بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

کاهش speckle در تصاویر رادار روزنه مصنوعی با استفاده از حسگری فشرده

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات سیستم

احمد شفیعی

اساتید راهنما

دکتر احسان یزدیان

دکتر مجتبی بهشتی

۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق - مخابرات سیستم آقای احمد شفیعی

با عنوان

کاهش speckle در تصاویر رادار روزنه مصنوعی با استفاده از حسگری فشرده

در تاریخ ۹۴/۱۰/۲۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر احسان یزدیان
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مجتبی بهشتی
۳- استاد داور	دکتر حامد نریمانی
۴- استاد داور	دکتر محمد مهدی نقش
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر محمدعلی خسروی‌فرد

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس یکتای بی‌همتا را که لطفش بر ما عیان است، ادای شکرش را هیچ زبان و دریای فضلش را هیچ کران نیست آفریدگاری که بنده کوچکش را در دریای بی‌کران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب رهروان علم و دانش به تماشا نشیند، لذا اکنون که در سایه‌سار بنده‌نوازیهایش پایان‌نامه حاضر به اتمام رسیده است بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

از اساتید گرانقدرم، جناب آقای دکتر احسان یزدیان و جناب آقای دکتر مجتبی بهشتی، که زحمت راهنمایی پایان نامه را بر عهده گرفتند و با راهنمایی‌های عالمانه و بجایشان سکاندار شایسته‌ای در هدایت این پایان‌نامه بودند، کمال سپاس را دارم. بی شک آشنایی با شما بزرگواران یکی از الطاف بزرگ خدا بود.

از هیئت محترم داوران،جناب آقای دکتر حامد نریمانی و جناب آقای دکتر محمد مهدی نقش به خاطر فرصتی که برای مطالعه و ارزیابی تحقیق صرف نمودند، سپاسگذارم. کارشناسی دقیق و اخلاق نیکوی شما بزرگواران در جلسه دفاع بسیار آموزنده بود.

همچنین از خانواده عزیزم صمیمانه تشکر می کنم که با محبت و دعای خیر، سختی ها را برایم آسان کردند. خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری دلسوز و مهربان نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که گرمای امیدبخش وجودشان در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است. هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس نتوانم بگویم، امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شما.

تقدیم به:

پرچم‌داران علم و تقوی،

ستون‌های محکم ایمان و امین اسرار خدا،

مالک نعمت‌های روحانی و ارکان بزرگواری،

صاحبان مقام اخلاص و معادن رحمت حق،

خاندان نبوت و امامان دعوت کننده به حق،

اهل بیت عصمت و طهارت (ع)

(برگرفته از زیارت جامعه کبیره)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ هدف پایان‌نامه ۳

۱-۲ ساختار پایان‌نامه ۳

فصل دوم: رادار روزنه مصنوعی و آمارگان speckle

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ اصول عملکرد ۷

۲-۳ تشکیل تصویر ۱۴

۲-۳-۱ ماتریس داده خام ۱۴

۲-۳-۲ الگوریتم برد-داپلر ۱۵

۲-۴ speckle و آمارگان آن ۱۶

۲-۵ خلاصه ۲۱

فصل سوم: رویکردهای کاهش speckle

۳-۱ مقدمه ۲۲

۳-۲ پردازش چندنگاهه ۲۳

۳-۲-۱ پیاده‌سازی عملی ۲۴

۳-۲-۲ روش‌های پردازش چندنگاهه ۳۱

۳-۳ روش‌های فیلتری ۳۹

۳-۳-۱ روش‌های بیزی ۴۰

۳-۳-۲ روش‌های غیربیزی ۴۹

۳-۴ خلاصه ۵۷

فصل چهارم: شبیه‌سازی و مقایسه روش‌های کاهش speckle

۴-۱ مقدمه ۵۸

۴-۲ فرض‌ها و پارامترها ۵۸

۴-۳ نتایج شبیه‌سازی ۶۰
۴-۴ نتیجه‌گیری ۷۰
فصل پنجم: روش پیشنهادی کاهش speckle بر مبنای حسگری فشرده
۵-۱ مقدمه ۷۱
۵-۲ حسگری فشرده ۷۲
۵-۳ حسگری فشرده در رادار روزنه مصنوعی ۸۱
۵-۳-۱ تشکیل تصویر با حسگری فشرده ۸۲
۵-۳-۲ حسگری فشرده برای کاهش speckle ۸۲
۵-۴ نمونه‌برداری تنک در رادار روزنه مصنوعی ۸۳
۵-۴-۱ شیوه‌های رایج نمونه‌برداری ۸۳
۵-۴-۲ شیوه نمونه‌برداری پیشنهادی ۸۶
۵-۵ انتخاب ماتریس پایه مناسب برای SAR ۸۷
۵-۶ روش پیشنهادی کاهش speckle ۹۰
۵-۷ حفظ اهداف نقطه‌ای درخشان همراه با کاهش speckle ۹۴
۵-۸ ارزیابی روش‌های پیشنهادی با شبیه‌سازی ۹۷
۵-۹ نتیجه‌گیری ۱۰۹
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۱۰
۶-۲ پیشنهادها ۱۱۳
مراجع ۱۱۴

چکیده

بیش از سه دهه از به کارگیری گسترده رادار روزنه مصنوعی (SAR) برای سنجش از راه دور در کاربردهای نظامی و غیرنظامی می‌گذرد.رادار روزنه مصنوعی امکان تصویربرداری در شب یا روز، تصویربرداری در شرایط آب و هوایی مختلف، تصویربرداری از اهداف پنهان شده و دستیابی به تفکیک‌پذیری مستقل از برد را فراهم می‌کند. یکی از معایب تصویر SAR، وجود speckle است. این پدیده در اثر توزیع تصادفی چندین پراکنده‌ساز در هر سلول تفکیک‌پذیری به وجود می‌آید. speckle نویزی ذاتی و ضرب‌شونده است که تفسیرتصاویر رادار روزنه مصنوعی را مشکل می‌سازد. برای بهبود تفسیر دیداری تصویر یا دسته‌بندی اهداف گسترده، باید این نویز را کاهش داد. دو رویکرد اصلی برای کاهش speckle وجود دارد: الف) پردازش چندنگاهه که همزمان با مرحله تشکیل تصویر در سامانه رادار روزنه مصنوعی پیاده‌سازی می‌شود و ب) فیلترکردن که پس از تشکیل تصویر و قبل از هرگونه استفاده از تصویرانجام می‌شود. پردازش چندنگاهه به معنی میانگین‌گیری ناهمدوس تصاویر مستقل یک منظره است. هر تصویر مستقل، یک نگاه نامیده می‌شود. شدت نویز در پردازش چندنگاهه متناسب با تعداد نگاه‌ها کاهش می‌یابد. به تازگی از حسگری فشرده (CS) برای تشکیل تصویر با تفکیک‌پذیری بالا یا کاهش speckle استفاده شده است. در تشکیل تصویر بر مبنای حسگری فشرده، نمونه‌ها با نرخی کمتر از نرخ نایکویست جمع‌آوری می‌شود. هدف این پایان‌نامه بهره‌گیری از حسگری فشرده برای کاهش speckle است. در این پایان‌نامه پس از معرفی، دسته‌بندی و شبیه‌سازی روش‌های قبلی کاهش speckle، روشی برمبنای حسگری فشرده پیشنهاد می‌شود. در این روش، نویززدایی همزمان با تشکیل تصویر انجام می‌شود. همچنین، به منظور حفظ اهداف نقطه‌ای درخشان همزمان با کاهش speckle، دو راهکار ارائه می‌شود. علاوه بر این، کارایی طرح‌های پیشنهادی به کمک تصاویر شبیه‌سازی شده ارزیابی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رادار روزنه مصنوعی، speckle، پردازش چندنگاهه، روش‌های فیلتری، حسگری فشرده.

فصل اول
مقدمه

رادار روزنه مصنوعی(SAR[1]) یک حسگر متحرک است که با تابش امواج الکترومغناطیسی به منظره مورد نظر و پردازش سیگنال‌های بازگشتی، تصویر منظره را ارائه می‌کند [۱]. حرکت نسبی بین رادار و منظره موجب می‌شود تا هر نقطه از تصویر در راستای حرکت، مدت بیشتری توسط حسگر دیده شود. در نتیجه رادار روزنه مصنوعی با بهره‌گیری از حرکت نسبی بین رادار و نقاط درون منظره به تفکیک‌پذیری[2] بالایی در راستای حرکت (راستای سمت[3]) دست می‌یابد.

رادار روزنه مصنوعی در کنار کاربردها و مزایای زیاد با محدودیت‌هایی نیز روبرو است. یکی از این محدودیت‌ها وجود speckle در تصاویر آن است. speckle یک آشفتگی[4] ذاتی است که ظاهری دانه‌دانه[5] به تصویر رادار روزنه مصنوعی می‌دهد و از کیفیت اطلاعاتی تصویر می‌کاهد [۲]. بنابراین می‌توان speckle را نوعی نویز در نظرگرفت. در این فصل، در **بخش اول**، هدف پایان‌نامه و در **بخش دوم**، ساختار کلی پایان‌نامه مرور می‌شود.

[1] Syntethic Aperture Radar
[2] Resolution
[3] Azimuth
[4] Disturbance
[5] Granular

۱-۱ هدف پایان‌نامه

به دلیل طبیعت همدوس جمع‌آوری داده خام در رادار روزنه مصنوعی، صرف نظر از اینکه چه الگوریتمی برای تشکیل تصویر استفاده شود، تصاویر رادار روزنه مصنوعی به نویزی به نام speckle آلوده می‌شود. این نویز، تفسیر، شناسایی و دسته‌بندی اهداف درون تصویر را مشکل می‌سازد. علاوه بر این، وجود speckle در کاربردهایی که نیاز به تصاویر چندگانه کاملاً یکسان دارد، زیان‌آور است. در نتیجه باید به دنبال روش‌هایی برای کاهش این نویز بود.

پردازش چندنگاهه (ML[1]) یکی از رویکردهای قدیمی کاهش speckle است. این رویکرد همزمان با روش‌های مرسوم تشکیل تصویر پیاده‌سازی می‌شود [۳]. در رویکرد دوم کاهش speckle، از فیلترهای دیجیتال و روش‌های پردازش تصویر استفاده می‌شود [۴]. این روش‌ها در رویکرد فیلتری دسته‌بندی می‌شوند. صرف نظر از روشی که برای کاهش speckle استفاده شود، باید جزئیات ساختاری و شالوده‌ای تصویر از جمله لبه‌ها، خطوط باریک و اهداف نقطه‌ای تا حد امکان حفظ شود.

رویکردهای مرسوم کاهش speckle به داده‌ای نیاز دارند که با نرخ نمونه‌برداری نایکویست[2] [۵] فراهم شده باشد. دستیابی به تصاویر با تفکیک‌پذیری بالا، به نمونه‌های بیشتری نیاز دارد که پهنای باند ارسال، فضای ذخیره‌سازی داده و در نتیجه پیچیدگی سخت‌افزاری را افزایش می‌دهد.

در سال‌های اخیر، حسگری فشرده (CS[3]) بازسازی سیگنال‌های تنک[4] را ممکن کرده است [۶]. بر اساس CS، یک سیگنال تنک با تعداد نمونه‌هایی بسیار کمتر از نرخ نایکویست بازسازی می‌شود. به تازگی، مفهوم CS در پردازش سیگنال رادار روزنه مصنوعی نیز به کار گرفته شده است [۷].

هدف این پژوهش، بررسی کاربرد حسگری فشرده در کاهش speckle است. در این پژوهش، روش‌های مرسوم کاهش speckle معرفی، دسته‌بندی و بررسی می‌شود و روشی بر مبنای حسگری فشرده برای کاهش speckle در تصویربرداری شیوه نواری[5] پیشنهاد می‌گردد. البته، روش پیشنهادی کاهش speckle در شیوه‌های دیگر نیز قابل پیاده‌سازی است. همچنین، دو روش کاهش speckle مبتنی بر حسگری فشرده با هدف حفظ نقاط درخشان تصویر، ارائه می‌شود.

۱-۲ ساختار پایان‌نامه

شکل ۱-۱، ساختار کلی پایان‌نامه شامل پیش‌نیازها و نوآوری‌ها را نشان می‌دهد. روند مطالب چنین است:

---

[1] MultiLook
[2] Nyquist rate
[3] Compressed Sensing
[4] Sparse
[5] Stripmap

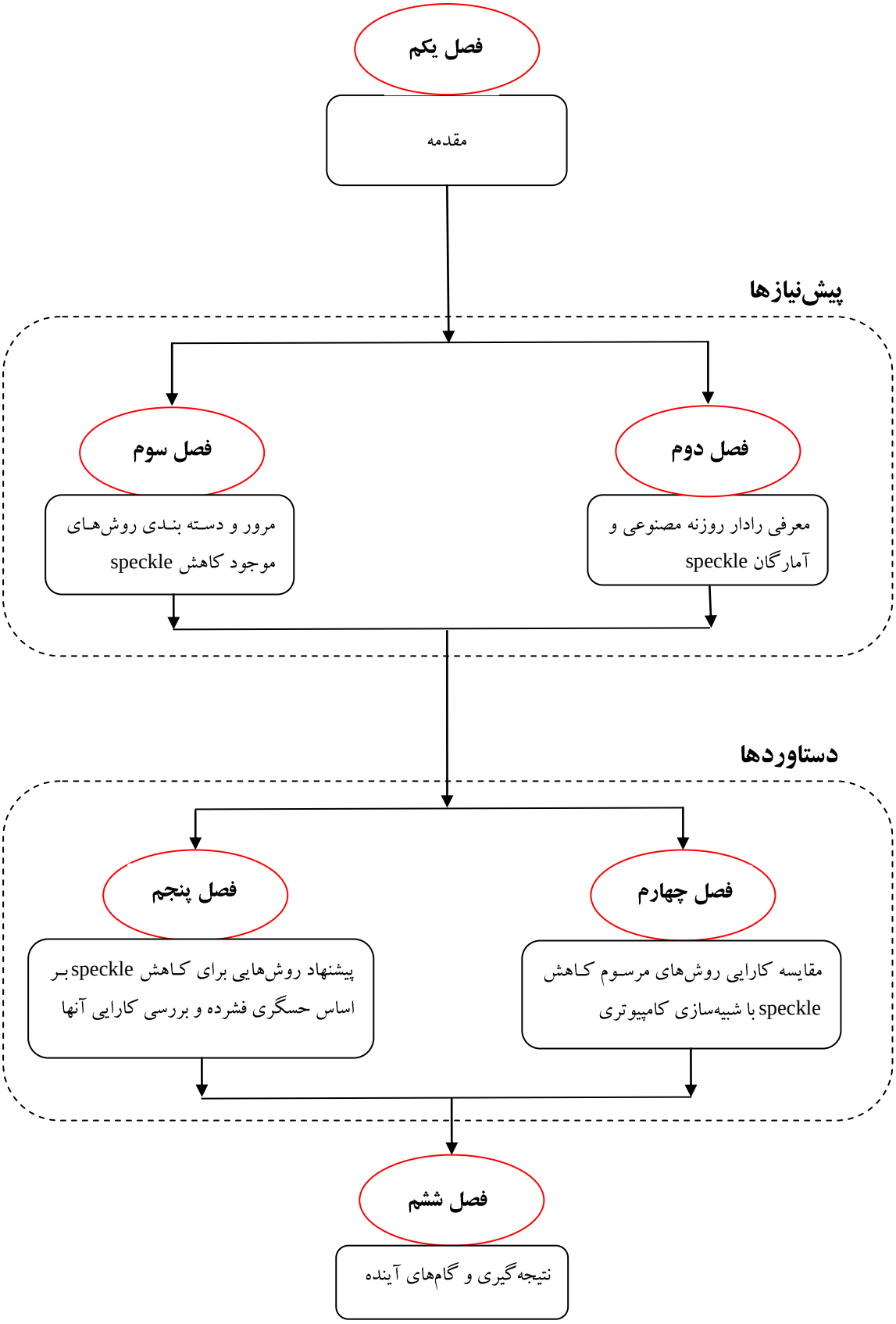
در **فصل دوم** ابتدا اصول عملکرد رادار روزنه مصنوعی در شیوه تصویربرداری نواری با ترسیم هندسه SAR بررسی می‌شود. سپس تشکیل تصویر در رادار روزنه مصنوعی توضیح داده می‌شود. علاوه بر این، چگونگی به وجود آمدن speckle در تصاویر SAR شرح داده می‌شود و آمارگان speckle معرفی می‌گردد.

در **فصل سوم** رویکردهای مرسوم کاهش speckle معرفی می‌شود. این رویکردها عبارت‌اند از: الف) پردازش چندنگاهه و ب) روش‌های فیلتری. همچنین چگونگی پیاده‌سازی و روند پیشرفت روش‌ها بر اساس مقالات در دسترس، مرور می‌گردد و مقایسه‌ای کلی بین این روش‌ها انجام می‌گیرد.

در **فصل چهارم** پس از معرفی معیارهای رایج به کار رفته در سنجش عملکرد روش‌های کاهش speckle، کارایی مهمترین روش‌های کاهش speckle به کمک شبیه‌سازی کامپیوتری بررسی می‌شود.

در **فصل پنجم** کاربرد حسگری فشرده در کاهش speckle و تشکیل تصویر SAR مرور می‌شود و روش‌های پیشنهادی این پایان‌نامه شرح داده می‌شود. روش اول برای کاهش speckle در تصاویر دارای یک نوع از اهداف گسترده یا نقطه‌ای ارائه می‌شود. این روش بر مبنای CS طراحی شده است و کاهش speckle را توأم با تشکیل تصویر انجام می‌دهد. همچنین، برای حفظ اهداف نقطه‌ای درخشان همراه با کاهش speckle، دو روش مبتنی بر حسگری فشرده پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، در این فصل، شیوه‌های نمونه‌برداری تنک از سیگنال SAR ارائه می‌گردد و شیوه جدیدی پیشنهاد می‌شودکه در روش کاهش speckle استفاده می‌شود و سخت‌افزار موجود برای تشکیل تصویر را ساده‌تر می‌کند. سرانجام، قابلیت‌ها و محدودیت‌های پیشنهادهای مطرح شده با شبیه‌سازی کامپیوتری ارزیابی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی کارآمدی پیشنهادهای مطرح شده را نشان می‌دهد.

در **فصل ششم** نتایج اصلی پژوهش، جمع‌بندی می‌شود و گام‌هایی برای ادامه کار در راستای موضوع پایان‌نامه پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۱-۱- ساختار کلی پایان‌نامه

فصل دوم
رادار روزنه مصنوعی و آمارگان speckle

۲-۱ مقدمه

سنجش از راه دور یکی از مؤثرترین راه‌ها برای آگاهی از پدیده‌های طبیعی سطح زمین است. یکی از راه‌های جمع‌آوری داده سطح زمین، استفاده از رادار روزنه مصنوعی (SAR) است. برخی از مزایای SAR در مقایسه با تصویر برداری نوری عبارت است از:

SAR مبتنی بر بازتاب‌های راداری است. بنابراین اجازه تصویربرداری در شب یا آب و هوای نامناسب را می دهد. در حالی که این شرایط، تصویربرداری نوری را مختل می‌کند. سامانه های SAR توانایی تفکیک‌پذیری بسیار بالا، تا حد چند سانتیمتر، دارند و این توانایی را می توانند بدون نیاز به گسترش سخت افزار موجود رادار، تا برد[1]های طولانی حفظ کنند. قابلیت کار رادار در فرکانس‌های پایین، کشف اهداف پنهان شده یا پوشیده شده را ممکن می‌سازد. SAR بر اساس اندازه گیری توأم دامنه و فاز بنا شده است. شیوه‌های ویژه‌ای ارائه شده است که با استفاده از اطلاعات فاز، ارتفاع زمین و اهداف را تخمین می زند یا تغییرات آرام صحنه تصویربرداری شده در طول زمان را آشکار می‌کند [۸].

کاربردهای گوناگون این سامانه شامل شناسایی، دیده‌بانی، هدف‌گیری، ناوبری و هدایت، تعیین هدف متحرک، آشکارسازی تغییرات، پایش محیطی، کاوش زمین و تشکیل تصاویر سه‌بعدی می‌شود.

تصویر SAR، پروفایل ضرایب بازتاب سلول‌های سطحی یک ناحیه در فرکانس رادیویی است. هر سلول در ابعاد ماکروسکوپی صاف و یکدست به نظر می‌رسد اما در ابعاد کوچکتر، سطحی ناصاف دارد و از چندین

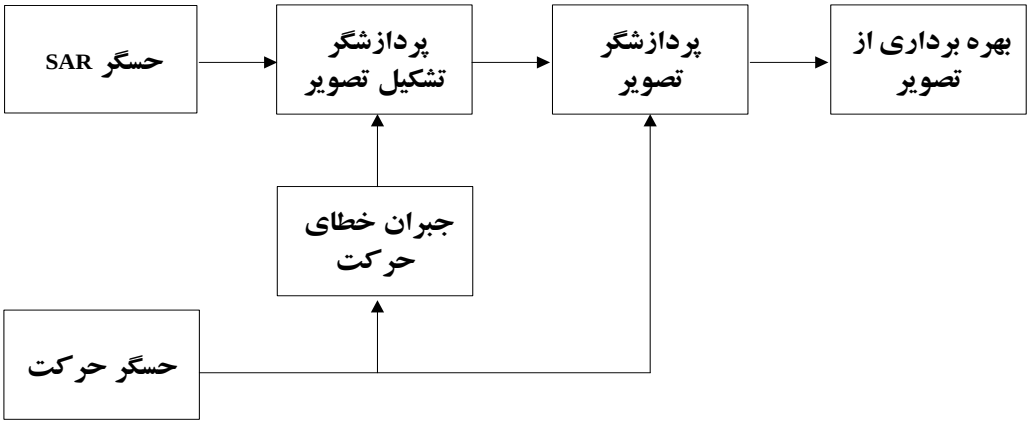
[1] Range

پراکنده‌ساز[1] تشکیل شده است. تعداد و چیدمان پراکنده‌سازها در سلول‌های مختلف، یکسان نیست. در نتیجه دامنه دریافتی از هر سلول که حاصل برهم نهی (سازنده یا مخرب) بازتاب‌های پراکنده‌سازهای تشکیل‌دهنده آن است، در طول تصویر صحنه، نوساناتی خواهد داشت. این نوسانات، تغییر شدت روشنایی از سلول به سلول را نتیجه می‌دهد که به آن speckle یا نویز speckle گفته می‌شود [۹].

در **بخش دوم** این فصل، اصول کار رادار روزنه مصنوعی بیان می‌شود در **بخش سوم**، چگونگی تشکیل تصویر SAR، شرح داده می‌شود. در **بخش چهارم**، speckle به عنوان یکی از معایب اصلی تصاویر SAR معرفی و آمارگان آن بررسی می‌شود. سرانجام، در **بخش پنجم**، خلاصه‌ای از مطالب این فصل ارائه می‌گردد.

۲-۲ اصول عملکرد

سامانه SAR در نگاه کلی شامل پنج بلوک است (شکل ۲-۱). حسگر SAR و حسگر حرکت، منابع جمع‌آوری بی‌درنگ داده را تشکیل می‌دهند. این منابع، داده سیگنال رادار (بازتابیده از صحنه) و داده کمکی بیان‌کننده حرکت سکوی SAR را فراهم می‌کنند. پردازشگر تشکیل تصویر (IFP[2]) از این دو جریان داده استفاده می‌کند تا تصویر SAR را به پردازشگر تصویر و سپس به قسمت بهره‌برداری تحویل دهد. این سه بلوک هم ممکن است به صورت بی‌درنگ کار کنند. در ادامه چگونگی کار SAR و نقش هر یک از بلوک‌های اصلی آن شرح داده می‌شود.



شکل۲-۱-نمودار بلوکی کلی SAR

حسگر حرکت، داده لازم برای تخمین تغییرات ناخواسته ناشی از حرکت را فراهم می‌کند. SAR از خروجی‌های حسگر حرکت به طور بی‌درنگ برای جهت‌دهی بیم آنتن، تنظیم دروازه برد رادار و معرفی سیگنال

[1] Scatterer
[2] Image Formation Processor

مرجع به گیرنده استفاده می‌کند. استفاده از سیگنال مرجع، برخی از اثرات حرکت‌های غیر ایده‌آل را از داده‌های جمع‌آوری شده SAR می‌زداید.

حسگر رادار روزنه مصنوعی روی یک سکوی متحرک نصب شده است. این سکو می‌تواند پهپاد[1] هواپیما یا ماهواره باشد. سکو یک ارتفاع نامی از سطح زمین دارد و در مسیری مستقیم و با سرعت ثابت حرکت می‌کند. حسگر SAR شامل تجهیزات لازم برای تولید، ارسال و دریافت سیگنال‌های SAR می‌شود. حسگر از آنتن رادار، لینک داده، ذخیره‌ساز و رابط فیزیکی لازم برای انتقال سیگنال‌های جمع‌آوری شده به پردازشگر تشکیل تصویر می‌شود. حسگر در موقعیت‌های مختلف در طی مسیر حرکت، پالس‌های متوالی از امواج الکترومغناطیس به سوی سطح زمین ارسال می‌کند. سپس دامنه و فاز بازتاب‌های منظره مورد نظر ثبت شده و تصویر منظره با پردازش همدوس تشکیل می‌شود. این پردازش در پردازشگر تشکیل تصویر انجام می‌شود. منظور از تصویرSAR، پروفایل ضرایب بازتاب پیکسل‌های سطحی (یا حجمی در تصویربرداری سه بعدی) یک ناحیه به صورت پیکسل‌هایی با سطوح خاکستری مختلف است. از آنجا که هم دامنه و هم فاز سیگنال‌های بازگشتی در تشکیل تصویر استفاده می‌شود، SAR یک سامانه تصویربرداری همدوس[2] است. IFP از خروجی‌های حسگر حرکت برای جبران اثرات حرکت‌های ناخواسته استفاده می‌کند. مرحله جبران خطای حرکت، نقشی حیاتی در تشکیل تصاویر دقیق SAR دارند. در تصویربرداری SAR، ایجاد یک تصویر با دقت مناسب از دنباله سیگنال دریافتی گام‌های زیر را نیاز دارد: الف) تولید، ارسال و دریافت یک سیگنال کدشده باند وسیع با ارتباط فاز مشخص بین پالس‌های پی‌درپی

ب) اندازه‌گیری و جبران حرکت‌های نسبی انتقالی و دورانی بین مرکز فاز آنتن رادار و هدف یا صحنه

ج) فرمت‌گذاری داده بر اساس پارامترهای سامانه رادار و هندسه جمع‌آوری داده

د) فشرده‌سازی داده در برد و سمت برای دستیابی به تفکیک‌پذیری موردنظر

دو گام اول برای حفظ همدوسی پالس به پالس فاز در طول آرایه مصنوعی لازم است. پس از اجرای درست سه گام اول، یک تبدیل فوریه سریع (FFT) دوبعدی روی تاریخچه سیگنال می‌تواند فشرده‌سازی را انجام دهد. برخی از روش‌های کاهش speckle در این بلوک پیاده‌سازی می‌شود.

عبارت پردازشگر تصویر بیانگر بهبود تصویر، استخراج ویژگی‌ها، ترکیب با سایر تصاویر SAR یا با داده حسگرهای دیگر، آشکارسازی خودکار هدف (ATD[3]) و تشخیص خودکار هدف (ATR[4]) است. پردازش تصویر ممکن است دربرگیرنده گستره‌ای از پردازش‌های چندکاناله در سامانه‌های SAR چند ورودی- چند خروجی باشد. برخی از روش‌های حذف speckle نیز در این بلوک قرار می‌گیرند.

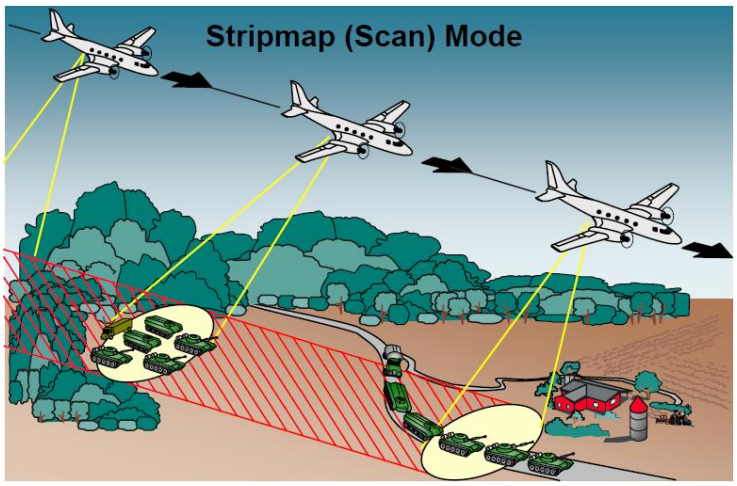
قسمت بهره‌برداری از تصویر، شامل استخراج و استفاده از اطلاعات صحنه تصویربرداری شده برای کاربردهای گوناگون SAR می‌گردد. مرز بین پردازشگر تصویر و قسمت بهره‌برداری همیشه روشن نیست و پیچیدگی بهره‌برداری از تصویر نیز به نوع تصویر و کاربرد بستگی دارد.

---

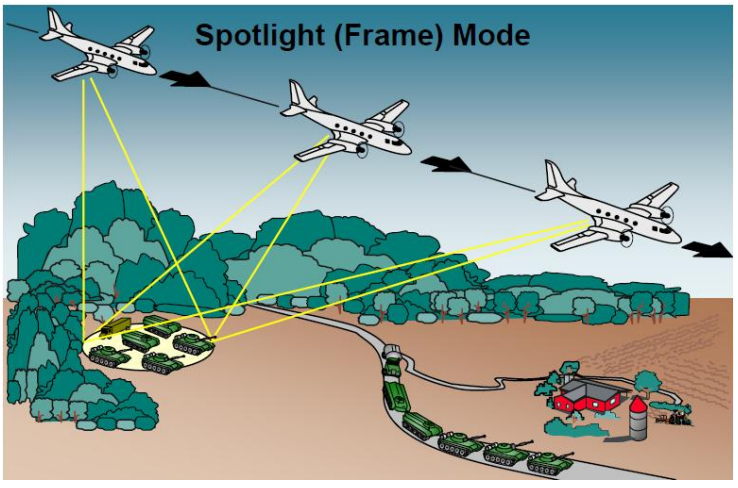
[1] Unmaned air vehicle (UAV)
[2] Coherent
[3] Automatic Target Detection
[4] Automatic Target Recognition

رادار روزنه مصنوعی می‌تواند از شیوه‌های مختلفی برای تصویربرداری استفاده کند که دو شیوه مرسوم آن عبارت‌اند از نواری و نقطه‌ای. در شکل۲-۲ هندسه این دو شیوه تصویربرداری نشان داده شده است. در شیوه نواری، موقعیت زاویه پرتو آنتن نسبت به جهت حرکت حسگر ثابت است. به همین علت با حرکت حسگر، امواج تابیده شده یک نوار از سطح زمین را پوشش می‌دهد. در حالت نقطه‌ای، پرتو آنتن با وجود حرکت حسگر، برای مدتی روی یک ناحیه مشخص باقی می‌ماند [۱۰].

در جدول۲-۱، روند تعریف، به کارگیری و گسترش رادار روزنه مصنوعی بر اساس مقالات مهم موجود، فهرست شده است. در تهیه این فهرست از اطلاعات مراجع [۱۱]، [۱۲] و [۱۳] استفاده شده است.



(الف)



(ب)

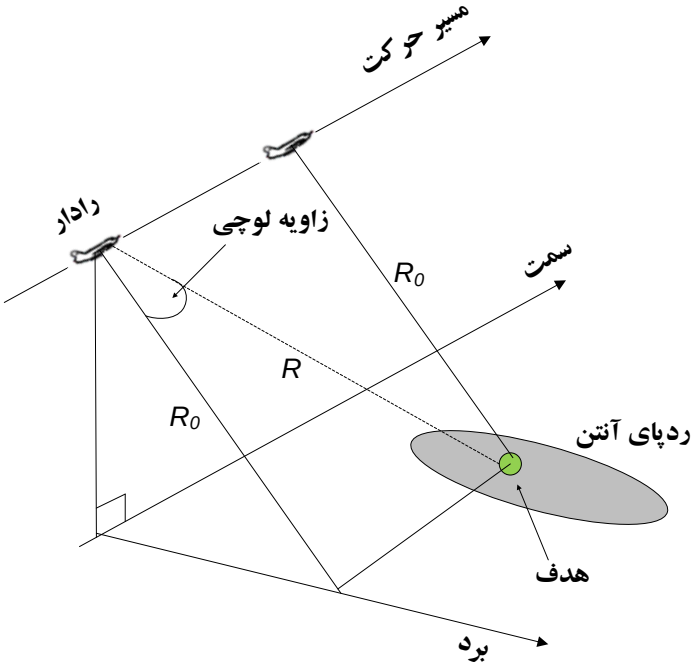
شکل۲-۲-دو شیوه رایج تصویربرداری رادار روزنه مصنوعی (الف) نقطه‌ای (ب) نواری

جدول۲-۱- روند تعریف و گسترش استفاده از رادار روزنه مصنوعی

سال	رویداد مهم
۱۹۵۰	طرح ایده استفاده از آنتن کوچک به جای آنتن بلند توسط رایلی
۱۹۵۲	ساخت راداری به نام سامانه پرتوافکن داپلری توسط رایلی
۱۹۵۴	ساخت راداری با پردازش داپلری در سال ۱۹۵۴ در آزمایشگاه سامانه‌های کنترل دانشگاه "ایلی نویز" آغاز شد و ایجاد نام روزنه مصنوعی
۱۹۵۶	انتقال ادامه تحقیقات مربوط به رادار روزنه مصنوعی به دانشگاه میشیگان
۱۹۵۷	تولید اولین تصویر رادار روزنه مصنوعی با استفاده از روش پردازش نوری
۱۹۶۰	گسترش سامانه‌های رادار روزنه مصنوعی به طور محرمانه در دانشگاه میشیگان و چندین شرکت آمریکایی
۱۹۶۱	انتشار اولین مقالات غیر محرمانه رادار روزنه مصنوعی
دهه ۶۰	انتشار مقالات مربوط کشورهایی مانند شوروی سابق، فرانسه و انگلستان به دنبال انتشار مقالات آمریکایی‌ها
۱۹۶۹	عرضه تجاری رادار روزنه مصنوعی GEMS بر پایه یک رادار نظامی دیگر که مدتی از به کارگیری آن می‌گذشت و مقارن با عرضه تجارتی رادار AN/APQ-9
دهه ۷۰	پرواز سامانه‌های پژوهشی روزنه مصنوعی در فرکانس‌های ۱/۲۵و ۹ گیگاهرتز توسط موسسه تحقیقات زیست محیطی میشیگان (ERIM) و آزمایشگاه موتور جت و ایجاد سامانه‌های با جبران حرکت
۱۹۷۸	اولین استفاده از رادارهای فضایی به منظور مشاهده زمین و با استفاده از رادار روزنه مصنوعی توسط ماهواره Seasat
۱۹۸۱	تحلیل اطلاعات ماهواره Seasat (SIR-A) با پردازش نوری روی زمین و به صورت non-real-time
۱۹۸۴	پردازش دیجیتالی روی زمین به صورت non-real-time با عنوان Downlink دیجیتالی (SIR-B)
۱۹۹۰	شروع انقلابی در کاربردهای رادار روزنه مصنوعی با تصویر برداری از سیاره زهره توسط رادار روزنه مصنوعی Magellan
دهه ۹۰	پرتاب ماهواره‌های بسیار از جمله ALMAZ (۱۹۹۱)، SIR-C (۱۹۹۴)، RADARSAT-1 (۱۹۹۵)، SRTM (۲۰۰۰) و ENVISAT (۲۰۰۲) به منظور انجام مأموریت‌های مختلف با استفاده از رادار روزنه مصنوعی
۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰	استفاده از رادارهای دارای باند X، توسط ماهواره‌هایی از جمله COSMO-SkyMed و TerraSAR-X/TanDem-X
۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵	پرتاب زوج ماهواره‌ای Sentinel-1a/1b برای توسعه مأموریت ماهواره ENVISAT توسط رادار روزنه مصنوعی
۲۰۱۷	استفاده از رادارهای دارای باند C، به عنوان مأموریت Canadian RADARSAT-3 با سه ماهواره

هندسه رادار روزنه مصنوعی درشکل ۲-۳ نمایش داده شده است. در این هندسه عوامل محیطی مانند لغزش حسگر و وزش باد نادیده گرفته می‌شود. مسیر حرکت حسگر، سمت، جهت عمود بر مسیر حرکت حسگر، راستای برد و انحراف محور آنتن از راستای عمود بر مسیر حرکت، زاویه لوچی[1] نامیده می‌شود. این زاویه معمولاً کوچک انتخاب می‌شود. در این پایان‌نامه برای پرهیز از پیچیدگی روابط، زاویه لوچی برابر صفر فرض می‌شود. برد هدف با R نمایش داده می‌شود و کمترین فاصله حسگر با هدف فرضی با R_0 نشان داده می‌شود.

با حرکت حسگر در راستای سمت، برد تغییر می کند و همزمان با آن و در هر موقعیت از راستای سمت شکل موج مناسب در جهت برد ارسال می‌شود. تفکیک‌پذیری برد در جهت عمود بر مسیر حرکت سکو تعریف می شود و با ارسال شکل موجی مناسب به دست می‌آید. تفکیک‌پذیری سمت به تفکیک‌پذیری در جهت حرکت گفته می-شود. حرکت سکو، مشاهده یک نقطه از بردهای متفاوت و پردازش همدوس چندین مشاهده، تفکیک پذیری سمت بالا را ممکن می‌سازد [۱۴]. سامانه‌های موجود SAR تقریباً همگی از مدولاسیون فرکانسی خطی (LFM[2]) استفاده می کنند. سیگنال LFM ، پهنای باند وسیع و انرژی قابل توجه روی یک پالس طولانی فراهم می‌آورد. علاوه بر این، LFM تنها مدولاسیون مناسب برای پردازش stretch است. این پردازش، یک روش فیلترسازی منطبق با بار محاسباتی بهینه برای فشرده‌سازی پالس است که نرخ‌های پایین ADC را نیز تحمل می کند. شکل موج‌های LFM، تحمل‌پذیر داپلر هستند و به سکوهای سرعت بالا اجازه می‌دهند تا تصویربرداری را بدون نیاز به فیلترهای منطبق وابسته به داپلر انجام دهند.



شکل۲-۳- هندسه رادار روزنه مصنوعی

[1] Squint angle
[2] Linear Frequency Modulated

روابط باند پایه سیگنال LFM درحوزه‌های زمان و فرکانس، چنین است [۱۵].

$$s(\tau) = \mathrm{rect}(\frac{\tau}{T_r}) e^{j\pi K_r \tau^2} \qquad ۱-۲$$

$$S(f) = \mathrm{rect}(\frac{f}{K_r T_r}) e^{\frac{-j\pi f^2}{K_r}} \qquad ۲-۲$$

$$\mathrm{rect}(\tau) = 1 \; ; \; -\frac{1}{2} \le \tau \le \frac{1}{2} \qquad ۳-۲$$

که τ و f به ترتیب زمان و فرکانس را نشان می‌دهد و K_r شیب تغییر فرکانس سیگنال LFM است. پهنای باند برد با تغییر فرکانس سیگنال LFM در هر پالس به پهنای پالس و شیب تغییر فرکانس سیگنال LFM، K_r، بستگی دارد و برابر با $B_r = |K_r| T_r$ است. در این صورت تفکیک‌پذیری برد از رابطه ۲-۴ بر حسب متر به دست می‌آید [۱۴].

$$\rho_r \approx \frac{.886\,\gamma_{w,r}}{B_r} \cdot \frac{c}{2} \qquad ۴-۲$$

که c سرعت نور و $\gamma_{w,r}$ عامل پهن‌شدگی پهنای پاسخ ضربه به دلیل استفاده از پنجره پردازشی در جهت برد است. شکل ۲-۴ سیگنال LFM در حوزه زمان را نشان می‌دهد. طیف این سیگنال (در حوزه فرکانس) در شکل ۲-۵ رسم شده است.

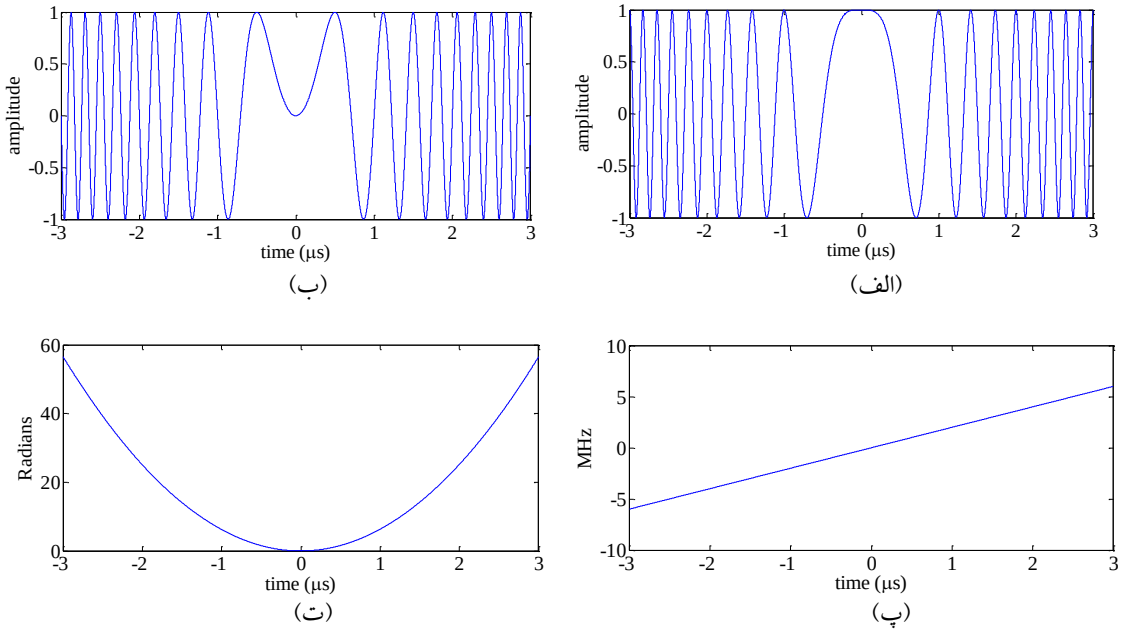
شکل موج سیگنال ارسالی رادار روزنه مصنوعی در باند میانی عبارت است از [۱۶]

$$s_t(\tau) = w_r(\tau) \cos(2\pi f_0 \tau + \pi K_r \tau^2) \qquad ۵-۲$$

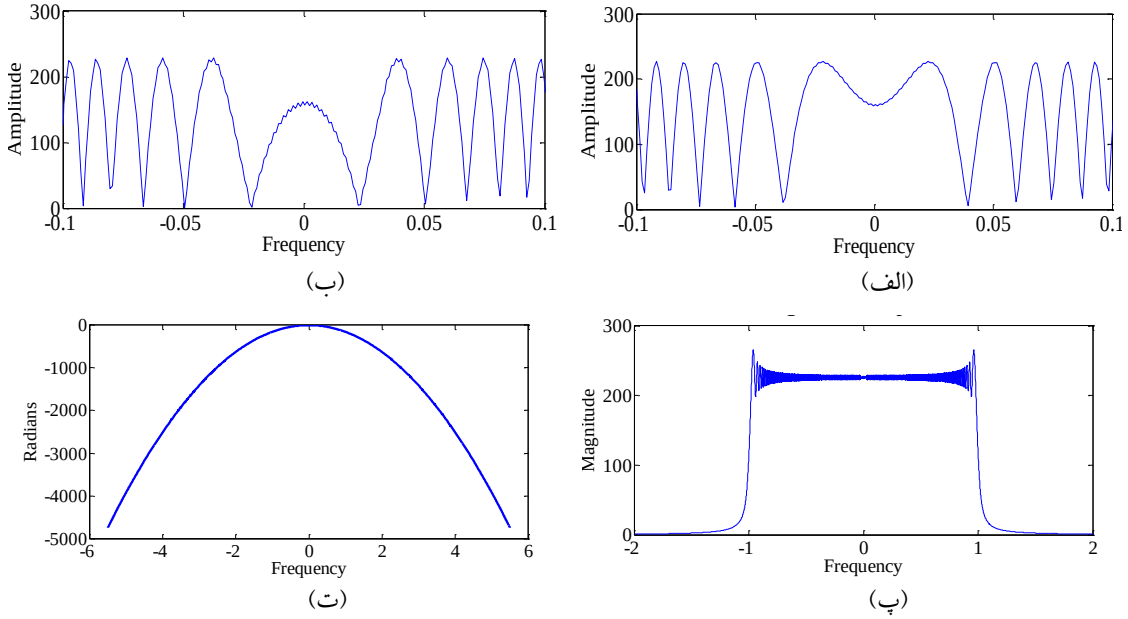
که f_0 فرکانس حامل است و $w_r(\tau)$ دامنه به شکل مستطیل با عرض T_r در نظر گرفته می‌شود.

در حرکت در جهت سمت، همانطور که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، پالس‌هایی به طور متوالی و با نرخ PRF[1] ارسال می‌شود. سپس انعکاس تضعیف شده آنها از اهداف سطحی و با تأخیر دریافت می‌شود.

[1] Pulse Repetition Frequency



شکل۲-۴- سیگنال LFM (الف) قسمت حقیقی (ب) قسمت موهومی (پ) فرکانس (ت) فاز



شکل۲-۵- طیف سیگنال LFM (الف) قسمت حقیقی (ب) قسمت موهومی (پ) اندازه (ت) فاز