

哈尔滨工程大学“十一五”研究生教材建设专项资金资助

信号检测与估计

XINHAO JIANCE
YU GUJI

沈锋 徐定杰 周卫东 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

哈尔滨工程大学“十一五”研究生教材建设专项资金资助

信号检测与估计

沈锋 徐定杰 周卫东 编著

国防工业出版社

·北京·

前 言

信号检测与估计是现代信息理论的重要组成部分,是以概率论与数理统计为工具,以受噪信号处理为对象,以提取信息为目标,综合系统理论的一门学科。在通信、导航、自动控制、雷达、声纳、地震勘探、生物医学信号处理等领域得到广泛应用。

本书是在作者讲授“信号检测与估计”课程自编讲义的基础上,总结多年的教学经验,并结合实际科研工作中积累的经验,参考国内外文献资料编写而成的。

全书共分8章。第1章简要介绍了信号检测与估计理论的研究对象和发展历程,并采用数学的角度描述了信号检测与估计问题;第2章~第6章分别介绍了信号检测的基本理论和方法,包括经典检测理论、确知信号的检测、复合假设检验、非高斯信号检测和恒虚警率检测理论;第7章~第8章介绍了信号估计的基本理论和方法,包括统计估计理论与方法、维纳滤波和卡尔曼滤波等。

近些年来信号检测与估计理论得到蓬勃发展,新的理论和方法大量涌现,应用领域也不断扩展。为了帮助有志于从事信息科学技术的初学者迅速入门,本书着重从基础与框架入手,既注重理论的严密性,又强调实际应用,试图在以下几个方面形成特色:

(1) 重点突出。在有限篇幅内,重点介绍信号检测与估计的经典理论,注重基本概念和基本方法的阐述。对于初学者来说,掌握了这些基本理论,就为进行本学科更深层次的学习与研究奠定了基础。

(2) 体系完整。首先,注重了结构的完整性和内容的连续性,按照惯例,先介绍信号检测,后介绍信号估计,从确知信号检测到随机参量信号和多重信号检测,从参数估计到波形估计,由浅入深,循序渐进。其次,强调了理论推导的循序性和语言描述的精炼性,为了便于教师讲授和学生自学,理论推导环环紧扣,从简到繁,由易到难,力求通俗易懂,便于理解。

(3) 内容创新。本书除了基础理论知识介绍之外,着重在两个方面进行了创新。首先,本书作者在参考了国内外文献资料的基础上,引入了一些信号检测与估计的新方法、新理论,如引入了非高斯 α 稳定分布等;其次,在介绍基础理论和基本方法的同时,列举了信号处理领域的应用实例,通过应用实例掌握基本理论和基本方法。

(4) 实例丰富。本书运用相关理论处理了大量的导航信号检测与估计问题,使理论叙述更加生动和易于理解,同时本书还提供了大量的例题,章后安排了一定数量的习题,便于读者理解和巩固所学的概念和方法,提高分析问题和解决问题的能力。

本书可以作为电子信息类专业(如自动控制、测控技术与仪器、通信工程、电子信息工程等)高年级本科生和导航、控制、通信、生物医学等学科硕士研究生的教材。学习本门课程需要先修“概率论”、“数字信号处理”等课程。

本书由沈锋拟订编写提纲,负责统稿和定稿,并编写了第5章~第8章。徐定杰编写了第1章和第2章,周卫东编写了第3章和第4章。哈尔滨工程大学博士研究生导师孙枫教授在百忙中审阅了全稿,提出了很多精辟的见解和建设性的修改意见,哈尔滨工程大学海洋运载器导航设备研究所的贺瑞、单志明、吕东泽、乔相伟、吉宇人等博士研究生,盖猛、党超、周宇、王兆龙等硕士研究生参与了部分算法仿真及校稿等工作,谨此表示衷心的感谢。同时,在编写过程中,作者还参阅了不少文献资料,也一并对这些文献的作者致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限和编写时间仓促,书中难免会出现一些疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

作者
2011年6月

目 录

第 1 章 信号检测与估计概论	1
1.1 引言	1
1.2 信号处理中的检测与估计理论	1
1.3 信号处理发展状况	3
1.4 检测与估计的数学描述	4
1.5 内容安排	7
第 2 章 统计判决理论I ——假设检验理论	8
2.1 引言	8
2.2 统计检测理论的基本概念	8
2.3 贝叶斯准则	11
2.4 最大后验概率准则	14
2.5 NP 准则	15
2.6 最小错误概率准则	19
2.7 极小化极大准则	23
2.8 M 元信号的统计检测	27
2.8.1 M 元信号检测的贝叶斯准则	27
2.8.2 M 元信号检测的最小错误概率准则	29
习题	32
第 3 章 确定信号的检测	35
3.1 引言	35
3.2 匹配滤波器	36
3.2.1 匹配滤波器的建立	36

3.2.2	匹配滤波器的性能	41
3.3	广义匹配滤波器	43
3.3.1	广义匹配滤波器的建立	44
3.3.2	广义匹配滤波器的性能	46
3.4	卫星导航系统中的应用实例分析	48
3.4.1	匹配滤波检测	49
3.4.2	虚警验证策略	51
3.4.3	性能指标定义	51
3.4.4	仿真验证	52
	习题	54
第4章	统计判决理论 II——复合假设检验	56
4.1	引言	56
4.2	复合假设检验问题的描述	56
4.3	复合假设检验方法	57
4.3.1	贝叶斯方法	57
4.3.2	广义似然比检验	59
4.3.3	NP 准则	61
4.3.4	等效大数据记录检测器	63
4.3.5	局部最大势检测器	65
4.4	多元复合假设检验	68
4.5	卫星导航系统中未知参数信号检测实例	70
4.5.1	幅度未知的导航信号检测	71
4.5.2	幅度和相位未知的导航信号检测	75
4.5.3	幅度、相位和频率未知的导航信号检测	78
4.5.4	几种方法的比较	79
	习题	81
第5章	非高斯环境下的信号检测	84
5.1	引言	84

5.2	非高斯噪声的性质	84
5.3	非高斯信号处理的发展	85
5.4	典型非高斯分布—— α 稳定分布	88
5.4.1	α 稳定分布的概念	88
5.4.2	稳定分布的几种特殊情况	91
5.4.3	α 稳定分布的性质	92
5.4.4	广义中心极限定理	94
5.4.5	α 稳定分布的概率密度函数	95
5.5	α 稳定分布噪声下的信号检测	99
5.5.1	最大功率检测	99
5.5.2	局部最优检测	100
5.5.3	α 稳定分布噪声下的信号检测	102
5.5.4	渐进误差概率	106
5.5.5	性能比较	111
5.6	非高斯环境下导航信号的检测技术	112
5.6.1	接收信号模型	112
5.6.2	检测器结构设计	114
5.6.3	检测器性能分析	116
	习题	118
第 6 章	信号的恒虚警率检测	120
6.1	引言	120
6.2	信号的恒虚警率检测概论	120
6.2.1	信号恒虚警率检测的必要性	120
6.2.2	信号恒虚警率检测的性能	122
6.2.3	信号恒虚警率检测的分类	122
6.3	噪声环境中信号的自动门限检测	123
6.3.1	基本原理	123
6.3.2	实现技术	124
6.4	信号的非参量检测	129

6.4.1	信号非参量检测的基本原理	130
6.4.2	非参量符号检测的结构和性能	131
6.4.3	秩值检验统计量的性能	133
6.4.4	非参量广义符号检测器的实现	137
6.5	卫星导航信号的恒虚警检测技术	139
	习题	148
第7章	信号的统计估计理论	152
7.1	引言	152
7.2	贝叶斯估计	152
7.2.1	贝叶斯估计的概念	152
7.2.2	常用代价函数	153
7.2.3	贝叶斯估计量的构造	155
7.2.4	最佳估计的不变性	162
7.3	最大似然估计	163
7.3.1	最大似然估计原理	163
7.3.2	最大似然估计量的构造	164
7.3.3	最大似然估计的不变性	166
7.4	估计量的性质	167
7.5	线性最小均方误差估计	170
7.5.1	线性最小均方误差估计准则	170
7.5.2	线性最小均方误差估计量的构造	171
7.5.3	线性最小均方误差估计量的性质	173
7.5.4	线性最小均方误差递推估计	176
7.6	最小二乘估计	180
7.6.1	最小二乘估计方法	181
7.6.2	线性最小二乘估计	181
7.6.3	线性最小二乘加权估计	184
7.6.4	线性最小二乘递推估计	188
7.6.5	非线性最小二乘估计	191

7.7	卫星导航系统中参数估计实例	194
7.7.1	导航接收机位置参数估计	194
7.7.2	导航接收机位置参数估计	199
	习题	202
第8章	维纳滤波和卡尔曼滤波	209
8.1	引言	209
8.2	维纳滤波	210
8.3	卡尔曼滤波	219
8.3.1	状态方程和观测方程的建立	220
8.3.2	正交投影原理	222
8.3.3	卡尔曼滤波的递推公式和算法	226
8.3.4	离散卡尔曼滤波的特点和性质	229
8.4	卡尔曼滤波的发散现象	233
8.4.1	发散现象及原因	233
8.4.2	克服发散现象的措施和方法	234
8.5	卡尔曼滤波的扩展	235
8.5.1	扩展卡尔曼滤波	235
8.5.2	无迹卡尔曼滤波	237
8.6	卡尔曼滤波在导航系统中的应用实例	240
	习题	243
	参考文献	247

第1章 信号检测与估计概论

1.1 引言

信号检测与估计理论是现代信息理论的一个重要分支,是以概率论与数理统计为工具,综合系统理论与通信工程的一门学科,主要研究在信号、噪声和干扰三者共存条件下,如何正确发现、辨别和估计信号参数,为通信、雷达、声纳、自动控制等技术领域提供理论基础,并在统计识别、射电天文学、雷达天文学、地震学、生物物理学以及医学信号处理等领域获得了广泛应用。任何一个信息传输系统(广义的通信系统),都可以用香农(Shannon)模型表示,如图 1.1 所示。

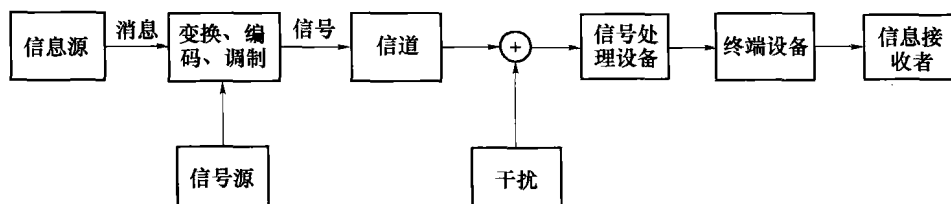


图 1.1 信息传输系统的香农模型

在本章中,将对信号检测与估计的基本概况做简要介绍。首先是对信号处理中检测与估计理论的概述;接下来介绍信号处理的发展概况;然后给出检测与估计的数学描述;最后介绍本书的编排方法。

1.2 信号处理中的检测与估计理论

信号检测理论主要研究在受噪声干扰的随机信号中,所关心的信号是否存在或者信号属于哪种类别下的最佳判决的概念、方法和性能等问题,其数学描述是统计判决理论(又称假设检验理论)。假设是关于判决可能的结果的陈述,假设检验就是在几个假设中做出应属于哪一个假设的判决。

在假设检验问题中,根据可能的判决结果数量,分为二元假设检验和 M 元假设检验问题。例如,雷达信号的检测问题,有两种可能的判决结果,即“目标

存在”和“目标不存在”,用 H_0 表示“目标不存在”,用 H_1 表示“目标存在”, H_0 和 H_1 就是雷达信号检测提出的两种假设,由于这种假设检测问题有两种假设,因此称它为二元假设检验问题,或双择一假设检验问题。当可能的判决结果有 M 种时,即有 M 个假设,则相应的假设检验称为 M 元假设检验问题,或 M 择一假设检验问题。

检测问题的难易程度与信号和噪声的统计特征知识有关,这些统计特征通过信号和噪声的概率密度函数体现出来。根据在各假设条件下概率密度函数是完全已知还是不完全已知,假设检验又分为简单假设检验和复合假设检验。对于简单假设检验允许设计最佳检测器或最佳接收机。简单假设检验又可细分确定信号的假设检验和随机信号的假设检验。复合假设检验是概率密度函数不完全已知的情况,这也是更接近实际的问题,这种情况比较复杂。一种情况是信号中含有未知参数,噪声特性已知。例如,雷达接收机接收到的目标回波信号到达时间通常是未知的,雷达工作原理如图 1.2 所示;通信接收机接收到的正弦信号的相位是随机分布,振幅起伏变化,频率未知。这样在每一种情况下,信号将含有一个或一个以上的未知参量,这些未知参量可能是确定的,也可能是随机的。如果噪声特性是高斯噪声,这时检测问题相对容易解决,在许多实际问题中,特别是电子信息系统中,这种高斯噪声的假设往往是合理的。与此类似,另一种情况是噪声特性也可能不是事先已知,如未知参量的白高斯噪声、未知参量的有色高斯噪声、未知参量的非高斯噪声等。这种情况下的未知参量白高斯噪声中已知确定信号的检测器容易实现,其他情况下的检测问题相对比较复杂。

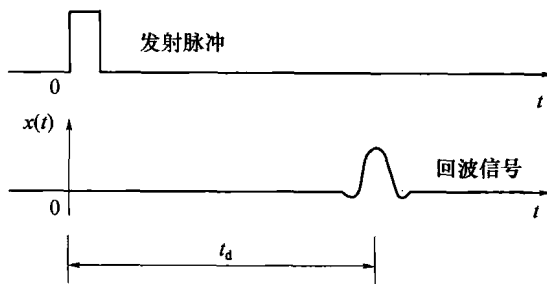


图 1.2 雷达工作原理示意图

针对特定的雷达应用领域,信号的恒虚警检测技术得到广泛的应用。信号的恒虚警检测就是在干扰强度变化的情况下,信号经过恒虚警处理,使虚警概率保持恒定。恒虚警检测分三种方法;如果已知干扰的概率密度函数的类型,这类检测称为参量检测;如果雷达工作的环境恶劣,干扰复杂,干扰的概率密度函数的类型未知或时变,这类检测称为非参量检测;如果对于干扰的统计特性部分已

知,这时可采用稳健检测。

在不同的假设检验问题中,判决的具体规则取决于不同的判决准则。常用的判决准则有贝叶斯(Bayes)平均风险最小准则、最小错误概率准则、奈曼-皮尔逊(Neyman-Pearson, NP)准则、最大后验概率准则和极小化极大准则。

估计理论是研究在噪声干扰背景中,通过对信号的观测,如何构造待估计信号参量和波形的最佳估计量的概念、方法和性能等问题。估计理论通常设计以下三种情况:一种情况是直接对观测样本的统计特性做出估计,例如观测样本的均值、方差、均方差、相关函数等;另一种情况是对观测样本中信号的未知参量做出估计,未知参量可以是确定的,也可以是随机的,这类估计称为信号的参量估计,例如噪声背景下正弦信号的幅度、相位估计;再一种情况是对随时间变化的信号做出估计,被估计的信号可以是随机过程,也可以是非随机过程,这类估计称为波形估计或过程估计,例如目标随时间变化的轨迹、速度和加速度等属于波形估计。

在估计问题中,估计方法取决于采用的估计准则,也就是说,通过各种最佳估计准则来构造估计量的方法。常用的最佳估计准则有线性最小均方误差估计、最大似然估计、最小二乘估计、最小方差估计、贝叶斯估计等准则。对于特定的应用问题,选择好的估计量与许多因素有关,首先考虑的因素是选择一个好的数学模型,该数学模型应该足以描述数据的基本特征,但同时应考虑到它要简单以便使估计量是最佳的且易于实现。在描述数据的数学模型中,线性模型相对其他模型相对简单,不同最佳准则下的估计方法可产生闭合形式的估计量。因此,需要掌握各种最佳准则和易于实现的估计量的一些知识,才能为选择一个好的估计量做出正确决策。

1.3 信号处理发展状况

信号处理是指对信号进行某种加工或变换,以达到提取信息和便于应用的目的。信号处理作为一门独立的学科,它的起源可以追溯到17世纪牛顿生活的时代。20世纪30年代,特别是第二次世界大战期间,随机过程和数理统计的观点被引入信号处理问题,揭示了信息传输和处理过程的统计本质,为信号检测与估计理论奠定了基础。

在整个20世纪50年代,信号检测与估计理论发展迅速。1953年密德尔顿(D. Middleton)等人用贝叶斯准则来处理最佳接收问题,使各种准则统一到了风险理论,这就将统计假设检验和统计推断理论等数理统计方法用于信号检测,建立了统计检测理论。1960年—1961年卡爾曼(R. E. Kalman)和布什(R. S.

Bucy) 提出递推滤波器, 即卡尔曼滤波器。它不断要求保存过去数据, 当获得新数据后, 根据新数据和前一刻各量的估值, 借助于系统本身的状态转移方程, 按照递推公式, 即可算出新的各量估值, 大大减小了滤波器的存储器和计算量, 便于实时处理。1965 年以来, 信号估计广泛采用自适应滤波器, 它在数字通信、语言处理和消除周期性干扰等方面, 已取得良好的效果。

20 世纪 60 年代后, 微电子计数和数字计数的发展为复杂信号处理的实现提供了可能性, 给信号处理在理论上, 特别是实现上带来了新的活力, 将其发展推向新的高潮, 主要表现在信号的检测理论、估计理论与滤波理论、自适应信号处理、多维信号处理、时间序列分析与建模、现代谱分析、高阶统计量信号处理、非平稳信号处理等方面。近几十年来, 信号处理以数字化方法为特征, 紧紧围绕着理论、实现及应用三个方面迅速发展起来, 成为理论与实践并重, 在高新技术领域中占有重要地位的新兴学科。

1.4 检测与估计的数学描述

作为入门介绍, 考虑一个在方差为 σ^2 的高斯白噪声 $w[n]$ 中, 幅度为 $A=1$ 的直流(DC)电平检测问题, 为了简化讨论, 假设在做出判决时只有一个观测数据可以利用。因此希望在两个假设 $x[0]=w[0]$ (只有噪声) 和 $x[0]=1+w[0]$ (噪声中的信号) 中做出判决。由于假定噪声的均值为零, 因此如果

$$x[0] > \frac{1}{2} \quad (1.4.1)$$

可以判信号存在; 而如果

$$x[0] < \frac{1}{2} \quad (1.4.2)$$

则只存在噪声。如果只存在噪声, 则 $E(x[0])=0$; 如果噪声中存在信号, 则 $E(x[0])=1(x[0]=\frac{1}{2})$ 时, 由于该事件发生的概率为零, 所以判决可以是任意的, 以后将省略这种情况)。很显然, 当存在信号时且 $w[0] < -\frac{1}{2}$, 或者当只有噪声且 $w[0] > \frac{1}{2}$, 则会做出错误的判决。因此, 不能期望在所有的时刻都能做出正确的判决, 但有希望保证在大多数情况下判决是正确的。噪声的概率密度函数(Probability Density Function, PDF)为

$$p(w[0]) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}w^2[0]\right) \quad (1.4.3)$$

任何检测器的性能将取决于在每种不同的假设下, $x[0]$ 的 PDF 有多大差异。图 1.3 画出了对应于 $\sigma^2 = 0.05$ 和 $\sigma^2 = 0.5$ 的 PDF。当只有噪声时, 概率密度函数为

$$p(x[0]) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{0.1\pi}} \exp(-10x^2[0]) & \sigma^2 = 0.05 \\ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-x^2[0]) & \sigma^2 = 0.5 \end{cases}$$

当噪声中含有信号时, 概率密度函数为

$$p(x[0]) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{0.1\pi}} \exp(-10(x[0] - 1)^2) & \sigma^2 = 0.05 \\ \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-(x[0] - 1)^2) & \sigma^2 = 0.5 \end{cases}$$

这个例子说明了一个基本理论, 就是检测性能取决于两种假设的辨识, 或者等效于两种 PDF 的辨识。

更为一般地, 把以上检测问题看做为在两种假设 H_0 和 H_1 中进行选择, 其中 H_0 表示只有噪声, H_1 表示存在信号。这样可以表示为

$$\begin{cases} H_0: x[0] = w[0] \\ H_1: x[0] = 1 + w[0] \end{cases} \quad (1.4.4)$$

对应于不同的假设, PDF 分别用 $p(x[0]; H_0)$ 和 $p(x[0]; H_1)$ 表示, 对于这个例子是

$$\begin{cases} p(x[0]; H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}x^2[0]\right) \\ p(x[0]; H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x[0] - 1)^2\right) \end{cases} \quad (1.4.5)$$

【注意】 在假设 H_0 和 H_1 之间进行判决时, 必然要问到 $x[0]$ 是根据 PDF $p(x[0]; H_0)$ 产生的还是根据 PDF $p(x[0]; H_1)$ 产生的。

在确定好估计量后, 第一步就是建立数据的数学模型, 对噪声的一个合理的模型是 $w[n]$ 为白色高斯噪声 (WGN), 即 $w[n]$ 的每一个样本具有 PDF $N(0, \sigma^2)$ (表示具有均值为零、方差为 σ^2 的高斯分布), 并且所有样本是互不相关的。那么, 未知参数是 A 和 B , 把这两个参数用一个矢量表示, 则变成了参数矢量 $\theta = [A \ B]^T$ 。令 $\mathbf{x} = [x[0] x[1] \cdots x[N-1]]^T$, PDF 为

$$p(\mathbf{x}; \theta) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - A - Bn)^2\right] \quad (1.4.6)$$

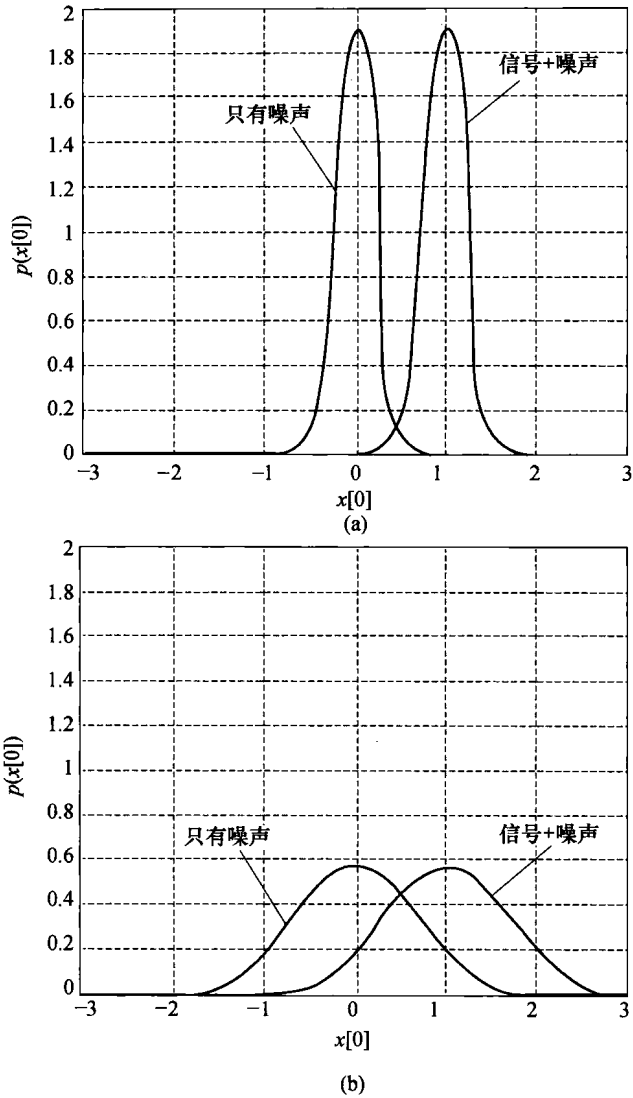


图 1.3 $\sigma^2 = 0.05$ 和 $\sigma^2 = 0.5$ 时对应的 PDF
 (a) $\sigma^2 = 0.05$; (b) $\sigma^2 = 0.5$ 。

基于像式(1.4.6)那样的 PDF 的估计称为经典的估计,其中感兴趣的参数假定为确定的但却未知。我们知道的先验知识是均值在 3000 点附近,这与现实是不一致的,因为实际选择的 A 的估计量可能使均值降低至 2000,或者高至 4000。我们更希望通过约束估计量而得到的 A 值在 $[2800, 3200]$ 范围之内。为

了把这一先验知识考虑进去,假定 A 不再是一个确定的参数,而是一个随机变量;并且给它指定 PDF,即可能在 $[2800, 3200]$ 范围是均匀分布的。因而,任何估计量都将产生在这个范围内的值,这样的方法称为贝叶斯估计。要估计的这个参数将作为随机变量 θ 的一个现实,这样,数据由联合 PDF 来描述,即

$$p(\mathbf{x}; \theta) = p(\mathbf{x} | \theta)p(\theta)$$

式中: $p(\theta)$ 是先验 PDF,它概括了在数据观测以前关于 θ 的先验知识, $p(\mathbf{x} | \theta)$ 是条件 PDF,它概括了在已知 θ 的条件下由数据 \mathbf{x} 提供的知识。

一旦指定了 PDF,问题就变成了确定最佳估计量的问题。注意,估计量可能与其他参数有关,但它们是已知的。一个估计量可以看做为对 \mathbf{x} 的每一个现实指定一个 θ 值的规则。 θ 的估计就是根据每一个给定的 \mathbf{x} 的现实而获得的 θ 的值。这种特性类似于随机变量(定义在样本空间的一个函数)和它的取值。

1.5 内容安排

随机信号处理应采用统计信号处理的概念、理论和方法,其理论基础是信号的统计检测、参量的统计估计和信号波形的滤波,主要内容包括最佳处理的概念和理论,最佳处理的实现和性能分析与评估,它们对随机信号处理的理论研究和实际应用具有十分重要的意义。为了便于学习理解和掌握这些基础理论与方法,本书除第1章外,由四部分组成。

第一部分(第2章~第4章)重点论述信号的统计检测理论和技术,包括信号最佳检测准则、检测器的结构、检测性能的分析 and 最佳波形设计等内容。

第二部分(第5章)重点讨论非高斯环境下的信号检测技术,引入非高斯分布- α 稳定分布,并结合导航信号设计检测器结构,分析检测性能。

第三部分(第6章)重点论述信号的恒虚警率处理技术的理论和方法,讨论信号的非参量型检测和稳健性检测的理论和方法。

第四部分(第7章、第8章)主要讨论信号的最佳估计理论和算法,包括最佳估计准则,估计量的构造和主要性质,维纳滤波、卡尔曼滤波算法等内容。

建议读者在掌握扎实的统计处理理论基础的同时,能从物理的意义上而不仅限于数学公式上加以理解,以提高分析、解决问题的能力,同时选作一定量的习题,以巩固、加深对所讨论问题的基本概念、基本方法的掌握及熟练程度。

第2章 统计判决理论I ——假设检验理论

2.1 引言

现实生活中,人们常常会根据观测数据对事件产生的原因做出判决。例如,在 GPS 系统中,根据接收机接收信号判断是否含有 GPS 信号;再如,根据天气观测所获数据预测某地区次日的天气情况等。这些问题都是需要利用假设检验理论来解决的判决问题。

本章简要介绍了统计检测理论的基本概念,分析了假设检验理论中的贝叶斯准则、最大后验概率准则、NP 准则、最小错误概率准则、极小化极大准则,以及 M 元信号的统计检测。

2.2 统计检测理论的基本概念

最简单的信号检测问题是根据观测信号在两种假设中做出哪一个为真的判决,这类问题称为二元信号检测或双择一假设检验问题,这里先从二元信号检测问题入手讨论信号检测概念模型。

信号检测概念模型由信源、概率转移机构、观测空间、判决准则和判决规则几部分组成,如图 2.1 所示。

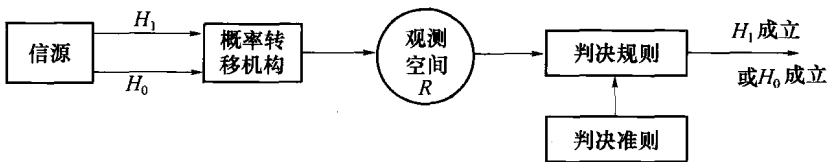


图 2.1 信号检测概念模型

信源是输出信号的装置,信号是假设的表现形式,对于二元信号检测,在任意时刻信源的输出是两种信号中的一种。概率转移机构将信源的每种输出信号按一定的概率关系映射到观测空间。由于信源的输出信号经传输在到达接收机的过程中受到干扰和噪声的影响,所以接收机获取的观测信号是随机的,观测信