



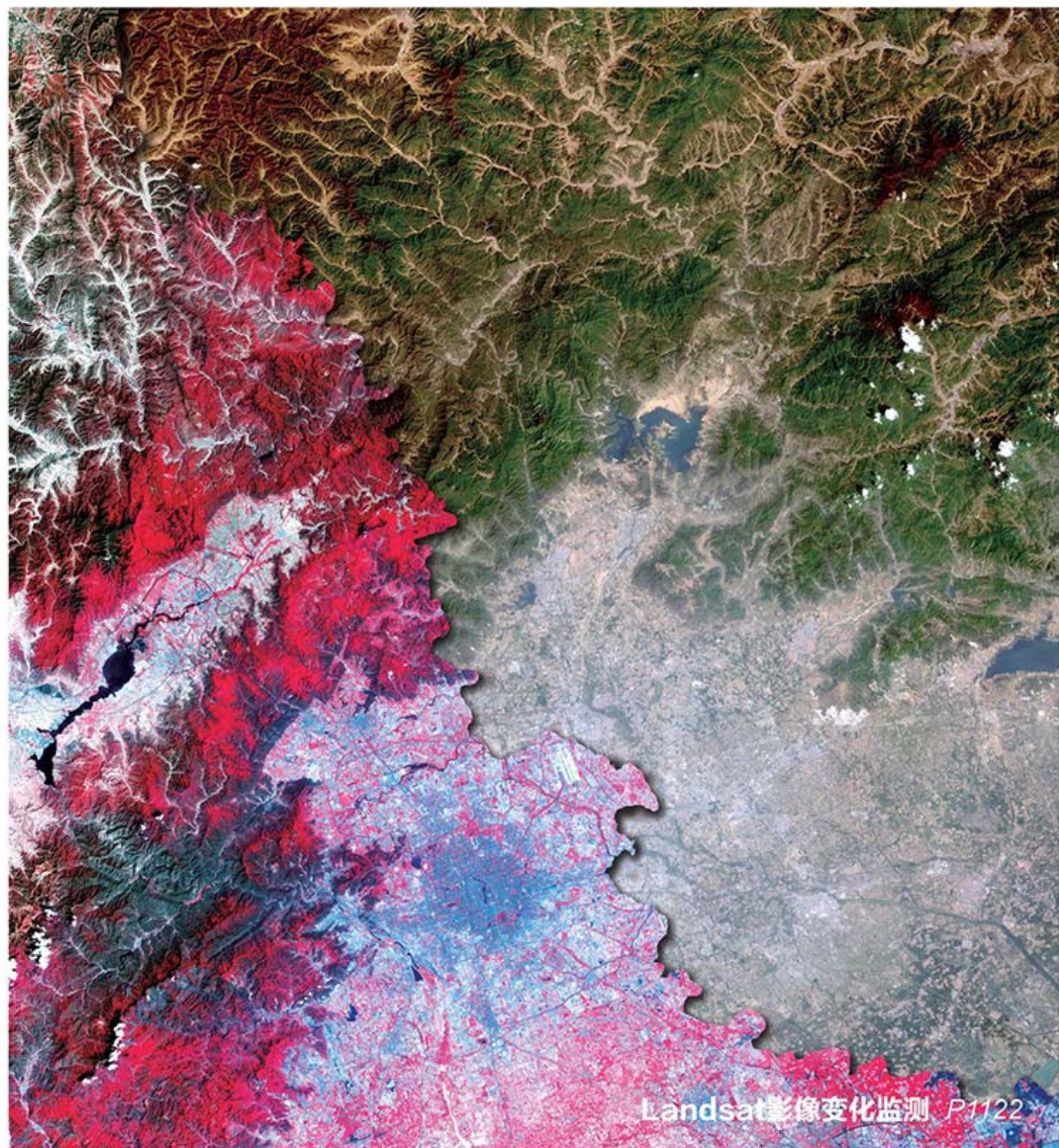
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
08
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



Landsat影像变化监测 P1122



第20卷第8期（总第232期）

2015年8月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

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

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

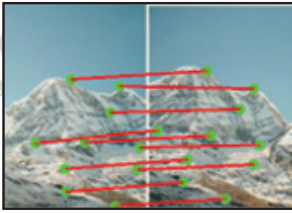
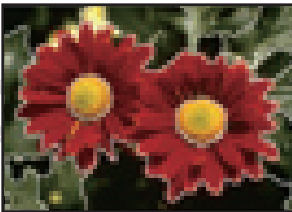
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

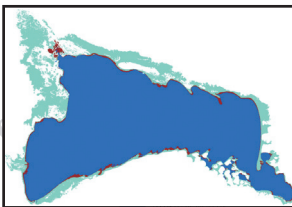
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元

利用Hough变换的匹配对提纯
(第1017页)

结合格式塔完形规则的自然图像分割(第1026页)



利用长时间序列Landsat分析博斯腾湖面积变化(第1122页)

图像处理 and 编码

CRT显示图像的色彩管理新模型

黎新伍, 王根生 0993

邻域窗口权重变分的图像修复

王猛, 翟东海, 聂洪玉, 王佳君 1000

自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈 1008

利用Hough变换的匹配对提纯

谢亮, 陈姝, 张钧, 田金文 1017

图像分析和识别

结合格式塔完形规则的自然图像分割

曾接贤, 王玉 1026

融合Kernel PCA形状先验信息的变分图像分割模型

杨建功, 汪西莉, 李虎 1035

基于2维灰度熵阈值选取快速迭代的图像分割

吴诗姘, 吴一全, 周建江, 孟天亮, 戴一冕 1042

基于图像线特征和点云面特征的水下人造目标定位

解则晓, 潘成成, 迟书凯, 魏征 1051

熵能量堆煤图像的定位与识别

袁姮, 王志宏, 姜文涛 1062

时空运动显著性的目标跟踪

谢昭, 刘玉敏, 张骏, 段士雷 1070

结合整体一致性和局部差异性的图像目标显著性检测

张小祥, 马儒宁 1083

基于Radon-经验模式分析的纹理分类

徐卓飞, 张海燕, 刘凯, 侯和平, 徐倩倩, 李利峰 1091

遥感图像处理

四叉树分块的高光谱图像分布式无损编码

王相海, 张智迪, 宋传鸣 1102

基于流形学习的彩色遥感图像分维数估算

王洪波, 罗贺, 王晓佳 1110

利用长时间序列Landsat分析博斯腾湖面积变化

孙爱民, 冯钟葵, 葛小青, 罗宇, 李山山, 闫芳, 冯旭祥 1122

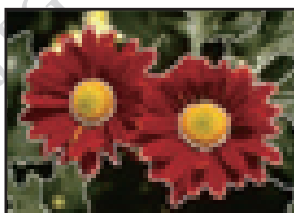
封面图片由中国科学院遥感与数字地球研究所卫星地面系统工程部李山山副研究员提供

CONTENTS

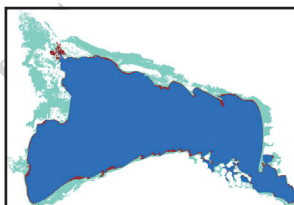
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform (P1017)



Natural image segmentation method based on Gestalt rules (P1026)



Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series (P1122)

Image Processing and Coding

- Color management model for CRT color image
Li Xinwu, Wang Gensheng 0993
- Image inpainting with weight variation of neighborhood window
Wang Meng, Zhai Donghai, Nie Hongyu, Wang Jiajun 1000
- Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu, Xu Ge 1008
- Purifying algorithm for rough matched pairs using Hough transform
Xie Liang, Chen Shu, Zhang Jun, Tian Jinwen 1017

Image Analysis and Recognition

- Natural image segmentation method based on Gestalt rules
Zeng Jiexian, Wang Yu 1026
- Variational image segmentation incorporating Kernel PCA-based shape priors
Yang Jiangong, Wang Xili, Li Hu 1035
- Image segmentation based on the fast iteration for two-dimensional gray entropy threshold selection
Wu Shihua, Wu Yiquan, Zhou Jianjiang, Meng Tianliang, Dai Yimian 1042
- Underwater man-made object localization based on line feature of image and surface feature of point cloud
Xie Zexiao, Pan Chengcheng, Chi Shukai, Wei Zheng 1051
- Coal pile location and recognition method based on entropy energy
Yuan Heng, Wang Zhihong, Jiang Wentao 1062
- Spatio-temporal motion saliency for object tracking
Xie Zhao, Liu Yumin, Zhang Jun, Duan Shilei 1070
- Image target saliency detection by combining the global consistency and local difference
Zhang Xiaoxiang, Ma Runing 1083
- Texture classification based on Radon-empirical mode decomposition analysis
Xu Zhuofei, Zhang Haiyan, Liu Kai, Hou Heping, Xu Qianqian, Li Lifeng 1091

Remote Sensing Image Processing

- Lossless distributed source coding of hyperspectral images based on quadtree segmentation
Wang Xianghai, Zhang Zhidi, Song Chuanming 1102
- Estimation research for fractal dimension of color remote sensing image based on manifold learning
Wang Hongbo, Luo He, Wang Xiaojia 1110
- Bosten Lake surface area changes analysis using long temporal Landsat image series
Sun Aimin, Feng Zhongkui, Ge Xiaoqing, Luo Yu, Li Shanshan, Yan Fang, Feng Xuxiang 1122

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)08-1008-09

论文引用格式: Lin Y M, Li Z Y, Lin Y Y, Xu G. Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images [J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(8): 1008-1016. [林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈. 自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(8): 1008-1016.] [DOI: 10. 11834/jig. 20150803]

自适应滤波窗实现距离加权图像椒盐噪声滤除

林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 徐戈

闽江学院计算机科学系, 福州 350108

摘要: 目的 在比较几种椒盐去噪方法的滤波窗口尺寸选择策略的基础上, 提出一种基于自适应滤波窗的距离加权图像椒盐噪声滤除方法。方法 首先将图像中灰度值为 0 或 255 的像素点判定为噪声点, 接着对每个噪声点, 在以该噪声点为中心、不断增大面积的滤波窗口序列中, 寻找包含非噪声点的最小尺寸窗口。若此窗口尺寸小于预设的阈值, 则使用该窗口中的非噪声点进行距离加权滤波。否则认为该噪声点位置位于图像自身灰度值为 0 或 255 的像素点区域内部, 使用少数服从多数策略计算灰度恢复值。结果 将本文方法与其他 7 种椒盐去噪方法相比较。当图像自身包含较多灰度值为 0 或 255 的像素点时, 本文方法去噪效果优于其他 7 种方法。当图像自身不含或较少包含灰度值为 0 或 255 的像素点时, 本文方法与其他方法中的最优去噪结果效果相当。结论 本文方法不仅能够有效滤除椒盐噪声, 而且适用于自身包含灰度值为 0 或 255 的像素点多的椒盐噪声图像。

关键词: 距离加权; 密度估计; 椒盐噪声; 图像还原

Distance-weighted approach based on self-adaptive windows to remove salt and pepper noise in images

Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu, Xu Ge

Department of Computer Science, Minjiang University, Fuzhou 350108, China

Abstract: **Objective** After analyzing several schemes for determining filtering window size for the removal of salt-and-pepper noise, we propose a distance-weighted image denoising method based on adaptive filtering window. **Method** The proposed method first identifies the pixels with gray level 0 or 255 as noise pixels. Then, for each noise pixel, the minimum window with noise-free pixels is found. If the minimum window of a certain noise pixel is smaller than a given threshold, then noise-free pixels within the minimum window are used to perform distance-weighted filtering. Otherwise, the current noise pixel should be located in the regions composed of noise-free pixels with gray level 0 or 255, and a majority strategy is used to generate the restored gray level. **Result** The proposed method is evaluated by comparing it with seven other image denoising methods. Simulation results show that the new method achieves a better effect than its counterparts on images that contain noise-free pixels with gray level 0 or 255. Among all the compared methods, the new method achieves the best denoising effect on images that contain few or even no pixels with gray level 0 or 255. **Conclusion** The proposed method effectively removes salt-and-pepper noise and is also suitable for images that contain many noise-free pixels with gray level 0 or 255.

收稿日期: 2015-01-14; 修回日期: 2015-04-26

基金项目: 国家青年科学基金项目 (61202318); 福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目 (JA13247); 福建省属高校科研专项 (JK2014040); 闽江学院科研项目 (YKY12004)

第一作者简介: 林亚明 (1977—), 男, 讲师, 2005 年于福州大学计算机科学系获计算机软件硕士学位, 主要研究方向为图像处理与模式识别, JEE 应用系统架构分析。E-mail: yaminglin@163.com

Supported by: Young Scientists Fund of National Natural Science Foundation of China (61202318)

Key words: distance-weighted; density estimation; salt and pepper noise; image restoration

0 引言

图像在产生、传输过程中由于设备的故障可能出现激突像素点。灰度值 255 的激突像素点称之为盐噪声,灰度值 0 的激突像素点称之为椒噪声。图像通常由灰度变化平缓的区域组合而成,区域之间存在变化明显的边界。椒盐噪声与周围像素点的格格不入,导致了较大的梯度值,使其与边缘点容易混淆,这给图像分析尤其是边缘检测带来很大的困难。因此,椒盐去噪^[1-2]是图像去噪领域的研究热点。

在椒盐去噪过程中,滤波算子不同程度会对图像轮廓与细节造成模糊^[3]。为了减少滤波对图像轮廓与细节的影响,一类称之为开关滤波的椒盐去噪方法将去噪过程分为两个阶段:1)噪声点检测;2)噪声点恢复。噪声点检测阶段先判定图像中哪些像素点是椒盐噪声点;噪声点恢复阶段仅对椒盐噪声点进行滤波恢复,而对于非噪声点不做任何处理。由于开关策略能够很好地保持图像细节,因此近几年出现的椒盐去噪方法基本都属于该方法。

开关滤波噪声点检测阶段的方法比较单一。其中,文献[4-9]在噪声检测阶段将图像中所有灰度值为 0 或 255 的像素点判定为噪声点。文献[10]在噪声检测阶段对于图像中的每个灰度值为 0 或 255 的像素点,以该像素点为中心,在尺寸为 7×7 的滤波窗口中,计算过中心像素点的水平、垂直、正斜 45° 、反斜 45° 方向上当前像素与其相邻像素之间的平均差异的绝对值的最小值。如果该值大于预设的阈值,则判定该像素点为噪声点。

在噪声点恢复阶段,常见的处理模式是使用合适窗口尺寸的滤波器对图像噪声点处理。尽管各个文献做法不同,但窗口尺寸是图像椒盐噪声点恢复过程中需要重点考虑的因素。目前主要有 3 类滤波窗口尺寸选择策略:1)滤波窗口尺寸为算法预设常量,对所有图像都一致^[4-6];2)滤波窗口尺寸由图像的某种噪声特征计算得到,不同图像的滤波窗口尺寸有可能不相同^[7-8];3)对图像的每个噪声点使用自适应滤波窗口策略,同一幅图像中不同噪声点的

滤波窗口尺寸有可能不相同^[9-10]。

文献[4-6]对每个噪声点使用 3×3 滤波窗口计算噪声恢复值。MDBA(modified decision based algorithm)方法^[4]将噪声恢复值设置为窗口中信号点灰度值排序后的中值。MDBUTMF(modified decision based unsymmetrical trimmed median filter)方法^[5]与 MDBA 方法类似,差别在若滤波窗口中全部都是 0 或 255 噪声点,噪声恢复值设置为窗口中所有像素点灰度值的均值。EFMI(efficient and fast method for impulse noise)方法^[6]需要扫描图像两次,第 1 次扫描对每个噪声点,若以该噪声点为中心的 3×3 滤波窗口中存在信号点,则噪声恢复值设置为信号点灰度值的均值,否则该噪声点不作处理;第 2 次扫描和第 1 次扫描做法相同,区别是将第 1 次扫描被处理的噪声点也作为信号点参与第 2 次扫描运算。尽管第 1 类方法计算恢复值的策略有所区别,但由于滤波窗口尺寸太小,使得在高密度噪声情况下,第 1 类方法去噪效果都不理想。

AGF(adaptive gaussian filter)方法^[7]噪声恢复公式使用窗口中非噪声点灰度值线性加权和。滤波窗口尺寸设置为 9×9 ,但实际参与噪声恢复的像素点范围是由权值来控制。每个非噪声点权值是该点到窗口中心点欧氏距离的高斯函数值归一化的结果。高斯函数的参数 σ 由公式 $\sigma = m + 0.2$ 计算得到,AGF 通过参数 σ 来控制窗口非噪声点对中心点噪声恢复值的影响。ERMI(efficient restoration method for impulse noise)方法^[8]对窗口中所有非噪声点作均值滤波,噪声密度估计值 m 的计算方法与 AGF 方法一样。滤波窗口尺寸由噪声密度估计值 m 决定,当噪声密度估计值 $m \in [0.1, 0.5)$,滤波窗口尺寸设置为 3;当噪声密度估计值 $m \in [0.5, 0.75)$,滤波窗口尺寸设置为 5;当噪声密度估计值 $m \in [0.75, 0.9)$,滤波窗口尺寸设置为 7。第 2 类方法存在两个问题:1)对图像自身灰度为 0 或 255 像素点进行了不必要的滤波。2)图像自身灰度值为 0 或 255 像素点由于和噪声点灰度值相同,影响到噪声密度的估计,使得 m 噪声估计值误差变大,因此对于自身包含较多灰度值为 0 或 255 像素点的图像,第 2 类方法去噪效果会很差。

第 3 类方法的窗口尺寸选择策略都是对每个噪

声点,在以该噪声点为中心、不断增大面积的滤波窗口序列中,寻找满足条件的最小尺寸滤波窗口进行滤波运算。其中,DBCWMF(decision based coupled window median filter)方法^[9]的条件是至少存在一个非噪声点;SAWM(switching-based adaptive weighted mean filter)方法^[10]的条件是至少存在两个非噪声点。DBCWMF方法滤波窗口最大只到 9×9 ,这种固定的窗口尺寸上限无法适用于各种类型的图像和各种椒盐噪声密度情况。而SAWM方法没有滤波窗口尺寸上限可能导致滤波窗口尺寸变得非常大,这样得到的滤波恢复值和噪声点原有真实灰度值之间的关联度会很低,最终整体去噪效果反而变差。

上述3类算法中,采用自适应窗口尺寸策略的算法去噪效果通常优于采用固定窗口尺寸策略的算法。自适应窗口尺寸策略的算法对图像的每个噪声点采用自适应策略,而其滤波窗口尺寸上限只是简单的设置为固定值(SAWM方法滤波窗口尺寸上限为无穷大),没有采用自适应策略,因此具有改进算法的空间。

在现实世界中,图像自身包含灰度值为0或255像素点的情况是很普遍的。例如,Berkeley图像库^[11]中300幅图像在Matlab中通过rgb2gray函数转换成灰度图像后,图像自身包含灰度值为0或255像素点的图像共有278幅,占图像总数的92.7%。而从前面的讨论可以看出,目前的图像椒盐去噪方法都会受到图像自身灰度值为0或255像素点的影响。因此通过解决图像自身灰度值为0或255像素点对椒盐去噪的影响问题,成为改进现有图像椒盐去噪方法的一条新途径。

1 本文方法

本文方法基于开关滤波策略,通常噪声点误判很难避免^[10],纠正误判需要获得误判点周围的像素点灰度分布信息。而本文方法的噪声点恢复过程可以获得该信息。为避免重复迭代,将纠正误判的操作放到噪声点恢复阶段进行。首先将图像中0或255灰度点标记为噪声点,在噪声点恢复阶段,对每个噪声点,通过不断增大滤波窗口尺寸来寻找包含非噪声点的最小尺寸滤波窗口进行滤波计算。本文方法没有像DBCWMF方法将滤波窗口尺寸上限阈值设置为固定值(DBCWMF方法窗口尺寸上限设置

为9),而是设置一个全局的滤波窗口尺寸上限阈值 T ,该阈值 T 由图像椒盐噪声密度和原始图像自身灰度值为0或255像素点分布联合决定。阈值 T 用于尽可能识别位于原始图像自身灰度值为0或255像素点区域的像素点,若滤波窗口尺寸扩大到阈值 T 时,仍然找不到包含非噪声点的滤波窗口,则认为该噪声点坐标位于原始图像自身0或255极值信号点区域,有可能是误判噪声点。该噪声点灰度恢复值设置使用少数服从多数策略,即统计以该噪声点为中心、尺寸为 T 的滤波窗口中0灰度点的个数 N_0 和255灰度点的个数 N_{255} ,噪声点灰度恢复值设置为计数多的对应灰度值

$$P_{ij} = \begin{cases} 0 & N_0 > N_{255} \\ 255 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

使用少数服从多数策略的原因在于通常图像自身灰度值为0或255像素点区域中相邻像素点有相同的灰度值,这些区域也可能受到椒盐噪声的污染。从视觉角度来看,灰度值为0或255像素点区域中若某个灰度值的像素点占多数,则该灰度值是该区域真实灰度值的可能性更大。

本文方法整体流程如图1所示,除了滤波窗口尺寸扩大到上限阈值 T 时方法处理策略与DBCWMF方法不同外,本文方法还有另外3部分与DBCWMF方法不同,分别是:1)初始滤波窗口选择;2)噪声恢复计算策略;3)窗口尺寸上限阈值 T 的选择策略。

1.1 初始滤波窗口选择

对于图像 P 的每个噪声点 (i,j) ,首先在如图2所示的十字模板(阴影区域)中寻找是否存在非噪声点。若模板位置存在非噪声点,则利用十字模板中的非噪声点灰度值计算中心噪声点的恢复值。若十字模板位置不存在非噪声点,则继续按照DBCWMF方法,去寻找包含非噪声点的最小尺寸窗口。由于使用大尺寸窗口滤波会导致去噪后图像模糊,因此应尽可能使用小尺寸窗口滤波^[9]。十字模板包含的像素点个数比 3×3 窗口模板少,因此十字模板的“尺寸”比 3×3 窗口模板还要小。

实际上,十字模板的应用在其他方法中也得到体现。例如,AGF方法虽然没有直接使用十字模板,但是随着噪声密度降低,AGF方法计算得到的 9×9 滤波窗口中各像素点权重比重会逐渐往中心点靠拢,最后会变成十字模板的效果。

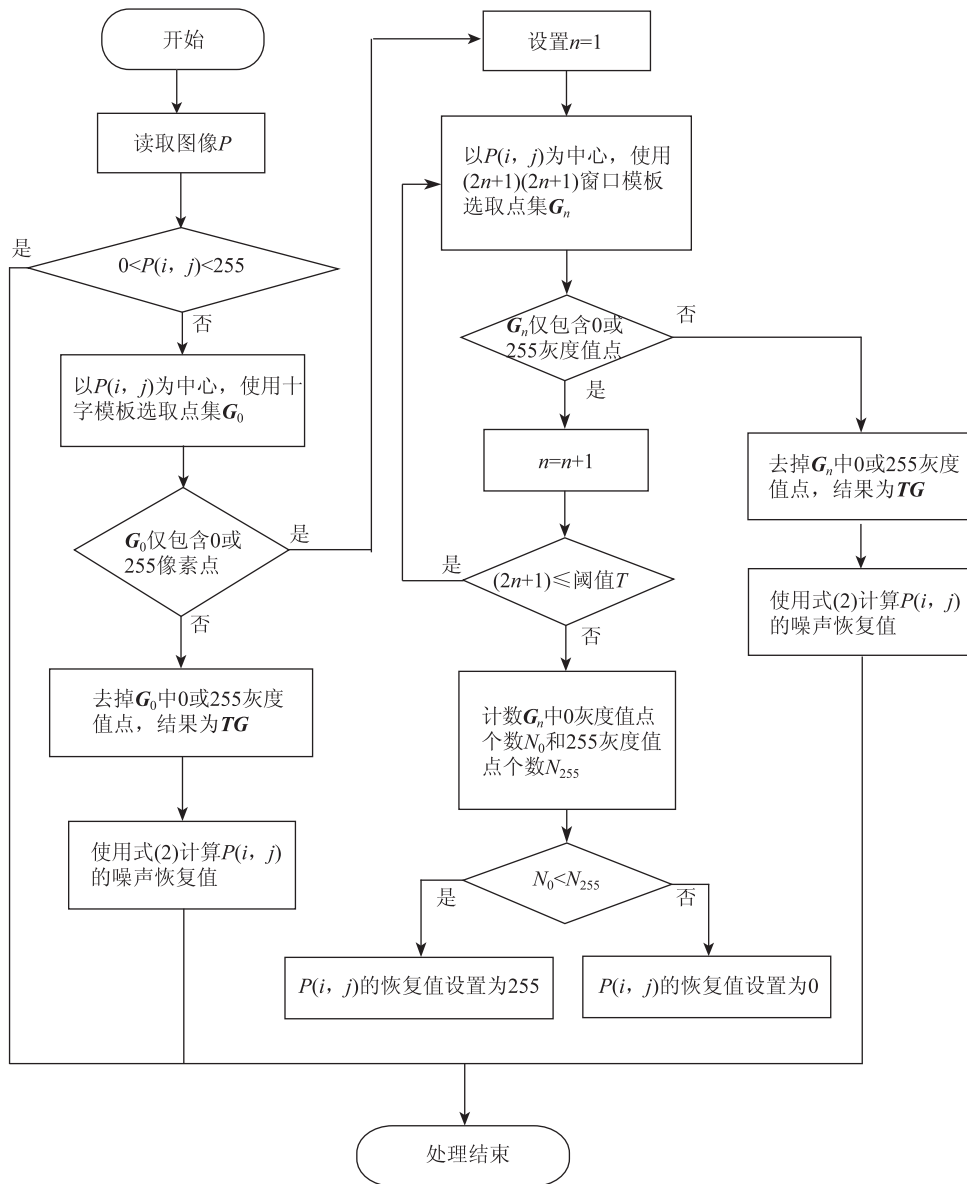


图1 本文方法完整流程图

Fig. 1 Flowchart of our method

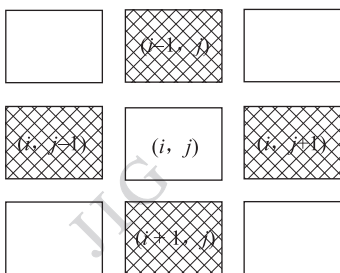
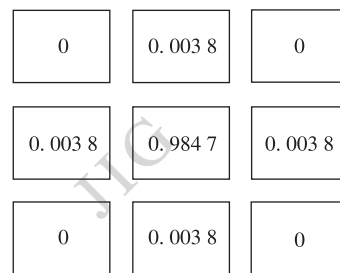


图2 十字模板(阴影区域)

Fig. 2 Cross template (shadow region)

图3展示了当噪声浓度为10%时, AGF方法计算得到的滤波窗口权值分布情况(只列出中心 3×3 窗口权值分布情况, 此时 9×9 滤波窗口其他位置权值为0(精确到0.0001))。

图3 AGF方法在10%噪声密度时
中心 3×3 窗口模板权值分布Fig. 3 Central 3×3 window template's weight
distribution of AGF method in 10% noise density

1.2 噪声点恢复计算策略

在噪声点恢复阶段, 若找得到小于窗口尺寸

上线阈值 T 的最小尺寸窗口,则滤除掉该窗口中噪声点,得到非噪声点集 TG ,使用 TG 中所有像素点的灰度值做线性加权计算,得到噪声点 (i,j) 的恢复值

$$P_{ij} = \frac{1}{W} \sum_{p_k \in TG} w_k \times p_k \quad (2)$$

式中,权值 w_k 设置为 TG 中像素点 (i',j') 到噪声点 (i,j) 之间欧氏距离的倒数^[12],即

$$w_k = \frac{1}{\sqrt{(i-i')^2 + (j-j')^2}} \quad (3)$$

式(3)计算得到的权值可以赋予离噪声中心点更近的非噪声点更高的权重。式(2)中参数 W 用于实现归一化,即

$$W = \sum_{p_k \in TG} w_k \quad (4)$$

本文方法使用线性加权滤波而不使用中值滤波的原因在于从窗口序列中选取的目标窗口有可能尺寸很大,假设该目标窗口半径为 r ,则窗口中各非噪声点到噪声中心点的距离的差值最大为 $(\sqrt{2}-1) \times r$ 。随着 r 的增大,该差值也增大,这时不同距离的非噪声点应该差别对待,而中值滤波无法体现远近距离非噪声点的差别处理。

1.3 窗口尺寸上限阈值 T 的选择策略

滤波窗口尺寸上限阈值 T 与去噪效果好坏有很大的关系。 T 如果设置太小,则在中高噪声密度时,方法找到小于 T 的最小尺寸窗口的概率会相应变小,导致许多噪声点无法有效滤波; T 如果设置太大,则对于原始图像自身包含较多灰度值为 0 或 255 像素点的情况,方法会将较多图像原有灰度值为 0 或 255 像素点误判为噪声点。为了说明窗口尺寸上限阈值 T 与本文方法的去噪效果之间的关系,依次对图 4(a)(e) 两幅图像添加 10%、90% 浓度椒盐噪声,采用本文方法使用不同阈值 T (范围取 1~10) 对加噪图像去噪,计算去噪后图像与未添加噪声的原始图像之间的相似度量。相似度量使用峰值信噪比 (PSNR),PSNR 越大,代表与原始图像越相似,去噪效果越好。计算结果如图 5(a) 所示。

从图 5(a) 可以看出,随着椒盐噪声浓度增大,本文方法的滤波窗口半径上限阈值 T 也应相应增大才能获得好的去噪效果。然而阈值 T 也不是越大越好,因为随着阈值 T 增大,图像自身灰度值为 0 或 255 像素点被误判为噪声点的概率也随着增加,反而导致去噪后图像效果变差。若图像自身不包含



图 4 部分测试图自身所含灰度为 0 或 255 的像素点个数

Fig. 4 Partial testing images and their own pixel numbers with gray level 0 or 255

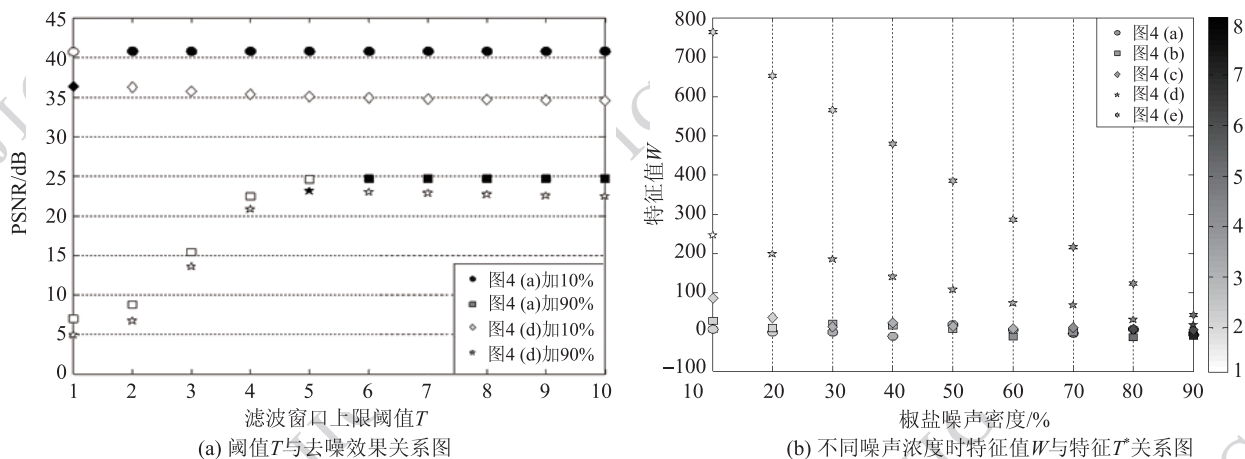


图 5 本文方法阈值 T 选取分析

Fig. 5 Analysis of our method's threshold T selection

灰度值 0 或 255 像素点, 过大的阈值 T 只会增加方法运行时间, 并不能提升去噪效果。从图 5(a) 还可以看出, 在不同噪声浓度下本文方法对各幅图像去噪, 都存在最佳的阈值 T 取值范围(黑色点标识), 所以综合去噪效果和运行效率两方面, 希望选取最佳取值范围内的最小阈值。

将此最小阈值定义为 T^* , T^* 是使用本文方法对加噪图像去噪, 使得去噪效果评价指标 PSNR 值最大的最小阈值。可以发现如果对同一幅图像上施加相同浓度的椒盐噪声, 其 T^* 值基本是稳定的。因此, 如果本文方法对一幅噪声图像选取的阈值 T 越接近该图像的 T^* , 去噪效果越理想。

T^* 受到噪声密度和图像自身灰度值为 0、255 像素点区域的联合影响, 为了表达图像自身灰度值为 0 或 255 像素点区域情况, 参考文献[13], 将图像 P 横竖 k 等分, 分割成 $k \times k$ 个子块, 分别统计每个子块中灰度为 0 或 255 的像素点个数, 并对其按升序排列, 构成序列 $\{n_1, n_2, \dots, n_{k^2}\}$, $n_{i-1} \leq n_i \leq n_{i+1}$ 。设 n_{med} 为序列值 $\{n_1, n_2, \dots, n_{k^2}\}$ 的中值, 令 $w = n_1 + n_{k^2} - 2n_{\text{med}}$, w 可以用来反映 n_{med} 值受图像自身灰度值为 0 或 255 像素点影响的程度^[13], 因此可以用 w 间接表达图像自身灰度值为 0、255 像素点区域情况。为了说明特征值 w 与特征 T^* 之间的关系, 依次对图 4 中 5 幅图像施加 10%, 20%, ..., 90% 椒盐噪声, 计算每幅加噪图像对应的 w 和最小阈值 T^* , 结果如图 5(b) 所示。从图 5(b) 可以看出, 在相同椒盐噪声密度下, 不同图像的 T^* 差别较小(T^* 值使用图标背景色表示, 越黑代表值越大)。而同一幅图像在不同噪密度下对应的 T^* 差别较大。

因此噪声密度对 T^* 的影响大于特征值 w 对 T^* 的影响。在中低噪声浓度时, 不同图像的 T^* 差别可以通过特征值 w 差别来表示, 而在高噪声密度时, 不同图像的特征值 w 由于图像自身灰度值为 0、255 像素点占总 0、255 灰度点的比例下降, 图像自身灰度值为 0、255 像素点对 w 值的影响减少, 使得特征值 w 差别变的很小, 而这时不同图像的 T^* 值差别也很小, 因此可以通过计算加噪图像的噪声密度估计值 m 和特征值 w 来联合估计 T^* , 从而决定阈值 T 的选取。

本文方法使用训练的方式计算阈值 T 。随机选取 Berkeley 图像库中 150 幅图像用于训练, 计算每幅灰度图像自身包含灰度值为 0 或 255 像素点个数, 以该个数对 150 幅图像进行排序。在排好序的图像序列中, 以 5 为步长, 每 5 幅图像中随机挑选一幅图像, 共 30 幅图像组成训练图像集 $\{TP_i, i = 1, 2, \dots, 30\}$ 。对每幅图像 TP_i , 依次施加 m_j 浓度椒盐噪声得到加噪图像 $TP_{i,j}$, 其中 $m_j = j \times 5\%$, $j = 1, 2, \dots, 19$ 。计算加噪图像 $TP_{i,j}$ 的特征值 w 和阈值 $T_{i,j}^*$ 组成三元组集合 $A = \{(m_p, w_{i,j}, T_{i,j}^*), i = 1, 2, \dots, 30, j = 1, 2, \dots, 19\}$ 。于是对于任一幅噪声图像 P , 首先使用文献[13]方法计算该图像的椒盐噪声密度估计值 m_p , 使用 m_p 从三元组集合 A 得到子集合 $B = \{(m_n, w_{i,n}, T_{i,n}^*), i = 1, 2, \dots, 30\}$, 其中 $|m_n - m_p| = \min(|m_j - m_p|), j = 1, 2, \dots, 19$ 。再计算图像 P 的特征值 w_p , 使用 w_p 从集合 B 得到 $T_{m,n}^*$, 使得 $|w_{m,n} - w_p| = \min(|w_{i,n} - w_p|), i = 1, 2, \dots, 30$, 于是本文方法对图像 P 去噪的阈值 T 设置为 $T_{m,n}^*$ 。本文方法具体实现时, 可以在三元组集合 A 的 m 列和 w 列建立索引, 以提升查找效率。

表 1 各种方法对 150 幅图像的平均 PSNR 比较

Table 1 Average PSNR comparison of different methods for 150 images

噪声/%	MDBA	MDBUTMF	EFMI	AGF	ERMI	DBCWMF	SAWM	本文方法
10	36.133 2	36.499 8	34.894 1	37.322 7	35.893 4	36.701 0	36.151 0	38.026 8
20	32.965 2	33.323 0	32.317 1	34.129 4	33.015 2	33.490 5	33.066 6	34.819 3
30	30.817 3	31.199 3	30.628 1	31.999 6	31.075 2	31.366 0	31.128 1	32.582 6
40	28.756 6	29.419 8	29.248 2	30.284 2	29.099 3	29.702 5	29.612 0	30.713 8
50	26.002 4	27.517 2	27.991 4	28.833 1	26.273 3	28.281 5	28.326 1	29.076 1
60	22.221 6	25.073 1	26.749 5	27.465 2	22.356 8	26.984 8	27.120 0	27.571 6
70	17.804 6	21.920 2	25.352 5	26.077 9	17.849 0	25.690 9	25.852 0	26.151 7
80	13.321 2	18.296 9	22.794 1	24.526 7	13.330 8	24.262 3	24.468 9	24.673 0
90	9.062 0	14.542 7	16.305 2	22.334 6	15.272 4	22.053 8	22.715 6	22.763 9

2 仿真实验

为评价图像椒盐去噪方法的效果,采用客观的定量评价和主观的定性评价相结合的做法,其中定量评价指标选择峰值信噪比 PSNR 定义为

$$\text{PSNR} = 10\lg \frac{255^2}{\frac{1}{N} \sum_{ij} (r_{ij} - x_{ij})^2} \quad (5)$$

式中, N 表示图像像素总数, x_{ij} 和 r_{ij} 分别表示参考图像和去噪图像恢复后图像中像素点 (i, j) 的灰度。PSNR 的值越大,说明去噪效果越好。

对 Berkeley 图像库 300 幅图像进行了一系列的仿真实验,运用 Matlab2012b 编程,实验运行在 2.4 GHz 英特尔酷睿 i7 4 核 CPU, 2 GB 内存的神舟笔记本上。选取 Berkeley 图像库的原因在于该库中图像来源于自然界拍摄图像,具有普遍性。本文方法与 MDBA 方法、MDBUTMF 方法、EFMI 方

法、AGF 方法、ERMI 方法、DBCWMF 方法、SAWM 方法进行对比。首先将 Berkeley 图像库中 300 幅彩色图像转化为灰度图,将 300 幅图像随机划分为两个 150 幅图像子集合 S_1 和 S_2 , 子集合 S_1 中图像用于训练本文方法,子集合 S_2 中图像用于仿真比较。依次对子集合 S_2 中图像添加 10%、20%、30%、...、90% 椒盐噪声,使用各种方法对加噪图像进行去噪处理,表 1 展示了各种方法对 150 幅图像去噪的平均结果。

从表 1 可以观察到,在各个级别的噪声密度下,本文方法平均 PSNR 值均高于其他方法。图 6 显示了各种方法对于图 4 中 5 幅图像的去噪结果。从图 6(a)(b)可以看出,本文方法对于自身不含或较少包含灰度值为 0 或 255 像素点的图像,去噪效果与其他方法相当。而从图 6(c)(d)(e)可以看出,随着图像自身包含 0 或 255 极值信号点越多,本文方法相对其他方法的去噪优势越明显。

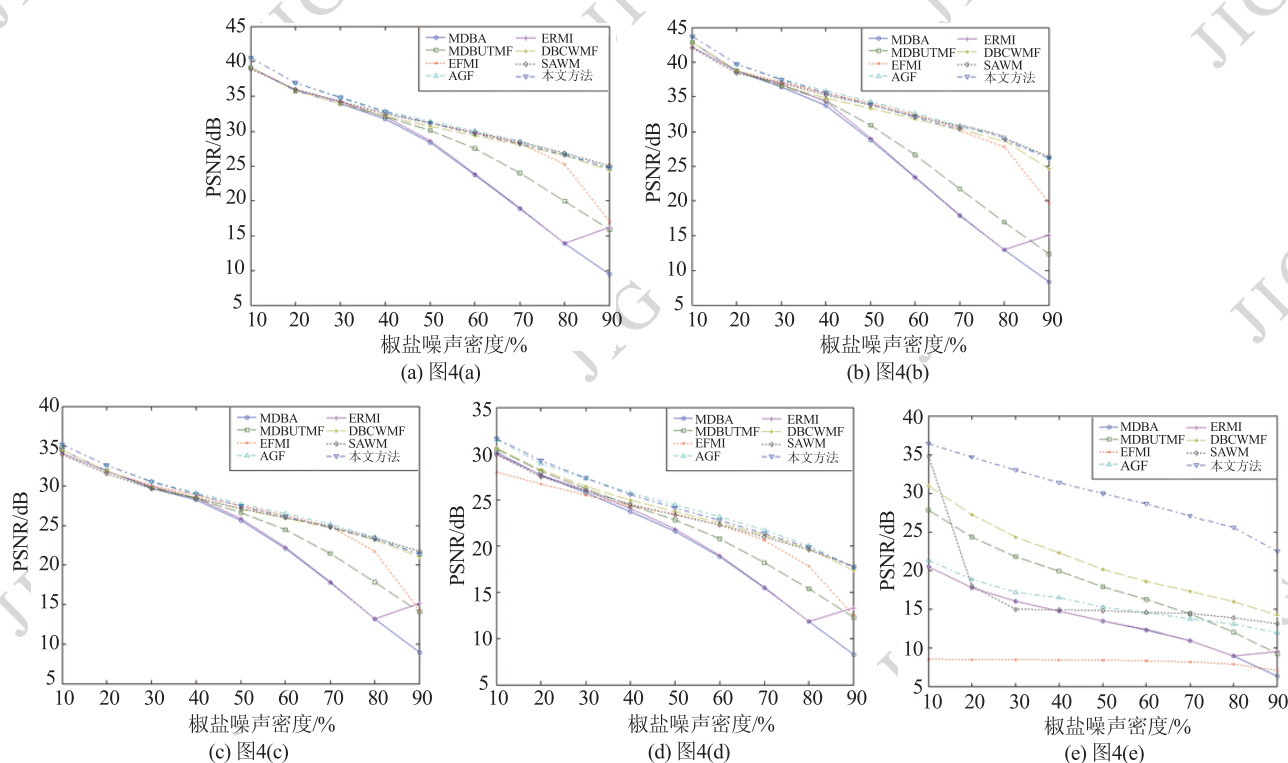


图 6 各方法对图 4 去噪 PSNR 性能比较

Fig. 6 PSNR comparison of different methods for fig. 4

在定量比较的基础上,图 7 和图 8 分别给出了中密度噪声(40%)和高密度噪声(80%)下各种方法的去噪恢复结果。从图 7 可以看到,噪声密度为

40% 时,各种方法去噪结果的视觉差异较小,但仍然可以观察到 EFMI 效果最差,本文方法保留的图像细节最丰富,效果最佳。从图 8 中可以看到,噪声密

度为80%时,本文方法对图像自身灰度为0或255像素点区域去噪能力最强,尤其是图8中最后一行

的去噪图像,可以看到本文方法的雪景区域去噪效果最好。

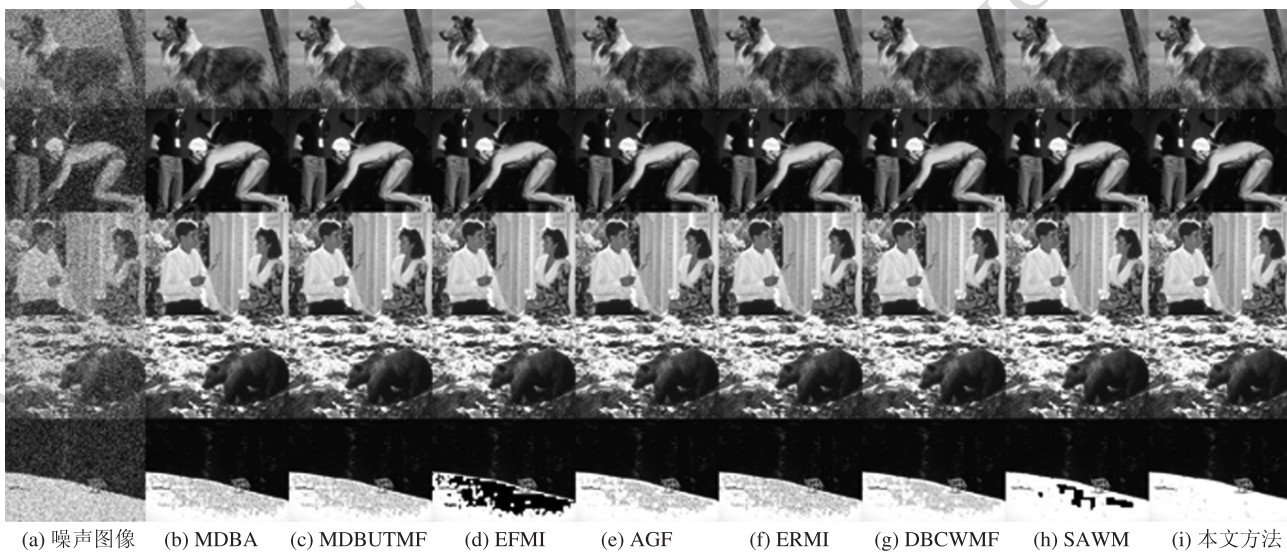


图7 40%椒盐噪声下图像去噪结果

Fig. 7 Comparison of restoration results for noisy images with density 40%

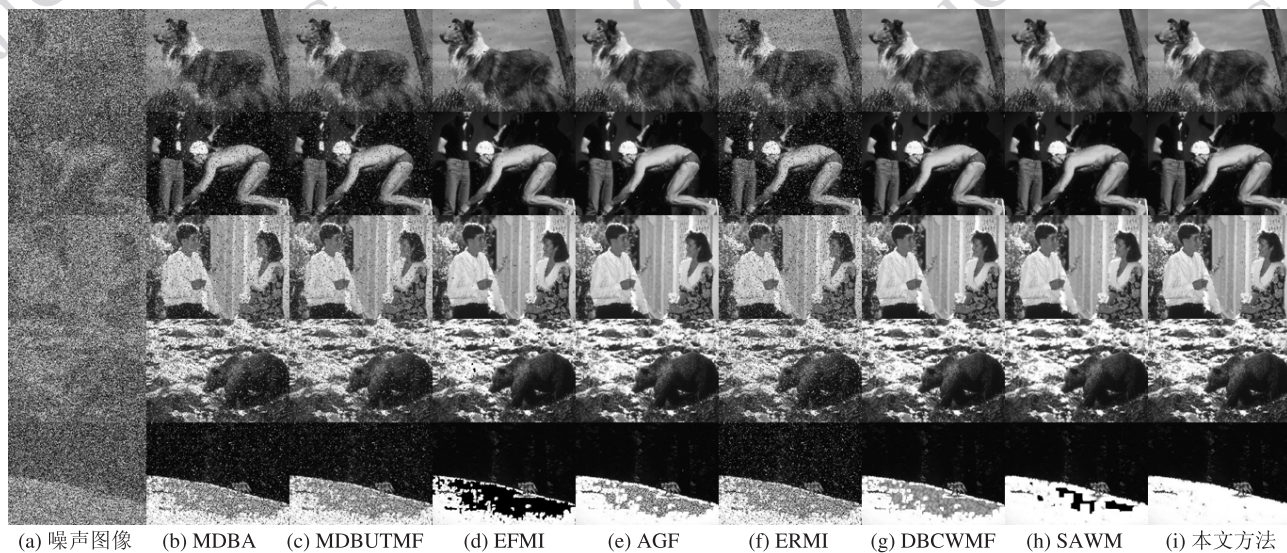


图8 80%椒盐噪声下图像去噪结果比较

Fig. 8 Comparison of restoration results for noisy images with density 80%

3 结论

深入分析了当前几种图像椒盐去噪方法的原理,指出滤波窗口尺寸的合理选择是影响图像椒盐噪声去噪效果好坏的关键因素。为此,提出一种基于自适应滤波窗的距离加权图像椒盐噪声滤除方法。该方法能够根据椒盐噪声密度估计以及图像自身的特性自动调整滤波窗口尺寸上限。仿真实验结

果表明,对于自身不包含或包含较少灰度值为0或255像素点的图像,本文方法与其他方法的去噪效果相当。而对现实世界中大量存在的自身包含较多灰度值为0或255像素点的图像,本文方法的去噪效果优于其他方法。本文方法实际上具有区分图像自身灰度值为0或255像素点与噪声点的能力,因此下一步将研究如何将本文方法思想与其他噪声点判断方法相融合,以实现更好的噪声点判断,以此达到进一步提升去噪效果的目的。

参考文献 (References)

- [1] Srinivasan K S, Ebenezer D. A new fast and efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noises[J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2007, 14(3): 189-192.
- [2] Li Z Y, Tang K Z, Hu J M, et al. Image salt & pepper noise removing based on directional weighted mean filter[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2013, 18(11): 1407-1415. [李佐勇, 汤可宗, 胡锦涛, 等. 椒盐图像的方向加权均值滤波算法[J]. *中国图象图形学报*, 2013, 18(11): 1407-1415.] [DOI: 10.11834/jig.20131103]
- [3] Wang F, Man Y Y. Salt & pepper noise removing method based on fuzzy median filter [J]. *Fuzzy Systems and Mathematics*, 2012, 26(1): 166-174. [王芳, 满益云. 基于模糊中值滤波的椒盐噪声去除方法 [J]. *模糊系统与数学*, 2012, 26(1): 166-174.]
- [4] Aiswarya K, Jayaraj V, Ebenezer D. A new and efficient algorithm for the removal of high density salt and pepper noise in images and videos[C] // *Proceedings of Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*. Sanya, China: IEEE Press, 2010, 4: 409-413.
- [5] Esakkirajan S, Veerakumar T, Subramanyam A N, et al. Removal of high density salt and pepper noise through modified decision based unsymmetric trimmed median filter[J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2011, 18(5): 287-290.
- [6] Lv Z W, Tang Z D, Zhou L, et al. One efficient and fast method for the removal of high-density salt and pepper noise[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2011, 39(8): 1903-1906. [吕宗伟, 唐治德, 周林, 等. 一种高效快速的高密度椒盐噪声消除算法[J]. *电子学报*, 2011, 39(8): 1903-1906.]
- [7] Nasri M, Saryazdi S, Nezamabadi-pour H. A fast adaptive salt and pepper noise reduction method in images[J]. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2013, 32(4): 1839-1857.
- [8] Ramadan Z M. Efficient restoration method for images corrupted with impulse noise[J]. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2012, 31(4): 1397-1406.
- [9] Bhadouria V S, Ghoshal D, Siddiqi A H. A new approach for high density saturated impulse noise removal using decision-based coupled window median filter[J]. *Signal, Image and Video Processing*, 2014, 8(1): 71-84.
- [10] Zhang X, Xiong Y. Impulse noise removal using directional difference based noise detector and adaptive weighted mean filter [J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2009, 16(4): 295-298.
- [11] Martin D, Fowlkes C, Tal D, et al. The berkeley segmentation dataset and benchmark [DB/OL]. 2007-06-01 [2014-12-09]. <http://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds/>
- [12] Ahmed F, Das S. Removal of high density salt-and-pepper noise in images with an iterative adaptive fuzzy filter using alpha-trimmed mean[J]. *Fuzzy Systems, IEEE*, 2013, 22(5): 1352-1358.
- [13] Lin Y M, Li Z Y, Lin Y Y. Estimation of salt and pepper noise in images based on partitioning strategy[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2014, 19(9): 1288-1296. [林亚明, 李佐勇, 林叶郁. 分块策略实现图像椒盐噪声密度估计[J]. *中国图象图形学报*, 2014, 19(9): 1288-1296.] [DOI: 10.11834/jig.20140905]