

تشخیص برد سامانه‌های الکترواپتیکی با استفاده از معیار جانسون و راهکارهای مقابله با پنهان‌سازی اهداف

محسن مهربانی

کارشناسی ارشد، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا

چکیده:

معمولاً تشخیص اهداف کوچک با استفاده از تجهیزات مادون قرمز و آشکارسازهای حرارتی انجام می‌پذیرد. از این رو محاسبه برد این تجهیزات از اهمیت خاصی برخوردار است. برد آشکارسازی دوربین‌های حرارتی بر اساس معیار جانسون مشخص می‌شود که در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد. پیاده‌سازی روش‌های پنهان‌سازی مرئی و مادون قرمز، تشخیص این اهداف را بیش از پیش دشوار می‌سازد، از این رو علاوه بر برد دوربین‌ها، در این مقاله اقدام به بررسی انواع روش‌های پنهان‌سازی نیز کرده و روش‌هایی برای غلبه بر این دشواری‌ها ارائه خواهد شد.

کلیدواژه:

معیار جانسون، مادون قرمز

Determining the distance range of electro-optical systems using Johnson criteria and expressing strategies to deal with concealment of targets

M. Mehrabi

Organization of Research and Self-Sufficiency of NEDSA

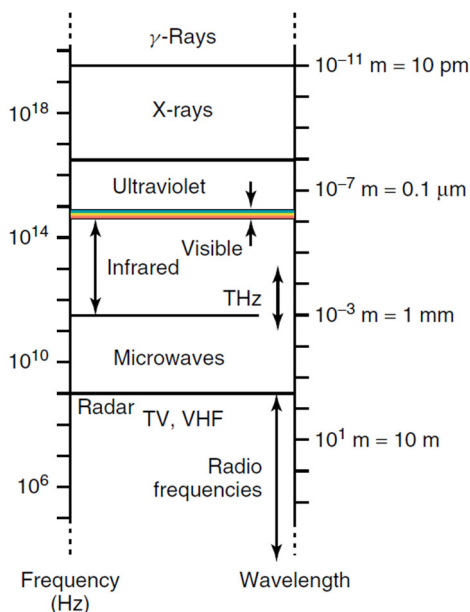
Abstract:

Detection of small targets is usually done using infrared equipment and thermal detectors, so calculating the range of these systems is of particular importance, so Johnson's expression is the most important goal of this project. Also, in order to get acquainted with various strategies for hiding targets, familiarity with infrared waves is of special importance and plays an important role in categorizing and selecting the appropriate tools to achieve the overall goal of the project, namely the detection of small bird targets. The implementation of visible and infrared concealment methods has made it even more difficult to identify these targets, so we will examine these methods and provide methods to overcome these difficulties.

Keywords:

Johnson criteria, Infrared

۱- مقدمه



شکل ۱. طیف الکترومغناطیسی

تشخیص اهداف پرنده و ردیابی آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اهداف پرنده را می‌توان به جت‌های جنگنده، بالگردها، پهپادها، موشک‌ها و هواپیماهای حمل نفر و ادوات تقسیم‌بندی کرده که تشخیص همه این اهداف از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. استفاده دشمن از پهپادها به منظور عملیات‌های جاسوسی در سال‌های اخیر، نشان از اهمیت تشخیص آنها دارد. از طرفی فناوری نقش فزاینده‌ای در جنگ‌ها دارد و استفاده از قدرت هوایی وسیع برای به‌دست‌آوردن برتری‌های سریع که امنیت عملیات‌ها را تضمین کند، غیرقابل‌انکار است. ابزارهای متفاوتی برای تشخیص و ردیابی اهداف پرنده وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به انواع رادارهای موتواستاتیک، رادارهای بای‌استاتیک، رادارهای پالسی و ... اشاره نمود. استفاده از رادارها با توجه به ابعاد کوچک‌تر پهپادها و داشتن سطح مقطع راداری کمتر، کاری دشوار است. از این رو در این تحقیق به مطالعه و بررسی تشخیص اهداف پرنده کوچک با استفاده از روش‌های بصری و مادون‌قرمز خواهیم پرداخت [۱].

۲- امواج مادون‌قرمز و مرئی و انتشار آنها در

اتمسفر

در فیزیک، نور مرئی، اشعه ماوراءبنفش و اشعه مادون‌قرمز و ... را می‌توان به‌عنوان امواج یا به‌طور خاص امواج الکترومغناطیسی توصیف کرد. شکل ۱ مروری اجمالی بر امواج الکترومغناطیسی است که برحسب طول‌موج و فرکانس بیان گردیده است. این طیف شامل یک گستره بزرگ از انواع امواج است. همه آنها در طبیعت دیده می‌شود و خیلی از آنها نیز در کاربردهای فنی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نور مرئی، ناحیه‌ای است که دریافت‌کننده‌های چشم قادر به حس آن است، تنها محدوده کوچکی از طیف با طول‌موج بین ۳۸۰ تا ۷۸۰ نانومتر در این ناحیه قرار دارد. ناحیه مجاور طیف با طول‌موج‌های از ۷۸۰ تا ۱ میلی‌متر را معمولاً مادون‌قرمز گویند. به دنبال آن نیز امواج ماکرو، رادار و همه امواجی که برای رادیو، تلویزیون و ... قرار دارند. برای تصویربرداری مادون‌قرمز، تنها یک بازه کوچک از طیف مادون‌قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۲ دید وسیع‌تری از آن نشان داده شده است. عموماً، سه بازه طیفی برای دمانگاری ۱ تعریف می‌شود: ناحیه موج‌بلند ۲ (LW) از ۷ تا ۱۴ میکرومتر، ناحیه موج میانه ۳ (MW) از ناحیه ۳ تا ۵ میکرومتر و موج کوتاه ۴ (SW) از ۰٫۹ تا ۱٫۷ میکرومتر است [۲]. دوربین‌های تجاری برای این سه ناحیه وجود دارند. محدودیت‌های مربوط به طول‌موج‌ها، ناشی از در نظر گرفتن مقدار تابش دمایی مورد انتظار، فیزیک آشکارسازها و از خصوصیات انتقال اتمسفر است.

³ Mid-wave

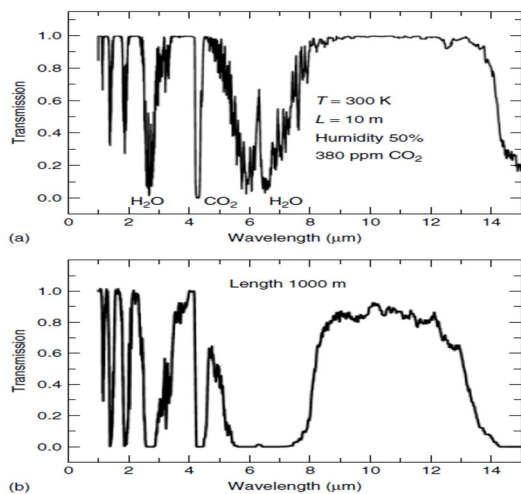
⁴ Short-wave

¹ Thermography

² Long-wave

را ندارند. اگرچه مولکول‌های ساخته‌شده از دو یا چند اتم مختلف مانند CO ، CO_2 ، CH_4 و البته H_2O و ... هستند که قادر به جذب مادون قرمز هستند.

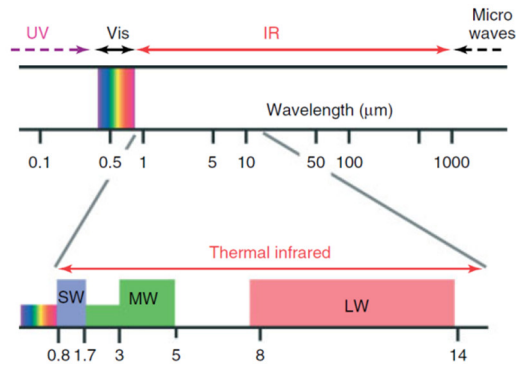
شکل ۴ مروری بر دو طیف انتقالی مسیرهای جوی افقی با طول ۱۰ و ۱۰۰۰ متر را نشان می‌دهد؛ مشاهده می‌گردد که در H_2O و CO_2 میرایی بیشتری نسبت به هوای خالص وجود خواهد داشت. ذرات معلق در هوا و ابرها نیز می‌توانند میرایی را بیشتر کنند. علاوه بر این، گازهایی با غلظت کمتر مانند کریپتون (Kr)، هیدروژن (H_2)، نیتروژن اکسید (NO ، N_2O)، زنون (Xe)، اوزون (O_3) و ... وجود دارند. ترکیب به ارتفاع از سطح آب بستگی دارد [۱۳].



شکل ۴. پنجره‌های اتمسفری مادون قرمز

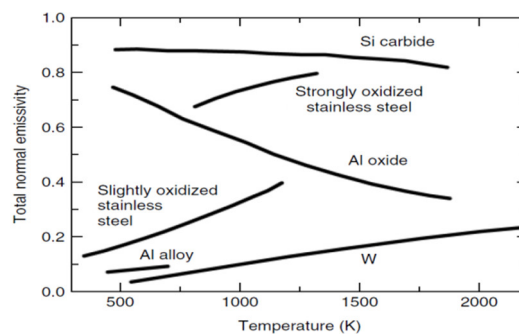
۴- معیار جانسون

اغلب، اولین سؤال که افراد به هنگام خرید دوربین‌های تصویربرداری حرارتی می‌پرسند، راجع به برد تشخیص آن‌ها است. این سؤال بسیار کلی است، زیرا که تقریباً تمام تجهیزات مادون قرمز خورشید را از فاصله ۱۴۶ میلیون کیلومتری خواهند دید، اما بسیار اشتباه است که گفته شود همه تجهیزات تصویربرداری حرارتی مادون قرمز قادر به تشخیص خطرات امنیتی در هر فاصله‌ای هستند.



شکل ۲. طیف مرئی و مادون قرمز

به‌طور کلی خصوصیات مواد با دما تغییر می‌کند؛ پس جای تعجبی برای تغییر گسیلندگی با تغییر دما وجود ندارد. در شکل ۳ چندین مثال بیان شده‌است و همان‌طور که مشاهده می‌شود بعضی از مواد تغییر تقریباً زیادی با دما از خود نشان می‌دهند.

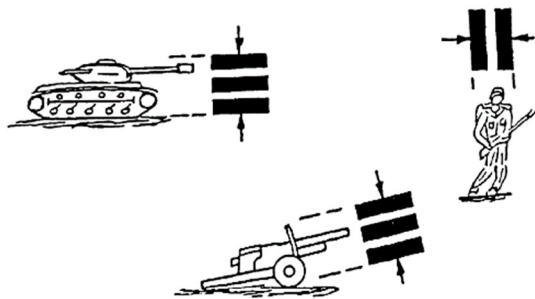


شکل ۳. تغییر گسیلندگی با تغییر دما

۳- میرایی تابش مادون قرمز هنگام عبور از اتمسفر

مطالعه موادی که در حال حاضر در اتمسفر موجود هستند بسیار رایج است. از مواد غوطه‌ور در گازها تا لنز دوربین‌های مادون قرمز مورد مطالعه قرار می‌گیرند. تابش مادون قرمز منتشره از سطح اجسام به جو و نیاز به دانستن فرآیند پراکندگی/جذب در گاز به منظور محاسبه میرایی اشعه مادون قرمز ضروری است. اتمسفر از چند گاز طبیعی تشکیل شده است. به‌علاوه مقادیر متغیری از بخار آب که غلظت آن به چند درصد می‌رسد، وجود دارد. گازهای تک اتمی (مانند Ar) و دو اتمی از اتم‌های یکسان (مانند O_2 ، N_2) توانایی جذب تابش IR در دامنه IR دمایی

در فاصله‌ای که به‌سختی قابل تشخیص است حرکت می‌کند، الگوی میله‌ای شکل در میدان دید قرار داده و بسامد فضایی^{۱۳} آن را افزایش داده تا به‌سختی در همان فاصله قابل تشخیص باشد؛ به‌عنوان مثال تعداد خطوط روی الگوی میله‌ای تا زمانی که دیگر قابل تشخیص نباشند. بسامد فضایی الگو به‌عنوان تعداد خطوطی که بعد کوچک‌تر جسم را می‌پوشاند، تعیین می‌گردد (شکل ۵). از همین منوال برای تعیین و شناسایی نیز استفاده می‌شود.



شکل ۵. روش جانسون برای چند هدف

خود جانسون در مقاله‌ای دیگر واحد تشخیص اهداف را از الگوی میله‌ای به سیکل تغییر داد. سیکل "وضوح تصویر به ازای بعد کوچک هدف" تعریف گردید. البته معیار جانسون طی سالها توسط دانشمندان دیگر مورد مطالعه و اصلاح قرار گرفت؛ و در نهایت به فرمی که در بالا ذکر گردیده است، بیان می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای سه‌گانه معیار جانسون

| درصد احتمال | تعداد میله‌های نمای پذیر مورد نیاز | | |
|-------------|------------------------------------|------|------|
| | %۵۰ | %۷۰ | %۹۰ |
| کشف | ۰,۷۵ | ۰,۹۴ | ۱,۳۴ |
| تشخیص | ۳ | ۳,۷۵ | ۵,۳۷ |
| شناخت | ۶ | ۷,۵ | ۱۰,۷ |

به‌عنوان مثال اگر یک هدف بخواهد با احتمال ۰/۹۰ مورد شناسایی کامل انجام گیرد می‌بایست در روابط مربوط به

فاصله‌ای که در آن دوربین‌های حرارتی قادر به تشخیص هدف هستند را در صنعت تصویربرداری حرارتی "برد"^۵ می‌گویند. برای تعیین صحیح برد یک دوربین تصویربرداری حرارتی نیاز به مدل‌سازی پیچیده و پارامترهای زیادی مانند نوع دوربین تصویربرداری حرارتی مورد استفاده، نوع لنز مورد استفاده، طبیعت و ابعاد هدف، شرایط جوی و ... می‌باشد.

به‌منظور تعریف "مشاهده هدف"^۶ از معیار جانسون^۷ استفاده می‌شود. جان جانسون که دانشمند صنایع نظامی ایالات متحده بود، روشی را برای پیش‌بینی عملکرد سیستم‌های سنسوری ارائه کرد که طی آن دقت مورد نیاز برای تشخیص یک جسم توسط پیکسل‌ها تعیین می‌شود. با استفاده از این معیار می‌توان برد مؤثر دوربین‌های مادون قرمز را بیان کرد. طبق این معیار تمایزی بین درجات "دیدن" هدف باید در نظر گرفته شود:

۱- تشخیص^۸: منظور تشخیص حضور یا عدم حضور هدف است، ابعاد مورد نیاز برای آن باید ۱/۵ پیکسل یا بیشتر باشد که معادل ۰/۷۵ سیکل^۹ که واحد دقت سیستم مورد استفاده در معیار جانسون است می‌باشد.

۲- تعیین^{۱۰}: تشخیص ماهیت جسم که چه نوع جسمی است، تعریف گردیده است. به‌این معنا که قادر به تمیز دادن بین فرد، ماشین، کامیون یا هر جسم دیگری باشیم. به‌منظور تعیین ماهیت جسم باید ابعاد مهم آن توسط حداقل ۶ پیکسل نشان داده شود.

۳- شناسایی^{۱۱}: این عبارت در معنای نظامی به معنی مشاهده و تشخیص دوست از دشمن به حساب می‌آید و به‌منظور شناسایی هدف باید ابعاد مهم آن توسط ۱۲ پیکسل نشان داده شود.

خطوط تعیین‌کننده نرمال برای اندازه مهم^{۱۲} هدف تعیین می‌کرد. معیار جانسون ساده و در دسترس بود. یک هدف

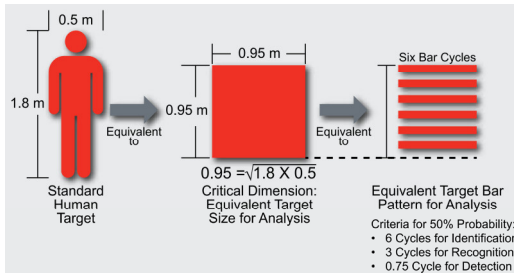
10 Recognition
11 Identification
12 Critical Dimension
13 Spatial Frequency

5 Range
6 Seeing a target
7 Johanson's criteria
8 Detection
9 Cycle

(۵)

$$TCD = \sqrt{1.8 \times 0.5} = 0.95$$

و مطابق شکل زیر می‌توان آن را به یک صفحه مربعی به ابعاد ۰.۹۵ متر مدل نمود؛ حال بسته به اینکه کدام یک از ۹ حالت ذکر شده در جدول پیشین مدنظر باشد می‌بایست صفحه مدل شده را به همان تعداد میله تقسیم نمود به‌عنوان مثال، نویسنده در شکل زیر تلاش دارد برد دوربین را با احتمال ۵۰ درصد برای حالت شناخت (معادل ۶ میله تمایزپذیر) به دست آورد از این رو صفحه مربعی را به یک مجموعه ۶ تایی از میله‌های تمایزپذیر مدل نموده است:



شکل ۶. مدل نمودن انسان به میله‌های تمایزپذیر

در ادامه با فرض اینکه گام پیکسلی و فاصله کانونی دوربین به ترتیب ۱۷ میکرومتر و ۱۶/۷۵ میکرومتر باشد آنگاه برد دوربین برای حالت نشان داده شده در شکل صفحه قبل از روابط زیر بدست خواهد آمد:

$$\text{Pixel IFOV (mrad)} = \frac{17 \mu\text{m}}{16.75 \text{ mm}} = 1.01 \text{ mrad} \quad (۶)$$

و

$$\text{PPM} = \frac{2 \times 3}{0.95 \text{ m}} = 6.3 \quad (۷)$$

بنابراین برد (برای حالت شناخت با احتمال ۰.۵۰) عبارت خواهد بود از:

$$R = \frac{1000}{6.3 \times 1.01} = 157 \text{ m} \quad (۸)$$

معیار جانسون معادل حداقل ۱۰/۷ میله برای آن در نظر گرفته شود؛ همان‌طور که از جدول بالا نیز مشخص است اهداف به‌صورت میله‌های تمایزپذیر مدل شده‌اند و این بدین خاطر است که این مدل بتواند در محیط آزمایشگاه تکرارپذیر باشد بنابراین برای یافتن برد دوربین، ابتدا می‌بایست ابعاد بحرانی هدف را با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

(۱)

$$TCD = \sqrt{\text{Target Height(m)} \times \text{Target Width(m)}}$$

همچنین در این مدل فرض می‌شود که یک میله در صورتی که در میدان دید لحظه‌ای، یک پیکسل باشد؛ تمایز داده خواهد شد از این رو می‌بایست کمیت میدان دید لحظه‌ای متناظر با یک پیکسل را نیز محاسبه نمود:

(۲)

$$\text{PIFOV(mrad)} = \frac{\text{detector pixel pitch} (\mu\text{m})}{\text{optics effective focal length(mm)}}$$

بنابراین تعداد پیکسل‌های موردنیاز برای یک هدف مشخص عبارت خواهند بود از:

(۳)

$$\text{PPM} = \frac{2 \times \text{No. of reqd cycles from Johnson criterion}}{\text{Target critical dimension (m)}}$$

و در نهایت برد دوربین عبارت خواهد بود از:

(۴)

$$\text{Range (m)} = \frac{(1000 \frac{\text{radians}}{\text{mrad}})}{\text{PPM} (\frac{\text{pixels}}{\text{m}}) \times \text{pixel IFOV (mrad)}}$$

به‌عنوان مثال اگر یک انسان به‌طور متوسط ۰.۵ متر عرض و ۱/۸ متر طول داشته باشد با توجه به رابطه:

البته عدد فوق بدون در نظر گرفتن شرایط آب و هوایی می‌باشد.

۴- پنهان‌سازی

برای هزاران سال است که بشر با تکیه بر استتار، اقدام به پنهان‌سازی اجسام می‌نماید. روش‌های پنهان‌سازی اهداف پرنده نیز از این قاعده مستثنی نیست و روش‌های پنهان‌سازی اثرات بصری برای انواع مختلف هواپیماها از جنگ جهانی دوم تست و پیاده‌سازی شده‌اند. در مقالات بسیاری نشان داده شده است که گاهی اوقات، اثرات بصری یک هواپیما قادر به تهدید عملیات به‌اندازه اثرات مادون قرمز و راداری این اهداف است. این مطالعات منجر به تعریف مفهوم مقطع بصری^{۱۴} برای یک هدف پرنده گردید. این مطالعات با تمرکز بر ترکیب تأثیرات اندازه، شکل، رنگ و درخشش^{۱۵} یا شدت روشنایی مؤثر^{۱۶} یک هواپیمای داده شده برای رسیدن در یک مقطع بصری یا VCS انجام پذیرفته است [۴]. سه دلیل اصلی برای اینکه که چرا مطلوب است تا پهپادها غیرقابل تشخیص باقی بمانند، در زیر آورده شده است. این سه دلیل به‌طور کلی در وسایل نقلیه هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اگرچه سایر اجزای سیستم ممکن است، درگیر گردند. به دلیل عدم آگاه‌سازی دشمن (نظامی) یا مجرمین (پلیسی) از عملیات‌های آینده بسیار مطلوب است، وسیله نقلیه هوایی در حین عملیات شناسایی/ نظارتی غیرقابل تشخیص باقی بماند.

۵- راهکارهای مقابله با پنهان‌سازی

پایداری و حفاظت یک فرآیند ۲۴ ساعته است که در نتیجه استفاده از روش‌های پردازش تصویری در تشخیص و تعقیب یک پهپاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های متعددی برای انجام این مهم استفاده می‌شود که از جمله آن می‌توان به روش‌های مبتنی بر نحوه حرکت^{۱۷}،

روش‌های مبتنی بر رنگ^{۱۸} و روش‌هایی که مبتنی بر ظاهر^{۱۹} هدف هستند اشاره کرد.

۱- دسته‌بندی شیء بر اساس ظاهر

توصیف‌های مختلفی از اطلاعات شکل ناحیه حرکت از جمله نقطه، جعبه، حباب برای دسته‌بندی اجسام متحرک موجود می‌باشد. ویژگی‌های ورودی به الگوریتم ترکیبی از اطلاعات مبتنی بر تصویر^{۲۰} و اطلاعات مبتنی بر صحنه^{۲۱} از پارامترهای شیء نظیر تصویر منطقه حباب، جنبه ظاهری نسبت کادر اطراف شیء و درصد بزرگنمایی دوربین هستند.

۲- دسته‌بندی بر اساس نحوه حرکت

اجسام بند بندی^{۲۲} که از نظر ظاهری ثابت نیستند^{۲۳} در حرکت خود رفتاری متناوب دارند، بنابراین این یک معیار بسیار قوی برای دسته‌بندی اجسام در حال حرکت می‌باشند. جریان نوری نیز معیار دیگری است که برای دسته‌بندی اجسام متحرک بسیار مفید می‌باشد. جریان باقی‌مانده برای تحلیل وجود سختی و متناوب بودن حرکت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مورد اجسام سخت (شکل ثابت) این انتظار می‌رود که جریان باقی‌مانده بسیار کمی ارائه دهند؛ هرچند در مورد اجسام غیرسخت (شکل غیرثابت) مانند انسان از خود میانگین جریان باقی‌مانده بیشتری نشان می‌دهند. [۵]

۳- دسته‌بندی بر اساس رنگ

برخلاف بسیاری از ویژگی‌های شیء موجود در عکس (شکل و بافت و ...) اطلاعات رنگی از نقطه‌نظرهای مختلفی ثابت به نظر می‌رسد و همین‌طور به‌آسانی می‌توان به این نوع اطلاعات دسترسی داشت. اگرچه اطلاعات رنگ همیشه به‌تنهایی بهترین وسیله برای عملیات ردیابی نیست اما کم

19 shape
20 image-based
21 scene-based
22 articulated
23 non-rigid

14 Visual Cross Section (VCS)
15 Luminosity
16 Effective illuminance (EI)
17 Optical flow
18 Color Base

بودن هزینه محاسباتی^{۲۴} آن را به یکی از پربازده‌ترین الگوریتم‌ها تبدیل کرده است. برای تشخیص و ردیابی وسایل نقلیه^{۲۵} و رهگذرها^{۲۶} در زمان واقعی الگوریتم‌های مبتنی بر اطلاعات رنگی یا هیستوگرام مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶].

البته روش‌های دیگری مانند تبدیل ویژگی غیر حساس به بزرگنمایی^{۲۷} یا نقشه برجسته^{۲۸} نیز در مقالات مختلفی ارائه شده است. این بخش از در حیطه علوم کامپیوتری و پردازش تصویر است و در اینجا صرفاً به منظور آشنایی و معرفی بیان گردیده است. استفاده از مقالات و علوم استفاده شده در مرز دانش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که باید به آن توجه شود.

پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در زمان واقعی^{۲۹} از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به اینکه تصاویر دوربین‌هایی در این سطح دارای تصاویری با کیفیت و حجم بالایی است، نیاز به سخت‌افزار رایانه‌ای بسیار قدرتمندی به منظور پردازش تصاویر و انجام عملیات تشخیص و تعقیب هدف است. از این رو پس از یافتن دوربین و روش مناسب، یافتن سخت‌افزار مناسب برای پردازش تصاویر نیز از اهمیت خاصی برخوردار است [۷].

روش‌های اشاره شده در بالا می‌تواند در پردازش تصاویر دوربین‌های مادون قرمز استفاده شود، اما این سیستم‌ها عموماً با نرم‌افزارهای پردازش تصویر خود به فروش می‌رسند. با این حال در صورت تمایل به افزایش کارایی این سیستم‌ها می‌توان با پیاده‌سازی این روش‌ها به بررسی کارایی این روش‌ها و روش‌های ارائه شده توسط شرکت سازنده پرداخت.

حال سؤال اساسی این است که آیا استفاده از این روش‌ها برای یافتن پهپادها کافی است یا خیر؟

به منظور رصد پهپادهای دشمن، بهتر است از همه روش‌ها بهره گرفته شود و به استفاده از دوربین‌های مرئی و

مادون قرمز بسنده نکرد. شاید یکی از مؤثرترین روش‌ها که در رصد پهپادها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، بررسی اثرات صدایی یا آکوستیک یک پهپاد است. با توجه به این موضوع که پهپادها اصولاً در ارتفاع پایین‌تر از جنگنده‌ها و در سرعت‌هایی که معمولاً پایین‌تر از سرعت صوت است پرواز می‌کنند؛ استفاده از اثرات صدایی آن‌ها جهت تشخیص بسیار مفید خواهد بود. هماهنگی همه این تجهیزات با سامانه راداری در بهبود تشخیص پهپادهای دشمن می‌تواند مؤثرتر باشد [۸].

علاوه بر همه روش‌های اشاره شده در بالا، استفاده از چند ایستگاه نظارتی در زمین، هوا و دریا که با هماهنگی و ارتباط با یکدیگر به نظارت و رصد مرزها بپردازند؛ امکان تشخیص و ردیابی پهپادها را بیش از پیش می‌سازد.

نظارت و بررسی بر یک منطقه استراتژیک از چند ناحیه همواره احتمال شناسایی پهپادها را بهبود می‌بخشد، زیرا یکی از مرسوم‌ترین روش‌های پنهان‌سازی مادون قرمز، اقدام به پراکنده‌سازی امواج مادون قرمز منتشره از سطح هواپیما است؛ در نتیجه این روش، امکان تشخیص مؤثرتر را برای شناسایی این اهداف میسر می‌سازد.

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش معیار جانسون معرفی شد و انواع روش‌های مقابله با پنهان‌سازی پرنده‌های کوچک ذکر گردید.

۷- مراجع

- [1] K.P. M. M.Vollmer, Infrared Thermal Imaging: fundamentals, Reseach and Applicatios, Weinheim: Wiley- VCH, 2010.
- [2] E. D. Palik, Handbook of optical constants of solids, vol. 3, Boston: Academic Press, 1998.
- [3] M. Al Naboulsi, "Fog attenuation prediction for optical and infrared waves,"

27 Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)
28 Saliency Map
29 Real Time

24 computational burden
25 vehicles
26 pedestrians

Optical Engineering, vol. 43, no. 2, pp. 319-329, 2004. Jensen, F.B., Kuperman,

- [4] P. W. M. L. D. M. R. B. Kruse, *Elements of infrared technology: Generation, transmission and detection*, New York: J. Wiley and sons, 1962.
- [5] R. Austin, "Unmanned aircraft systems," *UAVS Design, Development and Deployment*. Wiley, 2010.
- [6] A. Leupolz, W. Scherber, and W. Rothmund, "Infrared camouflaging system," ed: Google Patents, 2004.
- [7] R. F. Reynolds and M. J. Kinsella, "Thermal and visual camouflage system," ed: Google Patents, 2002.
- [8] T. G. Conway, R.L. G. McClean, and G. W. Walker, "Control of emissivity with perforations or high emissivity spots; disguising military targets warmer than their environment," ed: Google Patents, 1991