

# 基于改进 Canny 边缘检测算子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:** 针对特征点匹配电子稳像算法中提取的特征点容易受到噪声干扰的问题, 在研究传统的特征点匹配电子稳像算法的基础上, 提出了一种将改进的 Canny 边缘检测技术应用于电子稳像中的方法。利用改进的 Canny 算子对图像进行边缘检测, 并通过对边缘检测的图像进行合理分区, 在子区域内选择灰度最大边缘点作为特征点, 并采用距离不变准则对特征点的有效性进行验证, 建立二维运动模型进行全局运动估计, 以此确定仿射模型的运动参数; 最后利用卡尔曼滤波的方法来进行运动补偿, 从而达到输出稳定视频图像的目的。实验结果表明, 用这种方法提取的特征点具有良好的稳定性。

**关键词:** Canny 边缘检测; 特征提取; 区域分割; 特征匹配; 运动估计

**中图分类号:** TP391.4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2010)02-0506-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.02.028

## Research of electronic image stabilization algorithm based on improved Canny edge-detection operator

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

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

**Abstract:** In order to solve the problem that the feature points easily influenced by the noise, based on the research of the traditional features tracking algorithm, this paper proposed an improved method of Canny edge-detection algorithm for electronic image stabilization. The image edge was detected with improved Canny operator, through dividing edge detected image into many blocks in reason, the largest gray edge points could be selected as the feature points. Proposed the distance invariant criterion to check the feature matching, which could keep global coherence of all local motions and produce the global motion vector by establishing two-dimensional model of movement. Then the parameters of the affine model were calculated based on these points. Finally, Kalman filter was applied to motion compensation to achieve the stability of the video sequences. The results of experiment show that it has favorable stabilities using this algorithm.

**Key words:** Canny edge-detection; feature extraction; region segmentation; feature matching; motion estimation

随着摄像设备应用的日益广泛, 摄像平台变得越来越多样化。通过车载摄像系统、手持摄影设备、飞机或舰船摄影平台等得到的视频信号不仅包含了成像系统的主动运动, 同时也包含了摄像平台不规则的随机运动(如平移、旋转和变焦等运动)。由于这种随机运动的存在, 使得成像不稳定, 从而造成图像序列模糊和抖动, 同时也给有用信息的提取和应用带来困难。对于上述存在随机运动的摄像平台要在成像过程中进行图像的防抖处理, 即对随机运动或抖动的系统所获取的动态图像序列进行修改、重排, 使其在监视器的图像序列显示平稳。这种防抖动技术就叫做图像稳定技术(简称稳像)。目前稳像技术已经被广泛用于摄像机抖动的检测和消除、视频压缩、运动目标的检测和跟踪以及图像拼接等领域。相对于传统的机械稳像和光学稳像, 电子稳像具有易于操作、更精确、更灵活、体积小以及价格低、能耗小等特点。目前常用电子稳像算法有多种, 其典型的稳像算法有块匹配法 BMA<sup>[1]</sup>、投影算法 PRA<sup>[2]</sup>、位平面匹配法 BPM<sup>[3]</sup>、特征量跟踪算法 FTA<sup>[4]</sup>等。

针对图像旋转、平移、缩放等情况下的电子稳像问题, 本文采用特征点匹配算法来实现帧间运动向量的补偿。特征点匹配的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地重合, 此算法实现的关键是对特征点的提取。本文提出一种将改进的 Canny 边缘检测算子应用于特征点提取的算法, 此算法极大地抑制了图像噪声对特征点提取的干扰, 从而使提取的特征点具有良好的稳定性。

## 1 基于改进 Canny 算子的电子稳像算法

### 1.1 算法结构

本文算法仍然采用传统电子稳像算法的通用结构, 其原理如图 1 所示。该算法具体实现步骤如下:

a) 对参考图像(指初始图像序列中的第一帧)进行特征点提取。

b) 依次对后续图像进行特征点跟踪, 即对两两相邻图像进行特征匹配。

c) 为了尽可能消除各种干扰对稳像效果的影响, 对匹配特征对进行有效性检验, 当有效特征的数目过少时(小于一定阈值), 将当前图像作为基准图像重新提取特征。

d) 根据有效的匹配特征点对, 计算相邻图像帧间的实际

收稿日期: 2009-05-23 修回日期: 2009-08-07 基金项目: 江苏省高校自然科学基金基础研究项目(06KJA14003)

作者简介: 周同(1985-), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要研究方向为自动化技术、电子稳像(zhoutong.530@163.com); 邹丽新(1950-), 男, 江苏苏州人, 主要研究方向为电子技术、计算机技术。

运动模型参数。

e) 对实际运动参数进行滤波,从而估计出有意运动模型参数。

f) 根据实际运动参数和有意运动参数,利用仿射运动模型对当前图像进行变换,实现图像的运动补偿,并利用之前  $M$  帧图像的信息重构当前无定义区。

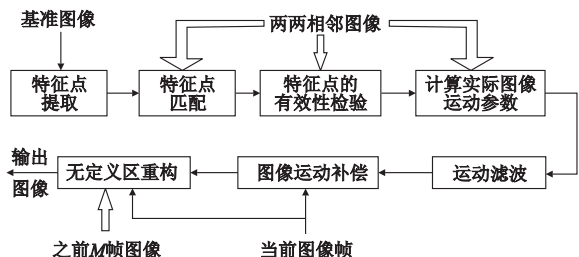


图1 基于特征点电子稳像算法的原理图

### 1.2 基于改进 Canny 边缘检测算子的特征点提取

#### 1.2.1 改进的 Canny 边缘检测算子

对一幅图像进行边缘检测,一般可分为三步:滤波、增强和检测。Canny 算法也是一个具有类似步骤的多阶段的优化算法<sup>[5]</sup>。Canny 给出的评价边缘检测性能的三个指标如下:

a) 高信噪比准则。输出信号的信噪比大,则非边缘点判断为边缘点或边缘点判断为非边缘点的概率就小,即误检率最低。信噪比(SNR)的数学表达式为

$$SNR = 1 / \int_{-\omega}^{\omega} G(-x)f(x)dx / [\sigma \sqrt{\int_{-\omega}^{\omega} f^2(x)dx}] \quad (1)$$

其中: $f(x)$ 是边界为 $[-\omega, \omega]$ 的滤波器脉冲响应; $G(-x)$ 为边缘函数; $\sigma$ 为高斯噪声的均方根。

b) 高定位精度准则。检出的边缘点与实际边缘点距离最小,使定位精度最高。定位精度的数学表达式为

$$localization = 1 / \int_{-\omega}^{\omega} G'(-x)f'(x)dx / [\sigma \sqrt{\int_{-\omega}^{\omega} f'^2(x)dx}] \quad (2)$$

其中: $G'(-x)$ 和 $f'(x)$ 分别为 $G(-x)$ 和 $f(x)$ 的一阶导数。Localization 的值越大,定位精度越高。

c) 单一边缘响应准则。即与每个边缘有且只有一个响应,最大限度抑制伪边缘出现。要保证单一边缘响应,检测算子脉冲响应导数的零交叉点平均距离应满足:

$$D(f) = \pi \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} f^2(x)dx / \int_{-\infty}^{\infty} f'^2(x)dx} \quad (3)$$

基于以上三条判断准则,可以利用变分法求出这个带有约束的泛函最优化问题的解,这个问题的解可以由高斯函数的一阶导数去逼近。高斯函数的表达式为

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

利用 Canny 算子进行图像的边缘提取,具体的实现流程如图 2 所示。

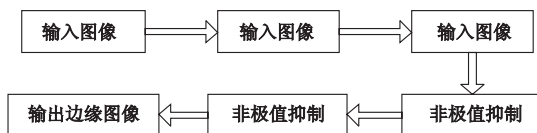


图2 Canny算子流程图

通常,在利用边缘检测算子提取图像边缘时,不仅要考虑边缘线的粗细,还要考虑图像边缘的连续性。而图像边缘连续性在电子稳像技术中并没有很高要求,因此在实验中,对 Canny 边缘检测算子作了如下改进:a) 由于不是特别强调图像边缘的连续性,为了节省计算时间,在平滑滤波阶段采用普通的高斯滤波器而没有采用改进的 Worthington 方法;b) 在双阈值

选取的过程中,通过非极大值抑制中的像素梯度统计直方图得到高阈值,大于高阈值的点选做边缘点。在低于高阈值的点中,为判断像素点是否为边缘点设置两个条件:必须与边缘点相邻;这个像素本身也应该有较高的梯度值,这样,应该再选择一个次高阈值来判断像素点是否是边缘点。判断像素是否是边缘点的具体方法如下:选择一个高阈值点,在这个点的 $3 \times 3$ 像素的邻域内,如果邻域内有次高阈值点,则此点为边缘点;再以此点为中心重复前面的步骤,将边缘点相连。通过这种做法提取的图像边缘较细,为后面特征点的获取提供了有利条件。

#### 1.2.2 基于改进 Canny 边缘检测算子的特征点提取原理

在基于特征点提取的电子稳像过程中,特征点的提取将大大影响整个匹配的速度和准确度,因此,特征点的提取对于整个电子稳像过程是非常重要的。对于既有平移又有旋转的运动图像,根据图像特征点获得运动信息是一种常用的方法,这种方法对特征点的稳定性有较高要求。但是提取的特征点很容易受到图像中各种噪声的干扰而使误匹配的现象发生,严重影响了全局运动向量的估计精度。将 Canny 边缘检测技术应用于电子稳像技术中,用它提取图像边缘,图像的边缘点保持其原有的灰度值不变,非边缘点对灰度值清零。这样,图像中噪声信号对特征点提取的干扰就被大大减弱了。然后根据图像特征点对图像进行合理分区<sup>[6]</sup>,在每一个子区域内找到图像边缘灰度最大的点作为特征点,最后再利用距离不变准则对特征点进行有效性检测,提取有效的特征点,删除误匹配特征点。其特征点提取过程如图 3 所示。

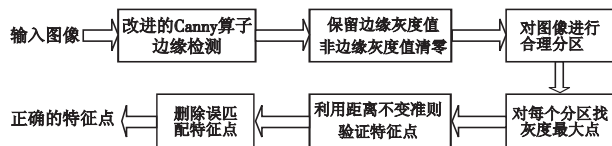


图3 基于改进Canny边缘检测算子的特征点提取过程

### 1.3 全局运动向量估计与运动补偿

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<sup>[7]</sup>。定义如下:

$$\begin{pmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (5)$$

其中: $(x_{k-1}, y_{k-1})$ 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的平移向量; $\theta$ 为两帧图像的旋转角度; $s$ 为变焦系数。其中  $s$  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。

当摄像系统帧率大于 15 fps 时,相邻两帧中,图像的旋转运动一般小于  $5^\circ$ 。式(5)可不考虑三角函数的影响,而简化成线性形式,如式(6)所示,以求出平移和旋转系数。

$$\begin{pmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{pmatrix} = s \begin{pmatrix} 1 & -\theta \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} \quad (6)$$

由式(6)可得该方程有三个未知量,因此,只要给定两帧图像之间一组(大于 3 对)匹配点对,就可以求出式(6)的最小二乘解。这种模型形式简单,求解稳定,在许多场景中得到应用。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<sup>[3,8,9]</sup>,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,同时又能较好地实现图像序列稳定。

## 2 仿真实验与算法评价

### 2.1 仿真实验

实验中的图像序列由截取视频捕捉设备输出的 20 帧图像组成,视频捕捉设备选用天敏 10Moons SDK-2000 视频监控卡,以 30 fps 的帧率采集 360 × 450 的真彩色图像。为了更好地模拟实际振动,摄像机被安放在一个抖动平台上,该平台可以实现水平和垂直方向 3 Hz 的振动,水平振幅 1 mm,垂直振幅 3 mm。为了方便对图像进行处理,首先把截取的真彩图像转换为灰度图像。图 4 显示了图像序列中的两帧图像。其中第一帧作为参考图像,第二帧相对于第一帧图像存在水平和垂直方向上的抖动。

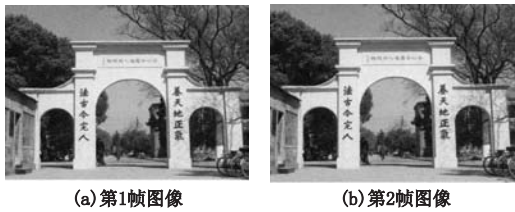


图 4 部分图像序列

实验中,首先对图像序列利用改进的 Canny 算子进行边缘检测,检测到的边缘部分保留其灰度值,对非边缘部分将灰度值清零,然后对图像进行区域划分;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 15 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 15 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“\*”,误匹配的特征点对标记为“+”,实验结果如图 5 所示。

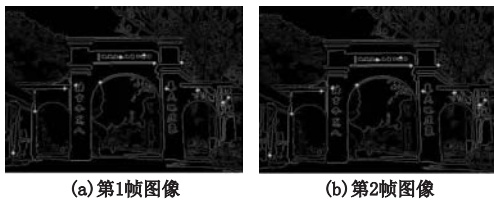


图 5 特征点匹配结果图

由图 5 可以看出,误匹配的特征点只有两个,特征点提取正确率为 86.7%。相比较其他的特征点提取方法,该算法可以较好地去除图像噪声对提取特征点的干扰,具有较高的提取效率和精度。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,随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,通过卡尔曼滤波求出补偿参量,对当前帧进行补偿,补偿后的结果如图 6 所示。

### 2.2 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 7 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。由于摄像机的运动,图像边缘信息会有损失,故而此处计算的峰值信噪比是在剪切边缘处理后的图像之间进行的。由图 7 可以看出,采用本文稳像算法后的图像 PSNR 值较稳像前有了明显的提高,稳像后的图像序列有了更高的稳定性。

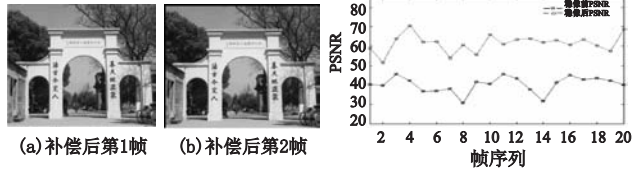


图 6 部分图像序列平移补偿结果

图 7 图像处理前后的 PSNR

图 8(a) 和(b) 分别是图像序列中所选取的未经过补偿的第四帧图像与参考图像的差分图和经过补偿后的第四帧图像与参考图像的差分图。当两帧之间的运动矢量被完全补偿时,它们的差值图像各点像素灰度值应为零,差值越小说明两帧图像越相似,对应图像序列逼真度也就越高,结果序列也就越稳定。通过比较参考图像与当前图像及参考图像与补偿后的图像的差分图,可以看出该算法具有良好的稳像效果。

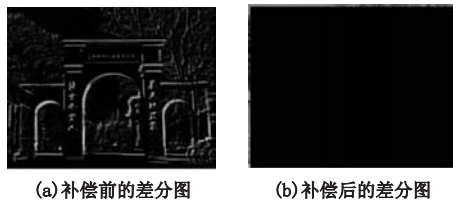


图 8 算法仿真后的差分图

## 3 结束语

本文将改进的 Canny 边缘检测算子用于数字电子稳像技术中,通过对图像进行合理分区,在子区域内选择噪声影响较小的灰度最大边缘点作为特征点。相比较其他的特征点提取方法,改进的 Canny 边缘检测算子能提取较细的图像边缘,使得特征点的稳定性有了很大的提高。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. A parallel memory system for variable block-size motion estimation algorithms [J]. Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18 (4): 538-543.
- [2] SUN H. Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15 (3): 412-416.
- [3] MARIUS T, MARKKU V. Constraint motion filtering for video stabilization [C] // Proc of IEEE International Conference on Image Processing. 2005: 569-572.
- [4] YONG S, WANG R S. Improved algorithms for motion detection and tracking [J]. Optical Engineering, 2006, 45 (6): 1-7.
- [5] BAO P, ZHANG L. Canny edge detection enhancement by scale multiplication [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27 (9): 1485-1490.
- [6] SUK J Y, LEE G W, LEE K I. New electronic digital image stabilization algorithm in wavelet transform domain [C] // Proc of International Conference on Computational Intelligence and Security. 2005: 911-916.
- [7] ERTURK S. Digital image stabilization with sub-image phase correlation based global motion estimation [J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2003, 49 (4): 1320-1325.
- [8] 孟勃, 朱明. 粒子滤波算法在非线性目标跟踪系统中的应用 [J]. 光学精密工程, 2007, 15 (9): 1421-1426.
- [9] 赵鹏, 沈灵芝, 单宝堂. 一种基于粒子滤波的无人机电视导引系统目标跟踪算法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16 (1): 134-140.