بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق

گرایش مخابرات-سیستم

عنوان:

پردازش سیگنال در رادار چند ورودی چند خروجی

استاد راهنما:

دکتر ناصر ندا

سمانه محنتی

تابستان ۱۳۹۳

اَللّهُمَّ صَلِّ عَلی مُحَمَّدٍ و آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلِ فَرَجَهُم

«وَمَا خَلَقْتُ الْجِنَّ وَالْإِنسَ إِلَّا لِيَعْبُدُونِ»

و جنّ و انس را نیافریدم مگر برای آنکه مرا پرستش کنند.

«سوره مبارکه ذاریات آیه ۵۶»

خدایا!

چنان کن که روزهای عمرم

در انجام دادن کاری سپری شود

که مرا برای آن آفریده ای

گزیده ای از دعای بیستم صحیفه سجادیه

شکر و سپاس خدای رحمان را که مرا آفرید و علم آموخت. با سپاس از صاحب امر، امام زمانم (عج) که بی شک لطف ایشان بود که تا به این جای راه را پیموده‌ام، اگرچه باید اعتراف کرد که حتی گامی در خور لطف ایشان برنداشته ام.

اینک که حاصل تلاش چندین ماهه ام را پیش رو دارم با اندک مروری بر گذشته، به یاد می آورم افرادی را که تلاش و همراهی ایشان در این مدت همواره قوت قلبم بود و بدون حضور و حمایتشان برداشتن حتی قدمی به سوی جلو غیر ممکن می نمود. باتمام وجود حمایتشان را ارج می نهم.

تشکر می کنم از پدر و مادرم که اگر تمام عمر خدمت گزارشان باشم باز زحمات بی دریغ و بی منت ایشان را نمی‌توانم جبران کنم. قدردانی می‌کنم زحمات ایشان را که با گذر هر سال عمرم، خطی بر چهره شان حک شد، خطوطی که هرگز پاک نخواهند شد.

امیدوارم در این راه درس‌هایی از انسانیت و اخلاق آموخته باشم که به‌پشتوانه آن قدردان زحمات عزیزانم باشم. درسهایی که بدون شک استاد ارجمندم جناب آقای دکتر ندا، در آموزش آن ها نقش به سزایی را ایفا کرده اند.

قدردانی می کنم از زحمات استاد محترمم که همواره تذکرات، راهنمایی‌ها و مشاوره هایشان راه گشای مشکلات علمی و فکری ام بوده است.

و نیز از اساتید محترم گروه مخابرات و الکترونیک که در این شش سال بی نهایت از آموخته‌های علمی و اخلاقی ایشان استفاده کرده‌ام، خصوصا آقای دکتر فرسی استاد بزرگوارم، که مرهون زحمات و لطف بی اندازه ایشان هستم.

و همچنین از دو برادر عزیزم جلال و محمد، که اگرچه از من کوچکترند ولی همواره حمایت و بزرگواریشان، بزرگیشان را نشانم داده است، تشکر می کنم.

این رساله را با احترام تقدیم می کنم

به پدر و مادر عزیزم:

جناب آقای محمدعلی محنتی و

سرکار خانم ناهید تکلوی ثانی

چکیده

رادارهای چند ورودی چند خروجی امروزه به خاطر مزایای فراوانشان نسبت به مدل‌های قدیمی رادار، مورد توجه محققین قرار دارند. این سیستم‌ها را معمولا با یک آرایه مجازی متشکل از تعدادی آنتن، که این تعداد برابر با حاصل ضرب تعداد آنتن‌های فرستنده در گیرنده است، معادل می‌گیرند و به این ترتیب آرایه‌ی این سیستم‌ها نسبت به حالت SIMO، بزرگتر است. از این جهت مسئله شکل دهی پرتو مقاوم که از مباحث مهم پردازش سیگنال به شمار می‌رود، در این رادارها اهمیت بیشتری دارد.

به منظور بررسی بیشتر این مسئله، در این رساله تعدادی از روش‌های مطرح در این زمینه از قبیل MVDR، LCMV، DL و GR مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند. خواهیم دید از میان این روش‌ها، بارگذاری قطری(DL) و رتبه عمومی(GR) نسبت به عدم تطابق مقاوم ترند که البته این روش‌ها نیز معایبی از قبیل پیچیدگی‌های محاسباتی دارند.

همچنین با توجه به اهمیت زیستی و استراتژیکی مسئله ردیابی هدف در رادارها، در این رساله ضمن بیان محتوای مسئله ردیابی و مطالعه روش‌های ردیابی کلاسیک و معایب آن‌ها، به بررسی تئوری روش ردیابی در رادارهای چند ورودی چند خروجی و چندپایه می‌پردازیم و با ارائه مستندات لازم این دو روش را با هم مقایسه می‌کنیم.

واژه‌های کلیدی: رادار، آرایه مجازی، شکل دهی بیم مقاوم، پردازش سیگنال، ردگیری هدف

فهرست مطالب:

فهرست مطالب (الف)

فهرست علائم و نشانه‌ها (ج)

فهرست شکل‌ها (د)

۱ فصل اول: مقدمه ۳

۱-۱. مقدمه ای بر سیستم رادار ۴

۱-۲. رادارهای چند ورودی چند خروجی ۷

۱-۲-۱. ویژگی‌های رادارهای چند ورودی چند خروجی ۹

۱-۲-۲. انواع رادارهای چند ورودی چند خروجی ۱۰

۱-۲-۲-۱. رادارهای چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های هم مکان ۱۰

۱-۲-۲-۲. رادارهای چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های گسترده ۱۴

۲ فصل دوم: پردازش سیگنال در سیستم‌های راداری چند ورودی چند خروجی ۲۵

۲-۱. شکل دهی پرتو ۲۶

۲-۲. آرایه‌های مجازی ۳۰

۳ فصل سوم: مروری بر روش‌های مطرح شده در شکل دهی مقاوم پرتو ۳۵

۳-۱. روش پاسخ کمینه واریانس بدون اعوجاج ۳۷

۳-۱-۱. پیاده سازی نرم افزاری روش پاسخ کمینه واریانس بدون اعوجاج ۳۷

۳-۲. روش بارگذاری قطری ۴۰

۳-۳. روش کمینه واریانس محدود شده‌ی خطی ۴۱

۳-۴. روش رتبه عمومی ۴۲

۳-۲-۱. پیاده سازی نرم افزاری روش رتبه عمومی ۴۳

۳-۵. نتیجه گیری و پیشنهادات ۴۷

۴ فصل چهارم: ردگیری هدف در سیستم‌های راداری ۵۱

۴-۱. مروری اجمالی بر ردگیری تک هدفه و چند هدفه کلاسیک ۵۴

۴-۲. مروری بر عیوب سیستم‌های ردگیری چند هدفه کلاسیک ۶۰

۴-۳. ردگیری بیزین ۶۱

۴-۴. محدودیت‌های موجود در دقت ردگیری ۶۳

۵ فصل پنجم: ردگیری هدف در سیستم‌های راداری چند ورودی چند خروجی ۶۵

۵-۱. فرمول بندی یک رادار چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های گسترده ۶۸

۵-۲. مقایسه آشکارسازی و ردیابی هدف در رادار چند پایه و چند ورودی چند خروجی ۷۱

۵-۳. نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۵

مراجع ۷۶

فهرست علائم و نشانه‌ها

زیرنویس‌ها

$*$	**کانوولوشن**
$\dagger$	**مزدوج ترانهاده**
T	**ترانهاده**
$P\{.\}$	**بردار ویژه متعلق به بزرگترین مقدار ویژه**
$\|\|.\|\|$	**نرم فربنیوس**
	حروف بزرگ و تیره بردار را نشان می‌دهند
	حروف کوچک و تیره بردار را نشان می‌دهند
$\mathrm{E}\|.\|$	**میانگین**
$\delta(.)$	**تابع دلتای دیراک**
$(.)^*$	**مزدوج مختلط گیری**

فهرست شکل‌ها

شکل (۱-۱).	قطار پالس‌های ارسالی و دریافتی[۲]	۵
شکل (۱-۲).	نمایش نحوه برخورد امواج با هدف در رادار موج پیوسته و پالسی[۳۴]	۶
شکل (۱-۳).	طرح کلی یک رادار موج پیوسته[۵۲]	۶
شکل (۱-۴).	طرح یک رادار دوپایه[۳۴]	۸
شکل (۱-۵).	طرح کلی یک رادار چند ورودی چند خروجی[۳۷]	۸
شکل (۱-۶).	طرح کلی رادار چند ورودی چند خروجی در مقابل رادار آرایه فازی[۷۱]	۱۲
شکل (۱-۷).	شکل یک سیستم راداری چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های گسترده[۷۱]	۱۵
شکل (۱-۸).	مقایسه احتمال عدم آشکارسازی، بین رادارهای چند ورودی چند خروجی و رادار آرایه فازی[۲۵]	۱۶
شکل (۱-۹).	نمودارسطح مقطع راداری یک هدف نوعی بر حسب زاویه[۱]	۱۷
شکل (۱-۱۰).	مقایسه احتمال آشکارسازی رادارهای چند ورودی چند خروجی، چند پایه و آرایه فازی در نسبت قدرت هدف به کلاتر و نسبت توان پژواک هدف به کلاترهای متفاوت[۳۶]	۱۹
شکل (۱-۱۱).	خروجی تابع ابهام برای یک رادار چند ورودی چند خروجی با ۹ فرستنده و ۹ گیرنده[۲۳]	۲۰
شکل (۱-۱۲).	مدل یک هدف گسترده در یک سیستم راداری چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های گسترده[۲۷]	۲۲
شکل (۲-۱).	سه پارامتر مهم (r,θ,ϕ) در بیان موقعیت هدف[۲]	۲۶
شکل (۲-۲).	عدم تشخیص هدف موجود در زاویه‌ای خارج از محدوده بیشینه پرتو آنتن	۲۷
شکل (۲-۳).	آرایه آنتن یکنوتخت خطی[۲]	۲۸
شکل (۲-۴).آ	یک سیستم رادار چند ورودی چند خروجی با M=3 وN=4 [۲]	۳۰
شکل(۲-۴).ب	آرایه مجازی معادل آرایه شکل(۲-۳).آ [۲]	۳۱
شکل (۳-۱).	تشخیص زاویه سیگنال دریافتی به روش کاپن	۳۸
شکل (۳-۲).	اثر یک خطای کوچک در آشکارسازی زاویه سیگنال ارسالی به روش کاپن	۳۹
شکل (۳-۳).	اثر افزایش تعدا آنتن‌ها بر تشخیص صحیح زاویه در روش کاپن	۴۰
شکل (۳-۴).	تشخیص زاویه سیگنال دریافتی به روش رتبه عمومی	۴۴
شکل (۳-۵).	اثر یک خطای کوچک در آشکارسازی زاویه سیگنال ارسالی به روش رتبه عمومی	۴۴
شکل (۳-۶).	مقایسه روش کاپن و رتبه عمومی در آشکارسازی زاویه $\frac{7\pi}{50}$	۴۵

شکل (۳-۷).	اثر افزایش تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده بر بهبود اثر عدم تطابق در روش رتبه عمومی	۴۶
شکل (۳-۸).	نمودار SINR برحسب γ , برای SNR = 10 dB [۲]	۴۷
شکل (۳-۹).	نمودار SINR برحسب γ , برای SNR = 20 dB [۲]	۴۸
شکل (۳-۱۰).	مقایسه بیم فرمینگ‌های مختلف در حضور عدم تطابق SNR=0dB [۲]	۴۹
شکل (۳-۱۱).	مقایسه بیم فرمینگ‌های مختلف در حضور عدم تطابق SNR=10dB [۲]	۵۰
شکل (۴-۱).	عملیات ردگیری هدف	۵۲
شکل (۴-۲).	آشکارسازی اطلاعات هدف و قفل شدن پرتو ردگیر بر روی هدف	۵۳
شکل (۴-۳).	ساختار کلی یک سیستم چند هدفه[۵۴]	۵۸
شکل (۵-۱).	یک رادار چندپایه با یک آنتن فرستنده و چندگیرنده(به بیانی چند رادار دوپایه)(الف)- یک رادار چند پایه با چند آنتن فرستنده و چندگیرنده(به بیانی چند رادار تک پایه)(ب)-رادار چندپایه کامل(ج)- نحوه سنجش اطلاعات گیرنده‌ها به صورت کلی(د)	۶۷
شکل (۵-۲).	نحوه عملکرد رادار چند ورودی چند خروجی	۶۸
شکل (۵-۳).	نتیجه شبیه سازی ساختار مایمو و چندچایه. مقایسه احتمال آشکارسازی برای رادارهای مایمو و چندپایه، $P_{fa} = 10^{-4}$ [۶۸]	۷۳
شکل (۵-۴).	مقایسه مقدار RMSE برای دو ساختار مایمو و چندپایه[۶۸]	۷۴

فصل اول

مقدمه

مقدمه

مسئله‌ی رادارهای چند ورودی چند خروجی[1] یکی از موضوعات جدید در زمینه سیستم های راداری است که به دلیل اهمیت و کاربرد وسیع خود در زمینه‌های مختلف نظامی، صنعتی، پزشکی و...، از سال ۲۰۰۰ میلادی تا کنون توجه بسیاری را به خود معطوف کرده‌است.

یکی از بخش‌های پراهمیت و گسترده‌ی پژوهش‌های راداری، مسئله پردازش سیگنال‌ها است. در این رساله، به منظور تمرکز در این زمینه، ابتدا اصطلاحات و تعاریف مورد نیاز از سیستم‌های راداری ارائه خواهد شد. سپس، ضمن بررسی اجمالی رادارهای چند ورودی چند خروجی و انواع آن‌ها، چند روش شکل‌دهی پرتو مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

[1] Multiple Input Multiple Output(MIMO) Radar

۱-۱. مقدمه ای بر سیستم رادار

به طور کلی واژه رادار[۲] به معنی شناسایی رادیویی و محدوده یابی است. یک رادار با استفاده از ارسال امواج الکترومغناطیسی و دریافت موج برگشتی از اجسام، اقدام به شناسایی آنها می‌کند. در ادامه به بررسی برخی از انواع و ویژگی‌های رادار می‌پردازیم.

رادارها از نظر سیگنال ارسالی به دو دسته پالسی[۳] و موج پیوسته[۴] تقسیم می شوند. در رادارهای پالسی یک پالس از فرستنده به سمت هدف مورد نظر ارسال شده و در گیرنده، پژواک آن دریافت می‌شود. در ادامه‌ی روند هدف یابی، همین پالس با دوره تناوب PRI[۵] مجددا ارسال می‌شود. در رادارهای پالسی، پالس مورد نظر، پوش سیگنال ارسالی است و خود سیگنال، یک موج سینوسی است؛ در حالی که در رادارهای موج پیوسته یک سیگنال سینوسی پیوسته در زمان ارسال می‌شود. بنابراین در این نوع از رادارها همواره فرستنده روشن خواهد بود.

اگر سیگنال باند پایه‌ی ارسالی توسط فرستنده $u(t)$ در نظر گرفته شود، سیگنالی که در گیرنده دریافت می‌شود به صورت زیر خواهد بود:

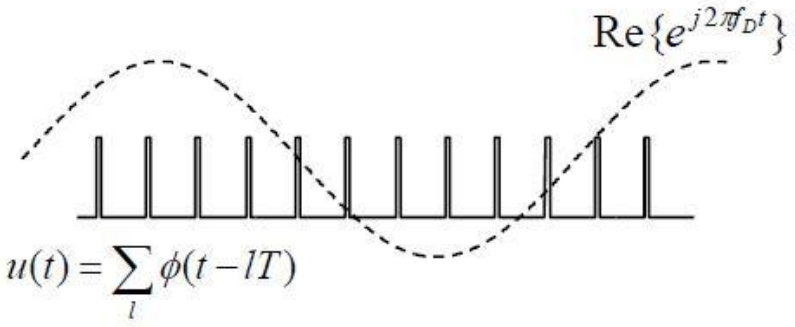
$$r(t) = \alpha u(t-\tau)e^{j2\pi f_D t} + v(t) \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه α میزان تضعیف سیگنال، τ تاخیر ناشی از فاصله هدف تا رادار، f_D فرکانس داپلر ناشی از سرعت شعاعی هدف نسبت به رادار و $v(t)$ مجموع اثر نویز و تداخل است.

به دلیل اینکه معمولا سرعت شیء کوچکتر از سرعت نور است، فرکانس داپلر بسیار کوچکتر از فرکانس سیگنال حامل، f_0 است. بنابراین برای تخمین مناسب این فرکانس داپلر کوچک، به یک بازه زمانی طولانی تر و یا یک پنجره زمان بزرگتر احتیاج داریم. یک روش دستیابی به این پنجره، ارسال پالس‌های چندتایی[۶] است. همانطور که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است، این پالس‌ها می‌توانند یک پنجره زمانی طولانی تر را تصرف کنند.در شکل (۱-۱) قطار پالس ارسالی در یک رادار پالسی را مشاهده می‌کنید.

---

[2] RADAR (RAdio Detection And Ranging)
[3] Pulse Radar
[4] CW (Continues Wave) Radar
[5] Pulse Repetition Interval
[6] multiple



شکل (۱-۱). قطار پالس‌های ارسالی و دریافتی[۲]

رادارهای پالسی از جدیدترین سیستم‌های راداری هستند. سیگنال ارسال شده در یک رادار پالسی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$u(t)=\sum_{l=0}^{L-1}\phi(t-lT) \qquad (۱-۲)$$

در رابطه فوق،$\phi(t)$ شکل پالس اصلی، L تعداد کل پالس‌های ارسال شده و T مقدار PRI را نشان می‌دهد.

بنابراین سیگنال دریافتی در رابطه (۱-۱) را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$r(t)=\alpha\sum_{l=0}^{L-1}\phi(t-lT-\tau)e^{j2\pi f_D t}+v(t) \qquad (۱-۳)$$

رابطه زیر فاصله هدف تا رادار را محاسبه می‌کند:

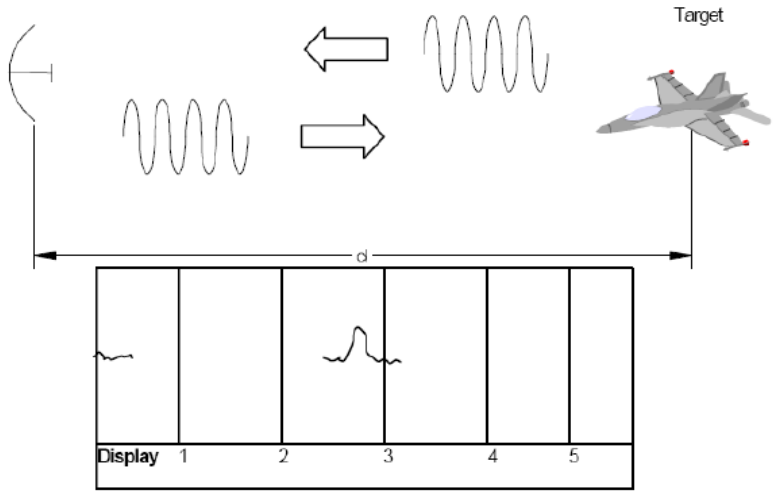
$$R=\frac{c\tau}{2} \qquad (۱-۴)$$

در رابطه (۱-۴)، c سرعت نور بوده و مقدار ۲ در مخرج به دلیل وجود مسیر رفت و برگشت سیگنال گذاشته شده‌است. همچنین سرعت نسبی هدف از رابطه زیر به دست می‌آید[۱]:

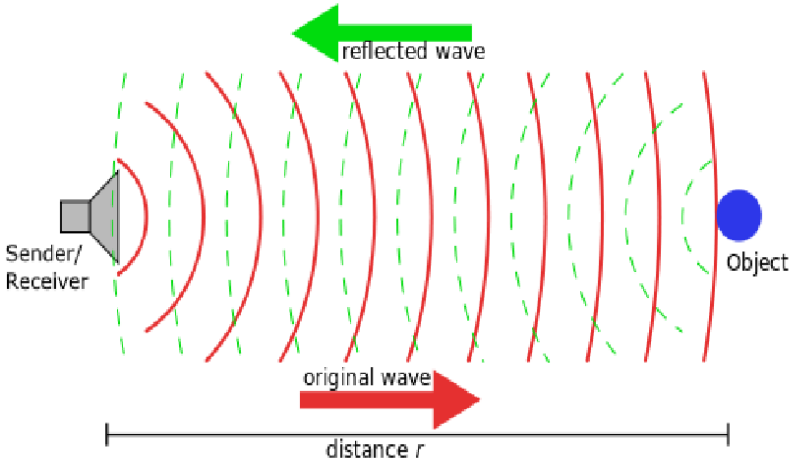
$$V_r=\frac{\lambda f_D}{2} \qquad (۱-۵)$$

λ طول موج سیگنال ارسالی است. لازم به ذکر است با توجه به این که در رادار موج پیوسته همواره فرستنده در حال ارسال است، فاصله هدف را نمی‌توان به دست آورد.

در شکل (۱-۲) و (۱-۳) طرح کلی رادار پالسی و موج پیوسته را مشاهده می‌کنید.



شکل (۱-۲). نمایش نحوه برخورد امواج با هدف در رادار موج پیوسته و پالسی[۳۴]



شکل (۱-۳). طرح کلی یک رادار موج پیوسته[۵۲]

آنتن یک رادار معمولا دارای یک پهنای پرتو[۷] خاص و محدود (مثلا ۵ درجه) است، بنابراین برای جستجوی محیط اطراف خود باید در فضا گردش کند. این گردش باید یا به صورت مکانیکی یا الکترونیکی انجام شود. در فصل‌های بعد بیشتر در این مورد صحبت خواهد شد.

[7] Beam Width

در یک تقیسم‌بندی دیگر، رادارها به انواع جستجو و ردگیری تقسیم می‌شوند. رادار جستجو هدف را با دقت معمولی کشف کرده سپس، اطلاعات هدف به رادار ردگیر فرستاده می‌شود تا بتواند اهداف کشف شده را به صورت دقیق‌تر دنبال کند.

۱-۲. رادارهای چند ورودی چند خروجی

رادارهای چند ورودی چند خروجی[8] گونه‌ای از رادارها هستند که در ساختار آن‌ها از تعدادی آنتن فرستنده و تعدادی آنتن گیرنده استفاده شده است. آنتن‌های فرستنده سیگنال‌های یکسان یا متفاوتی را با هدف پویش محیط ارسال کرده و آنتن‌های گیرنده وظیفه شنود محیط، دریافت و تحلیل سیگنال‌های بازگشتی از اجسام را بر عهده دارند.

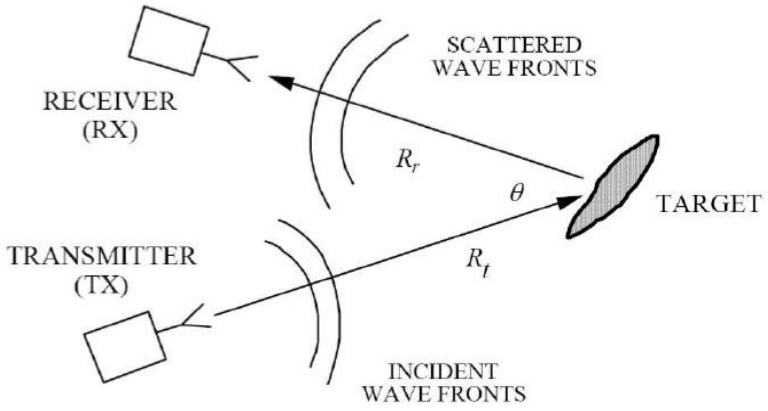
مفهوم رادارهای چند ورودی چند خروجی یکی از مفاهیم جدید در سیستم‌های مخابراتی است که در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران زیادی را به خود جلب کرده است. اگرچه از نظر عملی هنوز ساخت و استفاده گسترده از این رادارها میسر نیست ولی با توجه به این پیشروی فزاینده در حوزه‌ی تحقیقاتی بعید نیست این سیستم‌ها در آینده‌ای نزدیک مورد استفاده قرار گیرند.

در این بخش ابتدا به تعریف رادارهای چند ورودی چند خروجی می‌پردازیم و در ادامه خواص و ویژگی‌های این گونه از رادارها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس، تقسیم بندی آن‌ها و خواص هر دسته بیان خواهد شد.

رادارها با توجه به تعداد فرستنده‌ها و گیرنده‌ها و همچنین مکان قرارگیری آنها نیز انواع مختلفی پیدا می‌کنند. در رادار ساده پالسی، فرستنده و گیرنده یکی هستند و این نوع رادار تک پایه[9] نامیده می‌شود. در صورتی که فرستنده و گیرنده از هم فاصله داشته باشند، یک رادار دوپایه[10] خواهیم داشت.

طرح یک رادار دوپایه در شکل (۱-۴) آورده شده است.

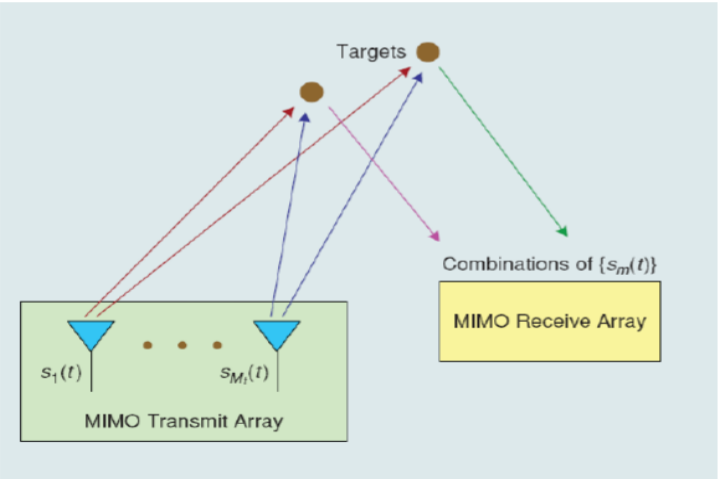
[8] Multiple Input Multiple Output
[9] Monostatic Radar
[10] Bistatic Radar



شکل (۱-۴). طرح یک رادار دوپایه[۳۴]

طبق تعریف معمول به مجموع فرستنده و چند گیرنده‌ی آن، یک رادار چندپایه[11] گفته می‌شود. البته در برخی تعاریف، راداری با چند فرستنده و چند گیرنده نیز رادار چندپایه نامیده شده‌است. در این رادارها هر گیرنده، آشکارسازی خود را انجام داده و تمامی داده‌های حاصل در یک مرکز، پردازش می‌شوند. اما در رادارهای چند ورودی چند خروجی پردازش سیگنال در پردازنده مرکزی انجام می‌گیرد. در مورد رادار چندپایه این نکته نیز حائز اهمیت است که برخلاف رادار MIMO از آنتن‌های همه جهتی استفاده نمی‌کند.

در شکل (۱-۵) طرحی از رادارهای چند ورودی چند خروجی را مشاهده می‌کنید.



شکل (۱-۵). طرح کلی یک رادار چند ورودی چند خروجی [۳۷]

[11] Multi-Static Radar

۱-۲-۱. ویژگی‌های رادارهای چند ورودی چند خروجی

از آن جا که رادارهای چند ورودی چند خروجی قادرند به طور هم زمان سیگنال‌های متفاوتی را از فرستنده‌های مختلف ارسال کنند، درجه آزادی بیشتری نسبت به رادارهای معمولی دارند[۳۰]. بنابراین می-توان گفت اگر چند رادار معمولی باند باریک داشته باشیم، با ترکیب صحیح این سیگنال‌ها در گیرنده، به صورت مجازی، یک سیگنال با پهنای باند وسیع داریم و این منجر به افزایش قدرت تفکیک در این سیستم‌ها می-شود[۱]. همچنین به دلیل آشکارسازی هدف از چند طریق (به صورت پردازش مرکزی اطلاعات)، این رادارها نسبت به رادارهای عادی، دقت بسیار بالاتری در مسئله موقعیت‌یابی خواهند داشت[۱].

در عمل هر چقدر تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده بیشتر باشد، مزایای این سیستم‌ها بیشتر به چشم خواهند آمد. در فصل‌های آینده به طور مفصل تر به این موضوع می‌پردازیم.

موضوع دیگر در این سیستم‌ها بحث چندگانگی[۱۲] است، چنان که از مخابرات چند ورودی چند خروجی به خاطر داریم، تعدد آنتن‌ها باعث به وجود آمدن چندگانگی و بهره چندگانگی می‌شود که این بهره با حاصل ضرب تعداد آنتن‌های فرستنده و گیرنده متناسب است، این مسئله باعث افزایش قدرت تفکیک و مکان یابی دقیق تر خواهد شد[۱۸]. علاوه بر این، مشاهده هدف از چند زاویه مختلف باعث افزایش احتمال آشکارسازی می‌شود که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد. همچنین این سیستم‌ها قادر به استخراج دقیق تر پارامترهای هدف نسبت به سیستم‌های راداری معمولی هستند[۱۹]. در مورد اهداف سرعت پایین نیز ثابت شده است که از نظر دقت سرعت سنجی و حذف کلاتر کارایی آن بالاتر از رادارهای معمولی است[۲۳].

در مورد شناسایی اهداف نیز که یکی از وظایف اصلی رادار می‌باشد، این رادارها به خاطر وجود خاصیت چندگانگی مکانی[۱۳] عملکرد قوی تری نسبت به رادارهای معمولی دارند.

علاوه بر این، در مورد این سیستم‌ها می‌توان به قابلیت اطمینان بالای آن‌ها اشاره کرد. در یک سیستم راداری چند ورودی چند خروجی در صورت مختل شدن یک فرستنده یا یک گیرنده، اگرچه مقداری از عملکرد، کاهش پیدا می‌کند ولی کل سیستم همچنان پابرجا بوده، می‌تواند محیط را جستجو و اهداف را شناسایی کند.

---

[12] Diversity
[13] Spatial Diversity

به عنوان مثال اگر با خرابی یک آنتن مواجه شود یا یکی از فرستنده ها توسط موشک ضد تشعشع[۱۴] منهدم شود، سیستم همچنان می‌تواند به کار خود ادامه دهد.

۱-۲-۲. انواع رادارهای چند ورودی چند خروجی

چنان که در بخش قبل اشاره شد، یکی از انواع تقسیم بندی سیستم‌های راداری، تقسیم بندی بر اساس نحوه قرار گرفتن آنتن‌های فرستنده و گیرنده نسبت به یکدیگر است. سیستم‌های راداری چند ورودی چند خروجی با توجه به فاصله‌ی آنتن‌ها از هم به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- رادارهایی با آنتن‌های هم مکان[۱۵]
- رادارهایی با آنتن‌های گسترده[۱۶]

۱-۲-۲-۱. رادارهای چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های هم مکان

رادارهای آرایه فازی[۱۷] نسبت به رادارهای معمولی مزایای فراوانی دارند و در حال حاضر در بسیاری از سامانه‌های تسلیحاتی پیشرفته جهان از این رادارها استفاده می‌شود. یکی از برتری‌های این رادارها نسبت به نسل گذشته، قابلیت مرور الکترونیکی فضا به جای مرور مکانیکی است. به طور کلی ساز و کار آنتن به این صورت است که یک آنتن فرستنده جریان الکتریکی را روی سطح رسانا القا می‌کند که در نتیجه امواج الکترومغناطیسی تولید شده و در فضا پخش می‌شوند. سپس این امواج روی سطوح مشخصی از آنتن‌های گیرنده جریان الکتریکی القا کرده و به این ترتیب دریافت می‌شوند. با تغییر فاز جریان تحریک در آنتن‌ها، می‌توان پرتو آنتن را تغییر داد. اساس کار رادار آرایه فازی اینگونه است و به این ترتیب یک آرایه می‌تواند پویش الکترونیکی انجام دهد. نوع تکامل یافته‌ی این رادارها، رادارهای چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های هم مکان می‌باشد. در این نوع، آنتن‌های فرستنده و گیرنده نزدیک به هم قرار داده شده‌اند و فاصله آن‌ها از مرتبه طول موج است.

---

[14] Anti-Radiation Missile (ARM)
[15] Collocated Antennas
[16] Widely Separated Antennas
[17] Phased Array Radars

می‌توان این‌طور در نظر گرفت که رادار هم مکان نوعی از رادارهای آرایه فازی است که در آن سیگنال ارسالی از هر عنصر آرایه در اختیار ما بوده و بر خلاف رادار آرایه فازی، که سیگنال‌های ارسالی در آن، صرفا شیفت یافته فازی از یک سیگنال واحد هستند، در مایمو رادار هم مکان، هیچ محدودیتی روی سیگنال‌های ارسالی وجود ندارد و سیگنال‌ها می‌توانند کاملا با هم متفاوت و یا حتی متعامد باشند.

از این نظر، این رادارها دارای درجه آزادی بیشتری نسبت به رادارهای آرایه فازی هستند. پس رادارهای چند ورودی چند خروجی با آنتن‌های هم مکان تمام خواص رادارهای آرایه فازی را دارا می‌باشند و علاوه بر آن به خاطر درجه آزادی بیشترشان نسبت به رادارهای آرایه فازی دارای عملکرد بهتری نیز هستند.

درجه آزادی مذکور همچنین قابل استفاده در طراحی پرتو فرستنده می‌باشد[۳۰] و [۳۱]. با استفاده از این درجه آزادی می‌توان محیط را سریع تر پویش کرده و در زمان صرفه جویی کرد، همچنین از این مسئله در مدیریت انرژی سیستم راداری نیز می‌توان بهره گرفت[۲۲].

علاوه بر این، با استفاده از شکل‌دهی مکانی[۱۸] به پرتو و یا پردازش‌های زمان مکان[۱۹] می‌توان به دقت‌های بسیار بالایی در زاویه‌سنجی اهداف رسید[۲۴].

در این رادارها می‌توان با استفاده از تعدد آنتن‌های فرستنده و گیرنده، آرایه‌های مجازی طراحی کرد [۳۵]. در برخی مقالات آرایه های مجازی پر و نیمه پر مورد بررسی قرار گرفته اند. بررسی سطح لوب های فرعی و مصالحه آن با میزان تفکیک‌پذیری، مسئله‌ای مطرح در پردازش‌های آرایه‌ای و هم‌چنین رادار چند ورودی چند خروجی است. طراحی شکل پرتو ارسالی فرستنده‌های رادار چندورودی چند خروجی، مکان یابی اهداف، تخمین سطح مقطع راداری و زاویه اهداف از موضوعات مطرح شده در این نوع رادارها می‌باشد. در این رادارها چندگانگی حاصل از وجود تعدادی آنتن در کنار هم، در فرستنده و گیرنده بررسی می‌شود. این چندگانگی به قابلیت تشخیص پارامترهای هدف [۲۸]، استفاده از آرایه‌های وفقی[۲۰] برای شناسایی و تخمین پارامترهای هدف [۲۹] و انعطاف‌پذیری بسیار زیاد در طراحی پرتو[۲۱] ارسالی [۳۰]، کمک می‌کند.

[18] Spatial Beam Forming
[19] Space Time Processing
[20] Adaptive Array
[21] Beam forming