

آشکارسازی اهداف چندگانه راداری در رادارهای MIMO-FDA به روش پردازش وفقی زمان- فضا در حضور جمینگ مبتنی بر یادگیری عمیق

چکیده

امروزه محیط الکترومغناطیسی پیچیده تر شده و چالش های بیشتری را برای سیستم راداری به همراه دارد. رادار آرایه متنوع فرکانس چند ورودی چند خروجی (MIMO-FDA) دارای یک الگوی پرتو وابسته به زاویه با افزودن افسر فرکانس در عناصر آرایه است که می تواند به طور همزمان زاویه و بُرد هدف را تعیین کند. در این مقاله، یک چارچوب آشکارسازی اهداف چندگانه راداری در رادارهای MIMO-FDA به روش پردازش وفقی زمان- فضا در حضور جمینگ پیشنهاد شده است که از شبکه عصبی عمیق کانولوشنال برای حل مسئله استفاده می شود. شبیه سازی در محیط MATLAB نشان می دهد که آشکارسازی اهداف چندگانه راداری با کمترین خطا انجام گرفته است.

لغات کلیدی: رادار آرایه متنوع فرکانس چند ورودی چند خروجی (MIMO-FDA) ، پردازش وفقی زمان- فضا، آشکارسازی، اهداف چندگانه راداری، شبکه عصبی عمیق کانولوشنال

مقدمه

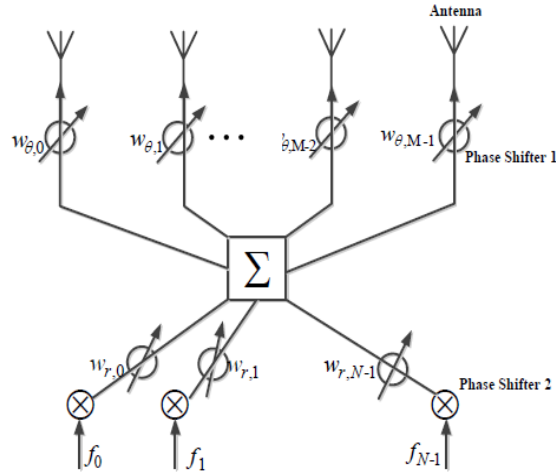
جمینگ، رادار و فناوری ضد جمینگ، چندین دهه است که موضوعات داغ در زمینه اقدامات متقابل الکترونیکی بوده است. توسعه فناوری جمینگ، روش ضد جمینگ را بهبود می بخشد و بالعکس. رادار روزنه مصنوعی معکوس یا ISAR، یک رادار منسجم قدرتمند در روز و شب است که در تمامی شرایط آب و هوایی، به طور گسترده در بسیاری از زمینه ها استفاده می شود. به طور گسترده، روش جمینگ برای مقابله با ISAR را می توان به جمینگ فعال و جمینگ غیرفعال طبقه بندی کرد. با توجه به جلوه های جمینگ، جمینگ فعال شامل جمینگ کوبنده (جمینگ نويز) و جمینگ فریبنده (جمینگ هدف نادرست) است. با توانایی دستیابی به بهره پردازش جزئی، روش جمینگ نويز منسجم می تواند به طور موثری رادار را با توان کمتری مسدود کند. هدف از جمینگ فریبنده ایجاد چندین هدف نادرست برای سردرگمی اپراتور رادار است. الگوریتم های کلاسیک شامل روش مدولاسیون کانولوشن، همگام سازی تصویر دیجیتال و غیره است. تصویربرداری راداری در شرایط جنگ الکترونیک یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی و کاربردی در مراکز تحقیقاتی دنیا است. رادار ISAR با توجه به اهمیت دفاع هوایی و کاربرد وسیع آن از ساختارهای جذاب و پرکاربرد در تصویربرداری در تمام شرایط آب و هوایی است. هدف اصلی این تحقیق، بهبود عملکرد تصویربرداری با رادار روزنه مصنوعی معکوس شرایط جنگ الکترونیک می باشد [۱].

رادار آرایه فازی به طور گسترده ای در سیستم های نظارتی مختلف استفاده می شود. با این حال، با پیشرفت سریع تکنیک های جمینگ، رادار آرایه فازی دچار چالش قابل توجهی شده و در سناریوهای مدرن جنگ الکترونیک نمی تواند کاربرد موثری داشته باشد، چرا که با روش های مدرن جنگ الکترونیک به راحتی فریب خورده و نمی تواند تصویر درستی از هدف ارائه دهد. در برخی

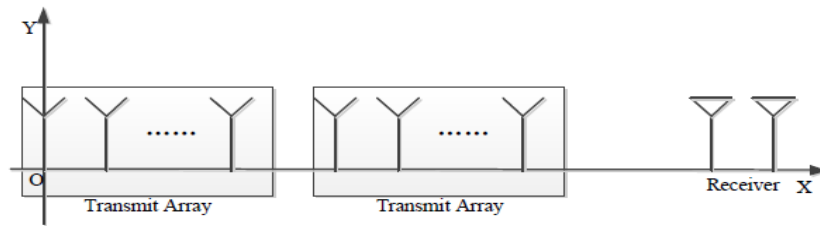
شرایط ، به منظور افزایش قابلیت مقابله با جنگ الکترونیک (ECCM) ، جمر، همان دیدی را نسبت به هدف دارد که رادار دارد، در نتیجه گیرنده رادار هم سیگنال اکو واقعی رادار و هم سیگنال های جمینگ را همزمان دریافت می کند، اما الگوی پرتوی فرستنده آرایه فازی فقط به زاویه بستگی دارد، بنابراین نمی تواند اهداف مختلف را در یک دید راداری تشخیص دهد، لذا تفاوتی بین هدف واقعی و هدفی که توسط جمینگ ارائه شد را نمی تواند تشخیص دهد. در سال های اخیر، آرایه های با تنوع فرکانسی (FDA) توجهات رو به رشدی را به خود جلب کرده است. سیستم FDA اولین بار توسط Antonik در [۱] معرفی شد. تفاوت FDA با آرایه های فازی معمول این است که FDA قادر به تشکیل یک الگوی اشعه وابسته به زاویه- بُرد است. در [۲]، یک روش پردازش تطبیقی فضا-زمان برای سیستم های راداری FDA-MIMO هوابرد برای سرکوب تداخل و بهم ریختگی به طور همزمان مورد مطالعه قرار گرفت. در [۳]، از رادار FDA مبتنی بر زیر آرایه برای مقابله با سیگنال های فریب کار متقابل الکترونیکی (ECM) استفاده می شود. همان طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، ابتدا FDA به زیرآرایه های متعدد تقسیم می شود و فرکانس هر زیرآرایه دارای یک آفست فرکانس جزئی است. علاوه بر این، هر آنتن فرستنده مجموع وزنی سیگنال ها را با آفست فرکانس جزئی غیرخطی افزایشی و مدوله شده با زمان منتشر می کند [۴]. به طور خاص ، فرکانس های حامل چند مرحله ای توسط رابطه (۱) ارائه می شوند:

$$[f_0, f_1, \dots, f_{N-1}] = [f_0, f_0 + \Delta f_1, \dots, f_0 + \Delta f_{N-1}] \quad (1)$$

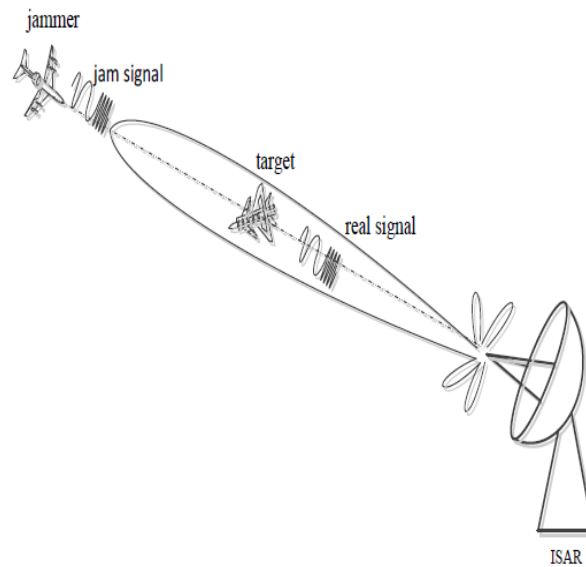
که در آن f_0 فرکانس حامل اولین آرایه است، Δf_N آفست فرکانسی $N - 1$ ام است، N هم تعداد سیگنال حامل است. این مزیت FDA اگر با آرایش MIMO آمیخته شود، می تواند کارکرد بسیار موثرتری داشته باشد. در این تحقیق، ما به طور مشترک از مزیت FDA در الگوی اشعه مستقل از زاویه- بُرد و بهره آرایه هم زمان و مزیت MIMO در افزایش درجه آزادی استفاده می کنیم، بنابراین از رادار FDA-MIMO برای ارسال سیگنال به ترتیب به جمر و هدف استفاده می نماییم. سیستم FDA به زیرآرایه های متعددی تقسیم می شود و هر زیرآرایه به عنوان یک آرایه فرستنده (TA) در نظر گرفته می شود. فرکانس های حامل زیرآرایه های متعدد با هم همپوشانی ندارند. مدل FDA-MIMO در شکل (۲) نشان داده شده است. نمودار ارتباط هندسی هدف، جمر و ISAR در شکل (۱) هنگامی که هدف و جمر در یک نقطه دید قرار دارند، نشان داده شده است. رادار FDA-MIMO ، به ترتیب سیگنال های LFM و SFCS را با TA های مختلف همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، ارسال می کند. این سیگنال های ارسالی در گیرنده به عنوان سیگنال مرجع مورد استفاده قرار خواهند گرفت، لذا در بررسی سیگنال بازگشتی مشخص خواهد شد که کدام یک از جمر است و کدامیک از هدف واقعی و در نتیجه قادر خواهیم بود حتی در حضور جنگ الکترونیک تصویری واقعی از هدف را داشته باشیم.



شکل (۱)، بلوک دیاگرام ساختار FDA با چندین حامل



شکل (۲)، مدل FDA-MIMO



شکل (۳)، نحوه ارتباط هندسی هدف، جمر و رادار تصویربرداری

رادار چند ورودی چند خروجی (MIMO) شامل چندین عنصر آنتن فرستنده و دریافت کننده است. بر خلاف سیستم های آرایه فازی، شکل موج ساطع شده از هر فرستنده متفاوت است که درجه آزادی بیشتری را ارائه می دهد. امروزه رادارهای MIMO در بسیاری از کاربردهای نظامی و غیرنظامی از جمله نظارت زمینی، رادار خودرو، تداخل سنجی، نظارت دریایی، تصویربرداری راداری

از طریق دیوار برای تشخیص شهری و تصویربرداری پزشکی ظاهر می شوند. رادارهای MIMO به طور کلی بسته به محل قرارگیری عناصر فرستنده و دریافت کننده به دو دسته اصلی طبقه بندی می شوند. اولین پیکربندی MIMO نزدیک به هم است که در آن عناصر نسبتاً نزدیک به طول موج کار فاصله دارند، در حالی که در پیکربندی دوم MIMO که به طور گسترده ای جدا شده است، آنتن ها در یک منطقه استقرار وسیع توزیع شده اند. رادار MIMO پتانسیل قابل توجهی برای پیشرفت رادار مدرن از نظر انعطاف پذیری و عملکرد دارد. سیستم های راداری MIMO در کنار هم از متعامد بودن شکل موج منتقل شده استفاده می کنند. هر یک از این شکل های موج را می توان استخراج و در گیرنده به یک آنتن فرستنده متصل کرد. این تنوع شکل موج که قلب سیستم راداری MIMO است، کلید جداسازی کانال های فضایی است، بنابراین آزادی بیشتری با پردازش کانال ها به صورت جداگانه و نه پردازش ورودی گیرنده در یک آرایه فاز کلاسیک ارائه می دهد. در نتیجه، عملکرد سیستم های MIMO را می توان با یک آرایه مجازی متناظر با پیچیدگی مکان های آنتن فرستنده و دریافت کننده مشخص کرد. در اصل، با همان تعداد عناصر آنتن، این آرایه مجازی ممکن است بسیار بزرگ تر باشد و بنابراین، وضوح بالاتری نسبت به یک سیستم آرایه فازی سنتی معادل به دست آورد. الزامات متعامد بودن، چالش های نظری و عملی جدیدی را ایجاد می کند. انتخاب شکل موج مناسب برای اجرای سیستم های راداری عملی MIMO یک کار مهم است. موج رادار MIMO علاوه بر الزامات کلی در مورد شکل موج های راداری مانند وضوح بُرد بالا و سایدلوب های کم، باید خواص تعامد خوب در عمل را هم داشته باشد که یافتن خانواده های شکل موجی که تمام این خواسته ها را کاملاً برآورده کنند دشوار است [۴-۱].

رادار آرایه فرکانس متنوع (FDA) طی چند سال گذشته مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. با افزایش یک فرکانس کوچک در بین عناصر آرایه مجاور، بردار فرمان منتقل شده زاویه دار وابسته به محدوده است. بخش عمده ای از کار در این زمینه بر طراحی الگوی اشعه مناسب وابسته به زمان و زاویه و کاربردهای عملی آن متمرکز شده است، به عنوان مثال، ردیابی هدف شناختی و پیدا کردن محل هدف. با این حال، در استاندارد FDA، محدوده و زاویه در الگوی اشعه فرستنده به هم مرتبط می شوند که منجر به ابهامات احتمالی در بعد زاویه بُرد در طول فرایند پیدا کردن محل هدف می شود. برای غلبه بر این عیب، تکنیک چند ورودی چند خروجی (MIMO) با FDA ترکیب شده است. این پارادایم ترکیبی کاربردهای متعددی مانند تخمین محدوده و زاویه، سرکوب فریبنده یا جمینگ، تصویربرداری راداری با روزنه مصنوعی و سرکوب بی نظمی ابهام پیدا کرده است [۴].

تشخیص هدف به روش پردازش وفقی زمان-فضا، تنها در زمینه رادار FDA-MIMO توجه محدودی را به خود جلب کرده است. به طور خاص، برخی از مطالعات با استفاده از یک مدل مخروطی برای مولفه مفید سیگنال انجام شده است. علاوه بر این، یک مدل ساده نیز با فرض عدم وجود بی نظمی و همچنین آگاهی از محدوده هدف و ماتریس کوواریانس تداخل در نظر گرفته شده است. این مفروضات همیشه برای کاربردهای عملی واقعی نیستند، همان طور که توسط تعداد زیادی از آشکارسازهای تطبیقی ارائه شده در مقالات مختلف که پارامترهای ناشناخته احتمالی را برای مشخصه های آماری هدف یا تداخل محاسبه می کنند، مورد تایید قرار گرفته است. در این زمینه، آزمون نسبت احتمالات عمومی GLRT، GLRT دو مرحله ای، آزمون Rao و آزمون والد، مشهورترین و پرکاربردترین معیارهای طراحی آشکارساز هستند. در نتیجه، تشخیص اهداف به صورت تطبیقی در رادار FDA-MIMO از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با توجه به مزایای MIMO و FDA نسبت به آرایه های مرحله ای معمولی، علاقه زیادی برای ترکیب این دو فناوری در رادار FDA-MIMO وجود دارد که ترکیبی از پردازش زاویه دامنه-داپلر مشترک FDA با جداسازی است [۴-۱].

به منظور کاهش تاثیر حمله جمینگ و بازگرداندن ارتباطات عادی، مجموعه ای از اقدامات متقابل ضد جمینگ از چندین لایه شبکه مانند پرش کانال، مسیریابی امن و عقب نشینی فضایی ارائه می شود. با این حال، این استراتژی های ضد جمینگ، عمدتاً روش های مفیدی را برای جلوگیری یا فرار از حمله جمینگ به منظور حفظ عملکرد طبیعی FDA-MIMO و سایر رادارها، ارائه می دهند. اگرچه می توان تاثیر منفی حمله جمینگ را کاهش داد، اما شبکه ها فقط می توانند بدون استفاده از اطلاعات جمینگ،

خود را منفعلانه تنظیم کنند. علاوه بر این، هنگام انجام اقدامات ضد جَمینگ، محدودیت های دستگاه های بیسیم از جمله حافظه و تامین انرژی محدود و قابلیت های محاسبات کم باید در نظر گرفته شوند. علاوه بر این اقدامات غیرفعال ضد جَمینگ، یک راه دیگر تعیین مکان جَمینگ و به دست آوردن اطلاعات موقعیتی جَمینگ است که با استفاده از روش های فیزیکی یا روش های دستی امکان حذف جَمینگ از شبکه را فراهم می کند. در واقع، اطلاعات موقعیتی جَمینگ، ممکن است امکان استقرار بهتر دستگاه های رادار را فراهم کرده و اطلاعات مفیدی را هنگام طراحی پروتکل ها یا مسیریابی ارائه دهند. تاکنون، موقعیت یابی جَمینگ به طور گسترده ای مورد بررسی قرار گرفته و تعدادی الگوریتم موقعیت یابی پیشنهاد شده است. در نتیجه، الگوریتم های جَمینگ را می توان به روش های مبتنی بر دامنه و روش های بدون دامنه تقسیم کرد. الگوریتم های مبتنی بر محدوده باید پارامترهای کانال بیسیم را از قبل تخمین زده و فاصله نسبی بین گره ها و جَمینگ را محاسبه کنند. اگرچه برخی از مدل های معمول کانال بیسیم پیشنهاد شده است، اما پارامترهای کانال بیسیم را نمی توان به طور دقیق در سناریوی واقعی تخمین زد. علاوه بر این، عملکرد الگوریتم های بدون دامنه به راحتی تحت تاثیر توزیع گره ها و پارامترهای جَمینگ، قرار می گیرد. به منظور کاهش حساسیت الگوریتم های بدون بُرد و بهبود دقت موقعیت یابی جَمینگ، یک الگوریتم موقعیت یابی جَمینگ قوی بر اساس الگوریتم DCL^1 در این تحقیق بر روی ساختار MIMO-FDA ارائه شده است. در ابتدا، چندین مدل مرتبط، یعنی مدل شبکه، مدل جَمینگ و مدل ارتباطی، نشان داده می شود. سپس، موقعیت یابی جَمینگ مبتنی بر DCL ارائه می شود که عمدتاً شامل انتخاب، تعیین عملکرد یک تابع برازش، محاسبه و به روزرسانی پارامترها است.

جَمینگ

با گسترش سریع دستگاه های بیسیم و انفجار برنامه های کاربردی تلفن همراه مبتنی بر اینترنت تحت 5G و هوش مصنوعی، خدمات بیسیم در تمام جنبه های زندگی نفوذ کرده و به عنوان یکی از اجزای اساسی زیرساخت های مخابراتی در جامعه، اهمیت فزاینده ای پیدا کرده اند. در دو دهه گذشته، شاهد پیشرفت چشمگیر ارتباطات بیسیم و فناوری های شبکه مانند کد قطبی، ساختارهای MIMO، بوده ایم. موج، دسترسی چندگانه غیر متعامد یا NOMA، تجمع حامل، مدیریت تداخل جدید، تخصیص منابع مبتنی بر یادگیری، رادیو تعریف شده توسط نرم افزار و شبکه های بیسیم تعریف شده توسط نرم افزار، بخشی از این پیشرفت ها بوده است. این فناوری های بیسیم نوآورانه، ظرفیت شبکه های بیسیم و کیفیت خدمات بیسیم را به طور چشمگیری افزایش داده اند که منجر به تکامل پیوسته شبکه های سلولی به سمت 5G و شبکه های Wi-Fi به سمت AX802.11 شده است. با تلاش های مشترک دانشگاه ها، دولت های فدرال و بخش های خصوصی، انتظار می رود که خدمات بیسیم پُر سرعت برای دستگاه های عظیم برای تحقق چشم انداز اینترنت همه چیز (IoE) و اینترنت اشیا، در آینده نزدیک همه جا در دسترس باشد.

از آن جایی که زندگی حال حاضر به طور فزاینده ای به خدمات بیسیم متکی است، تهدیدات امنیتی به یک نگرانی بزرگ در مورد محرمانه بودن، یکپارچگی و در دسترس بودن ارتباطات بیسیم، تبدیل شده اند. در مقایسه با سایر تهدیدات امنیتی مانند استراق سمع و ساخت داده ها، شبکه های بیسیم به دلایل زیر در برابر حملات جَمینگ رادیویی، آسیب پذیر هستند. اول، حملات جَمینگ به راحتی قابل اجرا هستند. با پیشرفت های رادیویی تعریف شده توسط نرم افزار، می توان به راحتی یک دستگاه دانگل USB کوچک ۱۰ دلاری را روی یک مسدودکننده که پهنای باند ۲۰ مگاهرتز زیر ۶ گیگاهرتز و حداکثر توان انتقال ۱۰۰ مگاوات را پوشش می دهد، برنامه ریزی کرد. چنین دانگل USB برای اختلال در خدمات Wi-Fi در سناریوی خانه یا محل کار کافی است. سایر دستگاه های SDR خارج از بخش مانند USRP و WARP در هنگام استفاده به عنوان امیتر جَمینگ، حتی قدرتمندتر و انعطاف پذیرتر هستند. سهولت در راه اندازی حملات پرازیت، ایمن سازی شبکه های بیسیم در برابر تهدیدات جَمینگ عمدی و غیر عمدی را ضروری می کند. دوم، تهدیدات جَمینگ را فقط در لایه فیزیکی (PHY) می توان خنثی کرد، اما در لایه MAC یا شبکه نه.

¹ Double Circle Localization

هنگامی که یک شبکه بیسیم از حملات جَمینگ رنج می برد، سیگنال های بیسیم قانونی آن معمولاً توسط سیگنال های جَمینگ رادیویی نامنظم یا پیچیده غرق می شوند و رمزگشایی بسته های داده را برای دستگاه های بیسیم قانونی دشوار می کند. بنابراین، هر استراتژی در لایه MAC یا بالاتر قادر به خنثی کردن تهدیدات جَمینگ نیست و استراتژی های ضد جَمینگ ابتکاری در لایه فیزیکی مورد نیاز است. سوم، استراتژی های موثر ضد پارازیت برای شبکه های بیسیم دنیای واقعی محدود باقی می ماند. علیرغم پیشرفت چشمگیر فناوری های بیسیم، اکثر شبکه های بیسیم فعلی (به عنوان مثال، شبکه های سلولی و Wi-Fi)، می توانند به راحتی با حملات جَمینگ به دلیل فقدان مکانیسم حفاظتی فلج شوند. آسیب پذیری شبکه های بیسیم موجود را می توان به فقدان مکانیسم های موثر ضد جَمینگ در عمل نسبت داد. آسیب پذیری جَمینگ شبکه های بیسیم موجود نیز بر نیاز حیاتی و چالش های اساسی در طراحی طرح های عملی ضد جَمینگ تاکید می کند.

آنتن های جَمینگ به طور خاص برای تداخل با نویز یا سیگنال های رادیویی استفاده می شوند. در جنگ الکترونیک (EW) این تداخل ها برای برهم زدن کنترل یک نبرد است. برای مثال، جَمینگ، سیگنال های مزاحم را به سمت رادار حریف پرتاب می کنند و گیرنده را با سیگنال های انرژی بسیار متمرکز مسدود می کنند. دو تکنیک اصلی جَمینگ، تکنیک های نویز و تکنیک های تکرارکننده هستند. جَمینگ نقطه ای، جَمینگ حرکتی، و جَمینگ رگبار سه نوع رایج جَمینگ نویز هستند، در حالی که جَمینگ DRFM رایج ترین نوع جَمینگ تکرارکننده است. جَمینگ نقطه ای شکلی از جَمینگ نویز است که در آن یک جَمینگ تمام توان خود را روی یک فرکانس متمرکز می کند و این تکنیک را در برابر رادار فرکانس چابک بی اثر می کند. Sweep jamming فرآیند انتقال قدرت کامل یک جَمینگ از یک فرکانس به فرکانس دیگر است. این حرکت "جارو" چندین فرکانس را به سرعت متوقف می کند، اگرچه نه همه آن ها در یک زمان. جَمینگ رگبار، جَمینگ چند فرکانس به طور همزمان توسط یک جَمینگ واحد است. اشکال اصلی این تکنیک این است که جَمینگ کننده قدرت خود را در فرکانس های متعدد پخش می کند و باعث می شود که در یک فرکانس نسبتاً قدرت کمتری داشته باشد. حافظه رادیویی فرکانس دیجیتال یا DRFM یک تکنیک تکرارکننده است که با تغییر و انتقال مجدد انرژی رادار دریافتی، رادار را گیج می کند. برای مثال، با تغییر تأخیر در ارسال پالس ها، جَمینگ می تواند بردی را که رادار تشخیص می دهد، تغییر داده و اهداف کاذب ایجاد کند. بسیاری از آنتن های جَمینگ از این نوع تکنیک ها استفاده می کنند. در حال حاضر، چندین اقدام متقابل در برابر جَمینگ وجود دارد. مشابه تکنیک های جَمینگ، این اقدامات متقابل امکان سطوح مختلف اثربخشی را فراهم می کند. علاوه بر این، آنتن های ضد جَمینگ با طراحی خاص در دسترس هستند. با ظهور فناوری های RF جدید، پیشرفت ها در جنگ الکترونیک نیز افزایش می یابد.

بررسی روش های پیشین

مرجع [۱] یک ساختار تعمیم یافته برای رادار آرایه با فرکانس متنوع ارائه می دهد. در ساده ترین شکل، آرایه متنوع فرکانسی یک افزایش فاز خطی را در روزنه ارسال اعمال می کند. این افزایش فاز خطی، مانند یک آرایه فاز معمولی، باعث اسکن پرتوی الکترونیکی می شود. هنگامی که یک تغییر فرکانس خطی اضافی در عناصر اعمال می شود، یک عبارت جدید ایجاد می شود که منجر به زاویه اسکن می شود که با بُرد در میدان دور متفاوت است. این گزینه پرتوهای اسکن انعطاف پذیرتر را ارائه می دهد و همچنین مقاومت در برابر تداخل نقطه مانند چند مسیر را ارائه می دهد. پیاده سازی های کلی تر، آزادی بیشتری برای کنترل پلاریزاسیون فضا-فرکانس-فاز فراهم می کند و مفاهیم جدیدی را برای عملیات همزمان چند مأموریت، مانند انجام همزمان رادار روزنه مصنوعی و نشانگر هدف متحرک زمینی فراهم می کند.

رادار متداول پردازش تطبیقی فضا-زمان آرایه ای (STAP) با ترکیب حوزه های زاویه ای و داپلر به سرکوب بی نظمی می پردازد. با این حال، در سناریوهای مقابله با اقدامات الکترونیکی، به ویژه در صورت گرفتگی پرتوی اصلی جمر، از ضعف عملکرد شدید رنج می برد. در مرجع [۲]، رادار STAP چند ورودی چند خروجی (MIMO) با آرایه متنوع فرکانسی (FDA) که به

عنوان آرایه فرستنده عمل می کند، مورد بررسی قرار می گیرد که به عنوان رادار FDA-MIMO STAP شناخته می شود. سیستم FDA می تواند ایجاد ارائه دهد. در نتیجه، در رادار FDA-MIMO STAP، هدف را می توان از نویز و جمینگ در حوزه های مشترک زاویه برد-دایر تشخیص داد. با ترکیب دامنه، زاویه و دامنه دایر در رادار FDA-MIMO STAP، یک روش پردازش تطبیقی فضا-زمان بر اساس تکنیک پیش بینی زیرفضا پیشنهاد شده است. نتایج شبیه سازی اثربخشی روش پیشنهادی را در سرکوب بی نظمی و گرفتگی نشان می دهد.

در سال های اخیر، مفهوم رادار آرایه فرکانس متنوع (FDA) توجه گسترده ای را به خود جلب کرده است، چرا که می تواند از افزایش فرکانس جزئی در مقایسه با فرکانس حامل در عناصر آرایه سود برد و در نتیجه به یک عامل آرایه که تابعی از زاویه است، یعنی زمان و برد برتر از رادار آرایه فاز معمولی (PAR) دست یابد. با این حال، تلاش محدودی در مورد FDA در سناریوهای مقابله با اقدامات الکترونیکی به ویژه در صورت جمینگ پرتوی اصلی جمر، منتشر شده است. سیستم FDA اساساً برای کاربردهای ضد جمینگ مطلوب نیست که علت آن ارتباط میان پاسخ زاویه-برد در اهداف مختلف است. در مرجع [۳]، یک روش جدید مبتنی بر پردازش سیگنال FDA زیرآرایه برای مقابله با سیگنال های فریبنده ECM پیشنهاد شده است. آرایه FDA به زیرآرایه های متعددی تقسیم شده که هر یک از آن ها فرکانس متفاوتی را به کار می گیرد. در نتیجه، در FDA مبتنی بر زیر آرایه، می توان هدف مورد نظر را در سطح زیرآرایه در زاویه-برد دایر مشترک با استفاده از این واقعیت که جمر اهداف کاذب با دامنه های یکسان برای هر زیر مجموعه بدون تکرار ایجاد می کند، تشخیص داد. ارزیابی عملکرد روش ارائه شده نشان می دهد که راه حل پیشنهادی برای سرکوب اهداف فریبنده ECM مثر ثمر است. اثربخشی با نتایج شبیه سازی تایید می شود.

در طرح های راداری مجموعه فرکانس های متنوع (FDA)، برای تشخیص هدف از آزمون نسبت احتمالات عمومی (GLRT) در پالس های منسجم استفاده می شود. با این حال، تاثیرات سیستم راداری چند ورودی چند ورودی FDA-MIMO برای تشخیص پالس های نامنجم به طور سیستماتیک مورد بررسی قرار نگرفته است. در مرجع [۴]، یک آشکارساز قانون مربع برای تجزیه و تحلیل عملکرد هر دو رادار منسجم و غیر منسجم FDA-MIMO هواپرد در مفهوم نیم پیرسون ارائه شده است. علاوه بر این، عبارات بسته از یک آشکارساز قانون مربع برای رادارهای FDA-MIMO مشتق شده است. برای یک رادار منسجم FDA-MIMO، عملکرد مطلوب در نسبت سیگنال به نویز بالا (SNR) حاصل می شود، در حالی که برتری یک رادار FDA-MIMO غیر منسجم در تشخیص اهداف وابسته به برد معتبر است. مشتقات نظری مربوطه با نتایج عددی گسترده برای اثبات عملکرد بهتر ارائه گردیده است.

انتخاب شکل موج مناسب یک کار مهم برای اجرای رادارهای چند ورودی چند خروجی (MIMO) است. علاوه بر الزامات کلی برای شکل موج های راداری مانند وضوح خوب، لبه های جانبی کم و غیره، شکل موج رادار MIMO نیز باید دارای تعامد خوبی باشد. در مرجع [۵] به بررسی اجمالی شکل موج رادار MIMO پرداخته شده است که به چهار دسته طبقه بندی می شوند: ۱- دسترسی چندگانه تقسیم زمان (TDMA) ۲- دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی (FDMA) ۳- دسترسی چندگانه تقسیم دایر (DDMA)، و ۴- تقسیم دسترسی چندگانه (CDMA). یک شکل موج MIMO در گردش خاص نیز مورد بررسی قرار می گیرد. خواص و همچنین محدودیت های کاربرد شکل موج های مختلف مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار می گیرد. برخی از نتایج شبیه سازی نیز برای نشان دادن عملکرد مربوط به شکل موج های مختلف ارائه شده است.

در سال های اخیر، رادار آرایه متنوع فرکانسی (FDA) به دلیل الگوی پرتو وابسته به زاویه برد مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. و رادار چند ورودی چند خروجی (MIMO) با مزیت تنوع شکل موج انتقال به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. در مرجع [۶]، یک رادار روزنه مصنوعی معکوس FDA-MIMO ISAR برای دستیابی به خاصیت ضد جمینگ تصویربرداری ISAR پیشنهاد شده است. سیگنال های LFM (مدولاسیون فرکانس خطی) و SFCS (سیگنال جرقه فرکانسی گام به گام) به جمر و

اهداف منتقل می شوند و سیگنال های دریافتی با سیگنال منتقل شده به اهداف با فیلتر شدن مطابقت دارند. بنابراین سیگنال جمینگ نمی تواند با سیگنال مرجع مطابقت داشته باشد در نتیجه اثر ضد جمینگ خوب را می توان به دست آورد. عملکرد روش پیشنهادی با نتایج شبیه سازی نیز ارزیابی شده است.

آشکارسازی و ردیابی اهداف با پروازهای در ارتفاع کم و در زاویه های تغذیه کوچک به دلیل احتمال پخش شدن پرتوی رادار و ناحیه کور راداری کار دشواری است. در مرجع [۷] برای کاهش این مشکل، یک روزنه سازی چند گانه با فرکانس متنوع چند ورودی چند خروجی (FDS-MIMO) با عملکرد پوشش بهینه ارتفاع کم پیشنهاد شده است. یک مدل بازگشتی خاص ابتدا در حضور انتشار چند مسیری همراه با یک عبارت بسته برای الگوی پرتوی مشترک ارسال کننده و دریافت کننده مشترک فرموله می شود. سپس، یک مدل بازگشتی مزاحم برای مناطق غیر عادی توسعه داده می شود. علاوه بر این، یک مفهوم منطقه ای چند مسیری همراه با شرایط مرزی مربوطه تعریف شده است. قابلیت پوشش پرتو رادار FDS-MIMO با میزان مشاهده پذیری پایین ارزیابی می شود. علاوه بر این، پوشش پرتو رادار FDS-MIMO در ارتفاع پایین با توجه به راه حل های شرایط مرزی بهبود یافته است و یک استراتژی طراحی آفست فرکانس تطبیقی برای محیط در حال تغییر پیشنهاد شده است. هر دو تجزیه و تحلیل نظری و نتایج عددی نشان می دهد که رادار FDS-MIMO بهینه شده از نظر عملکرد پوشش پرتو در ارتفاع پایین از رادارهای آرایه مرحله ای معمولی و رادار MIMO بهتر عمل می کند.

برای رادار روزنه مصنوعی معکوس (ISAR)، مطلوب است که همزمان از چند هدف در یک زاویه وسیع فضایی تصویربرداری شود. علاوه بر این، به احتمال زیاد چندین هدف توسط چندین پرتو یا گاهی در یک پرتو واحد پوشانده شده است که منجر به چالش تصویربرداری برای هر هدف می شود. برای کاهش این مشکل، مرجع [۸] رویکرد جدیدی را با معرفی تاخیر زمانی در عناصر آرایه دریافت مختلف، تحقق بخشیدن به چند هدف و تصویربرداری مستقل ارائه می دهد. با استفاده از آرایه دریافت تاخیر زمانی با شکل موج مدولاسیون فرکانس خطی، الگوی پرتوی معادل گیرنده بستگی به زاویه محدوده دارد و امکان ایجاد هم زمان پرتو و زاویه به صورت مشترک وجود دارد. در آرایه دریافت تاخیر زمانی، یک روش جبران عنصر برای مقابله با تغییرات فرکانس فضایی معادل ارائه شده است. پس از دریافت پرتوی گیرنده، روش تصویربرداری استاندارد ISAR با وضوح بالا را می توان انجام داد. با روش پیشنهادی، بازگشتی چند هدف را می توان تحت نسبت سیگنال به نویز کم (SNR) جدا کرد. نتایج شبیه سازی، اثربخشی روش پیشنهادی را تایید کرده است.

رادار چند ورودی چند خروجی (MIMO) چندین مزیت را نسبت به سیستم های آرایه راداری سنتی از نظر انعطاف پذیری و عملکرد نشان می دهد. با این حال، رادار MIMO چالش های جدیدی را برای طراحی سخت افزار و پردازش دیجیتال ایجاد می کند. به طور خاص، دستیابی به رزولوشن آزمون بالا نیاز به تعداد زیادی آنتن فرستنده و گیرنده دارد. علاوه بر این، پردازش دیجیتال بر روی نمونه های سیگنال دریافتی، از هر فرستنده به هر گیرنده، با سرعت نایکوئیست انجام می شود که در صورت نیاز به وضوح بالا می تواند به طرز چشمگیری بزرگ باشد. با غلبه بر تنگنای نرخ نمونه برداری، روش های نمونه گیری زیر نایکوئیست پیشنهاد شده است که ارتباط بین پهنای باند سیگنال رادار و میزان نمونه برداری را قطع می کند. در مرجع [۹]، این روش ها به پیکربندی MIMO بسط داده شده اند و یک سیستم راداری زیر نایکوئیست چند ورودی چند خروجی SUMMeR پیشنهاد شده که هم فشردگی سازی زمان و هم فشردگی سازی مکانی را انجام می دهد. یک الگوریتم بازایی دامنه آزمون-دایر از نمونه های فرعی نایکوئیست که از تعداد فرستنده و گیرنده کاهش یافته به دست آمده است، ارائه داده شده که از تعداد کمی از پارامترهای اهداف بازایی شده استفاده می کند. این مساله این امکان را می دهد که بدون کاهش وضوح زمان و وضوح مکانی، به کاهش تعداد آنتن های مستقر و تعداد نمونه در هر گیرنده دست یافته شود. شبیه سازی ها عملکرد تشخیص SUMMeR را برای سطوح مختلف فشردگی سازی نشان می دهد و نشان می دهد که وضوح زمان و وضوح مکانی با توجه به تنظیمات کلاسیک نایکوئیست چند ورودی

چند خروجی حفظ می شوند. همچنین تاثیر پارامترهای طراحی، مانند مکان آنتن ها و فرکانس های حامل، بر عملکرد تشخیص بررسی شده و دستورالعمل هایی برای انتخاب آن ها ارائه شده است.

انتظار می رود سیستم های ارتباطی بیسیم آینده به منظور غلبه بر ازدحام طیف باندهای ارتباطی سنتی، نوارهای طیفی را که معمولاً توسط سیستم های راداری استفاده می شود کشف کنند. از آن جا که در بسیاری از برنامه های کاربردی، رادار و ارتباطات از یک پلتفرم مشترک برخوردارند، می توان با طراحی مشترک به عنوان یک سیستم ارتباطی راداری دو کاره، اشتراک طیف را تسهیل کرد. در مرجع [۱۰]، یک مدل ارسال پرتو مشترک را برای یک رادار چند منظوره چند ورودی-چند خروجی (MIMO) و فرستنده ارتباطات MIMO چند کاربره پیشنهاد شده است. سیستم دو منظوره پیشنهادی مجموع وزنی شکل موج رادار مستقل و نمادهای ارتباطی را منتقل می کند و به ترتیب چندین پرتو را به سمت اهداف رادار و گیرنده های ارتباطی تشکیل می دهد. طراحی ضرایب وزنی به عنوان یک مساله بهینه سازی صورت می گیرد که هدف آن عملکرد پرتو ارسال کننده رادار MIMO است، در حالی که تضمین می کند که نسبت سیگنال به تداخل به اضافه نویز (SINR) در هر کاربر ارتباطی بیشتر از یک مقدار آستانه داده شده است. علیرغم عدم همگرایی مساله بهینه سازی پیشنهادی، ثابت شد که می توان آن را به صورت همگرا در جایی که نسبتاً هموار است، به کار برد. سپس یک طرح پیچیدگی کاهش یافته بر اساس ایجاد تداخل بین کاربر و تداخل رادار پیشنهاد شده است. بر خلاف کارهای قبلی که بر انتقال نمادهای ارتباطی برای ترکیب الگوی پرتوهای راداری متمرکز بودند، همان طور که در مطالعه شبیه سازی نشان داده شده روش ارائه شده آزادی بیشتری برای رادار MIMO فراهم می کند و بنابراین می تواند عملکرد راداری بهبود یافته را به دست آورد. علاوه بر این، طرح دو منظوره پیشنهادی ارائه شده برای عملکرد راداری طرح که فقط راداری باشد، یعنی بدون به اشتراک گذاری طیف، تحت محدودیت های کیفیت مناسب ارتباط نزدیک می شود. از آن جا که بسیاری از ویژگی های هدف را می توان از طریق رادار روزنه مصنوعی معکوس (ISAR) به دست آورد، کلید اجرای فریب در ISAR در القای تصاویر فریبنده با تقلید از ویژگی های پراکندگی هدف واقعی نهفته است. در مرجع [۱۱]، بر اساس ترکیب آرایه متنوع فرکانسی (FDA) و گرفتگی موج پراکنده (SWJ)، رویکردی برای تولید چندین تصویر طعمه دو بعدی با ویژگی های هدف واقعی ارائه شده است که توزیع و تعداد آن ها را می توان به طور دلخواه از طریق طراحی پارامترهای FDA دستکاری نمود.

رادار فازی چند ورودی و چند خروجی (MIMO) یک تکنیک انعطاف پذیر است که از مزایای رادار MIMO بهره می برد بدون این که مزیت اصلی رادار آرایه فازی را از بین ببرد. با این حال، رادار فازی MIMO محدود به جهت یابی مستقل از بُرد است. این امر عملکرد رادار را برای کاهش تداخل غیر مطلوب وابسته به بُرد محدود می کند. در مرجع [۱۲]، یک رادار MIMO فازی جدید با تنوع فرکانسی برای ایجاد پرتو وابسته به بُرد پیشنهاد گردیده است. ماهیت تکنیک پیشنهادی این است که آرایه های فرستنده با تنوع فرکانسی را به چند زیر آرایه تقسیم کند، هر زیر آرایه به طور منسجم یک شکل موج متمایز را با افزایش فرکانس کوچک در بین عناصر آرایه ارسال می کند. هر زیر آرایه یک پرتو جهت دار تشکیل می دهد و همه پرتوها به طور مستقل با تنظیم افزایش فرکانس قابل هدایت هستند. زیر آرایه ها به طور مشترک حالت های عملکرد انعطاف پذیر و شکل دهی به تابش پرتو را ارائه می دهند. عملکرد پرتو در مقایسه با رادار MIMO فازی با تجزیه و تحلیل پرتوهای ارسال و دریافت و نسبت سیگنال خروجی به تداخل به اضافه نویز مورد بررسی قرار گرفته است.

آرایه فازی به طور گسترده ای در سیستم های راداری مورد استفاده قرار می گیرد و فرمان پرتو آن در یک جهت برای همه محدوده ها ثابت است. بنابراین، در صورت وجود ابهام در محدوده، نمی توان محدوده یک هدف را در یک پالس تعیین کرد. در مرجع [۱۳]، یک روش بدون ابهام برای برآورد محدوده و زاویه مشترک برای رادار چند ورودی چند خروجی (MIMO) با آرایه متنوع فرکانسی (FDA) ابداع شده است. بر خلاف آرایه های فازی سنتی، FDA قادر است از افزایش بسیار کم فرکانس در عناصر آرایه استفاده کند. به دلیل افزایش فرکانس، بردار فرمان فرستنده رادار FDA-MIMO تابعی از بُرد و زاویه است. در نتیجه، رادار FDA-

MIMO قادر است از درجه آزادی در حوزه زاویه برد برای تعیین مشترک پارامترهای برد و زاویه هدف استفاده کند. علاوه بر این، محدوده Cramér-Rao برای بُرد و زاویه به دست آمده است و اتصال بین این دو پارامتر مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد.

با توجه به پیشرفت سریع اقدامات متقابل الکترونیکی (ECM)، وسایل مربوطه برای اقدامات متقابل الکترونیکی (ECCM) ضروری است. با توجه به ویژگی وابسته به بُرد، فناوری رادار آرایه های متنوع فرکانسی (FDA) دارای پتانسیل کاربردی برای سرکوب لوب اصلی است. با این حال، ساخت مدل گیرنده برای رادار FDA یک مشکل مهم و چالش برانگیز است که به اندازه کافی مورد مطالعه قرار نگرفته است. در مرجع [۱۴]، بر اساس درک دقیق پارامتر زمان و رابطه محدوده زمانی، مدل های فریبنده موجود تجزیه و تحلیل شده و روند مدل سازی صحیح به نتیجه می رسد. علاوه بر این، جریان کامل پردازش سیگنال مربوط به پارامتر برد در رادار FDA ارائه شده است. در نتیجه، یک روش جدید گیرنده فریبنده (NDJ) برای رادار FDA پیشنهاد شده است. روش NDJ می تواند همان میزان بهره شکل دهی پرتو را به عنوان هدف به دست آورد تا از سرکوب شدن در سطح شکل دهی پرتو جلوگیری کند. متعاقباً، جمینگ فریبنده موثرتر می تواند در بازه های مختلف بُرد ایجاد شود تا عملکرد تشخیص رادار کاهش یابد.

جمینگ فریبنده یک روش متقابل الکترونیکی متقابل (ECM) است که اهداف نادرستی را برای گیج کردن رادارهای نظارت حریف ایجاد می کند. مرجع [۱۵] یک رویکرد جدید برای پنهان کردن هدف واقعی را در حالی که چندین هدف کاذب را همزمان تولید می کند در برابر رادار آرایه های مختلف فرکانس (FDA) ارائه می دهد. برای این منظور، فرض بر این است که رادار FDA اصلاح شده بر روی هواپیمای واقعی نصب شده است. این رادار سیگنال های راداری حریف را رهگیری می کند و در الگوی تابش در محدوده و جهت دلخواه منتقل می شود تا از قابلیت خنثی سازی الگوی وابسته به برد رادار FDA استفاده کند. جمر فریبنده پیشنهادی نسخه های تاخیری از سیگنال های رهگیری شده را ایجاد می کند تا اهداف کاذب با بُردهای متعدد ایجاد کند تا سیستم رادار حریف دچار سردرگمی شود. در [۱۶] به ارائه یک روش جمینگ فریبنده برای مقابله با ISAR بر اساس خاصیت پراکندگی الکترومغناطیسی پرداخته شده است. RCS یک مدل سه بُعدی برای ایجاد الگوی هدف است. این الگو برای تعدیل سیگنال رادار رهگیری شده در حوزه فرکانس استفاده می شود. با داشتن خاصیت پراکندگی الکترومغناطیسی هدف، تصویر ISAR القا شده توسط سیگنال جمینگ، مشابه تصویر واقعی است. روش پیشنهادی این مقاله، بار محاسباتی را کاهش می دهد و به طور متوالی اطلاعات هدف را منعکس می کند. صحت و اثربخشی روش پیشنهادی با نتایج شبیه سازی در MATLAB تایید می شود. این روش برتری را در اجرای بلادرنگ و راحتی برای اجرا را نشان می دهد.

در [۱۷] به ارزیابی جامع اثربخشی ضد جمینگ ISAR از طریق ELECTRE-III پرداخته شده است. ارزیابی اثر ضد جمینگ در ISAR، موضوع مهمی برای جنگ الکترونیک است. روش های ارزیابی موجود همیشه از تغییر قبل و بعد از جمینگ یک یا چند نشانگر (یا پارامترهای مشخصه) برای ارزیابی اثر جمینگ استفاده می کنند که در آن، این شاخص ها از تصویر ISAR دو بُعدی به دست می آیند. در صورتی که کیفیت تصویر ISAR بسیار ضعیف باشد یا حتی تصویر ISAR بدست نیاید، عملکرد این روش ها کاهش می یابد. برای غلبه بر این کمبود، یک روش ارزیابی جامع جدید مبتنی بر نظریه تصمیم گیری چند ویژگی (MADM)^۱ جهت شناسایی هدف ارائه شده است. ابتدا مدل ارزیابی ضد جمینگ ISAR با استفاده از MADM ساخته شده است. سپس سیستم شاخص ارزیابی پیشنهاد می شود و از سه لایه تصویربرداری ISAR شامل نشانگرهای لایه سیگنال، نشانگر لایه تصویر و نشانگرهای تصمیم گیری تشکیل شده است. وزن نسبی شاخص ها توسط الگوریتم فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۲ تعیین می شود. در نهایت از ELECTRE-III برای ارزیابی عملکرد ضد جمینگ ISAR استفاده می شود.

¹ Multiple Attribute Decision Making

² Analytic Hierarchy Process

در [۱۸] به ارائه یک روش ضد جمینگ در برابر جمینگ فریب دو بُعدی با تشخیص ویژگی مکانی-فضایی پرداخته شده است. جمینگ تکرار کننده نمونه برداری قطع شده (ISRJ)^۱ یک روش موثر برای اجرای جمینگ فریب در رادارهای چیپ است. با استفاده از پردازش جمینگ با تغییر فرکانس سیگنال پژواک هدف و فشردن سازی پالس در طول پردازش تصویر، گروهی از اهداف کاذب در مکان های فضایی مختلف اطراف هدف واقعی ظاهر می شوند. استخراج ویژگی های این اهداف کاذب پیچیده، محدود به روش های موجود مقابله با ISRJ است. این مقاله یک روش ضد جمینگ را برای شناسایی ویژگی های مکانی-فضایی اهداف کاذب فریب دوبعدی پیشنهاد می کند. با تنظیم پارامترهای سیگنال ارسال رادار، این روش به طور همزمان سیگنال ضد جمینگ را مخابره می کند و شناسایی و حذف نادرست هدف را در ابعاد بُرد و آزیموت انجام می دهد. در نهایت، طراحی پارامتر سیگنال بهینه سیگنال ضد جمینگ با مقایسه استراتژی های مختلف ضد جمینگ در بُعد بُرد، به دست می آید.

در [۱۹] یک طراحی شکل موج ضد جمینگ متعامد با تحمل داپلر توسعه یافته بر اساس سیگنال LFM-PC^۲ مورد مطالعه واقع شده است. طراحی موج های متعامد بر اساس مدولاسیون فرکانس خطی و سیگنال های فازی یا LFM-PC با تحمل داپلر توسعه یافته، نقشی حیاتی در سیستم های رادار MIMO دارد. با این حال، پرداختن به مشکل اصلی قیود تک مدول غیرمحدب مختلط و قیود چند جمله ای مرتبه چهارم غیرخطی در طراحی مجموعه دنباله ای، امری سخت و پیچیده است. در این مقاله، یک شکل موج متعامد بر اساس سیگنال LFM-PC برای توالی فاز کدگذاری شده گسسته (DPCS)^۳ و دنباله کد فازی پیوسته (CPCS)^۴ راجی شده است. روش ترکیبی جهت متناوب ضرب کننده ها (ADMM)^۵ و الگوریتم مختصات نزولی (CD)^۶ برای طراحی DPCS اعمال می شود. یک روش جدید با رویکرد ADMM و الگوریتم شبکه عصبی برنامه نویسی لاگرانژ (LPNN)^۷ برای CPCS طراحی شده است. هدف خاص این مطالعه، پیشنهاد کدهای فاز چیر پول جدید و یک چارچوب الگوریتم جدید است که می تواند محدودیت های پیچیده غیرمحدب و غیرخطی را توسط ADMM جدا کند و چند جمله ای های مرتبه چهارم از محدودیت های غیرخطی به تابع لاگرانژ منتقل می کند. در نتیجه، متغیرهای بهینه شده در چارچوب های ADMM-CD و ADMM-LPNN به روز می شوند. مثال های شبیه سازی عددی نشان دهنده عملکرد خوب روش های پیشنهادی این تحقیق است.

در [۲۰] به ارائه یک روش جمینگ فریب برای مقابله با ISAR دو و چند استاتیک بر اساس اثر میکرو داپلر پرداخته شده است. ISAR با آنتن های فرستنده و گیرنده مجزا از هم عمل می کند. جمینگ، سیگنال های ISAR رهگیری شده را با اطلاعات میکرو داپلر اضافه شده تعدیل می کند و آن ها را دوباره به هدف واقعی ارسال می کند که سیگنال های جمینگ را به گیرنده های رادار، پراکنده می نماید. تصاویر هدف کاذب فریبنده با نوارهای تداخل در جهت بُرد متقاطع توسط سیگنال های جمینگ از طریق فرآیند تصویربرداری گیرنده های رادار، القا می شوند. علاوه بر این، ویژگی های حرکت بی درنگ اهداف کاذب را می توان با تغییر پارامترهای مدولاسیون به طور انعطاف پذیر، تنظیم کرد که ساختار اهداف کاذب را بهبود می بخشد. برای ارزیابی جلوه های جمینگ، از شاخص تعداد ظاهر معادل (ENL) استفاده می شود. نتایج شبیه سازی در MATLAB، تحلیل نظری نویسندگان این مقاله را تایید و اثربخشی و عملی بودن روش را نشان می دهد. در [۲۱] روشی برای طبقه بندی اهداف بر مبنای ماشین بردار پشتیبان معرفی شده است. هر شی با یک بردار مشخصه نشان داده شده است و ماشین بردار پشتیبان سعی می کند تا بهتر ابرصفحه^۸ که کلاس های مختلف در فضای مشخصه^۹ را از هم جدا می کند را تخمین بزند. تعریف مناسبی برای بردار مشخصه ارائه شده و داده

¹ Interrupted sampling repeater jamming

² linear frequency modulation and phase-coded

³ discrete phase-coded sequence

⁴ continuous phase-coded sequence

⁵ alternating direction method of multipliers

⁶ coordinate descending

⁷ Lagrange programming neural network

⁸ Hyper-Plane

⁹ Feature Space

های واقعی مورد آزمایش قرار گرفته اند. مشکلی که این مقاله دارد این است که داده های MSAR برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفته اند که در یک زمین شنی با زاویه ثابت در نظر گرفته شده اند. داده های واقعی ممکن است در شرایط جغرافیایی پیچیده تری گرفته شوند که نیازمند الگوریتم های یادگیری برای تعیین بردار مشخصه باشند.

در [۲۲] یک روش سلسله مراتبی برای شناسایی و جداسازی اهداف معرفی شده است. در این روش از پردازش سیگنال فازی برای بهبود تصاویر بلور^۱ استفاده گردیده است. همچنین یک روش تحلیل موجک بسته ای^۲ برای استخراج مشخصه های هدف معرفی شده است. استخراج ضرایب مشخصه و ضرایب انرژی تبدیل موجک و مقایسه آن ها با مقادیر پیش فرض و در نهایت ارائه یک ساختار سلسله مراتبی برای شناسایی اهداف از بخش های اصلی الگوریتم پیشنهادی است. از تبدیل موجک بسته ای برای تجزیه تصویر استفاده شد است. با انجام آزمایشات عملی، نشان داده شده است که عملکرد این روش از لحاظ دقت، سرعت پردازش و شناسایی اهداف به طور متوسط به اندازه ۶/۱۳ درصد نسبت به روش های پیشین و مشابه، بهبود یافته است. با این حال در مورد این که چگونه توابع پایه تبدیل موجک بایستی انتخاب شود و چه تعداد مرحله برای تجزیه باید انجام پذیرد تا بهترین شناسایی ممکن صورت بگیرد، موردی ذکر نشده است و به عنوان یک نقطه ضعف در پژوهش تلقی می گردد.

در [۲۳] از روش مبتنی بر تجزیه مقادیر منفرد برای شناسایی اهداف استفاده شده است. در این روش، ماتریسی از فواصل تشکیل شده و به کمک آن، مشخصه های اصلی تصویر، استخراج شده و با اعمال آن در یک حوزه تبدیل یافته^۳، اهداف مختلف شناسایی می شوند. از داده های واقعی مربوط به اهداف متحرک و نیز داده های شبیه سازی شده برای بررسی توانایی الگوریتم، بهره گرفته شده است. با این وجود، مشکل اصلی این روش، عدم تشابه بین داده های واقعی و مقادیر شبیه سازی شده است. استفاده از تجزیه مقادیر منفرد سبب می شود تا مقدار نویز تا حد زیادی کاسته شده و همچنین این امکان را فراهم می آورد تا محاسبات در حوزه تبدیل، صورت گیرد و از حجم پیچیدگی محاسباتی، کاسته شود. معیار مورد استفاده در مقاله فوق الذکر، زاویه فضای بین سیگنال و ضرایب وزن یافته می باشد که سبب بهبود نتایج می گردد. با این وجود برای بهبود بیشتر الگوریتم، لازم است تا آزمایشات بیشتری با پایگاه داده های بزرگ تر و روش های پیش پردازش دیگر، صورت گیرد.

در [۲۴] از روشی مبتنی بر شبیه سازی دید شهودی انسان برای تشخیص اهداف در محیط های پیچیده استفاده شده است. در این روش از یک مدل هرمی به همراه تجزیه مقادیر منفرد برای مدل سازی شبکه چشم انسان بهره گرفته شده است. این کار سبب افزایش دقت در تخمین اهداف و کاهش هشدارهای کاذب^۴ می گردد. در [۲۵] الگوریتمی دو مرحله ای برای تشخیص هدف بر مبنای آنتروپی وزن دار ارائه شده است. در مرحله اول، نواحی مورد علاقه^۵ در تصاویر SAR استخراج شده و با توجه به غیر یکنواخت بودن تصاویر SAR، آزمایشی برای تعیین واریانس آنتروپی وزن دار، انجام می گیرد. در مرحله دوم، برای هر یک از ROI ها، یک الگوریتم قطعه بندی بر مبنای روش اپلیت برگمن^۶ انجام می گیرد تا اهداف را شناسایی نماید. در [۲۶] علائم غارت در تصاویر هوا بُرد SAR مورد بررسی واقع شده است. این پژوهش در تصاویر منطقه ای به نام آپامه^۷ در کشور سوریه به صورت تصاویر TerraSAR-X در نشانه هایی از غارت آثار باستانی به کار گرفته شده است. در واقع تپه های خاکی حاصل از حفاری و به وجود آمدن گودال در کنار آن ها، نشان از حفر چاه به منظور غارت آثار باستانی را نشان می دهد. در [۲۷] الگوریتمی نوین برای کانون توجه به تصاویر هوا بُرد SAR ارائه شده است. رویکرد این کار بدین صورت است که ابتدا از تحلیل طیفی^۸ به منظور جلوگیری از

¹ Blur Image

² Wavelet Packet Analysis

³ Transformed Domain

⁴ False Alarms

⁵ Region of Interest (ROI)

⁶ Split Bregman

⁷ Apamea

⁸ Spectral Analysis

تاثیر تاشودگی طیف آزیموث^۱ و سپس از مقیاس گذاری چیرپ^۲ برای قرار گرفتن داده در فاصله کانونی استفاده می شود. جهت از بین بردن لوب فرعی^۳ از یک استراتژی برای وزن گذاری طیفی آزیموث که فقط شامل ضرب ماتریس و تبدیل فوریه سریع^۴ می باشد، استفاده شده است که در مرحله پیش پردازش روی تصویر اعمال می گردد. در [۲۸] یک الگوریتم بهبود یافته برای کانون توجه به نگاشت تصاویر هوا بُرد SAR با قابلیت رزولوشن بالا ارائه شده است. روش عنوان شده به نام MHRE است که به منظور توصیف مدار منحنی در تصاویر SAR می پردازد. این روش دارای دقت بالایی است و نتایج تجربی نشان می دهد که امر پردازش تصویر را برای شناسایی اهداف خودکار در پردازش های آتی ساده می کند. در نظر گرفتن این که پهنای باند داپلر تصویر رادار SAR به صورت نگاشت VHR بزرگ تر از مقدار معادل PRF باشد، روش بازسازی تصویر برپایه عملیات چرخش دوباره ارائه می شود و به منظور تضمین کیفیت بالای تصویر بعد از این مرحله، فاز مرتبه بالا در امتداد جهت آزیموث با در نظر گرفتن انحراف معیار پارامترهای داپلر، اعمال می شود. در [۲۹] تحلیل ژئومورفولوژیک برای کوه آتشفشانی گانتور^۵ در شرق منطقه جاوا در کشور اندونزی با استفاده از تصاویر رادار SAR انجام گرفته است. در این پژوهش از تصاویر با کیفیتی در باند L از رادار SAR با ترکیب تکنیک طبقه بندی درخت تصمیم گیری QUEST^۶ به منظور شناسایی گدازه های آتشفشانی این کوه استفاده شده است. دقت نتایج طبقه بندی با استفاده از تحلیل ماتریسی و ضرایب کاپا محاسبه می شود. نتایج طبقه بندی با ۵۱/۸۰ درصد و ضرایب کاپا با مقدار ۰/۴۳ در زمان آزمایش روش کار ارائه شده است.

در [۳۰] روش قعطه بندی تصاویر رادار SAR برپایه توسعه داده شده الگوریتم بهینه سازی کلونی زنبورهای مصنوعی^۷ و مجموعه نوتروسوفیک^۸ ارائه شده است. این روش بسیار سریع و مقاوم است و می تواند به عنوان پردازش های آتی برای شناسایی اهداف متحرک و ثابت به عنوان روشی کارآمد، مورد استفاده واقع شود. یکی از منحصربه فردترین ویژگی های این کار، پردازش بلادرنگ تصاویر است. این روش باعث افزایش دقت در تقطیع تصاویر SAR با کاهش اثر نویزهای خال خالی در تصویر می گردد. در [۳۱] شناسایی و تشخیص اهداف خودکار تغییر یافته در تصاویر رادار SAR برپایه الگوریتم تکاملی سیستم ایمنی مصنوعی^۹ به صورت بدون ناظر ارائه شده است. در این روش، یک پیکسل از تصویر به عنوان پادگن^{۱۰} در نظر گرفته می شود و یک مدل ایمنی را برای مبادله با پادگن های دیگر می سازد. با شبیه سازی پیوسته مدل ایمنی، پادگن ها به دو گروه طبقه بندی می شوند که شامل پادگن های تغییر یافته و پادگن های تغییر نیافته هستند. این الگوریتم در ابتدا به منظور مهار اثر نویزهای ضربه ای در اطلاعات محلی پیکسل ها اعمال می شود. سپس روش ارائه شده به شبیه سازی فرایند پاسخ ایمنی در یک مسیر فازی به منظور دستیابی به نتیجه ای با دقت بالا توسط حفظ بیشتر جزئیات تصویر، می پردازد. در اینجا، پادگن ها به عنوان توابع عضویت مجموعه فازی هستند و سپس آنتی بادی ها^{۱۱} و سلول های حافظه بر طبق توابع عضویت فازی، به روز رسانی می شوند. روش ارائه شده نسبت به روش هایی که از خوشه بندی استفاده می کنند، دارای دقت بالاتری است.

در [۳۲] روش خوشه بندی فازی چند هدفه برای تشخیص تغییر در تصاویر SAR ارائه شده است. تشخیص تغییرات در تصویر SAR به عنوان یک مسئله بهینه سازی چند هدفه مدل سازی شده است. دو تابع هدف متضاد از دیدگاه حفظ جزئیات با کاهش نویزهای ضربه ای و خال خالی ساخته شده اند. در واقع دو تابع هدف به صورت همزمان با استفاده از یک روش خوشه بندی فازی چند هدفه ساخته شده اند که به بروز رسانی مقادیر توابع عضویت برای وزن های دو تابع جهت پیدا کردن حالتی بهینه می

¹ Azimuth

² Chirp Scaling

³ Sidelobe

⁴ Fast Fourier Transform (FFT)

⁵ Mt. Guntur – West Java - Indonesia

⁶ Quick Unbiased Efficient Statistical Trees (QUEST)

⁷ Artificial Bee Colony (ABC)

⁸ Neutrosophic Set

⁹ Artificial Immune System (AIS)

¹⁰ Antigen

¹¹ Antibodies

پردازد. در [۳۳] یک چارچوب دو مرحله ای برای تقطیع تصاویر SAR با یک فیلتر موثر و خوشه بندی هسته چند هدفه انجام گرفته است. در واقع قرار است تصویر با الگوریتم ایمنی مصنوعی قطعه بندی شود. در ابتدا فیلتری ساخته شده است که ترکیب تخمین گر احتمال بیشینه^۱ و فیلتر میانه غیرمحملی جزئی است. سپس الگوریتم جستجو با اندازه متغیر کروموزوم ها به منظور کشف خودکار تعداد خوشه ها در تصاویر SAR طراحی شده است. سپس الگوریتم ایمنی مصنوعی و نگاشت هسته در قطعه بندی نهایی اعمال می شوند. روش ارائه شده با الگوریتم FCM مورد مقایسه واقع شده است و نتایج به دست آمده حاکی از آن است که روش ارائه شده دارای دقت و کارایی بهتری می باشد. در [۳۴] به تشخیص لکه های نفت از تصاویر SAR پرداخته شده است. در واقع از داده های پروژه ای به نام PRIMI استفاده شده است. در این مقاله از باند C، L و X رادار SAR استفاده شده است. داده اصلی برنامه ENVISAT است. دقت طبقه بندی تا ۸۰٪ می باشد.

در [۳۵] به شناسایی و تشخیص حرکات یخچال های طبیعی از تصاویر SAR پرداخته شده است. در واقع روش ارائه شده به حذف تاثیرات هم بندی در تصویر و همچنین تحلیل الگوهای پویا در تصویر SAR می پردازد. نتایج آماری به دست آمده حاکی از سرعت و دقت شناسایی و تشخیص در حرکات یخچال های طبیعی است. در [۳۶] تشخیص تغییرات در تصاویر SAR با استفاده از الگوریتم ایمنی مصنوعی چندهدفه برپایه خوشه بندی ارائه شده است. در ابتدا الگوریتم ایمنی مصنوعی به تصاویر که ورودی های برنامه هستند و بی نظم می باشند، اعمال می شود. در طی این فرایند، تصاویر مختلف به سه کلاس مختلف طبقه بندی می شوند که شامل کلاس های تغییر یافته، کلاس های تغییر نیافته و نمونه های غیرقطعی است. سپس الگوریتم ایمنی مصنوعی چند هدفه به منظور خوشه بندی تصاویر طبقه بندی شده برای جستجو و پیدا کردن مرکز خوشه های بهینه از نمونه های غیرقطعی اعمال می شود که آن ها را هم برحسب کلاس تغییر یافته یا تغییر نیافته، خوشه بندی می کند. این عملیات برپایه استفاده از تجزیه موجک^۲ به منظور استخراج ویژگی از تصاویر مختلف انجام می پذیرد. روش ارائه شده می تواند باعث ارتقای جستجوی محلی برای پیدا کردن جواب بهینه و همچنین تولید مرکز خوشه های بهتر شود.

در [۳۷] کاربرد تصاویر SAR به منظور ارزیابی کمیت بدون بُعد در پوشش گیاهی یک منطقه مورد بررسی واقع شده است. در واقع نرخ رشد برنج در مزارع کشاورزان قرار است شناسایی و تخمین زده شود. استفاده از روش BSC^۳ در بازه ۱۸/۳-۱/۵۷- است. از روش NDVI به منظور اندازه گیری بازتاب طیفی برنج استفاده شده است. در [۳۸] تشخیص تغییرات در تصاویر با رزولوشن بالای SAR از بستر رودخانه بررسی شده است. در این پژوهش از روش اخذ تصویر^۴ در پیش پردازش استفاده شده است. سپس از تبدیلات کانتور^۵ به منظور کاهش نویز در تصویر و همچنین تجزیه مقیاس استفاده شده است. به منظور قطعه بندی تصویر، از روش واترشد^۶ برپایه رشد ناحیه ای^۷ استفاده کرده اند که می تواند اهداف نادرست در تصویر برای شناسایی و تشخیص تغییرات در رودخانه را حذف نماید. در [۳۹] از طبقه بندی بدون ناظر برپایه الگوریتم EM برای تصاویر SAR استفاده شده است. این الگوریتم نیازی به آموزش یا کلاس اولیه از پیش تعریف شده در زمان طبقه بندی ندارد. الگوریتم EM می تواند داده های ورودی را مدل سازی کند و ساختار داده را با حداقل پیچیدگی نمایش بدهد. الگوریتم از چهار گام تشکیل شده است که شامل مقداردهی اولیه، انتخاب مدل، پالایش و هموارسازی می باشد. بعد از یک مقداردهی اولیه ساده، الگوریتم EM به صورت تکرار و چرخه به مدل انتخاب شده جهت محاسبه مدل و طبقه بندی اولیه برای مرحله پالایش، اعمال می شود. مرحله پالایش از طبقه بندی EM به منظور رسیدن

¹ Maximum Likelihood Estimator

² Wavelet Decomposition

³ Back Scattering Coefficient (BSC)

⁴ Image Registration

⁵ Contourlet Transform

⁶ Watershed

⁷ Region Growing

به طبقه بندی نهایی استفاده می کند و مرحله هموارسازی باعث ارتقای نتایج با استفاده از فیلترینگ غیرخطی می شود. از ماتریس درهم ریختگی و محاسبه آماری ضرایب کاپا برای مقایسه داده شبیه سازی شده با روش های مشابه دیگر استفاده شده است.

روش پیشنهادی

مدل ریاضی رادار MIMO-FDA

در این تحقیق، آشکار سازی اهداف چندگانه راداری در رادارهای MIMO-FDA به روش پردازش و فقی زمان- فضا در حضور جمینگ مبتنی بر یادگیری عمیق مورد بررسی واقع می شود تا عملیات صورت پذیرد. نیاز است تا مدل ریاضی رادار MIMO-FDA نیز مهیا باشد تا بتوان عملیات دیگر را نیز انجام داد. می توان معادله حرکت طولی رادار MIMO-FDA توسط خطی سازی معادله برای پرواز را به صورت رابطه (۲) نمایش داد.

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{w} \\ \dot{q} \\ \dot{\theta} \\ \dot{h} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Xu & Xw & Xq & -g\cos(\theta) & 0 \\ Zu & Zw & Zq & -g\sin(\theta) & 0 \\ Mu & Mw & Mq & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & -\cos(\theta) & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \\ h \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} X_{\delta e} & X_{\delta t} \\ Z_{\delta e} & 0 \\ M_{\delta e} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_e \\ \delta_t \end{bmatrix} \quad (2)$$

که طبق رابطه (۲)، $t = \text{usin}(\theta) + w\cos(\theta)$ ، δ_e و δ_t ، بالابر و ورودی های کنترلی Drone هستند، u سرعت رو به جلو (افقی) رادار می باشد، w سرعت عمودی Drone است، q نرخ زمین و محیط برای حرکت اولیه Drone، θ زاویه زمین و h ارتفاع رادار به زمین می باشد و $Xu, Xw, Xq, Zu, Zw, Zq, Mu, Mw, Mq$ و همچنین $X_{\delta e}, X_{\delta t}, Z_{\delta e}$ و $M_{\delta e}$ ، مشتقات بعد پایداری رادار هستند. مدل ریاضی (۲) را می توان به فرم رابطه (۳) نشان داد.

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (3)$$

که طبق رابطه (۳)، $x^T = [u \ w \ q \ \theta \ h]$ ، بردار حالت حرکت طولی رادار است و رابطه (۴)، ماتریس انتقالی رادار و همچنین رابطه (۵)، توزیع کنترل و $u^T = [\delta_e \ \delta_t]$ ، بردار ورودی کنترل می باشد.

$$A = \begin{bmatrix} Xu & Xw & Xq & -g\cos(\theta) & 0 \\ Zu & Zw & Zq & -g\sin(\theta) & 0 \\ Mu & Mw & Mq & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\theta) & -\cos(\theta) & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$B = \begin{bmatrix} X_{\delta e} & X_{\delta t} \\ Z_{\delta e} & 0 \\ M_{\delta e} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

حال باید تحلیل پایداری مدل رادار در زمان حرکت و برنامه ریزی حرکتی آن ها را به دست آورد. معادلات طولی می تواند با استفاده از تابع انتقال، محاسبه شود که این معادله به صورت رابطه (۶) در تئوری می باشد.

$$(s^2 + 15.043s + 78.0719)(s^2 + 0.587s + 1.1174) = 0 \quad (6)$$

مسئله جنگ الکترونیک برپایه جمینگ، به عنوان یک مسئله بهینه سازی غیرخطی، مطرح می باشد. هدف اصلی جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA، شناسایی و ردیابی بلادرنگ و ارائه جمینگ به آن ها و تنظیم متغیرهای کنترل به منظور بهینه سازی یک یا چند تابع هدف می باشد که در همین حین، یک سری محدودیت از جمله یافتن شی و کوتاه کردن مسیر و بهینه سازی آن نیز حل شود. مسئله جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA به صورت ریاضیاتی به شکل رابطه (۷) نوشته می شود.

$$\text{Min Func}(x, u)$$

$$\text{Subjected to: } h(x, u) \leq 0$$

$$\text{and } g(x, u) = 0 \quad (7)$$

که طبق رابطه (۷)، Func تابع هدفی که باید بهینه شود، h محدودیت نابرابری است که به نمایش محدودیت های عامل جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA می پردازد، g محدودیت های برابر است و توسط معادله $g(x, u)$ به صورت غیرخطی نمایش داده می شود، x بردار متغیرهای مستقل یا متغیرهای حالت است و u بردار متغیرهای کنترل یا متغیرهای مستقل است. متغیرهای کنترل شامل تولید کننده خروجی، شامل موارد ذیل است:

✓ توان واقعی در جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA که P_G می باشد،

✓ حالت مسیر ساده در ردیابی رادار MIMO-FDA، P_{G1}

✓ کاهش نرخ تاخیر بسته جهت انتقال اطلاعات رادار MIMO-FDA در ردیابی، V_G

✓ تنظیم مسیر انتقال رادار MIMO-FDA در ردیابی، T_S

✓ افزایش گذردهی رادار MIMO-FDA در ردیابی است. Q_C

با توجه به متغیرهای نام برده در جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA، رابطه (۸) وجود دارد.

$$U^T = [P_{G2} \dots P_{G_{NG}}, V_{G1} \dots V_{G_{NG}}, T_{S1} \dots T_{S_{NT}}, Q_{C1} \dots Q_{C_{NC}}] \quad (8)$$

که طبق رابطه (۸)، NG، NT و NC، به ترتیب شامل اعداد تولید کننده مسیر ردیابی، اعداد تنظیم مسیر ردیابی رادار MIMO-FDA و اعداد جبران ساز توان رادار MIMO-FDA می باشند. با در نظر گرفتن یک سیستم با مدل فضای حالت طبق رابطه (۹)، بردار کنترل بهینه به صورت ذیل است.

$$u(t) = -Kx(t) \quad (9)$$

به منظور تعیین ورودی های جمینگ در زمانی که بهینه سازی متغیرهای حالت در یک لحظه انجام می شود، تابع هزینه که به نام تابع شاخص کارایی درجه دوم نیز شناخته می شود، به منظور کمینه سازی به صورت رابطه (۱۰) استفاده می شود.

$$J = \frac{1}{2} \int (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (10)$$

که طبق رابطه (۱۰)، Q ماتریس نیمه مثبت متقارن قطعی و R ماتریس مثبت متقارن قطعی است. ماتریس های وزن Q و R به منظور کنترل هر حالت موثر مبتنی بر کنترل بر طبق کارایی، انتخاب می شوند. ماتریس گین^۱ بردار کنترل بهینه در مسئله جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می شود.

$$K = T^{-1}(T^T)^{-1}B^TP = R^{-1}B^TP \quad (11)$$

بنابراین بر اساس رابطه (۱۱) معادله بهینه سازی نرخ تاخیر جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA به صورت رابطه (۱۲) تبدیل می شود.

$$A^TP + PA - PBR^{-1}B^TP + Q = 0 \quad (12)$$

اگر یک ماتریس P مثبت قطعی بتواند توسط معادله ریکارتی^۲ محاسبه شود، آن گاه رادار MIMO-FDA به صورت رابطه (۱۳) منجر به کاهش نرخ تاخیر در ردیابی خواهد بود.

$$A^TP + PA - PBR^{-1}B^TP + Q = 0 \quad (13)$$

در ادامه لازم است که بتوان ردیابی هدف در جنگ الکترونیک برپایه جمینگ و تصویربرداری رادار MIMO-FDA را انجام داد. معادلات سیستم با استفاده از رویکرد اوپلر^۳، گسسته شده است. گام های رویکرد MIMO-FDA با استفاده از حالت گسسته خطی و معادلات اندازه گیری جهت ردیابی هدف، مورد بررسی واقع می شود که به صورت روابط (۱۴) و (۱۵) می باشد.

$$X(k+1) = AX(k) + Bu(k) + Gw(k) \quad (14)$$

$$y(k) = HX(k) + v(k) \quad (15)$$

که با توجه به معادله حالت در رابطه (۱۴)، $X(k)$ بردار حالت رادار MIMO-FDA، A ماتریس انتقال رادار MIMO-FDA، $u(k)$ بردار ورودی رادار MIMO-FDA، B ماتریس توزیع کنترل، $w(k)$ بردار نویز گوسی تصادفی (نویز در حرکت رادار MIMO-FDA) با میانگین صفر و ساختار کواریانس مشخص می باشد، G ماتریس انتقال نویز رادار MIMO-FDA در حرکت است که این نویز، از نوع نویز گوسی است. در معادله اندازه گیری نیز طبق رابطه (۱۵)، $y(k)$ بردار اندازه گیری، H ماتریس اندازه گیری، $v(k)$ بردار نویز اندازه گیری با میانگین صفر و ساختار کواریانس مشخص است. هیچ گونه ارتباطی بین نویز حرکت $w(k)$ و نویز اندازه گیری $v(k)$ وجود ندارد. ماتریس های کواریانس برای $w(k)$ و $v(k)$ نیز به صورت رابطه های (۱۶) و (۱۷) به ترتیب محاسبه می شود.

$$E[w(k)w^T(j)] = Q(k)\delta(kj) \quad (16)$$

$$E[v(k)v^T(j)] = R(k)\delta(kj) \quad (17)$$

که طبق دو رابطه فوق، E عملگر مقدار مورد انتظار است و $\delta(kj)$ سمبول کرونیکر^۴ است.

مدل جمر و تاثیر آن بر ارتباطات

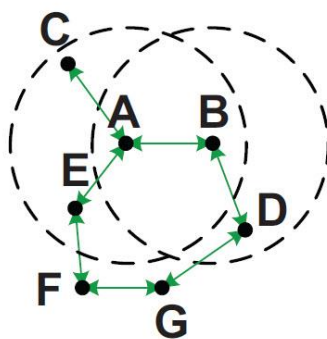
¹ Gain Matrix

² Ricatti Equation

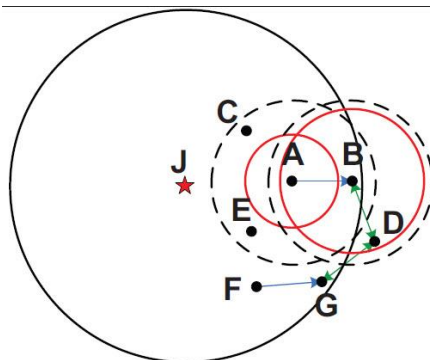
³ Euler

⁴ Kronecker Symbol

یک دستگاه جمر ممکن است به طور مداوم انرژی الکترومغناطیسی روی محیط منتشر کند یا تا زمانی که فعالیت های کانال را احساس نکند، ساکت بماند و سپس شروع به انتقال سیگنال های رادیویی برای خراب شدن پیام های در حال انجام می کند. علیرغم استراتژی های مختلف حمله که ممکن است یک جمر برای تداخل در ارتباطات بیسیم استفاده کند، اهداف و تاثیرات استراتژی ها یکسان است - منظور کاهش نسبت سیگنال به نویز (SNR) پیام ها در یک منطقه هدف است. در این کار، یک جمر ثابت با نفوذ ایزوتروپیک فرض می شود که مرتبا سیگنال های متراکمی را برای برهم زدن ارتباطات در شبکه های حسگر بیسیم منتشر می کند. در این کار فقط یک پارازیت در نظر گرفته می شود و همین طور جمر در نظر گرفته می شود که ثابت است. در شکل (۵)، اثرات حملات جمر بر ارتباطات در یک رادار MIMO-FDA و شکل (۶) بخشی از رادار MIMO-FDA بدون حمله



شکل (۵)، اثرات حملات جمر بر ارتباطات در یک رادار MIMO-FDA



شکل (۶)، رادار MIMO-FDA بدون حمله جمر

به صورت کلی هفت گره شامل $\{A, B, C, D, E, F, G\}$ در این زمینه وجود دارد و دامنه شنود گره های A و B توسط دو دایره خط دار نشان داده می شود. در این جا گره های A و B می توانند از یکدیگر پیام ارسال و دریافت کنند. تمام گره های شکل (۱) دارای ارتباطات دوسویه با گره های مجاور هستند که با خطوط پیکان دو سر نشان داده می شوند. شکل (۲) سناریوی حملات جمر در رادار MIMO-FDA را نشان می دهد. ستاره J نشان دهنده یک جمر است. با استفاده از مدل فضای آزاد بر روی جمر، سیگنال های متراکم با فاصله کاهش می یابند و در دایره ای که مرکز آن جمر است به میزان نویز محیط طبیعی می رسند. از این دایره برای نشان دادن دامنه اثر جمر استفاده می شود که این دایره در مرکز جمر شکل است. دامنه شنود گره ها در محدوده اثر جمر تحت تاثیر حملات جمر، کاهش می یابد. همان طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، محدوده شنود گره A و B از محدوده اصلی، دایره های متلاشی شده، به محدوده جدید تغییر می یابد و دایره های کوچک تر در مرکز خود قرار دارند. طبق مدل استاندارد انتشار فضای آزاد، هنگامی که گره ها به جمر نزدیک تر شوند، قدرت نویز هم بیشتر خواهد شد که باعث می شود دامنه شنود جدید گره A بسیار کمتر از گره B باشد. با دامنه شنود جدید، اگر گره A در محدوده شنود گره B قرار گرفت، در حالی که گره B خارج از محدوده شنوایی گره A است، آن گاه گره های A و B فقط می توانند از گره های A تا B ارتباط یک جهته داشته

باشند و ارتباطات بین گره های داخلی کاملاً مختل می شود. برای این منظور، گره ها به سه بخش تقسیم می شوند که شامل BN یا Boundary Nodes، JN یا Jammer Nodes و UN یا Unaffected Nodes خواهد بود و گره هایی که موقعیت یابی اولیه می شوند توسط UN انتخاب می شوند و رادار MIMO-FDA، اطلاعات حالت استقرار خود را به گره هایی که توسط UN استقرار پیدا کرده اند، می فرستند. در همین حین، یک لیست از گره هایی که موقعیت استقرار و حالات خود را به گره های استقرار یافته توسط UN ارسال می کنند و گره هایی که این کار را نمی کنند به عنوان JN در نظر گرفته می شوند که احتمالاً جمر در آن ها وجود دارد. تمامی اطلاعات این جدول به پایگاه مرکزی یا BS ارسال می شود. این گره های جمر شده می توانند الگوریتم های تشخیص جمر را پیاده سازی کنند و می توانند پیام های جمر شده را برای همسایگان خود پخش کنند. گره هایی که تحت تاثیر جمر قرار نگرفته اند، بسیار دور از پارازیت هستند و به هیچ وجه تحت تاثیر پارازیت قرار نمی گیرند، به عنوان گره D در شکل (۶) این وضعیت را دارد. گره های مرزی یا BN جمر نشده اند، با این حال، بخش هایی از همسایگان آن دچار جمر شده اند. با داشتن ارتباطات عادی با بیشتر گره های همسایه، از این گره های مرزی یا BN می توان برای شناسایی وجود جمر و اندازه گیری برخی از خصوصیات پیام های جمر، مانند RSS استفاده کرد. در شکل (۶)، گره های B و G نزدیک به لبه محدوده، جلوه های گره های مرزی یا BN هستند. از آن جا که گره های مرزی یا BN نزدیک به منطقه جمر هستند، ممکن است پیام های جمر شده را دریافت کنند و الگوریتم پیشنهادی موقعیت یابی جمر این تحقیق می تواند برای تشخیص موقعیت این جمر فعال شود، به عنوان مثال گره های B و G ممکن است پیام های جمر شده ارسالی توسط گره های A و F را به ترتیب در شکل (۶) شناسایی کنند.

به صورت کلی، سه الگوریتم کلاسیک به نام های CL^1 و WCL^2 و $VFIL^3$ برای موقعیت یابی جمر در رادار MIMO-FDA و سایر رادارها و شبکه های کامپیوتری و ماهواره ها وجود دارد. CL و WCL به توزیع گره و تراکم رادار MIMO-FDA حساس هستند و $VFIL$ در برآورد دامنه انتقال جمر مشکل دارد. در وهله اول، چون CL و WCL به ترتیب به مختصات گره های جمر شده در رادار MIMO-FDA و گره های مرزی رادار MIMO-FDA اعتماد می کنند، تحت تاثیر توزیع گره قرار می گیرند. $VFIL$ از یک منطقه دایره ای برای شبیه سازی منطقه جمر شده واقعی استفاده می کند و آن را به صورت تکراری با توجه به توزیع گره در لبه یک منطقه گیر کرده تنظیم می کند. به این ترتیب، از آن جا که تنظیمات تکراری $VFIL$ فقط به گره های نزدیک به منطقه جمر شده متکی هستند، در حالی که هیچ گره داخلی جمر شده نمی تواند بر نتیجه تخمین تاثیر بگذارد، بنابراین $VFIL$ وابستگی الگوریتم به توزیع گره را کاهش می دهد. می توان فهمید که برای غلبه بر این مشکل می توان از یک مفهوم کلاسیک در هندسه یعنی حداقل دایره محدود کننده (4MBC) استفاده کرد. در هندسه، MBC کوچک ترین دایره ای است که به طور کامل شامل مجموعه ای از نقاط است. در محلی سازی مسدودکننده، براساس هم بندی گره های جمر شده محیطی، MBC می تواند به راحتی به هدف $VFIL$ دست یابد، یافتن دایره ای که بتواند همه گره های جمر شده را پوشش دهد، اما هیچ گره مرزی را ندارد. اجرای MBC آسان تر از $VFIL$ است و بدون اطلاع از دامنه انتقال مسدود کننده کار می کند. در مرحله دوم، باید در مورد اشکال $VFIL$ در مورد این فرض که جمر دارای تداخل دایره ای جمر شده است در نظر گرفته شود. در یک محیط واقعی، به دلیل تاثیرات مختلف محیط بر انتشار سیگنال متراکم در جهات مختلف، یعنی بی نظمی رادیویی و انتشار این داده های رادیویی، ممکن است نتوان یک منطقه متراکم دایره ای را شبیه سازی نمود تا فقط همه گره های جمر شده را پوشش دهد. ناحیه جمر شده واقعی همیشه شکلی است که بر اساس دایره شکل گرفته در حالی که لبه آن نامنظم است. این بی نظمی توسط $VFIL$ در نظر گرفته نمی شود و می تواند منجر به خطا شود. بنابراین یک مفهوم هندسی کلاسیک دیگر، حداکثر دایره منقوش (5MIC) برای مقابله با اثرات بی نظمی معرفی شده است. MIC بزرگ ترین دایره منقوش در پوسته محدب مجموعه ای از نقاط است. با استفاده از MIC می توان اثرات بی نظمی رادیویی جمر را کاهش داد. بنابراین، برای بهبود الگوریتم های موجود، الگوریتم محلی سازی دایره مضاعف یا DCL

¹ Centroid Localization

² Weighted Centroid Localization

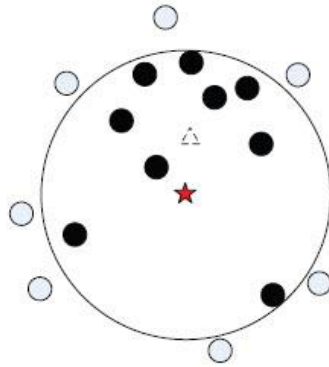
³ Virtual Force Iterative Localization

⁴ minimum bounding circle

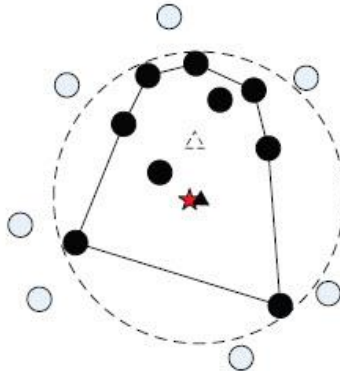
⁵ maximum inscribed circle

توسعه داده می شود که فقط بر اساس هم بندی شبکه بدون هیچ فرض دیگری در مورد منطقه جمر شده کار می کند. این روش پیچیدگی محاسباتی کمتری هم دارد. دایره های دوتایی به حداقل دایره محدود کننده (MBC) و حداکثر دایره منقوش (MIC) اشاره دارند. با ترکیب مراکز دو دایره به عنوان مکان جمر تخمینی، با استفاده از هر دو مفهوم نام برده، نتیجه تخمین با دقت بهتری نسبت به الگوریتم های موجود به دست آورده می شود.

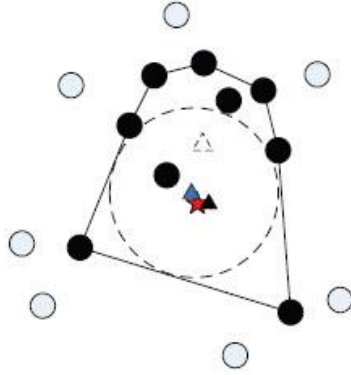
شکل (۷) نمای کلی ساده الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقفی زمان-فضای پیشنهادی این تحقیق را نشان می دهد. در شکل (۷)، یک رادار MIMO-FDA با پارازیت نشان داده شده توسط یک ستاره مشخص است. دایره، ناحیه جمر شده را نشان می دهد، جایی که گره های سیاه داخل آن گره های جمر شده هستند و گره های دیگر خارج از دایره، همه گره های مرزی هستند. همچنین جمر تخمین زده شده را با CL نشان داده می شود، مثلث سفید رنگی که نشان می دهد CL به توزیع گره های جمر شده، حساس است. در شکل (۸)، MBC و مرکز آن را در یک مثلث سیاه نشان داده شده است. مشخص است که یک چند ضلعی وجود دارد و بدنه محدب نامیده می شود که برای محاسبه MBC و MIC استفاده می شود. در شکل (۹)، MIC و مرکز آن در یک مثلث آبی نشان داده شده است. می توان مشاهده کرد که از طریق ترکیب نتایج دو دایره، الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقفی زمان-فضای می تواند تاثیر ناشی از توزیع گره های جمر شده را کاهش دهد و به دقت بیشتری در موقعیت یابی جمر دست یابد.



شکل (۷) نمای کلی ساده الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقفی زمان-فضای پیشنهادی این تحقیق



شکل (۸) نمای کلی ساده الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقفی زمان-فضای پیشنهادی این تحقیق



شکل (۹) نمای کلی ساده الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقفی زمان-فضای پیشنهادی این تحقیق در سه شکل (۷)، (۸) و (۹)، ستاره قرمز رنگ، جمر است، مثلث سفید جمر تخمینی توسط CL است، مثلث سیاه جمر تخمینی توسط MIC است، مثلث آبی جمر تخمینی توسط MBC است، دایره های سیاه گره های جمر شده هستند و دایره های فیروزه ای گره های مرزی هستند. فرض می شود N_{jammer} گره های جمر شده به صورت (X_1, Y_1) ، (X_2, Y_2) ، الی (X_N, Y_N) وجود دارد. از نظر جبری، بدنه محدب X می تواند به عنوان مجموعه تمام ترکیبات محدب زیر مجموعه های محدود نقاط از X به عنوان رابطه (۱۸) مشخص شود.

$$H_{Convex}(X) = \left\{ \sum_{i=1}^k a_i x_i \mid x_i \in X, a_i \in R, a_i \geq 0, \sum_{i=1}^k a_i = 1, k = 1, 2, \dots \right\} \quad (18)$$

در ریاضیات، بدنه محدب برای مجموعه ای از نقاط X در یک فضای برداری واقعی V ، حداقل مجموعه محدب حاوی X است. به زبان ساده، یک بدنه محدب در این جا چند ضلعی ای است که تمام گره های جمر شده را به طور کامل محصور می کند و کمترین تعداد گره در محیط، در شکل (۷) نشان داده شده است. دو ویژگی اصلی در بدنه محدب وجود دارد. ویژگی اول این است که همه گره های چند ضلعی نهایی باید به سمت خارج یا به صورت رسمی تر، محدب باشند. ویژگی دوم و مهمتر دیگر این است که شدیدترین نقطه در هر محور بخشی از بدنه محدب است. در صورتی که نقاط خطی نباشند، بدنه محدب در این حالت یک چند ضلعی محدب است که معمولاً با دنباله ای از رئوس آن که در امتداد مرز آن مرتب شده اند، نشان داده می شود. بعد از فهمیدن گره های جمر شده که روی بدنه محدب، (X_1, Y_1) ، (X_2, Y_2) ، الی (X_N, Y_N) قرار دارند، دو ساختار MBC و MIC با این بدنه محدب محاسبه می شود. در همین حال، برای دستیابی به مقاومت بهتر در برابر توزیع گره و بی نظمی منطقه جمر شده، روش DCL نه تنها از اطلاعات گره های جمر شده بلکه از اطلاعات گره های مرزی نیز استفاده می کند، با فرض این که مختصات آن ها (X'_1, Y'_1) ، (X'_2, Y'_2) ، الی (X'_k, Y'_k) باشد. در این بخش همان فرآیند ها برای اطلاعات گره های مرزی انجام داده می شود و همان طور که قبلاً در اطلاعات گره های جمر شده کار می شود، ساختار اصلی محدب گره های مرزی نیز می بایست پیدا شود که از MBC و MIC بهره جسته می شود. سپس با استفاده از معادلات (۱۹)، مقادیر متوسط این دو به عنوان مقادیر نهایی MBC و MIC تنظیم می شوند.

$$\begin{aligned} (X_{MBC}, Y_{MBC}) &= \left(\frac{X_{mbc} + X'_{mbc}}{2}, \frac{Y_{mbc} + Y'_{mbc}}{2} \right) \\ (X_{MIC}, Y_{MIC}) &= \left(\frac{X_{mic} + X'_{mic}}{2}, \frac{Y_{mic} + Y'_{mic}}{2} \right) \end{aligned} \quad (19)$$

سرانجام با استفاده از معادله (۲۰) نتیجه بهتر به دست آورده می شود.

$$(\hat{X}_{jammer}, \hat{Y}_{jammer}) = (\omega_1 X_{MBC} + \omega_2 X_{MIC}, \omega_1 Y_{MBC} + \omega_2 Y_{MIC}) \quad (20)$$

که در این رابطه، (X_{mic}, Y_{mic}) ، (X_{mbc}, Y_{mbc}) مراکز دایره MIC و MBC هستند و مقادیر ω را می توان با یک رویکرد تجربی تحت شرایط $\omega_1 + \omega_2 = 1$ به دست آورد. در واقع با یک میانگین گیری از نتایج مختصات ره های مرزی یا BN و گره های جمر یا JN می توان موقعیت دقیق جمر را پیدا کرد که رابطه (۲۰) نوشته شده است. بعد از تخمین موقعیت جمر، یک سری اطاعات دیگر نیز می بایست مورد نظر قرار بگیرد، بدین صورت که از اطلاعات گره های جمر یا JN برای ایجاد خوشه های جمر با استفاده از ماتریس محدب پرداخته می شود. همین طور از موقعیت گره های مرزی یا BN برای ایجاد خوشه های مرزی با همین ماتریس محدب پرداخته می شود. حال تعداد گره های جمر شده یا JN و گره های مرزی یا BN تعیین می شود که دو حالت را ایجاد می کند که شام همپوشانی و بدون همپوشانی خواهد بود. سپس خوشه ها ایجاد می شوند که در دو بخش دارای همپوشانی و غیرهمپوشانی خواهند بود. خوشه های بدون همپوشانی به صورت ساده با روش توضیح داده شده تا این جا با الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضای به سادگی جمر و موقعیت آن را تشخیص می دهد. اما در حالت خوشه های دارای همپوشانی، نیاز است تا در ابتدا تعداد خوشه های این زمینه به صورت زیرخوشه تعیین شود و یک اندازه گیری مسافت بین خوشه اولیه همپوشانی شده و تمامی گره های جمر شده صورت گیرد. سپس خوشه هایی مبتنی بر نزدیک ترین گره های جمر شده به خوشه اولیه دارای همپوشانی ایجاد می شوند و سپس میانگین مرکز ثقل خوشه جدید برای حرکت سرخوشه به آن پیدا می شود که برای این کار، از ساختار الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضای استفاده می شود که رابطه تعیین این کار، به صورت (۲۱) است.

$$(\hat{X}_{jammer}, \hat{Y}_{jammer}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}, \frac{\sum_{i=1}^N Y_i}{N} \right) \quad (21)$$

مدل یادگیری عمیق

مسئله الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا، یک چالش و یک فضای جستجو ایجاد می کند. در یک مسئله بهینه سازی مانند الگوریتم یادگیری عمیق برای رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضای N_{var} بعدی یک آرایه x_{Nvar} خواهد بود که موقعیت فعلی برای لایه پیچیش را در شبکه عصبی کانولوشن را نشان می دهد. این آرایه به شکل رابطه (۲۲) تعریف می شود.

$$Convolve = [x_1, x_2, \dots, x_{Nvar}] \quad (22)$$

میزان مناسب بودن (یا مقدار سود) در لایه پیچشی یا $Convolve$ فعلی با ارزیابی تابع در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا (f_p) در $Convolve$ به دست می آید. پس رابطه های (۲۳) و (۲۴) وجود دارد.

$$profit = f_p(Convolve) = f_p(x_1, x_2, \dots, x_{Nvar}) \quad (23)$$

$$\begin{aligned}
& j(x^{(i)}, \dots, x^{(n)}, \theta^{(1)}, \dots, \theta^{(n)}) \\
&= \frac{1}{2} \sum_{(i,j):r(i,j)=1} ((\theta^{(j)})^T x^{(i)} - y^{(i,j)})^2 + \frac{\lambda}{2} \sum_{i=1}^{n_m} \sum_{k=1}^n (x_k^{(i)})^2 + \frac{\lambda}{2} \sum_{i=1}^{n_u} \sum_{k=1}^n (\theta_k^{(j)})^2
\end{aligned} \tag{24}$$

در واقع تابع هدف کلی در بخش در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا به صورت رابطه (24) است. به صورت کلی می بایست تابع فوق را تا جای ممکن برای در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا، کمینه نماییم. در واقع یک حالت حذف بخش های اضافی برای آشکارسازی اهداف چندگانه در رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا می باشد که به صورت کمینه سازی رابطه (25) است.

$$\min_{\substack{x^{(1)}, \dots, x^{(n_m)} \\ \theta^{(1)}, \dots, \theta^{(n_u)}}} j(x^{(1)}, \dots, x^{(n)}, \theta^{(1)}, \dots, \theta^{(n)}) \tag{25}$$

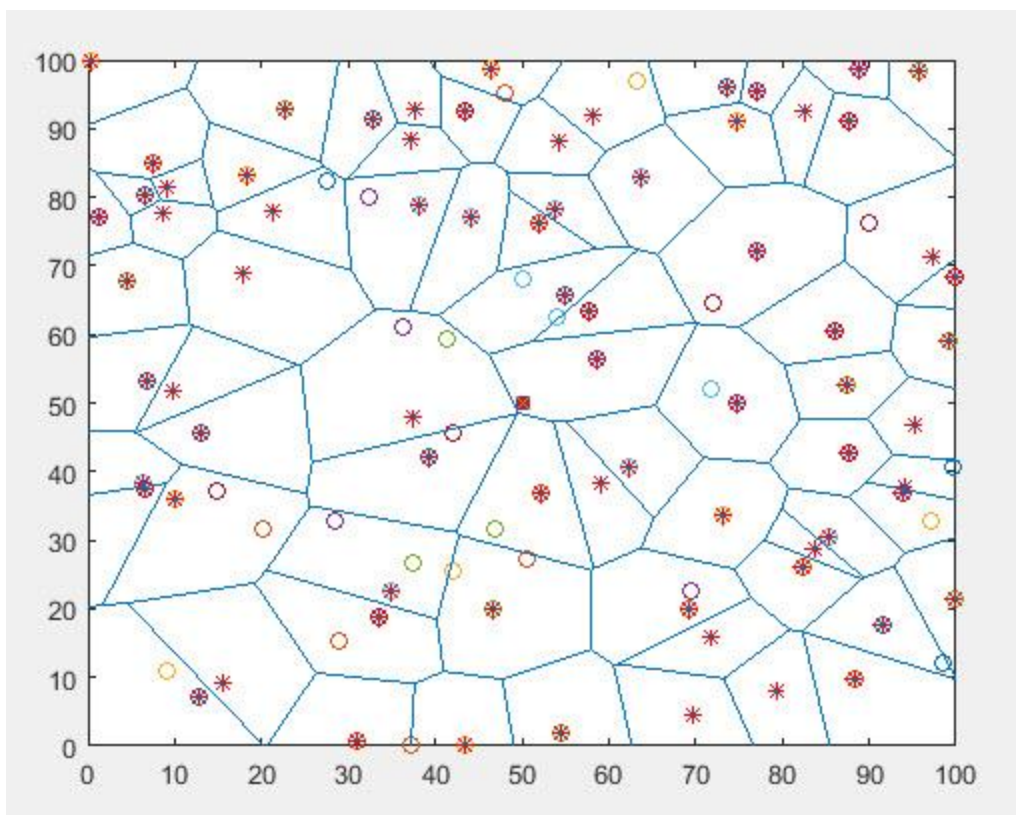
همان طور که دیده می شود ساختار شبکه عصبی کانولوشن به کار گرفته شده، الگوریتمی است که تابع در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا را ماکزیمم می کند. برای استفاده از شبکه عصبی کانولوشن برای حل مسائل کمینه سازی مانند آشکارسازی اهداف چندگانه در رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا، کافی است یک علامت منفی در تابع هزینه ضرب شود. برای شروع الگوریتم بهینه سازی کانولوشن، یک ماتریس *Convolve* به سائز $N_{pop} * N_{var}$ تولید می شود. سپس برای هر کدام از این *Convolve* ها تعدادی تصادفی لایه پولینگ تخصیص می یابد. لایه های پولینگ اصولاً بین ۲ الی ۵ مورد می باشند. این اعداد به عنوان حد بالا و پایین تخصیص پولینگ به هر بخش پیچشی در عمق آموزش در تکرارهای مختلف استفاده می شود. دیگر عادت هر شبکه عصبی کانولوشن مبتنی بر اسپارس، این است که آن ها در یک دامنه مشخص دارای لایه های متصل می باشند. از این رو، حداکثر دامنه لایه های متصل در شبکه عصبی کانولوشن به نام *MaxConnected Layer* نامیده می شود. در یک مسئله بهینه سازی به حد بالای متغیرهای var_{high} و حد پایین var_{low} هر لایه عمقی دارای *MaxConnected Layer* ای خواهد بود که متناسب است با تعداد کل لایه ها، تعداد لایه های فعلی داده های آموزشی و همچنین حد بالا و پایین متغیرهای مسئله. بنابراین *MaxConnected Layer* به صورت رابطه (27) تعریف می شود.

$$Max_{Connected\ Layer} = \alpha \times \frac{Number\ of\ current\ layers}{Total\ number\ of\ layers} \times (Var_{high} - Var_{low}) \tag{27}$$

در رابطه (27)، α متغیری است که حداکثر مقدار *MaxConnected Layer* با آن تنظیم می شود. در رابطه (26) نیز θ لایه ها هستند و در رابطه (26)، λ مقدار ارزیاب است. هر بخش پیچشی در شبکه عصبی کانولوشن فقط $\lambda\%$ از کل نواحی تشخیص داده شده را به سمت هدف ایده آل فعلی طی می کند و یک انحراف φ رادیان نیز دارد. این دو پارامتر به هر بخش پیچشی در شبکه عصبی کانولوشن کمک می کند تا محیط بیشتری را جستجو کنند. λ عددی تصادفی بین ۰ و ۱ است و φ عددی بین $\pi/6$ و $-\pi/6$ هست. وقتی تمام بخش پیچشی در شبکه عصبی کانولوشن به سمت نقطه هدف مهاجرت کردند و نقاط سکونت جدید هر کدام مشخص شد، هر بخش پیچشی در شبکه عصبی کانولوشن صاحب تعدادی لایه می شود. با توجه به تعداد لایه هر بخش پیچشی در شبکه عصبی کانولوشن یک *MaxConnected Layer* برای آن مشخص می شود و سپس ارتباطات با لایه ها شروع می گردد.

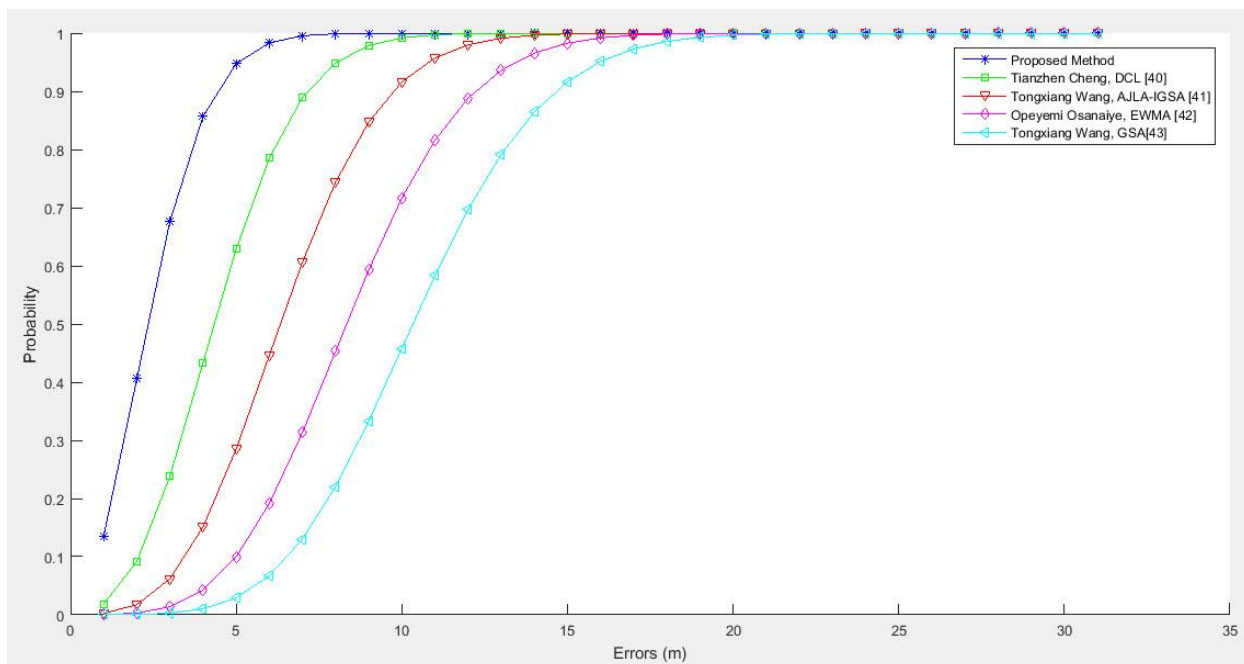
شبیه سازی

حال شبیه سازی در محیط MATLAB صورت می گیرد. آشکارسازی اهداف چندگانه در رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت افقی زمان-فضا به صورت 100×100 متر مربع در نظر گرفته می شود و گره ها در آن به صورت توضیح داده شده استقرار می یابند که تعداد کل گره های حسگر برابر ۱۰۰ است. استقرار گره ها و تعیین جمر و خوشه بندی با رویکرد پیشنهادی به صورت شکل (۱۰) است.



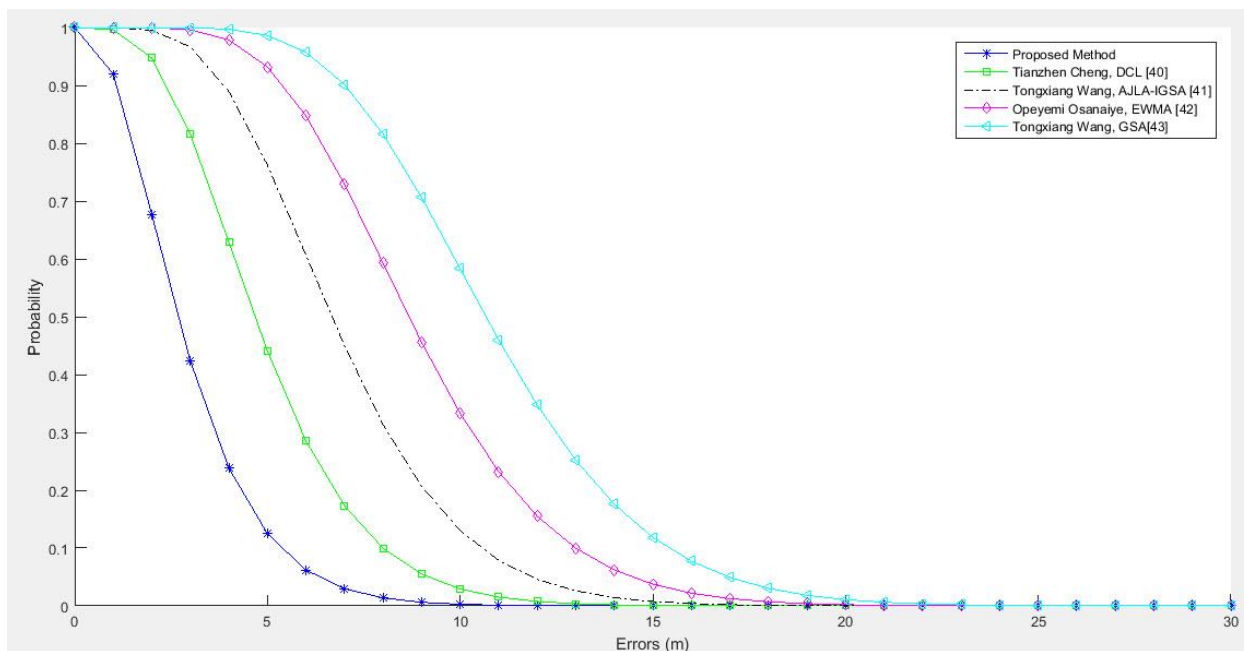
شکل (۱۰)، استقرار رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت افقی زمان-فضا و تعیین جمر

بر اساس شکل (۱۰)، رادار MIMO-FDA استقرار یافته اند. گره هایی که به صورت یک دایره قرمز رنگ هستند، گره هایی هستند که جمر شده اند و گره هایی که به صورت ستاره دار قرمز هستند، احتمال جمر در آن ها زیاد است و سایر گره ها، گره های سالم می باشند. تاثیر تراکم گره های مختلف با دامنه انتقال تنظیم شده روی ۱۰۰ گره حسگر با 20 dBm به صورت شکل (۱۱) است که نمایانگر احتمال بر روی خطا می باشد.



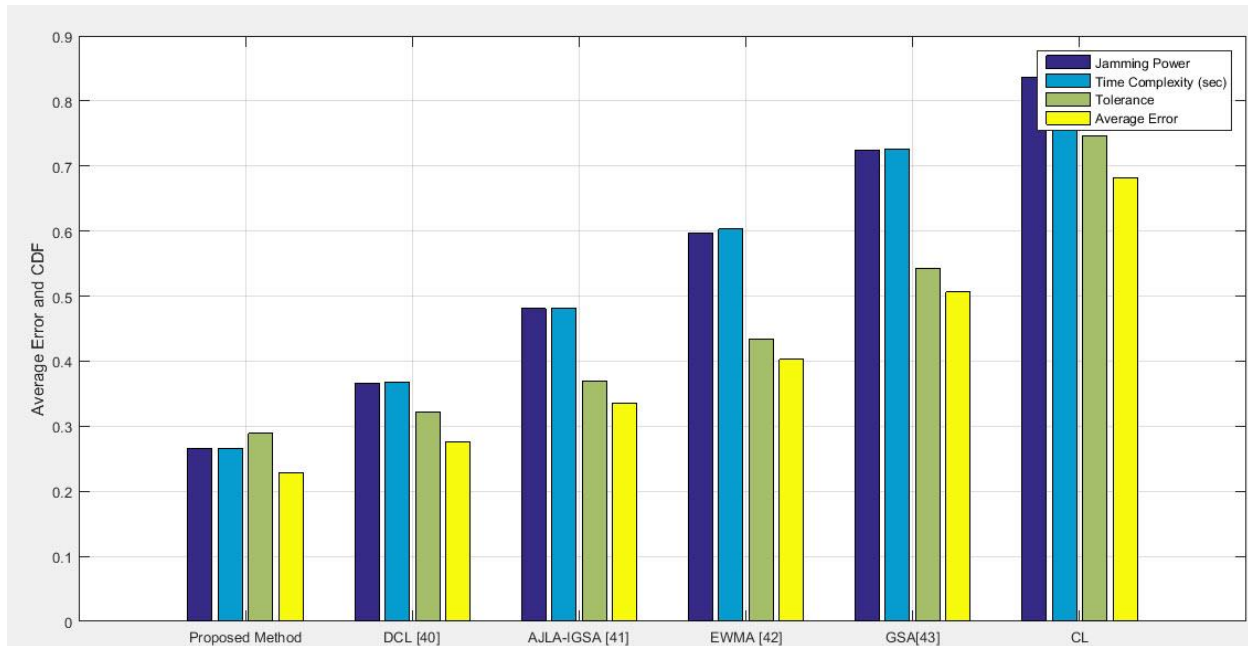
شکل (۱۱). تاثیر تراکم گره های مختلف با دامنه انتقال تنظیم شده روی ۱۰۰ گره حسگر با 20 dBm

بر اساس شکل (۱۱)، مشخص است که رویکرد پیشنهادی این تحقیق نسبت به روش های دیگر شامل روش DCL [۱]، روش AJLA-IGSA [۲]، روش EWMA [۳] و GSA [۴] خیلی سریع تر می تواند احتمال خطا را تشخیص بدهد و موقعیت یابی نماید، گرچه روش های انتخابی نیز بسیار سریع هستند و در بازه زمانی برحسب خطا خیلی سریع به رویکرد پیشنهادی همگرا می شوند، اما رویکرد پیشنهادی توان باثباتی در تعیین احتمال خطاها با سرعت بالاتر دارد. تاثیر توان مختلف انتقال جمر در هنگام تراکم گره ها با ۱۰۰ گره حسگر و 20 dBm به صورت شکل (۱۲) است که نمایانگر آشکارسازی اهداف چندگانه در رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وقتی زمان-فضا است.



شکل (۱۲)، تاثیر توان مختلف انتقال جمر در هنگام تراکم گره ها با ۱۰۰ گره حسگر و ۲۰۰ dbm

در شکل (۱۲)، می توان تاثیر توان مختلف انتقال جمر در تراکم گره ها را مشاهده کرد که رویکرد پیشنهادی با نمودار آبی رنگ، سریع تر از بقیه خطاها را تخمین می زند. همین طور که مشاهده می شود، رویکرد پیشنهادی به نسبت روش های دیگر شامل روش DCL [۱]، روش AJLA-IGSA [۲]، روش EWMA [۳] و GSA [۴]، توانا بالاتری در تعیین خطاهای جمر جهت آشکارسازی اهداف چندگانه در رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا دارد. در انتها، یک مقایسه کلی در شکل (۱۳) صورت می گیرد که تابع توزیع تجمعی یا CDF بر اساس روش های مختلف جهت تعیین توان جمر، پیچیدگی محاسباتی، میزان تحمل خطای کل رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا در نواحی آن ها و میانگین خطاها را نشان می دهد.



شکل (۱۳)، تابع توزیع تجمعی برای روش های مختلف از نظر توان جمر، پیچیدگی محاسباتی، میزان تحمل خطای کل رادار MIMO-FDA در حضور جمینگ و حالت وفقی زمان-فضا در نواحی آن ها و میانگین خطاها

نتیجه گیری

آرایه متنوع فرکانس (FDA) عمدتاً برای دستیابی به محلی سازی هدف تحت شرایط پیچیده پارازیت الکترومغناطیسی اعمال می شود. رادار چند ورودی-چند خروجی (MIMO) با FDA در سال های اخیر مورد توجه همه جانبه قرار گرفته است. یک روش ابتکاری پوشش طرح زیرآرایه ارسال کننده و تخمین واحد پارامترهای سیگنال برای جهت مشترک خروج (DOD)، جهت رسیدن (DOA) و تخمین بُرد پیشنهاد شده است تا آشکارسازی اهداف چندگانه راداری در رادارهای MIMO-FDA به روش پردازش وفقی زمان-فضا در حضور جمینگ به کمک شبکه عصبی عمیق کانولوشنال، انجام گیرد. نتایج شبیه سازی در محیط MATLAB نشان می دهد که آشکارسازی اهداف چندگانه راداری بر اساس تاثیر تراکم گره های مختلف با دامنه انتقال تنظیم شده روی ۱۰۰ گره حسگر با ۲۰ dbm، تاثیر توان مختلف انتقال جمر در هنگام تراکم گره ها با ۱۰۰ گره حسگر و ۲۰۰ dbm و تابع توزیع تجمعی

برای روش های مختلف از نظر توان جمر، پیچیدگی محاسباتی، میزان تحمل خطای کل رادار MIMO-FDA نسبت به روش های مشابه پیشین، بهینه شده است.

مراجع

- [1] P. Antonik, M. C. Wicks, H. D. Griffiths, and C. J. Baker, " Frequency Diverse Array Radars," in Proc. IEEE Radar Conf., Verona, NY, USA, Apr. 2006, pp. 215-217.
- [2] J. Xu, S. Zhu, G. Liao , "Space-time-range adaptive processing for airborne radar systems", IEEE Sensors J., vol.15, no. 3, pp. 1602-1610, Mar. 2015.
- [3] A. Abdalla, W.Q. Wang, Y. Zhao, S. Mohamed, and B. Tang, " Subarray-based FDA radar to counteract deceptive ECM signals, "EURASIP Journal on Advances in signal Processing, vol.58, no.6, pp.3137-3151, June 2016.
- [4] Yisheng YAN; Wen-Qin WANG; Abdul BASIT; Jingye CAI, "Airborne FDA-MIMO Radar Modeling and Detection Performance Analysis," in Radio Engineering Journal, Jun. 2021, Vol. 30 Issue 2, p396-406.
- [5] H. Sun, F. Brigui and M. Lesturgie, "Analysis and comparison of MIMO radar waveforms," 2014 International Radar Conference, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/RADAR.2014.7060251.
- [6] G. Li, Q. Zhang, Y. Luo, K. Li, L. Su and R. Li, "An Anti-jamming Method of ISAR Imaging with FDA-MIMO Radar," 2018 IEEE 10th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), 2018, pp. 490-493, doi: 10.1109/SAM.2018.8448422.
- [7] X. Li, D. Wang, X. Ma and W. Wang, "FDS-MIMO Radar Low-Altitude Beam Coverage Performance Analysis and Optimization," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 66, no. 9, pp. 2494-2506, 1 May1, 2018, doi: 10.1109/TSP.2018.2815011.
- [8] M. Zhang, G. Liao, J. Xu, L. Lan and K. Deng, "ISAR Imaging of Multiple Targets With Time-Delay Receive Array," in IEEE Access, vol. 8, pp. 199759-199767, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3034743.
- [9] D. Cohen, D. Cohen, Y. C. Eldar and A. M. Haimovich, "SUMMeR: Sub-Nyquist MIMO Radar," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 66, no. 16, pp. 4315-4330, 15 Aug.15, 2018, doi: 10.1109/TSP.2018.2838541.
- [10] X. Liu, T. Huang, N. Shlezinger, Y. Liu, J. Zhou and Y. C. Eldar, "Joint Transmit Beamforming for Multiuser MIMO Communications and MIMO Radar," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 68, pp. 3929-3944, 2020, doi: 10.1109/TSP.2020.3004739.
- [11] L. Huang, Z. Zong, H. Wang, L. Huang and Z. Shu, "Multi-Targets Deception Jamming for ISAR With Frequency Diverse Array," IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2019, pp. 2365-2368, doi: 10.1109/IGARSS.2019.8900598.
- [12] W. Wang, "Phased-MIMO Radar With Frequency Diversity for Range-Dependent Beamforming," in IEEE Sensors Journal, vol. 13, no. 4, pp. 1320-1328, April 2013, doi: 10.1109/JSEN.2012.2232909.
- [13] J. Xu, G. Liao, S. Zhu, L. Huang and H. C. So, "Joint Range and Angle Estimation Using MIMO Radar With Frequency Diverse Array," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 63, no. 13, pp. 3396-3410, July1, 2015, doi: 10.1109/TSP.2015.2422680.
- [14] M. Tan, C. Wang, B. Xue and J. Xu, "A Novel Deceptive Jamming Approach Against Frequency Diverse Array Radar," in IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 6, pp. 8323-8332, 15 March15, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2020.3045757.
- [15] S. Mehmood, A. N. Malik, I. M. Qureshi, M. Z. U. Khan and F. Zaman, "A Novel Deceptive Jamming Approach for Hiding Actual Target and Generating False Targets", Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2021, Article ID 8844630, 20 pages <https://doi.org/10.1155/2021/8844630>.

- [16] Ning Tai, Chao Wang and Nai-Chang Yuan. Deceptive jamming method for countering ISAR based on electromagnetic scattering property. *Advances in Engineering Research (AER)*, Volume 117, 2nd Annual International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Information Science (EEEIS 2016), Pages 147-152, 2016.
- [17] Moufa Hu, Lei Gao, and Zhiyong Zhang. Comprehensive evaluation on ISAR anti-jamming effectiveness via ELECTRE-III. 2013 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 26-28 Aug. 2013, Yinchuan, China.
- [18] Zhidong Liu, Qun Zhang, and Kaiming Li. An Anti-Jamming Method against Two-Dimensional Deception Jamming by Spatial Location Feature Recognition. *Sensors*, Volume 21, No. 22, 7702, 2021.
- [19] Yuan Cheng, Jindong Zhang, Chen Li, and Daiyin Zhu. Orthogonal anti-jamming waveform design with extended Doppler tolerance based on the LFM-PC signal. *Digital Signal Processing*, Volume 122, 15 April 2022, 103334.
- [20] Zheng-Zhao Tang, Yang-Yang Dong, Chun-Xi Dong, Xin Chang, and Guo-Qing Zhao. A Deception Jamming Method Countering Bi- and Multistatic ISAR Based on Micro-Doppler Effect. *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2018, Article ID 3689382, 2018.
- [21] C. Tison, N. Pourthi and J.C. Souyris "Target recognition in SAR images with support vector machine (SVM)." *Proc. IGARSS*, pp.456 -459, 2007.
- [22] A. Sun, W. Hu, Y. Xiong, J. Li and Q. E. Wu, "A hierarchical target recognition method based on image processing." *Artificial Intelligence Research*, Vol. 3, No. 3, pp. 1- 10, 2014.
- [23] P. Rodríguez, D. Bocanegr, R. Fernández and I. Bravo, "Singular Value Decomposition applied to automatic target recognition with high resolution range profiles." *Proc. Int. Elec. Sensors and Applications*, pp. 1-6, 2014.
- [24] S. Liu and Z. Cao. "SAR image target detection in complex environments based on improved visual attention algorithm." *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 54, No. 2, pp. 134-141, 2014.
- [25] Z. Cao, Y. Ge, and J. Feng. "Fast target detection method for high-resolution SAR images based on variance weighted information entropy." *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, Vol. 48, No. 1, 2014.
- [26] Deodato Tapete, Francesca Cigna and Daniel N.M. Donoghue. "Looting marks in space-borne SAR imagery: Measuring rates of archaeological looting in Apamea (Syria) with TerraSAR-X Staring Spotlight." *Remote Sensing of Environment*, Vol. 178, pp.42–58, 2016.
- [27] Guo Jiao, Xu Youshuan and Fu Longsheng. "An extended chirp scaling algorithm for spaceborne sliding spotlight synthetic aperture radar imaging." *Chinese Society of Aeronautics and Astronautics*, Vol. 27, No. 4, pp. 892-902, 2014.
- [28] Kuang Hui, Chen Jie, Yang Wei and Liu Wei. "An improved imaging algorithm for spaceborne MAPs sliding spotlight SAR with high-resolution wide-swath capability." *Chinese Society of Aeronautics and Astronautics*, Vol. 28, No. 4, pp. 1178- 1188, 2015.
- [29] Luluk D. Handayani, Bambang H. Trisasongko and Boedi Tjahjono. "Geomorphology analysis of lava flow of Mt. Guntur in West Java using Synthetic Aperture Radar (SAR) with fully polarimetry." *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 24, pp. 303- 307, 2015.
- [30] Kazim Hanbay and M. Fatih Talu. "Segmentation of SAR images using improved artificial bee colony algorithm and neutrosophic set." *Applied Soft Computing*, 2014.
- [31] Jia Liu, Maoguo Gong, Qiguang Miao, Linzhi Su and Hao Li. "Change detection in synthetic aperture radar images based on unsupervised artificial immune systems." *Applied Soft Computing*, Vol. 34, pp. 151-163, 2015.
- [32] Hao Li, Maoguo Gong, Qiao Wang, Jia Liu and Linzhi Su. "A multiobjective fuzzy clustering method for change detection in SAR images." *Applied Soft Computing*, 2015.
- [33] Dongdong Yang, Rong Fei, Junliang Yao and Maoguo Gong. "Two-stage SAR image segmentation framework with an efficient union filter and multi-objective kernel clustering." *Applied Soft Computing*, Vol. 44, pp. 30-44, 2016.

- [34] Paolo Trivero, Maria Adamo, Walter Biamino, Maria Borasi, Marco Cavagnero, Giacomo De Carolis, Lorenza Di Matteo, Fabio Fontebasso, Francesco Nirchio and Francesco Tataranni. "Automatic oil slick detection from SAR images: Results and improvements in the framework of the PRIMI pilot project." *Deep-Sea Research II*, 2016.
- [35] Jia Li, Zhi-wei Li, Xiao-li Ding, Qi-jie Wang, Jian-jun Zhu and Chang-Cheng Wang. "Investigating mountain glacier motion with the method of SAR intensity-tracking: Removal of topographic effects and analysis of the dynamic patterns." *Earth-Science Reviews*, Vol. 138, pp. 179-195, 2014.
- [36] Ronghua Shang, Liping Qi, Licheng Jiao, Rustam Stolkin and Yangyang Li. "Change detection in SAR images by artificial immune multi-objective clustering." *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2014.
- [37] Yoshihiro Hirooka, Koki Homma, Masayasu Maki and Kosuke Sekiguchi. "Applicability of synthetic aperture radar (SAR) to evaluate leaf area index (LAI) and its growth rate of rice in farmers' fields in Lao PDR." *Field Crops Research*, Vol. 176, pp. 119-122, 2015.
- [38] Liqin Zhu, Peng Zhang, Dongmei Li, Xiuquan Zhu and Chao Wang. "A novel change detection method based on high-resolution SAR images for river course." *Optic Journal*, Vol. 126, pp. 3569-3668, 2015.
- [39] J.I. Fernández-Michelli, M. Hurtado, J.A. Areta and C.H. Muravchik. "Unsupervised classification algorithm based on EM method for polarimetric SAR images." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 117, 2016, pp. 56-65.
- [40] P. Antonik, M. C. Wicks, H. D. Griffiths, and C. J. Baker. "Frequency Diverse Array Radars." In *Proc. IEEE Radar Conf.*, Verona, NY, USA, Apr. 2006, pp. 215-217.
- [41] J. Xu, S. Zhu, G. Liao. "Space-time-range adaptive processing for airborne radar systems." *IEEE Sensors J.*, Vol.15, No. 3, Mar. 2015, pp. 1602-1610.
- [42] A. Abdalla, W.Q. Wang, Y. Zhao, S. Mohamed, and B. Tang. "Subarray-based FDA radar to counteract deceptive ECM signals." *EURASIP Journal on Advances in signal Processing*, Vol.58, No.6, June 2016, pp.3137-3151.
- [43] Yisheng YAN, Wen-Qin WANG, Abdul BASIT, Jingye CAI. "Airborne FDA-MIMO Radar Modeling and Detection Performance Analysis." In *Radio Engineering Journal*, Vol. 30 Issue 2, Jun. 2021, pp. 396-406.