

增加直线约束的网格化 2D 相机运动估计算法^{*}

杨 涛, 罗健欣, 金凤林

(中国人民解放军陆军工程大学 指挥控制工程学院, 江苏 南京 210007)

摘要: 相机运动估计是视频稳像、视频拼接等技术的关键环节。网格变形模型可以在一定程度上解决传统的单个 2D 仿射或单应性变换模型难以处理的视差问题。在原 CPW (Content Preserving Warping) 算法的网格变形模型基础上, 添加直线保持约束, 并根据特征点的分布和检测出的直线结构特征, 自适应地调整特征点约束、相似性约束和直线保持约束的权值。将三类约束均表示为二次项, 利用稀疏线性系统求解得到网格化的相机运动路径。根据算法估计的相机运动对图像进行变形可以保持图像中人眼较为敏感的直线结构不被破坏, 直观地提升了视觉效果, 有效减少了图像变形带来的失真。

关键词: 网格变形; 相机运动估计; 直线保持约束

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2096-5133.2020.04.007

引用格式: 杨涛, 罗健欣, 金凤林. 增加直线约束的网格化 2D 相机运动估计算法[J]. 信息技术与网络安全, 2020, 39(4): 36-42.

2D mesh camera motion estimation algorithm with line preserving constraint

Yang Tao, Luo Jianxin, Jin Fenglin

(Command & Control Engineering College, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China)

Abstract: Camera motion estimation plays an important role in video stabilization and stitching. To some extent, the mesh warping model can handle the problem of parallax, which is difficult for traditional 2D motion model with a single affine or homography matrix. A line preserving constraint is added to the CPW (Content Preserving Warping) algorithm, and the weight of the feature point constraint, similarity constraint and line preserving constraint are adaptively adjusted according to the distribution of feature points and the detected lines. Then three types of constraints are expressed as quadratic terms and the camera path is obtained by solving the sparse linear system. The algorithm keeps the linear structure, which is sensitive to human vision when warping image according to the estimated camera motion. As a result, the perceptual visual effect is improved, and the distortion caused by image warping is reduced.

Key words: mesh warping; camera motion estimation; line preserving

0 引言

随着数码相机与摄像头的普及并应用于手机、无人机等各种移动平台, 移动场景下拍摄的视频成为了网络中最活跃的媒体形式之一。然而移动平台下捕捉的视频通常会在人们所预期的运动之上存在一定程度的抖动甚至旋转变形, 这就需要人为对相机的运动进行区分和过滤, 数字视频稳像^[1] (Digital Video Stabilization, DVS) 就是完成这样的工作。相机运动估计^[2] 是视频稳像中的一个基础环节, 完成对相机运动路径的估计之后就可以通过滤

波、曲线拟合等方式对其进行运动补偿, 最后进行适当的图像修补和变形, 从而达到视频稳像的效果。

相机运动估计在选定的相机模型下, 根据视频帧序列重叠区域之间的变换来估计相机运动姿态。根据使用的变换模型不同, 可以将相机运动估计的方法大致分为四种: 传统 2D 相机运动估计方法、3D 相机运动估计方法、传感器辅助运动估计方法、新兴 2D 相机运动估计方法^[2]。传统的 2D 相机运动估计通常使用单个仿射矩阵或者单应性矩阵来建模相邻帧间的相机运动, 计算简单, 算法鲁棒性较好。典型的方法有基于像素点的块匹配法^[3]、光流法^[4-5]、相位相关法^[6-8]和基于特征点的方法^[9]。但

^{*} 基金项目: 国防科技基金 (3602027); 江苏省自然科学基金 (BK20150722)

是传统的 2D 方法一方面忽略了相机的空间运动信息,另一方面对于图像各局部景物深度不一样的情况,单一的矩阵难以处理视差问题。3D 相机运动估计最常用的传统方法是运动恢复结构 (Structure From Motion, SFM)^[10],该算法从 2D 视频帧序列中恢复出相应的 3D 运动信息。应用该算法比较经典的例子是 2009 年 LIU F 等人提出的 CPW 方案^[11],该方案首先使用 SFM 算法恢复相机的原始运动以及 3D 场景点云,而后使用 3D 点云和参考帧图像进行运动平滑和图像变形修复。在修复过程中,使用了内容保持的图像变形技术。然而,SFM 技术依然面临着重建条件不足和计算效率低的问题^[12]。传感器辅助运动估计则使用陀螺仪、加速度传感器等建立相机旋转运动模型,简化了运动估计,然而从实质上它们依然属于 2D 解决方案,无法避免视差问题。LIU 等人^[13]通过引入深度摄像头,将深度图像与原图像结合进行 3D 运动估计,但是深度摄像头成本较高;新兴的 2D 相机运动估计则试图利用 2D 的方法在一定程度上解决视差问题,在无需三维重建的情况下得到接近 3D 的运动估计效果。文献 [2] 将此类方法分为特征轨迹法和多路径算法。特征轨迹法的代表是 LIU F 等人提出的 Subspace^[14]方法,而多路径方案则是将“As Similar As Possible”^[15]的思路引入到相机运动估计中,提出一种多重的、时空可变的网格变形模型,使图像的不同网格可以有独立的运动路径。本文正是在此基础上添加直线保持约束进行改进的新兴 2D 方法。

1 增加直线约束的网格化相机运动估计

本文使用网格变形模型来表示连续图像帧之间的运动,不同于传统单个 2D 线性变换模型,网格化表示相机路径具有更强的建模能力^[16]。算法在原内容保持变形 CPW 算法的基础上,提出了具有直线约束的相机运动估计方法。算法流程如图 1 所示。

1.1 网格变形模型

对于视频流中的某一帧 $F_t, t = 1, 2, \dots, N$, 将其划分为 $n \times m$ 的网格, V_t 表示 F_t 所有原始网格顶点的集合。通过为网格顶点制定约束项,构造优化目标函数,利用稀疏线性系统^[17]求解可得到优化后的 F_{t+1} 网格顶点集合 \hat{V}_{t+1} 。对于任一独立的网格单元 i , 通过前后两帧四对顶点的像素坐标之间的对应关系,可以确定从帧 F_t 到帧 F_{t+1} 的单应性矩阵^[18]

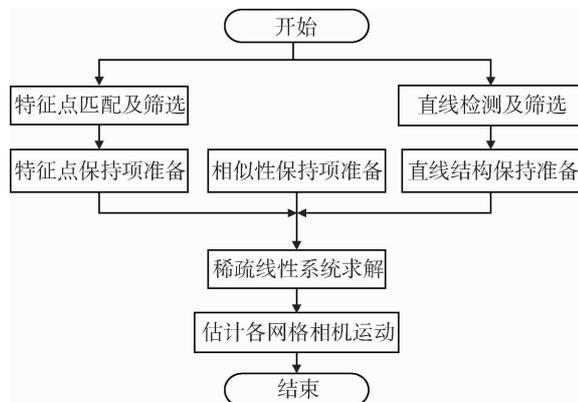


图 1 算法流程

$H_i(t)$ 。而后估计网格单元 i 处的所有相邻帧间的单应性矩阵 $\{H_i(0), \dots, H_i(t-1)\}$, 可定义网格单元 i 处的局部相机路径。所有 2D 网格即可生成由一组空间变化的单应性矩阵表示的全局相机路径,如图 2 所示。

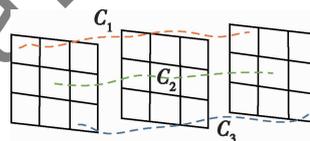


图 2 全局相机路径表示

本文在原算法保证网格变形前后形状尽可能相似的基础上,着重保持了整幅图像内的直线结构的完好性,尽量不发生直线扭曲或挫切的情况。首先,内容保持的约束项分为两部分,一是要求相邻帧中相匹配的特征点对(如图中 3 的 x_i 和 \hat{x}_i) 在优化后依然保持基于四个顶点原有的双线性插值参数;二是对于任意网格顶点组成的三角形在优化前后遵循三角形相似的原则。本文算法在此基础上完成对图像中的直线提取,加入直线约束,对视频中明显的直线结构进行保护。基于上述约束的优化目标函数可表述为:

$$E(\hat{V}) = E_f(\hat{V}) + \alpha_1 E_s(\hat{V}) + \alpha_2 E_l(\hat{V}) \quad (1)$$

其中, \hat{V} 为优化后的网格顶点集合, $E_f(\hat{V})$ 为特征点保持项, $E_s(\hat{V})$ 为相似性保持项, $E_l(\hat{V})$ 为直线结构保持项, α_1, α_2 则分别为后两项约束项的权重, α_1 用于整体调节形变的刚性程度, α_2 则根据检测出的直线特征与 α 进行平衡。

1.2 特征点保持约束

在时刻 t , 对视频的相邻两帧 F_t, F_{t+1} 提取 SURF^[19] 特征点进行匹配, 特征点的集合记为

$\{X^i\}$ 。假设 $\{x_i, \hat{x}_i\}$ 是图像帧 F_i 和帧 F_{i+1} 的第 i 对匹配特征点,如图 3 所示。

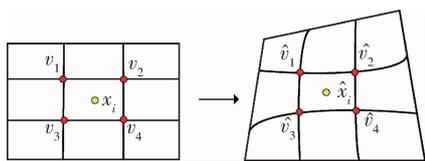


图 3 特征点保持约束

特征点 x_i 可由其所在网格的四个网格顶点 $V_i = [v_i^1, v_i^2, v_i^3, v_i^4]$ 的像素坐标的双线性插值表示:

$$x_i = \sum_{n=1}^4 v_i^n w_i^n \quad (2)$$

其中 w_i^n 为插值权重,其和为 1。限定在帧 F_{i+1} 中,对应的特征点 \hat{x}_i 由变形后的网格顶点 $\hat{V}_i = [\hat{v}_i^1, \hat{v}_i^2, \hat{v}_i^3, \hat{v}_i^4]$ 以相同的权值表示,因此特征点保持约束定义如式(3)所示。

$$E_f(\hat{V}) = \sum_i \left\| \sum_{n=1}^4 \hat{v}_i^n w_i^n - \hat{x}_i \right\|^2 \quad (3)$$

其中 \hat{V} 为所有待求解变形后的网格顶点坐标。

1.3 相似性保持约束

按照 LIU S 等人的方法,相似性保持项用来衡量变形后的每个网格与原网格的相似程度。具体而言,在帧 F_i 中,将每个网格分成两个三角形,三角形中的每一个顶点都可以由另外两个顶点所形成的向量和与该向量垂直的向量为基底形成的坐标系来表示。以 v_1 为例,可以通过等式(4)表示。

$$v_1 - v_2 = u(v_2 - v_3) + vR_{90}(v_2 - v_3) \quad (4)$$

由(4)可得:

$$v_1 = v_2 + u(v_2 - v_3) + vR_{90}(v_2 - v_3) \quad (5)$$

其中 $R_{90} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$, u, v 即为 v_1 在以 $v_2 - v_3$ 和与之垂直的向量 $R_{90}(v_2 - v_3)$ 为基底的向量空间的坐标,如图 4 所示。

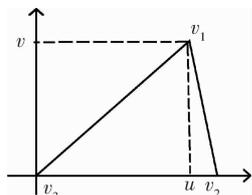


图 4 v_1 的坐标

为了使图像变形前后保持一定的相似性,要求变形之后的网格中的三角形的顶点 \hat{V}_i 之间满足同样的关系。因此,相似性保持约束可如式(6)表示。

$$E_s(\hat{V}) = \sum_i \sum_{v_1} w_i^{v_1} \left\| \hat{v}_1 - \hat{v}_2 - u(\hat{v}_2 - \hat{v}_3) - vR_{90}(\hat{v}_2 - \hat{v}_3) \right\|^2 \quad (6)$$

其中 $w_i^{v_1}$ 为与网格 i 和 v_1 位置有关的自适应权值,帧 F_i 中 v_1 所在位置有三种情况:

- (1) 四个网格顶点,如图 5(a) 所示;
- (2) 网格边缘除顶点外的点,如图 5(b) 所示;
- (3) 内部网格线交点,如图 5(c) 所示。

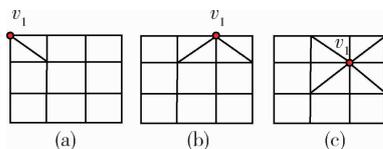


图 5 v_1 所处位置及三角形划分

在实验中,图 5(a)、(b)、(c) 中的 v_1 将分别受到 2、4、8 个三角形的相似性约束。

1.4 直线保持约束

特征点约束和相似性约束均是在单网格内对网格的变形加以约束,并且没有考虑图像中的具体纹理。通常认为,人眼对直线结构是较为敏感的。对于这样的直线结构,如果在网格变形的过程中发生较大程度的扭曲或挫切,会直接影响视觉效果。此外,图像中长度较长的直线结构会存在跨越多个网格的情况。因此考虑在特征点约束和相似性约束的基础上,增加直线保持约束。首先运用 GIOI G R V 等人^[20]提出的 LSD (Line Segment Detector) 方法对前一帧图像进行直线提取,如图 6 所示。

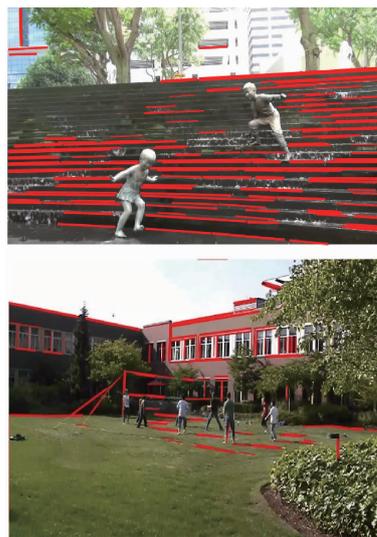


图 6 直线提取示例

考虑到时间连续性问题,对一些长度较短的直线进行剔除,只保留长度大于网格宽度和高度的直线。而后将提取的线段平均切分为 N 段, $N + 1$ 个子线段端点为 $p_0, p_1, \dots, p_j, \dots, p_N$, 其中 p_0 和 p_N 分别代表原直线的两个端点。在实验中,选取 $N = 5$, 端点 p_j 可由两端点表示为:

$$p_j = \left(\frac{N-j}{N}\right)p_0 + \left(\frac{j}{N}\right)p_N, j = 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

同时 p_j 也可由所在网格的四个顶点 V_j 双线插值表示。因此,式(7)可如下转换:

$$\sum_{n=1}^4 v_j^n w_j^n = \left(\frac{N-j}{N}\right) \sum_{n=1}^4 v_0^n w_0^n + \left(\frac{j}{N}\right) \sum_{n=1}^4 v_N^n w_N^n, \quad j = 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

类似于前两项约束,直线保持约束可定义为:

$$E_l(\hat{V}) = \sum_l \sum_{j=1}^{N-1} \left\| \left(\frac{j}{N}\right) \sum_{n=1}^4 \hat{v}_N^n w_N^n + \left(\frac{N-j}{N}\right) \sum_{n=1}^4 \hat{v}_0^n w_0^n - \sum_{n=1}^4 \hat{v}_j^n w_j^n \right\|^2 \quad (9)$$

其中 l 代表检测出的所有符合条件的直线。

1.5 自适应权值调整

由于图像的特征点通常是分布不均匀的,甚至在一些变化较为平坦的网格内并没有匹配的特征点,因此,对于每一个网格而言,当网格内的特征点数目较多时,赋予特征点约束更大的权值;当网格内的特征点数目较少时,赋予相似性保持约束更大的权值。实验中,在进行特征点匹配阶段,统计了每个网格中的特征点数目 f_i 并求得所有网格特征点数目的平均值 f_{avg} 。在相似性保持准备阶段根据 v_1 的位置求得所涉及的网格的特征点数的平均值并与 f_{avg} 求差值,根据差值的大小来自动调整式(5)中 w_i^n 的大小。

对于 α_2 , 认为在 1.4 节中对直线的长度加以限制后,筛选出的直线条数应当影响直线保持约束的权值。直线条数越多,越需要增大 α_2 加强直线保持约束以避免直线扭曲和挫切。

1.6 优化求解相机运动

由于式(1)中三个约束均为二次项,因此可以通过稀疏线性系统求解最小化。具体地,将待求解的变形后的网格顶点的像素坐标按顺序编号表示成向量 X :

$$X = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_i, y_i, \dots, x_n, y_n]^T \quad (10)$$

将式(1)三个约束项中产生的每一条约束以(约束编号,待求坐标索引号,系数)的形式加入系数矩阵 A ;将式(2)中特征点的 \hat{x}_i 的像素坐标值加入到向量 b 中,而每一条相似性约束和直线保持约束在向量 b 中对应值置 0。通过 MATLAB 的 sparse 命令将 A 变成稀疏表示的形式,最后通过式(11):

$$X = A \setminus b \quad (11)$$

即可求得变形后的网格顶点坐标,此时求得的 X 使得 $E(\hat{V})$ 的值最小。至此,可以通过四个网格顶点间的对应关系求解每一个网格 i 从 t 时刻到 $t + 1$ 时刻的单元性矩阵 $H_i(t)$:

$$\hat{V}_i^{t+1} = H_i(t) V_i^t \quad (12)$$

其中, V_i^t 和 \hat{V}_i^{t+1} 为变形前后所对应的四个顶点。

按照 1.1 节中所述,可以将相机的全局运动定义为随空间变化的各网格的运动路径的集合,如图 7 所示。假设 $C_i(t)$ 表示在 t 时刻网格单元 i 处的相机位姿,单个网格所表示的局部相机路径可表示为:

$$\begin{aligned} C_i(t) &= C_i(t-1)H_i(t-1) \\ &= H_i(0)H_i(1)\cdots H_i(t-1), \\ 1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq n \times m \end{aligned} \quad (13)$$

其中, T 为总帧数, $n \times m$ 为网格总数,且 $C_i(0)$ 定义为单位矩阵。至此,增加直线约束的相机运动估计完成。后续可以在此基础上完成各网格相机路径的平滑,并通过原始路径向平滑后路径的重投影对视频进行稳像。

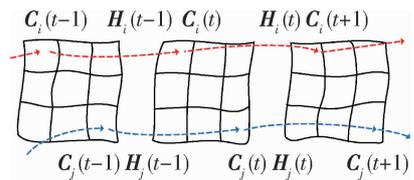


图 7 全局相机路径

2 实验与分析

首先,为了更直观地验证直线保持约束的有效性,在估计出 t 时刻到 $t + 1$ 时刻的相机运动之后,将 t 时刻的帧 F_t 逐网格重投影到估计出的相机位姿上,即从 F_{t+1} 的拍摄视角重建 F_t ,从直观上比较两种网格变形模型的效果。实验视频帧选用 LIU S 等人提供的网格变形模型的 demo 中直线结构较为明显的两对相邻帧,如表 1 所示,分辨率为 640×360 。

表 1 选用的相邻帧

帧 F_t	帧 F_{t+1}
	
	

经过原算法的变形之后的 F_t 如图 8 所示。



图 8 原算法变形效果

可以观察到,在黑色粗方框的位置存在明显的直线扭曲,经放大后更加清晰,如图 9 所示。

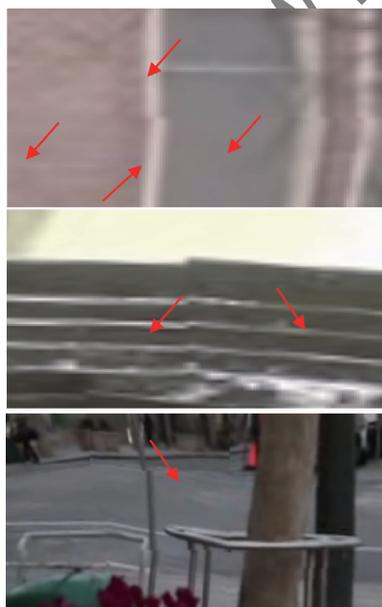


图 9 扭曲细节放大

在保持 $\alpha = 1$ 等参数相同的情况下,增加了直线保持约束之后,直线扭曲得到了明显的改善,如图 10 所示。



图 10 改进算法变形效果

将之前发生扭曲的部分细节放大,观察改善之后的效果,如图 11 所示。

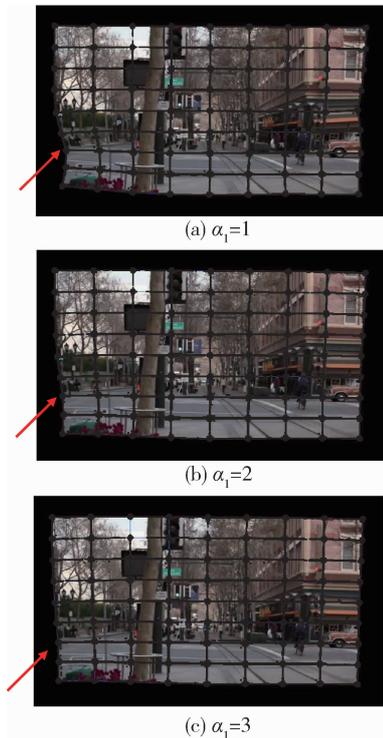


图 11 改进后细节放大

其次,分析相似性约束的权重 α_1 是如何调节整体的变形的。对同一帧在其他参数不变的情况下,取不同的 α_1 值进行图像变形,不同效果如图 12 所示。

通过观察可以发现,如 1.1 节中所述, α_1 可以用来整体调节变形的刚性。具体而言, α_1 值越大,变形越趋于刚性,受特征点约束越弱,网格顶点越趋向于保持原来的位置,运动越简单,越体现出相似性保持的作用。

最后,除了从 LIU S 提供的 demo 中选 3 个样例外,又从具有代表性的视频稳像算法文献 [11, 14, 21] 的附带素材中随机选取了 3 个视频,将本文算法应用于视频中的 10 对相邻帧,选用的视频帧信息

图 12 不同 α_1 变形效果

如表 2 所示。同样,将帧 F_t 重投影到估计出的相机位姿上,得到变形后的帧 F'_t , 计算 F'_t 相对于 F_{t+1} 的峰值信噪比 (PSNR) 和结构相似性 (SSIM^[22]) 的平均值,结果如表 3 所示。

表 2 实验数据帧

编号	1	2	3	4	5	6
预览						
分辨率	640 × 360	640 × 360	640 × 360	640 × 360	1280 × 720	1280 × 720

表 3 与原算法对比结果

编号	PSNR/dB		SSIM	
	原算法	本文算法	原算法	本文算法
1	16.505 5	16.532 5	0.603 8	0.605 6
2	21.375 3	21.387 9	0.833 5	0.844 2
3	21.596 6	21.903 5	0.770 5	0.774 3
4	14.785 9	15.016 6	0.844 6	0.856 3
5	18.913 2	19.099 2	0.810 8	0.829 2
6	11.352 2	11.370 9	0.617 6	0.628 3

通过实验可以发现,将帧重投影到估计的相机运动位姿上,增加了直线结构保持约束的网格变形

方法得到的图像对于目标位置帧的 PSNR 值和 SSIM 值比增加直线约束之前都有小幅度的提升。更重要的是,在直观的视觉感受上,保持了人眼较为敏感的直线结构不变形,提升了主观视觉质量。

3 结论

本文在原内容保持变形 CPW 算法的网格变形模型基础上添加了对图像中的直线结构进行保护的直线保持约束。通过稀疏线性系统求解,对相邻帧的各个网格的相机运动进行独立的估计。实验证明,在根据算法估计出的运动路径对图像变形时,较好地保护了图像中的直线结构,从直观上提升了图像变形的视觉效果。后续可以基于本文的网格变形模型估计的相机运动路径,进行路径平滑和图像重投影,从而提升视频稳像和视频拼接的效果。

参考文献

- [1] 魏闪闪,谢巍,贺志强. 数字视频稳像技术综述[J]. 计算机研究与发展,2017,54(9):2044-2058.
- [2] 魏闪闪,谢巍,贺志强. 新兴数字视频稳像中相机运动估计技术综述[J]. 计算机应用研究,2017(2):7-13.
- [3] HASSEN W, AMIRI H. Block matching algorithms for motion estimation[C]. 2013 7th IEEE International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE). IEEE,2013.
- [4] CHANG J Y, HU W F, CHENG M H, et al. Digital image translational and rotational motion stabilization using optical flow technique[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics,2002,48(1):108-115.
- [5] CAI J, WALKER R. Robust video stabilisation algorithm using feature point selection and delta optical flow[J]. IET Computer Vision,2009,3(4):176-188.
- [6] Li M, BISWAS M, KUMAR S, et al. DCT-based phase correlation motion estimation[C]. 2004 International Conference on Image Processing,2004. ICIP'04. IEEE,2004,1:445-448.
- [7] JIA R, ZHANG H, WANG L, et al. Digital image stabilization based on phase correlation[C]. International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence. IEEE Computer Society,2009:485-489.
- [8] LAI L, XU Z. Global motion estimation based on Fourier Mellin and phase correlation[C]. 2nd International Conference on Civil, Materials and Environmental Sciences. Atlantis Press,2015.
- [9] TORR P H S, ZISSERMAN A. Feature based methods for

- structure and motion estimation [C]. International Workshop on Vision Algorithms. Springer, Berlin, Heidelberg, 1999; 278-294.
- [10] ULLMAN S. The interpretation of structure from motion [J]. Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences, 1979, 203(1153) : 405-426.
- [11] LIU F, GLEICHER M, JIN H, et al. Content-preserving warps for 3D video stabilization [C]. ACM Transactions on Graphics (TOG). ACM, 2009, 28(3) : 44.
- [12] SCHONBERGER J L, FRAHM J M. Structure-from-motion revisited [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016; 4104-4113.
- [13] LIU S, WANG Y, YUAN L, et al. Video stabilization with a depth camera [C]. 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE, 2012; 89-95.
- [14] LIU F, GLEICHER M, WANG J, et al. Subspace video stabilization [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2011, 30(1) : 4.
- [15] IGARASHI T, MOSCOVICH T, HUGHES J F. As-rigid-as-possible shape manipulation [C]. ACM Transactions on Graphics (TOG). ACM, 2005, 24(3) : 1134-1141.
- [16] LIU S, YUAN L, TAN P, et al. Bundled camera paths for video stabilization [J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2013, 32(4) : 78.
- [17] DAVIS T A. Direct methods for sparse linear systems [M]. SIAM, 2006; 169-176.
- [18] 高翔. 视觉 SLAM 十四讲: 从理论到实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [19] BAY H, TUYTELAARS T, VAN Gool L. SURF: Speeded up robust features [C]. European Conference on Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006; 404-417.
- [20] GIOI R G V, JAKUBOWICZ J, MOREL J M, et al. LSD: a fast line segment detector with a false detection control [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2010, 32(4) : 722-732.
- [21] GRUNDMANN M, KWATRA V, ESSA I. Auto-directed video stabilization with robust 11 optimal camera paths [C]. CVPR 2011. IEEE, 2011; 225-232.
- [22] HORE A, ZIOU D. Image quality metrics: PSNR vs. SSIM [C]. 2010 20th International Conference on Pattern Recognition. IEEE, 2010; 2366-2369.

(收稿日期: 2020-02-16)

作者简介:

杨涛(1990-), 男, 硕士, 主要研究方向: 多媒体通信、计算机网络。

罗健欣(1984-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 计算机视觉、图像处理。

金凤林(1972-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 计算机网络、卫星网络。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《信息技术与网络安全》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《信息技术与网络安全》编辑部
中国电子信息产业集团有限公司第六研究所