

# 基于区域同名度矩阵的连续帧图像配准

薛模根 韩裕生 李从利 袁广林 冷晓艳

(解放军炮兵学院信息技术应用实验室, 合肥 230031)

**摘要** 对由空中飘弋平台获得的连续帧图像进行配准是个新的难题,但利用空中飘弋平台可获得恶劣环境下的空拍图像,若能配准拼接成大视野图像,则可供进一步研究使用。由于多种因素的影响,所获得的连续帧图像存在旋转、缩放、平移、含噪声、形变等特点,为此,若采用迭代阈值的方法来进行图像分割,并以十字链表形式进行存储表达;然后构建连续帧图像间的特征区域同名度矩阵,再通过遍历同名度矩阵来自动形成连续帧图像间的同名区域对;最后计算得出连续帧图像旋转、缩放、平移配准参数,则可较好地解决此问题。对一定数量的连续帧图像进行的配准实验表明,该算法不仅鲁棒性强、稳定有效,而且计算速度快,具有一定的理论和应用价值。

**关键词** 图像配准 连续帧图像 同名度 同名度矩阵

**中图分类号**: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)01-0053-07

## A New Sequential Frame Image Registration Based on Area Homonymy Matrix

XUE Mo-gen, HAN Yu-sheng, LI Cong-li, YUAN Guang-lin, LENG Xiao-yan

(Information Technology Application Laboratory, Artillery Academy of PIA, Hefei 230031)

**Abstract** The registration of sequential images acquired through floating aerial platform is a difficult problem up to date. The floating aerial platform can get sequential images of the down-looking scene in bad environment, with which the wide visual field image can be got by stitching for further research. Influenced by many factors, sequential images have the transformation of rotation, unequal scaling and translation, noise and geometric deforming. In order to solve this problem, this paper proposes a new algorithm. In the algorithm, firstly, segment the image with the iterative threshold method and use crossing linker to record and express the characteristic area information. Secondly, construct the homonymy matrix of characteristic areas and search the homonymy matrix to get matching pairs of homonymy areas between sequential images automatically. Lastly, calculate the registration parameters of sequential images including rotating, scaling and translation. The experimental result demonstrates this algorithm is robust, efficient and reliable for certain amount of sequential images, and has theoretic value and practical significance.

**Keywords** image stitching, sequential frame image, homonymy degree, homonymy matrix

## 1 引言

图像配准是序列图像分析、航空影像自动制图与分析、3 维信息重构等领域的关键技术之一。配准算法大致可分成基于区域的方法和基于特征的方法<sup>[1]</sup>两个主要类别,其中基于区域的方法是选用不

同配准准则(如最大化对齐度<sup>[2]</sup>、最大化互相关<sup>[3]</sup>、最小化绝对灰度值、最大化交互信息<sup>[4]</sup>等等)作为测度,然后用满足条件的控制点来求解配准参数<sup>[5]</sup>。该类算法有王东峰等人提出的最大化对齐度多模态图像配准方法<sup>[2]</sup>,Josien 等人提出的将交互信息和图像的梯度信息相结合的算法<sup>[6]</sup>;Lee 及 Castro 等人针对有旋转和平移的图像的傅氏变换方

收稿日期:2004-08-27;改回日期:2005-03-04

第一作者简介:薛模根(1964 - ),男,教授。1991 年获第二炮兵工程学院计算机应用专业硕士学位,现为第二炮兵工程学院在读博士研究生。主要研究兴趣为信号与信息处理、系统集成。E-mail:lel\_lw@sohu.com

法<sup>[7,8]</sup>等等。该类方法缺点是计算量大、不适合非线性形变和局部形变图像的配准。基于特征的配准方法常用到的图像特征有特征点、直线段、边缘、轮廓、闭合区域、特征结构以及统计特征等等,其相应的算法有 Rattarangsi 等人的角点配准算法<sup>[9]</sup>,但由于这种方法特征点的选择往往对研究对象质量要求较高,且选择也需一些特殊目标,因而使得这种算法应用范围不广;Illingworth 等人提出的用 Hough 变换提取直线段的配准算法<sup>[10]</sup>,由于该方法在直线段提取过程中往往不连续,且运算量大,因此算法的效率和稳健性不高;Goshtasby 人的区域分割算法<sup>[11]</sup>以及 Dai、Li、Wang 等人改进的区域分割算法<sup>[11,12,13]</sup>等等,虽然在某些情况下基于边缘轮廓和闭合区域的方法具有一定的鲁棒性和配准率,但此类方法要完全依赖图像边缘提取和分割技术,使得它也具有一定的局限性。

本文研究的图像序列是由无人操纵的空中飘飞平台空拍所得,由于平台在成像过程中,受空气阻力、空气升力、重力、马格努斯力等力的作用影响,致使摄像镜头不但会在由水平面和垂直面形成的 3 维空间中变化,而且随着镜头的摇摆,其变化更加复杂,加上受拍摄环境的光、电、烟云等复杂因素的影响,使所成序列图像间存在着旋转、缩放、平移等变化,而现有配准算法所研究的图像间变化往往只存在旋转、平移(或等缩放比)情况,因而不适用本文帧间变化复杂的序列图像配准。

## 2 同名度及同名度矩阵

### 2.1 基本定义

成像平台通过 CCD 摄像头可每秒获取 25 帧图像,实验表明,在获取的图像中,相邻帧之间重叠区域一般超过 85%,根据 50% 的重叠原理<sup>[14]</sup>,可给出如下定义:

**定义 1** 连续帧图像:对于待拼接的图像序列  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n\}$ ,若在拼接过程中选择  $f_i$  与  $f_j (j > i \geq 1)$  进行拼接,则称  $f_i, f_j$  为连续帧图像,其中  $f_i$  称为基准图,  $f_j$  称为待拼接图。

**定义 2** 同名区域:基准图  $f_i$  与待拼接图  $f_j$  中正确匹配的特征区域互称为同名区域。

**定义 3** 同名度:对于分割后的基准图  $f_i$  中的特征区域  $a_i$ ,待拼接图  $f_j$  中的特征区域  $b_j$ ,若将衡量  $a_i$  与  $b_j$  为同名区域的可能性度量记为  $C(a_i, b_j)$ ,则

称  $C(a_i, b_j)$  为特征区域  $a_i$  与  $b_j$  的同名度。

**定义 4** 序列帧图像:由连续帧图像组成的拼接图像序列  $\hat{F} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} (s \leq n)$  称为序列帧图像。

由以上定义可以发现,连续帧图像可能是采集过程中的物理相邻帧图像,也可能是间隔若干帧图像的两帧图像,实际上就是选择的参加拼接的两帧图像。

### 2.2 图像分割

用于图像分割的算法很多<sup>[15]</sup>,但迄今为止没有一个算法对所有图像都能够取得良好的效果,也没有一个理论来指导如何根据图像的特点来选择适用的方法。对于基于特征区域的图像配准来说,由于特征区域在连续帧图像中的位置并不重要,只要有一致的相对定位即可,另外考虑到分割的速度及抗噪性等要求,因此本文选用基于迭代阈值的方法来进行图像的区域分割。基于迭代阈值的分割算法流程如图 1 所示,即首先根据开关函数将输入图逐像素分成前景和背景,并在对图像进行第 1 遍扫描结束后,平均两个积分器的值,以确定一个阈值;然后用这个阈值控制开关再次将输入图像分成前景和背景,并用作新的开关函数。如此将迭代过程反复进行,直到开关函数不再发生变化,此时得到的前景和背景即为最终分割结果。

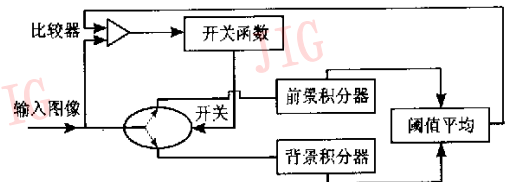


图 1 迭代阈值分割算法的流程

Fig. 1 The flow of the iterative threshold segmentation algorithm

### 2.3 目标表达描述

对分割结果进行边界和区域表达和描述,采用了一种基于十字链表形式的存储方法,即将分割后图像的每一个区域对应十字链表中的一个区域结点,每个区域所对应的每个像素也对应一个链表结点,这样每个区域中的所有像素就链接成一个链表,该链表头指针存储在该区域结点的一个域上,这就使得像素链表和区域链表成“十”字形。按照像素与区域和图像的相对位置可将像素分成以下

3类:

(1) 区域边界像素  $p_{\text{edge}}$ , 该像素处于区域边界上。

(2) 图像边界像素  $p_{\text{image}}$ , 该像素处于图像的边界上, 当然该像素同时也是区域边界像素。

(3) 区域内部像素  $p_{\text{in}}$ , 若该像素点既不在区域边界, 也不在图像边界, 则肯定是图像的内部像素点。

按照像素划分类型的不同可将特征区域  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  进行如下划分:

对于像素  $p_i \in P (1 \leq i \leq n)$ , 若存在像素  $p_i = p_{\text{image}}$ , 则称特征区域  $P$  为边界开放区域  $R_{\text{open}}$ ; 若对任意像素有  $p_i = p_{\text{edge}}$  或  $p_i = p_{\text{in}}$ , 则称特征区域  $P$  为边界不开放区域  $R_{\text{close}}$ 。

在以后的配准工作中将会利用特征区域及像素的种类性质进行筛选及优化, 由于边界开放区域面积形状变化较大, 故只考虑边界不开放区域间的配准。目标表达建立后, 就可选用若干特征量对其进行描述, 文中采用的具体特征有区域面积、区域周长、边界像素到区域中心距离之和、区域质心坐标、图像中心坐标、区域像素的灰度值(0~255)、区域中心到图像中心的距离、边界点到区域中心距离的最大值、边界点到区域中心距离的最小值、区域矩形度、区域纵方向的最大距离、区域横方向的最大距离、区域最长线段的起始点坐标、区域最长线段的终点坐标、不变矩<sup>[16-18]</sup>等。

## 2.4 同名度矩阵

为叙述方便, 设连续帧图像  $f_i, f_j$  分别用  $A, B$  表示, 基准图  $A$  分割后有  $m$  个特征区域, 即  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , 分割后的待拼接图  $B$  中有  $n$  个特征区域, 即  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 。若对分割后连续帧图像, 即  $A, B$  按十字链表进行存储表达, 则相应的两个十字链表分别含有  $m, n$  个特征区域结点。设特征区域可用  $k$  个特征属性(目标描述属性)加以表征, 则  $A$  图像的第  $i$  个特征区域结点和  $B$  图像的第  $j$  个特征区域结点可表示为

$$a_i = (a_{i,1}, a_{i,2}, \dots, a_{i,k})^T \quad 1 \leq i \leq m \quad (1)$$

$$b_j = (b_{j,1}, b_{j,2}, \dots, b_{j,k})^T \quad 1 \leq j \leq n \quad (2)$$

若采用归一化互相关(normalized cross-correlation, NCC)来表示如下  $a_i$  与  $b_j$  间的同名度

$$C(a_i, b_j) = \frac{\sum_{l=1}^k [a_{i,l} \cdot b_{j,l}]}{\sqrt{\sum_{l=1}^k [a_{i,l}]^2 \cdot \sum_{l=1}^k [b_{j,l}]^2}} \quad (3)$$

则  $C(a_i, b_j)$  也称为特征区域  $a_i$  与  $b_j$  的同名测度, 根据施瓦兹不等式可以知道, 式(3)中  $C(a_i, b_j)$  满足  $0 < C(a_i, b_j) \leq 1$  (仅在比值  $a_{i,l}/b_{j,l}$  为常数时, 取极大值1), 由于其便于比较, 而且筛选阈值容易确定, 比较常用, 因此本文选用归一化互相关作为同名测度。

若取特征区域之间的同名度  $C(a_i, b_j)$  作为同名度矩阵  $M_H$  (下角 H 代表 homonymy degree) 的对应分量  $M_{i,j}$ , 则连续帧图像特征区域同名度矩阵  $M_H$  可以定义为

$$M_H = \begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & \dots & M_{1,n} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & \dots & M_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ M_{m,1} & M_{m,2} & \dots & M_{m,n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由式(4)可以看出, 同名度矩阵其实是一个2维的匹配矩阵, 它表示了基准图  $A$  和待拼接图  $B$  特征区域之间的对应同名关系。由匹配唯一性约束知道, 基准图  $A$  中特征区域  $a_i$  至多只能匹配待拼接图  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$  中的一个区域, 反之亦然, 即同名度矩阵  $M_H$  有如下性质:

(1) 对于同名度矩阵  $M_H$  的第  $i$  行, 应存在唯一的一个最大值  $M_{i,j} (j=1, \dots, n)$ ;

(2) 对于同名度矩阵  $M_H$  的第  $j$  列, 应存在唯一的一个最大值  $M_{i,j} (i=1, \dots, m)$ ;

(3) 同名度对称性:  $C(a_i, b_j) = C(b_j, a_i)$ ;

(4) 若基准图  $A$  和待拼接图  $B$  特征区域之间的对应同名关系表示为同名度矩阵  $M_H$ , 待拼接图  $B$  和基准图  $A$  特征区域之间的对应同名关系表示为同名度矩阵  $\hat{M}_H$ , 则两个同名度矩阵有以下转置关系:  $M_H = \hat{M}_H^T$ 。

## 3 图像配准

### 3.1 配准参数计算

图像配准参数的求解是图像配准的关键环节, 对于本文的图像配准来说, 难点在于如何确定特征区域之间的同名关系以及同名关系确立后配准参数的求解。

对于特征区域之间同名关系可通过遍历连续帧图像间的同名度矩阵来确立, 由同名度计算公式(式(3))可知, 若两个特征区域配准程度越高, 则对应的同名度矩阵分量值越大, 因此, 如果先遍历同名

度矩阵得到最大值  $M_{i,j}$ , 再按照矩阵定义来分别确定其对应特征区域  $a_i, b_j$ , 这样就可得到一对最可能的匹配区域, 但依靠一对匹配区域仍无法得到图像之间的旋转、缩放、平移等配准参数, 还需要进一步确定其他可能的匹配区域对。在寻找同名度矩阵的第 2 个最大值之前, 需要将第 1 个最大值所在的行和列进行清零处理, 以防止因第 2 个最大值出现在同一行或同一列而出现一个特征区域存在多个同名区域的误匹配现象, 按同样方法寻找第 3 个最大值……, 直到寻找到的同名度小于某同名度阈值  $T_c$  为止。这样遍历结束后就可得到以下两个队列: 从基准图 A 中得到的由与特征区域对应的同名区域构成的同名区域队列  $Q_A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$ ; 从待拼接图中搜寻到的由与特征区域对应的同名区域构成的同名区域队列  $Q_B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ 。这两个队列满足以下的条件:

(1) 特征区域与其对应的同名区域同名度应大于设定同名度阈值  $T_H$ , 即:  $C(a_i, b_j) > T_H, i=1, 2, \dots, k$ ;

(2) 特征区域的顺序应与其同名区域的顺序相同 ( $a_1$  对应  $b_1, a_2$  对应  $b_2, \dots, a_k$  对应  $b_k$ )。

同时,  $Q_A$  与  $Q_B$  中的特征区域间的同名度  $C(a_i, b_j), i=1, 2, \dots, k$  构成同名度队列  $Q_H = \{C(a_1, b_1), C(a_2, b_2), \dots, C(a_k, b_k)\}$ 。通过上述遍历过程可以发现, 如果同名度队列  $Q_H$  为降序排列, 那么就可取同名度队列  $Q_H$  的前  $c (c \geq 2)$  个进行配准参数的计算, 原则上说选择的匹配区域对越多, 其均匀分布在图像上的可能性就越大, 那么配准精度就越高, 但实际应用中发现, 由于受各种因素的影响, 选择过多的区域对会引入误差而造成误匹配, 一般选择  $c$  为 2~5 较为合适。

特征区域同名关系确立后, 配准参数的求解可通过将特征区域收敛至区域重心来实现, 然后连接特征区域的重心成线段, 并通过计算线段的长度比率来获得帧间缩放比和通过计算线段间的角度差来获得旋转角度, 最后通过将区域中心的坐标进行重新标定来实现图像平移量的求解。

在旋转角度实际求解中, 还需要根据空中飘弋平台的旋转方向来对角度差进行修正求解, 设连续帧图像 A, B 的配准示意图如图 2 所示, 图中设  $p_1(x_1, y_1)$  和  $p_2(x_2, y_2)$  之间连接线段的长度为  $l_1$ , 线段与水平向右方向的夹角为  $\theta_1$ ; 设  $p_3(x_3, y_3)$  和  $p_4(x_4, y_4)$  之间连接线段的长度为  $l_2$ , 线段与水平向

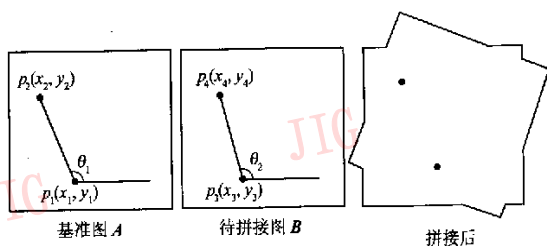


图 2 图像拼接示意图

Fig. 2 The illustration of image stitching

右方向的夹角为  $\theta_2$ ; 实际旋转角度为  $\theta$ 。

这里约定: 设顺时针旋转方向为正方向, 逆时针旋转方向为逆方向, 空中飘弋平台实际旋转方向及两线段所成夹角形态如图 3 所示, 则旋转角度可用式 (5) 进行求解:

$$\begin{cases} \theta = (\theta_2 - \theta_1) & -90^\circ \leq \theta_2 - \theta_1 \leq 90^\circ \\ \theta = 180^\circ - (\theta_2 - \theta_1) & 90^\circ < \theta_2 - \theta_1 \\ \theta = 180^\circ + (\theta_2 - \theta_1) & \theta_2 - \theta_1 < -90^\circ \end{cases} \quad (5)$$

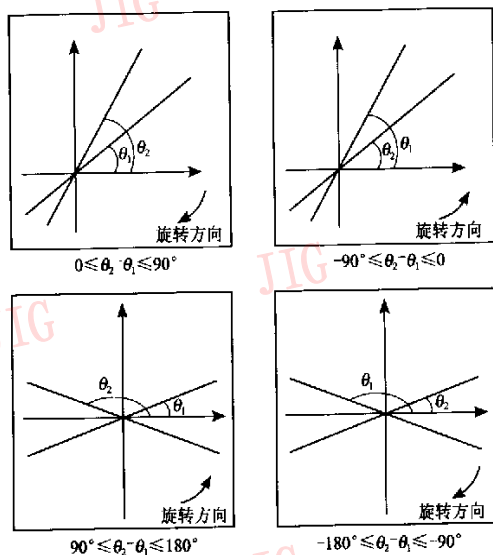


图 3 图像旋转的几种形态

Fig. 3 Several forms of image rotation

### 3.2 配准算法描述

根据以上描述, 可将序列帧图像的拼接算法描述如下:

- (1) 读取基准图像 A, 一次申请较大的拼接显示空间  $D[1, 2, \dots, n]$ , 将基准图像 A 置于  $D[1, 2, \dots, n]$  中间, 并记下初始位置  $l_0$ ;
- (2) 对基准图像 A 进行综合去噪处理和几何变

形校正;

(3)对基准图像  $A$  进行迭代阈值分割,将其分割成  $m$  个特征区域  $a_1, a_2, \dots, a_m$ ,同时借助栈将特征区域存储为十字链表形式,并用头指针  $H_A$  进行标示,然后在搜索过程中,并行计算与链表结点有关的参数;

(4)遍历  $H_A$ ,若  $a_i = R_{\text{close}}(i=1, \dots, m)$ ,则进行区域结点的各参数计算;

(5)设累计旋转角度为  $r$ ,赋初值为 0,累计放缩比为  $s$ ,赋初值为 1,设累计位移偏差为  $t$ ,赋初值为  $t_0$ ;

(6)读取待拼接图像  $B$ ,若读取成功,则转步骤(7),否则转步骤(21);

(7)对待拼接图像  $B$  进行综合去噪处理以及进行几何变形校正;

(8)对待拼接图像  $B$  进行迭代阈值分割,将其分割成  $n$  个特征区域  $b_1, b_2, \dots, b_n$ ,然后借助栈将特征区域存储为十字链表形式,用头指针  $H_B$  进行标示,并在搜索过程中并行计算与链表结点有关的参数;

(9)遍历  $H_B$ ,若  $b_j = R_{\text{close}}(j=1, \dots, n)$ ,则进行区域结点的各参数计算;

(10)根据区域种类及搜索范围来设置区域大小阈值  $T_R^{\text{low}}, T_R^{\text{high}}$ (下角  $R$  代表 region),再通过遍历  $H_A, H_B$  来筛选特征区域,并分别统计特征区域的个数为新的  $m, n$ ;

(11)创建同名度矩阵  $M_H$ ,并赋矩阵的所有分量为  $M_{i,j} = 0(1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ ,设连续帧图像  $A, B$  间旋转角度为  $r(A, B) = 0$ ,放缩比为  $s(A, B) = 0$ ;

(12)遍历  $H_A, H_B$ ,首先计算筛选区域间的同名度(矩阵分量),同时建立同名度矩阵的辅助矩阵  $Z_H$ ;

(13)搜索同名度矩阵  $M_H$ ,若矩阵分量  $M_{i,j} \geq T_H$ ,则进入降序排列的同名度队列  $Q_H = \{C(a_1, b_1), C(a_2, b_2), \dots, C(a_k, b_k)\}$ ,同时建立对应的特征区域队列  $Q_A = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}, Q_B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ ,以便建立初始匹配区域对;

(14)按设计的检验方法进行误匹配区域的消除,并找出  $c(c \geq 2)$ 对正确的同名区域,在此过程中需要借助辅助备份矩阵  $Z_H$  来对同名度矩阵  $M_H$  中的数据进行恢复;

(15)针对正确的同名区域,计算连续性图像

$A, B$  间的配准参数:旋转角度为  $r(A, B)$ 、放缩比为  $s(A, B)$ ,复用上次配准参数进行辅助校验(首次拼接可忽略)。可根据精度需要决定是否进行人工辅助检验,若不需要,则转步骤(17);

(16)人工辅助检验,并将检验结果的旋转角度设为  $r(A, B)$ 、放缩比设为  $s(A, B)$  返回;

(17)根据获得的配准参数,计算累计旋转角度和缩放比:  $r = \sum r(A, B), s = \prod s(A, B)$ ;

(18)对待拼接图  $B$  分别按  $r, s$  进行旋转、缩放,同时对待拼接图  $B$  的坐标原点进行重新标定,首先得到连续帧图像  $A, B$  间位移偏差  $t(A, B)$ ,继而得到待拼接图  $B$  的全局偏差:  $t = t + t(A, B)$ ,以便实现连续帧图像  $A, B$  的对齐;

(19)在全局偏差位置  $t$  处将待拼接图  $B$  与显示区域进行透明融合,然后动态刷新显示区域;

(20)重新将待拼接图  $B$  设定为新的基准图  $A$ ,  $H_A = H_B$ ,释放  $H_B$  指针,转步骤(6);

(21)释放  $H_A$  指针,同时释放显示区域指针,并释放矩阵空间;

(22)算法结束,将拼接后图像导出。

### 3.3 配准误差分析

由于序列帧之间的配准参数,如平移参数  $t$ 、旋转参数  $r$ 、缩放参数  $s$  均通过连续帧配准参数累计得到,因此连续帧图像间的平移、旋转、缩放参数的误差肯定会引起序列帧图像间的误差累积与传播,进而会造成严重的错误配准结果,对此本文采用 4 种误匹配的消除技术来解决连续帧图像间配准参数的计算误差,以提高配准精度,若出现配准误差超过一定阈值,则进行人工辅助检验,并通过设定配准参数来继续进行配准计算。限于篇幅,这里不再赘述。

### 3.4 配准模型的讨论

常用的图像配准模型主要有刚体变换、仿射变换、投影变换以及非线性变换等<sup>[19,20]</sup>,其中刚体变换是指在变换前后物体内部任意两点之间的距离保持不变,且刚体变换可以分解成旋转和平移;仿射变换是指第 1 幅图像上的直线映射到第 2 幅图像上仍然为直线,并且保持平行关系的变换,仿射变换可以分解为线性变换和平移变换;投影变换与仿射变换类似,即第 1 幅图像上的直线映射到第 2 幅图像上仍然为直线,只是不再保持平行,其主要用于 2 维投影图像与 3 维体积图像的配准;非线性变换也称作曲弯变换(curved transformation)或弹性

变换 (elastic transformation), 它可把直线变换成曲线, 其使用较多的是多项式函数, 如 2 次、3 次函数及薄板样条函数, 有时也使用指数函数。非线性变换比较适合于解剖图谱与断层图像的匹配, 这种变换非常适合于具有全局性形变的图像配准问题以及整体近似刚体但局部有形变的情况, 均可用它来拟合图像数据。对于图像与 3 维体积图像的配准, 在某些时候 (如弹性变换效果不好, 或参数过多, 效率不高时), 可用投影变换作为弹性变换的替代品加以运用。同时, 投影变换可以用更高维空间上的线性变换表示。

变换模型可分为局部和全局两类, 如果变换应用于整个图像, 则变换是全局的; 如果图像的每个子块都有自己定义的变换, 那么变换就是局部的。由于刚体变换和仿射变换是全局的, 弹性变换是局部的, 因此仿射变换一般应用在求解图像的坐标轴尺度因子, 而投影变换则极少见于文献。通常局部变换不能直接使用, 它仅在全局变换的基础上, 使用在整个图像中感兴趣的局部区域 (子图像)。另外, 局部的仿射和投影变换在文献中少见报道, 而局部刚体变换则经常嵌入局部弹性变换。在本文的图像配准研究中, 由于摄像机视点随平台飘弋而变化, 所成图像间存在平移、旋转、缩放和轻微形变, 故很难建立相应的投影变换模型。因忽略轻微形变影响, 变换模型可视为仿射或近似仿射, 再加上工程的实时要求, 故本文配准变换采用了仿射变换模型。

#### 4 实验结果及性能分析

为验证本文算法的效果, 利用实际采集的真彩色图像进行了拼接实验, 实验用的图像为  $320 \times 240$  大小的 24 位真彩色遥感图像, 计算机的配置为 PIV 2.0G, 256M 内存, Windows2000 Server 操作系统。

在对连续的 20 帧图像进行拼接的过程中, 连续帧图像一次拼接过程平均需要消耗 0.476s, 序列帧图像一次拼接过程平均需要消耗 0.424s, 图 4 为选定的基准图, 图 5 为 20 幅连续帧图像拼接的结果。

从图 5 的拼接结果图来看, 本文配准算法的拼接效果比较理想, 不但没有明显的拼接痕迹, 而且图像间几何位置基本对齐, 但由于算法没有考虑场景图像不垂直光轴时所造成的几何形变影响, 因此在更多的连续帧图像拼接时, 会出现景物丢失、变形或

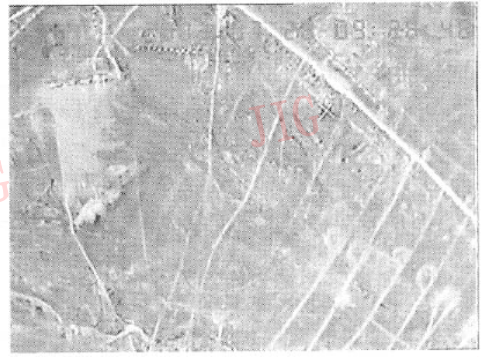


图 4 基准图

Fig. 4 The basic image

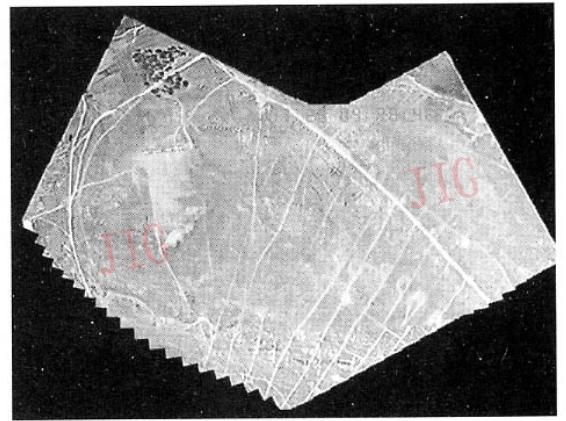


图 5 20 幅连续帧图像的拼接结果

Fig. 5 The stitching result of 20 sequence images

配准失败的情况, 这也是今后需要进一步研究的内容。

#### 5 结论

本文提出并实现了具有旋转、缩放、平移变化的航拍图像配准算法, 该算法以分割后图像的目标区域为研究基点, 先采用同名度矩阵进行对应特征区域的配准计算, 再以特征区域收敛至重心点来获取旋转、缩放、平移配准参数, 实验表明: 该算法不仅配准率高、鲁棒性强, 而且对待配准图像要求低, 可解决帧间变化复杂、幅值变化小的图像配准难题, 这就为类似复杂环境下采集图像的动态快速拼接问题提供了一种新的途径, 但本算法的配准误差的检测与消除值得进一步探讨与研究, 另外, 对于形变的自动校正也需要进行解决。

## 参考文献 (References)

- 1 LI Hui, Manjunath B S, Mitra S K. A contour based approach to multisensor image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(3): 320 ~ 334.
- 2 WANG Dong-feng, ZOU Mou-yan. Automatic registration of multi-modal images based on the maximization of the alignment metric [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2003, 25(6): 755 ~ 762. [王东峰, 邹谋炎. 基于最大化对齐度的多模态图像自动配准[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(6): 755 ~ 762.]
- 3 Castleman Kenneth R. Translated by ZHU Zhi-gang, et al. Digital image processing [M]. Beijing: Electronic and Industrial Press, 1998. [Castleman Kenneth R. 著, 朱志刚等译. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.]
- 4 Viola P A, Wells III W M. Alignment by maximization of mutual information [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 24(2): 137 ~ 154.
- 5 Haralick R M, Shapiro J G. Computer and Robot Vision [M]. Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 1993.
- 6 Josien P W Plum, Antoin J B, Viergever Max A. Image registration by maximization of combined mutual information and gradient information [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2000, 19(8): 809 ~ 814.
- 7 Lee D J, Krile T F, Mitra S. Digital registration techniques for sequential fundus images [J]. IEEE Proceedings of SPIE Applications of Digital Image Processing, 1987, X 829: 293 ~ 300.
- 8 De Castro E, Morandi G. Registration of translated and rotated Images using finite Fourier transforms [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987, 9(5): 700 ~ 703.
- 9 Rattarangsi A, Chin R T. Scale-based detection of corners of planar curves [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 430 ~ 449.
- 10 Illingworth J, Kittler J. Use of the Hough transform [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1988, 44(2): 87 ~ 116.
- 11 Goshtasby A, Goshtasby G C, Stockman C V. A region-based approach to digital image registration with subpixel accuracy [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1986, GE-24(3): 390 ~ 399.
- 12 DAI Xiao-long, Khorram Siamak. A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5): 2351 ~ 2362.
- 13 WANG Wen-hao, CHEN Yung-chang. Image registration by control points pairing using the invariant properties of line segments [J]. Pattern Recognition Letters, 1997, 18(3): 269 ~ 274.
- 14 QU Zhi-yi, WANG Yu-zhen, ZHONG Sheng-wei. Selection of feature-block for the Images Stitching [J]. Computer Engineering, 2002, 28(9): 165 ~ 166. [屈志毅, 王玉珍, 钟声伟. 拼接中特征块的选取 [J]. 计算机工程, 2002, 28(9): 165 ~ 166.]
- 15 ZHANG Yu-jing. Image segmentation [M]. Beijing: Publishing House of Science, 2001. [章毓晋编著. 图像分割 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.]
- 16 HONG Quan, CHEN De-qiang, HUANG Wen-hao. A new method for contour correspondence and slice registration based on the internal information of images [J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(2): 152 ~ 158. [洪泉, 陈德强, 黄文浩. 一种基于图像内部信息的轮廓特征和切片对齐新方法 [J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2): 152 ~ 158.]
- 17 Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [M]. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- 18 Zhang Yu-jing. Image engineering [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999. [章毓晋编著. 图像工程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.]
- 19 Luo Shu-qian. Medical image registration [J]. Foreign Medical Science (Biomedical Engineering Fascicle), 1999, 22(1): 1 ~ 8. [罗述谦. 医学图像配准技术 [J]. 国外医学 (生物医学工程分册), 1999, 22(1): 1 ~ 8.]
- 20 JIA Chun-guang, DUAN Hui-long. Medical image matching [J]. Foreign Medical Science (Biomedical Engineering Fascicle), 1998, 21(3): 140 ~ 149. [贾春光, 段会龙. 医学图像的匹配方法 [J]. 国外医学 (生物医学工程分册), 1998, 21(3): 140 ~ 149.]