

窗口大小对 SAR 图像滤波效果的影响分析

杜培军¹, 孙敦新², 林卉³

(1. 中国矿业大学地理信息与遥感科学系, 徐州 221008; 2. 徐州市宏伟测绘制图公司, 徐州 221008; 3. 徐州师范大学测绘与国土信息工程系, 徐州 221009)

摘要: 滤波窗口大小的选择直接影响 SAR 图像滤波的效果。选择 Kuan、Frost 与增强 Frost 以及 Lee 与增强 Lee 等滤波算法, 分别采用 3×3 、 5×5 、 7×7 、 9×9 及 11×11 (像元 \times 像元) 等大小的滤波窗口进行处理, 以常规图像统计参数、平滑指数和边缘保持指数等为评价指标, 对滤波效果进行定量比较。试验表明, 5 像元 \times 5 像元滤波窗口能够取得较好的效果。

关键词: 合成孔径雷达 (SAR); 斑点噪声; 滤波窗口

中图分类号: TP 751.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-070X(2006)02-0012-04

0 引言

近年来, 雷达遥感得到了越来越多的应用, 与光学遥感形成了互为补充的多源、多时相、多尺度遥感信息源。SAR 是雷达遥感的主要形式, 在 SAR 图像应用中, 一个重要问题就是斑点噪声去除, 即滤波问题。当前常用的 SAR 滤波算法包括: ①传统中值滤波、均值滤波等方法; ②基于噪声模型的方法; ③基于图像局部统计特征的自适应滤波; ④基于形态学的几何滤波; ⑤基于小波的滤波; ⑥频域滤波^[1-4]。滤波窗口的选择对滤波效果有明显的影响, 因此, 对滤波效果与滤波窗口的关系进行定量评价, 有助于改进 SAR 图像处理和应用效果。

研究表明, 在各种滤波算法中, 局部统计自适应滤波算法(包括增强 Lee 滤波、增强 Frost 滤波和 Kuan 滤波算法)综合考虑了滤波窗口的特性, 滤波效果较好^[5]。因此, 本文将以此些算法为例, 对滤波窗口的选择进行定量分析与研究。同时, 为了对其它滤波方法也进行分析, 在试验中还选择了 Lee 滤波和 Frost 滤波方法。各种滤波算法可参看文献[5]。

1 滤波效果定量分析与比较研究

选取 Radarsat 图像进行滤波。图像中土地覆盖

类型包括水体、居民区、厂矿用地、植被及农田等。首先分别用上述算法进行滤波处理, 然后对滤波效果进行分析。

1.1 评价指标选取

对滤波效果进行评价应用最多的是平滑指数 (FI) 和边缘保持指数 (ESI)^[4,5]。前者是滤波处理后各地类图斑中所有像元的均值 M 与其标准差 SV 的比值, 它表征滤波器对各种地类图斑的平滑能力, FI 值越高, 表示平滑作用越强, 其计算公式为

$$FI = M / SV \quad (1)$$

ESI 表示处理后滤波器对图斑水平与垂直向边缘的保持能力, 其值越大, 则保持能力越高, 具体计算公式为

$$ESI = \frac{\sum_{i=1}^m |G_{R1} - G_{R2}|_{\text{滤波后}}}{\sum_{i=1}^m |G_{R1} - G_{R2}|_{\text{滤波前}}} \quad (2)$$

式中, m 是检验样本的个数; G_{R1} 和 G_{R2} 分别是沿边界交接处左右或上下互邻像元的灰度值。

1.2 结果分析

分别取原图像和若干子区域进行图像均值、标准差的统计, 结果如表 1 所示。

表 1 原图像与滤波图像均值与方差比较

| 滤波方法 | | 整幅图像 | | 子区 1 | | 子区 2 | | 子区 3 | |
|----------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 方法 | 滤波窗口/ (像元×像元) | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 | 均值 | 标准差 |
| | 原图像 | 14.92 | 19.37 | 13.61 | 18.21 | 12.72 | 15.22 | 14.24 | 16.54 |
| 增强 Lee | 3×3 | 15.99 | 16.41 | 14.53 | 15.46 | 13.66 | 12.87 | 15.34 | 13.76 |
| | 5×5 | 16.30 | 17.66 | 14.74 | 16.66 | 13.87 | 13.84 | 15.65 | 14.80 |
| | 7×7 | 16.20 | 18.16 | 14.60 | 17.27 | 13.76 | 14.16 | 15.59 | 15.20 |
| | 9×9 | 16.05 | 18.37 | 14.41 | 17.54 | 13.60 | 14.39 | 15.47 | 15.34 |
| | 11×11 | 15.92 | 18.51 | 14.26 | 17.68 | 13.47 | 14.54 | 15.37 | 15.48 |
| 增强 Frost | 3×3 | 16.22 | 16.68 | 14.79 | 15.71 | 13.87 | 13.03 | 15.52 | 14.00 |
| | 5×5 | 16.48 | 17.63 | 14.98 | 16.63 | 14.06 | 13.73 | 15.78 | 14.77 |
| | 7×7 | 16.36 | 18.10 | 14.79 | 17.15 | 13.95 | 14.07 | 15.70 | 15.12 |
| | 9×9 | 16.18 | 18.32 | 14.57 | 17.44 | 13.77 | 14.28 | 15.56 | 15.30 |
| Kuan | 3×3 | 14.89 | 14.38 | 13.58 | 13.51 | 12.71 | 12.11 | 14.22 | 11.94 |
| | 5×5 | 14.88 | 12.60 | 13.56 | 11.66 | 12.70 | 9.78 | 14.21 | 10.44 |
| | 7×7 | 14.89 | 11.75 | 13.57 | 10.73 | 12.71 | 9.15 | 14.21 | 9.72 |
| | 9×9 | 14.89 | 11.22 | 13.58 | 10.19 | 12.71 | 8.74 | 14.21 | 9.24 |
| Frost | 3×3 | 14.42 | 14.34 | 13.10 | 13.48 | 12.25 | 11.09 | 13.76 | 11.91 |
| | 5×5 | 14.37 | 12.61 | 13.04 | 11.66 | 12.21 | 9.80 | 13.71 | 10.48 |
| | 7×7 | 14.37 | 11.89 | 13.04 | 10.86 | 12.20 | 9.19 | 13.70 | 9.85 |
| | 9×9 | 14.37 | 11.44 | 13.05 | 10.46 | 12.19 | 8.79 | 13.70 | 9.43 |
| Lee | 3×3 | 14.82 | 14.51 | 13.50 | 13.65 | 12.66 | 11.22 | 14.17 | 12.07 |
| | 5×5 | 14.84 | 13.21 | 13.50 | 12.33 | 12.66 | 10.21 | 14.19 | 10.96 |
| | 7×7 | 14.86 | 12.89 | 13.52 | 12.01 | 12.67 | 9.83 | 14.20 | 10.66 |
| | 9×9 | 14.87 | 12.82 | 13.55 | 12.02 | 12.67 | 9.67 | 14.20 | 10.56 |

选取有代表性的居民地、农田及水体等区域进行平滑指数和边缘保持能力的计算,结果如表 2 所示。

表 2 典型地类平滑指数和边缘保持指数的比较

| 滤波方法 | | 平滑指数(FI) | | | | 边缘保持指数(ESI) | | |
|----------|--------------|----------|------|------|------|-------------|-------|-------|
| 方法 | 滤波窗口/(像元×像元) | 居民区 | 农田 | 水体 | 区域 1 | 区域 2 | 垂直方向 | 水平方向 |
| | 原图像 | 0.99 | 1.62 | 1.47 | 0.75 | 0.84 | 1.000 | 1.000 |
| 增强 Lee | 3×3 | 1.32 | 2.95 | 2.59 | 0.94 | 1.06 | 0.823 | 0.791 |
| | 5×5 | 1.19 | 3.38 | 2.67 | 0.88 | 1.00 | 0.846 | 0.535 |
| | 7×7 | 1.12 | 3.51 | 2.84 | 0.85 | 0.97 | 0.823 | 0.512 |
| | 9×9 | 1.07 | 3.54 | 2.85 | 0.82 | 0.95 | 0.823 | 0.488 |
| | 11×11 | 1.05 | 3.49 | 2.83 | 0.81 | 0.93 | 0.777 | 0.470 |
| 增强 Frost | 3×3 | 1.34 | 2.98 | 2.65 | 0.94 | 1.06 | 0.831 | 0.721 |
| | 5×5 | 1.24 | 3.32 | 2.72 | 0.90 | 1.02 | 0.808 | 0.628 |
| | 7×7 | 1.16 | 3.33 | 2.79 | 0.86 | 0.99 | 0.777 | 0.581 |
| | 9×9 | 1.10 | 3.28 | 2.77 | 0.84 | 0.96 | 0.746 | 0.512 |
| Kuan | 3×3 | 1.54 | 3.15 | 2.93 | 1.01 | 1.05 | 0.614 | 0.465 |
| | 5×5 | 1.99 | 4.44 | 3.99 | 1.16 | 1.30 | 0.409 | 0.140 |
| | 7×7 | 2.33 | 5.50 | 4.86 | 1.26 | 1.39 | 0.273 | 0.047 |
| | 9×9 | 2.59 | 6.41 | 5.69 | 1.33 | 1.45 | 0.159 | 0.047 |
| Frost | 3×3 | 1.52 | 3.01 | 2.63 | 0.97 | 1.10 | 0.568 | 0.465 |
| | 5×5 | 1.94 | 4.19 | 3.46 | 1.12 | 1.25 | 0.432 | 0.140 |
| | 7×7 | 2.24 | 5.21 | 4.07 | 1.20 | 1.33 | 0.227 | 0.070 |
| | 9×9 | 2.46 | 6.07 | 4.29 | 1.25 | 1.39 | 0.250 | 0.047 |
| Lee | 3×3 | 1.50 | 3.08 | 2.85 | 0.99 | 1.13 | 0.614 | 0.535 |
| | 5×5 | 1.78 | 4.21 | 3.57 | 1.09 | 1.24 | 0.545 | 0.256 |
| | 7×7 | 1.90 | 5.02 | 3.96 | 1.13 | 1.29 | 0.477 | 0.186 |
| | 9×9 | 1.95 | 5.66 | 4.09 | 1.13 | 1.31 | 0.500 | 0.186 |

从表 1 可以看出 :增强 Lee 滤波与增强 Frost 滤波后的图像均值较原图像有一定地增大 ;Kuan 滤波与 Lee 滤波后的图像均值与原图像均值变化很小 ;Frost 滤波后的图像较原图像均值有一定地减小。各种滤波算法的均值随窗口大小变化产生的变化量较小。就标准差来说 ,各种算法滤波后的标准差均小于原图像 ,其中 Kuan、Lee 和 Frost 滤波图像的标准差减小幅度较大 ,且随窗口的增大 ,标准差越来越小。通过对其它子图像的试验 ,减小速度最快的是从 3×3 窗口到 5×5 窗口 ,而在窗口继续增大时 ,标准差变化值较小 ;增强 Frost 和增强 Lee 的标准差变化幅度较小 ,而且随窗口增大 ,其标准差也呈现出增大趋势 ,其中从 3×3 窗口增大到 5×5 窗口时 ,标准差变化量较大 ,继续增大时 ,变化量则相对较小。斑点噪声对图像最明显的影响就是使图像具有较大的标准差 ,因此 ,滤波后标准差的减小正是由于对斑点噪声的去除引起的。自适应滤波算法的标准差减小之所以较少 ,是由于它将局部窗口内的标准差与噪声标准差进行比较 ,以决定运算模型 ,其目的是为了增强边缘保持能力 ,并尽量保留点状特征。因此 ,滤波图像的标准差较原图像减小较少。

从表 2 可以看出 ,各种方法滤波后的平滑指数均较原图像有较大的提高和改善。从不同地类来看 ,对水体、农田的平滑指数较大 ,而对居民区的平滑指数较小 ,这是由各种地物的特征决定的 :水体与农田内部较均匀 ,滤波后标准差较小 ,因此 ,平滑指数较大 ;居民地内部明暗相间 ,纹理复杂 ,均匀性差 ,即使在噪声很小的情况下 ,标准差也较大 ,其平滑指数必然较小。

就平滑指数随窗口大小的变化趋势来看 ,对不同地物 ,平滑指数的变化趋势与特征是一致的 ,即随着窗口变大 ,平滑指数均较原图像有明显地增大 ,且 Lee、Frost 及 Kuan 3 种方法的平滑指数呈上升的趋势 ,而增强 Frost、增强 Lee 两种算法的滤波图像平滑指数随窗口变大基本保持不变。

就边缘保持能力来看 ,增强 Frost 和增强 Lee 算法的边缘保持能力明显优于 Lee、Frost 及 Kuan 3 种方法 ,这正是自适应算法的优点所在 ,随着窗口的增大 ,边缘保持能力呈变小的趋势。因此 ,平滑指数与边缘保持能力随窗口的变化具有不同的变化规律 ,在窗口选择时必须对二者进行综合考虑。另外 ,窗

口越大 ,计算时间越长 ,在处理较大的图像时应有所考虑。鉴于对平滑指数与边缘保持的综合考虑 ,结合在工矿区陆面演变研究中应用的要求 ,这里认为 ,选择 5×5 窗口对 SAR 图像滤波具有较好的效果。

2 结 论

(1) Lee、Frost、Kuan、增强 Lee 及增强 Frost 滤波算法都是具有较好滤波效果的斑点噪声抑制算法 ,可有效用于 SAR 图像滤波。但由于不同滤波算法的数学模型不同 ,具体的滤波效果、适用性也有所不同。

(2) 滤波后图像均值变化较小 ,图像标准差则有较明显下降。

(3) Lee、Frost 及 Kuan 3 种滤波算法的平滑效果较好 ,但边缘保持能力相对较差 ;增强 Lee 和增强 Frost 算法则具有较好的边缘保持能力 ,但其平滑效果较差。针对具体的应用目标 ,选取不同的滤波算法。

(4) 随着滤波窗口的增大 ,各种滤波算法的平滑指数均呈增大趋势 ,而边缘保持指数则呈下降趋势 ,二者具有相反的变换规律。在本研究中 ,5×5 滤波窗口是综合效果最好的。

总之 SAR 图像滤波效果与算法和滤波窗口的大小有着直接联系。在对相关变化关系进行研究的基础上 ,今后将针对不同应用目标的滤波算法选取进行进一步研究 ,以促进 SAR 图像应用地发展。

参 考 文 献

[1] 陈述彭 ,董庆禧 ,郭华东 ,等. 遥感信息机理 [M]. 北京 :科学出版社 ,1999.

[2] 徐新 ,廖明生 ,朱攀 ,等. 单视数 SAR 图像 Speckle 滤波方法的研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报 ,1999 ,24(4) :312 - 315.

[3] 方圣辉 ,舒宁 ,巫兆聪. SAR 影像去噪声方法的研究 [J]. 武汉测绘科技大学学报 ,1998 ,23(3) :215 - 218.

[4] 唐伶俐 ,江平 ,戴昌达 ,等. 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 [M]. 北京 :科学出版社 ,1996.

[5] 杜培军. Radarsat 图像滤波的研究 [J]. 中国矿业大学学报 ,2002 ,31(2) :132 - 137.

THE IMPACT OF WINDOW SIZE UPON SAR IMAGE FILTERING

DU Pei - jun¹ , SUN Dun - xin² , LIN Hui³

(1. China University of Mining and Technology , Xuzhou 221008 , China ; 2. Xuzhou Hongwei Company of Surveying and Mapping , Xuzhou 221008 , China ; 3. Xuzhou Normal University , Xuzhou 221009 , China)

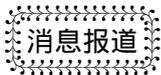
Abstract : The size of filtering window has obvious impact on the effect of SAR image filtering. Different sizes of filtering windows , from 3 × 3 , 5 × 5 , 7 × 7 , to 9 × 9 (pixel × pixel) , were used in some useful filtering methods such as Kuan algorithm , Frost and Enhanced Frost algorithm , Lee and Enhanced Lee algorithm. Several cases of filtering performance were compared and studied based on different indexes. It is shown that the filtering window with 5 pixel × 5 pixel can yield better performance.

Key words : Synthetic aperture radar (SAR) ; Speckle noise ; Filtering window

第一作者简介:杜培军(1975 -) ,男 ,中国矿业大学博士、副教授、摄影测量与遥感学科博士生导师 ,上海交通大学模式识别与智能系统学科博士后。主要从事高光谱遥感、遥感信息融合与数据挖掘、资源环境遥感方面的研究工作。

(责任编辑:刁淑娟)

=====



2006 环境遥感学术年会——新型对地观测技术与应用

会议通知(第一号)

经过近十年的科学技术发展 ,航空、航天领域不断推出高性能、多平台、组合式的对地观测技术新系统。为了贯彻《国家中长期科学和技术发展规划纲要》和《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》的精神 ,推动新型对地观测技术的应用 ,适应国家的战略需要 ,发挥遥感技术在能源、水和矿产资源、环境、生态、“ 三农 ”、城镇化、国防安全和公共安全等领域的优势和作用 ,经研究决定 ,2006 环境遥感学术年会将以“ 新型对地观测技术与应用 ”为主题于 2006 年 8 月 11 - 14 日在宁夏银川市召开。

(1) 会议主题:遥感科学前沿、研究发展计划与技术系统 ;新型光学遥感技术与应用 ;新型微波遥感技术与应用 ;新型激光遥感技术与应用 ;对地观测数据的集成与应用 ;遥感、GIS、导航定位集成技术在资源、环境、农业、生态等领域的应用。

(2) 征文要求:按照《遥感学报》的格式要求编排 ;每篇论文要求另附详细的英文摘要(1 页 A4 幅面)。本届会议属非密级 ,论文文责作者自负 ,请做好保密审查工作。会议优秀论文和精选论文 ,将在中国科技核心期刊以专刊或增刊的形式发表。

(3) 会议重要日期:2006 年 7 月 10 日寄发第二号会议通知 ;2006 年 7 月 25 日前提交全文。

会议秘书处 100101 北京 9718 信箱 中国地理学会环境遥感分会 朱博勤 马岚华

联系电话:86 - 10 - 64889542 电子信箱:kxs@irsa. ac. cn ; mlh@irsa. ac. cn

中国地理学会环境遥感分会
(中国环境遥感学会)

Proceedings of SPIE (Volume 6200) Remote Sensing of the Environment : 15th National Symposium on Remote Sensing of China 出版发行通知

经过各方努力 ,第十五届全国遥感技术学术交流会“SPIE 专集” Remote Sensing of the Environment :15th National Symposium on Remote Sensing of China 现已正式出版发行。

发行数量:主办单位、承办单位和协办单位各 10 册 ,论文专集作者每篇 5 册文集和 5 册抽印本 ;会议注册代表每人 1 册 ;

发行方式:在京的单位和个人 ,请派人到中国地理学会环境遥感分会办公室领取。京外的请尽量托人携带或于 2006 年 8 月 11 - 14 日在宁夏银川市举办的“ 2006 环境遥感学术年会——新型对地观测技术与应用 ”领取 ;除此之外 ,学会将于 8 月下旬邮寄。

其它情况将按每册 100 元人民币收取工本费。

联系方式:100101 北京 9718 信箱 中国地理学会环境遥感分会 朱博勤 ,马岚华

联系电话:86 - 10 - 64889542/ 64889569 ;传真:86 - 10 - 64889570

电子信箱:kxs@irsa. ac. cn ; mlh@irsa. ac. cn

地址:北京市朝阳区大屯路天地科学园中国科学院遥感应用研究所临建 3301#

第十五届全国遥感技术学术交流会
会议秘书处

2006 年 6 月 2 日