

基于傅里叶变换的遥感图像配准算法*

强赞霞^{1,2}, 彭嘉雄¹, 王洪群¹

(1. 华中科技大学 图像识别与人工智能研究所 图像信息处理与智能控制教育部
重点实验室, 湖北 武汉 430074; 2. 昆明理工大学 信息与自动化学院, 云南 昆明 650051)

摘要:提出了一种基于傅里叶的遥感图像自动配准方法, 图像间的变化包括平移、旋转及比例变化。该方法是傅里叶相位相关技术的扩展, 其主要优点是在不需要寻找控制点和传感器参数的情况下进行图像自动配准。通过对数-极坐标变换、利用傅里叶变换的比例特性和旋转特性搜索图像间的比例和旋转变化, 利用傅里叶的相位相关技术(能量谱)确定图像间的平移关系, 实验结果表明了此方法的可行性和有效性。

关键词:傅里叶变换; 遥感图像; 图像配准; 相位相关

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2004)04-0385-03

Remote sensing image registration algorithm based on FFT*

QIANG Zan-xia^{1,2}, PENG Jia-xiong¹, WANG Hong-qun¹

(1. State Education Commission Key Laboratory of Image Processing & Intelligent Control,
Institute for Pattern Recognition & Artificial Intelligent, Huazhong University of Science & Technology,
Wuhan 430074, China; 2. The Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of
Science and Technology, Kunming 650051, China)

Abstract: An automated FFT-based technique is proposed for registration of remote sensing images having different spatial resolution and relative rotation and shift. The proposed method is an extension of the phase correlation technique. The main characteristic of the algorithm is to align two images automatically without requiring either control points or sensor's parameters. Fourier scaling properties and rotational properties are used to find scale and rotational movement by log-polar coordinate transform. The phase correlation technique determines the translation movement. Experimental results show that satisfactory effect has been obtained by applying the method.

Key words: Fourier transform; Remote sensing image; Image registration; Phase correlation

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2003-10-13

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60085002); 国防科技重点实验室基金资助项目(51483040103JW0515)

作者简介: 强赞霞(1972-), 女, 河南灵宝人, 博士生, 主要从事图像处理、信息融合及目标识别与检测等研究。

0 引言

空间遥感作为一种获取全球性综合信息的重要手段,其优势已日见明显。不同的遥感数据具有不同的空间分辨率、波谱分辨率和时相分辨率。图像融合技术能够加工、协同、利用多源信息,使不同形式的信息互相补充,可以获得对同一事物或目标的更客观、更本质的认识^[1]。图像空间配准是多源遥感图像融合中非常重要的一步,其误差大小直接影响融合结果的有效性。它是进行多源遥感图像数据融合的前提与基础。

图像配准的方法可分为:直接利用图像灰度值的方法,如相关方法;利用频域的方法,如基于快速傅里叶变换的方法;基于图像特征的方法,如边缘、角点方法;以及基于区域的方法等。

针对遥感图像背景复杂、特征提取困难等问题,提出了利用傅里叶域的方法自动配准遥感图像(包括平移、旋转和比例放大)。傅里叶方法不同于其他的配准方法,它根据频率域中的信息搜索最佳匹配,通过对相位相关技术的扩展,可直接求出图像间的变化参数,快速实现图像自动配准。

1 理论^[2~4]

首先给出傅里叶变换的旋转、平移、比例放大特性,及如何利用这些特性进行遥感图像配准。

1.1 平移变化

如果图像 $f_2(x, y)$ 是图像 $f_1(x, y)$ 经平移 (x_0, y_0) 后的图像,即 $f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0)$, 则对应的傅里叶变换 F_1 和 F_2 的关系为:

$$F_2(\xi, \eta) = e^{-j2\pi(\xi x_0 + \eta y_0)} F_1(\xi, \eta) \quad (1)$$

且对应频域中两个图像的互能量谱为:

$$\frac{F_1(\xi, \eta) F_2^*}{|F_1(\xi, \eta) F_2^*|} = e^{j2\pi(\xi x_0 + \eta y_0)} \quad (2)$$

式中 F_2^* 为 F_2 的复共轭。平移理论表明,互能量谱的相位等于图像间的相位差。通过对互能量谱进行反变换,就可得到一个冲击函数 $\delta(x - x_0, y - y_0)$ 。

此函数在偏移位置处有明显的尖锐峰值。其他位置的值得接近于零,所以据此就能找到两图像间的偏移量。

1.2 没有尺度变化的旋转特性

如果 $f_2(x, y)$ 是 $f_1(x, y)$ 经平移 (x_0, y_0) 、旋转 θ_0 得到的图像,即:

$$f_2(x, y) = f_1(x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 - x_0, -x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0 - y_0) \quad (3)$$

根据傅里叶的旋转和平移特性,变换后两图像间的关系为:

$$F_2(\xi, \eta) = e^{-j2\pi(\xi x_0 + \eta y_0)} F_1(\xi \cos \theta_0 + \eta \sin \theta_0, -\xi \sin \theta_0 + \eta \cos \theta_0) \quad (4)$$

假定 M_1, M_2 为 F_1 和 F_2 的能量,则:

$$M_2(\xi, \eta) = M_1(\xi \cos \theta_0 + \eta \sin \theta_0, -\xi \sin \theta_0 + \eta \cos \theta_0) \quad (5)$$

由公式(5)可以看出, F_1 和 F_2 的能量是相同的,不过其中一个另一个旋转后的副本。直角坐标中的旋转对应着极坐标系角度的平移。因此将公式(5)进行极坐标描述为:

$$M_1(\rho, \theta) = M_2(\rho, \theta - \theta_0) \quad (6)$$

进而利用相位相关理论,可得到 θ_0 。

1.3 带比例放大的变换特性

如果 f_1 为 f_2 分别在水平和垂直方向上进行比例缩放后的图像,缩放因子为 (a, b) , 根据傅里叶尺度变换特性,有:

$$F_2(\xi, \eta) = \frac{1}{ab} F_1(\xi/a, \eta/b) \quad (7)$$

通过对数轴变换,比例变换可转换为平移变换(忽略乘积因子 $1/ab$):

$$F_2(\log \xi, \log \eta) = F_1(\log \xi - \log a, \log \eta - \log b) \quad (8)$$

上式可写成:

$$F_2(x, y) = F_1(x - c, y - d) \quad (9)$$

式中 $x = \log \xi, y = \log \eta, c = \log a, d = \log b$ 。则平移 (c, d) 可通过相位相关技术得到,尺度因子 (a, b) 由 (c, d) 得到:

$$a = e^c, \quad b = e^d \quad (10)$$

如果 (x, y) 尺度变化为 $(x/a, y/a)$, 则其极坐标可描

述为:

$$\rho_1 = (x^2 + y^2)^{1/2} \quad \theta_1 = \arctan(y/x) \quad (11)$$

$$\rho_2 = ((x/a)^2 + (y/a)^2)^{1/2} = \rho_1/a$$

$$\theta_2 = \arctan((y/a)/(x/a)) = \theta_1 \quad (12)$$

进而,如果 f_1 为 f_2 经平移、旋转和比例缩放后的图像,则它们的极坐标描述的能量谱间的关系为:

$$M_1(\rho, \theta) = M_2(\rho/a, \theta - \theta_0) \quad (13)$$

$$M_1(\log \rho, \theta) = M_2(\log \rho - \log a, \theta - \theta_0) \quad (14)$$

$$M_1(\xi, \theta) = M_2(\xi - d, \theta - \theta_0) \quad (15)$$

式中 $\xi = \log \rho; d = \log a$ 。利用上式和相位相关技术可得到比例因子 a 和旋转角 θ , 分别对要配准的图像进行比例变换和旋转后,再利用相位相关技术可求出图像间的偏移量。

2 实 验

由以上讨论可以看出,首先求出比例因子及旋转角,按此值对欲配准图像变换后,求出平移量,再进行变换可得到配准好的图像。具体步骤如下:

- (1) 对原始图像进行傅里叶变换,并求出各自的能量。
- (2) 高通滤波。

$$H(\xi, \eta) = (1.0 - X(\xi, \eta))(2.0 - X(\xi, \eta)) \quad (16)$$

$$X(\xi, \eta) = [\cos(\pi\xi)\cos(\pi\eta)] \quad -0.5 \leq \xi, \eta \leq 0.5 \quad (17)$$

- (3) 将滤波后的各图像的能量转换成对数一极坐标形式,并求其互能量谱,得到比例系数及旋转角。
- (4) 将欲配准的图像经旋转、比例放大后再与参考图像一起计算互能量谱,从而得到平移量。

基于傅里叶配准过程如图 1 所示。

按照以上步骤,用 Matlab 进行编程,首先对一幅航空图片(图 2)和已与地面配准好的正色摄影图即参考图像(图 3)进行配准。用文中的算法计算出的旋转角、比例因子及平移量分别为 11.25° 、 1.085 、 $(33, 40)$ 。然后将航空图像按 -11.25° 、 1.085 、 $(-33, -40)$ 进行变换,其配准效果如图 4 所示。

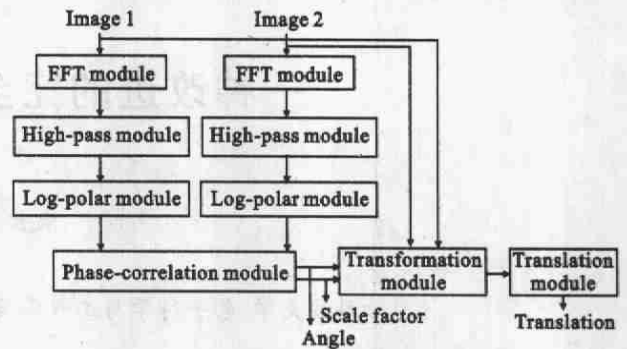


图 1 基于傅里叶变换的配准过程

Fig. 1 Registration procedure based on FFT algorithm



图 2 欲配准的航空图像

Fig. 2 Aerial image(input image)



图 3 参考图像

Fig. 3 Reference image



图 4 图像配准效果

Fig. 4 Resultant image

为了验证本方法的普适性及精度,本文将武汉市局部图作为参考图像(见图 5),按指定值进行变换的图像(见图 6)作为待配准图像,配准结果如图 7、图 8 所示,该算法得出的变换参数与指定值的比较结果如表 1 所示。

表 1 变换参数比较结果

Tab. 1 Comparison of transform parameters

	Rotation / °	Scale factor	Translation/pixel
Original value	10	2	(0, 0)
Estimated value	9.8438	1.9835	(-1, -2)

(下转第 413 页)

实验表明:本系统对干涉条纹形状没有特殊要求,在 $100\text{wave} \cdot \text{Hz}$ 以下振动环境中,可正常进行移相测量,测量误差不明显。在工厂和科研院所的实验中,干涉仪能正常进行采样、补偿、计算,取得了较满意的结果。但是由于系统是用光强计算相位的,因而对激光光源和环境光强的变化比较敏感,有待进一步研究。

参考文献:

[1] Winzinowich P. Phase shifting interferometry in the presence of

vibration: a new algorithm and system[J]. Appl Opt, 1990, 29 (22):3271-3279.

[2] 吴新民,陈进榜. 用干涉法测量压电陶瓷(PZT)的动态频率响应特性[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(3):203-206.

[3] 朱日宏,陈进榜,王青,等. 移相干涉术的一种新算法:重叠平均法[J]. 光学学报, 1994, 14(2):1288-1293.

[4] 张国雄,沈生培. 精密仪器电路[M]. 北京:机械工业出版社, 1988.

[5] 张雄伟. DSP 芯片原理与开发应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.

[6] 何勇,王青,朱日宏,等. Windows 环境下干涉图像采集和处理[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(2):203-206.

(上接第 387 页)



图5 武汉市局部图(参考)

Fig. 5 Partial image of Wuhan

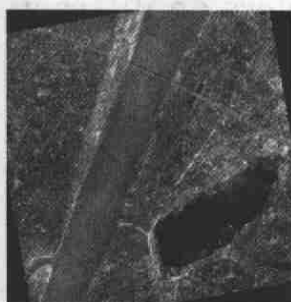


图6 按指定值变换后图

Fig. 6 Transformed image with designate value



图7 配准后的图

Fig. 7 Registered image



图8 叠加结果图

Fig. 8 Combined images

相位平移理论进行扩展用于求取图像间的旋转角、比例变换及偏移量,避免了寻找控制点对带来的烦琐与误差。尤其是遥感图像,背景复杂、轮廓不明显、特征提取困难,利用傅里叶变换可解决以上问题。通过两组实验验证了该方法的可行性和有效性。

参考文献:

[1] 朱述龙,张战睦. 遥感图像获取与分析[M]. 北京:科学出版社, 2000.

[2] Harold S Stone, Michael T Orchard, Ee-Chien Chang, et al. A fast direct Fourier-based algorithm for subpixel registration of images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(10): 2235-2243.

[3] Srinivasa Reddy B, Chatterji B N. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(8): 1266-1271.

[4] Harold S Stone, Robert Wolpov. Blind cross-spectral image registration using prefiltering and Fourier-based translation detection [J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2002, 40(3): 637-650.

3 结论

提出了一种基于傅里叶变换的图像配准方法,将