

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.01.006

基于 AKAZE 算法的图像拼接研究 *

闫 番 张 莹 高 赢 涂勇涛 张东波

(湘潭大学 信息工程学院 湘潭 411105)

摘要:针对基于 KAZE 特征检测的图像拼接算法实时性问题,提出一种简单有效的 AKAZE 拼接算法。该算法首先通过 AKAZE 算法提取图像特征点,接着计算 M-LDB 描述符从而生成特征向量。随后计算特征向量之间的汉明距离,提取出匹配的特征点对,然后利用 RANSAC 算法估算全局单应性矩阵,根据动态线性变换算法求取重叠区域局部投影关系,结合两者统一投影平面,最后利用加权融合实现两幅图像的拼接。对 KAZE、SIFT、SURF、ORB、BRISK 进行性能实验比较,所用算法不仅对于高斯模糊、角度旋转、尺度变换和亮度变化等情况下保持良好的性能,而且处理时间大大缩短,实现了有效的图像拼接。

关键词:AKAZE 算法;特征检测;特征匹配;图像拼接

中图分类号: TN911.73; TP391.41 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 520.60

Research of image stitching based on AKAZE algorithm

Yan Fan Zhang Ying Gao Ying Tu Yongtao Zhang Dongbo

(College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: To solve the time-consuming problem of image stitching algorithm based on KAZE, a simple and effective image stitching algorithm based on AKAZE is proposed. Firstly, AKAZE feature points are extracted. Secondly, feature vectors are constructed using the M-LDB descriptor and matched by computing the Hamming distance. Thirdly, wrong matches are eliminated by RANSAC and the global homography transform, and then a local projection transform is estimated using moving direct linear transformation in the overlapping regions. The image registration is achieved by combining the two transforms. Finally, the weighted fusion method fuses the images. A performance comparison test can be conducted aiming at KAZE, SIFT, SURF, ORB, BRISK. The experimental results show that the proposed algorithm has better robustness for the various transform, and the processing time is greatly reduced.

Keywords: AKAZE algorithm; features detection; feature matching; image stitching

1 引言

图像拼接(image stitching)是将2幅或者多幅有重叠部分的图像进行空间匹配对准采样合成一幅包含各图像序列信息的宽视角场景的图像,在不改变硬件的条件下获取较大的视野。该技术广泛应用于遥感测量、计算机视觉、医学图像分析、计算机图形学等领域,研究图像拼接技术有十分重要的现实意义^[1],本文则在计算机视觉领域对其进行了研究和验证。

图像拼接主要分为3类:基于灰度信息、基于变换^[2]

和基于特征图像拼接方法。近年来,基于特征的图像拼接方法因算法的简便、稳健成为研究的热点。传统的特征检测算法如 Harris、SUSAN 等直接提取边缘或角点,对环境的适应能力较差。SIFT、SURF 等基于线性尺度分解的算法鲁棒性虽强,但牺牲了局部精度,容易造成边界模糊和细节丢失^[3]。Leutenegger 等人^[4]的 BRISK 和 Rublee 等人^[5]的 ORB 算法都没有解决尺度不变性问题,基于非线性扩散的 KAZE 特征检测算法^[6]鲁棒性强、匹配率高,但实时性明显低于其他算法影响了它在工程实践中的应用,这些问题都影响了其算法在图像拼接中的使用。

为此,本文利用 AKAZE 算法在旋转不变性、光照不变性、速度及稳定性等方面的优势,提出了一种基于 AKAZE 算法的快速无缝图像拼接算法。算法主要贡献有在非线性尺度空间的构建和特征检测方面对算法做出优化和改进,改进二进制描述子 M-LDB,在保证原算法鲁棒性、匹配率的基础上,增强算法的实时性,重叠区域动态改变权值求取的变换关系精度更好,避免一定情况下的图像结构对准错位问题。实验结果表明,基于 AKAZE 算法的特征实现图像拼接,即使在图像变换、亮度变化和噪声等情况下依然具有较好的适应能力,在匹配时间、实时性和鲁棒性拼接效果上都优于其它算法。

2 AKAZE 算法

2.1 非线性扩散滤波

为了克服高斯尺度空间边缘模糊问题,引入非线性扩散滤波器保护边缘。非线性扩散法将在不同尺度上图像亮度 L 的演变作为某种形式的流动函数的散度,这个流动函数控制了扩散的过程,可描述为:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \operatorname{div}(c(x, y, t) \cdot \nabla L) \quad (1)$$

式中: div 、 ∇ 分别代表散度、梯度传导函数, $c(x, y, t)$ 设置使得扩散自适应于图像的局部结构,促进区域内的平滑而非区域间的平滑, $c(x, y, t) = g(|\nabla L|(x, y, t)|)$ 。 ∇L 是原始图像经高斯平滑后的梯度,时间 t 在此为尺度参数,值越大则图像的表示形式越简单,传导函数的构造如下:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial t} = \operatorname{div}(g(|\nabla L|) \cdot \nabla L) & (x, y) \in R^2 \\ L(x, y, 0) = L_0(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

$g(|\nabla L|) \in [0, 1]$ 是扩散系数,又称边缘停止函数,在式(2)中相当于传热学中的导热系数中, k 为对比度因子,用于控制边缘信息保留量。

$$g(|\nabla L|) = 1/(1 + |\nabla L|^2/k^2) \quad (3)$$

由于非线性偏微分方程无解析解,AKAZE 采用快速显性扩散(fast explicit diffusion,FED)算法进行求解,FED 算法能够有效地解决 KAZE 特征中 AOS 算法需要在每个时间步长中求解大量线性方程的问题,进而提升算法速度^[7-8]。其主要思想是以变化的步长 τ_j 完成 n 步扩散,循环 M 周期。式(1)离散化表示为式(4), \mathbf{I} 表示单位矩阵,这里 \mathbf{L}^i 表示第 i 次迭代时包含每一幅图像像素点灰度值的向量, τ 为时间步长, $A(\mathbf{L}^i)$ 是由 \mathbf{L}^i 导出的传导矩阵。

$$\frac{\mathbf{L}^{i+1} - \mathbf{L}^i}{\tau} = A(\mathbf{L}^i)\mathbf{L}^i \quad (4)$$

假设 $\mathbf{L}^{i+1.0} = \mathbf{L}^i$, 并用变化的时间步长 τ_j 代替常值

时间步长,FED 算法周期表示为:

$$\mathbf{L}^{i+1,j+1} = (\mathbf{I} + \tau_j A(\mathbf{L}^i))\mathbf{L}^{i+1,j} \quad j = 0, \dots, n-1 \quad (5)$$

$$\tau_j = \frac{\tau_{\max}}{2\cos^2(\pi \frac{2j+1}{4n+1})} \quad (6)$$

其中 n 表示循环长度, τ_{\max} 是不破坏显式方程稳定性所允许的最大步长,经过一个完整的迭代循环,可得到 $\mathbf{L}^{k+1} = \mathbf{L}^{k+1,n}$,FED 算法扩散一个周期的总时间:

$$\theta_n = \sum_{j=0}^{n-1} \tau_j = \tau_{\max} \frac{(n^2 + n)}{3} \quad (7)$$

在每个完整迭代循环的末尾得到了一个稳定的格式,保证了整个算法的稳定,大幅增加了扩散时间,提升整个数值格式的计算效率。

2.2 建立非线性尺度空间

AKAZE 算法的尺度空间呈金字塔型,尺度级别是按对数递增,共 O 组图像,每组图像有 S 个子层级。SIFT 中每个新的 Octave 要逐层进行降采样,而 AKAZE 的各个层均采用与原始图像相同的分辨率。不同的层级和子层级分别采用 o 和 s 来标识。尺度参数可以表示如下:

$$\delta_i(o, s) = \delta_0 2^{o+s/S}$$

$$o \in [0 \dots O-1], s \in [0 \dots S-1], i \in [0 \dots N] \quad (8)$$

式中: δ_0 是尺度参数的初始值, O 是尺度空间层级数量, $N = O \times S$ 是整个尺度空间中图像总数。由于非线性扩散滤波作用于时间序列上,需将像素为单位的尺度参数 δ_i 映射到时间为单位 t_i 的尺度参数得:

$$t_i = \frac{1}{2} \delta_i^2 \quad i = \{0 \dots N\} \quad (9)$$

2.3 特征点检测及描述

本文算法通过寻找局部极大值点,在非线性尺度空间每一个滤波图像 \mathbf{L}^i 计算 Hessian 矩阵^[9]。

$$\mathbf{L}_{\text{Hessian}}^i = \sigma_{i,\text{norm}}^2 (\mathbf{L}_{xx}^i \mathbf{L}_{yy}^i - \mathbf{L}_{xy}^i \mathbf{L}_{yx}^i) \quad (10)$$

式中: $\sigma_{i,\text{norm}} = \sigma_i / 2^{\sigma_i}$ 是对应图像组中归一化尺度因子,将每一个经过 Hessian 矩阵处理过的像素点与它同尺度邻域及相邻的两个尺度上的相邻点即 3 个 $\sigma_i \times \sigma_i$ 矩形窗口范围内的像素比较,求得极大值。特征检测如图 1 所示。



图 1 特征检测

Fig. 1 Feature detection

确定特征点位置后,需要特征点的局部图像结构来主导取向,设特征点尺度参数为 σ_i 的领域内计算所有特

征点的 x 、 y 即水平方向、垂估计直方向的一阶偏导并进行高斯加权,然后将加权值作为图像像点的响应值,以 60° 的扇形滑动窗口对窗口内所有素点的响应值进行求和,和值最大的方向为特征的主方向,从而保证了特征点的旋转不变性。

二进制描述由于其使得特征点的匹配高效在 BRIEF、ORB 和 BRISK 中广泛使用^[10-11],但其快速性设计仅利用了灰度信息,在匹配数据量较大时不具有鲁棒性和区分性。本文提出了 M-LDB,除了平均灰度还引入 x 和 y 的一阶梯度信息,获取网格内部如边缘的大小和方向等信息,增强区分性。网格划分后根据特征点的主方向将网格相应旋转,具有旋转不变形 $Func(\cdot)$ 定义如下:

$$\begin{aligned} Func(\cdot) &= \{ Func_{intensity}(i), Func_{dx}(i), Func_{dy}(i) \} \\ Func_{intensity}(i) &= \frac{1}{m} \sum_{k=1-m} Intensity(k) \\ Func_{dx}(i) &= Gradient_x(i) \\ Func_{dy}(i) &= Gradient_y(i) \end{aligned} \quad (11)$$

式中: m 是大小相等的网格 i 的总数, $Func(\cdot)$ 是用于提取网格单元信息的函数, $Gradient_x(i)$ 和 $Gradient_y(i)$ 为网格 i 区域的 x 和 y 方向梯度。根据式(11)得每对网格二进制测试生成 3 bit。一对网格单元(i 和 j)二进制测试如下:

$$\tau(Func(i), Func(j)) = \begin{cases} 1, & (Func(i) - Func(j)) > 0 \text{ and } i \neq j \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

以特征的尺度 δ 函数对网格二次抽样,缩放尺度采样使得描述子具有尺度不变特性。M-LDB 使用在特征检测步骤计算的梯度,减少了构建描述符所需的操作。测试过程描述如图 2 所示。

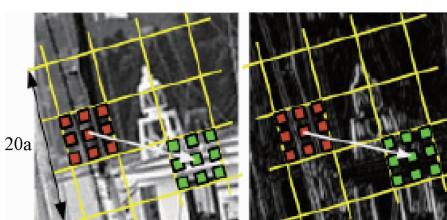


图 2 二进制测试 M-LDB

Fig. 2 M-LDB binary test

M-LDB 算子生成的是 0 和 1 组成的二进制描述符,描述符之间的距离采用汉明距离计算^[12]。Hamming 距离进行匹配大大减少了计算时间,提高了特征点匹配的效率。

3 图像配准拼接

3.1 全局单应性估算

在特征点配对中,模型从一个平面上的特征点到另

一平面上特征点的投影关系,反映为投影矩阵 H , I 、 I' 表示目标图像和参考图像, $p = [x \ y]^T$ 和 $p' = [x' \ y']^T$ 是一对匹配点, I 和 I' 之间的单应性变换 $p' = h(p)$, 表示为:

$$h_x(p) = \frac{h_1x + h_2y + h_3}{h_7x + h_8y + h_9} \quad (13)$$

$$h_y(p) = \frac{h_4x + h_5y + h_6}{h_7x + h_8y + h_9} \quad (14)$$

齐次坐标 $\hat{p} = [x \ y \ 1]^T$, $\hat{p}' = [x' \ y' \ 1]^T$ 可以用扩展成的单应性矩阵 $H \in R^{3 \times 3}$ 为:

$$\hat{p}' \sim H\hat{p} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{即 } X' = HX \quad (16)$$

式中: h_0, h_1, \dots, h_7 为变换参数, H 为变换矩阵。 H 是 8 个自由度矩阵,两幅图像间的变换关系 H 可以通过 4 个对应的像素匹配对来求取。通过求解图像之间的单应性矩阵 H 来合成图像。

图像的特征点并非一一对应,通过 Hamming 距离匹配之后,仍可能存在误匹配。为了进一步删除错误匹配点对,采用 RANSAC(random sample consensus)算法^[13] 删除误匹配,同时得到用于平面统一的基本矩阵。

3.2 局部投影矩阵计算

H 的列向量 $h_1 = [h_1 \ h_4 \ h_7]^T$, $h_2 = [h_2 \ h_5 \ h_8]^T$, $h_3 = [h_3 \ h_6 \ h_9]^T$, 给式(15)左乘一个因子,得:

$$\theta_{3 \times 1} = \hat{p}' \times H\hat{p} \quad (17)$$

设有半正定矩阵 B ,使得 $\hat{p}'^T B \hat{p}' = 0$ 。由于 $\hat{p}' \in R^{3 \times 3}$,故共有 $3 \times 2/2 = 3$ 个这样的 B 。

$$\begin{aligned} \text{令 } [\hat{p}'^T]_x &= \begin{bmatrix} \hat{p}'^T B_1 \\ \hat{p}'^T B_2 \\ \hat{p}'^T B_3 \end{bmatrix}, \quad h = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} \text{ 则:} \\ \theta_{3 \times 1} &= [\hat{p}'^T]_x \hat{p}' = [\hat{p}'^T]_x H\hat{p} = \\ &\begin{bmatrix} \theta_{3 \times 1} & -\hat{p}^T & y'\hat{p}^T \\ \hat{p}^T & \theta_{3 \times 1} & -x\hat{p}^T \\ -y\hat{p}^T & x'\hat{p}^T & \theta_{3 \times 1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (18)$$

$\hat{p}'^T B_i$ 的秩为 2,所以 $[\hat{p}'^T]_x$ 的秩也为 2,可得到 9×1 的向量 h ,由于式中 3×9 矩阵只有两行是线性独立的,对于一组有 N 对匹配点 $\{\hat{p}_i\}_{i=1}^N$, $\{\hat{p}'_i\}_{i=1}^N$,可以估计 h 为:

$$h = \arg \min_h \sum_{i=1}^N \left\| \begin{bmatrix} a_{i,1} \\ a_{i,2} \end{bmatrix} h \right\|^2 = \arg \min_h \|Ah\|^2 \quad (19)$$

式中: $a_{i,1}$ 、 $a_{i,2}$ 对应式(18)中矩阵的两行,由于单应性变换只有 8 个自由度,可以加入约束条件 $\|h\|^2 = 1$ 。解为

A 奇异分解右侧的矩阵,故对其他像素根据单应性矩阵做一次线性变换即可,统一两幅图像使用单应性矩阵的适用情况有限,对此计算 H 时采用加权估计值。

在式(19)通过包含局部目标权值,估计局部单应性,则在位置 p_j 的局部单应性估计被表示为:

$$\mathbf{h}_j = \arg \min_{\mathbf{h}_j} \sum_{i=1}^N \omega_{i,j} \left\| \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{i,1} \\ \mathbf{a}_{i,2} \end{bmatrix} \mathbf{h} \right\|^2 \quad (20)$$

又可以写成 $\mathbf{h}_j = \arg \min_{\mathbf{h}} \|\mathbf{W}_i \mathbf{A} \mathbf{h}\|^2$, 其中 $\mathbf{W}_i = \text{diag}([\omega_{1,j} \ \omega_{1,j} \ \cdots \ \omega_{N,j} \ \omega_{N,j}]) \omega_{1,j} = \max(\exp(-\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\|), \gamma) \{\omega_i\}_{i=1}^N \in [0,1]$ 与图像中每个像素距离第 i 个匹配点之间的几何距离正相关。权值的取值使用高斯补偿,假设离 \mathbf{p}_j 邻域越近的像素权值越大,相对远的像素权值则取相应较小数值。 $\gamma \in [0, 1]$ 用来防止出现数值问题的偏移补偿^[14]。仅在参考图像和目标图像之间的重叠区域计算局部单应性矩阵。

3.3 融合

配准后仅对图像简单的叠加,结果中出现模糊和明显的缝合线,这就需要融合。综合考虑拼接质量和时间代价,选择加权法来融合。带有权重值的图像融合表示为:

$$\begin{cases} I(x,y) = & \\ I_1(x,y), & (x,y) \in I_1 \\ \omega_1 I_1(x,y) + \omega_2 I_2(x,y), & (x,y) \in I_1 \cap I_2 \\ I_2(x,y), & (x,y) \in I_2 \end{cases} \quad (21)$$

式中: ω_1 、 ω_2 表示和重叠区域宽度有关的权值 $\omega_1 = (X_2 - X_i)/(X_2 - X_1)$ 和 $\omega_2 = (X_i - X_1)/(X_2 - X_1)$ 满足 $\omega_1 + \omega_2 = 1$, 其中 $0 < \omega_1 < 1, 0 < \omega_2 < 1$ 。 ω_1 由 1 逐渐变为 0, ω_2 则由 0 逐渐变为 1, 如图 3 所示,使得了 I_1 和 I_2 在重叠区域过渡平滑,消除拼接痕迹。

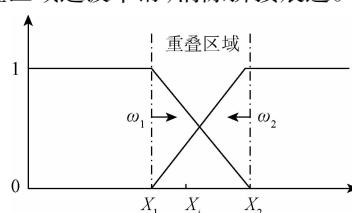


图 3 权值变化示意图

Fig. 3 Schematic diagram of weight change

全局运用单应性拼接以及本文拼接结果对比如图 4 所示,全局单应性投影拼接因会使得图像中部分结构未对齐如图 4(a)局部放大图所示,房屋结构以及道路上线条出现错位,影响图像真实性。本文算法强调全局投影特性,允许局部非投影偏差,有效降低了对准误差,在几何结构上更加逼近真实,畸变小,有效去除了拼接中人为操作留下的配准痕迹。

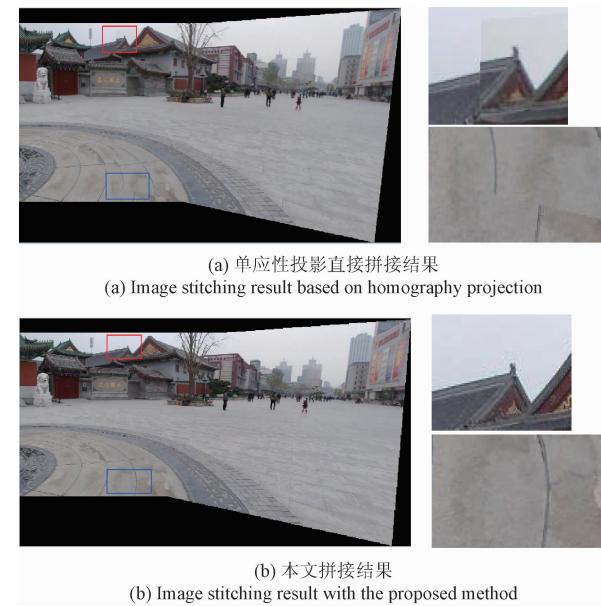


图 4 拼接结果对比

Fig. 4 The comparison of image stitching results

3.4 AKAZE 图像拼接算法

本文拼接算法总体设计如图 5 所示。AKAZE 是基于非线性尺度空间的算法,包括图 5 所示步骤。

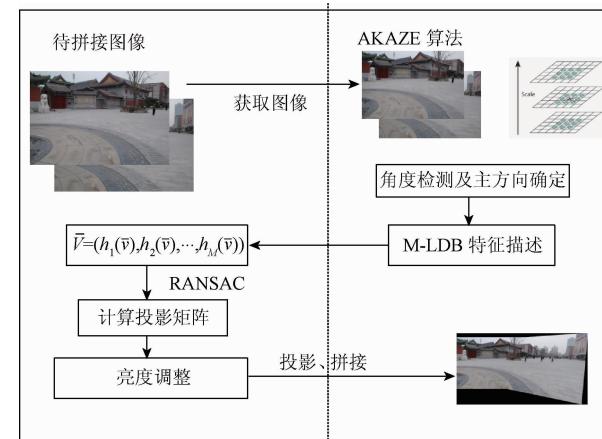


图 5 本文拼接流程

Fig. 5 Flow chart of image stitching

4 实验分析

本文使用 Visual Studio 2010 编程环境进行仿真实验。试验平台是 Windows7 (Intel Pentium G3220 3.30 GHz, 2 G 内存)。

4.1 重复率比较

首先验证本文提出的 AKAZE 特征点检测算法的有

效性。重复率(repeatability)是衡量特征点检测算法的重要指标^[14]。在2幅待匹配图像上的相同区域内分别检测出 m_1 和 m_2 个特征点,则重复率计算:

$$r_R = \frac{C(m_1, m_2)}{\min(m_1, m_2)} \quad (22)$$

$C(m_1, m_2)$ 位置对应的特征点数 $\min(m_1, m_2)$ 表示 m_1 和 m_2 的值较小者。将Mikolajczyk和Schmid提供的数据库中的部分图像作为测试数据^[15],如图6所示的4幅图像分别对应亮度、噪声、旋转和尺度图像变换,比较BRISK、ORB、SIFT、SURF、KAZE和本文特征检测算法的性能,结果如图7所示。

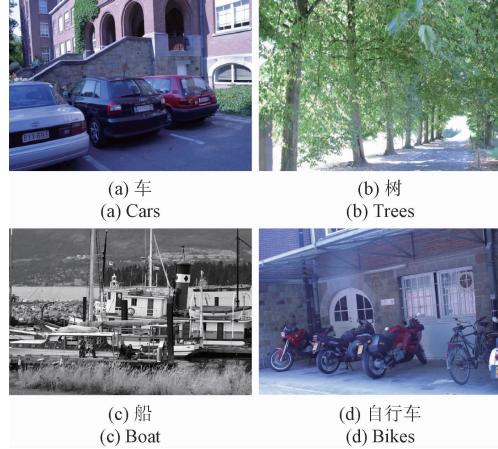


图6 数据库图

Fig. 6 Database diagram

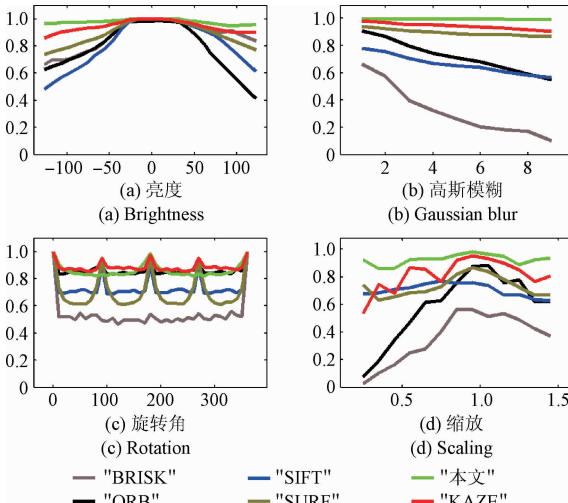


图7 重复率

Fig. 7 Repeatability

横坐标范围和步长分别如下:亮度变化(-127~127),高斯模糊(1~9),旋转角度(0~360),尺度变化(0.25~2)。

实际两幅图像中提取的特征点数不一定相等,而重复点越多即重复率越高,可能的匹配点越多,提取特征点的算法性能更好。由图7可知AKAZE的可重复性优于SIFT、SURF等其他特征,整体适应性方面本文算法、KAZE、SIFT及SURF比ORB、BRISK优越。在处理图像几何变形方面本文算法的性能比较稳定,在噪声、亮度变化较难处理的情况下仍能保持70%以上重复率。

4.2 描述子性能比较

局部不变特征是否能适应图像常见变换是保证图像匹配算法有效性的前提,采用召回率评价AKAZE描述符在不同变化条件下的匹配性能^[14],实验测试图像及数据搜集同比较4.1节条件一致。召回率(recall)是指正确匹配的特征对数占能够正确匹配的特征对数目的比率,召回率被用来评价特征描述算子的性能,不受特征点检测算子的影响。

$$\text{recall} = \frac{\#\text{correct matches}}{\#\text{correspondences}} \quad (23)$$

如图8所示,本文算法、KAZE算法的抗旋转,抗噪声性能都比较优越,但是整体亮度变化时算法性能随着图像尺度的增减急剧下降。在抗尺度缩放能方面,几乎所有的算子表现都不够理想,随尺度减小总体特征描述召回率均偏低,BRISK由于其二进制描述子不含待尺度信息故而召回率曲线在其他算法下方。总体上AKAZE算法对图像各种变化适应性较强,适于处理图像存在复杂变化的目标识别、图像匹配等任务。

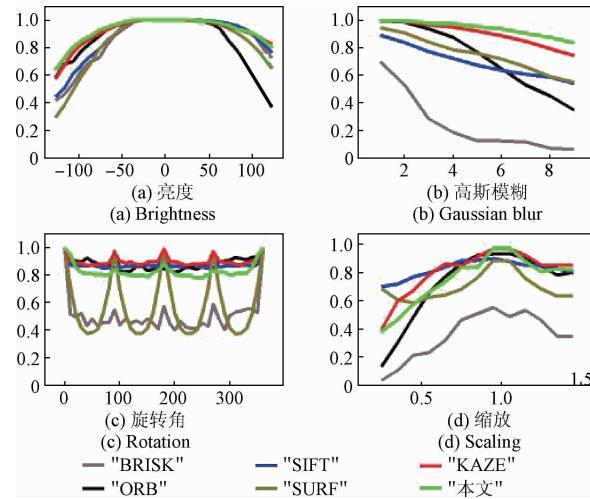


图8 不同描述法的匹配图

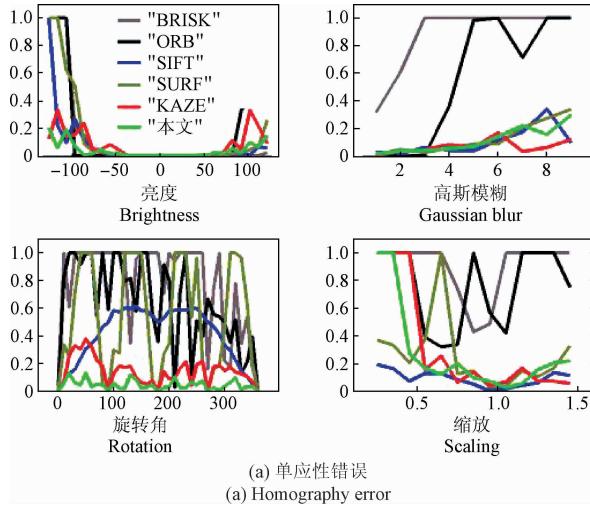
Fig. 8 The matching result of different descriptors

4.3 匹配实验比较

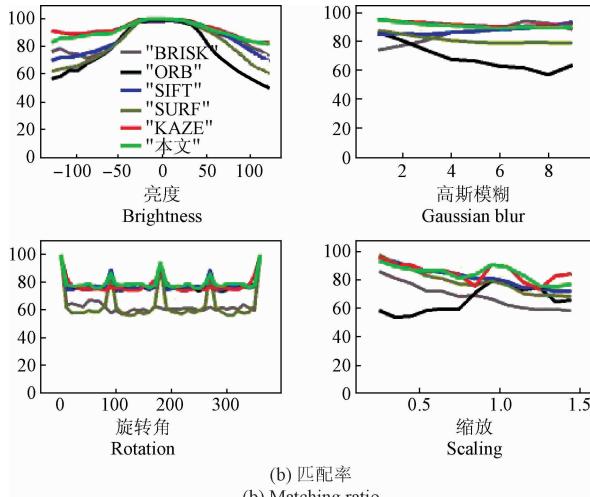
图像匹配精度会直接影响拼接结果的质量,对AKAZE算法在旋转、亮度、噪声、尺度进行匹配性能评测,并与BRISK、ORB、SIFT、SURF、KAZE特征算法比较,实验测试图像及数据搜集比较同4.1节条件一致。性能

测试包括单应性错误、匹配率、平均距离、正确匹配百分比和速度^[16]。仿真实验结果如图 9 所示。

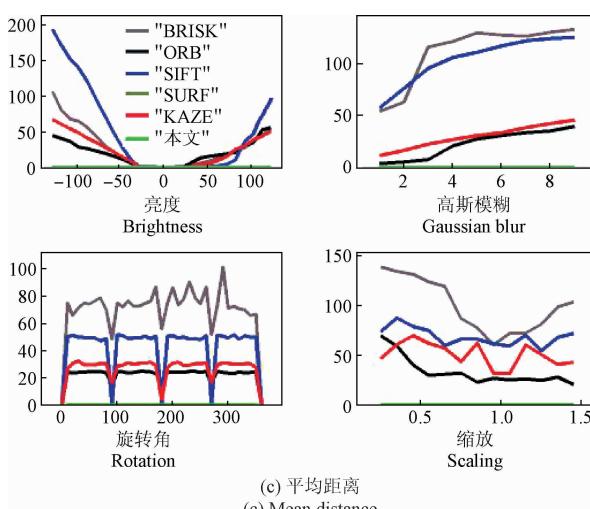
表 1 所列为各算法特征计算用时,由于尺度空间的建立,AKAZE 的检测时间与 ORB、BRISK 比略微耗时,但无论在整幅图像还是单个特征点的检测时间上都接近或



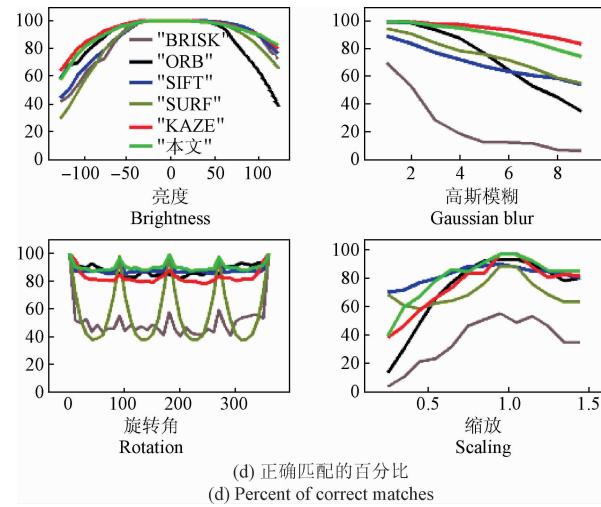
(a) 单应性错误
(a) Homography error



(b) 匹配率
(b) Matching ratio



(c) 平均距离
(c) Mean distance



(d) 正确匹配的百分比
(d) Percent of correct matches

图 9 配准算法性能对比图

Fig. 9 The comparison of matching algorithms performances

表 1 算法用时比较

Table 1 The comparison of time consuming (ms)

算法	平均用时/帧	平均用时/特征点
BRISK	127.888	0.283
ORB	111.542	0.224
SIFT	3 812.39	1.77
SURF	4 350.97	1.07
KAZE	5 639.64	1.90
本文	2 031.23	0.733

者低于 SURF、SIFT、KAZE 特征检测时间。在对图像模糊、尺度缩放等方面的测试发现与其他算法相比,AKAZE 算法中二进制的描述符的匹配可使用 Hamming 距离高效实现,在特征检测与匹配时具有更好的鲁棒性。由整体性能的比较可知基于 AKAZE 算法配准有着较优良的性能,本文提出了一种速度和性能之间较好折衷的特征配准算法,这对于图像拼接大有裨益。

4.4 拼接实验

选取不同场景的两幅图像作为拼接的关键帧进行实验,获取图像过程中尽量避免摄像机的倾斜。

图 10 所示为分别对应 4.3 节中图像的变换条件下的待拼接图像。由于目前设备水平较高且去噪算法较成熟,可在预处理部分进行去除。对应高斯变换的拼接,在此选择一般的图像进行拼接实验。图 11、12 所示分别是初步匹配特征点的对应情况和消除误匹配后的匹配结果。

用经过变换后的所有匹配点对之间的平均绝对误差 MAD 和均方根误差 RMSE 作为精度评定指标,图像之间仅运用单应性矩阵统一平面拼接与本文增加的重叠区域用动态线性化单应性所拼接结果对比如表 2 所示。



图 10 不同图像变换的待拼接原图

Fig. 10 The stitched original images of different image transformation

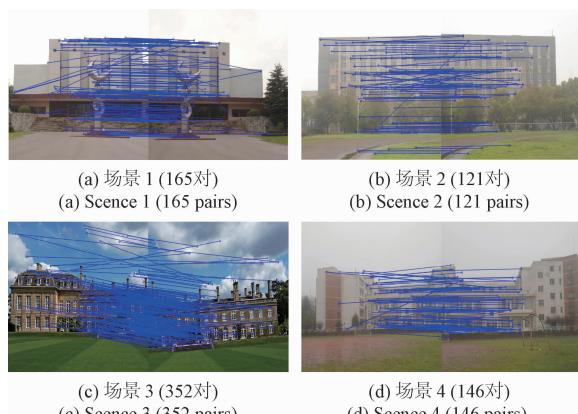


图 11 初匹配结果

Fig. 11 Preliminary matching results

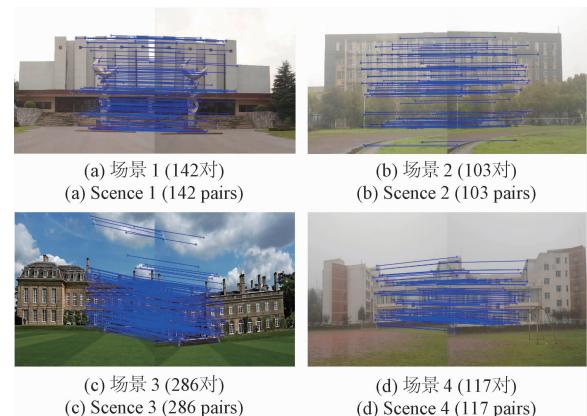


图 12 精匹配结果

Fig. 12 Exact matching results

表 2 误差比较

Table 2 Error comparison (pixel)

不同场景图	MAD		RMSE	
	全局单应性	本文	全局单应性	本文
Scence 1	0.406 2	0.375 9	0.431 7	0.409 4
Scence 2	0.372 5	0.354 7	0.365 5	0.332 8
Scence 3	0.492 4	0.465 1	0.477 0	0.453 9
Scence 4	0.376 1	0.352 5	0.343 9	0.334 6

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \|X_{1i} - HX_{2i}\|^2}{n}} \quad (25)$$

几何误差均在 1 pixel 范围内,且本文算法精度相对较高。由匹配结果及图 13 所示拼接结果可知,基于 AKAZE 配准所得的结果无明显拼接痕迹,视觉一致性良好,因此本文图像拼接具有较高的应用价值,在计算机视觉导航领域有广阔的应用前景。

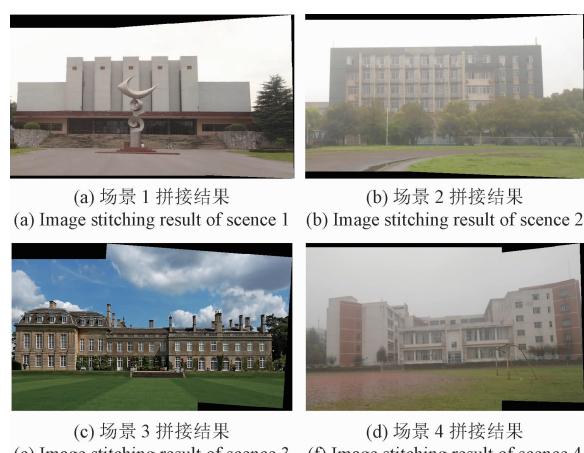


图 13 本文拼接结果

Fig. 13 Image stitching results with the proposed method

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n \|X_{1i} - HX_{2i}\|}{n} \quad (24)$$

5 结 论

本文研究了基于 AKAZE 的图像拼接算法,该算法较传统的算法不同之处是通过非线性滤波以任意步长的构造稳定的非线性尺度空间来消除边界模糊和细节丢失,在 FED 加速非线性尺度空间图像生成。使用 M-LDB 描述后用 Hamming 初匹配,保证算法的鲁棒性的同时提高了整个拼接的实时性。采用 RANSAC 算法获得全局单应性矩阵,重叠区域根据特征点动态加权求取局部投影,结合两者统一投影平面降低了对准误差,畸变更小。用加权均值算法实现图像拼接。实验表明算法能够完成图像的精确拼接问题,对光照、采集设备无过高要求,能为宽视觉导航、计算机视觉等领域提供应用依据。

参考文献

- [1] 郭晓冉,崔少辉. 基于局部特征点配准的图像拼接算法[J]. 半导体光电, 2014, 35(1): 89-94.
- GUO X R, CUI SH H. Image mosaic approach using local feature points registration [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2014, 35(1): 89-94.
- [2] 周美丽, 白宗文, 延小进. 基于相位相关法的图像拼接系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34 (5): 31-33.
- ZHOU M L, BAI Z W, YAN X J. Design of the image mosaic system based on phase correlation method [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2015, 34(5): 31-33.
- [3] 陈凌颖, 杨世武. 铁路视频监控中基于多算法结合的图像拼接[J]. 电子测量与仪器学报, 2012, 26(3): 229-235.
- CHEN L Y, YANG SH W. Image mosaic method based on combination of some algorithms in railway video monitoring[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2012, 26(3): 229-235.
- [4] LEUTENEGGER S, CHLI M, SIEGWART R Y. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints [C]. 2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011: 2548-2555.
- [5] RUBLEE E, RABAUD V, KONOLIGE K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF[C]. 2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2011: 2564-2571.
- [6] ALCANTARILLA P F, BARTOLI A, DAVISON A J. KAZE features[C]. Computer Vision-ECCV 2012. Berlin Heidelberg: Springer, 2012: 214-227.
- [7] ALCANTARILLA P, NUEVO J, BARTOLI A. Fast explicit diffusion for accelerated features in nonlinear scale spaces[C]. Proceedings of British Machine Vision Conference 2013:13. 1-131. 1
- [8] GREWENIG S, WEICKERT J, BRUHN A. From box filtering to fast explicit diffusion [C]. Pattern Recognition. Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 533-542.
- [9] LU F, WU ZH ZH, XIANG L. Fast image diffusion for feature detection and description [J]. International Journal of Computer Theory and Engineering, 2016, 8(1): 58-62.
- [10] CALONDER M, LEPETIT V, STRECHA C, et al. Brief: Binary robust independent elementary features[C]. Computer Vision - ECCV 2010. Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 778-792.
- [11] YANG X, CHENG K T. LDB: An ultra-fast feature for scalable augmented reality on mobile devices[C]. 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2012: 49-57.
- [12] PILCHER C D, WONG J K, PILLAI S K. Inferring HIV transmission dynamics from phylogenetic sequence relationships [J]. Plos Med, 2008, 5(3):350-352.
- [13] ZARAGOZA J, CHIN T J, BROWN M, et al. As-projective-as-possible image stitching with moving DLT[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2013: 2339-2346.
- [14] 王灿进, 孙涛, 陈娟. 基于 FREAK 特征的快速景象匹配 [J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29 (2): 204-212.
- WANG C J, SUN T, CHEN J. Rapid scene matching based on FREAK descriptor [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29 (2): 204-212.
- [15] 郑永斌, 黄新生, 丰松江. SIFT 和旋转不变 LBP 相结合的图像匹配算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(2): 286-292.
- ZHENG Y B, HUANG X SH, FENG S J. An image matching algorithm based on combination of SIFT and the rotation invariant LBP [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(2): 286-292.
- [16] 袁伟岚, 周力, 袁臻. 一种 KAZE 算法在人脸图像匹配中的应用 [J]. 计算机系统应用, 2014, 23 (4): 144-148.
- ZHONG W L, ZHOU L, YUAN ZH. Application of KAZE algorithm in human face image matching [J]. Computer Systems and Applications, 2014, 23(4): 144-148.

作者简介



闫璠,2016 年于湘潭大学获得硕士学位,主要研究方向为智能信息处理。
E-mail:yanfans@163.com

Yan Fan received M. Sc. from Xiangtan University in 2016. Her main research direction is intelligent information processing.



张莹,2010 年于湖南大学获得博士学位,现为湘潭大学副教授,主要研究方向为模式识别和图像处理、视觉导航。
E-mail:zhangying@xtu.edu.cn

Zhang Ying received Ph. D. from Hunan University in 2010. Now, he is an associate professor in Xiangtan University. His main research interests include pattern recognition, image processing and visual navigation.

是德科技成功开发广泛的测试与测量产品,为物联网产品快速部署保驾护航, 赢得 Frost & Sullivan 的行业大奖

是德科技结合卓越的硬件设计与模块化、自动化校准流程,为客户提供一流的购买体验

2017 年 1 月 18 日,北京——是德科技在 Frost & Sullivan 公司最近举行的一次调查分析中成绩优秀,从而荣膺“Frost & Sullivan 2016 年度全球最佳公司奖”。此次调查分析的目的是评估测试与测量行业为物联网(IoT)发展所做出的贡献。是德科技利用其独特的测试设备构建各种先进的解决方案,不断巩固其业界领先地位。它在物联网设备的产品生命周期内,将高质量的测试设备用于广泛的物联网格式合,以确保产品性能或质量不会下降。

Frost & Sullivan 研究分析师 Mariano Kimbara 表示:“是德科技特别注重开发开创性的技术,以支持硬件设计和模块化、自动化的校准流程。它可以提供全方位的测试解决方案,同时注重将不同外形尺寸仪器组合,形成整体解决方案。是德科技解决方案的成功巩固了其市场领先地位,为其在物联网无线技术领域赢得了将近 40% 的全球市场份额。”

是德科技专业的测量软件以及测量知识,在物联网产品的研究、制造和部署过程中,对物联网行业进行更深入地分析。例如,EXM 和 UXM 无线综测仪可以良好地支持从 300 MHz 到 6 GHz 的射频(RF)测量。它的多层协议记录功能能够提供卓越的洞察力,使得工程师轻松了解物联网设备在各种模式下的功耗情况,有助于延长物联网设备的电池使用寿命。

是德科技适用于物联网的独立台式仪器包括 MXA 信号分析仪和 MXG 信号发生器,具有支持无线局域网(WLAN)和 ZigBee 等各种物联网制式的广泛测试功能。同时,是德科技的 PXA 系列信号分析仪可提供 510 MHz 的调制带宽,覆盖高达 50 GHz 的频率范围,并且在满足数字调制分析不断演进的测试需求方面处于领先地位。此外,是德科技还有多款模块化的信号源和频谱仪,可以支持物联网中自动化的测试需求。

是德科技副总裁兼无线设备事业部总经理 Kailash Narayanan 表示:“我们非常高兴获得 Frost & Sullivan 公司的这一奖项。是德科技广泛的解决方案系列覆盖了各种物联网制式,可以帮助客户克服关键的设计和测试挑战。”

是德科技在仿真软件的设计上投入了大量资源。

公司拥有增强的 signal studio 软件、先进设计系统(ADS)软件和具有波形回放功能的 89600 矢量信号分析(VSA)软件,这些软件可为测试器件和接收机量身定制测试信号。它能够帮助设计人员配置射频子系统的测试参数,并使用数字调制工具来诊断无线设置。所有这些软件工具都能支持物联网设备设计人员探索信号的各方面特性,并对其非常先进的物联网解决方案做进一步改进。

Kimbara 补充道:“重要的是,是德科技相较于竞争对手具有性价比优势,其产品可在不降低质量的情况下,满足各企业的预算要求。是德科技为市场带来了一系列经济高效的测试解决方案,能够测试所有要求的标准,并拥有支持新标准的技术能力。”

是德科技通过致力降低总拥有成本,以及保证台式仪器、模块化仪器和无线测试仪的测量连续性,确保赢得了越来越多的客户。借助覆盖射频设计验证、制造、自动校准流程、设计和仿真软件等领域的专业技术,是德科技已帮助许多企业解决了充满挑战性的设计与测试问题。公司专注于产品开发,践行完全以客户中心的理念,使其当之无愧地获得“Frost & Sullivan 2016 年度全球最佳公司奖”。

是德科技副总裁兼无线设备与运营事业部总经理 Satish Dhanasekaran 表示:“我们非常感激得到 Frost & Sullivan 公司的认可。是德科技一直致力于推动物联网行业的发展,我们利用解决方案支持生态系统,这些解决方案在其整个生命周期内可以满足价格、性能和尺寸要求。”

Frost & Sullivan 公司每年将这一奖项授予经证明在发展战略和实施方面表现特别优异的企业。该奖旨在表彰产品和技术的高度创新,以及由此给客户价值和市场渗透率带来的领先优势。

Frost & Sullivan 的最佳实践奖旨在表彰全球市场和地区市场中的企业在领导地位、技术创新、客户服务和战略产品开发方面做出的杰出成就和出色绩效。行业分析师通过深度访谈、分析和广泛的辅助调查,对市场上的企业进行比较并评估它们的表现,以确定行业内表现最佳的企业。