

基于灰度投影的快速电子稳像算法

赵天云, 郭 雷, 余 博

(西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: 提出的基于灰度投影的快速电子稳像算法是将二维图像转化为 1 维投影曲线, 然后进行 1 维相关运算求出运动矢量, 因此计算量小速度快, 且算法是对灰度图像进行直接处理, 处理的信息反映了图像的整体特征并有效地抑制了噪声, 因此具有较高的稳像精度. 该算法经试验证明具有较好的稳像效果, 并已进行了基于 FPGA 的硬件实现.

关键词: 电子稳像算法; 灰度投影; 图像序列; 投影曲线; 图像运动矢量

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2008)11-0233-04

Fast Digital Image Stabilization Algorithm Based on Gray Projection

ZHAO Tianyun, GUO Lei, YU Bo

(College of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In aircraft, tanks or other movement imaging platform, the camera will be dithering and get instable image sequences because of the interference by the airflow or the rough road. It will directly affect the follow up image processing. A fast digital image stabilization algorithm based on gray projection is proposed in this paper: firstly, the image is projected into one dimensional curves; then calculating movement vector by one dimensional correlation. Because the algorithm processes gray information directly and could restrain the noises, it can acquire high accurate image stabilization. And it is fast because of smaller amount of computation. The algorithm has been implemented on FPGA and shows good performance.

Key words: image stabilization; gray projection; image sequences; projection curves; movement vector

1 引言

在以飞行器、战车为代表的运动成像平台上, 受气流干扰或路面平整度的影响, 摄像机在成像过程中会由于平台发生抖动引起图像序列的不稳定, 从而导致成像目标在图像序列中的位置发生随机性跳跃变化, 为避免影响后续的图像处理效果, 一般需采用电子稳像技术对图像序列进行稳像处理^[1,2].

电子稳像技术的实质是通过图像处理手段获取图像的运动矢量, 并对图像序列进行校正, 以获得稳定的图像输出. 常用稳像算法具体采用的方法分为块匹配法、位平面匹配法、边缘匹配法、特征量跟踪法和特征点匹配法^[3]. 块匹配法需要大量的运算, 严重影响实时性; 位平面匹配法, 选择合适的位平面

没有很好的策略, 难以保证较高的精度; 边缘匹配法、特征量跟踪法和特征点匹配法都是基于特征匹配的, 虽然具有高的精度, 但包含的图像信息少, 容易造成匹配失误.

灰度投影算法是基于图像灰度信息分析法的一种电子稳像算法, 由于其可以在保证较高精度的同时具有很好的实时性能而得到广泛的应用.

但由于灰度投影算法是基于整幅图像的投影, 无法反映内部物体的运动, 因此, 内部运动物体会对投影的匹配造成一定的影响.

为兼顾实际应用中对电子稳像技术稳像精度及实时性的双重要求, 针对现有灰度投影算法存在的不足, 提出了基于灰度投影的快速电子稳像算法^[4,5].

收稿日期: 2008-02-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(60675015)

2 算法原理

2.1 电子稳像流程

电子稳像的完整处理流程如图 1 所示. 其核心一般包括三个主要处理部分, 即: 图像帧的运动检测、运动矢量计算和运动补偿.

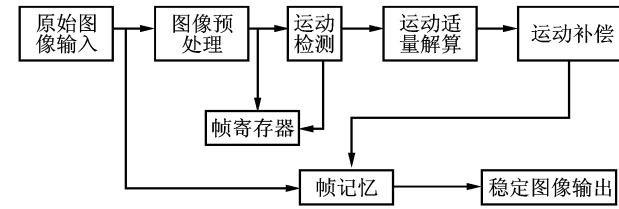


图 1 电子稳像处理流程图

影响图像稳定的因素包括旋转和轴向抖动两个方面的随机变化, 相应地, 完整的稳像算法一般也应包括滚转修正算法和双轴稳定稳像算法. 对于战车、飞行器等众多运动成像平台而言, 其运动特点导致成像平台绕成像光轴滚转的速度相对于成像帧率而言变化较为平缓, 这类平台一般配备的机械稳像装置可以通过自身调整予以部分消除, 未消除的剩余滚转量也可通过该类装置进行实时测定.

考虑图像消旋技术的复杂性及图像滚转角的可测定特征, 滚转修正算法可采用根据实时测定滚转角进行简单图像旋转修正的方法来实现. 因此, 考虑处理的实时性要求, 为便于实现, 这里暂不考虑图像的旋转退化修正问题, 成像平台抖动造成的轴向漂移通过双轴(图像的垂直、水平方向)灰度投影算法进行校正.

2.2 灰度投影算法

灰度投影算法^[6]是一种基于投影算法的稳像方法, 可分为图像映射和相关计算两个步骤.

(1) 图像映射

对于输入的图像序列中的每一帧图像经过滤波预处理之后, 将其灰度值映射成两个独立的一维波形, 即把二维图像信息用两个独立的一维信息来表示. 其投影公式可表示为

$$\begin{cases} G_k(j) = \sum_j G_k(i, j) \\ G_k(i) = \sum_i G_k(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

式中, $G_k(j)$ 为第 k 帧图像第 j 列的灰度投影值, $G_k(i)$ 为第 k 帧图像第 i 行的灰度投影值, $G_k(i, j)$ 为第 k 帧图像上 (i, j) 处的像素灰度值.

(2) 位移相关检测

将第 k 帧图像的行、列灰度投影曲线与参考帧

图像的行、列灰度投影曲线做互相关运算, 根据两条相关曲线的波谷值即可确定当前帧图像相对于参考帧图像的行、列位移矢量值. 下式为进行行列相关运算的计算公式:

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

$$1 \leq w \leq 2m+1$$

式中, $G_k(j)$ 和 $G_r(j)$ 分别为第 k 帧图像和参考帧图像的第 j 列的灰度投影值, N 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. 设 w_{\min} 为 $C(w)$ 最小时 w 的值, 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

$$\delta_c = m + 1 - w_{\min} \quad (3)$$

得到了水平方向和垂直方向的位移矢量后, 就可以将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.

2.3 主要影响因素

(1) 投影区域的选择

投影区域大小的选取是灰度投影算法的关键之一. 一方面, 减小投影区域尺寸, 能更好地保证区域内的图像点的运动具有一致性, 并可忽略图像旋转造成的对计算运动量的影响, 减少计算量, 提高计算速度^[7,8]. 另一方面, 区域的尺寸要足够大, 才能包含更多的图像灰度信息, 尽可能反映实际图像的相关程度, 增加匹配的精确性, 还能尽量减少内部物体运动带来的影响.

(2) 参考帧的选择

帧间运动矢量的计算方式, 基本上可以分为两种: 一种是固定帧匹配, 即图像序列的首帧作为以后图像的参考帧, 以后的图像都作为匹配帧与它比较来计算相对运动矢量; 另一种则是相邻帧匹配, 就是对相邻的每两帧图像都进行比较, 来计算运动矢量.

固定帧匹配方法由于不存在累计误差, 所以矢量判断较为准确, 在定点拍摄的情况下图像稳定效果好, 且相对简单易行, 也是在运动估计算法的研究中较为常用的. 这种方法的主要问题是一旦出现失稳状况, 即图像的运动超出了运动矢量计算的临界值, 或者是图像匹配程度偏低, 运动矢量变得不可靠, 后续的处理非常困难, 同时难以应对扫描拍摄成像条件下的稳像要求.

对于相邻帧匹配方法, 由于始终是相邻的两帧进行匹配, 所以在固定帧匹配当中不同参考帧带来的跳变误差实际上被分散到了每一对相邻帧的运动估计过程中, 因此不会因为参考帧相差较大而出现

明显的图像跳变行为, 缺点是运算矢量存在累计误差。

(3) 内部物体运动的影响

在过程中, 目标区域中常常包含运动物体, 它会和摄影系统的随机振动合成后反映在所获图像序列上的图像信息上。由于灰度投影算法是直接从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上运动矢量的合成。为了提高电子稳像精度, 必须能探测出物体的运动, 才能分离出图像序列帧间稳像所需有效运动矢量。

3 算法优化

通过以上论述可知, 由于灰度投影算法简单、计算量小, 已可以满足系统对实时性及易于硬件实现的要求。为提高算法的稳像精度, 取得理想的稳像效果, 针对算法存在的弱点, 有必要采取以下措施进行算法的优化, 在保证算法处理精度、速度的前提下提高算法的鲁棒性。

3.1 图像预处理

由于灰度投影算法自身的特点, 对于图像对比度较低的灰度图像序列, 很难准确的匹配到正确的运动矢量。为了解决这个问题, 应首先对图像进行直方图均衡化, 增强图像的对比度, 然后再进行灰度投影处理^[9-10]。

3.2 投影区域的选择策略

对于分辨率低于 320×240 像素的图像序列, 可直接将全图视为投影区域。试验结果表明, 该方法能够很好地兼顾稳像的速度和精度, 如果图像分辨率大于 320×240 像素, 可以选取图像中心 320×240 像素的部分作为投影区域。如果图像中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。

3.3 参考帧的选择策略

考虑运动成像平台的成像特点, 由于摄像机一直处于不断运动状态, 采用固定帧匹配的方法显然并不适合, 而采用相邻帧匹配方法, 其误差积累和计算量的增加都会影响到算法处理的速度和精度。因此, 采用了根据待稳定图像抖动的幅度和频率情况, 在每 1~10 帧中动态选取或更新参考帧的策略, 这样就能结合二者的优点, 既能保证稳像处理的速度, 又可有效降低积累误差, 兼顾稳像的精度。

3.4 消除稳像图像运动物体的影响

实际处理过程中, 目标区域中常常包含运动物体, 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。为了提高电子稳像准确度, 必须估计物体的运动, 才能分离出有效的图像序列帧间运动矢量。为解决这个问题, 在这里采用的办法是将投影区域分区处理, 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。如果某个子区域存在运动物体, 则其运动矢量与其他子区域的运动矢量将不一致, 这样可以有选择地进行抛弃或者求平均处理以减少运动物体对整体稳像的影响。

具体实现方法:

① 首先将图像分解为 N 个子区域, 分别进行投影计算, 得到 N 个子区的运动向量;

② 根据一定的运算规则通过 N 个小块的局部运动向量计算出全局运动向量;

③ 将全局运动向量分别和局部运动向量进行对比, 如果差值大于设定域值, 则认为该局部运动向量对应的子区中存在运动物体, 舍弃该区计算结果;

④ 将剩余子区的局部运动向量求均值, 得到总的运动向量, 用于后期的图像运动补偿处理。

根据实验, 对于分辨率为 320×240 像素的投影区域, 根据图像抖动幅度可以将其均匀地分成 4~16 个子区域即可满足稳像处理的精度要求。

优化的灰度投影算法主程序流程图如图 2 所示。

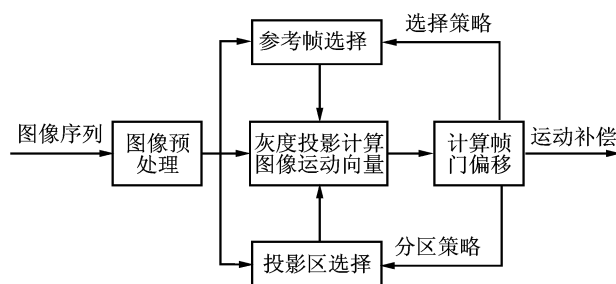


图2 优化灰度投影算法流程图

4 实验与分析

利用灰度投影算法成功的在 Altera 公司的 FPGA 芯片 Stratix EP1S25 上进行了移植(具体方法这里不作细述), 分别使用 Matlab 的实例视频及实拍红外视频作为模拟图像源进行了实验, 实验效果如图 3 所示。

图 3(a) 显示的是成像平台在通过一个颠簸路面时, 图像序列发生产生轴向抖动后的第 5、20、35、50 帧图像。图 3(b) 为经过算法稳像处理后对应的结果图像, 图内的黑色部分为进行运动补偿后图像的偏移部分, 其出现的位置与宽度代表了该帧图像的

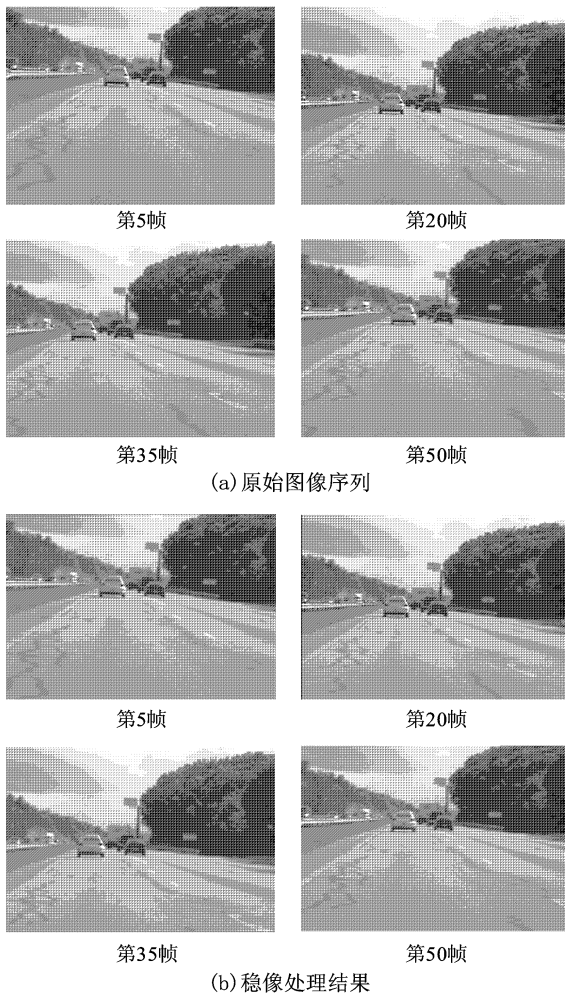


图3 MATLAB 实例视频稳像效果

运动偏移方向和偏移量。

经实验证实, FPGA 实现的算法逻辑占用量为 23 万逻辑门(不包括接口电路及存储单元), 最高工作频率为 135MHz。处理过程包括简单的图像预处理、运动矢量计算与运动补偿, 单帧平均处理时间 6~8ms, 满足高速稳像处理 10ms(100 帧/s)的技术要求。

实验结果是在自行研制的 FPGA 开发板上获得的, 实验用的视频文件先通过计算机解码为图像数据流, 通过 PCI 接口板传送到开发板上的处理芯片进行处理, 处理结果通过另一路 PCI 接口板传送回计算机, 单帧及全部处理时间由处理芯片内部计时换算得出。

5 结束语

针对飞行器、车辆等运动成像平台成像的特点及对稳像精度与实时性处理的双重要求, 提出了一种基于灰度投影的快速电子稳像算法, 将两维图像转化为一维投影曲线, 进行一维相关运算求出运动

矢量, 因此计算量小, 速度快, 较容易满足高速图像处理系统对稳像算法严格的实时性要求。该算法是对灰度图像进行直接处理, 处理的信息反映了图像的整体特征并有效地抑制了噪声, 因此具有较高的稳像处理精度。经试验证明, 该算法具有较好的稳像效果, 并已进行了基于 FPGA 的硬件实现。

参考文献:

- [1] Wang Xiaoyong, Li Qi, Xu Zhihai, et al. Real-time digital image stabilization system based on gray projection algorithm[J]. Acta Photonica Sinica, 2006, 35(8): 1268-1271.
- [2] Sun Hui. Fast gray projection algorithm and its application to electronic image stabilization[J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(3): 412-416.
- [3] Chang Hungchang, Lai Shanghong, Lu K R. A robust real-time video stabilization algorithm[J]. J. Vis. Commun. Image R, 2006(17): 659-673.
- [4] 史德琴, 李俊山, 杨威. 基于全局运动补偿的红外目标变换相关跟踪算法[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(6): 46-49.
- [5] 焦荣惠. 一种改进的运动估计算法[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(12): 213-215.
- [6] 柯海峰. 基于变形模板技术的目标轮廓跟踪算法[J]. 2008, 25(6): 197-200.
- [7] Yosi Keller, Amir Averbuch, Moshe Israeli. Pseudopolar-based estimation of large translations, rotations and scalings in images[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2005, 14(1): 12-21.
- [8] Xu Kebin, Wang Zhenyuan, Heng P A, et al. Classification by nonlinear integral projections[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2003, 11(2): 187-201.
- [9] Crawford A J, Denman H, Kelly F. Gradient based dominant motion estimation with integral projections for real time video stabilization[J]. IEEE ICIP, 2004(5): 3371-3374.
- [10] 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.

作者简介:

赵天云 男, (1970-), 博士, 讲师. 研究方向为控制科学与控制工程。

郭雷 男, (1958-), 博士, 教授. 研究方向为控制科学与控制工程。