

文章编号 1004-924X(2014)01-0204-09

改进 Noble 算子匹配的电子稳像法

初守艳*, 席志红

(哈尔滨工程大学信息与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:考虑全局运动估计算法对电子稳像系统准确性和实时性的影响,提出了改进 Noble 算子匹配的电子稳像算法。该算法通过区域预选、特征匹配、参数求解和运动补偿四步操作稳定抖动视频。首先,根据全局运动一致性的特点,采用子块间的绝对差值提前剔除部分不可靠区域,并改进传统 Noble 算子的全局阈值部分,根据区域梯度均值自适应调整阈值,检测各保留区域的角点,以保证图像特征的空间均匀性分布;其次,根据特征点的邻域信息构造梯度方向描述子进行粗匹配运算,并利用最近邻次近邻比率和均值距离准则两步操作优化匹配集合;然后,结合运动模型求解全局参数;最后,选择卡尔曼滤波过程完成抖动图像的补偿处理。Matlab 仿真结果证明:该算法能平均提高峰值信噪比 2 dB 以上,当旋转角度小于 5° 时性能更为优异,能准确、快速地稳定视频图像。

关键词:电子稳像;全局运动;全局一致性;特征匹配;卡尔曼滤波

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142201.0204

Digital image stabilization based on improved Noble feature matching

CHU Shou-yan*, XI Zhi-hong

(College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University,
Harbin 150001, China)

* Corresponding author, E-mail: chushouyan@hrbeu.edu.cn

Abstract: In consideration of the effect of global motion estimation algorithm on the real-time performance and the accuracy of a electron stabilization system, a digital image stabilization algorithm based on the improved Noble feature matching was proposed. The algorithm was composed of four steps: preselecting regions, feature matching, solving parameters and motion compensation. Firstly, the global consistency of the background pixels was used to eliminate the unreliable regions, and the adaptive threshold was added into the traditional Noble feature extraction process to ensure the features uniformly distributed in the retained image regions. Then, the neighborhood gradient information of the feature point was used to build the feature descriptors and to get the rough match sets. At the same time, the ratio of the closest neighbor to second-closest neighbor and the mean space distance criteria were both used to optimize the match sets. Furthermore, the global motion parameters were solved. Finally, the Kalman filter was used to get the true shaky components to compensate the images. Matlab experimental results indicate that the algorithm can increase the peak signal-to-noise ratio more than 2 dB, and it is especially excellent when the rotation angle is less than 5°. In conclusion, the al-

收稿日期:2013-05-23;修订日期:2013-06-19.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60875025/f030410);中央高校基本科研业务费专项资金资助课题

gorithm can stabilize video images quickly and accurately.

Key words: digital image stabilization; global motion; global consistency; feature matching; Kalman filter

1 引言

随着成像设备的普及、工作环境的多样化,稳像技术应运而生。其中,电子稳像技术由于具有成本低、有效性高、可移植性好等优点已成为近年研究的热点。电子稳像技术包括运动估计和运动补偿两部分。运动估计过程耗时较长,且其直接影响运动补偿阶段的精度,因此,改善运动估计算法的性能成为影响电子稳像技术发展的关键。

根据视频抖动的复杂程度通常将其分为平移运动和复杂运动,而块匹配法和特征法分别是解决上述两类问题的代表算法。基于全搜索过程的块匹配法是估计平移抖动的最准确算法,但需要遍历图像所有区域,不适合实时运算。文献[1-2]简化了算法的匹配准则,提出了二进制位平面匹配准则,文献[3-4]改进了搜索过程,减少了搜索步数。两类算法均能提高运算效率,但都不可避免地损害了运动估计的精度。电子稳像中运动估计是指图像中大面积背景区域的运动,基于这一思想,文献[5-6]预先分析图像中各区域的情况,只保留有利于参数估计的子区域,这使得该方法在减少计算量的同时能保证较高精度,但他们没有具体分析各种局部运动情况。特征法是选择图像的显著性信息,如角点、直线、边缘等^[7],通过计算这些显著信息的匹配结果来求解运动参数,常用来估计视频间的复杂运动。由于角点受噪声影响小且具有普遍存在性和独特性,成为电子稳像领域研究较多的特征。尺度不变特征变换(Shift Invariant Feature Transform, SIFT)^[8-9]算子表现优异,能够处理图像间的平移、旋转、仿射变换、视角变换、光照变换等情况下的匹配问题,但该算法复杂度高,不利于稳像的实时应用。考虑到摄像机帧率高,两帧图像的差别很小,帧间运动可以分解成平移、绕中心旋转和小幅度的缩放运动,这样,采用 Harris/Noble^[10-12]角点检测算子可以很好地兼顾算法的实时性和鲁棒性,但检测过程采用固定阈值,平滑区域特征易漏检,或导致特征聚集在图中较小区域,受局部运动物体的影响较大。

另外,特征模板匹配法不适用于旋转较大的情况,考虑采用描述子匹配法加以改进。

基于以上分析,结合块匹配法的预处理思想,本文提出一种改进 Noble 特征匹配的电子稳像算法。该算法根据全局运动一致性的特点进行区域预选,并在保留区域上根据梯度均值设置自适应阈值检测特征;同时利用梯度直方图构建描述子得到粗匹配结果,并采取两类准则优化匹配集合得到全局运动参数;最后采用 Kalman 滤波平衡摄像机的有意运动和随机抖动,输出稳定的视频序列。

2 电子稳像算法整体流程

电子稳像算法分为运动估计和运动补偿两部分,如图 1 所示。运动估计阶段先采用预选算法剔除图像的不稳定区域,然后根据保留区域的梯度设置自适应阈值来检测特征,并建立梯度方向描述子,根据描述子间的差异确定粗匹配集合,利用最近邻和次近邻的比率和距离均值准则优化匹配集合并求解全局参数。运动补偿阶段则采用运动滤波算法保留摄像机的有意运动,并提取抖动成分用以反向补偿当前图像。

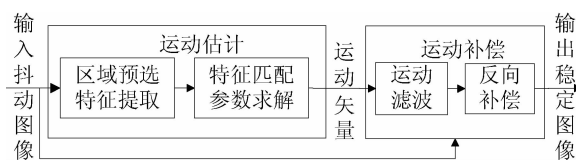


图 1 电子稳像算法系统框图

Fig. 1 Block diagram of electronic image stabilization system

描述视频序列运动的参数模型分为多种形式,参数越多表达的运动形式越复杂,但计算时间也越长。为了兼顾算法整体的有效性和实时性,本文选择四参数相似模型来描述,具体如式(1)所示:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & -m_2 \\ m_2 & m_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{t-1} - x_0 \\ y_{t-1} - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中: (x_{t-1}, y_{t-1}) 和 (x_t, y_t) 分别代表两幅图像的匹配特征点对, (x_0, y_0) 为旋转中心, 一般选为图像中心, m_1, m_2 与缩放和旋转运动有关, m_3, m_4 为平移参数。

3 基于特征匹配的电子稳像技术

根据图 1 所示电子稳像系统的基本流程, 将算法分为区域预选、特征匹配、参数求解、运动补偿 4 部分, 各部分关键算法原理的详细阐述如下:

3.1 区域预选

电子稳像系统需要估计的是背景区域像素的运动^[13], 其运动趋势表现出一致性, 利用这一特性文献[14]指出可以利用两帧图像相同位置的平均绝对差值(Mean Absolute Difference, MAD)来判断对应的运动情况。由于随着运动幅度的变化, 相应的 MAD 值也会发生变化, 因此, 可以通过判断两帧图像整体的 MAD 值分布情况来选择背景像素区域。MAD 算子的计算如式(2)所示:

$$MAD = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |(I_t(i, j) - I_{t-1}(i, j))|. \quad (2)$$

其中: $M \times N$ 为子块尺寸, $I_t(i, j)/I_{t-1}(i, j)$ 为相邻图像在 (i, j) 处的灰度值。通常背景图像占的面积区域较大, 对应的 MAD 值在允许浮动区间内表现出一致性。统计所有值得到的概率分布曲线在均值附近出现单峰性, 而在均值两侧随着距离间隔的增大, 曲线急剧下降, 这是因为图像平滑区域和局部运动区域所占比重较小, 分析发现曲线的变化形式类似于正态函数的分布规律, 因此, 利用统计 MAD 值的均值和标准差可以粗略选择背景区域, 预选区域如式(3)所示:

$$p_{re} = (\mu_m - t_1 \sigma_m, \mu_m + t_1 \sigma_m), \quad (3)$$

其中: μ_m 和 σ_m 分别代表 MAD 集合的均值和标准差, t_1 是可控阈值, 实验时根据具体视频内容确定需要保留的子块数量, 可以采用类似于正态分布的 $3\sigma_m$ 原则选择合适的数值。

3.2 特征匹配

基于角点的特征匹配法包含两个关键技术: 特征检测技术和特征匹配技术, 具体叙述如下:

3.2.1 特征检测技术

Noble 算子与 Harris 算子的检测原理相同, 均通过判断图像梯度相关函数的响应值和阈值的

关系确定图像的角点, 其自相关函数矩阵如式(4)所示:

$$\mathbf{M} = \frac{1}{2\pi\sigma} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中: σ 为高斯函数方差, 用于去除差分运算引入的噪声误差, (I_x, I_y) 分别为图像水平和垂直梯度值。Harris 算子对光照变化不明显, 且抗干扰能力强, 但对弱角点检测存在性能缺陷, 而 Noble 算子通过加入归一化操作增强了对误检的抑制能力, 改进的响应计算如式(5)所示:

$$H = \det(\mathbf{M}) / \text{trace}(\mathbf{M})$$

$$\text{trace}(\mathbf{M}) = \lambda_1 + \lambda_2, \det(\mathbf{M}) = \lambda_1 \times \lambda_2, \quad (5)$$

其中: (λ_1, λ_2) 为矩阵 \mathbf{M} 的特征值。然而由于检测算法仍然采用固定阈值, 不具有自适应性, 当图像各区域结构相差较大时, 很难选择一个合适的全局阈值, 特征集合容易聚集在图像的局部区域, 不利于估计全局运动矢量。为了解决这一问题, 本文提出针对不同纹理区域图像的自适应阈值检测算法。

图像梯度值是评价纹理程度的一种有效方式, 可以根据子区域梯度幅值和整体平均量的比值选择加权系数调整参考阈值, 由于构建响应函数时已经计算出图像梯度信息, 避免了额外的运算负担。这里采用了文献[12]中参考阈值的选择方法, 图 2 为任一图像角点的数量和参考阈值的关系变化曲线。

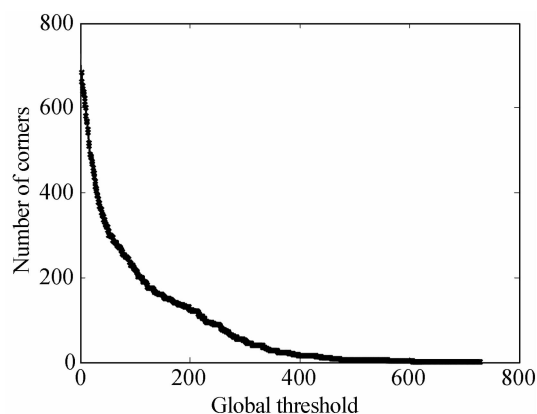


图 2 角点数量和全局阈值的关系曲线

Fig. 2 Relationship between global threshold and number of corners

从图 2 曲线的变化形式可以清楚看出, 曲线

符合严格的单调递减形式,斜率为-1时对应的即为全局最优阈值,同时最优阈值两侧角点数量改变速率不同。为了保证图像角点集合的数量均匀变化,针对最优值两侧区间采用不同的加权系数,则各子块的局部检测阈值如式(6)所示:

$$T_i = \begin{cases} k_1 \times T_c, G_i/\bar{G} \geq 1, \\ k_2 \times T_c, G_i/\bar{G} < 1 \end{cases}, i = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

其中: G_i 为第*i*个子块梯度幅值的总和; k_1/k_2 为加权系数; T_c 为参考阈值; \bar{G} 是*N*个子块的平均梯度幅值。根据式(6)自适应调整阈值,使得纹理丰富区域检测阈值较大,这可以保证较高的可靠性;反之,平滑区域的阈值较小,可以获得足够的检测角点,从而保证检测的特征尽可能地在图像中均匀分布。

3.2.2 特征匹配技术

目前,角点匹配多采用模板匹配法,即直接利用图像灰度信息构造匹配模板。这种方法计算简便,且易于实现,但灰度信息受光照和噪声影响较大,并且当旋转较大时,模板内像素点位置会改变,难以得到两帧的正确匹配点对,因此,本文选择了基于描述子的匹配方法。

(1) 特征描述子的建立

参考 SIFT 描述子^[8]建立的思想,利用检测角点过程中得到的图像水平和垂直梯度,首先以检测的各角点为中心,选择一定大小的圆形邻域,由于圆的特殊性,这样能保证图像旋转变换前后落入该区域的像素点保持不变;其次统计各自邻域内像素点的梯度值,计算其幅值和方向,如式(7)所示:

$$d_i = \sqrt{I_y^2 + I_x^2}, \theta_i = \arctan(I_y/I_x). \quad (7)$$

将邻域内所有像素按照梯度方向均匀量化到12个区间,累加落入每个方向区间的像素梯度幅值,这样对应各角点均得到一个12维的梯度描述子;最后为了保持光照不变性,对描述子进行均值归一化处理,具体描述子的计算公式如下:

$$\bar{\mathbf{D}} = 12 \times \mathbf{D} / \sqrt{\sum_{i=1}^{12} d_i^2} = (\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_{12}), \quad (8)$$

其中: $\mathbf{D}=(d_1, d_2, \dots, d_{12})$ 分别对应落入12个方向区间的像素梯度累加幅值。

虽然圆形邻域内像素点数量保持不变,但由于水平和垂直坐标轴的方向发生了改变,使得对应像素点的梯度方向也随之变化。为了保持描述子的旋转不变性,查找描述子中最大的梯度方向向量,再按照逆时针方向依次移位各维描述子分量,从而保证最大值始终在固定位置,移位过程如图3所示。

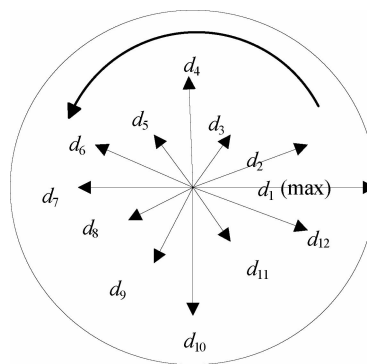


图3 特征描述子移位过程

Fig. 3 Shift processing of feature descriptor

(2) 特征匹配

采用两幅图像特征描述子的欧氏距离作为特征粗匹配标准,距离越小表示特征相似性越高,同时为了避免相似区域对匹配结果的影响,可以设置最近邻和次近邻的比率来减少误匹配。由于特征描述子利用的是图像的局部信息,基于描述子的匹配不可避免地会存在不符合全局运动的局部点对,而全局参数的估计精度依靠匹配集合的整体水平,因此,需要进一步优化匹配结果。视频中背景像素具有运动一致性,即背景区域的匹配特征间欧氏距离相差很小,而位于局部运动物体上的特征,对应距离与整体均值偏差较大,利用这一特点去除属于局部运动的匹配点对。定义匹配点对间的距离如式(9)所示:

$$D_k = |x_k - \hat{x}_k| + |y_k - \hat{y}_k|, k \in (1, 2, \dots, n), \quad (9)$$

其中: (x_k, y_k) 和 (\hat{x}_k, \hat{y}_k) 表示两幅图像中任一对匹配点,*n*表示粗匹配阶段保留的点对数量。统计所有 D_k 得到均值 D_m ,当任一 D_k 大于 D_m 时,认为该匹配点对位于局部运动物体上,舍弃该点对。

3.3 参数求解

为避免集合中残留的误匹配影响参数估计精

度,采用迭代最小二乘法求解全局参数,具体如下:

Step1:将匹配点对集合带入运动模型(如公式(1)所示),建立运动方程 $\mathbf{B}=\mathbf{A}\mathbf{M}_{\text{sim}}$,式中:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \vdots \\ \hat{x}_n \\ \hat{y}_1 \\ \vdots \\ \hat{y}_n \end{bmatrix}, \mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 \\ -y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{M}_{\text{sim}} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

Step2:根据公式 $\mathbf{M}_{\text{sim}} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A} \mathbf{B}$ 求解全局参数的最小二乘初始解,并根据参数 \mathbf{M}_{sim} 计算参考图像的特征映射后坐标 (\bar{x}_k, \bar{y}_k) , $k=1, 2, \dots, n$;

Step3:计算参数映射坐标和原坐标的误差,即:

$$E_k = \sqrt{(\hat{x}_k - \bar{x}_k)^2 + (\hat{y}_k - \bar{y}_k)^2}, k = 1, 2, \dots, n;$$

Step4:计算出所有误差的均值 E_m ,并选择均值的函数作为外点剔除门限,删除集合中误差大于门限的匹配点对,更新匹配集合转到 Step1。

当两次迭代过程保留的匹配集合保持不变,或全局参数的变化量小于规定值时,停止迭代并输出本次全局参数 \mathbf{M}_{sim} 。在迭代过程中逐渐去除误差较大的匹配,这就保证了参数求解的精度,同时由于匹配集合中正确匹配的概率很高,仅需少数几次迭代即可得到满意的参数结果,运算负担不重。

3.4 运动补偿

3.4.1 运动分量的计算

全局参数 \mathbf{M}_{sim} 不能明确地表示出图像的旋转和缩放参数,不利于运动滤波的实现,因此将式(1)的运动模型转化为式(10)的形式:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{t-1} - x_0 \\ y_{t-1} - y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}, \quad (10)$$

其中: (s, θ, dx, dy) 分别对应缩放、旋转和平移参数。可以看出 $dx=m_3, dy=m_4$ 为平移参数,而旋转参数 $\theta = \arctan(m_2/m_1)$, 缩放参数为 $s = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ 。

3.4.2 运动滤波

当摄像机固定时,根据全局参数对当前图像

直接反向插值即可得到稳定的视频序列;当摄像机存在有意运动时,则需要先采用运动滤波算法区分摄像机的有意运动和抖动成分,再进行插值处理。

卡尔曼滤波从统计学的角度分析全局运动参数,并通过构造状态空间模型和观测模型区分摄像机的有意运动和随机抖动成分。该算法只需根据过去时刻的估计值和协方差就可以估计出当前时刻最优的有意运动,因此不存在系统延迟,实时性高。稳像系统状态和观测方程的通用形式如式(11)所示:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{S}(t-1) + \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{Z}(t) &= \mathbf{H}\mathbf{S}(t) + \mathbf{v}(t) \end{aligned}, \quad (11)$$

其中: $\mathbf{S}(t) = [dx(t), dy(t), dv_x(t), dv_y(t), \theta(t)]$ 分别代表各个状态变量,前 2 项表示平移参数,第 3、4 项表示平移参数的速度, $\theta(t)$ 表示旋转参数, $\mathbf{w}(t)$ 表示状态噪声, $\mathbf{v}(t)$ 表示观测噪声, $\mathbf{Z}(t) = [m_x(t), m_y(t), m_\theta(t)]$ 表示各个观测变量,此处指的是全局参数的估计结果,分别为水平、垂直和旋转参数, \mathbf{A} 和 \mathbf{H} 分别为状态转移矩阵和观测矩阵,具体形式如下:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

卡尔曼滤波按照参数初始化、状态更新和测量更新 3 个过程进行递归运算。通过求解后验估计状态的最优值得到摄像机的有意运动,即认为是图像的稳定位置,而抖动分量为全局运动矢量和有意运动的差值。实验时通过控制状态噪声和观测噪声的值可以获得有意扫描运动和随机抖动分量的有效折中。

4 实验仿真

为验证提出算法的有效性,利用软件 Matlab 7.6 在 PC 机(Pentium(R) Dual-Core, CPU 2.93 GHz, 1GB 内存)上进行仿真实验。

4.1 验证区域预选算法的有效性

采用包含局部运动物体的室外视频‘out-1’作为实验对象,预选阈值 t_1 依次选择为 0.5, 1 和

2,根据预选公式(3)得到的图像预选结果如图 4 所示。

图像分辨率为 $288 \text{ pixel} \times 252 \text{ pixel}$,被分割成 12×12 大小的子区域,为了避免摄像机运动造成边缘特征移进移出的问题,舍弃图像的边缘区域,每个子图标括号内标出保留区域占整幅图像的百分比。从图 4 的实验结果可以看出,随着阈值的增加,保留的区域逐渐增多,且去除的均为不稳定的局部区域。但即使采用相同阈值在不同的图像类型内保留的区域面积也有所不同,因此,实际应用时需根据图像内容选择阈值以决定需要保留的区域面积。一般情况下,阈值的变化区间为 $[0.5, 3.0]$ 。

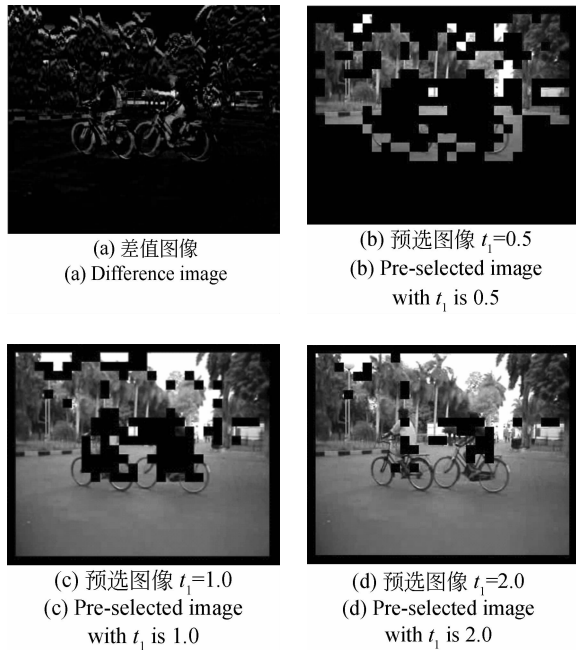


图 4 图像的区域预选结果
Fig. 4 Image region pre-selected results

4.2 验证特征匹配算法的有效性

采用包含多类型局部运动区域的标准测试图像序列‘Coastguard’作为实验对象,从特征提取和特征匹配两方面验证了提出算法的性能。

分别采用 Noble^[11]、SIFT^[8]和 SURF^[15]算子作为比较算法,预选子块尺寸设为 12×12 ,阈值 $t_1 = 1$,两侧局部阈值的调整系数分别为 $k_1 = 10$, $k_2 = 0.2$,具体特征提取的仿真结果如图 5 所示。

采用 3 种算子提取出的特征点数量分别为 165、1 062、355 和 134,文中算法提取的特征集合数量最少,对照图 5 的仿真结果可知,预选算法去

除的多为包含局部运动的不稳定区域,对应区域的匹配结果对最终全局参数的求解没有贡献,并且特征数量的减少降低了匹配阶段的运算负担,同时算法修改原算子的全局固定阈值部分,加入自适应调整系数,能保证提取特征点的可靠性,并使其尽可能在保留的背景区域均匀分布。但是依据子块运动趋势的区域预选算法仅从统计意义出发,没有考虑图像内容的空间相关性,预先保留的背景区域有些粗糙,不可避免仍存在少量影响参数估计精度的特征点,可以通过特征匹配过程剔除误匹配。

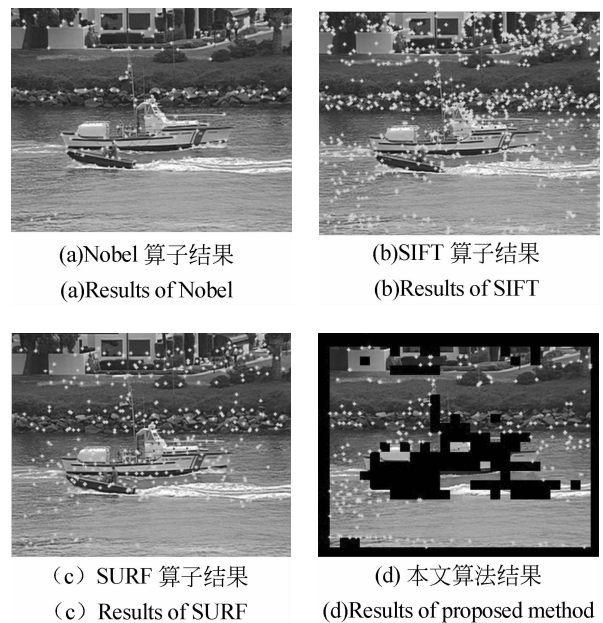


图 5 图像特征检测结果
Fig. 5 Detection results of image feature

为了验证文中结合特征描述子和距离均值准则的匹配算法的准确性,采用在匹配领域性能优异的基于尺度空间不变性的 SIFT 算子作为比较算法,最近邻和次近邻的比率设为 0.6,两类特征匹配法的仿真结果如图 6 所示。

从图 6 的对比结果可以明显看出,提出算法的匹配性能不如 SIFT 的匹配结果,但其仍能提供数量足够多的匹配点对(针对文中的四参数运动模型,最少只需 2 对正确匹配点对即可得到正确全局参数)。电子稳像算法需要的是属于背景区域的特征,而在 SIFT 特征匹配集合中存在大量位于局部运动物体上的特征点对,不仅浪费了大量时间用于提取特征点和建立描述子,而且影响全局参数的求解精度;反之,文中算法在预选之

后的保留区域上提取特征,尽量避免提取无用的局部特征,同时根据提取特征过程中的梯度信息建立描述子,节省了大量的运算时间,因此能达到很好的匹配效果,是正确求解全局运动参数的基础,在有效实现电子稳像的过程中起到重要作用。

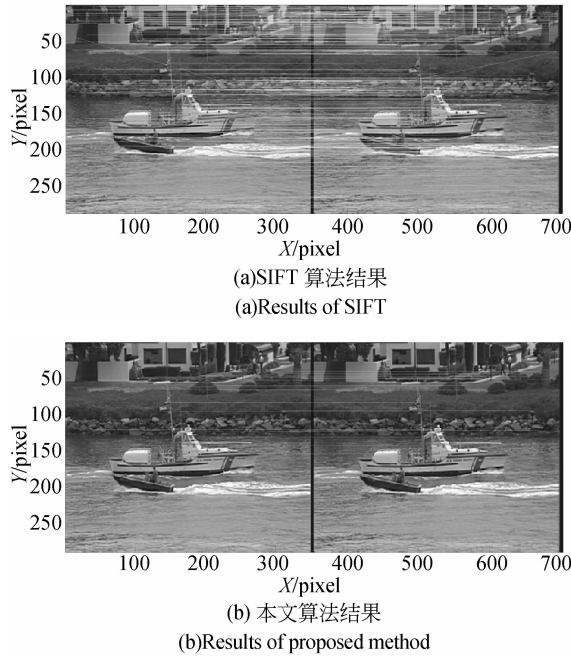


图 6 特征匹配结果图

Fig. 6 Feature matching results

4.3 图像补偿的验证实验

以实拍的模糊室外序列中任意两帧图像为例,采用文中算法补偿前后的差值图像如图 7 所示。

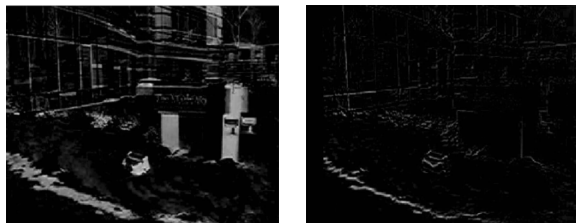


图 7 图像补偿结果

Fig. 7 Image compensation results

算法的各部分参数设置同 4.2 节,图 7 左侧为补偿前的差值图像,右侧为补偿后的差值图像。从图 7 的对比结果可以看出,原图像的抖动得到了有效补偿。为了更清楚地证明稳像算法的有效性,给出了 3 组不同类型的序列(标准测试序列‘football’、包含局部运动的‘out-1’序列和模糊

的室外视频序列‘out-3’)中任意两帧图像的全局参数估计结果以及峰值信噪比(PSNR)的比较,如表 1 所示。

通过观察多个视频序列稳像的结果,可以发现,大多数情况下,本文算法能有效地完成视频图像的稳像处理,平均 PSNR 提高了 2 dB 以上。但是,当旋转角度较大时,预先去除区域不能过多,否则影响稳像效果,这是因为预处理时采用的是矩形块,不具有旋转不变性,易造成误去除,因此针对旋转角度较大的情况,一般认为大于 5° 时不采用预处理,直接采用文中提出的特征匹配算法进行处理。

表 1 视频稳像算法的性能

Tab. 1 Performance of digital image stabilization algorithm

序列名称	四参数 (m_1, m_2, m_3, m_4)	仿真值	
		中心区域 补偿前	PSNR/dB 补偿后
football	0.999 6, -0.001 5, -0.118 0, -10.086 2	31.168 5	33.236 2
out-1	1.000 2, 0.000 5, 0.004 7, -4.072 9	32.535 4	40.029 4
out-2	1.000 8, 0.006 5, 1.239 3, -20.310 3	28.706 4	34.341 3

5 结 论

电子稳像中全局运动指的是占较大比例的背景像素运动,因此在参数求解之前采用预处理算法剔除部分不稳定区域,可以在保证估计精度的前提下极大地降低参数求解的运算负担。本文结合上述思想,对传统 Noble 特征匹配法进行改进,引入自适应阈值以保证提取特征的数量和可靠性,利用邻域梯度信息建立特征描述子用于匹配运算,并结合最近邻、次近邻比率和均值距离准则保证匹配结果的精度。对多种类型视频的实验仿真显示,使用该算法可使平均 PSNR 提高 2 dB 以上,尤其适用于旋转角度不大的情况。因此,结合预选处理的改进特征匹配法能达到快速有效稳定

视频图像的目的。

但是,预处理算法采用矩形块,不适合旋转角度较大的情况,另外,基于特征邻域梯度信息建立

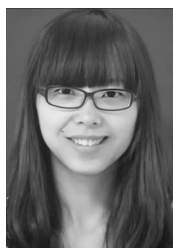
的描述子,对存在重复纹理结构图像的分辨性不好,尝试加入全局信息增加特征描述子的独特性是下一步的研究重点。

参考文献:

- [1] CELEBI A, AKBULUT O, URHAN O, *et al.*. Truncated gray-coded bit-plane matching based motion estimation and its hardware Architecture [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(3): 1530-1536.
- [2] GULLU M K. Weighted constrained one-bit transform based fast block motion estimation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2011, 57(2): 751-755.
- [3] 张萍,魏平,于鸿洋,等.一种基于生物地理优化的快速运动估计算法[J]. *电子与信息学报*, 2011, 33(5): 1017-1023.
- ZHANG P, WEI P, YU H Y, *et al.*. A biogeography-based optimization algorithm for fast motion estimation [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2011, 33(5): 1017-1023. (in Chinese)
- [4] 谷会涛,陈书明,孙书为,等.多搜索中心的运动估计快速算法[J]. *电子学报*, 2011, 39(3): 695-699.
- GU H T, CHEN SH M, SUN SH W, *et al.*. Fast motion estimation algorithm based on multi-search centers [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2011, 39(3): 695-699. (in Chinese)
- [5] 仲训显,朱齐丹,张智.数字图像中的快速和鲁棒运动估计研究[J]. *电子学报*, 2010, 38(1): 251-256.
- ZHONG X Y, ZHU Q D, ZHANG ZH. Study of fast and robust motion estimation in the digital image stabilization [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2010, 38(1): 251-256. (in Chinese)
- [6] 邱家涛,李玉山,初秀琴,等.稳定运动物体视频的特征方法[J]. *光学精密工程*, 2012, 20(10): 2300-2307.
- QIU J T, LI Y SH, CHU X Q, *et al.*. Feature-based approach for stabilizing videos with moving objects [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(10): 2300-2307. (in Chinese)
- [7] 张跃飞.车载摄像机数字稳像技术研究[D].成都:电子科技大学,2011.
- ZHANG Y F. *Research on digital image stabilization for in-car video camera* [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2011. (in Chinese)
- [8] 王山虎,尤红建,付琨,等.基于大尺度双边 SIFT 的 SAR 图像同名点自动提取方法[J]. *电子与信息学报*, 2012, 34(2): 287-293.
- WANG SH H, YOU H J, FU K, *et al.*. An automatic method for finding matches in SAR images based on coarser scale bilateral filtering SIFT [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(2): 287-293. (in Chinese)
- [9] 孙韬,方俊永,刘学,等.基于 SIFT 特征匹配的全自动辐射归一化算法[J]. *红外与毫米波学报*, 2012, 31(4): 355-359.
- SUN T, FANG J Y, LIU X, *et al.*. Automatic relative radiometric normalization method based on SIFT feature matching [J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2012, 31(4): 355-359. (in Chinese)
- [10] 张小洪,李博,杨丹,等.一种新的 Harris 多尺度角点检测 [J]. *电子与信息学报*, 2007, 29(7): 1735-1738.
- ZHANG X H, LI B, YANG D, *et al.*. A novel Harris multi-scale corner detection algorithm [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(7): 1735-1738. (in Chinese)
- [11] 朱娟娟,郭宝龙.复杂场景中基于变块差分的运动目标检测 [J]. *光学精密工程*, 2011, 19(1): 183-191.
- ZHU J J, GUO B L. Moving object detection based on variant block difference in complex scenes [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(1): 183-191. (in Chinese)
- [12] 马丽红,任森,谭幸均,等.基于局部熵和方差调整的 Noble 角点检测算法改进[J]. *华南理工大学学报:自然科学版*, 2011, 39(2): 51-59.
- MA L H, REN M, TAN X J, *et al.*. Modified Noble corner detection algorithm based on fine tun-

- ing of local entropy and variance[J]. *Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition*, 2011, 39(2):51-59. (in Chinese)
- [13] 赵亚湘,樊晓平,刘少强,等. 基于运动矢量多级分析的视频全局运动估计[J]. *电子与信息学报*, 2012, 34(7):1538-1542.
ZHAO Y X, FAN X P, LIU SH Q, *et al.*. Global motion estimation based on the multi-stage analysis of motion vectors[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(7): 1538-1542. (in Chinese)
- [14] XI Z H, CHU S Y. Two-step global motion estimation algorithm based on the robustness region [J]. *Journal of Computational Information Systems*, 2013, 9(3):1019-1026.
- [15] 张坤,许廷发,王平,等. 高精度实时全帧频 SURF 电子稳像方法[J]. *光学精密工程*, 2011, 19 (8): 1964-1972.
ZHANG K, XU T F, WANG P, *et al.*. Real-time full-frame digital image stabilization system by SURF[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19 (8): 1964-1972. (in Chinese)

作者简介:



初守艳(1987—),女,辽宁营口人,博士研究生,2009年于哈尔滨工程大学获得学士学位,主要从事视频增稳、运动估计方面的研究。E-mail: chushouyan@hrbeu.edu.cn

导师简介:



席志红(1965—),女,山西沁源人,工学博士,教授,博士生导师,1985年于东北工学院获得学士学位,1988年于哈尔滨船舶工程学院获得硕士学位,2006年于哈尔滨工程大学获得博士学位,主要从事图像处理与应用、视觉目标探测与识别,信号检测与估计的研究。E-mail: xizhihong@hrbeu.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)