



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

中国图象学报 中国图形学报

2014

09

VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第19卷第9期 (总第221期)

2014年9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

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@irsa.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@irsa.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

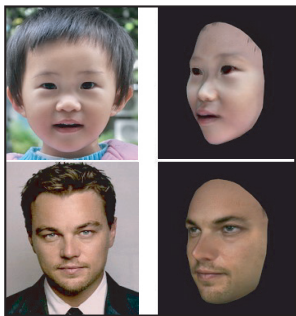
国内定价 50.00元



自适应对称自回归模型的压缩图像内插方法(第1268页)



加权局部特征结合判别式字典的目标跟踪算法(第1316页)



结合特征适配与拉普拉斯形变的3维人脸重建(第1349页)

综述

能量泛函正则化模型在图像恢复中的应用分析

李旭超, 刘海宽, 宋博 1247

图像处理和编码

融合最小化失真与模型保持的隐写算法

高瞻瞻, 汤光明, 张伟伟 1260

自适应对称自回归模型的压缩图像内插方法

刘婧, 干宗良, 崔子冠, 陈昌红, 朱秀昌 1268

基于能量泛函和视觉特性的全变分图像降噪模型

郭从洲, 秦志远, 时文俊 1282

分块策略实现图像椒盐噪声密度估计

林亚明, 李佐勇, 林叶郁 1288

图像分析和识别

Dempster-Shafer证据融合金字塔韦伯局部特征的表情识别

王晓华, 金超, 任福继, 胡敏 1297

运动捕捉数据中足迹的谱聚类检测方法

刘晓平, 陆劲挺, 谢文军 1306

加权局部特征结合判别式字典的目标跟踪

王飞, 房胜 1316

面向瓦当文字识别的改进水平集骨架提取

邓茜芸, 周明全, 武仲科, 王醒策 1324

改进复杂网络模型的形状特征提取

阮瑞, 江波, 汤进, 罗斌 1332

几何特性二元关系的直线匹配

胡海霞, 李钢 1338

图像理解和计算机视觉

结合特征适配与拉普拉斯形变的3维人脸重建

张剑, 何骅, 詹小四, 肖俊 1349

利用背景加权和选择性子模型更新的视觉跟踪算法

黄安奇, 侯志强, 余旺盛, 刘翔 1360

计算机图形学

对可控Bézier曲线的改进

严兰兰, 韩旭里 1368

医学图像处理

结合区域生长与灰度重建的CT图像肺气管树分割

彭双, 肖昌炎 1377

检测肺结节的3维自适应模板匹配

高婷, 龚敬, 王远军, 聂生东, 孙希文 1384

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Novel compression image interpolation method using adaptive symmetrical autoregressive models(P1268)



Visual tracking based on discriminative dictionary and weighted local features (P1316)



Three dimensional face reconstruction via feature adaptation and Laplace deformation (P1349)

Review

- Application analysis of regularization model of energy functional to image restoration
Li Xuchao, Liu Haikuan, Song Bo 1247

Image Processing and Coding

- Steganographic method combining minimum embedding distortion and model preservation
Gao Zhanzhan, Tang Guangming, Zhang Weiwei 1260
- Novel compression image interpolation method using adaptive symmetrical autoregressive models
Liu Jing, Gan Zongliang, Cui Ziguan, Chen Changhong, Zhu Xiuchang 1268
- TV image denoising model based on energy functionals and HVS
Guo Congzhou, Qin Zhiyuan, Shi Wenjun 1282
- Image salt-and-pepper noise estimation based on partitioning strategy
Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu 1288

Image Analysis and Recognition

- Research on facial expression recognition based on pyramid Weber local descriptor and the Dempster-Shafer theory of evidence
Wang Xiaohua, Jin Chao, Ren Fuji, Hu Min 1297
- Foot plant detection based on spectral clustering algorithm for motion capture data
Liu Xiaoping, Lu Jintong, Xie Wenjun 1306
- Visual tracking based on the discriminative dictionary and weighted local features
Wang Fei, Fang Sheng 1316
- Skeleton extraction using improved level set methods in eaves' text recognition
Deng Qianyun, Zhou Mingquan, Wu Zhongke, Wang Xingce 1324
- Improved shape feature extraction using complex network model
Ruan Rui, Jiang Bo, Tang Jin, Luo Bin 1332
- Line matching based on binary relations of geometric attributes
Hu Haixia, Li Gang 1338

Image Understanding and Computer Vision

- Three dimensional face reconstruction via feature adaptation and Laplace deformation
Zhang Jian, He Hua, Zhan Xiaosi, Xiao Jun 1349
- Visual object tracking method based on weighted background and selective sub-model update strategy
Huang Anqi, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng, Liu Xiang 1360

Computer Graphics

- Improvement of the modifiable Bézier curves
Yan Lanlan, Han Xuli 1368

Medical Image Processing

- Segmentation of pulmonary airway tree in CT images by combining region growing and grayscale reconstruction algorithms
Peng Shuang, Xiao Changyan 1377
- Three dimensional adaptive template matching algorithm for lung nodule detection
Gao Ting, Gong Jing, Wang Yuanjun, Nie Shengdong, Sun Xiwen 1384

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)09-1288-09

论文引用格式: Lin Y M, Li Z Y, Lin Y Y. Image salt-and-pepper noise estimation 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]

分块策略实现图像椒盐噪声密度估计

林亚明, 李佐勇, 林叶郁

闽江学院计算机科学系, 福州 350108

摘要: 目的 椒盐噪声是造成图像污染的常见因素之一, 椒盐噪声密度的估计对椒盐去噪过程中滤波窗口大小的选择具有指导作用。为此提出了一种基于分块策略的椒盐噪声密度估计算法。方法 首先对图像按行列等分后形成多个图像子块, 统计每个子块中灰度为 0 或 255 的像素点个数并排序, 然后根据排序后个数差分函数特征对子块进行筛选, 最后将所有候选子块噪声密度估计值的中值作为对整幅图像噪声密度的估计。结果 为验证算法的有效性, 选取了两组不同类型的图像进行仿真, 与现有椒盐噪声密度估计算法对比噪声密度估计结果。仿真实验结果表明, 当图像自身包含较多灰度为 0 或 255 的像素点时, 本文算法的噪声密度估计精度优于现有各种算法, 标准差比现有算法小近一个数量级。当图像自身不包含灰度为 0 或 255 的像素点时, 本文算法也能达到现有算法中最优的估计效果。结论 本文算法不仅能准确估计不同强度下的噪声密度, 而且适用于自身包含灰度为 0 或 255 的像素点多的椒盐噪声图像。

关键词: 椒盐噪声; 密度估计; 中值滤波; 直方图

Image salt-and-pepper noise estimation based on partitioning strategy

Lin Yaming, Li Zuoyong, Lin Yeyu

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

Abstract: **Objective** Salt-and-pepper noise is one of the most common factors causing image contamination. Salt-and-pepper noise estimation has a guiding role in determining the size of the filtering window in denoising. Thus, we propose an algorithm based on the partitioning strategy to estimate salt-and-pepper noise density. **Method** The proposed algorithm horizontally and vertically splits the image equally into sub-blocks, counts the pixels of the sub-blocks with gray levels of 0 or 255, sorts all sub-blocks, selects candidate sub-blocks according to the characteristics of the different sequences of the sorted pixel numbers, and uses the median of the noise density estimations of all the candidate sub-blocks as to estimate the noise density of the whole image. **Result** To evaluate the proposed approach, two different types of images are processed using the presented method, and the noise density estimation results are compared with those of existing salt-and-pepper noise density estimation algorithms. **Conclusion** Simulation results show that the new algorithm can accurately estimate noise density under different intensities and is effective for images that have many extreme pixels with gray levels of 0 or 255.

Key words: salt-and-pepper noise; density estimation; median filter; histogram

收稿日期: 2014-01-06; 修回日期: 2014-04-15

基金项目: 国家青年科学基金项目(61202318); 福建省自然科学基金项目(2012D109); 福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目(JA13247); 福建省教育厅 B 类项目(JB13166); 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专业硕士学位, 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

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]是图像去噪领域的研究热点。

常见的椒盐去噪算法有中值滤波及其改进算法, 比如自适应中值滤波^[2]、递进开关中值滤波^[3]、沿边局部灰度差分椒盐噪声滤波^[4]。中值滤波的去噪效果受滤波窗口大小的影响。窗口小, 图像细节保护能力强。但当噪声密度大时, 小窗口内可能全是噪声点, 严重影响去噪恢复的效果。因此高密度噪声时, 滤波窗口应该设置的相对较大, 增加窗口中像素点的数量, 保证非噪声点的出现, 以便利用非噪声点进行滤波恢复。文献[4]指出, 不同类型图像噪声估计的难度很大, 初始噪声密度的估计成为文献[3]算法推广的一个制约因素。另外, 文献[5]指出, 对于同一类噪声, 当噪声密度不同时, 去噪算法也应不同。因此, 噪声密度的估计对滤波窗口大小的选择具有指导意义。如果能够精确估计椒盐噪声密度, 并依此采用不同的椒盐去噪策略, 将可能显著提高实际去噪效果。本文在分析现有椒盐噪声密度估计算法优缺点的基础上, 提出一种基于分块策略的椒盐噪声密度估计算法。仿真实验结果表明, 该算法不仅能准确估计不同强度下的噪声密度, 而且适用于自身包含极值点多的椒盐噪声图像。

1 已有的椒盐噪声密度估计算法

根据处理模型的不同, 目前椒盐噪声密度估计算法主要有三大类: 异常值侦测算法^[6-8]、频率域算法^[9-11]、局部代表全局算法^[5]。异常值侦测算法对图像的每个像素点执行是否为噪声点的判断, 将噪声点个数与图像像素总数的比值作为椒盐噪声密度的估计值。频率域算法将图像数据变

换到频率域空间, 通过拟合方法计算空间特征量值与噪声密度的关系表达式, 利用该关系表达式进行图像噪声密度的估计。局部代表全局算法将图像局部子块的噪声密度估计值作为图像全局噪声密度估计值。下面分别介绍 3 类算法的实现原理及其存在的问题。

1.1 异常值侦测类型算法原理及其存在的问题

王履程等人^[6]提出一种基于椒盐噪声密度估计的中值滤波算法(简称 Wang 算法)。Wang 算法对于图像中的每个像素, 观察以该像素点为中心、尺寸为 3×3 的滤波窗口, 如果中心像素点的灰度值是窗口中所有像素灰度值的极大值或者极小值, 则判断该像素点为椒盐噪声点。该算法存在两个缺点: 1) 容易误将图像中灰度不为 0 或 255 的局部极值像素点误判为椒盐噪声点。文献[6]中提出, 随着椒盐噪声密度的降低, 这种误判变的越来越明显。2) 不适用于处理自身含有灰度为 0 或 255 的像素点较多的图像。因为灰度为 0 或 255 的非噪声点会被其误判为噪声点, 导致噪声密度估计的不准确。

Sawm 算法^[7]对噪声密度进行估计时, 对于图像中的每个 0、255 极值像素点, 以该像素点为中心, 尺寸为 3×3 的滤波窗口中, 计算 4 个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。Sawm 算法由于引入方向特征, 与文献[6]中提出的算法相比具有更好的判别噪声点的能力。但 Sawm 算法也存在缺点, 当图像自身 0、255 极值信号点较多时, 图像极值信号点与噪声点会相互影响, 可能会导致更大的误判率和漏判率^[8]。

Duan 算法^[8]与 Sawm 算法的思路类似, 存在与 Sawm 算法同样的问题。

1.2 频率域类型算法原理及其存在的问题

频率域类型算法的思想是先寻找图像的某个特征量, 该特征量要与图像的椒盐噪声密度具有强相关性。再通过多幅已知椒盐噪声密度的样本图像计算得到(特征量值, 噪声密度值)点集 M , 然后对点集 M 在最小二乘法意义下做非线性拟合, 拟合生成的多项式函数用于新图像的椒盐噪声密度估计。表 1 列出了文献[9-11]算法各自的变换空间和特征量情况。

表 1 各种频率域算法采用的变换空间和特征量

Table 1 Transform space and features used by various frequency-domain methods

算法	变换空间	特征量
文献[9]	小波空间	小波 HH 系数方差
文献[10]	傅里叶空间	幅度谱
文献[11]	小波空间	系数幅值直方图偏离系数

表 1 中 3 种频率域类型算法中特征量值与噪声估计之间所采用的依赖关系容易受图像自身 0、255 极值像素点的影响。为了说明这个问题,实施仿真实验,选取图中 10 幅标准测试图像,图像分辨率为 256×256 像素。由于频率域类型算法对高密度噪声的估计效果不好^[11],因此只计算低噪声级别的特征量值分布情况。对 10 幅图像(见图 1)分别施加 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40% 椒盐噪声,计算文献[9-10]各自的特征量值。为避免随机影响,该过程计算 5 次取平均值,计算结果如

图 2(a)(b)所示。从图 2(a)(b)可以看出,对于同样的椒盐噪声密度,不同图像计算的特征量值会上下移动,尤其是极值信号点多的图像,特征量值偏移的程度更明显。因此说明文献[9-10]的椒盐噪声密度与特征量值之间的依赖关系并不牢靠,椒盐密度估计效果不理想。

文献[11]认为图像变换生成的高频对角子带系数幅值直方图非常近似,随图像变化较小(简称 Li 算法)。于是将高频对角子带系数幅值直方图均分为 6 个区间,区间数代表该区间系数个数占总个数的比例。文献[11]认为这个比例值基本不会随图像而变化,具有强鲁棒性,文献[11]算法的特征量“相关系数”就基于以上假设。为说明其存在的问题,对图 1 中的 10 幅图像分别计算该比例值,结果见图 2(c)。可以看出,不同图像比例值向量有所变化,特别是向量的前 3 个分量(0、1、2),变化的幅度较大。因此,文献[11]提出的特征量与椒盐噪声密度之间的依赖关系也不够稳健。

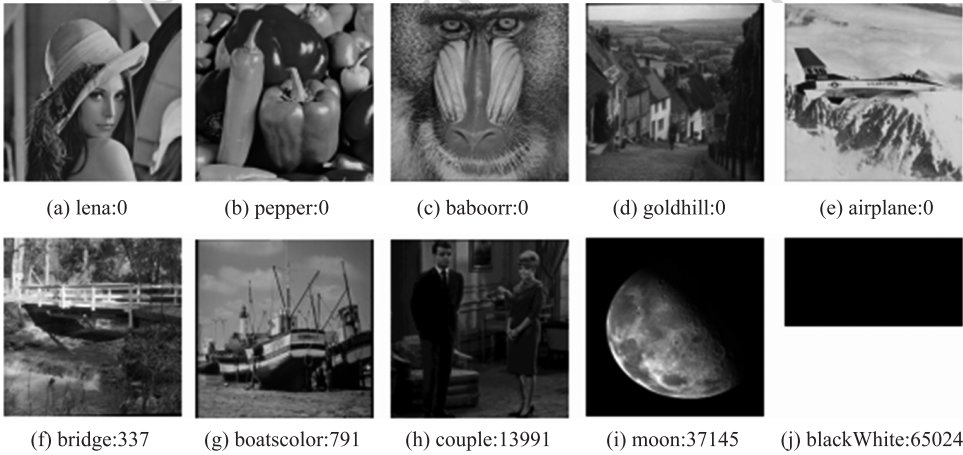


图 1 部分测试图及其所含灰度为 0 或 255 的像素点个数

Fig. 1 Partial testing images and their own pixel numbers with gray levels 0 or 255

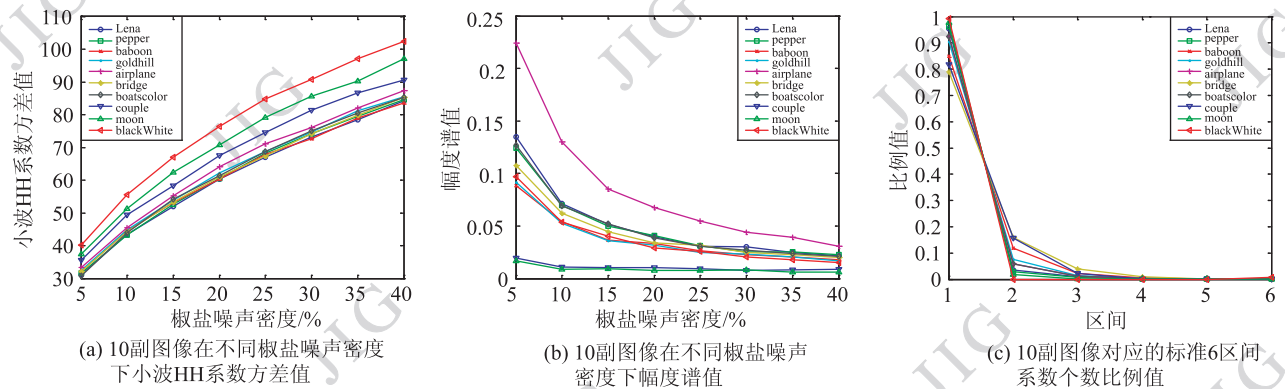


图 2 不同噪声密度下 3 种频率域算法的特征量值分布情况

Fig. 2 Feature value distributions of three frequency domain-based methods under different noise densities

1.3 局部代表全局类型算法原理及其存在的问题

许冠雷算法^[5] (简称 Xu 算法) 的思想是随机选取图像多个的 3×3 子区域, 对这些区域进行中值滤波, 滤波前后像素值差异大于某个阈值的像素个数除以子区域像素个数作为该子区域的椒盐噪声密度估计值。对多个子区域噪声估计值排序、取中间 3 个数, 计算其平均值。

随机选取加上排序取中间 3 个平均值的策略, 可以减少随机椒盐噪声分布不均的干扰, 然而子区域选取的随机性, 会导致该算法的稳定性不理想。同时小窗口中值滤波对于高噪声滤波效果差, 也会使得该算法对于高噪声情况下的密度估计不理想。

2 本文算法

针对上述几类算法存在的缺陷, 提出基于分块策略的椒盐噪声密度估计新算法。与 Xu 算法^[5] 相似, 首先将图像划分为多个大小相同的子区域, 统计每个子区域 0、255 极值像素点的个数, 除以子区域像素个数作为每个子区域的椒盐噪声密度估计值。这些估计值排序后的中值有可能受图像自身 0、255 极值像素点的影响而变得比图像实际椒盐噪声密度值大很多。于是在选取值序列中值之前, 先利用值序列差分的函数特性, 尽可能从序列中去除掉受影响的子区域估计值, 再对剩余序列取中值作为整幅图像的椒盐噪声密度估计值。算法具体步骤如下:

1) 将整幅图像横竖 k 等分, 分割成 $k \times k$ 个子块, 每个子块像素点个数设为 r 。分别统计每个子块中灰度为 0 的像素点个数, 并对其按升序排列, 构成序列 $(n_1, n_2, \dots, n_{k^2}), n_{i-1} \leq n_i \leq n_{i+1}$ 。

2) 设 n_{med} 为序列值 $(n_1, n_2, \dots, n_{k^2})$ 的中值, 阈值为 T , 令 $w = n_1 + n_{k^2} - 2n_{\text{med}}$, 如果 $w < T$, 计算 $p_0 = \frac{n_{\text{med}}}{r}$ 作为整幅图像的椒盐噪声密度估计值, 跳转到步骤 8)。反之, 则继续步骤 3)。

3) 计算 $(n_1, n_2, \dots, n_{k^2})$ 的差分值序列 $(c_1, c_2, \dots, c_{k^2-1})$, 其中 $c_i = n_{i+1} - n_i, (i = 1, 2, \dots, k^2 - 1)$ 。

4) 令 $\text{aver} = \left\lfloor \frac{1}{m} \sum_{c_i \neq 0} c_i \right\rfloor$, m 为非零差分值个数, 计算序列 $(d_1, d_2, \dots, d_{k^2-1})$, 其中 $d_i = \begin{cases} c_i - \text{aver} & c_i > \text{aver} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}, (i = 1, 2, \dots, k^2 - 1)$ 。

5) 寻找最小的下标 q , 满足子序列 $(d_q, d_{q+1}, \dots, d_{k^2-1})$ 中每个值都为 0, 如果没有找到, 则 $q = k^2 - 1$ 。

6) 在序列 $(d_1, d_2, \dots, d_q)$ 中寻找最长零值子序列 $(d_r, d_{r+1}, \dots, d_s), 1 \leq r < s \leq q$, 该序列中每个值都为 0。

7) 根据前面步骤确定的下标 r, s , 选取子序列 $(n_r, n_{r+1}, \dots, n_{s+1})$, 计算 $p_0 = \frac{1}{r} n_{\lfloor \frac{r+s+1}{2} \rfloor}$ 作为整幅图像的椒盐噪声密度估计值。

8) 同样处理步骤计算盐噪声密度估计值 p_{255} , 最后计算 $p = p_0 + p_{255}$ 作为整幅图像的椒盐噪声密度估计值。

椒盐噪声密度估计与盐噪声密度估计算法流程相同。仅以椒盐噪声密度估计为例, 如果图像自身不含 0 极值像素点, 选取 n_{med} 可以排除掉椒盐噪声随机分布的干扰, 步骤 2) 中 p_0 的计算结果可以较精确估计椒盐噪声密度值。然而当图像自身 0 极值像素点较多时, 图像自身 0 极值像素点会抬升子块 0 极值点个数分布曲线, 严重情况下会抬升 n_{med} 的值, 导致噪声密度估计误差变大, w 用来反映 n_{med} 值受图像自身 0 极值点影响的程度, w 值越小, 说明 n_{med} 受图像自身极值点影响越小。当 n_{med} 受图像自身 0 极值点影响明显时 ($w \geq T$, 通过对大量图片进行仿真实验, 本文算法设置 T 为 10), 一种直观的处理策略是从子块序列中尽量去除掉包含较多图像自身 0 极值点的子块, 再从剩余的子块序列中求取中值。

为实现这种策略, 首先分析图像椒盐噪声分块后的分布特点。通常情况下, 椒盐噪声随机撒在图像上, 如果图像自身不含 0 极值像素点, $k \times k$ 个子块的 0 极值点个数统计结果将呈现近似正态分布特性。例如, 在 Lena 图像上施加 50% 椒盐噪声, 13×13 分块后子块 0 极值点数分布如图 3(a) 所示。统计这些点数的频率, 从图 3(b) 可以看出数据近似符合正态分布。对这些点做差分运算得到的图像将呈现一个近似两边突起, 中间凹下的波谷形状, 如图 3(c) 所示。步骤 4) 中的公式是为将波谷特性表达出来, 如图 3(d) 所示。在此基础上提取波谷区域对应的子块子序列, 在此子序列上进行中值计算得到的结果将与图像所有子块序列的中值非常接近。

如果图像自身具有 0 极值像素点, 首先分析图像自身 0 极值像素点的分块分布特性。以图 4 中 Moon 图像为例, 将该图像横竖分割 $k \times k$ 个子块后, 统计所有子块自身 0 极值像素点个数, 画出其分布

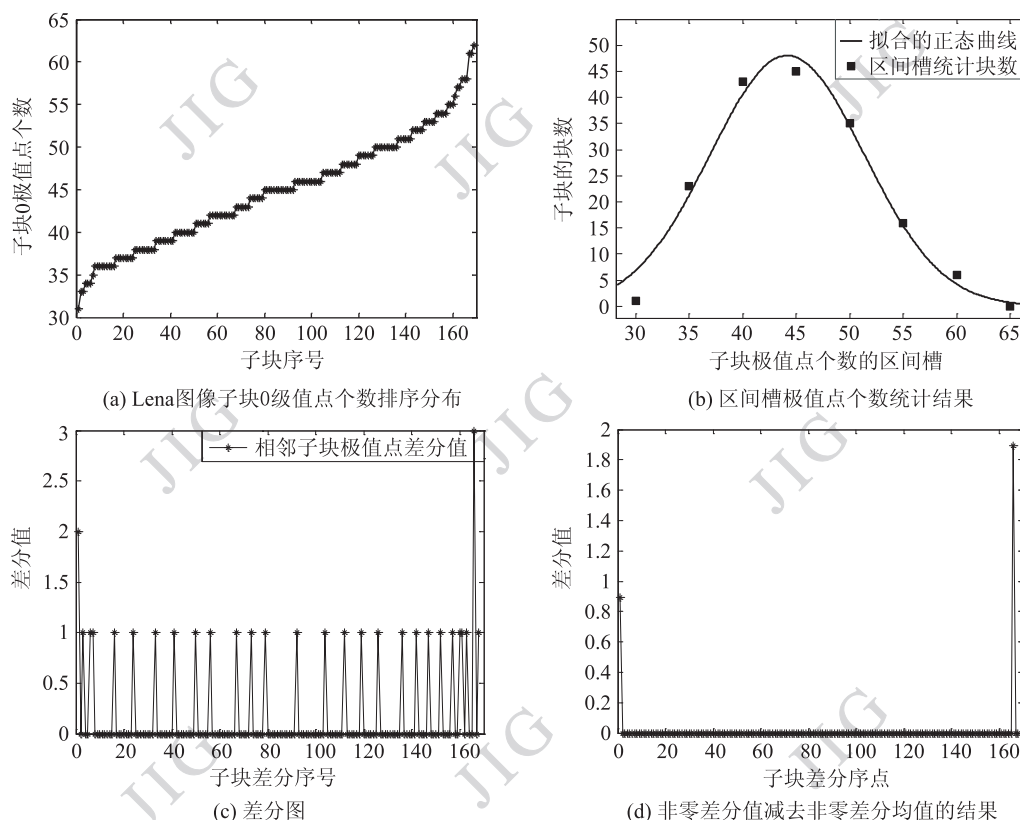


图3 50%椒盐噪声下Lena图像分块极值点分布

Fig. 3 Extreme-pixel distribution of sub-blocks in Lena with 50% salt and pepper noise

图,如图4(a)所示。其中子块序列分为3个子序列,分别称之为 S_1 、 S_2 、 S_3 。 S_1 序列中的子块自身不含0极值像素点, S_2 序列中的子块部分包含0极值像素点, S_3 子序列中的子块全部是0极值像素点。 S_3 序列中的子块自身都是0极值像素点,对椒噪声估计没有贡献价值。步骤5)将 S_3 子序列从候选序列中剔除掉,图4(b)中突起区域的右侧都对应着 S_3 子序列,这部分区域的差分值都为0。 S_2 子序列中的子块部分包含0极值像素点,会影响椒噪声估计的准确度, S_2 子序列也应该尽可能从候选序列中剔除掉。然而不同图像自身0极值点分布各不相同,导致 S_2 子序列分布形状变化很大,因此将 S_2 子序列完全剔除是困难的。然而我们发现对于具体图像的某一次分块而言, S_1 子序列中的子块个数不一定大于 S_2 子序列中的子块个数,随着 k 值增大,划分的子块面积变小,原来属于 S_2 的部分图像区域被划分到了 S_1 或 S_3 , S_1 相对于 S_2 的比率有增大的趋势。所以 k 值越大,步骤6)7)中求得的子序列越能够准确代表 S_1 。图4(c)~(e)展示在 k 设置为13时图像分块后选取候选子块子序列的过程。

但是随着 k 值增大,子块面积变小,噪声密度估计的精度变差。为了均衡两者的矛盾,可以预先对样本图像在不同 k 值、不同噪声密度下算法仿真,选取椒噪声真实值与估计值均方差之和最小的 k 值。本文选取包含图1中10副图像在内的80幅图像,计算结果发现,当 k 值取13时,均方差之和最小。

3 仿真实验

对分辨率为 256×256 的图像进行一系列的仿真实验,运用Matlab7.0编程,实验运行在2.13 GHz英特尔酷睿双核CPU,2 GB内存的HP笔记本上。由于频率域算法只在低密度噪声时有效,为了比较的公平性,本文算法与频率域算法只在低噪声级别进行比较。为了比较图像自身极值点对各种算法的影响,测试图像分为两组,第1组在自身不含0、255极值像素点的图像中随机选取30幅图像(包含图1(a)~(e)),第2组在混合有自身包含0、255极值像素点的图像中随机选取30幅图像(包含图1(f)~(j))。两组图像独立进行测试,并且频率

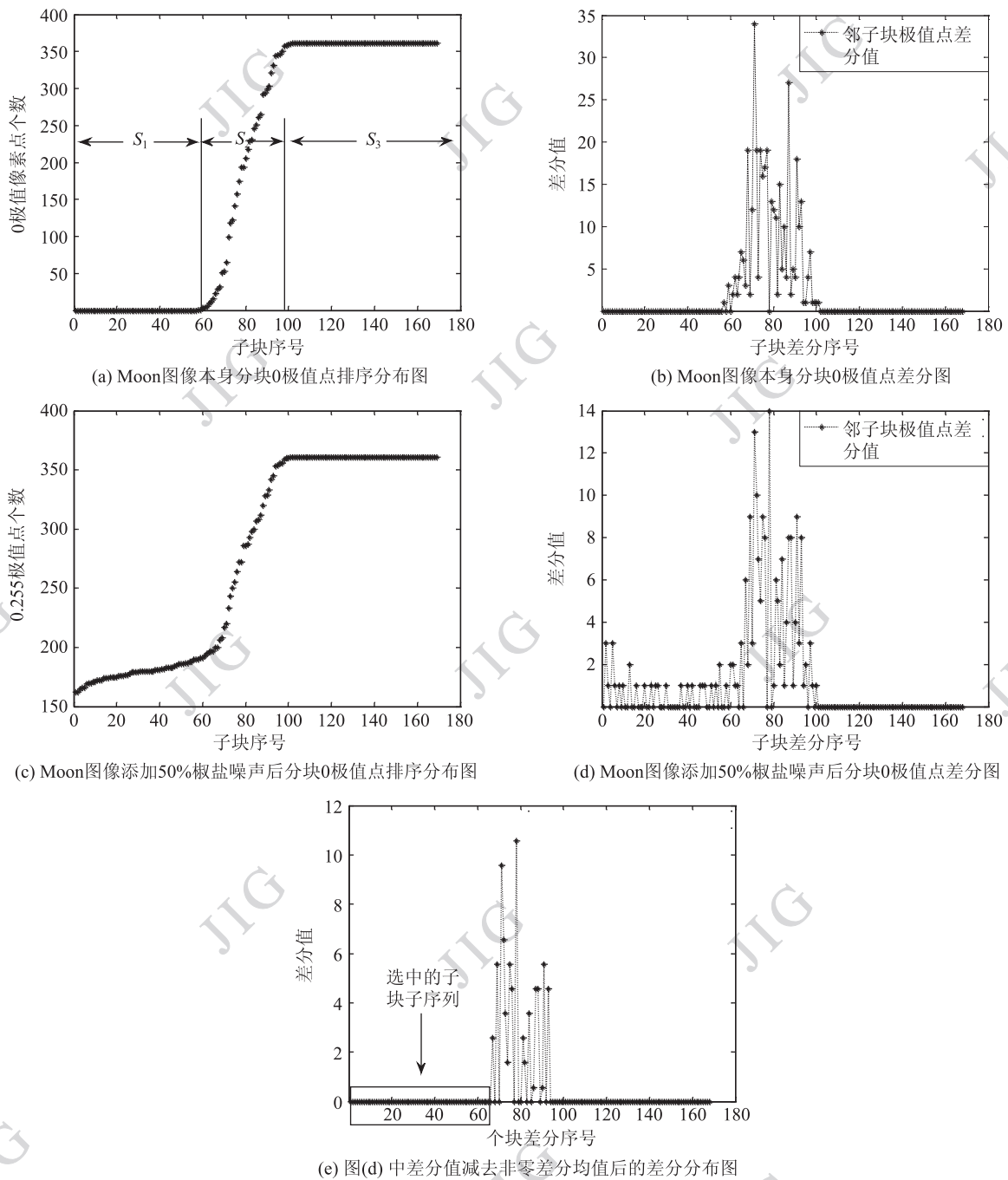


图4 Moon 图像分块极值点分布情况分析

Fig. 4 Analysis on extreme-pixel distribution of sub-blocks in Moon

域类型算法的先验参数训练图像样本与测试图像相同。分别对每幅图像施加 5%、10%、15%、20%、25%、30%、35%、40% 浓度的椒盐噪声,为节省篇幅,只列出频率域系列算法中效果最好的 Li 算法^[11]的计算结果作为比较,比较结果如表 2 所示。其中 d 代表实际噪声密度, $m(\hat{d})$ 代表图像估计值的均值, $s(\hat{d})$ 代表估计值相对于均值的标准差。

表 2 中图像自身极值点对 Li 算法的影响比本

文算法大。本文算法的噪声密度估计值的均值好于 Li 算法,特别地,本文算法的标准差小于 Li 算法,接近一个数量级,说明本文算法更加稳定。

接下来比较异常值侦测算法、局部代表全局算法与本文算法的性能差别。对上述两组图像中每幅图像施加 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% 浓度的椒盐噪声。为节省篇幅,异常值侦测算法只列出性能最好的 Duan 算法^[8],比较结果如表 3 所示。

表 2 本文算法与 Li 算法的噪声密度估计结果比较

Table 2 Comparison of noise density estimation results between ours and Li method

			5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
第 1 组图像	本文算法	$m(\hat{d})$	4.976 9	9.981 5	15.005	19.950	24.931	29.991	34.995	39.691
		$s(\hat{d})$	0.000 9	0.001 7	0.001 8	0.002 6	0.003 1	0.002 6	0.002 7	0.011 7
	Li 算法	$m(\hat{d})$	5.313 0	9.823 3	14.733	20.168	25.411	30.786	34.055	39.555
		$s(\hat{d})$	0.003 9	0.015 3	0.016 8	0.024 8	0.024 8	0.027 2	0.035 0	0.036 9
第 2 组图像	本文算法	$m(\hat{d})$	5.069 3	10.074	15.069	20.097	25.148	30.166	35.037	39.977
		$s(\hat{d})$	0.002 5	0.002 5	0.003 2	0.003 2	0.003 6	0.004 1	0.003 2	0.003 8
	Li 算法	$m(\hat{d})$	5.514 2	9.154 7	14.736	19.329	25.667	30.825	34.534	40.601
		$s(\hat{d})$	0.003 3	0.015 1	0.017 0	0.030 0	0.028 2	0.037 9	0.027 1	0.033 2

表 3 本文算法与 Duan 算法、Xu 算法的噪声密度估计结果比较

Table 3 Comparison of noise density estimation results between ours, Duan method and Xu method

			10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
第 1 组图像	本文算法	$m(\hat{d})$	9.953 8	20.01 8	30.02 8	40.037	50.055	59.935	70.092	80.055	90.055
		$s(\hat{d})$	0.001 2	0.002 2	0.002 1	0.002 1	0.002 3	0.002 1	0.003 0	0.002 2	0.002 0
	Duan 算法	$m(\hat{d})$	10.046	20.027	30.076	40.068	50.030	60.002	70.040	80.036	89.984
		$s(\hat{d})$	0.002 0	0.001 9	0.002 2	0.002 0	0.001 6	0.001 8	0.002 2	0.001 4	0.001 0
	Xu 算法	$m(\hat{d})$	9.300 4	18.971	29.383	38.560	47.942	55.432	62.551	61.481	53.992
		$s(\hat{d})$	0.032 1	0.032 0	0.036 3	0.032 7	0.041 1	0.038 8	0.034 4	0.044 9	0.050 3
第 2 组图像	本文算法	$m(\hat{d})$	10.046	20.028	30.134	39.963	49.898	60.028	69.820	80.023	90.028
		$s(\hat{d})$	0.002 9	0.003 4	0.003 7	0.003 8	0.009 1	0.004 1	0.012 5	0.002 7	0.002 2
	Duan 算法	$m(\hat{d})$	12.127	22.305	32.121	41.807	51.456	61.180	70.908	80.616	90.274
		$s(\hat{d})$	0.069 9	0.079 8	0.073 8	0.063 9	0.054 1	0.043 4	0.032 6	0.022 0	0.011 0
	Xu 算法	$m(\hat{d})$	8.271 6	18.848	28.848	37.737	46.173	53.951	58.230	60.370	53.539
		$s(\hat{d})$	0.032 1	0.035 2	0.046 9	0.044 3	0.041 6	0.050 3	0.053 4	0.053 7	0.046 4

从表 3 中可以看出,当测试图像自身不包含 0、255 极值像素点时,本文算法与 Duan 算法效果相当。当图像自身包含 0、255 极值像素点时,本文算法的估计值均值好于 Duan 算法。特别地,本文算法的估计标准差对于第 1 组图像和第 2 组图像基本保持在同一个数量级,而 Duan 算法对于第 2 组图像的估计标准差比第 1 组图像的估计标准差大了将近一个数量级,说明 Duan 算法容易受自身 0、255 极值像素点影响。

图 5(a)列出了在所有测试图像中,本文算法噪声密度估计与实际密度值差别最大的某地区遥感航拍图像。图 5(b)展示了该图像自身极值像素点分布情况,其中白点代表极值点,黑点代表非极值点。

可以看出该图像自身的极值点分布类似随机椒盐噪声分布。因此,在低噪声时,该图像自身的极值点对本文算法的估计影响明显。在高噪声时,由于其占所有极值点的比重降低,对本文算法的影响反而变小。图 5(c)展示了本文算法对该图像在不同噪声密度下的估计值情况。

如引言所述,噪声密度的准确估计对椒盐去噪算法中诸如滤波窗口大小等参数的选择具有指导意义。为了检验噪声密度估计对于椒盐去噪恢复的意义,以 Sawm 算法为例,利用噪声密度估计结果对其进行了改进。Sawm 算法容易将图像自身的 0、255 极值像素点误判为噪声点,导致 Sawm 算法对于自身包含 0、255 极值像素点多的图像去噪效果不理

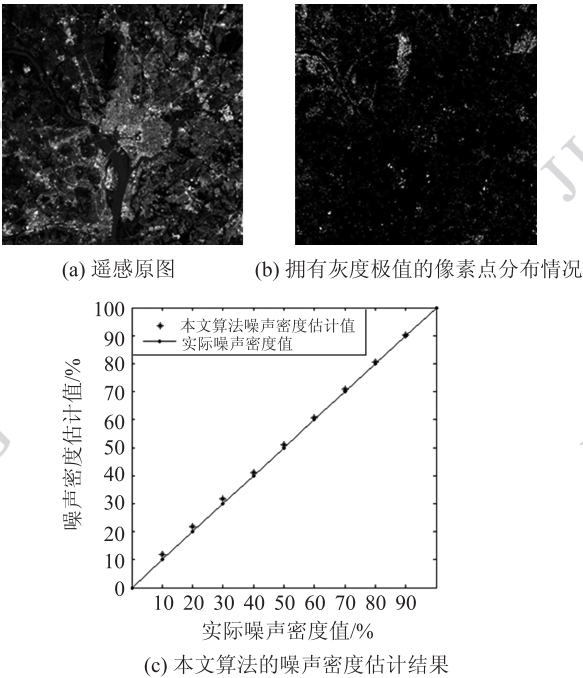


图 5 遥感图像的极值点分布与噪声密度估计结果
Fig. 5 Distribution of remote sensing image's extreme-pixels and its noise density estimation results

想。原有的 Sawm 算法设置滤波窗口大小初值 $L_r = 3$, 然后自适应地扩展滤波窗口大小 $L_r = L_r + 2$, 直至当前滤波窗口中非噪声点的个数大于等于 2。当确定好滤波窗口大小后, 取出滤波窗口内容, 去掉其中的噪声点, 将剩余非噪声点的加权灰度均值作为中

心噪声点的滤波输出。改进后的 Sawm 算法(简记为 Sawm_2)的噪声恢复策略如下: 当滤波窗口长度 L_r 增大到阈值 L_{upper} , 滤波窗口中信号点的个数仍小于 2 时, Sawm_2 算法不再继续扩展滤波窗口, 而认为当前正在处理的噪声点是属于图像本身极值区域误判的极值信号点。于是将该点灰度值设置为当前滤波窗口中所有 0、255 极值点的中值。阈值 L_{upper} 与图像本身 0、255 极值区域特点以及图像全局噪声密度相关, Sawm_2 算法计算阈值 L_{upper} 为

$$L_{upper} = \begin{cases} 5 & 0 < p \leq 0.2 \\ 7 & 0.2 < p \leq 0.4 \\ 9 & 0.4 < p \leq 0.6 \\ 11 & 0.6 < p \leq 0.8 \\ 13 & 0.8 < p \leq 1 \end{cases}$$

式中, p 为本文椒盐密度估计算法估计值。

表 4 列出 Sawm 算法和 Sawm_2 算法对图 1 中 10 幅图像不同椒盐噪声密度的去噪结果 (PSNR 值^[7]代表去噪效果的好坏, 其值越大代表去噪效果越好), 为节省篇幅, 只列出噪声密度为 20%、50%、80% 的情况。从表 4 中可以看出, Sawm_2 算法对于自身没有包含 0、255 极值信号点的图像, 去噪效果等同 Sawm 算法。对于自身包含 0、255 极值信号点的图像, Sawm_2 算法去噪效果好于 Sawm 算法, 并且图像自身 0、255 极值信号点越多, Sawm_2 算法去噪的优势越明显。

表 4 3 种椒盐噪声密度下 Sawm 算法和 Sawm_2 算法对去噪结果 (PSNR) 比较
Table 4 Restoration results in PSNR of Sawm method and Sawm_2 method for ten images in Fig. 1 under three noise ratios

							/dB
图 1	Sawm 算法			Sawm_2 算法			
	20%	50%	80%	20%	50%	80%	
(a)	36.991 0	30.943 5	26.190 0	36.991 0	30.943 5	26.190 0	
(b)	37.598 0	31.069 5	25.917 1	37.598 0	31.069 5	25.917 1	
(c)	30.818 0	26.165 9	22.710 4	30.818 0	26.165 9	22.710 4	
(d)	36.288 7	30.988 2	26.237 7	36.288 7	30.988 2	26.237 7	
(e)	34.325 2	28.841 4	23.915 7	34.325 2	28.841 4	23.915 7	
(f)	31.540 4	26.656 3	22.676 4	31.596 0	26.656 3	22.676 4	
(g)	31.084 5	26.398 0	22.282 1	31.084 5	26.398 0	22.282 1	
(h)	26.015 9	24.550 9	21.299 4	27.446 6	25.929 7	23.681 1	
(i)	29.470 5	20.820 5	12.788 8	32.365 5	26.698 8	21.411 8	
(j)	27.989 0	18.525 4	9.977 2	28.539 1	23.621 7	19.646 6	

4 结 论

深入分析了当前几类椒盐噪声密度估计算法的原理,指出当前椒盐噪声估计算法的精度与稳定性容易受到图像自身极值点的影响。为此,提出了一种基于分块策略的椒盐噪声密度估计算法。新算法不仅估计精度高,而且对自身包含极值点多的图像也有很好的估计效果。仿真实验表明,对于各种噪声级别、不同类别图像的噪声密度估计结果,本文算法都优于其他算法。下一步将研究如何借助精确的噪声密度估计结果,融合多种不同椒盐去噪算法流程产生新算法,以此达到提升去噪效果的目的。

参考文献 (References)

- [1] 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]
- [2] Chan R H, Ho C W, Nikolova M. Salt-and-pepper noise removal by median-type noise detectors and detail-preserving regularization[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(10): 1479-1485.
- [3] Wang Z, Zhang D. Progressive switching median filter for the removal of impulse noise from highly corrupted images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, 1999, 46(1): 78-80.
- [4] Kong Y Q, Pan Z G. Salt and pepper noise filtering algorithm based on local border gray-scale differences[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(3): 249-256. [孔勇奇, 潘志庚. 沿边局部灰度差分椒盐噪声滤波[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(3): 249-256.] [DOI: 10.11834/jig.20130301]
- [5] Xu G L, Wang X T, Xu X G, et al. Adaptive removal of salt-pepper noises through fast noise ratio estimation[J]. Opto-Electronic Engineering, 2005, 32(12): 34-38. [徐冠雷, 王孝通, 徐晓刚, 等. 噪声概率快速估计的自适应椒盐噪声消除算法[J]. 光电工程, 2005, 32(12): 34-38.]
- [6] Wang L C, Wang J, Tang J M, et al. A median filter based on noise intensity estimation[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2008, 27(6): 112-114. [王履程, 王静, 谭筠梅, 等. 基于噪声强度估计的中值滤波[J]. 兰州交通大学学报, 2008, 27(6): 112-114.]
- [7] 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.
- [8] Duan F, Zhang Y J. A highly effective impulse noise detection algorithm for switching median filters[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2010, 17(7): 647-650.
- [9] Zhang Q, Liang D Q, Fan X, et al. Identifying of noise types and estimating of noise level for a noisy image in the wavelet domain[J]. J. Infrared Millim. Waves, 2004, 23(4): 281-285. [张旗, 梁德群, 樊鑫, 等. 基于小波域的图像噪声类型识别与估计[J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23(4): 281-285.]
- [10] Cao Z H, Li Y J, Zhang K. Estimation of salt & pepper noise on the magnitude spectrum[J]. Infrared Technology, 2006, 28(9): 549-551. [曹占辉, 李言俊, 张科. 基于幅度谱的椒盐噪声估计[J]. 红外技术, 2006, 28(9): 549-551.]
- [11] Li T Y, Wang M H, Lin T, et al. Estimation of salt-pepper noise in images in wavelet domain[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2012, 38(2): 239-243. [李天翼, 王明辉, 林涛, 等. 基于小波域的图像椒盐噪声密度估计[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(2): 239-243.]