

الحمد لله
الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده‌ی مهندسی برق و رباتیک

گرایش کنترل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

ردیابی غیرفعال زیرآب با استفاده از پردازش سیگنال

محسن بابایی واودره

استاد راهنما:

دکتر حیدر طوسی‌ان شاندیز

بهمن ۱۳۹۴

دانشکده: مهندسی برق و رباتیک
گروه: کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محسن بابایی واودره به شماره دانشجویی ۹۲۰۲۹۵۴ تحت عنوان

ردیابی غیرفعال زیرآب با استفاده از پردازش سیگنال

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۱/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد در مهندسی برق -
کنترل مورد ارزیابی و با درجه‌ی موردپذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
			دکتر حیدر طوسی‌ان شاندیز

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر محمدعلی صدرنیا		دکتر محمد حداد ظریف
			دکتر امیدرضا معروضی

تقدیم نامہ

ماحصل آموختہ ہیم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگی ام، چشمان سبز مادرم

به برادران مهربانم، همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم

که هرچه آموختم در کتب عشق شما آموختم و هرچه بگو شتم قطره ای از دریای بی کران مهربانی تان را سپاس توانم بگویم

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید بلخ به شتم رضای شما

ره آوردی کران سگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پیان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم کوزه غبار محنتی تان را بزوداید

بوسه بر دستان پر مهر تان

تقدیر و تشکر

"إليه يصعد الكلم الطيب والعمل الصالح يرفعه"

استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر حیدر طوسی‌ان شاندیز

بسی شایسته است از تلاش‌های مداوم و کوشش‌های مستمر حضرت عالی در اشاعه‌ی تعلیم و تربیت و بسط و توسعه‌ی

علم و دانش و نیز از روشن‌رایی و کارکنشی شمر بخش شما در کمال اتمان و افتخار تقدیر و تشکر می‌نمایم.

از تمامی دوستان خصوصاً خانم مهندس آزاده اصغری که در طول این پروژه به من کمک کردند نیز تشکر

می‌کنم.

تعهدنامه

این جانب محسن بابایی واودره دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق/ کنترل دانشکده برق وریاتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ردیابی غیرفعال زیرآب با استفاده از پردازش سیگنال تحت راهنمایی دکتر حیدرطوسیان شانذیز متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

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 به سرعت 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 پایان‌نامه با استفاده از سونار غیرفعال، به تشخیص رویدادهای آکوستیکی زیرآب پرداخته شده است که این عمل بر اساس پردازش سیگنال‌های آکوستیکی زیرآب، ساطع شده از هدف می‌باشد. سیگنال آکوستیکی پس از ساطع شدن از هدف، با نویز پس‌زمینه ترکیب و به کمک الگوریتم تشخیص صافی موجکی شبیه‌سازی شده است. این سیستم تشخیص و ردیابی غیرفعال در دو حالت مورد بررسی قرار گرفته است، حالت اول شامل تشخیص تک هدف رویداد آکوستیکی و حالت دوم شامل تشخیص چند هدف رویداد آکوستیکی می‌باشد. در نهایت صافی موجکی شامل طیف انرژی نویز با انجام شبیه‌سازی گوناگون شبیه‌سازی می‌شود و با صافی موجکی بدون طیف انرژی نویز مقایسه می‌شود که نتایج نشان‌دهنده این است که صافی شامل طیف انرژی نویز دارای عملکرد بهتری نسبت به صافی موجکی بدون طیف انرژی نویز بوده و خطای تشخیص کمتری دارد.

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

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- محسن بابایی واودره، حیدرطوسی‌ان شان‌دیز. (۱۳۹۴). "تشخیص تک هدف سیگنال‌های آکوستیکی با استفاده از تبدیل موجک" سومین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی برق، مکانیک و مکاترونیک " دانشگاه مالک اشتر، تهران.
- ۲- محسن بابایی واودره، حیدرطوسی‌ان شان‌دیز. (۱۳۹۴). "تشخیص چندهدف سیگنال‌های سونار غیرفعال با استفاده از صافی موجکی" دومین کنفرانس بین‌المللی و سومین همایش ملی کاربرد فناوری‌های نوین در علوم مهندسی " دانشگاه فردوسی مشهد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر ردیابی غیرفعال	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- تاریخچه	۳
۳-۱- کاربردهای سونار	۴
۴-۱- انواع سونار	۴
۱-۴-۱- سونارفعال	۴
۲-۴-۱- سونارغیرفعال	۶
۵-۱- مروری بر انواع نویز	۷
۶-۱- نویز محیطی در آبهای عمیق	۷
۷-۱- نویز محیطی در آبهای کم عمق	۹
۸-۱- نویزهایی که به وسیله شناورهای دریایی تولید میشوند	۱۰
۱-۸-۱- نویز تولیدشده توسط موتورخانه	۱۰
۲-۸-۱- نویز تولیدشده توسط گردش پروانه کشتیها و زیردریاییها	۱۲
۳-۸-۱- نویز تولیدشده توسط اثرات هیدرو آکوستیک	۱۲
۴-۸-۱- نویز تولیدشده توسط منابع مختلف تولید صدا در کشتی	۱۳
۹-۱- نویزهای پس زمینه	۱۳
۱-۹-۱- مداخلات انسانی	۱۴
۲-۹-۱- اختلال سطحی	۱۴
۳-۹-۱- جانداران دریایی	۱۴
۴-۹-۱- فعالیتهای زمین لرزه ای	۱۵
۵-۹-۱- شکستن یخ	۱۵

۱۵.....	۱-۹-۶- صدای بارش باران
۱۵.....	۱-۹-۷- نویز حرارتی و مولکولی
۱۶.....	۱-۱۰- ردیابی غیرفعال
۱۷.....	۱-۱۱- ساختار پایان نامه
۱۹.....	فصل دوم: مفاهیم پایه در پردازش سیگنال
۲۰.....	۲-۱- مقدمه
۲۱.....	۲-۲- روش های پردازش
۲۲.....	۲-۲-۱- تبدیل فوریه
۲۳.....	۲-۲-۲- تبدیل فوریه زمان کوتاه
۲۵.....	۲-۳- تحلیل چند رزولوشن
۲۵.....	۲-۴- مقیاس
۲۶.....	۲-۵- تبدیل موجک
۲۷.....	۲-۵-۱- تبدیل موجک پیوسته
۲۸.....	۲-۵-۲- محاسبه تبدیل موجک پیوسته
۳۰.....	۲-۵-۳- گسسته سازی تبدیل موجک پیوسته و تبدیل موجک گسسته
۳۶.....	۲-۶- رزولوشنهای زمانی و فرکانسی
۳۷.....	۲-۷- تبدیل موجک
۳۷.....	۲-۸- بسته موجک
۴۱.....	فصل سوم: ردیابی غیرفعال تک هدف با استفاده از تبدیل موجک
۴۲.....	۳-۱- مقدمه
۴۲.....	۳-۲- تشخیص رویدادهای صوتی
۴۴.....	۳-۳- الگوریتم تشخیص

۴-۳- ارزیابی عملکرد صافی پیشنهادی.....	۵۶
۳-۴-۱- نسبت سیگنال به نویز	۵۷
۳-۴-۲- نرخ خطای برابر (EER).....	۵۹
۳-۵- انتخاب پارامترهای تبدیل موجک	۶۰
۳-۵-۱- انتخاب موجک مادر	۶۰
۳-۵-۲- انتخاب سطح تجزیه (j)	۶۲
۳-۶- تجزیه و تحلیل عملکرد الگوریتم تشخیص	۶۴
۳-۷- تجزیه و تحلیل نظری صافی	۶۴
فصل چهارم: ردیابی غیرفعال چند هدف	۶۹
۴-۱- مقدمه	۷۲
۴-۱-۱- ترکیب اطلاعات.....	۷۳
۴-۲- الگوریتم تشخیص چند هدف	۷۳
۴-۳- نتایج شبیه سازی الگوریتم تشخیص چندهدف	۷۳
۴-۴- محاسبه نرخ خطای برابر در تشخیص چند هدف	۸۳
۴-۵- نتیجه گیری	۸۶
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها.....	۸۹
۵-۱- نتیجه گیری.....	۹۰
۵-۲- پیشنهادها	۹۱
مراجع	۹۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- طرح فرضی نشان‌دهنده نویز در آب‌های عمیق..... ۸
- شکل ۱-۲- طیف نویز دریای عمیق ۸
- شکل ۱-۲-۱- مراحل محاسبه تبدیل موجک پیوسته ۳۰
- شکل ۲-۲- رزولوشن در صفحه زمان- فرکانس ۳۶
- شکل ۳-۲- درخت موجک ۳۸
- شکل ۴-۲- تجزیه با بسته موجک ۳۹
- شکل ۱-۳- تشخیص رویداد صوتی ۴۴
- شکل ۲-۳- سیگنال هدف ۴۵
- شکل ۳-۳- ضرایب موجک هدف ۴۶
- شکل ۳-۴- سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال ۴۶
- شکل ۳-۵- ضرایب موجک سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال ۴۷
- شکل ۳-۶- سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال و موتور کشتی ۴۷
- شکل ۳-۷- ضرایب موجک سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال و موتور کشتی ۴۸
- شکل ۳-۸- طیف انرژی سیگنال هدف ۴۹
- شکل ۳-۱۰- طیف انرژی سیگنال ورودی با نویز صدای وال و موتور کشتی ۵۰
- شکل ۳-۱۱- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی با صدای نویز وال با صافی $H(i) = esi$ ۵۱
- شکل ۳-۱۲- افزایش انرژی هدف در سیگنال دارای نویز وال و موتور کشتی با صافی $H(i) = esi$ ۵۲
- شکل ۳-۱۳- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی دارای نویز وال با صافی $H(i) = esi/eni$ ۵۳
- شکل ۳-۱۴- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی دارای نویز صدای وال و موتور کشتی با صافی ۵۴
- شکل ۳-۱۵- فرآیند محاسبه نرخ خطای برابر ۵۸

شکل ۳-۱۶	ERR % برای انتخاب سطح تجزیه موجک	۶۲
شکل ۴-۱	الگوریتم تشخیص چند هدف	۷۲
شکل ۴-۲	خروجی آشکارساز اول با صافی $H(i) = esi$	۷۴
شکل ۴-۳	خروجی آشکارساز اول با صافی $H(i) = esi/eni$	۷۴
شکل ۴-۴	تشخیص هدف اول با صافی $H(i)=esi$	۷۵
شکل ۴-۵	تشخیص هدف اول با صافی $H(i) = esi/eni$	۷۶
شکل ۴-۶	خروجی آشکارساز دوم با صافی $H(i)=esi$	۷۶
شکل ۴-۷	خروجی آشکارساز دوم با صافی $H(i) = esi/eni$	۷۷
شکل ۴-۸	تشخیص هدف دوم با صافی $H(i)=esi$	۷۷
شکل ۴-۹	تشخیص هدف دوم با صافی $H(i) = esi/eni$	۷۸
شکل ۴-۱۰	خروجی آشکارساز سوم با صافی $H(i)=esi$	۷۸
شکل ۴-۱۱	خروجی آشکارساز سوم با صافی $H(i) = esi/eni$	۷۹
شکل ۴-۱۲	تشخیص هدف سوم با صافی $H(i)=esi$	۷۹
شکل ۴-۱۳	تشخیص هدف سوم با صافی $H(i) = esi/eni$	۸۰
شکل ۴-۱۴	خروجی دیتافیوژن با صافی $H(i)=esi$	۸۱
شکل ۴-۱۵	خروجی دیتافیوژن با صافی $H(i) = esi/eni$	۸۲
شکل ۴-۱۶	تشخیص هدف با صافی $H(i)=esi$	۸۳
شکل ۴-۱۷	تشخیص هدف با صافی $H(i) = esi/eni$	۸۳

فهرست جدول‌ها

- جدول ۳-۱- درصد افزایش انرژی با صافی $H(i)=esi$ ۵۵
- جدول ۳-۲- درصد افزایش انرژی با صافی $H(i)=esi/eni$ ۵۵
- جدول ۳-۳- مقایسه SNR قبل و بعد عبور از صافی $H(i)=esi$ ۵۷
- جدول ۳-۴- مقایسه SNR قبل و بعد عبور از صافی $H(i)=esi/eni$ ۵۷
- جدول ۳-۵- محاسبه %ERR با صافی $H(i)=esi$ ۵۹
- جدول ۳-۶- محاسبه %ERR با صافی $H(i)=esi/eni$ ۶۰
- جدول ۳-۵- مقادیر افزایش انرژی با توابع موجک متفاوت ۶۱
- جدول ۴-۱- محاسبه %EER با صافی $H(i)=esi$ ۸۴
- جدول ۴-۲- محاسبه %EER با صافی $H(i)=esi/eni$ ۸۵

فصل اول

مقدمه ای بر ردیابی غیرفعال

۱-۱- مقدمه

امروزه سیستم‌های سونار در زمینه‌های مختلف نظامی و غیرنظامی بکار می‌رود و اهمیت آن‌ها در مسائل حفاظتی به گونه‌ای است که جزو سیستم‌های استراتژیک هر کشور محسوب می‌شوند. جستجو و ردیابی اهداف از جمله وظایف اصلی این سیستم‌ها محسوب می‌شود.

در سیستم‌های سونار مهم‌ترین مسئله پس از دریافت سیگنال شناسایی هدف است که بر مبنای پردازش داده‌های دریافتی و به منظور آشکارسازی وجود هدف و استخراج اطلاعاتی در مورد آن انجام می‌شود [۱]. برای آشکارسازی و ردگیری اهداف نیاز به یک سری ابزار جهت اندازه‌گیری خصوصیات حرکتی هدف می‌باشد که می‌توان از سونار به عنوان یکی از ابزارهای قوی جهت ردیابی اهداف زیرآب نام برد. واژه سونار^۱ مخفف عبارت Sound Navigation And Ranging بوده و به معنای فاصله‌یابی و ناوبری با صوت می‌باشد و تعریف علمی آن عبارت است از سیستمی که در آن از انرژی انتشار یافته یا منعکس شده (به صورت امواج آکوستیکی) در زیرآب به منظور 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 نه تنها 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 می‌باشد که عبارت‌اند از:

الف- سونار فعال

ب- سونار غیرفعال

^۱ sonar

در سونار فعال، جهت آشکارسازی و ردیابی اهداف به ترتیب ارسال امواج، بازگشت انعکاس از هدف و آشکارسازی انجام می‌شود، در صورتی که در سونارهای غیرفعال تنها از تحلیل، بررسی و پردازش امواج صادر شده از اهداف زیر آب جهت آشکارسازی و ردیابی استفاده می‌شود. پارامترهای مختلفی از اهداف متحرک زیر آب توسط سونار محاسبه و آشکار می‌شود که عبارت است از: برد، زاویه یا سمت، سرعت هدف. نکته قابل توجه در سونارها، استفاده از امواج آکوستیکی (که از جنس امواج مکانیکی می‌باشند)، جهت آشکارسازی و ردیابی اهداف زیر آب می‌باشد. در حالی که در رادارها از امواج الکترومغناطیسی استفاده می‌شود به صورت عمده علت عدم استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای عملیات ارسال و دریافت زیر آب و متعاقباً آشکارسازی و ردیابی اهداف، میرا شدن فوق‌العاده سریع این امواج در زیر آب می‌باشد.

۱-۲- تاریخچه

ایده‌ی استفاده از انتشار صوت در محیط آب قدمت بسیار دارد. اولین سند مکتوب در این زمینه مربوط به جمله‌ی مشهور لئوناردو داوینچی است. وی در سال ۱۴۹۰ میلادی برای شنیدن صوت‌های شناورهای دوردست پیشنهاد می‌کند که یک لوله‌ی بلند را درون آب قرار داده و پس از توقف و سکوت شناور، گوش خود را به سر دیگر بچسبانید تا به این روش صوت شناورهای غیرقابل رؤیت را به خوبی بشنوند. هرچند اولین محاسبه تحلیلی سرعت انتشار صوت درون آب به ایزاک نیوتون در سال ۱۶۸۷ میلادی نسبت داده می‌شود ولی به دلیل نبودن امکانات مناسب برای اندازه‌گیری درون آب، اولین آزمایش اندازه‌گیری سرعت انتشار صوت مدت‌ها بعد در سال ۱۸۲۷ در دریاچه ژنو با استفاده از یک زنگ در زیر آب توسط دانیل کولودن انجام شده است. اختراع حساس‌های^۲ پیزو الکتریک در سال ۱۸۸۰ کاربردهای انحصاری صوت در محیط آب داشت به نحوی که اولین سونار فعال که کوه یخ را از فاصله ۲ مایلی کشف می‌کرد در سال ۱۹۱۴ با موفقیت آزمایش گردید. تا زمان جنگ جهانی دوم کاربرد عمده صوت در زیر آب به ناوبری شناورهای سطحی و زیرسطحی محدود می‌گشت ولی

^۲ sensor

حوادث مهیب این دوره، تحوّل شگرفی در کاربردهای صوت رقم زد. سامانه‌های سونار در گذشته بانام عمومی اسدیک^۳ شناخته می‌شدند. اولین کلمه عنوان اختصاری اولین سازمان پشتیبانی طراحی و ساخت سامانه‌های سوناری آمریکایی هست که بعدها برای نام عمومی این سامانه‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گرفت. طی سی سال گذشته، پیدایش نسل جدید کامپیوترها، پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیچیده پردازشی را به راحتی امکان پذیر نموده است و این امر به نوبه‌ی خود بُرد و دقت سامانه‌های سوناری را افزایش داده است. از سوی دیگر توجه به فن‌های کاهش سطح نویز صوتی برای مقابله با سونارهای نوین افزایش یافته است. افزایش توانایی سامانه‌های سوناری همچنین باعث گسترش کاربردهای متعدد و بعضاً نوین در زمینه‌ی شیلات، زمین‌شناسی، اقلیم‌شناسی گردیده است.

۱-۳- کاربردهای سونار

سیستم‌های سونار به‌طور کلی کاربردهای نظامی و غیرنظامی متعددی را دارا می‌باشد؛ که از کاربردهای نظامی آن می‌توان به ناوبری، آشکارسازی هدف زیرآب، ردیابی هدف زیرآب، فاصله‌یابی، مین‌روب‌های آکوستیکی، اثردهای هدایت‌شونده و ارتباطات و مخابرات اشاره نمود و از کاربردهای غیرنظامی موارد ناوبری، عمق‌یابی، نقشه‌برداری کف دریا، سرعت سنجی، ماهیگیری، غواصی و مکان‌یابی را بیان نمود [۲].

۱-۴- انواع سونار

از لحاظ عملکرد و یا کاربرد سونارها به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از سونار فعال، سونار غیرفعال، سونار ره‌گیری، سونار تجسس، سونار مراقبت و حمله، سونار ویژه شکار مین، سونار ویژه آشکارسازی مین، سونار ماهی یاب، سونار کاوش و سونار آب‌های کم عمق [۳].

۱-۴-۱- سونار فعال

^۳ Anti Submarine In Vestigation (ASDIC)

در سیستم سونار فعال، یک سیگنال آکوستیک خاص با مشخصات معین و ویژه درون آب منتشر می‌شود و سپس سیستم اثرات بازگشتی را دریافت و پردازش می‌کند. اصول کار مبتنی بر این واقعیت است که اگر پرتوهای سیگنال آکوستیکی ارسال شده در مسیر حرکت خود به مانعی برخورد کنند، منعکس شده و اگر انرژی برگشت کافی داشته باشند به منبع مولد خود بازمی‌گردند. حسگرها با دریافت این سیگنال بازتاب شده و تعیین پارامترهایی مثل زمان رفت و برگشت و تغییر فرکانس سیگنال دریافتی نسبت به سیگنال ارسالی، مشخصات هدف را تعیین می‌کند. این نوع سیستم‌ها باید انرژی موردنیاز برای ارسال یک سیگنال پر قدرت آکوستیکی را تأمین نمایند؛ بنابراین سامانه‌های آکوستیکی فعال همیشه مشکل توان مصرفی دارند ولی در عوض چون پارامترهای سیگنال ارسالی از قبل دقیقاً مشخص است، بنابراین روش‌های پردازشی جهت کشف و آشکارسازی سیگنال بازتاب شده، بسیار ساده‌تر خواهد بود. اما در بعضی موارد مانند کاربردهای نظامی دریافت سیگنال آکوستیکی باید به صورت یک طرفه باشد و بدین معناست که ارسال سیگنالی از سمت ناظر صورت نمی‌گیرد و فقط سیگنال‌های ساطع شده از هدف را دریافت می‌کند. از نمونه سونار فعال می‌توان به سونار عمقیاب^۴، سونار ماهیگیری، سونار داپلر^۵ اشاره کرد. عمقیاب صوتی را می‌توان پرکاربردترین سامانه سوناری دانست که روی کشتی‌های نظامی و تجاری نصب می‌شود. این دستگاه با ارسال سیگنال به بستر دریا و دریافت سیگنال انعکاسی آن و با توجه به تأخیر زمانی بین ارسال و دریافت هر سیگنال، عمق را شناسایی می‌کند. سونار ماهیگیری دقیقاً مانند عمقیاب عمل می‌کند. با این تفاوت که هدف آن‌ها به جای شناسایی عمق، شناسایی توده‌های ماهی است. در این سونار یک پالس درون آب ارسال شده و با برخورد به ماهی‌ها، صوتی را نسبت به منبع صوت پاسخ می‌دهد که این انعکاس حاوی اطلاعاتی از قبیل اندازه ماهی‌ها و موقعیت و فراوانی میزان ماهی‌ها هست. از سونار داپلر در اندازه‌گیری سرعت کشتی نسبت به آب یا کف دریا در اندازه‌گیری اجسام شناور در آب یا امواج درونی آب استفاده می‌شود.

^۴ Echo Sounder

^۵ Doppler Scan

۱-۴-۲- سونار غیرفعال

منظور از سونار غیرفعال، ردیابی هدف بدون ارسال سیگنال در محیط می‌باشد. در این روش بدون ارسال سیگنال در محیط و تنها از طریق پردازش سیگنال‌های دریافتی توسط حسگر و آنتن‌های سیستم، ردیابی اهداف انجام می‌شود. با توجه به سرعت انتشار امواج آکوستیکی زیرآب و سرعت حرکت اهداف زیرآب، برای پیش‌بینی مسیر هدف و جلوگیری از تداخل اهداف و اشتباه شدن اهداف با یکدیگر و در پاره‌ای از موارد جهت پیش‌بینی کوتاه‌ترین فاصله هدف موردنظر تا سیستم سونار در مسیری که هدف حرکت می‌کند به کار می‌رود. در این سونار با توجه به سرعت کم انتشار امواج آکوستیکی زیرآب به‌ویژه در مقایسه با امواج راداری، نیاز قابلیت پیش‌گویی و تخمین مسیر حرکت هدف و یا سایر مشخصات در سونار غیرفعال ضروری است.

به‌طور کلی در سونارهای غیرفعال، مکانیزم آشکارسازی و ردیابی اهداف به شرح زیر است:

۱- دریافت سیگنال‌های آکوستیکی منتشرشده از تمامی اهداف زیرآب توسط حسگرها (هیدروفن‌ها) قرارگرفته در یک هندسه و آرایه طراحی‌شده و تبدیل سیگنال‌های آکوستیکی مناسب. لازم به ذکر است جنس امواج آکوستیکی از نوع مکانیکی بوده و شامل فرکانس‌های متنوع و مختلف می‌باشد.

۲- برای هر حسگر در نظر گرفته‌شده در آرایه مذکور یک گیرنده مناسب اختصاص یافته است که این گیرنده‌ها وظیفه تقویت سیگنال‌های الکتریکی دریافت شده از هیدروفن‌ها را به عهده دارند.

۳- سیگنال تقویت‌شده از گیرنده‌های مذکور در واحد پردازش مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و الگوریتم‌های متنوع آشکارسازی، ردیابی و ... در رابطه با این سیگنال‌ها به اجرا درمی‌آیند.

۴- نتیجه اطلاعات فراهم‌شده از اهداف زیرآب و درواقع خروجی واحد پردازشگر به واحد نمایشگر انتقال یافته و به نحو مناسب روی صفحه نمایشگر به نمایش درمی‌آید.

از نمونه سونار غیرفعال می‌توان به سونار ره‌گیر اشاره کرد که به‌منظور آشکارسازی، دسته‌بندی و تعیین زاویه سمت سامانه‌های سونار دشمن بکار می‌رود [۴].

۱-۵- مروری بر انواع نویز

پردازش سیگنال صوتی دریا، فرآیندی برای استخراج سیگنال محصورشده در نویز است. اگر سیگنال خیلی قوی باشد، نویز اهمیتی نخواهد داشت؛ اما حالت موردعلاقه، حالت مرزی با مقدار کم نسبت سیگنال به نویز می‌باشد. هدف از ارائه این فصل، استخراج تفاوت میان خواص فیزیکی سیگنال موردعلاقه و نویز مزاحم می‌باشد. برای مثال نویز همه جهته را می‌توان با گیرنده جهت‌دار و با پرتو باریک در جهت موردنظر، کاهش داد و نویز جهت‌دار را می‌توان با نگاه نکردن در جهت نویز، حذف کرد.

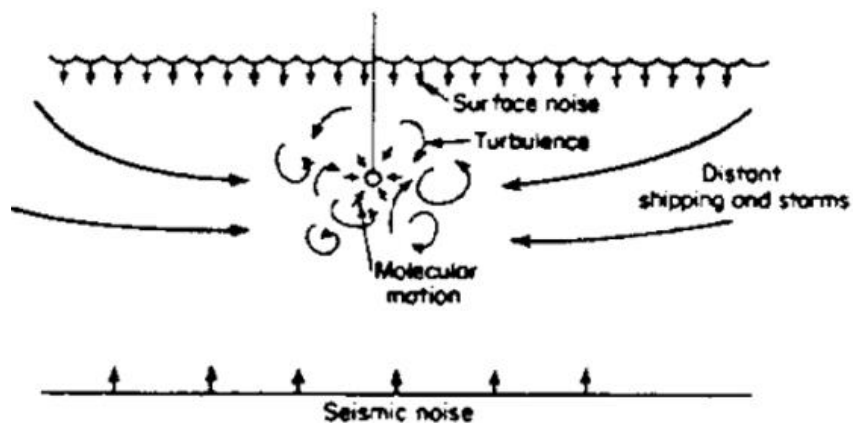
دو نوع نویز وجود دارد: نویز ساخته دست بشر و نویز طبیعی

نویز ساخته توسط انسان، شامل نویز کشتیرانی تا نویز ایجادشده توسط فریب‌دهنده‌های نزدیک ساحل می‌شود. معمولاً نویز طبیعی در فرکانس‌های پایین (کوچک‌تر از ۱۰ هرتز) و در فرکانس‌های بالا (بزرگ‌تر از ۳۰۰ هرتز) غالب است درحالی‌که نویز کشتیرانی در ناحیه میانی از ۱۰ تا ۳۰۰ هرتز نویز غالب می‌باشد. در این فصل، منابع مختلف نویز در محیط دریا را موردبررسی قرار خواهیم داد. در این بررسی، منابع نویز را با توجه به اثر آن‌ها در حوزه فرکانسی دسته‌بندی و عوامل مؤثر در تولید هر یک از انواع نویز را بیان می‌کنیم. جذر و مد دریا، امواج سطحی، حرکت‌های لرزه‌ای، کشتیرانی، شکسته شدن یخ‌ها، ترکیدن حباب‌ها، نویز باران و برف، موجودات دریایی و نظایر این‌ها، به‌عنوان منابع نویز در نظر گرفته می‌شوند.

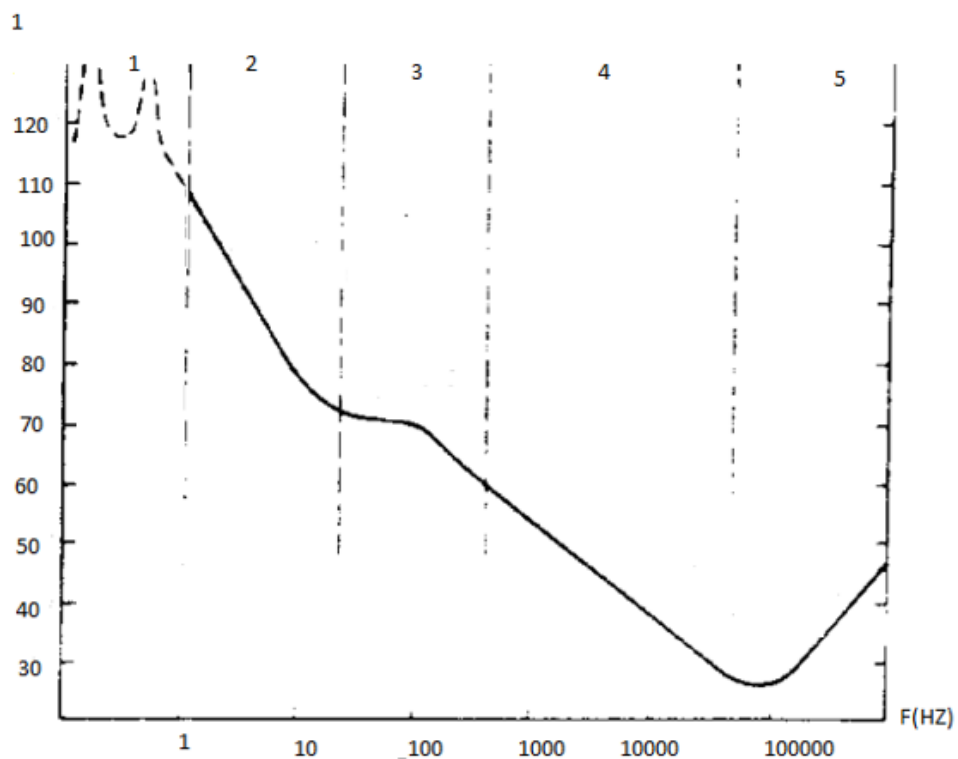
۱-۶- نویز محیطی در آب‌های عمیق

محدوده فرکانسی نویز در دریای عمیق از کمتر از ۱ هرتز تا بیشتر از ۱۰۰ کیلوهرتز است و هر یک از انواع نویز اثرات خود را در حوزه معینی از طیف نشان می‌دهند. در عمل با دقت قابل قبولی می‌توان طیف را در حوزه

فرکانس به قسمت‌های مختلف تقسیم کرده و در هر قسمت یک یا دو منبع نویز را به‌عنوان منبع اصلی معرفی کرد. در شکل (۱-۱) نمایی از منابع مختلف نویز در آب‌های عمیق نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- طرح فرضی نشان‌دهنده نویز در آب‌های عمیق



شکل ۱-۲- طیف نویز دریای عمیق

شکل (۱-۲)، مثالی از طیف نویز محیطی در دریای عمیق است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، طیف از قسمت‌هایی با شیب‌های مختلف تشکیل شده است که رفتارهای متفاوت در شرایط مختلف دارند. در شکل (۱-۲) پنج باند فرکانسی دیده می‌شود. باند ۱ زیر یک هرتز قرار دارد و ممکن است به علت جذر و مد یا حرکت‌های لرزه‌ای زمین باشد اندازه‌گیری‌های قابل اطمینان در این باند و همچنین باند ۲ بسیار مشکل است که این دشواری به علت نویز خودی هیدروفن و نویز سیستم نگهدارنده آن، در اثر جریان‌های آب می‌باشد. سیستم نگهدارنده هیدروفن یک سیستم مکانیکی جهت پایدار نگه داشتن آن می‌باشد. این سیستم، خود دارای فرکانس ارتعاش طبیعی بوده و باعث ایجاد نویز می‌گردد. نویز خودی و نویز سیستم نگهدارنده حتی در نزدیکی کف دریا نیز وجود دارد. باند ۲ با وابستگی بسیار کمی نسبت به سرعت باد بیان می‌شود. در این باند محکم‌ترین منبع نویز، جریان‌های پراکنده آب دریا می‌باشد. در باند ۳ طیف نویز محیطی تخت و هموار می‌گردد. نویز غالب در این باند، کشتیرانی در دوردست است. در باند ۴، سطح طیف متناسب با وضعیت سطح دریا در ناحیه قرار گرفتن هیدروفن می‌باشد. باید توجه داشت که فرآیند تولید نویز در این باند با باند ۲ متفاوت است زیرا شیب طیفی در دو باند باهم متفاوت است. در باند ۵ نویز حرارتی ایجادشده در اثر حرکت‌های مولکولی آب، نویز غالب است.

۱-۷- نویز محیطی در آب‌های کم‌عمق

برخلاف سطوح نسبتاً معین و تعریف شده نویز محیطی آب‌های کم‌عمق، سطح نویز در آب‌های ساحلی، خلیج‌ها و بندرگاه‌ها دارای تغییرات زیادی است. در این مناطق سطوح نویز به شدت تغییر می‌کنند که این تغییر سطح طیفی از زمانی به زمان دیگر و از مکانی به مکان دیگر ظاهر می‌شود. در آب‌های کم‌عمق نویز محیطی، ترکیبی از نویز کشتیرانی و صنعتی، نویز باد و نویز بیولوژیکی (موجودات زنده) است. در یک زمان و مکان معین، ترکیبی از این منابع نویز، سطح نویز کلی را معین می‌کنند و از آنجایی که ترکیب فوق با زمان تغییر می‌کند سطوح نویز به‌طور قابل توجهی از زمانی به زمان دیگر و مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کنند؛ بنابراین در خلیج‌ها و بندرگاه‌ها فقط ملاحظات غیردقیقی از سطوح نویز امکان‌پذیر است. در آب‌های ساحلی مانند تپه‌های دریایی مجدداً سرعت

باد برای تعیین سطح نویز در محدوده وسیعی از فرکانس در نظر گرفته می‌شود که تقریباً در تمام فرکانس‌های بین ۱۰ هرتز و ۳۰۰۰ هرتز، اثرات باد وجود دارد. اثر باد در این قسمت می‌تواند به علل مختلف مانند اثرات هیدرو استاتیک، امواج حاصل از باد و انعکاس مستقیم صدا از سطح آب باشد.

در ادامه، به معرفی اجمالی نویزهای مهم و پرکاربرد خواهیم پرداخت:

۱-۸- نویزهایی که به وسیله شناورهای دریایی تولید می‌شوند

به طور کلی منابع تولید نویز صوتی در کشتی و زیردریایی‌ها را می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد.

۱- نویز تولیدشده توسط موتورخانه (منبع اصلی حرکت، محور و قطعات متحرک موتور کشتی)

۲- نویز تولیدشده توسط گردش پروانه کشتی یا زیردریایی (هر سیستمی که باعث پراکندگی آب شود)

۳- نویز تولیدشده توسط اثرات هیدرو آکوستیک که در اثر عبور بدنه کشتی در آب ایجاد می‌شود.

۴- نویزهای تولیدشده توسط منابع مختلف تولید صدا در کشتی و زیردریایی.

۱-۸-۱- نویز تولیدشده توسط موتورخانه

در حالت کار و در شرایط عادی نویز موتورخانه قوی‌ترین نویز یا به عبارتی نویز حاکم در بین منابع تولیدکننده نویز در کشتی‌ها و زیردریایی‌ها است. انواع مختلف موتورخانه می‌تواند نویزهای گوناگونی را تولید کند. موتور دیزلی یکی از پرکاربردترین انواع سیستم‌های رانشی در بین کشتی‌ها است. در این نوع موتور تعدادی سیلندر با نرخ آتش مشخص وجود دارد. در این حالت نرخ آتش تعیین‌کننده فرکانس اصلی نویز در این قسمت است. در هر صورت همواره مقداری عدم تعادل در بین سیلندرها وجود خواهد داشت و این باعث مشاهده پیک‌های کوچک در طیف فرکانس اصلی نرخ آتش سیلندرها خواهد بود [۵]. به وسیله مقایسه فرکانس‌های اصلی در طیف و استخراج این پیک‌ها می‌توان تعداد سیلندرها را در موتور تخمین زد. همچنین نوع دیگر سیستم‌های رانشی

موتورهای توربینی می‌باشند که این موتورهای توربینی بیش از موتورهای دیزلی نویز صوتی تولید می‌کنند اما به‌صورت قوی‌تری نیز می‌توانند نویزهای تولیدی را دمپ کنند. عنصر اصلی تعیین‌کننده نویز موتورهای توربینی سرعت چرخش آن‌ها است. در این حالت نیز به دلیل عدم تعادل در پره‌های توربین باکمی تعامل در بررسی فرکانس اصلی می‌توان تعداد پره‌ها را مشخص کرد، در حقیقت تعداد پره‌ها نیز یکی از اجزا اصلی در تولید فرکانس است، به‌نحوی که تعداد پره می‌تواند فرکانس اصلی را جابه‌جا کند. شاید به‌نوعی بتوان گفت فرکانس اصلی در این حالت برابر است با حاصل‌ضرب تعداد پره در سرعت گردش. همچنین جابه‌جایی هوای گرم نیز می‌تواند تولیدکننده یکی دیگر از مؤلفه‌های فرکانسی باشد. البته نوع دیگر سیستم‌های رانشی در کشتی و زیردریایی موتورهای الکتریکی و ژنراتوری می‌باشند که این سیستم‌ها بر اساس چرخش محور کار می‌کنند. در این سیستم‌ها مبنای اصلی تولید نویز نرخ چرخش شفت می‌باشد؛ اما مؤلفه اصلی فرکانس برای این نوع موتورها عبارت‌اند از حاصل‌ضرب چرخش شفت در تعداد قطب‌های آرماتور. در بین این سه نوع سیستم رانش، سیستم نوع موتور الکتریکی و ژنراتوری کمترین نویز صوتی را تولید می‌کند. معمولاً زیردریایی‌ها از این سیستم برای رانش استفاده می‌کنند. وقتی که زیردریایی در آب فرو می‌رود به دلیل تولید کم نویز صوتی این سیستم، آشکارسازی آن سخت‌تر می‌باشد. بعد از موتور یکی از مهم‌ترین قسمت‌هایی که عامل تولید نویز در موتورخانه است، جعبه‌دنده می‌باشد. این قسمت درواقع واحد رابط بین سیستم رانش و پروانه است. در بعضی از حالات خاص این قسمت می‌تواند حتی بیش از سیستم رانش تولید نویز کند. مؤلفه اصلی فرکانس نویز تولیدی این سیستم با تعداد دندانه‌های درگیر در یک ثانیه رابطه مستقیم دارد. بعضی از سیستم‌های رانش مانند موتور الکتریکی می‌توانند با دور نسبتاً پایین پروانه کار کنند. در این حالت بیشترین نویز صوتی توسط این واحد تولید می‌شود. صوت تولیدشده توسط قسمت موتورخانه بعد از عبور از ساختار اصلی توسط بدنه کشتی به اقیانوس منتقل می‌شود. این انتقال با ضربات شدید صوتی همراه است. انتقال صوت از بدنه به اقیانوس یکی از قسمت‌های مهم در طراحی نظامی می‌باشد. به‌طور کلی تصور می‌شود که در پروسه این انتقال هارمونیک‌های زیادی به‌صورت غیرخطی به وجود می‌آید. منشاء این هارمونیک‌ها باعث به‌هم‌ریختگی شدید طیف فرکانسی می‌شود. اغلب نویز-

هایی که توسط موتورخانه تولید می‌شود در فرکانس‌های بالا و هارمونیک‌های آن‌ها متمرکز می‌شود. به این دسته نویزها تونال نویز یا نویزهای باند باریک نیز می‌گویند. این نویزها به‌صورت پیک‌هایی در طیف فرکانسی کشتی و زیردریایی مشاهده می‌شوند. موتورخانه به همراه سیستم رانش اصلی می‌تواند وقتی که سرعت کشتی بالا می‌رود نویزهای صوتی با فرکانس بالا تولید کند، اما در اکثر موتورخانه‌ها قسمت‌های کمکی مانند ژنراتور ویا پمپ تغییری در فرکانس نویز تولیدی نخواهند داشت [۶].

۱-۸-۲- نویز تولیدشده توسط گردش پروانه کشتی‌ها و زیردریایی‌ها

پروانه می‌تواند صداهاى مختلفی را بسته به اینکه کاویتاسیون داشته باشد یا خیر و بسته به سطح کاویتاسیون در صورت وجود تولید می‌کند [۷]. پروسه کاویتاسیون وقتی اتفاق می‌افتد که یک تغییر فشار ناگهانی رخ دهد. در این حالت آب بخار شده و حباب‌های کوچکی تشکیل می‌شود، سپس این حباب‌ها دوباره به مایع تبدیل‌شده و با ترکیدن، باعث تولید صدا می‌شود. همچنین در عمل حذف کامل کاویتاسیون ممکن نیست و یا بسیار سخت است، به دلیل اینکه پروانه باید نیروی لازم برای رانش به سمت جلو تولید کند و برای تولید نیروی زیاد مجبور به تغییر فشار در محیط اطراف خود است. برای کاهش اثر کاویتاسیون، زیردریایی‌های مدرن دارای پروانه‌های بزرگ با تعداد پرهای زیاد هستند. با افزوده شدن سرعت، هر پروانه شروع به کاویتاسیون می‌کند؛ و این باعث تولید یک نویز پهن باند و همچنین بزرگ‌تر شدن حباب‌ها می‌شود. همچنین ترکیدن حباب‌ها صدای قوی‌تری تولید می‌کند. طراحی ضعیف یا صدمه دیدن پروانه و شفت و یا صدمه دیدن تیغه‌ها می‌تواند باعث تولید نویز صوتی مشخص با صدای بلند شود که معمولاً به آن آواز خواندن^{*} می‌گویند. این عمل به‌خصوص در سرعت‌بالا بیشتر رخ می‌دهد.

۱-۸-۳- نویز تولیدشده توسط اثرات هیدرو آکوستیک

^{*}singing

برش و قطع امواج در اطراف دماغه، بدنه و عقبه کشتی‌ها و زیردریایی‌ها یک سیگنال نویز آکوستیکی ایجاد می‌کند که ناشی از عوامل متعدد آکوستیکی است. این سیگنال از حیث انرژی بعد از سیگنال حاصله از گردش پروانه کشتی قرار می‌گیرد.

۱-۸-۴- نویز تولیدشده توسط منابع مختلف تولید صدا در کشتی

تمامی صداهایی که در کشتی ایجاد می‌شود در نهایت وارد اقیانوس می‌شود. بعضی از این سروصداها به دلیل انجام فعالیت‌های روزانه کارکنان کشتی و زیردریایی‌ها می‌باشد. لق بودن یا غلط بسته شدن وسایل آویزی مانند، کلیدهای امنیتی یا دستگاه خاموش‌کننده آتش یا هر وسیله آویزی دیگر که سر جای خود محکم بسته نشده باشد می‌تواند باعث تولید نویز قابل توجه صوتی مخصوصاً در هنگام برخورد کشتی با یک موج شدید باشد. در آخر، لرزش لوله‌ها، دشارژ شدن آب‌سردکن، تخلیه زیرسطحی یا رو سطحی گاز و یا اثرات دیگر می‌توانند باعث تولید نویز قابل توجهی شوند. این صداهای بی‌قاعده یا نامنظم که توسط کشتی یا زیردریایی تولید می‌شود اطلاعات زیادی را در زمینه فعالیت کشتی یا زیردریایی آشکار می‌کند. به‌طور مثال صدای ایجادشده توسط باز شدن در دهانه محفظه اژدرها نشان می‌دهد که یک زیردریایی قصد حمله را دارد. تصمیم آتش با استفاده از سلاح یک نویز مشخص را تولید می‌کند. یکی دیگر از صداهایی که به‌صورت گذرا تولید می‌شود و به‌سختی می‌توان از تولید آن جلوگیری کرد، صدای سکان و موتورخانه است. برای نگه‌داشتن کشتی و یا زیردریایی در یک مسیر ثابت باید سکان به‌صورت ثابت بماند و موتور را خاموش و روشن کرد؛ که این امر خود باعث تولید فشار-های مکانیکی در موتورخانه و انتقال آن به جریان آب می‌شود.

۱-۹- نویزهایی پس‌زمینه

بعد از اینکه صدای تولیدشده به‌وسیله کشتی و زیردریایی به آب رسید باید در یک محیط بسیار خوب منتشر شود. در این مسیر این صدا با بسیاری از صداهای دیگر ترکیب می‌شود و سرانجام به تجهیزات سونار می‌رسد،

همان‌طور که می‌دانید دنیای ساکت یک رویا است؛ و محیط زیرآب به اصوات زیادی که از منابع مختلف ساطع می‌شود آغشته است. قصد داریم این اصوات را در ادامه موردبررسی قرار دهیم. منابع نویز پس‌زمینه‌ای به ۷ دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱-۹-۱- مداخلات انسانی

با توجه به این‌که انتشار صوت در آب بسیار آسان و سهل صورت می‌گیرد نویز حاصل از خطوط کشتیرانی حتی اگر در دوردست هم باشد احساس می‌شود. ولو اینکه کشتی‌ها قابل تشخیص نباشند. این امر باعث ترکیب نویزها با یکدیگر شده و یک نویز پهن باند مهمه وار تشکیل می‌دهند. تأسیسات ساحلی مانند مته‌های حفاری نیز یک صوت متمایز و مشخص تولید می‌کنند. طیف این اصوات به شدت تحت تأثیر تابع انتقال محیط انتشار که محیط اقیانوس است قرار گرفته و تغییر پیدا می‌کند. درواقع اقیانوس به‌مانند یک صافی پایین گذر عمل کرده و فرکانس‌های بالای این سیگنال را حذف می‌کند. پس تنها تأثیر این اصوات تولید یک اغتشاش با فرکانس پایین است که در صورت محدود بودن منابع دیگر به‌خوبی قابل تشخیص و جداسازی است [۸]. بیشتری فرکانس این نویز ۱۰۰۰ هرتز است.

۱-۹-۲- اختلال سطحی

اختلال سطحی، معمولاً از تداخل آب با پدیده‌های اتمسفری مانند باد به وجود می‌آید. بادهای شدیدتر صدهای قوی‌تری تولید می‌کنند و این صداها توسط اثراتی مانند تولید حباب ایجاد می‌شوند.

۱-۹-۳- جانداران دریایی

حیوانات دریایی و همین‌طور گیاهان دریایی می‌توانند باعث تولید صدای قابل توجهی شوند [۹]. بسیاری از این حیوانات دریایی عمده صدای را از خود تولید می‌کنند. این صداها می‌توانند برای منظور خاصی همچون ناوبری و

یا جذب جفت تولید شود. این صداها دارای فریم‌های مختلفی هستند از صدای خیلی کوتاه ماهی‌ها گرفته تا صدای بلند و کشیده‌ای که وال‌ها تولید می‌کنند. بسیاری از حیوانات دریایی دیگر، حرکاتی را به صورت منظم و از روی قاعده انجام می‌دهند. با حرکت و شنا کردن آن‌ها در آب از کنار آبشش‌های آن‌ها صداهای مشخصی تولید می‌شود. فرکانس این نوع صداها بسیار متفاوت است به گونه‌ای که در وال‌های آبی، انرژی صوتی به حدود ۱۵۰ هرتز و در دلفین‌ها در حدود ۱۲ کیلوهرتز قرار دارد.

۱-۹-۴- فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای

تعداد زیادی زمین‌لرزه و فعالیت آتش‌فشانی در زیر دریاها رخ می‌دهد. در حقیقت یک فعالیت کوچک لرزه‌ای در هر لحظه و در هر مکان که باشد در حال انجام است. به همین دلیل یکی از بخش‌های مهم اصوات پس‌زمینه‌ای که به ما می‌رسد را این صداها تشکیل می‌دهند [۱۰]. این فعالیت‌ها گاهی دارای انرژی فرکانسی تا ۳ کیلوهرتز نیز می‌باشند.

۱-۹-۵- شکستن یخ

تغییرات دمایی در قطب‌ها باعث می‌شود که فشار مکانیکی به لایه‌های یخی وارد شده و قطعات بزرگ یخ آب شود و به اقیانوس بیفتند. این امر باعث تولید یک نویز بزرگ صوتی می‌شود.

۱-۹-۶- صدای بارش باران

باران، برف و تگرگ می‌توانند صداهای قابل توجهی را در دریا تولید کنند. این صداها به گونه‌ای هستند که تمامی طیف فرکانسی را پوشش می‌دهند. یکی از مشکلاتی که در سونار پسیو با آن روبه‌رو هستیم، این خانواده از نویز-های پس‌زمینه هستند. این نویزها دارای انرژی فرکانسی تا ۱۵ کیلوهرتز بوده و به طور یکنواخت وجود دارند.

۱-۹-۷- نویز حرارتی و مولکولی

وجود دماهای مختلف در لایه‌های گوناگون دریا سبب تولید حباب‌هایی می‌شود که ترکیدن این حباب‌ها سبب تولید یک نویز با قدرت بیش از ۱۰ کیلوهرتز می‌شود [۱۱].

۱-۱۰- ردیابی غیرفعال

منظور از ردیابی غیرفعال، ردیابی بدون ارسال سیگنال در محیط زیرآب است که در عمل برای این نوع ردیابی از سونارهای غیرفعال استفاده می‌شود که در این سیستم‌ها برای ردیابی اهداف، اندازه‌گیری‌ها از طریق منابع گوناگونی همچون انعکاس بازگشتی از اهداف با توجه به قوت آن‌ها و باوجود نویز زمینه‌ای و منابعی همچون نویز حرارتی انجام می‌شود. ردیابی اهداف زیرآب توسط سونارهای غیرفعال، برای پیش‌بینی مسیر هدف و جلوگیری از تداخل اهداف و اشتباه شدن اهداف با یکدیگر و در پاره‌ای از موارد جهت پیش‌بینی کوتاه‌ترین فاصله هدف موردنظر تا سیستم سونار در مسیری که هدف طی می‌کند، به کار می‌رود. با توجه به سرعت کم انتشار امواج آکوستیکی زیرآب به‌ویژه در مقایسه با امواج راداری، نیاز قابلیت پیش‌گویی و تخمین مسیر حرکت هدف و یا سایر مشخصات مربوطه (از جمله موقعیت و سرعت و ...) در سونار غیرفعال ضروری می‌باشد [۱۲].

ردیابی و دسته‌بندی 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 [۲]. یکی از روش‌های مناسب پردازشی سونار در دوره کلاسیک، پردازش میدان تطبیقی (MFP) می‌باشد که در ابتدا برای پردازش سیگنال سونار طراحی شده بود اما بعد از مدتی به برنامه‌های کاربردی رادار انتقال پیدا کرد و در آنجا مورد استفاده قرار گرفت [۱۳]. 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 مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. 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 داده‌های شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در [۱۵] از شش پارامتر استخراجی از طیف انرژی استفاده می‌کند. در این روش، بردار خاصیت استاندارد برای هر دسته از کشتی‌ها بدست می‌آید بنابراین فاصله عرضی بین هر بردار استاندارد و بردار خاصیت استخراجی از داده‌های تست محاسبه می‌شود. خواص متفاوت در [۱۶] که بر اساس چگالی طیفی توان در نویز منعکس شده از چهار نوع مختلف کشتی پیشنهاد شده است. در این کار نویز پس‌زمینه با استفاده از دو پنجره عبور مجزا تخمین زده شده است. شبکه‌های عصبی در [۱۷] که بر مبنای تبدیل فوریه کوتاه می‌باشد برای پردازش سیگنال‌های سونار پیشنهاد شده است. نویسندگان در [۱۸] نویز آکوستیک منعکس شده را با مدل AR نشان داده‌اند و به پردازش سیگنال می‌پردازند. در [۱۹] نویسندگان مزایا و معایب بین خواص متفاوت بدست آمده از چگالی طیفی توان و طیف مرتبه بالاتر بدست آورده بعد از ترکیب این دو طیف به تخمین ویژگی‌های تشخیص پرداخته‌اند.

۱-۱۱- ساختار پایان‌نامه

همان‌گونه که دیده شده فصل اول پایان‌نامه شامل مقدمه، تاریخچه، ابزار موردنیاز جهت تشخیص و ردیابی اهداف زیرآب مانند معرفی سونار، انواع سونار، کاربرد آن‌ها، نویزهای موجود در زیرآب و ساختار پایان‌نامه می‌باشد. در فصل دوم این پایان‌نامه به پردازش سیگنال و انواع آن که شامل تبدیل فوریه، تبدیل فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک و روابط حاکم بر آن‌ها پرداخته شده است. در فصل سوم به معرفی الگوریتم تشخیص تک هدف می‌پردازیم و پس از پیاده‌سازی و شبیه‌سازی الگوریتم به مقایسه عملکرد صافی موجکی پرداخته می‌شود و در نهایت الگوریتم تشخیص را از لحاظ نظری موردبررسی قرار می‌دهیم. در فصل چهارم الگوریتم تشخیص چند هدف سیگنال‌های آکوستیکی مطرح می‌شود و پس از شبیه‌سازی و اطلاعات بدست آمده به مقایسه عملکرد این الگوریتم با صافی‌های موجکی پرداخته می‌شود. در فصل پنجم نتایج بدست آمده در این پایان‌نامه و نیز پیشنهادهایی برای ادامه کار در این زمینه ارائه می‌شود.

فصل دوم

مفاهیم پایه در پردازش سیگنال

انسان‌ها و موجودات برای انتقال اطلاعات و مفاهیم به یکدیگر، از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند، مثلاً بسیاری از موجودات با صدا پیامی را به هم انتقال می‌دهند. مارها با دریافت اطلاعات مادون‌قرمز از نزدیک شدن موجودی آگاه می‌شوند. خفاش‌ها با فرستادن امواج به محیط و دریافت انعکاس آن اطلاعات جمع‌آوری می‌کند. دلفین‌ها به دریافت صدا و کبوترها به شناسایی مکان‌ها از طریق اطلاعات تصاویری از محیط شهرت دارند. در سراسر طبیعت و در اکثر ارتباطاتی که در آن‌ها موجودات عکس‌العملی دارند، انتقال اطلاعات نقش مهمی دارد. این اطلاعات را به‌طور کلی سیگنال گویند. موجودات زنده پس از دریافت سیگنال‌ها، آن‌ها را پردازش می‌کند و عکس‌العمل نشان می‌دهند. این عکس‌العمل ممکن است به‌صورت فرستادن سیگنال دیگری به محیط تعبیر شود. در همه‌ی مثال‌های فوق بخش‌های زیر مشترک است:

الف- فرستنده: اطلاعات را از طریق سیگنال خاصی می‌فرستد.

ب- گیرنده: سیگنال را دریافت می‌کند.

ج- پردازنده یا واحد پردازش سیگنال: اطلاعات دریافت شده را پردازش می‌کند.

د- کانال ارتباطی: فرستنده و گیرنده، سیگنال‌های ارتباطی را از طریق این کانال ارتباطی منتقل می‌کنند. سیستم‌های مختلف از طریق سیگنال‌های ارسالی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. اگر سیگنال موردبررسی صوتی باشد، آن را سیستم ارتباط صوتی می‌نامند. پردازش سیگنال‌ها به فرایند تجزیه، تحلیل و تفسیر سیگنال‌ها اطلاق می‌شود. سیگنال موردنظر می‌تواند صدا، تصویر، فیلم و یا هر سیگنال دیگری باشد [۲۰].

پردازش سیگنال ازجمله محورهای اصلی در بسیاری از فناوری‌های نوین محسوب می‌شود. چند نمونه از کاربردهای پردازش سیگنال عبارت‌اند از:

الف- در شاخه‌های مختلف پردازش تصویر

ب- در سیستم‌های رادار و سونار

ج- در کاربردهای پزشکی و مهندسی پزشکی

د- در پردازش سیگنال‌های طبیعی برای پیش‌بینی زلزله و آتش‌فشان

البته نمی‌توان به‌طور کاملاً مشخصی کاربردهای پردازش سیگنال را دسته‌بندی کرد. در بسیاری موارد کاربردهای مختلف باهم ترکیب می‌شوند، یا اینکه ممکن است زمینه‌های در دیگر کاربردها نیز استفاده شوند.

۲-۲- 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 سیستم‌های قدیمی این سیگنال به‌صورت آنالوگ و توسط عنصری مانند خازن، ترانزیستور، تقویت‌کننده عملیاتی و المان‌هایی از این قبیل تحلیل می‌شد، ولی چون شرایط و مدل کانال زیرآب صلب و بدون تغییر است و حتی با فرض تغییرناپذیر بودن این مدل بسیار پیچیده است که روش‌های پردازشی معمولی که توسط صافی یا چند عنصر آنالوگ دیگر انجام می‌شود کاربرد خاص و تک منظوره داشته و با تغییر شرایط محیط، کارایی خود را از دست می‌دهد؛ بنابراین در خصوص پردازش این نوع سیگنال نیاز به روش‌های الگوریتمی و قابل انعطاف است که این کار قطعاً از عهده دستگاه‌های آنالوگ خارج است و طراحی را به سمت روش‌های کامپیوتری و سیستم‌های دیجیتال هدایت می‌کند.

در این پروژه روش‌هایی را معرفی خواهیم کرد که بیشترین کارایی را داشته باشند و در چند سال اخیر مورد تحقیق و پژوهش بوده است و در ادامه فصل مورد بحث قرار می‌گیرند.

۲-۲-۱- تبدیل فوریه

در قرن ۱۹، ریاضیدان فرانسوی فوریه نشان داد که هر تابع تناوبی می‌تواند به صورت مجموع توابع نمایی مختلط نمایش داده شود. سال‌ها بعد، ایده او به سیگنال‌های تناوبی و غیرتناوبی ناپیوسته تعمیم داده شد. در سال ۱۹۶۵ فوریه زمان کوتاه ارائه شد که موجبات معروفیت بیشتر تبدیل فوریه را فراهم کرد. تبدیل فوریه هر سیگنال را به یک سری توابع نمایی مختلط با فرکانس‌های متفاوت تجزیه می‌کند. طرز کار آن با دو معادله (۲-۲) و (۲-۲) تعریف می‌شود.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j\pi f t} dt \quad (۲-۲)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \cdot e^{j\pi f t} df \quad (۲-۲)$$

در معادله فوق (۲-۲)، t نشان‌دهنده زمان، f نشان‌دهنده فرکانس، X نشان‌دهنده سیگنال موردنظر و X تبدیل یافته آن است. توجه کنید که X سیگنال در بعد زمان و X سیگنال در بعد فرکانس می‌باشد. رابطه (۲-۲) نشان‌دهنده تبدیل فوریه $x(t)$ و رابطه (۲-۲) عکس تبدیل فوریه $X(f)$ ، یعنی $x(t)$ است.

عبارت نمایی در رابطه (۲-۲) می‌تواند به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$e^{j\pi f t} = \cos(\pi f t) + j\sin(\pi f t) \quad (۲-۳)$$

که دارای یک قسمت حقیقی از کسینوس فرکانس f ، و یک قسمت موهومی از سینوس فرکانس f است. بنابراین کاری که درواقع صورت می‌گیرد، ضرب سیگنال اصلی در یک عبارت مختلط است که شامل سینوس‌ها و کسینوس‌های فرکانس f می‌باشد، سپس این حاصل ضرب‌ها باهم جمع می‌شوند. اگر حاصل ضرب 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. سیگنال در عبارت سینوسی فرکانس f ضرب می‌شود، اگر سیگنال دارای مقداری بزرگی در فرکانس f باشد، این جزء با عبارت سینوسی هم‌زمان خواهند بود و حاصل ضرب آن‌ها هم‌مقدار نسبتاً بزرگی را بدست می‌دهد. این امر نشان‌دهنده این است که سیگنال $x(t)$ دارای جز فرکانسی عمده‌ای در f می‌باشد. اگر سیگنال $x(t)$ در فرکانس f ، دارای جز عمده‌ای نباشد، حاصل ضرب مقدار نسبتاً کوچکی خواهد بود.

۲-۲-۲- تبدیل فوریه زمان کوتاه^۷

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. درواقع فقط یک تفاوت کوچک بین تبدیل فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه وجود دارد، در تبدیل فوریه زمان کوتاه، سیگنال به بخش‌هایی تقسیم می‌شود بطوریکه که هر بخش از سیگنال را می‌توان ثابت فرض کرد. بدین منظور پنجره‌ای با تابع w انتخاب می‌شود که عرض آن برابر بخشی از سیگنال که ثابت است می‌باشد. ابتدا این پنجره در شروع سیگنال قرار می‌گیرد یعنی تابع پنجره در $t=0$ قرار دارد. فرض کنید عرض پنجره T ثانیه باشد. در این زمان تابع پنجره با $T/2$ ثانیه ابتدا همپوشانی پیدا می‌کند. سپس تابع پنجره سیگنال در هم ضرب می‌شوند. با انجام این کار فقط $T/2$ از سیگنال با وزن‌های مناسب انتخاب می‌شود، سپس فرض می‌شود که این حاصل ضرب یک سیگنال دیگر است که باید تبدیل فوریه آن محاسبه شود. نتیجه این انتقال تبدیل فوریه $T/2$ ثانیه از سیگنال خواهد بود. اگر همان‌طور که فرض شده این بخش از سیگنال ایستا باشد، مشکلی وجود نخواهد داشت و نمایش صحیحی از فرکانس در این محدوده زمانی بدست خواهد آمد. گام بعد تغییر مکان این پنجره به یک مکان جدید و تکرار مجدد مراحل فوق خواهد بود.

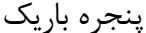
^۷ short-time Fourier transform

تعریف (۴-۲) تمام مراحل فوق در محاسبه STFT را خلاصه می‌کند:

$$STFT_X^{(w)}(t', f) = \int_t [x(t) \cdot w^*(t - t')] \cdot e^{-j\pi f t} dt \quad (4-2)$$

در رابطه (۴-۲)، $x(t)$ خود سیگنال، $w(t)$ تابع پنجره و $*$ بیانگر مزدوج آن است. همان‌طور که می‌بینید، تبدیل فوریه دوره کوتاه همان تبدیل فوریه حاصل ضرب سیگنال در تابع پنجره می‌باشد. مشکلی که در تبدیل فوریه دوره کوتاه وجود دارد به مفهومی به نام اصل عدم قطعیت هایزنبرگ مربوط است. این اصل به اندازه حرکت و مکان ذرات در حال حرکت برمی‌گردد که می‌تواند به عنوان اطلاعات زمان-فرکانس بکار رود. این اصل به‌طور ساده می‌گوید که نمی‌توان نمایش دقیق و هم زمان زمان-فرکانس یک سیگنال را بدست آورد. مشکل تبدیل فوریه زمان کوتاه ناشی از عرض تابع پنجره ایست که باید استفاده شود. در تبدیل فوریه، مشکل درجه تفکیک‌پذیری وجود نداشت، چون در خصوص فرکانس ما دقیقاً می‌دانستیم چه فرکانس‌هایی وجود دارد. در مقابل، رزولوشن زمانی در تبدیل فوریه و رزولوشن فرکانسی در بعد زمان صفر بود، چون هیچ اطلاعاتی در مورد آن‌ها وجود نداشت. مساله ای که باعث می‌شود تبدیل فوریه رزولوشن فرکانسی کامل داشته باشد این است که پنجره در تبدیل فوریه، درواقع هسته آن یک تابع‌نمایی $\exp(j\omega t)$ است که برای همه زمان‌ها از منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت ادامه دارد. درحالی‌که در تبدیل فوریه دوره کوتاه، پنجره دارای عرض محدودی است، بنابراین فقط قسمتی از سیگنال را پوشش می‌دهد که این امر باعث می‌شود تا درجه تفکیک‌پذیری فرکانسی پایین بیاید. بدین معنا که نمی‌توان درست را در سیگنال تشخیص داد فقط می‌توان باندی از فرکانس‌ها را بدست آورد. در تبدیل فوریه، تابع هسته امکان داشتن رزولوشن فرکانسی کامل را فراهم می‌کند، چراکه خود هسته پنجره با عرض بی‌نهایت می‌باشد. در مقابل تبدیل فوریه زمان کوتاه دارای پنجره ایی با عرض محدود است بنابراین نمی‌توان رزولوشن کامل داشت. حال اگر عرض پنجره را در تبدیل فوریه زمان کوتاه بی‌نهایت بگیریم اطلاعات زمانی را از دست می‌دهیم و در واقع تبدیل فوریه زمان کوتاه را با تبدیل فوریه جایگزین می‌کنیم. اگر از پنجره ای با عرض بی‌نهایت استفاده کنیم، رزولوشن فرکانسی کامل خواهیم داشت لیکن اطلاعات زمانی را از دست

می‌دهیم. بعلاوه، برای بدست آوردن یک سیگنال ایستا باید پنجره را آنقدر کوچک بگیریم که سیگنال در آن محدوده ایستا باشد. هرچه باریکتر باشد، رزولوشن زمانی و فرض ایستا بودن بهتری خواهیم داشت ولی رزولوشن فرکانسی پایین خواهد آمد [۲۱].

پنجره باریک  رزولوشن زمانی خوب، رزولوشن فرکانسی پایین

پنجره پهن  رزولوشن فرکانسی خوب، رزولوشن زمانی پایین

۲-۳- تحلیل چند رزولوشن

اگرچه مشکلات رزولوشن زمان و فرکانس نتیجه یک پدیده فیزیکی است (اصل عدم قطعیت هایزنبرگ) و علیرغم تبدیل معرفی شده، می‌توان هر سیگنال را با استفاده از یک رویکرد دیگر به نام آنالیز چند رزولوشنی^۸ تحلیل کرد. آنالیز چند رزولوشنی همان‌طور که از نامش پیداست، سیگنال را در فرکانس‌های مختلف با رزولوشن‌های متفاوت تحلیلی می‌کند. در این حالت هر جزء طیف به شکلی که در تبدیل فوریه دوره کوتاه وجود داشت، تجزیه نمی‌شود. تحلیل چند رزولوشنی به نحوی طراحی شده که برای فرکانس‌های بالا رزولوشن زمانی خوب و رزولوشن فرکانسی ضعیف و برای فرکانس‌های پایین، رزولوشن فرکانسی خوب و رزولوشن زمانی ضعیف را نتیجه دهد. این رویکرد بخصوص زمانی مفید است که سیگنال موردنظر برای دوره‌های کوتاه، دارای اجزای با فرکانس بالا و برای دوره‌های طولانی‌تر دارای اجزاء با فرکانس پایین‌تر باشد. خوشبختانه سیگنال‌های که در کاربردهای عملی با آن‌ها مواجه می‌شویم غالباً از این نوع هستند.

۲-۴- مقیاس

^۸ Multi Resolution Analysis

این پارامتر در تجزیه و تحلیل چند رزولوشنی، مشابه مقیاسی است که در نقشه‌ها استفاده می‌شود. همانند نقشه، مقیاس‌های بالا نشان‌دهنده یک دید کلی فاقد جزئیات (از سیگنال) و مقیاس پایین نشان‌دهنده یک دید با تفصیل بیشتر هستند. به‌طور مشابه، در مورد تمام فرکانس‌ها، فرکانس پایین (مقیاس‌های بالا) نمایانگر اطلاعات کلی یک سیگنال (که معمولاً تمام محدوده یک سیگنال را می‌پوشانند)، هستند درحالی‌که فرکانس‌های بالا (مقیاس‌های پایین) نمایانگر اطلاعات جزئی یک الگوی پنهان در سیگنال می‌باشند. خوشبختانه در کاربردهای عملی، مقیاس‌های پایین (فرکانس بالا) تمام دوره سیگنال را بر نمی‌گیرند و در طول زمان به‌صورت انفجاری ظاهر می‌شوند درحالی‌که مقیاس‌های بالا (فرکانس‌های پایین) معمولاً در تمام دوره سیگنال تداوم دارند. مقیاس‌گذاری، به‌عنوان یک عملیات ریاضی، ممکن است یک سیگنال را فشرده یا باز کند. مقیاس‌های بزرگ‌تر نشان‌دهنده سیگنال‌های باز شده و مقیاس‌های کوچک‌تر نشان‌دهنده سیگنال‌های فشرده شده هستند.

اگر $f(t)$ یک تابع ریاضی باشد، آنگاه $f(S)$ منقبض شده $f(t)$ است اگر $S > 1$ و یک نسخه باز شده است در صورتی‌که داشته باشیم $S < 1$.

به‌هر حال در تعریف تبدیل موجک مقیاس در مخرج استفاده شده، یعنی عکس عبارت فوق برقرار است، $S > 1$ سیگنال را باز و $S < 1$ سیگنال را فشرده می‌کند [۲۲].

۲-۵- تبدیل موجک^۹

تبدیل فوریه زمان کوتاهی که در بخش (۲-۲-۲) 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 و نوسانی شدیداً میرا هستند خطی

^۹ Wavelet Transform

دیگر که مانند تبدیل فوریه زمان کوتاه قادر به تحلیل زمان-فرکانس می‌باشد، تبدیل موجک است. تبدیل موجک از جمله ابزارهایی هستند که کاربردهای فراوانی در شاخه‌های مختلف علمی و مهندسی، به‌ویژه هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی، پیش‌بینی سری زمانی و بازشناسی الگو دارد. تئوری موجک‌ها درواقع تعمیمی بر تئوری تبدیلات و سری‌های فوریه است و ضعف‌های آنالیز فوریه در عملکرد موضعی و مدل‌سازی رفتارهای کوتاه مدت را، جبران می‌نماید. در ادامه دو نوع مهم از تبدیل موجک را موردبررسی قرار می‌دهیم.

۲-۵-۱- تبدیل موجک پیوسته^{۱۰}

تبدیل موجک پیوسته به‌عنوان یک رویکرد دیگر از تبدیل فوریه دوره کوتاه و برای حل مشکل تفکیک‌پذیری به وجود آمد. تحلیل موجک به روشی مشابه تبدیل فوریه دوره کوتاه صورت می‌گیرد. سیگنال دریک تابع (تابع موجک) ضرب می‌شود که مشابه تابع پنجره در تبدیل فوریه دوره کوتاه است و تبدیل به‌طور جداگانه برای قسمت‌های مختلف سیگنال در بعد زمان محاسبه می‌شود. هرچند دو تفاوت عمده بین تبدیل موجک پیوسته و تبدیل فوریه دوره کوتاه وجود دارد:

۱- تبدیل‌های فوریه سیگنال‌های پنجره‌بندی شده محاسبه نخواهند شد و لذا قله‌های سیگنال به‌صورت

سینوسی فرض می‌شوند، بدین معنی که فرکانس‌های منفی در نظر گرفته نمی‌شوند.

۲- عرض پنجره به ازای محاسبه هر جز طیف تغییر می‌کند که این خصیصه احتمالاً عمده‌ترین مشخصه تبدیل موجک است.

تبدیل موجک پیوسته به‌صورت رابطه (۲-۵) تعریف می‌شود:

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \Psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (۲-۵)$$

^{۱۰} Continuous Wavelet Transforms

همان‌طور که در رابطه (۲-۵) دیده می‌شود، سیگنال تبدیل‌شده، تابعی است از دو متغیر s و τ که به ترتیب پارامترهای انتقال و مقیاس هستند. $\Psi(t)$ تابع تبدیل است و موجک مادر نامیده می‌شود. این نام به دلیل دو خصیصه مهم تحلیل موجک که در ادامه توضیح داده می‌شود، تخصیص یافته است. عبارت موجک یعنی موج کوچک. کوچک مرتبط با این معنی است که تابع (پنجره) دارای طول محدود است. موج نیز بدین معنی است که تابع دارای شکل نوسانی است. عبارت مادر دلالت بر این دارد که توابع با مکانه‌ای پشتیبان متفاوت که در فرآیند تبدیل استفاده می‌شوند، از یک تابع اصلی یا موجک مادر مشتق شده‌اند. به عبارت دیگر، موجک مادر یک نمونه اولیه برای ساخت سایر توابع پنجره است.

عبارت انتقال در اینجا به همان معنایی است که در تبدیل فوریه دوره کوتاه بود و به فرآیندی که پنجره در طول سیگنال تغییر مکان می‌دهد، مربوط می‌شود. بدیهی است که این عبارت، بر اطلاعات زمانی در فضای تبدیل دلالت دارد. در این حالت برخلاف تبدیل فوریه دوره کوتاه، پارامتر فرکانس نداریم، در عوض پارامتری بانام مقیاس وجود دارد.

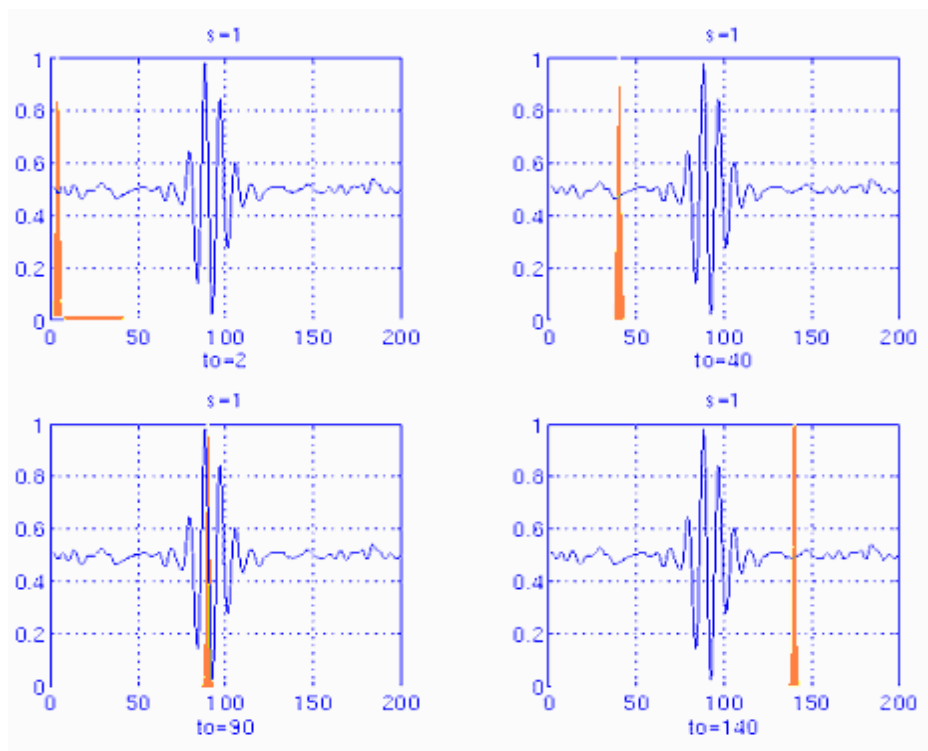
۲-۵-۲- محاسبه تبدیل موجک پیوسته

فرض کنید $x(t)$ سیگنالی است که قرار است تجزیه شود. موجک مادر به عنوان یک نمونه اولیه برای تمام پنجره‌ها انتخاب شده است. تمام پنجره‌هایی که استفاده می‌شوند، نسخه‌های باز شده (فشرده شده) و انتقال داده شده موجک مادر هستند. بعد از اینکه موجک مادر انتخاب شد، محاسبات با $s=1$ آغاز می‌شود و تبدیل موجک برای تمام مقادیر s بزرگ‌تر و کوچک‌تر از ۱ محاسبه می‌شود. لیکن، بسته به سیگنال، یک تبدیل کامل معمولاً نیاز نیست. برای تمام اهداف علمی، سیگنال محدود می‌شود؛ بنابراین، محاسبه تبدیل برای فاصله‌های محدود مقیاس‌ها کافی است.

برای راحتی کار، پروسه با مقیاس $s=1$ شروع شده و با افزایش مقادیر s ادامه می‌یابد، بدین معنا که تجزیه از فرکانس‌های بالا شروع شده و به سمت فرکانس‌های پایین ادامه می‌یابد. مقدار اولیه s نشان‌دهنده فشرده‌ترین موجک است. با افزایش مقدار s موجک بازتر خواهد شد.

موجک در آغاز سیگنال یعنی نقطه‌ای که زمان برابر صفر است، قرار می‌گیرد. تابع موجک در مقیاس یک در سیگنال کوچک ضرب می‌شود و سپس بر تمام حاصل ضرب‌ها جمع انجام می‌گیرد. نتیجه جمع سپس در عدد ثابت $1/\sqrt{t}$ ضرب می‌شود. این ضرب برای اهداف نرمال‌سازی انرژی است، به‌طوری که سیگنال تبدیل شده به ازای تمام مقیاس‌ها انرژی یکسانی داشته باشد. نتیجه نهایی مقدار تبدیل است، یعنی مقدار تبدیل موجک در زمان صفر و مقیاس $s=1$ است. به بیان دیگر، این مقدار مطابق با نقطه $\tau=0$ و $s=1$ در مقیاس زمان است. موجک در مقیاس $s=1$ سپس به اندازه τ به سمت راست انتقال داده می‌شود، $t=\tau$ و $s=1$ در فضای فرکانس محاسبه می‌شود. این روند تا وقتی که موجک به انتهای سیگنال برسد، ادامه پیدا می‌کند. در این مرحله یک سطر از نقاط مقیاس زمان برای $s=1$ محاسبه شده است. سپس، s به اندازه کمی افزایش می‌یابد. توجه کنید که این تبدیل پیوسته است و τ و s باید به صورت پیوسته افزایش پیدا کنند. حال اگر قرار باشد این فرآیند توسط کامپیوتر انجام شود، هردوی این پارامترها به یک اندازه کوچک مناسب افزایش پیدا می‌کنند. این به معنای نمونه‌برداری در مقیاس زمان است. فرآیند فوق به ازای تمام مقادیر s تکرار می‌شود. هر بار محاسبه با یک مقدار s ، یک سطر متناظر در صفحه مقیاس زمان را پر می‌کند.

شکل (۱-۲) تمام فرآیند را به صورت گام به گام شرح می‌دهد.



شکل ۲-۱- مراحل محاسبه تبدیل موجک پیوسته

در هر مکان، موجک در سیگنال ضرب شده است. واضح است که حاصل ضرب وقتی در مناطقی که موجک را پشتیبانی می‌کنند، قرار می‌گیرد، غیر صفر و برای سایر قسمت‌ها صفر است. با تغییر مکان موجک در طول زمان، سیگنال در طول زمانی محلی می‌شود و با تغییر مقدار s ، سیگنال در مقیاس محلی خواهد شد. اگر سیگنال دارای یک جزء طیفی باشد که مطابق با مقدار فعلی s باشد، ضرب موجک در سیگنال در مکانی که آن جزء طیفی وجود دارد، یک مقدار نسبتاً بزرگ را نتیجه می‌دهد. اگر جزء طیفی که متناظر با مقدار فعلی s باشد در سیگنال موجود نباشد مقدار حاصل ضرب نسبتاً کوچک یا صفر خواهد بود.

۲-۵-۳- گسسته سازی تبدیل موجک پیوسته

نسخه گسسته شده تبدیل موجک اگرچه قابلیت محاسبه توسط دستگاه‌های کامپیوتری را دارد اما در حقیقت یک تبدیل گسسته نیست. در حقیقت نسخه گسسته شده تبدیل موجک، یک سری موجک است که از تبدیل

موجک پیوسته نمونه گرفته است. لذا اطلاعات موجود در آن بسیار زائد و اضافی است که منجر به افزایش بی دلیل بار محاسباتی می شود. لذا از تبدیل موجک گسسته استفاده می شود که از لحاظ پیاده سازی بسیار ساده تر و بهینه تر است. اصول تبدیل موجک گسسته به روشی تحت عنوان کدینگ زیر باند برمی گردد که در سال ۱۹۷۶ سنگ بنای اولیه آن گذارده شد. ایده اصلی این روش مشابه تبدیل موجک پیوسته است که در آن نوعی توصیف زمان-فرکانس از سیگنال گسسته با استفاده از صافی های دیجیتال ارائه می گردد. به خاطر داریم که تبدیل موجک، حاصل شباهت سنجی (کورولیشن) بین محتوای فرکانسی سیگنال و تابع موجک در مقیاس های مختلف است. برای محاسبه تبدیل موجک پیوسته نیز پنجره موردنظر منقبض/منبسط شده و انتقال می یابد و در هر موقعیت، از حاصل ضرب آن در سیگنال، انتگرال زمانی گرفته می شود. در حالت گسسته، صافی های با فرکانس قطع های مختلف برای تحلیل سیگنال در مقیاس های متفاوت به کار برده می شود ایده اصلی مانند تبدیل موجک پیوسته است. یک نمایش زمان - مقیاس از سیگنال دیجیتال با استفاده از فن های صافی دیجیتال بدست می آید. به خاطر بیاورید که تبدیل موجک پیوسته با تغییر مقیاس پنجره تجزیه، تغییر مکان پنجره در زمان، ضرب آن در سیگنال و انتگرال گیری در تمام زمان ها، محاسبه می شود. در مورد گسسته، صافی از فرکانس های قطع مختلف برای تجزیه سیگنال در مقیاس های متفاوت استفاده می شوند. سیگنال از یک سری صافی های بالاگذر، برای تجزیه فرکانس های بالا و از یک سری صافی های پائین گذر، برای تجزیه فرکانس های پائین عبور داده می شود. درجه تفکیک پذیری سیگنال که مقیاسی برای میزان جزئیات موجود در سیگنال است، با عملیات صافی کردن و مقیاس عملیات افزایش نمونه^{۱۱} و کاهش نمونه^{۱۲} تغییر می کند. کاهش نمونه یک سیگنال، برابر است با کاهش نرخ نمونه برداری یا حذف برخی نمونه ها از سیگنال. به عنوان مثال، کاهش نمونه با ۲ یعنی حذف بقیه نمونه های سیگنال کاهش نمونه با یک فاکتور n تعداد نمونه ها در سیگنال را با n بار کاهش می دهد. افزایش نمونه یک سیگنال، با افزایش نرخ نمونه برداری یک سیگنال با اضافه کردن نمونه های جدید به آن،

^{۱۱} upsampling

^{۱۲} Subsampling

مطابق است. به عنوان مثال، افزایش نمونه با دو یعنی اضافه کردن یک نمونه جدید (که معمولاً صفر یا یک مقدار درونیابی شده است)، بین هر دو نمونه از سیگنال، افزایش نمونه از یک سیگنال با فاکتور n ، تعداد نمونه‌ها را n برابر می‌کند. اگرچه این تنها انتخاب ممکن نیست، اما ضریب تبدیل موجک گسسته معمولاً روی یک شبکه دوتایی از تبدیل موجک پیوسته نمونه‌برداری می‌شوند، یعنی، $s_0 = 2$ و $\tau_0 = 1$ که با استفاده از این مقادیر همان‌طور که در بخش‌های قبل گفته شد، داریم $s = j^2$ و $\tau = k * j^2$. از آنجاکه سیگنال یک تابع گسسته زمانی است، عبارات تابع و رشته در ادامه بحث ممکن است به جای هم استفاده شوند. این رشته با $x[n]$ بیان می‌شود که در آن n یک عدد صحیح است. فرآیند با عبور سیگنال از یک صافی پائین گذر دیجیتال نیم باند، با پاسخ ضربه $h[n]$ آغاز می‌شود. عملیات صافی کردن یک سیگنال معادل است با کانولوشن سیگنال با یک پاسخ از صافی، عملیات کانولوشن در زمان گسسته به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\chi[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \chi[k].h[n-k] \quad (۶-۲)$$

یک صافی پایین گذار نیم باند تمام فرکانس‌های بزرگ‌تر از نصف بالاترین فرکانس را حذف می‌کند. به عنوان مثال، اگر یک سیگنال دارای حداکثر ۱۰۰۰ هرتز باشد، سپس صافی پایین گذر نیم باند تمام فرکانس‌های بالای ۵۰۰ هرتز را حذف می‌کند. واحد فرکانس در این مورد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سیگنال‌های گسسته، فرکانس برحسب رادیان بیان می‌شود. در نتیجه، فرکانس نمونه‌برداری سیگنال برابر 2π رادیان برحسب فرکانس رادیان خواهد بود؛ بنابراین، فرکانس حداکثر فرکانس اگر سیگنال با نرخ نایکوئیست نمونه برداری شده باشد، برابر π رادیان بر ثانیه در فضای فرکانس گسسته است. از این‌رو استفاده از هرتز برای سیگنال‌های گسسته مناسب نیست. از آنجاکه استفاده از هرتز بسیار معمول است، در مواردی که نیاز باشد مساله ای را شرح دهیم، از آن استفاده می‌کنیم؛ بنابراین، به خاطر داشته باشید که واحد فرکانس در سیگنال‌های گسسته زمانی رادیان است. بعد از این مرحله نیمی از نمونه‌ها بر طبق قانون نایکوئیست حذف شده‌اند و سیگنال دارای بالاترین فرکانس $\pi/2$ رادیان به جای π رادیان است. حذف هر نمونه دیگر سیگنال را با فاکتور دو کاهش

نمونه می‌کند و سیگنال نیمی از نقاط خود را خواهد داشت. مقیاس سیگنال در حال حاضر دو برابر شده است، توجه کنید که صافی‌های پایین گذر اطلاعات فرکانس‌های بالا را حذف می‌کنند اما مقیاس را تغییر نمی‌دهند. فقط فرآیند کاهش نمونه مقیاس را تغییر می‌دهد. از طرف دیگر، وضوح^{۱۳}، بستگی به میزان اطلاعات در سیگنال دارد: بنابراین تحت تأثیر عملیات صافی کردن قرار می‌گیرد. صافی‌های پایین گذر نیم باند نیمی از فرکانس‌ها را حذف می‌کنند که می‌توان آن‌ها به صورت از دست دادن نیمی از اطلاعات تعبیر کرد؛ بنابراین درجه تفکیک‌پذیری بعد از عملیات صافی کردن نصف می‌شود. توجه کنید که عملیات کاهش نمونه روی وضوح تأثیر نمی‌گذارد، زیرا در هر صورت حذف نیمی از اجزا فرکانسی سیگنال، تعداد تکرار نمونه‌ها را نصف می‌کند. نصف نمونه‌ها بدون از دست رفتن اطلاعات می‌توانند حذف شوند. به طور خلاصه، صافی پایین گذر رزلوشن را نصف می‌کند اما مقیاس را بدون تغییر می‌گذارد. سیگنال سپس با فاکتور دو کاهش نمونه می‌شود زیرا نیمی از نمونه‌ها تکراری هستند. این امر مقیاس را دو برابر می‌کند. این فرآیند می‌تواند به زبان ریاضی به این شکل نشان داده شود.

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k] \cdot x[2n - k] \quad (7-2)$$

حال طریقه دقیق محاسبه تبدیل موجک گسسته^{۱۴} را بررسی می‌کنیم. تبدیل موجک گسسته، سیگنال را در فرکانس‌های مختلف با وضوح متفاوت با تجزیه سیگنال به تقریب^{۱۵} کلی و اطلاعات جزئیات^{۱۶}، تحلیل می‌کند. تبدیل موجک گسسته، دو مجموعه تابع را استفاده می‌کند، توابع مقیاس و توابع موجک که به ترتیب مربوط به صافی‌های پایین گذر و بالا گذر هستند. تجزیه سیگنال به باندهای فرکانسی مختلف به سادگی با صافی بالا گذر و پایین گذر پی‌درپی سیگنال در بعد زمان انجام می‌شود. سیگنال اصلی، $x[n]$ ، ابتدا از یک صافی بالا گذر نیم باند $g[n]$

^{۱۳} resolution

^{۱۴} Discrete wavelet transform

^{۱۵} Approximation

^{۱۶} detail

و یک صافی پائین گذر، $h[n]$ عبور داده می‌شود. بعد از عملیات فیلترینگ نیمی از نمونه‌ها بر طبق قانون نایکوئیست می‌توانند حذف شوند، زیرا سیگنال در این مرحله دارای حداکثر فرکانس $\pi/2$ به جای π است.

از این‌رو سیگنال می‌تواند با فاکتور دو کاهش نمونه شود. این یک سطح از تجزیه را نشان می‌دهد و به صورت ریاضی می‌توان آن را به این شکل نمایش داد:

$$y_{\text{high}}[k] = \sum_n \chi[n] \cdot g[2k - n] \quad (8-2)$$

$$y_{\text{Low}}[k] = \sum_n \chi[n] \cdot h[2k - n] \quad (9-2)$$

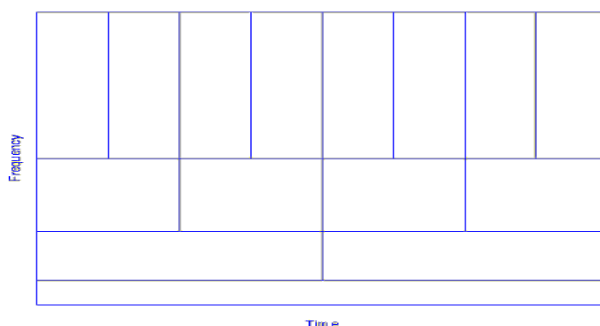
در روابط (8-2) و (9-2)، $y_{\text{Low}}[k]$ و $y_{\text{high}}[k]$ به ترتیب خروجی صافی‌های بالا گذر و پائین گذر بعد از کاهش نمونه دو هستند. این تجزیه، وضوح زمانی را نصف می‌کند زیرا فقط نیمی از نمونه‌ها کل سیگنال را مشخص می‌کنند. اگرچه این عملیات وضوح فرکانسی را دو برابر می‌کند، زیرا باند فرکانسی در حال حاضر فقط نیمی از باند فرکانسی قبلی را پوشانده است، ولی به‌طور مؤثر ابهام را در فرکانس نصف می‌کند. روند فوق که به‌عنوان کدگذاری زیر باند^{۱۷} نیز شناخته می‌شود، برای تجزیه بیشتر می‌تواند تکرار شود. در هر سطح، صافی کردن و کاهش نمونه نصف نمونه‌ها (و از این‌رو نصف رزولوشن زمانی) و نصف باند فرکانس (و از این‌جهت دو برابر رزولوشن فرکانسی) را نتیجه می‌دهد به عنوان مثال، فرض کنید سیگنال اولیه $x[n]$ ۵۱۲ نقطه نمونه داشته باشد، که در یک باند فرکانسی از صفر تا π رادیان بر ثانیه قرار دارند. در اولین سطح تجزیه، سیگنال از صافی‌های بالا و پائین گذر عبور داده می‌شود و سپس عملیات کاهش نمونه انجام می‌گیرد. خروجی صافی بالا گذر ۲۵۶ نقطه (بنابراین نصف رزولوشن زمانی)، را در می‌گیرد اما فقط فرکانس‌های $\pi/2$ تا π را شامل می‌شود (دو برابر کردن رزولوشن فرکانسی).

^{۱۷} subband

این ۲۵۶ نمونه ضرایب اولین سطح تبدیل موجک گسسته را شامل است. خروجی صافی پایین گذر هم ۲۵۶ نمونه است ولی این بار نیمه پایین باند فرکانسی از صفر تا $\pi/2$ رادیان بر ثانیه را دربرمی گیرد. این سیگنال سپس برای تجزیه بیشتر از همین صافی‌های بالا و پایین گذر عبور داده می‌شود. خروجی صافی پایین گذر دوم که بعد از آن کاهش نمونه انجام شده، ۱۲۸ نمونه در باند فرکانسی $\pi/4$ تا $\pi/2$ رادیان بر ثانیه خواهد بود. سیگنال خروجی دومین صافی بالا گذر ضرایب تبدیل موجک گسسته سطح دو را تشکیل می‌دهد. این سیگنال نسبت به سیگنال مرحله اول نصف رزولوشن زمانی اما دو برابر رزولوشن فرکانسی را دارد. به بیان دیگر، به نسبت سیگنال اصلی، رزولوشن زمانی با فاکتور ۴ کاهش یافته و رزولوشن فرکانسی با فاکتور ۴ افزایش یافته است. سپس خروجی صافی پایین گذر برای تجزیه بیشتر دوباره صافی می‌شود. این روند تا زمانی که دو نمونه باقی بماند ادامه می‌یابد. برای این مثال خاص هشت سطح تجزیه خواهیم داشت که هر یک نصف نمونه‌های مرحله قبل را دارند. تبدیل موجک گسسته سیگنال اصلی با ترکیب تمام ضرایب با شروع از آخرین سطح تجزیه، بدست می‌آید. سپس تبدیل موجک گسسته برابر سیگنال اصلی ضریب خواهد داشت. فرکانس‌هایی که در سیگنال اصلی برجسته‌تر هستند به صورت نوسان‌های بزرگ در ناحیه‌ای سیگنال تبدیل موجک گسسته که شامل آن فرکانس‌های خاص است، ظاهر می‌شوند. تفاوت آن تبدیل با تبدیل فوریه این است که اطلاعات زمانی این فرکانس‌ها از دست نمی‌رود. محلی کردن زمان دارای وضوحی است که بستگی به سطحی دارد که این فرکانس‌ها در آن ظاهر شده‌اند. اگر اطلاعات اصلی سیگنال در فرکانس‌های بالا قرار گرفته باشد، آنچه رخ می‌دهد، این است که محلی سازی زمانی این فرکانس‌ها دقیق‌تر صورت می‌گیرد، از این رو این فرکانس‌ها با تعداد نمونه‌های بیشتری مشخص می‌شوند. ولی اگر اطلاعات اصلی فقط در فرکانس‌های پایین قرار گرفته باشد، محلی سازی زمانی خیلی دقیق نخواهد بود و تعداد نمونه کمی برای بیان سیگنال در این فرکانس‌ها استفاده خواهد شد. در نتیجه این فرآیند رزولوشن زمانی خوبی را برای فرکانس‌های بالا و رزولوشن فرکانسی خوبی را برای فرکانس‌های پایین ارائه می‌دهد. بیشتر سیگنال‌هایی که در عمل با آن‌ها مواجه هستیم از این نوع هستند.

۶-۲- رزولوشن‌های زمانی و فرکانسی

شکل (۲-۲) غالباً برای شرح رزولوشن‌های زمانی و فرکانسی استفاده می‌شود. هر چهارضلعی در این شکل متناظر با مقدار تبدیل موجک در صفحه زمان-فرکانس است. توجه که این چهارضلعی‌ها یک سطح غیر صفر خاص دارند که نشان‌دهنده این است که مقدار یک نقطه خاص در صفحه زمان فرکانس نامشخص است. تمام نقاطی که در یک چهارضلعی قرار بگیرند، با یک مقدار تبدیل موجک نشان داده می‌شوند.



شکل ۲-۲- رزولوشن در صفحه زمان- فرکانس

اولین چیزی که باید به آن توجه شود این است که اگرچه طول و عرض‌های چهارضلعی‌ها تغییر می‌کند، لیکن مساحت ثابت است؛ یعنی هر چهارضلعی یک قسمت مساوی از صفحه زمان-فرکانس را نشان می‌دهد. در فرکانس‌های پایین، ارتفاع چهارضلعی‌ها کمتر ولی عرض آن‌ها بیشتر است. در فرکانس‌های بالاتر، عرض چهارضلعی‌ها کاهش می‌یابد یعنی رزولوشن زمانی بهتر می‌شود و ارتفاع آن‌ها افزایش می‌یابد، بدین معنا که رزولوشن فرکانسی ضعیف‌تر می‌شود. در مورد تبدیل فوریه دوره کوتاه رزولوشن زمانی و فرکانسی ثابت است بنابراین چهارضلعی‌ها به شکل مربع خواهند بود. صرف‌نظر از ابعاد چهارضلعی‌ها، مساحت تمام آن‌ها در تبدیل فوریه دوره کوتاه و تبدیل موجک یکی است و توسط نامعادله هایزنبرگ تعیین می‌شود. به‌عنوان خلاصه، مساحت یک چهارضلعی، برای هر تابع پنجره یا موجک مادر ثابت است، درحالی‌که پنجره‌ها یا موجک مادرهای متفاوت ممکن است مساحت‌های متفاوتی داشته باشند. یعنی نمی‌توان مساحت چهارضلعی‌ها را بنا به اصل

هایزنبرگ به هراندازه‌ای افزایش داد. از طرف دیگر، برای یک موجک مادر مشخص، ابعاد چهارضلعی‌ها ممکن است تغییر کند درحالی‌که مساحت‌ها یکی است. این دقیقاً کاری است که تبدیل موجک انجام می‌دهد.

۷-۲- تبدیل موجک

تبدیل موجک پیوسته در صورتیکه شرایط رابطه برقرار باشد، یک تبدیل برگشت پذیر است. خوشبختانه این شرایط محدود کننده نیستند. تبدیل موجک معکوس با استفاده از رابطه (۱۰-۲) محاسبه می‌شود.

$$\chi(t) = \frac{1}{c_\Psi} \int s \int \tau \psi_\chi^\Psi(\tau, s) \frac{1}{s^\tau} \Psi\left(\frac{1-\tau}{s}\right) d\tau ds \quad (10-2)$$

در رابطه (۱۰-۲) c_Ψ ثابتی است که بستگی به موجکی که استفاده می‌شود دارد. عملیات معکوس این است که ثابت مقبولیت، شرط مقبولیت زیر را دارا باشد.

$$c_\Psi = \left\{ 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\Psi(\xi)|^2}{|\xi|} d\xi \right\}^{1/2} < \infty \quad (11-2)$$

در رابطه (۱۱-۲)، $\Psi(\xi)$ تبدیل فوریه است $\Psi(t)$. رابطه (۸-۲) ایجاب می‌کند که $\Psi(0) = 0$ باشد، یعنی:

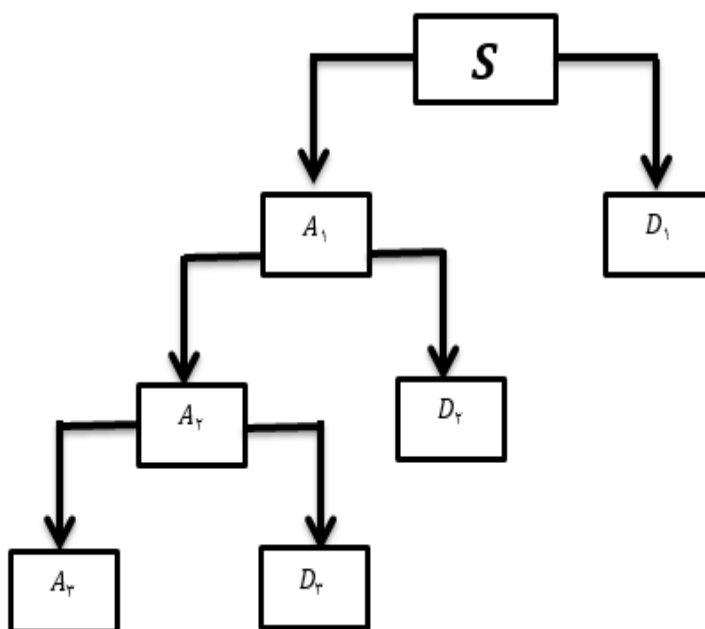
$$\int \Psi(t) dt = 0 \quad (12-2)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، رابطه (۱۲-۲) یک رابطه محدودکننده نیست و انتگرال بسیاری از توابع موجک صفر است. برای برقراری رابطه (۱۲-۲)، موجک باید نوسانی باشد [۲۳].

۸-۲- بسته موجک^{۱۸}

^{۱۸} Wavelet Packets

روش تجزیه بسته موجک، روشی غنی تر برای تجزیه و تحلیل سیگنالها می باشد. در آنالیز موجک، یک سیگنال به یک تقریب و جزییات تقسیم می شود، تقریب نیز خودش به دو قسمت تقریب و جزییات تقسیم می شود و این عمل تکرار می شود. برای n سطح تجزیه، $n+1$ راه ممکن برای تجزیه سیگنال وجود دارد.

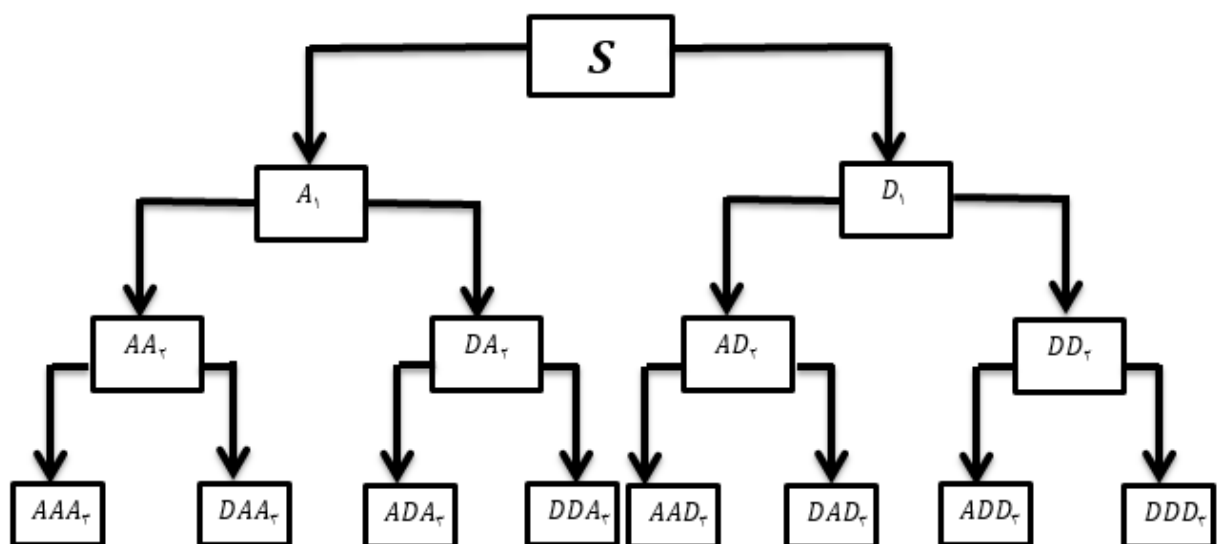


شکل ۲-۳- درخت موجک

همان طور که از شکل مشخص است سیگنال را می توان به صورت رابطه (۲-۱۳) نوشت:

$$S = A_1 + D_1 = A_2 + D_2 + D_1 = A_3 + D_3 + D_2 + D_1 \quad (2-13)$$

اما در تبدیل بسته موجک، جزییات به مانند تقریبها قابل جداسازی هست و 2^n راه مختلف برای این کار وجود دارد.



شکل ۲-۴- تجزیه با بسته موجک

در تجزیه با استفاده از بسته موجک، سیگنال S را می‌توان به $A_1 + AAD_\tau + DAD_\tau + DD_\tau$ نمایش داد که این

نمایش با تجزیه تبدیل موجک معمولی امکان‌پذیر نمی‌باشد [۲۴].

فصل سوم

روایاتی غیرفعال تک مدف با استفاده از تبدیل موجک

اقیانوس‌ها بیش از هفتاد درصد سطح زمین را پوشانده و تأثیر فوق‌العاده آن‌ها بر حیات موجودات زنده و کاربردهای تجاری، تفریحی، دفاعی و... سبب شده تا محققان بسیاری بر مطالعه آن تمرکز کنند. تشخیص اهداف جز اولین و حیاتی‌ترین مسئله در مطالعه سیگنال‌های زیرآب می‌باشد، این مرحله با جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات بدست آمده همراه است. در ابتدا که هیچ اطلاعاتی در مورد هدف در دسترس نمی‌باشد، اولین پردازش بر روی داده‌های دریافتی، پردازش آشکارسازی هدف برای تصمیم‌گیری بین دو فرضیه وجود 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 بر مبنای کمینه کردن احتمال خطای تشخیص می‌باشد. به علت تضعیف زیاد امواج الکترومغناطیسی و نوری، برای بردهای متوسط و بلند در محیط زیرآب، همواره از امواج صوتی استفاده می‌شود، بنابراین ما در این مرحله با تشخیص رویدادهای صوتی سرکار داریم.

۳-۲- تشخیص رویدادهای صوتی^{۱۹}

تشخیص رویدادهای صوتی یک حوزه پژوهش مهم برای کاربردهای مختلف مانند نظارت امنیتی در اماکن عمومی [۲۵]، مراقبت‌های پزشکی هوشمند برای بیماران و افراد مسن [۲۶] و جلسات هوشمند [۲۷] می‌باشد. حفظ دقت و صحت بالا تشخیص امری ضروری است که پرهزینه می‌باشد. باین‌حال تشخیص رویدادهای صوتی در محیط‌های واقعی اغلب با تغییرات شرایط محیطی و تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی نویز محیطی و سیگنال‌های تداخلی مزاحم مواجه است که گاهی اوقات می‌تواند حتی باعث از بین رفتن سیگنال هدف توسط نویز پس‌زمینه شود. در [۲۷] مسئله تشخیص به شناسایی رویدادهای موردعلاقه در سیگنال‌های صوتی و تعیین زمان وقوع آن را خطاب قرار می‌دهد. بعضی از محققان در سال‌های اخیر، برای تشخیص صوت از روش انرژی آستانه استفاده

^{۱۹} Acoustic Event Detection(AED)

کرده‌اند [۲۸]. در [۲۹] از یک آشکارساز برای تشخیص صوت استفاده شده که تنظیم آستانه در آن با توجه به خطای تشخیص عمل می‌کند. در این روش که بر مبنای خطای تشخیص رویداد صوتی می‌باشد از یک آشکارساز استاندارد استفاده شده که این نوع آشکارساز در شرایط سیگنال به نویز ضعیف عمل می‌کند، محققان دریافت‌اند که این نوع آشکارسازها معمولاً برای تشخیص اغتشاش از نویز محیط استفاده می‌شود. در [۲۶] از فن پیش‌صافی کردن با استفاده از تبدیل موجک استفاده کرده است که در آن ضرایب موجک به‌عنوان انرژی در نظر گرفته شده است. این روش برای شناسایی رویدادهای صوتی در فرکانس بالا وقتی که نویز عمدتاً فرکانس پایین است کاربرد دارد. در [۳۰] محققان دریافته‌اند که در تشخیص رویدادهای صوتی باید ابتدا جریان صوتی ورودی را به قسمت‌های کوتاه تقسیم کرده و بعد از تجزیه و تحلیل روی این قسمت‌ها ویژگی‌های مختلف در حوزه زمان، فرکانس بدست، پس به‌طور خلاصه می‌توان گفت تشخیص شامل دو مرحله است:

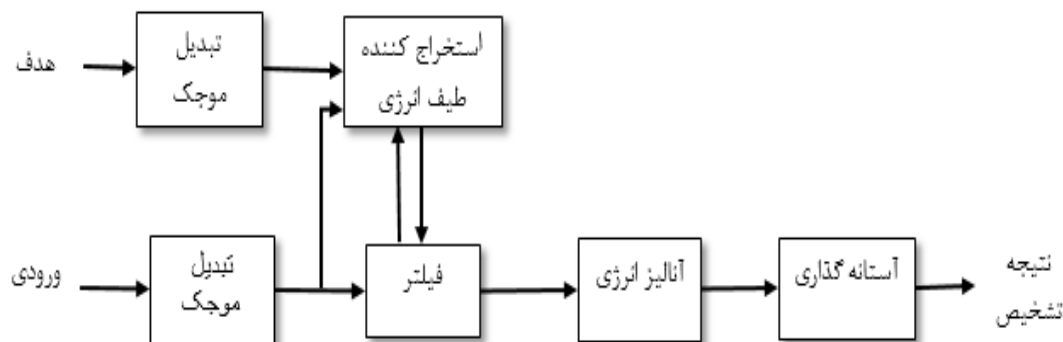
۱- استخراج ویژگی‌های هر فریم

۲- طبقه‌بندی اطلاعات بدست‌آمده

ما در این پایان‌نامه قصد داریم برای تشخیص رویدادهای صوتی از یک صافی جدید استفاده کنیم که هدف این کار بهبود عملکرد تشخیص به‌ویژه در شرایط نامطلوب با سطح بالای نویز می‌باشد. در واقع در چارچوب ارائه شده پیشنهادی باید از یک صافی استفاده شود که قادر به بالا بردن محتوای هدف در مقابل کاهش اثر نویز پس‌زمینه باشد. بدین منظور ما در این کار از یک صافی در حوزه موجک بهره می‌بریم که برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌های صوتی غیر ثابت با مقیاس بزرگ مناسب باشد و مشکلات ناشی از درهم‌آمیختگی مشترک بین هدف و نویز را حل نماید.

۳-۳- الگوریتم تشخیص

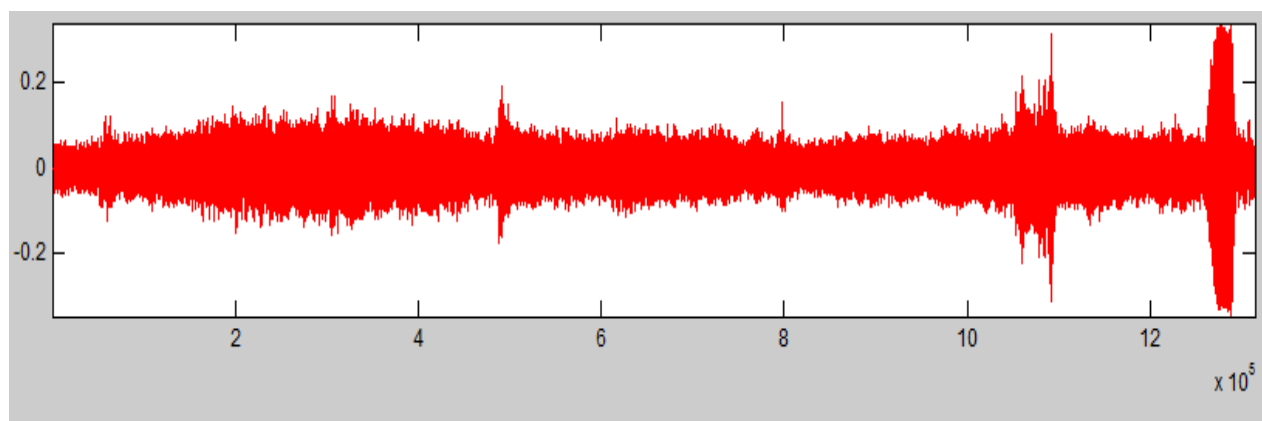
در این بخش به معرفی الگوریتم پیشنهادی برای پردازش و تشخیص رویداد صوتی موردنظر می‌پردازیم. همان‌طور که گفته شده است برای تجزیه و تحلیل باید سیگنال صوتی را به صورت پنجره، پنجره دریاوریم تا مؤثرتر به تشخیص هدف در یک رویداد صوتی بپردازیم. برای پردازش هر پنجره با توجه به ویژگی‌های ذاتی هر جریان صوتی موجود در آن، از یک روش برای تشخیص و آشکارسازی استفاده می‌شود. شکل (۳-۱) نشان‌دهنده شمای کلی مراحل تشخیص می‌باشد.



شکل ۳-۱- تشخیص رویداد صوتی

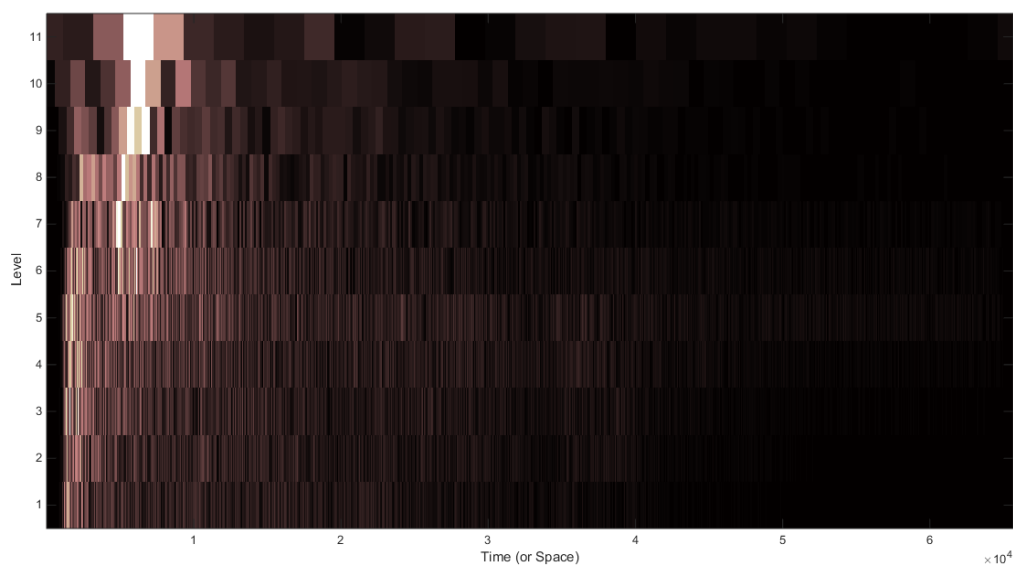
همان‌طور که از شکل (۳-۱) مشخص است، در این الگوریتم ابتدا از کلاس‌های رویداد هدف که مدنظر ما می‌باشد تبدیل موجک گرفته و بعد از متوسط گیری، یک قالب مشخصی از هدف برای عملیات تشخیص آنلاین هدف در نظر می‌گیریم، سپس طیف انرژی هدف را برای ساخت صافی موردنظر بدست می‌آوریم. از جریان پیوسته صوتی که به عنوان ورودی این الگوریتم در نظر گرفته می‌شود نیز تبدیل موجک می‌گیریم و طیف انرژی را بدست می‌آوریم. در مرحله بعد، صافی با توجه به ویژگی‌های سیگنال ورودی و هدف و فرم هدف طراحی می‌شود. بعد از صافی از یک آشکارساز انرژی برای تفاوت انرژی سیگنال ورودی و انرژی سیگنال خروجی صافی قرار گرفته است. در بلوک آخر هم از آستانه گذاری استفاده شده است.

توجه شود که الگوریتم نشان داده شده در شکل (۳-۱) تنها برای تشخیص هدف یک نوع خاصی از رویداد صوتی می باشد که به آن تشخیص تک هدف گفته می شود، بنابراین اگر چند سیگنال هدف مدنظر باشد، این الگوریتم تشخیص پیشنهادی، توانایی توسعه به منظور تشخیص چند هدف را دارا می باشد که در بخش های بعدی به طور مفصل به آن پرداخته می شود. با توجه به آنچه در الگوریتم تشخیص مورد بحث قرار گرفته است، ما ابتدا الگو سیگنال هدف را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهیم، بدین صورت که از آن تبدیل موجک گرفته می شود.



شکل ۳-۲- سیگنال هدف

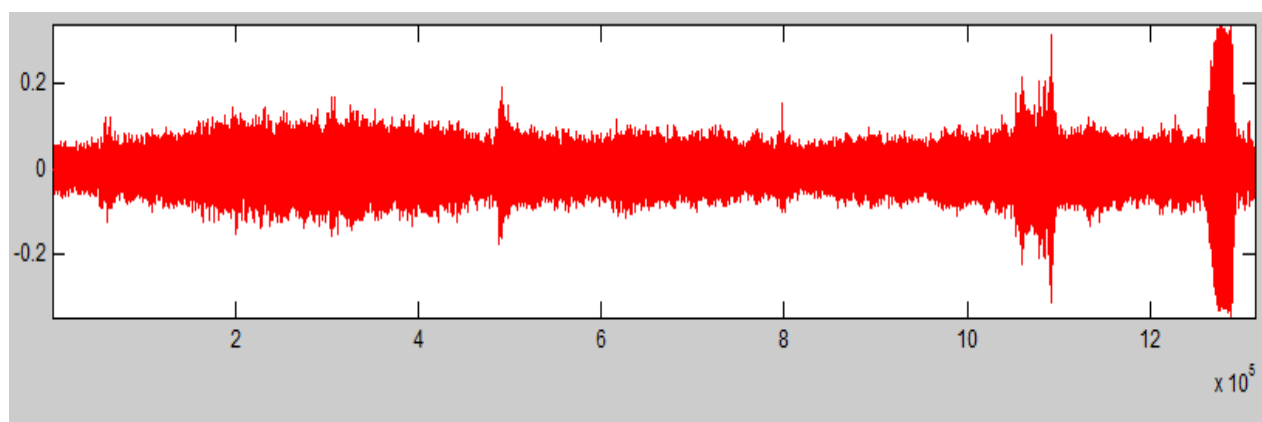
سمت راست شکل (۳-۲) نمایشگر سیگنال هدف در حوزه زمان و شکل سمت چپ نشان دهنده ی درخت تجزیه موجک تا ۱۱ سطح می باشد.



شکل ۳-۳- ضرایب موجک هدف

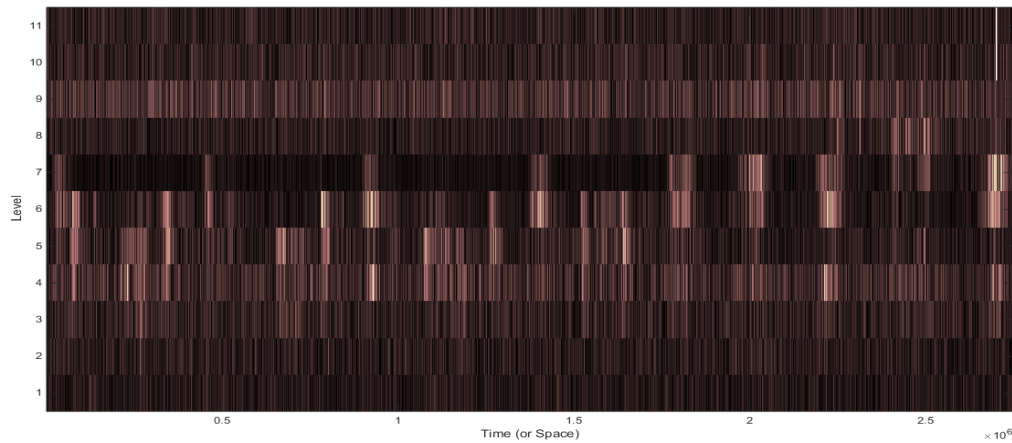
همان‌طور که در قسمت دیتاهای مورد استفاده گفته شده است سیگنال ورودی ما شامل دو نوع نویز پس زمینه می‌باشد که در ادامه هریک را به‌طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

الف- ورودی شامل نویز صدای وال



شکل ۳-۴- سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال

سمت راست شکل (۳-۴) نشانگر سیگنال ورودی که دارای نویز پس‌زمینه صدای وال می‌باشد و شکل سمت چپ نشانگر درخت تجزیه موجک این ورودی می‌باشد. پس از تبدیل موجک گرفتن وردی شامل نویز صدای وال، ضرایب موجک آن به صورت شکل (۳-۵) می‌شود.

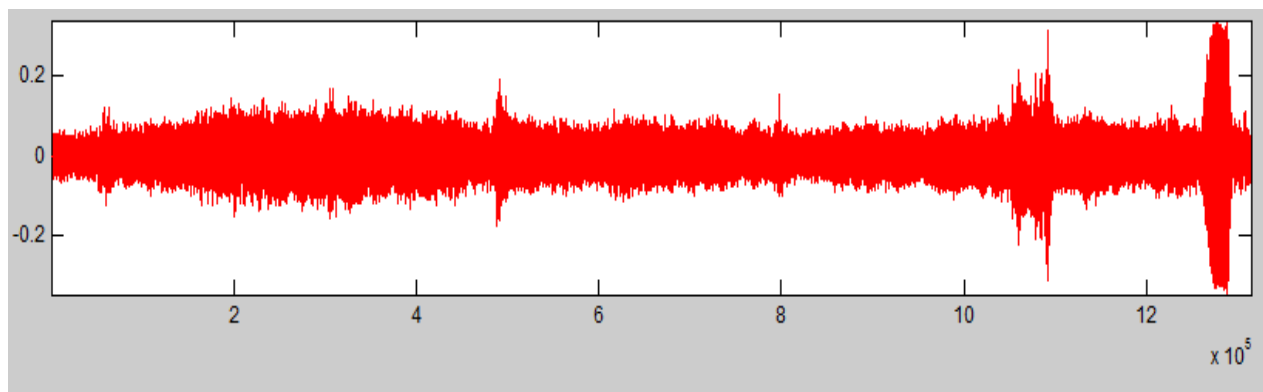


شکل ۳-۵- ضرایب موجک سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال

از شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود که این سیگنال ورودی دارای فرکانس میانی است.

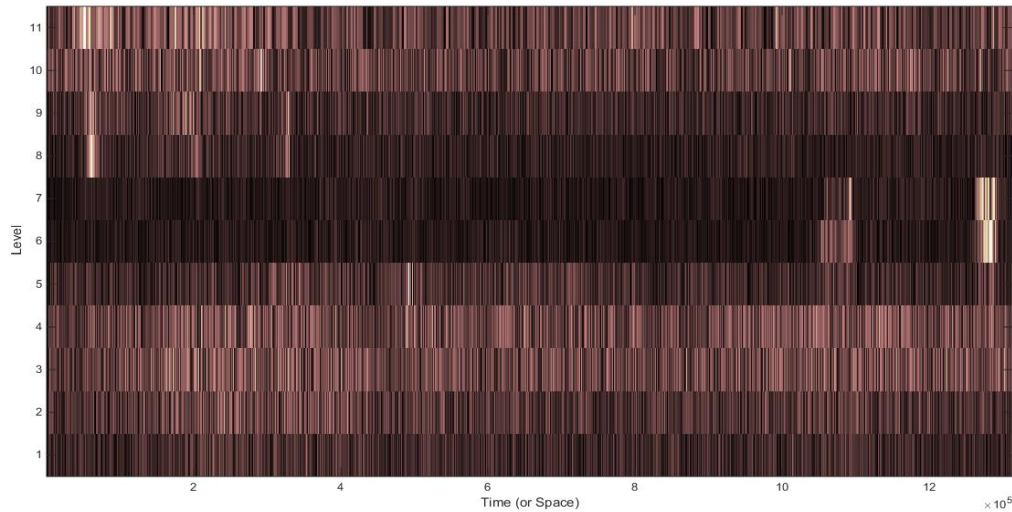
ب- سیگنال ورودی با نویز صدای وال و موتور کشتی

این سیگنال ورودی و درخت تجزیه موجک مربوط به آن به صورت شکل (۳-۶) می‌باشد.



شکل ۳-۶- سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال و موتور کشتی

پس از تبدیل موجک گرفتن از سیگنال ورودی ضرایب آن به صورت شکل (۷-۳) می باشند:



شکل ۷-۳- ضرایب موجک سیگنال ورودی شامل نویز صدای وال وموتورکشتی

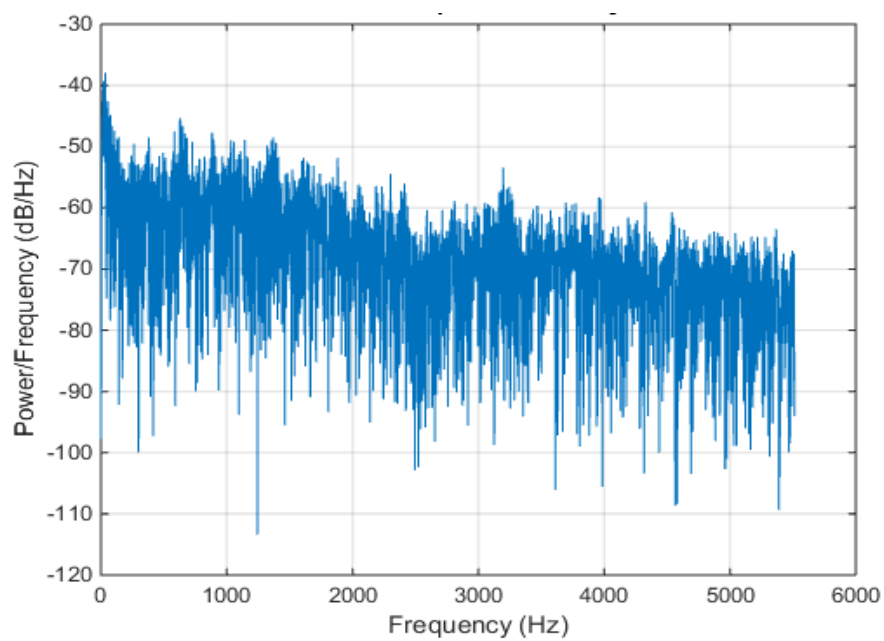
از شکل (۷-۳) نشان می دهد این نوع ورودی تواما دارای فرکانس بالا و پایین می باشد.

در مرحله بعد، برای محاسبه طیف انرژی سیگنال های هدف و ورودی از ضرایب موجک مربوط به آن ها که در مرحله قبل بدست آمده، استفاده می کنیم، در حالت کلی از رابطه (۱-۳) برای محاسبه طیف انرژی استفاده می-شود.

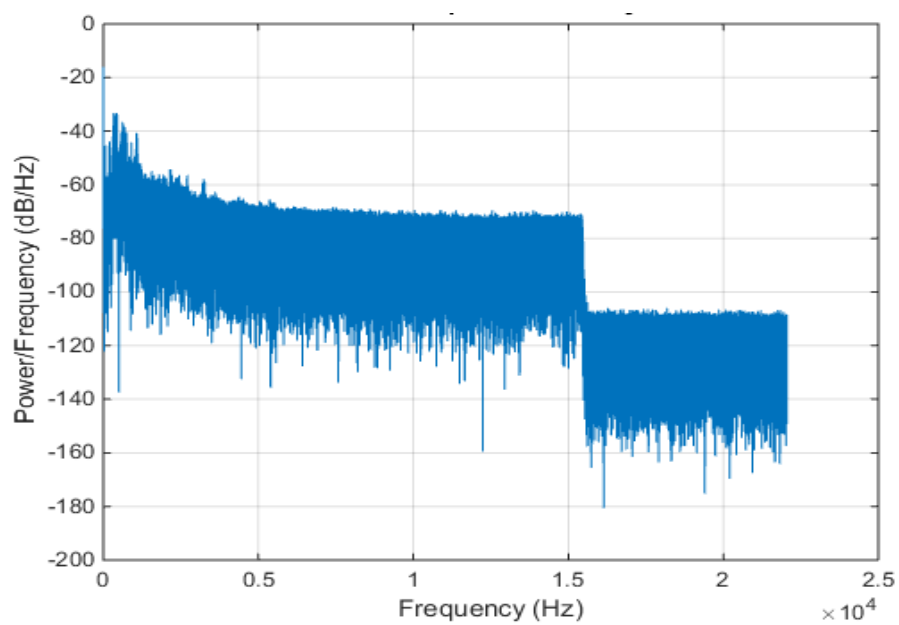
$$e_i = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M |wp(i,k)|^p \quad (۱-۳)$$

در رابطه (۱-۳)، $Wp(i,K)$ ضرایب سطح j ام از موجک می باشد در جاییکه $i=1, \dots, N$ ، مؤلفه باند فرکانس با $N=2^j$ و مؤلفه ضرایب باند $K=1, \dots, M$ می باشد؛ نابراین از ویژگی های طیفی ظیم میانگین توان p ام از مقدار ضرایب موجک در هر باند می باشد. در این پروژه مقدار پارامتر p برابر دو می باشد.

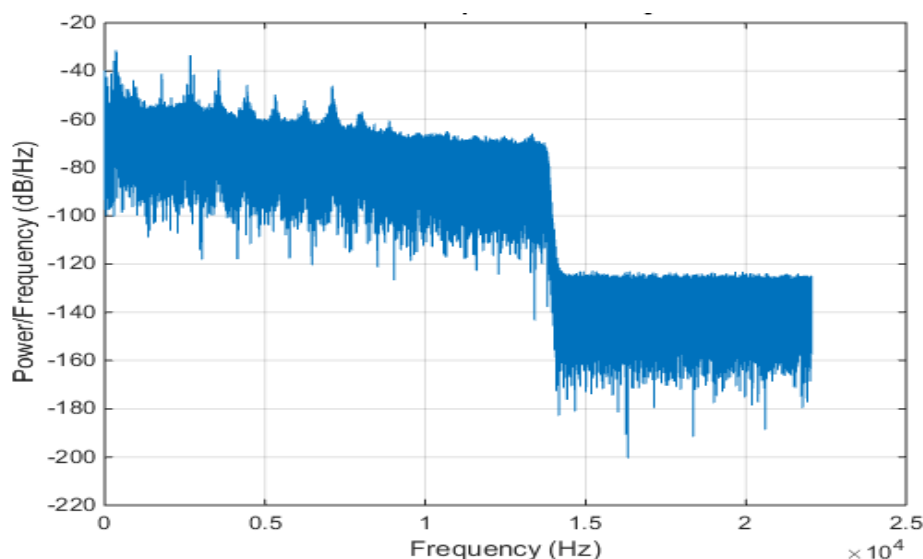
با استفاده از ضرایب موجک بدست آمده در مرحله قبل و رابطه (۱-۳)، طیف انرژی را برای سیگنال های هدف و ورودی بدست می آوریم که می توان در شکل های (۸-۳) الی (۱۰-۳) مشاهده کرد.



شکل ۳-۸- طیف انرژی سیگنال هدف



شکل ۳-۹- طیف انرژی سیگنال ورودی با نویز صدای وال



شکل ۳-۱۰- طیف انرژی سیگنال ورودی با نویز صدای وال و موتورکشتی

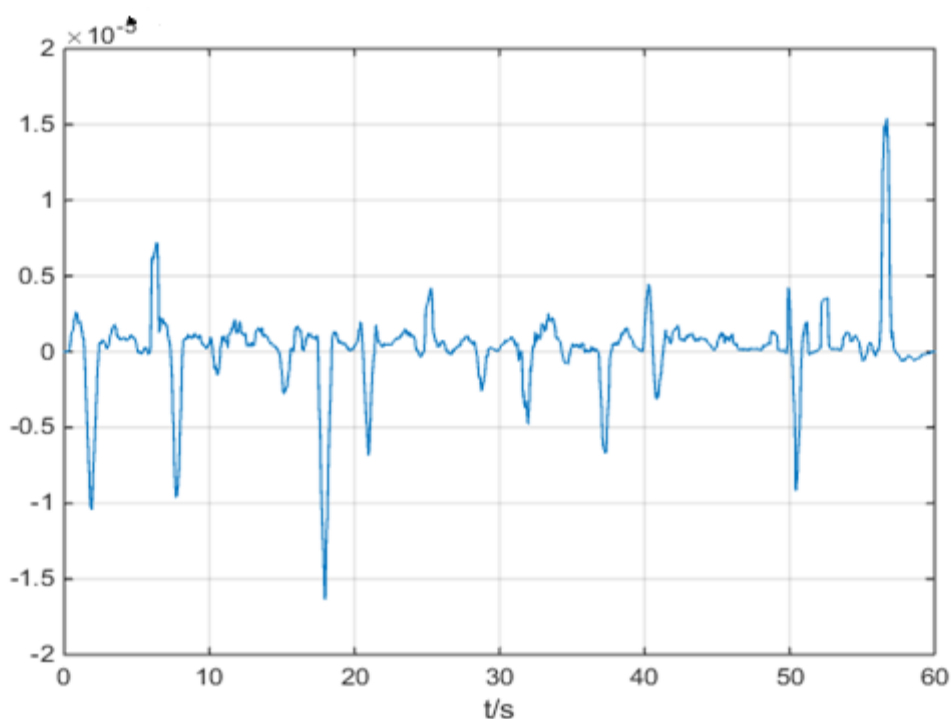
روش پردازش سیگنال در این پایان‌نامه، تبدیل موجک می‌باشد، پس صافی در حوزه فرکانس و بر پایه مشخصات طیفی سیگنال‌های زیرآب که شامل انواع مختلف رویدادهای صوتی و نویز پس‌زمینه می‌باشد، ارائه شده است. در حالت ایده آل صافی‌هایی موردنظر می‌باشد که از آن باند فرکانس متعلق به هدف رویدادهای صوتی عبور می‌کند، درحالی که بقیه سیگنال‌ها عاری از نویز می‌باشند. صافی ایده آل را به صورت رابطه (۳-۲) تعریف می‌کنیم.

$$WP_{out}(i, k) = H(i). WP_{in}(i, k) \quad (۳-۲)$$

در رابطه (۳-۲) $WP_{in}(i, k)$ ضرایب موجک سیگنال ورودی صافی و بعد از عبور از صافی H ضرایب موجک سیگنال خروجی صافی به صورت $WP_{out}(i, k)$ می‌باشد. با فرض اینکه رویداد صوتی هدف دارای یک مدت زمان کوتاه و چند اجزای متغیر بازمان می‌باشد، پس ساختار یک صافی اولیه بر اساس ویژگی‌های هدف به صورت زیر می‌باشد.

$$H(i) = e_{si} \quad i = 1, \dots, N \quad (3-3)$$

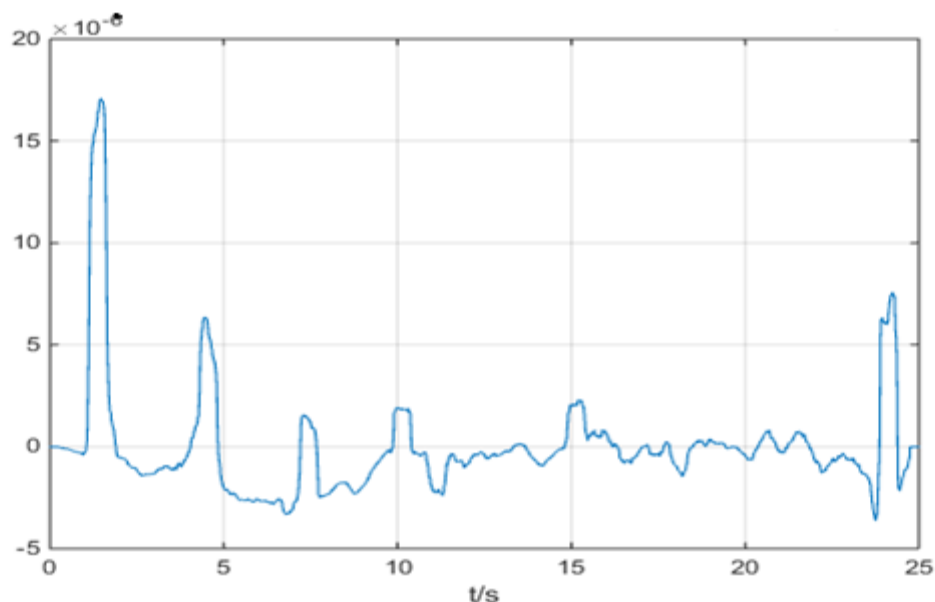
در رابطه (۳-۳)، e_{si} عنصر i ام طیف انرژی موجک، از رویداد هدف می‌باشد. این بدان معناست هر مقدار در بردار انرژی متوسط صافی، در باند فرکانس i ام از سیگنال هدف قرار دارد؛ بنابراین از صافی کردن باند فرکانس، سیگنال ورودی به تناسب، سهم خود را به سیگنال هدف افزایش می‌دهد. درواقع صافی (۳-۳) به عنوان یک صافی همسان که ارتباط یک الگو هدف شناخته با سیگنال ورودی ناشناخته به منظور تشخیص هدف در ورودی در نظر گرفته می‌شود. برای کاربردهای عملی صافی برای تشخیص هدف در محیط نویزی، معمولاً یک مجموعه داده از رویدادهای هدف را به صورت الگویی از هدف متوسط گیری می‌کنند. شکل (۳-۱۱) نتایج تشخیص را با استفاده از صافی (۳-۳) در عملکرد تشخیص نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۱- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی با صدای نویز وال با صافی $H(i) = e_{si}$

همان‌طور که از شکل (۳-۱۱) مشخص است، منحنی افزایش هدف در بیشتر زمان‌ها دارای مقدار منفی یا حول صفر دارد و این بدین معناست که یا افزایش صورت به خوبی صورت نپذیرفته و یا اینکه کاهش انرژی هدف اتفاق

افتاده است و علت آن را می‌توان در هم‌بستگی بین هدف و نویز پس‌زمینه می‌توان جستجو کرد. تنها افزایش انرژی هدف قابل محسوس، در زمان‌های نزدیک ۶۰ ثانیه اتفاق افتاده است.

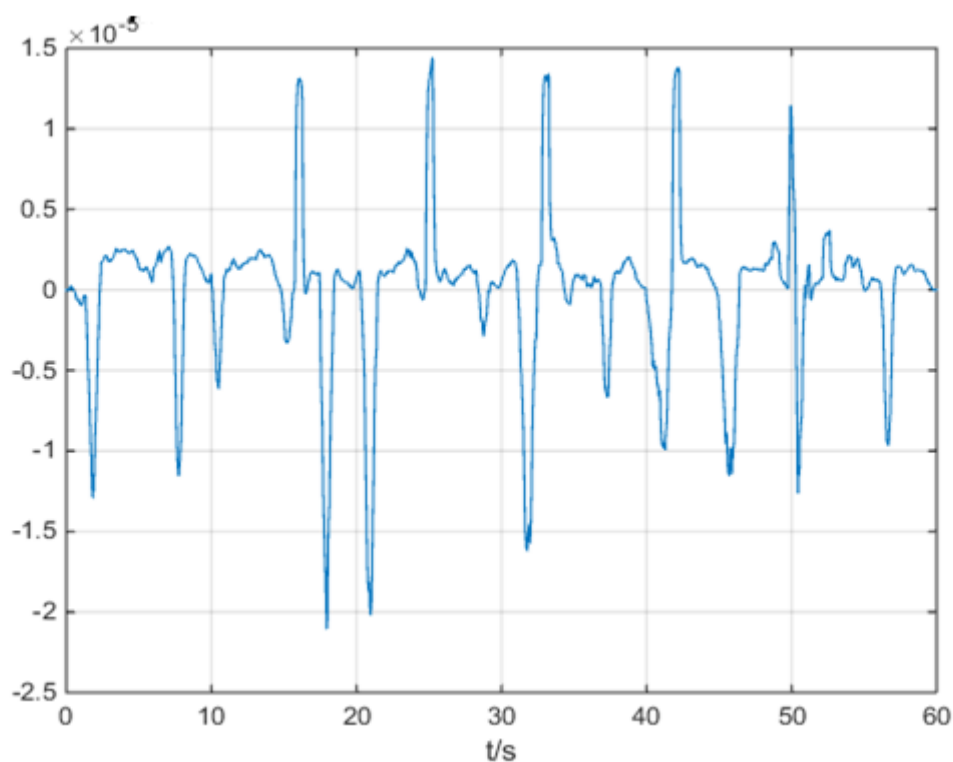


شکل ۳-۱۲- افزایش انرژی هدف در سیگنال دارای نویزوال وموتور کشتی باصافی $H(i) = e_{si}$

شکل (۳-۱۲) نشانگر افزایش انرژی هدف می‌باشد که دارای یک افزایش انرژی تقریباً مناسب در زمان‌های ابتدایی سیگنال ورودی می‌باشد و در سایر زمان‌ها افزایش انرژی خوبی اتفاق نمی‌افتد. دیده می‌شود که صافی هنگامی که هدف و نویز پس‌زمینه دارای اجزای طیف انرژی نا همبسته می‌باشند، به خوبی عمل می‌کند. درواقع صافی (۳-۳)، فقط با در نظر گرفتن هدف و صرف‌نظر از سایر شرایط محیطی به-خصوص نویز پس‌زمینه، عمل می‌کند؛ بنابراین اگر سایر شرایط محیطی نسبت به هدف نقش غالب داشته باشند، آنگاه تشخیص هدف با مشکل جدی مواجه می‌شود و امکان تشخیص نادرست وجود خواهد داشت. پس شرایط محیطی به‌ویژه برای مواردی که دارای ویژگی مشترک باهدف می‌باشند را باید با دقت در نظر گرفته شود [۳۱]. با توجه به اینکه سیگنال ورودی ما حاوی اطلاعاتی در مورد نویز پس‌زمینه است، پس باید صافی برای بهبود اشکالات موجود مطرح گردد. صافی را پیشنهاد می‌دهیم که از رابطه (۳-۴) بدست می‌آید.

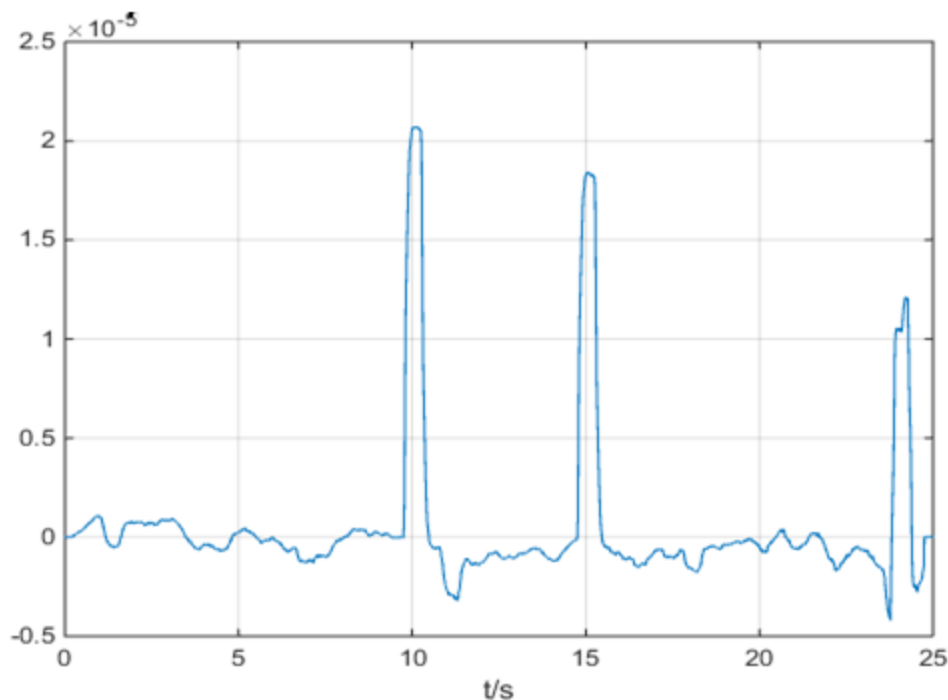
$$H(i) = e_{si}/e_{ni} \quad i = 1, \dots, N \quad (4-3)$$

در رابطه (۴-۳)، عنصر i ام طیف انرژی موجک، از رویداد هدف و e_{ni} عنصر i ام طیف انرژی ورودی می‌باشند، از طرفی سیگنال ورودی شامل سیگنال هدف و نویز پس‌زمینه می‌باشد، پس e_{ni} را می‌توان به‌عنوان طیف انرژی نویز پس‌زمینه نیز در نظر گرفت که به‌صورت مخرج به صافی (۳-۳) به‌منظور شرکت دادن اثر نویز پس‌زمینه در الگوریتم تشخیص هدف می‌باشد. هدف اصلی کار ما تشخیص هدف می‌باشد، بنابراین در صافی (۴-۳) اگر صورت کسر مقداری بزرگ و مخرج کسر مقداری کوچک داشته باشد تشخیص به‌خوبی انجام می‌پذیرد.



شکل ۳-۱۳- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی دارای نویز وال با صافی $H(i) = \frac{e_{si}}{e_{ni}}$

همان‌طور که از شکل (۳-۱۳) مشاهده می‌شود، منحنی افزایش انرژی هدف دارای چندین فراجهش قابل محسوس می‌باشد که این بدین معناست که افزایش هدف به‌خوبی اتفاق افتاده است. قابل‌ذکر است در منحنی مذکور فروجهش هم دیده می‌شود که آن را به طیف انرژی هدف و نویز پس‌زمینه دارای همبستگی زیاد می‌باشد.



شکل ۳-۱۴- افزایش انرژی هدف در سیگنال ورودی دارای نویز صدای وال وموتور کشتی باصافی

در شکل (۳-۱۴) همان طور که مشاهده می شود افزایش انرژی در سه زمان متفاوت به خوبی اتفاق افتاده است. همان طور که از مقایسه شکل های (۳-۱۴) و (۳-۱۳) با (۳-۱۲) و (۳-۱۱) مشخص است، در منحنی هایی که از صافی (۳-۴) استفاده شده سیگنال هدف دارای افزایش انرژی های بیشتری نسبت به منحنی هایی که از صافی (۳-۳) استفاده شده، می باشد و این بدین معناست که صافی که نویز پس زمینه را در خود اثر داده عملکرد بهتری در تشخیص هدف داشته است. در واقع می توان گفت اگر باند فرکانس و یا ویژگی های هدف که از نویز بزرگ تر باشد تشخیص هدف به خوبی انجام می پذیرد و اگر کوچک تر و یا مساوی باشند، هدف به سختی قابل تشخیص می شود. به طور خلاصه، صافی پیشنهادی به عنوان یک صافی باند گذر که نرخ عبور آن توسط نسبت انرژی هدف به انرژی نویز تخمین زده می شود.

جدول ۱-۳- درصد افزایش انرژی با صافی $H(i) = e_{si}$

SNR(db)	-۱۵	-۵	۰	۵	۱۰	۱۵
هدف با نویز صدای وال	۷۱/۶۲	۵۹/۴	۴۹/۱	۴۳/۲	۱۴/۳۱	۲/۸
هدف بانویز صدای وال و موتور کشتی	۴۲/۶	۳۰/۳۵	۱۹/۸	۶/۴۲	۰/۷۲	-۸/۷

جدول ۲-۳- درصد افزایش انرژی با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

SNR(db)	-۱۵	-۵	۰	۵	۱۰	۱۵
هدف با نویز صدای وال	۹۳/۷۷	۷۵/۵	۶۴/۱۵	۵۰/۴۸	۳۴/۲	۱۳/۲۲
هدف بانویز صدای وال و موتور کشتی	۵۸/۲۵	۴۶/۳۹	۳۵/۶۶	۱۷/۳۲	۸/۲۳	۲/۱

با توجه به نتایج جدول‌های (۱-۳) و (۲-۳) مشخص است که افزایش انرژی هر دو صافی مورد بحث هرچه نسبت سیگنال به نویز کمتر شود، بیشتر است و درواقع می‌توان گفت افزایش انرژی با نسبت سیگنال به نویز نسبت عکس دارد. بنابراین صافی در حوزه موجکی در نسبت سیگنال به نویز پایین هم عملکرد مناسبی خواهد داشت.

۳-۴- ارزیابی عملکرد صافی پیشنهادی

ارزیابی عملکرد عبارت است از اندازه‌گیری عملکرد از طریق مقایسه وضع موجود با وضع مطلوب یا ایده‌آل بر اساس شاخص‌های از پیش تعیین‌شده که خود واجد ویژگی‌های معین باشد. در این پایان‌نامه دو معیار شاخص عملکرد را مورد بررسی قرار می‌دهیم که عبارت‌اند از:

نسبت سیگنال به نویز^{۲۰}

نرخ خطای برابر

۳-۴-۱- نسبت سیگنال به نویز

نسبت سیگنال به نویز که اغلب به صورت SNR یا S/N مخفف می‌شود، مفهومی در مهندسی برق است که بیان‌کننده نسبت توان سیگنال به توان نویزی است که سیگنال را آلوده می‌کند.

در این پروژه، سیگنال آکوستیکی پس از ساطع شدن از هدف وارد یک محیط نویز آلود می‌شود بنابراین نسبت سیگنال به نویز مقدار عددی کمی خواهد داشت، این بدین معناست که امکان تشخیص نادرست و یا حتی حذف سیگنال هدف در نویز پس‌زمینه وجود دارد. از طرفی تشخیص هدف آکوستیکی جزء اهداف اصلی پروژه می‌باشد. جدول (۳-۳) مقادیر نسبت سیگنال به نویز در شرایط مختلف و قبل و بعد از عبور از صافی $H(i) = e_{si}$ را نشان می‌دهد.

^{۲۰} Signal Noise Ratio

جدول ۳-۳- مقایسه SNR قبل و بعد عبور از صافی $H(i) = e_{si}$

نوع رویداد آکوستیکی	SNR (db) قبل عبور از صافی	SNR(db) بعد عبور از صافی
هدف با نویز صدای وال	-۲۰	۹/۱۵
هدف با نویز صدای وال و موتور کشتی	-۱۵	۱۵/۱۶

جدول (۴-۳) مقادیر نسبت سیگنال به نویز در شرایط مختلف و قبل و بعد از عبور از صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۳- مقایسه SNR قبل و بعد عبور از صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

نوع رویداد آکوستیکی	SNR(db) قبل عبور از صافی	SNR(db) بعد عبور از صافی
هدف با نویز صدای وال	-۲۰	۱۸/۰۲
هدف با نویز صدای وال و موتور کشتی	-۱۵	۲۳/۹

همان‌طور که از جدول‌های (۳-۳) و (۴-۳) مشاهده می‌شود، نسبت سیگنال به نویز قبل از اعمال صافی مقدار بسیار پایینی می‌باشد که این مسئله خود چالشی مهم در نحوه عملکرد صافی به وجود می‌آورد؛ اما صافی موجکی طوری طرح‌ریزی شده است که دیده می‌شود با چالش پایین بودن به‌خوبی مقابله کرده و نسبت سیگنال به نویز را افزایش می‌دهد؛ بنابراین یکی از ویژگی‌های مهم صافی موجکی پیشنهادی عملکرد مناسب در نسب سیگنال‌های پایین می‌باشد. از مقایسه جدول (۳-۳) با جدول (۴-۳) می‌توان دریافت که صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ در شرایط مشابه دارای عملکرد بهتری نسبت ب صافی $H(i) = e_{si}$ می‌باشد.

۳-۴-۲- نرخ خطای برابر (EER)^{۲۱}

در سیستم‌های سونار غیرفعال به علت وجود شرایط محیطی و نویزها، معمولاً تشخیص و ردیابی اهداف به‌درستی انجام نمی‌گیرد، به همین دلیل در این قسمت معیاری را برای نحوه عملکرد صافی موردنظر بررسی

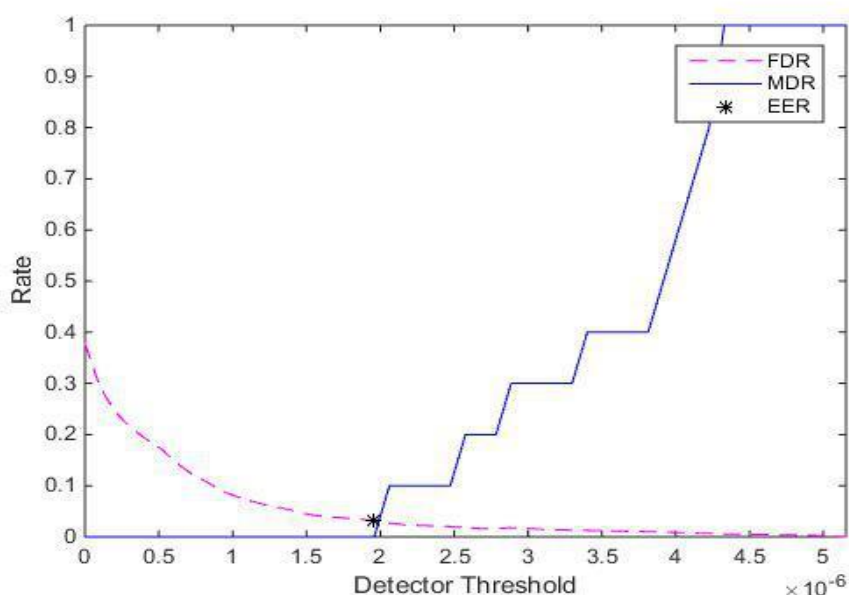
^{۲۱} Equal Error Rate

می‌کنیم. این معیار عملکرد نرخ خطای برابر (EER) نام دارد که قبل از پرداختن به آن چند تعریف موردنیاز را انجام می‌دهیم.

نرخ خطای تشخیص (FDR)^{۲۲} برابر مدت‌زمان‌هایی از سیگنال آکوستیکی می‌باشد که الگوریتم هدف را تشخیص داده نسبت به کل مدت‌زمان سیگنال آکوستیکی می‌باشد.

نرخ از دست رفتن هدف (MDR)^{۲۳} برابر با تعداد هدف‌های شناسایی نشده به تعداد کل هدف‌های موجود می‌باشد.

برای محاسبه نرخ خطای برابر، سطح آستانه شناسایی اهداف را از صفر تا بیشترین مقدار آن تغییر می‌دهیم و در هر تغییر FDR و MDR را محاسبه می‌کنیم؛ و جاییکه FDR و MDR کمترین فاصله ممکن را از هم دارا می‌باشند نرخ خطای برابر بدست می‌آید. در شکل (۳-۱۵) منحنی‌های FDR و MDR و نقطه EER برای نوع خاصی از هدف و نویز پس‌زمینه نشان داده می‌شود:



شکل ۳-۱۵- فرآیند محاسبه نرخ خطای برابر

^{۲۲} False Detection Rate

^{۲۳} Missed Detection Rate

همان‌طور که از شکل (۳-۱۵) مشاهده می‌شود، محل برخورد دو منحنی FDR و MDR برابر نقطه نرخ خطای برابر می‌باشد که بهترین مکان برای سطح آستانه است که هر دو خطای موجود کمینه می‌شوند؛ بنابراین نرخ خطای برابر هنگامی صفر می‌شود که آستانه ایی وجود داشته باشد که در آن هر دو خطای FDR و MDR برابر صفر می‌باشند و این در صورتی اتفاق می‌افتد که منحنی‌های FDR و MDR همپوشانی نداشته باشند.

در مورد سطح آستانه لازم به ذکر است که هر چه مقدار سطح آستانه بزرگ‌تر شود، بعضی از اهداف زیر آستانه قرار می‌گیرند و قابل تشخیص نمی‌باشند پس نرخ از دست دادن هدف (MDR) زیاد می‌شود و هر چه مقدار سطح آستانه کوچک‌تر شود، نویزها به‌عنوان هدف شناسایی می‌شوند و عمل تشخیص هدف به‌درستی صورت نمی‌گیرد و در نتیجه نرخ خطای تشخیص (FDR) زیاد می‌شود.

جدول ۳-۵- محاسبه ERR باصافی e_{si} $H(i)$

هدف	SNR(db)	نویز صدای وال	نویز صدای وال و موتور کشتی
	-۱۵	۳۶/۱	۳۲/۱
	-۱۰	۲۲/۲۹	۱۷/۶۷
	-۵	۷/۱۱	۹/۴۳
	۰	۳/۲	۴/۴
	۵	۰/۸۵	۱/۱
	۱۰	۰	۰

جدول ۳-۶- محاسبه %ERR با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

هدف	SNR(db)	نویز صدای وال	نویز صدای وال و موتور کشتی
	-۱۵	۲۸/۱	۲۴/۲۵
	-۱۰	۱۸/۲۹	۱۷/۶۷
	-۵	۲/۱۱	۹/۴۳
	۰	۰/۴	۰
	۵	۰	۰
	۱۰	۰	۰

همانطور که از جدول‌های (۳-۵) و (۳-۶) مشخص است صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ دارای عملکرد تشخیص بهتری می‌باشد. از ویژگی‌های مهم الگوریتم تشخیص، نحوه عملکرد مناسب در نسبت سیگنال به نویزهای پایین می‌باشد.

۳-۵- انتخاب پارامترهای تبدیل موجک

در این بخش به نحوه انتخاب دو پارامتر مهم برای شبیه‌سازی تبدیل موجک مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود.

۳-۵-۱- انتخاب موجک مادر^{۲۴}

^{۲۴} Mother wavelet

یکی از ویژگی‌های خوب، آنالیز موجک انعطاف‌پذیری آن می‌باشد که شامل تعداد مناسبی توابع پایه می‌باشد که مشهورترین آن‌ها شامل هار^{۲۵}، مورلت^{۲۶}، دابشمیز^{۲۷}، کوپفلت^{۲۸} می‌باشد.

انتخاب مناسب یک تابع موجک مادر، به علت خواص متفاوت آن‌ها در کیفیت سیگنال توصیفی یک عامل حیاتی می‌باشد. برای مساله تشخیص و ردیابی در این پایان‌نامه، معیار انتخاب عملکرد تجربی می‌باشد.

در این کار از تابع موجک مادر، coiflet مرتبه ۵ که دارای نمایش تقارن و تعادل مناسب می‌باشد، استفاده شده است. آزمایش‌های گسترده‌ای بر اساس توابع موجک مادر مختلف مانند db10، coif5 و غیره انجام شده است تا بهترین موجک مادر انتخاب شود. معیار انتخاب آن‌ها، افزایش انرژی متوسط هدف می‌باشد زیرا هرچه افزایش انرژی هدف بیشتر باشد احتمال تشخیص صحیح بالاتر می‌رود. جدول زیر نتایج این آزمایش‌ها را برای انتخاب تابع موجک مادر مناسب به صورت دسته‌بندی شده نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵- مقادیر افزایش انرژی با توابع موجک متفاوت

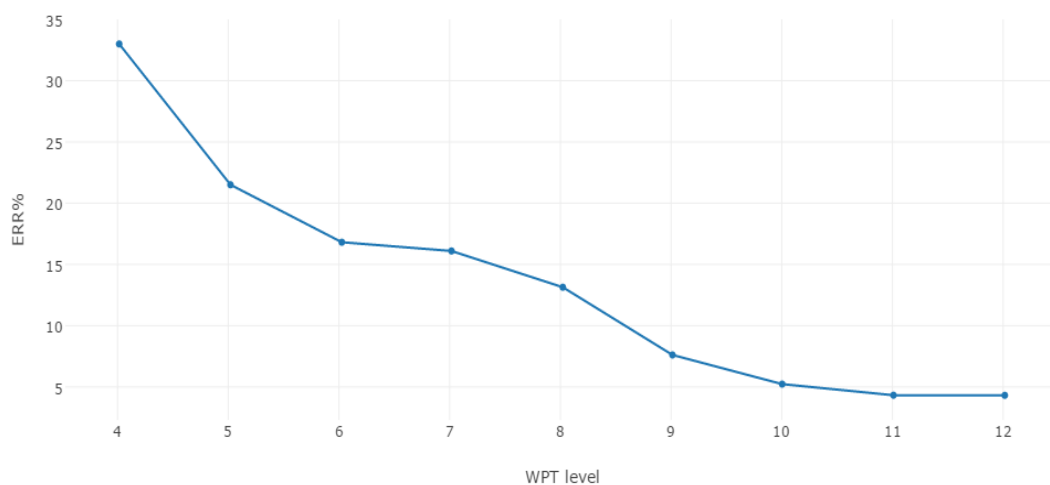
آزمایش	db5	db10	coif3	coif5	sym8
نویز صدای وال+هدف ۱	۲۲/۱	۲۶/۴	۲۷	۳۲	۲۹
نویز صدای وال+هدف ۲	۲۳	۲۱/۰۲	۲۱	۲۸/۷	۲۳/۶
نویز صدای وال+هدف ۳	۱۸	۱۹/۳۵	۱۵/۵	۲۳	۱۹

همان‌طور که از جدول (۳-۵) مشخص است بیشترین افزایش انرژی در ستون مربوط به تابع موجک مادر coif5 اتفاق می‌افتد پس بنابراین از این تابع موجک مادر در تشخیص و ردیابی استفاده می‌شود.

^{۲۵} Haar
^{۲۶} Morlet
^{۲۷} Daubechies
^{۲۸} Coiflet

۳-۵-۲- انتخاب سطح تجزیه (i)

سطح تجزیه یا فاکتور مقیاس J یکی دیگر از پارامترهای کلیدی برای آنالیز موجک می‌باشد. در تبدیل موجک مقیاس بالاتر متناظر با فرکانس پایین‌تر می‌باشد و در این شرایط سیگنال نویز پایین، تبعیض بهتری بین ویژگی‌های هدف و نویز پس‌زمینه اتفاق می‌افتد، باید توجه شود که سطح تجزیه موجک یا جایی که ادامه یابد که تقویت سیگنال اصلی، برابر صفر نشود. در انتخاب مقدار سطح تجزیه باید دقت شود که بار محاسباتی را بالا نبرد بنابراین یک حد بالا با توجه به طول محدود سیگنال وجود دارد. همان‌طور که گفته شد، یکی از معیارهای تشخیص هدف خطای تخمین می‌باشد پس ما برای انتخاب تعداد سطوح تجزیه، از EER استفاده کرده تا جایی که EER بهینه شود. برای این عمل، به محاسبه EER از سطح ۴ ام تا ۱۳ می‌پردازیم. همان‌طور که از شکل (۳-۱۶) مشخص است در سطح ۱۱ ام کمترین درصد خطا را داریم و این بدین معناست که $J=11$ را برای آنالیز موجک مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۶- EER % برای انتخاب سطح تجزیه موجک

۳-۶- تجزیه و تحلیل عملکرد الگوریتم تشخیص

در این قسمت به تجزیه و تحلیل الگوریتم تشخیص توضیح داده شده در مرحله قبل، می پردازیم. به منظور ساخت صافی پیشنهادی برای تشخیص هدف، نیاز به یک قالب هدف به صورت آنالین می باشد. داده از کلاس رویداد هدف دستگیر می شود، سطح ز ام ضرایب موجک و طیف انرژی مربوطه برای هر صوت در مجموعه داده از هدف محاسبه می شود. پس از نرمالیزه کردن لازم، نتایج به فرم هدف متوسط گیری می شوند.

$$e_s = [e_{si}] \quad i = 1, 2, \dots, N \quad \text{فرم هدف:}$$

$$X(n), \quad n = 1, \dots, L_f \quad \text{فرم ورودی}$$

مرحله اول: موجک برای $x(n)$ به سطح ز ام، با مقیاس مشابه هدف محاسبه می شود. نتیجه با $WP_{in}(i, k)$ با ابعاد $N \times M$ و طیف انرژی $e_n = [e_{ni}]_{i=1, \dots, J}$ متناظر می باشد.

مرحله دوم: ساخت صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ می باشد که رفتار صافی از رابطه زیر پیروی می کند:

$$WP_{out}(i, k) = H(i). WP_{in}(i, k) \quad (5-3)$$

$$E_{in}(n) = \frac{|x(n)|^2}{\sum_{k=1}^{L_f} |x(k)|^2} \quad n = 1, \dots, L_f \quad (6-3)$$

$$E_{out} = \frac{|y(n)|^2}{\sum_{k=1}^{L_f} |y(k)|^2} \quad n = 1, \dots, L_f \quad (7-3)$$

مرحله سوم: محاسبه افزایش انرژی

$$\Delta(E) = \sum_{k=n}^{n+l_e-1} E_{out}(k) - \sum_{k=n}^{n+l_e-1} E_{in}(k) \quad n = 1, \dots, l_f - l_e + 1 \quad (8-3)$$

مرحله چهارم: انتخاب یک آستانه مناسب که به صورت (۹-۳) تعریف می شود:

$$d(n) = \begin{cases} 1 & \text{if } \Delta E(n) > \text{threshold} \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (9-3)$$

۷-۳- تجزیه و تحلیل نظری صافی

فریم های صوتی ورودی را ترکیبی از یک رویداد صوتی هدف در نظر بگیرید و فرض می کنیم

$[a_{ik}]_{N \times M} \in R^{N \times M}$ ، نمایندگی زمان - فرکانس را بر عهده بگیرد و N و M به ترتیب ثابت برای ابعاد فرکانس و زمان می باشد. مدل های زمان - فرکانس و ماتریس انرژی سیگنال هدف و نویز خالص در ورودی به صورت زیر می باشند

مدل هدف:

$$\begin{bmatrix} \hat{m}_1(1) & \cdots & \hat{m}_1(L) \\ \hat{m}_N(1) & \cdots & \hat{m}_N(L) \end{bmatrix} \in R^{N \times L} \quad (10-3)$$

انرژی هدف:

$$\begin{bmatrix} \hat{m}_1^v(1) & \cdots & \hat{m}_1^v(L) \\ \vdots & & \\ \hat{m}_N^v(1) & \cdots & \hat{m}_N^v(L) \end{bmatrix} \quad (11-3)$$

مدل نویز :

$$\begin{bmatrix} b_1(1) & \cdots & b_1(M) \\ \vdots & & \\ b_N(1) & \cdots & b_N(M) \end{bmatrix} \quad (12-3)$$

انرژی نویز:

$$\begin{bmatrix} b_1^{\gamma}(1) & \cdots & b_1^{\gamma}(M) \\ \vdots & & \\ b_N^{\gamma}(1) & \cdots & b_N^{\gamma}(M) \end{bmatrix} \quad (13-3)$$

در ماتریس‌های انرژی، سطرها مستقل فرض می‌شوند و متغیرهای تصادفی به ترتیب با $\hat{m}_i^{\gamma}(\cdot)$ و $b_i^{\gamma}(\cdot)$ بیان شود و علاوه بر آن $\hat{m}_i^{\gamma}(\cdot)$ و $b_i^{\gamma}(\cdot)$ مستقل از هم فرض می‌شوند و نواحی تصادفی بین ردیف‌های مختلف در هر یک از ماتریس‌ها متقابلاً مستقل می‌باشد. بر اساس این مفروضات، می‌توان گفت هر دو سیگنال هدف و نویز ثابت هستند. پس با توجه به شرط ثابت بودن نویز، تنها به فریم جریان ورودی به جای کل جریان پردازش صوتی محدود اشاره کرد. $E\{\hat{m}_i^{\gamma}(k)\} = m_i^{\gamma}$ و $E\{b_i^{\gamma}(k)\} = b_i^{\gamma}$ به ترتیب بیانگر امید ریاضی هدف و نویز می‌باشند. فرض می‌شود یک رویداد هدف در زمان S اتفاق می‌افتد و هدف با یک نسبت سیگنال به نویز خاص وارد نویز پس‌زمینه می‌شود. بنابراین A به صورت زیر بیان می‌شود.

$$A = \begin{bmatrix} b_1(1) \cdots b_1(S-1)c_1(1) & \cdots & c_1(L) & b_1(S+L) & \cdots & b_1(M) \\ \vdots & & & & & \\ b_N(1) \cdots b_N(S-1)c_N(1) & \cdots & c_N(L) & b_N(S+1) & \cdots & b_N(M) \end{bmatrix} \quad (14-3)$$

همان‌طور که از ماتریس A در عبارت (۱۴-۳) مشخص است، متغیرهای تصادفی از ستون S ام به ستون $(S+L-1)$ ام در نویز با $C_i^{\gamma}(\cdot)$ و $1 \leq S \leq M-L+1$ جایگزین می‌شود. انرژی این متغیرها به صورت $C_i^{\gamma}(\cdot)$ که ترکیبی از انرژی هدف و نویز می‌باشد، نمایشی داده می‌شود که دارای امید ریاضی $E\{C_i^{\gamma}(k)\} = C_i^{\gamma}$ می‌باشد. یکی دیگر از مفروضات ما در این پروژه $\sum_{i=1}^N b_i^{\gamma} \preceq \sum_{i=1}^N C_i^{\gamma}$ می‌باشد. بنابراین انرژی نویز به صورت رابطه (۱۵-۳) می‌باشد:

$$\sum_{i=1}^N b_i^{\gamma} \approx \frac{1}{M} \sum_{i,k} a_{ik}^{\gamma} \quad (15-3)$$

در رابطه (۱۵-۳)، a_{ik} نمونه‌هایی از متغیر تصادفی در A می‌باشد.

به منظور دستیابی به یک تشخیص مناسب، مدل هدف را نرمالیزه می‌کنیم که از رابطه (۱۶-۳) پیروی می‌کند:

$$m_i(k) = \sqrt{\sigma} \hat{m}_i(k), \quad i = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, L \quad (16-3)$$

در رابطه (۱۶-۳)، متغیر $\emptyset$ برابر است با:

$$\emptyset = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{b}_i^y}{\sum_{i=1}^N \hat{m}_i^y} \quad (۱۷-۳)$$

از (۱۶-۳) و (۱۷-۳) نتیجه می‌شود:

$$\bar{m}_i^y = E \{m_i^y(k)\} = \emptyset \hat{m}_i^y \quad (۱۸-۳)$$

در رابطه (۱۸-۳)، انرژی متوسط از باند z ام، هدف می‌باشد.

$$\sum_{i=1}^N \bar{m}_i^y = \sum_{i=1}^N \bar{b}_i^y \quad (۱۹-۳)$$

. از رابطه (۲۰-۳) می‌توان اثبات کرد که بزرگی اندازه c_i^y به بزرگی اندازه m_i^y بستگی دارد. بنابراین می‌توان یک فرم معقول برای $c_i^y(\cdot)$ به صورت (۲۱-۳) نوشت.

$$m = [m_i^y]_{i=1, \dots, N} \quad (۲۰-۳)$$

$$c_i^y(\cdot) = a m_i^y(\cdot) + (1-a) b_i^y(\cdot) \quad (۲۱-۳)$$

در (۲۱-۳)، a نشانگر اختلاط سیگنال‌ها می‌باشد.

برای محاسبه امید ریاضی داریم:

$$\bar{c}_i^y = a \bar{m}_i^y + (1-a) \bar{b}_i^y \quad (۲۲-۳)$$

بنابراین رابطه $b_i^y \preceq \sum_{i=1}^N c_i^y$ را می‌توان به صورت زیر ارتقا داد:

$$\sum_{i=1}^N \bar{c}_i^y = \sum_{i=1}^N \bar{b}_i^y \quad (۲۳-۳)$$

در حال حاضر، صافی پیشنهادی را می‌توان با توجه به مفروضات و روابط گفته شده، محاسبه نمود.

$$H_i = \frac{M \bar{m}_i^y}{\sum_{k=1}^M a_{ik}^y} = \frac{M \bar{m}_i^y}{\sum_{l \in \{1, \dots, S-1\} \cup \{S+L, \dots, M\}} b_l^y(c) + \sum_{l \in \{1, \dots, L\}} c_l^y(l)} \approx \frac{M \bar{m}_i^y}{M \bar{b}_i^y + L a (\bar{m}_i^y - \bar{b}_i^y)} \quad (۲۴-۳)$$

با توجه به عبارت (۲۴-۳) می‌توان نتایج مفیدی به صورت زیر بدست آورد:

(۱) برای صافی $H(i)$ رابطه (۳-۲۴) اگر $M > L$ باشد آنگاه داریم

$$H_i = \begin{cases} > 1 & \bar{m}_i^{\vee} > \bar{b}_i^{\vee} \\ = 1 & \bar{m}_i^{\vee} = \bar{b}_i^{\vee} \\ < 1 & \bar{m}_i^{\vee} < \bar{b}_i^{\vee} \end{cases} \quad (۳-۲۵)$$

با توجه به رابطه (۳-۲۵)، صافی پیشنهادی توانایی تغییر بهره برای هر فرکانس باند i ام با توجه به انرژی‌های

نسبی بین هدف و نویز در باند را دارد، در باندهایی با $H_i > 1$ سیگنال هدف تقویت می‌شود و در باندهایی با $H_i < 1$ ، سیگنال هدف را تضعیف می‌کند. درواقع صافی، سیگنال‌های هدفی را که در یک باند دارای انرژی بیشتر نسبت به نویز می‌باشد افزایش انرژی می‌دهد، یعنی در این شرایط افزایش انرژی بین خروجی و ورودی صافی در حوزه زمان - فرکانس اتفاق می‌افتد. برای یک باند فرکانس خاص، افزایش انرژی را می‌توان محاسبه نمود:

$$E_i(L) = \begin{cases} (H_i C_i (L - S + 1))^2 - C_i^{\vee} (L - S + 1), & l \in \{S, \dots, S + L - 1\} \\ (H_i b_i(l))^2 - b_i^{\vee}(l), & l \in \{1, \dots, S - 1\} \cup \{S + L, \dots, M\} \end{cases} \quad (۳-۲۶)$$

رابطه (۳-۲۶)، انرژی برای یک ستون k ام محاسبه شده، و برای افزایش انرژی بین دو ستون k و l داریم:

$$\Delta E_i(k, l) = E_i(k) - E_i(l) = (H_i^{\vee} - 1)C_i^{\vee}(k) - (H_i^{\vee} - 1)b_i^{\vee}(l) = \quad (۳-۲۷)$$

$$(H_i^{\vee} - 1)(a(m_i^{\vee}(k)) - b_i^{\vee}(k + (s - 1))) + (b_i^{\vee}(k + s - 1) - b_i^{\vee}(l))$$

$$k \in \{1, \dots, L\}, \quad l \in \{1, \dots, S - 1\} \cup \{S + 1, \dots, M\}$$

بنابراین $\emptyset$ ، اختلاف کلی در تمام فرکانس‌های باند به صورت (۳-۲۸) خلاصه می‌شود.

$$\Delta E_i(k, l) = \sum_{i=1}^N \Delta E_i(k, l) \quad (۳-۲۸)$$

(۲) با توجه به اینکه در صافی (۳-۴) بهره سیگنال هدف نسبت به نویز افزایش خواهد یافت، برای هر باند فرکانس i ، امید ریاضی از اختلاف انرژی $\Delta E_i(k, l)$ اغلب مثبت می‌باشد و به اندازه اختلاف بین هدف و نویز بستگی دارد، در صورتی امید ریاضی مثبت نمی‌باشد که $\bar{m}_i^{\vee} = \bar{b}_i^{\vee}$ اتفاق افتد، بنابراین صافی پیشنهادی قابلیت افزایش محتوای هدف در یک پس زمینه نویز دار برای $\bar{m}_i^{\vee} < \bar{b}_i^{\vee}$ و یا $\bar{m}_i^{\vee} > \bar{b}_i^{\vee}$ را دارا می‌باشد.

$k_{\gamma} \neq k_{\delta}$, $k_{\gamma}, k_{\delta} \in \{1, \dots, M\}$, $k_1 \in \{1, \dots, l\}$ و $b_1^{\gamma}(k_{\gamma}) - b_1^{\delta}(k_{\delta})$ و $m_1^{\gamma}(k_1) - b_1^{\gamma}(k_{\gamma})$ اگر (3)

برای هر باند فرکانسی λ دارای توزیع نرمال باشد، احتمال تشخیص صحیح $P\{\Delta E(k, l) > 0\} = \emptyset(g)$ از

$$P\{\Delta E_i(k,l) > \cdot\} = \emptyset(g_i) \text{ افزایش یابد.}$$

فصل چهارم

روایی غیرفعال چندمدف با استفاده از تبدیل موجک

۴-۱- مقدمه

تشخیص و ردیابی اهداف در سیستم‌های سونار غیرفعال، به علت کاربردهای حیاتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. با توجه به رشد روزافزون علوم و فناوری، درهای جدید بر روی محققان در این زمینه، گشوده شده است. تا به حال در این پروژه تشخیص تک هدف سیگنال‌های آکوستیکی زیرآب بحث شده است، در این فصل قصد داریم تشخیص و ردیابی چند هدف سیگنال‌های آکوستیکی زیرآب با استفاده از تبدیل موجک پردازیم. همان‌طور که در فصل سوم بیان شد، الگوریتم تشخیص چند هدف تعمیم‌یافته الگوریتم تشخیص تک هدف می‌باشد. تشخیص و ردیابی چند هدف فرآیندی اشتراکی برای تشخیص اهداف موجود و ویژگی‌های آن‌ها در یک مجموعه نویز دار می‌باشد. در تشخیص چند هدف، باگذشت زمان علاوه بر تغییر ویژگی‌های هدف، به علت حرکت و ظهور یا ناپدید شدن اهداف، امکان تغییر تعداد اهداف نیز وجود خواهد داشت. در تشخیص چند هدف کسب اطلاعاتی در مورد منشأ هدف، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو می‌باشد، در ادامه چند مورد از چالش‌های ممکن در تشخیص چند هدف بیان می‌شود:

۱- اهداف متغیر هستند.

۲- احتمال ناپدید یا ظاهر شدن هدف وجود دارد.

۳- تشخیص توسط نویز دچار خطا شود.

۴- امکان از دست رفتن هدف وجود دارد [۳۲].

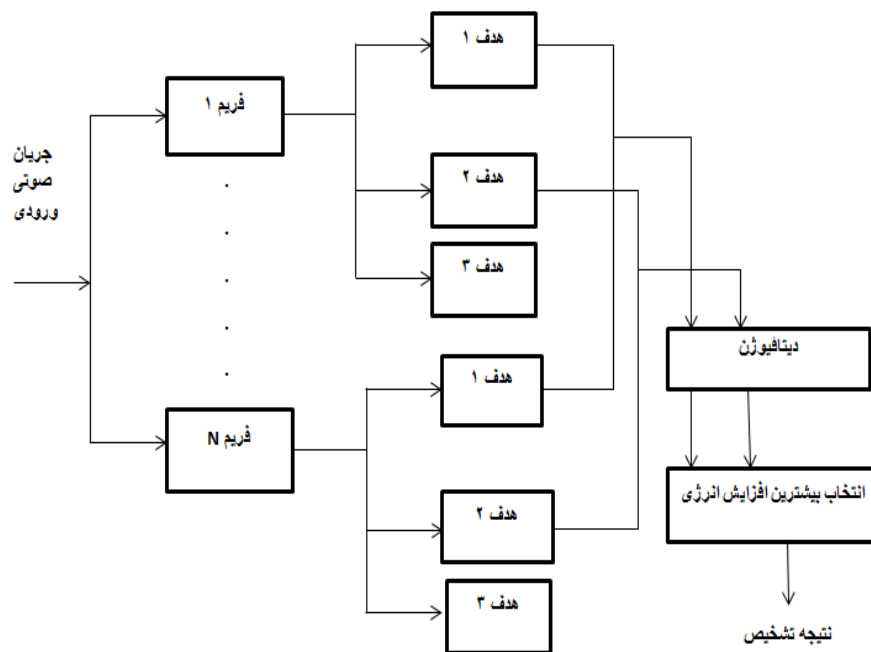
وجود تعداد زیادی از هدف باعث ایجاد تداخل و ابهام در تشخیص و ردیابی هدف می‌شود، بنابراین ضروری است الگوریتم تشخیص قابلیت آموزش و تشخیص هدف را داشته باشد. برای غلبه بر این مشکل سیستمی که توانایی آموزش، تشخیص و ردیابی اهداف موردعلاقه را داشته باشد طراحی شده است [۳۳].

۴-۱-۱- ترکیب اطلاعات

رشد و توسعه سیستم‌های اطلاعات چند منبعی مقرون به صرفه برای اختصاص دادن پردازش‌های ترکیب داده‌ها به روش استاندارد نیاز دارد. در سال‌های اخیر استفاده از فن‌های ترکیب داده در کاربردهای نظامی و غیرنظامی مورد توجه زیادی قرار گرفته است ترکیب داده‌های مختلف باعث می‌شود تا مزایای کیفی و کمی را توأمان داشته باشیم و پایداری عملکرد فرآیند افزایش یابد. ترکیب اطلاعات، فرآیندی است که با پیوستگی همبستگی و ترکیب اطلاعات از منابع متعدد سرکار دارد تا به یک وضعیت بهتر تخمین‌های یکسان، تشخیص کامل و فوری وضعیت‌های بحرانی و تعیین شرایط خطر برسیم.

۴-۲- الگوریتم تشخیص چند هدف

در فصل سوم، صافی پیشنهادی به تشخیص تک هدف محدود بوده است برای بیشتر کاربردهای عملی و پیچیده باید آن را به یک زمینه کلی برای تشخیص چند هدف گسترش می‌دهیم. شکل (۴-۱) نشانگر این الگوریتم تشخیص می‌باشد.



شکل ۴-۱- الگوریتم تشخیص چند هدف

در این الگوریتم تشخیص بر سه نوع کلاس هدف شامل شلیک اژدر، برخورد اشیا با سطح آب و انفجار زیرآب با نویز پس‌زمینه صدای وال و موتور کشتی تمرکز شده است. این سه نوع هدف با نویز پس‌زمینه ترکیب می‌شوند و جریان صوتی ورودی موردنظر را تشکیل می‌دهند، سپس این جریان صوتی را پنجره، پنجره کرده و هر پنجره را جدا از هم موردبررسی قرار می‌دهیم. برای مثال قسمتی از جریان صوتی ورودی که در پنجره اول قرارگرفته است را بررسی می‌کنیم، بطوریکه نحوه‌ی عملکرد الگوریتم در سایر پنجره‌ها مشابه می‌باشد. در مرحله بعد، ۳ آشکارساز به‌صورت موازی قرار دارند که هریک وظیفه آشکارسازی یک نوع خاص از هدف را عهده‌دار می‌باشد و هر نحوه‌ی عملکرد هر آشکارساز دقیقاً همانند تشخیص تک هدف می‌باشد، بنابراین آشکارساز اول، سیگنال هدف شلیک و آشکارساز دوم سیگنال هدف برخورد با سطح و آشکارساز سوم، سیگنال هدف را تشخیص می‌دهند و اطلاعات بدست آمده را وارد یک دیتافوژن می‌کنند نقش دیتافوژن در این قسمت جلوگیری از انطباق منحنی افزایش انرژی کانال‌ها در پنجره‌های منطبق برهم می‌باشد. در مرحله آخر با افزایش انرژی اهداف و

مشخص شدن موقعیت زمانی اهداف، هر هدفی که دارای افزایش انرژی بیشتری نسبت به بقیه می باشد توسط یک انتخاب کننده گزینش می شود و به عنوان نتیجه تشخیص معرفی می گردد. در این الگوریتم پیشنهادی وقتی حداقل خروجی یکی از کانال ها بیش از آستانه باشد، تشخیص به درستی انجام می گیرد و نوع هدف توسط کانال دارای حداکثر افزایش انرژی تعیین می شود.

۳-۴- نتایج شبیه سازی الگوریتم تشخیص چندهدف

در این بخش به پیاده سازی الگوریتم تشخیص توضیح داده شده در بخش (۲-۴) پرداخته می شود. در پیاده سازی همانند فصل گذشته از دو صافی در حوزه موجک استفاده می شود و نتایج حاصل از آنها را باهم مقایسه می کنیم.

هدف اول:

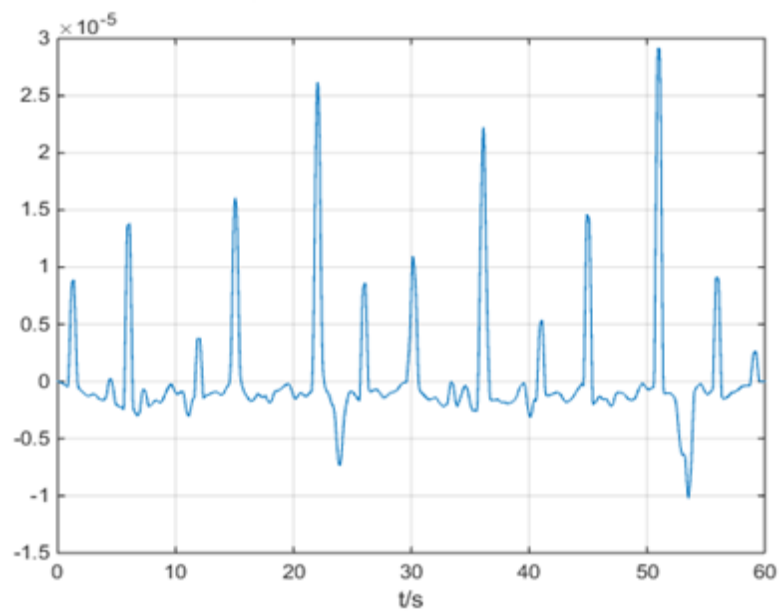
شکل (۲-۴) و (۳-۴) خروجی آشکارساز سیگنال شلیک با دو صافی مورد نظر می باشد که در آن افزایش هدف اتفاق افتاده است. سیگنالی که افزایش پیدا کرده است ممکن است دارای اعوجاج و یا ماکزیمم های کم انرژی محلی باشد که کار تشخیص را مختل کند. در نتیجه آن را از یک صافی پایین گذر یا میانگین گیر عبور می دهیم. طبق آزمایش ها طول مناسب این صافی ۰/۲۵ ثانیه می باشد.

$$E_f = H * E \quad (۱-۴)$$

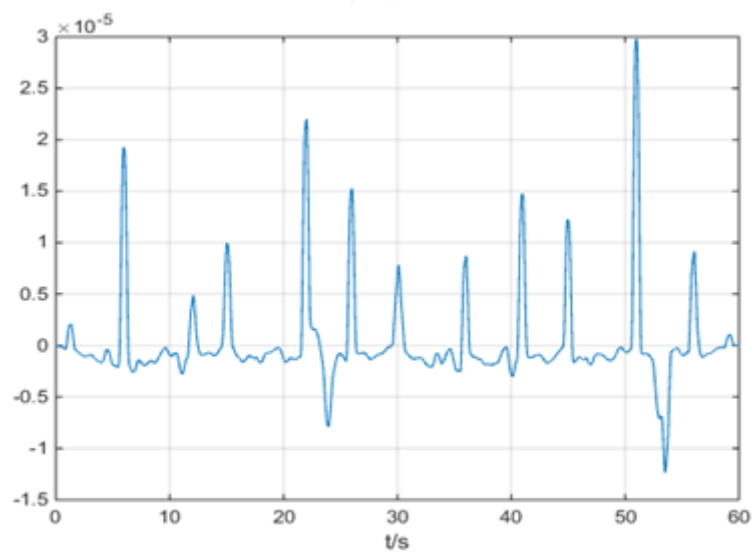
در رابطه (۱-۴) E سیگنال خروجی آشکار سازی می باشد و H صافی پایین گذر می باشد که بصورت رابطه (۲-۴) تعریف می شود.

$$H(z) = \sum_{k=-\infty}^{\frac{F_s}{f}} z^{-k}$$

(۲-۴)



شکل ۲-۴- خروجی آشکارساز اول با صافی $H(i) = e_{si}$



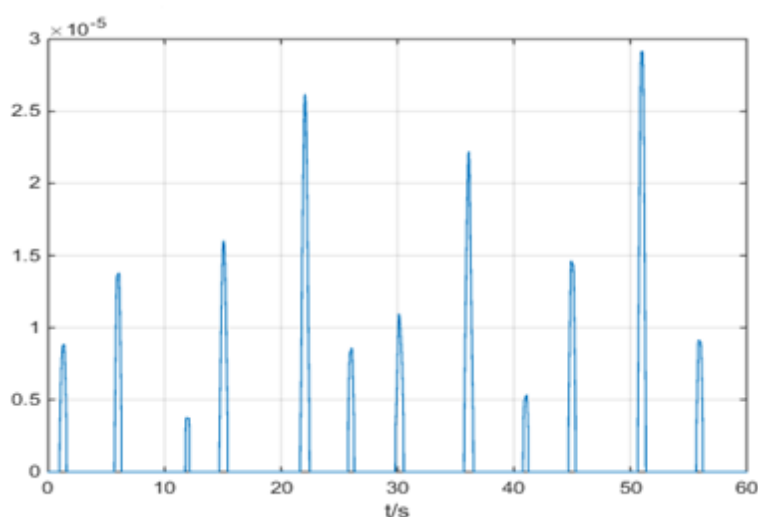
شکل ۳-۴- خروجی آشکارساز اول با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

در مرحله بعد سیگنال صافی شده با مقایسه با آستانه خاص از یک محدوده کننده سخت عبور می‌کند که خروجی آن به ازای زمان‌های t بصورت رابطه (۳-۴) می‌باشد

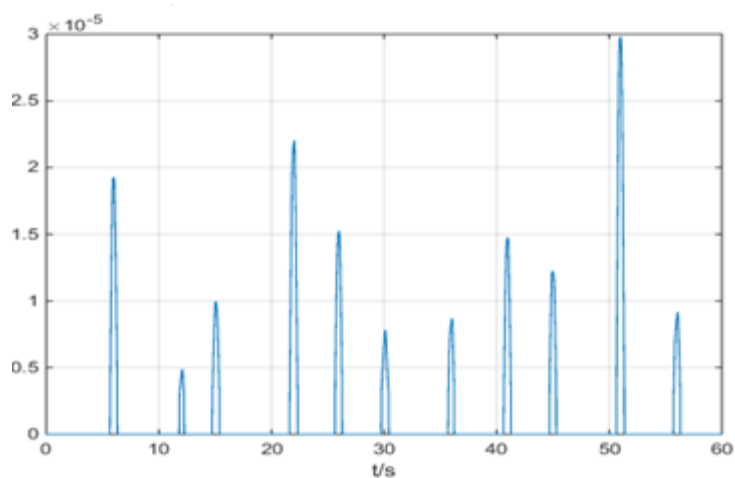
$$D(t) = \begin{cases} 1 & E_f(t) > threshold \\ 0 & else \end{cases} \quad (3-4)$$

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 با ضرب 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. شکل‌های (۴-۴) و (۵-۴) این منحنی‌ها را با دو صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ و $H(i) = e_{si}$ را نشان می‌دهد.



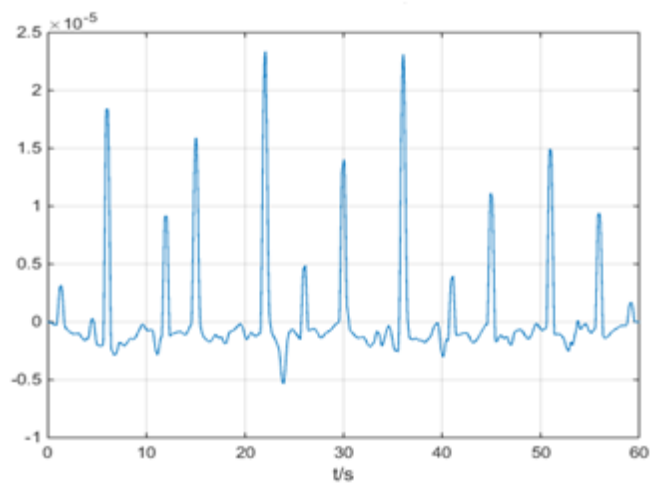
شکل ۴-۴- تشخیص هدف اول با صافی $H(i) = e_{si}$



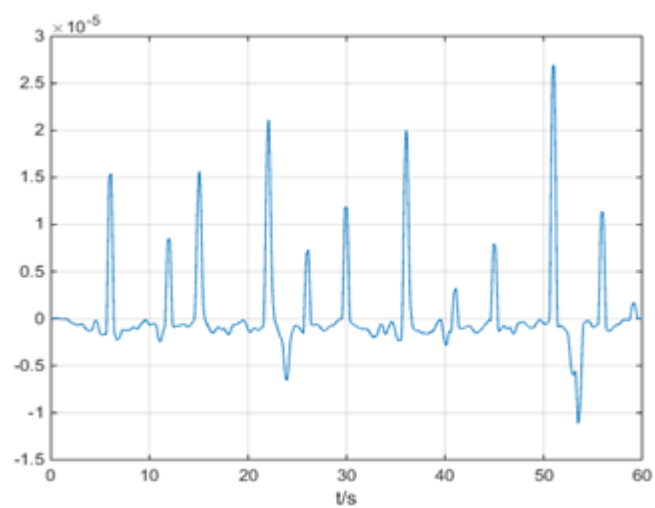
شکل ۴-۵- تشخیص هدف اول با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

مراحل توضیح داده شده فوق را برای هدف‌های دوم و سوم نیز بکار می‌بریم نتایج بدست آمده که بصورت شکل- های (۴-۶) الی (۴-۱۳) می‌باشند.

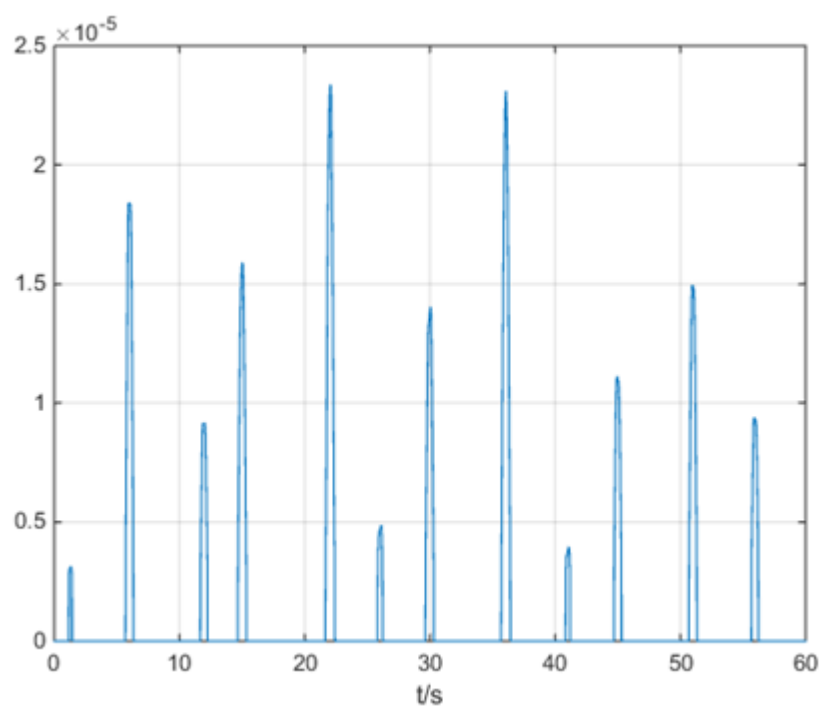
هدف دوم:



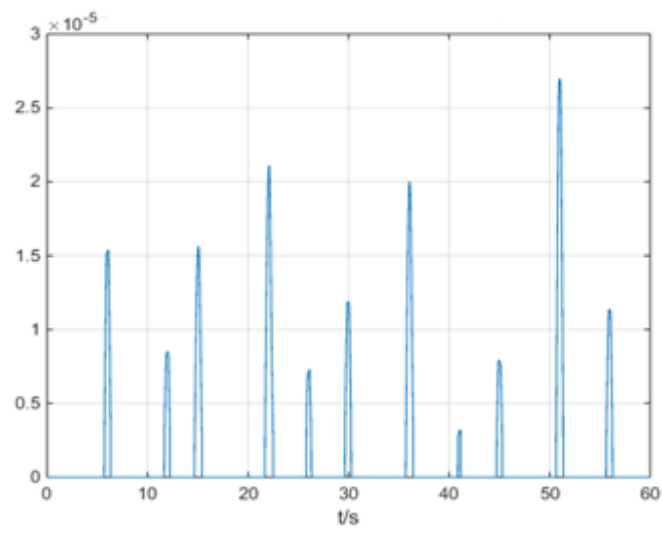
شکل ۴-۶- خروجی آشکارساز دوم با صافی $H(i) = e_{si}$



شکل ۴-۷- خروجی آشکارساز دوم با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

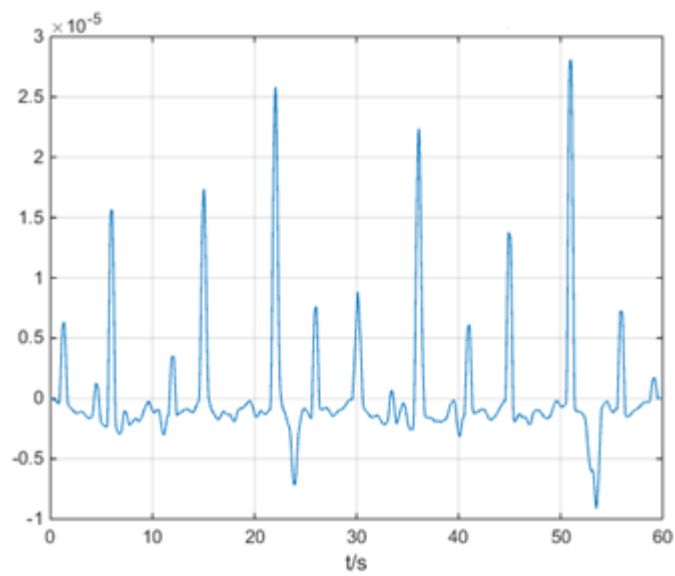


شکل ۴-۸- تشخیص هدف دوم با صافی $H(i)=e_{si}$

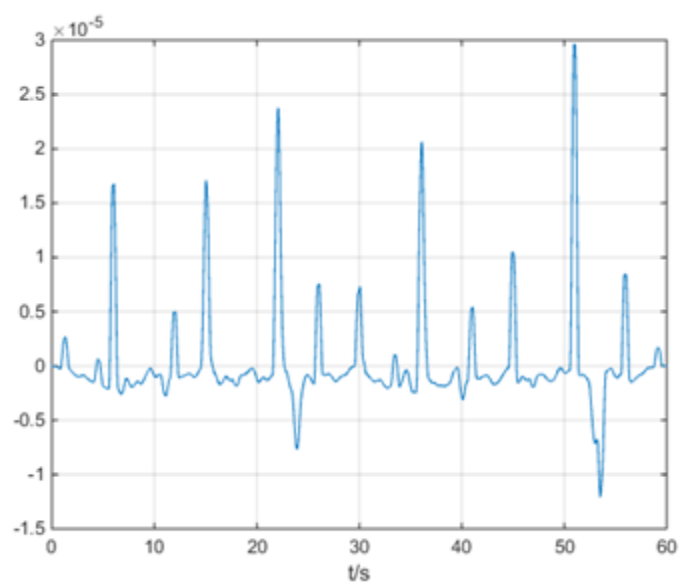


شکل ۴-۹- تشخیص هدف دوم با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

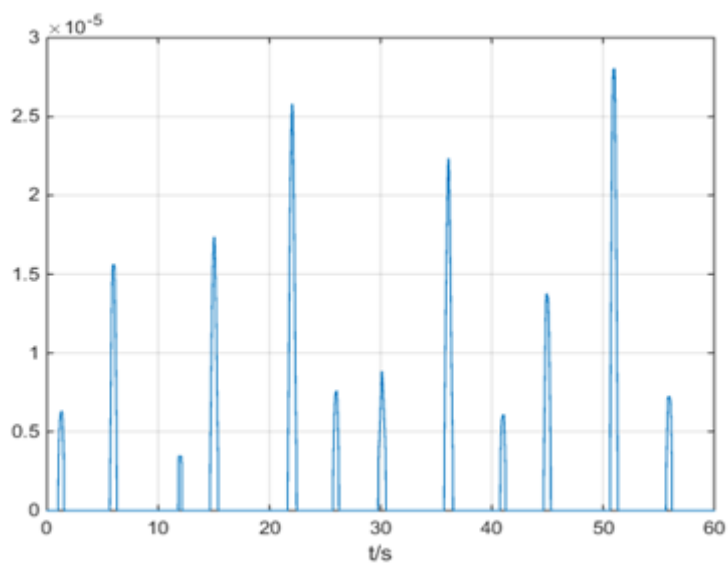
هدف سوم:



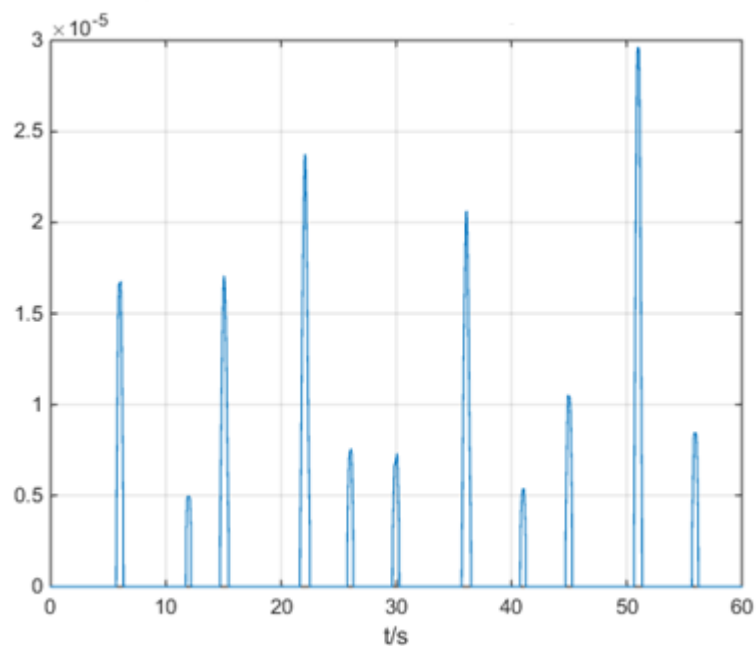
شکل ۴-۱۰- خروجی آشکارساز سوم با صافی $H(i)=e_{si}$



شکل ۴-۱۱- خروجی آشکارساز سوم با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$



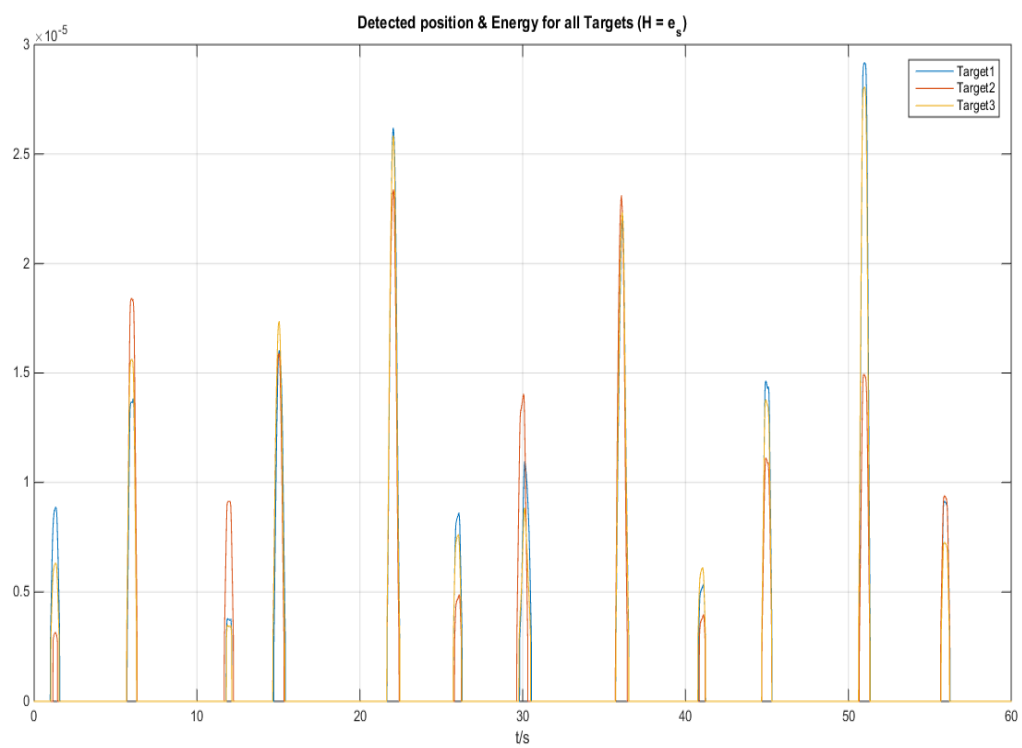
شکل ۴-۱۲- تشخیص هدف سوم با صافی $H(i)=e_{si}$



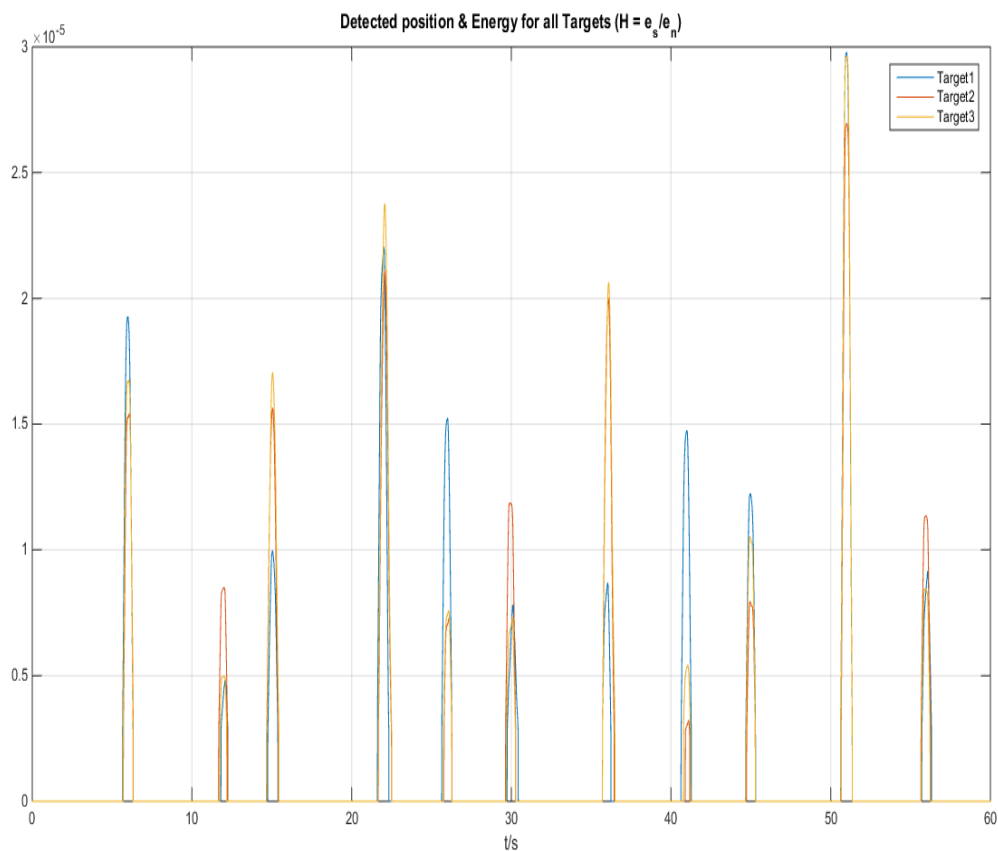
شکل ۴-۱۳- تشخیص هدف سوم با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

دیتافیلوژن خروجی تشخیص‌های سه هدف را باهم جمع می‌کند که شکل‌های (۴-۱۴) و (۴-۱۵) خروجی دیتا

فیوژن را با صافی‌های $H(i)=e_{si}$ و $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ نشان می‌دهند.

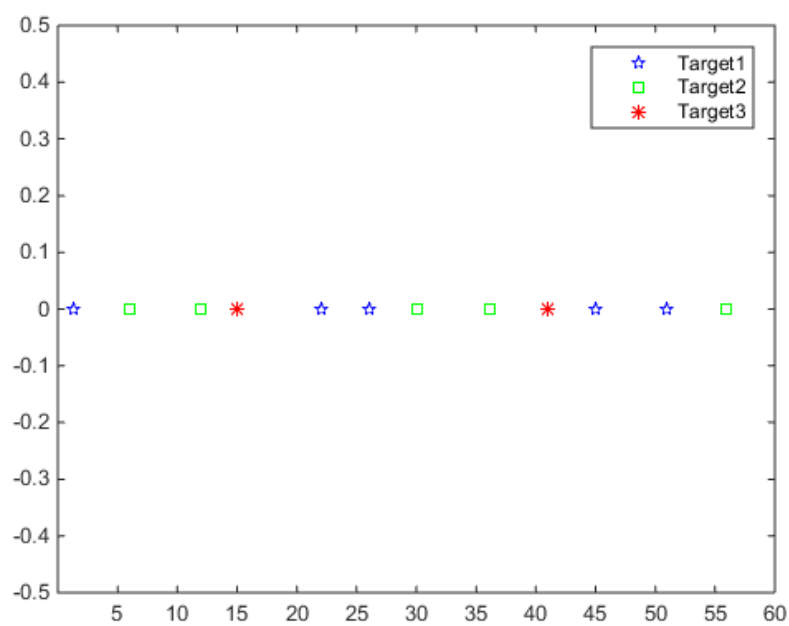


شکل ۱۴-۴ - خروجی دیتافایوژن با صافی $H(i)=e_{si}$

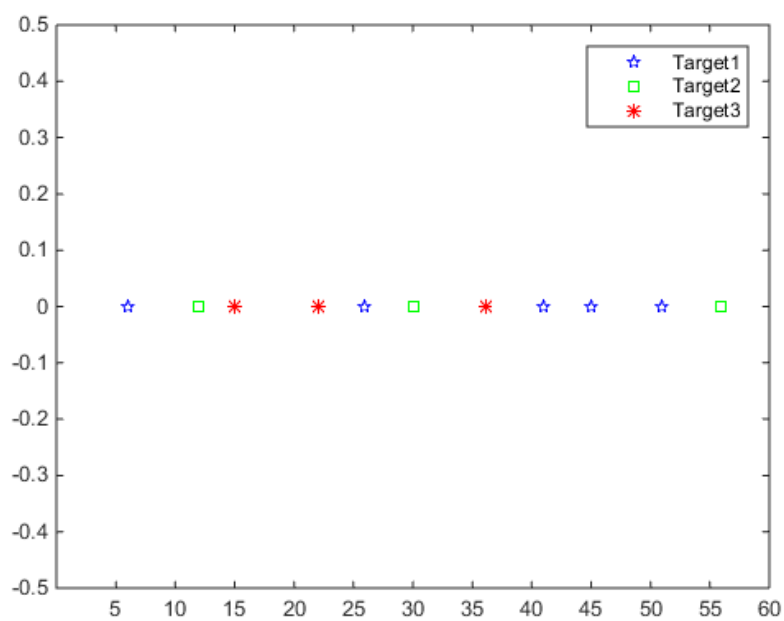


شکل ۴-۱۵- خروجی دیتافیوژن با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

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 می‌کنیم که معیار عملکرد آن انتخاب هدف با انرژی بیشتر می‌باشد و طبق منحنی‌های شکل (۴-۱۴) و (۴-۱۵)، آن منحنی که دارای قله بزرگتری باشد انتخاب می‌شود. هدف انتخاب شده از بین سه هدف موجود را با استفاده از دو صافی $H(i) = e_{si}$ و $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ در شکل‌های (۴-۱۶) و (۴-۱۷) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱۶- تشخیص هدف با صافی $H(i)=e_{si}$



شکل ۴-۱۷- تشخیص هدف با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

۴-۴- محاسبه نرخ خطای برابر در تشخیص چند هدف

جدول ۴-۱- محاسبه EER % با صافی $H(i)=e_{si}$

هدف ۱	SNR(db)	نویز صدای وال وموتور کشتی
	-۱۵	۴۰/۳۵
	-۱۰	۳۷/۶۵
	-۵	۲۳/۲
	۰	۸/۹
	۵	۴/۴
	۱۰	۰
هدف ۲	-۱۵	۴۱
	-۱۰	۳۶
	-۵	۲۴
	۰	۴
	۵	۱/۲
	۱۰	۰

جدول (۱-۴) ادامه

هدف ۳	-۱۵	۳۸/۸
	-۱۰	۱۵
	-۵	۱۰/۱۰
	۰	۴
	۵	۱/۱
	۱۰	۰

جدول ۲-۴- محاسبه EER% با صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$

هدف ۱	SNR(db)	نویز صدای وال وموتور کشتی
	-۱۵	۳۱/۹
	-۱۰	۱۷/۷۹
	-۵	۱۱/۲
	۰	۰
	۵	۰
	۱۰	۰

جدول (۲-۴) ادامه

هدف ۲	-۱۵	۳۰
	-۱۰	۱۶/۶
	-۵	۱۱
	۰	۰
	۵	۰
	۱۰	۰
هدف ۳	-۱۵	۳۲/۱۱
	-۱۰	۱۸/۷
	-۵	۱۱/۱
	۰	۰
	۵	۰
	۱۰	۰

همانطور که از جدول‌های (۱-۴) و (۲-۴) مشخص است و همانند تشخیص تک هدف صافی $H(i) = e_{si}/e_{ni}$ دارای عملکرد بهتری نسبت به صافی $H(i)=e_{si}$ می‌باشد.

۴-۵- نتیجه گیری

همان‌طور که دیده شده 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 فصل سوم، زمانی که از صافی‌ایی که شامل طیف انرژی نويز می‌باشد، استفاده کرده‌ایم نتایج بهتر و قابل قبول‌تری بدست آورده‌ایم. همانطور که قبلاً بیان شده است در این فصل 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 خطای برابر دیده می‌شود، در نسبت سیگنال به نویزهای پایین این پارامتر مقادیری تقریباً زیادی دارد.

فصل پنجم

نتیجه گیری

و

پیشنها و

۵-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه، تشخیص و ردیابی غیرفعال اهداف زیر آب مورد بررسی قرار گرفت. این تشخیص و ردیابی بر اساس سیگنال های صوتی ساطع شده از هدف و دریافت آن ها توسط سونارهای غیرفعال انجام پذیرفت. همچنین جهت تشخیص اهداف از دو حالت تک هدف و چند هدف استفاده شد. در حالت تک هدف، نشان داده شده با پردازش سیگنال هدف دریافتی، هدف قابل تشخیص می باشد و با توجه به ماهیت امواج آکوستیکی در زیر آب دارای نویز زیاد می باشند که تشخیص هدف را با مشکل مواجه می کند، بدین منظور در این پایان نامه صافی موجکی برای تشخیص هدف پیشنهاد شده است که از افزایش انرژی برای تشخیص هدف استفاده می کند. در این صافی با مسئله ای که روبرو هستیم، مسئله عدم تشخیص مناسب هدف می باشد. بدین منظور صافی موجکی پیشنهاد شده است که در ساختار خود علاوه بر طیف انرژی هدف از طیف انرژی ورودی نیز استفاده می کند که نتایج استفاده از این الگوریتم در حالت شبیه سازی مفصلاً در فصل سوم بررسی شد و همان گونه که ملاحظه گردید نتایج حاصل از صافی موجکی برای افزایش نسبت سیگنال به نویز، کاهش خطای تشخیص نسبت به نتایج استفاده از صافی های دیگر بهتر و مطلوب تر بود. حالت چند هدف که در واقع چند تشخیص تک هدف که به صورت موازی قرار می گیرند، نتایج شبیه سازی این حالت در فصل چهارم نشان می دهد الگوریتم تشخیص چند هدف دارای عملکرد مطلوبی می باشد. در نهایت نتیجه کلی که می توان از این پایان نامه گرفت این است که می توان سیستم سوناری غیرفعال را طوری طرح ریزی نمود که با وجود نویزهای مختلف تشخیص هدف با استفاده از فن های پردازش سیگنالی به انجام رسد.

۵-۲- پیشنهادها

با توجه به رشد روزافزون گرایش به تشخیص و ردیابی اهداف زیرآب، هنوز می‌توان مسائلی را برای به چالش کشیدن این مبحث یافت. در این بخش مباحثی مطرح می‌گردد که به کارگیری آن‌ها می‌تواند به تشخیص هرچه بهتر اهداف زیرآب بینجامد.

✓ به‌منظور بهبود عملکرد تشخیص و ردیابی می‌توان تعداد حسگرها را افزایش داد که در این صورت اطلاعات بیشتری از هدف در دسترس داریم.

✓ استفاده از شبکه عصبی در آشکارساز تشخیص تک هدف باعث بهبود عملکرد تشخیص و ردیابی می‌شود.

✓ استفاده از سیستم فازی در آشکارساز تشخیص تک هدف نتیجه بهتری را در پی خواهد داشت.

✓ اعمال شبکه عصبی به ورودی و استفاده از نتایج آن در تبدیل موجک می‌تواند باعث رسیدن به نتایج بهینه و مفیدتری شود.

✓ پیش پردازش روی داده‌های ورودی با استفاده از تبدیل موجک باعث بهبود عملکرد الگوریتم تشخیص می‌شود.

- [١] D. Grimmer, S. Coraluppi.(٢٠٠٦). " Multistatic Active Sonar System Interoperability, Data Fusion and Measures of Performance", NURC SR-٤٣٩.
- [٢] J Urick Robert. (١٩٨٣). " Principles of Underwater Sound" , New York: McGraw-Hill Book Company.
- [٣] James E Barger.(١٩٩٧). " Sonar Systems", Encyclopedia of Acoustics, Volume One, ٨٩-٧٩.
- [٤] Lawrence Kinsler, A. Frey.(٢٠٠٦). " Fundamentals of Acoustics",IEEE Trans.
- [٥] Donald Ross. (١٩٧٦). " Mechanics of Underwater Noise". Vol. ٣٧٥ Pergamon Press New York.
- [٦] Rodney FW Coates. (١٩٨٩). " Underwater Acoustic Systems" J. Wiley.
- [٧] Robert J Urick.(١٩٨٣). " Sound Propagation in the Sea" Peninsula Publishing Newport Beach.
- [٨] Ira Dyer.(١٩٩٧). " Ocean Ambient Noise", Encyclopedia of Acoustics, Volume One.
- [٩] Peter L Tyack, Terrance Howald.(١٩٩٣). "Biological Sources of Noise in Coastal Waters", The Journal of the Acoustical Society of America.
- [١٠] Ruth E Keenan, Ira Dyer. (١٩٨٤). " Noise from Arctic Ocean Earthquakes", The Journal of the Acoustical Society of America.
- [١١] Robert J Urick, (١٩٨٦). " Ambient Noise in the Sea" Peninsula Pub.
- [١٢] Eli Brookner. (١٩٩٨). "Tracking and Kalman Filtering Made Easy", John Wiley and Sons', Inc. NY

- [١٣] Kolev. N, Georgiev G. (٢٠٠٧). " Reduced Rank Shallow Water Matched Field Processing for Vertical Sonar Array Source Localization" ١٥-th International Conference on Digital Signal Processing, Cardiff, UK.
- [١٤] Kundu, A. Chen.(٢٠٠٢). " An integrated hybrid neural network and hidden Markov model classifier for sonar signals", Signal Processing, IEEE Transactions.
- [١٥]Li, Q. H, Wei. (١٩٩٥). " An application of expert system in recognition of radiated noise of underwater targets",Proceedings of ocean٩٥ Conference.
- [١٦] Soares.Filho, W. Seixas, J. M, Caloba L. P. (٢٠٠٠). "Averaging spectra to improve the classification of the noise radiated by ships using neural networks.(٢٠٠٠). ", Proceedings of Sixth Brazilian Symposium on Neural Networks.
- [١٧] Ward, M. K, M. Stevenson.(٢٠٠٠). "SONAR signal detection and classification using artificial neural networks", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering.
- [١٨] Farrokhrooz, M. Karimi. (٢٠٠٥). "Ship noise classification using Probabilistic Neural Network and AR model coefficients", IEEE OCEANS Europe.
- [١٩] Xi.ying, H. Jinfang, C. Guangjin, H. Nan L. (٢٠١٠). "Application of BP neural network and higher order spectrum for ship-radiated noise classification", International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC).
- [٢٠] M.Vetterli, J.Kova, V.Goyal. (٢٠١٤). "Foundations of Signal Processing" , Attribution-NonCommercial-NoDerivs.
- [٢١] Ronald Newbold Bracewell.(٢٠٠٩). "The Fourier Transform and Its Applications" ,McGraw Hill.
- [٢٢] Chun.Lin, Liu.(٢٠١٠). " A Tutorial of the Wavelet Transform ",IEEE Trans.

- [۲۳] Mallat, Stephane.(۱۹۹۸). "A wavelet tour of signal processing",IEEE Journal.
- [۲۴] Haleh.Hosseini, Sharifah. Kamilah ,Yusof, Ali.Farzamnia.(۲۰۱۴)."Wavelet Packet-Based Transceiver for Cognitive UWB ", IEEE Journal.
- [۲۵] S. Ntalampiras, I. Potamitis, and N. Fakotakis .(۲۰۱۱). "A practical system for acoustic surveillance of hazardous situations ", Int. J. Artif. Intell. Tools vol. ۲۰, no. ۱, pp. ۱۱۹–۱۳.
- [۲۶] D. Istrate, E. Castelli, M. Vacher. (۲۰۰۶). "In formation extraction from sound for medical telemonitoring, " IEEE Trans.
- [۲۷] A. Temko,C. Nadeu ,(۲۰۰۹). "Acoustic event detection in meeting-room environments, " Pattern Recogn. Lett.
- [۲۸] A. Chacon,Rodriguez, P. Julian. (۲۰۱۱). "Evaluation of gunshot detection algorithms", IEEE Trans.
- [۲۹] T. Ahmed, M. Uppal,A. Muhammad. (۲۰۱۳). "Improving efficiency and reliability of gunshot detection systems", in Proc. ICASSP.
- [۳۰] R.Cai,L. Lu, A. Hanjalic.(۲۰۰۶). "A flexible framework for key audio effects detection and auditory context infe ence", IEEE Trans.
- [۳۱] Z. Feng,N. Lu, P. Jiang.(۲۰۰۸). "Posterior probability measure for image matching, " Pattern Recogn.
- [۳۲] K. Punithakumar,T. Kirubarajan,A. Sinha,(۲۰۰۸). "Multiple-model probability hypothesis density filter for tracking maneuvering targets", IEEE Trans.
- [۳۳] D. Musicki,Wang X, R. Ellem,F. Fletcher.(۲۰۰۶). " Efficient active sonar mul titarget tracking", In OceansAsia Pacific Conference.

Abstract

Detecting and tracking the target is a major part of control, security and military systems for avoiding collision with obstacles underwater or in the space. As for underwater target detection , detecting and tracking is difficult due to slow propagation of acoustic signals under the water and unwanted noise signals from environment and ships. In this thesis , underwater acoustic events are detected using passive sonar , based on processing underwater acoustic signals emitted from the target. Once emitted , it's combined with background noise and simulated using wavelet filter detection algorithm. This passive detection and tracking system is studied in two different modes , first detecting a single target acoustic event and second detecting multi target acoustic event. In the end , wavelet filter containing noise energy spectrum is simulated using various simulations and is then compared to the wavelet filter without the noise energy spectrum. Which it's results shows that the filter containing noise energy spectrum has a better performance and less detection error compared to the wavelet filter without the noise energy spectrum

Keywords:

Underwater target detection , acoustic signal , passive sonar , wavelet filter.



Shahrood University of Technology
Department of Electrical and Robotic Engineering

underwater passive tracking by signal processing

Mohsen Babaei Vavdare

Supervisor:

Dr. H. Toossian Shandiz

February 2016