

文章编号: 0253-2239(2010)03-0702-06

基于多约束准则匹配算法的序列图像配准

郝志成 朱 明

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要 为了准确、快速地对动态视频序列中的图像进行配准,提出了一种新的基于特征点匹配确定两幅图像间变换关系的方法。首先,根据多约束准则(MR),通过局部信息熵、相似性测度和距离比例不变准则三个约束条件,准确地找到两个点集中的三对匹配点。然后,利用这些点对采用矩阵求解最小二乘法估算两幅图像的仿射变换参数。与相关匹配法相比,MR算法避免了由于图像中运动物体的干扰而产生的伪匹配点对。对于 $384 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ 的图像,MR算法完成特征点匹配只需 2.76 ms ,比相关法减少了 58% 的运算时间。仿射参数在 X, Y 方向上的估计误差也减小为 $\Delta x=0.13, \Delta y=0.02$,远小于 1 pixel 。基本满足目标检测技术在工程上的速度快、精度高、抗干扰能力强等要求。

关键词 图像配准;特征点匹配;多约束条件;仿射变换

中图分类号 TP394.1;TH691.9

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS20103003.0702

Serial Image Registration Based on Multiple Restriction Matching Algorithm

Hao Zhicheng Zhu Ming

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract A new method of getting transformation among two images by feature point matching was proposed to match the serial dynamic images fast and exactly. First, in the light of multiple restriction (MR) criterion, including local information entropy, similarity measure and criterion of constant distance scale, three pairs of matched points were found exactly between two images. Then, using the points, six affine parameters of two images were computed by matrix LSM. Experimental results indicate that compared with correlation method, MR algorithm can wipe the false matching points off resulting from the movement of object. Aiming at $384 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ images, only 2.76 ms is needed for MR algorithm to complete feature points matching. 58% time was reduced. And the error of affine parameters estimating in X, Y direction, was cut down to $\Delta x=0.13, \Delta y=0.02$, greatly less than one pixel. This method can meet the needs of high speed, precision and adaptability in engineering field.

Key words image registration; feature point matching; multiple restriction (MR); affine transformation

1 引 言

目标检测技术和稳定的跟踪技术是应用视觉研究领域的重要课题,在视觉监控、交通管理、以及机器人导航等领域都有广泛的应用。根据摄像机的运动和场景分析可将图像运动分为四种模式:1)摄像机静止——物体静止;2)摄像机静止——物体运动;

3)摄像机运动——物体静止;4)摄像机运动——物体运动。每一种模式需要不同的分析方法和算法,其中的第四种模式(即变化背景、变化目标的情况)是最为复杂,也是应用最为广泛的模式。此时,首要问题就是对序列图像进行图像配准。

帧间图像配准是对不同时间的两幅图像进行空

收稿日期: 2009-03-02; 收到修改稿日期: 2009-05-17

基金项目: 中国科学院青年基金(O76031T070)、粤港关键领域重点突破项目(2004A10403021)和广东省攻关项目(2006A10401006)资助课题。

作者简介: 郝志成(1978—),男,博士,助理研究员,主要从事图像处理、目标跟踪和模式识别等方面的研究。

E-mail: hzc972513@tom.com

间变换处理,使得两幅图像在几何上能够匹配对应起来。其主要目的是消除待配准图像和参考图像间的平移、旋转和形变。目前,图像配准方法基本上分为三类^[1]:

1) 基于像素的配准方法。这类方法常常根据需要配准图像的相关函数^[2,3]、Fourier 变换和各阶矩之间的关系式来计算配准参数^[4]。近年来,引入了信息论中的一些概念,如联合熵、相对熵和互信息的应用。

2) 基于概率统计的配准方法,这种方法是由互信息方法衍生而来的,为了避免互信息的复杂计算,有人提出用空间图像的某种概率信息来代替各种熵测度及互信息测度,所利用的概率函数有灰度值相应概率、联合直方图区域计数等^[5,6]。虽然这种方法大大减少了运算量,但同样存在着最优化搜索和局部极值的问题。

3) 基于形状特征的方法,这类方法根据图像间的共有特征(如边缘、角、点、曲率等)进行几何配准,其中的刚性配准方法中最有代表性的是由 P. J. Besl 等^[7]提出的最近点迭代匹配(ICP)算法。ICP 算法通过计算惟一的变换来迭代地改进两个集合的配准程度,使两个集合的相似度最大。

另外,基于图像变换的配准方法^[8],也常常在实际中应用,算法通过寻找配准参数,使特征量之间的相似度最大,确定匹配参数后将两幅图像按一定的变换公式进行变换以达到配准的目的。该方法计算量小,算法简单,适于工程应用。

2 图像运动模型

2.1 6 参数仿射变换

帧间图像配准可定义为两幅图像在空间上的映射。假设图像 f_1 为待配准图像, f_2 为参考图像,则 f_1 和 f_2 之间的配准就变成了 f_2 经过空间变换与 f_1 匹配的过程。因为连续两帧间的全局运动表现为平移和绕光轴的旋转,可以用线性变换来表示,所以定义 6 参数仿射模型如下:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中 (x, y) 、 (x', y') 分别是图像 f_1 和 f_2 中两个对应点的坐标, $\mathbf{B} = (b_1, b_2)^T$ 为平移矢量, $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 为参数矩阵, a_{ij} , b_i 均为实数。将矩阵 \mathbf{A} 和平移矢量 \mathbf{B} 拆成由多个简单的映射(平移、缩放、旋

转、反转以及错切)所构成,则得出 6 参数仿射变换的另一种定义形式为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}. \quad (2)$$

所以,6 参数仿射变换共有 6 个自由度,平移、旋转、缩放、反射和剪切等都是它的特例。它可以描述三维空间中的目标到二维平面的成像过程^[9]。具体表现可以是各个方向尺度变换系数一致的均匀尺度变换或变换系数不一致的非均匀尺度变换及错切变换等。

2.2 仿射变换不变性

二维图像中任何 3 个非共线点 $[i, j, O(i, j)]$ 都可形成一个一般为斜交的坐标系,该坐标系以 $O(i, j)$ 为中心,以矢量 $\vec{O_i}$ 和矢量 $\vec{O_j}$ 为坐标系两基矢 $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$, 则图像上任意点 k 都可用在此坐标系下的坐标 $m_k = \begin{bmatrix} m_{k1} \\ m_{k2} \end{bmatrix}$ 表示,即

$$\mathbf{r}_k - \mathbf{r}_{O(i,j)} = m_{k1} \mathbf{e}_1 + m_{k2} \mathbf{e}_2 = m_{k1} (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{O(i,j)}) + m_{k2} (\mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{O(i,j)}), \quad (3)$$

所以

$$\mathbf{m}_k = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{O(i,j)} \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{O(i,j)})^{-1} (\mathbf{r}_k - \mathbf{r}_{O(i,j)}) = \mathbf{A}_f \mathbf{r}_k + \mathbf{T}_f, \quad (4)$$

式中

$$\mathbf{A}_f = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{O(i,j)} \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{O(i,j)})^{-1} \\ \mathbf{T}_f = -\mathbf{A}_f \mathbf{r}_{O(i,j)}. \quad (5)$$

由矢量 $\vec{O_i}, \vec{O_j}$ 和基点 $O(i, j)$ 组成的目标坐标系就称为仿射坐标系,而图像中任意点 k 在此坐标系下的坐标称为仿射坐标。将(3)式仿射变换后得

$$\mathbf{r}'_k - \mathbf{r}'_{O(i,j)} = m'_{k1} (\mathbf{r}'_i - \mathbf{r}'_{O(i,j)}) + m'_{k2} (\mathbf{r}'_j - \mathbf{r}'_{O(i,j)}), \quad (6)$$

式中

$$\mathbf{r}'_k = \mathbf{A} \mathbf{r}_k + \mathbf{T},$$

$$\mathbf{A} = (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_{O(i,j)} \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_{O(i,j)})^{-1}.$$

将(6)式两边同时乘以矩阵 \mathbf{A} , 得到

$$\mathbf{r}'_k - \mathbf{r}'_{O(i,j)} = m_{k1} (\mathbf{r}'_i - \mathbf{r}'_{O(i,j)}) + m_{k2} (\mathbf{r}'_j - \mathbf{r}'_{O(i,j)}), \quad (7)$$

比较(6)式和(7)式可知

$$m'_{k1} = m_{k1}, \quad m'_{k2} = m_{k2}. \quad (8)$$

由此可证,图像上任意点坐标在仿射变换下具有不变性,这就导致了其导数及特征点方向在仿射变换下同样具有不变性。具体表现为^[10]:

1) 仿射变换可由三对非共线点唯一确定。即:如果 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 是非共线点且与其对应的点为 $(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2), (x'_3, y'_3)$, 则存在唯一的仿射变换 $C: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$; 2) 对于平行线、交叉线及其交点具有不变性; 3) 点集的重心具有不变性; 4) 对

沿一条直线的线段比值具有不变性;5)有限点集或连续点集的矩不变。其中,性质1)是估算仿射变换参数的重要依据。

2.3 矩阵求解最小二乘法

由仿射变换中的性质1)可以知道,对于参考图像 f_1 和经仿射变换后图像 f_2 ,只要找到 f_1 和 f_2 中至少3组不共线的对应点就可以估算出从 f_1 到 f_2 (或从 f_2 到 f_1) 的仿射变换参数。目前最简单有效的求解仿射参数的方法就是最小二乘估计法(LSM)。它通过寻求一个最佳解来使所有方程的均方误差最小,达到用多个配准点拟合最优参数解的目的。当方程数超过未知数的数目时,方程组是过约束的,一般情况下,没有一组解能准确地满足所有方程,所以需要找到一个能近似满足所有方程的最佳解。设两幅图像中对应匹配点为 (x_i, y_i) 和 (x'_i, y'_i) 得

$$\begin{cases} \mathbf{S}_1 \mathbf{W} = \mathbf{X}' \\ \mathbf{S}_2 \mathbf{W} = \mathbf{Y}' \end{cases}, \quad (9)$$

配准需要解决的问题就是求出线性最小二乘解 \mathbf{S}_1 和 \mathbf{S}_2 。其中 \mathbf{S}_1 和 \mathbf{S}_2 为仿射变换参数 $\mathbf{S}_1 = (a_{11}, a_{12}, b_1)$, $\mathbf{S}_2 = (a_{21}, a_{22}, b_2)$, 设

$$\begin{cases} \mathbf{W} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \cdots & X_N \\ Y_1 & Y_2 & \cdots & Y_N \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \\ \mathbf{X}' = (X'_1, X'_2, \dots, X'_N) \\ \mathbf{Y}' = (Y'_1, Y'_2, \dots, Y'_N) \end{cases}. \quad (10)$$

可以证明,只要 \mathbf{W} 的秩大于6(已知三对不共线的对应点坐标),则存在 $\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2$ 的最小二乘解:

$$\mathbf{S}_1 = \mathbf{X}' \mathbf{W}^T (\mathbf{W} \mathbf{W}^T)^{-1}, \quad \mathbf{S}_2 = \mathbf{Y}' \mathbf{W}^T (\mathbf{W} \mathbf{W}^T)^{-1}. \quad (11)$$

所以,如何在图像 f_1 和 f_2 中找出这三组以上的对应点,是求解仿射模型参数的关键。

3 基于多约束条件的特征点匹配

特征点匹配就是将不同图像上由同一场景点投影而成的特征点对找出来。根据匹配线索的不同,现有的匹配算法基本可以分为两大类^[11]:1)基于窗口的匹配(ABM);2)基于特征的匹配(FBM)。无论哪一类的算法都隐含地引入了一些约束,如动态规划法就需要顺序不变约束^[12]。这里提出一种新的特征点匹配算法——多约束条件匹配法(MR)。

3.1 局部信息熵约束

利用角点提取算子找出前后两帧图像中的特征点后,就要建立起两个点集间的对应关系。由于图

像的局部信息熵反映了该局部区域所含信息量的大小,因而可用来描述图像的局部性质。利用前后两帧图像中以特征点为中心局部区域的局部信息熵来建立两帧图像特征点间的对应关系。引入熵变换的概念,对于 $m \times n$ 图像函数 $f(i, j) > 0$, 定义熵函数 H_f 为

$$H_f = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{i,j} (p_{i,j} - 1),$$

$$P_{i,j} = f(i, j) / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f(i, j). \quad (12)$$

(12)式即为信息熵的计算公式。于是对于图像中任意一点 $f(i, j)$, 其关于 w 邻域的信息熵可定义如下:

$$\begin{cases} H_{i,j}^w = - \sum_{i=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{j=j-w/2}^{j+w/2} p_{i,j}^w (p_{i,j}^w - 1) \\ P_{i,j}^w = f(i, j) / \sum_{i=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{j=j-w/2}^{j+w/2} f(i, j) \end{cases}. \quad (13)$$

对图像中所有点依此作上述处理,称为图像熵变换。局部熵所描述的是该局部所含的信息量的大小,因此它可以描述图像的局部性质,如果局部灰度变化越剧烈,其熵值也就越大。另外局部熵具有辐射失真不变性,熵值的大小依赖于整个局部区域,并作了归一化处理,因而它对局部噪声是不敏感的。从熵的定义中可以看出,它对一定程度的几何失真是不敏感的。因而基于局部信息熵建立起来的约束条件必将具有较好的抗噪和抗几何失真的能力。

局部信息熵约束过程如下:选择点集 P 中的某个特征点为基点,根据(13)式依次计算待匹配点集 Q 中各点的信息熵与基点信息熵的差值;其中与基点的信息熵的差小于某一个阈值的特征点即可可作为基点的候选匹配点。在经过局部信息熵约简后的匹配点集是从图像 f_1 到 f_2 的一对多的对应点集。为了准确得到一对一正确的匹配点集,这里利用相似性测度来进一步约简。

3.2 相似性测度约束

相似性测度有许多种,常用的是基于图像灰度相关的测度函数,如差绝对值和测度、协方差函数测度、零均值归一化相关系数测度和序贯相似性测度等。此外,还有一些非基于图像灰度相关的测度函数,如: Hausdorff 距离测度^[13]、不变向量测度、匹配强度测度和基于灰度多模态的划分强度一致性(PIU)测度^[11,14]等。差绝对值和相似性匹配在众多的匹配方法中虽然精度不是最高,但是最为高效的一种方法,而且在一般应用中其匹配精度也可以被接受,为了简

化算法,这里使用灰度差绝对值和相似性测度。

对于两个灰度图像窗口 X 和 Y ,定义其差绝对值和为

$$S = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i|, \quad (14)$$

式中 N 为窗口内像素点的个数。差绝对值和测度匹配的基本原理是给定目标窗口 X ,在匹配图像上某一搜索范围 V 内,寻找与 X 的差绝对值和达到极小值的搜索窗口 Y_{\min} ,并认为该窗口即为 X 的匹配窗口,而两窗口相应的中心像素即为同名点,即匹配窗口满足

$$Y_{\min} = \min_{Y \in V} S. \quad (15)$$

由于在上一个约束条件中已经确定了图像 f_1 中的基点 A_i 和其在图像 f_2 中的候选匹配点集 $B_{i,j}$,也就是说, A_i 的同名匹配点只能是 $B_{i,j}$ 中的一个。所以不必像(15)式那样在搜索范围 V 内穷尽搜索,只需逐个匹配 $B_{i,j}$,而差绝对值和最小的点即为 A_i 的同名点 B_i 。由此,(14)式,(15)式变形为

$$S = \sum_{x,y \in \omega} |A_i(x,y) - B_{i,j}(x,y)|, \quad (16)$$

$$Y_{\min} = \min_{Y \in B_{i,j}} S, \quad (j = 1, 2, \dots, N_B), \quad (17)$$

式中 ω 为以特征点为中心的邻域, N_B 是基点 A_i 候选特征点 $B_{i,j}$ 的个数。给出算法步骤如下:

- 1) 对于基点 A_i 和其各候选匹配点 $B_{i,j}$,分别构造一个 $5 \text{ pixel} \times 5 \text{ pixel}$ 的邻域 ω ;
- 2) 根据(16),(17)式对各候选匹配点进行相似性匹配,并找到最佳匹配点 B_i ;
- 3) 对图像 f_1 中的所有 A_i ,重复步骤 1)、2),确定 f_1 中所有基点在 f_2 中的同名匹配点 $B_i, i = 1, 2, \dots, m \times n$ 。

3.3 距离比例不变准则约束

按照上述两个约束条件找到的匹配点对集合,理论上每一对点都满足点集之间的变换关系(即图像间的变换关系)。然而,在匹配过程中,可能由于受噪声干扰、特征点被遮挡或移出视野以及匹配算法本身缺陷等原因,点集中会有伪匹配点对的存在。这些伪匹配点对极大地影响了图像变换参数的求取,使配准结果存在偏差。因此,距离比例不变准则约束就是为了剔除伪匹配点对。

当所有特征点构成一个约束结构,特征点集就具有整体稳定性。特征点集存在稳定的结构特征,其中最简单的特征就是两点之间的相对位置。令 $W = \{A_i \Leftrightarrow B_i, i = 1, 2, 3, \dots, N\}$ 表示匹配点对的集合, N 表示 W 中匹配点对的个数, $A_i = (x_i, y_i)$ 是参

考图像 f_1 中的特征点, $B_i = (x'_i, y'_i)$ 是经仿射变换后图像 f_2 中的对应点。 f_2 是同 f_1 具有相同分辨率且角度相差很少的中间图像。如果 W 中所有的点对都是一致正确的,且摄像机只存在平移和旋转运动时,那么下面的等式将成立,即

$$B_i = kRA_i + T, \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (18)$$

式中 k 和 T 分别代表尺度因子和平移因子, R 代表旋转因子。因为图像 f_1 和图像 f_2 具有相同的分辨率,所以图像中所有特征点之间的相对距离在摄像机运动前后是保持不变的,即特征点的两两间距是比例不变的。由此,利用距离准则消除误匹配是实现运动一致性对应的一种有效方法,并具有稳健性和抑制噪声干扰等优点。

由此,这里提出了距离比例不变准则:给定共有 N 个特征点的特征点集 P 和其匹配特征点集 Q 。和 Q 中对应点 (x'_i, y'_i) 是正确匹配点对的充要条件是, (x_i, y_i) 到 P 中其他特征点 (x_j, y_j) 的距离与 (x'_i, y'_i) 到 Q 中其他匹配点 (x'_j, y'_j) 的距离成等比例,即满足

$$\frac{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{k \sqrt{(x'_i - x'_j)^2 + (y'_i - y'_j)^2}} = 1, \quad (19)$$

式中 $i, j = 1, 2, \dots, N$,通过距离准则对匹配进行验证,以删除误匹配和局部运动点对。通常,由于正确匹配点对数远大于错误的对数,因而只要到一半以上点的距离满足条件就可以认为是正确匹配。在实际应用中,只要距离之差小于设定的阈值,就可以认为距离相等。

图 1 给出了一个距离比例准则的示意图,图 1(a)是选取的 6 个特征点构成的点集,以点 A 为例,它到其余 5 个点(B, C, D, E, F)的距离构成一个稳定的结构,即在摄像机运动前后应该保持不变,但是由于误匹配的存在(点 B 和 B'),仅有 $l_{AB} \neq l'_{AB}$,而到其余点的距离满足距离准则,故可以判断点 A 和 A' 是正确匹配点对;而对于点 B ,它到其余所有点

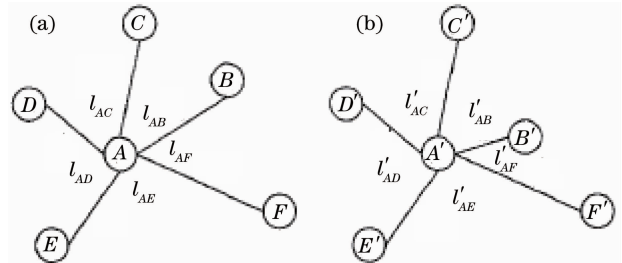


图 1 距离比例不变准则示意图。(a)特征点集;
(b)匹配点集

Fig. 1 Criterion of constant distance scale. (a) Feature points group; (b) matching point group

的距离都不相等,故可判断为误匹配点对。

4 实验结果及讨论

4.1 特征点匹配实验

实际拍摄的图像序列中的两帧图像作为实验对象(图像中的人手为运动物体),图像的大小为 $384 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ 。首先对两幅图像进行局部区域

划分,然后采用 Kanade-Lucas 算子进行特征点提取,最后分别采用相关搜索匹配法(搜索范围 $32 \text{ pixel} \times 32 \text{ pixel}$)和算法进行特征点匹配,结果如图 2 和表 1 所示。在图 2(a),(b)为相关匹配法在两幅图像中的特征点匹配结果,图 2(c),(d)为 MR 法在两幅图像中的特征点匹配。(实验平台是以 TMS320C6416DSP 为核心处理器的跟踪器,其工作频率为 1 GHz)。

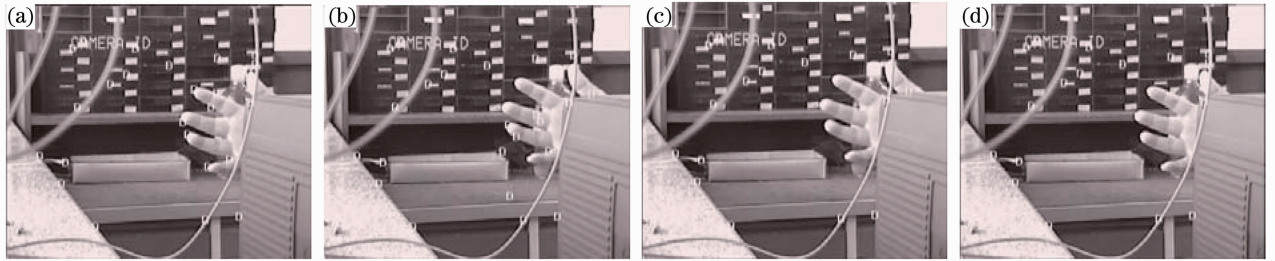


图 2 相关匹配法和 MR 算法特征点匹配结果

Fig. 2 Feature points matching result of correlation algorithm and MR algorithm

表 1 相关匹配法和 MR 算法实验结果比较

Table 1 Comparison of experimental results between correlation algorithm and MR algorithm

Matching algorithm	Total feature points	Accurate feature points	Inaccurate feature points	Accurate rate of matching /%	Time /ms
Correlation	22	13	9	59	6.37
MR	14	14	0	100	2.76

从实验结果可以看出,当视场内出现运动物体(人手)时,MR 匹配算法能够避免在运动物体上形成伪匹配点对,使所有的匹配点对都位于背景图像上,从而保证图像配准的准确性。同时,由于匹配算法避开了相关匹配中的遍历搜索,也使算法的执行时间大大减少,而且当图像中的特征点越多,帧间图像的偏移量越大时,这种优势就越明显。

4.2 仿射参数估算实验

实验图片是大小为 $128 \text{ pixel} \times 128 \text{ pixel}$ 的小汽车图片 P_{car} [图 3(a)],对图片进行如下变换: x 方向向右平移 12 pixel, y 方向向下平移 5 pixel,同时

将图片顺时针旋转 10° ,这样得到一幅变形后的图片 P'_{car} [图 3(b)],则由 P'_{car} 到 P_{car} 的仿射参数为 $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.9848 & 0.1736 \\ -0.1736 & 0.9848 \end{bmatrix}$, $\mathbf{B} = [12, 5]^T$ 。分别使用 MR 匹配法和相关法在 P_{car} 和 P'_{car} 图像找出三对匹配点后,利用(11)式求解六个仿射参数,结果如表 2 和图 3 所示。

图 3 是用上述仿射参数估计法的估计值,进行图像恢复后的结果图:3(a)是原始图片,3(b)是依据仿射矩阵 \mathbf{A}, \mathbf{B} 变换后的图片,3(c)是相关法参数估算的恢复结果,3(d)是 MR 算法参数估算的恢复结果。

表 2 两种方法仿射参数估计结果比较

Table 2 Comparison of affine parameters estimate result between correlation algorithm and MR algorithm

	Parameters of affine transformation					
	a_{11}	a_{12}	a_{21}	a_{22}	b_1	b_2
True value	0.9848	0.1736	-0.1736	0.9848	12.00	5.00
Correlation algorithm	0.9862	0.1740	-0.1731	0.9833	12.51	4.91
MR algorithm	0.9854	0.1738	-0.1734	0.9842	12.13	4.98
Error of correlation	0.0014	0.0004	-0.0005	-0.0015	0.51	-0.09
Error of MR	0.0006	0.0002	-0.0002	-0.0006	0.13	-0.02

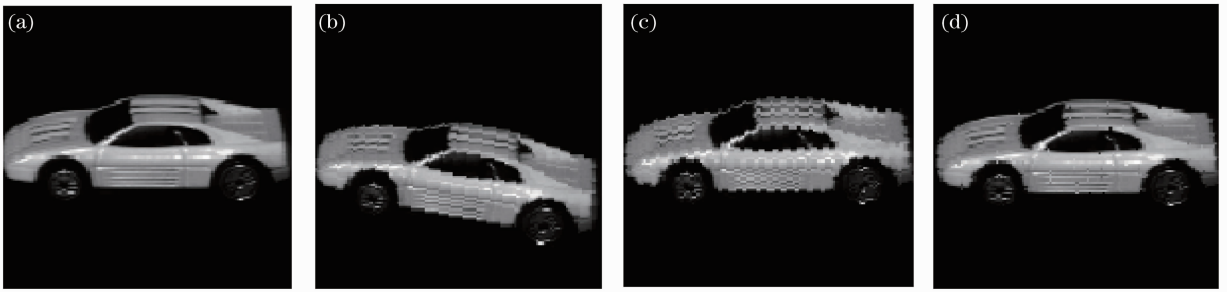


图3 相关匹配法和MR算法仿射参数恢复图像。(a)原始图像;(b)仿射变换图像;
(c)相关法仿射恢复图像;(d)MR法仿射恢复图像

Fig. 3 Resumed image of correlation algorithm and MR algorithm. (a) Origin image; (b) affine image;
(c) resumed image by correlation; (d) resumed image by MR

5 结 论

针对目标检测和识别领域,速度快、精度高等要求,提出一种新的利用仿射模型进行动态序列图像配准的方法。介绍了基于仿射变换的图像配准原理,包括仿射变换的基本定义和有关性质,并对仿射不变性和仿射参数的求解作了分析,证明六参数仿射变换是描述二维图像变换关系的有效模型。讨论了仿射参数估计的关键技术:特征点匹配。提出一种基于多约束条件(MR)相结合的匹配策略:对两幅待配准图像的特征点集分别用三种约束条件(局部信息熵约束、相似性测度约束和距离不变准则约束)进行匹配和筛选,避免了传统相关匹配算法中的大范围相关搜索过程,大大提高了匹配速度和精度。实验证明,MR算法能有效地剔除图像中的伪匹配点,对于 $384\text{ pixel}\times 256\text{ pixel}$ 的图像算法运行时间仅为 2.76 ms ;而参数估计的结果在 x,y 方向上的平移因子误差由 $\Delta x=0.51,\Delta y=0.09$ 减小到 $\Delta x=0.13,\Delta y=0.02$,基本满足工程上的应用要求。

参 考 文 献

- 1 Sun Tao, Wang Xiukun, Shao Gang *et al.*. Affine registration of 2D point pattern image [J]. *J. Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2005, **17**(7): 1497~1503
孙焱,王秀坤,邵刚等. 二维点模式图像的仿射变换配准[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, **17**(7): 1497~1503
- 2 Liu Guixi, Liu Dongmei, Liu Fengpeng *et al.*. A robust image registration algorithm based on feature points matching[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 454~461
刘贵喜,刘冬梅,刘凤鹏等. 一种稳健的特征点配准算法[J]. 光学学报, 2008, **28**(3): 454~461
- 3 Jia Guimin, Wang Xiangjun, Zhang Shihai. Target tracking algorithm based on adaptive template update in complex background[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(3): 659~663
贾桂敏,王向军,张世海. 复杂背景下基于自适应模板更新的目标跟踪算法[J]. 光学学报, 2009, **29**(3): 659~663
- 4 F. Maes, a. Collignon, D. Vandermeulen *et al.*. Multimodality image registration by maximization of mutual information [J]. *IEEE*

- Transactions on Medical Imaging*, 1997, **16**(2): 187~198
- 5 Liu Zhixin, Li Shuxiang. Automatic serial image registration by regional counting in joint-histogram[J]. *J. Image and Graphics*, 2002, **7**(5): 450~456
刘哲星,李树祥. 基于联合直方图区域计数的时间序列图像自动配准方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, **7**(5): 450~456
- 6 Wang Bin, Zhao Yuejin. Motion filtering algorithm for tracking technology based on image stabilization [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2009, **17**(1): 202~206
王斌,赵跃进. 基于电子稳像跟踪技术的运动滤波算法[J]. 光学精密工程, 2009, **17**(1): 202~206
- 7 P. J. Besl, N. A. McKay. A method for registration of 3D shapes[J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, **14**(2): 239~256
- 8 Ye Chuangqi, Miao Qiguang, Wang Baoshu. An image fusion algorithm using region segmentation and contourlet transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 447~453
叶传奇,苗启广,王宝树. 基于区域分割和Counterlet变换的图像融合算法[J]. 光学学报, 2008, **28**(3): 447~453
- 9 Shun Tao, Wang Xiukun, Shao Gang *et al.*. Affine registration of 2D point pattern image [J]. *J. Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2005, **17**(7): 1497~1503
孙焱,王秀坤,邵刚等. 二维点模式图像的仿射变换配准[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, **17**(7): 1497~1503
- 10 Kang Xin, Han Chongshao, Yang Yi. Structure-driven SAR image registration[J]. *J. System Simulation*, 2006, **18**(5): 1307~1310
康欣,韩崇昭,杨艺. 基于结构的SAR图像配准[J]. 系统仿真学报, 2006, **18**(5): 1307~1310
- 11 Zhou Yi, Shi Jiaoying, Zhao Youbing. Robust algorithm for feature point matching [J]. *J. Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2002, **14**(8): 754~758
周骥,石教英,赵友兵. 图像特征点匹配的强壮算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, **14**(8): 754~758
- 12 Chen Hua, Ye Dong, Chen Gang. Digital image correlation search method based on genetic algorithm [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2007, **15**(10): 1633~1637
陈华,叶东,陈刚. 遗传算法的数字图像相关搜索法[J]. 光学精密工程, 2007, **15**(10): 1633~1637
- 13 X. J. Yang, Y. L. Sheng, W. G. Guan *et al.*. Adaptive hill climbing and iterative closest point algorithm for multisensor image registration with partial hausdorff distance [C]. *SPIE*, 2003, 99~108
- 14 M. P. Wachowiaka, R. Smolkova, G. D. Tourassib *et al.*. Similarity metrics based on nonadditive entropies for 2D-3D multimodal biomedical image registration [C]. *SPIE*, 2003, **5032**: 1090~1100