

# Digital Image Stabilization Algorithm for Degraded Image Sequences

Haoting Liu<sup>1,2</sup>, Fenggang Xu<sup>2</sup>, Jie Li<sup>2</sup>, Hanqing Lu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Laboratory of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

<sup>2</sup>Department of Space Ergonomics, Astronaut Research & Training Center of China, Beijing, China

Email: imkyran@hotmail.com

**Abstract:** The imaging performance of the camera always cannot meet the requirement of the mobile robotic system for some reasons. This paper presents a weighted-statistic Digital Image Stabilization (DIS) algorithm to decrease the noise effect, which derives from the estimation of the global motion vector. The gray variance and the entropy of the co-occurrence matrix are used to select the estimation region of motion vector. The gray projection method is employed to estimate the local motion vector. Our method also designs a vibration decrease filter to remove the vibration-caused vectors effectively. Simulation results show our algorithm is suitable to solve the DIS problem for the vehicle or moving robot applications.

**Keywords:** vector estimation; digital image stabilization; mobile robot

## 一种降质条件下的数字图像稳定算法

刘皓挺<sup>1,2</sup>, 徐凤刚<sup>2</sup>, 李洁<sup>2</sup>, 卢汉清<sup>1</sup>

<sup>1</sup>模式识别国家重点实验室, 中国科学院自动化研究所, 北京, 中国, 100190

<sup>2</sup>航天工效研究室, 中国航天员科研训练中心, 北京, 中国, 100193

Email: imkyran@hotmail.com

**摘要:** 由于相机性能往往难以达到车载机器人系统理论的设计标准, 造成采集到的图像含有过多的噪声。本文设计了一种数字稳像算法: 采用灰度方差与共生矩阵熵的方法选择初始区域; 采用灰度投影技术与加权统计方法进行运动矢量估计; 设计一种改进的减振滤波器滤除系统中由振动引起的矢量偏移量。仿真试验表明, 本文所采用的算法较为适合于解决真实车载运动情况下的稳像问题。

**关键词:** 向量估计; 数字稳像; 移动机器人

### 1 引言

车载或机载图像采集及处理系统进行图像稳定的目的主要包括两个: 其一是为了便于操作人员的观看<sup>[1]</sup>, 减少抖动引发的视觉疲劳; 其二则是为了减小抖动对后续操作算法造成的影响。一般而言, 图像稳定技术主要包括三类: 一类是电子图像稳定 (Electronic Image Stabilizer, EIS) 技术, 即采用运动传感器的方法捕获运动信息, 通过反馈控制相机姿态的方法进行图像序列的稳定; 第二类是光学图像稳定 (Optical Image Stabilizer, OIS) 方法, 即采用光学棱镜补偿的技术, 保证稳定质量的图像输出; 第三类则是数字图像稳定 (Digital Image Stabilizer, DIS) 技术, 该类方法采用数字图像处理技术检测并消除相机抖动引发的图像模

中国航天员科研训练中心所长基金资助项目, 批准号 SJ200902

糊, 进而保证稳定的图像输出。相比较而言, DIS 技术较前两种技术可以进行在线或离线的处理, 并且该技术的实现不需要增加过于昂贵的设备, 因此在实际应用中得到广泛的青睐。

在车载机器人的设计过程中, 由于种种原因, 视觉传感器往往不能够达到设计要求的指标, 这就造成采集到的图像质量较差; 同时, 在一些远距离图像实时传输应用中, 由于传输线路的关系, 采集到的图像也呈现出较差的质量, 这对传统的 DIS 算法的应用造成相当的困难。为了解决上述难题, 除了改进硬件设备以外, 从算法设计的角度: 一方面, 可以通过增大图像匹配宏块面积的方法达到精确估计运动矢量的目的; 另一方面, 在不增大宏块面积的基础上, 采用增加宏块数量的方法, 并用加权统计平均的技术以减小

误匹配带来的误差。

## 2 自稳算法基本原理

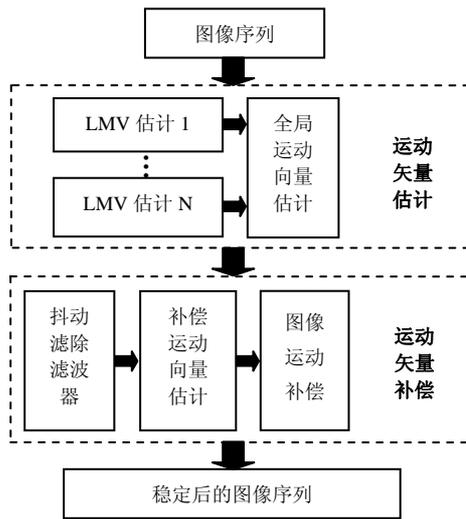


图 1. DIS 算法原理示意图

一般而言，DIS 算法的处理过程主要包括两个步骤：其一是相邻帧间图像运动矢量的估计<sup>[3,4]</sup>；其二是高频抖动信号的滤除<sup>[5]</sup>。原理图如图 1 中所示。自稳算法的核心思想在于进行相邻帧间图像的全局与局部运动矢量的估计，找到并区分出由相机自运动造成的矢量偏移量与由振动造成的矢量偏移量，进而对后者进行滤波剔除。通常的做法是：在图像的某一个或几个固定区域内取定  $n \times n$  窗口，计算窗口内对应像素间的运动矢量，即计算局部运动矢量（Local Motion Vector, LMV）的估计值；而后通过统计的方法获得整幅图像的全局运动向量；在此基础上，设计某一抖动滤除滤波器，滤除（平滑）由于相机运动造成的图像抖动并获取稳定的图像的运动矢量；此后按照该矢量进行对应像素点间的补偿运算，以获得连续稳定的图像输出结果。

DIS 运动矢量估计算法中常见的方法主要包括：基于最小绝对差（MAD）或最小均方误差（MSE）的估计方法、基于灰度投影的估计算法<sup>[6]</sup>、基于 Bit 位平面匹配的方法<sup>[7-8]</sup>、基于 DFT 滤波匹配的方法<sup>[9]</sup>以及基于仿射变换的估计等。DIS 自稳算法中对振动的滤除一般采用均值滤波或改进均值滤波的方法消除振动引起的矢量偏移。在上述几类算法中，基于 MAD 与 MSE 的方法运算量较大，运算效果与匹配块的大小及匹配策略有关，较适合于硬件实现；基于 Bit 位平面与 DFT 的方法运算较为复杂，其计算结果易受噪声的影响，

也较为适合于硬件实现。相比较而言，基于灰度投影的方法只利用了有限的灰度区域信息，具有计算量小且精度较高的特点，在国内外一些应用中，如列车稳像设备或车载稳像设备<sup>[10-12]</sup>中都有较为广泛的应用，因此本文算法的设计也主要在此算法的基础上进行改进和实现。

## 3 降质图像条件下的自稳算法

本文所介绍的系统中采用的相机为 CCD 相机，且由于机械加工的缘故，相机可能发生振动的方向仅限垂直与水平方向，因此在下文的介绍中主要以该类 CCD 相机为例进行介绍，自稳算法的设计也以滤除垂直和水平方向的振动为设计依据。

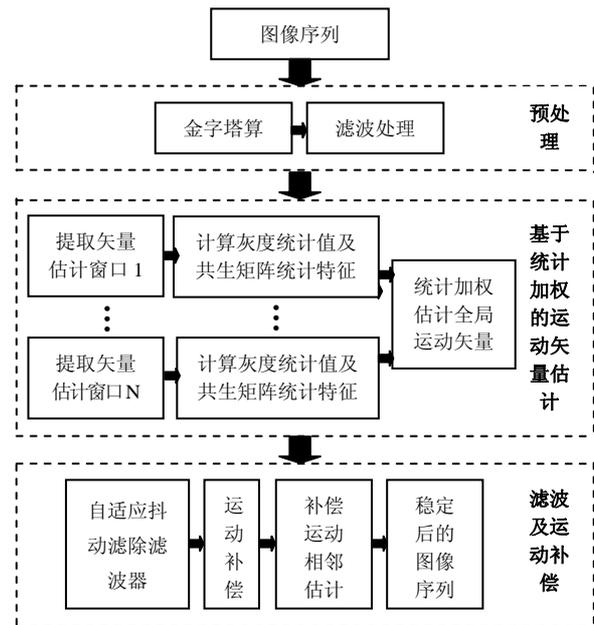


图 2. DIS 算法流程设计示意图

一般而言从成像质量的角度来看，影响 CCD 相机的主要参数包括分辨率、色彩逼真度、亮度等级以及几何失真度等；从 CCD 传感器的性能来分，主要指标包括灵敏度、动态范围、拖影、最小照度等。此外，相机成像还受采集卡、显卡设备晶振频率温漂的影响。传输线路的好坏也对成像质量有较大的影响。为了降低成像质量对 DIS 算法的影响：一方面，在相机使用前需要做相机标定（校正），以消除图像畸变对成像质量造成的影响；另一方面，在算法处理前，还需要做相关的图像预处理工作，以消除电噪声的干扰。最终，本文所采用的 DIS 算法流程图如图 2 中所示。

### 3.1 图像预处理

对于降质图像而言，图像预处理对后续运动矢量的估计起到及其重要的影响。一方面，通过预处理步骤，能够有效的降低波纹与随机噪声的影响；另一方面，预处理算法还起到增强图像有效特征量，提高运算速度的作用。本文对图像的预处理主要包括三个步骤：(1)金字塔算法降低图像分辨率，即采用高斯金字塔将原始图像进行重新采样，获得尺寸更小、分辨率更低的图像；(2)采用平滑滤波，降低随机噪声的影响，此处可选  $3 \times 3$  的高斯卷积和模板多次进行滤波运算，以使得图像模糊化，降低波纹噪声的影响；(3)进行图像的直方图均衡化，增强图像的细节信息及图像对比度。通过预处理步骤，最终达到了降低图像尺寸、滤除图像噪声以及增强细节信息的目的。

### 3.2 运动矢量的估计

在进行运动矢量的估计时，需要选取图像边缘处的  $N$  (此处  $N=8$ ) 个待检测区域，计算各个区域的灰度及纹理信息，选取各个区域中灰度方差最大以及纹理信息最为丰富的  $M$  个区域 ( $N>M$ , 此处  $M=4$ )，对这  $M$  个区域进行运动矢量的估计运算，并最终通过计算加权算术平均值的方法来确定图像全局运动矢量的估计值。

图像的灰度信息最容易获得，因此此处对灰度特征的计算主要是采取计算灰度方差的方法，如式(1)与(2)。为了简化计算，本文纹理共生矩阵统计量的计算主要采取计算共生矩阵熵值的方法来进行，如式(3)。在选取好待匹配估计区域后，对运动矢量的估计主要采取灰度投影的矢量估计方法，如式(4)与(5)。其优点在于：采用投影计算的方法能够有效的降低运算的复杂度，同时保证对灰度区域较为精确的匹配。分别将当前帧行、列投影与参考帧对应投影按式(6)进行相关计算，即可获得局部图像块的矢量估计。

$$\hat{\sigma}_d^2 = \frac{1}{N_S} \sum_{(s,t) \in S} [d(s,t) - \hat{m}_d]^2 \quad (1)$$

$$\hat{m}_d = \frac{1}{N_S} \sum_{(s,t) \in S} d(s,t) \quad (2)$$

$$Q = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i,j) \log_2(i,j) \quad (3)$$

$$G_k(j) = \sum_{i=0}^{n_r} G_k(i,j) \quad (4)$$

$$G_k(i) = \sum_{j=0}^{n_c} G_k(i,j) \quad (5)$$

$$SAD(i,j) = \sum_k \sum_l |C(x+k,y+l) - P(x+i+k,y+j+l)| \quad (6)$$

其中  $G_k(j)$  为第  $k$  帧第  $j$  列图像灰度值， $G_k(i,j)$  是第  $k$  帧  $(i,j)$  处像素灰度值， $G_k(i)$  是第  $k$  帧第  $i$  行图像灰度值。

由于采集到的连续帧图像的质量难以保证，虽然采取了图像预处理操作，但仍然难以完全消除各种噪声的干扰。因此，为了降低噪声对全局运动矢量估计的影响，本文采用加权求算术均值的方法降低运动量估计的误差。具体做法是：首先，计算各个区域灰度方差和共生矩阵的熵值，并按照其大小进行排序；其次，分别计算多个局部运动矢量的估计值；再次，按照第一步排序的结果进行权重的分配，采用加权的算术平均方法计算全局运动矢量的估计值。权重大小的确定应当与各个图像块灰度及纹理信息的丰富程度有关：若图像块的灰度及纹理越丰富，则采用较高的权重作为参数进行运算；反之则采用较小的权重值。最终通过统计均值的方法，能够在一定程度上减弱噪声对全局运动矢量估计的影响。

### 3.3 振动滤波器设计及运动补偿

当移动(车载)机器人运动时，由车体本身运动所引起的运动矢量往往表现为具有一定连续性及平稳性；而由振动所引发的运动则具有一定的突发性和周期性。为了减弱这类高频振动引发的矢量偏移，同时避免过稳现象与欠稳现象的发生，本文主要采用式(7)中所示的滤波器进行高频噪声的滤除。与其他滤波器技术相比，本文所设计的滤波器利用了相邻帧间的全局运动矢量，同时也引入上一次自稳算法所采用的补偿运动矢量，因此使得最终的滤波结果更为平滑。进行完滤波操作后，按照仿射变换原理进行图像补偿向量的计算，如式(8)。若不考虑缩放则可直接按照下式进行补偿运动向量的计算，如式(9)。

$$CMV(t) = \alpha CMV(t-1) + \beta GMV(t) + (1-\beta) GMV(t-1) \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中  $CMV(t)$  为  $t$  时刻的补偿运动向量， $GMV(t)$  为  $t$  时刻的全局运动向量， $\alpha$ 、 $\beta$  为权重参数，且有  $\alpha \in [0, 1]$  及  $\beta \in [0, 1]$ 。 $(x_0, y_0)$  与  $(x_1, y_1)$  分别为前一帧与当前帧对应像素点间的坐标， $c_1$ 、 $c_2$  为平移量， $a_1$ 、 $a_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  为图像的旋转与缩放变量。

### 4. 仿真结果及分析

本文仿真试验的仿真平台如图 3 中所示。本实验机器人主要由三部分组成：(1)两自由度云台相机系统，其功能是完成图像的采集与相机旋转的硬件控制功能；(2)步进电机移动车体系统，其功能是模拟车载情况下的运动状态；(3)数据处理单元，主要完成对采集到的图像的实时处理、云台与车体运动行为的软件控制等功能。整个车体的运动速度控制在 0.1~0.2 米每秒之间，云台的转动速度约为每秒 6~7 度之间。

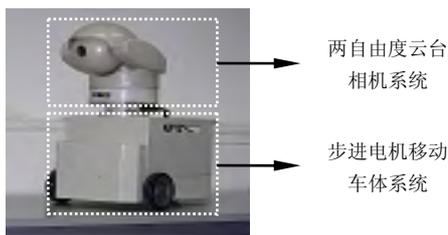


图 3. 仿真平台

本文图像自稳算法的仿真工作是在主频为 2.26.GHz、内存为 1G、操作系统为 WindowXP 的便携式工作站级笔记本电脑上完成。算法的实现采用 VC 语言进行仿真，其中一些底层基本的功能是通过加载及调用 OpenCV 库函数来实现。

文中算法的验证结果如图 4 中所示。图 4-I 为采集到的一帧原始图样；图中黄色的矩形区域为按照灰度及纹理信息的大小取定的待匹配的四块图像区域，区域的大小为 15×15，区域搜索的范围为±10 个像素，四块区域的灰度方差、纹理熵值以及特征量的大小见表 1 中所示；图 4-II 为垂直方向的运动向量滤波前与滤波后的曲线 ( $\alpha=0.5, \beta=0.6$ ) 比较结果，其中较细的线条为原始的运动矢量的记录，较粗的线则是滤波后的矢量记录结果。从滤波曲线可见：本文的振动滤波滤波器利用了相邻帧间的全局运动矢量的计算值，并且也考虑了前一次稳像时的补偿运动向量，因此能够较为理想的获得平滑的滤波结果。

图 4 中四个采样子块的数字特征值如表 1 中所示。表 1 中主要记录了原始图像中的四个采样区域的灰度及纹理特征的计算结果、LMV 的计算结果以及按照加权算术平均方法估计的全局运动矢量的计算结果。其中 GMV 的估计是按照 LMV 与权重加权求算术平均计算所得。表 1 中的“特征量”由灰度方差、0°纹理熵值与 90°纹理熵值加权计算而得：特征量=权重

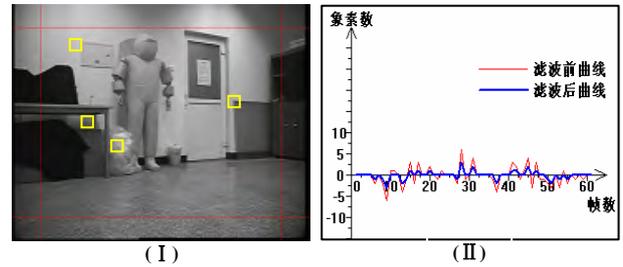


图 4. 仿真结果

1×归一化灰度方差+权重 2×归一化 0°纹理熵+权重 3×归一化 90°纹理熵。此处三个权重分别可取为 0.4, 0.3, 0.3。

由于“特征量”值相差不大，因此估计 GMV 时的权重取为相等的值。从结果看出全局运动矢量主要发生在垂直方向上且其位移偏移量为一个像素大小，这与试验设定的结果是一致的。最终，从表 1 的计算结果中可见：本文所采用的算法计算较为简单，直接利用了图像的灰度信息，因此能够客观的评价某一区域作为运动矢量估计区域的可靠程度；同时采用加权算术平均的计算方法估计全局运动矢量，有效的降低了 LMV 计算误差的影响，因此便于获得较为平稳的 GMV 运算结果。

表 1. 采样区域的特征值及运动矢量

样 例	方差	0°纹 理熵 值	90°纹 理熵 值	特 征 量	排 序	LMV	权 重	GMV
(a)	1120	10229	10448	0.99	①	(-2,0)	0.25	
(b)	708	11263	11442	0.90	②	(0,1)	0.25	(0,-1)
(c)	622	10205	9887	0.79	③	(4,-4)	0.25	
(d)	463	10817	10340	0.77	④	(-2,1)	0.25	

### 4 结束语

本文介绍了一种在降质图像序列条件下的数字图像自稳算法。为了降低低质量图像条件下的运动矢量估计误差，本文采用了选择多个有效估计区域的方法分别计算各个区域的灰度统计特征及纹理统计量，确定了匹配可靠性较高的区域作为矢量估计区域，并最终采用计算加权算术均值的方法估计全局运动矢量。同时，本文还采用了改进的振动滤波器滤除了由振动引起的矢量偏移并获得了较为可靠的补偿矢量大小。本课题的研究为由于远程传输干扰或相机性能参数有限条件下的图像稳定问题提供了一条研究思路及方

法, 这对车载或机载系统的设计及应用都有一定的参考价值 and 借鉴意义。

## References (参考文献)

- [1] DONG Liyu, BU yanlong, DAI Bing. A Comment on the Developing of Electronic Digital Image Stabilization[J]. *Information Technology and Informatization*, 2004, 6, P17-20 (Ch).  
董立羽, 卜彦龙, 戴斌. 电子稳像技术发展评述[J]. 信息技术与信息化, 2004, 6, P17-20.
- [2] Sheng-Che Hsu, Sheng-Fu Liang and Chin-Teng Lin. A Robust Digital Image Stabilization Technique Based on Inverse Triangle Method and Background Detection[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2005, 51(2), P335-345.
- [3] ZHONG Ping, YU Qianyang, JIN Guang, et al. Research on Estimation Algorithm of Motion Vector of Dynamic Image Sequence [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(2), P219-255 (Ch).  
钟平, 于前洋, 金光, 王颖. 动态图像序列运动矢量估计算法的研究[J]. 光学技术, 2003, 29 (2), P219-225.
- [4] Filippo Vella, Alfio Castorina, Massimo Mancuso and Giuseppe Messina. Digital Image Stabilization by Adaptive Block Motion Vectors Filtering[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2002, 48(2), P796-801
- [5] ZHANG Min, ZHAO Meng, JIA Yunde, et al. Image Stabilization based on Adaptive Gaussian Mixture Model[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2004, 24(10), P897-900 (Ch).  
张敏, 赵猛, 贾云得, 王俊. 基于自适应高斯混合模型得图像稳定方法[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24 (10), P897-900.
- [6] ZHU Juanjuan, GUO Baolong, FENG Zongzhe, An Electronic Image Stabilization Method Based on Projection Algorithm[J]. *ACTA PHOTONICA SINICA*, 2005, 34(8), P1266-1269 (Ch).  
朱娟娟, 郭宝龙, 冯宗哲. 一种基于灰度投影算法得电子稳像方法[J]. 光子学报, 2005, 34 (8), P1266-1269.
- [7] ZHANG Bo, REN Guanghui, WU Zhilu, et al. Digital Image Stabilization based on Sub-Sampling and Bit Plane Matching[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, 32(2), P75-79(Ch).  
张博, 任广辉, 吴芝路, 张欣宇, 张勇. 采用下采样和位平面匹配的局部运动估计[J]. 光电工程, 2005, 32 (2), P75-79.
- [8] Sung-Jea Ko, Sung-Hee Lee and Kyung-Hoon Lee. Digital Image Stabilizing Algorithm Based on Bit-plane Matching[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1998, 44(3), P617~622
- [9] S. Ertürk and T. J. Dennis. Image Sequence Stabilization Based on DFT Filtering[J]. *IEE Image Signal Process*, 2000, 147(2), P 95-102.
- [10] LUO Shitu, WANG Yanling, ZHANG Qi, et al. Electronic Image Stabilizing Algorithm for Image Tracking System on Vehicle, *Optics and Precision Engineering*, 2005, 13(1), P95-103 (Ch).  
罗诗途, 王艳玲, 张玓, 罗飞路. 车载图像跟踪系统中电子稳像算法的研究[J]. 光学精密工程, 2005, 13 (1), P95-103.
- [11] Yu-Ming Liang, Hsiao-Rong Tyan, Hong-Yuan Mark Liao et al. Stabilizing Image Sequences Taken by the Camcorder Mounted on a Moving Vehicle[J]. *IEEE Intelligent Transportation Systems*, 2003, 1, P90-95.
- [12] Stefano Piva, Michela Zara, Gianluca Gera et al. Color-based Video Stabilization for Real-Time On-Board Object Detection on High-Speed Trains[C]. *IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, 2003, P299-304.