

آشکار سازی اهداف سونار غیر فعال با استفاده از جداسازی آماری و آستانه وقتی

حامد کماری علائی^۱، حسن فرسی^۲

^۱دانشجوی دکتری برق مخابرات سیستم، دانشگاه بیرجند، komari@birjand.ac.ir

^۲استاد دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، hfarsi@birjand.ac.ir

چکیده

همواره آشکار سازی اصوات منتشر شده در آب جزء چالش‌های اساسی محققان در حوزه سونار می‌باشد. این چالش زمانی پیچیده‌تر خواهد شد که عمق دریا کم بوده و یا اینکه اصوات با توان بسیار پایینی منتشر شده‌اند. به طور معمول آشکار سازی در سونارها با استفاده از حد آستانه ثابتی انجام می‌شود که این امر خطای آشکار سازی را افزایش خواهد داد. هدف از ارائه این مقاله، ارائه پیشنهادی جدید جهت آشکار سازی اهداف در سونارهای غیر فعال با استفاده از سطح آستانه وقتی می‌باشد. به طور معمول آشکار سازی در سونارهای غیر فعال بر اساس حل معادله سونار است. در این معادلات با توجه به متغیرهای معادله که در بسیاری موارد تابعی از یکدیگر می‌باشند حد آستانه به صورت عددی ثابت انتخاب شده و آشکار سازی بر روی دامنه سیگنال و با استفاده از این حد آستانه ثابت انجام می‌گردد. در روش پیشنهادی با استفاده از فیلترهای ذره‌ای (Particle Filter) روش مونت کارلو (Monte Carlo) و جداسازی توسط الگوریتم بیزین (Bayesian)، در دو حوزه زمان و فرکانس اعمال شده و در نهایت عملیات آشکار سازی پس از ترکیب نتایج آشکار سازی در این دو حوزه با استفاده از فیلتر وقتی انجام می‌شود. نتایج این مقاله نشان می‌دهد روش پیشنهادی عملکرد مناسب‌تری نسبت به روش‌های دیگر آشکار سازی اهداف سونار داشته است و نسبت به بهترین روش آشکار سازی ۲۳ درصد بهتر می‌باشد.

کلیدواژه

سونار غیر فعال، آشکار سازی، آستانه وقتی، الگوریتم Bayesian، K-mean، فیلتر ذره‌ای، روش مونت کارلو

مقدمه

دریا توسط هیدروفون دریافت شده و پس از پیش پردازش، با تحلیل محتوای سیگنال می‌توان به آشکار سازی هدف پرداخت. سونارهای غیر فعال جهت شناسایی شناورها، از امواج و ارتعاشات ناخواسته آنها در آب استفاده می‌نمایند. این امواج تنها از شناورها تولید نشده و عواملی مانند نویز، ارتعاش کف دریا، ماهی‌ها و... باعث ایجاد اغتشاش در آشکار سازی شناورها می‌گردد. از این رو جهت آشکار سازی نیاز به یک سطح آستانه هوشمند وقتی می‌باشیم که در شرایط مختلف و با بررسی پارامترهای محیطی خطای آشکار سازی را به حداقل برساند. به طور معمول آشکار سازی اهداف سوناری با استفاده از معادلات سونار انجام می‌شود. این معادلات دارای متغیرهای بسیاری مانند میزان توان ارسال، میزان تضعیف مسیر انتقال، ضریب بازتاب سیگنال و... بوده که برخی از آنها تابعی از متغیرهای دیگر می‌باشند. در این روش که به عنوان کلاسیک ترین الگوریتم آشکار سازی شناخته می‌شود با استفاده از تابع چگالی گوسی سیگنال

با توجه به تضعیف بسیار شدید فرکانس رادیویی و سیگنال‌های نوری در زیر دریا، اغلب سیگنال‌های صوتی راه بسیار مناسبی برای آشکار سازی اهداف در زیر دریا هستند. سونار (sonar) وسیله ای است که با استفاده از امواج صوتی در زیر آب قادر به شناسایی دیگر اهداف می‌باشد. سیستم‌های سونار امواج صوتی را با استفاده از هایدروفون ضبط کرده و با پردازش این سیگنال‌ها می‌توانند اهداف مختلف را آشکار سازی، موقعیت یابی و طبقه بندی کنند.

سونار به دو خانواده فعال و غیر فعال تقسیم می‌شود که در نوع فعال، با ارسال پالس‌های صوتی (پینگ) و تحلیل پژواک دریافتی آن، می‌توان نوع، فاصله و جهت هدف را شناسایی کرد. در سونار غیر فعال که موضوع کار این پروژه است، سیگنال‌های صوتی زیر

¹ Sound Navigation and Ranging

² hydrophone

- احتمال اینکه سیگنال وجود نداشته باشد و تصمیم اشتباه بر وجود هدف گرفته شود. که به این حالت، احتمال آشکار سازی غلط یا احتمال اطلاع نادرست $p(FA)$ می گویند.
- احتمال اینکه سیگنال وجود نداشته باشد و تصمیم اشتباه مبنی بر وجود هدف گرفته شود که احتمال آن برابر است با $1 - p(FA)$.
- احتمال اینکه سیگنال وجود داشته باشد و تصمیم اشتباه مبنی بر عدم وجود هدف گرفته شود که احتمال آن برابر است با $1 - p(D)$.
- آستانه آشکار سازی به $p(D)$ و $p(FA)$ بستگی دارد.

جدول ۱: بررسی احتمال آشکار سازی هدف

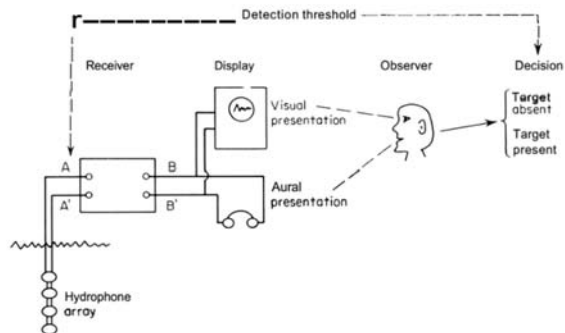
	تصمیم گرفته شده	
	سیگنال وجود دارد	سیگنال وجود ندارد
در حضور سیگنال	تصمیم گیری درست آشکار سازی هدف $p(D)$	تصمیم گیری اشتباه از دست رفتن هدف $1 - p(D)$
عدم حضور سیگنال	تصمیم گیری اشتباه آشکار سازی هدف $p(FA)$	تصمیم گیری درست عدم آشکار سازی هدف $1 - p(FA)$

برای یک سیگنال به نویز ثابت برای خروجی گیرنده، احتمال آشکار سازی و احتمال هشدار اشتباه در سطوح مختلف آستانه آشکار سازی، تغییر خواهد کرد. می توان تغییرات احتمال آشکار سازی و احتمال هشدار اشتباه با سطوح مختلف آشکار سازی را در یک نمودار نشان داد. این نمودار یکی از منحنی های خانواده منحنی های مشخصه های عملکرد گیرنده است که به اختصار از آن به ROC^v یاد می شود. در نهایت با استفاده از نتایج معادلات سونار و همچنین منحنی ROC بهترین مقدار سطح آشکار سازی انتخاب شده و آشکار سازی در دامنه سیگنال انجام می گردد.

به طور خاص روش هایی دیگر نیز در آشکار سازی اهداف سونار غیر فعال ارائه شده است که با توجه به محرمانه بودن موضوع تنها به بیان مسئله و استفاده آن در مسائل زیست محیطی بسنده شده است. نمونه ای از این روش ها در [3] و [4] آمده است که در قسمت شبیه سازی به آنها اشاره خواهد شد.

در این مقاله پس از بیان مقدمه و بیان راهکارهای موجود روش پیشنهادی به تفصیل بیان می گردد. سپس بانک داده که شامل صدای شناورهای سطحی و زیر سطحی می باشد شرح داده شده و شبیه سازی بر روی این بانک داده اعمال می گردد. در نهایت

مخلوط به نویز و تابع چگالی نویز سطح آستانه آشکار سازی انتخاب می گردد. شکل ۱ رابطه بین اجزای مختلف سونار و چگونگی رابطه بین آرایه هیدروفون ها و تصمیم گیری در مورد حضور عدم حضور هدف نشان داده شده است [1].



شکل ۱. دیاگرام کلی نحوه آشکار سازی در سونارهای پسیو [1]

اولین جزء این بلوک دیگر، گیرنده است که سیگنال را با استفاده از ترمینال های A-A آشکار می کند. یک نمایشگر تصویری و یا صوتی که گذشته و حال سیگنال را نشان می دهد و یک کاربر انسانی که با استفاده از نمایشگر تصویری و صوتی در مورد حضور و عدم حضور هدف تصمیم گیری می کند. بطور معمول آستانه آشکار سازی به نسبت توان سیگنال (یا میانگین مربع ولتاژ) در پهنای پرتو گیرنده به توان نویز (یا میانگین مربعات ولتاژ نویز) در یک 1 هرتز پهنای باند گفته می شود و این مقدار در ترمینال ورودی گیرنده اندازه گیری می شود و بر حسب دسی بل بیان می شود. اگر توان سیگنال در ترمینال A-A' گیرنده برابر S باشد و توان نویز توان در ترمینال A-A' گیرنده برابر N در پهنای باند یک باشد آنگاه آستانه آشکار سازی در (۱) بیان می شود:

$$DT = 10 \log \frac{S}{N} \quad (1)$$

زمانی که سیگنالی در پایانه ورودی گیرنده حس شود، ممکن است دو تصمیم گرفته شود، وجود و یا عدم وجود هدف، همچنین در صورتی که سیگنالی در پایانه ورودی وجود نداشته باشد باز هم دو تصمیم گرفته می شود، حضور و یا عدم حضور هدف. لذا ما با یک تصمیم دوتایی مواجه هستیم که عبارتند از حضور یا عدم حضور هدف (جدول ۱). لذا در آشکار سازی هدف چهار احتمال وجود دارد که در ادامه شرح داده شده است [2]:

- احتمال اینکه سیگنال وجود داشته باشد و تصمیم درست مبنی بر وجود هدف گرفته شود. که به این حالت، احتمال آشکار سازی $p(D)$ می گویند.

⁶ false-alarm probability

⁷ Receiver-Operating-
haracters

³ target present

⁴ target absent

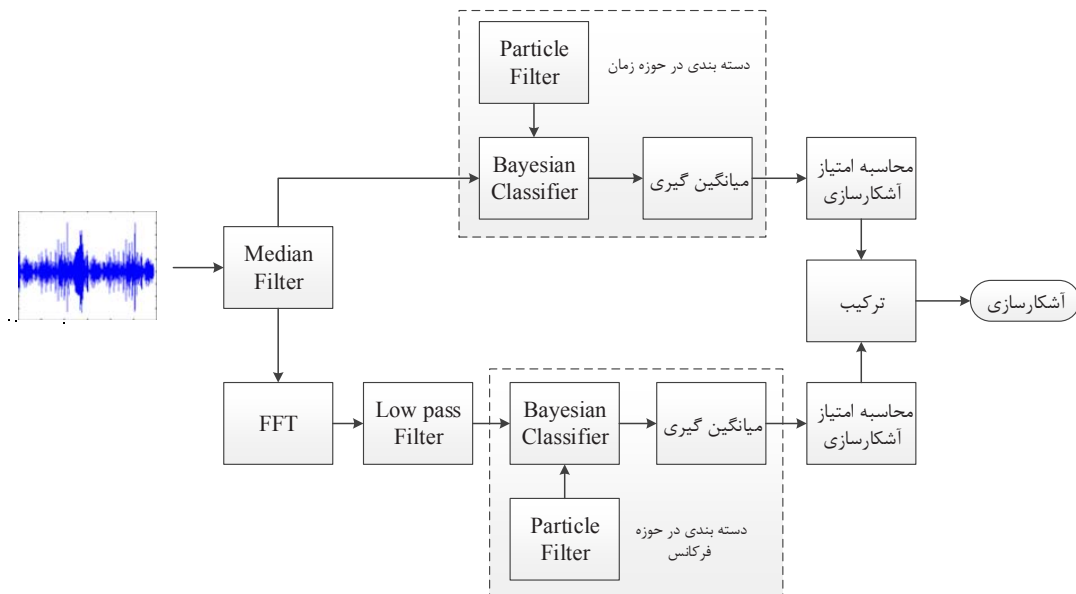
⁵ detection probability

توجه به ماهیت آماری اطلاعات کسب شده از شرایط محیطی دریا و همچنین شرایط کاری اهداف (که عمدتاً شناور می‌باشند) از دسته بندی آماری بیزین^{۱۰} استفاده شده است. در روش پیشنهادی پس از انجام پیش پردازش که فیلتر میانه می‌باشد سیگنال هدف و نویز به عنوان داده‌های آموزش به جداساز بیزین اعمال می‌گردد. جهت آموزش داده‌های هدف و نویز یک بار در حوزه زمان و بار دیگر در حوزه فوریه جهت محاسبه ضرایب و مقادیر میانگین و واریانس و با استفاده از فیلتر ذره‌ای (PF)^{۱۱} تعیین شده [3] و نتایج در هر حوزه ثبت می‌گردد. در هر یک از حوزه‌ها میزان شباهت سیگنال به سیگنال هدف امتیاز بندی شده و پس از ترکیب^{۱۲} امتیازها در حوزه فرکانس و زمان با استفاده از فیلترهای وافی، سطح آستانه مناسب جهت آشکارسازی هدف انتخاب می‌شود. در شکل ۲ شمای کلی روش پیشنهادی نشان داده شده است. در ادامه به انواع نویزهای سونار و همچنین به تشریح روش پیشنهادی پرداخته و نتایج آن بیان می‌شود.

نتایج حاصله با روش‌های معمول آشکارسازی مقایسه شده و نتیجه گیری بیان می‌گردد.

آشکارسازی اهداف سونار غیر فعال

آشکار سازی هدف به منزله جداسازی یک سیگنال خاص که بطور کلی "هدف" نامیده می‌شود از سایر سیگنال‌ها می‌باشد. به عبارتی در موضوع آشکارسازی تمام سیگنال‌های دریافتی به دو دسته سیگنال هدف و غیر هدف تقسیم شده و این دسته بندی توسط جداساز انجام می‌گردد. به طور کل سیگنال‌های غیر هدف سیگنال مزاحم و یا نویز شناخته می‌شوند و جداساز موفق جداسازی است که با استفاده از دانش موجود (یا بدون دانش خاصی) سیگنال هدف را از میان نویزها استخراج نماید. در طول سال‌های متمادی محققان روش‌های مختلفی جهت جداسازی سیگنال هدف از نویز ابداع و بکار برده‌اند که از انواع آن می‌توان به جداسازهایی مانند SVM، شبکه عصبی، آماری و... نام برد [1]، [2]. در روش پیشنهادی که در این مقاله بیان شده است با



شکل ۲. شمای کلی روش پیشنهادی

¹⁰ Particle Filter

¹¹ Fusion

⁸ Target

⁹ Bayesian

نویز سونار

یکی از پدیده‌هایی که انتشار امواج در محیط زیر آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، انواع نویزهای موجود در محیط زیر آب می‌باشد. به طور کلی، انواع نویزهای موجود در محیط زیر آب شامل نویز محیط^۲ و نویز انتشاری^۳ است. معمولاً نویز محیط یک نویز گوسی غیر سفید جمع شونده با سیگنال است. برخلاف نویز محیط، نویز انتشاری دارای توزیع احتمال غیر گوسی است.

نویز محیطی

نویزی که در محیط انتشار ناهمگن زیر آب توسط یک هیدروفن تمام جهته دریافت می‌شود، نویز محیط می‌باشد. سطح نویز محیط از نسبت توان نویز اندازه‌گیری شده توسط یک هیدروفن تمام جهته به یک هیدروفن تمام جهته با یک موج صفحه‌ای مبنا به دست می‌آید. منابع ایجاد کننده نویزهای انتشاری در محیط زیر آب دارای پهنای باندی از یک هرتز تا صد کیلوهرتز می‌باشند که تقریباً تمام فرکانس‌های موجود را تحت پوشش قرار می‌دهند. به منظور بررسی دقیقتر عوامل مؤثر بر نویز محیط با توجه به عمق، می‌توان این نویز را به دو دسته نویز در آب‌های عمیق و کم عمق تقسیم بندی نمود [4].

نویز انتشاری

کشتی‌ها، زیر دریایی‌ها و اژدرها از جمله منابع مولد نویز انتشاری هستند. این نوع نویز شامل نویز انتشاری ماشینی، نویز پروانه کشتی و نویز انتشاری هیدرودینامیکی می‌شود. نویز ناشی از تلاطم آب که به دلیل حرکت پروانه شناور و حباب‌های آب در پشت شناور ایجاد می‌شود، باند پهن بوده و غالباً تا ۱۰ کیلوهرتز را پوشش می‌دهد. البته حجم عمده این نویز در محدوده‌ی زیر ۳ کیلوهرتز است. نویز سونار، نوعا سفید نیست، بلکه با مولفه‌های فرکانسی قوی (بالتر از سطح نویز) مخلوط است. این مولفه‌ها ناشی از این واقعیت است که مثلاً در یک شناور موتوری، پیستون، میل بادامک و تیغه‌های پروانه با سرعت خاصی نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند و مولفه‌های فرکانسی باریک اما قوی تولید می‌کنند که بسته به سرعت موتور، توان آنها نیز متفاوت است [5].

مراحل پیاده سازی روش پیشنهادی

پایه اصلی این تحقیق مبتنی بر نظریه ساده تشخیص اصوات ناآشنا است. شاید شکستن شیشه و یا افتادن یک جسم بر روی زمین در فضای ساکت اتاق مثال خوبی جهت بیان ایده اصلی این طرح باشد. در این تحقیق با ثبت صدای محیط که نویز محیطی نامیده می‌شود، صوتی غیر از این صوت به عنوان هدف قابل بررسی خواهند بود. این اصوات شبه هدف با بررسی میزان شباهت آنها به صداهای موجود (سیگنال آموزش) بررسی شده و میزان شباهت آنها به صورت عددی (امتیاز آشکارسازی) مشخص خواهد شد. در ادامه نحوه پیاده سازی این طرح بیان می‌گردد.

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در روش پیشنهادی جهت کاهش نویز سیگنال ورودی از فیلتر میانه عبور داده می‌شود. پس از عبور سیگنال از این فیلتر از روش دسته بندی بیزین جهت جداسازی سیگنال هدف از نویز در دو حوزه زمان و فرکانس استفاده شده است. نتیجه دسته بندی در حوزه زمان میانگین‌گیری شده و امتیاز آشکارسازی در حوزه زمان محاسبه می‌گردد. در حوزه فرکانس نیز پس از عبور سیگنال از فیلتر پایین‌گذر و دسته بندی آن و پس از میانگین‌گیری، امتیاز آشکارسازی در حوزه فرکانس بدست می‌آید. آشکارسازی نهایی پس از تلفیق امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان و فرکانس با استفاده از فیلتر وینر حاصل می‌گردد.

دسته بندی سیگنال

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است آشکار سازی در دو حوزه زمان و فرکانس انجام خواهد شد. از این رو داده‌های آموزش الگوریتم بیزین نیز در این دو حوزه می‌باشند. در ادامه به اختصار در مورد دسته‌بندی آماری توضیحاتی مطرح شده و در ادامه نحوه آموزش و دسته‌بندی این الگوریتم بیان می‌شود.

الگوریتم دسته بندی بیزین

در این تحقیق، جهت دسته بندی سیگنال هدف از الگوریتم بیزین استفاده شده است. با توجه به اینکه سیگنال صوت هدف و نویز توزیع شبه گوسی دارند این الگوریتم نتایج خوبی در

¹³ Radiated Noise

¹² Ambient Noise

نیز با استفاده از ضریب باتاچاریا که در (۵) نشان داده شده است مشخص می‌گردد.

$$\rho[p, q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p^u q^u} \quad (5)$$

$$d = \sqrt{1 - \rho[p, q]}$$

در این معادله p و q دو تابع احتمال می‌باشند که در صورت شباهت مقدار d به یک میل می‌نماید.

با بررسی توزیع پیشین و بر اساس منطق رابطه (۶)، هدف (H₁) از نويز (H₀) تفکیک می‌شود:

$$\begin{cases} \text{if } p(s|x) > \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \text{Accept } H_1 \\ \text{if } p(s|x) \leq \frac{1}{\gamma} \Rightarrow \text{Accept } H_0 \end{cases} \quad (6)$$

امتیاز آشکارسازی در حوزه زمان

همانطور که بیان شد دسته بندی در دو حوزه زمان و فرکانس انجام می‌شود. در حوزه زمان پس از دسته بندی سیگنال ورودی (به طول ۱۰هزار سمپل) به دو دسته + (نويز) و ۱ (هدف) خروجی حاصله دارای پیوستگی و گسستگی بسیاری در برخی از مناطق سیگنال می‌باشد که این امر ناشی از شباهت آماری سیگنال هدف با نويز است. جهت برطرف کردن این مشکل از ویژگی پیوستگی سیگنال هدف استفاده شده است. به عبارتی سیگنال هدف دارای پیوستگی مقطعی می‌باشد که آن هم بواسطه حرکت ممتد پروانه شناور درون آب است. موتور شناور همواره با سرعت لخت روشن و خاموش می‌شود و لذا گسستگی شدیدی در صدای پروانه بوجود نمی‌آید. بنابراین نتیجه دسته بندی بوسیله پنجره ای به عرض w=1000 سمپل که به صورت تجربی انتخاب شده است میانگین گیری شده و در برداری که در این مقاله بردار میانگین \bar{a} نامیده می‌شود ذخیره می‌گردد. نحوه محاسبه این بردار در (۷) نشان داده شده است. در این معادله x(.) سیگنال ورودی و mean(.) الگوریتم میانگین می‌باشد.

جداسازی سیگنال هدف از خود نشان داده است. جهت دسته بندی سیگنال هدف، توزیع آماری سیگنال هدف و نويز با استفاده از داده‌های آموزش تخمین زده می‌شوند.

در این الگوریتم، چنانچه θ معرف برچسب هدف (S)، نويز (b) و x عضوی از بردار ورودی از سیگنال صوت باشد توزیع پسین $\pi(\theta)$ ، احتمال وقوع نويز و هدف، تابع چگالی گوسی $f(x|\theta)$ احتمال وقوع مقدار x در ناحیه θ بوده و توزیع پیشین $p(\theta|x)$ بر اساس (۲) تعریف می‌شود:

$$p(\theta|x) = \frac{\pi(\theta)f(x|\theta)}{\pi(s)f(x|s) + \pi(b)f(x|b)} \quad (2)$$

همچنین تابع چگالی گوسی $f(x|\theta)$ نیز از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$f(x|\theta) = \sum_{i=1}^{\gamma} \omega_{\theta_i} N(\mu_{\theta_i}, \sigma_{\theta_i}^2) \quad (3)$$

در این تحقیق، جهت تخمین توزیع مطلوب فیلتر بیزین یعنی $p(\theta|x)$ با مجموعه‌ای از نمونه‌ها و وزن‌های متناظر آنها صورت می‌گیرد که به این روش فیلتر ذره‌ای می‌گویند. فیلترهای ذره‌ای بر پایه فرضیه احتمال بیز و الگوریتم نمونه‌برداری مونت کارلو^{۱۴} است و در مسائل تخمین متغیر حالت قابل استفاده است. این روش در سیستم‌هایی با معادلات غیرخطی و توزیع غیرگوسی عملکرد خوبی دارد. معادله گذرا حالت سیستم $x_k = f(x_{k-1}) + v_k$ با متغیر حالت x و نويز سیستم v و معادله مشاهده $y_k = h(x_k) + n_k$ با متغیر اندازه گیری y و نويز n است. توابع f و h بطور کلی غیر خطی هستند. نمونه‌برداری ذرات $x_k^{(i)}$ از تابع توزیع اهمیت^{۱۵} $\pi(x_k | x_{0:k-1}^{(i)}, y_{0:k})$ صورت گرفته و وزن متناظر هر ذره از (۴) به دست می‌آید:

$$w_k^{(i)} = w_{k-1}^{(i)} \frac{p(y_k | x_k^{(i)}) p(x_k^{(i)} | x_{k-1}^{(i)})}{\pi(x_k | x_{0:k-1}^{(i)}, y_{0:k})} \quad (4)$$

در این مقاله از فیلتر ذره‌ای SIR^{۱۶} استفاده شده می‌شود و در مرحله نمونه‌برداری مجدد انجام می‌شود. نحوه بروز شدن وزن‌ها

¹⁶ Sampling Importance Resampling

¹⁴ Monte Carlo

¹⁵ Importance Sampling

علاوه بر نزدیک بودن مرکز خوشه به یک در نظر گرفته شده است. به عبارتی هم مرکز بزرگتر و هم تعداد اعضای آن خوشه در امتیاز آشکار سازی رابطه مستقیم خواهد داشت. اگر مرکز هر خوشه بزرگتر و تعداد اعضای آن خوشه بیشتر باشد آن سیگنال دارای امتیاز آشکار سازی بیشتر خواهد بود.

(۸) نحوه ترکیب تعداد اعضا و مرکز دسته در حوزه زمان بیان شده است.

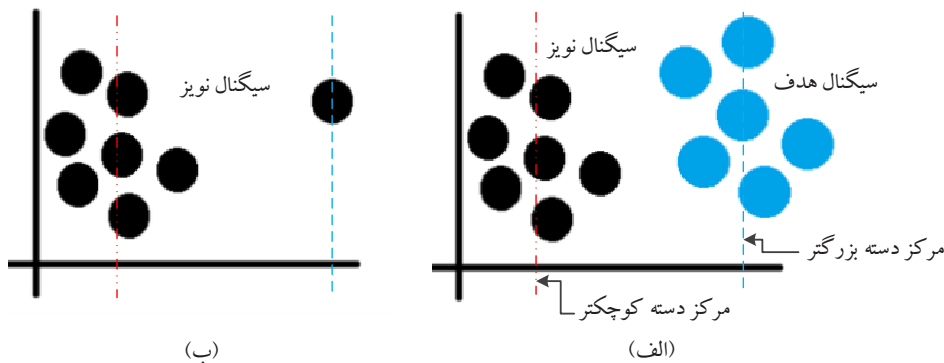
$$a_{tp} = c_{Mt} \times \left(2 \frac{n_{Mt}}{n_t} \right), 0 \leq c_{Mt} \leq 1 \quad (۸)$$

که در (۸) امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان با a_{tp} ، مرکز خوشه بزرگتر با c_{Mt} ، تعداد اعضای آن خوشه با n_{Mt} و تعداد کل اعضا n_t نشان داده شده است. با توجه به اینکه تعداد دسته‌های الگوریتم K-mean دو انتخاب شده است، جهت جلوگیری و اصلاح خطای دسته بندی در سیگنال‌های بدون نویز عدد ۲ در امتیاز آشکار سازی ضرب شده است. بطور خلاصه شکل ۴ نحوه محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان را نشان می‌دهد.

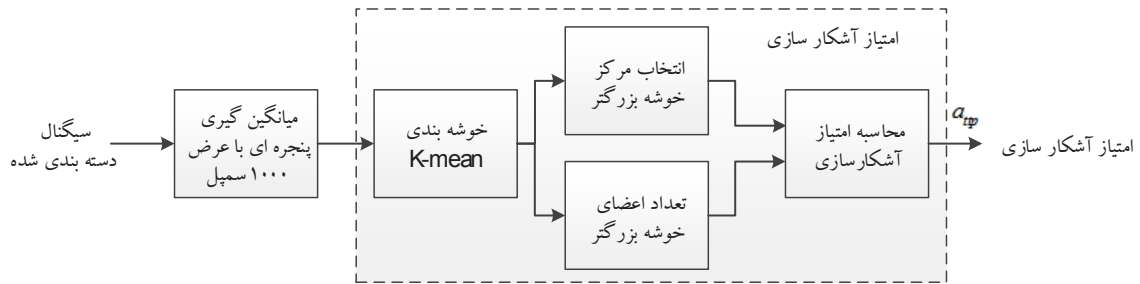
$$a_i = \sum_{k=(i-1)w+1}^{i \times w} \text{mean}(x(k)) \quad 1 < i < \frac{n}{w} \quad (۷)$$

$$\vec{a} = [a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_{n/w}]$$

پس از تشکیل بردار \vec{a} جهت انتخاب امتیاز آشکار سازی از جداساز K-mean استفاده شده است. به عبارتی با توجه به اینکه سیگنال در نهایت به دو دسته هدف یا غیر هدف تقسیم خواهد شد، این جداساز پیشنهاد و تعداد دسته‌ها ۲ انتخاب شده است. با توجه به اینکه در این تحقیق اهداف با بر چسب ۱ نشان داده شده‌اند لذا مرکز خوشه بزرگتر که به مقدار یک نزدیک تر است به عنوان امتیاز آشکار سازی انتخاب می‌شود (شکل ۳ الف)). به عبارتی هر چقدر مرکز خوشه به عدد یک نزدیکتر (بزرگتر) باشد احتمال وقوع هدف در سیگنال آزمون ورودی بیشتر می‌باشد. با توجه به بررسی انجام شده نزدیک بودن مرکز خوشه به مقدار یک شرط لازم بوده و کافی نیست. همانطور که در شکل ۳ (ب) نشان داده شده ممکن است در سیگنال نویز با توجه به شباهت با سیگنال هدف یکی از دو مرکز خوشه مقداری نزدیک به یک داشته باشد که با توجه به ماهیت سیگنال نویز محیطی امکان پذیر است. بنابراین به تنهایی نزدیک بودن مرکز خوشه به مقدار یک مشخصه سیگنال هدف نبوده و معیاری دیگر نیز می‌باید لحاظ گردد. در این تحقیق معیار تعداد اعضای در هر خوشه



شکل ۳. بررسی مراکز سیگنال هدف و نویز و تعداد موجود در هر خوشه، (الف) سیگنال نویز و هدف و (ب) سیگنال نویز



شکل ۴. نحوه محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان

شده است. شکل ۵ مراحل محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس را نشان می‌دهد.

آشکار سازی سیگنال هدف

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است آشکار سازی پس از محاسبه امتیاز آشکار سازی در دو حوزه زمان a_{tp} و فرکانس A_{fp} انجام می‌شود و جمع این دو مقدار میزان آشکار سازی را مشخص خواهد نمود. در صورتی حاصل جمع این دو مقدار شرط (۱۰) را رعایت نماید سیگنال ورودی آزمون دارای هدف می‌باشد.

$$\begin{cases} \text{if } a_{tp} + A_{fp} \geq 1 \Rightarrow \text{Accept Target} \\ \text{if } a_{tp} + A_{fp} < 1 \Rightarrow \text{Reject Target} \end{cases} \quad (10)$$

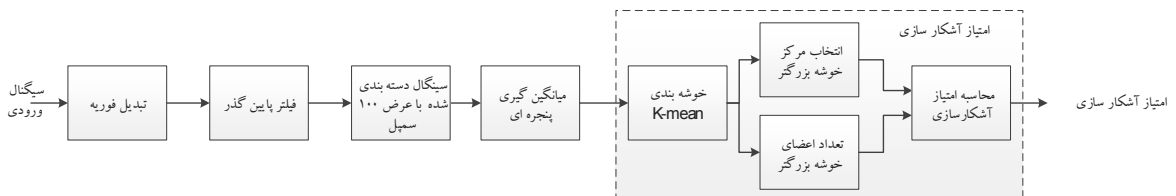
با توجه به شرط (۱۰) جمع مستقیم دو امتیاز ممکن است خطای آشکار سازی را افزایش دهد. به عنوان مثال در صورتی که آشکار سازی هدف در حوزه فرکانس به درستی و با امتیاز بالایی محاسبه شود ممکن است به علت نویز زیاد در سیگنال زمان و یا دامنه ضعیف آن آشکار سازی در حوزه زمان به درستی انجام نشود. این مشکل معمولاً به واسطه تغییرات جوی و آب هوایی، محل قرار گیری سونار و... ایجاد می‌شود. در این مقاله جهت کاهش این خطا از امتیاز وزن دهی شده استفاده شده است. این وزن‌ها توسط فیلتر وینر و پس از آموزش محاسبه می‌گردند.

امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس

در حوزه فرکانس سیگنال آموزش پس از تبدیل فوریه به جداساز بیزین اعمال می‌گردد. جهت انجام این کار سیگنال ورودی (به طول ۱۰ هزار سمپل) پس از تبدیل فوریه و گذر از فیلتر پایین گذر به دو دسته ۰ (نویز) و ۱ (هدف) جداسازی می‌شود. با توجه به اینکه صدای شناور در باند پایین می‌باشد لذا از فیلتر پایین گذر جهت حذف سیگنال‌های ناخواسته استفاده شده است. در این حوزه هر پنجره با عرض $w=100$ که به صورت تجربی انتخاب شده است میانگین گیری شده و در برداری که در این مقاله بردار میانگین \bar{A} نامیده می‌شود ذخیره می‌گردد. جهت محاسبه امتیاز آشکار سازی از روش امتیاز دهی در حوزه زمان استفاده شده است با این تفاوت نحوه ترکیب مرکز خوشه و اعضای خوشه در حوزه فرکانس در (۹) بیان شده است.

$$A_{fp} = \frac{1}{3} \left(c_{Mf} + \left(2 \frac{n_{Mf}}{n_f} \right) \right), 0 \leq c_{Mf} \leq 1 \quad (9)$$

که در (۹) امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس با A_{fp} مرکز خوشه بزرگتر با c_{Mf} ، تعداد اعضای آن خوشه با n_{Mf} و تعداد کل اعضا n_f نشان داده شده است. جهت جلوگیری و اصلاح خطای دسته بندی عدد ۲ در تعداد اعضای خوشه بزرگتر ضرب



شکل ۵. نحوه محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس

نتایج شبیه سازی

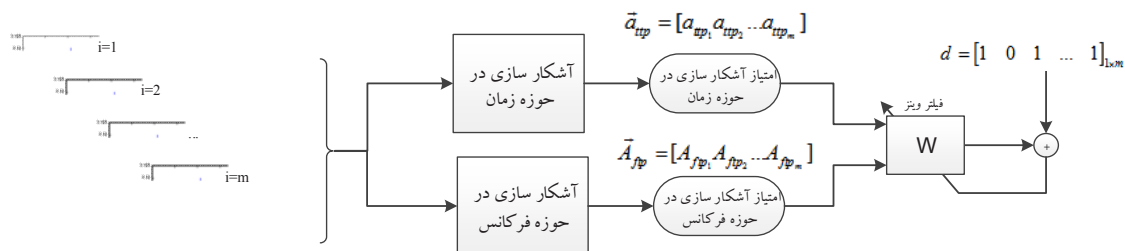
در این تحقیق جهت انجام شبیه سازی و بررسی چگونگی عملکرد روش پیشنهادی از بانک داده موجود در پژوهشکده نوح(ع) استفاده شده است. این بانک داده شامل صدای شناورهای تجاری و نویز محیطی خلیج فارس می باشد. در این تحقیق با استفاده از نویزهای محیطی واقعی و صدای حاصل از پروانه و موتور شناور آشکار سازی انجام شده و نتایج با روشهای معمولی آشکار سازی معادلات سونار مقایسه می گردد. در ادامه مراحل شبیه سازی و مقایسه روش پیشنهادی با روشهای معمول بیان می گردد.

مراحل شبیه سازی

در ادامه و با توجه به شکل ۲ نتایج روش پیشنهادی بر روی بانک داده بیان می شود که شامل پیش پردازش، دسته بندی، میانگین گیری، امتیاز بندی، ترکیب و در نهایت آشکار سازی می باشد. در ابتدا نوع بانک داده تشریح شده و سپس نتایج بیان می شود.

بانک داده

در بانک داده پژوهشکده نوح (ع) ۲۵ صدای منحصر به فرد از پروانه شناورهای تجاری و بدون نویز مانند یدک کش ها و نفت کش ها به مدت ۳۰ الی ۱۲۰ ثانیه و ۱۵ صدای نویز محیط (صدا حاصل موج دریا، باران و...) به مدت ۱۰ الی ۳۰ ثانیه موجود می باشد. همچنین ۲۵ سیگنال صدای واقعی دریا که شامل نویزهای محیطی و شناورهای در حال هر حرکت که برخی از آنها بیشتر از یک شناور است و در فاصله های مختلف حرکت می کنند وجود دارد.



شکل ۶. مراحل ترکیب امتیاز آشکار سازی در دو حوزه زمان و فرکانس

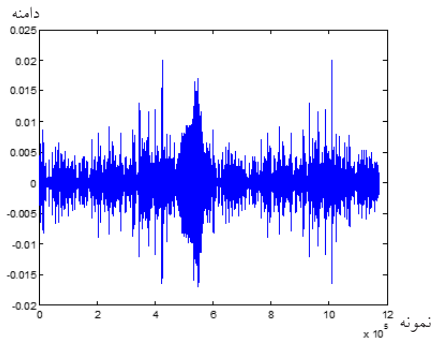
شایان ذکر است جهت بهینه بودن این وزن ها عملیات وزن دهی هر چند بار و با توجه به تغییرات شرایط محیطی تکرار و با استفاده از سیگنال های آموزش موجود محاسبه خواهد شد. در این تحقیق ضرایب فیلتر وینر w و W که در (۱۱) نشان داده شده است با استفاده از روش LMS محاسبه می گردد. نحوه ترکیب و محاسبه امتیاز آشکار سازی در شکل ۶ بیان شده است.

$$\begin{aligned} \vec{a}_{tp} &= [a_{tp_1} a_{tp_2} \dots a_{tp_m}] \\ \vec{A}_{fp} &= [A_{fp_1} A_{fp_2} \dots A_{fp_m}] \\ \Rightarrow DP &= \sum_i w_i a_{tp_i} + W_i A_{fp_i} \quad i \leq m \end{aligned} \quad (11)$$

در (۱۱) بردار امتیاز آشکار سازی در m دنباله از سیگنال های ورودی آزمون (با طول ۱۰ هزار سمپل برای هر دنباله) در حوزه زمان، a_{tp_i} امتیاز آشکار سازی برای دنباله i ام از m دنباله در حوزه زمان، \vec{A}_{fp} بردار امتیاز آشکار سازی در m دنباله از سیگنال های ورودی آزمون (با طول ۱۰ هزار سمپل برای هر دنباله) در حوزه فرکانس، A_{fp_i} امتیاز آشکار سازی برای دنباله i ام از m دنباله در حوزه فرکانس، w و W ضرایب فیلتر وینر و DP ترکیب امتیاز آشکار سازی در دو حوزه فرکانس و زمان می باشد. در این حالت شرط (۱۰) به شرط (۱۲) تغییر می یابد.

$$\begin{cases} \text{if } DP \geq \frac{1}{2} \Rightarrow \text{Accept Target} \\ \text{if } DP < \frac{1}{2} \Rightarrow \text{Reject Target} \end{cases} \quad (12)$$

به عبارتی جهت تخمین حضور سیگنال هدف، m دنباله از سیگنال ورودی (آزمون) بررسی شده و در نهایت با بررسی امتیاز آشکار سازی در m دنباله حضور و یا عدم حضور هدف مشخص می گردد.

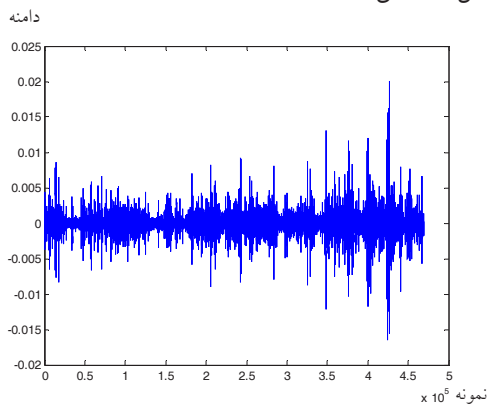


شکل ۹. نمونه ای از سیگنال مخلوط، در نمونه ۵۰۰ هزار شناوری یدک کش در فاصله ۳ کیلومتری و در نمونه یک میلیون صدای شناور دیگر در فاصله ۸ کیلومتری

جهت آموزش الگوریتم بیزین و LMS از دو سیگنال مشخص نویز محیطی و هدف به طول ۱۰ هزار سمپل استفاده شده است. همچنین سیگنال‌های آزمون نیز از دو قسمت نویز و سیگنال هدف (مخلوط با نویز) تشکیل شده‌اند که ۵ هزار سمپل اول نویز و ۵ هزار سمپل دوم سیگنال مخلوط هدف و نویز با هم می‌باشند. در برخی از موارد جهت پیچیده نمودن، صدای نویز نیز با نویز سفید مخلوط شده‌اند.

نتایج شبیه سازی بر روی بانک داده

در ابتدا سیگنال ورودی پس از نرمال سازی (شکل ۸) از فیلتر میانه عبور کرده و برخی از نویزهای فرکانس پایین و بالای آن گرفته می‌شود. دلیل استفاده از این فیلتر حذفی برخی نویزهای فرکانس بالا در سیگنال ورودی است. نتیجه اعمال فیلتر در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

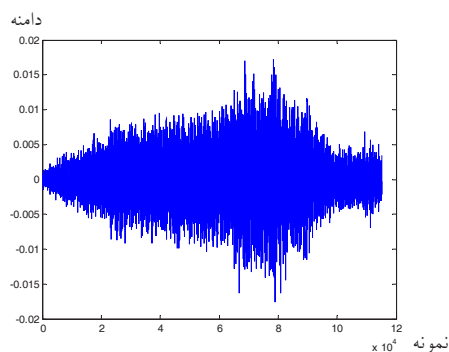


شکل ۱۰. پس از اعمال فیلتر سیگنال خام شکل ۸

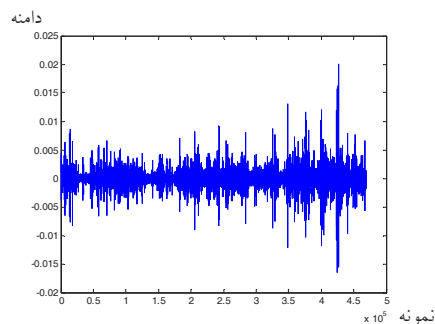
پس از اعمال فیلتر میانه سیگنال حاصله به مجموعه ای از سیگنال‌ها با طول ۱۰ هزار سمپل تقسیم می‌شود. در ادامه الگوریتم دسته بندی بیزین در دو حوزه فوریه و زمان گسسته بر روی این سیگنال‌ها اعمال می‌شود.

این اصوات توسط هیدروفن‌هایی در عمق ۱۰ متری اندازه گیری شده‌اند و نویز محیطی نیز توسط همین هیدروفن‌ها در زمان‌هایی که شناوری در فاصله مشخص رفت و آمد نمی‌کند ثبت شده است. صدای نویز محیطی شامل صدای موج دریا، صدای تکانه-های کف دریا، صدای باران و ... می‌باشد. شناورها هم همانطور که بیان شد صدای نفت‌کش‌ها و کشتی‌های تجاری می‌باشند. در این تحقیق صدای ورودی (نویز و هدف) به صوتی با عرض ۱۰ هزار سمپل تقسیم‌بندی و با نرخ سمپل برداری ۴۴ کیلو بیت بر ثانیه نمونه برداری شده‌اند.

شایان ذکر است این سیگنال‌ها پس از نرمال سازی دامنه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در شکل ۷ نمونه ای از صدای پروانه شناور نشان داده شده است. شکل ۸ نیز نمونه ای از سیگنال نویز محیطی را نشان می‌دهد. در بانک داده سیگنال‌های آموزش هدف بواسطه نزدیک بودن به هیدروفون دارای نویز کمی هستند. به عبارتی خود سیگنال‌های هدف با مقداری نویز محیطی مخلوط بوده که جزء ذات و ماهیت صدای زیر آب است. شکل ۹ نمونه ای از صداهای مخلوط (نویز و هدف) را نشان می‌دهد. بطور مثال در این سیگنال در نمونه ۵۰۰ هزار شناوری یدک کش در فاصله ۳ کیلومتری و در نمونه یک میلیون صدای شناور دیگر در فاصله ۸ کیلومتری موجود می‌باشد.

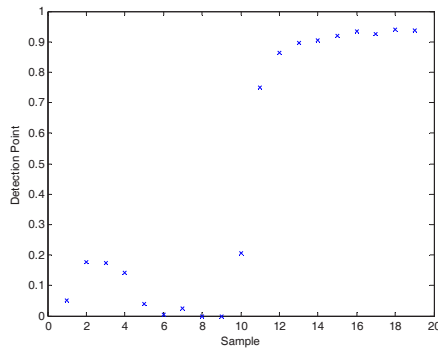


شکل ۷. نمونه از صدای پروانه یک شناور تجاری با نرخ نمونه برداری ۴۴ کیلوهرتز



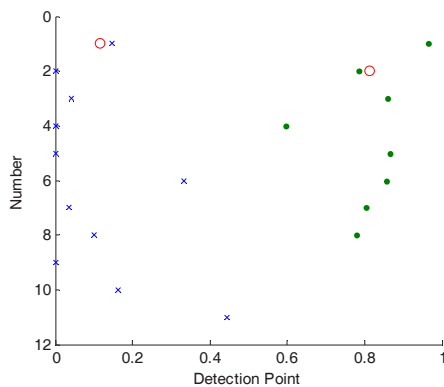
شکل ۸. نمونه از صدای نویز محیطی با نرخ نمونه برداری ۴۴ کیلوهرتز

از نمونه ۵ هزار سمپل به بعد امتیاز آشکار سازی افزایش یافته است.



شکل ۱۲. بردار میانگین \bar{a} سیگنال آزمون، از نمونه ۱۰ (سمپل ۵ هزار) به بعد امتیاز آشکار سازی افزایش یافته است.

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است از الگوریتم K-mean جهت خوشه بندی بردار میانگین استفاده شده است. نتیجه خوشه بندی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این شکل نقاط توپر مربوط به خوشه اول و نقاط ضریدر مربوط به خوشه دوم و دایره تو خالی نیز مرکز خوشه‌ها هستند.



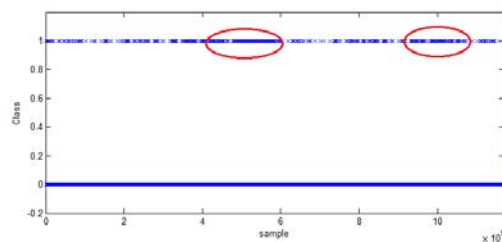
شکل ۱۳. نتیجه خوشه بندی K-mean، نقاط مربوط به خوشه اول و نقاط ضریدر مربوط به خوشه دوم می‌باشد. دایره تو خالی نیز مرکز خوشه‌ها است.

در این شکل مرکز خوشه بزرگتر (نزدیک به یک) و تعداد اعضای این خوشه ۸ عدد (از ۲۰) می‌باشد. با توجه به الگوریتم پیشنهادی مقدار امتیاز آشکار سازی a_{tp} طبق فرمول (۲) محاسبه می‌شود. جدول ۲ نمونه ای از امتیاز آشکار سازی برای ۱۹ سیگنال آزمون می‌باشد.

در حوزه زمان جهت آموزش الگوریتم بیزین از دو دسته سیگنال هدف و نویز محیطی استفاده شده است. با استفاده از این دو سیگنال مقادیر میانگین و واریانس تابع پیشین برای سیگنال هدف و نویز در حوزه زمان محاسبه می‌شود. در حوزه فرکانس نیز سیگنال ورودی از فیلتر پایین گذر عبور داده شده و پس از محاسبه فوریه همانند روش پیشنهادی در حوزه زمان مقادیر میانگین و واریانس تابع پیشین محاسبه می‌گردد. پس از تعیین این مقادیر در دو حوزه زمان و فرکانس، امتیاز آشکار سازی محاسبه خواهد شد. در ادامه نحوه محاسبه امتیاز آشکار سازی و نتایج شبیه سازی بیان می‌گردد.

محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان

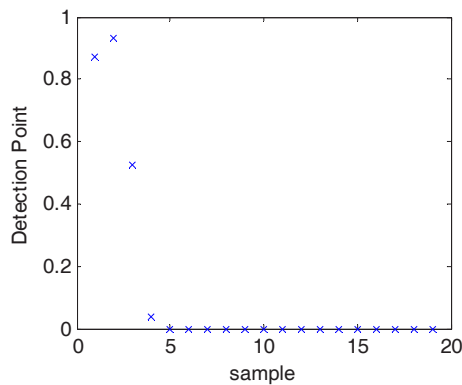
در حوزه زمان پس از اعمال الگوریتم بیزین، خروجی به صورت دسته‌بندی‌هایی با برچسب‌های ۱ و ۰ ایجاد می‌شود. نمونه ای از این دسته بندی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است تراکم برچسب‌های دسته ۱ در نواحی وقوع سیگنال صدای شناور بیشتر از نواحی دیگر است. این نواحی با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۱. خروجی الگوریتم بیزین، با توجه به داده ورودی در دو نمونه در مرکز ۵۰۰ هزار و ۱ میلیون تراکم دسته بندی بیشتر است.

جهت آشکار سازی و حذف خطای دسته بندی حاصل از الگوریتم بیزین، سیگنال دسته بندی شده با استفاده از پنجره ای با عرض w نمونه میانگین گیری می‌گردد. سپس مقادیر میانگین گیری شده در مراکز این پنجره ثبت شده و بردار میانگین \bar{a} را ایجاد می‌نماید. شکل ۱۲ نمونه ای از این بردار را نشان می‌دهد. در این روش $w=5000$ انتخاب شده است و مقادیر میانگین گیری شده در مراکز این پنجره می‌باشند. با توجه به اینکه سیگنال آزمون ورودی طولی به اندازه ۱۰ هزار نمونه دارد ($n=10000$) و پهنای پنجره میانگین گیر ۵ هزار ($w=5000$) نمونه می‌باشد، تعداد نمونه‌های این بردار به ۲۰ عدد کاهش یافته است. با توجه به اینکه در سیگنال آزمون سمپل ۵ هزار به بعد حاوی سیگنال هدف می‌باشد از اینرو (همانطور که در شکل ۱۲ مشخص است)

ورودی پس از محاسبه فوریه از فیلتر پایین گذر ۲ کیلو هرتز عبور داده می‌شود. خروجی این فیلتر بردار فوریه ای با ۲ هزار سمپل می‌باشد. همانطور که توضیح داده شد عرض پنجره میانگین گیر در حوزه فرکانس $w=100$ انتخاب شده است لذا طول بردار میانگین \bar{A} برابر ۲۰ سمپل خواهد بود. همانطور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است سیگنال ورودی آزمون که شامل هدف است در فرکانس‌های پایین دارای امتیاز بیشتر و در فرکانس‌های بالا دارای امتیاز کمتری می‌باشد. پس از تشکیل بردار میانگین \bar{A} همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس (A_{fp}) محاسبه می‌گردد. جدول ۳ نمونه‌ای از امتیاز آشکار سازی برای ۱۹ سیگنال آزمون می‌باشد.

شکل ۱۴. بردار میانگین \bar{A}

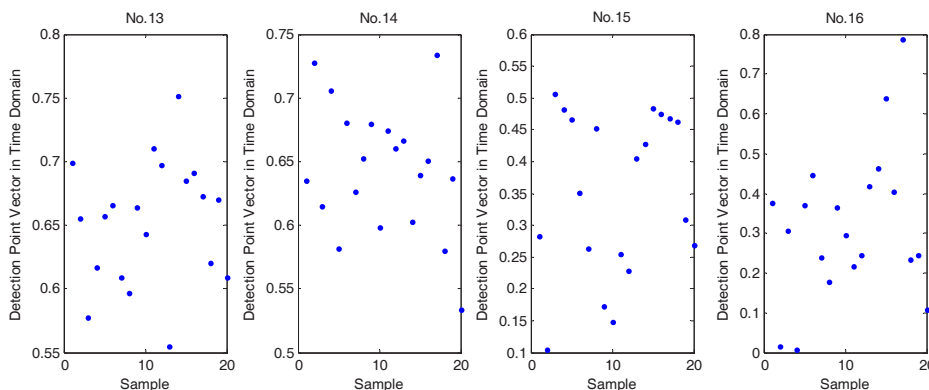
جدول ۲. امتیاز آشکار سازی برای ۱۹ سیگنال آزمون در یک دنباله مشخص در حوزه زمان

No.	Type	a_{fp}
1	Ship Engine 1	0.71
2	Ship Propeller 1	0.56
3	Ship 1	0.33
4	Ship Engine 2	0.59
5	Ship 2	0.62
6	Ship Engine 3	0.59
7	Ship Engine 4	0.53
8	Ship Engine 5	0.46
9	Ship Engine 6	0.77
10	Ship Propeller 2	0.26
11	Ship Engine 7	0.56
12	Ship Engine 8	0.64
13	Ship Engine 9	0.65
14	Ship Engine 10	0.58
15	Ambient Noise 1	0.46
16	Ambient Noise 2	0.44
17	Ambient Noise 3	0.53
18	Ambient Noise 4	0.51
19	Ambient Noise 5	0.26

جهت تشکیل بردار \bar{a}_{fp} ، ۲۰ دنباله از هر سیگنال ورودی با طول ۱۰ هزار سمپل مورد بررسی قرار گرفته و برای ۱۴ سیگنال هدف (۱ الی ۱۴) و ۵ سیگنال نویز محیطی (۱۵ الی ۱۹) محاسبه می‌گردد. شکل ۱۵ بردار \bar{a}_{fp} را برای ۴ سیگنال آزمون (۱۳ الی ۱۶) نشان می‌دهد.

محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس

محاسبه امتیاز آشکار سازی در حوزه فرکانس شبیه به روش پیشنهادی در حوزه زمان می‌باشد با این تفاوت که سیگنال

شکل ۱۵. بردار \bar{a}_{fp} برای دو سیگنال هدف (۱۳ و ۱۴) و دو سیگنال نویز محیطی (۱۵ و ۱۶)

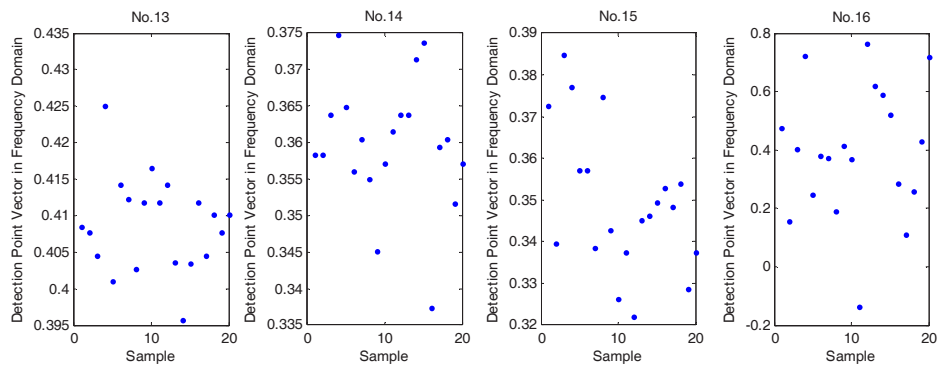
شکل ۱۶ بردار \bar{A}_{ftp} را برای ۴ سیگنال آزمون (۱۳ الی ۱۶) نشان می‌دهد.

جدول ۳. امتیاز آشکار سازی برای ۱۹ سیگنال آزمون در یک دنباله مشخص در حوزه فرکانس

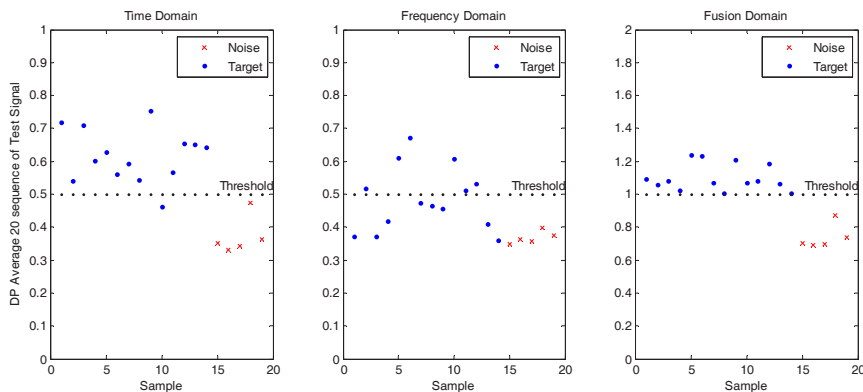
No.	Type	A_{ftp}
1	Ship Engine 1	0.37
2	Ship Propeller 1	0.51
3	Ship 1	0.38
4	Ship Engine 2	0.40
5	Ship 2	0.61
6	Ship Engine 3	0.83
7	Ship Engine 4	0.41
8	Ship Engine 5	0.43
9	Ship Engine 6	0.40
10	Ship Propeller 2	0.41
11	Ship Engine 7	0.48
12	Ship Engine 8	0.59
13	Ship Engine 9	0.41
14	Ship Engine 10	0.36
15	Ambient Noise 1	0.34
16	Ambient Noise 2	0.37
17	Ambient Noise 3	0.84
18	Ambient Noise 4	0.29
19	Ambient Noise 5	0.07

آشکار سازی سیگنال هدف

در این تحقیق دو روش ترکیب امتیاز آشکار سازی در حوزه زمان و فرکانس بیان شده است. در روش اول امتیاز آشکار سازی در این دو حوزه مستقیماً با یکدیگر ترکیب می‌شوند و مقدار حاصله بررسی می‌گردد. همانطور که بیان شد در این روش خطای آشکار سازی به واسطه شرایط محیطی افزایش می‌یابد. شکل ۱۷ میانگین ۲۰ ($m=20$) دنباله برای ۱۹ سیگنال آزمون (۱ الی ۱۴ سیگنال هدف و ۱۵ الی ۱۹ سیگنال نویز محیطی) نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است فاصله امتیاز آشکار سازی ترکیب شده با سطح آستانه ۱ بسیار کم بوده و همین امر باعث ایجاد خطای آشکار سازی خواهد شد.



شکل ۱۶. بردار \bar{A}_{ftp} برای دو سیگنال هدف (۱۳ و ۱۴) و دو سیگنال نویز محیطی (۱۵ و ۱۶)



شکل ۱۷. میانگین ۲۰ ($m=20$) دنباله برای ۱۹ سیگنال آزمون (۱ الی ۱۴ سیگنال هدف و ۱۵ الی ۱۹ سیگنال نویز محیطی)

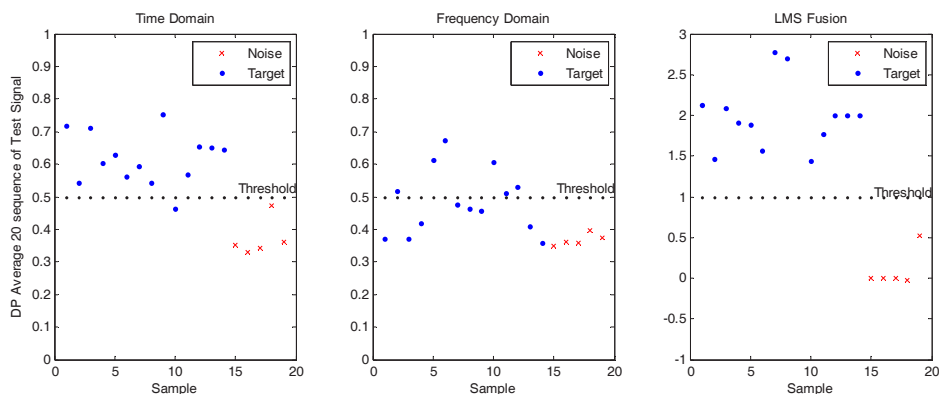
در این تحقیق نوآوری در نحوه آشکارسازی و همچنین ترکیب در دو حوزه زمان و فرکانس بیان شده است. جهت مقایسه نتایج این روش با سه روش آشکارسازی بر روی سونارهای غیرفعال مقایسه می‌گردد. این سه روش شامل آشکار سازی با استفاده معادله سونار و بر اساس منحنی ROC [6]، آشکارسازی بر اساس الگوریتم DEMON و با استفاده از جداساز ICA [7] و آشکارسازی بر اساس الگوریتم TPSW و با استفاده از شبکه عصبی [8] می‌باشند که در ادامه بصورت مختصر بیان می‌گردند.

روش آشکار سازی با استفاده از معادله سونار، روش پایه و اولیه در آشکارسازی اهداف سوناری می‌باشد. این معادله بصورت $DT = S_L - T_L - (N_L - D_L)$ تعریف می‌شود و DT نسبت سیگنال به نویز قابل دسترس در گیرنده بر حسب دسی بل، S_L سطح منبع صوتی که بر حسب دسی بل به یک میکرو پاسکال، T_L تلفات انتقال بر حسب دسی بل که ناشی از انتشار از منبع به هدف، یا از هدف به گیرنده می‌باشد (تلفات انتشار یک طرفه)، N_L سطح نویز در گیرنده بر حسب دسی بل به یک میکرو پاسکال و D_L میزان تضعیف سیگنال نویز در گیرنده می‌باشد. در صورتی که DT از یک مقدار مشخص سطح آستانه بیشتر باشد سیگنال به عنوان هدف شناسایی می‌گردد. این مقدار توسط منحنی ROC محاسبه می‌شود. جدول ۴ مقادیر متغیرهای معادله سونار در خلیج فارس را نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر متغیرهای معادله سونار در خلیج فارس

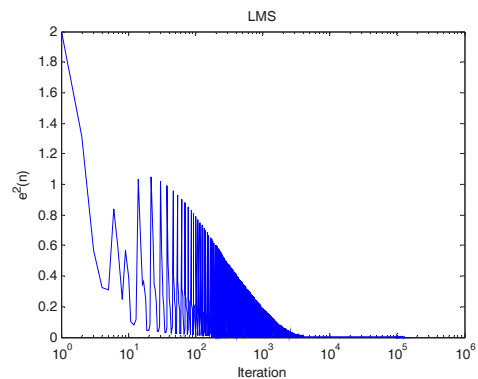
پارامتر	S_L	T_L	N_L	D_L
مقدار (دسی بل)	۳۱/۹	۹۰	۱۹/۰۲	۲۰۰

* این مقادیر با توجه به سیگنال ورودی و نویز محیطی تغییر می‌کند.



شکل ۱۹. امتیاز آشکارسازی برای ۱۹ سیگنال آزمون (۱ الی ۱۴ سیگنال هدف و ۱۵ الی ۱۹ سیگنال نویز محیطی)

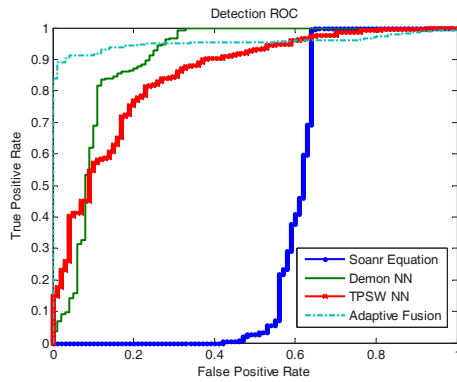
روش دوم که در شکل ۶ نشان داده شده است، ترکیب امتیاز آشکارسازی در حوزه زمان و فرکانس پس از وزن دهی انجام شده‌اند. این ضرایب بر اساس الگوریتم وفقی LMS انجام می‌شود. در این روش میزان تکرار ۱۰۰ هزار بار و گام حرکت ۰/۲ و جهت آموزش سه سیگنال به عنوان سیگنال نویز محیطی و سه سیگنال به عنوان هدف تعریف شده است. شکل ۱۸ منحنی همگرایی الگوریتم LMS را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸. منحنی خطای همگرایی الگوریتم LMS

شکل ۱۹ نتیجه ترکیب امتیاز آشکار سازی با استفاده از فیلتر وینر را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود فاصله امتیاز آشکار سازی ترکیب شده با سطح آستانه ۱ بیشتر از روش اول بوده (شکل ۱۷) و همین امر باعث کاهش خطای آشکار سازی خواهد شد.

نتیجه گیری و بحث



شکل ۲۰. مقایسه روش‌های آشکار سازی با روش پیشنهادی بر اساس منحنی ROC

همانطور که جدول ۵ نشان می‌دهد، مجموع نرخ آشکار سازی صحیح روش پیشنهادی ۸۵/۲٪ بوده که نسبت به بهترین روش آشکار سازی ۲۳ درصد بهتر می‌باشد. همچنین با توجه به منحنی ROC که در شکل ۲۰ نشان داده شده است روش پیشنهادی دارای نتایج بهتری نسبت به روش‌های دیگر که عملاً مورد استفاده قرار می‌گیرند داشته است.

تشکر و قدردانی

این تحقیق مورد حمایت پژوهشکده نوح (ع) وابسته به سازمان صنایع دریایی می‌باشد.

در روش آشکار سازی بر اساس ICA، پس از عبور سیگنال خام ورودی از فیلتر DEMON، ضرایب فوریه محاسبه شده و در نهایت این ضرایب توسط الگوریتم ICA جداسازی می‌شود. الگوریتم DEMON نوعی فیلتر در باند باریک می‌باشد که با استفاده از آن انرژی نویزهای محیطی کاهش می‌یابد.

در روش آشکار سازی بر اساس شبکه عصبی سیگنال خام ورودی پس از عبور از فیلتر TPSW پردازش می‌شود. سپس جهت آموزش شبکه عصبی MLP، ضرایب PCA سیگنال پردازش شده جهت کاهش میزان محاسبه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ادامه از بانک داده موجود جهت مقایسه روش پیشنهادی در این تحقیق با سه روش بیان شده استفاده شده است. جهت بررسی دقیقتر سه نوع داده آزمون در نظر گرفته شده است. دسته اول شامل شناورهای تجاری ابعاد کوچک و سرعت کم (مانند لنج‌ها)، دسته دوم شناورهای ابعاد و سرعت متوسط (مانند یدک کش‌ها) و دسته سوم شناورهای بزرگ با سرعت کم می‌باشد. جهت مقایسه از دو معیار نرخ آشکار سازی صحیح و منحنی ROC استفاده می‌شود. جدول ۵ نرخ آشکار سازی صحیح و شکل ۲۰ مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های بیان شده با استفاده از منحنی ROC را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نرخ آشکار سازی صحیح

روش آشکار سازی	روش بیان شده در [6]	روش بیان شده در [7]	روش بیان شده در [8]	روش پیشنهادی (Adaptive Fusion)
دسته بانک داده	(Sonar Equation)	(Demon NN)	(TPSW NN)	
دسته اول	٪ ۲۵/۳۶	٪ ۵۱/۱۲	٪ ۶۰/۳۵	٪ ۸۰/۰۵
دسته دوم	٪ ۲۳/۸۵	٪ ۴۸/۲	٪ ۴۴/۲۶	٪ ۷۲/۶۳
دسته سوم	٪ ۴۶/۳۵	٪ ۶۹/۱۲	٪ ۶۳/۵۷	٪ ۹۳/۸۵
مجموع	٪ ۳۵/۷۱	٪ ۶۱/۲۷	٪ ۵۸/۷۵	٪ ۸۵/۲

- C. Chin Hsing, J. Der Lee and M. Chi Lin, "Classification of Underwater Signals Using Neural Networks," *Tamkang Journal of Science and Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 31-48, 2000.
- [8] A. D. Waite, *SONAR for practising Engineers* (3rd Edition), London, England: JOHN WILEY & SONS., 1998.
- [9] R. L. Dawe, "Detection Threshold Modelling Explained," DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory, Melbourne, Australia, 1997.
- [10] Y. W. Cherry, J. G. Doug and B. Z. Zelda, "Forecasting Probability of Target Presence for Ping Control in Multistatic Sonar Networks using Detection and Tracking Models," in *14th International Conference on Information Fusion*, Chicago, USA, 2011.
- [11] F. Dellaert, "The Expectation Maximization Algorithm," *IEEE Signal Processing*, vol. 1, no. 1, pp. 40-60, 1996.
- [12] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound* (3rd Edition), Washington, USA: McGraw-Hill, 1983.
- [1] J. Sepulveda and Y. Zhu, "MODELING THE EFFECTIVENESS OF UNDERWATER SONAR," in *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, CA, USA, 2006.
- [2] D. A. Abraham, "Detection-Threshold Approximation for Non-Gaussian Backgrounds," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 35, no. 2, pp. 1-11, 2010.
- [3] C. Nemeth, P. Fearnhead and L. Mihaylova, "Sequential Monte Carlo Methods for State and Parameter Estimation in Abruptly Changing Environments," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 62, no. 5, pp. 1245-1255, 2014.
- [4] D. Farmer and D. Lemon, "The influence of bubbles on the ambient noise in the ocean at high wind speeds," *Phys Oceanogr*, vol. 14, no. 1, pp. 1762-1778, 1984.
- [5] L. Khovskikh, *Fundamentals of Ocean Acoustics*, New Yourk, USA: Springer, 1982.
- [6] B. Borowski, A. Sutin, H. Seol Roh and B. Bunin, "Passive acoustic threat detection in estuarine environments," *Optics and Photonics in Global Homeland Security IV*, vol. 6945, no. 1, pp. 1-11, 2008.
- [7] N. N. d. Moura, J. M. d. Seixas and R. Ramos, "Passive Sonar Signal Detection and Classification Based on Independent Component Analysis," in *Sonar Systems*, Rijeka, Croatia, INTECH, 2011, pp. 93-104.

