

حذف ناحیه کور در تصاویر سونار و دسته‌بندی اهداف با کمک ویژگی‌های ساختاری شکل

مرتضی محمودآبادی^۱، مهدی نصری^۲

nasri_me@iaukhsh.ac.ir

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی

۲- استادیار، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

نقش دریاها و در کنار آن خطرات انسانی موجود در اعماق آن‌ها باعث شد که هشداردهنده‌ها و آشکارسازهای بستر دریا از جمله سونار مورد توجه محققین قرار گرفته و به‌عنوان یکی از زمینه‌های مهم تحقیقاتی مطرح شوند. در این مقاله، روشی جدید برای پردازش تصاویر سونار و حذف ناحیه کور در تصاویر سونار اسکن جانبی معرفی شد. در روش پیشنهادی، با استفاده از الگوریتم تجانس فاز و ویژگی‌های ساختاری شکل، ناحیه کور حذف و تشخیص اهداف در تصاویر بهبودیافته است. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، تصاویر واقعی بستر اسکله شهید حقانی بندرعباس مورد استفاده قرار گرفت، نتایج حاکی از تشخیص بهتر اهداف و بهبود ۴/۴ درصدی معیار حساسیت، ۴ درصدی معیار نرخ نمایش اهداف، ۷۵/۶ درصدی معیار نرخ نمایش غیر اهداف و ۵/۸ ثانیه‌ای مدت‌زمان اجرای الگوریتم نسبت به الگوریتم کلاسیک گرادیان شیب است.

واژگان کلیدی: پردازش تصویر، سونار اسکن جانبی، ناحیه کور، تجانس فاز، گرادیان شیب.

تاریخ دریافت مقاله : ۹۵/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله : ۹۶/۰۴/۱۳

۱- مقدمه

سهام عمده‌ی دریاها و اقیانوس‌ها در فعالیت‌های تجاری، تفریحی، تحقیقاتی و نظامی و خطرات انسانی موجود در اعماق دریاها، سبب شده است که هشداردهنده‌ها و آشکارکننده‌های بستر دریا به‌عنوان یکی از زمینه‌های مهم تحقیقاتی، مطرح شوند [۱]. سونار^۱ از اولین تجهیزاتی است که برای دریافت سیگنال‌های صوتی در دریا استفاده شده است [۲]. به‌طور کلی سونار، به معنی ناوبری و تشخیص فاصله با صوت است [۳]. محیط زیرآب، محیطی مات و غیرقابل کاوش برای اکثر طیف‌های الکترومغناطیسی محسوب می‌شود، با این وجود امواج صوتی در زیرآب به خوبی عمل می‌کنند [۴]. کشتی‌ها، ناوها و زیردریایی‌ها برای برقراری ارتباط و شناسایی محیط اطراف خود نیازمند سامانه‌های سوناری هستند [۵].

هر سامانه سوناری، شامل مجموعه‌ای از بخش‌های مختلف است که انرژی الکتریکی را به امواج فراصوت تبدیل می‌کند. سامانه‌های سوناری به‌طور کلی در دودسته، سونارهای فعال^۲ و غیرفعال^۳ قرار می‌گیرند [۶]. سونار فعال، به علت توانایی ایجاد تصاویر سه‌بعدی با وضوح بالا از محیط اطراف، در بسیاری از عملیات‌های زیرآب استفاده می‌شود. انواع سونار فعال عبارت‌اند از: سونار منعکس‌کننده عمق، سونار جلونگر، سونار قابل هدایت کوچک، سونار دهانه ترکیبی و سونار اسکن جانبی^۴ [۲]. از میان سونارهای فعال، سونار اسکن جانبی به علت توانایی تولید تصاویر سه‌بعدی با وضوح بالا از اهمیت زیادی برخوردار است [۴].

از آنجاکه ایجاد امنیت در مرزهای آبی بسیار دشوارتر از مرزهای خشکی است [۷]، بهبود تشخیص اهداف و دسته‌بندی آن‌ها در تصاویر سونار اهمیت زیادی دارد. در این راستا، تحقیقات زیادی بر روی روش‌های کاهش اختلال و افزایش قدرت تشخیص اهداف در تصاویر سونار انجام شده است [۸-۱۱]. در مقاله [۸]، برای ردیابی زنجیر^۵ زیرآب از سونار به‌عنوان یک حس‌گر^۶ در شرایط محدودکننده و تیره محیط زیرآب استفاده شده است. برای پیاده‌سازی الگوریتم، دو سناریو عملیاتی افقی (با خواباندن زنجیر روی بستر دریا)

و عمودی (زنجیر معلق در آب) پیشنهاد شد. در این تحقیق برنامه تطبیقی و استراتژی‌های کنترلی برای یافتن پایگاه داده قوی ارائه شد تا تشخیص، ردیابی و ترسیم زنجیر زیرآب بهبود یابد. از محاسن این روش می‌توان به وضوح بالای اهداف تشخیص داده‌شده اشاره کرد. اما حجم بالای محاسبات و سرعت پایین تشخیص اهداف را می‌توان عیب این روش دانست. محققین در مقاله [۹]، روشی نوین برای بهبود دقت قطعه‌بندی^۷ در تصویر سونار ارائه دادند. در ابتدای کار، مشخصات و برجسب میدان از روش مدل میدان تصادفی مارکوف^۸ استخراج و در قدم بعدی بر اساس قطعه‌بندی اولیه تصویر با الگوریتم ICM، منطقه رشد تصویر به‌دست آمد و اثرات قطعه‌بندی ناشی از روش میدان تصادفی مارکوف بر روی تصویر قطعه‌بندی شده کاهش یافت. این مسئله را می‌توان یکی از نقاط قوت الگوریتم آقای وو در قطعه‌بندی تصاویر سونار در نظر گرفت. از دیگر محاسن این روش استفاده از عدم تجانس پیکسل‌های همسایگی در بین اطلاعات مرتبط و لبه پیکسل‌های تصویر با استفاده از روش مدل مارکوف در جهت بهبود نتایج قطعه‌بندی تصویر است. اما در این پژوهش از خصوصیات گوشه‌های اهداف در تصاویر سونار صرف نظر شده است. در مرجع [۱۰]، روشی نوین برای تشخیص اهداف در زیرآب با کمک الگوریتم آمیختگی^۹ حداکثر امید ریاضی^{۱۰} در تصویر اصلی ارائه شده است. آقای کومار در این مطالعه، دو الگوریتم ارائه کرد، در اولین قدم الگوریتم تصاویر سونار با یک تصویر واحد به‌نام تصویر آمیختگی ترکیب شد و در دومین قدم الگوریتم حداکثر امید ریاضی برای محاسبه PSNR به‌کار رفت. این مقاله روشی کاربردی برای بحث ناوبری و هدایت ROV‌ها زیرآب ارائه کرد ولی لبه‌های تصاویر را از بین خواهد برد. در مقاله [۱۱]، محققین از تصاویر سونار اسکن جانبی برای استخراج مین‌های زیرآب بهره برده‌اند. در این پژوهش استفاده از آنالیز مؤلفه برجسته^{۱۱} (ADCA) در قطعه‌بندی و کشف اهداف در تصاویر سونار استفاده شد. در بازشناسی مین‌ها از برجستگی^{۱۲} اشیاء در تصویر سونار بهره گرفته شده است. بر اساس بافت و تعداد مؤلفه‌های تصویر،

⁷ Segmentation

⁸ Markov Random Field

⁹ Fusion Algorithm

¹⁰ Expectation

¹¹ Amplitude Dominant Component Analysis

¹² Saliency

¹ SONAR

² Active SONAR

³ Passive SONAR

⁴ Side Scan SONAR

⁵ Chain

⁶ Sensor

۲- روش تجانس فاز و پارامترهای ساختاری اهداف

تجانس فاز [۱۲] اندازه‌گیری ویژگی‌های خاص تصویر و یک روش تشخیص لبه است که به تغییرات نور و کنتراست در تصویر حساس است. این روش رفتار تصویر در دامنه فرکانس را نشان می‌دهد، درحالی‌که ویژگی‌های شبه لبه بسیاری از مؤلفه‌های فرکانسی را در فاز داراست [۱۳]. مرجع [۱۲]، تجانس فاز را برای اولین بار در استخراج ویژگی‌های گوناگون در قسمت‌های مختلف یک تصویر بکار برد. روش تجانس فاز می‌تواند خصوصیات خطوط لبه‌ها و گوشه‌های موجود در تصویر را آشکار کند. از این روش در تصاویر زیست‌سنجی [۱۴] به منظور شناسایی افراد از روی الگوی قرنی چشم استفاده شده است.

بازیابی بر اساس شکل، شهودی‌ترین نوع بازیابی است و شکل را برای کاربردهای پردازش تصویر مناسب ساخته است. شکل می‌تواند در برابر انتقال، دوران و تغییر مقیاس شاکله اصلی خود را حفظ نماید. ویژگی‌های شکل بر اساس چگونگی استخراج به دودسته تقسیم می‌شوند: ویژگی‌های بر پایه لبه‌ها و ویژگی‌های بر پایه نواحی. برخی از ویژگی‌های ساده هندسی را می‌توان برای توصیف اشکال استفاده کرد. معمولاً ویژگی‌های ساده هندسی می‌توانند تنها اشکالی با تفاوت‌های زیاد را متمایز کنند. بنابراین، به‌عنوان فیلتر برای از بین بردن خطا با حفظ ویژگی‌های دیگر اشکال استفاده یا با آن‌ها ترکیب می‌شوند. شکل را می‌توان با کمک ویژگی‌های مختلفی تشریح کرد، خصوصیات اندازه می‌تواند یکی از مشخصه‌های ظاهری زیرمجموعه شکل باشد. این دسته از ویژگی‌ها، مربوط به اندازه قسمت‌های مختلف پیکسل می‌باشند که مساحت و محیط اشیاء از آن جمله‌اند [۱۵]. در این صورت تعداد واقعی پیکسل در منطقه موردعلاقه^۵ (ROI)، مشخصه مساحت را تشکیل می‌دهد. به عبارتی می‌توان گفت تعداد پیکسل در داخل مرزهای شکل را بیان می‌کند. هم‌چنین محیط نیز می‌تواند به‌صورت تعداد پیکسل‌ها در مرز شیء قطع‌بندی شده تعریف شود [۱۶]. اما با این‌وجود ویژگی‌های فیزیکی بسیار نزدیک اهداف، کلاترها و تفکیک این دو از موضوعات چالش‌برانگیز برای محققان حوزه صوت است [۱۷].

مجموعه فیلتر میان‌گذر برای تجزیه تصویر درون مؤلفه‌های باند باریک استفاده می‌شوند. برای محلی‌سازی‌های فضایی و طیفی مجموعه فیلتر گابور^۱ موفق بوده است. مطالعه روی داده‌های واقعی توانایی قطع‌بندی تصاویر با وضوح بالا به کمک الگوریتم را اثبات کرد اما نتایج محاسبات نشان داد که به خصوصیات گوشه‌ها و لبه‌ها در تصاویر توجهی نشده است. با جمع‌بندی مقالات می‌توان به این نتیجه رسید که، در اکثر مقالات به خصوصیات گوشه‌ها و لبه‌های موجود در تصاویر سونار اسکن جانبی که برای تشخیص اهداف، حذف نویز و اختلالات مفید می‌باشند و هم‌چنین پارامترهای ظاهری اهداف به‌منظور طبقه‌بندی اشیاء توجهی نشده است. به‌علاوه، در این روش‌ها از حذف ناحیه کور^۲ زیر شناور هیدرو گراف صرف‌نظر شده است که این امر باعث افزایش اختلال در تصاویر سونار، پیچیدگی و کاهش کیفیت طبقه‌بندی اهداف در تصاویر خواهد شد. اطلاعات موجود در ناحیه کور برای کاربر سونار مفید نمی‌باشند اما باعث اختلال در پردازش تصاویر سونار اسکن جانبی خواهند شد. با توجه به اهمیت خصوصیت لبه‌ها و گوشه‌ها در تصاویر سونار اسکن جانبی، در این مطالعه ناحیه کور در تصاویر با کمک روش تجانس فاز^۳ حذف‌شده و اختلالات ناشی از آن در تصویر برطرف خواهد شد. روش تجانس فاز [۱۲] خصوصیات خطوط لبه‌ها و گوشه‌های موجود در تصویر را آشکار کرده و به‌طور خاص نسبت به تغییرات نور و کنتراست در تصاویر حساس است. این روش برای حذف ناحیه کور استفاده می‌شود و باعث کاهش اختلالات موجود، افزایش سرعت و دقت در پردازش تصاویر سونار خواهد شد. پس‌از این مرحله، با استفاده از پارامترهای ساختاری، اهداف دسته‌بندی و نتایج با روش فیلترینگ گرادیان شیب مقایسه خواهند شد. روش زمانی میزان عبور از صفر^۴ نیز در محاسبات پژوهش بررسی شد.

بخش‌بندی ادامه مقاله به این صورت است، در بخش دوم روش تجانس فاز و ویژگی‌های ساختاری اهداف به‌طور کلی تشریح و در بخش سوم الگوریتم پیشنهادی بیان خواهد شد. هم‌چنین، نتایج و روش ارزیابی آن‌ها در بخش چهارم بررسی و در بخش پنجم نیز نتیجه‌گیری و بحث بیان است.

⁴ Zero Cross Rate (ZCR)

⁵ Region of Interest

¹ Gabor Filters

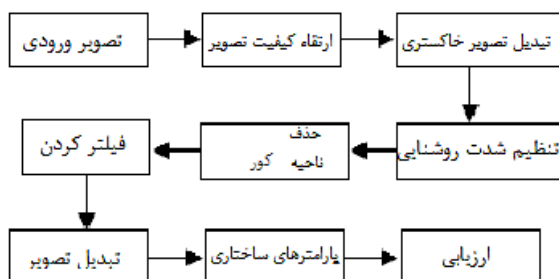
² Gap Region

³ Phase Congruency

تصاویر سونار اسکن جانبی سه بعدی هستند، بنابراین نیاز به یک نا همبستگی^۲ پیش از تبدیل به تصویر سطح خاکستری وجود دارد. این فرآیند تنظیم مقدار شدت روشنایی تصویر و برجسته نمودن عناصر تصویر را بر عهده دارد [۲۰]. با اجرای این روش بسیاری از نا همبستگی‌ها در تصویر سونار رنگی از بین رفته و مقدار شدت پیکسل‌ها تنظیم می‌شود. در مرحله دوم تصویر رنگی سونار به تصویر سطح خاکستری تبدیل می‌شود.

۳-۲- تنظیم مقدار شدت تصویر

در این بخش، از دو روش مکمل تصویر و تنظیم مقدار شدت در تصویر^۳ سطح خاکستری به منظور ارائه تصویر بهتری از سونار استفاده خواهد شد. الگوریتم مکمل تصویر برای محاسبه مکمل تصویر X به کار می‌رود. بنابراین مکمل تصویر X کلاس و اندازه یکسانی نسبت به آن تصویر دارد. در تصویر مکمل، صفرها و یک‌ها جابجا می‌شوند و در نتیجه رنگ‌های سفید و سیاه معکوس خواهند شد، در این حالت، در هر تصویر خروجی فضاهای تاریک، روشن‌تر خواهند شد و بالعکس [۲۱]. در تنظیم مقدار شدت نیز، مقادیر I را در مقادیر جدید I' تعریف می‌شوند. درحالی‌که مقدار گاما، شکل منحنی توزیع رابط بین مقادیر درون I و I' را مشخص می‌کند. اگر مقدار گاما کم‌تر از یک باشد، شکل جدید به سمت مقادیر روشن‌تر وزن دهی می‌شود. اگر گاما بیش‌تر از یک باشد، وزن دهی به سمت مقادیر تاریک‌تر خواهد بود [۲۰].



شکل (۲) نمایش بلوکی الگوریتم پیشنهادی مرحله پردازش و قطعه‌بندی تصاویر سونار اسکن جانبی.

این تحقیق، به منظور بهبود پردازش تصاویر سونار از روش تجانس فاز استفاده نموده است. این روش در تشخیص و قطعه‌بندی^۱ تصاویر پزشکی کاربرد دارد، اما با توجه به در نظر گرفته نشدن خصوصیات گوشه‌ها در تشخیص اهداف، روشی جدید در پردازش و قطعه‌بندی تصاویر سوناری به شمار می‌آید. روش تجانس فاز از فراوانی گوشه‌ها و لبه‌های موجود و کمک مشخصه‌های ساختاری شکل برای تشخیص و حذف اختلالات ناشی از ناحیه کور در تصاویر سونار اسکن جانبی استفاده کرده است. در این حالت حجم و زمان محاسبات به طور نسبی کاهش، دقت، وضوح و نرخ تشخیص اهداف در تصاویر افزایش خواهد یافت.

۳- الگوریتم پیشنهادی

به دلیل پیچیدگی محیط زیرآب، اهداف در تصاویر سوناری دارای اختلال و نویز هستند. این اختلالات یکسری از سلول‌های ماتریس تصویر را تشکیل می‌دهند [۱۸]. اهداف در تصاویر سونار به دلیل این اختلالات به سختی تشخیص داده می‌شوند. پیش از تشخیص اهداف در تصاویر سونار، به فرآیند پیش‌پردازش نیاز است [۱۹]. شکل (۱) نمایشی از بلوک دیاگرام معمول در فرآیند تشخیص و طبقه‌بندی اهداف را نشان می‌دهد. اغلب اهداف در تصاویر سونار دارای نویز و اختلال می‌باشند که فرآیند تشخیص اهداف را دشوار می‌کنند [۶]. در این پژوهش، روشی نوین برای پیش‌پردازش، قطعه‌بندی و استخراج ویژگی در تصاویر سونار ارائه شد. شکل (۲) بلوک دیاگرام پیشنهادی این مطالعه را نشان می‌دهد. در بخش‌های بعدی قسمت‌های مختلف روش پیشنهادی بررسی خواهند شد.



شکل (۱) نمایش بلوکی تشخیص هدف در تصاویر سونار [۱۹].

۳-۱- ارتقاء کیفیت تصویر ورودی

³Adjust Image Intensity Value

¹ Segmentation

² Decorrelation Stretching

تجانس فاز هر تصویر I طبق رابطه (۱) با Pc نشان داده شده است که تصویری با همان ابعاد است. در این حالت، نقاط حداکثر فاز را می توان با نقاط حداکثر انرژی به دست آورد.

$$P_c = \frac{E(x)}{\sum_n A_n(x)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، $E(x)$ انرژی و $A_n(x)$ دامنه تبدیل فوریه تصویر است. اگر رابطه (۱) طبق تعریف از هر دو طرف بسط داده شود، رابطه (۲) نتیجه می شود.

$$P_c = \frac{\sum w(x, y) [A_n(x, y)(\cos(\varphi_n) - |\sin(\varphi_n)|) - T]}{\sum_n A_n(x, y) + \varepsilon} \quad (2)$$

در رابطه (۲) داریم: $A_n(x, y)$ دامنه تبدیل فوریه دوبعدی تصویر و φ_n اختلاف فاز بین $\varphi_{n(x, y)}$ در تبدیل فوریه دوبعدی تصویر و متوسط فاز تصویر یا $\varphi(x, y)$ هستند. $w_n(x, y)$ بردار وزنی و T آستانه تخمین نویز است، ε نیز مقداری ثابت برای جلوگیری از صفر شدن مخرج است. اگر دامنه هارمونیک های بسط فوریه را با هم جمع بزنیم، نهایتاً به نقطه انرژی آخرین هارمونیک وصل کنیم، بردار انرژی تشکیل خواهد شد که فاز آن $\varphi'(x)$ و دامنه آن $E(x) = \sqrt{H^2(x) + F^2(x)}$ خواهد بود. بنابراین بردار انرژی، از اعمال هارمونیک های بسط فوریه بر روی انرژی تصویر و جمع زدن این تصاویر مطابق با رابطه (۳) حاصل خواهد شد.

$$P_c = \frac{\sum A_n(\cos(\varphi(x) - \varphi(x'))) }{\sum_n A_n(x)} \quad (3)$$

اگر رابطه (۲) برقرار باشد اندازه گیری تجانس فاز حساس تر و خطی تر خواهد شد. شکل (۴) رابطه بین تجانس فاز، انرژی و مجموع دامنه های بسط فوریه را نشان می دهد [۲۲].

۳-۳-۲- آستانه هیستریزیس در تصویر

پس از محاسبه تجانس فاز برای این که لبه خطوط تصویر با وضوح بیشتری نمایش داده شوند می توان یک آستانه و هیستریزیس برای آن به دست آورد. این مقادیر می توانند متغیر یا تطبیقی باشند [۱۴]. با استفاده از مقدار آستانه بالایی و پایینی (به هر ترتیبی می توانند باشند) مقدار بیش تر به عنوان آستانه بالایی تعریف می شود.

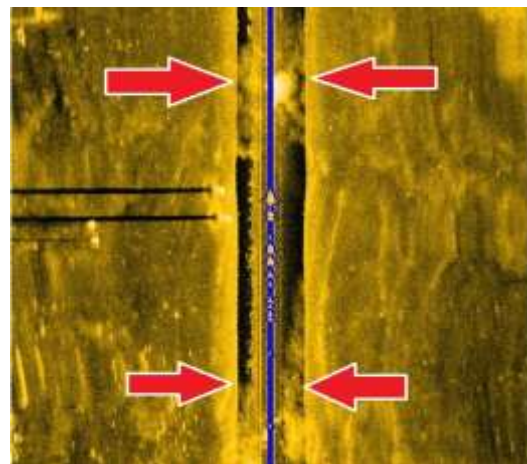
تئوری تشخیص هدف در تصاویر سونار، نیاز به حذف ناحیه کور تصویر که فاقد اطلاعات مناسب است دارد. این محیط باعث ایجاد اختلال در پردازش تصویر خواهد شد. بنابراین از روش تجانس فاز، به عنوان روشی نوین در حذف ناحیه کور در این مطالعه استفاده خواهد شد.

۳-۳-۳- حذف ناحیه کور

این ناحیه به دلیل عدم ارسال و دریافت آرایه سیگنال کمترین حجم اطلاعات را در خود جای داده است. ناحیه کور فضایی بین دو بیم سونار اسکن جانبی است که در تصویر برداری از زیر آب هیچ سیگنالی دریافت نمی نماید. این محیط گاهی به علت جریان آب یا انحراف مسیر شناور یدک کش پالس صوتی را جذب می نماید. وجود این ناحیه باعث اختلال خواهد شد [۶]. بنابراین، برای حذف این ناحیه از روش تجانس فاز به صورت محاسبه تجانس فاز بر روی تصویر سطح خاکستری و آستانه هیستریزیس در تصویر سطح خاکستری، محاسبه و ترسیم خطوط فراوانی لبه ها، حذف اطلاعات بین خطوط فراوانی بالا و پایین استفاده می شود. این بخش از الگوریتم پیشنهادی فیلترینگ جدیدی برای بحث پردازش تصاویر سونار پیشنهاد می دهد. ناحیه کور در شکل (۳) نشان داده شده است.

۳-۳-۱- تجانس فاز بر روی تصویر

تجانس فاز ابزاری برای استخراج ویژگی ها در قسمت های مختلف یک تصویر است که خصوصیات خطوط، لبه ها و گوشه های موجود در تصویر را می تواند آشکار کند [۱۲].



شکل (۳) ناحیه کور در تصاویر سونار اسکن جانبی.

۳-۳-۴- حذف اختلالات و ناحیه کور تصویر

در این حالت، پس از مشخص شدن خطوط مرزی و خروجی الگوریتم تنظیم مقدار شدت پیکسل، فضای بین خطوط مرزی را به صورت صفر نمایش می‌دهیم. در این حالت یک مرحله فیلترینگ انجام شده است. در بخش بعدی مقاله، فعالیت‌های انجام شده در بحث فیلترینگ و تشخیص اهداف را بیان خواهیم کرد.

۳-۳-۴- فیلترینگ تصویر سطح خاکستری سونار

انجام عملیات ریاضی بر روی تصاویر گامی جدید در بحث تشخیص اهداف ایجاد خواهد کرد [۲۳]. در این مقاله، برای پردازش تصاویر سونار و تشخیص اهداف از فیلترها و بهینه سازها کمک گرفته شده است. فیلتر کردن تصویر سطح خاکستری در بخش‌های ۳-۴-۱ و ۳-۴-۲ بررسی خواهد شد.

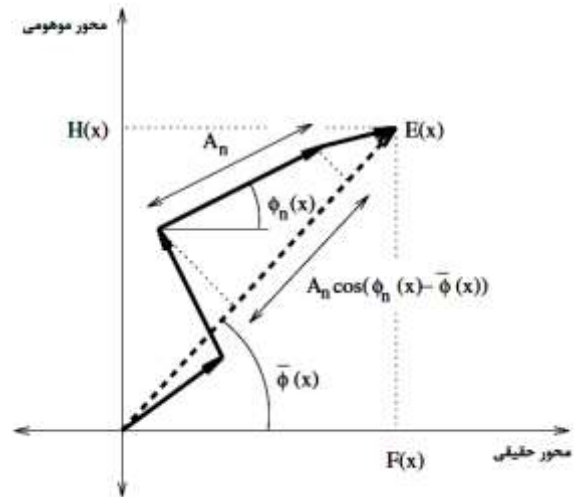
۳-۴-۱- همبستگی در تشخیص خطی

پس از مشخص شدن خطوط مرزی و خروجی نسبت به مقدار داده شده هر پیکسل ورودی حاصل جمع پیکسل‌های وزن دار همسایه آن است، که ماتریس وزن‌های کرنل همبستگی یا به عبارتی فیلتر نامیده می‌شود [۲۱]. در این صورت، فیلترهای خطی مختلف را با اندازه پنجره دلخواه به تصویر اعمال می‌کنند. در این محاسبات ماسک سوپل که در رابطه (۴) آمده، کرنل همبستگی را تشکیل می‌دهد.

$$SobelMask = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

۳-۴-۲- هموارسازی و حذف نویز تصویر

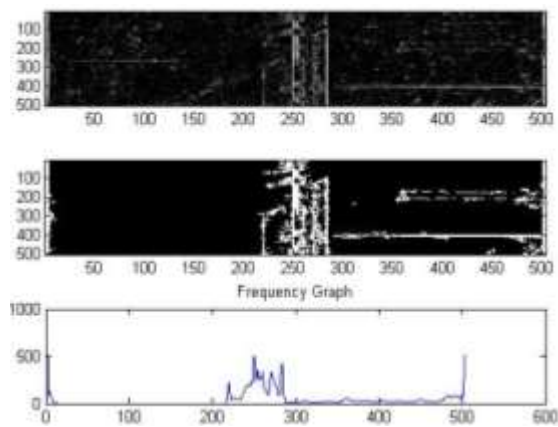
فیلتر هدایت تصویر^۱، عمل حفظ لبه‌های صاف را بر روی تصویر، با استفاده از محتوای یک تصویر ثانویه انجام می‌دهد که تصویر هدایت کننده^۲ نامیده می‌شود. از آن برای نفوذ در فیلترینگ استفاده شده است. فیلتر هدایت کننده تصویر، یک عملگر همسایگی شبیه فیلترهای عمل کننده است با این تفاوت که به هنگام محاسبه مقادیر پیکسل‌های خروجی، مشخصات آماری یک ناحیه درون فضای همسایگی متناظر تصویر راهنما را به کار می‌برد [۲۴].



شکل (۴) دیاگرام قطبی مجموعه مؤلفه‌های بسط فوریه [۱۲].

۳-۳-۳- فراوانی و ترسیم لبه‌های تصویر

از آنجاکه سایه موجود در تصاویر به صورت خطوط عمودی خود را نشان می‌دهد، مقادیر آستانه‌گیری را به صورت ستونی جمع زده تا فراوانی آن‌ها به دست آید. بیشترین فراوانی به دست آمده مربوط به لبه‌های سایه، سمت چپ و راست تصویر است. لذا اگر بیشترین فراوانی‌ها به جزء دو لبه تصویر را محاسبه کنیم، مرز مورد نظر به دست خواهد آمد. در این تصاویر فراوانی ۲۵ درصد شدت سایه در نظر گرفته شده است، این مقدار می‌تواند بسته به تصاویر مختلف، متفاوت باشد [۶]. فراوانی محاسبه شده مرزهای بالا و پایین این پژوهش را تشکیل می‌دهد. شکل (۵) مرزهای بالایی و پایینی تصویر را نشان می‌دهد.



شکل (۵) مرزهای ناحیه کور حذف شده در تصاویر.

² Guide Image

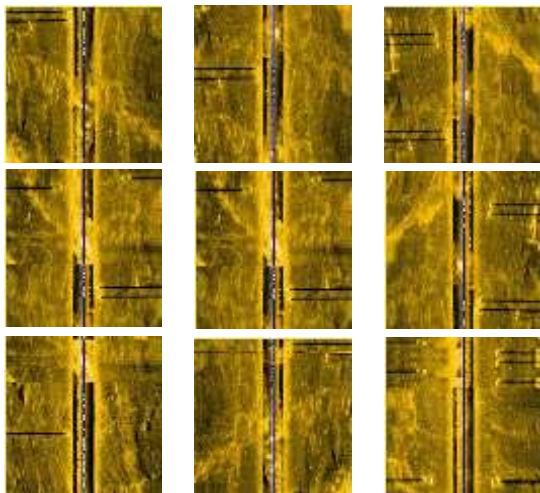
¹ Guide Image Filtering

بود، این سایه‌ها اهداف را از سایر اشیاء درون آب متمایز خواهند کرد. شکل (۷) اهداف این تحقیق را نشان می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی (شکل (۲)) بر روی ۳۰ تصویر با مشخصات ابعادی یکسان و تعداد اهداف مختلف پیاده‌سازی شد. شکل (۸) نتایج حاصل از این پیاده‌سازی را نشان می‌دهد. در ارزیابی نتایج، تصاویر مرجع مانند شکل (۹) تهیه و با کمک این تصاویر معیارهای حساسیت (SE)، نرخ نمایش اهداف (DER)، نرخ نمایش غیر اهداف (DFER) و مدت زمان اجرای الگوریتم (Time) محاسبه شدند [۲۵]. این معیارها بر اساس روابط (۶) تا (۸) تعریف خواهند شد.

$$Se = \frac{T_p}{T_N + F_p} \quad (۶)$$

$$DR = \frac{T_p}{T_p + F_N} \quad (۷)$$

$$DFER = \frac{F_p}{T_N + F_p} \quad (۸)$$



شکل (۶) تصاویر داده‌برداری شده سونار از اسکله شهید حقانی.



شکل (۷) اهداف (شمع فلزی عمودی) ساحل اسکله حقانی.

فیلتر میانه یک عملگر غیرخطی است که اغلب در پردازش تصویر برای کاهش نویز نمک و لفل استفاده می‌شود [۲۳]. این روش در حالتی که نیاز به کاهش نویز و حفظ لبه بصورت هم‌زمان وجود داشته باشد به کار می‌رود و بر روی هر دو بعد ماتریس دوبعدی اجرا می‌شود. با توجه به شدت تصویر تبدیل تصویر به سطح خاکستری انجام می‌شود.

۳-۵- مرتبه پیچیدگی الگوریتم

مرتبه پیچیدگی^۱ الگوریتم به ماتریس تصاویر سونار و کرنل همبستگی وابسته است. بنابراین مرتبه پیچیدگی در الگوریتم پیشنهادی برابر با رابطه (۵) است.

$$O[2 \times MNk] \quad (۵)$$

در بخش بعدی پژوهش آزمایش‌ها و نتایج ارزیابی‌ها بر روی پایگاه داده بیان خواهد شد.

۴- آزمایش و ارزیابی نتایج

در این بخش، در مورد مشخصات داده‌ها و آزمایش‌های انجام‌شده بر روی آن‌ها با استفاده از الگوریتم تجانس فاز و مشخصات شکل پیشنهادی بحث خواهد شد. پس از آن نتایج خروجی هر مرحله نمایش داده و نتایج ارزیابی می‌شوند.

در این مطالعه ۵۳ تصویر با کمک سونار اسکن جانبی استار فیش 450F، با فرکانس ۴۵۰ کیلوهرتز طی عملیات تصویربرداری صوتی از سواحل اسکله شهید حقانی سال ۱۳۸۹ به‌منظور آشکارسازی موانع و عوارض پس از لایه روبی انجام‌شده دریافت شده‌اند. این سونار با استفاده از یک شناور ۲۳ فوتی در حالتی که زاویه بیم سونار ۶۰ درجه و ضریب پوشش آن ۴۰ متر در نظر گرفته‌شده بود، یدک کشیده شده است، که برخی از این تصاویر را در شکل (۶) مشاهده می‌کنید.

در صورت وجود هدف در تصاویر بستر دریا، آن نقطه به‌صورت برجسته نمایش داده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، اگر در یک نقطه از بستر دریا شدت پالس صوتی زیاد باشد، آنگاه آن نقطه از تصویر به‌صورت سفید نمایش داده می‌شود. البته این مهم به جنس و نوع هدف وابسته است [۶]. در این مطالعه شمع‌های فلزی عمودی در آب به‌عنوان هدف در نظر گرفته‌شدند. این شمع‌ها به دلیل زاویه تابش پالس صوتی به‌صورت مشخص دارای سایه‌ی تیره افقی خواهند

^۱ Complexity Order

جدول (۲) پارامترها را برای ۳۰ تصویر سونار مورد آزمون نشان می‌دهد (تعداد ۶۱ هدف و ۱۵۰ غیر هدف). جدول (۳) نیز صحت عملکرد روش پیشنهادی و نتایج حاصل از تحقیق را با کمک روابط (۶) تا (۸) نشان می‌دهد. این الگوریتم با روش گرادیان شیب نیز مقایسه و نتایج حاصل در جدول (۳) ارائه گردید.

روش‌های حوزه زمان همچون میزان عبور از صفر (ZCR)، نیز از ماتریس تصاویر برای استخراج و انتخاب ویژگی استفاده می‌نماید [۲۶]. اما در تصاویر سونار موجود به دلیل وجود نقاط صفر دیگری در ماتریس تصاویر، عملکرد مطلوبی ندارد.

در محاسبات معیارهای حساسیت، نرخ نمایش اهداف بایستی بیش‌ترین مقادیر و نرخ نمایش غیر اهداف کم‌ترین مقادیر را به خود اختصاص دهند. بنابراین شکل (۱۰) نتایج خروجی الگوریتم پیشنهادی و روش فیلترینگ گرادیان شیب را نمایش می‌دهد. بر روی تصاویر خروجی هر دو روش، ویژگی‌های ساختاری شکل بررسی و نتایج در جدول (۳) ارائه گردید. آزمایش‌ها بر روی تصاویر سونار اسکن جانبی نشان داد که الگوریتم پیشنهاد شده در این پژوهش، در بهبود کیفیت تصاویر سونار دریافت شده، آشکارسازی اهداف در این تصاویر و کاهش زمان اجرای الگوریتم به خوبی عمل کرده و برخلاف الگوریتم فیلترینگ گرادیان شیب هیچ هدفی در تصویر را از دست نداده است.

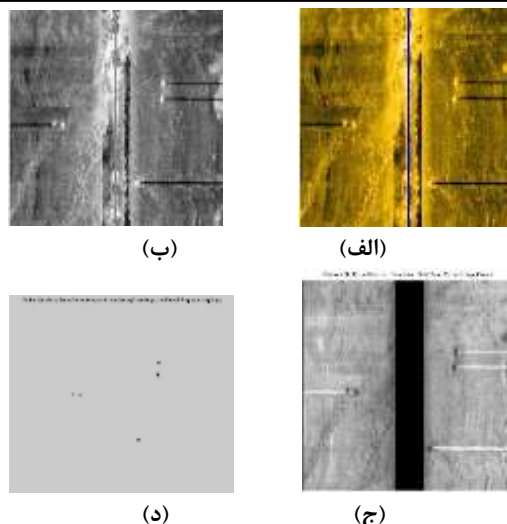
جدول (۲) پارامترهای محاسبه شده از پیش پردازش تصاویر.

روش‌ها	T_p	T_N	F_p	F_N
روش گرادیان	۵۸	۲۷	۱۲۳	۲
روش تجانس فاز	۶۱	۱۳۳	۹	۰

جدول (۳) نتایج محاسبه معیارها با دو روش تجانس فاز و گرادیان شیب.

معیار	عملکرد گرادیان	عملکرد روش پیشنهادی
Se	۳۸/۶٪	۴۳٪
DER	۹۶٪	۱۰۰٪
DFER	۸۲٪	۶/۴٪
Time (Sec) *	۱۹/۶۵	۱۳/۸۵

* این زمان‌ها با کمک کامپیوتری با مشخصات سخت‌افزاری CPU: i7 ، 2.55 GHz ، 8 GB Ram و سیستم عامل ویندوز 8.1 به دست آمده است.



شکل (۸) الف) تصویر سونار اسکن جانبی، ب) تصویر سطح خاکستری، ج) تصویر حاصل از حذف ناحیه کور به کمک تجانس فاز و پارامترهای ساختاری شکل و د) تصویر باینری خروجی با کمک فیلترینگ پارامترهای شکل.



شکل (۹) تصویر سونار مرجع برای ارزیابی نتایج خروجی از الگوریتم.

هم‌چنین در این پژوهش پارامترهای به کاررفته در روابط (۶) تا (۸) به صورت جدول (۱) تعریف می‌شوند. در این صورت با کمک تصاویر بخش (د) از شکل (۸) و شکل (۹) می‌توان صحت عملکرد الگوریتم پیشنهادی مطالعه را بررسی و نتایج را مورد ارزیابی قرار داد.

جدول (۱) تعریف پارامترهای پژوهش.

پارامتر	تعریف
T_p	تعداد اهداف تشخیص داده شده
T_N	تعداد غیر اهداف تشخیص داده نشده
F_p	تعداد غیر اهداف تشخیص داده شده
F_N	تعداد اهداف تشخیص داده نشده

روی تصاویر مورد آزمون (تصاویر سونار اسکن جانبی، تصویربرداری شده از بستر اسکله شهید حقانی) به کاررفته‌اند، نتایج جدول (۳) کارایی بالای الگوریتم تجانس فاز را نسبت به روش فیلترینگ گرادیان شیب نشان می‌دهد.

۶- قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از آقای مهندس بهمن تاج فیروز، مدیرعامل محترم شرکت دریا ترسیم به واسطه جمع‌آوری تصاویر سونار اسکن جانبی از سواحل اسکله شهید حقانی، شهر بندرعباس و در اختیار قرار دادن این اطلاعات اعلام می‌دارند.

۷- مراجع

[۱] جعفری، سحر، صدقی سمیه. و صادق زاده، بهنام، "بررسی حسگرها و روش‌های اجتناب از موانع در زیرسطحی‌های هوشمند"، دوازدهمین همایش صنایع دریایی، زیباکنار، صفحه ۱ الی ۸، ۱۳۸۹.

[۲] جاویدان، رضا. "اصول طراحی سیستم‌های سونار و کاربردهای آن"، چاپ اول، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۶.

[۳] روحانی، محمدتقی، "آنالیز سیستم‌های سوناری"، انتشارات فیزیکدانان جوان، ۱۳۸۵.

[۴] روحانی دریند سری، محمدتقی، "سیستم‌های سونار"، انتشارات فیزیکدانان جوان، ۱۳۸۶.

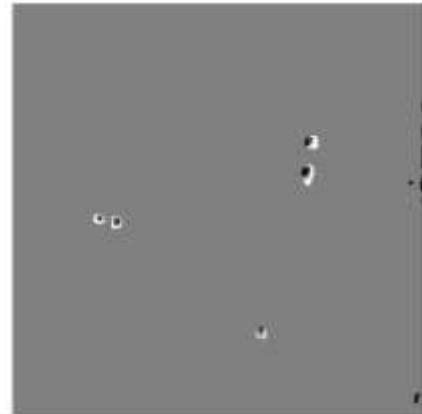
[۵] شیریان، حسین، "امواج آلتراسونیک و تکنولوژی سونار"، <http://www.irpdf.com/book-6086.html>، ۱۳۹۱.

[۶] محمودآبادی، مرتضی. و نصری، مهدی، "کاهش کلاتر برمبنای تجانس فاز به‌منظور بهبود تشخیص در تصاویر سونار"، هشتمین کنفرانس بین‌المللی فناوری اطلاعات و دانش دانشگاه بوعلی، همدان، صفحه ۲۶ الی ۳۲، ۱۳۹۵.

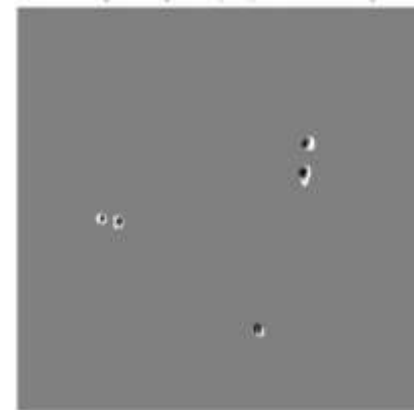
[۷] غفاری، بهاره، "تفسیر تصاویر ساید اسکن سونار"، ژئومتریک، شماره ۷، صفحه ۱ الی ۳، ۱۳۸۹.

[8] Hurtos, N., Palomeras, N., Carrera, A. and Carreras, M., "Autonomous Selection, Following and Mapping of an Underwater Chain using Sonar", Ocean Engineering, Vol.130, pp.336-350, 2017.

[9] Wu, J. and Guo, H., "A Method for Sonar Image Segmentation Based on Combination of MRF and Region Growing", Communication Systems and Network Technologies (CSNT) Fifth International Conference on, pp.457-460, 2015.



(الف)



(ب)

شکل (۱۰) (الف) نتایج ارزیابی تصویر خروجی با کمک روش فیلترینگ گرادیان شیب، (ب) نتایج ارزیابی تصویر خروجی با کمک روش تجانس فاز - پارامترهای ساختار شکل.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی جدید برای حذف ناحیه کور و بهبود تشخیص در تصاویر سونار اسکن جانبی پیشنهاد شد. این روش از تجانس فاز برای حذف ناحیه کور در تصاویر سونار استفاده می‌کند. نتایج این مطالعه با روش فیلترینگ گرادیان شیب مقایسه شد. آزمایش‌ها بر روی تصاویر سونار نشان داد که الگوریتم پیشنهادی باعث بهبود کیفیت در تصاویر، آشکارسازی اهداف و کاهش مدت‌زمان اجرای الگوریتم شده است. این الگوریتم را می‌توان به‌عنوان بستر مناسبی برای پیش‌پردازش، قطعه‌بندی و استخراج ویژگی تصاویر سونار اسکن جانبی بکار برد.

در این مطالعه از ویژگی‌های ساختاری شکل برای طبقه‌بندی اهداف در بستر دریا و تکمیل فرآیند الگوریتم پیشنهادی استفاده شد. با توجه به این‌که هر دو روش فیلترینگ گرادیان شیب و تجانس فاز، برای نخستین بار بر

- [۲۳] جمشیدی، نیما، مولایی رسول. و مهریزی، علی، "آموزش کاربردی مباحث پیشرفته متلب"، انتشارات عابد، ۱۳۸۶.
- [24] He, K., Sun, J. and Tang, X., "Guided Image Filtering", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.35, pp.1397-1409, 2013.
- [25] Hajian, K., "Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation", Caspian J. Intern Med, Vol.4, pp.627-635, 2013.
- [26] Gan, Y. L., Yuan, J. and Li, G. H., "Extraction and Organization of Metadata Feature for Underwater Target Recognition by Sonar Echoes", Proceedings 5th International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Dalian, pp.3317-3322, 2006.
- [10] Kumar, M. N. V. S. S., Rao, G. S. B., Ganesh, L. and Goswami, R., "Expectation-Maximization based Image Fusion Algorithm for Detection of Underwater Targets from SONAR Images", International Conference on Computational Modeling and Security, Vol.85, pp.782-789, 2016.
- [11] Attaf, Y., Boudraa, A. O. and Ray, C., "Amplitude-based Dominant Component Analysis for underwater Mines Extraction in side Scans Sonar", OCEANS, Shanghai, pp.10-13, 2016.
- [12] Kovesi, P., "Image Features from Phase Congruency", Journal of Computer Vision Research, Vol.1, pp.1-26, 1999.
- [13] Abderrahim, E., Lezoray, O., Noaboud, D. and Meunier, J., "Image and Signal Processing", 4th International Conference on Image and signal Processing, Vol.1, pp.10-18, 2010.
- [14] Singh, R., Vatsa, M. and Noore, A., "Improving Verification Accuracy by Synthesis of Locally Enhanced Biometric Images and Deformable Model", Signal Processing, Vol.87, pp.2746-2764, 2007.
- [۱۵] بهارلویی، محسن، "تشخیص بدخیمی سرطان ریه از روی تصاویر سی تی اسکن با استفاده از ویژگی‌های هندسی"، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سیرجان، سیرجان، ۱۳۹۴.
- [16] Zinovev, D., Raicu, D., Furst, J. and Armato, S. G., "Predicting Radio Logical Panel Opinions Using a Panel of Machine Learning Classifiers", Algorithms, Vol.2, pp.1473-1502, 2009.
- [۱۷] موسوی، سید محمدرضا، خویشه، محمد، مریدی، آلاوه. و ناصری، محمدجعفر، "دسته‌بندی اهداف سوناری با استفاده از روش ترکیبی ازدحام ذرات و جستجوی گرانشی"، دو فصلنامه علمی و پژوهشی دریا فنون، شماره ۳، صفحه ۱ الی ۱۳، ۱۳۹۵.
- [18] Mandhouj, I., Amiri, H., Maussang, F. and Solaiman, B., "Sonar Image Processing for Underwater Object Detection Based on High Resolution System", 2nd Workshop on Signal and Document Processing, Vol.1, pp.1-6, 2012.
- [19] August, M., "Tracking and Classification of Divers in Sonar Images", Department of Physics, University of Oslo, 2010.
- [۲۰] حیدری، عبدالرحمن، "پردازش تصویر در متلب"، چاپ اول، انتشارات کلک زرین، ۱۳۹۲.
- [21] Ferreira, A. J. M., "MATLAB Codes for Finite Element Analysis", Editor: Springer Netherlands, Vol.1, pp.6-235, 2009.
- [22] Kovesi, P., "Edges Are Not Just Steps", 5th Asian Conference on Computer Vision, Melbourne, Australia, pp.1-6, 2002.