

文章编号:1672-3392(2009)04-0037-04

基于角点匹配的电子稳像算法*

姚 军 蒋晓瑜 杜登崇

(装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072)

摘要 提出了一种基于角点匹配的电子稳像算法。分析了 Harris 角点检测的原理。获得角点后, 根据相邻帧对应角点的坐标分布, 建立当前帧与参考帧的映射关系, 并运用仿射变换模型, 以最小二乘解的形式获得帧间全局运动估计矢量。最后, 采用 Kalman 滤波器对运动估计矢量作低通滤波, 平滑运动参数, 获得运动补偿矢量, 实现视频序列的实时稳像。实验表明该算法较好地去除了视频序列的高频抖动, 同时保留了摄像机的主动运动, 稳像后视频序列的峰值信噪比明显提高。

关键词 Harris 角点; Kalman 滤波; 全局运动估计; 电子稳像

中图分类号 TN941.4 **文献标识码** A

1 引言

电子稳像是利用计算机数字图像处理技术和电子技术的方法直接对随机运动或抖动的摄像机所获取的动态图像序列进行修改、重排, 确定图像序列的帧间偏移并进行补偿, 使动态图像在监视器上能平稳显示的一种视频稳定技术。与机械稳像和光学稳像相比, 电子稳像具有体积小、能耗低、使用方便、高智能化的特点。电子稳像技术自 20 世纪 80 年代提出以来, 美国、加拿大、俄罗斯、以色列和芬兰等发达国家对其进行了深入的研究, 并成功应用在车载、机载、船载的摄像系统中。在我国, 电子稳像的研究始于 20 世纪 90 年代, 并取得了一定的成果。电子稳像包括两大关键技术, 一是运动矢量检测, 二是运动补偿。运动检测的速度与精度将直接决定稳像的效果, 是稳像技术的核心。在已有的电子稳像方法中, 一方面由于检测算法复杂, 导致计算量大, 实时性难以满足; 另一方面, 现有的各种算法大多只是解决图像平移的问题, 例如块匹配、位平面匹配等算法, 而对平移加旋转的问题并没有较好的解决方法。针对这一问题, 本文提出了基于 Harris 角点匹配的电子稳像算法, 该算法较好地解决了旋转和平移情况下运动估计的问题, 且算法计算量小, 效率高, 适于实时处理。获得运动

估计矢量以后, 采用卡尔曼滤波器对估计矢量作低通滤波, 得到运动补偿矢量, 实现视频序列的实时稳像。

2 Harris 角点检测

角点检测在光流计算、运动估计、形状分析等领域都有重要的应用。目前角点检测分为两类: 一类是基于图像边缘信息的角点检测, 如基于小波变换模极大的角点检测^[3]; 另一类是基于图像灰度信息的角点检测, 包括 Moravec 算法^[4], Harris 算法^[5]等。其中 Harris 算法是在 Moravec 算法的基础上改进而来的, 具有旋转不变性, 定位精确, 稳定性好, 对边缘不敏感。

定义对称矩阵 M 如下:

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{其中, } \begin{cases} X = \partial I / \partial x \\ Y = \partial I / \partial y \\ A = X^2 \otimes w \\ B = Y^2 \otimes w \\ C = XY \otimes w \end{cases} \quad (2)$$

w 为高斯函数。则图像像素点的灰度强度变化函数 $E_{x,y}$ 表示为:

$$E_{x,y} = (x, y) M (x, y)^T \quad (3)$$

收稿日期 2008-11-17; 收到修改稿日期 2009-01-09

作者简介 姚军(1979—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为模式识别、电子稳像。通讯作者 蒋晓瑜(1967—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为图像处理、模式识别、电子稳像等。E-mail: xiaoyu.j@263.net

* 军队“十一五”预研(404010204)资助项目

设 α 与 β 分别为 \mathbf{M} 的特征值, \mathbf{P} 为正交矩阵, 则总有正交变换:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} r \\ t \end{bmatrix} \quad (4)$$

使得:

$$E_{x,y} = \alpha r^2 + \beta t^2 \quad (5)$$

由此可根据 α 与 β 来判别角点, 边缘和低频分布区域。通常采用式(6)来判断角点。

$$\begin{cases} \text{Tr}(\mathbf{M}) = \alpha + \beta = A + B \\ \text{Det}(\mathbf{M}) = \alpha\beta = AB - C^2 \\ R = \text{Det}(\mathbf{M}) - k \text{Tr}^2(\mathbf{M}) \end{cases} \quad (6)$$

若 R 为较大的正数, 则对应的像素点为角点, 由此结合阈值分类方法可以很好地提取图像中的角点。

下面是两帧图像采用 Harris 算法进行角点提取的结果, 图 1 与图 2 是原图, 图 3 与图 4 是放大的角点图。

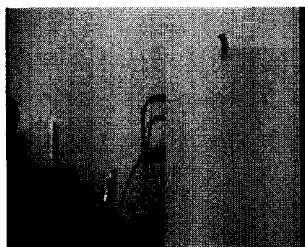


图 1 第一帧图像
Fig. 1 First frame

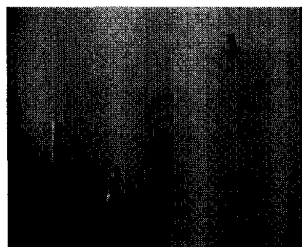


图 2 第二帧图像
Fig. 2 Second frame

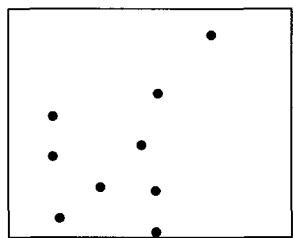


图 3 第一帧图像的角点
Fig. 3 Corners of the first frame

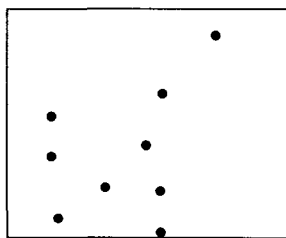


图 4 第二帧图像的角点
Fig. 4 Corners of the second frame

3 运动矢量估计

根据仿射式(7)

$$\begin{bmatrix} x_j \\ y_j \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

通过角点匹配, 建立参考帧与当前帧之间的映射方程。其中, (x_j, y_j) , (x_i, y_i) 分别是当前帧和参考帧对应的角点坐标, (b_1, b_2) 是二维平移量, k 是变焦系数, 描述缩放, $\begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$ 是正交的旋转矩阵, θ 描述图像的旋转变换。由于旋转和平移的图像中特征点之间的欧氏距离不变, 所以可以采用重心法计算变焦系数 k ^[6]。在求得变焦系数 k 后方程一共只有三个未知量, 而每一对匹配角点能够建立两个方程, 所以只要两对角点就能求出参数 $(a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ b_1 \ b_2)$ 。为了加强算

法的稳定性, 减少随机因素的影响, 这里采用 $N(N \geq 2)$ 对角点, 通过求解矛盾方程获得最小二乘解的形式得到全局运动估计矢量。

4 基于 Kalman 滤波的运动补偿

求得运动估计矢量后, 采用 Kalman 滤波器对其进行低通滤波, 滤除高频抖动, 实现视频稳像。这里假设摄像机的运动为匀速运动, 系统建模时速度变化 Δv 服从某种随机分布, 同时认为旋转角 θ 是一个随机变化的噪声, 服从高斯分布。另外在切向上由于相机的移动很少, 所以变焦系数小, 从精度出发, 采用重心法获得的变焦系数不宜再做滤波, 所以这里只对状态量 $(\theta, \Delta x, \Delta y)$ 进行 Kalman 滤波得到运动补偿矢量, 其中, $\theta, \Delta x, \Delta y$ 分别代表旋转角、 x 方向平移量、 y 方向平移量。根据前面假设, 状态空间模型可以表示为^[7]:

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \Delta x \\ \Delta v_x \\ \Delta y \\ \Delta v_y \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \Delta x \\ \Delta v_x \\ \Delta y \\ \Delta v_y \end{bmatrix}^k + \begin{bmatrix} N(0, \sigma_\theta) \\ 0 \\ N(0, \sigma_x) \\ 0 \\ N(0, \sigma_y) \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中, $\sigma_\theta, \sigma_x, \sigma_y$ 是相互独立的系统噪声, $N(0, \sigma)$ 表示高斯白噪声。以前面运动估计所得的 $(\theta, \Delta x, \Delta y)$ 为量测值, 建立量测方程:

$$\begin{bmatrix} \theta \\ \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} \theta \\ \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}^k + \begin{bmatrix} N(0, \sigma'_\theta) \\ N(0, \sigma'_x) \\ N(0, \sigma'_y) \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中, $\sigma'_\theta, \sigma'_x, \sigma'_y$ 是相互独立的观测噪声。

5 实验结果与分析

在 PC 机上对分辨率为 320×240 的 80 帧图像序列使用 Kalman 滤波算法进行滤波实验, 使用的软件为 Matlab6. 5。实验中初始状态为 0, 起始估计误差协方差为 1。取 $\sigma_\theta, \sigma_x, \sigma_y$ 分别为 5, 20, 20, 观测噪声 $\sigma'_\theta, \sigma'_x, \sigma'_y$ 分别为 0.001, 0.01, 0.01。图 5、图 6 与图 7 分别为 θ 的量测及滤波结果、 Δx 的量测及滤波结果、 Δy 的量测及滤波结果。

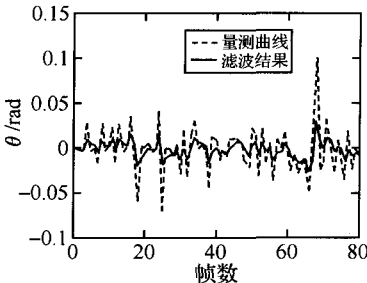


图 5 θ 的量测及滤波结果

Fig. 5 Measured curve and filtered result for θ

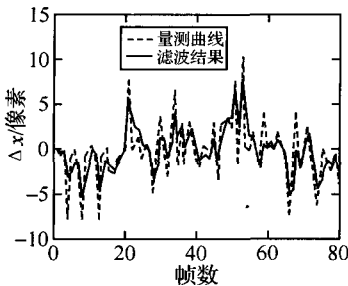


图 6 Δx 的量测及滤波结果

Fig. 6 Measured curve and filtered result for Δx

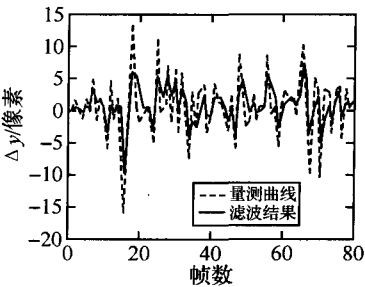


图 7 Δy 的量测及滤波结果

Fig. 7 Measured curve and filtered result for Δy

图 8 是峰值信噪比 (PSNR) 曲线, PSNR 越大, 说明稳定后图像序列帧间偏差量越小, 稳定效果越好。图 9 为对图 1 变换后, 得到的补偿结果。其中运动估计矢量为: $[k=0.9810, \theta=-0.0044, b_1=-0.0725, b_2=2.9917]$, 运动补偿矢量为: $[k=0.9810, \theta=-0.0056, b_1=0.2533, b_2=3.2045]$, 所以采用的补偿数据为: $[k=0.9810, \theta=-0.0012, b_1=0.3258, b_2=0.2128]$ 。

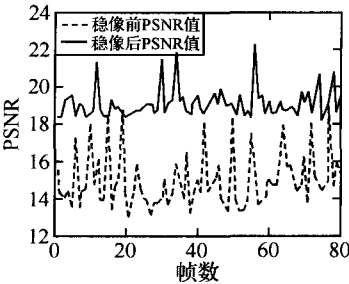


图 8 视频序列的 PSNR 曲线

Fig. 8 PSNR curve for video sequences

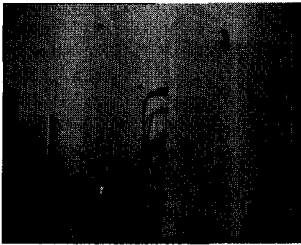


图 9 对图 1 的补偿结果

Fig. 9 Compensated result for fig. 1

6 结 论

本文采用 Harris 角点检测算法提取图像的角点特征建立视频序列的帧间联系来估计帧间相对运动, 并采用求矛盾方程组最小二乘解的形式获得运动估计矢量, 最后通过 Kalman 滤波器对运动估

计矢量低通滤波,得到运动补偿矢量,实现了实时稳像。稳像后视频序列的 PSNR 曲线大于稳像前,高频抖动明显改善,该方法具有计算量小,实时性好的优点。但在实验过程中对于场景复杂的画面存在稳定效果不好的现象,这说明仅仅依赖于角点作为视频序列帧间的约束条件是不够的,在实际电子稳像系统中应该提供更多其他约束,如光流约束、Laplacian 高频像素约束等。另外,由于 Kalman 是一种线性滤波器,并且要求噪声是高斯的,所以滤波时存在自适应性不强,精度不高的缺点,能否找到一种非线性滤波器,如粒子滤波器,对运动补偿精度的提高将有很大地影响。

参考文献

[1] 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): 351-357.

- [2] 杜登崇,蒋晓瑜,姚军. 基于霍夫变换和相位相关的电子稳像算法研究[J]. 光学与光电技术, 2008, 6 (6): 47-50.
- [3] S J Ko, S H Lee, K H Lee. Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1998, 44 (3): 7-622.
- [4] Lee J S, Sun Y N, Chen C H. Multiscale corner detection by using wavelet transform [J]. IEEE Trans. on Image Proc., 1995, 4 (1): 100-104.
- [5] Harris C, Satephens M J. A combined corner and edge detector [C]. In Alvey Vision Conference, Manchester, 1988: 147-152.
- [6] 钟平. 机载电子稳像技术研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003, 9.
- [7] 周启煌,单东升. 坦克火力控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997.

Electronic Image Stabilization Algorithm Based on Corners Matching

YAO Jun JIANG Xiao-yu DU Deng-chong

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

Abstract An electronic image stabilization algorithm based on corner matching is presented. First, Harris corner detection algorithm is analyzed and it is used to obtain corners of video frames. Then, the mapping relationship is built between frames on the basis of location of corners, and global motion vectors are acquired adopting least-squares solution in terms of affine transformation model. Last, the Kalman filter is employed to facilitate smooth operation as low-pass filter, motion compensated vectors between frames are acquired to smooth video sequence in real-time. Experimental results show the correct vectors of camera are reserved while dithers are eliminated, the peak signal-to-noise ratio of smoothed video is higher than that of the original video.

Key words Harris corners; Kalman filter; global motion estimation; electronic image stabilization

改善输出光束质量的环形凹面镜激光谐振腔的研究

本刊讯 武汉光电国家实验室工业激光器研究团队一直致力于高功率高光束质量激光器的研究,在新型谐振腔的研究中,获得授权发明专利3项,申请发明专利2项。该团队提出了一种新型激光谐振腔,即环形凹面镜激光谐振腔,该谐振腔由一个环形凹面反射镜和一个平面输出镜组成。理论模拟表明,菲涅尔系数为8.05的环形凹面镜激光谐振腔的输出光束 M^2 因子接近于菲涅尔系数为2.01的平凹稳定腔的输出光束 M^2 因子,环形凹面镜激光谐振腔的模体积为平凹稳定腔模体积的4倍。利用该谐振腔在高功率横流 CO_2 激光器进行了试验研究,输出光束为等相位面的环形光斑,即近场为环形分布,远场(聚焦处)为中央亮斑分布。相同光阑尺寸的平凹稳定腔和环形凹面腔对比研究表明,在激光功率没有明显降低的情况下,输出光束的 M^2 因子由平凹稳定腔的7.5提高了1.9。环形分布光束可以降低谐振腔镜片和外光路镜片的热畸变,对于高功率激光器的工业应用非常有意义。这种谐振腔结构简单,进一步解决其失调稳定性问题,将有助于该类谐振腔在多种工业激光器中获得应用。