

# 基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法及应用拓展

李晓明<sup>1),2)</sup> 赵训坡<sup>3)</sup> 郑 链<sup>1)</sup> 胡占义<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(北京理工大学机电工程学院 北京 100081)

<sup>2)</sup>(山西大学数学系 太原 030006)

<sup>3)</sup>(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)

**摘 要** 从两个方面拓展了基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法的应用范围. 首先是全景图像的拼接. 不同于传统的方法, 该方法不需要准确控制相机的运动, 不需要知道相机的焦距等内部参数, 也不需要检测图像特征, 在配准精度要求不是很高的情况下, 直接生成的全景图像可以满足很多实际应用的需要; 同时, 实验也表明, 该方法应用于弱透视图像的配准, 也具有很好的配准效果. 另一个拓展是图像曲线的匹配. 传统的曲线匹配方法一般通过曲线特征点(如角点、曲率极值点等)之间的对应求得曲线间的变换参数. 一种新的思想是先将图像曲线转化为二值图像, 然后应用 Fourier-Mellin 变换对这些二值图像进行配准, 从而达到对两条曲线的匹配. 大量实验表明, 该方法对射影畸变不是十分显著且摄像机为一般运动下获得的图像之间的配准问题(如手持数码相机获取的图像之间的配准问题)均能取得比较好的配准效果.

**关键词** 傅立叶变换; Fourier-Mellin 变换; 图像配准; 图像拼接; 曲线匹配

中图法分类号 TP391

## An Image Registration Technique Based on Fourier-Mellin Transform and Its Extended Applications

LI Xiao-Ming<sup>1),2)</sup> ZHAO Xun-Po<sup>3)</sup> ZHENG Lian<sup>1)</sup> HU Zhan-Yi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(School of Mechatronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

<sup>2)</sup>(Department of Mathematics, Shanxi University, Taiyuan 030006)

<sup>3)</sup>(National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** The image registration technique based on Fourier-Mellin transform can be used to register images which are misaligned due to rotation, scaling and translation and find its applications in many different fields thanks to its high accuracy, robustness and low computational cost. In this paper, the technique is extended to two new application fields. The first one is panoramic mosaics. Unlike conventional methods, this technique is capable of successfully building a coarse full view of a large scene without either requiring special hardware to control camera motion or knowing camera's focus length, or detecting image features and their correspondences. The other extended application is of curve matching. In the most traditional curve matching methods, the correspondence of curve features, such as corners, extrema of the curvature etc, should be at first established, and then the matching parameters are computed. Here a new approach is proposed, where the curves matched are at first converted into binary images and then the matching of these binary images is carried out by the Fourier-Mellin transform based registration tech-

收稿日期:2004-11-02;修改稿收到日期:2005-12-01. 本课题得到国家自然科学基金(60121302)和山西省自然科学基金(20051032)资助. 李晓明,男,1965年生,博士研究生,副教授,主要研究方向为图像配准、计算机视觉和模式识别. E-mail: lixm@sxu.edu.cn. 赵训坡,男,1974年生,博士,主要研究方向为计算机视觉和图像处理. 郑 链,男,1942年生,教授,博士生导师,主要研究领域为神经网络和模式识别. 胡占义,男,1961年生,博士,研究员,博士生导师,主要研究领域为计算机视觉和模式识别.

nique. Numerous experiments show that for most of images captured by a hand-held camera, if the projective distortions are not too severe, the registration results are satisfactory.

**Keywords** Fourier transform; Fourier-Mellin transform; image registration; image mosaics; curve matching

## 1 引言

1994 年 Chen<sup>[1]</sup> 等人提出了一种基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法. 该方法假设被配准的两幅图像, 其中一幅是另一幅经过旋转(rotation)、尺度伸缩(scaling)和平移(translation)变换后的图像(本文以后称这种变换为 RST 变换). 该方法通过计算两幅图像功率谱的反 Fourier 变换所对应的峰值位置求取它们的相对平移, 通过对图像幅度谱进行对数-极(Log-Polar)变换, 在对数-极空间用类似于计算相对平移的方法来求得相对旋转角度和尺度缩放因子, 从而实现了满足 RST 变换关系的两幅二维图像之间的配准. Chen<sup>[1]</sup> 和 Reddy<sup>[2]</sup> 等人还就该算法针对遥感图像、医学图像、目标识别等应用进行了大量实验. 结果发现, 该方法除具有较高的精度外, 对诸如一致性的照明变化、两幅图像内容的部分不相同、部分遮挡、系统校正误差、加性噪声等的影响具有很强的鲁棒性, 并且相比其它方法<sup>[3, 4]</sup>, 还具有较少的运算量.

针对该算法的诸多优点, 本文从以下两个不同的侧面, 进一步拓宽了它的应用范围.

(1) 对不满足 RST 变换的图像配准, 以全景图像的拼接为例进行了研究和实验. 结果发现, 对弱透视(weak perspective)图像的配准, 该方法能取得相当满意的配准效果; 对于中等透视图像配准, 仍可得到一个可信的粗配准. 对于需要进一步精配准的情况, 该方法得到的结果可作为精配准的初始估计值. 与传统的图像拼接方法<sup>[5~8]</sup> 相比较, 该方法无需检测图像特征, 鲁棒性强, 计算速度快, 并且降低了对拍摄者和拍摄条件的要求, 简化了理论模型, 具有较强的实用性.

(2) 传统的曲线匹配方法<sup>[9~11]</sup>, 大都以曲线上的特征点(如角点、曲率极值点等)之间的对应关系来计算曲线间的匹配参数. 本文先将图像曲线转化为二值图像, 然后应用该方法计算两幅二值图像间的 RST 变换参数, 从而间接得出曲线间的匹配参数. 大量实验表明, 该方法可以使曲线匹配问题得到

大大简化.

本文第 2 节简述该算法的基本原理; 第 3 节和第 4 节分别就该方法在全景图像拼接和曲线匹配中的应用进行了实验和讨论, 同时也对相应的传统方法做了简单的回顾; 最后一节为全文的总结和展望.

## 2 基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准原理<sup>[1, 2]</sup>

### 2.1 傅立叶变换位移理论

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

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

若  $f_1$  和  $f_2$  对应的傅立叶变换分别为  $F_1(u, v)$  和  $F_2(u, v)$ , 则它们之间有如下关系:

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-j(u x_0 + v y_0)} \quad (2)$$

则  $f_1(x, y)$  和  $f_2(x, y)$  的互功率谱为

$$\frac{F_1(u, v) F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v) F_2^*(u, v)|} = e^{j(u x_0 + v y_0)} \quad (3)$$

其中  $F_2^*$  表示  $F_2$  的复共轭. 可以看出, 互功率谱的相位等价于图像间的相位差. 通过对式(3)进行傅立叶逆变换, 在  $(x, y)$  空间的  $(x_0, y_0)$  处将形成一个脉冲函数, 脉冲峰值位置即为两幅被配准图像间的相对平移量  $x_0$  和  $y_0$ .

### 2.2 应用 Fourier-Mellin 变换计算图像间的相对旋转角度和比例缩放因子

考虑被配准的两幅图像  $s(x, y)$  和  $r(x, y)$ , 其中  $s(x, y)$  是  $r(x, y)$  经过平移、旋转和一致尺度缩放(即两个方向的尺度变换因子相等)变换后的图像, 即

$$s(x, y) = r[(\sigma(x \cos \alpha + y \sin \alpha) - x_0, \sigma(-x \sin \alpha + y \cos \alpha) - y_0)] \quad (4)$$

那么  $s(x, y)$  和  $r(x, y)$  对应的 Fourier 变换  $S(u, v)$  和  $R(u, v)$  之间满足

$$|S(u, v)| = \sigma^{-2} |R[\sigma^{-1}(u \cos \alpha + v \sin \alpha), \sigma^{-1}(-u \sin \alpha + v \cos \alpha)]| \quad (5)$$

其中,  $|\cdot|$  表示频谱幅度. 从式(5)可看出, 旋转角度  $\alpha$  和缩放因子  $\sigma$  可以和与平移量  $x_0$  和  $y_0$  进行分离计

算. 频谱幅度仅与旋转角  $\alpha$  和缩放因子  $\sigma$  有关, 而与平移量  $(x_0, y_0)$  无关, 因此, 可以通过图像幅度谱求出旋转角度  $\alpha$  和缩放因子  $\sigma$ .

定义

$$r_{\rho_1}(\theta, \log \rho) = r_{\rho}(\theta, \rho) \quad (6)$$

$$s_{\rho_1}(\theta, \log \rho) = s_{\rho}(\theta, \rho) \quad (7)$$

其中  $r_{\rho}$  和  $s_{\rho}$  分别是  $r$  和  $s$  在极坐标系  $(\theta, \rho)$  中的幅度谱. 那么很容易得出

$$s_{\rho_1}(\theta, \log \rho) = r_{\rho_1}(\theta - \alpha, \log \rho - \log \sigma) \quad (8)$$

或者

$$s_{\rho_1}(\theta, \lambda) = r_{\rho_1}(\theta - \alpha, \lambda - \kappa) \quad (9)$$

其中  $\lambda = \log \rho$ ,  $\kappa = \log \sigma$ .

可以看出, 通过上述变换, 式(9)变换为与式(1)相同的形式, 这样就可以在对数-极(Log-Polar)空间应用 Fourier 变换位移理论, 按照式(2)和(3), 求得  $\alpha$  和  $\kappa$ .

如果对数的底取为  $e$ , 那么

$$\sigma = e^{\kappa} \quad (10)$$

这样就求出了旋转角度  $\alpha$  和比例因子  $\sigma$ . 根据求出的  $\alpha$  和  $\sigma$  对图像  $s(x, y)$  进行反变换得到图像  $s_1(x, y)$ , 然后通过式(2), (3)在图像空间计算出  $s_1(x, y)$  和  $r(x, y)$  之间的平移量  $x_0$  和  $y_0$ .

式(9)被称为 Fourier-Mellin 变换.

### 3 全景图像拼接

#### 3.1 传统方法回顾

在不同位置、不同方向对大的场景拍摄一组图像, 要求相邻图像间具有一定的重叠区域, 通过对邻接图像的几何对准, 最后缝合在一起可生成全景图像. 全景图像拼接一般包括三个步骤, 即图像获取、图像配准和无缝处理. 本文仅讨论前两个步骤.

对 CCD 数码相机拍摄的序列图片, 最常见的图像拼接方法大体可分为如下两大类.

第 1 类是以 8 参数射影变换为理论模型<sup>[6]</sup>的方法. 即邻接图像  $I(x, y)$  和  $I'(x', y')$  间满足如下关系

$$x' = \frac{m_{11}x + m_{12}y + m_{13}}{m_{31}x + m_{32}y + 1}, \quad y' = \frac{m_{21}x + m_{22}y + m_{23}}{m_{31}x + m_{32}y + 1}.$$

其中,  $m_{ij}$  ( $i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$ ) 为常数. 通过在两幅图像重叠区域内自动或手工检测若干对应点  $(x_i, y_i)$  和  $(x'_i, y'_i)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), 并对如下目标函数

$$E = \min \sum_{i=1}^n [I'(x'_i, y'_i) - I(x_i, y_i)]^2$$

应用梯度下降法或者 Levenberg-Marquardt 法求得

$m_{ij}$ , 即求得了两幅图像间的变换关系.

这个变换模型适用于两种情况, 一种是拍摄场景为平面时, 如平面文档或平面雕塑等, 这时照相机的运动可沿任意方向平移、旋转; 第二种情况是非平面场景时, 要求定点拍摄, 即在某固定位置拍摄, 这时相机的运动可绕光心作任意方向旋转, 但不允许有平移运动. 该方法的主要特点一个是需要检测很多图像对应点, 而准确检测图像对应点本身就是一个比较困难的问题; 第二是由于梯度下降法和 Levenberg-Marquardt 法一般只能搜索到局部最优解, 因此在此之前一般都需要通过其它方法首先求得一个初始估计值, 也即需要先进行粗配准.

第 2 类代表性的方法是将场景投影到柱面坐标下进行配准和拼接<sup>[6,7]</sup>. 该方法首先要求照相机的运动只能绕光心做水平旋转. 在此前提下, 将场景坐标  $P=(x, y, z, w)$  通过下式映射到 2D 柱面图像坐标, 即映射到新的图像坐标系  $(\theta, v)$ ,  $\theta \in [-\pi, \pi]$ :

$$\theta = \tan^{-1}(x/z), \quad v = y/\sqrt{x^2+z^2}.$$

这样, 将图像转换到柱面坐标  $(\theta, v)$  后, 图像间的变换关系转化成为纯平移关系. 求得相邻图像间的平移量后, 得到的也是柱面坐标下的拼接图像.

此类方法的主要特点是, 首先对相机的运动有严格的限制, 即只能做绕光心的水平旋转, 如果没有辅助器材如三角支撑架等, 是很难办到的; 其次, 必须知道拍摄每幅图像时的焦距, 否则需通过其它方法标定出这个参数, 这在实际拍摄过程中也是非常麻烦的; 第三, 该方法在相邻图像拼接图的“两极”(即图像的上下两端)变形比较严重.

但由于该模型简单, 计算速度快等原因, 目前的很多商用软件, 如 cannon PhotoStitch 3.1 等大都采用这种方法(这时要求用户提供焦距).

另外, 也有部分研究人员对任意场景且对相机的运动不加约束的情况进行了研究<sup>[12]</sup>, 由于相机的运动未知, 故首先要预先标定好相机参数, 如焦距等. 为了提高拼接精度, Sun<sup>[8]</sup> 等人针对第 2 类配准方法中安装在三脚架上相机的旋转运动所引起的误差进行了分析和改进, Sawhney<sup>[5]</sup> 等人还研究了镜头非线性畸变等因素对图像拼接的影响.

总之, 现有的图像拼接技术要么对相机的运动有严格限制, 要么需要知道相机内部参数, 对于第 1 类配准方法一般也要求先进行粗配准这个过程, 而文献[5, 8]中讨论的问题一般用于精度要求非常高的场合, 如某些具有艺术价值的场景拼接.

### 3.2 用本文方法拼接全景图

从本文第 2 节可以看出, Fourier-Mellin 变换方法直接利用了图像的整体频域特性, 是一种基于非特征的图像配准方法, 适用于满足 RST 变换的两幅图像之间的配准. 然而对全景图像的拼接而言, 实际应用中图像之间很难准确满足理想的 RST 变换. 本文试图采用这种方法, 对摄像机一般运动下获得的射影畸变不十分显著的邻接图像进行几何配准. 在本文的所有实验中, 所使用的图像均是手持数码相机

相机获得的图像, 没有使用任何其它设备.

图 1 为某公园中心湖场景拼接图. 站在场景对面某一位置, 并可在小范围内走动, 手持相机拍摄若干幅  $1024 \times 1024$  照片, 如图 1(a) 所示. 选取第二幅图像(选取其它图像也可以)作为基准图像, 采用 RST 变换模型, 通过本文方法计算出相邻图像之间的 RST 变换参数, 然后根据这些参数将其它图像变换到基准图像坐标系下, 最后拼接结果如图 1(b).



(a) 具有部分重叠的中心湖序列照片



(b) 本文方法拼接的中心湖全景图



(c) Canon PhotoStitch 3.1 拼接的中心湖全景图

图 1 北京某公园中心湖全景图拼接实验

由于拍摄距离较远, 这时相邻图像间可近似看作弱透视变换. 可以看出, 尽管相机运动没有严格控制, 相机参数也未知, 光线强弱也有变化, 但采用 RST 变换模型近似实际模型, 所得到的拼接图没有明显的视觉误差.

我们也用 cannon PhotoStitch 3.1 商用软件进行了实验, 由于该软件采用 3.1 节所述的第 2 类方法, 其拼接结果出现了明显的偏差, 这可以从图 1(c) 中间拼接部分清楚地看出.

图 2 是稍强的透视变换下的图像拼接的实验结果. 拟拼接的场景是某大厦西侧. 我们在大厦十层的阳台上, 手持相机拍了若干幅照片, 采用和实验 1 相同的步骤, 但被拍摄目标较大, 拍摄距离较近, 从最终的拼接结果(图 2(b))可看出, 尽管有较小的偏差(这可从相邻照片的接缝处看出), 但其视觉效果还是可以接受的, 这在要求不是很高的场合可作为最终的拼接结果, 而且对了解全局场景仍具有一定的价值.

图 2(c) 为用 cannon PhotoStitch 3.1 商用软件拼接的结果. 其最明显的误差是本来中间两幢垂直平行的楼已经不再保持平行了.

由于篇幅所限, 更多的实验结果可从 <http://nl-pr-web.ia.ac.cn/english/rv/mainpage.html> 下载.

### 3.3 说明和讨论

(1) 我们也对该方法的局限性进行了实验. 在两幅图像具有部分重叠的情况下, 该方法对旋转角度的大小不太敏感, 但对尺度缩放比例有一定的限制. 一般情况下, 当尺度缩放系数超过  $1.75 \sim 1.8$  后, 很难得到正确的配准结果.

(2) 对很弱的透视图像配准, 采用 RST 变换作近似几乎没有什么影响. 对于弱透视图像配准, 该方法仍有较好的近似效果. 在生成全景图像的过程中, 当拍摄距离相对目标尺寸很大时, 可看作这种情况. 典型的应用如远处自然景色场景、遥感图像和航拍图像, 基本都属于这种情况.

(3) 对较强的透视变形, 拼接结果还是有一定误



(a) 具有部分重叠的大厦西侧的场景序列照片



(b) 本文方法拼接的大厦西侧的场景全景图



(c) Canon PhotoStitch 3.1 拼接的大厦西侧的场景全景图

图 2 某大厦西侧的场景全景图拼接实验

差的,如图 2 所示.如果希望得到更精确的配准,采用该方法求得的 RST 变换参数仍可作为进一步通过优化方法进行精配准的初始参数.

(4)当透视变形非常严重时,这种方法不再适用.比如,场景目标和相机之间的距离较近,而且成像视点或姿态变化较大的情况.

(5)还需说明的是,为了使读者能清晰地看到该算法的实用性和局限性,我们对拼接后的全景图未做任何后续处理.

## 4 曲线匹配

### 4.1 传统方法综述

模式识别、计算机视觉和图像处理研究中的许多任务,都涉及到曲线匹配的问题.比如在视觉导航、物体检测、识别和跟踪、卫星图像的定位等实际应用中,都不可避免地会遇到将一条感知曲线(sensed curve)与一条参考曲线(reference curve)相匹配的问题.

对这类问题,传统的方法基本以曲线的特征点或特征线作为研究对象.Freeman<sup>[9]</sup>用曲线上曲率的不连续点所组成的关键点的集合描述物体的二维形状,然后计算相邻关键点之间的局部形状特征,并以局部形状特征作为参照寻找曲线间关键点的

对应关系,从而求得曲线间的变换参数.Ayache 和 Faugeras<sup>[10]</sup>将两条曲线首先分别用多边形近似,然后依次寻找两个多边形的边的对应关系,从而找到原来曲线间的匹配参数.这种方法可以解决包含旋转、平移和缩放情况下两条曲线间的匹配关系,但是对曲线用多边形近似时,需要对两个多边形边的个数及对应边的长度进行较合理的控制.Wolfson<sup>[11]</sup>提出的算法用来寻找两条曲线中共有的曲线段.该方法将两条曲线用每个点的局部旋转角度组成的特征链表示,然后来找特征链条中所有满足一定长度的精确对应部分,进而由这些精确对应的部分计算出变换参数并在实际曲线上进行拓展,最后得到实际曲线中最长的共有曲线段.

### 4.2 用本文方法进行曲线匹配的基本思想

给定两条近似具有 RST 变换关系的待匹配平面曲线,先将它们分别转换为二值图像,其中曲线上的点在图像中标为 1,图像中的其余点标为 0;然后利用本文方法计算出两幅二值图像间的 RST 变换参数,从而也就间接地获得了两条曲线间的匹配参数.

这里需要指出的是,通常的两幅图像之间的配准,Fourier-Mellin 方法在于度量两幅图像之间的灰度相似性.而对本节中的二值图像而言,由于有曲线的点处图像点为“1”,无曲线处为“0”,所以此时本质上是度量图像间的几何相似性.

### 4.3 实验内容及结果

首先需要说明的是,我们已对理想的(即没有叠加任何噪声)和畸变的(即叠加了多种噪声)曲线匹配问题就不同的曲线类型、不同的 RST 变换参数、不同程度的畸变等情况进行了大量的实验,有兴趣的读者可到 <http://nlpr-web.ia.ac.cn/english/rv/mainpage.html> 下载.限于篇幅,这里仅给出一些简单的结论:(1)该方法应用于曲线匹配,对 RST 参数的变化不是很敏感.一般要求平移量适度,尺度缩放因子控制在不超过 2 的范围(比一般图像配准时稍大),对旋转角度没有限制;(2)即使曲线之间不完全相同(存在截断的部分),只要两条曲线大部分是匹配的,仍能够得到较好的匹配结果;(3)该方法对曲线畸变具有很强的鲁棒性;(4)实验还表明,当噪声大到一定程度时,该方法将得出错误的匹配结果.对这种情况,如果对畸变曲线采取一定的滤波措施,在一定的范围内仍能起到改善匹配结果的作用.

这里仅给出遥感影像粗定位问题中的一组实际实验结果.

一般情况下,遥感影像利用拍摄时卫星的运行轨道参数进行定位.然而,当卫星的轨道参数未知时,此时所拍摄的遥感影像的地理位置一般不能确定.一种可行的定位方法是从遥感影像中提取比较明显的特征,然后与含有相应特征的电子地图匹配,由它们的匹配结果来确定遥感影像的经纬度坐标.当遥感影像中含有海域时,可以将其中的海岸线提取出来作为主要特征,与电子地图海岸线层相匹配,由此获得遥感影像的粗略地理坐标.

遥感影像在电子地图中的定位可以描述为如下的曲线匹配问题:从遥感影像中提取出一条海岸线(短曲线),将其与海岸线电子地图恢复成的一条长曲线相匹配,找到短曲线在长曲线中的对应段,从而确定遥感影像的大体地理位置.

图 3 是实验结果.其中,图(a)是海域的真实遥感图像;图(b)是从图(a)中提取出来的海岸线轮廓曲线;图(c)是海岸线全图;利用本文的方法,图(b)在图(c)中的匹配段如图(d)中小矩形所示;图(e)为放大后的匹配结果显示.

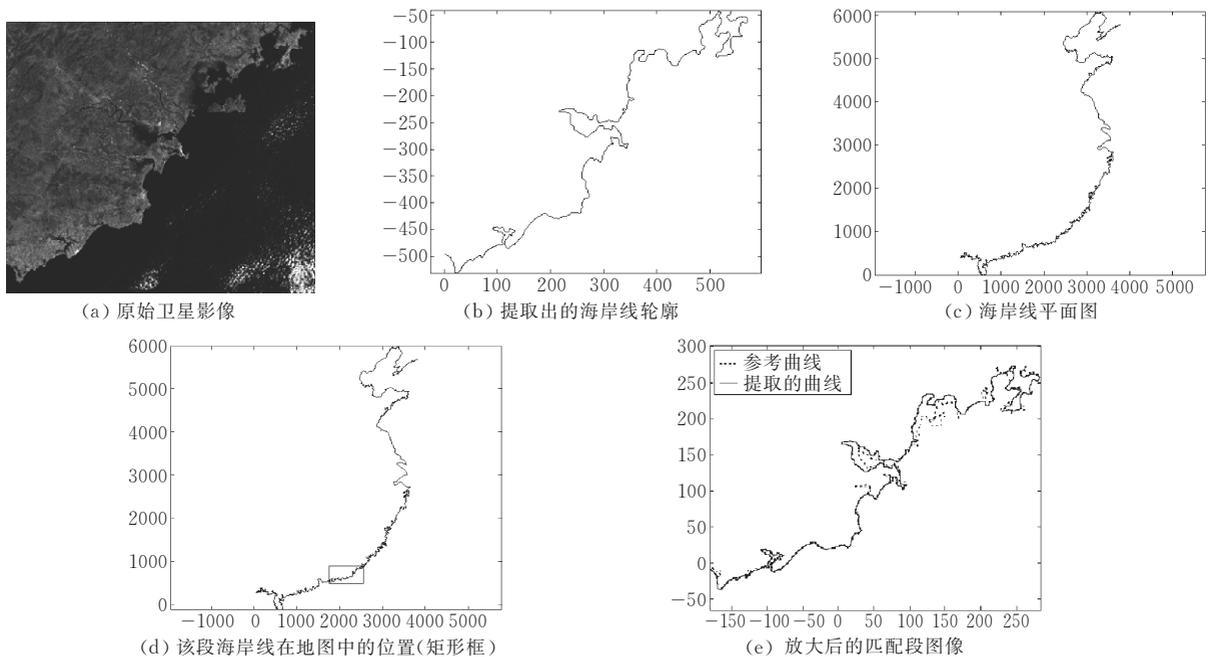


图 3 遥感影像的定位实验

可以看出,尽管从遥感图像中提取出的曲线与电子地图数据有一定的误差,但通过整体特征仍然找到了比较准确的匹配位置.

## 5 结论与展望

本文从两个方面对基于 Fourier-Mellin 变换的

图像配准技术进行了应用拓展.

全景图像拼接实验表明,该方法不仅适用于满足 RST 变换的图像配准,而且对弱透视投影图像的配准也是一个很好的近似.就全景图像的拼接而言,当拍摄距离远大于场景目标时,所生成的全景图像具有很好的近似效果;对稍强的透视图像拼接,仍然可以得到比较满意的全景图像.而且,该方法无需检

测图像特征,鲁棒性强,计算速度快,并且降低了对拍摄者和拍摄条件的要求,具有较强的实用性.但是应该说明的是,对于很强的透视投影图像,如室内图像,一般拍摄距离比较近,在这种情况下,采用该方法进行配准是不适宜的.

从曲线匹配实验可以看出,将该方法应用到曲线匹配问题上,由于不需要检测曲线特征,从而使问题得到大大简化,而且实验结果也表明该算法具有较高的精度和较强的鲁棒性.从某种程度上说,为曲线匹配问题提供了一种新的解决途径.

我们下一步的工作是:如何通过一些预处理变换,先对具有强透视效应的目标图像进行预变换,得到一幅中间图像,然后对此中间图像和参考图像进行 Fourier-Mellin 变换,以期解决不能对具有强透视效应的图像进行配准的问题.当然,能否找到这样可行的预变换还是一个有待进一步研究的问题.

## 参 考 文 献

- 1 Chen Q. S., DeFrise M., Deconinck F.. Symmetric phase-only matched filtering of Fourier-Mellin transforms for image registration and recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1994, 16(12): 1156~1168
- 2 Reddy B. S., Chatterji B. N.. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1996, 5(8): 1266~1271



**LI Xiao-Ming**, born in 1965, Ph. D. candidate, associate professor. His research interests include image registration, computer vision and pattern recognition.

**ZHAO Xun-Po**, born in 1974, Ph. D.. His research in-

- 3 Brown L. G.. A survey of image registration techniques. *ACM Computing Surveys*, 1992, 24(4): 325~376
- 4 Zitov B., Flusser J.. Image registration methods: A survey. *Imaging and Vision Computing*, 2003, 21(11): 977~1000
- 5 Sawhney H. S., Kumar R.. True multi-image alignment and its application to mosaicing and lens distortion correction. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(3): 225~243
- 6 Szeliski R.. Video mosaics for virtual environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996, 16(2): 22~30
- 7 Chen S. E.. QuickTime VR — An image based approach to virtual environment navigation. In: *Proceedings of the Computer Graphics(SIGGRAPH'95)*, New York, 1995, 29~38
- 8 Sun X. Y., Dubois E.. A novel algorithm to stitching multiple views in image mosaics. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Montreal, Quebec, Canada, 2004, 3: 481~484
- 9 Freeman H., Garder L.. Apictorial jigsaw puzzles: The computer solution of a problem in pattern recognition. *IEEE Transactions on Electronic Computers*, 1964, EC-13: 118~127
- 10 Ayache N. J., Faugeras O. D.. HYPER: A new approach for the recognition and positioning of two-dimensional objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1986, 8(1): 44~54
- 11 Wolfson H. J.. On curve matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(5): 483~489
- 12 Shum H. Y., Szeliski R.. Construction of panoramic image mosaics with global and local alignment. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 36(2): 101~130

terests include computer vision and image processing.

**ZHENG Lian**, born in 1942, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include neural network and pattern recognition.

**HU Zhan-Yi**, born in 1961, Ph. D., professor, Ph. D. supervisor. His research interests include computer vision and pattern recognition.

## Background

The group has been working on computer vision applications, such as camera calibration, 3D reconstruction, robot navigation and behavior understanding. Several peer-reviewed papers have been published in major international journals, such as *IEEE Transactions on PAMI*, *Pattern Rec-*

*ognition*.

This work focuses on image registration that is a fundamental problem in computer vision. This work was supported by the National Natural Science Foundation of China under grant No. 60121302.