



# 通信中盲信号处理 理论与技术 (上册)

**T**heory and Technology on  
Blind Signal Processing of  
Communication

郑辉 编著



国防工业出版社  
National Defense Industry Press

013062351

TN911.7  
142  
V1

内容简介

本书共分两卷，上册为理论部分，下册为技术部分。本书可作为高等院校通信工程、电子信息工程、通信科学与工程、通信与信息系统等专业及相关专业的高年级本科生、研究生教材，也可供从事通信工程、通信系统、通信设备、通信软件、通信网络、通信管理等工作的工程技术人员参考。

# 通信中盲信号处理 理论与技术 (上册)

Theory and Technology on Blind Signal  
Processing of Communication

郑辉 编著



国防工业出版社

·北京·



北航

C1670727

TN911.7  
142  
V1

013085321

## 内 容 简 介

本书全面介绍了经典的盲信号处理技术基础,以及盲信号处理的最新理论和技术,具体包括:盲信噪比估计和盲信道均衡技术,盲信号参数分析、系统分析和网络分析等盲信号分析技术;低截获概率信号和隐藏信号盲检测技术,各种条件下的盲信源分离理论和技术,基于信号结构和数据压缩的盲信源恢复技术,基于信号特征和不平衡类别的盲信息辨识技术等。

本书适合从事盲信号处理方向的研究生、工程师、学者阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

通信中盲信号处理理论与技术:全2册/郑辉编著. --北京:国防工业出版社,2013.4

ISBN 978-7-118-08688-1

I. ①通... II. ①郑... III. ①盲信号处理-研究 IV. ①TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 077414 号

※

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 100048)

北京嘉恒彩色印刷责任有限公司

新华书店经售

\*

开本 710×960 1/16 印张 21¼ 字数 377 千字

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 186.00 元(全 2 册)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

## 前 言

盲信号处理重点实验室是我国专门从事盲信号处理理论与技术研究的科研机构,该重点实验室运行十年来,在盲信号处理技术领域开展了全面而深入的探索性研究工作,通信中盲信号处理是其中重要的研究方向之一。为纪念盲信号处理重点实验室运行十周年,总结十年来该重点实验室的研究成果,特编写本书。

本书在介绍经典的盲信号处理技术的基础上,着重总结了十年来盲信号处理重点实验室的研究成果,全面地介绍了盲信号处理的最新理论和技术。

本书共分七篇十五章。

第一篇概述(第1章),首先介绍了盲信号处理的基本概念、准则和方法,阐述了盲信号处理的技术体系构成,为全书提供了一个纲要性的介绍;同时以介绍盲信号处理方法为脉络,介绍了盲信号处理技术中常用的基础理论和方法,如高阶统计、最大似然估计、自适应处理等。

第二篇盲信道估计技术(第2~3章),主要介绍盲信噪比估计和盲信道均衡。在介绍经典的盲信道估计理论和技术的基础上,重点总结介绍了许华、李明博士等在高阶调制信号中盲信噪比估计中的工作,樊龙飞、许华、赵艳博士等分别在高阶调制信号盲均衡、时短突发信号盲均衡和宽带信号盲均衡方面所做的工作。

第三篇盲信号分析技术(第4~6章),主要介绍盲信号参数分析、盲信号系统分析和盲信号网络分析。在介绍传统的盲信号参数分析和盲信号系统分析的理论和技术的基础上,着重总结介绍了邓月华高工,陈越新、徐正国、焦程波博士等分别在盲信号网络分析中对网络拓扑、协议与特征分析技术,陆佩忠博士等分别在盲信号参数统计分析和容错分析理论与技术等方面的工作。

第四篇盲信号检测技术(第7~8章),限于篇幅本篇不再介绍一般性的信号检测技术,着重介绍低截获概率信号(LPI)和隐藏信号的盲检测。总结介绍了李明、罗胜恩博士等分别在盲突发信号检测、盲跳频信号检测,廖灿辉、万坚博士等在盲混合信号检测方面的工作。

第五篇盲信源分离技术(第9~11章),主要介绍正定条件、欠定条件和单

通道条件下的盲信源分离的理论和技術。本章主要参考了朱中梁院士编著的《无线电混合信号盲源分离理论与技术》，在介绍了经典的正定条件下盲信源分离理论和技術的基础上，着重总结了涂世龙、廖灿辉、陈绍贺、万坚博士等分别在欠定和单通道条件下盲信源分离方面的工作。

第六篇盲信源恢复技术(第 12 ~ 13 章),主要介绍基于信号结构和数据压缩的盲信源恢复。在总结群路信号盲信源恢复技术的研究成果的同时,着重总结介绍了陈越新、李立忠博士、赵艳秋高工和李丛鹤硕士等在数据压缩信号盲信源恢复理论和技術方面的工作,以及涂世龙博士在传输编码结构信号盲源恢复方面的工作。

第七篇盲信息辨识技术(第 14 ~ 15 章),主要介绍信号特征的盲信息辨识和不平衡类别的盲信息辨识。在介绍盲信息辨识的经典技术的基础上,着重总结了黄渊凌博士等在通信信号特征盲信息辨识技术,燕继坤博士等在不平衡类别盲信息辨识方面的工作。

由此可知,本书是盲信号处理重点实验室众多科研人员十年探索、十年创新的结晶。朱中梁院士和叶尚福院士在盲信号处理的研究中起到了领军和指引作用。朱中梁院士带领团队在盲信号分析、盲信源分离等领域做了大量基础理论研究,为盲信号处理开辟了研究方向。叶尚福院士带领团队在盲信号检测等领域做出了探索性的工作,奠定了盲信号处理的技術基础。

盲信号处理是信号处理领域的一个崭新的研究方向,引起了国内外学术界的高度关注。由于许多盲信号处理的研究方向还处于探索研究阶段,本书为读者呈献的仅仅是当前的认识水平和研究成果,其中一些结论性意见也只是研究者的实践总结和理论概括,主要目的是引起同行的关注和共同研究交流。

本书由郑辉同志负责统编,涂世龙负责第一篇校审,李明、乔良负责第二篇校审,邓月华、徐正国负责第三篇校审,乔良、李明负责第四篇校审,陈绍贺、廖灿辉负责第五篇校审,陈越新负责第六篇校审,燕继坤、黄渊凌负责第七篇校审。

本书得到了盲信号处理重点实验室李鹏、赵艳、孙正波、万坚、陈晓春、刘国才等领导的积极支持和指导,实验室许多科研人员给予了无私的帮助,在此表示衷心感谢。

郑 辉

2012 年 11 月

于盲信号处理国防重点实验室

## 目 录

## (上册)

## 第一篇 概 述

第 1 章 通信中盲信号处理概述	1
1.1 通信中盲信号处理的基本概念	1
1.2 通信中盲信号处理准则与基本方法	2
1.2.1 盲信号处理准则	2
1.2.2 基于统计量的信号先验背景知识	3
1.2.3 基于最大似然方法的代价函数	16
1.2.4 基于自适应处理技术的运算方法	30
1.3 通信中盲信号处理的技术体系	36
1.3.1 盲信道估计	37
1.3.2 盲信号分析	38
1.3.3 盲信号检测	39
1.3.4 盲信源分离	40
1.3.5 盲信源恢复	42
1.3.6 盲信息辨识	43
1.4 本书的主要内容及结构组成	43
参考文献	44

## 第二篇 盲信道估计

第 2 章 盲信噪比估计技术	47
2.1 盲信噪比估计的概述	47
2.2 信噪比估计的克拉米罗下限	48
2.2.1 用于 MPSK 信号信噪比估计的克拉米罗下限	49
2.2.2 QAM 信号信噪比估计的克拉米罗下限	50
2.3 基于最大似然的盲信噪比估计	52

2.3.1	MPSK 信号的最大似然信噪比估计 .....	52
2.3.2	一种针对 MPSK 信号的 ML 盲信噪比估计算法 .....	53
2.3.3	与前向纠错结合的判决指向信噪比估计算法 .....	58
2.3.4	对 QAM 信号的最大似然 (ML) 信噪比估计 .....	62
2.3.5	其他的最大似然信噪比估计算法 .....	65
2.4	基于统计量的盲信噪比估计 .....	65
2.4.1	对 QPSK 信号基于二阶统计量的盲信噪比估计 .....	66
2.4.2	对 QAM 信号基于二阶统计量的盲信噪比估计 .....	70
2.5	基于子空间分解的盲信噪比估计 .....	75
2.5.1	基于过采样的多信道模型子空间分解盲信噪比估计 .....	76
2.5.2	实验仿真与分析 .....	77
2.6	小结 .....	78
<b>第 3 章</b>	<b>盲信道均衡技术 .....</b>	<b>79</b>
3.1	盲信道均衡概述 .....	79
3.1.1	均衡准则 .....	80
3.1.2	条件均值估计器 .....	81
3.1.3	盲信道均衡的分类 .....	83
3.2	基于梯度下降的盲均衡技术 .....	83
3.2.1	梯度下降算法 .....	84
3.2.2	Sato 算法 .....	86
3.2.3	常模算法 (Godard 算法) .....	87
3.2.4	多判决算法 (MDA 算法) .....	91
3.2.5	Benveniste-Goursat 算法 .....	93
3.2.6	stop-and-go 算法 .....	94
3.3	基于高阶统计量的盲均衡技术 .....	96
3.3.1	三阶倒谱均衡算法 .....	97
3.3.2	超指数算法 .....	100
3.3.3	特征向量法 .....	102
3.3.4	一阶随机近似调整 .....	103
3.4	基于循环平稳统计量的盲均衡技术 .....	106
3.4.1	调制输入的循环平稳性 .....	107
3.4.2	谱分集 .....	108
3.4.3	基于 CS 的算法的综述 .....	108
3.5	短时突发信号的盲均衡技术 .....	110

3.5.1	短时突发信号的数据重用方法	111
3.5.2	基于数据重用的常模算法	112
3.5.3	短时信号数据重用常模算法分析	121
3.5.4	基于数据重用的 Bussgang 类短时信号盲均衡方法	134
3.6	基于子带分割的宽带信号盲均衡技术	139
3.6.1	子带均衡技术的基本原理及发展现状	140
3.6.2	子带均衡中的子带划分方法	142
3.6.3	子带均衡并行结构及其权值迭代方法	148
3.6.4	子带均衡并行结构误差来源分析及其改进	152
3.6.5	实验与性能分析	158
参考文献		160

### 第三篇 盲信号分析技术

第4章	盲信号参数分析技术	165
4.1	盲信号参数分析概述	165
4.2	盲调制参数分析技术	166
4.2.1	盲调制类型识别技术	166
4.2.2	盲调制参数分析技术	171
4.3	盲信道编码参数分析技术	179
4.3.1	编码序列的最小不均匀度与全排列技术	180
4.3.2	编码序列的全排列距离统计方法	190
4.4	盲信道编码参数容错分析技术	196
4.4.1	信道编码容错求解问题的描述和数学基础	197
4.4.2	Grobner 基理论用于卷积码的盲编码参数分析	204
第5章	盲信号系统分析技术	211
5.1	盲信号系统分析概述	211
5.1.1	线性参数模型的类型	211
5.1.2	盲信号系统分析的应用	213
5.2	滑动平均模型(MA)盲系统分析技术	214
5.2.1	MA 滤波器和高阶统计	214
5.2.2	二、三、四阶方法(MN96)	222
5.2.3	仿真与结果	226
5.2.4	结论	232
5.3	自回归滑动平均模型(ARMA)盲系统分析技术	233



5.3.1	ARMA 滤波器和高阶统计 .....	234
5.3.2	残余时间序列(RTS)方法 .....	235
5.3.3	$q$ -slice 方法 .....	236
5.3.4	双 $c(q, k)$ 方法 .....	237
5.3.5	冲激响应方法 .....	237
5.3.6	ARMA 系统分析方法 .....	238
5.3.7	仿真与结果 .....	239
5.3.8	结论 .....	249
<b>第 6 章 盲信号网络分析技术</b> .....		251
6.1	盲信号网络分析概述 .....	251
6.2	盲网络拓扑分析技术 .....	252
6.2.1	分层网络拓扑分析 .....	252
6.2.2	物理网络拓扑分析 .....	252
6.2.3	业务网络拓扑分析 .....	263
6.2.4	网络组织拓扑分析 .....	270
6.3	盲网络协议分析技术 .....	274
6.3.1	链路协议分析技术 .....	274
6.3.2	网络协议分析技术 .....	286
6.4	盲网络数据流分析技术 .....	301
6.4.1	基于数据流测量的网络终端分析技术 .....	301
6.4.2	基于数据流时间序列的网页分析技术 .....	307
<b>参考文献</b> .....		322

(下册)

## 第四篇 盲信号检测技术

<b>第 7 章 盲突发信号检测技术</b> .....		327
7.1	盲突发信号检测概述 .....	327
7.2	盲突发信号检测技术 .....	328
7.2.1	盲突发信号能量检测方法 .....	328
7.2.2	基于多分辨分析的盲突发信号检测 .....	330
7.2.3	盲突发信号参数检测 .....	335
7.3	盲跳频信号检测 .....	345
7.3.1	盲跳频信号检测的一般方法 .....	346

7.3.2	单序列盲跳频信号检测算法	354
7.3.3	多序列盲跳频信号检测算法	369
<b>第8章 盲隐藏信号检测技术</b>		<b>381</b>
8.1	盲隐藏信号检测概述	381
8.2	盲扩频信号检测	381
8.2.1	直接序列扩频信号的低检测性特点	381
8.2.2	盲扩频信号检测技术	383
8.3	盲混合信号检测	398
8.3.1	盲对称混合信号检测	399
8.3.2	基于累积量和似然特征结合的盲对称混合信号检测	405
8.3.3	基于累积量和谱线特征结合的盲对称混合信号检测	414
8.3.4	基于信噪比估计的盲非对称混合信号检测	418
8.3.5	基于时频域特征结合的盲非对称混合信号检测	422
<b>参考文献</b>		<b>431</b>

## 第五篇 盲信源分离技术

<b>第9章 正定条件下混合信号盲源分离技术</b>		<b>435</b>
9.1	正定条件下混合信号盲源分离概述	435
9.1.1	混合信号盲源分离的模型与定义	435
9.1.2	正定条件下混合信号盲源分离的应用	439
9.2	正定条件下混合信源数估计	440
9.2.1	矩阵分解法	440
9.2.2	基于信息论准则的算法	442
9.2.3	基于盖尔圆准则的算法	444
9.3	独立性准则	449
9.3.1	互信息最小化准则(MMI)	449
9.3.2	信息最大化准则(Infomax)	451
9.3.3	非高斯最大化准则	452
9.4	正定条件下盲源分离算法	453
9.4.1	联合对角化算法(JADE)	454
9.4.2	信息最大化算法(Infomax)	456
9.4.3	等变自适应分解算法(EASI)	458
9.4.4	固定点算法(FastICA)	459
9.5	小结	462

<b>第 10 章 欠定条件下混合信号盲源分离技术</b> .....	463
10.1 欠定条件下混合信号盲源分离概述 .....	463
10.2 欠定条件下混合信源数估计 .....	463
10.2.1 基于稀疏性的方法 .....	463
10.2.2 基于空间虚拟延迟抽头的方法 .....	469
10.2.3 基于高阶累积量的方法 .....	473
10.3 典型欠定条件下盲源分离算法 .....	478
10.3.1 基于比率矩阵聚类的欠定盲源分离算法 .....	479
10.3.2 基于检索平均的欠定盲源分离算法 .....	485
10.4 小结 .....	490
<b>第 11 章 单通道混合信号盲源分离技术</b> .....	491
11.1 单通道混合信号盲源分离概述 .....	491
11.1.1 单通道盲源分离的模型与定义 .....	491
11.1.2 单通道盲源分离的理论解释 .....	496
11.2 单通道盲源分离的性能界 .....	503
11.2.1 符号估计的性能界——联合界 .....	503
11.2.2 参数估计的性能界——克拉美罗界 .....	509
11.2.3 参数对分离性能的影响 .....	512
11.3 基于粒子滤波的混合信号盲分离 .....	517
11.3.1 粒子滤波算法的基本原理 .....	518
11.3.2 相同符号速率下的盲分离 .....	525
11.3.3 不同符号速率下的盲分离 .....	532
11.3.4 用过采样提高盲分离性能 .....	537
11.4 基于 PSP 的混合信号盲分离 .....	539
11.4.1 PSP 算法的基本原理 .....	540
11.4.2 PSP 用于混合信号盲分离 .....	545
11.4.3 PSP 盲分离的软输出计算 .....	549
11.4.4 自适应减少留存路径数的 PSP 盲分离 .....	553
11.4.5 能提供软输出的减路径盲分离 .....	559
11.5 小结 .....	562
<b>参考文献</b> .....	564

## 第六篇 盲信源恢复技术

<b>第 12 章 基于信号结构的盲信源恢复技术</b> .....	569
------------------------------------	-----

12.1	基于信号结构的盲信源恢复技术概述	569
12.2	基于群路信号结构的盲源恢复技术	570
12.2.1	误码对群路信号的影响	570
12.2.2	基于群路信号帧结构的盲信源恢复	575
12.3	基于 IP 信号结构的盲信源恢复技术	583
12.3.1	基于 IPv4 协议结构的盲信源恢复模型	584
12.3.2	基于 IPv4 协议结构的盲信源恢复技术	588
12.4	基于编码信号结构的盲信源恢复技术	590
12.4.1	结合 HDLC 帧结构的盲信源恢复技术	591
12.4.2	结合扰码结构的盲信源恢复技术	594
<b>第 13 章</b>	<b>压缩数据的盲信源恢复技术</b>	<b>601</b>
13.1	压缩数据的盲信源恢复概述	601
13.1.1	压缩数据的盲信源恢复技术背景	601
13.1.2	数据压缩方法简述	602
13.2	压缩信源可容错性分析	612
13.2.1	压缩数据可容错的直观理解	612
13.2.2	压缩数据可容错的熵估计	612
13.2.3	压缩信源可容错性的实验结果与分析	614
13.3	压缩信源中的误码传播分析	616
13.3.1	LZ77 算法编译码基本方法	617
13.3.2	LZ77 算法误码传播分析	618
13.3.3	实验结果与讨论	621
13.4	基于特征和内容联合容错的盲信源恢复技术	622
13.4.1	基于特征和内容联合容错算法概述	622
13.4.2	基于特征的容错译码算法	624
13.4.3	前向容错译码算法	624
13.4.4	反馈容错译码算法	632
13.4.5	实验与结果分析	635
<b>参考文献</b>		<b>639</b>

## 第七篇 盲信息辨识技术

<b>第 14 章</b>	<b>盲信号特征辨识技术</b>	<b>640</b>
14.1	盲信号特征辨识技术概述	640
14.2	信号指纹特征产生机理	642

14.2.1	辐射源信号指纹的来源	642
14.2.2	正交调制误差	643
14.2.3	频率源的相位噪声	643
14.2.4	功放的非线性误差	645
14.2.5	瞬态响应	647
14.2.6	发射通路等效滤波器	649
14.2.7	其他发射机非理想特性	649
14.3	辐射源指纹特征提取技术	650
14.3.1	指纹特征的一般性要求	650
14.3.2	基于机器学习的特征提取	651
14.3.3	基于参数估计的特征提取	656
14.3.4	基于域变换的特征提取	661
14.3.5	信号指纹特征提取技术小结	666
14.4	模式识别分类器技术	666
14.4.1	K最近邻分类器	667
14.4.2	概率神经网络分类器	667
14.4.3	支持向量机	668
14.5	信号特征的盲信息辨识的实验与分析	671
14.5.1	实验条件与方法	671
14.5.2	实验结果统计与分析	672
14.5.3	实验结论	682
<b>第15章</b>	<b>不平衡类别的盲信息辨识</b>	<b>684</b>
15.1	不平衡类别盲信息辨识概述	684
15.2	不平衡类别的支持向量机	687
15.2.1	支持向量机原理与应用	688
15.2.2	SVM 应用于不平衡类别的问题	690
15.2.3	反类野点抑制的支持向量机	692
15.2.4	实验结果	694
15.3	不平衡类别的单边抽样 Bagging 算法	698
15.3.1	综合学习算法介绍	698
15.3.2	不平衡类别对 AdaBoost 综合学习算法的影响	701
15.3.3	不平衡类别学习的关键结论	706
15.3.4	单边 Bagging	708
15.3.5	SSBagging 的性能分析	711

---

15.4 用属性 Bagging 增强 kNN 的性能 .....	712
15.4.1 ABagging kNN .....	712
15.4.2 ABagging kNN 的性能分析 .....	714
15.5 可信度投票法及 CAB 算法 .....	717
15.5.1 基于可信度的投票法 .....	718
15.5.2 CAB 算法 .....	721
15.5.3 CAB 算法性能分析 .....	721
15.6 基于单边抽样和可信度投票的属性 Bagging .....	722
15.6.1 SSCAB .....	723
15.6.2 SSCAB 的性能分析 .....	723
附录 A 定理 15.3.1 的证明 .....	725
附录 B 定理 15.3.2 的证明 .....	725
附录 C 引理 15.5.1 的证明 .....	726
参考文献 .....	727

# 第一篇 概 述

## 第 1 章 通信中盲信号处理概述

### 1.1 通信中盲信号处理的基本概念

盲信号处理,一个首要问题是什么是“盲”。从生理学最原始的含义,“盲”是指人失去了视觉。人失去了视觉意味着什么?“盲”意味着失去部分信息来源,以视觉为主的图像信息不再是盲人的信息输入,但是“盲”并没有失去所有的信息来源,盲人还有听觉、触觉等信息的输入。“盲”意味着失去了部分参考标准,比如物体之间的位置关系、物体之间的形状差别等,但是“盲”并没有失去所有的参考标准,盲人还可以通过其他信息来建立新的参考标准。

那么,通信会盲吗?在常规的意义讲,通信是信息传输双方在一定约定条件下开展的信息传输技术。通信传输的约定条件,一方面包括通信信号的约定信息,如信号频率、调制方式和参数、编码方式和参数等,这些约定信息应当在通信双方建立通信之前,得到完整的输入;同时在建立通信时,也需要约定建联过程,如联系方式、握手协议等,在约定的条件下,通信双方按照要求建立通信状态。另一方面,通信传输的约定条件,也包括通信的参考标准,如通信的门限(信噪比)、特定的还原条件等。在通信的一些特定应用中,特别是在通信对抗的条件下,会缺失上述通信约定条件,例如,在无线电监测领域,通信信号的约定信息往往不具备(或者不完备);在点对多点的通信中,通信的建联过程可能难以保证所有终端具备成功的建联;在干扰和传输条件恶劣的环境下,可能达不到通信的门限要求;这些特殊的应用情况,使得通信处于约定信息不完备、参考条件不具备的情况,因而通信信号的处理是在一种“盲”的状态下进行,我们称之为通信中的盲信号处理。

**定义:**通信中盲信号处理技术是在不具备信号参数约定,或不参与信号通联

过程,或不满足正常接收条件的情况下,所做的信号处理技术。

(1) 信号参数约定包括信号的构成参数、多址通信的用户地址参数等。

(2) 信号通联过程包括通信应答过程、训练过程、反馈重发机制等。

(3) 正常接收条件包括信道特性测量条件、正常通信所需信噪比及信号的完整数据等。

通信中盲信号处理技术首先应用于军事电子信息领域,特别是抗干扰通信和信息对抗领域。迄今为止,军事应用仍然是盲信号处理技术应用最全面、研究最深入的技术领域。早在 20 世纪 80 年代以前,无线电测向定位技术中,对多信号的分离研究就已经涉及到盲信号处理的问题。20 世纪 80 年代以来,随着数字通信技术的迅速发展,现代盲信号处理技术也被提出,并得到了深入的研究和发展。首先是在话带调制信号解调中,提出了盲信号均衡的概念和思想<sup>[1]</sup>。随后,由于数字通信技术引入了众多的信号参数,对信号参数的盲信号分析也得到深入发展。经过几十年的研究和努力,通信中盲信号处理已经由 20 世纪 80 年代的盲均衡研究,逐步扩展到对信道的估计,信号的分析、分离、恢复、辨识等各个信号处理环节<sup>[2]</sup>。迄今为止,盲信号处理已经成为信号处理的一个热门研究方向,引起了学术界和工程界的广泛关注。

随着通信与电子技术的发展,盲信号处理技术已经广泛应用于移动通信、生物电子、目标识别等领域,使盲信号处理技术获得了崭新的发展空间,因此有的学者将其称为现代信号处理技术<sup>[3]</sup>。

## 1.2 通信中盲信号处理准则与基本方法

通信中盲信号处理技术不同于正常的信号处理技术,它并不完全是信号设计的逆过程。与盲人对信息的处理类似,盲信号处理的特点就是充分扩展和利用各种信息获取条件,尽可能地扩大信息来源,以弥补“盲”所带来的约定信息不足。同时,建立新的参考标准和判决依据,对盲信号处理的有效性作出正确的认识和引导。因此,盲信号处理技术与通信信号处理技术,在处理方法和技术上有着较大的差异,正是存在这种差异,使得盲信号处理成为一个独特的技术领域,引起了众多研究人员的关注和兴趣。

### 1.2.1 盲信号处理准则

如 1.1 节所述,通信的盲信号处理是在不具备信号参数知识、不参与信号通联过程和不满足正常接收条件情况下进行的信号处理,但是盲信号处理也并非是在对信号一无所知的情况下进行的,它是在信号遵循一定的通信的先验背景



知识的前提下,对信号作符合逻辑的处理,从而达到盲信号处理的目的。

通信中的盲信号处理已经涉及到信号处理的各个环节,针对不同的盲信号处理问题,处理的方法有很大的不同,形成了特色鲜明的各种盲处理技术。但是就基本的处理准则而言,盲信号处理的准则是基本一致的,盲信号处理的准则总结如下。

**盲信号处理准则:**通信中盲信号处理技术是基于接收者对通信背景的了解基础上,根据通信的先验背景知识,提炼出基于先验背景知识而不是基于约定条件的处理方法,从而实现信号的正确处理。

**准则一:**选择一种或几种适合于需处理信号的先验背景知识,这些先验背景知识不受信号参数、通联过程和信号接收条件的限制;

**准则二:**根据先验背景知识,抽象出一个代价函数(或目标函数),使盲信号处理的结果符合代价函数的要求,或与目标函数的均方误差最小;

**准则三:**以代价函数为盲信号处理的判决准则,设计一种盲信号处理运算方法,以实现盲信号处理技术。

结合上述三项准则,在1.2.2~1.2.4节中,我们分别以盲信号处理中较为常用的几种技术方法为例,介绍盲信号处理的三个基本环节。由于盲信号处理面临的问题千差万别,所采用的方法也有很大不同,一些针对性的方法,将在后续各章讨论具体的盲信号处理技术时,予以介绍。

## 1.2.2 基于统计量的信号先验背景知识

通信中盲信号处理的先验背景知识,主要包括信道、信号的统计特性,信号的最优设计理论,信号传输的基本准则等。在这些先验背景知识中,统计特性是最常用的先验背景知识之一。通信信号的统计特性内容很多,有基于随机过程的统计特性,有基于数据序列的统计特性,还有基于信息属性的统计特性等。在通信盲信号处理中,这些统计特性均无一例外地被用于盲信号处理的技术方法之中,并取得了明显的处理成效。本节重点介绍一下基于随机过程的统计特性,这一统计特性在针对盲信道估计、盲信号检测以及盲信号分离等盲信号处理中被广泛应用,也作为后续各章的相关理论基础。

### 1. 随机过程

直到20世纪80年代中期,信号分析、系统分析、信号估计等信号处理问题还主要是基于二阶统计信息。自相关和互相关是二阶统计的例子,被广泛使用的功率谱也是基于二阶统计的。高斯过程是一种常见的随机过程,其概率密度函数完全由一阶矩和二阶矩确定。迄今为止用二阶统计进行线性系统和信号分析在许多场合十分有效,但它局限于高斯、最小相位系统和线性系统等设定。