

doi: 10.3969/j.issn.1001-358X.2017.04.012

三种 InSAR 干涉图滤波方法对比

韩 松 陈星彤 朱小凤

(华北理工大学 矿业工程学院 河北 唐山 063210)

摘要: 干涉图上斑点噪声的存在会掩盖图像的真实信息,降低图像的质量,增加目标识别和图像解译的难度。针对这一问题,文中在介绍了斑点噪声的产生原因和滤波去噪原理的基础上,采用自适应滤波、Boxcar 滤波以及 Goldstein 滤波进行干涉图滤波实验,对实验结果从定性和定量方面进行分析研究。结果表明,Goldstein 滤波在图像保真、抑制斑点噪声影响方面优于自适应滤波和 Boxcar 滤波。

关键词: InSAR; 斑点噪声; 干涉图; 滤波

中图分类号: P225.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-358X(2017)04-0046-03

Comparison of three InSAR interferogram filtering methods

Han Song, Chen Xingtong, Zhu Xiaofeng

(School of Mining Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: The speckle noise of the interferogram would cover up the real information of the images, the quality of the image was reduced, and the difficulty of target recognition and the image interpretation were increased. Aiming at the problem, in the paper, the reason of speckle noise and the principle of filter denoising were introduced, Adaptive filtering, Boxcar filtering and Goldstein filtering were adopted to carried out the interferogram filtering experiments, and the experimental results were analyzed from the qualitatively and the quantitatively aspects. Results showed that the Goldstein filter was superior to the Adaptive filtering and Boxcar filtering in the image fidelity and suppressing speckle noise.

Key words: InSAR; speckle noise; interferogram; filtering

近二十年来,合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术都是一种极具潜力的空间观测技术,并逐步的发展成熟。它将合成孔径雷达的成像原理和电磁波干涉技术结合在一起,通过单天线重复轨道模式或双天线轨道模式对同一地区雷达成像生成两幅或多幅幅 SAR 复图像并进行相干处理,从而得到全球高精度的三维地表信息和高程变化信息。干涉图滤波在整个 InSAR 数据处理的过程中有着非常重要的作用。理想状态下干涉图相位数据有周期性、连续性的特点^[1]。但由于 SAR 成像受数据处理噪声、系统噪声等的影响会产生噪声,导致干涉图周期性不明显,影响连续性,进而降低相位解缠的精度甚至无法进行解缠。因此需要在相位解缠之前滤除干涉图存在的噪声。干涉图滤波属于后置滤波,目前常见的

有自适应滤波、Boxcar 滤波以及 Goldstein 滤波。

1 斑点噪声的产生原因

成像雷达发出的电磁波和接收到的电磁波是相干的。当频率相同、振动方向相同、相位差恒定的两个或两个以上相干电磁波在空间叠加时,合成振幅即为各个波的振幅的矢量和,因此电磁波在空间叠加时会出现交叠区,一些地方振动加强,一些地方振动减弱或完全抵消,这种现象被称为干涉^[2]。由于 SAR 发射相干电磁波,因此各理想点目标回波是相互干涉的,当电磁波照射实际的目标时,其散射回来的总回波并不全是由地物目标的散射系数决定,而是在这些散射系数值周围随机起伏,这种起伏在影像上的反映就是相干斑噪声,又可称为斑点噪声^[3]。

引用格式: 韩松 陈星彤 朱小凤. 三种 InSAR 干涉图滤波方法对比[J]. 矿山测量 2017 45(4):46-48 66.

斑点噪声是 SAR 图像独有的一个特点,在图像上表现为一种颗粒状的、黑白点相间的纹理。比较同一地区的 SAR 图像和光学遥感图像,可以发现两者有很大的不同。光学遥感图像灰度均匀,视觉上平整光滑;由于相干波的叠加,SAR 图像有些地方振动减弱,有些地方振动增强,从而每个分辨率单元内的回波使得 SAR 图像上一些像素比平均值更亮,而另外一些像素则比平均值更暗,因此,呈现在 SAR 图像上就变现为颗粒状的斑点噪声现象。

2 干涉图滤波原理

干涉图滤波目的的实现就是要保持较好相位信息的同时又能有效的去除相位斑点噪声。自适应滤波可以用于滤波去噪,它在滤除噪声的同时,会尽可能保持干涉图的细节信息以及干涉条纹的连续性;Boxcar 滤波是一种在滑动窗口内取平均像素值的滤波方法;Goldstein 滤波是一种针对干涉条纹特性的滤波方法。

2.1 基于梯度的自适应滤波

基于局部坡度的自适应滤波方法是由 Lee 等人提出的。它考虑到了局部噪声的特性以及干涉条纹的走向,在噪声水平低的地方,平滑力度减小;在噪声水平高的地方,平滑力度加大;在一些坡度较陡的边缘地方,使用非矩形窗口进行处理^[2]。一维信号的基于梯度的自适应滤波算法如下:

假定信号 $s(x)$ 的权函数 ω 为:

$$\omega^{(t)} = \exp\left\{-\frac{|s^{(t)}(x)|^2}{2k^2}\right\} \quad (1)$$

则

$$\begin{cases} s^{t+1}(x) = \frac{1}{s_0} \sum_{i=1}^1 s^{(t)}(x+i) \omega^{(t)}(x+i) \\ s_0 = \sum_{i=1}^1 \omega^{(t)}(x+i) \end{cases} \quad (2)$$

式中 t 是迭代次数, k 是平滑尺度, t 为迭代次数,它视相位干涉图受噪声污染的具体情况而决定。 $s^{(t)}(x)$ 是 $s^{(1)}(x)$ 的一阶导数。如果 $s^{(t)}(x)$ 小于 k , 则权系数为 0,不做平滑处理;如果 $s^{(t)}(x)$ 大于 k , 则按式(2)进行平滑处理。

对于二维干涉数据,上述滤波算法应当包括 3 步。

(1) 梯度的计算以一阶差分进行

$$\begin{cases} G_i(i, j) = \frac{1}{2} [f(i+1, j) - f(i-1, j)] \\ G_j(i, j) = \frac{1}{2} [f(i, j+1) - f(i, j-1)] \end{cases} \quad (3)$$

(2) 权系数的计算如下

$$\omega(i, j) = \exp\left[-\frac{G_i^2(i, j) + G_j^2(i, j)}{2k^2}\right] \quad (4)$$

(3) 对数据进行滤波处理

$$f^{(t+1)}(i, j) = \left(\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 \omega^{(t)}(i+m, j+n)\right)^{-1} \cdot \sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 f^{(t)}(i+m, j+n) \omega^{(t)}(i+m, j+n) \quad (5)$$

式中 $f(i, j)$ 是干涉图的实部或者虚部。迭代 3~5 次一般即可达到理想的效果。

2.2 Boxcar 滤波

Boxcar 滤波是一种在滑动窗口内取平均像素值的滤波方法,滑动窗口的大小也会影响滤波的效果。它对对角线元素的噪声有一定的抑制效果,对非对角线元素的噪声抑制效果不明显,并且会使边缘地方变得模糊。随着滑动窗口的增大,边缘地方会更加的模糊,对非对角线元素的噪声抑制效果仍旧不明显^[4]。由于 SAR 图像是复数图像,因而还要对实部和虚部分别进行滤波,每个通道滤波后的像素值与滑动窗口像素值关系如下^[5]:

$$\tilde{X}_{ij} = \langle Y_{ij} \rangle_N = \frac{1}{N^2} \sum_{p=-(N-1)/2}^{N/2} \sum_{q=-(N-1)/2}^{N/2} Y_{i+p, j+q} \quad (6)$$

式中 N 是滤波窗口的尺寸, i 和 j 分别是图像中被滤波的像素所在的行号和列号。

2.3 Goldstein 滤波

Goldstein 滤波法的思想是:先对得到的干涉图进行分块,然后对已经分好的小块干涉图进行傅里叶变换,最后到它的频谱。再根据平滑处理的幅值对各个小块干涉图进行处理。2003 年,Baran 等提出了用相干系数作为滤波参数:

$$H(u, p) = S\{|Z(u, p)|\}^{1-\bar{\gamma}} \cdot Z(u, p) \quad (7)$$

式中 $Z(u, p)$ 是频谱, $S\{|Z(u, p)|\}$ 是幅值, $H(u, p)$ 是小块处理之后的频谱, $\bar{\gamma}$ 为小块干涉图的平均相干值。改进之后的算法可以依据干涉图各部分的绝对相干值来进行自适应滤波,即对于高相干区域来说,滤波程度相对较弱;对于低相干区域来说,滤波程度相对较强^[6]。

3 实验分析

本文选择 $110^{\circ}04' \sim 110^{\circ}09' E$ $39^{\circ}26' \sim 39^{\circ}31' N$ 的煤矿区作为实验区,选用该地区 ALOS 卫星在 2010 年 10 月 2 日和 2010 年 11 月 17 日对实验区成像所获取的两景 SAR 数据进行实验,分别进行自适应滤波、Boxcar 滤波和 Goldstein 滤波处理。滤波效果的好坏程度从定性和定量两个方面进行评价。

3.1 定性评价

定性评价又被称为目视评价,即通过人的视觉对干涉图滤波后的图像进行如下方面的对比^[7]:

- (1) 在质地均匀的区域上可以有多大程度的消除斑点;
- (2) 是否能够保持图像的纹理特征、小目标、主要目标以及其结构特征;
- (3) 是否引入了虚假特征和目标以及增加了图像噪声。

这种方法虽然简单,但是过于主观化,不利于自动化处理。图 1 即为通过各个滤波器滤波后的干涉图图像。

通过对比图 1 可以看出,Goldstein 滤波、Boxcar 滤波、Adaptive 滤波和原始干涉图相比,都有比较明显的去噪效果,其中 Goldstein 滤波的效果明显优于 Boxcar 滤波和 Adaptive 滤波的效果。

为了进一步比较分析,在干涉图中选取了第 287 列相位值,对其剖面图进行比较,剖面图见图 2。

通过如上对比,发现这 3 种滤波的去噪效果都比较明显,其中 Goldstein 滤波的效果最好。说明 Goldstein 滤波较 Boxcar 滤波和 Adaptive 滤波能更好的去除噪声,且保持相位波形的形状,但是曲线变化说明干涉图的一些细节信息可能被滤除,平滑的同时会导致图像的失真。Boxcar 滤波虽然平滑效果较好,但仍然有一些毛刺存在;如果扩大滑动窗口,毛刺不一定能去除,并可能会使得边缘变得更加模糊。Adaptive 滤波在这 3 种滤波器中滤波效果相对较差,但相比原始干涉图,滤波去噪效果也很明显。

3.2 定量评价

定量评价是根据一些客观的标准对干涉图滤波进行公式化的评价,不是绝对有效的,但是适合应用于计算机处理^[8]。本文采用标准差对干涉图滤波的效果进行评价。标准差的大小反映的是相位幅值的动态范围,标准差变化越小,去除斑点噪声的效果越

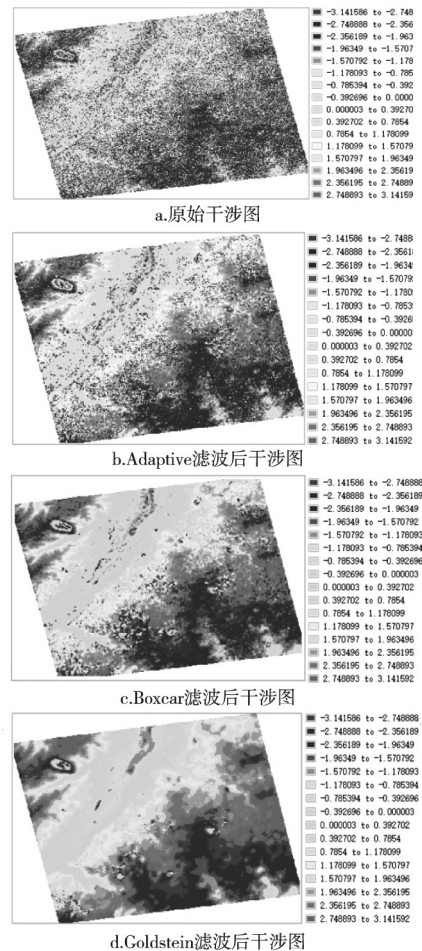


图 1 通过各个滤波器滤波后的干涉图图像

好。表 1 给出了各滤波器的标准差情况。

表 1 不同滤波器滤波前后结果对比

	标准差
原始干涉图	1.923 6
Adaptive 滤波干涉图	1.954 1
Boxcar 滤波干涉图	1.946 1
Goldsterin 滤波干涉图	1.941 9

由表 1 可以看出,滤波后的相位标准差分别变化了 0.030 5、0.022 5 和 0.018 3。从以上变化可以看出标准差变化很小,即滤波前后都保持了相位幅值的动态范围。并且通过比较也可以看出 Goldstein 滤波后的标准差变化最小,即 Goldstein 滤波去除斑点噪声的效果最好。

定量评价结果与定性评价结果的一致,更充分、客观地表明 Goldstein 滤波方法优于另外两种滤波方法。

(下转第 66 页)

影响人们居住适宜性的因素很多,也只是对其中几个主要影响因素进行了研究。因此,今后对以上几个方面的分析,还有待更深入和全面的研究。

参考文献:

- [1] GDPJ 02 - 2013. 地理国情普查基本统计技术规定[S].
- [2] 谢小惠. 福建省地理国情普查试点成果建库实践[J]. 测绘与空间地理信息 2014(6):92-94.
- [3] 颀耀文, 弥沛峰, 田菲. 近50年甘肃省张掖市甘州区绿洲时空变化过程[J]. 生态学杂志 2014, 33(1):198-205.
- [4] 周俊. 城市基础设施公共安全管理概念界定及相关理论基础[J]. 科学时代 2012(13).
- [5] GB/T 4754 - 2011. 国民经济行业分类[S].
- [6] 刘海波. 安徽省地理国情监测试点中住房信息的统计与分析[D]. 合肥:合肥工业大学 2014.
- [7] 梁万年. 卫生事业管理学[M]. 北京:人民卫生出版社 2007.
- [8] 谢小惠. 基于地理信息系统的医疗设施空间分布研究[J]. 中国医药导报 2015(1):155-157.
- [9] 赵鹏. 武汉市医院布局优化研究[D]. 武汉:华中师范大学 2011.
- [10] 杨婧, 童杰, 张帅. ArcGIS 矢量数据空间分析在市区择房中的应用[J]. 地理空间信息 2012, 10(1):119-120.
- [11] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社 2006.

作者简介:刘艳平(1984-),女,汉族,甘肃民勤人,硕士,助理工程师。2012年参加参加工作至今,主要从事工程测量、航空摄影测量与地理信息数据统计与分析等相差关工作。

(收稿日期:2017-05-12)

(上接第48页)

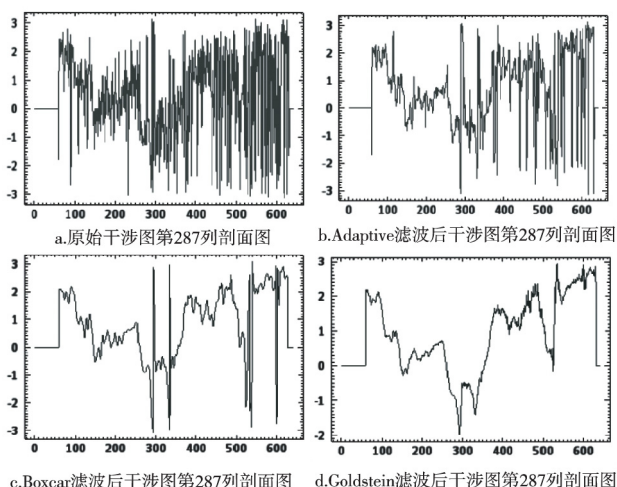


图2 干涉图剖面图

4 结 语

采用3种滤波方法对选定实验区进行滤波去噪实验,对滤波的效果进行了定量和定性评价分析,可以得出无论是哪种滤波方法,滤波去噪的效果都很明显,其中Goldstein滤波方法要优于另外两种滤波方法,同时图像都会不同程度的失真。针对此问题,进一步研究滤波去噪有很重要的意义。

参考文献:

- [1] 彭曙蓉. 高分辨率合成孔径雷达干涉测量技术及其应用研究[D]. 长沙:湖南大学 2009.
- [2] 何秀凤, 何敏. InSAR 对地观测数据处理方法[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [3] 李兴东. SAR 图像相干斑噪声抑制算法的研究[D]. 上海:上海交通大学, 2007.
- [4] http://earth.eo.esa.int/polsarpro/course_material.html, PolSARpro (v4.03) Tutorial - Specklefiltering.
- [5] 王海旭. 合成孔径雷达差分干涉测量在地表形变提取中的应用[D]. 成都:成都理工大学 2014.
- [6] 李飞, 杨成生, 贺靖. InSAR 关键技术探讨[J]. 地理空间信息, 2015, 13(1):33-38.
- [7] 熊四昌, 陈茂军, 胡金华. 一种基于小波变换图像去噪的方法[J]. 计算机与数字工程, 2005, 33(4):24-27.
- [8] 余景波, 曹振坦, 崔娟, 等. 干涉图滤波去噪处理实验[J]. 地理空间信息 2011 9(3):139-141.

作者简介:韩松(1991-),女,汉族,河北省石家庄人,华北理工大学硕士研究生在读,主要研究方向摄影测量与遥感。

(收稿日期:2017-03-19)