

现代信号检测

与估计理论及方法探究

许正望◎著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

现代信号检测

与估计理论及方法探究

许正望◎著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书重点研究了信号检测与估计共同涉及的理论,探讨了检测 and 估计的方法,注重结构的完整性和内容的连续性,重视理论联系实际,同时注意对新概念、新理论的介绍。本书主要内容涵盖了随机信号与噪声,信号检测,序列检测,信号波形估计及信号检测与估计的应用等。

本书内容丰富新颖,可供从事电子信息系统、信号处理研究与设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代信号检测与估计理论及方法探究 / 许正望著

— 北京 : 中国水利水电出版社, 2017.10

ISBN 978-7-5170-5978-3

I. ①现… II. ①许… III. ①信号检测—研究②参数估计—研究 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第258222号

书 名	现代信号检测与估计理论及方法探究 XIANDAI XINHAO JIANCE YU GUJI LILUN JI FANGFA TANJIU
作 者	许正望 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京亚吉飞数码科技有限公司
印 刷	三河市天润建兴印务有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 16印张 287千字
版 次	2018年9月第1版 2018年9月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	72.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

随着现代通信理论、信息理论、计算机科学与技术及微电子技术及器件的飞速发展,信号统计处理的理论和技术也在向干扰环境更复杂、信号形式多样化、处理技术更先进、指标要求更高、应用范围越来越广的方向发展,已成功应用于电子信息系统、航空航天系统、自动控制、模式识别、遥测遥控、生物医学工程等领域。

所谓信号的检测理论是研究在噪声干扰背景中所关心的信号属于哪种状态的最佳判决问题。信号的估计理论,是研究在噪声干扰背景中,通过对信号的观测,如何构造待估计参数的最佳估计量问题。信号的波形估计理论则是为了改善信号质量,研究在噪声干扰背景中感兴趣信号波形的最佳恢复问题,或离散状态下表征信号在各离散时刻状态的最佳动态估计问题。信号的波形估计理论又称为信号的调制理论。这里,并未将信号的波形估计理论与信号的估计理论截然分开,而是将信号的参量估计看作信号波形估计的特例。下面通过实例加以说明。

我们考察空间飞行目标的定位问题。为此,向目标方向发射一束电磁能,观测反射的电磁波。首先,要判断有没有目标存在,这是检测问题;其次,如果判断目标存在,可能还希望知道有关目标的某些参数,如它的距离或速度,这是估计问题;同时,可能还需要获得目标的运动轨迹,这是波形估计问题,又称为调制问题。如果没有任何干扰,反射波通过传输媒质也未受到畸变,则问题很容易求解。只要监测反射信号,根据信号峰值出现的时间来观测发射和反射波间的延时即可。如果没有目标,也就没有尖峰信号;如果有目标,可以估计它的距离;同时,还要对噪声干扰中飞行目标的运动轨迹进行最佳恢复,即波形估计。

如果存在干扰,解答就不那么简单。干扰可能起因于经过传输媒质时产生的畸变或测量设备的热噪声。干扰的作用掩盖了我们要监测的回波信号尖峰。没有目标时,我们可能得到一个虚假的回波尖峰;而有目标时,又可能辨别不出目标回波尖峰。无论哪种情况,由于有噪声存在,都有可能做出错误的判决。我们的任务是监测某一段时间的信号,做出关于目标是否存在的判决。这就是检测问题,它属于一般的统计判决问题。如果我们已判定目标存在,并试图根据观测到的延时来确定距离,这仍会有问题,因为

干扰会使回波尖峰出现的时间位置不对。这时,我们面临根据含有噪声的观测结果来恢复信息(目标距离、波形参数)的问题,这就是前面提到的估计问题。

全书共分为 8 章,主要包括信号检测与估计概论,随机信号与噪声,信号检测,序列检测、非参量检测和 Robust 检测,波形检测,信号参量估计,信号波形估计,信号检测与估计的应用。

本书的出版得到国家自然科学基金项目 61471162、国家国际科技合作专项项目 2015DFA10940 的资助。本书的出版也得到了湖北工业大学太阳能高效利用湖北省协同创新中心、太阳能高效利用及储能运行控制湖北省重点实验室、湖北省电网智能控制与装备工程技术研究中心的大力支持。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第 1 章 信号检测与估计概论	1
1.1 信号处理中的检测与估计理论	1
1.2 信号检测与估计理论发展的几个阶段	5
1.3 信号检测与估计理论的研究对象及研究方法	6
第 2 章 随机信号与噪声	11
2.1 概率与随机变量	11
2.2 随机过程	20
2.3 离散随机信号	30
2.4 高斯过程与白噪声	36
2.5 窄带高斯过程	40
第 3 章 信号检测	43
3.1 经典检测理论	43
3.2 二元信号的贝叶斯检测准则	48
3.3 二元信号的派生贝叶斯检测准则	50
3.4 多元信号的检测及其最佳准则	56
3.5 复合假设检验	58
第 4 章 序列检测、非参量检测和 Robust 检测	69
4.1 序列检测	69
4.2 非参量检测	78
4.3 稳健性(Robust)检测	83
第 5 章 波形检测	94
5.1 匹配滤波器理论	94
5.2 连续随机信号的正交级数展开	102

5.3	确知信号的检测	107
5.4	高斯白噪声中信号波形的检测	115
5.5	高斯有色噪声中确知信号波形的检测	129
第 6 章	信号参量估计	139
6.1	估计量的性质	139
6.2	贝叶斯估计	144
6.3	最大似然估计	151
6.4	线性最小均方误差估计	153
6.5	最小二乘估计	160
6.6	多参量同时估计	169
第 7 章	信号波形估计	171
7.1	信号波形估计概述	171
7.2	连续随机过程的维纳滤波	173
7.3	离散随机过程的维纳滤波	176
7.4	标量与矢量信号的卡尔曼滤波	183
7.5	卡尔曼滤波的推广	194
7.6	卡尔曼滤波的发散现象分析	199
7.7	常增益滤波方法	201
第 8 章	信号检测与估计的应用	206
8.1	信号检测与估计应用概述	206
8.2	在通信系统中的应用	208
8.3	在船用导航雷达中的应用	219
8.4	其他应用	238
参考文献		249

第 1 章 信号检测与估计概论

信号检测与估计是研究从噪声环境中检测出信号,并估计信号参量或信号波形的理论,是现代信息理论的一个重要分支,广泛应用于电子信息系统、自动控制、模式识别、射电天文学、气象学、地震学、生物医学工程及航空航天系统工程等领域。

1.1 信号处理中的检测与估计理论

信号的检测与估计问题是所有统计信号处理技术的基本问题,不仅出现在定位问题中,还出现在通信、雷达、图像处理、模式识别、自动控制、系统辨识、导航、遥控遥测、声呐、地质勘探、生物医学、振动工程和射电天文等领域。在模拟通信系统中,发送的消息经常在传输中遭到畸变。在接收端往往用观测噪声刻画这种畸变作用。所以,接收机恢复消息的问题可以表述为在随机噪声存在的情况下,估计随机信号的问题。

雷达系统中,重要的是确定是否有飞机正在靠近。为了完成这一任务,发射一个电磁脉冲,如果这个脉冲被大的运动目标反射,那么就显示有飞机出现。如果有一架飞机出现,那么接收波形将由反射的脉冲(在某个时间之后)和周围的辐射以及接收机内的电子噪声组成。如果飞机没有出现,那么就只有噪声。信号处理器的功能就是要确定接收到的波形中只有噪声(没有飞机)还是噪声中含有回波(飞机出现)。图 1-1a 描绘了一个雷达,图 1-1b 是其发射波形,图 1-1c 和图 1-1d 画出了两种可能情形的接收波形。当回波出现的时候,接收到的波形与发射波形有些不同,但差别不是很大。这是因为接收到的回波由于传播损耗而被衰减,以及由于多次反射的相互作用而产生了失真。当然,如果检测到飞机,那么就要确定飞机的方位、距离、速度等。因此检测是信号处理系统的第一个任务,而第二个任务就是信息的提取。在此需要确定飞机的位置。为了确定距离 R ,考虑到电磁脉冲在遇到飞机时会产生反射,继而由天线接收的回波将会引起 τ_0 的延迟,如图 1-1c 所示。这样距离可由方程 $\tau_0 = 2R/c$ 确定。其中, c 是电磁传播速度。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。

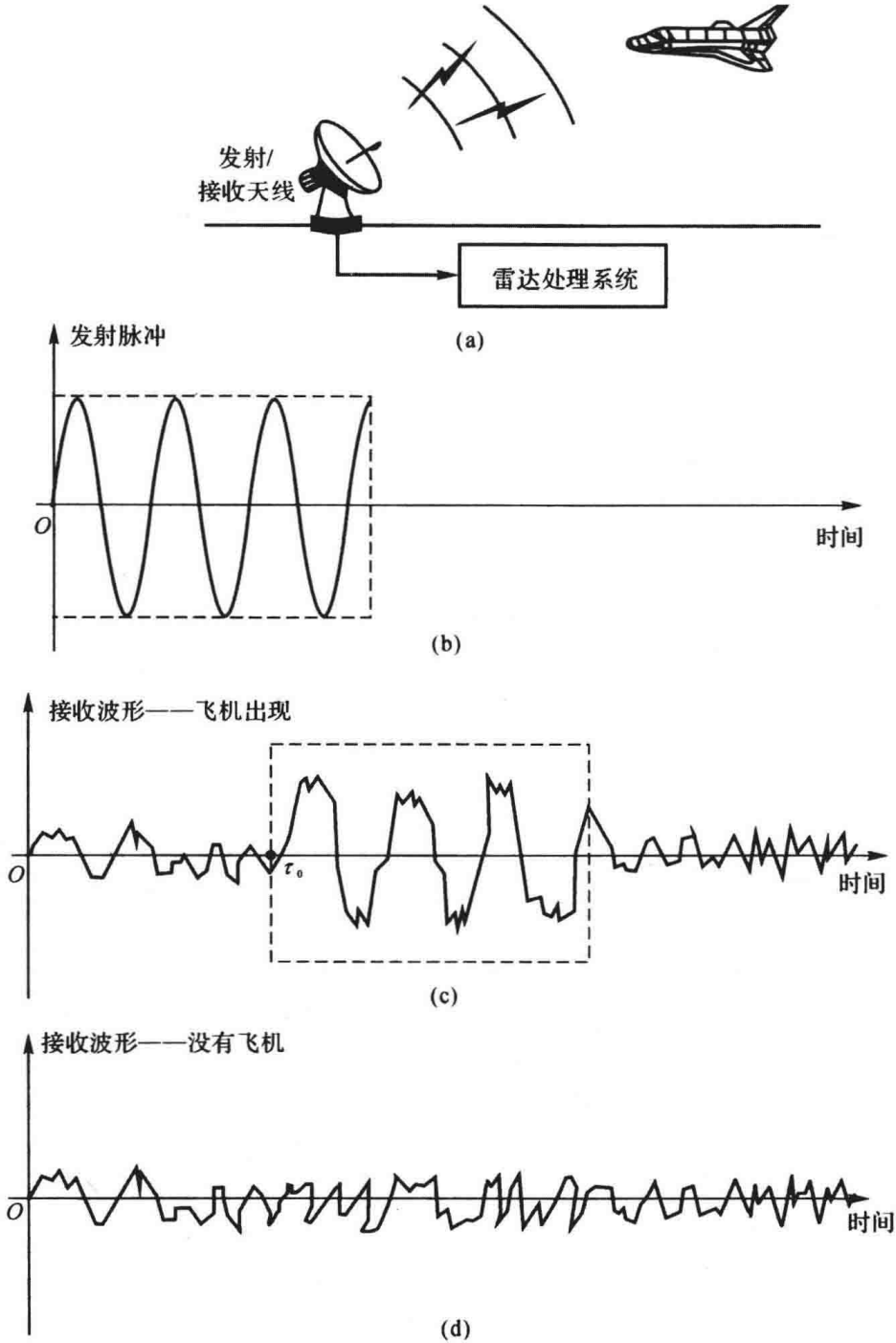


图 1-1 雷达系统

(a)雷达;(b)发射脉冲;(c)有目标时的回波;(d)无目标时的回波

另一种常见的应用是声呐,感兴趣的也是目标是否出现及确定目标的位置,如确定潜艇的方位。图 1-2a 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所关注的信号。该信号在水中传播,并由传感器阵列接收,然后这些传感器的输出将发射到一个拖船上输入到计算机。接收到的信号有两种可能情形的接收波形,如图 1-2b 和图 1-2c 所示。对于有目标的情形,传感器之间获得信号的时延与目标信号的到达角有关,通过测量两个传感器之间的时延 τ_0 ,由表达式 $\beta = \arccos(c\tau_0/d)$ 可以确定方位角 β 。其中, c 是水中的声速, d 是传感器之间的距离。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 1-2c 清晰, τ_0 的确定将很困难, β 值仅仅是一个估值。

在这些系统中,涉及根据连续波形做出判决和提取参数值的问题。现代信号处理系统使用数字计算机对一个连续的波形进行采样,并存储采样值。这样检测问题就等效成一个根据离散时间波形或数据集做出判决的问题。从数学上讲,有 N 点可用的数据集 $\{x[1], x[2], \dots, x[N]\}$,首先形成一个数据函数 $T(x[1], x[2], \dots, x[N])$ 的值来做出判决。确定函数 T ,把它映射成一个判决是统计检测理论的中心问题,进而再将离散数据的判决问题扩展到连续情况。而参量估计问题等价于根据离散时间波形或数据提取参数的问题,因为数据集与未知参数 θ 有关,可以根据数据集来确定 θ 或定义估计量 $\hat{\theta} = g(x[1], x[2], \dots, x[N])$,其中 g 是某个函数,它根据所采用的最佳准则确定。

数字通信系统中,通常把消息编码成二元数字序列。典型的例子是使用 1 或 0 表示这些数字,借助于发送适当选择的脉冲来传输,而传输过程中脉冲还要受到畸变。畸变效应使接收机不再能确定信源究竟发送了哪种波形。我们可以用接收机中的随机噪声来描述传输过程中的畸变。这个问题仍是一个判决问题,要求根据含有噪声的观测结果判断信源发送了对应 1 或 0 的哪个波形。

高效语音传输技术是用语音谱的某些参数来表征语音波形。将这些参数发送给接收机,接收机再根据这些参数综合出语音波形。提取这些参数的问题是一个辨识问题,实质上就是在适当选定的语音波形模型中估计参数的问题。这些参数在传输过程中也要遭到畸变,因此,接收机的任务是从含有噪声的观测结果中估计这些参数。

检测和估计问题在各种应用场合中都会出现,或是单独出现,或是同时出现。虽然表面上这两个问题好像是统计信号分析与处理的两个分支,但实际上这两个问题的结构基本上是相似的,这种相似性有助于解决许多信

号处理问题。

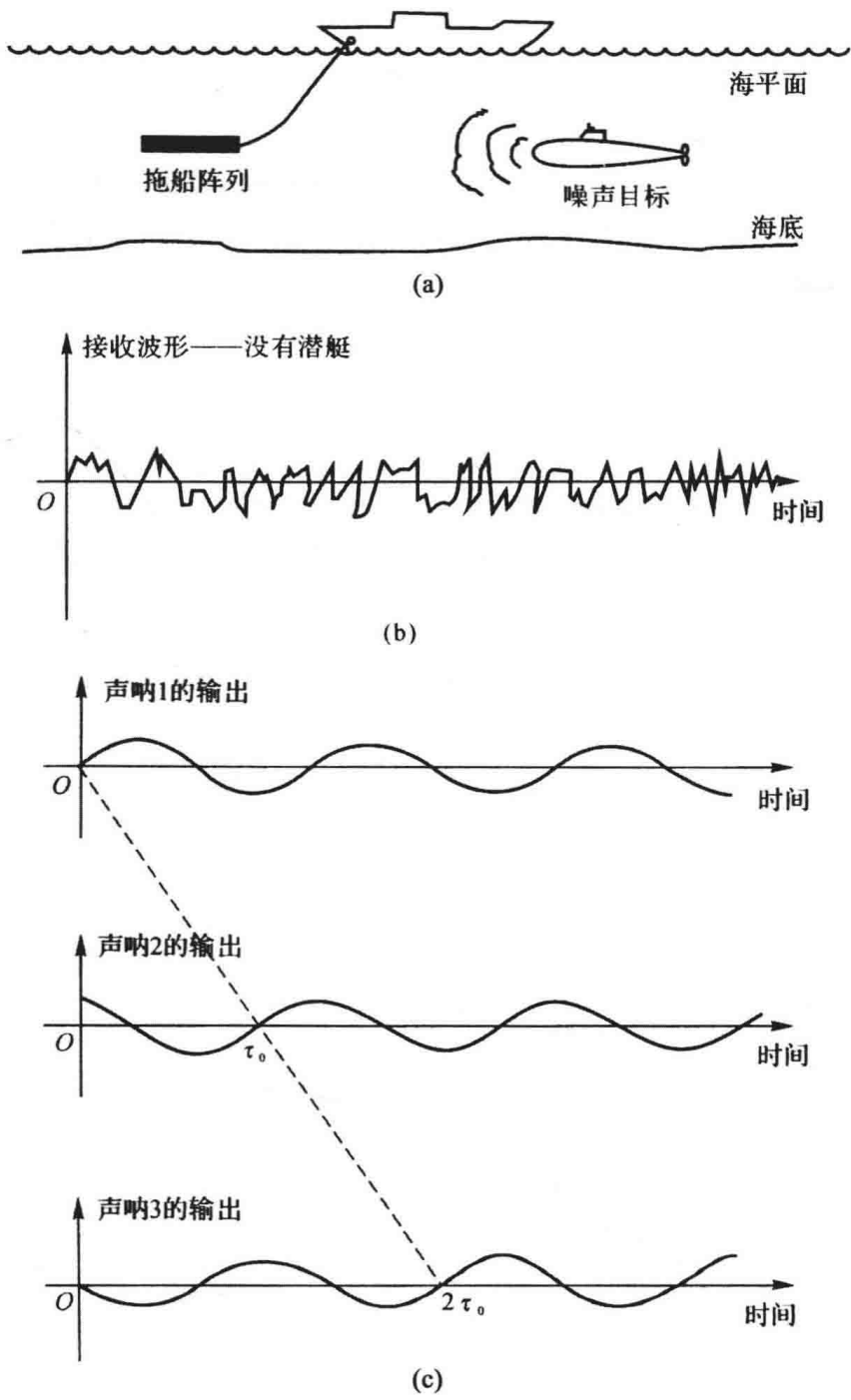


图 1-2 被动声呐系统
(a) 被动声呐; (b) 无目标时的回波;
(c) 有信号时阵列传感器接收到的信号

1.2 信号检测与估计理论发展的几个阶段

信号检测与估计理论自 20 世纪 40 年代问世以来,得到了迅速的发展和广泛的应用,其发展历程可以大致分为 3 个阶段。

1.2.1 初创和奠基阶段

信号检测与估计理论是从 20 世纪 40 年代第二次世界大战中逐步形成和发展起来的。在整个 20 世纪 40 年代,美国科学家维纳(N. Wiener)和前苏联科学家柯尔莫格洛夫将随机过程及数理统计的观点引入通信和控制系统,揭示了信息传输和处理过程的统计本质,建立了最佳线性滤波器理论,即维纳滤波理论。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。但由于维纳滤波需要的存储量和计算量极大,很难进行实时处理,因而限制了其应用和发展。

同时,在雷达技术的推动下,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。1946 年,卡切尼科夫(B. A. K)发表了《潜在抗干扰性理论》,用概率论方法研究了信号检测问题,提出了错误判决概率为最小的理想接收机理论,证明了理想接收机应在其接收端重现出后验概率最大的信号,即将最大后验概率准则作为一个最佳准则。1948 年,香农(C. E. Shannon)认识到对消息事先的不确定性正是通信的对象,并在此基础上建立了信息论的基础理论。1950 年,伍德沃德(P. M. Woodward)将信息量的概念应用到雷达信号检测中,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号,即理想接收机应是一个计算后验概率的装置。

1.2.2 迅猛发展阶段

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(Bayes)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。1960~1961 年,卡尔曼(R. E. Kalman)和布什(R. S. Bucy)提出递推滤波器,即卡尔曼滤波器。它不要求保存过去数据,当获得新数据后,根据新数据和前一时刻诸量的估值,借

助于系统本身的状态转移方程,按照递推公式,即可算出新的诸量估值,大大减小了滤波器的存储器和计算量,便于实时处理。自 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。

1.2.3 成熟阶段

20 世纪 60 年代,多部有关信号检测与估计理论的专著问世,范特理斯(H. L. Van Trees)陆续完成了他的三大卷巨著,将信号检测的概念拓宽到估值、滤波、调制解调范围,使数字通信和模拟通信中的主要理论问题都可以用统一的数理统计理论和方法来研究,取得了满意的结果。这是信号检测与估计理论的代表作。

1.3 信号检测与估计理论的研究对象及研究方法

1.3.1 信号检测与估计的研究对象

信号检测与估计理论是现代信息理论的一个重要分支,是以信息论为理论基础,以概率论、数理统计和随机过程为数学工具,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、声呐、自动控制等技术领域提供了理论基础。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。

为了利用电的信息传输方式获取并利用信息,人们常需要将信息调制到信号中,并将载有信息的信号传输给信息的需要者。信息传输是指从一个地方向另一个地方进行信息的有效传输与交换。为了完成这一任务,需要信号发送设备和信号接收设备。信号发送设备产生信号,并将信息调制到信号中,然后将信号发送出去;信号经过信道的传输到达信号接收设备。信号接收设备接收载有信息的信号,并将信息从信号中提取出来,然后将信息提供给信息需要者。

信息传输离不开信息传输系统。传输信息的全部设备和传输媒介所构成的总体称为信息传输系统。信息传输系统的任务是尽可能好地将信息调制到信号中,有效发送信号,从接收信号中恢复被传送的信号,将信息从信

号中解调出来,达到有效、可靠传输信息的目的。信息传输系统的一般模型如图 1-3 所示。它通常由信息源、发送设备、信道、接收设备、终端设备以及噪声源组成。信息源和发送设备统称为发送端。接收设备和终端设备统称为接收端。如图 1-3 所示的信息传输系统模型高度地概括了各种信息传输系统传送信息的全过程和各种信息传输系统的工作原理。它常称为香农(Shannon)信息传输系统模型,是广义的通信系统模型。图中的每一个方框都完成某种特定的功能,且每个方框都可能由很多的电路甚至是庞大的设备组成。

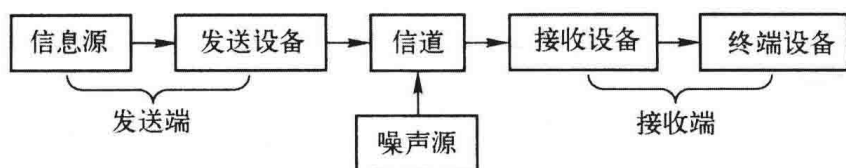


图 1-3 信息传输系统模型

信息源(简称信源)是指向信息传输系统提供信息的人或设备,简单地说就是信息的发出者。信源发出的信息可以有多种形式,但可以归纳为两类:一类是离散信息,如字母、文字和数字等;另一类是连续信息,如语音信号、图像信号等。信源也可分为模拟信源和数字信源。

发送设备将信源产生的信息变换为适合于信道传输的信号,送往信道。

信道是将来自发送设备的信号传送到接收设备的物理媒介(质),是介于发送设备和接收设备之间的信号传输通道,又称为传输媒介(质)。信道分为有线信道和无线信道两大类。

噪声是指信息传输中不需要的电信号的统称。噪声源是信道的噪声以及分散在信息传输系统中各种设备噪声的集中表示。信息传输系统中各种设备的噪声称为内部噪声;信道的噪声称为外部噪声。由于噪声主要是来自信道,通常将内部噪声等效到信道中,这种处理方式可以给分析问题带来许多方便,并不影响主要问题的研究。噪声是有害的,会干扰有用信号,降低信息传输的质量。

接收设备是从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号的系统,如收音机、电视机、雷达接收机、通信接收机、声呐接收机及导航接收机等。信号检测与估计是接收设备的基本任务之一。

终端设备是将接收设备复原的原始电信号转换成相应信息的装置,如扬声器及显示器等。

信息传输系统模型是一个高度概括的模型,概括地反映了信息传输系统的共性,通信系统、遥测系统、遥感系统、生物信息传输系统都可以看作它

的特例。信号检测与估计的讨论就是针对信息传输系统模型而开展的。

信号在传输过程中,不可避免地噪声混杂在一起,受到噪声的干扰,使信号产生失真。噪声与信号混杂在一起的类型有 3 种:噪声与信号相加,噪声与信号相乘(衰落效应),噪声与信号卷积(多径效应)。与信号相加的噪声称为加性噪声,与信号相乘的噪声称为乘性噪声,与信号卷积的噪声称为卷积噪声。加性噪声是最常见的干扰类型,数学上处理最为方便,加性噪声中信号检测与估计问题的研究最为成熟。加性噪声中信号检测与估计也是最基本的,因为乘性噪声和卷积噪声中信号检测与估计均可转换为加性噪声的情况。通过取对数的方法,可以将乘性噪声的情况转换为加性噪声的情况;通过先进行傅里叶变换,再取对数的方法,可以将卷积噪声的情况转换为加性噪声的情况。因此,本书主要讨论加性噪声中信号检测与估计问题。从而,本书所讨论的信号检测与估计的研究对象就是加性噪声情况下的信息传输系统模型。加性噪声情况下的信息传输系统模型如图 1-4 所示。

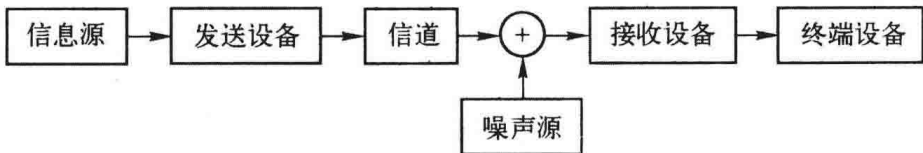


图 1-4 加性噪声情况下的信息传输系统模型

在信息传输系统中,匹配滤波器(Matched filter)、信号检测系统及信号估计系统通常是接收设备的基本组成部分,并且是串联的。接收设备的组成框图如图 1-5 所示。

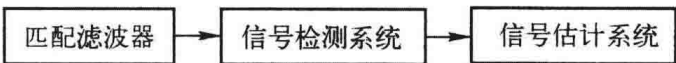


图 1-5 接收设备的组成框图

信息传输系统分类的方式很多。按照传输媒质,信息传输系统可分为有线信息传输系统和无线信息传输系统两大类。有线信息传输系统是用导线作为传输媒质完成通信的系统,如市内电话、海底电缆通信等。无线信息传输系统是依靠电磁波在空间传播达到传递信息目的的系统,如短波电离层传播、卫星中继等。

按照信道中传输的信号特征,信息传输系统分为模拟信息传输系统和数字信息传输系统。模拟信息传输系统是利用模拟信号来传递信息的信息传输系统。数字信息传输系统是利用数字信号来传递信息的信息传输系统。

对信息传输系统的性能要求,主要有两个方面:可靠性和有效性。要求

信息传输系统能可靠地传输信息是系统的可靠性或抗干扰性;要求信息传输系统能高效率地传输信息是系统的有效性。有效性衡量系统传输信息的“速度”问题;可靠性衡量系统传输信息的“质量”问题。

使信息传输可靠性降低的主要原因有:

- ①信息传输不可避免地受到外部噪声和内部噪声的影响;
- ②传输过程中携带信息的有用信号的畸变。

携带信息的电磁信号在大气层中传播时,由于大气层和电离层的吸收系数与折射系数的随机变化,必然导致电磁信号的振幅、频率和相位等参量的随机变化,从而引起电磁信号的畸变。

在大气层中传播的电磁信号会受到雷电、大气噪声、宇宙噪声、太阳黑子及宇宙射线等自然噪声的干扰,也会受到来源于各种电气设备的工业噪声和来源于各种无线电发射机的无线电噪声等人为噪声的干扰。这些自然噪声和人为噪声都属于信道的噪声,是外部噪声的主要来源。电磁信号除了受外部噪声的干扰外,还受发送设备和接收设备内部噪声的影响,使得在许多实际情形中,接收设备所接收的有用电磁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些外部噪声和内部噪声的干扰,大大降低了信息传输的可靠性。噪声源是信息传输系统中各种设备以及信道中所固有的,并且是人们所不希望的。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,降低这些不利因素的影响。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。

经信道传送到接收端的信号是有用信号和噪声叠加的混合信号,因此接收设备的主要作用是从接收到的混合信号中,最大限度地提取有用信号,抑制噪声,以便恢复出原始信号。

信息传输的目的是通过信号传递信息,它要将有用的信息无失真、高效率地进行传输,同时还要在传输过程中将无用信息和有害信息加以有效抑制。接收设备的任务是从受到噪声干扰的信号中正确地恢复出原始的信息。信号检测与估计是研究信息传输系统中接收设备如何从噪声中把所需信号及其所需信息检测、恢复出来的理论。因此,信号检测与估计理论的研究对象是加性噪声情况信息传输系统中的接收设备。

1.3.2 信号检测与估计的研究方法

信号检测与估计的数学基础是数理统计中的统计推断或统计决策理论。统计推断或统计决策均是利用有限的资料对所关心的问题给出尽可能精确可靠的结论,均是关于做判决的理论和方法,两者的差别仅在于是否考

虑判决结果的损失。它们具有深刻的统计思想内涵和推理机制,是各种数理统计方法的基础。从数理统计的观点来看,可以把从噪声干扰中提取有用信号的过程看作统计推断或统计决策方法,根据接收到的信号加噪声的混合波形,做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。

数理统计中的统计推断或统计决策针对的是随机变量,而信号检测与估计针对的是随机信号的统计推断或统计决策。

假设检验和参数估计是数理统计的两类重要问题,可以采用统计推断或统计决策的理论和解决方法来解决这两类问题。

①检测信号是否存在用的是统计推断或统计决策的理论和解决方法来解决随机信号的假设检验问题。假设检验是对若干个假设所进行的多择一判决,判决要依据一定的最佳准则来进行。

②估计信号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,参量估计问题是:如何利用观测样本来得到具有最大密集程度的估计量。信号参量估计是对数理统计中参数估计的拓展。

估计信号波形则属于滤波理论,即维纳(Wiener)和卡尔曼(Kalman)的线性滤波理论以及后来发展的非线性滤波理论。

信号检测与估计的研究方法:用概率论与数理统计方法,分析接收信号和噪声的统计特性,按照一定准则设计相应的检测和估计算法,并进行性能评估。主要体现在以下3个方面:用数理统计中的判决理论和估计理论进行各种处理和选择,建立相应的检测和估计算法;用概率密度函数、各阶矩、协方差函数、相关函数、功率谱密度函数等来描述随机信号的统计特性;用判决概率、平均代价、平均错误概率、均值、方差、均方误差等统计平均量来度量处理结果的优劣,建立相应的性能评估方法。

信号检测与估计研究方法的实施过程如下:

①将所要处理的问题归纳为一定的系统模型,依据系统模型,然后运用概率论、随机过程及数理统计等理论,用普遍化的形式建立相应的数学模型,以寻求普遍化的答案和结论或规律。

②依据数理统计中的统计推断或统计决策的理论和解决方法,采用最优化的方法寻求最佳检测、估计和滤波的算法。

③根据检测和估计的性能指标,分析最佳检测、估计和滤波算法的性能,以判别性能是否达到最优。

④结合工程实际,根据最佳检测、估计和滤波的算法构造最佳接收、估计和滤波的系统模型。