

用于实时数字稳像的灰度投影算法研究*

汪小勇 李 奇 徐之海 冯华君 陈跃庭

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 基于灰度投影算法构建了一个实时数字图像稳定系统, 阐述了灰度投影算法应用于数字稳像的基本问题. 深入分析和研究了算法在稳像系统中的中值滤波、区域选择、参考帧选择等优化问题. 该系统的硬件由振动平台、光学镜头、CCD、图像采集卡和计算机构成; 软件编程基于 DirectShow 平台, 通过 Visual C++ 实现. 通过对稳像试验结果的定量评价与分析表明, 该灰度投影稳像算法具有简捷、快速、准确的特征, 是实现摄像机实时数字稳像的一种切实可行的方法.

关键词 稳像系统; 灰度投影算法; 实时图像处理; 中值滤波

中图分类号 TN942.2 **文献标识码** A

0 引言

随着数字摄像技术的普及, 通过软件对采集到的数字图像进行处理, 使图像在显示器上能够稳定显示的数字稳像技术越来越受到关注^[1]. 目前实现稳像的算法有很多种, 例如块匹配法^[2]、位平面匹配法^[3]、特征点匹配法^[4]等等. 块匹配法和位平面匹配法都需要大量的计算时间, 因此占用系统资源大, 并可能导致较长的时间延迟. 特征点匹配法简单、计算量小, 但由于代表点是由坐标确定的, 因此对图像变化不敏感, 图像对比度不明显时, 准确度将受到很大的影响. 本文所研究的基于灰度投影的数字稳像算法在计算量较小的同时保持较高的准确度, 能够满足实时稳像系统的需要.

本文基于灰度投影算法构建了一个实时数字图像稳定系统, 并深入分析和研究了算法在稳像系统中的中值滤波、区域选择、参考帧选择等优化问题. 该系统的硬件由振动平台、光学镜头、CCD、图像采集卡和计算机构成; 软件编程基于 DirectShow 平台, 通过 Visual C++ 实现.

1 算法基本原理

数字稳像技术应用领域涉及到医疗图像诊断、地理图像分析、气象图像分析、遥感图像融合和分析、机器人及智能系统、军事目标瞄准和锁定等, 其技术手段随应用领域的不同而不同, 但大体上可分为以下几个步骤:

首先, 进行图像采集. 将摄像机获得的模拟视频信号进行 A/D 转换和信号分离, 获得目标 BMP

格式的数字图像数据点阵列.

其次, 获取运动矢量. 将当前帧图像和参考帧图像进行比较, 计算出当前帧图像的偏移量, 即运动矢量. 不同稳像算法求取运动矢量的方法也不同, 本文要研究的灰度投影算法是利用图像灰度分布变化的特点得到图像帧间运动矢量的. 灰度投影算法可分解成三个重要的步骤^[5]: 图像映射、投影滤波和相关计算.

1.1 图像映射

对于输入的图像序列中的每一帧图像经过适当的剪切处理后, 将其灰度值映射成 2 个独立的一维波形, 投影方法可表示为^[5]

$$G_k(i) = \sum_j G_k(i, j) \quad (1)$$

$$G_k(j) = \sum_i G_k(i, j) \quad (2)$$

式中 $G_k(i)$ 是 k 帧图像第 i 行的灰度值; $G_k(j)$ 是第 k 帧图像第 j 列的灰度值; $G_k(i, j)$ 是第 k 帧图像上 (i, j) 位置处的像素的灰度值.

行灰度投影和列灰度投影非常类似, 文中以后提到投影, 只分析列投影.

1.2 投影滤波

图像有移动时, 图像的边缘信息也发生变化, 因此导致投影波形在边缘处差异较大. 通过滤波器进行滤波, 可去除图像边界信息的波形而完全地保留中心区域的波段, 从而减小了边界信息对互相关峰值形成的不利影响.

1.3 相关计算

将第 k 帧图像的列投影与参考帧图像的投影波形做相关计算, 相关值曲线中有唯一的峰值即为补偿图像的列向位移值.

进行相关运算的计算公式为

$$C(w) = \sum_{j=1}^d [G_k(j+w) - G_r(m+j+1)]^2 \quad (1 \leq w \leq 2m+1) \quad (3)$$

式中 $G_k(j)$ 和 $G_r(j)$ 分别为第 k 帧和参考帧的第 j

*浙江省教育厅科研项目(20051007)、浙江大学光学仪器国家重点实验室开放课题(LMOI-0401)和嘉兴市科技计划资助(No. 20043009)

Tel: 0571-87953043 Email: Honestkaixin@sohu.com

收稿日期: 2005-04-22

列灰度投影值, cl 为列的长度, m 为位移矢量相对于参考帧在一侧的搜索宽度, w 在 1 到 $2m+1$ 之间取值. 设 $w=W_{\min}$ 时, $C(w)$ 为最小值, 则第 k 帧图像相对于参考帧图像在垂直方向的位移矢量为

$$\delta_y = m + 1 - W_{\min} \quad (4)$$

δ_y 为正时表明当前帧相对参考帧向上运动了 $|\delta_y|$ 像素, 负时则表明向下运动了 $|\delta_y|$ 像素. 同样的方法可求得水平方向的位移矢量. 得到了水平和垂直方向的位移矢量后, 就可以把当前图像向位移矢量的反方向运动相应大小的像素距离, 从而实现图像序列的稳定.

图像补偿与显示. 利用前面获得的图像序列之间的运动矢量, 纠正当前图像, 使其恢复到正确的位置, 获得相对稳定的图像序列, 然后送到相应的显示装置或存储介质.

2 算法程序的优化

2.1 中值滤波

图像的采集与处理准确度受到多种因素的影响, 如 CCD 的空间分辨率、量化误差、系统噪音、A/D 转换准确度、摄像机振动等, 这些噪音直接影响到图像序列的处理和电子稳像系统的性能. 在对图像完成采集并输出为位图后, 在下一步的运动估计与运动补偿等稳像操作前, 先需要将图像噪音做滤波去噪操作.

本实验中选用的滤波器为中值滤波器. 中值滤波器是一种非线性的空间滤波器. 它一般采用一个含有奇数个点的滑动窗口, 用窗口中各点像素值的中值来替代指定点的像素值. 对于奇数个元素, 中值是指按大小排序后, 中间的数值; 对于偶数个元素, 中值是指排序后中间两个元素灰度值的平均值. 中值滤波器需要在待处理图像中逐点地移动掩模板, 直至对每一个像素点都完成中值滤波操作. 可以看出, 中值滤波器的主要功能是使拥有不同灰度的点看起来更接近于它的邻近值, 去除了那些相对于其邻域像素更亮或更暗的孤立像素集, 从而消除了孤立的噪音点.

2.2 投影区域的选择策略

投影区域大小的选取是投影拟合算法的关键之一. 一方面, 区域应足够小, 以保证区域内图像点的运动具有一致性, 以忽略图像旋转造成对计算运动量的影响; 区域小还具有减少计算量, 增加计算速度的优势. 另一方面, 区域的尺寸要足够大, 否则区域内的图像灰度变化等级减小, 相关运算时得到的相关量不足以反映实际图像的相关程度. 本试验中, 针对 640×576 的图像, 选取的投影区域是中间的

480×360 . 试验结果表明, 这样的选择策略兼顾了稳像的速度和准确度.

以上的讨论是针对灰度比较均匀分布的画面, 如果图像有明显的孤立目标或者灰度变化较大的区域, 在选取投影区域时, 应尽量包含这些目标和区域.

2.3 参考帧的选择策略

稳像中, 参考帧的选择很重要, 特别在实时稳像系统中. 如果一直以第一帧为参考帧, 那么很有可能的情况是, 摄像机偏离了原来的位置在振动, 导致当前帧和参考帧的运动矢量每次都很大, 计算量大, 稳像准确度降低等等. 如果每一帧都以前一帧为参考帧, 那么计算量增加了很多. 其次可能出现的情况是某一帧时, 摄像机抖动特别明显, 那么无论怎么稳像都不能起到好的效果, 这是因为参考帧偏离太多. 针对这些情况, 试验中策略是, 每隔 5 帧换一次参考帧, 如果第 5 帧运动矢量太多, 偏离了太多, 则取下一帧. 这样的选择也是兼顾了稳像的速度和准确度.

2.4 消除稳像目标中运动物体的影响

实际稳像过程中, 目标区域中常常还包含运动物体, 它会和摄影系统的随机振动合成后反映在所获图像序列的图像信息上. 由于灰度投影算法是直接获取图像序列每帧的像面信息来确定帧间的运动矢量, 因此该算法所估计的实际运动矢量的合成. 为了提高电子稳像准确度, 必须探测出物体的运动, 才能分离出图像序列帧间稳像所需有效运动矢量. 解决这个问题, 一个较好的办法是将图像分区, 对各子区域分别用投影算法求出其局部运动矢量, 根据局部运动矢量可判断出图像序列中的运动小物体. 如图 1 中, 矢量 V_2 可能是由于运动物体的存在, 而使其与其他子区域的运动矢量不太一样.

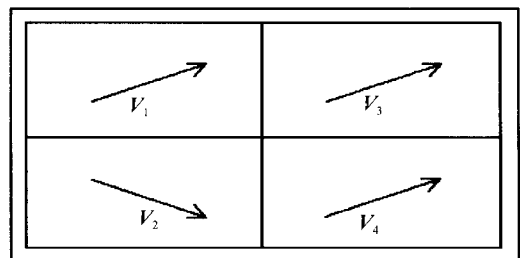


图 1 随机振动和运动物体的运动矢量

Fig. 1 Motion vector due to moving target or vibration

如何确定所分区的大小是一个重要的问题. 如果区域划分越多, 理论上说更能准确地确定运动物体的运动范围; 但区域小, 区域内所包含的信息少, 投影曲线的变化不丰富, 投影匹配准确度将降低. 考虑到实际应用, 对于 640×576 分辨率的 CCD, 把 1 幅图像均匀地分成 4 个区域, 如图 2, 可以较好地满足稳像系统的要求.

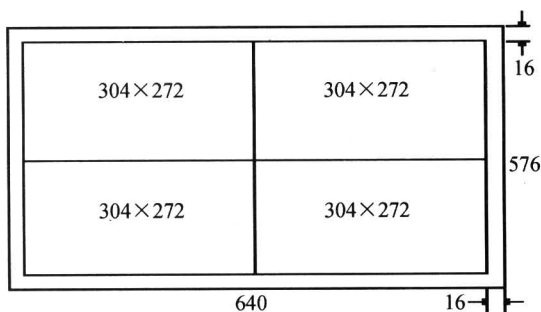


图 2 灰度投影算法的分区方法
Fig. 2 Illustration of the division for projection algorithm

3 稳像系统的架构

本文的稳像系统的架构如图 3. 光学镜头的作用为调焦; CCD 将目标图像的光信息转换为电信号; 图像采集卡把电信号数字化以后通过 USB 口传给计算机; 计算机中的软件编程部分, 由基于

DirectShow 平台的 Visual C++ 实现, 它的功能是将图像滤波、转化为灰度图像、计算行和列投影值、用互相关法计算出位移矢量、利用位移矢量重新绘图、在显示器上连续显示等.

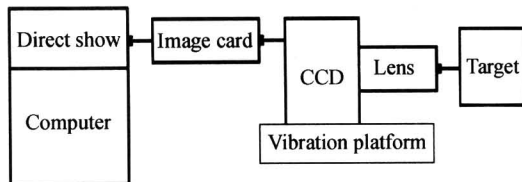


图 3 稳像系统的架构
Fig. 3 Configuration of image stabilization system

4 试验结果与稳像效果分析

图 4 是连续 6 帧实际振动中的图像, 可以看出图像有明显的位移. 而图 5 的图像则是通过系统处理后在显示器上看到的连续图像, 基本没有位移.

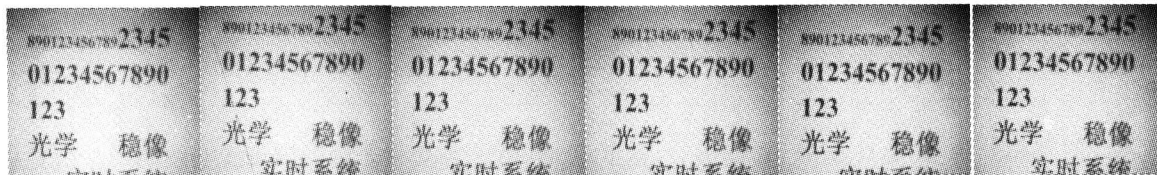


图 4 稳像前的连续 6 帧图像
Fig. 4 Six continuous pictures before processing

图 5 中图像的有效像素比原来少了, 周围一圈都用白点代替. 这是由于稳像系统计算出运动位移后, 需要移动实际的图像, 会造成有些地方没有图

像, 而有些地方图像显示不了. 在这里, 采取牺牲一部分像素的方法, 保持了视觉的一致性和稳定性.

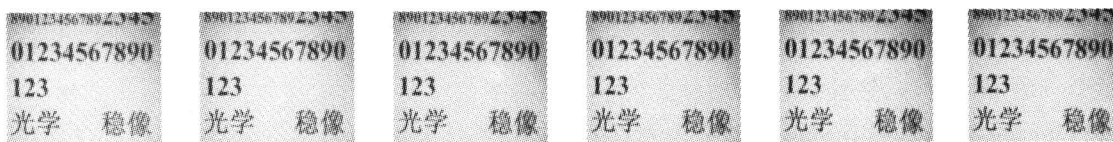


图 5 稳像后的连续 6 帧图像
Fig. 5 Six continuous pictures after processing

(Root Mean Square Error), 作为衡量稳像算法性能指标之一, 主要体现两帧相应坐标点上图像灰度值的差别或相关性, 一定程度上可以衡量两帧图像的相似性. 在对图像应用稳像算法后, 将用来对算法性能做出评价.

$$RMSE = \left(\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (f_{t+1,i} - f_{t,i})^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

式中, $f_{t,i}$ 为图像第 t 帧图像的第 i 个像素值, p 为图像的总像素数.

表 1 是稳像前后相邻图像帧之间的 RMSE, 从

表 1 稳像前后相邻帧的 RMSE 值

相邻帧	1 和 2	2 和 3	3 和 4	4 和 5	5 和 6
RMSE 值					
稳像前	0.1489	0.1371	0.1300	0.1382	0.1432
稳像后	0.0513	0.0515	0.0387	0.0402	0.0305

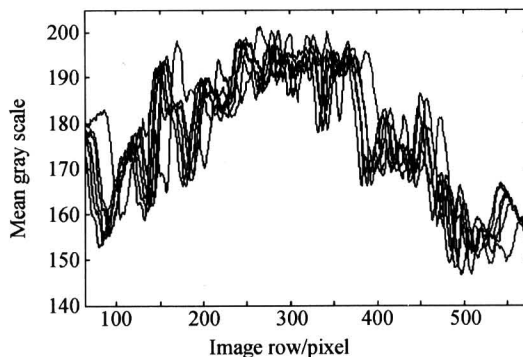


图 6 稳像前的列投影
Fig. 6 Projection before processing

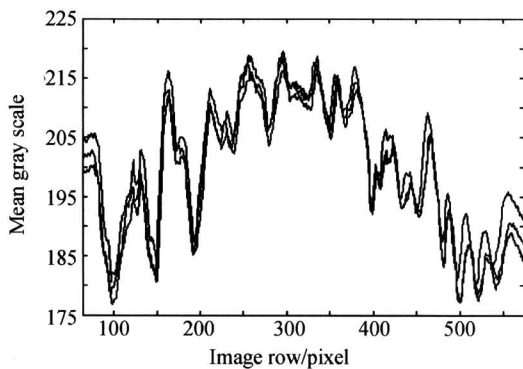


图7 稳像后的列投影

Fig. 7 Projection after processing

列投影值曲线. 其中横坐标表示列数, 纵坐标表示平均后的灰度投影值. 从图中, 可以清楚地看到稳像前各帧图像的列投影值曲线形状接近, 但位置在横坐标方向上有差异; 而稳像后的列投影值曲线形状和位置基本一致.

5 结论

通过构建由振动平台、光学镜头、CCD、图像采集卡、计算机所构成的稳像试验平台, 并基于灰度投影算法对 CCD 连续图像进行了实时稳像实验, 对实验结果做出了定量评价和分析. 由于灰度投影算法不需要对图像的每一像素点做相关运算, 而是利用图像的灰度投影曲线做一次互相关运算来求其图像序列帧间的运动矢量, 因而具有很高的计算速度, 能

够满足连续图像的实时性要求. 它是实现平移运动或旋转运动较小的图像序列电子稳像的较理想算法, 同时也适用于图像照度不同导致的灰度变化情况. 对于目标图像的灰度变化比较丰富, 投影曲线形状特征明显的场合, 匹配准确度高的优势尤其明显. 实验也表明灰度投影稳像算法对强烈旋转运动条件下的稳像应用存在一定的局限性.

参考文献

- 1 桂小琰, 仲顺安, 陈越洋. 稳像平台准确测试系统的研究和设计. 光子学报, 2004, **33**(12): 1497~1499
Gui X Y, Zhong S A, Chen Y Y. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12): 1497~1499
- 2 Ahmad M B, Dong Y K, Kyoung S R, et al. Motion vector estimation using edge Oriented block matching algorithm for video sequences. ICIP' 2000, Vancouver, Canada, 2000, 1: 860~863
- 3 Ko S J, Lee S H, Lee K H. Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1998, **44**(3): 617~622
- 4 李奇, 徐之海, 冯华君, 等. 一种图像稳定程度的描述方法. 光学学报, 2004, **24**(3): 427~430
Li Q, Xu Z H, Feng H J, et al. *Acta Optica Sinica*, 2004, **24**(3): 427~430
- 5 刘雅轩, 苏秀琴, 王萍. 一种基于局部投影熵的图像匹配新算法. 光子学报, 2004, **33**(1): 105~108
Liu Y X, Su Y Q, Wang P. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 105~108

Real-Time Digital Image Stabilization System Based on Gray Projection Algorithm

Wang Xiaoyong, Li Qi, Xu Zhihai, Feng Huajun, Chen Yueting

State Key Lab. for Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2005-02-16

Abstract A real-time digital image stabilization system was presented, which was based on the gray projection algorithm. It demonstrates the application of gray projection algorithm in the field of digital image stabilization, as well as the algorithm optimizations of median filter, region selection and referenced frame selection in image stabilization system. The hardware of this system consists of vibration platform, optical lens, CCD, A/D card and computer. The software programming is implemented in Visual C++ programming environment on the DirectShow platform. Through quantitative analysis and evaluation, the result of image stabilization test shows the convenient, quick and accurate characteristics of gray projection algorithm. Also, it demonstrates itself as a feasible approach for real-time digital stabilization of cameras.

Keywords Image stabilization system; Gray projection algorithm; Real-time image processing; Median filtration



Wang Xiaoyong was born in July 1981. He received his bachelor's degree at Optical & Electronic Engineering of Zhejiang University in 2002. He is currently pursuing master degree in Optical Engineering of Zhejiang University. His research area focuses on digital image stabilization.