

آشکارسازی اهداف کوچک و مات هوایی در تصاویر مادون قرمز مبتنی بر ریاضیات مورفولوژی

سیدمحمد علوی^۱، استادیار، علیرضا لیاقت^۲، کارشناس ارشد

۱- دانشکده برق- دانشگاه جامع امام حسین- تهران- ایران - malavi@ihu.ac.ir

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه شیراز - شیراز - ایران - alireza_liaghat@shirazu.ac.ir

چکیده: آشکارسازی اهداف مادون قرمز در بسیاری از زمینه‌های پردازش تصویر و ویدیوهای مادون قرمز، مرحله‌ای اساسی محسوب شده و نقش مهمی در کاربردهای نظامی و نظارتی دارند. ناحیه مربوط به هدف مادون قرمز هوایی، معمولاً اندازه کوچکی داشته و در یک پس‌زمینه کلاتری قرار دارد. لذا می‌توان گفت که از مشخصات نوعی اهداف مادون قرمز هوایی، اطلاعات شکلی بسیار محدود و نسبت سیگنال به نویز پایین است. ایده اصلی در این مقاله جهت آشکارسازی، بهبود اهداف کوچک و مات به وسیله اعمال فیلتر Kim's LoG و تعدیل تبدیل NTH است. این روش موجب بهبود نسبت کنتراست بین هدف و پس‌زمینه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از توانایی الگوریتم پیشنهادی در کاربرد آشکارسازی اهداف مادون قرمز هوایی دارد. عملکردهای مورد ارزیابی، نشانگر بازده بیش‌تر الگوریتم ارائه‌شده در مقایسه با برخی روش‌های رایج است.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی، مادون قرمز، هدف کوچک و مات، کلاتر، پس‌زمینه

Detection of Aerial Dim Small Targets in Infrared Images based on Mathematical Morphology

S. M. Alavi¹, Assistant Professor, A.R. Liaghat², Msc

1- Electronic & Communication Department, Imam hossein comprehensive university, Tehran, Iran, Email: malavi@ihu.ac.ir

2- School of Electrical and Computer Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: alireza_liaghat@shirazu.ac.ir

Abstract: Infrared target detection is a crucial step in many fields of infrared image and video processing. It plays an important role in military and surveillance applications. The aerial infrared target region usually has a small size and is embedded in a cluttered background. Therefore, very limited shape information and low signal to noise ratio (SNR) are the typical properties of aerial infrared targets. For the detection step, the paper idea is based on enhancing the dim small targets by applying Kim's LoG filter and modifying New Top Hat transformation (NTH). Therefore, it improves the contrast ratio between the target and background region. Experimental results exhibit the ability of the new algorithm for application of aerial infrared target detection. The evaluated performances demonstrate that the suggested algorithm is more efficient compared with some widely used methods.

Keywords: Detection, infrared, dim small target, clutter, background

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۲۷

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۳/۰۸/۱۰، ۱۳۹۳/۱۱/۰۹ و ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۳/۰۳

نام نویسنده مسئول: علیرضا لیاقت

نشانی نویسنده مسئول: ایران - شیراز - بلوار زند - دانشگاه شیراز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

اهداف مادون قرمز هوایی معمولاً اهدافی با اندازه کوچک و شدت رنگ مات می‌باشند. آشکارسازی اهداف کوچک مادون قرمز یک مسئله مهم در کاربردهای نظامی، سنجش از راه دور، دانش هوانوردی، علم فضاوردی و ... محسوب می‌گردد. اهداف کوچک مادون قرمز، معمولاً تعداد کمی از پیکسل‌های تصویر را به خود اختصاص داده و در یک پس‌زمینه کلاتری احاطه گردیده‌اند. بنابراین با توجه به ویژگی‌های تصاویر مادون قرمز، نظیر اطلاعات محدود از شکل هدف، مقدار کم SNR این تصاویر و ... آشکارسازی مستقیم اهداف کوچک بسیار دشوار است.

یک راه حل مناسب برای آشکارسازی اهداف کوچک در پس‌زمینه کلاتری، می‌تواند بهبود اهداف کوچک و مات بوده و سپس آشکارسازی این اهداف با استفاده از تصویر بهبودیافته باشد.

تاکنون الگوریتم‌های مختلفی برای بهبود اهداف مادون قرمز ارائه گردیده‌اند. الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر، با اعمال فیلترهای مختلف، موجب تضعیف و یا حذف نواحی پس‌زمینه شده و در نتیجه هدف را بهبود می‌دهند. به دلیل سادگی اعمال این فیلترها، تاکنون فیلترهای مختلفی ارائه گردیده‌اند. برای مثال می‌توان از فیلتر بیشینه میانگین [۱]، فیلتر بیشینه میانه [۱]، فیلترهای کرنلی [۲] و الگوریتم شبکه‌های وقتی [۳] نام برد. گرچه کارکرد با این فیلترها ساده بوده و در مواردی نیز بازده مناسبی دارند اما در حالت کلی می‌توان گفت که الگوریتم‌های مبتنی بر فیلتر در مواجهه با اهداف مات مستقر در کلاتر سنگین، دچار مشکل می‌گردند.

در برخی دیگر از الگوریتم‌ها از شبکه‌های عصبی [۴] و support vector machine [۵] استفاده شده است. این روش‌ها معمولاً پیچیده بوده و نیاز به داده‌های آموزش دارند که به راحتی قابل تشکیل نیستند. روش‌هایی نیز مبتنی بر تخمین پس‌زمینه ارائه گشته‌اند [۶ و ۷]. در این روش‌ها از اطلاعات بین فریمی استفاده شده و مدلی برای پس‌زمینه تعیین می‌گردد. این روش‌ها در تصاویری که به علت وجود کلاتر سنگین، مدل پس‌زمینه به خوبی تخمین زده نشود کارایی چندانی نداشته و هشدار کاذب زیادی دارند.

از دیگر ابزار آشکارسازی اهداف مادون قرمز می‌توان از عملگرهای ریخت‌شناسی^۱ نام برد که به‌طور وسیع در عملیات پردازش تصویر به کار می‌روند [۸]. گرچه عملگرهای ریخت‌شناسی نظیر toggle contrast operator [۹]، و تبدیل Hit or Miss [۱۰] نیز بدین منظور به کار رفته‌اند، اما همچنان تبدیل top-hat قوی‌ترین تبدیلی است که در آشکارسازی اهداف مات مادون قرمز به کار می‌رود [۱۱-۱۳].

با اینکه عملکرد تبدیل top-hat نسبت به الگوریتم‌های پیشین مطلوب‌تر است اما تنها در حالتی که SNR تصویر مادون قرمز بالا باشد، می‌توان این تبدیل را به‌صورت مستقیم به کار برد. به‌بیان دیگر، کلاتر سنگین و SNR پایین تصاویر مادون قرمز موجب تاثیر بر عملکرد تبدیل top-hat می‌گردد. در این وضعیت نه‌تنها این تبدیل قادر به آشکارسازی

اهداف مادون قرمز نخواهد بود بلکه ممکن است موجب کاهش SNR تصویر اصلی و گم شدن اهداف^۲ نیز گردد. لذا به‌منظور تطبیق بهتر تبدیل top-hat نسبت به نویز شدید، کلاتر سنگین و شدت رنگ مات هدف، چندین الگوریتم بهبودیافته پیشنهاد گردیدند [۱۵-۱۲]. اخیراً با بهبود تبدیل top-hat سفید (WTH)^۳ تبدیل NWTW^۴ معرفی گردید [۱۳]. از آنجایی که در این تبدیل از دو عنصر ساختاری^۵ مختلف استفاده می‌گردد، این تبدیل دارای عملکردی بهتر در مقایسه با تبدیل WTH است.

در این مقاله، با تعدیل تبدیل NWTW و معرفی تبدیل MWTH^۶ و با استفاده از فیلتر Kim's LoG [۱۶]، یک الگوریتم کارا جهت بهبود تصاویر مات مادون قرمز ارائه خواهد شد. در نهایت با اعمال یک روش آستانه‌گذاری، اهداف موجود در تصویر آشکار می‌گردند. نتایج نشان خواهد داد که الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های رایج، دارای عملکرد مناسب‌تری است.

۲- استفاده از فیلترهای مبتنی بر ریخت‌شناسی ریاضی^۷ به منظور آشکارسازی اهداف کوچک در تصاویر مادون قرمز

پس از معرفی فیلترهای ریخت‌شناسی، کاربردهای زیادی برای این نوع فیلترها ذکر گردید. از مهم‌ترین کاربردهای این نوع از فیلترها می‌توان از بهبود تصاویر خاکستری نام برد.

در این بخش در ابتدا به‌صورت اجمالی به تعریف ریاضیات ریخت‌شناسی پرداخته و در ادامه به معرفی روش‌های مرسوم به‌منظور آشکارسازی اهداف کوچک و مات در تصاویر مادون قرمز می‌پردازیم.

۱-۲- ریاضیات ریخت‌شناسی

واژه ریخت‌شناسی معمولاً دلالت بر شاخه‌ای از زیست‌شناسی دارد که به شکل و ساختمان بدن حیوانات و گیاهان می‌پردازد. در مبحث ریخت‌شناسی ریاضی، همان واژه به‌عنوان ابزاری برای استخراج اجزایی از تصویر که در نمایش و توصیف شکل ناحیه مفید هستند (نظیر مرزها، اسکلت‌ها و ...) استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای ریاضیات ریخت‌شناسی می‌توان در پیش‌پردازش و یا پس‌پردازش تصویر، به روش‌های ریخت‌شناسی نظیر اعمال فیلتر ریخت‌شناسی، باریک‌سازی و هرس کردن اشاره نمود [۱۷]. ریاضیات ریخت‌شناسی برای نخستین بار توسط Serra و Matheron ارائه و برای پردازش سیگنال‌های تصویری مورد استفاده قرار گرفت.

در این زیر بخش به بررسی ریاضیات ریخت‌شناسی در پردازش تصاویر خاکستری پرداخته می‌شود.

۱-۲-۱- ریاضیات ریخت‌شناسی در تصاویر خاکستری

در این بخش، به تعریف عملگرهای اساسی گسترش^۸، سایش^۹، باز کردن^{۱۰} و بستن^{۱۱} تصاویر خاکستری پرداخته خواهد شد. هدف از استفاده از ریخت‌شناسی تصاویر خاکستری، استخراج اجزای مفید تصویر، برای نمایش و توصیف شکل است.

۲-۱-۳ - نقایص به کارگیری تبدیل top-hat

گرچه عملکرد تبدیل top-hat در مقایسه با الگوریتم‌های پیشین بسیار بهبود یافته است اما کماکان این الگوریتم نیز در مواجهه با کلاتر سنگین و نویز زیاد دچار مشکل می‌شود.

عنصر ساختاری یکی از مهم‌ترین اجزای عملگرهای ریخت‌شناسی می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم، یک هدف کوچک در تصاویر مادون قرمز اغلب با نواحی پس‌زمینه اطرافش دارای تمایز است. بنابراین اطلاعات متفاوتی بین ناحیه هدف و نواحی اطراف آن وجود دارد. تبدیل top-hat تا حدودی از این تفاوت اطلاعات استفاده می‌کند اما به دلیل استفاده از دو عنصر ساختاری هم‌شکل در عملیات باز کردن و یا بستن، قادر به استفاده مناسب از این تفاوت اطلاعات نیست. این عامل سبب می‌گردد که قابلیت این تبدیل در تمایز بین هدف حقیقی و نواحی نویزی و یا کلاتر پس‌زمینه کاهش یابد. لذا می‌توان گفت که نویز یا کلاتر موجب کاهش بازده تبدیل top-hat می‌گردد.

۲-۱-۴ - تبدیل new top-hat

همان‌طور که در بخش قبل بیان گردید، تبدیل top-hat نسبت به تغییرات کلاتر و شدت رنگ مات هدف حساس می‌باشد و این حساسیت موجب کاهش بازده این روش در مواجهه با تصویر مادون قرمز با کلاتر شدید و هدف با شدت رنگ مات می‌گردد. به منظور افزایش عملکرد تبدیل top-hat، می‌توان دو عنصر ساختاری متفاوت تعریف نمود. تعریف دو عنصر ساختاری متفاوت موجب کاهش تاثیر نویز گردیده و استفاده بهینه از تفاوت سطح اطلاعات موجود بین ناحیه هدف و ناحیه پس‌زمینه را تضمین می‌کند. بدین منظور تبدیل new top-hat ارائه گردید [۱۳].

فرض کنید B_i و B_o بیانگر دو عنصر ساختاری مسطح با شکلی مشابه و مرکز یکسان باشند. $S(B)$ نیز معرف اندازه عنصر ساختاری B است؛ یعنی $S(B)$ فاصله ضلع از مرکز عنصر ساختاری B تا مرز آن را نشان می‌دهد. با فرض این‌که $S(B_i) < S(B_o)$ ، عنصر ساختاری حاشیه‌ای به صورت $\Delta B = B_o - B_i$ تعریف شده و بیان‌گر ناحیه بین دو عنصر ساختاری B_i و B_o است. با توجه به رابطه بین $S(B_i)$ و $S(B_o)$ ، از B_o به عنوان عنصر ساختاری خارجی و از B_i تحت عنوان عنصر ساختاری داخلی یاد می‌شود. B_b نشان‌گر عنصر ساختاری است که اندازه آن بین $S(B_i)$ و $S(B_o)$ باشد. $S(\Delta B)$ فاصله بین مرکز ΔB و مرز خارجی آن را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر $S(\Delta B) = S(B_o)$. اگر $M(\Delta B)$ را فاصله شعاعی بین مرز داخلی و مرز خارجی ΔB بدانیم آن‌گاه $M(\Delta B) = S(B_o) - S(B_i)$. رابطه بین B_i ، B_o ، ΔB و B_b در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل O معرف مرکز عناصر ساختاری است.

همان‌طور که می‌دانیم یک هدف حقیقی در تصویر مادون قرمز با نواحی مجاور خود دارای تفاوت است و این تفاوت می‌تواند با دخیل

در تمامی شرح‌های بعدی، با توابع تصویر دیجیتال به شکل $f(x, y)$ و $B(u, v)$ سرو کار داشته که f تصویر خاکستری ورودی و B یک عنصر ساختمانی است.

در ابتدا به تعریف گسترش و سایش در تصاویر خاکستری پرداخته می‌شود [۱۷]:

$$f \oplus B(x, y) = \max_{u,v} (f(x-u, y-v) + B(u, v)) \quad (۱)$$

$$f \ominus B(x, y) = \min_{u,v} (f(x+u, y+v) - B(u, v)) \quad (۲)$$

برای یک عنصر ساختاری مسطح^{۱۲}، تعریف گسترش و سایش به صورت زیر مبدل می‌گردد:

$$f \oplus B(x, y) = \max_{u,v} (f(x-u, y-v)) \quad (۳)$$

$$f \ominus B(x, y) = \min_{u,v} (f(x+u, y+v)) \quad (۴)$$

حال با اعمال متناوب عملگرهای گسترش و سایش، عملگرهای باز شدن و بسته شدن به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$f \circ B = (f \ominus B) \oplus B \quad (۵)$$

$$f \bullet B = (f \oplus B) \ominus B \quad (۶)$$

در عمل باز شدن، در ابتدا با استفاده از عنصر ساختاری B ، تصویر خاکستری ورودی سایش می‌یابد و سپس بر روی تصویر سایش یافته، عمل گسترش اعمال می‌گردد. به علت وجود عملگر کمینه‌گیری در سایش اولیه، می‌توان نتیجه گرفت که تصویر باز شده نسبت به تصویر اصلی، دارای مقادیر خاکستری برابر و یا کم‌تری است. به بیان دیگر، عمل باز شدن موجب آرام شدن^{۱۳} اجزای روشن تصویر می‌گردد.

در عمل بسته شدن، عملیات برعکس باز شدن است. یعنی در عمل بسته شدن، در ابتدا با استفاده از عنصر ساختاری B ، تصویر خاکستری ورودی گسترش می‌یابد و سپس بر روی تصویر گسترش یافته، عمل سایش اعمال می‌گردد. به علت وجود عملگر بیشینه‌گیری در گسترش اولیه، می‌توان نتیجه گرفت که تصویر بسته شده نسبت به تصویر اصلی، دارای مقادیر خاکستری برابر و یا بزرگ‌تری است. به دیگر سخن، عمل بسته شدن موجب آرام شدن اجزای تیره تصویر می‌شود.

۲-۱-۲ - تبدیل top-hat

حال با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی باز کردن و بستن، تبدیلات top-hat سفید (WTH) و top-hat سیاه (BTH)، به صورت ذیل ارائه می‌گردند [۱۷]:

$$WTH = f - f \circ B \quad (۷)$$

$$BTH = f \bullet B - f \quad (۸)$$

در واقع WHT ، نواحی روشن از تصویر خاکستری f را نشان می‌دهد در حالی که BTH نشانگر نواحی تیره تصویر است. بنابراین می‌توان با به کارگیری تبدیلات WHT و BHT ، تصویر مادون قرمز را بهبود بخشیده و اهداف کوچک و مات را آشکارسازی نمود [۱۸].

با توجه به تعریف تبدیلات new top-hat مشخص است که این تبدیلات با استفاده از ΔB ، پیکسل‌های هدف را با پیکسل‌های نواحی مجاور جایگزین کرده و سپس تفاوت بین سطح خاکستری پیکسل هدف را با پیکسل جایگزین شده به عنوان خروجی می‌دهد. بنابراین ΔB مستقیماً در به‌کارگیری تفاوت سطح اطلاعات بین هدف و نواحی اطراف نقش بازی می‌کند.

سومین تفاوت: اگر $M(\Delta B) \neq 0$ در تبدیل new top-hat روابط $f \leq f \blacksquare B_{oi}$ و $f \geq f \square B_{oi}$ برقرار نمی‌گردد. در تبدیل top-hat، عمل باز کردن $(f \circ B)$ موجود در WTH، موجب هموار شدن نواحی روشن از تصویر می‌گشت؛ لذا رابطه $f \geq f \circ B$ برقرار بود. به‌طور مشابه در BTH نیز رابطه $f \leq f \bullet B$ برقرار می‌گردید. اما در $f \square B_{oi}$ به علت استفاده از عنصر ساختاری حاشیه‌ای (ΔB) ، در تبدیل new top-hat رابطه $f \geq f \square B_{oi}$ ارضا نمی‌گردد. به عبارت دیگر جایگزینی یک پیکسل با پیکسل‌های نواحی اطراف، موجب عدم برقراری رابطه فوق می‌شود. یعنی اگر ناحیه مورد پردازش، ناحیه هدف نباشد، رابطه بین f و $f \square B_{oi}$ قابل پیش‌بینی نخواهد بود. به‌طور مشابه رابطه بین f و $f \blacksquare B_{oi}$ نیز تایید نشده و در نتیجه می‌توان گفت که در مقادیر حاصله از تبدیلات NBTH و NWTH مقادیر منفی وجود داشته باشد.

۲-۱-۴ - تبدیل modified top-hat

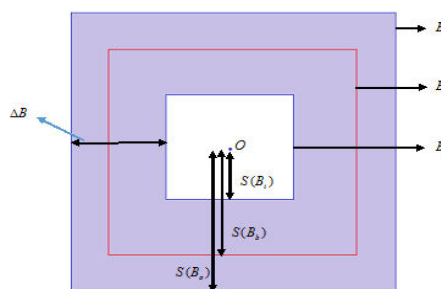
در این مقاله به‌منظور بهبود تبدیل new top-hat در جهت حذف بیش-تر کلاتر موجود در تصویر مادون قرمز، تبدیل modified top-hat ارائه می‌گردد. این تبدیل با اضافه کردن یک مقدار آستانه (T) ، به تبدیل new top-hat موجب بهبود عملکرد این تبدیل می‌گردد. تبدیل modified white top-hat به‌صورت زیر بیان می‌گردد:

$$MWTH(x, y) = \begin{cases} NWTH(x, y) & NWTH(x, y) \geq T \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (13)$$

در رابطه ۱۱، با توجه به اینکه مقادیر NWTH، می‌توانند هم مثبت و هم منفی باشند، مقدار آستانه نیز می‌تواند مثبت یا منفی لحاظ گردد. اگر مقدار T بسیار کوچک باشد، در تبدیل MWTH نسبت به تبدیل NWTH بهبود چشم‌گیری مشاهده خواهد شد؛ از طرفی دیگر اگر مقدار آستانه بزرگ در نظر گرفته شود پدیده گم شدن هدف یا کاهش تعداد پیکسل‌های هدف مشاهده می‌شود که در نهایت منجر به کاهش احتمال آشکارسازی می‌گردد. این خاصیت در شکل ۲ و ۳ نمایش داده شده است. در شکل ۲-ا تصویر مادون قرمز اولیه نمایش داده شده است، در این تصویر، ناحیه هدف دارای ۵ پیکسل است. در تصویر ۳-ب نتیجه NWTH به نمایش درآمده است. مقادیر شدت رنگ سطوح خاکستری در تصویر NWTH در بازه $[0.0824, 0.3956]$ قرار می‌گیرد. تصاویر ۳-پ الی ۳-ج نشانگر تصویر MWTH به ازای مقادیر آستانه $0.1978, 0, -0.0412, 0.0618$ هستند.

با توجه به تصاویر شکل‌های ۲ و ۳ می‌توان نتیجه گرفت که به ازای افزایش مقدار آستانه، فرآیند حذف نویز و کلاتر پس‌زمینه بهتر صورت می‌پذیرد اما افزایش بیش از حد مقدار آستانه می‌تواند موجب کاهش

کردن پیکسل‌های اطراف در تبدیل top-hat مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور، از عناصر ساختاری متفاوت و تعریف مجدد تبدیل top-hat استفاده می‌شود.



شکل ۱: رابطه بین عناصر ساختاری در تبدیل new top-hat

به‌منظور غلبه بر نقایص موجود در تبدیل top-hat عملگرهای $f \blacksquare B_{oi}$ و $f \square B_{oi}$ به صورت زیر تعریف می‌گردند [۱۳]:

$$f \blacksquare B_{oi} = (f \oplus \Delta B) \ominus B_b \quad (9)$$

$$f \square B_{oi} = (f \ominus \Delta B) \oplus B_b \quad (10)$$

در روابط ۹ و ۱۰، عبارت B_{oi} نشان می‌دهد که عملگرها در رابطه با B_o و B_i هستند.

حال می‌توان تبدیل new top-hat را به‌صورت زیر تعریف نمود [۱۳]:

$$NWTH(x, y) = f(x, y) - f \blacksquare B_{oi}(x, y) \quad (11)$$

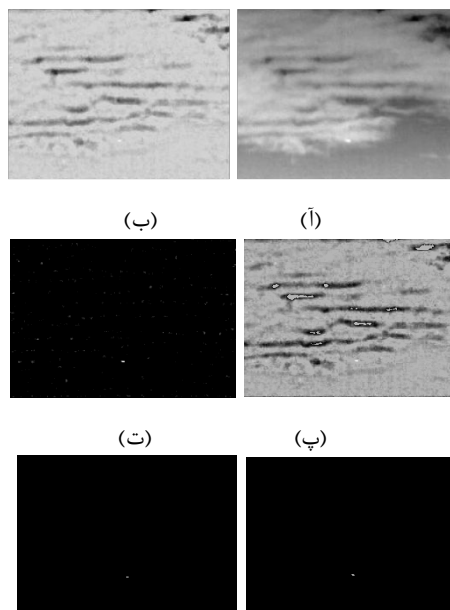
$$NBTH(x, y) = f \square B_{oi}(x, y) - f(x, y) \quad (12)$$

معادلات جدید فوق، تبدیل new top-hat نشان می‌دهند که تبدیل جدید نسبت به تبدیل متداول، دارای تفاوت است. تفاوت‌های عمده به شرح زیر می‌باشند:

اولین تفاوت: ترتیب اعمال عملگرهای گسترش و سایش در تبدیل new top-hat برخلاف تبدیل top-hat است. برای مثال WTH و NWTH را در نظر می‌گیریم. در عمل باز شدن موجود در WTH در ابتدا، تصویر مادون قرمز سایش یافته و سپس تصویر حاصله گسترش می‌یابد؛ اما در عملگر \blacksquare موجود در NWTH، ابتدا از گسترش استفاده گردیده و سپس تصویر حاصله سایش می‌یابد. در $f \blacksquare B_{oi}$ ، به‌منظور جایگزینی پیکسل‌های مجاور با پیکسل‌های هدف، در ابتدا از $(f \oplus \Delta B)$ استفاده می‌شود و سپس عملگر سایش تنها بر روی پیکسل‌های مجاور عمل خواهد کرد. این امر موجب کاهش اثرات نویز خواهد شد. در نتیجه NWTH به نسبت WTH عملکرد مناسب‌تری در زمینه حذف نویز و استفاده از اختلاف اطلاعات موجود بین ناحیه هدف و نواحی اطراف دارد. بین BTH و NBTH نیز ویژگی‌های مشابهی برقرار است.

دومین تفاوت: تبدیل new top-hat از دو عنصر ساختاری متفاوت اما شبیه به هم استفاده کرده و عنصر ساختاری حاشیه‌ای (ΔB) به‌منظور استفاده از اطلاعات متفاوت بین هدف و نواحی اطراف، اعمال می‌گردد.

اندازه هدف و یا گم شدن هدف در تصویر حاصله از تبدیل MWTB گردد. در تصاویر ۲-پ و ۲-ت اندازه هدف کماکان ۵ پیکسل بوده ولی در تصاویر ۲-ث و ۲-ج اندازه ناحیه هدف به ترتیب ۴ و ۳ پیکسل است. در صورتی که در این دو تصویر نویز و کلاتر به طور کامل حذف گشته‌اند. بنابراین می‌توان گفت در انتخاب مقدار آستانه، بین میزان حذف نویز و کلاتر با کاهش اندازه ناحیه هدف یک دادوستد برقرار است.



شکل ۲: نتیجه MWTB به ازای مقادیر مختلف آستانه؛ (آ) تصویر مادون قرمز اولیه، (ب) NWTH، (پ) $MWTH(T=0.1987)$ ، (ت) $MWTH(T=0)$ ، (ث) $MWTH(T=0.412)$ ، (ج) $MWTH(T=0.0618)$

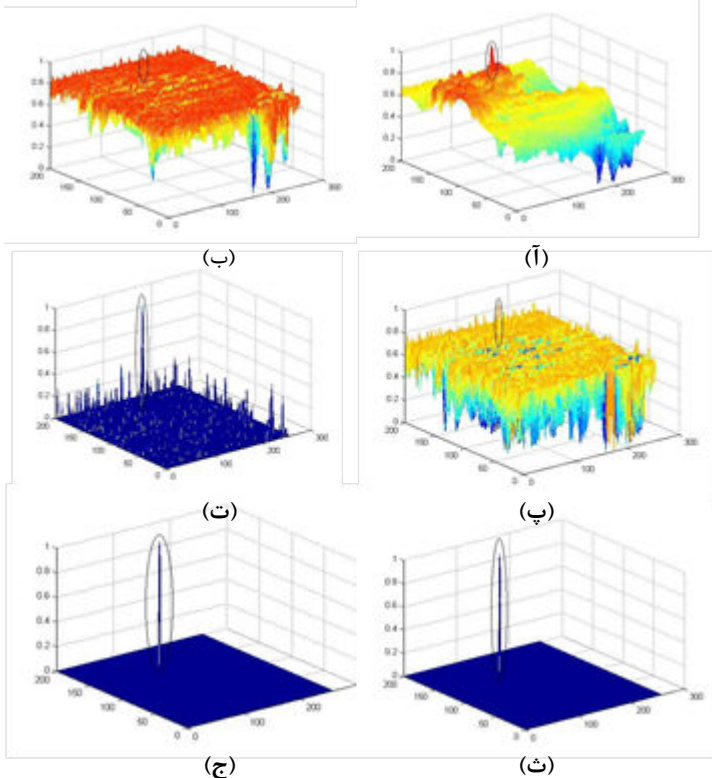
شکل ۲: نتیجه MWTB به ازای مقادیر مختلف آستانه؛ (آ) تصویر مادون قرمز اولیه، (ب) NWTH، (پ) $MWTH(T=0.1987)$ ، (ت) $MWTH(T=0)$ ، (ث) $MWTH(T=0.412)$ ، (ج) $MWTH(T=0.0618)$

در تصویر ۳ نیز، توزیع سه‌بعدی شدت رنگ تصاویر شکل ۲ نمایش داده شده است.

۲-۲- ارائه یک روش جدید جهت آشکارسازی اهداف کوچک مبتنی بر فیلترهای ریخت شناسی

در این بخش به منظور بالا بردن بازده و عملکرد بهتر تبدیل top-hat یک روش جدید مبتنی بر فیلترهای ریخت شناسی ارائه می‌گردد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش ارائه شده دارای نرخ آشکارسازی بالاتر و نرخ هشدار اشتباه کمتری نسبت به سایر روش‌های رایج دارد.

در مرحله نخست از الگوریتم پیشنهادی از یک فیلتر Laplacian of Gaussian (LoG) به عنوان پیش پردازش گر استفاده می‌گردد. لذا ابتدا به معرفی فیلتر LoG پرداخته می‌شود و پس از آن الگوریتم پیشنهادی ارائه خواهد شد.



شکل ۳: توزیع سه‌بعدی سطوح خاکستری در تصویر MWTB به ازای مقادیر مختلف آستانه؛ (آ) تصویر مادون قرمز اولیه، (ب) NWTH، (پ) $MWTH(T=0.1987)$ ، (ت) $MWTH(T=0)$ ، (ث) $MWTH(T=0.412)$ ، (ج) $MWTH(T=0.0618)$

۲-۲-۱- فیلتر Laplacian of Gaussian

در این مقاله در نخستین مرحله از الگوریتم پیشنهادی، از فیلتر LoG استفاده می‌شود. این امر نه تنها از کلاتر پس زمینه می‌کاهد بلکه موجب افزایش شدت رنگ هدف نیز خواهد شد.

یک هدف کوچک در یک تصویر مادون قرمز را می‌توان یک تابع انتشار نقطه‌ای^{۱۴}، معرفی نمود [۱۴]. SungHo Kim و همکاران، یک مدل پارامتری برای تابع انتشار نقطه‌ای جهت توصیف اهداف کوچک موجود در تصاویر مادون قرمز ارائه کرده‌اند که به صورت زیر است [۱۶]:

$$T(x_e, y_e | x_c, y_c, \sigma^2) = I_{\max} \exp\left(-\frac{(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$$

در رابطه بالا، (x_c, y_c) مرکز هدف در نظر گرفته می‌شود، σ^2 واریانس پنجره گوسی بوده و I_{\max} به عنوان بیشترین شدت رنگ موجود در سطح هدف لحاظ می‌گردد.

فیلتر کردن یک تصویر مادون قرمز توسط فیلتر LoG، باعث تفاوت سطح شدت رنگ بین هدف و پس‌زمینه می‌گردد. تصویر ۴-آ یک هدف کوچک نوعی و برشی مرکزی از آن را نشان می‌دهد، تصویر فیلتر شده و برش مرکزی آن نیز در شکل ۴-ب نمایش داده شده است. برش‌های مرکزی از تصویر نیز در شکل ۴-پ به صورت توأم مشخص شده‌اند.

مرحله ۴: محاسبه NBTH سپس نرمالیزه کردن آن و در نهایت استفاده از تبدیل زیر:

$$Y_2 = 1 - Z \quad (15)$$

در رابطه بالا Z تصویر حاصله از نرمالیزه کردن NBTH است.

مرحله ۵: محاسبه ضرب عنصر به عنصر^{۱۵} تصاویر حاصل از مراحل ۳ و ۴ مرحله ۶: به کار بردن فرآیند آستانه گذاری برای یافتن اهداف به طور خلاصه مراحل مذکور را می توان در دو بخش بهبود هدف^{۱۶} و آشکارسازی هدف^{۱۷} تقسیم بندی نمود.

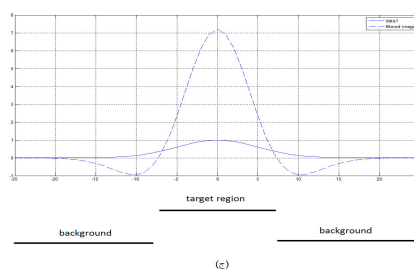
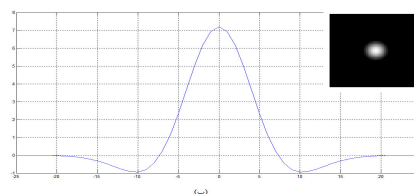
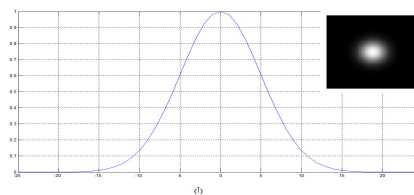
۲-۲-۳- بهبود هدف

ویژگی بارز الگوریتم بیان شده بر اساس تضعیف بیش تر کلاتر و نویز پس-زمینه است. این امر با استفاده از فیلتر LoG و فیلترهای ریخت-شناسی محقق می گردد. هر چقدر حذف کلاتر بهتر صورت پذیرد، الگوریتم قوی تر بوده و موجب بهبود نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار اشتباه می گردد.

در مرحله نخست از فرآیند تضعیف کلاتر، فیلتر LoG اعمال گشته و در تصویر حاصله، مقادیر منفی با مقدار صفر جایگزین می گردند. در شکل ۵ نتیجه این اعمال با X نمایش داده شده است. سپس با انتخاب T برابر با صفر، MATH محاسبه می گردد. همان طور که قبلاً نیز اشاره گردید، این انتخاب برای T گرچه تمامی کلاتر موجود در پس-زمینه را حذف نمی کند اما اندازه هدف را حفظ کرده و از گم شدن هدف جلوگیری می کند؛ سپس تصویر نتیجه نرمالیزه می شود. از طرفی دیگر، برای تصویر X مقدار NBTH محاسبه شده و نرمالیزه می گردد. در تصویر نرمالیزه شده NBTH (که در شکل ۵ با Z نشان داده شده است)، نواحی تیره دارای سطح خاکستری نزدیک به یک و نواحی روشن دارای سطح خاکستری نزدیک به صفر هستند. بنابراین با استفاده از رابطه ۱۵، مقادیر روشن دارای سطح نزدیک یک و نواحی تیره دارای سطح نزدیک صفر می گردند. به بیان دیگر، Y_2 را می توان نماینده ای از تبدیلی white top-hat برای تصویر X دانست؛ با این تفاوت که کلاتر پس زمینه در آن با Y_1 متفاوت است. لذا برای حذف بیش تر کلاتر باقی مانده، برای تصاویر Y_1 و Y_2 ضرب عنصر به عنصر صورت گرفته و در نتیجه، تصویر بهبود یافته (E) به دست می آید.

به دیگر سخن، در الگوریتم پیشنهادی، عملیات حذف کلاتر پس زمینه و تقویت ناحیه هدف در چندین مرحله انجام می شود. مرحله اول توسط اعمال فیلتر LoG و سپس ایجاد تصویر Y_1 با استفاده از فیلتر مورفولوژی. سپس ایجاد نماینده ای دیگر از ناحیه هدف (Y_2) به گونه ای که کلاتر پس زمینه آن مستقل از Y_1 باشد. بدیهی است که با توجه به نرمالیزه بودن این دو تصویر، ضرب عنصر در عنصر این دو تصویر موجب تضعیف هر چه بیش تر کلاتر و تقویت ناحیه هدف می گردد. بدین ترتیب ناحیه هدف بهبود میابد.

همان گونه که در شکل ۴-پ دیده می شود، در تصویر فیلتر شده، هدف آن نواحی از تصویر را در برمی گیرد که دارای مقادیر مثبت باشد و نواحی پس زمینه دارای مقادیر منفی هستند، همچنین شدت رنگ نواحی هدف به شدت افزایش یافته است. در نتیجه می توان گفت که فیلتر LoG، موجب افزایش کنتراست بین نواحی هدف و پس زمینه می گردد. به دیگر سخن، استفاده از این فیلتر نه تنها موجب کاهش کلاتر پس زمینه می گردد بلکه شدت رنگ ناحیه هدف را نیز افزایش می دهد.



شکل ۴: فیلتر LoG. (آ) یک هدف مادون قرمز به همراه یک برش مرکزی از آن. (ب) تصویر فیلتر شده به همراه یک برش مرکزی از آن. (ج) نمایش توام برش های مرکزی دو تصویر (آ) و (ب)

۲-۲-۲- الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف مادون قرمز

با استفاده از فیلتر LoG و تبدیل modified top-hat، الگوریتم آشکارسازی اهداف کوچک و مات در تصویر مادون قرمز ارائه می گردد. بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی به صورت شکل ۵ است. بر اساس شکل ۵ می توان روال زیر را برای الگوریتم ارائه شده در نظر گرفت:

مرحله ۱: فیلتر کردن تصویر مادون قرمز ورودی به وسیله فیلتر LoG
مرحله ۲: جایگزینی مقادیر منفی با مقدار صفر در تصویر فیلتر شده
مرحله ۳: محاسبه MATH با انتخاب مقدار آستانه برابر با صفر و سپس نرمالیزه کردن تصویر حاصله

تصویر S یک تصویر دودویی خواهد بود که اهداف آشکار شده را نمایش می دهد. می توان برای مشخص تر شدن اهداف در تصویر مادون قرمز اولیه، به وسیله یک پنجره مستطیل شکل، اهداف آشکار شده را نشان داد.

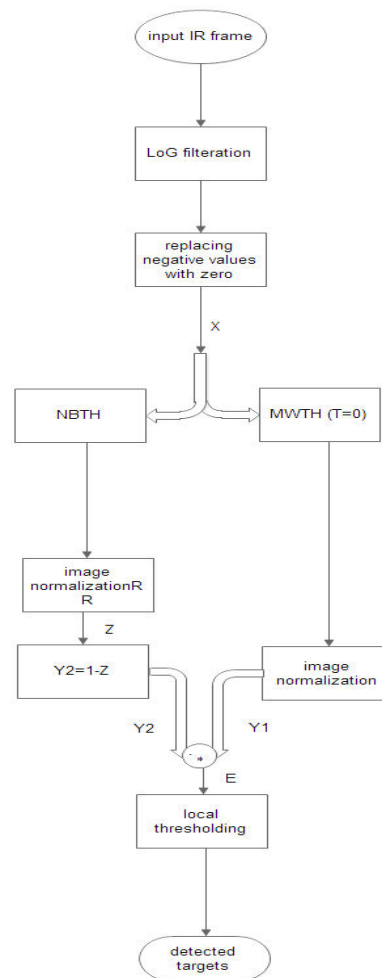
۳- آزمایش ها و نتایج شبیه سازی برای آشکارسازی اهداف هوایی مادون قرمز

در این بخش به منظور ارائه نتایج شبیه سازی آشکارسازی، زیر بخش های زیر ارائه می شوند:

۱-۳ - تنظیم پارامترهای الگوریتم

اولین متغیری که لازم است تنظیم گردد σ^2 در فیلتر LoG است. هموار سازی^{۱۹} پس زمینه به شدت به کمیت σ^2 بستگی دارد. بیشتر بودن σ^2 منجر به وسیع تر شدن پهنای باند فیلتر شده و هموار سازی بهتری را در ناحیه پس زمینه نتیجه می دهد. البته باید در نظر داشت که افزایش بیش از حد این پارامتر می تواند منجر به هموار سازی غیر ضرور در ناحیه هدف نیز گردد. پس می توان گفت که با تنظیم کمیت σ^2 ، می توان به تصویر هموار شده مناسب رسید. همچنین ابعاد پنجره این فیلتر باید به نحوی لحاظ گردد که بتواند تمام ناحیه هدف را در خود جای دهد. در آزمایش های این پژوهش، مقدار σ^2 را برابر با $0/3$ تنظیم شده و اندازه پنجره برای اهداف کوچک، 7×7 در نظر گرفته شده است (پرواضح است در صورتی که اندازه هدف بزرگ تر باشد می بایست ابعاد پنجره فیلتر LoG نیز تغییر یابد).

مهم ترین فاکتوری که در الگوریتم آشکارسازی ارائه شده، مورد استفاده قرار می گیرد عنصر ساختاری است که دارای متغیرهای اندازه و شکل است. بیش ترین عناصر ساختاری که به طور وسیع مورد استفاده قرار می گیرند مربع، مستطیل و دایره می باشند؛ به دلیل اینکه عنصر ساختاری مربع را آسان تر می توان ساخت، استفاده از این نوع عنصر ساختاری رایج تر است. لذا در آزمایش های این پژوهش، از عنصر ساختاری مربع استفاده شده است. به منظور حذف کلاتر پس زمینه، می بایست اندازه عنصر ساختاری داخلی بزرگ تر از اندازه ناحیه هدف در نظر گرفته شود. اگر اهدافی که می بایست آشکار گردند کوچک باشند (که این نکته به دلیل فاصله زیاد اهداف هوایی از دوربین مادون قرمز امری بدیهی است) اندازه عنصر ساختاری نیز کوچک می گردند. در مسئله آشکارسازی، چنانچه اهداف دارای اندازه ای کوچک تر از ۱۵٪ اندازه تمام تصویر باشد، هدف، کوچک در نظر گرفته می شوند. برای مثال برای تصویر مادون قرمز با ابعاد 128×128 ، اهداف کوچک را می توان در اندازه های 1×1 تا 6×6 در نظر گرفت [۱۹]. در آزمایش های صورت گرفته، با در نظر گرفتن اینکه اندازه اهداف کمتر از 10×10 باشد، مقادیر $S(B_i)$ ، $M(\Delta B)$ و $S(B_j)$ به ترتیب ۱۱، ۹ و ۱۵ در نظر گرفته شده اند. در نهایت به منظور اعمال



شکل ۵- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف مادون قرمز

۲-۲-۴ - آشکارسازی هدف

به دلیل وجود رابطه مستقیم بین تشعشع مادون قرمز توسط شی و سطح خاکستری مربوط به آن در تصویر، می توان گفت با افزایش دمای شی، شدت رنگ در تصویر مادون قرمز افزایش می یابد. معمولاً هدف، نسبت به محیط اطراف خود دارای دمای بیش تری است. با استفاده از فرآیند بهبود هدف که در قسمت قبل شرح داده شد، هدف کوچک در ناحیه محلی خود دارای بیش ترین شدت رنگ خواهد بود. در این پژوهش به منظور آشکار سازی اهداف از فرآیند آستانه گذاری که در زیر بیان می گردد، استفاده شده است.

به منظور جلوگیری از آشکارسازی اهداف اشتباه^{۱۸}، با استفاده از رابطه ۱۶، یک مقدار آستانه به صورت زیر تعریف می شود:

$$Thr = a \times \max(E(x, y)), a \in [0, 1] \quad (16)$$

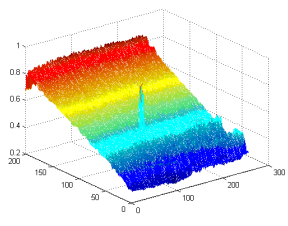
در رابطه بالا، a یک کمیت مربوط به آستانه بوده و $E(x, y)$ تصویر مادون قرمز بهبود یافته است. در نهایت تصویر تقطیع شده، توسط رابطه زیر به دست می آید:

$$S(x, y) = \begin{cases} 1 & E(x, y) \geq Thr \\ 0 & else \end{cases} \quad (17)$$

آستانه‌گذاری با استفاده از رابطه (۱۶)، مقدار پارامتر "a" برابر با ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است.

۳-۲- نتایج آزمایش‌ها

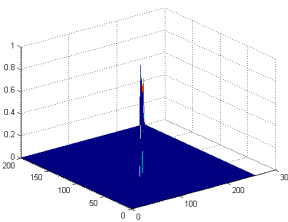
به‌منظور بررسی بازده و قدرت الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف مادون قرمز، در آزمایش‌های این پژوهش از یک پایگاه داده با بیش از ۲۰۰ تصویر مادون قرمز هوایی مختلف، که دارای کلاتر پس-زمینه مختلف باشند، استفاده شده است. این تصاویر دارای 200×256 پیکسل بوده و توسط یک دوربین مادون قرمز ۳-۵ میکرومتر ضبط گشته‌اند. در تصاویر استفاده شده، هدف به صورت مات بوده و تصویر دارای کلاتر قوی است. نتایج شبیه‌سازی برای چند تصویر در زیر آمده است. در تصاویر ۶ تا ۹، زیر شکل‌های (آ) و (پ) به ترتیب بیانگر تصویر مادون قرمز اولیه و ناحیه هدف استخراج شده می‌باشند، زیر شکل‌های (ب) و (ت) نیز بیانگر توزیع سه‌بعدی سطوح خاکستری در تصاویر (آ) و (پ) می‌باشند. در زیر تصویر (ث) نیز ناحیه هدف به وسیله یک پنجره بنفش رنگ از نواحی پس‌زمینه جدا شده است.



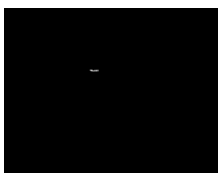
(ب)



(آ)



(ت)

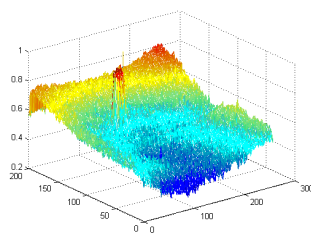


(پ)



(ث)

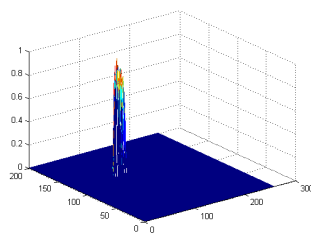
شکل ۷- نتایج اعمال الگوریتم آشکارسازی برای دومین تصویر نمونه



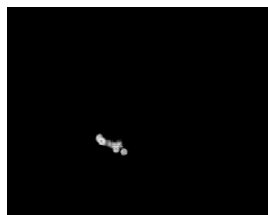
(ب)



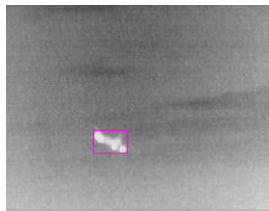
(آ)



(ت)

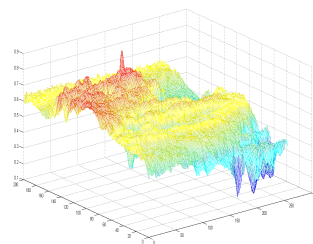


(پ)



(ث)

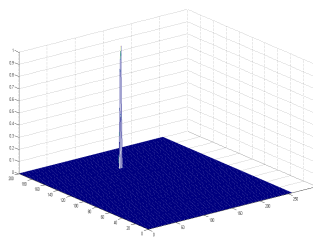
شکل ۸- نتایج اعمال الگوریتم آشکارسازی برای سومین تصویر نمونه



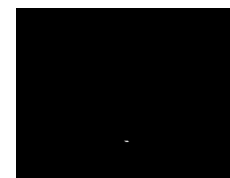
(ب)



(آ)



(ت)

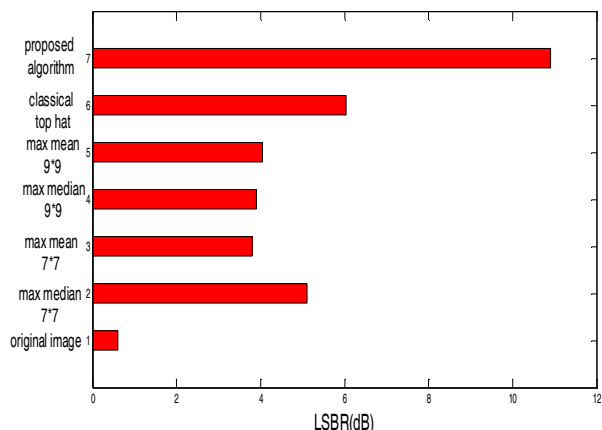


(پ)



(ث)

شکل ۶- نتایج اعمال الگوریتم آشکارسازی برای تصویر نمونه اول؛ (آ) تصویر مادون قرمز اولیه، (ب) توزیع سه‌بعدی سطوح خاکستری برای تصویر مادون-قرمز اولیه، (پ) ناحیه مربوط به هدف آشکار شده پس از حذف کلاتر پس-زمینه، (ت) توزیع سه‌بعدی سطوح خاکستری برای هدف آشکار شده، (ث) نمایش هدف آشکار شده



شکل ۹: مقدار متوسط LSBR الگوریتم‌های مختلف که بر روی بیش از ۲۰۰ تصویر اعمال شده‌اند

جدول ۱ مقادیر LSBR را برای تصاویر اولیه ۶- (آ) و ۷- (ب) و تصاویر ناشی از اعمال الگوریتم‌های مختلف بر روی این دو تصویر را نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر LSBR بر روی ۱۰ تصویر دیگر، در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- مقایسه عملکرد چند الگوریتم با استفاده از معیار LSBR

تصویر ۵-۲-آ LSBR=۰/۵۳۲۶		تصویر ۵-۱-آ LSBR=۰/۱۲۰۶		الگوریتم بهبود تصویر
LSBR(gain)	LSBR(dB)	LSBR(gain)	LSBR(dB)	
۱۰/۴۲۷۰	۱۰/۱۸۱۵	۷/۲۸۵۲	۸/۶۲۴۴	الگوریتم پیشنهادی
۸/۹۸۵۲	۹/۵۳۵۲	۶/۸۵۵۸	۸/۳۶۰۵	الگوریتم [۶]
۷/۹۶۵۸	۹/۰۱۲۲	۵/۹۸۵۶	۷/۷۷۱۰	الگوریتم [۷]
۳/۶۰۴۸	۵/۵۶۸۹	۲/۴۵۹۹	۳/۹۰۹۲	NWTH
۱/۱۳۹۵	۰/۵۶۷۳	۱/۱۲۴۴	۰/۵۰۹۲	تبدیل top-hat
۲/۵۹۴۷	۴/۱۴۰۹	۱/۹۶۱۵	۲/۹۲۵۹	بیشینه میانه ۷×۷
۹/۷۸۰۲	۹/۹۰۳۵	۱/۰۹۰۳	۰/۳۷۵۶	بیشینه میانگین ۷×۷
۱/۲۸۵۰	۱/۰۸۹۰	۱/۰۸۰۰	۰/۳۳۴۲	بیشینه میانه ۹×۹
۱/۳۷۶۸	۱/۳۸۹۰	۱/۱۹۲۴	۰/۷۶۴۴	بیشینه میانگین ۹×۹

۳-۳- مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای آشکارسازی اهداف

به منظور بیان بازده عملکرد الگوریتم پیشنهاد شده جهت آشکارسازی اهداف مادون قرمز هوایی، چندین الگوریتم دیگر که به طور وسیع در آشکارسازی اهداف مادون قرمز مورد استفاده می‌گیرند، جهت مقایسه با الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفتند. این الگوریتم‌ها عبارت‌اند از: الگوریتم بیشینه میانگین [۱]، الگوریتم بیشینه میانگین [۱]، دو الگوریتم مبتنی بر مدل پس‌زمینه [۶، ۷]، تبدیل top-hat [۱۱، ۱۳] و تبدیل NWTN [۱۳].

به منظور مقایسه بهتر، پنجره استفاده شده در الگوریتم‌های بیشینه میانگین و بیشینه میانه، بر اساس اندازه هدف تعیین شده و بر این اساس، مشخص شد که برای تصاویری که جهت مقایسه به کار می‌روند، پنجره‌هایی با اندازه ۷×۷ و ۹×۹ دارای بهترین عملکرد خواهند بود. بنابراین برای نشان دادن نتایج مقایسه، تنها از پنجره‌های ۷×۷ و ۹×۹ برای الگوریتم‌های بیشینه میانگین و بیشینه میانه استفاده شد. به منظور مقایسه الگوریتم‌های مختلف، یک معیار تحت عنوان نسبت محلی سیگنال به پس‌زمینه^{۲۰} (LSBR) که توسط Soni [۲۰] معرفی شده است، مورد استفاده قرار گرفت. این معیار بر روی تصاویر بهبود یافته ناشی از به کار بردن الگوریتم‌های مختلف، اعمال می‌گردد. LSBR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$LSBR = 10 \log \left\{ \frac{1}{\sigma_b^2} \sum_{u=-w/2}^{w/2} \sum_{v=-w/2}^{w/2} [I(x-u, y-v) - m_b]^2 \right\} \quad (18)$$

برای محاسبه LSBR، هدف در تصویر بهبود یافته به وسیله یک پنجره مربعی به ضلع w احاطه می‌گردد. σ_b^2 و m_b به ترتیب واریانس و میانگین ناحیه‌هایی از پس‌زمینه بوده که در داخل پنجره قرار می‌گیرد. $I(x, y)$ نیز شدت رنگ پیکسلی از پنجره است که در موقعیت (x, y) قرار می‌گیرد. LSBR یک معیار مناسب جهت مقایسه الگوریتم‌های مختلف است. اگر مقدار LSBR کوچک باشد نشانگر آن است که الگوریتم استفاده شده دارای عملکردی نامناسب است؛ به گونه‌ای که هنوز هم کلاتر پس‌زمینه سنگین است. در صورتی که یک LSBR بالاتر، نشان‌دهنده برتری الگوریتم در حذف بیش‌تر کلاتر پس‌زمینه است.

پس از محاسبه LSBR برای الگوریتم‌های مختلف اعمال شده بر روی بیش از ۲۰۰ تصویر، متوسط مقادیر LSBR محاسبه گردید که نتایج آن در شکل ۱۰ بیان شده است.

نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار اشتباه که برای تمامی الگوریتم‌های اعمال شده بر روی بیش از ۲۰۰ تصویر محاسبه شده‌اند و میانگین آن‌ها جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۳- میانگین نرخ آشکارسازی

معیار	الگوریتم پیشنهادی	الگوریتم [۶]	الگوریتم [۷]	NWTH	تبدیل top-hat	بیشینه میانه ۷ × ۷	بیشینه میانه ۹ × ۹	بیشینه میانگین ۹ × ۹
P_d	۹۷/۸	۹۰/۱	۸۸/۳	۸۱/۱	۶۲/۶	۳۰/۶	۳۲/۲	۵۷/۳

جدول ۴- میانگین نرخ هشدار اشتباه

معیار	الگوریتم پیشنهادی	الگوریتم [۶]	الگوریتم [۷]	NWTH	تبدیل top-hat	بیشینه میانه ۷ × ۷	بیشینه میانه ۹ × ۹	بیشینه میانگین ۹ × ۹
P_f	۱/۹	۷/۸	۶/۶	۱۱/۲	۶۷/۶	۶۱/۶	۷۰/۲	۵۵/۴

با توجه به شکل ۹ و جدول‌های ۱ و ۲ می‌توان دریافت که الگوریتم پیشنهادی به نسبت الگوریتم‌های دیگر دارای LSBR بالاتری است. همچنین این الگوریتم دارای نرخ آشکارسازی بیش‌تر و نرخ هشدار اشتباه کم‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها است. لذا با توجه به این نتایج، برتری این الگوریتم نسبت به سایر الگوریتم‌ها مشخص می‌گردد.

۴- نتیجه‌گیری

اهداف هوایی معمولاً دارای ابعاد بزرگی نبوده و الگوریتم آشکارسازی می‌بایست به گونه‌ای باشد که از لحاظ معیارهای آشکارسازی بهینه باشد. یک راه حل مناسب برای آشکارسازی اهداف کوچک در پس‌زمینه کلاتری، می‌تواند بهبود اهداف کوچک و مات بوده و سپس آشکارسازی این اهداف با استفاده از تصویر بهبودیافته باشد تبدیل top-hat از معروف‌ترین تبدیلات ریخت‌شناسی است که در امر آشکارسازی اهداف مادون قرمز مورد استفاده قرار می‌گیرد. گرچه عملکرد تبدیل top-hat در مقایسه با الگوریتم‌های پیشین بسیار بهبود یافته است اما کماکان این الگوریتم نیز در مواجهه با کلاتر سنگین و نویز زیاد دچار مشکل می‌شود. این الگوریتم به دلیل استفاده از دو عنصر ساختاری هم شکل در عملیات باز کردن و یا بستن، قادر به استفاده مناسب تفاوت اطلاعات موجود در ناحیه هدف و ناحیه پس‌زمینه نیست. این عامل سبب می‌گردد که قابلیت این تبدیل در تمایز بین هدف حقیقی و نواحی نویزی و یا کلاتر پس‌زمینه کاهش یابد. لذا می‌توان گفت که نویز یا کلاتر موجب کاهش بازده تبدیل top-hat می‌گردد. به منظور افزایش عملکرد تبدیل top-hat، می‌توان دو عنصر ساختاری متفاوت تعریف نمود. تعریف دو عنصر ساختاری متفاوت موجب کاهش تأثیر نویز گردیده و استفاده

جدول ۲- نتایج مقایسه LSBR برای ۱۰ تصویر دیگر

تصویر ورودی	الگوریتم پیشنهادی	الگوریتم [۶]	الگوریتم [۷]	NWTH	تبدیل top-hat	بیشینه میانه ۷ × ۷	بیشینه میانگین ۷ × ۷	بیشینه میانه ۹ × ۹	بیشینه میانگین ۹ × ۹
۱/۶۷۳۵	۶/۱۵۴۶	۵/۹۶۴۵	۴/۴۱۲۵	۴/۳۳۵۶	۳/۱۲۹۷	۳/۵۱۵۹	۳/۴۳۳۰	۷/۹۹۲۲	۶/۸۳۷۳
۱/۰۰۴۹	۳/۳۹۸۳	۳/۳۳۱۲	۲/۹۶۵۲	۳/۳۳۵۶	۱/۱۲۹۷	۱/۸۲۹۵	۱/۵۳۸۶	۳/۵۴۶۵	۲/۸۳۲۰
۰/۶۰۹۱	۱۲/۹۲۰۷	۹/۹۳۲۶	۷/۴۵۴۸	۰/۹۳۳۸	۰/۷۴۵۸	۰/۶۱۳۴	۰/۴۳۳۰	۰/۹۳۳۴	۱/۴۹۵۰
۰/۶۸۷۰	۱۲/۹۲۰۷	۹/۹۳۲۶	۷/۴۵۴۸	۱/۱۳۵۹	۴/۷۲۲۲	۱/۳۴۱۸	۱/۳۴۱۸	۰/۹۳۶۸	۲/۲۱۶۵
۰/۰۶۸۵	۳/۱۹۷۱	۲/۸۵۸۴	۲/۹۵۱۲	۱/۱۱۰۷	۲/۴۳۰۴	۱/۱۳۷۴	۱/۱۳۷۴	۱/۰۷۷۲	۱/۳۹۱۴
۰/۰۴۲۱	۱۰/۱۵۶۴	۱۰/۰۳۱۵	۹/۱۳۳۱	۰/۸۳۵۵	۷/۲۸۸۲	۱/۶۴۰۷	۱/۶۴۰۷	۱/۵۶۹۹	۱/۷۷۷۴
۰/۵۰۵۷	۱۱/۳۲۴۳	۱۰/۱۰۰۳	۱۰/۱۱۲۱	۴/۷۹۸۸	۷/۲۸۸۲	۱/۵۱۶۲	۱/۵۱۶۲	۰/۹۹۰۲	۱/۷۷۰۸
۰/۶۱۹۹	۲/۱۹۵۶	۲/۰۱۲۳	۱/۱۳۵۴	۱/۳۴۲۶	۱/۷۱۷۱	۰/۷۱۱۹	۰/۷۱۱۹	۰/۷۳۴۵	۱/۰۶۰۸
۰/۳۳۹۹	۹/۹۸۵۰	۸/۹۶۲۵	۷/۲۶۵۲	۵/۴۲۲۷	۱/۷۹۰۵	۰/۹۸۰۰	۰/۹۸۰۰	۱/۰۲۶۵	۱/۵۴۹۴
۰/۷۵۷۲	۱۲/۸۹۱۵	۱۰/۵۲۱۵	۸/۸۸۵۲	۶/۶۳۶۵	۲/۸۱۴۶	۰/۸۷۸۵	۰/۸۷۸۵	۰/۸۱۶۸	۱/۴۶۳۲

برای نشان دادن برتری الگوریتم آشکارسازی ارائه شده، دو معیار آماری برای تمامی تصاویر محاسبه گردیدند. این دو معیار عبارت‌اند از: نرخ آشکارسازی^{۲۱} و نرخ هشدار اشتباه^{۲۲}. در روابط ۱۹ و ۲۰ به ترتیب این دو معیار تعریف شده‌اند.

$$P_d = \frac{\text{Quantity of true targets detected in images}}{\text{Quantity of true targets existing in images}} \times 100\% \quad (19)$$

$$P_f = \frac{\text{Quantity of false targets detected in images}}{\text{Quantity of targets detected in images}} \times 100\% \quad (20)$$

- [10] X. Bai, and F. Zhou, "Hit-or-miss transform based infrared dim small target enhancement," *Optics & Laser Technology*, vol. 43, no. 7, pp. 1084-1090, 2011.
- [11] F. Zhang, C. Li, and L. Shi, "Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence," *Infrared Physics & Technology*, vol. 46, no. 4, pp. 323-328, 2005.
- [12] 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, no. 1, pp. 67-76, 2006.
- [13] X. Bai, F. Zhou, and Y. Xie, "New class of top-hat transformation to enhance infrared small targets," *Journal of Electronic Imaging*, vol. 17, no. 3, pp. 1-3, 2008.
- [14] Y. Bin, and P. Jia-xiong, "Small target detection method based on morphology top-Hat operator," *Journal of Image and Graphics*, 2002.
- [15] P. Jackway, "Improved morphological top-hat," *Electronics Letters*, vol. 36, no. 14, pp. 1194-1195, 2000.
- [16] S. Kim, Y. Yang, J. Lee, and Y. Park, "Small target detection utilizing robust methods of the human visual system forIRST," *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, vol. 30, no. 9, pp. 994-1011, 2009.
- [17] R. Gonzalez, and Richard E. Woods, *Digital image processing*, 2002.
- [18] F. Zhang, C. Li, and L. Shi, "Detecting and tracking dim moving point target in IR image sequence," *Infrared Physics & Technology*, vol. 46, no. 4, pp. 323-328, 2005.
- [19] X. Mao, and W. Diao, "Criterion to evaluate the quality of infrared small target images," *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz*, vol. 30, no. 1, pp. 56-64, 2009.
- [20] T. Soni, J.R. Zeidler, and W.H. Ku, "Performance evaluation of 2-D adaptive prediction filters for detection of small objects in image data," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 2, no. 3, pp. 327-340, 1993.
- [21]

زیر نویس‌ها

- ∩ Morphological operators
- ∩ Target losing
- ∩ White Top Hat
- ∩ New White Top Hat
- ∩ Structural element
- ∩ Modified White Top Hat
- ∩ Mathematical morphology
- ∩ dilation
- ∩ erosion
- ∩ opening
- ∩ closing
- ∩ Flat structuring element
- ∩ smoothing
- ∩ Point spread function
- ∩ Element by element multiplication
- ∩ Target enhancement
- ∩ Target detection
- ∩ False target
- ∩ smoothness
- ∩ Local signal to background ratio
- ∩ Detection rate
- ∩ False alarm rate

بهینه از تفاوت سطح اطلاعات موجود بین ناحیه هدف و ناحیه پس‌زمینه را تضمین می‌کند. بدین منظور تبدیل new top-hat ارائه گردید. در این مقاله به‌منظور بهبود تبدیل new top-hat در جهت حذف بیش‌تر کلاتر موجود در تصویر مادون قرمز، تبدیل modified top-hat ارائه گردیده است. این تبدیل با اضافه کردن یک مقدار آستانه به تبدیل new top-hat موجب بهبود عملکرد این تبدیل می‌گردد. درنهایت، یک الگوریتم جهت آشکارسازی اهداف مادون قرمز هوایی ارائه شد. این الگوریتم که ترکیبی از فیلتر LoG و تبدیل top-hat تعدیل یافته می‌باشد قابلیت زیادی در حذف کلاتر پس‌زمینه داشته و منجر به افزایش کنتراست بین ناحیه هدف و پس‌زمینه می‌گردد. به‌بیان دیگر، ترکیب فیلترهای LoG و فیلترهای مورفولوژی در الگوریتم ارائه‌شده به‌گونه‌ای است که موجب افزایش بهینه LSBR و بهبود نرخ‌های آشکارسازی و هشدار اشتباه توسط این الگوریتم می‌شود. در پایان، با اعمال یک روش آستانه‌گذاری بر روی تصویر بهبودیافته، اهداف موجود در تصویر آشکار می‌گردند. الگوریتم پیشنهاد شده در مقایسه با روش‌های رایج، دارای عملکرد بهتری از لحاظ معیارهای LSBR، نرخ آشکارسازی و نرخ هشدار اشتباه است.

مراجع

- [1] D.D. Suyog, M.H. Er, R. Venkateswarlu, and P. Chan, "Max-mean and max-median filters for detection of small targets," *SPIE's International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, International Society for Optics and Photonics*, 1999.
- [2] S. Leonov, "Nonparametric methods for clutter removal," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 37, no. 3, pp. 832-848, 2001.
- [3] P.A. Ffrench, J.R. Zeidler, and W.H. Ku. "Enhanced detectability of small objects in correlated clutter using an improved 2-D adaptive lattice algorithm," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 3, pp. 383-397, 1997.
- [4] I. El-Naqa, Y. Yang, M.N. Wernick, N.P. Galatsanos, and R.M. Nishikawa, "A support vector machine approach for detection of microcalcifications," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 21, no. 12, pp. 1552-1563, 2002.
- [5] M.V. Shirvaikar, and M.M. Trivedi, "A neural network filter to detect small targets in high clutter backgrounds," *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 6, no. 1, pp. 252-257, 1995.
- [6] A. Akula, N. Khanna, R. Ghosha, S. Kumar, A. Das, and H.K. Sardana, "Adaptive contour-based statistical background subtraction method for moving target detection in infrared video sequences," *Infrared Physics & Technology*, vol. 63, pp. 103-109, 2014.
- [7] L. Lei, and H. Zhijian, "Infrared dim target detection technology based on background estimate," *Infrared Physics & Technology*, vol. 62, pp. 59-64, 2014.
- [8] S. Pierre, *Morphological image analysis: principles and applications*, Springer-Verlag, New York, 2003.
- [9] X. Bai, F. Zhou, and B. Xue "Infrared dim small target enhancement using toggle contrast operator," *Infrared Physics & Technology*, vol. 55, no. 2-3, pp. 177-182, 2012.