

基于特征点的图像配准技术探讨

赵 芹^{1,2}, 周 涛², 舒 勤¹

(1.四川大学电气信息学院信号与信息处理, 四川 成都 610065; 2.电子对抗国防科技重点实验室, 四川 成都 610036)

摘要: 图像配准是图像融合、运动目标检测中的关键技术之一。近年来国内外出现了各种新颖的配准算法, 但均有各自的应用局限, 只能适用于特定的场合。该文章从图像配准的一般原理出发, 对目前主流的配准方法进行综合的分析和讨论, 归纳其优缺点及其应用场合, 并展望了图像配准算法的未来发展趋势, 对相关领域的研究具有一定的指导意义。

关键字: 仿射变换; 图像配准; 特征点提取; 特征点匹配

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2006)06-0327-04

Discussion of Image Registration Based on Feature Points

ZHAO Qin¹, ZHOU Tao², SHU Qin¹

(1. Signal and Information Processing, School of Electrical Engineering and Information Science,
SiChuan University, Sichuan Chengdu 610065, China;

2. National Key Laboratory of Electronic Warfare, Sichuan Chengdu 610065, China)

Abstract: Image registration is an important technique in image fusion and moving target detection(MTD). Despite some novel registration methods have been proposed in recent years, each of them could be only applied to some specific applications. Based on the principles of image registration, this paper analyzed the characteristics of several popular methods, summarized their valid application ranges, and discussed the development tendency of image registration. The analyze results provide available advice in relative image processing field.

Key words: affine transform; image registration; feature points extraction; feature points match

引言

图像配准是确定同一场景、不同时间、不同视点或者不同成像方式的两幅图像之间的几何变换参数的技术。它是计算机视觉、模式识别、图像融合、运动目标检测等中的一项关键技术。

常用配准方法有基于特征点、模板匹配、边界链码、仿射不变性等方法。其中基于特征点的方法是应用最广泛的一类算法。它不需要利用整幅图像的像素值, 而是通过选取几个明显的特征点来实现图像配准, 减少了运算量, 可以兼顾实时性和有效性。

基于特征点的图像配准方法一直是研究的热点。早期有Davis提出采用网格中心作为特征点, 利用模板匹配的方法^[1]; Stockman提出采用线交叉点作为特征

点, 并用互相关进行匹配度量^[2]。近期有Guarneri提出基于小波变换的配准方法^[3]; 刘卫光提出的基于插值和相位相关的方法, 可以使配准达到亚像素精度^[4]。

本文首先从众多的算法中总结出基于特征点配准的基本原理; 然后对目前的主流算法进行详细的分析、比较和总结; 最后展望了对图像配准算法的发展趋势。

基于特征点配准的一般方法:

设基准图像为 $f(x,y)$, 待配准的图像为 $g(x,y)$ 。假设基准图像上的点 (\hat{x}, \hat{y}) 对应待配准图像上的点 (x,y) , 则 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 之间的仿射变换可以表示为:

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: k 为尺度因子, θ 为旋转角度, Δx 和 Δy 分别为两坐标轴的平移量。在获取 m 个 ($m \geq 4$) 特征点以后, 根据适当的参数估计模型, 比如: 最小均方误差 (RMSE), 应用曲线拟合, 估计出式(1)中的配准参

收稿日期: 2006-01-19

作者简介: 赵芹 (1982—), 女, 硕士研究生, 四川大学信号与信息处理专业。主要研究方向为图像处理、数字信号处理。

数,进而得出两图像间的仿射变换关系。这样就可将两幅图像配准。当图像间形变较大时,须采用高阶模型进行配准^[5]。

其中的重点和难点是从两幅图中提取出特征点,并且将来自两幅图的特征点匹配。下面将着眼于特征点选取和特征点匹配两个方面,对现今的主流算法做详细的分析与比较。

1 特征点选取

特征点是进行图像配准的基础,其质量好坏将直接影响配准的精度和效率。为了有效地配准两幅图像,特征点的检测算法应具有旋转、平移不变性,并且当图像发生小的尺度变化和透视形变时,也具备检测出对应位置特征点的能力。

1.1 利用 Gabor 小波抽取特征点

由于 Gabor 小波有极好的方向性,因此被广泛应用于图像处理的特征提取、纹理分析和立体视差估计等方面。该方法对图像做 Gabor 小波变换,然后抽取具有最大能量测度的点作为特征点。Gabor 小波的定义为:

$$\Phi(x, y, \theta) = e^{-(x^2 + y^2) + j\pi(x \cos \theta + y \sin \theta)} \quad (2)$$

式中: x, y 是横纵坐标, θ 是空间方向角。将参数离散化之后,得到的小波簇可表示为:

$$\psi(\sqrt{2}^j(x - x_0, y - y_0), \theta_k) \quad (3)$$

式中: 尺度参数 $\alpha = \sqrt{2}^j$ 。这样得到 Gabor 小波变换为:

$$W_j(x, y, \theta_k) = \iint f(x_1, y_1) \psi(\sqrt{2}^j(x_1 - x, y_1 - y), \theta_k) dx_1 dy_1 \quad (4)$$

它可以较好的表示出每一个像素点上的方向信息。定义能量测度函数:

$$Q_{i,j}(x, y, \theta_k) = G(|W_i(x, y, \theta_k) - \gamma W_j(x, y, \theta_k)|) \quad (5)$$

式中: $G()$ 为任一种非线性转换函数, $\gamma = \alpha^{-2(i-j)}$ 。对于 $Q_{i,j}(x, y, \theta_k)$, 首先选取使 $Q_{i,j}(x, y, \theta_k)$ 取最大值的 θ_k , $\theta_k \in [0, \pi]$ 。然后在图中选取邻域 $N_{x,y}$, 确定在 $N_{x,y}$ 中使 $Q_{i,j}(x, y, \theta_k)$ 取最大值的 (x, y) , 则 (x, y) 为该特征点^[6]。

算法特点:

1) Gabor 小波有良好的方向性,选取的特征点多位于图像的边缘、转角处,能较好的表示图像的特征信息。但它对细节和噪声较为敏感,适用于背景相对清洁的图像。实际应用中可先做消噪处理,以提升算法的可靠性。

2) 算法中 θ_k 、 α 、 $G()$ 的取值可视实际情况而定,灵活多变,使该方法可胜任更多的场合。

3) 当图像中目标较小时,选取的邻域数较少,运算量不大。但当目标较大时,选取的邻域数增多甚至涵盖整幅图像,运算量将大幅度增加。

1.2 采用角点作为特征点

角点包含丰富的局部特征和形状信息,近年来成为研究的热点。角点检测算法主要有基于模板匹配、边缘检测和灰度变换的方法。其中 Harris 算法和 SUSAN 算法最具代表性。此外,利用小波分析和数学形态学的检测方法也得到较好的发展。下面就 Harris 算法做详细介绍。Harris 算子为:

$$R = \det(A) - k \cdot \text{tr}^2(A) \quad (6)$$

式中:

$$A(i, j) = W \begin{bmatrix} I_u^2(i, j) & I_{uv}(i, j) \\ I_{uv}(i, j) & I_v^2(i, j) \end{bmatrix} \quad (7)$$

W 为高斯平滑模板, $I_u(i, j)$ 、 $I_v(i, j)$ 和 $I_{uv}(i, j)$ 分别为像素点 $I(i, j)$ 在 u 、 v 方向的偏导数和混合偏导数。 k 为经验值,通常取 0.04~0.06。当某点的 R 大于设定阈值 T 时,该点为角点^[7]。

算法特点:

1) 避免了矩阵 A 的特征值分解,并且只用到灰度值的一阶差分,计算简单,速度快。

2) 对于纹理信息丰富的图像,可以提取出大量的特征点。但当噪声较大或干扰物过多时,特征点大幅度增加,将显著增加特征点匹配的运算量。因此该方法适合于具有明显角度特征且信噪比较高的场合,如,公路的十字路口、房屋的棱角等人造物体。

1.3 以闭合区域的质心作为特征点

先选取合适的阈值做图像分割;然后利用形态学的“开启”运算,消除杂点干扰;最后对每个闭合区域求质心,以质心作为特征点。如图 1~图 4 所示。

算法特点:

1) 该方法简单直观,运算量小。并且由于区域质心是灰度值的宏观统计量,因此对噪声干扰不敏感^[8]。

2) 若图片中目标大,个数少,并且随着镜头的移动,扫描到的目标面积发生变化,则计算出的质心发生偏移,不利于图像配准。另外,若图像主要由大量小目标组成,特征点提取有效性变差。

3) 适用于目标/背景灰度差明显,并且目标大小适中的图片。若图片不满足此条件,可先做边缘检测,以寻找具有闭合边界的区域,在此区域内求质心。

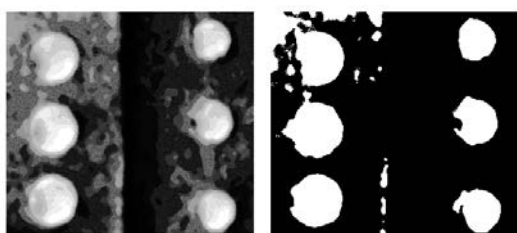


图1 原始图片
Fig.1 Original picture

图2 分割后的图片
Fig.2 After segmentation

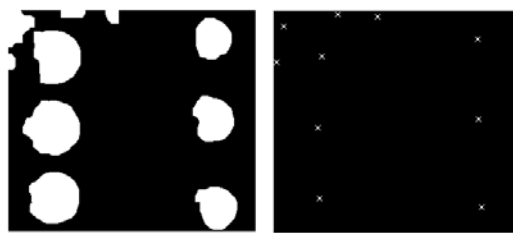


图3 “开启”后
Fig.3 After “open” operation

图4 求得的质心
Fig.4 Result

1.4 比较与总结

特征点是图像特征的提取, 实际应用中应充分利用图像本身的特点, 选取有效的特征点。

对于背景相对清洁, 前景物体较小的情况, 比如: 天空中运动小目标的检测, 适宜采用 Gabor 小波抽取特征点; 若背景复杂, 但物体大小适中, 可采用区域质心的方法, 也可先进行降噪处理再用 Gabor 小波; 若物体包含明显的形状特征, 如: 地形、行驶的车辆等, 则适宜采用角点检测。

若图像中有其他显著特征, 也应当充分利用。比如彩色图片可利用像素颜色以及邻域像素颜色; 有固定目标的图像(如: 太阳)也可此作为特征点。特征点提取是进行配准的重要步骤, 只有保证特征点准确可靠, 才能进行有效的配准。

2 特征点匹配

2.1 利用 Hausdorff 距离进行点集匹配

Hausdorff距离用于表征两个点集的不相似程度。设点集 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$, $B=\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$, 则Hausdorff距离定义为:

$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (8)$$

式中:

$$h(A, B) = \max_{a_i \in A} \left\{ \min_{b_j \in B} \|a_i - b_j\| \right\} \quad (9)$$

以Hausdorff距离为相似性准则, 选择适当的搜索范围和搜索策略, 可获得两个点集之间的最佳匹配^[9]。

算法特点:

1) 由于待配准的两幅图之间通常存在许多差异, 抽取的特征点不可能做到一一对应, 而 Hausdorff 距离只关心两个点集之间的距离, 不强调点与点之间的一一对应, 因此非常适合于基于特征点的图像配准。

2) 对于干扰较为敏感。假定点集 A 和 B 非常相似, 而 B 中仅有一点与 A 相差较大时, $h(B, A)$ 和 $H(A, B)$ 的值就变得很大。文献[9]提出的改进措施, 采用排序方法选取合适的值, 而不是直接选取最大值, 使得该方法可以容忍个别干扰点引起的误差。

3) 在搜索范围内逐个搜索并判断其相似性, 是相当耗时的过程, 其运算量直接依赖于特征点数目, 特征点个数越少, 运算量越小。因此在实际应用中, 应设法选取精而少的特征点。

2.2 相关搜索法

设从待配准的两幅图 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 中获取的特征点集分别为 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$, $B=\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$, 该算法的步骤是:

第一步, 以 a_i 为中心, 在图像 $f(x, y)$ 中选择大小为 W 的目标窗 W_1 ; 以 b_j 为中心, 在图像 $g(x, y)$ 选择大小为 $(2W+1)$ 的搜索窗 S 。

第二步, 在 S 内选择以任一点 c_k 为中心, 大小为 W 的相关窗 W_2 。

第三步, 计算 W_1 和 W_2 的相似性测度 L_{jk} 。选择常见的相似性测度, 如: 互相关、协方差即可。

第四步, 变化 k 使 L_{jk} 取最大值 $L_{j\max}$ 。

第五步, 变化 j 使 $L_{j\max}$ 取最大值 L_{\max} 。

这样特征点 a_i 的同名点即可找到。重复以上步骤, 就可以找到点集 A 和 B 的全部同名点^[10]。

算法特点:

1) 该算法以窗为单位计算相似性测度, 实质上是从宏观的角度, 考察图像的统计量, 使得该算法对个别干扰点的敏感度大大减小。

2) 相关窗只做直角坐标系的平移, 没有考虑旋转的因素, 因此当图像间存在较大旋转量时, 算法误差增大。应用中, 可将直角坐标系变换到极坐标系, 以兼顾平移和旋转。

3) 搜索同名点的过程采用了两层循环, 若特征点数目较多, 运算量将以二次方增长。

2.3 基于凸包(Convex Hull)匹配

凸包是以特征点为顶点的一个多边形, 它将其他所有特征点都包含在内。如图5~图7所示。

通常, 如果图像中有固定的刚体目标, 则我们可以利用刚体的仿射不变矩建立匹配关系^[11]。然而在图像配准时, 由于我们无法确定某一物体是否在连续的图像序列中完全出现, 而无法利用仿射不变矩。现在

我们以特征点建立了凸包,如果将凸包看作序列图像中固定的刚体目标,则其仿射不变矩可以被充分利用。文献[12]提出建立如图7中包含的三角形和四边形,并利用其仿射不变性进行配准。



图5 特征点

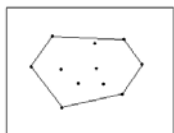


图6 凸包

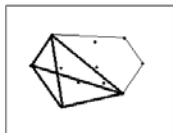


图7 三角形

Fig.5 Feature points Fig.6 Convex hull Fig.7 Triangle
算法特点:

1) 巧妙的运用了仿射不变性,使算法不仅可靠,而且复杂度和运算量大大降低。

2) 对噪声不敏感;个别物体的出现或消失,也不会对计算结果产生影响。如果变化点在凸包内部,并没引起凸包形状变化,这不会影响计算结果。如果引起了凸包形状的局部变化,由于四边形只关心邻近的四个点的位置,那么仍然可以依据没有发生变化的顶点进行匹配。

3) 特征点分布越均匀,凸包面积越大,匹配越准确。反之则不适用。

2.4 比较与总结

在应用中,应根据特征点的分布情况,选取合适的特征点匹配方法。如果特征点分布均匀,涵盖面积大,则适宜采用“凸包”的方法,既减少运算量又保证可靠性;如果不满足此条件,则可采用 Hausdorff 距离或相关搜索法。但这两种方法的实时性较差,所以应尽量选取少而精的特征点,以减少运算量。

此外,也可将特征点选取/匹配两个步骤灵活结合,比如先粗略选取特征点,然后通过匹配过程的反馈信息去改变特征点的选取,使得特征点的选取由粗到精,同时完成特征点匹配^[3]。进行特征点匹配之后,就可以求出图像的仿射变换参数,进行准确的图像配准。

3 展望

基于特征点的图像配准方法近年越来越引起研究者的重视,各种新颖的算法不断涌现。每种方法都有各自的优缺点和应用范围。应用时应根据实际情况选取合适的配准方法。若要求精度高,可考虑多次选取/匹配,每次选取/匹配特征点时,参考最近几次的情况,由粗到精递归求解;或者采用神经网络的学习机制,使匹配结果逐步精确,最终符合要求。

从大量的文献报道看来,未来的图像配准将进一步追求实时性、高精度和可靠性。为减小运算量,可

着眼于研究某一算法的快速算法;对一些运算量大的步骤寻找其简单的替代步骤。此外,目前已经有大量解决亚像素精度配准的研究成果^[13]。在追求实时性、高精度的同时,不可忽略算法的鲁棒性,比如是否在任何条件下都收敛。总之,随着新方法的不断出现,基于特征点的图像配准方法有良好的发展前景和应用前途。

参考文献:

- [1] W.A.Davis, S.K.Kenue. Automatic Selection of Control Points for the Registration of Digital Images[A]. *Proc. 4th Int. Joint Conf. Pattern Recognition*[C]. 1978.
- [2] G.C.Stockman, S.Kopstein, S.Benett. Matching Images to Models for Registration and Object Detection Via Clustering[J]. *IEEE. Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* 1982, **PAMI-4**(3).
- [3] I.Guarneri, M.Guarnera, G.Lupica, et al.. Image Registration Method for Consumer Devices[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics.* 2005, **51**(3).
- [4] 刘卫光, 崔江涛, 周利华. 插值和相位相关的图像亚像素配准方法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报.* 2005, **17**(6).
- [5] 于秀兰, 刘少龙, 钱国惠, 等. 一种多光谱和 SAR 遥感图像的配准方法[J]. *中国图像图形学报.* 2000, **5** (2): 100~105.
- [6] B.S. Manjunath, R. Chellappa, C. Malsburg. A feature based approach to face recognition[J]. *IEEE. Vision Pattern Recognition, Champaign, Illinois.* 1992: 373~378.
- [7] Harris.C, Steven.M. A Combined Corner and Edge Detector[A]. *Proceedings of the Fourth Alvey Vision Conference*[C]. 1988: 147~151.
- [8] Jan Flusser, Tomas Suk. A moment-based approach to registration of images with affine geometric distortion[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 1994, **32**(2).
- [9] 舒丽霞, 周成平, 彭晓明, 等. 基于 Hausdorff 距离图像配准方法研究[J]. *中国图像图形学报.* 2003, **8**(12): 1412~1417.
- [10] Qinfen Zheng, Rama Chellappa. A Computational Vision Approach to Image Registration[J]. *IEEE. Transactions On Image Processing.* 1993, **2**(3).
- [11] 韩建涛, 陈曾平. 红外目标检测与识别技术研究[J]. *红外技术.* 2001, **23**(6): 11.
- [12] Zhengwei Yang and Fernand S.Cohen. Image Registration and Object Recognition Using Affine Invariants and Convex Hulls[J]. *IEEE. Transactions on Image Processing.* 1999, **8**(7).
- [13] Thevenaz P, Ruttimann U. A Pyramidal Approach to Subpixel Registration Based On Intesity[J]. *IEEE Transactions On Image Processing.* 1998, **7**(1): 27~41.