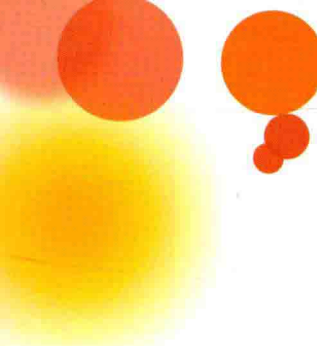




 全国普通高校通信工程专业规划教材

现代信号处理

安颖 崔东艳 刘利平 编著

出版社





全国普通高校通信工程专业规划教材

现代信号处理

安颖 崔东艳 刘利平 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书内容涵盖了现代信号处理的主要知识体系,主要包含针对平稳信号的统计信号处理方法和非平稳信号采用的时频分析方法两大部分。全书包含平稳随机信号、功率谱估计、非平稳随机信号、时频分析基础、时频分析方法、滤波器组、小波变换、希尔伯特-黄变换和压缩感知等内容,涉及了现代信号处理的基本方法,对目前发展较快的希尔伯特-黄变换和压缩感知也进行了详细的介绍。在编写中,编者力求简化数学理论的繁复推导,突出信号处理方法,帮助读者建立知识框架并能据此进行科学研究,解决实际问题。

本书可以作为理工科高年级本科生和研究生的教材及参考书,也可以作为工程技术人员的自学参考书籍。

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。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

现代信号处理/安颖,崔东艳,刘利平编著. —北京:清华大学出版社,2017
(全国普通高校通信工程专业规划教材)
ISBN 978-7-302-48047-1

I. ①现… II. ①安… ②崔… ③刘… III. ①信号处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 206806 号

责任编辑:梁颖 李晔

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14.25

字 数:341 千字

版 次:2017 年 10 月第 1 版

印 次:2017 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00 元

产品编号:075881-01

本书是为了配合研究生的现代信号处理课程而编写的。信号处理在越来越多的领域中得到了广泛应用,复杂的工作环境和多种多样的未知信号给信号处理技术带来了挑战,也促使每一个从事信号处理工作的科研人员不断创新,研究新的理论和方法。传统的信号处理理论博大精深,需要经过系统的培训和学习,在科研和教学中我们发现,精细深厚的理论基础固然十分重要,而搭建一个完整的知识框架,能够快速地将信号及其系统定位,进而找到合适的分析方法,对高年级本科生、研究生和科研工作者更是非常必要的。为此,我们结合多年的工作经验,写出这本关于现代信号处理方法的图书,旨在对平稳的和非平稳的随机信号的常用和最新出现的分析方法进行介绍、分析和比较,更好地帮助读者在实际工作中使用。

全书共分 9 章。

第 1 章平稳随机信号,介绍平稳随机信号的特点、数学描述手段,利用统计知识进行信号分析的方法。在这一章介绍的均值、方差、相关函数、信号的平稳性等概念是统计信号处理的基础,同时信号平稳性的判别是选择信号分析方法的重要依据之一。

第 2 章是功率谱估计方法的内容,平稳随机信号需要借助功率谱进行分析。功率谱的估计有经典估计和参数模型估计两种,两种方法相辅相成。自相关函数、功率谱的定义及两者之间的关系以及 AR、MA、ARMA 模型参数的确定和功率谱估计方法是这一章的重要内容。

第 3 章非平稳随机信号,包含非平稳随机信号的定义、统计描述,以及与平稳随机信号的比较。建立时变功率谱及时变参数模型,是基于统计的非平稳信号的主要分析方法。

第 4 章介绍时频分析的基础知识,包括信号的时间、尺度、频率的基本概念,信号变换的完备性和正交性,瞬时频率的概念和确定方法。

第 5 章介绍发展过程中的时频分析方法,包含短时傅里叶变换、Gabor 变换、Wigner 分布、Cohen 类时频分布等。

前言

第6章采样率转换与滤波器组,主要介绍多抽样率信号处理方法。主要有信号的抽取、插值,多相表示,滤波器组的基本概念,两通道滤波器组输入、输出的关系,共轭正交镜像滤波器组和M通道滤波器组。

第7章小波变换,包含小波分解与重构,多分辨分析,小波重构、正交小波、双正交小波及小波包等内容。

第8章希尔伯特-黄变换,介绍经验模式分解方法、集总经验模式分解和趋势局部均值分解方法,单分量信号的确定方法,固有模态函数及调幅调频信号的特点。

第9章是压缩感知的基本内容,压缩感知在现代信号处理中的应用日益广泛。这一章主要介绍信号稀疏表示的方法,测量矩阵的性质和构造方法。

本书特色如下:

(1) 依据学生特点简化信号处理的理论推导过程,注重信号处理知识体系的构建。

(2) 依据信号的特点由简入繁安排内容,使学生能够循序渐进地理解现代信号处理理论的基础知识,掌握信号处理方法。

(3) 突出非平稳信号的处理思路和方法。

本书内容丰富,涵盖了现代信号处理的主要知识体系,在编写中,编者力求注重实用性和简洁性,对繁复的数学推导进行了简化,重点介绍非平稳信号处理的方法。编者所在的华北理工大学信息工程学院的领导和同事给予了编者无私的支持,在此表示由衷的感谢!本书第3~9章由安颖编写,第1、2章由崔东艳编写,刘利平负责全书的统稿校对。由于作者水平有限,现代信号处理方法内容又极其丰富,书中一定存在不少疏漏及不妥之处,恳切盼望读者予以批评指正。

编者

2017年3月

符号说明

1. 运算符号

$\max$	最大值
$\min$	最小值
$'$	导数
$\int$	积分
$\sum$	求和
$E()$	均值
$D()$	方差
$\text{cov}(,)$	协方差
$*$	卷积
$\overset{b}{*}$	对变量 b 作卷积
$\langle, \rangle$	内积
$\in$	属于
$\forall$	任意一个
s. t.	使服从于
$\rightarrow$	趋近于
$-$	平均值
$\sim$	仿共轭矩阵
T	向量或矩阵转置
-1	向量或矩阵的逆
$*$	向量或矩阵的共轭
H	向量或矩阵的共轭转置
$\det$	行列式的值
$ $	幅值
$ \parallel_p$	范数

$\lfloor \rfloor$	最大整数
$\downarrow$	插值
$\uparrow$	抽取
sup	上确界
inf	下确界
supp	支撑范围
$\# \{ \}$	域的势
span	张成
$\oplus$	空间的直和

2. 函数符号

X	随机变量
$x(t)$	连续信号
$x(n), x_N(n)$	离散的随机信号
$x_k(t)$	单分量信号
$x_N(e^{j\omega})$	离散信号的傅里叶变换
$p(x)$	概率密度函数
$F(x)$	概率分布函数
δ	单位冲激函数
I	单位矩阵
R_{xx}	自相关函数
C_{xx}	自协方差函数
$S_x(\omega)$	功率谱密度函数
$S_{XY}(\omega)$	互功率谱密度函数
R_{xy}	互相关函数
C_{xy}	互协方差函数
$R_{xx}(t, \tau)$	时变自相关函数
$S_{xx}(t, \omega)$	时变功率谱密度函数
r_{XY}	相关系数
S_k	斜度
ϵ_X	峰度
Δ_t^2	时宽

Δ_f^2	频宽
$\tau_k(f)$	群延迟
$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$	向量, 基函数
S_x	标架算子
$g_{t,\Omega}(\tau), g(n)$	窗函数
$W_x(t, \Omega)$	Wigner 分布
$A_x(\theta, \tau)$	模糊函数
$C_x(t, \Omega; g)$	Cohen 时频分布
$g(\theta, \tau)$	核函数
$H(e^{j\omega})$	滤波器传递函数
$H(z)$	滤波器传递函数的多相表示
$\phi_{a,b}(t)$	小波函数
$WT_x(a, b)$	小波变换
$K_\psi(a_0, b_0; a, b)$	小波重构核
$\phi(t)$	尺度函数
r_n	残余函数
$H(f, t)$	希尔伯特幅度谱
$H(f)$	希尔伯特边际谱
Θ	稀疏表示
Φ	观测矩阵
A^{CS}	压缩感知信息算子

3. 变量符号

f	频率
$f(t)$	瞬时频率
ω	角频率
T_s	抽样间隔
ω_k	离散化角频率
a	尺度因子
b	时移
$b_l(n), a_k(n)$	时变系数

教 学 建 议

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课 时 安 排	
		全部讲授	部分选讲
第 1 章 平稳随机信号	- 理解平稳随机信号的特点； - 掌握随机信号的概念、分类和数学描述方法；掌握概率密度函数、分布函数、均值、方差、均方差、协方差、相关系数的概念； - 掌握平稳随机信号的概念、平稳随机信号的时域统计表达和频域特征； - 掌握平稳性的判别方法； - 掌握平稳随机信号的各态遍历性。	2~4	2
第 2 章 功率谱估计方法	- 了解平稳随机信号需要借助功率谱进行分析的原因； - 理解功率谱的经典估计方法和参数模型估计方法的概念； - 掌握自相关函数、功率谱的定义及两者之间的关系； - 掌握经典谱估计的自相关法和周期图法； - 理解常用的线性模型：AR 模型、MA 模型和 ARMA 模型的方程，掌握功率谱估计方法。	4~6	4
第 3 章 非平稳随机信号	- 理解非平稳随机信号及其与平稳随机信号的区别； - 掌握非平稳随机信号的统计描述，如均值、方差、协方差、相关系数的概念，理解这些统计量是时间的函数； - 理解非平稳随机信号的自相关函数既是时间的函数，又是时延的函数，因此非平稳随机信号用时变功率谱密度函数估计； - 了解利用时变参数模型对非平稳随机信号进行功率谱估计的方法； - 掌握时频分析的概念，了解时频分析是对非平稳随机信号进行分析的最佳方法。	2~4	2
第 4 章 时频分析基础	- 掌握时频分析中涉及的瞬时频率、时宽、带宽、群延迟等基本概念； - 掌握信号变换的完备性和正交性； - 掌握单分量信号和多分量信号的概念； - 掌握信号的分解、重构、正交变换、标架、基函数等概念。	4~6	4

续表

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课 时 安 排	
		全部 讲授	部分 选讲
第 5 章 时频分析方法	- 掌握短时傅里叶变换的概念,理解窗函数的工作原理,理解测不准原理,掌握时宽、频宽的概念; - 掌握 Gabor 变换,理解 Gabor 变换的思想方法; - 掌握 Wigner 分布,理解双线性的概念,了解交叉项及其产生的原因; - 掌握 Cohen 类时频分布的核心思想,优化核的设计方法。	2~4	2
第 6 章 采样率转换与滤波器组	- 掌握多采样率信号处理方法,理解信号的抽取、插值的概念; - 掌握信号的多相表示方法; - 掌握滤波器组的基本概念、理解信号的准确重建含义; - 掌握两通道滤波器组中的函数关系,了解准确重建滤波器组和调制滤波器组,掌握标准正交镜像滤波器组、共轭正交镜像滤波器组、仿西滤波器组、树状滤波器组中各信号间的关系,理解去除混叠失真、幅度失真及相位失真的方法和实现准确重建的途径; - 掌握 M 通道滤波器组的结构、M 通道滤波器组的多相形式,对 M 通道滤波器组的混叠抵消和准确重建进行了分析。	6~8	6
第 7 章 小波变换	- 掌握连续小波变换方法,了解小波变换及时频分析的关系,理解小波变换的性质,掌握小波重构的方法和小波容许条件; - 掌握离散小波变换的表示方法和二进小波的稳定条件; - 掌握小波标架、Riesz 基及小波级数的概念; - 掌握尺度函数与小波函数、多分辨率分析的概念,掌握二尺度差分方程; - 掌握正交小波的构造方法以及双正交小波和小波包的概念。	6~8	6
第 8 章 希尔伯特-黄变换	- 掌握希尔伯特-黄变换方法,了解经典的时频分析方法的局限性; - 掌握希尔伯特-黄变换的概念、原理及核心思想,了解希尔伯特-黄变换的发展; - 掌握经验模式分解和固有模态函数的概念,掌握经验模式分解算法和集总经验模式分解方法; - 掌握希尔伯特谱和希尔伯特边际谱; - 掌握局部均值分解及其算法,了解局部均值分解与经验模式分解,了解希尔伯特-黄变换方法存在的问题。	6~8	6

续表

教 学 内 容	学习要点及教学要求	课 时 安 排	
		全部讲授	部分选讲
第 9 章 压缩感知	• 掌握压缩感知的基本概念； • 掌握信号稀疏表示的方法,掌握正交变换方法和字典的概念； • 掌握测量矩阵的性质和构造方法,理解测量矩阵的有限等距性质和相关性； • 了解高斯随机矩阵、二值随机矩阵、傅里叶随机矩阵、哈达玛矩阵、一致球矩阵几种测量矩阵； • 掌握信号的重构或恢复方法,理解凸优化算法和贪婪算法。	4~6	4
教学总学时建议		36~54	36

说明:

(1) 本书为信号处理相关专业“现代信号处理”课程教材,理论授课学时数为 36~54 学时,不同专业根据不同的教学要求和计划教学时数可酌情对教材内容进行适当取舍。

(2) 本书理论授课学时数中包含习题课、课堂讨论等必要的课内教学环节。

第 1 章 平稳随机信号	1
1.1 随机变量	2
1.1.1 随机变量的概念	2
1.1.2 离散型随机变量	3
1.1.3 连续型随机变量	4
1.1.4 随机变量的数字特征	7
1.2 随机信号	10
1.2.1 随机信号与随机过程	10
1.2.2 随机信号的分类	11
1.2.3 随机信号的数学描述方法	12
1.3 随机信号的平稳性	16
1.3.1 平稳随机信号的概念	16
1.3.2 随机信号平稳性的判断方法	18
1.3.3 平稳随机信号的时域统计表达	18
1.3.4 平稳随机信号频域特征	19
1.3.5 平稳随机信号的各态遍历性	20
1.4 本章小结	22
习题 1	22
第 2 章 功率谱估计方法	25
2.1 经典的功率谱估计方法	26
2.1.1 周期图法	26
2.1.2 自相关法	28
2.2 参数模型功率谱估计方法	30

目录

2.2.1 参数模型的建立	31
2.2.2 AR 模型及其功率谱估计方法	33
2.2.3 MA 模型及功率谱估计方法	40
2.2.4 ARMA 模型及功率谱估计方法	43
2.3 本章小结	44
习题 2	45
第 3 章 非平稳随机信号	47
3.1 非平稳随机信号的统计描述方法	48
3.1.1 概率与概率密度函数	48
3.1.2 非平稳随机信号的统计特征	49
3.2 非平稳随机信号的时变功率谱	50
3.2.1 时变自相关函数	50
3.2.2 时变功率谱密度函数	51
3.3 非平稳随机信号的时变参数模型	51
3.4 非平稳随机信号的时频分析方法	52
3.5 本章小结	53
习题 3	53
第 4 章 时频分析基础	55
4.1 时频分析的必要性	56
4.1.1 傅里叶分析的充分条件	56
4.1.2 傅里叶分析的局限性	57
4.2 瞬时频率	58
4.2.1 傅里叶频率	58
4.2.2 时宽与频宽	59

4.2.3	瞬时频率	60
4.2.4	群延迟	61
4.2.5	测不准原理	61
4.3	多分量信号与单分量信号	62
4.3.1	多分量信号的频率特征	62
4.3.2	单分量信号与窄带信号	63
4.4	信号的分解与重构	63
4.4.1	基函数	64
4.4.2	正交分解	64
4.4.3	完备分解	65
4.4.4	标架及 Riesz 基	66
4.5	本章小结	67
习题 4		68
第 5 章	时频分析方法	70
5.1	短时傅里叶变换	71
5.1.1	连续信号的短时傅里叶变换	71
5.1.2	离散信号的短时傅里叶变换	73
5.2	Gabor 变换	74
5.2.1	Gabor 展开	74
5.2.2	Gabor 变换	75
5.3	Wigner 分布	76
5.3.1	Wigner 分布的概念	76
5.3.2	Wigner 分布的性质	77
5.3.3	Wigner 分布与模糊函数	81
5.4	Cohen 类时频分布	83

目录

5.4.1	Cohen 类时频分布的表示形式	83
5.4.2	典型的 Cohen 类时频分布	85
5.4.3	理想时频分布的性质	85
5.4.4	最优核函数的设计	87
5.5	本章小结	88
习题 5		89
第 6 章	采样率转换与滤波器组	90
6.1	信号的抽取与插值及其滤波器实现方法	92
6.1.1	信号的抽取与插值	92
6.1.2	采样率转换	93
6.1.3	信号的多相表示方法	94
6.2	滤波器组基础	95
6.2.1	滤波器组的工作原理	95
6.2.2	信号的准确重建	97
6.2.3	两通道滤波器组中的函数关系	97
6.2.4	准确重建滤波器组	102
6.2.5	调制滤波器组	104
6.3	两通道滤波器组	106
6.3.1	标准正交镜像滤波器组	106
6.3.2	共轭正交镜像滤波器组	108
6.3.3	仿酉滤波器组	110
6.3.4	树状滤波器组	112
6.4	M 通道滤波器组	113
6.4.1	M 通道滤波器组的结构	113
6.4.2	M 通道滤波器组的多相形式	115

6.4.3 M 通道滤波器组的混叠抵消和准确重建	117
6.5 本章小结	121
习题 6	123
第 7 章 小波分析	125
7.1 连续小波变换	126
7.1.1 小波变换及时频分析	126
7.1.2 小波变换的性质	128
7.1.3 小波容许条件	130
7.1.4 小波重构	131
7.2 离散小波变换	132
7.2.1 离散小波变换	132
7.2.2 离散小波的稳定条件	132
7.2.3 小波标架	133
7.2.4 Riesz 基	134
7.2.5 小波级数	135
7.3 尺度函数与小波	136
7.3.1 多分辨分析	136
7.3.2 尺度函数与小波函数	137
7.3.3 二尺度差分方程	139
7.4 小波及小波构造	141
7.4.1 经典小波	141
7.4.2 小波的属性	145
7.4.3 正交小波的构造	148
7.4.4 双正交小波	155
7.4.5 小波包	160

目录

7.5 本章小结	160
习题 7	162
第 8 章 希尔伯特-黄变换	164
8.1 希尔伯特-黄变换方法	165
8.1.1 经典的时频分析方法的局限性	165
8.1.2 希尔伯特-黄变换概述	168
8.1.3 希尔伯特-黄变换的核心思想	170
8.2 经验模式分解方法	171
8.2.1 固有模态函数	171
8.2.2 经验模式分解算法	172
8.2.3 集总经验模式分解方法	173
8.3 希尔伯特-黄谱	174
8.3.1 希尔伯特谱	174
8.3.2 希尔伯特边际谱	175
8.4 局部均值分解	175
8.4.1 局部均值分解算法	175
8.4.2 局部均值分解与经验模式分解的比较	176
8.5 希尔伯特-黄变换存在的问题	178
8.6 本章小结	180
习题 8	181
第 9 章 压缩感知	183
9.1 压缩感知基础	184
9.1.1 压缩感知的概念	184
9.1.2 压缩感知的理论框架	186