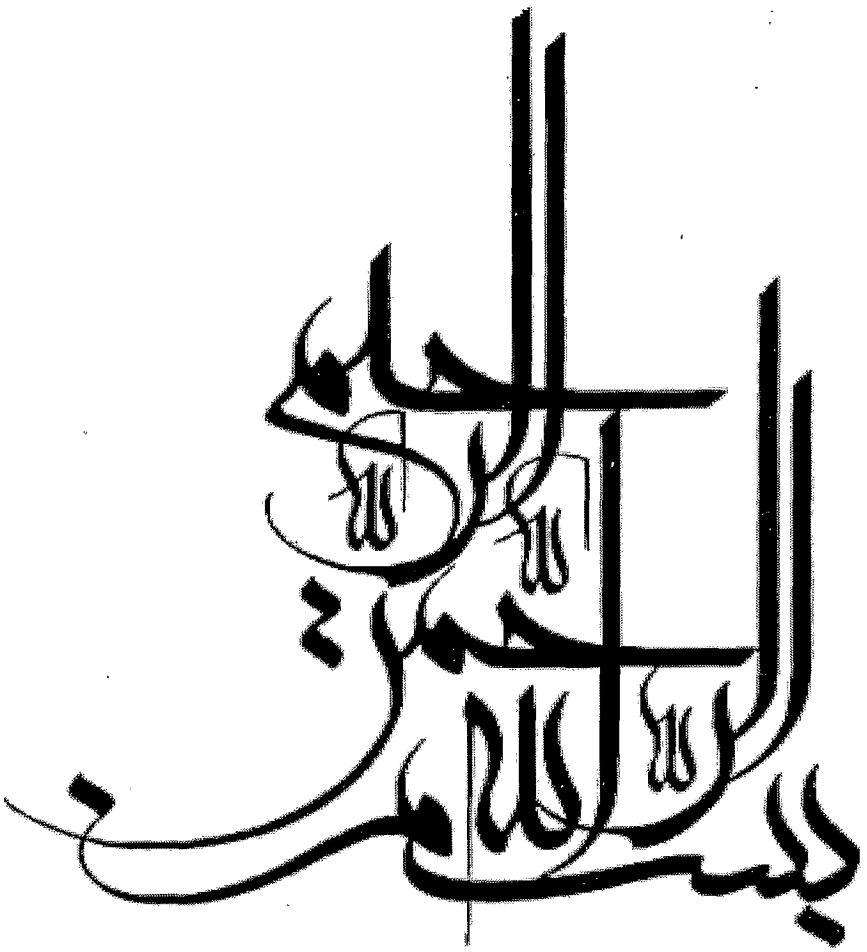


١٢٤٨٥٨

دانـــشگاه یـــــزد

دانشکده برق و کامپیوتر

گروه مهندسی مخابرات

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق، مخابرات

آشکارسازی سیگنال رادارهای چند ورودی- چند خروجی در حضور کلاتر

استاد راهنما: دکتر محمد رضا تابان

استاد مشاور: دکتر علی اکبر تدین تفت

پژوهش و نگارش: علی قبادزاده

۱۳۸۸/۷/۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
شعبه مدارک

اسفند ۱۳۸۷

۱۲۶۸۵۸

گرمای وجودت دلگرمی، دعای خیرت قوت جانم و صبر و استواری تو امید قلبم،

این چند برگ تقدیم به

پدر

مادر

و

همسرم

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌بینم تا از زحمات بی دریغ استاد فرزانه و ارجمندم جناب آقای **دکتر تابان** نهایت قدردانی و تشکر را به جا آوردم. چرا که راهنمایی‌های بی‌شاعبه و نکته سنجی‌های استادانه ایشان چون چراغی بر راه انجام این پروژه می‌درخشید. همچنین از جناب آقای **دکتر تدین** نهایت تشکر را دارم، ایشان علیرغم مشغله فراوان با کمال دقت و حوصله بر تمام کارهای انجام شده در این پروژه نظارت داشته و خستگی ناپذیر زحمت مشاوره‌ی این کار را بر عده داشتند.

مدیریت تحصیلات تکمیلی	صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد	شناسه: ب/ک/۳

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای/ خانم: علی قبادزاده دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: برق- مخابرات

تحت عنوان: آشکار سازی سیگنال رادارهای چند ورودی – چند خروجی در حضور کلاتر

و تعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱۳۸۷/۱۲/۷ باحضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۹۸ به حروف نوزده ونود وهشت صدم

و درجه عالی مورد تصویب قرارگرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد/ استادان راهنما:	دکتر محمد رضا تابان	
استاد/ استادان مشاور:	دکتر علی اکبر تدین تفت	
متخصص وصاحبنظرداخلی:	دکتر قاسم میرجلیلی	
متخصص و صاحبنظر خارجی:	دکتر مصطفی درختیان	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: ولی کلاتر

امضاء

چکیده:

در این پروژه آشکارسازهای GLR، UMPI و LMPI برای تشخیص وجود و عدم وجود هدف در یک سیستم رادار چند ورودی – چند خروجی (MIMO) در حضور نویز گوسی با فرض مجهول بودن واریانس نویز و ضرایب کانال MIMO استخراج شده است. همچنین نشان داده می‌شود آشکارساز UMPI در این مسأله تنها با معلوم بودن پارامتر سیگنال به نویز محقق می‌شود. همچنین نشان می‌دهیم این آشکارسازها در تداخل گوسی دارای خاصیت CFAR می‌باشند و احتمال هشدار غلط آن‌ها با تغییر واریانس نویز ثابت است.

در ادامه نشان می‌دهیم مسأله تشخیص وجود و عدم وجود هدف در حضور کلاتر گوسی با ماتریس کوواریانس مجهول یک مسأله پایا تحت دو گروه تبدیل مقیاس و شبه یکانی است؛ بنابراین با استفاده از یک آماره پایای ماکسیمال آشکارساز UMPI را در این حالت بدست می‌آوریم. دیده می‌شود این آشکارساز تنها با فرض معلوم بودن نسبت کلاتر به سیگنال در ابعاد مختلف ماتریس کوواریانس قابل پیاده‌سازی است. همچنین در این پروژه آشکارساز GLR را در حضور کلاتر شبه گوسی بررسی می‌کنیم که دیده می‌شود متأسفانه GLR مستقل از مشاهدات بدست می‌آید، در همین راستا با استفاده از لم نگاشت فضای مشاهدات که در همین پروژه ارایه می‌شود آشکارساز جدیدی تحت عنوان Extended GLR را تحقق می‌دهیم. دیده می‌شود عملکرد این آشکارساز مناسب است و با کاهش توان کلاتر به سیگنال به حد بهینه UMPI میل می‌کند.

همچنین در این پروژه آزمون فرضیه وجود و عدم وجود هدف را در حضور کلاتر شبه گوسی با ماتریس کوواریانس مجهول و پارامتر توان مجهول مورد بررسی قرار می‌دهیم. دیده می‌شود این مسأله نیز نسبت به دو گروه تبدیل مقیاس و شبه یکانی پایا است. با استفاده از آماره پایای ماکسیمال آشکارساز UMPI را برای این مسأله تحقق می‌دهیم که دیده می‌شود مجدداً با فرض معلوم بودن پارامترهای توان کلاتر به سیگنال در ابعاد مختلف ماتریس کوواریانس این آشکارساز

قابل پیاده‌سازی است. در ادامه با استفاده از دست‌آورد مشابه در بخش تداخل گوسی، آشکارساز EGLR را برای این مسأله تحقق می‌دهیم دیده می‌شود آماره تصمیم‌گیری EGLR در حالت تداخل گوسی رنگی و شبه گوسی دقیقاً یکسان است.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه

مقدمه، مروری بر تئوری رادار ۵

۱-۱-رادارهای چندپایه از ابتدا تا MIMO ۵

۱-۲- مدلسازی کلاسیک آماری سیگنال و تداخل ۱۵

۱-۲-۱ مدلسازی سیگنال هدف ۱۶

مدل سورلینگ ۱ ۱۷

مدل شبه سورلینگ ۴ ۱۸

مدلسازی تداخل ۱۹

فصل دوم مدلسازی سیگنال رادارهای چند ورودی- چند خروجی ۲۲

۲-۱-مدل پراکندگی سیگنال دریافتی هدف – شرایط ناهمبستگی کانال در MIMO رادار ۲۳

۲-۲- مدل سیگنال دریافتی از هدف توسط گیرنده‌ها-طرح مسأله آشکارسازی هدف در تداخل گوسی ۳۰

۲-۳-طرح مسأله آشکارسازی هدف در تداخل شبه گوسی ۳۷

۲-۳-۱-معرفی تداخل شبه گوسی و معادلات تحلیلی آن ۳۷

۲-۳-۲-آزمون فرضیه وجود و عدم وجود هدف در MIMO رادار در حضور کلاتر شبه گوسی ۴۲

فصل سوم، آشکارسازی هدف در نویز سفید ۴۵

۳-۱-معیار نیمن-پیرسون و آشکارساز UMP برای مسأله MIMO رادار ۴۶

۳-۲-آشکارساز GLR برای مسأله تشخیص وجود و عدم وجود هدف در نویز سفید گوسی ۴۸

۳-۳-آشکارساز UMPI برای مسأله تشخیص وجود و عدم وجود هدف در نویز سفید گوسی ۵۲

۳-۴-آشکارساز LMPI برای مسأله تشخیص وجود و عدم وجود هدف در نویز سفید گوسی ۶۱

۳-۵- خاصیت CFAR برای آشکارسازهای GLR، LMPI و UMPI و بررسی تحلیلی عملکرد آن‌ها ۶۳

۳-۵-۲-نتایج شبیه‌سازی برای آشکارسازهای GLR، LMPI و UMPI ۶۵

فصل چهارم آشکارسازی هدف در حضور کلاتر گوسی ۶۸

۴-۱-آشکارساز EGLR برای تشخیص وجود هدف در کلاتر گوسی با پارامترهای مجهول ۶۹

۴-۱-۱-بررسی عملکرد آشکارساز GLR ۶۹

۴-۱-۲-استخراج آشکارساز EGLR ۷۲

۴-۲-آشکارساز UMPI برای تشخیص وجود و عدم وجود هدف در کلاتر گوسی ۷۸

۴-۲-۱-گروه‌های تبدیل مسأله ۷۸

۴-۲-۲-استخراج یک پایای ماکسیمال برای G ۸۱

۴-۲-۳-توابع چگالی پایای ماکسیمال تحت هرفرضیه و نسبت درستنمایی آن ۸۳

۴-۲-۴-پایایی آشکارساز EGLR ۹۰

۴-۳-شبیه‌سازی کامپوتری ۹۱

فصل پنجم آشکارسازی هدف در حضور کلاتر شبه گوسی ۹۵

۵-۱-آشکارساز EGLR برای تشخیص وجود هدف در کلاتر شبه‌گوسی با پارامترهای مجهول ۹۶

۵-۱-۱-بررسی عملکرد آشکارساز GLR ۹۶

۵-۱-۲-استخراج آشکارساز EGLR ۹۹

۵-۲-آشکارساز UMPI برای تشخیص وجود و عدم وجود هدف در کلاتر گوسی ۱۰۴

۵-۲-۲-یک پایای ماکسیمال برای G و تابع چگالی احتمال آن ۱۰۸

۵-۳-شبیه‌سازی کامپوتری ۱۱۲

فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۱۶

مراجع ۱۲۳

فهرست جداول و اشکال

شکل۱-۱- ساختار کلی آنتن‌های رادار آرایه فازی ۸

شکل ۲-۱-ساختار کلی یک رادار توزیعی ۸

شکل۳-۱- تغییرات RCS یک هدف با مدل آماری ۱۰

شکل۴-۱- موقعیت‌یابی سلول تحت تست در رادار WSA در فضای دو بعدی ۱۳

شکل ۵-۱- مقایسه‌ی ساختار کلی دو رادار CLA و آرایه فازی. ۱۴

شکل۱-۶- مقایسه توابع توزیع احتمال رایلی، K و ویبول برای دامنه داده‌های رادار Mc-Master-IPIX ۱۵

شکل ۲-۱- مدل آماری هدف به صورت بازسازی آن با پراکندگی‌های سطحی ۲۶

شکل ۲-۲ ساختار کلی تولید بردار تصادفی شبه گوسی ۴۲

شکل ۳-۱- تعبیر فیزیکی خاصیت پایایی در آشکارسازهای پایا ۵۵

شکل ۳-۲- احتمال آشکارسازی بر حسب نسبت سیگنال به نویز به ازای $P_{fa}=10^{-3},10^{-2}$ ، $K=4$ ، $L=2$ و $N=20$ ۶۷

شکل ۳-۳- نمای نردیک از شکل ۳-۲ (کهش سیگنال به نویز) ۶۸

شکل ۳-۳- نمای نردیک از شکل ۳-۲ (افزایش سیگنال به نویز) ۶۸

شکل ۳-۵-احتمال آشکارسازی بر حسب احتمال هشدار غلط به ازای سیگنال به نویز $\rho=0.5\text{db}$ ۶۸

شکل ۳-۶-احتمال هشدار غلط به ازای تغییرات واریانس نویز ۶۹

شکل ۴-۱: خطوط حاصل از مشتق‌گیری از یک تابع دو متغیره ۷۶

شکل ۴-۲: نمودار P_d بر حسب P_{fa} آشکارساز EGLR در مقایسه با باند بهینه UMPI به ازای سه حالت $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=K=10$ و $N=5$ ۹۳

شکل ۴-۳: نمودار P_d بر حسب CSSR آشکارساز EGLR در مقایسه با باند بهینه UMPI به ازای سه حالت $P_{fa}=10^{-4},5\times10^{-4},10^{-3}$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=K=10$ و $N=5$ ۹۳

شکل ۴-۴: نمودار P_d بر حسب P_{fa} برای دو آشکارساز EGLR و باند UMPI به ازای $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=12,K=10$ ۹۴

شکل ۴-۵: نمودار P_d بر حسب P_{fa} برای دو آشکارساز EGLR و باند بهینه UMPI به ازای $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=10,K=7$ ۹۴

شکل ۵-۱: نمودار P_d بر حسب P_{fa} آشکارسازهای EGLR و باند UMPI در حالت کلاتر K به ازای $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=K=10$ و $N=5$ ۱۱۴

شکل ۵-۲: نمودار P_d بر حسب CSSR آشکارسازهای EGLR و باند UMPI در حالت کلاتر K به ازای $P_{fa}=10^{-4},5\times10^{-4},10^{-3}$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=K=10$ و $N=5$ ۱۱۴

شکل ۵-۳: نمودار P_d بر حسب P_{fa} آشکارسازهای EGLR و باند UMPI به ازای $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=12,K=10$ ۱۱۵

شکل ۵-۴: نمودار P_d بر حسب P_{fa} آشکارسازهای EGLR و باند UMPI به ازای $CSSR=0db,5db,10db$ در یک سیستم MIMO رادار با $L=10,K=7$ ۱۱۵

فصل اول:

مقدمه،

مروری بر تئوری رادار

مقدمه:

امروزه استفاده عملی از آمار گسترش وسیعی در علوم فنی و مهندسی، اقتصاد، پزشکی و فیزیک و دیگر زمینه‌های علوم بشر یافته است. عدم دسترسی به اطلاعات صحیح و بدون خطا، محققان را به سوی مدلسازی آماری وقایع طبیعی سوق داده است. مدلسازی وقایع طبیعی بوسیله فرایندهای تصادفی و بررسی رفتار آن‌ها با پردازش‌های آماری پیشرفت‌های قابل توجهی را پیش‌روی علوم و تکنولوژی نهاده است. در این میان تئوری تصمیم‌گیری به عنوان شاخه‌ای از پردازش آماری جایگاه ویژه‌ای در پیشرفت علوم مهندسی یافته است.

شالوده ریاضی تئوری تصمیم‌گیری اولین بار توسط دو آماردان برجسته، نیمن[۱] و پیرسون[۲] در دهه سی میلادی ریخته شد [۱]. در ادامه افرادی چون کارلین[۳]، روبین[۴]، لمن[۵] و شفه[۶] آن را به شکل امروزی بسط دادند [۱].

در مهندسی برق آشکارسازی سیگنال در نویز با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری برای اولین بار توسط نورث[۷] پیشنهاد شد، ولی به دلیل اهمیت موضوع مقاله وی بیست سال محرمانه باقی ماند. در ادامه با پیشرفت تکنولوژی رادار محققانی چون مارکوم[۸] و سورلینگ[۹] تئوری آشکارسازی راداری را بنا کردند [۲]. متأسفانه پیچیدگی‌های عملیاتی و بنیادی این شاخه موجبات رویکرد حسی محققان در مواجه با حل مسائل آشکارسازی را فراهم ساخته است. این درحالیست که روش‌های محکم، بنیادی و ظریفی در متون آماری برای حل مسائل پیچیده موجود است.

---

[1] Neyman
[2] Pearson
[3] Karlin
[4] Rubin
[5] Lehmann
[6] Sheffe
[7] North
[8] Marcum
[9] Swerling

هدف اصلی ما در این پروژه بررسی مسأله تشخیص وجود و عدم وجود هدف در رادارهای چند ورودی چند خروجی با استفاده از روش‌های آماری تئوری تصمیم‌گیری است. به این منظور در این پروژه آشکارسازهای پایا به عنوان رهیافت اصلی حل مسأله انتخاب شده‌اند. خواص پایایی علاوه بر اینکه ما را به سوی استخراج آشکارسازهایی با مبنای ریاضی محکم رهنمون می‌کنند در برخی مسائل خواص جالبی از خود نشان می‌دهند. یکی از خواصی که در این پروژه برای آشکارسازهای پایا در مسأله رادارهای چند ورودی چند خروجی استخراج شده است، خاصیت CFAR[1] است که در مسائل رادار اهمیت بسزایی دارد.

در حالت کلی منظور از یک آزمون آماری، قاعده‌ای است که بوسیله آن درستی یکی از دو یا چند فرضیه را بر اساس یک دسته مشاهدات بررسی می‌کند. به عنوان مثال یک سیستم راداری را در نظر بگیرید، فرض کنید رادار سیگنالی را به فضای اطرافش منتشر کرده و سیگنال بازتابی را دریافتی نموده است. در این حالت دو فرض تعریف می‌شود، فرضیه H_0 را به عدم وجود هدف و فرضیه H_1 را به وجود هدف در فضای اطراف رادار نسبت می‌دهیم. از آنجایی که سیگنال دریافتی عموماً با نویز یا منعکس‌کننده‌هایی غیر از هدف همراه است، تصمیم‌گیری در مورد وجود و عدم وجود هدف به اطلاعات آماری در مورد رفتار نویز سیگنال هدف و دیگر منعکس‌کننده‌ها بستگی دارد. ممکن است طی یک پردازش فرضیه H_1 را انتخاب کنیم ولی در واقع فرضیه H_0 صحیح باشد. در این حالت خطای نوع اول در پردازش رخ داده‌است. به احتمال چنین رخدادی احتمال هشدار غلط P_{fa} [2] گفته می‌شود. ممکن است طی همان پردازش فرضیه H_0 را تأیید کنیم در حالی که در حقیقت فرضیه H_1 صحیح باشد، در این صورت دچار خطای نوع دوم شده‌ایم و احتمال وقوع آن را با P_m نشان می‌دهیم. براحتی می‌توان دریافت که احتمال آشکارسازی درست $P_d = 1 - P_m$ است.

---

[1] Constant False Alarm
[2] Probability of False Alarm

یکی از مهمترین و پر کاربردترین معیارهای آشکارسازی معیار نیمن پیرسون است. در این معیار آشکارساز به‌گونه‌ای عمل می‌کند که به ازای هر P_{fa} دلخواه و ثابت، P_d را بیشینه کند. می‌توان نشان داد آشکارساز بهینه در این معیار از مقایسه نسبت درستنمایی با یک سطح آستانه حاصل می‌شود [۱]. نسبت درستنمایی، نسبت توابع چگالی احتمال شرطی مشاهدات تحت فرضیه H_1 به H_0 می‌باشد. در این آشکارساز سطح آستانه با توجه به P_{fa} مورد نظر بدست می‌آید.

در یک مسأله آزمون فرضیه در صورتی که توابع چگالی احتمال تحت هر فرضیه هر فرض کاملاً مشخص باشند و شامل هیچ پارامتر مجهولی نباشند آزمون فرضیه را ساده می‌گوییم [۱]. در صورتی که در مدل مسأله آزمون فرضیه حداقل یک پارامتر مجهول موجود باشد آزمون فرضیه را مرکب می‌گویند [۱]. در صورتی که بتوان نسبت درستنمایی را به گونه‌ای ساده کرد که پارامترهای مجهول حذف شوند و محاسبه سطح آستانه نیز به پارامترهای مجهول مسأله بستگی نداشته باشد در این صورت به آشکارساز به‌طور یکنواخت پرتوان‌ترین یا UMP[1] می‌رسیم. متأسفانه در اکثر مسائل عملی آزمون UMP موجود نیست بنابر این باید در کلاس‌های زیر بهینه آشکارسازی را انجام داد. در آمار کلاسیک، دو کلاس مهم آشکارساز UMPI[2]، آشکارساز بهینه در کلاس آشکارسازهای پایا و UMPU[3]، در کلاس آشکارسازهای نا[4]اریب مطرح می‌باشند. در این پروژه در ساختار زیر بهینه دسته آشکارسازهای پایا را برای آشکارسازی انتخاب کرده‌ایم. در فصل سوم به تفصیل در مورد این دسته از آشکارسازها بحث شده است.

---

[1] Uniformly Most Powerfull
[2] Uniformly Most Powerful Invariant
[3] Uniformly Most Powerful Unbiased
[4] Unbiased

۱-۱- رادارهای چندپایه، از ابتدا تا MIMO[1]

در دو دهه اخیر استفاده از آرایه‌های فعال در سیستم‌های رادار توسعه یافته است[۲-۶]. در این راستا استفاده از تکنیک‌های پیشرفته پردازش آماری سیگنال[2] در طراحی فرستندها و گیرندها از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد[۴]. مهمترین کاربرد این تکنیک‌ها در تشخیص وجود و عدم وجود هدف و تخمین پارامترهایی از قبیل موقعیت، جهت، داپلر و قدرت مانور هدف می‌باشد. در مراجع نشان داده شده است که استفاده از سیستم‌های چند پایه، عملکرد رادار را در مقایسه با رادارهای معمولی بسیار افزایش می‌دهد [۴-۶]. به عنوان اولین دسته از رادارهای چند پایه می‌توان به رادارهای آرایه-فازی اشاره نمود. در این سیستم‌ها یک آرایه وظیفه ارسال یک سیگنال مشخص را به عهده دارد. در گیرنده نیز با استفاده از آرایه، سیگنال بازتاب شده در اثر برخورد با هدف، دریافت می‌شود. سیستم گیرنده با توجه به سیگنال دریافتی آرایه، پردازش برای آشکارسازی هدف و تخمین پارامترها را به عهده دارد. سیستم‌های آرایه-فازی از روش‌هایی مبتنی بر شکل دهی بیم[3] در فرستنده و گیرنده سود می‌برد. در حالت کلی این پردازش‌ها به گونه ای است که یک تابع معیار مانند نسبت سیگنال به نویز را بهینه کنند. در مراجع این دسته از پردازش آرایه‌ای، پردازش همدوس[4] نامیده می‌شود [۳]. با استفاده از این تکنیک، می‌توان بیم آرایه را در هر جهت دلخواه در فضا متمرکز نمود[۳و۶]. در این صورت حداکثر انرژی در فرستنده به نقطه دلخواه از فضا ارسال خواهد شد. استفاده از رادارهای آرایه-فازی نه تنها پیچیدگی‌های ساخت آنتن‌هایی با بیم باریک را مرتفع ساخته‌اند، بلکه موجب صرفه جویی در مصرف انرژی نیز شده‌اند. از دیگر قابلیت‌های این سیستم می‌توان به هدایت همزمان بیم در چند راستا و کنترل چند هدف همزمان اشاره نمود [۷]، در حالی که سیستم‌های قدیمی با استفاده از یک آنتن در فرستنده و گیرنده، محدودیت‌هایی در

---

[1] Multi Input Multi Output
[2] Statistical Signal Processing
[3] Beam-Forming
[4] Coherent Processing

کنترل بیم و اسکن فضای اطراف را داشته‌اند[۳، ۶ و ۷]. از دیگر مزایای استفاده از سیستم‌های آرایه‌ای می‌توان حذف نویزهای جهت دار مانند جمر[1] [۶] و عدم محدودیت مکانیکی در ساخت را نام برد[۳]. بعنوان رویکرد دیگری از روش‌های پردازش سیگنال آرایه‌ها، می‌توان به روش‌هایی با تفکیک پذیری بالا اشاره کرد. از معروف‌ترین روش‌های این دسته، می‌توان الگوریتم MUSIC و ML[2] را نام برد. در تمام روش‌های پیشنهادی برای آرایه‌ها و رادارهای آرایه-فازی، شرط لازم، همبستگی مکانی میان آنتن‌ها هم در فرستنده و هم در گیرنده است [۳]. می‌توان نشان داد در پردازش سیگنال با استفاده از روش‌های شکل دهی بیم، در صورتی که فاصله بین دو گیرنده مجاور بیشتر از نصف طول موج سیگنال دریافتی باشد، علاوه بر لوب اصلی بیم، لوب‌های ناخواسته‌ای نیز در ساختار بیم تولید خواهد شد که موجب تقویت نویزهای جهت‌دار می‌شود [۶ و ۷]. بر این اساس حداکثر فاصله مجاز در رادارهای آرایه-فازی نصف طول موج سیگنال می‌باشد. شکل ۱-۱ ساختار کلی آنتن‌های آرایه‌ای را در فرستنده و در گیرنده نشان می‌دهد.

دسته دیگری از رادارهای چند پایه، رادارهای توزیعی[3] می‌باشد [۸]. ساختار کلی این سیستم‌ها، شبکه‌ای از رادارهای مستقل است که هر رادار به صورت مجزا یک پردازش محلی بر روی داده‌های دریافتی خود انجام می‌دهد و نتیجه پردازش را به پردازنده مرکزی انتقال می‌دهد. عموماً یک ارتباط مخابراتی بین هر رادار و مرکز پردازش وجود دارد. تصمیم‌گیری نهایی در مرکز پردازش انجام می‌شود. عموماً هر رادار در مورد تشخیص وجود و عدم وجود هدف تصمیم‌گیری اولیه می‌کند و مرکز پردازش بر اساس یک قاعده تصمیم‌گیری منطقی یا فازی و بر اساس مکان هر رادار تصمیم نهایی را اتخاذ می‌نماید. استفاده از این دسته رادارها برای موارد خاص و موقعیت‌های خاص پیشنهاد شده است. به عنوان مثال برای حفاظت مرزها و یا یک منطقه با موقعیت جغرافیایی

---

[1] Jammer
[2] Maximum Likelihood
[3] Distributed Radar

خاص. شکل ۲-۱ ساختار کلی یک شبکه رادار توزیعی و پردازنده مرکزی آن را نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۰ طرح جدیدی برای طراحی سیگنال در رادارهای آرایه‌ای ارایه شد [۹]. در این روش که SIAR [۱] نامیده می‌شود، آرایه فرستنده شکل موج‌های متعامدی ارسال می‌کند. این طراحی، پردازنده‌های آرایه گیرنده را از جداسازی هر سیگنال فرستنده مطمئن می‌سازد. بنابراین می‌توان روی هر سیگنال فرستنده به صورت مجزا پردازش انجام داد. در این سیستم هر فرستنده سیگنال باند باریکی را ارسال می‌کند؛ ولی مجموعاً سیگنال دریافتی یک سیگنال باند وسیع است. نشان داده شده است که بهبود عملکرد تخمین‌زن در یک سیستم راداری، رابطه مستقیم با پهنای باند دارد؛ در نتیجه این سیستم علاوه بر اینکه مشکلات طراحی باند وسیع را ندارد[۲]، ولی عملاً خصوصیات یک رادار باند وسیع را داراست و از مزایای آن بهره‌مند می‌باشد.

در این سیستم هر شکل موج فرستنده نقش مهمی در عملکرد کلی سسیستم دارد، در حقیقت درجه شرکت پذیری هر فرستنده در عملکرد کلی سیستم بسیار زیاد است به عبارت دیگر تعامل میان فرستندها باعث ایجاد بهره و بالا رفتن عملکرد در این دسته از رادارها شده است.

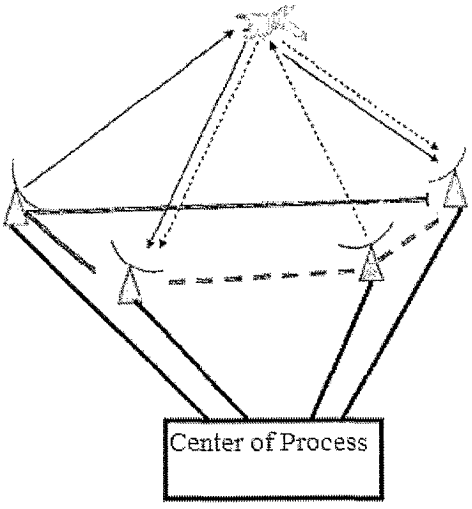
در سال ۲۰۰۴ برای اولین بار اصطلاح MIMO در زمینه رادار بکار رفت [۱۰]. در حالت کلی MIMO رادار به راداری گفته می‌شود که فرستندهای آن شکل موج های مستقل ارسال کنند و توانایی پردازش همزمان در چندین گیرنده را داشته باشد [۹و۱۰]. این تعریف، خانواده رادارهای MIMO را بسیار وسیع می‌کند. در مراجع،

شکل۱-۱- ساختار کلی آنتن‌های رادار آرایه فازی [۱۶]

---

[۱] Synthetic Impulse and Aperture Radar

[۲] در یک سیستم راداری با افزایش پهنای باند، زمانی سیگنال کاهش یافته و رادار می‌بایست یک پالس با انرژی بسیار بالا را در بازه زمانی کم ارسال نماید، این مسأله مشکلات سخت افزاری را به دنبال خواهد داشت



شکل ۲-۱-ساختار کلی یک رادار توزیعی [۱۶]

رادارهای MIMO را به دو دسته کلی تقسیم کرده‌اند. این تقسیم‌بندی بر اساس چیدمان آنتن‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها انجام شده است. دسته اول، MIMO رادار با آنتن‌های مجزا یا WSA[1] و دسته دوم، MIMO رادار با آنتن‌های همبسته یا CLA[2] نامیده می‌شود. عامل بهبود عملکرد رادار در دسته اول و دوم به ترتیب دایورسیتی در مکان[3] و شکل موج[4] می‌باشد. در مراجع نشان داده شده است که این عوامل بهره پردازشی قابل توجهی را فراهم می‌آورند.

ابتدا به بررسی رادارهای MIMO با آنتن‌های مجزا می‌پردازیم. توان سیگنال دریافتی در گیرنده رادار، در اثر پدیده پراکندگی[5] برخورد سیگنال با هدف به صورت قابل توجهی تضعیف می‌شود. در بررسی‌های انجام شده به صورت تئوری و آزمایشگاهی نشان داده شده است که این تضعیف، تابعی از زاویه نسبی بین هدف و آنتن فرستنده است [۳]. مهمترین پارامتر در تعیین انرژی سیگنال

---

[1] Widely Separated Antennas
[2] Co-Located Antennas
[3] Spatial Diversity
[4] Waveform Diversity
[5] Scatter Phenomena

بازگشتی به رادار سطح مقطع راداری (RCS[1]) است. این پارامتر متأثر از عوامل مختلفی چون ابعاد و جنس هدف و زاویه برخورد سیگنال با هدف می‌باشد [۳]. در مرجع [۱۱] نشان داده شده است که تغییرات زاویه هدف، ۵ تا ۲۰ دسی بل در سیگنال بازتابی تغییرات ایجاد می‌کند. شکل ۳-۱ مثالی از تغییرات RCS هدف را برحسب تغییرات زاویه دید نشان می‌دهد. بنابر این احتمال آنکه دامنه سیگنال دریافتی توسط یک گیرنده، از حداقل سطح شنود آن پایین‌تر باشد نسبتاً زیاد است. در رادارهای MIMO با آنتن‌های مجزا امکان دسترسی به سیگنال بازتابی هدف در زوایای مختلف وجود دارد؛ این خصوصیت احتمال شنود سیگنال توسط گیرندها را افزایش داده و سبب بهبود عملکرد راداری می‌شود.

ایده‌ی استفاده از چند آنتن فرستنده و چند آنتن گیرنده در دو دهه اخیر انقلابی در تکنولوژی مخابرات بیسیم ایجاد کرده است. در یک سیستم مخابرات بیسیم، یکی از مهمترین عوامل اختلال در برقراری ارتباط میان دو ایستگاه پدیده محوشدگی[2] می‌باشد. این پدیده در اثر تغییرات پاسخ کانال بوجود می‌آید. می‌توان نشان داد که با استفاده از تکنیک MIMO می‌توان بر اثر مخرب کانال روی سیگنال ارسالی مقابله کرد. نقش کانال را در یک سیستم رادار، RCS هدف بازی می‌کند[۸ و ۱۱]. بر این اساس می‌توان انتظار داشت که استفاده از رادارهای MIMO باعث بهبود در عملکرد رادار شود. این مسأله در مراجع [۸-۱۴] مورد بررسی قرار گرفته و بهبود عملکرد رادار به صورت تئوری و شبیه‌سازی تصدیق شده است. در رادارهای WSA از آنجایی که سیگنال دریافتی توسط هر گیرنده از نظر آماری مستقل است، می‌توان فرض کرد هر آنتن گیرنده دید مستقلی از هدف دارد. هر دید مستقل، اطلاعات جدیدی از هدف را وارد سیستم می‌کند؛ بنابراین بهره‌ی قابل توجهی در پردازش سیگنال‌های دریافتی ایجاد می‌شود. معادلات سیگنال برای رادار MIMO با

---

[1] Radar Cross Section
[2] Fading