J. of Marine Eng. Vol. 21, Iss. 46, 2025. (1-14)

Journal of Marine Engineering

Journal homepage: marine-eng.ir

Implementation of obstacle detection system based on extraction of extremum points and inter-frame correlation in sonar data

Seyed Vahid Zia[1*], Gholamreza Nadalinia Chare [2]

[1] *Research Assistant, Northern Research Center for Science & Technology, Malek Ashtar University of Technology, Iran; vahidzia@mut.ac.ir*
[2] *Research Assistant, Northern Research Center for Science & Technology, Malek Ashtar University of Technology, Iran; nadalinia@mut.ac.ir*

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 14 Dec 2024
Last modification: 6 Apr 2025
Accepted: 20 May 2025
Available online: 21 May 2025

Article type:
Research paper

Keywords:
Obstacle Detection, Mechanical Scanning Sonar, Hessian matrix, Inter-frame Correlation

ABSTRACT

The problem of detecting obstacle in the water environment based on various Types sonar is one of the challenging issues in the guidance of various automatic underwater vehicles. Implementation of hardware platform and development of acoustic signal processing algorithm of mechanical scanning sonar is the goal of this research. In the proposed algorithm, using the hessian matrix, the extreme points in the acoustic signal are extracted and the signal containing the object is separated from other signals. After identifying the signal containing the object, the inter-frame correlation operation is performed on the signals of the adjacent rays. The hardware platform based on TMS processor is implemented for the development of acoustic signal processing algorithm and mechanical scan sonar user interface software. High processing speed, limited computational cost and simplicity in implementation for real-time use, resistance to noise and high accuracy for object recognition are prominent feature of the proposed system compared to other methods that have proven in the field test.

ISSN: 2645-8136

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/marineeng.21.46.1

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

نشریه مهندسی دریا، جلد ۲۱، شماره ۴۶، ۱۴۰۴، (۱۴-۱)

نشریه مهندسی دریا

صفحه اصلی نشریه: marine-eng.ir

پیاده‌سازی سیستم تشخیص مانع مبتنی بر استخراج نقاط اکسترمم و همبستگی بین فریمی در اطلاعات سونار

سید وحید ضیاء[۱*]، غلامرضا نادعلی‌نیا چاری [۲]

[۱] دستیار پژوهشی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده علوم و فناوری شمال، vahidzia@mut.ac.ir

[۲] دستیار پژوهشی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، پژوهشکده علوم و فناوری شمال، nadalinia@mut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۲۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

کلمات کلیدی:

تشخیص مانع

سونار اسکن مکانیکی

ماتریس هسین

همبستگی بین فریمی

چکیده

مسئله تشخیص مانع در محیط آبی مبتنی بر انواع سونار، از مباحث چالش برانگیز در هدایت انواع وسایل خودکار زیرآبی است. پیاده‌سازی بستر سخت‌افزاری و توسعه الگوریتم پردازش سیگنال آکوستیکی سونار اسکن مکانیکی هدف این پژوهش است. در الگوریتم پیشنهادی، با استفاده از ماتریس هسین نقاط اکسترمم در سیگنال آکوستیکی استخراج شده و سیگنال شامل شئ از سیگنال‌های دیگر تمیز داده می‌شود. پس از شناسایی سیگنال شامل شی، عملیات همبستگی بین فریمی در سیگنال‌های اشعه‌های همجوار صورت می‌گیرد. بستر سخت‌افزاری مبتنی بر پردازنده TMS برای توسعه الگوریتم پردازش سیگنال آکوستیکی و نرم‌افزار رابط کاربری سونار اسکن مکانیکی پیاده‌سازی شده است. سرعت پردازش بالا، هزینه محاسباتی محدود و سادگی در پیاده‌سازی برای کاربری زمان واقعی، مقاومت در برابر نویز و دقت بالا برای تشخیص شئ از ویژگی‌های بارز سیستم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های دیگر بوده که در آزمون میدانی به اثبات رسیده است.

ISSN: 2645-8136

DOI: http://dx.doi.org/10.61882/marineeng.21.46.1

حق نشر: © ۲۰۲۵ توسط نویسندگان. این اثر برای انتشار با دسترسی آزاد، تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) ارسال شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

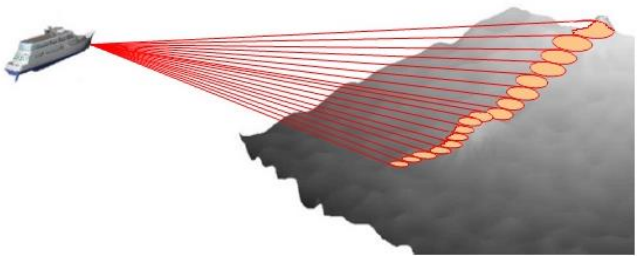
۱ - مقدمه

تشخیص اشیا مبتنی بر سونار، بر پردازش پژواک صوت ساطع شده از یک منبع صوت در محیط استوار است. در محیط‌های آبی میزان جذب و تضعیف امواج صوتی در مقایسه با انرژی‌های فیزیکی دیگر مانند نور یا امواج الکترومغناطیس بسیار اندک است بنابراین امواج صوتی قادرند مسافت بیشتری در آب منتشر شوند. سیگنال صوت پس از برخورد به اشیا به سمت منبع باز می‌گردد. بنابراین می‌توان با استفاده از یک هیدروفن به پژواک صوت گوش داد و یا سیگنال صوت را دریافت و پردازش نمود.

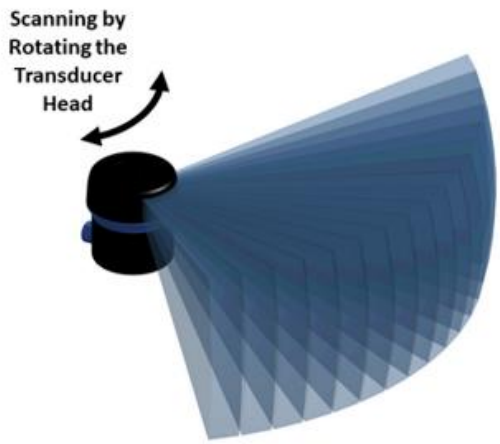
سونارها برای ادوات زیرآبی مانند زیردریایی‌ها و تجهیزات بدون سرنشین مانند ROV[1] و AUV[2]، میدان دید[3] ایجاد می‌کنند. این میدان دید شامل یک فاصله بوده که بیانگر حداکثر برد عملکردی سونار است و یک محدوده زاویه مشخص برای پوشش محیط است.

جاروب این محدوده زاویه، به دو صورت اجرا می‌شود. در مبدل‌های صوتی تک اشعه[4]، مبدل بطور پیوسته با یک پله زاویه قابل تنظیم می‌چرخد و اشعه صوت را در محیط ساطع کرده و پژواک آن را دریافت می‌کند. این روش به پروفایل اسکن مکانیکی[5] مشهور است. با استفاده از این روش می‌توان یک زاویه دید ۳۶۰ درجه ایجاد نمود اما این نوع سونارها به دلیل پوشش فضای کوچک در هر پله چرخش (ناشی از پهنای کم اشعه صوت)، سرعت جاروب پایین و اجرای جداگانه الگوریتم پردازش برای هر اشعه چندان مورد استقبال برای کاربری شناسایی اشیا قرار ندارد. روش دیگر برای پوشش محدوده زاویه، استفاده از مبدل چند اشعه‌ای است که با ارسال مجموعه‌ای از اشعه‌ها یک تصویر آکوستیکی کامل از محیط ایجاد می‌کند. سونار جلونگر و سونار اسکن جانبی دو نمونه عینی موجود مبتنی بر مبدل‌های چند اشعه‌ای برای تشخیص اشیا در محیط آبی هستند. استفاده از این روش گرچه منجر به افزایش سرعت پایش محیط توسط این سونارها شده ولی قیمت آنها را نیز بالاتر برده است[۱و۲]. در شکل‌های ۱ و ۲ ماهیت دو روش فوق برای جاروب محیط قابل مشاهده است.

در سیستم‌های قدیمی پژواک آکوستیکی به صورت آنالوگ و توسط عناصری مانند خازن، ترانزیستور، تقویت‌کننده عملیاتی و ... تحلیل می‌شد. با فرض تغییرناپذیر بودن شرایط زیرآب، استفاده از روش‌های پردازشی مبتنی بر انواع صافی و چند عنصر آنالوگ کاربرد خاص و تک منظوره است که با تغییر شرایط محیط کارایی خود را از دست می‌دهد. بنابراین برای پردازش این نوع سیگنال نیاز به روش‌های الگوریتمی و قابل انعطاف است که طراحی را به سمت روش‌های الگوریتمی و سیستم‌های دیجیتال هدایت می‌کند[۳].



شکل ۱- مبدل چند اشعه‌ای سونار [۲]



شکل ۲- مبدل تک اشعه‌ای سونار با قابلیت چرخش ۳۶۰ درجه [۱و۱۲]

برای بدست آوردن ویژگی‌های پایدار و قابل شناسایی، اشیای هدف قابل شناسایی توسط سونار در دریا باید دسته‌بندی می‌شوند. اشیا هدف کوچک مانند انواع مین دریایی دارای ابعاد کوچک در مقایسه با عوارض زمینی هستند، بنابراین پژواک بازگشتی از آنها نرخ سیگنال به نویز بسیار خوبی را نشان می‌دهد. برخلاف اهداف کوچک، عوارض زمینی مانند صخره‌ها و دیواره‌های تپه‌ای دریایی، دارای سیگنال‌هایی با دامنه بالا و طول پالس وسیع هستند.

مسئله دیگر وجود نویز محیطی در سیگنال پژواک است که دارای دامنه بالا و طول پالس کوچک است. بطور معمول پیش از انجام پردازش سیگنال اصلی، یک مرحله پیش‌پردازش برای حذف نویز

[1] Remotely operated vehicle
[2] Autonomous Underwater Vehicles
[3] View Window
4 Single beam
5 Mechanically scanned profiler

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]
[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

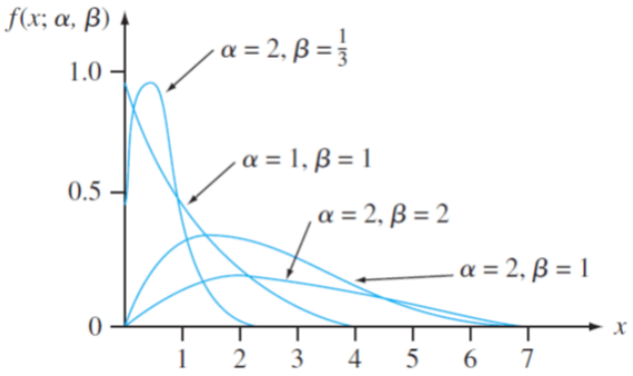
پس‌زمینه محیط، نویز فرکانس بالا و نویز حاصل از خود سونار روی سیگنال خام دریافتی از هیدروفن انجام می‌گیرد. در مرجع [۱] پژواک بازگشتی در ابتدا توسط یک مقدار از پیش تعیین شده آستانه‌گذاری شده و سپس از یک فیلتر FIR[1] (پاسخ ضربه محدود) برای فیلتر کردن نویز با دامنه زیاد و فرکانس بالا استفاده شده است. در نهایت پژواک پر انرژی باقیمانده برای پردازش اصلی و استخراج ویژگی‌های نقطه‌ای به سیستم SLAM مبتنی بر فیلتر EKF اعمال شده است.

در مرجع [۶]، پس از پیش‌پردازش اولیه و حذف نویز از پژواک دریافتی، از روش تفاضل بین سیگنال‌ها برای شناسایی شی در سیگنال استفاده شده است. سیگنال بدون نویز حاصله با دو نمونه سیگنال مبنا (با شئ و بدون شئ) تفریق می‌شود و با مقایسه عددی مقدار تفاضل، تخمین وجود یا عدم وجود شئ صورت می‌گیرد. سرعت پردازش در این روش بسیار بالا است ولی به دلیل تفریق مستقیم سیگنال‌ها از یکدیگر، دقت بسیار پائینی را به همراه خواهد داشت. زیرا تمام سیگنال‌هایی که شامل شئ نیستند، باهم مشابه نبوده و ذاتا باهم تفاوت‌های چشم‌گیری دارند. مزیت دیگر این روش، هزینه محاسباتی بسیار اندک و قابلیت پیاده‌سازی بالای آن است.

در مرجع [۷] الگوریتم پردازش سیگنال، مبتنی بر روش تطبیق است. در این روش ابتدا هر سیگنال به پنجره‌های کوچک و مساوی تقسیم می‌شود و سپس هر پنجره در سیگنال‌های مبنا جستجو می‌شود. پس از یافتن منطبق‌ترین الگو برای هر پنجره، به میزان تعداد تطبیق‌ها و شباهت‌سنجی هر پنجره یک متریک ارائه می‌شود و در نهایت با مقایسه هر یک از این متریک‌ها برای هر سیگنال مبنا، عملیات تصمیم‌گیری وجود یا عدم وجود شئ در سیگنال رخ می‌دهد. این روش مانند روش تفاضلی، سرعت بالا، هزینه محاسباتی محدود و قابلیت پیاده‌سازی خوبی دارد ولی چالش جدی آن دقت پائین و پایداری کم در برابر نویز است. در مقایسه روش‌های تطبیقی با روش‌های تفاضلی می‌توان دقت بالاتر و پایداری بیشتر از روش‌های تطبیقی انتظار داشت.

در مرجع [۸] روش مبتنی بر تخمین تابع توزیع برای شناسایی شی در سیگنال اکوستیکی پیشنهاد شده است. در روش مبتنی بر تخمین کرنل[2]، مسئله تشخیص اشیاء به عنوان یک پدیده تصادفی در نظر گرفته شده و سیگنال ورودی با یک تابع توزیع گاما fit می‌شود. در این نوع تابع توزیع که نمایی از آن در شکل (۳) دیده می‌شود، رابطه زیر برقرار است:

$$f(x;\alpha,\beta)=\begin{cases}\frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{-\frac{x}{\beta}} & x\geq 0\\ 0 & o.w\end{cases} \quad (1)$$



شکل ۳- نمایی از تابع توزیع گاما با پارامترهای متفاوت [۸]

در این روش، فرض اولیه مبنی بر تبعیت سیگنال‌های بدون شئ از تابع توزیع گاما، بسیار سخت‌گیرانه است و در بسیاری از موارد این گزاره نقض می‌شود. بنابراین دقت بالایی از این روش قابل انتظار نیست تا ضعف‌های دیگر از قبیل هزینه محاسباتی بالا، قابلیت پیاده‌سازی پائین و بسیار کند، کمرنگ‌تر دیده شوند[۸]. از طرف دیگر تنظیم پارامترهای α,β برای هر سیگنال دشوار است و از پایداری این روش می‌کاهد.

تبدیل فوریه (FFT)[3] یکی از روش متداول برای پردازش سیگنال و سری‌های زمانی[4] است. با استفاده از تبدیل فوریه می‌توان یک سیگنال را از حوزه زمان به حوزه فرکانس منتقل کرد. پیک‌های ظاهر شده در نمودار طیف فرکانسی یک سیگنال پس از اعمال تبدیل فوریه، نشان‌دهنده فرکانس‌هایی است که در آن سیگنال غالب هستند. هر چقدر این پیک‌ها بزرگتر و تیزتر باشند، آن فرکانس در سیگنال حضور بیشتر و موثرتری دارد. محل قرار گرفتن پیک (مقدار فرکانس) و ارتفاع آن (دامنه فرکانس) در یک نمودار طیف فرکانسی، می‌توانند به عنوان ورودی برای الگوریتم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گیرند. در مرجع [۹] یک روش تشخیص شی در زیر آب با استفاده از تطبیق قالب قابل تبدیل براساس دانش قبلی پیشنهاد شده است. در این پژوهش، پس از استخراج ویژگی‌ها، یک الگو از توالی‌های ویدئویی سونار براساس تجزیه و تحلیل سایه‌های آکوستیکی ساخته می‌شود. سپس منطقه هدف را در تصویر هدف از طریق تکنیک‌های تشخیص سریع برجستگی مبتنی بر FFT تعیین کرده که می‌تواند از جستجوی کل تصویر برای شی جلوگیری کند.

[1] Finite impulse response
[2] Kernel estimation
[3] Fast Fourier transform
[4] Time Series

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]
[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

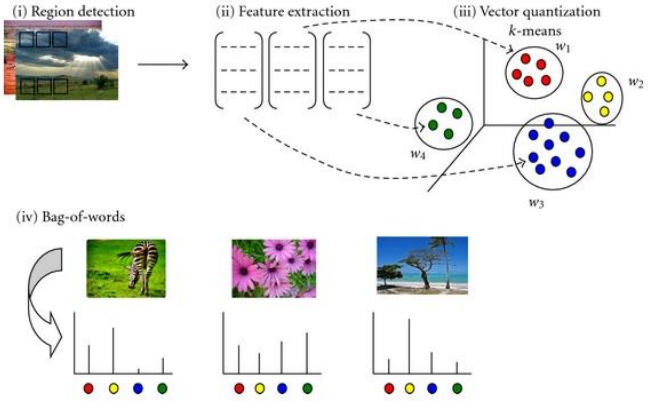
تبدیل فوریه تا زمانی که طیف فرکانسی یک سیگنال از لحاظ آماری ایستا[1] باشد، به خوبی عمل خواهد کرد. ایستا بودن طیف فرکانسی به این معنی است که فرکانس‌های ظاهر شده در یک سیگنال، وابسته به زمان نباشند و به صورت برابر در تمام طول سیگنال وجود داشته باشد. هرچه یک سیگنال بیشتر غیر ایستا باشد، نتیجه پردازش بدتر خواهد بود. بنابراین برای غلبه بر ضعف‌ها و محدودیت‌های موجود در تبدیل فوریه برای پردازش سیگنال‌های غیر ایستا و مدل‌سازی رفتارهای کوتاه مدت، معمولا از تبدیل موجک[2] استفاده می‌شود.

تبدیل موجک، تجزیه یک تابع بر مبنای توابع پایه موجک می‌باشد. موجک‌ها نمونه‌های انتقال‌یافته و مقیاس‌شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی و نوسانی شدیدا میرا هستند که مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه قادر به تحلیل زمان-فرکانس می‌باشد. در این روش مبتنی بر یک تکنیک پیوستگی اطلاعات[3] بر اساس تبدیل موجک، سیگنال شامل شئ را از سیگنالی فاقد شئ تفکیک می‌کند. روش‌های مبتنی بر موجک قابلیت چند مقیاسی و وضوح چندگانه را دارند و در تشخیص لبه و استخراج ویژگی‌های تصاویر مناسب هستند. در مرجع [۱۰] تجزیه موجک یک تصویر سونار دو بعدی متشکل از ردیف‌ها و ستون‌ها، به تجزیه موجک یک بعدی در جهت افقی و عمودی تبدیل شده است. استخراج مولفه‌های فرکانس پایین و بالای سیگنال در هر جهت و ترکیب آنها با یکدیگر منجر به تشکیل تصاویر لایه‌ای با وضوح چندگانه شده است. این خاصیت ناشی از ویژگی‌های محلی فضای فرکانس در تبدیل موجک است.

مدل بسته کلمات (BOW)[4] برای اولین بار توسط سیویک و زیسرمندر سال ۲۰۰۳ در حوزه بازیابی ویدیو و تصویر، استفاده شد[۵]. در آنالیز تصویر مبتنی بر این روش، از شباهت دیداری یک کلمه در مدل بسته کلمات استفاده می‌شود، که مبتنی بر فرآیند کوانتش یا کمی‌سازی برداری از طریق کلاس‌بندی مشخصه‌های دیداری سطح پایین مناطق یا نقاط محلی از قبیل رنگ، بافت و غیره می‌باشد. استخراج مشخصه بسته کلمات از تصاویر، شامل مراحل زیر است:

۱- شناسایی خودکار مناطق یا نقاط با اهمیت
۲- محاسبه توصیف گره‌های محلی مربوط به این مناطق یا نقاط
۳- کمی‌سازی توصیف‌گرها در داخل کلمات برای تشکیل واژگان دیداری
۴- پیدا کردن پیشامدهای موجود در تصویر هر کلمه خاص در واژگان، برای ساخت مشخصه بسته کلمات (یا هیستوگرام فراوانی‌های کلمه).

در شکل زیر این چهار مرحله در فرآیند استخراج مشخصه بسته کلمات از تصاویر را نشان داده می‌شود.



شکل ۴- فرآیند استخراج مشخصه بسته کلمات از تصاویر [۲۳]

در پردازش سیگنال آکوستیکی، مساله تشخیص شئ و مکان‌یابی آن را می‌توان به عنوان یک مساله دسته‌بندی[5] درنظر گرفت. بنابراین سیگنال‌های آکوستیکی حاصل از حسگر به دو دسته شامل شئ و بدون شئ تقسیم می‌شوند که عملیات دسته‌بندی نیز می‌تواند مبتنی بر تکنیک BOW صورت گیرد.

تاکنون ابزارهای متداول برای پردازش سیگنال به منظور شناسایی اشیا مورد بررسی قرار گرفت. می‌توان گفت که خلا نبود یک روش سریع، با هزینه محاسباتی پائین، امکان پیاده‌سازی بالا و دقت مناسب در حوزه شناسایی اشیاء مبتنی بر سیگنال‌های سونار کاملا حس می‌شود. در این پژوهش هدف، توسعه سخت‌افزاری و نرم‌افزاری یک سیستم تشخیص شی ارزان‌قیمت مبتنی بر سونار پروفایل اسکن مکانیکی تحقیقاتی ارزان‌قیمت در بستر پردازنده TMS بوده که قادر است با قابلیت اطمینان قابل قبولی وجود شی را در فضای روبروی یک رونده بدون سرنشین بصورت زمان حقیقی تشخیص دهد. مهم‌ترین ویژگی سیستم پیشنهادی، ایجاد امکان پیکره‌بندی اولیه پارامترهای کاربری سونار مانند برد، زاویه پوشش و رزولوشن جاروب، برقراری ارتباط مستقیم با سونار برای اخذ و ذخیره‌سازی سیگنال سونار، بستر نرم‌افزاری برای پردازش سیگنال صوتی و استخراج مولفه‌های موقعیتی شی (فاصله و زاویه) بصورت زمان واقعی است. این مولفه‌ها می‌تواند به سیستم هدایت، ناوبری و کنترل اعمال شده و برای پیاده‌سازی الگوریتم اجتناب از برخورد با مانع مورد استفاده قرار بگیرد. پژوهش زیر شامل بخش‌های زیر است. بخش اول شامل مبانی توسعه نرم‌افزاری برای پردازش سیگنال صوت است. در این

[1] Stationary
[2] Wavelet transform
[3] data association
[4] Bag of words model
[5] Clustering

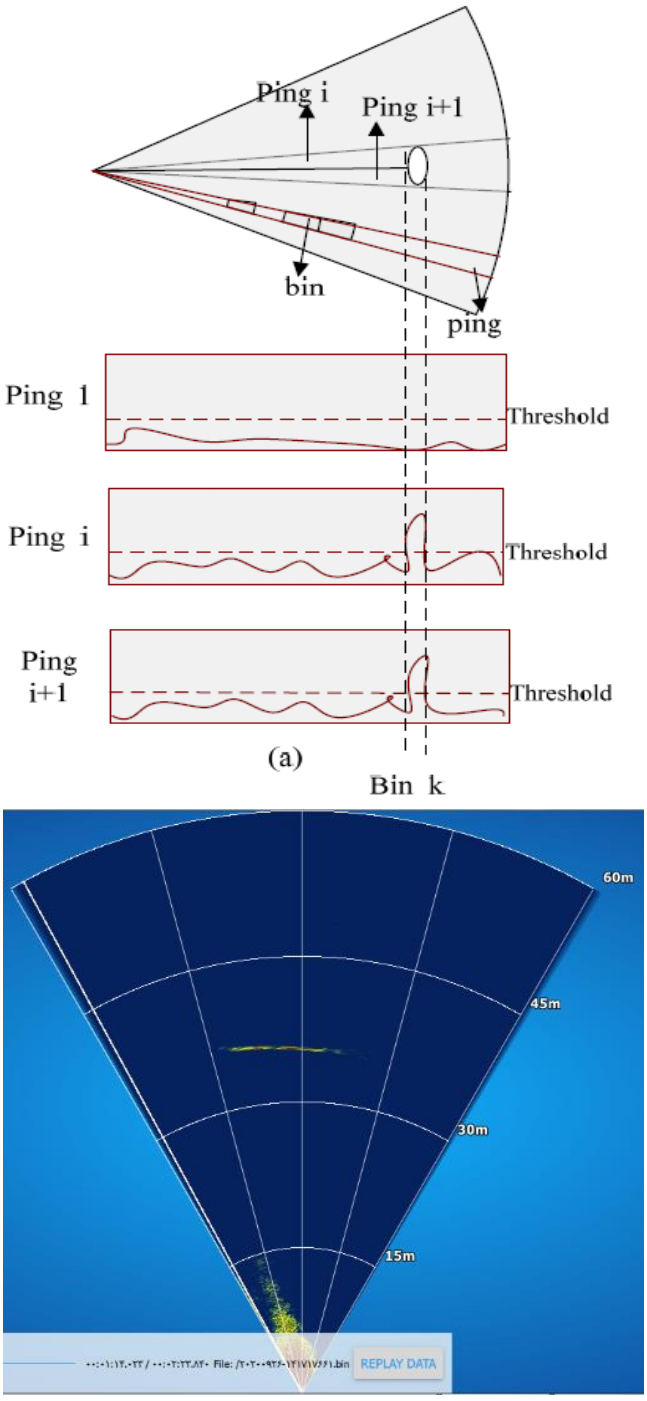
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]
[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

بخش سیگنال صوتی پس از دریافت و نویزگیری اولیه با استفاده از روش‌های پردازش مورد ارزیابی قرار گرفته و وجود یا عدم وجود شی و مولفه‌های آن استخراج می‌شود. بخش دوم ارائه‌دهنده بستر سخت‌افزاری جهت برقراری ارتباط با سونار، دریافت و ذخیره‌سازی اطلاعات و بستر پیاده‌سازی الگوریتم پردازش زمان واقعی سیگنال صوتی است. همچنین توسعه رابط کاربری برای پیکره‌بندی اولیه پارامترهای سونار، تجمیع اطلاعات خروجی سونار و ایجاد تصویر آکوستیکی از محیط نیز مورد بحث قرار گرفته است. بخش سوم نتیجه‌گیری مقاله است.

۱- الگوریتم پیشنهادی پردازش سیگنال سونار

هدف از این پژوهش ارائه یک بستر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشخیص شی با کارایی قابل قبول در محیط زیرآب مبتنی بر یک سونار ارزان‌قیمت پروفایل اسکن مکانیکی است. سونار فوق قابلیت چرخش ۳۶۰ درجه را برای اسکن محیط تا فاصله ۵۰ متر دارد. پارامترهای سونار از قبیل زاویه و برد، رزولوشن و ... از طریق نرم‌افزار رابط کاربری قابل تنظیم است. این سونار سیگنال تک اشعه صوت را در هر موقعیت زاویه‌ای برای جاروب محیط ارسال و پژواک آن را دریافت می‌کند. این روند برای پوشش کامل محدوده زاویه تنظیمی سونار انجام می‌شود و به این صورت میدان دید روبروی سونار جاروب می‌شود. آنچه از خروجی سونار متصور هستیم یک تصویر آکوستیکی از محیط است که از پژواک سونار توسط نرم‌افزار رابط کاربری تولید می‌شود که شامل یک تصویر با طیف رنگی برای توصیف محوطه مورد جاروب است. ولی در واقعیت این تصویر آکوستیکی متشکل از سیگنال آکوستیکی است که در هر پژواک در زاویه یکتا دریافت شده و پس از تجمیع برای کل میدان دید، یک تصویر آکوستیکی را به نمایش می‌گذارد. در شکل زیر نمایی از مفهوم فوق برای ارسال صوت، بازخورد پژواک از اشیا و تشکیل تصویر آکوستیکی ارائه شده است.

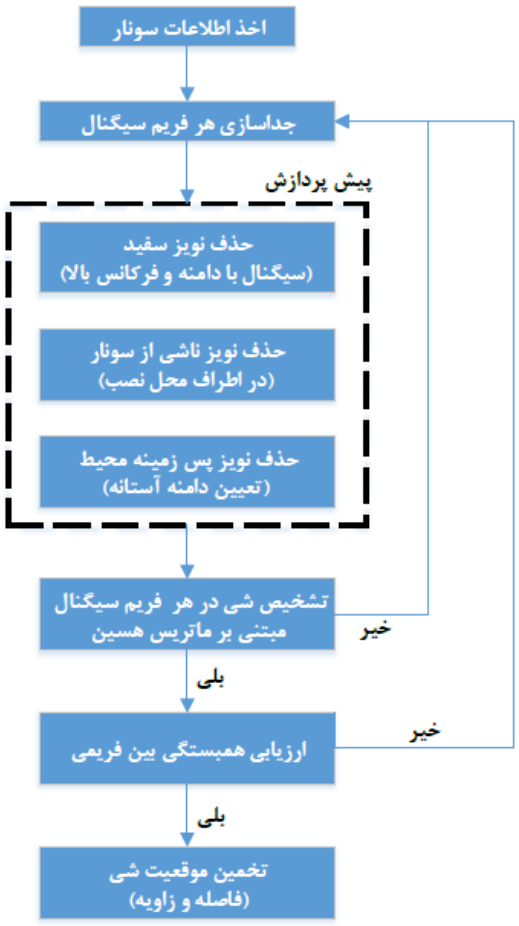
بنابراین تشخیص شی بصورت زمان واقعی به توسعه الگوریتم پردازش سیگنال بر خط نیاز دارد. در شکل زیر روند اجرای الگوریتم پردازش سیگنال ارائه شده است.



شکل ۵- بازخورد پژواک از اشیا و تشکیل تصویر آکوستیکی

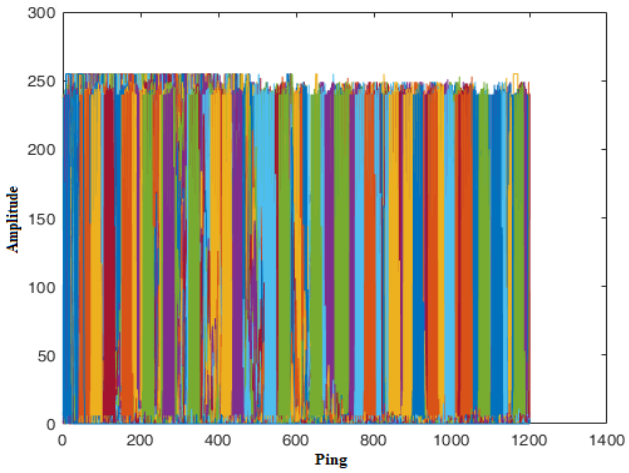
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]



شکل ۶- روند اجرای الگوریتم پردازش سیگنال

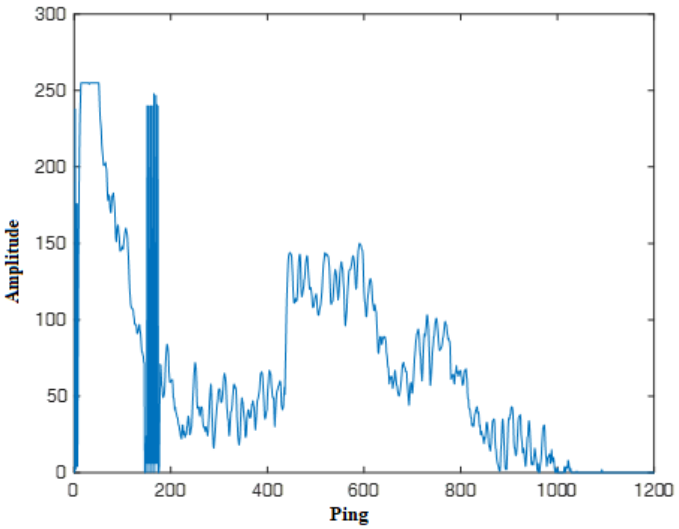
خروجی الگوریتم پردازش سیگنال تعیین مختصات (فاصله و زاویه) شی نسبت به سونار است که در ادامه با نمونه‌های عینی از سیگنال صوتی ارائه می‌شود. در شکل زیر مجموعه پژواک‌های اخذ شده توسط یک سونار نوعی از محیط دریا ارائه شده است.



شکل ۷- پژواک‌های اخذ شده از یک سونار نوعی برای قفس ماهی

این پژواک‌ها شامل مولفه دامنه برای پالس صوتی در هر گام (زاویه) در محدوده میدان دید سونار است. اطلاعات شامل یک پاکت ۱۲۲۴ بایتی شامل پارامترهای پیکره‌بندی سونار و اطلاعات هر پژواک با حداکثر دامنه ۲۵۵ است.

بدلیل وجود نویز در اطلاعات سونار در شکل ۷ و در مقایسه با شکل ۵، در نگاه اول این پژواک‌ها فاقد هرگونه اطلاعات واضح برای تشخیص وجود یا عدم وجود شی‌ای در میدان دید سونار است. بنابراین در یک مرحله پیش‌پردازش، باید نویز از اطلاعات اخذ شده از سونار حذف گردد. با توجه به اینکه قفس ماهی با ساختار مشبک تنها بخشی از میدان دید سونار را اشغال می‌کند، وجود این حجم از پژواک‌ها با دامنه بیشینه در مجموعه اطلاعات، غیرمنطقی به حساب می‌آید. بنابراین در گام اول می‌توان آنها را به عنوان اطلاعات نامعتبر و نویز حذف کرد. آنچه پس از اجرای گام اول حذف نویز از پاکت اطلاعات سونار به عنوان اطلاعات معتبر و قابل پردازش برای تشخیص مختصات شی قابل استفاده خواهد بود، در شکل زیر باقیمانده است.

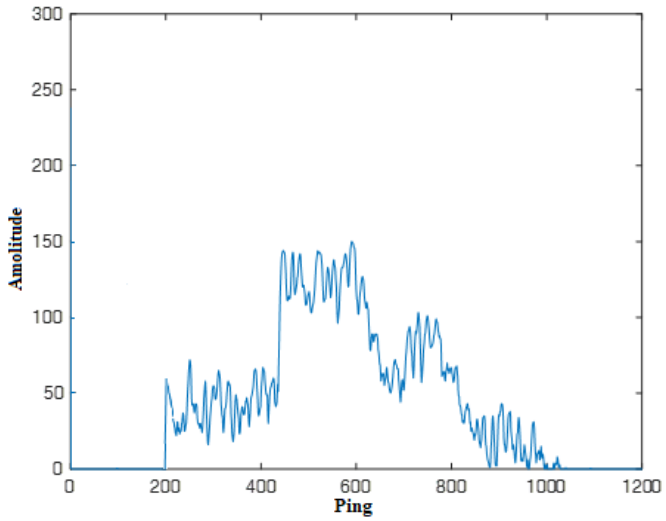


شکل ۸- پاکت اطلاعات سونار پس از گام اول حذف نویز

گام دوم مرحله پیش‌پردازش، حذف نویز ناشی از خود سونار است که در اطراف محل نصب آن (رونده بدون سرنشین) بروز می‌کند. برای حذف این نویز می‌توان در یک فاصله مشخصی از وسیله، پژواک سونار را نادیده گرفت. خروجی گام دوم حذف نویز از پاکت اطلاعات سونار در شکل زیر قابل مشاهده است.

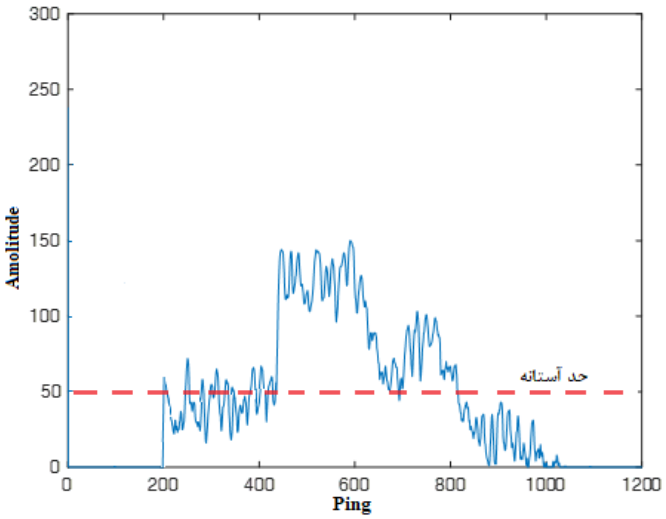
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]



شکل ۹- پاکت اطلاعات سونار پس از حذف نویز ناشی از خود سونار در نزدیکی محل نصب

گام بعدی مرحله پیش‌پردازش، حذف نویز پس‌زمینه محیط است. به عبارت دیگر حذف ویژگی‌هایی که شدت یا دامنه آنها از یک حد آستانه پیش‌تنظیم کمتر باشد. دامنه پژواک‌ها مقداری بین صفر تا ۲۵۵ دارد. در این گام پژواک‌های ضعیف به عنوان نویز پس زمینه محیط حذف خواهند شد، بنابراین آنچه باقی می‌ماند پژواک‌های قوی است.



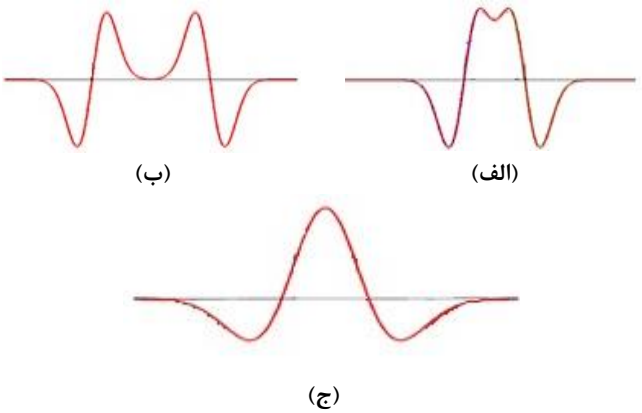
شکل ۱۰- استفاده از مفهوم حد آستانه برای حذف نویز پس زمینه محیط از پاکت اطلاعات سونار

پس از حذف نویز از سیگنال آکوستیکی، فرآیند تشخیص شی در هر فریم سیگنال اجرا خواهد شد. الزامات اساسی برای انتخاب روش مناسب برای پیاده‌سازی الگوریتم پردازش سیگنال زمان واقعی عبارتند از:

۱- دقت در تصمیم‌گیری وجود یا عدم وجود شئ در سیگنال دریافت شده
۲- سرعت تصمیم‌گیری و رعایت الزام زمان واقعی بودن
۳- مقاوم بودن در برابر نویز و اغتشاش‌های سیستمی یا غیرسیستمی
۴- هزینه محاسباتی و پیچیدگی پایین
۵- بستر پیاده‌سازی بسیار محدود

گزینش روش پیشنهادی برای الگوریتم پردازش سیگنال آکوستیکی منوط به برآورده‌سازی سطح بالای هر یک از الزامات فوق به تنهایی یا مصالحه‌ای قابل قبول بین آنها است. با بررسی روش‌های متداول در این حوزه، روشی پیشنهادی مبتنی بر تشخیص نقاط اکسترمم است که با استفاده از مفهوم پنجره‌گذاری، سیگنال شامل شی را از سیگنال‌های دیگر تمیز می‌دهد.

روال کلی این روش به این صورت است که ابتدا از سیگنال صوتی دریافتی پیش‌پردازش شده، مشتق گرفته می‌شود سپس یک پنجره لغزان که شامل چند نمونه از سیگنال مبنا که معرف مانع می‌باشد، در سیگنال حاصل چرخانده می‌شود تا در این پنجره، مقدار همبستگی متقابل[1] سیگنال مبنا و مشتق سیگنال صوتی محاسبه - شود. این پنجره لغزان یا ماتریس شامل سیگنال مبنا به‌عنوان یک ماتریس هسین[2]، نقاط اکسترمم را شناسایی می‌کند. نمایی از ماتریس مبنا استفاده شده در این روش در شکل (۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱- تابع ماتریس مبنا با تشخیص میزان تغییرات متفاوت. (الف): پهنای ماسک بین یک تا سه برابر (ب): پهنای ماسک بیش از ۳ برابر (ج): پهنای ماسک کمتر از یک

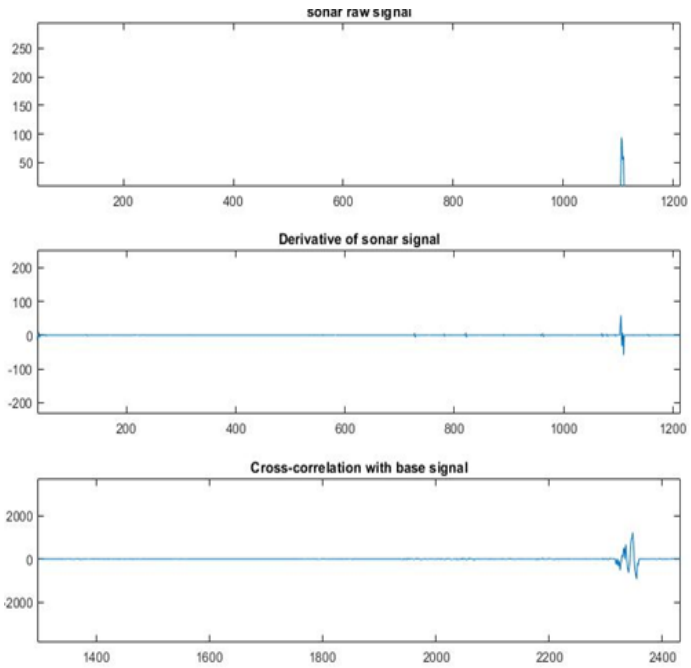
[1]- cross correlation

[2]Hessian

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

سیگنال‌های ناشی از مانع دارای گسستگی‌هایی در مکان شئ یا مانع هستند و با دست‌یابی به نقاط اکسترمم می‌توان وجود یا عدم وجود مانع را تشخیص داد. پس از اینکه نقاط اکسترمم شناسایی شدند، عملیات همبستگی بین فریمی هم اجرا می‌شود. این عملیات در شکل (۱۲) نشان داده شده است. این عملیات مبتنی بر وجود شئ در سیگنال‌های پرتوهای همجوار صورت می‌گیرد. در این عملیات از واقعیتی که یک شئ در تنها یک پرتو فقط دیده نمی‌شود بلکه در پرتوهای هم‌جوار هم حضور دارد. شناسایی نقاط اکسترمم و بررسی آن در پرتوهای همجوار یک تصمیم قدرتمند از حضور یا نبود مانع در سیگنال را رقم می‌زند. به همین دلیل این روش با هزینه محاسباتی محدود و سرعت بسیار بالا، دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهد. پس از شناسایی نقاط اکسترمم با دقت بالا، مکان آن شناسایی می‌شود و مکان‌یابی جسم شناسایی شده هم صورت می‌گیرد. روش در بخش مکانیابی هم بسیار دقیق و خوب عمل می‌کند.



شکل۱۲- نمایی از مراحل تشخیص نقطه اکسترمم و ماسک گذاری در سیگنال سونار

گام نهایی در سیستم تشخیص شی مبتنی بر سونار، مکان‌یابی و استخراج موقعیت جسم شناسایی شده در فریم هر پژواک است. هر فریم از اطلاعات دریافتی از سونار دارای ۱۲۲۴ بایت است که مربوط به برد نهایی قابل اندازه‌گیری توسط سونار است. بنابراین تخمین محل قرارگیری شی، با توجه به خروجی الگوریتم تشخیص (تعیین نقاط اکسترمم و استخراج شماره بایت آن در هر فریم) شی، با محاسبه یک تناسب ساده قابل انجام است.

۱-۲- ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی

برای ارزیابی عملکرد الگوریتم تشخیص شی در محیط آبی مبتنی بر حسگر سونار، چندین سناریو به منظور اخذ اطلاعات از حسگر سونار در مواجهه با اشیا با ماهیت و ابعاد متفاوت در شرایط گوناگون آب و هوایی در محیط عمومی دریای خزر (در نواحی پراغتشاش ساحلی و دهانه بندرگاه که محل عبور شناورهای تجاری، کشتی‌های ماهیگیری و و قایق‌های سبک تفریحی است) تبیین و برگزار گردید. برای اخذ اطلاعات سونار از یک دستگاه رایانه همراه استفاده شده است که نرم‌افزار رابط کاربری سونار روی آن نصب شده است. سناریوهای اخذ اطلاعات عبارتند از:

- اخذ اطلاعات از شناور بزرگ با بدنه فولادی یکپارچه

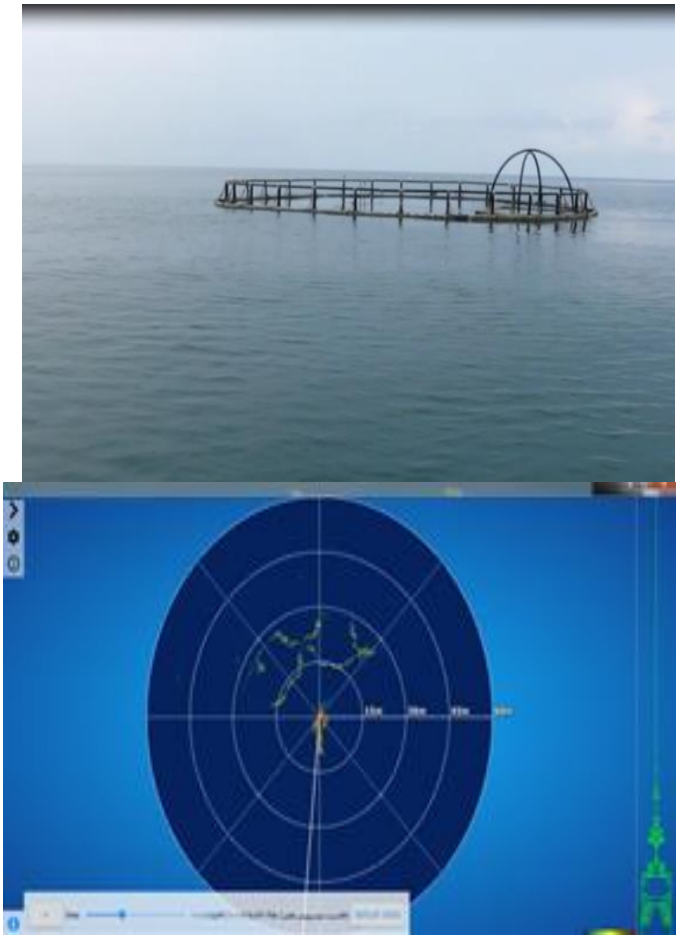
شناورها یکی از اجسام محتملی هستند که امکان مواجهه با آنها در محیط دریا بسیار است. بنابراین با توجه به بدنه فولادی و مقدار آبخور باید بتوان آنها را تشخیص داد. در نتیجه یکی از سناریوهای مهم به اخذ اطلاعات از شناور اختصاص داده شد. تصویر آکوستیکی شناور در شکل زیر قابل مشاهده است.

شکل ۱۳- سناریوی اخذ اطلاعات از شناور با بدنه فولادی و تصویر آکوستیکی آن

- اخذ اطلاعات از قفس‌های پرورش ماهی با ساختار مشبک

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]
[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

تورها یکی از اشیایی هستند که امکان مواجهه با آنها در دریا بسیار است. در شکل زیر نمایی از اخذ اطلاعات از قفس پرورش ماهی با ساختار مشبک فلزی و تور و تصویر آکوستیکی حاصله از آن ارائه شده است.

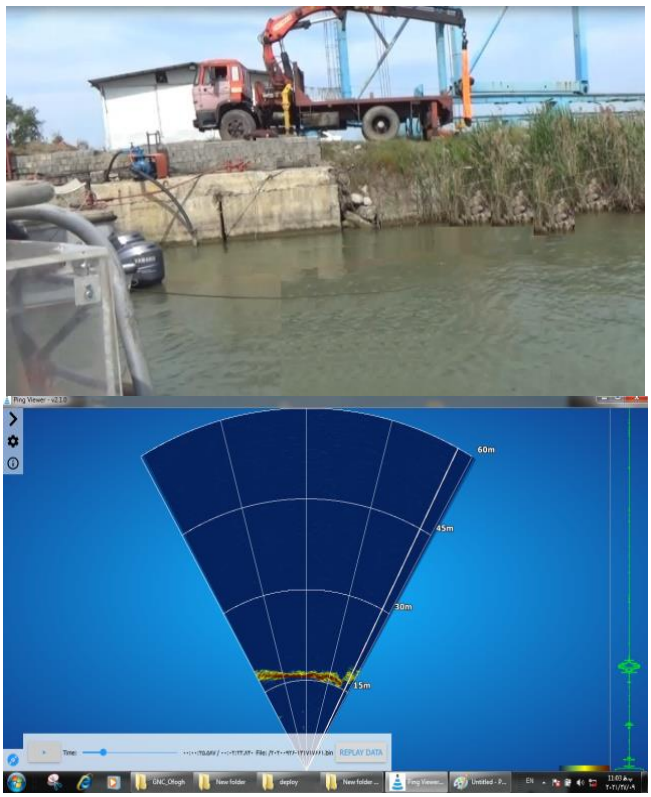


شکل ۱۴- سناریوی اخذ اطلاعات از قفس پرورش ماهی و تصویر آکوستیکی آن

- اخذ اطلاعات از دیواره اسکله ساحلی

دیواره‌های ساحلی، جزایر، عوارض طبیعی و مصنوعی از دیگر موارد محتمل هستند که امکان مواجهه با آنها در محیط آبی بسیار است. اخذ اطلاعات از دیواره ساحلی و تصویر آکوستیکی حاصله در شکل ۱۵ قابل مشاهده است.

در مجموع ۲۱ فایل از پژواک صوتی سونار اخذ گردید. ده سناریوی اول مربوط به محیط بدون مانع و یازده سناریوی بعدی در محیط شامل مانع اجرا شد. در گام اول، ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی و سنجش پارامترهای تنظیمی اولیه، روی ۲۱ سناریو بصورت Off-line اجرا شد و مقدار مناسب پارامترهای تنظیمی در بطن الگوریتم مانند مقدار آستانه حذف نویز برای افزایش دقت الگوریتم بدست آمد.



شکل ۱۵- سناریوی اخذ اطلاعات از دیواره اسکله ساحلی و تصویر آکوستیکی آن

نتایج حاصله از سیستم تشخیص شی با مشاهدات عینی از تصویر آکوستیکی نرم‌افزار رابط کاربری مقایسه گردید که در جدول (۱) ارائه شده است.

نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی بیانگر عملکرد قابل قبول آن در تشخیص شی است. به منظور ارزیابی بهتر، نتایج حاصل از روش‌های متداول در حوزه تشخیص شی با سونار در مقایسه با روش پیشنهادی مقایسه شده‌اند. در جدول (۲) پارامترهای مهمی از قبیل سرعت پردازش به ازای هر سیگنال، درصد دقت تشخیص شی، پایداری در برابر نویز و قابلیت پیاده‌سازی در بستر سخت‌افزار و نرم‌افزار زمان واقعی بین روش‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است. شایان ذکر است که معیار سرعت پردازش براساس اجرا در یک رایانه خانگی با پردازنده ۳.۲ گیگاهرتز و حافظه رم ۸ گیگابایت مقایسه شده است.

نتایج بیانگر درصد بالای دقت تشخیص شی مبتنی بر روش پیشنهادی با قابلیت پیاده‌سازی بالا و پایداری در برابر نویز است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

جدول ۱- خروجی الگوریتم تشخیص شی و مقایسه آن با تصویر آکوستیکی

شی هدف	خروجی سیستم تشخیص شی (تخمین شماره بایت حاوی شی)	مکان‌یابی بایت در نگاشت به برد نمایی سونار (متر)	صحت تخمین	مکان‌یابی شی با توجه به تصویر آکوستیکی	توضیحات (براساس تصویر آکوستیکی)
شناور	300,302, 303,304, 305,317, 318, 323, 345,348, 350,351, 352,353, 354, 355, 357, 359,361,365, 370, 371,375, 377, 378, 374, 379, 380, 382, 404, 519,520, 521, 522, 553, 557	16~12	√	در محدوده ۱۵~۱۸، ۲۱~۲۲، ۲۸~۳۰ و ۳۳~۳۶ متری شی مشاهده می‌شود.	وجود شی در محدوده ۲۸~۳۰ و ۳۳~۳۶ متری تشخیص داده نشده است.
		22~20	√		
		23	√		
دیواره ساحلی	195, 205, 223, 225, 273, 287, 314, 343	9~7	√	در محدوده ۸ متری شی مشاهده می‌شود.	بیشتر از ۸ متر شی‌ای مشاهده نمی‌شود.
		11	×		
		13	×		
قفس ماهی	643, 650, 682, 683, 737,738	27~25	√	در محدوده ۸~۱۲، ۱۷~۲۸، ۳۸~۴۷ متری شی مشاهده می‌شود.	وجود شی در محدوده ۳۸~۴۷ متری را تشخیص نداده است.
		29	√		
قفس ماهی	589, 584, 585, 481, 444, 439 425, 422, 427, 435, 434, 427, 340, 377, 341, 330, 322, 312, 311, 370, 325,339	23	√	در محدوده ۱۲~۱۵، ۱۷~۲۵، ۳۷~۴۷ متری شی مشاهده می‌شود.	وجود شی در محدوده ۳۷~۴۷ متری را تشخیص نداده است.
		19	√		
		17	√		
		15~12	√		

جدول ۲- مقایسه روش‌های مختلف الگوریتم تشخیص شی

نام روش	سرعت پردازش به ازای هر سیگنال (میلی ثانیه)	دقت تشخیص	پایداری در برابر نویز	قابلیت پیاده‌سازی
تفاضلی	۱۲	٪۲۳	خیلی پائین	بالا
تطبیقی	۱۷	٪۲۹	متوسط	بالا
استخراج ویژگی مبتنی بر موجک	۷۸۰	٪۵۸	بالا	پائین
دسته‌بندی مبتنی بر تکنیک BOW	۱۲۲۰	٪۵۱	بالا	پائین
استخراج نقاط اکسترمم و همبستگی بین فریمی	۷۰	٪۸۸	بالا	بالا

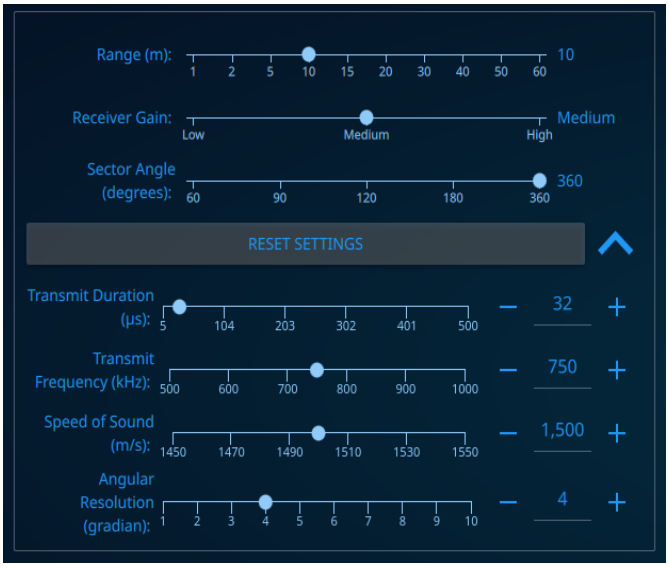
۲- پیاده‌سازی سخت‌افزاری

همانطور که پیشتر بیان شد حسگر سونار مورد استفاده در این پژوهش یک سونار اسکن‌کننده مکانیکی[1] تحقیقاتی غیرتخصصی در زمینه شناسایی مانع با برد عملکردی حدود ۵۰ متر با عمق حداکثری ۳۰۰ متر است. این سونار از پروتکل‌های ارتباطی RS485, USB, Ethernet برخوردار بوده و فرکانس کاری آن ۷۵۰ کیلوهرتز است. سونار دارای یک رابط نرم‌افزاری متن باز[2] بوده که قابلیت تغییر تنظیمات تعریف شده برای حسگر و نمایش تصویر آکوستیکی را برای کاربر امکان‌پذیر می‌کند. در شکل زیر نمایی از صفحه تنظیمات در نرم‌افزار رابط کاربری سونار قابل مشاهده است.

در این صفحه پارامترهایی از قبیل بورد حسگر، حساسیت گیرنده برای دریافت سیگنال ، زاویه دید حسگر، رزولوشن و ... قابل تنظیم است. نرم‌افزار رابط کاربری برای مانیتورینگ در لحظه[3] محیط زیرآب توسط ROV در اختیار کاربر قرار داده شده است. در حالیکه با توجه به تغییر کاربری این حسگر به منظور شناسایی شی در فضای پیش روی رونده بدون سرنشین، باید بتوان با استفاده از پردازنده مستقل و مبتنی بر پروتکل ارتباطی حسگر، بسته اطلاعات خروجی حسگر را دریافت، رمزگشایی و پردازش نمود و موقعیت شی را برای اجتناب از برخورد استخراج نمود. در ادامه پروتکل ارتباطی و ساختار پاکت اطلاعات سونار مورد استفاده به منظور برقراری ارتباط پردازنده با آن و تنظیم پارامترها ارائه خواهد شد.

[1] Mechanical scanning sonar
[2] Open-source
[3] On-Line

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]
[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]



شکل ۱۶- صفحه تنظیمات سونار

۱-۲- پروتکل ارتباطی و پیکره‌بندی سونار

پروتکل ارتباطی سونار مطابق جدول ۳ است.

جدول ۳- پروتکل ارتباطی سونار

Byte	Type	Name	Description
0	u8	start1	Start frame identifier, ASCII 'B'
1	u8	start2	Start frame identifier, ASCII 'R'
2-3	u16	payload_length	Number of bytes in payload.
4-5	u16	message_id	The message id.
6	u8	src_device_id	The device ID of the device sending the message.
7	u8	dst_device_id	The device ID of the intended recipient of the message.
8-n	u8[]	payload	The message payload.
(n+1)-(n+2)	u16	checksum	The message checksum. The checksum is calculated as the sum of all the non-checksum bytes in the message.

پاکت اطلاعات حسگر شامل فریم‌های متعدد با طول یکسان است که به ازای هر ارسال و دریافت سیگنال صوتی تولید می‌شود. هر فریم شامل تنظیمات پیکره‌بندی حسگر و اطلاعات حاصل از جاروب صوتی محیط است. فریم با دو بایت B و R آغاز می‌شود. طول اطلاعات خام سونار در بایت‌های ۲ و ۳ نوشته شده و بایت ۸ به بعد، حاوی اطلاعات خام سونار است. دو بایت پایانی فریم نیز checksum است که برابر جمع بایت‌های فریم است.

برای ارتباط با سونار مطابق پروتکل ارتباطی، باید دستورات لازم را به سونار داده و منتظر دریافت پاسخ باشیم. این مهم از دو طریق قابل اجرا است. در روش اول هر بار می‌توان دستور جاروب محیط را صادر و پاسخ حسگر را دریافت کرد، به عبارت دیگر ارسال و دریافت اطلاعات بصورت فریم به فریم انجام می‌گیرد تا میدان دید سونار بصورت کامل جاروب شود. اما در روش دوم می‌توان تنها با ارسال یک دستور، حسگر را طوری تنظیم کرد که بصورت تناوبی با گام زمانی مشخص، به شناسایی محیط پرداخته و نتیجه را به پردازنده ارسال کند. بنا به برخی دلایل از جمله سنکرون‌سازی پردازنده و حسگر و همچنین متغیر بودن زمان پاسخ حسگر به ازای بوردهای متفاوت، روش اول برای پیاده‌سازی انتخاب شده است. برای برقراری ارتباط با سونار به منظور تنظیم پارامترهای عملکردی، ذخیره‌سازی اطلاعات و شناخت عملکرد آن بخصوص در مرحله تحقیق و توسعه یک رابط کاربری GUI طراحی شده است تا ارتباط با حسگر تسهیل گردد. نمای GUI مطابق شکل ۱۷ است.

نرم‌افزار GUI طراحی شده کلیه امکانات نرم‌افزار رابط کاربری سونار را دارا است. امکانات افزوده این رابط GUI، نمایش برخط زاویه تابش حسگر و استخراج شماره بایت حاوی شی و مولفه‌های مختصات شی (فاصله و زاویه) نسبت به سونار است. پارامتر start_angle و stop_angle بترتیب زاویه شروع و زاویه پایانی برای جاروب محیط است. پارامتر angle_increment گام زاویه جاروب را تعیین می‌کند که در حقیقت بیانگر میزان رزولوشن جاروب است. پارامتر Range محدوده بورد حسگر بر حسب متر است. بهره حسگر، میزان حساسیت دریافت صوت بازگشتی است که در سه حالت Low، Medium و High قابل انتخاب است. پس از تنظیم پارامترهای فوق و فشردن دکمه tune، پردازنده مولفه‌های پیکره-بندی را دریافت کرده و با فشردن دکمه start communication، دستورات لازم را به حسگر ارسال می‌کند.

حسگر با دریافت فریم، ابتدا در زاویه‌ای که به آن اعلام شده قرار می‌گیرد، سپس یک تبدیل آکوستیک انجام داده و نتیجه را در قالب پورت سریال به پردازنده ارسال می‌کند. بیشترین زمان پاسخ حسگر بر طبق اعلام سازنده ۴ ثانیه است که دلیل اصلی آن اختلاف زاویه فعلی حسگر از زاویه مورد نظر است. بیشترین زمان پاسخ همواره در اولین پاسخ دریافتی از حسگر اتفاق می‌افتد. با baud rate برابر ۱۱۵۲۰۰ بیت بر ثانیه، ارسال یک فریم ۱۲۲۴ بایتی حدود ۸۵ میلی ثانیه طول می‌کشد، علاوه بر این قرارگیری حسگر در زاویه مورد نظر پس از دریافت دستور، انجام تبدیل آکوستیک و ... نیز مدتی طول می‌کشد. بر طبق اندازه‌گیری تجربی، حداقل زمان پاسخ حسگر پس از دریافت فرمان، حدود ۱۲۰ میلی ثانیه (۸۵ میلی ثانیه بدلیل ارسال فریم و ۳۵ میلی ثانیه سایر تاخیرها) است.

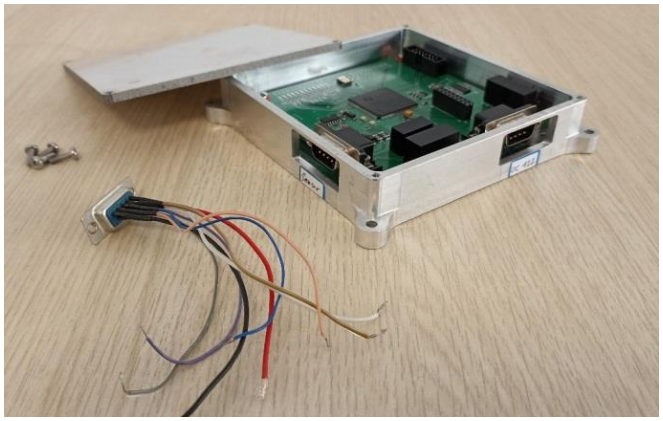
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

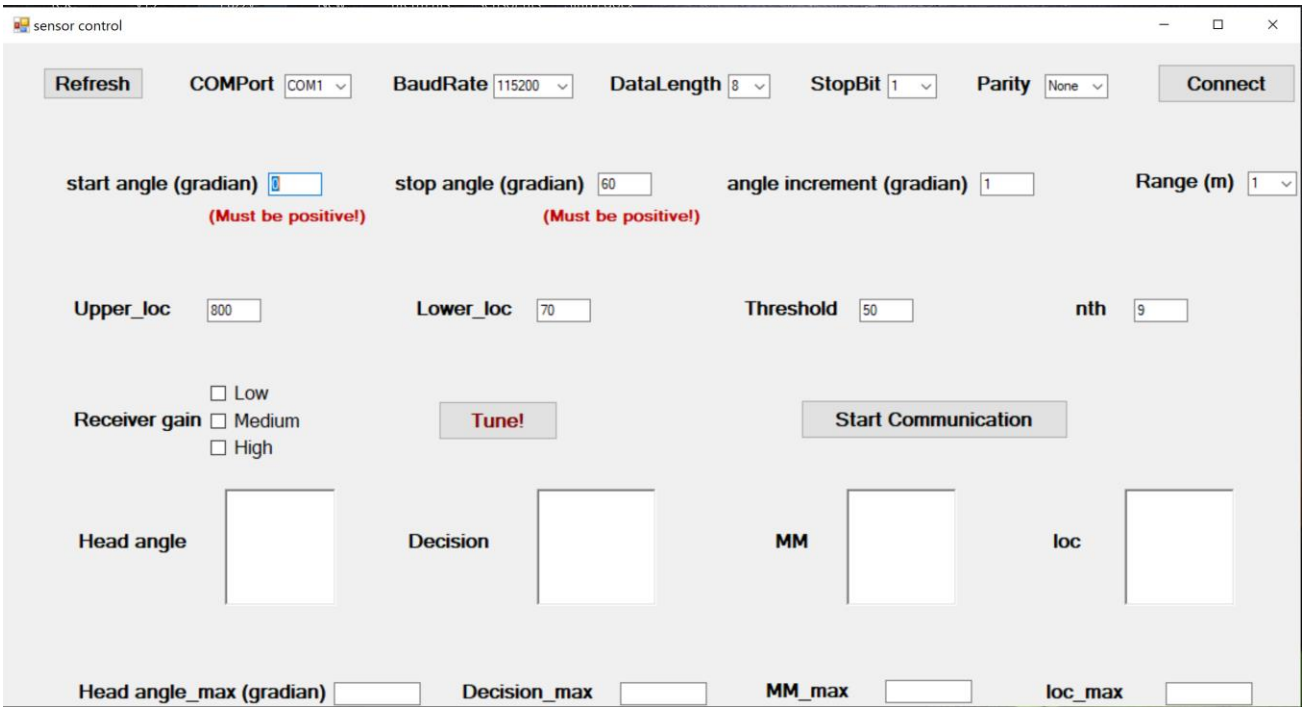
زمان پـردازش اطلاعـات دریـافتی از حسـگر توسـط پردازنـده در بدترین حالت حدود ۶۰ میلی‌ثانیه است که با احتساب تاخیر ناشی از وقفه دریافت فریم سریال، بطور تقریبی این زمان تـا ۶۵ میلـی‌ثانیـه افزایش می‌یابد. بنابراین پردازنده زمان کافی را برای تحلیل اطلاعـات حسگر در اختیار دارد.

پردازنده پس از دریافت کامل اطلاعات حسگر و ارزیابی اعتبار آن، اطلاعات دریافتی از حسگر را در آرایه دیگری ذخیـره کـرده و فـریم فرمان جدید به حسگر ارسال مـی‌شـود. اطلاعـات حاصـل از تبـدیل آکوستیک از هر فریم جداسازی و توسط پردازنده تحلیل مـی‌شـود. تحلیل این داده‌ها طبق الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص شی انجام می‌شود. توابع الگوریتم تشخیص شی بـه زبـان C نوشـته شـده و در پردازنده بارگذاری شده است.

پردازنده مورد استفاده برای پیاده‌سازی بستر سخت‌افزاری ارتبـاط بـا سونار، DSP سری ۲۰۰۰ با نام تجاری TMS320F28335 از شرکت Texas Instruments است. در شکل زیر نمایی از سخت‌افزار پردازنده طراحی شده برای برقراری ارتباط با حسگر سونار و تحلیل اطلاعـات دریافتی از آن قابل مشاهده است.



شکل ۱۸- بستر سخت‌افزاری طراحی شده برای برقراری ارتباط با حسگر سونار و اجرای الگوریتم تشخیص شی مبتنی بر پردازنده TMS320F28335



شکل ۱۷- نرم‌افزار رابط کاربری GUI برای پیکره‌بندی و استخراج اطلاعات حسگر سونار

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]

۳ - نتیجه گیری

در این پژوهش بستر سخت‌افزاری برای توسعه الگوریتم پردازش سیگنال آکوستیکی سونار اسکن مکانیکی به منظور شناسایی شی در محیط زیرآب پیشنهاد شده است. در الگوریتم پیشنهادی با استفاده از ماتریس هسین و استخراج نقاط اکسترمم، گسستگی‌های منتجه از وجود شی در یک سیگنال در مقایسه با پس‌زمینه یکنواخت فاقد شی در سیگنال آکوستیکی بدون نیاز به هیچ سیگنال مبنا شناسایی می‌شود. پس از شناسایی سیگنال‌های شامل شی، به منظور افزایش قابلیت اطمینان تشخیص وجود شی در محیط، عملیات همبستگی بین فریمی در سیگنال‌های اشعه‌های همجوار صورت می‌گیرد. شناسایی نقاط اکسترمم و بررسی آن در پژواک‌های همجوار یک تصمیم قدرتمند از حضور یا نبود شئ در سیگنال را رقم می‌زند و نویزهای پس زمینه محیط را که دامنه فراتر از حد آستانه داشته‌اند و در مراحل پیش‌پردازش حذف نشده‌اند، را نادیده می‌گیرد. بستر سخت‌افزاری مبتنی بر پردازنده TMS برای توسعه الگوریتم پیشنهادی و نرم‌افزار رابط کاربری سونار اسکن مکانیکی پیاده‌سازی شده است. سرعت پردازش بالا، هزینه محاسباتی محدود و سادگی در پیاده‌سازی برای کاربری زمان واقعی، مقاومت در برابر نویز و دقت بالا برای تشخیص شئ از ویژگی‌های بارز سیستم پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های دیگر بوده که در شرایط گوناگون آب و هوایی در محیط عمومی دریای خزر و در نواحی پراغتشاش ساحلی و دهانه بندرگاه که محل عبور شناورهای تجاری، کشتی‌های ماهیگیری و و قایق‌های سبک تفریحی بوده به اثبات رسیده است.

۴ - مراجع

1- Shi zhao “Automatic underwater multiple objects detection and tracking using sonar imaging” School of Mechanical Engineering the university of Adelaide, south Australia, 2008.
2- Natàlia Hurtos Vilarnau “Forward-Looking Sonar Mosaicing for Underwater Environments” University of Girona in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2014.
3- Zhang, Yin, Rong Jin, and Zhi-Hua Zhou. "Understanding bag-of-words model: a statistical framework." International Journal of Machine Learning and Cybernetics 1.1-4 (2010): 43-52.
4- Li, Teng, et al. "Contextual bag-of-words for visual categorization" IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 21.4 (2010) 381-392.
5- Gardner, William A, and Chih-Kang Chen “Signal-selective time-difference-of-arrival estimation for passive location of man-made signal sources in highly corruptive environments Part 1. Theory and method” Statistical Signal Processing Inc Yountville CA, 1992.
6- Wei, Yinsheng, and Xiaojiang Guo. "Pair-matching method by signal covariance matrices for 2D-DOA estimation." IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters 13 (2014): 1199-1202.
7- Dash, Sonali, and Manas Ranjan Senapati. "Enhancing detection of retinal blood vessels by combined approach of DWT, Tyler Coye and Gamma correction." Biomedical Signal Processing and Control 57 (2020): 101740.
8- Ćalasan, Martin, Shady HE Abdel Aleem, and Ahmed F. Zobaa. "On the root mean square error (RMSE) calculation for parameter estimation of photovoltaic models: A novel exact analytical solution based on Lambert W function." Energy conversion and management 210 (2020): 112716.
9- Jianjiang zhu, Siquan yu, Zhi han, Yandong and Chengdong wu “underwater object recognition using transformable template matching based on prior knowledge” hindawi, mathematical problems in engineering, volume 2019, article Id 2892975, 11pages.
10- Yuanyuan tian, Luyu lan and Haitao guo “a review on the wavelet methods for sonar image segmentation” international journal of advanced robotic systems volume17, issue4, julay 2020.
11- Xin wen, Jian wang, Chensheng cheng, Feihu zhang and Guang pan “underwater side-scan sonar target detection: yolov7 model combined with attention mechanism and scaling factor” remote sens. 2024, 16, 2492.
12- Jimin hwang, Neil Bose, Brian Robinson & Worakanok Thanyamanta “Sonar Based Delineation of Oil Plume Proxies Using an AUV” International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research Vol. 11, No. 4, April 2022.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-05-27]

[DOI: 10.61882/marineeng.21.46.1]