بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پردازش داده و تشکیل تصویر در رادارهای روزنه مصنوعی دوپایه (BSAR)

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات (سیستم)

محمد زمانی

استاد راهنما

دکتر محمود مدرس هاشمی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- مخابرات (سیستم) آقای محمد زمانی

تحت عنوان

پردازش داده و تشکیل تصویر در رادارهای روزنه مصنوعی دوپایه (BSAR)

در تاریخ ۹۰/۶/۲۹ توسط کمیته زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمود مدرس هاشمی
۲- استاد مشاور	دکتر محمد فرزان صباحی
۳- استاد داور	دکتر سعید صدری
۴- استاد داور	دکتر علی محمد دوست حسینی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر امیر برجی

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

استاد بزرگوارم

دکتر سید محمود مدرس هاشمی

خدای را سپاس برای الطاف بی کرانش...

با سپاس فراوان از استاد گرانقدرم، جناب آقای **دکتر مدرس هاشمی** به سبب زحمات و راهنمایی‌های بسیار در جهت پیشبرد شایسته این تحقیق و محبت های بی دریغشان.

با تشکر صمیمانه از استاد مشاور گرامی، جناب آقای **دکتر صباحی**.

با تشکر از آقایان **دکتر صدری** و **دکتر دوست حسینی** به سبب تقبل مطالعه و داوری این تحقیق.

با تشکر ازهمه اساتید دانشکده برق و کامپیوتر به ویژه جناب آقای **دکتر امیدی** به جهت آنچه به من آموخته اند.

با تشکر از جناب آقای **مهندس نقش** در آزمایشگاه تحقیقاتی رادار.

با قدردانی بسیار از **خانواده ام** که همواره یاور و پشتیبان من بوده اند.

چکیده

در سنجش از راه دور و تصویربرداری از سطح زمین می توان از قسمت های مختلف طیف الکترومغناطیس استفاده کرد. بهره گیری از امواج مایکروویو در رادارهای روزنه مصنوعی (SAR)، مزایای زیادی مانند توانایی کار در هر شرایط آب و هوایی و در حضور ابر و مه، امکان استفاده در شب و روز، و بدست آوردن تصاویر با قدرت تفکیک بالا حتی در بردهای زیاد را داراست. این مزایا موجب شده است که این نوع رادارها کاربردهای نظامی و غیرنظامی بسیاری پیدا کنند. رادار روزنه مصنوعی دوپایه (BSAR) با ویژگی جدا بودن سکوی فرستنده و گیرنده شناخته می شود. ساختار دوپایه مزایایی چون انعطاف پذیری بیشتر در طراحی سیستم، بدست آوردن اطلاعات بیشتر از ویژگی های سطوح، کاهش هزینه به علت امکان اشتراک فرستنده بین چند سکوی گیرنده، و کاهش امکان شناسایی گیرنده در کاربردهای نظامی را دارد. البته پیچیدگی های مسائل پردازشی در این حالت بیشتر می شود. سیگنال های دریافتی توسط رادار که داده خام نامیده می شوند را می توان تابعی دو بعدی از برد و سمت در نظر گرفت. در این داده‌های خام، انرژی یک هدف نقطه ای در هر دو بعد پخش شده است و بدون پردازش مناسب اطلاعاتی از آن قابل استخراج نیست. این پردازش مناسب که تشکیل تصویر نامیده می شود، از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. الگوریتم های تشکیل تصویر را می توان به دو دسته الگوریتم های حوزه زمان و الگوریتم های حوزه فرکانس دسته بندی نمود. الگوریتم های حوزه زمان علی رغم دقت، بسیار کند عمل می کنند. الگوریتم های حوزه فرکانس از لحاظ محاسباتی کارآمد بوده و کاربرد بسیاری دارند. از بین آن ها الگوریتم omega-k به دلیل دقت زیاد و توانایی کارکرد در شرایط با روزنه مصنوعی طویل و لوچی بیم زیاد، مورد توجه بسیار قرار گرفته است. اولین قدم در ارائه الگوریتم های تشکیل تصویر حوزه فرکانس در BSAR، بدست آوردن طیف هدف نقطه ای می باشد. بر این اساس دقت الگوریتم های مختلف با توجه به دقت طیف مورد استفاده در آن ها محدود می شود. بر اساس طیف های مختلف، پیاده سازی های متفاوتی برای هر الگوریتم وجود دارد. اخیرا طیف دقیقی توسط لوفلد و گروه او ارائه شده است (طیف MELBF) که برای هندسه های مختلف قابل اعمال است. در این پایان نامه این طیف را انتخاب نموده و الگوریتم omega-k را براساس آن و با دو رویکرد متفاوت استفاده از درون یاب استالت و ISFT، پیاده سازی نموده ایم. الگوریتم پیشنهادی قابلیت پردازش هندسه های مختلف BSAR را دارد. در ادامه به شبیه سازی این الگوریتم پرداخته و علاوه بر نشان دادن صحت آن در هندسه های مختلف، نتایج حاصل از آن را با نتایج الگوریتم omega-k موجود مبتنی بر طیف ELBF مقایسه کرده ایم. مشاهده شده است که در هندسه های با بیم عرضی و زوایای لوچی ناچیز، الگوریتم omega-k پیشنهادی و الگوریتم موجود دقت یکسانی دارند، ولی با افزایش زوایای لوچی فرستنده و گیرنده الگوریتم پیشنهادی از کیفیت تصویری بیشتری برخوردار می باشد. در پایان با توجه به اهمیت مسئله طیف دو پایه، استفاده از چند جمله ای های متعامد چبی شف در تعیین آن مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: SAR، دوپایه، تشکیل تصویر، طیف، omega-k، چند جمله ای های متعامد، چبی شف

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه .....
۱-۱- تاریخچه موضوع ۲
۱-۲- هدف و ساختار پایان نامه ۶
فصل دوم: اصول SAR .....
۲-۱-هندسه SAR و اصطلاحات رایج ۷
۲-۲- قدرت تفکیک در SAR ۱۱
۲-۲-۱- قدرت تفکیک برد ۱۱
۲-۲-۲- قدرت تفکیک سمت ۱۳
۲-۳- مود های کاری سیستم SAR ۱۶
۲-۳-۱- مود نواری ۱۶
۲-۳-۲- مود اسکن ۱۶
۲-۳-۳- مود تابش نقطه ای ۱۷
۲-۴- عرض ناحیه پوشش و انتخاب PRF مناسب برای جلوگیری از ابهام ۱۸
۲-۴-۱- ابهام برد ۱۹
۲-۴-۲- ابهام سمت ۱۹
۲-۵- اعوجاجات هندسی ۲۰
۲-۶- ویژگی های سیگنال SAR ۲۲
۲-۶-۱- معادله برد ۲۳
۲-۶-۲- شدت سیگنال سمت ۲۴
۲-۶-۳- نحوه قرارگیری داده در حافظه به صورت دو بعدی ۲۵
۲-۶-۴- سیگنال دریافتی از هدف نقطه ای ۲۷
۲-۶-۵- طیف سیگنال چرپ ۳۰
۲-۶-۶- فشرده سازی پالس برای سیگنال چرپ ۳۲
۲-۶-۷- طیف دوبعدی سیگنال دریافتی ۳۳
۲-۶-۸- اختلاط فرکانسی در سمت و ابهام داپلر ۳۴
۲-۷- معادله SAR ۳۵
۲-۸- سایر ملاحظات و حالات SAR ۳۵
۲-۸-۱- جبران سازی حرکت ۳۵
۲-۸-۲- اصلاح تصاویر حاصل از هدف های متحرک ۳۶
۲-۸-۳- خودمیزانی ۳۶

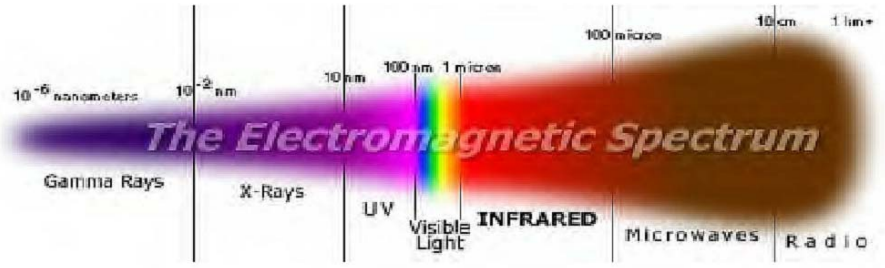
۲-۸-۴- InSAR روشی برای اندازه گیری ارتفاع تصویر ۳۶
۲-۸-۵- SAR پلاریمتری روشی برای اندازه گیری بهتر ویژگی های پخش محیط ۳۷
۲-۸-۶- ISAR ۳۸
۲-۹- نتیجه گیری ۳۹
فصل سوم: الگوریتم های تشکیل تصویر در SAR تک پایه .....
۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۲- الگوریتم های حوزه زمان ۴۲
۳-۲-۱- الگوریتم BP ۴۲
۳-۳- الگوریتم های حوزه فرکانس ۴۴
۳-۳-۱- الگوریتم برد داپلر ۴۴
۳-۳-۲- الگوریتم CSA ۵۲
۳-۳-۳- الگوریتم omega-k ۶۰
۳-۳-۴- سایر الگوریتم ها ۶۹
۳-۳-۵- مقایسه الگوریتم های مهم حوزه فرکانس ۷۲
۳-۴- نتیجه گیری ۷۲
فصل چهارم: اصول SAR دو پایه و تشکیل تصویر در آن .....
۴-۱- هندسه BSAR ۷۳
۴-۲- مدل سیگنال BSAR ۷۶
۴-۳- پاسخ ضربه ۷۸
۴-۳-۱- معیارهای اندازه گیری کیفیت پاسخ ضربه ۷۹
۴-۳-۲- قدرت تفکیک دو پایه ۸۰
۴-۳-۳- تخمین برد تا گیرنده ۸۳
۴-۴- تشکیل تصویر در SAR دو پایه ۸۴
۴-۴-۱- روش تحلیلی LBF ۸۵
۴-۴-۲- روش تحلیلی ELBF ۸۷
۴-۴-۳- روش تحلیلی ELBF اصلاح شده (MELBF) ۸۸
۴-۴-۴- روش تحلیلی IDCR ۹۱
۴-۴-۵- روش تحلیلی MSR ۹۱
۴-۴-۶- روش تحلیلی MLPE ۹۳
۴-۵- الگوریتم های حوزه فرکانس تشکیل تصویر در SAR دو پایه ۹۳
۴-۵-۱- پیاده سازی الگوریتم RDA در هندسه تغییرناپذیر با سمت با استفاده از طیف MSR ۹۵
۴-۵-۲- پیاده سازی الگوریتم omega-k در هندسه کلی با استفاده از طیف ELBF ۹۸
۴-۵-۳- استفاده از ISFT در الگوریتم (۴-۵-۲) به جای درون یاب برای هندسه کلی و با استفاده از طیف ELBF ... ۱۰۲
۴-۵-۴- پیاده سازی الگوریتم RDA در هندسه SSBSAR با استفاده از یک طیف تقریبی ۱۰۵

۴-۶- نتیجه گیری ۱۱۰
فصل پنجم: ارائه پیشنهاداتی برای بهبود الگوریتم های تشکیل تصویر BSAR موجود .....
۵-۱- مقدمه ۱۱۱
۵-۲- پیاده سازی الگوریتم omega-k با استفاده از طیف MELBF ۱۱۲
۵-۲-۱- ساده سازی و نمایش رابطه طیف به فرم دیگر ۱۱۲
۵-۲-۲- پیاده سازی الگوریتم omega-k با درون یابی استالت برای هندسه تقریبا موازی ۱۱۴
۵-۲-۳- پیاده سازی الگوریتم omega-k با استفاده از مقیاس فرکانسی برای هندسه کلی ۱۱۸
۵-۲-۴- مفهوم ISFT و پیاده سازی آن ۱۲۵
۵-۲-۵- شبیه سازی و نمایش داده خام (ماتریس اکو) ۱۲۷
۵-۲-۶- شبیه سازی درون یاب استالت ۱۳۵
۵-۲-۷- شبیه سازی ISFT در حالت گسسته ۱۳۷
۵-۲-۸- انواع نمایش های تصویر نهایی ۱۳۹
۵-۲-۹- نحوه اندازه گیری کیفیت تصویر ۱۴۱
۵-۲-۱۰- شبیه سازی های مختلف برای اثبات عملکرد مناسب الگوریتم ۱۴۳
۵-۲-۱۱- مقایسه الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم omega-k موجود و بر اساس طیف ELBF ۱۵۶
۵-۲-۱۲- بررسی حداکثر ناحیه قابل پردازش توسط الگوریتم با خطای قابل قبول ۱۶۳
۵-۳- استفاده از بسط بر اساس چندجمله ای های متعامد به جای بسط تیلور در طیف MSR ۱۶۵
۵-۳-۱- چندجمله ای های متعامد ۱۶۵
۵-۳-۲- نحوه استفاده از چندجمله ای های متعامد در روابط طیف MSR ۱۶۷
۵-۳-۳- شبیه سازی و مقایسه طیف های حاصل از بسط های مختلف ۱۷۰
۵-۴- نتیجه گیری ۱۷۸
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات .....
۶-۱- خلاصه و نتیجه گیری ۱۷۹
۶-۲- پیشنهادات ۱۸۱
مراجع ۱۸۲

فصل اول
مقدمه

۱-۱- تاریخچه موضوع

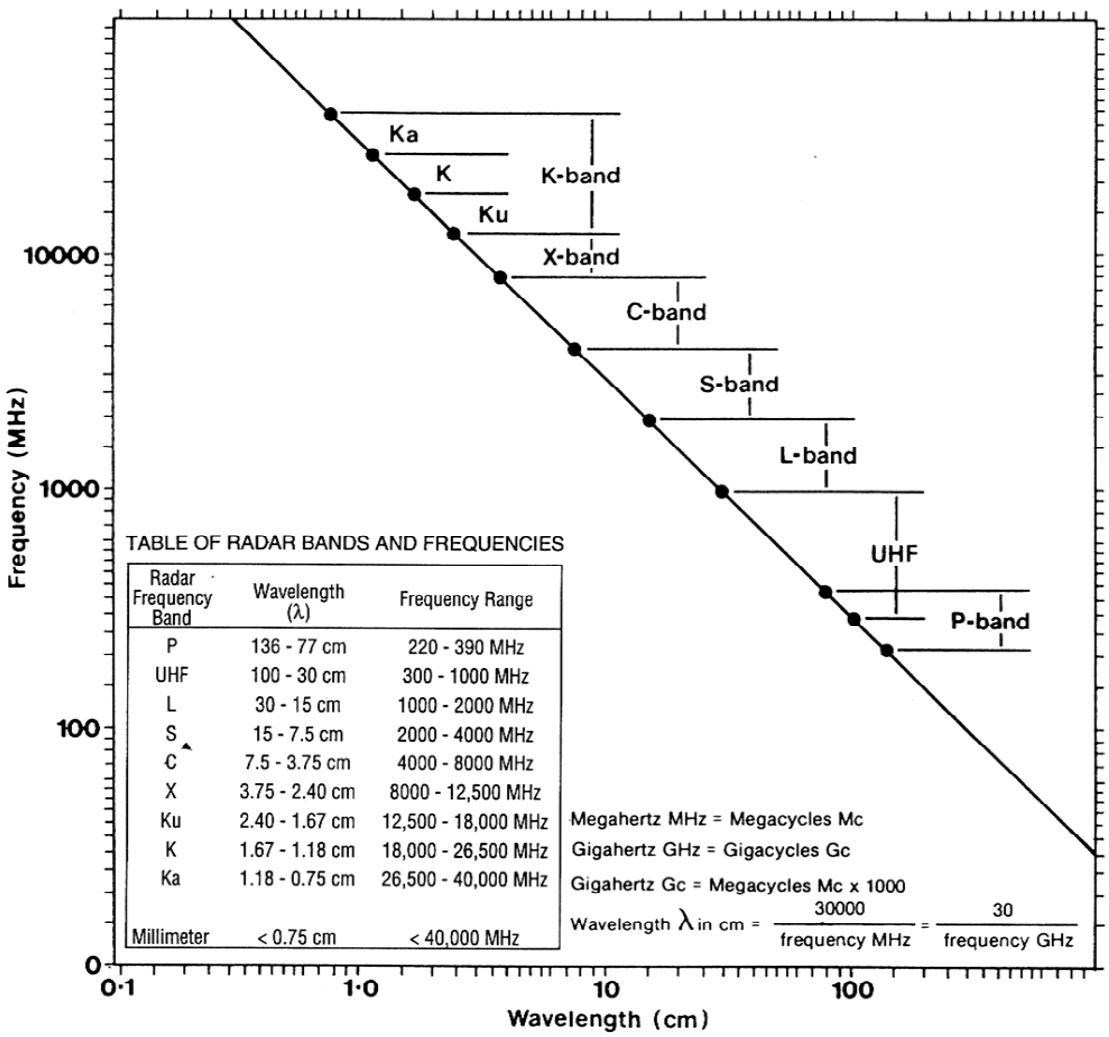
سنجش از راه دور[1] علمی است که توسط آن بدون تماس مستقیم می توان مشخصه های پدیده ها را در یک صحنه اندازه گیری و تجزیه و تحلیل نمود و تصویر مناسبی از آن ها را تشکیل داد. از قسمت های مختلف طیف الکترومغناطیس (شکل (۱-۱)) می توان برای بدست آوردن تصاویر مختلفی از صحنه که به طور مکمل ویژگی های آن را شناسایی می کنند استفاده نمود.



شکل (۱-۱): طیف الکترومغناطیس

[1] remote sensing

دو نوع متداول سنجش از راه دور، تصویربرداری نوری و تصویربرداری راداری می باشند. در تصویربرداری نوری از ناحیه نور مرئی و در تصویربرداری راداری معمولا از ناحیه امواج مایکروویو (شکل (۱-۲)) استفاده می شود.

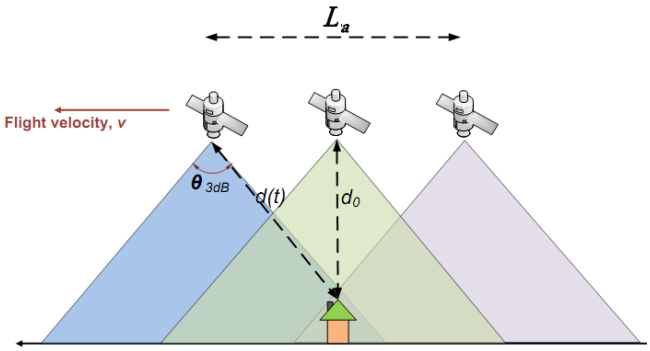


شکل (۱-۲): باندهای فرکانسی رادار

در تصویربرداری نوری، خورشید به عنوان منبع تشعشع به کار می رود. در تصویربرداری راداری، آنتن فرستنده امواج مایکروویو منبع تشعشع می باشد. مزیت تصویربرداری راداری نسبت به تصویربرداری نوری عدم نیاز به منابع نور خارجی (مثلاً نور خورشید) و امکان استفاده در شب و روز، حداقل تضعیف ممکن امواج در اتمسفر و توانایی

عملکرد در هر شرایط آب وهوایی و در حضور ابر و مه، بدست آوردن تصاویر با قدرت تفکیک[۱] بهتر (حتی در فواصل زیاد بین رادار و هدف) و توانایی نفوذ در زیر زمین و شناسایی اهداف در عمق کم می باشد.

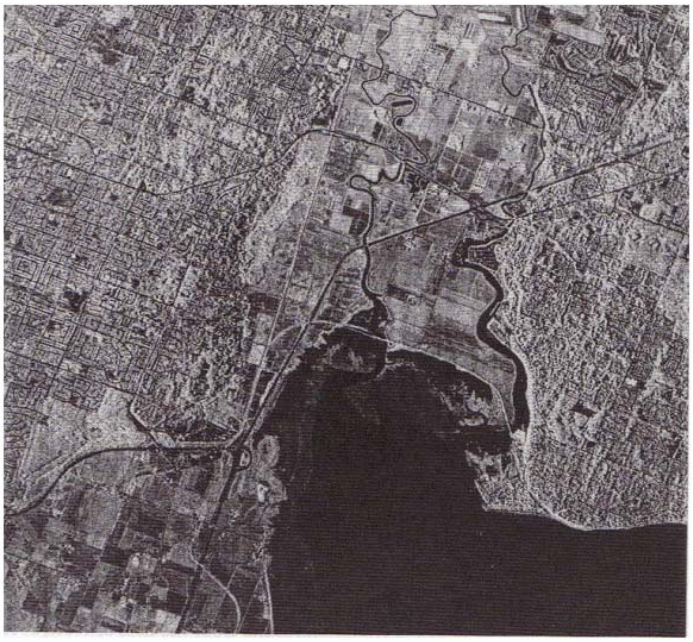
رادار برای مشاهده الکترونیکی سطح زمین از جنگ جهانی دوم تا کنون به کار رفته است و در این مدت از پیشرفت های فناورانه زیادی برخوردار شده است. سیستم های راداری معمول برای آشکارسازی فاصله و سرعت اهداف متحرک استفاده می شدند ولی امروزه در زمینه تصویربرداری نیز به کار می روند. تصویربرداری مناسب از سطح زمین نیازمند قدرت تفکیک های در حد چند متر در دو راستای برد[۲] و برد متقاطع[۳] می باشد. بدست آوردن قدرت تفکیک برد مناسب با استفاده از شکل موج های با پهنای باند زیاد مانند LFM[۴] و تکنیک فشرده سازی پالس میسر می شود. قدرت تفکیک برد متقاطع به طول آنتن وابسته است. یک آنتن با طول فیزیکی زیاد نیاز است تا بیم باریک و لذا قدرت تفکیک برد متقاطع مناسبی را ایجاد نماید. روش مرسوم و عملی برای غلبه بر این محدودیت استفاده از مفهوم رادار با روزنه مصنوعی (SAR)[۵] می باشد که توسط وایلی[۶] در دهه ۱۹۵۰ مطرح شد. یک آنتن طویل به طریق مصنوعی با استفاده از حرکت یک آنتن کوچک در یک مسیر مشخص و سپس دریافت اکوها در طول مسیر و پردازش مناسب آن ها تولید می شود (شکل (۱-۳)). لازم به ذکر است که هم فاز و هم دامنه سیگنال های دریافتی باید ثبت گردند و پردازش به صورت همدوس[۷] انجام شود. سکوی حامل آنتن رادار می تواند ماهواره و یا هواپیما باشد. لازم به ذکر است که سیگنال های دریافتی تصاویر آماده ای نیستند بلکه فقط داده خام می باشند. با پردازش مناسب، داده خام قابل تبدیل به تصویر SAR می باشد. این پردازش مناسب تشکیل تصویر نامیده می شود و الگوریتم های گوناگونی برای آن پیشنهاد شده است.



شکل (۱-۳): تولید روزنه مصنوعی

[1] resolution
[2] range
[3] cross-range
[4] linear FM
[5] Synthetic Aperture Radar
[6] Wiley
[7] coherent

تصاویر SAR در کاربردهای علمی متفاوتی مورد استفاده قرار می گیرند. مثلا زمین شناسی، تصویر برداری جغرافیایی از سطح سیاره ها، اکتشاف منابع زیر زمینی، کنترل اتوماتیک فرود هواپیماها، تصویربرداری پزشکی از بافت های خارج از دید، تست غیر مخرب ساختارهای مکانیکی خارج از دید، تعیین چیدمان و وضعیت نیروهای نظامی، آشکارسازی اهداف در داخل ساختمان ها و آشکارسازی اهداف در پوشش های فشرده گیاهی از این جمله اند. نمونه ای از یک تصویر SAR را در شکل (۱-۴) ملاحظه می کنید.



شکل (۱-۴): نمونه ای از یک تصویر SAR از یک رود و نواحی اطراف آن

یک سیستم SAR می تواند تک پایه[1] یا دوپایه[2] باشد. در SAR تک پایه فرستنده و گیرنده یکسان بوده ولی در SAR دوپایه مکان فرستنده و گیرنده متفاوت می باشد. ساختار دوپایه مزایای زیادی دارد. یکی از مهم ترین آن ها کاهش هزینه با استفاده از به اشتراک گذاشتن یک فرستنده برای چندین گیرنده می باشد. امکان استفاده از حالت غیرفعال[3] و شناسایی پایین سکوی گیرنده در این حالت، غیر موثر بودن روش های ضد رادار[4] تک پایه در کاهش سطح مقطع راداری دوپایه، و انعطاف پذیری زیاد در طراحی ساختار دوپایه از سایر این مزایا هستند. با وجود این مزایا استفاده از SAR دوپایه چالش های فنی زیادی را به همراه دارد که در SAR تک پایه وجود ندارد. مشکلات مربوط به همزمان سازی و پیچیدگی بیشتر مسائل پردازشی مانند تشکیل تصویر از جمله این چالش ها هستند. چندین

[1] monostatic
[2] bistatic
[3] passive
[4] stealth

موسسه تحقیقاتی از جمله DLR، ONERA و FGAN آزمایش های موفقیت آمیزی را در این زمینه انجام داده اند. در سال های اخیر با توجه به اثبات عملی بودن ایده SAR دوپایه، این موضوع مورد توجه بسیاری از پژوهشگران واقع شده و تعداد زیادی مقاله در این زمینه به چاپ رسیده است.

۱-۲- هدف و ساختار پایان نامه

چنان که گفته شد هدف اصلی پایان نامه پرداختن به موضوع تشکیل تصویر در رادارهای SAR دوپایه بوده و سعی می شود برخی از الگوریتم های تشکیل تصویر بهبود داده شوند. بر این اساس ساختار پایان نامه به شرح زیر است:

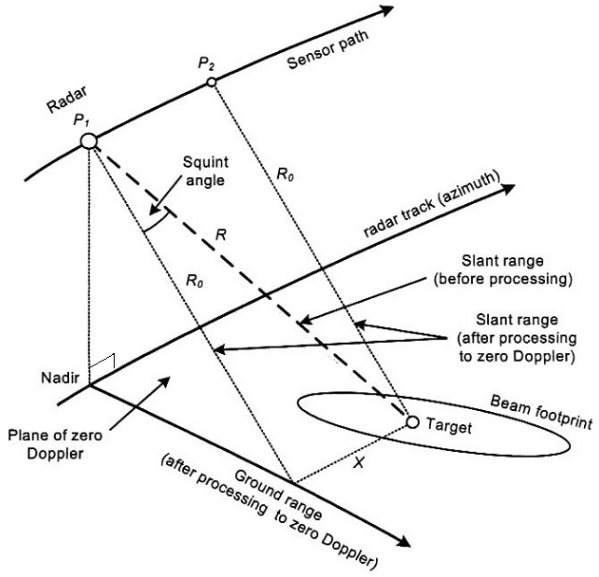
در فصل دوم با اصول SAR آشنا می شویم. در فصل سوم به مسئله تشکیل تصویر در SAR تک پایه می پردازیم. در فصل چهارم علاوه بر اصول SAR دوپایه، طیف هدف نقطه ای دوپایه[1] و الگوریتم های تشکیل تصویر در SAR دوپایه را بررسی می کنیم و در فصل پنجم به ارائه الگوریتم های پیشنهادی با استفاده از یکی از طیف های دقیق دوپایه و شبیه سازی آن ها می پردازیم.

[1] bistatic point target reference spectrum

فصل دوم
اصول SAR

۲-۱-هندسه SAR و اصطلاحات رایج

شکل (۲-۱) یک مدل هندسی ساده از مکان رادار و بیم آن بر روی زمین را نشان می دهد. رادار تک پایه فرض شده و آنتن یکسانی برای ارسال و دریافت استفاده شده است. سکوی رادار در حال حرکت در مسیر مستقیم بوده و در این حین از سطح زمین تصویربرداری می کند. اصطلاحات مورد استفاده در تعریف هندسه SAR در زیر می آید[۱]:



شکل (۲-۱): هندسه SAR [۱]

هدف: یک نقطه فرضی روی سطح زمین می باشد. ناحیه تصویربرداری متشکل از چندین هدف نقطه ای فرض می شود.

رد بیم[۱]: بیم رادار را می توان به صورت مخروطی در نظر گرفت. اشتراک این مخروط با سطح زمین رد بیم نامیده می شود که دارای دو بعد مهم می باشد: پهنای بیم در جهت سمت و پهنای بیم در جهت ارتفاع.

سمت القدم[۲]: نقطه دقیقا زیر رادار که خط واصل آن به رادار بر سطح زمین عمود است. به زاویه بین این خط واصل و خط مرکز بیم، زاویه دید[۳] یا زاویه تابش[۴] گفته می شود.

سمت[۵]: به جهت حرکت سکوی آنتن رادار گفته می شود.

صفحه با داپلر صفر: صفحه ای شامل رادار می باشد که عمود بر جهت سمت است. اشتراک این صفحه با زمین، خط با داپلر صفر نامیده می شود. وقتی که این خط از هدف می گذرد، سرعت شعاعی نسبی هدف–رادار صفر می گردد.

برد مایل[۶] یا برد[۷]: به فاصله رادار تا هدف در هر لحظه گفته می شود.

برد نزدیکترین فاصله[۸]: فاصله رادار تا هدف ضمن حرکت رادار با زمان تغییر می کند. وقتی که این برد می نیمم می شود (وقتی که خط با داپلر صفر از هدف می گذرد) برد نزدیکترین فاصله نامیده می شود که با R_0 نامگذاری شده است.

مکان نزدیکترین فاصله: مکانی برای رادار است که در برد نزدیکترین فاصله از هدف قرار می گیرد (نقطه p_2 در شکل).

زمان نظیر مرکز بیم[۹]: زمانی است که خط مرکز بیم از هدف می گذرد. اختلاف بین زمانی که خط با داپلر صفر از هدف عبور می کند و زمانی که خط مرکز بیم از هدف می گذرد را زمان آفست مرکز بیم[۱۰] می نامیم.

برد زمین[۱۱]: تصویر بردار برد بر روی زمین را برد زمین می نامند.

زاویه لوچی[۱۲]: زاویه بین بردار برد هدف با صفحه داپلر صفر است. زاویه لوچی هر هدف با حرکت رادار مرتبا تغییر می کند. در این پایان نامه زاویه لوچی بیم را زاویه خط مرکز بیم با صفحه مذکور تعریف می کنیم. به عبارتی زاویه

---

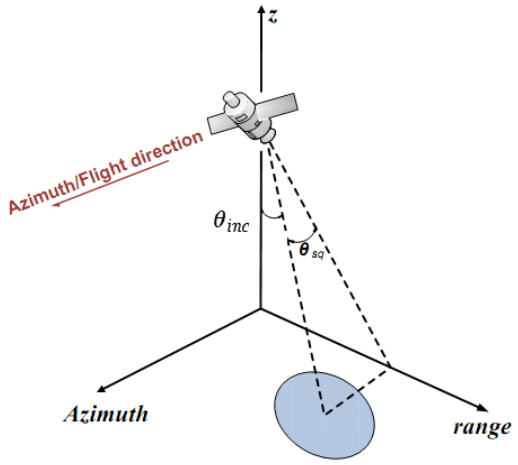
[1] footprint
[2] nadir
[3] look angle
[4] incidence angle
[5] azimuth
[6] slant range
[7] range
[8] range of closest approach
[9] beam center crossing time
[10] beam center offset time
[11] ground range
[12] squint

لوچ بیم، نظیر زاویه لوچی بردار برد هدف واقع در مرکز بیم می باشد. اگر این زاویه صفر باشد بیم را عرضی[1] و اگر غیر صفر باشد، بیم را لوچ[2] می نامند.

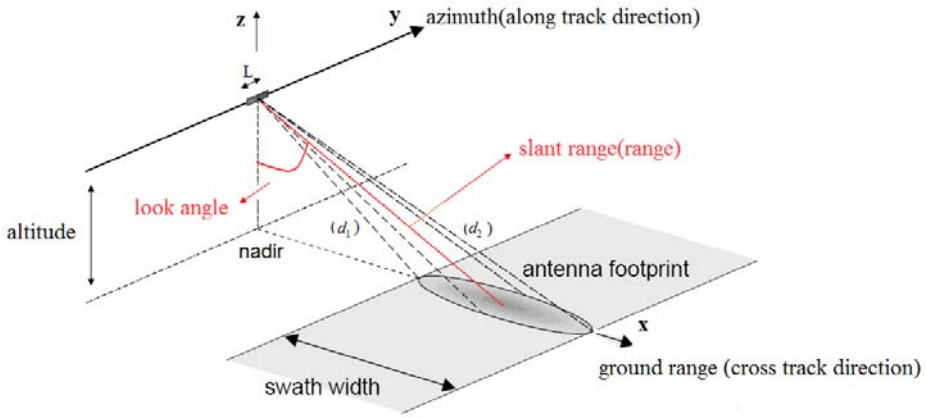
ناحیه پوشش[3] یا ناحیه مشاهده: به کل ناحیه ای که با حرکت سکوی آنتن تصویربرداری می شود، ناحیه پوشش گویند (اجتماع رد بیم تمامی لحظات).

برد متقاطع[4]: این برد در جهت عمود بر خط مرکز بیم رادار می باشد. برای بیم عرضی معادل سمت می باشد.

تفاوت تعاریف زاویه لوچی بیم (θ_{sq}) و زاویه دید (θ_{inc}) در شکل (۲-۲) بهتر مشخص شده است. شکل (۲-۳) نیز سایر اصطلاحات فوق را نمایش می دهد.



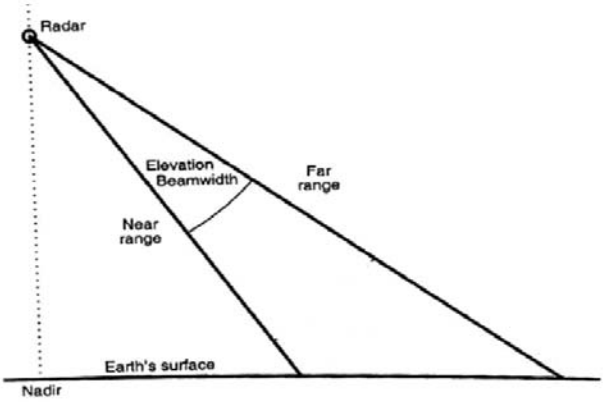
شکل (۲-۲): تعریف بیم لوچ



شکل (۲-۳): اصطلاحات متداول

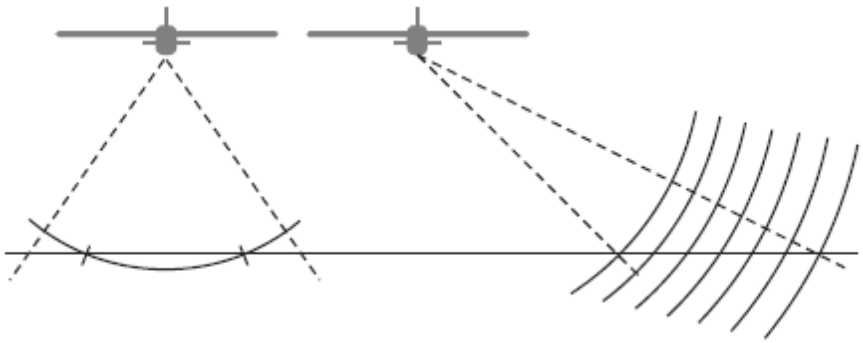
[1] boresight
[2] squinted
[3] swath
[4] cross range

مطابق شکل (۲-۳)، ناحیه ای از زمین که عرض تصویر(امتداد آن در راستای برد زمین) را معین می کند به برد های d_1 و d_2 بستگی دارد که خود وابسته به بیم آنتن در جهت ارتفاع و زاویه دید آن هستند . فاصله d_1 که معادل لبه نزدیک تصویر است، برد نزدیک[1] و d_2، برد دور[2] نامیده می شود. در فاصله زمانی بین ارسال پالس های متوالی، رادار از برد نزدیک تا برد دور را جاروب می کند. شکل (۲-۴) نیز این موضوع را بهتر نمایش می دهد.



شکل (۲-۴): بیم ارتفاع آنتن

لازم به ذکر است وقتی رادار با اطلاعات برد مواجه است، زاویه دار بودن نگاه[3] آن (معادل با غیر صفر بودن زاویه دید در کل مدت زمان تصویربرداری) الزامی است. با توجه به شکل (۲-۵)، در حقیقت اگر رادار زمین را عمودی روشن کند، با دو نقطه در فاصله یکسان که هر یک در یک طرف مسیر هستند، مواجه خواهد شد که باعث ابهام می شود.

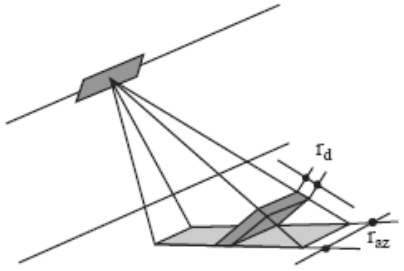


شکل (۲-۵): (راست) زاویه دار بودن نگاه (چپ) نگاه عمودی[۲]

[1] near range
[2] far range
[3] side-looking

۲-۲- قدرت تفکیک در SAR

قدرت تفکیک رادار، مربوط به توانایی آن در تفکیک متمایز دو هدف مجاور چه در برد و چه در سمت می باشد. حداقل فاصله قابل تفکیک در جهت برد توسط قدرت تفکیک برد (r_d) و حداقل فاصله قابل تفکیک در جهت برد متقاطع توسط قدرت تفکیک برد متقاطع یا سمت (r_{az}) تعیین می شوند (شکل (۲-۶)). آنتن را روزنه ای مستطیلی[1] در نظر می گیریم که L طول فیزیکی آن در راستای سمت و l طول فیزیکی آن در راستای عمودی می باشد. معمولا ویژگی های آنتن طوری انتخاب می شود که در جهت برد زمین، بیم پهن و در جهت سمت بیم باریک داشته باشد.



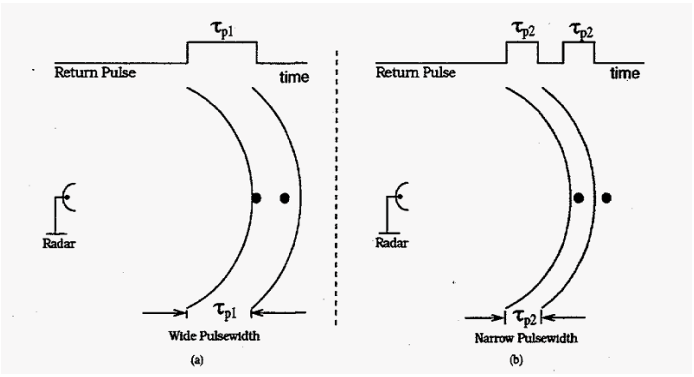
شکل (۲-۶): قدرت تفکیک برد و سمت[۲]

۲-۲-۱- قدرت تفکیک برد

مشابه رادارهای جست وجوی پالسی حداقل فاصله قابل تفکیک در جهت برد یا قدرت تفکیک برد برابر است با [۲]:

$$r_d = c\tau / 2 \simeq c / (2\Delta f) \qquad (۱-۲)$$

که τ عرض پالس و $\Delta f \simeq \frac{1}{\tau}$ پهنای باند تقریبی پالس است. دو هدف باید لااقل به اندازه نصف عرض پالس فاصله زمانی داشته باشند تا دو اکوی متمایز ایجاد نمایند (شکل (۲-۷)).



شکل (۲-۷): مفهوم قدرت تفکیک برد

[1] rectangular aperture