

一种基于灰度投影算法的电子稳像方法*

朱娟娟 郭宝龙 冯宗哲

(西安电子科技大学机电工程学院 ICIE 研究所, 西安 710071)

摘 要 针对图像序列的抖动,研究了摄像机的抖动和正常扫描这两种运动的特点,提出了一种带运动修正的投影稳像算法 PMCA. 该算法首先利用灰度投影算法求出原始序列运动矢量,然后采用平均值滤波对这些运动矢量进行了处理,为了防止由前一稳定帧补偿带来的错误传播,又做了运动修正,使用原始帧代替稳定帧作为待补偿帧. 实验结果表明 PMCA 算法可以明显减轻序列抖动现象,而且能实时跟随真实扫描场景.

关键词 电子稳像;投影算法;运动估计;运动修正;运动补偿

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

0 引言

电子稳像 EIS (Electronic Image Stabilization) 技术就是利用电子设备和数字图像处理技术相结合的方法,直接从像面上通过检测参考图像和被比较图像的运动矢量,并用以补偿图像,从而获取清晰而稳定的视频图像序列. 最常用的电子稳像方法是块匹配算法^[1],这种算法的优点是估计运动矢量的精度高,但是由于其计算量大,效率低,一般来说,用其很难做到实时稳像处理,因而有许多种改进的形式^[2,3]. 代表点匹配算法简单,计算量小,但是由于代表点是确定的,并非是图像上真正有明显特征的点,因此对图像的变化不敏感,对旋转晃动和慢速晃动不能补偿. 边缘匹配法^[4]利用图像的边缘信息,可以比较准确的获得运动矢量,但是提取的边缘应该是重要的边缘,忽略非重要的边缘^[5]. Ko 所采用的位平面匹配方法^[6]是一个比较新的算法,它只利用图像的一个位平面进行匹配,匹配速度快,如何选择一个适当的位平面进行估计是非常重要的,而且估计精度有待于进一步提高.

本文提出了一种带运动矢量修正的投影稳像算法 (Projection with Motion Correction Algorithm),简称 PMCA. 该算法首先用投影法求出各帧之间的运动矢量,然后对运动矢量序列进行均值滤波,做平滑处理,以除去高频抖动部分,并且为了控制在补偿开始时的错误向后帧传播,又进行了运动矢量修正. 试验采用图像差值和图像序列的逼真度对稳定结果进行了评定,结果表明这种运动矢量平滑和修正方法可以明显减轻摄像机的随机振动,实时准确

地实现视频序列的稳定.

1 EIS 系统的组成及基本原理

电子稳像系统一般包括三个主要的功能模块:运动矢量的检测模块,补偿量输出模块和图像补偿模块,其系统框图如图 1.

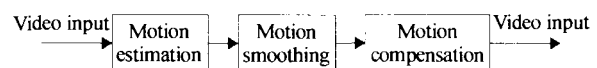


图 1 电子稳像系统结构框图

Fig. 1 Block diagram of a EIS system

电子稳像就是通过各种不同的运动估计算法对图像进行处理,估算出当前帧相对于参考帧的运动偏移量,而后对其进行补偿. 图 2 介绍了图像序列只存在摄像机的平移抖动的基本稳像原理.

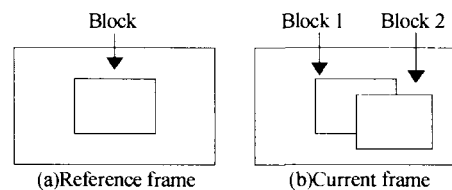


图 2 电子稳像原理图

Fig. 2 Diagram of EIS theory

如图 2,图像序列没有抖动时,当前帧图像上的匹配块 block 1 和参考帧上的匹配块 block 匹配;当图像序列存在抖动时,当前帧上与参考帧对应的匹配块则运动到匹配块 block 2 处,块 2 与块 1 初始点的坐标差 (x, y) 表示当前帧相对参考帧的运动矢量 MV (motion vector). 在求出运动矢量后,把当前帧图像沿 X 轴正方向运动 $-x$ 个像素,沿 Y 轴正方向运动 $-y$ 个像素,只有第二帧输出的图像与第一帧图像相同,二帧图像重合才可获得清晰的图像.

这是一种最简单的电子稳像模型,只考虑摄像机的平移,完全忽略了摄像机的正常扫描、旋转、变焦和目标的运动等,补偿方法采用的是当前帧补偿法. 根据不同图像序列,应该采取不同的稳像方法.

*国家自然科学基金资助(69975015)和教育部优秀青年教师计划项目资助
Tel:029-88206262 Email:zhujoo@126.com
收稿日期:2004-06-08

2 PMCA 电子稳像方法

在现有的稳像算法的基础上, 结合运动估计的

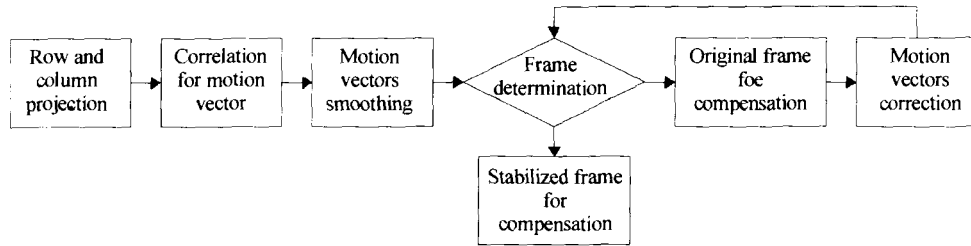


图3 算法流程图

Fig. 3 Flow diagram of PMCA

2.1 确定图像运动矢量

利用电子稳像技术实现动态图像序列的稳定, 最重要的环节是检测图像的帧间运动矢量, 它占去了稳像系统的主要工作时间, 因而需要选择快速准确的运动估计算法. 在本文中, 我们采用的是灰度投影法, 这种算法与其它运动估计算法对像素点进行互相关运算不同的是, 它利用图像的行列灰度投影曲线做一次相关运算^[7], 就可以准确地获取图像的运动矢量.

2.1.1 图像映射

通常在运动估计时所采用的参考帧是存储器中的第一帧图像, 然后计算每一个当前帧相对于这个参考帧的运动偏移. 这种选取参考帧的方法存在的问题是, 两幅图像的重叠区域将会越来越小, 若干帧之后将会导致无法计算出运动参数. 而相邻两帧图像有较好的重叠区域, 采用计算相邻两帧之间运动参数的办法可以克服这一问题. 在这种情况下, 可以认为两帧图像之间只存在平移运动而忽略小的旋转运动, 因而能够直接利用灰度投影法计算出运动偏移量.

对每一帧待处理的二维图像($N \times M$)使用直方图均衡化进行预处理后, 映射成两个独立的一维波形. 式(1)是把第 k 幅图像每一列和每一行像素灰度值进行累加

$$l(j) = \sum_{i=1}^N pixel_k(i, j) \quad (1)$$

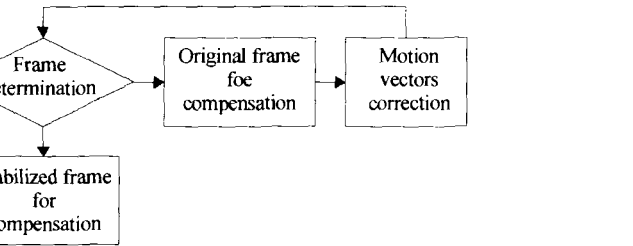
$$h(i) = \sum_{j=1}^M pixel_k(i, j) \quad (2)$$

其中 $pixel_k(i, j)$ 表示第 k 幅图像上 (i, j) 点的灰度值; $l(j)$ 表示图像第 j 列像素灰度值的累加和, 即为第 j 列像素的投影值. 类似地, $h(i)$ 表示图像第 i 行像素灰度值的累加和, 即为第 i 行像素的投影值.

2.1.2 投影滤波

通过对投影值进行滤波可提高校正精度. 因为边缘信息在每一幅图像上是唯一的, 当图像移动量大时, 边缘信息在互相关计算时对互相关的峰值产

生不利的影响. 解决这个问题可以通过余弦滤波器进行滤波, 其作用是降低边界信息的幅值而保留中间区域的波形.



生不利的影响. 解决这个问题可以通过余弦滤波器进行滤波, 其作用是降低边界信息的幅值而保留中间区域的波形.

2.1.3 运动矢量获取

把待处理图像的列投影与参考图像的列投影作互相关运算, 相关值曲线的波峰所在位置表示当前图像相对参考图像的行偏移量. 同样的, 把图像的列投影作相关运算可得到图像的列偏移量.

2.2 运动矢量平滑

图像序列运动的产生原因有两种: 一方面是由于摄像机的正常扫描运动引起的, 另一方面是由于摄像机的随机振动引起的, 若扫描运动被稳像系统误以为是振动而稳定了, 就达不到全景扫描的目的了.

我们研究了摄像机的随机抖动和正常扫描运动的特点, 确定了运动矢量平滑的方法. 我们可以假定摄像机的正常扫描运动在一定时间内具有方向和幅值的一致性, 是平滑的低频运动, 而随机振动则包含了快速的运动参数变化. 简单地说运动参数变化中的高频成分可以认为是由摄像机的随机振动引起的, 需要被去除.

我们选用均值滤波器来去除这种高频成分. 对于频率较大的抖动, 滤波器长度宜取较小值, 否则会出现过稳现象, 导致实际图像和观察图像出现较大偏差; 而对于频率较小的抖动, 若滤波器长度过小, 就会达不到降低抖动频率的目的, 即出现欠稳现象. 通常, 滤波器的长度为 5 或 7, 本实验选为 5. 因此, 只要存储 6 帧之间的 5 个运动矢量, 作平均之后就可以得到平滑的运动矢量 SMV(smoothed MV).

2.3 运动矢量修正及图像补偿

理想的稳定序列是, 相邻两帧之间只存在由摄像机扫描引起的运动, 而不存在抖动. 均值滤波后的运动矢量序列, 有效去除或减轻了原始的剧烈抖动, 而较好的保留了摄像机的扫描运动, 因而可以利用平滑的运动矢量, 逐帧进行运动补偿. 本算法采

取的补偿方法是:补偿原始序列的第一帧得到稳定的第二帧,再补偿稳定的第二帧得到稳定的第三帧,从而可以得到整个稳定的图像序列。

但是,由于每一稳定帧都是由前一稳定帧补偿而来,图像序列最开始的运动补偿如果出现错误,这种错误就会一直传播到随后的图像中,导致图像的边缘产生变形。因而我们又对运动矢量序列进行了修正,改进了补偿方法。这种控制错误传播的方法为:为了求出稳定序列中的第 $k+1$ 帧,分别计算原始运动序列和稳定运动序列前 $k-1$ 个运动矢量的和,如果原始序列的累积和与稳定序列的累积和的差值在一定范围内,则利用原始序列中的第 k 帧来做运动补偿;反之就用稳定序列中的第 k 帧来做补偿。具体步骤为:

步骤 1:计算

$$|\sum_{i=1}^{k-1} u_{i,o} - \sum_{i=1}^{k-1} u_{i,s}|^2 + |\sum_{i=1}^{k-1} v_{i,o} - \sum_{i=1}^{k-1} v_{i,s}|^2 \quad (3)$$

式中 $u_{i,o}, u_{i,s}$ 分别表示原始和平滑的水平运动参数, $v_{i,o}, v_{i,s}$ 表示垂直方向。

步骤 2:判断式(3)的值是否小于某阈值,小于则转步骤 3,大于则转步骤 4;

步骤 3:补偿原始帧 k ,补偿参数为 SMV k ,得到第 $k+1$ 稳定帧,并且更新 SMV k ;

步骤 4:补偿稳定帧 k ,补偿参数为 SMV k ,得到第 $k+1$ 稳定帧。

另外,采用小阈值,利用稳定帧做补偿,稳定序列中不会出现突然运动偏移现象,而采用大阈值,就会更多地利用原始帧,累积错误得到有效控制。但是,如果一直采用稳定帧做补偿,补偿后的图像信息损失将逐渐增多,同样会产生错误。因此规定每 15 帧用一次原始帧,类似于视频编码中若干 P 帧后插入 I 帧。

3 试验结果及分析

对于参考帧和被比较帧(240×320)做剪切处理,边缘去掉 20 行,40 列,得到(200×280)范围内的像素。通过直方图均衡化处理后,分别做行,列投影,然后取出被比较帧列投影的(41:200)共 160 单位的灰度投影值与参考帧的列投影做相关运算,相关公式如下

$$C(i) = \sum_{j=1}^{160} [l_1(j+i-1) - l_2(40+j)]^2 \quad (4)$$

令 I_{min} 为 $C(i)$ ($1 \leq i \leq 81$) 最小时的 i 值,则水平方向的运动矢量可由式(5)确定

$$u = 41 - I_{min} \quad (5)$$

再取出被比较帧行投影的(21:180)共 160 单位的灰度投影值与参考帧的行投影做相关运算,其公

式如下:

$$D(j) = \sum_{i=1}^{160} [h_1(i+j-1) - h_2(20+i)]^2 \quad (6)$$

令 J_{min} 为 $D(j)$ ($1 \leq j \leq 41$) 最小时的 j 值,则垂直方向的运动矢量可由式(7)确定

$$v = 21 - J_{min} \quad (7)$$

该算法可以检测的水平方向的最大偏移为±40个像素,垂直方向±20。 u 为正时表明被比较帧相对参考帧向右偏移了 u 个像素, v 为正时表明向下偏移了 v 个像素。

对所得的原始序列的运动矢量做均值滤波,采用控制错误传播方法后得到平滑的结果运动矢量序列。以水平方向运动矢量序列为例,如图 4 可以看出,原始运动矢量序列存在较大抖动,经过均值滤波后得到相对平滑的运动矢量序列,有效去除图像序列运动中的高频振动,近似保留了低频扫描运动。图中箭头标注出现了三处运动修正,表明在这三处,引入原始帧做补偿,但也引入了突然的运动偏移。但是这样的结果序列与实际序列不会出现较大偏差,保证结果图像跟随摄像机的正常扫描运动。

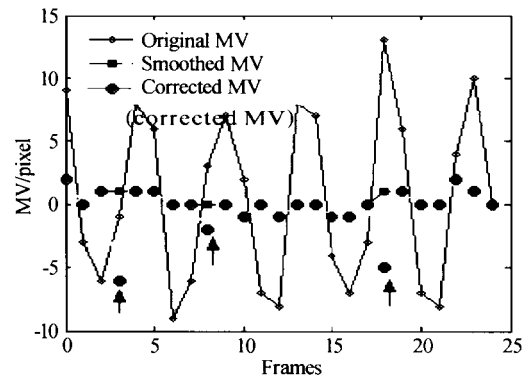


图 4 水平运动矢量序列图
Fig. 4 Horizontal motion vector

图 5 中(a)是原始序列中某一帧,(b)是稳定序列中同一时刻帧,(c)是帧(a)和其前一帧的差图像,(d)为稳定序列中对应两帧的差图像。为了具体说

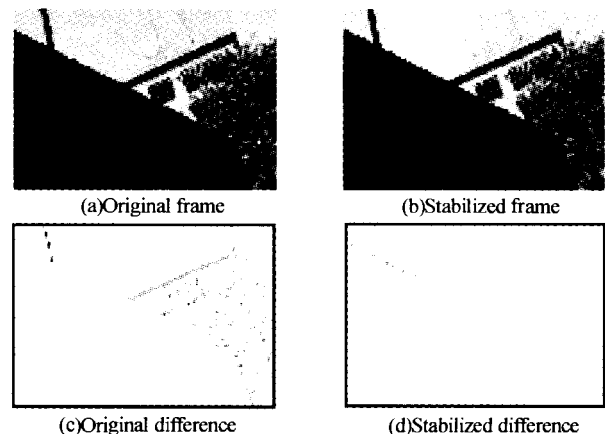


图 5 差值图像比较
Fig. 5 Comparison of difference image

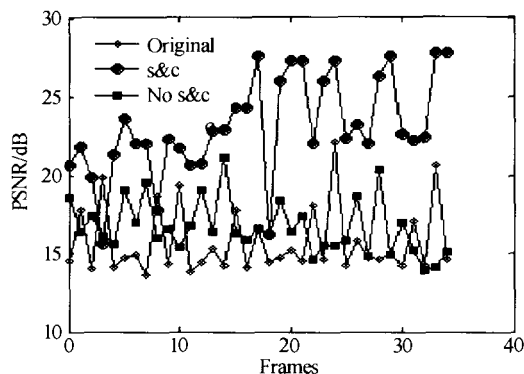


图6 图像序列逼真度比较

Fig. 6 Comparison of sequence fidelity

明结果序列的稳定性,我们又给出了原始序列(original),未平滑和修正序列(no s&c),加平滑和修正序列(s&c)的 PSNR 值作比较,如图 6. 本算法的图像序列逼真度有非常大的提高.

4 结论

本文提出了带运动修正的投影稳像法 PMCA, 该算法能快速而又准确地估计运动矢量,而且通过均值滤波器,有效去除摄像机的抖动,运动修正方法又使结果序列跟随扫描场景,能够实时准确的稳定图像序列. 这种算法由于利用的是相邻帧,相邻帧之间图像变化小,所以对摄像机的小旋转不太敏感. 但是该算法要求所摄图像灰度变化明显,否则无法通过行列投影相关求出运动参数. 另外对于图像序列存在大旋转运动和变焦运动,就需要采用其他运动估计算法,此时仍然可以对旋转角度和偏移矢量

采用类似的运动平滑和运动修正.

参考文献

- 1 Vella F, Castorina A, Mancuso M, *et al.* Digital image tabilization by adaptive block motion vectors filtering. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 2002, **48**(3): 796~801
- 2 向友君,郭宝龙. 基于起点预测的快速运动估计算法. 西安电子科技大学学报, 2003, **30**(3): 386~390
Xiang Y J, Guo B L. *Journal of Xidian University*, 2003, **30**(3): 386~390
- 3 杨静,丘江,刘波. MESA 及其在模板匹配中的应用. 光子学报, 2001, **30**(4): 451~454
Yang J, Qiu J, Liu B. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(4): 451~454
- 4 Joon Ki Paik, Yong Chul Park, Dong Wook Kim. An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 1992, **38**(3): 607~616
- 5 赵键,杨川,俞卞章. 多重分形分析图像边缘提取算法. 光子学报, 2003, **32**(1): 61~64
Zhao J, Yang C, Yu B Z. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 61~64
- 6 Sung Jea Ko, Sung Hee Lee, Seung Won Jeon, *et al.* Fast digital image stabilizer based on gray-coded bit-plane matching. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 1999, **45**(3): 598~603
- 7 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 X Q, Wang P. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(1): 105~108

An Electronic Image Stabilization Method Based on Projection Algorithm

Zhu Juanjuan, Guo Baolong, Feng Zongzhe

School of Electromechanical Engineering, ICIE Institute Xidian Univ., Xi'an 710071

Received date: 2004-06-08

Abstract An analysis of the causes of image motion is made and a research on the characteristics of the unwanted camera motion and the intentional camera movement is carried out. And then an EIS method based on projection algorithm PMCA is presented. Original estimated motion vectors are smoothed through a moving average filter. An error propagation control method is used to prevent boundary error. Experimental results show that this algorithm can effectively smooth out the unwanted camera motion and follow the intentional camera movement.

Keywords Electronic image stabilization; Projection algorithm; Motion estimation; Motion correction; Motion compensation

Zhu Juanjuan was born in 1980. In 2002, She received the B. E. degree in automation engineering from Xidian University. Now She is a Ph. D. candidate on circuit and system at Xidian University. Her research interests are image processing and electronic image stabilization.

