



数字形态滤波器理论 及其算法研究

Research on Digital Morphological Filter
Theory and Its Algorithms

赵春晖



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS



数字形态滤波器理论 及其算法研究

Research on Digital Morphological Filter
Theory and Its Algorithms

赵春晖



高等教育出版社

HIGHER EDUCATION PRESS

图书在版编目(CIP)数据

数字形态滤波器理论及其算法研究/赵春晖. —北京:高等教育出版社, 2002
ISBN 7-04-010524-1

I. 数... II. 赵... III. ①数字滤波器-电路理论-研究 ②数字滤波器-算法-研究 IV. TN713

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 095801号

数字形态滤波器理论及其算法研究
赵春晖

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 中国科学院印刷厂

开 本	850×1168 1/32	版 次	2002 年 5 月第 1 版
印 张	5.625	印 次	2002 年 5 月第 1 次印刷
字 数	140 000	定 价	9.60 元
插 页	1		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

作者介绍



赵春晖 男, 1965年生。哈尔滨工程大学通信与信息工程学院教授、博士生导师。1986年毕业于哈尔滨工程大学电子工程系, 1989年获该校通信与电子系统专业硕士学位。1998年获哈尔滨工业大学电磁测量与仪器专业博士学位。研究方向为数字信号和图像处理、非线性滤波和数学形态学。参加过多项科研任务, 并获部级科技进步一等奖1项, 二等奖2项, 省级优秀教学成果二等奖1项, 在

国内外重要学术刊物上发表论文70余篇, 其中被SCI、EI和ISTP收录30篇, 出版著作和教材4部。1999年被评为省优秀中青年专家, 博士论文2000年被评为全国优秀博士学位论文。2001年被评为全国优秀教师。目前为哈尔滨工程大学船舶与海洋工程流动站博士后研究人员。中国电子学会高级会员, 中国图像图形学会会员, 东北三省图像图形分会理事。

导师介绍



孙圣和 男, 1937年生。哈尔滨工业大学计算机电气工程学院教授、博士生导师, 自动化测试与控制研究所所长, 国务院学科评议组成员, 国家科技奖评审组成员, 中国计量测试学会电子测量委员会主任, 中国电子学会电子测量与仪器委员会副主任, 电子学会会士, 电子学报编委, 省部级有突出贡献专家。主要研究方向: 计算机自动测试与控制、数字信号处理。曾获多项国家自然科学基金、博士点基金、航天基金和国防基金等项目资助。获国家科技进步二等奖1项, 部级科技进步一等奖3项, 二等奖7项。在国内外重要学术刊物上发表论文200余篇, 其中被SCI、EI和ISTP收录90余篇, 出版专著和教材5部。

内 容 简 介

本书系统地论述了数字形态滤波器的基本原理、数学基础、各种形态滤波算法,并给出了一些应用示例。全书共分7章,内容包括:绪论、数字形态滤波器的基本理论、广义形态滤波器、多结构元素广义形态滤波器、全方位多级组合形态滤波器、顺序形态滤波器,以及形态滤波器在图形提取、医学信号处理、散斑噪声抑制等领域的应用等。

本书可供信号处理、图像处理、计算机视觉和模式识别等研究领域的专业技术人员、研究生和高年级大学生参考。

The basic theory and mathematical foundations of digital morphological filters, their all kinds of algorithms are systematically introduced, and some applications are given in this book. The book includes seven characters: introduction, basic theories of digital morphological filters, generalized morphological filters, generalized morphological filters with multiple structuring elements, omnidirectional multiple-stage combination morphological filters, ranked-order morphological filters, and applications of morphological filters such as graph extraction, medical signal processing, speckle noise suppressing, etc.

This book is written for researchers, post-graduate students and college students who are interested in the following fields: Signal Processing, Image Processing, Computer Vision and Pattern Recognition.

前 言

随着现代数字信号处理技术的发展,非线性数字信号处理方法在信号处理领域中的地位和作用显得越来越重要,因为从自然现象和社会现象中涌现出来的大量信号处理问题是非线性的。线性数字信号处理方法虽然在理论上比较成熟,且实现相对简单,但它对非线性问题的处理结果在大多数情况下是不十分理想的。近20年来,非线性数字信号处理技术已取得了长足进展,其中包括对非线性数字滤波器的研究。

噪声信号(图像)的滤波是信号处理的基本任务之一,过去这一任务主要由线性滤波器来完成。但线性滤波器不能有效地抑制各种非加性噪声(如脉冲噪声、散斑噪声等),且不利于信号边缘、图像轮廓等细节特征的保持;因而,近年来的噪声信号(图像)恢复问题经常采用非线性滤波器来处理。在诸多种类的非线性滤波器中,形态滤波器是最具代表性和很有发展前途的一种滤波器,因为它以数学形态学为理论基础,具有并行快速实现的特点,一直受到国内外学者的普遍关注和广泛研究。数字形态滤波器作为一种非常重要的非线性滤波器,它在图像分析与处理、计算机视觉和模式识别等领域获得了广泛的应用,是目前非线性数字信号处理领域中研究的热点课题。

本书是作者在承担的国家自然科学基金课题成果总结及黑龙江省自然科学基金课题部分成果和所完成的博士学位论文基础上,并参考国内外最新的文献撰写而成的。全书共分7章,第1章介绍了非线性滤波器的发展现状和存在问题、数学形态学基本原理,包括形态变换的类型和性质等,这是研究形态滤波器的基础;第2章介绍了形态滤波器的研究现状和发展方向、数字形态滤波器的基本理论,包括标准的形态滤波器定义、性质,以及根信号特性和统计特性分析;第3章论述了广义形态滤波器的概念,并分析了它们的性质、根信号特性和统计特性;第4章介绍了多结构元素广义形态滤波器(包括并行复合和自适应加权)的原理和算法;第5章将全方位结构元素的概念引入形态滤波器中,构造了全方位多级组合形态滤波器和全方位多级加权形态滤波算法;第6章在形态变换中引入了排序运算,构造出了顺序形态滤波器,并且实现了百分位值和结构元素的自适应处理;第7章给出了形态滤波器在图形提取、医学信号处理、散斑噪声抑制等领域的应用。

目前国内有关数学形态学方面的论著已出版不少,但专门论述形态滤波器方面的专著还比较匮乏。希望本书的出版能起到抛砖引玉的作用,推动我国非线性滤波领域研究的进展。

本书的出版得到了全国优秀博士学位论文作者专项资金和教育部优秀青年教师资助计划的支持。本书在撰写过程中,得到了美国 Wisconsin-Milwaukee 大学的 J. Zhang 教授的大力帮助,他在百忙中审阅全部书稿,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示感谢。作者也衷心感谢两位恩师孙圣和教授(哈尔滨工业大学)和惠俊英教授(哈尔滨工程大学),是他们指引我进入了一个全新的研究领域,并取得了可喜的成绩,对本书的出版给予了很大帮助。另外,本书撰写过程中,参阅了有关书籍和文献,同时也向这些作者致以诚挚的谢意!最后,感谢高等教育出版社对本书的出版给予的配合和支持。

由于形态滤波器理论性强、技术新,加之作者水平有限,难免

有不妥或者错误之处,敬请读者指正。

作者

2001年8月于哈尔滨

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 非线性滤波器的发展现状及存在问题	2
1.3 数学形态学的产生与发展过程	5
1.4 数学形态学基本原理	8
1.4.1 二值形态学	9
1.4.2 灰度形态学	14
1.4.3 形态学表示定理	17
第 2 章 数字形态滤波器基本理论	20
2.1 引言	20
2.2 数字空间、离散点集和数字图像的简单描述	23
2.2.1 数字空间	23
2.2.2 离散点集	24
2.2.3 数字图像	25
2.3 离散形态变换和数字形态滤波器的一般描述	25
2.3.1 离散形态变换及其阈值特性	25
2.3.2 开-闭和闭-开滤波器	28
2.3.3 形态滤波器的根信号特性	31
2.4 数字形态滤波器的统计特性	36

2.4.1	形态滤波器的层迭滤波描述	37
2.4.2	形态滤波器统计特性分析	42
第3章	广义形态滤波器及其算法	53
3.1	引言	53
3.2	广义形态滤波器的定义和性质	55
3.3	广义形态滤波器统计特性分析	59
3.3.1	层迭滤波描述	59
3.3.2	统计特性分析	60
3.3.3	仿真结果和性能比较	63
3.4	自适应加权组合广义形态滤波器	67
3.4.1	滤波算法原理	67
3.4.2	仿真实验	70
第4章	多结构元素广义形态滤波器	74
4.1	引言	74
4.2	一类多结构元素并行复合广义形态滤波器	76
4.2.1	滤波器的定义和性质	76
4.2.2	仿真实验	79
4.3	多结构元素自适应加权平均广义形态滤波	81
4.3.1	滤波算法原理	81
4.3.2	仿真实验	84
第5章	全方位结构元素形态滤波器	87
5.1	引言	87
5.2	全方位多级组合形态滤波器	88
5.2.1	滤波器的定义和性质	88
5.2.2	仿真结果	97
5.3	一种全方位多级加权组合形态滤波算法	98
5.3.1	算法结构和原理	98
5.3.2	仿真结果	102
第6章	顺序形态滤波器及自适应处理	105

6.1	引言	105
6.2	顺序形态滤波	106
6.3	参数的优化问题	112
6.3.1	误差准则	112
6.3.2	排序运算的解析表示	112
6.4	参数的自适应处理	114
6.4.1	百分位值自适应	114
6.4.2	结构元素自适应	115
第7章	形态滤波器的应用实例	122
7.1	在图形提取中的应用	122
7.1.1	形态带通滤波器的定义	123
7.1.2	形态带通滤波器的性质	123
7.2	在医学信号处理中的应用	128
7.2.1	心电信号的形态滤波算法	129
7.2.2	仿真实验结果	131
7.3	在散斑噪声抑制中的应用	133
7.3.1	多方向形态滤波算法	134
7.3.2	形态比较滤波算法	135
7.3.3	多方向加权均值形态滤波算法	136
7.3.4	仿真实验结果	139
7.3.5	广义多方向加权均值形态滤波	141
参考文献		146

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Introduction	1
1.2 The Development Situation and Existing Problems of Nonlinear Filters	2
1.3 The Origin and Development of Mathematical Morphology	5
1.4 The Basic Theory of Mathematical Morphology	8
1.4.1 Binary Morphology	9
1.4.2 Grayscale Morphology	14
1.4.3 The Theorem of Morphology Expression	17
Chapter 2 Basic Theory Of Digital Morphological Filtres	20
2.1 Introduction	20
2.2 Simple Description of Digital Space, Discrete Point Set and Digital Image	23
2.2.1 Digital Space	23
2.2.2 Discrete Point Set	24
2.2.3 Digital Image	25
2.3 General Description of Discrete Morphological Transformations and Digital Morphological Filters	25
2.3.1 Discrete Morphological Transformations and Threshold Properties	25
2.3.2 Open-closing and Clos-opening Filters	28

2.3.3	Root Signal Properties of Morphological Filters	31
2.4	Statistical Properties of Digital Morphological Filters	36
2.4.1	Stack Filtering Description of Morphological Filters	37
2.4.2	Statistical Property Analysis of Morphological Filters	42
Chapter 3 Generalized Morphological Filters and Their		
	Algorithms	53
3.1	Introduction	53
3.2	Definitions and Properties of Generalized Morphological Filters	55
3.3	Statistical Property Analysis of Generalized Morphological Filters	59
3.3.1	Stack Filtering Description	59
3.3.2	Statistical Property Analysis	60
3.3.3	Simulation Results and Performance Comparison	63
3.4	Adaptive Weighted Combination Generalized Morphological Filters	67
3.4.1	Filtering Algorithm Scheme	67
3.4.2	Simulation Experiments	70
Chapter 4 Generalized Morphological Filters with Multiple		
	Structuring Elements	74
4.1	Introduction	74
4.2	A Class of Parallel Compound Generalized Morphological Filters with Multiple Structuring Elements	76
4.2.1	Definitions and Properties of Filters	76
4.2.2	Simulation Experiments	79
4.3	Adaptive weighted Averaging Generalized Morphological Filters with Multiple Structuring Elements	81
4.3.1	Filtering Algorithm Scheme	81
4.3.2	Simulation Experiments	84
Chapter 5 Morphological Filters with Omnidirectional		
	Structuring Elements	87
5.1	Introduction	87

5.2 Omnidirectional Multiple Stages Combination Morphological Filters	88
5.2.1 Definitions and Properties of Filters	88
5.2.2 Simulation Results	97
5.3 An Omnidirectional Multiple Stages Weighted Combination Morphological Filtering Algorithm	98
5.3.1 Algorithm Structure and Scheme	98
5.3.2 Simulation Results	102
Chapter 6 Ranked-order Morphological Filters and Their Adaptive Processing	105
6.1 Introduction	105
6.2 Ranked-order Morphological Filtering	106
6.3 Optimization Problems of Parameters	112
6.3.1 Error Criterion	112
6.3.2 Analytic Expression of Sort Order Operation	112
6.4 Adaptive Processing of Parameters	114
6.4.1 Percentile Adaptive Processing	114
6.4.2 Structuring Element Adaptive Processing	115
Chapter 7 Application Examples of Morphological Filters ...	122
7.1 Application in Graph Extraction	122
7.1.1 Definition of Morphological Bandpass Filter	123
7.1.2 Properties of Morphological Bandpass Filter	123
7.2 Application in Medical Signal Processing	128
7.2.1 Morphological Filtering Algorithm of ECG Signals	129
7.2.2 Simulation Experiment Results	131
7.3 Application in Speckle Noise Suppressing	133
7.3.1 Multidirection Morphological Filtering Algorithm	134
7.3.2 Morphological Comparison Filtering Algorithm	135
7.3.3 Multidirection Weighted Average Morphological Filtering Algorithm	136
7.3.4 Simulation Experiment Results	139

7.3.5 Generalized Multidirection Weighted Average Morphological Filtering Algorithm	141
References	146

第1章 绪论

1.1 引言

信号处理技术在现代国民经济、国防建设、科技发展和家庭生活等诸多领域都获得了成功的应用。从处理形态来看,信号处理技术可分为模拟信号处理(ASP)和数字信号处理(DSP)。由于数字技术的灵活性和高稳定性以及 VLSI 技术的发展,数字信号处理技术已成为目前信号处理的主要方向^[1,2]。按照变换的方式,数字信号处理又分为线性处理和非线性处理。由于线性数字信号处理存在统一的基本理论,实现相对简单,已为多种应用提供了优良性能,因而一直是数字信号处理的主要手段^[3,4]。

在短短的数十年内,线性数字信号处理技术在理论上和应用上都取得了辉煌成就。但应当看到,从自然现象和社会现象中涌现出来的大量信号处理问题是非线性的^[5]。虽然引起这类非线性问题的因素极其多样化,不过从系统理论角度来看,大致可归纳为下列三个因素:(1)由噪声和信号的统计特性引起的非线性;(2)在信息获取、传输和感知过程中引入的系统非线性;(3)由于客观目