

# 《多模式实时电子稳像仪器的研究》专栏文章导读

周立伟

北京理工大学 光电成像技术与系统教育部重点实验室

国家自然科学基金重点项目(科学仪器专项)资助项目"多模式实时电子稳像仪器的研究",形成了多模式实时电子稳像数学模型、感兴趣区域的运动预测、基于图像复原的帧内去抖等新理论和新技术,并成功研制了工程应用的电子稳像仪器。以下三篇文章的研究,属于该项目研究中的一部分。

《高精度实时全帧频 SURF 电子稳像方法》一文主要针对高频抖动和电子稳像实时性问题,采用 SURF 检测图像的兴趣点,估计出高精度的运动矢量;获得了平滑的帧间全局运动矢量,进而进行全帧频补偿,最终实现了高精度的实时全帧频电子稳像。

《运动成像混合模糊的全变分图像复原》一文主要用于运动成像中视频的帧内复原。依据模糊图像的频谱特性定性判定模糊类型,利用倒谱分析的方法定量估计模糊模型点扩散函数;采用适用于  $L^1$  范数的 Split-Bregman 方法实现了耦合梯度保真项的改进型全变分图像复原算法,完成了仿真和实拍混合模糊图像的复原。

《运动模糊退化图像的双字典稀疏复原》一文针对曝光时间内相机和场景之间发生相对运动产生的运动模糊问题,用 Haar 系数冗余字典将图像稀疏化,从清晰图像库中训练了一个冗余字典进行第二次稀疏收敛来去除模糊中被加权的噪声,为在稀疏框架下的图像复原提供了一种新的思路。

以上研究工作是在北京理工大学光电成像技术与系统教育部重点实验室光电信息工程研究所完成的。该研究所是专门从事光电成像与探测技术以及微光红外技术的理论研究、系统开发、推广和应用和高层次创新人才培养的实体。实验室依托"光学工程"国家一级重点学科,多年来在国防光电成像技术领域围绕国民经济、社会发展和国家安全面临的重大技术问题,承担了众多的国家 973 计划、863 计划、国家自然科学基金面上和重点项目以及国防武器预先研究项目等,积累了丰富的经验,研制开发了多个成像与探测系统与仪器,广泛应用于兵器、航天、航空、高铁等领域,多次获得国家科技进步奖以及省部级科技进步奖等奖项。这里涉及的研究工作,正是在这些成果的基础上进行的。

文章编号 1004-924X(2011)08-1964-09

## 高精度实时全帧频 SURF 电子稳像方法

张 坤<sup>1,2</sup>,许廷发<sup>1,2\*</sup>,王 平<sup>1</sup>,冯 亮<sup>1,2</sup>

(1.北京理工大学 光电学院,北京 10081;

2.北京理工大学 光电成像技术与系统教育部重点实验室,北京 100081)

**摘要:**针对视频抖动和电子稳像的实时性,提出了基于 SURF 的电子稳像算法。首先,采用 SURF 算法检测图像的兴趣点,建立了当前帧与参考帧的对应关系,得出高精度的运动估计矢量。然后,通过判定参考帧更新策略,获得平滑的帧间全局运动矢量,进而对原始视频序列进行运动补偿。最后,将参考帧对应区域像素填充到稳像帧丢失像素区域进行全帧频补偿,输出高精度的实时全帧频电子稳像视频。实验结果表明,采用 SURF 算法的实时电子稳像算法,运行时间  $< 30$  ms,精确度  $< 1$  pixel,对存在严重运动模糊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;全帧频;SURF 算法;运动估计;运动滤波;亚像素

**中图分类号:** TN941.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20111908.1964

收稿日期:2011-06-09;修订日期:2011-07-01.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(科学仪器专项)(No. 61027002);国家 973 重点基础研究发展计划资助项目(No. 2009CB72400603);国家自然科学基金资助项目(No. 60972100)

# Real-time full-frame digital image stabilization system by SURF

ZHANG Kun<sup>1,2</sup>, XU Ting-fa<sup>1,2\*</sup>, WANG Ping<sup>1</sup>, FENG Liang<sup>1,2</sup>

(1. School of Optics and Electronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System of the

Ministry of Education of China, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

\* Corresponding author, E-mail: ciom\_xtf1@bit.edu.cn

**Abstract:** To overcome the undesirable shakes or jiggles of a camera and to implement the image stabilization in real time, a real-time full-frame video stabilization system based on the Speeded Up Robust Features (SURF) was proposed. Firstly, the SURF was employed to extract feature points, and the correspondence between the current and reference frame was established to get high precision local motion vector estimation. Secondly, by determining the reference frame update strategy, the smoothed interframe global motion vector was obtained. Finally, the corresponding pixels of the reference frame was filled with a stabilized frame to compensate the unstable motion and to output an stabilized full-frame video. Experimental results show that the real-time full-frame video stabilization system using SURF algorithm can provide the high accuracy (lower than 1 pixel) and short processing time (less than 30 ms). Moreover, it has a higher robustness on serious motion-blur and better image quality.

**Key words:** digital image stabilization; full-frame; SURF algorithm; motion estimation; motion filter; sub-pixel

## 1 引 言

随着摄像设备应用的日益广泛,摄像平台越来越多样化。通过车载摄像系统、手持摄影设备、飞机或舰船摄影平台等得到的视频信号往往会因为摄像机的运动而发生抖动。视频抖动不仅会影响视觉效果,使观看者产生晕眩进而导致误判和漏判,而且给进一步的图像处理带来困难。

利用电子稳像技术实现视频图像序列稳定是现代稳像技术的发展方向之一<sup>[1]</sup>。传统电子稳像方法主要有:块匹配方法、灰度投影法和特征匹配方法。块匹配法<sup>[2-4]</sup>是最常见的运动矢量估计方法,近几年研究者对块匹配方法不断进行改进,它们多采用合适的搜索路径,快速准确搜索最佳匹配块来得到运动矢量。但是块匹配法只能估计平移运动矢量,当摄像机存在旋转运动和变焦运

动时,精度较低甚至误匹配,因此适用场合受到限制。灰度投影法<sup>[5-7]</sup>速度比较快,但是要求图像的灰度变化丰富,否则灰度投影曲线变化不明显,难以精确求出运动矢量或者根本无法进行投影曲线的相关运算,精度不高。特征匹配法是利用图像的主要特征,包括区域、物体边缘<sup>[8]</sup>、直线<sup>[9]</sup>以及灰度极大值点、角点和特征点<sup>[10]</sup>等进行匹配稳像的方法,如何提取特征和特征定位的精确性是其关键技术。

本文采用 SURF 算法获得参考图像和当前图像中的兴趣点及其匹配关系,利用随机抽样一致性 (RANSAC) 算法消除误匹配对并过滤掉由前景物体局部运动带来的全局运动矢量误差,以获得准确的运动估计矢量。通过判定参考帧的更新策略得到运动补偿矢量对原始视频序列进行运动补偿及全帧频补偿,从而实现高精度的实时电子稳像。

## 2 SURF 兴趣点检测及其匹配算法

电子稳像方法中,图像配准是非常关键的步骤。通过匹配图像特征,计算仿射变换模型参数,可以得到两幅图像间的仿射变换关系。SURF (Speeded-Up Robust Features)<sup>[11]</sup> 是在 SIFT (Scale Invariable Feature Transformation) 配准算法的基础上提出的一种基于快速鲁棒特征的配准算法,包括兴趣点检测和兴趣点描述两个部分,其核心思想是通过积分图像 Harr 求导减少计算时间。SURF 算法提取的特征具有尺度不变、旋转不变的性能,对光照变化和仿射、透视变换具有部分不变性。通过在旋转、缩放、视角变化、图像模糊、JPEG 压缩、光照变化 6 个方面对 SURF 的测试结果表明,SURF 在各个方面均接近或超越了 SIFT 的性能,计算速度比 SIFT 方法提高 3 倍。

### 2.1 改进 SURF 兴趣点检测算法

在原 SURF 算法中,以 5°为步进,采用 60°扇形扫描累加向量,遍历整个圆形区域,选择最长矢量的方向作为该特征点的主方向。但在这个过程中,每一次扫描步进,扇形区域内的 Harr 小波响应值都被重复计算,因此本文提出一种计算 SURF 兴趣点主方向的快速算法以提高运算效率。步骤如下:

第一步,将圆形分为 360 份,圆内每个 Harr 小波响应值  $d_x, d_y$  按其角度取整得到对应  $\hat{\theta} = [\theta]$ ,按  $\hat{\theta}$  所对应角度分别计算圆内的  $d_x, d_y$  直方图,如图 1 所示。

$$\hat{\theta} = [\theta] = [\arctan(d_y/d_x)], \quad (1)$$

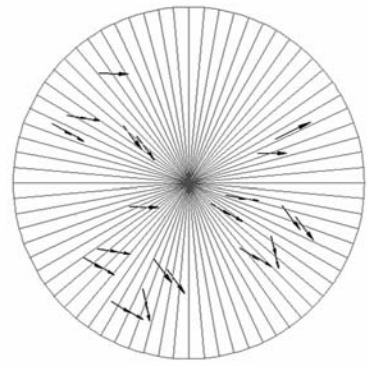
$$hisX(\hat{\theta}) = d_x(\hat{\theta}). \quad (2)$$

第二步,计算直方图的积分。

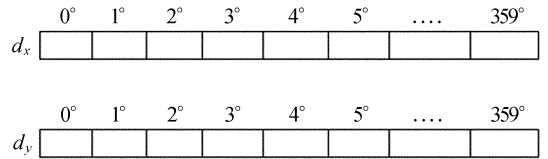
$$D_x(i) = \sum_{\theta=0}^i hisX(\hat{\theta}) = \begin{cases} histX(0), & i = 0 \\ D_x(i-1) + histX(i), & 360 > i > 0 \end{cases} \quad (3)$$

第三步,计算扇形内包含的 Harr 小波响应值。以 X 方向为例,以任意角度  $i$  起始的角度为  $\alpha$  的扇形所包含响应值。

$$\text{sumX}(i) = D_x(i+\alpha) - D_x(i), 360 > i+\alpha \geq 0. \quad (4)$$



(a) 将圆形划分为 360 份  
(a) Divided circle



(b) 用直方图分别存储 Harr 小波对应角度的  $x, y$  方向的响应值

(b) Storage of Harr wavelet response by histogram

图 1 按照  $\hat{\theta}$  对应角度计算圆内的  $d_x, d_y$  直方图

Fig. 1 Calculate  $d_x, d_y$  histogram by  $\hat{\theta}$

为方便计算包含角度 300~359°的区域,将式(3)修改为

$$D_x(i) = \sum_{\theta=0}^i histX(\hat{\theta}) = \begin{cases} histX(0), & i = 0 \\ D_x(i-1) + histX(i), & 360 > i > 0, \\ D_x(i-360), & 420 > i \geq 360 \end{cases} \quad (5)$$

则以任意角度  $i$  起始的角度为 60°的扇形所包含响应值公式为

$$\text{sumX}(i) = D_x(i+60) - D_x(i), 360 > i \geq 0, \quad (6)$$

sumY(i) 计算步骤同理。

第四步,计算各方向上响应值向量和的大小,并将最大值所对应的方向确定为特征点主方向。

$$\text{vector} = \text{sumX} \times \text{sumX} + \text{sumY} \times \text{sumY}. \quad (7)$$

### 2.2 使用 RANSAC 算法剔除误匹配对及前景物体运动矢量

电子稳像所处理的原始视频中,场景中不仅含有位置固定的背景,还含有前景物体。这些前景物体的局部运动所计算出来的局部运动向量会

对全局运动向量的计算带来干扰,因此需要提前剔除掉。本文采用 RANSAC 的思想过滤各匹配的局部运动向量,剔除误匹配对及前景物体的匹配对,以最终获得精确的全局运动向量。

设各匹配对对应的局部运动向量为  $LMV[i]$ , RANSAC 算法的一般流程为:针对一对匹配对的局部运动向量  $LMV[p]$ ,统计其余局部运动向量满足公式(8)的个数  $n$ 。

$$n = \{LMV[q] - LMV[p] < \epsilon, q \neq p\}, \quad (8)$$

若  $n \geq N$ ,认为得到了正确的全局运动矢量,对满足公式(8)的子集采用最小二乘等方法重新计算提高精度;否则重新随机抽取新的  $LMV[p]$ ,重复以上过程。

RANSAC 的核心思想是,随机抽取样本  $LMV[p]$ ,统计其余子集对其的一致性,这个一致性是包含一定容差  $\epsilon$  的,找到一致性最高的作为最终结果。本文基于 RANSAC 的思想,提出一种快速计算全局运动的算法。首先认为当前样本  $LMV[p]$  对邻近  $LMV[q]$  具有一定“影响”,即 RANSAC 思想中的容差  $\epsilon$ 。然后将原本的样本一致性问题转换为求取这种带容差  $\epsilon$  的运动向量直方图最大值问题。

具体算法为:

第一步,设各匹配对对应的局部运动向量为  $LMV[i]$ ,遍历  $LMV[i]$ ,计算带容差  $\epsilon$  的运动向量直方图  $histMV$ 。这里假设  $LMV[i]$  对相应直方柱影响为 1,对两侧影响为 0.5。由 SURF 算法得到的局部运动矢量是精确到小于 1 pixel 的,这里需要先将  $LMV[i]$  四舍五入取整。由此带来的像素的误差,在算法第三步时可消除掉。

$$\begin{cases} histMV[LMV[i]-1] += 0.5 \\ histMV[LMV[i]] += 1 \\ histMV[LMV[i]+1] += 0.5 \end{cases} \quad (9)$$

第二步,遍历  $histMV$ ,最大值即判定为全局运动矢量方向。

$$GMV = \max\{histMV[i]\}. \quad (10)$$

第三步,再次遍历  $LMV[i]$ ,计算邻近  $GMV$  的所有  $LMV[i]$  的均值得出最终全局运动向量  $GMV'$ 。

$$GMV' = avg\{LMV[i], |LMV[i] - GMV| < 1\}. \quad (11)$$

采用运动向量直方图的优势在于只需两次遍历局部运动向量即可准确判定出全局运动向量,

从而减少了计算时间。

### 3 运动滤波、运动补偿及全帧频补偿

对于需要进行电子稳像的原始视频,人们往往希望得到的是稳定的输出视频,这种稳定不仅指空间上物体的稳定,即准确计算并补偿的全局运动向量,还包括时间上的稳定,以便于人们观察视频细节等信息。另外,除了时间与空间上的输出稳定,还需要对运动补偿后的视频进行全帧频补偿。

运动滤波主要是基于平滑运动矢量以稳定输出视频的策略,即输出的稳定视频沿人为设定的平滑轨迹运动。由于实际情况的复杂性,这种小幅度运动往往不会按照理论模型的设定轨迹运动而是有一定的往复性和波动性,即在时间轴上出现小幅波动。人们不仅期望对空间轴上相对稳定,即相邻帧位置相对固定,同时也期望在时间轴上相对稳定,即在“一段时间”内位置相对固定,这个“一段时间”主要决定于人眼的视觉特性和人的主观期望。此外,如果当前帧图像与人为预订的运动轨迹趋势相悖,在运动补偿后的输出图像中的未定义像素区域(黑边)中,容易出现参考帧中也没有对应区域的情况,因此会对接下来的全帧频补偿带来困难。

本文提出一种基于人的主观评价标准更新参考帧,进而实现电子稳像中运动向量平滑的策略。定义以时刻  $t$  为起点,输入视频第  $i$  帧时,参考帧为  $R_i$ ,当前帧为  $C_i$ ,  $C_i$  相对于  $R_i$  的运动向量为  $GMV_i$ ,经过电子稳像算法后,输出的稳定视频为  $D_i$ 。本文提出的电子稳像策略核心思想如公式(12)所示

$$D_i = (C_i - GMV_i) + R_i, \quad (12)$$

公式(12)表示,将  $C_i$  按照  $GMV_i$  反向补偿的结果  $(C_i - R_i)$  贴图到  $R_i$  上,并赋值给  $D_i$ ,即将  $R_i$  设定成“稳定状态”,只要准确计算出  $GMV_i$ ,就可以找到  $C_i$  对应  $R_i$  的位置,更新输出图像。这样做同时完成了电子稳像和全帧频补偿两个任务,而且相较于其他方法无需考虑当前帧图像与人为预订的运动趋势相悖时的全帧频补偿问题。当摄像头仅存在原地颤动时,人的主观愿望是输出视频可以稳定,通过公式(12)可以获得理想状态的稳定输出;当摄像头大幅度抖动时,只需要更新  $R_i$

即可,即将电子稳像中运动向量平滑的问题转换为在何种情况下需要更新参考帧以及如何更新参考帧的问题。

本文提出的更新  $R_i$  策略如下:

规则 1,运动矢量  $GMV <$  阈值  $T_1$  时,认为是摄像机原地颤动,不更新参考帧。

规则 2,运动矢量  $GMV >$  阈值  $T_2$  时,认为场景发生重要改变,一般是由于摄像机快速大幅度移动导致场景大幅度变化或者有较大物体进入场景造成的,如果继续保持参考帧不变,会造成后续帧特征匹配失败。因此应将参考帧直接设置为当前帧图像  $R_{i+1} = C_i$ 。

规则 3,  $T_1 < GMV < T_2$  时,认为此时的摄像机原地剧烈抖动,这种抖动包含需要滤除的颤动分量及需要保留的摄像机有意运动分量。对于视频的实时处理,特别是当有意运动趋势较小,湮没在较剧烈的抖动中的情况下,及时分离颤动分量及有意运动分量是非常困难的。因此,一般的做法是,人为地拟定一个平滑运动趋势代替实际的运动情况,以达到稳像的效果。

第一步,由于此时不包含大幅度移动,因此可以延迟几帧,通过先判定是长时间剧烈抖动还是短时剧烈抖动再决定是否更新  $R_i$ 。如果是短时(几帧)剧烈抖动,按照人的主观意愿,是期望将此剧烈抖动忽略不计,仍然在原位置稳定输出视频,即不更新  $R_i$ 。方法是,当第 1 次满足规则 3 时计数器 counter 开始计数,设定短时剧烈抖动为不能连续  $n$  帧满足规则 3,即后续  $n-1$  帧中,任意一帧的  $GMV$  不在此阈值间,则 counter 清 0,无需更新  $R_i$ 。

第二步,如果  $counter > n$ ,认为当前摄像机原地剧烈抖动,并且不应忽略摄像机可能存在的湮没在较剧烈的抖动下的有意运动,即需要按照一定规则更新  $R_i$ ,以便在新的位置重新确定是否仍然满足规则 3。更新  $R_i$  的规则应该尽量破坏规则 3 所能达到的条件,即更新后,趋势为规则 1,以达到收敛的效果,在新的  $R_i$  的位置上继续输出稳像视频。

此时更新规则如下:

第一步,counter 计数的同时,计算均值  $avgGMV$ 。在理想状态下,摄像机抖动应该是在某位置两侧的反复性运动,并且  $avgGMV$  应趋近于此位置。但由于此时的  $avgGMV$  仅代表有限

帧的运动向量均值,并且由于实际情况的复杂性,因此不应将  $avgGMV$  所在位置直接赋值给  $R_i$ ,而是认为收敛位置位于  $avgGMV$  与 0 之间。

第二步,使用  $GMV$  位于  $avgGMV$  与 0 之间 ( $sign(GMV) = sign(avgGMV)$  且  $0 \leq |GMV| \leq |avgGMV|$ ) 的后续帧更新  $R_i$ ,  $R_{i+1} = C_i$ ,并且计数器清 0,  $avgGMV$  重置。

第三步,判断是否满足规则 3,如不满足即已经达到了稳定的  $R_i$  位置,counter 清 0。否则,跳到第一步继续判定收敛位置。

通常情况下,利用这种更新规则需要几次更新  $R_i$  位置才可能获得稳定位置,但利用中间帧更新临时  $R_i$  的策略可以避免由  $GMV$  误差带来的拼接图像误差,进而避免累积误差导致的稳像失败。而且注意到,非更新  $R_i$  时刻(第二步中后续的当前帧  $GMV$  不位于  $avgGMV$  与 0 之间,并且不满足规则 2 时)的输出视频是稳定在过渡  $R_i$  位置上的,而更新  $R_i$  时刻的输出视频,是非阶跃性的平滑过渡。因此,这样通过阶段式的逐步收敛,既保证了遵循摄像机有意运动趋势,又保证了过渡的平滑性,同时,可以得到收敛的最终结果,因此可以在新的最终  $R_i$  的位置上获得稳定的输出视频。对于运算过程中的由  $GMV$  误差带来的可能出现错误的  $R_i$  位置,当程序陷入规则 3 中  $R_i$  位置判断循环时(即后续帧的  $GMV$  总不落入  $avgGMV$  与 0 之间),可通过规则 2 跳出此错误的  $R_i$  位置,从而保证程序的健壮性。

## 4 实验结果

用分辨率为  $320 \text{ pixel} \times 240 \text{ pixel}$  的抖动视频序列,在 PC 机(Pentium 4 CPU 3.00 GHz, 3 GB 内存)使用 VC6.0 进行稳像实验。

### 4.1 验证 SURF 改进算法

基于 SURF 算法尺度不变的特点,可通过降低检测尺度的方法加快检测速度。为保证电子稳像算法的实时性和鲁棒性,本文使用降 2 均值采样。



(a)原 SURF 算法 (b)改进的 SURF 算法 (c)降低尺度后的原 SURF 算法 (d)降低尺度后的改进 SURF 算法  
 (a) SURF algorithm (b)Optimized SURF algorithm (c) Down-sampled SURF algorithm (d) Down-sampled optimized SURF algorithm

图 2 验证 SURF 改进算法

Fig. 2 Validation of optimized SURF algorithm

表 1 验证 SURF 改进算法的结果

Tab.1 Validation results of optimized SURF algorithm

	匹配 对数	检测兴趣点 时间/ms	匹配时间 /ms	运动估计结果 ( $x, y$ )/pixel
原 SURF 算法	67	166.32	1.98	(24.6, -7.3)
改进的 SURF 算法	64	149.00	1.97	(24.6, -7.3)
降低尺度后的原 SURF 算法	13	32.33	0.15	(24.3, -6.8)
降低尺度后的改进 SURF 算法	13	28.95	0.14	(24.3, -6.8)

SURF 算法在判定主方向时扇形扫描窗口递进为  $5^\circ$ , 采用改进后的 SURF 算法, 由于在主方向判定时将精度提高到  $1^\circ$ , 因此提高了鲁棒性。由实验结果可以看出, 图 2 中优化后的 SURF 算法与原 SURF 算法相比, 消除了部分误匹配对, 并且降低了检测 SURF 兴趣点的时间及匹配时间。由图 2 中对应关系可以看出, 降低尺度后的 SURF 算法, 由于没有检测高尺度的 SURF 兴趣点, 因此兴趣点总数减少。由表 1 可知, 降 2 均值采样后, 匹配时间小于 30 ms, 运动矢量精度小于 1 像素, 可用于实时电子稳像算法。

#### 4.2 验证采用 SURF 算法进行电子稳像对运动模糊的鲁棒性

由于摄像机抖动, 原始视频不可避免地引入运动模糊, 因此必须考虑到运动模糊对于电子稳像算法的影响。这种影响存在于两方面, 第一, 原始视频存在运动模糊, 第二, 在未加入运动模糊复原模块的情况下, 在更新参考帧的时候, 会将存在运动模糊的图像引入参考帧, 从而影响到后续帧运动估计结果, 进而影响电子稳像的精度。因此有必要对存在严重运动模糊的视频序列加以验证。

表 2 验证 SURF 对运动模糊的鲁棒性

Tab.2 Result validation the robustness of SURF about motion-blur

帧数	存在严重运动 模糊的图像	运动估计结果 ( $x, y$ )/pixel	原始视频 PSNR/dB	稳像后视频 PSNR/dB	运行时间 /ms
135	参考帧	(4.6, 6.2)	23.328 6	28.144 0	24.33
157	参考帧	(6.3, -6.5)	17.290 1	25.475 8	26.87
415	原始视频	(4.0, -18.2)	17.926 2	28.749 4	25.34



(a) 第 135 帧  
(a) Frame 135



(b) 第 157 帧  
(b) Frame 157



(c) 第 415 帧  
(c) Frame 415

图 3 验证 SURF 对运动模糊的鲁棒性, 从左到右依次为当前帧图像, 参考帧图像及稳像后的输出图像  
Fig. 3 Validation of robustness of SURF to motion-blur, Left to Right: current frame, reference frame, output frame

由实验结果可知, 当前帧或参考帧存在严重运动模糊时, 采用 SURF 算法仍然可以准确计算出运动向量, 进而进行较高精度的电子稳像, 具有较强的鲁棒性, 如图 3 和表 2 所示。

## 5 结 论

本文采用 SURF 算法检测兴趣点及其匹配

关系, 通过 RANSAC 算法剔除误匹配对, 计算出全局运动矢量, 建立当前帧与参考帧对应关系。通过判定参考帧的更新策略得到运动补偿矢量, 对原始视频序列进行运动补偿。最后, 将参考帧对应区域填充到稳像帧丢失像素区域进行全帧频补偿, 从而实现完整的实时电子稳像系统。实验结果表明, 采用 SURF 算法的实时电子稳像算法可以去除帧间高频抖动, 有效改善视频质量, 对存

在严重运动模糊的视频具有较强的鲁棒性,运行时间 $<30$  ms,精确度 $<1$  pixel。为进一步改善视

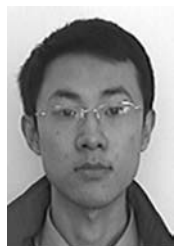
频质量,可在电子稳像算法中加入帧内去运动模糊模块。

### 参考文献:

- [1] 王志民,徐晓刚. 电子稳像技术综述[J]. 中国图象图形学报,2010,15(3):470-480.  
WANG ZH M, XU X G. A survey on electronic image stabilization [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010,15(3):470-480. (in Chinese)
- [2] PO L M, NG K H, WONG K M, *et al.*. Multi-direction search algorithm for block-based motion estimation[C]. *Proceedings of IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 2008:1466-1469.
- [3] ZHANG Y X, WANG J, ZHANG W G, *et al.*. An improved algorithm of electronic image stability based on block matching[C]. *Proceedings of 2010 the 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2010:1924-1927.
- [4] TICO M. Adaptive block-based approach to image stabilization[C]. *Proceedings of 15th IEEE International Conference on Image Processing*, 2008:521-524.
- [5] YIN B, DUAN H CH. Image stabilization by combining gray-scale projection and block matching algorithm[C]. *Proceedings of IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education*, 2009:1262-1266.
- [6] LIU Y K, DE J F, BO L, *et al.*. Real-time global motion vectors estimation based on phase correlation and gray projection algorithm[C]. *Proceedings of 2nd International Congress on Image and Signal Processing*, 2009:1262-1266.

- [7] 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.
- [8] 王小鹏,阎国梁,裴建刚,等. 由形态学边缘模式匹配实现数字稳像[J]. 光学精密工程,2009,17(3):683-689.  
WANG X P, YAN G L, PEI J G. Stabilization of digital image by morphological edge pattern matching[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(3):683-689. (in Chinese)
- [9] 张叶,曲宏松,王延杰. 运用旋转无关特征线实现景象匹配[J]. 光学精密工程,2009,17(7):1759-1765.  
ZHANG Y, QU H S, WANG Y J. Implementation of scene matching based on rotation invariant key-lines[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(7):1759-1765. (in Chinese)
- [10] 纪华,吴元昊,孙宏海,等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. 光学精密工程,2009,17(2):439-444.  
JI H, WU Y H, SUN H H, *et al.*. SIFT feature matching algorithm with global information [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009,17(2):439-444. (in Chinese)
- [11] HERBERT B, TINNE T, LUC VAN G. SURF: speeded up robust features [C]. *9th European Conference on Computer Vision, Graz, Austria, ECCV*, 2006:404-417.

### 作者简介:



张坤(1982—),男,河北三河人,博士研究生,主要从事图像处理与电子稳像软件算法及硬件实现的研究。E-mail: 508740368@qq.com



王平(1952—),男,辽宁沈阳人,教授,博士生导师,主要从事光学设计等方面的研究。E-mail: wangp@bit.edu.cn



冯 亮(1985—),男,山东济南人,博士,2007年于山东大学获得学士学位,2009年于北京理工大学获得硕士学位,主要做图像复原和图像识别方面的研究。E-mail: finalion@bit.edu.cn

通讯作者:



许廷发(1968—),男,黑龙江肇东人,教授,博士生导师,主要从事光电成像探测与识别等方面的研究。Email: ciom\_xtf1@bit.edu.cn

● 下期预告

## 粗糙金属表面光条中心提取方法

赵博华,王伯雄,张金,罗秀芝

(清华大学 精密仪器与机械学系 精密测试技术及仪器国家重点实验室,北京 100084)

基于光切法的物体表面三维形貌测量方法应用到粗糙金属表面测量时,金属表面较强的反射可能给采集的光刀图像引入与光条同等灰度水平的噪声,使光条的中心难以准确提取。提出了一种粗糙金属表面的光刀条纹中心提取方法。首先,从图像形态学角度,利用图像增强处理将噪声转化成颗粒状形态,同时保持有效光条的连续条纹状特征。然后,通过对图像连通区域面积计数,分割噪声和有效光条信息,得到的二值化光条图像作为掩模板,与原图像相乘复原光条图像的灰度信息。最后,应用灰度重心法进行中心提取对已去噪的光条灰度图像。结果表明,提出的方法使提取的光条中心全部都落在了光条位置区域。对噪声较多的直线条纹区域进行中心提取,此方法的平均误差为 0.337 5 pixel。