

Infrared small target detection based on the Particle swarm optimization algorithm

Hadi Shahraki ^{1*}, Akbar Zare Chavoshi ²

¹ Dept. of Computer Engineering, Faculty of Industry and Mining, University of Sistan and Baluchestan, Khash, Iran

² Dept. of Mathematics, University of Bojnord, Iran

Abstract:

One of the most important parts of infrared search and tracking systems is image processing, which detects the targets in infrared images. In this paper, a new infrared small target detection algorithm is proposed. The proposed method uses heuristic optimization algorithms to find small targets in infrared images. In this way, the particle swarm optimization algorithm is used as one of the best heuristic optimization algorithms. The performance of the proposed algorithm is evaluated using real and simulated infrared images. These images include a variety of false response sources like high-intensity edges, cloudy background, complex sea-sky background, and a target close to high-intensity background clutter. The experimental results are compared with the four common methods of infrared small target detection. The experimental results show the effectiveness and performance of the proposed algorithm. Also, the runtime of the proposed method is comparable to other commonly used methods, and this makes it usable in real-time programs.

Keywords: Artificial intelligence, Infrared Search and Track System, Optimization algorithms, Particle swarm optimization algorithm, Small target detection

آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر الگوریتم

بهینه‌سازی ازدحام ذرات

هادی شهرکی^۱، اکبر زارع چاوشی^۲

۱- استادیار، دانشکده صنعت و معدن خاش - دانشگاه سیستان و بلوچستان - خاش - ایران

Hadi_shahraki@eng.usb.ac.ir

۲- استادیار، گروه ریاضی - دانشگاه بجنورد - بجنورد - ایران

Akbar.zarechavoshi@gmail.com

چکیده: یکی از مهم‌ترین اجزای سامانه‌های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز، بخش پردازش تصویر است که وظیفه آن آشکارسازی اهداف مدنظر در تصاویر مادون قرمز است. در این مقاله یک روش جدید آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز ارائه شده است. در روش پیشنهادی، از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری برای یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز استفاده می‌شود. ویژگی منحصر به فرد این روش، یافتن اهداف کوچک با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و بدون دخالت سایر روش‌های آشکارسازی اهداف است. به این منظور، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به عنوان یکی از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری استفاده شده است. عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از تصاویر مادون قرمز واقعی و شبیه‌سازی شده ارزیابی شده است. این تصاویر شامل انواع منابع خطا همچون پس‌زمینه ابری پیچیده، پس‌زمینه آسمان دریا و لبه‌های با شدت روشنائی زیاد است. نتایج به دست آمده از عملکرد روش پیشنهادی در یافتن اهداف کوچک و مدت زمان اجرای آن با چهار روش متداول مقایسه شده‌اند که نشان‌دهنده کارایی مناسب روش پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی اهداف کوچک، الگوریتم‌های بهینه‌سازی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام

ذرات، سامانه جستجوگر و ردیاب مادون قرمز، هوش مصنوعی

۱- مقدمه

افزایش توانایی در ایجاد اختلال و اغتشاش در سامانه‌های راداری الکترومغناطیسی، توجه به جستجوگرهای غیرفعال همچون سامانه‌های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز افزایش چشمگیری یافته است.

یکی از مهم‌ترین اجزای سامانه‌های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز، بخش پردازش تصویر است که وظیفه آن پردازش تصاویر مادون قرمز برای آشکارسازی اهداف مدنظر است. آشکارسازی اهداف در این سامانه‌ها، مشکلات و پیچیدگی‌های خاصی دارد. وجود این چالش‌ها در کنار اهمیت استفاده از آن، آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز را به یکی از موضوعات جذاب برای پژوهشگران تبدیل کرده است؛ به گونه‌ای که الگوریتم‌های فراوانی در این

سامانه‌های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز، یکی از ابزارهای مهم در صنایع نظامی محسوب می‌شوند. این سامانه‌ها از تشعشع مادون قرمز اهداف برای آشکارسازی و ردیابی آنها استفاده می‌کنند. با پیشرفت جنگ الکترونیک و

^۱ تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

نام نویسنده مسئول: هادی شهرکی

نشانی نویسنده مسئول: ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان،

دانشکده صنعت و معدن خاش

زمینه ارائه شده‌اند [۱].

دیدگاه آشکارسازی مبتنی بر تخمین پس‌زمینه، یکی از عمومی‌ترین دیدگاه‌های موجود برای آشکارسازی اهداف نقطه‌ای است [۲-۴]. سادگی و کارایی نسبتاً بالا در آشکارسازی از ویژگی‌های این روش به شمار می‌روند. در این روش‌ها معمولاً از یک فیلتر برای پیش‌بینی یا تخمین پس‌زمینه استفاده می‌شود. سپس، پس‌زمینه تخمین زده شده از تصویر اصلی تفریق می‌شود و نقاط کاندیدای هدف به دست می‌آیند.

فیلترهای حداقل میانگین مربعات، میانگین، میانه و ریخت‌شناسی فیلترهایی‌اند که پس‌زمینه را تخمین می‌زنند. در [۵] روشی برای آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز با استفاده از فیلتر حداقل میانگین مربعات دوبعدی معرفی شده است. در این مطالعه تصاویر ابتدا با یک فیلتر گوسی هموار شده است و سپس فیلتر حداقل میانگین مربعات دوبعدی به کار گرفته می‌شود. تخمین پس‌زمینه برپایه عملگرهای ریخت‌شناسی از جمله روش‌هایی بودند که در سال‌های اخیر شایان توجه قرار گرفته‌اند [۶]. روشی برای آشکارسازی اهداف مبهم در تصاویر دیجیتال مادون قرمز در [۷] برپایه پردازش تصویر ریخت‌شناسی ارائه شده است. همچنین روشی برای تخمین پس‌زمینه مبتنی بر تحلیل مؤلفه‌های پایه‌ای در [۸] پیشنهاد شده است. علاوه بر توانایی‌های فیلترینگ، روش ارائه‌شده، توابع همبستگی مکانی - زمانی و چگالی طیفی توان مجموعه داده‌های اصلی را به دست می‌آورد. همچنین، یک مقیاس زمانی تعریف می‌شود که به نویز حسگر تصویربردار تخصیص یافته است. با استفاده از الگوریتم ارائه‌شده تالو خورشید می‌تواند حذف شود. در [۹، ۱۰] نیز تخمین پشت‌زمینه با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های پایه‌ای صورت گرفته است.

یکی دیگر از تکنیک‌های یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز بهبود مستقیم هدف است. هدف اصلی در روش‌های مبتنی بر بهبود هدف، طراحی یک عملگر فیلتری است که قادر به حذف پس‌زمینه و بهبود هدف به صورت همزمان باشد. در [۱۱] روشی برپایه سیستم بینایی انسان برای آشکارسازی هدف ارائه شده است. در این روش اهداف کوچک به صورت گوسی مدل شده‌اند و با

استفاده از نمایش فضای مقیاس لاپلاسین گوسی اقدام به آشکارسازی هدف می‌شود. همچنین در [۱۲] یک روش دیگر مبتنی بر مدل‌سازی اهداف به صورت گوسی ارائه شده است. در این زمینه روش دیگری برپایه آستانه‌گذاری و فقی و رشد نواحی در [۱۳] ارائه شده است. همچنین فیلتر بالاگذر و فقی در [۱۴] برای آشکارسازی مستقیم در سامانه‌های آشکارساز هدف در تصاویر مادون قرمز استفاده شده است. تطبیق قالب بهبودیافته در [۱۵] برای آشکارسازی اهداف کوچک مادون قرمز ارائه شد. برخلاف تطبیق قالب سستی، از ضرایب افکنش حاصل از تحلیل مولفه پایه‌ای به عنوان قالب و از یک همبستگی غیرخطی به عنوان معیار شباهت استفاده کردند. آشکارسازی اهداف با استفاده از بهینه‌کردن نسبت سیگنال به هدف‌نما در پس‌زمینه‌های ناهمگن در سال ۲۰۱۲ ارائه شد [۱۶]. استفاده از عملگر لاپلاسین گوسی نرمالیزه‌شده در مقیاس‌های مختلف و یافتن ماکزیمم آنها برای بهینه‌کردن نسبت سیگنال به هدف‌نما استفاده شده است. در سال ۲۰۱۶، روشی به نام تفاضل میانگین مطلق سطح خاکستری برای آشکارسازی اهداف مادون قرمز ارائه شد [۱۷]. در این روش، خروجی الگوریتم با استفاده از تفاضل مطلق دو پنجره تودرتو محاسبه می‌شود که حول پیکسل مدنظر محاط شده‌اند. در [۱۸] روشی مبتنی بر تفاضل میانگین مطلق سطح خاکستری ارائه شده است. در این روش سعی شده است علاوه بر رفع معایب روش میانگین مطلق سطح خاکستری بر کارایی آن نیز افزوده شود.

یکی دیگر از روش‌های آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز، استفاده از اطلاعات موجود در هدف است. در این روش‌ها از اطلاعاتی همچون شکل هدف، شدت روشنایی و اطلاعات حرکتی آن استفاده می‌شود. در [۱۹] از اختلاف بین شدت روشنایی پیکسل مرکز و پیکسل‌های اطراف برای آشکارسازی استفاده شده است. الگوریتم استفاده‌شده یک فیلتر مکانی است که مبتنی بر فیلتر هموارساز و فقی و فیلتر مکانی گارد رابینسون عمل می‌کند. در [۲۰] الگوریتمی برای آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر فیلتر ویژگی معرفی شده است. در این مقاله، در ابتدا مدلی برای نویز، پس‌زمینه و هدف با

بهینه‌کردن المان‌های ساختاری در روش Top-Hat با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ارائه شده است. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک کوانتوم برای این منظور استفاده شده است. در [۳۲] از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در ردیابی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز استفاده شده است.

در این مقاله، از توانایی بالای الگوریتم‌های بهینه‌سازی در یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز استفاده می‌شود. تفاوت روش پیشنهادی با مطالعات گذشته در این است که الگوریتم بهینه‌سازی به‌طور مستقیم برای یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز به کار گرفته می‌شود و از هیچ‌کدام از روش‌های آشکارسازی اهداف استفاده نمی‌شود. برای رسیدن به این هدف، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌عنوان یکی از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری به کار گرفته شده است.

سازمان‌دهی این مقاله به این ترتیب است که در بخش دوم، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات بیان می‌شود. بخش سوم به روش پیشنهادی اختصاص داده شده است. در بخش چهارم نتایج مربوط به عملکرد الگوریتم پیشنهادی در آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز نشان داده می‌شوند و در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری این پژوهش ارائه می‌شود.

۲- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای نخستین بار در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. این الگوریتم به‌صورت مؤثری در حل بسیاری از مسائل پیچیده استفاده شده است [۳۳-۳۷]. ایده اصلی روش جستجو در این الگوریتم، از حرکات منظم پرندگان و ماهی‌ها اقتباس شده است. برای مدل‌سازی نظم موجود در حرکت جمعی این جانداران دو دیدگاه در نظر گرفته شده است. یک بعد، تعاملات اجتماعی موجود بین اعضای گروه است و بعد دیگر امتیازات فردی است که ممکن است هر یک از اعضای گروه واجد آنها باشد. در بعد اول همه اعضای گروه موظف‌اند همواره موقعیت خود را با تبعیت از موقعیت بهترین فرد گروه تغییر دهند و از بعد دوم لازم است تک‌تک اعضا بهترین موقعیتی که تاکنون

توجه به توزیع سطح خاکستری آنها در نظر گرفته می‌شود. سپس معیاری با عنوان پارامتر شکل در یک اندازه معین تعریف شده است و با توجه به آن هدف، نویز و پس‌زمینه تمیز داده می‌شوند. با تغییر مقدار اندازه در پارامتر شکل می‌توان اندازه هدف را نیز به دست آورد. در [۲۱] الگوریتمی برای آشکارسازی اهداف با اندازه متفاوت در تصاویر مادون قرمز ارائه شده است. در این الگوریتم از فیلترینگ لاپلاسین گوسی برای آشکارسازی اهداف استفاده می‌شود.

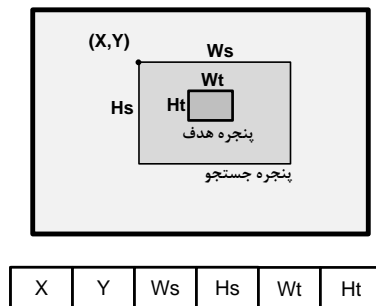
یک روش آشکارسازی اهداف مبتنی بر مدل فست و مشتقات جهتی برای تقویت ناحیه هدف در [۲۲] ارائه شده است. در این روش ناحیه‌های همسایگی تصویر ورودی، بعد از اعمال تبدیل فست، با یک چندجمله‌ای تقریب زده می‌شوند. بعد از ترکیب این چندجمله‌ای با توابع پایه سینوسی و کسینوسی، مشتقات جهتی، ساخته و به تصویر اعمال می‌شوند.

در [۲۳] از تئوری نمایش تنک برای آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز استفاده شده است. در این روش نمایش تنک براساس ایده تفاوت مرکز است. همچنین در [۲۴] از نمایش تنک در کنار نمایش درجه پایین استفاده کرده و مدلی با نام LRSR برای آشکارسازی اهداف معرفی کرده است.

کارایی بالای الگوریتم‌های بهینه‌سازی ابتکاری در حل مسائل [25-28] مختلف، پژوهشگران را به استفاده از این الگوریتم‌ها در زمینه آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز سوق داده است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی، بیشتر برای بهینه‌کردن روش‌های آشکارسازی اهداف استفاده شده‌اند. در [۲۹] از یک عملگر غیرخطی ریخت‌شناسی برای آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز استفاده می‌کند. در این روش انتخاب صحیح المان ساختاری نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد الگوریتم دارد. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک برای یافتن المان‌های ساختاری مناسب برای بهبود و افزایش کارایی روش ارائه‌شده استفاده شده است. در [۳۰] نیز دو روش برای بهینه‌کردن پارامترهای فیلترکردن Top-Hat با استفاده از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. همچنین در [۳۱] یک مطالعه دیگر برای

آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

پیشنهادی ذرات نشان‌دهنده یک ناحیه در تصویر به‌عنوان پنجره هدف‌اند. در شکل ۱ نحوه تعریف ذرات در الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل (۱): تعریف ذره در الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که مشاهده می‌شود هر ذره با ۶ عدد نمایش داده می‌شود که دو عدد اول نشان‌دهنده موقعیت پنجره جستجو، اعداد سوم و چهارم نشان‌دهنده ابعاد پنجره جستجو و اعداد پنجم و ششم نشان‌دهنده ابعاد هدف‌اند. مشاهده می‌شود یک ذره شامل ۳ پارامتر موقعیت ناحیه جستجو، ابعاد ناحیه جستجو و ابعاد ناحیه هدف است و موقعیت پنجره هدف در ذرات مشخص نشده است. با توجه به مشخصات ذکر شده برای اهداف در تصاویر مادون قرمز، در ناحیه هدف بیشترین مقدار شدت روشنایی مربوط به هدف است. در الگوریتم پیشنهادی از این نکته برای تعیین موقعیت پنجره هدف در پنجره جستجو استفاده شده است. در این الگوریتم نقطه مرکزی پنجره هدف برابر با موقعیت پیکسلی با بیشترین شدت روشنایی در پنجره جستجو است. به این ترتیب، می‌توان با استفاده از پارامترهای مشخص شده در هر ذره، یک ناحیه را پنجره هدف در نظر گرفت.

۳-۲- جمعیت اولیه

در الگوریتم ازدحام ذرات، جمعیت اولیه به‌صورت کاملاً تصادفی در فضای جستجو انتخاب می‌شوند؛ اما از آنجایی که اطلاعات مفیدی درباره موقعیت مکان‌های احتمالی هدف در تصویر مادون قرمز وجود دارد، در الگوریتم پیشنهادی می‌توان با ایجاد تغییراتی در نحوه انتخاب جمعیت اولیه، عملکرد الگوریتم پیشنهادی را در

شخصاً تجربه کرده‌اند را در حافظه خود نگهداری کنند و تمایلی نیز به بهترین موقعیت درک‌شده گذشته خود داشته باشند.

در این الگوریتم موقعیت و سرعت هر ذره با روابط زیر

بیان می‌شود:

$$v_i^d(t+1) = W \times v_i^d(t) + \text{rand} \times c_1 \times (p_{\text{best}_i^d} - x_i^d(t)) + \text{rand} \times c_2 \times (g_{\text{best}_i^d} - x_i^d(t)) \quad (1)$$

$$x_i^d(t+1) = v_i^d(t+1) + x_i^d(t) \quad (2)$$

در این رابطه W وزن اینرسی، c_1 و c_2 دو عدد ثابت

مثبت‌اند که به ترتیب «پارامتر فردی» و «پارامتر اجتماعی» نام دارند. V_i و X_i به ترتیب نشان‌دهنده موقعیت و سرعت ذره i ام است. همچنین، P_{best} و G_{best} به ترتیب نشان‌دهنده بهترین موقعیت ذره i ام و بهترین موقعیت کل ذرات است.

مراحل الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌صورت زیر

است.

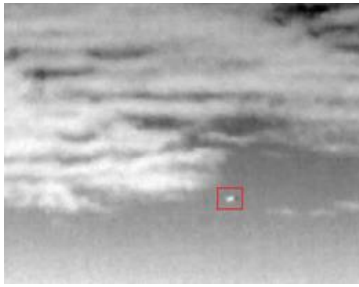
۱. مقداردهی اولیه جمعیت (آرایه) از ذرات با موقعیت‌ها و سرعت‌های تصادفی در d بعد در فضای جستجوی الگوریتم؛
۲. محاسبه میزان برازندگی ذرات؛
۳. به‌روزرسانی بهترین موقعیت هر ذره P_{best} و بهترین موقعیت کل ذره‌های G_{best} ؛
۴. به‌روزرسانی موقعیت و سرعت ذرات؛
۵. بررسی شرط توقف؛
۶. تکرار مراحل ۲ تا ۵ در صورت نرسیدن به شرط توقف.

۳- روش پیشنهادی

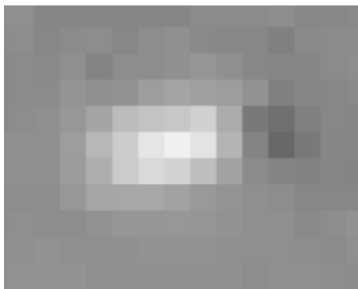
در این بخش یک روش جدید مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای شناسایی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز ارائه می‌شود. نخستین قدم در به‌کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز تعریف کردن ذرات است.

۳-۱- تعریف ذرات

ذرات در واقع پاسخ‌هایی‌اند که در طول اجرای الگوریتم ایجاد شده‌اند و با تابع ارزیابی بررسی می‌شوند. در الگوریتم



(الف)



(ب)

شکل (۲): نمای نزدیک یک هدف کوچک در تصاویر مادون قرمز

یافتن اهداف بهبود بخشید. نکته شایان توجه در تعیین جمعیت اولیه این است که شدت روشنایی در نقاط هدف بیشتر از پس زمینه تصویر است. به این ترتیب، بهتر است در انتخاب جمعیت اولیه به گونه‌ای عمل شود که نقاط با روشنایی بیشتر، شانس بیشتری برای انتخاب داشته باشند.

برای پیاده‌سازی این فرایند از الگوریتم چرخ رولت استفاده شده است. روش چرخ رولت روشی برای انتخاب تصادفی بین چند گزینه به صورت وزن دار است؛ به گونه‌ای که احتمال انتخاب هر گزینه متناسب با وزن آن گزینه است. در الگوریتم پیشنهادی وزن مربوط به هر پیکسل از تصویر مقدار شدت روشنایی آن پیکسل است. به این ترتیب، موقعیت نواحی انتخاب شده به عنوان جمعیت اولیه، در مکان‌هایی با شدت روشنایی بیشتر نسبت به زمینه تصویر بیشتر است. همچنین، ابعاد این نواحی به صورت کاملاً تصادفی در بازه مجاز تعیین شده‌اند.

۳-۳- تابع ارزیابی

تابع ارزیابی، تابعی ریاضی است که ورودی آن یک نقطه (یا یک پاسخ) در فضای جستجو بوده و خروجی آن یک عدد است که میزان برازندگی آن نقطه را به عنوان نقطه بهینه یا هدف نشان می‌دهد. در الگوریتم پیشنهادی ورودی تابع ارزیابی یک ناحیه، پنجره هدف است. خروجی تابع ارزیابی عددی است که نشان‌دهنده برازندگی این ناحیه به عنوان هدف است. میزان موفقیت الگوریتم بهینه‌سازی در یافتن اهداف به طور مستقیم وابسته به تابع ارزیابی تعریف شده است. در صورت نبود ارزیابی مناسب نقاط مختلف شناسایی هدف غیرممکن خواهد بود.

در الگوریتم پیشنهادی، تابع برازندگی باید با داشتن شدت روشنایی مربوط به پنجره هدف، میزان برازندگی آن ناحیه را مشخص کند؛ بنابراین، برای تعریف یک تابع ارزیابی مناسب باید ویژگی اهداف در تصاویر مادون قرمز در نظر گرفته شود. در شکل ۲، تصویر بزرگنمایی شده‌ای از یک هدف واقعی در تصاویر مادون قرمز نشان داده شده است.

- به صورت کلی برای اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز ویژگی‌های زیر در نظر گرفته می‌شوند [۳۸].
- شدت روشنایی اهداف نسبت به نقاط همسایگی شان بیشتر است.
 - ابعاد اهداف با توجه به فاصله هدف از دوربین متغیر است.
 - با توجه به میدان‌های حرارتی موجود در اتمسفر، لبه‌های هدف محو می‌شوند و به راحتی تشخیص داده نخواهد شد.
- با در نظر گرفتن شرایط مورد نیاز یک تابع برازندگی به صورت زیر تعریف شده است:

$$F(T) = \left| \frac{1}{\sum_{(s,t) \in \Theta} T(s,t)} \sum_{(s,t) \in \Theta} T(s,t) I(s,t) - \frac{1}{\sum_{(s,t) \in \Theta} N(s,t)} \sum_{(s,t) \in \Theta} N(s,t) I(s,t) \right|^2 \quad (3)$$

در این رابطه $I(x,y)$ برابر شدت روشنایی در پیکسل (x,y) ، مجموعه Θ نشان‌دهنده پیکسل‌های موجود در

0.01	0.04	0.08	0.10	0.08	0.04	0.01
0.04	0.13	0.28	0.36	0.28	0.13	0.04
0.08	0.28	0.60	0.77	0.60	0.28	0.08
0.10	0.36	0.77	1.00	0.77	0.36	0.10
0.08	0.28	0.60	0.77	0.60	0.28	0.08
0.04	0.13	0.28	0.36	0.28	0.13	0.04
0.01	0.04	0.08	0.10	0.08	0.04	0.01

(الف)

0.99	0.96	0.92	0.90	0.92	0.96	0.99
0.96	0.87	0.72	0.64	0.72	0.87	0.96
0.92	0.72	0.40	0.23	0.40	0.72	0.92
0.90	0.64	0.23	0.00	0.23	0.64	0.90
0.92	0.72	0.40	0.23	0.40	0.72	0.92
0.96	0.87	0.72	0.64	0.72	0.87	0.96
0.99	0.96	0.92	0.90	0.92	0.96	0.99

(ب)

شکل (۳): ضرایب مربوط به (الف) شدت روشنایی هدف و (ب) شدت روشنایی پس‌زمینه برای یک پنجره هدف با ابعاد

۷*۷

۳-۴- شرط توقف

الگوریتم‌های بهینه‌سازی به معیاری مناسب برای توقف روند تکرار نیازمندند. معیارهای مختلفی همچون تعداد نسل‌ها، محدودیت زمانی، محدودیت شایستگی، رکود نسلی و رکود زمانی را می‌توان معیار توقف در نظر گرفت. در الگوریتم پیشنهادی، رکود نسلی، معیار توقف انتخاب شده است. با استفاده از این معیار، توقف الگوریتم پیشنهادی زمانی صورت می‌گیرد که در تعداد مشخصی تکرار الگوریتم هیچ‌گونه پیشرفتی حاصل نشود.

۳-۵- پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم ۱ شبه کد مربوط به الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود الگوریتم پیشنهادی کاملاً بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات منطبق

پنجره هدف، $T(x, y)$ برابر ضریب شدت روشنایی هدف در پیکسل (x, y) و $N(x, y)$ برابر ضریب شدت روشنایی پس‌زمینه در پیکسل (x, y) است. رابطه میان $T(x, y)$ و $N(x, y)$ نیز به صورت زیر تعریف شده است.

$$T(x, y) = e^{-\left(\frac{(x-x_c)^2}{2\sigma_x} + \frac{(y-y_c)^2}{2\sigma_y}\right)} \quad (۴)$$

$$N(x, y) = 1 - T(x, y) \quad (۵)$$

در این رابطه، x_c و y_c موقعیت نقطه مرکزی در پنجره هدف است و مقادیر σ_x و σ_y با توجه به ابعاد پنجره هدف تعیین می‌شوند. این مقادیر به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که مقادیر ضرایب شدت روشنایی در نقاط مرزی پنجره هدف کمتر از ۰/۱ باشد. مقادیر σ_x و σ_y از روابط زیر به دست می‌آیند.

$$\sigma_x = \frac{(x_b - x_c)^2}{4.6} \quad (۶)$$

$$\sigma_y = \frac{(y_b - y_c)^2}{4.6} \quad (۷)$$

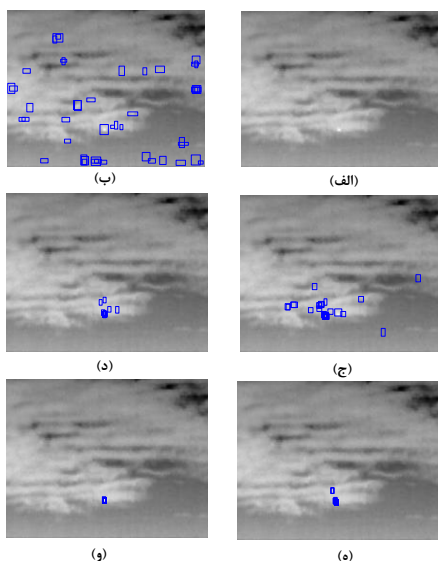
در شکل ۳ مقادیر مربوط به ضرایب شدت روشنایی هدف و پس‌زمینه برای یک پنجره هدف با ابعاد ۷*۷ نشان داده شده‌اند.

تابع برازندگی تعریف شده در رابطه ۳، تفاضل میانگین وزن‌دار شدت روشنایی در پنجره هدف را محاسبه می‌کند. با استفاده از این تابع، وجود یک هدف در پنجره داده شده ارزیابی می‌شود.

نکته دیگر در تعیین پنجره هدف در الگوریتم پیشنهادی این است که پنجره هدف کمترین اندازه ممکن را داشته باشد. برای رسیدن به این هدف، تابع ارزیابی تعریف شده در رابطه ۳ به صورت زیر تغییر می‌یابد.

$$Fitness(T) = F(T) \times \left(1 + \frac{0.1}{Size_x(T) \times Size_y(T)}\right) \quad (۸)$$

در این رابطه مقادیر $Size_x(T)$ و $Size_y(T)$ ابعاد پنجره هدف‌اند. به این ترتیب، تابع برازندگی بین دو پنجره با ابعاد متفاوت و $F(T)$ یکسان به پنجره با ابعاد کوچک‌تر امتیاز بهتری می‌دهد.



شکل (۴): (الف) یک تصویر مادون قرمز، (ب) موقعیت جمعیت اولیه، (ج) موقعیت ذرات پس از تکرار ۵، (د) موقعیت ذرات پس از تکرار ۱۱۵، (ه) موقعیت ذرات پس از تکرار ۱۲۵، (و) موقعیت ذرات پس از تکرار ۱۴۰



شکل (۵): تصاویر پس‌زمینه‌های مختلف

در شکل ۶ اهدافی با ابعاد و شدت نور مختلف روی تصاویر مادون قرمز ایجاد شده‌اند. این اهداف با اضافه کردن یک ماتریس هدف به تصویر پس‌زمینه ایجاد شده است. در این شکل نتایج به دست آمده از آشکارسازی این اهداف با روش پیشنهادی مشاهده می‌شوند. نتایج مربوط به

است.

ورودی: یک تصویر مادون قرمز

خروجی: ناحیه هدف

جمعیت اولیه را تعیین کن

تازمانی که شرط توقف برآورده شود

نواحی هدف را ارزیابی کن

مقادیر P_{Best} و G_{Best} را به روزرسانی کن

نواحی هدف را به روزرسانی کن

اتمام حلقه

ناحیه با بهترین مقدار برازندگی را بازگردان

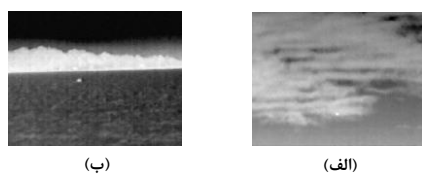
الگوریتم (۱): شبه کد الگوریتم پیشنهادی

۴- نتایج شبیه‌سازی‌ها

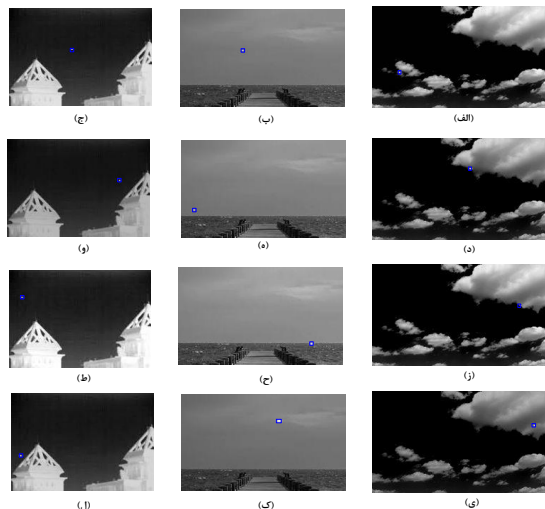
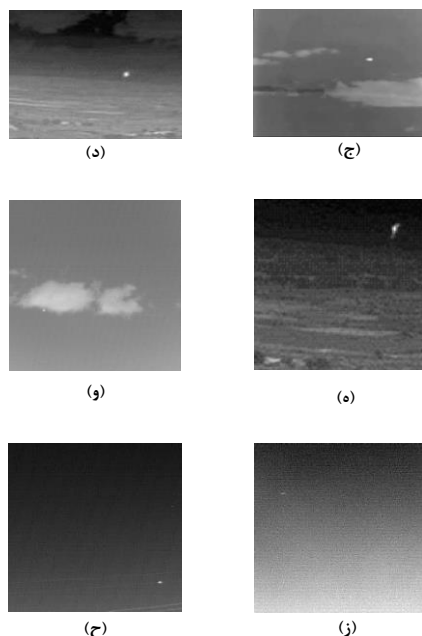
در این بخش، عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز بررسی می‌شود. در شکل ۴ (الف) یک تصویر مادون قرمز با پس‌زمینه ابری مشاهده می‌شود. شکل ۴ (ب) - (و) موقعیت ذرات در تکرارهای مختلف روش پیشنهادی برای یافتن هدف نشان داده شده‌اند. نقطه هدف، بیشترین میزان برازندگی را دارد و در الگوریتم ازدحام ذرات، ذرات تمایل دارند به سمت بیشترین میزان برازندگی حرکت کنند؛ بنابراین در طول اجرای الگوریتم، ذرات به سمت نقطه هدف همگرا می‌شوند. این امر در شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، با افزایش تعداد تکرار تمامی ذرات به سمت هدف همگرا شده‌اند.

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی در یافتن اهداف کوچک، ابتدا یکسری اهداف شبیه‌سازی شده در نظر گرفته می‌شوند. اهداف با ابعاد و شدت روشنایی‌های مختلف در پس‌زمینه‌های مختلف در نظر گرفته شده‌اند.

در شکل ۵ پس‌زمینه‌های در نظر گرفته شده در این بخش نمایش داده شده‌اند. در این تصاویر سعی شده است چالش‌های موجود در یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز شبیه‌سازی شود. این تصاویر شامل پس‌زمینه‌های ابری، بازتاب نور در سطح دریا، وجود ساختمان‌ها و اشیای با شدت روشنایی بالا هستند.



آشکارسازی اهداف شبیه‌سازی شده با روش پیشنهادی نشان‌دهنده عملکرد مطلوب این روش در یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز در شرایط متفاوت است.



شکل (۶): آشکارسازی اهداف شبیه‌سازی شده در شرایط مختلف با الگوریتم پیشنهادی

شکل (۷): تصاویر مادون قرمز با اهداف واقعی

پارامترهای مربوط به این روش‌ها در جدول ۱ آمده‌اند.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های

آشکارسازی

مقدار	پارامتر	عنوان
۰.۵×۰.۳×۳ ۹×۷.۹×۷	Φ	اندازه پنجره‌های داخلی در AAGD
۱۹×۱۹	Ω	اندازه پنجره‌های داخلی در AAGD
۰.۵×۰.۳×۳ ۹×۷.۹×۷	P	اندازه سلول‌ها در روش‌های LCM و PCM
۵	se	اندازه المان ساختاری در Top-hat
۲	c_1, c_2	ضرایب ثابت در PSO
۰.۷	W	وزن اینرسی در PSO

به منظور مقایسه نتایج روش پیشنهادی با روش‌های متداول، از دو کمیت نرخ آشکارسازی هدف و نرخ هشدار خطا استفاده شده است.

نرخ (احتمال) آشکارسازی هدف از رابطه زیر محاسبه

همچنین عملکرد الگوریتم پیشنهادی با ۸ تصویر مادون قرمز واقعی سنجیده شده است. این تصاویر که در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند، پس‌زمینه‌های متفاوت دارند و همچنین اهداف موجود در این تصاویر با ابعاد و شدت نورهای مختلف‌اند.

به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با روش‌های رایج آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز، نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی با ۴ روش متداول در این زمینه مقایسه شده‌اند. این روش‌ها عبارت‌اند از:

- روش میانگین تفاضل (AAGD) [۱۷]
- روش Top_Hat
- روش تباین محلی چند مقیاسه (MLCM) [39]
- روش معیار تباین مبتنی بر تکه تصویر (MPCM) [40]

می‌شود. در جدول ۲ نتایج مربوط به نرخ آشکارسازی و نرخ

هشدار خطای روش‌های مختلف در آشکارسازی اهداف شکل ۷ آمده‌اند. با توجه به ماهیت تصادفی بودن الگوریتم پیشنهادی، نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۲ برای این روش حاصل میانگین ۱۰ بار تکرار الگوریتم است. همچنین، مقادیر گزارش شده برای سایر الگوریتم‌ها به این ترتیب محاسبه شده‌اند که بهترین پاسخ به‌دست‌آمده از سه سطح آستانه‌گذاری با مقایر K برابر با ۳، ۵ و ۱۰ پاسخ نهایی در نظر گرفته شده است.

با مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی و سایر روش‌های آشکارسازی مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی توانسته است عملکرد مطلوبی از خود نشان دهد.

در شکل ۸ نتایج آشکارسازی شکل ۷ (الف) با روش‌های مختلف مشاهده می‌شوند. وجود ابرهای پراکنده با شدت نور متفاوت در این تصویر باعث بروز خطا در بسیاری از الگوریتم‌های آشکارسازی می‌شود. نتایج مربوط به این آزمایش نشان‌دهنده عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی در یافتن هدف در این تصویر است.

$$P_d = \frac{\text{تعداد پیکسل‌های آشکارشده}}{\text{تعداد پیکسل‌های هدف حقیقی}} \times 100 \quad (۷)$$

نرخ (احتمال) هشدار خطا از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$P_f = \frac{\text{تعداد پیکسل‌های اهداف کاذب}}{\text{تعداد کل پیکسل‌های تمام تصویر}} \times 100 \quad (۸)$$

نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار خطا دو پارامتر مهم برای ارزیابی سامانه‌های آشکارساز مادون قرمزند. نرخ آشکارسازی نشان‌دهنده حساسیت سیستم است و در آزمایشات به صورت نسبت اهداف آشکارشده به کل اهداف موجود تعریف می‌شود. نرخ هشدار خطا را می‌توان بیان‌کننده قابلیت سیستم در اختصاصی‌گری دانست که به صورت نسبت آشکارسازی‌های نادرست به کل آشکارسازی‌ها تعریف می‌شود.

پارامترهای نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار خطا را در قالب منحنی عملیاتی گیرنده (ROC) می‌توان با هم ادغام کرد. در منحنی ROC سامانه‌ای عملکرد بهتری دارد که نرخ آشکارسازی بالاتر و نرخ هشدار خطای کمتری داشته باشد.

جدول (۲): مقایسه کارایی الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های رایج آشکارسازی اهداف

الگوریتم پیشنهادی	MPCM	MLCM	Top-Hat	AAGD		تصویر
۱۰۰	۶۶	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (الف)
۰,۰۱	۰,۲	۰,۲۵	۰,۲	۰,۳	P_f	
۸۶,۳	۸۱,۸	۱۰۰	۱۰۰	۹۰,۹	P_d	شکل ۷ (ب)
۰,۰۰۱	۰,۰۰۹	۰,۰۴	۰,۸	۰,۶	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (ج)
۰,۰۱	۰,۰۱	۰,۲	۰,۰۶	۰,۰۲	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (د)
۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۴۲	۰,۰۶	۰,۰۵	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (ه)
۰,۰۵	۰,۱۲	۰,۶۵	۰,۰۵	۰,۰۷	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (و)
۰,۰۰۴	۰,۰۰۵	۰,۰۴	۰,۰۱	۰,۰۲	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (ز)
۰,۰۱	۰,۰۲	۰	۰,۰۵	۰,۰۳	P_f	
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	P_d	شکل ۷ (ح)
۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۱۸	۰,۰۲	۰,۰۷	P_f	

آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

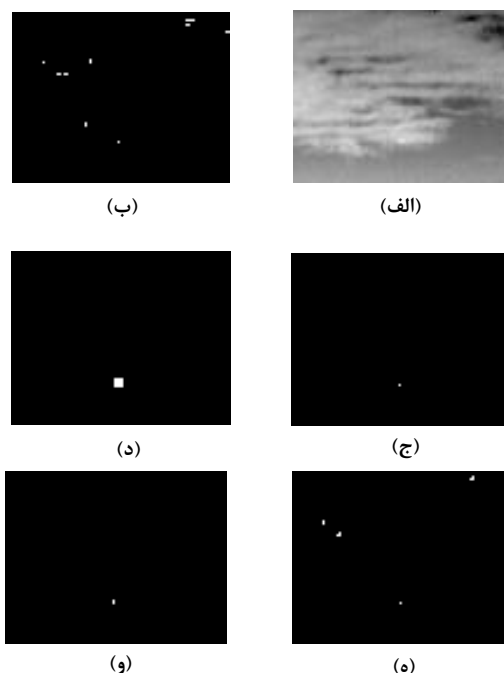
می‌کند، در این نمودار نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی با یک نقطه نشان داده شده‌اند. نتایج حاصل نشان‌دهنده برتری الگوریتم پیشنهادی بر سایر الگوریتم‌ها در یافتن هدف در این تصویر است.

با توجه به اینکه سیستم‌های آشکارسازی اهداف به صورت آنلاین عمل می‌کنند، یکی از پارامترهای مهم در الگوریتم‌های آشکارسازی اهداف مدت زمان آشکارسازی هدف است. با توجه به ساختار خاص الگوریتم پیشنهادی که از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای یافتن هدف استفاده می‌کند، حجم محاسبات و مدت زمان آشکارسازی هدف، از دغدغه‌های اصلی در این الگوریتم به حساب می‌آیند.

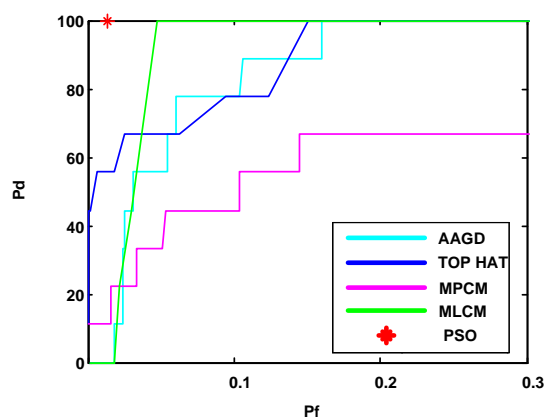
جدول ۲، مدت زمان آشکارسازی این تصاویر را با الگوریتم‌های متفاوت نشان می‌دهد. این نتایج با استفاده از نرم‌افزار متلب و با یک کامپیوتر با مشخصات 4-GB حافظه دسترسی تصادفی و پردازنده مرکزی دو هسته‌ای P8700 با فرکانس 2.53 GHZ به دست آمده‌اند.

با توجه به نتایج به دست آمده، روش AAGD سریع‌ترین روش در میان این روش‌ها است. همچنین، مدت زمان آشکارسازی اهداف در الگوریتم پیشنهادی با زمان آشکارسازی الگوریتم‌های MPCM و MLCM مقایسه‌پذیر است. این امر نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی از نظر مدت زمان آشکارسازی، در سامانه‌های آشکارسازی اهداف می‌تواند استفاده شود.

نکته درخور توجه دیگر در جدول ۳، وابستگی شدید مدت زمان آشکارسازی در الگوریتم‌های آشکارسازی هدف است. به این دلیل که در این الگوریتم‌ها فیلترکردن روی تمامی پیکسل‌های تصویر اعمال می‌شود و با افزایش تعداد پیکسل‌ها حجم محاسباتی نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد؛ اما در الگوریتم پیشنهادی فقط تعداد محدودی از نقاط موجود در تصویر ارزیابی می‌شوند.



شکل (۸): (الف) تصویر مادون قرمز شکل ۷ (الف)، (ب) خروجی روش AAGD، (ج) خروجی روش Top-Hat، (د) خروجی روش MLCM، (ه) خروجی روش MPCM، (و) خروجی روش پیشنهادی



شکل (۹): نمودار ROC تصویر مادون قرمز شکل ۷ (الف)

همچنین در شکل ۹، منحنی ROC به دست آمده از تصویر مادون قرمز شکل ۷ (الف) با استفاده از الگوریتم‌های مختلف مشاهده می‌شود. در این منحنی با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی تنها یک ناحیه را هدف نهایی انتخاب

جدول (۳): مدت زمان آشکارسازی اهداف با الگوریتم‌های مختلف برحسب میلی ثانیه

الگوریتم پیشنهادی	MPCM	MLCM	Top-Hat	AAGD	ابعاد	تصویر
۱۹۰	۲۲۰	۱۹۵	۴۶	۲۶	۲۰۰×۲۵۶	شکل ۷ (الف)
۳۵۰	۷۰۳	۵۹۰	۷۷	۶۸	۳۳۵×۴۸۴	شکل ۷ (ب)
۱۶۴	۲۰۶	۱۹۵	۳۸	۲۱	۱۹۴×۲۵۹	شکل ۷ (ج)
۱۵۸	۱۲۷	۱۰۶	۲۸	۱۷	۱۵۰×۱۵۰	شکل ۷ (د)
۱۶۶	۸۸	۹۰	۲۷	۱۲	۱۲۸×۱۲۸	شکل ۷ (ه)
۶۰۸	۱۱۳۲	۱۱۳۶	۱۵۴	۱۲۹	۶۳۸×۴۹۳	شکل ۷ (و)
۱۹۵	۱۶۲	۱۵۸	۳۱	۱۹	۲۰۰×۲۰۱	شکل ۷ (ز)
۲۶۰	۲۶۱	۲۳۱	۳۹	۲۴	۲۵۰×۲۰۱	شکل ۷ (ح)

۵- نتیجه‌گیری

آشکارسازی اهداف کوچک، اهمیت بالایی در سامانه‌های جستجوگر و ردیاب مادون قرمز دارد. در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای یافتن اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز ارائه شد. کارایی این روش با آزمایش‌هایی ارزیابی شد. در نخستین مرحله، عملکرد این روش در یافتن یک هدف کوچک در تصاویر مادون قرمز بررسی شد. نتایج این بخش نشان‌دهنده همگرایی مطلوب ذرات در طول اجرای الگوریتم بود. در دومین مرحله، عملکرد الگوریتم پیشنهادی با استفاده از یکسری تصاویر مادون قرمز و اهداف شبیه‌سازی شده ارزیابی شد. پس‌زمینه‌های در نظر گرفته شده در این آزمایش شامل ساختمان‌های با شدت روشنایی بالا، آسمان ابری و بازتاب نور از سطح دریا در تصویر بود. اهداف شبیه‌سازی شده نیز در ابعاد و شدت روشنایی مختلف در تصاویر قرار گرفتند. نتایج حاصل از این آزمایش نشان‌دهنده عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی در یافتن اهداف مختلف در تصاویر مادون قرمز بود. سومین آزمایش انجام شده در این پژوهش، استفاده از ۸ تصویر واقعی برای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی بود. همچنین، نتایج این آزمایش با نتایج به دست آمده از چهار روش متداول آشکارسازی اهداف در تصاویر مادون قرمز مقایسه شدند. نتایج این بخش نیز نشان‌دهنده عملکرد مطلوب الگوریتم پیشنهادی بود.

۶- مراجع

- [1] S. Moradi, P. Moallem, and M.F. Sabahi, "A false-alarm aware methodology to develop robust and efficient multi-scale infrared small target detection algorithm," *Infrared Phys. Technol.*, Vol. 89, pp. 387-397, 2018.
- [2] K. Bai, Y. Wang, Q. Song, and D. Liu, "Semi-supervised learning based edge-preserving background estimation for small target detection," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 72, pp. 29-36, 2015.
- [3] K. Bai, Y. Wang, and Q. Song, "Patch similarity based edge-preserving background estimation for single frame infrared small target detection," *International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2016.
- [4] L.-L. Wan and M. Wang, "Infrared target enhancement and detection based on modified TDLMS filter," in *Design, Manufacturing and Mechatronics*, pp. 656-663, 2015.
- [5] Y. Zhao, H. Pan, C. Du, Y. Peng, and Y. Zheng, "Bilateral two-dimensional least mean square filter for infrared small target detection," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 65, pp. 17-23, 2014.
- [6] X. Bai, F. Zhou, T. Jin, and Y. Xie, "Infrared small target detection and tracking under the conditions of dim target intensity and clutter background," in *MIPPR 2007: Automatic Target Recognition and Image Analysis; and Multispectral Image Acquisition*, pp. 67862-67869, 2007.
- [7] J.-F. Rivest and R. Fortin, "Detection of dim targets in digital infrared imagery by morphological image processing," *Optical Engineering*, Vol. 35, pp. 1886-1893, 1996.
- [8] J. M. López-Alonso and J. Alda, "Characterization of dynamic sea scenarios with infrared imagers," *Infrared Physics & Technology*, Vol. 46, pp. 355-363, 2005.

- Congress on High-Speed Photography and Photonics, 2007.
- [20] R. Hu, X. Zhou, G. Zhang, and G. Zhang, "Infrared dim target detection based on character filter," in MIPPR 2011: Automatic Target Recognition and Image Analysis, Guilin, China, 2011, pp. 80031A-7.
- [21] S. Kim and J.-H. Lee, "Robust scale invariant target detection using the scale-space theory and optimization forIRST," Pattern Analysis & Applications, Vol. 14, pp. 57-66, 2011.
- [22] X. Bai and Y. Bi, "Derivative entropy-based contrast measure for infrared small-target detection," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 56, pp. 2452-2466, 2018.
- [23] J. Zhao, J. Chen, Y. Chen, H. Feng, Z. Xu, and Q. Li, "Sparse-representation-based automatic target detection in infrared imagery," Infrared Physics & Technology, Vol. 56, pp. 85-92, 2013.
- [24] Y. He, M. Li, J. Zhang, and Q. An, "Small infrared target detection based on low-rank and sparse representation," Infrared Physics & Technology, Vol. 68, pp. 98-109, 2015.
- [25] H. Shahraki and S.-H. Zahiri, "Ant colony optimization and decision function estimation," Intelligent Decision Technologies, Vol. 11, pp. 71-78, 2017.
- [26] E. Davoodi and E. Babaei, "A modified imperialist competitive algorithm for combined heat and power dispatch," Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 10, pp. 1-18, 2019.
- [27] H. Shahraki and S.-H. Zahiri, "Fuzzy decision function estimation using fuzzified particle swarm optimization," International Journal of Machine Learning and Cybernetics, 2016.
- [28] M. Sharifiasn, H. Karshenas, and S. Sharifiasn, "Improving Network Intrusion Detection by Identifying Effective Features using Evolutionary Algorithms based on Support Vector Machine," Computational Intelligence in Electrical Engineering, Vol. 11, pp. 29-42, 2019.
- [29] F. S. Marvasti, M. R. Mosavi, and M. Nasiri, "Flying small target detection in IR images ased on adaptive toggle operator," IET Computer Vision, Vol. 12, No. 4, 527-534, 2018.
- [30] M. Zeng, J. Li, and Z. Peng, "The design of Top-Hat morphological filter and application to infrared target detection," Infrared Physics & Technology, Vol. 48, pp. 67-76, 2006.
- [31] L. Deng, H. Zhu, Q. Zhou, and Y. Li, "Adaptive top-hat filter based on quantum
- [9] Y. Dai, Y. Wu, and Y. Song, "Infrared small target and background separation via column-wise weighted robust principal component analysis," Infrared Physics & Technology, Vol. 77, pp. 421-430, 2016.
- [10] C. Wang and S. Qin, "Adaptive detection method of infrared small target based on target-background separation via robust principal component analysis," Infrared Physics & Technology, Vol. 69, pp. 123-135, 2015.
- [11] S. Kim, Y. Yang, J. Lee, and Y. Park, "Small target detection utilizing robust methods of the human visual system forIRST," urnal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Vol. 30, pp. 994-1011, 2009.
- [12] S. Moradi, P. Moallem, and M. Sabahi, "Scale-space point spread function based framework to boost infrared target detection algorithms," Infrared Physics & Technology Vol. 77, pp. 27-34, 2016.
- [13] H. Deng and J. Liu, "Infrared small target detection based on the self-information map," Infrared Physics & Technology, Vol. 54, pp. 100-107, 2011.
- [14] X. Dong, H. Jiang, H. Li, J. Zhang, and Y. Wang, "Characteristic Analysis of Infrared Target and Design of Target Detection System," International Conference on Multimedia and Signal Processing (CMSP), 2011.
- [15] R. Liu, Y. Lu, C. Gong, and Y. Liu, "Infrared point target detection with improved templatematching," Infrared Physics & Technology, Vol. 55, pp. 380-387, 2012.
- [16] S. Kim and J. Lee, "Scale invariant small target detection by optimizing signal-to-clutter ratio in heterogeneous background forinfrared search and track," Pattern Recognition Letters, Vol. 45, pp. 393-406, 2012.
- [17] H. Deng, X. Sun, M. Liu, C. Ye, and X. Zhou, "Infrared small-target detection using multiscale gray difference weighted image entropy,," IEEE Transactions on Aerospaceand Electronic Systems, Vol. 52, pp. 60-72, 2016.
- [18] S. M. S Aghaziyarati, H Talebi, "Small infrared target detection using absolute average difference weighted by cumulative directional derivatives," Infrared Physics & Technology, Vol. 101, pp. 78-87, 2019.
- [19] J.-h. Luo, H.-b. Ji, and J. Liu, "An algorithm based on spatial filter for infrared small target detection and its application to an all directionalIRST system," International

- genetic algorithm for infrared small target detection," *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 77, pp. 10539-10551, 2018.
- [32]K. Ahmadi and E. Salari, "Small dim object tracking using a multi objective particle swarm optimisation technique," *IET Image Processing*, Vol. 9, No. 9, 820-826, 2015.
- [33]H.Shahraki and S.H.Zahiri, "Design and Simulation of an RF MEMS Switch for Removing the Self - Actuation and Latching Phenomena Using PSO Method," *Iranian Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 12, pp. 56-63, 2013.
- [34]M. Abedini, R. Eskandari, J. Ebrahimi, M. H. Zeinali, and A. Alahyari, "Optimal Placement of Power Switches on Malayer Practical Feeder to Improve System Reliability Using Hybrid Particle Swarm Optimization with Sinusoidal and Cosine Acceleration Coefficients," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 11, pp. 73-86, 2020.
- [35]M. Emarati, F. Keynia, and A. Askarzadeh, "Application of hybrid neural networks combined with comprehensive learning particle swarm optimization to short-term load forecasting," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 10, pp. 31-40, 2019.
- [36]H. Shahraki and S.-H. Zahiri, "Particle swarm classifier for fuzzy data sets," the *Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)*, 2015.
- [37]F. Garehdaghi and S. Meshgini, "Detection of Epileptic Seizures using Wavelet Coefficients, Artificial Neural Networks (ANNs) and Particle Swarm Optimization (PSO)," *Computational Intelligence in Electrical Engineering*, Vol. 10, pp. 11-24, 2019.
- [38]P. Khaledian, S. Moradi, and E. Khaledian, "A new method for detecting variable-size infrared targets," presented at the *Proceedings Volume 9159, Sixth International Conference on Digital Image Processing*, 2014.
- [39]C. L. P. Chen, H. Li, Y. Wei, T. Xia, and Y. Y. Tang, "A Local Contrast Method for Small Infrared Target Detection," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 52, pp. 574-581, 2014.
- [40]Y. Wei, X. You, and H. Li, "Multiscale patch-based contrast measure for small infrared target detection," *Pattern Recognition*, Vol. 58, pp. 216-226, 2016.

