

总策划：魏 刚
主 编：马伟明



海军新军事变革丛书

Detection of Signals in Noise Second Edition

噪声中的信号检测

[美] Robert N. McDonough 著
Anthony D. Whalen

(第二版)

王德石 等译
蔡志明 主审


ACADEMIC
PRESS



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

总策划：魏 刚

主 编：马伟明

海军新军事变革丛书

Detection of Signals in Noise Second Edition

噪声中的信号检测

(第二版)

[美] Robert N. McDonough 著
Anthony D. Whalen

王德石 等译

蔡志明 主审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



ACADEMIC
PRESS

Copyright © 1995 by AT&T Bell Laboratories and Academic Press

Copyright © 1971 by Bell Telephone Laboratories, Incorporated
All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

本书英文版由 Academic 公司出版, Academic 公司已将中文版独家版权授予中国电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2004-2264

图书在版编目(CIP)数据

噪声中的信号检测(第二版)/(美)麦克多纳(McDonough, R. N.), (美)瓦伦(Whalen, A. D.)著;王德石等译. —北京:电子工业出版社, 2006. 5
(海军新军事变革丛书)

书名原文: Detection of Signals in Noise Second Edition

ISBN 7-121-02316-4

I. 噪… II. ①麦…②瓦…③王… III. 噪声—信号检测 IV. TP911.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 013614 号

责任编辑: 朱巍

印刷: 北京天竺颖华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编: 100036

北京市海淀区翠微东里甲 2 号 邮编: 100036

经销: 各地新华书店

开本: 850×1168 1/32 印张: 17.375 字数: 440 千字

印次: 2006 年 5 月第 1 次印刷

定价: 45.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

海军新军事变革丛书

丛书总策划：魏刚

编委会主任：马伟明

编委会副主任：文宏武 李敬辉 曹跃云 贲可荣

编委会委员：（以姓氏笔画为序）

王公宝 王永生 王永斌 王延璋

王德石 朱建冲 朱锡 刘勇

邱志明 宋裕农 何琳 吴正国

吴晓锋 张永祥 张明敏 郁军

赵晓哲 侯向阳 高俊 夏惠诚

鲁明 蔡豪 蔡志明 潘德彬

选题指导：徐韬 唐宗礼 秦航 胡颀

裴晓黎

出版策划：卢强 吴源

噪声中的信号检测（第二版）

主 审：蔡志明

主 译：王德石

审 稿：杨 超 邓建辉 练学辉

翻 译：孟庆德 崔东华 田增彬

《海军新军事变革丛书》总序

进入21世纪，一场世界性的新军事变革以前所未有的深度和广度迅猛发展。这场变革以信息技术的飞速发展作为直接动力，以军事技术的变革、军事理论的创新和军队体制结构的调整改革为核心内容，目标是把工业时代的机械化军队建设成为信息时代的信息化军队，使战争形态加速向信息化演变。因此，新军事变革是军事领域一次新的历史性飞跃，在世界军事史上具有划时代的意义。

党的十六大报告明确指出，国防和军队建设要“适应世界军事变革的趋势”，“努力完成机械化和信息化建设的双重历史任务”。新军事变革的深入发展，已经深刻改变了世界军事领域的面貌。认真研究它的内在规律，探索信息化战争的制胜之道，实现我军现代化建设的跨越式发展，是我们面临的现实而紧迫的历史性任务。面对新军事变革的浪潮，我们必须更新思想观念，开阔视野，时刻关注世界军事领域发生的深刻变化，准确预测世界军事发展的趋势，从我国的国情军情出发，牢牢把握军事变革的方向，加速推进中国特色的军事变革，不断提高人民海军现代化作战能力。

古人云：兵者，国之大事。死生之地，存亡之道，不可不察。中国是濒海大国，海上方向的防御是国防的重要组成部分。建设一个强大的国防，建设一支强大的海军，关系到民族的荣辱和国家的兴衰。中国近代屡遭列强来自海上的侵略，几乎所有的重要港口、岛屿和沿海地区，都曾受到外敌蹂躏。惨痛的历史告诫我们，军事上落后必然使国家遭受耻辱，没有海上安全就没有国家安全。海军

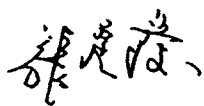
是一个国际性战略军种，担负着维护国家海洋权益、保卫国家海上安全的重要使命。我们必须看到，在世界性新军事变革中，战争形态已经发生了深刻变化，海军的作战和建设也出现了一系列新的特点。对此，我们应在密切关注的同时，深入研究信息化条件下的海军作战思想、武器装备、体制编制、教育训练和后勤保障，发展和创新海军作战理论，在推进中国特色的军事变革过程中完成机械化和信息化建设的双重历史任务。

江主席指出，在当今世界，任何一支军队，如果关起门来搞建设，拒绝学习国外先进的东西，是不可能实现现代化的。世界新军事变革的大潮来势猛、发展快。各军事强国纷纷加快军队的信息化建设，抢占战略制高点，虽然从总体上看，目前新军事变革还处在初级阶段，但外军在新军事变革中积累了一些有益的经验。同时，现代科学技术在国际间的迅速转移和相互渗透，为我们准确把握世界科技发展前沿、吸收最新科研成果提供了有利条件，也为我们最大限度地发挥后发优势、在自力更生的基础上跨越某些技术上的发展阶段、加快人民海军的现代化建设提供了机遇和可能。海军是技术与知识高度密集的军种，海军建设有其内在规律。我们在推进海军的军事变革时，必须坚持自主创新，同时大胆借鉴和吸收国外最新军事科研成果和先进经验，在借鉴和创新中实现“跨越式”发展。

发展与创新中很重要的方面是了解世界，面向未来。信息化战争从一定意义上来说，既是武器装备等物质条件的对抗，更是知识与观念等精神力量的较量。美国著名思想库兰德公司的军事研究专家马歇尔曾提出，未来“我们面临的首要挑战是知识的挑战”。夺取未来战争的战略主动权，必须依靠先进的科学技术和先进的军事理论。近年来，国外出版了许多研究新军事变革的著作和技术文献。把这些新的研究成果介绍给国内读者，有益于我们学习和借鉴外军的先进经验。海军装备部与海军工程大学组织专家编著翻译出版的

这套海军新军事变革丛书，以翻译国外海军先进技术和理论著作为主，出版海军军内自编教材和专著为辅，对世界海军在新军事变革中推出的研究成果进行了系统介绍。这是一项很有意义的工作。在此我谨对参与这项工作的各位专家表示感谢。同时对各位译、著者在笔耕之劳中付出的心血表示敬意。希望这套丛书能够对推进中国特色的军事变革，加快人民海军的信息化建设发挥积极的借鉴与参考作用。

中央军委委员
海军司令员

Handwritten signature in black ink, reading '张定德' (Zhang Dingde).

二〇〇四年七月十八日

序

读者对于本书第一版给予的热情促使出版商和原作者 A. D. Whalen 计划出版第二版。自第一版出版以来,信号检测在应用中不断发展,这些内容是本版修订的核心。新作者 R. N. McDonough 加入了这项修订工作,促成了本书的出版。尽管在处理方法和所考虑的主题范围方面没有变化,但是本书加入了许多新材料。增加的内容旨在介绍一些背景,并且在某些情况下是第一版中处理方法的推广。

我们的目标并未改变,可以引用第一版中的序言来归纳:

本书的目的是作为一本入门书,介绍信号检测的统计理论原理与应用,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、雷达及声呐中遇到的检测问题。书中大部分内容取材于公开文献、教科书、科技期刊以及工业和大学的报告。作者的意图是消化这些材料,并用易懂且易于讲授的实用方式将这些内容提供给读者。

书中覆盖的主题在目录中有所反映。与第一版相比,本书在更多情形下利用离散公式处理了这些主题,同时也附有由连续时间信号表示的公式,后者是第一版中的特点。由于广泛使用快速傅里叶变换作为系统的分析基础,所以本版的一个突出特色内容是将傅里叶系数视为待处理的可观测量。鉴于现有可能信号的复包络计算起来比较方便,因此许多内容是针对复观测量来叙述的,但也并未忽视讨论实离散观测量,如实时间函数的样本。

在论述第 5 章的假设检验以及第 10 章的估计理论时,讨论的内容比第一版更具一般性,其目的是澄清所述方法受到的限制并指出其放宽的适用范围。

在第一版中,我们已经将讨论的所有材料基本上由原始期刊

文献和报告融合为教材内容并形成了专著,因此对于早期的原始文献不再标注出处,而是附加一个标准工作的索引,并且在内容需要之处做具体的标注。

本书第一版的成书基础是 A. D. Whalen 为贝尔电话实验室 (Bell Telephone Laboratories) 所提供的内部教材,所以本书适合作为研究生或高年级本科生信号检测理论的教材。除此之外,本书还可以作为工程技术人员的自修课本或参考书。对于书中特别重要的公式,在其编号之前都用星号注明。

本书的准备工作得到了琼斯-霍普金斯大学应用物理实验室 (Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory) 的部分支持:他们让 R. N. McDonough 成为了 Stuart S. Janney 高级访问学者。除此之外,本书两位作者感谢各自的工作单位为他们提供了数年一起工作和学习的机会。衷心感谢 Jacob Elbaz 在准备示例方面的友好帮助。

译者序

1971年,Academic Press 公司出版了原著第一版,北京大学无线电系刘其培先生和迟惠生先生将其译为中文,即1977年科学出版社出版的《噪声中信号的检测》。在其后30多年的时间里,无论是原著还是中文译著,都曾影响了几代人,信号处理专业的初学者甚至专业人员从中获益颇多。在第二版中,A. D. Whalen 邀请新作者 R. N. McDonough 主笔。由于信号处理的重点不再是连续的模拟信号,所以在本版中,作者应用背景介绍和面向数字信号处理等方面对内容进行了补充、推广和重写,主题仍然是如何将存在于噪声中的有用信号提取出来,重点仍然是第一版中的经典准则和模型。在确定书名的过程中,应该说《噪声中信号的检测》更为确切,但考虑到信号检测已经是人们常用的习惯术语,故权衡之后将其定名为《噪声中的信号检测》,希望不会由此引起误会,二者都是“噪声中的信号的检测”的意思。

由于第二版的习题基本与第一版相同,故习题的翻译沿用了刘其培先生和迟惠生先生的译本,在此表示感谢。在翻译和校稿的过程中,得到了编委会、电子工业出版社和海军工程大学同事们的鼎力支持,在此表示感谢。尤其感谢博士生谌龙、程华斌、朱四华、谢邦勇同学和杨露菁副教授,他们在初稿和校稿过程中,放弃了假期和休息时间,付出了辛勤的劳动。

由于译者的水平和知识面有限,译文中难免会有不妥当或错误之处,请读者给予批评指正。

目 录

序	VI
译者序	IX
第 1 章 概率论	1
1.1 概率简介	1
1.2 条件概率与统计独立	7
1.3 概率分布函数	11
1.4 连续随机变量	15
1.5 随机变量的函数	19
1.6 特征函数	29
1.7 期望和矩	32
1.8 复随机变量	39
习题	40
第 2 章 随机过程	45
2.1 引言	45
2.2 随机过程与概率的关系	48
2.3 总体相关函数	50
2.4 时间平均	58
2.5 功率谱密度	60
2.6 线性滤波器的响应	68
习题	75
第 3 章 窄带信号	79
3.1 解析信号	80
3.2 窄带信号	83
3.3 希尔伯特变换	86

3.4	窄带滤波器	95
3.5	窄带过程	99
3.6	复包络的确定	104
3.7	傅里叶级数表示	111
	习题	117
第4章	派生高斯过程	120
4.1	高斯概率密度	121
4.2	中心极限定理	132
4.3	正弦波与高斯过程之和	138
4.4	窄带过程包络的概率分布	141
4.5	窄带信号与窄带噪声之和的包络	144
4.6	窄带噪声过程的包络平方	149
4.7	χ^2 密度	151
4.8	正弦波与窄带过程之和的包络平方	153
4.9	非中心 χ^2 密度	154
4.10	t-密度	159
4.11	F-密度	161
	习题	163
第5章	假设检验	168
5.1	引言	169
5.2	简单检测问题	172
5.3	奈曼—皮尔逊准则	176
5.4	贝叶斯准则	185
5.5	最小错误概率准则	186
5.6	极大极小化准则	188
5.7	多次测量	192
5.8	多备择假设检验	194
5.9	具有最小代价的复合假设检验	197
5.10	充分统计量	202

5.11	一致最大势检验	207
5.12	先验信息未知与非最优检验	211
	习题	219
第6章	已知信号的检测	223
6.1	加性高斯噪声中两个完全确知信号	224
6.2	在雷达中的应用	231
6.3	在二元通信中的应用	232
6.4	似然函数	236
6.5	匹配滤波器	238
6.6	广义离散匹配滤波器	253
6.7	m 元通信系统	260
6.8	广义离散高斯型问题	264
	习题	270
第7章	随机参量信号的检测	276
7.1	窄带信号的处理	277
7.2	载波相位未知信号的检测	283
7.3	正交接收机及等效形式	286
7.4	接收机工作特性	288
7.5	随机相位与随机幅度信号	294
7.6	非相干频移键控	297
7.7	具有随机频率的信号	306
7.8	具有随机到达时间的信号	309
	习题	311
第8章	信号的多脉冲检测	320
8.1	已知信号	321
8.2	相位未知信号	324
8.3	平方检波器的性能	327
8.4	格拉姆—查利级数	330
8.5	线性检波器的性能	334

8.6	未知相位、幅度已知但不相等的情形	338
8.7	未知幅度、未知相位的情形	339
8.8	分集接收	344
	附录 1	350
	附录 2	363
	习题	369
第 9 章	有色高斯噪声中的信号检测	374
9.1	矩阵公式	375
9.2	离散谱的因式分解	377
9.3	连续时间谱的因式分解	381
9.4	有限观测时间及卡亨南-洛维展开	382
9.5	有限观测时间的已知信号的检测	388
9.6	接收机性能	392
9.7	最佳信号波形	396
9.8	积分方程	398
9.9	有理功率谱情况下积分方程的解	400
9.10	相位未知信号的检测	409
	习题	419
第 10 章	信号参数估计	423
10.1	贝叶斯估计	424
10.2	条件均值是贝叶斯估计值的情形	426
10.3	最大后验估计	432
10.4	极大似然估计	434
10.5	估计量的性质	435
10.6	克拉默-劳界	439
10.7	加性白噪声中的信号参量	447
10.8	特殊参量的估计	449
10.9	时间和频率同时估计	460
10.10	非白高斯噪声中的估计	466

10.11	广义似然比检测	474
10.12	线性最小误差方差估计	479
10.13	离散卡尔曼滤波	483
	习题	490
第 11 章	补充内容	495
11.1	矩阵关系	495
11.2	微分公式	501
11.3	正交原理	505
11.4	多元复高斯分布	506
11.5	检测	509
11.6	高斯噪声中的高斯信号	511
11.7	空间—时间处理	514
11.8	噪声背景估计	519
	习题	526
	参考文献	531

第 1 章 概 率 论

通常认为工程问题能以精确的方式进行处理,在这样的学科中,具有良好序态的自然现象以完全可测并可以预测的方式演化。本书中要涉及的将是另一类问题。在这类问题中,通过测量,我们只能掌握自然现象所呈现出来的可知的一部分信息,并且这些信息以某种不能准确预测的方式演化,它要求我们在不完全知道因果关系的情形下做出决策。作为应用数学的一个分支,概率论为分析此类问题提供了一个框架。所以本章将简明地概括概率论的主要思想,这将有益于对本书中其余内容的理解。

1.1 概率简介

可以用日常生活中所观察到的一些事件对概率做直观的讨论。如果将一枚硬币投掷多次,则会注意到硬币正面和反面的出现次数几近相等。在任何一次特定的投掷中,可以指定出现硬币正面朝上的“可能性”为 0.5,然后对概率进行计算,例如计算 5 次投掷中 3 次正面朝上的概率。对概率这个主题进一步引入更多的数学框架,就形成了概率论的一般且明晰的思想。它是在 20 世纪 30 年代发展起来的一门学科。下面将归结该学科的观点,目的是引入概率论的基本术语和主要运算关系。

概率论和抽象试验^①密切相关,每个试验都可由一个至三个

^① 即随机试验。为与原文“abstract experiments”一致,后面统一译为抽象试验。

— 译者注