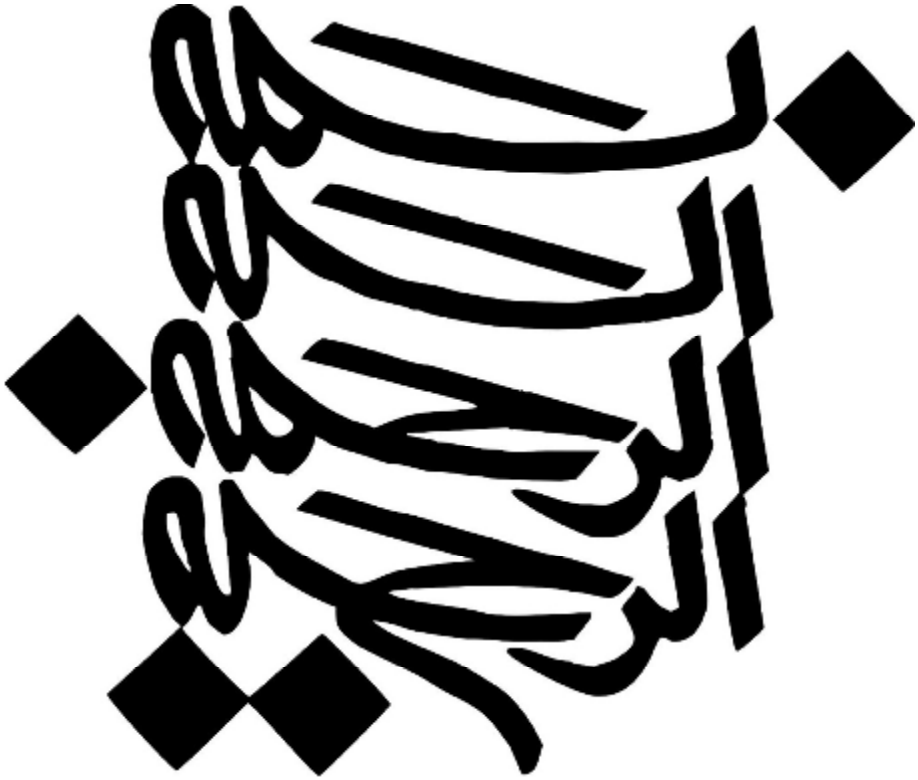


دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

به‌کارگیری آشکارساز GLR در رادارهای غیرفعال مبتنی بر سیگنال دیجیتال تلویزیونی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – مخابرات

فاطمه ماجد

استاد راهنما
دکترمحمود مدرس هاشمی

1393

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مخابرات گرایش سیستم خانم فاطمه ماجد

تحت عنوان

به‌کارگیری آشکارساز GLR در رادارهای غیرفعال مبتنی بر سیگنال دیجیتال تلویزیونی

در تاریخ 93/6/27 توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

1-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر محمود مدرس هاشمی
2-استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمد جواد امیدی
3- استاد مشاور پایان نامه	دکتر امیر زعیم باشی
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر سید محمد علی خسروی فرد

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... پنجم
چکیده 1

فصل اول : **مقدمه**

1-1- تاریخچه 2
2-1- رادارهای غیرفعال 3
3-1- اصول عملکرد رادار غیر فعال 4
4-1- انتخاب فرستنده مناسب برای رادار غیر فعال 4
5-1- موضوعات مورد بررسی در تحقیقات مرتبط با رادارهای غیر فعال و رادارهای مبتنی بر DVB-T 5
6-1- هدف و ساختار پایان نامه 5

فصل دوم : **رادارهای دو پایه و رادارهای غیر فعال**

2-1- مقدمه 6
2-2- رادارهای دو پایه 6
2-2-1- رادارهای غیرفعال 7
2-2-2- هندسه دو پایه 10
2-2-3- معادله رادار دو پایه 11
2-2-4- حداکثر بردآشکارسازی و حداکثر مدت زمان انتگرال‌گیری 12
2-2-5- بیضی‌های کاسینی 13
2-2-6- تخمین مکان هدف 15
2-2-7- قدرت تفکیک برد 17
2-2-8- رابطه داپلر 19
2-2-9- تابع ابهام رادار 21
2-3- پردازش سیگنال 23
2-3-1- شکل دهی الگوی تشعشعی آنتن 23
2-3-2- آماده سازی شکل موج 23
2-3-3- حذف کلاتر و تداخل مسیر مستقیم 23
2-3-4- محاسبه تابع ابهام متقابل (فیلتر منطبق) 24
2-3-5- آشکارسازی و ردیابی هدف 24
2-4- انتخاب فرستنده مناسب 25
2-5- خلاصه و نتیجه‌گیری 30

فصل سوم : **آشنایی با سیگنال DVB-T و کاربرد آن در رادار غیرفعال**

3-1- مقدمه 31
3-2- لایه فیزیکیِ DVB-T 32
3-2-1- MPEG-2 و مالتی پلکس کانال 32
3-2-2- کدگذاری و در هم نهی 33
3-2-3- مدولاسیون OFDM 33
3-2-4- بازه محافظ 35
3-3- سیگنال DVB-T 36
3-3-1- ساختار قاب OFDM در سیگنال DVB-T 37
3-3-2- مدل ریاضی سیگنال DVB-T 38
3-4- رادار غیرفعال مبتنی بر سیگنال DVB-T 39
3-4-1- بررسی تابع ابهام سیگنال DVB-T 39
3-4-2- بررسی قله‌های ابهام و روش‌های حذف قله 45
3-4-3- بهبود تابع ابهام 48
3-5- نتیجه‌گیری 56

فصل چهارم : **به‌کارگیری آشکارسازGLR در رادار غیرفعال مبتنی بر DVB-T**

4-1- مقدمه 58
4-2- تابع ابهام سیگنال DVB-T 59
4-3- پردازش در رادار غیرفعال مبتنی برDVB-T 65
4-3-1- حذف قله‌های اضافی تابع ابهام 66
4-3-2- آشکارسازی در رادار غیر فعال 70
4-3-3- آشکارساز CFAR 71
4-4- به‌کارگیری آشکارساز چند مرحله ای GLR برای آشکارسازی اهداف در رادارغیرفعال مبتنی بر DVB-T 80
4-4-1- مدل سازی مسأله 80
4-4-2- نوشتن مسأله به صورت آزمون-فرضیه 81
4-5- نتیجه گیری 89

فصل پنجم : **نتیجه‌گیری و پیشنهادات**

5-1- نتیجه گیری 91
5-2- پیشنهادات 93

پیوست استانداردDVB-T

1- MPEG-2 و مالتی پلاکسینگ کانال‌ها 94
2-جداکننده 95

3- مدولاسیون و کدگذاری کانال 95
3-1- انطباق و تصادفی کردن مالتی‌پلکس انتقال برای پخش کردن انرژی 95
3-2- کدگذاری خارجی و درهم‌نهی خارجی 96
3-3- کدگذاری داخلی 97
3-4- درهم‌نهی داخلی 98
3-5- منظومه و نگاشت سیگنال 102
3-6- ساختار قاب OFDM 103
3-7- سیگنال‌های مرجع 105
3-8- سیگنالینگ پارامترهای ارسال(TPS) 107
3-9- استفاده از IFFT 112
مراجع 113

چکیده

رادارهای غیرفعال یکی از انواع رادارهای دوپایه هستند که از فرستنده‌های موجود در محیط به عنوان فرستنده مغتنم استفاده می‌کنند. این رادارها به علت نداشتن فرستنده‌ی اختصاصی، ارزان، کم حجم، غیرقابل شناسایی و مقاوم در مقابل موشک‌های ضد تشعشع (Anti Radiation Missiles) هستند و نیازی به تخصیص باند فرکانسی ندارند. همچنین چندپایه بودن این رادارها سبب می‌شودکه در مقابل تداخل‌های عمدی مصون بوده و قابلیت آشکارسازی اهداف در ارتفاع پایین‌تر را نیز داشته باشند. در مقابل، این رادارها معایبی نیز دارند. شکل موج فرستنده‌های مغتنم برای کاربردهای راداری طراحی نشده است و تحت کنترل طراح رادار نمی‌باشد. در رادارهای غیرفعال چون سیگنال ارسالی ناشناخته است، باید کانالی مجزا برای آن در نظر گرفته شود. این کانال، کانال مرجع نامیده می‌شود. بنابراین تمام گیرنده‌های رادارهای غیر فعال از دو کانال تشکیل شده‌اند: کانال هدف وکانال مرجع. هم‌چنین در فرکانس‌های پایین مثل VHF و UHF بهره قابل دستیابی توسط آنتن‌ها، محدود است و آنتن‌ها پهنای بیم زیادی دارند. به دلیل وسیع بودن بیم آنتن، کانال هدف، سیگنال مستقیم فرستنده را نیز دریافت می‌کند. به همین علت، پردازش سیگنال در این رادارها به مراتب پیچیده‌تر از رادارهای معمولی است. در بین سیگنال‌های فرستنده‌های مغتنم، سیگنال دیجیتال تلویزیون (DVB-T) به علت داشتن تابع ابهام سوزنی شکل و همچنین وابسته نبودن به زمان، برای کاربرد رادار غیر فعال، ایده‌آل به نظر می‌رسد. اما تعدادی قله اضافی در تابع ابهام این سیگنال وجود دارد. این قله‌های ناخواسته ممکن است اهداف دارای سیگنال به نویزهای پایین را در خود پنهان کنند و مانع از آشکارسازی آن‌ها شود یا ممکن است خود به عنوان هدف آشکار شوند. در این پایان نامه بعد از بررسی اثر قله‌ها، روش‌های حذف آن‌ها بررسی شده است. تا به حال پژوهش‌های زیادی در زمینه حذف قله‌های اضافی تابع ابهام سیگنال دیجیتال تلویزیون انجام شده است، اما کارآیی روش‌های موجود در آشکارسازی بررسی نشده است. در این پایان نامه نشان داده می‌شود که با استفاده از روش‌های مرسوم، این قله‌ها به طور کامل حذف نشده و قله‌های باقیمانده می‌توانند کارآیی آشکارساز را کاهش دهند. علاوه بر این در صورتی که تفاوت توان اهداف زیاد باشد، قله‌های اضافی اهداف قوی، آستانه آشکارساز را بالا برده و اهداف ضعیفی که در مکان این قله ها قرار دارند، آشکار نخواهند شد. در این پایان نامه، به‌کارگیری آشکارساز GLR برای آشکارسازی رادارغیرفعال مبتنی بر DVB-T پیشنهاد شده است. روش به‌کارگرفته شده علاوه بر اینکه نیازی به حذف قله‌های تابع ابهام ندارد، قادر به آشکارسازی اهداف با سیگنال به نویز پایین نیز می‌باشد. هم‌چنین عملکرد آشکارساز به‌کارگرفته شده با آشکارساز CA-CFAR که از روش حذف قله استفاده می‌کند، مقایسه شده و برتری عملکرد آشکارساز به‌کارگرفته شده نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: رادار دو پایه، رادارغیرفعال، سیگنال دیجیتال تلویزیونی، آشکارسازGLR

فصل اول
مقدمه

1-1- تاریخچه

رادار یک سیستم الکترومغناطیسی است که از یک فرستنده/گیرنده تشکیل شده و با ارسال سیگنال به سمت هدف و دریافت و پردازش سیگنال بازگشتی، وجود هدف، موقعیت آن در فضا، سرعت، اندازه و جزئیات دیگری در مورد آن را مشخص می‌کند.

رادارها براساس محل قرارگرفتن فرستنده و گیرنده به رادارهای تک پایه[1]، دو پایه[2] و چندپایه[3] تقسیم می‌شوند. در رادار های دو پایه، فرستنده و گیرنده به صورت مجزا و با فاصله از هم قرار می‌گیرند. تقریباً تمام رادارهای مورد استفاده درطول جنگ جهانی دوم، دوپایه بودند؛ چرا که در آن زمان، امکان جداسازی سیگنال فرستنده و گیرنده وجود نداشت[1]. با اختراع داپلکسر[4] و امکان ارسال سیگنال به صورت پالسی، رادارهای تک‌پایه جایگزین رادارهای دوپایه شدند. در این رادارها، فرستنده و گیرنده، در یک مکان قرار می‌گیرند و از یک آنتن مشترک برای گیرنده و فرستنده استفاده می‌شود. در سال‌های بعد با اختراع موشک‌های ضد تشعشعی ARM[5] و جمرها[6]، رادارهای تک‌پایه که دارای توان ارسال بالایی بودند، براحتی ردیابی و توسط موشک‌ها مورد تهدید واقع می‌شدند. بنابراین رادارهای دوپایه مجدداً مورد توجه قرار گرفتند.

---

[1] Monostatic
[2] Bistataic
[3] Multistataic
[4] Duplexer
[5] Anti Radiation Missiles
[6] Jammers

ازآنجا که درکاربردهای دیده‌بانی و مراقبت، نیاز به رادارهایی است که قابل شناسایی و ردیابی نباشند، ایده استفاده از فرستنده‌های غیر راداری موجود در محیط مطرح شد. این ایده چندان جدید نیست و اولین بار در دونتری انگلستان در فوریه 1935 ارائه شد. آرنولد ویلکینز[1] و رابرت واتسون- وات[2] در یک آزمایش توانستند یک بمب-افکن Heyford را در فاصله تقریبی 8 مایلی، با استفاده از امواج رادیویی BBC آشکار کنند[1]. به این دسته از رادارهای دوپایه که از فرستنده‌های غیر راداری موجود در محیط(فرستنده‌های مغتنم[3]) استفاده می‌کنند، رادار غیرفعال[4] می‌گویند.

به‌دلیل عدم وجود پردازنده‌های مناسب، تلاش برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده برای بهبود در آشکارسازی در رادارهای غیرفعال ناکام ماند. پیشرفت چشمگیر در سخت افزار پردازشگرهای دیجیتال(DSP[5])، در سال‌های اخیر موجب شد که رادارهای غیرفعال دوباره مورد توجه قرار گیرند[3 و 2].

1-2- رادارهای غیرفعال

سیستم رادارهای غیرفعال را با نام‌های PCL[6]وPBR[7]می‌شناسند. رادارهای غیر فعال به علت نداشتن فرستنده‌ی اختصاصی، ارزان، کم حجم، غیرقابل شناسایی و مقاوم در برابر موشک‌های ضد تشعشعی ARM هستند و نیازی به تخصیص باند فرکانسی ندارند. همچنین چندپایه بودن این رادارها سبب می‌شودکه در مقابل تداخل های عمدی مصون بوده و قابلیت آشکارسازی اهداف در ارتفاع پایین‌تر را داشته باشد[1]. علاوه بر این، چون سطح مقطع راداری دو پایه هدف با سطح مقطع راداری تک پایه متفاوت است، توانایی آشکارسازی و ردیابی اهداف پنهان را نیز دارند.

این رادارها معایبی نیز دارند. شکل موج فرستنده‌های مغتنم برای کاربردهای راداری طراحی نشده است و تحت کنترل طراح رادار نمی‌باشد. در صورتی‌که در رادارهای فعال، شکل موج ارسالی برای رسیدن به تابع ابهام ایده‌آل (باریک‌ترین قله در برد و داپلر و پایین بودن سطح گلبرگ‌های کناری[8]) طراحی می‌شود. اما در رادارهای غیرفعال، چون سیگنال ارسالی ناشناخته است، باید یک کانال مجزا برای آن در نظر گرفت. این کانال، کانال مرجع نامیده می-شود. بنابراین تمام گیرنده‌های رادارهای غیر فعال از دو کانال تشکیل شده‌اند: کانال هدف و کانال مرجع[3]. همچنین در فرکانس‌های پایین مثلVHF و UHF بهره قابل دستیابی توسط آنتن‌ها، محدود است و آنتن‌ها پهنای بیم زیادی دارند. به دلیل وسیع بودن بیم آنتن، آنتن(کانال) هدف، سیگنال مستقیم فرستنده را نیز دریافت می‌کند. به همین علت، عملیات پردازش سیگنال در این رادارها به مراتب پیچیده‌تر از رادارهای معمولی است.

---

[1] Arnold Wilkins
[2] Robert Watson-Watt
[3] Illuminator Of Opportunity
[4] Passive Radar
[5] Digital Signal Processing
[6] Passive Coherent Location
[7] Passive Bistatic Radar
[8] Side Lobe

1-3- اصول عملکرد رادار غیر فعال

رادارهای غیرفعال از دو آنتن(کانال) برای جمع آوری سیگنال استفاده می‌کنند:کانال مرجع که فقط سیگنال مستقیم فرستنده را دریافت می نماید وکانال هدف که سیگنال بازگشتی از هدف را جمع‌آوری می‌کند. البته کانال هدف علاوه بر سیگنال بازگشتی هدف، سیگنال فرستنده را نیز دریافت می‌کند. سیگنال بازگشتی هدف بسیار ضعیف می‌باشد،در نتیجه در تداخل مسیر مستقیم(DPI[1]) ناپدید می‌شود. این تداخل را می‌توان با استفاده از روش‌های سخت افزاری شامل شکل دهی الگوی آنتن‌ها[2] ، حذف آنالوگ[4] یا روش‌های پردازشی مانند فیلتر وینر[3]، روش کاهش با بیشترین شیب[4]، فیلترهای وفقی FIR[5] مانندLMS[6]،RLS[7]،EDS[8] حذف کرد[7-5]. پس از حذف تداخل مسیرمستقیم در کانال هدف، پیش پردازش‌های لازم برای آماده‌سازی سیگنال کانال مرجع صورت می‌گیرد. سپس فرآیند آشکارسازی به‌وسیله محاسبه همبستگی بین سیگنال کانال مرجع و سیگنال کانال هدف انجام می‌گیرد. در نهایت اهداف توسط آشکارساز CFAR آشکارسازی می‌شوند.

1-4- انتخاب فرستنده مناسب برای رادار غیر فعال

فرستنده‌های مختلف آنالوگ و دیجیتال، مانند سیگنال تلویزیون آنالوگ [10-8] ، سیگنالDVB-T[9] [14-11]، سیگنالFM [15، 6، 3 و2]، DAB[10] [18-16]، GSM[11] [22-19] و ماهواره می‌توانند به عنوان فرستنده مغتنم برای رادار غیر فعال استفاده شوند. انتخاب سیگنال بر اساس پوشش زمانی و فضایی، توان فرستنده‌ها، فرکانس مرکزی فرستنده، پهنای باند سیگنال پخش[12]و تابع ابهام سیگنال انجام می‌شود. پهنای باند سیگنال در میزان قدرت تفکیک برد[13]، شکل تابع ابهام (مؤثردر کارآیی آشکارساز سیستم PBR) و سایر پارامترها روی پوشش سیستم PBR موثرند[2]. از میان سیگنال‌های مختلف، سیگنال DVB-T از نظر پوشش برد و سطح توان، وضعیت مناسبی دارد و دارای تابع ابهام نزدیک به تابع ابهام ایده‌آل بوده و برخلاف سیگنالFM، دارای تابع ابهام ثابت نسبت به محتوای برنامه‌ی درحال پخش و زمان است. اما در تابع ابهام این سیگنال، قله‌های[14] ناخواسته‌ای دیده می‌شودکه به خاطر ساختار خود سیگنال DVB-T است. این قله‌های ناخواسته ممکن است اهداف با سیگنال به نویزهای پایین را در خود

---

[1] Direct Path Interference
[2] Beam Forming
[3] Wiener filter
[4] steepest descent
[5] Finite Impuse Response
[6] Least Mean Square
[7] Recursive Least Squares
[8] Euclidean Direction Search
[9] Digital Video Broadcasting Terrestrial
[10] Digital Audio Broadcasting
[11] Global Sytem for Mobile Communication
[12] Broadcast signal
[13] Range Resolution
[14] peak

پنهان کنند و مانع از آشکارسازی آن‌ها شود یا ممکن است این قله‌ها به عنوان هدف آشکار شده، احتمال هشدار کاذب را افزایش دهند.

1-5- موضوعات مورد بررسی در تحقیقات مرتبط با رادارهای غیر فعال و رادارهای مبتنی بر DVB-T

رادارهای غیرفعال به دلیل نداشتن فرستنده اختصاصی و ذات دو پایه، به استفاده از روش‌های پردازشی پیچیده-تری در مقایسه با رادارهای فعال تک پایه نیاز دارند؛ برای مثال:

- حذف تداخل مسیر مستقیم و سیگنال های چند مسیره/کلاتر در کانال هدف
- آشکارسازی بی‌درنگ[1] هدف
- تخصیص و ردیابی اهداف
- بهبود کارآیی با استفاده از چندین کانال
- بهبود تابع ابهام DVB-T جهت حذف قله‌های اضافی

1-6- هدف و ساختار پایان نامه

هدف این پایان نامه بررسی مشکلات موجود در رادار غیرفعال مبتنی بر DVB-T و بررسی آشکارسازی در این نوع رادارها می‌باشد. در فصل دوم در ابتدا کلیاتی درباره رادار های دوپایه و مقایسه این رادارها با رادارهای تک‌پایه بیان خواهد شد. همچنین روابط راداری، پردازش سیگنال و فرستنده‌های مورد استفاده در این رادارها، مزیت‌ها و معایب هرکدام مورد بررسی قرار خواهدگرفت. در بین فرستنده‌های موجود، فرستنده سیگنال DVB-T را به عنوان فرستنده رادار غیر فعال انتخاب کرده و سپس در فصل سوم مشکلات رادار غیر فعال مبتنی بر سیگنال DVB-T و بطور خاص موضوع قله‌های اضافی درتابع ابهام این سیگنال را بررسی می‌کنیم. همچنین مروری بر روش‌های حذف قله‌های اضافی تابع ابهام سیگنال DVB-T خواهیم داشت. در فصل چهارم، یکی از روش‌های حذف قله انتخاب و کارآیی آن را در آشکارسازی بررسی خواهیم کرد. نشان داده می‌شود که روش انتخابی دارای مشکلات فراوانی خواهد بود. بنابراین به‌کارگیری یک آشکارسازGLR[2] جهت کشف اهداف در رادار غیر فعال مبتنی بر DVB-T پیشنهاد شده است و با شبیه سازی چند چیدمان، برتری آشکارساز GLR نشان داده خواهد شد و در نهایت در فصل پنجم نتایج و پیشنهاداتی برای ادامه کار آورده شده است.

---

[1] Real Time
[2] Generalized Likelihood Ratio

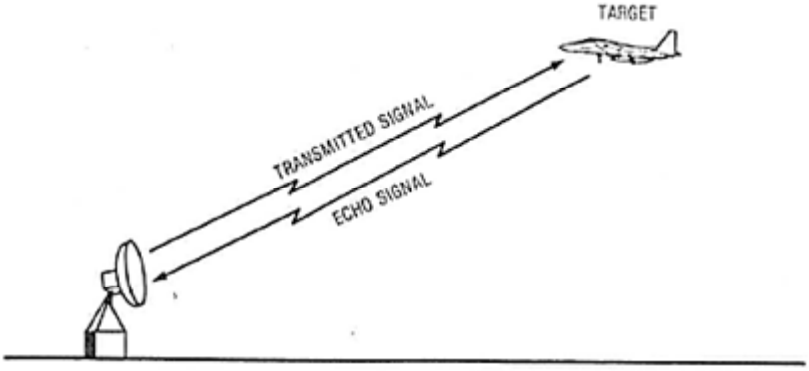
فصل دوم
رادارهای دو پایه و رادارهای غیر فعال

2-1- مقدمه

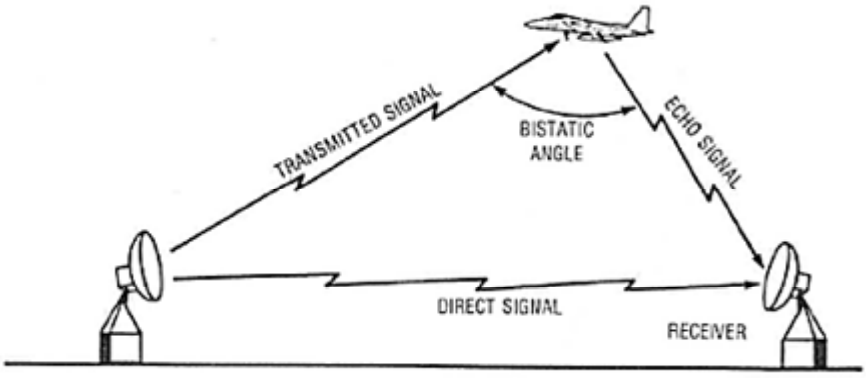
در این فصل معادلات و ساختار هندسی رادارهای دو پایه بررسی می‌شود و نگاهی کوتاه به پردازش سیگنال در رادارهای غیر فعال (که یکی از انواع رادارهای دو پایه می باشد)، خواهیم داشت. علاوه براین، معمول‌ترین سیگنال‌های مورد استفاده در رادار غیر فعال به طور مختصر مورد بحث قرار گرفته‌اند.

2-2- رادارهای دو پایه

سیستم‌های راداری را می‌توان بر اساس مکان فرستنده و گیرنده به سه گروه رادارهای تک پایه، دو پایه و چند پایه تقسیم بندی کرد. در رادارهای تک پایه، از یک آنتن فرستنده/گیرنده استفاده می‌شود. دراین سیستم‌ها، یک ابتدا سیگنال به سمت هدف ارسال و در گیرنده بازتاب آن دریافت می‌شود. با اندازگیری زمان رفت و برگشت سیگنال، می توان برد هدف را با معادله‌ی $R = ct/2$ ، (که درآن t زمان رفت و برگشت سیگنال ارسالی وc سرعت انتشار سیگنال است)، محاسبه کرد. در سیستم‌های راداری دو پایه، فرستنده و گیرنده با فاصله‌ای که نسبت به برد هدف قابل مقایسه است، از هم قرار دارند[24]. سیگنال فرستنده به هدف برخورد می‌کند و بازتاب آن توسط آنتن گیرنده جمع آوری می‌گردد. تداخل مسیر مستقیم فرستنده نیز در گیرنده دریافت می‌شود. در رادارهای دو پایه معمولاً مجموع فاصله ی فرستنده-هدف و هدف-گیرنده به عنوان برد دو پایه هدف در نظر گرفته می شود. شکل 2-1 شمایی از رادار تک پایه و دو پایه را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

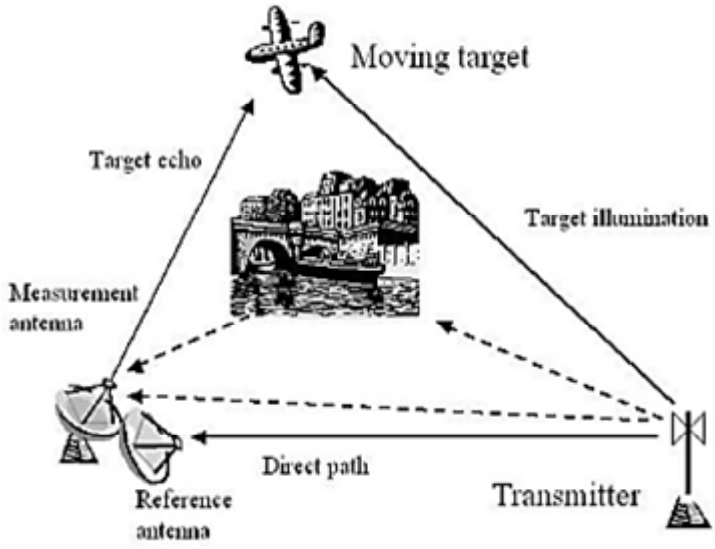
شکل 2-1-الف) رادار تک پایه ب) رادار دو پایه[27]

2-2-1- رادارهای غیرفعال

رادارهای غیرفعال یکی از انواع رادارهای دوپایه می‌باشند که برخلاف سیستم‌های راداری فعال، دارای فرستنده اختصاصی نیستند. این سیستم‌ها از فرستنده‌های مغتنم مثل سیگنال‌های مخابراتی و پخش تجاری[1] برای آشکارسازی و ردیابی هدف استفاده می‌کنند. در رادارهای غیرفعال، زمان ارسال وشکل موج ارسالی اغلب برای گیرنده نامعلوم است. بنابراین در گیرنده از دو آنتن استفاده می‌شود. یک آنتن برای دریافت سیگنال فرستنده مورد نظر اختصاص می‌یابد(کانال مرجع)، به طوری‌که گلبرگ‌های اصلی این آنتن به سمت فرستنده باشد. آنتن دوم وظیفه دریافت سیگنال بازگشتی هدف را بر عهده دارد. این کانال، کانال هدف[2] یا کانال مراقبت[3] نامیده می‌شود. گیرنده برای محاسبه برد دو پایه هدف، اختلاف زمانی ورود (TDOA[4]) سیگنالی که مستقیماً دریافت شده و سیگنالی که از بازتاب هدف رسیده را اندازه‌گیری می‌کند[38]. یک رادار غیرفعال مکان، جهت و سرعت هدف را تعیین می‌کند.

[1]Commercial
[2]Target channel
[3]Surveilance channel
[4]Time Difference Of Arrival

این مقادیر با استفاده از تأخیر، زاویه ورود سیگنال بازگشتی هدف و شیفت داپلر دو پایه محاسبه می‌شود. شمایی از یک رادار غیرفعال در شکل 2-2 نشان داده شده‌است.



شکل2-2-شمایی از یک رادار غیرفعال[32]

با گسترش تقاضا برای بهبود دیده بانی، مخصوصاً در کاربردهای نظامی، فناوری رادارهای غیر فعال با تأکید بر مزایای زیر پیشنهاد شده است. سیستم‌های راداری غیرفعال به سختی مکان‌یابی می‌شوند و می‌توانند اهدافی ارتفاع پایین را آشکار کنند[28]؛ هم‌چنین توانایی آشکارسازی اهداف پنهان[1] را دارند، زیرا اهدافی که شکل هندسی آن‌ها منجر به سطح مقطع راداری تک پایه (RCS[2]) ناچیز می‌شود، دارای سطح مقطع راداری دو پایه (BRCS[3]) قابل توجهی هستند[29]. تعداد زیادی فرستنده‌های آنالوگ و دیجیتال VHF، رادیو و تلویزیونUHF توان بالا موجود است و به علت اینکه باند فرکانسی مورد استفاده این رادارها معمولاً پایین‌تر از باند فرکانسی رادارهای تک پایه است، روش‌هایی که برای پنهان کردن اهداف بکار گرفته می‌شود، تأثیر بسیار کمتری روی این رادارها دارند.[26]

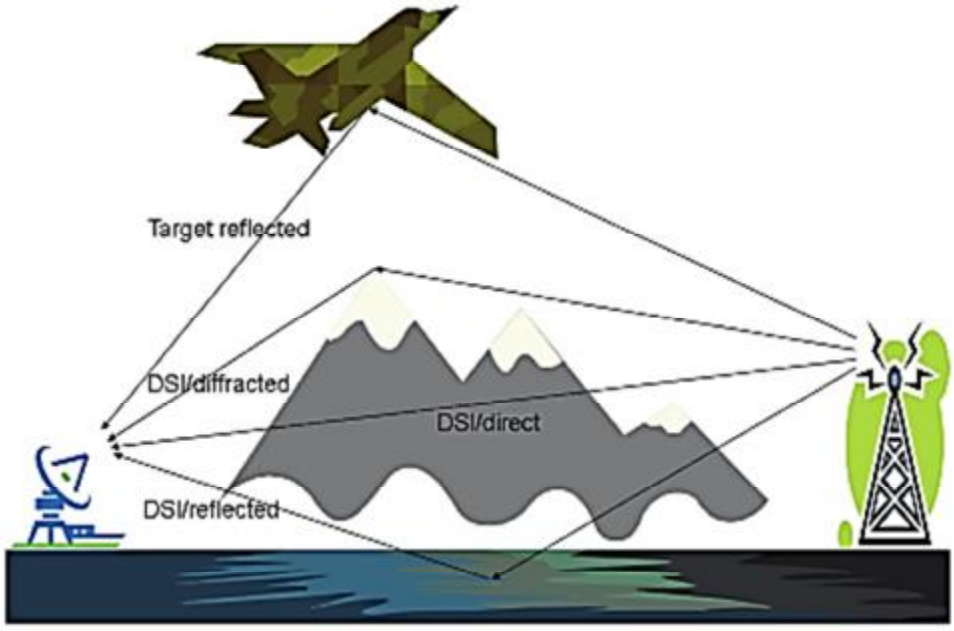
یکی از چالش‌های مهم در رادارهای غیرفعال مبتنی بر فرستنده‌های مخابراتی وجود تداخل مسیر مستقیم وتوان دریافتی زیاد آن در مقایسه با توان دریافتی از سیگنال بازگشتی هدف است. در حالت ایده‌آل، کانال هدف باید فقط سیگنال بازگشتی از هدف را جمع آوری کند. اما در عمل تداخل مسیر مستقیم ازگلبرگ کناری/پشتی[4] آنتن دریافت می‌شود. این سیگنال، تداخل مسیر مستقیم (DPI) نامیده می‌شود. همچنین سیگنال فرستنده ممکن است به وسیله زمین پراکنده شود یا از یک سطح ناخواسته منعکس شده و در گیرنده دریافت شود. به این سیگنال‌های ناخواسته کلاتر[5] گفته می‌شود. کلاتر به دو گروه کلاتر زمین وکلاتر ناشی از مصنوعات انسانی شامل اتومبیل، ساختمان و غیره، تقسیم

[1]Stealth Target
[2]Radar Cross Section
[3]Bistatic Radar Cross Section
[4]Side/Backlobe
[5]Clutter

می‌شود. تداخل مسیر مستقیم بسیار قوی بوده و معمولاً تمام اهداف را زیر سطح گلبرگ‌های کناری می پوشاند. بازتاب قوی کلاتر/پدیده چند مسیره نیز روی سیگنال بازگشتی اثر می‌گذارند و می‌توانند به عنوان هدف آشکارشده و باعث هشدار کاذب شوند. بنابراین بازتاب هدف ممکن است توسط 1) بخشی از سیگنال مستقیم که از آنتن (کانال) هدف وارد می‌شود و 2) بازتاب‌های قوی کلاتر/ چند مسیره و 3) بازتاب‌های اهداف قوی حتی با فاصله برد/ داپلر زیاد، پنهان شوند. شکل 2-3 نمایی از سیگنال‌های بازگشتی هدف، تداخل مسیر مستقیم و کلاتر را نشان می-دهد[38].

راه‌های زیادی برای کاهش تداخل مسیر مستقیم تا سطح نویز وجود دارد. در حالت کلی برای حذف یا تضعیف تداخل مسیر مستقیم یا کلاتر می‌توان از یکی از روش‌های زیر استفاده کرد[7-4 و 30]:

- حذف آنالوگ
- روش‌های مبتنی بر الگوریتم clean
- روش‌های مبتنی بر پوچ گذاری[1] و شکل دهی الگو آنتن‌ها در گیرنده کانال مراقبت
- روش‌های پردازشی مانند فیلتر وینر، روش کاهش با بیشترین شیب، فیلترهای وفقی FIR مانندLMS، RLS، EDS



شکل 2-3-نمایی از سیگنال های بازگشتی هدف، تداخل مسیر مستقیم و کلاتر [38]

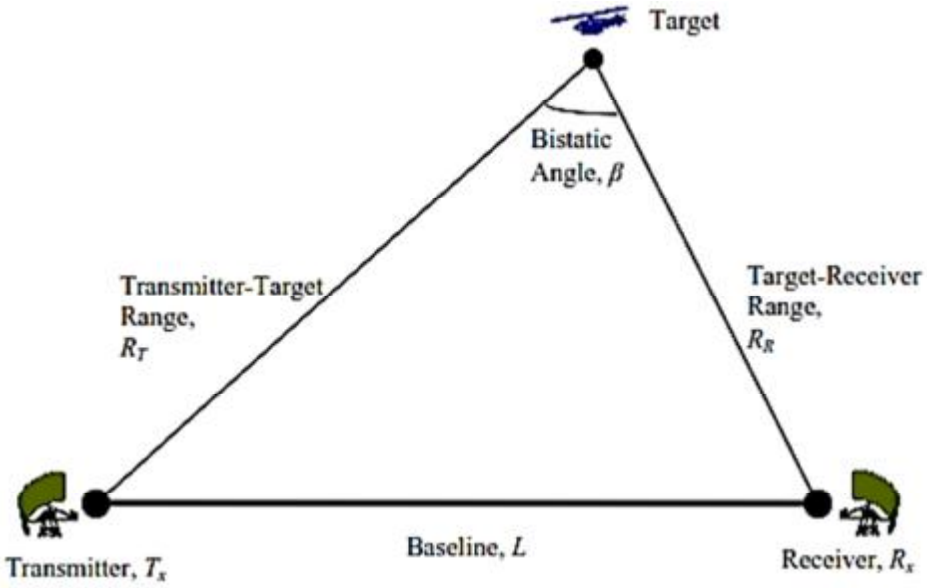
در ادامه به بررسی هندسه رادارهای دو پایه می‌پردازیم؛ زیرا رادارهای غیر فعال نوعی از رادارهای دوپایه هستند و در نتیجه معادلات و ساختارهای رادار دو پایه برای رادار غیرفعال نیز قابل به‌کارگیری است.

[1]Nulling

2-2-2- هندسه دو پایه

رادار دو پایه در استاندارد IEEE 686-1997 به عنوان راداری تعریف می‌شودکه در آن، فاصله‌ی آنتن‌های فرستنده و گیرنده به اندازه ایست که برد هدف نسبت به مکان فرستنده و گیرنده تفاوت قابل توجهی داشته باشند[23].

شکل 2-4 این تعریف را روشن‌تر می‌سازد. در این شکل فرستنده و گیرنده در دومکان به فاصله L، از هم قرار دارند. خط واصل گیرنده و فرستنده خط مبنا نامیده می‌شود. به صفحه شامل گیرنده، هدف و فرستنده صفحه دو پایه و به زاویه‌ای که توسط فرستنده - هدف-گیرنده تشکیل می‌شود، بطوری که هدف در رأس آن قرار داشته باشد، زاویه دوپایه (β) می‌گویند. برد فرستنده تا هدف R_T و برد هدف تا گیرنده R_R می‌باشد. رادارهای دو پایه مجموع این دو برد را (که با R نشان داده می‌شود) به عنوان برد دوپایه اندازه‌گیری می‌کنند[24].

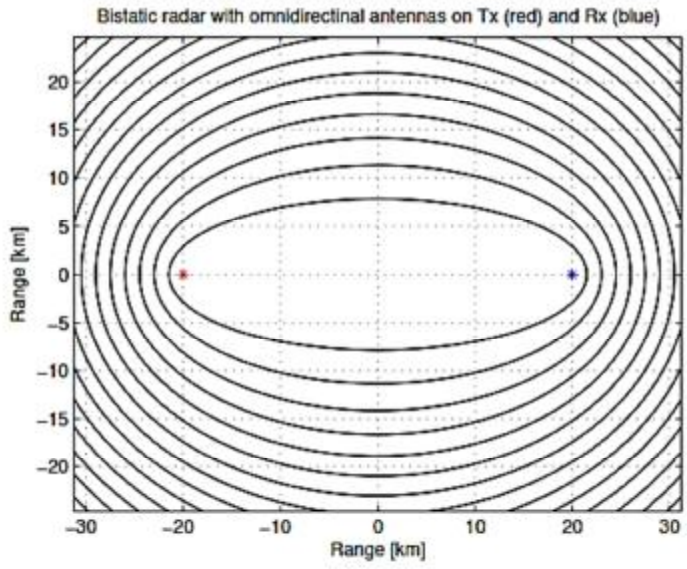


شکل 2-4-هندسه رادار دو پایه[24]

مکان هندسی نقاطی که مجموع فاصله آن‌ها از دو نقطه ثابت یکسان باشد، بیضی است. در اینجا نقاط ثابت، فرستنده وگیرنده و مکان هندسی نقاط، مکان‌های احتمالی هدف می‌باشند. مجموع فاصله $R_R+R_T=2a$ می‌باشد که $2a$ قطر بزرگ بیضی است. به عبارت دیگر هنگامی که R_R+R_T دریک رادار دو پایه اندازه‌گیری می‌شود، تمام مکان های ممکن هدف در روی یک بیضی با نقاط کانونی که در فرستنده/گیرنده هستند، قرار می‌گیرند. شکل2-7 بیضی‌های هم برد با مقادیر مختلف R_R+R_T را نشان می‌دهد[24]. واضح است که در رادار تک پایه $R_R=R_T$ و کانتورهای برد ثابت، دایره‌هایی با شعاع a می‌باشند.

گریز از مرکز بیضی، e، به صورت زیر تعریف می‌شود[24].

$$e = L/2a = L/(R_T + R_R) \qquad ۰ \le e \le ۱ \qquad (1\text{-}2)$$



شکل 2-7-کانتورهای هم برد(هر کانتور یک رسم از معادله"ثابت = $R_R + R_T$ "می باشد[24]

برای حالت تک پایه$L=0$ و در نتیجه$e=0$ می‌شود. برای حالت forward scattering که هدف در روی خط مبنا قراردارد، $L = R_T + R_R$، گریز ازمرکز برابر 1 می‌باشد و اطلاعات برد یا داپلر قابل دسترس نیست. گریز از مرکز می‌تواند به عنوان یک معیار برای میزان دوپایه بودن جغرافیای فرستنده-گیرنده-هدف باشد.

2-2-3- معادله رادار دو پایه

در حالت کلی برای هر رادار دوپایه داریم [31]:

$$\frac{p_r}{p_n} = \frac{p_t G_t}{4pR_T^2} \frac{s_b}{4pR_R^2} \frac{G_r l^2}{4p} \frac{1}{kT_0 BF} L_s \qquad (2\text{-}2)$$

که در آن داریم:

P_r : توان متوسط سیگنال دریافتی

P_n : توان نویز دریافتی

P_t : توان متوسط ارسالی فرستنده

G_t : بهره آنتن فرستنده

G_r : بهره آنتن گیرنده

R_T : فاصله فرستنده تا هدف

R_R : فاصله گیرنده تا هدف

s_b : سطح مقطع راداری دوپایه هدف

L_s : تلفات سیستم

k : ثابت بولتزمن

l : طول موج سیگنال

T_0 : دمای نویز مرجع(290°k)

B : پهنای باند مؤثر

F : عدد نویز مؤثر

در رابطه 2-2 برای سطح مقطع راداری دو پایه، σ_B، می‌توان از تقریب معادلات سطح مقطع راداری تک پایه استفاده کرد. به همین منظور سه ناحیه مختلف برحسب زاویه دوپایه، یعنی b را در نظر می‌گیریم: ناحیه شبه تک-پایه[1]، دوپایه و پراش جلو سو[2]. در ناحیه شبه تک‌پایه، مقدار سطح مقطع راداری دوپایه با سطح مقطع راداری تک‌پایه ضرب در$\cos(\beta/2)$ تقریب زده می‌شود. این تقریب، برای زاویه‌های دوپایه کم ($b < 5^\circ$)، معتبر می‌باشد. برای زاویه‌های دوپایه بزرگتراز 5° (ناحیه دو پایه) سطح مقطع راداری دوپایه با سطح مقطع راداری تک پایه کاملاً متفاوت می‌باشد و رابطه زیر صادق است:

$$-20dB < \frac{s_{bistatic}}{s_{monostatic}} < -12dB \qquad (3\text{-}2)$$

اگر هدف روی خط دوپایه بود ($b \approx ۱۸۰^\circ$) ، در ناحیه پراش جلو سو هستیم [44].

2-2-4- حداکثر بردآشکارسازی و حداکثر مدت زمان انتگرال‌گیری

در سیستم PCL، سیگنال مسیر مستقیم به عنوان مرجع برای محاسبه میزان همبستگی سیگنال هدف به منظور فراهم کردن بهره پردازشی مناسب برای آشکارسازی به کار می‌رود. بهره پردازشی به مدت زمان انتگرال‌گیری همدوس(CIT[3]) که برابر معکوس پهنای باند معادل نویز فیلتر پیش پردازش گیرنده (B_n) تعریف می‌شود، بستگی دارد. به عبارت دیگر، مدت زمان انتگرال‌گیری همدوس مدت زمانی است که بازتاب هدف همدوس می‌ماند. حداکثر مدت زمان لازم برای پردازش همدوس به مقدار گستردگی داپلر هدف[4]، Δf_d، وابسته است[25] .

که T_{max} حداکثر مدت زمان لازم برای پردازش همدوس می‌باشد.

$$T_{\max} = 1/\Delta f_d = 1/B_n \qquad (4\text{-}2)$$

در حالت تک‌پایه و برای زاویه‌های b کم، گسترش داپلر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

[1] Quasi-monostatic
[2] forward scattering
[3] Coherent Integration Time
[4] Doppler spreading

$$(\Delta f_d)_{mono} = \sqrt{\frac{2a_r}{l}} \qquad (5\text{-}2)$$

که a_r مؤلفه شعاعی شتاب هدف است. برای حالت دوپایه و برای b بزرگ (برای مثال b =90°) داریم:

$$(\Delta f_d)_{bist} = \sqrt{\frac{a_r}{l}} \qquad (6\text{-}2)$$

بنابراین حداکثر بهره پردازشی عبارت است از:

$$G_p = T_{\max} B \qquad (7\text{-}2)$$

با استفاده از روابط 2-4، 2-6، 2-7 و رابطه رادار دوپایه (2-2)، حداکثر برد آشکارسازی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(R_R)_{\max} = \left[\frac{\Phi G_r l^2 s_b L G_p}{(4p)^2 k T_0 B F (S/N)_{\min}} \right]^{\frac{1}{2}} \qquad (8\text{-}2)$$

که $\Phi = \frac{G_t p_t}{4pR_R^2}$ چگالی توان ارسال در مکان هدف است. این رابطه پوشش حول فرستنده و گیرنده را به صورت مکان هندسی متناظر با ثابت $= R_R R_T$ بیان می‌کند. این مکان هندسی، بیضی‌های کاسینی نامیده می‌شود و از آن می‌توان برای بررسی عملکرد فرستنده‌های مغتنم استفاده کرد.

2-2-5- **بیضی‌های کاسینی**[1]

بیضی‌های کاسینی، مکان هندسی نقاطی هستند که حاصل‌ضرب فاصله آن‌ها از دو نقطه ثابت، یکسان باشد. در مثلث دوپایه که از فرستنده-هدف-گیرنده تشکیل شده است، دو نقطه ثابت فرستنده و گیرنده و فاصله ها R_T و R_R می‌باشد.کارآیی سیستم با رسم بیضی‌های کاسینی که تابعی از نسبت توان سیگنال به توان نویز (SNR) می‌باشد، بررسی می‌شود. سیگنال به نویزهای اطراف مکان فرستنده و گیرنده بیشترین مقدار بوده و هر چه دورتر می‌رویم مقدار آن افت می‌کند. برای به‌دست آوردن بیضی‌های کاسینی باید تمام پارامترها در معادله 2-2 بجز R_T و R_R ثابت باشند[24]. بنابراین معادله 2-2 به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$(R_T R_R)^2_{\max} = \frac{k_B}{(S/N)_{\min}} \qquad (9\text{-}2)$$

که k_B ثابت رادار دوپایه است:

[1] Ovals of cassini