تشخیص چندهدف سیگنال‌های سونارغیرفعال بااستفاده از صافی موجکی

محسن بابایی واودره [۱] ، حیدرطوسیان شاندیز[۲]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد برق کنترل، دانشکده برق وربانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲-دانشیار گروه کنترل، دانشکده برق وربانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

تشخیص و دنبال کردن هدف، یکی از بخش‌های عمده در سیستم‌های نظیر سیستم نظارتی، امنیتی و نظامی برای جلوگیری از برخورد کردن به موانع در آب یا فضا می‌باشد. در تشخیص هدف زیرآب با توجه به‌سرعت کم انتشار امواج آکوستیکی در زیرآب و از طرفی سیگنال‌های نویز ناخواسته ناشی از عوامل محیطی و سروصدای کشتی‌ها، مسئله تشخیص و ردیابی دشوار است. در این مقاله با استفاده از سونار غیرفعال، به تشخیص چندهدف رویدادهای آکوستیکی زیرآب پرداخته‌شده است که این عمل بر اساس پردازش سیگنال‌های آکوستیکی زیرآب، ساطع‌شده از هدف می‌باشد. سیگنال آکوستیکی پس از ساطع شدن از هدف، با نویز پس‌زمینه ترکیب و به کمک الگوریتم تشخیص چندهدف صافی موجکی شبیه‌سازی‌شده است.

واژگان کلیدی: تشخیص چند هدف زیرآب، سیگنال‌های آکوستیکی، سونار غیرفعال، صافی موجکی

مقدمه ردیابی غیرفعال:

امروزه سیستم‌های سونار درزمینه‌های مختلف نظامی و غیرنظامی بکار می‌رود و اهمیت آن‌ها در مسائل حفاظتی به گونه-ایی است که جزو سیستم‌های استراتژیک هر کشور محسوب می‌شوند. جستجو و ردیابی اهداف ازجمله وظایف اصلی این سیستم‌ها محسوب می‌شود. در سیستم‌های سونار مهم‌ترین مسئله پس از دریافت سیگنال شناسایی هدف است که برمبنای پردازش داده‌های دریافتی و به‌منظور آشکارسازی وجود هدف و استخراج اطلاعاتی در مورد آن انجام می‌شود [Grimmett,۲۰۰۶]. برای آشکارسازی و ردگیری اهداف نیاز به یک سری ابزار جهت اندازه‌گیری خصوصیات حرکتی هدف می‌باشد که می‌توان از سونار به‌عنوان یکی از ابزارهای قوی جهت ردیابی اهداف زیرآب نام برد. واژه سونار مخفف عبارت Sound Navigation And Ranging بوده و به معنای فاصله‌یابی و ناوبری با صوت می‌باشد و تعریف علمی آن عبارت است ازسیستمی که در آن از انرژی انتشاریافته یا منعکس‌شده (به‌صورت امواج آکوستیکی) در زیرآب به‌منظور آشکار ساختن اهداف و اجسام از راه دور، تعیین فاصله، جهت و موقعیت آن‌ها، ردیابی و ارتباطات استفاده می‌گردد. سونار چشم زیردریایی، در فضاهای تاریک دریاها و اقیانوس‌هاست و زیردریایی بدون برخورداری از آن نسبت به محیطی که در آن شناور است کاملاً بی‌اطلاع می‌باشد؛ بنابراین سونار مهم‌ترین سیستم ناوبری شناورهای سطحی و زیرسطحی می‌باشد چراکه به کمک آن نه‌تنها هدایت و کنترل شناورها انجام می‌پذیرد بلکه امکان آشکارسازی و ردیابی موانع و اهداف نیز فراهم می‌گردد. در یک تقسیم‌بندی کلی سونارها، شامل دو نوع متفاوت می-باشد که عبارت‌اند از:

الف- سونار فعال

ب- سونار غیرفعال

در سونار فعال، جهت آشکارسازی و ردیابی اهداف به ترتیب ارسال امواج، بازگشت انعکاس از هدف و آشکارسازی انجام می‌شود، درصورتی‌که در سونارهای غیرفعال تنها از تحلیل، بررسی و پردازش امواج صادرشده از اهداف زیرآب جهت آشکارسازی و ردیابی استفاده می‌شود. نکته قابل‌توجه در سونارها، استفاده از امواج آکوستیکی (که از جنس امواج مکانیکی می‌باشند)، جهت آشکارسازی و ردیابی اهداف زیرآب می‌باشد. درحالی‌که در رادارها از امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود به‌صورت عمده علت عدم استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای عملیات ارسال و دریافت زیرآب و متعاقباً آشکارسازی و ردیابی اهداف، میرا شدن فوق‌العاده سریع این امواج در زیرآب می‌باشد. به طور کلی کار یک سیستم تشخیص و ردگیری استخراج اطلاعات دقیق مربوط به اهداف از روی داده‌های نویزی غیردقیق می‌باشد. روند به این صورت است که در ابتدا هیچ اطلاعاتی در مورد هدف در دسترس نمی‌باشد، اولین پردازش بر روی داده‌های دریافتی، پردازش آشکارسازی هدف برای تصمیم گیری بین دوفرضیه وجود و یا عدم وجود هدف می‌باشد. دیدگاه کلاسیک برای طراحی آشکارساز بر

مبنای صافی است که نسبت سیگنال به نویز خروجی را بیشینه می‌کند و دیدگاه دیگر برمبنای کمینه کردن احتمال خطا می‌باشد که برای این منظور آزمون‌های متعددی وجود دارد. به‌هرحال در طراحی آشکارساز بهینه نوع فرضیاتی که برای سیگنال و تداخل بکار می‌رود تاثیر به‌سزایی دارد. ردیابی ودسته‌بندی کارکرد سیگنال‌های سونار، به‌خصوص سیستم سونار غیرفعال یکی از زمینه‌های چالش‌برانگیز می‌باشد. در سیستم‌های سونار غیرفعال معمولاً به علت نویزی بودن محیط نسبت سیگنال به نویز کم (۱۵db-) می‌باشد [Robert,۱۹۸۳]. یکی از روش‌های مناسب پردازشی سونار در دوره کلاسیک، پردازش میدان تطبیقی (MFP) می‌باشد که در ابتدا برای پردازش سیگنال سونار طراحی‌شده بود اما بعد از مدتی به برنامه‌های کاربردی رادار انتقال پیدا کرد و در آنجا مورداستفاده قرار گرفت [Kolev,۲۰۰۷]. روش دیگر در این زمینه، بر اساس مدل مخفی مارکوف (HMM) با الهام از پردازش گفتار می‌باشد که به‌منظور تشخیص نویز از اهداف در سیستم‌های سونار مورداستفاده قرارگرفته است [Kundu,۲۰۰۲]. ایده اصلی در این کار، تعیین شباهت‌های میان سیگنال‌های تشخیص داده که در طول پردازش تقویت و نویز جداسازی شده از آن به‌عنوان سیگنال جدید در نظر گرفته می‌شود. در برخی از مطالعات خاص سیستم‌های سونار باید از داده‌های واقعی استفاده شود که این کاری پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، به همین دلیل از داده-های شبیه‌سازی‌شده استفاده می‌شود. در [بابایی,۱۳۹۴] از صافی موجکی به منظور تشخیص تک هدف سیگنال‌های آکوستیک استفاده شد که این نوع صافی موجکی دارای عملکرد مناسبی برای تشخیص و ردیابی می‌باشد.

روش‌های پردازش:

در سیستم‌هایی که با پردازش سیگنال آکوستیک زیرآب سرکار دارند معمولاً سیگنال محیط توسط گیرنده‌ای که هیدروفون نام دارد، دریافت و تبدیل به سیگنال الکتریکی می‌شود، این سیگنال می‌تواند به طریق دیجیتال پردازش می‌شود. در این مقاله روش‌هایی را معرفی خواهیم کرد که بیشترین کارایی را داشته باشند و در چند سال اخیر موردتحقیق و پژوهش بوده است و در ادامه موردبحث قرار می‌گیرند:

تبدیل فوریه

تبدیل فوریه هر سیگنال را به یک سری توابع نمایی مختلط با فرکانس‌های متفاوت تجزیه می‌کند.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t).\, e^{-۲j\pi f} dt \qquad (۱)$$

بنابراین کاری که درواقع صورت می‌گیرد، ضرب سیگنال اصلی در یک عبارت مختلط است که شامل سینوس‌ها و کسینوس‌های فرکانس f می‌باشد، سپس این حاصل‌ضرب‌ها باهم جمع می‌شوند. اگر حاصل‌ضرب مقدار بزرگی بود، می‌توان گفت که سیگنال x(t)، در فرکانس f دارای یک جز طیفی غالب است. بدین معناست که سیگنال f قسمت عمده‌ای از سیگنال را تشکیل داده است. اگر این رابطه صفر شد، یعنی سیگنال اصلاً دارای فرکانس f نیست.

تبدیل فوریه زمان کوتاه

خصیصه‌ای که در مورد تبدیل فوریه ایجاد مشکل می‌کرد این بود که تبدیل فوریه برای سیگنال‌های غیر ایستا عملکرد خوبی نداشت. می‌توان در بازه‌های کوتاه زمانی سیگنال غیر ایستا را ایستا در نظر گرفت. اگر بازه‌های زمانی کوچک در نظر گرفته شود، آن قسمتی از سیگنال که در بازه زمانی واقع می‌شود، ثابت می‌باشد. این رویکرد محققان منجر به یک نسخه تجدیدنظر شده از تبدیل فوریه با نام تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT) شد.

$$STFT_x^{(w)}(t',f) = \int_t [x(t).w^*(t-t')].e^{-j2\pi ft}dt \quad (۲)$$

در رابطه (۲)، x(t) خود سیگنال، w(t) تابع پنجره و* بیانگر مزدوج آن است. همان‌طور که می‌بینید، تبدیل فوریه دوره کوتاه همان تبدیل فوریه حاصل‌ضرب سیگنال در تابع پنجره می‌باشد. مشکلی که در تبدیل فوریه دوره کوتاه وجود دارد ناشی از عرض تابع پنجره ایست که باید استفاده شود.

تبدیل موجک

تبدیل فوریه زمان کوتاهی که در بخش قبل بحث شد، تنها یکی از راه‌های متنوعی است که برای تحلیل زمان-فرکانس سیگنال‌ها استفاده می‌شوند. یک تبدیل موجک دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال به مؤلفه‌های فرکانسی آن بکار می‌رود که رزولوشن هر مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تبدیل موجک تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک می‌باشد. موجک‌ها (که به‌عنوان موجک‌های دختر شناخته می‌شوند) نمونه‌های انتقال‌یافته و مقیاس شده یک تابع (موجک مادر) با طول متناهی ونوسانی شدیداً میرا هستند خطی دیگر که مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه قادر به تحلیل زمان-فرکانس می‌باشد، تبدیل موجک است.

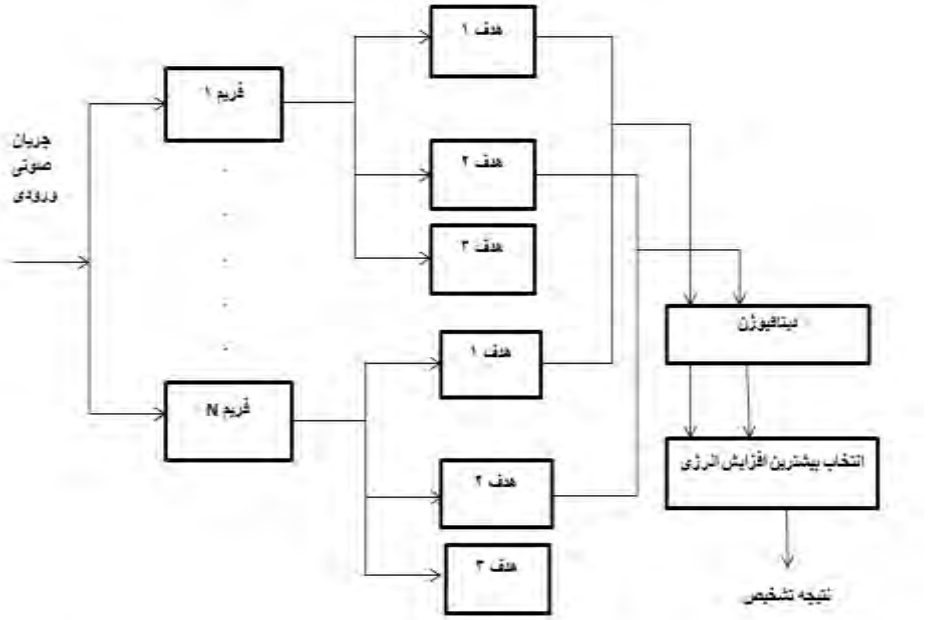
تبدیل موجک به‌صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$CWT_x^{\psi}(\tau,s) = \Psi_x^{\psi}(\tau,s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}}\int x(t)\psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right)dt \quad (۳)$$

روش تحقیق:

به منظور تشخیص چندهدف سیگنال‌های آکوستیک زیرآب نیاز به یک الگوریتم مناسب می‌باشد بدین منظور الگوریتم شکل(۱) را که پایه‌ی آن الگوریتم تشخیص تک هدف در[۵] می‌باشد، را معرفی می کنیم

با توجه به شکل(۱) نحوه کارکرد الگوریتم بدین شرح می‌باشد:



شکل ۱- الگوریتم تشخیص چند هدف

ابتدا جریان صوتی ورودی را فریم بندی و هر فریم را جداگانه تجزیه‌وتحلیل می کنیم و اهداف موجود در سیگنال-های هر فریم در مرحله بعد توسط سه آشکارساز هدف تشخیص داده می‌شود، این بدین معناست که آشکار ساز هدف۱، هدف اول را تشخیص و هدف دوم و سوم ونویزهای پس زمینه را از سیگنال ورودی خود حذف می کند و این روال برای آشکارسازهای هدف۲ و هدف۳ نیز برقرار است. نکته حائز اهمیت دراینجا این است که سازوکار تشخیص اهداف در هر یک از آشکارسازهای سه گانه دقیقا همان الگوریتم تشخیص در[بابایی،۱۳۹۴] می‌باشد و درواقع تشخیص چندهدف سیگنال آکوستیک از موازی کردن تشخیص تک هدف بوجود می‌آید. بعد از تشخیص اهداف در هر آشکار، نتایج حاصل فریم‌ها وارد یک دیتا فیوژن می‌شود، نقش دیتافیوژن در این قسمت جلوگیری از انطباق منحنی افزایش انرژی کانال‌ها در پنجره‌های منطبق و جمع کننده سیگنال‌هایی که هدف در آنها شناسایی شده می‌باشد. در مرحله آخر با افزایش انرژی اهداف و مشخص شدن موقعیت زمانی اهداف، هر هدفی که دارای

افزایش انرژی بیشتری نسبت به بقیه می‌باشد توسط یک انتخاب‌کننده گزینش می‌شود و به‌عنوان نتیجه تشخیص معرفی می‌گردد. در این الگوریتم پیشنهادی وقتی حداقل خروجی یکی از کانال‌ها بیش از آستانه باشد، تشخیص به‌درستی انجام می‌گیرد و نوع هدف توسط کانال دارای حداکثر افزایش انرژی تعیین می شود.

یافته ها :

همانطور که گفته شده است بعد از فریم بندی سیگنال ورودی آن‌ها را از آشکارسازهای سه هدف عبور می‌دهیم ولی با توجه به وجود اعوجاج و افزایش انرژی‌های محلی امکان تشخیص نادرست هدف وجود دارد بدین منظور از یک صافی میانگین‌گیر[1] برای حذف این اعوجاج‌ها استفاده می‌شود. طبق آزمایش‌ها طول مناسب این صافی ۰/۲۵ ثانیه می‌باشد.

$$E_f = H * E \quad (۴)$$

در رابطه (۴) E سیگنال خروجی آشکار سازمی‌باشد و H صافی میانگین‌گیر می‌باشد که بصورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

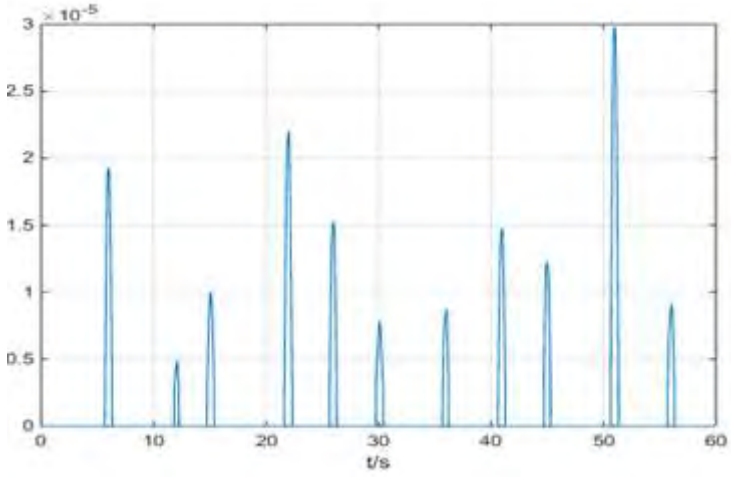
$$H(z) = \sum_{k=0}^{\frac{F_s}{4}} Z^{-k} \quad (۵)$$

سپس سیگنال صافی شده با مقایسه با آستانه خاص از یک محدوده کننده سخت عبور می‌کند که خروجی آن به ازای زمان‌های t بصورت رابطه (۶) می‌باشد

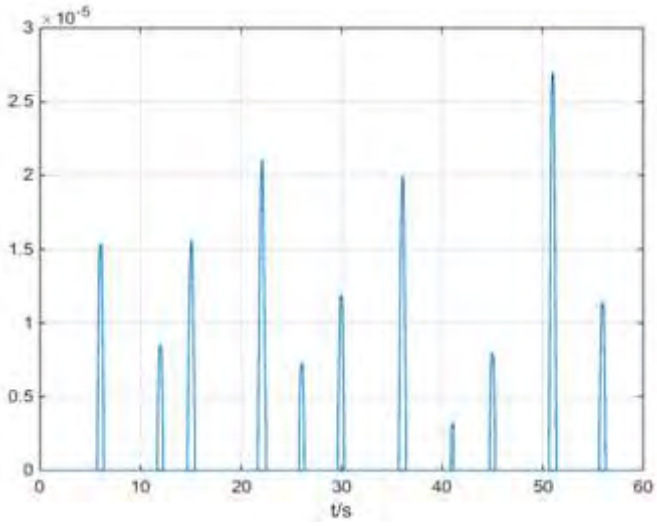
$$D(t) = \begin{cases} 1 & E_f(t) > threshold \\ 0 & else \end{cases} \quad (۶)$$

سیگنال D از موج‌های مربعی با دامنه ۱ تشکیل شده است که مرکز آن‌ها در مکان وقوع هدف قرار می‌گیرد. سیگنال آستانه گذاری شده را باضرب در سیگنال افزایش انرژی داده شده منحنی‌هایی بدست می‌آیند که در آن هدف در زمانهای خاص دارای افزایش انرژی مناسب بوده و قابل تشخیص نیز می‌باشند.

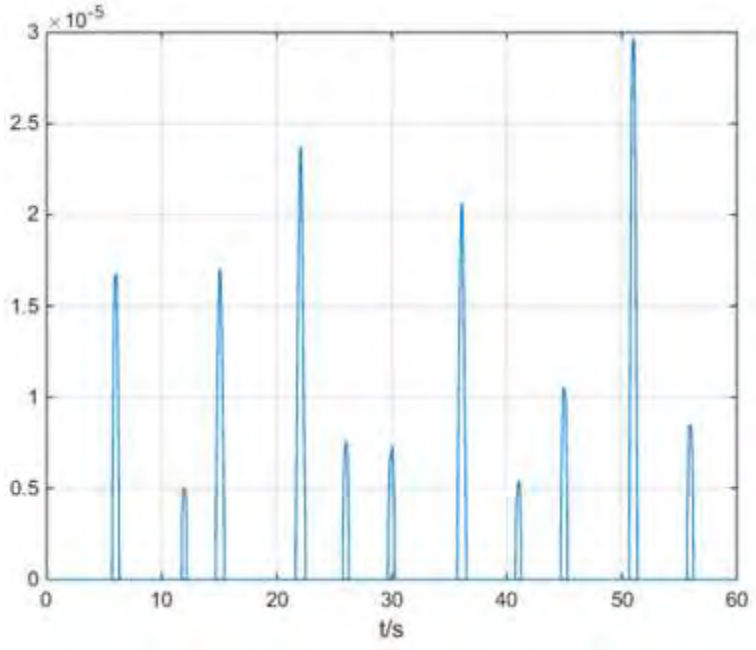
[1] Moving Average



شکل ۱- تشخیص هدف اول با صافی پیشنهادی

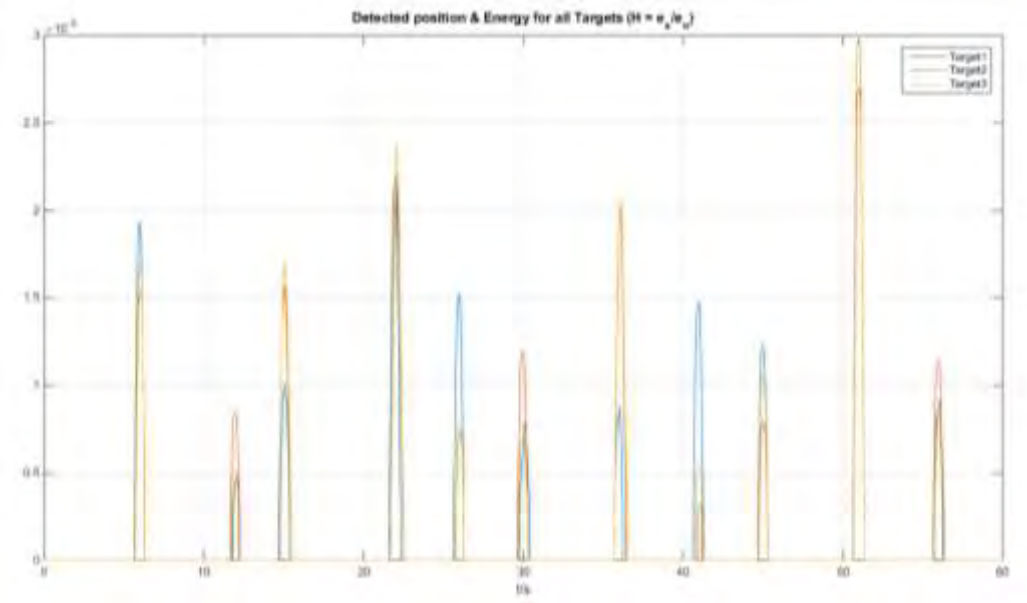


شکل ۲- تشخیص هدف دوم با صافی پیشنهادی



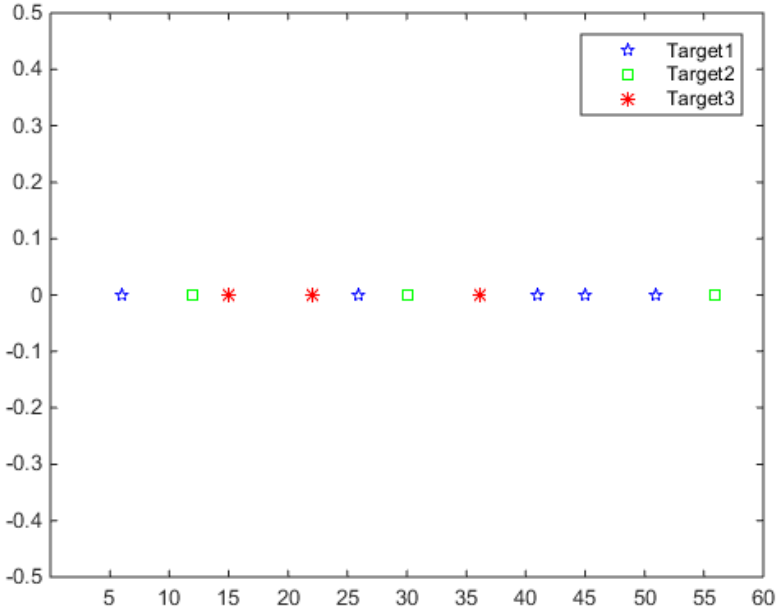
شکل۳- تشخیص هدف سوم با صافی پیشنهادی

سپس باتوجه به آنچه گفته شده سیگنال‌های شکل‌های (۱) الی (۳) در یک دیتافیوژن ترکیب می‌شوند که خروجی دیتافیوژن به صورت شکل(۴) می‌باشد.



شکل ٤- خروجی دیتافیوژن با صافی پیشنهادی

همانطور که از خروجی دیتافیوژن مشخص است اهداف را با رنگهای آبی، قرمز و نارنجی مشخص می‌شود و در زمانهایی که هدف تشخیص داده می‌شود منحنی تشخیص هر هدف بر روی همدیگر قرار می‌گیرند و برای تشخیص نهایی هدف از یک انتخاب کننده استفاده می کنیم که معیار عملکرد آن انتخاب هدف با انرژی بیشتر می‌باشد.



شکل۵- تشخیص هدف با صافی پیشنهادی

باتوجه به شکل (۵) دیده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی ۱۱ هدف را تشخیص داده و این همان تعداد مورد نظر ما می-باشد زیرا ما در جریان صوتی ورودی خود۱۱ هدف داشته‌ایم، در ضمن الگوریتم تعداد هریک از هدف‌های سه‌گانه را نیز به‌درستی تشخیص داده است. اگر به جای صافی پیشنهادی همانند[۵] از صافی باندگذر معمولی استفاده کنیم تعداد ۱۵ هدف را در خروجی شناسایی می کند که دلیل آن درنظرگرفتن اشتباه نویز به‌عنوان هدف می‌باشد و جدول (۱) نیز بیانگر خطای تشخیص کمتر صافی پیشنهادی نسبت به صافی باندگذر می‌باشد.

جدول ۱- محاسبه EER% با صافی پیشنهادی

صافی میانگذر	صافی پیشنهادی	SNR(db)	
۴۰/۳۵	۳۱/۹	-۱۵	هدف ۱
۳۷/۶۵	۱۷/۷۹	-۱۰	
۲۳/۲	۱۱/۲	-۵	
۸/۹	۰	۰	
۴/۴	۰	۵	
۰	۰	۱۰	
۴۱	۳۰	-۱۵	هدف ۲
۳۶	۱۶/۶	-۱۰	
۲۴	۱۱	-۵	
۴	۰	۰	
۱/۲	۰	۵	
۰	۰	۱۰	
۳۸/۸	۳۲/۱۱	-۱۵	هدف ۳
۲۵	۱۸/۷	-۱۰	

۱۵/۱۰	۱۱/۱	-۵	
۴	۰	۰	
۱/۱	۰	۵	
۰	۰	۱۰	

نتیجه گیری:

همان‌طور که دیده‌شده است، یکی از ویژگی‌های خوب الگوریتم تشخیص هدف پیشنهادی، قابلیت افزایش تعداد کانال‌ها برای تشخیص پیشنهادی چند هدف می‌باشد. و طبق نتایج بدست آمده در این فصل می‌توان گفت همانند [بابایی،۱۳۹۴]، زمانی که از صافی‌ایی پیشنهادی، استفاده کرده‌ایم نتایج بهتر و قابل قبول‌تری بدست آورده‌ایم. همانطورکه قبلاً بیان‌شده است جریان ورودی شامل سه هدف می‌باشد بنابراین همبستگی فرکانسی این جریان صوتی با فرکانس‌های مشابه بالا می‌رود و تشخیص اهداف را با مشکل مواجه می‌کند و همانطور که از مقادیر نرخ تشخیص دیده می‌شود، در نسبت سیگنال به نویزهای پایین این پارامتر مقادیری تقریباً زیادی دارد.

مراجع

محسن بابایی واودره، حیدرطوسیان شاندیز "*تشخیص تک هدف سیگنال‌های آکوستیکی با استفاده از تبدیل موجک*" سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک"(۱۳۹۴).

D. Grimmett, S. Coraluppi, *' Multistatic Active Sonar System Interoperability, Data Fusion and Measures of Performance*, NURC SR-934,(6002)

J Urick Robert, *'Principles of Underwater Sound'*, New York: McGraw-Hill Book Company (1493)

Kolev N., Georgiev G, *' Reduced Rank Shallow Water Matched Field Processing for Vertical Sonar Array Source Localization'*. 11-th International Conference on Digital Signal Processing, Cardiff, UK, (6002).

Kundu, A, Chen, G.C, *' An integrated hybrid neural network and hidden Markov model classifier for sonar signals'*, Signal Processing, IEEE Transactions(6006).