فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل

سال هفتم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، (پیاپی ۲۷): صص ۴۵-۳۷

اقدامات متقابل اهداف‌هوایی در برابر جستجوگرهای مادون‌قرمز

سیاوش پادگانه[۱]، صفا خزائی*[۲]، محمدرضا عاروان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۰

چکیده

موشک‌های آشیانه‌یاب مادون‌قرمز، موشک‌هایی هستند که از تشعشعات مادون‌قرمز اهداف برای آشکارسازی و ردیابی آنها استفاده می‌کنند. کاربری آسان و همچنین هزینه پایین استفاده ازاین موشک‌ها، سبب شده که تهدیدی جدی برای اهداف هوایی باشند. در این تحقیق، انواع مختلف جستجوگرهای مادون‌قرمز به همراه چگونگی ردیابی اهداف حرارتی به‌طور خلاصه معرفی می‌گردند. سپس، روش‌های مقابله اهداف هوایی با جستجوگرهای مادون‌قرمز نظیر پرتاب فلیر مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند.

کلید واژه‌ها: جستجوگرهای مادون‌قرمز، موشک‌های آشیانه‌یاب، فلیر، اقدامات متقابل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)
۲- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، Skhazai@ihu.ac.ir– نویسنده مسئول
۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۱- مقدمه

آشکارسازهای مادون‌قرمز اولین بار در جنگ جهانی دوم توسط آلمانی‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پیشرفت در فنآوری آشکارسازها، پردازش سیگنال و فنآوری های لیزری و اپتیکی نیز سبب افزایش قابلیت‌های این نوع موشک‌ها شده است. استفاده از این موشک‌ها به‌طور نسبی ساده و ارزان قیمت است. امروزه، تقریباً اکثر هواپیماها و بالگردهای نظامی به تجهیزات مادون‌قرمز مجهز شده‌اند. بسیاری از واحدهای پیاده نظام نیز از این تجهیزات استفاده می‌کنند [۱].

با توجه به موفقیت موشک‌های مادون‌قرمز علیه هواپیماهای مهاجم، ایده مقابله با این نوع موشک‌ها به‌عنوان یک مسئله اساسی ذهن طراحان اهداف هوائی (هواپیما و بالگردها) را به خود مشغول ساخت. با طراحی جستجوگرهای جدید، روش های مقابله با آن ها نیز پیشرفت چشمگیری داشته است. مقابله دربرابر این‌گونه اقدامات، اقدامات متقابل نامیده می شود و اقدامات متقابل بر علیه جستجوگرهای مادون‌قرمز اقدامات متقابل مادون‌قرمز (IRCM)[1] نامیده می‌شود. با توجه به تحقیق و توسعه روزافزون در حوزه جستجوگرهای مادون‌قرمز همواره اقدامات متقابل در این حوزه نیز در حال تحقیق و توسعه بوده است. انواع مختلفی از اقدامات متقابل جهت فریب جستجوگرهای مادون‌قرمز استفاده می‌شوند مانند: پارازیت‌اندازهای مادون‌قرمز[2]، چف‌ها[3]، فلیرها[4]، دکوی‌های حرارتی[5] و ... [۲].

یک روش ساده مقابله با این موشک ها پرتاب فلیر (اهداف کاذب) از اهداف هوائی است. یک فلیر مادون‌قرمز به‌طور معمول از اهداف هوائی پرتاب می گردد و دارای تشعشعی چندین برابر تشعشع هدف است. با توجه به این‌که جستجوگرهای موشک، منابع با شدت بیشتر را ردیابی می‌نمایند، بنابراین جستجوگر، هدف کاذب (فلیر) را ردیابی می‌کند و در ردیابی هدف واقعی دچار اختلال می‌گردد. استفاده از فلیرها در برابر موشک‌های مادون‌قرمز بسیار مؤثر، ساده و کم‌هزینه است [۲]. هدف اصلی از این تحقیق آشنایی با عملکرد جستجوگرهای مادون‌قرمز در ردیابی اهداف و همچنین راه‌های مقابله با این جستجوگرها می‌باشد.

تا کنون تحقیقات زیادی در خصوص اقدامات متقابل مادون‌قرمز و بررسی تاثیر این‌گونه اقدامات بر عملکرد جستجوگرهای مادون‌قرمز انجام شده است. در اغلب این تحقیقات با شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، تاثیر اقدامات متقابل بر جستجوگرها بررسی شده است. در ادامه به‌طور خلاصه به برخی از این تحقیقات و نتایج آن‌ها اشاره می‌گردد.

توکلی [۳] با کمک مدل‌سازی نرم‌افزاری، اثرات جمر و فلیر را بر انحراف جستجوگرهای رتیکلی بررسی کرده و با تغییر پارامترهای مختلفی مانند دامنه، فرکانس و فاز این تاثیرات بررسی شده است.

آریامنش [۴] به بررسی اهداف کاذب و تاثیرات آن‌ها روی جستجوگرهای مادون‌قرمز پرداخته است. در این تحقیق با شبیه‌سازی انجام شده توسط نرم‌افزار مطلب[6]، تاثیر حضور فلیر در میدان دید جستجوگر مادون‌قرمز با الگوی پویش روزت[7] بررسی شده است و در نهایت روش مقابله جستجوگر مادون‌قرمز با فلیر بر مبنای تقسیم سیگنال آشکارساز در دو باند طیفی مادون‌قرمز و ماوراءبنفش ارائه گردیده است.

موسوی [۵] درتحقیق خود عملکرد جستجوگرها را در حضور منبع جمر (مختل کننده) مورد ارزیابی قرارداد و به استناد نتایج شبیه‌سازی وآزمایشات صورت گرفته نشان‌داد که، سیستم‌های هدایت و کنترل جستجوگرها در مدل شش درجه آزادی تحت تاثیر منبع جمر، مختل می‌شوند و در سناریوهای مختلف نشان داد که با تغییر پارامترهای جمر (فرکانس، دوره کاری و شدت تابش) میزان اختلال(خطای فاصله هدف) متفاوت خواهد بود.

یی‌فان و بی‌فنگ [۶] تاثیرات پرتاب فلیرها با روش متوالی را ارزیابی نمودند و براساس نتایج این تحقیق اثبات نمودند، که اگر فلیرها به صورت متوالی پرتاب گردند و زمان بین پرتاب بزرگتر از زمان سوختن باشد، فلیر نمی‌تواند به طور دایمی در محدوده پرواز باشد. بنابراین بهترین زمان توالی پرتاب، کمی کوچک‌تر از زمان سوختن فلیر می‌باشد.

سانگ‌هو نیز در تحقیق خود تاثیر جمر بر رتیکل‌های چرخشی را مورد بررسی قرارداد و به استناد نتایج شبیه‌سازی نشان داد که تاثیرات اقدامات متقابل بر جستجوگر به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر فاز، شدت‌سیگنال و بویژه فرکانس سیگنال جمر است. در این تحقیق اثبات می‌گردد که هر چه فرکانس جمر نزدیک به فرکانس چرخش رتیکل باشد، کارایی جمر در انحراف جستجوگر بیشتر است [۶].

در تحقیق دیگر یانگ‌کیم [۷] با شبیه‌سازی نرم‌افزاری مطلب برای دو نوع رتیکل نشان داد که فرکانس جمر تاثیر بیشتری در کارایی آن نسبت به سایر پارامترها در انحراف جستجوگر مادون‌قرمز دارد.

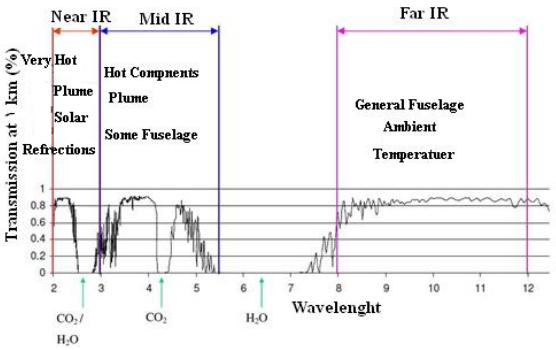
1- Infrared Countermeasuer Management(IRCM)
2- Jammers
3- Chaff
4- Flare
5- Thermal Decoys

6- Matlab
7-Rosette-scan

در ادامه (بخش دوم)، جستجوگرهای مادون‌قرمز، چگونگی ردیابی اهداف توسط این جستجوگرها و روند پیشرفت جستجوگرهای مادون‌قرمز در طول زمان بررسی می‌گردد. در بخش سوم انواع روش‌های اسکن میدان دید توسط جستجوگرها معرفی می‌گردد. در بخش چهارم نیز راه‌های مقابله با جستجوگرهای مادون‌قرمز بیان شده است. در فصل پنجم نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات این تحقیق ارائه شده است.

۲- جستجوگرهای مادون‌قرمز

تشعشع مادون‌قرمز یک تشعشع الکترومغناطیسی است، که توسط ارتعاش و چرخش اتم‌ها و مولکول‌ها، درهر ماده‌ای که دمای آن بالای صفر مطلق باشد (صفر کلوین یا ۲۷۳- درجه سلسیوس) ایجاد می‌شود. در اهداف هوایی تشعشع به‌طور عمده از بخش‌های داغ موتور، نازل و شعله پشت نازل صورت می‌گیرد. در سرعت‌های بالا بدنه هواپیما نیز در اثر گرمایش آئرودینامیکی تشعشع می‌کند. درصد زیادی از طیف های الکترومغناطیس در اتمسفر توسط مولکول‌های آب، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن جذب می‌شوند. این امر باعث به‌وجود آمدن پنجره‌های طیفی در اتمسفر می‌گردد که سامانه‌های الکترواپتیکی فقط در این نواحی کاربرد مناسبی خواهند داشت [۱]. شکل (۱) پنجره های طیفی را نشان می دهد.



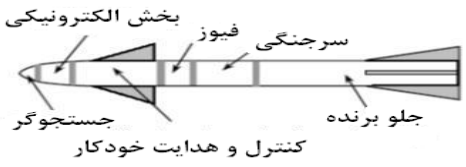
شکل ۱. منحنی انتقال اتمسفری [۸]

اقدامات متقابل توسط اهداف درمقابله با شناسایی توسط حس‌گرهای دشمن در هریک از پنجره‌های طیفی (۳-۱)، (۵-۳) و (۱۲-۸) میکرومتر متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال با اقدامات فریب توسط پرتاب فلیرها و ایجاد مشخصات طیفی مشابه تشعشعات طیفی اهداف در محدوده ۳-۱ میکرومتر که ناشی از حرارت اگزوز هواپیما می‌باشد می‌توان باعث انحراف موشک به سمت اهداف کاذب گردید. همچنین با افزودن سپرهای حرارتی و یا ایجاد تغییرات در طراحی اهداف هوایی می‌توان سبب کاهش در مشخصه‌های طیفی هدف ناشی از تشعشعات بخش‌های داغ هدف در محدوده (۵-۳) میکرومتر، و در نهایت عدم ردیابی صحیح هدف گردید. هنگامی‌که تشعشعات الکترومغناطیس از منبع هدف خارج شده و در جو قرار می‌گیرد به‌طور معمول چهار پدیده رخ می‌دهد[۱]:

- شدت آن کاهش می‌یابد.
- تشعشعات اتمسفر به آن اضافه می‌شود.
- تشعشعات خارج از میدان دید از طریق پراکندگی[1] به داخل آشکارساز نفوذ می‌کند.
- بعضی از پرتوها به خارج از آشکارساز پراکنده می‌شود.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای تشعشعات مادون‌قرمز که با شروع جنگ جهانی دوم پدیدار شد، آشکارسازی اهداف می‌باشد. هر جسمی که دمای آن از دمای محیط اطرافش بیشتر باشد ازنظر انرژی تشعشعی، نسبت به محیط اطرافش دارای تمایز است که آن را کنتراست می‌نامند. این عامل اساسی برای طراحی سامانه‌های جستجوگر مادون‌قرمز است. در واقع یک جستجوگر یک ردیاب است که برای تعقیب هدف طراحی شده است. از نظر فنآوری مورد استفاده برای دیدن هدف، جستجوگرها می توانند راداری، لیزری، مرئی و یا مادون قرمز باشند. جستجوگرهای مادون قرمز، از آشکارسازهای مادون قرمز استفاده می‌کنند و تابش گرمایی ساطع شده از هدف را آشکارسازی می‌کنند [۹].

با توجه به استفاده روزافزون و موثر جستجوگرهای مادون‌قرمز علیه اهداف هوایی (هواپیماها و بالگردها)، در این مقاله اقدامات متقابل اهداف هوایی وخصوصاً استفاده از تکنیک‌های فریب در برابر جستجوگرهای مادون‌قرمز مورد بررسی قرار گرفته است. موشک‌های آشیانه‌یاب مادون‌قرمز برای یافتن و دنبال کردن اهداف هوایی مانند هواپیما و بالگردها از تشعشع حرارتی آنها استفاده می‌کنند. فرآیند هدف‌یابی در این موشک‌ها به کمک ابزاری که به‌طور معمول در نوک آن نصب شده و جستجوگر نام دارد صورت می‌پذیرد. شکل (۲) ساختار کلی یک موشک هدایت‌شونده مادون‌قرمز را نشان می‌دهد [۱۰].



شکل۲. مولفه های اصلی یک موشک آشیانه‌یاب [۱۰]

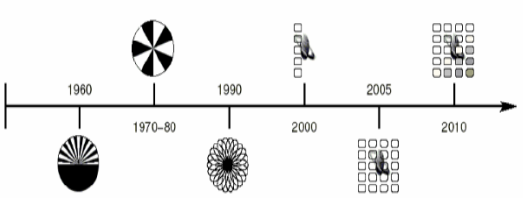
انرژی حرارتی ساطع شده از اهداف که در باند الکترومغناطیس و در محدوده امواج مادون‌قرمز قراردارند، امکان شناسایی و ردیابی اهداف را توسط جستجوگرهای مادون‌قرمز فراهم می‌کنند. جستجوگرهای مادون‌قرمز انرژی حرارتی رها شده از هدف را به

1- Scatter

سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کرده و از اطلاعات این سیگنال‌ها مانند فرکانس، دامنه، عرض پالس و فاز، موقعیت هدف را تعیین کرده و سیگنال‌های کنترلی مناسب را جهت ردگیری هدف، به قسمت هدایت و کنترل ارسال می‌کنند.

اولین موشک‌هایی که ساخته شدند از جستجوگرهایی با رتیکل چرخشی استفاده می‌کردند. بعدها استفاده از جستجوگر اسکن مخروطی که دارای آشکارسازهایی بهبودیافته با نسبت سیگنال به نویز بالاتری بودند، جانشین روش اسکن چرخشی گردید. اولین نسل از جستجوگرهای مادون‌قرمز، فقط توانایی آشکارسازی اهداف پرنده را در حالت دورشونده داشتند. برای جبران نقص سامانه‌های نسل اول، نسل دوم از جستجوگرهای مادون‌قرمز ساخته شد. با پیشرفت فن‌آوری آشکارسازها و با استفاده از خنک‌سازی آشکارسازهای موشک‌هایی با قابلیت مقابله با اهداف هوایی در تمام جهات ساخته شدند [۱۱].

با جدی شدن تهدیدات موشک‌های مادون‌قرمز، اقدامات متقابل مادون‌قرمز به منظور مقابله با این نوع از موشک‌ها مورد توجه قرار گرفت. لذا نسل سوم از موشک‌های مادون‌قرمز با رویکرد مقابله با اهداف کاذب ساخته شد. در سال‌های بعد استفاده از فن‌آوری چند آشکارسازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردید. روند تقریبی پیشرفت فنآوری در جستجوگرهای مادون‌قرمز در شکل (۳) آورده شده است [۱۲].



شکل ۳. روند پیشرفت جستجوگرهای مادون‌قرمز [۱۳]

۳- اسکن جستجوگر و پردازش سیگنال[1]

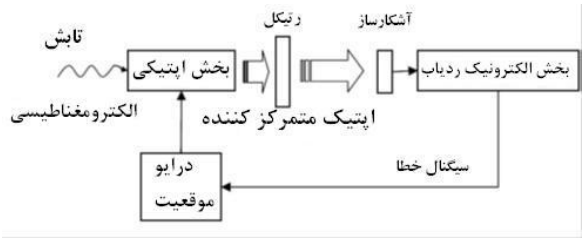
در حالت کلی جستجوگرهای مادون‌قرمز بر حسب عملکرد و فنآوری آشکارسازی، شامل جستجوگرهای اسکن چرخشی[2]، اسکن مخروطی[3]، اسکن روزت، اسکن آرایه صفحه کانونی[4] و اسکن چهارتایی[5] می‌باشند.

در جستجوگرهای رتیکلی اسکن چرخشی و اسکن مخروطی برای مدولاسیون سیگنال، از رتیکل‌ها استفاده می‌شود. در حالی‌که یک جستجوگر اسکن رُز، میدان دید آنی[6] (IFOV) کوچک را که به‌وسیلهٔ یک آشکارساز در یک الگوی رُز در بر گرفته شده را اسکن می‌نماید [۱۱].

رتیکل[7]، وسیله نازک اپتیکی است که با الگوی خاصی از نواحی گذرده و ناگذرده لایه‌نشانی می‌شود. تابش هدف که روی رتیکل تصویر می‌شود از آن عبور کرده و به آشکارساز می‌رسد. در این نوع جستجوگرها اطلاعات مربوط به موقعیت هدف بسته به نوع رتیکل می‌تواند از دامنه، فرکانس، فاز و یا پهنای پالس و سیگنال خروجی آشکارساز به‌دست آید [۱۴].

در حالت کلی از معایب سامانه‌های رتیکلی می‌توان به عدم کارایی آن‌ها در تعیین موقعیت هدف به هنگام بزرگ بودن هدف یا وجود چندین هدف در میدان دید[8] اشاره کرد. به‌علاوه این‌که درحضور اقدامات متقابلی چون منورها و فلیرها که سعی در فریب آشکارساز جستجوگر دارند، تعیین موقعیت هدف مشکل‌تر می‌شود. جستجوگرهای مادون‌قرمز رتیکلی برحسب نوع حرکت نسبی ایجاد شده بین رتیکل و تصویر میدان‌دید به دو دسته کلی جستجوگرهای اسکن چرخشی[9] و اسکن مخروطی[10] تقسیم می‌شوند [۱۱].

جستجوگرهای رتیکلی به دلیل سادگی مفهوم و کاربرد وسیع آن‌ها، مهم‌ترین نوع جستجوگرهای مادون‌قرمز غیرتصویری هستند.



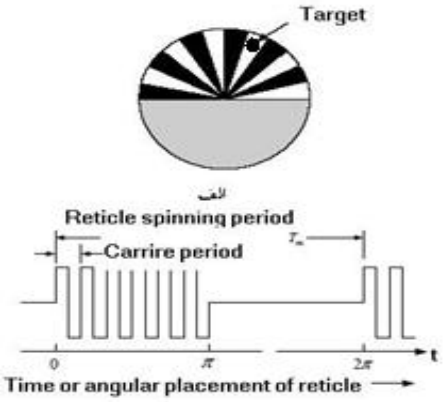
شکل ۴. دیاگرام بلوکی یک جستجوگر رتیکلی [۸]

عملکرد کلی این جستجوگر بدین‌شکل است که انرژی حرارتی رها شده از هدف توسط قسمت اپتیک جستجوگر جمع‌آوری شده و آن را روی یک دیسک گردان یا ایستا به نام رتیکل متمرکز می‌کند. انرژی مادون‌قرمز عبوری از رتیکل با توجه به نوع آن به‌صورت سیگنال‌های بریده شده است. طیف مادون‌قرمز هدف پس از عبور از رتیکل با برخورد به آشکارساز، سیگنال تولید می‌کند. پس از پردازش این سیگنال، موقعیت فضایی هدف نسبت به محور جستجوگر، مشخص شده و جستجوگر توسط سیستم کنترل به سمت هدف هدایت می‌شود.

1- Seeker Scanning and Signal Processing
2- Spin-Scan
3- Con-Scan
4- Focal-Plane array (FPA)
5- Quadrant Scan
6- Instantaneous field of View(IFOV)
7- Reticle
8-Field of viwe
9-Spin-Scan Seeker
10- Conscan Seeker

۳-۱- جستجوگرهای رتیکلی اسکن چرخشی

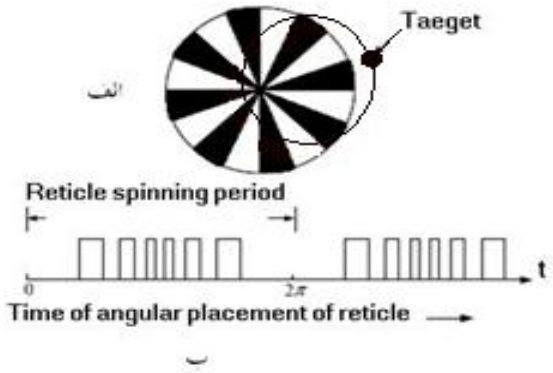
سامانه‌های اسکن چرخشی به دلیل سادگی مفهوم و سازوکار راحت در میان جستجوگرهای مادون‌قرمز معمول‌ترند. در یک سامانه اسکن چرخشی، محورهای اپتیکی و محورهای رتیکل مشترک می‌باشند. اما رتیکل در صفحه تصویر چرخش می‌نماید. الگوی چرخش در صفحه تصویر، پرتوهای هدف را برای به‌دست آوردن سیگنال خطا مدوله می‌نماید. سیستم‌هائی که یک رتیکل چرخنده با اپتیک فیکس شده را به‌کار می‌برند اغلب به نام سامانه‌های با اسکن چرخشی معروفند. شکل (۵) نمونه‌ای از این رتیکل‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۵. ساختار یک رتیکل چرخشی و خروجی آشکارساز [۱۱]

۳-۲- جستجوگرهای رتیکلی ثابت با اسکن مخروطی

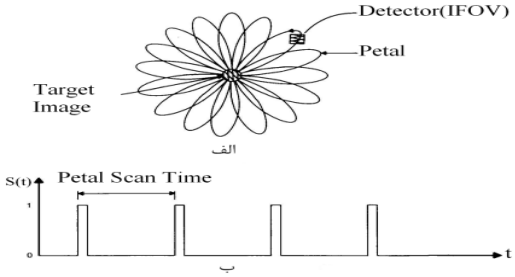
در یک جستجوگر اسکن مخروطی، رتیکل ثابت و تصویر هدف توسط سیستم اپتیک به چرخش در می آید. متحرک بودن سیستم اپتیک باعث می‌شود که تصویر هدف به‌صورت دایره‌ای روی صفحه رتیکل بچرخد. در مقایسه با جستجوگر اسکن چرخشی، ردیابی پایدارتر است [۱۱].



شکل۶. الف) ساختار یک رتیکل ثابت، ب)خروجی آشکارساز [۱۱]

۳-۳- جستجوگر اسکن رُز

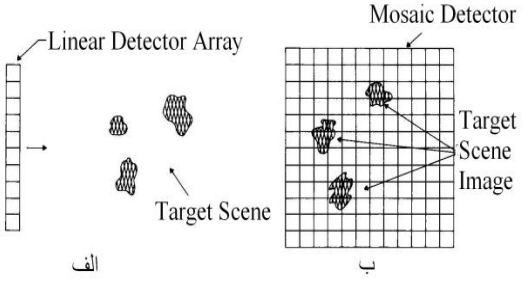
الگوی رز از چرخش خلاف جهت دو المان اپتیکی مانند منشورها، آینه‌های شیب‌دار و یا لنزهای غیر هم‌مرکز تولید می‌شود. دارای یک حساسه است و برای پویش میدان دیدکل مشابه جستجوگرهای رتیکل‌ثابت، از سامانه پویش مخروطی استفاده می‌کند.



شکل ۷. الف) الگوی اسکن رُز، ب) رشته پالس خروجی برای تصویر روی محور [۱۱]

۳-۴- جستجوگر آرایه صفحه کانونی

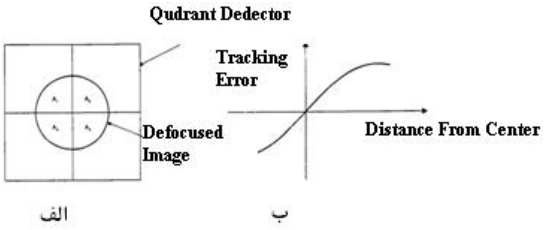
جستجوگرهای پیشرفته جدید بر پایه آشکارسازهای چند المانه قرار دارند. این دسته شامل جستجوگرهای پویش آرایه خطی و جستجوگرهای آرایه دوبعدی یا آشکارکننده موزائیکی می‌شوند. نمای هدف در صفحه کانونی سیستم اپتیکی جستجوگر روی آشکارساز تصویر می‌شود.



شکل ۸. الف) آشکارساز خطی، ب) آشکارساز موزائیکی و صحنه هدف [۱۱]

۳-۵- جستجوگرهای چهارحساسه‌ای

درجستجوگرهای نیمه‌فعال، هدف توسط یک منبع لیزری روشن می‌شود و جستجوگر با آشکارسازی پرتو لیزری بازتابیده شده از هدف آن را ردیابی می‌کند. این آشکارساز متشکل ازچهار دیود نوری است که روی صفحه کانونی جستجوگر قرار گرفته‌اند. با استفاده از یک سامانه اپتیکی مناسب، پرتو نور لیزر بازتابیده شده از هدف، روی صفحه کانونی جستجوگر متمرکز می‌شود. انحراف مرکز ثقل تصویر هدف از مرکز صفحه کانونی متناسب با خطای ردیابی است که بایستی تعیین شود.



شکل ۹. آشکارساز ردیابی چهارتایی الف) آشکارساز چهارتائی هدف ب) خطای ردیابی [۱۱]

۴- اقدامات متقابل مادون‌قرمز

جستجوگرهای مادون‌قرمز در طی جنگ‌های چند دهه اخیر همواره به عنوان یک سلاح کارا در مقابله با تجهیزات نظامی و مخصوصاً هواپیماها و بالگردهای مهاجم به‌کار رفته‌اند. به دلیل موفقیت و کارایی این جستجوگرها، همواره ایده مقابله با آنان به عنوان یک مسئله مهم مطرح بوده است. جستجوگر مهمترین قسمت در موشک‌های مادون‌قرمز می‌باشند. جستجوگر توسط یک آشکارساز مادون‌قرمز انرژی حرارتی هدف را حس کرده و توسط سیستم هدایت مسیر خود را در جهت تعقیب هدف اصلاح می‌نماید. جستجوگر باید در تمامی طول مسیر هدف را ردیابی نماید. به‌کارگیری هرگونه تجهیزات و روش‌هایی برای ایجاد اختلال در این ردیابی که موجب انحراف جستجوگر از مسیر درست و از دست‌دادن هدف شود، اقدامات متقابل مادون‌قرمز نامیده می‌شود.

با توجه به تحقیق و توسعه روزافزون درحوزه جستجوگرهای مادون‌قرمز، همواره اقدامات متقابل مادون‌قرمز نیز در حال تحقیق و توسعه بوده و از موضوعات مورد علاقه بسیاری از کشورها درحوزه تحقیقات نظامی می‌باشد.

تقریباً کلیه اقدامات متقابل مادون‌قرمز بر دو مفهوم اصلی مبتنی می‌باشند. این دو عبارتند از:

- ایجاد اهداف کاذب یا دروغین جهت گمراه کردن جستجوگر و ردیابی هدف کاذب.
- حذف کردن و یا تضعیف ارسال تشعشعات هدف به آشکارساز جستجوگر یا دستگاه شناسایی.

اقدامات متقابل مادون‌قرمز به‌طور کلی به دو نوع "فعال" و "غیرفعال" تقسیم می‌شوند [۲].

اقدامات متقابل غیرفعال جهت کاهش و یا حذف مشخصات طیفی اهداف به دو شیوه کلی انجام می‌گردد. در شیوه اول، تغییرات در طراحی به منظور کاهش مشخصات طیفی انجام می گردد. در این روش قبل از اقدام به ساخت تجهیزات نظامی و استراتژیک معمولاً در طراحی آن الزاماتی در نظر گرفته می‌شود که باعث حذف و یا کاهش مشخصات طیفی هدف می‌گردد. یکی از این اقدامات، خنک‌سازی نقاط گرم هدف با استفاده از سامانه هوای دمنده خنک است که موجب خنک‌شدن سطح در معرض دید می‌شود و تا حدودی از دقت ردیاب‌ها کاسته می‌شود. این سامانه‌ها با دمیدن هوای خنک روی خروجی‌های هوای گرم مانند اگزوز بالگردها و هواپیماها سبب کاهش دما می‌گردند. در برخی تجهیزات نیز با جهت‌دهی مجدد اگزوز، افزایش کارآیی احتراق، استفاده از موتورهایی با قابلیت نشر پایین و یا ایجاد تغییرات شیمیایی در سوخت، سبب کاهش نشر تشعشعات مادون‌قرمز و اختلال در ردیابی جستجوگرهای مادون‌قرمز می‌گردند [۱۵]. در شیوه دیگر نیز با پوشش‌دهی و استتار قسمت‌های داغ هدف باعث حذف و یا کاهش مشخصات طیفی هدف می‌گردند. به‌عنوان مثال با افزودن سپرهای فروسرخ حرارتی، عایق‌بندی و استفاده از پوشش‌ها و رنگ‌های استتار با ضریب نشر حرارتی پایین، پوشش‌های استتار چند طیفی و با قابلیت نشر پایین در قسمتهای داغ هدف، سبب حذف و یا کاهش تشعشعات مادون قرمز اهداف و اختلال در ردیابی اهداف می‌شود [۱۵].

معمول‌ترین روش‌های اقدامات متقابل فعال توسط اهداف هوایی شامل مانورهای تاکتیکی، تخریب، تولید خطا، اهداف بکسل شونده، ابردود و اهداف دروغین پرتاب‌شونده از هواپیما می‌باشند [۲].

۴-۱- مانورهای تاکتیکی

این مانورها توسط اهداف مورد حمله واقع شده توسط موشک انجام می‌گیرد و دو مشخصه زمان پاسخ‌گویی جستجوگر و اشباع لکه روی رتیکل موفقیت نسبی برای فرار هدف ایجاد می‌کند.

روش مذکور در مقابله با موشک‌های مادون‌قرمز نسل اول که دارای قابلیت مانور زیادی نبودند، دارای کارایی مناسبی بود. ولی با افزایش قابلیت مانور موشک‌های مادون‌قرمز و همچنین باتوجه به محدویت مانور هواپیما، به علت آن‌که سلامت خلبان در مانورهای زیاد درمعرض خطر قرار می‌گیرد، امروزه کارایی چندانی ندارد. روش موفق دیگری که خلبان‌ها جهت انحراف این موشک‌ها از آن استفاده می‌کنند چرخش هواپیما و پرواز به سمت خورشید است که در برخی از جستجوگرها باعث خطای جستجوگر می‌شود. ولی این روش نیز محدویت‌های زیادی دارد. از جمله، در شرایط ابری بودن آسمان قابل استفاده نمی‌باشد و فقط در سناریوهای خاصی از پرواز موشک و هواپیما قابل اجرا است [۲].

۴-۲- تخریب[1]

در این روش موشک‌های نزدیک‌شونده را توسط روش‌های مختلف، تخریب یا منفجر می‌نمایند [۲]. در این روش از سه مجموعه استفاده می‌شود: مجموعه اول سامانه اخطاردهنده که نزدیک شدن موشک به هدف را نشان می‌دهد. این مجموعه شامل، گیرنده‌های هشداردهنده موشک[2] (MWR) است که می‌تواند با استفاده از روش‌های مختلف، موشک‌های نزدیک‌شونده به هواپیما را آشکارسازی نماید.

مجموعه دوم، مجموعه تعیین موقعیت موشک و ردیابی آن است. سامانه‌های مادون‌قرمز متعددی برای آشکارسازی وتعیین موقعیت موشک وجود دارد.

مجموعه سوم سامانه تخریب موشک است. این تخریب توسط سلاح‌های مخرب لیزری با قدرت بالاکه بتواند دام جستجوگر مهاجم را بشکند یا حس‌گر جستجوگر را خراب کند، انجام می‌گیرد. عدم تشخیص هواپیمای دوست از موشک دشمن و هزینه بالای این نوع سیستم‌ها از عیوب آن به حساب می‌آید [۲].

۴-۳- تولید خطا[3]

در این روش، سیستمی روی هدف نصب می‌شود که اطلاعات اشتباه را به جستجوگر مهاجم می‌فرستد. این سیستم جمر نامیده می‌شود. این اطلاعات به‌صورتی ارسال می‌شود که نحوه پردازش آن مانند پردازش اطلاعات هدف درجستجوگر است. جستجوگر موشک مهاجم نمی‌تواند بین اطلاعات ردیابی تولید شده توسط سیستم خودش و اطلاعات اشتباه تولید شده بوسیله جمر تشخیص و تمایز بگذارد و در تشخیص هدف و یافتن موقعیت هدف دچار خطا می‌گردد [۱۶].

شکل ۱۰. نمونه‌ای از جمر نصب شده روی بالگرد [۱۷]

۴-۴- اهداف بکسل شونده

روش دیگری جهت تولید خطا، استفاده از اهداف بکسل‌شونده است که به‌صورت یک گلایدر با فاصله و به دنبال هدف اصلی بکسل شده و سبب ایجاد خطا می‌شود. این نوع سیستم معایبی نیز دارد که اهم آن عبارت‌اند از:

- ایجاد مانع و کشش آئرودینامیکی.
- مستقر کردن هدف دروغین در یک سطح مناسب نسبت به هواپیمای بکسل کننده باید به دقت انجام پذیرد تا آن‌که در صورت اصابت موشک به هدف دروغین بکسل شده، ترکش‌های حاصل از آن به هواپیما آسیب نرساند.
- هدف دروغین بکسل شده فقط محافظت در مقابل یک موشک را تأمین می‌کند (در صورتی‌که موشک واقعاً به آن اصابت کند) [۲].

۴-۵- ابردود

به کاربردن دود توزیع شده از یک هواپیما به‌عنوان یک روش مقابله پیشنهاد شده است[۱۷].

۴-۶- اهداف دروغین پرتاب‌شونده از هواپیما

سه نوع اساسی اهداف دروغین پرتاب‌شونده از هواپیما وجود دارد که عبارت‌اند از: چف، دکوی حرارتی، دکوی اکتیو و فلیر [۲].

۴-۶-۱- چف

چف از رشته‌های کوچکی تشکیل شده که سیگنال‌های راداری را منعکس کرده و وقتی در حجم زیادی از هواپیما رها می‌شوند، ابری درست می‌کنند که به‌طور موقت هواپیما را از دید رادار می‌پوشاند. دو نوع اصلی چف که در هواپیماهای نظامی استفاده می‌شود ورقه‌های آلومینیوم و رشته‌های شیشه‌ای پوشیده شده از آلومینیوم هستند. هر دو نوع به شکل دوقطبی‌هایی به طول mm (۵۰- ۷/۵) بریده می‌شوند. اندازه آن‌ها باید به‌قدری کوچک باشد که برای باقی ماندن به مدت کافی در هوا، به‌قدر کافی سبک باشند. ضخامت رشته‌های چف به‌طور معمول حدود 0/025 mm است. امروزه بیشتر از نوع دوم استفاده می‌شود. از چف‌ها به‌طور معمول، جهت انحراف سامانه‌های راداری استفاده می‌شود و در فریب سامانه‌های مادون‌قرمز تاثیری ندارد [۱۸].

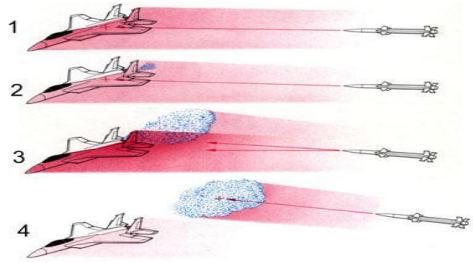
۴-۶-۲- دکوهای اکتیو

سیستم‌هایی است که سیگنال‌های رادار روشن‌کننده هدف را دریافت و آن را در شکل مناسب و انرژی کافی برای منحرف کردن جستجوگر موشک‌های راداری از هدف تبدیل کرده و برمی‌گرداند [۲].

1- Destruction
2- Missile Warning Receiver
3- Error Generation

۴-۶-۳- دکوی حرارتی

وقتی اهداف کاذب بصورت توده‌ای پرتاب می‌شوند و تولید ابر حرارتی می‌کنند دکوی حرارتی نامیده می‌شوند. دکوی حرارتی در حقیقت انتشار سطوح فلزی داغ (فلیر) به صورت انبوه مطابق با اگزوز موتور هواپیما و یا شعله هواپیما می‌باشد که موجب انحراف جستجوگر می‌شود [۲].



شکل ۱۱. مراحل فریب موشک هدایت‌شونده توسط دکوی حرارتی [۱۸]

۴-۶-۴- فلیر

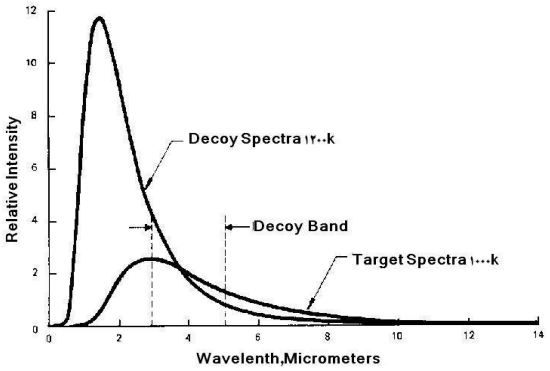
متداول‌ترین روش برای انحراف موشک‌های مادون‌قرمز، استفاده از اهداف کاذب، فلیر و دکوهای حرارتی است. به‌طور معمول اهداف کاذبی که هدف در فواصل زمانی مختلف و منقطع پرتاب می‌کند فلیر نامیده می‌شود. سرعت و زاویه جداشدن فلیر از هواپیما از جمله مؤلفه‌های مهم در استفاده از فلیرها می‌باشند. اگر این مؤلفه زیاد باشد به‌دلیل اینکه فلیر به سرعت از میدان دید جستجوگر خارج می‌شود تأثیر چندانی روی ردیابی جستجوگر نخواهند داشت. بنابراین برای گمراه کردن سیستم هدایت موشک این مؤلفه‌ها حتی‌الامکان باید کوچک انتخاب شود[۱۲].

شکل۱۲. پرتاب فلیر از هواپیمای هرکولس C-130

پارامترهای دیگری که در اثرگذاری فلیرها مهم است مدت زمان سوختن فلیر و فاصله زمانی پرتاب فلیرها می‌باشد. این دو مولفه نیز با توجه به مدت زمان پرواز هدف طراحی می‌شوند. علت اصلی به‌کارگیری روش پرتاب فلیر و یا ایجاد دکوی حرارتی، ارزان بودن آن‌ها و قابلیت نصب آسان این سیستم‌ها روی هواپیما و بالگردهای مختلف است. علاوه بر این، در به‌کارگیری این روش‌ها هیچ محدودیتی وجود ندارد.

شکل۱۳. نمونه‌ای از توزیع‌کننده فلیرها

فلیرها از نوعی سوخت مانند پودر خالص منیزیم یا آلومینیوم و یک اکسیدکننده تشکیل شده‌اند. قدرت تشعشع فلیرها چندین برابر هدف می‌باشد. در بازه‌هایی از طول موج، میزان چگالی فلیر در حدود چگالی هدف می‌باشد و در سایر بازه‌های طول موج، چگالی فلیر تا چندین برابر اندازه چگالی هدف واقعی افزایش می‌یابد [۱۱].



شکل۱۴. شدت تشعشع نسبی فلیر و هدف[۱۰]

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با توجه به فراگیر شدن استفاده از جستجوگرهای مادون‌قرمز و موفقیت این جستجوگرها در مقابله با اهداف نظامی، ابتدا انواع مختلف جستجوگرهای مادون‌قرمز بر اساس نحوه پویش میدان دید و سپس اقدامات متقابل در برابر این جستجوگرها بررسی گردید. همان‌طور که بیان گردید، اقدامات متقابل اولیه مانند مانورهای تاکتیکی و یا پرواز به سمت خورشید تنها در مقابله با جستجوگرهای نسل اول سبب اختلال در ردیابی اهداف می‌گردد.

با پیشرفت فنآوری‌ها در سیستم‌های خنک‌کننده آشکارکننده‌ها و استفاده از این فنآوری‌ها درتوسعه نسل جدید جستجوگرهای مادون‌قرمز، کارآیی اقدامات متقابل در فریب جستجوگرهای مادون‌قرمزکاهش یافته است. لذا این اقدامات نیز متناسب با توسعه و پیشرفت جستجوگرهای مادون‌قرمز توسعه داده شده‌اند. از سوی دیگر، با رشد و توسعه اقدامات متقابل مادون‌قرمز و تاثیر این اقدامات روی جستجوگرهای مادون‌قرمز، طراحان این نوع جستجوگرها نیز شروع به توسعه روش‌های ضد

اقدامات متقابل مادون‌قرمز (*IRCCM*) جهت مقابله و یا کاهش تاثیر عملکرد جستجوگرهای مادون‌قرمز نموده‌اند.

پرتاب فلیر به‌عنوان اصلی‌ترین و متداول‌ترین اقدامات متقابل در جهت مقابله با جستجوگرهای مادون‌قرمز به‌کار می‌رود. علت اصلی به‌کارگیری این روش، ارزان و دردسترس بودن فلیر، قابلیت نصب آسان و امکان استقرار سیستم پرتاب آن روی هواپیماها و بالگردهای مختلف و همچنین کاربری آسان آن نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. با پیشرفت جستجوگرهای مادون‌قرمز و دستیابی به فنآوری‌های نوین ضداقدامات متقابل، امکان شناسایی فلیرها از اهداف واقعی نیز امکان‌پذیر شده است؛ لیکن نسل جدید فلیرها نیز با پیشرفت فنآوری و مشابهت هر چه بیشتر رفتار پرتابی و دمایی فلیر با اهداف واقعی، همچنان از موثرترین و متداول‌ترین روش‌های مقابله با جستجوگرهای مادون‌قرمز می‌باشند.

با توجه به پیشرفت سریع فنآوری‌ها در جستجوگرهای مادون‌قرمز و به جهت مقابله موثر در برابر این جستجوگرها، توسعه و پیشرفت در فنآوری‌های به‌کاررفته در اقدامات متقابل و همچنین به‌کار بردن روش‌های ترکیبی و هم‌زمان اقدامات متقابل در برابر جستجوگرهای مادون‌قرمز ضروری می‌باشد.

۶- مراجع

1. G. *Emin*, "Electro-Optical and Inferared Application in Defense"; Turkish Navy Research Center Command, 6th International Seminar, 2003.

۲. عاروان، محمدرضا، جنگ الکترونیک در موشک‌های مادون قرمز، سومین سمینار جنگ الکترونیک وامنیت اطلاعات، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۵.

۳. توکلی، مصطفی، مدل‌سازی اثرات جمر بر جستجوگرهای مادون‌قرمز رتیکلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۱.

۴. آریامنش، سیف‌الله، آشکارسازی هدف در ردیاب روزت با طیف دوگانه *UV* و *IR*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۶.

5. M. R. Mosavi, "Design and Simulation of an Infrared Jammer Source for Infrared Seeker," Dep. of Electrical Engineering, Univ. AmirKabir, Iran, 2007.

6. H. YiFan and S. BiFeng, "Evaluation the Effectiveness of the Infrared Flare with a Tactic of Dispensing in Burst," International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics, 2010.

7. G. Kim, "Implementation of a Reticle Seeker Missile Simulator for Jamming Effect Analysis," IEEE International Conference on IPTA, pp. 539-542, 2010.

8. S. Baqar, "Low-Cost PC-Based High-Fidelity Infrared Signature Modeling and Simulation," Doctoral Dissertation, Univ. Cranfield, 2008.

۹. عاروان، محمدرضا، مرتضوی نیر، سید احمد، محمودی، علی، ردیابی در جستجوگرهای رتیکلی، انتشارات سرو نگار، ۱۳۹۴.

10. Missile flight simulation, "Surface-to air missiles," Military Handbook, Part one, Department of Defense (DOD), United States of America, 1995.

11. S. Accetta and D. Shumaker, "The Infrared and Electro-optical Systems Handbook," Environmental Research Institute of Michigan, vol. 3, pp. 247-271, 1993.

۱۲. شعبان بلوکات، مسعود، مدل‌سازی الگوریتم آشکارسازی مادون‌قرمز دو کاناله *IR-IR*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، ۱۳۸۶.

13. M. Legg, "Spatial Resolution of Reticle Sensors," MSc. Thesis on Applied Physics, University of South Australia, 2005.

14. S. Ahn, "DIRCM Jamming Effect Analysis of Spin-Scan Reticle Seeker," IEEE International Conference on Communications, pp. 183-186, 2009.

۱۵. قنبری، فیروز، استتار روش ها فناوری ها و مواد، موسسه مهندسین مشاور طرح جامع، ۱۳۸۹.

16. Earle, "Infrared Contermeasuers Techniques, Electronic Countermeasuers," Institute of Science and Technolegy of the University of Michigan, 1978.

۱۷. محمدی، کریم، تشخیص و مقابله با اهداف کاذب-*IR*، دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۱.

18. J. Pike, "Chaff and falres," www.global security.org/military/systems/aircraft/systems/chaff.htm, 2011.

Countermeasures of Aerial Targets Against Infrared Seekers

S. Padeganeh, S. Khazaei*, M. R. Arvan

Abstract

Infrared homing missiles use infrared radiations of targets to detect and track them. Easily usage and cost of benefit of these missiles is a serious threat for aerial targets. In this study, briefly, have been introduced different types of infrared seekers with their mechanisms to tracking thermal targets. Then, countermeasures of aerial targets, are studied and investigated such as throw flares.

Key Words: *Infrared Seekers, Homing Missiles, Flare, Countermeasures*

* Imam Hussein Comprehensive University (Skhazai@ihu.ac.ir) - Writer-in-Charge