

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 7
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7月 第17卷 第7期(总第195期)

目次

综述

中国多媒体技术研究: 2011 史元春, 徐光祐, 高原(741)

图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 蒋平, 张建州(770)

图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 路子贇, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 何海清, 黄声享(853)

计算机图形学

应用最小生成树实现点云分割 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

医学图像处理

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 兰红, 张璐(873)

遥感图像处理

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

**中国图象图形学报**

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 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:010-64807995 010-82614429  
网 址:www. cjjg. 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

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0886-06

论文引用格式: 郑永恒, 程建, 曹宗杰. 改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 886-891.

## 改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪

郑永恒, 程建, 曹宗杰

电子科技大学电子工程学院, 四川省成都市 611731

**摘要:** 在非局部均值滤波(NLMF)的基础上,通过预生成相似集与2DPCA(two-dimensional principle component analysis)对NLMF进行改进,提出一种新的SAR(synthetic aperture radar)图像降噪方法。在NLMF算法框架下,针对SAR图像噪声的特点,首先经预处理选择邻近的子图像生成相似集,然后通过2DPCA提取子图像的主要特征,此过程减小了斑点噪声对相似性度量的影响,最后在降维后子图像的基础上进行相似性度量。通过仿真SAR图像和真实SAR图像的降噪实验,将本文方法与经典Lee滤波、Kuan滤波、Gamma-Map滤波和NLMF滤波相比较,结果表明,该方法无论在边缘保持还是一致区域的平滑上,都能取得较好的效果,是一种有效的SAR图像降噪算法。

**关键词:** SAR图像降噪;相似集;2维主成分分析(2DPCA);非局部均值滤波(NLMF)

### SAR image denoising via improved non-local means filter

Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie

University of Electronic Science and Technology of China, School of Electronic Engineering, Chengdu 611731, China

**Abstract:** Based on the non-local means filter (NLMF), we propose an improved denoising algorithm for synthetic aperture radar (SAR) images. In the framework of the NLMF, combined with the characteristics of SAR images, we improve the NLMF using pre-generated similar sets and the two-dimensional principal component analysis (2D-PCA). First, we choose suitable image slices to generate the similar set, and then extract the main features of these image slices by applying the 2D-PCA, which can reduce the effect of the speckle noise on the similarity. Finally, we measure the similarity of the image slices based on the processed similar set. In the end, we show the noise reduction experiments of the simulated SAR images and the real SAR images. Compared with traditional Lee filter, Kuan filter, Gamma-Map filter, and the NLMF algorithms, the experiments confirm that our algorithm can achieve a better result on both: the edge retention and the smoothness of the consistency area. Simultaneously, the image quality is improved in all aspects.

**Key words:** SAR image denoising; similar set; two-dimensional principal component analysis (2DPCA); non-local means filter (NLMF)

## 0 引言

合成孔径雷达(SAR)是一种具有全天候、全天时的成像能力,且不受光照和天气状况影响的一种微波

雷达,它可以提供独特地理信息,在科学研究、军事侦察和民用方面都有着不可替代的重要作用,因此SAR图像具有很强的研究意义和应用前景。由于SAR图像成像通过地物反射的雷达相干波叠加而成像,因此不可避免地会引入斑点噪声,给后期解译带来干扰。

收稿日期:2011-06-21;修回日期:2011-12-16

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)基金项目(2007CB714406);国家自然科学基金项目(60802065);电子科技大学中央高校基础科研业务费项目(ZYGX2009Z005)

第一作者简介:郑永恒(1985—),男,电子科技大学电子工程学院信号与信息处理专业硕士研究生,主要研究方向为SAR图像目标分类、识别。E-mail:zhysheng@163.com

这些在成像过程中产生并随机分布在图像各部分的随机噪声,与地物信息混合在一起,使得图像信噪比下降,图像分辨率降低,影响图像的纹理结构,严重的噪声更会导致地物特征的消失。如何有效抑制斑点噪声,提高图像信噪比以减小后期处理难度,对 SAR 图像的有效使用具有十分重要的意义。由于 SAR 图像噪声的特殊性,在光学图像中适用的处理方法在 SAR 图像中并不适合。因此,针对 SAR 图像噪声的特点,国内外专家提出了许多针对性的降噪方法,经典的算法有 Lee<sup>[1]</sup>、Kuan<sup>[2]</sup>、Gamma-Map<sup>[3]</sup>以及小波滤波器等。然而,这些方法在抑制斑点噪声的同时,很多边缘细节信息也受到了损失。

Buades 等人<sup>[4]</sup>于 2005 年提出的非局部均值滤波(NLMF)突破了传统方法在邻域内加权平均的局限性,是对当前像素在整个图像内相似像素的加权平均。与传统的滤波方法比较,NLMF 能够充分利用图像中蕴含的信息,在有效抑制噪声的同时很好地保留图像的纹理结构,尤其在纹理重复性较强的图像中,显示出了优良的去噪能力。然而,NLMF 也存在一些不足,如只适应于受加性噪声干扰的图像,对 SAR 图像等低信噪比图像效果不显著等。针对这些问题,Mahmoudi 等人<sup>[5]</sup>提出利用像素点生成的子图像在均值与梯度方向的邻近性,预先选择相似子图像。然而,在灰度值较为均匀的区域,由于受相干斑噪声的干扰,会造成子图像梯度方向的判断不准确,导致相似集丢失许多重要的相似像素。因此,Coupe 等人<sup>[6]</sup>提出了利用子图像的均值与方差生成相似集,这种方法弱化了噪声的影响,在 SAR 图像中较为实用。主成分分析(PCA)与 NLMF 结合的算法引起了研究人员的关注。Tasdizen<sup>[7]</sup>最先将 PCA 与 NLMF 结合,对子图像实现子空间降维,在低维空间度量其相似性,大大降低了度量子图像之间距离时的计算量。Yang 等人<sup>[8]</sup>最先提出 2DPCA 并应用于人脸识别中,并证实了 2DPCA 比 PCA 在特征提取方面的更有效。郑钰辉等人<sup>[9]</sup>将 2DPCA 与 NLMF 结合并用于光学图像滤波。针对 SAR 图像噪声的特点,许多研究者在非局部思想下也提出了一些新的滤波算法,如基于非局部思想的 BM3D 滤波<sup>[10]</sup>以及修改的贝叶斯与 NLMF 相结合的滤波器<sup>[11]</sup>等,并取得了不错的效果。本文结合预选择相似集和 2DPCA 对 NLMF 进行改进,使其适用于 SAR 图像的降噪。在 NLMF 计算子图像间欧氏距离前,预先生成待处理像素子图像的相似集,这样可以减

小相似性度量时的计算量并去除无关像素的干扰,并通过 2DPCA 提取子图像的主要特征,在降维后子图像的基础上度量其相似性。在这一过程中可以利用 2DPCA 的滤波能力<sup>[9]</sup>,减小噪声对相似性度量的干扰。实验结果表明,该方法能够提升滤波效果,提高图像质量。

## 1 算法简介

### 1.1 NLMF 算法简介

设原始噪声图像  $I = \{I(p, q) | p, q \in S\}$ , 估计值  $O(i, j)$  通过对  $I$  中其他像素的加权平均, 即

$$O(i, j) = \sum_{p, q} w(p, q) I(p, q) \quad (1)$$

得到降噪后图像  $O = \{O(i, j) | i, j \in S\}$ 。式中  $i, j, p, q$  为像素索引值,  $w(p, q)$  为相似权重系数, 取值依赖  $I(i, j)$  与  $I(p, q)$  的相似度,  $w(p, q)$  符合归一化条件, 即  $0 \leq w(p, q) \leq 1, \sum_{p, q} w(p, q) = 1$ 。

NLMF 算法的核心<sup>[4]</sup>即是计算像素间的相似权重系数  $w(p, q)$ , 子图像  $X(i, j)$  与  $X(p, q)$  之间的欧氏距离为

$$D(p, q) = \|X(i, j) - X(p, q)\|^2 \quad (2)$$

式中,  $X(m, n)$  表示以像素  $I(m, n)$  为中心的邻域像素组成的子图像。 $w(p, q)$  由  $D(p, q)$  决定, 即

$$w(p, q) = \frac{1}{W(i, j)} e^{-\frac{D(p, q)}{h^2}} \quad (3)$$

因此, 距离较近像素点就会有较大的权重, 而相距较远的像素权重会随着负指数函数迅速衰减,  $h$  值可以调节像素点之间相似性的权重大小。 $W(i, j)$  是归一化常数

$$W(i, j) = \sum_{p, q} e^{-\frac{D(p, q)}{h^2}} \quad (4)$$

NLMF 算法流程如图 1 所示。

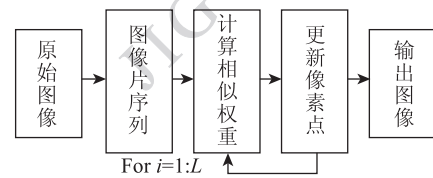


图 1 NLMF 降噪流程

Fig. 1 The process map of NLMF

### 1.2 相似集生成

在 NLMF 中, 原始图像首先被遍历生成  $L$  个  $p \times p$  的子图像序列  $\{X(i) | i \in L\}$ , 其中  $L = M \times N$  表示

图像中像素总数。因为在度量当前像素与图像中其他像素的相似度时,需要计算当前像素所生成的子图像与其他所有子图像之间的欧氏距离,NLMF 的计算量较其他算法大很多。为了克服这些问题,文献[5-6]采用了预生成相似集的方法。本文为了去除无关

像素点的干扰并减少计算量,并考虑到 SAR 图像噪声的特殊性,采取文献[6]的方法,充分利用图像内所蕴含的信息,即相似像素生成的子图像在均值与方差的邻近性,预先选取与待处理像素相关度较大像素,去除无关像素的干扰。这个过程的数学表达式为

$$w(i,j) = \begin{cases} \frac{1}{W(i,j)} e^{-\frac{\|X(i)-X(j)\|^2}{d^2}} & \alpha_i < \frac{\overline{X(i)}}{X(j)} < \frac{1}{\alpha_i} \quad \text{and} \quad \beta < \frac{\text{var}(X(i))}{\text{var}(X(j))} < \frac{1}{\beta} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $0 < \alpha_i, \beta < 1$ ,  $\overline{X(i)}$  与  $\text{var}(X(i))$  分别代表子图像的均值与方差。式(5)是在式(2)(3)的基础上,只选择部分均值和方差与待处理子图像较为接近的子图像,参与欧氏距离计算,而一些相关度较低子图像则不参与运算。

### 1.3 2DPCA 算法

设  $U = [u_1, u_2, \dots, u_d]$  是投影矩阵,其中  $u_1, u_2$  等是单位化的列向量,2DPCA 的目的是把  $m \times m$  的图像矩阵  $Y_j$  通过线性变换投影到  $U$  上,即

$$Z_j = Y_j U \quad (6)$$

式中,  $Z_j$  即是  $Y_j$  降维后的特征图像矩阵,  $Z_j = [z_1, z_2, \dots, z_d]$ 。为了得到最优投影向量  $u$ ,需要计算图像的协方差矩阵。图像总体协方差矩阵定义如下:

$$G_j = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Y_j - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})^T \quad (7)$$

式中,  $\bar{Y}$  是所有相似图像的均值

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_j \quad (8)$$

定义准则函数为  $J(u) = u^T G_j u$ ,最大化该准则函数的单位向量  $u$  称为最优投影向量,其物理意义为图像矩阵在  $u$  上投影所得到的特征向量分散程度最大。事实上,图像总体协方差矩阵所对应的单位特征向量即是最优投影向量,而且实际情况中,只取一个最佳投影方向是不够的,通常取  $G_j$  的前  $d$  个最大特征值对应的单位特征向量  $U = [u_1, u_2, \dots, u_d]$  作为最优投影矩阵,其中  $u_1, u_2$  等满足正交关系。选取占 90% 特征值和所对应的前  $d$  个最大特征值对应的特征向量组成最优投影矩阵,提取特征图像。

## 2 结合 2DPCA 的 NLMF 改进算法

### 2.1 算法设计流程

结合 2DPCA,在 NLMF 算法的基础上,改进的

算法整体流程如图 2 所示。

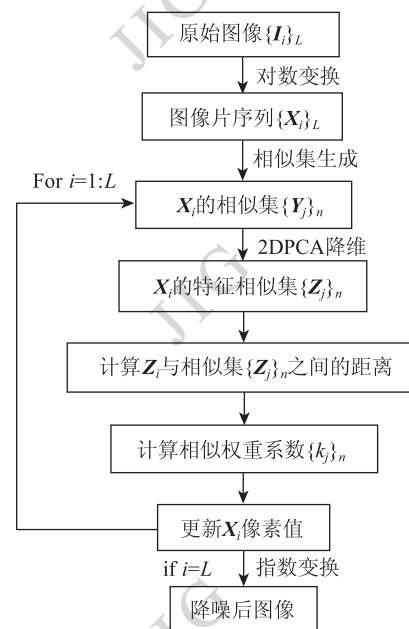


图 2 本文算法设计流程图

Fig. 2 The process map of our algorithm

由于 NLMF 针对加性噪声而建,在应用本文算法前,需要将 SAR 图像噪声的乘性模型转化为加性噪声模型,待算法处理完后进行指数变换得到最终结果。

SAR 图像在斑点噪声影响下的数学模型为

$$I = R \times n \quad (9)$$

式中,  $R$  代表未受干扰的理想原始图像,  $n$  代表与  $R$  相互独立的随机噪声,其统计特性服从 Gamma 分布,  $I$  代表实际观测到的图像。对 SAR 图像进行对数变换,即

$$\ln(I(x,y)) = \ln(R(x,y)) + \ln(n(x,y)) \quad (10)$$

转化为加性噪声模型。式中,  $x, y$  为像素点索引值。经对数变换后, SAR 图像噪声统计特性<sup>[12]</sup>会发生相

应的改变。

## 2.2 算法中一些参数的讨论

在相似集的基础上,应用 2DPCA 提取相似集中子图像的主要特征,这样可以进一步减少斑点噪声对相似性度量的干扰,并减少子图像之间欧氏距离的计算量。其中,相似集中子图像的相似程度影响着 2DPCA 对相似集中子图像的可降维度,并影响算法的计算速度。相似度较好的子图像集可以得到较低的维度,从而减小子图像之间欧氏距离的计算量,而子图像较分散时,选取 90% 能量所生成的特征矩阵与原矩阵并没有多大区别,计算量并不会因此而减小。在生成相似集时,其相似集中程度主要受参数  $\alpha$  和  $\beta$  的控制。 $\alpha$  和  $\beta$  值的选择要适中,太小对减小计算量起不到多大的作用,太大则会丢失有效的像素点,影响降噪效果。实际中要依据具体图像的噪声强弱,经多次测试选择最为合适的值。

在式(5)计算相似度时,参数  $h$  与相似度函数的衰减速率相关,从而影响滤波效果。 $h$  值过大会增加相似像素点的权重值,引起图像过平滑,太小则起不到降噪效果。在 Buades<sup>[4]</sup>的算法中, $h$  值与噪声标准差成正比,即  $h \approx 10\sigma$ 。随后,王志明等人<sup>[13]</sup>通过理论和实验分析得出, $h$  值应与噪声方差近似成线性关系  $h \approx k\sigma^2$ 。杨学志等人<sup>[14]</sup>通过对一系列具有不同噪声水平的合成 SAR 图像和真实的 SAR 图像测试表明,当  $h$  在  $0.4\sigma^2 \sim 0.6\sigma^2$  范围时,相比其他取值有更好的降噪效果。本文对文中所用模拟 SAR 图像和真实 SAR 图像经过多次测试表明,当模拟 SAR 图像  $h = 0.57\sigma^2$ ,真实 SAR 图像  $h = 0.45\sigma^2$  时,降噪效果最为显著。

## 2.3 算法复杂度分析

在 NLMF 算法中,算法复杂度主要由子图像之间的欧氏距离计算量决定,由于每个像素生成的子图像都要与整幅图像中的其他像素点的子图像进行欧氏度量,因此共有  $L^2 = M^2 \times N^2$  次欧氏距离计算,当选用  $p \times p$  的子图像时,由式(5)可看出,每次欧氏度量会执行  $p^2$  次减法和平方运算、一次求和运算。

在本文算法中,由于预先通过子图像之间的均值和方差对相似子图像进行了筛选,每个子图像的相似集个数在  $1 \sim L$  之间,因此,欧氏距离计算次数在  $L \sim L^2$  之间,且子图像经由 2DPCA 处理后,子图像的数据量降低,每次欧氏度量只会执行  $p \sim p^2$  次减法和平方运算,有效地降低了欧氏距离计算量。具体执行次数随着图像中内容的不同而不同。

该算法中,对相似集的 2DPCA 处理是一个很重要的步骤,该步骤既可以减少斑点噪声对相似性度量的干扰,又能降低子图像之间欧氏距离的计算量。但同时,由于对每个子图像生成的相似集进行一次 2DPCA 运算,整幅图像会有  $L$  次这样的运算,这一步处理成为算法耗时的主要原因。在 Matlab 运行环境下,本文算法耗时约为 NLMF 算法的 6 倍,但可以带来滤波效果的提升,因此本文算法适合于目标识别等对图像质量要求较高的领域进行预处理。

## 3 实验结果及评价

在实验中,对标准 boat 图像添加视数为 10 的斑点噪声作为测试图像,分别使用 Lee、Kuan、Gamma-Map、NLMF 和本文算法进行降噪处理,选用 PSNR, ENL 等效视数, EKI 边缘保持系数评价各方面相干斑噪声的抑制性能。在应用各种滤波器时,滤波窗口统一选用  $7 \times 7$  窗口。

### 3.1 评价指标

峰值信噪比 PSNR 定义为

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left[ \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (o_i - u_i)^2 \right] \quad (11)$$

式中,  $o_i$  表示去噪后图像,  $u_i$  表示无噪图像,  $L$  表示图像中像素点总数。PSNR 综合反应整体去噪效果,其值越大,相应滤波算法越优。

ENL 定义为

$$\text{ENL} = \frac{\mu^2}{\sigma^2} \quad (12)$$

式中,  $\mu$  为均匀区域的像素均值,  $\sigma$  为相应的标准差。ENL 反应滤波后平坦区域的噪声平滑程度,其值越大,噪声平滑越彻底。

边缘保持指数 EKI 反应滤波后图像的边缘恢复程度,其值越接近 1,说明图像边缘保持能力越优秀。

$$\text{EKI} = \frac{\sum_{i=1}^N G'(w_i)}{\sum_{i=1}^N G(w_i)} \quad (13)$$

式中,  $G'(w_i)$  和  $G(w_i)$  分别表示有边缘存在的同一窗口滤波后与滤波前图像中灰度值梯度的最大值,  $N$  为样本窗口数。

### 3.2 模拟图像实验结果

表 1 为各种滤波方法的质量比较。从表中数据可以看出, NLMF 类算法的滤波结果无论在整体滤波质量,一致区域平滑和边缘恢复效果都明显优于

表 1 不同去噪方法的性能比较

Table 1 Performance comparison of several despeckling algorithm

| despeckling algorithm |         |        |      |
|-----------------------|---------|--------|------|
|                       | PSNR/dB | ENL    | EKI  |
| 噪声图像                  | 13.70   | 10.10  | 1    |
| Lee                   | 15.40   | 229.34 | 0.69 |
| Kuan                  | 15.49   | 152.34 | 0.73 |
| Gamma-Map             | 15.53   | 360.33 | 0.77 |
| NLMF                  | 24.07   | 472.23 | 0.89 |
| 本文方法                  | 25.91   | 599.83 | 0.92 |

经典滤波算法。Lee、Kuan、Gamma-Map 的滤波性能相近,其中 Gamma-Map 算法 ENL 和 EKl 值较高,这是由于该算法考虑了 SAR 图像噪声的 Gamma 分布特性。本文方法与 NLMF 相比较在多个指标均有体现,原因是我们利用相似集排除了许多非相干像素的干扰,且利用的 2DPCA 的滤波原理,能够更准确地选择相似像素。从图 3(e)可看出 NLMF 在一致性区域有些过平滑,且边缘的保持能力要稍弱于本文方法。

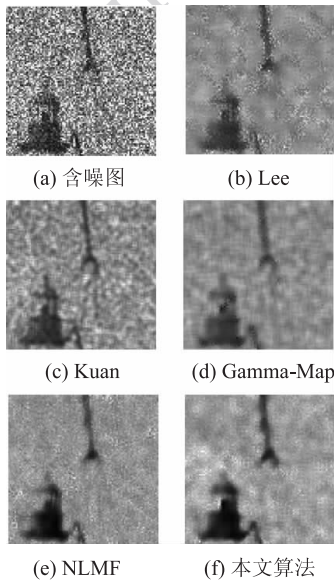


图 3 仿真图像降噪结果

Fig. 3 The results of several despeckling algorithm for simulated SAR image

从图 4 各种滤波方法的比值图像可以看出, NLMF 类算法优于经典算法,其中 Kuan 滤波算法表面上看起来损失信息较少,实际上对比图 3(c)可发现 Kuan 滤波算法对一致性区域滤波不足,整体效果较差。本文方法与 NLMF 比较可以明显看出损失信息较少,几乎看不出损失细节。

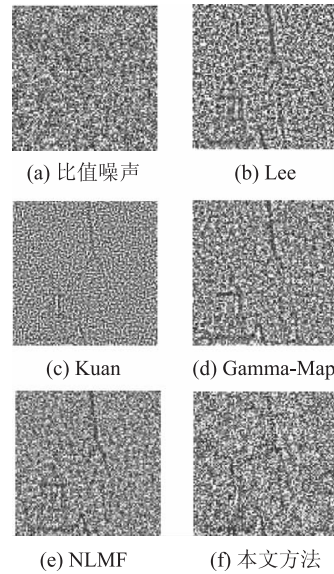


图 4 各降噪方法比值图像

Fig. 4 The ratio images of several despeckling algorithm

### 3.3 真实 SAR 图像实验结果

图 5 展示了本文方法运用于真实 SAR 图像的降噪结果,其选自阎良城区 SAR 图像的部分截图,

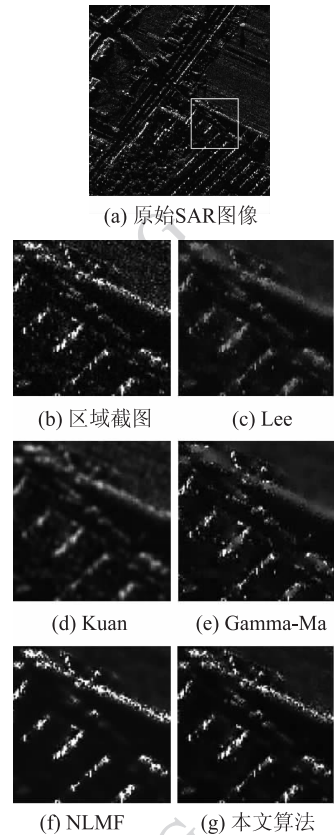


图 5 真实 SAR 图像降噪结果

Fig. 5 The results of several despeckling method for SAR image

图像由机载航空雷达拍摄,分辨率为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 。从图中可以看出,原始图像受噪声干扰较为严重,部分线特征由于受到斑点噪声的影响而不够明显。图5所示的截图区域表明, Gamma-Map 算法性能确实优于 Lee 和 Kuan 滤波,主要体现在细节的保留上。整体对比来看, NLMF 和本文算法性能更优,尤其在边缘细节保留上,本文方法较 NLMF 的优势得以体现。本文方法与 NLMF 相比较的另一个优势在于一致性区域的平滑程度上,通过对比图 5(f)(g) 可看出,图像右上角区域的弱纹理经 NLMF 算法已经丢失,出现过平滑,而经本文方法可以保留。

## 4 结 论

本文通过相似集与 2DPCA 结合改进 NLMF,提出了一种有效的 SAR 图像降噪算法。该算法保留了 NLMF 的独特优势,可以充分利用图像中冗余信息提高图像信噪比,通过相似像素点生成的子图像在均值与方差的临近性,生成相似集以减小非相干像素的干扰,并通过 2DPCA 实现相似集中子图像降噪,此过程中利用了 2DPCA 的滤波能力,因此可以更准确地衡量相似像素之间的权重,提高滤波质量。通过对模拟 SAR 图像和真实 SAR 图像的测试,与一些经典 SAR 图像滤波方法相比,本文方法能够大幅提高图像的各方面参数,有效地改善图像质量,与 NLMF 相比,本文方法不论在边缘保持还是一致区域的平滑效果上,都能取得较好的结果,为后期的目标识别等图像处理工作奠定了较好的基础。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Lee J S. Digital image enhancement and noise filtering by use of local statistics [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1980, 2(2):165-168.
- [ 2 ] Kuan D T, Sawchuk A, Strand T, et al. Adaptive restoration of images with speckle [ J ]. IEEE Transaction on ASSP, 1987, 35(3):373-383.
- [ 3 ] Lopes A, Nezry E, Touzi R, et al. Maximum a posteriori speckle filtering and first order texture models in SAR images [ C ]// Geoscience and Remote Sensing Symposium. College Park, MD, USA: IEEE, 1990, 2409-2412.
- [ 4 ] Buades A, Coll B, Morel J M. A non-local algorithm for image denoising [ C ]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA: IEEE, 2005, 2:60-65.
- [ 5 ] Mahmoudi M, Sapiro G. Fast image and video denoising via non-local means of similar neighborhoods [ J ]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(12):839-842.
- [ 6 ] Coupe P, Yger P, Barillot C. Fast non local means denoising for 3D MR images [ J ]. Medical image computing and computer-assisted intervention, 2006, 9(2):33-40.
- [ 7 ] Tasdizen T. Principal components for non-local means image denoising [ C ]// IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, California, USA: IEEE, 2008, 1728-1731.
- [ 8 ] Yang J, Zhang D. Two-Dimensional PCA: A new approach to appearance-based face representation and recognition [ J ]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(1):131-137.
- [ 9 ] Zheng Y H, Sun Q S, Xia D S. An efficient 2DPCA-based non-local means filter [ J ]. Acta Automatica Sinica, 2010, 36(10):1379-1389. [ 郑钰辉, 孙权森, 夏德深. 基于 2DPCA 的有效非局部滤波方法 [ J ]. 自动化学报, 2010, 36(10):1379-1389. ]
- [ 10 ] Parrilli S, Poderico M, Angelino C V, et al. A nonlocal approach for sar image denoising [ C ]// Geoscience and Remote Sensing Symposium. Honolulu, Hawaii, USA: IEEE, 2010, 726-729.
- [ 11 ] Zhong H, Li Y, Jiao L. SAR image despeckling using Bayesian NonLocal means filter with sigma preselection [ J ]. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2011, PP(99):809-813.
- [ 12 ] Hua X, Lekand E P, Fawwaz T U. Statistical properties of logarithmically transformed speckle [ J ]. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 2002, 40(3):721-727.
- [ 13 ] Wang Z M, Zhang L. An adaptive fast non local image denoising algorithm [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(4):669-675. [ 王志明, 张丽. 自适应的快速非局部图像去噪算法 [ J ]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4):669-675. ]
- [ 14 ] Yang X Z, Shen J, Fang L H. Structure preserving speckle reduction of using nonlocal mean filter [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(12):2443-2450. [ 杨学志, 沈晶, 范良欢. 基于非局部均值滤波的结构保持相干斑噪声抑制方法 [ J ]. 中国图象图形学报, 2009, 14(12):2443-2450. ]