

## 基于广义形态滤波和模糊逻辑的散斑噪声抑制\*

蒋立辉<sup>1</sup>, 耿 蒙<sup>2</sup>, 赵春晖<sup>3</sup>

(1.中国民用航空学院 通信与信息处理研究所,天津 300300;2.大连铁道学院 数理系,辽宁 大连 116028; 3.哈尔滨工程大学 信息与通信学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**提出一种新的用于图像斑点噪声抑制的滤波算法。此算法应用了形态滤波和模糊逻辑理论,首先以一方向结构元素进行广义形态闭-开、开-闭操作,获得不同方向结构元素的滤波版本,然后根据设计的模糊规则计算所有版本像素的隶属度,以具有相应最大隶属度的像素构成最后的滤波结果。实验结果证明:本文算法优于 Lee 滤波算法、F.Safa 算法和加权形态滤波算法。

**关键词:**形态滤波器; 模糊逻辑; 斑点噪声抑制; 图像

**中图分类号:**TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)01-0080-04

## Speckle suppressing based on generalized morphological filter and fuzzy logic\*

JIANG Li-hui<sup>1</sup>, GENG Meng<sup>2</sup>, ZHAO Chun-hui<sup>3</sup>

(1.Institute of Communication and Information Processing, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China;

2.Mathematics and Physics Department, Dalian Railway Institute, Dalian 116028, China;

3. School of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

**Abstract:** A new filtering algorithm using generalized morphological operators and fuzzy logic is proposed for suppressing speckle noise in images. Generalized morphological close-open and open-close operations with a directional structure element are used, and the several filtered versions with different directional structure elements are acquired, then computing the fuzzy membership of the versions' every pixel according to the designed fuzzy rule are computed. The final filtered image is composed of all the pixels with corresponding maximal membership. Experimental result proves that performance of the proposed scheme is superior to that of lee's filter, F.Safa's algorithm, weighted morphological filter.

**Key words:** Morphological Filter; Fuzzy logic; Speckle suppression; Image

### 0 引言

激光雷达图像、合成孔径雷达图像和超声图像已

被广泛应用于遥感、无损检测等领域。从成像的角度来说斑点噪声可以分为两类:第一类是在通过湍流媒介成像时,由波前不同点相位随机变化而引起的,但

收稿日期:2004-01-08; 修订日期:2004-03-13

\* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372034)

作者简介:蒋立辉(1964-),男,辽宁鞍山人,博士,主要研究方向为数字图像处理与模式识别、光电子技术及应用等。

是切变波束成像技术大大降低了这类斑点噪声的形成,因此在这里对它不做考虑;第二类是由目标表面微结构散射的随机相位相干所引起的,这类斑点噪声存在于前述的图像中。由于它的存在,降低了图像质量,使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。为此,在信号和图像处理中,提出了许多去除斑点噪声的技术,比较著名的包括应用在雷达数据处理中的 Lee, Kuan 和 Frost 滤波器<sup>[1-3]</sup>。与此同时,还提出了不是由斑点统计模型推导的其他滤波器并应用到合成孔径雷达的斑点噪声抑制,诸如均值滤波器、中值滤波器<sup>[4]</sup>、几何滤波器<sup>[5]</sup>、小波变换滤波器<sup>[6]</sup>和形态滤波器<sup>[7,8]</sup>等,关于各种滤波器的评价也有报道<sup>[9]</sup>。近些年来,形态滤波已引起很多专家的关注,并提出了几种抑制斑点噪声的形态滤波方法,效果比较好的是 F.Safa 算法<sup>[7]</sup>和加权形态滤波算法<sup>[8]</sup>。本文基于方向形态滤波和模糊逻辑构造了一种新的斑点噪声抑制的模糊形态滤波算法。数学形态学是图像处理中很有价值的理论,而模糊逻辑亦成功地应用在控制、模式识别和图像处理等方面,把两种理论有机结合,以期应用模糊逻辑处理不确定性问题的优势来弥补方向形态滤波器在提高了保持图像目标几何结构能力的同时降低了噪声抑制能力下降的弱点。实验结果表明,本文提出的斑点噪声抑制算法在保持图像几何结构的前提下有效地抑制了图像中的斑点噪声,并且证明了此算法优于 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法。

## 1 滤波算法描述

### 1.1 结构元素的选取

二维形态开-闭或闭-开的形态滤波器,在斑点噪声污染的图像中不太实用。这是由斑点噪声的高密度、高幅度和二维结构元素的性质决定的,即使  $3 \times 3$  的结构元素也可能包含一个或几个极大和极小噪声像素,以此结构元素进行开或者闭不能显著地去除斑点噪声。在某种程度上,使用线性结构元素可以避免这一缺陷。因此,考虑到斑点噪声抑制和图像细节保持,其滤波框架使用尺寸为  $p$  (5 个像素点)、方向分别为  $u_1, u_2, \dots, u_k$  和尺寸为  $q$  (7 个像素点)、方向分别为  $u_1, u_2, \dots, u_k$  线性结构元素,如图 1 和图 2 所示。

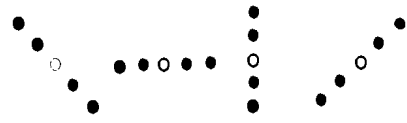


图1 5点4方向线性结构元素

Fig.1 5 points 4 directional linear structuring elements

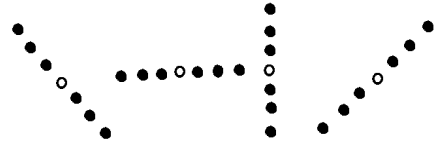


图2 7点4方向线性结构元素

Fig.2 7 points 4 directional linear structuring elements

### 1.2 广义方向形态滤波器<sup>[10]</sup>

$X(n)$  表示输入图像,  $Y(n)$  表示输出图像, 则广义方向形态滤波定义为:

$$\begin{aligned} Y(n) &= (X(n) \circ B^{p u_i}) \bullet B^{q u_i} \\ Y(n) &= (X(n) \bullet B^{p u_i}) \circ B^{q u_i} \end{aligned} \quad (1)$$

式中  $\circ$  表示形态开操作;  $\bullet$  表示形态闭操作;  $B^{p u_i}$  表示尺寸为  $p$  方向为  $u_i$  的结构元素;  $B^{q u_i}$  表示尺寸为  $q$  方向为  $u_i$  的结构元素,  $B^{p u_i} \supset B^{q u_i}$ 。本文算法用图 1、图 2 所示的 5 点 4 方向和 7 点 4 方向的结构元素分别进行广义形态开-闭或者闭-开操作, 获得输入图像  $X(n)$  的 8 个滤波版本:

$$\begin{aligned} Y_i(n) &= (X(n) \bullet B^{p u_i}) \circ B^{q u_i}, Y_j(n) = (X(n) \bullet B^{p u_i}) \circ B^{q u_i} \\ i &= 1, 2, 3, 4 \quad j = i + 4 \end{aligned} \quad (2)$$

采用更多方向的结构元素, 将保留更多的细节, 但使噪声去除能力下降。为了更有效地抑制斑点噪声, 应用模糊逻辑理论。

### 1.3 模糊系统设计

Zade 在其著名的论文中, 首次提出了模糊理论。作为模糊理论的一部分的模糊逻辑现在已成为信息处理中的关键技术。在不断的研究中, 许多的应用证明了模糊逻辑的巨大成功。它所应用的方面包括控制系统、模式识别、信号处理和数据分类等。模糊逻辑的关键特征之一是具有在处理任何物理系统所共同具备的不确定性的能力。信号接收的不完全和含有的噪

声, 都使信号具有不确定性, 因此模糊逻辑影响图像处理 的许多方面。这部分提出了一种用于斑点噪声抑制的推理机制。经方向形态滤波处理所得到的  $Y_i(n)$  作为模糊系统的数字输入图像信号, 灰度范围是  $[0, L-1]$ 。  $Y_0=Y(n)$  为被处理的图像在时间  $n$  的采样,  $W(n)=\{Y_j\}$  为邻域  $M+1$  个采样点的集合, 并且都属于中心为  $Y_0$  的一个窗中:  $W(n)=\{Y(n-M/2), \dots, Y(n-1), Y(n), Y(n+1), Y(n+M/2)\}$ 。  $m(n)=\text{mean}(w(n))$  为窗  $W$  中所有元素的均值, 则模糊系统的输入变量被定义为像素幅度与此窗中像素均值的差:

$$S(n)=Y_i(n)-m(n) \quad i=1,2,\dots,8 \quad (3)$$

因为斑点成像模型服从  $Y(n)=X(n)+v(n)X(n)$ ,  $X(n)$ 、 $Y(n)$  分别为输入、输出信号,  $v(n)$  为均值为零, 方差为  $\sigma_v^2$  高斯分布的随机变量, 所以窗中像素幅度与窗中像素的均值差的绝对值越小, 此像素的隶属度越高, 则模糊集可以根据如下规则设计:

如果像素幅度与滤波窗中像素的均值差的绝对值很大(例如, 比滤波窗中像素的标准差  $\sigma$  大得多), 则此像素隶属度很低。

如果像素幅度与窗中像素的均值差的绝对值很小(例如, 比滤波窗中像素的标准差  $\sigma$  小), 则此像素隶属度很大。

根据此规则, 设计了参数为  $u$  三角形的模糊集, 如图 3 所示。  $u$  表示和窗中像素标准差有关的模糊集的宽度, 一般可选择  $u=2.5\sigma$ 。

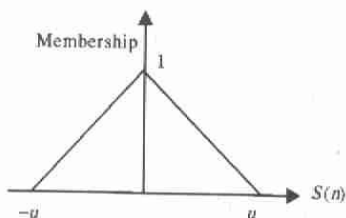


图 3 三角形隶属度函数定义

Fig.3 Definition of triangular-shaped fuzzy set

根据此模糊规则, 可以估计出每个像素的隶属度, 那么方向形态滤波器处理的 8 个版本的像素的隶属度可以被计算出来, 比较相应位置像素的隶属度, 以隶属度最大的像素作为最后的处理结果, 即:

$$Z(n)=Y_{\text{MAX}(C_i(n))}(n) \quad i=1,2,\dots,8 \quad (4)$$

式中  $C_i(n)$  表示第  $i$  个方向形态滤波版本位置  $n$  上像素的隶属度。在某些情况下,  $Z(n)$  可能与  $Y_i(n)$ ,  $i=1,2,\dots,8$  相符。但是, 在斑点噪声存在的情况下, 符合的概率是非常低的, 因此期望  $Z(n)$  能在保持图像细节的前提下更有效地降低斑点噪声。

## 2 实验结果

检验了所提出的模糊形态滤波算法的有效性, 并且与 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法进行了比较。原图像为  $271 \times 404$ , 8 bit 灰度图像, 如图 4 所示。此图像被斑点噪声(均值: 1, 标准差: 0.1)所污染, 如图 5 所示。 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法也被应用来抑制斑点噪声以便恢复原图像。这里 Lee 滤波器、加权形态滤波算法选择了  $5 \times 5$  的滤波窗。 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法的恢复结果分别显示在图 6~图 8 中。提出的模糊形态滤波算法也被应用于抑制斑点噪声, 其恢复的图像如图 9 所示。然后, 通过斑点指数<sup>[11]</sup>和正则均方误差

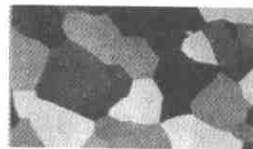


图 4 原图像

Fig.4 Original image



图 5 噪声图像

Fig.5 Noisy image

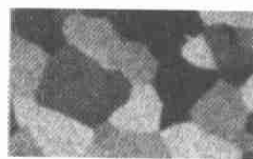


图 6 Lee 滤波器处理的图像

Fig.6 Image filtered by Lee's filter

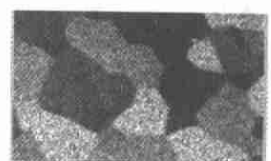


图 7 F.Safa 算法处理的图像

Fig.7 Image filtered by F.Safa's algorithm



图 8 加权形态滤波器处理的图像

Fig.8 Image filtered by weighted morphological filter



图 9 本文算法处理的图像

Fig.9 Image filtered by the proposed filter algorithm

表 1 噪声图像和处理后图像的斑点指数和 NMSE

Tab.1 Speckle-index and NMSE of noisy image and processed image

Noisy image and algorithm	Speckle-index	NMSE
Noisy image	0.3032	0.0795
The proposed filter scheme	0.0378	0.0042
Lee's filter	0.0417	0.0056
F.Safa's algorithm	0.2159	0.0617
Weighted morphological filter	0.0688	0.1534

(NMSE)<sup>[12]</sup>来检验 Lee 滤波器、F.Safa 算法、加权形态滤波算法和本文算法的性能。测试结果如表 1 所示。从这些测试结果可以看出:本文算法的性能优于 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法。

### 3 结 论

基于方向形态滤波和模糊逻辑理论,提出了一种新的滤波框架—模糊形态滤波。实验结果显示:本文算法不仅更有效地抑制了图像中的斑点噪声,而且保持了图像的几何结构。通过比较,证明本文算法优于 Lee 滤波器、F.Safa 算法和加权形态滤波算法,但计算量较大。

### 参考文献:

[1] Lee J S. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture

radar[J].Opt Eng,1986,25(5):636-643.

- [2] Kuan D T,Sawchuk A A,Strand T C,et al. Adaptive restoration of images with speckle[J]. IEEE Trans Acoust Speech Signal Processing, 1987, 35(3):373-383.
- [3] Frost V S, Stiles J A, Shanmugan K S,et al.A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise[J].IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 1982, 4(2):157-165.
- [4] Tukey J W. Exploratory Data Analysis[M]. MA:Addison-wesley, 1997.
- [5] Grimmins T R.Geometric filter for reducing speckle[J].Opt Eng, 1986,25:652-654.
- [6] Dong Y,Forster B C,Milne A K,et al. Speckle suppression using recursive wavelet transform[J].Int J Remote Sensing, 1998,19(2):317-310.
- [7] Safa F,Fiouzar G. Speckle removal based on mathematical morphology[J].Signal Processing,1989,16(4):320-333.
- [8] Sedaaghi M H,Wu Q H. Weighted morphological filter[J]. Electronics Letters, 34(16):1566-1567.
- [9] Lee J S,Jurkevich I,Dewaele P,et al.Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review[J].Remote Sensing Rev, 1994, 8(4):313-340.
- [10] Zhao Chunhui,Sun Shenghe,Qiao Jinlu.A generalized morphological filter based on adaptive weighted average[J].Chinese Journal of Electronics,1997,6(3):76-81.
- [11] Dewaele P,Wambacq P,Oosterlinck A,et al.Comparison of some speckle reduction techniques for SAR images[A].IGRASS'90[C]. Maryland:the University of Maryland College Park, 1990.2417-2422.
- [12] Yang XiaHua,Peng Seng Toh. Adaptive fuzzy multilevel median filter[J].IEEE Trans On Image Processing,1995,4(5):680-682.



## 《现代光学与光子学的进展》简介

由《红外与激光工程》编辑部编辑,天津科学技术出版社出版的《现代光学与光子学的进展》一书,于 2003 年 2 月出版发行,主编母国光院士。此书共收集整理了王大珩院士近 10 年来的部分学术报告和论文以及中国光学界 20 位院士撰写的学术论文。内容包括:现代光学与光子学在国民经济、国防建设和各学科领域的进展和应用;现代光学与光子学与其他学科交叉融合产生的新技术或潜在应用;对我国光子学技术和光电子产生发展的意见和建议。此书不仅对从事光学的科技人员了解光学发展的全貌有裨益,而且对希望了解光学工程的有关人员 and 领导亦有参考价值,可作为大学生和研究生的教材或参考书,也可作为高级科普类读物。

全书共 59.5 万字,472 页,每本定价 88 元(含邮费),有需求者请与《红外与激光工程》编辑部联系,联系电话:(022)23666400;(022)23009840。