

通信工程丛书

通信理论(1)

信号检测与估计

刘有恒 编著

中国通信学会主编

人民邮电出版社

内 容 简 介

信号检测与估计是现代信息理论的一个重要分支。本书系统地讲述信号检测与估计理论及其应用。首先讲述经典检测理论及其应用,包括高斯白噪声中确知信号、随机参量信号及多重信号的检测,高斯色噪声中信号的检测。然后讲述经典估计理论及应用,包括各种信号参数的估计。最后讲述最佳线性估计(维纳滤波和卡尔曼滤波理论)、非参量检测和 Robus 检测,这部分内容可以理解为属于现代检测与估计理论的范畴。

本书的编写方式是从简到繁,由浅入深,循序渐进,前后呼应,以便于读者自学。力图突出概念,避免繁琐的数学推导,并多收入一些数据和图表,以适合实际工作的需要。

本书可供从事通信、雷达、声纳、自动控制等专业的工程技术人员自学,也可作为高等院校有关专业的教学参考书。

通信工程丛书

通信理论(1)

信号检测与估计

刘有恒 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 850×1168 1/32

1989年4月 第一版

印张: 20 28/32 页数: 334

1989年4月北京第1次印刷

字数: 554千字

印数: 1—2 000 册

ISBN7-115-03703-5/TN·121

定价: 8.50元

从 书 前 言

为了帮助我国通信工程技术人员有系统地掌握有关专业的理论知识，提高解决专业科技问题、做好实际工作的能力，了解新技术的新知识和发展趋势，以便为加快我国通信建设、实现现代化作出应有的贡献，我会与人民邮电出版社协作，组织编写套“通信工程丛书”，陆续出版。

这套丛书的主要读者对象是工作不久的大专院校通信学科各业毕业生、各通信部门的助理工程师、工程师和其他通信工程技术人员。希望能够有助于他们较快地实际达到通信各专业工程师所有的理论水平和技术水平。

这套丛书的特点是力求具有理论性、实用性、系统性和方向性。丛书内容从我国实际出发，密切结合当前通信科技工作和未来发展的需要，阐述通信各专业工程师应当掌握的专业知识，包括有关的系统、体制、技术标准、规格、指标、要求，以及技术更新方面。力求做到资料比较丰富完备，深浅适宜，条理清楚，对专技术发展有一定的预见性。这套丛书不同于高深专著或一般教材，不仅介绍有关的物理概念和基本原理，而且着重于引导读者把这些概念和原理应用于实际；论证简明扼要，避免繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版这套丛书的各个通信部门和专家们，我们示衷心感谢。殷切希望广大读者和各有关方面提出宝贵的意见和建议，使这套丛书日臻完善。

中国通信学会

一九八六年七月十四日

目 录

· 导言	(1)
第一章 经典检测理论	(10)
1.1 引言	(10)
1.2 最大后验概率准则下的简单二元假设检验	(13)
1.3 贝叶斯准则	(18)
1.4 极小极大准则	(20)
1.5 奈曼-皮尔孙准则	(23)
1.6 似然比检验的工作特性	(24)
1.7 多样本简单二元假设检验	(28)
1.8 简单 M 元假设检验	(43)
*1.9 切尔诺夫界限	(47)
第二章 确知信号的检测	(57)
2.1 引言	(57)
2.2 二元数字通信	(59)
2.3 M 元数字通信	(71)
2.4 雷达检测	(78)
*2.5 抽样法检测	(82)
2.6 匹配滤波器	(89)
*2.7 匹配滤波器的近似实现	(105)
第三章 随机参量信号的检测	(114)
3.1 引言	(114)
3.2 复合假设检验	(115)
3.3 随机相位信号	(120)
3.4 随机相位和振幅信号(一)——ASK通信和雷达	

	检测	(134)
3.5	随机相位和振幅信号(二)——FSK通信	(141)
3.6	随机相位、振幅和频率信号	(150)
3.7	随机相位、频率和时延信号	(157)
*3.8	抽样法检测	(160)
第四章	多重信号的检测	(164)
4.1	引言	(164)
4.2	确知信号	(165)
*4.3	格拉姆-查利级数	(170)
4.4	随机相位信号	(176)
4.5	随机相位和振幅信号(一)——雷达检测	(191)
4.6	随机相位和振幅信号(二)——分集通信系统	(197)
4.7	序贯检测	(212)
第五章	高斯色噪声中信号的检测	(222)
5.1	引言	(222)
5.2	卡亨南-洛维展开	(223)
5.3	确知信号的检测	(232)
*5.4	积分方程的解	(246)
5.5	随机相位信号的检测	(259)
第六章	经典估计理论	(272)
6.1	引言	(272)
6.2	贝叶斯估计	(273)
6.3	最大后验概率估计	(284)
6.4	最大似然估计	(286)
6.5	估计量的性质	(287)
6.6	克拉美-罗不等式	(292)
6.7	估计的最小均方误差限	(303)
*6.8	最小二乘估计	(307)
6.9	估计理论小结	(308)

第七章	信号参量的估计	(310)
7.1	引言	(310)
7.2	振幅估计	(312)
7.3	相位估计	(313)
7.4	时延估计	(317)
7.5	频率估计	(327)
7.6	时延和频率的联合估计	(331)
7.7	高斯色噪声情况下的估计	(336)
7.8	最大似然检测	(343)
第八章	最佳线性估计(一)——维纳滤波	(351)
8.1	引言	(351)
8.2	稳态维纳滤波	(352)
*8.3	非稳态维纳滤波	(365)
8.4	多输入维纳滤波	(371)
8.5	离散时间维纳滤波	(373)
*8.6	Robust维纳滤波	(375)
第九章	最佳线性估计(二)——卡尔曼滤波	(377)
9.1	引言	(377)
9.2	随机过程的状态空间模型	(379)
9.3	离散时间卡尔曼滤波	(392)
9.4	应用举例	(400)
9.5	连续时间卡尔曼滤波	(407)
*9.6	Robust卡尔曼滤波	(418)
9.7	维纳滤波与卡尔曼滤波的关系	(419)
第十章	非参量检测	(422)
10.1	引言	(422)
10.2	符号检测	(430)
10.3	秩检测	(440)
10.4	双输入检测	(451)

10.5	条件检测	(462)
10.6	自适应检测	(475)
*10.7	最近邻法检测	(491)
第十一章	Robust检测	(507)
11.1	引言	(507)
11.2	确知信号的有限样本Robust检测	(511)
11.3	确知信号的渐近Robust检测	(518)
11.4	确知信号的序贯Robust检测	(540)
*11.5	随机信号的Robust检测	(559)
11.6	其它Robust检测技术	(571)
附录	随机过程概述	(575)
A.1	随机过程的概率描述	(575)
A.2	集合相关函数	(577)
A.3	时间相关函数	(584)
A.4	遍历过程	(586)
A.5	功率谱密度	(589)
A.6	线性系统对随机过程的响应	(595)
A.7	希尔伯特变换与信号预包络	(602)
A.8	窄带随机过程	(606)
A.9	高斯过程	(612)
A.10	窄带高斯过程包络和相位的分布	(618)
A.11	正弦波加窄带高斯过程包络和相位的分布	(621)
A.12	窄带高斯过程包络平方的分布和 χ^2 分布	(628)
A.13	正弦波加窄带过程包络平方的分布和非中心 χ^2 分布	(632)
	参考文献	(639)
	名词索引	(648)

导 言

一、信号检测与估计理论的研究对象

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。它为通信、雷达、声纳、自动控制等技术领域提供理论基础。此外，它在统计识模、射电天文学、雷达天文学、地震学、生物物理学以及医学等领域里，也获得了广泛的应用。

众所周知，通信、雷达、自动控制系统等都是当代重要的信息传输和处理系统，对它们的性能要求，总的说来有两个方面。一是要求系统能高效率地传输信息，这就是系统的有效性；二是要求系统能可靠地传输信息，这就是系统的可靠性或抗干扰性。使系统信息传输可靠性降低的主要原因有：1. 不可避免的外部干扰和内部噪声的影响；2. 传输过程中携带信息的有用信号的畸变。

无线电信号是通过电磁波经由大气层或电离层传播的。由于大气层和电离层的吸收系数与折射系数的随机变化，必然导致无线电信号的振幅、频率和相位等参量的随机变化。大气层、电离层和宇宙空间各种放电过程构成的天电干扰，电气设备、无线电台、人为干扰等造成的工业干扰，都是外界干扰的主要来源。再加上接收设备内部存在的噪声，使得在许多实际情形中，接收的有用信号埋在噪声干扰之中，因而难以辨认。信息传输过程中存在的这种外界干扰和内部噪声，大大降低了信息传输的可靠性。为了保障信息可靠地传输，就必须同这些不利因素进行斗争。信号检测与估计理论正是在人们长期从事这种斗争的实践过程中逐步形成和发展起来的。它的基本任务是，研究如何在干扰和噪声的影响下最有效地辨认出有用信号的存在与否，以及估计出未知的信号参量或信号波形

本身。它实质上是有意识地利用信号与噪声的统计特性的不同，来尽可能地抑制噪声，从而最有效地提取有用信号的信息。

信号检测与估计理论又称为信号检测的统计理论，其数学基础是统计学中的判决理论和估计理论。从统计学的观点看，可以把从噪声干扰中提取有用信号的过程看作是一个统计推断过程，即用统计推断方法，根据接收到的信号加噪声^①的混合波形，来作出信号存在与否的判断，以及关于信号参量或信号波形的估计。检测信号是否存在用的是统计判决理论，也叫假设检验理论。二元假设检验是对原假设 H_0 （代表信号不存在）和备选假设 H_1 （代表信号存在）所进行的二择一检验，检验要依据一定的最佳准则来进行。估计信号的未知参量用的是统计估计理论，即根据接收混合波形的一组观测样本，来估计信号的未知参量。由于观测样本是多维随机变量，由它们构成的估计量本身也是一个随机变量，其好坏要用其取值在参量真值附近的密集程度来衡量。因此参量估计问题可以通俗地说成是：如何利用观测样本来得到具有最大密集的估计。此外，估计信号波形则属于滤波理论，即维纳和卡尔曼的线性滤波理论以及后来发展的非线性滤波理论。这样，信号检测与估计理论按其基本内容来看，包括三个方面：信号的检测，参量的估计和波形的估计（或称复现、提取、过滤）。信号的检测指的是检验信号存在与否的一种狭义的检测；参量的估计指的是对信号所包含的连续消息（在观测期间是恒定值 θ ）进行的估计（或测量），所关心的不是信号本身，而是信号所荷载的消息；波形估计是指在最小均方误差意义下，对信号或者解调后的消息波形（在观测期间是时间函数 $x(t)$ ）进行的估计，所关心的是整个信号或消息波形本身。

上面提到的三方面内容，相互之间有着密切的联系，不可截然分开。信号的检测与参量的估计有时是同时进行的，例如 M 元假设检验问题，是对原假设 H_0 （代表信号不存在）和 $M-1$ 个互不相容的备选假设 H_1, H_2, \dots, H_{M-1} （代表信号参量的 $M-1$ 个可能取值）

^①广义的噪声包括外界干扰，下同。

所进行的 M 择一检验。参量估计又可看作是波形估计的特例。特别是，当利用状态变量方法来处理问题时，统计判决和统计估计之间的密切联系更是显而易见。

随着通信、雷达、自动控制等技术领域的蓬勃发展，利用信号检测与估计理论对信号检测系统进行统计分析与综合已取得长足的进展，信号检测与估计理论已成为分析和综合最佳检测系统的理论基础。具体说来，它包括以下几个研究课题：

1. 确定和论证适用于信号检测系统的最佳准则。准则的选取既要反映给定的实际条件，提出理想化模型，又要便于简化最佳检测系统的结构和性能分析。
2. 从理论上求解符合所选用的最佳准则的最佳检测系统的结构。分析其性能，研究性能随某些因素的变化情况。
3. 将实际使用的检测系统与理论上的最佳系统进行比较，找出二者的性能差距，从而明确实际系统尚待挖掘的潜力，指出提高性能的方向，寻求易于实现的准最佳信号检测系统。
4. 比较在不同的信号与噪声统计特性下各种最佳检测器的结构和性能，明确信号与噪声统计特性对最佳检测系统结构和性能的影响。

信号检测与估计理论是现代信息理论的一个分支，研究的对象是信息传输系统中信号的接收部分。现代信息理论的其它分支还有仙依信息论、编码理论、信号理论、噪声理论、调制理论、保密学等。

二、信号检测与估计理论发展的简略回顾

信号检测与估计理论是从40年代第二次世界大战中逐步形成和发展起来的。整个40年代是这个理论的初创和奠基时期。在这期间，美国科学家维纳(N. Wiener)和苏联科学家柯尔莫格洛夫(A. H. Колмогоров)等作出了杰出的贡献。他们将随机过程和数理统计的观点引入到通信^①和控制系统中来，揭示了信息传输和处

^①广义的通信系统包括雷达和声纳系统。

理过程的统计本质，建立了最佳线性滤波理论〔1, 2〕，后人称之为维纳滤波理论。这样，就把经典的统计判决理论和统计估计理论与通信工程紧密结合起来，为信号检测与估计理论奠定了基础。对于当时的传统观念来说，维纳滤波理论的创立是一次冲击和突破。前此，在20和30年代，人们在研究信息传输系统的可靠性问题时，总是习惯于把信号看成是一个确定性的过程（周期过程或瞬态过程），因而具有很大的局限性。究其原因，或多或少是和当时所依靠的主要数学工具——经典的傅里叶分析方法分不开的。

维纳滤波理论是在最小均方误差准则下，通过维纳-霍夫（Wiener-Hopf）方程，求解线性滤波器的最佳传递函数。整个50年代，对维纳滤波理论的研究取得了不少成果。到了50年代后期，已经推广到非稳态和时变系统的情况。

同一时期，在雷达技术发展的推动下，诺思（D.O.North）于1943年提出了以输出最大信噪比为准则的匹配滤波器理论〔3〕，随后在雷达和通信系统中获得了广泛的应用。1946年卡切尼科夫（В.А.Котельников）提出了错误判决概率为最小的理想接收机理论〔4〕，证明了理想接收机应在其输出端重现出后验概率为最大的信号，即是将最大后验概率准则作为一个最佳准则。1950年，当仙农信息论刚问世不久，伍德沃德（P.M.Woodward）就把信息量概念应用于雷达信号检测中来，提出了理想接收机应能从接收到的信号加噪声的混合波形中提取尽可能多的有用信息。为此，仅需知道后验概率分布，因此认为，理想接收机应是一个计算后验概率分布的装置〔5〕。

从1953年开始，人们直接利用统计推断中的判决和估计理论来研究雷达信号检测和参量估计。在整个50年代，检测与估计理论发展迅猛。密德尔顿（D.Middleton）等人用贝叶斯准则（最小风险准则）来处理最佳接收问题，并使各种最佳准则统一于风险理论〔6, 7, 8〕。这样，检测理论便发展到了成熟的阶段。1960年，同时有几部关于信号检测与估计的著作问世〔9, 10, 11〕，标志着经典检

测与估计理论已臻于完善。60年代末，范特里斯（H.L. Van Trees）陆续完成了他的3大卷巨著^[12]，是检测与估计理论集其大成的作品；托马斯（J.B. Thomas）的著作^[13]也是一部好书。70年代出版的几部书则各具特色。塞奇和梅尔萨（A.P. Sage and J. L. Melsa）的著作^[14]是对估计理论及其应用的一次成功的总结；惠伦（A.D. Whalen）的书^[15]深入浅出，图文并茂，适于通信科技工作者自学；鞠德航等人的书^[16]反映了我国科技工作者在这一领域的成就及追赶世界先进水平的努力。我们注意到，关于检测与估计理论的早期著作^[9, 10, 13]也有叫做统计通信理论的，顾名思义，它表示统计学与通信工程的结合而形成的一门新学科。

按照范特里斯的观点^[12]，上述内容是属于经典检测与估计理论的，所谓“经典”是指它所用的数学方法，基本上是统计学家们已经完成的工作。从历史发展的观点看，经典检测与估计理论也可叫做第一阶段的检测与估计理论。它在应用于实际方面遇到了困难，随后便发展了卡尔曼滤波理论，非线性检测与估计理论，非参量检测与估计理论，Robust检测与估计理论等新的分支，如果把它们归入现代检测与估计理论，或第二阶段的检测与估计理论，也未尝不可。

远在五十年代后期，随着各个领域科学技术的发展，特别是空间技术和数字电子计算机技术的发展，经典检测与估计理论无论在理论本身以及在实际应用方面都暴露了许多弱点。维纳滤波理论要求对所观测的数据追溯到无限的过去，因而满足不了空间技术的实时精密跟踪、测量和控制的要求；在雷达、声纳和通信技术中也由于实际噪声统计分布的多样性、不确定性以及不能预知，而在普遍应用经典检测与估计理论方面遇到了不可克服的困难。于是人们开始探索新的理论和技术途径，试图攻克这些难关并且取得了进展。

首先，作为对维纳滤波理论的突破，六十年代初出现了卡尔曼（Kalman）滤波理论^[17, 18]。它把状态变量引入到滤波理论中来，用信号和噪声的状态空间模型代替自相关函数，将状态空间描

述与离散时间更新联系起来，以时域的微分方程来表示滤波问题，得到了递推滤波算法。这一理论打破了平稳过程的限制，更没有无限时间的要求。它的一个明显优点是在线性问题中出现了一个非线性微分方程，即黎卡蒂 (Riccati) 方程，在已知初始条件下可以用电子计算机求解。线性滤波理论的这一进展，很快就成功地应用于卫星轨道测量、导弹制导和自动控制等领域，整个60年代主要向应用方面发展。进入70年代以后，凯莱斯 (T. Kailath) 等人在理论上和算法技术上都作了进一步的推进。他们发展了新息 (Innovation) 过程的理论，并且与鞅 (Martingale) 过程理论相结合，为非线性估计开拓了前景^[19, 20]。

其次，作为对经典检测与估计理论只适用于已知噪声统计特性情况的突破，60和70年代先后发展了非参量检测与估计理论、Robust^①检测与估计理论。非参量检测与估计适用于噪声的统计特性基本上未知的情况，其数学基础是非参量统计推断^[21, 72]。它是由卡蓬 (J. Capon) 于1959年首先提出的，经过10年多的发展，到了70年代初，在汉森 (V. G. Hansen) 等人提出“广义符号检验法”^[22]之后，开始在雷达检测中得到实际应用。70至80年代初先后出版了几部总结性的著作或文集^[23, 24, 25]，发表了一篇文献目录汇集^[26]。Robust检测与估计的理论基础是休伯 (P. J. Huber) 于60年代中期提出的Robust统计学^[27, 28]，70年代以后，被逐步应用到检测与估计领域，它适用于噪声统计特性部分确知的场合。目前这一理论尚处在开发研究阶段，有关的综述性文章有^[29, 30, 31, 96]。

80年代以后，由于光纤通信、激光雷达及其它激光技术的发展，量子信道已日益重要，相应的量子检测与估计理论势必会接踵而上。虽然1976年问世的赫尔斯特洛姆 (C. W. Helstrom) 的专著^[32]已为这一理论奠定了基石，但总的看来，量子检测与估计理论还处在初创时期，有一系列问题有待于研究和解决。

^① Robust一词可译为坚韧或强健。

非线性检测与估计理论是一个艰难而又十分重要的领域。当二维图象信道提到日程上来之后，这一领域的研究就更形迫切。图象信息传输与处理过程中的相位同步问题、相位检波问题、相参积累问题等实质上都与非线性检测与估计理论息息相关。

非参量检测与估计虽已开始应用于雷达检测中，但就理论本身和技术完备性来看，都还有大量工作有待深入；如何在通信技术中应用这一理论也尚待研究。Robust检测与估计理论有待于进一步完善以便于同实际应用相结合。现有的几种理论上的Robust检测方法由于其固有的局限性，很难应用到实际中去。相关样本情况下Robust检测的研究是通向实际应用大门的必由之路，然而由于道路崎岖而进展缓慢。随机逼近方法应用于Robust估计已为其开辟一条新的发展途径。

自仙依信息论问世以来，不断有人企图把它应用到检测与估计理论中来并取得了一定的成果^[33]。50年代末仙依的信息率失真理论提出以后，这两门学科就靠得更近了。近年来已有人利用信息率失真理论来研究非线性估计问题。另一方面，用检测与估计理论来发展仙依信息论也做了某些尝试。看来这两门原来各自独立发展的学科正出现互相渗透互相促进的现象，其结果必将导致信息科学出现一次新的飞跃^[34]。

三、本书的编写方式

作为通信工程丛书“通信理论系列书”的一种，本书的主要读者对象是通信学科各专业的助理工程师和工程师，同时也兼顾雷达、声纳、自动控制等领域的工程技术人员。考虑到这点，加上篇幅的限制，收入的内容就不能漫无边际而应有适当的取舍。首先收入的是经典检测与估计理论，这是上述诸领域科技人员共同需要的理论基础；其次收入卡尔曼滤波、非参量检测和Robust检测，作为现代检测与估计理论的部分重要内容加以介绍，以利于读者开阔视野，放眼未来；再者，讲述理论的应用时，重点放在与通信有关

的方面，也涉及雷达或声纳的一般应用问题。至于雷达和声纳的特殊课题，诸如信号设计，信号分辨，混响对声纳系统性能的影响以及声纳中的最佳阵列处理等，就超出本书的范围。有兴趣的读者，可以参看范特里斯著作(12)的卷Ⅱ和(35)。

本书编写的层次是从简到繁，由浅入深，循序渐进，前后呼应，以便于读者自学。按照惯例，先讲检测部分，后讲估计部分。这两部分都是先讲经典理论，后讲实际应用。经典检测理论的应用，包括第二章至第五章的内容，从高斯白噪声中确知信号的检测开始，进到随机参量信号的检测，多重信号的检测，最后是高斯色噪声中信号的检测。第六、七两章讲述经典估计理论及其应用。上述内容应归入经典检测与估计理论的范畴。第八章和第九章讲述最佳线性估计理论，即维纳与卡尔曼滤波理论；第十章非参量检测和第十一章Robust检测，实质上是讲述非高斯噪声中信号的检测问题。这四章内容，除了维纳滤波理论之外，都是近20多年来新发展的检测与估计理论，是属于现代检测与估计理论的范畴。

本书力图突出概念，避免繁琐的数学推导，而多收入一些数据和图表，以适应工程师们的需要。数学推导的严谨程度也只停留在工程数学的水平。阅读本书无需具备高深的基础知识。学过基础概率论是必要的；了解一些线性代数和复变函数的基础知识是有益的。对于随机过程的基本概念比较熟悉的读者，可以径直从头开始阅读本书；对于那些不大熟悉随机过程的读者，建议先阅读附录部分（随机过程概述），再阅读正文，这样可能减少一些障碍。少数章节的内容是相对独立的，或是比较难懂的，绕过它们并不影响阅读后续部分的基本内容。这些章节的前面都冠以星号“*”，表示初次学习时可以跳过不看，但并不意味着这些章节是不重要的。

书末附有参考文献和名词索引。所列举的文献。或者是有代表性和比较重要的，或者是近年发表的而以前出版的同类著作中未曾收入者。旨在帮助读者了解检测与估计理论的发展梗概以及近年的研究动向。所列文献的数量是非常有限的，因此，不能认为没有列

入的文献就是不重要的。

作者在北京大学无线电电子学系多年讲授研究生课程“信号检测与估计”的经验，对于编写本书是不无裨益的。实际上本书就是在讲稿的基础上修改而成的。因此成书之后，用作通信学科各专业低年级研究生的教学参考书，也未尝不可。

本书力图做到理论与实际相结合，并给读者以解决问题的方法上的指引。然而由于作者水平所限，恐怕是力不从心。疏漏和差错也在所难免，欢迎读者批评指正。

北京邮电学院续大我副教授详细审阅了全部书稿并提出许多宝贵意见。原北京大学无线电电子学系研究生朱康民、本科生唐一民、彭孟康、李学恭在他们的毕业论文中为本书提供了许多计算结果和图表。作者对于他们的帮助在此一并表示谢忱。

刘有恒。

于北京大学无线电电子学系

第一章 经典检测理论

1.1 引言

在数字通信和雷达检测中，我们面临一种共同的情况，就是根据接收到的信号，来判断其中是否存在有用信号。由于信号在信道传输中会有畸变，如振幅、频率、相位、到达时间等参量的随机变化，加上噪声的影响，所以接收到的信号，是畸变了信号加噪声的混合波形^①，要从中判断是否存在有用信号，是属于信号的统计判决问题，或信号的检测问题。

信号处理还包含另一方面的内容，就是根据混合信号的抽样值来估计有用信号的未知参量如振幅、频率、相位和到达时间等。由于信号的随机性以及混杂噪声的影响，使我们只可能把这些参量的数值估计到一定的精确程度，这是信号参量的估计问题。

本章只讨论经典检测理论，其数学基础是统计判决理论或假设检验理论。而且只讨论简单假设检验问题，其具体应用留待下章讨论。关于复合假设检验及相应的随机参量信号的检验问题，留待第三章讨论。至于信号参量的估计理论及应用，留待第六、七章讨论。

信号检测的理论基础是假设检验理论，它可追溯到1763年贝叶斯(T. Bayes)在条件概率方面所做的开创性工作。1933年奈曼(J. Neyman)和皮尔孙(E. Pearson)提出了使错误概率极小化的检验。1939年瓦尔德(A. Wald)提出了代价和 risk 的概念。在第二次世界大战中，这些概念已经应用到雷达检测中。战后的40年代末至50年代是经典检测理论蓬勃发展以臻完善的时期。这期间卡

^①我们在这里不考虑乘性噪声的影响。