

doi: 10.3788/gzxb20124109.1065

改进块匹配宏块的快速传感器电子稳像方法

王鹏, 赵跃进, 孔令琴, 董立泉, 戴璐

(北京理工大学 光电学院, 北京 100081)

摘 要:提出了一种改进块匹配宏块分布排列的快速传感器电子稳像算法,通过陀螺传感器测量摄像系统的抖动,利用小范围快速块匹配算法估计局部运动矢量,再运用最小二乘法解算全局运动矢量.小范围快速块匹配算法得到的局部运动矢量准确度高,仅需部分局部运动矢量即可准确解算出全局运动矢量.基于此在保证运动矢量准确度情况下,对块匹配宏块的分布排列进行了改进,从而减少匹配宏块数量加快算法速度.通过对宏块网格模型的分析,得出对小范围快速块匹配算法进行宏块分布改进的方案,进而设计出快速传感器电子稳像算法.仿真及实验表明:运算时间提高 89% 左右,且算法准确度略高于改进前算法.

关键词:陀螺;宏块;块匹配;运动估计;传感器电子稳像

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)09-1065-6

0 引言

近些年来,数字摄像系统在各个领域得到广泛的应用.摄像系统载体自身的运动会使采集的视频图像发生不规则抖动,不利于人眼长时间的观测,也不利于视频图像的后继处理和分析,因此对处于运动载体上的摄像系统进行稳像处理十分必要.电子稳像(Electronic Image Stabilization, EIS)就是利用数字图像处理的方法对视频图像进行处理,达到输出稳定图像的目的.其原理一般为确定图像的基准帧(参考帧),通过采用的稳像策略计算后续帧(当前帧)相对于基准帧的全局运动矢量,并进行运动补偿^[1-2].对于运动矢量的估计有利用图像信息和角速度传感器两种方法.依赖图像信息进行运动估计的方法又叫数字稳像(Digital Image Stabilization, DIS),是国内外电子稳像研究的主要内容,其运动估计可分为局部运动矢量估计、全局运动矢量估计^[3].利用角度传感器进行稳像的方法(Sensor Electronic Image Stabilization, SEIS),国内外对其研究不多,该方法由陀螺测量摄像系统抖动,经解算直接得到全局运动矢量然后进行运动补偿,运算速度快但对陀螺准确度要求高,稳像准确度受到陀螺品质的限制,并且需要对陀螺的漂移和偏移进行抑制和实时校正^[4-5].

现在很多角度传感系统中为了减少系统体积及重量等通常使用 MEMS 陀螺,而 MEMS 陀螺受工艺等的限制准确度有限^[6],这就需要对原有传感器稳像方法进行改进.现有的改进方法有在利用陀螺进行机械稳定之后再利用数字稳像技术进行二次稳像^[7],该方法未能减少稳像系统的体积和成本仅在对现有机械稳像系统性能提升上有一定意义;另一种方法是利用传感器电子稳像算法进行稳像后,再利用数字稳像技术进行二次稳像^[8],该方法减少了系统的机械设备但算法重复有较大的冗余,未能发挥传感器电子稳像的速度优势.针对该方法的不足,作者曾撰文提出将高精度陀螺测量的图像偏移量和数字稳像块匹配算法相结合的复合式传感器电子稳像算法,核心为小范围快速块匹配算法^[9].该算法将角度传感器得到的摄像系统抖动信息用于预测块匹配算法的搜索方向,并针对预测搜索范围改进算法的搜索策略.该算法运算速度快、准确度高、稳像范围大、可以有效地抑制误匹配的发生,利用该算法解算得到的局部运动矢量准确度高.一帧视频图像经运算得到一个由很多局部运动矢量组成的矢量集合,由局部运动矢量集合解算全局运动矢量是一个解超定方程组的过程.方程未知量的准确度取决于已知量样本的准确度,如果局部运动矢量的准确度高、一致性好,适当减少样本的数量不会影响解算未

基金项目:国家自然科学基金(No. 61036006)资助

第一作者:王鹏(1983—),男,博士研究生,主要研究方向为电子稳像. Email: wing52@163.com

责任作者/导师(通讯作者):赵跃进(1958—),男,教授,博导,主要研究方向为电子稳像、THz 成像技术和基于 MEMS 的红外成像技术. Email: yjzhao@bit.edu.cn

收稿日期:2012-03-20; **修回日期:**2012-05-17

知量的准确度. 因此由于小范围快速块匹配算法的高准确度特点, 可以适当减少局部运动矢量的个数(即匹配宏块的个数)而不影响全局运动矢量的准确度.

针对以上问题, 本文提出了一种改进块匹配宏块分布排列的快速传感器电子稳像算法. 首先对图像宏块分布进行重新排列, 然后结合陀螺传感得到的摄像系统抖动量用小范围快速块匹配算法进行局部运动矢量的解算, 再用最小二乘法解算全局运动矢量并对视频图像进行稳像补偿. 该算法能够保证全局运动矢量的解算准确度并有效提高运算速度.

1 算法的理论分析

角度传感器与数字稳像算法相结合的传感器电子稳像算法, 首先利用陀螺传感摄像系统的抖动, 将陀螺输出信息换算为像面上的位移量, 以该位移指向位置作为初始搜索位置对图像进行小范围快速块匹配运算, 得到局部运动矢量, 再通过最小二乘法解算全局运动矢量, 对图像进行运动补偿后, 输出稳定的图像序列. 由于角度传感器与块匹配算法的结合运用, 算法可以更快、准确进行局部运动估计, 提升稳像算法的整体性能.

1.1 小范围块匹配算法

本文利用石英 MEMS 陀螺进行传感器电子稳像时, 初始搜索位置分布在以匹配块为中心的小范围内, 据此特点设计小范围快速块匹配算法 (Small Area Block Matching, SABM).

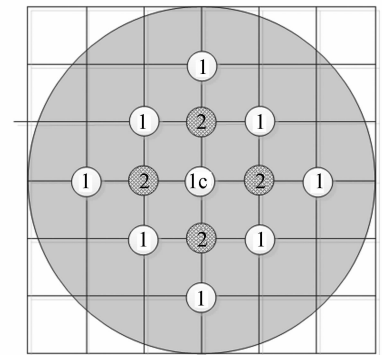
小范围块匹配算法采用的匹配准则为平均绝对误差 (MAD), 其表达式为

$$\text{MAD}(i, j) = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |f_k(m, n) - f_{k-1}(m+i, n+j)| \quad (1)$$

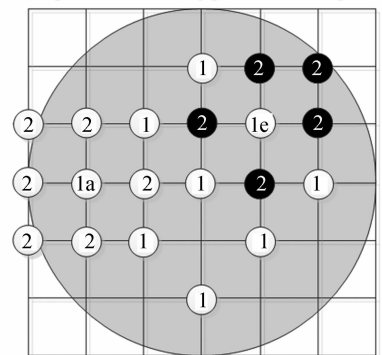
式中 (i, j) 为位移矢量, f_k, f_{k-1} 分别为当前帧和参考帧的灰度值, M, N 为图像的长、宽. MAD 最小点处即为最优匹配点.

算法根据陀螺换算的图像偏移量大小估算初始位置与最优匹配点间的距离, 距离在 ± 3 小范围内使用图 1 所示搜索策略进行块匹配, 距离超出小范围使用经典的菱形法进行块匹配.

图 1 中 ① 表示第一步搜索, 第二步搜索分三种情况: 当第一步搜索最优点为中心点时, 如图 1(a) 中 ①c 所示, ② 表示第二步搜索; 当第一步搜索最优点为角点时, 如图 1(b) 中 ①a 所示, ② 表示第二步搜索; 当第一步搜索最优点为边点时, 如图 1(a) 中 ①c 所示, ② 表示第二步搜索. 此算法速度快、准确度高.



(a) Optimum matching point is centre point



(b) Optimum matching point is edge and angle point

图 1 小范围快速块匹配算法搜索策略示意图

Fig. 1 Search strategy of small area fast block matching

1.2 全局运动矢量的解算

图像间的相对运动通常采用四参量 Similarity 模型来描述^[10], 其表达式为

$$\begin{bmatrix} x'_i & -y'_i & 1 & 0 \\ y'_i & x'_i & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 x_i, y_i 为参考帧中某一宏块坐标, x'_i, y'_i 为当前帧中其匹配宏块的坐标, a, b, c, d 为全局运动参量. 由式(2)可以看出准确描述全局运动矢量需要求解 4 个未知量, 仅需要四个方程即两组对应坐标对即可.

电子稳像算法求取局部运动矢量时, 当前帧中每一个宏块经运算都将得到一组坐标对. 通常选取 16×16 像素大小宏块, 一副 768×576 像素的图像将有 1 728 组对应坐标对. 通过 1 728 组方程求解 4 个未知量 (四参量), 是一个解超定方程组的问题, 实际应用中通常用最小二乘法来求解最优解.

1.3 改进宏块的算法

由上述分析可知, 求解全局运动参量的过程是解超定方程组的过程. 如果局部运动矢量准确度低, 方程组已知量一致性差, 需要大量样本来降低误差对有效数据的影响; 如果局部运动矢量准确度高, 方程组已知量一致性好, 较少数量的准确的局部运动矢量就可以正确解算出全局运动矢量. 由于通过小

范围快速块匹配算法可以得到的局部运动矢量准确度高,因此减少匹配宏块的数量,即对宏块分布进行稀疏之后不会影响解算全局运动矢量的准确度.对块匹配宏块分布的稀疏,可以从水平方向以及对角线方向进行,垂直方向与水平方向原理相同不重复讨论.

1)对宏块在水平方向进行稀疏,稀疏后宏块坐标表达式为

$$\begin{cases} X=1+i \times \frac{1}{P_1} \times B \\ Y=1+j \times \frac{1}{P_2} \times B \end{cases} \quad (3)$$

式中 i, j 满足条件: $i \leq (M-1) \times P_1 / B, j \leq (N-1) \times P_2 / B$. 式中 M, N 为图像的长、宽, B 为宏块大小, X, Y 为宏块的坐标, P_1 为水平方向稀疏度, P_2 为线内稀疏度.

2)对宏块沿对角线方向进行稀疏

当 $i \leq (N-1) \times P_3 / B$ 时,稀疏后宏块坐标表达

式为

$$\begin{cases} X=1+j \times \frac{1}{P_4} \times B \\ Y=1+i \times \frac{1}{P_3} \times B-j \times \frac{1}{P_4} \times B \end{cases} \quad (4)$$

式中 i, j 满足条件: $j / P_4 \leq i / P_3$.

当 $(N-1) \times P_3 / B < i \leq (2N-1) \times P_3 / B$ 时,稀疏后宏块坐标表达式为

$$\begin{cases} X=N-j \times \frac{1}{P_4} \times B \\ Y=i \times \frac{1}{P_3} \times B+j \times \frac{1}{P_4} \times B-N+2 \end{cases} \quad (5)$$

式中 i, j 满足条件: $j / P_4 \leq (2N-2) / B - i / P_3$. 式中 P_3 为对角线方向稀疏度, P_4 为线内稀疏度.

CCD 的像面宽高比一般为 4 : 3 (如 768 : 576 或 1 024 : 768 等), 本文用一个 12 × 9 的宏块网格模型来对比几种稀疏方式的特点, 如图 2.

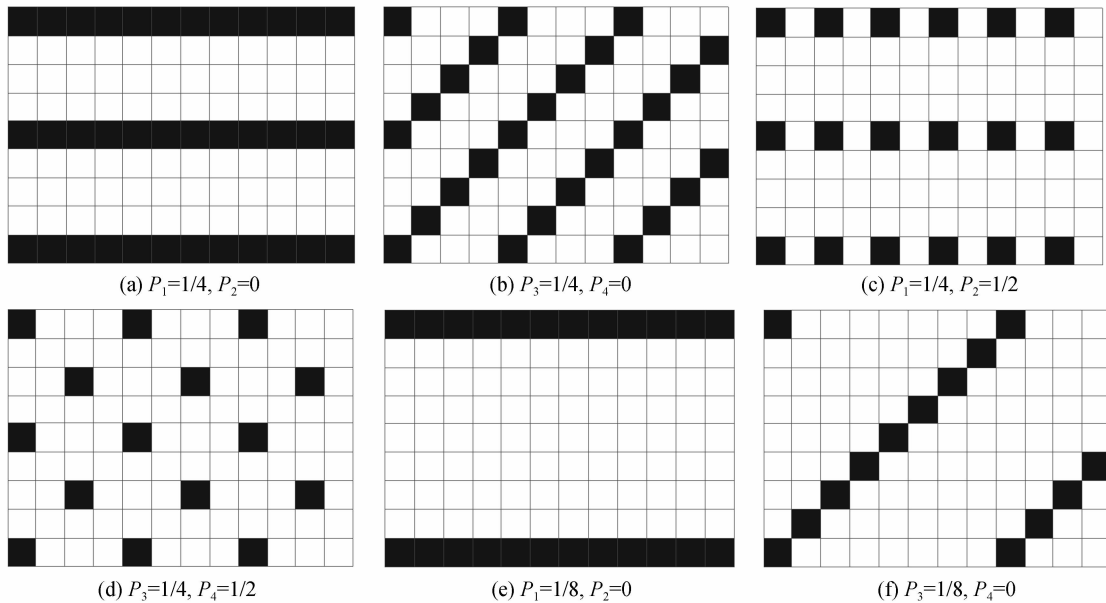


图 2 宏块稀疏示意图
Fig. 2 Improved block diagram

对比图 2(a)与(b), (c)与(d)可以看出,稀疏度相同的情况下:1)对角线稀疏较水平稀疏,稀疏后采集的宏块少;2)对角线稀疏较水平稀疏,稀疏后宏块重叠少,分布更均匀.如果以每个宏块为圆心相同半径做圆可以发现对角线稀疏宏块涵盖信息(像素)更多.宏块少,局部运动估计速度必将有所加快;涵盖更多信息可以保证背景(背景中只存在全局运动)在总宏块中的比例,降低局部运动干扰和误匹配对解算全局运动的影响;更均匀的分布可以避免相邻宏块采集到同一遮挡物和同一片误匹配区域.因此对角线方向稀疏比水平稀疏的局部运动估计速度快准

确度高.

对比图 2(c)与(e)、(d)与(f)可以看出,稀疏度相同的情况下,线间线内都进行稀疏如图 2(c)和(d)比仅线间进行线间稀疏图 2(e)和(f)分布更均匀.由以上分析可知,对线间线内同时稀疏比单一方向稀疏的局部运动矢量准确度高.

假设摄像系统的抖动范围等于宏块尺寸,那么搜索窗口的大小为 2 倍的宏块尺寸.对宏块网格进行对角线 1/2 线内 1/3、对角线 1/3 线内 1/2、对角线 1/4 线内 1/2 的稀疏,并用阴影标记出搜索窗口如图 3.

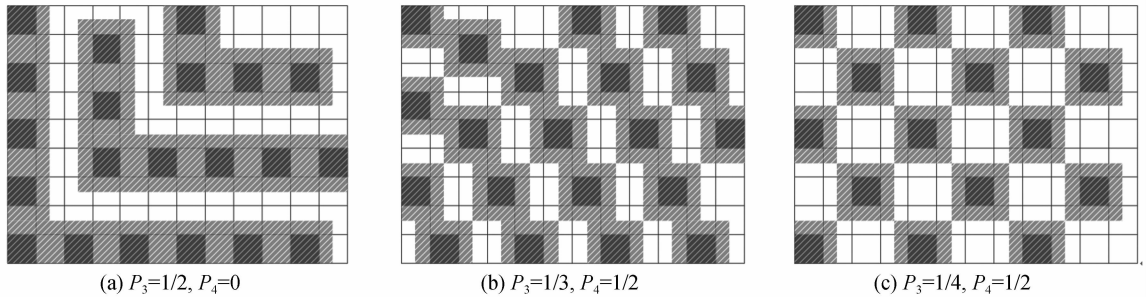


图3 对比对角线稀疏方法
Fig. 3 Comparing sparseness along diagonal

可以看出图 3(b)比(a)分布均匀,因为对角线内宏块的距离是对角线间距离的 $\sqrt{2}$ 倍,线间的稀疏度应该大于 $\sqrt{2}$ 倍线内稀疏度,否则就会出现图 3(a)中的条状空白.在 4:3 宽高比的图像中对角线 1/4 线内 1/2 如图 3(c)及该稀疏度的整数倍分布是最均匀的.可以推出图像长宽与均匀分布的关系表达式为

$$\begin{cases} \text{对角线方向稀疏度: } \frac{1}{h+1} \\ \text{对角线内稀疏度: } \frac{1}{q} \end{cases} \quad (6)$$

式中 $w:h$ 为图像宽高比, q 为 w 的因数即 $w/q=N$ (N 为自然数)且 $(h+1)/2\sqrt{2} < q < (h+1)/\sqrt{2}$. 对于宽高比为 16:9 的图像,最均匀稀疏是对角线 1/5 线内 1/2 及其整数倍.

由于存在局部运动的干扰、大范围的遮挡物体和误匹配等因素造成的奇异点,正确求解全局运动矢量需要足够多的样本,降低奇异点的比重,使运动趋势一致的正常点占绝大多数,因此对宏块的稀疏不能无限制进行.如使用对角线 1/8 线内 1/4 的稀疏方式(对角 1/4 线内 1/2 稀疏度的 2 倍)稀疏一副 768×576 像素的图像,1 728 个局部运动矢量稀疏后仅有 54 个,奇异点对解算影响过大.因此针对于 768×576 像素宽高比为 4:3 的图像采用对角线 1/4 线内 1/2 的方式对宏块进行稀疏最优.

1.4 仿真结果及分析

通过摄像系统(敏通 MTV-1501CB 像素 768×576)采集无遮挡、存在小范围遮挡、存在大范围遮挡的 3 幅图像.无遮挡图像作为参考帧,对 3 幅图像做整体平移处理后得到的平移图像作为当前帧,平移量即为真实全局运动矢量.分别引入 0、1、2、3 四种大小的随机噪音,模拟陀螺的不同准确度,对 0 到 +7 范围内的 34 个位置各进行 50 次仿真,取其平均值.

仿真中使用准确率(Accurate ratio)表征算法精确度,其表达式为

$$\text{准确率} = \frac{\text{与真实全局运动矢量吻合的局部运动矢量个数}}{\text{局部运动矢量总数}} \quad (7)$$

以不稀疏(100%分块)方法的准确率为基准对数据进行归一化处理,仿真结果如图 4.图中“1/3,1/2”表示对角线方向线间 1/3 稀疏,线内 1/2 稀疏;横坐标标题中“1”表示无遮挡图像噪音大小为 1 像素;“s2”表示小范围遮挡图像噪音大小为 2 像素;“b3”表示大范围遮挡图像噪音大小为 3 像素.

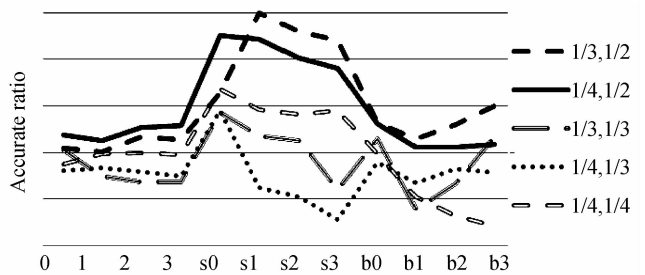


图4 仿真实验
Fig. 4 The accuracy rate of sparseness along diagonal

图 4 结果表明:对角线方向 1/3、1/4 稀疏线内 1/2 稀疏准确度相近并高于其他方法,与理论分析结果一致.对角线 1/4 稀疏线内 1/2 稀疏的稀疏度更大速度更快,因此该方法对宏块的稀疏最优,我们依此稀疏度构造改进宏块的快速传感器电子稳像算法.

2 实验结果及分析

实验中将摄像系统(敏通 MTV-1501CB 像素 768×576)和 MEMS 陀螺(零偏稳定性 $< 0.05^\circ/\text{s}$, 线性误差 $< 0.05\%$ of F. R)固定在三维摇摆台上,采集视频图像及同步的陀螺数据.通过 PC 机(主频 2.9 GHz)上使用的 MATLAB 软件做算法验证.实验装置如图 5.

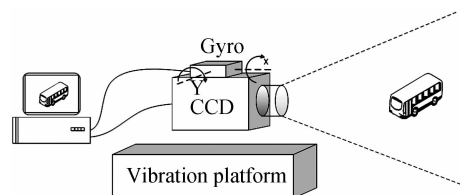


图5 实验装置
Fig. 5 The experiment device diagram

采集的实验图像如图 6 所示,其中(a)和(b)图分别为为一组(40 帧)无局部遮挡和有局部遮挡(局部

运动)的视频.

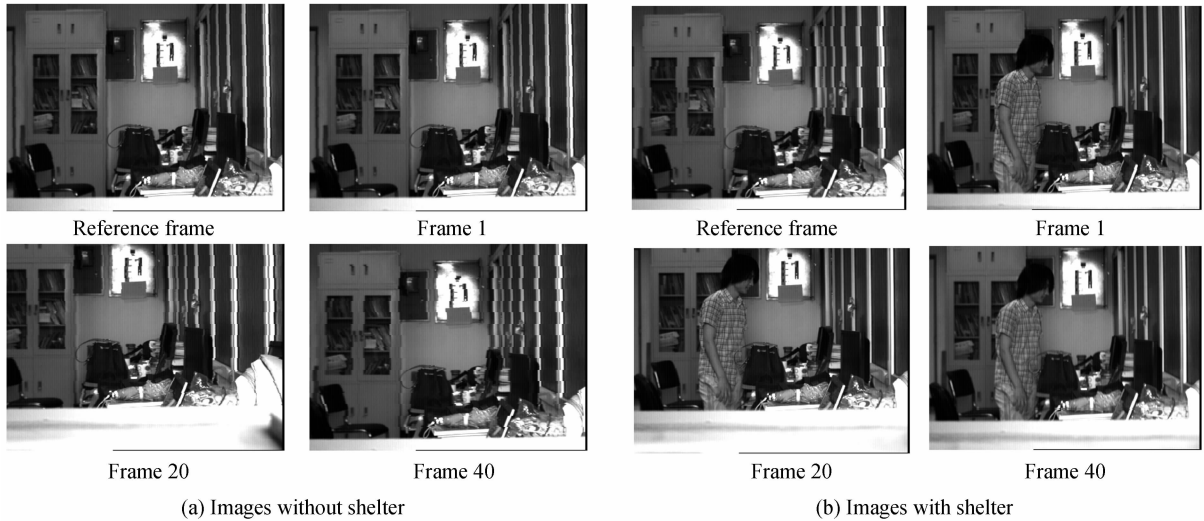


图 6 传感器稳像实验图
Fig. 6 The experimental images for SEIS

分别用小范围快速块匹配算法(100%分块)和对角线方向 1/4 线内 1/2 稀疏分块小范围快速块匹配算法求局部运动矢量,用二次最小二乘法求解全局运动矢量,对图像进行运动补偿.比较算法的运算时间和补偿后图像相对参考帧的峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio,PSNR).

对无局部遮挡的视频序列进行实验,运算时间及准确度如图 7 所示.结果表明:改进宏块方法较小范围块匹配算法平均准确度提高 2.18%,平均运算速度提高 89.12%.

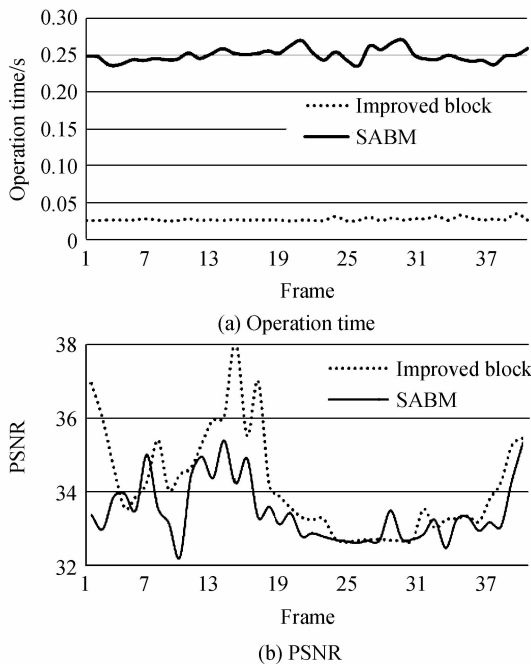


图 7 无局部遮挡实验结果
Fig. 7 Result of images without shelter

对存在局部遮挡的视频序列进行实验,运算时

间及准确度如图 8 所示.结果表明:改进宏块算法较小范围块匹配算法平均准确度提高 2.26%,平均运算时间提高 86.69%.

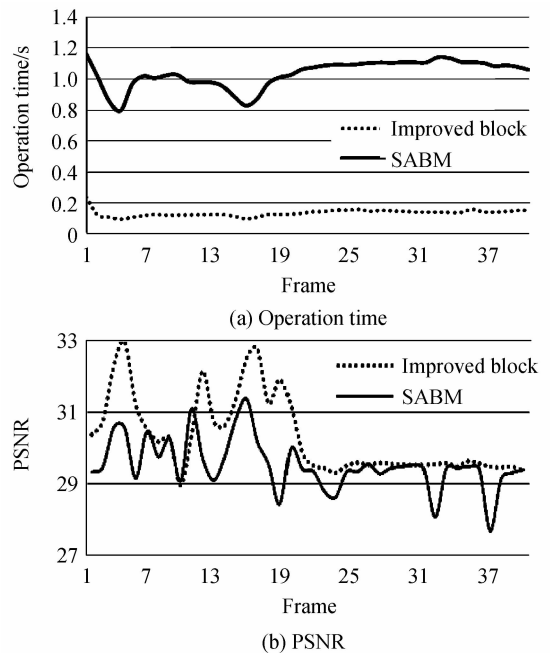


图 8 有局部遮挡实验结果
Fig. 8 Result of images with shelter

3 结论

本文以传感器与数字稳像块匹配算法相结合的传感器电子稳像算法为基础,在不牺牲算法准确度的情况下,对小范围快速块匹配算法宏块排列分布进行改进,加快局部运动估计的速度.经过对宏块网格模型的分析,得出宽高比为 $w:h$ 的图像最佳稀疏方式为对角线 $1/(h+1)$ 稀疏,线内 $1/q$ 稀疏, q 为

w 的因数且 $(h+1)/2 < \sqrt{2}q < (h+1)$. 同时对分辨率为 768×576 宽高比为 $4:3$ 的图像进行了仿真及实验分析, 结果均表明按照对角线方向 $1/4$, 线内 $1/2$ 进行稀疏分块最优, 该结论与理论分析一致. 仿真及实验结果表明: 改进算法的准确度略优于改进前算法, 且运算速度在无遮挡情况下提高 89.12% , 在遮挡情况下提高 86.69% . 本文算法对应用于机载、舰载、车载和手持等小型传感器电子稳像系统具有较高的参考价值.

参考文献

- [1] HAN Shao-kun, ZHAO Yue-jin, LIU Ming-qi. Electronic image stabilization techniques and development[J]. *Optical Technique*, 2001, **27**(1): 71-73.
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.
- [2] PENG Xiao-jiang, ZHANG Jia-shu. Robust real-time electronic image stabilization based on feature matching and checking[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2011, **40**(9): 1442-1446.
彭小江, 张家树. 基于特征匹配和校验的鲁棒实时电子稳像[J]. 光子学报, 2011, **40**(9): 1442-1446.
- [3] ZHU Juan-juan, GUO Bao-long, FENG Zong-zhe. Electronic image stabilization method based on projection algorithm[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8): 1266-1269.
朱娟娟, 郭宝龙, 冯宗哲. 一种基于灰度投影算法的电子稳像方法[J]. 光子学报, 2005, **34**(8): 1266-1269.
- [4] ZHANG Yong-xiang, ZHANG Wei-qiong, ZHAO Xiao-yu, et al. Study on electronic image stabilization system based on mems gyro [C]. Proc. 2009 International Conference on Electronic Computer Technology, 2009: 641-643.
- [5] ZHANG Yong-xiang. A method of resolving gyro zero drift in electronic stabilization system [C]. Proc. 2009 International Conference on Computer and Automation Engineering, 2009: 293-295.
- [6] LI Xin-gang, YUAN Jian-ping. The state of the art of micromachined gyroscopes[J]. *Advances in Mechanics*, 2003, **33**(3): 289-299.
李新刚, 袁建平. 微机械陀螺的发展现状[J]. 力学进展, 2003, **33**(3): 289-299.
- [7] FAN Chun-hua, WANG Yu, XU Da-pu. Research and design of vehicle-borne real time video image stabilized system[J]. *Computer Measurement & Control*, 2007, **15**(7): 922-928.
范春华, 王钰, 许大浦. 车载实时视频稳像系统研究与设计[J]. 计算机测量与控制, 2007, **15**(7): 922-928.
- [8] ZHANG Yong-xiang. Study on electronic image stabilization technology for the image sequences of the ship-borne camera system base on the gyro[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2005.
张永祥. 基于陀螺仪的船载电子稳像系统研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2005.
- [9] WANG Peng, ZHAO Yue-jin, DONG Li-quan, et al. A novel small area fast block matching algorithm based on high-accuracy gyro in digital image stabilization[C]. *SPIE*, 2010, **7850**: 78501A-1-11.
- [10] ZONG Yan-tao, JIANG Xiao-yu PEI Chuang, et al. Time series prediction based electronic image stabilization algorithm [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(2): 244-248.
宗艳桃, 蒋晓瑜, 裴闯, 等. 基于时间序列预测的电子稳像算法[J]. 光子学报, 2012, **41**(2): 244-248.

Improved Fast Block-matching Algorithm for Sensor Electronic Image Stabilization

WANG Peng, ZHAO Yue-jin, KONG Ling-qin, DONG Li-quan, DAI Lu
(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: An improved block density fast algorithm for steadying shaking image was presented. The jitter of camera system was measured by gyro, while the local motion vectors was estimated by the small area fast block-matching algorithm, and the global motion vector was calculated by least square method. Small area fast block-matching algorithm, which has high calculating precision, is good at calculating the local motion vectors. So the least square method can exactly calculate global motion vector by using parts of the local motion vectors. For this reason, the block density can be improved to speed up the algorithm and retain the precision of the global motion vector at the same time. The small area fast block-matching algorithm was optimized by analyzing the block gridding, and then the fast sensor electronic stabilization algorithm was designed. The simulation and experiment show that the algorithm is slightly more accurate and about 89% faster than the small area fast algorithm.

Key words: Gyro; Block; Block-matching; Motion estimation; Sensor Electronic Image Stabilization (SEIS)