

文章编号 1004-924X(2015)09-2715-09

## 二进制鲁棒不变尺度特征匹配电子稳像

崔少辉, 谢 征\*, 王 刚, 陈 鹏

(军械工程学院 导弹工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要:**针对捷联图像制导系统中视频序列受弹体姿态变化和抖动而出现的不稳定现象,提出了一种基于二进制鲁棒不变尺度特征关键点(BRISK)的高精度快速鲁棒电子稳像算法。首先,用 BRISK 算法提取图像 BRISK 特征描述符;为了保证匹配精度和速度,采用引导互匹配策略实现 BRISK 特征点跟踪匹配;然后,利用改进的随机抽样一致方法(RANSAC)剔除误匹配点对;最后,利用最小二乘算法(LSA)估计全局运动参数进而实现稳像。对标准图片的匹配测试和实拍视频稳像的结果表明:结合 BRISK 算法的电子稳像技术,运行时间小于 30 ms,定位精度达到 0.1 pixel,对光照变化、噪声以及复杂环境遮挡具有较强的鲁棒性,能快速有效地补偿捷联制导图像的复杂随机抖动并提高视频质量。

**关键词:**捷联图像制导;电子稳像;运动估计;二进制鲁棒不变尺度特征;特征匹配;随机抽样一致方法

**中图分类号:**TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152309.2715

## Feature matching electronic image stabilization based on binary robust invariant scalable keypoints

CUI Shao-hui, XIE Zheng\*, WANG Gang, CHEN Peng

(Department of Missile Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

\* Corresponding author, E-mail: xiezheng@mail.ustc.edu.cn

**Abstract:** To overcome the instability of video sequences caused by attitude changes and jitters of a projectile in the strapdown image guidance system, a robust high-precision fast electronic image stabilization algorithm based on Binary Robust Invariant Scalable Keypoints (BRISK) was proposed. Firstly, the BRISK algorithm was used to extract BRISK feature descriptors of the image. To improve the matching accuracy and speeds, the mutual matching strategy was adopted to realize BRISK matching feature point tracking. Then, the improved Random Sample Consensus (RANSAC) method was used to eliminate the false matching points. Finally, the Least Square Algorithm (LSA) was taken to estimate the global motion parameters to realize image stabilization. The standard image matching test and real video shoot image results show that the strapdown image guidance stabilization technology based on BRISK algorithm can provide short processing time less than 30 ms and high positioning accuracy of 0.1 pixel. Moreover, the technology has stronger robustness to changed illumination, noise and complex environment barrier and can quickly and effectively compensate complex random jitters and improve the quality of video images.

**Key words:** strapdown image guidance; video stabilization; motion estimation; Binary Robust Invariant Scalable Keypoints (BRISK); feature matching; Random Sampling Consensus Algorithm (RANSAC)

收稿日期:2015-04-29;修订日期:2015-06-25.

基金项目:军内科技创新计划资助项目(装司字[2012]665)

## 1 引言

由于捷联图像制导系统的导引头直接固连在弹体上,因此在制导过程中不可避免地受弹体抖动以及自身姿态运动的影响,成像器所成目标图像的轨迹为弹体在方位、俯仰、滚转各方向上的非线性运动的合成,建立目标运动的真实模型以及实现目标的匹配跟踪很困难,因此对抖动视频序列进行稳定处理十分必要<sup>[1]</sup>。目标所处环境复杂,稳像精度往往受到噪声、光照亮度变化和局部遮挡的影响,因此电子稳像算法的鲁棒性是辅助捷联图像制导系统的关键性参数之一。

电子稳像技术<sup>[2-3]</sup>是近年来视频处理技术中的一大热点和难点。它是利用数字图像处理技术直接对随机抖动图像进行运动补偿的新一代稳像技术,由于它具有体积小,价格低,精度高,速度快的优点,已成为弹载稳像技术的主要发展方向。传统的基于光流信息的电子稳像算法如灰度投影法<sup>[4-5]</sup>、块匹配法<sup>[6-7]</sup>、位平面法<sup>[8-9]</sup>易于实现,计算量较小,主要用于估计平移运动,但对于复杂运动如旋转和缩放效果不佳。基于图像特征点提取的电子稳像算法能够有效估计平移、旋转和缩放运动,其中尺度不变特征变换(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)<sup>[10]</sup>、加速鲁棒特征(Speeded-up Robust Feature, SURF)<sup>[11]</sup>算法精度高、鲁棒性强,但算法复杂,运算效率不高;Harris<sup>[12]</sup>角点检测算子、Feature From Accelerated Segment Test (FAST)<sup>[13]</sup>、Oriented FAST and rotated BRIEF (ORB)<sup>[14]</sup> 3种算法运算速度较快,但是应对尺度、噪声,光照亮度变化的鲁棒性不够理想。因此,研究适用于捷联图像制导系统的高精度快速鲁棒的电子稳像算法尤为迫切。

二进制鲁棒不变尺度特征(Binary Robust Invariant Scalable Keypoints, BRISK)算法是 Stefan 等人<sup>[15]</sup>在 2011 年的国际计算机视觉大会(International Conference on Computer Vision, ICCV)上提出的一种新的具有尺度不变性和旋转不变性的角点检测和描述算法,由于其具有适应性强,速度快,可达到亚像素级定位精度的优点,得到了广泛研究与应用。文献<sup>[16]</sup>将 BRISK 算法应用在非接触掌纹识别中,进一步提高了识别

效果,可满足在线识别的要求。文献<sup>[17]</sup>提出一种用于惯性组合导航系统中基于 BRISK 的景象匹配算法,景象匹配效果良好。文献<sup>[18]</sup>将 BRISK 算法用于车载红外视频的电子稳像算法中,得到了高精度的全局运动矢量。

本文立足于捷联图像制导系统成像的特点,提出了一种基于 BRISK 算法的电子稳像技术,对匹配策略和参数估计方法进行了改进,保证了匹配精度和速度。

## 2 BRISK 算法原理

### 2.1 BRISK 特征点提取

BRISK 算法使用自适应通用加速分割检测(AGAST)算子在尺度空间内检测特征点。AGAST 算子是在 FAST 基础上改进得来的,其在尺度空间上用 FAST 算子进行角点检测。BRISK 的尺度空间金字塔共由  $n$  层(octaves),记为  $c_i$ ,  $n$  个内层(intra-octaves)记为  $d_i$  构成( $i = \{0, 1, \dots, n-1\}$ , 一般  $n=4$ )。这里的  $c_0$  对应原始图像,其余  $c_i$  可通过对  $c_0$  连续降采样得到。每个  $d_i$  处于  $c_i$  与  $c_{i+1}$  的中间,对  $c_0$  降采样可得第 1 内层  $d_0$ , 采样因子为 1.5, 对  $d_0$  连续半采样得到  $d_i$ , 若  $t$  表示尺度,则:  $t(c_i) = 2^i$ ,  $t(d_i) = 1.5 * 2^i$ 。

BRISK 检测角点时,AGAST 可以提供不同的模板。首先,对每个 octave 和 intra-octave 用 FAST9-16 算子提取潜在的兴趣区域,然后在尺度空间对检测到的关键点采取非极大值抑制,即:①同层中某待检测点得分  $W$  必须要大于其余八邻域中的点;②上下层其余点的得分  $W$  也都必须小于该点得分。满足①、②条件的点即称为 BRISK 特征点。由于确定一个 BRISK 点需利用本层和它的上下层信息,因而对于  $c_0$  层假设一个  $d_{-1}$  层,并使用 FAST5-8 检测角点<sup>[16]</sup>。

最后,需要对每一个检测得到的极大值进行子像素和连续尺度优化,去除不符合条件的关键点,从而极大地提高 BRISK 特征点的定位精度,使其达到亚像素级。

### 2.2 BRISK 特征点描述符

BRISK 描述符采用了一种特征点邻域采样模式。在以特征点  $k$  为中心的 4 个离散同心圆上均匀分布  $N(N=60)$  个采样点,小的圆表示采样位置,大的圆半径对应于用来平滑采样点亮度的

高斯核的标准差。为了消除可能存在的混叠效应的影响,采用高斯函数(标准差为  $\sigma_i, \sigma_i$  正比于每个同心圆上点与点之间的距离)对每个采样点  $P_i$  进行平滑滤波。计算出局部梯度<sup>[15]</sup>:

$$g(p_i, p_j) = g(p_j, p_i) * \frac{I(p_j, \sigma_j) - I(p_i, \sigma_i)}{\|p_j - p_i\|^2}, \quad (1)$$

式中:  $1 < i < N, 1 < j < N, I(p_i, \sigma_i), I(p_j, \sigma_j)$  为采样点经平滑后的值。

估计特征点  $k$  的模式方向为:

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \frac{1}{l} \times \sum_{(p_i, p_j) \in L} g(p_i, p_j), \quad (2)$$

式中  $l$  表示短距离采样点对的集合  $L$  的长度。

为了建立旋转和尺度归一化的 BRISK 描述子,首先将采样模式围绕关键点旋转一个角度  $\alpha = \arctan2(g_x, g_y)$ 。然后对所有的短距离点对  $(p_i^a, p_j^a)$  进行强度对比级联运算,即可得到 512 bit 的 BRISK 描述符  $d_k$ , 其中:

$$b = \begin{cases} 1, & I(p_j^a, \sigma_j) > I(p_i^a, \sigma_i) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \forall (p_i^a, p_j^a) \in S. \quad (3)$$

### 2.3 BRISK 特征匹配

每一个得到的 BRISK 描述符均为 512 bit 的二进制比特串,进行特征匹配时,采用异或操作计算 BRISK 描述符之间的汉明距离(Hamming distance)<sup>[15]</sup>。设有 2 个 BRISK 描述符  $d_k$  和  $d_{k+1}$ , 其汉明距离 HD 定义为:

$$HD(d_k, d_{k+1}) = \sum_{i=1}^{512} x_i \oplus y_i. \quad (4)$$

HD 可用来衡量两个 BRISK 描述符的近似度,HD 值越小代表相似程度越大,反之越小<sup>[16]</sup>。

## 3 改进的 BRISK 特征匹配方法

传统的 BRISK 算法采用最近邻汉明距离<sup>[16]</sup>作为特征点相似性判定准则来获得图像间的匹配点对,但该方法只是简单地将待匹配 BRISK 点的最近邻作为和它匹配的 BRISK 点,并且没有对初匹配点进行验证和筛选,因而会引入大量的误匹配点对,降低了求解仿射参数的精度和速度,导致稳像结果存在较大的误差,因而不适于本文捷联图像制导数字稳像算法。

为此文中提出一种基于引导互匹配法的

BRISK 特征匹配方法,采用近邻汉明距离代替最近邻汉明距离,并通过几何对称性进一步引导缩小待匹配点的搜索范围,最后采用互映射策略,正反双向匹配提取共同的匹配点对,以有效减少一些误差较大的错误匹配点对,从而减小误匹配率,并进一步提升匹配精度。

参考 SURF 算法特征匹配采用的近邻欧式距离准则,本文中 BRISK 特征向量的匹配采用近邻汉明距离准则,首先对于参考帧中某 BRISK 特征点  $P$ ,在目标帧中找到与该点汉明距离最近的关键点  $P_1$  和次近的关键点  $P_2$ ,并将  $P_1, P_2$  与  $P$  的汉明距离分别记为  $d_1$  和  $d_2, d_1 < d_2$ 。设定阈值  $\epsilon = 0.6$ ,如果  $d_1/d_2 < \epsilon$ ,则接受  $P_1$  为匹配点,记为  $(P, P')$ ,反之放弃。假设参考帧和目标帧之间存在图像变换矩阵  $\mathbf{H}$ ,则根据几何对称性,  $\mathbf{H}$  规定了参考帧中点  $x$  在目标帧中对极线  $\mathbf{H}_x$  附近的检测范围。因此,只需在  $\mathbf{H}_x$  附近的一些区域检测点  $X$  的对应匹配点即可,相比于穷举搜索算法可以避免搜索大量无关的特征点,大大提高了匹配速度,节省了大量时间。

此外假设有匹配点对  $A \leftrightarrow B$ ,由互映射原理可知  $A, B$  两点间存在的映射关系  $A \rightarrow B$  和  $A \leftarrow B$ 。首先,将目标帧中正向匹配得到的特征点对  $(P, P')$  中初步匹配的点  $P'$  反过来作为参考点,然后在参考帧进一步引导搜索匹配点,得到对应的匹配特征点为  $P''$ ,则这一匹配点对记为  $(P'', P')$ 。记  $M = (\text{参考帧引导目标帧正向匹配点对 } (P, P') \text{ 的集合}), N = (\text{目标帧引导参考帧反向匹配点对 } (P'', P') \text{ 的集合}),$  则最终的匹配结果为  $L = M \cap N$ 。此方法可以剔除部分错误的匹配点对,增强特征匹配的精度。

## 4 运动参数估计与补偿

### 4.1 参数估计模型

捷联图像制导系统图像传感器拍摄视频帧间存在平移、旋转、小范围缩放和形变运动,故可采用六参数仿射变换模型<sup>[19]</sup>描述摄像机的三维运动信息,如式(5)所示:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中:  $(x_i, y_i)$  为参考帧  $P$  点坐标,  $(X_i, Y_i)$  为目标帧对应的  $P'$  点坐标,  $(a_1, a_4)$  为缩放参量,  $(a_2, a_3)$

为旋转参量,  $(b_1, b_2)$  为平移参量。式(5)反映了从目标帧图像的特征点到参考帧图像特征点之间的映射关系, 这一关系整理变换为:

$$\begin{bmatrix} x_i & y_i & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_i & y_i & 0 & 1 \\ & & & \cdot & & \\ & & & \cdot & & \\ & & & \cdot & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ a_3 \\ a_4 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}. \quad (6)$$

式(6)可缩写为:

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b}. \quad (7)$$

式中:  $\mathbf{x}$  为待估运动参数,  $\mathbf{A}$  为参考帧特征点数据,  $\mathbf{b}$  为目标帧特征点数据。

$$\mathbf{x} = [\mathbf{A}^T \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b}. \quad (8)$$

最少只需要 3 对特征点对, 即可求解出当前的仿射参数。

#### 4.2 改进 RANSAC 参数补偿

由于视频帧中物体可能存在局部运动, 虽然采用了引导互匹配策略, 但仍然会存在部分误匹配点对, 为此本文采用了一种基于 RANSAC 方法<sup>[20]</sup>的误匹配点剔除技术。假如直接使用 RANSAC 算法进行参数估计, 由于存在误匹配点对, 随机采样次数较多, 会导致运行效率较低, 并且求出的仿射参数精度不高, 达不到预期的稳像效果。

本文改进了 RANSAC 算法, 首先根据邻近 BRISK 关键点间的位置关系对错误匹配点进行预检测并剔除, 再采用改进后的 RANSAC 方法进一步剔除误匹配点并计算仿射参数。具体步骤如下:

假设  $(P_i, P'_i)$  与  $(P_j, P'_j)$  均是正确匹配的特征点对, 则  $P_i$  和  $P_j$  间的距离  $d(P_i, P_j)$  以及  $P'_i$  与  $P'_j$  之间的距离  $d(P'_i, P'_j)$  应当相近。因此, 利用两者距离相似性来评价其映射关系, 提出如下函数:

$$W(i) = \sum_i \frac{\exp(-\mu_{ij})}{1 + D(i, j)}, \quad (9)$$

式中:  $D(i, j) = [d(P_i, P_j) + d(P'_i, P'_j)]/2$  为  $P_i$  和  $P_j$  与每对特征点的平均距离,  $\mu_{ij} = |d(P_i, P_j) - d(P'_i, P'_j)|/D(i, j)$  是  $P_i$  和  $P_j$  与每对特征点距离的相对误差。

采取预检测的 RANSAC 误匹配消除算法流程如下:

1) 利用 BRISK 特征匹配结果计算  $W(i)$  所有值, 并求出均值  $\bar{W}$ ;

2) 如果  $W(i) > 0.8\bar{W}$ , 则  $P_i$  与  $P'_i$  作为正确匹配点予以保留, 否则剔除;

3) 从经过以上两步得到的匹配结果中随机选择 3 组匹配点对, 用式(8)计算出待估计运动参数  $\mathbf{x}$ ;

4) 由步骤 3 得到参数  $\mathbf{x}$ , 由式(8)计算出坐标  $(X'_i, Y'_i)$ , 然后计算  $(X'_i, Y'_i)$  与  $(X_i, Y_i)$  的误差, 若误差小于  $\tau$ , 则判定该匹配点对满足该模型参数, 即为内点, 反之, 即为外点;

5) 重复步骤 1~5 若干次, 选取内点数最多的结果作为最后的匹配内点。

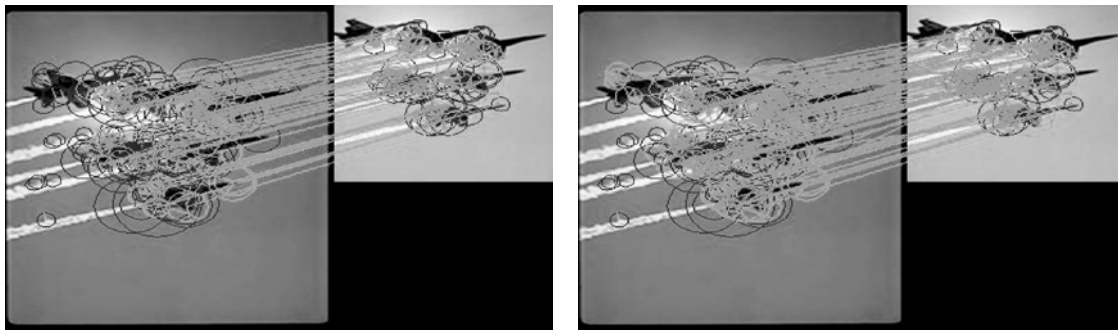
最后, 对经过误匹配排除的 BRISK 特征匹配内点进行最小二乘拟合, 估计出高精度仿射运动参数, 对目标帧进行运动补偿, 消除抖动, 实现稳像。

## 5 稳像实验与分析

为验证本文提出的电子稳像算法的有效性, 采用 Matlab2011b 编程在 PC 机 (Inter Core i7-4790, CPU 3.60 GHz, 4.00 GB RAM) 进行实验, 从特征匹配测试和运动补偿两个方面进行说明。最后给出分辨率为 856 pixel  $\times$  480 pixel 视频序列的稳像实验结果。

### 5.1 改进的 BRISK 特征匹配性能测试

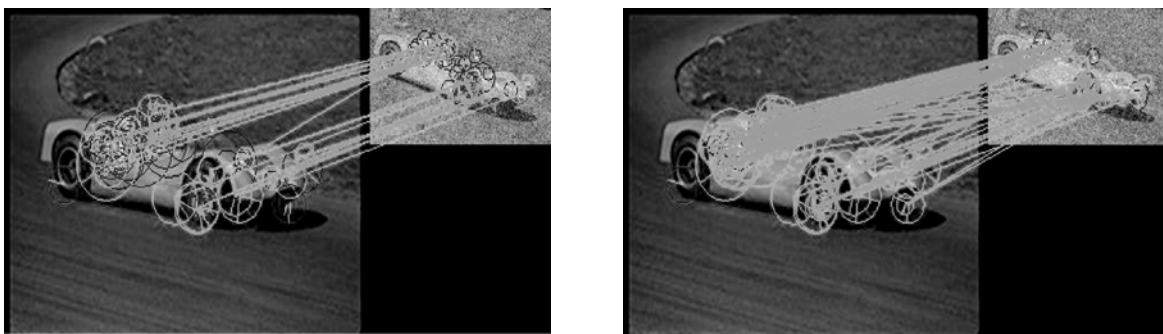
选择 Corel5k 数据集中不同标准测试图片, 用本文的引导互匹配策略进行 BRISK 特征匹配, 并与传统汉明距离匹配结果进行对比, 实现目标在平移、旋转、缩放运动下的匹配跟踪, 分别如图 1~图 3 所示。根据捷联图像制导实拍的视频序列的特点, 有针对性地选择存在局部运动的空中和地面目标 (图 1 和图 2), 以及复杂环境背景下地面静止目标 (图 3) 进行匹配测试。由图 1~3 可以看出, 相比于传统算法, 由于本文算法采用引导互匹配策略, 使匹配点对数明显减少, 在保证匹配点对数足够的情况下, 大大减少了误匹配点对数, 进一步提高了匹配精度, 在满足仿射参数求解需要的前提下, 能够有效减少下文改进 RANSAC 算法的迭代次数, 提高参数估计以及稳像的速度。



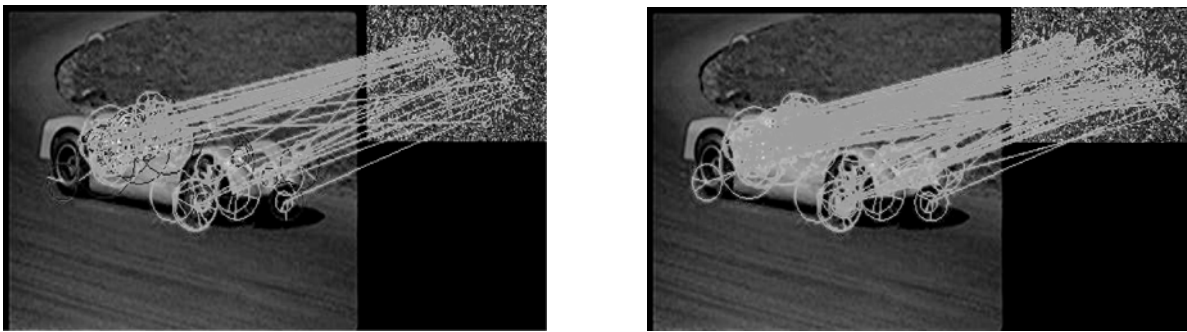
(a)改进的 BRISK 算法  
(a)Optimized BRISK algorithm (b)原 BRISK 算法  
(b)Original BRISK algorithm

图 1 不同亮度下空中目标特征匹配结果

Fig. 1 Comparison of feature matching for air targets under different brightnesses



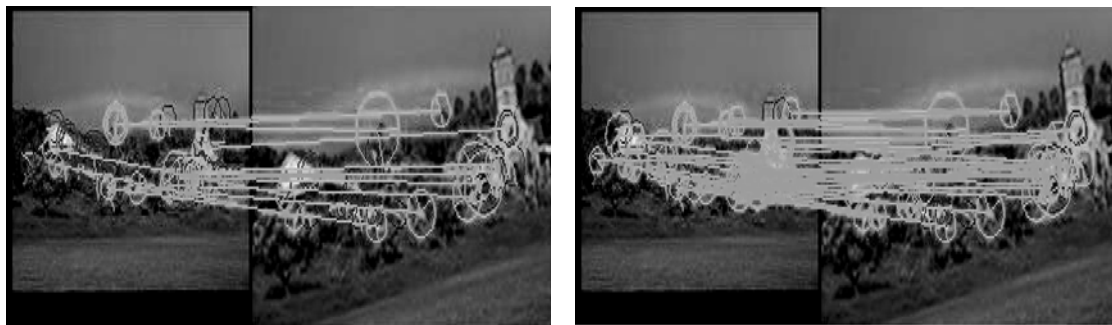
(a)改进的 BRISK 算法(20%高斯噪声)  
(a)Optimized BRISK algorithm(with 20% Gaussian noise) (b)原 BRISK 算法(高斯噪声)  
(b)Original BRISK algorithm(with 20% Gaussian noise)



(c)改进的 BRISK 算法(椒盐噪声)  
(c)Optimized BRISK algorithm(with 20% salt and pepper noise) (d)原 BRISK 算法(椒盐噪声)  
(d)Original BRISK algorithm(with 20% salt and pepper noise)

图 2 加噪声地面目标特征匹配结果对比

Fig. 2 Comparison of feature matching for ground targets with added noise



(a)改进的 BRISK 算法  
(a)Optimized BRISK algorithm (b)原 BRISK 算法  
(b)Original BRISK algorithm

图 3 带遮挡地面目标的特征匹配结果对比

Fig. 3 Comparison of feature matching for ground targets with shelding

表 1 不同场景下两种算法的时间性能

Tab. 1 Time test of two algorithms under two kinds of different scenes

测试图像	特征点数/个	提取时间/ms	匹配点对/对	误匹配点对/对	匹配时间/ms	RANSAC 迭代时间/ms
图 1(a)	488	21.46	265	4	10.13	4.83
图 1(b)	488	21.46	328	18	9.23	10.65
图 2(a)	192	10.53	104	3	8.87	3.48
图 2(b)	192	10.53	178	14	7.64	9.53
图 2(c)	201	10.56	153	25	9.84	12.32
图 2(d)	201	10.56	214	36	8.12	18.85
图 3(a)	356	15.51	169	4	9.03	4.57
图 3(b)	356	15.51	289	16	8.31	9.76

为了说明本文算法在匹配精度和时间性能上的优越性,将本文算法与现有典型算法进行了对比,表 1 为不同场景下本文提出的改进 BRISK 算法与传统 BRISK 算法的时间性能测试结果(图 1(a)、图 2(a)和 2(c)、图 3(a)对应本文改进 BRISK 算法;图 1(b)、图 2(b)和(d)、图 3(b)对应传统 BRISK 算法)。从表 1 可以看出,在不同场景下改进 BRISK 算法匹配时间略有增加,但误匹配点(即外点)明显减少,匹配精度大大提高,所以计算参数估计时改进 RANSAC 算法的迭代次数减少,迭代时间明显减少,总耗时反而有所减少,整体速度有所提高。结合表 1 中数据和图 1、图 2、图 3 可知:在光照变化、添加 20% 高斯噪声、地面遮挡环境下,改进 BRISK 算法相比原 BRISK 算法均有良好的匹配效果,但在添加 20% 椒盐噪声的情况下,改进算法的匹配效果虽有所改观,但是匹配精度明显下降,说明 BRISK 算法对椒盐噪声较为敏感。

## 5.2 改进的 BRISK 特征算法稳像的仿真验证

为了客观评估本文算法的稳像效果,本文利用帧间逼真度,即峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)作为客观质量评价标准,PSNR 值越大,视频质量越好,质量良好的视频的 PSNR 值一般在 30 db 以上。

分辨率为 856 pixel × 480 pixel 实拍视频序列的稳像结果如图 4 所示。由于对视频序列运动补偿后没有考虑无定义的边缘区域,因此计算整幅图像的 PSNR 没有意义,本文只计算中心区域

的 PSNR,并给出各自的补偿参数,如表 2 所示,可以看出补偿后的图像中心区域 PSNR 均在 35 db 以上,质量较好,由补偿参数可知计算精度为浮点精度,故补偿精度可达亚像素级。表 3 为不同算法对实拍视频单帧匹配的精度和时间性能,可知与传统 BRISK 算法、SURF 算法和 SIFT 算法相比,本文算法不但误匹配率最低,而且速度最快,能够很好地满足捷联图像制导对定位精度和实时性的要求。

由图 4、表 2 及表 3 的实验结果可以看出,补偿后的视频序列不但主观视觉感受良好,而且客观的 PSNR 平均提高了 10 db 以上,视频质量有显著提高。另一方面,基于改进的 BRISK 算法的电子稳像方法速度明显提高,满足实时性要求,而且定位精度达亚像素级。

表 2 BRISK 算法的补偿效果

Tab. 2 Compensation effect of BRISK algorithm

视频序列	$a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2$	中心区域	
		PSNR/db	
		补偿前	补偿后
图 4(a)	0.637 8, -0.032 45, 0.002 5	28	40
	0.587 6, 25.467 3, 48.986 7		
图 4(b)	0.893 6, 0.004 7, -0.006 9	31	43
	1.003 2, -36.289, -23.653 8		
图 4(c)	1.006 8, -0.005 9, 0.068 3	23	37
	1.036 3, 5.689 3, 89.384 5		



(a)空中目标

(a) Air target



(b)地面运动目标

(b) Ground moving target



(c)地面遮挡目标

(c) Ground target with shielding

图 4 实测稳像结果(由左至右分别为参考帧、目标帧、补偿帧)

Fig. 4 Measured stabilization results (left to right are reference frames, target frames, compensation frames respectively)

表 3 不同算法单帧性能比较

Tab. 3 Performance comparison of different algorithms for single frame

图像	匹配点对/对	误匹配率/%	匹配时间/ms	RANSAC 迭代时间/ms	稳像总时间/ms
SIFT 算法	236	23.7	175.54	23.83	200.37
SURF 算法	185	17.2	64.48	24.15	89.63
BRISK 算法	132	11.36	22.46	14.34	38.08
本文改进 BRISK 算法	88	8.0	23.38	5.25	29.63

## 6 结 论

本文针对捷联图像制导系统中视频序列受弹体姿态变化和抖动而出现的不稳定现象,提出了一种基于 BRISK 特征匹配的电子稳像技术。在用 BRISK 算法提取了图像特征点以后,为了保证匹配精度和速度,对匹配策略和参数估计方法进行改进,计算出全局运动矢量,对不稳定视频序列进行了运动补偿。实验结果表明,采用 BRISK 算

法的电子稳像技术能够快速补偿捷联制导图像的复杂随机抖动,有效提高视频质量,对光照变化、噪声以及复杂环境具有较强的鲁棒性,运行时间小于 30 ms,定位精度达 0.1 pixel,采用硬件加速后可用于捷联图像制导系统中,这也是本文以后的重点研究方向。但是实验过程中发现特征匹配测试时,椒盐噪声超过 20% 以后, BRISK 提取的特征点会包含很多噪点,匹配精度明显下降,运动补偿速度降低,当超过 30% 以后,算法速度已不满足实时性要求。

### 参考文献:

- [1] 张跃,储海荣. 全捷联图像导引头制导的技术特点[J]. 光学精密工程, 2014, 22(10): 2825-2831.  
ZHANG Y, CHU H R. Technical characteristics of strapdown image seeker guidance [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(10): 2825-2831. (in Chinese)
- [2] 王志民,徐晓刚. 电子稳像技术综述[J]. 中国图像图形学报, 2010, 15(3): 470-479.  
WANG ZH M, XU X G. A survey on electronic image stabilization [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(3): 470-479. (in Chinese)
- [3] 张永祥,卢岩,栾中,等. 视频图像运动补偿系统的设计与实现[J]. 液晶与显示, 2013, 28(3): 424-428.  
ZHANG Y X, LU Y, LUAN ZH, et al.. Design and implementation of motion compensation system based on FPGA [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(3): 424-428. (in Chinese)
- [4] TIAN S Q, ZHAO P, WANG N H, et al.. Aims at moving objects' improvement based on gray projection of algorithm of the electronic image stabilization [C]. *Proceedings of 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing*, 2010: 2483-2487.
- [5] 逯晓光,靳万鑫,余颖. 大运动前景和旋转抖动视频的快速数字稳定[J]. 光学精密工程, 2014, 22(1): 177-184.  
DI X G, JIN W X, YU Y. Digital video stabilization for large-scale moving foreground object and rotation jitter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(1): 177-184. (in Chinese)
- [6] WEN D H, JIANG Y S, ZHANG Y D, et al.. Modified block-matching 3-D filter in Laplacian pyramid domain for speckle reduction [J]. *Optics Communications*, 2014, 332(2): 150-154.
- [7] AOYAMA S, ITO K, AOKI T. A finger knuckle print recognition algorithm using phase-based local block matching [J]. *Information Sciences*, 2014, 268(12): 53-64.
- [8] ALAN A, HARIN S. Stego quality enhancement by message size reduction and fibonacci bit-plane mapping [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2014, 8893(1): 151-166.
- [9] AGRAWAL P, KHURSHID A. DWT and GA-PSO based novel watermarking for videos using audio watermark [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2014, 8795(1): 212-220.
- [10] SCHULZE C, LIWICKI M. Optimized SIFT feature matching for image retrieval [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2014, 1(1): 102-115.
- [11] HERBERT B, ANDREAS E, TINNE T, et al.. Speeded Up Robust Feature (SURF) [J]. *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, 2008, 110(3): 346-359.
- [12] 张从鹏,魏学光. 基于 Harris 角点的矩形检测[J]. 光学精密工程, 2014, 22(8): 2259-2266.  
ZHANG C P, WEI X G. Rectangle detection based on Harris corner [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(8): 2259-2266. (in Chinese)
- [13] BIADGIE Y, SOHN K A. Feature detector using adaptive accelerated segment test [C]. *International Conference on Information Science & Applications (ICISA)*, 2014: 1537-1541.
- [14] FOTEINI P, NIKIFOROS M, OLGA P. A study on the use of a binary local descriptor and color extensions of local descriptors for video concept detection [J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2015, 8935(1): 282-293.
- [15] LEUTENEGGER S, CHLI M, SIEGWART R Y.

- BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints [C]. *Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2012: 1589-1596.
- [16] 林森,苑玮琦,宋辉. 二进制鲁棒不变尺度特征在非接触掌纹识别中的应用[J]. *仪器仪表学报*, 2013, 34(12): 2785-2792.
- LIN S, YUAN W Q, SONG H. Application of binary robust invariant scalable keypoints in non-contact palmprint recognition [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, 34(12): 2785-2792. (in Chinese)
- [17] 许允喜,蒋云良,陈方. 惯性组合导航系统中基于BRISK的快速景象匹配算法[J]. *光电子·激光*, 2013, 23(8): 1589-1596.
- XU Y X, JIANG Y L, CHEN F. Rapid scene matching algorithm based on BRISK for inertial integrated navigation system [J]. *Journal of Optoelectronics Laser*, 2013, 23(8): 1589-1596. (in Chinese)
- [18] 张勇,王新赛,李明明,等. 鲁棒的车载红外视频电子稳像算法[J]. *强激光与粒子束*, 2013, 25(4): 853-857.
- ZHANG Y, WANG X S, LI M M, *et al.*. Robust infrared video electronic stabilization algorithm for vehicle [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2013, 25(4): 853-857. (in Chinese)
- [19] 李刚,王赫. 机载光电平台实时图像消旋[J]. *液晶与显示*, 2014, 29(2): 304-309.
- LI G, WANG H. Real-time image rotation-elimination for airborne photoelectric platform [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 304-309. (in Chinese)
- [20] 陈付幸,王润生. 基于预检验的快速随机抽样一致性算法[J]. *软件学报*, 2005, 16(8): 1431-1437.
- CHEN F X, WANG R SH. Fast RANSAC with pre-view model parameters evaluation [J]. *Journal of Software*, 2005, 16(8): 1431-1437. (in Chinese)

#### 作者简介:



崔少辉(1965—),男,河北邢台人,教授,博士生导师,1985于海军电子工程学院获得学士学位,1988于南京航空航天大学获得硕士学位,2004于军械工程学院获得博士学位,主要从事自动测试技术,电子稳像技术,目标识别与目标跟踪技术的研究。E-mail: cuish@163.com



谢征(1991—),男,安徽亳州人,硕士研究生,2013年于中国科学技术大学获得学士学位,主要从事捷联图像制导电子稳像技术及SOPC嵌入式系统研究。E-mail: xiezheng@mail.ustc.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)