

基于改进特征点的电子稳像算法研究

周 同, 邹丽新, 尤金正, 王海燕, 杜伟巍
(苏州大学 物理科学与技术学院, 江苏 苏州 215006)

摘 要: 提出了一种改进特征点匹配算法的电子稳像技术. 通过合理的区域划分, 进行图像的特征点提取, 并采用距离不变准则, 对特征点的有效性进行验证, 利用卡尔曼滤波的方法来进行运动补偿. 实验结果表明: 此算法具有良好的稳像效果.

关键词: 电子稳像; 特征提取; 区域分割; 特征匹配; 运动估计

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0126-04

Study on Improved Features Tracking Algorithm in Electronic Image Stabilization

ZHOU Tong, ZOU Li-xin, YOU Jin-zheng, WANG Hai-yan, DU Wei-wei

(School of Physics Science and Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)

Abstract: Presents an improved features tracking algorithm in electronic image stabilization. Through dividing image into many blocks in reason, the suitable feature points can be selected, propose the distance invariant criterion to check the feature matching, Kalman filter is applied to motion compensation to achieve the stability of the image sequence. The results of experiment show that this method has good performances in image stabilization.

Key words: electronic image stabilization; feature extraction; region segmentation; feature matching; motion estimation

1 引言

电子稳像是指利用电子设备和数字图像处理相结合的方法, 从输入的视频图像序列中去除因为摄像机的随机运动而引入的图像扰动, 使图像序列稳定的处理过程.

目前用电子稳像算法有多种, 其中典型的稳像算法有: 块匹配法 BMA^[1]、投影算法 PRA^[2-4]、位平面匹配法 BPM^[5]、特征量跟踪算法 FTA^[6]等. 特征点匹配算法实质是构造出某种相关运算机制, 得到电子稳像系统帧间运动向量, 然后进行运动补偿, 使两帧图像最大限度的重合, 此算法依赖于图像中的某些特征, 具有很高的精度.

2 基于特征点的电子稳像算法原理

基于特征点的匹配算法是在基于普通的块匹配

算法的基础上提出的, 由于全匹配搜索算法计算量大, 效率较低, 一般来说, 很难做到实时地稳像处理, 而特征点匹配算法是分别在参考图像和当前图像选取一些特征点, 然后对特征点进行相关匹配, 求运动向量. 这样既能提高系统的运算速度, 又能保证运动向量的检测精度, 其原理如图 1 所示.

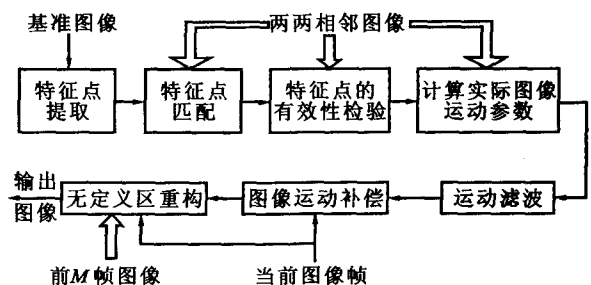


图 1 基于特征点电子稳像算法的原理图

收稿日期: 2009-02-03; 修回日期: 2009-05-10

基金项目: 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(06KJA14003)

3 改进的特征点稳像算法

传统的特征点稳像算法只能稳定图像序列的平移运动,在实际的动态视频图像序列中,往往还存在旋转运动.改进的特征点稳像算法提出采用分区的方法,然后把特征点代入给定的变换模型,即可求出包含旋转信息的全局运动向量,从而实现图像序列的平移和旋转运动的补偿.

3.1 图像区域的划分和代表点的选取

分别对参考图像和当前图像对应地分成若干子区域,当子区域划分较小时,可忽略旋转运动^[7],用代表点匹配算法能较精确地求出子区域水平和垂直方向的局部运动向量.

如何确定子区域的大小是一个非常重要的问题.一方面,各子区域不能太大,以保证同一区域内的图像点的运动具有一致性.另一方面,各区域的尺寸又不能太小,否则,区域划分过小,每个区域的图像特征不明显,用代表点匹配算法难以估计出运动向量.

对于不同的稳定对象,可先估计出图像序列帧间的最大旋转角度,并采用如下的方法来确定图像划分的最小区域数,使其在同一区域内的像素的运动具有一致性.

$$\begin{cases} x' = (x - x_0)\cos\theta - (y - y_0)\sin\theta + x_0 \\ y' = (x - x_0)\sin\theta + (y - y_0)\cos\theta + y_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, (x', y') 是 (x, y) 绕点 (x_0, y_0) 旋转 θ 角后的坐标位置.那么对于为 $M \times N$ 像素的图像,假设图像的最大旋转角度 θ ,并以图像中心作为旋转中心, (x_1, y_1) 是图像上离旋转中心最远的像素,代入上式得到坐标 (x'_1, y'_1) ,若存在一点 (x_2, y_2) ,代入上式,求得坐标为 (x'_2, y'_2) ,且满足:

$$\begin{cases} |x'_1 - x'_2 - \Delta x| = 1 + |x_1 - x_2| \\ |y'_1 - y'_2 - \Delta y| = 1 + |y_1 - y_2| \end{cases} \quad (2)$$

那么 (x'_1, y'_1) 和 (x'_2, y'_2) 就是图像点保持运动一致性的最大区域边缘坐标点.其中 $(\Delta x, \Delta y)$ 是移动旋转中心时产生的偏差量.

3.2 全局运动向量估计与运动补偿

文中采用 Similarity 模型来表示图像序列的帧间平移、旋转以及变焦运动^[8].定义如下:

$$\begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (3)$$

(x_{k-1}, y_{k-1}) 和 (x_k, y_k) 分别为第 $k-1$ 和 k 帧的图像坐标, $(\Delta x, \Delta y)$ 是在参考帧图像坐标系下所

测得平移向量, θ 为两帧图像的旋转角度, s 为变焦系数.

s 的计算比较简单,只要从两帧图像中给出一组匹配点, s 就能计算出来,与两帧图像的平移和旋转无关.

相邻两帧中,图像的旋转运动很小,一般小于 5 度,式(3)可不考虑三角函数的影响,而简化成线性形式,如式(4)所示,来求出平移和旋转系数.

$$\begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} 1 & -\theta \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ y_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (4)$$

通过将所求的 N 对匹配的特征点代入式(4)后,得到线性方程组,由于每一对特征点可得到两个方程,因此,线性系统有 $2N$ 个方程,3 个未知量 θ 、 Δx 、 Δy ,所以有:

$$\begin{bmatrix} x_{(k-1)i} \\ y_{(k-1)i} \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} 1 & -\theta \\ \theta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ki} \\ y_{ki} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $i = 1, 2, \dots, N$.

在这里, x_{ki}, y_{ki} 是第 k 帧图像第 i 个特征点的坐标,而 $x_{(k-1)i}, y_{(k-1)i}$ 是第 $k-1$ 帧图像第 i 个特征点的坐标.对式(5)进行展开并移项得:

$$\begin{cases} x_{(k-1)1} - sx_{k1} = -s\theta y_{k1} + \Delta x \\ y_{(k-1)1} - sy_{k1} = s\theta x_{k1} + \Delta y \\ x_{(k-1)2} - sx_{k2} = -s\theta y_{k2} + \Delta x \\ y_{(k-1)2} - sy_{k2} = s\theta x_{k2} + \Delta y \\ \vdots \\ x_{(k-1)N} - sx_{kN} = -s\theta y_{kN} + \Delta x \\ y_{(k-1)N} - sy_{kN} = s\theta x_{kN} + \Delta y \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{令: } B = \begin{bmatrix} x_{(k-1)1} - sx_{k1} \\ y_{(k-1)1} - sy_{k1} \\ \vdots \\ x_{(k-1)N} - sx_{kN} \\ y_{(k-1)N} - sy_{kN} \end{bmatrix};$$

$$A = \begin{bmatrix} -sy_{k1} & 1 & 0 \\ sx_{k1} & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -sy_{kN} & 1 & 0 \\ sx_{kN} & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} \theta \\ \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

则式(6)可表示为:

$$B = AX \quad (7)$$

该方程实际上一个实数域上的 $m \times n$ 阶线性方程组,这里 $m = 2N, n = 3$.方程组有解得充分必要条件是方程的系数矩阵的秩等于其增广矩阵的秩,即:

$$\text{rank}[A] = \text{rank}[A, B] \quad (8)$$

而在稳像系统中,所得的方程组很难满足上式的条件,因此,它没有通常意义上的解,该类方程组一般称为矛盾方程组(或叫超定方程组)。

对于矛盾方程组我们可以寻求其线性最小二乘解作为方程组的一个近似解。

根据上述方法所求出的全局运动向量,用均值滤波的方法来确定每一帧图像的运动补偿参数,如第 i 帧图像的变换参数可以表示为:

$$\begin{aligned}\Delta X_i &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_{i-[n-(N+1)/2]} - X_i \\ \Delta Y_i &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N Y_{i-[n-(N+1)/2]} - Y_i \\ \Delta \theta_i &= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \theta_{i-[n-(N+1)/2]} - \theta_i\end{aligned}\quad (9)$$

确定各帧图像的补偿参数后,采用卡尔曼滤波的方法确定运动补偿参数^[8],代入变换模型对图像进行变换,这样既能有效地保留摄像机的正常扫描运动,同时又能较好的实现图像序列稳定。

4 仿真实验与算法评价

4.1 仿真实验

实验选用一幅 707×532 的 8 位灰度图像进行仿真试验。实验中的图像序列由编程从该图产生,帧数为 20 帧,帧间偏移像素为整数个,最大偏移为 3,最大旋转角度为 3 度。图像序列的第一帧为剪取原始图像的中央部分产生,以后的每一帧为相对第一帧在 X 和 Y 方向上分别进行随机偏移后剪取产生。为了更好的模拟真实环境的影响,在实验前对每一帧图像都加了高斯噪声。图 2 显示了图像序列中的两帧图像。

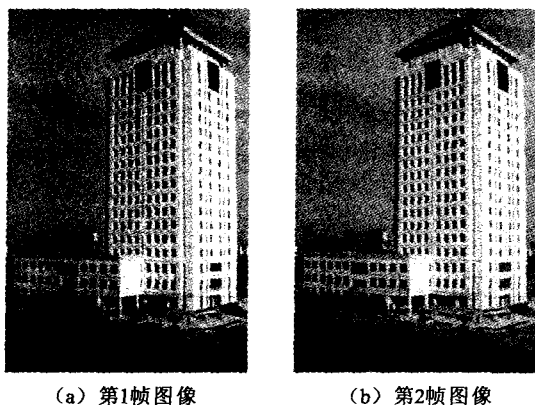


图 2 部分图像序列

由于图像的噪声很大,所以在进行电子稳像实验之前应对实验图像进行高斯滤波,高斯滤波后,便

开始进行本次课题所研究的基于改进特征点的稳像处理实验。实验中,在进行区域划分时,兼顾稳像的速度和精度要求,将图像序列中的各帧图像分成 12 个垂直的区域,选取灰度最大的点作为图像的特征点,共可选择 12 个特征点;根据距离不变准则对特征点校正,其中正确匹配的特征点对标记为黄色的“*”,误匹配的特征点对标记为红色的“+”,实验结果如图 3 所示^[9-10]。

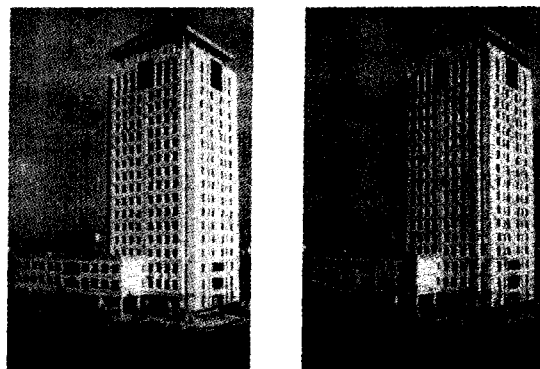


图 3 特征点匹配结果图

由于在实际应用中摄像机位移向量过大,超过一定阈值时,使得当前帧偏移参考帧太远,造成特征点无法匹配的情况,对此可采用如下改进方法:设置一个运动向量的阈值,一旦所检测的运动向量超过这个阈值时,即重新选择参考图像。

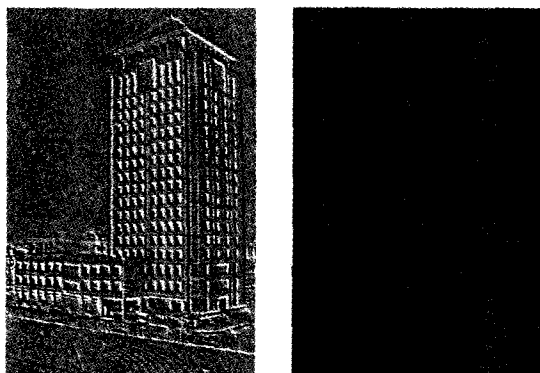
通过特征点匹配验证后,将误匹配点删除,留下正确匹配特征点,然后进入实际稳像中的关键环节,即运动向量估计和补偿阶段。利用二维运动模型求出运动参量,通过均值滤波,求出补偿参量,对当前帧进行补偿。

4.2 算法评价

目前常用的图像保真度的评价方法主要包括均方差 (MSE)、根均方差 (RMSE)、峰值信噪比 (PSNR) 及差影比较方法等。

图 4(a)、(b) 分别是图像序列中所选取的未经过补偿的第 4 帧图像与参考图像的差分图和经过补偿后的第 4 帧图像与参考图像的差分图。通过比较可以看出,该算法运动估计向量的效果较好。

图 5 是从图像处理前后的 PSNR 来表明的稳像效果。图中横坐标是图像序列的帧数,纵坐标是图像序列的 PSNR 值,图像下方的曲线是原始图像的 PSNR 值曲线,而上方的曲线是图像序列采用特征点匹配算法处理后得到的 PSNR 值曲线。



(a) 补偿前的差分图

(b) 补偿后的差分图

图4 算法仿真后的差分图

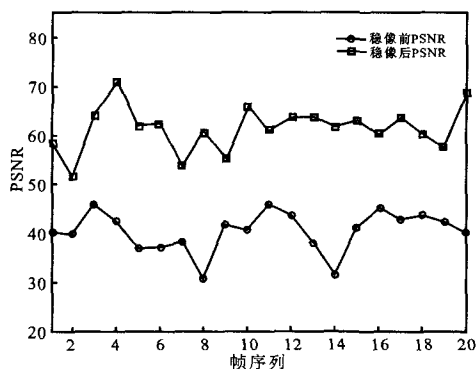


图5 图像处理前后的PSNR

5 结束语

文中提出了一种基于改进特征点的电子稳像算法,采用合理区域划分,进行图像的特征点提取,并对特征点的有效性进行验证,代入给定的变换模型,实现图像序列的平移和旋转运动的补偿.实验结果证明该算法具有较好的处理结果.

参考文献:

- [1] Vanne J, Hamalainen T D, Kuusilinna K. Aparallel memory system for variable block - size motionestimation algorithms[J]. Circuits and Systems for Video Technology,

2008,18(4):538 - 543.

- [2] Sun Hui. Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization[J]. Optics and Precision Engineering,2007,15(3):412 - 416.
- [3] 赵天云,郭雷,余博.基于灰度投影的快速电子稳像算法[J].微电子学与计算机,2008,25(11):233 - 236.
- [4] 张永祥,赵晓旭,张伟功,等.一种基于灰度投影的电子稳像改进算法[J].微电子学与计算机,2008,25(11):212 - 215.
- [5] Marius Tico, Markku Vehvilainen. Constraint motion filtering for video stabilization[C]// IEEE International Conference on Image Processing. Finland, 2005:569 - 572.
- [6] Yong Shan, Wang Runsheng. Improved algorithms for motion detection and tracking[J]. Optical Engineering, 2006,45(6):1 - 7.
- [7] JungYoup Suk,Gun - Woo Lee. New electronic digital image stabilization algorithm in wavelet transform domain [M]. LNCS,Heidelberg: Springer, 2005,PART II:911 - 916.
- [8] Erturk S. Digital image stabilization with sub image phase correlation based global motion estimation[J]. IEEE Trans. Consumer Electronics,2003,49(4):1320 - 1325.
- [9] Marius Tico, Markku Vehvilainen. Constraint motion filtering for video stabilization[C]// IEEE International Conference on Image Processing. Finland: Tampere, 2005: 569 - 572 .
- [10] Erturk S. Image sequence stabilization:motion vector integration (MVI) versus frame position smoothing (FPS) [C]// Proc of the 2nd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis. Croatia: Pula, 2001: 266 - 271.

作者简介:

周 同 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为图像处理、电子稳像.

邹丽新 男,(1950-),教授.研究方向为电子技术、计算机技术.