噪声中信号的检测

〔美〕A. D. 惠伦 著

科学出版社

噪声中信号的检测

〔美〕A. D. 惠伦 著

刘其培 迟惠生 译

刘有恒 吴德明 校

科 学 出 版 社

1977

内 容 简 介

本书系统地介绍了噪声中信号的检测原理及其应用。书中首先讲述概率论、随机过程的一般知识，这是阅读本书必需的工具。接着利用希尔伯特变换讨论了窄带信号的有关问题，同时对高斯过程也作了专门的分析。在阐明假设检验的一般准则之后，即以似然比检验为基础，先后在高斯分布的白噪声及有色噪声情况下，研究了确知信号和含随机参量信号的检测问题，并导出了相应的理想接收机。然后介绍了估值理论。最后对矩阵公式的应用也作了较为详细的说明。

全书着重介绍实践中特别有用的那些原理，并以数字通信、雷达和声纳中的检测问题为例子叙述了它们的具体应用。

本书由浅入深、分析简洁明了、系统性强，可供从事信号检测工作的科技人员阅读，也可作为大专院校有关专业的参考书。

A. D. Whalen
DETECTION OF
SIGNALS IN NOISE
Academic Press
New York and London, 1971

噪声中信号的检测
〔美〕A. D. 惠伦 著
刘其培 迟惠生 译
刘有恒 吴德明 校

*

科学出版社出版
北京朝阳门内大街 137 号
中国科学院印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1977年 11 月第 一 版 开本：787×1092 1/32
1977年 11 月第一次印刷 印张：14 1/2
印数：0001—6,550 字数：328,000
统一书号：15031·157
本社书号：910·15—7
定价：1.48 元

译者前言

从噪声中提取信号，是雷达、声纳和通信系统设计工作中的一项基本课题．经过通信统计理论问世以来将近三十年的工作，这方面的研究已经有了相当深入的进展．理论的探讨以及从不同角度提出的准则和模型等，对实际工程设计都起到了一定的指导作用．

本书原系美国贝尔实验室的一份教材，讲述统计接收理论的各种基本问题．全书共十一章．前五章为基础知识．第六至十章介绍这些知识在雷达、声纳和通信中的具体应用，分别叙述了确知信号、随机参量信号、多脉冲信号和有色高斯噪声中信号的检测问题，以及信号参量的估值等．最后，在第十一章中集中介绍了矩阵运算方法．全书内容由浅入深、分析简洁明了、系统性强，适合初学者阅读，对从事信号检测工作的专业人员也有一定参考价值．

为了发展我国科技事业，我们遵照毛主席关于“洋为中用”的教导，翻译了此书．翻译过程中，我们对原书中的个别错误作了订正．但由于我们水平不高、专业知识贫乏，难免会有许多错误和不妥之处，欢迎读者批评指正．

一九七七年于北京大学无线电系

原　　序

本书目的是作为介绍信号统计检测理论原理及其应用的一本入门书. 书中着重介绍在实践中特别有用的那些原理, 并应用它们来解决数字通信、雷达及声纳中遇到的检测问题. 本书大部分取材于公开文献: 教科书、技术杂志以及工业和大学的报告. 作者试图将这些材料加以消化，以对这门学科提出容易读懂而又便于讲授的论述.

理论的陈述主要是照顾实际经验,因此,有时牺牲了严密性. 读者一般不必严格追究存在性证明、收敛和交换算符等. 在一般情况下, 对材料的叙述并不十分着重普遍性. 虽然全面的探讨在数学上十分完美，但不易领悟和理解. 我们所采用的这种探讨方法的一个例子是对相加噪声的讨论. 首先假定相加噪声是白色高斯噪声. 因为有关这方面的大量研究及许多实际接收机的设计,都以高斯白噪声为基础,所以先对基于上述假设的解法给予透彻的论述,其推导也比较简单,便于了解基本原理和引出数字结果. 然后假定为非白噪声，介绍更一般的方法.

全书梗概如下: 对概率和随机过程作了简要的论述，使得不熟悉概率的读者足以掌握阅读本书所必需的工具; 借助希尔伯特变换,讨论了窄带信号及其复数表示和性质;导出并图示了高斯假设下的概率函数;应用了假设检验来检测信号; 讨论了数字通信及检测应用（如雷达和声纳）方面的问题,推导了最佳接收机并图示出了它们的性能; 特别介绍了估值理论,因为它同信号振幅、相位、频率及到达时间的估值有关;确

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

定了估计量方差的界限；论述了强调抽样方法的空间-时间处理，即多信息处理．每章之后附有习题、参考文献和补充文献．

本书的最初内容是用作贝尔电话实验室一个学期的课程．所以，本书适合作为信号检测理论的研究生课程，也适合于对这方面内容发生兴趣，以及学过概率和随机过程的专业学生的课程．作者希望这本书可以用来自修，也可作为从事实际工作的工程技术人员的一本参考书．

目　录

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

第一章 概 率 论[1)]

1.1 概率简述

把一个事件(结果)的概率同该事件出现的相对频率联系起来,是直观而易于理解的. 例如,假定我们做一个实验(如一个骰子的滚动),可能有 A、B、C 等结果. 把实验重复N次并记录每一事件出现的次数,分别用 n_A、n_B、n_C 表示,则它们出现的相对频率即为 n_A/N、n_B/N、n_C/N. 我们认为,在N趋于无穷的极限情况下,这些比率就趋近于事件出现的真实概率. 即

$$\lim_{N\to\infty} n_A/N \to P(A),\quad \lim_{N\to\infty} n_B/N \to P(B),\ \text{等等}$$

因此,概率是 0 和 1 之间并包括 0 和 1 在内的一个数. 实际上,这样的概率不可能绝对准确地求得.

实验的全部可能结果的集合叫作实验的样本空间. 一个事件可以是样本空间的一个元素,也可以是一些可能结果的集合. 两种情况中,事件出现或不出现由实验结果确定. 我们用括号来表示事件,例如,$\{A\}$ 是样本空间的子集,其元素具有 A 的特性.

对任何事件$\{A\}$,都存在事件$\{$非 $A\}$,记作$\{\bar{A}\}$. 事件[2)]是$\{A$ 或 $\bar{A}\}$为全部可能结果的集合(必然事件). 事件$\{A$和$\bar{A}\}$是没有元素的集合(零事件). 相对频率定义的直接结果是,必然事件和零事件的概率各自为 1 和 0 .如果事件$\{A\}$和

1) 概率论方面容易读懂的论述可见参考文献[1]和[2],其它参考书可参看本章末的补充文献.

2) 事件$\{A$或 $B\}$指的是,或者$\{A\}$出现,或者$\{B\}$出现,或者二者同时出现。事件$\{A$ 和 $B\}$指的是$\{A\}$和$\{B\}$同时出现.

$\{B\}$互不相容（即一个出现了，另一个就不可能出现），则对事件$\{A\}$或$\{B\}$，我们得到$P(A$或$B)=P(A)+P(B)$。

假定进行两个实验，其可能结果分别记作A_i $(i=1,2,\cdots)$和$B_j(j=1,2,\cdots)$，则定义联合事件为$\{A_i$和$B_j\}$。象单一事件的情况那样，用一个概率与之对应，把这一联合事件的概率表示为$P(A_i, B_j)$。如果这些A_i和B_j是完备的，即不可能有其它的事件了，则[1)]

$$\sum_i \sum_j P(A_i, B_j)=1$$

$$\sum_i P(A_i, B_j)=P(B_j), \qquad \sum_j P(A_i, B_j)=P(A_i)$$

1.2 条件概率和统计独立

条件概率所涉及的是一事件在另一事件出现后的知识。在事件$\{A\}$出现后，事件$\{B\}$出现的概率用$P(B|A)$表示，在给定$\{A\}$时$\{B\}$的条件概率定义为

$$P(B|A)=P(A, B)/P(A) \tag{1-1}$$

这里假定$P(A)\neq 0$。类似地，在$\{B\}$出现的条件下，$\{A\}$出现的概率为

$$P(A|B)=P(A, B)/P(B), \quad P(B)\neq 0 \tag{1-2}$$

如果实验由互不相容且又完备的结果$B_i(i=1,2,\cdots)$组成，则

$$\sum_i P(B_i|A)=1$$

如果对于两个事件$\{A\}$和$\{B\}$求得$P(A|B)=P(A)$，则由条件概率定义可以导出

$$P(A, B)=P(A)\cdot P(B) \tag{1-3}$$

1）求和是对下标的所有数值进行的。

还可以得到 $P(B|A)=P(B)$. 因此,其中一个事件的出现并未提供另一事件出现概率的信息，这样的两个事件称为统计独立的.

若三个事件$\{A_1\}$、$\{A_2\}$和$\{A_3\}$是统计独立的，则它们必须满足下面的关系:

$$\begin{aligned} &P(A_1, A_2)=P(A_1)P(A_2), \\ &P(A_1, A_3)=P(A_1)P(A_3), \\ &P(A_2, A_3)=P(A_2)P(A_3), \\ &P(A_1, A_2, A_3)=P(A_1)P(A_2)P(A_3) \end{aligned} \tag{1-4}$$

若有三个以上事件是独立的,那末一次取二个，三个，四个等事件的概率都必须等于这些单独事件概率的乘积.

1.3 概率分布函数

我们定义随机变量或随机变数为样本空间的实值函数，即实验结果的实值函数. 例如掷骰子，出现的点数是随机变量或者随机变数，点数的任意函数也是随机变量. 倘若随机变量的取值数目（样本空间）是有限或者可数无穷的[1)],即称之为离散随机变量. 否则是连续随机变量.

假定一个随机变量[2)]可以取比如说六个可能值 x_i 中的任何一个，这里 $x_6>x_5>x_4>x_3>x_2>x_1$，则相应的概率记作 $P(x_i)$或者 $P(X=x_i)$，示于图 1-1. 这样的例子适合于研究随机变量取值小于或等于比如 x_3 的概率，在这种情况下，$P(X\leqslant x_3)=P(x_1)+P(x_2)+P(x_3)$. 用 $P(X\leqslant x)$ 定义的 x

1）若一数集能与正整数集成一一对应关系,则该数集是可数的.

2）在本章中,用大写字母表示随机变量，用相应的小写字母表示样本空间的元素。但是用不同的符号来区分它们是很烦琐的，所以在以后各章中，如果文中的说明比较清楚就只用一个符号.

的函数称为随机变量 X 的概率分布函数(也叫分布函数或累积分布函数),图 1-1 也给出了前例的累积分布函数. 结果 $\{X\leqslant x\}$ 就是通常概率意义上的一个事件，所以累积分布函数必须满足前面所讨论的性质，特别是 $P(X<-\infty)=0$ 和 $P(X<\infty)=1$. 同样, X 落在间隔 $x_i<X\leqslant x_j$ 的概率是 $P(X\leqslant x_j)-P(X\leqslant x_i)=P(x_i<X\leqslant x_j)$.

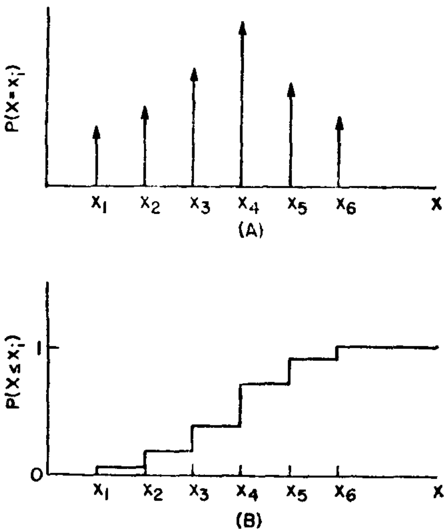

图 1-1 离散随机变量的概率函数

(A) 代表离散概率的冲激函数; (B) 累积分布函数

上面的讨论不难外推到两个随机变量(二元分布)或更多随机变量(多元分布)的情况. 对于两个随机变量 X 和 Y(它们可以是连续的,也可以是离散的),下面的公式成立:

$$P(X\leqslant-\infty, Y\leqslant y)=0, \qquad P(X\leqslant x, Y\leqslant-\infty)=0$$

$$P(X\leqslant\infty, Y\leqslant\infty)=1 \tag{1-5}$$

$$P(X\leqslant x, Y\leqslant\infty)=P(X\leqslant x),\ P(X\leqslant\infty, Y\leqslant y)=P(Y\leqslant y)$$

1.4 连续随机变量

考虑一个随机变量 X，它具有图 1-2 所示的连续累积分布函数，这是连续随机变量的一个例子，这种随机变量取值的数目是不可数的. 例如，样本空间可以是整个实数轴. 如果累积分布函数的导数存在，我们定义这个导数为连续随机变量的概率密度函数(或者简称密度函数). 用 $p(x)$ 表示随机变量 X 的概率密度函数，我们有

$$p(x)=dP(X\leqslant x)/dx \tag{1-6}$$

密度函数的说明必须包括它的适用范围.

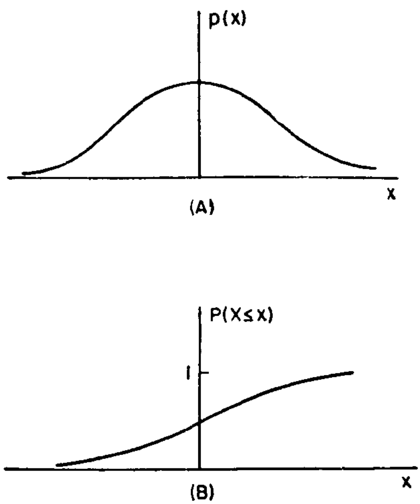

图 1-2 连续随机变量的概率函数:
(A) 密度函数; (B) 累积分布函数

如果函数 $P(X\leqslant x)$ 是定积分形式，则可以用莱伯尼兹(Leibnitz)法则[3]来求微分:

若 $\phi(x)=\int_{a(x)}^{b(x)} f(t,x)dt$，式中 $a(x)$，$b(x)$ 是 x 的可微函数，$f(t,x)$ 和 $\partial f(t,x)/\partial x$ 对 x 和 t 都是连续的，则

$$\frac{d\phi}{dx}=\int_{a(x)}^{b(x)}\frac{\partial f(t,x)}{\partial x}dt+f[b(x),x]\frac{db(x)}{dx}$$

$$-f[a(x),x]\frac{da(x)}{dx}$$

因为累积分布函数是非降的，所以 $p(x)\geqslant 0$. 图 1-2 为概率密度函数的一个例子. 利用狄拉克 δ 函数[1)]（冲激函数），也可以把离散随机变量的概率密度函数定义为累积分布函数的导数. δ 函数在间断点出现，如图 1-1 所示. 对于这个例子，密度函数可以表示为

$$p(x)=\sum_{i=1}^{6}P(x)\delta(x-x_i)$$

通常，随机变量可以是混合类型的，其累积分布函数由阶跃的间断部分和处处连续的部分组成，这类随机变量的例子在图 1-3 中示出.

从概率密度函数定义直接得出

$$P(X\leqslant a)=\int_{-\infty}^{a}p(x)dx$$

量 $p(x)dx$ 可以解释作随机变量落在 x 和 $x+dx$ 之间的概率. 随机变量落在区间 $a<X\leqslant b$ 的概率为

$$P(a<X\leqslant b)=\int_{a}^{b}p(x)dx$$

对连续随机变量说来，它落在一个区间的概率随这个区间的

1) 狄拉克 δ 函数 $\delta(x)$ 在其宗量为零时为无穷，宗量为其它值时为零. 它具有单位面积，故 $\int_{-\infty}^{\infty}\delta(x)dx=1$. 而且 $\int_{-\infty}^{\infty}f(x)\delta(x-a)dx=f(a)$. 见文献[4]有关广义函数的讨论.

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com