

基于斯皮尔曼等级相关性的彩色图像椒盐噪点检测算法

贾晓芬, 郭永存, 黄友锐, 赵佰亭

(安徽理工大学智能矿山技术与装备工程重点实验室, 安徽淮南 232001)

摘要: 为了避免在图像去噪时对非噪声点产生运算, 更好地保护图像边缘细节, 针对彩色图像设计了一种椒盐噪点检测方法. 首先, 将图像中的每个像素点作为待检测点, 对待检测点及其左侧相邻像素点利用彩色图像的空间和色彩相关性构造两个6维向量; 然后, 算出两向量的斯皮尔曼等级相关系数, 通过设置阈值 T_1 筛选图像中的极值点, 初选出所有可能的噪点和边缘点; 最后, 计算初选点与其周围8个像素点之间的斯皮尔曼等级相关系数, 通过设置阈值 T_2 将初选点确定为噪点或边缘点. 仿真实验表明, 利用粒子群优化算法对两个阈值参数寻优后的参考取值范围为 $0.28 < T_2 < 0.41 < 0.70 < T_1 < 0.80$; 用寻优的阈值, 对椒盐噪声浓度介于 $0.01 \sim 0.1$ 和 $0.2 \sim 0.8$ 的含噪图像的噪点检测率分别不低于 91.51% 和 88.01% , 对加入人为噪点的含噪图像的噪点检测率不低于 88.71% . 该检测精度能够保证去噪后的彩色图像的 CPSNR 值超过 57dB .

关键词: 噪点检测; 斯皮尔曼等级相关; 图像去噪; 彩色图像; 相关性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-2778.2019.01.009

引用格式: 贾晓芬, 郭永存, 黄友锐, 等. 基于斯皮尔曼等级相关性的彩色图像椒盐噪点检测算法[J]. 中国科学技术大学学报, 2019, 49(1): 63-70.

JIA Xiaofen, GUO Yongcun, HUANG Yourui, et al. Salt&pepper noise detection algorithm for color images based on Spearman rank correlation[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2019, 49(1): 63-70.

Salt & pepper noise detection algorithm for color images based on Spearman rank correlation

JIA Xiaofen, GUO Yongcun, HUANG Yourui, ZHAO Baiting

(Provincial Key Laboratory of Intelligent Mine Technology and Equipment Engineering,
Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: To avoid the operation on non-noise pixels, and preserve the original feature information of the image, which can protect the edge details and obtain high quality color images, a noise detection method based on Spearman rank correlation coefficient is designed for color images. Firstly, each pixel of the color image is taken as the point to be detected, and two six-dimensional vectors are constructed using the spatial and color correlation of the color image between the detection point and the adjacent pixel on the left side. Secondly, the Spearman rank correlation coefficient of the two vectors is calculated, and the extreme points of the image are selected by setting the threshold T_1 , which is used to make comparisons with the

收稿日期: 2019-00-00; 修回日期: 2019-00-00

基金项目: 国家自然科学基金(61501006), 安徽高校自然科学研究重大项目(KJ2018ZD008), 国家重点研发计划专项(2016YFC0600908), 国家博士后基金(2016M592035), 安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2017A076)资助.

作者简介: 贾晓芬, 女, 1978年生, 博士生/副教授. 研究方向: 信息处理. E-mail: jxfzbt2008@163.com

通讯作者: 郭永存, 博士/教授. E-mail: ycguo2018@163.com

Spearman rank correlation coefficients. Then, the comparative results are used to determine all the possible noise and edge points, called the extreme points. The primary point is determined as the extreme point if the Spearman rank correlation coefficient is smaller than the threshold T_1 . Finally, eight Spearman correlation coefficients between the extreme point and its surrounding eight pixels are calculated, and the threshold value T_2 is set, then, comparisons are made between the eight Spearman rank correlation coefficients and T_2 to determine whether the extreme point is noise point or edge point. The simulation results show that the reference values of the two parameters optimized by particle swarm optimization algorithm are $0.28 < T_2 < 0.41 < 0.70 < T_1 < 0.80$. By using the threshold value of optimization, the detection rate of pepper and salt noise-containing images with a noise concentration between $0.01 \sim 0.1$ and $0.2 \sim 0.8$ is not less than 91.51% and 88.01% , respectively. Under the same conditions, if artificial noise is added to the standard color images, the noise detection accuracy of the noisy image is not lower than 88.71% . The detection accuracy can ensure that the CPSNR value of the denoised color image is more than 57dB.

Key words: noise detection; spearman rank correlation; image denoising; color image; correlation

0 引言

图像在采集或传输过程中,受图像传感器的工作环境或传感器本身结构的影响,会引入各种噪声.图像去噪是人类正确识别图像信息的必要保证,能为图像的后续处理提供更多有用的、准确的信息.图像噪声会引起伪边缘,降低去马赛克^[1-2]、图像增强^[3]、图像复原^[4-5]、超分辨率重建^[6-7]、图像分类^[8]等图像处理环节的效果.

近年来,随着各种理论研究的深入,越来越多的新思想和新工具相继出现并应用到了图像去噪领域^[9-10].张闯等^[9]提出一种边缘检测与双边滤波相结合的彩色图像去噪方法,在有效去除噪声的同时能够保护和增强图像中的边缘信息.文献^[10]通过带宽自适应建模调整非局部相似性实现图像去噪,它通过在变换域利用带宽分布模型调整每个图像块来整体提高图像质量.总结各种应用,彩色图像的去噪可分两大类^[11]:一是基于标量的方法,即对 3 个通道分别滤波,此类方法忽略了各通道间的色彩相关性;二是基于矢量的方法,该类方法把每个像素作为一个 3 维向量,充分利用了图像的色彩相关性,但对信号细节的保护能力较差,会模糊图像边缘.

椒盐噪点对数字图像的视觉效果影响极大,在灰度图像中体现为黑白相间的亮暗点,在彩色图像中则表现为各种孤立的彩色点,严重影响图像质量.椒盐噪点和边缘点均属于图像中的极值点,若误将边缘点作为噪点进行去噪,就会损坏图像的重要细节信息.基于矢量的去噪方法出现边缘模糊,就是因

为在去噪的同时没有考虑边缘点和噪点的共性,因此确定图像中的极值点,并将其准确区分为噪点和边缘点,是保存图像细节信息、实现有效去噪的关键.鉴于此,文献^[12]利用分数阶微分梯度卷积含有噪声的灰度图像,根据选定方向上梯度的跳变情况检测噪声点.林亚明等^[13]先将灰度值为 0、255 的点预定为噪声点,然后通过调整大小的滤波窗口与设定阈值的比较结果确定其是否为噪声点.孙劲光等^[14]先将像素点分为疑似噪声点和真实像素点,然后从疑似噪声点中将噪声点区分出来并判断类型,进而滤除噪声.王刚等^[15]利用分数阶微分梯度图像与含有随机噪声的图像卷积,获取不同方向的梯度检测图,然后与运算多个方向的梯度检测图确定噪声点的位置.

上述检测噪声点的方法均取得了较好的效果,但都是针对灰度图像,现有文献鲜有针对彩色图像的噪点检测方法.如果直接将灰度图像的检测方法用于彩色图像,必然要对彩色图像的 3 个通道分别处理,这样就无法充分利用各通道间的色彩相关性.本文针对彩色图像,设计了一种检测椒盐噪点的方法,它能够确保后续的精确去噪,保护图像的边缘信息,避免边缘模糊、伪彩色的出现.

1 斯皮尔曼等级相关在彩色图像中的应用

1.1 斯皮尔曼等级相关系数

统计学中,斯皮尔曼等级相关(Spearman rank correlation)用来估计两个变量之间的相关性.它要

求两个变量的观测值是成对的等级评定资料,或由连续变量观测资料转化得到的等级资料,无需考虑两个变量的总体分布形态和样本容量的大小.假设两个变量分别为 X 、 Y ,其元素个数均为 n ,两个变量取的第 i ($1 \leq i \leq n$) 个值分别表示为 X_i 、 Y_i .对 X 、 Y 同时进行升或降排序,分别得到两个对元素进行排行后的新集合 x 、 y ,其中元素 x_i 为 X_i 在 X 中的排行、 y_i 为 Y_i 在 Y 中的排行.将集合 x 、 y 中的元素对应相减得到一个排行差分集合 d ,其中 $d_i = x_i - y_i$, $1 \leq i \leq n$.则随机变量 X 、 Y 之间的斯皮尔曼等级相关系数定义为

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_i d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (1)$$

1.2 在彩色图像中的应用

斯皮尔曼等级相关性已被成功应用到图像处理,文献[16]利用斯皮尔曼等级相关查找数字图像变形前后最相关的对应点,但它在图像噪点检测、图像边缘检测方面的应用较为鲜见,本文拟用其实现对彩色图像的椒盐噪点(后文简记为噪点)与边缘点的检测.

图像具有很强的相关性,尤其是彩色图像,除了像素之间具有相关性外,红、绿、蓝两两通道之间也具有相关性.对于一幅彩色图像,可以利用一个变量(3 维向量)表示图像中的任意一个像素点,如果变量的元素由该像素点的红、绿、蓝 3 原色的像素值,或是由能代表该像素点信息的成分构成,那么两相邻像素对应的变量之间的斯皮尔曼等级相关系数的大小就能反映出此相邻像素之间的相关性,因此可利用斯皮尔曼等级相关系数判断图像中两两像素之间的相关性,进而确定图像中所含的噪点及边缘点.

图像像素之间的相关性,即空间相关性体现在其邻域内的各像素间的像素值相差不大.如果某一个像素的像素值比邻域内其他像素的像素值均大或者小很多,则它是噪点的可能性就比较大.噪点一定是邻域内的极值点(最大值或者最小值点),但是极值点不一定是噪点,也可能是边缘点.

根据上述分析,无论是噪点还是边缘点,一定是图像邻域内的极值点.既然是极值点,它与邻域内相邻像素之间具有较小的相关性,且具有较小的斯皮尔曼等级相关系数.换言之,若某一像素点与相邻像素之间的斯皮尔曼等级相关系数越小,它是极值点的可能性就越大.

针对一幅彩色图像,要利用斯皮尔曼等级相关系数准确检测噪点、确定边缘,就必须充分利用图像的相关性.为了有效利用像素之间的空间相关性,利用相邻像素的像素值来构造两个变量 X 和 Y ,则两变量之间的斯皮尔曼等级相关系数的大小恰好能反映出两像素之间的相关性的大小.利用两两通道间的色彩相关性需要在构造变量 X 和 Y 时考虑,此处可以引入色差恒定理论^[17]:邻域内,两通道对应点的像素值的差值相差不大,构造变量 X 和 Y 时,可将对应点的像素差值作为其元素.假设 I 是一幅大小为 $M \times N \times 3$ 的彩色图像,对 (i, j) 和 $(i, j+1)$ 处的两相邻像素点分别构造向量 X 和 Y 如下:

$$\left. \begin{aligned} X &= [I(i, j, 1), I(i, j, 2), I(i, j, 3), \\ &\quad I(i, j, 2) - I(i, j, 1), \\ &\quad I(i, j, 2) - I(i, j, 3), I(i, j, 3) - I(i, j, 1)] \\ Y &= [I(i, j + 1, 1), I(i, j + 1, 2), \\ &\quad I(i, j + 1, 3), I(i, j + 1, 2) - \\ &\quad I(i, j + 1, 1), I(i, j + 1, 2) - \\ &\quad I(i, j + 1, 3), I(i, j + 1, 3) - I(i, j + 1, 1)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

向量 X 和 Y 中均含 6 个元素,分别是该点的红、绿、蓝 3 原色和绿与红的差值、绿与蓝的差值、蓝与红的差值.此时,公式(1)中的 n 取值为 6,即可利用公式(1)计算出图像 I 中两两相邻像素点之间的斯皮尔曼等级相关系数.

2 噪点与边缘的检测方法

根据上述理论分析,将噪点、边缘点选择的依据最终归结到斯皮尔曼等级相关系数上,其值越大说明两相邻像素的相关性越大,否则相关性越小,两相邻像素中含噪点或边缘点的可能性就越大.为了准确、快速的确定噪点、边缘点,将检测方法分成初筛、判定两步,检测流程如图 1 所示,下面分别给出两步对应的推理.

2.1 初选推理

针对一幅大小为 $M \times N \times 3$ 的彩色图像 I ,设 $I(i, j)$ 是待检测的像素点,其中 $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N$,利用公式(2)构造出向量 X 和 Y .

For $i = 1:M$

For $j = 1:N - 1$

计算 ρ_{ij}

如果 $|\rho_{ij}| \leq T_1$,则 $I(i, j)$ 是极值点,定为初选点,它可能是噪点也可能是边缘点,记为 $I(x, y)$;如

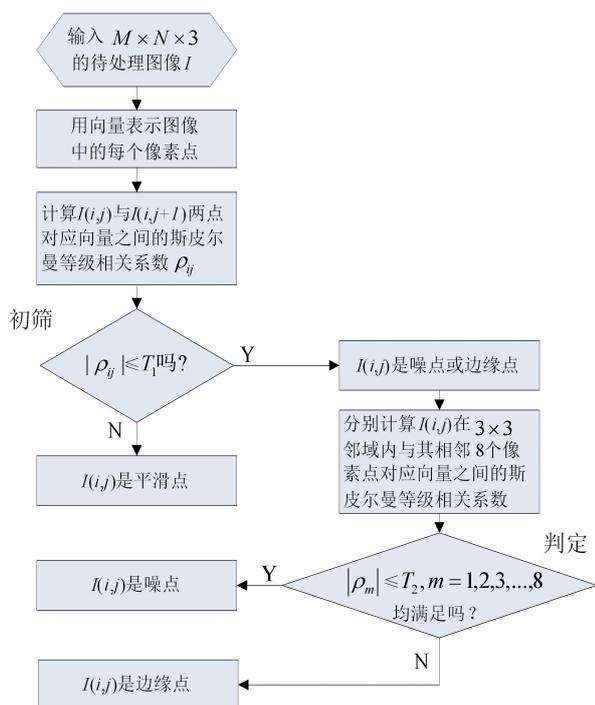


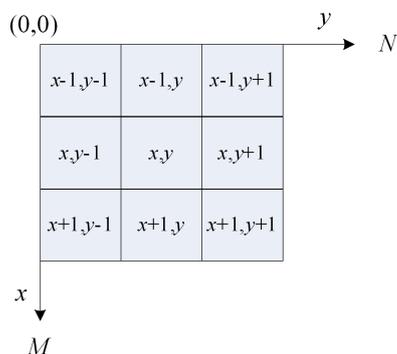
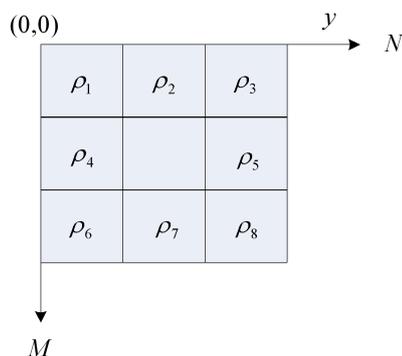
图 1 检测流程图

Fig. 1 Detection flowchart

果 $|\rho_{ij}| > T_1$, 则 $I(i, j)$ 是平滑点. 其中 T_1 为第一设定阈值, T_1 的取值在 0 到 1 之间, 0 说明没有任何相关项, 1 说明具有强相关性.

2.2 判定推理

以初选 $I(x, y)$ 为中心点, 在图 2 所示的 3×3 窗口内, $I(x, y)$ 的四周相邻区 8 个像素点分别为 $I(x-1, y-1), I(x-1, y), I(x-1, y+1), I(x, y-1), I(x, y+1), I(x+1, y-1), I(x+1, y), I(x+1, y+1)$, 其中 $2 \leq x \leq M-1, 2 \leq y \leq N-1$. 按照初选推理中的方法, 分别计算出初选点 $I(x, y)$ 与其周围 8 个像素点之间的斯皮尔曼等级相关系数, 记为 $\rho_1 \sim \rho_8$, 其对应关系如图 3 所示.

图 2 $I(x, y)$ 的相邻像素Fig. 2 The adjacent pixels of $I(x, y)$ 图 3 与 $I(x, y)$ 的相邻像素对应的 $\rho_1 \sim \rho_8$ Fig. 3 The $\rho_1 \sim \rho_8$ corresponding to adjacent pixels of $I(x, y)$

For $x=2:M-1$

For $y=2:N-1$

计算 $\rho_1 \sim \rho_8$

如果 $|\rho_m| \leq T_2, m=1, 2, 3, \dots, 8$ (即 8 个斯皮尔曼等级相关系数均小于设定阈值, 说明初选点与其相邻的像素之间均无相关性), 则 $I(x, y)$ 是噪点; 否则, $I(x, y)$ 是边缘点. 其中 T_2 为第二设定阈值, 其取值范围及含义与 T_1 相同.

3 仿真实验

实验利用 Matlab R2009b 在 3.25 G 内存, 2.7 GHz 的 Pentium(R) 双核 CPU 中进行. 采用分辨率为 768×512 的标准柯达彩色图像 (<http://r0k.us/graphics/kodak/index.html>) 进行测试, 选取图像库中表示建筑、人物、风景等 10 幅图像, 其中包含边缘多、颜色多及较平滑的图像, 如图 4 所示. 先在标准柯达彩色图像中加入噪声, 再用本文方法检测图像的边缘和加入的噪点.

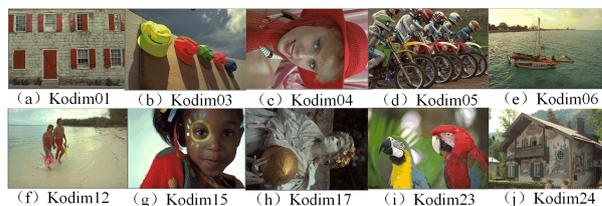


图 4 测试图像

Fig. 4 Test images

随机加入噪声后, 由于噪点的位置是随机的, 并且噪点的颜色和周围邻近点的颜色有可能很接近, 难于分辨. 为了证明本文方法的有效性, 加入噪点采用两种方式: 一是利用函数在标准柯达图像中随机加入椒盐噪声; 二是有规律的人为加入: 将某些像素点的 3 原色中的红色 (或绿色或蓝色) 置零.

3.1 参数寻优

文中涉及两个阈值参数,取值范围均属于 $[0, 1]$,为了提高本文方法的普适性,用粒子群优化^[18](particle swarm optimization, PSO)对两个参数寻优,进一步缩小其取值范围.

利用 PSO 解决优化问题的两个重要方面是解得编码和适应度函数. PSO 采用实值编码,有 2 个参数寻优,故设粒子位置为 2 维 (T_1, T_2) . 在 $[0, 1]$ 区间随机产生 m 个 2 维粒子表示粒子群初始位置,随机产生随机数作为微粒子的初始速度. 适应度函数是衡量粒子优劣的一个量化指标,每一个粒子对应一个不同的噪点检测结果,故将适应度函数设置为对检测出的噪点去噪后所得彩色图像的峰值信噪比 CPSNR^[1-2]. 其值越大,噪点检测精度越高,反之,检测精度越低.

针对不同特征,不同类型的彩色图像,按照初始化;计算初始群体的适应度函数值;更新粒子的速度和位置;计算新粒子群的适应度函数值;检查终止条件的步骤进行参数优化. 最终得到的参数范围是 $0.28 < T_2 < 0.41 < 0.70 < T_1 < 0.80$.

实验结果表明,参数 T_1 的敏感间隔是 0.025,它以 0.025 的间隔在 $[0.70, 0.80]$ 区间变化,参数 T_2 的敏感间隔是 0.02,它以 0.02 的间隔在 $[0.28, 0.41]$ 区间变化. 两参数在所属区间取值即可获得较好的检测结果,可以利用固定一个参数,变化另一参数的方式确定最优参数.

3.2 仿真结果

3.2.1 椒盐噪声的检测效果

为了验证本文方法对椒盐噪声的检测效果,在标准图像中用 imnoise 函数随机加入不同噪声浓度 D 的椒盐噪声,篇幅所限,只给出 Kodim15 的检测结果,此图像颜色丰富、边缘量适中,具有一定的代表性. 表 1 是取 $T_1=0.725$ 时的结果.

由表 1 可知,本文方法对加入不同噪声浓度的含噪图像的检测均有效,且检测准确率不低于 88%. T_1 不变的情况下,在 T_2 的取值范围内适当调整其大小可有效提高噪点检测的准确率;噪点较多时,参数取值相对偏大. 该实验证明了本文方法的有效性.

3.2.2 人为噪声的检测效果

为了便于观察,每隔 5 个像素加入一个噪点,在 200 行到 250 行,分别将 350 列到 400 列,490 列到 540 列的红色和蓝色置零;将 270 行到 320 行的 420

表 1 $T_1=0.725$ 时 Kodim15 的检测结果

Tab. 1 Test results of Kodim15 when $T_1=0.725$

D	加入数	检测数	误检数	检测率	T_2
0.01	3 932	3 567	71	88.91%	0.28
0.01	3 932	3 801	92	94.33%	0.3
0.02	7 864	7 382	121	92.33%	0.3
0.03	11 796	10 931	137	91.51%	0.3
0.04	15 728	14 060	196	88.15%	0.3
0.04	15 728	14 854	233	92.96%	0.32
0.05	19 660	19 452	275	97.54%	0.32
0.06	23 592	2 219	259	93.08%	0.32
0.07	27 524	24 691	330	88.51%	0.32
0.07	27 524	27 174	385	97.33%	0.4
0.08	31 456	30 818	534	96.27%	0.4
0.09	35 388	33 219	566	92.27%	0.4
0.1	39 321	36 654	581	91.74%	0.4
0.2	78 643	71 974	1098	91.52%	0.4
0.3	117 964	108 715	1 831	92.16%	0.4
0.4	157 286	143 429	2 369	91.19%	0.4
0.5	196 608	178 480	3 171	90.78%	0.4
0.6	235 929	210 212	3 592	89.10%	0.4
0.7	275 251	244 285	4 288	88.75%	0.4
0.8	314 572	276 855	4 911	88.01%	0.4

列到 470 列的绿色置零,得到 3 个 11×11 的噪点方阵,红色、蓝色、绿色置零分别记为方阵 1、2、3. 表 2 是取 $T_1=0.725, T_2=0.4$ 时,对图 4 中的 10 幅图像加入噪点后的检测结果.

表 2 $T_1=0.725, T_2=0.4$ 时的检测结果

Tab. 2 Test results when $T_1=0.725, T_2=0.4$

图像	方阵				
	1 漏检数	2 漏检数	3 漏检数	误检数	检测率
Kodim01	0	0	6	1	98.35%
Kodim03	0	0	41	0	88.71%
Kodim04	0	0	0	0	100%
Kodim05	0	2	22	10	93.39%
Kodim06	0	0	0	2	100%
Kodim12	0	0	0	0	100%
Kodim15	1	4	0	1	98.62%
Kodim17	0	9	3	0	96.69%
Kodim23	0	3	5	0	97.80%
Kodim24	0	0	0	3	100%

由表 2 可知,本文方法不仅能检测彩色图像中的高斯噪声,也能有效检测在图像中人为加入的噪点,进一步证明了本文方法的有效性. Kodim03 的

方阵 3 是将绿色置零所得,置零的颜色和图 4 左二橙色帽子的颜色非常接近,换言之,加入的噪点和背景非常接近,因此没有将橙色帽子上的噪声检测出来. Kodim05 含有非常多的边缘,在车轮、车条和帽檐等边缘跳变处出现了误检.

针对灰度图像和彩色图像的检测方法具有本质上的区别,不便于比较,因此本文仅给出具有较好检测结果的两篇文献中的结果作为参考. 文献[12]对人工合成图像和 Lena 图像行了实验. 先分别对其加不加入同范围的灰度值作为随机噪点,检测率介于 87.4%~89.01%. 然后分别对两幅图像加入噪声密度为 0.02 的椒盐噪声,对合成图像的检测率为 91.59%,对标准 Lena 图像检测率是 89.72%. 王刚等[15]利用分数阶微分梯度进行噪点检测时,分别对 Lena 图像和 Pepper 图像加入不同范围、个数的随机噪声,对其进行噪点检测的检测率分别介于 85.3%~94.2%和 82.5%~89.1%,证明了分数阶微分梯度进行检测噪点的有效性. 上述文献[12],[15]实验时加入的噪声浓度均不超过 0.02.

将上述两种方法的结果和表 1、2 比较知,本文方法获得了相对高的检测结果.

为了验证人为加入噪点的方阵位置不会对噪点

检测的准确性带来影响(人为噪点和背景颜色一致的情况除外),将上述噪点的方阵整体往左上方随机平移. 图 5 是阈值取 $T_1=0.725$, $T_2=0.4$ 时对 Kodim15 的仿真结果的局部放大图像. 其中(a)是利用 imnoise 函数随机加入的椒盐噪声,噪声浓度为 0.0005;(b)是对(a)的检测结果,红色表示边缘,绿色表示检测出的噪点. (c)是人为加入噪点的结果;(d)是对(c)的检测结果,方阵 1、2、3 对应于在 Kodim15 中的相应位置分别对红色、蓝色、绿色置零,仿真表明女孩肤色处像素点的蓝色为零时对应的噪点肉眼难以分辨,但本文方法能准确检测出此类噪点. 由图 5 可知,与方阵 2 对应的(c)中噪点就是对蓝色置零产生的噪点,需将图放大到 400 倍左右方可分辨. 由(d)中的方阵 2 可知,其中的点全部为红色,说明此类噪点全部被检测出. 方阵 3 中的点也全部都是红色,噪点检测率为 100%,方阵 1 中为标准图像中红色置零对应的噪点,此类噪点检测率没有达到 100%,此方阵中的 121 个点有 5 个点是红色,没有检测出来. 综合 3 个方阵中加入的 363 个噪点,噪点检测的准确率仍是 98.62%. 由此可见,噪点检测的准确率和加入噪点的位置无关.

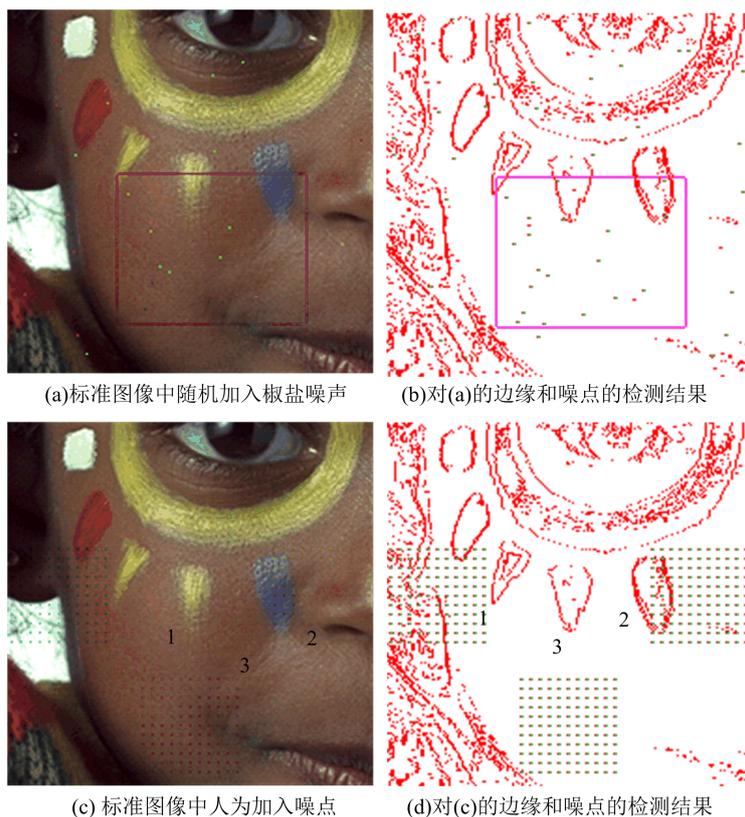
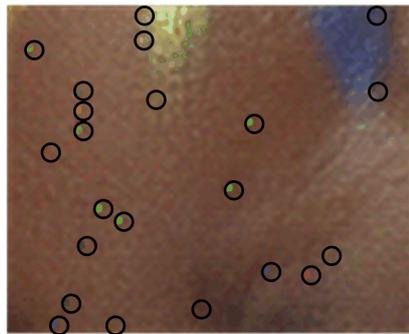


图 5 加入噪点及检测结果的放大图像

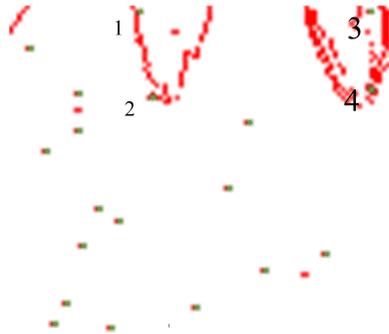
Fig. 5 Magnified image of add noise and detection results

图 6 是对图 5 框内部分的局部放大图像,为了便于分析对随机加入的椒盐噪声的检测情况,利用黑色圆圈标注出了所有噪点.对比图 6(b)和图 6(a)可以看出,呈现红色的三个椒盐噪声点没有检测出来,

其余噪点全部检出,且处于边缘上的 4 个点也被准确检测,这表明本文方法能够较好地地区分出噪点和边缘点,避免误将边缘点作为噪点进行去噪,从而更好地保护图像的重要细节信息.



(a) 图5(a)框内的放大图像



(b) 图5(b)框内的放大图像

图 6 局部放大图像

Fig. 6 Partially magnified image

3.2.3 去噪效果

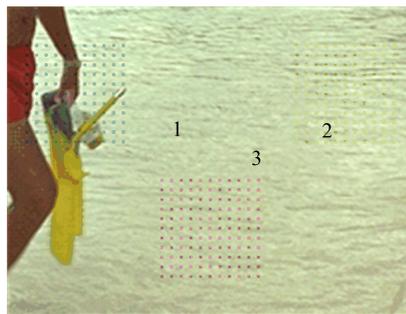
为了验证先检测出噪点后,再直接针对噪点去噪的优势,对 Kodim12 和 Kodim23 加入噪点,在阈值取 $T_1=0.725, T_2=0.4$ 的前提下检测出噪点,然后针对噪点去噪.采用最简单的方式,用上下左右 4 点的像素平均值代替噪点的像素值,即

$$I(i, j, z) = \frac{1}{4} [I(i-1, j, z) + I(i, j+1, z) +$$

$$I(i+1, j, z) + I(i, j-1, z)] \quad (3)$$

式中, $1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N, z=1, 2, 3$ (3 个数字分别对应该点的红色,绿色和蓝色像素值).

观察图 7 的(b)和(d)可知,在噪点检测的基础上均取得了较好的去噪效果,避免了边缘模糊的现象. Kodim12 中方阵 1 包含很多边缘细节,如红色短裤和背景之间,手臂肤色、手表、手中物体、背景两两之间的边缘,在图 7(b)的去噪结果中并没有出现



(a) Kodim12中人为加入噪点



(b) 对(a)的去噪结果(CPSNR=57.6489 dB)



(c) Kodim23中人为加入噪点



(d) 对(c)的去噪结果(CPSNR=58.3584 dB)

图 7 加入噪点及去噪结果的放大图像

Fig. 7 Magnified image of add noise and denoising results

边缘模糊现象. Kodim23 的方阵 2 中的羽毛间形成的边缘及方阵 3 中嘴和背景间的边缘信息, 在图 7 (d) 的去噪结果中均得到了很好的保护, 因此先检测出噪点, 再直接针对噪点去噪的方式不会对非噪点进行任何运算, 能够避免图像模糊现象, 具有保护图像边缘细节的优势.

4 结论

在充分利用图像相关性的前提下, 利用斯皮尔曼等级相关能实现对彩色图像的噪点检测. PSO 以峰值信噪比作为适应度函数, 可以将两个阈值参数的取值范围缩小为 $0.28 < T_2 < 0.41 < 0.70 < T_1 < 0.80$. 在初选和推理两个阶段通过分别设置阈值 T_1 和 T_2 能准确检测出图像中的噪点和边缘, 参数寻优后对椒盐噪点的检测精度可达到 97.33%, 在不同的噪声浓度下对噪点检测的准确率不低于 88.01%. 对人为加入噪点的检测精度能达到 100%, 最低 88.71%. 该检测准确度能够为后续的图像去噪环节奠定良好基础, 保证去噪后彩色图像的 CPSNR 值超过 57dB.

参考文献 (References)

- [1] JIA X F, ZHAO B T, ZHOU M R, et al. An edge-adaptive demosaicking method based on image correlation[J]. J. Central South University, 2015, 22(4): 1397-1404.
- [2] 贾晓芬, 赵佰亭, 周孟然. 基于 bagging-rough SVM 集成的去马赛克方法[J]. 中南大学学报, 2015, 46(6): 2065-2073.
- [3] NIU Y, WU X L, SHI G M. Image enhancement by entropy maximization and quantization resolution upconversion [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25(10): 4815 - 4828.
- [4] YANG B, LI S T. Multifocus image fusion and restoration with sparse representation [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2010, 59(4): 884-892.
- [5] DONG W S, SHI M, LI X. Nonlocal image restoration with bilateral variance estimation: a low-rank approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(2): 700-711.
- [6] YANG S Y, WANG M, CHEN Y G, et al. Single-image super-resolution reconstruction via learned geometric dictionaries and clustered sparse coding[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2012, 21(9): 4016-4028.
- [7] 袁其平, 林海杰, 陈志宏, 等. 用支持向量回归法实现单帧图像超分辨率重建[J]. 光学精密工程, 2016, 24(9): 2302-2309.
- [8] GENG J, FAN U C, WANG H Y, et al. High-resolution SAR image classification via deep convolutional autoencoders [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12(11): 2351 - 2355.
- [9] 张闯, 迟健男, 张朝晖, 等. 基于边缘检测与双边滤波的彩色图像去噪 [J]. 电子学报, 2010, 38(8): 1776-1783.
- [10] XIONG R Q, LIU H F, ZHANG X F, et al. Image denoising via bandwise adaptive modeling and regularization exploiting nonlocal similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2016, 25(12): 5793-5805.
- [11] CHEN B J, LIU Q S, SUN X M, et al. Removing Gaussian noise for color images by quaternion representation and optimisation of weights in non-local means filter [J]. IET Image Processing, 2014, 8(10): 591-600.
- [12] 杨柱中, 周激流, 郎方年. 基于分数阶微积分的噪声检测和图像去噪[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(10): 1418-1429.
- [13] 林亚明, 李佐勇, 林叶郁, 等. 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.
- [14] 孙劲光, 黄旭. 递进的迭代脉冲噪声检测[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(12): 1629-1638.
- [15] 王刚, 牟剑平, 杨柱中. 基于分数阶微分梯度的噪声检测算法[J]. 四川大学学报, 2014, 51(3): 483-488.
- [16] 黄旺华, 王钦若, 徐维超, 等. 对椒盐噪声稳健的数字图像斯皮尔曼秩次相关法[J]. 光学精密工程, 2015, 23(6): 1800-1806.
- [17] PEI S C, TAM I K. Effective color interpolation in CCD color filter array using signal correlation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(6): 503-513.
- [18] 夏克文, 董瑶, 杜红斌. 基于改进 PSO 算法的 LS-SVM 油层识别模型[J]. 控制与决策. 2007, 22(12): 1385~1389.