

文章编号: 1003-501X(2008)02-0103-06

# 电子稳像技术在船载电视监视系统中的应用

孙 辉<sup>1</sup>, 熊经武<sup>1</sup>, 赵红颖<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 北京大学 遥感与地理信息研究所, 北京 100871)

**摘要:** 本文简述了电子稳像技术的基本原理, 重点介绍了国内自主研发的船载电视监视系统电子稳像器的实现和主要性能特点, 以及为满足性能要求而采用的运动检测和补偿技术。该电子稳像器采用灰度投影算法检测序列图像当前帧和参考帧之间的运动矢量, 并且通过算法改进实现亚像元检测。在补偿图像运动时, 通过采用平滑算法, 避免了在图像补偿时出现的马赛克现象, 保证了图像补偿精度。实验结果表明, 本文提出的电子稳像器具有稳像精度高、实时处理能力强和较好的实际应用效果。

**关键词:** 电子稳像; 电视监视系统; 运动检测; 图像补偿

中图分类号: TN949.299

文献标志码: A

## Application of EIS to Ship-borne TV Reconnaissance System

SUN Hui<sup>1</sup>, XIONG Jing-wu<sup>1</sup>, ZHAO Hong-ying<sup>1,2</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Institute of Remote Sensing and Geography Information System, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** This paper describes briefly the basic principles of Electronic Image Stabilization (EIS) technique, and emphasizes the implementation and performance characteristics of the electronic image stabilizer on the ship-borne TV reconnaissance system and the detecting and compensating technologies adopted on them to meet the performance requirements. The proposed electronic image stabilizer detects motion vector between reference frame and current frame in sequential image using the Gray Projection Algorithm (GPA). In order to achieve accurate detecting results, an improved gray projection algorithm is exploited to detect sub-pixel image motion vector. Furthermore, the proposed electronic image stabilizer uses the smooth algorithm in transform formula of the motion compensation, which avoids mosaics of image occurred and improves the precision of image compensation. The experimental results indicate that the electronic image stabilizer is effective to actual application and has high image stabilizing precision and excellent real time processing capacity.

**Key words:** electronic image stabilization; TV reconnaissance system; motion detection; image compensation

## 1 引言

电子稳像(Electronic Image Stabilization, EIS)是一种新型的视频图像稳定技术, 由于它稳像精度高、体积小、重量轻、功耗低以及具有实时处理功能等优点, 在国外的武器装备中已获得广泛应用, 并成为发达国家在军事领域中竞争的热点之一。

电子稳像技术自提出以来已有二十多年的研究历史。随着计算机技术和大规模集成电路技术的迅猛发展, 图像设备价格的持续下降, 为数字图像处理的发展提供了良好的条件。美国、加拿大、法国、俄罗斯、

收稿日期: 2007-04-25; 收到修改稿日期: 2007-10-26

基金项目: 国防科技预研基金资助

作者简介: 孙 辉(1963-), 男(汉族), 吉林柳河人, 副研究员, 从事数字图像处理及计算机仿真研究。E-mail: sunh@ciomp.ac.cn

英国和以色列等科技发达的国家对电子稳像技术已进行了深入的研究, 并已成功地将其应用在车载、机载的摄像系统中, 为实现目标的捕获、识别、跟踪和定位提供了稳定的图像序列。在大型制导、火控系统和小型的自寻的导引头等武器系统中也都广泛地采用了稳像技术。

近年来, 电子稳像技术受到国内有关学者和研究人员广泛关注, 在电子稳像理论研究和实际应用方面进行了有益探索。本文结合国内外电子稳像技术的发展, 重点介绍一种国内自主研发的舰载电视监视系统中电子稳像器的实现和主要特点。

## 2 电子稳像基本原理

### 2.1 电子稳像原理

图 1 是摄像机成像靶面的示意图, 每一格代表一个像素。其中图 1(a)是物体在 00、01、10、11 像素上成像的第一帧图像, 图 1(b)是物体成像的第二帧图像, 由于摄像机安装在动载体上, 随着载体运动产生了晃动, 因此同一物体成像位置发生了变化, 在 11、12、21、22 像素点上成像, 相邻两帧图像不重合。当各帧图像按照视频刷新频率在监视器上显示时, 图像就会出现晃动、失稳、模糊。

根据上述分析, 要想稳定晃动的图像序列, 首先要获取各帧图像间的运动矢量。对于面阵 CCD 摄像机, 由于它每一帧的图像信息是按行输出的, 每行又是按像素所排的列序号顺序输出的, 所以求出帧间图像的位移量后, 再通过对 CCD 图像传感器的行、列序号重组, 使其在监视器屏幕上的图像沿运动矢量反方向等位移量移动, 二帧图像在屏幕上重合, 这样就可获得清晰稳定的图像, 如图 1(c)所示。

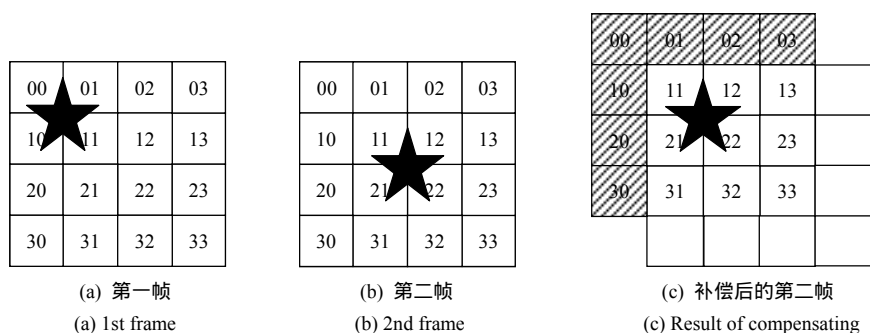


图 1 摄像机成像靶面示意图

Fig.1 Camera image

### 2.2 电子稳像系统基本结构

电子稳像系统基本结构如图 2 所示, 主要包括运动检测和运动补偿单元, 其中运动检测单元通过运动检测算法计算图像序列帧间运动矢量, 是实现电子稳像的关键环节; 运动补偿单元通过图像像素重组完成对图像运动的补偿功能。

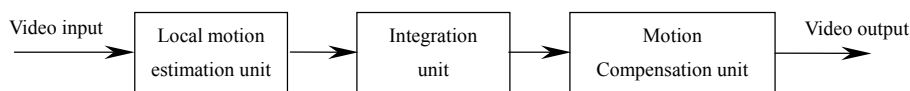


图 2 电子稳像系统基本结构

Fig.2 Basic structure of EIS system

## 3 舰载电视监视系统

### 3.1 系统组成

舰载电视监视系统主要由电视摄像设备、陀螺稳定平台和电子稳像器三部分组成。其中电视摄像设备由长焦距的光学系统和 CCD 摄像机组成。

舰船受风浪的影响, 船体姿态变化大, 船身振动剧烈, 使电视摄像设备所摄取的图像失稳、模糊不清, 分辨率严重下降。图像的稳定性已成为制约电视摄像系统作用距离的瓶颈。

陀螺稳定平台采用四框架结构，其中两轴是稳定轴，用于隔离船体横摇和纵摇的影响，保证摄像设备在水平面内稳定。另外两轴是云台结构，便于摄像机方位、俯仰旋转，用于搜索监视滩涂、海面和低空目标。陀螺稳定平台对摄像设备的稳定称为一级稳定。

摄像设备安装在陀螺稳定平台的云台上，稳定平台架设在船体最高处的桅杆上。

电子稳像器安装在船舱内，主要由基于 DSP6416 的图像处理平台组成，采用稳像算法实时检测图像运动矢量，通过图像补偿处理实现图像序列的稳定输出。电子稳像器对电视图像的稳像处理称为二级稳定。

### 3.2 图像运动矢量的检测方法

目前，国内外有关学者提出了许多行之有效的图像序列运动检测方法，如代表点匹配法 RPM (Representative Point Matching)、灰度投影算法 GPA (Gray Projection Algorithm)、位平面匹配法 BPM (Bit Plane Matching)、光流法(Optical-flow)、频域法、光度学图像分析法等<sup>[1-7]</sup>，每种方法有其特定的使用范围，下面简要介绍在舰载电子稳像器中所采用的灰度投影算法。

#### 3.2.1 灰度投影算法

灰度投影算法是将一幅  $M \times N$  图像的二维灰度信息  $\{f(x, y)\}$  映射成两个独立的一维投影序列：

$$\begin{aligned} X_k(x) &= \sum_{y=1}^n f_k(x, y) / n, \quad x=1, 2, \dots, M; k=1, 2, \dots \\ Y_k(y) &= \sum_{x=1}^m f_k(x, y) / m, \quad y=1, 2, \dots, N; k=1, 2, \dots \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $X_k(x)$ 、 $Y_k(y)$  分别表示第  $k$  帧图像  $\{f_k(x, y)\}$  第  $x$  列和第  $y$  行的灰度投影值， $m$  和  $n$  分别表示投影区间长度，满足条件  $0 \leq m \leq M, 0 \leq n \leq N$ 。

根据灰度投影数据计算运动量就是通过相关运算，建立当前图像投影数据  $\{X_c(x)\}$ 、 $\{Y_c(y)\}$  与参考图像投影数据  $\{X_r(x)\}$ 、 $\{Y_r(y)\}$  的一一对应关系，在当前图像的投影数据中，找出与参考图像最逼近的投影数据。

本文采用最小均方误差(MSE)作为最小匹配准则，构造相关函数如下：

$$\begin{aligned} C(p) &= \frac{1}{m} \sqrt{\sum_{j=1}^m [X_r(x) - X_c(x+p)]^2}, \quad m-M \leq p \leq M-m \\ C(q) &= \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n [Y_r(y) - Y_c(y+q)]^2}, \quad n-N \leq q \leq N-n \end{aligned} \quad (2)$$

根据上述定义，运动矢量  $[dx, dy]^T$  估计变成在  $m-M \leq p \leq M-m$  和  $n-N \leq q \leq N-n$  范围内，求  $C(p)$  和  $C(q)$  的最小值问题。即：

$$dx = \min_{m-M \leq p \leq M-m} C(p), \quad dy = \min_{n-N \leq q \leq N-n} C(q) \quad (3)$$

原始图像及其灰度投影曲线如图 3 所示，其中，图 3(a)是原始图像，图 3(b)是原始图像在列方向上的投影。

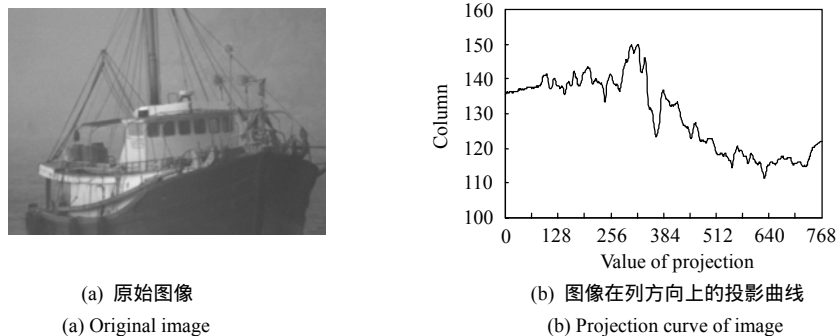


图 3 原始图像及其灰度投影曲线

Fig.3 Original image and its projection curve

### 3.2.2 改进的灰度投影算法-亚像元级运动检测

根据图像运动的连续性,灰度投影数据也具有较好的连续性。为了获取高精度的投影数据,对上述灰度投影数据进行  $D$  细分线性插值处理<sup>[8]</sup>,计算公式如下:

$$\begin{aligned} X_k(x + \frac{d}{D}) &= (1 - \frac{d}{D})X_k(x) + \frac{d}{D}X_k(x+1) \\ Y_k(y + \frac{d}{D}) &= (1 - \frac{d}{D})Y_k(y) + \frac{d}{D}Y_k(y+1) \end{aligned} \quad , d=0, 1, 2, 3, \dots, D-1 \quad (4)$$

通过相关运算,可检测到  $1/D$  像元精度。

### 3.3 图像运动补偿

图像序列运动补偿是通过运动检测算法求取的图像运动矢量,对图像像元位置进行重组实现的。

求取图像运动矢量后,图像补偿量可分解为平移运动量  $[dx, dy]^T$  和图像旋转量  $\theta$ 。由于图像的像元级平移量只涉及到图像单一方向的运动变化,所以补偿方法比较简单,只需按照运动矢量方向等量反向移动图像便可实现。而当图像有亚像元级平移运动量和旋转运动时,补偿方法比较复杂,是图像补偿的重点和难点,要避免在坐标变换时出现“空洞”和“马赛克”现象。

#### 3.3.1 图像运动补偿公式

设图像中心  $(x_0, y_0)$ , 图像运动矢量  $[dx, dy]^T$ , 图像旋转角度  $\theta$ , 则图像运动补偿公式由式(5)表示:

$$\begin{aligned} x' &= (x - x_0)\cos\theta - (y - y_0)\sin\theta + x_0 - dx \\ y' &= (x - x_0)\sin\theta + (y - y_0)\cos\theta + y_0 - dy \end{aligned} \quad (5)$$

式中:  $(x', y')$ 、 $(x, y)$  分别表示补偿前、后坐标。

采用式(5)进行图像补偿,对于补偿结果图像的每一个像元坐标  $(x, y)$ , 都可以保证在补偿前原始图像中有一个对应的像元点坐标  $(x', y')$ 。除非其对应原图像中的点坐标超出坐标值范围,否则在原图像中都可以找到一个对应点,因此可以避免在结果图像中出现“空洞”。

#### 3.3.2 双线性插值-亚像元补偿及平滑处理

在亚像元级运动量  $[dx, dy]^T$  和存在旋转运动量  $\theta$  情况下,按照式(5)进行补偿,得到的  $(x', y')$  计算值是浮点数,而图像像元点的实际坐标值都是整数,在从浮点数转化为整数的过程中将产生误差,影响图像补偿精度。

为了提高图像补偿质量,在采用式(5)进行图像运动补偿时,通过双线性插值方法对图像像元灰度值进行平滑处理。对任意变换后的图像点  $(x, y)$ , 利用变换公式(5)计算原图像上的点  $(x', y')$ , 建立  $(x, y)$  与  $(x', y')$  四邻域像元位置及灰度值的对应关系,采用四邻域灰度值加权平均的方法计算图像点  $(x, y)$  的像元灰度值。

双线性插值算法由式(6)表示:

$$f(x, y) = (1 - x'_d)(1 - y'_d)f(\underline{x}', y') + (1 - x'_d)y'_df(\underline{x}', y' + 1) + x'_d(1 - y'_d)f(\underline{x}' + 1, y') + x'_dy'_df(\underline{x}' + 1, y' + 1) \quad (6)$$

式中:  $\underline{x}'$ 、 $\underline{y}'$  分别表示浮点数坐标  $x'$ 、 $y'$  的取整,并且  $x'_d = x' - \underline{x}'$ ,  $y'_d = y' - \underline{y}'$ 。

双线性插值结果如图 4 所示。其中图 4(a)为原始图像,图 4(b)和图 4(c)分别为双线性插值平滑处理前后的旋转图像,为提高视觉效果,对图像进行了局部放大。从图 4(b)可以看出,在图像边缘附近出现明显

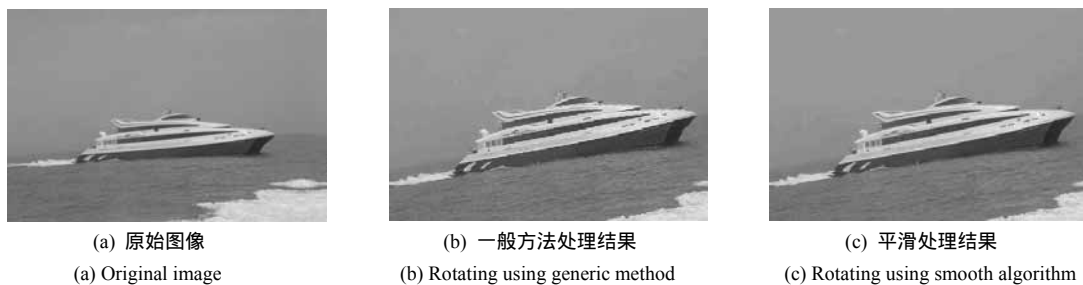


图 4 图像旋转对比

Fig.4 Comparison of rotated images

的“马赛克”现象。采用双线性插值处理后的图 4(c)图像边缘清晰、完整、无锯齿，基本保持了图像质量。

3.4 电子稳像效果

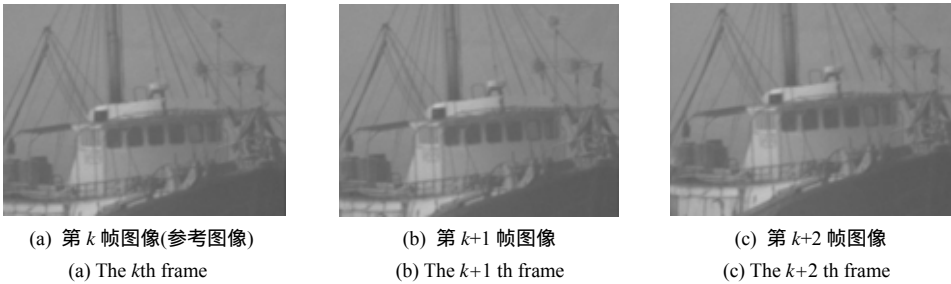
为检测电子稳像器稳像精度及稳像效果，在实验室进行了精度检测及外场稳像试验。

在实验室通过摇摆台对稳像精度进行检测。根据实际应用情况设定摇摆台运动条件，经检测，电子稳像器稳像精度为一个像元，处理时间 $\leq 1/25\text{s}$ ，满足实时处理要求。

外场稳像试验在海上进行，对海上试验采集到的图像序列进行电子稳像。输入原始图像如图 5 所示。在监视器上，原始视频图像出现明显的跳动、模糊。

通过稳像处理，输出稳像结果图像如图 6 所示。

用均方差 MSE 评定稳像效果，其结果见表 1，稳像后 MSE 明显减小。由于被稳定的视频是图像序列，实际稳定效果很难从图 6 的单帧画面上显现。在进行海试时，从稳像前后监视器显示的图像可以看出，经稳像处理的视频图像比原始图像稳定、清晰，稳像效果显著。



## 参考文献：

- [1] Carlos Morimoto, Rama Chellappa. Fast electronic digital image stabilization [J]. **IEEE Processings of ICPR**, 1996, 3 : 284-288.
- [2] Paik Joon Ki, Park Yong Chui, Kim Dong Wook. An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching [J]. **IEEE Trans. on Consumer Electronic**, 1992, 38(3) : 607-616.
- [3] Vella Filippo, Castorina Alfio, Mancuso Massimo, *et al.* Digital Image Stabilization By Adaptive Block Motion Vectors Filtering [J]. **IEEE Trans. on Consumer Electronics**, 2002, 48(3) : 796-801.
- [4] Ko Sung-Jea, Lee Sung-Hee, Jeon Seung-Won, *et al.* Fast Digital Image Stabilizer Based On Gray-Codes Bit-Plane Matching [J]. **IEEE Trans. on Consumer Electronics**, 1999, 45(3) : 598-603.
- [5] Ko S-J, Lee S-H, Lee K-H. Digital image stabilizing algorithms based on bit-plane matching [J]. **IEEE Trans. on Consumer Electronic**, 1998, 44(3) : 617-622.
- [6] 李 博, 王效通, 杨常青, 等. 电子稳像的灰度投影三点局域自适应搜索算法[J]. 光电工程, 2004, 31(9) : 69-72.  
LI Bo, WANG Xiao-tong, YANG Chang-qing, *et al.* Three-point locally adaptive searching in gray scale projection algorithm for electronic image stabilization [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2004, 31(9) : 69-72.
- [7] 赵红颖, 金 宏, 熊经武. 电子稳像概述[J]. 光学精密工程, 2001, 9(4) : 353-359.  
ZHAO Hong-ying, JIN Hong, XIONG Jing-wu. Overview of the electronic image stabilization technology [J]. **Optics and Precision Engineering**, 2001, 9(4) : 353-359.
- [8] 孙 辉, 张永祥, 熊经武, 等. 高分辨率灰度投影算法及其在电子稳像中的应用[J]. 光学技术, 2006, 32(3) : 378-380.  
SUN Hui, ZHANG Yong-xiang, XIONG Jing-wu, *et al.* The application of high resolution gray projection algorithm in electronic image stabilization technology [J]. **Optical Technique**, 2006, 32(3) : 378-380.

~~~~~  
( 上接第 5 页 )

## 5 结 论

理论分析和仿真表明, 地平式光电跟踪系统跟踪目标时俯仰轴与方位轴之间通常存在运动耦合关系, 系统的这种非线性关系按照线性处理有时会严重影响系统的跟踪精度, 设计系统结构时, 如果保证地平式光电跟踪系统的俯仰轴相对其各惯性主轴的转动惯量相等, 可彻底解决俯仰轴与方位轴之间的运动耦合关系。

## 参考文献：

- [1] 黄永梅, 付承毓. 模糊控制对精密实时跟踪控制系统性能的改善[J]. 光电工程, 1996, 26(1) : 16-22.  
HUANG Yong-mei, FU Cheng-yu. The performance Improvement of the Precision Real Time Tracking and Control System by Using Fuzzy Control [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 1999, 26(1) : 16-22.
- [2] 安 凯, 马佳光, 付承毓. 超球聚类模糊神经网络在跟踪控制中的应用[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(8) : 80-83.  
AN Kai, MA Jia-guang, FU Cheng-yu. The Application of Fuzzy Neural Network Based on Super-Sphere Clustering in Tracking Control [J]. **System Engineering and Electronics**, 2001, 23(8) : 80-83.
- [3] 周 军, 车双良, 刘国荣, 等. 光电经纬仪动力学模型分析[J]. 应用光学, 2003, 24(2) : 26-30.  
ZHOU Jun, CHE Shuang-liang, LIU Guo-rong, *et al.* Analysis For Namics Model Of Optoelectronic Theodolite [J]. **Applied Optice**, 2003, 24(2) : 26-30.
- [4] 程云鹏. 矩阵论(第一版) [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1989.  
CHENG Yun-peng. **Matrix Discussion** [M]. Xi'an: Northwestern Industrial University Press, 1989.
- [5] Jeery H, Ginsberg Joseph Genin. **Dynamics** [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.