

文章编号: 0253-2239(2009)05-1254-06

多种运动补偿算法在电子稳像中的比较及应用

姚 军 蒋晓瑜 杜登崇 汪 熙

(装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072)

摘要 对 Kalman 滤波算法、均值滤波算法、高斯算法、曲线拟合算法、阻尼系数算法进行了比较和分析。采用 Laplacian 位面法得到多个抖动视频的运动估计向量作为运动补偿对象, 对上述算法进行验证, 为电子稳像应用中运动补偿算法的选取提供了参考依据。结果表明, 阻尼系数算法除了系数不能自动调整以外, 补偿效果较好。最后针对阻尼系数算法的不足, 提出了一种改进的自适应阻尼系数运动补偿算法, 该算法相对于改进前具有更强的稳健性和更好的补偿效果。

关键词 电子稳像; 运动补偿; Laplacian 位面法; 自适应阻尼系数

中图分类号 TP317.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092905.1254

Comparison and Application of Motion Compensation Algorithms in Video Stabilization

Yao Jun Jiang Xiaoyu Du Dengchong Wang Xi

(Department of Control Engineering, the Academic of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract Motion compensation algorithms are compared and analyzed, including Kalman filter algorithm, average filter algorithm, Gaussian kernel filter algorithm, parabolic fitting algorithm, and damping coefficient algorithm. Motion estimation vectors of several fluctuated video are obtained by Laplacian bit-plane method, which are utilized to test the above compensation algorithms. The conclusion for the preceding five algorithms conduces to select appropriate motion compensation algorithms in video stabilization. It is verified that damping coefficient algorithm is a quite effective algorithm, except that its damping coefficient can not be adjusted automatically. An improved adaptive damping coefficient algorithm is presented, which is more robust and effective.

Key words video stabilization; motion compensation; Laplacian bit-plane method; adaptive damping coefficient

1 引 言

电子稳像是从输入的视频序列中去除因为摄像机的随机运动而引入的图像扰动, 从而使其稳定的过程^[1,2]。目前, 该技术已经被广泛用于运动目标的检测和跟踪, 图像拼接等领域。电子稳像系统主要由运动估计和运动补偿两部分组成。运动估计是通过算法估算出图像序列运动偏移量的过程。运动补偿是根据运动估计所得到的偏移量确定图像的抖动, 并根据抖动的大小和方向将图像上的像素作等

量的反方向移动, 实现图像的行、列序重组, 从而实现图像序列稳定的过程。关于运动估计的算法有灰度投影法、相位相关法, 块匹配法等, 但是关于运动补偿算法却比较少, 如卡尔曼滤波^[3,4], 均值滤波^[5]等。本文对一些运动补偿的算法, 如 Kalman 滤波算法、均值滤波算法、高斯算法^[6]、曲线拟合算法^[7]、阻尼系数算法^[8]进行了比较和分析。采用 Laplacian 位面法获得多个抖动视频的运动估计矢量, 对上述补偿算法进行补偿实验, 比较每种算法的

收稿日期: 2008-08-26; **收到修改稿日期**: 2008-10-15

基金项目: 军队十一五预研项目(404010204)资助课题。

作者简介: 姚 军(1979—), 男, 博士研究生, 主要从事电子稳像、图像处理和模式识别等方面的研究。

E-mail: yaojun10336@sohu.com

导师简介: 蒋晓瑜(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事图像处理、模式识别、图像融合、电子稳像和智能化信息技术等方面的研究。E-mail: xiaoyu.j@263.net

性能优劣及适用范围,为电子稳像补偿算法的选取提供参考依据。最后,针对阻尼系数算法的缺点,提出了一种改进的自适应阻尼系数运动补偿算法,该算法能自动调整阻尼系数,较原来算法具有更强的稳健性和补偿精度。

2 Laplacian 位面法

对图像进行 Laplacian 运算,在去掉冗余信息的同时又保留了图像的边缘,通过对边缘图像二值化即可获得 Laplacian 位面。由于 Laplacian 位面既保留了图像的重要信息,又被存储为二值图像,所以具有精度高、计算量小的特点。设 $f(x,y)$ 表示灰度图像,其 Laplacian 运算可以表示为

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, \quad (1)$$

其离散化形式为

$$\nabla^2 f = [f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1)] - 4f(x,y). \quad (2)$$

获得图像的 Laplacian 结果后,对其进行二值化。假设 L_{\max} 与 L_{\min} 是 Laplacian 运算结果的正数最大值与负数最小值。通过对多个视频序列实验发现二值化阈值分别设为 $L_{\max}/32$ 和 $L_{\min}/32$ 时可以得到较好的 Laplacian 位面,其中第一个为正阈值,第二个为负阈值。若 Laplacian 运算结果大于正阈值或小于负阈值,相应的二值化图像赋为 1,反之为 0。通过二值化运算,将产生两个与原图像具有相同大小的二值化的图像,分别命名为正阈值图像 P^+ 和负阈值图像 P^- 。

获得 P^+ 和 P^- 后,采用不匹配点数量 C_D 表示前后两帧图像对应子图的相关性,其表达式为

$$C_D(i,j) = \sum_{(x,y) \in q} \{p_i^+(x,y) \oplus p_{i-1}^+(x+i,y+j)\} \cup \{p_i^-(x,y) \oplus p_{i-1}^-(x+i,y+j)\}, \quad (3)$$

$$-r \leq i, \quad j \leq r$$

其中 q 代表相关运算的子图。从每帧图像中选择 4 幅子图,大小均为 60×60 , r 代表搜索范围,取值为 20, $p_i^+(x,y)$ 与 p_{i-1}^+ 分别表示当前帧与前一帧正阈值图像的像素值, $p_i^-(x,y)$ 与 p_{i-1}^- 表示负阈值图像的像素值,符号 \oplus 表示异或运算, \cup 表示或运算。根据(3)式可以得出, C_D 越小匹配程度越高。每幅子图的 C_D 最小值对应的局部运动向量 $\mathbf{LV}_k(t)$, $k = 1, 2, \dots, N$,为全局运动向量 $\mathbf{GV}(t)$ 的候选值,其中 t 表示第 t 帧视频图像, k 表示子图序号, N 表示子图的数量。

由于本文的目的是比较多种运动补偿算法,所以拍摄的视频序列不包括运动小物体。全局运动向量 $\mathbf{GV}(t)$ 取值为 4 个局部运动向量 $\mathbf{LV}_k(t)$ 的平均值。

3 运动补偿算法

3.1 Kalman 滤波算法

Kalman 的具体计算公式可以参考文献[9,10]。在电子稳像中,考虑到运动估计矢量是摄像机主动扫描分量与随机抖动分量的叠加,所以在建立 Kalman 滤波器的状态转移方程时,假设 1)摄像机的扫描运动为恒速运动,2)由于随机抖动的存在,速度变化服从某种随机分布,这里指高斯分布,状态空间模型表示为

$$\begin{bmatrix} x_x(n) \\ v_x(n) \\ x_y(n) \\ v_y(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_x(n-1) \\ v_x(n-1) \\ x_y(n-1) \\ v_y(n-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ N(0, \sigma_x) \\ 0 \\ N(0, \sigma_y) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中 σ_x, σ_y 是相互独立的系统噪声, $N(0, \sigma)$ 表示高斯白噪声, x 是当前帧相对于参考帧(一般为第 1 帧)的绝对偏移量。 v 表示帧间偏移量,由于视频序列帧与帧之间的时间间隔不变,所以将其定义为帧间速度。建立状态方程后,通过计算前面帧的帧间偏移量的累积和得到当前帧绝对偏移量的观测值,建立量测方程

$$\begin{bmatrix} mx_x(n) \\ mx_y(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_x(n) \\ x_y(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N(0, \sigma'_x) \\ N(0, \sigma'_y) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其中 mx 是观测值, σ'_x, σ'_y 是相互独立的观测噪声。采用(4)式和(5)式反复迭代,可得到绝对帧位置的 Kalman 滤波结果 x_{kal} ,所以,需要进行运动补偿的修正矢量为

$$\mathbf{v}_{\text{cor}}(k) = \mathbf{x}_{\text{kal}}(k) - \mathbf{mx}(k). \quad (6)$$

由于大部分运动目标不符合假设的情况,对于目标机动的不可预测性,自然会产生先验估计的错误,从而后验估计也会出现误差。而且 Kalman 滤波通过后验估计预测下一时刻的先验估计,随着时间推移,就会造成误差的叠加。另外, Kalman 滤波的效果与系统的噪声参数设置有关,过程噪声 σ'_x, σ'_y 在不同变化条件下 Kalman 滤波的精度不同,量测噪声 σ'_x, σ'_y 的变化决定 Kalman 滤波跟踪观测量的接近程度,这些参数设置的合理性也会影响滤波的精度。所以,使用 Kalman 滤波作为运动补偿方法有较多的缺陷。

3.2 均值滤波算法与高斯算法

均值滤波是一种低通滤波,通过对相邻运动矢量的平均,达到既滤除高频的抖动分量又保留摄像机扫描运动的目的。定义 X_i 为动态图像序列第 i 帧相对于第 $i-1$ 帧的运动矢量的一个分量,采用均值滤波对视频序列进行补偿,用滤波前后对应帧的参数差作为图像序列中当前帧的补偿参数,第 i 帧的补偿参数可以表示为

$$\Delta X_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_{i-[n-(N+1)/2]} - X_i, \quad (7)$$

其中 N 一般取奇数,通常介于 5 与 11 之间。求得所有补偿参数后,对抖动序列进行变换,即可获得运动轨迹平稳的视频序列。

高斯滤波的原理类似于均值滤波,都是对当前帧的邻域取平均,获得运动补偿参数。记 T_i^* 为原始视频序列帧 I_t 到其相邻帧 I_s 的运动估计矢量, I_t 的邻域记为 $N_t = \{n | t-k \leq n \leq t+k\}$, I_t 到其运动补偿帧 I'_t 的补偿参数定义为

$$S_t = \sum_{i \in N_t} T_i^* * G(k), \quad (8)$$

其中 $G(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{k^2}{2\sigma^2}\right)$ 是一个高斯函数,

$\sigma = \sqrt{k}$, 符号 $*$ 表示卷积运算。获得补偿参数后,对原始视频序列进行映射: $I_t(S_t, p_t) \rightarrow I'_t(p'_t)$, 即可获得稳定的视频序列。

上述两种方法在一定程度上可以滤除高频抖动,但具有平滑窗口的长度难于控制的缺点。如果窗口的长度太大,将导致过稳现象,使原本正常的运动曲线失真,如窗口长度太小,则不能很好地滤除高频抖动。并且滤波窗口的系数不能根据视频序列的变化,自适应调整,导致视频运动复杂时,补偿效果下降。

3.3 曲线拟合算法

曲线拟合算法采用光滑曲线对视频序列运动估计向量进行拟合。假设拟合的曲线段对应的视频序列共有 N 帧,拟合曲线的方程为 $y = ax^2 + bx + c$, 被拟合的曲线段的坐标关系为

$$\mathbf{A}\mathbf{z} = \boldsymbol{\omega}, \quad (9)$$

其中矩阵 \mathbf{A} , 向量 \mathbf{z} 和 $\boldsymbol{\omega}$ 分别为

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ x_n^2 & x_n & 1 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\mathbf{z} = [a \quad b \quad c]^T,$$

$$\boldsymbol{\omega} = [y_1 \quad y_2 \quad \cdots \quad y_n],$$

很显然(9)式是一个超定方程,采用求最小二乘解的形式,得到

$$\mathbf{z} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \boldsymbol{\omega}, \quad (11)$$

代入方程 $y = ax^2 + bx + c$, 即可获得该段曲线的拟合形式。每帧对应的拟合数据与该帧运动估计数据之差就是运动补偿量。

曲线拟合方法,在一定程度上也能达到滤除高频抖动的效果,但该方法只关注了曲线的形状和光滑度,在滤除高频抖动的同时,改变了运动估计矢量。所以在拟合结果中,许多原本正确的运动估计矢量都被修改。而且采用求解最小二乘解的形式获得拟合参数,很容易受到噪声干扰,一旦出现噪声,整段补偿曲线都被影响。因此,曲线拟合不是可选的运动补偿方法。

3.4 阻尼系数算法及其改进算法

阻尼系数算法在去除高频抖动的同时,保留了摄像机的扫描运动,具有良好的补偿效果。与其他算法一样,该方法基于以下假设:摄像机的主动扫描分量相对于抖动分量来讲,速度慢,变化平滑,也就是说摄像机的主动扫描分量为低频分量,抖动分量是高频分量。用 $\mathbf{S}(t)$ 表示第 t 帧图像的主动扫描运动, $\mathbf{J}(t)$ 表示图像的抖动,如果不考虑图像中运动小物体的影响,该帧的运动估计向量为

$$\mathbf{V}(t) = \mathbf{S}(t) + \mathbf{J}(t), \quad (12)$$

其中 $\mathbf{S}(t)$ 是低频分量, $\mathbf{J}(t)$ 是高频分量。很显然,单从当前帧的数据,并不能将 $\mathbf{S}(t)$ 与 $\mathbf{J}(t)$ 分离。因此采用求累积向量的方式,从时间相关性来找规律,根据两个运动分量的不同频率特征,将其分离。累积向量定义为

$$\mathbf{A}(t) = \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{V}) = \sum_{l=0}^t \alpha^{t-l} \mathbf{V}(l) = \alpha \mathbf{A}(t-1) + \mathbf{V}(t), \quad (13)$$

其中 α 是介于 0 与 1 之间的阻尼系数。(13) 式相当于对运动估计向量在时间轴上做指数平均,相当于低通滤波,所以近似于

$$\mathbf{A}(t) \approx \boldsymbol{\varphi}(\mathbf{S}) = \sum_{l=0}^t \alpha^{t-l} \mathbf{S}(l) = \alpha \mathbf{S}(t-1) + \mathbf{S}(t). \quad (14)$$

由于 α 小于 1, 且摄像机的主动扫描运动速度慢,变化平滑,当扫描方向连续多帧不变时,累积向量 $\mathbf{A}(t)$ 近似于 $\mathbf{A}(t-1)$ 。

对于抖动剧烈的情况,由于抖动分量占据运动估计向量 $\mathbf{V}(t)$ 的主要成分,这时(13)式不能近似于(14)式,必须对其改进。改进后的累积向量定义为

$$A(t) = \alpha A(t-1) + \beta V(t), \quad (15)$$

其中 β 是平滑因子, 介于 0 与 1 之间。 β 越小, 对应的运动补偿曲线越光滑, 但是如果 β 太小, 会导致过稳现象。同时, α 也要作相应的调整, 当 β 变化时, 使产生的累积向量尽可能干净地滤除高频分量。因此, 需要定义一个指标, 根据这个指标自动调整 α 与 β 的大小。运动估计向量的突变指数为

$$\gamma = \left| \frac{V(t-1)}{V(t)} \right| - 1. \quad (16)$$

假设 $T_1 > 0, T_2 < 0$ 为预先定义的阈值, 根据 γ 与 T_1 和 T_2 的关系, 调整 α 与 β 的大小。具体如下:

- 1) 如果 $\gamma > T_1$, 表明前面帧的运动估计向量中, 抖动分量占很大比例, 并且当前帧的抖动分量很小, 所以, 减小 α 值, β 不变;
- 2) 如果 $\gamma < T_2$, 表明当前帧的运动估计向量中, 抖动分量占很大比例, 并且前面帧的抖动分量很小, 所以, 减小 β 值, 增加 α 值。

4 实验结果

图 1 和图 2 分别是“学生”和“物体”两组视频序列的图像画面。两组视频序列均为 80 帧, 分辨率都是 640×480 。图 3 与图 4 是对视频序列“学生”和“物体”的水平运动分量进行运动补偿的结果, 图 3(a) 采用的是 Kalman 滤波算法, 图 3(b) 采用的是均值滤波算法, 图 3(c) 采用的是高斯滤波算法, 图 3(d) 采用的是阻尼系数算法, 图 3(e) 采用的是改进

的阻尼系数算法。其中虚线代表补偿前的帧间运动估计分量, 实线是补偿后的结果。



图 1 “学生”视频的采样图像

Fig. 1 Sample frame of “student” sequence



图 2 “物体”视频的采样图像

Fig. 2 Sample frame of “object” sequence

图 4(a) 中 Kalman 滤波器的初始状态设为 0, 起始估计误差协方差设为 1, 系统噪声 σ_x, σ_y 为 10, 观测噪声 σ'_x, σ'_y 为 0.1。图 4(b) 中, 均值滤波窗口长度 N 为 7, 图 4(c) 中, 高斯滤波窗口长度 k 为 5。图 4(d) 中, $\alpha=0.85, \beta=1$, 图 4(e) 中, 初值 $\alpha=0.85$,

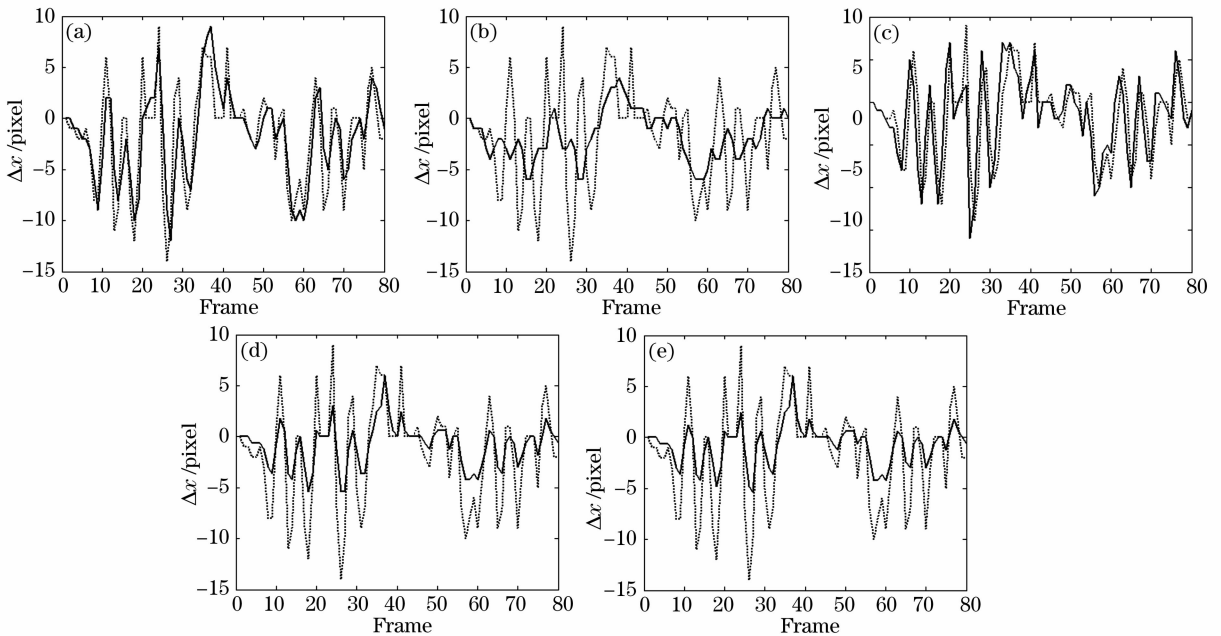


图 3 “学生”序列的运动补偿曲线

Fig. 3 Motion compensated curves of “student” sequence

$\beta=1$, 阈值 $T_1=0.2, T_2=-0.3$, γ 超过阈值后, α 的下限为 0.8, 上限为 0.9, β 的下限为 0.9。从滤波曲线可以发现, 图 4(a)、图 4(c) 的低通滤波效果不好, 图 4(b) 虽然曲线形状光滑, 但没有正确保留摄像机的主动扫描分量; 图 4(d)、图 4(e) 在去除高频抖动分量的同时, 保留了摄像机的主动扫描分量, 图 4(e) 较图 4(d) 在某些帧上更光滑。表 1 是对于视频序列“学生”, 补偿前和采用 Kalman 滤波算法、均值滤波算法、高斯滤波算法、阻尼系数算法及其改进算法进

行运动补偿后序列对应的峰值信噪比 (PSNR) 的平均值, PSNR 平均值越大, 稳定后图像序列帧间偏差量越小, 稳定效果越好。由于视频序列存在抖动, 所以剪切视频序列中间 560×400 的图像区域计算 PSNR 平均值。从 PSNR 平均值可以直观地判断出各种运动补偿算法的性能优劣。其中阻尼系数算法补偿效果良好, Kalman 滤波算法效果最差, 改进后的阻尼系数算法 PSNR 平均值最大, 较改进前补偿效果进一步提高。

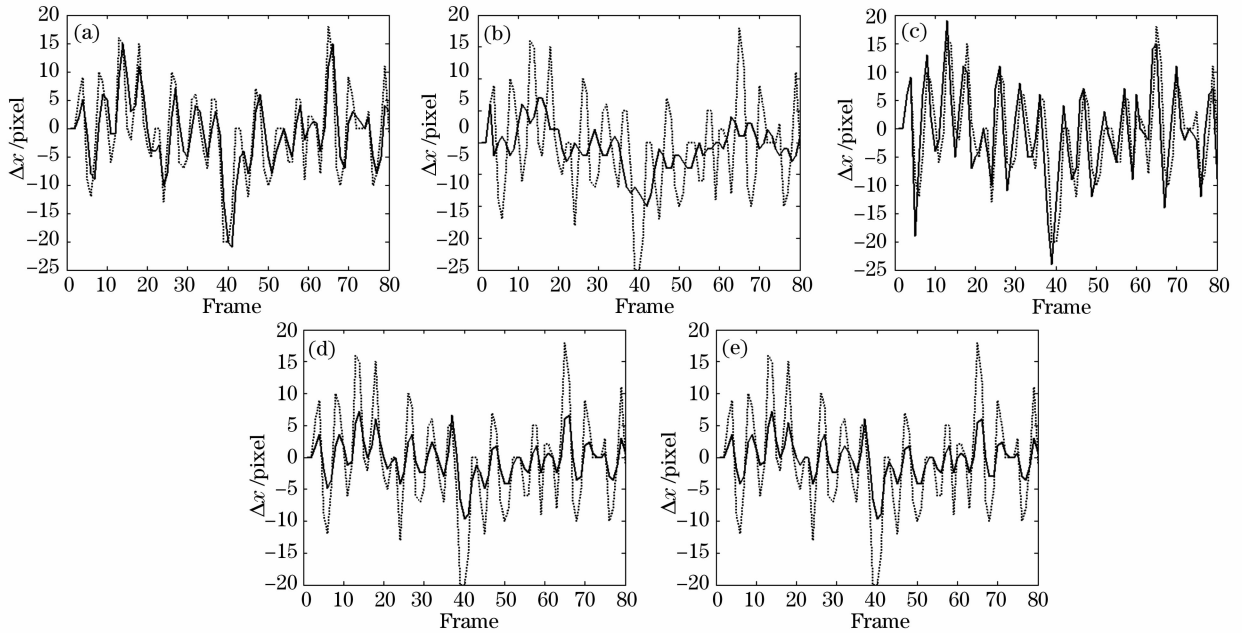


图 4 “物体”序列的运动补偿曲线

Fig. 4 Motion compensated curves of “object” sequence

表 1 “学生”视频的 PSNR 平均值

Table 1 Average PSNR of “student” video sequence

| Compensation method | Average PSNR |
|--|--------------|
| Before compensation | 23.837 |
| Kalman filter algorithm | 24.949 |
| Average filter algorithm | 27.765 |
| Gaussian filter algorithm | 25.013 |
| Damping coefficient algorithm | 30.386 |
| Improved damping coefficient algorithm | 30.873 |

5 结 论

分析了 Kalman 滤波算法、均值滤波算法、高斯滤波算法、曲线拟合算法、阻尼系数算法及其改进算法, 并通过实验比较了除曲线拟合算法以外, 其余五种方法的滤波性能, 为电子稳像应用中补偿算法的选取提供了参考依据。卡尔曼滤波需要对运动目标建模, 对于机动目标, 由于目标的不可预测性, 参数难于确定, 建模非常困难, 所以补偿效果不佳; 均值

滤波与高斯平滑是平均算法, 在去掉高频信息的同时也损失了稳像精度, 容易产生过稳现象; 曲线拟合算法能得到光滑的运动估计曲线, 但抗噪能力差, 不宜采用; 阻尼系数算法考虑了视频序列当前帧之前的所有运动补偿矢量, 算法抗噪能力强, 效果好; 改进的阻尼系数算法能自适应调整阻尼系数, 较改进前的算法具有更强的稳健性和更好的补偿效果。

参 考 文 献

- 1 S. Erturk. Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003, **49**(4): 1320~1325
- 2 F. Vella, A. Castorina, M. Mancuso *et al.*. Digital image stabilization by adaptive block motion vectors filtering [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2002, **48**(3): 796~801
- 3 Andrew Litvin, Janusz Konrad, William C. Karl. Probabilistic video stabilization using Kalman filtering and mosaicking [C]. *IS&T/SPIE Symposium on Electronic Imaging, Image and Video Communications and Proc.* 2003, Santa Clara, CA, USA
- 4 A. Aysun Yeni, Sarp Ertürk. Fast digital image stabilization using one bit transform based sub-image motion estimation [J].

- IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, **51**(3): 917~921
- 5 Zhu Juanjuan, Guo Baolong. Electronic image stabilization system based on global feature tracking [J]. *J. Systems Engineering and Electronics*, 2008, **19**(2): 228~233
- 6 Y. Matsushita, E. Ofek, X. Tang *et al.*. Full-frame video stabilization [C]. *IEEE Conf Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005, **1**: 50~57
- 7 Rong Hu, Rongjie Shi, I-fan Shen *et al.*. Video stabilization

- using scale-invariant features [C]. *IEEE 11th International Conference Information Visualization (IV'07)*
- 8 S.-J. Ko, S.-H. Lee, S.-W. Jeon *et al.*. Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1999, **45**(3): 598~603
- 9 Kalman R E. A new approach to linear filtering and prediction problem [J]. *ASME Transaction*, 1960, **82**(1): 35~45
- 10 Kalman R E, Busy R S. New results in linear filtering and prediction theory [J]. *ASME Transaction*, 1961, **83**: 95~108

《中国激光》“激光医学与生物光子学”专题征稿启事

光学技术特别是激光技术的快速发展给生物医学成像、传感以及诊断学领域带来了重大变革,并产生了巨大影响。激光医学与生物光子学作为一门新兴的交叉性学科,为生物医学的应用发展及基础理论研究提供了有利的条件。它结合多个学科,探索光子学技术在生物研究及医学诊断与治疗中的应用,已成为国际上迅速发展的领域并取得了诸多令人兴奋的成就。《中国激光》计划于 2009 年 9 月正刊(EI 核心收录)上推出“激光医学与生物光子学”专题栏目,现特向国内外广大读者以及作者征集“激光医学与生物光子学”方面原创性的研究论文和综述,旨在集中反映该领域基础理论的研究进展以及最先进的临床试验水平。

征稿范围包括:

- 激光医学与生物光子学的基础研究
- 激光治疗
- 生物光学成像技术
- 非侵入性光学诊断
- 生物光学传感技术
- 生物光学器件
- 光动力学疗法
- 其他

特邀组稿专家(以姓氏笔划为序):

丁志华 教授 浙江大学信息科学与工程学院 E-mail: zh_ding@zju.edu.cn

张镇西 教授 西安交通大学生命科学与技术学院 E-mail: zxzhang@mail.xjtu.edu.cn

瞿佳男 教授 香港科技大学电子及计算机工程系 E-mail: eequ@ust.hk

截稿日期: 2009 年 6 月 30 日

投稿方式以及格式:

可直接将稿件电子版发给“激光医学与生物光子学”专题组稿专家(主题标明“激光医学与生物光子学专题”投稿),或通过中国光学期刊网网上投稿系统直接上传稿件(主题标明“激光医学与生物光子学专题”投稿),详情请参见 <http://www.opticsjournal.net/zgjg.htm>。本专题投稿文体不限,中英文皆可,其电子版请使用 MS-word 格式,有任何问题请咨询马沂编辑, E-mail: CJL@siom.ac.cn ;电话: 021-69918427。