

# Fourier-Mellin 变换不同时相遥感影像自动配准研究

李锐<sup>1,2,3</sup>, 王卷乐<sup>2</sup>, 郭复胜<sup>4</sup>, 杜锦华<sup>3</sup>

LI Rui<sup>1,2,3</sup>, WANG Juan-le<sup>2</sup>, GUO Fu-sheng<sup>4</sup>, DU Jin-hua<sup>3</sup>

1.河南大学 环境与规划学院,河南 开封 475000

2.中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,北京 100101

3.中国人民解放军 75711 部队

4.中国科学院 自动化研究所 模式识别国家重点实验室,北京 100080

1.College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng, Henan 475000, China

2.State Key Lab of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences & Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3.Unit 75711 of the Chinese PLA, China

4.National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

E-mail: lirui@reis.ac.cn

**LI Rui, WANG Juan-le, GUO Fu-sheng et al. Automatic registration method for different temporal remote sensing images on improved Fourier-Mellin algorithm. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(16): 178-181.**

**Abstract:** Multi-temporal remote sensing image registration is the key step of change detection and because of the remarkable difference and the unknown of sensor parameters, the automatic registration of different temporal remote sensing images is very difficult. Image registration based on Fourier-Mellin Transform (FMT) is a global and phase correlation method, which is based on Fourier and Log-polar transform. This method finds the transformation parameters for registration of the images while working in the frequency-domain and is resilient to noise, occlusions and so on. This paper proposes an improved approach based on Fourier-Mellin algorithm for the registration. Spectrum aliasing and resampling interpolation will bring errors during Fourier-Mellin transform. To get a better registration result, the paper has improved it by adding window function and filtering to reduce spectrum aliasing and increase the robustness.

**Key words:** Fourier-Mellin Transform (FMT); China-Brazil Earth Resources Satellites (CBERS); registration

**摘要:** 多时相遥感影像配准是变化检测的关键步骤。由于不同时相的遥感影像差异,且在传感器参数未知情况下,很难完成其自动配准。基于傅里叶-梅林变换(Fourier-Mellin Transform, FMT)影像配准其实就是基于傅里叶变换和对数极变换的全局相位相关。这种方法在进行频域计算时找到了配准的变换参数,并且对噪声和遮挡等很鲁棒。提出了一种基于 Fourier-Mellin 算法的改进配准方法。Fourier-Mellin 变换由于旋转的频谱混叠和旋转变换中插值误差而产生错误。为了得到更好的配准结果,通过加窗和滤波来提高峰值、减少频谱混叠、增加鲁棒性。

**关键词:** 傅里叶-梅林变换(FMT); 中巴资源卫星(CBERS); 配准

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.16.052 **文章编号:** 1002-8331(2010)16-0178-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP75

## 1 引言

多时相遥感图像变化检测已经在国民经济和国防建设领域得到广泛应用。通过分析同一地域不同时相的遥感图像,变化检测提供地物发生变化的信息,用于资源和环境监测、战场态势分析以及打击效果评估等。图像配准指的是将取自同一目标区域的两幅或多幅图像在空间位置上最佳匹配起来,这些图像或者是由同一传感器在不同时相获取的,或者是来自不同的传感器。文献[1]综述了近年来影像配准的常用方法。

图像配准的方法有多种,常用的有基于像素灰度、结构、控制点和传感器参数等<sup>[2]</sup>。由于不同时相的遥感影像差异,在传感器参数未知情况下,很难完成其自动配准。

自动配准的方法可以分为空间域和频域两类。

空间域方法主要考虑图像域、匹配强度模式和特征<sup>[3]</sup>。很多特征配准算法(如 SIFT<sup>[4]</sup>和矩<sup>[5]</sup>)都是由传统手工配准方法改进而来的,手工方法需要作业者在两幅影像上分别选取多个控制点。定义恰当的变换模型有一个所需控制点最小数,当控制点

**基金项目:** 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.40771146, No.40801180) 地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金资助项目。

**作者简介:** 李锐(1979-),女,博士研究生,主要研究方向为 GIS、遥感图像处理。

**收稿日期:** 2010-01-27 **修回日期:** 2010-03-26

的个数超过这个最小数时,就可以使用像 RANSAC 这样的迭代算法鲁棒地估计影像配准中特殊变换类型(如仿射变换)的参数。文献[6]阐述了一种新的特征匹配方法,这种方法通过一种功能来实现,这种功能的自变量为匹配模型,该模型应用地物的空间关系和物理特征相似性描述了特征之间的相似度。如果被校准影像和参考影像完全匹配,那么方法中的全局最大值的假设就成立。

在变换区间内进行计算时,频域方法找到了影像配准的变换参数。这种方法只对简单的变换有效,如平移、旋转和尺度变换。利用相位相关技术[7]对两幅影像进行处理时,产生了含有单峰值的第三个影像,峰值的位置与影像间的平移量相对应。和空间域算法不同,相位相关法对噪声和遮挡很鲁棒。另外,相位相关法利用快速傅里叶变换来计算两幅影像间的互相关,极大提高了效率。这种方法可以将两幅影像转换成对数极坐标,然后计算它们之间的旋转角度和尺度差异。由于傅里叶变换的这种特性,旋转角度和尺度因子可以通过平移量不变来确定。

在遥感影像配准中,互信息也是众多学者研究的一个方向[8-10],多传感器和多时相的影像配准具有特殊的鲁棒性。变换利用了穷举搜索,将互信息设为最大值,但是这种方法却效率不高,计算时间长。

基于 Fourier-Mellin 变换的影像配准利用了全局相位相关方法[11-12],这种方法的理论基础是傅里叶变换和对数极变换。该方法在进行频域计算时找到了配准的变换参数,并且对噪声和遮挡等很鲁棒,所以很适合用于多时相的影像配准。提出了一种基于 Fourier-Mellin 算法的改进方法。Fourier-Mellin 变换由于旋转的频谱混叠和旋转变换中插值误差而产生错误。为了得到更好的配准结果,通过加窗和滤波来提高峰值、减少频谱混叠、增加鲁棒性[13-14]。为了检验这一方法,做了多个实验。

## 2 基于 Fourier-Mellin 算法配准的原理

影像配准是将同一地区两幅相似的影像对准后寻找两幅影像的同名点的过程。对准包括旋转、平移和尺度变换,有关影像配准的研究文献都阐述了相位相关技术的有效性[15]。

基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准算法是一种经典的基于非特征的图像配准方法,可对两幅近似满足相似变换(即一幅图像是另一幅图像经过平移、旋转和比例缩放等变换后的图像)的图像进行配准[16]。

相位相关(phase-correlation)是用于配准图像的平移变换的典型方法,其依据是 Fourier 变换的特性。设  $f_2(x, y)$  为  $f_1(x, y)$  在  $x$  和  $y$  方向分别平移  $x_0$  和  $y_0$  后的图像,即

$$f_2(x, y) = f_1(x - x_0, y - y_0) \quad (1)$$

则它们之间的傅里叶变换  $F_1(u, v)$  和  $F_2(u, v)$  满足下式:

$$F_2(u, v) = \exp(-j2\pi(ux_0 + vy_0)) * F_1(u, v) \quad (2)$$

设  $G(u, v)$  是  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  的互能量谱,则

$$G(u, v) = \frac{F_1(u, v) F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v) F_2^*(u, v)|} \quad (3)$$

$$G(u, v) = \exp(j2\pi(ux_0 + vy_0)) \quad (4)$$

通过对式(4)进行傅里叶逆变换,得到一个冲击函数,该函数在其他各处为 0,只在平移的位置上不为 0(脉冲位置即为两幅被配准图像间的相对平移量  $x_0$  和  $y_0$ )。旋转在傅里叶变换中是一个不变量。根据傅里叶变换的旋转性质,旋转一幅图像,在

频域相当于对其傅里叶变换做相同角度的旋转。如果两幅图像  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  间有平移、旋转和尺度变换,设平移量为  $(x_0, y_0)$ , 旋转角度为  $\theta$ , 尺度变换为  $r$ , 则有

$$f_2(x, y) = f_1(xr \cos \theta + yr \sin \theta - x_0, xr \sin \theta + yr \cos \theta - y_0) \quad (5)$$

则它们的傅里叶变换满足:

$$F_2(u, v) = \exp(-j2\pi(ux_0 + vy_0)) * F_1(ur \cos \theta + vr \sin \theta, -ur \sin \theta + vr \cos \theta) \quad (6)$$

令  $M_1$  和  $M_2$  分别为  $F_1(u, v)$  和  $F_2(u, v)$  的模,对上式取模得到:

$$M_2(u, v) = M_1(ur \cos \theta + vr \sin \theta, -ur \sin \theta + vr \cos \theta) \quad (7)$$

当  $r=1$  时,两图像间仅有平移和旋转变换。此时可以看出两个频谱的幅度是一样的,只是有一个旋转关系。通过对其中一个频谱幅度进行旋转,用最优化方法寻找最匹配的旋转角度就可以确定。

当  $r \neq 1$  时,对式(6)进行极坐标变换,可以得到

$$M_2(\rho, \phi) = M_1(r\rho, \phi - \theta) \quad (8)$$

对第一个坐标进行对数变换,得到

$$M_2(\lg \rho, \phi) = M_1(\lg r + \lg \rho, \phi - \theta) \quad (9)$$

变量代换后写为:

$$M_2(\omega, \phi) = M_1(\omega + \eta, \phi - \theta) \quad (10)$$

式中  $\omega = \lg \rho$ ,  $\eta = \lg r$ 。

这样,通过相位相关技术,可以一次求得尺度因子  $r$  和旋转角度  $\theta$ ,然后根据  $r$  和  $\theta$  对原图像进行缩放和旋转校正,再利用相位相关技术求得平移量[17]。

## 3 Fourier-Mellin 变换的改进和实验方法

基于 Fourier-Mellin 变换的配准算法有一个基本前提,即一幅图像旋转一定角度后的傅里叶变换频谱等价于未经旋转的图像的傅里叶变换频谱旋转相同的角度。文献[18]对由于图像旋转产生的频谱混叠所引起的图像配准噪声进行了详细分析,并且推导出,虽然对无限长连续图像而言,这个假设是正确的,但是对于有限长离散图像数据而言,这个基本前提是不正确的。主要是由于旋转的频谱混叠和旋转变换中的插值误差而产生错误。文献[18]得出的结论是:(1)相位相关法求得的峰值并不能可靠地对应正确的旋转角度位置;(2)应用相位相关法求得的峰值大大小于理论值 1.0,一般来说降到了 0.03 以下。一般的改进方法是加窗或者滤波等措施增加峰值,减少频谱混叠,增加配准算法的鲁棒性[12, 18-19]。

对两幅遥感影像进行配准的时候通常不考虑尺度问题。整个算法描述如下:(1)分别计算基准影像和待配准影像的傅里叶变换频谱;(2)高通滤波;(3)对(2)进行对数极变换;(4)利用相位相关求得被校准图像的旋转角度和尺度缩放因子。算法流程图如图 1。因为得到的角度有  $180^\circ$  的差异,所以需要进一步的区分,流程图如图 2。

## 4 实验过程

下面给出了该文介绍的配准方法与 SIFT 自动配准以及手工配准的实验对比结果。

### 4.1 实验数据

该文使用 2000 年和 2007 年上海地区的 CBERS-02 数据,影像分辨率为 19.5 m。城镇用地的变化很明显。实验区的影像如图 3 所示。

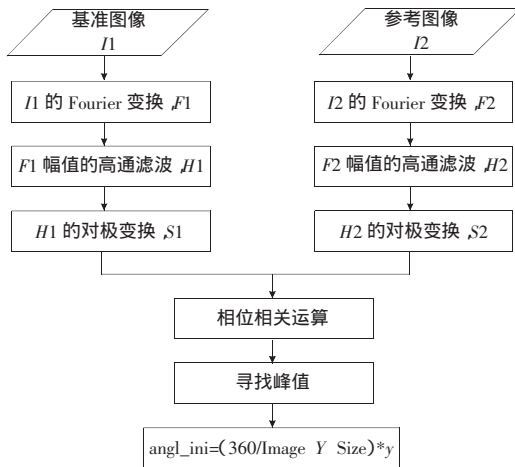


图1 算法流程图

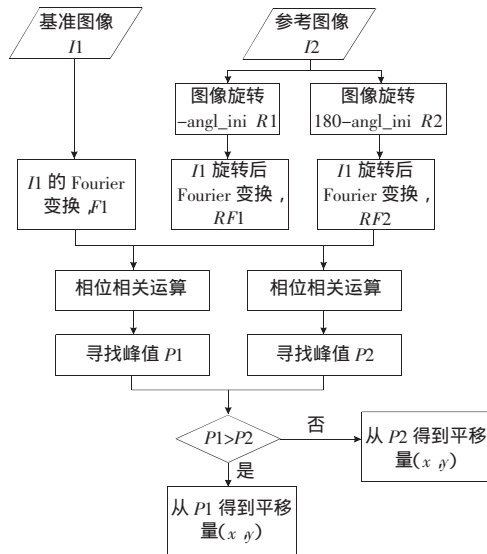


图2 进一步的区分流程图

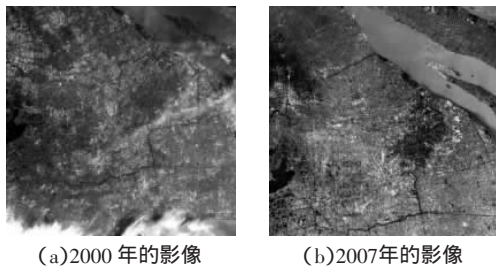


图3 实验数据

此次研究的影像是正射影像,没有尺度和旋转变换,只有平移变换。实验过程中 Fourier-Mellin 变换的结果如图 4 所示。

待配准影像相对基准影像的变化量是(-14, -168), 旋转角度为 0°。

#### 4.2 用模拟未对准的影像进行实验

从 2000 年的影像里裁剪了一小块, 逆时针旋转 15° 后进行平移。配准结果如图 5 所示。

待配准影像相对于基准影像的平移量是(184, -78), 单位像素, 旋转角度为 345.15°。

#### 4.3 与其他方法比较

分别用手工配准和 SIFT 进行配准, 结果如表 1。

实验结果显示, 利用 SIFT 自动配准和 RANSAC 这两种方

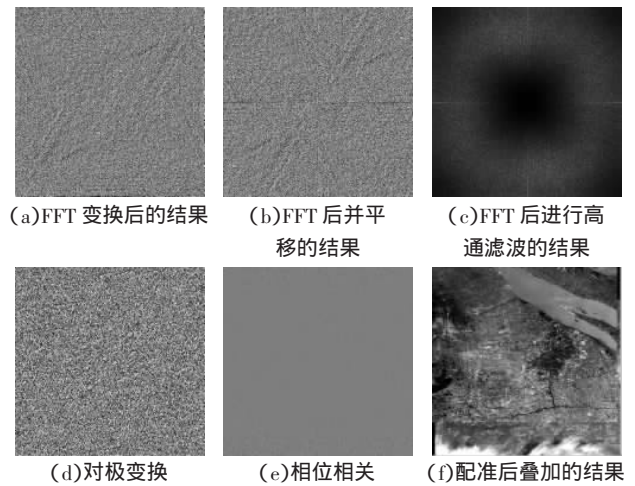


图4 实验过程图

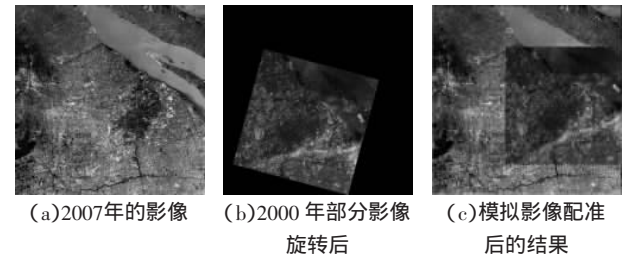


图5 用模拟未对准的影像进行实验

表1 实验结果对比

方法	平移量/pixel	旋转角度/(°)	所用的时间(估计值)/s
该文方法	(6.410)	0	9.007 110
SIFT	未成功	未成功	244.618 291
手工配准	(6.1409.3)	0.100 7	约 600

法都未成功。使用 Fourier-Mellin 变换的方法完成了自动配准, 其结果和手工配准的方法基本吻合。

由于存在很多错误的匹配描述符, 基于 SIFT 和 RANSAC 的方法都没有成功。遥感影像的不同获取时间而产生的差异是这两个实验失败的原因。此外, 也估算了手工配准所需的时间。

### 5 结论

介绍了利用改进的 Fourier-Mellin 算法对不同时相遥感影像进行自动配准的方法。与其他配准方法相比, 该文方法可以很好地解决遥感影像的自动配准问题。实验精度令人满意, 鲁棒性也优于其他算法。此外, 把遥感影像转成了灰度影像, 并且去掉了波段信息。在下一步的工作中, 将在利用全波段信息进行高精度影像配准方面做更深入的研究。

### 参考文献:

- [1] Zitova B, Flusser J. Image registration methods: A survey [J]. Image and Vision Computing 2003 21: 977-1000.
- [2] Image registration [EB/OL]. [2010]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Image\\_registration](http://en.wikipedia.org/wiki/Image_registration).
- [3] Li H, Manjunath B S, Mitra S K. A contour-based approach to multisensor image registration [J]. IEEE Trans Image Process 1995 4 (3): 320-334.
- [4] Li Qiao-liang, Wang Guo-you, Liu Jian-guo. Robust scale invariant feature matching for remote sensing image registration [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters 2009 6(2): 287-291.



- [5] Flusser J, Suk T.A moment-based approach to registration of images with affine geometric distortion[J].IEEE Trans Geosci Remote Sens, 1994, 32(3): 382-387.
- [6] Wen Gong-jian, Lv Jin-jian, Yu Wen-xian.A high performance feature-matching method for image registration by combining spatial and similarity information[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2008, 46(4): 1266-1277.
- [7] De Castro E, Morandi C.Registration of translated and rotated images using finite Fourier transforms[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(5): 700-703.
- [8] Kern J P, Pattichis M S.Robust multispectral image registration using mutual information models[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 2007, 45.
- [9] Chen H M, Varshney P K.Performance of mutual information similarity measure for registration of multitemporal remote sensing images[J].IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11): 2445-2454.
- [10] Johnson K, Cole-Rhodes A, Zavorin I et al.Mutual information as a similarity measure for remote sensing image registration[C]//Proc SPIE Aerosense 2001, Geo-Spatial Image and Data Exploitation II, Orlando, FL, Apr 2001, 4383: 51-61.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Li Xiao-ming, Zhao Xun-po.An image registration technique based on Fourier-Mellin transform and its extended applications[J].Chinese Journal of Computers, 2006(3).
- [14] Hutchison L A D, Barrett W A.Fast registration of tabular document images using the Fourier-Mellin transform[C]//First International Workshop on Document Image Analysis for Libraries, DIAL'04, 2004: 253.
- [15] 倪国强, 刘琼.多源图像配准技术分析与展望[J].光电工程, 2004, 31(9): 1-6.
- [16] 李晓明, 郑链, 胡占义.一种基于学习的自动图像配准检验方法[J].自动化学报, 2008, 34(1): 7-13.
- [17] 马金福, 薛弘晔.基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准算法及性能研究[J].计算机与数字工程, 2008(11).
- [18] Stone H S, Tao Bo, McGuire M.Analysis of image registration noise due to rotationally dependent aliasing[J].Journal of Visual Communication and Image Representation, 2003, 14: 114-135.
- [19] Lucchese L, Cortelazzo G M.High resolution estimation of planar rotations based on Fourier transform and radial projection[C]//Proc ISCAS 97, 1997, 2: 1181-1184.
- [20] Guo Xiao-xin, Xu Zhi-wen.An application of Fourier-Mellin transform in image registration proceedings[C]//The Fifth International Conference on Computer and Information Technology, CIT'05, 2005.
- [21] Ghorbel F.A complete invariant description for gray-level images by the harmonic analysis approach[J].Pattern Recognition Letters, 1994, 15: 1043-1051.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 郑志彬, 叶中付.基于相位相关的图像配准算法[J].数据采集与处理, 2006, 21(4).

(上接 165 页)

拟合的分数基音搜索的运算复杂度远低于现有的插值法, 总运算量只是后者的 1/25。另一方面, 多项式拟合算法无需任何常数表格, 省去了 ROM 存储空间, 而插值法需要使用 ROM 存储常数表格。同时, 随着  $D$  的增大, 现有方法需要更大的差值表, 计算、比较更多的插值点, 其存储器消耗和复杂度将随  $D$  线性增加, 而多项式拟合方法不存在这样的缺点。

表 2 运算复杂度

算法	加减	乘	除	比较	合计
拟合	3	2	1	0	6
插值	88	56	0	7	151

#### 4 结语

提出一种多项式拟合分数基音估计算法, 并与现有的采样函数差值分数基音估计算法进行理论分析对比, 同时结合 AMR-WB 编码器进行实验验证, 结果表明该文算法与现有算法有相当的长时预测 LTP 增益, 并且最终的编码音质几乎不可区分, 其运算复杂度只有现有算法的 1/25, 且不需要任何常数表。因此可应用于 AMR-WB 等语音编码器中。

该文算法允许动态调整分数基音的分辨率, 即插值因子

$D$ 。但是语音信号的局部特征与一定码率约束下最佳分数基音分辨率间的关系还没有明确的结论, 没有实现自适应的分辨率调整, 从而提高语音编码的效率, 这方面需要进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] Atal B S.The history of linear prediction[J].IEEE Signal Processing Magazine, 2006, 23(2): 154-161.
- [2] Kroon P, Atal B S.Pitch predictors with high temporal resolution[C]//International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE, 1990.
- [3] Kroon P, Atal B S.On the use of pitch predictors with high temporal resolution[J].IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(3): 733-735.
- [4] Galand C R, Menez J E, Rosso M M.Adaptive code excited predictive coding[J].IEEE Transactions on Signal Processing, 1992, 40(6).
- [5] Bessette B, Salami R, Lefebvre R et al.The adaptive multirate wideband speech codec(AMR-WB)[J].IEEE Trans on Speech and Audio Process, 2002, 10(8): 620-636.
- [6] ITU Rec P 830 Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs[S], 1996.