

SAR 图象中条纹干扰的抑制

姜晓光¹ 李象霖² 王贞松¹

(1. 中国科学院电子学研究所, 北京 100080 2. 中国科技大学研究生院, 北京 100039)

摘要 针对合成孔径雷达(SAR)成像中特有的条纹干扰,分析了干扰对图象频谱的影响,提出了利用方向滤波器去除 SAR 图象中条纹干扰的方法。并从理论上证明了该方法的科学性,给出了方向滤波器的算法步骤。实验结果显示,用方向滤波器算法处理图象,可有效去除干扰,保持图象细节不受损失。

关键词 合成孔径雷达 图象处理 方向滤波器

0 引言

合成孔径雷达(SAR)是一种高分辨率主动式微波遥感器,能够全天候、全天时工作,对土壤、植被有一定的穿透能力,SAR 图象质量的好坏,直接影响到后期的应用,经过成像后的 SAR 图象经常混有各种条纹干扰,不同程度地影响了图象的质量。条纹干扰是 SAR 图象中较普遍存在的一个现象。在英、美等国研制的多种型号机载、星载 SAR 系统中都存在这种现象,很难避免。中科院电子所近 20 年来,一直致力于研究 SAR 系统,已于 1994 年研制成功机载 SAR 实时成像处理器,得到了大面积的地面遥感图象。在个别情况下,也会出现类似的干扰,严重影响测绘区域图象的利用价值。在多数情况下,遥感飞机重复飞行受干扰地区的可能性很小,从被严重干扰的图象中提取清晰图象的工作就显得非常重要了。利用时域平滑算法或频域低通滤波器滤除高频干扰条纹的方法不能有效去除此类干扰,本文提出利用“方向滤波器”的方法,在完全滤除干扰条纹的同时,还最大限度地保持了图象细节不受损失。

1 条纹干扰对图象的影响

图 1 是混有条纹干扰的图象,有许多垂直的亮

条纹分布在图象上,这不仅影响图象的视觉效果,而且还给从图象中提取目标信息带来巨大困难。



图 1 混有干扰条纹的 SAR 图象

取图 1 中的一部分干扰条纹区域放大至图 2,发现干扰条纹贯穿整个测绘带、亮暗不等(同一根线上亮暗也时有变化)、相互平行、宽度时有变化、基本垂直于横坐标,但略有倾斜。经过分析,雷达信噪比不够是导致干扰的主要原因。

在通常的情况下,可以采用时域平滑算法或在频域利用低通滤波器滤除高频干扰条纹,但作者在实际应用中发现这些方法效果不理想。经过这些方法处理的图象,干扰条纹仍然存在,而且图象的细节损失严重。

· 国家自然科学基金重点资助项目(No. 69896250-2)

收稿日期:1998-06-22

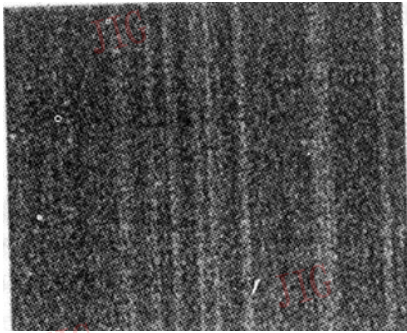


图2 干扰条纹

采用局部修补的某些方法,对一般图象中出现的暗线或亮线的条带缺陷是有效的。如果图象的条带噪声中不存在图象信息,可以用条带的两边临近的平均值来代替条带上对应位置的灰度值;如果图象的条带噪声中存在图象信息,可调整条带中每条线的均值及方差,使其等于两边临近行的均值及方差。但是,由于图2所示干扰条纹噪声有以下特点:亮暗不等(同一根线上亮暗也有变化)、宽度时有变化、略有倾斜(且有多个倾角),所以使局部修补法效果并不理想。

2 频谱分析

通过观察受干扰区域图象的二维频谱,可以发现这些图象的幅度谱上有若干根很亮的横线(如图3),而正常图象的频谱没有这几根亮线。由此想到,频谱上的这几根亮线可能就是由条纹干扰造成。为了分离单独由条纹干扰造成的频谱,我们将图2对应频谱求出(如图4),结果证实了我们的猜测,图2的频谱的确由这几根很亮的横线组成。因为图2是取自图1中海平面区域的图象,对于平静的海面,当雷达波束入射角大于 45° 时,其实际的后向散射系数近似为零。所以,图4的频谱可以近似认为是在没有地面景物的情况下,单独由条纹干扰所致。于是,我们初步得出结论:时域干扰条纹对应着频域中的一些毛刺,且毛刺集中在若干非常小的区域中,准确地说都集中在若干很窄的细线区域内。所以只要将频域中相应的部分进行修正,就可以达到去除干扰噪声的目的。在观察图象时域、频域对应关系时可以发现,在时域平行于 y 轴的干扰条纹,在相应的频域会产生平行于 u 轴的若干条纹状频域分量。由于时域干扰条纹并非完全平行于 y 轴,而是稍有一定的倾

斜角度,所以,图3中干扰造成的频域分量也有相同角度的倾斜,幅度谱仍呈现出与图象目标方向正交的方向性分布。

通过对图4所示频谱的分析发现,干扰条纹所造成的频谱不仅在高频区域有,而且在图象的低频区也有,这也就是为什么用低通滤波器并不能将条纹噪声彻底滤除的原因。

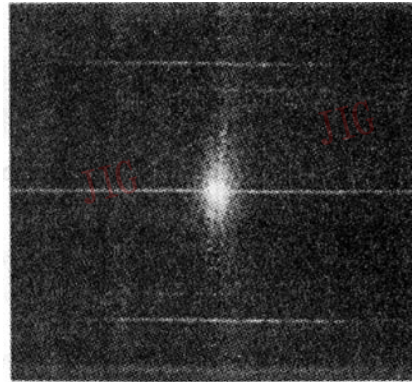


图3 处理前的频谱(对应图1)

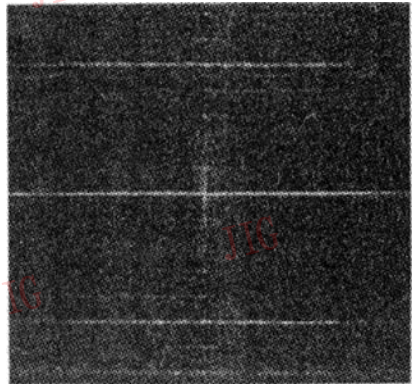


图4 条纹干扰的频谱(对应图2)

3 方向滤波器的实现

二维离散傅立叶变换是一种典型的正交变换,其特点是变换结果能量分布向低频成份方向集中,图象上的边缘、线条等信息在高频成份上得到反映。如果图象中目标形状或排列呈现某种方向性,那么具有较高值的幅度谱也呈现出与图象目标方向正交的方向性分布。

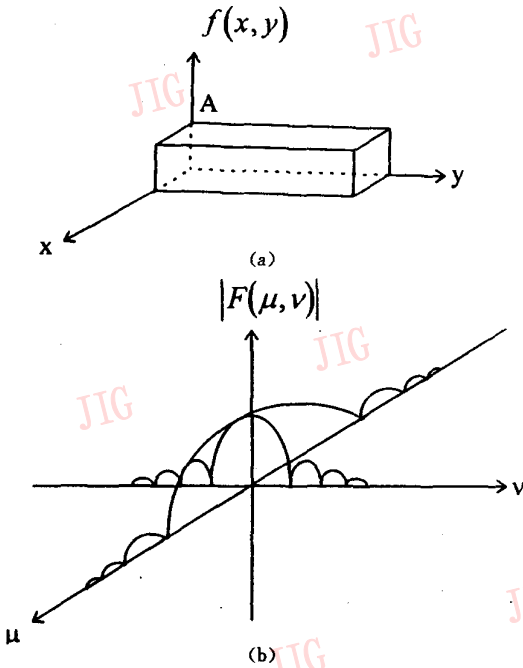


图5 图象模型延伸方向与幅度谱高值的模式方向互相垂直

现在,从理论上证明这一结论。在时域,图象的 $\{f(x, y)\}$ 灰度分布模式沿 y 轴伸展(见图 5(a)):

$$f(x, y) = \begin{cases} A & 0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

其中 $X \ll Y$ 。 $\{f(x, y)\}$ 的 FT 为

$$F(u, v) = AXY \left[\frac{\sin(\pi u X) e^{-j\pi u x}}{\pi u X} \right] \times \left[\frac{\sin(\pi v Y) e^{-j\pi v y}}{\pi v Y} \right]$$

其幅度谱为(见图 5(b))

$$|F(u, v)| = AXY \left| \frac{\sin \pi u X}{\pi u X} \right| \left| \frac{\sin \pi v Y}{\pi v Y} \right|$$

由于 $\frac{1}{X} \gg \frac{1}{Y}$ 。幅度谱函数模式沿 u 轴延伸。因此,图象幅度谱模式延伸方向与原图象灰度分布延伸方向互相正交。一般地,若记 $F\{f\}$ 为函数 f 的 FT。我们有

$$F\{f(ax, by)\} = \frac{1}{|ab|} F\left[\frac{u}{a}, \frac{v}{b}\right]$$

由此可以说明对一般模式上述结论也成立。

再由二维傅立叶变换的旋转特性:

$$F\{f(x \cos \theta + y \sin \theta, -x \sin \theta + y \cos \theta)\} = F(u \cos \theta + v \sin \theta, -u \sin \theta + v \cos \theta)$$

可知,当图象在时域旋转一角度时,其相应频域也旋转同一角度。此时,图象幅度谱模式延伸方向与原图象灰度分布沿伸方向仍然互相正交。

从上述证明可见,此种去除干扰条纹的方法是 有理论依据的。实施时步骤如下:(1)取一幅 $n \times n$ 的

二维图象。(2)作 n 点二维 FFT, 求出图象的二维频谱。(3)以低频区域中直流部分为圆心, 计算总数为 $\frac{\sqrt{2}}{2}n$ 个半径的同心圆上幅度谱的均值。(4)确定幅度谱中条纹干扰的区域。(5)保持相位不变, 将需调整区域内每一点的幅度谱数值用对应同心圆的均值来代替。(6)对修改后的二维频谱进行 n 点逆 FFT, 恢复时域图象。因为, 这种频域处理的方法只针对某方向的信息进行处理, 所以作者将它称为“方向滤波器”。

4 实验结果

图 6 是经过方向滤波器调整后的频谱, 图 7 是重新转换到时域的图象。可见, 图象中的干扰条纹已经去除。由于处理时没有采用通用的低通滤波器滤波, 所以, 图象细节部分的损失很少。用方向滤波器处理图象中此类干扰针对性强, 可以最大限度地再现该地区的景物特征。

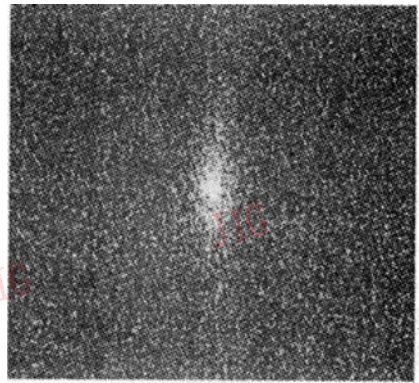


图6 处理后的频谱



图7 处理后的时域图象

参考文献

- 1 李象霖. 数字图象处理. 北京: 中国科技大学研究生院, 1996.
- 2 张澄波. 综合孔径雷达. 北京: 科学出版社, 1989.

李象霖 男, 1938年生, 教授, 主要从事数字图象处理方面的教学、科研工作。



娄晓光 男, 1968年生, 工程师, IEEE 会员, 主要从事 SAR 实时成像算法、图象处理方面的研究。



王贞松 男, 1945年生, 研究员, 博士生导师, IEEE 会员, 主要从事无线电物理、微波遥感技术、合成孔径雷达成像系统方面的研究。

Stripe Noise Elimination of SAR Pictures

Lou Xiaoguang¹, Li Xianglin², Wang Zhensong¹

(1. Institute of Electronics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080 2. University of Science and Technology of China, Beijing 100039)

Abstract The paper focuses on the stripe noise that only but often occurs in SAR image. The paper analyses the spectrum of the image with noise, discusses the limitations of the repairing methods which always being used and presents a new method, Orientation Filter, to eliminate noise. The correctness of the method is verified in this paper, and the steps of applying the orientation filter are provided. Experiments proved that orientation filter can satisfactory filter the stripe noise and preserves as many target characteristics of original images as possible.

Keywords Synthetic aperture radar, Image processing, Orientation filter

(上接第 251 页)

An Image Retrieval Method Based on Color Perceived Feature

Li Guohui, Liu Wei, Cao Lihua

(Department of System Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract An improved image retrieval method based on color feature is provided. This method uses HSV color space that is more compatible with hum's visual sense to represent image's color feature. It takes advantage of human's perception to quantize color components as non-equal interval, which formulates one dimensional feature vector. After that, we use histogram intersection algorithm to search similar images from image repository. Query by example, query by specified color, or query by region within an image is used to represent visual query posed by user. Finally, test results for relevant image retrieval compared with equal quantized arithmetic are given and discussed.

Keyword Contend-based retrieval, Information retrieval, Multimedia database system