

# 一种消除高密度椒盐噪声的迭代中值滤波算法

兰霞<sup>1</sup> 刘欣鑫<sup>2</sup> 沈焕锋<sup>2,3</sup> 袁强强<sup>3,4</sup> 张良培<sup>3,5</sup>

1 中国电子科技集团公司第十研究所,四川 成都,610036  
2 武汉大学资源与环境科学学院,湖北 武汉,430079  
3 地球空间信息技术协同创新中心,湖北 武汉,430079  
4 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079  
5 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

**摘要:**针对现有滤波方法处理高密度椒盐噪声的不足,提出一种简单有效的迭代中值滤波算法。该方法首先依据像素的强度值判断噪声点的位置,然后在循环迭代的处理框架内,对噪声像元进行逐步恢复。若噪声影像中包含足够的健康信息,则利用局部灰度差异控制项,完成对滤波结果的进一步优化。基于标准测试影像的实验表明,该方法能更为精确地恢复出被椒盐噪声污染的影像细节信息,其处理结果在目视及定量评价上均优于4种对比的滤波方法;且该方法的处理优势在影像椒盐噪声比例高达95%的情况下也依旧显著。

**关键词:**椒盐噪声;中值滤波;迭代;噪声去除;高密度

**中图法分类号:**P237.3;TP751 **文献标志码:**A

椒盐噪声作为影像中的一类典型噪声,一般因信号传输通道的错误或图像采集设备的故障而产生<sup>[1]</sup>。由于椒盐噪声噪声强度大,且分布随机,对影像质量和后续应用会产生极大的影响。中值滤波是一种简单高效的非线性椒盐噪声消除方法<sup>[2,3]</sup>,为了改善传统中值滤波的局限性,学者们提出了加权中值滤波(weighted median filter, WMF)<sup>[4]</sup>、中央加权中值滤波(center-weighted median filter, CWMF)<sup>[5]</sup>、排序均值滤波(rank-ordered median filter, ROMF)<sup>[6]</sup>等方法,以利用更为合理的统计信息,对滤波结果做不同程度的优化。但这些方法在实际处理时,并没有将噪声像元与非噪声像元区别对待,不可避免地会产生图像模糊。

两步处理策略的出现为椒盐噪声的去除提供了新的思路。细节保持中值滤波(detail-preserving median filter, DPMF)<sup>[7]</sup>、非线性自适应滤波(non-linear adaptive filter, NLAF)<sup>[8]</sup>、极值中值滤波(extremum median filter, EMF)<sup>[9]</sup>和开关中值滤波(switch median filter, SMF)<sup>[10]</sup>是较

有代表性的方法。这类方法由于确定了噪声的具体位置,处理效果在影像噪声密度较低的情况下相对全图统一处理的方法有了明显的提升,但因为缺乏对高密度椒盐噪声的针对性研究,其优势在噪声密度较高的影像中并不突出。

一些针对高密度椒盐噪声的消除方法,包括自适应中值滤波(adaptive median filter, AMF)<sup>[11]</sup>、基于决策的算法(decision-based algorithm, DBA)<sup>[12]</sup>、简单的自适应中值滤波(simple adaptive median filter, SAMF)<sup>[13]</sup>等方法都偏向于遍历的处理思路,即试图用影像中少量的有用信息一次性处理所有的噪声像元。虽然处理速度很快,但在计算中值的过程中,噪声点之间的相互影响仍然较大,在椒盐噪声比例较高的时候对处理结果造成很大的影响。与之相比,迭代的处理方式则能在影像椒盐噪声密度较高时,更好地保持影像中的细节信息<sup>[14,15]</sup>。

本文提出了一种顾及影像细节信息的迭代中值滤波(detail-preserving iterative median filter, DPIMF)。该方法采用了循环迭代的处理框架,

并对影像中的噪声像元进行逐步修复。此外,在影像噪声比例一定的情况下,DPIMF 还加入了灰度差异控制项,以进一步优化噪声点的处理结果。

1 DPIMF 算法

1.1 噪声模型

对于一幅  $M \times N$  的 8 位灰度影像  $x$ ,其相应的动态取值范围为  $[0,255]$ ,椒盐噪声的像素取值即为 0 和 255<sup>[11,16]</sup>。假设  $x(i,j)$  为像素点  $(i,j)$  的像素值,则影像  $x$  受到椒盐噪声影响的退化模型可表示为:

$$y(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{概率为 } p \\ 255, & \text{概率为 } q \\ x(i,j), & \text{概率为 } 1 - p - q \end{cases} \quad (1)$$

式中, $y(i,j)$  表示噪声影像  $y$  在像素点  $(i,j)$  的像素值; $p$ 、 $q$  分别代表影像中“椒”“盐”的出现概率;而影像的总体噪声密度  $r$  则满足  $r=p+q$ 。

1.2 DPIMF 算法

目前,椒盐噪声的去除算法通常采用两步处理的策略,即首先根据某些准则探测出影像中可能存在的噪声点,然后设计适应的滤波算法处理这些噪声。本文算法主要利用椒盐噪声的强度特性判断噪声,假定像素值为 0 或 255 的像元均为潜在噪声点。若噪声像元集  $\Omega$  内的噪声像元总数为  $\theta$ ,则影像噪声密度  $r$  满足  $r=\theta/MN$ 。

在噪声滤除阶段,DPIMF 算法不改变影像中的完好像素,仅对噪声像素进行中值滤波,且仅使用完好像素来计算噪声像素的滤波结果。由于局部滤波能更好地避免模糊或扭曲的现象,本文选择  $3 \times 3$  的固定滤波窗口  $W_{i,j}^3$ 。为防止健康信息被简单地复制,当  $W_{i,j}^3$  内的完好像素个数小于 2 时,DPIMF 认为该窗口内的中值不存在,不予计算,而这些没有被处理的噪声像元将在后续的循环中被逐步修复。

在循环迭代的框架下,DPIMF 虽然能保证噪声点的滤波结果都是基于局部的健康像素信息,但在影像噪声比例较低、可用信息较多的情况下,滤波操作有望顾及影像中细小边缘的走势。因此,当影像中的椒盐噪声小于一定比例( $T_r$ )时,加入灰度差异控制项,使恢复像素的像素值在水平、竖直或对角线的方向上与邻近的两个健康像素尽可能接近,如式(2):

$$\begin{cases} |2 \cdot \beta(i,j) - \hat{x}(i-1,j) - \hat{x}(i+1,j)| < T_c \\ |2 \cdot \beta(i,j) - \hat{x}(i,j-1) - \hat{x}(i,j+1)| < T_c \\ |2 \cdot \beta(i,j) - \hat{x}(i-1,j-1) - \hat{x}(i+1,j+1)| < T_c \\ |2 \cdot \beta(i,j) - \hat{x}(i-1,j+1) - \hat{x}(i+1,j-1)| < T_c \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\hat{x}(i,j)$  为噪声像素  $y(i,j)$  的当前恢复结果; $\beta(i,j)$  为像素点  $(i,j)$  在窗口  $W_{i,j}^3$  内的滤波中值; $T_c$  为灰度差异控制项中的阈值。式(2)给出了从 4 个方向对滤波中值进行约束的条件,当  $\beta(i,j)$  符合其中的任一条件时,说明它是顾及细节走势的高质量滤波结果,则令  $\hat{x}(i,j)=\beta(i,j)$ 。反之,则认为此刻的滤波中值  $\beta(i,j)$  并不理想,不更新  $\hat{x}(i,j)$ 。由于在 8 位灰度影像中,肉眼难以分辨出灰度差小于 8 的像素<sup>[1]</sup>,因此本文中  $T_c$  初始化为 16 以保证细节的恢复质量。而考虑到实际操作中细节恢复需要的可用信息比例与 DPIMF 的滤波效率,灰度差异控制项的使用界限  $T_r$  被定为 60%。

图 1 为 DPIMF 的处理流程,其具体的操作步骤如下。

- 1)输入噪声影像  $y$ ,并将当前恢复结果  $\hat{x}$  初始为  $y$ 。
- 2)在  $\hat{x}$  内进行噪声定位,获取噪声像元集  $\Omega$ ,并依此计算影像的噪声密度  $r$ 。
- 3)若  $\Omega=\emptyset$ ,说明影像中没有椒盐噪声,直接输出当前影像  $\hat{x}$ ;若  $\Omega \neq \emptyset$ ,则按从左至右、从上到下的顺序以 DPIMF 计算中值的规则,依次计算  $\Omega$  内噪声像元的中值。当噪声像素  $(i,j)$  的中值存在时,将其记为  $\beta(i,j)$ 。
- 4)如果影像中的噪声密度满足  $r > T_r$  (60%),DPIMF 将直接利用  $\beta(i,j)$  更新  $\hat{x}(i,j)$ ;反之,DPIMF 将利用灰度差异控制项对  $\beta(i,j)$  进行进一步优化。当且仅当  $\beta(i,j)$  符合式(2)中的任一条件时,才相应地更新  $\hat{x}(i,j)$ ,并在  $\Omega$  中剔除该噪声像元。
- 5)经过一轮处理后,对于  $r > T_r$  的影像,噪声集  $\Omega$  必将发生变化,直接转到步骤 3)进行下一轮处理。但对于  $r \leq T_r$  的影像, $T_c$  的初始值可能对某些影像局部约束过严,因此,若一轮循环后, $\Omega$  内的像素没有减少,DPIMF 在回到步骤 3)

进入下一轮循环之前,将适当调大  $T_c(T_c = T_c + t, \text{可令 } t = 1)$ 。

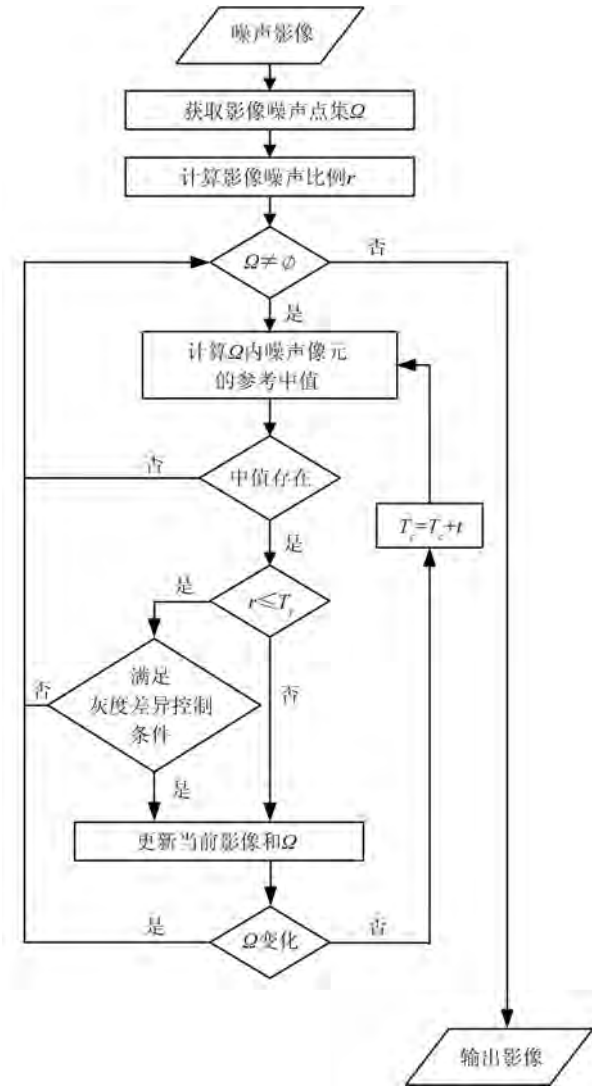


图 1 DPIMF 处理流程  
Fig.1 Flowchart of DPIMF

### 1.3 DPIMF 处理示例

本节以像素矩阵为例,详细阐述方法循环迭代的处理框架和灰度差异控制项,以说明 DPIMF 在恢复影像细节上的独特优势。

式(3)模拟了像素矩阵受椒盐噪声干扰的过程,其中有 4 个像元在该过程中被替换为了噪声。为方便后续说明,基于 DPIMF 从左至右、从上到下的处理顺序,依次将这 4 个噪声像元标记为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 。

77

70

83

80

58

70

91

113

66

98

117

131

97

124

137

132

118

137

137

103

加噪

77

70

83

80

58

0( $a$ )

0( $b$ )

113

66

98

255( $c$ )

131

97

255( $d$ )

137

132

118

137

137

103

(3)

根据 DPIMF 的处理流程,影像在噪声去除之前需要依据噪声探测结果计算出相应的椒盐比例。由于该矩阵的噪声密度仅为 20%, DPIMF 在滤波的过程中将使用灰度差异控制项。

在第一轮滤波过程中, $a$  点的噪声值为“0”,而其八邻域非噪声序列{77, 70, 83, 58, 66, 98}的中值为“74”。由于该中值满足灰度差异控制条件(式(2)),“74”即为滤波结果,如式(4)所示。按照相同的方法,依次得到了点  $b$ 、 $d$  的滤波结果“91”和“118”。

77

70

83

58

{0}

0

66

98

255

滤波

77

70

83

58

74

0

66

98

255

(4)

而处理  $c$  点时,其邻域序列{113, 98, 131, 137, 132}的中值为“131”,不满足式(2)的判定条件,因此噪声像素  $c$  将保持不变:

0

0

113

98

{255}

131

255

137

132

不变

0

0

113

98

255

131

255

137

132

(5)

综上,噪声影像第一轮循环后的结果为:

77

70

83

80

58

74( $a$ )

91( $b$ )

113

66

98

255( $c$ )

131

97

118( $d$ )

137

132

118

137

137

103

(6)

由于  $c$  点在第一轮循环中未处理,因此还需要在第一轮循环结果上进行第二轮滤波操作:

74

91

113

98

{255}

131

118

137

132

滤波

74

91

113

98

116

131

118

137

132

(7)

式中, $c$  点 8 邻域序列{74, 91, 113, 98, 131, 118, 137, 132}的中值为“116”,满足式(4)的约束条件,因此“255”被滤波为“116”。

最终,DPIMF 的处理结果如式(8):

77

70

83

80

58

74( $a$ )

91( $b$ )

113

66

98

116( $c$ )

131

97

118( $d$ )

137

132

118

137

137

103

(8)

通过比较点  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  在原始像素矩阵({70, 91, 117, 124})和去噪像素矩阵({74、91、116、118})中的灰度值不难发现,恢复后的像素与相应的原始像素其实非常接近,目视几乎难以分辨出其中的差别(灰度差异均小于 8)。可见,DPIMF 在实际处理中,不仅能有效滤除影像中的椒盐噪声,还能最大程度利用已知信息,优化噪声的恢复



结果,提高滤波的可靠性。

## 2 DPIMF 与其他算法对比实验分析

本文从标准测试影像库中选取了 4 幅  $512 \times 512$  的 8 位灰度影像(图 2),包括 1 幅遥感影像(图 2(a))和 3 幅自然影像(图 2(b)~图 2(d)),并模拟了椒盐密度从 10%到 95%的系列数据,以测试 DPIMF 的滤波效果。在对比方法的选择上,选择了 4 种能处理高密度椒盐噪声的方法,包括自适应中值滤波(AMF)<sup>[11]</sup>、基于决策的算法(DBA)<sup>[12]</sup>、简单的自适应中值滤波(SAMF)<sup>[13]</sup>以及迭代开关中值滤波(trimmed iterative median filter, TIMF)<sup>[14]</sup>。本文以 3 组实验为例,对比展示不同方法的目视效果。

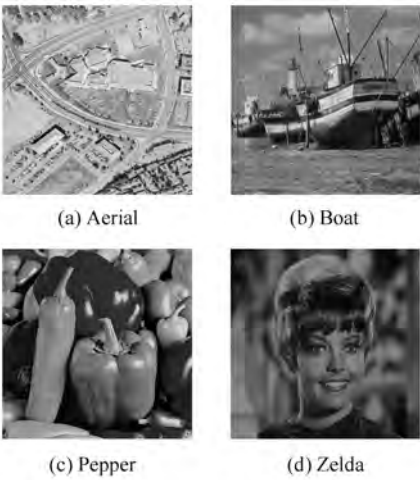


图 2 测试影像  
Fig.2 Test Images

图 3 为 Aerial 噪声影像(60%椒盐噪声)的处理结果。仅从整幅影像来看,5 种方法的目视差异并不显著,在图 4 中给出细节丰富的放大区域,并与原始的 Aerial 影像进行对比。以图 4 中的椭圆区域为例,AMF 和 DBA 的线条恢复结果非常破碎,SAMF 和 TIMF 虽然有一定程度的改善,但椭圆中的弧线依旧是断裂的。不同于其他

方法,本文的 DPIMF 能在去除椒盐噪声的同时,很好地顾及影像中的细节信息,即使影像内的噪声比例高达 60%,也依旧恢复出了原始影像中的细小线条。

图 5 和图 6 分别展示了不同方法对 Boat 和 Zelda 噪声影像的恢复结果。其中,DBA、TIMF 两种方法在影像噪声比例高达 95%的情况下,已无法保证处理之后的影像仍具有原始影像的基本轮廓。AMF 和 SAMF 虽然恢复了影像的大致轮廓,但 AMF 的处理结果有明显的噪声残留,如在图 6(b)中,Zelda 脸部和颈部的黑白噪点都十分显著。相较于 AMF,SAMF 虽然克服了噪声残留的问题,但处理结果整体比较模糊,比如在图 5(d)中,Boat 影像的桅杆几乎已经消失。而本文的方法不仅能在影像可用信息极低(5%)的情况下成功完成对 95%噪声信息的处理,还能最大程度地恢复出影像中的细节信息,优势明显。

为全面反映不同方法在不同影像、不同噪声密度下的处理效果,利用峰值信噪比(PSNR)和平均绝对误差(MAE)对所有实验进行了客观的定量评价。其中,PSNR 和 MAE 的计算方式分别如式(9)和式(10)所示,相关结果见表 1 和表 2。

$$\text{PSNR} = 10 \lg \frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{i,j} (x(i,j) - \hat{x}(i,j))^2} \quad (9)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{MN} \sum_{i,j} |x(i,j) - \hat{x}(i,j)| \quad (10)$$

综合表 1 和表 2 的结果,不论是根据 PSNR 指标,还是 MAE 指标,本文方法(DPIMF)在影像噪声密度较低,或是在噪声密度很高(95%)的情况下,相较于 4 种对比方法,都有着非常显著的优势。由于 PSNR 和 MAE 均反映的是结果影像和原始非噪声影像的接近程度,因而定量评价结果很好地说明了 DPIMF 的噪声处理结果在 5 种方法中是最为可靠的,这点也与之之前的目视评价结果一致。

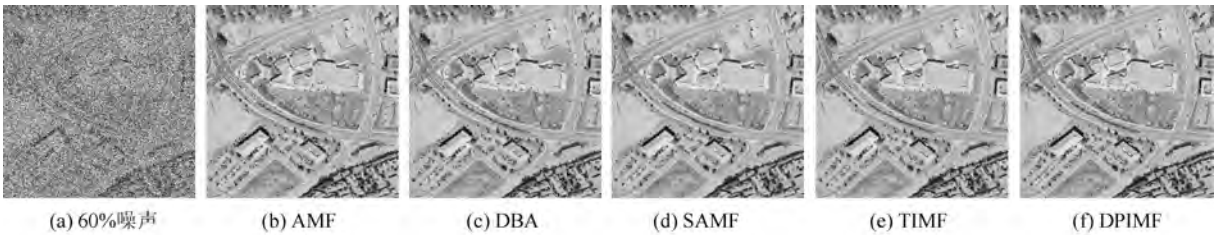


图 3 Aerial 影像实验结果对比  
Fig.3 The Restoration Results of Different Filters in Aerial

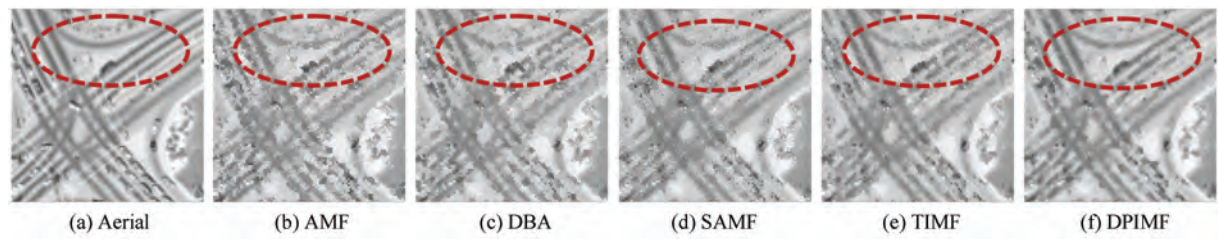


图 4  Aerial 影像实验结果放大对比

Fig.4  Detailed Regions of Restoration Results

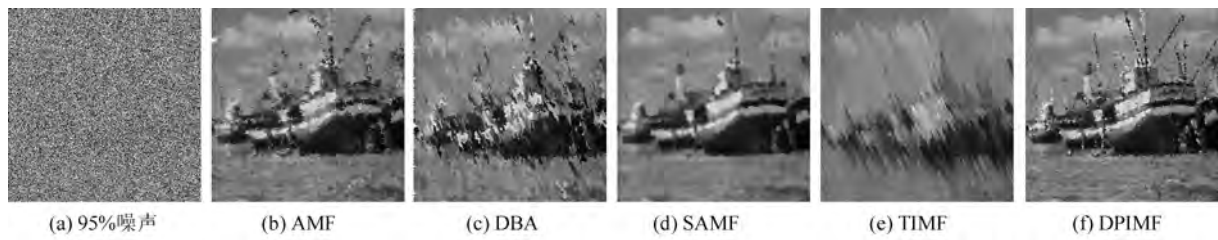


图 5  Boat 影像实验结果对比

Fig.5  The Restoration Results of Different Filters in Boat



图 6  Zelda 影像实验结果对比

Fig.6  The Restoration Results of Different Filters in Zelda

表 1  影像在不同噪声密度下的 PSNR 定量评价结果

Tab.1  The Quantitative Evaluation Results Using PSNR Index Under Different Noise Condition

| 影像      | 方法    | 10%          | 40%          | 60%          | 70%          | 80%          | 90%          | 95%          |
|---------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Aerial  | AMF   | 34.44        | 26.14        | 22.94        | 21.49        | 19.92        | 17.83        | 16.57        |
|         | DBA   | 34.55        | 26.60        | 22.68        | 20.92        | 18.96        | 16.32        | 15.21        |
|         | SAMF  | 34.56        | 27.01        | 24.49        | 23.14        | 21.74        | 19.88        | 18.58        |
|         | TIMF  | 36.35        | 28.02        | 24.03        | 22.20        | 20.10        | 17.82        | 16.58        |
|         | DPIMF | <b>36.53</b> | <b>29.21</b> | <b>26.06</b> | <b>24.59</b> | <b>22.91</b> | <b>20.55</b> | <b>18.80</b> |
| Boat    | AMF   | 37.46        | 28.83        | 25.39        | 24.11        | 22.57        | 20.26        | 18.81        |
|         | DBA   | 37.26        | 29.32        | 25.27        | 23.30        | 21.42        | 18.39        | 16.45        |
|         | SAMF  | 37.48        | 29.95        | 27.25        | 25.89        | 24.51        | 22.64        | 21.31        |
|         | TIMF  | 38.95        | 30.97        | 27.04        | 25.05        | 22.54        | 19.16        | 16.49        |
|         | DPIMF | <b>38.97</b> | <b>31.75</b> | <b>28.60</b> | <b>26.97</b> | <b>25.42</b> | <b>23.28</b> | <b>21.52</b> |
| Peppers | AMF   | 40.41        | 31.56        | 28.10        | 26.47        | 24.43        | 21.57        | 19.45        |
|         | DBA   | 41.12        | 32.19        | 27.92        | 25.07        | 22.57        | 18.21        | 15.84        |
|         | SAMF  | 42.12        | 33.87        | 31.00        | 29.56        | 27.63        | 24.97        | 22.97        |
|         | TIMF  | 42.78        | 34.17        | 29.91        | 26.93        | 23.58        | 18.50        | 15.14        |
|         | DPIMF | <b>42.94</b> | <b>35.46</b> | <b>32.26</b> | <b>30.07</b> | <b>28.32</b> | <b>25.69</b> | <b>23.60</b> |
| Zelda   | AMF   | 44.48        | 35.65        | 32.18        | 30.17        | 28.58        | 25.86        | 23.30        |
|         | DBA   | 44.72        | 36.08        | 31.27        | 28.91        | 26.10        | 22.21        | 19.24        |
|         | SAMF  | 44.77        | 36.94        | 34.32        | 32.78        | 31.12        | 28.95        | 26.97        |
|         | TIMF  | <b>46.07</b> | 37.77        | 33.59        | 31.06        | 27.57        | 22.52        | 18.37        |
|         | DPIMF | 46.05        | <b>38.66</b> | <b>35.26</b> | <b>33.93</b> | <b>32.15</b> | <b>29.76</b> | <b>27.66</b> |

表 3 以 Zelda 影像为例,对比了不同方法在        不同椒盐噪声比例下的处理时间。从表 3 中的结

果可知,循环迭代框架的使用并不会显著降低方法的运算效率。虽然相比传统的迭代开关中值滤波,本文方法在利用灰度差异控制项优化处理结果时会花费一定的时间,但这些时间是可接受的,

而且在影像可用信息足够的情况下( $r\leqslant 60\%$ ),灰度差异控制项的使用还可以显著提升影像的处理质量,即更加精确地恢复出影像的细节信息,具体可参考图 4。

表 2 影像在不同噪声下密度的 MAE 定量评价结果

Tab.2 The Quantitative Evaluation Results Using MAE Index Under Different Noise Condition

| 影像      | 方法    | 10%         | 40%         | 60%         | 70%         | 80%         | 90%          | 95%          |
|---------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Aerial  | AMF   | 0.86        | 4.47        | 7.98        | 10.26       | 13.34       | 18.46        | 22.73        |
|         | DBA   | 0.86        | 4.23        | 8.16        | 10.92       | 15.04       | 22.69        | 28.22        |
|         | SAMF  | 0.84        | 4.13        | 6.80        | 8.65        | 11.02       | 14.63        | 17.77        |
|         | TIMF  | 0.69        | 3.63        | 7.07        | 9.57        | 13.45       | 20.09        | 25.24        |
|         | DPIMF | <b>0.68</b> | <b>3.16</b> | <b>5.62</b> | <b>7.17</b> | <b>9.32</b> | <b>13.07</b> | <b>16.85</b> |
| Boat    | AMF   | 0.65        | 3.35        | 5.93        | 7.50        | 9.60        | 13.25        | 16.55        |
|         | DBA   | 0.69        | 3.18        | 5.97        | 8.07        | 10.89       | 16.76        | 22.98        |
|         | SAMF  | 0.64        | 2.98        | 4.89        | 6.16        | 7.77        | 10.22        | 12.36        |
|         | TIMF  | <b>0.56</b> | 2.74        | 5.12        | 6.97        | 10.02       | 16.78        | 25.96        |
|         | DPIMF | 0.56        | <b>2.53</b> | <b>4.28</b> | <b>5.56</b> | <b>6.99</b> | <b>9.42</b>  | <b>11.86</b> |
| Peppers | AMF   | 0.46        | 2.32        | 4.08        | 5.25        | 6.98        | 10.17        | 13.59        |
|         | DBA   | 0.44        | 2.16        | 4.03        | 5.75        | 8.30        | 15.18        | 22.66        |
|         | SAMF  | 0.39        | 1.85        | 3.05        | 3.81        | 4.96        | 6.93         | 9.12         |
|         | TIMF  | 0.38        | 1.83        | 3.38        | 4.91        | 7.73        | 16.29        | 29.18        |
|         | DPIMF | <b>0.38</b> | <b>1.68</b> | <b>2.82</b> | <b>3.77</b> | <b>4.80</b> | <b>6.61</b>  | <b>8.51</b>  |
| Zelda   | AMF   | 0.33        | 1.70        | 3.03        | 3.94        | 5.18        | 7.47         | 10.18        |
|         | DBA   | 0.33        | 1.60        | 3.10        | 4.28        | 6.30        | 10.84        | 16.95        |
|         | SAMF  | 0.30        | 1.43        | 2.36        | 3.00        | 3.84        | 5.27         | 6.87         |
|         | TIMF  | <b>0.28</b> | 1.35        | 2.55        | 3.62        | 5.78        | 11.99        | 22.21        |
|         | DPIMF | 0.28        | <b>1.27</b> | <b>2.22</b> | <b>2.78</b> | <b>3.55</b> | <b>4.87</b>  | <b>6.28</b>  |

表 3 Zelda 影像不同噪声密度下不同方法的计算时间比较/s

Tab.3 Running Time of the Different Methods Under Different Noise Condition in Zelda/s

| 方法    | 10%  | 40%  | 70%   | 95%   |
|-------|------|------|-------|-------|
| AMF   | 1.23 | 4.16 | 10.37 | 46.61 |
| DBA   | 2.58 | 2.49 | 2.57  | 2.63  |
| SAMF  | 0.64 | 2.06 | 2.85  | 6.48  |
| TIMF  | 0.31 | 1.01 | 1.71  | 2.32  |
| DPIMF | 1.58 | 6.16 | 1.73  | 3.82  |

### 3 结 语

本文针对椒盐噪声影像,提出了一种顾及影像细节信息的迭代中值滤波方法。该方法通过采用循环迭代的处理框架和灰度差异控制项,保证了方法在不同的椒盐噪声比例下均能获得较好的影像细节恢复结果。实验证明,DPIMF 算法相对于其他方法,有着最佳的目视效果和定量评价结果,特别是当影像的噪声比例高达 95% 时,DPIMF 还能最大程度避免处理结果出现扭曲或模糊的现象,视觉优势较为显著。本文方法侧重于影像处理时的噪声滤除工作,至于如何对更为复杂的噪声模型进行准确探测,有待更深入的研究。

### 参 考 文 献

[1] Bovik A. Handbook of Image and Processing[M]. New York: Academic Press, 2000

[2] Rosenfeld A, Woods R E. Digital Picture Processing[M]. New York: Academic Press, 1982

[3] Nodes T, Gallagher N C. The Output Distribution of Median Type Filters[J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1984, 32(5): 532-541

[4] Brownrigg D. The Weighted Median Filter [J]. *Communications of the ACM*, 1984, 27(8): 807-818

[5] Ko S J, Lee Y H. Center Weighted Median Filters and Their Applications to Image Enhancement[J]. *IEEE Transactions on Circuits & Systems*, 1991, 38(9): 984-993

[6] Abreu E, Lightstone M, Mitra S K, et al. A New Efficient Approach for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 5(6): 1 012-1 025

[7] Sun T, Neuvo Y. Detail-Preserving Median Based Filters in Image Processing[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1994, 15(4): 341-347

[8] Li Shutao, Wang Yaonan. Non-Linear Adaptive Re-

moval of Salt and Pepper Noise from Images[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2000, 5(12): 999-1 001(李树涛,王耀南.图象椒盐噪声的非线性自适应滤除[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(12): 999-1 001)

[9] Xing Cangju, Wang Shoujue, Deng Haojiang, et al. A New Filtering Algorithm Based on Extremum and Median Value[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(6): 533-536(邢藏菊,王守觉,邓浩江,等.一种基于极值中值的新型滤波算法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(6): 533-536)

[10] Zhang S, Karim M A. A New Impulse Noise Detector for Switching Median Filters[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9(11): 360-363

[11] 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 Signal Processing*, 2005, 14(10): 1 479-1 485

[12] Srinivasan K S, Ebenezer D. A New Fast and Efficient Decision-Based on Algorithm for Removal of High-Density Impulse Noise[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2007, 14(3): 189-192

[13] Ibrahim H, Kong N S P, Ng T F. Simple Adaptive Median Filter for the Removal of Impulse Noise from Highly Corrupted Images[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2008, 54(4): 1 920-1 927

[14] Wang Z, Zhang D. Progressive Switching Median Filter for the Removal Impulse Noise from Highly Corrupted Images[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II Analog & Digital Signal Processing*, 1999, 46(1): 78-80

[15] 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]. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2014, 22(5):1 352-1 358

[16] 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

A Novel Median Filter to Iteratively Remove Salt-and-Pepper Noise from Highly Corrupted Images

LAN Xia<sup>1</sup> LIU Xinxin<sup>2</sup> SHEN Huanfeng<sup>2,3</sup> YUAN Qiangqiang<sup>3,4</sup> ZHANG Liangpei<sup>3,5</sup>

1 The 10th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu 610036, China

2 School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China

3 Collaborative Innovation Center of Geospatial Technology, Wuhan University, Wuhan 430079, China

4 School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

5 The State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** In this paper, we propose a simple but efficient filter to effectively remove salt-and-pepper noise from highly corrupted images inspired by the corresponding limitations of existing filtering methods. After ensuring the location of ill pixels based on their intensity value, our method then utilizes the iterative processing framework to gradually restore the noisy images. When the useful information of one corrupted image is much enough, the proposed method can refine the results through particular designed criterion. The experiments from standard test images show that the proposed method can better recover the detail information and maintain the optimal performances qualitatively and quantitatively in the comparisons. Even the ratio of salt-and-pepper noise is as high as 95%, the advantage of our filter is still significant.

**Key words:** salt-and-pepper noise; median filter; iteration; noise removal; high density

**First author:** LAN Xia, PhD, specializes in signal and information processing. E-mail: lanxia2004@163.com

**Corresponding author:** SHEN Huanfeng, PhD, professor. E-mail: shenhf@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, Nos. 41401383, 41401396.