

ارائه یک راهکار چند مرحله‌ای در تناظریابی تصاویر SAR

محمدامین قنادی^{۱*}، محمد سعادت سرشت^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری - گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده‌های مهندسی - دانشگاه تهران
amin.ghannadi@ut.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده‌های فنی مهندسی - دانشگاه تهران
msaadat@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۲، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۳)

چکیده

با توجه به کاربردهای فراوان تصاویر SAR در تولید مدل رقومی زمین، بررسی میزان جابه‌جایی سطح زمین و کشف تغییرات می‌توان به میزان اهمیت بحث تناظریابی در تصاویر SAR پی برد. تناظریابی در این تصاویر به علت وجود پدیده‌های گوناگون هندسی از جمله سایه، همپوشانی و کوتاه‌شدگی در کنار نویزهای مختلف که مهم‌ترین آنها نویز اسپیکل می‌باشد، به مراتب پیچیده‌تر از تناظریابی در تصاویر اپتیکی است. از این رو ارائه روشی کارآمد جهت انجام تناظریابی این تصاویر می‌تواند بسیار مفید باشد. در این مقاله ابتدا مراحل روش پیشنهادی توضیح داده شده است. این مراحل شامل کاهش اثر نویز اسپیکل بر روی تصاویر، استخراج عوارض نقطه‌ای، تخصیص ویژگی به عوارض استخراج شده، تناظریابی محلی و در پایان انجام تناظریابی سراسری می‌باشد. با توجه به شرایط تصاویر SAR، در مراحل ذکر شده از الگوریتم‌های موجود در فتوگرامتری و بینایی رایانه بهره برده شده است. در هر مرحله چندین الگوریتم مورد آزمون قرار گرفته و بر اساس مقایسه نتایج بدست آمده بهترین آن در الگوریتم پیشنهادی بکار گرفته شده است. جهت انجام آزمایش از جفت تصویر با طول باز بلند و جفت تصویر با طول باز کوتاه از منطقه جم استان بوشهر استفاده شده است که توسط سنجنده TerraSAR-X اخذ شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با دقت و اعتمادپذیری بالایی تعداد مناسبی از عوارض نقطه‌ای در دو تصویر را متناظر می‌کند. این روش تعداد ۲۱۱ نقطه با دقت ۱٫۹ پیکسل را برای تصاویر مورد آزمایش با طول باز بلند به ابعاد ۷۰۰×۷۰۰ پیکسل و تعداد ۱۶۰۳ نقطه با دقت ۱٫۲۲ پیکسل را برای تصاویر مورد آزمایش با طول باز کوتاه به ابعاد ۴۰۰×۴۰۰ پیکسل متناظر می‌کند. از این روش می‌توان جهت انجام coarse matching در تصاویر SAR بهره برد.

واژگان کلیدی: تصاویر SAR، تناظریابی تصویری، استخراج عوارض، نویز اسپیکل، Terra-SAR-X، رادارگرامتری، اینترفرومتری

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

یکی از جدی‌ترین مراحل انجام فرآیندهای اینترفرومتری، رادارگرامتری و کشف تغییرات مرحله تناظریابی تصاویر SAR است. لازمه رسیدن به نتایج و محصولات با کیفیت از فرآیندهای ذکر شده انجام موفق و دقیق تناظریابی این تصاویر می‌باشد. زوج تصویر SAR بعلت وجود پدیده‌های هندسی چون سایه، کوتاه‌شدگی و همپوشانی و وابسته بودن این پدیده‌ها به هندسه تصویربرداری، تفاوت زیادی نسبت به هم دارند [۲۲]. تناظریابی تصاویر SAR به مراتب پیچیده‌تر از تناظریابی تصاویر اپتیکی است. از این رو ارائه روشی کارآمد در بحث تناظریابی تصاویر SAR مسئله‌ای مهم است.

در بحث تناظریابی تصاویر SAR پژوهش‌هایی نیز صورت گرفته است که در هرکدام به شکلی در راستای بهبود تناظریابی در تصاویر SAR روشی پیشنهاد شده است. در مقاله‌ای در سال ۱۹۹۲ Cave امکان انجام template matching در تصاویر SAR را مورد بررسی قرار داد. در این مقاله template matching با استفاده از معیار شباهت ناحیه‌ای ضریب همبستگی خطی، که نويز اسپیکل را نادیده می‌گیرد با template matching با استفاده از معیار کولموگروف-اسمیرنوف که نويز اسپیکل را ملاحظه می‌کند مقایسه شد که در نهایت روش کولموگروف-اسمیرنوف بهتر از روش ضریب همبستگی خطی نتیجه داد [۲۴]. در سال ۱۹۹۶ Jakob و Gelaytz از دانشگاه گراتس دو الگوریتم تناظریابی را بروی جفت تصویر SAR سنجد Magellan و ERS-1 پیاده سازی و جهت ارزیابی دقت از روش دستی^۱ استفاده کردند. یکی از این روش‌ها روشی بر پایه محاسبه ضریب همبستگی خطی و دیگری روشی بر اساس ویژگی‌های محلی تصویر در آن پیکسل و مقایسه بردارها با هم جهت انجام تناظریابی بود. در این آزمایش الگوریتم دوم نتایج مطلوب‌تری به همراه داشت [۱۳]. در سال ۱۹۹۹ Paillou و Glautz روشی جهت بهبود بازسازی برجستگی‌های تصاویر SAR ارائه دادند که در واقع نوعی پیش پردازش اطلاعات ورودی با یک فیلتر بهینه بود که اثر غیر مستقیم بر روی تناظریابی تصاویر SAR داشت. این فیلتر نويز اسپیکل را کاهش داد و

برجستگی‌های تصویر را بهبود بخشد که نهایتاً منجر به نتایج بهتر تناظریابی در این تصاویر شد. این روش بر روی تصاویر SAR در منطقه‌ای کوهستانی آزمایش شد [۱۷]. Tupin و Nicolas در سال ۲۰۰۲ بر روی کاربردهای ضریب همبستگی خطی در رادارگرامتری مطالعه کردند. دو معیار بدست آمده از آنالیز خطای میانگین مربعات^۲ پیشنهاد شد. این دو معیار بر روی تصاویر SAR پیاده سازی و از نظر توزیع و دقت مکانی تناظریابی بررسی شدند. همچنین در این مقاله اهمیت استفاده از تصاویر میانگین یا لگاریتمی قبل از محاسبه ضریب همبستگی خطی تجزیه و تحلیل شد. در این مقاله ادعا شد که اطلاعات تصویر اختلاف و تصویر همبستگی به حدی کافی نیست که بتوان مسائل رادارگرامتری را حتی با معیارهای انطباقی به طور مطلوب حل کرد [۷]. در سال ۲۰۰۴ در مقاله‌ای Liao از دانشگاه وهان چین روشی اتوماتیک براساس تناظریابی چند مرحله‌ای نمایش داد و فقط از مولفه شدت^۳ تصاویر SAR در تناظریابی استفاده کرد. دو روش probability relaxation و تناظریابی کمترین مربعات^۴ برای حفظ اعتمادپذیری و بهبود دقت معرفی شدند. در این مقاله ابتدا با استفاده از اپراتور forstner نقاط کاندیدا برای تناظریابی انتخاب می‌شوند سپس با استفاده از probability relaxation یک تناظریابی سراسری در تصاویر صورت گرفته و نهایتاً با استفاده از تناظریابی کمترین مربعات، تناظریابی دقیق انجام می‌شود. در این مقاله تناظریابی دقیق با دقت یک دهم پیکسل صورت گرفته است. در این روش برای جفت تصویر ۲۵۰۰×۲۵۰۰ پیکسل در باند L حدود ۱۵۵ نقطه در مرحله تناظریابی سراسری که ۱۵۲ نقطه در مرحله تناظریابی کمترین مربعات پذیرفته شده، متناظر شده-اند [۱۴]. در سال ۲۰۱۰ آقای Fayard از دانشگاه الکترونیک و ارتباطات رن جهت تولید مدل رقومی ارتفاعی زمین در مناطق کوهستانی با استفاده از تصاویر SIR-C دو روش پیشنهادی خود را با فرآیند ضریب همبستگی خطی نرمالیزه مرتبه صفر (ZNCC) مقایسه کرد. استفاده از روش ZNCC نتایج خوبی به همراه داشت ولی خطا در مناطق خصوصاً فشرده (مانند جنگل) ظاهر

^۲ MSE

^۳ intensity

^۴ Least Square Matching

^۱ manual

همکاران از دانشگاه رم ایتالیا از تصاویر TerraSAR-X با استفاده از رادارگرامتری دست به تولید مدل ارتفاعی سطح زمین زدند. در این مقاله مشابه با مقاله سال ۲۰۱۰ از روش تناظریابی ناحیه مبنا که شامل فرآیند محاسبه ضریب همبستگی خطی پنجره‌های تصویری و تناظریابی کمترین مربعات بود استفاده شد [۱۶]. در ماه می سال ۲۰۱۰ آقایان Suri و Schwind از موسسه تکنولوژی سنجش از دور آلمان و آقایان Uhl و Reinartz از مرکز فضایی آلمان با بهبود الگوریتم SIFT در سه مرحله کشف عارضه، تخصیص ویژگی و تناظریابی به نتایج خوبی در تناظریابی تصاویر SAR دست پیدا کردند. در سال ۲۰۱۳ مقاله آقای Balz و همکاران از دانشگاه ووهان که در ISPRS به چاپ رسید روشی جدید برای فرآیند رادارگرامتری با هدف تولید مدل ارتفاعی سطح زمین ارائه داد. در این روش از مدل رقومی زمین موجود با قدرت تفکیک مکانی متوسط SRTM بهره برده شد. مزیت این روش عدم نیاز به پیش‌پردازش‌های مورد نیاز جهت رادارگرامتری و همچنین مرحله coarse matching در این فرآیند بود. کم اثر کردن سایه و همپوشانی در طی این فرآیند از دیگر مزیت‌های این روش می‌باشد. هزینه بالای محاسباتی و پردازش‌های سنگین از معایب این روش است که البته با استفاده از کارت‌های گرافیک قدرتمند قابل جبران است. در طی این فرآیند از ضریب همبستگی خطی جهت تعیین شباهت میان پنجره‌های تصویری نیز استفاده شده است [۱۹].

با توجه به مجموعه پژوهش‌هایی که تا کنون صورت گرفته است می‌توان اینگونه دریافت که در اغلب موارد از روش‌های ناحیه مبنا جهت انجام تناظریابی تصاویر SAR استفاده شده است. روش‌های ناحیه مبنا نقاط قوت و ضعف دارند. از مزایای این روش‌ها مناسب بودن خروجی آنها جهت تولید مدل ارتفاعی زمین می‌باشد. از معایب این دسته از روش‌ها پایین بودن صحت آنها در مقایسه با دقت آنها در تناظریابی تصاویر SAR و زمان‌بر بودن آنها می‌باشد. در مواردی هم از روش‌های عارضه مبنا جهت انجام تناظریابی استفاده شده است که این دسته از روش‌ها اگرچه به علت استفاده از نقاط مهم در تناظریابی دارای صحت مناسبی می‌باشند اما دقت تناظریابی در آنها وابسته به دقت استخراج عارضه می‌باشد. در این پژوهش هدف

می‌شد، از این جهت دو روش برای کاهش این خطاها پیشنهاد شد. روش اول با عنوان روش سطح همبستگی با در نظر گرفتن اندازه ابعاد مختلف برای پنجره جهت محاسبه ضریب همبستگی خطی و استفاده از تمام پنجره-ها، سطح اطلاعات مورد نیاز جهت تناظریابی را افزایش داد. روش دوم تحت عنوان بسط همبستگی بجای استفاده از پنجره‌های مربعی از پنجره‌های مستطیلی جهت کاهش اثر کوتاه‌شدگی بر جریان تناظریابی استفاده شد و نهایتاً معلوم شد که ترکیب دو روش فوق نتایج بهتری در بر دارد [۶]. در همین سال آقای Fayard در مقاله‌ای یک روش تولید مدل ارتفاعی زمین را از طریق رادارگرامتری معرفی کرد. در این روش با استفاده از پارامترهای مداری تصویر، هندسه اپی‌پلار را مدل‌سازی کرد و فضای جستجو جهت template matching را محدود کرد [۳]. در این سال روش‌های دیگری جهت بهبود فرآیند رادارگرامتری و استفاده از روش‌های گوناگون جهت انجام تناظریابی تصاویر SAR پیشنهاد شد. آقای He و همکاران از دانشگاه ووهان چین فرآیند رادارگرامتری را با استفاده از اطلاعات strip map تصاویر TerraSAR-X انجام دادند. در این عملیات از معیار تناظریابی ضریب همبستگی خطی نرمالیزه دوبعدی استفاده شد [۲۱]. همچنین Capaldo و همکاران، اطلاعات به دست آمده از Cosmo-SkyMed را جهت عملیات رادارگرامتری مورد آزمایش قرار دادند. در این کار تحقیقاتی از روش سلسله مراتبی هرم تصویری و تناظریابی ناحیه مبنا استفاده شد. در مرحله coarse matching از محاسبه ضریب همبستگی خطی و برای مرحله fine matching از تناظریابی کمترین مربعات استفاده شد [۱۵]. Blaz و همکاران از دانشگاه ووهان چین از منطقه جنوب شرق آسیا اقدام به تولید مدل رقومی سطح زمین با فرآیند رادارگرامتری کردند. در این مقاله از روش ضریب همبستگی خطی نرمالیزه دو بعدی جهت انجام تناظریابی استفاده شد. همچنین از خط اپی‌پلار و هرم تصویری جهت محدود شدن فضای جستجو استفاده شد. این مقاله نیز در سال ۲۰۱۰ ارائه شد [۲۰]. سال ۲۰۱۱ مقاله Meric که در IEEE به چاپ رسید، روش چند پنجره‌ای و بسط پنجره‌های تصویری تشریح را تشریح کرد. این مقاله به نوعی همان مقاله سال ۲۰۱۰ آقای Fayard بود که بطور مفصل‌تر تحلیل شده بود [۱۸]. در کنگره ISPRS ماه سپتامبر سال ۲۰۱۲ Capaldo و

معرفی روشی چند مرحله‌ای و ترکیبی جهت انجام مناسب تناظریابی تصاویر SAR می‌باشد.

در این مقاله ابتدا روش تحقیق که شامل مباحث کاهش اثر نویز اسپیکل، استخراج عارضه، تخصیص ویژگی، تناظریابی محلی و تناظریابی سراسری است بیان می‌شود. سپس داده‌های ورودی که قرار است مدل پیشنهادی بروی آنها آزمایش شوند و مدل پیشنهادی معرفی می‌گردد. مرحله بعد انجام آزمایش‌ها می‌باشد. در پایان بحث و نتیجه‌گیری در مورد نتایج آزمایش‌ها و روش پیشنهادی می‌باشد.

۲- روش تحقیق

در این قسمت ابتدا نویز اسپیکل معرفی می‌شود و چگونگی کاهش اثر آن توضیح داده می‌شود. این مرحله با استفاده از فیلتر وینر صورت می‌گیرد. سپس روش Scale Invariant Feature Transform (SIFT) و Harris برای استخراج عوارض نقطه‌ای تصاویر SAR معرفی می‌شوند. در مرحله بعد برای تخصیص ویژگی به عوارض استخراج شده، روش Optimal Gradient Matching (OGM) به همراه روش‌های Rank, Census و SIFT معرفی می‌گردند. در ادامه نیز تناظریابی محلی و سراسری توضیح داده می‌شوند. از الگوریتم ژنتیک جهت انجام تناظریابی سراسری استفاده می‌شود.

۲-۱- کاهش اثر نویز اسپیکل

در تصاویر SAR معضلی بنام خطای اسپیکل وجود دارد که باعث پایین آمدن کیفیت تصاویر SAR می‌شود. یکی از مهم‌ترین پیش پردازش‌ها هنگام استفاده از این تصاویر از بین بردن نویز اسپیکل^۱ است. در بیشتر الگوریتم‌هایی که جهت استخراج عوارض و بحث تناظریابی در تصاویر SAR پیشنهاد شده است قبل از انجام فرآیند اصلی با استفاده از فیلتر کاهنده نویز اسپیکل تاثیر نویز اسپیکل را روی تصویر کاهش می‌دهند[۳]. نویز اسپیکل یک نویز نقطه‌ای است که بصورت ذاتی در تصاویر SAR وجود دارد و باعث کاهش کیفیت تصاویر SAR می‌شود. این نویز در اثر برخوردی سازنده و مخرب امواج رسیده

^۱ despeckling

از هدف به سنجنده ایجاد می‌شود که بصورت نقاط تاریک و روشن در تصویر ظاهر می‌شود. نویز اسپیکل در تصاویر SAR ناشی از نوسانات اتفاقی در سیگنال بازگشتی از شیء می‌باشد که باعث افزایش میانگین درجات خاکستری تصویر در نواحی محلی می‌شود[۲۳]. نویز اسپیکل در تصاویر SAR بسیار جدی است و باعث ایجاد مشکلاتی در تغییر تصاویر می‌شود[۹]. از چندین روش گوناگون می‌توان جهت حذف یا کاهش نویز اسپیکل استفاده کرد. یکی از روش‌های کاهش نویز اسپیکل استفاده از فیلتر وینر است. فیلتر وینر با حداقل ساختن نویز سیگنال به دنبال بهترین تخمین برای تصویر می‌گردد[۱۰].

۲-۲- استخراج عارضه

امروزه به طور عمده از روش‌های معمول در استخراج عوارض در تصاویر اپتیکی برای استخراج عوارض در تصاویر SAR استفاده می‌شود. برخی از این الگوریتم‌ها به علت وجود نویز اسپیکل نمی‌توانند به تنهایی برای استخراج عوارض در این تصاویر به کار بروند. استخراج عوارض پایه و اساس انجام تناظریابی عارضه مبنا می‌باشد و میزان دقت استخراج این عوارض و استخراج نقاط مشابه در دو تصویر که در شرایط نوری و هندسی نسبتاً متفاوتی اخذ می‌شوند از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو جهت رسیدن به نتایج بهتر باید از الگوریتمی کارآمد جهت این امر بهره برد. باید در نظر داشت که بعلاوه وجود پدیده‌هایی هندسی چون سایه، کوتاه‌شدگی و همپوشانی در تصاویر SAR و وابسته بودن این پدیده‌ها به هندسه تصویربرداری، تصاویر نسبت به هم تغییرات زیادی دارند[۱۴]. می‌توان از الگوریتم SIFT، Harris و Forstner در استخراج عوارض نقطه‌ای و از الگوریتم‌های بر پایه گرادیان در استخراج لبه‌های تصویر SAR استفاده کرد[۱]. در این بین دو الگوریتم SIFT و Harris بیش از سایرین مورد توجه واقع شده‌اند.

۲-۲-۱- الگوریتم SIFT

یکی از الگوریتم‌هایی که امروزه هم در بحث استخراج عوارض و هم در بحث تناظریابی تصاویر SAR به کار می‌آید الگوریتم SIFT است. از آنجایی که این الگوریتم مستقل از دوران، تغییرات روشنایی، تغییر موقعیت اخذ

که k در رابطه (۷) ضریب حساسیت تابع می‌باشد. که معمولاً مقدار 0.04 ، پیشنهاد می‌شود [۵].

۳-۲- تخصیص ویژگی

در روش‌های تناظریابی عارضه مبنای بعد از استخراج عوارض تصویر باید به عوارض ویژگی تخصیص داد. این ویژگی‌ها می‌توانند از نوع یک پنجره از درجه خاکستری پیکسل‌های همسایه، مقیاس و جهت هر عارضه و یا دسته بیتی از روابط بین پیکسل مرکزی با پیکسل‌های همسایه باشد. به طور کلی هر توصیفگر می‌تواند به صورت مقدار اسکالر، بردار، ماتریس و غیره باشد که به عارضه یک ویژگی تخصیص می‌دهد. از این توصیفگرها در مطابقت دادن عوارض در تناظریابی استفاده می‌شود.

۲-۳-۱- الگوریتم Rank

فرض می‌کنیم که ناحیه‌ای اطراف پیکسل در تصویر انتخاب شود، تبدیل Rank تعداد پیکسل‌های ناحیه انتخاب شده اطراف پیکسل مرکزی است که شدت سیگنال آنها بزرگتر از سیگنال مرکزی باشد، و یا تعداد پیکسل‌های ناحیه انتخاب شده اطراف پیکسل مرکزی است که شدت سیگنال آنها کوچکتر از سیگنال مرکزی باشد. در هر حال در روش Rank تعداد پیکسل‌هایی مد نظر است که شدت سیگنال آنها در مقایسه با پیکسل مرکزی بررسی می‌شود [۴].

۲-۳-۲- الگوریتم Census

تبدیل Census در واقع مرتب سازی نواری^۱ از بیت‌ها می‌باشد که هر بیت نشان دهنده اینست که آیا هر پیکسل همسایه بزرگتر از پیکسل مرکزی هست یا نه. شکل (۱) همسایگی پیکسل مرکزی را برای تبدیل Rank و Census را در یک پنجره 3×3 نشان می‌دهد.

تصویر و تغییر شکل افاین است (در صورت کوچک بودن تیلت تصاویر) و در برابر نویز پایدار است می‌تواند در استخراج عوارض تصاویر SAR به کار برود. استخراج عوارض در این الگوریتم از سه مرحله اصلی تشکیل شده است. این سه مرحله عبارتند از استخراج اکستریم‌های فضای مقیاس، بهبود دقت موقعیت و حذف اکستریم‌های ناپایدار و در پایان تخصیص جهت [۱۱].

۲-۲-۲- الگوریتم Harris

یکی از روش‌های استخراج عوارض نقطه‌ای (گوشه) استفاده از الگوریتم Harris می‌باشد. با فرض استفاده از درجه خاکستری دو بعدی تصویر اگر تصویر با I نمایش داده شود و قاب تصویر به مرکز (u,v) به اندازه (x,y) جابه‌جا شود آنگاه:

$$S(x,y) = \sum_u \sum_v w(u,v) (I(u+x,v+y) - I(u,v))^2 \quad (1)$$

$I(u+x,v+y)$ با بسط تیلور به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$I(u+x,v+y) \approx I(u,v) + I_x(u,v)x + I_y(u,v)y \quad (2)$$

بنابراین S به صورت معادله (۳) تخمین زده می‌شود.

$$S(x,y) \approx \sum_u \sum_v w(u,v) (I_x(u,v)x + I_y(u,v)y)^2 \quad (3)$$

S را می‌توان به صورت ماتریسی معادله (۴) نوشت.

$$S(x,y) = \begin{pmatrix} x & y \end{pmatrix} A \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (4)$$

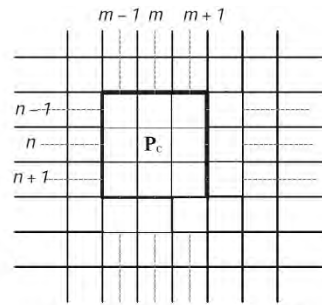
که A به صورت معادله (۵) تعریف می‌شود.

$$A = \sum_u \sum_v w(u,v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \langle I_x^2 \rangle & \langle I_x I_y \rangle \\ \langle I_x I_y \rangle & \langle I_y^2 \rangle \end{bmatrix} \quad (5)$$

به ماتریس A ماتریس Harris گفته می‌شود. از آنجایی که محاسبه مقادیر ویژه ماتریس A پیچیده است، می‌توان بجای آن مقدار M_c را محاسبه کرد.

$$M_c = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \det(A) - k \text{trace}^2(A) \quad (6)$$

^۱ stream



شکل ۱- نمایش پیکسل مرکزی به همراه پنجره همسایگی

مواجهه است که موجب مختل شدن فرآیند محاسبه ضریب همبستگی خطی در نواحی پنجره‌ای می‌شود. در استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر ضریب همبستگی خطی باید دو شرط تأمین شود، اول اینکه هر یک از دو تصویر استریو باید تا حدی دارای محتوای اطلاعاتی باشند که بتوان برجستگی‌ها را بازسازی کرد و دوم اینکه دو تصویر استریو نباید اختلاف زیادی داشته باشند وگرنه فرآیند محاسبه ضریب همبستگی خطی بین دو تصویر با شکست مواجه خواهد شد. روش‌های مبتنی بر ضریب همبستگی خطی ممکن است در تصاویر اپتیکی خوب نتیجه بدهد ولی از آنجایی که تصویربرداری SAR الزاماً شرط دوم ذکر شده در بالا را تضمین نمی‌کند بنابراین ممکن است در بسیاری از شرایط روش محاسبه ضریب همبستگی خطی در نواحی پنجره‌ای در تناظریابی تصاویر SAR جواب دلخواه را ندهد. برای بهبود نتایج بدست آمده از روش‌های بر پایه محاسبه ضریب همبستگی خطی از روش Optimal Gradient Matching (OGM) استفاده می‌کنیم [۱۴]. در روش OGM یک اپراتور گرادیان بهینه خطی روی تصاویر اعمال می‌شود. این اپراتور نسبت به کاهش نویز بهینه است و ساختار تصویر ناشی از برجستگی‌ها را بخوبی بهبود می‌بخشد. در پردازش روی تصاویر SAR باید از اپراتورهایی استفاده شود که حساسیت آن‌ها به نویز کم باشد. در حالت یک بعدی اگر $F(x)$ فیلتر ما باشد:

$$F(x) = -Ce^{-\alpha|x|} \times \sinh(\omega x) \quad (8)$$

آنگاه دامنه گرادیان تابع $I(x)$ از کانولوشن سیگنال ورودی $I(x)$ و فیلتر $F(x)$ حاصل می‌شود. لبه‌ها در ماکزیمم نتیجه کانولوشن^۱ زیر اتفاق می‌افتد:

$$O(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(x)f(x_0 - x) dx \quad (9)$$

می‌توان این روابط را برای حالت دو بعدی تعمیم داد. ماسک‌های $X(i,j)$ و $Y(i,j)$ در تصویر ورودی $I(X,Y)$ کانولو می‌شوند و $I_x(i,j)$ و $I_y(i,j)$ حاصل می‌شوند. دامنه تصویر گرادیان را با $A(i,j)$ و جهت گرادیان را با $D(i,j)$ نشان داده می‌شود.

پیکسل مرکزی P_c در موقعیت (m,n) با هر پیکسل P در پنجره بجز با خودش مقایسه می‌شود. نتیجه هر مقایسه متناسب به اینکه مقدار پیکسل P از مقدار پیکسل مرکزی P_c در پنجره بیشتر باشد یا کمتر در آن بیت عدد صفر یا یک قرار داده می‌شود. فرض می‌شود این نوار از بیت‌ها بدین صورت مرتب شوند که به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین پنجره مرتب می‌شوند. تبدیل Census را با T نمایش می‌دهیم برای پیکسل P در تصویر I بدین صورت تعریف می‌شود:

$$T[I, P_c] = \otimes_{p \in W(P_c, \beta)} \zeta(I, P_c, P) \quad (7)$$

که I تصویر ورودی با مقادیر اسکالر برای پیکسل‌ها معرفی می‌شود، P_c پیکسل مرکزی، \otimes اپراتور دسته بیت‌ها، $W(P_c, \beta)$ نیز پیکسل محلی همسایگی اطراف پیکسل P_c با فاصله شعاعی β و پیکسل‌های درون پنجره W می‌باشند که $I(P)$ مقدار اسکالر پیکسل P در تصویر I می‌باشد. از ویژگی‌های مهم روش‌های غیرپارامتریک استحکام آنها به نویز و اعوجاجات محلی تصویر می‌باشد از این رو می‌توان اطلاعات سیگنال ورودی که از نویز تاثیر گرفته باشد را با استفاده از تبدیل Census بصورت روابط متقابل همسایگی محلی منعکس کرد. نوار بیت‌های خروجی می‌تواند ویژگی‌های آماری متفاوتی از سیگنال ورودی داشته باشد [۴].

۲-۳-۳- روش OGM

دو مشکل اصلی که ما در تناظریابی تصاویر SAR با آن مواجه‌ایم نویز اسپیکل و تفاوت زیاد دو تصویر ناشی از اختلاف در زاویه پهلونگر سنجنده در لحظه اخذ تصویر از منطقه است. این در حالی است که تصویر SAR علاوه بر دو مشکل ذکر شده با همپوشانی، سایه و کوتاه‌شدگی نیز

^۱ convolution

در این رابطه ρ ضریب همبستگی میان پنجره‌های A و B است. \bar{A} و \bar{B} میانگین درجات خاکستری پنجره‌های A و B است [۲۴]. لازم به یادآوری است که پنجره‌های تصویری A و B در واقع همان پنجره‌های تصویری اولیه هستند که اپراتور گرادیان بهینه خطی روی آنها اعمال شده است. بنابراین با توجه به مقادیر بدست آمده برای ضریب همبستگی خطی میان جایگشت‌های مختلف از پنجره‌های تصویری متعلق به عوارض، برای تعدادی از عوارض نقطه‌ای تصویر اول تعدادی از عوارض نقطه‌ای تصویر دوم متناظر می‌شوند.

۲-۵- تناظریابی سراسری

بزرگترین ایراد استراتژی تناظریابی محلی اینست که زمانی از این روش استفاده می‌شود ممکن است نقطه‌ای کاندید در همسایگی نقطه Z تصویر دوم به اشتباه بجای نقطه Z با نقطه i از تصویر اول متناظر شود و در ادامه هم نقطه i تصویر اول و هم نقطه Z تصویر دوم این شانس را که با نقطه مناسب متناظر شوند را از دست می‌دهند. علت این اتفاق اینست، از آنجایی که نقطه‌ای که به اشتباه انتخاب می‌شود و نقطه هدف که در همسایگی هم قرار دارند، احتمالاً دارای توصیفگر، تعامل همسایگی و شرایط نوری و هندسی مشابهی با هم هستند و به علت وجود نویز، خطای هندسی و ضعف در الگوریتم تناظریابی بجای هم به اشتباه انتخاب می‌شوند. در این راستا می‌توان از روش تناظریابی سراسری بهره برد که بطور همزمان ارتباط سایر نقاط کاندید را هم در نظر بگیرد، تا این مشکل تا حد امکان برطرف شود. در تناظریابی سراسری نقاط کاندید $\{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ در تصویر اول با نقاط کاندید $\{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ در تصویر دوم بطور همزمان متناظر می‌شوند. در این استراتژی هر نقطه کاندید i از تصویر اول با احتمال Pz با نقطه Z از تصویر دوم متناظر می‌شود، بنابراین نقطه‌ای که به اشتباه در شرایط تناظریابی محلی در شرایط بهتری نسبت به نقطه هدف قرار داشته تنها گزینه انتخاب شده نیست بلکه نقطه هدف نیز با یک درصد احتمال باز این شانس را دارد که انتخاب شود [۱۳]. در این روش تمامی حالات انتخاب میان نقاط i و j بررسی می‌شود و حالتی انتخاب خواهد شد که درصد احتمال متناظر شدن کل مجموعه حداکثر شود، بنابراین

$$A(i, j) = \sqrt{Ix(i, j)^2 + Iy(i, j)^2} \quad (10)$$

$$D(i, j) = \tan^{-1}\left(\frac{Ix(i, j)}{Iy(i, j)}\right) \quad (11)$$

این فرآیند تا حد زیادی نویز اسپیکل را کاهش می‌دهد و ساختار تصویری را بهبود می‌بخشد. در اینجا علاوه بر اینکه لبه‌ها استخراج می‌شوند، بطور همزمان تصویر نرم می‌شود تا نویز کاهش بیابد. بنابراین در صورتی که این گرادیان بهینه خطی بروی پنجره تصویری اطراف عارضه اعمال شود می‌تواند پنجره تصویری را به عنوان یک توصیفگر خوب برای عارضه وارد عملیات تناظریابی نماید [۱۴].

$$\rho = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad (12)$$

۲-۴- تناظریابی محلی

در تناظریابی محلی می‌توان دو استراتژی جهت متناظر کردن نقاط کاندید به کار برد. حالت اول تناظریابی محلی^۱ و حالت دوم تناظریابی سراسری^۲ است. در تناظریابی محلی عارضه نقطه‌ای کاندید i در تصویر اول با یکی از عارضه‌های نقطه‌ای کاندید j از تصویر دوم متناظر می‌شود. این کار برای سایر نقاط دو تصویر صورت می‌گیرد به طوری که تک تک نقاط کاندید تصویر اول با نقاط کاندید تصویر دوم به صورت جداگانه از نظر شباهت بررسی می‌شوند. در این روش هر عارضه نقطه‌ای i از تصویر اول یا با عارضه نقطه‌ای j از تصویر دوم متناظر هست یا متناظر نیست، بنابراین دو انتخاب بیشتر وجود ندارد. اغلب در بحث تناظریابی تصاویر از این استراتژی استفاده می‌شود. در این مرحله بر اساس معیار اندازه‌گیری ضریب همبستگی خطی میزان شباهت میان عوارض بصورت محلی بررسی می‌شود (توصیفگر می‌تواند بجز پنجره تصویری حول عارضه یک دسته بیت و یا یک عدد اسکالر نیز باشد). طبق رابطه (۱۲) میان پنجره‌های تصویری حول عوارض کاندید، معیار شباهت محاسبه می‌شود. بیشترین مقدار برای ضریب همبستگی خطی به دست آمده تعیین کننده بیشترین میزان شباهت است.

^۱ local matching

^۲ global matching

حتی اگر بصورت محلی نقطه‌ای به اشتباه بجای نقطه‌ای در همسایگی با نقطه‌ای از تصویر دیگر متناظر شود باعث کم شدن درصد احتمال کل مجموعه خواهد شد. برای تسریع در انجام پردازش می‌توان از روش‌های بهینه سازی هوشمند مانند الگوریتم ژنتیک جهت رسیدن به جایگشت بهینه بهره برد. در اینجا این مرحله بعد از انجام تناظریابی محلی و جهت بهبود آن اجرا می‌شود.

۳- پیاده سازی روش پیشنهادی

در این مرحله ابتدا داده‌های ورودی جهت انجام آزمایش معرفی می‌شوند. در ادامه مدل پیشنهادی معرفی و اجرا می‌شود. سپس آزمایش‌ها بروی تصاویر انجام می‌شوند.

۳-۱- داده‌های ورودی

در این تحقیق از سه تصویر سنجنده TerraSAR-X استفاده شده است. از زوج تصویر A و B با طول باز ۱۳۷ متر به عنوان زوج با طول باز کوتاه و زوج تصویر A و C با طول باز ۲۲۰۰ متر به عنوان زوج تصویر با طول باز بلند استفاده شده است. این تصاویر مربوط به منطقه جم از استان بوشهر به مساحت تقریبی ۴۲ کیلومتر مربع می‌باشند که در تاریخ‌های مختلفی اخذ شده‌اند. مشخصات کامل تصاویر در جدول شماره ۱ آورده شده است. تصاویر در شکل‌های (۲) تا (۴) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به تصاویر در منطقه جم

A	B	C	تصاویر
۲۰۱۱/۰۴/۱۷	۲۰۱۱/۰۴/۲۸	۲۰۱۲/۰۴/۳۰	تاریخ اخذ
DESCENDING	DESCENDING	DESCENDING	جهت مدار
Spotlight	Spotlight	Spotlight	نوع تصویر
SSC	SSC	SSC	نوع پردازش



شکل ۲- تصویر master از منطقه جم استان بوشهر



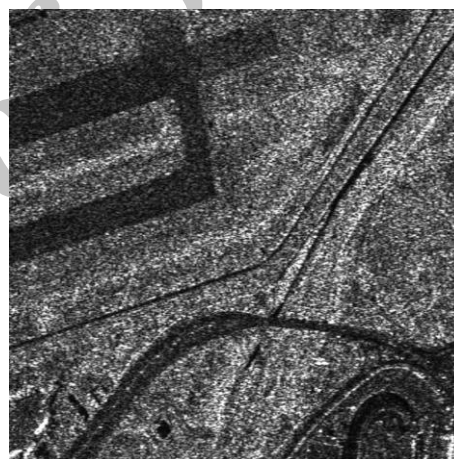
شکل ۳- تصویر slave از منطقه جم استان بوشهر با طول باز کوتاه



شکل ۴- تصویر slave از منطقه جم استان بوشهر با طول باز بلند

شده است. این قسمت از تصاویر در شکل (۵) و (۶) نمایش داده شده‌اند.

برای پیاده سازی روش پیشنهادی از قسمتی از زوج تصویر A و C به ابعاد 700×700 پیکسل و قسمتی از زوج تصویر A و B به ابعاد 400×400 پیکسل استفاده



شکل ۵- تصویر سمت چپ قسمتی از تصویر master و تصویر سمت راست قسمتی از تصویر slave با طول باز بلند از منطقه جم



شکل ۶- تصویر سمت چپ قسمتی از تصویر master و تصویر سمت راست قسمتی از تصویر slave با طول باز کوتاه از منطقه جم

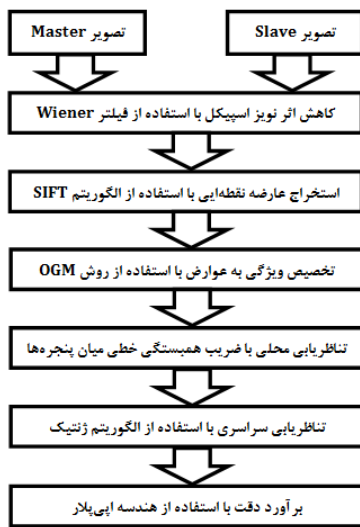
$$(x - X_i)X_i + (y - Y_i)Y_i + (z - Z_i)Z_i = 0 \quad (14)$$

$$\frac{(x^2 + y^2)}{(a+h)^2} + \frac{(z^2)}{(b+h)^2} = 1 \quad (15)$$

در شکل ۷ ترتیب اجرای مدل پیشنهادی نمایش داده شده است.

۳-۳- نتایج آزمایش

در جداول شماره ۲ و ۳ نتایج حاصل از روش چند مرحله‌ای پیشنهادی نمایش داده شده است. همچنین روش چند مرحله‌ای پیشنهادی با همان روش چند مرحله‌ای زمانی که از سایر الگوریتم‌ها در آن استفاده شده است، مقایسه می‌شود. معیار ارزیابی دقت در این آزمایش‌ها میانگین قدر مطلق فاصله نقاط متناظر از خط اپی‌پلار برای نقاطی است که با دقت زیر چهار پیکسل متناظر شده‌اند.



شکل ۷- ترتیب اجرای مدل پیشنهادی

معمولا از تصاویر با طول باز بلند برای اهداف رادارگرامتری^۱ و از تصاویر با طول باز کوتاه برای اهداف اینترفرومتری^۲ استفاده می‌شود.

۳-۲- اجرای مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی جهت انجام تناظریابی ترکیبی تصاویر SAR یک روش چند مرحله‌ای می‌باشد که به ترتیب بیان خواهد شد. در این روش ترکیبی ابتدا با استفاده از یک فیلتر کاهنده نویز اسپیکل تا حد امکان اثر نویز اسپیکل را از روی تصویر بر می‌داریم. جهت کاهش نویز اسپیکل از فیلتر وینر استفاده شده است. سپس با استفاده از یک الگوریتم استخراج عارضه، عوارض نقطه‌ای به عنوان عوارض کاندید در تصاویر استخراج می‌شوند. برای استخراج عارضه از الگوریتم SIFT کمک گرفته شده است. مرحله بعد این روش ترکیبی تعریف توصیفگر است که بر اساس این توصیفگر مقایسه بین عوارض صورت می‌گیرد. در اینجا از پنجره‌های تصویری عوارض که بر روی آنها اپراتور گرادیان بهینه خطی اعمال شده است بعنوان توصیفگر استفاده شده است. در ادامه از استراتژی تناظریابی محلی برای پیدا کردن نقاط متناظر استفاده می‌شود. معیار شباهت میان عوارض مقدار بیشتر بدست آمده برای ضریب همبستگی خطی میان پنجره‌های تصویری است. در پایان نیز با استفاده از استراتژی تناظریابی سراسری نتایج بدست آمده از تناظریابی محلی تا حدی بهبود داده می‌شود. برای انجام بهینه این مرحله از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. روش مورد استفاده جهت بررسی دقت، بدست آوردن معادله خط اپی‌پلار تصاویر master و slave با استفاده از معادلات ۱۳ تا ۱۵ و پارامترهای مداری است. با استفاده از این معادلات می‌توان برای عارضه نقطه‌ای تصویر اول، خط اپی‌پلار متناظر در تصویر دوم را بدست آورد و با مقایسه Y محاسباتی و مشاهداتی عارضه نقطه‌ای متناظر شده تصویر دوم به بررسی دقت تناظریابی پرداخت. در زیر معادلات ۱۳ تا ۱۵ نشان داده شده است [Y].

$$(x - X_i)^2 + (y - Y_i)^2 + (z - Z_i)^2 = r_i^2 \quad (13)$$

^۱ radargrammetry

^۲ interferometry

جدول ۲- نتایج حاصل از روش پیشنهادی و سایر روش‌ها بر روی تصاویر بازه بلند

الگوریتم‌های مورد استفاده در روش چند مرحله‌ای	تعداد نقاط استخراج شده در تصویر چپ	تعداد نقاط استخراج شده در تصویر راست	تعداد نقاط شده در تصویر راست	تعداد نقاط متناظر شده با دقت زیر ۴ پیکسل	تعداد نقاط متناظر شده با دقت زیر ۱ پیکسل	میانگین قدر مطلق فاصله نقاط متناظر از خط اپی پلار (پیکسل)
روش چند مرحله‌ای پیشنهادی	۲۰۴۸	۳۵۰۶	۲۱۱	۵۲	۱,۹۰	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم استخراج عارضه Harris	۲۲۵۶	۳۸۲۰	۲۷۵	۶۷	۱,۹۱	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم SIFT جهت تخصیص ویژگی	۲۰۴۸	۳۵۰۶	۴۰	۱۳	۱,۶۲	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم Census جهت تخصیص ویژگی	۲۰۴۸	۳۵۰۶	۸۴	۲۴	۱,۸۶	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم Rank جهت تخصیص ویژگی	۲۰۴۸	۳۵۰۶	۸۹	۱۷	۲,۱۶	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از پنجره تصویری اولیه جهت تخصیص ویژگی	۲۰۴۸	۳۵۰۶	۱۷۳	۴۳	۱,۸۶	

جدول ۳- نتایج حاصل از روش پیشنهادی و سایر روش‌ها بر روی تصاویر بازه کوتاه

الگوریتم‌های مورد استفاده در روش چند مرحله‌ای	تعداد نقاط استخراج شده در تصویر چپ	تعداد نقاط استخراج شده در تصویر راست	تعداد نقاط شده در تصویر راست	تعداد نقاط متناظر شده با دقت زیر ۴ پیکسل	تعداد نقاط متناظر شده با دقت زیر ۱ پیکسل	میانگین قدر مطلق فاصله نقاط متناظر از خط اپی پلار (پیکسل)
روش چند مرحله‌ای پیشنهادی	۳۳۲۰	۳۰۸۵	۱۶۰۳	۸۵۷	۱,۲۲	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم استخراج عارضه Harris	۱۵۳۷	۲۰۸۶	۵۸۴	۱۸۹	۱,۶۵	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم SIFT جهت تخصیص ویژگی	۳۳۲۰	۳۰۸۵	۳۸۳	۲۹۳	۰,۷۵	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم Census جهت تخصیص ویژگی	۳۳۲۰	۳۰۸۵	۹۶	۲۲	۲,۰۲	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از الگوریتم Rank جهت تخصیص ویژگی	۳۳۲۰	۳۰۸۵	۱۲۶	۲۸	۲	
روش چند مرحله‌ای با استفاده از پنجره تصویری اولیه جهت تخصیص ویژگی	۳۳۲۰	۳۰۸۵	۱۴۲۶	۸۵۴	۱,۰۷	

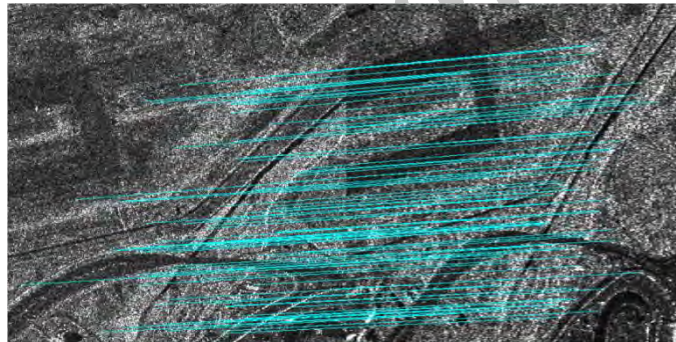
شود، از الگوریتم Harris بیشتر است. قابل ذکر است که نتایج حاصل از استفاده از الگوریتم Harris نیز قابل قبول است. در این حالت نیز مشابه با مورد قبل حالت صحیح‌تر این است که مقادیر بهینه برای این مقادیر به دست بیاید سپس مقایسه میان عملکرد این دو الگوریتم بر روی تصاویر باز کوتاه ارزیابی شود.

توصیفگرهای ناحیه‌ای پنجره تصویری اولیه و پنجره تصویری OGM عملکرد بهتری نسبت به توصیفگرهای غیرناحیه‌ای SIFT, Rank و Census دارند. با استفاده از توصیفگرهای ناحیه‌ای حداقل می‌توان سه برابر زمانی که از توصیفگرهای غیر ناحیه‌ای استفاده می‌شود عارضه نقطه‌ای متناظر کرد. توصیفگر OGM از میان توصیفگرهای مورد آزمایش نتایج بهتری را به همراه دارد. استفاده از این توصیفگر در تناظریابی تصاویر با طول باز بلند حدود ۱۸٪ در تعداد متناظر کردن

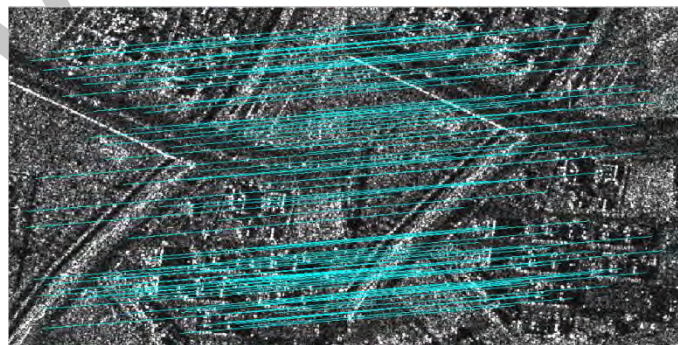
تعداد نقاط متناظر شده زمانی که از الگوریتم Harris برای استخراج عوارض نقطه‌ای تصاویر با طول باز بلند استفاده شده است، نسبت به SIFT بیشتر است. این در حالی است که متناسب با تعداد نقاط استخراج شده توسط الگوریتم SIFT در این تصاویر، تعداد قابل قبولی عارضه نقطه‌ای با استفاده از این روش متناظر شده‌اند. البته نتایج به دست آمده در این آزمون تا حد زیادی به پارامترهای تنظیم ورودی این دو الگوریتم بستگی دارد. در الگوریتم SIFT پارامتر میزان آستانه‌ی قدر مطلق تابع DoG و در الگوریتم Harris پارامتر میزان حساسیت k به عنوان پارامتر ورودی در نظر گرفته می‌شوند. شاید مقایسه صحیح میان این دو الگوریتم زمانی باشد که مقادیر بهینه برای این پارامترهای ورودی در نظر گرفته شود. تعداد نقاط متناظر در تناظریابی بر روی تصاویر با طول باز کوتاه زمانی که از الگوریتم استخراج عارضه SIFT استفاده می-

عوارض نقطه‌ای استخراج شده بهتر از توصیفگر پنجره تصویری اولیه می‌باشد. همچنین این توصیفگر چندین برابر نتایج مطلوب‌تری نسبت به توصیفگرهای غیر ناحیه‌ای داشته است. همچنین در تناظریابی تصاویر با طول باز کوتاه، تعداد نقاط متناظر شده با استفاده از این توصیفگر به اندازه ۱۱٪ بیشتر از توصیفگر پنجره تصویری اولیه می‌باشد. این در حالی است که در تصاویر با طول باز کوتاه استفاده از توصیفگر پنجره تصویری OGM مشابه با حالت تناظریابی در تصاویر با طول باز بلند چندین برابر بهتر از توصیفگرهای غیر ناحیه‌ای عمل کرده است. علت برتری توصیفگر OGM می‌تواند بدین دلیل باشد که در این روش فیلتر بهینه‌ای روی پنجره تصویری اعمال می‌شود که باعث بازسازی برجستگی‌ها و لبه‌های تصویر می‌شود و در عین حال نویز اسپیکل را کاهش می‌دهد. انجام این فرآیند بدون از دست رفتن اطلاعات با فرکانس بالا می‌باشد. این اطلاعات اضافی در پنجره تصویری OGM می‌تواند به تشخیص عوارض استخراج شده متشابه کمک کند.

از آنجا که دقت تناظریابی در روش‌های عارضه مبنا تا حد زیادی وابسته به مشابه بودن نقاط استخراج شده در جفت تصویر می‌باشد، بنابراین مهم‌ترین عامل بالا بودن دقت تناظریابی عملکرد مناسب الگوریتم استخراج عارضه می‌باشد. در این آزمون نیز دقت تناظریابی با استفاده از تمام توصیفگرها نسبتاً یکسان است زیرا در تمامی حالات از الگوریتم SIFT جهت استخراج عارضه استفاده شده است. این در حالی است که دقت تناظریابی در صورت استفاده از توصیفگرهای ناحیه‌ای اندکی بهتر است که می‌تواند ناشی از متناظر تشخیص دادن عوارض با دقت بالاتر از میان عوارض استخراج شده باشد در حالی که این تعداد از عوارض توسط توصیفگرهای غیر ناحیه‌ای تشخیص داده نشده‌اند. با افزایش طول باز جفت تصویر استریو SAR، تناظریابی این تصاویر به مراتب پیچیده می‌شود. به همین ترتیب با کاهش طول باز تصاویر، تناظریابی نتایج بهتری به همراه دارد. این بهبود در نتایج در تعداد نقاط متناظر و دقت تناظریابی نمود می‌کند.



شکل ۸- نمایش بخشی از نقاط متناظر شده با استفاده از مدل پیشنهادی بروی تصاویر باز بلند



شکل ۹- نمایش بخشی از نقاط متناظر شده با استفاده از مدل پیشنهادی بروی تصاویر باز کوتاه

تناظریابی در تصاویر SAR پی برد. تناظریابی در این تصاویر به علت وجود پدیده‌های گوناگون هندسی از جمله سایه، همپوشانی و کوتاه‌شدگی در کنار نویزهای مختلف که مهم‌ترین آنها نویز اسپیکل می‌باشد، به مراتب پیچیده-

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به کاربردهای فراوان تصاویر SAR در تولید مدل رقومی زمین می‌توان به میزان اهمیت بحث

روش OGM به نقاط استخراج شده ویژگی تخصیص داده می‌شود. با استفاده از تناظریابی محلی و تناظریابی سراسری نهایتاً نقاطی متناظر میان تصاویر مشخص می‌شوند. در این مقاله روش چند مرحله‌ای پیشنهادی با همان روش چند مرحله‌ای زمانی که از سایر الگوریتم‌ها در آن استفاده شده است، مقایسه می‌شود.

روش پیشنهادی تعداد ۲۱۱ نقطه با دقت ۱،۹ پیکسل را برای تصاویر مورد آزمایش با طول باز بلند و تعداد ۱۶۰۳ نقطه با دقت ۱،۲۲ پیکسل را برای تصاویر مورد آزمایش با طول باز کوتاه متناظر می‌کند.

در این روش برای تصاویر باز بلند حدود ۲۵٪ و برای تصاویر باز کوتاه حدود ۵۳٪ از نقاط متناظر شده با دقت بهتر از یک پیکسل می‌باشند. از این روش جهت coarse matching می‌توان استفاده نمود. برای fine matching انجام تناظریابی کمترین مربعات بروی نقاط متناظر پیشنهاد می‌شود.

تر از تناظریابی در تصاویر اپتیکی است. از آنجا که برای رسیدن به اهداف اینترفرومتری و رادارگرامتری (و سایر کاربردها مانند کشف تغییرات، تلفیق اطلاعات و غیره) نیاز به انجام تناظریابی با کیفیت بالا است، اهمیت مطالعه در این مورد بیشتر آشکار می‌شود. ارائه یک روش کارآمد در متناظر کردن نقاط در جفت تصویر SAR می‌تواند منجر به نتایج خوب در محصولات اینترفرومتری و رادارگرامتری شود. در این مقاله یک روش چند مرحله‌ای پیشنهاد شد. این روش چند مرحله‌ای پیشنهادی بر روی دو سری جفت تصویر SAR با طول باز بلند و کوتاه آزمایش شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که روش چند مرحله‌ای پیشنهادی با دقت بالا، تعداد به نسبت مطلوبی عارضه نقطه‌ای در دو تصویر متناظر می‌کند. این روش پیشنهادی شامل چند مرحله می‌باشد. در این روش ابتدا با استفاده از فیلتر وینر اثر نویز اسپیکل را بروی تصاویر کاهش داده می‌شود. سپس با استفاده از الگوریتم استخراج عارضه SIFT نقاطی در سطح تصاویر استخراج می‌شود. در ادامه با استفاده از

مراجع

- [1] B.Pan, P.Chen, M.Cong, " A New Approach on Topographic Feature Point Extraction of SAR Imagery ", IEEE, (2010).
- [2] B.Cyganek, J.P.Siebert, " An Introduction to 3D Computer Vision Techniques and Algorithms ", pp.209-216, (2009).
- [3] B.Tso, P.Mather " Classification Methods for Remotely Sensed Data " (2nd ed), CRC Presst, pp. 37–38. ISBN 1-4200-9072-0, (2009).
- [4] Buergmann, P.A.Rosen, E.J.Fielding " Synthetic Radar Interferometry to measure earths surface topography and its deformation ", Annu.Rev.Earth Planet. Sci, 28:169-209, (2000).
- [5] C.Harris, M.Stephens, " A combined corner and edge detector ", Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. pp. 147–151, (1988).
- [6] F.Fayard, S.Meric, and E. Pottier, " Generation of DEM by radargrammetric techniques ", in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International, pp. 4342-4345, (2010).
- [7] F.Fayard, S.Meric, E.Pottier, "Generation of DEM by radargrammetric techniques", in Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), IEEE International, pp. 4342-4345, (2010).
- [8] F.Tupin, J.M.Nicolas, " Matching criteria for radargrammetry ", in Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. IEEE International, x pp. 2608-2610, (2010).
- [9] G.Franceschetti and R.Lanari, " Synthetic aperture radar processing- Electronic engineering systems series ", CRC Press, pp. 145 et seq.. ISBN 0-8493-7899-0, (1999).
- [10] Gonzalez, R.H.Woods, " Digital Image Processing ", 2nd ed., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, (2002).
- [11] Lowe, " Distinctive image features from scale-invariant key points ", International Journal of Computer Vision, (2004).

- [12] M.Gelautz, G.Jakob, G.paar, F.Leberl, " Automated Matching Experiment with Different Kind of SAR Imagery ", IEEE, (1996).
- [13] M.Liao, H.Lin, Z. Zhang, " Automatic registration of InSAR data based on Least-square matching and multi-step strategy ", Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 70, pp. 1139-1144, (2004).
- [14] P.Pailou and M.Gelautz, " Relief reconstruction from SAR stereo pairs: the "optimal gradient" matching method ", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 37, pp. 2099-2107, (1999).
- [15] P.Capaldo, M.Crepsi, F.Fratacangli, A.Nascetti, F.Pieralice, " DSM Generation From High Resolution Cosmo-Skymed Imagery With Radargrammetri Model ", Area Geodesy Geomatica-DICEA, University Rome, Italy, (2010).
- [16] P.Capaldo, M.Crepsi, F.Fratacangli, A.Nascetti, F.Pieralice, " Radargrammetric Digital Surface Models Generation From TerraSAR-X Imagary: Case study, Problems, Potentialities ", ISPRS Congress, vol.19.no.12, (2012).
- [17] R.G.Caves, P.J.Harley, S.Quegan, " Matching map features to synthetic aperture radar (SAR) images using template matching ", Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, vol. 30, pp. 680-685, (1992).
- [18] S.Meric, F.Fayard, E.Pottier, " A Multi Window Approach for Radargrammetry Improvements ", IEEE, Geoscience and Remote Sensing , vol.49.no.10, (2011).
- [19] T.Blaze, X.He, L.Zhang, M.Liao, " Direct Stereo Radargrammetric Processing Using Massively Parallel Processing ", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 79, 137-146, (2013).
- [20] T.Blaze, X.He, L.Zhang, M.Liao, " TerraSAR-X Stereo Radargrammetry For Precise DEM Generation In South-East-Asia ", Stase key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, China, (2010).
- [21] X.He, T.Blaze, L.Zhang, M.Liao, " Stereo Radargrammetry In South-East-Asia Using TerraSAR-X Stripmap Data ", Stase key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, China, (2010).

[۲۲] قنادی.م.ا، سعادت سرشت.م، ۱۳۹۲، " ارائه روشی عارضه مبنا براساس مفاهیم کامپیوتر بینایی جهت انجام تناظرایی تصاویر SAR " مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۹۲، سازمان نقشه برداری کشور، تهران.

[۲۳] فروزانفر.م، ابریشمی مقدم.ح، دهقانی.م، ۱۳۸۷، " ارائه یک روش جدید و موثر به منظور بهبود کیفیت تصاویر SAR بر مبنای استخراج وابستگی‌های بین مقیاسی در حوزه موجک "، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ایران.

[۲۴] نعمت الهی.ن، ۱۳۸۴، " آمار و احتمالات مهندسی "، چاپ پنجم، دانشگاه علامه طباطبایی.