

文章编号: 0258-7025(2004)01-0081-04

# 用非线性加权均值多方向形态滤波算法 抑制散斑噪声

蒋立辉<sup>1,2</sup>, 赵春晖<sup>1</sup>, 王 骥<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001

<sup>2</sup> 中国民用航空学院通信与信息处理研究所, 天津 300300

<sup>3</sup> 哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001

**摘要** 提出了一种新的用于抑制散斑噪声的非线性加权均值多方向形态滤波算法。对实际激光雷达图像处理的结果表明,该算法既有效地抑制了激光雷达图像中的散斑噪声,又保持了图像的几何结构。

**关键词** 图像处理;形态滤波;非线性加权;激光雷达;散斑噪声

中图分类号 TN 713;TN 911.73 文献标识码 A

## Speckle Noise Suppressing Based on a New Nonlinear Weighted Averaging Multidirectional Morphological Filtering Algorithm

JIANG Li-hui<sup>1,2</sup>, ZHAO Chun-hui<sup>1</sup>, WANG Qi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> School of Information and Communication Engineering,

Harbin Engineering University, Harbin, Heilongjiang 150001, China

<sup>2</sup> Institute of Communication and Information Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China

<sup>3</sup> National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute  
of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China

**Abstract** In this paper, a new nonlinear weighted average multidirectional morphological filtering algorithm is proposed to suppress speckle noise. Processing to the images from CO<sub>2</sub> coherent laser radar shows the algorithm can not only preserve the geometrical features of images but also effectively suppress speckle noise in images.

**Key words** image processing; morphological filter; nonlinear weight; laser radar; speckle noise

## 1 引言

相干激光雷达、合成孔径雷达、声学成像和红外医学成像等都不可避免地受到散斑噪声的污染<sup>[1]</sup>。由于散斑噪声的存在,使它们图像的可解释性和判读性变差,严重地影响了图像的进一步处理和自动分析效率。尤其在激光主动成像精确制导中,其图像的散斑噪声抑制问题更显突出,而且算法的要求更加苛刻,既要有很强的抑制噪声能力,又要有很好

的边缘和细节保持能力,当然也必须要有一定的处理效率。为此人们对散斑噪声的抑制算法提出了一些方法。它们大体上可分为两类:一类是不相干和部分相干的多视图图像处理<sup>[2]</sup>;另一类是图像域滤波等的图像后处理<sup>[3~7]</sup>。多视图图像处理和图像域滤波的本质都是压缩了散斑噪声又牺牲了图像的一些细节。

由于形态滤波器较易用硬件逻辑结构和 VLSI

收稿日期:2002-03-15;收到修改稿日期:2002-12-30

基金项目:国家自然科学基金(批准号:60172038,60372034),全国优秀博士论文作者专项基金资助项目(200037),教育部优秀青年教师资助项目(EYTP)和高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划项目(TRAPOYT)。

作者简介:蒋立辉(1964,11—),男,中国民航学院通信工程系副教授,博士,现于哈尔滨工程大学通信与信息系博士后流动站做博士后研究,主要研究方向为数字图像处理、激光雷达等。E-mail:jlhhit@163.com

技术实现,从而可以实现图像的实时处理,因此我们对 F. Safa 算法<sup>[8,9]</sup>进行了改进,在保持图像边缘的前提下,较好地弥补了 F. Safa 算法抑制噪声能力差的缺点。

## 2 非线性加权均值多方向形态滤波算法

### 2.1 结构元素的选择

结构元素的选择应根据噪声的统计性质。散斑噪声是乘性的,它造成图像灰阶剧烈变化。因此即使取最小的方型  $3 \times 3$  结构元素也可能包含一个或几个受散斑噪声污染而变得尖锐的极大、极小的像素灰度值。所以,为了较好地抑制散斑噪声,选用了线性结构元素(如图 1 所示)。

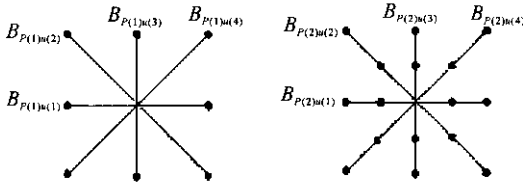


图 1 线性结构元素

Fig. 1 Linear structuring elements

### 2.2 算法设计

取图 1 所示的结构元素,结构元素长度为  $p = [3, 5]$ ,与水平方向的夹角为  $u = [0, 45, 90, 135]$ 。则结构元素可表示为  $B_{p(j), u(i)}$ ,  $j = 1, 2, i = 1, 2, 3, 4$ , 设  $X(m, n)$  为输入信号,  $Y(m, n)$  为输出信号;  $a_{p(j), u(i)}$ ,  $a'_{p(j), u(i)}$  为权重因子,则算法的第一步操作是使用结构元素  $B_{p(j), u(i)}$ ,  $j = 1, i = 1, 2, 3, 4$ , 对输入信号作形态开-闭和形态闭-开操作

$$F_{p(j), u(i)}(m, n) = \{ [X(m, n) \circ B_{p(j), u(i)}] \cdot B_{p(j), u(i)} \}(m, n) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1 \quad (1)$$

$$F'_{p(j), u(i)}(m, n) = \{ [X(m, n) \cdot B_{p(j), u(i)}] \cdot B_{p(j), u(i)} \}(m, n) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1 \quad (2)$$

式中“ $\circ$ ”表示形态开运算,“ $\cdot$ ”表示形态闭运算。散斑噪声对信号污染严重,选择如图 1 形式的结构元素,这对有效地抑制散斑噪声固然是必要的,但是,由于线性结构元素所包含的像元素较少,它们极有可能都是被散斑噪声污染的。而形态开-闭和闭-开的滤波特点是在与结构元素匹配的噪声图像区域找出未被噪声污染的像素以替换滤波窗的中心像

素,因此无论怎样处理,最后选择的还是噪声污染的像素。所以,为了更有效地抑制散斑噪声,第二步操作就是根据散斑的统计特征,对形态开-闭和闭-开的处理结果进行非线性加权平均。根据散斑的概率统计分布  $P(I) = \exp(-I/\langle I \rangle)$ , 依此可以推断出,出现大于平均强度  $\langle I \rangle$  概率小,而出现小于平均强度  $\langle I \rangle$  概率大,若采取  $[1/N, \dots, 1/N]$  的权重系数,显然处理后的灰度要低于实际的灰度,失去了灰度保持能力。因此给以不同结构元素形态开-闭、闭-开处理后灰度值大的赋以大的权重,灰度值小的赋以小的权重,具体方法如下

$$\text{Sum}x_{p(j)}(n) = \sum_{i=1}^4 [F_{p(j), u(i)}(n) + F'_{p(j), u(i)}(n)] \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1 \quad (3)$$

$$a_{p(j), u(i)}(n) = \frac{F_{p(j), u(i)}(n)}{\text{Sum}x_{p(j)}(n)} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1 \quad (4)$$

$$a'_{p(j), u(i)}(n) = \frac{F'_{p(j), u(i)}(n)}{\text{Sum}x_{p(j)}(n)} \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1 \quad (5)$$

则此算法的第一阶段输出结果为

$$Y_{p(j)}(m, n) = \frac{1}{4} \sum_{j=1, i=1}^{i=4} [a_{p(j), u(i)} F_{p(j), u(i)} + a'_{p(j), u(i)} F'_{p(j), u(i)}](m, n) \quad j = 1 \quad (6)$$

算法的第二阶段操作仅用  $j = 2$  代替  $j = 1$ ,  $X(m, n) = Y_{p(1)}(m, n)$  重复(1)式至(6)式的操作即可,所得到的输出结果为  $Y(m, n) = Y_{p(2)}(m, n)$ 。

本算法以形态滤波为理论出发点,在选取结构元素上结合了散斑噪声的统计特性,又在加权上利用了散斑噪声的统计分布,而且以不同尺度的结构元素经两个阶段形态操作和加权平均,期望在保持目标几何结构的前提下,获得较大幅度的散斑噪声抑制效果。下面通过对脉冲相干激光雷达图像的处理,检验该算法的有效性。

## 3 实验测试

理论和实验都证明了脉冲相干激光雷达散斑噪声的存在,而且它是最为主要的噪声来源。应用本课题组建立的脉冲相干激光雷达实验系统,拍摄了多幅图像,其像素为  $32 \times 64$ 。图 2 为近距离数码相机拍摄的目标图像,图 3 为 2.4 km 外每点经五次测量叠加而获得的一幅激光雷达噪声图像,图 4~图 7 分别为本文滤波算法、并行加权多方向形态滤波算法、局部统计 Lee 滤波算法<sup>[4]</sup>、小波软阈值算

法<sup>[6]</sup>处理后的图像。从中可以看出形态滤波算法与小波软阈值算法较好地保持了图像边缘。为了比较

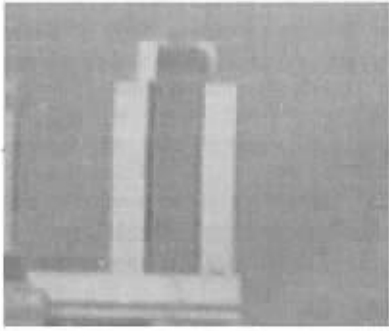


图 2 原图像

Fig. 2 Original image

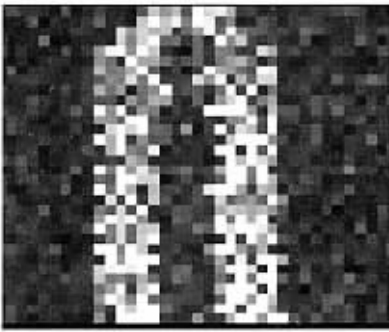


图 3 激光雷达噪声图像

Fig. 3 Laser radar noisy imagery

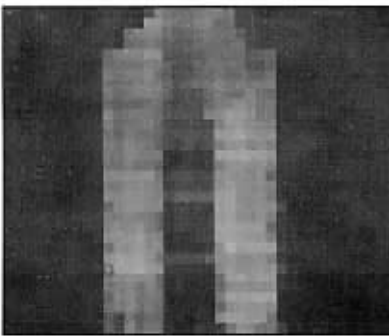


图 4 本方案的滤波算法处理结果

Fig. 4 Result of the filtering algorithm in this paper

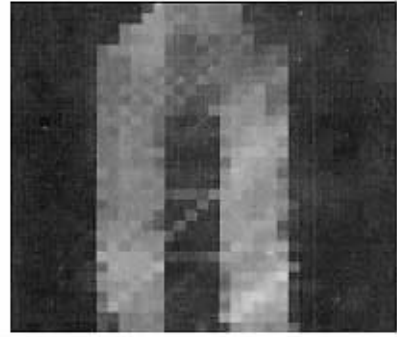


图 5 并行加权均值多方向形态滤波处理结果

Fig. 5 Result processed by a parallel weighted-average multidirectional morphological filtering algorithm

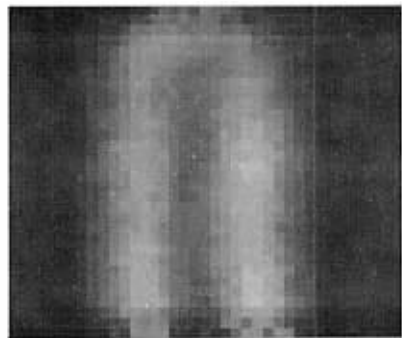


图 6 局部统计滤波处理结果

Fig. 6 Result processed by local statistics filter

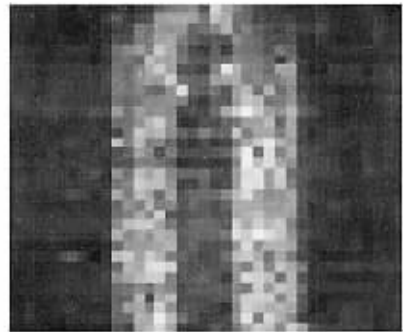


图 7 小波软阈值算法处理结果

Fig. 7 Result processed by wavelet soft-thresholding algorithm

不同算法在处理脉冲相干激光雷达实际图像时的散斑噪声抑制能力,根据标志算法抑制散斑噪声能力的散斑指数<sup>[10]</sup>,计算了上述算法处理结果的散斑指数,列于表 1 中。从表 1 可以看到本文的形态滤波算法、并行加权多方向形态滤波算法和局部统计同态 Lee 滤波算法的处理结果的散斑指数分别为 0.0743,0.0786 和 0.0840,它们抑制散斑噪声的能力几乎相当,而且与激光雷达噪声图像的散斑指数(0.2671)相比,抑制噪声的幅度较大。

表 1 激光雷达图像(2.4 km)及处理图像的散斑指数  
Table 1 Speckle index about laser radar image (2.4 km) and processed image

Laser radar noisy images (2.4 km)	0.2671
Morphological filtering algorithm in this paper	0.0743
Parallel weighted-average multidirectional morphological filtering algorithm	0.0786
Local statistics filter	0.0840
Wavelet soft-thresholding algorithm	0.1057

为了进一步验证和比较散斑噪声抑制算法的有效性和稳定性,又对激光雷达 1.86 km 的图像进行了处理,其结论与上面的处理结果是一致的,即该非线性加权均值多方向形态滤波算法具有很好的图像边缘和几何结构的保持效果和较强的散斑噪声抑制能力,它具备了小波软阈值算法和局部统计滤波的优点。

## 4 结 论

本文提出了一种新的非线性加权均值多方向形态滤波算法,并且应用到脉冲相干激光雷达图像的散斑噪声抑制中,取得了较好的效果,既保持了图像的边缘,又有效地抑制了散斑噪声,具备了小波阈值算法的保持边缘能力强和局部统计滤波散斑噪声压缩幅度大的优点。

## 参 考 文 献

- 1 J. W. Goodman. Some fundamental properties of speckle [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**(11):1145~1150
- 2 L. J. Porcello, N. G. Massey, R. B. Innes *et al.*. Speckle reduction in synthetic-aperture radar [J]. *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**(11):1305~1311
- 3 Jong-Sen Lee. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images [J]. *Opt. Eng.*, 1986, **25**(5):636~643
- 4 Runtao Ding, Anastasios N. Venetsanopoulos. Generalized homomorphic and adaptive order statistic filters for the removal of impulsive and signal-dependent noise [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 1987, **CAS-34**(8):948~955
- 5 Tang Jian, Wang Zhenshong. Suppressing speckle noise in SAR images by using wavelet [J]. *Journal of Electronics (电子学报)*, 1997, **19**(4):451~457 (in chinese)  
唐 健,王贞松. 利用小波分析来抑制合成孔径雷达图像的相干斑噪声[J]. *电子科学学刊*, 1997, **19**(4):451~457
- 6 F. Sattar, L. Floreby, G. Salomonsson *et al.*. Image enhancement based on a nonlinear multiscale method [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 1997, **6**(6):888~895
- 7 F. Safa, G. Flouzar. Speckle removal on radar imagery based on mathematical morphology [J]. *Signal Processing*, 1989, **16**(4):319~333
- 8 Jiang Lihui, Wang Chunhui, Wang Qi *et al.*. A speckle imaging model for impulse coherent laser radar and suppressing its speckle noise [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(12):1623~1628  
蒋立辉,王春晖,王 骐 等. 脉冲相干激光雷达的散斑成像模型及其散斑噪声压缩[J]. *光学学报*, 2000, **20**(12):1623~1628
- 9 Jiang Lihui, Wang Qi, Wang Chunhui *et al.*. Speckle noise suppressing based on a parallel combination weighted average multistage morphological filtering algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 1999, **28**(10):923~927  
蒋立辉,王 骐,王春晖 等. 基于并行组合加权均值级联形态滤波算法的散斑噪声压缩[J]. *光子学报*, 1999, **28**(10):923~927
- 10 P. Dewaele, P. Wambacq, A. Oosterlinck *et al.*. Comparison of some speckle reduction techniques for SAR images [C]. IGRASS' 90, Maryland, USA; the University of Maryland College Park. 2417~2422