

文章编号: 1000-5013(2008)04-0535-04

# 软形态学的多结构加权均值形态滤波算法

郑玉燕, 何建农

(福州大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350002)

**摘要:** 在广义多方向加权均值形态滤波的基础上, 用软形态学开闭运算代替标准的形态学开闭运算, 并设计结构元素和  $k$  值, 对真实的合成孔径雷达图像进行斑点滤波. 提出一种基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法, 采用软形态的开-闭和闭-开运算代替标准的形态开-闭运算. 通过实例将提出的新滤波算法与 Lee 滤波、广义多方向加权均值形态滤波和多方向加权均值形态滤波进行抑制相干斑的效果比较结果表明, 该算法不仅可以有效地抑制图像中的噪声, 而且较好地保持图像的几何结构特征.

**关键词:** 图像处理; 形态滤波器; 数学形态学; 相干斑

**中图分类号:** TN 957.52; TN 713.1

**文献标识码:** A

合成孔径雷达(SAR)是一种全相干成像雷达系统, 其图像存在相干斑噪声. 相干斑降低了系统对目标的分辨能力, 使 SAR 图像的边缘检测、图像分割、目标分类等解译工作复杂化. 因此, 相干斑抑制是 SAR 图像处理的重要环节. 形态滤波器是从数学形态学中发展出来的一类新型非线性滤波器, 它在信号处理、图像处理中获得了广泛的应用<sup>[1-2]</sup>. 形态滤波器是基于信号的几何特征, 利用结构元对信号进行匹配, 以达到提取信号、抑制噪声的目的. 目前, 人们所采用的形态滤波器主要有形态开运算和闭运算, 以及它们的级联组合形式<sup>[3]</sup>. 传统的形态滤波器由于只采用了单一的结构元, 在滤除噪声的同时模糊了图像中的一些细节, 不利于几何特征的保持<sup>[4]</sup>. 文[5]的多方向加权均值形态滤波器算法和广义多方向加权均值形态滤波器算法, 是基于广义形态开-闭和闭-开运算的, 它采用了全方位结构元和自适应加权平均技术, 针对相干斑的概率统计分布计算权重, 有效地克服了传统形态滤波器存在的缺点. 多方向加权均值形态滤波算法及广义多方向加权均值形态滤波算法, 在抑制噪声方面虽然比一般的级联滤波器有了比较大的改进, 但也存在不足. 本文提出了一种基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法, 并应用于 SAR 图像去除斑点噪声.

## 1 数学形态学基本原理

### 1.1 标准形态学

灰度形态学图像处理的基本思想是, 利用一个称作结构元素的探针收集图像的信息. 当探针在图像中不断移动时, 便可考察图像各个部分间的相互关系来了解图像各个部分的结构特征. 在数学形态学中, 两种最基本的变换或运算是膨胀(Dilation)和腐蚀(Erosion), 其他形态学变换都是膨胀和腐蚀运算根据一定的顺序进行组合的复合运算<sup>[6]</sup>.

令  $f(x, y)$  为灰度图像,  $b(x, y)$  是结构元素,  $D_f$  和  $D_b$  分别为函数  $f$  和  $b$  的定义域. 因此, 膨胀可定义为

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y) \mid (s-x, t-y) \in D_f; (x, y) \in D_b\},$$

腐蚀可定义为

收稿日期: 2008-01-29

作者简介: 郑玉燕(1982), 女; 通信作者: 何建农(1960), 女, 教授, 主要从事数学形态学与遥感图像处理的研究. E-mail: keerong@163.com.

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(Z0515003)

$$(f \odot b)(s, t) = \min\{f(s + x, t + y) - b(x, y) \mid (s + x), (t + y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}.$$

在数学形态学处理中还有两种非常重要的运算方法形态开、闭运算, 分别定义为

$$f \circ b = (f \odot b) \oplus b, \quad f \cdot b = (f \oplus b) \odot b.$$

1.2 软形态学

软形态学是 Koskinen 等人在经典形态学基础上提出的一类非线性算子. 它放宽了经典形态算子的定义, 以获得一定程度的鲁棒性, 但还保留了经典形态算子的优良特性, 因此在有噪声的情况下比传统的形态算子性能更好<sup>[7-8]</sup>.

设  $f$  表示原始灰值图像,  $f(i, j)$  表示图像  $f$  在  $(i, j)$  点的灰度. 设集合  $A, B$  为定义在上的凸集, 且使  $A \subseteq B$  被分为“硬核” $A$  和“软边界” $B \setminus A$  两个子集, 这里“ $\setminus$ ”代表集合差,  $A, B$  均为结构元素.

定义 1 重复集  $\{k \diamond f(a)\}$  表示元素  $f(a)$  被重复  $k$  次, 即

$$\{k \diamond f(a)\} = \{f(a), f(a), \dots, f(a)\}, k \in N, 1 \leq k \leq \min\{\text{Card}(B)/2, \text{Card}(B \setminus A)\}.$$

$\text{Card}(B)$  代表集合  $B$  的基数,  $a \in B, f$  代表灰度图像,  $A, B$  为结构元素. 这里, 取  $A, B$  为扁平结构元素.

定义 2 软形态膨胀为

$$f \oplus [B, A, k](x) = k \text{ th largest of } \{k \diamond f(a) \mid a \in A_x\} \cup \{f(b) \mid b \in (B \setminus A)_x\}.$$

定义 3 软形态腐蚀为

$$f \ominus [B, A, k](x) = k \text{ th smallest of } \{k \diamond f(a) \mid a \in A_x\} \cup \{f(b) \mid b \in (B \setminus A)_x\}.$$

由此可见, 软形态膨胀和腐蚀的结果与结构元素硬核重复的次数  $k$  密切相关. 当  $k=1$  时, 软形态学退化为标准形态学.

定义 4 软形态学开为

$$f \circ [B, A, k] = (f \ominus [B, A, k]) \oplus [B, A, k].$$

定义 5 软形态学闭为

$$f \cdot [B, A, k] = (f \oplus [B, A, k]) \ominus [B, A, k].$$

2 多结构加权均值形态滤波算法

多方向加权均值形态滤波算法及广义多方向加权均值形态滤波算法, 在抑制噪声方面比一般的级联滤波器有了比较大的改进. 然而, 多方向加权均值形态滤波算法的抑制噪声能力不够, 而广义多方向加权均值形态滤波算法虽具有较好的去噪能力, 但在很大程度上模糊了图像的边缘等细节信息. 相比之下, 软形态滤波不仅具有更强的噪声抑制能力, 且能更好地保持原图像的边缘信息. 考虑到多方向加权均值形态滤波算法及广义多方向加权均值形态滤波算法在抑制噪声方面的不足, 提出了一种基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法. 该算法采用软形态的开-闭和闭-开运算代替标准的形态开-闭和闭-开运算, 即采用全方位结构元素, 包含了方形滤波窗的所有走向线条, 选取如图 1 所示的结构元素, 更好地达到去除噪声的作用.

所提出的基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法: 令  $B_{p(j), u(j)}$  表示结构元素,  $B$  被分为“核心” $B_1$  和“软边界” $B_2$  两个子集. 图 1 中, 白点为“核心” $B_1$ , 黑点为“软边界” $B_2$ , 而下标  $p(j) = [3, 5, 7]$ , 表示结构元素的长度, 下标  $\theta(i) = [0, 45, 90, 135]$ , 表示结构元素与水平方向的夹角.  $X(m, n)$  为输入信号,  $Y(m, n)$  为输出信号,  $\omega_{p(j), u(i)}$ ,  $\omega'_{p(j), u(i)}$  为权重因子, 则改进的广义权重平均级联形态滤波算法有如下 3 个阶段.

(1) 第 1 阶段. 根据  $1 \leq k \leq \min\{\text{Card}(B)/2, \text{Card}(B_2)\} = \min\{1.5, 2\}, k=1$ , 因此退化为标准的形态算子为

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

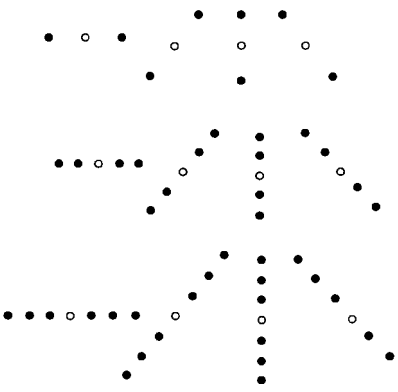


图 1 线性结构元素  
Fig. 1 Linear structure elements

$$F'_{p(j), \Theta(i)}(m, n) = [ (X(m, n) \circ B_{p(j), \Theta(i)}) \circ B_{p(j), \Theta(i)} ](m, n), \quad i = 1, 2; \quad j = 1. \tag{2}$$

根据斑点的概率统计分布  $P(I) = \exp(-I/\langle I \rangle)$ , 令

$$\begin{aligned} \langle I \rangle &= \frac{1}{2} (F_{p(j), \Theta(i)}(m, n) + F'_{p(j), \Theta(i)}(m, n)), \\ I &= F_{p(j), \Theta(i)}(m, n). \end{aligned}$$

式中,  $j = 1$ . 计算出  $P(I)$ , 并和权重的约束条件一起来确定权重因子, 即

$$\begin{aligned} \omega_{p(j), \Theta(i)}(m, n) &= 1 - p(I), \quad i = 1, 2; \quad j = 1, \\ \omega'_{p(j), \Theta(i)}(m, n) + \omega_{p(j), \Theta(i)}(m, n) &= 1, \quad i = 1, 2; \quad j = 1. \end{aligned} \tag{3}$$

第 1 阶段输出结果为

$$Y_{p(j)}(m, n) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 (\omega_{p(j), \Theta(i)} F_{p(j), \Theta(i)} + \omega'_{p(j), \Theta(i)} F'_{p(j), \Theta(i)})(m, n), \quad j = 1. \tag{4}$$

(2) 第 2 阶段. 根据  $1 \leq k \leq \min\{\text{Card}(B)/2, \text{Card}(B_2)\} = \min\{2, 5, 4\}, k = 2$ , 有

$$F_{p(j), \Theta(i)}(m, n) = [ (X(m, n) \circ (B_1, B_2, k)_{p(j), \Theta(i)}) \circ (B_1, B_2, k)_{p(j), \Theta(i)} ](m, n), \quad j = 2, \tag{5}$$

$$F'_{p(j), \Theta(i)}(m, n) = [ (X(m, n) \circ (B_1, B_2, k)_{p(j), \Theta(i)}) \circ (B_1, B_2, k)_{p(j), \Theta(i)} ](m, n), \quad j = 1, \tag{6}$$

式中,  $i = 1, 2, 3, 4$ , 输出为第 1 阶段的输出, 加权方法见式(3), 求出权重参数  $\omega_{p(j), \Theta(i)}, \omega'_{p(j), \Theta(i)}, j = 2; i = 1, 2, 3, 4$ . 第 2 阶段输出为

$$Y_{p(j)}(m, n) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (\omega_{p(j), \Theta(i)} F_{p(j), \Theta(i)} + \omega'_{p(j), \Theta(i)} F'_{p(j), \Theta(i)})(m, n). \tag{7}$$

(3) 第 3 阶段. 根据  $1 \leq k \leq \min\{\text{Card}(B)/2, \text{Card}(B_2)\} = \min\{3, 5, 6\}, k \in \{2, 3\}$ , 操作与第 2 阶段相同, 输入为第 2 阶段的输出结果.

### 3 实验结果与分析

选取一幅  $256 \text{ px} \times 256 \text{ px}$  的 SAR 图像, 将提出的基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法与 Lee 滤波<sup>[9]</sup>、广义多方向加权均值形态滤波和多方向加权均值形态滤波进行比较. 用均值、标准差、等效视数(ENL)、边缘保持能力(EPI)和视觉效果来衡量各种方法抑制相干斑的效果, 如图 2, 表 1 所示.

从实验结果可以看出, Lee 滤波去除噪声的能力(等效视数)很低, 广义多方向加权均值形态滤波算

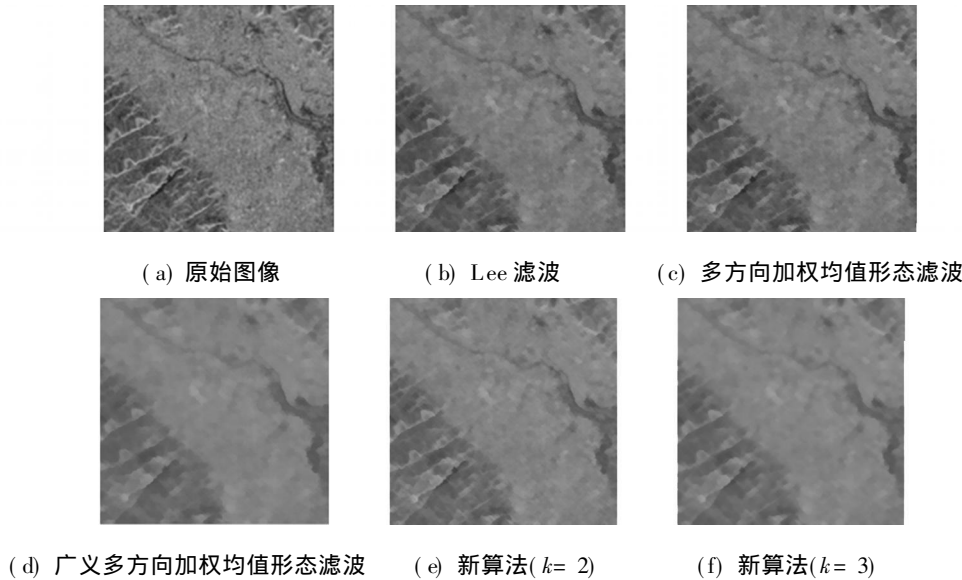


图 2 各滤波方法效果

Fig. 2 Denoising effect using different filters

法虽然具有较好的去噪能力, 但同时也在很大程度上模糊了图像的边缘等细节信息, 且其均值保持能力不够. 所提出的基于软形态学的多结构加权均值形态滤波算法, 其结果的各个性能指标明显优于广义多方向加权均值形态滤波算法. 虽然它在细节保持能力上略低于多方向加权均值形态滤波算法, 但其他指

表 1 各滤波算法的降相干斑效果  
Tab.1 Speckle noise reduction effect

算法	均值	标准差	<i>ENL</i>	<i>EPI</i>
原始图像	110.952 0	20.872 0	28.258 0	1.000 0
Lee 滤波(3×3)	110.648 8	16.180 3	46.764 9	0.748 7
多方向加权均值形态滤波算法	109.234 3	14.121 0	59.839 4	0.721 6
广义多方向加权均值形态滤波算法	108.797 7	13.021 6	69.808 9	0.655 6
新算法( <i>k</i> = 2)	110.184 9	12.699 1	75.283 2	0.718 7
新算法( <i>k</i> = 3)	110.000 8	12.850 8	73.270 9	0.709 3

标都比它好得多(尤其当 *k*= 2 时),是一种更好的滤波器.

4 结束语

在文[5]的基础上,结合软形态学算子的优点,提出一种基于软形态学的新的去斑点噪声的滤波算法.实验结果证实了该方法可以有效地抑制图像中的噪声,而且较好地保持图像的几何结构特征,这类滤波器计算简单,便于并行实时处理.由于结构元素及其内核的形状大小,以及重复度参数 *k* 值对滤波性能有重要的影响,因此,优化这些参数以获得更好的处理效果还有待进一步研究.

参考文献:

[1] SERRA J. Morphological filtering[J]. An Overview Signal Processing, 1994, 38(1): 3-11.  
[2] 张莉,贾永红,孙家柄.基于形态学的遥感影像滤波方法研究[J].四川测绘, 2005, 28(4): 165-168.  
[3] 陈虎,周朝辉,王守尊.基于数学形态学的图像去噪方法研究[J].工程图学报, 2004, 25(2): 116-119.  
[4] SONG J, DELP E J. A study of the generalized morphological filter[J]. Circuit s Systems and Signal Process, 1992, 11(2): 229-252.  
[5] 刘剑.基于数学形态学的形态滤波算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程学院, 2005.  
[6] 崔屹.数字图像处理技术与应用[M].北京:科学出版社, 2001: 98-149  
[7] LOU VERDIS G, ANDREADIS I. Soft morphological filtering using a fuzzy model and its application to colour image processing[J]. 2003 (6): 257-268.  
[8] 颜七笙,王士同.基于 soft 形态学的椒盐噪声滤波器[J].微计算机信息, 2005, 21(11-3): 96-97.  
[9] LEE J S. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar[J]. Opt Eng, 1986, 25(3): 634-643.

Omnidirectional Weighted Combination Morphological  
Filter Based on Soft Morphology

ZHENG Yu-yan, HE Jian-nong

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou, China)

**Abstract:** In base of generalized omnidirectional adaptive weighted combination morphological filter, the standard morphological opening and closing is replaced with soft morphological opening and closing in this paper. And with new structure elements and *k*, a new method is used in speckle noise reduction. A omnidirectional weighted combination morphological filter based on soft morphology is proposed in the paper. Morphological opening and closing in omnidirectional adaptive weighted combination morphological filter is substituted by soft morphological opening and closing. Then, we compare this new filtering algorithm with generalized omnidirectional adaptive weighted combination morphological filter, omnidirectional adaptive weighted combination morphological filter and lee filter by means of experiment. It is shown that the new method is more effective at noise reduction and detail preservation by experimental results.  
**Keywords:** image processing; morphologic filtering; mathematical morphology; speckle noise

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 张金顺, 黄心中)