

'98 卷

大连理工大学教授学术丛书

自适应噪声抵消 与时间延迟估计

王宏禹 邱天爽 著

ADAPTIVE NOISE
CANCELLATION
AND TIME DELAY
ESTIMATION

大连理工大学出版社

大连理工大学教授学术丛书 '98 卷

自适应噪声抵消 与时间延迟估计

王宏禹 邱天爽 著

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

自适应噪声抵消与时间延迟估计/王宏禹,邱天爽著.

大连:大连理工大学出版社,1999.8

(大连理工大学教授学术丛书'98卷)

ISBN 7-5611-1754-X

I. 自… II. ①王… ②邱… III. ①自适应滤波器基本知识
②噪声消除③时延-估计-方法 IV. TN713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 14075 号

大连理工大学出版社出版发行

大连市凌水河 邮政编码 116024

电话:0411-4708842 传真:0411-4708898

E-mail:pdut@pub.dl.lnpta.net.cn

大连理工大学印刷厂印刷

开本:850×1168 毫米 1/32 字数:365 千字 印张:13.625 插页:4
印数:1—3000 册

1999 年 8 月第 1 版

1999 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑:王君仁 韩 露

责任校对:杨 泳

封面设计:孙宝福

定价:25.00 元

前 言

自适应信号处理是数字信号处理学科的一个重要分支,自 60 年代初以来一直是国内外信号处理学术界的研究热点,其新理论与新方法不断出现,应用也越来越广泛。噪声消除向来是信号处理的核心问题之一,而时间延迟是信号表征的基本参量之一。因此,自适应噪声抵消与时间延迟估计成为自适应信号处理中的两个主要内容。

目前国内外已有一些全面系统阐述自适应信号处理方面的书籍,但对自适应噪声抵消与时间延迟估计仅作为其中的章或节介绍,内容不够丰富,迄今尚未见到专门系统反映其内容的书籍。近年来我们承担了国家部委关于自适应噪声抵消与时间延迟估计多项科研课题,对其理论与应用均做了比较深入的研究,有了自己的研究体会和研究成果。现为了更好地反映这方面的新理论、新方法及应用,故撰写此书进行系统阐述。此外,笔者一直从事随机与时变信号研究,已出版了五本专著与教材,它们是:《随机数字信号处理》(科学出版社,1988 年)、《现代谱估计》(东南大学出版社,1990 年)、《数字信号处理专论》(国防工业出版社,1995 年)、《统计信号处理理论计算与题解》(国防工业出版社,1996 年)及《非平稳随机信号分析与处理》(国防工业出版社,1999 年)。这些专著与教材对随机与时变信号处理不仅做了比较全面系统阐述,并对它们一些主要与重要专题做了阐述,但缺少自适应信号处理方面的专题阐述。现撰写此书可以使这套随机与时变信号处理系列专著与教材更加完整,以便对从事随机与时变信号处理的人们有所裨益。

本书共由 12 章组成,其中包括:绪论、自适应滤波器的基本原

理、自适应噪声抵消系统原理与应用、频域自适应噪声抵消系统、非线性自适应滤波与噪声抵消、LMS 自适应时间延迟估计方法、低信噪比下的自适应时间延迟估计、周期性干扰下的自适应时间延迟估计、时变环境下的自适应时间延迟估计、多源多径条件下的时间延迟估计、非高斯环境下的自适应延迟估计及时间延迟估计的应用。

本书第一、第三、第四、第五章由王宏禹撰著，第二章由王宏禹与邱天爽合作撰著，第六至第十二章由邱天爽撰著，全书的统稿工作由王宏禹完成。

本书的撰著与出版得到大连市学术著作出版基金与大连理工大学学术著作出版基金的资助，大连理工大学研究生院从对研究生教材建设的支持也给予了资助，大连理工大学出版社予以大力支持，特在此致以深切谢意！

本书既可作为高等院校研究生自适应信号处理课教材，也可作为自适应噪声与时间延迟估计专题课教材。此外，本书还可供从事信号处理的高等院校教师、高年级学生、研究生及科技人员参考。

由于作者水平有限，书中难免有错误和不当之处，欢迎读者批评指正，不胜感谢。

王宏禹 邱天爽

1999 年 2 月

本书由

**中共大连市委、大连市人民政府
大连理工大学学术著作出版基金**

资助出版

The published book is sponsored by

The Dalian Municipal Government

and

The Publishing Academic Works

Foundation of the Dalian University

of Technology

作者简介



王宏禹,教授、博士生导师。曾任大连理工大学电子工程系主任与信息技术研究所所长,中国通信学会会士,信号处理学会及通信信息与信号处理学会专业委员。“通信学报”、“信号处理”及“数据采集与处理”编委。专长数字信号处理,对随机与时变数字信号处理很有造诣,著有《随机数字信号处理》、《现代谱估计》、《数字信号处理专论》及《非平稳随机信号分析与处理》等七本专著,在国内外重要刊物上发表约八十篇论文。曾获国家教委科技进步一、三等奖,部优秀教材一等奖,市优秀专著与科技进步一等奖等。



邱天爽,教授。1983年毕业于天津大学电子工程系后,在中科院大连化学物理研究所从事信号检测与图像处理研究工作。1990年起在大连理工大学信号与信息处理专业读研究生,获硕士与博士学位。1996年在美国北伊利诺大学做博士后研究工作。在 IEEE Trans. Signal Processing,《通信学报》等刊物和国内外学术会议上发表论文约60篇。曾获中国科学院和国家教委科技进步奖。

内容简介

本书系统、深入地论述了自适应噪声抵消与时间延迟估计的理论与技术。全书共十二章。除第一章绪论外,内容包括:自适应滤波器的基本原理,自适应噪声抵消系统原理和应用,频域自适应噪声抵消系统,非线性自适应滤波与噪声抵消,最小均方自适应时间延迟估计方法,低信噪比下的自适应时间延迟估计,周期干扰下的自适应时间延迟估计,时变环境下的自适应时间延迟估计,多源与多径条件下时间延迟估计,非高斯环境下的自适应时间延迟估计及时间延迟估计的应用。

本书取材广泛,内容新颖,理论联系实际,反映了作者较多的科研成果,是一本颇有参考价值的著作。本书可作为研究生(博士和硕士)教材和从事信号处理的高等院校教师及科技人员的参考书。

ISBN 7-5611-1754-X



9 787561 117545 >

目 录

前 言

第一章 绪论	1
§ 1.1 自适应滤波器的基本概念	1
§ 1.2 自适应噪声抵消系统的概述	7
§ 1.3 时间延迟估计的概述	12
附录 1.1 克拉美罗下界(CRLB)及其它性能下界	20
参考文献	21
第二章 自适应滤波器的基本原理	23
§ 2.1 横向自适应滤波器及其性能函数	23
§ 2.2 最小均方(LMS)自适应算法	33
§ 2.3 其它自适应算法和结构	46
参考文献	68
第三章 自适应噪声抵消系统原理与应用	70
§ 3.1 自适应噪声抵消系统基本原理	70
§ 3.2 自适应陷波滤波器	73
§ 3.3 模平方相干函数	79
§ 3.4 自适应噪声抵消系统抵消能力的分析	85
§ 3.5 自适应噪声抵消系统应用实例	95
参考文献	100

第四章 频域自适应噪声抵消系统	101
§ 4.1 利用 FFT 实现卷积运算	101
§ 4.2 频域 LMS 自适应滤波算法	107
§ 4.3 频域 RLS 自适应滤波算法	116
§ 4.4 频域 ANC 系统	122
§ 4.5 用于语声增强的 ANC 系统的实时后处理算法	128
附录 4.1 图 4-15 中 $z(n)$ 与 $c(n)$ 相关性弱的证明	138
参考文献	139
第五章 非线性自适应滤波与噪声抵消	141
§ 5.1 非线性系统的伏特拉级数表示	141
§ 5.2 自适应伏特拉滤波器	145
§ 5.3 自适应有理函数滤波器	149
§ 5.4 常用的离散非线性系统模型	151
§ 5.5 非线性相关噪声的自适应抵消原理	159
§ 5.6 递归型自适应伏特拉滤波器及在相关噪声抵消中的应用	161
参考文献	168
第六章 LMS 自适应时间延迟估计方法	170
§ 6.1 几种基本的时间延迟估计方法	170
§ 6.2 LMS 自适应时间延迟估计方法	180
§ 6.3 几种时间延迟估计方法的相互关系	197
参考文献	202

第七章 低信噪比下的自适应时间延迟估计·····	204
§ 7.1 概述·····	204
§ 7.2 SCOT 加权广义相关自适应时延估计方法·····	206
§ 7.3 相位变换加权广义相关自适应时延估计方法·····	216
§ 7.4 最大似然加权广义相关自适应时延估计方法·····	222
§ 7.5 HB 加权的广义相关自适应时延估计方法·····	226
§ 7.6 维纳加权广义相关自适应时延估计方法·····	233
§ 7.7 Eckart 加权广义相关自适应时延估计方法·····	241
参考文献·····	248
第八章 周期性干扰下的自适应时间延迟估计·····	251
§ 8.1 概述·····	251
§ 8.2 一种抑制周期性干扰的二级自适应时延估计 方法·····	253
§ 8.3 自适应相位谱时间延迟估计方法·····	263
参考文献·····	284
第九章 时变环境下的自适应时间延迟估计·····	286
§ 9.1 概述·····	286
§ 9.2 应付时变环境的对策·····	287
§ 9.3 加窗 LMS 自适应时延估计方法·····	288
§ 9.4 由 $\text{sinc}(\cdot)$ 函数约束的 LMS 自适应时延估计 方法·····	294
§ 9.5 直接 LMS 自适应时延估计方法·····	298
§ 9.6 信噪比与时延解耦的自适应时延估计方法·····	311
参考文献·····	320

第十章 多源多径条件下的时间延迟估计	322
§ 10.1 概述	322
§ 10.2 多源多径信号模型及分辨率问题	323
§ 10.3 基于自相关矩阵特征分解的高分辨率多源时延估计方法	328
§ 10.4 基于理想化双基元模型的高分辨率多径时间延迟估计	339
§ 10.5 多径时延估计的进一步研究	351
参考文献	358
第十一章 非高斯环境下的自适应时间延迟估计	361
§ 11.1 概述	361
§ 11.2 低阶 α 稳定噪声环境和 IMP 自适应时延估计方法	363
§ 11.3 基于高阶累积量的自适应时延估计方法	378
参考文献	396
第十二章 时间延迟估计的应用	398
§ 12.1 时延估计在管道泄漏检测中的应用	398
§ 12.2 时延估计在工业检测中的应用	406
§ 12.3 时延估计在语声信号增强中的应用	410
§ 12.4 时延估计在军事上的应用	414
§ 12.5 时延估计在生物医学中的应用	415
参考文献	417

CONTENTS

Preface

Chapter 1 Introduction	1
§ 1.1 Basic Concepts of Adaptive Filters	1
§ 1.2 General Statements of Adaptive Noise Cancellation	7
§ 1.3 General Statements of Time Delay Estimation	12
Appendix 1-1 Gramer-Rao Lower Bound(CRLB) and Others Performance Bound	20
References	21
 Chapter 2 Basic Principles of Adaptive Filters	 23
§ 2.1 Transversal Adaptive Filters and the Performance Function	23
§ 2.2 Least Mean Square (LMS) Adaptive Algorithm	33
§ 2.3 Other Adaptive Algorithms and Architectures	46
References	68
 Chapter 3 Basic Principles and Applications of Adaptive Noise Cancellation Systems	 70

§ 3.1	Basic Principles of Adaptive Noise Cancellation Systems	70
§ 3.2	Adaptive Notch Filter	73
§ 3.3	Modular Squared Coherence Function	79
§ 3.4	Analysis of Cancelling Ability of Adaptive Noise Cancellation Systems	85
§ 3.5	Examples of the Applications of Adaptive Noise Cancellation Systems	95
	References	100

Chapter 4 Frequency-Domain Adaptive Noise Cancellation

	Systems	101
§ 4.1	Implementation of Convolution Operation With FFT	101
§ 4.2	Frequency-Domain LMS Adaptive Filtering Algorithms	107
§ 4.3	Frequency-Domain RLS Adaptive Filtering Algorithms	116
§ 4.4	Frequency-Domain ANC Systems	122
§ 4.5	Real-Time Post-Treatment Algorithm for Adaptive Noise Cancellation Used in Speech Enhancement	128
Appendix 4-1	Proof of Weak Correlation between $z(n)$ and $c(n)$ in Fig. 4-15	138
	References	139

Chapter 5 Nonlinear Adaptive Filtering and Correlated

Noise Cancellation	141
---------------------------------	------------

§ 5.1	Volterra Series Notation of Nonlinear Systems	141
§ 5.2	Adaptive Volterra Filters	145
§ 5.3	Adaptive Rational Function Filters	149
§ 5.4	Usual Models of Discrete-Nonlinear Systems	151
§ 5.5	Adaptive Cancelling Principles of Nonlinear Correlated Noise	159
§ 5.6	Recursive Structure of Adaptive Volterra Filters and Its Applications in Correlated Noise Cancellation	161
	References	168
Chapter 6	LMS Adaptive Time Delay Estimation	170
§ 6.1	Classification of Time Delay Estimation	170
§ 6.2	LMS Adaptive Time Delay Estimation	180
§ 6.3	The Relations among Time Delay Estimation Methods	197
	References	202
Chapter 7	Adaptive Time Delay Estimation under Low Signal to Noise Ratio Condition	204
§ 7.1	Introduction	204
§ 7.2	SCOT Weighted Adaptive Time Delay Estimation	206
§ 7.3	Phase Transform Weighted Adaptive Time Delay Estimation	216
§ 7.4	Maximum-Likelihood Weighted Adaptive Time	

Delay Estimation	222
§ 7.5 HB Weighted Adaptive Time Delay Estimation	226
§ 7.6 Wiener Weighted Adaptive Time Delay Estimation	233
§ 7.7 Eckart Weighted Adaptive Time Delay Estimation	241
References	248

Chapter 8 Adaptive Time Delay Estimation with Periodic

Interferences	251
§ 8.1 Introduction	251
§ 8.2 Suppressing the Effects of Periodic Interferences	253
§ 8.3 Adaptive Phase Spectrum Time Delay Estimation	263
References	284

Chapter 9 Adaptive Time Delay Estimation in the Time

Varying Environment	286
§ 9.1 Introduction	286
§ 9.2 General Countermeasures for the Time Varying Environment	287
§ 9.3 LMS Adaptive Time Delay Estimation with Windows	288
§ 9.4 LMS Adaptive Time Delay Estimation with $\text{sinc}(\cdot)$ Function Constraint	294

§ 9.5	Direct LMS Adaptive Time Delay Estimation	298
§ 9.6	Adaptive Time Delay Estimation with Decoupling the Signal to Noise Ratio and the Time Delay	311
References		320
 Chapter 10 Multi-Source and Multi-Path Time Delay		
	Estimation	322
§ 10.1	Introduction	322
§ 10.2	Multi-Source and Multi-Path Model and the Resolution	323
§ 10.3	Eigenvalue Decomposition-Based High Resolution Method	328
§ 10.4	Ideal Double Receiver-Based High Resolution Method	339
§ 10.5	The Further Study on the Multi-Path Time Delay Estimation	351
References		358
 Chapter 11 Adaptive Time Delay Estimation under Non-		
	Gaussian Noise Condition	361
§ 11.1	Introduction	361
§ 11.2	Lower Order Alpha-Stable Noise and the LMP Adaptive Time Delay Estimation	363
§ 11.3	Higher Order Cumulant-Based Adaptive Time Delay Estimation	378
References		396