

طراحی سامانه ارزیابی تهدید زیردریایی مبتنی بر منطق فازی با استفاده از دیدگاه حرکت شناسی

یداله فرزانه^{۱*}، احمد ایزدی پور^۲

ya_farzaneh@mshdiau.ac.ir

* نویسنده مسئول، گروه مکانیک، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد

izadipour@modares.ac.ir

^۲ گروه برق، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۶

چکیده

زیردریایی به سبب قدرت عملیاتی بالایی که دارد، همواره برای شناورهای سطحی خطری جدی است. در نتیجه شناورهای سطحی در جایی که احتمال حضور زیردریایی وجود داشته باشد به تجسس آن می پردازند. به همین دلیل ارزیابی تهدید برای زیردریایی به منظور اتخاذ تصمیمات مناسب و تخصیص سلاح اهمیت زیادی دارد. ارزیابی تهدید از دو دیدگاه عملیاتی و حرکت شناسی قابل بررسی است. از دیدگاه عملیاتی، رفتارهای شناور سطحی در تعامل با تجارب عملیاتی بررسی و تحلیل می شود. از دیدگاه حرکت شناسی با توجه به موقعیت و حرکت زیردریایی خودی و شناورهای سطحی ارزیابی تهدید انجام می گیرد. برای ارزیابی تهدید با استفاده از رویکرد حرکت شناسی ابتدا پارامترهای مهم حرکتی شناسایی می شوند و برای هر کدام با توجه به بازه تغییرات آن ها مجموعه های فازی مناسب تشکیل می شود. دانش انسانی نیز به صورت قوانین اگر-آنگاه فازی مدل سازی می شوند. در نهایت در سیستم پیشنهادی پس از تلفیق داده دریافتی از حس گر ها، میزان تهدید برای هر هدف به صورت عددی بین صفر و یک تعیین می شود. با استفاده از شبیه سازی در سناریوهای مختلف کارایی سیستم پیشنهادی بررسی شده است. با توجه به عدم انتشار مقاله در زمینه ارزیابی تهدید زیردریایی، مقاله حاضر می تواند به عنوان یک کار پیشگام در این حوزه قلمداد شود.

واژه های کلیدی: تلفیق داده، ارزیابی تهدید، منطق فازی، زیردریایی، حرکت شناسی

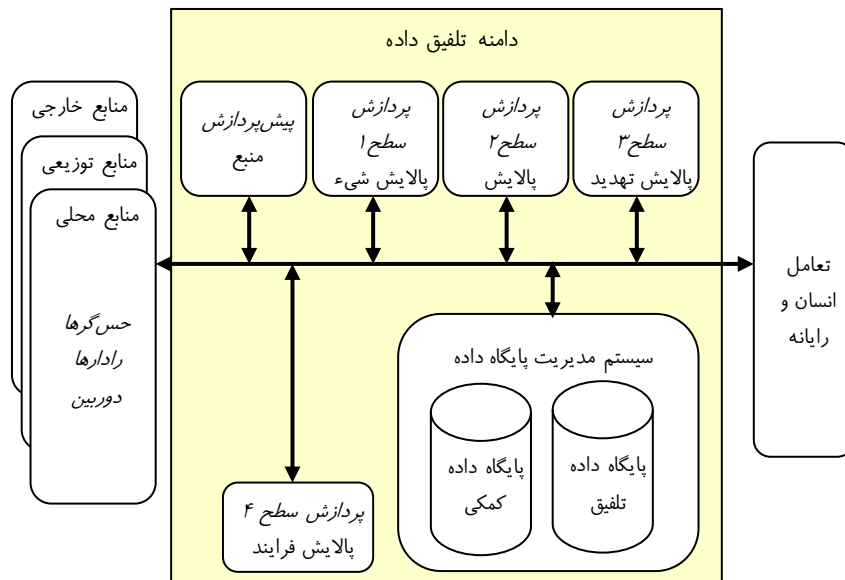
۱. مقدمه

با پیشرفت فناوری و مسابقه تسلیحاتی در بین کشورهای جهان، اکثر کشورها به سلاح های مدرن با قدرت تخریب بالا تجهیز شده اند. اما مسئله ای که تعیین کننده پیروزی در صحنه نبرد است، نحوه استفاده از سلاح ها برای عملیات آفندی و

پدافندی است. این مهم مستلزم شناخت کامل محیط عملیاتی، کسب اطلاعات از رفتار نیروهای دشمن و استنتاج اطلاعات اکتسابی است. به همین دلیل مراکز تحقیقاتی نظامی به دنبال توسعه روش های سیستماتیک برای اکتساب و استنتاج اطلاعات هستند. یکی از جامع ترین و کاربردی ترین

اطلاعات کامل تر است. اصطلاحاً به این عمل تلفیق داده^۲ گفته می‌شود. شمای کلی مدل JDL در شکل ۱ آمده است.

این مدل‌ها، توسط گروه مدیران مشترک آزمایشگاه‌ها (JDL) معرفی شده است [۲،۱]. در مدل JDL تمرکز اصلی بر دریافت داده از حس‌گرها و تلفیق آن‌ها برای رسیدن به



شکل ۱. مدل تلفیق داده JDL [۲]

است. در ادامه برخی از مقاله‌های تلفیق داده زیردریایی بررسی می‌شود. پنی روشی برای موقعیت‌یابی زیردریایی با استفاده از سونو بویه‌های^۳ غیرفعال در حداقل زمان را پیشنهاد داد [۵،۴]. جورج و آئیگریشنا، برای اهداف مانوردار از فیلتر تلفیق اطلاعات فازی استفاده نمودند و با استفاده از تنها سمت دریافتی تخمین مناسبی برای فاصله، تغییرات فاصله و نرخ چرخش ارائه دادند [۶]. ریاض و همکاران، رهگیری مقاوم غیرخطی هندسی را حول محور عمودی برای یک زیردریایی خود مختار توسعه دادند [۷]. دهنوای و همکاران الگوریتم تعقیب هدف سه‌بعدی را با استفاده از شبکه حسگر بیسیم صوتی زیر آب ارائه نمودند [۸]. همچنین موارد چالشی عدم قطعیت حس‌گر و انرژی محدود منابع در مقاله آن‌ها بررسی شدند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، کار قابل توجهی برای سطح دو و سه تلفیق داده زیردریایی گزارش نشده است. برای آشنایی بیشتر با موضوع مورد بررسی مقاله حاضر، برخی مقاله‌های ارزیابی تهدید در سایر حوزه‌ها مرور می‌شوند. هین من^۴ کارهای انجام‌شده در آزمایشگاه نیروی هوایی برای ارزیابی وضعیت و تهدید با استفاده از روش بی‌زین،

فیلترسازی اولیه برای حذف نویز و آماده‌سازی داده‌های ورودی به عنوان سطح صفر این مدل پیشنهاد شده است. در پردازش سطح یک علاوه بر کشف، دسته‌بندی و رهگیری اهداف، موقعیت و هویت اهداف دریافتی از چند حس‌گر، محاسبه می‌شود. پردازش سطح دو، با استخراج روابط بین اشیا، رفتارهای حال و آینده اهداف صحنه نبرد را تحلیل می‌کند. در سطح سه با توجه به موقعیت، هویت و ارتباطات و رفتارهای اهداف میزان تهدید و تأثیر هر هدف محاسبه می‌شود و واکنش مناسب برای هر یک از اهداف پیشنهاد می‌شود. برای کنترل و بهبود فرایندها سطح چهار و برای درک و ارتباط بهتر با کاربر سطح پنجم این مدل پیشنهاد شده است.

فعالیت‌های زیادی از سوی شرکت‌های صاحب‌نام نظامی روی تلفیق داده و مدیریت نبرد زیردریایی انجام شده است [۳]. اما با توجه به ماهیت رقابتی و سری زیردریایی، کارهای بسیار محدودی گزارش شده است. اغلب کارهای گزارش شده نیز متمرکز روی تلفیق داده در سطوح اولیه (فیلترینگ، رهگیری) هستند و کمتر کاری در زمینه ارزیابی تهدید زیردریایی و سطوح بالاتر مدل JDL منتشر شده

عصبی - فازی دینامیکی برای ارزیابی تهدید استفاده نمودند. کاربرد ارزیابی تهدید محدود به حوزه‌های نظامی نیست [۲۰]. برانستورم و همکاران از ارزیابی تهدید مبتنی بر مدل برای پرهیز از برخورد وسایل نقلیه استفاده نمودند [۲۱]. علی و همکاران، سیستم ارزیابی تهدیدی طراحی نمودند که خطر ترک جاده یا قابلیت مانور در افق زمانی را برای خودرو ارزیابی کند [۲۲]. روش پیشنهادی شامل ترکیب ترمز و مانورهای فرمان در خودرو است.

در نبردهای دریایی شکار زیردریایی و جنگ ضد زیردریایی^۵ همواره جزء اولویت‌های اول فرماندهان نظامی است و ناوگانی برای این منظور در نظر گرفته می‌شود. شناور سطحی مهم‌ترین ناوگان ضد زیردریایی است. در این مقاله ارزیابی تهدید زیردریایی در مواجهه با شناور سطحی مورد توجه قرار گرفته است. لازم به بیان است که مقاله حاضر در رده اولین مقاله‌ها در زمینه ارزیابی تهدید زیردریایی قرار دارد.

در بخش دو این مقاله روش ارزیابی تهدید پیشنهادی معرفی می‌شود. ورودی‌های موردنیاز معرفی و کلیات قوانین ارزیابی تهدید تشریح می‌شوند. بخش سوم به شبیه‌سازی و صحنه‌سنجی روش پیشنهادی در چند سناریو نزدیک به واقعیت می‌پردازد. بخش آخر به استخراج و تحلیل نتایج اختصاص دارد.

۲. معرفی روش ارزیابی تهدید پیشنهادی

ارزیابی تهدید در مدل تلفیق داده JDL در سطح سه قرار گرفته است و هدف آن محاسبه داده‌ها از دید دشمن است [۲۳]. دشمن همواره در تلاش برای کشف زیردریایی است و برای این منظور از تمام امکاناتش استفاده می‌کند. مهم‌ترین تهدید برای زیردریایی نیز شناسایی شدن است.

۲-۱. ارزیابی تهدید حرکت‌شناسی و عملیاتی

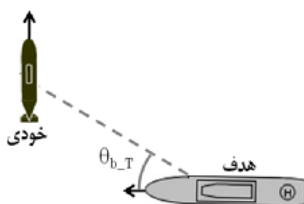
به منظور ارزیابی تهدید زیردریایی شرایطی بررسی می‌شود که در آن امکان شناسایی شدن زیردریایی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر رفتارهایی از شناور سطحی تهدیدآمیزتر است که در آن به نظر می‌رسد، زیردریایی شناسایی خواهد شد.

روش‌های مبتنی بر دانش، شبکه‌های عصبی، منطق فازی و الگوریتم ژنتیک را مرور کرد [۹]. لیب‌هاپر و فهر، مطالعات عملی انجام شده در زمینه ارزیابی تهدید هوایی از سوی افسران نیروی دریایی آمریکا را مرور و مدل استخراجی از پرسشنامه افسران را معرفی نمودند [۱۰]. لونی و لیانگ، ارزیابی وضعیت و ارزیابی تهدید را در صحنه نبرد زمینی پیاده‌سازی کردند [۱۱]. در این روش در منطقه جغرافیایی میدان جنگ، برای هر هدف زمینی یک بردار ویژگی شامل زمان، موقعیت و نوع هدف تشکیل می‌شود. سپس بردار ویژگی خوشه‌بندی می‌شود و فهرستی از هر خوشه به عنوان کلاس‌های هدف معرفی می‌شود. ارزیابی وضعیت در مرحله بعدی از طریق یک فرایند متوالی استدلال مبتنی بر حالت روی سوابق مشخصه خوشه‌ای انجام می‌شود و در نهایت برای ارزیابی تهدید به شبکه باور فازی منتقل می‌شود. پارادیس و همکاران ارزیابی تهدید و تخصیص سلاح را برای جنگ شبکه محور توسعه دادند [۱۲]. استینرگ دیدگاه جدیدی برای ارزیابی تهدید برای نظام‌مند نمودن و خودکار نمودن وظایف اصلی از قبیل ارزیابی نیت، فرصت و توانایی ارائه داد [۱۳]. لیانگ به منظور کمک به اپراتورهای دریایی، ارزیابی وضعیت و تهدید در محیط ساحلی را با استفاده از سیستم مبتنی بر دانش فازی مورد بررسی قرار داد [۱۴]. بیناوی و همکاران به منظور تأمین سیستم پشتیبان تصمیم فرمانده، سیستم ارزیابی تهدید مبتنی بر شواهد با وظایف اصلی ارزیابی نیت و توانایی پیشنهاد کردند [۱۵]. عدم قطعیت‌ها در روابط نیز با توابع باور نشان داده شدند. سایکارا و همکاران چارچوب محاسباتی برای تلفیق یکپارچه سطوح ۲، ۳ و ۴ تلفیق داده ارائه نمودند [۱۶]. باناسکی و پتروسیک با استفاده از شبیه‌ساز، فرایند ترکیب اطلاعات قطعی و غیرقطعی به منظور ارزیابی تهدید نیروی دریایی را انجام دادند [۱۷]. هویو و همکاران برای نمایش عدم قطعیت در فرایند ارزیابی تهدید از شبکه بی‌زین دینامیکی با پارامتر متغیر استفاده نمودند [۱۸]. ایکس‌یو و همکاران، از ارزیابی تهدید اهداف هوایی به عنوان پایه‌ای برای تخصیص سلاح و مدیریت منابع در دفاع هوایی استفاده نمودند [۱۹]. یون و همکاران، از یک سیستم

اگر هدف در پشت زیردریایی واقع شود امکان شنیدن صدای زیردریایی بیشتر است و از میزان تهدید بالاتری برخوردار است.

۲- تغییرات سمت نسبی هدف: این پارامتر جهت حرکت نسبی هدف و نحوه کاهش یا افزایش زاویه نسبی را بیان می‌کند.

۳- سمت زیردریایی از دید هدف: این پارامتر نحوه دیدن زیردریایی از دید شناور سطحی هدف را بیان می‌کند. برای توضیحات بیشتر به شکل ۳ مراجعه شود.



شکل ۳. سمت زیردریایی از دید شناور سطحی

۴- فاصله تا هدف: مسلماً هرچه هدف به زیردریایی نزدیک تر باشد، خطر آن بیشتر است. فرض بر این است که شناور سطحی از حدود ۴ مایلی توانایی شلیک اژدر را دارد.

۵- تغییرات فاصله تا هدف: از این پارامتر برای درک نزدیک شدن یا به عبارت دیگر کم شدن فاصله بین شناور سطحی هدف و زیردریایی خودی استفاده می‌شود. با توجه به این که مشتق گیری لحظه‌ای نمی‌تواند عدد قابل درکی برای این ورودی ایجاد کند، از اختلاف فاصله در بازه‌های زمانی بزرگ‌تری استفاده می‌شود.

۶- نزدیک شوندگی: در مواقعی که فاصله و تغییرات فاصله مشخص نباشد از این پارامتر برای درک نزدیک شدن شناور سطحی هدف استفاده می‌شود. این پارامتر با اندازه گیری تغییرات توان صوت دریافتی از سیستم سونار به دست می‌آید.

۷- تیپ هیدرولوژی: در عمق‌های مختلف دریا سرعت صوت تغییر می‌کند. این تغییر باعث شکست صوت و

شرایط شناسایی زیردریایی را می‌توان از دو منظر مورد توجه قرار داد:

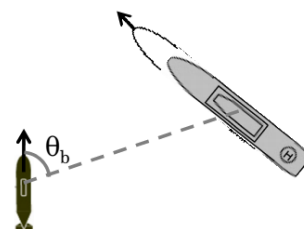
(الف) از منظر حرکت شناسی: با توجه به نحوه قرارگیری شناور سطحی و زیردریایی امکان شنیده شدن صدای زیردریایی برای شناور سطحی افزایش می‌یابد. به ارزیابی تهدید از این دیدگاه، ارزیابی تهدید حرکت شناسی گفته می‌شود که موضوع مورد بررسی در این مقاله است.

(ب) از منظر رفتارهای مشاهده شده: شناور سطحی هنگامی که به جستجوی زیردریایی می‌پردازد یا آن را شناسایی نموده است، رفتارهای خاصی را از خود بروز می‌دهد. این رفتارها می‌تواند شامل استفاده از حس گرهای خاص، انجام حرکت‌های غیرعادی تا استفاده از حس گرها و سلاح‌های ضد زیردریایی باشد. به این نوع ارزیابی تهدید، ارزیابی تهدید عملیاتی گفته می‌شود.

۲-۲. اطلاعات سنسوری مورد استفاده

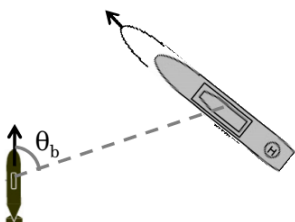
سیستم ارزیابی تهدید با توجه به اطلاعات دریافتی از اهداف صحنه نبرد اظهار نظر می‌کند. این اطلاعات اغلب از سیستم سونار زیردریایی کسب می‌شود. در این مقاله فرض شده است که تنها داده‌های سونارهای زیردریایی در دسترس است و پردازش‌های اولیه روی داده‌های خام سنسوری انجام شده و الگوریتم‌های پردازشی سطح یک تلفیق داده از جمله رهگیری فقط به وسیله سمت اجرا شده‌اند. با این فرض ورودی‌های در نظر گرفته شده برای سیستم ارزیابی تهدید به شرح زیر است:

۱- سمت نسبی هدف: این پارامتر موقعیت زاویه‌ای هدف را نسبت به زیردریایی نشان می‌دهد. این پارامتر به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده است. این زاویه در جهت عقربه‌های ساعت مثبت فرض می‌شود.



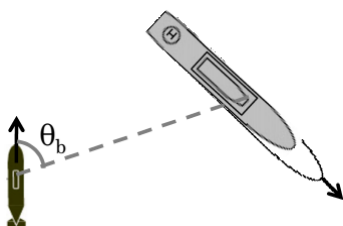
شکل ۲. سمت نسبی هدف

قانون مورد استفاده در شکل ۴ بیان می‌کند: اگر شناور سطحی در زاویه ۰ تا ۹۰ درجه بود و تغییرات زاویه آن منفی باشد، آنگاه تهدید آن کم است. در این شرایط شناور سطحی به مسیر راه زیردریایی نزدیک می‌شود؛ ولی صدای زیردریایی را خوب نمی‌شنود زیرا صدا در پشت زیردریایی انتشار می‌یابد.



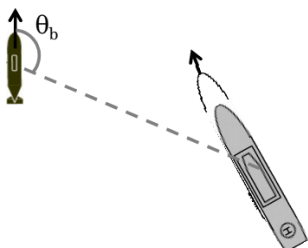
شکل ۴. زاویه نسبی کم و تغییرات زاویه منفی

اگر هدف در زاویه ۰ تا ۹۰ درجه و تغییرات زاویه مثبت باشد، آنگاه تهدیدش متوسط است (شکل ۵). در این شرایط شناور سطحی در حال نزدیک شدن به پاشنه زیردریایی است و امکان شنیدن صدای زیردریایی برای آن بیشتر می‌شود.



شکل ۵. زاویه نسبی کم و تغییرات زاویه مثبت

اگر هدف در زاویه ۹۰ تا ۱۸۰ درجه بوده و تغییرات زاویه منفی باشد آنگاه تهدیدش زیاد است (شکل ۶). شناور در پاشنه زیردریایی قرار دارد ولی در حال خروج از زاویه پاشنه است و امکان شنیده شدن صدای زیردریایی برای سطحی فراهم است که با کم شدن زاویه و حرکت به سمت سینه زیردریایی، این امکان در حال کم شدن است.



شکل ۶. زاویه نسبی زیاد و تغییرات منفی

تغییر رفتار انتشار صوت می‌شود. در تیپ‌های هیدرولوژی مکان‌هایی با عنوان کانال صوتی تشکیل می‌شود که رفتار انتشار صوت در بالا و پایین آن متفاوت است و مکان مناسبی برای استتار است. به طور کلی هفت تیپ هیدرولوژی وجود دارد. برای توضیحات کامل تر به مرجع مدلسازی و شبیه سازی اکوستیک زیردریایی مراجعه شود [۲۴].

۸- عمق زیردریایی: عمق با توجه به کانال صوتی در تیپ‌های مختلف معنی دار می‌شود و در هر تیپ هیدرولوژی با گرفتن اطلاعات کانال صوتی تشکیل می‌شود.

۳-۲. قواعد مورد استفاده در سیستم ارزیابی تهدید

ارزیابی تهدید به دانش عملیاتی و درکی که فرمانده از شرایط دارد، بسیار وابسته است. با توجه به این مهم، در سامانه مدیریت نبرد باید از روشی استفاده نمود که توانایی بیشتری در مدل سازی دانش انسانی دارد. از میان روش‌های مورد استفاده در ارزیابی تهدید، منطق فازی بهتر می‌تواند دانش انسانی را مدل سازی کند [۲۵]. قواعد فازی این مقاله با توجه به اصل مخفی ماندن زیردریایی استخراج شده‌اند. هر شرایطی که با توجه به موقعیت زیردریایی و شناور سطحی، امکان شناسایی زیردریایی را بالا می‌برد، از نظر سیستم طراحی شده تهدید آمیز است. با توجه به مطالب بیان شده شرایط شناسایی زیردریایی و قوانین متناظر با آن در ادامه بیان می‌شود.

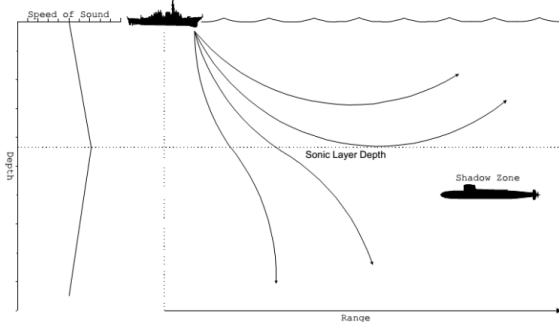
۲-۴. موقعیت زاویه ای قرارگیری شناور سطحی نسبت به زیردریایی

مهم ترین عامل برای شناسایی زیردریایی صدای منتشر شده از پروانه های زیردریایی است. این صدا از پاشنه زیردریایی بهتر شنیده می‌شود؛ بنابراین اگر شناور سطحی در پشت زیردریایی قرار داشته باشد، به راحتی می‌تواند با سیستم سونار خود صدای زیردریایی را شنیده و محل آن را کشف کند.

۲-۴-۲. تصمیم‌گیری با توجه به عمق و تیپ

هیدرولوژی

همان‌طور که در بخش قبل به آن اشاره شد، در عمق‌ها و تیپ‌های هیدرولوژی مختلف دریا سرعت صوت تغییر می‌کند که باعث تغییر رفتار انتشار صوت از زیردریایی به سطح و از شناور سطحی به زیردریایی می‌شود. برای آشنایی بیشتر با نحوه انتشار صوت در تیپ‌های هیدرولوژی، به‌عنوان نمونه تیپ هیدرولوژی دو به صورت مختصر معرفی می‌شود. در شکل ۹ نحوه تغییر سرعت صوت در عمق‌های مختلف برای تیپ هیدرولوژی دو نشان داده شده است. به‌عنوان یک قاعده کلی صوت به سمتی منحرف می‌شود که سرعت صوت در آن کمتر است. با توجه به شکل ۹ اگر زیردریایی زیر لایه صوتی واقع شود، پرتوهای صوت به سمت اعماق بیشتر منحرف شده و کمتر به لایه‌های سطحی راه پیدا می‌کنند. بیشترین اختفا از شناورهای سطحی در این حالت ایجاد می‌شود.

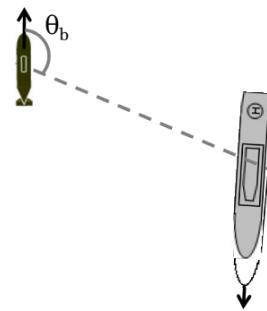


شکل ۹. نحوه تغییر سرعت صوت و انتشار صوت در تیپ هیدرولوژی دو [۲۶]

برای تشریح کامل‌تر مفاهیم تیپ هیدرولوژی و کاربرد آن در مباحث نظامی به مرجع اصول سلاح‌های دریایی مراجعه شود [۲۶]. به‌عنوان نمونه‌ای از قوانین مورد استفاده در تیپ هیدرولوژی و عمق، به قوانین تیپ هیدرولوژی دو اشاره می‌شود.

- ✓ اگر تیپ هیدرولوژی نوع دو باشد و زیردریایی بالای لایه صوتی باشد، آنگاه تهدید زیاد است.
- ✓ اگر تیپ هیدرولوژی نوع دو بوده و زیردریایی زیر لایه صوتی باشد آنگاه تهدید کم است.

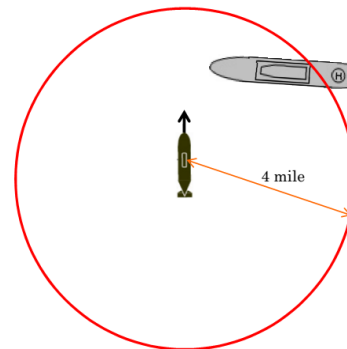
شکل ۷ وضعیت تهدید آمیزی را نشان می‌دهد که شناور سطحی صدای زیردریایی را خوب می‌شنود و با حرکت بیشتر به سمت پشت زیردریایی، امکان بهتر شنیده شدن صدا برایش فراهم می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به انتشار صدای زیاد پروانه‌های زیردریایی حس‌گرهای خود زیردریایی در این ناحیه قابلیت شنود بسیار ضعیفی دارند؛ بنابراین قرارگیری شناور سطحی در این موقعیت امکان شنیدن صدای زیردریایی برای شناور سطحی و شنیده نشدن صدای شناور سطحی با زیردریایی (نقطه کور زیردریایی) را بالا می‌برد. قانون مورد استفاده به این صورت است: اگر هدف در زاویه 90° تا 180° درجه و تغییرات زاویه مثبت باشد، آنگاه تهدیدش خیلی زیاد است.



شکل ۷. زاویه نسبی زیاد و تغییرات زاویه مثبت

۲-۴-۱. فاصله شناور سطحی نسبت به زیردریایی

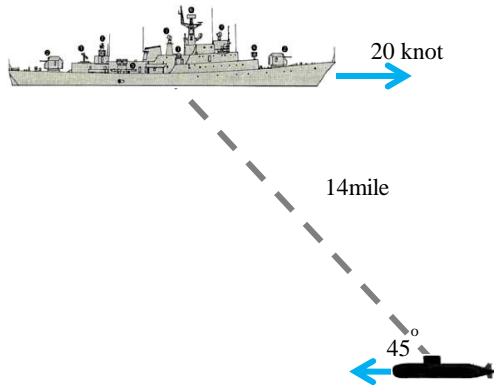
کشتی از حدود ۴ مایلی می‌تواند اژدر شلیک کند و اگر شناوری در این محدوده قرار داشته باشد، خطرناک است (شکل ۸).



شکل ۸. فاصله تا شناور سطحی

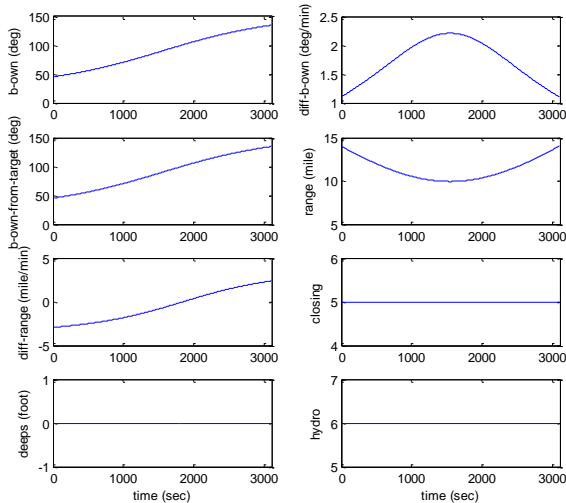
قانون مورد استفاده: اگر فاصله کمتر از ۴ مایل باشد، آنگاه تهدید زیاد است.

راه زیردریایی از سمت سینه به سمت پاشنه در حرکت است (شکل ۱۱).

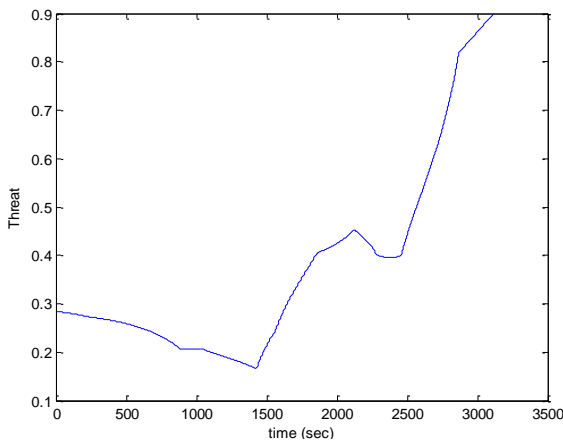


شکل ۱۱. مسیر حرکتی در سناریوی ۱

تغییر پارامترهای مورد استفاده به عنوان ورودی در سیستم ارزیابی تهدید در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲. تغییر پارامترهای ورودی ارزیابی تهدید

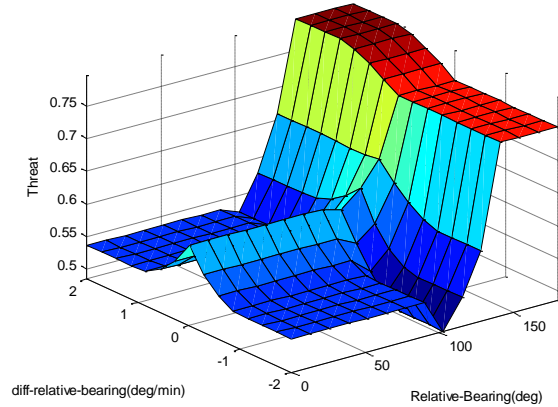


شکل ۱۳- نحوه تغییرات تهدید در سناریوی ۱

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش قبل، شناور به سمت

۲-۵. شمای کلی سیستم ارزیابی تهدید سینماتیکی

سیستم ارزیابی تهدید پیشنهادی شامل ۸ ورودی، ۷۲ قانون فازی و یک خروجی تهدید است. به عنوان نمونه‌ای از رفتار کلی سیستم، شبیه‌سازی میزان تهدید به ازای ورودی‌های سمت نسبی و تغییرات سمت نسبی در شکل ۱۰ آورده شده است.



شکل ۱۰. پاسخ کلی سیستم به ورودی‌های سمت نسبی و تغییرات سمت نسبی

شکل ۱۰ قواعدی که در بخش ۲-۳-۱ تشریح شده‌اند را به خوبی نمایش می‌دهد. با قرار گرفتن کشتی در پشت زیردریایی و افزایش سمت نسبی (۱۰۰ درجه تا ۱۸۰ درجه) تهدید نیز افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش تغییرات سمت نسبی، تهدید نیز افزایش بیشتری دارد. این حالت بیانگر تمایل بیشتر کشتی برای حرکت به پشت زیردریایی و شنیدن صدای آن است.

۳. شبیه‌سازی و بررسی کارایی سیستم

همان‌طور که در مقدمه به آن اشاره شد، تحقیقات منتشر شده‌ای در زمینه ارزیابی تهدید زیردریایی وجود ندارد. این امر مقایسه و راستی‌آزمایی روش پیشنهادی را دشوار نموده است. برای نشان دادن کارایی سیستم پیشنهادی چند سناریو در نظر گرفته می‌شود و به صورت شهودی راستی‌آزمایی انجام می‌شود.

۱-۱-۳. سناریوی ۱

حرکت شناور سطحی به موازات زیردریایی و در جهت مخالف: در این سناریو فرض می‌شود؛ شناور سطحی موازی

همان طور که در شکل ۱۵ دیده می‌شود، در ابتدا تهدید زیاد است ولی با غوص به زیر لایه صوتی صدای زیردریایی به شناور سطحی کمتر می‌رسد و تهدید با توجه به قوانین حاکم کاهش پیدا می‌کند.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارزیابی تهدید زیردریایی را از دو منظر می‌توان بررسی نمود. با توجه به موقعیت قرارگیری شناور سطحی برای شنود صدای زیردریایی و با توجه به رفتارهایی که شناور سطحی از خود بروز می‌دهد. در این مقاله دیدگاه اول مورد توجه قرار گرفته است. صدای زیردریایی از سمت پاشنه منتشر می‌شود. پارامترهای مناسب با توجه به حس‌گرهای در دسترس زیردریایی در نظر گرفته شده است. قوانین مورد استفاده با توجه به اصل مورد شناسایی واقع شدن زیردریایی استخراج شده‌اند. قوانین مورد استفاده به سه دسته کلی تقسیم شده‌اند. دسته اول نحوه قرارگیری زاویه‌ای شناور سطحی نسبت به زیردریایی را مورد توجه قرار می‌دهد. دسته دوم قواعد با توجه به فاصله تا هدف ارزیابی تهدید را بررسی می‌کند. دسته سوم نیز تیپ هیدرولوژی و نحوه انتشار صوت با توجه به عمق‌های مختلف را در نظر گرفته است. تعامل این سه دسته قواعد به شکل یک سیستم فازی منسجم شده است. برای نشان دادن کارایی سیستم پیشنهادی از دو سناریو استفاده شده است. در هر یک از سناریوها به بررسی یکی از دو دسته قواعد پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از سناریوها صحت سیستم پیشنهادی را تأیید می‌کنند.

مراجع

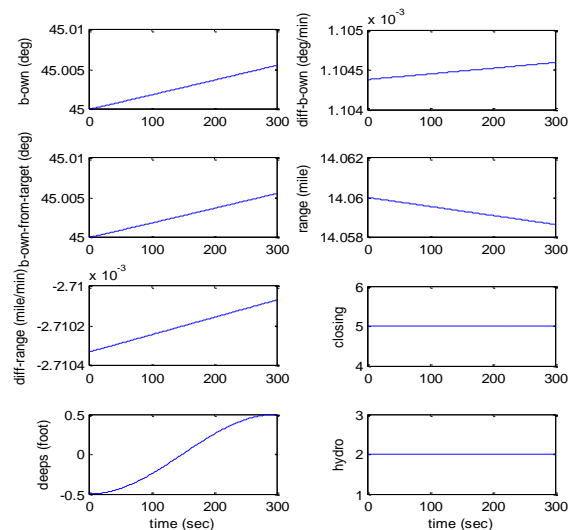
- [1] White F. A model for data fusion. In: Proceeding of 1st National Symposium on Sensor Fusion; 1988 Apr 5. Chicago, Ill. : GACIAC, IIT Research Institute ;1989.p. 149-58.
- [2] Steinberg AN, Bowman CL, White FE. Revisions to the JDL data fusion model. In: Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications III; 1999; Orlando, FL, United States. <https://doi.org/10.1117/12.341367>.
- [3] Ebbutt G. Jane's C41 Systems. 23th ed; 2011.

پاشنه حرکت می‌کند و امکان شنیدن صدای زیردریایی برای آن افزایش می‌یابد؛ بنابراین انتظار می‌رود به مرور زمان تهدید افزایش یابد.

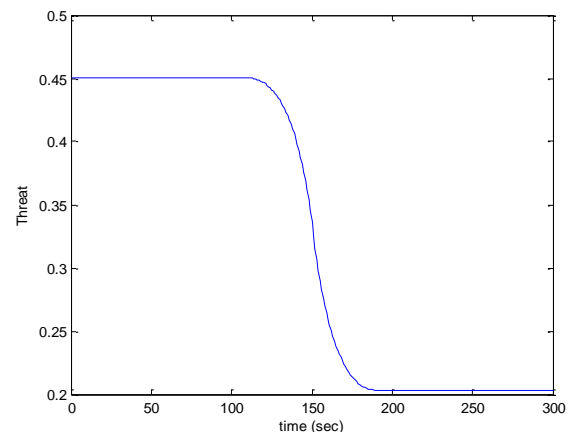
تهدید اولیه حدود ۰/۳ است و به مرور کاهش می‌یابد. دلیل این تغییر کم شدن نرخ نزدیک شدن به زیردریایی توسط شناور سطحی است. پس از مدتی شناور سطحی به موقعیت پاشنه زیردریایی نزدیک و نزدیک‌تر می‌شود و در نتیجه تهدید به مرور زمان زیاد و زیادتر می‌شود.

۲-۳. سناریوی ۲

بررسی تأثیر عمق: فرض می‌شود تیپ هیدرولوژی ۲ در محیط عملیاتی حاکم است. زیردریایی در سطح قرار دارد که متوجه حضور شناور سطحی می‌شود. برای مخفی شدن از شناور سطحی به سرعت به زیر لایه صوتی غوص می‌کند.



شکل ۱۴. تغییر پارامترهای ورودی ارزیابی تهدید



شکل ۱۵. تغییر میزان تهدید در سناریوی ۲

- [17] Baranski JV, Petrusic WM. Aggregating conclusive and inconclusive information: Data and a model based on the assessment of threat. *Journal of Behavioral Decision Making*. 2010 Oct;23(4):383-403.
- [18] Hou Y, Guo W, Zhu Z. Threat assessment based on variable parameter dynamic Bayesian network. In: *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference*; 2010 July 29 -31; Beijing. IEEE:2010.p. 1230-35.
- [19] Xu Y, Wang Y, Miu X. Multi-attribute decision making method for air target threat evaluation based on intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Systems Engineering and Electronics*. 2012 Dec;23(6):891-7.
- [20] Yun J, Hong SS, Han MM. A dynamic neuro fuzzy knowledge based system in threat evaluation. In: *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems*; 2012; Kobe, Japan. IEEE; 2013. p. 1601-5. doi: 10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505178.
- [21] Brannstrom M, Coelingh E, Sjöberg J. Model-based threat assessment for avoiding arbitrary vehicle collisions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2010 May 18;11(3):658-69.
- [22] Ali M, Gelso ER, Sjöberg J. Automotive threat assessment design for combined braking and steering maneuvers. *IEEE transactions on vehicular technology*. 2012 Dec 3;62(4):1519-26.
- [23] Hall DL, McMullen SA. *Mathematical techniques in multisensor data fusion*. Artech House; 2004.
- [24] Etter PC. *Underwater acoustic modeling and simulation*. CRC press; 2018.
- [25] Zadeh LA. Is there a need for fuzzy logic?. *Information sciences*. 2008 Jul 1;178(13):2751-79.
- [26] Hall CJ. *Principles of Naval Weapons Systems*. US naval academy; 2000.
- [4] Penny DE. *Multi-sensor management for passive target tracking in an anti-submarine warfare scenario*; 1999.
- [5] Penny DE. Sensor management in an ASW data fusion system. In: *Dasarathy BV, Editor. Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications III*; 1999. SPIE: 1999. p. 418-29. doi: 10.1117/12.341365.
- [6] George DE, Unnikrishnan A. Tracking of manoeuvring targets using fuzzy information fusion filter. *International Journal of Image and Data Fusion*. 2018 Apr 3;9(2):115-30.
- [7] Hassan MU. Robust Nonlinear Geometric Steering Tracker for an Autopilot Submarine. *International Journal of Research and Engineering*. 2017;4(5): 150-55.
- [8] Dehnavi SM, Ayati M, Zakerzadeh MR. Three dimensional target tracking via underwater acoustic wireless sensor network. In: *IRANOPEN. Artificial Intelligence and Robotics*; 2017. p. 153-57.
- [9] Hinman ML. Some computational approaches for situation assessment and impact assessment. In: *FUSION 2002. Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion*; 2002; Annapolis, MD, USA. IEEE:2002. p. 687-93.
- [10] Liebhaber MJ, Feher B. *Air threat assessment: Research, model, and display guidelines*. Space and naval warfare systems command san diego ca; 2002.
- [11] Looney CG, Liang LR. Cognitive situation and threat assessments of ground battlespaces. *Information Fusion*. 2003 Dec 1;4(4):297-308.
- [12] Paradis S. Threat evaluation and weapons allocation in network-centric warfare. In: *8th International Conference on Information Fusion*; 2005.
- [13] Steinberg AN. An approach to threat assessment. In: *7th International Conference on Information Fusion*; 2005.
- [14] Liang Y. An approximate reasoning model for situation and threat assessment. *4th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*; 2007. pp. 246-250.
- [15] Benavoli A, Ristic B, Farina A, Oxenham M, Chisci L. An application of evidential networks to threat assessment. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2009 Jun 19;45(2):620-39.
- [16] Sycara K, Ginton R, Yu B, Giampapa J, Owens S, Lewis M, Grindle LC. An integrated approach to high-level information fusion. *Information Fusion*. 2009 Jan 1;10(1):25-50.

پی‌نوشت

1. Joint Directors of Laboratories
2. Data fusion
3. Sonobuoy
4. Hinman
5. Anti-Submarine Warfare (ASW)
6. Bearing Only Tracking (BOT)