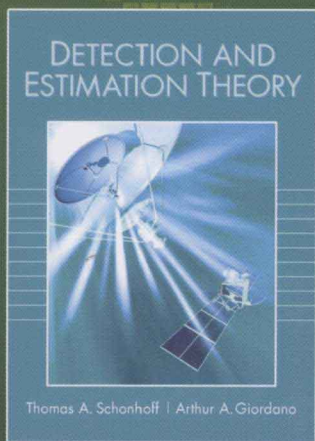


国外电子与通信教材系列

PEARSON

信号检测与估计 ——理论与应用

Detection and Estimation
Theory and Its Applications



[美] Thomas A. Schonhoff 著
Arthur A. Giordano

关欣 杨爱萍 等译
白煜 李 锵

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

信号检测与估计 ——理论与应用

Detection and Estimation
Theory and Its Applications

[美] Thomas A. Schonhoff 著
Arthur A. Giordano

关欣 杨爱萍 白煜 李鏊 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

信号检测与估计是研究在噪声、干扰和信号共存的环境中如何正确发现、辨别和测量信号的技术,广泛应用于雷达和无线通信等领域。本书详细讲解了信号检测与估计的理论和实践应用,共分为四个部分。第一部分概述后续章节需要用到的基础知识;第二部分讲述检测理论的基础概念,包括二元假设检测、各择假设检测、具有随机参数的复合假设检测及非参数检测等;第三部分介绍单参数和多参数的估值方法及波形估计理论;第四部分介绍某些理论的特定应用。全书共 19 章,各章都附有大量的例题和习题,并给出多个 MATLAB 计算机仿真实验,以加深读者对于抽象概念的理解。

本书可作为高等院校通信类、信息类、电子类和控制类等专业的研究生或高年级本科生的教材,也可作为相关科研人员的参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled DETECTION AND ESTIMATION: THEORY AND ITS APPLICATIONS, 9780130894991 by Thomas A. Schonhoff and Arthur A. Giordano, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright ©2007 by 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 ©2012.

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。

本书封面贴有 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: 01-2007-2063

图书在版编目(CIP)数据

信号检测与估计——理论与应用/(美)舍恩霍夫(Schonhoff,T.), (美)乔达诺(Giordano,A. A.)著;关欣等译.

北京:电子工业出版社,2012.1

(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Detection and Estimation: Theory and Its Applications

ISBN 978-7-121-15625-0

I. 信… II. ①舍… ②乔… ③关… III. ①信号检测-高等学校-教材 ②参数估计-高等学校-教材
IV. ①TN911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 278283 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:冯小贝

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:32.25 字数:908 千字

印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

定 价:69.00 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 zts@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

伴随着第五次信息和网络化科技革命及相关产业革命,人类的生产、生活方式发生了深刻的变革。有研究指出,信息科学与技术仍将是第六次科技革命的三个主要方向之一,并将与生物科学、纳米科学、仿生工程和机器人学等深度融合。在与之相关的电子信息系统、生物医学工程、航空航天系统工程、模式识别、自动控制等诸多领域中,待处理信号的形式多种多样,所处环境具有复杂的干扰,同时对技术指标要求越来越高,目前这些都取决于对随机信号统计处理理论和技术的掌握与理解。而信号的检测与估计理论又是随机信号统计处理的基础。因此,信号检测与估计理论的基本概念、基本理论和分析问题的基本方法是解决实际信号处理系统的基石,也是进一步学习、研究随机信号统计处理的理论基础。本书全面地讲述了有关检测与估计的统一理论,使读者能够在学习过程中更好地理解与掌握二者之间的密切关系及容易混淆的问题。同时通过引入许多实用的例子,深入剖析了相关的理论问题,有助于读者加深对估计和检测理论与技术的理解。

本书由天津大学的几位老师负责翻译工作,前言及第1章~第3章由杨爱萍博士负责翻译,第4章~第9章由李镛博士负责翻译,第10章~第14章由关欣博士负责翻译,第15章~第19章由白煜博士负责翻译。在此衷心感谢参加本书初稿翻译工作的谭玲玲、轩秀巍、徐星、冯亚楠、蔡微、张雪莹、刘天龙、秦璐、夏静静、李秋颖、董丽梦、吴康妍、闫志勇、刘兴永、耿晓楠、孟文晴等同志,另外还要感谢出版社的编辑们对我们工作的大力支持。鉴于译者水平有限,书中不当及错误之处在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

前 言

检测与估计理论适用于众多研究领域,一直以来都是大量期刊文献和教材研究的主题。虽然检测与估计的相关问题具有内在联系,但常在不同的教材中予以讨论。而本教材将同时涉及检测和估计理论两方面的内容,以方便读者学习何时采用检测理论,何时采用估计理论。这些理论的一些重要实例解释了如何在实际中应用检测和估计理论。书中首先回顾了概率和通信领域的基本概念,建立起对两个领域中的研究问题均适用的通用框架。对理论的讨论借助了 MATLAB 软件,通过引入许多实用的例子,给出问题集合,提供了对理论问题的深入剖析,以使读者获得更加深入的理解。

该教材旨在用于通信类教学大纲中研究生层次的课程或者作为工程技术人员的参考教材。在阐述时,推导了涵盖检测和估计的全面、统一的理论。在一本教材中同时介绍检测和估计理论,作者充分意识到了这些研究领域之间很强的相关性且常常难以区分。为了使传统研究问题更具现代性,教材以离散信号处理为主,在证明结论的统一性和一致性时则采用连续信号。教材前面各章给出了检测和估计理论的基本概念,而后面各章则讨论具体课题以说明前面推导的一般理论的具体应用问题。后面几章给出的课题均选自一些值得讨论的并且不断扩展的该领域的研究项目,以期为读者提供足够的知识,使其能够继续在此领域展开深入研究,并做出应有贡献。

MATLAB 的 m 文件和 Simulink 程序代码用来加深学习体会并证明理论概念的实用性。在每个 m 文件的开头,提供了所涉及的输入/输出变量,并给出了合适的注释。仿真方法在提供分析方法无法处理的性能评价时特别有用。先学习 MATLAB 方面的知识是有用的,但不是必须的。为了简便起见,作者开发的 MATLAB 软件包括了计算和仿真程序,并且避免采用特定的工具箱。

教材分为四个部分:第一部分:综述;第二部分:检测理论;第三部分:估计理论;第四部分:应用。下面是各章节的简介。

第一部分:综述

第 1 章~第 3 章为教材的其余部分建立了一个通用框架。这些章节简要介绍了在其他教材中通常都会涉及的概念,在此处重申的目的是使读者熟悉这些概念,同时也给出了贯穿全书的统一符号。

第 1 章给出了涵盖离散和连续情况的概率理论的综述,重要的概念有随机变量、矩、条件概率分布和概率密度函数、统计独立、特征函数、随机变量和多元随机变量的函数。其他检测与估计理论用到的基本概念有贝叶斯定理和高斯随机变量。利用 MATLAB,计算机生成符合某种分布的随机变量是分析和仿真更复杂估计的第一步。为了激发对于估计理论的兴趣,这一章还给出了均方误差估计的例子。

第 2 章将概率理论扩展至随机过程,回顾了平稳和各态历经的概念以便于描述自相关、互

相关和功率谱密度,还讨论了具有高斯白噪声这种重要情况下的连续和离散时间随机信号。MATLAB 例子是理论的有益补充。

第3章回顾了涉及随机过程的线性系统理论。采样定理建立起了连续和离散随机过程之间的联系。本章还介绍了非随机和随机信号基带与带通信号表示间的对应关系,这需要用到复变量,并给出 Karhunen-Loève 级数展开用于非白噪声的情况。最后,介绍用仅含噪声和信号加噪声的包络统计量计算虚警概率和检测概率。

第二部分:检测理论

第4章~第9章给出了检测理论的基本概念。在两种可供选择的假设存在的情况下讨论了单样本和多样本的情况。后续章节将结论扩展至多假设和检测信号具有随机参数的实例中。

第4章介绍了单个离散样本二元假设的情况。在这章的第一节,介绍了具体的检测准则,包括最大后验概率(MAP)准则、最大似然(ML)准则和贝叶斯准则。注意,ML方法是MAP检测的特例,并且MAP方法中由贝叶斯准则引入了代价的概念。后面的小节涵盖了极小极大准则、Neyman-Pearson 准则和序贯检测。本章结尾给出了一个实例,其中比较了噪声服从高斯分布和泊松分布的重要检测理论。

第5章解决的是两种假设情况下多个样本的情况,讨论了多次测量的例子,并且回顾了第4章中介绍的检测准则以再次验证多样本的情况。然后,本章推导了具有加性高斯噪声信号的最优贝叶斯检测器。该检测器是一个相关器,将似然(或对数似然)与门限进行比较。为了完整起见,接着介绍了扩展至高斯白噪声和有色噪声的连续信号情况。利用高斯白噪声的二进制信号最优检测器结构,计算了包括反相和正交信号等广义相关器的误码率性能。本章结尾讨论了序贯检测器及其性能。

第6章给出接收信号的最优检测器,一般来说,由于信道引入的异常,这些接收信号的幅度、相位、频率和到达时刻均未知。假设噪声是复数高斯分布并且出现了这些未知量的各种组合,基于这样的假设推导了似然率和检测器结构。还讨论了一些具体情况,诸如位置相位、频率、到达时刻的误码率性能。本章还通过 Simulink 给出了一个实例,其中信道是非线性的,并且接收相位未知。

第7章假设检测过程中利用了多个脉冲。这种情况经常出现在雷达方面的应用和一些通信实例中。再一次利用第6章中的方法,接收信号的幅度、相位、频率和到达时刻通常是未知的。这一章的不同之处在于多个脉冲来自于独立信道,得到了可以在检测器中利用的接收分集。对于平方律和线性组合情况推导了检测器结构。脉冲幅度呈现出了瑞利或莱斯衰落。

第8章讨论了多元假设情况。此处的检测准则主要集中在贝叶斯和MAP方法,并且本章最后一节介绍了序贯检测。本章引入了擦除的概念以解决不做决策胜过做出一个错误决策的情况。在可计算的情况下经分析得到了误码率性能。此外,为线性和非线性信道的脉冲幅度调制、频移键控与正交幅度调制提供了 Simulink 方法。

非参数检测在第9章中介绍,主要基于 ad hoc 检验。常用的方法包括符号检验和 Wilcoxon 检验。为了比较检测器性能,定义了渐近相关效率。对于高斯统计量,前面介绍的线性检测器是最优的,而且是本章常用的结构。本章的最后提及了一些其他的非参数技术。

第三部分:估计理论

第 10 章 ~ 第 14 章介绍估计理论,估计和检测理论之间的联系可以解释为:检测理论通常涉及假设的离散集合,例如信号存在或不存在,而典型的估计理论是在假设信号存在的情况下试图估计参数。估计理论基于参数和非参数方法。对于第 11 章和第 12 章介绍的参数估计,介绍了参数和波形估计技术,其中观测值的分布可能是已知的,也可能是未知的。第 13 章和第 14 章讨论了分布的先验知识未知时的线性估计情况。

第 10 章介绍参数估计理论中的基本课题。给出了估计器的重要特性,包括无偏性、一致性、不变性、充分性和最小方差。推导出了 Cramer-Rao 界,使得估计的最小方差有明确界限。为了给出检测准则方法的并行方法,讨论了常用的估计技术,例如贝叶斯方法、MAP 方法和 ML 方法。解释了采用代价函数的贝叶斯估计、需要最多的信息、ML 估计需要最少信息的原因。在贝叶斯估计中,所选的代价函数为参数和其估计之差的平方,这将得到一个均方误差估计。本章最后比较了常用估计器的性能。

与第 6 章中的课题相似,对幅度、相位、到达时刻和频率等具体参数的估计在第 11 章中讨论。噪声通常假设为高斯噪声但不一定是白噪声。再次应用 Karhunen-Loève 级数展开得到一组不相关的数据样本,推导出了非高斯白噪声情况。通过计算 Cramer-Rao 界,重点介绍了 MAP 和 ML 方法。还介绍了并行参数估计和 Fisher 信息矩阵,它是 Cramer-Rao 界的推广。本章结尾部分讨论了 Whittle 近似,该近似用在不能得到确切的对数似然度但却能找到一个称为近似 ML 估计的很好近似的情况下。

在第 12 章中,将单参数估计问题扩展至多参数情况。基于待估计参数,利用离散线性观测模型,计算 MAP 和 ML 估计。对于 MAP 和 ML 估计,发现估计均为无偏估计,每一个估计都有一个 Fisher 信息矩阵显示出这些估计也具有最小方差。剩余小节讨论了序贯估计,假设为高斯白噪声和更一般的高斯噪声样本相关的情况。序贯检测是卡尔曼滤波的一个简化版本,其中的估计由每个新观测值和之前的估计构成。

第 13 章讨论了维纳滤波,并且是介绍不考虑分布的估计的第 1 章,其中至多已知二阶矩。最小化原始信号样本和其估计的均方误差则自然地推导出维纳滤波器。离散维纳滤波器系数的一般解以正则方程给出。这些方差揭示了维纳滤波器系数、测量值的自相关及测量和所需信号互相关之间的关系。正交原理用来给出最小化过程的几何解释,并且用来简化最小化计算过程。本章还讨论了自回归技术,其中当前测量值的估计取决于有限个过去测量值的加权线性组合。由均方误差计算构成的连续情况下的波形估计得到了 Wiener-Hopf 等式。还推导出了直接解和白化滤波器方法。

第 14 章给出了卡尔曼迭代估计算法,该算法对于非平稳信号和噪声给出了一个无偏、最小误差方差迭代估计器。首先给出线性最小二乘和加权最小二乘方法,以便随后推导更复杂的卡尔曼迭代估计和基于系统动态模型的卡尔曼迭代估计。在卡尔曼算法中滤波器系数以卡尔曼增益迭代计算出来,并且结合了对当前和预测误差互协方差矩阵的迭代更新。随后引入了系统动态模型,并且利用卡尔曼算法进行信号估计。为了完整起见,还介绍了连续卡尔曼估计算法,并且给出了与离散情况类似的计算。卡尔曼滤波被认为是高斯信号和噪声的最优线性估计器与非高斯信号和噪声的最优线性均方误差估计器。在非线性的情况下,通过在过去的状态和信号附近线性化,给出了扩展的卡尔曼滤波器。本章最后部分给出了更一般情况下的当前研究进展。

第四部分:应用

第 15 章和第 16 章给出了具体应用和针对具体应用推导出的理论上的扩展。第 15 章讨论了非高斯噪声下的检测和估计。第 16 章描述了移动通信中遇到的衰落和多径信道上的扩频信号。多用户检测即多个用户同时利用通信资源在第 17 章介绍。第 18 章讨论利用扩频信号的低概率监听通信。第 19 章给出了典型和高级频谱估计的步骤和算法。

第 15 章将经典且广泛分析的高斯噪声情况推广至冲激或非高斯噪声情况,这在诸如大气射频频噪声信道等许多物理信道中很普遍。从对信道环境的具体假设发展出了各种信道模型,从而引出了幅度概率分布如霍尔模型、混合模型、米德尔顿 A 和 B 类模型与经验模型。不同于高斯模型中最优检测器是线性的,冲激噪声信道得到了最优非线性检测器,例如带通限制器和对数互相关器。对于各种信道模型和检测器结构组合,还计算了误码率性能。重要的估计问题包括确定 rms 对平均包络的值,其中单个参数描述了冲激噪声信道的性质。

第 16 章介绍的扩频通信是一种成熟的通信技术,用于许多军事和商用通信系统中,例如附录 I 中简介的移动通信系统。诸如直接序列扩展等扩频方法在衰落多径信道中常常需要用到。检测器结构通常比加性高斯白噪声情况复杂,并且导致了诸如 RAKE 接收器等出现,以便能够利用额外信息,因此改善了误码率性能。对于已知信道参数的接收器结构得到了二元、多元正交信号的误码率性能,这些接收器结构在出现瑞利和莱斯信道衰落时利用了分集。当诸如幅度或相位等信道参数未知时,结合误码率性能开发了非相关 RAKE 接收器。

第 17 章介绍了多用户或多址通信,包括同时制造出多址干扰的多个用户。这章前面的小节给出了码分多址,其中接收信号可以同步或非同步接收。在非同步接收中,设计了各种检测器结构以缓解多址干扰。对于去相关接收器,最小均方误差接收器和统计去相关接收器给出了接收器结构和相应的性能。本章结束部分讨论了编码理论及其对多用户通信的影响。

监听通信的低概率将在第 18 章讨论,将从通信者和监听者两方面讨论。所考虑的检测器结构包括能量检测器、滤波器组组合器和特征检测器。对于能量检测器,假设高斯或冲激噪声信道模型,以过去的检测信噪比为参数计算检测概率和虚警概率。对于冲激噪声信道,在有、无噪声限值的非线性情况下,计算了能量检测器的性能。

第 19 章的频谱估计从对快速傅里叶变换采用的经典周期图的详细讨论开始。简要介绍了数据加窗,例如 Bartlett、Welch 和 Blackman 及 Tukey 方法,随后讨论了 Capon 的最小方差估计。参数频谱估计技术在语音和图像处理中很普遍,包括自回归、自回归滑动平均和滑动平均谱估计。随后介绍基于特征值的方法,包括有噪接收信号自相关矩阵的特征值分析。还讨论了包括 Pisarenko 谐波分解、多信号分类的 MUSIC 和最小范数谱估计等相关方法。本章以常用技术的功率谱估计性能比较作为结束部分。

如果掌握了综述章节中简述的概念,本教材可以用于研究生课程。第 1 章~第 14 章的资料是在 Worcester 工业学院(WPI)二十多年授课的基础上编写的,本教材早期的草稿也存在了十多年的时间。应用章节旨在证明课题内容的深度和广度。希望这些章节能够激发读者对大量发行文献的兴趣。

对于本课程的任课教师,可能会对 WPI 何时教授该课程感兴趣。本书的第一位作者重新安排了相关的章节。通常,假设学生熟知第一章的内容,并且仅在课后习题中有所涉及,第一次

授课可以直接进入第 4 章检测理论的相关内容。随后,快速复习第 2 章,接着介绍第 10 章的估计理论内容。作者发现调整检测和估计理论的章节使学生更容易掌握共通的概念;也确信在没有像其他部分那样进行完整介绍时,不适合暂时从一个课题移至另一个课题,这是在一个学期内学习这门课程时常遇到的问题。

在介绍完第 10 章后,第 3 章的综述内容比前两章内容更深入,然后回到第 5 章的检测理论。在回到第 11 章和第 12 章的估计理论之前,老师通常介绍第 6 章和第 7 章的检测理论。所有这些章节都有一定的深度。

检测理论将与第 8 章一起被再次提及。这一章对于通信领域很重要,但是由于它与检测理论关系很小,因此在之前的授课中可以简单介绍。最后,第 9 章讲述了重要但常被忽视的非参数检验问题。

学期的最后可以介绍维纳和卡尔曼滤波,分别在第 13 章和第 14 章介绍,这也是实用性很强的两章。尽管这些方法确实很复杂,并富于挑战性,但是对概率理论有良好基础的研究生通常能学得不错(这门课程被认为是研究生教学大纲中最困难的课程之一)。

致谢

本教材的作者要对下列许多同事表示感谢。首先感谢 John Proakis,他带领我们首次学习了这门课程。当我们在 GTE 的时候,我们从与 Allen Levesque 和 Zelma Huntoon 的交流中获益匪浅。

第一位作者要感谢 Robert Price 及其 Sperry 研究中心,与之一起,他有了将这些技术用于电磁记录的机会。作为朋友,MathWorks 公司的 Mike Mulligan 为本书提供了很多 MATLAB 和 Simulink 方面的建议。

在撰写这本书时,作者利用 LaTeX 软件完成了最初的电子版本。在帮助作者使用这个出色的编辑系统的过程中,下列诸位起到了关键作用。David Cattley 最先介绍了 LaTeX,并在最初几个月的学习中提供了帮助。Thomas Bryan 则在 LaTeX 网站上提供了很多帮助。最后, Maria Schonhoff 录入了本书一多半的公式,真心地感谢他们。

本书的第二位作者要感谢来自 GET 政府系统和 GTE 实验室的同事们,他们向作者传授了许多有价值的知识和经验。此外,还要感谢 Samuel Resheff、Marc Weinberger、Arda Aksu、Frank Hsu、William Biagini、Frank Pope、Richard Eckard、David Freeman、Mark Sunaller、Harold Gibbons、James Lindholm 和 Donald Spaulding。

作者还要特别感谢 MathWorks 公司提供的 MATLAB 和 Simulink 软件。

Thomas A. Schonhoff
Arthur A. Giordano

目 录

第一部分 综 述

第 1 章 概率论知识回顾	3
1.1 本章要点	3
1.2 概率的定义	4
1.3 条件概率	4
1.4 贝叶斯定理	5
1.5 独立性事件	8
1.6 随机变量	9
1.7 条件分布和密度	9
1.8 一维随机变量的函数	10
1.9 一维随机变量的矩	12
1.10 二维随机变量的分布	15
1.11 多维随机变量	21
1.12 均方误差 (MSE) 估计	22
1.13 参考文献注释	25
1.14 习题	25
第 2 章 随机过程	27
2.1 本章要点	28
2.2 平稳过程	28
2.3 周期平稳过程	28
2.4 均值和各态历经	29
2.5 自相关函数	29
2.6 功率谱密度	31
2.7 离散时间随机过程	38
2.8 空间随机过程	40
2.9 随机信号	41
2.10 参考文献注释	42
2.11 习题	42
第 3 章 信号表示和统计	43
3.1 本章要点	43

3.2	功率谱密度和自相关函数的关系	43
3.3	采样定理	44
3.4	线性时不变和线性移不变系统	45
3.5	带通信号表示	50
3.6	参考文献注释	59
3.7	习题	60

第二部分 检测理论

第4章	二元假设下的单样本检测	63
4.1	本章要点	63
4.2	假设检验与最大后验概率准则	63
4.3	贝叶斯准则	70
4.4	极大极小化准则	72
4.5	Neyman-Pearson 准则	79
4.6	第4章例题中检测准则结果小结	82
4.7	序贯检测	83
4.8	参考文献注释	83
4.9	习题	83
第5章	二元假设下的多样本检测	86
5.1	本章要点	86
5.2	多重测量举例	87
5.3	贝叶斯准则	88
5.4	其他准则	89
5.5	加性高斯噪声中的最优数字检测器	91
5.6	滤波替代方法	93
5.7	连续信号——高斯白噪声	95
5.8	连续信号——有色高斯噪声	97
5.9	加性高斯白噪声中二元接收机的性能	100
5.10	接收机结构的深入研究	105
5.11	序贯检测和性能	106
5.12	参考文献注释	109
5.13	习题	109
第6章	随机参数信号的检测	112
6.1	本章要点	113
6.2	复合假设检验	113
6.3	未知相位	116
6.4	未知幅度	123
6.5	未知频率	128

6.6	未知到达时刻	133
6.7	参考文献注释	139
6.8	习题	139
第7章	随机参数多脉冲检测	142
7.1	本章要点	143
7.2	未知相位	144
7.3	未知相位和幅度	146
7.4	分集方法与性能	149
7.5	未知相位、幅度及频率	163
7.6	参考文献注释	166
7.7	习题	166
第8章	多元假设的检测	167
8.1	本章要点	167
8.2	贝叶斯准则	168
8.3	最大后验概率(MAP)准则	172
8.4	利用其他准则的 M 元检测	174
8.5	利用“擦除”处理的 M 元检测	174
8.6	信号空间表示	176
8.7	M 元检测系统的性能	179
8.8	多元假设的序贯检测	187
8.9	参考文献注释	187
8.10	习题	188
第9章	非参数检测	190
9.1	本章要点	190
9.2	符号检验	191
9.3	Wilcoxon 检验	197
9.4	其他非参数检验	199
9.5	参考文献注释	201
9.6	习题	201

第三部分 估计理论

第10章	估计理论基础	205
10.1	本章要点	205
10.2	一般参数估计问题表述	206
10.3	检测和估计理论之间的关系	208
10.4	估计问题的类型	208
10.5	估计器的性质	209

10.6	贝叶斯估计	220
10.7	极小极大估计	229
10.8	最大似然估计	230
10.9	参数估计器比较	233
10.10	参考文献注释	242
10.11	习题	242
第 11 章	特定参数的估计	244
11.1	本章要点	244
11.2	高斯白噪声中的参数估计	245
11.3	高斯有色噪声中的参数估计	246
11.4	加性高斯白噪声中的幅度估计	250
11.5	加性高斯白噪声情况下非相干幅度估计	253
11.6	加性高斯白噪声中的相位估计	261
11.7	高斯白噪声中的时延估计	266
11.8	高斯白噪声下的频率估计	268
11.9	高斯白噪声情况下多参数的同时估计	270
11.10	Whittle 近似	274
11.11	参考文献注释	277
11.12	习题	277
第 12 章	多参数估计	279
12.1	本章要点	279
12.2	离散线性观测模型的 ML 估计	279
12.3	离散线性观测模型的 MAP 估计	284
12.4	序贯参数估计	287
12.5	参考文献注释	294
12.6	习题	294
第 13 章	不考虑分布的估计——维纳滤波	295
13.1	本章要点	295
13.2	正交原理	295
13.3	自回归技术	298
13.4	离散维纳滤波	300
13.5	连续维纳滤波	307
13.6	离散和连续滤波表示的一般式	320
13.7	参考文献注释	322
13.8	习题	322
第 14 章	与分布无关的估计——卡尔曼滤波	323
14.1	本章要点	323
14.2	线性最小二乘法	324

14.3	最小方差加权最小二乘法	325
14.4	最小方差最小二乘或卡尔曼算法	326
14.5	卡尔曼算法计算时的考虑	331
14.6	信号估计的卡尔曼算法	332
14.7	连续卡尔曼滤波	337
14.8	扩展卡尔曼滤波	343
14.9	评论和扩展	347
14.10	参考文献注释	347
14.11	习题	348

第四部分 应 用

第 15 章	非高斯噪声系统中的检测与估计	351
15.1	本章要点	351
15.2	脉冲噪声的特性	352
15.3	非高斯噪声下的检测器结构	364
15.4	噪声模型、接收机结构和误码率性能选例	368
15.5	非高斯噪声参数的估计	373
15.6	参考文献注释	373
15.7	习题	374
第 16 章	多径衰落信道中的直接序列扩频信号	376
16.1	本章要点	376
16.2	直接序列扩频通信介绍	376
16.3	多径衰落信道模型	379
16.4	信道参数已知的接收机结构	382
16.5	相位未知的接收机结构	391
16.6	幅度或相位未知的接收机结构	394
16.7	未知信道的接收机结构和性能	401
16.8	参考文献注释	404
16.9	习题	404
第 17 章	多用户检测	408
17.1	本章要点	408
17.2	引言	408
17.3	同步多用户直接序列 CDMA	409
17.4	异步多用户直接序列 CDMA	412
17.5	理论综述	425
17.6	参考文献注释	426
17.7	习题	426

第 18 章 低截获概率通信	428
18.1 本章要点	428
18.2 LPI 系统模型	428
18.3 拦截探测器结构	430
18.4 滤波器组	437
18.5 特征检测器	438
18.6 参考文献注释	439
18.7 习题	439
第 19 章 谱估计	440
19.1 本章要点	440
19.2 功率谱估计概述	440
19.3 周期图	441
19.4 参数谱估计法	446
19.5 用 MATLAB 进行谱估计的实例	454
19.6 参考文献注释	456
19.7 习题	456
附录 A 分布的性质和密度函数	457
附录 B 常见的概率密度函数、累积分布函数和特征函数	459
附录 C 多元正态随机变量	466
附录 D 自相关和功率谱密度函数的性质	469
附录 E LTI 和 LSI 带限系统的等价性	470
附录 F 随机和理论	472
附录 G 对第 6 章、第 7 章和第 16 章有用的求解方法	473
附录 H Gram-Charlier 型级数	474
附录 I 移动用户检测	476
术语表	487
符号表	490
参考文献	495

第一部分 综 述

第1章 概率论知识回顾

第2章 随机过程

第3章 信号表示和统计

