

遥 感

相位相关法及其在偏振图像配准中的应用研究

田 光, 洪 津, 孙晓兵, 邱成锋

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘 要: 分析了遥感偏振探测的原理和与遥感强度探测相比所具有的优越性, 指出了偏振图像的特点。采用偏振测量方法, 可以获得地物的偏振信息, 有助于增强对地物的探测能力, 但是对图像像元不对准有很高的敏感性, 为了得到可靠的偏振信息, 配准的精度应该至少到达 0.1 个像素。介绍了一种基于傅立叶变换的配准方法: 相位相关法, 并把该方法应用于偏振图像配准中。相位相关法根据傅立叶变换的平移性质, 能够解决具有平移关系的图像配准问题, 实验证明该方法具有对噪声和图像灰度变化不敏感的优点。

关键词: 偏振图像; 图像配准; 相位相关; 傅立叶变换

中图分类号: TP75

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2006)03-0193-05

Phase Correlation Algorithm and Its Application in Registration of Polarization Images

TIAN Guang, HONG Jin, SUN Xiao-bing, QIU Cheng-feng

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: The principle of polarization remote sensing detection and advantages contrast to intensity remote sensing detection are analyzed. The characteristics of polarization images are pointed out. Using polarization measurement, the polarization information of natural scenes helping to enhance the capacity of natural scenes detection can be obtained, but it is highly sensitive to misregistration. The registration accuracy should be at least 0.1 pixel in order to yield credible polarization information. A Fourier transform-based registration technique, the phase correlation method, is introduced. It is applied to register polarization images. According to the translation property of Fourier transform, the phase correlation algorithm can register images that are translated with respect to one another. The experimental results show that the method has many advantages, such as insensitive to noise and uniform variations of intensity.

Key words: polarization image; image registration; phase correlation; Fourier transform

1 引 言

目前偏振测量已成为遥感领域中获取目标信息的一种重要手段^[1~7,10], 与常规强度探测相比, 偏

振测量能够获得更多的易于区分目标的特征信息, 偏振信息能够反映出被探测目标之间的微小差别, 特别是一些边缘、纹理信息。

电磁波经过地物反射后基本上是部分偏振

收稿日期: 2006-04-10; 修改日期: 2006-06-26

E-mail: goodtg@163.com

光, 在描述地物的偏振状态时, 经常使用 Stokes 矢量 $(I, Q, U, V)^T$ 表示准单色平面波的偏振态, 其中 I 为总的光强, Q, U 分别代表两个方向上的线偏振光, V 是圆偏振光, 在遥感探测中 V 可以忽略。

$$\begin{cases} I = S_0 = \langle E_x^2 \rangle + \langle E_y^2 \rangle, \\ Q = S_1 = \langle E_x^2 \rangle - \langle E_y^2 \rangle, \\ U = S_3 = 2 \langle E_x E_y \cos \varphi \rangle, \end{cases} \quad (1)$$

上式中, $\langle E \rangle$ 表示时间平均的效果, 在任一 xoy 平面, 在与 X 轴的夹角为 α 的方向上进行观测所得到的光强可以下式表述

$$I(\alpha) = \langle E_x^2 \rangle \cos^2 \alpha + \langle E_y^2 \rangle \sin^2 \alpha + \langle E_x E_y \rangle \sin(2\alpha), \quad (2)$$

或

$$I(\alpha) = \frac{1}{2}(I + Q \cos 2\alpha + U \sin 2\alpha). \quad (3)$$

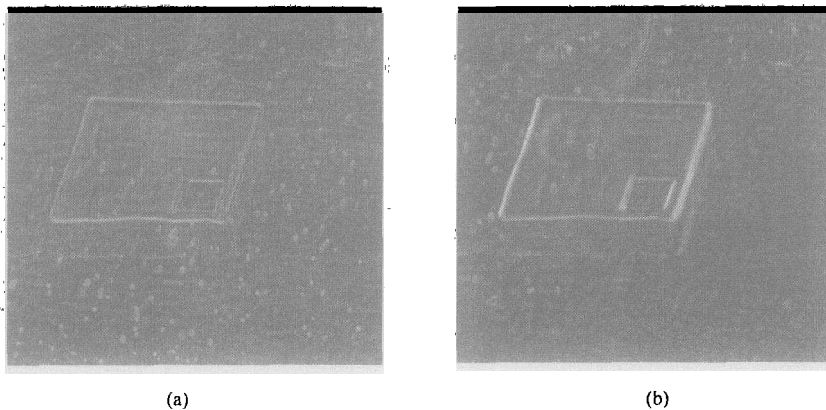


图 1 偏振度图像

Fig.1 Images of polarization degree

采用 Stokes 参数计算偏振度、偏振角等偏振信息是逐像元计算的, 偏振图像间像元不对准会造成偏振度或偏振角计算结果的不准确, 偏振度及偏振角图像中会出现虚假信息。文献 [8] 中分析了像元不对准的程度对偏振度计算的影响, 指出了如果图像间的偏移量在 0.1 个像素之内, 能够避免产生虚假信息。图 1(a) 显示了像元对准时的偏振度图, 图 1(b) 为图像间的偏移量为 1 个像素时的偏振度图。图 2 显示了 (a) 中坐标点为 (500,415) 处的偏振度的误差随着图像偏移量变化的情况。为了抑制虚假信息出现, 偏振图像配准精度要达到亚像素级

根据 Stokes 参数可以得到目标的偏振度 P 和偏振角 α

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I}, \quad (4)$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{U}{Q}. \quad (5)$$

在实际探测中, 我们通过探测三个不同角度 ($0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$) 的线偏振光的光强 $I(\alpha_i)$ 就可以求出 Stokes 参数参量 I, Q, U , 并可以求出偏振光的偏振度和偏振角。

2 偏振图像特点分析及对配准精度的要求

从三个不同角度 ($0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$) 采集的偏振图像间在某种程度上存在灰度的差异, 配准算法中需要考虑这些灰度差异的影响。

甚至更高的精度。

3 相位相关方法原理

相位相关技术是一种基于傅立叶变换的频域相关技术, 可以用来检测两幅图像之间的平移。根据傅立叶变换的平移性质, 假设两幅图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 间存在 (d_x, d_y) 的平移量, 即

$$f_2(x, y) = f_1(x - d_x, y - d_y), \quad (6)$$

反映到频域上, 两幅图像的傅立叶变换具有以下关系

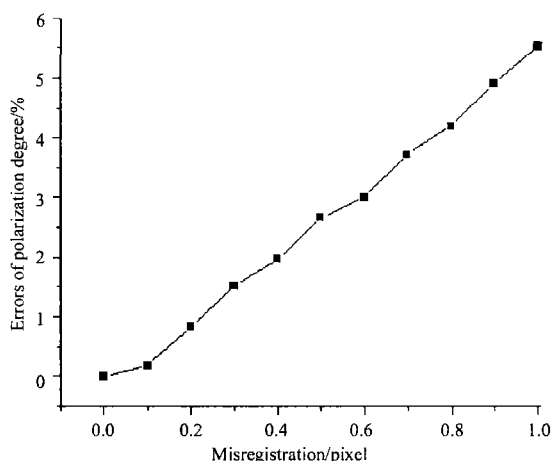


图 2 偏振度误差

Fig.2 Errors of polarization degree

$$F_2(\omega_x, \omega_y) = F_1(\omega_x, \omega_y) \cdot \exp[-j2\pi(\omega_x d_x + \omega_y d_y)], \quad (7)$$

对应频域中两幅图像归一化互功率谱

$$C_{2D}(\omega_x, \omega_y) = \frac{F_1(\omega_x, \omega_y) F_2^*(\omega_x, \omega_y)}{|F_1(\omega_x, \omega_y) F_2^*(\omega_x, \omega_y)|} = \exp\{j2\pi(\omega_x d_x + \omega_y d_y)\}, \quad (8)$$

式中 F_2^* 为 F_2 的复共轭。(7) 式进行傅立叶反变换是一个狄拉克函数 $\delta(x - d_x, y - d_y)$, 我们称之为相关函数, 相关函数的峰值点位于 (d_x, d_y) 处。所以通过求取相关函数峰值点对应坐标的位置即可得到所要求的配准点。理想情况下, 相关函数在配准点

处对应最大值为 1, 其它处为零。离散情况下, 相关函数是一个单位脉冲函数, 并且由于噪音等干扰使得最大值不再为 1, 因此通过搜索离散相关函数最大值的位置可以得到配准点。

实际上, 相关函数总有一个比较突出的峰值点代表配准点, 因此这种方法有很高的配准精度。相位差对于所有频率的作用是相同的, 因此即使图像中存在窄带的噪声, 也不会影响峰值点的位置变化。另外由于光照变化通常被看作是一种缓慢的变化过程, 主要反映在低频部分, 所以相位相关法对于在不同光照条件下拍摄的图像或不同传感器获得的图像间的配准比较有效。此外, 根据傅立叶变换的旋转和缩放性质, 可以将相位相关算法扩展, 解决具有平移、旋转和缩放关系的图像配准问题。

4 相位相关法在偏振图像配准中的应用与结果分析

考虑偏振图像的特点及相位相关法的优点, 文中考虑将相位相关算法应用到偏振图像配准中, 并在 Windows 操作系统下利用 VC++ 实现了偏振图像的配准。图 3 显示了相位相关算法计算平移量的流程图。图 3 中, f_1 为参考图像, f_2 为待配准图像, FFT 表示快速傅立叶正变换, IFFT 表示快速傅立叶反变换。首先参考图像和待配准图像进行傅立叶变换, 然后计算归一化互功率谱, 最后将归一化互功率谱经过傅立叶反变换得到相关函数, 计算相关函数最大值的位置, 即可得到像素级平移量。

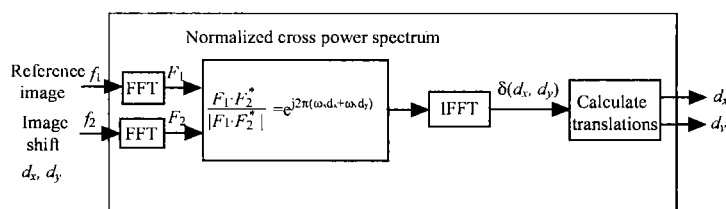


图 3 平移量计算算法

Fig.3 Translation calculation algorithm

亚像素级配准中, 互功率谱 $C_{2D}(\omega_x, \omega_y)$ 的相位值满足下面的线性函数关系

$$\arctan[C_{2D}(\omega_x, \omega_y)] = 2\pi(\omega_x d_x + \omega_y d_y). \quad (9)$$

为了保证亚像素级配准的可靠性, 我们没有直接利

用两幅图像互功率谱的相位满足公式 (9) 的关系, 而是采用文献 [9] 中提出的射影算子 (projection operator), 然后根据文献 [7] 中的最小二乘原理计算亚像素级平移量。我们对上述算法进行了验证, 实验结果表明: 该方法具有很高的匹配精度。实验时还

在图像中加入了噪声并对图像灰度进行了变化,结果表明:尽管存在噪音和灰度变化,相位相关法同样能够精确地检测出整数平移量,而亚像素级的配准精度能够控制在 0.1 个像素之内。

图 4 显示了三幅真实场景的原始偏振图像,其中图 (a) 为 0° 偏振图像,图 (b) 为 60° 偏振图像,图 (c) 为 120° 偏振图像,图 (d) 为 (b)、(c) 配准后的

结果图像。配准中,我们以图像 (a) 为参考图像,图像 (b) 和 (c) 为待配准图像,平移量估计结果为:图像 (a) 与 (b) 之间的水平和垂直平移量估计值为 $(-2.0108, -0.5234)$,图像 (a) 与 (c) 之间的水平和垂直方向的平移量估计值为 $(-13.1040, -10.3672)$ 。图 5 显示了配准后由图像 (a) 和 (d) 三幅图像合成图像的强度和偏振度图像。

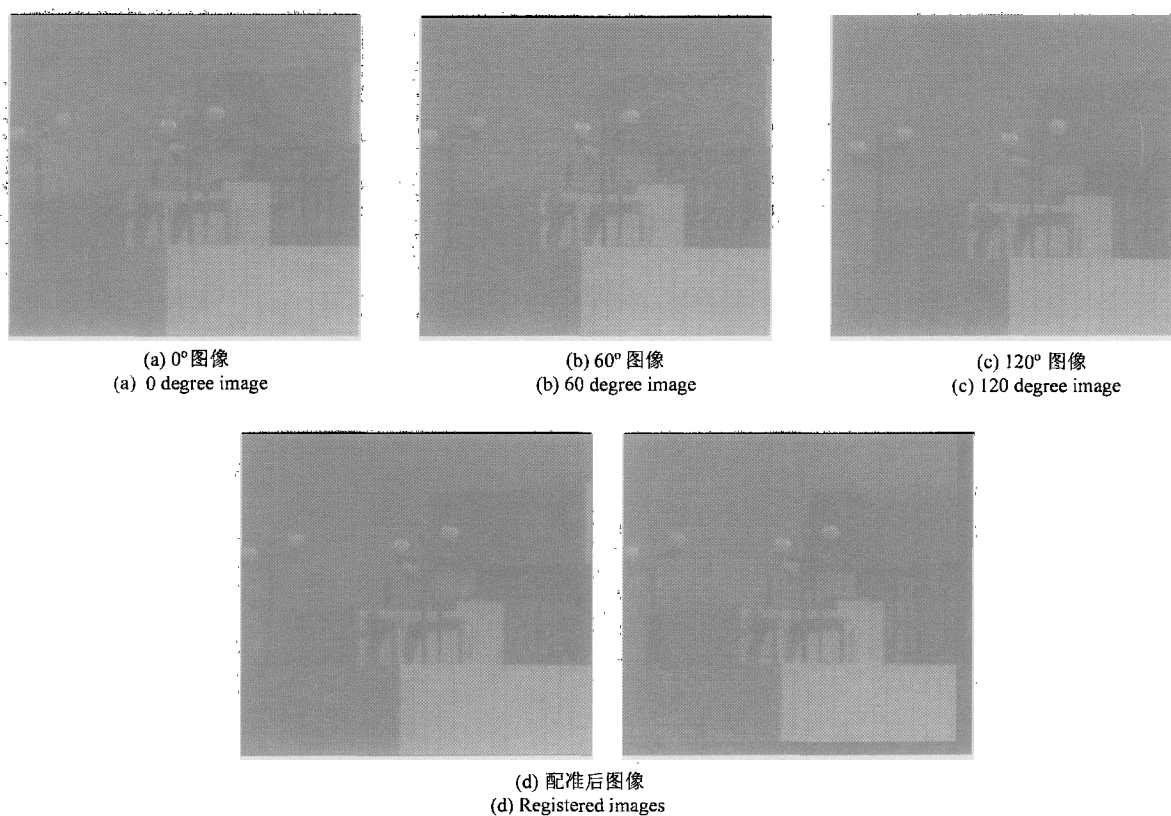


图 4 原始图像和配准后图像

Fig.4 Original polarization images and registered images

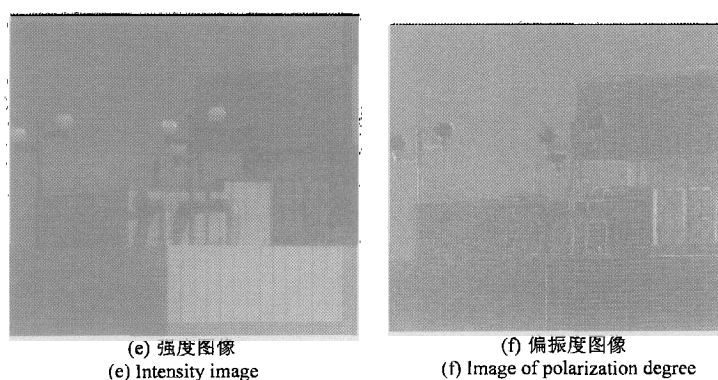


图 5 强度图像和偏振度图像

Fig.5 Images of intensity and polarization degree

5 结论

文中介绍了相位相关配准方法的基本原理, 并将该方法应用于偏振图像配准。然后对配准算法进行了验证, 实验结果证明了相位相关方法的优点, 即: 对噪声有一定的抑制性, 对图像灰度变化不敏感。最后给出了偏振图像的配准实例及合成的强度和偏振度图像。

参考文献:

- [1] Kuglin C D, Hines D C. The phase correlation image alignment method[C]. *Proceeding of 1975 IEEE International Conference on Cybernetics and Society*, 1975: 163~165.
- [2] Brown L G. A survey of image registration techniques[J]. *ACM, Computing Surveys*, 1992, **24**(4): 325~376.
- [3] Reddy B S, Chatterji B N. An FFT-Based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration[J]. *IEEE Trans. Image Processing*, 1996, **5**(8): 1266~1271.
- [4] Chen Q S, Defrise M, Deconinck F. Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition[J]. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, **16**(12): 1156~1168.
- [5] Shekarforoush H, Berthod M, Zerubia J. Subpixel image registration by estimating the polyphase decomposition of cross power spectrum[C]. *Compute Vis Pattern Recognition*, Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 1996: 532~537.
- [6] Kim S P, Su W Y. Subpixel accuracy image registration by spectrum cancellation[C]. *Proc. ICASSP*, 1993: 153~156.
- [7] Stone H S, Orchard M T, Martucci S A, et al. A fast direct Fourier-based algorithm for sub-pixel registration of images[J]. *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, 2001, **39**(10): 2235~2243.
- [8] Persons C M, Chenault D B, et al. Automated registration of polarimetric imagery using Fourier transform techniques[C]. *Proc. SPIE*, 2002, **4819**: 107~117.
- [9] Kerller Y, Averbuch A. Robust Phase Correlation[C]. *Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, 2004, **2**: 740~743.
- [10] Cao Hanjun, Qiao Yanli, et al. Characterization and analysis of polarization images in remote sensing[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 2002, **19**(4): 373~378(in Chinese).
曹汉军, 乔延利, 等. 偏振遥感图像特性表征及分析[J]. *量子电子学报*, 2002, **19**(4): 373~378.

作者简介: 田 光 (1978-), 男, 安徽光机所硕士研究生, 主要从事偏振图像处理。