



دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی مهندسی برق

(گرایش مخابرات)

بررسی الگوریتم‌ها و روش‌های اختلال در سیستم‌های رادار و

تکنیک‌های مختلف مقابله با آن

نگارنده:

علیرضا جامی

استاد راهنما:

دکتر امیر مهدیرضائی

استاد مشاور:

دکتر حبیب‌الله زلفخانی

تیر 91

با تقدیر و درود فراوان

خدمت پدر و مادر بسیار عزیز ، دلسوز و فداکارم

که

پیوسته جرعہ نوش جام تعلیم و تربیت ، فضیلت و انسانیت

آنها بوده‌ام

و همواره چراغ وجودشان

روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است .

تقدیر و تشکر

خدایا: مرا یاری ده تا جامعه‌ام را بر سه پایه "کتاب، ترازو و آهن" استوار کنم، و دل را از سه سرچشمه

"حقیقت، زیبایی و خیر" سیراب سازم. مذهب بی‌عوام، ایمان بی‌ریا، خوبی بی‌نمود، گستاخی بی‌حامي،

مناعت بی‌غرور، عشق بی‌هوس، تنهایی در انبوه جمعیت، و دوست داشتن بی‌آنکه دوست بدانند، روزی کن.

از زحمات بی‌دریغ استاد محترم و عزیزم جناب آقای دکتر امیر مهدیرضائی که همواره پشتوانه‌ی گرمی برای

ادامه‌ی راه من بودند و در طی این پروژه مرا یاری کردند کمال تشکر را می‌نمایم.

از اساتید گرامی، جناب آقایان دکتر حبیب‌الله زلفخانی، دکتر محمد مصطفوی، دکتر فرشاد مریخ بیات، دکتر

ابوالفضل جلیلود و دکتر بارقلی که در طی این چند سال مرا از تجارب خود بهره‌مند ساخته و همواره مشوق

من در ادامه‌ی راه بودند، کمال تشکر را نموده و یاد آن‌ها را گرامی می‌دارم.

از واحد آزمایشگاه‌های مخبرات، میکروویو و آنتن دانشگاه و دکتر زلفخانی که در زمان انجام پروژه نهایت

همکاری را داشتند سپاس‌گزاری می‌کنم.

در پایان از برادران عزیزم جناب مهندس حمید جامی و مهندس محمدرضا جامی و خواهران عزیزم و دوست

عزیزم مهندس رسول سهرابی و دیگر عزیزانی که در این پروژه به نحوی مرا مورد لطف خود قرار داده و در

اینجا نامی از آن‌ها برده نشد پوزش می‌طلبم و صمیمانه از آن‌ها تشکر کرده و موفقیت و سلامت روزافزون

ایشان را از خداوند منان خواستارم.

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول : رادار ۱

۱-۱- رادار چگونه ابداع شد؟ ۴

۱-۲- چگونگی عملکرد رادارها ۶

۱-۳- اصول رادار ۷

۱-۴- پهنای باند ۷

۱-۵- قطبیدگی (polarization) ۸

۱-۶- هندسه رادار (radar geometry) ۹

۱-۷- واژه شناسی ۱۰

۱-۸- اثرات سطح بر تصویر رادار ۱۱

۱-۹- دقت تفکیک (spatial resolution) ۱۲

۱-۱۰- رادار دهانه ترکیبی (synthetic aperture radar) ۱۴

۱-۱۱- خصوصیات تصویر رادار ۱۴

۱-۲-۱- دید چندگانه (multi-looking processing) ۱۵

۱-۲-۲- فیلترینگ (spatial filtering) ۱۵

۱-۳- کاربردهای پیشرفته ۱۷

۱-۳-۱- کاربردهای رادار ۱۸

۱-۳-۱-۱- کاربردهای غیره نظامی ۱۸

۱-۳-۱-۲- کاربردهای نظامی ۱۹

۳-۱-۱-۱- انواع رادار ۱۹

۱-۱-۳-۱- رادارهای پالسی ۲۰

۲-۱-۳-۱- رادار موج پیوسته (CW) ۲۰

۳-۱-۳-۱- رادار آشکار ساز اهداف متحرک (هوایی) ۲۰

۴-۱-۳-۱- رادار روزنه مصنوعی ۲۰

۵-۱-۳-۱- رادار SLAR ۲۱

۶-۱-۳-۱- رادار ردیاب ۲۱

۷-۱-۳-۱- رادار TWS ۲۱

۸-۱-۳-۱- رادار HF - OTH ۲۲

۹-۱-۳-۱- رادار پالس دوپلری ۲۲

۱۰-۱-۳-۱- رادار دریایی ۲۲

۱۱-۱-۳-۱- رادار میلیمتری ۲۲

۱۲-۱-۳-۱- رادار ماورای افق (OTH) باند HF ۲۳

۱-۱-۴-۱- رادارهای فرا افق نگر آسمانی ۲۴

۲-۱-۴-۱- رادارهای فرا افق نگر سطحی ۲۵

۳-۱-۴-۱- رادار روزنه مصنوعی (SAR) ۲۸

۱-۱-۴-۳-۱- رادار روزنه مصنوعی SAR چگونه کار می کند؟ ۲۹

۵-۱-۱- رادارهای پالسی ۳۱

۱-۱-۵-۱- رادارهای پالسی معمولی ۳۲

۲-۱-۵-۱- رادارهای پالسی با قدرت تفکیک بالا ۳۲

۳-۱-۵-۱- رادار پالس فشرده ۳۳

۴-۵-۱- بلوک دیاگرام اساسی رادار پالسی ۳۲

۱-۵-۱-۱- اجزای بلوک دیاگرام رادار پالسی ۳۳

۲-۵-۱-۱- تطبیق دهنده زمانی (همزمان کننده) ۳۴

۳-۵-۱-۱- مدولاتور ۳۴

۴-۵-۱-۱- فرستنده ۳۴

۵-۵-۱-۱- دوپلر کننده ۳۴

۶-۵-۱-۱- آنتن ۳۵

۷-۵-۱-۱- دستگاه محافظ گیرنده ۳۵

۸-۵-۱-۱- گیرنده ۳۵

۹-۵-۱-۱- نمایشگر ۳۶

۱۰-۵-۱-۱- سرووی آنتن ۳۶

۱۱-۵-۱-۱- هدف یابی ۳۶

۶-۱-۱- پارامترهای اساسی رادار پالسی ۳۶

۷-۱-۱- نتایج مدلسازی و شبیه‌سازی پارامترهای رادار پالسی ۳۸

۸-۱-۱- رادارهای آرایه فازی ۴۲

۹-۱-۱- مبانی آرایه فلزی و هدف گیری در آن ۴۵

۱۰-۱-۱- نگاهی ساده بر نحوه عملکرد این آنتن ها ۴۶

۱۱-۱-۱- آشیانه یابی برای موشک ۵۵

فصل دوم: اخلاص و جنگ الکترونیک ۵۶

۲- تعریف اخلاص ۵۷

۱-۲-۲- روش پایه‌ای اخلاص ۵۷

۱-۲-۲- انواع اخلاص ۵۷

۲-۲-۲- قاعده اخلاص ۵۸

۳-۲-۲- طبقه بندی اخلاخل ۵۹

۴-۲-۲- اخلاخل مخابراتی ۵۹

۵-۲-۲- اخلاخل رادار ۵۹

۶-۲-۲- اخلاخل خود محافظ و اخلاخل از راه دور ۵۹

۷-۲-۲- اخلاخل پوششی ۶۰

۸-۲-۲- اخلاخل فریبنده ۶۱

۹-۲-۲- هدف مصنوعی ۶۲

۳-۲-۲- نمونه هایی از اخلاکلهای مخابراتی ۶۳

۴-۲-۲- نمونه هایی از Jammer Pod ۶۴

۵-۲-۲- جنگ الکترونیک ۶۵

فصل سوم: کلاتر رادار و روشهای حذف آن ۶۹

۳- کلاتر را دار و روشهای حذف آن ۶۹

۱-۳ انواع کلاتر ۶۹

۱-۱-۳ کلاتر دریا ۶۹

۲-۱-۳ کلاتر زمین ۷۰

۳-۱-۳ کلاتر اتمسفر ۷۰

۱-۲-۳ روشهای حذف کلاتر ۷۰

۲-۲-۳ آیا کلاتر همواره یک عامل مزاحم است ؟ ۷۱

فصل چهارم: استیلس و راههای مقابله با رادارگریزی ۷۲

۴- استیلس و راههای مقابله با رادارگریزی ۷۲

۱-۴- LPI یا Low Probability of Intercept چیست ؟ ۷۳

۲-۱-۴- RWR چیست؟ ۷۳

۳-۱-۴- روشهای موثر در LPI ۷۳

۲-۴- چهار اصل اساسی در استیلس ۷۴

۱-۲-۴- استیلس راداری ۷۴

۲-۲-۴- استیلس حرارتی ۷۵

۳-۲-۴- استیلس صدا ۷۵

۴-۲-۴- استیلس ظاهری ۷۵

۵-۲-۴- هواپیماهای استیلس ۷۵

۳-۴- انواع تکنیک های استیلس ۷۸

۱-۳-۴- استیلس راداری ۷۸

۲-۳-۴- کاهش سطح مقطع راداری (RCS) ۷۸

۳-۳-۴- مواد جاذب راداری ۸۱

۴-۳-۴- استیلس صدا ۸۶

۵-۳-۴- عوامل دیگر موثر بر استیلس ۸۶

۴-۴- معایب هواپیماهای رادار گریز ۸۷

۵-۵- راههای مقابله با رادار گریزی ۸۸

۱-۵-۴- رادار غیرفعال ۸۹

۲-۵-۴- رادار بای استاتیک ۸۹

۳-۵-۴- رادار لیزری ۸۹

۴-۵-۴- رادار حرارتی ۸۹

۵-۵-۴- رادار دو بعدی NEBO-SV ۸۹

۶-۵-۴- NEBO-UE ۳D ۱-۶Zh۵۵ ۹۰

۷-۵-۴- رادار سه بعدی چند پرتویی AMB ۹۱

۸-۵-۴- کشف الکترو ایتیکی ۹۳

فصل پنجم: جمینگ و ضد جمینگ ۹۴

۵- جمینگ و ضد جمینگ ۹۴

۱-۵ معادله‌ی اختلال ۹۵

۲-۵ انواع تکنیک های جمینگ ۹۶

۱-۲-۵ جمینگ ON-BOARD ۹۷

۲-۲-۵ جمینگ OFF-BOARD ۹۷

۳-۵ انواع جمینگ ON- BOARD ۹۸

۱-۳-۵ اختلال نویز ۹۸

۴-۵- نتایج مدل سازی و شبیه سازی اختلال نویز ۱۰۱

۱-۴-۵ اختلال spot noise ۱۰۳

۲-۴-۵ اختلال Barrage noise ۱۰۳

۳-۴-۵ اختلال در تعیین فاصله ۱۰۳

۴-۴-۵ اختلال RGPO ۱۰۴

۵-۴-۵ اختلال در تعیین سرعت ۱۰۶

۶-۴-۵ اختلال VGPO ۱۰۶

۵-۵ اختلال در تعیین زاویه ۱۰۶

۵-۱-۵ Cross - pol اختلال ۱۰۶

۵-۲-۵ Cross Eye اختلال ۱۰۸

۵-۶ نتایج مدل سازی و شبیه سازی اختلال Cross Eye ۱۱۰

۵-۷ اختلال از طریق گلبرگ های فرعی ۱۱۱

۵-۸ سایر انواع اختلال ۱۱۱

۸-۱-۵ Skirt اختلال ۱۱۱

۸-۱-۵ اختلال بهره معکوس ۱۱۲

۵-۹ انواع جمینگ OFF - BOARD ۱۱۳

۹-۱-۵ چف ۱۱۳

۹-۲-۵ فلیر ۱۱۳

۲-۳-۵ دیکوی ۱۱۴

۲-۴-۵ منعکس کننده های گوشه ای ۱۱۵

۲-۵-۵ روش های مقابله با جمینگ ۱۱۶

۵-۶ تکنیک های ECCM ۱۱۶

۶-۱-۵ روش های ضد جمینگ مادون قرمز ۱۱۶

۶-۲-۵ Sensitivity Time Control ۱۱۶

۵-۷ نتایج مدل سازی و شبیه سازی Sensitivity Time Control ۱۱۷

۷-۱-۵ Fast Time Constant ۱۲۰

۷-۲-۵ Random Pulse Repetition Frequency ۱۲۱

۷-۳-۵ Moving Target indicator ۱۲۲

۷-۴-۵ سیستم های Side lobe Blanking- Side- lobe canceller ۱۲۳

۱-۱-۵-۷-۵ سیستم SLB ۱۲۳

۱-۲-۵-۷-۵ سیستم SLC ۱۳۰

۱-۳-۵-۷-۵ یک ساختار مناسب SLC ۱۳۲

۱-۴-۵-۷-۵ Multi-beam Antenna ۱۳۳

۱-۵-۵-۷-۵ روشهای ضدجینگ مادون قرمز ۱۳۴

۵-۸-۵-۷-۵ یک روش ضدجینگ مادون قرمز نمونه ۱۳۵

۵-۹-۵-۷-۵ روش ضدجینگ مبتنی بر سیستم فازی ۱۳۶

۵-۱۰-۵-۷-۵ روش ضدجینگ مبتنی بر سیستم فازی ۱۳۷

مقایسه و نتیجه گیری ۱۴۱

مراجع ۱۴۲

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱- چگونگی عملکرد رادارها..... ۷
- شکل ۱-۲- اصول رادار ۸
- شکل ۱-۳- پهنای باند ۹
- شکل ۱-۴- قطبیدگی ۱۰
- شکل ۱-۵- هندسه رادار ۱۱
- شکل ۱-۶- اثرات سطح بر تصویر رادار ۱۲
- شکل ۱-۷- دقت تفکیک ۱۴
- شکل ۱-۸- خصوصیات تصویر رادار ۱۵
- شکل ۱-۹- دید چندگانه ۱۶
- شکل ۱-۱۰- فیلترینگ ۱۶
- شکل ۱-۱۱- رادار ماورای افق ۲۳
- شکل ۱-۱۲- رادارهای فرا افق نگر سطحی ۲۶
- شکل ۱-۱۳- بلوک دیاگرام رادار پالسی ۳۳
- شکل ۱-۱۴- radar platform ۳۸
- شکل ۱-۱۵- رادارهای آرایه فازی ۴۲
- شکل ۱-۱۶- رادارهای آرایه فازی ۴۴
- شکل ۱-۱۷- مبانی آرایه فازی و هدف گیری در آن ۴۷
- شکل ۱-۱۸- نگاهی ساده بر نحوه عملکرد این آنتن ها ۴۹
- شکل ۱-۱۹- نگاهی ساده بر نحوه عملکرد این آنتن ها ۵۱

شکل ۲۰-۱- بررسی رادار اسکن الکترونیکی..... ۵۱

شکل ۲۱-۱- ماتریس گیرنده های رادار در یک فریم..... ۵۲

شکل ۲۲-۱- ماتریس گیرنده های رادار در یک فریم..... ۵۳

شکل ۲۳-۱- تصویر رقمی گین ها..... ۵۴

شکل ۲۴-۱- ماتریس رقمی به دست آمده..... ۵۴

شکل ۲۵-۱- امواج بازگشتی رادار..... ۵۸

شکل ۲۶-۱- آشیانه یابی برای موشک..... ۶۰

شکل ۲-۱- اخلاخل..... ۵۷

شکل ۲-۲- اخلاخل مخابراتی..... ۵۸

شکل ۲-۳- اخلاخل رادار..... ۵۸

شکل ۲-۴- اخلاخل خود محافظ و اخلاخل از راه دور..... ۵۹

شکل ۲-۵- اخلاخل پوششی..... ۶۱

شکل ۲-۶- اخلاخل فرینده..... ۶۲

شکل ۲-۷- هدف مصنوعی..... ۶۳

شکل ۲-۸- نمونه هایی از اخلاکلهای مخابراتی..... ۶۵

شکل ۲-۹- نمونه هایی از *Jammer Pod*..... ۶۵

شکل ۴-۱- نمونه هواپیماهای استیلس..... ۷۸

شکل ۴-۲- radar cross-section در هواپیمای مسافری..... ۷۹

شکل ۴-۳- radar cross-section در هواپیمای stealth..... ۸۰

شکل ۴-۴- ورقه ی الاستومرز..... ۸۳

شکل ۴-۵- ورقه ی فوم ۸۳

شکل ۴-۶- ورقه ی کاتوینگس ۸۴

شکل ۴-۷- ورقه ی فابریکس ۸۴

شکل ۴-۸- ورقه ی هونیکومب ۸۵

شکل ۴-۹- مواد RAM ۸۵

شکل ۴-۱۰- ورقه ی FSS ۸۶

شکل ۴-۱۱- حرارت تولید شده در قسمت های مختلف هواپیمای مسافربری ۸۷

شکل ۴-۱۲- هواپیماهای رادار گریز در هنگام چرخش ۸۸

شکل ۴-۱۳- هواپیماهای رادار گریز در هنگام استفاده از تسلیحات ۸۹

شکل ۴-۱۴- *Nebo SV ۲D radar* L۱۳-۳ ۹۱

شکل ۴-۱۵- *NEBO-UE ۳D* ۵۵Zh۶-۱ ۹۳

شکل ۴-۱۶- رادار سه بعدی چند پرتویی *AMB* ۹۴

شکل ۴-۱۷- کشف الکترو ایتیکی ۹۵

شکل ۵-۱- سناریو کلی یک نمونه جمینگ خود مراقب ۹۷

شکل ۵-۲- انواع مختلف روش های جمینگ ۹۸

شکل ۵-۳- جمینگ *ON-BOARD* ۹۹

شکل ۵-۴- جمینگ *OFF-BOARD* ۶۰

شکل ۵-۵- نحوه ی تأثیرگذاری اختلال نویز بر روی نمایشگر رادار ۱۰۱

شکل ۵-۶- اختلال *RGPO* ۱۰۷

شکل ۵-۷- مراحل تولید پالس *RGPO* ۱۰۷

شکل ۵-۸- نحوه ایجاد اختلال *Cross – pol* ۱۰۹

شکل ۵-۹- بلوک دیاگرام یک اخلاص گر *Cross – pol* ۱۰۹

شکل ۵-۱۰- بلوک دیاگرام یک اخلاص گر *Cross eye* ۱۱۰

شکل ۵-۱۱- موقعیت جمر و رادار ۱۱۱

شکل ۵-۱۲- اختلاص از طریق گلبگهای فرعی یک رادار جستجو ۱۱۳

شکل ۵-۱۳- طیف فرکانسی *IF* گیرنده رادار قربانی شده توسط اختلاص *skirt* ۱۱۴

شکل ۵-۱۴- چف ۱۱۵

شکل ۵-۱۵- شماتیک فلیر ۱۱۶

شکل ۵-۱۶- نمونه ای از *corner reflector* ۱۱۷

شکل ۵-۱۷- فرآیند سیستم *Sensitivity Time Control* ۱۱۹

شکل ۵-۱۸- فرآیند سیستم *Fast Time Constant* ۱۲۲

شکل ۵-۱۹- فرآیند سیستم *Random Pulse Repetition Frequency* ۱۲۳

شکل ۵-۲۰- فرآیند سیستم *Moving Target indicator* ۱۲۴

شکل ۵-۲۱- دیاگرام بلوکی سیستم *SLB* ۱۲۷

شکل ۵-۲۲- کاهش حساسیت رادار در حضور *SLB* ۱۲۸

شکل ۵-۲۳- پترن آنتنهای اصلی و کمکی برای پردازشگر *SLB* ۱۲۹

شکل ۵-۲۴- مدل هندسی آنتنهای کمکی *SLB* در یک آنتن آرایه - فازی ۱۳۰

شکل ۵-۲۵- ساختار کلی تکنیک *SLC* ۱۳۳

شکل ۵-۲۶- یک ساختار مناسب *SLC* ۱۳۵

شکل ۵-۲۷- سیستم *Multi-beam Antenna* ۱۳۶

شکل ۵-۲۸- روش ضدجمینگ مادون قرمز نمونه ۱۳۸

شکل ۵-۲۹- روش ضدجمینگ مبتنی بر سیستم فازی ۱۴۰

چکیده

رادار وسیله ای است که با بهره گیری از ارسال امواج الکترومغناطیسی و دریافت آن، وجود هدف، موقعیت آن در فضا، سرعت شعاعی و اندازه هدف و جزئیات دیگری در مورد آن را مشخص می کند. کاربرد اصلی رادار و محل پیدایش و رشد آن در صنایع نظامی و هوانوردیاست و نقش اصلی یک سیستم راداری نظارت بر یک محدوده بزرگ و تشخیص اجسام متحرک، ردیابی اهداف و استخراج مشخصاتی مانند سرعت و ارتفاع و ... می باشد.

در حقیقت رادار مجموعه ای از اجزای مکانیکی و مدارات الکتریکی و الکترونیکی است که وجود، جهت، ارتفاع، فاصله تا هدف و... را با استفاده از امواج الکترو مغناطیسی تعیین می کند. فرستنده رادار یک سیگنال الکترومغناطیسی منتشر می کند، قسمتی از این موج به هدف مورد نظر برخورد کرده و پراکنده می شود. بخشی از این موج پراکنده شده به سمت رادار بازگشته که توسط آنتن رادار جذب شده و سپس توسط گیرنده مورد پردازش قرار می گیرد.

همه رادارها بر یک پایه ساده استوار هستند؛ انتشار امواج و جذب و پردازش آن. مثل آن رادار اصلی که مولانا در شرح آن می گوید:

این جهان کوه است و فعل ما ندا... سوی ما آید نداها را صدا

وظیفه ی یک سیستم اخلاص گرگیرندگی رادار (ECM)^۱ در مباحث جنگ الکترونیک جلوگیری از شناسایی یا اندازه گیری دقیق فاصله، سرعت و زاویه هدف توسط رادار، به منظور مورد هدف قرار نگرفتن توسط افزاره های جنگی است. و وظیفه ی یک سیستم (ECCM)^۲ در مباحث دفاع الکترونیک حذف این عوامل اختلال می باشد.

^۱ . Electronic Countermeasures

^۲ . Electronic Counter Countermeasures

برای این منظور روش‌های بسیار متعددی برای مقابله با عملکرد صحیح رادارهای دشمن مورد استفاده قرار می‌گیرد که برخی از آنها برای به کار انداختن تمامی انواع رادارها مؤثر بوده و برخی دیگر تنها می‌توانند در عملکرد تعدادی از رادارها اختلال ایجاد نمایند. برای روشن شدن مطلب باید گفت بطور کلی با سه عامل اساسی می‌تواند در عملکرد گیرندگی رادار ایجاد اختلال نمود و کارکرد صحیح آن را دچار مشکل کرد که این سه عامل عبارتند از:

۱- کلاتر^۱: انعکاس‌ها و برگشت ناخواسته امواج از کلیه هجسام غیر از هدف را شامل می‌شود که موجب کاهش کارایی رادار و از بین رفتن سیگنال هدف و ایجاد اهداف دروغین در رادار می‌گردد. از آنجایی که کلاتر یک عامل طبیعی ایجاد اختلال بوده و منشأ انسانی ندارد نمی‌توان آن را جزو سیستم‌های جنگ یا دفاع الکترونیکی قرار داد.

۲- تکنولوژی استیلِس^۲: وضعیتی است که هدف به وسیله‌ی رادار قابل شناسایی نمی‌باشد که دلیل این امر، استفاده از تکنیک‌های خاصی است که در چنین وسایل رادار گریزی به کار برده شده است، که در واقع به بحث تکنولوژی استیلِس مربوط می‌گردد. این تکنولوژی یکی از عوامل مؤثر در سیستم‌های جنگ الکترونیکی است.

۳- جمینگ^۳: وضعیتی است که رادار یک هدف غیرواقعی و مجازی را نشان می‌دهد که علت این امر استفاده از تکنیک Jamming می‌باشد که از این تکنیک برای ایجاد خطا در آشکارسازی ویژگی‌های هدف از قبیل سرعت، موقعیت مکانی و ... توسط رادار، استفاده می‌گردد. این تکنولوژی مهم ترین سیستم جنگ الکترونیکی محسوب می‌شود.

در این پروژه سعی شده تا پس از نگاهی اجمالی بر ساختار، نحوه‌ی عملکرد و انواع رادارها، روش‌های ایجاد اختلال و حذف اختلال در گیرندگی رادار بطور مفصل مورد بررسی قرار گیرد. از این رو:

^۱.clatter

^۲.stealth technology

^۳. Jamming

در فصل اول با مراحل پیدایش و چگونگی ابداع رادار، نحوه‌ی عملکرد و اصول رادار و همچنین کاربردهای آن و در پایان با نگاهی اجمالی با انواع رادار آشنا می‌شویم.

در فصل دوم به بررسی موضوع اختلال و جنگ الکترونیک، قاعده اختلال و همچنین انواع اختلال و روش‌های ایجاد اختلال می‌پردازیم.

در فصل سوم کلاتر را بعنوان یکی از عوامل طبیعی ایجاد اختلال در عملکرد موثر رادار مورد بحث قرار می‌دهیم.

در فصل چهارم با تکنیک‌های استیلز بعنوان یکی از روش‌های ایجاد اختلال در فرآیند شناسایی رادار در راستای جنگ الکترونیکی آشنا شده و راه‌های مقابله با این تکنیک را در جهت دستیابی به عملکرد صحیح

رادار مورد بررسی قرار خواهیم داد.

در فصل پنجم در مورد تکنیک‌های جمینگ بعنوان موثرترین روش ایجاد اختلال در عملکرد رادار (ECM)

صحبت کرده و تکنیک‌های مقابله با آنرا در راستای حذف عامل اختلال (ECCM) و شناسایی صحیح، مورد تحلیل و بررسی قرار خواهیم داد.

امید است که این پروژه بتواند آشنایی جامعی را در مورد الگوریتم‌ها و روش‌های اختلال در سیستم‌های رادار و تکنیک‌های مختلف مقابله با آن به خواننده آن منتقل کرده و مفید باشد.

کلمات کلیدی:

رادار، اختلال، **SLB**، **SLC**، جمینگ

مقدمه

رادار وسیله ای است که با بهره گیری از ارسال امواج الکترومغناطیسی و دریافت آن، وجود هدف، موقعیت آن در فضا، سرعت شعاعی و اندازه هدف و جزئیات دیگری در مورد آن را مشخص می کند.

در حقیقت رادار مجموعه ای از اجزای مکانیکی و مدارات الکتریکی و الکترونیکی است که وجود، جهت، ارتفاع، فاصله تا هدف و... را با استفاده از امواج الکترو مغناطیسی تعیین می کند. فرستنده رادار یک

سیگنال الکترومغناطیسی منتشر می کند، قسمتی از این موج به هدف مورد نظر برخورد کرده و پراکنده می شود. بخشی از این موج پراکنده شده به سمت رادار بازگشته که توسط آنتن رادار جذب شده و سپس توسط گیرنده مورد پردازش قرار می گیرد.

همه رادارها بر یک پایه ساده استوار هستند؛ انتشار امواج و جذب و پردازش آن. مثل آن رادار اصلی که مولانا در شرح آن می گوید:

این جهان کوه است و فعل ما ندا... سوی ما آید نداها را صدا

با پیش بینی وجود امواج الکترومغناطیس توسط ماکسول و تلاش دانشمندان دیگر همچون هرتز و مارکنی جهت تحقق علمی آن پیش بینی ها مخابرات جدید پا به عرصه وجود نهاد و به مرور ضمن پیشرفت فنی، بهره برداری های معقول از اثرات اعجاب انگیز امواج الکترومغناطیسی متاسفانه از این امواج در جهت استعمار و تقویت کاربردهای سلاح های کشتار جمعی استفاده گردید و اولین بهره برداری نادرست از آن در جنگ جهانی دوم با ساخت و بکارگیری رادار نظامی صورت گرفت.

رادار از کلمات *RadioDetection and Ranging* گرفته شده که نیروی دریایی آمریکا در سال ۱۹۴۱ همدی

آن را پیشنهاد داد و بیش از ۷۰ کشور این نامگذاری را پذیرفتند. این اصطلاح به معنای کشف و فاصله

یابی رادیویی است. اولین رادار کامل توسط «سر رابرت واتسون وات» ساخته شد که حدود ۳۲۰

کیلومتر (۲۰۰ مایل) برد داشته و با امواج *HF* کار می کرده است. با وقوع جنگ دوم جهانی استفاده از

رادار برای کار هشدار زودهنگام رنگی جدی به خود گرفت و انگلستان موفق شد با بکارگیری زنجیره ای

از رادارها سامانه پیش اخطار خود را راه اندازی کرده و علیه دسته های بمب افکن آلمانی مورد استفاده قرار دهد.

بعد از جنگ جهانی دوم و با پیشرفت صنعت الکترونیک، رادارهای بسیار بهتری ساخته شده و کم کم رادار علاوه بر اینکه در زمینه های غیرنظامی مانند هواشناسی و ترافیک هوایی جایی برای خود دست و پا می کرد، به عضو اصلی سامانه دفاع هوایی کشورهای جهان نیز تبدیل شد.

هر چند رادار به تنهایی ابزار سودمندی است لیکن به کاربردهای نظامی آن بیش از سایر موارد توجه می شود. اگر چه رادار منفجر نمی شود و کشنده نیست ولی می تواند برد و دقت شلیک سلاح های قوی را تا چند برابر افزایش دهد. به عبارت دیگر اهمیت شناسایی هدف، هدایت و کنترل آتش موشک ها و انواع سلاح ها از اهمیت خود آن موشک ها و سلاح های مخرب به مراتب بیشتر است لذا از ابتدای به کارگیری رادار به منظور کاهش تهدیدات راداری و در خفا نگهداشتن اهداف حیاتی از دید آن اقدامات زیادی صورت گرفته و از سیستم ها و مواد جاذب الکترومغناطیس در این رابطه بهره برداری شده است. البته با توجه به تنوع زیاد رادارها از طرفی پهنه ی فعالیت آن ها در زمینه مقابله بسیار گسترده شده و از طرف دیگر هر زمان که اقدام موفقیت آمیزی عملکرد نوع خاصی از رادارها را مختل می نمود نوع پیشرفته تری از آن رادار طراحی گردید.

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

رادار با امواج الکترومغناطیسی یعنی برآیندی از امواج الکتریکی و مغناطیسی کار می کند. فرستنده رادار موج الکترومغناطیسی را توسط یک آنتن در فضا پخش می کند. به محض اینکه این امواج به یک شیء متحرک یا ثابت برخورد کنند به جایی که از آن پخش شده اند بازگشت می یابند. طبیعتاً این امواج با از دست دادن انرژی خود در فرایند انتشار، ضعیف شده اند از اینرو توسط گیرنده رادار پس از دریافت، تقویت شده و بعد از این مرحله در یک نشانگر یا همان اسکوپ رادار نشان داده می شوند.

برای تشخیص ثابت یا متحرک بودن اجسام تشخیص داده شده فرایندی فنی به نام *MTI* وجود دارد که مثلاً اگر سرعت یک هدف از ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت کمتر بود این هدف را حذف و بالاتر از آن را به عنوان هدف متحرک نشان دهد. این سامانه در حقیقت فیلتر نشان‌دهنده اهداف متحرک از ثابت است.

در رادارهای امروزی، باندهای فرکانسی *HF, VHF, UHF, L Band, S Band, C, X, K* و باندهای میلی‌متری به کار می‌رود. رادارهای فرکانس پایین کشف بسیار مناسب و تفکیک پذیری نسبتاً خوبی دارند. تفکیک پذیری به این معنی است که اگر به عنوان مثال دو هدف که در فواصل یکسان و زاویه یکسان قرار دارند وجود داشته باشد رادار بتواند این دو را تفکیک کرده و یک هدف را نشان ندهد. به طور کلی در فرکانس‌های پایین، ضعف نسبی تفکیک پذیری وجود داشته، ولی در رادارهای فرکانس‌های بالا کشف خوب و تفکیک پذیری بسیار عالی چه تفکیک پذیری زاویه ای و چه تفکیک پذیری فاصله ای وجود دارد.

رادارهای *VHF* از باند فرکانسی پایین، کشف فوق‌العاده، تفکیک پذیری نسبتاً خوب و مقاومت بالا در برابر اقدامات متقابل الکترونیکی یا *ECM* برخوردار هستند و رادارهای *UHF* از باند فرکانس بالا، کشف خوب، تفکیک پذیری بسیار بالا و مقاومت مناسب در برابر *ECM* دشمن با استفاده از فیلترهای گوناگون برخوردارند.

رادارها از نظر کاربرد به چند دسته کلی تقسیم می‌شوند. اول، رادارهایی که با امواج پیوسته کار می‌کنند و به آنها *ContinuousWaveRadar* گفته می‌شود که این رادارها امواج را به صورت باریک و مدادی منتشر کرده و بیشتر برای رادارهای ردیاب یا موشک‌ها استفاده می‌شوند. نوع دوم، رادارهای پالسی یا پالس داپلر است که برای کشف اولیه و جستجوی اهداف از آنها استفاده می‌شود. از انواع دیگر رادار، رادارهای ارتفاع یاب، رادارهای تعقیب هدف یا *TrackingRadar* و رادارهای شناسایی یا ثانویه است که رادارهای شناسایی بر خلاف سایر رادارهای موجود از امواج رادیویی استفاده می‌کنند نه از امواج الکترو مغناطیس و به همین دلیل برد آنها بسیار زیادتر از برد رادارهای پالسی و موج پیوسته (CW) است.

در اینجا لازم است به دسته بندی دیگری برای رادارها نیز اشاره کنیم. رادارهای فعال یا همان *Active*

سامانه های راداری هستند که در فضا موج منتشر می کنند و این موج ها بعد از برخورد به هدف بازتاب

یافته، دریافت و تجزیه و تحلیل می شوند. نوع دیگر رادارها بدون اینکه انتشار موج داشته باشند امواج

ساطع شده از رادارهای دیگر از جمله رادارهای دشمن مخصوصاً در مرزها را دریافت و تجزیه و تحلیل

کرده و بر اساس آن هدفیابی می کنند که این سامانه ها *Passive* هستند، یعنی هیچ انتشاری ندارند

ولی همه انتشارات را می گیرند.

فصل اول

دادادار

فصل اول

۱- رادار^۱

رادار وسیله‌ای است که با بهره‌گیری از ارسال امواج الکترومغناطیسی و دریافت آن، وجود هدف، موقعیت آن در فضا، سرعت شعاعی و اندازه هدف و جزئیات دیگری در مورد آن را مشخص می‌کند. کاربرد اصلی رادار و محل پیدایش و رشد آن در صنایع نظامی و هوانوردیاست و نقش اصلی یک سیستم راداری نظارت بر یک محدوده بزرگ و تشخیص اجسام متحرک، ردیابی اهداف و استخراج مشخصاتی مانند سرعت و ارتفاع و ... می‌باشد.

۱-۱- رادار چگونه ابداع شد؟

شواهد حاکی است که سیستمی مثل رادار احتمالاً در یکی از روزهای سال ۱۸۳۷ باید کشف شده باشد و این در شرایطی بود که یکی از دانشمندان سرشناس بنام جمیز کلارک ماکسول نظریه‌ای ارائه کرد که بر طبق آن امواج نورانی و امواج دریایی (که او در ابتدا آنها را تشعشع نامیده بود) در بسیاری از مشخصه‌ها مشابه هم هستند. او در یکی از قسمتهای نظریه اش پیش بینی کرده بود که تشعشع یا امواج رادیویی احتمالاً با همان سرعت نور جا به جا می‌شوند و ضمناً امواج رادیویی درست مانند امواج نورانی پس از برخورد به مانع، منعکس می‌شوند.

۱۵ سال بعد یکی از دانشمندان بنام هرترز گفته‌های ماکسول را تایید کرده و ثابت کرد که این امواج قابل تولید هستند. وی با کوشش‌های فراوانی که مرد و با تجهیزات ابتدایی که داشت توانست امواج رادیویی را فقط در حدود چند فوت جابه‌جا کند ولی در هر صورت ثابت کرد که امواج رادیویی با فرکانس بالا قابل انعکاس بوده و یا استفاده از دستگاه‌های مخصوصی که جهت تمرکز اشعه نورانی بکار می‌روند می‌توان امواج رادیویی را نیز در یک نقطه متمرکز نمود.

^۱. radar

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

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

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

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

در آن زمان حتی صحبت بر سر کشف اشعه جدید و مرگ آوری بود که هر چه را که بر سر راه خود می یافت نابود می کرد. البته کشف یا ابداع چنین اشعه ای در همان مرحله حدسیات و پیش گویی های اولیه باقی ماند. چند سال بعد در ۱۹۳۵ رابرت واتسون وان با نصب پنج ایستگاه رادیویی مختلف در پنج

منطقه مختلف امکان محافظت کشورش را در برابر حملات دشمن فراهم نمود.

عملکرد این سیستم آنقدر جالب بود که چند سال بعد فرانسه هم لزوم نصب چنین سیستمی را احساس کرده و اقدام به ساخت و نصب آن نمود.

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

به تدریج و با گذشت زمان این وسیله ساده جای خود را به سیستم‌های کامل تر و جالب‌تری داد به این ترتیب که سیستمی که ابتدا در بریتانیا به عنوان **Radio Detection Finding** نام‌گذاری شده بود بعدها در آمریکا با نام رادیوی جهت‌دار یا رادار که ترکیبی از حروف اول کلمات عبارت آشکارسازی و

اعلام رادیویی است خوانده شد ($RADAR = \underline{R}adio \underline{D}etection \underline{A}nd \underline{R}anging$)

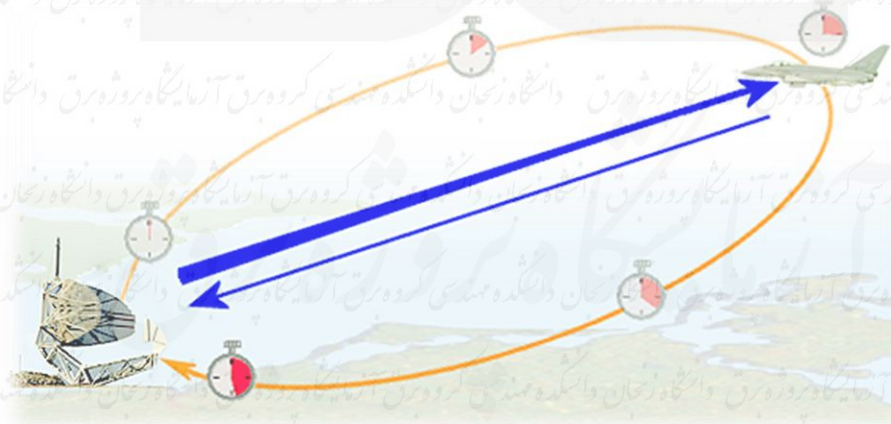
۲-۱- چگونگی عملکرد رادارها

اصول کار کلیه سیستم‌های رادار از جهت فرستنده و گیرنده یکسان است و تنها موج ارسالی آن‌هاست که رادارها را از هم متمایز می‌کند. فرستنده رادار امواج خود را به سمت آنتن ارسال می‌کند که در بین مسیر از یک سیر کولاتور عبور داده می‌شود.

سیگنال فرستنده که با توان بالایی ارسال شده است توسط هدف منعکس و یا دوباره از راه همان آنتن و یا آنتن گیرنده دیگر دریافت می‌شود. در اولین مرحله سیگنال منعکس شده آشکار شده با سیگنال

ارسالی فرستنده مقایسه می‌شود و پس از فیلتر شدن (جهت کاهش نویز) تقویت و پردازش سیگنال، اطلاعات خروجی و وضعیت هدف توسط نمایشگر نمایش داده می‌شود.

محدوده‌ی فرکانسی رادار می‌تواند در باندهای مختلف فرکانسی باشد. نوع کاربرد رادار در انتخاب باند فرکانسی آن موثر است بعنوان مثال می‌توان برای دیده بانی و مراقبت برد زیاد از باندهای **VHF** و **UHF** (به دلیل خواص انتشاری مناسب) استفاده نمود.

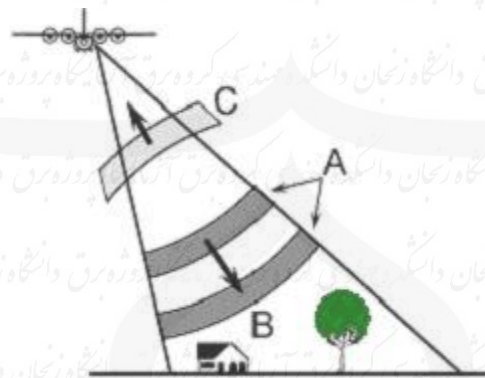


شکل ۱-۱ چگونگی عملکرد رادارها

۳-۱- اصول رادار :

اجزاء تشکیل دهنده سیستم رادار فرستنده ، گیرنده آنتن و سیستم‌های الکتریکی جهت ثبت و پردازش اطلاعات می باشد .

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود فرستنده پالس‌های کوتاه مایکروویو (A) را که بوسیله آنتن رادار به صورت پرتو متمرکز می‌شوند (B) با فاصله زمانی معین تولید می‌کند . آنتن رادار بخشی از سیگنال‌های بازتابیده شده (C) از سطوح مختلف را دریافت می‌کند.



شکل ۲-۱ اصول رادار

با اندازه‌گیری مدت زمان ارسال پالس و دریافت پژواک‌های پراکنده شده از اشیاء مختلف می‌توان فاصله آنها و در نتیجه موقعیت آنها را تعیین نمود . با ثبت و پردازش سیگنال بازتابیده توسط سنسور تصویر دو بعدی از سطح مورد نظر تشکیل می‌گردد .

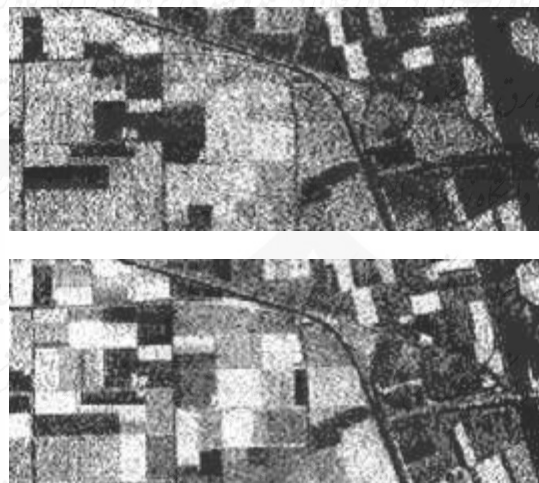
۳-۲- پهنای باند :

از آنجایی که گستره طیف امواج مایکروویو نسبت به طیف‌های مرئی و مادون قرمز وسیع‌تر می‌باشد لذا اکثر رادارها از این طیف استفاده می‌کنند . در رادارهای تصویری اغلب از طول موج‌های زیر استفاده می‌شود:

$P_{band}(max)$	L_{band}	S_{band}	C_{band}	X_{band}	$ka\&k\&ku\ band$
-----------------	------------	------------	------------	------------	-------------------

تمامی طول موج‌های استفاده شده در رادارهای تصویری در محدوده سانتیمتر است. طول موج رادار در نحوه تشکیل تصویر موثر می‌باشد. با افزایش طول موج شاهد تصاویر با کیفیت بهتر می‌باشیم. در دو تصویر زیر (شکل ۳ و ۲) از دو طول موج متفاوت استفاده شده است. شما می‌توانید تفاوت آشکاری را که در این تصاویر وجود دارد مشاهده نمایید. علت این تفاوت تغییر در نحوه فعل و انفعال سیگنال با سطح اشیاء می‌باشد که در ادامه درباره این موضوع صحبت خواهد شد.

c-band l_band



شکل ۳-۱ پهنای باند

۵-۱- قطبیدگی (polarization):

هنگامی که در مورد امواج الکترومغناطیسی همانند امواج مایکروویو صحبت می‌گردد بحث درباره قطبیدگی حائز اهمیت می‌باشد.

قطبیدگی عبارت است از جهت میدان الکتریکی در امواج الکترومغناطیسی. به طور کلی می‌توان قطبیدگی امواج را به سه دسته تقسیم بندی کرد: قطبیدگی خطی و دایره‌ای و بیضی.

اغلب رادارهای تصویری از قطبیدگی خطی استفاده کرده، که این نوع قطبیدگی را می‌توان به دو بخش عمودی (vertical) و افقی (horizontal) تقسیم بندی کرد (شکل ۴). اغلب سنسورهای رادار طوری طراحی شده اند که قابلیت ارسال و همچنین دریافت امواج را به یکی از دو صورت بالا دارا هستند. در بعضی از رادارها دریافت و ارسال امواج با ترکیبی از دو نوع قطبیدگی انجام می‌پذیرد.

مقایسه و نتیجه گیری

(۱) با بررسی‌های انجام شده دریافتیم که استفاده از آنتن چند بیم (آنتن‌های آرایه - فاز) به جای آنتن تک بیم، برای جستجوی فضای راداری، باعث کاهش اثر جمینگ می‌شود.

(۲) با توجه به اینکه رادارهای جستجو معمولاً برای دستیابی به اهداف زیر مورد تهاجم جمرهای با دوره ارسال بلند قرار می‌گیرند: جلوگیری از انجام عملیات مؤثر به وسیله‌ی اشباع کردن آنها، کاهش دادن فاصله‌ی دید مؤثر آنها، اشباع کردن ظرفیت آنها با آشکارسازی اهدافی که وجود خارجی ندارند. با بررسی‌های انجام شده در این پروژه دریافتیم که حذف این سیگنال‌های تداخلی با پردازش *SLB* ممکن

نیست چرا که باعث حذف توأم سیگنال تداخلی و بازگشتی از هدف خواهد شد. در نتیجه مقابله با سیگنال‌های تداخلی پیوسته زمان که از طریق گلبرگ‌های کناری به آنتن وارد می‌شوند نیاز به روش دیگری جدا از *SLB* دارد. ایده‌ی اصلی مقابله با تداخل‌های پیوسته زمان، تصحیح پترن آنتن اصلی در مد گیرندگی است به نحوی که در جهت دریافت سیگنال تداخلی در پترن آنتن اصلی یک صفری با عمق بیشتر (نسبت به حالتی که از این تکنیک استفاده نکرده‌ایم) ایجاد شود. (۳) میزان تاثیر یک اختلال کننده تنها در گیرنده‌ای که مورد اختلال واقع شده‌است قابل اندازه گیری می‌باشد. (به خاطر داشته باشید که

تنها گیرنده مورد اختلال واقع می‌شود، نه فرستنده). عمومی ترین روش برای توصیف این تاثیر، نرخ تاثیر توان سیگنال اختلال به توان سیگنال مطلوب می‌باشد. این مفهوم تحت عنوان نرخ اختلال به سیگنال بکار می‌رود. نرخ J/S وابسته به پارامترهای متعددی می‌باشد. بعنوان مثال افزایش توان ارسال اختلال کننده، باعث افزایش مستقیم J/S می‌شود، یعنی با دو برابر کردن PJ نرخ J/S دو برابر می‌شود. در مورد پارامتر گین آنتن رادار، بسته به نوع اختلال تاثیر متفاوتی بر J/S نشان داده شده است (افزایش پارامتر در اختلال دیگر محافظ، تاثیر بیشتری نسبت به اختلال خود محافظ دارد).

$$\frac{J}{S} = \frac{G_{jR} G_{jT} G_e L_R c^2}{4\pi \sigma L_p^2 f^2}$$

مراجع:

- [۱] Yu S. J. and Lee J. H., "Adaptive Array Beamforming Based on an Efficient Technique", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. ۴۴, no. ۸, Aug ۱۹۹۶, pp. ۱۰۹۴-۱۱۰۱.
- [۲] Merrill I. Skolnik, "Radar Hand Book", Third Edition, McGraw-Hill, ۲۰۰۸
- [۳] Haimovich A. M. and Bar-Ness Y., "An eigenanalysis interference canceller", IEEE Trans. Signal Processing, vol. ۳۹, Jan. ۱۹۹۱, pp. ۷۶-۸۴.
- [۴] International Electronic Countermeasures Handbook., ۲۰۰۱ Edition , Horizen House.
- [۵] S. Zoraster, "Minimum peak range sidelobe filters for binary phase coded waveforms," IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. ۱۶, pp. ۱۱۲۱۱۵, January ۱۹۸۰.
- [۶] Alfonso Farina, Fulvio Gini, "Interference Blanking Probabilities for SLB in Correlated Gaussian Clutter Plus Noise," IEEE, ۲۰۰۰.
- [۷] Fan Mingyi, Ge Jianjun, Qiu Wei Wu, "Manqing Side-Lobe Blanking In Doppler Domain For An Airborne Side-Looking Phased Array PD Radar," IEEE, ۲۰۰۶.
- [۸] Widrow B. and Stearns S. D., Adaptive signal processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, ۱۹۸۵.
- [۹] D.C. Schleher , .Electronic Warfare in the Information Age. , Artech House, ۱۹۹۹.
- [۱۰] Levanon N. and Mozeson E., Radar Signals, John Wiley & Sons, ۲۰۰۴.
- [۱۱] N. Levanon, "Cross-correlation of long binary signals with longer mismatched filters," IEE Proc.-Radar and Sonar Navig., vol ۱۵۲, No. ۶, pp. ۳۷۷-۳۸۲, December ۲۰۰۵.