

文章编号: 1007-4619 (2002)06-0464-06

全方向自适应动态窗口 SAR 斑点噪声抑制算法

谭衢霖, 邵 芸, 范湘涛, 陈劲松

(中国科学院 遥感应用研究所遥感信息科学重点实验室, 北京 100101)

摘要: 有效地抑制或消除斑点噪声是 SAR 图像地学应用的前提。通过基于单视数 SAR 图像的 Speckle 统计特性和已发展的空间滤波算法分析, 发展了一种改进的全方向动态窗口自适应 SAR 噪声滤波算法。该算法对处理的每一个像元可按图像边界细节划分为需要的全方向子窗口, 利用相对标准差判断滤波窗口及子窗口内斑点噪声及边缘信息存在情况, 可实现滤波窗口大小动态调整和窗口内参加滤波像素的自适应选择。对 ERS SAR SLC 图像试验结果表明, 该算法对单视数 SAR 图像具有较强的 Speckle 抑制能力, 且可较好地保持图像的纹理边界细节信息, 有一定的实用价值。

关键词: 合成孔径雷达; 斑点噪声; 全方向; 动态窗口; 自适应滤波

中图分类号: TP751.1/TP722.6 **文献标识码:** A

1 引言

斑点噪声 (speckle) 的存在使得合成孔径雷达 (SAR) 遥感图像不能正确地反映地物目标的散射特性^[1], 不仅增加了使用者判读的复杂性, 而且容易造成误判, 降低了 SAR 对目标的探测、分析和解释能力; 也大大地增加了 SAR 图像定量化应用的难度。另一方面, 随着 SAR 图像应用的不断拓展, 尤其是新型成像雷达遥感应用 (干涉雷达、极化雷达遥感) 的发展, 对其空间、辐射分辨率要求不断提高, 直接对斑噪水平较高的单视数 (Single Look) SAR 图像进行处理和应用越来越多。如利用 SAR SLC 干涉数据生成 DEM 以及极化雷达定量遥感反演地表参数等, 对 SAR 图像的滤波效果 (斑噪抑制、边缘保持、目视效果) 有很高的要求。

所以, 有效地抑制或消除 SAR 图像斑点噪声是提高雷达图像的质量、使 SAR 图像数据得到成功地学应用的基础, 也是应用结果可靠性、准确性和对比性的基础。正因为此, SAR 相干斑滤除技术的研究一直是 SAR 成像处理与图像分析中的一个重要课题。

2 SAR 图像统计模型

对 SAR 图像像素强度 $I(x, y)$ 的贡献有 2 个分量: 一个为衰落变量 $n(x, y)$, 它表征了像素点强度之间的随机变化。另一个为地表环境变量 $r(x, y)$, 它表征了地面像元点散射特性的空间变化, 理论上这两个分量被认为是相互独立的^[2]。此外, $I(x, y)$ 的变化还与 SAR 系统的参数 (天线、接收机、相关器等) 有关, 这些可用一个函数 $h(x, y)$ 表达, 则雷达成像可表达为:

$$I(x, y) = [r(x, y) \cdot n(x, y)] * h(x, y)$$

因为 $h(x, y)$ 只与 SAR 系统有关, 根据上式, 可在已知 $I(x, y)$ 和 $n(x, y)$ 的情况下, 对 $r(x, y)$ 作出最佳估计 $\hat{r}(x, y)$, $\hat{r}(x, y)$ 即为所求的去除斑点噪声之后的图像^[3]。

SAR 图像上斑点噪声的统计模型满足瑞利分布或指数分布^[1], 瑞利分布和指数分布的衰落动态范围都很大, 衰落信号处于动态范围 17.7dB 的概率为 90%, 因此, 如果只对瑞利分布或指数分布的集合取一个值, 则很难取得一个接近于平均值的取样值。因此, 对合成孔径雷达用一个独立取样 (one look) 形成的图像, 斑点噪声尤其严重。

收稿日期: 2002-04-01; 修订日期: 2002-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49989001) 和中国科学院知识创新工程“数字地球基础理论研究” (KZCX2-312) 资助项目。

作者简介: 谭衢霖 (1975—), 男, 中国科学院遥感应用研究所博士研究生, 主要研究方向为雷达遥感数据处理与应用。

瑞利分布和指数分布都是单参数分布,它们的平均值和均方差是相互关联的,设噪声均值 μ 为 1, 方差为 δ_u^2 。在单视数时,可计算出其标准差 δ_u 的理论值约为 0.5227, 相对标准差的理论值 $C_u = \delta_u/\mu = 0.5227$ 。

如果对衰落信号进行独立取样,再作叠加处理,则衰落变量的概率密度函数为一个标准的 Chisquare (χ^2) 分布:

$$f_n(n(x, y)) = \frac{n^{N-1}(x, y) \exp\left(-\frac{n(x, y)}{2}\right)}{2^N(n-1)!}$$

其中 $n(x, y)$ 是衰落变量, N 为视 (look) 数, $n(x, y)$ 的数学期望 $E(n(x, y)) = 1$, 方差 $D(n(x, y)) = \frac{1}{N}$ 。

多视处理后 SAR 图像强度的概率分布为 Gamma 分布:

$$f_p(I(x, y)) = \frac{I^{N-1}(x, y) \exp\left(-\frac{I(x, y)}{\bar{I}/N}\right)}{\left(\frac{\bar{I}}{N}\right)^N (N-1)!}$$

其中 $I(x, y)$ 为 (x, y) 上回波强度的观测值, $\bar{I}(x, y)$ 为 $I(x, y)$ 的均值, $-N$ 为视数。

多视平均在平滑斑点噪声的同时降低了 SAR 图像的空间分辨率,更重要的是, SAR 图像经多视处理后仍然存在相当比例的斑点噪声^[4]。所以,较好地抑制 SAR 图像斑噪,成像后的数字图像滤波处理必不可少,一般可进行频域滤波或空间域滤波。当前,以空间域滤波为基础的局域统计自适应滤波算法适应雷达图像景和斑点的特性,且局部统计量简单,能够自适应地平滑掉均匀区域内的斑点噪声,同时较好地保持图像的纹理和边界信息,已成为高分辨率 SAR 图像斑噪抑制技术的主流^[4]。几种著名的在空域中滤波方法有:(1) Lee 滤波;(2) Frost 滤波;(3) Lopes 提出增强的以上两种滤波方法;(4) Kuan 滤波;(5) Gamma MAP 滤波^[5-7]。

需指出的是,由于空间域滤波窗口大小在处理过程中是固定的,窗口太小,不能有效滤除图像斑噪;窗口过大,将造成图像细节信息的丧失^[8]。故处理前滤波窗口大小的选择对于滤波后图像的质量有重要的影响。

一般改进的方法大多利用垂直、水平、两条对角线方向共 4(或 8)个方向的子窗口进行滤波^[9],但由于图像中的细节指向非常复杂,在平滑噪声的同时保护细节方面尚不能满足图像的复杂性^[10]。

3 全方向自适应动态窗口滤波器

为了在减少边缘噪声的同时不牺牲边缘尖锐度,或扩大滤波窗口的同时能保持边界和线性迹向。显然,改进的空间域滤波器若能把窗口中尽可能多的方向都考虑进去则更有利于纹理、边缘等细节信息的保护。此外,滤波过程中,若能动态调整滤波窗口大小,在灰度均匀区域,滤波窗口适当放大,把滤波窗口中散射强度看作常量,把像素的平均值赋给中心像素;在灰度变化较大的区域,如边界、纹理、点目标区域,滤波窗口适当缩小,滤波器在平滑噪声的同时考虑保护边界和纹理信息,则可尽量地满足上述要求。

3.1 全方向算子^[10]

令输入的图像为 $f(x, y)$, $0 \leq x, y \leq N-1$, 滤波窗口 w 大小为 $(2n+1)(2n+1)$, 并设单位旋转角为 $\theta_0 = \frac{180^\circ}{4n}$, 显然,对应 $(2n+1)(2n+1)$ 的方形窗口有 $4n$ 个指向。

定义每个方向上的子窗口 w_l 为 $w_l = \{f(x+i, y+j); \theta = l \cdot \theta_0, -n \leq i, j \leq n\}$; θ 为该子窗口的指向角(相对水平方向而言) $\theta = t \cdot 45^\circ + m \cdot \theta_0$, $f(x+i, y+j)$ 为 w_l 窗口中的像素,且 $w_l \subset w$, $f(x, y)$ 是 w 窗口的中心像素。则子窗口 w_l 中像素的个数 n_l 为:

$$n_l = \begin{cases} 2n+1 & \text{当 } t=0, 2, 4 \text{ 且 } m=0; \\ 2n+1-2m & \text{当 } t=1, 3 \text{ 且 } m=1, 2, \dots, n-1; \end{cases}$$

由此可知,子窗口 w_l 中像素个数最多为 $2n+1$, 最少为 3 个。为便于计算 w_l 中的像素个数,令 $n = 2^k$ 。

w_l 子窗口的统计特性参数为:

$$\begin{cases} \overline{f_l(x, y)} = \frac{1}{n_l} \sum_{w_l} f_l(x+i, y+j); \\ \delta_l^2 = \frac{1}{n_l} \sum_{w_l} [f_l(x+i, y+j) - \overline{f_l(x, y)}]^2; \\ c_l = \delta_l / \overline{f_l(x, y)}; \end{cases}$$

$\overline{f_l(x, y)}$ 为子窗口 w_l 全部像素灰度的平均值; δ_l^2 为子窗口 w_l 全部像素灰度的方差; c_l 为相对标准差。

3.2 Kuan 滤波^[5]

对于单视数 SAR 数据, Kuan 算法有较好的滤波

性能。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,从而基于最小均方误差准则(MMSE)来求出最佳估计。具体表示为:

$$g(x, y) = \overline{f(x, y)} \times (1 - W) + W \times f(x, y)$$

式中, $f(x, y)$, $g(x, y)$ 为处理前和处理后窗口中心像素灰度值; $\overline{f(x, y)}$ 为窗口内所有像素的均值; W 为权重函数:

$$W = [1 - (C_u^2/C_i^2)] / (1 + C_u^2)$$

C_i 为窗口相对标准差 $\sigma_i/\overline{f(x, y)}$ 。

Kuan 和 Lee 滤波算法都是滤波窗口像素的加权平均,但 Kuan 滤波效果优于 Lee 滤波。在灰度均匀的平坦区域里, W 愈接近于 0, 像元滤波后的值愈接近于均匀区域的均值。而在灰度变化较大的区域(如边缘、线性迹向等), W 愈接近于 1, 处理后的像元值愈接近于像元本身的原值。因此,在灰度较平坦的区域中,噪声被平滑;而在图像边缘或细节的部分,则保持像元原值。判别滤波窗口中哪些像素与中心像素同属均匀区域,可以根据相对于滤波窗口中心像素的相对标准差进行,如局部相对标准差 C_i 小于或等于斑点噪声相对标准差的理论值 C_u , 则可认为该区域属均匀区域。

3.3 3 × 3 方向溶解算子^[11]

设 $g(I, J)$ 是雷达图像上某区域内的某方向边界(缘) E 上的像元,则该像元的滤波操作为:

$$g'(I, J) = \frac{1}{A(E)} \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} g(i, j)$$

$A(E)$ 表示包含某方向边界(缘) E 的局部区域大小。该操作实质上是一种边缘保护算子。利用该算子处理图像,可使区域内某方向的边界(缘) E 上的像元基本上不会当作噪声去除或平滑,既可保护边缘细节,又可平滑斑点噪声。

设 $g(I, J)$ 为大小 3×3 窗口的中心像元,其相邻像元用 $g_k (k = 1, 2, \dots, 8)$ 表示,设定如下处理规则:

(1) 若周围相邻像元组成的环中,具有同一灰度值属性的连续像元数大于 6, 则使 $g(I, J)$ 与之具有相同的灰度值属性,并认为 $g(I, J)$ 不是处于边界(缘)上的像元。

(2) 若周围相邻像元组成的环中,至少有 4 个具有同一灰度值属性的连续像元,而中心像元 $g(I, J)$ 与该 4 个连续像元具有相同的灰度值属性,则确定 $g(I, J)$ 为该方向边界(缘)上的像元,其值由该方向

的像元均值决定。该条件主要用来保护图像边缘信息。

像元灰度值属性的判定,实质上就是对窗口内的中心像元 $g(I, J)$ 进行分类判决,以确定 $g(I, J)$ 处于何局部方向的边界(缘)上。判决的方法有如下几种:(1) 欧氏距离法: $D_k = |g(I, J) - g_k|$, 若 $D_k \leq T_1$ (T_1 表示某一特定的阈值), 则 $g(I, J)$ 与 g_k 具有同一灰度值属性。(2) 相关系数法: 设 $g(I, J)$ 与 $g(M, N)$ 是两个像素点的灰度值, 则它们的相关系数为:

$$\rho = E\{[g(I, J) - \bar{g}(i, j)][g(M, N) - \bar{g}(m, n)]\} / \delta_i \delta_{m, n}$$

其中 δ_i 表示以 $g(I, J)$ 为中心的窗口内像素灰度值的标准偏差, $\delta_{m, n}$ 表示以 $g(M, N)$ 为中心的窗口内像素灰度值的标准偏差。如果 $\rho \geq T_2$ ($0 \leq T_2 \leq 1$), T_2 表示某一特定的相关阈值, 则 $g(I, J)$ 与 $g(M, N)$ 具有同一灰度值属性。(3) 纹理自相关函数法^[12]: $g(I, J)$ 与 $g(M, N)$ 的纹理自相关函数定义为:

$$\rho_T = \frac{1}{\delta_T^2} \left[\frac{\rho \left(\frac{\delta_k}{\mu_k} \right)^2 + 1}{R_F} - 1 \right]$$

$$R_F = 1 + \left(\frac{1}{N} \right) \left[\text{sinc}^2 \left(\frac{\Delta x}{r_x} \right) \text{sinc} \left(\frac{\Delta y}{r_y} \right) \right]$$

δ_T^2 为纹理方差, N 为视数, r_x 与 r_y 分别为距离向和方位向的分辨率。计算中, 由于 $g(I, J)$ 与 $g(M, N)$ 是相邻像元, 故 μ_k 和 δ_k 可以用 $\bar{g}(I, J)$ 和 δ_{ij} 来近似。

(3) 若周围邻像元组成的环中, 具有同一灰度值属性的连续像素点数 ≤ 3 个, 则确定 $g(I, J)$ 不是边界像元, 认为 $g(I, J)$ 与周围邻像元构成一局部的斑点噪声区域。

3.4 处理步骤

为实现在中心像素的任何方向上搜寻存在纹理或边缘迹向的区域(表现为邻域相对标准差较大), 以便在进行滤波处理时予以保护, 改进的算法将结合全方向算子、Kuan 滤波及 3×3 方向溶解算子进行处理。

滤波过程中采用初始大小为 $N \times N$ 的移动窗口处理图像的每一像素, 具体操作流程为:

(1) 计算初始大窗口内全方向各子窗口 w_l 中像素的平均值 $\overline{f_l(x, y)}$ 及相对于中心像素灰度值的相对标准差 c_l ; (2) 计算大窗口区域的均值、标准差和相对标准差 C_x ; (3) 若 $C_x \leq C_u$, 在大窗口区域内进行 Kuan 滤波; 否则, 剔除大窗口区域内 c_l 最大的

那个子窗口, 并假设剩下的所有邻域子窗口为均匀区域, 返回 (2), 继续; (4) 若所有子窗口均被剔除, 则缩小窗口尺寸 ($N = N - 2$)。若 $N > 3$, 则返回 (1); (5) 若窗口尺寸已缩小到 3×3 , 表示该区存在严重的斑点噪声或边缘信息, 则用 3×3 方向溶解算子处理(图 1)。

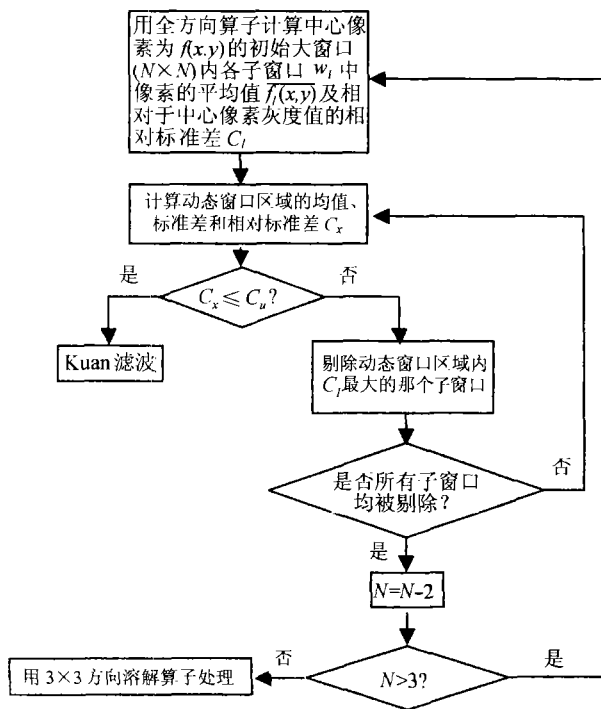


图 1 全方向自适应动态窗口滤波算法处理流程
Fig. 1 Data processing procedure of the all direction auto-adaptive dynamic windows filter

4 试验

试验分别采用 Kuan 滤波、Gamma Map 滤波和本文发展的全方向自适应动态窗口滤波算法对一幅单视数 ERS SAR 图像 (图 2 (a)) 进行了处理。前面两种去斑滤波处理均使用 PCI 遥感图像处理软件中的现成程序进行, 只对本文提出的全方向自适应动态窗口滤波器用 C 编程实现。

由于本算法对滤波窗口大小进行自适应动态调整, 故滤波窗口初始大小不宜太小。但是, 如果滤波窗口初始尺寸选择太大, 则会使斑噪与图像场景中的纹理细节因其统计特性相近而混淆, 难以达到预期效果。经实验比较, 处理采用 9×9 的初始滤波窗口。图 2 (b), (c), (d) 为各算法处理后的图像 (图 2 中各图为同一区域, 大小均为 256×256)。

评价 SAR 图像滤波效果主要从目视效果、去 Speckle 能力和保持边缘和细节能力等 3 个方面进行。从目视效果来看, 采用本文滤波算法处理后的图像无论亮区、暗区均无明显斑点, 细节、边缘和灰度层次与原始图像最接近, 具有较好的视觉效果。图 3 给出了图像中任取的某一行像素的局部灰度变化, 其中图 3 (a) 显示了经 Kuan 滤波后图像数据与原始图像的对照; 图 3 (b) 显示了经本算法滤波后数据与原始数据的对照。从图 3 可看出, 经本算法滤波后, 灰度变化比传统算法更好地保持了原始数据灰度变化的趋势和幅度, 并在不同灰度水平上均体现出较强的平滑效果。

为了客观地评价原始 SAR 图像经上述滤波处理后的去斑效果, 采用 2 种评价指数^[4]。一种为各地类图斑中所有像元的均值 M 与其标准差 SD 的比值, 表达式为: $FI = M / SD$; 它表征了各滤波器对各种地类图斑的平滑能力, 故可称为平滑指数。FI 值愈高, 表示平滑作用愈强。另一种为表征处理后各滤波器对图斑水平向与垂直向边缘的保持能力, 称之为边缘保持指数 ESI , 表示为:

$$ESI = \frac{\sum_{i=1}^m |(DN_{R1} - DN_{R2})|}{\sum_{i=1}^m |(DN_{R1}^0 - DN_{R2}^0)|}$$

式中, 分子表示的是滤波以后的图像, 分母表示的是原始图像, m 是检验样本的个数; DN_{R1} 和 DN_{R2} 分别是沿边缘交接处左右或上下互邻像元的灰度值。ESI 值愈高, 意味着保持能力愈高。

表 1 给出了不同滤波器滤波效果的定量比较。从表 1 可知, 本文提出的滤波算法结果平滑指数最高, 表现出较好的平滑能力; 边缘保持指数也为最高, 显示了本算法与 Kuan 滤波和 Gamma Map 滤波相比, 在去 Speckle 能力及保持边缘和细节方面都具有更好的效果。

表 1 不同算法滤波效果的比较

Table 1 The comparison of different filtering methods

	原始图像	Kuan	Gamma Map	本文方法
平滑指数	0.89	1.23	1.12	1.34
边缘保持指数	1.00	0.88	0.84	0.93

综上所述, 用本文提出的全方向自适应动态窗口滤波方法处理 SAR 图像, 不仅能较好地平滑斑点噪声, 而且能最大程度地保护边界(缘)信息。

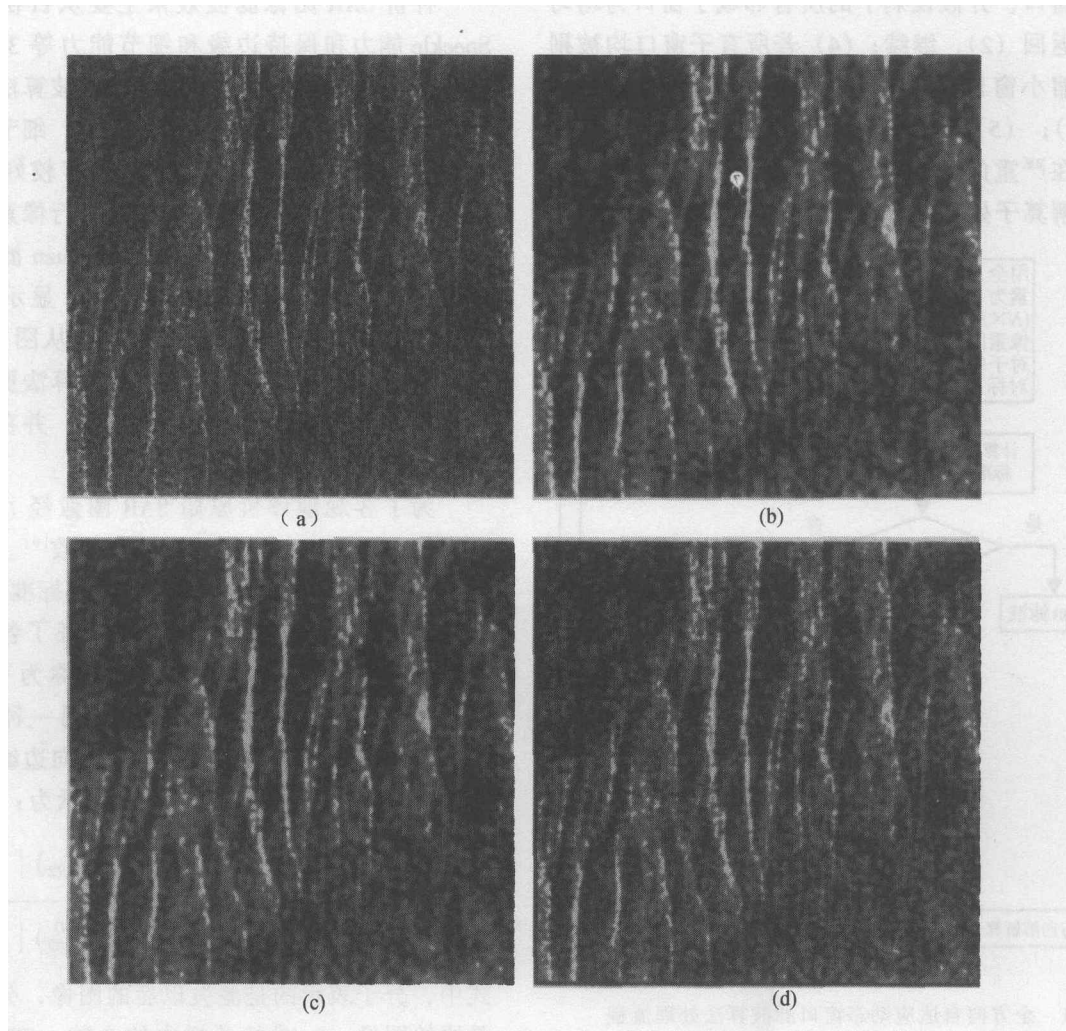


图 2 不同滤波算法处理 ERS SAR SLC 图像的结果

(a) 原始图像 (b) Kuan 滤波图像 (c) Gamma Map 滤波图像 (d) 本算法滤波图像

Fig. 2 The filtering results of different algorithms for original ERS SAR SLC image

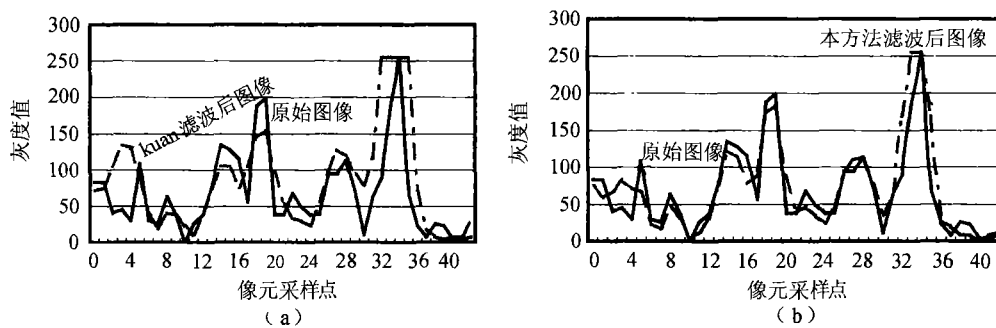


图 3 滤波前后图像某一行局部像元灰度变化比较

Fig. 3 The gray level variation of different Filtering images along a local line

5 结论与讨论

发展的全方向自适应动态窗口滤波算法，由于

考虑了纹理或边缘迹向分布的复杂性，并可根据区域斑噪和纹理信息存在情况自适应动态调整滤波窗口大小。因此，在平滑斑点噪声和保护纹理及边缘方面有很好的效果，这对单视数雷达遥感图像斑

噪抑制是一个值得提倡的方法。

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,它的缺点是增加了运算时间,但当前 PC 的计算速度已达每秒几个 GHz,对于非实时的 SAR 图像处理,及对纹理、边缘信息保持要求较高的定量遥感应用是完全可以接受的。另一方面,滤波器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要依赖于更加完善的描述 SAR 图像模型。

平滑斑噪和保护边界是一对相互矛盾的问题,它只能采取一种折衷的方法。要对所有斑噪滤波算法的效果做出确定的优劣评价是不可能的,因为某一滤波算法可能对某类图像很有效,而对另一类具有不同性质斑点的图像则可能意义并不大。另外,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。

参考文献 (References)

- [1] Ulaby F T, Moore R E, Fung A K. Microwave Remote Sensing: Active and Passive [M]. Vol. 1, 2 and 3, Addison-Wesley Publishing Company, 1981—1986.
- [2] Curlander J C, McDonough R. Synthetic Aperture Radar System and Signal Processing [M]. NY: Wiley, 1991.
- [3] Wakabayashi H, Arai K. A Method of Speckle Noise Reduction for SAR Data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17 (10): 1837—1850.
- [4] Tang L L, Jiang P. Comparison Studies on the Speckle Filtering Methods for Spaceborne SAR Images [A]. *Pan Xizhe Image Processing for Spaceborne SAR Images* [C]. Beijing: Science Press, 1996. [唐伶俐, 江平. 星载 SAR 图像斑点噪声消除方法效果的比较研究 [A]. 潘习哲. 星载 SAR 图像处理 [C]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [5] Kuan D T, Sawchuk, A. A. Strand T C *et al.* Adaptive Restoration of Images with Speckle [J]. *IEEE Trans. ASSP.*, 1987, 35 (3): 373—383.
- [6] Shi Zhenghao, Fung, K B. A Comparison of Digital Speckle Filters [A]. *Proceedings of IGRASS 94* [C]. August 8—12, 2129 ~ 2133.
- [7] Lopes A, Touzi R, Nezry E. Adaptive Speckle Filters and Scene Heterogeneity [J]. *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing*, 1990, 28, (6): 992—1000.
- [8] Narasimha P, Rao, V. An Adaptive Filter for Speckle Suppression in Synthetic Aperture Radar Images [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, 16, (5): 877—889.
- [9] Xu X, Liao M S, Zhu P, *et al.* Studies on SLC SAR Image Speckle Filtering [J]. *Journal of Wuhan Surveying and Mapping University*, 1999, 24 (4): 312—316. [徐新, 廖明生, 朱攀等. 单视数 SAR 图像 Speckle 滤波方法的研究. 武汉测绘科技大学学报, 1999, 24 (4): 312—316.]
- [10] He J F. SAR Image processing and Its Application to Soil Moisture Monitoring [D]. Beijing: Institute of Remote Sensing Application, CAS, M. S. dissertation, 1995. [何剑峰. 合成孔径雷达图像处理及在土壤水分监测中的应用研究 [D]. 北京: 中国科学院遥感应用研究所硕士学位论文, 1995.]
- [11] Zhang D L. Directive Solution Operator and Its Application in Smoothing of Speckle Noise in SAR Images [A]. Guo Huadong. *Analysis of Radar Imagery and Its Geology Application*, 1991. [张大力. 方向溶解算子在平滑雷达图像斑点噪声中的应用 [A]. 郭华东. 雷达图像分析及地质应用 [C]. 北京: 科学出版社, 1991.]
- [12] Fawwaz T U, Kouyate F, Brisco B. *et al* Textural Information in SAR Images [J]. *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, 1986, GE-24. (2): 913—924.

All Direction Auto-adaptive Dynamic Window filter for Noise Suppression in SLC SAR Image

TAN Qu-lin, SHAO Yun, FAN Xiang-tao, CHEN Jing-song

(Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: To smooth coherent speckle noise and preserve edge information in SLC SAR images as precise as possible, a new algorithm called all direction auto-adaptive dynamic window filtering method based on coherent speckle statistic characteristic and analysis of spatial filtering algorithms for SAR image, is developed in this paper. For every processing pixel the filtering window is divided into mutually exclusive all direct sub-windows according to the complexity of image texture and edge existence. Local relative standard deviation is used to determine whether local filtering window area is homogeneous. Kuan filter and a 3×3 directive operator are incorporated to process the SAR image. The proposed method can auto-adaptively modulate its filtering window size and selection of filtering pixels. The developed method is applied to a single-look ERS SAR image. Experimental result shows that the performance of the method is satisfactory in both speckle suppression and preservation of image details.

Key words: SAR noise; all direction; dynamic window; auto-adaptive filter