



经典译丛

PEARSON

信息与通信技术

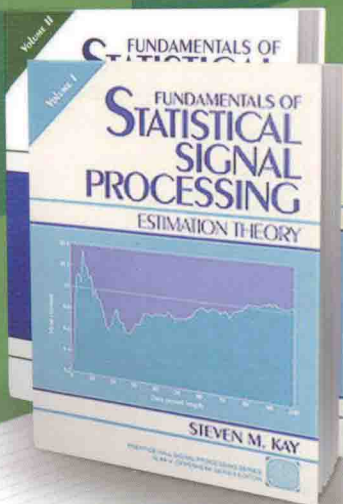
统计信号处理基础 ——估计与检测理论 (卷I、卷II合集)

Fundamentals of Statistical Signal Processing
Volume I: Estimation Theory
Fundamentals of Statistical Signal Processing
Volume II: Detection Theory

【美】 Steven M. Kay 著

罗鹏飞 张文明 刘 忠 赵艳丽 等译
罗鹏飞 审校

Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I: Estimation Theory
Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

经典译丛·信息与通信技术

统计信号处理基础

——估计与检测理论(卷 I、卷 II 合集)

Fundamentals of Statistical Signal Processing

Volume I: Estimation Theory

Fundamentals of Statistical Signal Processing

Volume II: Detection Theory

[美] Steven M. Kay 著

罗鹏飞 张文明 刘 忠 赵艳丽 等译

罗鹏飞 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书是一部经典的有关统计信号处理的权威著作。全书分为两卷,分别讲解了统计信号处理基础的估计理论和检测理论。

卷 I 详细介绍了经典估计理论和贝叶斯估计,总结了各种估计方法,考虑了维纳滤波和卡尔曼滤波,并介绍了对复数据和参数的估计方法。本卷给出了大量的应用实例,范围包括高分辨率谱分析、系统辨识、数字滤波器设计、自适应噪声对消、自适应波束形成、跟踪和定位等;并且设计了大量的习题来加深对基本概念的理解。

卷 II 全面介绍了计算机上实现的最佳检测算法,并且重点介绍了现实中的信号处理应用,包括现代语音通信技术及传统的声呐/雷达系统。本卷从检测的基础理论开始,回顾了高斯、 χ^2 、 F 、瑞利及莱斯概率密度;讲解了高斯随机变量的二次型,以及渐近高斯概率密度和蒙特卡洛性能评估;介绍了基于简单假设检验的检测理论基础,包括 Neyman-Pearson 定理、无关数据的处理、贝叶斯风险、多元假设检验,以及确定性信号和随机信号的检测。最后详细分析了适合于未知信号和未知噪声参数的复合假设检验。

本书可以作为电子信息类研究生的统计信号处理课程的教材或教学参考书,也可供从事信号处理的教学、科研和工程技术人员参考。

Authorized translation from the English language edition, entitled FUNDAMENTALS OF STATISTICAL SIGNAL PROCESSING, VOLUME I: ESTIMATION THEORY, 9780133457117 by Steven M. Kay, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 1993 Pearson Education, Inc.

Authorized translation from the English language edition, entitled FUNDAMENTALS OF STATISTICAL SIGNAL PROCESSING, VOLUME II: DETECTION THEORY, 9780135041352 by Steven M. Kay, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall PTR, Copyright © 1998 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2014.

本书中文简体字版专有出版权由 Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2010-8175

图书在版编目(CIP)数据

统计信号处理基础:估计与检测理论.第1卷、第2卷/(美)凯(Kay, S. M.)著;罗鹏飞等译.

北京:电子工业出版社,2014.6

(经典译丛·信息与通信技术)

书名原文:Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume I: Estimation Theory

Fundamentals of Statistical Signal Processing, Volume II: Detection Theory

ISBN 978-7-121-23448-4

I. ①统… II. ①凯… ②罗… III. 统计信号-信号处理 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 120965 号

策划编辑:冯小贝

责任编辑:冯小贝

印刷:三河市鑫金马印装有限公司

装订:三河市鑫金马印装有限公司

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:46.75 字数:1458 千字

版次:2014 年 6 月第 1 版

印次:2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价:99.00 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。



译者序^①

Steven M. Kay 是美国罗德岛大学电子与计算机工程系的教授，并且是信号处理方面的国际知名学者，一直致力于数学统计方法在数字信号处理中的应用研究。1989 年，由于他在参数谱估计与检测的理论和应用方面做出的突出贡献而被选为 IEEE 会士。Kay 教授还承担了许多本科生和研究生的教学工作，他讲授的本科生课程有“线性系统”、“线性系统与信号”，研究生课程有“线性变换分析”、“数字信号处理”、“随机过程导论”、“通信理论”、“估计理论”、“调制与检测”和“信号处理中的高级专题(现代谱估计)”等。

本书的英文原版自出版之后，已被世界许多大学选为“统计信号处理”研究生课程的教材或教学参考书。作者以多年的教学经验为基础撰写了本书，并通过易于理解的方法介绍了估计理论和检测理论的基本思想。本书共分为两卷，每卷的第 1 章分别介绍了估计理论和检测理论的基本概念，并以浅显易懂的方式阐述了检测与估计的基本概念和方法，使读者在一开始就对统计信号处理的基本思想和原理有一个大致的了解。在随后的各章中又延续了这样一种指导思想，即在每章的开头就用一节来概述本章的内容和主要结论。本书最为突出的一个特点是提供了大量的实例，无论是讲解估计理论还是检测理论，作者都以几个简单而又常用的例子来阐述检测、估计的基本理论与方法，读者在阅读本书时可以通过这些例子来比较各种方法的异同，并加深对概念的理解和掌握。此外，每章在介绍完基本的理论方法后都给出了一个信号处理应用实例。这些例子的涉及面比较广，都是作者结合课题研究而编写的各个应用领域的入门例子。在雷达、通信、自动控制、语音信号处理、生物医学、时间序列分析与谱估计等应用领域遇到的许多统计信号处理问题，都可以在本书的例子或习题中找到解决问题的方法，甚至可以直接找到答案。本书的每一章都附有大量的习题，这些习题与每章的内容紧密结合，其中很多是书中结论的证明或进一步的解释，同时也是本书内容的重要组成部分。许多定理的证明都在每章的附录中给出，书中较少有算法的烦琐推导，而把主要的精力放在对基本概念的描述上。

本书的每一卷都是作者针对一个学期约 50 ~ 60 学时的课程编写的，而在我国高校的电子信息类专业的研究生课程体系中，“统计信号处理”的课程一般是 50 ~ 60 学时，其中包括了检测、估计和最佳滤波的内容，因此在选用本书作为教材时需要对其进行一些取舍。译者承担了多年的“统计信号处理”研究生课程的教学，在近年来的教学中也参考了本书的许多内容。因此，译者可以为选用本书作为教材的教师提供一些参考意见，并且交流教学的经验与体会。

参加本书翻译工作的有罗鹏飞(前言;卷 I: 第 1 章 ~ 第 6 章、第 13 章 ~ 第 14 章;卷 II: 第 1 章 ~ 第 9 章、第 11 章)、张文明(卷 II: 第 10 章、第 12 章 ~ 第 13 章)、刘忠(卷 I: 第 7 章 ~ 第 8 章)、赵艳丽(卷 I: 第 10 章 ~ 第 12 章、附录)、张亮(卷 I: 第 15 章)、刘剑(卷 I: 第 9 章)。参加翻译、校对和译稿资料整理的还有谭全元、陈璞、罗佳莹、杨建华、王世希、杨世海、朱国富、田传艳、兰海滨、郭春、沈英春、肖旭、李盾、丹梅、谢小霞、徐振海、曾勇府。最后，由罗鹏飞对全书的译文进行了校对和整理。

由于译者的水平有限，文中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

^① 罗鹏飞教授所讲授的“随机信号分析与处理”是爱课程网的首批国家精品资源共享课，链接为 http://www.icourses.cn/coursestatic/course_3265.html。

前 言^①

本书的卷 I(统计信号处理基础——估计理论)主要描述了从噪声接收的信号里提取信息的统计参数估计的应用,卷 II(统计信号处理基础——检测理论)主要讲解了噪声中信号检测的统计假设检验的应用。这本书为读者提供了统计信号处理的理论和应用的全面介绍。

在有关统计学的许多著作中,参数估计和假设检验是必不可少的主题。这些著作既有统计学家撰写的,也有应用统计技术的专家编著的,前者注重理论的严密性,后者则更为强调实际的应用,本书则试图在两个方面达到平衡。这本书的读者群定位在从事信号处理算法的设计与实现的人员,我们把重点放在得到最佳估计算法和最佳检测算法上,并且这些算法可以在数字计算机上实现。因此,假定数据集为连续时间波形的采样或是一个数据点序列,并把那些得到一个最佳估计器(检测器)和分析其性能的重要方法作为选择的主题。于是,本书省略了那些比较难懂的理论叙述,更多的内容请参见相关的参考文献。

通过一些很好的例子来理解和掌握参数估计理论与检测理论,这是作者认为的最好方法,因此本书运用了大量的实例来说明相关的理论。同时,书中还给出了其他一些例子,从而将理论应用到当前感兴趣的实际信号处理问题。本书还提供了大量的习题,这些习题包含了从理论性的简单应用到基本概念的扩展。为了帮助读者更好地理解,在每章的开始便给出了这一章的小结部分。

统计信号处理基础——估计理论

第 14 章给出了所有基本估计方法的概述,以及选择一个特定估计量的基本原理。在第 2 章~第 9 章首先讨论了经典的估计问题,接着在第 10 章~第 13 章讨论了贝叶斯估计问题。这样的结构安排对于分析两种基本方法的差异是有帮助的。最后,也是为了清晰起见,我们首先介绍标量参数的估计原理,然后扩展到矢量情况。这是因为矢量估计要求的矩阵代数有时可能会使主要的概念变得模糊。

统计信号处理基础——检测理论

我们广泛使用了 MATLAB 科学程序设计语言(4.2b 版)来得到计算机产生的结果。同时书中也给出了部分 MATLAB 程序清单,这些程序对于读者肯定是有利的。第 11 章给出了所有基本检测方法的概述和选择一个特定方法的基本原理。第 3 章~第 5 章描述了基于简单假设检验的检测,而第 6 章~第 9 章给出了基于复合假设检验(适合于未知参数)的检测。其他章节介绍了非高斯信号的检测(第 10 章),模型变化的检测(第 12 章),以及在阵列处理中复/矢量数据的扩展(第 13 章)。

本书是根据罗德岛大学估计理论和检测理论的研究生课程编写的,并且包含了更多的内容。必要的背景知识包括数字信号处理的基础、概率与随机过程、线性代数与矩阵理论。这本书也适合于自学,其中的概念对于对学生和工程师都是很有帮助的。

^① 中文翻译版的一些图示、符号、正斜体沿用了本书英文原版的写作风格,特此说明。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

卷 I: 统计信号处理基础——估计理论

第 1 章 引言	3
1.1 信号处理中的估计	3
1.2 估计的数学问题	7
1.3 估计量性能评估	8
1.4 几点说明	11
参考文献	11
习题	12
第 2 章 最小方差无偏估计	13
2.1 引言	13
2.2 小结	13
2.3 无偏估计量	13
2.4 最小方差准则	15
2.5 最小方差无偏估计的存在性	16
2.6 求最小方差无偏估计量	17
2.7 扩展到矢量参数	18
参考文献	18
习题	18
第 3 章 Cramer-Rao 下限	20
3.1 引言	20
3.2 小结	20
3.3 估计量精度考虑	20
3.4 Cramer-Rao 下限	22
3.5 高斯白噪声中信号的一般 CRLB	26
3.6 参数的变换	27
3.7 扩展到矢量参数	29
3.8 矢量参数变换的 CRLB	33
3.9 一般高斯情况的 CRLB	34
3.10 WSS 高斯随机过程的渐近 CRLB	37
3.11 信号处理的例子	39
参考文献	46
习题	47
附录 3A 标量参数 CRLB 的推导	50
附录 3B 矢量参数 CRLB 的推导	53
附录 3C 一般高斯 CRLB 的推导	55

附录 3D 渐近 CRLB 的推导	58
第 4 章 线性模型	62
4.1 引言	62
4.2 小结	62
4.3 定义和性质	62
4.4 线性模型的例子	64
4.5 扩展到线性模型	70
参考文献	72
习题	72
第 5 章 一般最小方差无偏估计	74
5.1 引言	74
5.2 小结	74
5.3 充分统计量	74
5.4 求充分统计量	76
5.5 利用充分统计量求 MVU 估计量	78
5.6 扩展到矢量参数	85
参考文献	89
习题	89
附录 5A Neyman-Fisher 因子分解定理 (标量参数) 的证明	92
附录 5B Rao-Blackwell-Lehmann-Scheffe 定理 (标量参数) 的证明	94
第 6 章 最佳线性无偏估计量	95
6.1 引言	95
6.2 小结	95
6.3 BLUE 的定义	95
6.4 求 BLUE	97
6.5 扩展到矢量参数	99
6.6 信号处理的例子	101
参考文献	104
习题	104
附录 6A 标量 BLUE 的推导	108
附录 6B 矢量 BLUE 的推导	109
第 7 章 最大似然估计	111
7.1 引言	111
7.2 小结	111
7.3 举例	111
7.4 求 MLE	114
7.5 MLE 的性质	116
7.6 变换参数的 MLE	123
7.7 MLE 的数值确定	126
7.8 扩展到矢量参数	129
7.9 渐近 MLE	135
7.10 信号处理的例子	136

参考文献	141
习题	142
附录 7A 蒙特卡洛方法	146
附录 7B 标量参数 MLE 的渐近 PDF	150
附录 7C EM 算法例题中条件对数似然函数的推导	152
第 8 章 最小二乘估计	155
8.1 引言	155
8.2 小结	155
8.3 最小二乘估计方法	155
8.4 线性最小二乘估计	157
8.5 几何解释	160
8.6 按阶递推最小二乘估计	163
8.7 序贯最小二乘估计	170
8.8 约束最小二乘估计	176
8.9 非线性最小二乘估计	178
8.10 信号处理的例子	183
参考文献	193
习题	193
附录 8A 按阶递推最小二乘估计的推导	198
附录 8B 递推投影矩阵的推导	200
附录 8C 序贯最小二乘估计的推导	201
第 9 章 矩方法	203
9.1 引言	203
9.2 小结	203
9.3 矩方法	203
9.4 扩展到矢量参数	205
9.5 估计量的统计评价	206
9.6 信号处理的例子	210
参考文献	213
习题	213
第 10 章 贝叶斯原理	215
10.1 引言	215
10.2 小结	215
10.3 先验知识和估计	215
10.4 选择先验 PDF	220
10.5 高斯 PDF 的特性	223
10.6 贝叶斯线性模型	226
10.7 多余参数	228
10.8 确定性参数的贝叶斯估计	229
参考文献	231
习题	231
附录 10A 条件高斯 PDF 的推导	234

第 11 章 一般贝叶斯估计量	236
11.1 引言	236
11.2 小结	236
11.3 风险函数	236
11.4 最小均方误差估计量	239
11.5 最大后验估计量	242
11.6 性能描述	248
11.7 信号处理的例子	252
参考文献	255
习题	256
附录 11A 连续时间系统到离散时间系统的转换	259
第 12 章 线性贝叶斯估计量	261
12.1 引言	261
12.2 小结	261
12.3 线性 MMSE 估计	261
12.4 几何解释	264
12.5 矢量 LMMSE 估计量	268
12.6 序贯 LMMSE 估计	269
12.7 信号处理的例子——维纳滤波器	275
参考文献	282
习题	282
附录 12A 贝叶斯线性模型的序贯 LMMSE 估计量的推导	286
第 13 章 卡尔曼滤波器	289
13.1 引言	289
13.2 小结	289
13.3 动态信号模型	289
13.4 标量卡尔曼滤波器	297
13.5 卡尔曼滤波器与维纳滤波器的关系	305
13.6 矢量卡尔曼滤波器	307
13.7 扩展卡尔曼滤波器	309
13.8 信号处理的例子	311
参考文献	322
习题	322
附录 13A 矢量卡尔曼滤波器的推导	325
附录 13B 扩展卡尔曼滤波器的推导	328
第 14 章 估计量总结	330
14.1 引言	330
14.2 估计方法	330
14.3 线性模型	335
14.4 选择一个估计量	337
第 15 章 复数据和复参数的扩展	340
15.1 引言	340

15.2	小结	340
15.3	复数据和复参数	340
15.4	复随机变量和 PDF	345
15.5	复 WSS 随机过程	353
15.6	导数、梯度和最佳化	356
15.7	采用复数据的经典估计	361
15.8	贝叶斯估计	366
15.9	渐近复高斯 PDF	368
15.10	信号处理的例子	372
	参考文献	377
	习题	377
附录 15A	复协方差矩阵的性质的推导	381
附录 15B	复高斯 PDF 性质的推导	383
附录 15C	CRLB 和 MLE 公式的推导	387

卷 II: 统计信号处理基础——检测理论

第 1 章	引言	391
1.1	信号处理中的检测理论	391
1.2	检测问题	394
1.3	检测问题的数学描述	395
1.4	检测问题的内容体系	397
1.5	渐近的作用	398
1.6	对读者的一些说明	399
	参考文献	399
	习题	400
第 2 章	重要 PDF 的总结	402
2.1	引言	402
2.2	基本概率密度函数及其性质	402
2.3	高斯随机变量的二次型	408
2.4	渐近高斯 PDF	409
2.5	蒙特卡洛性能评估	411
	参考文献	413
	习题	413
附录 2A	要求的蒙特卡洛实验次数	416
附录 2B	正态概率纸	417
附录 2C	计算高斯右尾概率及其逆的 MATLAB 程序	419
附录 2D	计算中心化和非中心化 χ^2 的右尾概率	420
附录 2E	蒙特卡洛计算机模拟的 MATLAB 程序	424
第 3 章	统计判决理论 I	425
3.1	引言	425
3.2	小结	425
3.3	Neyman-Pearson 定理	425

3.4	接收机工作特性	433
3.5	无关数据	434
3.6	最小错误概率	435
3.7	贝叶斯风险	437
3.8	多元假设检验	438
	参考文献	440
	习题	441
	附录 3A Neyman-Pearson 定理	443
	附录 3B 最小贝叶斯风险检测器——二元假设	444
	附录 3C 最小贝叶斯风险检测器——多元假设	445
第 4 章	确定信号	446
4.1	引言	446
4.2	小结	446
4.3	匹配滤波器	446
4.4	广义匹配滤波器	453
4.5	多个信号	457
4.6	线性模型	464
4.7	信号处理的例子	466
	参考文献	469
	习题	469
	附录 4A 线性模型的简化形式	474
第 5 章	随机信号	475
5.1	引言	475
5.2	小结	475
5.3	估计器 - 相关器	475
5.4	线性模型	483
5.5	大数据记录的估计器 - 相关器	490
5.6	一般高斯检测	491
5.7	信号处理的例子	492
	参考文献	497
	习题	497
	附录 5A 估计器 - 相关器的检测性能	501
第 6 章	统计判决理论 II	503
6.1	引言	503
6.2	小结	503
6.3	复合假设检验	506
6.4	复合假设检验方法	510
6.5	大数据记录时 GLRT 的性能	514
6.6	等效大数据记录检验	517
6.7	局部最大势检测器	522
6.8	多元假设检验	524
	参考文献	528

习题	528
附录 6A 渐近等效检验——无多余参数	532
附录 6B 渐近等效检验——多余参数	534
附录 6C GLRT 的渐近 PDF	537
附录 6D LMP 检验的渐近检测性能	538
附录 6E 局部最优势检验的另一种推导	540
附录 6F 广义 ML 准则的推导	541
第 7 章 具有未知参数的确定性信号	543
7.1 引言	543
7.2 小结	543
7.3 信号建模和检测性能	543
7.4 未知幅度	545
7.5 未知到达时间	549
7.6 正弦信号检测	551
7.7 经典线性模型	558
7.8 信号处理的例子	563
参考文献	570
习题	570
附录 7A 能量检测器的渐近性能	575
附录 7B 经典线性模型 GLRT 的推导	576
第 8 章 未知参数的随机信号	578
8.1 引言	578
8.2 小结	578
8.3 信号协方差不完全已知	578
8.4 大数据记录的近似	584
8.5 弱信号检测	586
8.6 信号处理的例子	587
参考文献	593
习题	594
附录 8A 周期高斯随机过程 PDF 的推导	596
第 9 章 未知噪声参数	598
9.1 引言	598
9.2 小结	598
9.3 一般考虑	598
9.4 白高斯噪声	601
9.5 有色 WSS 高斯噪声	607
9.6 信号处理的例子	612
参考文献	616
习题	617
附录 9A 推导对于 σ^2 未知的经典线性模型的 GLRT	621
附录 9B 对具有未知噪声参数的一般线性模型的 Rao 检验	623
附录 9C 信号处理例子的渐近等效 Rao 检验	624

第 10 章 非高斯噪声	626
10.1 引言	626
10.2 小结	626
10.3 非高斯噪声的性质	626
10.4 已知确定性信号	628
10.5 未知参数确定性信号	633
10.6 信号处理的例子	638
参考文献	641
习题	641
附录 10A NP 检测器对微弱信号的渐近性能	644
附录 10B IID 非高斯噪声中线性模型信号的 Rao 检验	646
第 11 章 检测器总结	648
11.1 引言	648
11.2 检测方法	648
11.3 线性模型	656
11.4 选择一个检测器	660
11.5 其他方法和其他参考教材	663
参考文献	664
第 12 章 模型变化检测	665
12.1 引言	665
12.2 小结	665
12.3 问题的描述	665
12.4 基本问题的扩展	669
12.5 多个变化时刻	671
12.6 信号处理的例子	675
参考文献	681
习题	681
附录 12A 分段的通用动态规划方法	683
附录 12B 动态规划的 MATLAB 程序	684
第 13 章 复矢量扩展及阵列处理	685
13.1 引言	685
13.2 小结	685
13.3 已知 PDF	685
13.4 具有未知参数的 PDF	691
13.5 矢量观测和 PDF	693
13.6 矢量观测量的检测器	697
13.7 大数据记录的估计器 - 相关器	703
13.8 信号处理的例子	708
参考文献	716
习题	716
附录 13A 复线性模型 GLRT 的 PDF	719
附录 1 重要概念回顾	720
附录 2 符号和缩写术语表	731

卷 I

统计信号处理基础——估计理论

- 第1章 引言
- 第2章 最小方差无偏估计
- 第3章 Cramer-Rao 下限
- 第4章 线性模型
- 第5章 一般最小方差无偏估计
- 第6章 最佳线性无偏估计量
- 第7章 最大似然估计
- 第8章 最小二乘估计
- 第9章 矩方法
- 第10章 贝叶斯原理
- 第11章 一般贝叶斯估计量
- 第12章 线性贝叶斯估计量
- 第13章 卡尔曼滤波器
- 第14章 估计量总结
- 第15章 复数据和复参数的扩展

第1章 引言

1.1 信号处理中的估计

现代估计理论在许多设计用来提取信息的电子信号处理系统中都可以找到, 这些系统包括:

1. 雷达
2. 声呐
3. 语音
4. 图像分析
5. 生物医学
6. 通信
7. 自动控制
8. 地震学

所有这些领域都有一个共同的问题, 那就是必须估计一组参数的值。我们简单地描述一下前面的三个系统。在雷达系统中, 例如在机场监视雷达中 [Skolnik 1980], 我们感兴趣的是怎样确定飞机的位置。为了确定距离 R , 我们可以发射一个电磁脉冲, 这个脉冲在遇到飞机时就会产生反射, 继而由天线接收的回波将会引起 τ_0 秒的延迟, 如图 1.1(a) 所示。这个距离由方程 $\tau_0 = 2R/c$ 确定, 其中 c 是电磁传播速度。显然, 如果能够测到双程延迟 τ_0 , 那么也就能测到距离 R 。图 1.1(b) 显示了典型的发射脉冲和接收波形, 由于传播损耗, 接收回波在幅度上有一定衰减, 因而有可能受到环境噪声的影响而变得模糊不清, 回波到达时间也可能受到接收机电子器件引入的时延的干扰。因此, 双程延迟的确定不仅仅是要求检测接收机中功率电平的跳变。重要的是我们注意到, 典型的现代雷达系统通过模数转换器对接收到的连续时间波形进行采样, 然后将其输入到数字计算机中。一旦波形被采样, 那么这些数据就构成了一个时间序列(这个问题的更为详细的描述以及最佳估计方法请参见例 3.13 和例 7.15)。

另一种常见的应用是声呐, 我们感兴趣的也是目标位置的确定, 例如确定潜艇的方位 [Knight et al. 1981, Burdic 1984]。图 1.2(a) 显示了一个典型的被动声呐, 由于目标船上的机器和螺旋桨的转动等原因, 该目标将辐射出噪声, 这种噪声实际上就是我们关注的信号。该信号在水中传播, 并由传感器阵接收, 然后这些传感器的输出将发射到一个拖船上以输入到计算机, 接收到的信号如图 1.2(b) 所示。传感器的位置与目标信号的到达角有关, 通过测量两个传感器之间的延迟 τ_0 , 由下面的表达式可以确定方位角 β ,

$$\beta = \arccos\left(\frac{c\tau_0}{d}\right) \quad (1.1)$$

其中 c 是水中的光速, d 是传感器之间的距离(更详细的描述请参见例 3.15 和例 7.17)。然而, 由于接收到的波形淹没在噪声中, 因此接收到的波形并没有图 1.2(b) 那么清晰, τ_0 的确定将更加困难, 那么由(1.1)式得到的 β 值仅仅是一个估计。

另一个应用是语音信号处理 [Rabiner and Schafer 1978], 其中特别重要的问题是语音识别, 也就是机器(数字计算机)的语音识别。一个简单的例子是单个语音或音素(phoneme)的识别, 音素是元音、辅音等, 或是基本语音, 例如图 1.3 所示的元音/a/和/e/。注意, 这些元音是周期