

رادار Radar

ارائه دهنده: محمد مهدی قائمی
دانشگاه صنعتی مالک اشتر
دانشکده برق
ghaemi – mm@ Yahoo.com

چکیده: رادار وسیله ای است که با بهره گیری از ارسال امواج الکترومغناطیسی و دریافت آن وجود هدف، موقعیت آن در فضا، سرعت شعاعی و اندازه هدف و جزئیات دیگری در مورد آن را مشخص می کند. در این مقاله به چگونگی ابداع رادار، کاربردهای رادار و انواع رادار پرداخته شده است. در ادامه درباره دو نمونه از رادارها (رادار روزنه مصنوعی SAR و رادار ماورای افق HF - OTH و مبحثی به نام کلاتر رادار پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: رادار - رادار SAR - رادار (OTH) - HF - کلاتر

۱- مقدمه

با پیش بینی وجود امواج الکترومغناطیس توسط ماکسول و تلاش دانشمندان دیگر همچون هرتز و مارکنی جهت تحقق عملی آن پیش بینی ها مخابرات جدید پا به عرصه وجود نهاد و به مرور ضمن پیشرفت فنی، بهره برداری های معقول از اثرات اعجاب انگیز امواج الکترومغناطیسی متأسفانه از این امواج در جهت استعمار و تقویت کاربردهای سلاح های کشتار جمعی استفاده گردید و اولین بهره برداری نادرست از آن در جنگ جهانی دوم با ساخت و بکارگیری رادار نظامی صورت گرفت. هر چند رادار به تنهایی ابزار سودمندی است لیکن به کاربردهای نظامی آن بیش از سایر موارد توجه می شود. اگر چه رادار منفجر نمی شود و کشنده نیست ولی می تواند برد و دقت شلیک سلاح های قوی را تا چند برابر افزایش دهد. به عبارت دیگر اهمیت شناسایی هدف، هدایت و کنترل آتش موشک ها و انواع سلاح ها از اهمیت خود آن موشک ها و سلاح های مخرب به مراتب بیشتر است لذا از ابتدای بکارگیری رادار به منظور کاهش تهدیدات راداری و در خفا نگهداشتن اهداف حیاتی از دید آن اقدامات زیادی صورت گرفته و از سیستم ها و مواد جاذب الکترومغناطیس در این رابطه بهره برداری شده است. البته با توجه به تنوع زیاد رادارها از طرفی پهنه ی فعالیت آنها در زمینه مقابله بسیار گسترده شده و از طرف دیگر هر زمان که اقدام موفقیت آمیزی عملکرد نوع خاصی از رادارها را مختل می نمود نوع پیشرفته تری از آن رادارها را مختل می نمود نوع پیشرفته تری از آن رادار طراحی گردید.

ناگفته نماند کاربردهای غیرنظامی رادار همچون کنترل ترافیک فرودگاه ها و جاده ها ، ناوبری هوایی و دریایی ، شناسایی کرات و اجرام آسمانی ، نقشه برداری ، شناسایی معادن زیرزمینی و کاربردهای زمین شناسی و پزشکی در جهت رفاه زندگی بشر بسیار موثر بوده است.

۲- رادار چگونه ابداع شد؟

شواهد حاکی است که سیستمی مثل رادار احتمالا در یکی از روزهای سال ۱۸۷۳ باید کشف شده باشد و این در شرایطی بود که یکی از دانشمندان سرشناس بنام جیمز کلارک ماکسول نظریه ای ارائه کرد که بر طبق آن امواج نورانی و امواج دریایی (که او در ابتدا آنها را تشعشع نامیده بود) در بسیاری از مشخصه ها مشابه هم هستند. او در یکی از قسمتهای نظریه اش پیش بینی کرده بود که تشعشع یا امواج رادیویی احتمالا با همان سرعت نور جابجا می شوند و ضمنا امواج رادیویی درست مانند امواج نورانی پس از برخورد به مانع ، منعکس می شوند.

۱۵ سال بعد یکی از دانشمندان بنام هرتز گفته های ماکسول را تایید کرده و ثابت کرد که این امواج قابل تولید هستند. وی با کوشش های فراوانی که کرد و با تجهیزات ابتدایی که داشت توانست امواج رادیویی را فقط در حدود چند فوت جابجا کند ولی در هر صورت ثابت کرد که امواج رادیویی با فرکانس بالا قابل انعکاس بوده و یا استفاده از دستگاههای مخصوصی که جهت تمرکز اشعه نورانی بکار می روند می توان امواج رادیویی را نیز در یک نقطه متمرکز نمود.

تحقیقات او همچنین ثابت کرد که سرعت سیر امواج رادیویی و نورانی با هم برابرند و البته این پیرو تحقیقات زیادی بود که او در مورد فرکانس و طول موج این امواج انجام داد.

چند سال بعد ، مارکونی آزمایش های زیادی انجام داد تا توانست امواج رادیویی را به فواصل دور انتقال دهد . کمی بعد تر خود وی اعلام کرد که امواج منعکس شده رادیویی را که ناشی از برخورد آنها با اجسامی که در فاصله چندین مایل دورتر قرار دارند آشکار ساخته است و نظریاتی را اعلام کرد که بعدا منجر به ابداع سیستم جدیدی به نام رادار گردید. به این ترتیب ثابت شد که با استفاده از امواج رادیویی بشر قادر است حضور اجسام را در فواصل دور شناسایی کرده و فواصل و موقعیت آنها را نسبت به یک فرستنده مشخص ارزیابی کند.

وی در ادامه تحقیقاتش در سال ۱۹۲۵ تجربیات جدید را ارائه کرد . یکی از مفاد این تجربیات این بود که طبیعت و فاصله لایه های یونی اتمسفر که امواج رادیویی را منعکس می کنند به چه صورتی است . در انجام این آزمایشات یک اشعه مختصر اما پر قدرت رادیویی را به جو فرستاده و زمان برگشت سیگنال فرستاده شده را اندازه می گرفتند.

از سال ۱۹۳۰ به بعد که آلمان شروع به تسلیح مجدد خود نمود کشورهای اروپایی که خود را در معرض حمله مجدد آلمان می دیدند به فکر ساختن سیستمی شدند که هواپیماهای آنان را از گزند بمب افکن های آلمان در امان بدارد.

در آن زمان حتی صحبت بر سر کشف اشعه جدید و مرگ آوری بود که هر چه را که بر سر راه خود می یافت نابود می کرد. البته کشف یا ابداع چنین اشعه ای در همان مرحله حدسیات و پیش گویی های اولیه باقی ماند . چند سال بعد در ۱۹۳۵ رابرت واتسون وات با نصب پنج ایستگاه رادیویی مختلف در پنج منطقه مختلف امکان محافظت کشورش را در برابر حملات دشمن فراهم نمود. عملکرد این سیستم آنقدر جالب بود که چند سال بعد فرانسه هم لزوم نصب چنین سیستمی را احساس کرده و اقدام به ساخت و نصب آن نمود.

به این ترتیب سیستم های نصب شده حمله هواپیماهای آلمانی به یک یا چند نقطه مخصوص را گزارش داده و وضعیت آنها را مشخص می کردند.

به تدریج و با گذشت زمان این وسیله ساده جای خود را به سیستم های کامل تر و جالب تری داد به این ترتیب که سیستمی که ابتدا در بریتانیا بعنوان Radio Detection Finding نام گذاری شده بود بعدها در امریکا با نام رادیوی جهت دار یا رادار که ترکیبی از حروف اول کلمات عبارت آشکارسازی و اعلام رادیویی است خوانده شد.

۳- چگونگی عملکرد رادارها

اصول کار کلیه سیستم های رادار از جهت فرستنده و گیرنده یکسان است و تنها نوع موج ارسالی آن هاست که رادارها را از هم متمایز می کند. فرستنده رادار امواج خود را به سمت آنتن ارسال می کند که در بین مسیر از یک سیر کولاتور عبور داده می شود.

سیگنال فرستنده که با توان بالایی ارسال شده است توسط هدف منعکس و یا دوباره از راه همان آنتن و یا آنتن گیرنده دیگر دریافت می شود. در اولین مرحله سیگنال منعکس شده آشکار شده با سیگنال ارسالی فرستنده مقایسه می شود و پس از فیلتر شدن (جهت کاهش نویز) تقویت و پردازش سیگنال ، اطلاعات خروجی و وضعیت هدف توسط نمایشگر نمایش داده می شود. محدوده ی فرکانسی رادار می تواند در باندهای مختلف فرکانسی باشد. نوع کاربرد رادار در انتخاب باند فرکانسی آن موثر است بعنوان مثال می توان برای دیده بانی و مراقبت برد زیاد از باندهای VHF , UHF (به دلیل خواص انتشاری مناسب) استفاده نمود.

۳-۱- کاربردهای غیر نظامی

به برخی از کاربردهای غیرنظامی رادار که در جهت صلح و آرامش و راحتی زندگی انسان استفاده می شود بطور اختصار اشاره می گردد:

- ۱ - کنترل ترافیک هوایی : کنترل ترافیک و اعلام وضعیت هوایی در اطراف فرودگاهها و در برخی از هواپیماهای پیشرفته در یاری رساندن به خلبان هنگام فرود در وضعیت بد آب و هوایی که دید کافی ندارد.
- ۲ - ناوبری هوایی و دریایی : جهت نشان دادن موقعیت ، سرعت ، مسافت طی شده و مسیر یابی در هر لحظه.
- ۳ - جلوگیری از تصادف کشتی ها : استفاده از یک رادار کوچک با برد محدود در جلوی کشتی جهت شناسایی موانع مقابل کشتی.
- فضایی : سنجش از دور و شناسایی اجرام و کرات آسمانی
- کنترل سرعت : کنترل سرعت خودروها در بزرگراه ها توسط پلیس
- کنترل خط تولید : کنترل خط تولید و سرعت بهره برداری از خطوط
- ۴ - هواشناسی : پیش بینی وضعیت آب و هوای مناطق مختلف با استفاده از جهت وزش باد و سایر عوامل موثر
- ۵ - زمین شناسی : بررسی و شناسایی وضعیت اقیانوس ها ، دریاها ، منابع زیرزمینی ، معادن و آتشفشانها
- ۶ - کشاورزی : محاسبه میزان اراضی زیر کشت و برآورد محصولات مختلف کشاورزی [با توجه به آنکه محصولات مختلف کشاورزی دارای خواص الکترومغناطیسی (انعکاس امواج) متفاوتی است.]

۳-۲- کاربردهای نظامی

کاربردهای نظامی رادار دارای طیف و انواع گسترده ای است که در این جا به چهار نوع از این کاربردها اشاره می شود:

- ۱ - دیده بانی ، مراقبت و تعیین مشخصات هدف Early Warning با توجه به نوع کاربرد ، باند فرکانسی این رادارها و مشخصات آنها متفاوت است و برد آنها تا حدود ۴۰۰ کیلومتر قابل افزایش است.
- ۲ - ناوبری نظامی Navigation : هدایت هواپیما در حین پرواز و هنگام فرود و صعود و تعیین ارتفاع و سرعت هواپیماهای نظامی.
- ۳ - کنترل و هدایت آتش Fire control system : کنترل و هدایت آتش که بنا به چگونگی بهره برداری (هوا به هوا - زمین به هوا - زمین به دریا و هوا به زیر دریا) متفاوت می باشد. (در این مورد از رادارهای تک پالسی استفاده می شود)
- ۴ - ردیابی (Tracking) : مشخص کردن مسیر و مقصد اهداف متحرک مانند هواپیما یا موشک های بالستیک. (برد رادارهای فوق بسیار از رادارهای کنترل و هدایت آتش است ولی از نظر اصول کار شبیه یکدیگرند)

۴-انواع رادار:

رادارها با توجه به فرکانس کار ، محیط عمل ، قدرت فرستنده ، حساسیت گیرنده ، نوع آنتن و چندین عامل دیگر دسته بندی و هر یک در موارد خاصی به کارگیری می شود و معمولا هر دسته نوع خاصی از فرستنده و سیستم پردازش سیگنال را مورد استفاده قرار می دهد.

۴-۱- رادارهای پالسی

در این رادارها موج ارسالی به صورت یک پالس با فرکانس مشخص به نام PRF (فرکانس تکرار پالس) می باشد. نسبت دوره تناوب PRT زمان تکرار پالس به عرض پالس را نسبت به زمان کار می گویند. رادارهای پالسی با توجه به دوره تناوب و نسبت زمان کار دارای تنوع بوده که به مواردی از آنها اشاره می شود:

۱ - رادارهای پالسی معمولی: در این رادارها معمولاً عرض پالس در حدود چند میکروثانیه است و نسبت زمان کار بین حدود ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ تغییر می کند. از این رادارها جهت هواشناسی و دیده بانی و مراقبت هوایی استفاده می شود.

۲ - رادارهای پالسی با قدرت تفکیک بالا (High Resolution): در این رادارها عرض پالسی بسیار کوچک انتخاب می شود و چون میزان دقت در تشخیص فاصله توسط عرض پالسی مشخص می گردد دارای دقت بالایی در تشخیص فاصله هدف می باشد. (هر قدر عرض پالس کوچکتر باشد محاسبه فاصله دقیقتر است.) این رادارها برای آشکارسازی اهداف ساکن در حضور کلاتر (سیگنالهای برگشتی ناخواسته به صفحه رادار) و نیز تشخیص یک هدف در میان چند هدف نزدیک به هم قابل استفاده می باشد.

۳ - رادار پالس فشرده (Pulse Compression): این رادار از پالس های با عرض زیاد استفاده می نماید و برای افزایش دقت از مدولاسیون فاز یا فرکانس در هر پالس استفاده می کند. در نتیجه ضمن افزایش پهنای باند تشخیص دقیق فاصله اهداف نیز حاصل می شود و نسبت به رادار نوع قبلی دارای این مزیت است که توان پیک (حداکثر توان) فرستنده را در حد معتدلی نگاه می دارد.

۴-۲- رادار موج پیوسته (CW)

این رادار دارای نسبت زمان کار واحد می باشد یعنی موج ارسالی به صورت پیوسته است. این نوع رادار نیز دارای انواع مختلف به ترتیب زیر است:

رادار موج پیوسته معمولی: در این نوع رادار می توان سرعت و جهش حرکت هدف را در راستای خط واصل رادار تشخیص داد و امکان تشخیص فاصله به دلیل عدم استفاده از هرگونه مدولاسیون وجود ندارد و معمولاً در ناوبری هوایی کاربرد دارند.

۲ - رادار موج پیوسته مدوله شده فرکانس: در این رادار از مدولاسیون فرکانس برای افزایش پهنای باند و ایجاد امکان تشخیص فاصله استفاده می شود. از مهم ترین کاربردهای این نوع رادار ارتفاع سنجهای هواپیما می باشد.

۳ - رادار موج پیوسته چند فرکانسه: در این نوع رادار با توجه به اختلاف فاز موج دریافتی از یک هدف در فرکانسهای مختلف می توان فاصله هدف را تشخیص داد.

۴-۳- رادار آشکار ساز اهداف متحرک (هوایی)

این رادار یک رادار پالسی است که قادر به آشکارسازی اهداف متحرک در حضور کلاترهای فوق می باشد. شکل موج ارسالی یک قطار پالس معمولی با فرکانس تکرار پالس کم می باشد لذا رادار فوق امکان تشخیص فاصله را فراهم می کند. شکل سرعت های کور (سرعتهایی که امکان تشخیص و سنجش آنها نیست) در این رادارهای وجود دارد.

۴-۴- رادار روزنه مصنوعی (Synthetic Aperture Radar)

در این رادار معمولاً بیم آنتن در جهت عمود بر مسیر حرکت تنظیم می شود و دارای دقت بالایی در زاویه است. عملکرد آنها مانند یک آنتن ساکن با تعداد زیادی آرایه می باشد. خروجی این نوع رادار یک تصویر با دقت بالا از صحنه ی مورد نظر می باشد. رادارهای فوق به دلیل ایجاد تصاویر دقیق کاربردهای فراوانی در علم زمین شناسی و جغرافی و همچنین در امور نظامی پیدا کردند. این رادار حتی قادر به ایجاد تصاویر سه بعدی از اشیا و اهداف می باشد.

۴-۵- رادار SLAR

اساس کار این رادار مانند رادار SAR است اما جهت دید آنها از کنار می باشد یعنی به کمک این رادار می توان بدون نزدیک شدن به هدف از فواصل بسیار دور از آن تصویربرداری کرد البته دقت تصاویر ایجاد شده کمتر از رادار SAR است.

۴-۶- رادار ردیاب

این رادار به طور پیوسته هدف را نسبت به رادار تشخیص می دهد و مسیر حرکت متحرک را دنبال می کند به عبارت دیگر ردیابی فاصله معمولاً در ردیابی زاویه نهفته است.

۴-۷- رادار TWS

این رادار دو نوع دارد : نوع اول دارای آنتن گردان است و ردیابی هدف از طریق مقایسه ی انعکاسات مختلف از هدف در طی دو چرخش متوالی آنتن حاصل می شود. از این نوع رادار جهت دیده بانی و مراقبت هواپرد استفاده می شود. نوع دوم راداری است که آنتن آن سریعاً زاویه کوچک را جاروب می کند تا موقعیت زاویه ای هدف را بیابد. از این رادار در فرود هواپیما و کنترل آتش استفاده می گردد.

۴-۸- رادار HF - OTH

این رادار در باند HF عمل می کند و برد آن به دلیل انتشار در لایه اتمسفر بسیار زیاد است و در بعضی مواقع به ۴۰۰۰ کیلومتر نیز می رسد. این رادار قادر به آشکارسازی اهداف هوایی بزرگ مانند هواپیما و موشک های بالستیک و همچنین اهداف دریایی باشد و به دلیل برد زیاد توان ارسالی بالایی حدود چند صد کیلو وات نیز دارد.

۴-۹- رادار پالس دوپلری

این رادار بصورت پالسی عمل می کند و می تواند اهداف متحرک را در حضور کلاترهای قوی آشکارسازی نماید. در این رادار ابهام در تشخیص سرعت از بین می رود و سرعت کور وجود ندارد.

۴-۱۰- رادار دریایی

علی رغم اینکه کار گیرندگی و فرستندگی رادار دریایی و غیردریایی یکسان است اما با توجه به وجود کلاترهای خاص دریایی باید ملاحظات ویژه ای را لحاظ نمود.

از مهمترین عوامل کلاترها می توان وجود طوفان و باد و رطوبت را برشمرد. سیگنالهای کلاتر دریایی عامل محدود کننده عمده در شناسایی اهداف نزدیک آب و یا روی آب می باشد. میزان سیگنال کلاتر دریافتی تابعی از رادارهای معروف دریایی فاصله هدف ، پهنای پالس رادار ، سرعت و جهت وزش باد و پلاریزاسیون موج تابش می باشد. رادارهای معروف دریایی اغلب در باند ۸ الی ۱۲ گیگاهرتز و در باند C ۴ الی ۸ گیگاهرتز جهت دیده بانی و مراقبت نزدیکی طراحی می شود.

۴-۱۱- رادار میلیمتری

فرکانس کار این رادار ۳ الی ۳۰۰ گیگاهرتز است و مزیت عمده آن این است که برای ابعاد آنتن یکسان پهنای بیم آنتن کوچکتر و در نتیجه بهره آن بیشتر می گردد و حتی برای افزایش بهره می توان آنتن را نیز کوچکتر کرد. این قابلیت در مورد رادارهای ردیاب داخل موشک ها برای پیدا کردن مسیر صحیح بسیار لازم و حیاتی است. از دیگر مزیت های این سیستم ها سبکی و قابل حمل بودن آنهاست. اما عمده مشکل آنها اثرات تضعیف کنندگی شدید جو اتمسفر در انتشار امواج در این محدوده فرکانس می باشد لذا برد این رادارها بسیار کمتر از سایر رادارهاست . در ضمن عواملی مثل باران و گرد و غبار و رطوبت و برف نیز باعث ایجاد تلفات اضافی در سیگنال در باند میلی متری می شوند. این نوع رادارها عموماً در امور نقشه برداری و هدایت و کنترل آتش نزدیک کاربرد دارند. با توجه به توضیحاتی که در بالا در مورد انواع رادارها داده شد اکنون به شرح دو نمونه از این نوع رادارها می پردازیم.

۵- رادار ماورای افق باند HF(OTH)

در این نوع رادارها برد آشکارسازی سیستم نسبت به برد آشکارسازی رادارهای میکروویو افزایش می یابد. برد از حدود 500 nmi به حدود 2000 nmi می رسد. اگرچه رادارهای ماورای افق بزرگ و گران هستند ولی با هزینه ای بسیار کمتر از رادارهای میکروویو همان پوشش را فراهم می کنند.

هم اینک استرالیایی ها از رادارهای OHT برای مراقبت از آب های خارج از خط ساحلی وسیع و کم جمعیت خود با موفقیت استفاده می کنند. نیروی دریایی امریکا برای مراقبت منطقه گسترده جنوب ایالت متحده که برای قاچاق هوایی مواد مخدر استفاده می شود از سیستم راداری ماورای افق جابجایی ROTHOR استفاده می کند. فناوری سیستم های امریکایی و استرالیایی مبتنی بر رادارهای FM CW-1 ست که نیاز به فاصله زیادی در حدود 100 nmi بین سایت های فرستنده و گیرنده دارند. برای رادارهای با بازدهی بالا سیستم CW-FM یک طرح مهندسی قدیمی و دست و پاگیر است. یک رادار پالسی OHT تنها در یک سایت قابل پیاده سازی است از طرفی بیش از سیستم های CW انعطاف پذیر بوده و در مقایسه با سیستم های عملیاتی فعلی که به دو سایت جداگانه نیاز دارند کم هزینه تر است. علاوه بر تغییر عمده در معماری یک رادار OHT بر روی عرشه کشتی نیز قابلیت عمل دارد به طوری که برای پوشش منطقه ای وسیع از قابلیت جابجایی کامل برخوردار است و این همان نیاز مهم مراقبت هوایی نظامی است. چنین راداری محدوده ای بسیار فراتر از میدان نبرد را پوشش داده و برای عملیات های آبی خاکی با ارزش است. از یک سیستم نسبتا ساده یک سایتی OHT می توان در منطقه ای با وسعت بیش از 10 میلیون مایل مربع از اقیانوس جهت و سرعت باد اقیانوسی را تعیین کرده و برای مشاهدات هواشناسی در مناطقی از جهان که انجام مشاهدات هواشناسی دشوار است استفاده نمود. (رادارهای OHT استرالیا این نوع اطلاعات را بعنوان محصول فرعی مأموریت اصلی خود تامین می کنند)

در واقع امکان دسترسی به پردازش دیجیتالی مدرن این زمینه را فراهم کرد که از 30 سال قبل استفاده از رادار OHT عملی گردد و متعاقب آن پردازش دیجیتالی بهبود یافته حتی قابلیت های بیشتری را تامین کند.

۶- رادار روزنه مصنوعی (SAR)

بازبینی محیطی، نقشه برداری منابع زمینی و مأموریت های نظامی نیاز به تصویربرداری از مناطق وسیع با وضوح بالا دارند. بسیاری از مواقع تصویربرداری باید در آب و هوای نامناسب و یا در طول شب انجام شود. راداری های روزنه مصنوعی چنین قابلیت را فراهم می آورند. سامانه های SAR از خصوصیات انتشار دوربرد سیگنال های راداری و قابلیت پردازش اطلاعات پیچیده الکترونیک دیجیتال نوین برای فراهم نمودن تصویربرداری با وضوح بالا بهره می برند. SAR مکمل قابلیت های عکاسی و تصویربرداری اپتیکی است زیرا که محدودیت های زمان کار و شرایط جوی را ندارد. به دلیل این که عوارض زمین به فرکانس های راداری پاسخ های منحصر به فرد می دهند. این نوع رادارها توانسته اند:

۱ - اطلاعات ساختار زمین را برای زمین شناسان به منظور کشف منابع معدنی

۲ - محل لکه های نفتی روی آب را برای دست اندرکاران محیط زیست

۳ - محدوده های دریایی و خطر کوه های یخی را برای ناوبری دریایی

۴ - و سرانجام اطلاعات شناسایی و هدف گیری را برای عملیات نظامی فراهم آورند.

برای رادارهای SAR کاربردها و پتانسیل های بسیار دیگری نیز وجود دارد که برخی از آنها به خصوص در بخش مصارف غیرنظامی تا کنون به اندازه کافی شناخته شده نیست ولی به تدریج استفاده از لوازم الکترونیکی ارزان قیمت به کارگیری رادار SAR برای کاربردهای مقیاس کوچکتر را مقرون به صرفه خواهد کرد.

۶-۱- رادار روزنه مصنوعی SAR چگونه کار می کند؟

رادار SAR هواپرد که در حالت عمود به مسیر هواپیما در حال تصویربرداری است یک تصویر دو بعدی تولید می کند. یک بعد این تصویر به نام $\text{Range} - \text{Cross track}$ کمیتی برای خط دی از رادار تا هدف است.

اندازه گیری بعد و وضوح در رادارهای روزنه مصنوعی مشابه اکثر رادارهای دیگر انجام میگیرد. با سنجش دقیق زمان طی شده از هنگام فرستادن یک پالس تا بازگشت آن برد تعیین می شود. در ساده ترین SAR ها قدرت تفکیک برد بر اساس پهنای پالس فرستاده شده مشخص می گردد. به عبارت دیگر پالس های با عرض کم وضوح برد خوبی را به دست می دهند.

بعد دوم تصویر زاویه سمت نامیده می شود که عمود بر برد است. این توانمندی SAR به منظور تعیین زاویه سمت با وضوح نسبتاً خوب به کار می رود که آن را از دیگر رادارها متمایز می سازد. برای به دست آوردن زاویه سمت با وضوح مطلوب به یک آنتن بزرگ از لحاظ فیزیکی نیاز است تا انرژی فرستاده شده و یا دریافت شده را در یک پرتو باریک متمرکز کند. زیرا میزان ضخامت پرتو دریافتی است که وضوح زاویه سمت را مشخص می کند. در سامانه های اپتیکی برای به دست آوردن تصاویری با وضوح بالا به روزنه های بزرگ نیاز می باشد. از آنجا که فرکانس در SAR ها پایین تر از سامانه های اپتیکی است حتی به دست آوردن وضوح متوسط در SAR مستلزم یک آنتن بزرگ است. برای این کار به آنتن هایی با طول بیش از چند صد متر نیاز است. یک رادار هوایی می تواند در حالی که این فاصله چند صد متری را طی می کند اطلاعات را جمع آوری کرده و سپس اطلاعات را طوری پردازش کند که گویی از یک آنتن از نظر فیزیکی بزرگ به دست آمده است. مسافتی را که پرنده طی می کند تا یک آنتن مصنوعی به وجود آید را روزنه مصنوعی (Synthetic Aperture) می گویند.

همینطور که رادار SAR حرکت می کند یک پالس به هر هدف فرستاده می شود. اکوهای بازگشتی به وسیله گیرنده دریافت و در محل ذخیره اکو نگهداری می شوند. از آنجا که رادار نسبت به زمین در حال حرکت است اکوهای بازگشتی تغییر مکان داپلری پیدا می کنند. مقایسه فرکانس های تغییر مکان یافته داپلری با یک فرکانس مرجع به بسیاری از سیگنالهای برگشتی این امکان را می دهد که بر روی یک نقطه متمرکز کنند و در نتیجه به طور موثر طول آنتن را که در حال تصویربرداری از یک نقطه خاص است افزایش دهد. این عمل تمرکز که معمولاً به عنوان روند SAR شناخته می شود در حال حاضر به صورت دیجیتال روی سیستم های رایانه ای سریع انجام می شود. فوت و فن در پروسه SAR به منظور مطابقت صحیح تغییرات فرکانسی داپلری که برای هر نقطه در تصویر به کار می رود است. این امر مستلزم اطلاعات دقیق در مورد حرکت نسبی بین سکو و اشیای تصویربرداری شده است. SAR اکنون یک تکنیک کامل برای تولید تصاویری است که جزئیات بسیاری را نشان می دهند.

SAR ها توانایی منحصر به فردی را به عنوان ابزار تصویربرداری فراهم می آورند. از آنجا که این رادارها خود تشعشعات خود را ایجاد می کنند در هر زمان از شبانه روز بدون نیاز به تشعشعات خورشید تصویربرداری می کنند و از آنجا که طول موج های این رادار از نور مادون قرمز یا مرئی بیشتر است آنها می توانند در شرایط ابری و گرد و غبار نیز دید داشته باشند در حالی که وسایل مادون قرمز و مرئی نمی توانند.

تصاویر رادار از تصاویر زیادی نقطه تشکیل شده است. هر پیکسل در تصویر رادار نشان گر بازتاب همان نقطه روی زمین است. نواحی تیره تر روی زمین بازتاب ضعیف تری دارند و نواحی روشن تر بازتاب قوی تر. قسمت های روشن بیانگر این است که کسر بزرگی از انرژی رادار به رادار باز تابیده شده است در حالی که قسمت های تیره به معنی آن است که انرژی بسیار کمی باز تابیده شده است. بازتابهای یک محوطه هدف در یک طول موج به خصوص بنا به شرایط بسیار تغییر پذیر است. اندازه بازتاب کننده ها در محوطه هدف مقدار رطوبت موجود در خاک، محوطه هدف، پلاریزاسیون پالس ها و زوایای دیده بانی، بازتابها همچنین با استفاده از طول موج های مختلف مورد استفاده متفاوت قرار می گیرند. بازتابها به خصوصیات هدف و همچنین مقدار آب نیز حساس هستند. اشیای مرطوب تر، روشن ظاهر می شوند و اشیای خشک تر. استثنایی که وجود دارد سطح صاف و راکد آب است که پالس های رسیده را به صورت یک سطح صاف و صیقلی از محوطه هدف منعکس می کند و این قسمت ها تیره ظاهر می شوند.

بازتابها همچنین بنا به استفاده از پلاریزاسیون مختلف تغییر می کنند. بعضی از SAR ها می تواند پالس ها را با هر دو پلاریزاسیون قطبیت افقی و عمودی بفرستند یا دریافت کنند. بعلاوه بعضی از SAR ها می توانند فاز ورودی پالس را اندازه گیری کنند و تفاوت فازی را بر حسب درجه در هنگام برگشت سیگنال های عمودی و افقی اندازه گیری کنند.

زاویه ردیابی خصوصیات خطی بازتاب ها را تحت تاثیر قرار می دهد . زاویه موج رادار در سطح زمین نیز باعث تغییرات در بازتاب می شوند. زاویه برخورد کوچک بازتاب قوی تری خواهد داشت و با افزایش زاویه برخورد بازتاب کاهش خواهد یافت.

۷- کلاتر رادار

در رادارها فرض بر این است که امواج راداری در فضای آزاد به سمت هدف حرکت می کنند و بعد از برخورد به هدف بدون تداخل به گیرنده باز می گردد. ولی در محل انعکاس های ناخواسته یا کلاتر باعث محدود شدن کارایی و بازده رادار می شود. کلاتر در رادار ، برگشت ناخواسته امواج از کلیه اجسام غیر از هدف را شامل می شود . این انعکاس ها باعث کاهش کارایی رادار و از بین رفتن سیگنال هدف و ایجاد اهداف دروغین در رادار می شود.

به طور کلی اجسامی که سطوح بزرگی دارند (مانند کوه و صخره) دارای برگشت های خیلی قوی هستند . این امر باعث می شود که توانایی رادار برای آشکارسازی اهداف کوچک که انعکاس های ضعیفی دارند در حضور اجسام بزرگ کم شود.

در یک تقسیم بندی کلی کلاتر را می توان به سه نوع متفاوت تقسیم کرد.

۱ - کلاتر دریا ۲ - کلاتر زمین ۳ - کلاتر اتمسفر

البته انعکاس امواج از اجسام تیز مانند برجها و دکل ها و یا پرندگان در حال حرکت نیز در قالب نوعی کلاتر به نام کلاتر نقطه ای شناسایی می شود. اکنون به طور اجمالی به هر یک از کلاترها می پردازیم.

۷-۱ کلاتر دریا:

انعکاس امواج رادار از سطوح صاف و گسترده دریاها و اقیانوسها خود منبع نویزی است که بر روی نسبت سیگنال به نویز رادارهایی که بر روی سطح دریا عمل می کنند اثر نامطلوب می گذارد چنانچه میزان انعکاس امواج از سطوح دریا نسبت به برگشت های امواج از هدف بیشتر باشد آشکارسازی هدف بسیار مشکل خواهد بود. عوامل متعددی در میزان انعکاس امواج از سطح دریا موثرند مانند: سرعت باد - طول مدت زمانی و جهت وزش باد - جهت امواج نسبت به پرتو اصلی رادار - طغیان آب - وجود آلودگی در سطح آب - فرکانس کار رادار - نوع پلاریزاسیون موج ارسالی - زاویه تابیدن امواج رادار به سطح دریا نسبت به افق و اندازه سطح قابل رویت رادار.

۷-۲ کلاتر زمین :

کلاتر زمین هم در تئوری و هم در عمل معمولا مهمتر و مشکل سازتر از کلاتر دریاست . حتی در مورد رادارهایی که در دریا مصرف می شود جز در نواحی تابش عمودی در سایر نقاط میزان کلاتر زمین به مراتب از کلاتر دریا بیشتر است.

انعکاس رادار از سطح زمین بستگی به نوع زمین و خواص دی الکتریک آن و میزان رطوبت سطح زمین و پوشش برفی و گیاهی منطقه و عوامل جزئی دیگر دارد.

۷-۳ کلاتر اتمسفر:

این نوع کلاتر ناشی از ذرات موجود در هوا نظیر گرد و خاک و برف و مه و باران و تگرگ است. رادارهای OHT که در فرکانس های پایین کار می کنند هیچ گونه تاثیری از ذرات جوی نمی پذیرند. اما در رادارهای فرکانس بالا (رادارهای میلیمتری) انعکاس های جوی مشکل بسیار بزرگی برای کارایی رادار است.

تاثیر برف و یخ بر رادار معمولا کمتر از باران است. یکی از دلایل این امر میزان ریزش کم برف نسبت به باران است.

۷-۴-روش های حذف کلاتر:

برای حذف کلاتر در رادار می توان از روش های متفاوت و پیچیده ای استفاده کرد که منجر به حذف قسمتی از کلاتر و استخراج سیگنال در حضور نویز و کلاتر می گردد. استفاده از تکنیک رادارهای MTI,PRF کم و فیلتر کردن مناسب همچنین بکار بردن مواد جاذب امواج الکترومغناطیسی در اطراف رادار از روش های متداول حذف کلاتر است.

در حالتی که از آنتن هایی با پهنای پرتو زیاد در اطراف رادار استفاده می کنیم انعکاس امواج از زمین باعث ایجاد یک مسیر جعلی بین هدف و رادار می گردد این امر باعث ایجاد خطای قابل ملاحظه ای در تشخیص قابل حل است.

۷-۵- آیا کلاتر همواره یک عامل مزاحم است؟

همانطور که در بالا دیدیم از کلاتر به عنوان یک عامل مزاحم که باعث کاهش توانایی رادار در تشخیص هدف اصلی و ایجاد اهداف دروغین می شود نام برده شد. اما در این جا باید به این نکته اشاره کرد که همواره کلاتر یک عامل مزاحم نیست بلکه در بعضی موارد انعکاس دریافتی از زمین یا برف و باران و ... هدف است.

فهرستی از موارد کاربرد کلاتر در زیر آمده است:

۱. در هواشناسی از کلاتر اتمسفر و انعکاس امواج برای تعیین میزان بارش برف و باران در یک منطقه استفاده می شود.
۲. در رادارهایی که برای نقشه برداری از سطح زمین بکار می روند از کلاتر زمین به خوبی استفاده می شود.
۳. رادارهای SAR برای استخراج جزئیات زمین در یک ناحیه از کلاتر زمین بهره میگیرند.
۴. در هواپیماها به منظور تعیین ارتفاع از سطح زمین و تشخیص توده های هوای سنگین در اطراف هواپیما و اعلام وجود مناطق طوفانی به خلبان و تشخیص بیشتر در هوای مه آلود و اعلام خطر نسبت به وجود مانع در مسیر حرکت هواپیما از کلاتر استفاده می شود.
۵. در سنجش از راه دور به وسیله رادارهای ارتفاع سنج و Scattero meter از انعکاس و بازگشت امواج بهره می برند.
۶. در رادارهای MTI نیز هم زمان وجود کلاتر باعث امکان آشکارسازی هدف می گردد و کلاتر در حکم یک نوسان ساز محلی (LO) عمل می کند.

۸- نتیجه گیری

امروزه رادار جزو سیستم های جالب و پر استفاده ای است که در تمام نقاط دنیا مورد استفاده قرار می گیرد و هر روز سیر تکاملی خود را طی می کند. به هر تقدیر مصارف و موارد استفاده از رادار روز به روز بیشتر شده است و شاخه جدیدی را در عالم الکترونیک به خود اختصاص داده است. امید است با توجه هر چه بیشتر به این موضوع در جهت ارتقای هر چه بیشتر صنایع کشورمان قدم برداریم.

۹-مراجع

- [1] اصول علمی و عملی رادار- مسعود میر شکار و سعید داداش زاده- ۱۳۵۹
- [2] تو می جی سی -اصول رادار -محمد سلیمانی - انتشارات دانشگاه علم و صنعت - ۱۳۷۰
- اسکولنیک و مریل ایوان - مقدمه ای بر سیستمهای رادار-محمد سلیمانی-پژوهشکده الکترونیک و مخابرات شهید بهشتی - ۱۳۷۰
- [3]

[4]www.sandia.gov/radar

[5]www.army technology.com