

موزاییک تصاویر طبیعی بر اساس حذف نقاط

کلیدی زائد در الگوریتم SIFT و الگوریتم

RANSAC تطبیقی

زهرا حسین‌نژاد^۱ و مهدی نصری^{۲*}

^۱گروه مهندسی برق، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران

^۲گروه مهندسی برق، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده

موزاییک تصویر به ترکیب دو یا چند تصویر که قسمت‌های هم‌پوشان دارند، به تصویری بزرگ‌تر و جامع‌تر اطلاق می‌شود. تبدیل ویژگی مقیاس‌ناسته (SIFT) یکی از متداول‌ترین شناساگرها است که در قبل در موزاییک تصویر مورد استفاده قرار گرفته است. از ایرادهای الگوریتم SIFT کلاسیک تعداد زیاد نقاط کلیدی تکراری و زمان اجرای بالای آن به دلیل ابعاد بالای توصیف‌گر SIFT کلاسیک است، که باعث کاهش کارایی این الگوریتم می‌شود. در این مقاله، برای بالابردن کیفیت موزاییک تصویر، از الگوریتم RKEM-SIFT که نسخه بهبود یافته SIFT است جهت شناسایی نقاط کلیدی استفاده شده و سپس، برای بهبود سرعت الگوریتم از توصیف‌گر ۶۴ بعدی SIFT استفاده شده است. پنجره کوچک‌تر این توصیف‌گر نسبت به توصیف‌گر ۲۸ بعدی SIFT باعث می‌شود دقت تطبیق افزایش و زمان اجرا کاهش پیدا کند. در ادامه، برای حذف تطبیق‌های نادرست، از الگوریتم اجتماع نمونه تصادفی (RANSAC) استفاده شده که مقدار آستانه پیشنهادی آن به صورت وقتی بر اساس میانه فواصل بین نقاط تطبیق و مدل تطبیق آن‌ها محاسبه شده است. برای هر نقطه تطبیق اگر فاصله بین آن نقطه و تطبیق‌یافته آن بر اساس مدل از مقدار آستانه پیشنهادی کمتر باشد، نقطه تطبیق درست تشخیص و حفظ و در غیر این صورت تطبیق نادرست تشخیص داده شده و حذف می‌شود؛ در نهایت روش جدیدی نیز در این مقاله جهت ترکیب تصویر پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی ترکیب تصویر بر اساس تابع وزنی گوسی است که میانگین این تابع گوسی به صورت میانگین داده‌های محدود مشترک و هم‌پوشان دو تصویر، در نظر گرفته شده است. در قسمت آزمایش‌ها، روش پیشنهادی موزاییک تصاویر طبیعی که شامل استفاده از الگوریتم RKEM-SIFT، RANSAC و روش‌های SURF و تطبیق دوطرفه است، بر روی پایگاه‌های تصاویر استاندارد و همین‌طور پایگاه تصاویر ایجاد شده پیاده‌سازی شده و با روش‌های SURF و تطبیق دوطرفه سریع، SURF-LM و SIFT-RANSAC مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از برتری روش پیشنهادی با توجه به معیارهای خطای میانگین مربعی و دقت دارد که نسبت به بهترین روش مقایسه شده (SURF و تطبیق دوطرفه سریع) کاهش ۶/۷٪ بیشینه خطا، ۳۰/۰۹٪ ریشه میانگین مربعات خطا و ۳۷/۶۸٪ میانه خطا را باعث شده است.

واژگان کلیدی: موزاییک تصویر، انطباق تصویر، الگوریتم SIFT.

Natural Image Mosaicing based on Redundant Keypoint Elimination Method in SIFT algorithm and Adaptive RANSAC method

Zahra Hossein-Nejad¹ & Mehdi Nasri^{1*2}

Department of Electrical Engineering, Sirjan Branch,

Islamic Azad University, Sirjan, Iran.

Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad

University, Isfahan, Iran.

Abstract

Image mosaicing refers to stitching two or more images which have overlapping regions to a larger and more comprehensive image. The image mosaicing process is widely used in scene stabilization, change

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

detection, video compression, and image compression. Image mosaicing methods can be divided into two categories, direct methods and feature-based methods, which feature-based methods are more accurate. Scale Invariant Feature transform (SIFT) is one of the most common feature-based methods in the image mosaicing. However, one of the big defects of SIFT algorithm is the large number of duplicate key points and being time-consuming due to the high dimensions of classical SIFT descriptor. In this paper, to solve these problems, a new four-step approach for image mosaicing is proposed. At first, Redundant Keypoint Elimination-SIFT (RKEM-SIFT) algorithm which has been proposed in [1] is used to identify keypoints of reference and sensed images and to improve the mosaicing process. In the second stage, for each keypoint of the image, 64-D SIFT descriptor is computed. In this descriptor, unlike the 128-D SIFT descriptor, a smaller window is used which improves the accuracy of matching and reduces the running time. In the third stage, the proposed improved RANdom SAMple Consensus (RANSAC) algorithm is used to determine the adaptive threshold in the RANSAC algorithm to remove the mismatches and to improve the image mosaicing. Determining the appropriate threshold value in RANSAC is so important, because if an appropriate value is not chosen for this algorithm, the mismatches are not removed, and eventually there will be a serious impact on the outcome of the image mosaicing process. In this method, the threshold value is based on the median value of distances between matching points and their transformed model. Image blending in the mosaicing process is the final step which blends the pixels intensity in the overlapped region to avoid seams. The suggested method of blending is to combine the images based on the average of the data in the overlapped region of two images. The proposed blending method reduces artifacts in the image for better performance of the mosaicing process. Another advantage of this proposed method is the possibility to combine more than two images that are suitable for creating panoramic images. The simulation results of the proposed image mosaicing technique, which includes the RKEM-SIFT algorithm as feature detector, 64-D SIFT descriptor, proposed adaptive RANSAC algorithm, and proposed image blending algorithm. The proposed method is implemented on standard image databases, created image databases, and has been compared with SURF- fast bidirectional matching, SURF-LM and SIFT-RANSAC methods. The results of the experiments show the superiority of the proposed method according to the criteria of mean square error and accuracy, which compared to the best compared method (SURF-fast bidirectional matching) reduces 6.7% maximum error, 30.09% root mean square error and 37.68% caused the median error.

Keywords: Image mosaicing, Image registration, SIFT.

تصاویر با مناطق هم‌پوشانی کوچک هم مناسب است. به‌طور کلی، روش‌های مبتنی بر ویژگی در مقایسه با روش‌های مستقیم دقت^۹ بیشتری دارند و استفاده بیشتری از آن‌ها در کاربردهای عملی می‌شود [7]. روش‌های مبتنی بر ویژگی در موزاییک تصویر، شامل دو مرحله اصلی انطباق تصویر و ترکیب^{۱۰} تصویر هستند [8]. انطباق تصویر، فرآیند روی هم گذاشتن دو یا چند تصویر از یک صحنه است که در شرایط مختلف تصویر گرفته شده‌اند و این فرآیند یکی از مراحل بسیار مهم در موزاییک تصویر است [9-14]. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین الگوریتم‌ها در زمینه انطباق تصویر جهت موزاییک تصویر، الگوریتم تبدیل ویژگی مقیاس‌ناسته (SIFT) است [5, 15-17]. الگوریتم SIFT، توسط دیوید لائو^{۱۱} در سال ۱۹۹۹ در دانشگاه بریتیش کلمبیا معرفی شد که در برابر تغییرات مقیاس و چرخش ثابت بوده و در برابر تغییرات روشنایی و انحراف‌های آفین^{۱۲} و نوفه نیز مقاوم است [18] که این مزایا سبب اهمیت SIFT در بسیاری از کاربردها از جمله در موزاییک تصویر شده است. الگوریتم SIFT را می‌توان در سه مرحله استخراج ویژگی (نقاط کلیدی)، ایجاد

۱- مقدمه

موزاییک تصویر، فرآیند ترکیب دو یا چند تصویر با همدیگر جهت ایجاد یک تصویر یک‌پارچه بزرگ‌تر و پرمحتواتر است [2]. این فرآیند یکی از موضوعات پژوهشی مهم در زمینه پردازش تصویر، بینایی ماشین و گرافیک رایانه‌ای است که هم‌اکنون کاربردهای فراوانی در فشرده‌سازی تصاویر و نمایه‌گذاری^۱ آن‌ها دارد [3, 4]. به‌طور کلی، روش‌های موزاییک تصویر به دو دسته روش‌های مستقیم^۲ و روش‌های مبتنی بر ویژگی^۳ تقسیم می‌شوند [5, 6]. در روش‌های مستقیم از اطلاعات تمام پیکسل‌ها جهت موزاییک تصویر استفاده می‌شود. روش‌های مستقیم برای موزاییک تصاویر با هم‌پوشانی^۴ زیاد، انتقال‌ها^۵ و چرخش‌های^۶ کوچک مناسب است. در روش مبتنی بر ویژگی، ویژگی‌های تصاویر شناسایی و سپس فرآیند تطبیق^۷ و هموگرافی^۸ بین نقاط ویژگی‌ها انجام می‌شود. روش‌های مبتنی بر ویژگی برای موزاییک

¹ Indexation

² Direct method

³ Feature based methods

⁴ Overlapping

⁵ Translation

⁶ rotations

⁷ Matching

⁸ Bomography

⁹ Precision

¹⁰ Blending

¹¹ Lowe

¹² Affine distortion

الگوریتم هریس، ویژگی‌ها شناسایی و سپس از توصیف‌گر SIFT و از فاصلهٔ ماهالانوبیس⁸ جهت تطبیق ویژگی‌ها استفاده می‌شود. این روش نسبت به الگوریتم SIFT پایه زمان اجرای کمتری دارد. در مرجع [30] برای انجام موزاییک تصویر از الگوریتم SURF⁹ استفاده کردند که هنگامی که نوفه از حد معینی در تصویر افزایش می‌یابد، این الگوریتم در ایجاد تصاویر پاناروما شکست می‌خورد. در مرجع [31] از الگوریتم SURF و RANSAC به ترتیب جهت استخراج ویژگی‌ها و حذف تطبیق‌های نادرست برای انجام موزاییک تصویر استفاده شد. این روش نسبت به الگوریتم‌های Harris، SIFT زمان اجرای کمتری دارد. در مرجع [32] از الگوریتم SURF و BBF به ترتیب برای شناسایی و تطبیق ویژگی‌ها جهت ترکیب تصاویر استفاده کردند. این روش دقت تطبیق مناسبی دارد. در مرجع [33] از الگوریتم SURF و RANSAC به ترتیب جهت شناسایی ویژگی‌ها و حذف تطبیق‌های نادرست برای انجام موزاییک تصویر بهره گرفته شد. در مرجع [34]، الگوریتم ASIFT جهت فرآیند ترکیب تصویر مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به کاربرد زیاد الگوریتم SIFT و نسخه‌های بهبودیافته این الگوریتم در فرآیند موزاییک تصویر، هنوز مشکلاتی در الگوریتم SIFT وجود دارد که باعث می‌شود، از کیفیت موزاییک تصویر کاسته شود. یکی از این مشکلات، در مرحلهٔ شناسایی ویژگی‌های SIFT است که باعث می‌شود تعداد زیادی ویژگی زائد شناسایی شود که در نهایت سبب ایجاد تطبیق‌های نادرست و تداخل در فرآیند موزاییک تصویر می‌شود.

در همین‌اواخر بهبود جدیدی در الگوریتم SIFT ایجاد شده که تبدیل ویژگی مقیاس‌ناسته بر پایهٔ حذف نقاط کلیدی زائد (RKEM-SIFT¹⁰) نام‌گرفته است. روش RKEM-SIFT باعث می‌شود نقاط کلیدی زائدی که در الگوریتم SIFT شناسایی می‌شود، حذف شود و در نتیجه سبب بهبود فرآیند تطبیق می‌شود [1]. کارایی این روش در انطباق تصویر [1, 35] و تشخیص جعل کپی جابه‌جایی مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است [36]. در این مقاله، برای نخستین‌بار از روش RKEM-SIFT جهت استخراج ویژگی‌ها در کاربرد موزاییک تصویر استفاده می‌شود. در این روش، بعد از شناسایی نقاط کلیدی به‌وسیلهٔ الگوریتم SIFT، فاصلهٔ نقاط کلیدی از یکدیگر محاسبه می‌شود و سپس فاصله نقاط کلیدی که از یک مقدار آستانه معین

توصیف‌گر و تطبیق ویژگی‌ها قرار داد [19]. در مرجع [20] از الگوریتم SIFT برای ایجاد تصاویر پاناروما استفاده شده است. این روش برای موزاییک بیش از دو تصویر هم مناسب است. در مرجع [21] جهت انطباق تصویر در کاربرد موزاییک تصویر از الگوریتم SIFT استفاده کردند، که این روش در برابر انحراف‌های هندسی عملکرد مناسبی دارد. در مرجع [22] الگوریتم SIFT و الگوریتم کمینه مربعات¹ جهت موزاییک تصاویر هوایی به‌کار رفته است. از آنجایی که تصاویر هوایی با اعوجاج‌های هندسی روبه‌رو هستند، الگوریتم SIFT عملکرد مناسبی در این تصاویر دارد. در مرجع [23] از الگوریتم SIFT جهت موزاییک تصویر کانونی چشم² استفاده کردند که در این روش جهت حذف تطبیق‌های نادرست و ارتقای دقت فرآیند موزاییک از الگوریتم³ MLESAC بهره گرفته شد. پژوهش‌گران در مرجع [24] از الگوریتم SIFT جهت انطباق تصویر برای انجام موزاییک توالی تصاویر هوایی⁴ استفاده کردند. در مرجع [25] از الگوریتم SIFT جهت استخراج ویژگی‌ها و از الگوریتم KD-tree و استراتژی جستجوی BBF⁵ جهت تطبیق ویژگی‌ها و از الگوریتم RANSAC⁶ جهت حذف تطبیق نادرست و بهبود فرآیند موزاییک استفاده شده است. این روش جهت انجام موزاییک بیش از دو تصویر دارای زمان اجرای بالایی است. در مرجع [26] الگوریتم SIFT جهت انطباق تصویر و از الگوریتم PROSAC⁷ برای انجام فرآیند موزاییک به‌کار رفته و این روش از دقت و عملکرد مناسبی برخوردار است. در مرجع [27] از الگوریتم SIFT جهت تطبیق تصاویر و از الگوریتم RANSAC جهت ارتقای دقت تطبیق و بهبود موزاییک تصویر استفاده شد. در مرجع [28] از الگوریتم SIFT جهت تطبیق برای انجام فرآیند موزاییک تصویر استفاده کردند. با توجه به معایب الگوریتم SIFT از جمله کنترل‌پذیری پایین آن در تعداد ویژگی‌ها، عدم توجه به کیفیت و توزیع ویژگی‌های استخراج‌شده، الگوریتم پایه SIFT عملکرد مناسبی در انطباق تصویر و بالطبع آن در موزاییک تصویر ندارد؛ از این‌رو جهت رفع مشکلات SIFT، الگوریتم‌های بهبودیافته‌ای پیشنهاد شده‌اند که هرکدام باعث بهبود یکی از مشکلات الگوریتم SIFT شده است؛ برای مثال، در مرجع [29] با استفاده از

¹ Scale Invariant Feature Transformation (SIFT)

² Eye fundus

³ Maximum Likelihood Estimation Sample Consensus (MLESC)

⁴ Aerial image sequence

⁵ Best-Bin-First

⁶ RANdom Sample Consensus (RANSAC)

⁷ PROgressive SAmple Consensus (PROSAC)

⁸ Mahalanobis

⁹ Speed Up Robust Featur(SURF)

¹⁰ Redundant Keypoint Elimination Method-Scale Invariant Feature Transform

اصلی انطباق تصویر است و در نهایت از روش تابع وزنی گوسی پیشنهادی جهت ترکیب تصاویر استفاده می‌شود.



(شکل-۱): روندنمای فرآیند موزاییک تصاویر طبیعی

(Figure-1): Flowchart of the natural images mosaicking process

۱-۲- شناسایی ویژگی با RKEM-SIFT

در این بخش، روش RKEM-SIFT [1] جهت افزایش دقت تطبیق و در نهایت ارتقای عملکرد موزاییک تصاویر طبیعی استفاده می‌شود. جزئیات روش در ادامه توضیح داده می‌شود.

گام نخست: نقاط کلیدی در هر تصویر با استفاده از الگوریتم SIFT پایه شناسایی و استخراج می‌شوند که در شکل (۲) نشان داده شده است.

گام دوم: فاصله منتهن برای هر نقطه کلیدی با یکدیگر در هر تصویر مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$d_1(p_m(i), p_n(i)) = \sum_{i=1}^l |p_m(i) - p_n(i)| \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $p_m(i)$ و $p_n(i)$ به ترتیب مختصات i امین نقاط کلیدی p_m و p_n است؛ سپس مجموع فواصل بین هر نقطه کلیدی و همه نقاط کلیدی دیگر در هر تصویر مطابق رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$SD(p_m) = \sum_{j=1}^N d(p_m, p_j) \quad (2)$$

در این رابطه، N تعداد نقاط کلیدی در تصویر و $d(p_m, p_j)$ فاصله بین نقطه کلیدی p_m و p_j مطابق رابطه (۱) است. شاخص زائد مطابق رابطه (۳) تعیین می‌شود.

کمتر است، یکی از آن نقاط کلیدی حذف می‌شود. نوآوری بعدی این مقاله استفاده از توصیف‌گر ۶۴ بعدی است که این توصیف‌گر نسبت به توصیف‌گر کلاسیک ۱۲۸ بعدی سبب بهبود سرعت الگوریتم و افزایش دقت تطبیق نوآوری بعدی مقاله در حذف تطبیق‌های نادرست است که یکی از مراحل مهم در ارتقای دقت انطباق بوده و در نهایت سبب بهبود عملکرد موزاییک تصویر می‌شود. روش پیشنهادی در این مقاله، بر اساس الگوریتم RANSAC و ایجاد تغییرات لازم در آن جهت وفقی کردن آن است. در این روش، از میانه فواصل بین نقاط تطبیق در تصویر دوم با نقاط مدل‌شده در تصویر نخست جهت تعیین مقدار آستانه وفقی در الگوریتم RANSAC استفاده می‌شود. الگوریتم RANSAC وفقی پیشنهادی می‌تواند تطبیق‌های نادرست در الگوریتم SIFT را به خوبی حذف و کیفیت تطبیق را افزایش دهد. نوآوری دیگر مقاله، پیشنهاد روشی جدید در ترکیب تصویر است. یکی از مشکلات بارز روش‌های کلاسیک ترکیب تصویر ایجاد آرتیفکت‌ها است. در روش ترکیب پیشنهادی این مقاله از تابع وزنی گوسی استفاده شده است که میانگین آن براساس میانگین داده‌های نواحی مشترک تصاویر در نظر گرفته می‌شود. سامانه پیشنهادی موزاییک تصویر که شامل استفاده از RKEM-SIFT، توصیف‌گر SIFT ۶۴ بعدی، الگوریتم RANSAC وفقی پیشنهادی و الگوریتم ترکیب پیشنهادی است، باعث افزایش کیفیت فرآیند موزاییک تصویر می‌شود.

سازمان‌دهی بقیه مقاله به این صورت است که در بخش دوم به شرح روندنمای پیشنهادی جهت موزاییک تصاویر طبیعی، در بخش‌های سوم و چهارم به ترتیب به نتایج و آزمایش‌ها و نتیجه‌گیری و پیشنهادها پرداخته می‌شود.

۲- روش پیشنهادی

در این بخش فرآیند موزاییک تصاویر طبیعی در چهار مرحله، مطابق شکل (۱) شرح داده می‌شود. در ابتدا، ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم RKEM-SIFT شناسایی و با استفاده از توصیف‌گر ۶۴ بعدی SIFT توصیف می‌شود و سپس با استفاده از فاصله اقلیدسی فرآیند تطبیق انجام می‌شود. بعدازآن، هموگرافی با الگوریتم RANSAC وفقی پیشنهادی انجام می‌شود که این سه مرحله یادشده مراحل

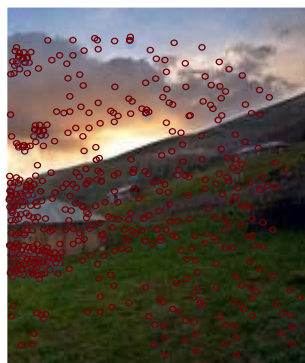
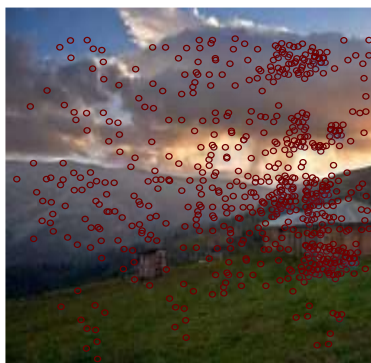
نقاط، نقطه کلیدی که مقدار شاخص زائد آن بیشتر است، حذف می‌شود.

گام پنجم: تمام مراحل یادشده برای تصویر دیگر هم انجام می‌شود که در شکل (۳) نقاط کلیدی که در هر تصویر با روش RKEM-SIFT شناسایی شده را نشان می‌دهد.

$$RI(p_m) = \frac{1}{SD(p_m)} \quad (3)$$

گام سوم: یک مقدار آستانه، جهت حذف افزونگی نقاط کلیدی انتخاب می‌شود.

گام چهارم: اگر فاصله منتهن نقاط کلیدی با یکدیگر (جز فاصله نقطه کلیدی با خودش) کمتر از آستانه موردنظر باشد، یکی از نقاط کلیدی باید حذف شود. در میان این



(شکل-۲): شناسایی نقاط کلیدی در هر تصویر با استفاده از الگوریتم SIFT پایه
(Figure-2): Identify keypoints in each image using the classic SIFT algorithm



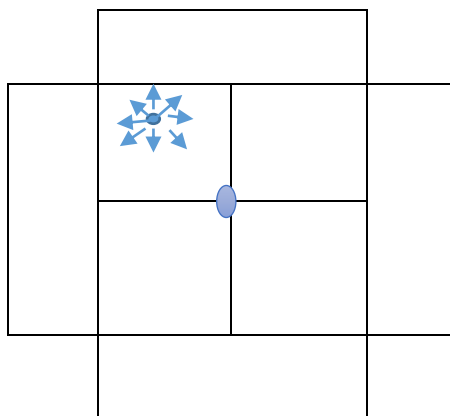
(شکل-۳): شناسایی نقاط کلیدی در هر تصویر با الگوریتم RKEM-SIFT
(Figure-3): Identify keypoints in each image using the RKEM-SIFT algorithm

اطراف آن در نظر گرفته می‌شود که به این صورت توصیف‌گر ۶۴بُعدی ایجاد می‌شود. پنجره این توصیف‌گر سبب افزایش دقت تطبیق و کاهش زمان اجرا می‌شود.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان می‌دهد، نقاط کلیدی غیرضروری توسط روش RKEM-SIFT حذف شده که این نشان‌دهنده عملکرد مناسب این روش است.

۲-۲- توصیف‌گر

در این بخش، جهت توصیف هر نقطه کلیدی از توصیف‌گرهای SIFT که نسبت به تغییرات مقیاس، چرخش، زاویه و تغییرات روشنایی ثابت است، استفاده می‌شود. در این مقاله، از توصیف‌گر ۶۴بُعدی SIFT بهره گرفته می‌شود که در این توصیف‌گر برخلاف توصیف‌گر ۱۲۸بُعدی SIFT از پنجره کوچک‌تری مطابق شکل (۴) استفاده می‌شود [37]. در شکل (۴)، نقطه کلیدی همان دایره آبی است که جهت ایجاد توصیف‌گر، هشت همسایگی و برای هر همسایگی هشت جهت مطابق شکل



(شکل-۴): توصیف‌گر ۶۴بُعدی SIFT
(Figure-4): 64-D SIFT descriptor

۳-۲- فرآیند تطبیق

در این بخش، پس از ایجاد توصیف‌گر برای هریک از ویژگی‌ها، این توصیف‌گرها با استفاده از فاصله اقلیدسی و معیار نزدیک‌ترین همسایه مطابق رابطه (۴) در دو تصویر تطبیق می‌یابند:

$$\frac{\|D_A - D_B\|}{\|D_A - D_C\|} < T_{ED} \quad (4)$$

در این رابطه، توصیف‌گر D_B نخستین نزدیک‌ترین همسایه به توصیف‌گر D_A و توصیف‌گر D_C دومین نزدیک‌ترین همسایه است.

۴-۲- حذف تطبیق‌های نادرست با

RANSAC پیشنهادی

الگوریتم RANSAC یک روش برآورد مقاوم است که توسط فیشر^۱ معرفی شد [38]. این الگوریتم، روشی برای جداسازی زیرمجموعه تطبیق‌های درست و نادرست از میان مجموعه تطبیق‌های ورودی (اولیه) ارائه می‌دهد و در حذف تطبیق‌های نادرست و برآورد پارامترهای مدل تبدیل کاربرد دارد که در اینجا روشی جهت وقتی کردن مقدار آستانه در این الگوریتم پیشنهاد شده است که در ادامه به شرح این روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

گام نخست: در ابتدا بر اساس انحرافی که بین تصاویر است، ضروری است یک مدل تبدیل مناسب انتخاب شود که بر اساس مدل تبدیل انتخاب‌شده، تعداد نقاط تطبیق موردنیاز برای محاسبه پارامترهای تبدیل متفاوت و مطابق رابطه (۵) است:

$$q = \frac{p}{2} \quad (5)$$

q کمینه تعداد نقاط تطبیق موردنیاز برای محاسبه پارامترهای تبدیل و p تعداد پارامترها در هر مدل تبدیل است. برای مثال در تبدیل پرسپکتیو که به هشت پارامتر نیاز دارد، باید به‌طور تصادفی چهار نقطه تطبیق برای محاسبه پارامترهای تبدیل انتخاب شود.

گام دوم: برای این‌که بهترین مدل تبدیل انتخاب شود، در تعداد تکرار معین، در هر بار تکرار چهار نقطه تطبیق تصادفی (در تبدیل پرسپکتیو) برای محاسبه پارامترهای تبدیل انتخاب و در هر بار تکرار، براساس پارامترهای تبدیل به‌دست‌آمده، مدل تبدیل محاسبه می‌شود. این مدل تبدیل را می‌توان به‌صورت HP_e هم نوشت که H همان پارامترهای تبدیل و P_e نقاط تطبیق در تصویر نخست است.

گام سوم: سپس بعد از ایجاد مدل تبدیل، برای هر نقطه تطبیق در تصویر نخست فاصله بین (P, HP_e) در تصویر دوم محاسبه می‌شود.

گام چهارم: میانه فواصل بین نقاط تطبیق در تصویر دوم با نقاط مدل‌شده آن مطابق رابطه (۶) محاسبه می‌شود. میانه این فواصل به‌عنوان مقدار آستانه تعیین و سپس برای هر نقطه تطبیق در تصویر نخست فاصله بین (P, HP_e) در تصویر دوم محاسبه می‌شود که اگر این فاصله طبق رابطه (۷) کمتر از میانه باشد، این نقطه تطبیق به‌درستی تطبیق یافته و حفظ می‌شود. در صورتی‌که این فاصله بزرگ‌تر از میانه باشد، آن نقطه تطبیق نادرست است که در تصاویر حذف می‌شود.

$$median(dis) = dis(p_i, HP_{ei}) \quad (6)$$

$$\text{if } dis(P_i, HP_{ei}) > median(dis) \text{ then} \quad (7) \\ \text{the matched point is kept}$$

گام پنجم: سپس، در هر تکرار تعداد نقاطی که به‌درستی تطبیق یافته‌اند، محاسبه می‌شود. اگر تعداد نقاطی که به‌درستی تطبیق یافته‌اند، بیشتر از مقدار موردنظر باشد یا به بیشینه تعداد تکرارها که از قبل تعیین‌شده، برسد، این الگوریتم متوقف می‌شود. در آخر، همه نقاط تطبیق بر اساس مدل تبدیلی که دارای بیشترین تعداد تطبیق‌های درست بود، دوباره محاسبه می‌شود.

۵-۲- ترکیب تصاویر

در این بخش، ابتدا به بررسی مشکلات روش‌های متداول ترکیب تصویر و سپس به بررسی روش ترکیب پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۵-۲-۱- مشکلات متداول ترکیب

انحراف‌های هندسی^۲، انحراف‌های رادیومتر^۳، تغییر موقعیت تصویربرداری و تغییرات در بافت^۴ و رنگ تصویر^۵ سبب مشکلاتی در ترکیب تصاویر می‌شوند که متداول‌ترین مشکل‌ها عبارت‌اند از ماتی و محوشدگی تصویر در نواحی مشترک مطابق شکل (۵-الف)، وجود آرتیفکت مطابق شکل (۵-ب)، وجود خط مرز مطابق شکل (۵-ج)، لبه‌های کاذب مطابق شکل (۵-د) و ... است [39]. به‌طورکلی روش‌های گوناگونی برای ترکیب تصاویر وجود دارد که هریک از این روش‌ها تنها برای حل نوع مشخصی از مشکلات کاربرد دارد.

² Geometric adjustments

³ Radiometric adjustments

⁴ Different texture

⁵ Different color

¹ Fischler

حل مشکل روش میانگین وزن شده پایه از تابع گوسی استفاده شده است، که در این روش، از بیشینه پیکسل‌های نواحی مشترک به‌عنوان میانگین تابع گوسی استفاده می‌شود. روش میانگین وزن شده بر پایه تابع گوسی علاوه بر مزایای یادشده، دارای معایبی نیز است که می‌توان به وجود آرتیفکت در تصویر ترکیب شده اشاره کرد. همچنین، این روش برای ترکیب بیش از دو تصویر مناسب نیست.

در این مقاله، از روش میانگین وزن شده بر پایه تابع گوسی استفاده می‌شود [40] که در این روش پیشنهادی از میانگین پیکسل‌های نواحی مشترک به‌عنوان میانگین در تابع گوسی استفاده می‌شود. میانگین پیشنهادی تابع گوسی سبب کاهش آرتیفکت در تصویر و انجام بهتر فرآیند ترکیب می‌شود. از دیگر مزایای این روش پیشنهادی، امکان استفاده برای ترکیب بیش از دو تصویر است. از آنجایی که برای ایجاد تصاویر پانوراما لازم است بیش از دو تصویر با هم ترکیب شوند، روش پیشنهادی در ایجاد تصاویر پانوراما هم مناسب و کاربردی است. در ادامه به شرح روش پیشنهادی پرداخته می‌شود.

• روش ترکیب پیشنهادی

ترکیب تصویر، یکی از مراحل مهم در فرآیند موزاییک تصویر است که بهبود این مرحله سبب ارتقا فرآیند موزاییک تصویر می‌شود. روش‌های ترکیب تصاویر باید به‌نحوی باشد که لبه‌های تصویر، آرتیفکت، مرز تصاویر در نواحی هم‌پوشان قابل رؤیت نباشد؛ پس نیازمند روشی برای ترکیب هستیم که انتقال از یک تصویر به تصویر دیگر (مطابق شکل ۶) به‌صورتی باشد که مشکلات ترکیب تصاویر از جمله کاهش آرتیفکت را به کمینه ممکن برساند و درعین حال اطلاعات تصاویر اصلی تا حد امکان محفوظ بماند که در ادامه به پیشنهاد یک روش مناسب پرداخته می‌شود. برای ترکیب تصاویر مطابق فرمول (۸) استفاده می‌شود.

$$I(x, y) = \beta(x)I_{Ref}(x, y) + (1 - \beta(x))I_{Tgt}(x, y) \quad (8)$$

در این رابطه، $I_{Ref}(x, y)$ و $I_{Tgt}(x, y)$ به ترتیب پیکسل‌های تصویر مرجع و حس شده در نواحی مشترک هست. $\beta(x)$ تابع وزن دار هست که بر اساس فاصله پیکسل به خط مرز یک مقدار به پیکسل به‌عنوان وزن می‌دهد. تابع وزن دار گوسی $\beta(x)$ مطابق فرمول (۹) است:

$$\beta(x) = 2e^{-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}} - \frac{1}{2} \quad (9)$$



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

(شکل-۵): مشکلات روش‌های ترکیب (الف) ماتی در نواحی مشترک، (ب) آرتیفکت، (ج) خط مرز در منطقه ترکیب، (د) لبه‌های کاذب.

(Figure-5): Problems of blending methods, (a) Blurring in common areas, (b) Artifacts, (c) The boundary line in blending area, (d) artificial edges.

۲-۵-۲- روش ترکیب پیشنهادی

برای ایجاد تصاویر یک‌پارچه و بدون مرز، روش‌های بسیاری وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش میانگین وزن شده، تبدیل موجک^۱ و روش اسپلاین چنددقتی^۲ اشاره کرد که به‌طور گسترده در مقالات و کاربردهای عملی از روش میانگین وزن شده استفاده می‌شود [39, 40]. در روش میانگین وزن دار شده پایه از تابع وزن محو شونده^۳ عرضی استفاده که این تابع سبب ایجاد آرتیفکت در تصویر می‌شود. در مقاله [40] جهت

¹ Wavelet transform

² Multi-resolution spline

³ Cross-fade function

(...) از پایگاه اینترنتی (www.robots.ox.ac.uk) استفاده شده است. از آنجایی که موزاییک تصویر بیشتر در تصاویر طبیعی انجام می‌شود، تأکید این مقاله استفاده از این پایگاه تصاویر است که برخی از تصاویر پایگاه داده در شکل (۷) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

(شکل-۷): برخی از تصاویر پایگاه‌های داده.

(Figure-7): Some of the database images.

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا^۱ مطابق رابطه (۱۲)، معیار دقت تطبیق مطابق رابطه (۱۳)، معیار حاصل جمع معکوس تعداد کل تطبیق‌ها به علاوه نرخ تطبیق‌های نادرست^۲ مطابق رابطه (۱۴) [42]، معیار حاصل تفریق معکوس تعداد کل تطبیق‌ها منهای دقت تطبیق^۳ مطابق رابطه (۱۵) [42]، میانه خطا^۴ و بیشینه خطا^۵ [43] استفاده می‌شود.

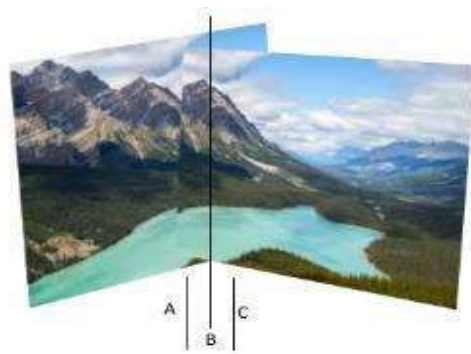
¹ Root mean square error (RMSE)

² Sum of Inverse Total number of Matching and Mismatch Ratio (SITMMR)

³ Subtraction of Inverse Total number of Matching and Matching Correctness (SITMMC)

⁴ Median error (MEE)

⁵ Maximum error (MAE)



(شکل-۶): ترکیب تصویر

(Figure-6): image blending

در این تابع وزن دار گوسی، واریانس مطابق فرمول (۱۰) و میانگین پیشنهادی مطابق فرمول (۱۱) محاسبه می‌شوند:

$$2\sigma^2 = (x_{\max} - x_{\min})^2 \quad (10)$$

$$u = \text{mean}(\{x_i | i = 1, \dots, n\}) \quad (11)$$

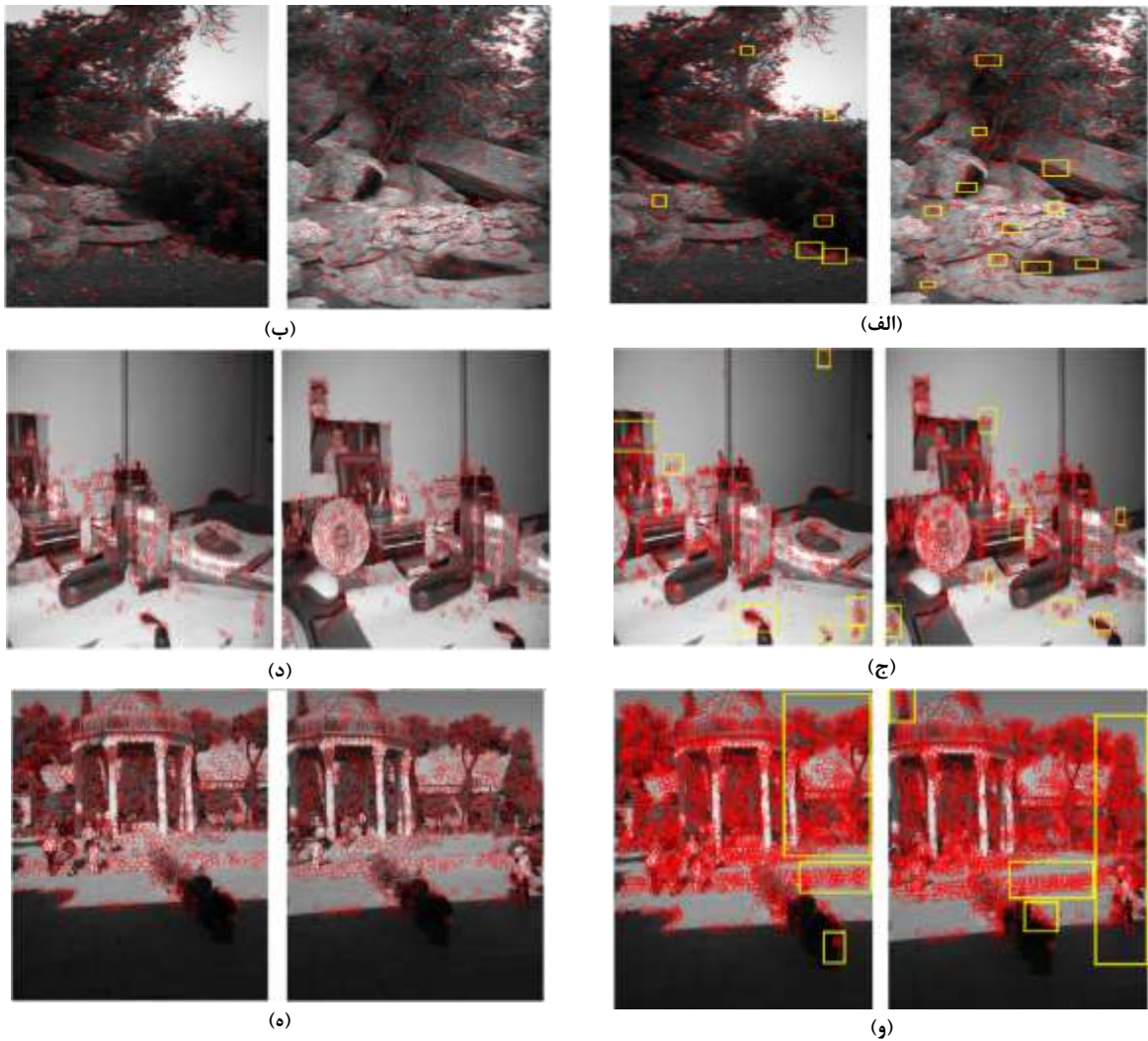
در این روابط، x_i داده‌های موجود در نواحی مشترک و n تعداد پیکسل‌های موجود در نواحی مشترک است.

۳- نتایج و آزمایش‌ها

به منظور ارزیابی قابلیت روش پیشنهادی و کارایی آن در موزاییک تصاویر طبیعی، شش آزمایش انجام شد. در آزمایش نخست، عملکرد روش RKEM-SIFT در استخراج ویژگی‌ها بررسی می‌شود. در آزمایش دوم عملکرد توصیف‌گر SIFT ۶۴ بُعدی در روش RKEM-SIFT جهت فرآیند تطبیق ارزیابی می‌شود. آزمایش سوم مربوط به بررسی عملکرد روش RKEM-SIFT در فرآیند تطبیق می‌پردازد. آزمایش چهارم مربوط به بررسی RANSAC وفقی پیشنهادی در حذف تطبیق‌های نادرست است. در نهایت، در آزمایش‌های پنجم و ششم به بررسی روش پیشنهادی جهت موزاییک تصویر پرداخته می‌شود.

۳-۱- پایگاه تصاویر و معیارهای ارزیابی

پایگاه تصاویر مورد استفاده در این مقاله، سه مجموعه تصویر است. پایگاه تصاویر نخست شامل تصاویری است که از مکان‌های تاریخی و طبیعی عمدتاً از شهر شیراز مانند (حافظیه، باغ ارم و ...) گرفته شده است که این تصاویر دارای زوایای مختلف است و تعداد آن‌ها ۲۴ تصویر است. در پایگاه دوم که ۵۶ تصویر دارد، از تصاویر استاندارد در مراجع معتبر استفاده شده است [41]. پایگاه سوم نیز از ۴۸ تصویر از تصاویر استاندارد دارای انحرافات متفاوت زوایای مختلف، تغییرات مقیاس، تغییر شدت روشنایی و



(شکل ۸-): استخراج ویژگی‌ها، (الف) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم SIFT، (ب) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم RKEM-SIFT [1]، (ج) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم SIFT، (د) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم RKEM-SIFT، (ه) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم SIFT، (و) شناسایی نقاط کلیدی با الگوریتم RKEM-SIFT.

(Figure-8) Extraction of features, (a) Identify keypoints by SIFT algorithm, (b) Identify keypoints by RKEM-SIFT [1], (c) Identify keypoints by SIFT, (d) Identify keypoints by RKEM-SIFT [1], (e) Identify keypoints by SIFT, (f) Identify keypoints by RKEM-SIFT

y' مختصات نقاط کلیدی تبدیل یافته است که m تعداد کل تطبیق‌ها است.

۲-۳- بررسی عملکرد الگوریتم RKEM-SIFT در استخراج ویژگی‌ها بر روی فرآیند موزاییک

تصاویر طبیعی

در این آزمایش، برای استخراج نقاط کلیدی از سه مجموعه تصاویر استفاده می‌شود. نتایج استخراج نقاط کلیدی در تصاویر را می‌توان در شکل (۸) مشاهده کرد.

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، در الگوریتم SIFT کلاسیک تعداد زیادی نقاط کلیدی به هم نزدیک هستند که اطراف آن با مستطیل زرد نشان داده شده است که این نقاط زائد هستند که سبب تداخل در فرآیند بعدی از جمله تطبیق می‌شود. در روش

هرچه مقدار دقت تطبیق، SITMMC بیشتر و مقدار RMSE و مقدار MAE و MEE و SITMMR کمتر باشد، عملکرد تطبیق تصویر و موزاییک تصویر مناسب‌تر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2}{m}} \quad (12)$$

$$Precision = \frac{NB_{CM}}{NB_{TM}} \quad (13)$$

$$SITMMR = \frac{NB_{FM} + 1}{NB_{TM}} \quad (14)$$

$$SITMMC = \frac{NB_{CM} - 1}{NB_{TM}} \quad (15)$$

در این روابط، NB_{CM} تعداد تطبیق‌های صحیح، NB_{TM} تعداد کل تطبیق‌ها، NB_{FM} تعداد تطبیق‌های نادرست است. x و y مختصات نقاط کلیدی در تصویر نخست x' و

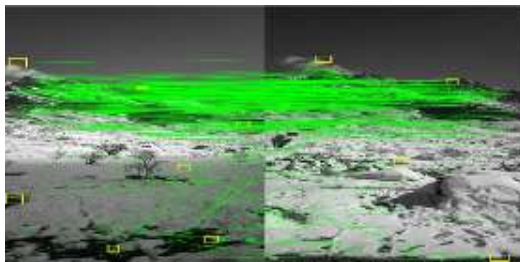
نمی‌شود. در شکل (۱۱) میانگین دقت تطبیق پنج تصویر را نشان می‌دهد که الگوریتم RKEM-SIFT نسبت به الگوریتم SIFT عملکرد بهتری دارد.

(جدول-۱): ارزیابی عملکرد توصیف‌گر ۶۴ بُعدی در

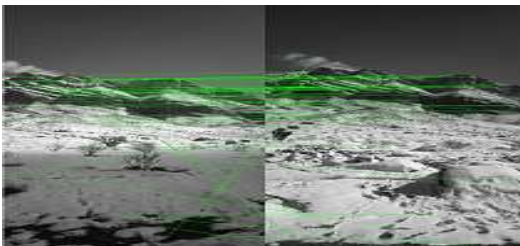
الگوریتم RKEM-SIFT

(Table-1): Evaluation of the 64-D descriptor function in the RKEM-SIFT algorithm.

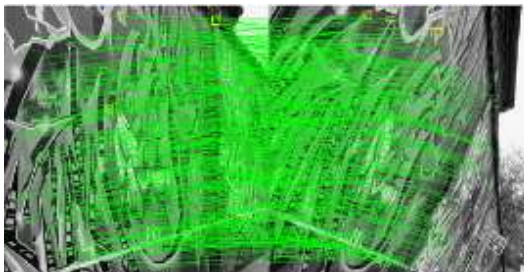
Method	Precision	Mismatch rate	Times(S)
SIFT-128 D	0.54	0.46	49
RKEM-SIFT- 128 D	0.69	0.31	53
SIFT-64D	0.50	0.50	24
RKEM-SIFT-64 D	0.76	0.24	27



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

(شکل-۱۰): فرایند تطبیق، (الف) تطبیق با الگوریتم SIFT، (ب) تطبیق با الگوریتم RKEM-SIFT [1]، (ج) تطبیق با الگوریتم SIFT، (د) تطبیق با الگوریتم RKEM-SIFT [1].

(Figure-10): matching process, (a) matching by SIFT algorithm, (b) matching by RKEM-SIFT algorithm [1], (c) matching by SIFT algorithm, (d) matching by RKEM-SIFT algorithm [1].

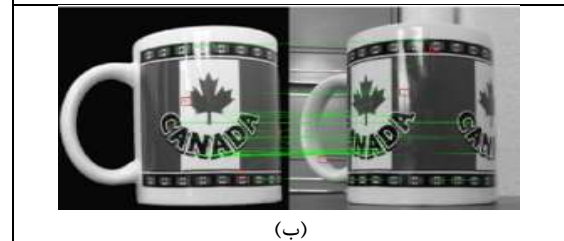
RKEM-SIFT این نقاط زائد حذف شده‌اند که سبب افزایش دقت در فرآیندهای بعدی از جمله تطبیق و موزاییک تصویر می‌شود.

۳-۳- بررسی عملکرد توصیف‌گر ۶۴ بُعدی SIFT در موزاییک تصاویر طبیعی

در این آزمایش، عملکرد توصیف‌گر SIFT ۶۴ بُعدی بر روی روش RKEM-SIFT بررسی می‌شود که نتایج تطبیق آن در جدول (۱) و در شکل (۹) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۹): بررسی عملکرد توصیف‌گر ۶۴ بُعدی، (الف) تطبیق با استفاده از الگوریتم RKEM-SIFT با توصیف‌گر ۱۲۸ بُعدی، (ب) تطبیق با استفاده از الگوریتم RKEM-SIFT با توصیف‌گر ۶۴ بُعدی.

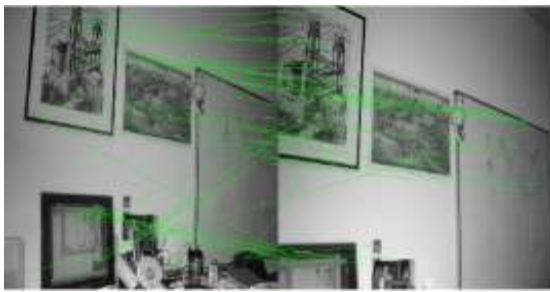
(Figure-9): Evaluation of the 64-D descriptor function, (a) matching by RKEM-SIFT algorithm with 128-D descriptor, (b) matching by RKEM-SIFT algorithm with 64-D descriptor

همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌کنید، عملکرد الگوریتم RKEM-SIFT با توصیف‌گر ۶۴ بُعدی به‌طور متوسط دو برابر سریع‌تر از RKEM-SIFT با توصیف‌گر ۱۲۸ بُعدی است. علاوه‌براین، دقت تطبیق با استفاده از توصیف‌گر ۶۴ بُعدی بهتر است (شکل ۹).

۳-۴- بررسی عملکرد تطبیق روش RKEM-SIFT در موزاییک تصاویر طبیعی

در این آزمایش، با استفاده از تصاویر مختلف، عملکرد حذف نقاط کلیدی زائد در فرآیند تطبیق ارزیابی می‌شود که می‌توان در شکل (۱۰) مشاهده کرد.

همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، تعدادی از تطبیق‌های نادرست که اطراف آن با مربع‌های زرد نشان داده شده بر اثر وجود نقاط زائد است که در روش RKEM-SIFT این تطبیق‌های نادرست ایجاد



(د)

(شکل-۱۲): تطبیق‌های حذف‌شده. (الف) تطبیق حذف‌شده با آستانه ۵۰ [44]، (ب) تطبیق‌های حذف‌شده با روش MAR [42]، (ج) تطبیق‌های حذف‌شده با روش RANSAC بهبودیافته [45] (د) تطبیق‌های حذف‌شده با روش پیشنهادی RANSAC (Figure-12): Removed matches, (a) removed matches by threshold 50 [44], (b) removed matches by MAR method [42], (c) removed matches by improved RANSAC method [45] (d) removed matches by proposed RANSAC method.

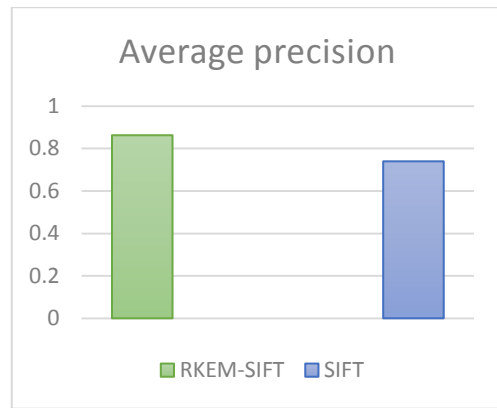
همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، در الگوریتم RANSAC با مقدار آستانه بزرگ مثل ۵۰ [44] باعث می‌شود که تعداد زیادی از تطبیق‌های نادرست حذف نشوند و به‌عنوان تطبیق‌های درست در نظر گرفته شوند. در روش MAR [42] تعدادی از تطبیق‌های درست به‌عنوان تطبیق نادرست در نظر گرفته و این تطبیق‌ها حذف می‌شود. در روش RANSAC بهبودیافته [45] تعداد زیادی تطبیق‌های درست به‌عنوان تطبیق‌های نادرست در نظر گرفته و این تطبیق‌ها حذف می‌شود که این روش باعث کاهش تعداد تطبیق‌ها می‌شود. در روش RANSAC پیشنهادی باعث حذف بیشینه تطبیق‌های نادرست و حفظ بیشینه تطبیق‌های درست می‌شود. نتایج عملکرد روش پیشنهادی با دو روش دیگر در جدول (۲) مشاهده می‌شود.

(جدول-۲): ارزیابی عملکرد روش RANSAC پیشنهادی با روش‌های کلاسیک.

(Table-2): Evaluation of the proposed RANSAC method with classical methods.

Method	precision	Mismatch rate	SITMMC	SITMMR
RANSAC-50 [44]	0.708	0.292	0.688	0.312
MAR [42]	0.792	0.208	0.762	0.238
Improved RANSAC [45]	0.750	0.25	0.714	0.286
Proposed RANSAC	0.913	0.087	0.891	0.10

همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، روش RANSAC پیشنهادی نسبت به سه روش دیگر عملکرد بهتری دارد.



(شکل-۱۱): میانگین دقت تطبیق.

(Figure-11): Average precision matching.

۳-۵- بررسی عملکرد الگوریتم RANSAC

پیشنهادی بر روی فرآیند موزاییک تصویر

در این بخش، برای ارزیابی عملکرد RANSAC پیشنهادی در حذف تطبیق‌های نادرست از دو تصویر با تغییر زاویه استفاده شده است. شکل (۱۲)، نتایج تطبیق‌های حذف‌شده را نشان می‌دهد که تطبیق‌های درستی که توسط الگوریتم RANSAC به اشتباه حذف شده‌اند، با مربع مشخص شده‌اند.



(الف)



(ب)



(ج)

۳-۶- بررسی عملکرد روش ترکیب پیشنهادی در موزاییک تصویر طبیعی

در این آزمایش بررسی عملکرد روش پیشنهادی ترکیب، از دو تصویر با تغییر زاویه استفاده شده است که نتایج آن در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود.



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

(شکل-۱۳): موزاییک تصویر طبیعی، (الف) تصویر اول، (ب) تصویر دوم، (ج) ترکیب تصویر با روش [40]، (د) ترکیب تصویر با روش پیشنهادی.

(Figure-13): image mosaicing, (a) first image, (b) second image, (c) image blending by method [40], (d) image blending by proposed method.

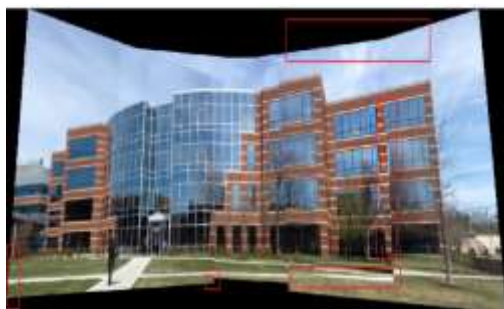
همان‌طور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌کنید، در موزاییک تصویر با روش ترکیب [40] درب و بخش‌های از درخت نخل به‌طور کاذب به تصویر اضافه شده که در شکل با مربع قرمز نشان داده شده است. روش پیشنهادی به‌خوبی ترکیب را انجام داده و حتی بخش‌های سیاه‌رنگ در روش پیشنهادی نسبت به روش [40] کمتر است که این نشان‌دهنده عملکرد مؤثر روش پیشنهادی است.

۳-۷- بررسی عملکرد روش پیشنهادی در موزاییک تصویر طبیعی

در این آزمایش برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی از پنج تصویر ساختمان با تغییر زاویه استفاده می‌شود که نتایج آزمایش در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)



(د)

(شکل-۱۴): موزاییک تصویر طبیعی، (الف) روش SURF و تطبیق دوطرفه سریع [33]، (ب) روش SURF-LM [46]، (ج) روش SIFT-RANSAC [47]، (د) روش پیشنهادی.

(Figure-14): image mosaicing, (a) SURF-fast bidirectional matching method [33], (b) SURF-LM method [46], (c) SIFT-RANSAC method [47] (d) the proposed method.

ویژگی‌ها از تصاویر استخراج می‌شود و از توصیف‌گر SIFT ۶۴ بعدی جهت توصیف نقاط کلیدی استفاده شد؛ سپس برای کاهش تطبیق‌های نادرست، مقدار آستانه در الگوریتم RANSAC وفقی پیشنهادی بر اساس مقدار میانه تطبیق‌ها انتخاب می‌شود؛ در نهایت، برای ارتقای ترکیب تصویر، میانگین پیکسل‌های نواحی مشترک را به‌عنوان میانگین در تابع وزنی گوسی در نظر گرفته می‌شود. روش پیشنهادی در ارتقای دقت موزاییک تصویر طبیعی عملکرد مؤثری دارد. یکی از ایرادهای روش ترکیب پیشنهادی، باقی‌ماندن خط مرزی در تصویر موزاییک‌شده نهایی است. در مطالعات آینده، تلاش می‌شود که با استفاده از تنظیم مقادیر میانگین و واریانس تابع گوسی این خط تا حدودی حذف شود.

5- References

۵- مراجع

- [1] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "RKEM: Redundant Keypoint Elimination Method in Image Registration," *IET Image Processing*, vol. 11, pp. 273-284, 2017.
- [2] S. Laaroussi, A. Baataoui, A. Halli, and S. J. P. C. S. Khalid, "A dynamic mosaicking method based on histogram equalization for an improved seamline," vol. 127, pp. 344-352, 2018.
- [3] D. Vaghela and P. Naina, "A review of image mosaicing techniques," *arXiv preprint arXiv:1405.2539*, 2014.
- [4] T. Koch, X. Zhuo, P. Reinartz, F. J. I. A. o. P. Fraundorfer, Remote Sensing, and S. I. Sciences, "A new paradigm for matching uav-and aerial images," vol. 3, pp. 83-90, 2016.
- [5] A. Pandey and U. C. Pati, "Panorama Generation Using Feature-Based Mosaicing and Modified Graph-Cut Blending," in *Soft Computing: Theories and Applications*, ed: Springer, 2018, pp. 477-488.
- [6] U. B. Patel, H. N. J. I. J. o. E. Mewada, and I. Technology, "Review of image mosaic based on feature technique," vol. 2, 2013.
- [7] P. M. Jain and V. K. Shandliya, "A review paper on various approaches for image mosaicing," *International Journal of Computational Engineering Research*, vol. 3, pp. 106-109, 2013.
- [8] D. Bheda, M. Joshi, and V. Agrawal, "A study on features extraction techniques for image mosaicing," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 2, pp. 3432-3437, 2014.
- [9] Z. Hossein-nejad and M. Nasri, "Image registration based on SIFT features and adaptive

در این مقاله سه روش SURF و تطبیق دوطرفه سریع [33]، روش SURF-LM [46] و روش SIFT-RANSAC [47] که جهت موزاییک بیش از دو تصویر هستند، پیاده‌سازی و جهت ارزیابی عملکرد موزاییک تصویر با روش پیشنهادی مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در قبل هم بیان شد، مرحله ترکیب تصاویر یکی از مراحل مهم در موزاییک تصویر است که در این آزمایش تصمیم گرفته شد، روش‌های ترکیب مختلف با روش پیشنهادی مقایسه شوند. در روش SURF-LM [46] برای ترکیب تصاویر از ترکیب میانگین وزن‌شده بر پایه مدل گوسی و روش SIFT-RANSAC [47] از ترکیب میانگین وزن‌شده استفاده شده است. روش پیشنهادی نسبت به روش SURF و تطبیق دوطرفه سریع [33]، روش SURF-LM [46] و روش SIFT-RANSAC [47] عملکرد بهتری دارد. در روش SURF و تطبیق دوطرفه سریع [33] و روش SIFT-RANSAC [47] بخشی از تصویر موزاییک که اطراف آن با مربع قرمز مشخص شده است، نشان می‌دهد که پنجره‌های ساختمان به‌خوبی با هم ترکیب نشده‌اند و در روش SURF-LM [46] بخشی از تصویر موزاییک که اطراف آن مربع قرمز قرار گرفته است، نشان می‌دهد که گوشه‌های تصویر از بین رفته است ولی روش پیشنهادی به‌خوبی فرآیند موزاییک تصویر را انجام داده است. مقدار RMSE در روش پیشنهادی نسبت به روش SURF و تطبیق دوطرفه سریع [33]، روش SURF-LM [46] و روش SIFT-RANSAC [47] بهتر است، که در جدول (۳) نشان داده شده است.

(جدول-۳): نتایج روش پیشنهادی با روش کلاسیک در

موزاییک تصویر

(Table-3): The results of the proposed method with the classic method in image mosaicing

Method	MEE	RMSE	MAE
SURF-Fast Bi-Match [33]	2.210	3.276	5.671
SURF-LM [46]	4.01	4.19	6.358
SIFT-RANSAC [47]	3.13	3.891	5.21
Proposed	2.06	2.29	3.534

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای آینده

در این مقاله، رویکرد جدیدی برای فرآیند موزاییک تصویر طبیعی با استفاده از ترکیب روش RKEM-SIFT، RANSAC وفقی پیشنهادی و روش ترکیب پیشنهادی معرفی شد. در ابتدا، با استفاده از الگوریتم RKEM-SIFT

- Ransac and Homography," vol. 3, pp. 247-251, 2014.
- [18] D. G. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features," in *iccv*, 1999, pp. 1150-1157.
- [۱۹] ز. حسین نژاد، م. نصری "روش جدید در تناظریابی مبتنی بر روابط فضایی در تصاویر چندسنجندۀ سنجش از دوری." سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۹، شماره ۴، صفحات ۷۳-۹۳، ۱۳۹۶.
- [19] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "A New Method in Image Matching Based on Spatial Relationships in Multi-Sensor Remote Sensing Images," *Iranian Remote Sensing & GIS*, pp. 73-94, 2018.
- [20] M. Brown and D. G. J. I. j. o. c. v. Lowe, "Automatic panoramic image stitching using invariant features," vol. 74, pp. 59-73, 2007.
- [21] Z.-L. Yang and B.-L. Guo, "Image mosaic based on SIFT," in *2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2008, pp. 1422-1425.
- [22] J. He, Y.-s. Li, H. Lu, and Z.-m. J. O.-E. E. Ren, "Research of UAV aerial image mosaic based on SIFT," vol. 2, 2011.
- [23] Y. Wang, J. Shen, W. Liao, and L. Zhou, "Automatic fundus images mosaic based on SIFT feature," in *2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing*, 2010, pp. 2747-2751.
- [24] C. Gao, X. Zhang, Y.-L. Wang, and H. J. J. Y. J. o. C. A. Wang, "Automatic stitching approach of aerial image sequence based on SIFT features," vol. 27, pp. 2789-2792, 2007.
- [25] L.-n. Li and N. Geng, "Algorithm for sequence image automatic mosaic based on SIFT feature," in *2010 WASE International Conference on Information Engineering*, 2010, pp. 203-206.
- [26] M. Liu and D. Wen, "Automatic seamless image mosaic method based on SIFT features," in *Second International Conference on Photonics and Optical Engineering*, 2017, p. 1025636.
- [27] G. Kaur, P. J. I. J. o. S. Agrawal, and Technology, "Optimisation of image fusion using feature matching based on SIFT and RANSAC," vol. 9, pp. 1-7, 2016.
- [28] A. Laraqui, A. Saaidi, K. J. M. T. Satori, and Applications, "MSIP: Multi-scale image pre-processing method applied in image mosaic," vol. 77, pp. 7517-7537, 2018.
- [29] P. Kang and H. Ma, "An automatic airborne image mosaicing method based on the SIFT feature matching," in *Multimedia Technology RANSAC transform*," in *Communication and Signal Processing (ICCSP), 2016 International Conference on*, 2016, pp. 1087-1091.
- [۱۰] ز. حسین نژاد، م. نصری "مروری بر روشهای انطباق تصویر، مفاهیم و کاربردهای آن" مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر، دوره ۵، شماره ۲، صفحات ۳۹-۶۷، ۱۳۹۷.
- [10] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "A Review on Image Registration Methods, Concepts and applications," *Journal of Machine Vision and Image Processing*, pp. 39-67, 2017.
- [11] A. Laraqui, A. Baataoui, A. Saaidi, A. Jarrar, M. Masrar, K. J. M. T. Satori, et al., "Image mosaicing using voronoi diagram," vol. 76, pp. 8803-8829, 2017.
- [12] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "A-RANSAC: Adaptive random sample consensus method in multimodal retinal image registration," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 45, pp. 325-338, 2018.
- [۱۳] ف. ظهورپرواز، ع. فاطمی زاده، ح. بهنام "بهبود سرعت انطباق مبتنی بر روش برش گراف جهت انطباق غیرصلب تصاویر تشدید مغناطیسی مغز" مجله پردازش علائم و داده ها دوره ۱۳، شماره ۴، صفحات ۷۹-۹۲، ۱۳۹۵.
- [13] F. ZohourParvaz, E. Fatemizadeh, and H. Behnam, "Speed improvement in graph-cuts-based registration for non-rigid image registration of brain magnetic resonance images," *Signal and Data Processing*, vol. 13, pp. ۲۰۱۷, ۹۲-۷۹.
- [۱۴] ا. ترکیان، پ. معلم، "ابر تفکیک پذیری رشته تصاویر خودرو به منظور بهبود بازشناسی پلاک" پردازش و علائم داده ها، دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۶۱-۷۶، ۱۳۹۸.
- [14] A. Torkian and P. Moallem, "Multi-frame Super Resolution for Improving Vehicle Licence Plate Recognition," *Signal and Data Processing*, vol. 16, pp. 61-76, 2019.
- [15] Z. Ghassabi, J. Shanbehzadeh, A. Mohammadzadeh, and S. S. Ostadzadeh, "Colour retinal fundus image registration by selecting stable extremum points in the scale-invariant feature transform detector," *IET Image Processing*, vol. 9, pp. 889-900, 2015.
- [16] N. Cheng, J. Wang, A. Xu, H. Zhu, X. Wang, Y. Lan, et al., "Liver Image Mosaicing System Based on Scale Invariant Feature Transform and Point Set Matching Method," vol. 8, 2014.
- [17] S. J. I. J. o. E. Michahial and I. Technology, "Automatic Image Mosaicing Using Sift,

- [41] W. Aguilar, Y. Frauel, F. Escolano, M. E. Martinez-Perez, A. Espinosa-Romero, and M. A. Lozano, "A robust graph transformation matching for non-rigid registration," *Image and Vision Computing*, vol. 27, pp. 897-910, 2009.
- [42] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "An adaptive image registration method based on SIFT features and RANSAC transform," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 62, pp. 524-537, 2017.
- [43] H. Tang, A. Pan, Y. Yang, K. Yang, Y. Luo, S. Zhang, *et al.*, "Retinal image registration based on robust non-rigid point matching method," vol. 8, pp. 240-249, 2018.
- [44] Q. Zhang, Y. Wang, and L. Wang, "Registration of images with affine geometric distortion based on Maximally Stable Extremal Regions and phase congruency," *Image and Vision Computing*, vol. 36, pp. 23-39, 2015.
- [45] G.-Q. Gao, Q. Zhang, S. J. M. Zhang, and Control, "Pose detection of parallel robot based on improved RANSAC algorithm," p. 0020294019847712, 2019.
- [46] W. Zhang, X. Li, J. Yu, M. Kumar, Y. J. E. J. o. I. Mao, and V. Processing, "Remote sensing image mosaic technology based on SURF algorithm in agriculture," vol. 2018, p. 85, 2018.
- [47] Y. Zhen, Z. Sun, J. Li, and Y. Peng, "An airborne remote sensing image mosaic algorithm based on feature points," in *2016 Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, 2016, pp. 202-205.
- [30] R. Monali, S. Moonka, A. Priya, and S. S. Tripathy, "Effects of noise and relative overlap on image mosaicing using SURF features," in *Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), IEEE International Conference on*, 2016, pp. 773-777.
- [31] Y. Murali and M. J. I. Madanapalle, "Image mosaic using speeded up robust feature detection," vol. 1, 2012.
- [32] G. Venugopala, G. Padmajadevi, M. J. I. J. o. R. Tech, I. T. i. Computing, and Communication, "Image stitching using speeded up robust features," vol. 3, pp. 3514-3519, 2015.
- [33] Z. Yang, D. Shen, and P.-T. J. P. o. Yap, "Image mosaicking using SURF features of line segments," vol. 12, p. e0173627, 2017.
- [34] X.-h. Yang and M. Wang, "Seamless image stitching method based on ASIFT," *Comput Eng*, vol. 39, pp. 241-244, 2013.
- [35] Z. Hossein-Nejad and M. Nasri, "Retinal Image Registration based on Auto-Adaptive SIFT and Redundant Keypoint Elimination Method," in *2019 27th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, 2019, pp. 1294-1297.
- [36] H. Moradi-Gharghani and M. Nasri, "A new block-based copy-move forgery detection method in digital images," in *2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 2016, pp. 1208-1212.
- [37] N. Y. Khan, B. McCane, and G. Wyvill, "SIFT and SURF performance evaluation against various image deformations on benchmark dataset," in *2011 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications*, 2011, pp. 501-506.
- [38] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Communications of the ACM*, vol. 24, pp. 381-395, 1981.
- [39] A. Li, S. Zhou, and R. Wang, "An improved method for eliminating ghosting in image stitching," in *2017 9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, 2017, pp. 415-418.
- [40] F. Tian and P. Shi, "Image mosaic using orb descriptor and improved blending algorithm," in *Image and Signal Processing (CISP), 2014 7th International Congress on*, 2014, pp. 693-698.



زهرا حسین‌نژاد در سال ۱۳۶۹ در شیراز متولد شد. مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم دریافت، سپس مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق- مخابرات گرایش سیستم در سال ۱۳۹۵ از دانشگاه آزاد اسلامی واحد سیرجان کسب کرد. در حال حاضر نیز، دانشجوی دکترا در رشته مهندسی برق- مخابرات گرایش سیستم و زمینه های پژوهشی مورد علاقه او، پردازش تصویر است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
hoseinnejad.zahra@yahoo.com



مهدي نصري در سال ۱۳۶۱ در اصفهان متولد شد. مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی پزشکی در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه اصفهان و کارشناسی ارشد مهندسی برق-کنترل در سال ۱۳۸۵ و

دکترای مهندسی برق-مخابرات را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه شهید باهنر کرمان دریافت کرد. از سال ۱۳۹۲ تاکنون ایشان به‌عنوان استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی‌شهر اصفهان مشغول به کار هستند. ایشان مؤلف بیش از پنجاه مقاله علمی در مجلات و کنفرانس های معتبر بوده و داور بیش از ۲۵ مجله معتبر علمی است. زمینه‌های پژوهشی ایشان، پردازش تصویر و رایانش نرم است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

nasri_me@iaukhsh.ac.ir