Bilateral Weighted Median Filter for Removing Impulse Noise in Infrared Images*

GU Dongjuan*
(Dean's Office, Jiangxi Vocational College of Mechanical and Electrical Technology, Nanchang Jiangxi 330013, China)

Abstract: In view of the fact that the existing methods could not effectively maintain the edge details and texture structures of the image when removing impulse noise in infrared images, bilateral weighted median filter based on statistical detection is proposed. According to the value and distribution characteristics of impulse noise, the minimum and maximum pixel values and the statistical law are used to detect the noise. For the detected noisy pixels, in a multi-scale manner, the noise free pixels and the pixels that have been denoised in the neighborhood are weighted adaptively by the bilateral weighting coefficients, and then their median value is taken as the estimated value of the current noisy pixels, in which the bilateral weighting coefficients are adaptive to the distance proximity and intensity similarity. The experimental results show that compared with some existing methods, the proposed method achieves higher EPI and SSIM values, and the visual effect of its denoised images is better.

Key words: image denoising; bilateral weighted median filter; SSIM; impulse noise; statistical law
EEACC: 6140 **doi**: 10.3969/j.issn.1004-1699.2024.03.017

去除红外图像中脉冲噪声的双边加权中值滤波*

顾冬娟*
(江西机电职业技术学院教务处,江西 南昌 330013)

摘 要:针对现有方法在去除红外图像的脉冲噪声时,未能有效保持图像的边缘细节和纹理结构,提出了基于统计检测的双边加权中值滤波算法。算法根据脉冲噪声的取值和分布特征,用最小和最大像素值以及统计规律进行噪声检测;对检测出来的噪声像素,以多尺度的方式、自适应地用双边加权系数对邻域中的无噪像素和已经去噪处理的像素进行频次加权,然后取它们的中值作为当前噪声像素的估计值。其中双边加权系数自适应于距离邻近度与灰度相似度。实验结果表明,相对于部分现有方法,所提方法去噪所得的 EPI 和 SSIM 值更高,去噪图像的视觉效果更佳。

关键词:图像去噪;双边加权中值滤波;结构相似性指数;脉冲噪声;统计规律
中图分类号:TP391 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-1699(2024)03-0492-07

相对于可见光图像,红外成像的效果较差,且常伴有噪声干扰。噪声会破坏红外图像的信息和视觉效果,严重影响红外图像的分析和应用,噪声去除对红外成像非常必要。脉冲噪声是红外成像过程中常见的一种噪声,常因影像信号受到强烈的干扰、类比数位转换器或位元传输错误而产生,例如失效的感应器导致像素值为最小值,饱和的感应器导致像素值为最大值。去除脉冲噪声常用中值滤波[1],但一般的中值滤波未能对噪声像素与无噪像素进行区分处理,对高密度噪声的去除效果较差。Priya 等[2]提出了使用圆形邻域的自适应中值滤波算法,但是圆形邻域对中值滤波的性能改善很微小。刘爱旭等[3]采用非局部均值去除钢水红外图像中的脉冲噪声,但是不采用噪声检测,去噪处理具有一定的盲目性,会破坏无噪像素的原始信息。Zhang 等[4]采用自适应大小的高效窗口检测器检测噪声,用非局部均值滤波器重构噪声像素的强度值。然而,非局部均值滤波的计算耗时较高,不适于实时的图像处理。文献[5]提出了基于中值滤波器的红外图像去噪方法,其邻域大小随噪声分布情况动态地调整,在尽可能去除噪声的同时,保持图像的细节。Erkan 等[6]对自适应中值滤波进行改进,提出了自适应频率中值滤波器,频率中值能够将去噪邻域中的噪声像素排除,注重灰度估测值的唯一性,估测值更接近于原始灰度值。Bania 等[7]根据图像与噪声的灰度取值特征进行噪声检测,然后自适应地用去除噪声后的邻域像素的中值对噪声像素进行恢复。但是其根据经验对噪声和图像的灰度取值进行假设,缺乏理论基础,影响后续的去噪处理。

项目来源:2021 年省教育厅科学技术研究项目(GJJ212517);2020 年江西省高等学院教学改革研究课题项目(JXJG-17-27-2);江西省教育科学"十三五"规划 2019 年度课题项目(19YB266);江西省教育科学"十四五"规划 2023 年度课题(23YB327);2022 年南昌工学院科技计划博士专项(NGKJ-22-01)
收稿日期:2023-09-12 **修改日期**:2023-11-25

为了进一步提升去噪效果,徐超等[8]采用不同形状的结构元素进行多结构形态学开、闭运算,提出了基于形态学权重的自适应去噪算法,克服了传统形态学滤波存在侵蚀、淹没和放大目标区域等缺陷。Ruchika 等[9]提出了一种基于顺序加权均值函数的红外图像滤波算法,但是其缺陷在于对所有像素作加权均值处理,破坏了部分像素的原始信息。为了提升非线性滤波对脉冲噪声的去除效果,Goel 等[10]融合修剪全局均值滤波、非对称修剪 Winsorized 均值滤波以及自适应邻域中值滤波的优点,提出了基于非对称自适应邻域修剪均值的决策滤波算法。文献[11]通过对模糊滤波器的设计和隶属函数的训练,实现红外图像的去噪处理,但是其在与中值滤波结合时,假设最小和最大值的像素均为噪声,会破坏部分无噪像素的原始信息。针对部分算法在去噪时会产生失真的条纹效果,未能保持细微的图像细节,Kamarujjaman 等[12]提出一种自适应反馈中值滤波器,根据邻域像素的特征进行噪声检测,自适应地用反馈中值对噪声像素进行恢复。陈家益等[13]提出了一种双域去噪方法,在空间域用统计方法识别噪声像素,而在小波域用基于信噪强度的自适应阈值和可微收缩函数恢复噪声像素。

为了对红外图像进行彻底去噪的同时,保持和恢复图像的边缘细节和结构特征,提出了一种基于统计检测的双边加权中值滤波算法。用最小和最大像素值以及在当前邻域中用统计规律进行噪声检测,而用双边系数加权后的邻域像素的中值对噪声像素进行恢复。实验结果证明本文方法优于部分最新提出的方法。

1　噪声检测方法

1.1　脉冲噪声的数学模型

脉冲噪声是一种服从随机分布的噪声,噪声取灰度范围的最小值和最大值,以一定的概率随机地将像素值改为最小值或最大值。一般地,红外探测器采集的红外图像为 14 位或 16 位,但是人眼视觉系统仅能感知 8 位 256 灰度级的图像,且模拟和数字视频接口往往要求 8 位数据精度,在人机交互时存在技术障碍,因此,需要对红外图像进行动态范围压缩,将高位阶红外图像的动态范围限制到低位阶 8 位 256 灰度级。

对于 8 位的红外图像,其数学模型为:

$$x=\begin{cases}0 & \text{概率 } p_p\\ 255 & \text{概率 } p_s\\ o & \text{概率 } 1-(p_p+p_s)\end{cases} \tag{1}$$

最小值噪声和最大值噪声的概率分别为 p_p 和 p_s,o 为无噪像素的灰度。虽然脉冲噪声取最小和最大的灰度值,但是无噪像素的灰度 o 也可能会取最小和最大值,特别是红外图像,取灰度值 0 的像素往往较多。因此,在红外图像中对脉冲噪声的检测异常艰难,灰度取值为最小和最大值的无噪像素与脉冲噪声难以区分,去噪算法的性能在很大程度上决定于噪声检测。

1.2　基于统计规律的噪声检测

根据脉冲噪声的灰度特征,将所有灰度取最小值和最大值的像素识别为噪声,可将所有的噪声像素检测出来,但是因为无噪像素也可能取最小和最大值,这部分像素也被误检为噪声。因此,必须进一步将取最小和最大值的无噪像素与噪声像素区分开来。

红外图像中局部区域的像素具有相关性和灰度相似性,特别是图像的平滑区域,而脉冲噪声以一定的概率随机地分布于红外图像中,与邻域的无噪像素不具有相关性,且灰度差别较大。另外,因为分布的随机性和灰度值的双极性,噪声不会集结为噪声块。因此,含噪图像中取最小或最大值的图像块,其像素大概率地为无噪像素。根据以上分析,提出了基于统计规律的噪声检测方法,将孤立的、与邻域像素不具有灰度相似性的像素识别为噪声。

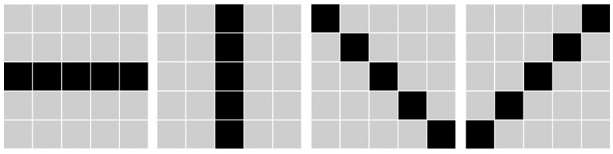
令 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 为处于图像 $\boldsymbol{f}$ 中第 i 行、第 j 列的像素,$\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 为以像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 为中心、边长为 d 的方形邻域,基于统计规律的噪声检测方法步骤如下:

①对于每一像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果 $\boldsymbol{f}(i,j)=0$ 或 $\boldsymbol{f}(i,j)=255$,将其归为候选噪声像素。

②对于每一候选噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果 $\boldsymbol{f}(i,j)=0$(或 $\boldsymbol{f}(i,j)=255$)且邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(3)$ 中的像素值全为 0(或 255),说明像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 处于一片纯黑色(或纯白色)的区域,则将 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 重新识别为无噪像素,否则进入检测步骤③。

③对于每一候选噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果 $\boldsymbol{f}(i,j)=0$(或 $\boldsymbol{f}(i,j)=255$),且 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(5)$ 中值为 0(或 255)的像素占一半以上,说明像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 处于一片黑色(或白色)像素占多数、少部分像素近似为黑色(或白色)的区域中,则将 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 重新识别为无噪像素,否则进入检测步骤④。

④对于每一候选噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如图 1 所示,如果在邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(5)$ 中,$\boldsymbol{f}(i,j)$ 所处的某个方向上所有像素的值均为 0 或均为 255,说明当前像素处于黑色或白色的边缘上,将其重新识别为无噪,余下的候选噪声确认为噪声。



(a) 水平方向 (b) 垂直方向 (c) 对角线 (d) 反对角线

图 1 当前像素所处的四个方向

2 双边加权中值滤波

图像局部区域的像素,具有空间邻近相关性和灰度相似相关性。一般地,在空间上越近的两像素,其相关性越大,而灰度越相似的两像素,其相关性也越大。因此,充分利用像素之间的空间邻近相关性和灰度相似相关性,能准确反映邻域像素对当前中心像素的影响,进而准确地估计当前像素的灰度值。

2.1 双边加权系数

噪声像素不具有参考价值,所以不参与对当前像素的恢复,因此仅需计算当前像素的邻域中无噪像素对应的加权系数,而噪声像素的加权系数默认为 0。令 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 为当前的噪声像素,$\boldsymbol{f}(x,y)$ 为其邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 中的像素,双边加权系数的计算如下。

①基于空间邻近度的加权频次

假设 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 中无噪像素的数量为 n,计算 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 中各个无噪像素 $\boldsymbol{f}(x,y)$ 相对当前像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 的欧氏距离:

$$D(\boldsymbol{f}(i,j),\boldsymbol{f}(x,y))=\sqrt{(i-x)^2+(j-y)^2} \tag{2}$$

将 n 个距离值降序排序,得到距离序列 $\boldsymbol{S}_D$:

$$\boldsymbol{S}_D=\{\boldsymbol{S}_D(k)\mid \boldsymbol{S}_D(k)>\boldsymbol{S}_D(k+1),k=1,2,\cdots,n-1\} \tag{3}$$

根据序列 $\boldsymbol{S}_D$ 中的序号,按顺序递增地给对应距离的像素赋予加权频次:

$$\boldsymbol{W}_D=\{\boldsymbol{W}_D(k)\mid \boldsymbol{W}_D(1)=1,\boldsymbol{W}_D(k+1)=\boldsymbol{W}_D(k)+1\},\quad k=1,2\cdots n-1 \tag{4}$$

与当前像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 距离越近的像素,分配的频次越大,以突出其对中心像素估计的贡献。

②基于灰度相似度的加权频次

计算 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 中各个无噪像素 $\boldsymbol{f}(x,y)$ 相对当前像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 的灰度绝对差:

$$\boldsymbol{R}(\boldsymbol{f}(i,j),\boldsymbol{f}(x,y))=|\boldsymbol{f}(i,j)-\boldsymbol{f}(x,y)| \tag{5}$$

将 n 个灰度差值降序排序,得到差值序列 $\boldsymbol{S}_R$:

$$\boldsymbol{S}_R=\{\boldsymbol{S}_R(k)\mid \boldsymbol{S}_R(k)>\boldsymbol{S}_R(k+1),k=1,2,\cdots,n-1\} \tag{6}$$

根据序列 $\boldsymbol{S}_R$ 中的序号,按顺序递增地给对应灰度差的像素赋予加权频次:

$$\boldsymbol{W}_R=\{\boldsymbol{W}_R(k)\mid \boldsymbol{W}_R(1)=1,\boldsymbol{W}_R(k+1)=\boldsymbol{W}_R(k)+1\},\quad k=1,2\cdots n-1 \tag{7}$$

与当前像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 的灰度值越相似的像素,分配的频次越大,以突出其对中心像素估计的贡献。

③双边加权系数

以线性的形式综合空间邻近度的加权频次和灰度相似度的加权频次,得到自适应的加权系数:

$$\boldsymbol{W}(k)=\mathrm{round}((\boldsymbol{W}_D(k)+\boldsymbol{W}_R(k))/2),k=1,2,\cdots n \tag{8}$$

round 为四舍五入取整函数。值得注意的是,邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(d)$ 中无噪像素 $\boldsymbol{f}(x,y)$ 对应的加权系数为 $\boldsymbol{W}(x,y)$,而噪声像素对应的加权系数为 0。

2.2 多尺度的双边加权中值滤波

根据加权系数式(8),对当前像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$ 进行双边加权中值滤波:

$$\boldsymbol{f}(i,j)=\mathrm{median}(\boldsymbol{f}(x,y)\otimes\boldsymbol{W}(x,y)) \tag{9}$$

式中:median 为取数列排序后的中值的函数,$\otimes$ 运算为复制操作符,定义为:

$$X\otimes n=\{X,X,\cdots,X\}\text{(复制产生 } n \text{ 个 } X\text{)} \tag{10}$$

脉冲噪声密度较大时,较小的邻域往往不存在可用于噪声估计的无噪像素,必须增大邻域以包含无噪像素,但是较大邻域中的像素对噪声估计意义不大,容易模糊图像的细节。因此,采用多尺度的双边加权中值滤波,用较小的邻域去除所有的噪声,步骤如下。

①对每一噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果其邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(3)$ 中存在无噪像素,执行式(9)的双边加权中值滤波,否则不作处理。

②对每一尚未去噪处理的噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果其邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(5)$ 中存在无噪像素或已去噪处理的像素,执行式(9)的双边加权中值滤波,否则不作处理。

③对每一尚未去噪处理的噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,如果其邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(7)$ 中存在无噪像素或已去噪处理的像素,执行式(9)的双边加权中值滤波,否则不作处理。

④对每一尚未去噪处理的噪声像素 $\boldsymbol{f}(i,j)$,用其邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(5)$ 的均值作为其灰度估计值。

噪声去除从最小的邻域开始,对于部分未能去除的噪声,逐步增大去噪邻域,且充分利用前次的去噪结果。当邻域增大到 7×7,经过三遍的去噪处理后,剩余的噪声像素极少,采用邻域 $\boldsymbol{\omega}_{f(i,j)}(5)$ 的均值对其作折中的估计。

3 本文方法的整体步骤

令 $\boldsymbol{R}$ 为噪声标识矩阵,/表示或运算,:表示矩阵的所有行或所有列,本文方法的整体步骤用伪代码表示如下。

```
Input f, Output g
R = ones(size(f)), g = f
For each f(i,j) = 0/255
  R(i,j) = 0
EndFor
For each R(i,j) = 0
  If(sum(ω_f(i,j)(3) = 0) = 9) or (sum(ω_f(i,j)(3) = 255) = 9)
    R(i,j) = 1
  ElseIf (f(i,j) = 0 and sum(ω_f(i,j)(5) = 0) > 13) or
    (f(i,j) = 255 and sum(ω_f(i,j)(5) = 255) > 13)
    R(i,j) = 1
  ElseIf sum(ω_f(i,j)(5)(3,:) = 0/255) = 5 or
    sum(ω_f(i,j)(5)(:,3) = 0/255) = 5 or
    sum(diag(ω_f(i,j)(5)) = 0/255) = 5 or
    sum(diag(rot 90(ω_f(i,j)(5))) = 0/255) = 5
    R(i,j) = 1
  EndIf
EndFor
For r = 3:2:7
  For each R(i,j) = 0
    If sum(ω_R(i,j)(r)) > 0
      g(i,j) = median(g(x,y) ⊗ W(x,y)) (g(x,y) ∈
              ω_g(i,j)(r))
      R(i,j) = 1
    EndIf
  EndFor
EndFor
For each R(i,j) = 0
  g(i,j) = mean(ω_g(i,j)(5))
EndFor
```

4　实验数据与验证

在图 2 所示的红外图像上,将本文方法与部分最新的同类算法进行实验比较,验证本文方法的有效性。参与实验比较的方法有文献[6]、文献[8]、文献[10]和文献[13]中提出的方法;实验平台为 MATLAB 2013b,实验硬件参数为 Intel i7-11700 CPU 和 8 GB RAM;算法的去噪效果用边缘保持指数(EPI)[14]、结构相似性指数(SSIM)[15]和视觉感知进行衡量。

EPI 和 SSIM 分别逐边缘、逐纹理结构地度量两张图像的相似度,也就是度量算法对含噪图像的边缘细节和纹理结构的恢复能力,EPI 和 SSIM 值越高,算法的性能越好。视觉感知从人眼感知的角度度量图像的清晰度、对比度和纹理信息的丰富程度。

(a) face　(b) shoot　(c) outdoors　(d) ear　(e) helicopter

图 2　实验红外图像

4.1　量化指标的比较

各算法分别对于含不同密度噪声的图像 face 进行去噪后,所得的 EPI 和 SSIM 值如图 3 所示。很明显,文献[8]方法的去噪效果较差,其对应的 EPI 值和 SSIM 值均较低,说明其未能有效保持图像的边缘细节和纹理结构。文献[10]方法在噪声密度较低时,尚能保持一定的效果,但随着噪声密度的增大,其去噪效果骤然下降,走向最低。文献[6]和文献[13]方法的去噪效果相对较好,两者相差不大。相对地,本文方法的去噪效果优于其他算法,EPI 和 SSIM 值分别比文献[6]和文献[13]方法高出大约 5%和 1%。

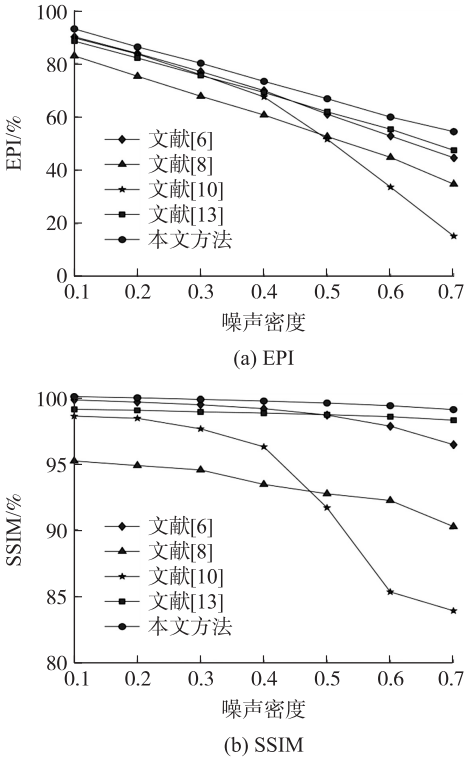
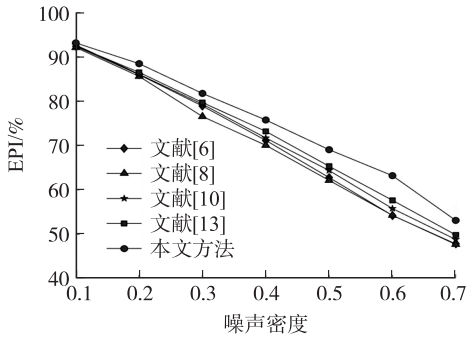


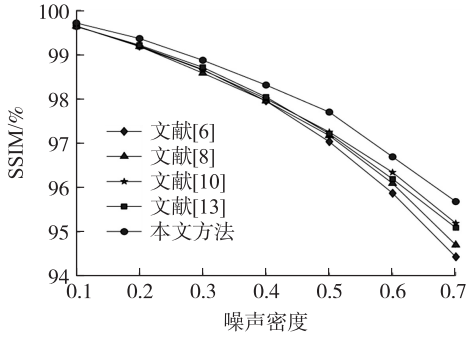
图 3　对图像 face 去噪的 EPI 和 SSIM

各算法分别对不同密度噪声的图像 shoot 进行去噪后的 EPI 和 SSIM 值如图 4 所示。参与实验比较的四个现有算法对 shoot 去噪所得的 EPI 和 SSIM 值相差不大,其中文献[10]和文献[13]方法的去噪效果比文献[6]和文献[8]方法稍好。本文方法去噪所得 EPI 和 SSIM 值明显高于其他算法,且随着噪声密度的增大,差距愈加显著。这证明了本文方法对细节纹理区域和平滑区域均具有良好的保持和恢复能力。

各算法对图像 outdoors 去噪所得的 EPI 和 SSIM 值如图 5 所示。对于 EPI,文献[6]方法相对于其他算法稍低,文献[10]和文献[13]方法的 EPI 值比较

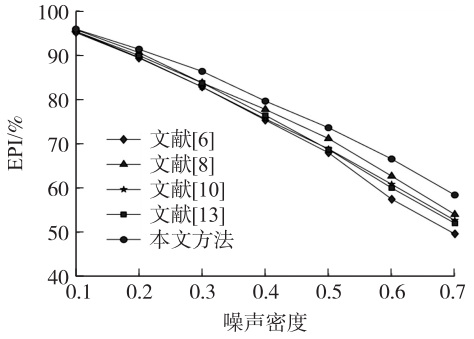


(a) EPI

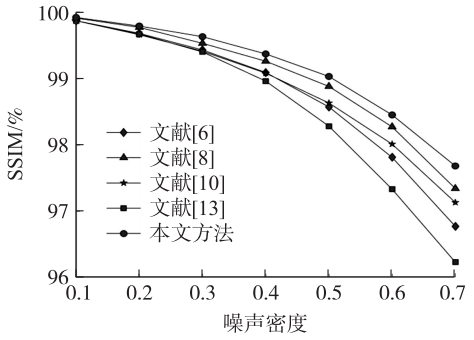


(b) SSIM

图 4 对图像 shoot 去噪的 EPI 和 SSIM



(a) EPI



(b) SSIM

图 5 对图像 outdoors 去噪的 EPI 和 SSIM

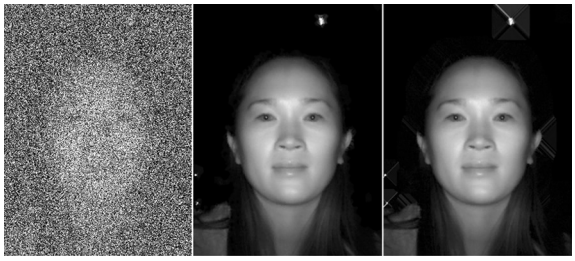
接近,处于中等水平,文献[8]方法的 EPI 值较高,而本文方法的 EPI 值比文献[8]还高出大约 3%。对于 SSIM,随着噪声密度的提高,各算法的 SSIM 曲线的离散度增大,对图像纹理结构的保持和恢复效果的偏差增大。其中文献[13]方法较差、之后依次为文献[6]和文献[10]方法,而文献[8]方法和本文方法较好,在不同密度噪声下能有效地对图像的纹理结构进行恢复,但本文方法的 SSIM 值还是比文献[8]方法高出大约 0.2%,优于其他所有的算法。

从不同图像和不同噪声密度上对各算法所得的图像质量指标 EPI 和 SSIM 值进行比较,可以看出部分算法对于不同图像的去噪效果差别较大,对个别图像的效果较好,而对其他图像的效果较差;另外,部分算法在 EPI 和 SSIM 值上的表现也不一致,对同一图像,其对应 EPI 值较高(或较低),而 SSIM 值较低(或较高)。本文方法对于不同图像、同一图像对应的 EPI 和 SSIM 上的表现基本上是一致的,具有较好的鲁棒性和普适性。

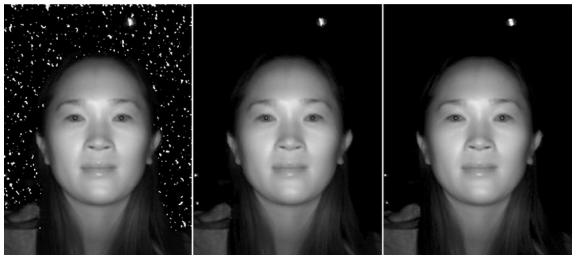
4.2 视觉感知的比较

因为对含低密度噪声图像的去噪效果在视觉感知上往往难以比较优劣,因此对红外图像添加高密度的脉冲噪声,对各算法的去噪效果进行比较。

对于含噪密度为 70%的图像 face,大部分的图像信息已被破坏,仅从视觉效果上很难从图像中获取信息。各算法从高密度噪声中对图像进行了不同程度的恢复,如图 6 所示。其中文献[10]方法未能对背景进行完整的恢复,背景中有较多白色的噪声斑块;文献[8]方法在去噪图像中产生了异样的图像区域;而文献[6]和文献[13]方法在视觉上较为接近,均能较好地去除噪声,但是图像边缘还是有模糊的效果。相对地,本文方法去噪图像的视觉效果较为清晰,与原始图像相比较,图像边缘处的模糊效果不明显。



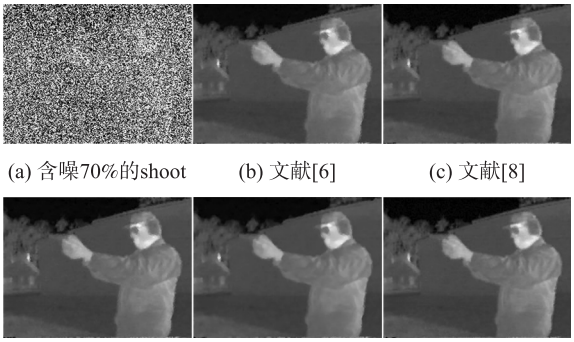
(a) 含噪70%的face (b) 文献[6] (c) 文献[8]



(d) 文献[10] (e) 文献[13] (f) 本文方法

图 6 含噪 70%的图像 face 的去噪图像

对含噪 70%的图像 shoot 的去噪效果如图 7 所示。其中,文献[6]方法的去噪图像的边缘呈现明显的锯齿效果,图像的视觉效果较模糊;文献[8]和文献[10]方法能在一定程度上对图像进行了恢复,且边缘信息较为连续,但是其边缘处的锯齿效果依然明显;文献[13]方法和本文方法的去噪效果较好,边缘连续且锯齿效果很微弱。仔细比较文献[13]方法和本文方法的去噪图像,在图像左上角的纹理结构丰富部分,本文方法去噪后的纹理信息较为清晰和逼真。

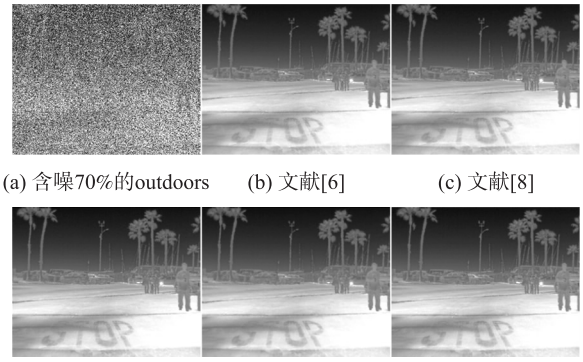


(a) 含噪70%的shoot　(b) 文献[6]　(c) 文献[8]

(d) 文献[10]　(e) 文献[13]　(f) 本文方法

图 7　含噪 70%的图像 shoot 的去噪图像

对于图像 outdoors,因为前景目标均较小,所以含噪 70%的图像几乎是看不到任何的图像信息,但是各算法依然能够对其进行恢复,如图 8 所示。近景的地面和远处背景均为平滑区域,根据视觉效果难以评价算法之间的优劣,但是根据去噪图像与原图像的前景目标的比较,文献[13]和文献[6]方法的去噪图像呈现明显的锯齿效果,部分边缘被模糊;文献[10]和文献[8]方法对边缘和纹理结构恢复得较好,但是部分处于远处的微小细节信息未能得到完整的恢复,部分边缘不连续;相对地,本文方法能较完整地恢复边缘和纹理结构,虽然含有锯齿效果,但相对不明显。

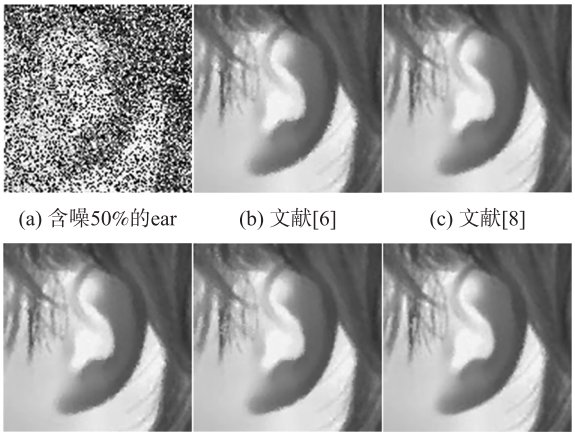


(a) 含噪70%的outdoors　(b) 文献[6]　(c) 文献[8]

(d) 文献[10]　(e) 文献[13]　(f) 本文方法

图 8　含噪 70%的图像 outdoors 的去噪图像

各算法对含噪 50%的图像 ear 的去噪效果如图 9 所示。其中文献[6]和文献[10]方法的锯齿现象比较明显,边缘和纹理信息不够完整;文献[8]和文献[13]方法的去噪效果较好,但是边缘的线条不够平滑,还是有一定程度的锯齿效果。相对地,本文方法的去噪图像较清晰,边缘和纹理信息恢复得较好。

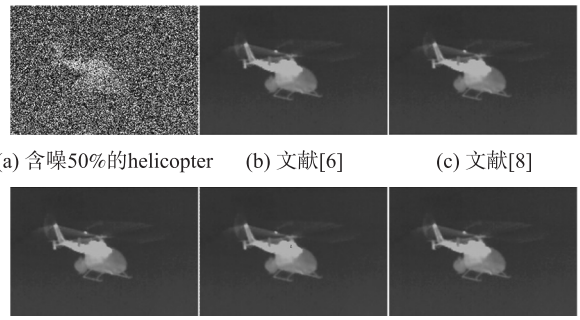


(a) 含噪50%的ear　(b) 文献[6]　(c) 文献[8]

(d) 文献[10]　(e) 文献[13]　(f) 本文方法

图 9　含噪 50%的图像 ear 的去噪图像

各算法对含噪 50%的图像 helicopter 的去噪图像如图 10 所示。图像的平滑区域较大,各方法去噪效果的差异只能从前景目标的边缘和纹理信息得以辨别。文献[6]和文献[10]方法去噪后的边缘信息较差,边缘线条出现明显的蓬松效果;相对地,文献[8]和文献[13]对边缘和纹理信息恢复得较好,但是线条的锯齿效果依然可见,文献[13]产生了不明的黑色斑点。本文方法更加有效地恢复了图像的边缘和纹理信息,画面较清晰,图像信息较为逼真。



(a) 含噪50%的helicopter　(b) 文献[6]　(c) 文献[8]

(d) 文献[10]　(e) 文献[13]　(f) 本文方法

图 10　含噪 50%的图像 helicopter 的去噪图像

本文算法在去噪图像的视觉效果上基本保持相对于现有算法的优势。根据去噪图像的视觉感知得出的结论,与从量化指标值 EPI 和 SSIM 得出的结论基本上是一致的,本文方法的去噪效果优于其他算法。

4.3　算法的效率

对图 2 所有图像均添加各种密度的噪声,将各算

法分别对所有图像去噪处理所需的计算时间对图像数量取均值,如表 1 所示。其中,文献[6]和文献[13]方法的计算耗时较高,而文献[10]方法的计算耗时较低。虽然本文方法相对于其他方法在计算效率上没有表现出优越性,但是其处于中等水平,可以接受。

表 1 各算法对实验图像的平均计算耗时 单位:s

噪声密度	文献[6]	文献[8]	文献[10]	文献[13]	本文方法
10%	4.21	3.21	2.95	1.13	2.84
20%	4.54	3.58	3.10	2.42	3.16
30%	4.97	3.77	3.34	3.11	3.58
40%	5.23	3.98	3.46	4.21	3.83
50%	5.67	4.27	3.57	5.01	4.12
60%	6.04	4.98	3.64	5.58	4.51
70%	6.57	5.23	3.87	7.04	5.31

5 结论

为了进一步提升红外图像中脉冲噪声的去除效果,提出了基于统计检测的双边加权中值滤波算法。根据噪声的数学模型以及图像的特征,用统计规律进行噪声检测;充分利用邻域像素在空间邻近度和灰度近似性上的相关性,用双边加权中值对噪声像素进行恢复。实验结果表明,本文方法相对于部分现有的方法具有更好的去噪效果。本文方法针对脉冲噪声,对本文方法作进一步的改进和拓展,以用于其他类型噪声,是下一步的研究方向。

参考文献:

[1] 张成斌,王开福. 脉冲噪声图像的中-均值滤波算法[J]. 激光与红外,2015,45(7):861-864.

[2] Priya S, Ashruti U, Sudhansu K, et al. A Circular Adaptive Median Filter for Salt and pepper Noise Suppression from MRI Images[J]. Journal of Scientific & Industrial Research,2020,79(10):941-944.

[3] 刘爱旭,杨友良,马翠红,等. 非局部均值在钢水红外图像去噪中的应用[J]. 激光杂志,2017,38(12):45-47.

[4] Zhang H W, Zhu Y, Zheng H Y. NAMF: A Nonlocal Adaptive Mean Filter for Removal of Salt-and-Pepper Noise[J]. Mathematical Problems in Engineering,2021,2021:4127679.

[5] 刘智嘉,夏寅辉,杨德振,等. 基于中值滤波器的红外图像噪声处理的改进方法[J]. 激光与红外,2019,49(3):376-380.

[6] Erkan U, Serdar E, Thanh D, et al. Adaptive Frequency Median Filter for the Salt and Pepper Denoising Problem[J]. IET Image Processing,2020,14(7):1291-1302.

[7] Bania R K, Halder A. Adaptive Trimmed Median Filter for Impulse Noise Detection and Removal with an Application to Mammogram Images[J]. International Journal of Image and Graphics,2020,20(4):2050032.

[8] 徐超,冯辅周,闵庆旭,等. 基于形态学和 OTSU 算法的红外图像降噪及分割[J]. 红外技术,2017,39(6):512-516.

[9] Ruchika, Vashisht M, Qamar S. De-Noising Infrared Image Using Owa Based Filter[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, Open Science Index 124, International Journal of Computer and Information Engineering,2017,11(4):499-504.

[10] Goel N, Kaur H, Saxena J. Modified Decision Based Unsymmetric Adaptive Neighborhood Trimmed Mean Filter for Removal of Very High Density Salt and Pepper Noise[J]. Multimedia Tools and Applications,2020,79,27:19739-19768.

[11] 顾雅青,葛宾,高晨. 基于模糊滤波器的钢水红外图像混合噪声处理[J]. 红外技术,2019,41(7):623-627.

[12] Kamarujjaman, Maitra M, Chakkaborty S. A Novel Decision-Based Adaptive Feedback Median Filter for High Density Impulse Noise Suppression[J]. Multimedia Tools and Applications,2021,80(1):299-321.

[13] 方斌,陈家益. 去除脉冲噪声的小波阈值去噪算法[J]. 激光与光电子学进展,2021,58(22):248-256.

[14] Joseph J, Jayaraman S, Periyasamy R, et al. An Edge Preservation Index for Evaluating Nonlinear Spatial Restoration in MR Images[J]. Current Medical Imaging Reviews,2017,13(1):58-65.

[15] Chen J, Zhan Y, Cao H, et al. Iterative Grouping Median Filter for Removal of Fixed Value Impulse Noise[J]. IET Image Processing,2019,13(6):946-953.

顾冬娟(1983—),女,硕士,副教授,主要从事数据库技术、软件开发与图形图像处理等方面的研究,11088092@qq.com。