نشریه علمی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

Vol.11, No.4, Winter 2024

۱۰۱ -۸۳

مقاله پژوهشی

بهبود تطبیق تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روابط هندسی

علی جعفری[1*]، الهام پوریعقوبی[2]

۱- استادیار هوش مصنوعی، مجتمع برق، جنگال و مهندسی سایبرنتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر هوش مصنوعی، مجتمع برق، جنگال و مهندسی سایبرنتیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۳

چکیده

تطبیق تصاویر ماهواره‌ای یک مسئله چالش‌برانگیز در کاربرهای بینایی ماشین است. به دلیل داشتن ابعاد بسیار بزرگ، تخریبات محلی، اعوجاجات رادیومتریکی و تغییرات هندسی در تصاویر ورودی، الگوریتم‌های تناظریابی موجود مانند الگوریتم تبدیل ویژگی مقیاس ثابت (*SIFT*) تعداد زیادی تناظر نادرست تولید می‌کنند. همچنین در تصاویر ماهواره‌ای بزرگ‌مقیاس با توجه به ابعاد بالای تصاویر، نقاط کلیدی بسیار زیادی استخراج می‌شود. تعداد بسیار زیاد نقاط کلیدی باعث بالا رفتن پیچیدگی محاسباتی، حافظه‌ای و زمانی در مراحل تشکیل توصیفگر و همچنین تطبیق نقاط کلیدی می‌شود. در این مقاله، از روابط هندسی میان نقاط کلیدی استخراج‌شده از تصاویر ورودی برای بهبود فرایند تشخیص نقاط متناظر نادرست و همچنین افزایش سرعت الگوریتم *SIFT* استفاده می‌شود. الگوریتم حذف تناظرهای نادرست پیشنهادی، از هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر بهره می‌گیرد. در ادامه دو الگوریتم جدید بر اساس استراتژی سلسله مراتبی برای افزایش سرعت الگوریتم *SIFT* پیشنهاد شده است. اولین الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر یافتن اکتاوهای بهینه در فضای مقیاس الگوریتم *SIFT* و انتخاب نقاط کلیدی مورد مقایسه از اکتاوهای بهینه می‌باشد. در دومین روش ابتدا با انجام یک تناظریابی اولیه پارامترهای تبدیل افاین میان دو تصویر محاسبه شده و سپس از این تبدیل برای کاهش فضای جستجو در مرحله تطبیق نهایی نقاط کلیدی استفاده می شود. در انتها برای بررسی عملکرد و دقت هر یک از روش‌های پیشنهادی، از انواع تصاویر شبیه‌سازی‌شده و واقعی استفاده شده است. همچنین برای ارزیابی نهایی الگوریتم‌های پیشنهادی، نتایج به‌دست‌آمده با روش‌های *SIFT*، *SR-SIFT* و *SIFT-GSI* مقایسه می‌شود. نتایج تجربی دقت، پایداری و سرعت بالای روش‌های پیشنهادی را در تطبیق تصاویر ماهواره‌ای تصدیق می‌کند.

کلیدواژه‌ها : تطبیق تصویر، تبدیل افاین، کاهش فضای جستجو، حذف تناظرهای اشتباه، الگوریتم *SIFT* .

* نویسنده مکاتبه کننده: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع برق، پژوهشکده کامپیوتر و هوش مصنوعی.

تلفن: ۰۹۱۲۶۸۷۰۸۳۵

Email: iustuser@mut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

۱- مقدمه

تطبیق تصویر[۱] فرایند یافتن نقاط متناظر[۲] در دو یا چند تصویر که تحت شرایط متفاوت از یک صحنه یکسان تصویربرداری شده‌اند، می‌باشد. تطبیق تصویر از تکنیک‌های مهم در کاربردهای بینایی ماشین مانند مرتبط‌سازی تصویر[۳]، تحلیل سری‌های زمانی[۴] [۱]، بازیابی محتوایی تصویر[۵] [۲]، مدل‌سازی سه‌بُعدی[۶] [۳ و ۴]، ردیابی اشیاء[۷]، شناسایی چهره[۸]، شناسایی الگو[۹] [۵]، شناسایی تغییرات[۱۰] [۶ و ۷] و تلفیق تصویر[۱۱] [۸ و ۹] می‌باشد. به‌طورکلی روش‌های تطبیق تصاویر به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: روش‌های مبتنی بر شدت[۱۲] (مبتنی بر ناحیه)، روش‌های مبتنی بر ویژگی[۱۳] [۵ و ۱۰].

در روش‌های مبتنی بر ناحیه، شدت روشنایی[۱۴] پیکسل‌ها در برش‌هایی از دو تصویر اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت از این مقادیر برای اندازه‌گیری شباهت میان دو تصویر استفاده می‌کنند. به‌عبارتی این روش‌ها عمدتا بر مرحله تطبیق ویژگی متمرکز هستند [۱۱]. از معیارهای شباهت نیز می‌توان به همبستگی متقابل[۱۵]، اطلاعات متقابل[۱۶] [۱۲] و ضریب همبستگی[۱۷] [۱۳] اشاره نمود. روش‌های مبتنی بر ناحیه دارای هزینه محاسباتی[۱۸] بالا هستند و نسبت به اعوجاجات[۱۹] تصویر، تغییرات روشنایی[۲۰] و نویز[۲۱] حساس هستند که تاثیر منفی در تطبیق تصویر خواهد داشت. در مقابل این روش‌ها، روش‌های مبتنی بر ویژگی قرار دارند [۱۴]. در روش‌های مبتنی بر ویژگی، ابتدا به شناسایی و استخراج ویژگی‌ها[۲۲] در دو تصویر می‌پردازند. این ویژگی‌ها در برابر نویز، هم‌پوشانی، تغییرات روشنایی و درهم‌ریختگی مقاومت[۲۳] خوبی دارند. پس از استخراج ویژگی‌های پایدار، تناظریابی میان نقاط ویژگی انجام می‌شود.

روش‌های مبتنی بر ویژگی شامل سه گام اصلی استخراج ویژگی، توصیف[۲۴] ویژگی و تطبیق ویژگی هستند [۱۱]. استخراج و توصیف ویژگی از اساسی‌ترین مراحل در تطبیق تصویر هستند [۱۵]. هرگونه مشکل در استخراج، توصیف و تطبیق ویژگی منجر به نتایج مرتبط‌سازی نادرست می‌شود.

۲- کارهای پیشین

یکی از روش‌های استخراج و توصیف ویژگی، الگوریتم تبدیل ویژگی مقیاس ثابت[۲۵] (*SIFT*) است. این روش توسط دیوید لو (۲۰۰۴)[۲۶] ارائه شده است [۱۶]. الگوریتم *SIFT* می‌تواند ویژگی‌های متمایز و پایدار را در تصاویر شناسایی و استخراج کند. به علاوه، الگوریتم *SIFT* یک روش مناسب برای توصیف ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر می‌باشد. ویژگی‌های *SIFT* در برابر تغییرات مقیاس[۲۷]، چرخش[۲۸] روشنایی و

[۱] *Image Matching*
[۲] *Correspondence Points*
[۳] *Image Registration*
[۴] *Time Series Analysis*
[۵] *Image Content Retrival*
[۶] *3D Modeling*
[۷] *Object Tracking*
[۸] *Face Recognition*
[۹] *Pattern Recognition*
[۱۰] *Change Detection*
[۱۱] *Image Fusion*
[۱۲] *Area-Based*
[۱۳] *Feature-Based Method*
[۱۴] *Intensity*
[۱۵] *Cross-Correlation*
[۱۶] *Mutual Information*
[۱۷] *Correlation Coefficient*
[۱۸] *Computational Cost*
[۱۹] *Distortions*
[۲۰] *Illumination Change*
[۲۱] *Noise*
[۲۲] *Feature Extraction*
[۲۳] *Robustness*
[۲۴] *Description*
[۲۵] *Scale Invariant Feature Transform*
[۲۶] *David Lowe*
[۲۷] *Scaling*
[۲۸] *Rotation*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

تخریبات هندسی[۱] پایداری خوبی دارد [۱۷]. از این رو الگوریتم *SIFT* یک روش محبوب در کاربردهای بینایی ماشین[۲] به‌ویژه مرتبط‌سازی و تطبیق تصاویر ماهواره‌ای است.

زمانی که از الگوریتم *SIFT* برای مرتبط‌سازی و انطباق تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌کنیم به دلیل وجود اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی[۳] تعداد زیادی تناظر نادرست[۴] رخ می‌دهد. همچنین تصاویر ماهواره‌ای به دلیل اصول تصویربرداری متفاوت، ویژگی‌های تصویری متفاوتی ازجمله تفاوت در رزولوشن یا تفکیک‌پذیری مکانی[۵] دارند [۱]. بنابراین چگونگی مطابقت و مرتبط-سازی این تصاویر امروزه به یک مشکل دشوار در تحقیقات پردازش تصویر تبدیل شده است. روش‌های زیادی برای بهبود عملکرد الگوریتم *SIFT* در تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. در ادامه انواع مختلف روش‌های مبتنی بر *SIFT* را بررسی می‌کنیم.

چانگ[۶] و همکاران، با الهام از *SIFT*، یک روش تطبیق ویژگی دقیق و پایدار بر اساس گروه‌بندی گرادیان نقاط ویژگی[۷] (*FSG*) برای مرتبط‌سازی تصویر سنجش‌ازدور[۸] پیشنهاد کرده‌اند. این الگوریتم از چهار مرحله اصلی تشکیل‌شده است: *SIFT* اصلاح‌شده، محاسبه گرادیان ویژگی، گروه‌بندی نقاط ویژگی و حذف نقاط متناظر نادرست و یافتن تبدیل مناسب [۱۸].

اچ. ژنگ (۲۰۲۰) یک روش جدید مبتنی بر محدودیت افاین[۹] محلی برای مرتبط‌سازی تصاویر سنجش‌ازدور که می‌تواند به‌طور گسترده‌ای در پردازش تصاویر و تشخیص الگو استفاده شود، معرفی‌کرده است [۱۹].

این الگوریتم سه مرحله دارد. ابتدا از روش *SIFT* برای استخراج نقاط ویژگی، محاسبه اندازه گرادیان[۱۰] و ایجاد توصیفگرهای[۱۱] ویژگی با یک دایره به‌جای همسایگی مربع استفاده می‌کند. در مرحله دوم، تطبیق اولیه توسط نسبت نزدیک‌ترین فاصله همسایه[۱۲] (*NNDR*) و روش اجماع نمونه سریع[۱۳] (*FCS*) انجام می‌شود. سرانجام، مرتبط‌سازی دقیق[۱۴] با استفاده از تطبیق‌های درست به‌دست‌آمده توسط تبدیل افاین، انجام می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به دقت[۱۵] خوبی دست پیدا می‌کند. علاوه بر این، میزان تطبیق‌های صحیح و مرتبط‌سازی موفق، اثربخشی و کارایی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

روش اجماع نمونه تصادفی[۱۶] به‌طور گسترده برای تخمین پارامترهای مدل تبدیل میان دو تصویر و همچنین انتخاب مجموعه نقاط ویژگی پایدار استفاده می‌شود. این روش در انتخاب مجموعه ویژگی با بیشترین ثبات و پایداری، فقط پارامترهای مدل هندسی میان دو تصویر را محاسبه می‌کند و اطلاعات سطوح روشنایی پیکسل‌ها را در نظر نمی‌گیرد [۲۰]. اگر تعداد نقاط متناظر نادرست زیاد باشد، این روش عملکرد مطلوبی نخواهد داشت.

در این مقاله *SR-SIFT* معیار محدودیت مقیاس برای بهبود فرایند تطبیق دو تصویر پیشنهاد شده است. در این روش، ابتدا تعریفی جدید برای گرادیان نقاط کلیدی هنگام تشکیل توصیفگر نقاط کلیدی ارائه شده است. همچنین برای حذف تناظرهای نادرست از معیار محدودیت مقیاس هر نقطه کلیدی استفاده شده است. نتایج تجربی این مقاله نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دقت تناظریابی را تا حدی بهبود می‌بخشد

[۱] *Geometric Distortions*
[۲] *Computer Vision*
[۳] *Radiometric*
[۴] *False Matches*
[۵] *Spatial Resolution*
[۶] *Chang*
[۷] *Feature Slope Grouping*
[۸] *Remote Sensing*
[۹] *Affine*

[۱۰] *Gradient*
[۱۱] *Descriptor*
[۱۲] *Nearest Neighbor Distance Ratio*
[۱۳] *Fast Sample Consensus*
[۱۴] *Fine Registration*
[۱۵] *Accuracy*
[۱۶] *Random Sample Consensus*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

[۲۱]. اچ. یانگ (۲۰۱۹) یک روش تطبیق ویژگی جدید ارائه کرده است که از رابطه هندسی سراسری[۱] نقاط ویژگی در دو تصویر برای از بین بردن نقاط متناظر نادرست و حفظ نقاط متناظر درست استفاده می‌کند [۲۲]. یک مدل ریاضی بر اساس شباهت رابطه هندسی نقاط ویژگی در تصویر مرجع و تصویر هدف ارائه شده است. همچنین راه‌حل بهینه‌سازی را از طریق تجزیه‌وتحلیل و ساده‌سازی یک مدل ریاضی پیدا می‌کند. لی[۲] و همکاران روش *I-SIFT-SCC*[۳] را برای مرتبط‌سازی تصاویر با رزولوشن مکانی متوسط[۴] و بالا[۵] ارائه داده‌اند. عملکرد این الگوریتم به این صورت است که ابتدا یک نسخه بهبودیافته از الگوریتم *SIFT* به نام *I-SIFT* ارائه می‌شود که به کمک این الگوریتم، مجموعه‌ای از نقاط متناظر در دو تصویر به دست می‌آید. سپس یک روش تشخیص داده پرت بر مبنای روابط مکانی نقاط کلیدی ارائه می‌شود که به کمک آن، نقاط نامناسب و نادرست حذف می‌شوند و نقاط بهینه برای تخمین پارامترهای تبدیل هندسی پیدا می‌شوند [۱].

ایکس. چنگ (۲۰۱۸) بر روی مشکلات تطبیق پیش‌آمده ناشی از افزایش ابعاد تصاویر تمرکز می‌کند [۲۳]. در این مقاله، یک روش *SIFT* هندسی با یک طرح اولیه به دقیق[۶] برای افزایش کارایی تطبیق و کاهش زمان اجرا ارائه شده است. در مرحله تطبیق اولیه، تصاویر برای کاهش حافظه، به تصاویر کوچک‌تری تبدیل شده و سپس از روش *SR-SIFT* برای تطابق نقاط کنترلی بین تصاویر کوچک‌شده، استفاده شده است. در این مرحله تبدیل[۷] اولیه بین تصاویر به دست می‌آید. در مرحله تطبیق دقیق، تصویر مرجع به تعدادی بلوک[۸] تقسیم می‌شود و بلوک‌های متناظر در تصاویر ورودی توسط تبدیل اولیه به‌دست می‌آیند. در هر بلوک، یک روش *SIFT* هندسی برای تطبیق نقاط کنترلی استفاده‌شده است. اچ. یانگ (۲۰۱۹) یک روش تطبیق ویژگی جدید ارائه کرده است که از رابطه هندسی سراسری نقاط ویژگی در دو تصویر برای از بین بردن نقاط متناظر نادرست و حفظ نقاط متناظر درست استفاده می‌کند [۲۲]. یک مدل ریاضی بر اساس شباهت رابطه هندسی نقاط ویژگی در تصویر مرجع و تصویر هدف ارائه شده است. همچنین راه‌حل بهینه‌سازی را از طریق تجزیه‌وتحلیل و ساده‌سازی مدل ریاضی پیدا می‌کند.

روش *UR-SIFT*[۹] برای مرتبط‌سازی خودکار تصاویر، بر اساس ترکیب *SIFT* و تقسیم‌بندی تصویر پیشنهاد شده است که با یک روش مقاوم، کیفیت و توزیع نقاط ویژگی کنترل می‌شود [۲۴]. مطابق این روش، تعداد نقاط کلیدی در هر لایه از فضای مقیاس با استفاده از ضریب نسبت مقیاس‌ها تعیین می‌شود. *UR-SIFT* با در نظر گرفتن آنتروپی نقاط ویژگی، نقاط کلیدی را از هرم تفاضل گوسی مبتنی بر سلول استخراج می‌کند [۲۴ و ۲۵]. اگرچه *UR-SIFT* می‌تواند کیفیت و توزیع نقاط ویژگی را بهبود بخشد، به دلیل تغییرات در مقیاس، روشنایی و وضوح تصاویر، ویژگی‌های کافی برای کاربردهای تطبیق تصاویر هوایی و ماهواره‌ای استخراج نمی‌شود [۲۶]. برای غلبه بر برخی از معایب الگوریتم *SIFT* از جمله تعداد زیاد نقاط متناظر نادرست، زمان اجرای بالا و ابعاد بالای توصیفگر، حسین‌نژاد و همکاران یک روش جدید ارائه کردند که از سه مرحله تشکیل شده است [۲۷]. در اولین گام نقاط کلیدی با استفاده از الگوریتم *SIFT* از هر دو تصویر استخراج می‌شود. در گام بعد برای افزایش سرعت الگوریتم و دقت تطبیق، توصیفگر *SIFT* با ابعاد ۶۴ برای نقاط کلیدی تشکیل

---

۱ *Global*
۲ *Li*
۳ *Improved SIFT and spatial consistency constraints*
۴ *Medium Resolution*
۵ *High Resolution*
۶ *Coarse to Fine*
۷ *Transformation*
۸ *Grid*
۹ *Uniform Robust SIFT*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

می‌شود. در نهایت با استفاده از یک روش جدید مبتنی بر محاسبه فاصله میان نقاط کلیدی و نقاط تبدیل‌یافته آن‌ها، مرحله تطبیق ویژگی انجام می‌شود. نتایج تجربی دقت و سرعت روش پیشنهادی را تایید می‌کند.

دبلیوما و همکاران (۲۰۱۶) یک تعریف جدید از گرادیان نقاط ویژگی برای غلبه بر تفاوت شدت روشنایی بین تصاویر سنجش از دور معرفی کردند [۲۸]. سپس، یک روش تطبیق ویژگی پیشرفته مبتنی بر ترکیب مکان، مقیاس و گرادیان هر نقطه کلیدی برای افزایش تعداد مطابقت های صحیح معرفی می شود. نتایج آزمایشات حاکی از دقت و عملکرد بالای روش ارائه شده در این مقاله است. صداقت و عبادی (۲۰۱۵) برای بهبود تطبیق تصاویر سنجش از دور توصیفگر *AB-SIFT* پیشنهاد کردند [۲۹]. در این روش ابتدا با استفاده از روش یکنواخت پایدار هسیان افاین[۱] نقاط کلیدی استخراج شده و برای هر یک از نقاط یک گرادیان محاسبه می‌شود. درنهایت توصیفگر *AB-SIFT* تشکیل میشود. توصیفگر پیشنهادی برخلاف توصیفگرهای رایج مبتنی بر توزیع، از یک استراتژی کوانتیزه‌سازی هیستوگرام تطبیقی برای محاسبه مکان و جهت گرادیان استفاده می‌کند که در برابر اعوجاجات ناشی از تغییر نما مقاوم است.

روش‌های مبتنی بر یادگیری برای ویژگی‌های سطح پایین[۲] و سطح بالا[۳] که انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به ویژگی‌های دستی معمولی دارند، به داده‌های دستی برچسب داده‌شده نیازی ندارند. شبکه‌های عصبی کانولوشن[۴] (*CNN*) و شبکه‌های عصبی عمیق[۵] (*DNN*) در کاربردهای مختلف مربوط به تصویر مورداستفاده قرار می‌گیرند زیرا نوع معماری این شبکه‌ها در یافتن ویژگی‌های سطح پایین و انتزاعی عملکرد خوبی دارند [۳۰]. در مطالعات اخیر شبکه‌های عصبی کانولوشن و شبکه‌های عصبی عمیق با برخی از مجموعه داده‌های آموزشی مانند *VGG-۱۶*[۶] *ImageNet* با ۱۰۰۰ - ۱۵۰۰ تصویر برای استخراج ویژگی و یا دسته‌بندی تصویر، آزمایش می‌شوند. شبکه‌های عصبی عمیق متمایزترین ویژگی‌ها را که به‌طور دقیق و مختصر الگوهای مورفولوژیکی[۷] پیچیده را در برش‌های تصویر توصیف می‌کنند، انتخاب کرده و تطبیق نقاط کلیدی و درنهایت مرتبط‌سازی تصاویر را بهبود می‌بخشد.

SIFT تنها از اطلاعات محلی سطح پایین استفاده می‌کند و در فرایند مرتبط‌سازی تصویر، اطلاعات سطح متوسط یا سطح بالا را از دست می‌دهد. ویژگی‌های استخراج‌شده از تصاویر توسط یک شبکه عصبی کانولوشن به عملکرد پیشرفته‌ای برای طبقه‌بندی تصاویر و مشکلات بازیابی دست یافته‌اند. این ویژگی‌ها می‌توانند اطلاعات سطح متوسط و سطح بالا را برای مرتبط‌سازی تصاویر سنجش‌ازدور فراهم کنند. ازاین‌رو، بسیاری از محققین نحوه استخراج ویژگی در شبکه‌های عصبی کانولوشن را بررسی کرده و انواع روش‌های متفاوت ترکیب ویژگی‌های *SIFT* و شبکه‌های عصبی کانولوشن را برای مرتبط‌سازی تصاویر سنجش‌ازدور معرفی نموده‌اند.

مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی کانولوشن مانند *VGGNet* [۳۱]، *GoogleNet* [۳۲] و *ResNet*[۸] [۳۳] دقت خوبی برای استخراج ویژگی‌ها دارند و به‌عنوان مجموعه‌ای از توابع غیرخطی تلقی می‌شوند [۳۴]. زد یانگ (۲۰۱۸)[۹] با استفاده از خروجی لایه‌های خاصی از شبکه *VGG-۱۶*، روش جدیدی برای ساخت توصیفگر ویژگی ارائه داده [۳۵]. این نقاط ویژگی در مرکز بخش‌هایی[۱۰] از تصویر با اندازه خاص، تولید می‌شوند.

---

[۱] *Hessian-Affine*
[۲] *Low level*
[۳] *High level*
[۴] *Convolutional Neural Network*
[۵] *Deep Neural Network*
[۶] *Visual Geometry Group*
[۷] *Morphological*
[۸] *Residual Neural Network*
[۹] *Yang*
[۱۰] *Patch*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

مجموعه داده‌های مورد استفاده در این مقاله، تصاویر پهپاد و تصاویر ماهواره‌ای از گوگل‌ارث[۱] است. نتیجه آزمون دقت تطبیق ویژگی برای مجموعه داده تصاویر ماهواره‌ای ۷۱٫۷٪ با استفاده از روش *SIFT* استاندارد است. درحالی‌که با استفاده از روش شبکه‌های عصبی دقت برابر با ۹۵٫۶۵٪ و خطا برابر با ۱۲٫۶۳ پیکسل است که تقریباً بهتر از سایر روش‌ها است.

وایدانگ[۲] و همکاران (۲۰۱۸) یک مجموعه داده خاص برای تنظیم دقیق مدل *VGG-۱۶* و *ImageNet* ساختند تا ویژگی‌های شبکه‌های عصبی کانولوشن را با ویژگی‌های *SIFT* ترکیب کنند [۳۶]. پس از آن ویژگی‌های ترکیبی برای مرتبط‌سازی تصاویر به الگوریتم *PSO-SIFT*[۳] منتقل می‌شوند. نتایج این روش نسبت به سایر الگوریتم‌های موجود بهتر است. در این روش مقدار خطا برابر ۰٫۷۲۲۱ پیکسل است، درحالی‌که خطای الگوریتم استاندارد *SURF* حدود ۰٫۸۰ است.

کریژسکی[۴] و همکاران (۲۰۱۷) معماری جدیدی با استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن به نام *AlexNet* را پیشنهاد دادند که با اختلاف زیادی در چالش تشخیص تصاویر بزرگ‌مقیاس فراتر از نتایج قبلی *ImageNet* رفت [۳۷]. علی‌رغم به دست آوردن نتایج قابل‌قبول، شبکه‌های عصبی هنوز به دلیل مشکلات زیر در تجزیه‌وتحلیل تصاویر سنجش‌ازدور چالش‌برانگیز است.

- کنترل دشوار تصاویر باکیفیت سنجش‌ازدور
- دسترسی محدود به داده‌های آموزش
- تصمیم‌گیری در مورد عمق شبکه‌های عمیق
- پیچیدگی زمانی بسیار زیاد

بسیاری از روش‌های مبتنی بر الگوریتم *SIFT*، دارای زمان اجرای بالا در تصاویر با رزولوشن مکانی بالا و متوسط هستند. همچنین در *SIFT* استاندارد و نسخه‌های بهبودیافته *SIFT*، نقاط متناظر با مقایسه توصیفگرهای نقاط کلیدی محاسبه می‌شود و از روابط هندسی موجود بین تصاویر استفاده نمی‌کند. در این مقاله برای افزایش سرعت و کاهش فضای جستجو[۵] و هزینه محاسباتی *SIFT*، دو روش جدید مبتنی بر الگوریتم *SIFT* و تبدیل افاین ارائه شده است.

۳- روش‌های پیشنهادی

در این بخش ابتدا با استفاده از روابط هندسی میان نقاط کلیدی به حذف تناظرهای نادرست حاصل از الگوریتم‌های تناظریابی می‌پردازیم و در ادامه دو روش جدید برای کاهش فضای جستجو و افزایش زمان اجرا الگوریتم *SIFT* در تصاویر ماهواره‌ای بزرگ‌مقیاس ارائه می‌کنیم.

۳-۱- استخراج پارامتر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش بین دو تصویر

برای استخراج پارامتر اختلاف مقیاس[۶] و زاویه چرخش بین دو تصویر ورودی، تعدادی نقاط متناظر صحیح بین دو تصویر لازم است. ورودی این بخش مجموعه‌ای از تناظرهای استخراج‌شده بین دو تصویر است. در این مجموعه ورودی، تناظرهای درست و نادرست در کنار هم موجودند.

از هر دو زوج نقطه متناظر می‌توانیم پارامتر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش را محاسبه کنیم. اگر تعداد نقاط متناظر حاصل از یک الگوریتم تناظریابی را N در نظر بگیریم، به ازای هر زوج نقطه در ترکیب با سایر نقاط متناظر، N پارامتر اختلاف مقیاس و N پارامتر زاویه چرخش محاسبه می‌شود که در مجموع برای کل نقاط متناظر، تعداد $N*N$ پارامتر اختلاف مقیاس و همچنین $N*N$ پارامتر زاویه چرخش خواهیم داشت.

۳-۲- محاسبه پارامتر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر با استفاده از مجموعه تناظرهای اولیه

فرض کنید $S_{ref} = \{s_{iref}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{iref}, y_{iref})\}_{k=1}^{N}$

[۱] *Google Earth*
[۲] *Weidong*
[۳] *Position Scale Orientation*
[۴] *Krizhesky*
[۵] *Search Space*
[۶] *Scale Difference*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

مجموعه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر مرجع و $S_{sen} = \{s_{isen}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{isen}, y_{isen})\}_{k=1}^{N}$ مجموعه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر هدف است که $(i, j) \in \{k, k = 1, 2, 3, ..., N\}$. N نیز تعداد نقاط ویژگی متناظر اولیه است. حال فرض کنید دو زوج نقطه متناظر با اندیس‌های i و j انتخاب شده‌اند، D فاصله این دو نقطه در نظر گرفته شده و به صورت رابطه(۱) و رابطه(۲) محاسبه می‌شود.

$$D(s_{iref}, s_{jref}) = \left\| s_{iref}\, s_{jref} \right\| = \sqrt{(x_{iref} - x_{jref})^2 + (y_{iref} - y_{jref})^2}$$ رابطه(۱)

$$D(s_{isen}, s_{jsen}) = \left\| s_{isen} s_{jsen} \right\| = \sqrt{(x_{isen} - x_{jsen})^2 + (y_{isen} - y_{jsen})^2}$$ رابطه(۲)

اختلاف مقیاس برابر با نسبت $D(s_{iref}, s_{jref})$ و $D(s_{isen}, s_{jsen})$ است که بصورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$S = \frac{D(s_{isen}, s_{jsen})}{D(s_{iref}, s_{jref})}$$ رابطه(۳)

محاسبات فوق برای تمام نقاط متناظر انجام می‌شود و درنهایت هیستوگرام مقادیر حاصل رسم می‌شود. بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام، پارامتر اختلاف مقیاس دو تصویر را نشان می‌دهد. در روابط (۴)، (۵) و (۶) به محاسبه زاویه چرخش دو تصویر می‌پردازیم.

فرض کنید $S_{ref} = \{s_{iref}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{iref}, y_{iref})\}_{k=1}^{N}$ مجموعه نقاط متناظر در تصویر ورودی اول و $S_{sen} = \{s_{isen}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{isen}, y_{isen})\}_{k=1}^{N}$ مجموعه نقاط متناظر در تصویر ورودی دوم است که $(i, j) \in \{k, k = 1, 2, 3, ..., N\}$. N نیز تعداد نقاط ویژگی متناظر اولیه است.

$$\theta = tan^{-1} \frac{(y_{iref} - y_{jref})}{(x_{iref} - x_{jref})}$$ رابطه(۴)

$$\theta' = tan^{-1} \frac{(y_{isen} - y_{jsen})}{(x_{isen} - x_{jsen})}$$ رابطه(۵)

$$\Delta\theta = \theta' - \theta$$ رابطه(۶)

در رابطه(۶)، $\Delta\theta$ زاویه چرخش دو تصویر را نشان می‌دهد.

با استفاده از روابط (۴)، (۵) و (۶)، برای هر دو زوج نقطه متناظر، یک پارامتر زاویه چرخش محاسبه شده و سپس هیستوگرام مقادیر حاصل رسم می‌شود. بزرگترین پیک هیستوگرام، پارامتر زاویه چرخش دو تصویر را نشان می‌دهد.

۳-۳- حذف تناظرهای نادرست حاصل از الگوریتم‌های تناظریابی

در این روش برای حذف تناظرهای نادرست موجود در الگوریتم‌های تناظریابی تصاویر از جمله الگوریتم *SIFT* از هیستوگرام مقادیر زاویه چرخش و هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس مجموعه نقاط متناظر استفاده می‌شود. ابتدا با استفاده از یک الگویتم استخراج ویژگی، نقاط کلیدی را از هر دو تصویر ورودی استخراج می‌کنیم. سپس با استفاده از یک معیار شباهت مانند فاصله اقلیدسی نقاط کلیدی را مطابقت داده و یک مجموعه نقاط متناظر اولیه به‌دست می‌آوریم.

سپس برای هر دو زوج نقطه متناظر مقادیر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر را محاسبه می‌کنیم. در این مرحله به ازای هر زوج نقطه متناظر در ترکیب با سایر نقاط متناظر تعداد N پارامتر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش محاسبه خواهد شد. در گام بعد هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس و هیستوگرام مقادیر زاویه چرخش رسم می‌شود. در ادامه برای حذف نقاط منطبق نادرست با استفاده از مقادیر اختلاف مقیاس و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

زاویه چرخش تناظرهای نادرست، مراحل زیر به ترتیب انجام می‌پذیرد.

- یک زوج نقطه متناظر انتخاب شود.
- در ترکیب با هر یک از نقاط منطبق دیگر، دو پارامتر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر محاسبه شود.
- اگر بیش از ۱۰ درصد مقادیر زاویه و اختلاف مقیاس با مقدار بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام مقادیر زاویه و اختلاف مقیاس برابر بود، این نقطه به مجموعه نقاط متناظر صحیح اضافه شود و در غیر این صورت به‌عنوان یک نقطه متناظر نادرست شناسایی‌شده و از مجموعه نقاط متناظر حذف شود.

۳-۴- روش یافتن اکتاوهای بهینه و کاهش فضای جستجو

می‌دانیم در الگوریتم *SIFT* استاندارد، هنگام تشکیل فضای مقیاس، تصاویر ورودی در هر مرحله نمونه‌برداری شده و یک فیلتر گوسی روی تصویر اعمال می‌شود. در هر مرحله، طی فرایند نمونه‌برداری با کاهش ابعاد تصویر، مقدار عددی رزولوشن مکانی آن افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت هر اکتاو[1] دارای یک رزولوشن مشخص است. با توجه به این فرایند، انتظار می‌رود تطبیق‌های درست را در اکتاوهایی داشته باشیم که رزولوشن آن‌ها نزدیک به هم است. بنابراین می‌توان اکتاو بهینه را اکتاوی تعریف کرد که بیشترین تعداد نقاط متناظر صحیح را داراست.

برای یافتن اکتاوهای بهینه، ابتدا فضای مقیاس الگوریتم *SIFT* استاندارد تشکیل می‌شود و نقاط کلیدی از اکتاوهای دو تصویر استخراج می‌شوند. در مرحله بعد، نقاط کلیدی پایین‌ترین اکتاو تصویر مرجع به‌طور جدا با نقاط کلیدی تمامی اکتاوهای تصویر هدف مطابقت داده می‌شود و به‌ازای تعداد اکتاوها یک مجموعه تناظر اولیه به‌دست می‌آید. در گام بعد، از روی هر یک از مجموعه تناظرهای اولیه موجود در هر اکتاو، یک پارامتر اختلاف مقیاس محاسبه شده و هیستوگرام مقادیر رسم شده و مقدار بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام شناسایی می‌شود. بنابراین می‌توان یک ماتریس با عنوان مقادیر بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام نقاط متناظر هر اکتاو تشکیل داد. در ادامه نیاز به محاسبه ماتریس نسبت مقیاس اکتاوهای دو تصویر می‌باشد. این ماتریس به‌عنوان پایه‌ای برای مقایسات بعدی در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله بعد، برای شناسایی اکتاو بهینه از دو ماتریس نسبت مقیاس اکتاوهای دو تصویر و ماتریس بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس استفاده می‌شود. همچنین به‌منظور افزایش دقت بایستی یک ماتریس دیگر تحت عنوان تعداد نقاط متناظر موجود در هر اکتاو تعریف کرد. در نهایت از مقادیر موجود در این سه ماتریس، برای یافتن اکتاو بهینه استفاده می‌شود. اگر تعداد نقاط متناظر با C، بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس با SD_{max} و نسبت مقیاس اکتاو فعلی تصویر مرجع و هدف با $Ratio_{oct}$ نشان داده شود، پارامترهای شناسایی اکتاو بهینه را از روابط (۷) و (۸) بدست می‌آوریم.

رابطه(۷)
$$\alpha = \frac{SD_{max}}{Ratio_{oct}}$$

رابطه(۸)
$$\beta = \left| SD_{max} - Ratio_{oct} \right|$$

برای شناسایی و انتخاب یک اکتاو به عنوان یک اکتاو بهینه باید سه شرط زیر برقرار باشد:

- تعداد نقاط متناظر (C) موجود در یک اکتاو، بزرگ‌تر از T_c باشد.
- مقدار α بین دو پارامتر $T_{\alpha min}$ و $T_{\alpha max}$ باشد.
- مقدار β بایستی بین دو پارامتر $T_{\beta min}$ و $T_{\beta max}$ باشد.

پس از تطبیق نقاط کلیدی موجود در پایین‌ترین اکتاو تصویر مرجع و شناسایی اکتاو بهینه، نسبت رزولوشن

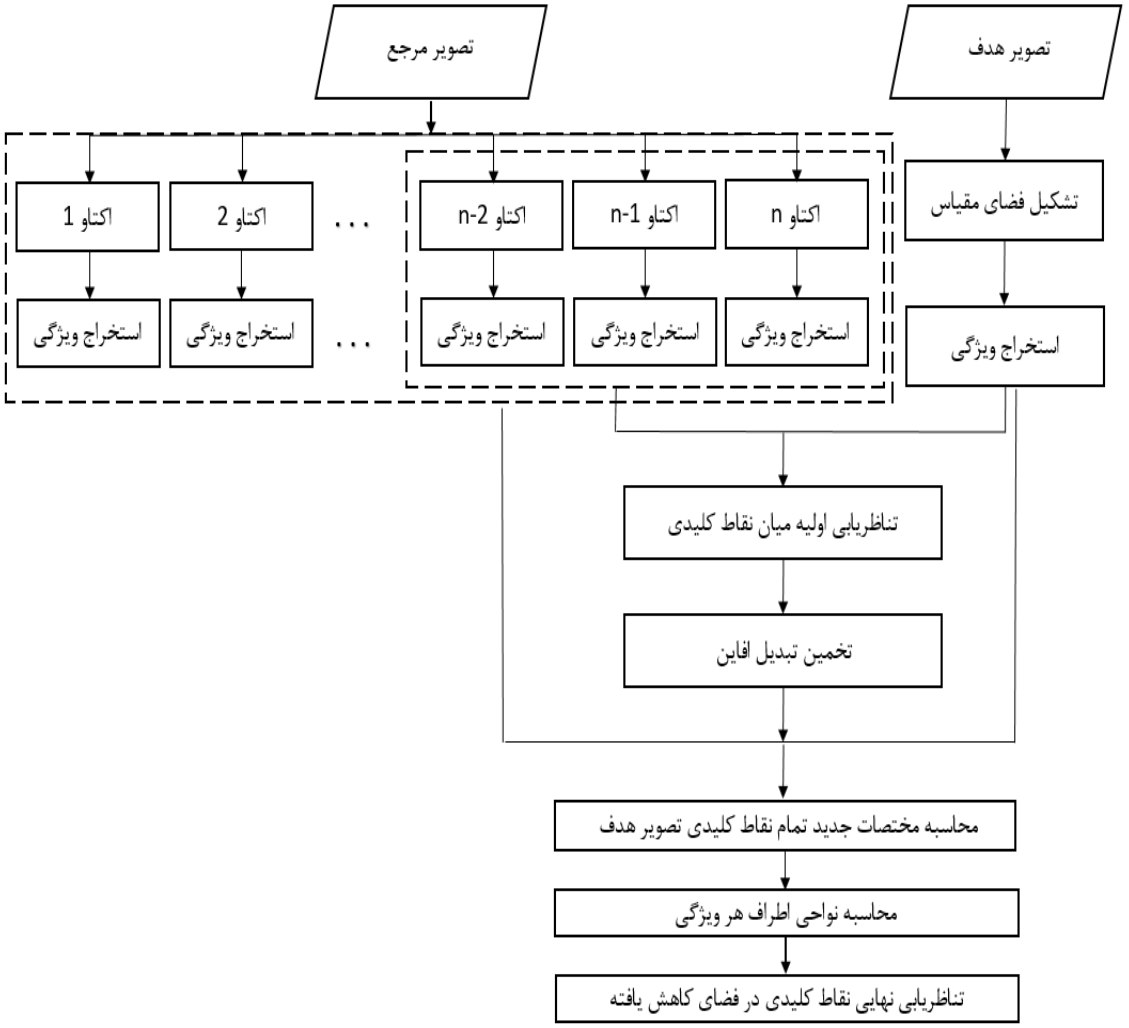
[1] *octave*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

دو تصویر نیز مشخص می‌شود. لازم به ذکر است اگر پس از تناظریابی نقاط کلیدی پایین ترین اکتاو تصویر مرجع هیچ اکتاو بهینه‌ای شناسایی نشد، مراحل فوق برای اکتاو بالاتر تصویر مرجع انجام می‌شود. با مشخص شدن ترکیب اکتاوهای بهینه و نسبت رزولوشن مکانی دو تصویر، در مرحله تناظریابی نهایی، تنها توصیفگرهای نقاط کلیدی موجود در اکتاوهای بهینه با یکدیگر مقایسه می‌شوند و نیاز به مقایسه نقاط کلیدی موجود در سایر اکتاوها نخواهد بود. بنابراین برای تطبیق نقاط کلیدی تصویر هدف فقط نقاط کلیدی تعدادی از اکتاوهای تصویر مرجع بررسی می‌شود و فضای جستجو برای تناظریابی نقاط کلیدی کاهش می‌یابد. به‌علاوه بار محاسباتی الگوریتم *SIFT* کاهش یافته و سرعت تناظریابی افزایش می‌یابد.

۳-۵- کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین

در این بخش الگوریتم دیگری برای بهبود الگوریتم تطبیق و افزایش سرعت آن ارائه می شود که در شکل(۱) بلوک‌دیاگرام آن را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱: بلوک دیاگرام روش کاهش فضای جستجو با استفاده از یافتن اکتاوهای بهینه و تبدیل افاین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

گام‌های روش پیشنهادی برای کاهش فضای جستجو به‌ترتیب زیر می‌باشد.

▪ تشکیل فضای مقیاس و استخراج نقاط ویژگی

برای بررسی تطابق دو تصویر، ابتدا با استفاده از روش ارائه‌شده در الگوریتم *SIFT* استاندارد که در فصل قبل تشریح شد، فضای مقیاس برای هر دو تصویر ورودی تشکیل‌شده و نقاط ویژگی *SIFT* از تمام اکتاوهای تصاویر ورودی، استخراج می‌شوند.

▪ تناظریابی نقاط کلیدی اکتاوهای پایین تصویر مرجع و تمامی اکتاوهای تصویر هدف

در این مرحله، بین نقاط ویژگیِ اکتاوهای پایین تصویر مرجع و نقاط ویژگی هر یک از اکتاوهای تصویر هدف، یک تناظریابی اولیه انجام می‌پذیرد. در فضای مقیاس الگوریتم *SIFT* تصاویر در هر مرحله نمونه برداری شده و ابعاد تصویر کاهش می‌یابد. با کاهش ابعاد تصویر ورودی، تعداد نقاط کلیدی استخراج‌شده در هر مرحله نیز کاهش می‌یابد. به عبارتی در اکتاوهای پایین تصویر مرجع به دلیل کاهش ابعاد تصویر، نقاط کلیدی کمتری استخراج می‌شود. بنابراین توصیفگرهای نقاط کلیدی تصویر هدف با تعداد بسیار کمی از توصیفگرهای نقاط کلیدی تصویر مرجع مقایسه می‌شود. در نتیجه محاسبات لازم برای یافتن مجموعه نقاط متناظر اولیه به‌شدت کاهش می‌یابد.

▪ یافتن اکتاو یا اکتاوهای بهینه

در این مرحله، برای نقاط منطبق هر یک از اکتاوها، به‌طور مجزا پارامتر اختلاف مقیاس محاسبه شده و برای هر دسته از نقاط متناظر، هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس رسم می‌شود. در این گام، با توجه به بزرگ‌ترین پیک هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس هر اکتاو، محاسباتی برای یافتن اکتاو بهینه انجام می‌شود. در صورتی‌که اکتاو بهینه‌ای شناسایی نشود، تمام مراحل فوق، برای اکتاو بالاتر تصویر مرجع تکرار می‌شود.

▪ محاسبه پارامترهای تبدیل افاین

پس از یافتن یک اکتاو بهینه و دست‌یابی به تعدادی نقاط متناظر صحیح، می‌توانیم پارامترهای مدل تبدیل افاین را محاسبه کنیم. لازم به ذکر است اگر خطای تبدیل افاین به‌دست‌آمده از یک مقدار حدآستانه بزرگ‌تر باشد، دو مرحله قبل به ترتیب انجام می‌شوند. این مراحل تا زمانی که مقدار خطای تبدیل افاین بزرگ‌تر از مقدار حد آستانه باشد، تکرار می‌شود.

▪ اعمال تبدیل افاین روی نقاط کلیدی اکتاوها

در این گام نقاط کلیدی اکتاوهای تصویر هدف به‌عنوان ورودی به تبدیل افاین داده می‌شوند و به‌طور تقریبی مختصات جدید هر یک از نقاط کلیدی در تصویر مرجع، به دست می‌آید و حول هر یک از نقاط به‌دست‌آمده در تصویر مرجع، یک دایره با شعاع r در نظر گرفته می‌شود (r برابر است با بزرگ‌ترین خطای تبدیل افاین).

▪ مشخص کردن نواحی اطراف هر ویژگی

در این مرحله، بایستی آن دسته از نقاط کلیدی تصویر مرجع که درون هر یک از دایره‌ها قرار می‌گیرند، مشخص شوند. بدین منظور، ابتدا با توجه به مختصات مرکز هر دایره در تصویر مرجع، نقاط اطراف هر دایره به دست می‌آید. سپس فاصله اقلیدسی نقاط کلیدی اطراف هر دایره و مراکز آن‌ها، محاسبه شده و به‌طور دقیق نقاط ویژگی درون هر دایره مشخص می‌شود.

▪ تطبیق نقاط ویژگی هر ناحیه

در این گام، توصیفگر هر یک از نقاط کلیدی تصویر هدف با نقاط کلیدی درون دایره متناظر در تصویر مرجع، با استفاده از فاصله اقلیدسی توصیفگرها، تطبیق داده می‌شوند. به‌این‌ترتیب، فضای جستجو هنگام تناظریابی نقاط ویژگی، کاهش یافته و عملیات جستجو، فقط در آن ناحیه انجام می‌شود. با استفاده از این روش، علاوه بر کم شدن محاسبات و زمان اجرای الگوریتم، نقاط متناظر نادرست حذف و دقت و سرعت تناظریابی افزایش می‌یابد.

۴- آزمایشات

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از یک جفت تصویر شبیه‌سازی شده و همچنین انواع مختلف تصاویر سنجش‌ازدور چند رزولوشنی، چند زمانی، چند نمایه و

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

چند سنسوری استفاده می‌شود. در جفت تصویر شبیه-سازی‌شده، با استفاده از روش نمونه برداری تصویر هدف را تولید کرده‌ایم. نسبت رزولوشن مکانی تصویر هدف به رزولوشن تصویر مرجع ۴ به ۱ است. جزئیات بیشتر مربوط به هر تصویر در جدول (۱) آمده است.

به‌منظور پیاده‌سازی هر یک از الگوریتم‌های پیشنهادی، از زبان برنامه‌نویسی متلب استفاده‌شده است. آزمایشات فوق در سیستم با پردازنده *Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz*، رم *8 GB* و سیستم‌عامل ویندوز ۱۰ انجام شده است.

جدول ۱: جزئیات مربوط به تصاویر تست

نوع تصاویر ورودی	شماره تصویر	نام ماهواره	سنجنده	تفکیک‌پذیری مکانی (متر)	ابعاد تصاویر ورودی	توضیحات
شبیه‌سازی-شده	۱	*IRS-ResourceSat II*	*Awifs*	۵۶	۶۰۰۰*۵۷۵۵	نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی
		IRS-ResourceSat II	*Awifs*	۵۶	۸۲۰۸*۸۱۷۴	نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی
واقعی	۲	*IRS-ResourceSat II*	*Awifs*	۵۶	۹۴۶۵*۱۱۶۳۲	نوع پوشش تصویر: منطقه بیابانی
		IRS-ResourceSat II	*LissIII*	۲۴	۶۰۰۰*۶۴۱۹	نوع پوشش تصویر: منطقه بیابانی
	۳	*IRS-ResourceSat II*	*Awifs*	۵۶	۵۹۰۵*۵۵۶۰	نوع پوشش تصویر: منطقه جنگلی
		IRS-ResourceSat II	*Mono*	۵	۳۳۲۷*۳۶۴۷	نوع پوشش تصویر: منطقه جنگلی
	۴	*IRS-ResourceSat II*	*Awifs*	۵۶	۹۳۱۹*۸۰۷۲	نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی
		IRS-ResourceSat II	*LissIII*	۲۴	۶۰۰۰*۶۴۱۵	نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی

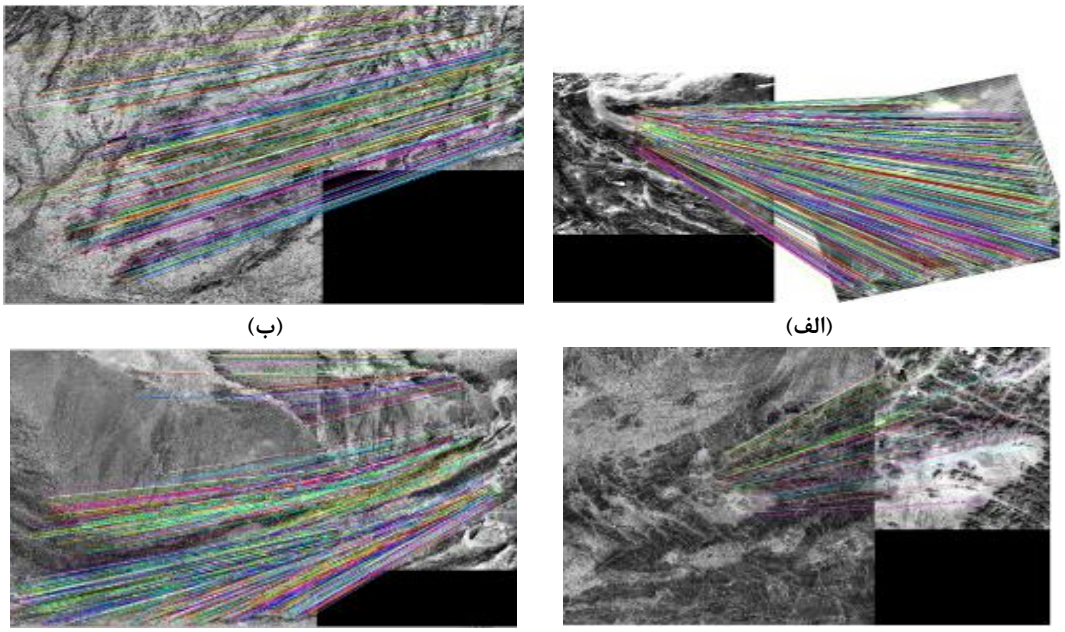
۴-۱- بررسی نتایج حاصل از روش حذف تناظرهای نادرست

در ادامه به بررسی و تحلیل نتایج حذف نقاط نادرست با بهره‌گیری از هیستوگرام‌های مقادیر زاویه چرخش و اختلاف مقیاس می‌پردازیم. همچنین برای ارزیابی نتایج حاصل، روش پیشنهادی با روش *SIFT* استاندارد و سه الگوریتم *SIFT-RANSAC* [۲۰]، *SIFT-GSI* [۳۸] و *SR-SIFT* [۲۱] مقایسه شده و نتایج به‌دست‌آمده از هر روش ارائه می‌شود. در شکل(۲)، نتایج تناظریابی تصاویر ورودی و حذف تناظرهای نادرست با استفاده از هیستوگرام مقادیر زاویه چرخش و اختلاف مقیاس ارائه شده است.

همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی تناظرهای نادرست را به‌طور کامل تشخیص داده و حذف نموده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات انجام‌شده می‌توان گفت این روش عملکرد و دقت بسیار بالایی در تشخیص و حذف تناظرهای نادرست دارد. تعداد نقاط متناظر به دست آمده از تناظریابی دو تصویر و نرخ تناظرهای صحیح در جدول(۲) ثبت شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]



شکل ۲: نتایج تطبیق زوج تصویر اول و حذف تناظرهای نادرست با الگوریتم پیشنهادی (الف): نتیجه حذف تناظرهای نادرست زوج تصویر اول. (ب): نتیجه حذف تناظرهای نادرست زوج تصویر دوم. (ج): نتیجه حذف تناظرهای نادرست زوج تصویر سوم. (د): نتیجه حذف تناظرهای نادرست زوج تصویر چهارم

جدول ۲: نتایج تطبیق تصویر و حذف نقاط متناظر نادرست با استفاده از الگوریتم *SIFT* و نسخه‌های اصلاح‌شده

زوج تصویر ورودی	پارامترهای مورد مقایسه	*SIFT*	*SIFT-RANSAC*	*SIFT-GSI*	*SR-SIFT*	روش پیشنهادی
۱	تعداد تناظرها	۲۵۳۴	۲۵۳۴	۲۵۳۴	۲۵۳۴	۱۹۵۳
	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۷۳	۳۰٫۲	۴۹	۵٫۹	**۹۹٫۹**
	زمان اجرا (S)	۷۵۰	۷۵۵	۳۵۱۲	۷۵۱٫۵	۷۵۰٫۳
۲	تعداد تناظرها	۱۲۸۹	۱۲۸۹	۱۲۸۹	۱۲۸۹	۹۸۳
	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۸۱٫۳	۱۵٫۶	۱۰٫۵	۱۴	**۹۹٫۹**
	زمان اجرا (S)	۶۵۴۶	۶۵۵۰	۱۲۸۷۴	۶۵۴۷	۶۵۴۶٫۶
۳	تعداد تناظرها	۳۸۲	۳۸۲	۳۸۲	۳۸۲	۱۲۲
	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۵۳	۳٫۶۶	۰٫۷	۰٫۲	**۹۹٫۹**
	زمان اجرا (S)	۱۵۲	۱۵۴	۳۸۱	۱۵۲٫۶	۱۵۲٫۲
۴	تعداد تناظرها	۱۶۰۹	۱۶۰۹	۱۶۰۹	۱۶۰۹	۱۰۸۶
	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۶۸	۴۸	۳۷	۵	**۹۹٫۹**
	زمان اجرا (S)	۵۵۰	۵۵۳	۲۱۶۹٫۵	۵۵۱	۵۵۰٫۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

در جدول(۲) برای محاسبه تعداد تناظرهای صحیح، ابتدا تعدادی نقاط کنترل به صورت دستی در جفت تصویر انتخاب شده و یک تبدیل هندسی میان آن‌ها برآورد شده است. سپس تبدیل هندسی روی تناظرهای حاصل از الگوریتم *SIFT* اعمال شده و خطای آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس، مقدار خطای حاصل با یک حدآستانه مقایسه می‌شود. در صورتی‌که مقدار خطا برای هر یک از تناظرها کمتر از ۱ پیکسل باشد، به‌عنوان یک تناظر صحیح شناسایی می‌شود. حال اگر تعداد تناظرهای صحیح را با *CM* و تعداد کل تناظرهای اولیه را با *N* نمایش دهیم، می‌توانیم نرخ تناظرهای صحیح را به صورت رابطه (۹) محاسبه کنیم.

$$\text{Correct rate} = \frac{\text{CM}}{\text{N}} * 100 \qquad \text{رابطه(۹)}$$

به عبارتی، نرخ تناظرهای صحیح برابر است با نسبت تعداد تناظرهای صحیح به کل تعداد نقاط متناظر.

مطابق نتایج ارائه‌شده در جدول (۲) می‌توان گفت روش *SR-SIFT* کمترین تعداد نقاط متناظر صحیح را شناسایی کرده است. همچنین یکی از معایب *SR-SIFT* یافتن مقدار بهینه و درست پارامتر *W* است. روش *SIFT-GSI* نسبت به دو روش دیگر نقاط متناظر صحیح بیشتری را شناسایی کرده است، اما زمان اجرای آن با افزایش تعداد نقاط متناظر *SIFT* بالا می‌رود و سرعت بسیار کمتری در شناسایی نقاط منطبق نادرست دارد. همچنین از دقت کمتری برخوردار است.

روش *SIFT-RANSAC* فقط در زوج تصویر ورودی اول عملکرد نسبتا خوبی داشته است و در بقیه آزمایشات دقت پایینی داشته است. به‌طورکلی دو روش *SR-SIFT*، *SIFT_GSI* عملکرد ضعیفی در حذف نقاط متناظر نادرست دارند. طبق نتایج جدول (۲) واضح است الگوریتم حذف تناظرهای نادرست با استفاده از روابط هندسی میان نقاط متناظر نسبت به سایر روش‌ها بهتر عمل کرده و دقت و سرعت بیشتری دارد.

۴-۲- بررسی نتایج حاصل از روش یافتن اکتاوهای بهینه و کاهش فضای جستجو

در این بخش به بررسی و تحلیل نتایج یافتن اکتاوهای بهینه می‌پردازیم. در این آزمایشات به دلیل محدودیت‌های سخت‌افزاری، ابعاد تصویر اکتاو اول برابر ابعاد تصویر اصلی در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد اکتاوها برای هر یک از تصاویر ۶ تنظیم شده است. اینک نتایج حاصل از یافتن اکتاو بهینه مربوط به جفت تصویر اول را بررسی می‌کنیم.

در این آزمایش برای یافتن اکتاوهای بهینه پارامترهای T_c=۳۰، $T_{\alpha min}$=۰,۹ ، $T_{\alpha max}$=۱,۵ ، $T_{\beta min}$=۰ و $T_{\beta max}$=۰,۵ مقداردهی شده‌اند. در جدول (۳) شماره سطر و ستون اکتاوهای بهینه مشخص شده‌اند. آزمایشات تجربی نشان داد تنها اکتاوهایی که در جدول(۳) مشخص شده‌اند، دارای نقاط منطبق صحیح می‌باشند و نقاط متناظر سایر اکتاوها نادرست هستند.

جدول ۳: شماره اکتاوهای بهینه زوج تصویر ورودی اول

شماره اکتاو تصویر هدف	شماره اکتاو تصویر مرجع
۳	۱
۴	۲
۵	۳
۶	۴

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

در جدول(۴)، نرخ تناظرهای صحیح، تعداد محاسبات و زمان اجرای هر الگوریتم را می‌توان مشاهده کرد. طبق نتایج ارائه شده در جدول (۴)، تعداد مقایسه‌های لازم برای تطبیق نقاط کلیدی در روش *SIFT* استاندارد و سایر نسخه‌های اصلاح‌شده مبتنی بر این الگوریتم برابر است. لازم به ذکر است نرخ تناظرهای صحیح در این روش برابر با نرخ تناظرهای صحیح در الگوریتم *SIFT* استاندارد می‌باشد. به‌عبارتی با استفاده از این روش می‌توان به نتایجی مشابه با الگوریتم *SIFT* استاندارد دست یافت؛ با این تفاوت که تعداد محاسبات و فضای جستجو کاهش یافته و سرعت تناظریابی بسیار افزایش یافته است. به‌طور کلی، الگوریتم پیشنهادی در این بخش از سرعت و عملکرد بالایی در تطبیق تصاویر ماهواره‌ای بزرگ‌مقیاس برخوردار است.

جدول ۴: نتایج حاصل از تناظریابی تصاویر با الگوریتم‌های مبتنی بر *SIFT* و روش یافتن اکتاوهای بهینه و کاهش فضای جستجو

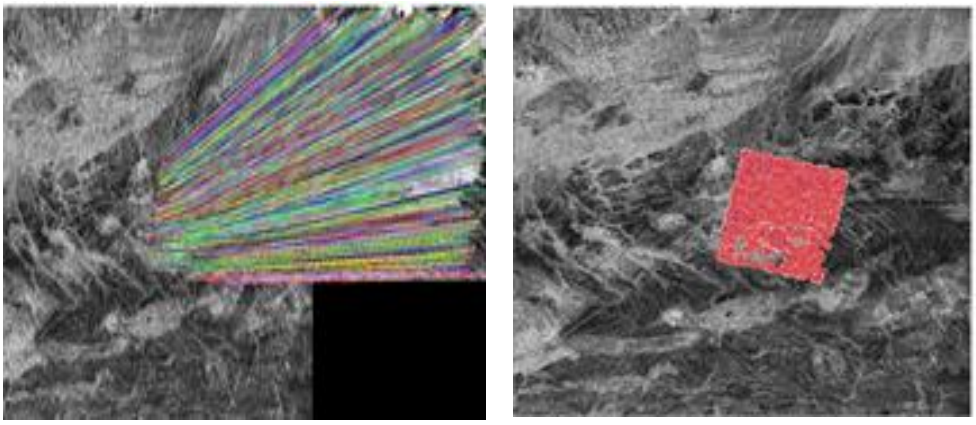
زوج تصویر ورودی	پارامترهای مورد مقایسه	*SIFT*	*SIFT-GSI*	*SR-SIFT*	روش پیشنهادی
۱	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۷۳	۴۹	۵٫۹	۷۳
	تعداد محاسبات	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	**۹۷,۸۴۰,۱۸۵**
	زمان اجرا (S)	۷۵۰	۳۵۱۲	۷۵۱٫۵	**۲۷۵**
۲	نرخ تناظرها صحیح (٪)	۸۱٫۳	۱۰٫۵	۱۴	۸۱٫۳
	تعداد محاسبات	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	**۵,۱۸۰,۹۸۲,۴۹۷**
	زمان اجرا (S)	۶۵۴۶	۱۲۸۷۴	۶۵۴۷	**۱۳۷۶**
۳	نرخ تناظرها صحیح (٪)	۵۳	۰٫۷	۰٫۲	۵۳
	تعداد محاسبات	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	**۳۴,۷۶۸,۱۴۹**
	زمان اجرا (S)	۱۵۲	۳۸۱	۱۵۲٫۶	**۵۲**
۴	نرخ تناظرها صحیح (٪)	۶۸	۳۷	۵	۶۸
	تعداد محاسبات	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	**۴۲۸,۴۸۲,۵۶۹**
	زمان اجرا (S)	۵۵۰	۲۱۶۹٫۵	۵۵۱	**۳۲۹**

۴-۳- بررسی نتایج کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین

اینک به ارزیابی دومین روش ارائه‌شده برای کاهش فضای جستجو می‌پردازیم. در این آزمایشات، در فرایند تطبیق اولیه، برای یافتن اکتاوهای بهینه و تخمین پارامترهای تبدیل افاین، تناظریابی از اکتاو ششم تصویر مرجع شروع می‌شود و اگر اکتاو بهینه یافت نشد، اکتاوهای بالاتر، به ترتیب مورد بررسی قرار می‌گیرند. نتجه تطبیق زوج تصویر سوم و چهارم با روش کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) ارائه شده است. در زوج تصویر سوم تصویر هدف با بخش کوچکی از تصویر هدف هم‌پوشانی داشته و الگوریتم پیشنهادی با دقت بسیار بالایی این دو تصویر را مطابقت داده است.

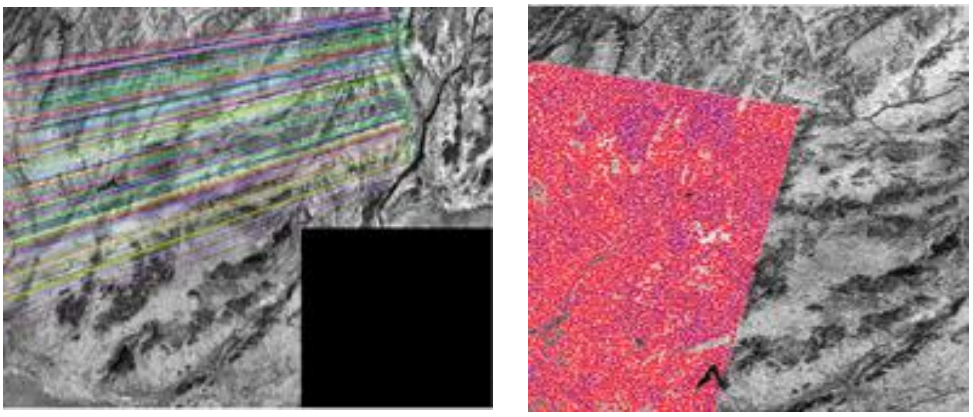
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

برای ارزیابی دقت و سرعت روش پیشنهادی، الگوریتم پیشنهادی با سه روش *SIFT*، *SR-SIFT* و *SIFT-GSI-AFFINE* مقایسه شده و نتایج هر روش در جدول(۵) به ثبت رسیده است. تعداد مقایسه‌های انجام‌شده و زمان لازم برای یافتن نقاط متناظر دو تصویر در جدول(۵) آمده است. تعداد محاسبات انجام‌شده در *SIFT* و روش‌های اصلاح‌شده مبتنی بر الگوریتم *SIFT* به دلیل انجام تناظریابی میان تمام توصیفگرهای نقاط ویژگی تصویر مرجع و تصویر هدف، یک مقدار ثابت است.



(الف) (ب)

شکل ۳: نتجه تطبیق زوج تصویر سوم با روش کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین. (الف): نقاط کلیدی *SIFT* درون دایره با شعاع ۱۴٫۵۲. (ب): نتیجه نهایی تناظریابی دقیق زوج تصویر سوم



(الف) (ب)

شکل ۴: نتجه تطبیق زوج تصویر دوم با روش کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین. (الف): نقاط کلیدی *SIFT* درون دایره با شعاع ۸٫۹. (ب): نتیجه نهایی تناظریابی دقیق زوج تصویر دوم

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

جدول ۵: نتایج حاصل از تناظریابی تصاویر با الگوریتم‌های مبتنی بر *SIFT* و روش کاهش فضای جستجو با استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین

زوج تصویر ورودی	پارامترهای موردمقایسه	*SIFT*	*SIFT-GSI*	*SR-SIFT*	روش پیشنهادی
۱	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۷۳	۴۹	۵/۹	**۹۹/۹**
	تعداد محاسبات	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	۲,۶۹۶,۴۹۷,۵۱۸	**۳,۵۱۴,۷۵۳**
	زمان اجرا (S)	۷۵۰	۳۵۱۲	۷۵۱/۵	**۲۱۴**
۲	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۸۱/۳	۱۰/۵	۱۴	**۹۹/۹**
	تعداد محاسبات	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	۳۵,۵۹۶,۲۷۳,۸۲۴	**۱۰۴,۵۵۵,۵۵۶**
	زمان اجرا (S)	۶۵۴۶	۱۲۸۷۴	۶۵۴۷	**۷۴۶**
۳	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۵۳	۰/۷	۰/۲	**۹۹/۹**
	تعداد محاسبات	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	۱,۱۱۸,۳۶۳,۳۹۴	**۸۵,۶۹۵,۴۹۴**
	زمان اجرا (S)	۱۵۲	۳۸۱	۱۵۲/۶	**۶۳**
۴	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۶۸	۳۷	۵	**۹۹/۹**
	تعداد محاسبات	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	۶,۷۰۱,۹۶۵,۱۹۲	**۱۶,۰۰۹,۲۰۸**
	زمان اجرا (S)	۵۵۰	۲۱۶۹/۵	۵۵۱	**۲۱۳**

۵- نتیجه‌گیری

به‌عنوان یک مسئله اساسی و حیاتی در کاربردهای مختلف بینایی ماشین، تطبیق تصویر می‌تواند ساختار و محتوای مشابه را از دو یا چند تصویر شناسایی کند. در طول دهه‌های گذشته، انواع مختلفی از روش‌ها برای تطبیق تصویر، پیشنهاد شده است که هر یک دارای محدودیت‌هایی است. ابعاد بالای توصیفگر نقاط ویژگی، پیچیدگی محاسباتی بالا، وجود نقاط متناظر نادرست، عدم توجه به روابط هندسی موجود بین دو تصویر و زمان اجرای بالا ازجمله‌ی این محدودیت‌ها در تطبیق تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس هستند. همچنین در روشهای موجود معمولا نقاط متناظر بدون توجه به روابط هندسی موجود بین تصاویر تعیین می‌شوند.

در این تحقیق برای غلبه بر چالش‌های ذکرشده پیشنهاداتی ارائه شد. ابتدا یک روش برای حذف تناظرهای نادرست با استفاده از روابط هندسی موجود بین تصاویر ارائه شد. برای تخمین روابط هندسی اختلاف مقیاس و زاویه چرخش بین دو تصویر در نظر گرفته شد. در ادامه یک روش جدید برای شناسایی اکتاوهای بهینه که دارای بیشترین تعداد نقاط متناظر صحیح هستند، معرفی شد. استفاده از اکتاوهای بهینه باعث کاهش فضای جستجو شده و میزان تطابق‌های غلط را کاهش می دهد. همچنین یک روش کاملا جدید جهت بهبود دقت، سرعت و نیز کاهش فضای جستجو و پیچیدگی محاسباتی الگوریتم *SIFT* در تطبیق تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس ارائه گردید. برای ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی از جفت تصاویر شبیه‌سازی شده و همچنین انواع مختلف تصاویر

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

سنجش‌ازدور چند رزولوشنی، چند زمانی، چند نمایه و چند سنسوری استفاده شد. الگوریتم‌های پیشنهادی در حالتی که دو تصویر مرجع و هدف هم‌پوشانی بسیار کمی داشته باشند، از دقت و سرعت بسیار بالایی در تناظریابی دو تصویر برخوردار بود. همچنین هر یک از روش‌های پیشنهادی، پیچیدگی محاسباتی و زمان اجرای کمتری نسبت به روش *SIFT* استاندارد و سایر نسخه‌های بهبودیافته مبتنی بر *SIFT* دارند. در ادامه کار و در تحقیقات آتی تخمین تبدیل بین دو تصویر توسط تبدیلات پرسپکتیو بررسی خواهد شد. همچنین برای افزایش سرعت و کارایی الگوریتم، پیاده سازی آن روی *GPU* انجام مورد تحقیق واقع می‌شود.

مراجع

[1] S. Li, M. Peng, B. Zhang, X. Feng, and Y. Wu, "Auto-registration of medium and high spatial resolution satellite images by integrating improved SIFT and spatial consistency constraints," International Journal of Remote Sensing, vol. 40, no. 14, pp. 5635-5650, 2019.

[2] B. Chaudhuri, B. Demir, S. Chaudhuri, and L. Bruzzone, "Multilabel remote sensing image retrieval using a semisupervised graph-theoretic method," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 56, no. 2, pp. 1144-1158, 2017.

[3] J. Dai, W. Song, L. Pei, and J. Zhang, "Remote sensing image matching via Harris detector and SIFT discriptor," in 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, 2010, vol. 5: IEEE, pp. 2221-2224.

[4] E. G. Parmehr, C. S. Fraser, C. Zhang, and J. Leach, "Automatic registration of optical imagery with 3D LiDAR data using statistical similarity," ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, vol. 88, pp. 28-40, 2014.

[5] J. Ma, X. Jiang, A. Fan, J. Jiang, and J. Yan, "Image matching from handcrafted to deep features: A survey," International Journal of Computer Vision, vol. 129, no. 1, pp. 23-79, 2021.

[6] Y. Han, S. Jung, S. Liu, and J. Yeom, "Effect analysis in the fine co-registration of very-high-resolution satellite images for unsupervised change detection," in IGARSS 2019-2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019: IEEE, pp. 1558-1561.

[7] F. Song et al., "Multi-scale feature based land cover change detection in mountainous terrain using multi-temporal and multi-sensor remote sensing images," IEEE Access, vol. 6, pp. 77494-77508, 2018.

[8] B. Ayhan, M. Dao, C. Kwan, H.-M. Chen, J. F. Bell, and R. Kidd, "A novel utilization of image registration techniques to process mastcam images in mars rover with applications to image fusion, pixel clustering, and anomaly detection," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 10, no. 10, pp. 4553-4564, 2017.

[9] Y. Zhou, A. Rangarajan, and P. D. Gader, "An integrated approach to registration and fusion of hyperspectral and multispectral images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 58, no. 5, pp. 3020-3033, 2019.

[10] Z. Li, J. Yue, and L. Fang, "Adaptive Regional Multiple Features for Large-Scale High-Resolution Remote Sensing Image Registration," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 60, pp. 1-13, 2022.

[11] C. Leng, H. Zhang, B. Li, G. Cai, Z. Pei, and L. He, "Local feature descriptor for image matching: A survey," IEEE Access, vol. 7, pp. 6424-6434, 2018.

[12] S. Suri and P. Reinartz, "Mutual-information-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban areas," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, no. 2, pp.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

939-949, 2009.

[13]X. Dai and S. Khorram, "A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 37, no. 5, pp. 2351-2362, 1999.

[14]A. Sedaghat and H. Ebadi, "Very high resolution image matching based on local features and k‐means clustering," The Photogrammetric Record, vol. 30, no. 150, pp. 166-186, 2015.

[15]N. Jovhari, A. Sedaghat, and N. Mohammadi, "Performance Evaluation of Local Detectors in the Presence of Noise for Multi-Sensor Remote Sensing Image Matching," Engineering Journal of Geospatial Information Technology, vol. 10, no. 2, pp. 63-88, 2022.

[16]G. Lowe, "Sift-the scale invariant feature transform," Int. J, vol. 2, no. 91-110, p. 2, 2004.

[17]X. Shen and W. Bao, "The remote sensing image matching algorithm based on the normalized cross-correlation and sift," Journal of the Indian Society of Remote Sensing, vol. 42, no. 2, pp. 417-422, 2014.

[18]H.-H. Chang, G.-L. Wu, and M.-H. Chiang, "Remote sensing image registration based on modified SIFT and feature slope grouping," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 16, no. 9, pp. 1363-1367, 2019.

[19]H. Zhang et al., "Remote Sensing Image Registration Based on Local Affine Constraint With Circle Descriptor," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2020.

[20]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, no. 6, pp. 381-395, 1981.

[21]Z. Yi, C. Zhiguo, and X. Yang, "Multi-spectral remote image registration based on SIFT," Electronics Letters, vol. 44, no. 2, pp. 107-108, 2008.

[22]H. Yang, X. Li, Y. Ma, L. Zhao, and S. Chen, "A High Precision Feature Matching Method Based on Geometrical Outlier Removal for Remote Sensing Image Registration," IEEE Access, vol. 7, pp. 180027-180038, 2019.

[23]X. Chang, S. Du, Y. Li, and S. Fang, "A coarse-to-fine geometric scale-invariant feature transform for large size high resolution satellite image registration," Sensors, vol. 18, no. 5, p. 1360, 2018.

[24]A. Sedaghat, M. Mokhtarzade, and H. Ebadi, "Uniform robust scale-invariant feature matching for optical remote sensing images," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 49, no. 11, pp. 4516-4527, 2011.

[25]Z. Ghassabi, J. Shanbehzadeh, A. Sedaghat, and E. Fatemizadeh, "An efficient approach for robust multimodal retinal image registration based on UR-SIFT features and PIIFD descriptors," EURASIP Journal on Image and Video Processing, vol. 2013, no. 1, p. 25, 2013.

[26]K. Mikolajczyk et al., "A comparison of affine region detectors," International journal of computer vision, vol. 65, no. 1-2, pp. 43-72, 2005.

[27]Z. Hossein-Nejad, H. Agahi, and A. Mahmoodzadeh, "Remote Sensing Image Registration based on a Geometrical Model Matching," Journal of Information Systems and Telecommunication (JIST), vol. 5, no. 36, p. 41, 2021.

[28]W. Ma et al., "Remote sensing image registration with modified SIFT and enhanced feature matching," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 14, no. 1, pp. 3-7, 2016.

[29]A. Sedaghat and H. Ebadi, "Remote sensing image matching based on adaptive binning SIFT descriptor," IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 53, no.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

10, pp. 5283-5293, 2015.

[30] L. Zhang, L. Zhang, and B. Du, "Deep learning for remote sensing data: A technical tutorial on the state of the art," IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, vol. 4, no. 2, pp. 22-40, 2016.

[31] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.

[32] C. Szegedy et al., "Going deeper with convolutions," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2015, pp. 1-9.

[33] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2016, pp. 770-778.

[34] L. Zheng, Y. Yang, and Q. Tian, "SIFT meets CNN: A decade survey of instance retrieval," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 40, no. 5, pp. 1224-1244, 2017.

[35] Z. Yang, T. Dan, and Y. Yang, "Multi-temporal remote sensing image registration using deep convolutional features," IEEE Access, vol. 6, pp. 38544-38555, 2018.

[36] F. Ye, Y. Su, H. Xiao, X. Zhao, and W. Min, "Remote sensing image registration using convolutional neural network features," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 15, no. 2, pp. 232-236, 2018.

[37] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks," Communications of the ACM, vol. 60, no. 6, pp. 84-90, 2017.

[38] H. Yang, X. Li, L. Zhao, and S. Chen, "A novel coarse-to-fine scheme for remote sensing image registration based on SIFT and phase correlation," Remote Sensing, vol. 11, no. 15, p. 1833, 2019.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.11, No.4, Winter 2024

Research Paper

Matching improvement of satellite images using geometric relationships

Ali Jafari [1]*, Elham Pour Yaghoubi [2]

1- Assistant Professor, Computer and AI Group, Electrical and Electronics Engineering Complex, Malek Ashtar University of Technology
2- Ms.c of Artificial Intelligence, Electrical and Electronics Engineering Complex, Malek Ashtar University of Technology

Abstract

Matching remote sensing images is a challenging issue in computer vision applications. Due to the very large dimensions, local destructions, radiometric distortions, and geometric changes in the input images, the existing matching algorithms such as Scale Invariant Feature Transform (SIFT) produce a large number of false matches. Moreover, due to the high dimensional images a big number of keypoints are extracted in large-scale satellite images. A very large number of keypoints increases the computational, memory and time complexity in the stages of feature description and matching the keypoints. In this paper, the geometric relationships between the key points extracted from the input images, are used to improve the detection process of false corresponding points and also to increase the speed of the SIFT algorithm. The proposed false correspondence removal algorithm uses the histogram of the scale difference values and the two image rotation angle. In the following, two new algorithms which are based on the hierarchical strategy are proposed to increase the speed of the SIFT algorithm. The first proposed algorithm is based on finding the optimal octaves in the scale space of the SIFT algorithm and selecting their compared keypoints. In the second method, the parameters of the affine transformation which are between the two images are calculated by performing an initial matching, and then this transformation is used to reduce the search space in the final matching stage of the keypoints. Finally, to check the performance and accuracy of each of the proposed methods, a variety of simulated and real images have been used. Moreover, for the final evaluation of the proposed algorithms, the obtained results are compared with SIFT, SR-SIFT and SIFT-GSI methods. The experimental results confirm the accuracy, stability and high speed of the proposed methods in matching satellite images.

Key words: *Image matching, affine transformation, search space reduce, false matches removal, Sift algorithm.*

Correspondence Address *: Computer and AI Group, Electrical and Electronics Engineering Complex, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran.*
Tel*: 09126870835*
Email*: iustuser@mut.ac.ir*

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83]