

文章编号 1004-924X(2015)06-1768-06

投影特征峰匹配的快速电子稳像

张艳超^{1,2*}, 王芳¹, 赵建¹, 刘建卓¹, 王飞³, 孙强¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100039;

3. 总装备部 工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘要:提出了一种基于投影最大特征峰匹配的稳像算法来进一步提高灰度投影稳像算法的实时性。首先,将参考帧与当前帧图像等分为若干区域子块,根据灰度投影计算公式分别计算每个子块的水平投影和垂直投影;依次计算两帧图像相应子块中对应的垂直和水平投影最大特征峰的位置差值,作为相应子块的水平运动和垂直运动矢量。然后,根据帧间运动矢量变化程度进行运动矢量修正。最后,根据各子块的运动矢量统计结果进行全局运动估计。将该最大特征峰匹配算法运用到多光谱成像系统进行实验,并与较经典的灰度投影算法做了比较。结果表明:在保证相同的稳像效果前提下,对于分辨率为 1 024 pixel×1 024 pixel 的图像序列在(-60, 60)搜索范围内进行运动估计时,前者比后者的运算时间节省了近 20%。提出的算法突破了现有投影稳像算法需要对可能的区域逐一搜索的繁琐匹配过程,具有较好的实时性和良好的稳像效果。

关键词:电子稳像;灰度投影;特征峰匹配;运动估计

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20152306.1768

Fast digital image stabilization based on characteristic peak of projection matching

ZHANG Yan-chao^{1,2*}, WANG Fang¹, ZHAO Jian¹, LIU Jian-zhuo¹, WANG Fei³, SUN Qiang¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *The First Engineer Scientific Research Institute of the General Armament Department, Wuxi 214035, China)*

* *Corresponding author, E-mail: zhangyanchaomn@126.com*

Abstract: A new image stabilization algorithm based on the characteristic peak of projection matching was proposed to improve the real-time characteristics of gray projection image stabilization method. Firstly, the reference frame and the current frame were divided into several sub image blocks, and the horizontal projection and vertical projection of each sub image block were calculated according to the projection calculation formula. Then, the horizontal and vertical position differences of the corresponding sub blocks' maximal projection characteristic peaks were calculated as motion vectors,

收稿日期:2014-06-20;修订日期:2014-08-05.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2013AA03A116)

and the motion vectors were corrected according to the motion vector variance ratio between frame and frame. Finally, the global motion vectors were derived based on the sub motion vectors. The proposed algorithm based on the characteristic peak of projection matching was used in a multi-spectral imager and obtained results were compared with that of the traditional gray projection image stabilization method. The experimental results show that new algorithm has saved nearly 20% time as compared with that of the traditional one for 1 024 pixel \times 1 024 pixel resolution image sequence and the (-60,60) regions of search. It does not have complex match processing that traditional method has to research the image projection area one by one, and can offer good real-time performance and stabilization effect.

Key words: digital image stabilization; gray projection; characteristic peak matching; motion estimation

1 引言

多光谱成像仪主要用于对大范围远距离目标区域多波段光谱成像,以便对该区域的成分组成、伪装效果等进行处理分析,其观测范围一般从几十米到几千米。为了加大观测范围,一般将多光谱成像仪安置在汽车、舰船的桅杆或云台,以及无人机等飞行器的吊舱上。在实际使用中,由于受成像仪载体的振动或风、海浪等外界环境的影响,采集到的图像视频有时会出现频繁晃动,进而造成观测人员的视觉疲劳,影响观测效果。因此,需要对成像仪视频序列进行稳像处理。

常见的稳像手段按稳像装置分为3类,即机械式稳像、光学稳像和电子稳像^[1]。机械式稳像是将整个成像设备放置于稳定平台上,通过机电控制达到稳像的目的;光学稳像一般是在光路中设置一个光学元件对不稳定图像进行补偿;而电子稳像则是基于电子学、计算机及图像识别等技术于一体的软件处理稳像方法,其基本思想是通过估算图像序列的帧间运动矢量并进行运动补偿来实现图像序列的稳定输出。电子稳像只需在现有的数字处理平台上进行图像识别和信号处理,无需额外添加任何光机结构,更重要的是电子稳像具有稳定精度高、实时性强等优点,已在成像系统的稳像领域得到了越来越广泛的应用^[2-4]。典型的电子稳像方法主要包括代表点匹配法、特征量跟踪法、位平面匹配法、灰度投影法等几大主流算法以及相关的衍生算法^[5]。代表点匹配法选择的代表点为等间隔阵列,其常常由于所选点不能很好地代表图像特征量而影响稳像精度;特征量跟踪法在特征量计算及匹配运算的过程中会消

耗大量的运算时间,从而降低了算法的实时性,而且该方法还会因参数选取不当导致特征跟踪失败^[6-7];位平面匹配法虽然运算量小,但由于所选的参与运算的位平面不同会导致稳像精度不够理想;灰度投影法是通过将二维图像的灰度数据转化为两个一维灰度序列后,再进行特性统计与匹配,其兼具了算法精度高、实时性强的特点,近年来已被成功应用于很多设备中。

由灰度投影算法的原理可知,其运算量很大一部分是在运动矢量的搜索过程中产生的,当搜索范围加宽或参与投影计算的窗口增大时,其运算量会进一步加大。针对上述问题,近几年来一些学者提出了三点搜索法或爬山法等改进搜索方法^[8-10],使此部分的计算量有所压缩,但压缩空间依旧有限。因此,本文在现有的灰度投影算法基础上提出了一种基于投影特征峰匹配的稳像算法。该算法通过对比参考帧图像与当前帧图像灰度投影特征峰的分布位置,直接进行运动估计,并利用经典灰度投影算法计算结果进行运动矢量修正。与经典的灰度投影算法相比,该方法节省了大部分搜索时间,进一步提高了稳像算法的实时性。

2 投影特征峰匹配的稳像原理

2.1 灰度投影算法

灰度投影算法是将每一帧输入的二维灰度信息映射成水平方向和垂直方向两个独立的一维投影信息。对于 $M \times N$ 的灰度图像,垂直方向的行投影计算公式如下:

$$RSum(i) = \sum_{j=0}^{N-1} g(i, j), \quad (1)$$

$$RMean = \left(\sum_{i=0}^{M-1} RSum(i) \right) / M, \quad (2)$$

$$RProj(i) = RSum(i) - RMean. \quad (3)$$

水平方向的列投影计算公式如下:

$$CSum(j) = \sum_{i=0}^{M-1} g(i, j), \quad (4)$$

$$CMean = \left(\sum_{j=0}^{N-1} CSum(j) \right) / N, \quad (5)$$

$$CProj(j) = CSum(j) - CMean, \quad (6)$$

其中: $g(i, j)$ 为第 i 行第 j 列的图像灰度值; $RSum(i)$ 为第 i 行像素的灰度累加和; $RMean$ 为 $RSum(i)$ 的 M 行均值; $RProj(i)$ 为第 i 行投影值; $CSum(j)$ 为第 j 列像素的灰度累加和; $CMean$ 为 $CSum(j)$ 的 N 列均值; $CProj(j)$ 为第 j 列投影值。

2.2 基于投影特征峰匹配的运动估计

经典的灰度投影法的运动估计一般采用最小匹配准则,对投影数据在每一个可能的候选运动矢量区域逐一进行搜索匹配。常用的最小匹配准则为最小均方差(MSE)准则,其计算公式如下:

$$R(p) = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} (RProj_c(i+p) - RProj_r(i))^2}, \quad (7)$$

$$C(q) = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{j=0}^{N-1} (CProj_c(j+q) - CProj_r(j))^2}, \quad (8)$$

其中: p 为垂直方向搜索偏移量; $R(p)$ 为当前帧与参考帧行投影对应位置均方差; $RProj_c(i+p)$ 为当前帧第 $(i+p)$ 行的水平投影值; $RProj_r(i)$ 为参考帧第 i 行水平投影值; q 为水平方向搜索偏移量; $C(q)$ 为当前帧与参考帧列投影对应位置均方差; $CProj_c(j+q)$ 为当前帧第 $(j+q)$ 列的垂直投影值; $CProj_r(j)$ 为参考帧第 j 列垂直投影值。

根据式(7)、式(8)搜索计算得到的最小值对应的 p 和 q 值即为所求运动估计矢量值 dy 和 dx 。实际应用中,为了减小运算量,一般将 $R(p)$ 和 $C(q)$ 去掉开方运算,或进一步简化为差值绝对值的均值。

经上述计算可知,现有的灰度投影法在运动矢量搜索过程中消耗了较大的运算量。鉴于此,本文在现有的灰度投影算法的基础上,做出如下改进:根据人眼的比较习惯,直接将当前帧与参考帧的对应灰度投影特征峰的位置进行差值比较,

进而快速计算出其水平和垂直方向的运动矢量。

为了提高识别精度,减少误差对运动估计的影响,本文选定投影序列中峰值最大的峰作为特征峰,进行位置匹配。水平方向和垂直方向的运动矢量计算公式如下:

$$MaxCP(x_c) = \max_{0 \leq j < N} (CProj_c(j)), \quad (9)$$

$$MaxCP(x_r) = \max_{0 \leq j < N} (CProj_r(j)), \quad (10)$$

$$dx = x_c - x_r, \quad (11)$$

$$MaxRP(y_c) = \max_{0 \leq i < M} (RProj_c(i)), \quad (12)$$

$$MaxRP(y_r) = \max_{0 \leq i < M} (RProj_r(i)), \quad (13)$$

$$dy = y_c - y_r, \quad (14)$$

其中: $MaxCP(x_c)$ 为当前帧列投影的最大值; x_c 为当前帧列投影最大值对应的水平位置; $MaxCP(x_r)$ 为参考帧列投影最大值; x_r 为参考帧列投影最大值对应的水平位置; $MaxRP(y_c)$ 为当前帧行投影最大值; y_c 为当前帧行投影最大值对应的垂直位置; $MaxRP(y_r)$ 为参考帧行投影最大值; y_r 为参考帧行投影最大值对应的垂直位置; dx 、 dy 即为所求的水平运动矢量和垂直运动矢量。

2.3 运动估计修正

当所选的特征峰位于图像投影边缘附近时,在视频抖动过程中,可能会存在特征峰漂出图像预选窗口的情况,如图 1 所示。此时用特征峰匹配法得到的运动矢量会产生明显误差,造成视频显示中心发生跳变,最终导致稳像失败。针对此种情况,本文在现有算法的基础上补充了运动矢量表决机制。

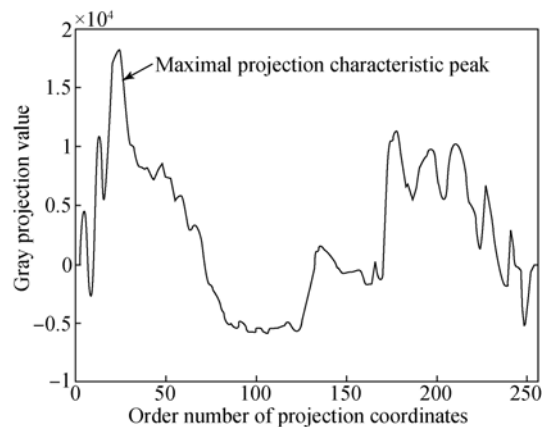


图 1 最大特征峰位于边缘的投影数据曲线

Fig. 1 Projection curve when the max characteristic peak is located at edge

相对视频抖动间隔而言,多数连续视频序列在输出过程中的帧间隔较短,可以认为帧间运动矢量是个相对连续的变化过程。因此,在采用特征峰匹配方法计算运动矢量的过程中,出现当前帧运动矢量与前一帧运动矢量发生明显跳变的情况时,即认为最大特征峰匹配失败,此时采用经典的灰度投影算法对当前帧重新进行运动估计。

2.4 估计窗口的选取

对于多光谱成像系统,在观察目标的过程中,可能会存在视场内部分目标发生运动的情况。若以此部分为匹配窗口,则会导致稳像失败。因此,在稳像过程中,需将整帧图像等分为 N 个区域子块,依次对每个对应子块进行运动估计,最后通过直方图统计获得最终的全局运动矢量。

3 稳像算法实现

结合上述分析,基于特征峰匹配的稳像的实现过程如下:

(1)读取视频序列的第一帧图像作为参考帧,将其等分为 N 个区域,分别计算每个区域块的行投影序列以及列投影序列;

(2)计算参考帧各区域块的列投影最大特征峰对应的坐标位置,记为 $x_r(n)$,其中 $0 \leq n < N$;

(3)计算参考帧各区域块的行投影最大特征峰对应的坐标位置,记为 $y_r(n)$,其中 $0 \leq n < N$;

(4)读取当前帧图像,将其等分为 N 个区域,分别计算每个区域块的行投影序列以及列投影序列;

(5)计算当前帧各区域块的列投影最大特征峰对应的坐标位置,记为 $x_c(n)$,其中 $0 \leq n < N$;

(6)计算当前帧各区域块的行投影最大特征峰对应的坐标位置,记为 $y_c(n)$,其中 $0 \leq n < N$;

(7)按照式(11)、式(14)计算各区域块的运动矢量 $dx(n)$ 、 $dy(n)$,其中 $0 \leq n < N$;

(8)对于步骤(7)计算结果,利用直方图统计的方式,计算全局运动矢量 dx 、 dy 。

(9)若当前帧 dx 、 dy 与前一帧全局运动矢量的差值小于设定阈值,则将此计算结果作为当前帧的全局运动矢量,并转至步骤(4),进行下一帧运动估计,直至计算到图像序列的最后一帧,稳像结束。若当前帧 $dx(n)$ 、 $dy(n)$ 与前一帧全局运动矢量的差值大于设定阈值,则利用式(7)、式(8)重新计算参考帧及当前帧各区域块的运动矢量,按

照步骤(8)计算全局运动矢量,然后跳转至步骤(4),进行下一帧运动估计,直至计算到图像序列的最后一帧,稳像结束。

4 实验结果与分析

本文算法的程序开发环境为 VC++ 6.0,选取某型号多光谱成像仪采集的可见光图像序列为稳像序列。图像帧数为 200,图像分辨率为 1024×1024 。特征峰匹配失败时,参与灰度投影计算的行与列的搜索区间均为 $[-60, 60]$ 。

4.1 稳像效果评价

稳像效果是衡量算法优劣的重要标准,本文采用准确度品质因子峰值信噪比(PSNR)^[11]对经典灰度投影算法与特征峰匹配算法进行稳像效果评价。其计算公式为:

$$\text{PSNR}(I_r, I_c) = 10 \log[255^2 / \text{MSE}(I_r, I_c)]. \quad (15)$$

为了避免边缘补黑处影响计算效果,本文引入均方误差($\text{MSE}(I_r, I_c)$),其参考帧与当前帧中心区域像素偏差值,计算公式如下:

$$\text{MSE}(I_r, I_c) = \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^M (I_r(i, j) - I_c(i, j))^2. \quad (16)$$

分别将经灰度投影算法以及特征峰匹配算法稳像后的 200 frame 图像序列带入式(15),得到的 PSNR 均值归一化结果,如表 1 所示。部分稳像效果图如图 2 所示,其中图 2(a)为参考帧,图 2(b)、图 2(c)、图 2(d)为部分图像序列中稳像补偿后的图像。

表 1 PSNR 均值归一化结果

Tab. 1 Normalization results of PSNR mean values

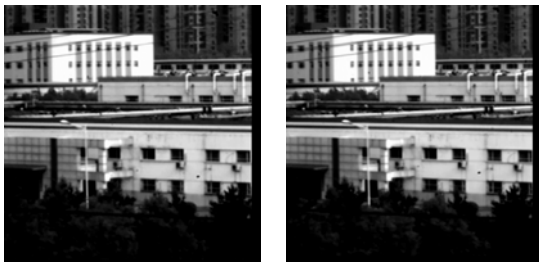
	灰度投影	特征峰匹配
PSNR	1.00	0.96



(a) 第 1 帧
(a) The 1st frame



(b) 第 46 帧
(b) The 46th frame



(c)第 100 帧 (d)第 199 帧
(c)The 100th frame (d)The 199th frame

图 2 稳像后的视频序列

Fig. 2 Stabilized video image sequences

从表 1 的 PSNR 计算结果及图 2 稳像后输出的图像序列效果看,特征峰匹配法与经典的灰度投影法同样具有较理想的稳像效果。

4.2 稳像实时性评价

与经典的灰度投影法相比,在稳像效果相似的前提下,特征峰匹配法大大压缩了因搜索而产生的运算量。其他改进的灰度投影算法(如三点搜索法、爬山法等)多根据处理图像内容的不同运行时间有差异,因此,本部分仅将特征峰匹配法与经典的灰度投影算法进行比较。表 2 为两种算法在相同运算环境下统计得到的运行时间的归一化值。

从表 2 可以看出,与经典的灰度投影算法相比,特征峰匹配算法运行时间整体上压缩了近 20%。这是由于其在运动估计过程中省去了几乎全部的搜索

匹配计算,因此,在实时性方面具有更突出的特性。

表 2 运行时间归一化结果

Tab. 2 Normalization of running time

运算时间	灰度投影	特征峰匹配
投影值计算	0.829	0.829
运动估计	0.171	0.004
总运算时间	1.00	0.833

5 结 论

本文在经典的灰度投影稳像算法的基础上,提出了一种基于投影特征峰匹配的快速稳像算法。该算法直接比较当前图像与参考图像的灰度投影序列相对应最大特征峰的位置,将其差值结果作为运动矢量;并根据运动矢量的变化特点,进行适当修正。将该算运用到多光谱成像系统进行了实验。实验结果表明,基于特征峰匹配的稳像算法对于视频序列具有良好的去抖动作用;此外,在同等运行环境下,对于分辨率为 1024×1024 的图像序列,投影搜索范围为 $(-60, 60)$ 时,特征峰匹配算法的运行时间仅为经典灰度投影算法的 0.83,比经典的灰度投影算法具有更好的实时性。对于视频抖动有旋转的情况,可将该算法与仿射变换相结合使用,可以进一步提高算法的适应性。

参考文献:

- [1] 韩绍坤,赵跃进,刘明奇. 电子稳像技术及其发展[J]. 光学技术, 2001, 27(1): 71-73.
HAN SH K, ZHAO Y J, LIU M Q. Electronic image stabilization techniques and development [J]. *Optical Technique*, 2001, 27(1): 71-73. (in Chinese)
- [2] 遆晓光,靳万鑫,余颖. 大运动前景和旋转抖动视频的快速数字稳定[J]. 光学 精密工程, 2014, 22(1): 177-185.
DI X G, JIN W X, YU Y. Digital video stabilization for large-scale moving foreground object and rotation jitter [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2014, 22(1): 177-185. (in Chinese)
- [3] 马忠丽,李慧凤,文杰,等. 高速水面艇视觉系统电子稳像算法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(2): 633-636.
MA ZH L, LI H F, WEN J, et al.. Electronic im-
- age stabilization algorithm for high speed surface vehicle vision system [J]. *Application Research of Computers*, 2014, 31(2): 633-636. (in Chinese)
- [4] 吴浩,邓宏彬,何少阳. 基于分块灰度投影的无人飞行器视频稳像方法[J]. 北京理工大学学报, 2013, 33(4): 385-389.
WU H, DENG H B, HE SH Y. A UAV video stabilization method based on sub-block gray projection [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2013, 33(4): 385-389. (in Chinese)
- [5] 王志民,徐晓刚. 电子稳像技术综述[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(3): 470-480.
WANG ZH M, XU X G. A survey on electronic image stabilization [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2010, 15(3): 470-480. (in Chinese)
- [6] 王灿进,孙涛,陈娟. 局部不变特征匹配的并行加速技术研究[J]. 液晶与显示, 2014, 29(2): 266-274.
WANG C J, SUN T, CHEN J. Speeding up local

- invariant feature matching using parallel technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 266-274. (in Chinese)
- [7] 刘博超,赵建,孙强. 基于边缘改进的 Harris 角点检测方法[J]. *液晶与显示*, 2013, 28(6): 939-942.
LIU B CH, ZHAO J, SUN Q. Improved Harris corner detection method based on edge [J]. *Chinese Journal of Crystals and Displays*, 2013, 28(6): 939-942. (in Chinese)
- [8] 周亚军,王翔,苏享,等. 快速灰度投影稳像算法研究[J]. *兵工自动化*, 2009, 28(8): 88-90.
ZHOU Y J, WANG X, SU X, *et al.*. Research on fast gray projection algorithm for image stabilization [J]. *Ordnance Industry Automation*, 2009, 28(8): 88-90. (in Chinese)
- [9] 孙辉. 快速灰度投影算法及其在电子稳像中的应用 [J]. *光学精密工程*, 2007, 15(3): 412-416.
SUN H. Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(3): 412-416. (in Chinese)
- [10] 赵志强,陈盈. 一种基于灰度投影与块匹配的视频序列快速稳像算法[J]. *光电工程*, 2011, 38(6): 146-150.
ZHAO ZH Q, CHEN Y. A fast electronic image stabilization algorithm of video sequences based on gray projection and block matching [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, 38(6): 146-150. (in Chinese)
- [11] 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): 353-359.
ZHAO H Y, JIN H, XIONG J W. Overview of the electronic image stabilization technology [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001, 9(4): 353-359. (in Chinese)

作者简介:



张艳超(1985—),女,吉林长春人,博士研究生,助理研究员,2007年、2009年于天津大学分别获得学士、硕士学位,主要从事数字图像处理及调焦控制方面的研究。E-mail: zhangyanchaomn@126.com



赵建(1967—),女,吉林长春人,硕士,研究员,博士生导师,1991年于吉林工业大学获得学士学位,2002年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事数字图像处理,目标识别与跟踪,视频编解码等方面的研究。E-mail: zhaojian6789@126.com

导师简介:



孙强(1971—),男,博士,研究员,博士生导师,2003年于南开大学获得博士学位,2006年于中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士后出站,主要从事现代红外光学仪器方面的研究。E-mail: sunq@ciomp. an. cn

(版权所有 未经许可 不得转载)