1.2 周期信号的频谱	196
7.2 非周期信号的傅里叶变换	200
7.2.1 非周期信号的傅里叶积分表示	200
7.2.2 傅里叶频谱的特性	202
7.2.3 离散时间傅里叶变换性质	206
7.3 几种傅里叶变换的关系	210
7.3.1 连续时间傅里叶变换(CTFT)	210
7.3.2 连续时间傅里叶级数(CTFS)	211
7.3.3 离散时间傅里叶变换(DTFT)	211
7.3.4 离散时间傅里叶级数(DTFS)	211
7.4 离散时间线性时不变系统的频域分析	212
7.4.1 系统响应的频域表示	212
7.4.2 系统频率响应和单位样值响应的计算	213
7.4.3 滤波特性	214
习题七	215
第 8 章 离散时间 LTI 系统的 z 域分析	219
8.1 z 变换	219
8.1.1 从离散时间傅里叶变换(DTFT)到 z 变换	219
8.1.2 收敛域	220
8.1.3 单边 z 变换	222
8.1.4 z 变换性质	222
8.1.5 z 反变换	229
8.2 利用单边 z 变换求解 LTI 系统的响应	231

8.3 系统函数	232
8.3.1 系统函数	232
8.3.2 由极零点图确定频率响应	234
8.3.3 系统因果性和稳定性	236
8.3.4 系统的图形表示方法	237
习题八	238
第9章 离散傅里叶变换	241
9.1 离散傅里叶变换(DFT)	241
9.2 DFT 与 z 变换、傅里叶变换的相互关系	245
9.3 DFT 等效数字滤波器组	247
9.4 DFT 的性质	249
9.4.1 线性	249
9.4.2 序列的圆周移位(循环移位)	250
9.4.3 共轭对称性	251
9.4.4 循环卷积	252
9.4.5 循环卷积与线性卷积关系	254
9.5 用 DFT 实现线性时不变系统	256
9.5.1 DFT 计算线性卷积	256
9.5.2 重叠相加法	256
9.5.3 重叠保留法	258
9.6 DFT 进行信号的频谱分析	259
9.6.1 混叠失真	261
9.6.2 频谱泄漏	262
9.6.3 栅栏效应	263
习题九	263
第10章 快速傅里叶变换	265
10.1 改进 DFT 计算的方法	266
10.1.1 直接计算 DFT 的特点	266
10.1.2 减少运算量的方法	266
10.2 按时间抽取(DIT)的 FFT 算法	267
10.2.1 算法原理	267
10.2.2 时间抽取 FFT 的运算量	271
10.2.3 时间抽取法的运算特点	272
10.3 按频率抽取(DIF)的 FFT 算法	274
10.3.1 算法原理	274
10.3.2 运算特点	277
习题十	277
第11章 数字滤波器设计	278
11.1 数字滤波器的基本结构	278

11.1.1 数字滤波器结构的表示方法	278
11.1.2 无限长单位取样响应数字滤波器的基本结构	279
11.1.3 有限长单位取样响应数字滤波器的基本结构	284
11.2 IIR 数字滤波器的设计	285
11.2.1 模拟低通滤波器原型	285
11.2.2 脉冲响应不变法	288
11.2.3 双线性变换法	291
11.2.4 设计 IIR 数字滤波器的频率变换法	294
11.3 FIR 滤波器设计	298
11.3.1 线性相位 FIR 滤波器的特征	298
11.3.2 窗函数设计法	302
11.3.3 利用频率采样技术设计	308
11.3.4 IIR 滤波器和 FIR 滤波器的比较	312
习题十一	313
附录 A 部分分式展开	316
附录 B 常用数学用表	320
附录 C 模拟滤波器设计 Matlab 程序	325
附录 D FIR 滤波器设计例程	328
部分习题参考答案	331
参考文献	346

符号一览表

$\delta(t)$	单位冲激信号
$\delta(n)$	单位样值(脉冲)信号
$u(t), u(n)$	连续 / 离散单位阶跃信号
$x(t)$	连续时间信号
$x(n)$	离散时间信号
T, ω_0	连续时间信号的基本周期, 基频
N, Ω_0	离散时间信号的基本周期, 基频
N	某些场合表示信号长度
$X(j\omega)$	$x(t)$ 的傅里叶变换
X_k	$x(t)$ 的傅里叶级数系数
$X(\Omega)/(e^{j\Omega})$	$x(n)$ 的离散时间傅里叶变换
$X(s)$	$x(t)$ 的拉普拉斯变换
$X(z)$	$x(n)$ 的 z 变换
$X(k)$	$x(n)$ 的离散傅里叶变换
$x(t), x(n)$	系统输入
$y(t), y(n)$	系统输出
$h(t)$	单位冲激响应
$h(n)$	单位样值(脉冲)响应
$y_{ss}(t), y_{ss}(n)$	正弦稳态响应
$y_{zi}(t), y_{zi}(n)$	零输入响应
$y_{zs}(t), y_{zs}(n)$	零状态响应
$y_n(t), y_n(n)$	自然响应
$y_f(t), y_f(n)$	强迫响应
$H(j\omega)$	连续时间系统的频率响应
$ H(j\omega) $	连续时间系统的幅频响应(幅频特性)
$\angle H(j\omega)$	连续时间系统的相频响应(相频特性)
$H(\Omega)/H(e^{j\Omega})$	离散时间系统的频率响应
$ H(\Omega) / H(e^{j\Omega}) $	离散时间系统的幅频响应(幅频特性)
$\angle H(\Omega)/H(e^{j\Omega})$	离散时间系统的相频响应(相频特性)
CTFS	连续时间傅里叶级数
CTFT	连续时间傅里叶变换
DTFT	离散时间傅里叶变换
DTFS	离散时间傅里叶级数
DFT	离散傅里叶变换
FFT	快速傅里叶变换
LTI	线性时不变系统

绪论

信号是信息学科研究的基本内容,信号与系统是两个用得极为广泛的基本概念,与这些概念有关的方法在很多科学和技术领域起着重要的作用。无论在自然科学还是在社会科学中,大至天体宇宙、人类社会,小至生物细胞、原子结构,都存在有信号与系统的应用研究问题。在这些不同的领域中,虽然信号与系统的物理属性和表现形式各不相同,但全都具有两个基本的共同点,即信号总是一个或几个独立变量的函数,该函数一般都包含了关于某些现象性质的信息;而系统总是对给定的信号作出响应而产生出另外的信号。

本书以信号分析为基础,系统分析为桥梁,处理技术为手段,系统综合为目的。在内容上,离散与连续并重;分析与综合并重;经典与现代并重。

0.1 信号与系统

信息是人类社会和自然界中需要传送、交换、存储和提取的抽象内容。由于信息是抽象的内容,为了传送和交换它,首先必须用语言、文字、图像和数据将它表达出来。人们称表示信息的语言、文字、图像和数据等为消息。运载消息的光、声、电等物理量被称为信号,所以信号就是信息的一种物理体现。

- (1) 物理上,信号是信息寄寓变化的形式;
- (2) 数学上,信号是一个或多个变量的函数;
- (3) 形态上,信号表现为一种波形;
- (4) 自变量:时间,位移,周期,频率,幅值,相位等。

概括地讲,信息是抽象的;消息是具体的,但不是物理的;而信号则既是具体的,又是物理的。这个世界到处都充满了信号,无论是来自自然的还是人们发出的。例如,在我们说话时气压的变化、一天中气温的高低,以及心脏产生的周期性心电信号。从基本含义上讲,信号是用来传递某种消息或信息的物理形式。虽然信号的形式各不相同,但它们都是传递信息或消息的载体。对于不同的学科领域,信息的载体具有不同的物理形式,常见的形式如声、光、电、力等。

在任何情况下,信号值都与它的幅度相对应。假设 t 为连续时间变量, nt_s 为离散时间变量,其中 t_s 是采样间隔, n 是一个整数。同时也假设幅度为一个连续变量,或被量化为有限数目的极值间的离散电平。这会产生以下四种可能的信号,如图0.1所示。

信息的交换、传送、存储和提取是借助于信号来完成的。而信号是物理量,它的传输、存储和处理必须借助于物理设备才能实现。这些传输、存储和处理信号的设备称为系统。广义上讲,系统是由各不相同但彼此影响的单元有机地集合起来实现某个总目标的一种组合。系统强调的是事物间的相互制约、运动和变化,强调的是“森林”,是全局。广义而言,系统是对输入信号作出响应的物理结构。其本质是对输入信号进行相应的处理,并将处理后的信号作为系统的输出,这种输出也称为系统的响应。例如,人体的味觉神经系统可以感觉到食物的酸甜苦辣;计算

机的显示系统可以在屏幕上显示键盘输入的每一个字符;通信网络系统可以根据输入的信号将天各一方的亲朋好友互联在一起。虽然系统一词包罗万象,种类繁多,大小不一,但在对输入信号作出响应这一点上是相通的。

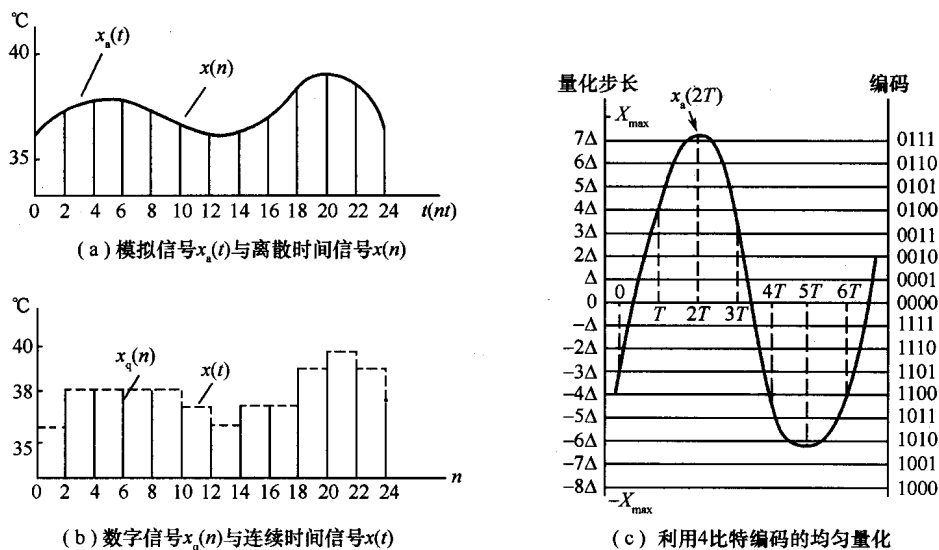


图 0.1 模拟、采样、量化及数字信号

按照系统的形成来划分,系统大致可分为两类:一类是自然形成的系统,如天体地球等;另一类是人为设计的系统,如电子系统、通信系统等。人为设计的系统一般是根据设计人员的需要来实现某种特定的功能。这种系统通常由若干相互关联的元器件或子系统进行连接而形成一个整体。例如,一个最简单的积分电路系统可以由一个电阻和一个电容元件组成,其基本功能是对输入信号进行积分后输出。本书仅讨论人为设计的系统。

按所处理的信号种类的不同可将系统分为4类:

- (1) 模拟系统:处理模拟信号,系统输入、输出均为连续时间连续幅度的模拟信号。
- (2) 连续时间系统:处理连续时间信号,系统输入、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(序列),系统输入、输出均为离散时间信号。
- (4) 数字系统:处理数字信号,系统输入、输出均为数字信号。

系统可以是线性的或非线性的、时不变的或时(移)变的。

分析一个系统,一般按照下面的三个步骤:① 建立数学模型;② 求数学解;③ 对所求得的了解赋予物理解释。其步骤如图 0.2 所示。

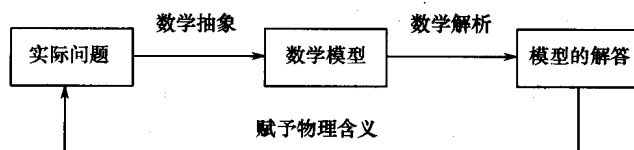


图 0.2 系统分析三步骤

0.2 信号处理

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

因为多数科学和工程中遇到的是模拟信号,所以以前都是研究模拟信号处理的理论和实现。但是模拟信号处理难以做到高精度,受环境影响较大,可靠性差,且不灵活等。随着大规模集成电路以及数字计算机的飞速发展,加之从 20 世纪 60 年代末以来数字信号处理理论和技术的成熟与完善,用数字方法来处理信号,即数字信号处理,已逐渐取代模拟信号处理。

图 0.3 是信号处理的概念性图示。模拟信号的数字处理要求在处理之前使用模拟信号到数字信号的转换器(ADC)来采样模拟信号,还要求利用数字信号到模拟信号的转换器(DAC)将处理过的数字信号再转换回模拟形式。

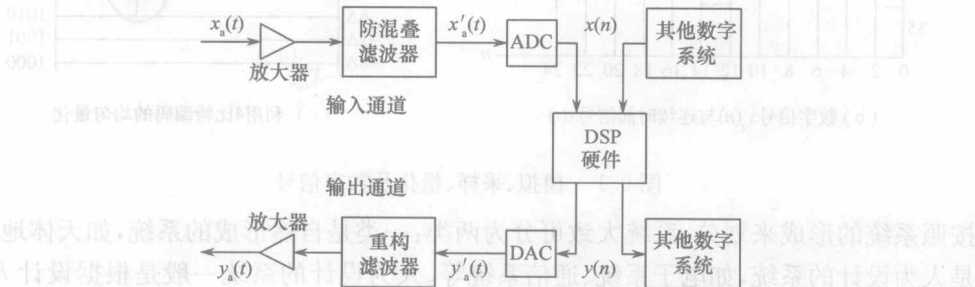


图 0.3 模拟信号与数字信号处理

其中,模拟输入信号经过放大和防混叠低通滤波后,送到模/数转换器,转换成数字信号,再将数字信号送到 DSP 中进行必要的算法处理,待处理完成后,可根据任务需要将处理结果转换成模拟信号,同时,数/模转换器的输出还须经过重构象滤波和放大后,才能得到最终的所要求的模拟输出信号。

对于某些实时应用,输入数据已经是数字形式,而输出数据也可能不必再转换成模拟信号。例如,要处理的数字信号已经存放在计算机的存储器中以备后用,或者运算结果可以用图形显示出来。而在其他应用中,DSP 系统要求产生数字信号,如用于蜂窝电话的语音合成,CDMA 系统的随机数产生器等。

0.3 信号分析与处理的主要研究内容

上面提到的例子中,有些信号是随时间连续变化的,而另一些则仅仅在离散时间点上有值。由于对这两类信号的描述以及对这些信号作出响应或处理的系统的描述,都有着明显的不同,因此,自然导致两种并行的信号与系统分析范畴。其一就是以连续时间描述的现象和过程,而另一个则是以离散时间描述的现象和过程。有关连续时间信号与系统、离散时间信号与系统的概念和方法都有着悠久的历史,而且在概念上是息息相关的。然而在历史上由于两者在应用上各行其道,因此,它们大部分的研究和发展多少都是独自进行的。连续时间信号与系统在物

理学方面,以及近代电路理论和通信系统方面的应用有很深的渊源,而离散时间信号与系统却在数值分析、统计学,以及经济学和人口统计学等数据分析应用有关的时间序列分析中找到了它的根基。但是,在近几十年内,连续时间和离散时间信号与系统变得日益交织在一起,而在应用上也日益结合。造成这种变化的强大动力是在系统实现和信号产生技术上取得的惊人进展。特别是高速数字计算机、集成电路和尖端高密度器件制造技术等所取得的难以置信的飞速发展,已经使得考虑用等间隔样本来表示和处理连续时间信号(即转换为离散时间信号)具有越来越多的好处。

鉴于连续时间信号与系统和离散时间信号与系统之间的相互关系日益密切,以及与各自有关的一些概念和方法之间的紧密联系,本书选择了以并行的方式来讨论这两种类型的信号与系统。由于两者在很多概念上是类似的(但不是完全一样),因此,并行地处理可以做到在概念和观点上两者互为分享,且可更好地把注意力放在它们之间的类同点和不同点上。此外,某些概念从一种系统引入要比从另一种系统来得容易接受;而一旦在一种系统中被理解之后,就可简而易之地把这些概念用到另一系统中去。

信号理论的研究主要有两个方面的内容,即信号分析与信号综合。信号分析主要研究信号的描述方法、信号数学模型的建立,以及信号的基本特性;信号综合则是根据具体的要求来设计、产生所需要的信号。

系统理论的研究方法也有分析与综合之分。系统分析包括建立系统的数学模型,以及借助系统模型研究系统的基本属性,如系统的响应特性、频率特性、稳定性等;系统综合则是在给定的条件下设计出所需要的系统。例如,要求所设计的系统对某种给定的输入信号产生某种给定的输出信号就属于系统综合的问题。

虽然建立系统模型需要一些相应的专业基础知识,而且不同的系统所需要的专业基础知识又各不相同,但是,当把系统抽象为数学模型以后,它们的分析方法是相通的。因此,本书的内容仅限于信号与系统的分析,主要讨论系统对不同输入信号的响应,而要确定系统的响应,有关信号与系统的特性及其描述方法当然是必不可少的研究内容。此外,本书所研究的系统只涉及线性时不变系统。之所以只讨论线性时不变系统,不仅由于大多数物理系统可以近似为线性时不变系统,更重要的是,长期以来对线性时不变系统的研究已经形成了一套完整、严密且能普遍适用的分析方法,而且,这些分析方法也能为研究非线性时不变系统所借鉴。

信号与系统是两个密切相关的概念。在许多实际应用中,尤其是在信号提取、信号恢复、信号增强、语音识别等数字信号处理的课题以及大规模集成电路的设计中,它们往往被有机地融合在一起。例如,为了实时地识别语音,一方面要分析研究语音信号的各种特性,建立语音信号的数学模型,确定语音信号的编码方法以及识别算法;另一方面则要仔细设计专用硬件,而硬件的设计又和语音信号的种种特性息息相关。信号与系统这种密切相关的特点也是本课程得以受到广泛重视的原因之一。

本书将从时域和变换域两方面对信号和线性时不变系统进行分析讨论,强调时域分析与频域分析以及它们之间的对应关系和内在关系,分析工具包括有微分方程、差分方程、傅里叶变换、拉普拉斯变换以及 z 变换等。分析主线如图0.4所示。

以信号施加于系统,然后求取系统响应为分析主线,按照先时域后频域,再复频域,先连续时间系统后离散时间系统的顺序进行。

长期的历史实践已经证明,这些经典的分析方法对解决具体的实际问题确实行之有效,它

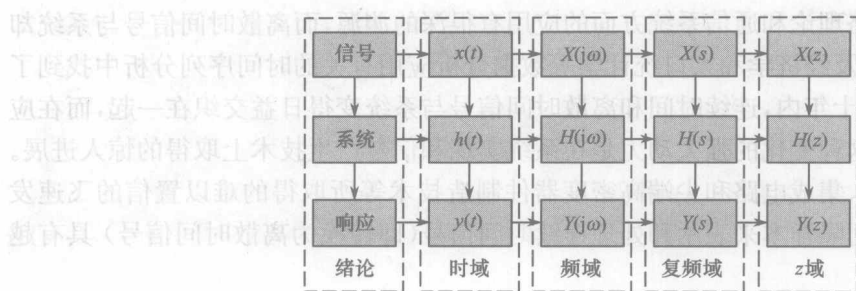


图 0.4 信号与系统分析之间的关系

们在不同的学科领域中都得到了广泛而重要的应用。毫无疑问,随着科技的发展与进步,这些方法已经得到并将得到进一步地发展,其应用领域也将得到进一步地拓宽和延伸。因此,扎实地掌握这些基本的分析方法,透彻地理解相应的物理概念,深入地吸收寄寓于这些方法和概念中的有关思想,是学好后续课程以及今后工作中具有发展潜力的可靠保证。