

文章编号 1004-924X(2005)06-0759-07

# 基于 L-曲率流滤波器的图像降噪算法

周昌雄<sup>1,2</sup>, 于盛林<sup>1</sup>, 祖克举<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学 自动化学院, 江苏 南京 210016; 2. 江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

**摘要:**提出了 L-曲率流滤波器的图像降噪(滤波)算法,该方法按图像信噪比大小分高、中、低 3 类,分别由 L 滤波器降噪、多级 L 滤波器降噪以及多次迭代的组合滤波器降噪,并进行了实验研究。结果表明:该算法与均值和中值滤波器相比,输入图像信噪比越低,滤波效果越明显。当输入图像为低信噪比时,对于受高斯噪声污染的图像,该算法滤波比均值滤波平均提高 2.98 dB;对于受脉冲噪声污染的图像,该算法滤波比中值滤波平均提高 11.09 dB,说明该算法对降低不同种类和不同信噪比的图像噪声有较强的适应性。

**关键词:** L 滤波; 曲率流滤波; 图像降噪

中图分类号: TP391 文献标识码: A

## Image denoising algorithm based on L-curvature flow filter

ZHOU Chang-xiong<sup>1,2</sup>, YU Sheng-lin<sup>1</sup>, ZU Ke-ju<sup>2</sup>

(1. *College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China*; 2. *School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China*)

**Abstract:** Denoising algorithm of L-curvature flow filter was presented. The image noise was obviously removed according to SNR level in terms of the algorithm. L filter, multistage L filter, and the filter combined L filter with curvature flow filter through many iterations, could filter image noise of higher, middle, and lower SNR level respectively. Experiment results show that the lower the input image SNR is, the better the performance of developed algorithm is comparing with the average filter and mean filter. When input image SNR level is low, output image SNR of the algorithm is about 2.98 dB higher than average filter for images with Gaussian noise, and 11.09 dB higher than mean filter for images with impulse noise. The method is very efficient to decrease the image noise of different kinds of SNR and intensities.

**Key words:** L filter; curvature flow filter; image denoising

## 1 引言

在图像形成和传输过程中,由于设备不完善和物理限制,所获得的图像通常叠加有噪声,达不到期望质量。在这种情况下,常需要对图像进行滤波<sup>[1-4]</sup>。由于噪声分布种类及信噪比大小不同,降低噪声的方法也不同。图像滤波常分为线性滤波和非线性滤波。非线性滤波是基于对输入图像的一种非线性映射,一般具有保护图像细节的特点。目前研究的非线性滤波除模糊滤波器<sup>[5]</sup>和神经网络滤波器两大类外<sup>[6-8]</sup>,还有次序滤波器<sup>[9-10]</sup>和基于偏微分方程(PDE)的滤波器<sup>[11-12]</sup>。以次序统计量为基础的次序滤波器具有很好的降噪能力,L滤波器是使用最方便的一种次序滤波器。在均方误差最小意义下推导出的 2 种特殊的 L 滤波器,即均值滤波器和中值滤波器,分别对平滑高斯分布噪声和脉冲分布噪声非常有效<sup>[9,13]</sup>;但对于受噪声污染比较大的图像,L滤波降噪效果并不理想<sup>[10]</sup>,滤波后的图像噪声还很大,可认为噪声分布模型尚未改变,常需多级 L 滤波器降噪;对于受噪声污染很严重的图像,还需要其他滤波器组合降噪。偏微分方程滤波器在国内研究的并不多见,由 Koenderink 和 Hummel 提出的扩散方程最早用于计算机视觉处理,在此基础上,Perona 等提出了非线性异质扩散方程模型用于图像处理,该模型使用了具有保护图像边缘特性的定向扩散代替具有同质扩散特性的高斯光滑核<sup>[14-15]</sup>。Malladi 和 Sethian 把图像的灰度值看成由一些等强度轮廓线组成,引入了平均曲率流滤波(平滑、降噪),这种滤波器的优点在于平滑只在平坦区域内进行,不跨越区域边缘,保护了图像细节<sup>[12]</sup>。曲率流滤波器可对 L 滤波器尚未滤去干净的噪声,在平坦区内加以平滑,同时保护图像的细节不受损失。当图像受噪声污染非常严重,可利用多次迭代 L 滤波器和曲率流滤波器的组合滤波器降低图像的噪声。

## 2 L 滤波器

对给定的输入序列  $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_N\}$ ,  $N$  是数据集合中元素的个数,将其按大小排序:

$$x^{(1)} \leq \dots \leq x^{(i-1)} \leq x^{(i)} \leq x^{(i+1)} \leq \dots \leq x^{(N)}, \quad (1)$$

称式(1)为  $X$  的次序统计(稳健统计)。L 滤波器先将输入信号按大小排序,然后再对排序信号加权输出。设  $D$  为整数,窗口  $A$  的长度  $h = 2D + 1$ , 则基于次序统计的 L 滤波器输出  $y_i$  为:

$$y_i = \text{OSF}\{x_{i+j}; j \in A\} = \sum_{j=1}^{j=h} a_j x_i^{(j)}, j = 1, 2, \dots, h; i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

式(2)中 OSF 表示次序统计滤波器,  $x_i^{(j)}$  是  $x_{i-D}, \dots, x_i, \dots, x_{i+D}$  的次序统计值,  $a_j$  根据噪声分布模型而选择。设 L 滤波器的输入是一个被零均值噪声污染的常量信号,即

$$x_i = s_i + n_i, i = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

式(3)中  $s_i$  表示理想输入信号,  $n_i$  是独立同分布的随机噪声变量,假设  $n_i$  的数学期望(均值)  $E\{n_i\} = 0$ ,  $s_i = s$  为常量,则

$$x_i^{(j)} = s + n_i^{(j)}, j = 1, 2, \dots, h; i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式(4)中  $x_i^{(j)}$ ,  $n_i^{(j)}$  分别是窗口  $A$  内  $x_{i-D}, \dots, x_i, \dots, x_{i+D}$  和  $n_{i-D}, \dots, n_i, \dots, n_{i+D}$  的次序统计值。为讨论方便,用矢量方式表示上述各量为:

$$\mathbf{a} = [a_1, \dots, a_h]^T; \mathbf{e} = [1, \dots, 1]^T; \\ \mathbf{n} = [n_i^{(1)}, \dots, n_i^{(h)}]^T; \mathbf{x} = [x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(h)}]^T$$

则  $y_i = \mathbf{a}^T \mathbf{x}$ 。

估计白噪声污染的常量信号时,L滤波器具有无偏性的充要条件为  $\mathbf{a}^T \mathbf{e} = 1$ ,一般选对称的  $a_j, a_j = a_{h-j+1}$ 。最小化均方值 MSE,选择  $a_j$  的最佳值。

$$\text{MSE} = E[(y_i - s)^2] = \mathbf{a}^T \mathbf{R}_m \mathbf{a}, \quad (5)$$

式(5)中  $\mathbf{R}_m$  为噪声  $n_i^{(1)}, \dots, n_i^{(h)}$  的自相关矩阵。通常,信号不是常量,则均方误差 MSE 为

$$\text{MSE} = \mathbf{a}^T \mathbf{R}_{xx} \mathbf{a} - 2\mathbf{a}^T \mathbf{p} + E[(s_i)^2], \quad (6)$$

式(6)中  $\mathbf{R}_{xx}$  是次序统计量  $x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(h)}$  的相关矩阵,  $\mathbf{p}$  是  $s_i$  与次序统计量  $x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(h)}$  的互相关矢量。对式(6)求极小值,得  $\mathbf{a}$ :

$$\mathbf{a} = \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{p}, \quad (7)$$

由概率密度函数求相关矩阵  $\mathbf{R}_{xx}$  及互相关矢量  $\mathbf{p}$ ,再根据噪声均方误差最小,可求 L 滤波器的系数  $\mathbf{a}$ ,但实际上是很困难的。对高斯分布模型求得  $a_j = 1/h, h = 2D + 1$ ,即为均值滤波器。对脉冲分布模型求得  $a_j = \delta(j - D - 1), j = D + 1$  时,  $a_j = 1; j \neq D + 1$  时,  $a_j = 0$ ,即为中值滤波器。

对二维 L 滤波器,设图像  $x$  的尺寸大小为  $M \times N$ ,窗口  $A$  的尺寸  $H = (2D + 1)(2D + 1)$ ,则

$$y_{ij} = \text{OSF}\{x_{i+u, j+v}; (u, v) \in A\}$$

$$i=1,2,\dots,M; j=1,2,\dots,N, \quad (8)$$

当噪声比较大时(信噪比中), 输出信号的噪声均方值仍然较大, 可认为噪声分布的类型不变, 这时可使用多级 L 滤波器滤波, 获得均方误差最小意义下较好的滤波效果。

$$y_{ij} = \text{OSF}\{\text{OSF}\{\dots\text{OSF}\{x_{i+u, j+v}; (u, v) \in A\}\}; (u, v) \in A\}, \quad (9)$$

L 滤波器能使均值滤波器和中值滤波器在均方误差最小意义下得到统一表达式, 人们找到了在不同噪声类型下使用不同的滤波器的理论依据。L 滤波器先将输入信号按大小排序, 然后对排序后信号再加权输出。由于 L 滤波器排序过程破坏了时间(一维)或空间(二维)邻域信息, 它的性能随着滤波器的长度增加而变坏, 一般取窗口尺寸  $h=3$  或  $H=3 \times 3$ 。

### 3 曲率流滤波器

曲率流滤波器以偏微分方程为基础, 把图像的灰度值看成由一些等强度轮廓线组成, 在平均曲率流的作用下做扩散运动。设  $x(i, j)$  是大小为  $M \times N$  的灰度图像的灰度值(强度), 图像强度按热扩散方程运动如下:

$$x_t(i, j) = \nabla^2 x(i, j), i=1, \dots, M; j=1, \dots, N, \quad (10)$$

其中  $\nabla^2$  为拉普拉斯算子, 式(10)为同质扩散, 沿各方向等速扩散。从图像平滑的角度看, 上述扩散过程正是高斯平滑过程, 即以  $t$  为尺度的高斯分布函数对图像卷积。

$$x(i, j, t) = x(i, j, 0) \times g(i, j, t)$$

其中  $g$  为高斯核, 上式虽压制了噪声, 但同时也会破坏了图像的细节, 导致图像模糊。将(10)式

改写为  $x_t = \frac{\nabla \cdot \nabla x}{|\nabla x|} |\nabla x|$ , 同时把分母  $|\nabla x|$  移到梯度  $\nabla$  的里面, 则

$$x_t = \nabla \cdot \left( \frac{\nabla x}{|\nabla x|} \right) |\nabla x| = x_k |\nabla x|, \quad (11)$$

其中平均曲率或曲率在直角坐标系下为

$$x_k = \frac{x_i^2 x_{jj} - 2x_i x_j x_{ij} + x_j^2 x_{ii}}{(x_i^2 + x_j^2)^{3/2}}, \quad (12)$$

式(11)为曲率流运动方程, 它实质上是水平集方程, 图像的强度函数替代了水平集函数。式(11)右边在局部坐标下可化为

$$|\nabla x| \nabla \cdot \left( \frac{\nabla x}{|\nabla x|} \right) = x_{\xi \xi}, \quad (13)$$

其中  $\xi$  与梯度  $\nabla$  的方向正交, 方程式(11)表示在方向  $\xi$  上进行扩散, 而在梯度方向上不进行任何扩散。式(11)在式(14)极小化时导出

$$E(x) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |\nabla x(i, j)|, \quad (14)$$

式(14)的物理含意是图像强度函数的梯度绝对值和最小。这种方法的最大优点在于: 平滑只在平坦区域内进行, 不跨越平坦区域边缘, 在降噪的同时, 保护了图像的细节。

### 4 L-曲率流滤波

本文提出一种 L-曲率流滤波算法, 首先设置迭代次数和计算图像信噪比, 然后按图像信噪比大小分高、中、低 3 类分别由 L 滤波器降噪、多级 L 滤波器降噪以及多次迭代的组合滤波器(L 滤波后再做曲率流滤波)降噪。对不同种类和不同大小的噪声, 其具体降噪算法描述如图 1 所示。

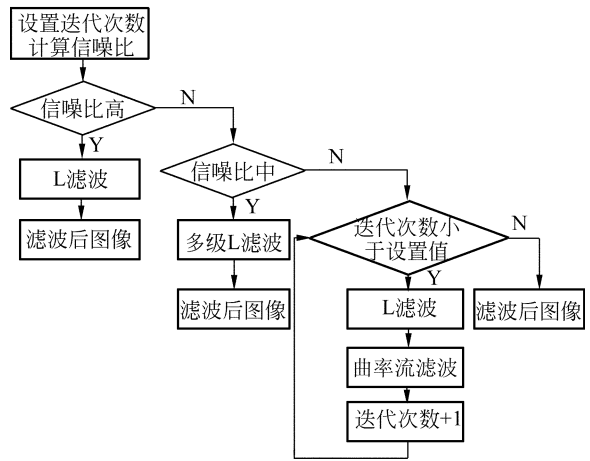


图 1 L-曲率流滤波

Fig.1 L-curvature flow filter

先设置迭代次数和计算图像信噪比, 若噪声污染较轻时(信噪比高), 使用 L 滤波获得输出信号; 当噪声比较大时(信噪比中), L 滤波后输出信号的噪声均方值仍然较大, 但是可认为噪声分布的类型不变, 这时可使用多级 L 滤波器滤波获得较好滤波效果; 若噪声污染很严重时(信噪比低), 可使用多次迭代的 L 滤波器和平滑保细节的曲率流滤波器组合滤波, 共同完成降噪任务, 迭代滤波到设置的迭代次数为止。其中执行 L 滤波器时,

首先判定噪声类型,若为高斯噪声,在均方误差最小意义下 L 滤波器为均值滤波;若为脉冲噪声,在均方误差最小意义下 L 滤波器为中值滤波。

## 5 实验与分析

本文做了两组实验,第一组实验为光学干涉原图加入不同大小的高斯噪声,然后分别用窗口大小为  $3 \times 3$  均值滤波器、5 级  $3 \times 3$  均值滤波器、5 次迭代的组合( $3 \times 3$  均值和曲率流)滤波器以及 L-曲率滤波器滤波,滤波结果见表 1,其中 L-曲率滤波器中的多级 L 滤波器为 5 级  $3 \times 3$  均值滤波器,多次迭代组合滤波器为 5 次迭代的  $3 \times 3$  均值和曲率流滤波器。

第二组实验为光学干涉原图加入不同大小的脉冲噪声,然后分别用窗口大小为  $3 \times 3$  中值滤波器、5 级  $3 \times 3$  中值滤波器、5 次迭代的组合( $3 \times 3$  中值和曲率流)滤波器以及 L-曲率流滤波器滤波,滤波结果见表 2,其中 L-曲率流滤波器中的多级 L 滤波器为 5 级  $3 \times 3$  中值滤波器,多次迭代组合滤波器为 5 次迭代的  $3 \times 3$  中值和曲率流滤波器。

由表 1 可知,受高斯噪声污染的图像,当信噪比高于 15 dB 时,多级均值滤波会使图像因多次平均邻域值而产生模糊,因此,均值滤波后输出图像的信噪比大于多级均值滤波及多次迭代组合滤波后输出图像的信噪比。在高信噪比时,L-曲率流滤波器就是均值滤波器,L-曲率流滤波器滤波后输出图像的信噪比与均值滤波器滤波后输出图像的信噪比相等。当输入图像的信噪比在 7~13 dB 之间时,L-曲率流滤波器滤波后输出图像的信噪比高于均值滤波器滤波后输出图像的信噪比,因为 L-曲率流滤波器此时是多次迭代的均值滤波器和曲率流滤波器的组合滤波器,对于低信噪比的输入图像,平滑降噪的曲率流滤波器能降低均值滤波后图像平滑区域内的噪声,又保留图像的边缘细节,提高输出图像的信噪比。

表 1 受高斯噪声污染图像滤波前后的 SNR(dB)

Tab. 1 SNR(dB) of image with Gaussian noise after and before filtering

滤波方法 \ 滤波前 SNR	19.17	15.31	12.45	8.77	6.21	3.82	2.61	1.85
均值滤波器	28.28	24.56	21.57	17.85	15.09	12.12	10.74	9.62
多级均值滤波器	24.74	24.11	22.80	20.68	18.19	14.97	13.38	12.00
多次迭代组合滤波器	23.97	23.32	22.15	20.41	18.21	15.23	13.69	12.35
L-曲率流滤波器	28.28	24.56	22.80	20.68	18.21	15.23	13.69	12.35
L-曲率流滤波器比均值滤波器提高的 SNR	0	0	1.23	2.83	3.12	3.11	2.95	2.73

表 2 受脉冲噪声污染图像滤波前后的 SNR(dB)

Tab. 2 SNR(dB) of image with impulse noise after and before filtering

滤波方法 \ 滤波前 SNR	14.05	12.46	10.24	7.16	4.12	2.31	1.13	0.13
中值滤波器	39.38	37.94	35.52	30.29	22.13	15.93	11.16	7.02
多级中值滤波器	38.89	37.75	35.65	32.16	28.61	26.06	23.59	19.56
多次迭代组合滤波器	37.61	36.58	34.85	31.76	28.85	26.77	24.31	20.66
L-曲率流滤波器	39.38	37.94	35.65	32.16	28.85	26.77	24.31	20.66
L-曲率流滤波器比中值滤波器提高的 SNR	0	0	0.13	1.87	6.72	10.84	13.15	13.64

由表 2 可知,受脉冲噪声污染的图像,当信噪比高于 12 dB 时,多级中值滤波多次使邻域值替代窗口中心值,而使原图质量变差,因此,中值滤波后输出图像的信噪比大于多级中值滤波及多次迭代组合滤波后输出图像的信噪比。在高信噪比时,L-曲率流滤波器就是中值滤波器,L-曲率流滤波器滤波后输出图像的信噪比与中值滤波器滤波后输出图像的信噪比相等。当输入图像的信噪比在 6~11 dB 之间时,L-曲率流滤波器滤波后输出图像的信噪比高于中值滤波器滤波后输出图像的信噪比,因为 L-曲率流滤波器此时是多次迭代的中值滤波器和曲率流滤波器的组合滤波器,对于低信噪比的输入图像,平滑降噪的曲率流滤波器能降低中值滤波后图像平滑区域内的噪声,又保留图像的边缘细节,提高输出图像的信噪比。

信噪比。当输入图像的信噪比低于 5 dB 时,L-曲率流滤波器滤波后输出图像的信噪比高于均值滤波器滤波后输出图像的信噪比,因为 L-曲率流滤波器此时是多次迭代的中值滤波器和曲率流滤波器的组合滤波器,对于低信噪比的输入图像,平滑降噪的曲率流滤波器能降低中值滤波后图像平滑区域内的噪声,又保留图像的边缘细节,提高输出图像的信噪比。

图 2 为受高斯噪声污染滤波前后图像,其中图(a)、(d)、(g)分别为受不同大小高斯噪声污染滤波前的图像,图(b)、(e)、(h)分别为均值滤波后输出图像,图(c)、(f)、(i)分别为本文算法滤波后输出图像。

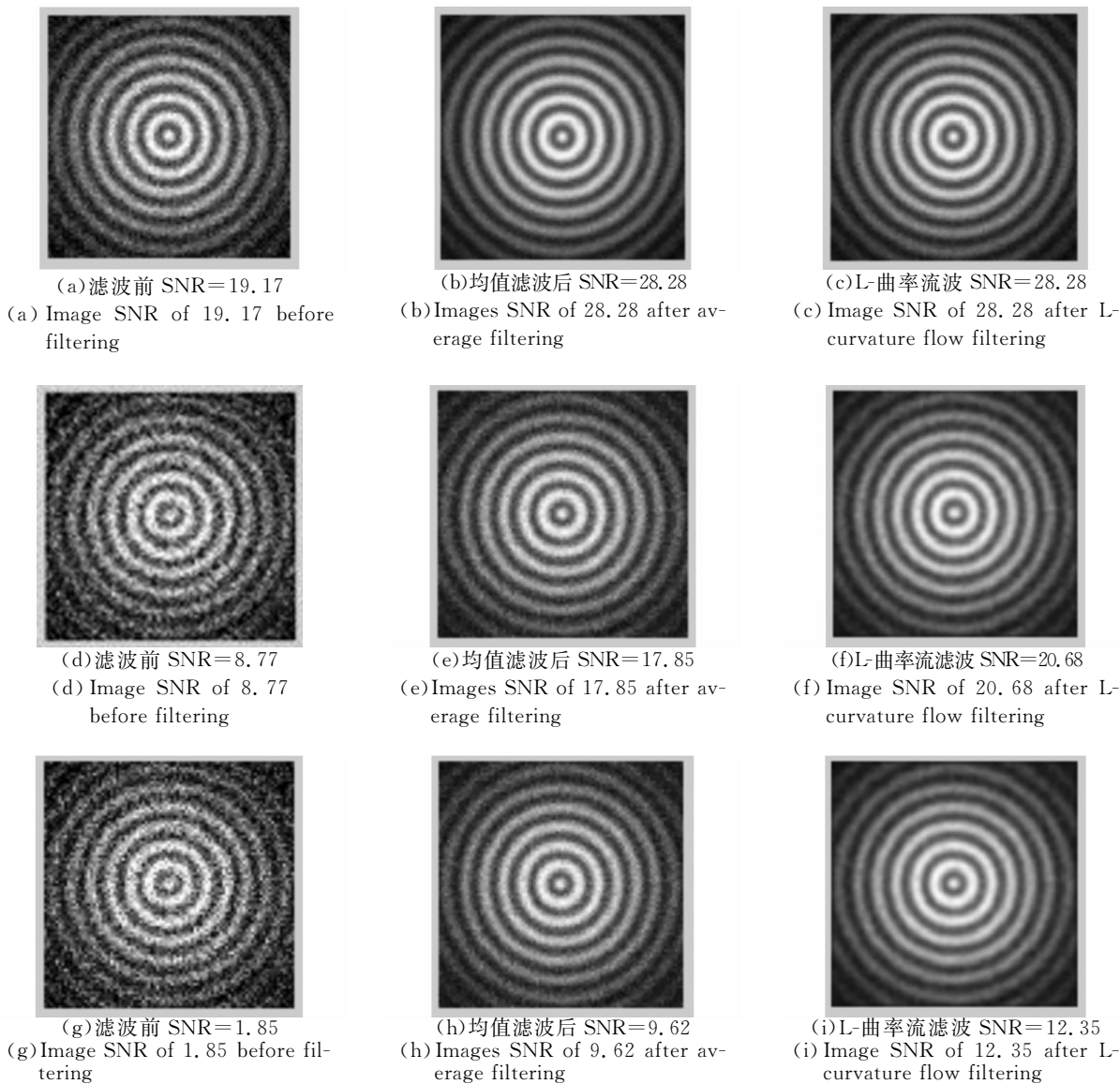


图 2 受高斯噪声污染滤波前后的图像

Fig. 2 Images with Gaussian noise after and before filtering

## 6 结 论

两组实验数据表明,在高信噪比时(受高斯和脉冲噪声污染图像信噪比分别高于 15 dB 和 12 dB),L-曲率流滤波器和 L 滤波器具有相同的滤波效果;在中等信噪比时(受高斯和脉冲噪声污染图像信噪比分别在 7~13 dB 和 6~11 dB 之间),L-曲率流滤波器采用多级 L 滤波器滤波,多级 L 滤波器滤去了 L 滤波器尚未滤去干净的噪声,从而 L-曲率流滤波器滤波可提高输出图像信噪比;在低信噪比时(受高斯和脉冲噪声污染图像信噪

比分别低于 6 dB 和 5 dB),多次迭代使用 L 滤波器和平滑保细节的曲率流滤波器的组合滤波器,共同完成降噪任务,L-曲率流滤波器的图像滤波算法对降低不同种类和不同信噪比的图像噪声有较强的适应性。从表 1 和表 2 可知,该算法与均值和中值滤波器相比,输入图像信噪比越低,该算法滤波效果越明显,当输入图像为低信噪比时,对于受高斯噪声污染的图像,本文算法滤波比均值滤波平均提高 2.98 dB;对于受脉冲噪声污染的图像,本文算法滤波比中值滤波平均提高 11.09 dB。

## 参考文献:

- [1] PITAS I, VENERSANOPOULUS A N. *Nonlinear digital filter: principle and applications* [M]. Kluwer, Dordrecht, 1990.
- [2] 杨新. 图象偏微分方程的原理与应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.  
YANG X. *Partial differentiation equation principle and application* [M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2003. (in Chinese)
- [3] 佟首峰, 阮锦, 郝志航. CCD 传感器降噪技术的研究 [J]. 光学 精密工程, 2000, 8(2): 140-145.  
TONG SH F, RUAN J, HAO ZH H. Noise reducing scheme on output signal of CCD [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(2): 140-145. (in Chinese)
- [4] 孙俊喜, 陈亚珠. 一种具有边缘保持特性的超声图像小波域值去噪新方法 [J]. 光学 精密工程, 2002, 10(5): 429-433.  
SUN J X, CHEN Y ZH. Novel speckle reduction for medical ultrasound images based on edge preservation [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(5): 429-433. (in Chinese)
- [5] 王全明, 张雄伟. 一种基于自适应模糊滤波的语音增强方法 [J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2003, 4(1): 17-20.  
WANG Q M, ZHANG X W. A new method of speech enhancement based on adaptive fuzzy filter [J]. *Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science)*, 2003, 4(1): 17-20. (in Chinese)
- [6] 刘忠仁, 孙圣和. 基于模糊神经网络的脉冲噪声滤波器 [J]. 中国图象图形学报, 2001, 6A(4): 344-347.  
LIU ZH R, SUN SH H. Impulse noise filter based on fuzzy neural network [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6A(4): 344-347. (in Chinese)
- [7] 黄永红. 一种细胞神经网络图像滤波方法 [J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2000, 21(1): 83-86.  
HUANG Y H. An approach for image processing by cellular neural network [J]. *Journal of Jiangsu University of Science and Technology (Natural Science)*, 2000, 21(1): 83-86. (in Chinese)
- [8] 史彩成, 赵保军, 韩月秋, 等. 基于模糊理论的红外图像滤波 [J]. 激光与红外, 2001, 31(2): 113-114.  
SHI C CH, ZHAO B J, HAN Y Q, et al. IR image filtering based on fuzzy [J]. *Laser & Infrared*, 2001, 31(2): 113-114. (in Chinese)
- [9] 陈贺新. 非线性滤波器与数字图象处理 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.  
CHEN H X. *Nonlinear filter and digital image processing* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [10] 郭炳庆, 卢强, 黎雄. 一种基于局部统计量的自适应 L 滤波器 [J]. 电子学报, 2001, 29(7): 909-911.  
GUO B Q, LU Q, LI X. An adaptive L-filter based on signal local statistics [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2001, 29(7): 909-911. (in Chinese)

- [11] MALLADI R, SETHIAN J A. Image processing: flows under min/max curvature and mean curvature[J]. *Graphical Models and Image Processing*, 1996, 58(2):12-141.
- [12] SETHIAN J A. *Level set methods and fast marching methods: evolving interface in computational geometry, fluid mechanics, computer vision, and materials science*[M]. Cambridge University Press, 1999.
- [13] 李江,程键,周鑫. 数字图像处理中多窗口下的自适应中值滤波[J]. 计算机工程, 2003, 29(17):154-156.  
LI J, CHENG J, ZHOU X. Self-adapting median filtering under multi-window structures in the digital image processing[J]. *Computer Engineering*, 2003, 29(17):154-156. (in Chinese)
- [14] 林晓梅,李琳娜,牛刚,等. 基于小波边缘检测的图像去噪方法[J]. 光学精密工程, 2004, 12(1):88-93.  
LIN X M, LI L N, NIU G, et al. Image denoising based on wavelet edge detection[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 12(1):88-93. (in Chinese)
- [15] 勒中鑫. 数字图象信息处理[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.  
LE ZH X. *Digital image information processing*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003. (in Chinese)

**作者简介:**周昌雄(1965—),男,博士研究生,主要研究方向为图象处理。

于盛林(1941—),男,1964年毕业于南京航空学院,教授,博士生导师,研究领域为信号处理,混沌分形理论及应用。