

激光雷达主动偏振图像散斑抑制算法研究

闻东海, 江月松, 张彦仲, 华厚强

(北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100191)

摘要:针对激光主动偏振图像的散斑去除问题,提出了一种新的非局部正则化方法:根据激光主动偏振图像的噪声特点,在全变差模型的基础上,提出了非局部全变差正则化模型。该算法充分利用了图像的全局信息复原图像,在很好地抑制散斑的同时,保持了图像的细节信息。新模型使用轮流最小化方法进行求解,则原始图像和点扩散函数都可以在最小化框架中求解,则可以更好的复原图像。通过主动偏振图像的处理结果可知,该方法优于PM算法。

关键词:主动偏振成像;非局部;散斑抑制

中图分类号:TN911.73 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.11.004

Algorithm for speckle noise reduction of laser radar polarization active image

WEN Dong-hai, JIANG Yue-song, ZHANG Yan-zhong, HUA Hou-qiang

(School of Electronic Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: In order to reduce speckle noise of laser active polarization image, a new denoising model based on nonlocal regularizations is proposed. This algorithm make full use of global information of the image, which reduces speckle noise and keeps the detail of the image information. The new model uses alternating minimization algorithm, the original image and point spread function (PSF) can be solved in minimizing framework, which can restore image better. Active polarization image processing results show the method outperforms PM algorithm.

Key words: polarization active imager; nonlocal means; speckle reduction

1 引言

在激光雷达遥感系统中引入目标的偏振信息会大大提高激光雷达遥感的性能,包括植被分类,农作物综合信息探测,大气、河流、湖泊、海洋污染监测及其污染物种类探测等。特别是在激光偏振雷达遥感中,当应用偏振信息进行探测时,对目标识别和成像来说具有突出的优点。然而,由于散斑的影响,使得获取的图像效果不理想,严重影响了后续图像信息的提取。

针对全变差模型在处理激光主动偏振图像散斑中存在的一些问题,本文提出了一种新的抑制激光主动偏振图像相干斑噪声的非局部全变差模型。新算法基于全变差模型,结合非局部算法,提出了一种

新的滤波模型。本文从理论上证明了新算法的有效性,并通过对实际偏振图像的处理证明了该算法不仅能够有效去除相干散斑,而且能够保持图像纹理,增强图像边缘。

2 散斑噪声模型

激光主动成像散斑噪声模型可以表示为:

$$g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$

式中, $g(x, y)$ 表示散斑图像; $f(x, y)$ 表示原始图像;

基金项目:国家重点基础研究发展计划(No. 2011CB707001)资助。

作者简介:闻东海,男,博士,主要从事图像散斑抑制算法研究。
E-mail: dh_w10@163.com

收稿日期:2011-05-26

$h(x, y)$ 表示点扩散函数; $n(x, y)$ 表示加性白噪声; \otimes 表示卷积算子。

由于不能获得点扩散函数的信息,所以只能采用盲卷积方法复原图像。盲卷积复原方法有滤波法^[1],统计估计法^[2],基于学习的方法^[3],全变差正则化方法^[4],Tikhonov 正则化方法^[5]。

由于盲反卷积为病态问题,You 和 Kaveh 在文献[5]中提出通过最小化问题得到 f 和 h ,其表达式为:

$$\min_{f,h} \|f \otimes h - g\|_2^2 + \alpha \|Df\|_2^2 + \beta \|Dh\|_2^2 \quad (2)$$

式中, D 为一阶差分矩阵; α, β 为正的 regularization 参数。

在文献[6]中 You 和 Kaveh 使用异向扩散方法恢复 f 和 h ,进一步 Chan 和 Wong 在文献[7]中提出如下的反卷积问题:

$$\min_{f,h} \|f \otimes h - g\|_2^2 + \alpha TV(f) + \beta TV(h) \quad (3)$$

式中, TV 为全变差正则化项。

3 非局部平均去噪算法

非局部滤波是一种有效的去噪方法,它考虑像素与周围信息的相关性,利用模板匹配寻找图像的最佳恢复效果。给定一幅离散的含噪图像 $g = \{g(i) | i \in I\}$, I 表示图像域,对于其中的任何一个像素 i ,非局部平均的方法利用整幅图像中所有像素值的加权平均来得到该点的估计值,即:

$$NL_{[g]}(i) = \sum w(i, j) g(j), j \in I \quad (4)$$

其中,权值 $w(i, j)$ 依赖于像素 i 与 j 之间的相似性,并且满足:

$$0 \leq w(i, j) \leq 1 \text{ 且 } \sum_j w(i, j) = 1 \quad (5)$$

两个像素 i 与 j 之间的相似性由灰度值向量 $g(N_i)$ 与 $g(N_j)$ 之间的相似性决定,其中, N_i 表示以像素 i 为中心的固定大小的方形邻域。各邻域灰度值向量之间的相似性通过高斯加权的欧氏距离来衡量,即:

$$d(i, j) = \|g(N_i) - g(N_j)\|_{2,a}^2 \quad (6)$$

其中, $a > 0$ 为高斯核函数的标准差。

由欧式距离表示的权重定义为:

$$w(i, j) = \frac{1}{g(i)} \exp(-d(i, j)/h^2) \quad (7)$$

其中, $g(i) = \sum_j \exp(-d(i, j)/h^2)$ 为归一化常数。参数 h 控制着指数函数的衰减速度。因而决定着滤波的程度。式(7)中,当 $i = j$ 时,会发生过加权的现象,为解决这个问题,按下式计算 $w(i, j)$ 的值:

$$w(i, j) = \max(w(i, j) \quad i \neq j) \quad (8)$$

文献[8]提出如下非局部算子:

$$J_{NL/TV}(f) = \int |\nabla_w f| = \int_{\Omega} \sqrt{\int_{\Omega} (f(i) - f(j))^2 w(i, j) dj} di \quad (9)$$

4 新型盲反卷积模型

基于以上分析,提出一种新的盲反卷积模型,其表达式为:

$$\min_{f,h} \|f \otimes h - g\|_2^2 + \alpha J_{NL/TV}(f) + \beta \|Dh\|_2^2 \quad (10)$$

该模型采用非局部算子作为 regularization 项,能够更好地保持图像的纹理信息,取得较好的去噪效果。

模型的算法如下:

(1)输入初始图像 f_0 , PSF h_0 , 散斑图像 g 。

(2)设置 $n = 1$, χ_f, χ_h 为停止门限。

(3)通过下式求解 f_n :

$$f_n = \arg \min_f \|h_{n-1} \otimes f - g\|_2^2 + \partial J_{NL/TV}(f) \quad (11)$$

(4)通过下式求解 h_n :

$$h_n = \arg \min_f \|h \otimes f_n - g\|_2^2 + \beta \|Dh\|_2^2 \quad (12)$$

(5)if $|f_n - f_{n-1}| \leq \chi_f$ or $|h_n - h_{n-1}| \leq \chi_h$ 则终止。

(6)否则 $n = n + 1$,继续执行第(3)步。

5 偏振图片散斑抑制效果分析

为了客观地评价非局部全变分模型的去噪效果,采用等效视数(ENL)和边缘增强指数两个指标对各种处理结果进行评价。等效视数是衡量一幅图像斑点噪声相对强度的一种指标,也是衡量滤波器滤波性能的一种指标,又称为有效视数。当均匀区域内等效视数越大,则滤波器的滤波效果越好,等效视数定义为:

$$ENL = (m/s)^2 \quad (13)$$

式中, m 和 s 分别为图像某均匀区域的均值和标准差。

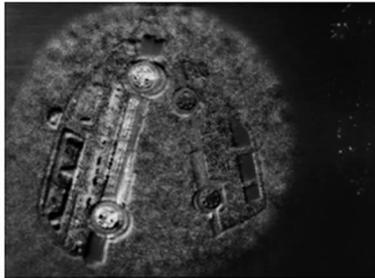
边缘增强指数(EEI)是一种常用的评价边缘保持程度的指标,人为确定 P 个明显边缘的位置,在每个边缘两侧各取一个邻域 R_{K1}, R_{K2} 。记原始图像中 R_{K1}, R_{K2} 的灰度均值分别为 m_{K1}, m_{K2} ,滤波后的灰度均值分别为 m'_{K1}, m'_{K2} ,则边缘增强指数定义为:

$$EEI = \frac{\sum_{K=1}^P |m'_{K1} - m'_{K2}|}{\sum_{K=1}^P |m_{K1} - m_{K2}|} \quad (14)$$

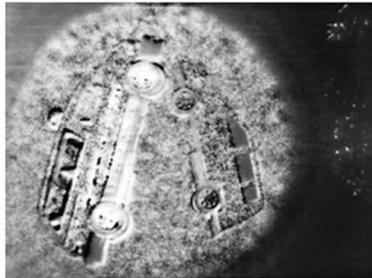
容易看出,如果图像没有经过任何处理,则 $EEI = 1$,如果斑点抑制后 $EEI > 1$,则表明边缘得到锐化,边缘信息得到增强;如果斑点抑制后 $EEI < 1$,

则表明边缘受到平滑,边缘信息减弱了。

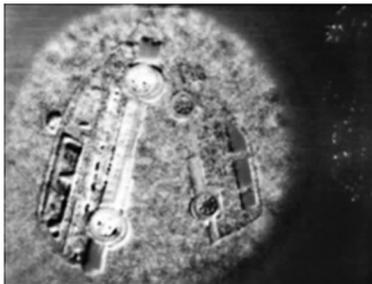
为了比较新算法的散斑抑制效果,选取了一组目标进行了激光雷达遥感偏振成像的实验研究:在一个泡沫板上放着两辆小车,其中左边一辆是铁制的白色小汽车,右边一辆是塑料的白色小汽车。图1为汽车图片处理结果。



(a) 激光主动成像图片



(b) PM 模型处理结果



(c) 新模型处理结果

图1 不同滤波模型处理效果比较

Fig.1 effect comparison of various filtering model

表1为不同滤波模型等效视数和边缘增强指数对比表。

表1 不同滤波模型处理结果对比表

Tab.1 processing results contrast of different filtering model

filtering model	PM	hybrid filter
ENL	13.215	14.698
EEL	1.12	1.23

6 结束语

在全变差去噪模型的基础上,提出了非局部全变差模型用以处理激光主动成像图片。该算法使用非局部算子作为图像复原正则化项,在去除散斑噪声的同时,也能保持图像的纹理和边缘信息。

参考文献:

- [1] M Ng, R Plemmons, S Qiao. Regularization of RIF blind image deconvolution [J]. IEEE Transactions on, 2000, 9 (6): 1130 - 1134.
- [2] D Tzikas, A Likas, N Galatsanos. Variational bayesian sparse kernel-based blind image deconvolution with student's-t priors [J]. IEEE Transactions on, 2009, 19 (4): 753 - 764.
- [3] R Nakagaki, A K Katsaggelos. A VQ-based blind image restoration algorithm [J]. IEEE Transactions on, 2003, 12 (9): 1044 - 1053.
- [4] Y Huang, M Ng. Lipschitz and total-variational regularization for blind deconvolution [J]. Commun. Comput. Phys., 2008, 2: 159 - 206.
- [5] Y You, M Kaveh. A regularization approach to joint blur identification and image restoration [J]. IEEE Transactions on, 1996, 5 (3): 416 - 427.
- [6] Y You, M Kaveh. Blind image restoration by anisotropic regularization [J]. IEEE Transactions on, 1999, 8 (3): 396 - 407.
- [7] T F Chan, C K Wong. Total variation blind deconvolution [J]. IEEE Transactions on, 1998, 7 (3): 370 - 375.
- [8] Lou Yifei, Zhang Xiaoqun, Osher Stanley. Image recovery via nonlocal operators [J]. Journal of Scientific Computing, 2009, 42 (2): 185 - 197.