

文章编号: 1003-501X(2010)10-0093-06

一种改进的 Fourier-Mellin 稳像算法

王 洪^{1, 2}, 戴 明¹, 刘 洵¹, 李 明¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 提出了一种改进的单相限实数 Fourier-Mellin 变换(SRFMT)相位校正稳像算法, 提高了稳像实时性, 解决了因图像局部遮挡而引起的错误估计问题。分析了基于 Fourier-Mellin 变换估计抖动图像序列尺度因子、旋转、平移向量引起的计算堵塞, 然后利用傅里叶变换共轭对称性, 改进实数傅里叶变换, 并以查表方式访问 w_i 因子, 提升了计算性能; 最后采用统计直方图方法处理块运动向量, 通过局部运动向量集中度判定, 去除伪全局运动向量。实验结果表明, 与未改进的算法相比, 采用改进的 SRFMT 相位校正稳像算法处理 512×512 的灰度图像序列, 稳像的实时性提高了 42%, 满足实时性要求, 有效的去除了因局部遮挡而引起的错误估计, 鲁棒性进一步增强。

关键词: 视频稳定; 相位校正; Fourier-Mellin 变换; 运动估计; 集中度

中图分类号: TN911.73; TP391

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-501X.2010.10.016

An Improved Fourier-Mellin Algorithm for Video Stabilization

WANG Hong^{1,2}, DAI Ming¹, LIU Xun¹, LI Ming¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An improved Fourier-Mellin transform algorithm for video stabilization is presented to enhance the real-time performance, and to solve the problem that motion estimation miscalculates when an image is partially occluded. The computation blocking of estimating scale, rotary and translation in jitter image sequence are analyzed. Then, improve the real Fourier transform by using conjugate symmetry of Fourier transform and access the w_i by looking up tables. The computational performance is enhanced effectively. At last, the statistics histogram is used to remove pseudo global motion vector by judging concentration degree. The results show that the real-time performance of video stabilization exceeds the existing one 42% when processing 512 pixels×512 pixels gray image sequence, meet real-time requirements. It can efficiently remove estimation miscalculations because of image occluded partially, and further enhance the robustness.

Key words: video stabilization; phase correction; Fourier-Mellin transform; motion estimation; concentration degree

0 引 言

视频抖动的根本原因是由于承载相机的物理部件因为外部因素而震动, 从而使得获取图像的传感器进入非理想的运动状态。相机不规则运动必然导致图像发生旋转、平移和尺度上的变化, 影响人们的视觉心理。稳像算法的主要目的就是去除图像序列中不规则抖动, 输出平滑、稳定的图像序列。

在空域稳像算法中^[1-4]要保证较高的稳像精度, 需要有丰富的纹理特征, 且对图像形变、光照变化、局

收稿日期: 2010-05-31; 收到修改稿日期: 2010-07-15

基金项目: 国家 863 高技术项目(2007AA12Z113); 973 国家自然科学基金项目(2009CB72400105)

作者简介: 王洪(1982-), 男(汉族), 四川射洪人。博士研究生, 主要研究图像与信号处理和嵌入式设计。E-mail: wedon121@163.com。

通信作者: 刘洵(1954-), 女(汉族), 吉林延吉人。研究员, 主要从事动基座光电跟踪、瞄准与测量技术等方面的研究。

E-mail: liuxun_ciom@sohu.com。

部遮挡和噪声等不敏感。文献[1]采用灰度投影算法,计算量小,但在相机调光和曝光过程中,局部最小均方误差(MSE)判别准则会失效,匹配精度将降低,更无法处理旋转、缩放等图像序列。文献[2]采用特征跟踪的方式稳定视频序列,无法处理跟踪目标被遮挡的情况。文献[3-4]提出采用角点特征稳像,对光照变化、缩放、旋转、局部遮挡均有较强的鲁棒性,但是对噪声敏感,需要进行多次高斯平滑和人工阈值设定,计算量大。

1994 年 Chen^[5]等人提出了一种基于 Fourier-Mellin 变换的图像配准方法,在无需知道相机运动、焦距等物理参数情况下,通过计算两幅图像功率谱的反 Fourier 变换^[5-6]所对应的峰值位置求取两幅图像间的相对平移,通过对幅度谱进行对数-极坐标变换,求取旋转角度和缩放因子。实验验证了该算法不仅精度较高,而且对光照变化、局部遮挡和噪声不敏感。2004 年 J R Martinez^[7]等人将 Fourier-Mellin 变换用于视频稳像,并利用 Cooley-Tukey 的 FFT 算法的对称特性,减小计算量。文献[8]提出了一种单象限 Fourier-Mellin 域相位相关的近似运动估计算法(SQFMT),在利用了 FFT 变换的对称特性的基础上,采用下采样方法,在一定程度上提高了计算性能,精度上勉强得到保证,但距工程应用仍然较远。

为克服以上各种算法上的不足,本文提出一种改进的单相限实数 Fourier-Mellin(SRFMT)算法,首先基于复数傅里叶变换(CFT)频谱共轭对称性,改进了传统实数傅里叶变换(RFT),并提出根据图像尺寸预先计算蝶形运算过程所要重复涉及的 $w_i = e^{2\pi i/N}$ ($i=1\dots N$) 因子,进一步缩减计算量。同时分析分块运算对稳像算法鲁棒性和精确度的影响,并提出了优化的分块算法,利用统计直方图运动滤波处理块运动向量,使计算结果在保证很高精度的同时,却有了较强的鲁棒性。实验部分给出本文算法结果,证实了在频域内实现实时稳像的可能性。

1 Fourier-Mellin 相位相关稳像算法与不足

稳定视频序列的核心是估计帧间旋转、平移和缩放等全局运动参数,帧间图像运动的基本模型如式(1):

$$f_n(x, y) = f_{n-1}(s \times (x \cos \theta + y \sin \theta) - T_x, s \times (-x \sin \theta + y \cos \theta) - T_y) \quad (1)$$

式中: $f_n(x, y)$ 和 $f_{n-1}(x, y)$ 为两连续帧, θ 、 (T_x, T_y) 、 s 为旋转、平移和缩放全局运动参数,式(1)的幅度谱经对数-极坐标变换后,即 Fourier-Mellin 变换得式(2):

$$F_{Mn}(\log \rho, \theta) = F_{M(n-1)}(\log \rho - \log s, \theta - \theta_0) \quad (2)$$

式中: (ρ, θ) 为对数极坐标, $\log s$ 与 θ_0 为所求的尺度因子与旋转角度。

相位相关算法获取需要进行四次 FFT 正变换和两次反变换,求解过程均采用在笛卡尔坐标和对数-极坐标系下归一化功率谱的脉冲函数,通过计算脉冲峰值的位置来确定运动补偿中所需的全局运动参数。在计算过程中,常利用频谱共轭对称性,截取频谱的上半平面减少计算开支,对整个计算性能有一定提升。当前 Fourier-Mellin 算法有以下不足: 1) Fourier-Mellin 运算对象为复数,而图像像素均为实数表示,因此存在巨大计算冗余。2) 稳像算法有自身的特点,可以通过局部运动参数来估计全局运动向量。因遮挡,局部运动等因素导致的个别不正确局部运动参数估计,并不完全影响全局参数估计置信度。3) 在尺度、旋转和平移校正中,不宜采用相同计算方法对待,导致计算量过大而计算精度和算法鲁棒性难以保证。因此,结合当前 Fourier-Mellin 相位相关稳像算法的不足与稳像算法本身特点,本文将采用第三节与第四节的方法进行改进,保证亚像素稳像精度,提升实时性和算法鲁棒性。

2 改进的相位校正稳像算法

2.1 实数傅里叶变换

若 $f(x)$ 为实数,那么其频谱 $F|(\omega)|$ 是关于垂直轴几何对称。同样对于二维实函数 $F|(\omega)|$, 其频谱 $F|(\omega_x, \omega_y)|$ 是关于原点对称。图 1 为二维实函数傅里叶变换的一个简单实例。

根据共轭对称性,二维实函数 $f(x, y)$ 在频域的二

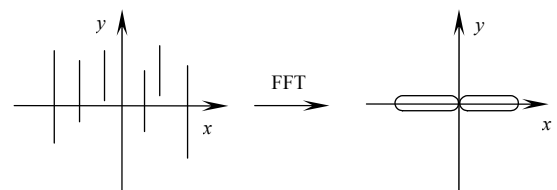


图 1 二维实函数傅里叶变换简单实例

Fig.1 Simple example of two dimension real function FFT

维复数序列 $F(u, v)$ 有如下性质:

$$\operatorname{Re}\{F(u, v)\} = \operatorname{Re}\{F(-u, -v)\} \quad (3)$$

$$\operatorname{Im}\{F(u, v)\} = -\operatorname{Im}\{F(-u, -v)\} \quad (4)$$

$\operatorname{Re}\{F(u, v)\}$ 与 $\operatorname{Im}\{F(u, v)\}$ 分别为 $F(u, v)$ 的实部和虚部。算法主要性能取决于 FFT 运算量的大小, 如果选取当前帧之前一帧作为参考帧, 那么要完成旋转、尺度和平移校正, 需分别对参考帧和当前帧做 2 次傅里叶前向变换和 2 次傅里叶反向变换以及一次对数极坐标变换, 那么完成一帧图像的稳像共 4 次前向 FFT、2 次反向 FFT 和 1 次对数极坐标变换。本文将实数傅里叶变换应用于稳像算法, 并加以改进。传统实数傅里叶变换基本思想是: 傅里叶运算对象针对的是复数, 而图像是以实数表示, 将含有 N 点实数的图像按奇偶位置顺序分离重新组合成一个 $N/2$ 的复数序列, 然后进行 FFT 运算, 最后利用共轭对称性与线性特性对频谱奇偶分解。在传统实数傅里叶变换上, 本算法基于频谱的共轭对称性, 在对实数 FFT 变换后的频域 $N/2$ 点错格奇偶分解^[8-9]时取单相限频谱, 完成空间幅度谱到对数极坐标空间谱的映射。同时为减少计算量, 将当前帧在完成一次傅里叶前向计算后, 划分一定空间存储以便下一帧运动估计需要, 当前帧计算的全局运动补偿参数与前一帧校正参数之和为当前帧校正。

除此以外, 考虑 Cooley-Tukey 算法的蝶形运算中 $w_i = e^{2\pi i/N}$ 因子, 由于在 FFT 计算过程中为常数值, 且只取决于长度 N , 而用于 FFT 运算的向量长度仅与图像的分辨率有关, 因此在 FFT 运算开始前完成 $w_i = e^{2\pi i/N}$ 因子的计算, 以后每次 FFT 运算过程中无需再次重复计算该因子, 只需以查表方式完成整个傅里叶变换。

2.2 双线性插值旋转校正

在 Fourier-Mellin 算法中, 极径 ρ 分辨率的高低将直接影响运算时间, 因此, 在不影响估算精度的前提下, 不宜采用过细的采样精度。同理, θ 的采样精度通常选 0.01° , 并根据实际应用场合限定在一定的角度范围。文献[8]提出了一种下采样单相限 Fourier-Mellin 算法提取 ρ , θ , 有一定的可取之处, 速度上有明显优势, 但是精度有限, 不免会影响平移校正的精度。当图像旋转校正后, 将会出现退化现象, 使稳像后图像质量降低。因此, 结合文献[8]的优越性, 采用以下改进措施: 利用双线性插值对经旋转变换和尺度变换后的图像做插值处理, 提高图像质量, 方法简单, 效率较高。

2.3 分块平移校正

稳像平移校正主要利用局部块运动向量来确定全局运动向量, 优化的分块方案, 可有效增强算法的鲁棒性, 提高计算精度与速度。图 2(a)为视频序列中被截单帧 $512 \text{ pixels} \times 512 \text{ pixels}$ 图像, 被分割为 9 块, 在计算过程中采用内框计算与外框计算相比, 精度上没有任何差异, 而内框计算时间比外框少很多, 那么适当的选取图像块大小有益于减少计算时间, 图像块大小选取采用如下关系式进行约束:

$$\begin{cases} W_{\text{Blk}} \geq 2 \times W_{\text{offset}} \\ H_{\text{Blk}} \geq 2 \times H_{\text{offset}} \end{cases} \quad (5)$$

W_{Blk} 、 H_{Blk} 为选取块的宽度与高度, W_{offset} 、 H_{offset} 分别为平移运动偏移量, 与物理系统有关, 可以通过事先实验测量获取, 对于无法测量的手持设备, 可以根据实际情况设定一个阈值。图像分割块数根据块

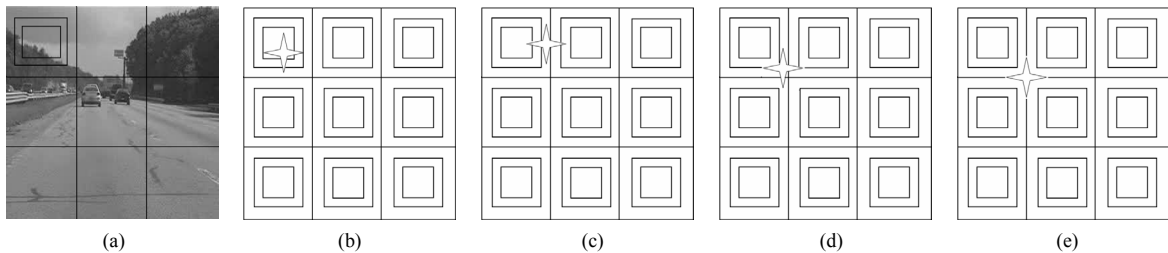


图 2 局部遮挡情况

(a) 单帧截图; (b) 一块被遮挡; (c) 两块被遮挡; (d) 三块被遮挡; (e) 四块被遮挡

Fig.2 Locally occluded

(a) Single frame; (b) One block occluded; (c) Two blocks occluded; (d) Three blocks occluded; (e) Four blocks occluded

的大小而确定, 通常采用 3×3 的分割方式。

对于图像发生局部遮挡, 出现如图 2(a)、2(b)、2(c)、2(d)四种形式。会导致被遮挡块运动估计结果失效。图像在未被遮挡的情况下, 统计直方图集中度高, 否则会出现如图 3 中第 83 帧统计直方图现象, 被遮挡块运动估计参数将远离未被遮挡的块。当被遮挡像素面积一定, 块选取愈小, 遮挡对运动估计影响越小。同时, 被遮挡的图像块数愈多, 相应块估计也会受到影响, 从而影响全局运动参数估计, 最终将影响算法鲁棒性。

3 统计直方图运动滤波

利用统计直方图处理块运动向量, 获得用于运动补偿的全局运动向量。图 3 为提取的实验视频序列中第 82~86 连续 5 帧的块运动向量统计直方图, 横轴为运动偏移量, 纵轴为该偏移量所对应的图像块数。当块运动估计结果在直方图的集中度, 满足如下条件认为估计结果有效:

$$bmv_{\text{DynamicThr}}[n] = \max \left\{ \begin{array}{l} 0.9 \times bmv_{\text{Thr}}[n-1] \\ 1.25 \times \max \{ bmv_{\text{Range}}[n-m] \} \end{array} \right\} \quad (6)$$

其中: $bmv_{\text{Range}}[n] = bmv_{\text{max}}[n] - bmv_{\text{min}}[n]$, m 取过去的 $1, \dots, 5$ 帧, n 为当前帧;

$$bmv_{\text{Thr}}[n] = \text{sat}(bmv_{\text{DynamicThr}}[n], bmv_{\text{Thr}}^{\text{max}}, bmv_{\text{Thr}}^{\text{min}}) \quad (7)$$

其中: $bmv_{\text{Thr}}^{\text{max}} = \text{round}(0.6 \times 2 \times BMV_{\text{max}})$, $bmv_{\text{Thr}}^{\text{min}} = \text{round}(0.35 \times 2 \times BMV_{\text{max}})$, $bmv_{\text{max}}[n]$ 为第 n 帧块运动向量中的最大值, BMV_{max} 为先前帧中的最大值; $bmv_{\text{min}}[n]$ 为第 n 帧块运动向量中的最小值。利用 $bmv_{\text{DynamicThr}}[n]$ 来表示块运动向量的动态阈值。采用式(7)通过动态阈值求取集中度。

在满足集中度条件下, 如果某一运动估计值大于 $N/2$ (N 为图像块数), 认为该运动估计值为全局运动估计值。否则通过加窗滑动处理原始统计直方图, 窗口大小等于 $bmv_{\text{DynamicThr}}[n]$ 。将窗内非零估计值与窗口中心值相加如此循环, 如果最大值满足是其它所有值之和的 2 倍, 就认定该运动估计值为全局补偿运动参数。此方法主要用于去除伪运动估计和窗口内有相等块数的估计值对全局估计的影响。图 3 经过直方图滤波以后, 结果如图 4 所示。

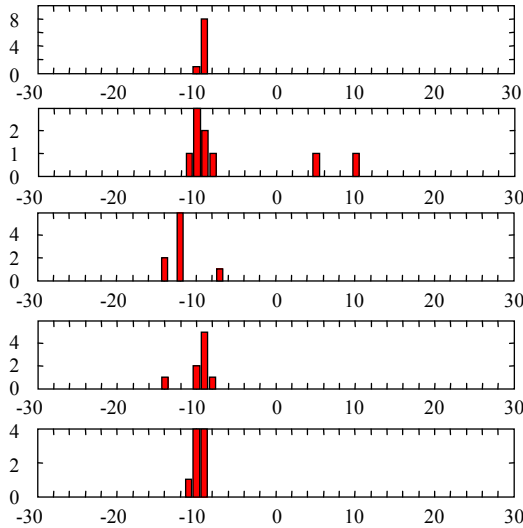


图 3 块运动向量统计直方图

Fig.3 Block motion vectors histogram

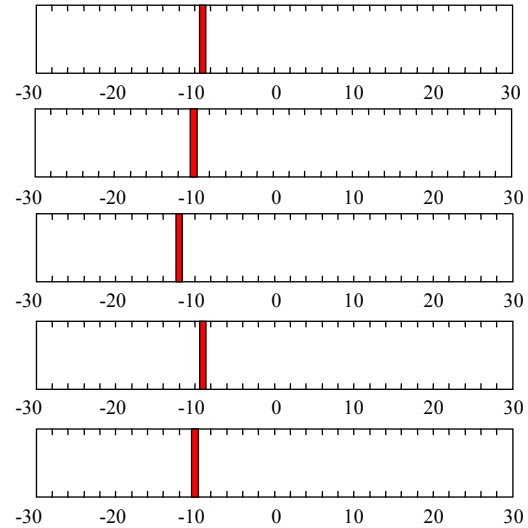


图 4 经直方图滤波后的全局运动参数

Fig.4 Global motion parameter filtered by histogram

4 实验与分析

实验所采用硬件平台位 Intel P4 3.0 GHz, 内存 2 G, Windows 操作系统下 VC2005 编译环境。测试灰度视频序列共 132 帧, 分辨率为 $256 \text{ pixels} \times 320 \text{ pixels}$ 。采用改进后的单相限实数傅里叶变换与统计直方图滤波, 测试算法的时间性能和鲁棒性。

4.1 改进的 Fourier-Mellin 算法时间性能测试实验

将分辨率为 256 pixels×320 pixels 的图像序列插值处理生成 512 pixels×512 pixels 的图像序列后, 在稳像算法中, 取当前帧的前一帧作为参考帧。在相位校正过程中, 取下采样因子为 2, 预先计算 $w_i = e^{2\pi i/N}$, 此时 $N=512 \times 512/4$, 并放入预先开辟的存储空间, 待每次 FFT 运算时以查表方式访问; 利用改进后的单相限实数傅里叶变换, 如图 2(a)经极坐标变换后为图 5, 图 6 是图 5 经实数 Fourier-Mellin 变换后的频谱图, 在计算过程中仅需取单相限频谱, 通过空间频谱映射, 完成 FFT 运算, 并对角度补偿后的图像进行双线性插值以改变图像的 PSNR 性能。在平移校正过程中, 通过预先对物理系统的震动测试, 本图像序列是通过算法方式获取, 可以认为是预先通过对物理系统测试后获得, 其偏移量在 -40~40 pixels 内, 因此在将图像分为 9 个大小相等的块后, 无需下采样, 以各块中心为基准, 选取每块大小为 128 pixels×128 pixels, 此时对块进行 FFT 运算的过程与相位校正中使用方法一样, 仅 $w_i = e^{2\pi i/N}$ 中 $N=128 \times 128/2$ 。并利用统计直方图对块运动向量滤波, 获得用于运动补偿的全局运动向量。测试结果如表 1, 表 2。



图 5 极坐标变换

Fig.5 Polar transformation

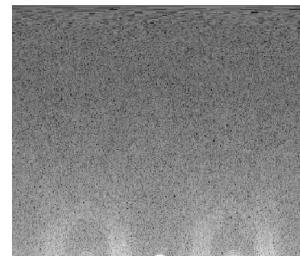


图 6 对数-极坐标频谱

Fig.6 Log-polar spectrum

表 1 旋转补偿计算平均时间对比

Table 1 Contrast of average computation time

| Image size | Algorithm | Frames | Time /ms |
|---------------------------|-----------|--------|----------|
| 512 pixels× 512 pixels | SRDFMT | 132 | 22.62 |
| | RDFT | 132 | 39.57 |
| | CFT | 132 | 76.55 |

表 2 分块平移补偿计算平均时间对比

Table 2 Contrast of average computation time

| Image size | Algorithm | Frames | Time /ms |
|---------------------------|-----------|--------|----------|
| 512 pixels× 512 pixels | SRDFT | 132 | 17.03 |
| | RDFT | 132 | 29.41 |
| | CFT | 132 | 56.32 |

采用改进后的单相限实数傅里叶变换, 旋转补偿的时间相对于 CFT 将近提升了 70%, 平移补偿的计算时间也提升了 70%, 稳定一帧图片的时间约为 39.6 ms, 满足实时性要求。相对于文献[9], 本文算法性能提升了将近 42%。同时可以看出, 平移补偿的计算与块的大小选择有着密切关系, 较小的块分割必然减少计算时间, 但分割方式受物理部件的约束。

4.2 改进的 Fourier-Mellin 算法鲁棒性测试实验

利用人工方式对测试的 132 帧图像序列的 40 帧以后的图像加入局部面积为 80 pixels×80 pixels 随机遮挡, 用来测试算法补偿抖动视频缩放、旋转和平移过程中抵抗外部干扰的能力。以平移估计中的水平分量估计为例, 采用文献[8]的算法, 下采样因子为 4, 同时未采用直方图滤波算法, 本文算法在平移过程中不使用下采样, 并对平移估计采用统计直方图方法, 依据集中度对块运动向量进行滤波处理, 两者相比, 估计结果如图 7。

带黑色方块的曲线为真实偏移量, 下圆点黑色曲线为本文算法估计的水平平移运动量, 而黑色的带上三角符号的曲线为采用文献[8]估计的平移运动量。可以看出本文改进后的算法与真实偏移量有很高的一致性, 相对于改进前算法, 抵抗外部随机干扰的能力进一步增强。本文以相对真实偏移量的误差来说明抵抗外部干扰

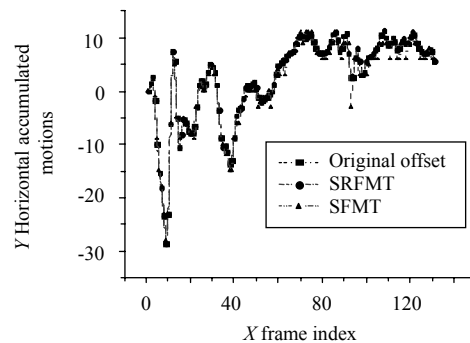


图 7 水平方向运动估计

Fig.7 Horizontal accumulated motion

的能力, 本文算法相对于真实偏移量的均方误差为 0.008; 改进前的算法相对于真实偏移量的均方误差为 0.663。从给估计结果带来的误差方面来说, 本文算法的鲁棒性得到很大增强。

图 8 为任意抽取原始图像序列, 上面为被人工遮挡随机图像抽取序列, 下面为稳像后的效果。

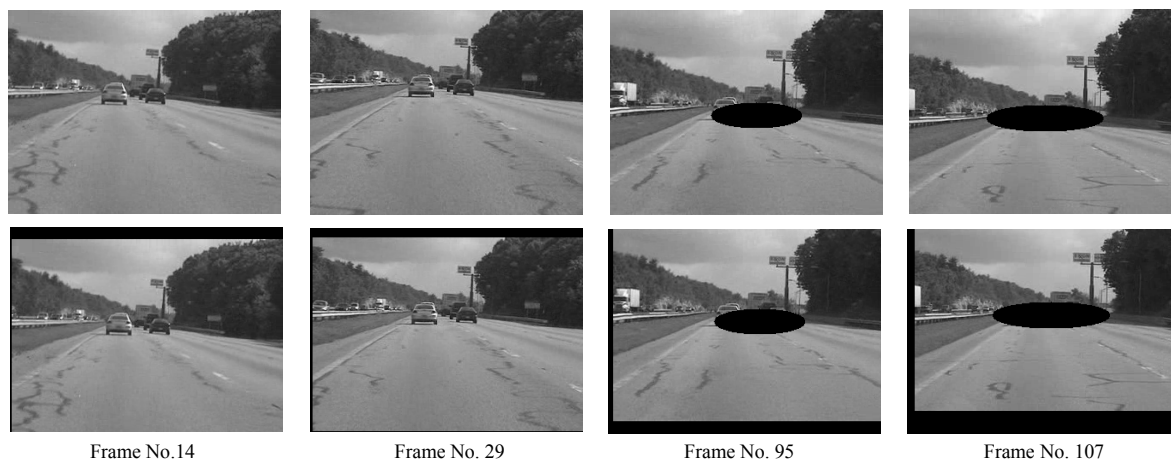


图 8 带局部遮挡稳像结果

Fig.8 The results of partial occlusion stabilization

5 结 论

在保证亚像素稳像精度的前提下, 提出了一种改进的单相限实数 Fourier-Mellin 变换(SRFMT)相位校正稳像算法, 稳像的实时性得到了较大提高, 较改进前提高了约 42 %, 单帧稳像时间在 40 ms 以内, 满足实时性要求; 同时采用优化的分块方案, 运用统计直方图算法, 利用集中度原则, 判定块运动向量, 去除伪运动估计, 解决了因图像局部遮挡而引起的错误估计问题, 使算法的鲁棒性得到进一步提高, 方法简单有效。本文算法性能的提升, 一方面通过改进 Fourier-Mellin 算法本身, 采用实数 Fourier-Mellin 算法取代传统的复数 Fourier-Mellin 算法, 利用共轭对称性, 采用单相限频谱实现, 另一方面, 通过改进计算方法, 避免重复的单帧傅里叶运算以及提前蝶形计算过程中涉及的 $w_i = e^{2\pi i/N}$ 因子, 而计算本身对硬件没有特殊要求, 便于实际运用实现。

参考文献:

- [1] 孙辉, 张葆, 刘晶红, 等. 航空光电成像电子稳像技术[J]. 光学 精密工程, 2007, 15(8): 1280-1286.
SUN Hui, ZHANG Bao, LIU Jing-hong, *et al.* Electronic image stabilization for aerial E2O imaging system [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2007, 15(8): 1280-1286.
- [2] 王斌, 赵跃进, 尹德森. 基于电子稳像的特征跟踪算法[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 607-610.
WANG Bin, ZHAO Yao-jin, YIN De-sen. Digital image tracking algorithm based on electronic image stabilization [J]. **Infrared and Laser Engineering**, 2008, 37(4): 607-610.
- [3] CAI J, WALKER R. Robust video stabilization algorithm using feature point selection and delta optical flow [J]. **IET Computer Vision**(S1751-9632), 2009, 3(4): 176-188.
- [4] BATTIATO S, GALLO G, PUGLISI G, *et al.* SIFT Features Tracking for Video Stabilization [C]// **14th International Conference on Image Analysis and Processing**, Modena, Sept 10-14, 2007: 825-830.
- [5] Chen Q, Defrise M, Deconinck F. Symmetric phase only matched filtering of Fourier Mellin transform IBS for image registration and recognition [J]. **IEEE Translated Pattern Analysis and Machine Intelligence**(S0612-8828), 1994, 16(12): 1156-1168.

一方面, 优化帧匹配算法, 尽量降低系统计算量; 另一方面, 将已经实现的基于音频的广告检测系统与基于视频的广告检测系统相结合, 同时利用视频和音频两种特征向量实现广告视频的检测, 从而进一步提高查对率, 降低误判率。

参考文献:

- [1] Sadlier David A, Marlow Sean, O'Connor Noel. Noel Murphy. Automatic TV advertisement detection from MPEG bitstream [J]. **Pattern Recognition**(S0031-3203), 2002, **35**(12): 2719-2726.
- [2] Tanwer A, Reel P S. Effects of threshold of hard cut based technique for advertisement detection in TV video streams [C]// **Proceedings of the 2010 IEEE Students' Technology Symposium**, Kharagpur, April 3-4, 2010: 1-16.
- [3] Covell M, Baluja S, Fink M. Detecting ads in video streams using acoustic and visual cues [J]. **Computer**(S0018-9162), 2006, **39**(12): 135-137.
- [4] YANG Jun, ZHU Shi-jiao. A multi-scale algorithm for graffiti advertisement detection from images of real estate [C]// **Artificial Intelligence and Computational Intelligence, International Conference, AICI 2009**, Shanghai, China, November 7-8, 2009: 444-452.
- [5] 明鸣, 朱明. 视频流中广告内容的检测[J]. 计算机工程, 2005, **31**(6): 179-181.
MING Min, ZHU Ming. Advertisement detection from bitstream [J]. **Computer Engineering**, 2005, **31**(6): 179-181.
- [6] 罗云, 章毓晋, 高永英. 基于分析的图像有意义区域提取[J]. 计算机学报, 2001, **23**(12): 1314-1320.
LUO Yun, ZHANG Yu-jing, GAO Yong-ying. Meaningful regions extraction based on image analysis [J]. **Chinese Journal of Computers**, 2001, **23**(12): 1314-1320.
- [7] 杨泽新. 基于颜色和形状的图像检索技术研究是实现[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
YANG Ze-xin. Research and implementation of image retrieval based on color and shape [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [8] 张亮, 朱振峰, 赵耀, 等. 基于镜头的鲁棒视频广告检测[J]. 智能系统学报, 2007, **2**(2): 83-88.
ZHANG Liang, ZHU Zhen-feng, ZHAO Yao, *et al.* Video commercial detection based on the robustness of shot [J]. **CAAI Transactions on Intelligent Systems**, 2007, **2**(2): 83-88.

~~~~~  
( 上接第 98 页 )

- [6] 高莹莹, 杨建峰, 马晓龙. 基于 Fourier-Mellin 算法的干涉图像配准[J]. 光学 精密工程, 2007, **15**(9): 1415-1420.  
GAO Ying-ying, YANG Jian-feng, MA Xiao-long. Interference image registration based on Fourier-Mellin algorithm [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2007, **15**(9) : 1415-1420.
- [7] Martinez de-Dios J R, Ollero A. A real-time image stabilization system based on Fourier-Mellin transform [J]. **Lecture Notes in Computer Science**(S0302-9743), 2004, **32**(11): 3762383.
- [8] 王志民, 徐晓刚. 基于单象限 Fourier-Mellin 域相位相关的快速稳像算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, **14**(9): 1791-1796.  
WANG Zhi-min, XU Xiao-gang. Fast Electronic Image Stabilization Based on Phase Correlation in Single2quadran t Fourier-Mellin Domain [J]. **Journal of Image and Graphics**, 2009, **14**(9): 1791-1796.
- [9] 李仕, 张葆, 孙辉. 航空光电成像模糊的实时恢复[J]. 光学 精密工程, 2007, **15**(8): 1287-1292.  
LI Shi, ZHANG Bao, SUN Hui. Real-time restoration for motion blurred in aerial E-O image system [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2007, **15** (9): 1287-1292.
- [10] 李仕, 王晶, 孙辉. 基于图形处理器的实数 FFT 在图像处理中的应用[J]. 光学 精密工程, 2008, **16**(12): 2414-2420.  
LI Shi, WANG Jing, SUN Hui. Real FFT based on graphic processing unit for image processing [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2008, **16**(12): 2414-2420.