

文章编号:1671-251X(2018)11-0069-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17342

基于改进加速鲁棒特征的井下视频拼接算法

管增伦¹, 顾军², 赵广源³

(1. 中国中煤能源集团有限公司, 北京 100120; 2. 华洋通信科技股份有限公司, 江苏 徐州 221116;
3. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州 221116)

摘要:针对加速鲁棒特征算法用于井下视频拼接时实时性不高的问题,通过降低特征点维度和仅在感兴趣区域提取特征点来改进加速鲁棒特征算法,在此基础上提出了一种井下视频拼接算法。首先,利用改进的加速鲁棒特征算法提取视频图像特征点;然后,动态追踪特征点数量,若非首帧图像特征点数量变化超过阈值,则重新进行特征点配准、提纯,以及投影变换矩阵计算及存储处理,否则采用前一帧图像所得的投影变换矩阵;最后,采用渐入渐出加权平均法进行图像融合处理,完成视频拼接。实验结果表明,基于改进加速鲁棒特征的井下视频拼接算法实时性高,拼接效果较好。

关键词:煤矿开采;井下视频监控;井下图像;视频拼接;图像配准;特征提取;图像融合;加速鲁棒特征

中图分类号:TD67 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20181010.1106.003.html>

Underground video stitching algorithm based on improved speeded up robust features

GUAN Zenglun¹, GU Jun², ZHAO Guangyuan³

(1.China Coal Energy Group Co., Ltd., Beijing 100120, China; 2.Huayang Communications Technology Co., Ltd., Xuzhou 221116, China; 3.School of Information and Control Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: For the problem of low real-time performance of speeded up robust features (SURF) algorithm used in underground video stitching, the SURF algorithm was improved by decreasing dimensions of feature points and extracting feature points only in region of interest. On this basis, an underground video stitching algorithm was proposed. Firstly, feature points of video images are extracted by using the improved SURF algorithm. Then the number of feature points is dynamically tracked. If the number of feature points in the non-first frame image exceeds the threshold, some operations will be performed again including feature point matching and purifying and calculation and storage of projective transformation matrix. Otherwise, the projective transformation matrix from the previous frame is used. Finally, images are fused by gradual weighted average fusion method to generate a stitched video. The experimental results show that the underground video stitching algorithm based on the improved SURF algorithm has high real-time performance and good stitching effect.

Key words: coal mining; underground video monitoring; underground image; video stitching; image

收稿日期:2018-06-06;修回日期:2018-10-08;责任编辑:李明。

基金项目:徐州市重点研发项目(KC16GZ013)。

作者简介:管增伦(1971—),男,江苏涟水人,高级工程师,长期从事煤炭科技成果应用和推广工作,E-mail:8529556@qq.com。

引用格式:管增伦,顾军,赵广源.基于改进加速鲁棒特征的井下视频拼接算法[J].工矿自动化,2018,44(11):69-74.

GUAN Zenglun, GU Jun, ZHAO Guangyuan. Underground video stitching algorithm based on improved speeded up robust features [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(11): 69-74.

registration; feature extraction; image fusion; speeded up robust features

0 引言

视频拼接是指将多个摄像机采集的一系列具有重叠区域的图像进行配准与融合处理,最终合成为一个具有更宽视角的图像^[1-2]。与单目摄像机采集的图像相比,视频拼接获得的图像视场更大,信息更加丰富^[3]。将视频拼接技术应用于煤矿井下开采生产中,可对工作面进行低照度、高清晰度的无缝视频监控,有利于实现可视远程干预式智能化无人开采^[4]。

视频拼接技术的关键与核心是图像配准^[5],其实质是对不同采集条件下获取的具有一定重叠区域的图像进行匹配,以寻求 2 幅图像之间的几何变换关系,继而将待拼接图像投影变换到目标图像坐标系下,最终实现重叠区域对齐^[6]。目前主流的配准方法是基于特征的配准方法。D. G. Lowe^[7]提出了尺度不变特征转换(Scale-Invariant Feature Transform, SIFT)算法用于图像配准。该算法对图像旋转、尺度缩放、亮度变化具有良好的不变性,但计算量过于庞大,因此运行速度较低,无法满足视频拼接的实时性要求^[8]。H. Bay 等^[9]在 SIFT 算法基础上,提出了加速鲁棒特征(Speeded Up Robust Features, SURF)算法。该算法较 SIFT 算法运行快速,抗变换性能更加稳定,且生成的描述符具有良好的可区分性^[10],但应用于实时性要求较高的视频拼接时,其性能仍需改进^[11]。

针对上述问题,本文提出一种改进的 SURF 算法。该算法一方面降低 SURF 特征点维度,另一方面仅在感兴趣区域(Region of Interest, ROI)提取 SURF 特征点,大大提高了算法运行速度。在此基础上提出了一种井下视频拼接算法,通过视频图像 SURF 特征点配准、提纯,投影变换矩阵计算及存储,图像融合等处理,完成视频拼接,在该过程中通过动态追踪图像 SURF 特征点数量并比较当前图像与前一帧图像特征点数量来确定是否变换投影变换矩阵。该算法既保证了静态场景下的实时性,又保证了动态场景下的拼接质量。

1 算法流程

基于改进 SURF 的井下视频拼接算法流程如图 1 所示。该算法在对首帧图像完成 SURF 特征点提取后,记录提取的特征点数量,然后进行特征点

配准,并采用随机取样一致性(Random Sample Consensus, RANSAC)算法^[12]进行特征点提纯,以及计算并存储投影变换矩阵,最终进行图像融合处理,完成首帧图像的拼接。对于后续图像,将提取的 SURF 特征点数量与记录的首帧图像特征点数量进行对比,若特征点数量变化超过给定阈值,则认为当前视频拼接场景发生变化,同时将该帧图像记录为关键帧,重新进行特征点配准、提纯处理及投影变换矩阵计算,然后以新的特征点数量和投影变换矩阵替代原有值,完成对特征点数量和投影变换矩阵的更新;若特征点数量变化未超过给定阈值,则认为当前视频拼接场景无变化,该帧图像调用已存储的前一帧图像的投影变换矩阵来完成拼接。

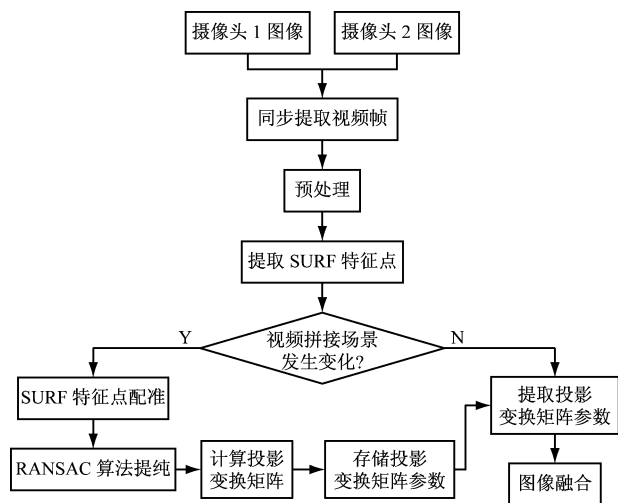


图 1 基于改进 SURF 的井下视频拼接算法流程

Fig. 1 Process of underground video stitching algorithm based on improved SURF

2 算法原理

2.1 基于改进 SURF 的特征点提取和配准

SURF 算法步骤如下。

(1) 构建积分图像。设原始图像为 $I(x, y)$, (x, y) 为图像上像素点坐标, 则其积分图像为

$$I_{\Sigma}(x, y) = \sum_{i=0}^{x-1} \sum_{j=0}^{y-1} I(i, j) \quad (1)$$

(2) 建立图像金字塔。SURF 算法利用盒子滤波器代替高斯核, 并将其与图像进行卷积来建立尺度空间, 通过改变盒子滤波器的尺寸来获得不同尺度的图像, 从而建立图像金字塔。

(3) 检测 Hessian 矩阵极值点。计算原始图像内所有像素的 Hessian 矩阵行列式, 随后将某一像

素的 Hessian 矩阵行列式值与其同层内 8 个像素及上下层各 9 个像素(共 26 个像素)进行比较,保留极值点作为特征点。Hessian 矩阵行列式为

$$\det(\mathbf{E}_{\text{approx}}) = D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2 \quad (2)$$

式中: $\mathbf{E}_{\text{approx}}$ 为 Hessian 矩阵; D_{xx} , D_{yy} , D_{xy} 分别为经高斯滤波后的图像在 x , y , xy 方向的二阶导数近似值。

(4) 确定特征点主方向。以特征点为中心,构建一个半径为 $6s$ (s 为特征点所在图像尺度) 的圆形邻域,累计该邻域 60° 扇形窗口内所有点的 Harr 小波特征总和,然后以一定步长旋转该窗口,直至完成 1 周。Harr 小波特征总和最大的窗口对应的方向即为该特征点的方向。

(5) 生成特征点描述符。构建一个以特征点为中心、边长为 $20s$ 的正方形邻域,同时为保持旋转不变性,将正方形邻域方向调整为与特征点方向一致,如图 2 所示。然后将正方形邻域划分为 $4 \times 4 = 16$ 个子区域,分别计算每个子区域中采样像素的 Harr 小波响应,并统计其水平方向 dx 、垂直方向 dy 、水平方向绝对值 $|dx|$ 、垂直方向绝对值 $|dy|$ 之和,得到一个 4 维特征向量 $\mathbf{V} = (\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|)$ 。将 4×4 个子区域的 4 维特征向量整合,即可得到一个 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 维特征向量,即 SURF 特征点描述符。

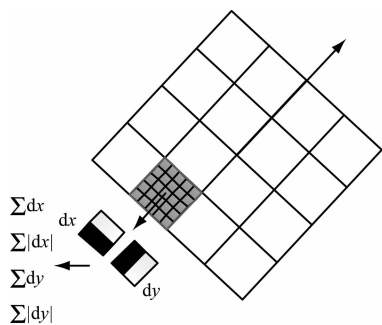


图 2 SURF 特征点描述符

Fig. 2 Descriptor of SURF feature point

虽然 SURF 算法的运行速度较 SIFT 算法提高了近 3 倍^[13],同时其鲁棒性也获得了较大幅度的提升,但当待拼接图像的纹理特征较为丰富时,该算法检测出的特征点不仅数量多,而且分布密集^[14],必然会增加特征点提取过程的耗时,较多的特征点又会进一步导致特征点配准时间延长,进而使算法运行速度降低。基于此,对 SURF 算法进行以下改进。

(1) 降低 SURF 特征点维度。H. Bay 等^[15]指出 4×4 是最佳的子区域划分方式,当子区域划分多

于 4×4 个时,算法鲁棒性较差,并且增加了匹配时间;当子区域划分少于 4×4 个时,匹配效果较差,但缩短了匹配时间。本文研究的首要目标是改进 SURF 算法的实时性,因此考虑通过改变子区域划分方式来缩短算法运行时间。降低 SURF 特征点维度的具体步骤:对于特征点描述符生成之前的步骤按 SURF 算法进行,在生成特征点描述符时,构造一个以特征点为中心、边长为 $15s$ 的正方形邻域,然后将该邻域划分为 3×3 个大小相等的子区域,则该邻域内共有 225 个采样像素,每个子区域内有 25 个采样像素,随后将该正方形邻域调整为与特征点方向一致,并对其进行间隔为 s 的等间隔采样。改进后的 SURF 特征点描述符如图 3 所示。

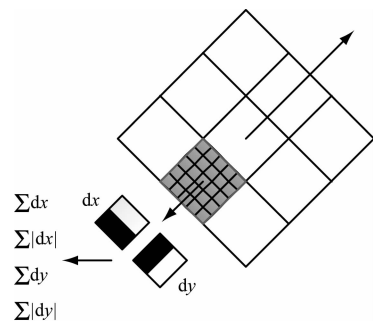


图 3 改进的 SURF 特征点描述符

Fig. 3 Improved descriptor of SURF feature point

对于每一个子区域内的采样像素,仍按 SURF 算法的 Haar 小波处理方式,得到包含 x , y 方向梯度和强度变化极性信息的 4 维特征向量表示,将所有子区域的 4 维特征向量结合到一起,即可得到一个 $3 \times 3 \times 4 = 36$ 维特征向量,从而实现 SURF 特征点降维。

(2) 仅在 ROI 提取特征点。实际拼接实验中,待拼接的 2 幅图像应存在 $30\% \sim 50\%$ 的重叠区域^[16]。可知在特征点配准阶段,仅重叠区域内的配准为正确匹配,重叠区域外的配准为误匹配。传统的拼接算法往往对待拼接图像的全部区域分别进行特征点提取和配准,不仅增加了运算成本,而且当左摄像头采集图像(左图)左侧与右摄像头采集图像(右图)右侧存在纹理相近的区域时,极易造成误匹配。本文采用设定 ROI 的方法来解决上述问题^[17],即将左图的右 50% 区域设定为 ROI,将右图的左 50% 区域设定为 ROI,具体可通过 OpenCV 中的 ROI 函数实现。设定 ROI 如图 4 所示。特征点提取和配准操作只在 ROI 内进行。

2.2 RANSAC 算法提纯

(1) 在已匹配的特征点对中随机选取 4 对特征

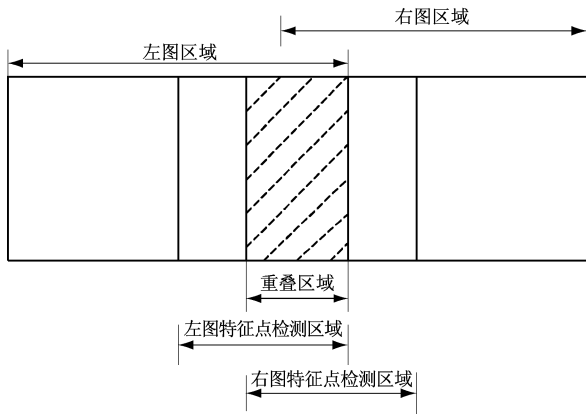


图 4 ROI 设定

Fig. 4 ROI setting

点,以计算当前参数模型 H_{cur} 。

(2) 对未选取的其他匹配特征点对,以 H_{cur} 求其对称变换误差,将对称变换误差小于阈值的设为内点,统计内点数 M 。

(3) 如果 $M \geq M'$ (M' 为前一次计算所得内点数),则认为 H_{cur} 是更好的参数模型,并令参数模型 $H = H_{cur}$ 。

(4) 重复执行步骤(1)~(3),直至完成 N (N 为迭代次数)次。在重复执行算法过程中会产生 2 种情况:① 内点数过少,模型被丢弃;② 新模型比已有模型更优秀,新模型被保存。

以所得最大内点集重新计算参数模型,得到最优变换模型,即投影变换矩阵。

2.3 图像融合

采用渐入渐出加权平均法^[18]进行图像融合。该方法的主要思想是采用随重叠区域宽度变化而改变的加权因子,以实现目标图像到基准图像在重叠区域内像素值光滑的变化。渐入渐出加权平均法公式:

$$f(x, y) = \begin{cases} f_1(x, y) & (x, y) \in F_1 \\ w_1 f_1(x, y) + w_2 f_2(x, y) & (x, y) \in F_1 \cap F_2 \\ f_2(x, y) & (x, y) \in F_2 \end{cases} \quad (3)$$

$$w_1 = \frac{x - \min_x}{l} \quad \min_x \leq x \leq l \quad (4)$$

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (5)$$

式中: $f(x, y)$ 为融合图像的像素值; $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ 分别为左右待拼接图像像素值; F_1, F_2 分别为左右待拼接图像; $\min_x$ 为重叠区域横坐标起始位置; l 为重叠区域宽度。

可看出 w_1 随 x 从 0 到 1 变化, w_2 则从 1 到 0 变化。

3 实验及结果分析

实验硬件平台:台式机(Intel(R)Core(TM)i3-2120 CPU@3.30 GHz 双核四线程,内存 4 GB, win7 旗舰版 64 位),笔记本电脑(Intel(R)Core i5 2410M CPU@2.30 GHz 双核四线程,内存 4 GB, win7 旗舰版 64 位),2 个普通 USB 摄像头(感光元件为 CMOS,500 万像素,最大分辨率为 800×600 像素,视频采集速率最高达 30 帧/s);软件平台:Microsoft Visual Studio 2010,开源的计算机视觉库 OpenCV。

3.1 特征点提取

实验内容为对比 SURF 算法和改进的 SURF 算法提取的图像特征点数量及耗时。选取 450×450 像素的煤矿井下视频图像,如图 5(a)所示,实验结果如图 5(b)~图 5(e)所示。算法提取特征点数量及耗时见表 1。



(a) 原始图像



(b) SURF 算法提取结果



(c) 仅降低特征点维度后提取结果



(d) 仅设定 ROI 后提取结果



(e) 改进的 SURF 算法提取结果

图 5 特征点提取实验结果

Fig. 5 Experimental results of feature point extraction

从表 1 可看出,仅降低特征点维度时,提取的特征点数量与 SURF 算法相比基本保持不变,但特征点提取时间明显缩短;仅设定 ROI 时,提取的特征点数量减少,提取速度大幅提升;改进的 SURF 算

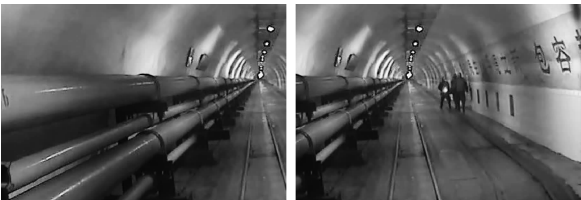
表1 特征点提取数量及耗时
Table 1 Number of extracted feature points and time consumption

指标	SURF 算法	仅降低特 征点维度	仅设定 ROI	改进的 SURF 算法
特征点数量/个	281	278	158	156
耗时/ms	81	72	42	36

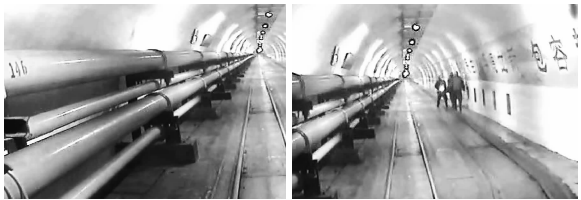
法将降低特征点维度和设定 ROI 结合,不仅可有效控制提取的特征点数量,还极大提高了提取速度,可见改进的 SURF 算法更能满足视频拼接的实时性要求。

3.2 视频拼接

采用改进 SURF 算法对井下视频进行拼接实验,结果如图 6 所示,其实时性分析见表 2。



(a) 正常情况下图像



(b) 改变光照情况下图像



(c) 改变摄像头角度情况下图像



(d) 首帧视频拼接效果



(e) 改变光照情况下视频拼接效果



(f) 改变摄像头角度情况下视频拼接效果

图6 视频拼接实验结果

Fig. 6 Experimental results of video stitching

表2 不同情况下视频拼接实时性分析

Table 2 Real-time performance analysis of video stitching under different conditions

视频图像 情况	左图特征 点数量/ 个	右图特征 点数量/ 个	特征点数量 变化是否 超过阈值	拼接耗 时/ms
首帧	574	676	—	724
改变光照	483	601	否	37
改变摄像头角度	574	931	是	802

设定特征点数量变化阈值为 200。由表 2 可看出,首帧图像拼接耗时较长;在改变光照情况下,提取的特征点数量变化未超过阈值,仍采用之前的投影变换矩阵进行拼接,运行速度较快;在改变 1 个摄像头角度情况下,右图中特征点数量变化超过阈值,需重新进行特征点配准、提纯,以及投影变换矩阵计算、图像融合处理,导致耗时增加,但整体上仍可满足视频拼接的实时性需求。从图 6 可看出,基于改进 SURF 的井下视频拼接算法具有较好的视频拼接效果。

4 结语

改进的 SURF 算法一方面对特征点进行降维处理,另一方面仅在 ROI 提取特征点,提高了算法的运行速率,保证了算法的实时性。基于改进 SURF 的井下视频拼接算法在完成首帧图像拼接后,对于后续图像,通过比较其与前一帧图像的 SURF 特征点数量来判定当前拼接场景是否发生变化,进而确定是否变换投影变换矩阵,由此保证了动态场景下的视频拼接质量。实验结果表明,基于改进 SURF 的井下视频拼接算法具有较高的实时性和较好的视频拼接效果。

参考文献(References):

[1] 厉丹,钱建生,刘增宝,等. 煤矿复杂环境视频拼接技术[J]. 煤炭学报,2011,36(5):878-884.

- LI Dan, QIAN Jiansheng, LIU Zengbao, et al. Stitching technology of coal mine video with complex environment[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(5): 878-884.
- [2] 程德强, 厉航, 黄晓丽, 等. 基于改进随机抽样一致算法的视频拼接算法[J]. 工矿自动化, 2017, 43(8): 50-55.
- CHENG Deqiang, LI Hang, HUANG Xiaoli, et al. Video mosaic algorithm based on improved random sample consensus algorithm[J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(8): 50-55.
- [3] 宋延爽, 耿楠. 基于 SURF 算法的全景图拼接技术研究 with 实现[J]. 计算机工程与设计, 2012, 33(12): 4647-4651.
- SONG Yanshuang, GENG Nan. Research and implementation of mosaic technology of panoramic image based on SURF algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2012, 33(12): 4647-4651.
- [4] 黄曾华. 综采工作面自动化控制技术的应用现状与发展趋势[J]. 工矿自动化, 2013, 39(10): 17-21.
- HUANG Zenghua. Application status and development tendency of automation control technology for fully mechanized working face[J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(10): 17-21.
- [5] YUAN C H, PAN J S, SHEU M H, et al. Fast image blending and deghosting for panoramic video[C]//Ninth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Beijing, 2013: 104-107.
- [6] WANG J X, WATADA J. Panoramic image mosaic based on SURF algorithm using OpenCV[C]//IEEE 9th International Symposium on Intelligent Signal Processing, Siena, 2015: 1-6.
- [7] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [8] 姜小会, 陈清奎, 何强, 等. 一种基于 SIFT 和改进 RANSAC 的稳健图像拼接算法[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11(1): 127-129.
- JIANG Xiaohui, CHEN Qingkui, HE Qiang, et al. A steady image stitching algorithm based on SIFT and improved RANSAC[J]. Computer Knowledge and Technology, 2015, 11(1): 127-129.
- [9] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T, et al. Speeded-up robust features (SURF)[J]. Computer Vision & Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [10] 李海洋, 张睿哲. 一种改进的基于 SURF 特征匹配的图像拼接算法[J]. 太原理工大学学报, 2016, 47(1): 91-95.
- LI Haiyang, ZHANG Ruizhe. An improved image stitching algorithm based on SURF feature matching[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2016, 47(1): 91-95.
- [11] 陈雪涛, 穆春阳, 马行. 基于 SURF 和改进 RANSAC 的视频拼接算法[J]. 现代电子技术, 2016, 39(10): 44-48.
- CHEN Xuetao, MU Chunyang, MA Xing. Video stitching algorithm based on SURF and improved RANSAC[J]. Modern Electronics Technique, 2016, 39(10): 44-48.
- [12] FISCHLER M A, BOLLES R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.
- [13] 张亚娟. 基于 SURF 特征的图像与视频拼接技术的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013.
- [14] 李士强. 基于 SURF 算法的视频拼接技术研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [15] BAY H, TUYTELLARS T, VAN G L. SURF: speeded up robust features[C]//The 9th European Conference on Computer Vision, Graz, 2006: 404-417.
- [16] 闫岩, 李杨. 基于改进快速鲁棒特征的实时视频拼接研究[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45(4): 727-730.
- YAN Yan, LI Yang. Real-time video stitching based on improved speeded up robust feature algorithm[J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45(4): 727-730.
- [17] 首照宇, 欧阳宁, 张华俊, 等. 基于 SURF 和动态 ROI 的实时视频拼接[J]. 计算机工程与设计, 2013, 34(3): 998-1003.
- SHOU Zhaoyu, OUYANG Ning, ZHANG Huajun, et al. Research on real-time video stitching based on SURF and dynamic ROI[J]. Computer Engineering and Design, 2013, 34(3): 998-1003.
- [18] 许超, 聂诗良. 基于 SURF 和改进渐入渐出法的图像拼接算法[J]. 数字技术与应用, 2016(12): 133.