



DOI: 10.12086/oe.2019.180581

基于光流传感器的视频 稳像技术

周鹏威^{1,2}, 季元吉¹, 董超^{2*}, 卢田¹, 胡世传¹¹中国计量大学光学与电子科技学院, 浙江 杭州 310018;²国家海洋局南海维权技术与应用重点实验室, 广东 广州 510310

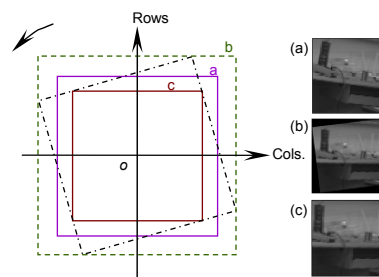
摘要: 针对平台运动导致的视频抖动问题, 提出了一种基于光流传感器的视频稳像技术。该方案首先通过对一般光流传感器的改进, 使其具有旋转运动下输出准确运动矢量的能力, 然后利用光流传感器获得相邻两帧图像之间的运动矢量, 并通过坐标变换计算出主相机的实时平移和旋转信息; 其次, 对原视频图像序列进行运动补偿, 以获得稳定的图像序列, 最终实现了视频稳像。实验结果表明, 稳像后的图像序列与未稳像之前相比峰值信噪比提高了 11.86 dB。该方案在视频抖动较大的情况下, 能够明显减小图像序列的抖动现象, 具有稳像效果好的特点, 满足视频稳像的性能要求, 对提高平台抗扰能力有着较高的实用性。

关键词: 电子稳像; 运动补偿; 光流传感器; 旋转运动

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

引用格式: 周鹏威, 季元吉, 董超, 等. 基于光流传感器的视频稳像技术[J]. 光电工程, 2019, 46(11): 180581



Video stabilization technique based on optical flow sensor

Zhou Pengwei^{1,2}, Ji Yuanji¹, Dong Chao^{2*}, Lu Tian¹, Hu Shichuan¹¹College of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;²Key Laboratory of Technology and Application for Safeguarding of Marine Rights and Interests, SOA, Guangzhou, Guangdong 510310, China

Abstract: In allusion of the video jitter problem caused by platform motion, a video stabilization technique based on optical flow sensor is presented. Firstly, the scheme improves the general optical flow sensor to output accurate motion vectors under rotational motion, then motion vectors between adjacent frames are obtained by using the optical flow sensor. The real-time translation and rotation information of the main camera are calculated through coordinate transformation. Secondly, the method compensates the motion of video sequences to attain stable video sequences, and finally realizes video stabilization. Experimental results indicate that, compared with the unstable image, the peak signal-to-noise ratio (PSNR) is increased by 11.86 dB. In the case of obvious video jitter, the scheme can significantly reduce the jitter between video sequences. The method which has the characteristics of

收稿日期: 2018-11-12; 收到修改稿日期: 2019-05-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61505192); 浙江省自然科学基金资助项目(LQ15F050004, LY20F050008); 国家海洋局南海维权技术与应用重点实验室开放基金项目(1705)

作者简介: 周鹏威(1984-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事目标检测与跟踪、成像光谱探测等的研究。

E-mail: zhoupw@cjljlu.edu.cn

通信作者: 董超(1982-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事海洋无人艇研制与应用、海上运动目标跟踪与识别等的研究。

E-mail: dongchaoxj888@126.com

salutary video stabilization can meet the performance requirements of video stabilization and improve the capacity of disturbance resistance for platform.

Keywords: electronic image stabilization; motion compensation; optical flow sensor; rotational motion

Citation: Zhou P W, Ji Y J, Dong C, *et al.* Video stabilization technique based on optical flow sensor[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, 46(11): 180581

1 引言

视频图像序列捕获过程中,载体的抖动会造成图像序列的不稳定,对视频质量造成较大影响。为实现视频稳定的获取,传统的稳像技术有机械稳像、光学稳像和电子稳像^[1]。前两种稳像技术往往造价昂贵、工艺难度大且操作复杂,通过获得相机的运动矢量并进行图像运动补偿的电子稳像方法往往具有较高的性价比。

实现电子稳像的关键是能够获得视频图像序列间实时准确的运动矢量信息,检测运动矢量的方法有很多种^[2],其中一种常用方法是应用纯软件的方法估计出视频图像序列间的运动矢量。但是传统的基于灰度相关的运动矢量估计法只能估计出平移矢量,对旋转信息很难估计;而基于特征点匹配^[3-4]的运动矢量估计法虽然不限视频图像序列的运动形式,但是往往计算量较大,速度慢,图像特征要求明显,此外对于图像序列间运动较大的情况往往匹配效果较差。

为提高运动矢量的计算精度和速度,本文提出利用光流传感器进行运动矢量辅助测量的方案,利用光流传感器测量出主相机所捕获的视频图像序列间的运动矢量,并对视频进行逐帧运动补偿,进而获得平稳的视频图像序列。该方法在保证准确度的情况下,大大地减少了计算量,提高了稳像效果,并具有较好的实用性。

2 光流传感器的数据采集

光流传感器可用于测量运动信息^[5],其内部结构如图 1 所示,图像捕捉单元用于捕捉图像信息,内嵌高精度陀螺仪可以实时输出相机绕 x 轴、 y 轴和 z 轴的旋转角速度,并对时间积分求出旋转角度^[6];然后由直接内存存取(direct memory access, DMA)控制器存储到内存单元,中央处理器对捕捉的相邻两帧图像应用光流算法计算出图像在 x 轴和 y 轴方向上的实时平移量。光流传感器具有高速高精度的特点,可为视频稳像提供高精度运动矢量信息。

一般光流传感器是直接对相邻两帧图像应用绝对

误差和算法(sum of absolute differences, SAD)进行像素平移量计算。首先传感器选取上一帧图像中一像素块作为匹配对象,在当前帧中以 8×8 像素块大小分别向右和向下以一个像素为单位进行滑动并计算绝对误差和直到遍历结束,该值的计算采用汇编语言实现,其最小处对应的位置即为最佳匹配点;更改上帧图像中的匹配对象并重复上述步骤可以确定多个匹配点。所有匹配点像素平移量的平均值作为相邻两帧图像的像素平移量。光流传感器常用于无人机的定点悬停,由于探测到的图像像移不仅和无人机平台位置变化有关,还和无人机的俯仰、滚转等姿态变化有关,因此内嵌陀螺仪通过测量平台的俯仰和滚转,补偿由于平台姿态变化引起的像移,最终得到正确反映平台位置变化的像移量。

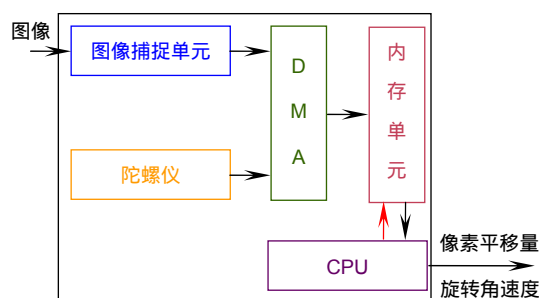


图 1 光流传感器结构框图

Fig.1 Block diagram of optical flow sensor

在实际中相机不仅有平移还有旋转,而上述 SAD 算法是分别对 x 和 y 轴两个方向上进行遍历操作,所以当有旋转变换时,输出的平移量无法反映实际运动,需要设计适用于旋转变换的光流算法^[7]。由于光流传感器内嵌陀螺仪可提供精确的旋转信息,因此可首先利用旋转信息对获取的图像进行旋转校正,如图 2(b)所示。为避免旋转后图像黑边对光流计算造成影响,利用最大矩形算法^[4]取图 2(b)中不包含黑边的最大矩形以获得最大有用信息,剪切后图像如图 2(c)所示。

最后将剪切后的图像放大为初始尺寸并应用 SAD 算法进行光流计算^[8],进而得出图像序列间的运动平移量。图 3(a)所示为一般光流传感器改进之前的输出图像,图 3(b)所示为改进之后的输出图像;通过比较

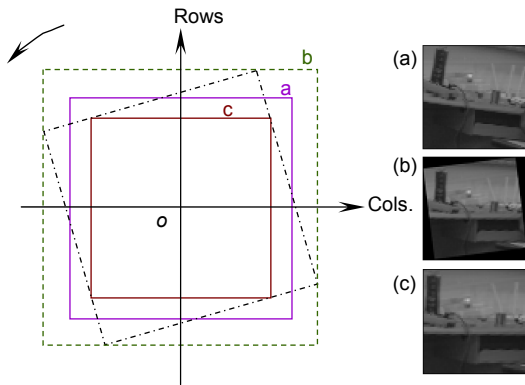


图 2 光流传感器改进原理示意图。(a) 改进之前图像; (b) 旋转校正后图像; (c) 剪切后图像
Fig. 2 Framework of improvement principle of optical flow sensor. (a) Before improvement; (b) After rotation correction; (c) After sheared

两图像可以看出：改进之后的光流传感器通过对每帧所摄图像进行旋转校正，解决了一般光流传感器在旋转运动时不能输出准确运动矢量的问题。

首先对光流传感器进行旋转摆动，然后利用改进后算法计算了运动平移量和绕 z 轴的旋转角速度^[9-10]，如图 4 所示。可见，相机旋转平移运动会使图像在 x 轴和 y 轴两个方向上都有平移量，且由于 y 轴坐标取向向下为正，故两个方向上的平移量符号相反。此外图 4 中的测量结果曲线近似呈周期性，反映出光流传感器在左右摆动。传感器使用 STM32F407 处理器，并采用汇编语言进行 SAD 算法主代码编写，改进后像移计算的最高工作频率为 400 Hz。

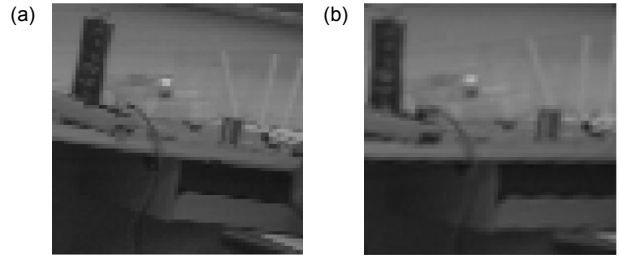
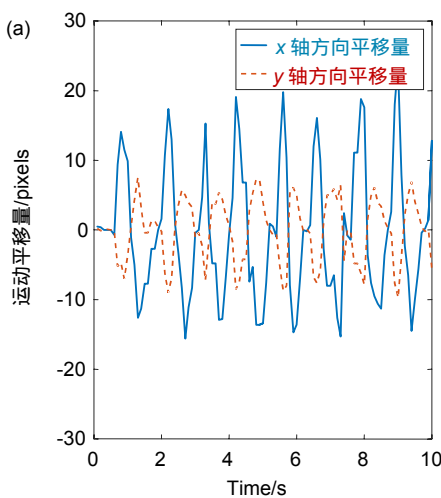


图 3 光流传感器改进前后的输出图像。(a) 改进之前的图像; (b) 改进之后的图像
Fig. 3 Image before and after improvement of optical flow sensor. (a) Before improvement; (b) After improvement

3 相机的坐标变换模型

实际应用中，可用正交投影变换来近似描述相机的成像模型，相机的运动可简化为平移和旋转^[11]。

具体的坐标变换模型可用矩阵描述为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & d_1 \\ -\sin\theta & \cos\theta & d_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中： θ 表示当前帧相对于上一帧图像的旋转角度， d_1 和 d_2 表示当前帧相对于上一帧图像沿 x 轴和 y 轴方向的平移量， (x, y) 和 (x', y') 分别表示上一帧和当前帧图像中对应点的坐标。上述为单相机的成像模型，实际采用光流传感器进行运动矢量探测时，可将光流

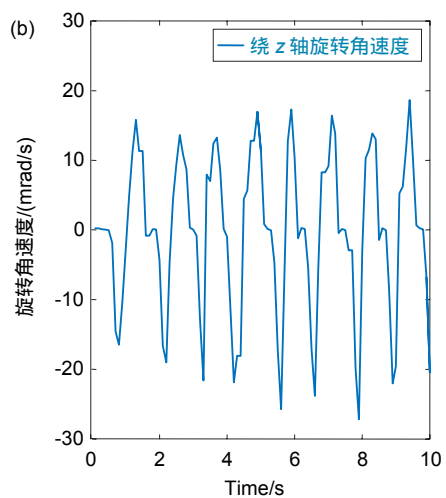


图 4 光流传感器的采样数据结果
Fig. 4 Results of sampling data for optical flow sensor

传感器和主相机刚性连接,然后利用两者的位置关系,以及光流传感器测得的运动矢量计算出主相机的运动矢量,实验装置如图 5 所示。

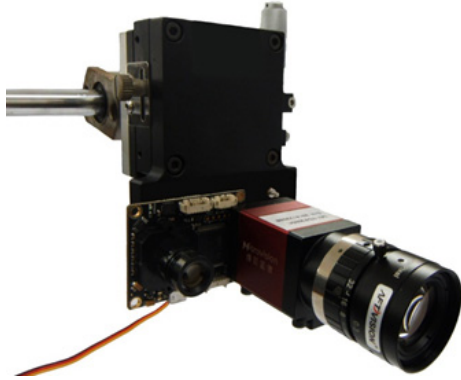


图 5 实验装置实物图

Fig. 5 Physical diagram of experimental device

图 5 中左边光流传感器与右边的主相机固定,并与电机相接,通过控制电机实现两相机的旋转运动;此外电机固定在滑台和滑杆上,移动电机可以实现两相机的平移运动。实验中光流传感器所用的型号为 PX4FLOW,像元数 64×64,主相机型号为 MV-VDF300SC,像元数为 2048×1536。

两相机的运动模型如图 6 所示,图中 O_c 表示光流传感器的相机坐标系, A 、 B 分别表示在相机坐标系 O_c 中主相机和光流传感器的位置; a 、 b 表示下一帧采样时两者所在的位置, a' 、 b' 分别表示 a 、 b 处两相机按相反方向绕相机中心旋转角度 θ 后的位置。 dx 和 dy 表示图 6(b)中 b' 相对于 B 在相机坐标系 O_c 中沿两轴的平移量; dX 和 dY 表示图 6(b)中 a' 相对于 A 在相机坐标系 O_c 中沿两轴的平移量。运动模型中主相机和光流传感器两者的旋转角度相同,且具有固定的空间位置关系,所以根据平移量 dx 和 dy 计算出 dX 和 dY ,两者关系可表述为

$$\begin{cases} dX = \cos\theta(dy + m_x) + \sin\theta(dx + m_y) - m_x \\ dY = -\sin\theta(dy + m_x) + \cos\theta(dx + m_y) - m_y \end{cases}, (2)$$

式中: θ 表示相邻两帧间旋转角度; m_x 和 m_y 表示在相机坐标系 O_c 中光流传感器与主相机的位置关系。在实际应用中,光流传感器和主相机在物面上的分辨率往往不一致,通过增加光流传感器镜头焦距,可使光流传感器的空间分辨率高于或者等于主相机空间分辨率。实验中,采用的光流传感器镜头焦距为 12 mm,主相机焦距为 25 mm;光流传感器的等效像元大小为 $24.0 \mu\text{m} \times 24.0 \mu\text{m}$,主相机的传感器像元大小为 $3.2 \mu\text{m} \times 3.2 \mu\text{m}$,可见主相机的空间分辨率更高,所以通过对主相机所摄图像进行像元合并,以达到和光流传感器具有相同的物方空间分辨率(单位: mm/pixel)。通过坐标系变换由相机坐标系 O_c 变换为主相机的像素坐标系,在像素坐标系中,根据光流传感器的输出数据计算出平移量 dx 和 dy ;并由平移量 dX 和 dY 计算出主相机相邻两帧间的像素平移量。

4 实验结果及评价

4.1 实验结果

为了验证本技术方案的可行性,通过前述实验装置模拟实际环境中的抖动运动,具体实验流程如下所述:

实验中光流传感器与主相机固定并与电机相接,通过控制电机模拟旋转运动,然后控制滑台和滑杆运动模拟实际环境中的平移运动。在光流传感器和主相机运动过程中,主相机获得不稳定的视频图像序列,光流传感器输出实时旋转角速度和像素平移量,进而实现对环境运动状态的采集。然后用相机坐标变换模型对光流传感器输出量进行坐标变换,获得用于对不稳定视频图像序列进行稳像处理的实验数据如表 1 所

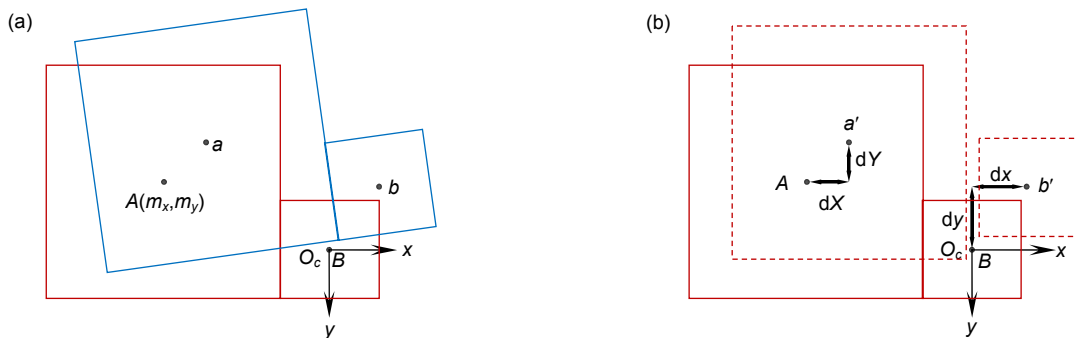


图 6 两相机的运动和计算模型。(a) 相机实际运动模型; (b) 平移量计算模型

Fig. 6 Motion and computation model of two cameras. (a) Camera real motion model; (b) Translation computation model

示, 由于数据较多取等间隔图像帧所对应的实验数据进行展示。实验中以主相机获得的不稳定视频图像序列的第 1 帧作为参考帧, 表 1 中旋转角度为当前帧相对于参考帧的旋转角度, 利用该角度对视频图像序列按帧旋转补偿; 对补偿后的图像序列再根据表 1 中的像素平移量分别沿 x 轴和 y 轴方向进行平移补偿; 最终获得稳定的视频图像序列。

实验中所摄抖动视频的帧频为 60 Hz, 共采集了 100 帧图像序列, 图像运动补偿后结果如图 7 所示。首先从原视频图像序列中按顺序选取若干帧^[12], 并以第 1 帧图像作为参考帧。图 7(a)为第 1 帧图像, 图 7(b)~7(e)为原视频图像序列, 然后利用旋转平移矢量对原视频图像序列各帧进行运动补偿, 最后补偿结果如图 7(f)~7(i)所示。补偿后图像的黑边大小反映了相机的抖动大小, 通过比较图 7(a)和图 7(f)~7(i)可以明显的看出图像的景物始终稳定在每帧图像的固定位

置, 实现了稳像。

截取第 16 帧旋转平移补偿后图像中不包含黑边的最大矩形区域, 并同理截取第 1 帧、第 16 帧和第 16 帧旋转校正后图像相对应的区域, 并作出上述图像区域的灰度列投影曲线如图 8 所示。图中曲线的纵坐标表示图像列像素值之和, 并进行了归一化, 横坐标表示列数; 图 8(a)中实线和虚线分别表示第 1 帧和第 16 帧图像截取区域的灰度列投影曲线, 通过曲线的比较可以看出: 由于存在旋转平移运动, 第 16 帧相对于第 1 帧图像截取区域的灰度列投影曲线不仅有偏移量, 而且曲线的形状也发生了变化; 图 8(b)为第 1 帧和第 16 帧经旋转校正后截取区域的灰度列投影曲线, 比较两曲线可以看出: 经旋转校正后, 两曲线的形状基本相同, 只是存在平移量, 这是对第 16 帧图像进行旋转校正后的结果。而图 8(c)中的虚线和实线基本重合, 这是经过平移补偿后的结果, 这也表明了第 16

表 1 视频图像序列的运动补偿量

Table 1 Motion compensation data of video image sequence

帧号	旋转角度/rad	x 轴平移量	y 轴平移量	帧号	旋转角度/rad	x 轴平移量	y 轴平移量
2	0.00043	0	0	55	0.01479	36	32
5	0.00109	4	-2	60	0.06017	6	134
10	0.01932	29	40	65	0.12485	-35	253
15	0.17906	-118	311	70	0.00593	35	14
20	0.11421	-68	210	75	0.13505	-49	307
25	0.01871	22	31	80	0.05299	-8	103
30	0.05589	-2	108	85	0.00925	22	20
35	0.09805	-32	243	90	0.19287	-129	348
40	0.00885	36	19	95	0.03074	2	7
45	0.09153	-25	188	100	0.02645	6	64
50	0.18182	-112	320				

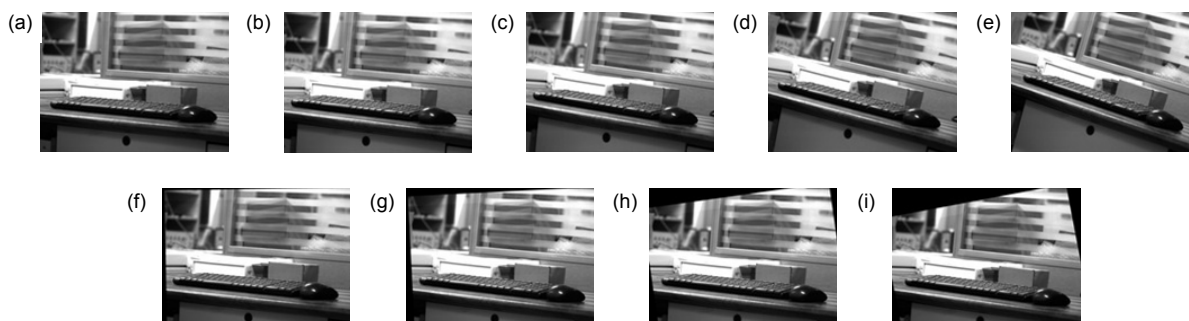


图 7 实验稳像的结果图。(a) 第 1 帧图像; (b) 第 9 帧图像; (c) 第 10 帧图像; (d) 第 13 帧图像; (e) 第 16 帧图像; (f) 第 9 帧补偿后图像; (g) 第 10 帧补偿后图像; (h) 第 13 帧补偿后图像; (i) 第 16 帧补偿后图像

Fig. 7 Results of experimental image stabilization. (a) First frame of image; (b) Ninth frame of image; (c) Tenth frame of image; (d) Thirteenth frame of image; (e) Sixteenth frame of image; (f) Ninth frame compensated image; (g) Tenth frame compensated image; (h) Thirteenth frame compensated image; (i) Sixteenth frame compensated image

帧经旋转平移补偿后的图像与第 1 帧图像的运动差较小，从而达到了稳像的目的。

此外为了验证本技术方案的实用性，本文选择基于特征点匹配的纯软件电子稳像算法进行对照实验。

基于特征点匹配的电子稳像算法是指运算程序对前后两帧图像进行特征点采集和匹配操作，进而获得仿射矩阵，最后根据仿射矩阵对不稳定图像序列按帧运动补偿和校正，获得稳定的视频图像序列，以实现稳像。为了客观衡量两种方法的稳像效果，采用标准差对两帧图像的相似程度进行评价，其原理是对两帧图像上相对应的像素差值利用概率统计方法统计其分布状态；标准差越大表示实验结果数据越离散，稳像效果越差，反之则表示稳像补偿效果越好。

标准差 σ 的定义如下：

$$\bar{x} = \frac{1}{N \times M} \sum_{p=1}^{N \times M} x_p \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N \times M} \sum_{p=1}^{N \times M} (x_p - \bar{x})^2} \quad (4)$$

式中： x_p 表示两帧图像各像素点对应相减后的灰度差值； σ 表示标准差； $N \times M$ 表示图像面积，即图像总的像素数。

实验配备有 Intel Core i5 四核 CPU(3.2 GHz) 以及 4 G 运行内存的电脑，并通过结合图像处理库 OpenCV3.4 的 C++ 编程语言对不稳定视频图像序列分别应用两种稳像方法进行对照实验，最后统计和计算出两种方法所对应的处理时间和标准差结果如表 2 所示。

从表 2 中可以看出，本文方法和特征点匹配算法在稳像效果上近似，完全可以满足视频图像序列稳定要求，但是在时间上要比特征点匹配算法快很多。此外，本文方法可以避免特征点匹配算法在抖动较大环境中，特征点无法有效匹配进而导致稳像效果明显下降的问题。本文方法相对于传统机械稳像方法，结构装置简单，适用于多种运动平台，尤其在小型化运动平台中具有较高的实用性。

4.2 实验结果评价

差值方法是指对当前帧和参考帧灰度图像进行灰度差值计算，若当前帧的抖动被完全补偿，差值图像的灰度值为零，所以通过差值图像可以直观地显示稳像效果。实验中将未稳像前和稳像后的第 16 帧图像分别与第 1 帧图像做灰度差值计算，结果如图 9 所示。

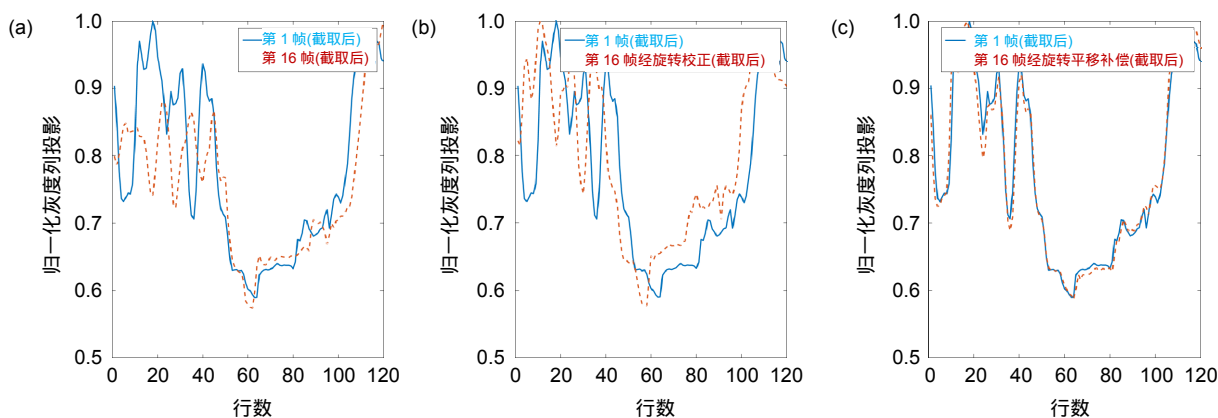


图 8 灰度列投影曲线。(a) 第 1 帧和第 16 帧截取图像的灰度投影曲线；(b) 第 1 帧和经旋转校正后的第 16 帧截取图像的灰度投影曲线；(c) 第 1 帧和经旋转平移补偿后的第 16 帧截取图像的灰度投影曲线

Fig. 8 Gray column projection curve. (a) Gray column projection curve of intercepted image in first and sixteenth frames; (b) Gray column projection curve of intercepted image in first frame and sixteenth frame after rotation correction; (c) Gray column projection curve of intercepted image in first frame and sixteenth frame after rotation translation compensation

表 2 算法性能比较

Table 2 Performance comparison of algorithm

特征点匹配算法		本文方法		未稳像前
时间/s	标准差	时间/s	标准差	标准差
8.569	12.44	3.886	11.73	21.18

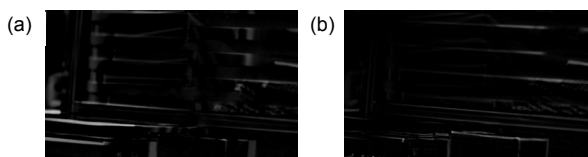


图 9 差值图像比较。(a) 未稳像差值图；(b) 稳像后差值图
Fig. 9 Comparison of difference image. (a) Original difference image; (b) Stabilized difference image

通过对稳像前后差值图像的比较可得，相对于初始图像，旋转偏移量得到了有效补偿。

均方差算法^[13]是另一种图像序列间配准程度的评价方式，其原理在于如果将相邻两帧图像间的相对变化量完全补偿，那么稳定后两帧图像相对应的像素差值应为零。由均方差计算出两帧图像间的峰值信噪比 (peak signal to noise ratio, PSNR, 用 R_{PSNR} 表示)，帧间的 PSNR 值越大代表图像的灰度差别越小，稳像效果也越好。

均方差和峰值信噪比计算公式如下：

$$M_{SE}(S_1, S_0) = \frac{1}{N \times M} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M [S_1(i, j) - S_0(i, j)]^2, \quad (5)$$

$$R_{PSNR}(S_1, S_0) = 10 \lg \left(\frac{255^2}{M_{SE}(S_1, S_0)} \right), \quad (6)$$

式中： $S_1(i, j)$ 表示对原图像补偿后所截取区域在点 (i, j) 处像素的灰度值， $S_0(i, j)$ 表示原图像经截取后在点 (i, j) 处像素的灰度值； $N \times M$ 表示上述截取区域的面积，即截取区域总的像素数。根据上述公式计算可得第 1 帧图像与未稳像之前图像截取区域的 PSNR 值为 11.44 dB，图像序列间偏移量较大；旋转校正后图像与第 1 帧图像截取区域的 PSNR 值为 13.96 dB；旋转平移补偿后为 23.30 dB，与未稳像之前相比峰值信噪比提高了 11.86 dB。

5 总结

本文通过对一般光流传感器的改进，使光流传感器具有旋转运动下输出准确运动矢量的能力，并介绍了一种新型的视频稳像技术。利用光流传感器高速高精度的优点，可以快速地计算出当前帧相对于参考帧的平移量和旋转角度，并根据计算结果对当前帧进行旋转平移补偿，实现了较高精度的视频图像序列稳定。该视频稳像技术相对于传统电子稳像方法，大大地减少了计算量，并且对于视频图像序列偏移较大的情况也能很好地实现稳像。实验结果表明：在视频图像序列偏移量较大的情况下，稳像后的图像序列比未稳像之前峰值信噪比提高了 11.86 dB。在提高准确度和减少计算量的基础上，较好地实现了视频稳像。

参考文献

[1] Liu W. Research on the methods of electronic image stabilization for shipborne mobile video[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2017.

刘文. 船载移动视频电子稳像方法研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2017.

[2] Zhang B. Research on united image stabilization based on feature tracking and gray projection[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2010.

张贝. 基于特征提取与灰度投影联合稳像的算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2010.

[3] Feng J, Yan Y Y, Zhao Y, et al. A terracotta image partition matching method based on learned invariant feature transform[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2018, **26**(7): 1774–1783.

冯筠, 延瑜瑜, 赵妍, 等. 基于学习不变特征变换的兵马俑图像分区匹配[J]. *光学精密工程*, 2018, **26**(7): 1774–1783.

[4] Zeng L, Zhai Y, Tan J B. Automatic matching strategy based on SIFT[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2011, **38**(2): 65–70.

曾峦, 翟优, 谭久彬. 基于 SIFT 的自动匹配策略[J]. *光电工程*, 2011, **38**(2): 65–70.

[5] Honegger D, Meier L, Tanskanen P, et al. An open source and open hardware embedded metric optical flow CMOS camera for indoor and outdoor applications[C]//2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, 2013: 1736–1741.

[6] Long D F, Liu J, Zhang X M, et al. Triaxial gyroscope fast calibration method based on ellipsoid fitting[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2013, **34**(6): 1299–1305.

龙达峰, 刘俊, 张晓明, 等. 基于椭球拟合的三轴陀螺仪快速标定方法[J]. *仪器仪表学报*, 2013, **34**(6): 1299–1305.

[7] Ji H Z, Jia D Y, Dong E Q, et al. Non-rigid registrations based on image characteristics and optical flows[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, **25**(9): 2469–2482.

纪慧中, 贾大宇, 董恩清, 等. 基于图像特征和光流场的非刚性图像配准[J]. *光学精密工程*, 2017, **25**(9): 2469–2482.

[8] Lan J H, Li J, Hu G D, et al. Vehicle speed measurement based on gray constraint optical flow algorithm[J]. *Optik*, 2014, **125**(1): 289–295.

[9] Huang R M, Li J Q, Shi M Y, et al. Quadrotor hovering scheme based on improved optical flow[C]//2017 Chinese Automation Congress (CAC), Jinan, 2017: 2357–2362.

[10] Tsai S E, Zhuang S H. Optical flow sensor integrated navigation system for quadrotor in GPS-denied environment[C]//2016 International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE), Jeju, 2016: 87–91.

[11] Xiong J Y. Study of electronic image stabilization based on feature detection and description for vehicles[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2017.

熊晶莹. 基于特征提取与匹配的车载电子稳像方法研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2017.

[12] Zheng X F, Chen Y T, Xu Z H, et al. A fast electronic image stabilization algorithm for translational and rotational motion compensation[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(9): 1890–1894.

郑晓锋, 陈跃庭, 徐之海, 等. 一种补偿平移与旋转运动的快速电子稳像算法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(9): 1890–1894.

[13] Lv G J, Zhang G H, Che H. A method for evaluating the accuracy of electronic image stabilization system and algorithm[J]. *Electronics Optics & Control*, 2011, **18**(3): 76–79.

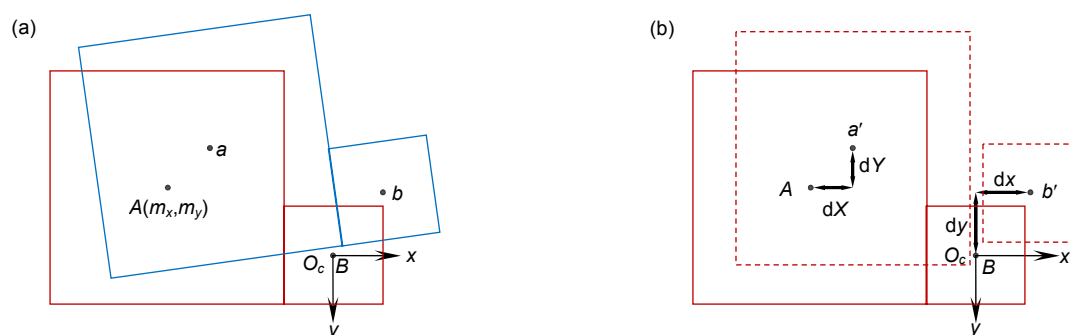
吕高杰, 张国华, 车宏. 电子稳像算法精度评价方法研究[J]. *光电与控制*, 2011, **18**(3): 76–79.

Video stabilization technique based on optical flow sensor

Zhou Pengwei^{1,2}, Ji Yuanji¹, Dong Chao^{2*}, Lu Tian¹, Hu Shichuan¹

¹College of Optical and Electronic Technology, China Jiliang University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China;

²Key Laboratory of Technology and Application for Safeguarding of Marine Rights and Interests, SOA, Guangzhou, Guangdong 510310, China



Motion and computation model of two cameras

Overview: Video is one of the most intuitive and effective information carrier in the field of machine vision. Through the analysis of video information, the machine can perceive the surrounding environment and make relevant decisions. However, in the field of camera platform, such as shipborne, on-vehicle and hand-held, the bumping and jitter of the camera system which is due to the attitude change and vibration of the platform will cause the instability of the video sequences. It will seriously affect the information collection and decision for surrounding environment situation. Therefore, the video stabilization has important significance and value in practical engineering applications. The traditional video stabilization technique has mechanical image stabilization, optical image stabilization and electronic image stabilization. Mechanical image stabilization detects motion information and compensates the offset of video sequences by motor calibration system; optical image stabilization achieves image stabilization by adjusting the structure of the optical element to change the optical path and compensate the offset of the optical axis. The first two image stabilization technique are often expensive, difficult, and complicated to operate, which limits their application in small-sized and low-cost field of camera. The electronic image stabilization technique obtains the motion vectors of the video sequences by motion analysis and compensates the motion to obtain stable video sequences. However, this method tends to have a large amount of calculation and low precision, which limits its application range. In allusion of the above video stabilization problem, a video stabilization technique based on optical flow sensor is presented. Firstly, the scheme makes the general optical flow sensor overcome the shortcomings of the SAD algorithm under rotational motion and output accurate motion vectors. In addition, since the main camera and the optical flow sensor have a fixed spatial positional relationship, the real-time translation and rotation information of the main camera is calculated through coordinate transformation with the motion vectors obtained by the optical flow sensor. Then, the original unstable video sequences are compensated by frame, and finally the video stabilization is realized. Experimental results indicate that, compared with the unstable image, the peak signal-to-noise ratio (PSNR) is increased by 11.86 dB, and compared with the electronic image stabilization algorithm based on feature point matching, the processing time is decreased by 54.65% with similar image stabilization effect. In the case of obvious video jitter, the scheme can significantly reduce the jitter between video sequences. The method which has the characteristics of salutary video stabilization and high speed can meet the performance requirements of video stabilization and improve the capacity of disturbance resistance for platform.

Citation: Zhou P W, Ji Y J, Dong C, *et al.* Video stabilization technique based on optical flow sensor[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2019, **46**(11): 180581

Supported by National Natural Science Foundation of China (61505192), Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LQ15F050004, LY20F050008), and Open Foundation of Key Laboratory of Technology and Application for Safeguarding of Marine Rights and Interests, SOA (1705)

* E-mail: dongchaoxj888@126.com