

# 检测、估计和调制理论

## 卷 III

国防工业出版社

[美] H.L. 范特里斯 著 毛士艺 李明鸿 傅朝澄 译

# 检测、估计和调制理论

## 卷Ⅲ 雷达-声纳信号处理和 噪声中的高斯信号

〔美〕H. L. 范特里斯 著

毛士艺 李明鸿 傅朝澄 译

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书是《检测、估计和调制理论》的第Ⅲ卷。迄今为止，这套丛书仍然是公认的关于检测、参数估计和线性与非线性调制波形估计方面的一本论述详尽、深入的著作。本卷分两大部分：前半部分是研究这套丛书的第三层问题，即研究在噪声中检测随机信号和估计随机过程的参数问题；后半部分是将这些研究推广到雷达、声纳和数字通信问题。研究大量实际应用中的干扰环境和信道的随机模型、最佳接收机结构、性能分析以及波形选择。

本书主要的基础是第Ⅰ卷，和第Ⅱ卷研究的非线性调制问题是平行的。但与第Ⅰ、Ⅱ卷共同建立研究检测、估计和调制理论问题的统一方法。

本书是研究生教材和专著的有机结合。读者对象是从事雷达、声纳、通信、信息处理等方面研究的工程人员、研究生和高等学校教师。

DETECTION, ESTIMATION AND MODULATION THEORY

Part Ⅲ Radar-Sonar Signal Processing and

Gaussian Signals in Noise

Harry L. Van Trees

John Wiley and Sons, Inc. 1971

\*

### 检测、估计和调制理论

### 卷Ⅲ 雷达-声纳信号处理和噪声中的高斯信号

〔美〕H. L. 范特里斯 著

毛士艺 李明鸿 傅朝澄 译

\*

国防工业出版社出版、发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京市大兴兴达印刷厂印刷

\*

850×1168 1/32 印张22<sup>2</sup>/<sub>3</sub> 590千字

1991年11月第一版 1991年11月第一次印刷 印数, 001—300册

ISBN 7-118-00270-4/TN·53 定价: 18.10元

## 序 言

在本书中我们继续进行从第 I 卷〔1〕开始的检测、估计与调制理论的研究。我认为读者熟悉第 I 卷序言中叙述的全部研究课题的背景。在第 II 卷〔2〕的序言中，我略述了内容的修正安排。如同在那里所指出的，学完第 I 卷后就可以直接阅读第 III 卷。这样，许多读者将不看第 II 卷就阅读本卷。第 II 卷中的许多说明同样适合本卷，因此在这里我重复有关的部分。在 1968 年 1 月出版第 I 卷时，我已经完成了第 II 卷的“最终”手稿。在 1968 年的春季学期中，我用这份手稿作为麻省理工学院高年级研究生课程的教材。在 1968 年夏季，我着手修改手稿以便包含研究生提出的意见以及我们最新的研究成果。在 1968 年 9 月，我参加了麻省理工学院先进工程研究中心的电视教学工作。在这项工作中，我做了 50 小时的关于应用概率论与随机过程的磁带录像，以便为工业界和其他大学提供自学这门课程的录像带。因此直到 1969 年 4 月都没有进行手稿的修定工作。在参加教学录像期间，我和我的研究生又获得了很多新的研究成果，而我感到这些成果应当反映到教材中。当我开始最后修定时出现了两点想法。第一是手稿已变得如此庞大以致作为一卷出版在经济上已是不切实际的了。第二是因为我详细地论述了四个方面的课题，但实际上许多读者未必需要所有这些内容。由于这些课题只需以第 I 卷为基础独立学习，所以我决定把材料分为三部分：第 II 卷、第 III 卷和一本关于最佳阵处理的专著〔3〕。当然这样划分需要进一步校订和编辑。但为了增加读者和教师利用上的灵活性，我觉得这样做是合适的。

在第 III 卷，我论述了非线性调制理论。本书，我将论述随机信号和雷达-声纳问题。最后在专著中，我将叙述最佳阵处理问题。各部分的相互依赖关系如下列表格所示。可以看出，第 II 卷

要求的基础	
第 I 卷	卷 I-5, I-6 章
第 II 卷	
第 1-5 章	卷 I-4, I-6 章
第 6、7 章	卷 I-4 章
第 8-13 章	卷 I-4 章, I-6 章, 卷 II-1 至 II-7 章
阵处理	
第 1、2 章	卷 I-4 章
第 4 章以后	卷 II-1 至 II-5 章, AP-1 至 AP-2 章

与第 II 卷和最佳阵处理是完全分开的。最佳阵处理的前半部分在读完第 I 卷之后就可以直接学习，但后半部分需要第 II 卷的某些基础。虽然分卷出版有若干优点，但也有一个主要缺点。我的主要目的之一是要向读者介绍一种能使他们解决广泛的实际问题的统一方法。除非读者能够看到这些基本思想的广泛的可用性，否则他们也许不能体会这些基本思想的重要性。因此，我极力鼓励有兴趣的学生至少要读完三卷的全部基本结果。

本书与第 I 卷有很大的不同，也许最好把它视为专著和研究生教材的有机结合。它具有专著的特征，因为它详细地研究了許多特定问题并在研究中得出许多新的研究结果。在许多情况下，它所阐述的问题当前仍在继续研究，并且有些问题至今尚未解决。它具有研究生教材的特征，因为它系统地介绍了这些材料，并得出几乎全部必要的本质的结果。

本书对三种类型的读者都是具有吸引力的。第一类是研究生。第 2 至 7 章讨论的随机信号问题是我们以前研究的确定信号问题的逻辑推广，这些讨论完成了我们计划中定要解决的层次问题。本书的后半部分详细地研究了雷达-声纳问题以及数字通信中的某些问题。这是如何将统计理论应用到这一重要领域的详尽的研究。即使对雷达、声纳和通信基本上没有兴趣的学生，这些内容

也能提供一种有用的训练。

第二类是这一领域的研究人员。在这一领域中，本书的结果接近当前研究的最新成果。许多地方提到的具体研究问题无论对学位论文和工业研究都是适用的。

第三类是实际工程师。在研制过程中有许多系统设计和分析问题。本书所用的方法和所得的结果对当前许多问题都直接可用。这种形式的内容适宜在实际工程师的短期或职业课程中介绍。我在这样的课程中采用这本教材已有多数。

值得提一下习题。如同第 I 卷，本书有大量的习题。我认为解题是学习过程的基本组成部分。这些习题覆盖了广泛的范围，并用来证实和扩大正文中的讨论内容。有些习题要求课外阅读，要求用工程判断以便得出近似的公式，有些习题还要讨论一些问题。这些习题有时会难住学生，但我认为这是有意义的。少数习题还要用数值计算才能得出结果。我力劝教师在指定习题之前自己要先做一些习题。不久就有一本习题解答。

如同第 I 卷，我力求使符号便于记忆。所有的符号都汇总在本书最后的术语表中。我还力求使参考书目尽可能齐全，并尽可能地承认任何归于别人的思想。

(以下致谢部分略译)

### 参 考 资 料

- [1] Harry L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Pt. I*, Wiley, New York, 1968.
- [2] Harry L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Pt. II*, Wiley, New York, 1971.
- [3] Harry L. Van Trees, *Optimum Array Processing*, Wiley, New York, 1971.

## 目 录

第一章 导论 .....	1
1.1 复习第 I、II 卷 .....	1
1.2 噪声中的随机信号 .....	3
1.3 雷达和声纳系统中的信号处理 .....	6
参考资料 .....	7
第二章 白高斯噪声中高斯信号的检测 .....	8
2.1 最佳接收机 .....	9
2.1.1 规范结构 1: 估计-相关器 .....	16
2.1.2 规范结构 2: 滤波-相关接收机 .....	18
2.1.3 规范结构 3: 滤波-平方-积分(FSI)接收机 .....	19
2.1.4 规范结构 4: 最佳可实现滤波器接收机 .....	21
2.1.5 规范结构 4S: 状态变量结构 .....	26
2.1.6 小结: 接收机结构 .....	35
2.2 性能 .....	35
2.2.1 $\mu(s)$ 的闭型表示式 .....	39
2.2.2 近似错误概率表示式 .....	42
2.2.3 $\mu_R(s)$ 的另一种表示式 .....	47
2.2.4 一个典型系统的性能 .....	51
2.3 小结: 简单二元检测 .....	53
2.4 习题 .....	55
参考资料 .....	63
第三章 一般二元检测: 高斯过程 .....	66
3.1 模型与问题分类 .....	65
3.2 接收机结构 .....	67
3.2.1 白化法 .....	68
3.2.2 似然比检验的各种实现 .....	71
3.2.3 小结: 接收机结构 .....	75
3.3 性能 .....	75
3.4 四种特殊情况 .....	79

3.4.1	二元对称情况	79
3.4.2	非零均值	83
3.4.3	平稳“载波对称”的带通过程	85
3.4.4	二元对称带通问题的错误概率	89
3.5	一般二元情况：白噪声未必存在，奇异检验	91
3.5.1	接收机推导	91
3.5.2	性能：一般二元情况	95
3.5.3	奇异性	96
3.6	小结：一般二元问题	102
3.7	习题	105
	参考资料	114
<b>第四章 特殊类型检测问题</b>		<b>116</b>
4.1	平稳过程：长观测时间	116
4.1.1	简单二元问题	117
4.1.2	一般二元问题	129
4.1.3	小结：平稳过程长观测时间问题	138
4.2	可分离核	139
4.2.1	可分离核模型	139
4.2.2	时间分集	142
4.2.3	频率分集	147
4.2.4	小结：可分离核	150
4.3	低能相干情况	151
4.4	小结	158
4.5	习题	159
	参考资料	169
<b>第五章 讨论：高斯信号的检测</b>		<b>171</b>
5.1	有关课题	171
5.1.1	$M$ 元检测：噪声中的高斯信号	171
5.1.2	次最佳接收机	176
5.1.3	自适应接收机	180
5.1.4	非高斯过程	181
5.1.5	矢量高斯过程	182
5.2	检测理论小结	182
5.3	习题	184
	参考资料	190



第六章 随机过程的参数估计 .....	193
6.1 参数估计模型 .....	194
6.2 估计器结构 .....	196
6.2.1 似然函数的推导 .....	198
6.2.2 最大似然和最大后验概率方程 .....	202
6.3 性能分析 .....	204
6.3.1 方差的下边界 .....	205
6.3.2 $J^{(2)}(A)$ 的计算 .....	207
6.3.3 最小均方误差的下边界 .....	212
6.3.4 改善的性能界 .....	213
6.4 小结 .....	213
6.5 习题 .....	214
参考资料 .....	216
第七章 特殊类型的估计问题 .....	217
7.1 平稳过程、长观测时间 .....	217
7.1.1 一般结果 .....	218
7.1.2 截断估计的性能 .....	225
7.1.3 次最佳接收机 .....	237
7.1.4 小结 .....	241
7.2 有限状态过程 .....	241
7.3 可分离核 .....	244
7.4 低能相干情况 .....	247
7.5 有关课题 .....	252
7.5.1 多参数估计 .....	252
7.5.2 复合假设检验 .....	255
7.6 估计理论的小结 .....	255
7.7 习题 .....	257
参考资料 .....	270
第八章 雷达与声纳问题 .....	271
参考资料 .....	274
第九章 慢起伏点目标的检测 .....	275
9.1 慢起伏点目标模型 .....	275
9.2 白色带通噪声 .....	281
9.3 有色带通噪声 .....	285

9.4 用有限状态表示式的有色噪声 .....	289
9.4.1 最佳接收机的微分方程表示式及其性能, I .....	290
9.4.2 最佳接收机的微分方程表示式及其性能, II .....	290
9.5 最佳信号设计 .....	297
9.6 小结和有关课题 .....	300
9.7 习题 .....	303
参考资料 .....	315
<b>第十章 参数估计: 慢起伏点目标</b> .....	<b>317</b>
10.1 接收机的推导与信号设计 .....	317
10.2 最佳估计器的性能 .....	338
10.2.1 局部精度 .....	338
10.2.2 全局精度(或模糊度) .....	347
10.2.3 小结 .....	353
10.3 时间-频率自相关函数和模糊函数的性质 .....	353
10.4 编码脉冲序列 .....	358
10.4.1 开关序列 .....	359
10.4.2 恒定功率, 调幅波形 .....	360
10.4.3 其他编码序列 .....	369
10.5 分辨力 .....	369
10.5.1 离散环境中的分辨: 模型 .....	370
10.5.2 常规接收机 .....	372
10.5.3 最佳接收机: 离散分辨力问题 .....	375
10.5.4 分辨力的小结 .....	382
10.6 小结与有关课题 .....	383
10.6.1 小结 .....	383
10.6.2 有关课题 .....	384
10.7 习题 .....	387
参考资料 .....	402
<b>第十一章 多普勒展宽的目标与信道</b> .....	<b>407</b>
11.1 多普勒展宽目标(或信道)的模型 .....	410
11.2 多普勒展宽目标的检测 .....	416
11.2.1 似然比检验 .....	417
11.2.2 规范接收机结构 .....	417
11.2.3 最佳接收机性能 .....	422
11.2.4 过程类型 .....	423

11.2.5	小结 .....	427
11.3	多普勒展宽信道中的通信 .....	427
11.3.1	二元通信系统: 最佳接收机与性能 .....	428
11.3.2	最佳化二元系统的性能边界 .....	431
11.3.3	次最佳接收机 .....	440
11.3.4	$M$ 元系统 .....	451
11.3.5	小结: 在多普勒展宽信道上的通信 .....	452
11.4	参数估计: 多普勒展宽目标 .....	453
11.5	小结: 多普勒展宽信道和目标 .....	457
11.6	习题 .....	458
	参考资料 .....	471
<b>第十二章</b>	<b>距离展宽的目标与信道 .....</b>	<b>472</b>
12.1	模型与直观讨论 .....	474
12.2	距离展宽目标的检测 .....	479
12.3	时间频率对偶性 .....	481
12.3.1	基本对偶性原理 .....	481
12.3.2	对偶目标与信道 .....	484
12.3.3	应用 .....	488
12.4	小结: 距离展宽目标 .....	497
12.5	习题 .....	498
	参考资料 .....	505
<b>第十三章</b>	<b>双展宽的目标与信道 .....</b>	<b>506</b>
13.1	双展宽目标的模型 .....	507
13.1.1	基本模型 .....	508
13.1.2	双展宽目标(或信道)的微分方程模型 .....	516
13.1.3	模型小结 .....	521
13.2	在混响或杂波中的检测(密集环境中的分辨力问题) .....	522
13.2.1	通常接收机 .....	523
13.2.2	最佳接收机 .....	535
13.2.3	混响问题的小结 .....	545
13.3	双展宽目标的检测和双展宽信道上通信 .....	546
13.3.1	问题的形成 .....	547
13.3.2	双展宽目标和双展宽信道的近似模型 .....	552
13.3.3	在双展宽信道上传输的二元通信 .....	568
13.3.4	低能相干条件下的检测 .....	585

13.3.5	有关课题 .....	590
13.3.6	双展宽信号检测的小结 .....	592
13.4	双展宽目标的参数估计 .....	593
13.4.1	低能相干条件下的估计 .....	595
13.4.2	振幅估计 .....	598
13.4.3	平均距离和多普勒估计 .....	602
13.4.4	小结 .....	605
13.5	双展宽目标和信道的小结 .....	606
13.6	习题 .....	607
	参考资料 .....	628
<b>第十四章</b>	<b>讨论</b> .....	<b>632</b>
14.1	小结: 雷达和声纳系统中的信号处理 .....	632
14.2	最佳阵处理 .....	637
14.3	结束语 .....	637
	参考资料 .....	638
<b>附录:</b>	<b>带通信号、系统和过程的复表示法</b> .....	<b>639</b>
A.1	确定性信号 .....	639
A.2	带通线性系统 .....	646
A.2.1	时不变系统 .....	646
A.2.2	时变系统 .....	648
A.2.3	状态变量系统 .....	649
A.3	带通随机过程 .....	650
A.3.1	平稳过程 .....	650
A.3.2	非平稳过程 .....	660
A.3.3	复有限状态过程 .....	666
A.4	小结 .....	676
A.5	习题 .....	677
	参考资料 .....	683
<b>术语汇编</b>	.....	<b>685</b>

# 第一章 导 论

本书是由四卷组成的一套丛书的第三卷。这四卷书的目的是要介绍解决检测、估计和调制理论问题的统一方法。在这一卷中，我们研究两个主要领域。第一个领域是检测噪声中的随机信号和估计随机过程的参数。第二个领域是雷达和声纳系统中的信号处理。正如我们在序言中指出的，第Ⅲ卷没有应用第Ⅰ卷的内容，因此读完第Ⅰ卷后就可以直接阅读第Ⅲ卷。

本章我们扼要地讨论三个问题。在1.1节，我们复习第Ⅰ、Ⅱ卷以便使读者明白第Ⅲ卷的内容和整个研究内容的关系。在1.2节，我们介绍第一个领域中的问题并略述第2至7章的编排。在1.3节，我们介绍雷达-声纳问题，并略述第8至14章的编排。

## 1.1 复习第Ⅰ、Ⅱ卷

在第Ⅰ卷的导论中，我们概述了检测、估计和调制理论领域中的问题的层次，并叙述了许多遇到这类问题的实际情况。

在第Ⅰ卷中，我们从详细地研究经典检测和估计理论开始我们的讨论。在经典问题中，观测空间是有限维的，而在大多数我们所研究的问题中，观测是波形，因此应该用无限维空间表示它。所有检测和参数估计问题的基本概念都在经典理论一章中研究。

在卷Ⅰ-3章中，我们讨论了用级数展开式表示波形的的方法。这种表示法能使我们直接将经典问题和波形问题联系起来。以这两章为基础，我们开始研究卷Ⅰ-1章中概述了的各层问题。

在卷Ⅰ-4章的第一部分中，我们研究在高斯噪声中检测已知信号的问题。经典的问题是二元检测问题，这时两种假设下的接收波形为

$$r(t) = s_1(t) + n(t) \quad T_i \leq t \leq T_f; H_1 \quad (1.1)$$

$$r(t) = s_0(t) + n(t) \quad T_i \leq t \leq T_f; H_0 \quad (1.2)$$

式中  $s_1(t)$  和  $s_0(t)$  是已知函数,  $n(t)$  是高斯随机过程的样本函数。

接着我们研究参数估计问题。这时接收波形为

$$r(t) = s(t, \mathbf{A}) + n(t) \quad T_i \leq t \leq T_f \quad (1.3)$$

信号  $s(t, \mathbf{A})$  是  $t$  和  $\mathbf{A}$  的已知函数。参数  $\mathbf{A}$  是我们要估计的随机的或非随机的矢量。

我们把上述所有问题称作在噪声中的已知信号问题。这些是我们在卷 I-1 章中叙述过的第一层问题。这一层问题的共同特征是在接收机中存在确定信号。在二元检测问题中, 接收机在接收波形中判决两种确定信号中的哪一个存在。在估计问题中, 接收机估计包含在信号中的参数的数值。在这两种情况下都是附加噪声限制了接收机的性能。

然后通过使信号依赖于有限个未知参数 (随机的或非随机的) 来推广模型。这时二元检测问题中的接收波形为

$$\begin{aligned} r(t) &= s_1(t, \boldsymbol{\theta}) + n(t) \\ & \quad T_i \leq t \leq T_f; H_1 \\ r(t) &= s_0(t, \boldsymbol{\theta}) + n(t) \\ & \quad T_i \leq t \leq T_f; H_0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

在估计问题中, 接收波形为

$$r(t) = s(t, \mathbf{A}, \boldsymbol{\theta}) + n(t) \quad T_i \leq t \leq T_f \quad (1.5)$$

矢量  $\boldsymbol{\theta}$  表示一组未知的、不必要的参数, 这些参数的存在使问题增加了新的不定因素。这些问题称为第二层问题。第二层问题中的附加的自由度使我们能够研究诸如随机相位、瑞利、赖思安等一系列重要的实际信道。

在卷 I-5 章中, 我们开始讨论调制理论和连续波估计问题。在建立了问题的模型之后, 我们推导了一组规定最佳解调器的积分方程。

在卷 I-6 章中, 我们详细地研究了线性估计问题。我们的分析导出一组规定最佳接收机的积分方程

$$K_{ar}(t, u) = \int_{T_i}^{T_f} h_0(t, \tau) K_r(t, u) d\tau$$

$$T_i < t, u < T_f \quad (1.6)$$

然后我们先研究观测区间为无限, 过程为平稳时的情况。这时维纳的谱因子分解法使我们能够完全求解这一问题。对于有限观测区间和非平稳过程, 卡尔曼和布西的状态变量模型得出了全解。我们将发现, 式 (1.6) 积分方程在本卷的研究中是经常出现的, 因此卷 I-6 章中的许多结果在我们现在的讨论中将起到重要的作用。

在第 II 卷中, 我们研究非线性调制理论〔2〕。因为第 II 卷和第 III 卷在主要的内容上是不连贯的, 因此我们不详细复习这些内容。卷 I-4 章到第 II 卷的全部内容是我们检测、估计和调制理论中的第一、二层问题的详细研究。

还有许多实际情况用第一、二层的模型来描述是不够的。下一节, 我们讨论这种情况并指出一种更合适的模型。

## 1.2 噪声中的随机信号

我们从考虑一系列过去的模型不再适用的实际情况开始讨论。考虑用无源声纳系统检测潜水艇存在的问题。潜水艇中的发动机, 螺旋桨和其他零部件都会产生声信号, 这些声信号通过海洋传播到检测系统中的水听器。我们最好将这种信号表示为一随机过程的样本函数。此外, 水听器本身还产生噪声, 和拾取海洋噪声。因此这种检测问题的合适的模型应该是

$$r(t) = s(t) + n(t)$$

$$T_i \leq t \leq T_f; H_1 \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} r(t) &= n(t) \\ T_i \leq t \leq T_f; H_0 \end{aligned} \quad (1.8)$$

这时  $s(t)$  是随机过程的一个样本函数。在这个问题中，新的特征是从假设（源输出）到信号的映射不再是确定的。检测问题是要判决  $r(t)$  是信号加噪声过程的样本函数还是单独噪声过程的样本函数。

从两个过程中判决哪一个存在的第二个领域是数字通信。许多数字通信系统工作在传输特性具有随机性的信道上。例如对对流层散射通信、轨道两极通信、箔条系统、光学系统的大气信道以及水下声信道等都具有随机性质。我们在第 9 至 13 章中详细地讨论信道模型。我们知道在这种信道上的典型的传输数字数据的方法是发射两个频率上分开的信号（用  $\omega_1$  和  $\omega_0$  表示这两个频率）中的一个。得到的接收波形为

$$\begin{aligned} r(t) &= s_1(t) + n(t) \\ T_i \leq t \leq T_f; H_1 \\ r(t) &= s_0(t) + n(t) \\ T_i \leq t \leq T_f; H_0 \end{aligned} \quad (1.9)$$

现在  $s_1(t)$  是一随机过程的样本函数，其谱的中心位于  $\omega_1$ ， $s_0(t)$  是另一随机过程的样本函数，其谱的中心位于  $\omega_0$ 。我们要建立一个能在  $H_1$  和  $H_0$  之间判决的接收机。

要估计随机过程的参数的问题是很多的。通常当我们用平稳随机过程表示一种实际现象时，我们假定功率谱是已知的。实际上，我们只能得到一个样本函数，而必须通过观测来确定它的谱。一种方法是将谱参数化，然后估计这些参数。例如，我们假定

$$S(\omega, A) = \frac{A_1}{\omega^2 + A_1^2} \quad -\infty < \omega < \infty \quad (1.10)$$

然后试图通过观测被噪声污染了的  $s(t)$  的样本函数来估计  $A_1$  和  $A_2$ 。第二种方法是先考虑一小的频率区间，然后去估计谱在该区间的平均高度。



第二个估计过程的参数的例子发生在无线电天文学、分光仪和无源声纳等领域中。源产生窄带随机过程，其中心频率表征该源。这时我们要估计谱的中心频率。

一个紧密关联的问题发生在无线电天文学中。银河系中的各种源产生其中心频率落在某一已知频率上的窄带过程，如果此源不在运动。通过估计接收过程的中心频率就可以确定源的速度。接收波形可写为

$$r(t) = s(t, v) + n(t), \quad T_i \leq t \leq T_f, \quad (1.11)$$

式中  $s(t, v)$  是随机过程的样本函数，其统计特性依赖于速度  $v$ 。

这些检测和估计理论问题的例子和我们在卷 I -1 章中归纳的第三层问题一致。它们共同的特征是感兴趣的信息嵌在随机过程中。任何检测和估计方法必须将基于  $r(t)$  的统计量如何转变为假设或参量的函数。

在第 2 章，我们建立简单二元检测问题的定量模型，其中接收波形由一种假设下的白高斯噪声过程以及另一种假设下的高斯信号过程和白高斯噪声过程之和组成。在第 3 章，我们研究一般检测问题，其中接收波形是两个高斯随机过程中的一个过程的样本函数。在这两章中，我们推导最佳接收机结构并研究所得的性能。

在第 4 章，我们研究四类可以获得全解的特殊的检测问题。在第 5 章，我们考虑  $M$  元问题和二元问题的次最佳接收机的性能，然后小结我们的结果。

在第 6、7 章，我们处理参数估计问题。在第 6 章，我们研究单参数估计问题的模型，推导最佳估计器和讨论性能分析法。在第 7 章，我们研究四类估计问题，这类问题都能获得合适的全解。我们还将这些结果推广到多参数估计问题，然后小结估计理论的结果。

本书的前半部分是较长的，许多讨论占了大量的篇幅。不过为了增进真正解决实际问题的能力，这些详细的讨论是必要的。