نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال یازدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲ Vol.11, No.4, Winter 2024 ۸۳ – ۱۰۱ مقاله پژوهشی

بهبود تطبیق تصاویر ماهوارهای با استفاده از روابط هندسی

على جعفرى"*، الهام پوريعقوبي ً

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

چکیدہ

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 جدید بر اساس استراتژی پیشنهادی، از هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر بهره میگیرد. در ادامه دو الگوریتم جدید بر اساس استراتژی مقیاس الگوریتم *SIFT* و انتخاب نقاط کلیدی مورد مقایسه از اکتاوهای بهینه می میشنهادی مبتنی بر یافتن اکتاوهای بهینه در فضای پیشنهادی، از هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر بهره میگیرد. در ادامه دو الگوریتم جدید بر اساس استراتژی مقیاس الگوریتم *SIFT* و انتخاب نقاط کلیدی مورد مقایسه از اکتاوهای بهینه می باشد. در دومین روش ابتدا با انجام یک تناظریابی اولیه پارامترهای تبدیل افزاین سرعت الگوریتم SIFT پیشنهاد شده است. اولین الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر یافتن اکتاوهای بهینه در فضای 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 شبیه سازی شده و واقعی استفاده شده استفاده می شود. در انتها برای بررسی عملکرد و دقت هر یک از روشهای پیشنهادی، از انواع تصاویر شبیه این ایقای مقایسه می شده سره استفاده می شود. در انتها برای روشهای پیشنهادی، نتایج به دستآمده با روشهای SIFT SIFT مقایسه می شود. نتایج

كليدواژهها : تطبيق تصوير، تبديل افاين، كاهش فضاى جستجو، حذف تناظرهاى اشتباه، الگوريتم SIFT .

[°] نویسنده مکاتبه کننده: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع برق، پژوهشکده کامپیوتر و هوش مصنوعی. تلفن: ۹۱۲۶۸۷۰۸۳۵

۱– مقدمه

تطبیق تصویر ^افرایند یافتن نقاط متناظر^۲در 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^۱[۲]، مدلسازی سه بعدی^۱[۱]، بازیابی محتوایی تصویر^۱[۲]، مدلسازی سه بعدی^۱[۱]، و ۴]، ردیابی اشیاء^۲ شناسایی چهره^۸ شناسایی الگو^۹ [۵]، شناسایی تغییرات (۶ و ۷] و تلفیق تصویر ^۱[۸ و ۹] میباشد. به طورکلی روش های تطبیق تصاویر به دو دسته تقسیم بندی می شوند: روش های مبتنی بر ویژگی^{۱۳} شدت ^۲(مبتنی بر ناحیه)، روش های مبتنی بر ویژگی^{۱۳}

در روش های مبتنی بر ناحیه، شدت روشنایی^{۱۴} پیکسل ها در برش هایی از دو تصویر اندازه گیری می-شود. در نهایت از این مقادیر برای اندازه گیری شباهت میان دو تصویر استفاده میکنند. به عبارتی این روش ها عمدتا بر مرحله تطبیق ویژگی متمرکز هستند [۱۱]. از معیارهای شباهت نیز میتوان به همبستگی متقابل^۱۹ اطلاعات متقابل ⁹[۱۲] و ضریب همبستگی هزینه اشاره نمود. روش های مبتنی بر ناحیه دارای هزینه

- `Image Matching
- ^v Correspondence Points
- ^r Image Registration
- * Time Series Analysis
- ^a Image Content Retrival
- ' 3D Modeling
- ^v Object Tracking
- ^A Face Recognition ^A Pattern Recognition
- ¹ Change Detection
- "Image Fusion
- ¹⁷Area-Based
- ¹^r Feature-Based Method
- ¹⁴ Intensity
- ¹⁶ Cross-Correlation
- ^{ve} Mutual Information
- V Correlation Coefficient

محاسباتی⁴ الا هستند و نسبت به اعوجاجات^{۱۹} تصویر، تغییرات روشنایی و نویز اخساس 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 ویژگیهای مبتنی بر ویژگی، ابتدا به شناسایی و ویژگیها در برابر نویز، همپوشانی، تغییرات روشنایی و درهمریختگی مقاومت آخوبی دارند. پس از استخراج ویژگیهای پایدار، تناظریابی میان نقاط ویژگی انجام می-شود.

روش های مبتنی بر ویژگی شامل سه گام اصلی استخراج ویژگی، توصیف ^اویژگی و تطبیق ویژگی هستند [۱۱]. استخراج و توصیف ویژگی از اساسی ترین مراحل در تطبیق تصویر هستند [۱۵]. هرگونه مشکل در استخراج، توصیف و تطبیق ویژگی منجر به نتایج مرتبط سازی نادرست می شود.

۲- کارهای پیشین

یکی از روشهای استخراج و توصیف ویژگی، الگوریتم تبدیل ویژگی مقیاس ثابت(*SIFT*) است. این روش توسط دیوید لو (۲۰۰۴) ^۲زائه 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 TS در برابر تغییرات مقیاس،^۲چر خش^۸زوشنایی و

- ^{1A} Computational Cost
- ¹⁹Distortions
- ^{v.} Illumination Change
- ^r Noise
- ^{**rr**} Feature Extraction
- ^{rr}Robustness
- ^{**rf} Description**</sup>
- ^{vo} Scale Invariant Feature Transform
- ^v⁹ David Lowe
- ^{vv} Scaling
- *****^ *Rotation*

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

زمانی که از الگوریتم SIFT برای مرتبطسازی و انطباق تصاویر ماهوارهای استفاده می کنیم به دلیل وجود اعوجاجات هندسی و رادیومتریکی، تعداد زیادی تناظر نادرست⁴رخ میدهد. همچنین تصاویر ماهوارهای به دلیل اصول تصویربرداری متفاوت، ویژگیهای تصویری متفاوتی ازجمله تفاوت در رزولوشن یا تفکیک پذیری مکانی⁶دارند [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 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 تشکیل شده است: *SIFT* اصلاحشده، محاسبه گرادیان ویژگی، گروهبندی نقاط ویژگی و حذف نقاط متناظر نادرست و یافتن تبدیل مناسب [۱۸].

ی و مربع کمی روی می می وی وی می می وی وی افاین ^ممحلی برای مرتبطسازی تصاویر سنجشازدور که می توانید بهطور گستردهای در پردازش تصاویر و تشخیص الگو استفاده شود، معرفی کرده است [۱۹].

این الگوریتم سه مرحله دارد. ابتدا از روش SIFT برای استخراج نقاط ویژگی، محاسبه اندازه گرادیان و ایجاد توصیفگرهای (یژگی با یک دایره بهجای همسایگی مربع استفاده می کند. در مرحله دوم، تطبیق اولیه توسط نسبت نزدیکترین فاصله همسایه ((NNDR) و روش اجماع نمونه سریع ((FCS) انجام می شود. سرانجام، مرتبطسازی دقیق با استفاده از تطبیقهای درست به دست آمده توسط تبدیل افاین، انجام می شود. نتایج تجربی نشان می دهد که روش پیشنهادی به دقت ⁶لوبی دست پیدا می کند. علاوه بر این، میزان تطبیقهای صحیح و مرتبطسازی موفق، اثربخشی و کارایی روش پیشنهادی را نشان می دهد.

روش اجماع نمونه تصادفی[؟]لهطور گسترده برای تخمین پارامترهای مدل تبدیل میان دو تصویر و همچنین انتخاب مجموعه نقاط ویژگی پایدار استفاده می شود. این روش در انتخاب مجموعه ویژگی با بیشترین ثبات و پایداری، فقط پارامترهای مدل هندسی میان دو تصویر را محاسبه می کند و اطلاعات سطوح روشنایی پیکسلها را در نظر نمی گیرد [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

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-07

^{&#}x27; Geometric Distortions

^{*} Computer Vision

[&]quot; Radiometric

^{*} False Matches

^a Spatial Resolution

^{&#}x27; Chang

^v Feature Slope Grouping

[^] Remote Sensing [°] Affine

[•]Gradient

[&]quot;Descriptor

¹⁷ Nearest Neighbor Distance Ratio

¹^r Fast Sample Consensus

¹⁴ Fine Registration

¹[∆]Accuracy

¹⁹ Random Sample Consensus

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره چهارم • زمستان ۱۴۰۲

[۲1]. اچ. یانے (۲۰۱۹) یے کروش تطبیق ویژگے، جدید ارائه کرده است که از رابطـه هندسـی سراسـری۱ نقاط ویژگی در دو تصویر برای از بین بردن نقاط متناظر نادرست و حفظ نقاط متناظر درست استفاده می کند [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 ^۲و همکاران روش *I-SIFT-SCC* را برای مرتبطسازی تصاویر با رزولوشن مکانی متوسط ٔو بالا^۵ ارائه دادهاند. عملكرد این الگوریتم به این صورت است که ابتدا یک نسخه بهبودیافته از الگوریتم SIFT به نام I-SIFT ارائه می شود که به کمک این الگوریتم، مجموعه-ای از نقاط متناظر در دو تصویر به دست میآید. سپس یک روش تشخیص داده پرت بر مبنای روابط مکانی نقاط كليدي ارائه مي شود كه به كمك آن، نقاط نامناسب و نادرست حـذف مـیشـوند و نقـاط بهینـه بـرای تخمـین یارامترهای تبدیل هندسی پیدا میشوند [۱].

پر را با یا ایکس. چنگ (۲۰۱۸) بر روی مشکلات تطبیق پیش آمده ناشی از افزایش ابعاد تصاویر تمرکز می کند [۲۳]. در این مقاله، یک روش SIFT هندسی با یک طرح اولیه به دقیق³برای 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^۹اولیه بین تصاویر مرجع به می آید. در مرحله تطبیق دقیق، تصویر مرجع به

تعدادی بلوک^۸تقسیم می شود و بلوک های متناظر در تصاویر ورودی توسط تبدیل اولیه به دست می آیند. در هر بلوک، یک روش SIFT هندسی برای تطبیق نقاط کنترلی استفاده شده است. اچ. یانگ (۲۰۱۹) یک روش هندسی سراسری نقاط ویژگی در دو تصویر برای از بین بردن نقاط متناظر نادرست و حفظ نقاط متناظر درست بردن نقاط متناظر نادرست و حفظ نقاط متناظر درست شباهت رابطه هندسی نقاط ویژگی در تصویر مرجع و شباهت رابطه هندسی نقاط ویژگی در تصویر مرجع و بهینه سازی را از طریق تجزیه و تحلیل و ساده سازی مدل ریاضی پیدا می کند.

روش *UR-SIFT* برای مرتبطسازی خودکار تصاویر، بر اساس ترکیب SIFT و تقسیم بندی تصویر پیشنهاد شده است که با یک روش مقاوم، کیفیت و توزیع نقاط ويژگي کنترل ميشود [۲۴]. مطابق ايـن روش، تعـداد نقاط کلیدی در هر لایه از فضای مقیاس با استفاده از ضریب نسبت مقیاسها تعیین می شود. 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 می تواند 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 نمی شود [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 می شود. در گام بعد برای افزایش سرعت الگوریتم و دقت تطبیق، توصیفگر SIFT با ابعاد ۶۴ برای نقاط کلیدی تشکیل

[`]Global `Li

^{*} Improved SIFT and spatial consistency constraints

^{*} Medium Resolution

^b High Resolution

^{&#}x27; Coarse to Fine

^v Transformation

[^] Grid

[\] Uniform Robust SIFT

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

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 ہای صحیح معرفی مے 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 توصيفگر AB-SIFT پيشنهاد كردند [۲۹]. در اين روش ابتدا با استفاده از روش یکنواخت پایدار هسیان افاین، نقاط کلیدی استخراج شده و برای هر یک از نقاط یک گرادیان محاسبه می شود. درنهایت توصیفگر AB-SIFT تشکیل میشود. توصیفگر پیشنهادی برخلاف توصیفگرهای رایج مبتنی بر توزیع، از یک استراتژی كوانتيزهسازى هيستوكرام تطبيقي براي محاسبه مكان و جهت گرادیان استفاده می کند که در برابر اعوجاجات ناشی از تغییر نما مقاوم است.

روشهای مبتنی بر یادگیری برای ویژگیهای سطح پایین^۲و سطح بالا^۳که انعطاف پذیری بیشتری نسبت به ویژگیهای دستی معمولی دارند، به دادههای دستی برچسب دادهشده نیازی ندارند. شبکههای عصبی کانولوشن[†](CNN) و شبکههای عصبی عمیق⁽(DNN) در کاربردهای مختلف مربوط به تصویر مورداستفاده قرار می گیرند زیرا نوع معماری این شبکهها در یافتن ویژگیهای سطح پایین و انتزاعی عملکرد خوبی دارند

[\] Hessian-Affine

[۳۰]. در مطالعات اخیر شبکههای عصبی کانولوشن و شبکههای عصبی عمیق با برخی از مجموعه دادههای آموزشی مانند ImageNet⁸,VGG-۱۶ با ۱۰۰۰ -موزشی مانند ۱۵۰۰ ویژگی و یا دستهبندی ۱۵۰۰ تصویر برای استخراج ویژگی و یا دستهبندی متمایزترین ویژگیها را که بهطور دقیق و مختصر متمایزترین ویژگیها را که بهطور دقیق و مختصر الگوهای مورفولوژیکی^۷پیچیده 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 می کند و در فرایند مرتبط سازی تصویر، اطلاعات سطح متوسط یا سطح بالا را از دست می دهد. ویژگی های استخراج شده از تصاویر توسط یک شبکه عصبی کانولوشن به عملکرد پیشرفته ای برای طبقه بندی تصاویر و مشکلات بازیابی دست یافته اند. این ویژگی ها می توانند اطلاعات سطح متوسط و سطح بالا را برای مرتبط سازی تصاویر سنجش از دور فراهم کنند. از این رو، بسیاری از محققین نحوه استخراج ویژگی در شبکه های عصبی کانولوشن را بررسی کرده و انواع روش های متفاوت ترکیب ویژگی های SIFT و شبکه های عصبی کانولوشن را برای مرتبط سازی تصاویر سنجش از دور معرفی نموده اند.

مدلهای مختلف شبکههای عصبی کانولوشن مانند GoogleNet [۳۱] و ۲۳] و ۲۳] [۳۵] [۳۲] می ۲۳۶۹ (۳۳]. دقت خوبی برای استخراج ویژگیها دارند و بهعنوان مجموعهای از توابع غیرخطی تلقی می شوند (۳۴]. زد یانگ (۲۰۱۸) ^۹با استفاده از خروجی لایههای خاصی از شبکه ۲۶–۷GG، روش جدیدی برای ساخت توصیفگر ویژگی ارائه داده [۳۵]. این نقاط ویژگی در مرکز بخشهایی از تصویر با اندازه خاص، تولید می شوند.

^{*} Visual Geometry Group

^r Low level

[&]quot; High level

^{*} Convolutional Neural Network

^a Deep Neural Network

^v Morphological

[^] Residual Neural Network

۶ Yang

^{••} Patch

مجموعه دادههای مورد استفاده در این مقاله، تصاویر پهپاد و تصاویر ماهوارهای از گوگلارث⁽است. نتیجـه آزمون دقت تطبیق ویژگی برای مجموعـه داده تصاویر ماهوارهای ۷۱٫۷٪ با استفاده از روش شبکههای عصبی است. درحالی که 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^۲و همکاران (۲۰۱۸) یک مجموعه داده خاص برای تنظیم دقیق مدل VGG-۱۶ و ImageNet ساختند تا ویژگیهای شبکههای عصبی کانولوشن را با ویژگے، های SIFT ترکیب کنند [۳۶]. پس از آن ویژگے، ای ترکیبے برای مرتبطسازی تصاویر به الگوريتم PSO-SIFT منتقل مي شوند. نتايج اين روش نسبت به سایر الگوریتمهای موجود بهتر است. در این روش مقدار خطا برابر ۷۲۲۱، پیکسل است، درحالی که خطای الگوریتم استاندارد SURF حدود ۸۰ است. کریژسکی او همکاران (۲۰۱۷) معماری جدیدی با استفاده از شبکههای عصبی کانولوشن به نام AlexNet را پیشنهاد دادند که با اختلاف زیادی در چالش تشخيص تصاوير بزرگمقياس فراتر از نتايج قبلي ImageNet رفت [۳۷]. على رغم به دست آوردن نتايج قابل قبول، شبکههای عصبی هنوز به دلیل مشکلات زیـر در تجزیهوتحلیل تصاویر سنجشازدور چالشبرانگیز است.

- كنترل دشوار تصاوير باكيفيت سنجشازدور
 - دسترسی محدود به دادههای آموزش
- تصمیم گیری 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 نسخه-های بهبودیافته SIFT، نقاط متناظر با مقایسه

توصیفگرهای نقاط کلیدی محاسبه می شود و از روابط هندسی موجود بین تصاویر استفاده نمی کند. در این مقاله برای افزایش سرعت و کاهش فضای جستجو⁶و 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 ²و 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 می توانیم 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 مهچنین N*N پارامتر زاویه چرخش خواهیم داشت. - ۳ - محاسبه پارامتر زاویه چرخش خواهیم داشت. دو تصویر با استفاده از مجموعه تناظرهای اولیه فرض کنید $S_{\text{ref}} = \{s_{\text{iref}}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{\text{iref}}, y_{\text{iref}})\}_{k=1}^{N}$

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-07

^{&#}x27; Google Earth

^v Weidong

[&]quot; Position Scale Orientation

[†] Krizhesky

^a Search Space

^{&#}x27; Scale Difference

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 رابطـــه(۱) و رابطـــه(۲) محاســبه مـــیشـود.

مجموعه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر مرجع و مجموعه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر مرجع و
$$S_{sen} = \{s_{isen}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{isen}, y_{isen})\}_{k=1}^{N}$$
 مجموعـه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر هـدف اسـت کـه نقاط متناظر شناخته شده در تصویر هـدف اسـت کـه N نیـز تعـداد نقـاط

$$D(s_{\text{iref}}, s_{\text{jref}}) = \left\| s_{\text{iref}} s_{\text{jref}} \right\| = \sqrt{(x_{\text{iref}} - x_{\text{jref}})^2 + (y_{\text{iref}} - y_{\text{jref}})^2}$$
(1)

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

اخـتلاف مقيـاس برابـر بـا نسـبت (D(s_{iref} , s_{jref}) و D(s_{isen} , s_{jsen}) است که بصورت رابطه (۳) محاسـبه می شود.

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

محاسبات فوق برای تمام نقاط متناظر انجام می شود و درنهایت هیستوگرام مقادیر حاصل رسم می شود. بزرگ ترین پیک هیستوگرام، پارامتر اختلاف مقیاس دو تصویر را نشان می دهد. در روابط (۴)، (۵) و (۶) به محاسبه زاویه چرخش دو تصویر می پردازیم. $S_{ref} = \{s_{iref}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{iref}, y_{iref})\}_{k=1}^{N} = \{s_{iref}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{iref}, y_{iref})\}_{k=1}^{N}$ مجموعیه نقاط متناظر در تصویر ورودی اول و $S_{sen} = \{s_{isen}\}_{k=1}^{N} = \{(x_{isen}, y_{isen})\}_{k=1}^{N}$ مجموعه متناظر در تصویر ورودی دوم است که نقاط متناظر در تصویر ورودی دوم است که زیترگی متناظر اولیه است.

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

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

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

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

با استغاده 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- حــذف تناظرهـای نادرســت حاصــل 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 نقط ه متناظر مقادیر اختلاف مقیاس و زاویه چرخش دو تصویر را محاسبه می کنیم. 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 می شود. در ادامه برای حذف نقاط منطبق نادرست با استفاده از مقادیر اختلاف مقیاس و

زاویه چرخش تناظرهای نادرست، مراحل زیر به ترتیب انجام می پذیرد.

- 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 شناسایی شده 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 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، ابتادا 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 به طور جدا با نقاط کلیدی تمامی اکتاوهای تصویر هدف مطابقات داده می شود و به ازای تعاداد اکتاوها یک

مجموعه تناظر اولیه بهدست می آید. 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 می شود. بنابراین می توان یک ماتریس با عنوان مقادیر بزرگترین پیک هیستوگرام نقاط متناظر هر اکتاو تشکیل داد. در ادامه نیاز به محاسبه ماتریس بهعنوان مقیاس اکتاوهای دو تصویر می باشد. این ماتریس بهعنوان پایهای برای مقایسات بعدی در نظر گرفته می شود.

پیای برای سایسا بنای از سر عرف سی مرد از دو ماتریس در مرحله بعد، برای شناسایی اکتاو بهینه از دو ماتریس نسبت مقیاس اکتاوهای دو تصویر و ماتریس بزرگترین پیک هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس استفاده می-شود. 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 می شود. سه ماتریس، برای یافتن اکتاو بهینه استفاده می شود. سه ماتریس، برای یافتن اکتاو بهینه استفاده می مود. هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس با SD_{max} و نسبت مقیاس اکتاو فعلی تصویر مرجع و هدف با SD_{mat} را از مقیاس اکتاو فعلی تصویر مرجع و هدف با داده شود، پارامترهای شناسایی اکتاو بهینه را از روابط (۲) و (۸) بدست میآوریم.

$$\alpha = \frac{SD_{max}}{Ratio_{oct}}$$
(۲) (۲)

$$eta = \left| SD_{\max} - Ratio_{oct} \right|$$
 (۸)
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 $T_{\alpha max}$ و $T_{\alpha max}$ باشد. •
- مقدار β بایستی بین دو پارامتر T_{βmin} و T_{βmax} باشد.

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

[`]octave

دو تصویر نیز مشخص می شود. لازم به ذکر است اگر پس از تناظریابی نقاط کلیدی پایین ترین اکتاو تصویر مرجع هیچ اکتاو بهینه ای شناسایی نشد، مراحل فوق برای اکتاو بالاتر تصویر مرجع انجام می شود. با مشخص شدن ترکیب اکتاوهای بهینه و نسبت رزولوشن مکانی شدن ترکیب اکتاوهای بهینه و نسبت رزولوشن مکانی دو تصویر، در مرحلیه تناظریابی نهایی، تنها دو تصویر، در مرحلیه تناظریابی نهایی، تنها توصیفگرهای نقاط کلیدی موجود در اکتاوهای بهینه با یکدیگر مقایسه می شوند و نیاز به مقایسه نقاط کلیدی موجود در سایر اکتاوها نخواهید بود. بنابراین برای تطبیق نقاط کلیدی تصویر هادف فقط نقاط کلیدی

تعدادی از اکتاوهای تصویر مرجع بررسی میشود و فضای جستجو برای تناظریابی نقاط کلیدی کاهش می-یابد. 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

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم ● شماره چهارم ● زمستان ۱۴۰۲

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 تشکیل شده و نقاط ویژگی SIFT از تمام اکتاوهای تصاویر ورودی، استخراج می شوند.

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 هـدف، 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، به-طور مجزا پارامتر اختلاف مقیاس محاسبه شده و برای هر دسته از نقاط متناظر، هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس رسم می شود. در این گام، با توجه به بزرگترین پیک هیستوگرام مقادیر اختلاف مقیاس هر اکتاو، محاسباتی برای یافتن اکتاو بهینه انجام می شود. در صورتی که اکتاو بهینه ای شناسایی نشود، تمام مراحل فوق، برای اکتاو بالاتر تصویر مرجع تکرار می شود.

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 بهدست آمده از یک مقدار حدآستانه بزرگتر باشد، دو مرحله قبل به ترتیب انجام می شوند. این مراحل تا زمانی که مقدار خطای تبدیل افاین بزرگتر از مقدار حد آستانه باشد، تکرار می شود. • اعمال تبدیل افاین روی نقاط کلیدی اکتاوها در این گام نقاط کلیدی اکتاوهای تصویر هدف به عنوان ورودی به تبدیل افاین داده می شوند و به طور تقریبی مختصات جدید هر یک از نقاط کلیدی در تصویر مرجع، به دست می آید و حول هر یک از نقاط بهدست آمده در تصویر مرجع، یک دایره با شعاع r در نظر گرفته می شود (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 می گیرند، مشخص شوند. بدین منظور، ابتدا با توجه به مختصات مرکز هر دایره در تصویر مرجع، نقاط اطراف هر دایره به دست می آید. سپس فاصله اقلیدسی نقاط کلیدی اطراف هر دایره و مراکز آنها، محاسبه شده و به طور دقیق نقاط ویژگی درون هر دایره مشخص می شود.

■ تطبيق نقاط ويژگى هر ناحيه

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. به این ترتیب، 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 می یابد.

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

بهبـود تطبیــق تصـاویر مـاهوارهای بـا اسـتفاده از روابـط... علی جعفری و الهام پوریعقوبی

به منظور پیاده سازی هر یک از الگوریتم های پیشنهادی، از زبان برنامه نویسی متلب استفاده شده است. آزمایشات فوق در سیستم با پردازنده -i7 (Core(TM) (Intel(R) و B GB 8 GB مرم B 550U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz سیستم عامل ویندوز ۱۰ انجام شده است. 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.

تراحين	ابعاد تصاوير	تفکیکپذیری		م امعام مان	شماره	نوع تصاوير
لوطيعات	ورودى	مکانی (متر)	ستجنبه	نام تاهواره	تصوير	ورودى
نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی	۶۰۰۰ <u>*</u> ۵۷۵۵	۵۶	Awifs	IRS-ResourceSat II	`	شبيەسازى-
نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی	82.4**	۵۶	Awifs	IRS-ResourceSat II	-	شده
نوع پوشش تصویر: منطقه بیابانی	9450*11587	۵۶	Awifs	IRS-ResourceSat II	۲	
نوع پوشش تصویر: منطقه بیابانی	۶۰۰۰ *۶۴ ۱۹	74	LissIII	IRS-ResourceSat II	-	
نوع پوشش تصویر: منطقه جنگلی	۵۹۰۵*۵۵۶۰	۵۶	Awifs	IRS-ResourceSat II	¥	aëla
نوع پوشش تصویر: منطقه جنگلی	8777487840	۵	Mono	IRS-ResourceSat II	,	والغى
نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی	१८१९*४•८८	۵۶	Awifs	IRS-ResourceSat II	۴	
نوع پوشش تصویر: منطقه کوهستانی	8*8410	74	LissIII	IRS-ResourceSat II	1	

تست	تصاو بر	مربوط به	۱: حزئیات	حدول
	F. 1			0,

۴-۱- بررســی نتـایج حاصـل از روش حــذف تناظرهای نادرست

در ادامه به بررسی و تحلیل نتایج حذف نقاط نادرست با بهره گیری از هیستو گرامهای مقادیر زاویه چرخش و اختلاف مقیاس می پردازیم. همچنین برای ارزیابی نتایج حاصل، روش پیشنهادی با روش SIFT استاندارد و سه الگوریتم SIFT-GSI [۲۰]، SIFT-GSI [۳۸] و الگوریتم SIFT-RANSAC [۲۰]، SIFT [۸۳] و روش ارائه می شود. در شکل (۲)، نتایج تناظریابی تصاویر ورودی و حذف تناظرهای نادرست با استفاده از

هیستوگرام مقادیر زاویه چرخش و اختلاف مقیاس ارائه شده است.

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می شود الگوریتم پیشنهادی تناظرهای نادرست را به طور کامل تشخیص داده و حذف نموده است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده می توان 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.





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

روش پیشنهادی	SR-SIFT	SIFT-GSI	SIFT-RANSAC	SIFT	پارامترهای مورد مقایسه	زوج تصویر ورودی
1988	2026	2026	2026	2026	تعداد تناظرها	
٩٩ / ٩	۵٬۹	49	۳۰,۲	۷۳	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	١
۷۵۰٫۳	ναι,α	3110	۷۵۵	۷۵۰	زمان اجرا (S)	
٩٨٣	١٢٨٩	١٢٨٩	١٢٨٩	١٢٨٩	تعداد تناظرها	
૧૧ / ૧	14	۱۰٬۵	۱۵,۶	۸۱٫۳	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	٢
8048 ₁ 8	80FV	17726	۶۵۵۰	9049	زمان اجرا (S)	
177	۳۸۲	۳۸۲	۳۸۲	۳۸۲	تعداد تناظرها	
૧૧ , ૧	۲, ۰	• ,Y	۳,۶۶	۵۳	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	٣
125/5	105,8	۲۸۱	104	107	زمان اجرا (S)	
۱۰۸۶	1809	18.9	1809	1809	تعداد تناظرها	
૧૧ / ૧	۵	۳۷	۴۸	۶۸	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	۴
۴٫۵۵۰	۵۵۱	۲۱۶۹٬۵	۵۵۳	۵۵۰	زمان اجرا (S)	

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 صورتی که مقدار خطا برای هر یک از تناظرها کمتر از ۱ پیکسل باشد، به-عنوان یک تناظر صحیح شناسایی می شود. حال اگر تعداد تناظرهای صحیح را با *M* و تعداد کل تناظرهای اولیه را با *N* نمایش دهیم، می توانیم نرخ تناظرهای

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

به عبارتی، نرخ تناظرهای صحیح برابر است با نسبت تعداد تناظرهای صحیح به کل تعداد نقاط متناظر. مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۲) می توان 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 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 می رود و سرعت بسیار کمتری در شناسایی نقاط منطبق نادرست دارد. همچنین از دقت کمتری بر خور دار است.

بهبـود تطبیــق تصـاویر مـاهوارهای بـا اسـتفاده از روابـط... علی جعفری و الهام پوریعقوبی

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 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 روش-ها بهتر عمل کرده و دقت و سرعت بیشتری دارد. P-F - بررسی نتایج حاصل از روش یافتناکتاوهای بهینه و کاهش فضای جستجو

در این بخش به بررسی و تحلیل نتایج یافتن اکتاوهای بهینه می پردازیم. در این آزمایشات به دلیل محدودیت-های سخت افزاری، 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 می کنیم.

در این آزمایش برای یافتن اکتاوهای بهینه پارامترهای T_{βmin} = ، T_{amax} = ۱,۵ ، T_{amin} = ۰,۹ ، T_c =۳۰ ۵,۵ = ۳,۹ 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.

شماره اكتاو تصوير مرجع	شماره اکتاو تصویر هدف
١	٣
٢	۴
٣	۵
۴	۶

. ۳: شماره اکتاوهای بهینه زوج تصویر ورودی اول	جدول
--	------

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-07

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره چهارم • زمستان ۱۴۰۲

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 می-توان 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.

ش فضای جستجو	، اکتاوهای بهینه و کاه	ل بر SIFT و روش یافتن	ر با الگوریتمهای مبتنی	بج حاصل از تناظریابی تصاوی	جدول ۴: نتا

روش پیشنهادی	SR-SIFT	SIFT-GSI	SIFT	پارامترهای مورد مقایسه	زوج تصویر ورودی
٧٣	۵٫۹	۴٩	٧٣	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	
97,840,180	2,595,497,011	2,595,497,011	2,595,497,011	تعداد محاسبات	١
222	ν۵١,۵	3110	۷۵۰	زمان اجرا (s)	
٨١٫٣	١۴	۵, ۰ ۱	۸۱٫۳	نرخ تناظرها صحيح (٪)	
۵,۱۸۰,۹۸۲,۴۹۷	80,099,778,776	80,099,778,776	80,099,778,776	تعداد محاسبات	۲
1888	80FV	17776	8048	زمان اجرا (s)	
۵۳	٠,٢	• , Y	۵۳	نرخ تناظرها صحيح (٪)	
84,788,149	1,118,797,798	1,118,797,794	1,111,797,794	تعداد محاسبات	٣
۵۲	107,8	۳۸۱	107	زمان اجرا (s)	
۶۸	۵	٣٧	۶۸	نرخ تناظرها صحيح (٪)	
427,471,089	8, 7 • 1, 980, 197	8, 7 • 1, 980, 197	8,1.1,980,191	تعداد محاسبات	۴
۳۲۹	۵۵۱	۲۱۶۹٫۵	۵۵۰	زمان اجرا (s)	

۴-۳- بررسی نتایج کـاهش فضـای جسـتجو بـا استفاده از اکتاو بهینه و تبدیل افاین

اینک به ارزیابی دومین روش ارائه شده برای کاهش فضای جستجو می پردازیم. در این آزمایشات، در فرایند تطبیق اولیه، برای یافتن اکتاوهای بهینه و تخمین پارامترهای تبدیل افاین، تناظریابی از اکتاو ششم تصویر مرجع شروع می شود و اگر اکتاو بهینه یافت نشد،

اکتاوهای بالاتر، به ترتیب مورد بررسی قرار می گیرند. 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. بهبـود تطبیــق تصـاویر مـاهوارهای بـا اســتفاده از روابـط... علی جعفری و الهام پوریعقوبی

> برای ارزیابی دقت و سرعت روش پیشنهادی، الگوریتم پیشنهادی با سه روش SIFT هر 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.



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



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

روش پیشنهادی	SR-SIFT	SIFT-GSI	SIFT	پارامترهای موردمقایسه	زوج تصویر ورودی
۹۹ /۹	۵٫۹	49	٧٣	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	
3.014,703	2,898,497,011	2,898,497,011	2,898,492,011	تعداد محاسبات	١
216	νωι,Δ	3017	۷۵۰	زمان اجرا (s)	
૧૧ /૧	14	۱۰٫۵	۳,۱۷	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	
1+F,000,009	80,098,778,776	80,098,778,778	80,098,778,776	تعداد محاسبات	٢
V49	80FV	17776	8048	زمان اجرا (s)	
૧૧ /૧	• / ٢	• ,Y	۵۳	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	
10,590,595	1,111,757,794	1,111,757,794	1,111,797,794	تعداد محاسبات	٣
۶۳	125/8	۳۸۱	107	زمان اجرا (s)	
૧૧ /૧	۵	٣٧	۶۸	نرخ تناظرهای صحیح (٪)	
18,9,7.1	8, 7 • 1, 980, 197	8, 7 • 1, 980, 197	8, 7 • 1, 980, 197	تعداد محاسبات	۴
۲۱۳	۵۵۱	۲189,۵	۵۵۰	زمان اجرا (s)	

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

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، محدودیتهایی است. ابعاد بالای توصیفگر نقاط ویژگی، یچیدگی محاسباتی بالا، وجود نقاط متناظر نادرست، عدم توجه به روابط هندسی موجود بین دو تصویر و زمان اجرای بالا ازجملهی این محدودیتها در تطبیق تصویر ماهوارهای بزرگ مقیاس هستند. همچنین در روشهای موجود معمولا نقاط متناظر بدون توجه به روابط هندسی موجود بین تصاویر تعیین میشوند.

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 محیح هستند، معرفی شد. استفاده از اکتاوهای بهینه ناعث 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 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.

- [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:

سنجشازدور چند رزولوشنی، چند زمانی، چند نمایه و چند سنسوری استفاده شد. الگوریتمهای پیشنهادی در حالتی که دو تصویر مرجع و هدف هم پوشانی 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 **مراجع**

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, "Mutualinformation-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban areas," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 48, no. 2, pp.

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.

[DOI: 10.61186/jgit.11.4.83

بهبود تطبيق تصاوير ماهوارهای با استفاده از روابط...

على جعفرى و الهام پوريعقوبي

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, "Multitemporal 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.



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: justuser@mut.ac.ir