

文章编号 : 0258-702X(2001)07-0655-03

# 基于同态滤波与自适应模糊多级中值滤波级联算法的散斑噪声污染图像恢复

王 骥 蒋立辉 李 宁 成向阳 王海虹 尚铁梁

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所 哈尔滨 150001)

**提要** 提出了一种用于恢复散斑噪声污染图像的同态滤波与自适应模糊多级中值滤波级联算法,计算机仿真实验结果表明它既保持了图像的几何结构,又有效地抑制了散斑噪声,并且通过比较证明它优于同态滤波与多级中值滤波级联算法。

**关键词** 同态滤波,自适应模糊多级中值滤波,散斑噪声,图像恢复

**中图分类号** TN 713, TN 911.73 **文献标识码** A

## Based on Combining Homomorphic and Adaptive Fuzzy Multilevel Median Filtering for Restoration of Images Degraded by Speckle Noise

WANG Qi JIANG Li-hui LI Ning

CHENG Xiang-yang WANG Hai-hong SHANG Tei-liang

(Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** In this paper an algorithm of combining homomorphic and adaptive fuzzy multilevel median filter is proposed, which is applied to restoring images degraded by speckle noise. Simulation result shows the algorithm can not only preserve the geometrical features of images but also effectively suppress speckle noise in images. Through comparison, it is proved that the algorithm is superior to the algorithm of combining homomorphic and multilevel median filter.

**Key words** homomorphic filter, adaptive fuzzy multilevel median filter, speckle noise, image restoration

## 1 引 言

在激光雷达、合成孔径雷达、红外医学等相干成像装置中都是通过接收散射回波信号的相干获得图像的,因此其图像对散斑噪声高度敏感<sup>[1]</sup>。而散斑噪声的存在使图像像素强度(灰度)剧烈变化,即在一片均匀的目标表面上,有的分辨率单元呈亮点,有的呈暗点,降低了图像的灰阶和空间分辨率,隐藏了图像的精细结构,使其图像的解释性变差,降低了图像质量。为解决这一问题已提出了一些有效的方法,如:A. V. Oppenheim和R. W. Schaffer提出的同态滤波算法<sup>[2]</sup>,J. S. Lee提出的局部统计滤波算法<sup>[3]</sup>,F. Sifa提出的多方向形态滤波算法<sup>[4]</sup>和唐健等提出的小波分析算法<sup>[5]</sup>等。以上算法属图像域滤波的图像后处理,它们的特点是压缩了散斑噪声但

牺牲了图像的一些细节。

本文提出的同态滤波与自适应模糊多级中值滤波级联算法既保持了对图像处理的一致性和多级中值滤波算法保持边缘好的优点,又较有效地抑制了散斑噪声。

## 2 算法描述

### 2.1 散斑噪声

由于散斑噪声遵从负指数统计规律<sup>[5]</sup>,因此其为乘性噪声,它的表达式为

$$R = x + xn \quad (1)$$

这里  $x$  表示未被噪声污染的信号, $R$  表示所测出的已被噪声污染的信号, $n$  表示零均值方差为 1 的高斯噪声。根据信号相倚噪声的表达式即

$$R = x + Kf(x)n \quad (2)$$

知散斑噪声为信号相倚噪声(这里  $K$  为常数),为了

去其相倚性 我们应用同态变换。

### 2.2 同态变换

对于乘性噪声的同态变换为

$$\alpha(R) = \ln(R + 1) \tag{3}$$

其处理后的逆变换为

$$R = e^{\alpha(R)} - 1 \tag{4}$$

经同态变换后,去掉了散斑噪声与信号的相倚性,使处理具有一致性,从而大大降低了处理的复杂性。

### 2.3 自适应模糊多级中值滤波

#### 2.3.1 多级中值滤波<sup>61</sup>

中值滤波已被广泛应用在平滑噪声和被噪声污染图像的恢复,它与线性滤波(如均值滤波)相比有一些较好的性质,诸如保持边缘、压缩脉冲噪声等。为了增强中值滤波的性能,提出了许多改进的算法,而多级中值滤波是其中最简单有效的,它保持边缘效果更好如各种细线结构。多级中值滤波算法表述如下。

让  $X(\dots)$  表示数字图像序列,  $W$  表示中心在  $(i, j)$   $(2N + 1) \times (2N + 1)$  的正方窗。那么窗  $W$  的四个子集可定义为

$$W_1(i, j) = \{X(i, j + k); -N \leq k \leq N\} \tag{5a}$$

$$W_2(i, j) = \{X(i + k, j); -N \leq k \leq N\} \tag{5b}$$

$$W_3(i, j) = \{X(i + k, j + k); -N \leq k \leq N\} \tag{5c}$$

$$W_4(i, j) = \{X(i + k, j - k); -N \leq k \leq N\} \tag{5d}$$

假定  $Z_s(i, j)$  ( $s = 1, 2, 3, 4$ ) 是四个子集元素的中值,并且

$$Y_{\min}(i, j) = \min[Z_1(i, j), Z_2(i, j), Z_3(i, j), Z_4(i, j)] \tag{6a}$$

$$Y_{\max}(i, j) = \max[Z_1(i, j), Z_2(i, j), Z_3(i, j), Z_4(i, j)] \tag{6b}$$

则多级中值滤波的输出定义为

$$Y(i, j) = \text{med}[Y_{\min}(i, j), Y_{\max}(i, j), X(i, j)] \tag{7}$$

多级中值滤波虽然较好地保持图像的边缘,但是它压缩噪声的能力较弱,如“细线结构噪声”,尤其它与同态变换级联去除散斑噪声时,在逆变换后放大了没去除的噪声,从而影响了图像的恢复效果。为此我们提出了其他改进技术,即在其算法的基础上结合了模糊逻辑。

#### 2.3.2 自适应模糊多级中值滤波算法

由对前一部分的分析可知“细线式噪声”有可能保持在  $X(i, j)$ ,  $Y_{\min}(i, j)$  和  $Y_{\max}(i, j)$  中,所以解决问题的关键是如何从图像细节中区分出细线式噪

声。在这里我们运用模糊逻辑推理,对多级中值滤波的最终结果进行处理,以期达到在保持边缘细节的前提下更有效地压缩噪声。

根据散斑噪声经同态变换后的特点和加性高斯噪声的性质,建立如下规则:

如果中值  $Z_s(i, j)$  与集合  $W_s(i, j)$  元素差的绝对值在  $[0.5\sigma, 1.5\sigma]$  范围时,则信度最大;远小于  $0.5\sigma$  时,则信度小;远大于  $1.5\sigma$  时,则信度小。

由上面的规则我们给出了信度的函数如图 1 所示(以上及图中  $\sigma$  为图像灰度方差的平方根,它可通过其相关模型计算得出,由此可实现滤波的自适应)。令  $u_1, u_2, u_3, u_4$  为  $W_1(i, j), W_2(i, j), W_3(i, j), W_4(i, j)$  集合各元素分别对  $Z_1(i, j), Z_2(i, j), Z_3(i, j), Z_4(i, j)$  的信度和。假定  $u_{\max} = \max(u_1, u_2), v_{2\max} = \max(u_3, u_4)$ , 取其对应的中值  $Z_u(i, j)$  和  $Z_v(i, j)$ 。于是对多级中值滤波算法的输出修改为

$$Y(i, j) = \text{med}[Y_{\min}(i, j), Y_{\max}(i, j), Z_u(i, j), Z_v(i, j), X(i, j)] \tag{8}$$

在一些情况下,  $Z_u(i, j), Z_v(i, j)$  可能和  $Y_{\min}(i, j), Y_{\max}(i, j)$  是一致的,但是在图像被严重污染时,它们一致的概率将降低,因此我们期望自适应模糊多级中值滤波的输出在保持图像几何结构的前提下能更有效地抑制噪声。

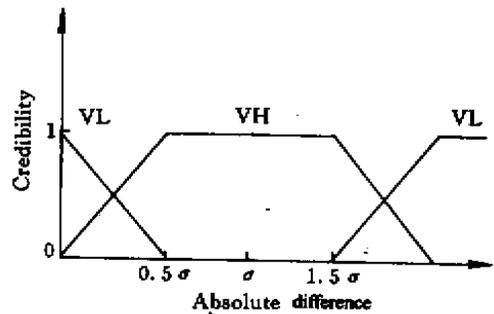


图 1  $Z_s(i, j)$  的信度函数 (VL = 很低; VH = 很高)

Fig. 1 Membership function for the credibility of  $Z_s(i, j)$

VL = very low; VH = very high

### 2.4 同态滤波与自适应模糊多级中值滤波级联算法

由于散斑噪声是乘性噪声,因此为了使之变换为加性噪声和对其处理具有一致性,首先对接收的图像信号进行如式(3)的同态变换,然后利用改进的自适应模糊多级中值滤波进行处理,最后采用如式(4)的同态变换的逆变换。具体算法如图 2 所示。

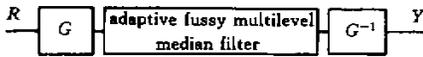


图 2 本文算法草图

Fig.2 Schematic diagram of the algorithm in this paper

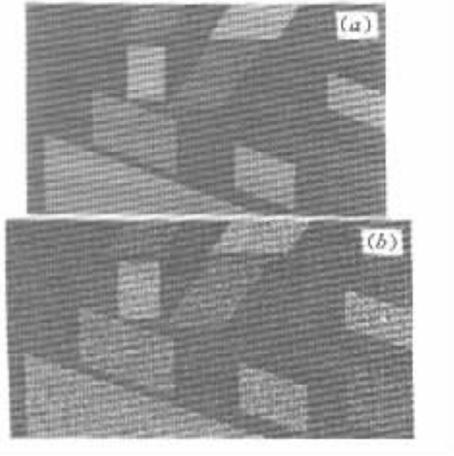


图 3 原图像 (a) 和噪声图像 (b)

Fig.3 Original image (a) and noisy image (b)

### 3 实验结果

为了验证所提滤波算法的有效性,本节对散斑噪声污染的图像信号进行处理。图 3(a) 为  $256 \times 256 \times 8$  bits 原始图像,图 3(b) 为散斑噪声污染的图像(均值为 1, 方差为 0.1)。图 4(a) 为同态滤波和多级中值滤波级联算法对散斑噪声图像处理的结果,图 4(b) 为同态滤波和模糊多级中值滤波级联算法对散斑噪声图像处理的结果。从仿真结果可以看出本文所提算法既有效地抑制了图像中的散斑噪声,又较好地保持了图像的几何结构。这符合本文设计算法的理论,因为多级中值滤波较好地保持了图像细节<sup>[6]</sup>,而模糊多级中值滤波并未改变多级中值滤波的结构,只是在式(7)中增加了两个“信度”高的某两级中值,提高了取不被噪声污染或者污染小的真值的概率。

为了比较本文算法的处理效果,在这里引入了正则均方误差(normalized mean square errors, 简称为 NMSE) 的定义,其定义为

$$NMSE = \frac{\sum_{i,j} [x(i,j) - y(i,j)]^2}{\sum_{i,j} x(i,j)} \quad (9)$$

这里  $x(i,j)$  为原图像,  $y(i,j)$  为滤波后的图像。经计算,噪声图像的正则均方误差为 0.0991; 同态

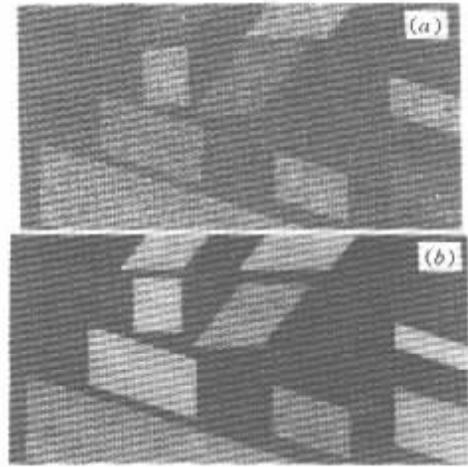


图 4 同态滤波和多级中值滤波级联算法处理后的图像 (a) 及同态滤波和模糊多级中值滤波级联算法处理后的图像 (b) (均为两次迭代)

Fig.4 Image filtered by using the algorithm of combining homomorphic and multilevel median filter (a) and by using the algorithm presented in this paper (b) (two iterations)

滤波和多级中值滤波级联算法处理后的图像正则均方误差为 0.053(一次迭代), 0.0431(二次迭代); 而本文算法处理后的图像正则均方误差为 0.0261(一次迭代), 0.0162(二次迭代)。由此结论证明了本文算法的优越性。

### 4 结 论

在这里,我们根据散斑噪声的特点,运用模糊逻辑于多级中值滤波,提出了自适应模糊多级中值滤波,并且使之与同态变换结合用于压缩散斑噪声;实验结果证明此算法在增加少许计算量的情况下,取得了明显优于同态和多级中值滤波结合算法的散斑噪声压缩效果。

#### 参 考 文 献

- 1 J. W. Goodman. Some fundamental properties of speckle. *J. Opt. Soc.*, 1976, **66**(11): 1145 ~ 1150
- 2 A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer. Nonlinear filtering of multiplied and convolved signals. *Proc. IEEE*, 1968, (56): 1264 ~ 1291
- 3 J. S. Lee. Speckle suppression and analysis for SAR images. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(6): 636 ~ 643
- 4 F. Safa, G. Fiouzar. Speckle removal based on mathematical morphology. *Signal Processing*, 1989, **16**(4): 320 ~ 333
- 5 Tang Jian, Wang Zhansong. Suppressing speckle noise in SAR images by using wavelet. *Journal of Electronics* (电子学报), 1997, **19**(4): 451 ~ 457 (in Chinese)
- 6 G. R. Arce, R. E. Roster. Multilevel median filter: properties and efficacy, in proc. ICASSP. New York. Apr. 1988