

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک  
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات سیستم

عنوان پایان نامه ارشد  
ثبت خودکار تصاویر رادار روزنه مصنوعی بر روی تصاویر مرئی

نگارنده : سوسن غلامی

استاد راهنما :

دکتر علیرضا احمدی فرد

بهمن ۱۳۹۶

شماره ۱۸۳۶، ۲۰۲۰  
تاریخ: ۹۲/۱۱/۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای سوسن غلامی با شماره دانشجویی ۹۴۱۳۰۴۴ رشته مهندسی برق- مخابرات گرایش سیستم تحت عنوان: ثبت خودکار تصاویر رادار روزنه مصنوعی بر روی تصاویر مرئی که در تاریخ ۱۳۹۶/۱۱/۰۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: <u>خیلی خوب</u> )	<input checked="" type="checkbox"/>	مردود	<input type="checkbox"/>
نوع تحقیق:	<input checked="" type="checkbox"/> نظری	<input type="checkbox"/> عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	علیه الاحمدی	رئیس	
۲- استاد راهنمای دوم	—	—	—
۳- استاد مشاور	—	—	—
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	صدیق جلالی	استاد	
۵- استاد ممتحن اول	محمد مراد	دانشیار	
۶- استاد ممتحن دوم	محمد حسینی		

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تیمبره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

## تقدیم

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پرمهر پدرم.

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان زیبای مادرم.

به پناه خستگی و امید بودنم، همسر عزیزم.

بوسه بر دستان پرمهرتان.

## تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم.  
از استاد فرزانه؛ جناب آقای دکتر علیرضا احمدی فرد که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛

و پدر و مادر عزیزم که با دعای خیرشان همواره مرا مورد لطف و رحمت خود قرار داده اند؛

و همسر مهربانم که در تمام طول تحصیل همراه و همگام من بوده است؛

کمال تشکر و قدردانی را دارم

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب سوسن غلامی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق\_مخابرات دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ثبت خودکار تصاویر رادار روزنه مصنوعی بر روی تصاویر مرئی تحت راهنمایی دکتر علیرضا احمدی فرد متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

### تاریخ

### امضای دانشجو

## مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده:

ثبت تصاویر، روشی برای یافتن نقاط متناظر بین دو تصویر یا چندتصویر از یک صحنه است که از زاویه دیدهای مختلف یا در زمان‌های متفاوت گرفته شده و یا با استفاده از سنسورهای متنوع اخذ گردیده است. منظور از ثبت دو تصویر انطباق نظیر به نظیر نقاط تصویر است. یکی از اهداف تطابق دو تصویر اخذ شده توسط سنسورهای مختلف، استفاده از اطلاعات همزمان این تصاویر است. به‌عنوان نمونه چنانچه امکان استفاده از سیستم موقعیت یاب (مثلاً GPS) وجود نداشته باشد، با استفاده از تصویر نوری موقعیت تصویر SAR را می‌توان در نقشه‌های جغرافیایی تشخیص داد.

ویژگی‌های هندسی و مشخصه‌های رادیومتری متفاوت دو تصویر و همچنین وجود نویز قوی دانه ای در تصاویر راداری باعث می‌شود عملیات ثبت دو تصویر بسیار دشوار گردد. بدین منظور ابتدا تصاویر SAR حذف نویز می‌شوند و سپس خطوط مستقیم هر دو تصویر استخراج می‌گردند. برای استخراج خطوط ابتدا تصویر لبه یابی شده و بعد از آن با استفاده از تبدیل رادون خطوط بدست می‌آیند. خطوط بدست آمده به کمک این تبدیل بسیار دقیق تر از تبدیل هاف و LSD می‌باشد. سپس حول نقطه تلاقی هر دو خط، یک سلول ورونوی تعریف می‌گردد. این سلول، ناحیه ای از تصویر است که کمترین فاصله را تا نقطه مرکزی نسبت به سایر نقاط تلاقی دارد. با محاسبه فاصله هاسدورف سلول های ورونوی و روش بردارهای ویژه که بر مبنای فاصله اقلیدسی ویژگی های آن است، روشی برای تطابق دو تصویر پیشنهاد می‌کنیم.

روش پیشنهادی توانسته است نقاط ویژگی استخراج شده از دو تصویر را به خوبی با یکدیگر تطبیق و در نتیجه ی آن دو تصویر را نسبت به هم ثبت کند.

کلمات کلیدی:

ثبت تصاویر، تبدیل رادون، سلول ورونوی، تصویر رادار روزنه مصنوعی

## فهرست مطالب

۱ فصل اول مقدمه	۱
۱-۱ پیشگفتار	۲
۱-۲ صورت مسأله	۲
۱-۳ انگیزه ها و چالش ها	۳
۱-۴ اهداف پایان نامه	۴
۱-۵ ساختار پایان نامه	۵
۲ فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته و تئوری	۷
۲-۱ مقدمه	۸
۲-۲ مروری بر کارهای گذشته	۹
۲-۳ حذف نویز	۱۲
۲-۳-۱ فیلتر گوسی	۱۳
۲-۳-۲ فیلتر لی	۱۳
۲-۴ لبه یابی	۲۰
۲-۴-۱ ویژگی های لبه	۲۰
۲-۴-۲ روش های لبه یابی	۲۱
۲-۵ روش های استخراج خطوط	۳۴
۲-۵-۱ روش تبدیل هاف	۳۴
۲-۵-۲ آشکارسازی پاره خط	۳۸



۴۵	..... ۳-۵-۲ تبدیل رادون
۴۶	..... ۶-۲ سلول های ورونوی
۴۸	..... ۷-۲ فاصله هاسدورف
۴۹	..... ۸-۲ تطابق نقاط
۴۹	..... ۱-۸-۲ تطابق مبتنی بر ویژگی: روش بردارهای ویژه
۵۱	..... ۲-۸-۲ تطابق تصویر نوری به SAR با استخراج خطوط و ورونوی
۵۵	..... ۳ فصل سوم: الگوریتم پیشنهادی
۵۶	..... ۱-۳ مقدمه
۵۶	..... ۲-۳ مراحل الگوریتم پیشنهادی
۵۶	..... ۱-۲-۳ تصویر SAR و نوری
۵۷	..... ۲-۲-۳ حذف نویز با استفاده از فیلتر Lee
۶۰	..... ۳-۲-۳ لبه یابی با استفاده از GGS
۶۵	..... ۴-۲-۳ استخراج خطوط
۶۹	..... ۵-۲-۳ فیلتر کردن خطوط
۷۰	..... ۶-۲-۳ یافتن محل تلاقی خطوط
۷۱	..... ۷-۲-۳ سلول های ورونوی
۷۴	..... ۸-۲-۳ تطابق مبتنی بر ویژگی: روش بردار ویژه
۷۴	..... ۹-۲-۳ تطبیق تصویر هدف با استفاده از ورونوی و فاصله هاسدورف آن ها
۷۵	..... ۱۰-۲-۳ تطبیق تصویر با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

۴ فصل چهارم: نتیجه گیری و کارهای آتی ..... ۷۹

۴-۱ نتیجه گیری ..... ۸۰

۴-۲ کارهای آتی ..... ۸۱

۵ منابع ..... ۸۳

## فهرست شکل ها

- شکل (۱-۲) فیلتر گوسی اعمال شده بر روی تصویر SAR ..... ۱۹
- شکل (۲-۲) فیلتر لی اعمال شده بر روی تصویر SAR ..... ۱۹
- شکل (۳-۲) الف) تصویر SAR با حذف نویز لی. ب) تصویر SAR با حذف نویز گوسی ..... ۲۰
- شکل (۴-۲) الف) مستطیل دو پنجره ب) GGS دو پنجره با چرخش  $\pi/4$  [۱۷] ..... ۲۶
- شکل (۵-۲) الف) مستطیل و ب) GGS دو پنجره در لبه منحنی، که تعداد منحنی ها برابر با منحنی های تابع پنجره است. [۱۷] ..... ۲۸
- شکل (۶-۲) تصاویر SAR و ESMS با استفاده از مستطیل دو پنجره و GGS دو پنجره الف) تصویر کارتونی مصنوعی ب) اندازه تصویر SAR سه دید. ج) ESM مستطیل دو پنجره د) ESM استفاده از GGS دو پنجره. [۱۷] ..... ۲۹
- شکل (۷-۲) مقایسه تاثیر ماکزیمم های غلط در دو EMS با استفاده از مستطیل و GGS دو پنجره الف) EMS مستطیل دو پنجره ب) EMS برای GGS دو پنجره [۱۷] ..... ۲۹
- شکل (۸-۲) الف) تصویر سه نگاهه SAR ب) GT آن [۱۷] ..... ۳۱
- شکل (۹-۲) منحنی ROC لبه یاب با استفاده از مستطیل و GGS دو پنجره الف) سه ب) شش نگاهه تصویر SAR [۱۷] ..... ۳۲
- شکل (۱۰-۲) مقایسه لبه ها سه نگاهه الف) مستطیل ب) GGS شش نگاهه ج) مستطیل د) GGS [۱۷] ..... ۳۳
- شکل (۱۱-۲) تبدیل خط در فضای XY به نقطه در فضای پارامتر. ..... ۳۵
- شکل (۱۲-۲) تبدیل نقطه در فضای XY به خط در فضای پارامتر. ..... ۳۶
- شکل (۱۳-۲) تبدیل چند نقطه در فضای XY به چند خط در فضای پارامتر هاف [۱۹]. ..... ۳۷
- شکل (۱۴-۲) نمایش P و  $\Theta$  از خط مستقیم (هر خط پارامتر مخصوص به خود را دارد). ..... ۳۷
- شکل (۱۵-۲) گرادیان و سطح-خط تصویر [۲۰]. ..... ۳۹

- شکل (۱۶-۲) مناطق حامی خط [۲۰]. ۳۹ .....
- شکل (۱۷-۲) نتایج LSD برای تصویر سمت چپ برای سه مقدار متفاوت  $E=1$  و  $E=0.1$  و  $E=0.01$  [۲۰]. ۴۵ .....
- شکل (۱۸-۲) الف) ناحیه بندی صفحه II با استفاده از دیاگرام ورونوی دو بعدی ب) ناحیه بندی با استفاده از دیاگرام ورونوی در حالت سه بعدی و نحوه تشکیل نیم فضاها پ) چندوجهی محدب حاصل از برخورد نیم فضاها [۲۲]. ۴۸ .....
- شکل (۱۹-۲) الف) الگوریتم مدال الف) ب) دو نگاشت ممکن برای شکل سقف مانند ج) د) دو تا از چهار نگاشت ممکن برای مستطیل ه) مستطیل ناهموار با تخریب اندک و) دو شکل ناهموار که حالتها چون شبیه به هم نیستند منطبق نشدند [۱۱]. ۵۱ .....
- شکل (۱-۳) بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی ۵۷ .....
- شکل (۲-۳) داده ۱ الف) تصویر اصلی SAR ب) تصویر حذف نویز شده SAR با فیلتر لی. ۵۸ .....
- شکل (۳-۳) داده ۲ الف) تصویر اصلی SAR ب) تصویر حذف نویز شده SAR با فیلتر لی. ۵۹ .....
- شکل (۴-۳) لبه یابی داده ۱ SAR با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی ب) با استفاده از توابع مورفولوژی ۶۱ .....
- شکل (۵-۳) لبه یابی داده ۱ تصویر نوری با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی ب) با استفاده از توابع مورفولوژی ۶۲ .....
- شکل (۶-۳) لبه یابی داده ۲ SAR با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی ب) با استفاده از توابع مورفولوژی ۶۳ .....
- شکل (۷-۳) لبه یابی داده ۲ تصویر نوری با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی ب) با استفاده از توابع مورفولوژی ۶۴ .....
- شکل (۸-۳) استخراج خطوط با استفاده از LSD الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR. ۶۵ .....
- شکل (۹-۳) استخراج خطوط با استفاده از تبدیل هاف الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR. ۶۵ .....

- شکل (۱۰-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۱ تصویر SAR ..... ۶۷
- شکل (۱۱-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۱ تصویر نوری ..... ۶۷
- شکل (۱۲-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۲ تصویر SAR ..... ۶۸
- شکل (۱۳-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۲ تصویر نوری ..... ۶۸
- شکل (۱۴-۳) خطوط منتخب از تبدیل رادون مجموعه داده ۱ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR ... ۶۹
- شکل (۱۵-۳) خطوط منتخب از تبدیل رادون مجموعه داده ۲ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR ... ۶۹
- شکل (۱۶-۳) محل تلاقی دو خط با یکدیگر ..... ۷۰
- شکل (۱۷-۳) سلول ورونوی بر روی محل تلاقی خطوط منتخب مجموعه داده ۱ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR ..... ۷۲
- شکل (۱۸-۳) سلول ورونوی بر روی محل تلاقی خطوط منتخب مجموعه داده ۲ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR ..... ۷۳
- شکل (۱۹-۳) تطابق با استفاده از روش بردار ویژه برای داده ۱ ..... ۷۴
- شکل (۲۰-۳) تطابق با استفاده از روش بردار ویژه برای داده ۲ ..... ۷۴
- شکل (۲۱-۳) تصویر تطابق یافته SAR و نوری از داده ۱ با استفاده از روش ورونوی و فاصله هاسدورف ..... ۷۵
- شکل (۲۲-۳) تصویر تطابق یافته SAR و نوری از داده ۲ با استفاده از روش ورونوی و فاصله هاسدورف ..... ۷۵
- شکل (۲۳-۳) تطبیق دو تصویر SAR و نوری داده ۱ با الگوریتم پیشنهادی ..... ۷۶
- شکل (۲۴-۳) تطبیق دو تصویر SAR و نوری داده ۲ با الگوریتم پیشنهادی ..... ۷۷

## فهرست اصطلاحات اختصاری

علامت اختصاری	عنوان
SAR	Syntheti Aperture Radar
GPS	Global Positioning System
PRF	Pulse repetition frequency
RDA	Range Doppler Algorithm
CSA	Chirp Scaling Algorithm
SIFT	Scale-Invariant Feature Transform
IS-SIFT	Image Segmentation and SIFT
MI	mutual information
CFAR	Constant False Alarm Rate
GGs	Gaussian-Gamma-Shaped
GT	Ground Truth
ROC	Receiver-Operating-Characteristic
ESM	Edge Strength Maps
EDM	Edge Directional Map
SPSA	Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation
LSD	Line Segment Detection
NFA	Number of False Alarms
VSPM	Voronoi Spectral Point Matching

# ۱ فصل اول مقدمه

## ۱-۱ پیشگفتار

ثبت تصویر فرایند تراز کردن دو یا چند تصویر از یک صحنه است که از دیدهای مختلف یا در زمان‌های متفاوت گرفته شده و یا با استفاده از سنسورهای متنوع اخذ گردیده است [۱]. ثبت تصویر اغلب به عنوان گام اولیه در سایر برنامه‌های پردازش تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرد که قادر به مقایسه ویژگی‌های مشترک در تصاویر مختلف است. دو روش برای ثبت تصاویر وجود دارد: روش اول ثبت دستی تصاویر است، که در مواردی که تصاویر زیاد است امکان‌پذیر نیستند. و روش دوم ثبت خودکار تصاویر است که به زمان کم نیاز دارد و بدون ناظر است.

تصویربرداری توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای و هوایی با دو روش کلی انجام می‌شود: روش فعال و روش غیرفعال. در روش فعال، سنجنده امواج را به سطح زمین می‌تاباند سپس باز یافت آن را دریافت می‌کند. این در حالی است که در روش غیرفعال سنجنده موجی ارسال نمی‌کند، بلکه تنها امواج موجود در محیط (معمولاً امواج طیف مرئی خورشید) که توسط زمین بازتاب می‌شود را دریافت می‌کند.

## ۱-۲ صورت مسأله

دو دسته‌بندی کلی برای ثبت تصاویر وجود دارد: روش‌های مبتنی بر شدت روشنایی و روش‌های مبتنی بر ویژگی. روش‌های مبتنی بر شدت به دنبال نگاشتی هستند که همبستگی متقابل دو تصویر را بیشینه نمایند. لذا، این روش‌ها بر پایه بیشینه محلی کار می‌کنند و بار محاسباتی بالایی دارند. بعلاوه، زمانی که اغتشاشات هندسی در دو تصویری که به دنبال انطباق آن هستیم قابل توجه باشد، این روش‌ها ناکارآمد هستند. در مقابل، روش‌های مبتنی بر ویژگی، اثبات شده است که برای ثبت تصاویر چند حسگری مناسب هستند، ویژگی‌های تصویر در ناهمسانی روشنایی و بازتاب حساسیت کمتری دارند. نقاط، خطوط و نواحی از جمله ویژگی‌های رایج برای انطباق دو تصویر هستند. در میان این ویژگی‌ها، ویژگی‌های ناحیه‌ای و خطی برای تشخیص و تطابق تصاویر چند حسگری آسانتر از نقاط هستند.



یک نمونه بارز از ویژگی خطی می‌توانند کانتورها، لبه‌ها و پاره‌خط‌های مستقیم باشند. به دلیل وجود نویز دانه‌ای استخراج ویژگی از تصاویر SAR به راحتی استخراج ویژگی از تصاویر نور مرئی نیست. در روش‌های قدیمی مبتنی بر پاره‌خط، معمولاً پاره‌خط‌ها به‌عنوان انطباق اولیه به کار می‌روند. این روش‌ها به تعداد خطوط زیادی برای همگرایی نیاز دارند و شامل محاسبات "انباره‌ای تبدیل هاف" می‌شوند و اندازه‌گیری همسان بودن پاره‌خط‌ها به سختی محقق می‌شود. پاره‌خط‌های مستقیم با نقاط پایانی خود تشخیص داده می‌شوند ولی الزاماً نقاط انتهایی خطوط متناظر دو تصویر، به دلیل نویز کاملاً متناظر نمی‌باشند. بنابراین، در ثبت تصاویر استفاده از نقاط تلاقی خطوط می‌تواند روش بهتری باشد.

برای افزایش دقت انطباق تصاویر، روش چندضلعی ورونوی<sup>۱</sup> برای ترکیب اثرات نقاط همسایه معرفی می‌شود. بعلاوه، قید همسانی زاویه نیز به‌عنوان یک‌راهنما برای تطابق‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۱-۳ انگیزه‌ها و چالش‌ها

برخلاف سامانه‌های تصویربرداری نوری غیرفعال که به شدت نور خورشید وابسته‌اند در تصویربرداری رادارهای SAR که از نوع تصویربرداری فعال است، امواج توسط سنجنده (هواپیما) هنگام تصویربرداری به زمین گسیل می‌شود. تصاویر نوری اطلاعات مهمی را از سطح زمین در طیف نور مرئی برداشت می‌کند. این تصویربرداری وابسته به شرایط جو زمین است و تصویربرداری فقط در طول روز امکان‌پذیر است. در مقابل، امکان تصویربرداری SAR تحت شرایط جوی سخت و در طول روز و شب وجود دارد اما وجود نویز دانه‌ای غیر قابل اجتناب است و وضوح این تصویربرداری را محدود می‌کند [۲-۴]. درنهایت، استخراج اطلاعات از چنین تصاویری با دقت زیرپیکسل برای انجام خودکار عملیات ثبت

---

<sup>۱</sup> Voronoi

بسیار دشوار است. به منظور استفاده از اطلاعات همزمان تصاویر نوری و SAR در یک صحنه لازم است این تصاویر با هم تطابق یابند.

اما چالش های پیش رو برای ثبت خودکار تصاویر SAR و نوری به صورت فهرست وار بیان می شود.

- **ویژگی های هندسی متفاوت:** مایل نگری و اندازه گیری فاصله حالت یک سنسور SAR باعث یک سری اغتشاشات هندسی می شود که به عنوان تجسم شکل در عمق، چرخش و سایه شناخته می شوند که در تصاویر نوری وجود ندارند.
- **مشخصه های رادیومتری متفاوت:** ابزارهای SAR سیستم کنترل از راه دور فعال در زمینه ریزموج ها هستند، در حالی که ابزارهای نوری سیستم های غیرفعال در حوزه مرئی و نزدیک به فروسرخ هستند. اندازه روشنایی نیز به منظور شرایط متنوع تصویربرداری حائز اهمیت است.
- **نویز قوی دانه ای با حسگر SAR:** نویزهای محیطی و حسگری، استخراج ویژگی را در SAR با مشکل روبرو می نماید و در نتیجه انطباق تصاویر SAR با نوری را با مشکل مواجه می کند.

علاوه بر این به دلیل اختلاف جزئیات در تصاویر SAR و نوری تعداد ویژگی های استخراج شده از دو تصویر می تواند بسیار متفاوت باشد و این تفاوت در تعداد ویژگی ها، تطابق دو تصویر را مشکل می کند.

## ۱-۴ اهداف پایان نامه

از اهداف تطابق این دو نوع تصویر استفاده همزمان از اطلاعات موجود در تصویر راداری و تصویر نور مرئی است که یکی از اهداف این است که چنانچه امکان استفاده از سیستم موقعیت یاب (مثلاً GPS) وجود نداشته باشد با استفاده از تصویر نوری موقعیت محل تصویر برداری شده توسط رادار SAR را در نقشه های جغرافیایی تعیین نماییم.

این پایان‌نامه یک روش برای ثبت خودکار تصاویر SAR به تصاویر نوری را پیشنهاد می‌کند. روش پیشنهادی بر پایه استخراج خطوط با استفاده از تبدیل رادون<sup>۲</sup> کار می‌کند. در مرحله تطبیق ویژگی از سلول‌های ورونوی یکپارچه استفاده نموده ایم.

دستاوردهای این پایان‌نامه بصورت زیر است:

۱. روش جدید استخراج خطوط با استفاده از تبدیل رادون: در تبدیل رادون تعداد خطوط بسته به نیاز ما استخراج می‌شود که این انتخاب برای ما بسیار کارآمد است و سبب پیدایش خطوطی مرتب و به تعداد لازم و کافی خواهد بود.
۲. از روش جدید انطباق نقاط، که طیف یکپارچه ورونوی خوانده می‌شود، استفاده نموده ایم. در این روش نقاط متناظر را از بین نقاط تلاقی خطوط منتخب پیشنهاد می‌دهیم، این روش ترکیبی از ساختار محلی و ساختار کلی برای تطابق است. در این روش به جای فاصله اقلیدسی از فاصله هاسدورف استفاده شده است که برای انطباق چندضلعی‌های ورونوی از آن استفاده می‌شود. علاوه بر آن، قید زاویه را برای حذف تطابق‌های نادرست به کار برده ایم.
۳. چند استراتژی برای ثبت تصاویر پیشنهاد می‌شود.

## ۱-۵ ساختار پایان‌نامه

پس از بیان مقدمه، فصل دوم به مروری بر مطالعات و تحقیقات انجام شده در حوزه ثبت تصاویر و توضیحات در مورد پردازش‌های انجام شده بر روی تصویر می‌پردازیم. پردازش‌های مورد نظر حذف نویز، لبه‌یابی، استخراج خطوط، دیاگرام ورونوی<sup>۳</sup>، فاصله هاسدورف<sup>۴</sup> و در نهایت روش‌های تطابق دو تصویر است.

---

<sup>۲</sup> Radon

<sup>۳</sup> Voronoi diagram

<sup>۴</sup> Hausdorff distance

در فصل سوم الگوریتم پیشنهادی و اعمال آن بر روی تصویر مرحله به مرحله به نمایش در می آید. بعلاوه، در زمینه هایی مانند استخراج خطوط، به مقایسه چند روش می پردازیم و برتری روش پیشنهادی را نشان می دهیم.

فصل چهارم، نتیجه گیری حاصل از انجام روش پیشنهادی برای تطابق دو تصویر است و در ادامه آن پیشنهاداتی برای کارهای آتی شده است.

## ۲ فصل دوم: مروری بر

## کارهای گذشته و تئوری

## ۲-۱ مقدمه

رادار روزنه مصنوعی (SAR) یک سیستم سنجده از راه دور فعال است که در کشاورزی، زمین شناسی، اقیانوس شناسی، آب شناسی و امور نظامی کاربرد دارد. سیستم های SAR در هواپیما یا ماهواره کار گذاشته می شود که در یک جهت خاص و با یک سرعت خاص حرکت می کند. حرکت هواپیما یا ماهواره روزنه سیستم SAR را افزایش می دهد. دلیل اصلی که SAR کاربردهای متنوع دارد این است که توانایی عکس برداری در تمام شرایط آب و هوایی و تاریکی را دارد.

با بهبود فناوری SAR مناطق بزرگ تری عکس برداری شد و وضوح تصاویر نیز بیشتر شد. این باعث می شود تصاویر بزرگ تر منتقل و ذخیره شوند. به خاطر محدودیت حافظه و یا ظرفیت ارتباط با پایین در هواپیما یا ماهواره نرخ داده باید کاهش یابد. نرخ داده متناسب با فرکانس تکرار پالس<sup>۵</sup>، تعداد نمونه های گرفته شده در هر بازگشت و تعداد بیت های کوانتیزه شده است.

می توان نرخ داده را با تغییر این پارامترها کاهش داد اما، این کار عملکرد سیستم را کاهش می دهد. تنها انتخاب باقیمانده، فشرده سازی تصاویر SAR است. داده SAR به طور ذاتی مختلط است اما داده مختلط به طور متناوب به داده حقیقی تبدیل می شود تا قابل فهم باشد.

به منظور فشرده سازی داده مختلط دو روش قابل استفاده است، اولین روش فشرده سازی اندازه و فاز به طور جداگانه است. و دومین روش انتقال طیف فرکانسی تصویر به طور کامل به منطقه مثبت آن است. بعد از تبدیل فوریه معکوس، قسمت حقیقی داده مختلط فاز و اندازه را در بردارد. این داده حقیقی می تواند مطابق معمول فشرده شود و پس از آزادسازی از فشردگی روش عکس آن انجام می شود تا به تصویر مختلط برگردد.

---

<sup>۵</sup> Pulse Repetition Frequency (PRF)

تصاویر SAR نسبت به تصاویر نوری ذاتاً متفاوت هستند. تفاوت آنها به صورت خلاصه آورده

شده است:

- تصاویر SAR مختلط هستند.
- تصاویر SAR محدوده دینامیکی بزرگتری نسبت به تصاویر نوری دارند.
- تصاویر SAR حجیم تر هستند.
- آنتروپی تصاویر SAR بزرگتر از تصاویر نوری است.
- تصاویر SAR اطلاعات را در باند فرکانسی پایین به خوبی فرکانس بالا حمل می کنند در حالی که تصاویر نوری به طور کلی پایین گذر با نویز در منطقه فرکانسی بالا است.

هنگامی که داده ها دریافت شد همان طور که گفته شد توسط الگوریتم هایی، تبدیل به تصویر

قابل فهم برای انسان می شود. از الگوریتم های مورد استفاده می توان به RDA، CSA، Omega\_K اشاره کرد.

## ۲-۲ مروری بر کارهای گذشته

در حوزه ثبت تصاویر تحقیقات زیادی صورت گرفته است که در ادامه به طور اجمالی به آن

می پردازیم.

در سال ۲۰۱۰ آقایان سوری و رنارتز با استفاده از روش رایج و مقایسه شدت روشنایی توانستند

تصاویر ماهواره را بر هم منطبق نمایند. در این مقاله روشی مرکب برای ثبت تصاویر SAR نوری با

ترکیب مفاهیم مبتنی بر ویژگی و مبتنی بر شدت ارائه شد که مشکل ثبت تصاویر را برطرف نمود [۵].

زنجیره پردازش در مجموعه داده های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت (حسگرهای ماهواره متفاوت،

منظره منطقه مختلف) که عملکرد مشابهی را نشان داده است. چالش پیش رو یافتن پارامترهای دقیق

ثبت است که بدون اطلاعات کمکی کاری ملال آور است. با توجه به ماهیت با وضوح بالای تصاویر SAR

و نوری، ارزیابی ثبت به ارزیابی بصری بسیار ارجحیت می بخشد و ارزیابی سختی دارد. در اینجا از تکنیک

منطقه در حال رشد برای استخراج دوبعدی بر روی ویژگی های زمین در دو تصویر SAR و نوری

استفاده کرده‌اند. به نظر می‌رسد تکنیک رشد منطقه به‌خصوص برای تصاویر با وضوح بالا امیدوارکننده است که در آن بسیاری از ویژگی‌های مورد نظر برای ثبت تصویر به تصویر ظاهر مشابه دارند.

در سال ۲۰۱۲ آقایان محمود حسن و همکاران با استفاده از روش آنترپپی باقی‌مانده متقابل تجمعی<sup>۶</sup> تصاویری که از حسگرهای متفاوتی جمع‌آوری شده بود را بر هم منطبق نمودند [۶].

در سال ۲۰۱۴ آقایان گونگ و همکاران با استراتژی تطبیق حدودی تا دقیق روشی ارائه نمودند که در آن ابتدا تطبیق حدودی دو تصویر صحنه انجام می‌شود و سپس تطبیق دقیق بین تصاویر انجام می‌پذیرد. که به بررسی نتایج نسبی از کاربرد این روش ثبت با چهار روش دیگر می‌پردازد. با ملاحظه دیگر روش‌ها،  $IS-SIFT^y$  [۷] نقاط صحیح بیشتری را نسبت به  $SIFT^x$  [۸] استاندارد شامل می‌شود و کیفیت تطبیق را بهبود می‌بخشد. روش  $IS-SIFT$  در بعضی موارد به نتایج قابل قبولی می‌رسد. اگرچه، تعداد نقاط تطبیق یافته نهایی هنوز با گرفتن پارامترهای دقیق برای موارد خیلی دشوار مانند ثبت  $SAR$  به  $SAR$  کافی نیست، زیرا تعداد نقاط تطبیق اولیه در این موارد خیلی کم است. نتایج ثبت به‌دست‌آمده از  $SPSA^9$  نیز به قدر کافی دقیق نیست. بعلاوه، ذات تصادفی بودن  $SPSA$  خود یک ویژگی نامطلوب است، و زمانی که به جواب نزدیک می‌شود به آرامی همگرا می‌شود. با توجه به کارایی محاسباتی، پردازش زمانی مرتبط با هر روش ارائه می‌شود. برای تطابق مبتنی بر  $SIFT$  هزینه محاسباتی با تعداد نقاط کلیدی آشکار شده مرتبط است.  $IS-SIFT$  هزینه‌های محاسباتی مضاعفی را در روند تقسیم بندی تصویر در بر می‌گیرد. برای تطابق‌های مبتنی بر  $MI^{10}$  [۹]، هزینه محاسباتی متناسب با تعداد ارزیابی  $MI$  است.  $SPSA$  نیز محاسبات سنگین و هزینه بری دارد، زیرا زمانی که به جواب نزدیک می‌شود همگرایی آرامی دارد. پس در این مقاله، روشی جدید پیشنهاد می‌شود که بر پایه  $SIFT$  و  $MI$  است. این

---

<sup>۶</sup> cross-cumulative residual entropy

<sup>۷</sup> Image Segmentation and SIFT

<sup>۸</sup> Scale-Invariant Feature Transform

<sup>۹</sup> Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation

<sup>۱۰</sup> mutual information



استراتژی شامل یک پیش ثبت و تنظیم خوب است. در ابتدا، پردازش پیش ثبت با روش SIFT کاربردی می‌شود. پس از آن، پردازش تنظیم دقیق با حداکثر سازی MI اجرا می‌شود. اندازه‌گیری شباهت MI به ویژه برای ثبت تصاویر چند منظوره مناسب است. یک استراتژی چندمتغیره می‌تواند قدرت الگوریتم و کارایی محاسباتی آن را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد. بهینه ساز انتخاب شده دارای مزایای بهره‌وری و استحکام است که در هنگام نزدیک شدن به جواب، همگرایی فوق العاده خطی را نشان می‌دهد. در آزمایش‌ها، روش پیشنهادی بر روی تصاویر نوری و SAR در موقعیت‌های چندطیفی، چندحسگر و چند زمانه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده در این مقاله، به‌طور آشکارا دقت ثبت را افزایش می‌دهد و اثر محاسباتی خوبی دارد [۹].

در سال ۲۰۱۰ آقایان **ونگ و کلاؤسی** بر روی تطبیق تصاویر گرفته شده از حسگرهای متفاوت با باندهای فرکانسی متفاوت کار نمودند. در این روش با استفاده از تبدیل موجک از تصاویر استخراج ویژگی نمودند. این الگوریتم بر روی تصاویر راداری، نوری و لیداری تست شدند که نتایج بهتری نسبت به روش‌های مشابه را در برداشت. در اینجا برای تصحیح کردن نقاط جفت شده از تکرار استفاده می‌کنند و پس از جفت کردن نیز کنترل می‌نمایند. در نهایت، یک طرح تخمین کارا برای نقشه معرفی می‌کند [۱۰].

در سال ۱۹۹۲ آقایان **شپیرو و بردی** براساس نوع توصیف تصویر و ویژگی‌های نقاط، تصاویر را با یکدیگر منطبق کردند. این نوع معرفی شکل به صورت مجموعه نقاط اجازه می‌دهد که انتقال و یا چرخش در سطح تصویر مستقل رفتار کنند. از نقطه نظر اجرا، الگوریتم شرایط خوبی در تعداد ویژگی‌های خطی دارد و به‌طور بالقوه قابل تنظیم است، علاوه بر این، راه حل یک مرحله‌ای دارد [۱۱].

در سال ۲۰۱۵ نیز **هایگنگ سو** و همکارانش یک روش برای ثبت خودکار تصاویر SAR و نوری ارائه نمودند. این روش بر پایه ۳ گام مهم بنا شده است. (۱) پروسه تکرار انتخاب خطوط و نقاط تلاقی

آن‌ها. ۲) چند مرحله ای بودن، از ثبت حدودی تصاویر به ثبت دقیق. ۳) دیاگرام ورونی جهت بهبود انطباق تصاویر. که استفاده از سلول‌های ورونی از نوآوری‌های این تحقیق بشمار می‌رود [۱۲].

در این پایان نامه سعی شده است که با الهام گرفتن از مقالات مرور شده روشی کارا برای ثبت خودکار تصاویر SAR و نوری ارائه شود. در روش پیشنهادی برای استخراج خطوط از تبدیل رادون استفاده شده است. خطوط به دست آمده به کمک این تبدیل دقیق‌تر از تبدیل هاف که در سایر مقالات پیشنهاد شده است می‌باشند. همچنین در ادامه از تابعی استفاده شده است که تلفیقی از توابع ثبت است که به مراتب نتایج دقیق و صحیح‌تری را عرضه خواهد کرد.

## ۲-۳ حذف نویز

همانطور که گفته شد نویز در تصاویر SAR از نوع دانه ای است. نویز دانه ای در تصاویر SAR به دلیل تداخل امواج انعکاس یافته از بسیاری پراکنش گرهای اصلی ایجاد می‌شود. فواصل بین پراکنش گرهای اصلی و بخش دریافت کننده رادار به دلیل موقعیت تصادفی پراکنش گرها تغییر می‌کنند، بنابراین فاصله از پراکنش گرها تا رادار تصادفی است. امواجی که از هر پراکنش گر دریافت می‌شود اگرچه از لحاظ فرکانس همسان هستند اما دیگر از لحاظ فاز یکسان نیستند. این اثر در شدت تصاویر، پیکسل به پیکسل تفاوت ایجاد می‌کند و باعث ایجاد نویز قابل ملاحظه ای در تصاویر می‌شود. نویز دانه ای پردازش و تفسیر تصاویر SAR را با مشکل روبرو می‌کند که برای تحلیل این تصاویر باید این نویز کاهش یابد. برای رفع نویز به مقایسه دو فیلترگوسی [۱۳] و فیلتر لی<sup>۱۱</sup> [۱۴] پرداخته می‌شود.

---

<sup>۱۱</sup> Lee filter

## ۲-۳-۱ فیلتر گوسی

در پردازش سیگنال، فیلتر گوسی فیلتری است که پاسخ ضربه آن فیلتر گوسی یا تقریبی از آن است. فیلترهای گوسی حداقل تأخیر گروه<sup>۱۲</sup> ممکن را دارند. یک فیلتر گوسی سیگنال ورودی را با کانولوشن با یک تابع گوسی اصلاح می‌کند.

فیلتر گوسی دوبعدی، از دو فیلتر گوسی در هر جهت ساخته شده است:

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \cdot e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1-2)$$

که  $x$  فاصله از مرکز در محور افقی،  $y$  فاصله از مرکز در محور عمودی و  $\sigma$  انحراف معیار توزیع گوسی است.

## ۲-۳-۲ فیلتر لی

فیلتر لی [۱۴] برای حذف هر دو نویز جمع شونده و ضرب شونده کاربرد دارد، که عملکرد آن بر مبنای میانگین و واریانس محلی است. فرض اصلی این است که میانگین و واریانس پیکسل برابر با میانگین و واریانس محلی تمام پیکسل‌ها در محدوده ثابت اطراف آن است. در فیلتر نویز جمع شونده، میانگین (واریانس) پیشین تصویر برآورد شده تفاوت بین میانگین (واریانس) نویز تصویر خراب شده و میانگین (واریانس) نویز به خودی خود محاسبه شده است. این روش برای فیلتر کردن نویز ضرب شونده بسط داده می‌شود [۱۴].

$x_{i,j}$  روشنایی پیکسل  $(i, j)$  در تصویر دو بعدی  $N \times N$  است. میانگین و واریانس محلی در پنجره  $(2m + 1) \times (2n + 1)$  محاسبه شده است که نشان می‌دهد پنجره مورد نظر باید دارای ابعاد فرد باشد. میانگین محلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

<sup>۱۲</sup> Group delay

$$m_{i,j} = \frac{1}{(2n+1)(2m+1)} \sum_{k=i-n}^{n+i} \sum_{l=j-m}^{m+j} x_{k,l} \quad (2-2)$$

مشابه آن، واریانس محلی است:

$$v_{i,l} = \frac{1}{(2n+1)(2m+1)} \sum_{k=i-n}^{i+n} \sum_{l=j-m}^{j+m} (x_{k,l} - m_{i,j})^2 \quad (3-2)$$

## ۲-۳-۱ بهبود کنتراست فضا

فیلتر بالاگذر و توزیع هیستوگرام از روش‌های مشهور در بهبود کنتراست تصویر هستند. این الگوریتم طوری طراحی شده است که پیکسل  $x_{i,j}$  میانگین محلی خود را حفظ کرده و به واریانسش اجازه می‌دهد که با عامل واریانس محلی اصلی‌اش خودش را اصلاح کند. الگوریتم اصلاح شده به صورت زیر است [۱۴]:

$$x'_{i,j} = m_{i,j} + k(x_{i,j} - m_{i,j}) \quad (4-2)$$

که  $k$  بهره، نسبت انحراف معیار محلی جدید به انحراف معیار اصلی است.

این الگوریتم به سادگی با هیستوگرام توزیع نشده در بهبود تصاویر بسط داده می‌شود.  $g(x)$  تابع مقیاس سطح خاکستری باشد، پس تابع به صورت زیر اصلاح می‌شود [۱۴]:

$$x'_{i,j} = g(m_{i,j}) + k(x_{i,j} - m_{i,j}) \quad (5-2)$$

## ۲-۳-۲-۲ فیلتر نویز جمع شونده

در این قسمت، بر روی فیلتر کردن تصاویری که با نویز سفید جمع شونده تخریب شده‌اند تمرکز می‌کنیم. در اینجا الگوریتم ساده‌ای بر مبنای استفاده از میانگین و واریانس محلی یک تصویر ارائه می‌شود.  $Z_{i,j}$  پیکسل تخریب شده  $x_{i,j}$  است، پس:

$$Z_{i,j} = x_{i,j} + W_{i,j} \quad (۶-۲)$$

که  $W_{i,j}$  دنباله تصادفی سفید<sup>۱۳</sup> با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_1^2$  است. مشکل، تخمین  $x_{i,j}$  است،  $Z_{i,j}$  و ویژگی‌های آماری نویز داده شده است. از معادله قبلی داریم [۱۴]:

$$\bar{x}_{i,j} \triangleq E[x_{i,j}] = E[Z_{i,j}] = \bar{z}_{i,j} \quad (۷-۲)$$

و

$$Q_{i,j} \triangleq E[(x_{i,j} - \bar{x}_{i,j})^2] = E[(z_{i,j} - \bar{z}_{i,j})^2] - \sigma_1^2 \quad (۸-۲)$$

فرض کنید که  $\bar{x}_{i,j}$  و  $Q_{i,j}$  میانگین و واریانس پیشین  $x_{i,j}$  هستند، با این فرض الگوریتم فیلتر به آسانی با به حداقل رساندن خطای مربع میانگین<sup>۱۴</sup> یا برآورد کمترین مربع وزن دار<sup>۱۵</sup> به دست می‌آید.  $x_{i,j}$  تخمین زده شده یعنی  $\hat{x}_{i,j}$  به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۴]:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j}(z_{i,j} - \bar{x}_{i,j}) \quad (۹-۲)$$

که بهره به صورت زیر به دست می‌آید [۱۴]:

<sup>۱۳</sup> White random sequence

<sup>۱۴</sup> mean-square error

<sup>۱۵</sup> weighted least-square

$$k_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{Q_{i,j} + \sigma_1^2} \quad (10-2)$$

که  $\hat{x}_{i,j}$  به صورت زیر نوشته می شود [۱۴]:

$$\hat{x}_{i,j} = (1 - k_{i,j})\bar{x}_{i,j} + k_{i,j}(z_{i,j}) \quad (11-2)$$

چون  $Q_{i,j}$  و  $\sigma_1^2$  هر دو مثبت هستند،  $k_{i,j}$  بین صفر و ۱ خواهد بود

### ۲-۳-۲ فیلتر نویز ضرب شونده

تصاویر شامل نویز ضرب شونده خصوصیتی دارند که مناطق روشن تر دارای نویز بیشتری

هستند. مدل تخریب پیکسل ها به صورت زیر است:

$$z_{i,j} = x_{i,j}u_{i,j} \quad (12-2)$$

که  $E[u_{i,j}] = \bar{u}_{i,j}$  و

$$E[(u_{i,j} - \bar{u}_{i,j})(u_{k,l} - \bar{u}_{k,l})] = \sigma_2^2 \delta_{i,k} \delta_{j,l} \quad (13-2)$$

معادله  $z_{i,j}$  را که یک رابطه غیر خطی است تبدیل به یک نویز جمع شونده می کنیم. نتایج به

صورت زیر به دست می آید [۱۴].

$$\hat{z}_{i,j} = Ax_{i,j} + Bu_{i,j} + C \quad (14-2)$$

که A و B و C متغیرهای غیر تصادفی هستند. آن ها به گونه ای انتخاب می شوند که خطای

مربع میانگین را بین  $z_{i,j}$  و  $\hat{z}_{i,j}$  حداقل کرده و همچنین تخمینی بایاس نشده از  $z_{i,j}$  است. برای

$\hat{z}_{i,j}$  باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$A\bar{x}_{i,j} + B\bar{u}_{i,j} + C = \bar{x}_{i,j}\bar{u}_{i,j} \quad (15-2)$$

یا

$$C = \bar{x}_{i,j}\bar{u}_{i,j} - A\bar{x}_{i,j} - B\bar{u}_{i,j} \quad (16-2)$$

با جایگزینی معادله C در  $Z_{i,j}$  و تشکیل خطای متوسط مربع، می توان به یک شاخص عملکردی

رسید که پروسه ریاضی لازم را به حداقل می رساند:

$$z_{i,j} = \bar{u}_{i,j}x_{i,j} + \bar{x}_{i,j}(u_{i,j} - \bar{u}_{i,j}) \quad (17-2)$$

معادله  $Z_{i,j}$  سری تیلور مرتبه اول است.

میانگین و واریانس پیشین  $x_{i,j}$  به صورت زیر در می آید:

$$\bar{x}_{i,j} = \bar{z}_{i,j} / \bar{u}_{i,j} \quad (18-2)$$

و

$$Q_{i,j} = \frac{\text{var}(z_{i,j}) + z_{i,j}^2}{\sigma_2^2 + \bar{u}_{i,j}^2} - \bar{x}_{i,j}^2 \quad (19-2)$$

که  $\text{var}(z_{i,j})$  واریانس  $z_{i,j}$  است.

با استفاده از دو معادله بالا و به کار بستن فیلتر کالمن، به دست می آید:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j}(z_{i,j} - \bar{u}_{i,j}\bar{x}_{i,j}), \quad (20-2)$$

$$k_{i,j} = \frac{\bar{u}_{i,j}Q_{i,j}}{\bar{x}_{i,j}^2\sigma_2^2 + \bar{u}_{i,j}^2Q_{i,j}} \quad (21-2)$$

## ۲-۳-۲-۴ فیلتر کردن ترکیب نویز جمع شونده و ضرب شونده

به آسانی با بسط الگوریتم‌های گذشته می‌توان تصویر تخریب شده با هر دو نویز جمع شونده و

ضرب شونده را بهبود داد. تصویر نویزی تخریب شده به صورت زیر توصیف می‌شود [۱۴]:

$$z_{i,j} = x_{i,j}u_{i,j} + w_{i,j} \quad (22-2)$$

فرض کنید که  $w_{i,j}$  و  $u_{i,j}$  نویز سفید مستقل هستند. این فرض استقلال را می‌توان حذف

کرد اما نتیجه یک فرمول پیچیده تر است. به دنبال ایده تقریب خطی بهینه قسمت قبل:

$$\hat{z}_{i,j} = \bar{u}_{i,j}x_{i,j} + \bar{x}_{i,j}(u_{i,j} - \bar{u}_{i,j}) + w_{i,j} \quad (23-2)$$

فرمول‌های واریانس و میانگین پیشین  $x_{i,j}$  اصلاح شده‌اند:

$$\bar{x}_{i,j} = (\bar{z}_{i,j} - \bar{w}_{i,j})/\bar{u}_{i,j} \quad (24-2)$$

و

$$Q_{i,j} = \frac{\text{var}(z_{i,j}) + \bar{z}_{i,j}^2}{\sigma_2^2 + \bar{u}_{i,j}^2} - \bar{x}_{i,j}^2 - \sigma_1^2 \quad (25-2)$$

الگوریتم فیلتر عبارت است از:

$$\hat{x}_{i,j} = \bar{x}_{i,j} + k_{i,j}(z_{i,j} - \bar{u}_{i,j}\bar{x}_{i,j} - \bar{w}_{i,j}) \quad (26-2)$$

که

$$k_{i,j} = \frac{\bar{u}_{i,j}Q_{i,j}}{\bar{x}_{i,j}^2\sigma_2^2 + \bar{u}_{i,j}^2Q_{i,j} + \sigma_1^2} \quad (27-2)$$

## ۲-۳-۲-۵ ملاحظات و نتایج

بار محاسباتی اصلی در بهبود الگوریتم در محاسبات میانگین و واریانس محلی است.



همان طور که ادامه آمده است به مقایسه دو فیلتر گوسی در شکل (۱-۲) و فیلتر لی در شکل (

۲-۲) پرداخته شده که نشان می‌دهد فیلتر لی به مراتب در این نوع تصاویر برتر از فیلتر گوسی است.



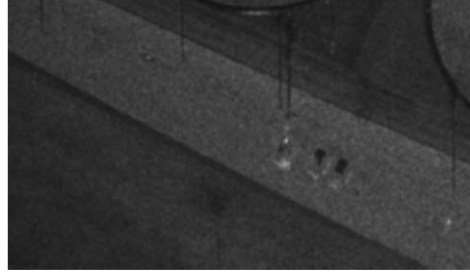
شکل (۱-۲) فیلتر گوسی اعمال شده بر روی تصویر SAR



شکل (۲-۲) فیلتر لی اعمال شده بر روی تصویر SAR



ب



الف

شکل (۳-۲) الف) تصویر SAR با حذف نویز لی. ب) تصویر SAR با حذف نویز گوسی

در شکل (۳-۲) الف قسمتی از تصاویر SAR مشاهده می‌شود، که حذف نویز شده با فیلتر لی است و شکل (۳-۲) ب حذف نویز شده تصویر SAR با فیلتر گوسی است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود فیلتر لی تصویر را نرم‌تر کرده و حالت دانه‌ای در تصویر خیلی کمتر دیده می‌شود در صورتی که در تصویر حذف نویز شده با فیلتر گوسی نویز آشفته دانه‌ای بیشتر مشاهده می‌شود.

## ۴-۲ لبه یابی

لبه یابی یکی از گام‌های اساسی در پردازش و آنالیز و تشخیص الگو تصویر است. لبه یابی شامل روش‌های ریاضی متنوعی است، که هدف، تعیین نقاطی در تصویر دیجیتال است که روشنایی تصویر تغییرات شدیدی دارد.

در موارد ایده آل، نتیجه عملکرد لبه یابی تصویر ممکن است به مجموعه‌ای از منحنی‌های پیوسته که مرز هدف را نشان می‌دهند تکیه نماید. بنابراین، اجرای لبه یابی در تصویر، مقدار داده‌های پردازشی را کاهش می‌دهد، درحالی‌که خواص ساختاری تصویر را حفظ می‌کند.

استخراج لبه اغلب با قطعه‌قطعه شدن لبه همراه است، یعنی منحنی لبه پیوسته نیست.

## ۴-۲-۱ ویژگی‌های لبه

استخراج لبه از تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی در مجموعه‌های وابسته به نقطه دید و غیروابسته به نقطه دید دسته‌بندی می‌شوند. لبه‌ها ممکن است وابسته به دیدگاه باشند، یعنی می‌توانند با تغییر نقطه

دید تغییر کنند، و نوعاً هندسه صحنه، اجسامی که جلوی همدیگر را گرفته‌اند و مانند آن را نشان می‌دهند یا ممکن است نایسته به دیدگاه باشند، که معمولاً نمایانگر ویژگی‌های اجسام دیده‌شده مانند نشان‌گذاری‌ها و شکل سطح باشند.

یک لبه نوعی ممکن است (برای نمونه) مرز میان یک بخش قرمز رنگ و یک بخش زرد رنگ باشد؛ حال آنکه یک خط می‌تواند تعداد کمی پیکسل‌های ناهم‌رنگ داشته باشد در غیر این صورت در یک زمینه یکنواخت باشد. برای یک خط، ممکن است در هر طرف خط یک لبه وجود داشته باشد.

## ۲-۴-۲ روش‌های لبه‌یابی

روش‌های زیادی برای لبه‌یابی وجود دارد، اما بیشتر آن‌ها در دو گروه دسته‌بندی می‌شوند، برپایه جستجو و برپایه عبور از صفر<sup>۱۶</sup>. روش‌های جستجو پایه، لبه‌ها را با محاسبه اولین اندازه‌گیری قدرت لبه، آشکار می‌کنند، معمولاً بیان مشتق مرتبه اول مانند اندازه‌گرادیان است و سپس جستجو برای بیشترین جهت محلی اندازه‌گرادیان با محاسبه تخمین محلی جهت لبه است. روش بر پایه عبور از صفر، مشتق مرتبه دو را به‌منظور یافتن لبه محاسبه می‌نماید، معمولاً لاپلاسین عبور از صفر یا دیفرانسیل غیر خطی آن بیان می‌شود. به‌عنوان گام پیش‌پردازش در لبه‌یابی، مرحله نرم کردن، نرم‌کننده گوسی، تقریباً همیشه کاربردی است.

روش‌های لبه‌یابی که منتشر شده‌اند در فیلترهای نرم‌کننده و اندازه‌گیری قدرت لبه اختلاف دارند. همان‌طور که خیلی از لبه‌یاب‌ها بر محاسبه‌گرادیان تصویر تکیه دارند، اما در نوع فیلترهایی که تخمین‌گرادیان در جهت  $x$  و  $y$  را حساب می‌کنند، اختلاف دارند.

---

<sup>۱۶</sup> Zero-Crossing

## ۲-۴-۲-۱ لبه یاب Canny

لبه یاب Canny یک الگوریتم چند مرحله ای است که محدوده بزرگی از لبه‌های تصویر را آشکار می‌کند. این الگوریتم توسط جان کنی<sup>۱۷</sup> در سال ۱۹۸۶ معرفی شد [۱۵].

فرایند لبه یاب Canny را می‌توان به ۵ گام مختلف تقسیم کرد:

۱. اعمال فیلتر گوسی به منظور حذف نویز با نرم کردن تصویر.
۲. پیدا کردن گرادیان شدت در تصویر.
۳. حذف لبه های خیلی ضعیف.
۴. اعمال آستانه دوگانه برای تعیین پتانسیل لبه.
۵. نهایی کردن آشکارسازی لبه‌ها با حذف لبه‌های ضعیفی که به لبه قوی متصل نیستند.

## ۲-۴-۲-۲ لبه یاب مبتنی بر نسبت با استفاده از $GGS^{18}$ دو پنجره

لبه یابی یکی از کارهای اصلی و اولیه در پردازش تصویر SAR است. به خاطر نویز دانه ای ضرب شونده SAR، لبه یاب های مفید برای تصاویر نوری با نویز جمع شونده، در مناطقی که زیاد بازتاب پذیرند احتمال اشتباه لبه نیز دارند.

توزی، لبه یاب مبتنی بر نسبت را با  $CFAR^{19}$  برای تصاویر SAR پیشنهاد می‌دهد [۱۶]. نوآوری بزرگ آن پیکربندی مستطیل دو پنجره بود. یک پنجره مستطیل محور در مرکز پیکسل را به دو مستطیل موازی در طرف مقابل پیکسل تقسیم می‌کند. دو پنجره و مدل‌های چرخش یافته آن را می‌توان به‌عنوان بانک فیلتر جهتی برای استخراج نسبت تغییرات شدت در نظر گرفت.

---

<sup>۱۷</sup> John F.Canny

<sup>۱۸</sup> Gaussian-Gamma-Shaped

<sup>۱۹</sup> Constant False Alarm Rate

بیشتر آشکارسازهای مبتنی بر نسبت از مستطیل دو پنجره استفاده می‌کنند و لبه‌های ضخیم را با آستانه گیری ساده‌ای استخراج می‌کنند. بسیاری از کاربردهای تصاویر SAR احتیاج به لبه‌های نازک با عرض یک پیکسل دارند.

ساختار پنجره در GGS دوپنجره، استفاده از تابع گاوسی در جهت طول لبه و تابع گاما در جهت عمود به لبه است. مقیاس تابع گاوسی برای تنظیم طول پنجره، و دو پارامتر از تابع گاما برای تنظیم عرض پنجره و فضای بین دو پنجره استفاده می‌شود. بانک فیلتر با استخراج تغییرات شدت روشنایی اثر زیادی را در عملکرد لبه یابی می‌گذارد.

تصویر SAR با  $GT^{20}$  و منحنی مشخصه عملیاتی گیرنده ( $ROC^{21}$ )، لبه یاب را ارزیابی می‌کند. منحنی ROC نشان می‌دهد که لبه یابی با GGS دوپنجره عملکرد بهتری نسبت به لبه یابی با مستطیل دوپنجره دارد. نتایج آزمایش شده نشان می‌دهد که لبه یابی با استفاده از GGS دو پنجره نسبت به یکبار استفاده از مستطیل دو پنجره، پیکسل‌هایی با لبه‌های غلط نزدیک لبه‌های صحیح را خیلی کمتر ایجاد می‌نماید. علاوه بر این، لبه‌های استخراج شده اتصال بهتری دارند [17].

$I(x, y)$  تصویر تک کاناله SAR و  $S(x, y)$  تصویر بازگشتی آن و  $\mathcal{E}(x, y)$  نویز دانه ای است. برای نویز دانه ای توسعه یافته، تصویر SAR به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$I(x, y) = S(x, y)\mathcal{E}(x, y), (x, y) \in \mathbb{Z}^2 \quad (21-2)$$

که  $(x, y)$  پیکسل‌ها هستند و  $S(x, y)$  و  $\mathcal{E}(x, y)$  متقابلاً مستقل هستند. در فرمت شدت L امین نگاهه، نویز دانه ای از توزیع گاما با میانگین واحد و واریانس  $1/L$  پیروی می‌کند. در فرمت دامنه L امین نگاهه، نویز دانه ای میانگین واحد و واریانس  $(4 - \pi)/(L\pi)$  دارد.

<sup>20</sup> Ground Truth

<sup>21</sup> Receiver-Operating-Characteristic

به خاطر نویز دانه ای ضرب شونده، بیشتر لبه یاب هایی که در تصاویر نوری مؤثر هستند برای تصاویر SAR مناسب نیستند و پیکسل های با لبه غلط در مناطقی که بازتاب بیشتری دارند نسبت به مناطقی که بازتاب کمی دارند، بیشتر است.

۱-۲-۲-۴-۲ GGS دو پنجره

آشکارسازهای مبتنی بر نسبت از مستطیل دو پنجره استفاده می کنند، در شکل (۴-۲) الف نشان داده شده است. یک مستطیل دو پنجره شامل جفت مستطیل موازی جدا از هم است. شکل و جهت گیری آن با طول  $l_f$  و عرض  $w_f$  از مستطیل و فضای  $d_f$  و جهت  $\theta$  مشخص می شود.

بسیاری از کاربردهای تصاویر SAR احتیاج به لبه های نازک با عرض یک پیکسل دارند. همان طور که در تصاویر نوری، لبه های نازک با عملیات حذف غیر بیشینه و آستانه هیستریزیس در  $ESM^{22}$  استخراج می شود.

دو پنجره افقی شامل دو تابع پنجره ی دو بعدی مانند زیر است:

$$W_U(x, y) = \frac{|y|^{\alpha-1}}{\sqrt{2\pi}\sigma_x\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \exp\left(-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{|y|}{\beta}\right)\right), \quad y \geq 0 \quad (29-2)$$

$$W_L(x, y) = \frac{|y|^{\alpha-1}}{\sqrt{2\pi}\sigma_x\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \exp\left(-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{|y|}{\beta}\right)\right), \quad y \leq 0 \quad (30-2)$$

هر تابع پنجره در جهت افقی به شکل گوسی و در جهت عمودی به شکل گاما است. که با پارامتر مشخص می‌شود،  $\sigma_x, \alpha > 1, \beta > 0$ .  $\sigma_x$  طول پنجره را کنترل می‌کند و  $\alpha$  و  $\beta$  عرض پنجره و فضای بین دو پنجره‌ها را کنترل می‌نمایند.

با جابجایی و چرخش در معادلات (۲-۲۹) و (۲-۳۰) به معادلات زیر میرسیم:

$$W_U^\theta(x, y) = W_U(x \cos \theta - y \sin \theta, x \sin \theta + y \cos \theta) \quad (۳۱-۲)$$

$$W_L^\theta(x, y) = W_L(x \cos \theta - y \sin \theta, x \sin \theta + y \cos \theta) \quad (۳۲-۲)$$

شکل (۲-۴) یک مستطیل دوپنجره و یک GGS دوپنجره را در  $\theta = \pi/4$  توصیف می‌کند.

در هر چرخش، دو تابع میانگین محلی از تصویر SAR با حلقه زیر محاسبه می‌شود.

$$m_1(x, y|\theta) = \sum_{(\acute{x}, \acute{y})} W_U^\theta(\acute{x}, \acute{y}) I(x - \acute{x}, y - \acute{y}) \quad (۳۳-۲)$$

$$m_2(x, y|\theta) = \sum_{(\acute{x}, \acute{y})} W_L^\theta(\acute{x}, \acute{y}) I(x - \acute{x}, y - \acute{y}) \quad (۳۴-۲)$$

که تابع پنجره در صفحه تصویر نمونه‌برداری شده است. ضمناً زاویه چرخش  $\theta$  به  $\theta_p =$

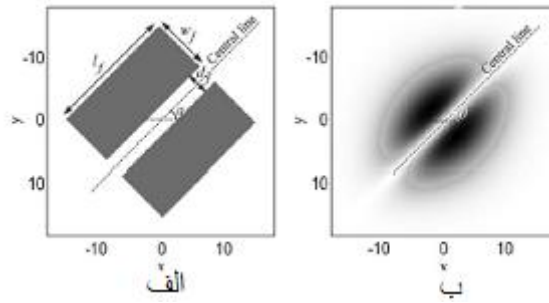
$0, \pi/P, \dots, \pi(P-1)/P$  تجزیه می‌شود. از تابع میانگین محلی در چرخش  $P$ ،  $\xi_R(x, y)$  به صورت

زیر محاسبه می‌شود.

$$\xi_R(x, y) = \min_{p=0,1,\dots,P-1} \left\{ \min \left\{ \frac{m_1(x, y|\theta_p)}{m_2(x, y|\theta_p)}, \frac{m_2(x, y|\theta_p)}{m_1(x, y|\theta_p)} \right\} \right\} \quad (۳۵-۲)$$

تابع دو بعدی  $1 - \xi_R(x, y)$  نامنفی است و به ESM مبتنی بر نسبت با GGS دو پنجره اشاره

دارد.



شکل (۲-۴) الف) مستطیل دو پنجره ب) GGS دو پنجره با چرخش  $\pi/4$  [۱۷]

مزیت های GGS دو پنجره ۲-۲-۲-۴-۲

انتخاب پارامترهای انعطاف پذیر، عریض شدن تدریجی فضای بین دو پنجره و نرم کنندگی خوب در تخمین میانگین محلی سه مزیت GGS دو پنجره بر مستطیل است. این مزایا در بهبود عملکرد لبه یابی کمک کننده هستند [۱۷].

طول و عرض و فضای بین مستطیل ها در GGS دو پنجره می توانند اعداد حقیقی بپذیرند و در انتخاب منعطف هستند. از دید حذف نویز دانه ای، تابع پنجره GGS، عرض و طول و اندازه هم ارز با یکدیگر دارند. توابع پنجره به عنوان فیلترهای نرم کننده دوبعدی در نظر گرفته می شوند. زمانی که یک تابع پنجره مستطیل یک منطقه همگن را با میانگین  $m$  و واریانس  $m^2\sigma^2$  پشتیبانی می کند، تخمین زننده میانگین محلی از طریق طول و عرض پنجره مستطیل بایاس نشده است و واریانس را به صورت  $m^2\sigma^2/N$  تخمین میزند ( $N=w_f \times l_f$ ).

زمانی که تابع پنجره GGS استفاده می شود، تخمین زننده میانگین محلی بایاس نشده است و واریانس به صورت زیر تخمین زده می شود.

$$m^2\sigma^2 \|W_U(x, y)\|_2^2 \approx \frac{m^2\sigma^2\Gamma(2\alpha - 1)}{(2\sqrt{\pi}\sigma_x)\Gamma^2(\alpha)2^{2\alpha-1}\beta} \quad (۳۶-۲)$$

در حذف نویز دانه ای، تابع پنجره GGS در معادلات (۲۹-۲) و (۳۰-۲) معادل با تابع مستطیل

از اندازه زیر تبعیت می کند:



$$N(\sigma_x, \alpha, \beta) = \frac{(2\sqrt{\pi}\sigma_x)\Gamma^2(\alpha)2^{2\alpha-1}\beta}{\Gamma(2\alpha-1)} \quad (37-2)$$

N در معادله (37-2) اشاره به اندازه پنجره‌ی تابع پنجره GGS دارد. طول و عرض معادل آن

با رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$l_f = 2\sqrt{\pi}\sigma_x, \quad \omega_f = \frac{\Gamma^2(\alpha)2^{2\alpha-1}\beta}{\Gamma(2\alpha-1)} \quad (38-2)$$

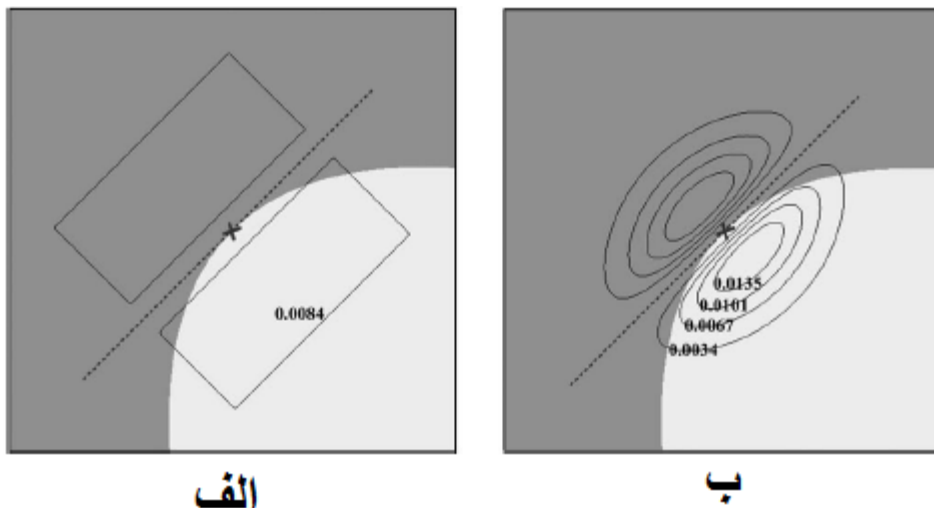
فضای بین دو پنجره‌ها در لبه یابی ضروری است. اغلب لبه‌ها به صورت محلی انحنا دارند. زمانی که مرکز یک دو-پنجره در لبه پیکسل است و چرخش آن با چرخش لبه هماهنگ است، یک فضای مناسب ایجاد می‌کند که دو پنجره مناطق همگنی را در دو طرف لبه پشتیبانی می‌کنند. همان‌طور که در شکل (4-2) الف نشان داده شده، مستطیل دو-پنجره فضای ثابتی را در طول خط مرکزی اش دارد. همان‌طور که در شکل (5-2) الف نشان داده شده است، زمانی که پنجره طولانی است، لبه‌های منحنی احتمالاً از یک مستطیل عبور می‌کند، و مستطیل به‌طور کامل نمی‌تواند منطقه همگن را پشتیبانی کند.

برای GGS دو-پنجره، فضا با فضای مؤثری که از دو تابع پنجره GGS پشتیبانی می‌کند، مشخص می‌شود. همان‌طور که در شکل (5-2) ب می‌بینیم، پشتیبانی مؤثر با خطوط هم‌ارز توابع پنجره توصیف می‌شود. در GGS دو-پنجره پیکسل‌های نزدیک به پیکسل مرکزی وزن بیشتری نسبت به بقیه پیکسل‌ها دارند. برای GGS دو-پنجره، زمانی که  $\alpha = 1$  است، توابع پنجره در جهت عمود به خط مرکزی به شکل نمایی هستند. در این حالت، دو تابع پنجره هیچ فضایی ندارند. بعلاوه، زمانی که پارامتر  $\alpha$  به 1 می‌رسد، فضای GGS دو-پنجره خیلی کوچک است، و برای تشخیص لبه منحنی نامناسب است. به‌طور کلی، پارامتر  $\alpha$  نباید کمتر از 2 باشد.

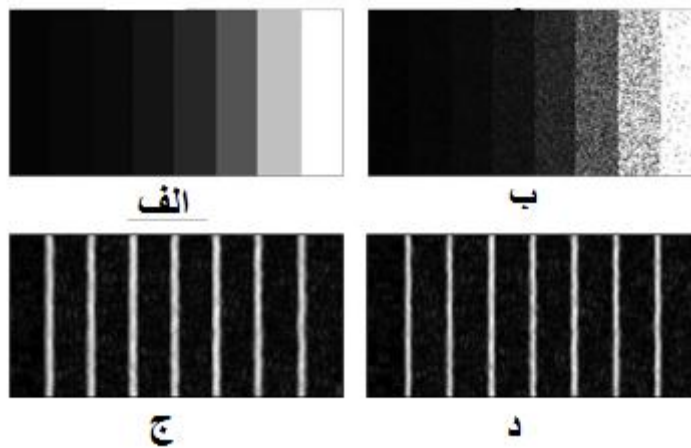
از همه مهم‌تر، توابع پنجره GGS فیلترهای نرم‌کننده خوبی هستند. نرم‌کنندگی خوب، غلط‌های زیاد را در لبه‌های قوی برطرف می‌کند.

در شکل (۶-۲) الف و ب یک صحنه SAR را با لبه‌هایی در خطوط عمودی  $x = k * 65 +$  (۶-۲) الف و ب یک صحنه SAR را با لبه‌هایی در خطوط عمودی  $x = k * 65 +$  (۶-۲) الف و ب یک صحنه SAR را با لبه‌هایی در خطوط عمودی  $x = k * 65 +$

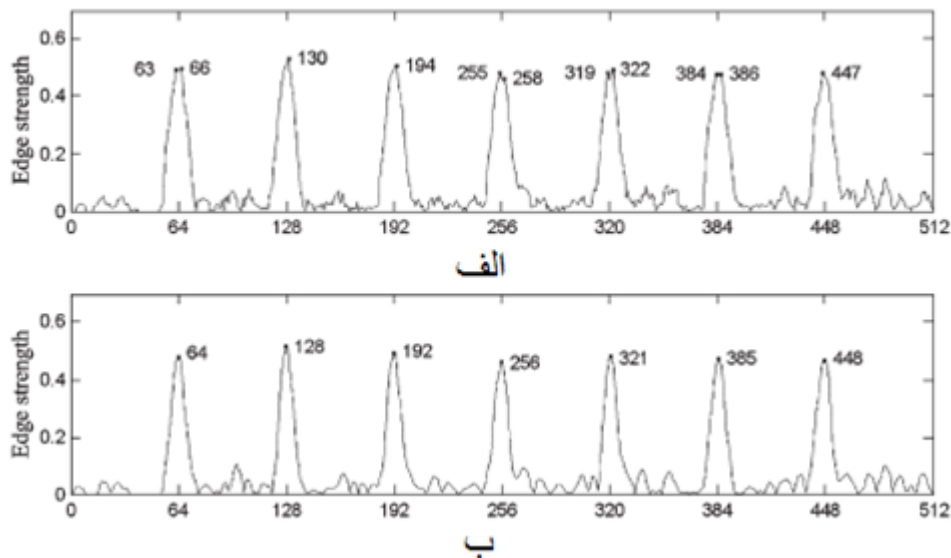
$k = 1, 2, \dots, 7$  ۰.۵ شیب‌سازی کردیم. نسبت سیاه و سفید از دو منطقه بعدی آن، دو است. شکل (۶-۲) ج و د اثبات می‌کند که لبه‌های قوی در مستطیل دو-پنجره با طول ۱۷ و عرض ۷ و فضای ۳ و در GGS دو-پنجره با  $\alpha = 2$  و  $\sigma_x = 8.5/\sqrt{\pi}$  و  $\beta = 7/4$  استخراج می‌شوند. شکل (۷-۲) ۱۵۰ امین سطر از دو ESM را تشریح می‌کند. همان‌طور که نشان داده شده، ESM با استفاده از GGS دو-پنجره در نزدیکی هفت پیکسل لبه-درست هیچگونه بیشینه غلط ندارد. دلیل آن واضح است. برای نرم‌کننده‌های ضعیف، توابع میانگین محلی که از پنجره‌های مستطیل استفاده می‌کنند شامل مؤلفه‌های فرکانس بالای ناخواسته‌اند و این مؤلفه‌های ناخواسته بیشترین غلط مؤثر در قدرت لبه ایجاد می‌کنند.



شکل (۵-۲) کنتراست الف) مستطیل و ب) GGS دو پنجره در لبه منحنی، که تعداد منحنی‌ها برابر با منحنی‌های تابع پنجره است. [۱۷]



شکل (۲-۶) تصاویر SAR و ESMs با استفاده از مستطیل دو پنجره و GGS دو پنجره الف) تصویر کارتونی مصنوعی ب) اندازه تصویر SAR سه دید. ج) ESM مستطیل دو پنجره د) ESM استفاده از GGS دو پنجره. [۱۷]



شکل (۲-۷) مقایسه تاثیر ماکزیمم های غلط در دو EMS با استفاده از مستطیل و GGS دو پنجره الف) EMS مستطیل دو پنجره ب) EMS برای GGS دو پنجره [۱۷]

۲-۴-۲-۳ لبه یابی مبتنی بر نسبت با استفاده از GGS دو پنجره

با تعبیه EMS (نقشه های قدرت لبه) در GGS دو-پنجره در لبه یاب رایج Canny برای تصاویر

نوری، لبه یابی با استفاده از GGS دو-پنجره به دست می آید.

(۱) محاسبه قدرت لبه (ESM) و جهت لبه (EDM<sup>۲۳</sup>):

در هر پیکسل، جهت لبه به صورت زیر به دست می آید:

$$EDM(x, y) = \frac{\pi}{P} \arg \min_p \left\{ \min \left\{ \frac{m_1(x, y | \theta_p)}{m_2(x, y | \theta_p)}, \frac{m_2(x, y | \theta_p)}{m_1(x, y | \theta_p)} \right\} \right\} \quad (۳۹-۲)$$

زاویه  $EDM(x, y) + \pi/2$  جهت لبه را در طول تغییرات تصویر خاکستری در پیکسل  $(x, y)$  که

حداکثر است، می دهد.

(۲) استخراج بیشترین ESM: حذف غیر بیشینه<sup>۲۴</sup> در ESM اجرایی شده است تا حداکثر قدرت لبه را بیابد، که جهت گرادیان با جهت تغییر حداکثر سطح خاکستری  $EDM(x, y) + \pi/2$  جابجا می شود.

(۳) آستانه هیستریزیس: بزرگترین آستانه  $T_h$  و کوچکترین آستانه  $T_l$  تعریف شده اند. یک پیکسل داوطلب با قدرت لبه بیشتر از  $T_h$  به عنوان پیکسل لبه قوی انتخاب می شود. یک پیکسل انتخابی که قدرت لبه آن بین  $T_l$  و  $T_h$  است به عنوان پیکسل های لبه شناسایی می شوند. یک تصویر باینری جایی که پیکسل های لبه ی آشکار شده، با یک برچسب گذاری می شود، لبه های تصویر SAR هستند [۱۷].

۲-۴-۲-۲-۴ ارزیابی عملکرد از طریق منحنی ROC

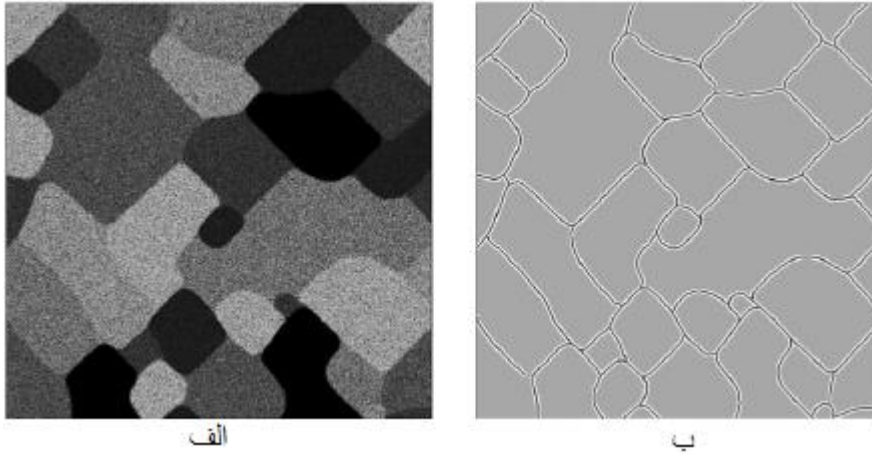
این مشخص است که عملیات آشکارسازی به تنظیم پارامترهای لبه یابی بستگی دارد. منحنی های ROC برای مقایسه نسبی دو لبه یاب پیشنهاد شده است. منحنی های ROC عملکرد آشکارسازها را در بهترین حالت تنظیم پارامترهایشان مقایسه می کنند، که از اثر تنظیم پارامتر خاص در ارزیابی دوری می کند.

در دو آشکارساز، آشکارسازی بهتر است که منحنی ROC آن در سمت چپ پایین تر از آشکارساز

دیگر نهفته شود.

<sup>۲۳</sup> Edge Directional Map

<sup>۲۴</sup> nonmaximum suppression



شکل (۸-۲) الف) تصویر سه نگاهه SAR ب) GT آن [۱۷]

یک صحنه  $512 \times 512$  تصاویر SAR که با GT شبیه‌سازی شده، در شکل (۸-۲) الف نشان داده شده است. پیکسل‌های سیاه در GT همه‌ی ۳۹۶۴ پیکسل لبه را علامت می‌زنند، و مناطق خاکستری در GT، مناطق بدون لبه هستند. اگر یک آشکارساز، یک پیکسل لبه در همسایگی  $3 \times 3$  از پیکسل سیاه گزارش کند، این به‌عنوان پیکسل لبه GT همسان شمرده می‌شود. اگر آشکارساز، یک پیکسل لبه در مناطق بدون لبه گزارش کند، پیکسل لبه غلط شمرده می‌شود. برای آشکارسازهای مستطیل دو-پنجره، فضای دو-پنجره ثابت است و تنظیم پارامتر در فضای پارامتر انجام می‌شود، یعنی

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \begin{array}{l} \omega_f \\ l_f \\ T_l \\ T_h \end{array} \right) : \begin{array}{l} \omega_f \in \{2,3,4,5,6,7,8,9,10\} \\ l_f \in \{5,7,9,11,13,15,17,19,21\} \\ T_l = 0.06 + 0.02k, k = 1,2, \dots, 14 \\ T_h = T_l + 0.02p, p = 1,2, \dots, (0.4 - T_l)/0.02 \end{array} \end{array} \right. \quad (40-2)$$

برای GGS دو-پنجره، پارامتر  $\alpha$  ثابت است و پارامترهای  $\beta$  و  $\sigma_x$  به‌صورت زیر مقداردهی

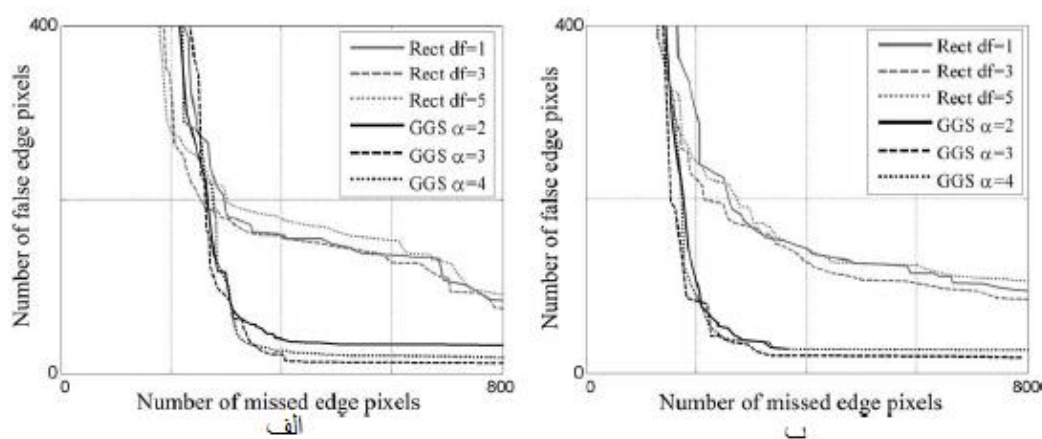
می‌شوند.

$$\beta \in \frac{\Gamma(2\alpha - 1)}{2^{2\alpha-1}\Gamma^2(\alpha)} \{2,3,4,5,6,7,8,9,10\} \quad (41-2)$$

$$\sigma_x = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \{5,7,9,11,13,15,17,19,21\} \quad (42-2)$$

و آستانه‌های بالا و پایین با معادله (۴۰-۲) مقداردهی می‌شوند.

برای دامنه سه یا شش نگاهه<sup>۲۵</sup> تصویر SAR با صحنه شکل (۸-۲) الف، منحنی‌های ROC در شکل (۹-۲) نشان داده شدند که آشکارساز مستطیل دو-پنجره با  $d_f = 1,3,5$  است و آشکارساز GGS دو-پنجره با  $\alpha=2,3,4$  است، آشکارساز GGS دو-پنجره نسبت به مستطیل دو-پنجره پیکسل‌های لبه خیلی کمتری را زمانی که تعداد پیکسل‌های لبه غلط کمتر از ۲۰۰ است، از دست می‌دهد و بنابراین GGS دو-پنجره بهبود ظاهری از عملکرد لبه یاب مبتنی بر نسبت را موجب می‌شود. بهترین منحنی ROC در  $d_f = 3$  برای مستطیل دو-پنجره و در  $\alpha=3$  برای GGS دو-پنجره به دست می‌آید، یعنی یک فضای اختصاصی در دو-پنجره در لبه یابی ضروری است. برای GGS دو-پنجره، فضای دو تابع پنجره وقتی که پارامتر  $\alpha$  در حال افزایش و پارامتر  $\beta$  ثابت است، عریض می‌شود. زمانی که  $\alpha < 2$  است، GGS دو-پنجره فضای کوچکی دارد و نمی‌تواند لبه یاب خوبی را ایجاد نماید [۱۷].

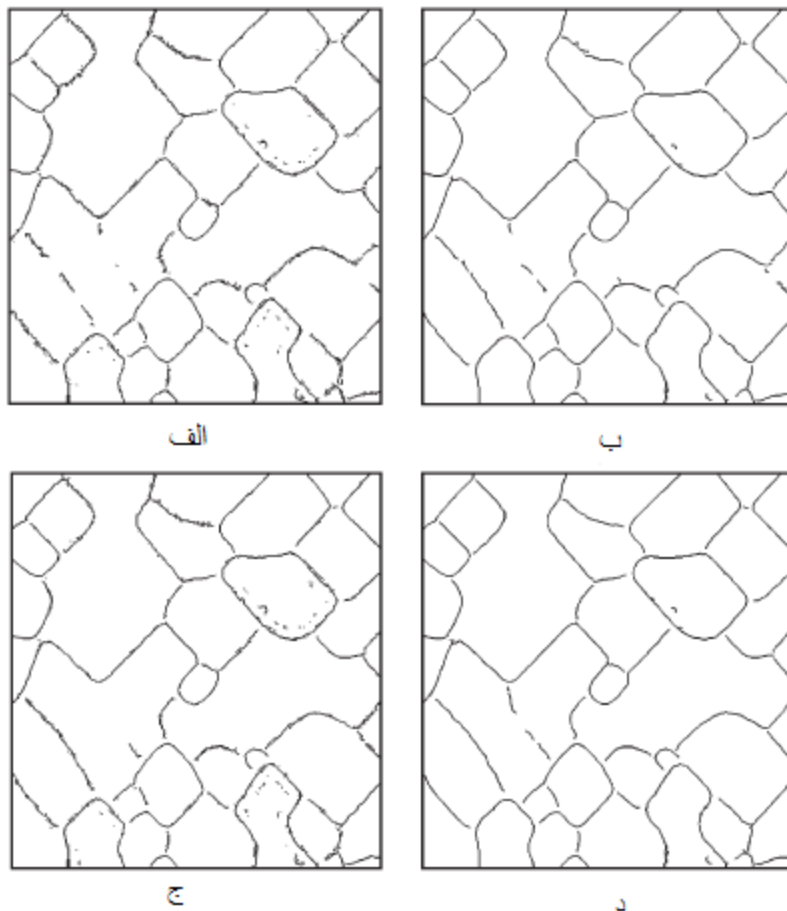


شکل (۹-۲) منحنی ROC لبه یاب با استفاده از مستطیل و GGS دو پنجره (الف) سه ب) شش نگاهه تصویر

[۱۷] SAR

<sup>۲۵</sup> three- and six-look

در برنامه ها، بهترین تنظیم پارامتر به سختی تعیین می‌شود. در یک آزمایش،  $d_f = 3$  و  $w_f = 8$  و  $l_f = 13$  را برای مستطیل دو-پنجره ثابت می‌کنیم و  $\sigma_x = 1.5$  و  $\beta = 3$  و  $\alpha = 3$  برای  $6.5/\sqrt{\pi}$  GGS دو-پنجره تنظیم می‌شود. با افزایش تعداد نگاه‌ها و کاهش نویز دانه ای، عملکرد دو آشکارساز رفته‌رفته بهتر می‌شود. آشکارساز مورد استفاده GGS دو-پنجره عملکرد بهتری نسبت به مستطیل دو-پنجره زمانی که تعداد پیکسل‌های با لبه غلط کمتر از ۲۰۰ است، دارد.



شکل (۱۰-۲) مقایسه لبه‌ها سه نگاهه الف) مستطیل ب). GGS شش نگاهه ج) مستطیل د) GGS [۱۷]

شکل (۱۰-۲) نگاهت‌های لبه استخراج‌شده از تصاویر SAR سه و شش نگاهه را توصیف می‌نماید که آشکارساز آن از GGS و مستطیل دو-پنجره استفاده کرده است. در حالت سه نگاهه، نقشه لبه در مستطیل دو-پنجره ۳۴۹ پیکسل لبه را از دست می‌دهد و ۱۶۶ پیکسل لبه غلط را شامل می‌شود. در حالی که نقشه لبه در GGS دو-پنجره ۳۴۵ پیکسل لبه را از دست می‌دهد و فقط ۴۱ پیکسل لبه

غلط را شامل می‌شود. در حالت شش نگاهه، نقشه لبه در مستطیل دو-پنجره ۳۱۸ پیکسل لبه را از دست می‌دهد و ۱۶۸ پیکسل لبه غلط را شامل می‌شود. در حالی که نقشه لبه در GGS دو-پنجره ۳۰۸ پیکسل لبه را از دست می‌دهد و فقط ۳۶ پیکسل لبه غلط را شامل می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۱۰-۲) الف و ج نشان داده شده است، تقریباً تعداد کمی از پیکسل‌های لبه غلط نزدیک لبه‌های درست در مستطیل دو-پنجره نشان داده شده است. آشکارساز با استفاده از GGS دو-پنجره بیشتر پیکسل‌های لبه غلط نزدیک به لبه‌های درست را حذف نموده، و لبه‌هایی با اتصال بهتری را به دست آورده است [۱۷].

## ۲-۵ روش‌های استخراج خطوط

### ۲-۵-۱ روش تبدیل هاف<sup>۲۶</sup>

تبدیل هاف، یک تکنیک استخراج ویژگی است که در بینایی ماشین و پردازش تصویر دیجیتال استفاده می‌شود. تبدیل هاف آن‌طور که امروزه استفاده می‌شود، پس از کار هاف در ۱۹۶۲، توسط هارت<sup>۲۷</sup> در ۱۹۷۲ با نام تبدیل هاف تعمیم‌یافته، ابداع شد. این تبدیل در بین پژوهشگران بینایی ماشین، توسط کار بالارد<sup>۲۸</sup> در سال ۱۹۸۱، محبوبیت پیدا کرد. عنوان کار بالارد "تبدیل هاف تعمیم یافته برای آشکارسازی شکل‌های دلخواه" بود [۱۸].

تبدیل هاف ابزار قدرتمندی است که به شما این امکان را می‌دهد که نه تنها خطوط را شناسایی کنید، بلکه شکل‌های دیگر را نیز می‌توانید به خوبی شناسایی کنید. به کمک تبدیل هاف می‌توان شیب و محل تقاطع خطوط را تعیین کرد. تبدیل هاف به هر پیکسل تصویر اجازه می‌دهد که رأی دهد. و به خاطر ویژگی‌های ریاضی تبدیل، این رأی‌گیری<sup>۲۹</sup> به ما اجازه می‌دهد که خطوط بارز در تصویر را شناسایی کنیم.

---

<sup>۲۶</sup> Hough transform

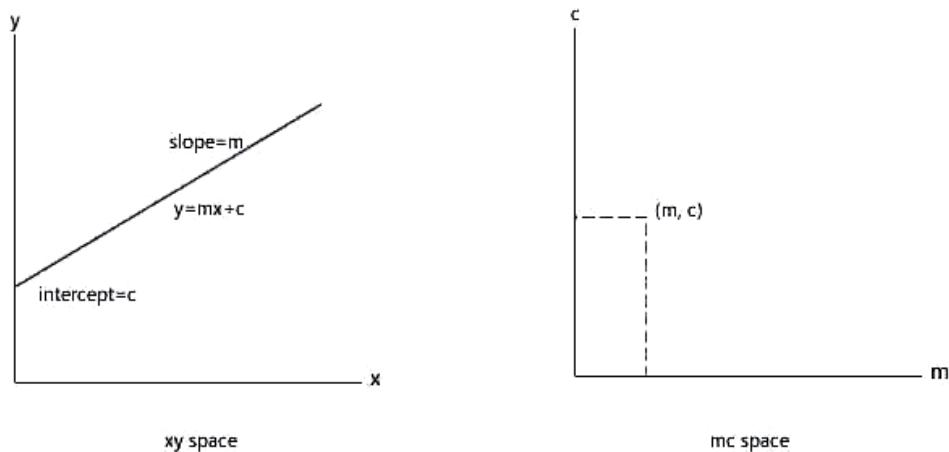
<sup>۲۷</sup> Hart

<sup>۲۸</sup> Ballard

<sup>۲۹</sup> Voting



یک خط مجموعه‌ای از نقاط است و مدیریت و اداره مجموعه‌ای از نقاط مشکل‌تر از اداره یک نقطه مجرد است. اولین چیزی که ما یاد می‌گیریم این است که چگونه یک خط را بدون از دست دادن تمام اطلاعات آن، به صورت یک نقطه مجرد نمایش دهیم.



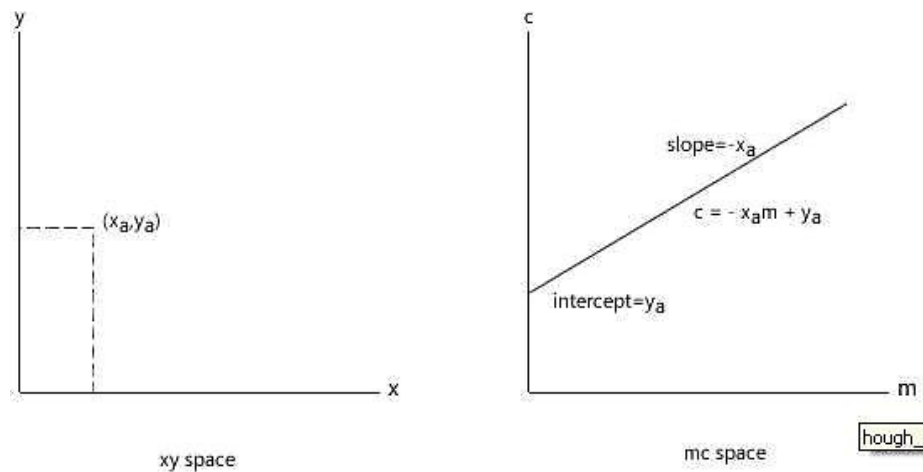
شکل (۱۱-۲) تبدیل خط در فضای  $xy$  به نقطه در فضای پارامتر.

همان‌طور که در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده است، هر خطی دو کمیت مختص به خود را دارد، شیب<sup>۳۰</sup> و عرض از مبدأ<sup>۳۱</sup>، با این دو عدد ما می‌توانیم یک خط را به‌طور کامل بیان کنیم. بنابراین هر خط در فضای  $xy$  برابر است با یک نقطه منفرد در فضای  $mc$ .

اما یک نقطه در فضای  $xy$  را چگونه می‌توان در فضای  $mc$  نمایش داد؟

<sup>۳۰</sup> Slope

<sup>۳۱</sup> Intercept



شکل (۲-۱۲) تبدیل نقطه در فضای  $xy$  به خط در فضای پارامتر.

با توجه به اینکه از یک نقطه، تعداد نامحدودی خط می‌تواند عبور کند، بنابراین برای هر خط

گذرنده از  $(x_a, y_a)$ ، نقطه‌ای در فضای  $mc$  وجود خواهد داشت.

معادله خط گذرنده از  $(x_a, y_a)$

$$y_a = mx_a + c \quad (۴۳-۲)$$

با آرایش مجدد معادله فوق داریم:

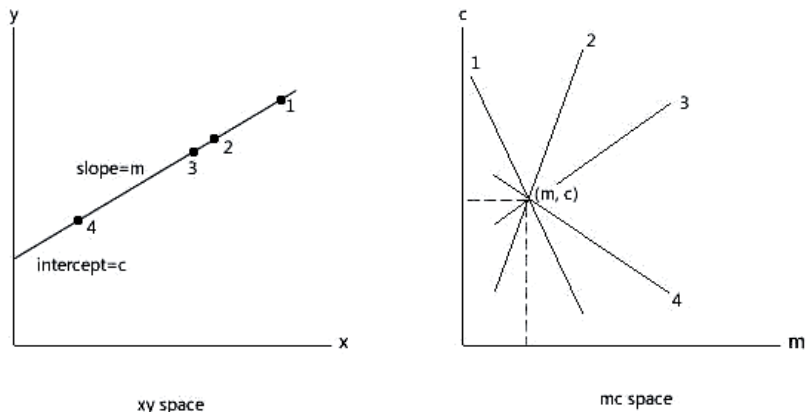
$$c = -mx_a + y_a \quad (۴۴-۲)$$

رابطه فوق، معادله یک خط در فضای  $mc$  است. بنابراین یک نقطه در فضای  $xy$  برابر است با

یک خط در فضای  $mc$ . یک خط آشکارشده از تصویر را در نظر بگیرید. برای هر نقطه غیر صفر روی

این خط، خطوط در فضای  $mc$  را رسم می‌کنیم. مسلماً برخی از خطوط همدیگر را قطع خواهند کرد.

مکان این تقاطع‌ها، پارامترهای خط آشکارشده در فضای  $xy$  را نشان می‌دهد.



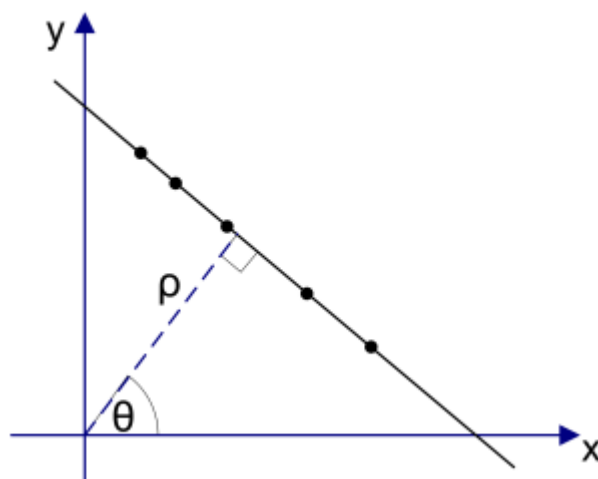
شکل (۲-۱۳) تبدیل چند نقطه در فضای  $xy$  به چند خط در فضای پارامتر هاف [۱۹].

در رابطه (۲-۴۳) معادله خط ذکر شد،  $m$  شیب و  $c$  محل تقاطع با محور  $y$  است. یک خط مستقیم با یک نقطه مجرد  $(m, c)$  نمایش داده می شود، مشکل ارائه یک خط با یک نقطه زمانی است که  $m$  و  $c$  هر دو به سمت بی نهایت بروند. بنابراین مطلوب است که بیان دیگری برای خط بیابیم که مرزهای محدودی دارد. زاویه و فاصله پارامترهایی هستند که جایگزین شیب و عرض از مبدأ می شوند.

اگر فاصله  $\rho(rho)$ ، فاصله از مبدأ به خط در امتداد یک بردار عمود بر خط و زاویه  $\theta(theta)$ ، زاویه

بین محور  $x$  و بردار  $\rho$  باشد، رابطه (۲-۴۳) را بصورت زیر باز نویسی می شود:

$$y = -\frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} * x + \frac{\rho}{\sin(\theta)} \quad (۲-۴۵)$$



شکل (۲-۱۴) نمایش  $\rho$  و  $\theta$  از خط مستقیم (هر خط پارامتر مخصوص به خود را دارد).

رابطه (۲-۴۵) محاسبه مثلثاتی معادله خط است، که با مرتب سازی بر حسب  $\rho$  داریم:

$$\rho = x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta) \quad (۲-۴۶)$$

برخلاف پارامترهای  $m$  و  $c$ ، مقادیر  $\rho$  و  $\theta$  محدود هستند.  $\theta \in [0, 180]$  درجه است و  $\rho \in [-D, D]$  است که  $D$  اندازه قطر تصویر است. در این حالت یک خط تبدیل به یک نقطه مجرد با پارامترهای  $\rho$  و  $\theta$  می شود.

نتیجه تبدیل هاف در یک ماتریس که انباره نامیده می شود، ذخیره می شود. یک بعد از این ماتریس مقادیر زاویه ( $\theta$ ) است و بعد دیگر آن فاصله ( $\rho$ ) است، و هر درایه مقداری دارد که نشان دهنده تعداد نقطه یا پیکسل هایی است که بر روی خط با آن پارامترها ( $\rho, \theta$ ) تکیه دارد. بنابراین، درایه با بیشترین مقدار نمایانگر خطی است که بیشتر در تصویر ورودی نمایش داده شده است.

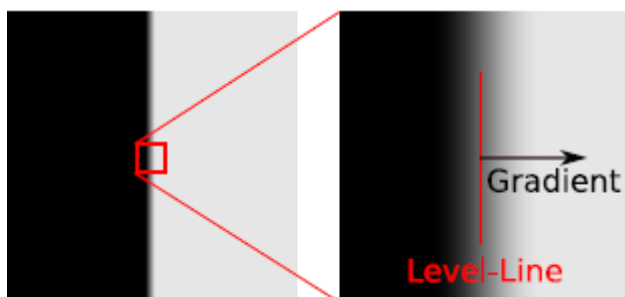
## ۲-۵-۲ آشکارسازی پاره خط<sup>۳۲</sup>

LSD یک آشکارساز پاره خط است که تعداد آشکارسازهای غلط اش را به طور متوسط کنترل می کند که در هر تصویر فقط اجازه یک هشدار غلط را دارد [۲۰].

هدف از LSD آشکارسازی خط های واصل مستقیم محلی در تصویر است. خط های واصل مناطقی از تصویر هستند که مناطق خاکستری به سرعت از تاریکی به روشنایی و برعکس تغییر می کند. بنابراین، گرادیان و سطح-خط تصویر مفاهیم کلیدی هستند و در شکل (۲-۱۵) توصیف شده اند.

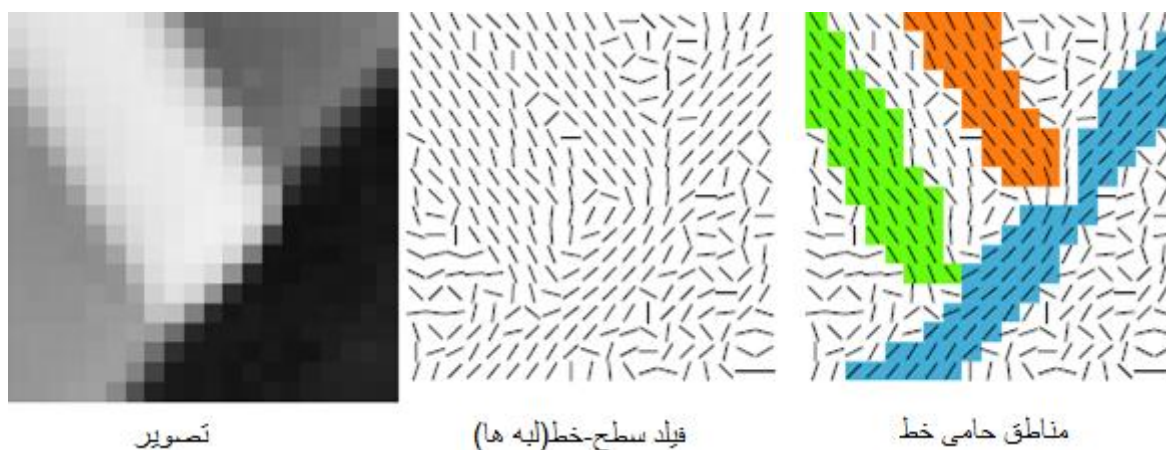
---

<sup>۳۲</sup> LSD: Line Segment Detection



شکل (۲-۱۵) گرادیان و سطح-خط تصویر [۲۰].

الگوریتم با محاسبه زاویه سطح-خط در هر پیکسل آغاز می‌شود تا فیلد سطح-خط را تولید کند. سپس این فیلد به مناطق پیوسته‌ای از پیکسل‌ها که زاویه سطح-خط یکسانی تا تلورانس  $\tau$  دارند بخش‌بندی می‌شود. این مناطق پیوسته مناطق حامی خط نامیده می‌شوند، شکل (۲-۱۶) را ببینید.



شکل (۲-۱۶) مناطق حامی خط [۲۰].

## ۲-۵-۱ الگوریتم LSD

الگوریتم LSD تصویر خاکستری را گرفته و فهرستی از خطوط آشکار شده را برمی‌گرداند.

در اینجا به پارامتر تنظیم‌کننده احتیاجی نیست و منتظر انتخاب کاربر نمی‌ماند.

حال به توضیح در مورد مراحل الگوریتم می‌پردازیم و ملاک‌های پارامترهای ورودی مانند

$S, \Sigma, \rho, \tau, D, \varepsilon$  را طراحی می‌کنیم، که به ترتیب آستانه تعداد هشدارهای غلط در ناحیه سطح خط،

آستانه تراکم پیکسل های هم تراز، آستانه خطای زاویه، آستانه اندازه گرادیان، واریانس و مقیاس تغییر اندازه هستند.

نتایج LSD وقتی که تصویر به مقیاس های مختلفی آنالیز می شود و یا قسمتی از تصویر را بررسی می کنیم متفاوت است.

---

**Algorithm 1:** LSD: Line Segment Detector

---

**Input:** An Image  $I$ ,

**Output:** A list out of rectangles.

1.  $I_s \leftarrow \text{ScaleImage}(I, S, \sigma = \frac{\Sigma}{S})$
  2.  $(LLA, |\nabla I_s|, \text{Ordered List Pixels}) \leftarrow \text{Gradient}(I_s)$
  3.  $\text{Status} \leftarrow \begin{cases} \text{USED}, & \text{pixels with } |\nabla I_s| \leq \rho \\ \text{NOT USED}, & \text{otherwise} \end{cases}$
  4. **For each** pixel  $P \in \text{Ordered List Pixels}$  **do**
  5.     **If** Status( $P$ )= NOT USED **then**
  6.          $\text{region} \leftarrow \text{Region Grow}(P, \tau)$
  7.          $\text{rect} \leftarrow \text{Rectangle}(\text{region})$
  8.         **While** Aligned Pixel Density ( $\text{rect}, \tau$ ) < D **do**
  9.              $\text{region} \leftarrow \text{Cut Region}(\text{region})$
  10.             $\text{rect} \leftarrow \text{Rectangle}(\text{region})$
  11.         **end**
  12.          $\text{rect} \leftarrow \text{Improve Rectangle}(\text{rect})$
  13.          $\text{nfa} \leftarrow \text{NFA}(\text{rect})$
  14.         **If**  $\text{nfa} \leq \varepsilon$  **then**
  15.             **Add**  $\text{rect} \leftarrow \text{out}$
  16.         **end**
  17.     **end**
  18. **end**
- 

اولین قدم در LSD، تبدیل تصویر به ۸۰ درصد اندازه آن است. این تغییر مقیاس باعث می شود

که مصنوعی به نظر نرسد و جزئیات را حفظ می نماید .

در اینجا تغییر مقیاس با زیر نمونه گوسی انجام می‌پذیرد که انحراف معیار آن از رابطه  $\sigma = \Sigma/S$  به دست می‌آید ( $S=0.8, \Sigma=0.6$ ). در این صورت دیگر تصویر مات نخواهد شد و تداخل ایجاد نمی‌شود.

## ۲-۵-۲ محاسبه گرادیان

گرادیان تصویر در هر پیکسل از الگوی  $2 \times 2$  زیر پیروی می‌کند.

$i(x, y)$	$i(x + 1, y)$
$i(x, y + 1)$	$i(x + 1, y + 1)$

که  $i(x, y)$  شدت روشنایی تصویر در پیکسل  $(x, y)$  است. گرادیان تصویر به صورت زیر محاسبه

می‌شود.

$$g_x(x, y) = \frac{i(x + 1, y) + i(x + 1, y + 1) - i(x, y) - i(x, y + 1)}{2} \quad (47-2)$$

$$g_y(x, y) = \frac{i(x, y + 1) + i(x + 1, y + 1) - i(x, y) - i(x + 1, y)}{2} \quad (48-2)$$

محاسبه زاویه سطح-خط

$$\arctan \left( \frac{g_x(x, y)}{-g_y(x, y)} \right) \quad (49-2)$$

و اندازه گرادیان

$$G(x, y) = \sqrt{g_x^2(x, y) + g_y^2(x, y)}. \quad (50-2)$$

گرادیان و زاویه سطح-خط جهت لبه را کدگذاری می‌کنند. زاویه، انتقال از تاریکی به روشنایی

است. توجه داشته باشید که انتقال از تاریکی به روشنایی با انتقال از روشنایی به تاریکی متفاوت است

و  $180^\circ$  درجه اختلاف زاویه بین گرادیان یا زاویه سطح-خط است [۲۰].

## ۲-۵-۳ رشد ناحیه

از یک پیکسل آغاز می‌کنیم و با توجه به الگوریتم، منطقه شروع به رشد می‌کند و این به منطقه حامی خط نام‌گذاری می‌شود. به‌طور بازگشتی هرکدام از همسایه‌ها که استفاده نشدند هم تست می‌شوند و هرکدام که زاویه سطح-خط برابر با زاویه ناحیه  $\theta_{region}$  تا تلورانس  $\tau$  داشته باشند به منطقه اضافه می‌شوند.

مقدار اولیه زاویه منطقه، زاویه سطح-خط نقطه اولیه است و هر زمان که یک پیکسل به منطقه اضافه شود مقدار زاویه منطقه به مقدار زیر بروز رسانی می‌شود.

$$\text{arc tan} \left( \frac{\sum_j \sin(\text{level\_line\_angle}_j)}{\sum_j \cos(\text{level\_line\_angle}_j)} \right) \quad (۵۱-۲)$$

اندیس  $j$  پیکسل‌های منطقه را شامل می‌شود. این پروسه تکرار می‌شود تا زمانی که هیچ پیکسلی دیگر به این منطقه اضافه نشود. الگوریتم ۲ تعریف دقیق‌تری را ارائه می‌دهد.

---

### Algorithm 2: Region Grow

---

input: A level-line field LLA, a seed pixel  $P$ , an angle tolerance  $\tau$ , and a Status variable for each pixel.

Output: A set of pixels: *region*

1. Add  $P \rightarrow region$
2.  $\theta_{region} \leftarrow LLA(P)$
3.  $S_x \leftarrow \cos(\theta_{region})$
4.  $S_y \leftarrow \sin(\theta_{region})$
5. For each pixel  $P \in region$  do
  6. For each pixel  $Q \in Neighborhood(P)$  and Status  $(Q) \neq USED$  do
    7. if angle Diff( $\theta_{region}, LLA(Q)$ )  $< \tau$  then
      8. Add  $Q \rightarrow region$
      9. Status( $Q$ )  $\leftarrow USED$
      10.  $S_x \leftarrow S_x + \cos(LLA(Q))$
      11.  $S_y \leftarrow S_y + \sin(LLA(Q))$
      12.  $\theta_{region} \leftarrow \text{Arctan}(S_y/S_x)$ .
    13. end



14. end  
15. End

## ۲-۵-۲ تقریب مستطیل

یک پاره خط مربوط به یک شکل هندسی (در اینجا مستطیل) است. قبل از تعیین منطقه پشتیبانی خط باید مستطیل‌های مرتبط با آن را پیدا کنیم.

مرکز مستطیل  $(C_x, C_y)$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$c_x = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) \cdot x(j)}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)} \quad (52-2)$$

$$c_y = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) \cdot y(j)}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)} \quad (53-2)$$

که  $G(j)$  اندازه گرادیان پیکسل  $z$  و اندیس  $z$  پیکسل‌های منطقه را شامل می‌شود. برای محاسبه زاویه مستطیل اصلی به محاسبه ماتریس  $M$  می‌پردازیم که با زاویه بردارهای ویژه مرتبط با کوچک‌ترین مقادیر ویژه تنظیم می‌شود. ماتریس  $M$  را از رابطه (۵۴-۲) به دست می‌آوریم.

$$M = \begin{pmatrix} m^{xx} & m^{xy} \\ m^{xy} & m^{yy} \end{pmatrix} \quad (54-2)$$

$$m^{xx} = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) \cdot (x(j) - c_x)^2}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)} \quad (55-2)$$

$$m^{yy} = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) \cdot (y(j) - c_y)^2}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)} \quad (56-2)$$

$$m^{xy} = \frac{\sum_{j \in \text{Region}} G(j) \cdot (x(j) - c_x)(y(j) - c_y)}{\sum_{j \in \text{Region}} G(j)} \quad (57-2)$$

## ۲-۵-۲-۵ محاسبه NFA<sup>۳۳</sup>

یک مفهوم کلیدی در اعتبار یک مستطیل، نقاط هم‌تراز  $p$  است، یعنی پیکسل‌هایی از مستطیل که زاویه سطح-خط آن‌ها با جهت‌گیری اصلی مستطیل برابر یا تا تلورانس  $p\pi$  است. مقدار اولیه  $p$  با مقدار  $T/\pi$  تنظیم می‌شود.

سپس، تعداد هشدارهای غلط مربوط به مستطیل  $r$  به صورت زیر است.

$$NFA(r) = (NM)^{5/2} \gamma \cdot B(n, k, p) \quad (58-2)$$

که  $N$  و  $M$  تعداد ستون و سطر تصویر، بعد از تغییر مقیاس است و  $B$  سری دو جمله است.

$$B(n, k, p) = \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j}. \quad (59-2)$$

روی هم‌رفته، برای هر مستطیل در حال ارزیابی و با توجه به دقت  $p$ ، اعداد  $k$  و  $n$  شمارش می‌شوند و سپس، مقدار  $NFA$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

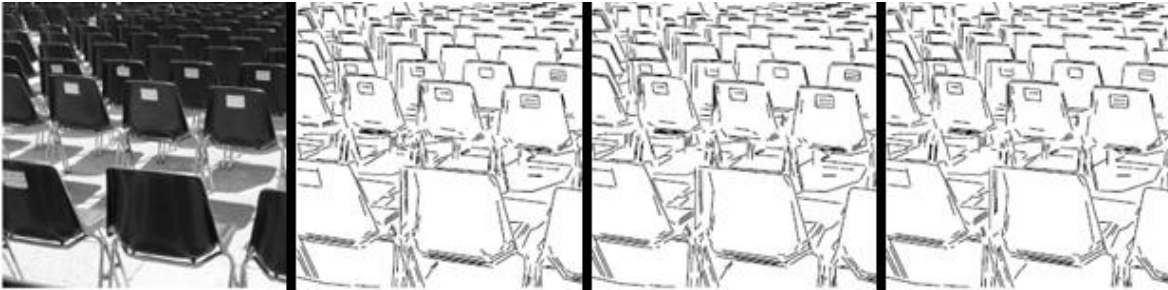
$$NFA(r) = (NM)^{5/2} \gamma \cdot \sum_{j=k}^n \binom{n}{j} p^j (1-p)^{n-j}. \quad (60-2)$$

مستطیل‌هایی با  $NFA(r) < \varepsilon$  برای آشکارسازی معتبر هستند.

در شکل (۱۷-۲) پاره خط‌های تصویر ورودی را به ازای  $\varepsilon$  های ۱ و ۰٫۱ و ۰٫۰۱ نشان می‌دهیم.

دهیم.

<sup>۳۳</sup> Number of False Alarms



شکل (۱۷-۲) نتایج LSD برای تصویر سمت چپ برای سه مقدار متفاوت  $\varepsilon=1$  و  $\varepsilon=0.1$  و  $\varepsilon=0.01$  [۲۰].  
در پیاده‌سازی، دنباله دوجمله‌ای از تابع گاما تبعیت می‌کند.

$$\binom{n}{k} = \frac{\Gamma(n+1)}{\Gamma(k+1) \cdot \Gamma(n-k+1)}. \quad (۶۱-۲)$$

تابع گاما محاسبه مؤثرتری می‌تواند داشته باشد [۲۰].

### ۲-۵-۳ تبدیل رادون<sup>۳۴</sup>

یکی از روش‌های نمایش خط مستقیم در مختصات کارتزین  $\rho = x * \cos(\theta) + y * \sin(\theta)$

است. تابع معین  $f$  در فضا داده شده است که با محاسبه انتگرال سیگنال ورودی  $f$  بر روی خطوط مستقیم در راستاهای مختلف  $\rho, \theta$  تبدیل رادون آن دست می‌آید. برای هر جفت  $\rho$  و  $\theta$ ، از  $f$  در طول خطوط متفاوت انتگرال می‌گیریم. این فرایند تبدیل رادون نامیده می‌شود، که بخاطر ریاضی دان اتریشی ژوهان رادون (۱۸۸۷-۱۹۵۶) به این نام خوانده می‌شود. برای ورودی  $f$ ، تعریف تابع رادون  $\mathcal{R}(f)$  بصورت زیر است.

تعریف: برای تابع داده شده  $f$ ، که دامنه آن صفحه است، تبدیل رادون  $f$  برای جفت  $(\rho, \theta)$  به

صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathcal{R} f(\rho, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - \rho) dx dy. \quad (۶۲-۲)$$

<sup>۳۴</sup> Radon transform

چند نکته این که (۱)  $f$  و  $\mathcal{R}(f)$  هر دو تابع هستند. (۲)  $f$  تابع در مختصات کارتزین  $x$  و  $y$  است، در حالیکه  $\mathcal{R}(f)$  تابع در مختصات قطبی  $\rho$  و  $\theta$  است. (۳)  $\mathcal{R}f(\rho, \theta)$  یک عدد است (مقدار انتگرال است). (۴) در انتگرال سمت راست، متغیر انتگرال  $x$  و  $y$  است، در حالی که مقادیر  $\theta$  از قبل انتخاب می شوند و بنابراین باید هنگام محاسبه انتگرال ثابت باشند [۲۱].

در حالت گسسته، معادله (۶۲-۲) بصورت زیر نوشته می شود:

$$\mathcal{R}f(\rho, \theta) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \delta(x \cos(\theta) + y \sin(\theta) - \rho) \quad (۶۳-۲)$$

که  $x, y, \rho$  و  $\theta$  متغیرهای گسسته هستند. اگر  $\theta$  را ثابت نگه داشته و  $\rho$  متغیر باشد، بسادگی می بینیم که معادله (۶۳-۲) مجموع پیکسل های  $f(x, y)$  در طول خطوطی است که با مقادیر مشخصی از این دو پارامتر  $(\rho, \theta)$  تعریف می شوند. افزایش مقادیر  $\rho$  (با  $\theta$  ثابت) یک افکنش را ارائه می دهد. با تغییر  $\theta$  و تکرار روند قبلی، افکنشی دیگر ایجاد می شود. و به همین ترتیب، روند برای تمامی  $\theta$ ها تکرار می شود تا کل افکنش ها تولید شوند.

## ۲-۶ سلول های ورونوی<sup>۳۵</sup>

یکی از پایه‌ای‌ترین مسائل در کاربردهای گوناگون، چگونگی تشکیل ساختمان داده بر روی مجموعه نقاط، جهت محاسبه‌ی نزدیک‌ترین همسایگی است. برای حل این مسئله در فضای دوبعدی راه‌حل‌های مناسبی وجود دارد که عمومی‌ترین آن‌ها تشکیل دیاگرام ورونوی بر روی داده‌ها است. دیاگرام ورونوی ابزار محاسباتی پایه در محاسبات هندسی است، که در کاربردهایی مثل خوشه‌بندی، برنامه‌ریزی حرکت<sup>۳۶</sup>، یادگیری و بازیابی سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۲].

<sup>۳۵</sup> Voronoi

<sup>۳۶</sup> Motion planning

فرض می‌شود  $P$  مجموعه‌ای از  $n$  نقطه واقع بر صفحه‌ی  $\mathbb{R}^2$  باشد، ایده کلی به این صورت است که به هر نقطه یک ناحیه اثر به قسمی که مجموع این نواحی برابر با صفحه  $\pi$  شود، نسبت داده می‌شود. ولی در ابعاد بالاتر، به دست آوردن نزدیک‌ترین نقطه و یا همان ناحیه‌ی اثر به راحتی میسر نیست.

مطابق شکل (۲-۱۸) و رابطه زیر، ناحیه ورونوی نقطه  $p$  در یک مجموعه‌ی محدود  $S \in \mathbb{R}^3$  مجموعه‌ای از نقاط است که به  $p$  بسیار نزدیک‌تر هستند تا سایر نقاط ( $S$ ).

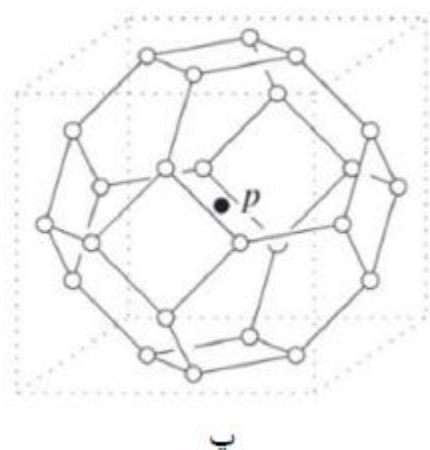
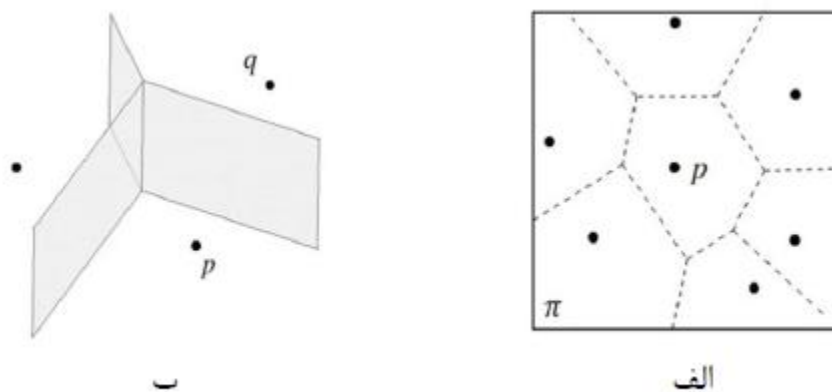
$$V_p = \{x \in \mathbb{R}^3 \mid \|x - p\| \leq \|x - q\|, \forall q \in S\} \quad (۲-۶۴)$$

توجه کنید که طبق رابطه زیر که به صورت جزئی، تنها دو نقطه را در نظر گرفته است، چندضلعی تشکیل شده از نقاط به  $p$  نزدیک‌تر هستند تا  $q$ :

$$H_{pq} = \{x \in \mathbb{R}^3 \mid \|x - p\| \leq \|x - q\|\} \quad (۲-۶۵)$$

در صورت استفاده از معیار فاصله‌ی اقلیدسی، از آنجاکه ناحیه‌ی ورونوی برای  $p$  از برخورد نیم فضاهای  $H_{pq}$  برای تمامی  $q \in S - \{p\}$  به دست می‌آید، در نتیجه  $V_p$  یک چندوجهی محدب می‌شود. در ناحیه بندی مدل‌های مورد استفاده در طراحی به کمک رایانه حفظ شرایط پیوستگی بسیار حائز اهمیت است، به همین دلیل معیار اندازه‌گیری اقلیدسی برای ناحیه بندی مدل‌های سه‌بعدی، چندان مناسب نیست و بهتر است از معیار اندازه‌گیری دیگری استفاده شود.

با اینکه عمومی کردن دیاگرام ورونوی برای دسته‌بندی موارد غیر از نقطه بسیار کاربرد دارد، ولی در ابعاد بالاتر به دلیل محاسبات سنگین استفاده از آن مشکل می‌شود. بنابراین با افزایش ابعاد مسئله، ساخت و ذخیره‌سازی این دیاگرام‌ها از نظر محاسباتی غیر قابل اجرا خواهد شد.



شکل (۲-۱۸) الف) ناحیه بندی صفحه  $\pi$  با استفاده از دیاگرام ورونوی دو بعدی ب) ناحیه بندی با استفاده از دیاگرام ورونوی در حالت سه بعدی و نحوه تشکیل نیم فضاها پ) چندوجهی محدب حاصل از برخورد نیم فضاها [۲۲]

## ۲-۷ فاصله هاسدورف

فاصله هاسدورف<sup>۳۷</sup> یک مقیاس متریک شکل است که حتی زمانی که تصویر شامل اشیاء متعدد، نویز و ویژگی‌های جعلی است، قابل اعتماد است و به خوبی عمل می‌کند. فاصله هاسدورف اندازه‌ی بین دو مجموعه نقطه است، بین دو مجموعه نقطه  $I$  و  $M$  در صفحه، فاصله برابر است با:

$$H(M, I) = \max(h(M, I), h(I, M)) \quad (۲-۶۶)$$

که

<sup>۳۷</sup> Hausdorff distance

$$h(M, I) = \max_{m \in M} \min_{i \in I} \|m - i\| \quad (۶۷-۲)$$

و  $\| \cdot \|$  نرم صفحه است. برای محاسبه  $h(M, I)$  ابتدا فاصله هر نقطه از  $M$  با نزدیک‌ترین نقطه از  $I$  اندازه گرفته می‌شود و بیشترین فاصله را گزارش می‌نماید؛  $h(I, M)$  به‌طور مشابه قابل محاسبه است، و بزرگ‌ترین اندازه، فاصله  $H(M, I)$  است.  $h(M, I)$  فاصله مستقیم از  $M$  به  $I$  دقیقاً زمانی کوچک است که تمام نقاط  $M$  نزدیک به بعضی نقاط  $I$  باشند. به‌طور مشابه  $h(I, M)$  زمانی کم است که تمام نقاط  $I$  نزدیک به بعضی نقاط  $M$  باشد، و  $H(M, I)$  زمانی کوچک است که هر دو گزاره درست باشند.

اگر  $M$  و  $I$  تقریباً شبیه به هم باشند، به‌جز یک نقطه از  $M$  که از تمام نقاط  $I$  دور است، در این صورت  $h(M, I)$  و بنابراین  $H(M, I)$  تقریباً بزرگ خواهند بود [۲۳].

## ۲-۸ تطابق نقاط

### ۲-۸-۱ تطابق مبتنی بر ویژگی: روش بردارهای ویژه

مسئله تطابق یک موضوع جامع در بینایی ماشین است که جفت نمودن بین ویژگی‌های دو الگوی وابسته به هم باید در آن یافت شود. در این الگوریتم ابتدا به آنالیز تصاویر به‌صورت جداگانه می‌پردازد تا حالت آن را استخراج نماید، و سپس از این حالت برای تطابق استفاده می‌نماید. برای فهم شهودی روش، شکلی را با  $m$  ویژگی  $x_i$  در نظر بگیرید. ماتریس مجاورت مربع  $H$  با استفاده از وزن گوسی ایجاد می‌نماییم [۱۱]:

$$H_{ij} = e^{-r_{ij}/2\sigma^2} \quad (۶۸-۲)$$

که  $r_{ij} = \|x_i - x_j\|^2$  است و  $H$  متقارن است و المان‌های قطری آن واحد هستند. پارامتر  $\sigma$  اثر متقابل بین ویژگی‌ها را کنترل می‌کند. برای مقادیر کوچک  $\sigma$  هر ویژگی فقط از حوالی خود اطلاعات دارد، درحالی‌که برای مقادیر بزرگ‌تر  $\sigma$  هر ویژگی آگاهی بیشتری دارد. چون دو پروسه تجزیه و تحلیل در هر تصویر مستقل از هم هستند، مقادیر  $\sigma$  برای دو تصویر می‌تواند متفاوت باشد، که به ترتیب آن‌ها را  $\sigma_1$  و  $\sigma_2$  می‌گذاریم.

سپس مقادیر ویژه و بردارهای ویژه  $H$  را محاسبه می‌نماییم.

$$HE_i = \lambda_i E_i \quad i = 1, \dots, m \quad (۶۹-۲)$$

بردارهای ویژه ذاتاً متعامد هستند. در شکل ماتریسی آن داریم:

$$H = VDV^T \quad (۷۰-۲)$$

ماتریس قطری  $D$  شامل مقادیر ویژه است که در طول قطرها، اندازه کاهش می‌یابد. ماتریس

مودال  $V$  نیز متعامد است، که بردارهای ویژه آن به صورت ستونی به این قرار است ( $V = [E_1 | \dots | E_m]$ ).

هر سطر از  $V$  می‌تواند به عنوان بردار ویژگی  $F_i$  به صورت زیر نمایش داده شود:

$$V = \begin{bmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_m \end{bmatrix} \quad (۷۱-۲)$$

آخرین مرحله، مرتبط کردن دو مجموعه از بردارهای ویژگی به یکدیگر است. ماتریسی با عنوان

$Z_{ij}$  تعریف می‌کنیم. با توجه به این نکته که تمام درایه های ماتریس  $V$  بین ۱ تا ۱- هستند، اگر مقدار

هر کدام از درایه های  $Z_{ij}$  صفر باشد یعنی دو تصویر کاملاً منطبق اند و اگر مقدار آن ۲ باشد به هیچ وقت

منطبق نشده‌اند. بهترین تطابق با استفاده از المانهای  $Z$  قابل ارزیابی است به گونه‌ای که کوچکترین

مقدار در سطر و ستون مربوطه نشان دهنده بهترین تطابق است. مقدار  $Z_{ij}$  با استفاده از فاصله اقلیدسی

بین بردارهای ویژگی به صورت زیر است [۱۱]:

$$Z_{ij} = \|F_{i,1} - F_{j,2}\|^2 \quad (۷۲-۲)$$

که  $F_{i,1}$  بردار ویژگی سطر  $i$  ام تصویر اول و  $F_{j,2}$  بردار ویژگی سطر  $j$  ام از تصویر دوم است.

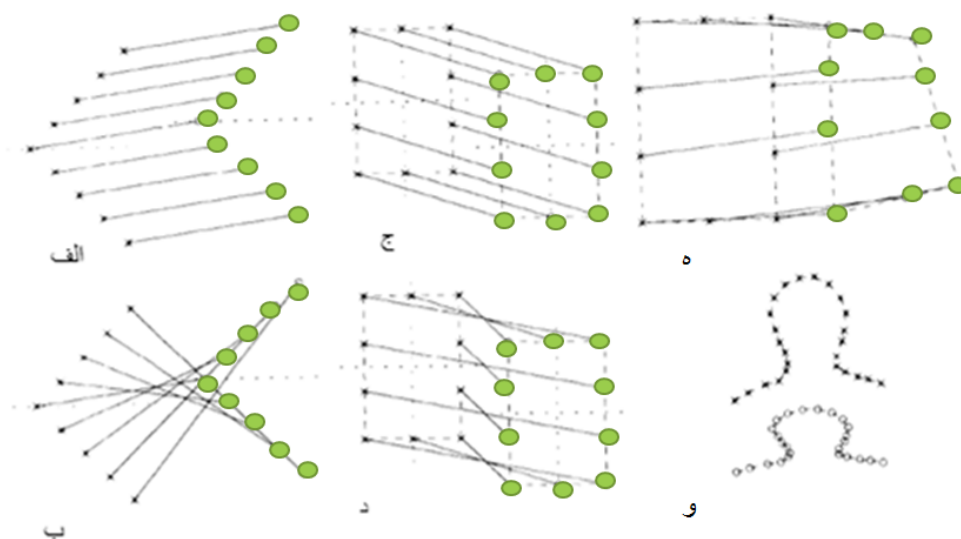
زمانی که  $Z_{ij}$  کمترین مقدار را در  $i$  امین سطر و  $j$  امین ستون داشته باشد، نشان می‌دهد که  $i$  امین

ویژگی (نقطه) از تصویر اول با  $j$  امین ویژگی (نقطه) از تصویر دوم با یکدیگر تطابق دارند.

چون حالتها منحصراً بر پایه‌ی فاصله بین ویژگی‌هاست، در توصیف شکل‌ها، تبدیلی که فاصله

را حفظ نماید بی‌تأثیر است.





شکل (۲-۱۹) الگوریتم مدال الف(ب) دو نگاشت ممکن برای شکل سقف مانند ج(د) دو تا از چهار نگاشت ممکن برای مستطیل ه) مستطیل ناهموار با تخریب اندک و) دو شکل ناهموار که حالت‌ها چون شبیه به هم نیستند منطبق نشدند [۱۱].

الگوریتمی ارائه می‌شود که توصیفی مودال از یک تصویر ایجاد می‌نماید که مبتنی بر توزیع فضایی ویژگی‌های آن است. معرفی شکل با چرخش و انتقال در صفحه تصویر به کار گرفته می‌شود. همچنین الگوریتم از عهده مقیاس واحد و کج شدگی اندک برمی‌آید، و علاوه بر آن چند اتصال معتبر را نیز که ناشی از تقارن است آشکار می‌نماید. از نقطه نظر کاربردی، الگوریتم شرایط خوبی دارد و جواب تک مرحله‌ای است. اگرچه، در ارائه کلی شکل حضور انسداد و چند شیء متحرک دشوار است که هنوز حل نشده است.

## ۲-۸-۲ تطابق تصویر نوری به SAR با استخراج خطوط و ورنوی

ثبت تصویر، پردازشی بر پایه دو یا چند تصویر است که در زمان‌های متفاوت یا از دیدهای مختلف یا حسگرهای متنوع گرفته شده است. تصاویر نوری قابلیت تفسیر خوبی دارند، اما به سادگی از شرایط جوی تأثیر می‌پذیرند، در حالی که تصاویر SAR در کل روز و شب داده دریافت می‌کند، اما تحت تأثیر نویز دانه‌ای است.

## ۲-۸-۲-۱ استخراج پاره خط

روشی که برای استخراج خطوط تصاویر نوری مؤثر است به سبب وجود نویز ضرب شونده دانه ای در تصاویر SAR قابل استفاده نیست، بنابراین دو روش استخراج متفاوت برای تصاویر در نظر می‌گیریم [۱۲].

۱. استخراج خطوط تصاویر نوری: آشکارساز پاره خط<sup>۳۸</sup> برای استخراج خطوط تصاویر نوری استفاده می‌شود.
۲. استخراج خطوط تصاویر SAR: نویز دانه ای کیفیت تصاویر را کاهش می‌دهد. با استفاده از فیلتر لی به حذف نویز می‌پردازیم. و سپس به لبه یابی با استفاده از GGS دو پنجره می‌پردازیم. پس از استخراج لبه، با استفاده از تبدیل هاف به استخراج خطوط می‌پردازیم.

## ۲-۸-۲-۲ پیش پردازش خطوط

پاره خط‌ها اغلب یا تکه‌تکه اند یا کامل نشده‌اند. بعلاوه، به خاطر کیفیت تصاویر و downsample انتهای پاره خط‌ها در مکان مناسبی نیستند و ممکن است خطا داشته باشند. برای کاهش خطا دو قید مطرح شده است.

اولین قید، محدودیت طول است. خط‌های با طول بیشتر قوی‌تر هستند. پس طول هر پاره خط نباید از یک آستانه  $t_l$  کمتر باشد. این آستانه برای تصاویری که از  $256 \times 256$  پیکسل کمتر هستند ۱۵ در نظر گرفته شده است و برای تصاویر بزرگ‌تر از آن از رابطه  $15 \times [N/256]$  استفاده می‌شود، که [۰] تابع floor است، و  $N$  کمترین مقدار طول و عرض تصویر ورودی است.

دومین قید، محدودیت در زاویه است. اگر دو پاره خط خیلی به هم نزدیک و موازی باشند پس نقطه تلاقی آن‌ها پایدار نیست و در بی‌نهایت است. بنابراین، پاره خط‌ها با زاویه برخورد کمتر از ۱۰ درجه در نظر گرفته نمی‌شود.

---

<sup>۳۸</sup> LSD: Line Segment Detection

تنها پاره‌خط‌هایی قابلیت تطبیق دارند که این دو شرط را برآورده نمایند [۱۲].

## ۳-۲-۸-۲ تطابق VSPM<sup>۳۹</sup>

یافتن تطابق بین دو مجموعه نقطه با ساختار کلی مؤثر نیست و اینکه ساختار محلی برای نقاط در نظر گرفته شود، خیلی ضروری است. سلول ورونوی، یکی از راه‌های افراز فضا به چند ناحیه است، که رابطه بین چندضلعی‌ها و نواحی با فاصله هاسدورف سنجیده می‌شود و سپس ماتریس مجاورت H به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۲]:

$$H = [h_{ij}] = \begin{cases} -r_{ij}^2 & i \neq j \\ -\sum_{k \neq i} r_{ik} & i = j \end{cases} \quad (۷۳-۲)$$

$$r_{ij} = e^{-\text{hausdorff}(VPi, VQj)/2\sigma^2} \quad (۷۴-۲)$$

$$\text{hausdorff}(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (۷۵-۲)$$

$$h(A, B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (۷۶-۲)$$

که  $r_{ij}$  فاصله وزن دار گوسی بین دو چندضلعی ورونوی  $VPi$  و  $VQj$  است.  $\text{hausdorff}(A, B)$  فاصله هاسدورف بین چندضلعی‌های  $A$  و  $B$  است و  $a$  و  $b$  نقاط چندضلعی هستند. پس ماتریس مجاورت H را برای هر دو تصویر به دست آورده و آن‌ها به بردارهای ویژه و مقادیر ویژه تجزیه می‌شوند، یعنی برای دو مجموعه نقطه P و Q داریم:

$$HP = UEU^T \quad (۷۷-۲)$$

$$HQ = VDV^T \quad (۷۸-۲)$$

<sup>۳۹</sup> Voronoi Spectral Point Matching

که مقادیر قطر E و D مقادیر ویژه هستند و ستون های U و V بردارهای ویژه هستند.

محدودیت زاویه نیز به تطابق کمک می کند. فرض کنید دو پاره خط  $(L_1^o, L_2^o)$  در تصویر نوری و  $(L_1^s, L_2^s)$  در تصویر SAR است. اگر اختلاف زاویه بین دو خط  $(L_1^o, L_2^o)$  و دو خط  $(L_1^s, L_2^s)$  زیاد باشد، غیرممکن است که این دو با یکدیگر جفت شوند، پس به صورت زیر داریم:

$$A(P_o, P_s) = \begin{cases} 1, & \text{if } |\theta(L_1^o, L_2^o) - \theta(L_1^s, L_2^s)| < t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (۷۹-۲)$$

برای بهترین تطابق، زاویه بین دو خط  $(L_1^o, L_2^o)$  و دو خط  $(L_1^s, L_2^s)$  باید با هم برابر باشند. آستانه در اختلاف زوایای خطوط در اینجا ۵ درجه انتخاب می شود. پس Z نهایی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Z = A(UV^T) \quad (۸۰-۲)$$

اگر  $Z_{ij}$  بزرگترین مقدار در سطر i ام و ستون j ام باشد، پس i امین نقطه در U و j امین نقطه در V با یکدیگر منطبق هستند [۱۲].

## ۳ فصل سوم: الگوریتم

### پیشنهادی

### ۳-۱ مقدمه

همان‌طور که قبلاً آورده شد، مسئله پیش رو تطابق دو تصویر گرفته شده از یک صحنه با دو نوع سنسور مختلف است که باید به بررسی آن‌ها پرداخته شود. تصاویر نوری قابلیت تفسیر خوبی دارند، اما متأسفانه تحت تأثیر شرایط جوی هستند. درحالی‌که تصاویر SAR در طول شبانه روز قابل ثبت است، اما وجود نویز دانه‌ای که ذاتاً هنگام تصویربرداری SAR وجود دارد وضوح این تصاویر را کاهش می‌دهد. پس، باید مراحل طی شود تا بدون آسیب زدن به تصاویر موجود بتوان این تصاویر را انطباق داد. با توجه به ساختار تصاویر SAR پس از ورود تصویر باید به حذف نویز آن پرداخته شود، سپس لبه‌یابی شود تا بتوان به استخراج ویژگی پرداخته و مراحل پردازش و تطابق بر روی آن انجام شود. مراحل حذف نویز به کمک فیلتر لی و لبه‌یابی GGS و نحوه استخراج خطوط در فصل دوم به آن‌ها اشاره شده است.

### ۳-۲ مراحل الگوریتم پیشنهادی

در شکل (۳-۱) مراحل مختلف الگوریتم پیشنهادی را مشاهده می‌نمایید. در ادامه به شرح مراحل مختلف الگوریتم می‌پردازیم.

### ۳-۲-۱ تصویر SAR و نوری

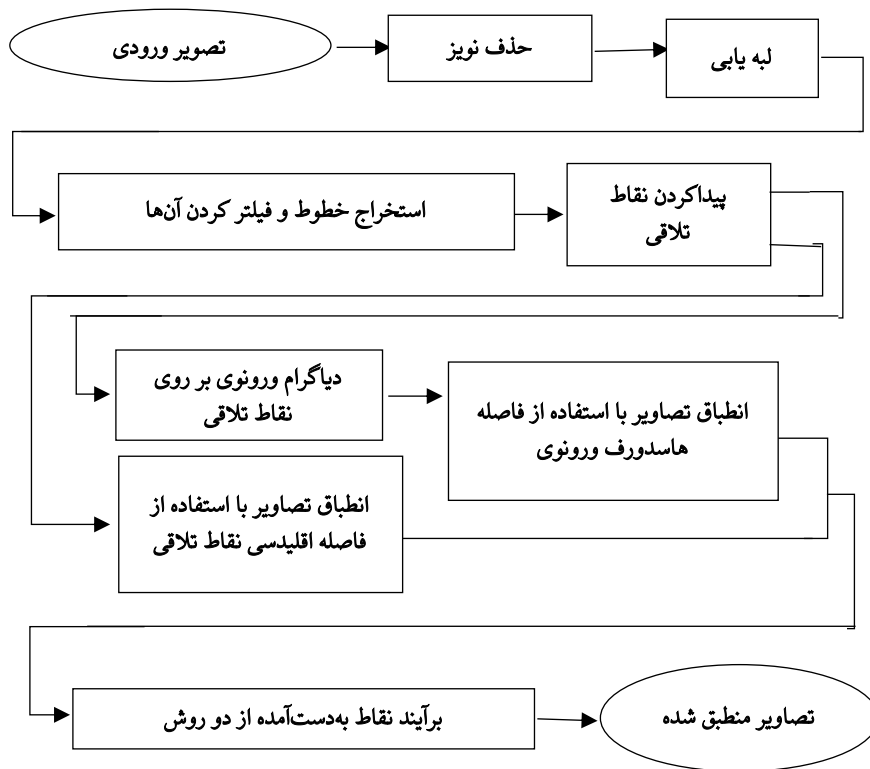
شرکت سندیا<sup>۴۰</sup> مجموعه تصاویر SAR را با فرمت GFF ذخیره‌سازی نموده و برنامه‌هایی برای خواندن و نشان دادن تصاویر SAR با این فرمت نیز ارائه داده شده که در این پایان‌نامه از آن‌ها بهره‌برده ایم [۲۴].

تصاویر نوری نیز تصاویر استفاده‌شده از دیتا بیس گوگل ارث<sup>۴۱</sup> است.

---

<sup>۴۰</sup> Sandia

<sup>۴۱</sup> Google earth



شکل (۳-۱) بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی

### ۳-۲-۲ حذف نویز با استفاده از فیلتر Lee

همان‌طور که گفته شد تصاویر SAR ذاتاً دارای نویز دانه ای هستند، پس برای حذف آن از فیلتر لی استفاده می‌نماییم.

شکل (۳-۲) و شکل (۳-۳) دو داده از تصاویر SAR است، که تصویر اصلی و تصویر حذف نویز شده با فیلتر لی را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوی نقطه‌ای نویز دانه ای نرم‌تر شده و تا حد زیادی توانسته نویز را از تصویر اصلی جدا کند.



الف



ب

شکل (۲-۳) داده ۱ الف) تصویر اصلی SAR ب) تصویر حذف نویز شده SAR با فیلتر لی.





الف



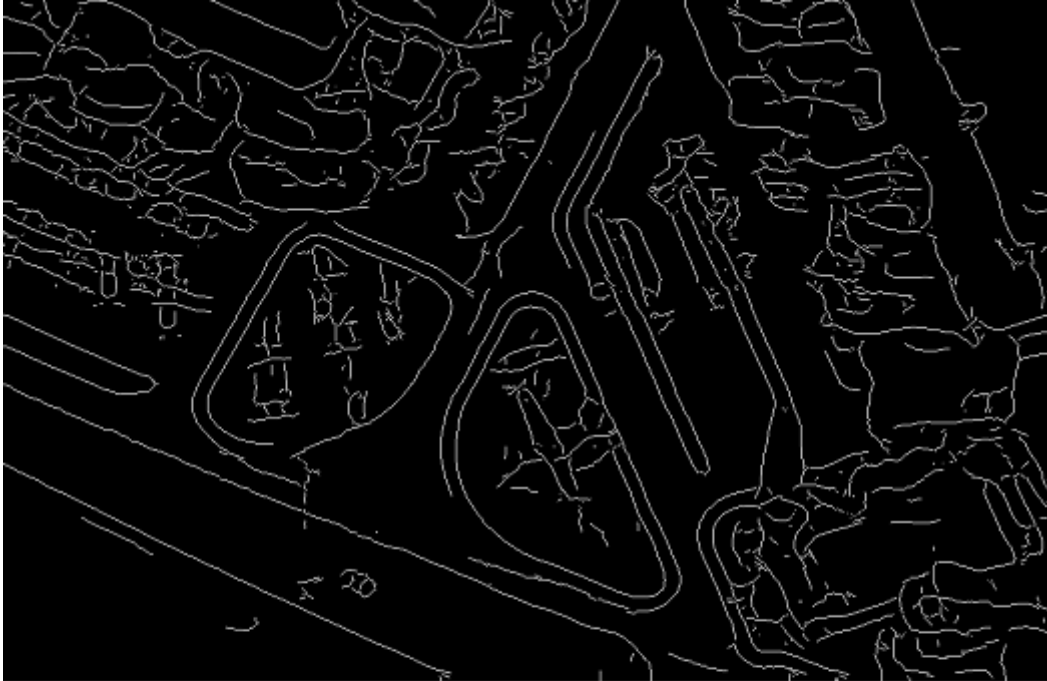
ب

شکل (۳-۳) داده ۲ الف) تصویر اصلی SAR ب) تصویر حذف نویز شده SAR با فیلتر لی.

### ۳-۲-۳ لبه یابی با استفاده از GGS

در این مرحله به لبه یابی تصاویر SAR و نوری می‌پردازیم. لبه یابی تصاویر یکی از مراحل مهم است، زیرا آغاز استخراج ویژگی از تصاویر است و هرچه لبه یابی با دقت بهتری انجام شود استخراج ویژگی، دقیق‌تر و بهتر خواهد بود.

شکل (۳-۴) و شکل (۳-۵) تصاویر لبه یابی شده‌ی داده ۱ شامل تصاویر SAR و نوری هستند که در قسمت الف تنها با استفاده از لبه یاب GGS لبه یابی شده اند و در قسمت ب بر روی لبه یاب آن‌ها توابع مورفولوژی نیز اعمال شده است زیرا با اعمال این توابع خطوط دقیق‌تر خود را نشان می‌دهند. موارد استفاده از توابع مورفولوژی در این پایان نامه، در ابتدا حذف خطوط کوچک است تا خطوطی که ناپیوسته هستند و یا بعلت وجود نویز در تصویر ایجاد شده اند را حذف نماید، به این صورت که در این قسمت تمام عناصر کمتر از ۶۵ پیکسل متصل را در تصویر باینری موجود از بین می‌برد و عبارتی لبه های قوی تر را نگه می‌دارد. پس از آن خطوط را نازک سازی می‌کنیم و فرایند نازک سازی را بقدری انجام می‌دهیم تا تصویر دیگر تغییری نکند به این منظور تعداد تکرار عملیات را برابر با بی نهایت قرار می‌دهیم. ضخامت لبه ها کاهش می‌یابد و در نتیجه لبه های آشکار شده دقت بالایی دارند.

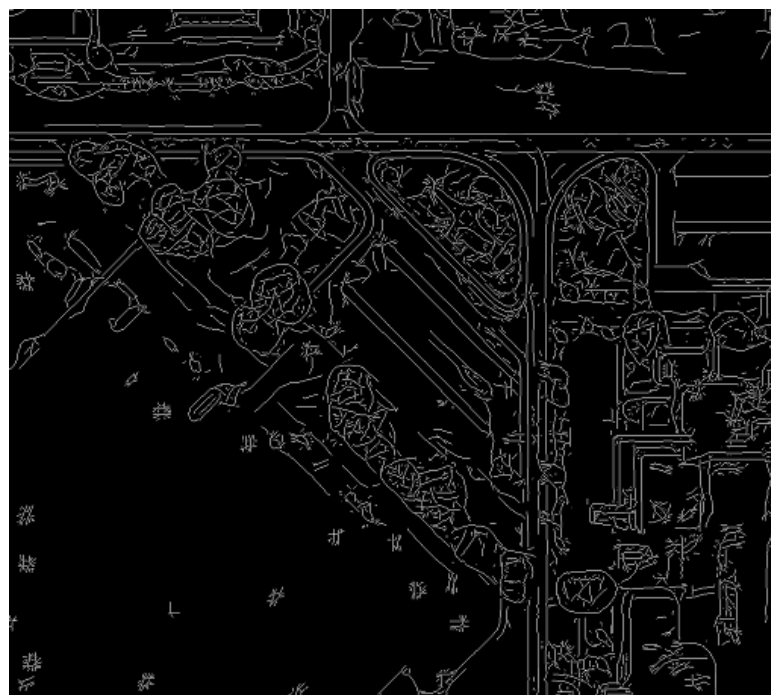


الف

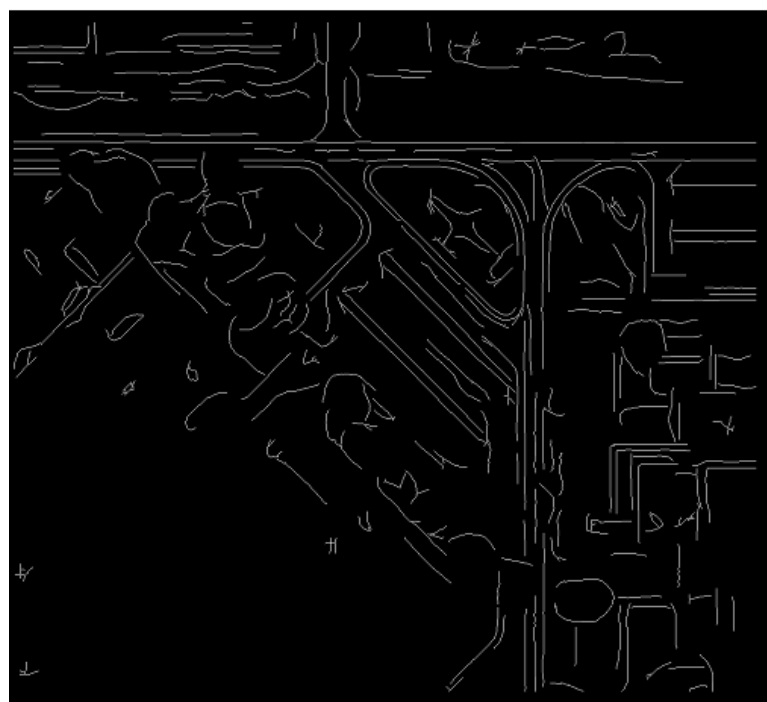


ب

شکل (۳-۴) لبه یابی داده ۱ SAR با GGS (الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی (ب) با استفاده از توابع مورفولوژی



الف



ب

شکل (۳-۵) لبه یابی داده ۱ تصویر نوری با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی (ب) با استفاده از توابع مورفولوژی

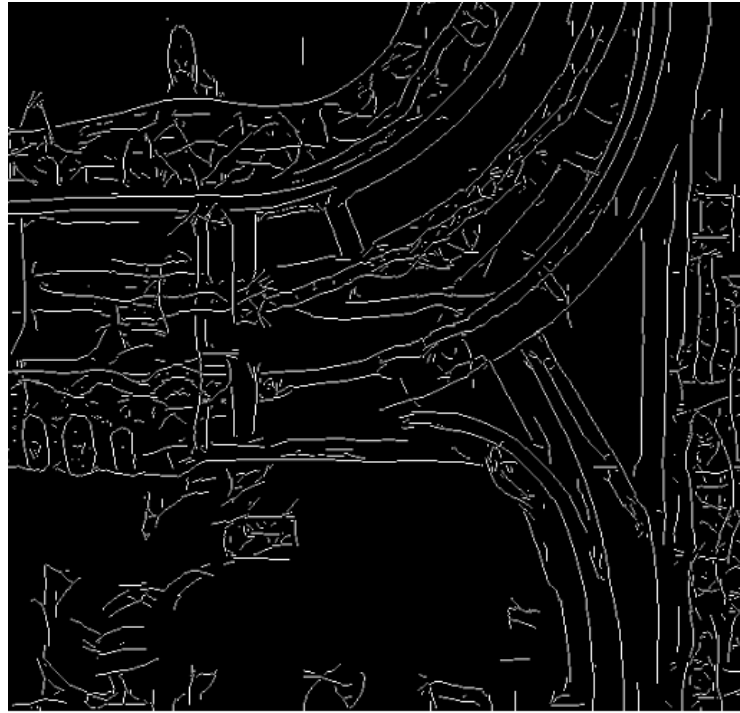


الف

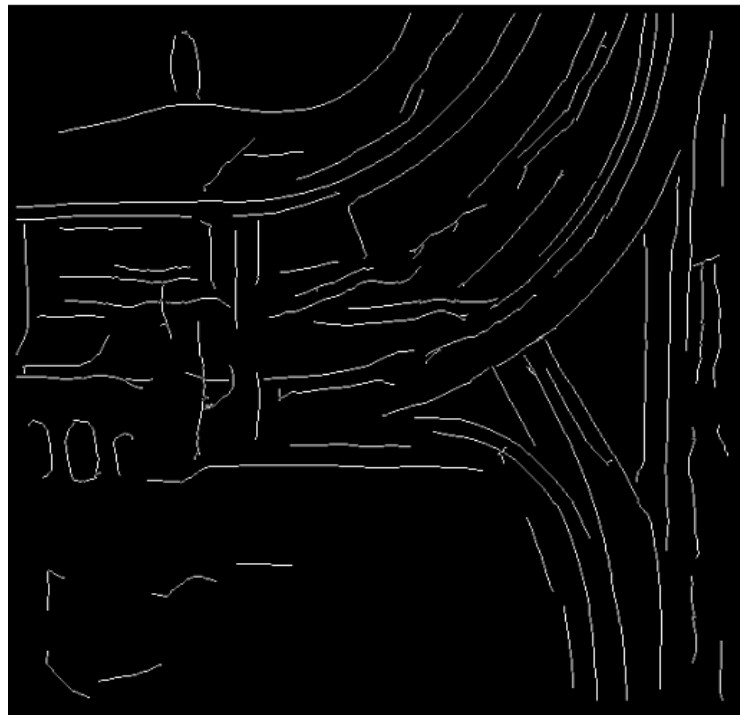


ب

شکل (۳-۶) لبه یابی داده ۲ SAR با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی ب) با استفاده از توابع مورفولوژی



الف

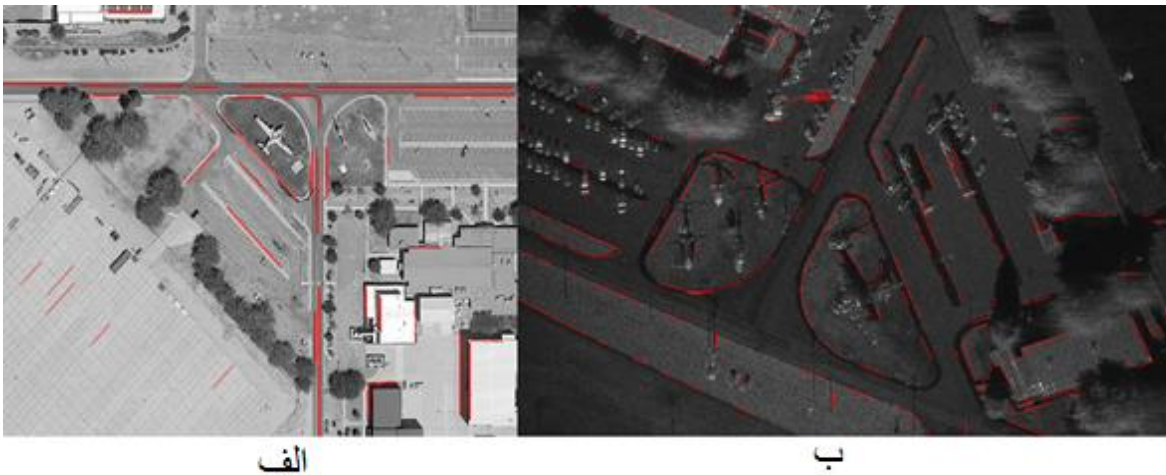


ب

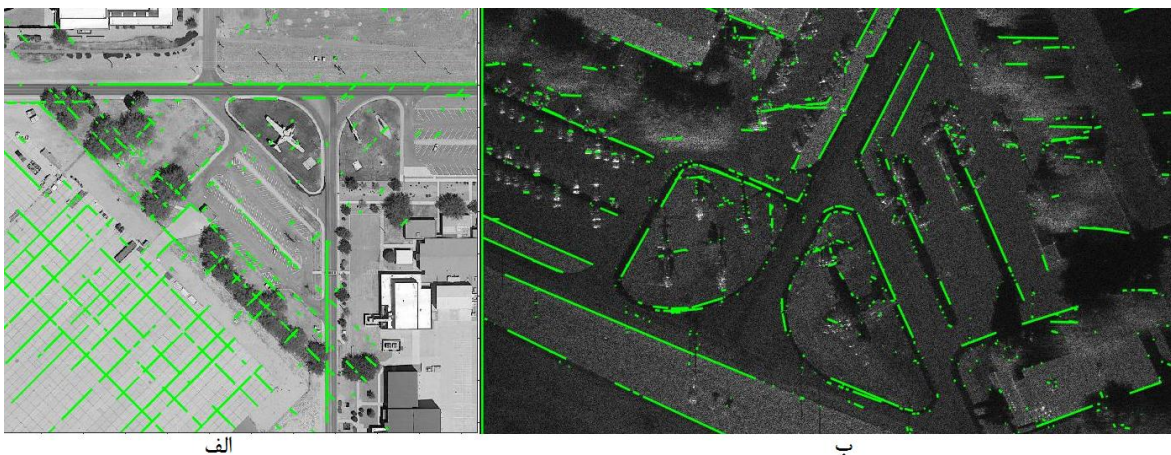
شکل (۷-۳) لبه یابی داده ۲ تصویر نوری با GGS الف) بدون استفاده از توابع مورفولوژی (ب) با استفاده از توابع مورفولوژی

### ۳-۲-۴ استخراج خطوط

روش‌های استخراج خطوط ذکر شده در این پایان‌نامه سه روش LSD، تبدیل هاف و تبدیل رادون هستند. که یک به یک آن‌ها را بررسی نموده ایم. در اینجا به مقایسه سه روش با یکدیگر می‌پردازیم.



شکل (۳-۸) استخراج خطوط با استفاده از LSD (الف) تصویر نوری (ب) تصویر SAR.



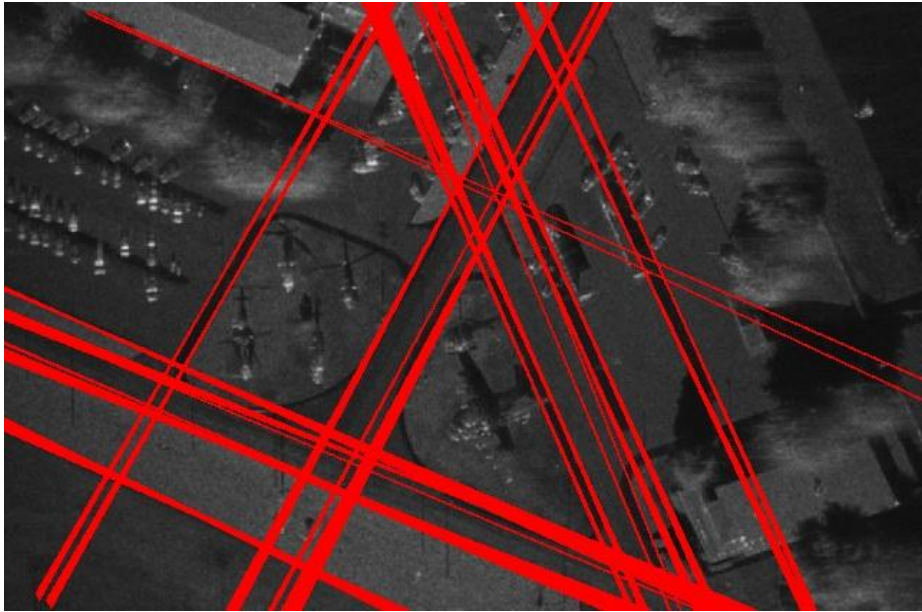
شکل (۳-۹) استخراج خطوط با استفاده از تبدیل هاف (الف) تصویر نوری (ب) تصویر SAR.

در شکل (۳-۸) و شکل (۳-۹) که مربوط به استخراج خطوط با استفاده از LSD و تبدیل هاف بر روی داده ۱ هستند، نشان می‌دهد که خطوط استخراج شده در دو تصویر با یکدیگر همسان نیستند و خطی که در تصویر نوری آشکار شده در SAR آشکار نشده و به عکس. و همچنین به خاطر نویز موجود در تصویر SAR خطوطی استخراج شده‌اند که اشتباه است و خط نیست. علی‌رغم مزایای این دو روش،

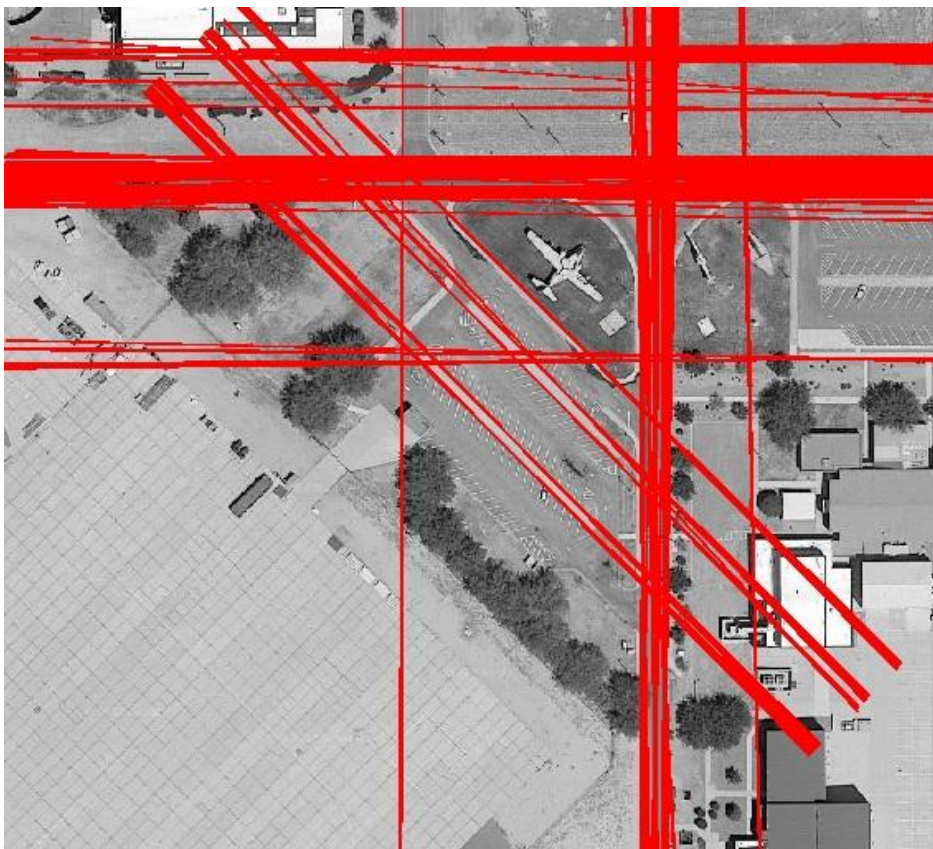
نواقصی که برشمرده شد نیز در آنها وجود دارد. البته متنوع بودن نوع تصاویر نیز تأثیر بسزایی در جواب نامناسب دارد. از این رو روش تبدیل رادون را پیشنهاد می‌دهیم.

همان‌طور که در شکل (۳-۱۰) تا شکل (۳-۱۳) مشاهده می‌شود تعداد خطوط استخراج‌شده زیاد است و این مقدار پیچیدگی و بار محاسباتی بالایی خواهد داشت. پس باید به فیلتر کردن خطوط بپردازیم.

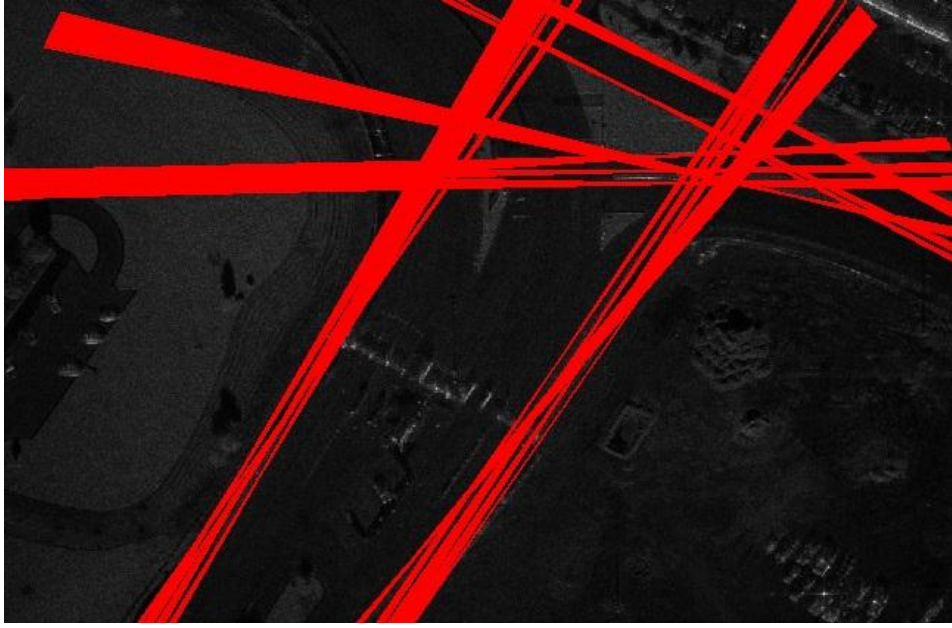




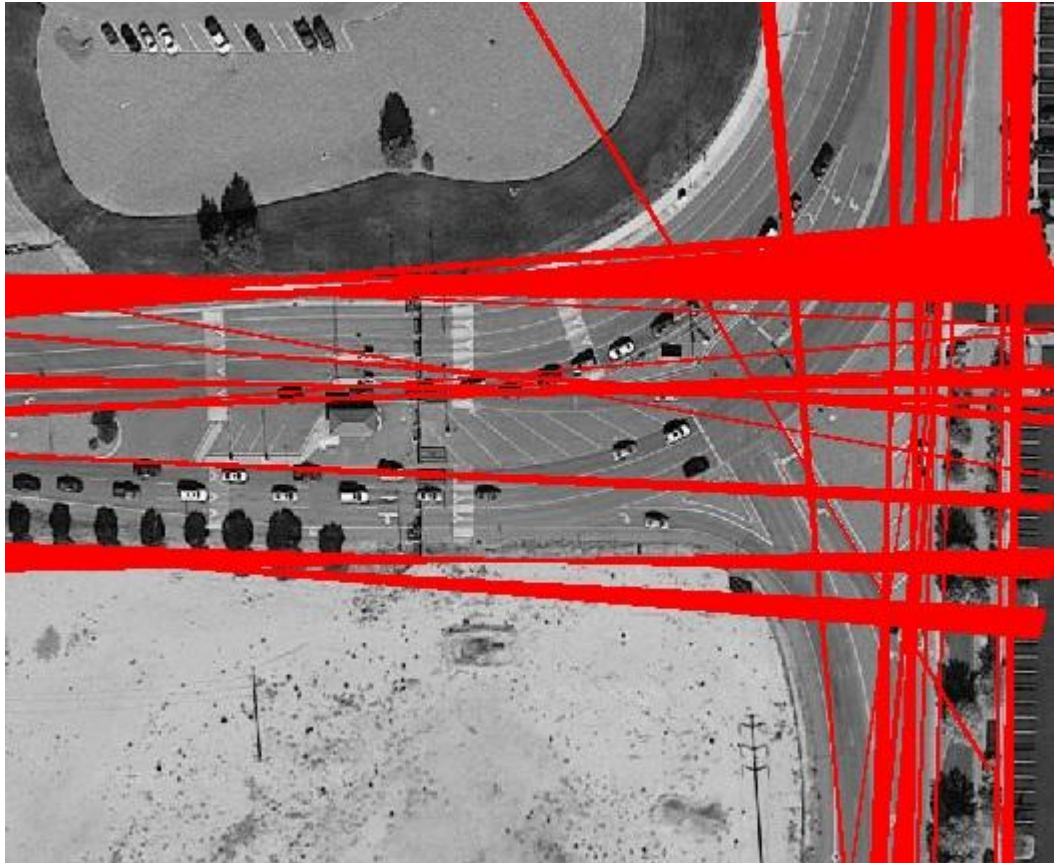
شکل (۱۰-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۱ تصویر SAR.



شکل (۱۱-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۱ تصویر نوری.



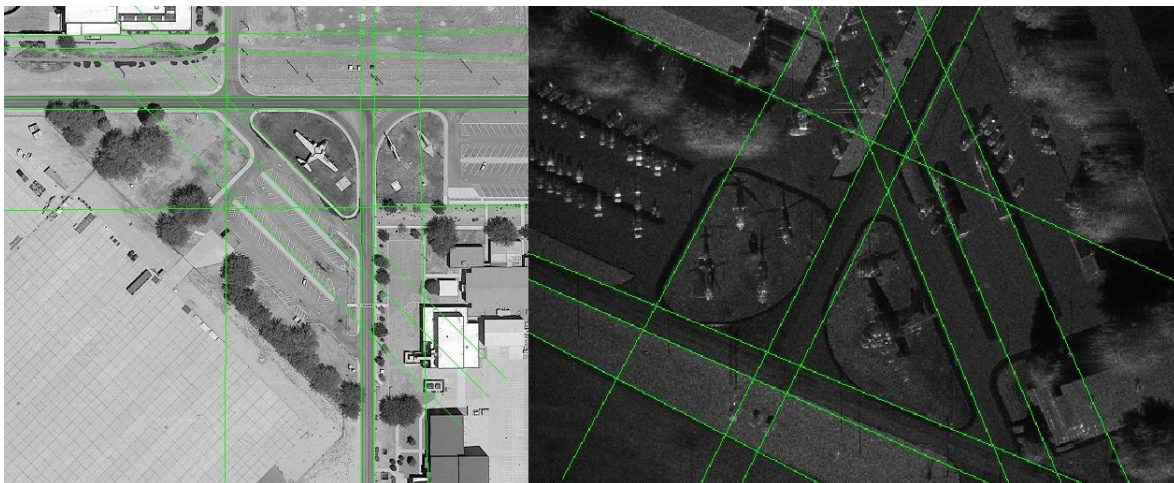
شکل (۱۲-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۲ تصویر SAR.



شکل (۱۳-۳) تبدیل رادون مجموعه داده ۲ تصویر نوری.

### ۵-۲-۳ فیلتر کردن خطوط

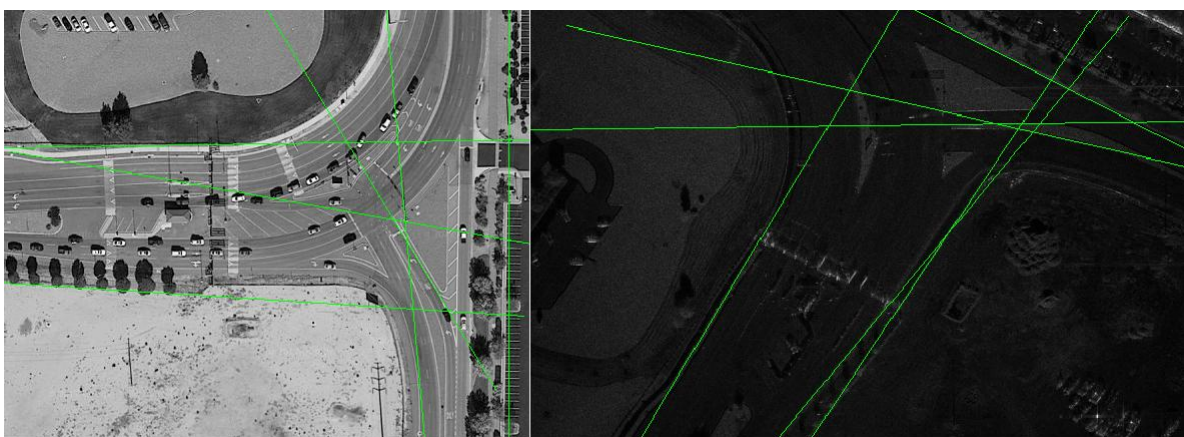
با استفاده از تبدیل رادون به استخراج خطوط پرداختیم، و چون تبدیل رادون از محاسبه انتگرال سیگنال ورودی بر روی خطوط مستقیم در راستاهای مختلف به دست می‌آید، ممکن است در یک راستا خطوط استخراج شده با فاصله خیلی اندک باشند که همگی معرف یک خط هستند. پس آن‌ها را با استفاده از خوشه بندی بر اساس زاویه و عرض از مبدا فیلتر می‌کنیم، تا خطوطی که در یک راستا هستند و مختصات قطبی بسیار نزدیک به هم دارند یک خط منتخب را استخراج نماییم، که در نهایت در شکل های زیر نتیجه را می‌بینیم.



الف

ب

شکل (۱۴-۳) خطوط منتخب از تبدیل رادون مجموعه داده ۱ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR



الف

ب

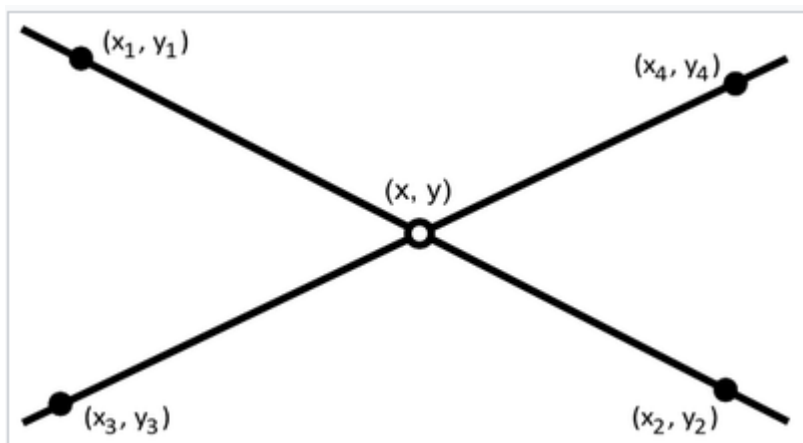
شکل (۱۵-۳) خطوط منتخب از تبدیل رادون مجموعه داده ۲ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR

### ۳-۲-۶ یافتن محل تلاقی خطوط

محل تلاقی دو خط موجود در یک صفحه ممکن است نقطه یا خط باشد و یا ممکن است تهی باشد یعنی متقاطع نباشند. زمانی که دو خط یکدیگر را قطع می‌کنند می‌توان از رابطه زیر محل تقاطع را پیدا کرد:

$$(P_x, P_y) = \left( \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(x_3 - x_4) - (x_1 - x_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)}, \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 y_4 - y_3 x_4)}{(x_1 - x_2)(y_3 - y_4) - (y_1 - y_2)(x_3 - x_4)} \right) \quad (1-3)$$

که  $(P_x, P_y)$  محل تقاطع دو خط  $L_1$  و  $L_2$  است که  $L_1$  با دو نقطه متمایز  $(x_1, y_1)$  و  $(x_2, y_2)$  و  $L_2$  نیز با دو نقطه متمایز  $(x_3, y_3)$  و  $(x_4, y_4)$  تعریف می‌شود.



شکل (۳-۱۶) محل تلاقی دو خط با یکدیگر

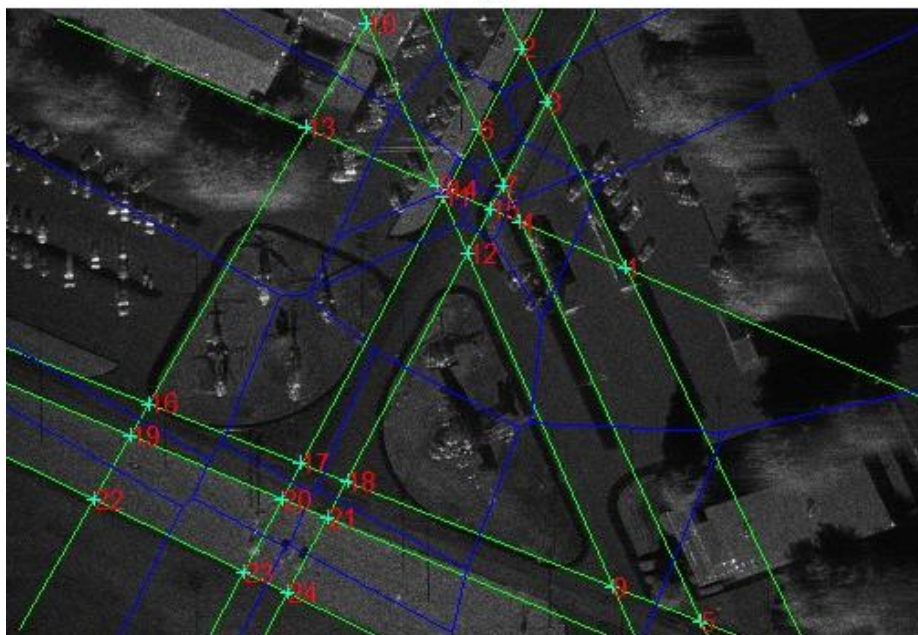
با توجه به توضیحات ذکر شده محل تلاقی خطوط فیلتر شده منتخب را بدست می‌آوریم.

### ۳-۲-۷ سلول های ورنوی

همان طور که در فصل دوم مفصلا توضیح داده شد برای هر نقطه، چندضلعی منطقه قلمرو آن نقطه را نشان می دهد. پیکسل های هر منطقه به نقطه مرکزی و تولید کننده آن ناحیه، نزدیکتر از سایر نقاط در تصویر هستند. لذا، پیرامون هر نقطه موردنظر چندضلعی ورنوی تعریف می شود. در اینجا نقاط موردنظر همان نقاط محل تلاقی خطوط استخراج شده است.

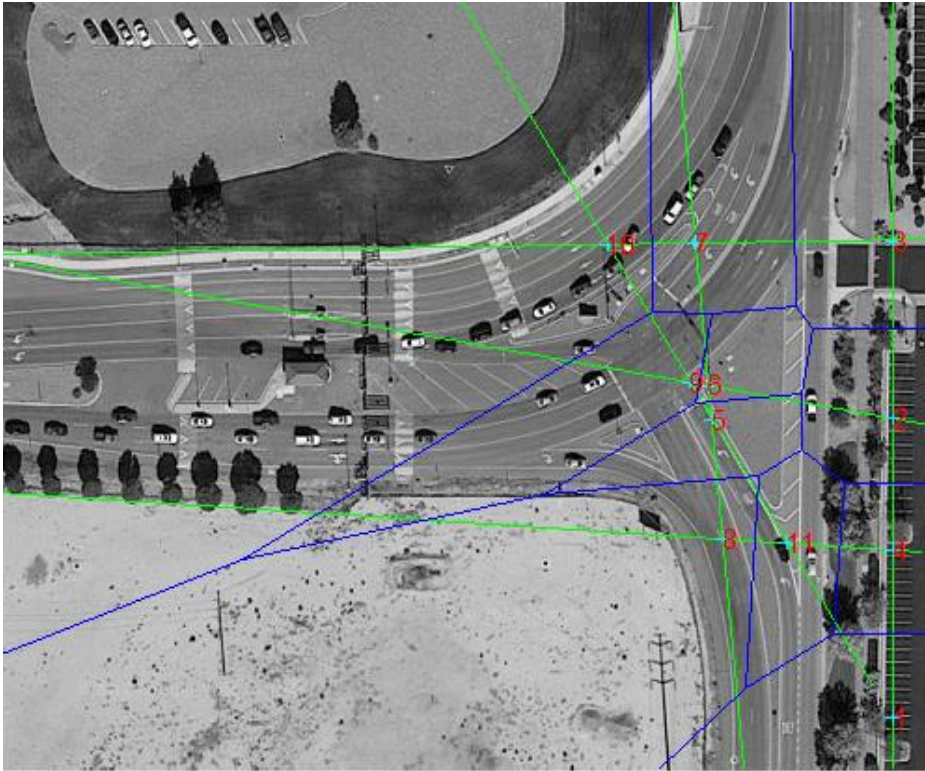


الف

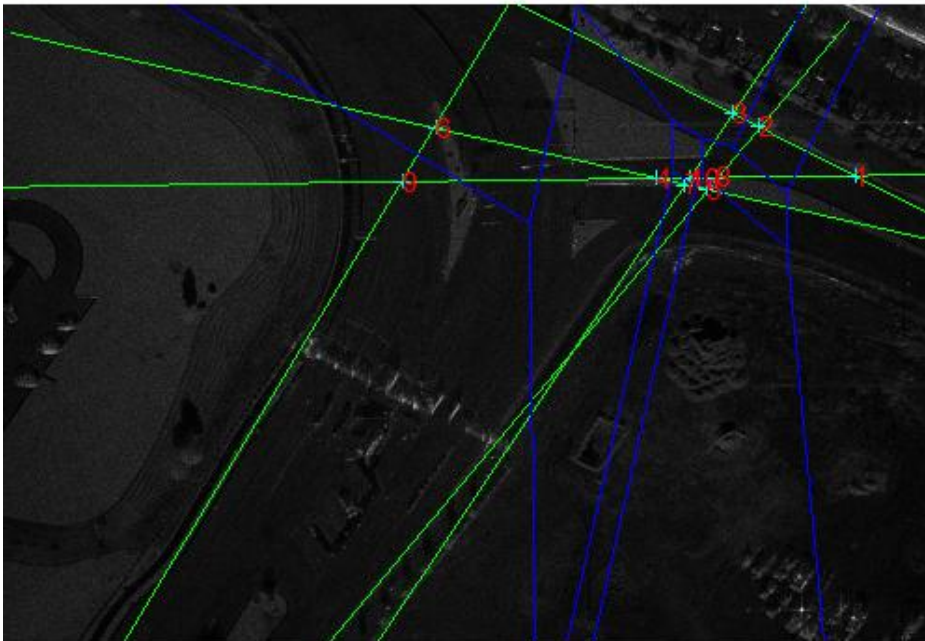


ب

شکل (۳-۱۷) سلول ورونوی بر روی محل تلاقی خطوط منتخب مجموعه داده ۱ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR



الف

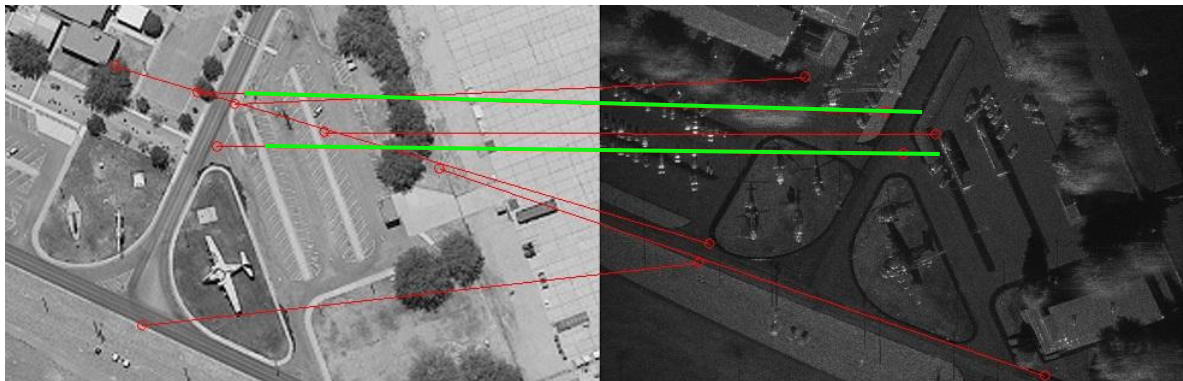


ب

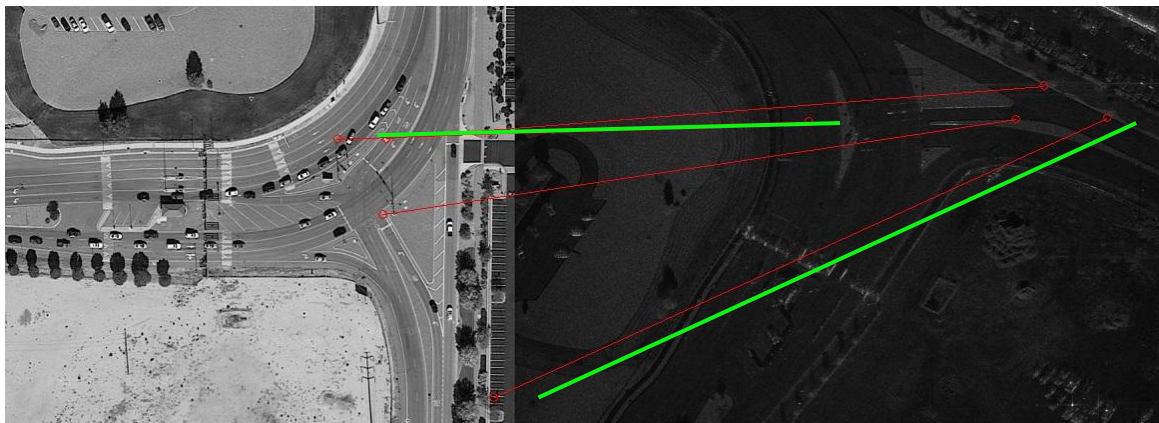
شکل (۳-۱۸) سلول ورونوی بر روی محل تلاقی خطوط منتخب مجموعه داده ۲ الف) تصویر نوری ب) تصویر SAR.

### ۳-۲-۸ تطابق مبتنی بر ویژگی: روش بردار ویژه

همان‌طور که در توضیحات فصل دوم گذشت در روش تطابق مبتنی بر بردار ویژه، فاصله اقلیدسی میان ویژگی‌ها را سنجیده و با توجه به این فاصله اقلیدسی و ادامه عملیات مذکور تصاویر را با یکدیگر تطابق می‌دهیم.



شکل (۳-۱۹) تطابق با استفاده از روش بردار ویژه برای داده ۱.



شکل (۳-۲۰) تطابق با استفاده از روش بردار ویژه برای داده ۲.

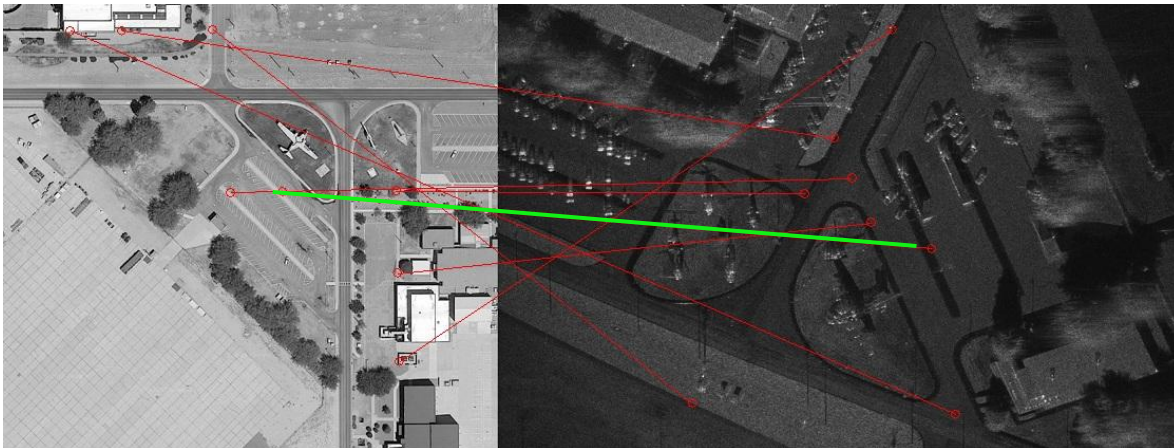
همان‌گونه که در شکل (۳-۱۹) مشاهده می‌شود، می‌بینیم که در اینجا از ۷ نقطه جفت شده ۲ نقطه تطبیق صحیح است. و در شکل (۳-۲۰) تنها ۲ نقطه از ۴ نقطه صحیح جفت شده‌اند.

### ۳-۲-۹ تطبیق تصویر هدف با استفاده از ورونوی و فاصله هاسدورف آن‌ها

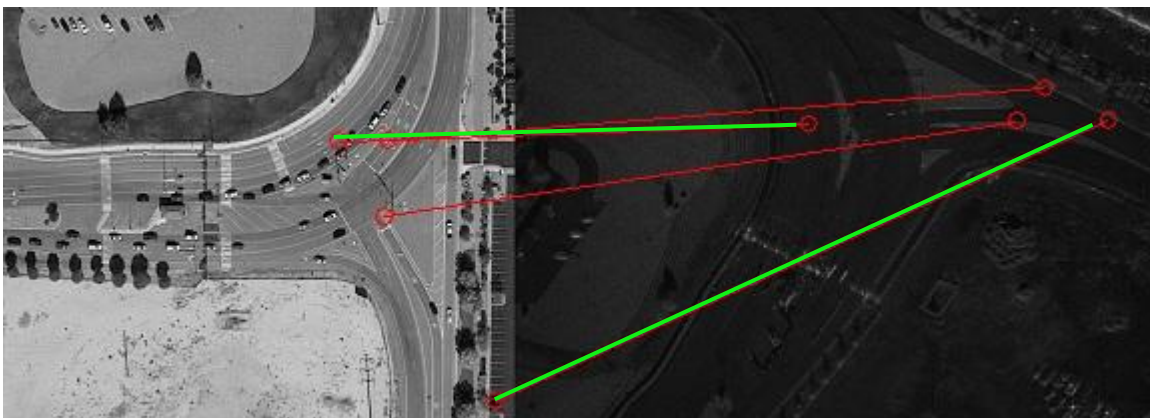
در بخش ۲-۸-۲ توضیحات مربوط به این نوع از تطبیق تصویر آورده شده است. پس از به دست آوردن سلول‌های ورونوی بر روی نقاط تلاقی خطوط استخراج‌شده که برای داده ۱ در شکل)



۱۷-۳) و داده ۲ در شکل (۱۸-۳) به نمایش در آمده است، فاصله هاسدورف سلول‌ها از یکدیگر را به دست می‌آوریم و برطبق معادلات بخش ۲-۸-۲ که گذشت، روند پردازش را ادامه داده، و تصاویر را با یکدیگر تطبیق می‌دهیم.



شکل (۲۱-۳) تصویر تطابق یافته SAR و نوری از داده ۱ با استفاده از روش ورونوی و فاصله هاسدورف.



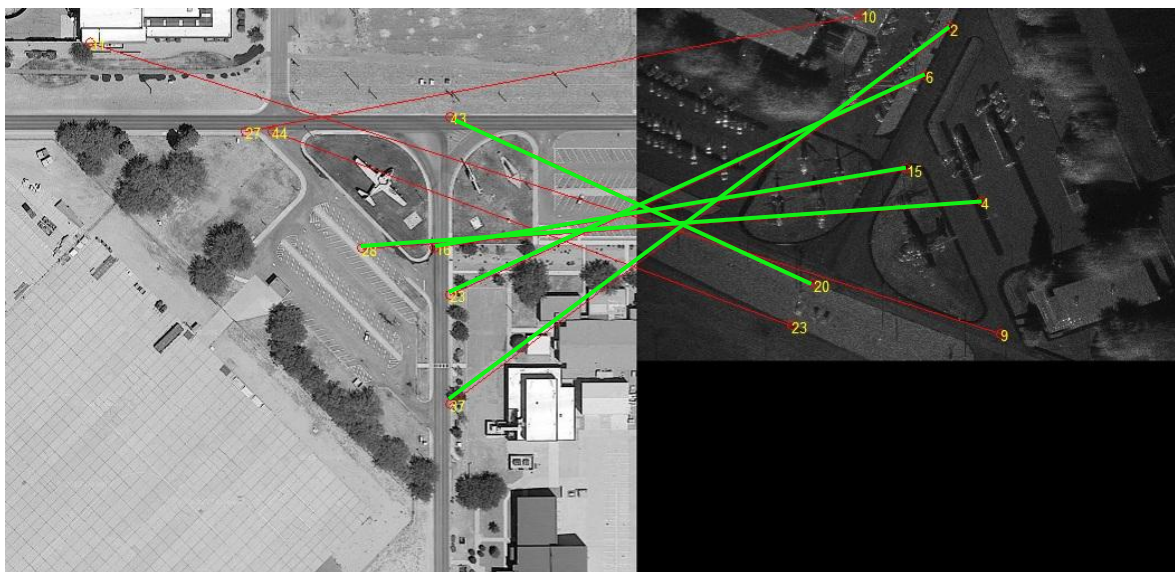
شکل (۲۲-۳) تصویر تطابق یافته SAR و نوری از داده ۲ با استفاده از روش ورونوی و فاصله هاسدورف.

همان‌طور که در شکل (۲۱-۳) ملاحظه می‌فرمایید از ۸ نقطه تطابق داده شده تنها ۱ نقطه نظیر به نظیر صحیح می‌باشند. در شکل (۲۲-۳) نتیجه همانند روش قبل است و تنها ۲ نقطه از ۴ نقطه صحیح جفت شده‌اند.

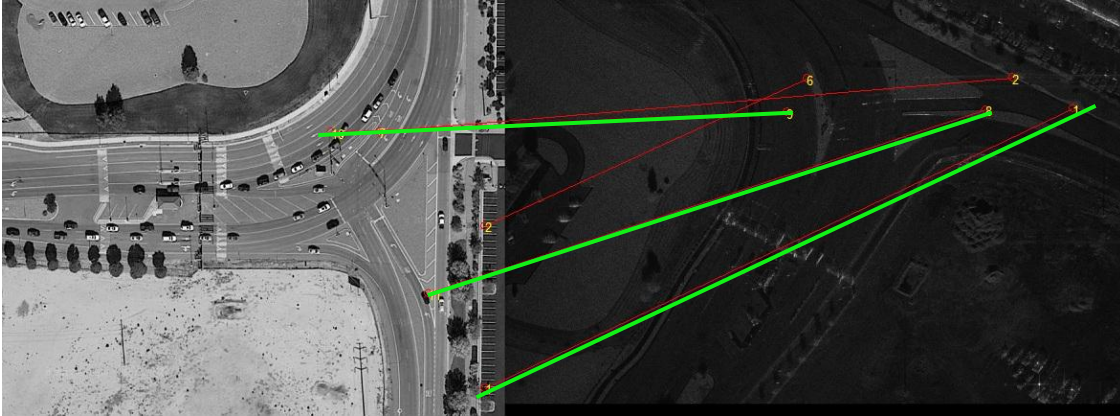
### ۳-۲-۱۰ تطبیق تصویر با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی با استفاده از فیلتر لی به حذف نویز تصاویر می‌پردازیم. سپس با استفاده از GGS هر دو نوع تصویر SAR و نوری را لبه‌یابی می‌نماییم. لبه‌یابی از مراحل پیش‌پردازش تصاویر

است و مقدمه‌ای برای استخراج خطوط است. استخراج خطوط به روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است، از جمله LSD و تبدیل هاف و تبدیل رادون. که با بررسی این چند روش در ۳-۲-۴ دیدیم که دو روش LSD و تبدیل هاف خطوط پراکنده و ناهمسانی را استخراج می‌نمایند، در صورتی که در تبدیل رادون خطوط به مراتب منظم‌تر و در دو تصویر همسان‌تر هستند. پس از استخراج خطوط، بر روی خطوط فیلتر شده، نقاط تلاقی آن‌ها را به دست آوردیم. در مرحله اول تطابق، حول نقاط تلاقی آن‌ها سلول ورونوی اعمال می‌نماییم. فاصله هاسدورف آن‌ها را می‌سنجیم و در مرحله دوم از روش بردار ویژه نقاط تطابق یافته را می‌یابیم که در نهایت برآیند دو روش بردار ویژه و تطابق به روش هاسدورف را به دست می‌آوریم و تطابق صورت می‌پذیرد. در شکل (۳-۲۳) نشان می‌دهد که ۸ نقطه نظیر به نظیر شده‌اند، که ۵ تطابق درست در آن دیده می‌شود. در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها تعداد نقاط جفت شده صحیح بیشتری دارد و شکل (۳-۲۴) از ۵ نقطه جفت شده ۳ نقطه صحیح متناظر شده‌اند.



شکل (۳-۲۳) تطبیق دو تصویر SAR و نوری داده ۱ با الگوریتم پیشنهادی.



شکل (۳-۲۴) تطبیق دو تصویر SAR و نوری داده ۲ با الگوریتم پیشنهادی.

مقایسه نتایج دو بخش ۳-۲-۸ و ۳-۲-۹ با نتایج الگوریتم پیشنهادی را بطور خلاصه در جدول زیر مشاهده می نماییم.

انطباق تصویر با استفاده از روش پیشنهادی	انطباق تصویر با استفاده از روش فاصله هاسدورف سلول های ورونوی	انطباق تصویر با استفاده از روش بردارهای ویژه	
٪۶۲,۵	٪۱۴	٪۲۸	داده ۱
٪۶۰	٪۵۰	٪۵۰	داده ۲



# ۴ فصل چهارم: نتیجه گیری

## و کارهای آتی

#### ۴-۱ نتیجه گیری

در این پایان نامه روشی برای تطبیق تصاویر SAR و تصاویر نوری ارائه شد. این دو تصویر SAR و نوری به دلیل نوع متفاوت تصویر برداری تفاوت هایی با یکدیگر دارند، که همین تفاوت ها چالش برانگیز است و عملیات تطبیق دو تصویر را با مشکل رو برو می نماید. با وجود روش های ارائه شده برای تطبیق تصاویر به یکدیگر، در این پایان نامه سعی شده تا روش بهبود یافته ای معرفی کنیم.

برای استخراج خطوط از تصاویر SAR و نوری روش هایی از جمله هاف و LSD در گذشته انجام پذیرفت که در روش ارائه شده استفاده از تبدیل رادون برای استخراج خطوط تصویر پیشنهاد شد. نشان داده شد که خطوط به دست آمده از این روش معتبرتر نسبت به سایر روش ها است.

روش تطبیق تصاویر پس از استخراج خطوط روشی تلفیقی مبتنی بر تطبیق نقاط تلاقی خطوط دو تصویر به کمک بردارهای ویژه و فاصله هاسدورف سلول های ورونوی بود که نتیجه این روش به صورت تلفیقی، از نتیجه تک تک روش ها به تنهایی مطلوب تر است. زیرا روش تطابق مبتنی بر بردارهای ویژه برای دو تصویر از دو جنس کاملاً متفاوت که در آن احتمال چرخش و تغییر مقیاس وجود دارد؛ قدرت انطباق پایینی دارد. و در روش فاصله هاسدورف سلول های ورونوی با وجود کارا بودن، در استخراج خطوط ضعیف عمل کرده و همین امر باعث پایین آمدن کارایی این روش می شود. پس با توجه به توضیحات ذکر شده، از تلفیق دو روش بردارهای ویژه و فاصله هاسدورف سلول های ورونوی استفاده کردیم.

علی رغم وجود توان نويز بالا در تصوير SAR و چرخش و مقیاس های متفاوت در تصویر، نتایج تطابق دو تصویر رضایت بخش است.

## ۲-۴ کارهای آتی

به عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آتی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- در استخراج خطوط به روش تبدیل رادون، خطوط بسیاری استخراج شد که برای استفاده بهینه از خطوط به فیلتر کردن آن پرداختیم. تا خطوط منتخب بیشترین شباهت را با یکدیگر داشته باشند. در اینجا می توان با استفاده از فیلتری کارآمدتر خطوط منتخب را تا حد بیشتری به هم شبیه کرد. هر چه جایگاه خطوط استخراج و انتخاب شده در دو تصویر به یکدیگر نزدیک تر باشند، عمل تطابق نتیجه بهتری خواهد داشت.
- پیشنهاد می گردد به ازای هر سه نقطه تطبیق یافته در دو تصویر، یک تبدیل هندسی به دست آید و در نهایت از بین تبدیلات هندسی به دست آمده به کمک خوشه بندی معتبرترین تبدیل انتخاب گردد. در این صورت نقاط نظیر به نظیر شده اشتباه، تعدادشان کاهش یافته و تطابق بادقت بالایی را به نمایش می گذارد.





## ۵ منابع

- [1]. Zitová, B.a.F., J, 2003 . "Image registration: a survey". *Image and Vision Computing*.
- [2]. D. Brunner, G.L., L. Bruzzone, and H. Greidanus, 2010. "Building height retrieval from VHR SAR imagery based on an iterative simulation and matching technique". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48: p. 1487-1504.
- [3]. H. M. Chen, P.K.V., and M. K. Arora, 2003. "Performance of mutual information similarity measure for registration of multitemporal remote sensing images". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 41: p. 2445-2454.
- [4]. Jacob, Y.F.B.a.A,2013."Object-based fusion of multitemporal multiangle ENVISAT ASAR and HJ-1B multispectral data for urban land-cover mapping". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 51: p. 1998-2006.
- [5]. Reinartz, S.S.a.P. 2010. "Mutual-information-based registration of TerraSAR-X and Ikonos imagery in urban areas". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48: p. 939-949.
- [6]. M. Hasan, M.R.P., and X. P. Jia. 2012." Robust automatic registration of multimodal satellite images using CCRE with partial volume interpolation". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 50: p. 4050-4061.
- [7]. H. Gonçalves, L.C.-R., and J. A. Gonçalves. 2011. "Automatic image registration through image segmentation and SIFT". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 49: p. 2589-2600.
- [8]. Lowe, D.G.2004."Distinctive image features from scale-invariant keypoints". *Int. J. Comput. Vis.* 60: p. 91-110.
- [9]. M. G. Gong, S.M.Z., L. C. Jiao, D. Y. Tian, and S. Wang, " A novel coarse-to-fine scheme for automatic image registration based on SIFT and mutual information". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52: p. 4328-4338.
- [10]. Clausi, A.W.a.D.A.2010."AISIR:Automated inter-sensor/inter-band satellite image registration using robust complex wavelet feature representations". *Pattern Recognit.*, 31: p. 1160-1167.
- [11]. Brady, L.S.S.a.J.M. 1991.*Feature-based correspondence: an eigenvector approach*. Robotics Research Group, Department of Engineering Science. Oxford University.
- [12]. Haigang Sui, C.X., Junyi Liu, and Feng Hua.2015." Automatic Optical-to-SAR Image Registration by Iterative Line Extraction and Voronoi Integrated Spectral Point Matching". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 53.
- [13]. Akansu, R.A.H.a.A.N. 1991. "A Class of Fast Gaussian Binomial Filters for Speech and Image Processing". *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing.* 39: p. 723-727.
- [14]. Lee, J.-S.1980. "Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics". *IEEE Transactions on Analysis and Machine Intelligence.* PAMI-2.
- [15]. Canny, J. 1986. "A Computational Approach To Edge Detection". *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence.* p. 679-698.
- [16]. R. Touzi, A.L., and P. Bousquet. 1988. "A statistical and geometrical edge detector for SAR images". *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 26(6): p. 764-773.
- [17]. Cheng, P.-L.S.a.D. 2012. "Edge Detector of SAR Images Using Gaussian-Gamma-Shaped Bi-Windows". *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.*9.
- [18]. Ballard, D.H. 1981. "Generalizing the Houghtransform to detect arbitrary shapes". *Pattern Recognition.*p. 111-122.
- [19]. Gonzalez, Rafael .2008. "Digital Image Processing, 3rd". Pearson Hall.
- [20]. Rafael Grompone von Gioi, J.J., Jean-Michel Morel, and Gregory Randall. 2012. "LSD: a Line Segment Detector". *Image Processing On Line.*p. 35-55.
- [21]. Radon, J. 1986. "On the Determination of Functions From Their Integral Values Along Certain Manifolds". *IEEE Transactions on Medical Imaging.*p. 170-176.
- [۲۲] میان درهویی ا. خلیلی خ. (۱۳۹۳) " ناحیه بندی مدل هندسی با استفاده از تقریب دیاگرام ورونوی و تشکیل نواحی فازی "مجله مهندسی مکانیک مدرس ، دوره ۱۴، شماره ۱۵، صص ۱۲۷-۱۳۶ .
- [23] William J. Rucklidge.1997."Efficiently Locating Objects Using the Hausdorff Distance". *International Journal of Computer Vision.* 24(3), pp 251–270.

- [24]. William H. Hensley, J.a.A.W.D. 2006. "Viewing GFF format SAR images with Matlab". *SAND*. pp 2006-2357.

## **Abstract:**

Image registration is a way to match two images of a scene taken at different times or taken using different sensors. One of the purposes for matching of two images captured from a scene using different type of sensors is to utilize information provided from different image sensors.

Different geometric features and radiometric characteristics for the two type of images, as well as the strong speckle noise in radar images, cause the registration of SAR and optical images becomes severe. In the proposed method we first denoise the SAR image, and then extract the straight lines of both images. After edge detection stright lines are extracted using the radon transform. The extracted lines using radon transform are much more accurate than the Hough transform and LSD. Each pair of straight lines intersect at a point. We characterize each intersect point using its voronoi cell. Voronoi cells divide the image into subregions where each cell surround an intersect point. By calculating the Hausdorff distance of the Voronoi cells and the eigenvector method, we match SAR and optical images. The proposed method has been able to properly match the intersect points of two images. This results a proper matching of SAR and optical images.

**Keywords:** Image Registration, Radon transform, Voronoi cell, SAR image



**Faculty of Electrical and Robotic Engineering**

**M.Sc. Thesis in Communication Systems Engineering**

**Automatic Registration of Synthetic Aperture Radar and  
Optical Image**

**Susan Gholami**

**Supervisor:**

**Dr. Alireza Ahmadyfard**

**January 2018**