

# 全方向增强局域统计自适应滤波器在平滑 雷达图象斑点噪声中的应用

何剑锋 田国良

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

**摘要** 合成孔径雷达图象的斑点噪声是由于合成孔径雷达(SAR)发射的相干干涉波产生的,它严重地影响了合成孔径雷达图象的质量和用。为了更好地平滑噪声,保护边界和纹理信息,本文在分析和实现适应于SAR图象的各种局域自适应滤波器的基础上,实现了一种新的改进的全方向增强的局域自适应滤波器。它是把 $(2N+1) \times (2N+1)$ 的滤波窗口分成 $4N$ 个子窗口,根据不同的子窗口中的局域变化系数来进行滤波。结果表明,这种全方向增强的局域自适应滤波器在保护地物的辐射特性和图象的纹理信息以及增强图象的微细节等方面,均比以前的滤波器有较大的提高。

**关键词** 斑点噪声,自适应,局域变化系数

## 1 引言

由于雷达图象与可见光、红外遥感技术相比具有全天候、全天时的观测能力,具有穿透天然植被、人工伪装和地表层土壤一定深度的能力等不同的特点,因此SAR图象在资源与环境调查、海洋学与冰川研究、环境污染监测等应用领域中正显示出越来越大的作用和应用潜力。目前已成为地球资源环境动态监测的一种有效的遥感手段。

雷达图象反映了地物对微波的散射特性,但由于SAR发射的是相干波,这些相干波经过与地物的相互作用,特别是地物的后向散射作用,使目标回波信号产生了衰落。这种衰落表现在图象上就是相干斑点噪声(speckle noise),这是雷达图象不可避免的,也是在分析、应用、处理雷达图象时必须解决的问题。因为斑点噪声的存在,使得图象不能正确地反映地物目标的散射特性,不但大大地增加了判读的复杂性,而且还容易造成误判,也大大地增加了SAR图象定量化应用的难度。斑点噪声去除的好

坏,将直接影响到对雷达图象定量分析和应用的精度。因此,滤除雷达图象中的斑点噪声,对提高雷达图象的质量有着重要的意义。

滤除雷达图象斑点噪声的技术总的来说有两大类,第一类方法是雷达图象成象前的处理。如多视平均处理,这种方法将雷达合成孔径分为几个子孔径(比如1—8个之间),对这些子孔径分别进行处理后再非相干地求和平均,使得每个象元点的强度接近于均值,从而得出平滑的图象。但经过多视处理后的平滑图象在方位向的分辨率降低了,并且对于子孔径的划分必须在多普勒信号频率中进行,而不能在时域或空域中划分。更不是简单的数据流的顺序分割。一般用户拿到的SAR图象常常是经过多视处理(Multi-looks processing)后的图象。对多视处理后的图象进行斑点噪声抑制只能利用第二类方法,即雷达图象成象后的处理技术,也就是频域或空域中的图象处理技术。

各种局域统计自适应的滤波方法,即对每一象元根据其局域灰度统计特性而采用不同的滤波函数,它是适应于雷达图象的景和斑点的特性的,并且

• 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995.12.26;收到修改稿日期:1996.04.15

采用局部统计算法,简单快速,可增强边缘和保护纹理信息,因而用这种滤波方法处理斑点噪声的效果较好。比较常用的局域统计自适应的滤波器有 Lee 滤波器<sup>[1]</sup>,Kuan 滤波器<sup>[2]</sup>,Frost 滤波器<sup>[3]</sup>,Sigma 滤波器等。本文首先分析了这几个局域统计的自适应滤波器,并以此为基础,在滤波器的设计中,增加一个全方向的保护图象细节的策略,实现了一个新的改进的“全方向”增强局域统计自适应滤波器。使之在平滑斑点噪声的同时,更加有效地保护图象的辐射特性和纹理特性。最后给出滤波结果和滤波效果评价。

## 2 常用的局域统计自适应滤波器及其特点评价

一般的用来抑制噪声、平滑图象的滤波方法是中值滤波和均值滤波(即 box filter)。中值滤波即以移动工作窗口中的局部中值来代替窗口的中心象素,它的假定是噪声以孤立点的形式存在,与之对应的象素比较少,中值滤波对消除随机噪声比较有效,但往往降低了图象的分辨率,平滑了图象中的有用信息。随着工作窗口的增大,平滑后的图象会变得愈来愈模糊。均值滤波则是在原图象中每一象元的邻域里对诸象元进行平均,并将此平均值当作处理后图象中的象元的灰度级。它和中值滤波一样,随着噪声的平滑而降低了图象的清晰度。一般的图象滤波方法没有针对雷达图象的特点来设计,因而去除斑点噪声的效果不是很好。

被斑点噪声所干扰的图象,其斑点噪声具有确定的统计特性。图象上那些反映雷达通过的独立取样的目标象素回波能量的灰度值,是一种随机的效应,它服从某种概率分布。在图象的任何一景里,对象素的强度的贡献有两个分量:一个为衰落变量  $n(x, y)$ ,它表征了象素点之间的变化;一个为纹理变量  $r(x, y)$ ,它表征了地面象元点散射特性的空间变化。理论上这两个分量可以认为是相互独立的,并且它们与理想信号回波的关系为乘式噪声模型,可写成

$$I(x, y) = r(x, y) \cdot n(x, y) \quad (1)$$

其中,  $r(x, y)$  为理想信号回波,  $I(x, y)$  为图象强度分量,  $n(x, y)$  为斑点噪声分量。根据 SAR 图象的乘式噪声模型设计的局域统计自适应的滤波器有 Lee 滤波器、Frost 滤波器和 Kuan 滤波器。

### 2.1 Lee 滤波器

Lee 滤波器是基于乘式噪声模型的,即假设图

象的强度可表示如下:

$$I(x, y) = R(x, y) \cdot U(x, y)$$

设  $t = (x, y)$ , 则有

$$I(t) = R(t) \cdot U(t) \quad (2)$$

可用一个线性的公式来近似逼近  $I(t)$ 。利用最小二乘法,并在实现过程中,用局域统计的均值、方差来估计理想信号  $R$  的均值、方差,则可解出滤波方程式为

$$\begin{aligned} \hat{R}(t) &= \bar{I}(t) + k(I(t) - \bar{I}(t)) \\ k &= 1 - C_U^2/C_I^2 \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $C_U = \sigma_U/\bar{U}$ ,  $C_I = \sigma_I/\bar{I}$

这个方法计算量小,速度快。只要知道噪声的先验均值和方差,就能运用此方法进行滤波。在子窗口选择得小的情况下,效果较好。但随着处理子窗口的增大,图象边界被模糊了,一些细节信息也被平滑了。

### 2.2 Kuan 滤波器

Kuan 滤波器是基于局域的线性最小均方误差(Liner Minimum Mean Square Error)的滤波器。在加式噪声模型的基础上,考虑乘式噪声模型  $I(t) = R(t)U(t)$ ,并假设这个模型中噪声有固定的均值和

$$U = E(u)$$

$$\sigma^2 U = E[(U - \bar{U})^2]$$

方差利用线性最小均方差原则,并利用局域统计来无偏地估计  $E(R)$ ,可解得

$$\hat{R} = (1 - W(t)) \cdot E(I) + W(t) \cdot I \quad (4)$$

其中  $W(t) = \frac{(1 - C_U^2/C_I^2)}{(1 + C_U^2)}$

Kuan 滤波器是 Lee 滤波器的一个更一般的表示方法,它与 Lee 滤波器的区别在于用一个信号加一个依赖于信号的噪声来表示乘式模型的噪声。从而应用局域最小均方误差来求出最佳估计。从上式中可以看出, Lee 和 Kuan 滤波器都是滤波窗口象素的加权平均。当在灰度级较平坦的区域里,有  $W \rightarrow 0$ ,则  $R \rightarrow E(I)$ ,即  $I$  的均值。它是在邻域里求平均。而在灰度变化较大的区域(如包含边界、线性迹向等),  $W \rightarrow 1$ ,则  $R \rightarrow I$ ,即保持象元本身的值。因此,在灰度级较平坦的区域中,噪声被平滑,而在图象边缘或细节的部分,则保持它的值。这样,比一般的均值、中值滤波而言,保护了边缘和细节。

### 2.3 Frost 滤波器

Frost 滤波器也是基于最小均方误差(MMSE)

的自适应滤波器。

设  $m(t)$  是自适应 MMSE 滤波器的冲激响应函数,  $M(f)$  是它的傅立叶变换函数。使

$$\epsilon^2 = E[(r(f) - I(f)M(f))^2]$$

最小,在频域空间求解,并进行反变换,有

$$m(t) = k_1 \exp(-k C_I^2(t_0) |t|) \quad (5)$$

其中,  $k = \alpha^2 / C_I^2$ ,  $C_I = \sigma_1 / \bar{I}$ ,  $\alpha = \sqrt{2a[\bar{n}/\sigma_n]^2 \cdot 1/(1 + (\bar{r}/\sigma_r)^2) + a}$ ,  $K$  为滤波函数,  $C_I^2(t_0)$  在中心象素为  $t_0$  的移动的工作窗口中计算,  $K_1$  是归一化包含  $\alpha$  参数在内的常数。

从上式中可以看出,对于比较大的  $\sigma_r^2$  的值,则滤波器的冲激函数比较窄,反之,则比较宽,这样,不同的  $\sigma_r$ , 给予的加权不一样。

Frost 滤波器的优点是在灰度级较平坦区域滤除了噪声并增强了图象。同时也考虑了边界的保护问题。Frost 滤波器是从 SAR 图象本身的性质出发而推导出的一种自适应滤波方法,它比一般的图象处理方法更适于处理 SAR 图象的噪声,因此效果较好。缺点是比 Lee, Kuan 滤波器的计算量大,虽然它的冲激函数简单,但也要在滤波器子窗口中作卷积运算,因此,工作窗口最好选择在  $7 \times 7$  以下。

#### 2.4 增强的局域统计自适应滤波器

从分析以上几个滤波器中可以看出,它们有以下两个特点:

第一,自适应的滤波器是有关局部变化系数的加权平均,而这恰恰说明了图象的纹理信息及其变化,因此,滤波器是适合于 SAR 图象处理的。

第二,滤波器的设计是基于乘式噪声模型的。它要求信号与噪声是相互统计独立的,并且每一个分辨单元是大量散射体共同作用的结果,这些散射体的相位均匀分布在  $[0, 2\pi]$  之内,不同散射体的幅度近似于满足同一统计分布。不满足以上特点的区域,如小于一个分辨单元的微细节和边界,以及纹理变化较显著的区域,效果则不太理想。

一个理想的滤波器应考虑到:一在灰度平坦地区,它的信号  $r(t)$  可看做常量,滤波器在此区域将把滤波窗口中的象素的平均值赋给中心象素;二在灰度变化较大的区域,如边界、点目标等,滤波器必须在平滑噪声的同时考虑保护边界和纹理信息( $r$  是变

化的),滤波器必须能够分辨斑点和纹理信息。

可见,以上几个滤波器中权函数  $w(t)$  是关于变化  $C_I(t_0) = \sigma_0 / \bar{I}$  的函数。故可以设置两个阈值  $C_u, C_{max}$ , 使得增强的 Frost 滤波器有以下的滤波函数:

$$m(t) = k_1 \exp(-k \text{func}(C_A(t_0), C_{max}, C_U) |t|) \text{func}(C_A(t_0), C_{max}, C_U)$$

$$= \begin{cases} \frac{C_A(t_0) - C_U}{C_{max} - C_A(t_0)} & C_U \leq C_A(t_0) \leq C_{max} \\ 0 & C_A(t_0) \leq C_U \\ \infty & C_A(t_0) > C_{max} \end{cases}$$

则增强的 Lee 和 Kuan 滤波器的权函数修改为:

$$W(t_0) = \exp\left(-k \frac{C_A(t_0) - C_U}{C_{max} - C_A(t_0)}\right) \quad (6)$$

这两个阈值使得滤波过程被分成了以下的三个部分:

若当  $C_A(t_0) \leq C_U$  时,  $\hat{r}(t_0) = \bar{A}(t_0)$ , 则图象被平滑。

若当  $C_{max} > C_A(t_0) > C_U$ , 那么滤波器将对图象进行滤波。 $C_A(t_0)$  越大,即灰度值变化越大,平滑的越少。

若当  $C_A(t_0) \geq C_{max}$ , 则  $\hat{r}(t_0) = A(t_0)$ , 保持原图象的值。

阈值  $C_u, C_{max}$  可以这样确定, 对一个  $L - \text{look}$  的线性检波图象, 其被观测到的噪声变化可以用公式  $C_u = 0.523/L^{[4]}$  来计算。

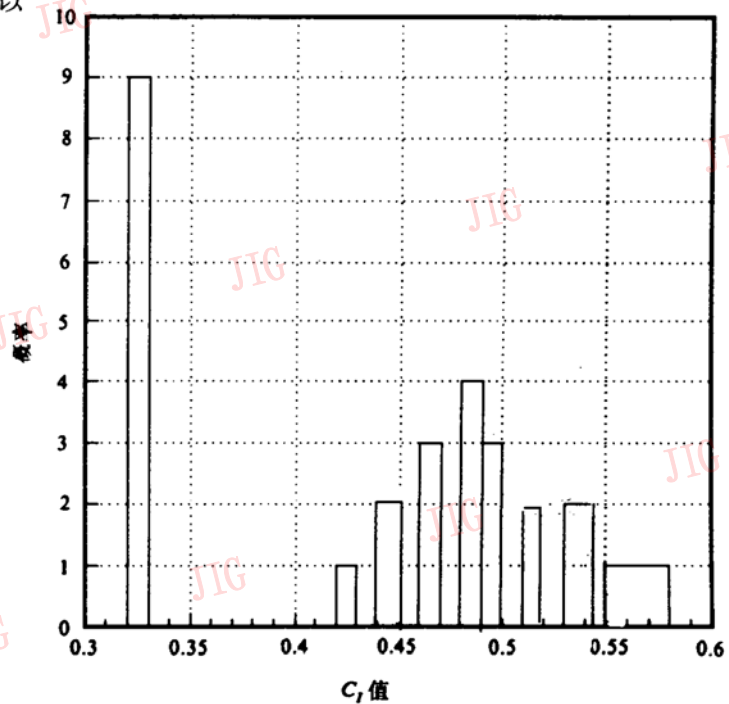


图 1 原始 SAR 图象中一块水面区域在  $5 \times 5$  窗口中  $C_I$  的分布

Fig. 1 Distribution of  $C_I$  at water area in original SAR image by  $5 \times 5$  window

在实际实现过程中,变化系数  $C_A(t_0)$  是在一个移动的滤波窗口中计算的,它的分布是一个有限的准高斯分布,如图1所示。

阈值  $C_{max}$  是比较难确定的,从理论和经验上可知,  $C_{max}$  是图象参数(景的性质,look数,空间分辨率等)的函数。也可以使  $C_{max} = C_{umax}$ ,  $C_{umax}$  是被观测到的噪声的变化系数的最大值。这样,可以保护更多的纹理信息。在本文的滤波器设计中,  $C_{max}$  的值是这样决定的,即在图象中取出几块有代表性(包括边界,点目标等)的区域,算出各像素的  $C_i$  值及近似分布函数,取  $C_i$  分布的95%概率处的  $C_i$  值做为  $C_{max}$  的值。

增强的局域统计自适应滤波器对斑点进行了有效的平滑,增强了边界、线性特征和细节,但因为选取的阈值对匀质区域的划分不一定很精确,小于  $C_u$  的匀质区域中的线性微细节被平滑了,加上用被噪声干扰的图象的统计来代替理想图象的统计,也会造成图象斑点噪声的放大。

### 3 “全方向”增强局域统计自适应滤波器

增强局域统计自适应滤波算法在纹理信息的保护方面可产生令人满意的结果。但若对图象提出更高的条件,比如:减少边缘区域的噪声而又不牺牲边缘尖锐度,或扩大滤波窗口,同时又保持边界和线性迹向,则必须改进上述算法。一般的改进方法是利用垂直、水平、对角线4个方向的子窗口进行滤波。然而图象中的细节指向非常复杂,因此,4个方向的滤波器是不能满足既平滑噪声又保护细节的。本文在滤波器的设计中,增加了一个保护边界的“全方向”策略,实现了一个新的改进的“全方向”增强局域统计自适应滤波器。以增强Frost滤波器为例,若把窗口中尽可能多的方向都考虑进去,则可以做到保护线性细节的目的。<sup>1)</sup>

令输入图象为  $F(X,Y)$ ,  $0 \leq X, Y \leq M-1$ , 滤波窗口为  $(2N+1)(2N+1)$ , 设单位旋转角为

$$\theta_0 = \frac{180^\circ}{4N} \quad (7)$$

由(7)式可知,对应  $(2N+1)(2N+1)$  正方形窗口的有  $4N$  个指向。我们定义每个指向上的子窗口  $w_l$  为

$$w_l = \{F(x+i, y+j) / \theta = l \cdot \theta_0, -N \leq i, j \leq N\}$$

其中,  $\theta$  为该子窗口的指向角(相对水平方向而言),  $F(x, y)$  为  $W$  窗口中的象素,  $w_l \subset W$ ,  $F(x, y)$  是  $W$  窗口的中心象素。

设子窗口  $w_l$  的指向角为  $\theta = t \cdot 45^\circ + m' \cdot \theta_0$ , 则对于窗口  $w_l$  中象素的个数  $A_l$  为:

$$A_l = \begin{cases} 2N+1 & \text{if } t=0, 2, 4 \text{ and } m=0 \\ 2N+1-2m' & \text{if } t=1 \text{ or } 3, m'=1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (8)$$

可知,子窗口中象素个数最多为  $2N+1$ , 最少为3个。

在决定  $N$  的取值时,令  $N = 2^k$ , 这样以便于计算  $W_l$  中的象素个数。各子窗口  $W_l$  全部象素灰度平均值用  $Z_l(x, y)$  表示,则

$$Z_l(x, y) = \frac{1}{A_l} \sum_{w_l} F(x+i, y+j) \quad (9)$$

其中,方差为  $\sigma^2 Z_l = \sum_{w_l} [(F(x+i, y+j) - Z_l(x, y))]^2$

归一化变化系数为  $C_{w_l} = \frac{\sigma^2 Z_l}{Z_l \cdot A_l}$

当  $C_{w_l} \leq K$  (阈值) 时,则用子窗口的均值来代替中心象素,否则,仍然用增强Frost滤波算法或其它滤波算法来确定中心象素的值。

归纳以上表述,如把保护边界的“全方向”策略增加到增强Frost滤波中,则改进的全方向增强Frost滤波算法如下:

- (1) 计算各子窗口  $W_l$  中象素的平均值。
- (2) 计算所有全方向子窗口中的  $C_{w_l}$  并与  $K$  比较。
- (3) 如果子窗口中有  $C_{w_l} > K$  的,则把所有  $C_{w_l} > K$  子窗口中的  $C_{w_l}$  的中值子窗口之象素均值赋给中心象素。即:

$$Z_l(x, y) \rightarrow Z_c \\ C_{w_l} = \text{med}(C_{w_l})_{C_{w_l} > K}$$

- (4) 否则,采用增强Frost滤波。

改进后的增强Frost滤波算法,因为考虑了线性迹向分布的复杂性和预先设置了表示纹理变化的  $C_{w_l}$  的阈值,因此在平滑斑点和保护线性迹向及边缘上都有很好的效果。图2显示了滤波后图象与原图象相比,灰度值变化的情况。图3显示了滤波器的平滑效果比较。它的代价是增加了运算时间,合适的阈

• 1) 阵贺新等. 平滑图象的全方向均值中值滤波. 见图象图形学论文集, 1992.

值的确定也是一件颇费事的工作。其它的自适应滤波器均可按照以上所述算法和策略进行改进。

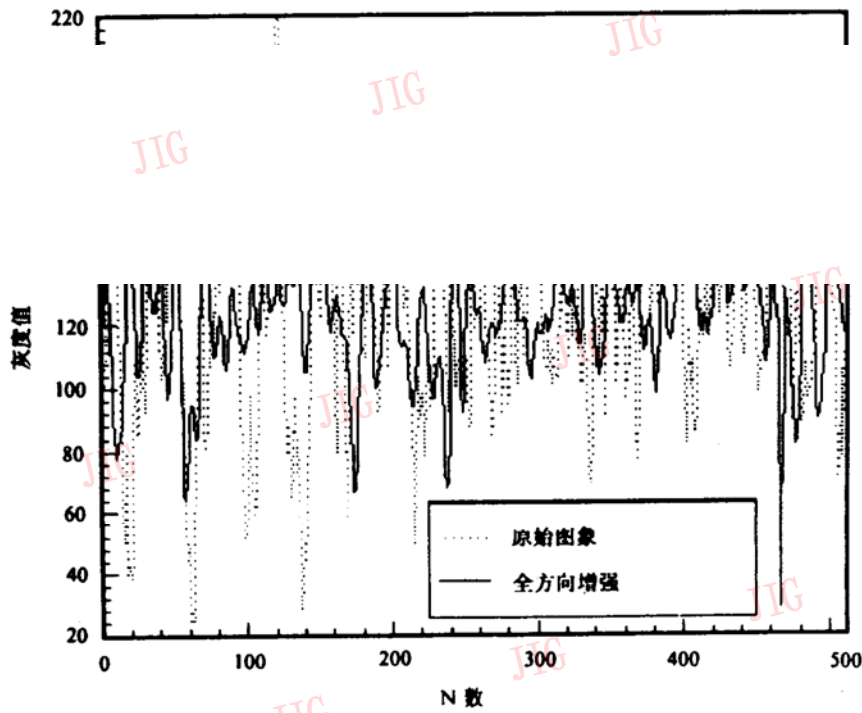


图 2 “全方向”增强 Frost 滤波结果

Fig. 2 Filter result using Frost filter of all direct enhance

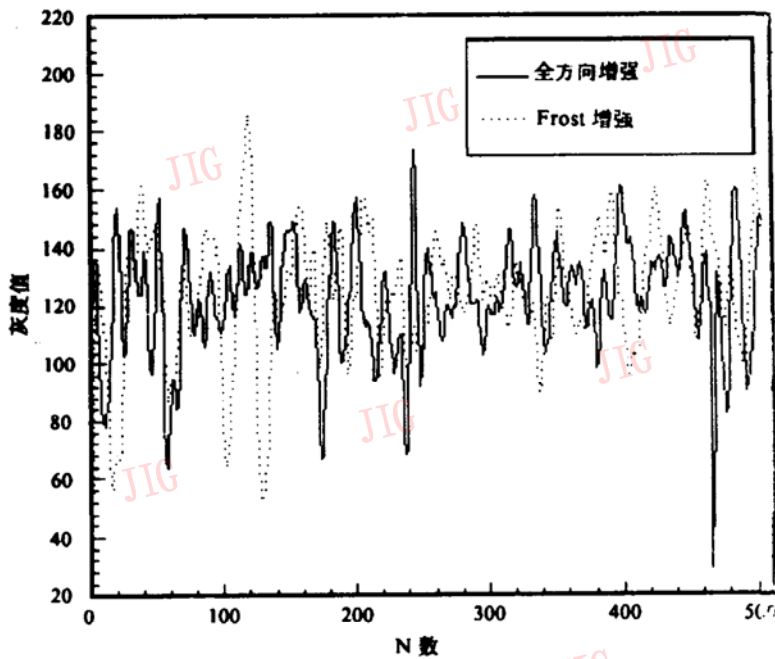


图 3 “全方向”增强 Frost 滤波结果与增强 Frost 滤波结果比较

Fig. 3 Comparison of Frost filter result

### 4 滤波效果评价

修改后的增强滤波器不但保持了边界、线性特征和细节,而且对斑点进行了足够的平滑。下面从辐射特性和空间特性两方面来评价增强滤波器的滤波效果。

(1)三种增强的滤波器在匀质区域都很好地保持了原图象中目标的平均后向散射系数,平均偏差在 0.1 分贝左右(表 1)。因此增强的滤波器在滤除噪声的同时保护了地物的辐射特性。

(2)滤波之后图象的 ENL(Equivalent Number of Looks) 值  $L'$  能够反映斑点滤除的平滑度。 $L'$  的计算是在一个  $n \times n$  的平滑窗口中进行的。 $n$  为奇数,令  $N = n(n - 1)/2$ ,  $ENL = N \cdot L \cdot k$ ,其中  $L$  为 Looks 数, $K$  为在  $L$  looks 图象中, $n(n - 1)/2$  的窗口中进行空间平均而得到的值<sup>[5]</sup>。

由表 1 可知,“全方向”增强 Frost 滤波器的 ENL 值的偏差最小,这说明了“全方向”增强 Frost 滤波器的平滑度最高,在滤波的过程中既保护了边界,又平滑了噪声。表 2 列出了各种滤波器滤波后图

表 2 各种滤波图象与原图象统计值比较

Table 2 Comparison between filter images and original image

区域	原图象均值	“全方向”增强 Frost 滤波均值	Frost 滤波均值	Lee 增强滤波均值	增强 Frost 滤波均值	原图象标准差	全方向增强 Frost 滤波标准差	Frost 滤波标准差	Lee 增强滤波标准差	增强 Frost 滤波标准差
匀质	133.58	132.25	132.16	132.95	132.23	11.55	3.08	3.29	1.84	3.08
非匀质	104.63	106.15	107.60	105.36	107.46	18.28	7.39	6.66	6.30	6.62
包含边界	135.29	131.52	136.09	134.38	136.29	37.88	23.56	11.47	15.14	12.21
包含点目标	130.02	126.08	131.59	129.65	131.34	21.25	11.54	8.35	9.03	8.36

的性能优于以前的滤波器。

### 5 结论与讨论

本文分析和实现了一些较著名的滤波方法,并在此基础上进行了改进和增强。去除噪声的方法有局域自适应的 Lee, Frost, Kuan 滤波器。这些滤波器在平滑斑点噪声的同时也考虑了边界的保护,在滤波窗口较小的情况下效果较好,但随着滤波窗口的增加,边缘信息丢失较多,造成了图象边缘模糊。增强的局域 Lee, Kuan, Frost 自适应滤波器,通过

表 1 各种滤波图象与原图象的平滑度比较

Table 1 Comparison of smoothing result

	匀质区域的 ENL 值	灰度值范围	偏差值(db)
“全方向”增强 Frost 滤波	52.9	120/140	0.124
Frost 滤波	52.864	120/140	0.152
Lee 增强滤波	53.18	127/138	-0.207
增强 Frost 滤波	52.892	120/140	0.131

象的统计值,从表中可以看出,在匀质区域里,如田块等,“全方向”增强 Frost 滤波器的滤波均值最接近原图象,增强的 Lee 滤波器滤波后区域中的灰度值分布最均匀。在非匀质区域里,“全方向”增强 Frost 滤波器的纹理保持性最好。在边界的保护和点目标的保持上,“全方向”增强 Frost 滤波器均表现了优良性能。

在空间特性方面,图 4 显示了滤波图象中某一块区域的三维立体图。从图中可以看出,“全方向”增强 Frost 滤波器突出了匀质区域的环形迹向和线性迹向,而 Frost 滤波器则没有突出这些细节,另外,“全方向”增强 Frost 滤波器的整体波效果较好。

综合考虑,改进的“全方向”增强 Frost 滤波器

对图象的统计分析,在滤波器的设计中新增了二个保护边界和点目标的阈值  $C_u$  和  $C_{max}$ ,这两个阈值的使用,使边界信息得到了保护和增强。但在非匀质区域斑点噪声平滑不够,有些噪声还得到了放大,整体效果不太好。全方向增强加权滤波方法,使得噪声去除更彻底,对于匀质区域的边界和线性微迹象保护较好,有些线性微迹象还得到了突出。

平滑斑点和保护边界是两个相互矛盾的问题,它只能采取一种折衷的方法。对于不同条件,不同参数,不同景的图象,可根据具体情况选用一个最佳的滤波器并确定一个适合的阈值。滤波算法的设计是针对不同的问题而设计的,因而不同的滤波器对同

一问题的处理会产生不同的效果。滤波器算法的设计由于增加了保护边界的措施而显得复杂,它还只对乘式的噪声模型有效。再有,阈值的确定也不是程

序能够自动完成的,它需要人工的参与。因此在滤波器的通用设计上必须依赖于更加完善的描述 SAR 图象的模型。

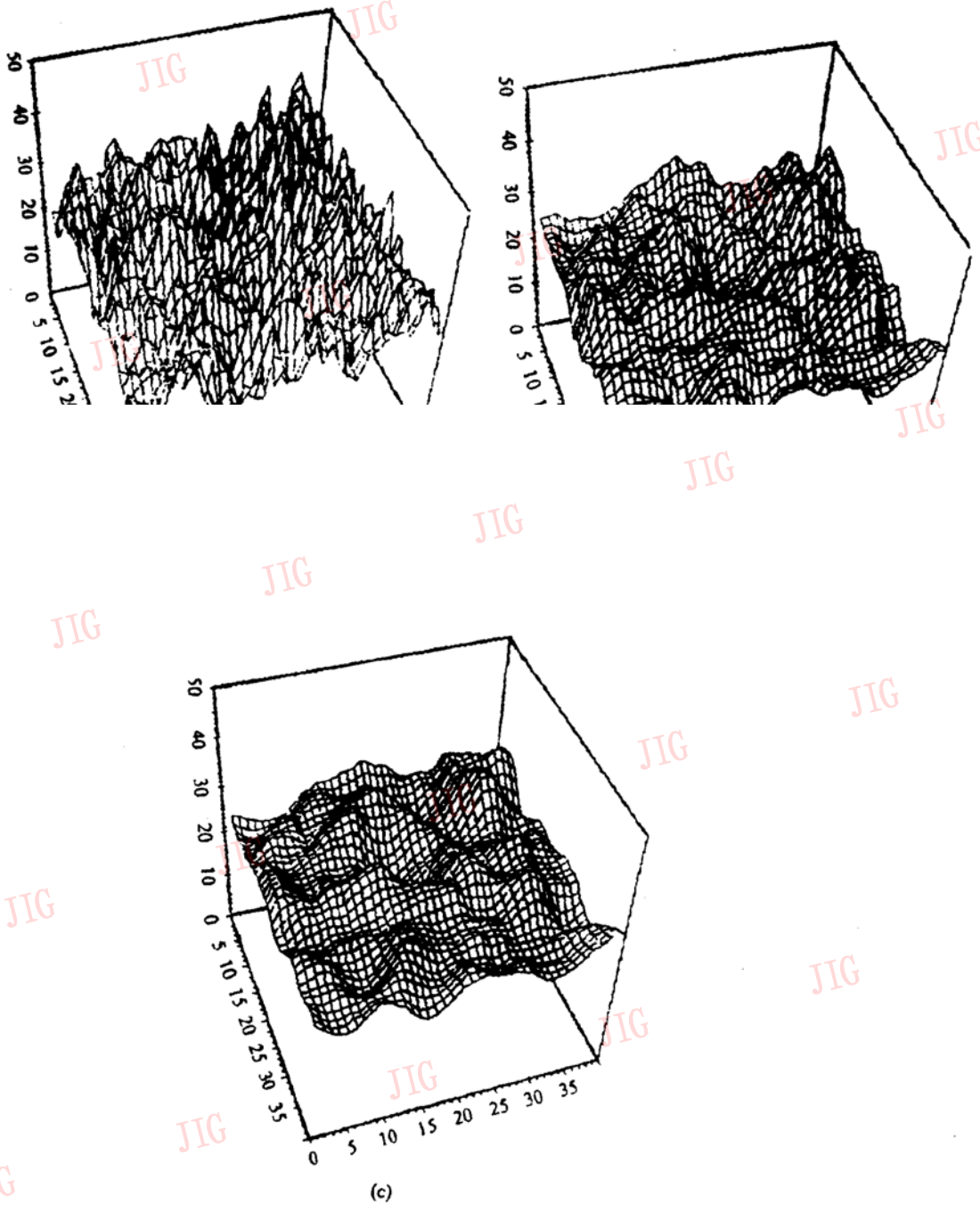


图4 图象中环形迹向的三维显示  
(a)原图象, (b)Frost 滤波图象, (c)全方向增强 Frost 滤波图象

Fig. 4 3 demention graphs in ring structure on SAR image  
(a) Original image (b) image by Frost filter  
(c) image by Frost filter of all direction enhancement

参考文献

1980, vol. PAMI-2, Mar.  
[2] DARWIN T. KUAN *et al.* Adaptive noise smoothing filter for

March.

[3] Victor S. Frost. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1982, vol. PAMI-4, No. 2, March.

[4] Armand Lope, Ridha Toul and E. Neary. adaptive Speckle Fil-

ters and Scene Heterogen. *IEEE Trans. on Geos. and Remote Sensing*, 1990, vol. 28 No. 6, Nov.

[5] R. Touzi, A. Lopes and P. Bousquet. A statistical and geometrical edge detector for SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1988, vol. 26, PP. 764-773 Nov.



何剑锋, 1989年湘潭大学计算机科学系毕业, 获工学学士学位, 1995年在中国科学院遥感应用研究所获地图学与遥感专业硕士学位, 主要从事计算机软件、微波遥感信息模型和雷达图象处理及分类等研究工作。在国外学术会议上发表论文1篇。

## All Direction Enhancement Adaptive Filter and Its Application in Smoothing Speckle Noise of SAR Images

He Jianfeng      Tian Guoliang

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

**Abstract** Speckle noise, which originates physically from coherent interference of back-scattered electromagnetic radiation from the multiple scattering elements in a ground illumination cell, makes the radiometric and textural aspects less efficient for application of SAR image. In order to average speckle in the homogeneous areas, preserve edges and linear features, many adaptive filters are analyzed in this paper. A new modified adaptive filter——all direction enhancement adaptive filter are developed in which the  $(2N * 2N)$  sliding window is divided into  $4N$  subwindows, and the filter works according to the local coefficient of variation of the subwindows. The experiment results indicated that the modified filter performs better than the older ones. It reduces speckles and preserve structural features, edges and small details in all directions in the meanwhile.

**Keywords** Speckle noise, Adaptive, Local coefficient of variation