

## 实现图像稳定的快速算法

葛卫龙、雷选华

(海军工程大学 兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

**摘要:**从舰载光电系统的图像稳定的要求出发,介绍了稳像技术的种类;分析了电子稳像的原理、算法。提出一种新算法,实现了电子图像稳定。该算法利用最小均方误差和块间运动矢量的空间相关性作为匹配函数,采用四步搜索法计算运动矢量,并和全搜索算法得到的运动矢量进行比较。实验表明,该算法能较好地实现图像序列的稳定。

**关键词:** 电子稳像; 运动估计; 块匹配; 空间相关性

**中图分类号:** TN942.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2004)01-0043-04

## Fast algorithm to realize image stabilization

GE Wei-long, LEI Xuan-hua

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** The importance of image stabilization to warship photoelectricity equipment and varieties of image stabilization technique are introduced. A new algorithm is proposed to realize electronic image stabilization. The algorithm takes minimum square error and spatial correlation as matching function and adapts four-step search algorithm to calculate motion vectors. The result is compared with that of full search algorithm. The experimental results show that this algorithm may produce stabilized series of images.

**Keywords:** Electronic image stabilization; Motion estimation; Block matching; Spatial correlation

### 0 引言

在舰船光电设备中,随着对监视、跟踪、侦察系统使用要求的不断提高,对光学图像的稳定要求也日趋严格,光电稳定系统已广泛应用于制导、火控、侦察和光电对抗中。由于受光电系统载体的姿态变化或振动的影

响,不稳定的图像会使观察者产生疲劳感,进而容易产生误判和漏判;对于目标自动识别系统和跟踪系统,不稳定的图像信息会导致动态跟踪误差增大,引起虚警和漏报。稳像技术的应用,消除了载体运动对像面的影响,使这些设备的性能得以充分发挥。电子稳像技术是一种新型图像稳定技术,它综合电子、计算机、数字信号处理等技术为一体来实现图像序列稳定。随着计算机技术和大规模集成电路(VLSI)的迅

收稿日期:2003-05-14; 修订日期:2003-07-28

作者简介:葛卫龙(1979-),男,湖北鄂州人,硕士生,主要研究方向为动态图像处理、机器人视觉。

猛发展,计算机对图像处理能力的迅速提高,稳像技术从传统的陀螺稳像、光学稳像转向利用计算机进行电子稳像。与传统的稳像方法相比,电子稳像具有精度高、体积小等优点,对于研制长焦距、大口径、高分辨率的摄像系统有重大意义,是稳像技术的发展方向。国内电子稳像技术起步较晚,目前只有综述性文献<sup>[1,2]</sup>,国外电子稳像技术的研究已有近 20 年的历史。

## 1 电子稳像技术原理及其关键技术

电子稳像技术利用纯数字图像处理方法实现图像稳定,电子稳像系统不包含任何附加的机械、光学系统和光电转换器,直接从像面上确定图像偏移,并进行补偿。电子稳像系统主要由 3 个功能模块组成:运动矢量估计模块(ME),运动矢量补偿模块(MC)和图像补偿模块(IC)。运动矢量估计模块估计图像序列帧间运动,得到运动参数并传给运动补偿模块,MC 计算出稳定图像所需的全局运动矢量,在图像稳定模块里根据全局运动矢量对图像进行变换,以得到稳定的图像序列。

运动估计技术是电子稳像技术中的关键技术。运动矢量估计是通过估计图像序列帧间运动,得到运动参数,它是整个稳像算法的基础。运动估计的算法很多,如根据参与匹配的单元可将运动估计算法分为块分析法和像素递归法。块分析法又可分为相位相关法和匹配法。块匹配法由于简单和易于用硬件实现得到了广泛的应用。

## 2 基于块的运动矢量估计和图像补偿算法

基于块匹配的运动估计算法有两个基本假设:一个是邻近像素做相同的运动,另一个是误差随着远离匹配点而单调增加。因此该算法必须将当前帧图像分成块,如  $8 \times 8$  或  $16 \times 16$ ,将每块在参考帧内特定搜索范围内进行匹配,寻找某个匹配函数最优空间位置,进而求得块的运动矢量。对运动矢量的搜索过程可分为全搜索法和各种快速搜索算法<sup>[3~5]</sup>,如三步搜索法,四步搜索法,交叉搜索法。全搜索法对搜索范围内的每个像素进行匹配准则函数评测,所以能够得到全局最优值,但是计算量巨大;快速搜索算法可能

得到的是局部最优值,由于计算量大大减小并且实际效果和全搜索法相比相差不大,在实际中得到了很好的应用。这里采用四步搜索算法,假设最大搜索范围  $\omega=16$ ,那么全搜索法所需的搜索次数为  $(2\omega+1)^2=1\ 089$  次,而四步搜索法所需的搜索次数仅为  $1+8\log_2\omega=33$  次。一般采用的匹配函数是最小均方误差(MSE),其定义为:

$$MSE(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N | S_{k_1}(m, n) - S_{k_2}(m+i, n+j) |^2 \quad (1)$$

式中  $M, N$  为宏块的水平和垂直尺寸(以像素为单位);  $m, n$  为宏块内像素坐标,  $-dm \leq i < dm, -dn \leq j < dn, dm, dn$  分别为最大的垂直和水平搜索范围。将基准图划分成  $M \times N$  大小的块,对于每一块在  $(M+2dm) \times (N+2dn)$  个像素内进行搜索,求得最优匹配,从而得到运动矢量的估值  $(dx, dy)$ :

$$[dx, dy]^T = \min MSE(i, j) \quad (2)$$

但是,传统所用的匹配函数中,将图像固定分块,没有考虑景物内容,也没有考虑运动的相关性,因而估计所得的运动矢量一致性较差,得到的运动矢量也不够准确,文中所提出的四步搜索算法,为充分利用相邻块间的相关性,把块的相关性加入到匹配准则中。定义块间的空间相关性为:

$$S_{\text{space}} = (MV(i-1, j-1) - MV(i, j))^2 + (MV(i-1, j) - MV(i, j))^2 + (MV(i, j-1) - MV(i, j))^2 \quad (3)$$

式中  $MV(i, j)$  为块  $(i, j)$  的运动矢量。采用如下方法改进最小均方误差准则函数进行匹配:

$$\begin{aligned} (1) \quad & MSE + 4cS_{\text{space}} & (2) \quad & MSE + cS_{\text{space}} \\ (3) \quad & MSE + \frac{1}{4}cS_{\text{space}} & (4) \quad & MSE \end{aligned}$$

式中  $c$  为常数。利用此匹配函数得到的运动矢量会有更好的一致性和准确性。

在求出运动矢量后,就可对图像进行补偿。其原理为:

$$S_{k_1}(m, n) = S_{k_2}(m+dx, n+dy)$$

在图像序列稳定中,首先以第一帧为参考图像,对下一帧(抖动图像)进行稳定,然后以稳定的图像为参考

图像,对第三帧进行稳定,以此类推,可实现整个图像序列的稳定。

### 3 实验结果

用标准图像测试序列 *flower* 的第 1 帧和第 2 帧进行实验。稳像的准确度定义为:

$$PSNR = 10 \log[255^2 / MSE(S_1, S_0)] \quad (4)$$

图 1 给出了 *PSNR* 随 *c* 变化的曲线。

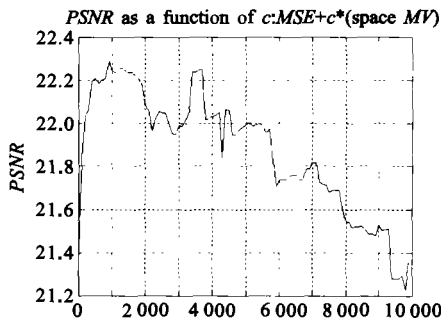


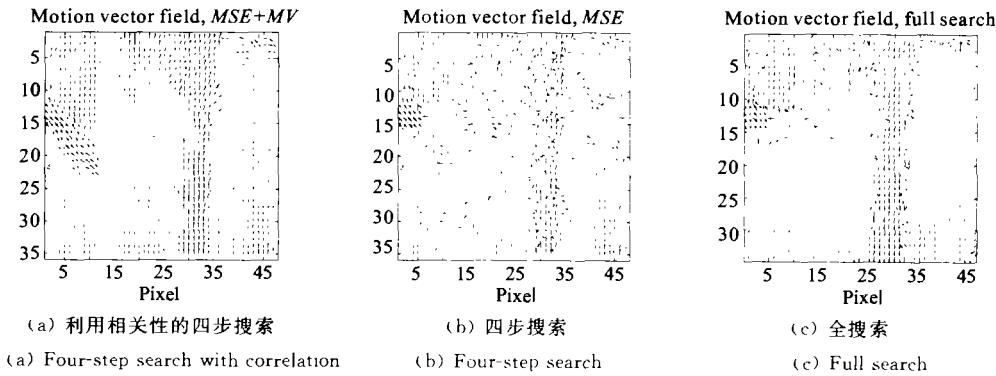
图 1 *PSNR* 随 *c* 变化曲线

Fig. 1 Variation of *PSNR* with *c*

从图 1 可以看出,当  $c=900$  时,  $PSNR_{max} = 22.291$ , 当  $c=0$  时,即不考虑运动矢量的空间相关性,  $PSNR = 21.407$ 。可见,考虑到运动矢量相关性的四步搜索算法,提高了信噪比,即提高了准确度。全搜索法的  $PSNR = 23.755$ ,但所需时间为 198.26 s,而文中算法所需时间为 21.68 s。可见在没有牺牲太大信噪比的基础上,该算法大大节省了计算时间。图 2 给出了采用各种算法得到的矢量量图。

从图 2 看出,考虑到相邻块间运动相关性得到的运动矢量图 2(a)比只用 *MSE* 作匹配函数得到的运动矢量图 2(b)具有更高的准确性和一致性,(c)是采用全搜索法得到的运动矢量图,它可以作为评价采用快速算法得到的运动矢量优劣的标准。

图 3 比较了采用四步搜索算法(匹配准则用 *MSE*+空间相关性)补偿前后的图像差值。从图 3(e)可以看出,补偿后的图像和原图像基本没差异;而补偿前原图像和抖动图像的差别很大,景物的轮廓看得很清楚,如图 3(c)所示。



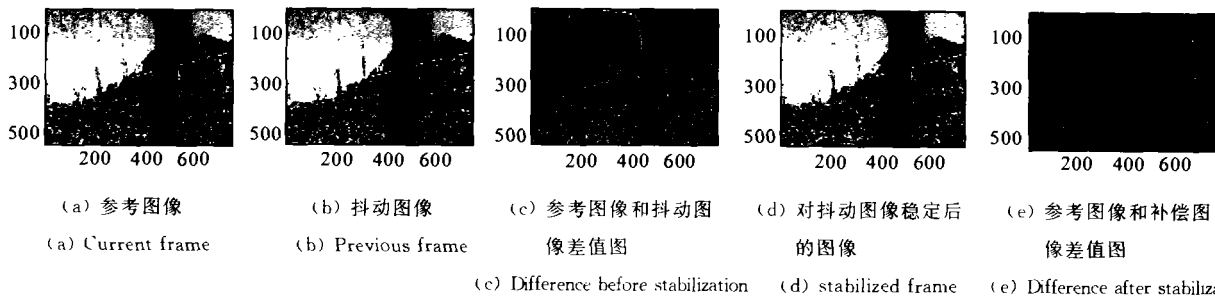
(a) 利用相关性的四步搜索  
(a) Four-step search with correlation

(b) 四步搜索  
(b) Four-step search

(c) 全搜索  
(c) Full search

图 2 运动矢量图

Fig. 2 Motion vector map



(a) 参考图像  
(a) Current frame

(b) 抖动图像  
(b) Previous frame

(c) 参考图像和抖动图  
像差值图

(d) 对抖动图像稳定后  
的图像

(e) 参考图像和补偿图  
像差值图

(c) Difference before stabilization (d) stabilized frame (e) Difference after stabilization

图 3 补偿前后的差值比较

Fig. 3 The difference before and after compensation

## 4 结束语

利用纯数字图像处理方法实现了电子图像稳定,文中算法充分利用了相邻块间运动矢量的空间相关性。实验表明,该算法具有计算量小、信噪比高的特点,避免了运动矢量的不一致,得到的图像稳定效果较好。

### 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,

(上接第 20 页)

## 3 结论

利用 LD 端面泵浦 Nd:NYW 晶体,测量了 Nd:NYW 晶体的热焦距和最佳泵浦位置,实验结果与理论计算结果基本相符。

### 参考文献:

- [1] Berger J, Welch D F, Scifres D R, et al. 370 mW, 1.06  $\mu\text{m}$ , CW TEM<sub>00</sub> output from an Nd:YAG laser rod end-pumped by a monolithic diode array[J]. Elec Lett, 1987, (23): 669-670.
- [2] Berger J, Welch D F, Streifer W, et al. Fiber-bundle coupled diode end-pumped Nd:YAG laser[J]. Opt Lett, 1988, 13(4): 306-308.
- [3] Kozlovsky W J, Fan T Y, Byer R L. Diode-pumped continuous-wave Nd:glass laser[J]. Opt Lett, 1986, 11(12): 788-790.
- [4] Berger J, Welch D F, Scifres D R, et al. High power, high efficient neodymium: aluminum garnet laser end-pumped by a laser diode array[J]. Appl Phys Lett, 1987, 51(16): 1221-1224.
- [5] Kaminski A A, Kaminski, Hans J Eichler, et al. Properties of Nd<sup>3+</sup>-doped and undoped tetragonal PbWO<sub>4</sub>, NaY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, and undoped monoclinic ZnWO<sub>4</sub> and CdWO<sub>4</sub> as: laser-active and stimulated Raman scattering-active crystals[J]. Appl Opt, 1999, 38(21): 4533-4547.

2001, 9(4): 353-358.

- [2] 沈宏海,刘晶红,贾平,等. 摄像稳定技术[J]. 光学精密工程, 2001, 9(2): 115-120.
- [3] Liu B, Zaccarin A. New fast algorithms for the estimation of block motion vectors[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1993, 3(2): 148-157.
- [4] Li R, Zeng B, Liou M L. A new three-step search algorithm for block motion estimation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1994, 4(4): 438-441.
- [5] Lai-Man Po, Wing-Chung Ma. A novel four-step algorithm for fast block motion estimation[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 313-317.

- [6] 陈磊,赵圣之,郑加安. 双钨酸钡钠晶体 Cr<sup>4+</sup>:YAG 调 Q 激光特性[J]. 光电子·激光, 2002, 13(1): 27-30.
- [7] 陈磊,赵圣之,郑加安. 595 nm 激光抽运双钨酸钡钠晶体激光特性研究[J]. 光学学报, 2002, 22(6): 758-760.
- [8] Chen L, Zhao S, Zheng J. Characteristics of a passively Q-switched Nd<sup>3+</sup>:NaY(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> laser with Cr<sup>4+</sup>:YAG saturable absorber[J]. Opt & Laser Technol, 2002, 34(5): 347-350.
- [9] Liu Jun hai, Lu Jian ren, Lu Tun hua, et al. Thermal lens determination of end-pumped solid-state laser by a simple direct approach[J]. Chin Phys Lett, 1999, 16(3): 181-183.
- [10] 郑加安,赵圣之,陈磊. 晶体热效应对端面泵浦固体激光器优化设计的影响[J]. 光子学报, 2001, 30(6): 724-729.
- [11] Silvestri S D, Laporta P, Magni V. Pump power stability range of single solid state lasers with rod thermal lensing[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1987, 23(11): 1999-2003.
- [12] 郑加安,赵圣之,陈磊. LD 纵向泵浦固体激光器腔参数优化[J]. 光电子·激光, 2000, 11(5): 436-440.
- [13] Chen Y F, Huang T M, Kao C F, et al. Optimization in scaling fiber-coupled laser-diode end-pumped lasers to higher power: Influence of thermal effect[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1997, 33(8): 1424-1429.
- [14] Hall D G, Smith R J, Rice R. Pump-size effects in Nd:YAG lasers[J]. Appl Opt, 1980, 19(18): 3041-3043.
- [15] Fan T Y, Sanchez A. Pumping source requirements for end-pumped lasers[J]. IEEE J Quantum Electronics, 1990, 26(2): 311-316.