

一种利用级联滤波和松弛法的 SAR 图像配准方法

岳春宇¹ 江万寿¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:提出了一种利用级联滤波和松弛法的 SAR 图像配准方法。首先利用基于 Beltrami 流的偏微分方程与增强 Lee 滤波的级联滤波算法去除 SAR 图像噪声,然后对滤波后的参考图像提取边缘,对边缘特征点采用松弛法特征匹配,同时应用金字塔分级匹配策略由粗到精增加匹配的正确性。实验证明,本方法具有较高的配准精度。

关键词:SAR;级联滤波;松弛法;配准

中图法分类号:P237.3

星载 SAR 遥感图像的全天候、全天时特点在地表监视和动态监测应用中比光学遥感具有不可替代的优势。而多时相 SAR 图像的精确配准是进行变化检测和动态监视的前提和基础。因为 SAR 系统基于相干性原理成像,图像存在强相干斑点噪声。SAR 图像从成像机理到图像灰度分布特点与光学图像相比都具有较大差异,轨道不平行、下视角不同等系统因素以及地形、大气等环境因素,都会产生 SAR 图像之间的偏移和局部几何形变等。传统的经典光学图像配准方法不能直接适用于 SAR 图像^[1]。

SAR 图像配准方法^[2],根据配准数据源可分为基于初数据的配准^[3]和基于 SAR 复数图像对的配准两类。基于初数据的配准,根据 SAR 成像原理,在初数据获取后直接进行匹配处理;而基于 SAR 复数图像对的配准直接在图像域进行处理,是目前普遍采用的方式。

从 SAR 图像数据出发的配准算法包括相干系数法^[4]、最大频谱法^[5]、相位差影像平均波动函数法^[6]等。基于图像空间域特征的方法^[7]是目前更广泛应用的 SAR 图像配准方法。不过,目前 SAR 图像特征提取还主要利用光学图像的特征提取方法,由于强相干斑点噪声的影响,光学图像中常用的特征提取算子如边缘提取算子等在 SAR 图像中应用存在一定的困难。本文提出了一种基于级联滤波和松弛法特征匹配的 SAR 图像配准方法。

1 基于偏微分方程与增强 Lee 滤波的级联滤波方法

1.1 基于曲面演化理论的几何偏微分方程图像滤波方法

基于曲面演化理论的几何偏微分方程图像滤波方法^[8]把图像作为水平集或一个嵌入到高维空间中的二维曲面,并通过曲面的演化达到图像增强的目的。已有的曲面演化方程都可以表示成以下形式:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = F(k_1, k_2) \cdot \mathbf{N} \quad (1)$$

Yezzi 等^[9]提出将演化方程的演化速度投影到垂直于图像平面的方向,投影后的演化方程为:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left(\left(\frac{(k_1 + k_2)}{2} \cdot \mathbf{N} \right) \cdot \mathbf{Z} \right) \mathbf{Z} \quad (2)$$

Sochen 等^[10]利用如下变分模型从泛函的角度对投影后的演化方程(2)进行分析:

$$E(S) = \int_{\Omega} \sqrt{\det(G)} dx dy \quad (3)$$

该模型对应的 Euler-Lagrange 方程为:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{\sqrt{\det(G)}} \operatorname{div}(\sqrt{\det(G)} G^{-1} \nabla S) \quad (4)$$

该曲面演化方程被称为 Beltrami 流。以 Beltrami 流为去噪模型的情况下,去噪过程即是求解偏微分方程:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{1}{\sqrt{\det(G)}} \operatorname{div}(\sqrt{\det(G)} G^{-1} \nabla S) \\ S(x, y, 0) = S_0(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

式中, S_0 为初始值,即为含有噪声的原始图像。

实际计算中去噪算法如下。

1) 计算含噪图像 S 在 x 方向上和 y 方向上的偏微分值 S_x 、 S_y 和二阶微分值 S_{xx} 、 S_{yy} 、 S_{xy} ;

2) 计算图像局部度量 $\det(G)$,构造式(5)的偏微分方程;

3) 求解式(5)的偏微分方程,按照迭代公式 $S^n = S^{n-1} + k \frac{\partial S^{n-1}}{\partial t}$,计算得到第 n 步演化结果,其中 k 为演化速度参数;

4) 重复式(1)~式(3),迭代得到最终去噪结果,实际计算时人为设定迭代次数,本文实验中设定迭代次数为 100。

实验证明,该模型可用于 SAR 图像的去噪,边缘保持效果较好。

1.2 增强 Lee 滤波

针对 Lee 算法在同质区比较有效,但在边缘、细节等信息的保持上存在的缺陷,Lopes 提出了根据图像不同区域采用不同滤波器的方法^[11]。该方法把图像分为均匀区域、不均匀区域和包含分离点目标的区域。在处理过程中,在均匀区域直接使用均值滤波滤除噪声,在不均匀区域应用 Lee 滤波算法,能够在去除噪声时保留一定的纹理信息,在包含分离点目标的区域尽量保持原始值。

1.3 基于偏微分方程与增强 Lee 滤波级联算法的 SAR 图像滤波方法

首先采用曲面演化理论的几何偏微分方程图像滤波方法,基于最小曲面模型,利用 Beltrami 流具有很好的边缘保持以及去噪的优点,对 SAR 图像进行处理,主要为了保持图像的细节不被过分平滑。偏微分方程滤波结果细节损失比较小,但是存在伪边缘,并且同质区域内噪声去除不是很理想。增强 Lee 滤波算法能够在保持边缘的同时较好地去除同质区域的噪声,所以使用其分区域对处理后的图像进行滤波。处理结果表明,这种级联的滤波方法可以在保持边缘细节的前提下有效地对图像进行平滑。算法流程如图 1 所示。

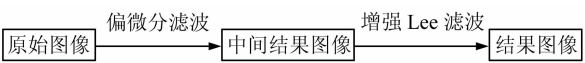


图 1 基于偏微分方程与增强 Lee 滤波的级联滤波算法

Fig. 1 Cascade Filter Algorithm of PDE and Enhanced Lee

2 松弛法特征匹配

松弛法图像特征匹配^[12]是基于地形局部平滑原理,通过局部松弛来确定匹配点和传递匹配点信息。正确匹配点应获得较大的邻域支持,错误匹配点邻域支持较小。同时通过建立金字塔图像,进行多级匹配来实现整体匹配的可靠性。本文所采用的松弛法特征匹配策略流程如彩色插页Ⅲ彩图 1 所示。

3 实验和分析

实验数据为真实 COSMO SAR 图像,见插页Ⅲ彩图 2(a)、2(c)。参考图像为 320 像素×320 像素,2010-01-31 成像;待配准图像为 1 024 像素×1 024 像素,2010-02-05 成像。

首先对原始 SAR 图像采用级联滤波方法作滤波处理,滤波结果如插页Ⅲ彩图 2(b)、2(d)所示。实验表明,该方法相对于其他滤波算法具有较好的去噪效果并具有一定的细节保能力。实验结果如表 1 所示。

表 1 各种滤波方法结果

Tab. 1 Evaluation Indexes of Several Filters

滤波方法	ENL	β	PSNR
原始图像	7.543 4	0.364 1	
Lee filter	11.796 3	0.291 2	22.929 3
Frost filter	14.231 5	0.265 1	15.856 2
Gamma filter	16.304 9	0.247 7	16.388 6
PDE based filter	9.165 0	0.330 3	23.631 1
Enhanced Lee filter	16.288 4	0.247 8	16.400 5
本文方法	17.778 3	0.237 2	16.018 6

等效视数(ENL)可以用来衡量一幅图像斑点噪声相对强度,目前被广泛接受为 SAR 相干斑抑制的指标。等效视数越大,滤波效果越好。相干斑噪声指数(β)是图像标准差与均值的比,也可以反映噪声的水平,相干斑噪声指数越小,滤波效果越好。从表中可以看出,在去噪效果上,本文方法优于其他滤波方法。峰值信噪比(PSNR)是最普遍、最广泛使用的评价图像质量的客观标准,代表图像细节保留程度。峰值信噪比越大,滤波后图像的细节保持越好。在表 1 中可以看到,本文提出的方法在细节保持上与目前主流算法大致一致,并且一些无用细节和伪特征均被剔除。大量的测试表明^[13],所有的算法都是在去除斑点噪声和保持纹理、边缘等信息之间的折衷,无法获得完全满意的效果。由实验结果可知,本文提出的滤波方法在

噪声滤除的基础上,具有一定的细节保持能力。

使用沈俊算子提取滤波后参考图像的边缘点作为特征点。沈俊算子是一种滤波后求导数的边缘检测算子,具有单像素边缘闭合和设置参数少的优点^[14]。对参考图像和待配准图像使用本文所述的松弛法特征匹配,由金字塔分级策略传递匹配结果信息,减少错误匹配。配准结果见插页Ⅲ彩图 2(e),与参考图像叠加显示如见插页Ⅲ彩图 2(f)所示。配准精度见表 2,其中检查点是由 Edison 算子^[15]自动提取,并人工去除错误点,控制其均匀分布在影像上。

表 2 配准结果精度
Tab.2 Rregistration Precision

匹配点数 /对	检查点数 /个	X 方向中误 差/像素	Y 方向中误 差/像素
5 313	708	1. 51	1. 23

4 结 语

图像滤波时噪声去除与纹理信息保持不能兼得,只能尽量在两者之间折衷,无法获得完全满意的效果。因此,本文的滤波方法并没有追求各项指标均最优。而松弛法特征匹配是以地面局部平滑为约束条件,这并不总是与地面真实情况相符,因而对于地面起伏较大区域的 SAR 图像配准是进一步研究的目标。

参 考 文 献

[1] 刘苏钱. 基于特征的 SAR 图像自动配准方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2007

[2] 罗小军,刘国祥,黄丁发,等. 几种卫星合成孔径雷达影像配准算法的比较研究[J]. 测绘科学,2006,31(1):19-21

[3] Scheiber R,Moreira A. Coregistration of Interfero-

metric SAR Images Using Spectral Diversity[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2000,38(5):2179- 2191

[4] 曾琪明,解学通. 基于谱运算的复相关函数法在干涉复图像配准中的应用[J]. 测绘学报,2004,33(2): 127-131

[5] 汪鲁才,王耀南,毛建旭. 基于相关匹配和最大谱图配准相结合的 InSAR 复图像配准方法[J]. 测绘学报,2003,32(4): 320-324

[6] 刘国祥,丁晓利,李志林,等. 星载 SAR 复数图像的配准[J]. 测绘科学,2001 (1):60-66

[7] 史磊,李平湘,杨杰. 利用 SIFT 与粗差探测进行 SAR 影像配准[J]. 武汉大学学报· 信息科学版,2010,35(11):1 296-1 299

[8] 朱立新. 基于偏微分方程的图像去噪和增强研究[D]. 南京:南京理工大学,2007

[9] Yezzi A. Modified Curvature Motion for Image Smoothing and Enhancement[J]. IEEE Transaction on Image Processing,1998,7(3):345-352

[10] Sochen N,Kimmel R,Malladi R. A General Framework for Low Level Vision[J]. IEEE Transaction on Image Processing,1998,7(3):310-318

[11] 杨将林. SAR 图像滤波和边缘检测技术研究[D]. 西安:西北工业大学,2007

[12] 江万寿,郑顺义,张祖勋,等. 航空影像特征匹配研究[J]. 武汉大学学报· 信息科学版,2003,28(5): 510-513

[13] 贾承丽,匡纲要. SAR 图像去斑方法[J]. 中国图像图形学报,2005,10(2):135-141

[14] 高希报. 图像中几种实用的目标定位方法研究与应用[D]. 南京:南京理工大学,2005

[15] 江万寿. 航空影像多视匹配与规则建筑物自动提取方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2004

第一作者简介:岳春宇,博士生,主要研究方向为遥感图像处理技术。
E-mail:yey1893 @163.com

Registration Method for SAR Image Based on Cascade Filter and Relaxation Optimization Algorithm

YUE Chunyu¹ JIANG Wanshou¹

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A registration method for SAR image based on cascade filter and relaxation optimization algorithm is proposed in this paper. Firstly, the cascade filter method combining partial differential equation (PDE) and enhanced Lee filter is introduced for SAR image