

文章编号 1004-924X(2012)10-2300-08

## 稳定运动物体视频的特征方法

邱家涛\*, 李玉山, 初秀琴, 刘 洋, 倪乐真  
(西安电子科技大学 电路 CAD 研究所, 陕西 西安 710071)

**摘要:**将背景特征块配对和直方图聚类运动矢量滤波相结合,提出了一种稳定运动物体视频的方法。用得到的全局运动参量补偿摄像机的帧间运动,运用帧差法分割出前景块和背景块,把参考帧背景上的特征块与当前帧上的特征块配对估计下一轮的帧间运动。用一块对多块的匹配策略,把参考块和以参考块为中心的搜索窗内的当前帧上的最佳匹配块配对,建立稀疏运动矢量场。然后,运用直方图聚类方法滤除矢量场中未分离出的前景块矢量和误匹配矢量。最后,用多个包含运动物体的实际视频序列对提出方法进行测试,并与其它先进稳像算法和技术仿真比较。结果表明:提出方法的全局平均帧间变换保真度可达 31.05 dB,接近或优于上述先进算法和技术。提出的方法对包含运动物体的视频具有较强的鲁棒性,可以去除帧间高频抖动并有效改善视频质量。

**关键词:**电子稳像;视频稳像;全局运动估计;运动矢量;特征块匹配;运动检测

**中图分类号:** TN941.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122010.2300

## Feature-based approach for stabilizing videos with moving objects

QIU Jia-tao\*, LI Yu-shan, CHU Xiu-qin, LIU Yang, NI Le-zhen

(Institute of Electronic CAD, Xidian University, Xi'an 710071, China)

\* Corresponding author, E-mail: jtqiu@mail.xidian.edu.cn

**Abstract:** By combining a background feature block matching and a histogram clustering method, a new approach for stabilizing videos with moving objects was proposed. The estimated global motion parameters were used to compensate the inter-frame camera motion, and a frame differencing method was adopted to segment the foreground and background blocks, then the feature blocks on the background of reference frame were matched with that on the current frame to estimate the global motion in the next run. By using a one-block-to-multiple-block matching strategy, the reference feature block was matched with the feature blocks of the current frame in the search window centered on the reference block, thus a sparse motion vector field was built. Then, the un-removed foreground vectors and erroneous vectors in this vector field were filtered out using a histogram clustering method. The proposed approach has been tested by using many real videos with moving objects and compared with other state-of-the-art video stabilization algorithms and techniques. The results indicate that the proposed approach can achieve an inter-frame transformation fidelity value by 31.05 dB, which is as high as those of state-of-the-art algorithms and techniques. Moreover, it has a higher robustness to moving objects and can remove inter-frame high frequency jitters and improve video quality.

**收稿日期:** 2012-05-15; **修订日期:** 2012-07-06.

**基金项目:** 国家 973 重点基础研究发展计划资助项目 (No. 2009CB724005); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (No. k50510020029)

**Key words:** electronic image stabilization; video stabilization; global motion estimation; motion vector; feature block matching; motion detection

## 1 引言

近年来,手持视频相机被广泛用于拍摄个人视频剪辑,不过拍摄过程中手的颤震易输出抖动的图像造成视频质量降低。不过用运动传感器检测相机抖动并相应控制棱镜或者 CCD/CMOS 传感器进行物理补偿<sup>[1]</sup>,或用电子稳像<sup>[2-4]</sup>(Electronic Image Stabilization, EIS)技术可补偿不需要的图像抖动。

用数字图像处理稳定图像的方法由 3 步组成:全局运动估计、运动参量平滑和图像变换。第一步全局运动估计获取图像的帧间变换参量,是一个关键稳像步骤,其准确度影响后续的运动参量平滑和图像变换。现有的运动估计算法大致可分为两类:直接利用像素灰度信息的直接方法<sup>[4-7]</sup>和基于图像特征的方法<sup>[8-10]</sup>。

稳定包含运动物体的视频序列,用局部运动矢量进行全局运动参量拟合,通常还需滤除运动物体上的局部运动矢量。稳定此种视频序列进行全局模型参量拟合的方法大致有以下几类。文献[10]用一种简化的迭代最小平方法(Least Squares, LS)计算最终的全局运动参量,但不能稳定包含较大运动物体的视频。运用随机抽样一致(Random Sample Consensus, RANSAC<sup>[11]</sup>)方法进行模型参量的拟合,在一些限定条件下可以取得不错的效果,但此法随机性强,有时达到预定的最大迭代次数也不收敛,从而得到错误的运动参量估计。文献[12]为数码视频相机提出了一种集成数字稳像器和视频编码器的方法,运用直方图聚类方法滤除运动物体上的局部运动矢量,稳定运动物体视频有一定的鲁棒性,但只采用了平移全局运动模型而没有考虑转动。文献[5]用一种基于背景补偿和帧差法的运动区域检测方法得到背景块,跟踪背景块来估计帧间全局运动参量,但稳定包含较平坦运动物体的视频序列,会存在孔径问题。针对包含运动物体视频序列的稳像问题,本文把前后帧差分运动区域检测和三维直方图运动矢量滤波相结合,提出了一种鲁棒的全

局运动估计方法,形成一种新颖的特征稳像方法。提出的全局运动估计方法为:

- 1) 用全局运动参量补偿背景运动得到运动补偿帧;
- 2) 运用帧间差分运动区域检测方法提取参考帧上的背景块,在背景块上提取特征点和特征块;
- 3) 以一块对多块的方式匹配参考帧上的特征块与当前帧上的特征块,得到稀疏运动矢量场;
- 4) 用三维直方图聚类方法滤除未完全分离出的运动物体上的特征块矢量和误匹配矢量;
- 5) 把经直方图聚类滤波后的运动矢量,作为线性最小平方方法的输入,计算最终的全局运动参量。

最后,用多个包含运动物体的视频序列对提出的稳像方法进行测试,结果表明提出方法稳定可靠,可有效稳定包含运动物体的视频序列。

## 2 提出的稳定运动物体视频的特征方法

### 2.1 特征块检测与选取

用运动区域检测方法检测出参考帧中的运动物体和背景,在背景上均匀提取特征点和特征块,并把这些特征块与当前帧上的特征块配对得到运动矢量场。

对灰度图像进行预处理,先平滑去噪然后锐化,以提取较好的特征点。特征点检测用 Harris 算子<sup>[13]</sup>,这种算子受信号处理中自相关函数的启发,给出与自相关函数相联系的矩阵  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{M}$  阵的特征值是自相关函数的曲率,如果两个曲率值都很高,认为该点是角点。Harris 算子的计算只涉及图像的一阶导数,角点响应函数为:

$$R = \det \mathbf{M} - \alpha \cdot \text{trace}^2 \mathbf{M}, \quad (1)$$

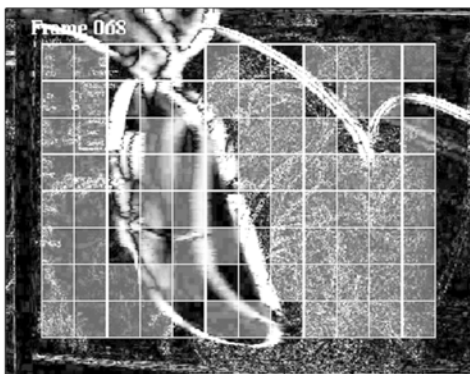
其中:

$$\mathbf{M} = \mathbf{G} \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}, \alpha = 0.04 \sim 0.06$$

式(1)中  $I_x$  和  $I_y$  分别是图像  $x$  和  $y$  方向的梯度,  $G$  为高斯模板,  $\otimes$  表示卷积算子, 卷积运算表示对  $I_x^2$ 、 $I_y^2$  和  $I_x I_y$  高斯滤波, trace 和 det 分别为矩阵的迹和行列式。

参考帧  $I_{t-1}(\mathbf{x})$  的候选特征点在其背景块上提取, 以一个小块内具有最大响应值  $R$  的点作为候选特征点。如图 1(a), 把对应参考帧的绝对帧差图像划分成一系列的块, 运用运动区域检测方法把这些块分成前景块和背景块, 图 1(a) 中除鼠标和导线外略亮的方块为检测到的背景块, 再把这些块细分为小块, 寻找每个背景小块上的最大  $R$  值点, 并对这些最大  $R$  值做阈值化处理, 得到高于阈值的若干个最大值点, 仅保留其中的局部极大值点, 得到  $n$  个点, 用其组成参考帧的特征点集  $S_r = \{u_i\}_{i=1, \dots, n}$ 。一个确定特征点的结果如图 1(b), 以特征点为中心确定特征块, 本文特征块为  $7 \times 7 \sim 10 \times 10$  的块。

在当前帧  $I_t$  整个像面上进行特征点检测, 对  $I_t$  上的  $R$  值作  $7 \times 7$  邻域上的非极大值抑制处



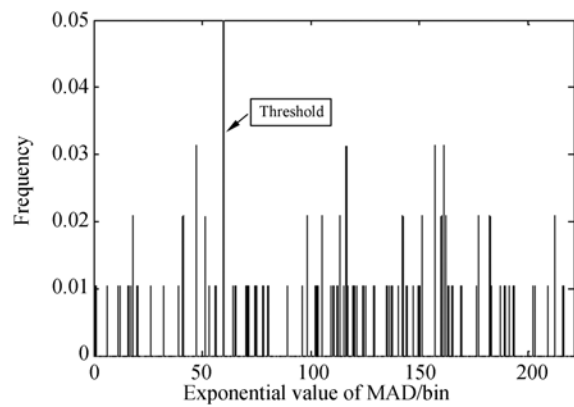
(a) 绝对帧差图像

(a) Absolute difference image



(b) 特征点检测

(b) Feature point detection



(c) 直方图

(c) Histogram

图 1 参考帧的绝对帧差图像和特征点检测示例

Fig. 1 An example of absolute difference image and feature point detection for the reference frame

理, 得到  $Q$  个极大值点构成当前帧的特征点集  $S_c$ 。以该点集中的特征点为中心确定特征块, 本文采用  $7 \times 7 \sim 10 \times 10$  的块。

检测运动区域可采用背景减除法<sup>[14]</sup>或其它的方法<sup>[7]</sup>。本文用一种分块帧差法分割出运动区域。用估计的第  $t-1$  帧的全局运动参量  $\mathbf{p}_{t-1} = (a \ b \ T_x \ T_y)^T$  补偿背景的运动, 即用  $I_{t-2}(\mathbf{x})$  到  $I_{t-1}(\mathbf{x})$  的变换矩阵  $\mathbf{W}_{t-2}^{-1}$  把  $I_{t-2}(\mathbf{x})$  变换成补偿帧  $I_{t-2}^w(\mathbf{x})$ ,  $\mathbf{W}_{t-2}^{-1}$  可表示为:

$$\mathbf{W}_{t-2}^{-1} = \begin{pmatrix} a & -b & T_x \\ b & a & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

计算运动补偿帧  $I_{t-2}^w(\mathbf{x})$  与  $I_{t-1}(\mathbf{x})$  的绝对帧差图像:

$$I_{t-1}^d(\mathbf{x}) = |I_{t-1}(\mathbf{x}) - I_{t-2}^w(\mathbf{x})|. \quad (3)$$

把  $I_{t-1}^d(\mathbf{x})$  分割成前景块和背景块, 从背景区域中选取参考特征块用于下一轮的全局运动估计。

采用如下的绝对帧差图像分割方法。如图 1(a), 把  $I_{t-1}^d(\mathbf{x})$  划分成一系列的方块  $R_1, R_2, \dots, R_k$ , 每个方块  $R_i$  的平均绝对差值 (Mean of Absolute Difference, MAD) 为:

$$m_i = \frac{\sum_{\mathbf{x} \in R_i} |I_{t-1}^d(\mathbf{x})|}{\# R_i} \quad i = 1, \dots, k, \quad (4)$$

式(4)中  $\# R_i$  表示方块  $R_i$  中的像素的个数, 用这些方块的 MAD 构建一个矢量:

$$\mathbf{V} = (e^{-\frac{m_1}{2\sigma_d^2}}, \dots, e^{-\frac{m_k}{2\sigma_d^2}}), \quad (5)$$

式(5)中  $\sigma_i^2$  表示由实验确定的高斯密度函数的方差。最后统计矢量  $\mathbf{V}$  中的元素构建直方图,即:

$$\mathbf{H} = \{h_j\}_{j=0, \dots, L-1}. \quad (6)$$

构建直方图  $\mathbf{H}$  的一个示例如图 1(c), 用横轴上阈值  $t$  将  $\mathbf{H}$  分成两类  $C_1 = \{0, 1, \dots, t\}$  和  $C_2 = \{t+1, t+2, \dots, L-1\}$ , 分别对应于运动目标和背景, 用 Otsu<sup>[15]</sup> 方法求取直方图  $\mathbf{H}$  的最优阈值  $t^*$ :

$$t^* = \arg \max_{0 \leq t < L} [\omega_1(t) \mu_1(t)^2 + \omega_2(t) \mu_2(t)^2], \quad (7)$$

式(7)中  $\mu_1(t)$  和  $\mu_2(t)$  分别表示两类的数学期望,  $\omega_1(t)$  和  $\omega_2(t)$  分别表示两类的概率。

用 Otsu 方法的阈值  $t^*$  分割绝对帧差图像  $I_{t-1}^d(\mathbf{x})$  的一个示例如图 1(a) 和 1(c), 运动物体为鼠标和导线。可以观察到, 尽管这种前后帧差分运动检测方法可分离出大部分的运动物体, 但存在孔径问题, 即不能把运动物体平坦区域上的块分离出来, 要把这些块矢量排除在全局运动参量拟合之外, 尚需对其做进一步的滤波处理。

用估计的全局运动参量补偿背景的运动, 须保证全局运动参量的可靠性, 否则全局运动参量误估计会在后续图像帧中传播。采取以下方法防止此类错误的发生, 如果估计的第  $t$  帧全局运动参量  $\mathbf{p}_t$  错误, 则用  $\mathbf{p}_t$  得到的运动补偿帧  $I_{t-1}^w(\mathbf{x})$  与  $I_t(\mathbf{x})$  间的绝对差值和 (Sum of Absolute Difference, SAD) 会发生突变, 据此判断得到的全局运动参量的可靠性, 定义判别式:

$$t_p = \left| \frac{D_t - D_{t-1}}{D_{t-1}} \right|, \quad (8)$$

式(8)中  $D_{t-1}$  表示第  $t-1$  帧绝对帧差图像  $I_{t-1}^d(\mathbf{x})$  中所有方块 MAD(用式(4)计算)的和,  $D_t$  表示第  $t$  帧绝对帧差图像所有方块 MAD 的和。如果  $D_t$  发生突变,  $t_p$  会大于阈值  $t_r$ , 可用前一帧的全局运动参量  $\mathbf{p}_{t-1}$  代替  $\mathbf{p}_t$ :

$$\mathbf{p}_t \leftarrow \mathbf{p}_{t-1}, \quad (9)$$

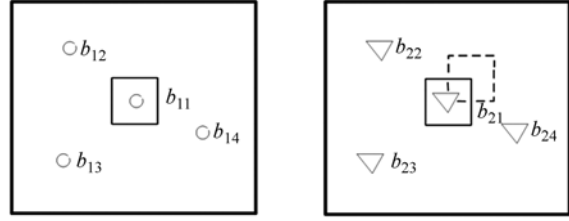
$$D_t = \lambda D_t + (1 - \lambda) D_{t-1}, \quad (10)$$

式(10)中  $0 \leq \lambda \leq 1$  是对当前帧全局运动参量  $\mathbf{p}_t$  的置信度, 式(10)右端的初始  $D_t$  是所有方块 MAD 的和, 式(10)用于平滑  $D_t$ , 以计算下一轮的  $t_p$  值, 本文  $0.4 < t_r < 1$ 。

## 2.2 特征块运动矢量估计

本文只估计视频序列的帧间全局运动, 帧间全局运动可近似认为是背景的平移、小角度的旋转和缩放运动, 且特征块选得较小, 可用平移运动近似特征块的帧间运动。

为防止特征块匹配过程的搜索陷入局部极值点, 采用了一块对多块的匹配方式。提取参考帧  $I_{t-1}$  上的参考特征块的坐标, 把当前帧  $I_t$  上以该坐标为中心的搜索窗内的所有特征块, 均当成该参考块的候选配对块, 并与其匹配, 如图 2。用  $(x_{11}, y_{11})$  表示  $I_{t-1}$  中的参考块  $b_{11}$  的坐标, 用  $(x_{21}, y_{21})$  表示  $I_t$  中的候选配对块  $b_{21}$  的坐标。在  $I_t$  中以  $(x_{11}, y_{11})$  为中心的搜索窗内的候选配对块为  $b_{21}, b_{22}, b_{23}, b_{24}$ , 从这些块中找出与  $b_{11}$  最相似的块作为其配对。



(a)  $I_{t-1}$  帧搜索窗

(b)  $I_t$  帧搜索窗

(a) Search window in  $I_{t-1}$

(b) Search window in  $I_t$

图 2 特征块配对示意图

Fig. 2 Illustration of feature block matching

为减小低精度的特征点的影响, 候选配对块在以其坐标为中心的方形邻域内滑动, 每个滑动到新位置的块均与参考块  $b_{11}$  匹配, 用具有最小绝对差值和 SAD 的滑动块取代原候选配对块, 并用其 SAD 当作该候选配对块与  $b_{11}$  的相似度。

用绝对差值和 SAD 测量特征块间的相似度:

$$\text{SAD}(b_{11}, \hat{b}_{2h}) = \sum_{i=x_{11}-u}^{x_{11}+u} \sum_{j=y_{11}-v}^{y_{11}+v} |I_{t-1}(i, j) - I_t(i + x_{2h} + d_x - x_{11}, j + y_{2h} + d_y - y_{11})|, \quad (11)$$

式(11)中  $(2u+1)(2v+1)$  表示特征块的大小, 搜索窗内候选配对块  $b_{2h}$  的坐标表示为  $(x_{2h}, y_{2h})$ , 块  $\hat{b}_{2h}$  是原候选配对块  $b_{2h}$  滑动到新位置  $(x_{2h} + d_x, y_{2h} + d_y)$  后得到的,  $\text{SAD}(b_{11}, \hat{b}_{2h})$  表示块  $b_{11}$  与  $\hat{b}_{2h}$  的绝对差值和, 滑动块  $\hat{b}_{2h}$  对  $b_{2h}$  的偏移矢量为:

$$\mathbf{d}^* = (d_x, d_y), \quad (12)$$

其中:

$$-2 \leq d_x \leq 2, -2 \leq d_y \leq 2,$$

块  $\hat{b}_{2h}$  对  $b_{11}$  的偏移矢量为:

$$\hat{\mathbf{d}}_{2h} = (x_{2h} + d_x - x_{11}, y_{2h} + d_y - y_{11}), \quad (13)$$

计算候选配对块  $b_{2h}$  的所有滑动块  $\hat{b}_{2h}$  与  $b_{11}$  的 SAD, 用最小的 SAD 当作块  $b_{2h}$  与  $b_{11}$  的相似度:

$$\text{SAD}(b_{11}, b_{2h}) = \min_{b_{2h}} \text{SAD}(b_{11}, \hat{b}_{2h}), \quad (14)$$

其对应的偏移矢量当作块  $b_{2h}$  对  $b_{11}$  的偏移矢量:

$$\mathbf{d}(b_{11}, b_{2h}) = \operatorname{argmin}_{b_{2h}} \text{SAD}(b_{11}, \hat{b}_{2h}). \quad (15)$$

根据搜索窗内的候选配对块与块  $b_{11}$  的相似度, 可以确定  $b_{11}$  的配对块:

$$\bar{h} = \operatorname{argmin}_h \text{SAD}(b_{11}, b_{2h}), \quad (16)$$

配对块  $b_{2\bar{h}}$  对  $b_{11}$  的偏移矢量为:

$$\mathbf{d}_\Delta = \mathbf{d}(b_{11}, b_{2\bar{h}}). \quad (17)$$

这一配对过程遍历参考帧的特征点集  $S_r = \{\mathbf{u}_l\}_{l=\{1, \dots, n\}}$  中的每一个特征点, 即用其上的特征块与当前帧的特征块匹配, 从而得到稀疏运动矢量场的匹配点对集合:

$$S_m = \left\{ \begin{matrix} \mathbf{u}_l \\ \mathbf{v}_l \end{matrix} \right\}_{l=\{1, \dots, n\}}. \quad (18)$$

对于大抖动(大平移量且旋转角度不超过  $6^\circ$ ) 视频序列或者帧率较低的视频序列, 帧间平移量较大, 需要用某种方法粗略估计帧间平移量并补偿之, 以缩小特征匹配搜索范围减少误匹配。本文用过去的全局运动参量预测当前帧的全局运动参量, 设  $I_{t-1}(\mathbf{x})$  到  $I_t(\mathbf{x})$  的全局运动参量为  $\mathbf{p}_t$ , 采用 4 种预测  $\mathbf{p}_t$  的模型

$$\begin{aligned} \text{Zero:} & \quad \mathbf{p}_t^{\text{zero}} = (1 \ 0 \ 0 \ 0) \\ \text{Past:} & \quad \mathbf{p}_t^{\text{past}} = \mathbf{p}_{t-1} \\ \text{Acceleration:} & \quad \mathbf{p}_t^{\text{acceleration}} = 2\mathbf{p}_{t-1} - \mathbf{p}_{t-2}. \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{Average:} \quad \mathbf{p}_t^{\text{average}} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \mathbf{p}_{t-i}$$

如果摄像机停止运动, 零预测模型较准确, 过去预测模型对应摄像机匀速运动, 加速预测模型对应摄像机加速或者减速运动, 平均预测模型滤除摄像机的突变运动。用式(19)的各个  $\mathbf{p}_t$  模型把  $I_{t-1}(\mathbf{x})$  变换成运动补偿帧  $I_{t-1}^w(\mathbf{x})$ , 计算其相应的  $I_{t-1}^w(\mathbf{x})$  与  $I_t(\mathbf{x})$  间的 SAD, 从中选择具有最小 SAD 的  $\mathbf{p}_t$  作为当前帧的全局运动参量预测, 用其平移量作为当前帧平移量的粗略估计并补偿之。

### 2.3 运动矢量滤波和全局运动参量计算

为了兼顾实时性和准确性, 用相似变换模型计算帧间全局运动参量, 表示为:

$$\begin{cases} x_j = x_i \lambda \cos \theta - y_i \lambda \sin \theta + T_x \\ y_j = x_i \lambda \sin \theta + y_i \lambda \cos \theta + T_y \end{cases}, \quad (20)$$

式(20)中  $(x_i, y_i)$  表示参考帧  $I_{t-1}$  中的点,  $(x_j, y_j)$  表示当前帧  $I_t$  中的对应点,  $\lambda$  表示缩放系数,  $\theta$  表

示旋转角度,  $T_x$  和  $T_y$  分别表示  $x$  方向和  $y$  方向上的平移量。

本文采用直方图聚类方法滤除矢量场  $S_m$  中的误匹配矢量和未分离出的运动物体上的运动矢量。采用式(20), 每两对匹配点对就可得到一个全局运动参量, 把匹配点对集合  $S_m$  中的  $C_n^2$  种元素组合都代入式(20), 共可得到  $C_n^2$  个全局运动参量样本  $(\tilde{\lambda} \tilde{\theta} \tilde{T}_x \tilde{T}_y)^T$ , 然后用这些全局运动参量中的  $\tilde{\theta}$ 、 $\tilde{T}_x$  和  $\tilde{T}_y$  构建一个三维的直方图, 如图 3, 把落入直方图密度最大的 bin 的  $3 \times 3 \times 3$  的邻近区间的  $\tilde{\theta}$ 、 $\tilde{T}_x$  和  $\tilde{T}_y$  所对应的运动矢量都当作内点, 把内点矢量对应的点对的坐标代入式(20)得到一个冗余方程组, 并应用线性最小平方方法得到最终的全局运动参量  $(\lambda, \theta, T_x, T_y)$ 。

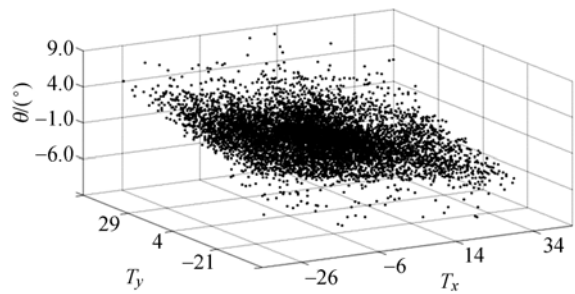


图 3 平移和旋转角度参数空间的样本  $\tilde{T}_x, \tilde{T}_y, \tilde{\theta}$

Fig. 3 Samples  $\tilde{T}_x, \tilde{T}_y, \tilde{\theta}$  in translation and rotation parameter space

### 2.4 全局运动参量平滑和图像变换

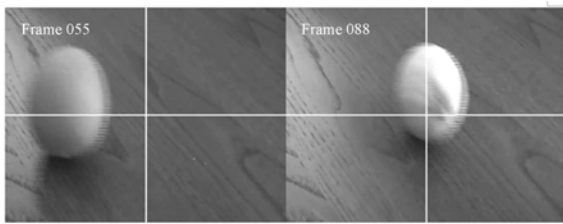
求出序列所有的帧间全局运动参量得到全局运动参量链, 然后用如文献[5]的运动参量平滑方法对其滤波, 滤除高频抖动分量而保留摄像机的有意扫描运动分量, 从而补偿原视频序列的抖动而输出连续稳定的视频序列。对于背景固定的视频序列, 如果序列的帧数不多, 可用第一帧作为参考帧进行图像补偿。

## 3 实验与结果分析

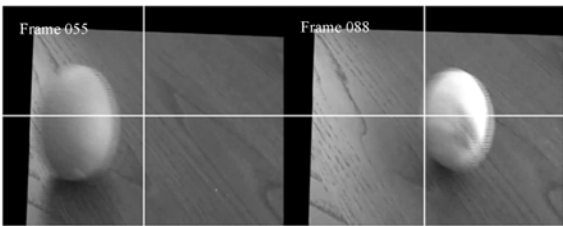
为验证提出稳像方法的鲁棒性和准确性, 用多个包含运动物体的视频序列对其进行测试, 并把提出方法与最小平方稳像方法、新视频稳定技术<sup>[12]</sup>和免费稳像软件(Deshaker)进行比较。

用式(19)的运动参量预测方法先粗略估计帧间平移量并补偿之, 以缩小特征匹配搜索范围。

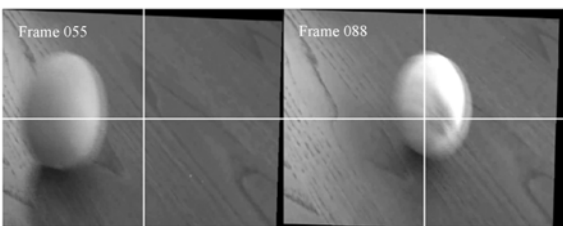
MovingObject\_1 序列 和 MovingObject\_2 序列的背景都较平坦,在 MovingObject\_1 (<http://iplab.dmi.unict.it/download/Video/>)序列中,水果在桌子上滚动,在 MovingObject\_2 序列中,一个布满纹理的轮子渐渐滚入场景,对此二序列实施稳像有一定的难度。稳定 MovingObject\_1 视频序列实验结果的几帧示例如图 4, Deshaker 软件得到的全局帧间运动参量会受到水果上局部运动矢量的影响,会跟随水果的运动,如图 4(b),而提出的把运动区域检测和三维直方图运动矢量滤波结合的方法,有较好的稳像效果,如图 4(c)。把全部局部运动矢量作为模型参量拟合输入的最小平方稳像方法,在运动物体不大时稳像性能较



(a) 原图像  
(a) Original images



(b) Deshaker 软件的稳定图像  
(b) Stabilized images of software Deshaker

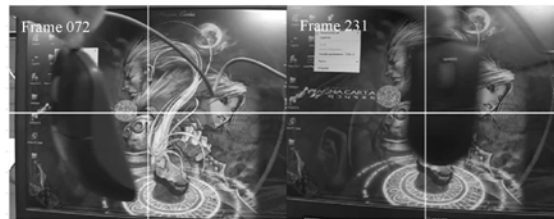


(c) 提出方法的稳定图像  
(c) Stabilized images of proposed method

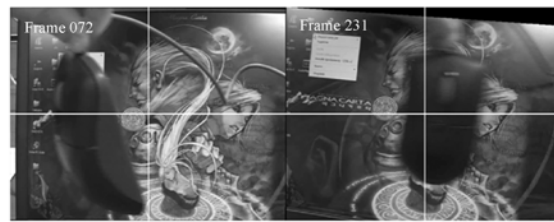
图 4 提出方法性能的视觉评估(应用于 movingObject\_1 序列)

Fig. 4 Visually evaluation of performance of the proposed approach (applied to the movingObject\_1 sequence)

好,而稳定较大运动物体视频的效果较差。运用运动区域检测方法滤除运动物体上的局部运动矢量,得到背景上的运动矢量和一部分未分离出的运动物体上的矢量,对其应用线性最小平方方法得到最终的全局运动参量,此法应用于 mouse 序列的稳像示例如图 5(b),可以观察出第 72 帧图像向右偏移,第 231 帧图像向下偏移,也会跟随鼠标的运动,而提出方法进一步用三维直方图聚类方法滤除未分离出的运动物体上的矢量和误匹配矢量,经此滤波后的运动矢量作为最小平方方法的输入,有较好的稳像效果,如图 5(c)。



(a) 原图像  
(a) Original images



(b) 最小平方方法的稳定图像  
(b) Stabilized images of least-square approach



(c) 提出方法的稳定图像  
(c) Stabilized images of proposed method

图 5 提出方法性能的视觉评估(应用于 mouse 序列)  
Fig. 5 Visually evaluation of the performance of proposed approach (applied to the mouse sequence)

为进一步对提出稳像方法进行有效性的验证,如文献[4]和[10],用帧间变换保真度(Inte-

frame Transformation Fidelity, ITF)对稳像效果进行了定量评估,视频序列的 ITF 可定义为:

$$ITF = \frac{1}{N_f - 1} \sum_{k=2}^{N_f} PSNR(k), \quad (21)$$

式中  $PSNR(k)$  表示参考帧  $I_{k-1}$  与当前帧  $I_k$  间的峰值信噪比值,采用如文献[4]和[10]的背景差分规则计算,  $N_f$  表示视频序列包含的帧数,因为稳定视频序列的图像帧比原抖动视频序列的连续,稳定视频序列的 ITF 值应当高于原抖动视频序列的值。

表 1 3 种方法的帧间变换保真度比较

Tab. 1 Inter-frame transformation fidelity of three approaches (dB)

图像序列	原序列	提出方法	Deshaker	文献[12]
	ITF	ITF	软件 ITF	方法 ITF
	ITF/dB	ITF/dB	ITF/dB	ITF/dB
office	24.92	29.51	29.45	29.48
mouse	27.53	31.48	31.78	30.98
star	26.60	26.95	26.93	26.87
movingObject_2	33.12	33.94	34.63	33.84
outdoor2	25.11	33.39	33.51	33.32
全局平均 ITF	27.46	31.05	31.26	30.90

用本文提出方法、文献[12]方法和 Deshaker 稳像软件稳定 5 个视频序列的 ITF 值的对比如

#### 参考文献:

- [1] 赵跃进, 连铜淑. 会聚光路中的三轴稳像棱镜组[J]. 光学学报, 1992, 12(8): 749-754.  
ZHAO Y J, LIAN T SH. Three-axis image stabilizing reflecting prism assembly in convergent light [J]. *Acta Optica Sinica*, 1992, 12(8): 749-754. (in Chinese)
- [2] 赵红颖, 金宏, 熊经武. 电子稳像技术概述[J]. 光学精密工程, 2001, 9(4): 353-359.  
ZHAO H Y, JIN H, XIONG J W. A brief description of electronic image stabilization techniques [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(4): 353-359. (in Chinese)
- [3] LEE J, LEE S, PAIK J. Digital image stabilization based on statistical selection of feasible regions [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(4): 1748-1755.

表 1。结果表明 5 个视频序列稳像后的 ITF 值比稳像前的值均有提高, 提出方法的全局平均 ITF 值可达 31.05 dB, 高于文献[12]方法的值, 低于 Deshaker 的值, 达到先进稳像方法的水平。尽管 Deshaker 的稳像准确度较高, 但其鲁棒性较差, 如对 MovingObject\_1 类的视频不能稳像。

## 4 结 论

本文以一种确定性方式消除运动物体的影响, 提出了一种稳定运动物体视频的特征算法。用背景补偿和帧差法分割出运动物体, 把背景上的参考特征块与当前帧的特征块配对得到特征块运动矢量, 并运用直方图聚类方法滤除未分离运动物体矢量和误匹配矢量。用多个包含运动物体的实际视频序列对提出稳像方法进行测试, 并与先进的视频稳像方法仿真对比。结果表明: 提出方法的全局平均 ITF 值可达 31.05 dB, 与先进稳像方法的水平相当, 对视频序列稳像结果的主观视觉效果和客观定量评估表明了提出稳像方法的有效性。下一步工作准备采用更准确的运动区域检测方法, 以进一步增强提出方法对运动物体的鲁棒性, 也需要对估计的特征块矢量运用抛物线类的插值运算, 以达到亚像素级的精确度。

- [4] BATTIATO S, BRUNA A R, PUGLISI G. A robust block based image/video registration approach for mobile imaging devices [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2010, 12(7): 622-635.
- [5] 邱家涛, 李玉山, 王彩玲, 等. 一种基于检测块动态选择的稳像算法[J]. 光子学报, 2010, 39(s1): 23-28.  
QIU J T, LI Y S, WAN C L, et al.. A dynamic detection blocks selection-based image stabilization algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(s1): 23-28. (in Chinese)
- [6] 孙辉. 快速灰度投影算法及其在电子稳像中的应用[J]. 光学精密工程, 2007, 15(3): 412-416.  
SUN H. Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(3): 412-416. (in Chinese)
- [7] QI B, GHAZAL M, AMER A. Robust global mo-

- tion estimation oriented to video object segmentation [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(6):958-967.
- [8] WANG C, KIM J H, BYUN K Y, *et al.*. Robust digital image stabilization using the Kalman filter [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2009, 55(1):6-14.
- [9] HUANG K Y, TSAI Y M, TSAI C C, *et al.*. Video stabilization for vehicular applications using SURF-Like descriptor and KD-tree [C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, 2010:3517-3520.
- [10] BATTIATO S, GALLO G, PUGLISI G, *et al.*. Sift features tracking for video stabilization [C]. *Proceedings of the 14th International Conference on Image Analysis and Processing*, 2007: 825-830.
- [11] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: A paradigm model fitting with applications to image analysis and automated cartography [J]. *Commun. ACM*, 1981, 24(6):381-395.
- [12] CHEN H, LIANG C K, PENG Y C, *et al.*. Integration of digital stabilizer with video codec for digital video cameras [J]. *IEEE Transactions on Circuits Syst. Video Technol.*, 2007, 17(7):801-813.
- [13] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]. *In Alvey Vision Conference*, 1988:147-151.
- [14] 姜永林, 屈楨深, 王常虹. 基于纹理及统计特征的视频背景提取 [J]. *光学精密工程*, 2008, 16(1): 172-177.
- JIANG Y L, QU ZH SH, WANG CH H. Video background extraction based on texture and statistical features [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(1):172-177. (in Chinese)
- [15] NG H F. Automatic thresholding for defect detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(14):1644-1649.

#### 作者简介:



邱家涛(1964—),男,河南信阳人,博士研究生,高级工程师,1985年于西安石油学院获得学士学位,2005年于贵州大学获得硕士学位,主要从事图像处理方面的研究。E-mail: jtqiu@mail. xidian. edu. cn



刘洋(1980—),男,安徽宿州人,副教授,2002年于西安电子科技大学获得硕士学位,2007年于西安电子科技大学获得博士学位,主要从事图像处理和信号完整性分析方面的研究。E-mail: liuyang@mail. xidian. edu. cn



李玉山(1945—),男,河南开封人,教授,博士生导师,1968年于哈尔滨军事工程学院获得学士学位,1981年于西北电讯工程学院获得硕士学位,主要从事图像处理和信号完整性分析方面的研究。E-mail: yshli@xidian. edu. cn



倪乐真(1983—),男,浙江金华人,硕士,2006年于西安电子科技大学获得学士学位,2009年于西安电子科技大学获得硕士学位,主要从事图像处理和信号完整性分析方面的研究。E-mail: nilezhen@yahoo. com. cn



初秀琴(1973—),女,山东烟台人,副教授,1997年于西安电子科技大学获得硕士学位,2003年于西安电子科技大学获得博士学位,主要从事图像处理和信号完整性分析方面的研究。E-mail: xqchu@mail. xidian. edu. cn