

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **1**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年1月 第17卷 第1期(总第189期)

目 次

综述

压缩感知基本理论:回顾与展望 邵文泽, 韦志辉(1)

图像处理和编码

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明(13)

多成分正则化约束的断层图像重建算法 王丽艳, 韦志辉, 李星秀(20)

基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚(27)

结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价 金波, 李朝锋, 吴小俊(33)

结合区域分割和双边滤波的图像去噪新算法 杨学志, 徐勇, 方静, 卢洁, 左美霞(40)

种子像素滤波法去除随机脉冲噪声 单建华(49)

基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略 俞力克, 代锋, 张勇东, 林守勋(54)

单通道散焦模糊置换图像的盲分离 王伟, 方勇(62)

侧扫声呐图像的 3 维块匹配降斑方法 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏(68)

新适应模型的提出及分类扩散 李彦宝, 姜广峰, 王治强, 刘薇(75)

图像分析和识别

从神经切片图像中识别功能束类型的研究 钟映春, 罗鹏(82)

融合 SPA 遮挡分割的多目标跟踪方法 丁欢, 张文生(90)

目标识别中的稳定图像特征组合发掘 姜永兵, 彭启民(99)

基于结构特征的高分辨率 TerraSAR-X 图像船舶识别方法研究 殷雄, 王超, 张红, 吴樊(106)

图像理解和计算机视觉

机器人的混合特征视觉环境感知方法 杨俊友, 马乐, 白殿春, 东俊光(114)

纹理分布分析的快速图像修复算法 张晴, 林家骏(123)

计算机图形学

圆的整数反走样生成算法 贾银亮, 张焕春, 经亚枝(130)

遥感图像处理

SAR 图像的快速核主成分分析识别方法 于红芸, 姜涛, 关键 (137)

基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 张学良, 肖鹏峰, 冯学智 (142)

地理信息技术

保持几何模式的城市道路路网简化方法 杨必胜, 张云菲, 栾学晨 (150)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 1 期

2012 年 1 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱: jig@irsa. ac. cn

电话: 010-68407995 010-82614429

网 址: www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail: jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 1 January 2012

Contents

Review

Advances and perspectives on compressed sensing theory *Shao Wenze, Wei Zhihui*(1)

Image Processing and Coding

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS
..... *Guo Bao'an, Chen Biao, Zhang Biao, Yu Zhiqiang, Zhang Weiming*(13)

Morphological component analysis for tomography reconstruction *Wang Liyan, Wei Zhihui, Li Xingxiu*(20)

Single image dehazing based on scene depth and physical model *Guo Jia, Wang Xiaotong, Hu Chengpeng, Xu Xiaogang*(27)

No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet *Jin Bo, Li Chaofeng, Wu Xiaojun*(33)

New filter based on region segmentation and bilateral filtering *Yang Xuezhi, Xu Yong, Fang Jing, Lu Jie, Zuo Meixia*(40)

Removal of random-valued impulse noise based on seed pixels filter *Shan Jianhua*(49)

Novel rate distortion optimization strategy based on perceptual properties of texture and luminance
..... *Yu Like, Dai Feng, Zhang Yongdong, Lin Shouxun*(54)

Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image *Wang Wei, Fang Yong*(62)

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering *Fan Xijian, Li Qingwu, Huang He, Wang Min*(68)

New well-posed model and classified diffusion *Li Yanbao, Jiang Guangfeng, Wang Zhiqiang, Liu Wei*(75)

Image Analysis and Recognition

Type recognition of fascicular groups from nerve slice image *Zhong Yingchun, Luo Peng*(82)

Multi-target tracking approach combined with SPA occlusion segmentation *Ding Huan, Zhang Wensheng*(90)

The mining of stable image feature-compositions in object recognition *Jiang Yongbing, Peng Qimin*(99)

Vessel recognition with high resolution terraSAR-X image based on structure feature
..... *Yin Xiong, Wang Chao, Zhang Hong, Wu Fan*(106)

Image Understanding and Computer Vision

Robot vision environmental perception method based on hybrid features
..... *Yang Junyou, Ma Le, Bai Dianchun, Toshimitsu Higashi*(114)

Fast image inpainting algorithm using color texture distribution analysis *Zhang Qing, Lin Jiajun*(123)

Computer Graphics

Integral algorithm for circle anti-aliasing *Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi*(130)

Remote Sensing Image Processing

SAR images recognition based on kernel principal component analysis *Yu Hongyun, Jiang Tao, Guan Jian*(137)

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content
..... *Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi*(142)

Geoinformatics

Pattern preserving method for grid simplification in road networks *Yang Bisheng, Zhang Yunfei, Luan Xuechen*(150)

中图法分类号: TN911.73 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)01-0068-07

论文引用格式: 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏. 侧扫声呐图像的3维块匹配降斑方法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 68-74

侧扫声呐图像的3维块匹配降斑方法

范习健¹, 李庆武^{1,2}, 黄河¹, 王敏¹

1. 河海大学计算机与信息学院, 常州 213022; 2. 常州市传感网与环境感知重点实验室, 常州 213022

摘要: 斑点噪声是影响侧扫声呐图像质量的主要因素, 降斑处理对侧扫声呐图像的判别与分析非常重要。针对侧扫声呐图像自身特性和斑点噪声分布特点, 提出一种基于3维块匹配(BM3D)的降斑方法。根据海底散射模型, 得到侧扫声呐图像斑点噪声的瑞利分布模型, 然后通过高斯光滑函数幂变换将瑞利分布的噪声转化为高斯分布, 通过对数变换将乘性噪声转变为加性噪声, 再进行自适应的BM3D滤波, 最后采用逆变换得到降斑图像。实验结果表明, 该方法在降噪、边缘和纹理保持等方面均优于空间域、小波域、Curvelet域的一些降斑方法。

关键词: 侧扫声呐图像; 斑点噪声; 降斑; 3维块匹配

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering

Fan Xijian¹, Li Qingwu^{1,2}, Huang He¹, Wang Min¹

1. College of Computer and Information, Hohai University, Changzhou 213022, China;

2. Changzhou Key Laboratory of Sensor Networks and Environmental Sensing, Changzhou 213022, China

Abstract: Speckle noise is the major factor affecting the quality of side-scan sonar images. Side-scan sonar image despeckling has therefore a great significance to object identification and image processing. According to side-scan sonar image characteristic and distribution of speckle noise, a despeckling method based on block-matching and 3D filtering (BM3D) is proposed in this paper. A Rayleigh distributed multiplicative speckle noise model is established according to a seabed scattering model. Rayleigh distributed of speckle noise is changed into Gaussian distribution by the Gaussian smooth function power transform. The multiplicative noise is changed into additive noise by a logarithmic transform. Then, the transformed images are filtered by an efficient BM3D algorithm. Last, the final images are achieved by inverse transform. The experimental results show that the new algorithm has a better performance in terms of edge preserving and denoising than other spatial filtering, wavelet and Curvelet domain filtering methods.

Key words: side-scan sonar image; speckle noise; despeckling; block-matching and 3D filtering

0 引言

侧扫声呐是一种高分辨率的水下成像工具, 在海底勘探、底质分类、水下目标探测等方面具有重要的作用。侧扫声呐图像 (SSI) 可分为目标高亮区、阴影区和海底混响区 (背景) 3 类。由于海洋环境的多

变性、人为干扰以及声波自身传播特性等多方面因素的影响, SSI 往往伴有严重且相当复杂的噪声。这些噪声主要包括设备噪声, 海水盐度、温度变化所造成的海洋噪声以及声音散射所引起的混响噪声。对于侧扫声呐系统而言, 海洋中各种散射体和起伏不平的海底介质形成的混响噪声尤为突出^[1], 严重时还会歪曲和遮盖海底的真实地貌, 导致图像误读。

收稿日期: 2010-12-31; 修回日期: 2011-05-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60972101)

第一作者简介: 范习健 (1987—), 男, 现为河海大学通信与信息系统专业硕士研究生, 主要研究方向为声呐图像处理。E-mail: fanxijian@hotmail.com

因此,对侧扫声呐图像进行降噪处理十分必要,可为图像的后续判别和分析奠定基础。

图像去噪技术通常可分为空间域去噪和变换域去噪。空间域去噪有传统的中值滤波、均值滤波和维纳滤波等^[2-3]。这些方法虽然可以取得一定的平滑效果,但边缘保持较差,不利于后续的分割与识别。文献[4-5]提出的非局部平均算法(NLM)滤波及其快速算法(NLF),取得了很好的去噪效果。此外,最小化全变差法(TVM)^[6]和基于偏微分(PDE)的图像去噪^[7]也是颇受关注的空间滤波方法。变换域去噪包括基于傅里叶变换的频域降噪法和小波降噪法。Foi等人提出的逐点自适应余弦降噪法(SA-DCT)^[8]是目前较为优秀的频域降噪方法。

近年来,基于小波域的去噪算法得到很多学者的关注,文献[9]提出3种基于小波域的去噪算法,其在边缘保持上取得了一定的效果。但小波在表示具有奇异性的目标函数时是最优基,而在表示线和超平面奇异性时并不是最优的^[10]。因此,小波去噪在边缘保持上仍然不尽理想。Curvelet、Contourlet等多尺度几何变换的提出解决了小波变换不能有效表示2维或更高维奇异性的缺点,能够更有效地表示图像的纹理结构,在图像去噪方面得到广泛应用。

但是由于侧扫声呐图像特性与光学图像不同,直接将较为先进的光学图像去噪方法用于侧扫声呐图像,得到的去噪效果一般不会太好,且普遍存在以下两个问题:

1) 缺乏有针对性地对侧扫声呐图像斑点噪声的产生机理和分布特性的分析。当前大多数的去噪方法针对高斯分布的加性噪声效果较好。然而文献[11-12]已经用大量的数据证明,用瑞利分布描述侧扫声呐图像的混响噪声更为合适。

2) 侧扫声呐图像本身是一种低频图像,细节特征较少,而混响噪声由于海洋各种散射体以及海底散射介质的复杂性,其产生的灰度级比较丰富。对声呐图像做小波变换后得到的稀疏表示,其系数对噪声与边缘的区分不是很有效,作阈值处理后得到的效果也不是很好。

因此,本文在充分考虑各种光学图像去噪方法原理的基础上,对侧扫声呐图像加以分析转化,借鉴Dabov等人于2007年提出的3维块匹配(BM3D)去噪方法^[13],提出一种专门针对侧扫声呐图像的降斑方法。该方法的优点是能充分利用声呐图像自身的结构相关性和冗余性,经过3维变换得到的图像稀

疏表示能更好地描述声呐图像的特性,对噪声和边缘的区分效果更加明显。侧扫声呐图像类似的去噪方法还未见文献报道。

基于以上分析,本文结合声呐图像自身结构信息和斑点噪声服从瑞利分布这一特性,首先从海底混响的形成机理和散射模型出发,得到其瑞利分布乘性噪声模型。依据该模型,对侧扫声呐图像进行幂变换,将斑点噪声的瑞利分布转化为高斯型,通过对数变换将乘性噪声转变为加性噪声,然后利用在高斯型图像去噪性能中表现优异的自适应BM3D滤波进行降斑处理。模拟和实际侧扫声呐图像的实验数据表明,该方法能够有效地去除图像中的斑点噪声,边缘细节保持良好,对侧扫声呐图像的降斑效果明显好于现有的其他去噪方法。

1 噪声与信号的统计模型

1.1 混响分析与噪声模型建立

在侧扫声呐系统中,声波由换能器斜下方发出,按球面波方式向下传播。当声波碰到水中目标和海底介质后产生散射,各散射回波信号在接收端叠构成混响信号。此混响信号是一个非平稳随机过程,它的包络按一定规律随时间衰减,且其振幅和相位的统计特性也服从一定分布规律。

采用通用的混响统计模型。假定侧扫声呐系统为收发合置且散射均匀,忽略海水非均匀性影响,并假设混响主要由海底散射引起,通过大量数据证明混响相位服从均匀分布,幅值服从瑞利分布^[14]。引入散射因子 K ,则混响幅值为

$$V = E(V)K \quad (1)$$

式中, $E(V)$ 为 V 的数学期望。由式(1)知, K 与 V 同分布,因此 K 可用瑞利分布来描述,其概率密度函数为

$$p_x(x) = \begin{cases} 0 & x < 1 \\ \frac{x}{\alpha^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\alpha^2}\right) & x \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

式中, α 是瑞利分布的衰减参数。

由此可知侧扫声呐图像中的斑点噪声与SAR图像及医学超声图像噪声类似,可以用类似的乘性噪声模型描述,即

$$\mathbf{X} = \mathbf{CZ} \quad (3)$$

式中, \mathbf{X} 为含斑图像, \mathbf{C} 为真实图像, \mathbf{Z} 为服从瑞利分布的斑点噪声,其概率密度函数即为式(2)。若

考虑海洋环境噪声,式(3)还应加上环境噪声随机变量,但由于加性高斯海洋环境噪声要比乘性斑点噪声小得多,这里只考虑乘性噪声^[15]。

1.2 侧扫声呐图像分布幂变换原理

由于BM3D滤波在高斯分布下性能最优,因此考虑瑞利分布的侧扫声呐图像斑点噪声转换为近高斯分布。由文献[16]可知,非正态分布变换到正态分布的幂变换转换公式为

$$Y = X^v, \quad 0 < v < 1 \quad (4)$$

式中, X 为原始数据, Y 为变换后的数据, v 为转换系数。

设一任意向量 \mathbf{A} ,其数学期望记为 \mathbf{P} , \mathbf{C} 为协方差矩阵,可得 \mathbf{A} 的标准二阶距为

$$d^2 = (\mathbf{A} - \mathbf{P})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{A} - \mathbf{P}) =$$

$$\mathbf{R}^T \mathbf{R} = \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (5)$$

式中,

$$\mathbf{R} = (\mathbf{C}^{-1/2})^T (\mathbf{A} - \mathbf{P})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{A} - \mathbf{P}) \quad (6)$$

r_i 的期望为0,方差为1。由概率论相关知识可知, d^2 满足自由度为 n 的卡方分布,其数学期望为 n ,方差为 $2n$ 。假设 $\{r_i\}$ 和 $\{r_i^2\}$ 都非相关,可得 d^2 的方差为

$$\text{var}(d^2) = E(d^4) - E^2(d^2) = n[E(r_i^4) - nE(r_i^2)] = n\eta \quad (7)$$

由式(7)知,只要 $\eta=2$,则 \mathbf{R} 服从正态分布,又因为 \mathbf{R} 与 \mathbf{A} 为线性关系,所以 \mathbf{A} 也为正态分布。文献[17]给出了 η 的计算公式

$$\eta = \frac{E[(y - \bar{y})^4]}{E^2[(y - \bar{y})^2]} = \frac{E(y^4) + 6E(y^2)E^2(y) - 4E(y^3)E(y) - 3E^4(y)}{E(y^2) - E^2(y)^2} \quad (8)$$

由式(2)(4)可得

$$E(Y^m) = E(x^{mv}) = \int_0^{\infty} x^{mv} (2x/\alpha^2) \exp(-x^2/\alpha^2) dx \quad (9)$$

化简得

$$E(Y^m) = (2^{1/2} \alpha^2)^{mv} \Gamma(mv/2 + 1) \quad (10)$$

将式(10)代入式(8),可得 v 与 \mathbf{Y} 的关系。通过计算可知,当 v 在0.35附近时,瑞利分布可近似为正态分布。

经幂变换后,侧扫声呐噪声模型可转化为

$$\mathbf{Y} = \mathbf{C}_0 \mathbf{Z}_0 \quad (11)$$

\mathbf{Y} 为转换后的含斑图像, \mathbf{C}_0 为转换后的真实图像, \mathbf{Z}_0 为转换后的噪声,服从高斯分布。

2 BM3D 滤波

BM3D滤波是一种新型的基于多尺度、非局部的滤波技术,对图像中高斯噪声的去除非常有效。该滤波方法不仅结合了3维变换域的阈值滤波,而且还利用了图像的结构相关性。

BM3D滤波算法首先对图像“分组”,将原始图像分为尺寸相同的若干块,通过块匹配将相似的2维图像块组合成为3维数组;然后根据数组的相似性进行“联合滤波”;最后将联合滤波后的图像块估计值“聚集”,得到图像真实值。

2.1 分组

在分组过程中,图像块的相似性可以由距离来衡量,距离越小则表示相似度越高。各种距离都可用来衡量相似性,如 P -范数等。本文选用最常见的 P 为2的欧拉距离。选定参考块,按适当步长逐一比较候选块与参考块的相似性,即两块距离。如果当前块与参考块的距离小于某阈值,则被认为两块相似,进而归入该参考块组。任意一个图像块都可作为参考块,从而为它建立一个组。这样,所有与参考块相似的候选块就被放在一起形成了一个3维图像组。

2.2 联合滤波

在联合滤波中,组中的每个图像块都与其他块的滤波相关。联合滤波步骤如下:

1) 对得到的图像块组进行3维线性变换。先对块组中的各子块进行2维变换,再对子块所在块组进行1维变换。由于图像在块匹配分组后,具有块内像素内部相关性和块间对应像素外部相关性的两种特性,通过3维域变换可充分利用以上两种相关性增强该组的稀疏表示。这里的变换可以是小波变换,离散余弦变换或者其他变换。

2) 在变换域中选取合适阈值,滤除噪声。

3) 线性反变换得到所有分组块的估计值。

联合滤波可以由下式直观表示

$$\hat{Y}_{S,R} = T_{3D}^{-1}(\gamma(T_{3D}(Z_{S,R}), \lambda_{thr})) \quad (12)$$

式中, T_{3D} 为一种3维变换, T_{3D}^{-1} 为其反变换, $\gamma(\cdot)$ 为某硬阈值函数, λ_{thr} 为阈值参数。

2.3 聚集

聚集实质上就是对估计值的加权平均。分组

和滤波后,每一块的估计值可能是重叠的。例如,块 C 可能与块 A 相似,也可能与块 B 相似,这样在分组过程中,块 C 既可以被划分到以 A 为参考块的组,也可以被划分到以 B 为参考块的组,不同的组进行联合滤波后得到的估计值一般情况下是不相同的,因此块 A 的估计值可能有多个,这就产生了重叠。为了获得真实图像块的估计,需要对块的不同估计值进行加权平均处理。由文献[11]可知,各块权值与阈值滤波后块中不为零系数的个数成反比。

3 侧扫声呐图像的 BM3D 降斑算法实现

如图 1 所示,侧扫声呐图像的 BM3D 降斑算法实现的具体流程如下:

- 1) 对侧扫声呐原图进行对应尺度的高斯平滑函数幂变换处理,得到高斯分布的含斑图像。
- 2) 对处理后的含斑图像取对数,将乘性噪声转化为加性噪声。

- 3) 对经过对数处理后的图像进行块匹配分组。为平衡像素块的局部性和图像结构性,在分组过程中将分组块的大小取为 5×5 。为提高算法运行效率,将候选块的搜索步长设为 6,每个分组的最大相似块数设为 16。

- 4) 对得到的块组进行 3 维变换。先对各组中的各子块进行 2 维离散余弦变换,再对子块所在图像块组进行 1 维小波变换。对每一组重复以上运算,直至完成对全部组的操作,得到每组的 3 维变换结果。

- 5) 在变换域中实行硬阈值滤波去噪。根据 Donoho 提出的小波域阈值计算方法^[9],确定全局阈值,在滤波过程中无需再手工设定参数。

- 6) 将滤波后的变换域系数进行反变换得到块估计值。

- 7) 对每块的所有估计值加权平均,得到 BM3D 滤波后图像。

- 8) 对 BM3D 滤波后的结果进行指数变换。

- 9) 进行逆幂变换处理,得到降斑后的侧扫声呐图像。

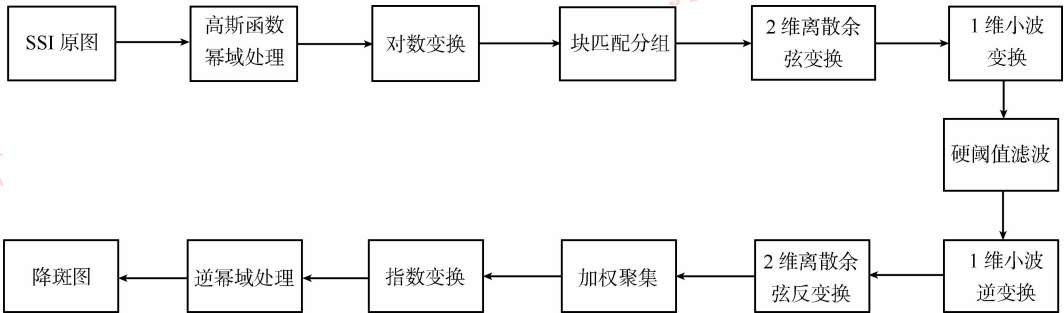


图 1 算法流程图

Fig. 1 Algorithm flow chart

4 实验结果与分析

为了检验本文提出方法的有效性,采用了侧扫声呐模拟图像和实际图像进行实验,并与中值滤波、小波硬阈值滤波、Curvelet 硬阈值滤波以及目前比较优秀的 SA-DCT 滤波和 NLF 滤波进行对比。

图 2(a) 为根据侧扫声呐图像的结构特性模拟的无噪声声呐图像,图中包括目标、阴影以及背

景 3 个部分。对模拟声呐图像分别添加噪声标准差 σ 为 0.02、0.04 和 0.06 的斑点噪声,实验以峰值信噪比 (PSNR) 作为客观指标,结合主观视觉效果分析比较各方法的去斑性能。图 2(b) 为噪声标准差 $\sigma = 0.02$ 时的加斑图像。图 2(c) — (g) 分别为中值滤波、小波硬阈值滤波、Curvelet 硬阈值滤波、SA-DCT 滤波和 NLF 滤波等不同滤波方法对模拟加斑图像降斑的效果图。为了更好地比较这 5 种算法的效果,图 3 还给出了对应的局部放大图。表 1 给出了采用各种滤波算法后所得的 PSNR 值。

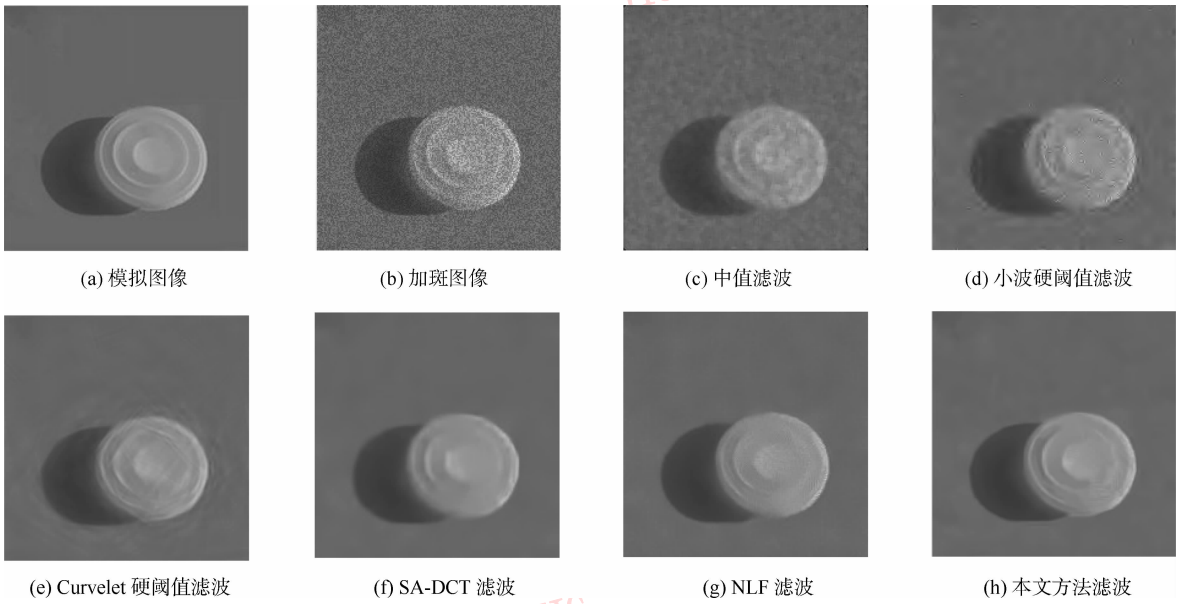


图 2 模拟加斑图像不同方法降斑效果图

Fig. 2 Visual comparison of various methods on analog image

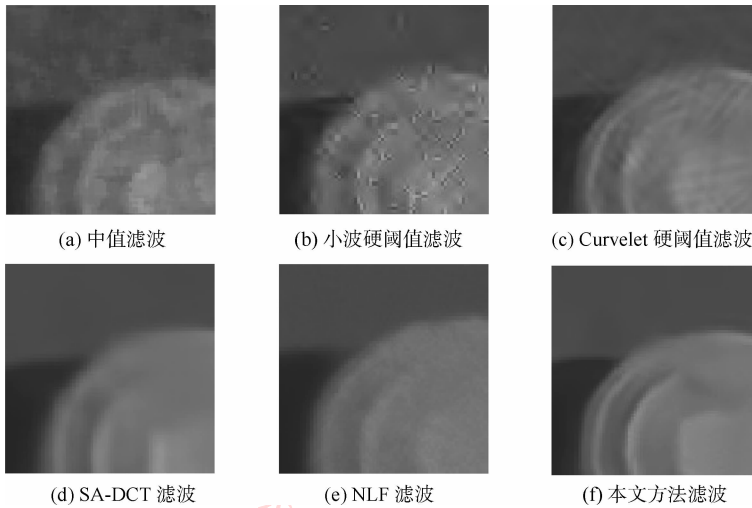


图 3 模拟图像局部效果对比

Fig. 3 Portion comparison of visual image

表 1 模拟加斑图像降斑后的 PSNR 比较

Table 1 PSNR comparison of various despeckling methods

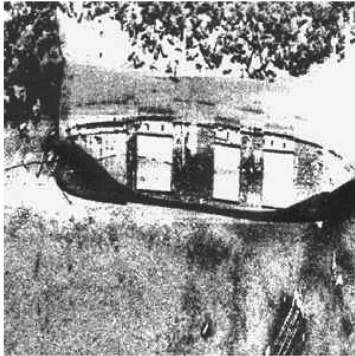
| | $\sigma = 0.02$ | $\sigma = 0.04$ | $\sigma = 0.06$ |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 含斑图像 | 25.063 5 | 22.040 9 | 20.326 0 |
| 中值滤波 | 31.593 2 | 29.725 0 | 28.014 4 |
| 小波硬阈值滤波 | 35.085 2 | 33.204 7 | 32.151 6 |
| Curvelet 硬阈值滤波 | 38.185 8 | 35.946 5 | 34.721 8 |
| SA-DCT 滤波 | 38.332 6 | 36.223 5 | 35.023 1 |
| NLF 滤波 | 38.132 4 | 36.001 2 | 34.953 4 |
| 本文方法 | 39.769 2 | 37.879 4 | 36.366 7 |

从表 1 可知,本文算法的 PSNR 值要明显高于中值滤波和小波硬阈值滤波两种方法,相比 Curvelet 硬阈值滤波、SA-DCT 滤波和 NLF 滤波,也有较大的提升。从图 2 和图 3 可以看出,中值滤波得到的降斑图像噪声滤除效果不好,边缘细节丢失严重。小波硬阈值滤波的降斑效果要好于中值滤波,但出现了 Gibbs 现象,引起了视觉失真。而从 Curvelet 硬阈值滤波的局部效果图来看,该方法降斑后能够较好地保留图像的边缘和纹理等细节特征且对 Gibbs 现象有一定抑制,但是出现了明显的曲线状划痕,视觉

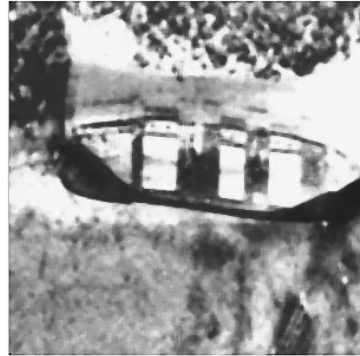
效果并不理想。SA-DCT 滤波和 NLF 滤波从信噪比和视觉效果上较前几种方法又有了提高,但仍然有一定的细节丢失。本文提出的方法在降斑的同时,还较好地保护了图像的细节特征,有效地克服了边缘振荡,视觉效果最佳。

图 4 是实际近海沉船侧扫声呐图像各种降斑方法的效果对比。原图中含有明显的斑点噪声。从图 4 可以看出中值滤波得到的去斑图像过于平滑,

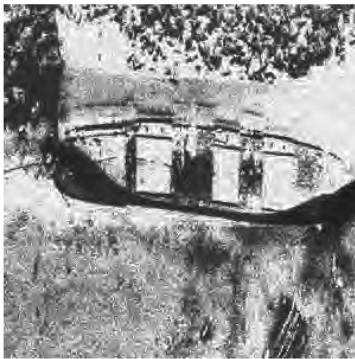
导致边缘模糊;小波硬阈值滤波方法得到的去斑图像有明显的噪声残留与视觉失真;Curvelet 硬阈值滤波方法,平滑效果较好且有一定的保持细节能力,但存在“划痕”现象;SA-DCT 滤波和 NLF 滤波去噪效果较好。本文滤波算法,去噪效果良好且边缘保持明显好于其他几种算法,视觉效果优异。对实际图像降斑效果的分析进一步证明了本文提出的方法在侧扫声呐降斑和边缘保持上的优越性。



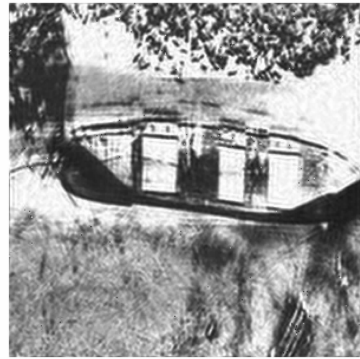
(a) 海底沉船侧扫声呐原图



(b) 中值滤波



(c) 小波硬阈值滤波



(d) Curvelet 硬阈值滤波



(e) SA-DCT 滤波



(f) NLF 滤波



(g) 本文滤波方法

图 4 海底沉船侧扫声呐图像不同方法降斑效果图

Fig. 4 Visual comparison of various methods on side-scan image of submarine shipwreck

5 结 论

针对侧扫声呐图像特性,提出一种基于 BM3D 的图像降斑方法。通过高斯光滑函数幂变换将服从瑞利分布的混响噪声转化为高斯噪声,通过对数变换将乘性噪声转变为加性噪声,再利用 BM3D 滤波对变换后的图像进行滤波。分别采用侧扫声呐模拟图像和真实图像进行实验,实验结果表明,本文方法在侧扫声呐图像的降斑和边缘保持两方面均能取得较好的结果。

由于侧扫声呐图像的噪声非常复杂,本文用占主要成分的混响噪声近似图像总体噪声建立模型,忽略了对残余噪声的分析,对实验结果会造成一定影响。对少数残余噪声性质的分析与建模以及相应滤波算法的选取,将是下一步的研究方向。

参考文献 (References)

- [1] Jiang K Y, Cai Z M, Lu Z B. Forward and backward prediction model based signal detection in sea bottom reverberation [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(9): 1766-1769. [姜可宇, 蔡志明, 陆振波. 海底混响中基于前后向预测模型的信号检测 [J]. *电子学报*, 2007, 35(9): 1766-1769.]
- [2] Cervenka P, Moustier de C. Sidescan sonar image processing techniques [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 1993, 18(2): 108-122.
- [3] Atallah L, Shang C, Bates R. Object detection at different resolution in archaeological side-scan sonar images [C] // *Oceans 2005-Europe*. Brest, France: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2005, 287-292.
- [4] Buades A, Coll B, Morel J M. A review of image denoising algorithms, with a new one [J]. *Multiscale Modeling & Simulation*, 2005, 4(2): 490-530.
- [5] Wang J, Guo Y W, Ying Y T. Fast non-local algorithm for image denoising [C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*. Atlanta GA, The Institute of Electrical and Electronics Signal Processing Society. 2006: 1429-1432.
- [6] Vese L A, Osher S J. Image denoising and decomposition with total variation minimization and oscillatory functions [J]. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2004, 20(1-2): 7-18.
- [7] Perona P, Malik J. Scale space and edge detection using anisotropic diffusion [J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(7): 629-639.
- [8] Foi A, Katkovnik V, Egiazarian K. Pointwise shape-adaptive DCT for high-quality denoising and deblocking of grayscale and color images [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, 16(5): 1395-1411.
- [9] Donoho D. De-noising by soft-thresholding [J]. *IEEE Trans. on Information Theory*, 1995, 41(3): 613-627.
- [10] Candès E J, Demanet L, Donoho D, et al. Fast discrete curvelet transforms [J]. *Multiscale Modeling and Simulation*. 2006, 5(3): 861-899.
- [11] Reed S, Petillot Y, Bell J. An automatic approach to the detection and extraction of mine features in sidescan sonar [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2003, 28(1): 90-105.
- [12] Mignotte M, Collet C, Pérez P, et al. Sonar image segmentation using an unsupervised hierarchical MRF model [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2000, 9(7): 1216-1231.
- [13] Dabov K, Foi A, Katkovnik V. Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2007, 16(8): 2080-2095.
- [14] Hellequin L, Boucher J M, Lurton X. Processing of high-frequency multibeam echo sounder data for seafloor characterization [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2003, 28(1): 78-89.
- [15] Isar A, Moga S, Isar D. A new denoising system for sonar images [J]. *Journal on Image and Video Processing*, 2009, 2009: 173841.
- [16] Kukunaga K. *Introduction to Statistical Pattern Recognition* [M]. Boston: Academic Press, 1990.
- [17] Zhang X D. *Modern Signal Processing* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002. [张贤达. *现代信号处理* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.]