

## 改进型插值 IELAD 算法在图像去噪中的应用

范胜娟<sup>1,2</sup> 张有会<sup>1,2</sup> 王志巍<sup>1,2</sup> 董蕊<sup>3</sup> 曹萌<sup>1,2</sup>  
(河北师范大学数学与信息科学学院 石家庄 050024)<sup>1</sup>  
(河北省计算数学与应用重点实验室 石家庄 050024)<sup>2</sup>  
(河北交通职业技术学院基础教学部 石家庄 050091)<sup>3</sup>

**摘 要** 基于视频信号处理中用于场内插值的边缘自适应平均算法(ELA)思想,提出一种针对椒盐噪声图像滤波的改进型边缘自适应平均去噪算法(IELAD)。算法在扩展横向 5+5 阶 ELA 窗口的基础上增加了纵向 5+5 阶 ELA 窗口。根据噪声点所处边缘方向,自适应地确定窗口及滤波方向进行滤波处理。实验表明 IELAD 算法充分利用了 ELA 窗口的保边特性,能够在去除椒盐噪声的同时有效地保持图像的边缘及细节信息。

**关键词** IELAD 窗口,保持边缘,椒盐噪声,视频信号,ELA 插值

中图法分类号 TP391.4 文献标识码 A

### Application of Improved Interpolation IELAD Algorithm in Image Denoising

FAN Sheng-juan<sup>1,2</sup> ZHANG You-hui<sup>1,2</sup> WANG Zhi-wei<sup>1,2</sup> DONG Rui<sup>3</sup> CAO Meng<sup>1,2</sup>  
(Mathematics and Information Science College, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China)<sup>1</sup>  
(Hebei Key Laboratory of Computational Mathematics and Applications, Shijiazhuang 050024, China)<sup>2</sup>  
(Fundamental Teaching Department, Hebei Jiaotong Vocational and Technical College, Shijiazhuang 050091, China)<sup>3</sup>

**Abstract** An ideal image denoising algorithm should preserve details of image while removing the image noises. This article drew on the Edge-based Line Average algorithm (ELA) thinking which is used to venue interpolate in video signal processing and put forward an Improved Edge-based Line Average Denoising algorithm (IELAD) which is used to remove salt-and-pepper noises. In this algorithm, an extended 5+5 order vertical-window is added based on the 5+5 order horizontal-window. We saw the noise pixels as the interpolating pixels. Then according to the edge direction of the noise, the right window and direction were choosed adaptively for filtering. Experiments show that this method makes full use of the edge-preserving property of ELA window and can effectively remove the salt-and-pepper noises. This algorithm can maintain the edge details of the image and reduce image blur.

**Keywords** Improved edge-based line average denoising (IELAD) window, Edge-preserving, Salt-and-pepper noise, Video signal, Edge-based line average (ELA) interpolation

图像在成像、传输、存储过程中会引入许多噪声,图像去噪旨在去除噪声并同时尽可能地保留图像细节信息。图像噪声的种类很多,主要有高斯噪声、伽马以及椒盐噪声等。其中,椒盐噪声最为常见。椒盐噪声产生的原因有很多,包括通信系统的故障和缺陷以及传感器本身的局限性等。椒盐噪声又称为双极性脉冲噪声,这种噪声的特点是噪声点的灰度值与邻域像素点灰度值具有明显不同,在图像中形成过亮或过暗的像素点,严重影响图像的视觉质量。

一般线性滤波器对椒盐噪声的处理效果不佳,非线性滤波器在抑制椒盐噪声和保持图像细节方面有较好的效果,是滤波研究的重点。中值滤波是处理椒盐噪声的有效非线性滤波方法,但是标准中值滤波没有区分图像平滑和边界区域,而是采用统一的滤波方法,导致图像细节损失。多年来学者提

出了多种中值滤波的改进方法。Brownrigg<sup>[1]</sup>提出的加权中值滤波通过赋予窗口像素点加权值来保护图像细节。Sun等<sup>[2]</sup>提出了开关中值滤波,其先判断噪声点与信号点,只对噪声点进行中值滤波而信号点保持不变。王晓凯等人提出了改进的自适应中值滤波<sup>[3]</sup>,其对椒盐噪声有很高的识别率,在低噪声密度下效果良好,但是当椒盐噪声密度超 20%,滤波后图像边界模糊,平坦区不够平滑。本文借鉴视频信号处理中场内插值 ELA (Edge-based Line Average)<sup>[4]</sup>算法思想,结合均值滤波及图像处理本身的特点,提出了一种处理椒盐噪声图像的改进型 ELA 去噪算法:IELAD。算法利用视频信号与图像的相似性进行算法移植,并作改进。实验表明,算法在滤除噪声的同时,能较好地保留图像细节,抑制图像模糊。

本文受国家自然科学基金资助项目(11201113),河北省科学技术研究与发展计划项目(12226508)资助。

范胜娟(1987—),女,硕士生,主要研究方向为图形图像处理, E-mail: 18132075210@163.com; 张有会(1955—),男,教授,主要研究方向为计算几何、图形图像处理; 王志巍(1960—),男,硕士,副教授,主要研究方向为算法设计、图像处理; 董蕊(1979—),女,硕士,讲师,主要研究方向为图形图像处理; 曹萌(1989—),女,硕士生,主要研究方向为图形图像处理。

## 1 ELA 算法简介

视频信号处理中的隔行扫描会给高分辨率显示器带来行闪烁和运动边缘锯齿等伪像问题。ELA<sup>[5-7]</sup>算法正是处理该问题的一种经典场内插值算法。图1所示为像素点 $X$ 所在的ELA窗口,其中 $X$ 代表视频信号中的未知像素点, $a, b, c, d, e, f$ 分别代表以 $X$ 为中心的上下两已知行中的6个像素点。

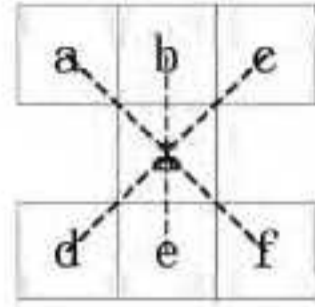


图1 ELA窗口

传统ELA算法的基本思想为:首先计算待插值像素点 $X$ 所在ELA窗口中的 $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 3个方向的方向差 $D_1, D_2, D_3$ (见式(1));然后求出 $D_1, D_2, D_3$ 的最小值 $D_{\min}$ ;最后根据 $D_{\min}$ 值得到方向差最小的方向作为最佳插值方向,利用该插值方向上两已知像素灰度平均值作为待插值像素的灰度值(见式(2))。

$$\begin{cases} D_1 = |a-f| \\ D_2 = |b-e| \\ D_3 = |c-d| \end{cases} \quad (1)$$

$$X = \begin{cases} (a+f)/2, & \text{if } D_{\min} = D_1 \\ (b+e)/2, & \text{if } D_{\min} = D_2 \\ (c+d)/2, & \text{if } D_{\min} = D_3 \end{cases} \quad (2)$$

上述传统的ELA算法在去隔行中得到广泛应用,但是它的缺陷是对水平边缘的检测能力很弱,只能检测 $45^\circ, 90^\circ$ 和 $135^\circ$ 边缘,对于小角度边缘则无能为力<sup>[8,9,11]</sup>。为此,Kuo等人提出 $3+3$ 阶的ELA算法,通过比较相邻像素的差值来改善对图像水平边缘的检测<sup>[8]</sup>;Lee等人将 $3+3$ 阶的ELA算法扩展为 $5+5$ 阶<sup>[12]</sup>;Haan等人则扩展为 $7+7$ 阶<sup>[13]</sup>,通过增大计算方向差的窗口,扩展水平方向的处理。尽管如此,仍不能完全消除对水平边缘的误判<sup>[4]</sup>。

## 2 IELAD 算法

IELAD算法是将视频信号处理中的一种场内插值ELA算法加以改进,并借鉴开关中值滤波及均值滤波思想,将其用于图像去噪,它们本质是视频处理手段与图像去噪领域的一种结合。

### 2.1 噪声检测

图像像素点受到椒盐噪声污染后,其灰度值表现为图像灰度级所允许的极大值或者极小值。通常,对于8 bit的灰度图像,灰度值为0或255的像素点被视为椒盐噪声。在本文中,对于一幅图像 $X$ ,如果某个像素点 $x(i, j)$ 的灰度值为0或者255,就认为该像素为椒盐噪声。本文借鉴开关中值滤波的思想,只对椒盐噪声进行滤波处理,非噪声点灰度值保持原值不变。

### 2.2 IELAD 算法基本思想

ELA算法是利用相邻像素灰度值之间的相关性对静态视频信号进行插值计算的。同样地,数字图像中相邻像素灰度值之间也具有相关性,即每个像素点并不孤立存在,而是与周围其它像素点一起构成一定的几何结构。基于图像信号与视频信号之间的这种相似特性,在ELA算法的基础上提出了

IELAD算法。算法首先针对传统ELA算法容易造成图像水平边缘误判的缺点<sup>[10,14]</sup>,结合图像本身的特点,在扩展横向ELA窗口的基础上增加了纵向扩展ELA窗口。两窗口结合使用,将其应用到椒盐噪声图像的滤波处理中。算法充分利用了ELA窗口的保边特性,能够在滤除噪声的同时较好地保留图像细节。

#### 2.2.1 IELAD 窗口滤波

传统ELA算法处理的视频信号中只有上下两已知行的信息可用,但在图像处理中左右两列的信息也具有同等的利用价值。因此IELAD在横向ELA窗口的基础上增加纵向ELA窗口(下文均记作IELAD窗口)。为了使图像有足够的恢复方向,将 $3+3$ 阶的ELA窗口扩展为 $5+5$ 阶IELAD窗口,如图2、图3所示。其中图2为横向 $5+5$ 阶IELAD窗口,图3为纵向 $5+5$ 阶IELAD窗口。横向 $5+5$ 阶IELAD窗口的恢复方向有 $22.5^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 5个方向,纵向 $5+5$ 阶IELAD窗口的恢复方向有 $0^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ$ 5个方向。

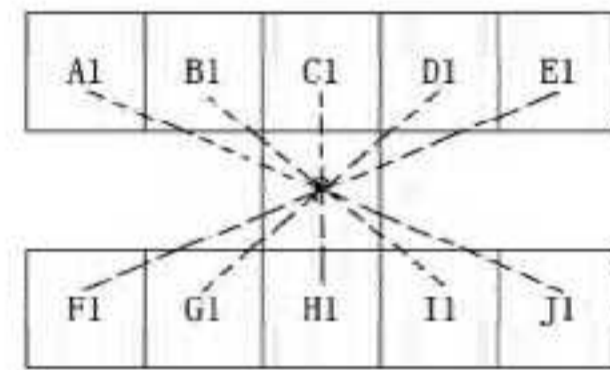


图2 扩展的 $5+5$ 阶横向IELAD窗口

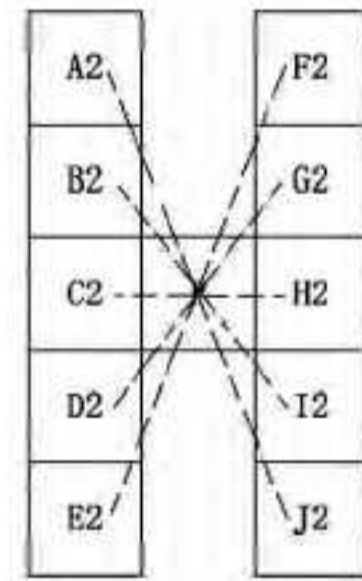


图3 扩展的 $5+5$ 阶纵向IELAD窗口

在图2、图3中, $P$ 为待处理像素点(噪声点),点 $A_1-J_1$ 为横向IELAD窗口中上下相邻行的10个像素点。点 $A_2-J_2$ 为纵向IELAD窗口中左右相邻列的10个像素点。图中每条虚线连接的两个像素称为一组像素。

算法首先根据横向和纵向 $5+5$ 阶IELAD窗口,利用式(3)和式(4)判断待处理像素点位于偏水平边缘还是偏垂直边缘。式(3)、式(4)定义如下:

$$VD = |A_1 + B_1 + 4 \times C_1 + D_1 + E_1 - F_1 - G_1 - 4 \times H_1 - I_1 - J_1| \quad (3)$$

$$HD = |A_2 + B_2 + 4 \times C_2 + D_2 + E_2 - F_2 - G_2 - 4 \times H_2 - I_2 - J_2| \quad (4)$$

式中, $VD$ 用于判定水平边缘, $HD$ 用于判断垂直边缘。具体的判断方法是:若 $VD > HD$ ,判断待处理像素点位于偏水平边缘,否则判断待处理像素点位于偏垂直边缘。

其次,根据对待处理像素点边缘方向的判断,采取相应的处理方法:

如果待处理像素点位于偏水平边缘,则利用横向 $5+5$ 阶IELAD窗口的 $22.5^\circ, 45^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ$ 方向结合纵向 $5+5$ 阶IELAD窗口中的 $0^\circ$ 方向对待处理像素点灰度值进行计算。

计算方法是,利用式(5)分别计算出5个方向(157.5°、135°、0°、45°、22.5°)的方向差  $D_i(i=1,2,3,4,5)$ ,找到方向差  $D_i(i=1,2,3,4,5)$  的最小值  $D_{\min}$ ,根据  $D_{\min}$  利用式(6)将待处理像素点的灰度值更新为  $P_{IELAD}$ 。

$$\begin{cases} D1 = |A1 - J1| \\ D2 = |B1 - I1| \\ D3 = |C2 - H2| \\ D4 = |D1 - G1| \\ D5 = |E1 - F1| \end{cases} \quad (5)$$

$$P_{IELAD} = \begin{cases} (A1 + J1)/2, & \text{if } D_{\min} = D1 \\ (B1 + I1)/2, & \text{if } D_{\min} = D2 \\ (C2 + H2)/2, & \text{if } D_{\min} = D3 \\ (D1 + G1)/2, & \text{if } D_{\min} = D4 \\ (E1 + F1)/2, & \text{if } D_{\min} = D5 \end{cases} \quad (6)$$

如果待处理像素点位于偏垂直边缘,利用纵向5+5阶 IELAD 窗口的 45°、67.5°、135°、112.5° 方向结合横向5+5阶 IELAD 窗口中的 90° 方向对待处理像素点灰度值进行计算。计算方法是,利用式(7)分别计算出5个方向(112.5°、135°、90°、45°、67.5°)的方向差  $D_i(i=1,2,3,4,5)$ ,找到方向差  $D_i(i=1,2,3,4,5)$  最小的方向  $D_{\min}$ ,根据  $D_{\min}$  利用式(8)将待处理像素点的灰度值更新为  $P_{IELAD}$ 。

$$\begin{cases} D1 = |A2 - J2| \\ D2 = |B2 - I2| \\ D3 = |C1 - H1| \\ D4 = |D2 - G2| \\ D5 = |E2 - F2| \end{cases} \quad (7)$$

$$P_{IELAD} = \begin{cases} (A2 + J2)/2, & \text{if } D_{\min} = D1 \\ (B2 + I2)/2, & \text{if } D_{\min} = D2 \\ (C1 + H1)/2, & \text{if } D_{\min} = D3 \\ (D2 + G2)/2, & \text{if } D_{\min} = D4 \\ (E2 + F2)/2, & \text{if } D_{\min} = D5 \end{cases} \quad (8)$$

从上述算法可见,横、纵 IELAD 窗口的联合使用,使图像的滤波方向自适应扩展到8个方向,并且弥补了 ELA 算法对图像水平边缘处理的不足。

### 2.2.2 利用窗口中的信号点对噪声进行滤波

传统 ELA 算法处理的视频信号中不含噪声。将 IELAD 算法直接应用于带噪声的图像,待处理像素所在 IELAD 窗口中的噪声点会对处理效果产生不利影响。例如,5+5 阶 IELAD 窗口中的5组像素中,有一组均为椒噪声或者均为盐噪声,根据方向差的计算公式,该组像素所在方向的方向差为0,即为5个方向差中的最小值。此时根据上述 IELAD 算法,待处理像素点会被该方向上的这组噪声像素灰度值的平均值代替,从而出现处理错误。因此,IELAD 算法还需解决的一个问题是,如何避免 IELAD 窗口中的噪声点对滤波结果的影响。

采取的方法是,只利用那些全部为信号点的像素组参与滤波运算。即在计算方向  $i(i=1,2,3,4,5)$  的方向差  $D_i(i=1,2,3,4,5)$  时,首先判断方向  $i(i=1,2,3,4,5)$  上两像素点中是否存在噪声点。若存在噪声点,就令该方向的方向差  $D_i$  为  $\max(\max)$  取大于且远离正常值的整数,这里取  $\max$  为 512)。

特殊地,5组像素中,每组均含有噪声点,此时就利用窗口中所有信号点对待处理像素进行均值滤波。

### 2.2.3 IELAD 算法的具体步骤

设矩阵  $[x(i,j)]$  表示待处理的噪声图像,其中  $(i,j)$  表示

像素点的坐标,  $x(i,j)$  表示像素点  $(i,j)$  的灰度值。

1) 逐行遍历  $[x(i,j)]$ , 设  $(m,n)$  为当前待处理像素点的坐标,若该像素点灰度值  $x(m,n)=0$  或  $x(m,n)=255$ , 判断为噪声点,转至步骤2; 否则该点灰度值不变;

2) 按照式(3)和式(4)分别计算待处理像素点所在5+5阶 IELAD 窗口中的  $VD, HD$ 。若  $VD > HD$ , 则判断该像素点处于偏水平边缘,记  $flag=0$ , 转至步骤3; 否则该像素点处于偏垂直边缘,记  $flag=1$ , 转至步骤4;

3) 判断方向  $i(i=1,2,3,4,5)$  上两个像素点中是否存在噪声点,若存在,记该方向的方向差  $D_i$  为  $\max$ ; 否则,按照式(5)计算  $D_i$ 。转至步骤5;

4) 判断方向  $i(i=1,2,3,4,5)$  上两个像素点中是否存在噪声点,若存在,记该方向方向差  $D_i = \max$ ; 否则,按照式(7)计算  $D_i$ 。转至步骤5;

5) 查找  $D_i(i=1,2,3,4,5)$  的最小值  $D_{\min}$ ,  
if  $D_{\min} \neq 512$

if  $flag=0$ , 利用式(6)中根据方向差最小值  $D_{\min}$  计算出的  $P_{IELAD}$  对待处理像素点灰度值进行代替,  
else 利用式(8)中根据方向差最小值  $D_{\min}$  计算出的  $P_{IELAD}$  对待处理像素点灰度值进行代替,

else  
if  $flag=0$  转至步骤6),  
else 转至步骤7);

6) 在待处理像素点所在横向5+5阶 IELAD 窗口中查找所有非噪声点,利用非噪声点灰度值的均值对待处理像素点的灰度值进行代替;

7) 在待处理像素点所在纵向5+5阶 IELAD 窗口中查找所有非噪声点,利用非噪声点灰度值的均值对待处理像素点的灰度值进行代替。

## 3 实验及结果分析

为验证 IELAD 算法在图像去噪中的有效性,利用程序设计语言 VC++6.0 对算法进行编程实验。本文选用噪声密度分别为 20%、40%、60% 的 lena 带噪图像进行 IELAD 算法滤波,并同传统的均值滤波和文献[3]的自适应中值滤波算法性能进行比较,滤波性能的比较采用图像直观效果和对峰值信噪比两种方法。

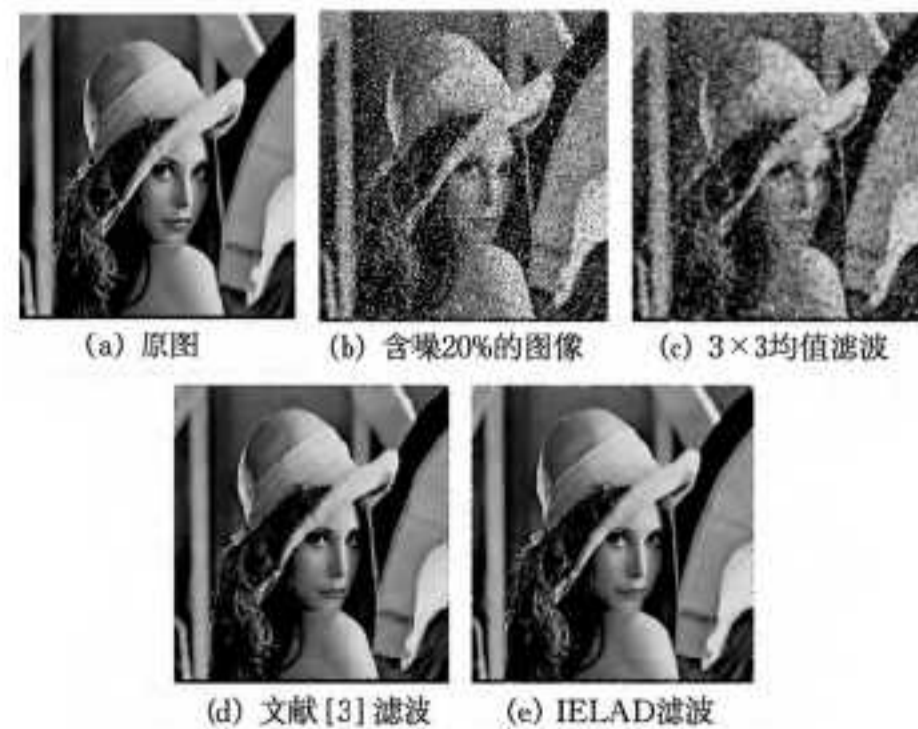


图5 噪声密度为20%时,各类算法对 lena 图像去噪结果对比图

滤波输出结果图如图5—图7所示,可以直观地观测滤波后图像的效果。由滤波输出的效果可见,IELAD 算法在噪声去除能力和局部细节保持方面都优于均值滤波算法和文献[3]滤波算法。



图6 对含噪40%图像分别进行 $3 \times 3$ 均值滤波、文献[3]滤波、IELAD滤波结果对比图



图7 对含噪60%图像分别进行 $3 \times 3$ 均值滤波、文献[3]滤波、IELAD滤波结果对比图

对于滤波效果的客观评价,本文使用峰值信噪比(PSNR)作为评价标准。PSNR的定义如下:

$$PSNR = 10 \lg \left[ \frac{M \times N \times L^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x,y) - g(x,y)]^2} \right] \quad (9)$$

其中, $f(x,y)$ 是原始图像的灰度值; $g(x,y)$ 是滤波后的图像灰度值; $M$ 和 $N$ 分别为图像的长和宽,对于本文而言 $L=255$ 。由公式可以看出PSNR值越大,则图像的滤波效果越好。

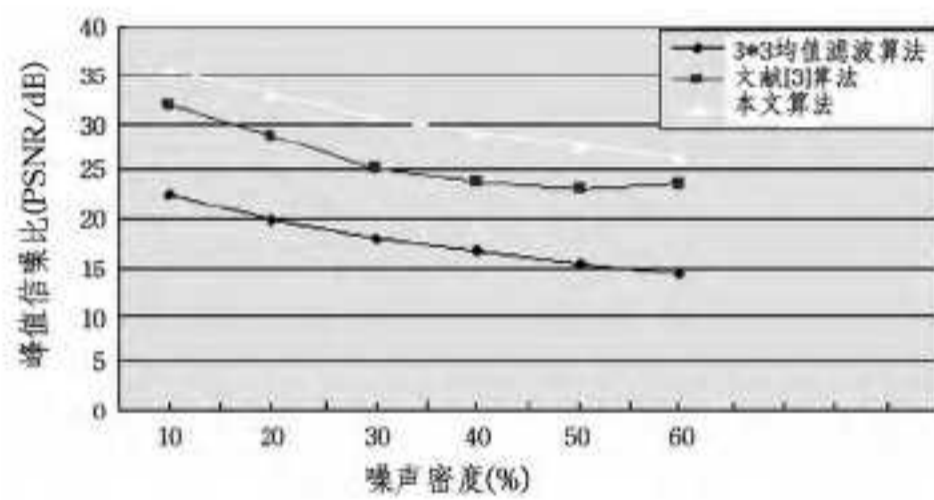


图8 不同噪声密度下3种滤波方法对应的峰值信噪比

表1 不同噪声密度下3种滤波方法对应的峰值信噪比

噪声密度 (%)	$3 \times 3$ 均值滤波 PSNR/dB	文献[3]滤波 PSNR/dB	本文算法 PSNR/dB
10	22.65	32.00	35.67
20	19.83	28.72	33.14
30	17.89	25.32	30.69
40	16.58	23.92	29.23
50	15.25	23.11	27.67
60	14.17	23.66	26.29

从图5—图7可以看出,本文算法要显著优于传统的均值滤波算法,与自适应中值滤波算法相比,不论在去噪效果还是保持图像细节和边缘方面都有某种程度的提高,取得了较好的滤波效果。从对表1及图8的分析来看,IELAD算法滤波后图像的峰值信噪比较均值滤波有了很大的提高。与自适应中值滤波算法相比,IELAD算法在处理噪声密度为20%~50%范围内含噪图像时峰值信噪比提高较大,滤波效果更佳。综上所述,IELAD算法不论在视觉效果还是客观理论方面都优于 $3 \times 3$ 均值滤波算法和自适应中值滤波算法。实验表明该算法在图像去噪中得到了较好的应用。

结束语 本文针对灰色图像中的椒盐噪声,将视频信号处理中的去隔行插值ELA算法加以改进,结合均值滤波,用于带椒盐噪声的图像处理中,提出IELAD算法。算法针对图像处理本身的特点对ELA窗口进行了扩展与改进,一方面使得算法在扩展图像恢复方向的同时弥补了传统ELA算法对水平边缘处理的不足;另一方面在实际应用中结合噪声图像的特性,只选用信号组参与滤波,避免了噪声点对滤波性能的影响。IELAD算法与均值滤波和自适应中值滤波相比,显示了更好的细节保护特性和较强的噪声去除能力,是视频处理手段与图像去噪领域的有效结合。

## 参考文献

- [1] Brownrigg D. The weighted median filter[J]. Communications of ACM, 1984, 27(8): 807-818
- [2] Sun T, Neuvo Y. Detail-preserving median based filters in image processing[J]. Pattern Recognition Letters, 1994, 15(4): 341-347
- [3] 王晓凯, 李锋. 改进的自适应中值滤波[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(3): 175-176, 218
- [4] Zhang Ying-jun, Liu Yi-qing, Yu Ben. Improved Motion Adaptive De-interlacing Algorithm[M]. Video Engineering Press, 2010: 34-341
- [5] Taisc, Yu, Chang F J. A motion and edge adaptive deinterlacing algorithm[C] // Proc. 2004 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. IEEE Press, 2004: 659-662
- [6] Shahinfarde, Sidahmedma, Ahmadi M. A motion adaptive deinterlacing method with hierarchical motion detection algorithm [C] // Proc. 15th IEEE International Conference on Image Processing. IEEE Press, 2008: 889-892
- [7] 杨宇红, 张文军, 董云朝. 一种自适应去隔行算法及其电路设计[J]. 数据采集与处理, 2004(3): 334-337
- [8] Kuo C J, Liao C, Lin C C. Adaptive interpolation technique for scanning rate conversion [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 317-321
- [9] Lee S G, Lee D H. A motion-adaptive de-interlacing method using an efficient spatial and temporal interpolation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1266-1271
- [10] Jung Y Y, Yang S, Yu P. An effective de-interlacing technique using two types of motion information [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(3): 93-98
- [11] 赵娜娜, 王向文, 刘顺兰. 基于中值滤波与边缘插值的视频去隔行算法[J]. 杭州电子科技大学学报, 2011, 31(5)
- [12] Lee H Y, Park J M, Bae T M, et al. Adaptive scan rate up-conversion system based on human visual characteristics [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(4): 999-1006
- [13] Haan G de, Lodder R. De-interlacing of video data using motion vectors and edge information [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Consumer Electronics. Los Angeles, USA: ACM Press, 2002: 70-71
- [14] 李火生, 李国平, 滕国伟, 等. 一种新的运动自适应去隔行算法[J]. 电视技术, 2012, 36(15): 312-314