

基于相位相关和 Harris 纹理分类的 SIFT 图像拼接算法

陶磊, 郝晓丽, 王松涛, 张磊, 唐泽恬[†]

(六盘水师范学院 物理与电气工程学院, 贵州 六盘水 553004)

摘要:针对传统尺度不变特征变换(SIFT)算法计算量大的问题,提出了一种基于相位相关和 Harris 纹理分类的 SIFT 图像拼接算法。首先使用相位相关法获取待拼接图像的重叠区域,其次使用 Harris 角点响应函数计算待拼接图像的纹理复杂度,并且通过设定阈值将图像分为强纹理区和弱纹理区,最后在强纹理区域使用 SIFT 算法进行特征点的检测、描述子的生成以及特征点的匹配,以实现图像拼接。实验结果表明,与传统的 SIFT 算法相比,提出的算法平均拼接速度提升了 85%;与现有的 SIFT 算法相比,提出的算法平均拼接速度提升了 20%,因此该算法在对拼接效率有较高要求的领域具有潜在的应用价值。

关键词:相位相关; Harris 纹理分类; SIFT 算法; 图像拼接

中图分类号: TP391

文献标识码: A

SIFT Image Stitching Algorithm Based on Phase Correlation and Harris Texture Classification

TAO Lei, HAO Xiaoli, WANG Songtao, ZHANG Lei, TANG Zetian[†]

(School of Physics and Electrical Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou 553004, China)

Abstract: Aiming at the problem of large computation of traditional scale invariant feature transform(SIFT) algorithm, this paper proposed a SIFT image stitching algorithm based on phase correlation and Harris texture classification. Firstly, the phase correlation method is used to obtain the overlapping region of the image to be stitched. Secondly, the Harris corner point response function is used to calculate the texture complexity of the image to be stitched, and the image is divided into strong texture region and weak texture region by setting the threshold. Finally, the SIFT algorithm is used in strong texture areas for feature point detection, descriptor generation, and feature point matching to achieve image stitching. Experimental results show that compared with the traditional SIFT algorithm, the average stitching speed of the proposed algorithm is increased by 85%; Compared with the existing SIFT algorithm, the average splicing speed of the proposed algorithm is increased by 20%. Therefore, the proposed algorithm has potential application value in the field with high requirements for splicing efficiency.

Key words: phase correlation; Harris texture classification; SIFT algorithm; image stitching

在现今人们的生活工作中,高分辨率超宽视角图片越来越受到关注。然而现有的成像设备,由于镜头的限制,成像视角仍有局限性^[1]。而图像拼接

可以解决这些问题,图像拼接技术能够有效解决单张图像获取信息不足的问题^[2],在医学成像、遥感成像、图像超分辨率重现等领域中也有着广泛的

收稿日期: 2023-08-14

基金项目: 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教合 KY 字[2022]046 号); 贵州省高等学校教学内容和课程体系改革项目(2023302); 六盘水师范学院一流本科专业建设点项目(LPSSYylzy2202); 六盘水师范学院大学生科研训练计划项目(2022DK204)

作者简介: 陶磊(2001—),男,贵州六盘水人,本科生,研究方向: 图像处理。

[†]通信联系人, E-mail: tang_zetian@foxmail.com

应用。

当前图像拼接最热门的算法就是尺度不变特征变换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) 算法,而 SIFT 算法^{[3][4]}存在提取特征点数目较多、计算量较大等缺点,难以满足工程实际中实时性的要求^[5]。针对 SIFT 算法及算法复杂度大的问题,许多研究人员给出了解决方案。王昱皓等^[5]利用相位相关粗略获取拼接图像重叠区域,在对其进行纹理分析后使用 SIFT 检测,加快图像拼接速度,并与多个算法对比,该算法取得了最低的时间开销。杨前华等^[6]提出了基于 SIFT 特征的鱼眼图像拼接算法,利用 (Random Sample Consensus, RANSAC) 鲁棒算法对变换参数进行估计,和加权平均法对图像进行拼接融合,减少计算量和拼接次数。赵立杰等^[7]用最近邻算法进行匹配,使用投影变换模型进行空间几何变换,改善 SIFT 算法。王洪光等^[8]提出使用统一计算设备架构 (Computing Unified Device Architecture, CUDA) 的二叉树来改进图像拼接技术。徐晓华等^[9]通过建造尺度空间,对空间极值点进行精确定位来提高图像拼接速率。Fidalgo 等^[10]利用 Edge-SIFT 改进图像,在彩色图像中使用 compass 算子后获得的边缘图像中提取关键点,降低 SIFT 算子维度,加快图像分类。Zhang 等^[11]利用非线性扩散滤波构建光学和合成孔径雷达 (Synthetic Aperture Radar, SAR) 图像的非线性扩散尺度空间并采用多尺度 Sobel 算子和多尺度指数加权平均比算子计算均匀梯度信息,从而加快图像匹配速率。

目前计算复杂度仍是 SIFT 算法需要攻克的一大难点,SIFT 算法通过遍历整张图片来寻找特征点和生成描述子,其计算复杂度与图像的大小有着直接联系,但图像中并不是所有区域都对图像拼接有帮助,因此本文提出了一种基于相位相关法和 Harris 算法纹理分类的 SIFT 图像拼接算法,以减少图像搜索空间,提升拼接速度。首先通过相位相关法获取待拼接图像的重叠区域,然后使用 Harris 算法将重叠部分图像分为强纹理区和弱纹理区,进一步减少 SIFT 算法提取特征点所需要计算的区域,最后在强纹理区使用 SIFT 算法。

1 基于 SIFT 的改进算法

1.1 改进算法流程

传统的 SIFT 算法在特征点检测时需要搜索整幅图像,并且特征点往往聚集于纹理复杂的区

域,搜索整幅图像会增加算法复杂度,从而降低算法时效性。针对该问题,本文提出了基于相位相关和 Harris 纹理分类的 SIFT 图像拼接算法,算法流程如图 1 所示。算法首先采用相位相关算法将图像分为重叠区域与非重叠区域并提取图像的重叠区域,以减少非重叠区域的计算。然后在重叠区域使用 Harris 角点响应函数对图像进行纹理分类,将图像划分为强纹理区域和弱纹理区域,强纹理区域存在较多的纹理信息,而弱纹理区域的图像纹理信息较少,不能有效地提取特征点。因此,仅在强纹理区域进行 SIFT 算法计算,从而加快算法的整体拼接速度。

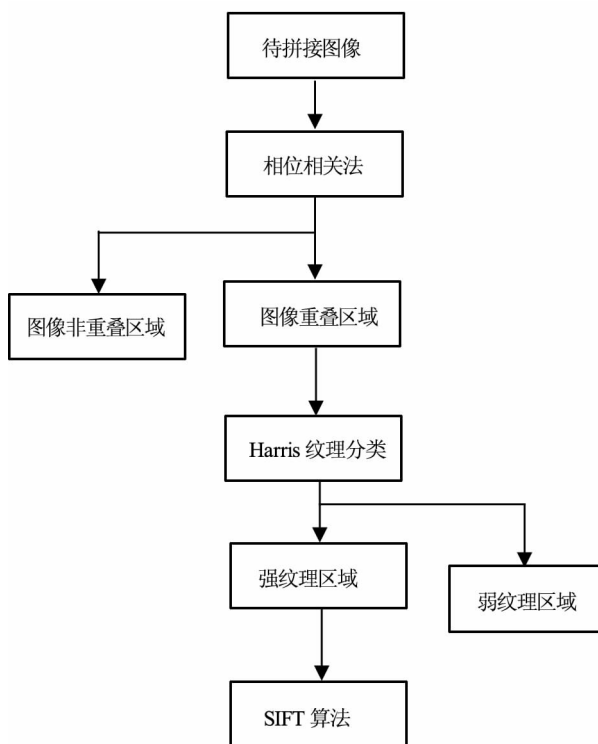


图 1 所提算法流程图

1.2 基于相位相关算法获取重叠区域

为了提取图像的重叠区域,本文采用相位相关算法,通过这个方法计算图像的重叠区域,并在重叠区域进行特征点检测能够有效地避免搜索整幅图像以寻找有效特征点,从而节省无关区域特征点的检测时间和特征点的匹配时间,整体加快图像的拼接速度。

该方法运用傅立叶变换将图像从时域变换到频域,通过求取二者的交叉功率谱来得到一个狄拉克函数并将之用于获取图像间的最佳平移量,从而确定待拼接图像的重叠区域。

首先,假设存在 $f_1(x, y)$, $f_2(x, y)$ 两幅图像,

且 $f_2(x, y)$ 由 $f_1(x, y)$ 平移 (dx, dy) 所得, 则

$$f_1(x, y) = f_2(x - dx, y - dy) \quad (1)$$

将其映射到频域, 则

$$F_2(u, v) = F_1(u, v) e^{-i2\pi(udx+vd y)} \quad (2)$$

将式(2)等式左边除以等式右边, 得到功率谱形式如下所示:

$$H(u, v) = \frac{F_1 F_2}{|F_1| |F_2|} = e^{-i2\pi(udx+vd y)} \quad (3)$$

将式(3)做傅立叶逆变换得到冲激响应函数 $\delta(x-dx, y-dy)$, 寻找 δ 中最大点, 即两幅图像的最佳平移量 (dx, dy) , 即可得到图像重叠区域。

1.3 基于 Harris 算法的纹理分类

在 SIFT 算法中, 需要从高斯差分金字塔 (Difference of Gaussian, DOG) 的极值位置找到相对稳定且包含信息量较多的点作为特征点, 一般灰度图像灰度值波动较大的区域包含的信息量较多且能生成较为稳定的特征点。图像中不同区域所包含的纹理复杂度不同, 因此对图像进行纹理分析, 提取能产生有效特征点的较复杂纹理区域进行 SIFT 算法计算。具体操作如下: 获取图像的重叠区域之后, 对此区域使用 Harris 算法进行纹理分类。Harris 角点响应函数 R 以及角点检测的自相关矩阵 $M(x, y)$ 表示如下:

$$M = \sum_{x, y} \omega(x, y) \begin{bmatrix} I_x I_x & I_x I_y \\ I_y I_x & I_y I_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M)) \quad (5)$$

式中, $\omega(x, y)$ 为高斯加权函数; I_x 和 I_y 是在 x 方向和 y 方向的导数; \det 和 trace 分别指求矩阵 M 的秩和迹; k 是经验常数, 取值范围通常为 $0.04 \sim 0.06$ 。通过角点响应函数可以获取图像的纹理变化程度, 基于纹理变化程度进行阈值设置, 即可对图像进行纹理分类。

Harris 设置阈值大小会影响纹理分类的情况, 其角点响应函数值对应的区域如图 2 所示。由图 2 可知, R 值较大的区域对应为角点区域, 该区域图像有较丰富的纹理信息^[12], R 值较小时, 图像存在部分平坦区域, 该区域不适合提取特征点。 R 为 28 时, 图像既存在平坦区域也存在角点区域, $R \geq 65$ 时, 图像整体存在角点区域, 因此本算法 Harris 角点响应函数阈值设置为 65。

2 实验结果及分析

本次实验的运行环境是 CPU 为 Intel(R) Core(TM) i5-10210U CPU @ 1.60GHz 2.11

GHz、内存为 16 GB RAM 的 64 位 Windows11 操作系统。图 3 为 3 组待拼接使用的原始图片, 其中 (a) 和 (b) 大小为 1750 像素 \times 1750 像素, (c) 和 (d) 大小为 1600 像素 \times 1600 像素, (e) 和 (f) 大小为 1750 像素 \times 1750 像素。

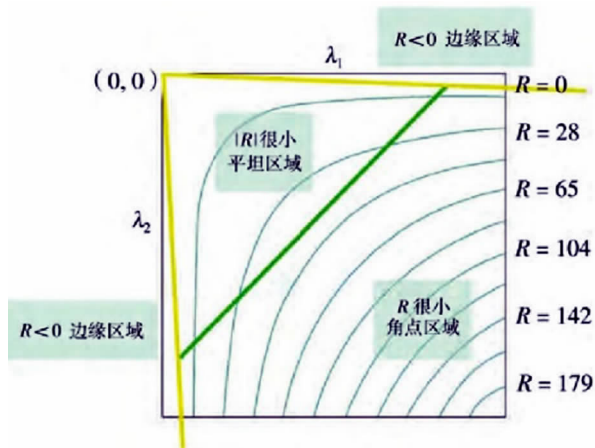


图 2 角点响应函数与其对应区域

2.1 基于相位相关算法获取重叠区域结果分析

为分析相位相关对于图像非重叠区域的减少, 本算法以图 3 中三组待拼接图像为例, 采用相位相关算法计算图像的重叠区域, 所得重叠区域如图 4 所示, 重叠区域占比如图 5 所示。由图 4 和图 5 可知, 经过相位相关算法的计算, 图像有效地减小了, 重叠区域占比 $33.4\% \sim 35.8\%$, 且重叠区域的相似度较高, 有利于有效特征点的提取。

2.2 基于 Harris 算法的纹理分类结果分析

为分析使用 Harris 算法对图像的纹理分类情况, 以图 4 中 (a)、(b)、(c) 三组图像的重叠区域使用 Harris 算法进行纹理分区, 将其分为强纹理区域和弱纹理区域, 分区结果如图 6 所示, 强弱纹理区域占比情况如图 7 所示。由图 6 和图 7 可知, 弱纹理区域在图像中占比为 $29\% \sim 34\%$, 并且该区域所含信息较少, 不利于特征点的提取, 可去除对弱纹理区特征点的检测, 能够减小算法的时间开销。强纹理区具有较多的纹理信息, 是特征点的主要提供区域, 因此采用该区域作为 SIFT 算法的输入。

2.3 基于相位相关和 Harris 纹理分类的 SIFT 算法时间效率统计分析

为验证所提出算法的拼接质量, 引入结构相似性 (SSIM) 和峰值信噪比 (PSNR) 指标来分析图像的拼接质量, 选用图 3 中的图像作为测试, 并与传统的 SIFT 拼接算法和文献[5](该方法具有代表性且在图像的拼接速度上具有一定的优势)的算法进行比较, 结果如表 1 所示。

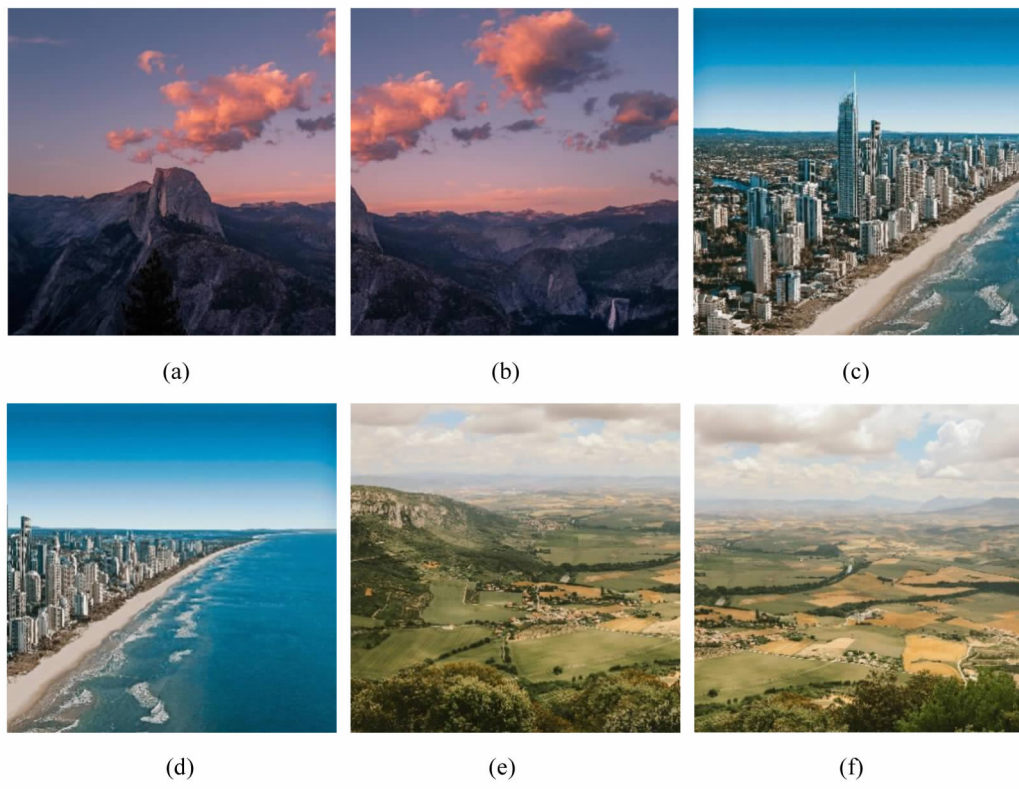


图 3 三组待拼接图像

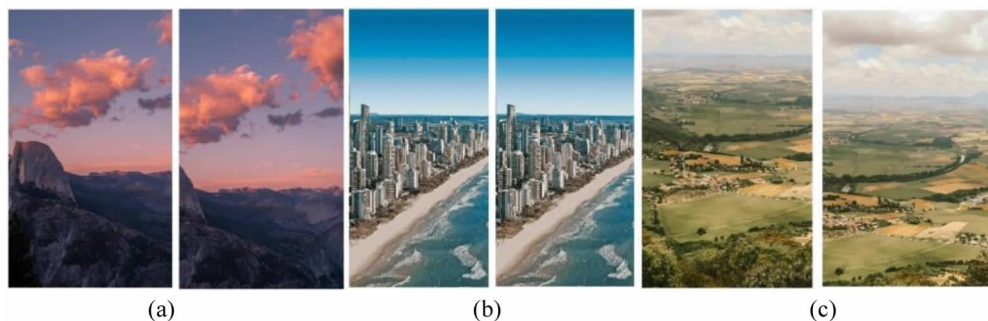


图 4 图像纹理重叠区域

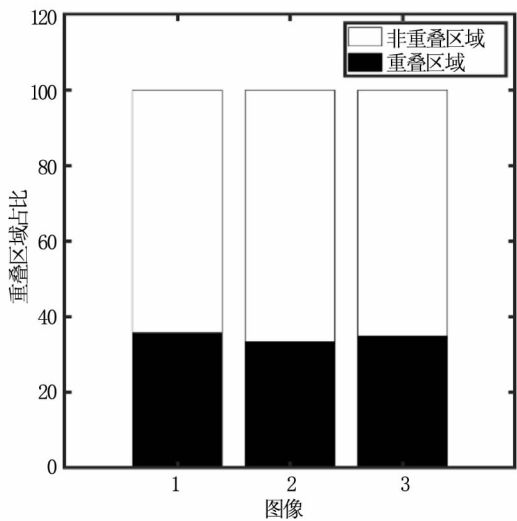


图 5 图像的重叠区域占比

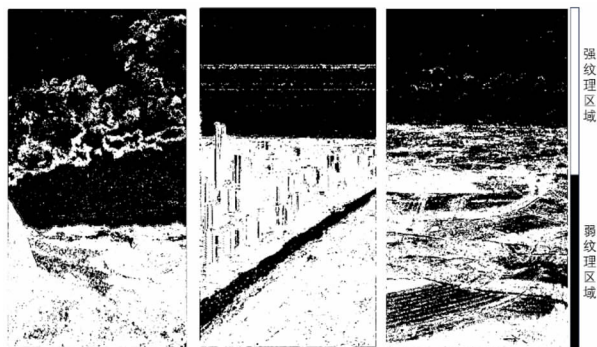


图 6 图像的纹理区域

由表 1 可知,相较于传统 SIFT 算法与文献 [5]的算法,本文算法提取图像的特征点数量最少,但匹配率高,说明所提取的特征点是有效的特征

点;在 SSIM、PSNR 方面,本文算法与其他算法无明显差异,因此本文算法具有较好的拼接质量。三种算法所得图像的拼接结果如图 8 所示。由图 8 可知,三种算法的图像拼接结果视觉观感上无明显差异,说明改进的算法具有较好的拼接结果。

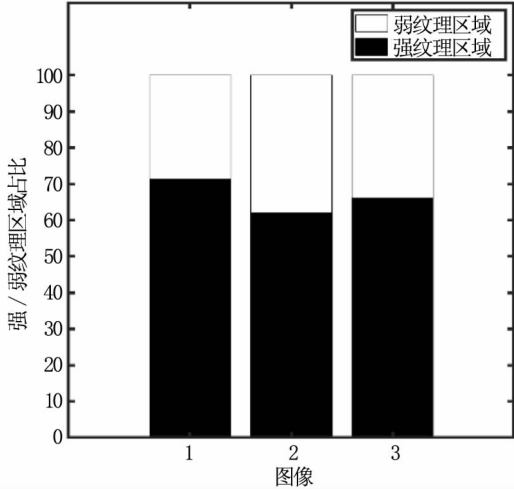


图 7 图像的纹理区域占比

为验证所提出算法的拼接速度,选用图 3 中的图像作为测试,并与传统 SIFT 拼接算法和文献[5]的算法进行比较,图像拼接时间如表 2 所示。由表 2 可知,在拼接速度方面,与另外两种算法相比,本文算法计算了图像的重叠区域并进行纹理分类,增加了一定的时间开销(占总拼接时间的 2%~4%),在特征提取阶段,由于相位相关和 Harris 纹理分类限制了特征点的搜索空间,速度相较于传统 SIFT、文献[5]的算法分别提升了 51%~63%和 1%~4%,在匹配阶段,减少了无用的特征点的提取,其速度相较于传统 SIFT、文献[5]的算法分别提升了 90%~97%和 3%~33%。由此可见,虽然本文算法需要额外的计算时间,但明显减少了无用特征点的搜索和匹配时间。算法整体拼接速度相较于传统 SIFT、文献[5]的算法分别提升了 90%~94%和 5%~26%。综合表 1、表 2 数据可以看出,使用本文算法具有良好的图像拼接质量,同时图像拼接的整体时间最少。因此本文算法在对图像计算速度有较高要求的领域优于传统 SIFT 算法。

表 1 算法与基于 SIFT 算法的拼接质量比较

算法	图像	特征点数量	粗匹配特征点数量	精匹配特征点数量	匹配率	SSIM	PSNR
本文算法	(a),(b)	2347,1731	1069	1024	0.44,0.59	0.99	44.37
	(c),(d)	3175,3163	3070	3061	0.96,0.97	1.00	51.82
	(e),(f)	6014,3424	2071	1981	0.33,0.58	0.99	39.54
传统 SIFT 算法	(a),(b)	12613,12081	3953	3850	0.31,0.16	0.99	43.06
	(c),(d)	11286,7455	4434	4390	0.39,0.59	1.00	55.83
	(e),(f)	18940,15398	4802	4688	0.25,0.30	0.99	41.71
文献[5]算法	(a),(b)	2358,1728	1040	987	0.42,0.57	0.99	44.47
	(c),(d)	3437,3440	3302	3275	0.95,0.95	1.00	43.97
	(e),(f)	6553,3971	2302	2190	0.33,0.55	0.99	39.49

表 2 拼接速度比较

算法	图像	相位相关/s	纹理分类时间/s	特征点提取时间/s	融合时间/s	总时间/s
本文算法	(a),(b)	0.28	0.17	3.00	2.90	6.39
	(c),(d)	0.21	0.14	3.33	5.42	9.13
	(e),(f)	0.28	0.16	4.45	9.58	14.50
传统 SIFT 算法	(a),(b)	0	0	8.15	97.09	105.34
	(c),(d)	0	0	6.82	52.55	59.47
	(e),(f)	0	0	10.47	137.72	148.28
文献[5]算法	(a),(b)	0.27	0.46	3.03	3.00	6.78
	(c),(d)	0.21	0.28	3.48	5.61	9.61
	(e),(f)	0.34	0.42	4.50	14.34	19.63

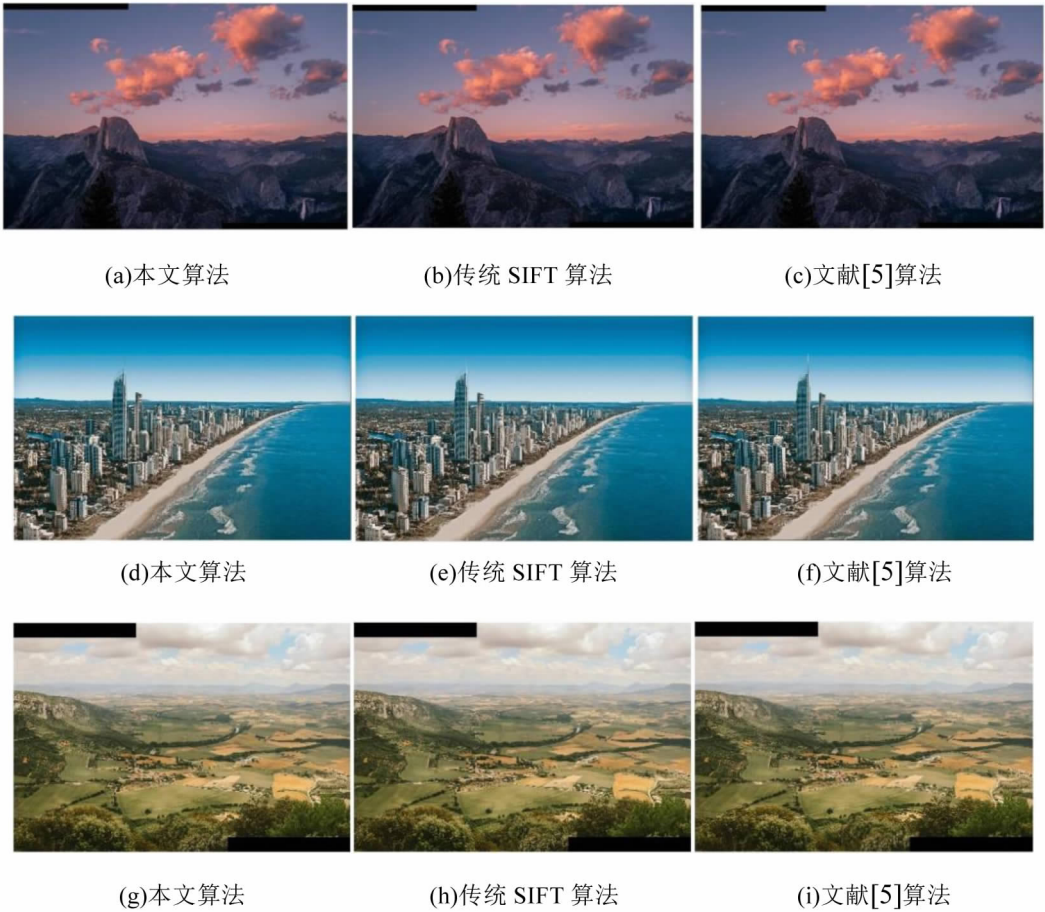


图 8 三种算法拼接结果

为进一步验证本文算法的拼接速度和质 量,测试了 6 组数据,其得到的结果如图 9 所示。从图 9 (a)、(b)中可知,在 SSIM 和 PSNR 数值上,本文算 法和其他三种算法相差不大,说明本文算法具有与 传统 SIFT 算法相近的拼接质量。进一步从图 9

(c)中可以看出,本文算法在整体拼接速度上有较 大的提升,相较于传统 SIFT、文献[5]的算法分别 提升了 85%、20%,因此,本文算法在维持拼接质 量的前提下有效地提升了图像拼接的速度。

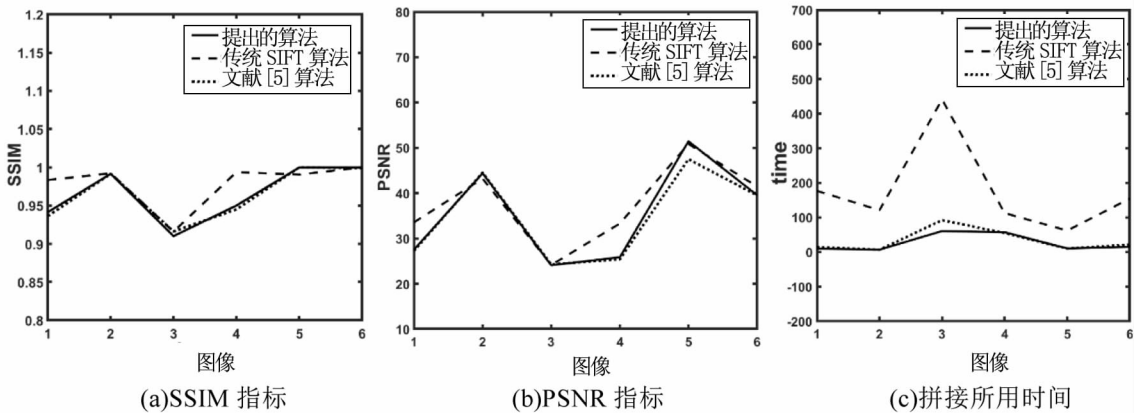


图 9 SSIM、PSNR、拼接时间的比较

3 结 论

针对传统的 SIFT 图像拼接算法计算复杂程度过高的问题,提出了基于相位相关和 Harris 纹理分类的 SIFT 图像拼接算法。首先使用相位相关法计算待拼接的重叠区域,其次使用 Harris 算法对重叠区域进行纹理分类,将图像划分为强纹理区域和弱纹理区域。将纹理分类后的图像作为 SIFT 算法的输入,减少图像搜索空间,提升拼接速度。实验结果表明,本文提出的算法在良好拼接质量的前提下,整体拼接速度有较大的提升,相较于传统 SIFT、文献[5]的算法分别提升了 85%、20%。由此可见,本文提出的算法在对拼接速度有较高要求的领域具有潜在的应用价值。

参考文献

- [1] 何川. 图像拼接研究及应用[D]. 上海:上海交通大学, 2018.
- [2] 陈宗桂,董晓军,曾令容,等. 改进 SIFT 算法在医学图像配准中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2022, 32(8): 71—75.
- [3] LOWE D G. Object recognition from local scale-invariant features [C]//The Seventh IEEE International Conference on Computer Vision Kerkyra, 1999,2:1150—1157.
- [4] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91—110.
- [5] 王昱皓,唐泽恬,钟岷哲,等. 基于相位相关和纹理分类的 SIFT 图像拼接算法[J]. 量子电子学报, 2020, 37(6): 650—658.
- [6] 杨前华,王改革,赵力. 基于 SIFT 特征的眼眼图像拼接算法[J]. 电子器件, 2019, 42(3): 712—717.
- [7] 赵立杰,吴志豪,黄明忠. 基于 SIFT 特征匹配的活性污泥显微图像拼接方法[J]. 沈阳化工大学学报, 2023, 37(1): 74—79+86.
- [8] 王洪光,黄北生,王学生. 基于 CUDA 的二叉树图像拼接算法研究[J]. 地理空间信息, 2019, 17(12): 103—105, 109, 11.
- [9] 徐晓华,熊显名. 改进 SIFT 算法的手指静脉特征提取和匹配研究[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(5): 101—103.
- [10] FIDALGO E, ALEGRE E, GONZALEZ-CASTRO V, et al. Compass radius estimation for improved image classification using Edge-SIFT[J]. Neurocomputing, 2016, 197: 119—135.
- [11] ZHANG W, ZHAO Y. An improved SIFT algorithm for registration between SAR and optical images[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 6346.
- [12] 马韵琪,田明,刘阳,等. 基于改进 Harris 的消音壁亚像素级角点检测算法[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2023, 46(1): 44—51.
- [13] 王昱皓,唐泽恬,钟岷哲,等. 基于掩模搜索的快速尺度不变特征变换图像匹配算法[J]. 激光与光电子学进展, 2021, 58(4): 175—181.