

آشکارسازی اهداف دریایی در تصاویر رادارهای روزنه ترکیبی پلاریمتریک

حامد گروسی^۱، بیژن ذاکری گنابی^{۲*}، سید مهدی حسینی اندارگلی^۳

۱- کارشناس ارشد، مهندسی برق مخابرات، ۲- دانشیار، ۳- استادیار، گروه مهندسی برق مخابرات، دانشگاه صنعتی (نوشیروانی) بابل،

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

(دریافت: ۹۳/۰۶/۰۲، پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۴)

چکیده

مطالعه بر روی آشکارسازی اهداف PoISAR اساساً نیازمند اطلاعات پراکندگی و اطلاعات آماری پلاریمتریک می‌باشد. تحلیل‌های نظری نشان می‌دهد که بعضی از جملات مربوط به ماتریس‌های مرتبه دوم پراکندگی مانند ماتریس کوهرنسی و کواریانس تفاوت‌های بین اهداف ساخت بشر که غیر متقارن بوده و کلاترهای طبیعی را که تقارن بازتابی دارند به خوبی نشان می‌دهند. با استفاده از مدل‌های استخراج‌شده از این جملات، طرح تشخیص و استخراج خودکار اهداف با نرخ ثابت هشدار اشتباه تشکیل گردیده‌است. در این مدل قابلیت‌های مختلف تقارنی اهداف ساخت بشر و سطح دریا بر اساس داده‌های Radarsat-2 باند L و C تست و بررسی شده است که محاسبات دقیق و درستی را ارائه می‌دهد. نتایج تجربی کارایی و قابلیت روش پیشنهادی را در تشخیص کشتی‌ها و سکوه‌های نفتی، ساختمان‌ها و سایر ساختارهای ساخت بشر در نواحی همگن و غیر همگن به خوبی نشان می‌دهند.

واژگان کلیدی

رادارهای پلاریمتریک، تقارن بازتابی، آشکارسازی اهداف.

۱. مقدمه

مخدوش می‌سازد. البته در مواردی که وضوح بالایی در دسترس باشد، برای کاهش نویز لکه‌ای راه‌کارهای چند نگاهه^۵ ارائه شده است. ولی این راه‌کار به دلیل اثر نامطلوب بر روی وضوح تصویر در مواردی که آشکارسازی اهداف کوچک مدنظر ما باشد موجب از دست رفتن اهداف و افزایش خطاهای کاذب منفی^۶ می‌شود. علاوه بر این پدیده‌های طبیعی و فرآیندهای دیگر از قبیل تغییرات در پراکندگی‌های بازگشتی^۷ از سطح دریا، ناشی از تغییرات سرعت و جهت باد یا نواحی گذار بین شرایط جوی مختلف، پدیده‌های اقیانوس شناسی (از قبیل جبهه‌های موج، موج‌های داخلی، امواج سطحی و امواج درهم شکننده)، سنگ‌ها و سخره‌های پراکنده در اطراف ساحل، کم عمقی‌ها و جریان‌های دریایی و تأثیرات ساحلی مشاهدات اهداف را در دریا به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. این پدیده‌ها و فرآیندها می‌توانند موجب بروز هشدارهای کاذب مثبت^۸ به ویژه در مناطق ناهمگن شوند. بر این اساس، مشاهده اهداف دریایی در تصاویر SAR، همچون کشتی‌ها، سکوه‌های نفتی و سایر اهداف ساخت بشر، بر اساس اطلاعات به دست آمده از پراکندگی‌های بازگشتی توسط داده‌های

آشکارسازی اهداف با استفاده از داده‌های رادارهای روزنه ترکیبی پلاریمتریک PoISAR در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. سامانه SAR که از لحاظ توانایی تولید تصویر یکتا می‌باشد تصاویر دو بُعدی با وضوح بالا تهیه می‌کند که به نور روز، پوشش آبر و شرایط آب و هوایی بستگی ندارد. سامانه‌های SAR دارای یک هندسه تصویربرداری نگاه‌کننده به اطراف^۱ می‌باشند که مبتنی بر یک رادار پالسی هستند و بر یک پایه^۲، که دارای حرکت رو به جلو^۳ است، سوار شده است، پالس‌های الکترومغناطیسی با توان بالا ارسال می‌کند و برگشتی‌های ناشی از باز انتشار^۴ سیگنال را به صورت ترتیبی دریافت می‌کند [۱-۳].

مشاهده اهداف در دریا یکی از عملکردهای اصلی در زمینه مانیورینگ جهانی محیط و امنیت می‌باشد. مشاهده اهداف در دریا بر اساس SAR، همچون کشتی‌ها، سکوه‌های نفتی، و توربین‌های بادی، به دلیل نویز لکه‌ایی که تفسیر تصویر SAR را

* رایانامه نویسنده پاسخگو: zakeri@nit.ac.ir

⁵ Multi-look

⁶ Negative false alarms

⁷ Backscatters

⁸ Positive false alarms

¹ side-looking

² platform

³ forward movement

⁴ backscatter

سطح تصویر برداری شده را تحت تاثیر قرار دهند این معیار موفقیت خوبی در حذف این پدیده‌ها نخواهد داشت.

در این مقاله، از قدرمطلق^۵ میانگین فضایی^۶ جمله T_{23} ماتریس کوهرنسی برای آشکارسازی استفاده شده است. جمله T_{23} از محاسبه همبستگی اختلاف بین Shh و Svv با کانال متقابل^۷ یعنی Shv تشکیل شده که معرف بازگشتی‌های حاصل از ساختارهای دو سطحی یا ساختارهایی با سطوح زوج می‌باشد، مانند دیواره‌ها که با سطوح افقی ساختارهای دو وجهی را تشکیل می‌دهند [۱۸]. ساختارهای مانند دو سطحی و سه وجهی از تعداد زیادی مراکز اسکرینینگ قوی با موقعیت و جهت‌های متفاوت تشکیل شده‌اند که دارای بازتابش متقارن نمی‌باشند، لذا تقارن انعکاسی در این موارد صادق نمی‌باشد. از طرفی عمده تشکیل دهندگان ساختارهای ساخت بشر می‌باشند. بنابراین روش مذکور می‌تواند تمام ساختارهای ساخت بشر را تحت پوشش قرار دهد. آنالیزهای تئوریک به‌طور مشهودی نشان می‌دهد که تقارن بازتابش مابین بسیاری از اهداف ساخت بشر و کلاترهای طبیعی متفاوت است. علاوه بر موارد بالا، برای اعمال آشکارسازی اتوماتیک با استفاده از طرح CFAR (نرخ ثابت هشدار کاذب)^۸ نیز مناسب می‌باشد. این شیوه برپایه این واقعیت است که سطح دریا، در اثر انعکاسات حالت متقارن پیدا می‌کند لذا می‌توان برای پیدا نمودن رابطه میان کانال‌های پلاریزه مشابه^۹ و متقابل استفاده کرد. درحالی که تقارن انعکاسی برای اهداف فلزی ساخت بشر صدق نمی‌کند و همین منجر به ایجاد روابط بزرگتری میان کانال‌های پلاریزه شده مشابه و متقابل شده است [۴]. از طرفی دخالت جمله Svv در محاسبه همبستگی که در یک زمان متفاوت و با ارسال یک پلاریزاسیون متفاوت به‌دست‌آمده همبستگی احتمالی میان پدیده‌های تصادفی حاضر در صحنه را که همگی کلاتر و نویز ما محسوب می‌شوند را به حداقل رسانده و به خوبی آن‌ها را حذف می‌نماید. بر همین اساس، داده‌های SAR مربوط به منطقه خلیج کبک و تنگه جبل الطارق که در باندهای C و L به‌دست آمده‌اند جهت تست روش پیشنهاد شده به‌کاررفته و نشان دادند که روشی پیشنهادی دارای عملکرد موثری در راستای مشاهده اهداف فلزی ساخت بشر در دریا دارد. در نتیجه، روش آشکارسازی پیشنهادی برای بسیاری از اهداف ساخت بشر مانند کشتی‌ها، ساختمان‌ها و مخازن و چاه‌های نفت قابل اجرا می‌باشد.

سامانه SAR تک پلاریزاسیون برای استخراج موثر و بهتر اهداف دریایی همیشه مناسب نبوده و کاری بس دشوار است و نمی‌تواند به تنهایی با استفاده از شیوه‌های پردازش تصویری انجام شود. لذا برای آشکارسازی بهتر باید از شیوه‌های پلاریمتریک استفاده نمود [۷-۴]. تعدادی از کارهای چشم‌گیر که تا کنون انجام شده شامل آشکارسازی فیلتری سفیدکننده^۱ پلاریمتریک [۸]، آشکارسازی کشتی با استفاده از آنتروپی متعامد^۲ [۹] و آشکارسازی اهداف پلاریمتریک با استفاده از روش هاینن فُرک^۳ [۱۰] می‌باشند. همچنین در [۱۴-۱۱] روش‌های فیزیکی بسیار گسترده‌ای در این زمینه مطرح شده است که برای صرفه‌جویی در زمان و مطالعه بیشتر به منابع ارجاع داده شده است.

به جز الگوریتم‌های مذکور، تقارن بازتابش، پراکندگی پلاریمتریک عامل مهم دیگری برای آشکارسازی است. تقارن بازتابش اغلب برای پدیده‌های طبیعی صادق می‌باشد اما به‌ندرت برای اهداف ساخت بشر صدق می‌کند [۱۵]. از جمله کاربردهایی که از این ویژگی برای استخراج اهداف استفاده شده، می‌توان تشخیص خطوط انتقال برق با استفاده از ضریب همبستگی پلاریمتریک خطی^۴ [۱۶] و استخراج ناحیه شهری با استفاده از ضریب همبستگی پلاریمتریک دایروی [۱۷] را نام برد. هرچند ضریب همبستگی پلاریمتریک خطی مشکلات کالیبراسیون رادیومتریک را برطرف کرده است. یا به‌عنوان مثال ضریب همبستگی پلاریمتریک دایروی برای استخراج ساختارهای شهری در نواحی دارای پوشش گیاهی موثر است ولی این روش‌ها برای آشکارسازی اهداف دریایی کافی نیستند [۱۶] و [۱۷]. از طرفی استفاده از روابط آماری و پیچیدگی روابط معیارهای آشکارسازی پیاده سازی روابط به‌کار برده‌شده در روش‌های مذکور را دشوار ساخته است. لذا لازم می‌باشد راه‌کار ساده‌تری که کارایی بالایی داشته باشد ارائه شود. از طرفی بررسی راه‌کارها و روش‌های پیشین در مقدمه مرجع [۷] به‌اندازه کافی آورده شده است که به جهت صرفه‌جویی در فضا برای مطالعه بیشتر به منبع مذکور ارجاع داده می‌شود. در مرجع [۷] شیوه جدیدی برای آشکارسازی اهداف دریایی با استفاده از C_{23} ارائه گردیده که این معیار با استفاده از محاسبه همبستگی میان کانال‌های مشابه و متقابل Shh و Shv به‌دست می‌آید. به‌دلیل این که درایه‌های Shh و Shv ماتریس پراکندگی در یک زمان و با ارسال یک موج واحد به‌دست آمده‌اند، احتمال این که مقدار همبستگی بزرگی ارائه دهند زیاد است. لذا در شرایطی که عوامل و پدیده‌های زیادی

⁵ modulus

⁶ ensemble averaging

⁷ cross

⁸ Constant False Alarm Rate

⁹ like

¹ whitening

² Cross-entropy

³ Huynen fork

⁴ linear polarimetric correlation coefficients

دیپولاریزه شدن اهداف در مکانشان نیز معتبر و ارزشمند باشد. فرایندها در طبیعت می‌توانند به صورت قطعی^۱ (ریپولاریزاسیون^۲) یا تصادفی^۳ (دیپولاریزاسیون^۴) باشد. ریپولاریزاسیون یک پدیده قطعی است که می‌تواند اغلب جابجا یا حذف شود. دیپولاریزاسیون تزویجی^۵ از انرژی قطعی در داخل حالت تصادفی میدان است و در هیچ یک از موارد نمی‌تواند حذف شود. زمانی که با طرح‌های توزیع شده طبیعی روبه‌رو می‌شویم دیپولاریزاسیون را می‌توان بطور عمده‌تر اجرا نمود. با این تفاسیر فرمول کلی‌تری نیاز است تا گشتاورهای ردیف دوم میدان‌های پراکنده را محاسبه و ارزیابی نماید [۷].

بهترین و منطقی‌ترین راه جهت بررسی بازگشتی‌های پراکنده پلاریمتریک از یک هدف پخش شده و دی‌پلاریزه‌شده، استفاده از ضرایب مرتبه دوم ماتریس پراکنده می‌باشد [۲۰]. که در این مقاله نیز برای استخراج اهداف از ماتریس مرتبه دوم، ماتریس کوهرنسی استفاده شده‌است. با توجه به نتایج ارائه شده در فصل ۳ مرجع [۲۰] ماتریس کوهرنسی بر حسب ماتریس K و ماتریس پراکنده S چنین به‌دست می‌آید:

$$(3)$$

$$T_3 = \langle \underline{K} \cdot \underline{K}^{*T} \rangle = \begin{pmatrix} |k_1|^2 & k_1 k_2^* & k_1 k_3^* \\ k_1 k_2^* & |k_2|^2 & k_2 k_3^* \\ k_3 k_1^* & k_3 k_2^* & |k_3|^2 \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} (|S_{XX} + S_{YY}|^2) & (S_{XX} + S_{YY})(S_{XX} - S_{YY})^* & 2((S_{XX} + S_{YY})S_{XY}^*) \\ ((S_{XX} - S_{YY})(S_{XX} + S_{YY})^*) & (|S_{XX} - S_{YY}|^2) & 2((S_{XX} - S_{YY})S_{XY}^*) \\ 2(S_{XY}(S_{XX} + S_{YY})^*) & 2(S_{XY}(S_{XX} - S_{YY})^*) & 4(|S_{XY}|^2) \end{bmatrix}$$

در رابطه (۳) * بیانگر مزدوج مختلط، T عملگر ترانپوز، |. | عملگر قدرمطلق، (.) عملگر میانگین فضایی و k بردار هدف بوده و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\underline{k} = \frac{1}{\sqrt{2}} [S_{XX} + S_{YY} \quad S_{XX} - S_{YY} \quad 2S_{XY}]^T \quad (4)$$

در روابط بالا X نمایانگر بردار افقی و معرف h یا همان پلاریزاسیون افقی و Y نمایانگر بردار عمودی و معرف v یا همان پلاریزاسیون عمودی می‌باشد.

۲. قضیه تقارن بازتابشی و استخراج معیار آشکارسازی

فرضیات مطرح شده در تقارن بازتابشی موجب ساده‌تر شدن مسئله ما می‌شود و استخراج رفتارهای پراکنده اهداف را آسان‌تر می‌کند. با استناد به نتایج مرجع [۲۱]، زمانی که پراکنده‌گر اصلی از جهت پلاریزاسیون عمودی به صفر درجه

در ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی شده‌است: در بخش دوم روش‌ها و روابط پلاریمتریک مورد بررسی قرار گرفته‌است، در قسمت اول از بخش دو سامانه‌های پلاریمتریک معرفی و در قسمت دوم روابط حاکم بر این سامانه‌ها ارائه شده‌است. در قسمت سوم روابط تقارن بازتابشی مورد بررسی قرار گرفته‌است. در بخش سوم خروجی مدل ارائه شده که مقایسه‌ای بصری و بر اساس معیارهای PSNR و CSNR با معیار آشکارسازی C23 که در منابع ذکر شده انجام گرفته‌است. در ادامه صحت‌سنجی با تصاویر گوگل ارث و تصاویر رنگی و خاکستری حاصل از داده‌های راداری انجام گرفته و در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری ارائه گشته‌است.

۲. ابزار و روش تحقیق

۲-۱. سامانه‌های پلاریمتریک

سامانه‌هایی که براساس قطبیت کار می‌کنند بر پایه حالت H-V عمل می‌کنند، یعنی از طریق ارسال یک موج قطبی‌شده به‌صورت H و دریافت به‌صورت H و پلاریزاسیون V، المان‌های S_{HH} و S_{HV} اندازه‌گیری می‌شوند. دوزیبا باقیمانده یعنی S_{VH} و S_{VV} در گام دوم و با ارسال یک موج پلاریزه‌شده به‌صورت V و دریافت در H و V اندازه‌گیری می‌شوند. زیرنویس‌های h و v نشانگر حالت افقی و عمودی پلاریزاسیون مربوط به ارسال و دریافت می‌باشد.

۲-۲. بردارهای پراکنده هدف

مفهوم اساسی پلاریمتریک SAR به‌وسیله یک ماتریس پراکنده 2×2 مختلط یا همان ماتریس S قابل بیان است.

$$\begin{bmatrix} \vec{E}_h^s \\ \vec{E}_v^s \end{bmatrix} = \frac{e^{jk_0 r}}{r} \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{E}_h^i \\ \vec{E}_v^i \end{bmatrix}, \quad \vec{E}^s = \frac{e^{-jkr}}{r} SE^i \quad (1)$$

در این فرمول Es(i) بردار جونز دوبعدی پیچیده‌ای از موج پراکنده‌شده (تابشی)، z واحد موهومی، ضریب e^{-jkr} که در آن $k = 2\pi/\lambda$ عدد موج است، بیانگر شیف‌ت فاز و تضعیف یک موج کروی با شعاعی برابر فاصله بین انتشاردهنده و رادار است. r فاصله از رادار تا مرکز جسم توزیع‌یافته می‌باشد. بردارهای جونز وقتی که به مؤلفه‌های افقی و عمودی خود تفکیک می‌شوند به‌صورت زیر در خواهد آمد [۱۹].

$$[S] = \begin{pmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{pmatrix} \quad (2)$$

هر جسم یا ساختار ترکیبی از ماتریس پراکنده می‌باشد. معادله (۱) مدل پراکنده‌گی همدوس اولیه را نشان می‌دهد. به‌دلیل این‌که فرمول جونز قادر به محاسبه وقایع دیپولاریزاسیون نمی‌باشد پس هرگز نخواهد توانست در هنگام توزیع شدن و

¹ stochastic

² repolarization

³ deterministic

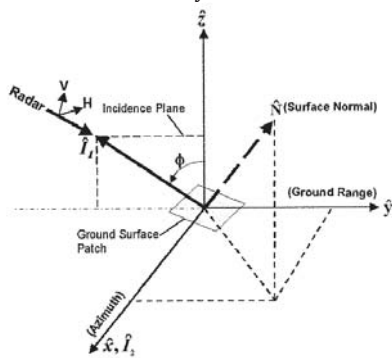
⁴ depolarization

⁵ coupling

مشاهده شده، نشان دهد. با فرض این که با توجه به شکل ۲ توزیع $P(\varphi)$ در φ متمرکز شده است و $P(\varphi)$ توزیع زاویه و جهت پراکنده گر باشد، پس، $P(\varphi)$ به صورت متمرکز در صفر مطرح شده است و ماتریس متوسط گیری شده بر روی $P(\varphi)$ به صورت رابطه (۸) حاصل می شود:

$$T = \begin{bmatrix} A & \mu B & 0 \\ \mu B^* & 2C\omega & 0 \\ 0 & 0 & 2C(1-\omega) \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$\mu = \int \cos 2\varphi p(\varphi) d\varphi \quad \omega = \int \cos^2 2\varphi p(\varphi) d\varphi$$



شکل ۲. شمایی از ساختار تصویربرداری رادار، توصیف زاویه جهت گیری نسبت به زاویه شیب زمین

بسیاری از اهداف ساخت بشر اشکال متعارف با جهت و زاویه قطعی دارند، که توزیع جهت گیری^۵ و زاویه ساختارها در صفر تمرکز نمی یابد. پس با فرض این که $\varphi = \theta_s$ باشد، ماتریس کوهرنسی متوسط گیری شده به صورت رابطه (۱۲) در می آید:

$$T = \begin{bmatrix} A & \mu B \cos 2\theta_s & -\mu B \sin 2\theta_s \\ \mu B^* \cos 2\theta_s & 2C(\sin^2 2\theta_s + \alpha \cos 4\theta_s) & C(1-2\omega) \sin 4\theta_s \\ -\mu B^* \sin 2\theta_s & C(1-2\omega) \sin 4\theta_s & 2C(\sin^2 2\theta_s - \alpha \cos 4\theta_s) \end{bmatrix} \quad (9)$$

با مقایسه موارد بالا می توان دید، تفاوت اصلی بین محیط متقارن بازتابش و محیط غیرمتقارن بازتابش جمله های خارج از قطر می باشد که صفر هستند و در رابطه (۹) دیده می شود برای محیط غیرمتقارن از لحاظ بازتابش T_{23} به صورت $C(1-2\omega)\sin 4\theta_s$ می باشد. این جملات به طور کلی به وسیله زاویه جهت گیری پراکنده گر ایجاد شده اند. برای محیط غیر متقارن بازتابشی، به عنوان مثال جمله T_{23} از ۲ قسمت حقیقی C و $(1-2\omega)\sin 4\theta_s$ تشکیل شده است که به دلیل زاویه جهت گیری پراکنده گر ایجاد شده است. قسمت بعدی موهوی T_{23} توسط جمله (۳ و ۲) از رابطه (۱۰) جمله پراکنده گر هلیکس ایجاد شده است [۲۳]. واضح است که T_{23} شامل هر دوی اطلاعات جهت گیری و اطلاعات محیط می باشد.

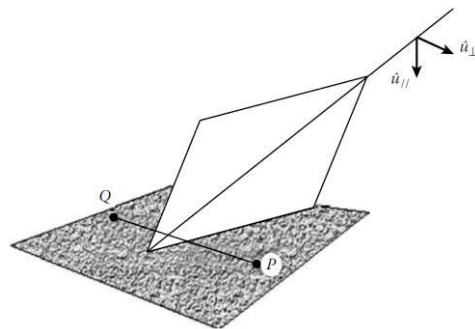
می گراید، ماتریس پراکنده گی و ماتریس کوهرنسی را برای یک پیکسل تک- نگاهه^۱ می توان به صورت زیر نوشت:

$$S = \begin{bmatrix} S_{hh} & 0 \\ 0 & S_{vv} \end{bmatrix} \rightarrow T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} S_{HH} + S_{VV} & S_{HH}^* + S_{VV}^* & S_{HH} - S_{VV} & 0 \\ S_{HH} - S_{VV} & S_{HH}^* - S_{VV}^* & S_{HH} + S_{VV} & 0 \\ A & B & 0 \\ B^* & 2C & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \quad (5)$$

A و B و C در مراجع [۲۰] و [۲۲]، به صورت کامل شرح داده شده اند.

حال برای حالت میانگین گیری شده به عنوان مثال در صورتی که هدف مورد نظر دارای تقارن بازتابشی مانند شکل (۱) باشد. به طور فیزیکی می توان تاثیرات حاصل از نقطه P را به وسیله ماتریس پراکنده گی SP و پراکنده گی حاصل از نقطه Q را به وسیله ماتریس پراکنده گی SQ بیان کرد. لذا طبق نتایج حاصل از مرجع [۲۰] داریم:

$$S_P = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad S_Q = \begin{bmatrix} a & -b \\ -c & d \end{bmatrix} \quad (6)$$



شکل ۱. تقارن بازتابشی در حالت پلاریزاسیون خطی - دید مستقیم^۲

$$T_3 = T_P + T_Q = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & \alpha\beta^* & \alpha\gamma^* \\ \beta\alpha^* & |\beta|^2 & \beta\gamma^* \\ \gamma\alpha^* & \gamma\beta^* & |\gamma|^2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & \alpha\beta^* & -\alpha\gamma^* \\ \beta\alpha^* & |\beta|^2 & -\beta\gamma^* \\ -\gamma\alpha^* & -\gamma\beta^* & |\gamma|^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |\alpha|^2 & \alpha\beta^* & 0 \\ \beta\alpha^* & |\beta|^2 & 0 \\ 0 & 0 & |\gamma|^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

که در اینجا α و β و γ مفروض بوده و در مرجع [۲۰] به طور کامل شرح داده شده اند. ماتریس چرخشی^۳ در مرجع [۲۱] داده شده است. شیب سمت^۴، می تواند جهت و زاویه را در محیط

¹ single-look pixel

² line-of-sight

³ Rotation matrix

⁴ Azimuth slope

⁵ orientation



(الف)



(ب)

شکل ۳. تصاویر رنگی پائولی RGB، (الف) ناحیه ساحلی کبک کانادا (ب) تنگه جبل الطارق دریای مدیترانه

پدیده‌های ابهامات سمت (کشیدگی نقاط روشن در عرض تصویر)، نویز لکه‌ای و پدیده‌های دریایی و اقیانوس شناسی به وضوح در تصاویر مشاهده می‌شود. شکل ۴ گویای این مطلب است که تشخیص و استخراج اهداف از این تصاویر کار راحتی نبوده و چالش‌های فراوانی به همراه دارد. در شکل (۴-ب) علائم مربوط به دنباله برخی کشتی‌ها نیز مشهود است، این دنباله برای اهدافی با سرعت بالا ایجاد می‌گردد و خود نشانه‌ای بر وجود هدف در ناحیه مورد نظر می‌باشد.

در ادامه برای مقایسه بهتر عملکرد روش پیشنهاد شده در این مقاله، نتایج حاصل از روش ارائه شده در مرجع [۱۹] و روش پیشنهاد شده در این مقاله را آورده‌ایم. معیار آشکارسازی معرفی شده در مرجع [۱۹] جدیدترین روش معرفی شده در حوزه پلاریمتریک می‌باشد.

$$[S]_{r-helix}^{HV} = \frac{e^{j2\theta}}{2} \begin{bmatrix} 1 & -j \\ -j & -1 \end{bmatrix} \rightarrow \langle [T] \rangle_{r-helix}^{HV} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & j \\ 0 & -j & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

در ادامه نتایج حاصل از خروجی T_{23} وقتی که به‌طور مستقیم از ماتریس پراکندگی به‌دست می‌آید نمایش داده شده است. خروجی مورد نظر از T_{23} را که در اینجا به R نامگذاری شده، می‌توان به‌صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$R = |\langle (S_{XX} - S_{YY})S_{XY}^* \rangle| \quad (11)$$

۳. نتایج

در این مقاله روش آشکارسازی پیشنهاد شده، با استفاده از دو دسته داده PolSAR مورد بررسی قرار گرفته که توسط ماهواره RADARSAT-2 به‌دست آمده است. مجموعه داده‌های اول مربوط به ناحیه ساحلی کبک^۱ کانادا در باند L با وضوح 25×25 متر در رنج و سمت می‌باشد. اندازه تصویر 683×2055 پیکسل می‌باشد. تصویری از ترکیب رنگی پائولی^۲ منطقه مذکور در شکل (۳-الف) نشان داده شده است. مجموعه دوم مربوط به ناحیه تنگه جبل الطارق^۳ در باند C با وضوح 9×9 متر در رنج و سمت است و اندازه تصویر 2152×4448 پیکسل می‌باشد. تصویر ترکیب رنگی پائولی RGB تنگه جبل الطارق در شکل (۴-ب) نشان داده شده است. به‌دلیل بالا بودن حجم تصویر و فشردگی و نمایش آن در اندازه کوچک برای گنجاندن در مقاله تعدادی از اهداف در این حالت قابل رویت نیستند.

در مورد موارد مذکور اصولا دریا و پدیده‌های اقیانوس شناسی (مانند امواج سطحی، موج‌های در هم شکننده، جریان‌های دریایی و ...) کلاترهای ما محسوب می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود ناحیه دریا تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند نویز، نا آرامی‌های سطح دریا، ابهامات سمت^۴ و پدیده‌های اقیانوس شناسی بوده و استخراج اهداف کاری بس دشوار می‌باشد. ولی در ادامه می‌بینیم که با اعمال مدل پیشنهادی، همه این عوامل تا حدود بسیار زیادی حذف می‌گردند و مابقی آن‌ها نیز با اعمال تکنک CFAR حذف می‌شوند.

در شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) به‌ترتیب تصاویر مربوط به مناطق کیوبک و تنگه جبل الطارق نمایش داده شده‌اند که تصاویر ارائه شده تصاویر خاکستری^۵ این مناطق می‌باشد.

¹ Quebec

² Pauli

³ Strait of Gibraltar

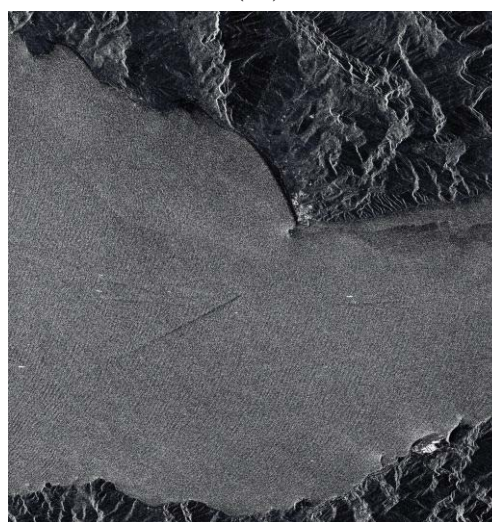
⁴ azimuth

⁵ gray scale

محورهای مختصات سنسور تصویربرداری و صحنه مورد نظر باعث می‌شود مقدار زیادی انحراف از مقدار صفر ایجاد شود در ادامه معیار آشکارسازی T_{23} ارائه شده است. خروجی معیار T_{23} از قدرمطلق متوسط گروهی همبستگی بین کانال نامشابه و جمع دو کانال مشابه افقی و عمودی استخراج می‌شود. به دلیل اینکه این دو کانال در دو زمان متفاوت به دست آمده‌اند، احتمال ایجاد همبستگی در بازگشتی از پدیده‌های تصادفی بسیار کمتر می‌شود. از طرفی برای بازگشتی از پدیده‌های قطعی که اهداف ما هستند این معیار مقادیر بالایی دارد. در شکل ۵ خروجی پارامتر C_{23} به نمایش درآمده است. همچنین در شکل ۶ خروجی پارامتر R نواحی مذکور ارائه شده است.



(الف)

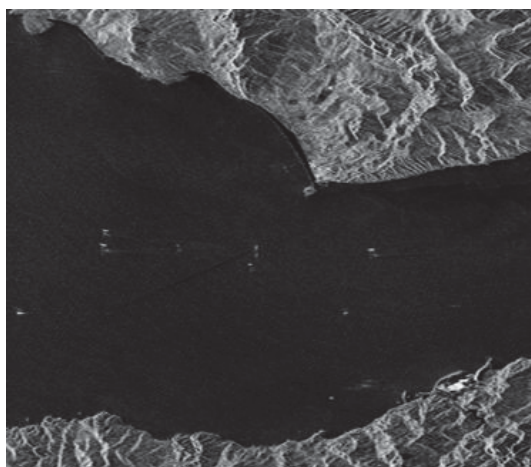


(ب)

شکل ۴. تصویر خاکستری بازه^۱ الف) تصویر مربوط به خلیج کبک ب) تصویر مربوط به تنگه جبل الطارق



(الف)



(ب)

شکل ۵. خروجی پارامتر C_{23} الف) خلیج کبک کانادا ب) تنگه جبل الطارق

خروجی معیار آشکارسازی C_{23} مرجع [۱۹] حاصل محاسبه قدرمطلق متوسط گروهی همبستگی بین دو کانال Shh و Shv است. خروجی معیار C_{23} بر این اساس استوار است که بازگشتی‌های اهداف موجود در صحنه پدیده‌های قطعی هستند ولی سطح بازگشتی‌های سطح دریا مقداری تصادفی است. پس میزان همبستگی بین دو کانال در حالتی که شرایط تقارن برقرار باشد مقداری برابر صفر دارد. ولی مقادیر این دو کانال در یک زمان اخذ شده‌اند یعنی با یک ارسال مقادیر این کانال‌ها استخراج می‌شود. لذا احتمال دارد همبستگی بین این دو کانال مقدار قابل توجی داشته باشد. حتی در حالتی که صحنه ما حالت تصادفی دارد مانند سطح دریا. از طرفی مقداری انحراف در انطباق بین

¹ span

از طرفی حفظ وضوح تصویر امری حیاتی می‌باشد زیرا برای استخراج اهداف کوچک لازم است. لذا برای محاسبه میانگین فضایی بر اساس پیشنهادات مرجع [۲۴] برای به حداقل رساندن کاهش اجتناب ناپذیر وضوح تصاویر و توانایی استخراج اهداف کوچک از یک پنجره متحرک 3×3 پیکسل استفاده گردید. در نهایت برای تبعیض اهداف از هشدارهای اشتباه از تکنیک CFAR مرجع [۵] با نرخ 10^{-3} استفاده شده است.

$$T = -\alpha \ln P_{fa} \quad (۱۲)$$

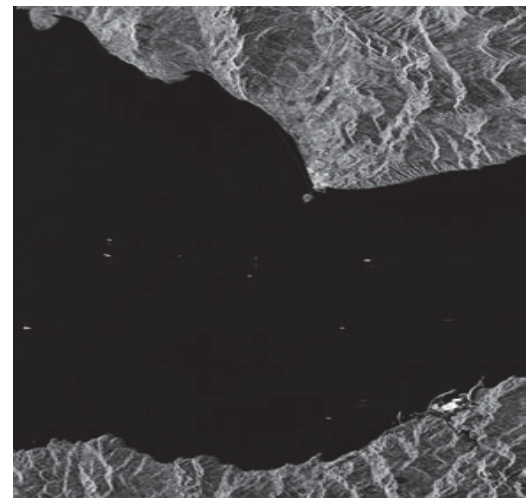
در اینجا t مقدار آستانه و ضریب α با واریانس در ارتباط است. ضریب آلفا به‌طور مفصل در مرجع [۸] شرح داده شده است. پس از اعمال CFAR اهداف به وضوح استخراج شده و در شکل ۷ با دایره قرمز مشخص شده‌اند.



(الف)



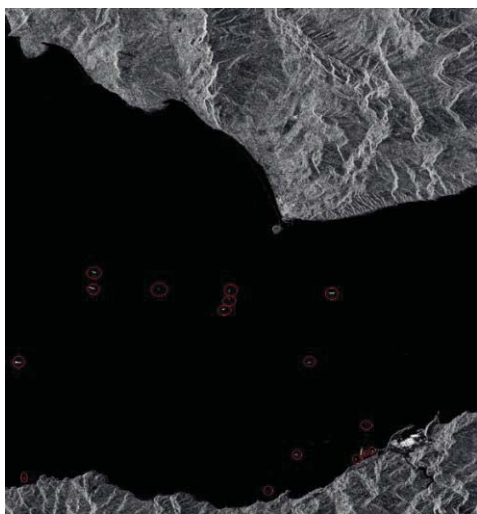
(الف)



(ب)

شکل ۶. خروجی پارامتر R (الف) خلیج کبک کانادا (ب) تنگه جبل الطارق

با مقایسه این خروجی‌ها مشاهده می‌شود که معیار جدید T_{23} به‌صورت موثرتری کلاترها و عوامل مزاحم را حذف کرده است. این موضوع به این دلیل است که کلاترها و عوامل مزاحم در خروجی معیار T_{23} به‌صورت موثرتری حذف یا تضعیف شده‌اند. لذا در ادامه با اعمال یک آستانه آشکارسازی یا CFAR به‌راحتی از کلاترهای اطراف خود تفکیک می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که در خروجی حاصل از معیار T_{23} میزان هشدارهای کاذب به‌شدت کاهش یابد. به خصوص در صحنه‌هایی با چالش‌های بیشتر مانند داده مربوط به تنگه جبل الطارق توانایی معیار T_{23} در حذف کلاترها و عوامل و پدیده‌های مزاحم حاضر در صحنه تصویربرداری بیشتر مشهود است. البته این مقایسه یک مقایسه کیفی می‌باشد که در ادامه برای مقایسه بهتر از معیارهای کمی نیز استفاده می‌شود.

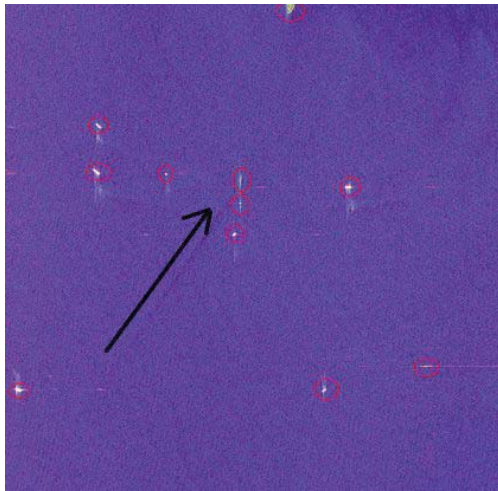


(ب)

شکل ۷. خروجی پارامتر R، استخراج اهداف از کلاترهای طبیعی و عوامل مزاحم به خوبی دیده می‌شود. (الف) خلیج کبک (ب) تنگه جبل الطارق

سطح پیکسل‌هایشان در حد پیکسل‌های هدف یا حتی در مواردی بالاتر است. بنابر این ایجاد هشدارهای کاذب اجتناب ناپذیر است. در مقابل در معیار آشکارسازی T_{23} که نتیجه این مطالعه است، این ناآرامی‌ها به شکل مطلوبی ضعیف می‌شوند. لذا می‌توان با استفاده از روش آستانه آشکارسازی یا CFAR این عوامل را به‌طور بسیار موثر و حتی در اغلب موارد به‌طور کامل حذف نمود. در ادامه تصاویر مناطقی از صحنه‌های معرفی شده در بخش‌های قبل برای درک بهتر موضوع مورد بحث ارائه می‌شوند.

برای نمونه در شکل ۸ ناحیه برش خورده تنگه جبل‌الطارق است که فقط شامل اهداف و سطح دریا است نمایش داده شده است. در این تصویر اهداف به وضوح به‌صورت بصری دیده می‌شوند. در قسمت پایین سمت راست مجموعه نقاط روشن کشیده دیده می‌شود که حاصل ابهام سمت است. بقیه نقاط مشخص شده اهداف ما می‌باشند. دنباله یکی از کشتی‌ها در تصویر در امتداد پیکان قابل مشاهده است، که این خود یکی از ردپاهای اهداف با سرعت بالا است.



شکل ۸. تصویر رنگی پائولی ناحیه برش خورده از تنگه جبل‌الطارق

در شکل (۹- الف) خروجی حاصل از پارامتر آشکارسازی C_{23} نشان داده شده است. مشاهده می‌شود کلاترها که همان نا آرامی‌های سطح دریا می‌باشند، خوب تضعیف نشده و هنوز به‌خوبی قابل تشخیص هستند. در شکل (۹- ب) تصویر حاصل پس از اعمال CFAR نمایش داده می‌شود، به وضوح دیده می‌شود که C_{23} قادر نیست کلاترهای موجود در تصویر را کاملاً حذف نماید و وجود هشدارهای کاذب بسیاری در تصویر خروجی دیده می‌شود.

۳-۱. مقایسه معیار آشکارسازی C_{23} با معیار T_{23}

در این قسمت مقایسه‌ای بین معیار آشکارسازی C_{23} و معیار آشکارسازی T_{23} ارائه دهیم. برای این منظور مناطق ارائه شده با معیارهای نرخ سیگنال به نویز و کلاتر و نرخ ماکزیمم توان ممکن سیگنال به نویز مقایسه شده‌اند. در این مبحث فرض بر این است که هر پیکسلی که به‌وسیله آستانه حذف می‌گردد، یا کلاتر است یا نویز و هر پیکسلی که باقی می‌ماند سیگنال ما محسوب می‌شود. نرخ سیگنال به نویز از رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$SCNR = \frac{\sum P_S}{\sum P_{N+C}} \quad (12)$$

که این پیکسل‌ها یا مجموعه نویز بوده‌اند که در صحنه بوده‌اند یا پیکسل‌های مربوط به کلاترها بوده‌اند. در مواردی ناحیه‌های خشکی نیز در صحنه حضور دارند و به‌علت ساختار تصویر نمی‌توان به از صحنه مورد مطالعه حذف کرد، می‌کنند.

معیار مقایسه بعدی معیار معروف $PSNR^1$ است که از لگاریتم میانگین مربع خطاها به‌دست می‌آید. که روابط آن به‌صورت زیر می‌باشد:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (13)$$

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (14)$$

حاصل بعد از اعمال آستانه و I پیکسل‌های تصویر حاصل از خروجی پارامتر آشکارسازی است. همچنین m و n تعداد سطر و ستون‌های ماتریس تصویر است.

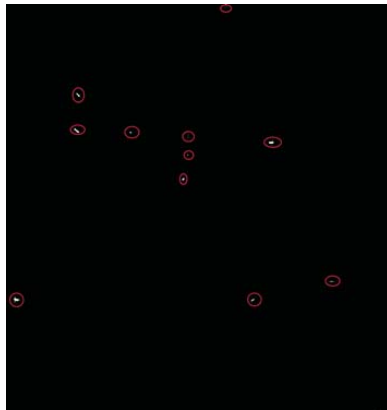
این معیارها در اینجا به این معنی است که تا چه اندازه‌ای از پیکسل‌ها مربوط به عوامل کلاتر و نویز ما بوده‌اند و در آستانه‌گیری آشکارسازی حذف شده‌اند. یعنی هرچه میزان این معیار بالا باشد به این معنی است که میزان بیشتری از ناهنجاری‌ها و عوامل مزاحم تصویر ما حذف شده‌است. اگر بخواهیم دقیق‌تر بیان کنیم باید به این نکته اشاره کنیم که میزان آستانه را تا حد مشخصی برای حذف عوامل مزاحم می‌توان بالا برد. این محدودیت به این دلیل است که برای مقادیر بیشتر از این میزان تعدادی از اهداف نیز حذف خواهند شد که این رویه هدف ما نیست. در بخش‌های پیشین نیز مشاهده کردید که نا آرامی‌های سطح دریا در معیار آشکارسازی C_{23} در مقایسه با معیار T_{23} دیگر بسیار بالاتر است، به‌طوری که در مواردی این عوامل هشدارهای کاذب به‌هیچ وجه قابل حذف نمی‌باشند. زیرا

¹ Peak signal-to-noise ratio

سیگنال در معیارهای جدید نسبت به توان کلاترهای اطراف بالاتر می‌باشد و سطح کلاترها در این دو معیار بسیار پایین‌تر از معیار C_{23} است.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. خروجی معیارهای آشکار سازی T_{23} ، (الف) قبل از اعمال CFAR ، (ب) بعد از اعمال CFAR

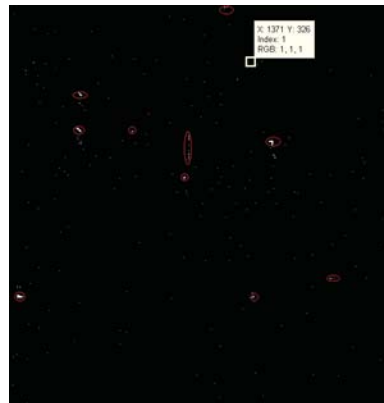
همان‌طور که در خروجی این تصاویر هم مشاهده می‌شود، کلاترها و نویزهای موجود در تصویر به خوبی حذف می‌گردند. همچنین در ادامه برای مقایسه راحت‌تر نمودار مقایسه‌ای بر اساس معیارهای PSNR و SCNR به صورت جداگانه برای نواحی مورد بحث ارائه شده است تا تحلیل دقیق‌تر از نتایج به دست آمده حاصل شود. در جدول ۱ نیز اختلاف بین معیار T_{23} و C_{23} به وضوح دیده می‌شود.

جدول ۱. مقایسه بین معیارهای آشکار سازی C_{23} و T_{23} بر اساس PSNR و SCNR

		جبل الطارق	کبک
C_{23}	SCNR	۰/۰۰۷۴	۰/۳۶۳۴
	PSNR	۱۶/۰۵۴۷	۱۱/۳۷۲
T_{23}	SCNR	۰/۰۱۰۴	۱/۴۹۳۹
	PSNR	۲۷/۲۹۹۱	۱۴/۷۲



(الف)



(ب)

شکل ۹. خروجی معیار آشکار سازی C_{23} ، (الف) قبل اعمال آستانه، (ب) تصویر حاصل بعد از آستانه‌گیری

همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، عوامل مزاحم یا همان کلاترهای ما در اینجا کامل حذف نشده‌اند و تعداد هشدارهای کاذب خیلی زیاد است. این تصویر مستقیم از متلب اخذ شده و کادر موجود در بالا، سمت راست صفحه نشان می‌دهد که ارزش این پیکسل‌ها در این تصویر نرمالایز شده^۱ می‌باشد، یعنی حداکثر مقدار ممکن و هم سطح با بالاترین مقدار پیکسل‌های هدف، بنابر این در اینجا نمی‌توان این هشدارهای کاذب را حذف کرد. حال در ادامه تصاویر حاصل از خروجی T_{23} در شکل ۱۰ نمایش داده می‌شوند. مشاهده می‌شود که تمام عوامل مزاحم و کلاترها به شدت تضعیف شده‌اند و بعد آستانه‌گیری به خوبی اهداف و کلاترها از هم جدا می‌شوند و هشدار کاذبی رخ نمی‌دهد.

تا اینجا مشاهده شد که نتایج شبیه‌سازی حاصل از معیار آشکار سازی T_{23} نسبت به C_{23} توانایی بالاتری در استخراج اهداف دارند و احتمال رخ دادن هشدارهای کاذب نسبت به معیار C_{23} بسیار کمتر است. در ادامه معیارهای آشکار سازی T_{23} و C_{23} را بر اساس معیارهای PSNR و SCNR مقایسه می‌کنیم. مقایسه عددی نیز توانایی معیار جدید را نسبت به معیار C_{23} به خوبی نشان می‌دهد. میزان SCNR بالا نشان می‌دهد که میزان توان

^۱ Normalized



(الف)



(ب)

شکل ۱۲. تصاویر گوگل ارث مناطق مشخص شده در شکل (۸-الف) شماره ۱ (ب) شکل ۲



(الف)



(ب)

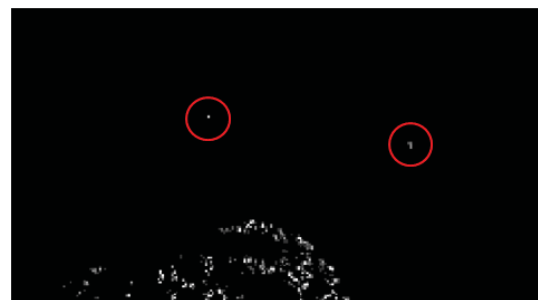
شکل ۱۳. تصاویر مربوط به نفتکش‌های در حال بارگیری از اسکله نفتی بندر کبک، الف) تصویر رادار SAR ب) تصویر گوگل ارث

۳-۱. مقایسه اهداف استخراجی با تصاویر گوگل ارث

حجم و کیفیت تصاویر بالا بوده ولی برای گنجاندن در متن مقاله کوچک شده‌اند. لذا بعضی از اهداف به خوبی قابل رویت نمی‌باشند. برای مشاهده بهتر این اهداف در شکل ۱۱ دو ناحیه بزرگ‌نمایی شده از شکل ۷ و در شکل ۱۲ تصویر حاصل از گوگل ارث نمایش داده شده‌است. تصویر گوگل ارث به‌عنوان صحت‌زیمینی‌نشان می‌دهد که اهداف استخراج شده در شکل ۷ به‌درستی شناسایی و استخراج شده‌اند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. نواحی بزرگ‌نمایی شده از شکل ۶، الف) شماره ۱ (ب) شماره ۲ مناطق نشان داده شده در شکل ۱۲ مربوط به اهداف ثابت در ناحیه خلیج کبک می‌باشد که در تصویر حاصل از گوگل ارث مشاهده می‌شوند. از تصاویر گوگل ارث مشهود است که اندازه این اهداف کوچک می‌باشد، استخراج این اهداف به نسبت کوچک نشان از دقت و کارآمدی مدل ارائه شده دارد لذا با اطمینان خاطر می‌توان گفت برای اهداف بزرگ‌تر آشکارسازی قطعی است. اهداف بزرگی‌تری نیز در تصویر مشاهده می‌شود، این اهداف به نفتکش‌های حاضر در منطقه مربوط می‌شوند. بندر کبک یک بندر نفتی می‌باشد و تردد نفتکش‌ها امری عادی است، شکل (۱۳-ب) تصویر نفت‌کشی را نشان می‌دهد که از اسکله‌ای واقع در بندر کبک در حال بارگیری است، در تصویر (الف) نیز وجود یک هدف بزرگ در تصویر حاصل از رادار SAR در کنار این اسکله مشهود است.

همان‌طور که در شکل (۱۱-الف) مشهود است هدف بزرگی در وسط تصویر دیده می‌شود، این اهداف بزرگ مربوط به نفتکش‌هایی هستند که در این بندر نفتی تردد می‌کنند. به‌عنوان مثال شکل ۱۵ بر اساس اطلاعات AIS مربوط به کشتی نوبل هاوک^۳ کشور پاناما است که در این بندر در حال تبادل محموله نفتی بوده است. این چنین اهداف بزرگی به‌صورت مجموعه نقاط روشن بزرگی در تصاویر SAR مشاهده می‌شوند.



شکل ۱۵. تصویر نفتکش نوبل هاوک موجود در AIS

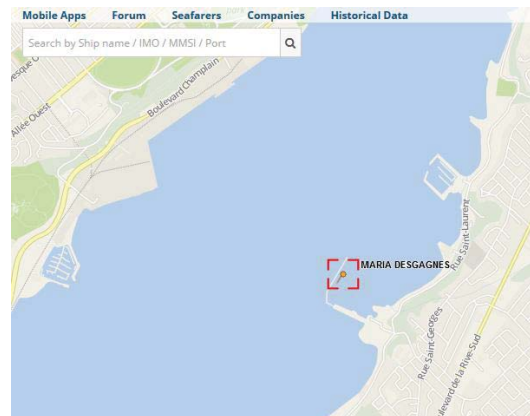
تمامی اطلاعات سامانه AIS که در متن مقاله ارائه شده، از مرجع [۲۵] دریافت شده است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله از قدرمطلق جمله T_{23} در ماتریس کوهرنسی برای آشکارسازی اهداف فاقد تقارن انعکاسی استفاده شده است. این مدل الکترومغناطیسی به‌منظور شناسایی و استخراج اهداف ساخت بشر در دریا ارائه شده است که یک فیلتر موثر برای استخراج این اهداف ایجاد کرده است. آزمایشات بر روی دسته گسترده‌ای از داده‌های باند L و C سامانه RADARSAT-2 و ALOS-PALSAR بر روی مناطق مختلف مانند خلیج سانفرانسیسکو، بندر هیروشیما، بندر ونکوور و ... انجام گرفته و نتایج نشان‌دهنده منطقی و موثر بودن روش پیشنهادی دارد. باید اشاره کرد که معیار آشکارسازی پیشنهادی در این مقاله با معیار آشکارسازی C_{23} که در مقالات اخیر ارائه گردیده مورد مقایسه بصری و کمی بر اساس معیارهای PSNR و SCNR قرار گرفته که هم مقایسه بصری و هم مقایسه کمی نشان‌دهنده برتری روش ارائه شده در این مقاله می‌باشد. در مقایسه کمی به‌عنوان نمونه مشاهده می‌شود مقدار SCNR در تنگه جبل الطارق از ۰/۰۷۴/۰ در معیار C_{23} به ۰/۱۰۴/۰ در معیار T_{23} و مقدار PSNR از ۱۶/۰۵۴۷ در معیار C_{23} به ۲۷/۲۹۹۱ در معیار T_{23} افزایش یافته یافته‌اند. همچنین نتایج آشکارسازی در مورد اهداف ثابت توسط تصاویر گوگل ارث ارزیابی شده و در مورد اهداف متحرک از

تصاویر ارائه شده در شکل ۱۳ در یک زمان واحد تهیه نشده‌اند ولی ادعای حضور نفتکش‌ها را که در تصاویر SAR به‌صورت اهداف بزرگی دیده می‌شوند به اثبات می‌رسانند. اهداف موجود در تنگه جبل الطارق اهداف متحرک بوده و صحت استخراج آن‌ها در این مرحله به‌صورت بصری با استفاده از تصویر رنگی پائولی RGB و تصویر خاکستری حاصل شده از داده راداری ارزیابی شده است.

در شکل ۱۴ که از سیستم^۱ AIS به‌دست آمده تانکر نفت در حال بارگیری از اسکله نفتی مشهود می‌باشد. این کشتی که ماریا دسگانس^۲ نام دارد یک تانکر حمل محصولات شیمیایی و نفتی متعلق به کشور کانادا است. سیستم‌های AIS سامانه‌هایی هستند که کشتی‌ها را قادر می‌سازند تا با پایگاه‌های ساحلی و دیگر کشتی‌ها در ارتباط بوده و موقعیت، سرعت جهت حرکت و همچنین مبدأ و مقصد خود را گزارش دهند. سامانه AIS موقعیت و اطلاعات کشتی‌ها را ذخیره کرده و می‌تواند به‌عنوان پایگاهی برای سنجش حضور یا عدم حضور کشتی‌ها در صحنه به‌کار روند.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴. اطلاعات و تصویر به‌دست‌آمده از سامانه AIS (الف) نقشه مربوط به نمایش ترافیک سامانه AIS (ب) تصویر موجود از کشتی مشخص شده در سامانه AIS

¹ Automatic Identification Systems

² Maria Desgagnes

³ Noble Hawk

- [12] G. Ferrara, M. Migliaccio, F. Nunziata, and A. Sorrentino, "GK-based observation of metallic targets at sea in full-resolution SAR data: A multi-polarization study," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 36, no. 2, pp. 195-204, Apr. 2011.
- [13] M. Migliaccio, F. Nunziata, A. Montuori, X. Li, and W. Pichel, "A multi-frequency polarimetric SAR processing chain to observe oil fields in the Gulf of Mexico," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 49, no. 12, pp. 4729-4737, Dec. 2011.
- [14] F. Nunziata, M. Migliaccio, and C. E. Brown, "Reflection symmetry for polarimetric observation of man-made metallic targets at sea," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 37, no. 3, pp. 384-394, Jul. 2012.
- [15] Y. Yamaguchi, Y. Yajima, and H. Yamada, "A four-component decomposition of POLSAR images based on the coherency matrix," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 3, no. 3, pp. 292-296, Jul. 2006.
- [16] K. Sarabandi and M. Park, "A statistical theory of power line detection in polarimetric MMW SAR images," in *Proc. IEEE Antennas Propagate. Soc. Int. Symp.* vol. 4, pp. 2150-2153, Jul. 2000.
- [17] T. Moriyama, S. Uratsuka, T. Umehara, M. Satake, and Y. Yamaguchi, "A study on extraction of urban areas from polarimetric synthetic aperture radar image," *Proc. IEEE IGARSS*, pp. 703-706, Sep. 2004.
- [18] J. D. Crisp and T. Keevers, "Comparison of ship detectors for polarimetric SAR imagery," *Proc. IEEE CROWN*, pp. 105-113, 2010.
- [19] A. Moreira, P. P. Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on Synthetic Aperture Radar," Germany, Microwaves and Radar Institute of the German Aerospace Center (DLR), Apr. 2013.
- [20] L. J. Sen and E. Pottier, "Polarimetric Radar imaging from basics to applications," CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742, 2009.
- [21] J. S. Lee, D. L. Schuler, T. L. Ainsworth, E. Krogager, D. Kasilingam, and W.-M. Boerner, "On the estimation of radar polarization orientation shifts induced by terrain slopes," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, no. 1, pp. 30-41, Jan. 2002.
- [22] R. S. Cloude, I. Hajnsek, and P. K. Papathanassiou, "An eigenvector method for the extraction of surface parameters in polarimetric SAR," *Proceedings of the CEOS SAR Workshop*, Toulouse, 26-29 October 1999.
- [23] Y. Yamaguchi, Y. Yajima, and H. Yamada, "A four-component decomposition of POLSAR images based on the coherency matrix," *IEEE Geosci. Remote Sens. Letter*, vol. 3, no. 3, pp. 292-296, Jul. 2006.
- [24] D. Velotto, F. Nunziata, M. Migliaccio, and S. Lehner, "Dual-Polarimetric Terra SAR-X SAR Data for Target at Sea Observation," *IEEE Geosci. Remote Sens. Letter*, vol. 10, no. 5, pp. 114-118, Sept 2013.
- [25] Vessel Finder, AIS vessel tracking web site, <http://www.vesselfinder.com/>

اطلاعات در دسترس سامانه AIS استفاده شده و در مواردی عدم دسترسی از بازرسی بصری استفاده شده است. برای اعتبار سنجی دقیق تر می توان از داده های سامانه های شناسایی و راهوری کشتی یعنی AIS بهره برد که برای این منظور نیاز به خرید اطلاعات از این سامانه ها می باشد، ولی متأسفانه فعلاً دسترسی گسترده به این منابع در ایران مقدور نمی باشد اعتبارسنجی بیشتر زمینی با استفاده از تکنیک های GIS و RS در آینده انجام خواهند شد. علاوه بر آن به منظور بهبود استحکام روش پیشنهادی، صحت سنجی زمینی نیاز به توسعه بیشتر در آینده دارد.

۶. مراجع

- [1] C. Oliver and S. Quegan, "Understanding Synthetic Aperture Radar Images," Herndon, VA: Sci. Tech. Publishing, 2004.
- [2] I. G. Cumming and F. H. Wong, "Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation," Norwood, MA: Artech House, 2005.
- [3] C. Elachi and Zyl. J. van, "Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing," New York, Wiley, 2006.
- [4] M. Migliaccio, F. Nunziata, A. Montuori and R. L. Paes, "Single look complex COSMO-SkyMed SAR data to observe metallic targets at sea," *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observe. Remote Sens.*, vol. 5, no. 3, pp. 893-901, Jun 2012.
- [5] A. Gambardella, F. Nunziata, and M. Migliaccio, "A physical full resolution SAR ship detection filter," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 760-763, Oct. 2008.
- [6] M. Guerriero, P. Willett, S. Coraluppi, and C. Carthel, "Radar/AIS data fusion and SAR tasking for maritime surveillance," in *Proc. IEEE Inf. Fusion Conf.*, Cologne, Germany, pp. 1-5, 2008.
- [7] F. Nunziata, M. Migliaccio, and C. E. Brown, "Reflection symmetry for polarimetric observation of man-made metallic targets at sea," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 37, no. 3, pp. 384-394, Jul 2012.
- [8] L. M. Novak and M. C. Burl, "Studies of target detection algorithms that use polarimetric radar data," *IEEE Trans. Aerospace Electron. Syst.*, vol. 25, no. 2, pp. 150-165, Mar 1989.
- [9] J. Chen, Y. Chen, and J. Yang, "Ship detection using polarization cross-entropy," *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 6, no. 4, pp. 723-727, Oct. 2009.
- [10] A. Marino, S. R. Cloude, and H. A. Iain, "Polarimetric target detector using the Huynen fork," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 48, no. 5, pp. 2357-2366, May 2010.
- [11] A. Marino, N. Walker, and I. Woodhouse, "Ship detection with Radar SAT-2 quad-pol SAR data using a notch filter based on perturbation analysis," in *Proc. IEEE IGARSS*, Honolulu, HI, pp. 3704-3707, Jul. 2010.

Sea Target Detection in Polarimetric Synthetic Aperture Radar Images

H. Garoosi, B. Zakeri^{*}, S. M. Hosseini Andargoli

Babol Noshirvani University of Technology

(Received: 25/08/2014, Accepted: 04/05/2015)

Abstract

Study on PolSAR target detection essentially requires the scattering information and polarimetric statistical data. Theoretical analysis shows that some terms of the second order scattering matrices such as coherence and covariance matrix clearly show the differences between nonsymmetrical man-made objects and natural clatters which being reflection symmetric. Using the model derived from these terms the automatic target detection and extraction with a constant false alarm rate established. In this model, various capacity of man-made and sea targets in symmetrical reflection studied and polarimetric SAR data acquired in L- and C-band have been used to test the proposed methodology showing to be an effective and efficient method to observe metallic targets at homogeneous and non-homogeneous areas of sea, such as detection of ships, oil rigs, building and other structures.

Keywords

Polarimetric Radars, reflection symmetry, target detection.

* Corresponding author E-mail: zakeri@nit.ac.ir