تحلیل عملکرد سونار روزنه مصنوعی معکوس چندیایه در تصویرسازی از اهداف زیر آب

جواد تقىزاده'، سيد عليرضا سيدين' ۱ دکترای مهندسی برق- مخابرات، دانشگاه فردوسی مشهد ^۲دانشیار گروه برق دانشکده مهندسی ، دانشگاه فردوسی مشهد، seyedin@um.ac.ir

تاریخ دریافت :۱۳۹۵/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش :۱۳۹۵/۰۷/۱۷

چکيده

به منظور تصویرسازی آکوستیکی از اهداف متحرک زیر آب می توان از ایده سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه بهره برد. هرچند الگوریتم تصویرسازی مناسب برای این موضوع پیشنهاد شده است اما پارامترهای مختلف دخیل در آن بررسی و تحلیل نشدهاند. در این مقاله پس از مرور ایا ه سونار مربوطه و الگوریتم تصویرسازی در آن، برای اولین بار به بررسی تحلیلی عوامل موثر بر تصویر سازی از اهداف متحرک زیر آب مانند ابعاد، عمق، فاصله و نحوه حرکت هدف، مشخصات و عمق قرار گیری سونار و بارامترهای مختلف کانال آب در این نوع سونار پرداخته خواهد شد و شرایط و محدودیت های تصویرسازی در شرایط عملی استخراج خواهد شد. با انجام شبیهسازی تاثیر تغییرات این پارامترها در تصویر ایجادی از هدف، نتایج تحلیل های صورت گرفته ارزیابی و صحه گذاری خواهد شد.

كليدواژه

سونار روزنه مصنوعي معكوس (ISAS)، سونار روزنه مصنوعي معكوس چندپايه(MISAS)، منبع مجازي، الگوريتم پس تابش

مقدمه

به دلیل امکان بهره گیری از امواج صوتی در زیر آب، استفاده از سونار راهکار مناسبی برای تصویربرداری آکوستیکی است و در سالهای اخیر سونار روزنه مصنوعی(SAS) که از رادار روزنه مصنوعی(SAR) الهام گرفته است، به ابزاری مناسب برای تصویربرداری از بستر دریا و اشیا زیر آب تبدیل شده است[۱]. برای تصویربرداری از اهداف متحرک میتوان از ایده سونار روزنه مصنوعی معکوس(ISAS) بهره برد. در ISAS سونار ثابت و هدف در حرکت است و سونار، داده های منتشره از هدف را در زوایای دید مختلف با حرکت هدف بدست خواهد آورد. در هنگام حرکت هدف، زوایای دید هدف نسبت به خط دید سونار تغییر نموده و باعث شکل گیری تصویر ISAS خواهد شد. از این تنوع زاویهای در دادهها، برای جداسازی نقاط در راستای محور زاویهای (عمود بر برد) استفاده می شود. در حالیکه مشابه SAR و SAS، رزولوشن موردنیاز در راستای محور برد از پهنای باند فركانسى مشخص سيگنال ارسالى تامين مىشود. با نوشتن روابط مربوط به حرکت چرخشی هدف(در حالت حرکت

چرخشی مطلق همانند یک میز چرخان) و سیگنال ارسالی و دريافتى مشاهده مى گردد رابطه مستقيمى بين حركت چرخشی هدف و راستای عمود بر برد تصویر بدست آمده وجود دارد و هر چه مقدار این زاویه چرخش (و یا به عبارتی طول روزنه مصنوعی) بیشتر باشد، رزولوشن زاویهای(راستای عمود بر برد) بیشتر خواهد بود [7]. البته در کاربردهای واقعی، هدف ممكن است حركت انتقالى نيز داشته باشد يعنى مقدار برد هدف نیز در هنگام چرخش هدف تغییر نماید. این حالت باعث جابجایی پراکندهسازها ادر راستای برد در هر یک از مقاطع و منجر به محو شدن تصویر خواهد شد لذا این حرکت انتقالی باید به نحو مناسبی جبران سازی گردد.

در اولین مقالهای که درباره ISAS در سال ۱۹۹۱ منتشر شده است، تكنيك تصويربردارى روزنه مصنوعى معكوس دوبعدى برای سیگنالهای صوتی بازگشتی از سازههای ساده درون آب بکار گرفته شده و نتایج آن برای دو نوع متفاوت هدف مورد بررسی قرار گرفته است[۳]. در [۴–۸]نیز که به زبان چینی منتشر شدهاند، روشهای مختلف تشکیل تصویر در ISAS مورد بررسی قرار گرفته است. در مقالات پراکنده دیگری نیز به



¹ Synthetic Aperture Sonar

² Synthetic Aperture Radar

³ Inverse Synthetic Aperture Sonar

⁴ Scatterer

ISAS اشاره شده است که از جنبههای مختلفی به بررسی موضوع پرداختهاند[۹–۱۲]. برخی از چالشها و مشکلات کاربردی مشترک برای استفاده از

بر می از پاسی و مستاب از ساختار روزنه مصنوعی معکوس ISAS و ISAR، ناشی از ساختار روزنه مصنوعی معکوس عبارتند از:

- لزوم دانستن سرعت و جهت حرک هدف (دارا بودن رفتار همکارانه) برای تشکیل تصویر
- وابستگی جهت صفحه انعکاس تصویر دوبعدی از هدف سهبعدی به مکان سونار و حرکات هدف و پیچیدگی تفسیر تصویر ایجادی و شناسایی هدف
- نامشخص بودن رزولوشن زاویه ای در تصویر و وابستگی به بردار چرخش نسبی بین سونار و هدف در اهداف با رفتار غیر همکارانه
- لزوم مانوردهنده نبودن هدف برای حذف حرکت انتقالی
 هدف و رسیدن به حرکت چرخشی مطلق برای ایجاد
 تصویر
- امکانپذیر نبودن ایجاد تصویر در برخی از سناریوهای حرکتی مانند حرکت مستقیم الخط هدف به سمت سونار (حرکت در راستای خط دید) به دلیل عدم تغییر زاویه نسبی

در راستای حل مشکلات و چالشهای ذکر شده، راهحلها و روشهای مختلفی برای رادار روزنه مصنوعی معکوس مانند استفاده از خاصیت تداخلسنجی [۱۳]، بکارگیری هندسه دوپایه [۱۴]، سیستمهای چندآنتنه [۱۵-۱۷]و چندورودی-چندخروجی [۱۸-۱۹]ارائه شده است.

در [۲۰]برای اولین بار ساختار سونار روزنه مصنوعی معکوس چندیایه MISAS) با استفاده از منابع مجازی برای تصویرسازی از اهداف متحرک زیر آب پیشنهاد شده است که علاوه بر موارد اشاره شده به مسائل مربوط به کانال آب و نحوه انتشار صوت در زیر آب و تفاوتهای ذاتی ISAR و ISAS نیز پرداخته است. در [۲۱]نیز الگوریتم تصویربرداری مناسب برای MISAS استخراج شده است. از آنجا که در [۲۱و۲۰]شرایط مختلف مربوط به هدف مانند ابعاد و اندازه، عمق قرارگیری و نحوه حركت، شرايط مربوط به عمق و فاصله بين سونارها و همچنین تاثیر پارامترهای مختلف کانال آب مانند عمق کانال، دما، میزان شوری آب و سرعت صوت، میزان نویزهای صوتی، شرایط آب و هوایی و جنس بستر دریا مورد بررسی و تحلیل قرار نگرفته اند، در این مقاله برای اولین بار به بررسی و تحلیل شرایط مختلف تصویرسازی توسط MISAS و عوامل موثر در آن می پردازیم. در ادامه پس از معرفی MISAS و روابط تصویرسازی مربوطه، در بخشهای بعد به ترتیب مشخصات

هدف شامل انواع حرکت، فاصله، عمق و ابعاد هدف، مشخصات سونار شامل عمق قرارگیری، فرکانس و توان سیگنال ارسالی، شرایط کانال آب شامل افت انتشار، افت جذبی، نویز محیط، سرعت صوت، سطح آب و بستر دریا، عمق کانال و تاثیر این موارد بر تصاویر ایجادی مورد بررسی و شبیهسازی قرار خواهد گرفت و در بخش نتیجهگیری، به جمعبندی مطالب پرداخته خواهد شد.

سونار روزنه مصنوعي معكوس چندپايه

به منظور تشریح ساختار و نحوه عملکرد MISAS لازم است به-طور مختصر به نحوه انتشار امواج صوتی در آب پرداخته شود.

انتشار امواج صوتی در آب

انتشار امواج صوت در دریا متاثر از پدیدههای گوناگونی است که باعث پیچیدگی این امر گشته است. سرعت انتشار صوت تابع پارامترهایی مانند تغییرات دما، شوری و عمق آب است. راستای پرتو موج در اثر تغییر سرعت صوت، تغییر میکند و بر اساس قانون اسنل باعث انکسار موج می گردد. در هنگام انتشار یک موج صوتی، به دو دلیل گسترش جبهه موج و پدیده جذب، موج تضعیف می شود که در آب تابع پارامترهایی چون شوری، دما و فرکانس است. با توجه به قانون اسنل در خصوص خمیدگی پرتوها، پرتو امواج صوتی بهطرف ناحیه با سرعت کم-تر خم می شود که به این پدیده انکسار گویند. علاوه بر این امواج پس از برخورد با سطح آب یا کف دریا انعکاس می یابند. برای بروز پدیده انکسار باید در هنگام انتشار، تغییر در سرعت صوت رخ دهد که معمولا در آبهای عمیق اتفاق میافتد. از طرف دیگر پدیده انعکاس معمولا در آبهای کمعمق رخ مىدهد [٢٢]. از لحاظ صوتى به جايى كم عمق گفته مى شود که فاصله انتشار صوت با انعکاس مکرر از سطح و کف حداقل به اندازه چند برابر عمق آب باشد. از لحاظ جغرافیایی، نواحی بندری و نزدیک به ساحل با عمق کمتر از ۱۸۰ متر میتوانند مناطق كمعمق تلقى شوند. در آبهاى كمعمق، كانال صوتى بین سطح آب و کف دریا ایجاد می شود که صوت در بین این دو محدوده به دام می افتد [۲۳].

انتشار موج صوتی در شرایط مختلف با مدلهای انتشار پرتو و انتشار موج قابل توجیه و مدلسازی است. تمامی مدلهای انتشار موج مبتنی بر معادله موج میباشند. این معادله رابطه بین مشتقات مرتبه دوم زمانی و مکانی فشار صوت است. روش-های مدلسازی مبتنی بر تئوری موج یا مدهای نرمال با اعمال شرایط مرزی و میانی دارای پاسخ کامل برای معادله موج هستند ولی با حجم پردازش زیاد، تفسیر پاسخهای آن نیز

⁵ Multi-static Inverse Synthetic Aperture Sonar

مشکل میباشد. مدلسازی مبتنی بر تئوری پرتو دارای حجم محاسبات کمتر بوده و در فرکانسهای بالا پاسخ نسبتا مناسبی میدهد. انتشار امواج صوتی در دریا را در فرکانسهای بالاتر از ۵kHz می توان به صورت پرتو یا خطی فرض کرد [۲۲]. هم چنین با بررسی دو روش انتشار، روش انتشار به صورت پرتو در فواصل كوتاه، براى استفاده بسيار راحتتر است. روش انتشار مدهای نرمال برای فواصل بیشتر مناسب است. فاصله مرزی r جهت سهولت استفاده بین این دو روش انتشار، از رابطه (۱) بدست مي آيد [٢٣].

 $r = \frac{D^2}{\lambda}$

(1)

که در آن D عمق آب و λ طول موج است. مثلا این مقدار برای فرکانس۵kHz و عمق آب ۱۰۰ متر، برابر ۳۳کیلومتر است. با توجه به عمق به کار گیری و فرکانس های معمول در ISAS، فرض استفاده از روش انتشار به صورت پرتو در آبهای کمعمق معقول به نظر مىرسد لذا در اين مقاله از اين روش استفاده خواهيم كرد. در تئوری انتشار بهصورت پرتو، میدان صوتی بهصورت مجموعهای از پرتوهای صوتی نمایش داده می شود و هر یک از آنها از منبع صوت یا تصویر آن نسبت به سطح آب یا کف دریا ساطع میشوند. در شکل (۱) یک منبع صوتی در نقطه 0 و یک گیرنده در نقطه P در یک کانال کم عمق قرار گرفته اند. تصوير الا از منبع نسبت به سطح آب با شدت سيگنال منبع و شیفت فاز ۱۸۰ درجه بهعنوان نمایانگر انعکاس سطح آب اضافه شده است. برای نشان دادن انعکاس بستر دریا زوج تصاویر Ooi و 011 اضافه شده است. مجددا با توجه به قابلیت انعکاس سطح آب، تصاویر منابع O₀1 و O₁1، تصاویر O₁1 و O₂1 اضافه شدهاند. تصاویر این دو منبع جدید نسبت به بستر دریا، تصاویر جدیدی هستند که در شکل (۱) آمده است. این فرایند رفت و برگشتی ایجاد تصاویر از منابع می تواند تا بی نهایت ادامه داشته باشد اما از تصاویر مرتبه بالاتر بهدلیل تضعیف ناشی از انعکاسهای متوالی می توان صرفنظر کرد.



شکل ۱. تصاویر منبع ایجادی در آب کمعمق در انتشار به صورت پرتو [۲۳] با توجه به مطالب فوق و با فرض قرارگیری در شرایط آب کمعمق، اگر فرض کنیم یک ISAS در عمق مناسبی از آب ثابت شده باشد، بهدلیل ایجاد تصاویری از این منبع صوتی (ISAS موردنظر) نسبت به سطح آب و بستر دریا، میتوان تصور کرد که چندین ISAS در آن محدوده قرار دارند و به-عبارت دیگر ISAS چندپایه شکل خواهد گرفت. حال در صورت وجود هدفی متحرک، هر یک از این ISAS ها تصویری از آن هدف ایجاد می کنند که با تلفیق مناسب این تصاویر و با توجه به مبانی سیستمهای چندپایه، تصویری با کیفیتتر از ISAS تک پایه ایجاد خواهد شد. به طور مثال در شکل (۲) فرض شده است که چند ISAS تکپایه در محدوده ای از آبهای کمعمق نصب شدهاند و تصاویر ایجادی از این منابع صوتی نسبت به سطح آب و بستر دریا نشان داده شده است. در این شکل که تصویر صحنه قرارگیری سونارها و هدف بر روی صفحه دوبعدی نشان داده شده است، ISAS چندپایهای ایجاد گردیده است که پوشش زاویهای بیشتری ایجاد نموده است. در واقع این ISAS چندپایه دارای n فرستنده و گیرنده واقعی و ۲n فرستنده مجازی خواهد بود. در شکل (۲) در صورتی که تعداد ISAS های تکپایه افزایش یابد و ISAS چندپایه بهصورت واقعی شکل گیرد، باز هم با استفاده از منابع مجازی شکل گرفته در بالای سطح آب و زیر بستر دریا میتوان به ISAS چندپایه كامل ترى دست يافت كه با افزايش تعداد فرستندهها، منطقه تحت نظر را تحت پوشش زاویهای و مکانی بهتری قرار خواهد داد و چندگانگی مکانی حاصل خواهد شد.



شكل۲. ايده سونار روزنه مصنوعي معكوس چندپايه (MISAS) [۲۰]

روابط تصويرسازي

در این مقاله، روابط تصویرسازی در MISAS با استفاده از الگوریتم پستابش فیلترشده استخراج شده در [۲۱]که نسبت

به روشهای برد- داپلر²و قالببندی قطبی^۷عملکرد بهتری دارد، مرور خواهد شد. در این روش تصویر ایجادی از ISAS اصلی با ارسال سیگنال پالس چیرپ LFM با طول پالس π نرخ چیرپ K و فرکانس حامل fo و با فرض همهجهته بودن فرستنده و گیرنده بهصورت رابطه (۲) است.

$$I_{1}(z) = \frac{1}{N_{p}} \left\{ \sum_{k=1}^{N_{p}} A_{1}(k) e^{i \frac{4\pi f_{min}(z(k))}{c}} \right\}. IFFT_{N_{f}} \{H_{1}(k, z)\}$$
(Y)

که در آن N_P تعداد نمونههای پالسی سونار ، fmin کمترین نمونه فرکانسی از سیگنال دریافتی از سونار، c سرعت انتشار صوت در آب ، z مکان هدف با توجه به شکل (۳)، N_f تعداد نمونههای فرکانسی سونار است و همچنین

$$A_1 = K(4\pi)^2 |z - x_{10}| |z - x_{11}|$$
(7)

$$H_1(j,k) = f_j D_1(j,k) e^{-i\frac{2\pi f_j}{c}(x_{10} + x_{11})}$$
^(†)

و

 $D_1(f) = (4\pi)^2 |x_{10}| |x_{11}| e^{-ik(|x_{10}| + |x_{11}|)}.$

$$\frac{1}{K}rect\left(\frac{f-f_0}{K\tau}\right)\mathcal{F}_{\{q\}}(-2kR\widehat{x_{10}},-2kR\widehat{x_{11}})\tag{(\Delta)}$$

که در آنها ISAS محان ISAS، ۲۱۱ مکان ISAS مجازی-۱۱، (.) rect تابع پنجره مستطیلی، q چگالی پراکندگی ایستا^۸ز هدف و $\mathcal{F}_{(q)}(-2kR\widehat{x_{10}}, -2kR\widehat{x_{11}})$ بدیل فوریه چگالی پراکندگی از هدف در نقاط $-2kR\widehat{x_{10}} - 2kR\widehat{x_{11}} = -2kR\widehat{x_{10}}$ است. همچنین سیگنالهای دریافتی از سونار در نقاط f_i و ϕ_k نمونه-برداری شده اند و داریم:

$$f_j = f_{min} + (j-1)\Delta f \qquad j = 1, 2, \dots, N_f \tag{(\%)}$$

بهصورت مشابه تصویر ایجادی از منابع مجازی را نیز میتوان مشابه رابطه (۲) بهدست آورد. بهعنوان مثال رابطه تصویر ایجادی از منبع مجازی اول (ISAS مجازی-۱۱) بهصورت رابطه (۷) است.

$$I_{2}(z) = \frac{1}{N_{p}} \left(\sum_{k=1}^{N_{p}} A_{2}(k) e^{i \frac{4\pi f_{min}}{c}(z(k))} \right) \cdot IFFT_{N_{f}} \{ H_{2}(k,z) \}$$
(Y)

که در ان
$$A_2 = K(4\pi)^2 |z - x_{10}|^2$$
 (۸)

-

⁶ Range-Doppler⁷ Polar formatting

$$D_2(f) = (4\pi)^2 |x_{10}|^2 e^{-i2k|x_{10}|}.$$

 $H_2(j,k) = f_i D_2(j,k) e^{-i \frac{2\pi f_j}{c} (2x_{10})}$

$$\frac{1}{K}rect\left(\frac{f-f_0}{K\tau}\right)\mathcal{F}_{\{q\}}(-2k\widehat{Rx_{10}}) \tag{1}$$

(٩)

و

در حالت چندپایه میتوان مشابه روابط بهدست آمده، تصویر ایجادی توسط هر یک از SASاهای اصلی یا مجازی را بهدست آورد و سپس با روشی مناسب اقدام به ادغام این تصاویر با هم و تشکیل تصویر نهایی نمود. برای اطلاع از چگونگی استخراج روابط تصویرسازی فوق به [۲۱]مراجعه نمایید.



شکل۳. هندسه قرارگیری دوپایه

بر اساس قضیه معادل سازی دوپایه با تکپایه (MBET) و شکل (۳)، سطح مقطع پراکندگی هدف در حالت دوپایه معادل با سطح مقطع پراکندگی اندازه گیری شده در نیمساز زاویه بین تکپایهها با رابطه (۱۰) است [۲۴].

(۱۱) $\sigma_B(\theta = \beta, f) = \sigma_M(\theta = \frac{\beta}{2}, fsec(\frac{\beta}{2}))$ (۱1) که در آن σ_B سطح مقطع پراکندگی دوپایه، σ_M سطح مقطع پراکندگی دوپایه، σ_M سطح مقطع پراکندگی دوپایه، θ زاویه دوپایه و f فرکندگی تک پایه، θ جهت قرارگیری گیرنده، β زاویه دوپایه و f فرکانس کاری است. با استفاده از این قضیه و با فرض کوچک بودن β می توان تصویر ناشی از ادغام تصاویر ایجادی در حالت دوپایه را به دست آورد. برای حالت چندپایه نیز می توان با استفاده از همین خاصیت، تصویر نهایی را با درنظر گرفتن دو به دو تصاویر به دست آورد.

اگر فرض کنیم ISAS مدنظر مشابه شکل (۴) در کانالی کم عمق با عمق D واقع شده باشد و ساختار انتشار امواج در این کانال به گونهای باشد که سه ISAS مجازی ایجاد شده باشد، تصاویر ناشی از ISAS واقع در مکان (x1(0,zs) و ISAS مجازی-۱۱ واقع در مکان (zs) به ترتیب از روابط (۲) و (۲) به دست می آیند و تصویر معادل دوپایه این دو مشابه شکل (۳) در مکان (x1) است.

$$I_{B1}(z) = \frac{1}{N_p} \left(\sum_{k=1}^{N_p} A_{B1}(k) e^{i \frac{4\pi f_{min}(z(k))}{c}} \right). \ IFFT_{N_f} \{ H_{B1}(k, z) \}$$
(17)

⁸ Stationary Scattering Density

⁹ Monostatic to Bistatic Equivalence Theorem



 $D_{B1}(f) = \frac{1}{K} rect(\frac{1}{K\tau}) \int_{\mathbb{R}^3} q(R^{-x}z) \frac{1}{(4\pi)^2|z-x_{B1}|^2} dz \qquad (10)$ ISAS indextrip is a second strength of the second strength of the

در صورتی که مشابه شکل (۲) علاوه بر ISASI ،ISAS ، ISAS ، و در محدوده دیگری نیز مانند ISAS-3 ،ISAS-3 ،... و ISAS-۱ در محدوده موردنظر قرار داشته باشند، میتوان بههمین روش تصویر هر یک را استخراج نمود و سپس با تلفیق تصاویر، به تصویر کامل-تری از هدف مورد نظر دست یافت.

مشخصات هدف

تصویر ایجادی از هدف متحرک زیر آب وابسته به مشخصاتی از هدف همچون نحوه حرکت هدف، فاصله هدف از سونار، عمق قرارگیری هدف و ابعاد هدف است که در ادامه این موارد بررسی می شود.

حركت هدف

حرکت یک هدف متحرک ممکن است دارای شش درجه آزادی شامل سه حرکت خطی در راستای سه محور و سه حرکت زاویهای حول سه محور مختصات باشد که در ساختار روزنه مصنوعی معکوس تنها حرکات چرخشی ایجاد تصویر مینمایند.

در صورتی که هدف دارای حرکت انتقالی باشد، سرعت و شتاب حرکت را میتوان به دو مولفه در راستای خط دید هدف و عمود بر خط دید هدف تجزیه کرد. مولفه در راستای خط دید، تغییر فرکانس داپلر ایجاد میکند اما مولفه عمود بر راستای خط دید، تغییر در زاویه دید ایجاد خواهد کرد که تاثیر آن مشابه حرکت چرخشی هدف است.

هنگامی که هدف دارای حرکات رول، پیچ و سمت باشد بردار چرخش ترکیبی Ω ، شیفت داپلر یک پراکندهساز مشخص در هدف را تعیین میکند. مطابق شکل (۵) بردار چرخش موثر $\Omega_{\rm eff}$ ، برداری عمود بر i بردار یکه خط دید و واقع در صفحهای است که بردارهای Ω و i در آن قرار دارند. بنابراین صفحه انعکاس هدف به صورت صفحهای تعریف می شود که $\Omega_{\rm eff}$



در فرایند جبرانسازی حرکت استاندارد با انجام اصلاح برد، پراکندهسازها در سلولهای برد و با اصلاح فاز، شیفت فرکانس داپلر به صورت ثابت، حفظ میشوند. در نتیجه پس از انجام جبرانسازی حرکت، تمامی پراکندهسازهای هدف با توجه به شیفت داپلر ثابت، در حال حرکت با سرعت ثابت و با توجه به برد ثابت، مشابه شکل (۶) در راستای دایرهای قرار خواهند گرفت.

اگر هدف دارای حرکت یکنواخت باشد، روش جبرانسازی حرکت استاندارد با استفاده از تبدیل فوریه برای ایجاد تصویر متمرکز شده از هدف کافی است اما در صورتی که هدف دارای حرکات پیچیده باشد، با توجه به جابجایی پراکندهسازها از سلولهای برد و شیفت داپلر متغیر با زمان، روش استاندارد مبتنی بر تبدیل فوریه برای ایجاد تصویر مناسب کافی نخواهد بود و باید از روشهای پیچیدهتر و تبدیلهای زمان – فرکانس استفاده نمود. البته لازم به ذکر است که معمولا اهداف دریایی مدنظر دارای حرکات پیچیده نیستند.



از لحاظ هندسی تصویر ایجاد شده توسط ISAS با تصویر اپتیکی که چشم ناظر میبیند، متفاوت است و نه تنها این تصوير به تصوير اپتيكى هدف شبيه نيست بلكه فرايند ايجاد تصوير نيز كاملا متفاوت است. شكل (٧) تفاوت بين تصوير ایجادی از ISAS و تصویر رویت شده توسط چشم ناظر را در زوایای دید مختلف تشریح میکند. برای داشتن نمایی یکسان از هدف، زاویه دید چشم ناظر باید ۹۰ درجه با زاویه دید سونار اختلاف داشته باشد. در ISAS نمای تصویر توسط صفحه انعکاس تصویر تعیین می گردد و مثلا برای داشتن نمای جانبی از هدف، سونار باید در مقابل هدف (در راستای خط دماغه تا پاشنه کشتی) قرار گیرد و هدف دارای حرکت زاویهای پیچ خالص باشد. همچنین برای داشتن نمای روبرو از هدف، سونار باید در کنار هدف قرار گیرد و هدف دارای حرکت زاویهای رول خالص باشد. برای داشتن نمای از بالای هدف، باید هدف دارای حرکت سمت خالص باشد و سونار می تواند در هر نقطه از صفحهای که هدف در آن قرار دارد، واقع شود. در حالت کلی که هدف دارای حرکات همزمان رول، پیچ و سمت است، تصویر ایجادی پرسپکتیوی از هدف خواهد بود که الزاما به هیچکدام از نماهای جانبی، روبرو یا بالا ارتباطی ندارد.

از آنجا که سونار روزنه مصنوعی معکوس مدنظر در زیر آب ثابت شده است لذا اهداف مدنظر نیز اهداف متحرک زیرآبی همچون انواع زیردریایی میباشد که معمولا دارای حرکات یکنواخت هستند. در ادامه به بررسی برخی از حرکات ساده اهداف پرداخته می شود.



شکل۷. نمای جانبی، روبرو و بالای هدف از دید چشم ناظر و ISAS [۲۶]

-۱ حركت مستقيم الخط

در صورتی که مشابه شکل (۸)، هدف در صفحه عمودی مشتمل بر هدف و سونار به صورت مستقیم حرکت کند، با فرض انجام جبرانسازی در برد، حرکت چرخشی معادل تغییر زاویه pitch است و سونار تصویر جانبی از هدف ایجاد می کند.



شکل۸. حرکت مستقیم الخط هدف در صفحه عمودی شامل سونار و هدف

در صورتی که راستای حرکت مستقیم الخط هدف بر راستای نصب سونار عمود باشد، با فرض انجام جبرانسازی در برد، حرکت چرخشی معادل تغییر زاویه سمت است و سونار تصویری از نمای پایین هدف ایجاد می کند. ۲- تغییر عمق

اگر هدف مشابه شکل (۹) کاهش یا افزایش عمق دهد یعنی به موازات راستای نصب سونار حرکت نماید، پس از انجام جبران-سازی در برد، حرکت چرخشی معادل تغییر زاویه pitch است و سونار تصویر جانبی از هدف ایجاد می کند.



شکل۹. کاهش عمق هدف

۳- دور زدن

در صورتی که هدف مشابه شکل (۱۰) اقدام به دور زدن نماید، با فرض انجام جبرانسازی در برد، حرکت چرخشی معادل تغییر در زاویه سمت است و تصویری از نمای پایین هدف ایجاد می شود.





۴- حرکتهای ترکیبی

سایر انواع حرکات محتمل در اهداف مدنظر همچون زيردرياييها مانند حركت مستقيم الخط همراه با كاهش يا افزایش عمق، دور زدن همراه با تغییر عمق و ...، ترکیبی از حرکات زاویهای خواهند بود و بسته به زوایا، پرسپکتیوی از هدف ايجاد مىنمايد.

فاصله هدف

تاثیر فاصله هدف بر روی تصویر ایجادی از چند منظر قابل بررسی است. با افزایش فاصله هدف، افت مربوط به انتشار امواج صوتی در آب افزایش خواهد یافت. همچنین با افزایش فاصله هدف، میزان تضعیف به دلیل افت جذبی امواج نیز به صورت نمایی افزایش خواهد یافت. میزان تضعیف متاثر از محیط انتشار و فرکانس موج است و در مجموع تاثیر افت جذبی در محدوده فرکانسی کمتر از یک کیلوهرتز ناچیز و در حدود ۱۰ کیلوهرتز تا دهها کیلومتر، در حدود ۱۰۰ کیلوهرتز تا حدود یک کیلومتر و در محدوده مگاهرتز تا کمتر از ۱۰۰متر تاثیر کمی دارد [۲۷].

از منظری دیگر، فاصله هدف تاثیر مستقیمی بر روی زاویه دوپایه تشریح شده در شکل (۳) دارد. هر چه فاصله هدف کمتر باشد، زاویه دویایه ایجادی بین ISAS و ISASهای مجازی بیشتر خواهد شد. از طرفی مطابق با رابطه (۱۱)، این زاویه باید کوچک (کمتر از ۱۰ درجه) باشد در غیر این صورت باعث اعوجاج در تصویر ایجادی خواهد شد. در نتیجه با توجه به شکل (۴) برای داشتن تصویری بدون اعوجاج حاصل از ISAS و ISAS مجازى-١١ بايد داشته باشيم:

 $\beta_1 = tg^{-1}\left(\frac{z_s - z_t}{r}\right) + tg^{-1}\left(\frac{z_s + z_t}{r}\right) < 10^{\circ}$ (19) که در آن برای عمق هدف از zt استفاده شده است. رابطه فوق را می توان پس از ساده سازی به صورت زیر نوشت:

از آنجا که سونار و هدف در محدوده آبهای کمعمق فرض شدهاند لذا:

$$0 < z_s, z_t < 180 m \tag{1}$$

با سادهسازی رابطه (۱۷) خواهیم داشت:

$$\frac{2rz_s}{r^2 - z_s^2 + z_t^2} < 0.1763 \tag{19}$$

با توجه به رابطه (۱۸) و تعیین علامت رابطه (۱۹) با توجه به وضعیت ریشههای رابطه درجه دوم آن، شروط فاصله افقی هدف به صورت زیر خواهد بود:

$$r > 0.5\left(\frac{2z_s}{0.1763} + \sqrt{\left(\frac{2z_s}{0.1763}\right)^2 - 4(z_t^2 - z_s^2)}$$
 (Y ·)

حال می توان با تعمیم روابط فوق، شروط بیشتری را نیز برای فاصله هدف در نظر گرفت. مثلا برای داشتن تصویری بدون اعواجاج ناشی از ISAS مجازی-۱۲ نیز می توان نوشت:

$$\beta_2 = tg^{-1} \left(\frac{2D - z_s - z_t}{r}\right) - tg^{-1} \left(\frac{z_s - z_t}{r}\right) < 10^{\circ} \tag{YY}$$

ورت زير خواهيم داشت:

$$r = 0.5\left(\frac{2(D-z_s)}{0.1763}\right) + \sqrt{\left(\frac{2(D-z_s)}{0.1763}\right)^2 - 4(z_t^2 - z_s^2 + 2D(z_s - z_t))}$$
(YY)

عمق هدف

و

در روابط تصویرسازی برای عمق هدف محدودیت خاصی وجود ندارد و هدف میتواند در هر عمقی در کانال قرار گیرد و در تمامی حالات، تصویری از آن ایجاد خواهد شد. البته در شبیه-سازیها نشان داده شده است که بسته به عمق قرارگیری هدف، اندازه لوب مرکزی و میزان لوبهای جانبی در تصویر ایجادی از نقاط هدف متفاوت خواهد بود.

العاد هدف

ابعاد هدف ارتباط تنگاتنگی با ابعاد تصویر ایجادی دارد و باید به گونهای باشد که در محدوده تصویر قرار گیرد. اگر ابعاد هدف در p_y و رزولوشن تصویر ایجادی ρ_x و ρ_y باشد، برای L_x قرارگیری در محدوده سلولهای تصویر باید داشته باشیم [۲۸]:

$$L_x \Omega \le \rho_y \ \mathfrak{s} \ L_y \Omega \le \rho_x \tag{(Yf)}$$

$$L_x \le \frac{2\rho_x \rho_y \cos\frac{\beta}{2}}{\lambda} \tag{10}$$

$$L_{y} \leq \frac{2\rho_{x}^{2}\cos\frac{p}{2}}{\lambda}$$
(YF)

مشخصات سونار

9

تصویرسازی از هدف متحرک توسط سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه به مشخصاتی از سونار همچون عمق قرارگیری سونار، فرکانس و توان سیگنال ارسالی بستگی دارد که در ادامه به بررسی آنها پرداخته میشود.

عمق قرارگیری سونار

در روابط تصویرسازی محدودیتی برای عمق سونار وجود ندارد و فقط باید عمق ثابت و معلوم باشد اما با توجه به شبیهسازی-های صورت گرفته در شرایط یکسان، عمق قرارگیری سونار در اندازه لوب مرکزی و میزان لوبهای جانبی نقاط تصویر و در نتیجه کیفیت تصویر ایجادی موثر خواهد بود. این تاثیر در زمینه برد و سمت نقاط تصویر متفاوت است.

فركانس سيكنال ارسالي

فرکانس سیگنال چیرپ ارسالی از رابطه زیر حاصل خواهد شد[۲۶]:

$$f_c = \frac{c}{2\rho_v \Omega} \tag{(YV)}$$

در نتیجه انتخاب فرکانس ارسالی در یک کانال آبی مشخص بستگی به رزولوشن مدنظر و حرکات هدف دارد. در شرایط یکسان کانال آب و فرکانس کاری ثابت، هر چه چرخش هدف بیشتر باشد، رزولوشن تصویر ایجادی بهتر خواهد شد..

توان سیگنال ارسالی

میزان توان سیگنال ارسالی با توجه به روابط سونار در حالت فعال، به میزان افتهای موجود در مسیر و قدرت هدف^{۱۰} بستگی دارد. قدرت هدف معیاری از میزان انعکاس جسم در برابر موج صفحهای است و معمولا به صورت نسبت شدت صوت منعکس شده (۱۰) به شدت صوت تابیده شده (۱۰) نمایش داده میشود [۲۹].

$$TS = 10 \log_{10} \frac{l_r}{I_i} \tag{YA}$$

شدت سیگنالهای تابیده و منعکس شده با زمان تغییر می کند و روشهای متفاوتی برای اندازه گیری آنها وجود دارد که یکی از آنها انتگرال گیری از این مقادیر در طول مدت پالس ارسالی و اکوی بازگشتی است. البته معمولا قدرت هدف به صورت مستقیم اندازه گیری نمی شود بلکه با فراهم نمودن شرایط اندازه گیری و در سناریویی مشخص، به صورت غیرمستقیم از روابط سونار فعال به دست میآید. قدرت هدف به عواملی مهچون زاویه دید، فرکانس، فاصله هدف و طول پالس ارسالی بستگی دارد [۳۳]. در شکل (۱۱) تغییرات قدرت هدف داده زوایای دید مختلف برای یک زیردریایی مشخص نشان داده شده است.



شکل ۱۱. تغییرات قدرت هدف یک زیردریایی با زاویه دید [۲۳]

با فرض معلوم بودن قدرت هدف، تخمین افتهای موجود در مسیر رفت (TL1) و برگشت (TL2) سیگنال و توان سیگنال دریافتی (RL)، میتوان مقدار توان سیگنال ارسالی را با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

$$SL = RL - TS + TL_1 + TL_2 \tag{Y9}$$

بهطور کلی با مشخص بودن هدف موردنظر و داشتن تخمینی از شرایط کانال و قدرت هدف، حداقل توان سیگنال ارسالی موردنیاز قابل محاسبه است.

شرایط کانال آب

تصویرسازی از هدف متحرک توسط سونار موردنظر در زیر آب وابسته به شرایط کانال آب است. در ادامه مهمترین پارامترهای موثر بر تصویرسازی مربوط به کانال آب بررسی میشود.

افت انتشار

بههنگام انتشار امواج آکوستیکی در آب یکے از مهمترین پدیدههای موثر، افت ناشی از انتشار هندسی امواج در آب است. این افت در آبهای عمیق به صورت کروی و در آبهای کم عمق بهصورت استوانهای است. در افت کروی، تضعیف سیگنال متناسب با عكس مجذور فاصله از منبع صوت و در افت استوانهای متناسب با عکس فاصله به صورت رابطه (۳۰) خواهد بود [٢٢].

(۳۰)

که در آن r فاصله از منبع صوت و m در افت کروی برابر ۲ و در افت استوانهای برابر ۱ است.

افت جذبي

در هنگام انتشار امواج در آب، بخشی از انرژی صوت جـذب آب می شود که به فرکانس موج و مشخصات محیط انتشار مانند چسبندگی آب خالص، مقدار سولفات منیزیم و اسید بوریک موجود در آب، بستگی دارد. برای محاسبه این افت می توان از مدل کامل و دقیق فرانسوا-گریسون استفاده کرد که مشتمل بر سه جمله است که هر یک میزان تاثیر اسید بوریک، سولفات منیزیم و آب خالص را نشان میدهد:

 $\alpha = A_1 P_1 \frac{f_1 f}{f_1^2 + f^2} + A_2 P_2 \frac{f_2 f}{f_2^2 + f^2} + A_3 P_3 f^2$ (٣١)

که در آن α میزان تضعیف بر حسب dB/Km که در آن α حسب kHz است. سایر ضرایب عباراتی است که به عمق، میزان شوری و دمای آب بستگی دارد و جزئیات آن در [۲۷] آمده است. در این مقاله برای سادگی در محاسبات از مدل تورپ که در فرکانسهای کمتر از ۵۰kHz قابل قبول است، استفاده شده است [۲۷].

نويز محيط

در سیستمهای آکوستیکی زیر آب، علاوه بر افتهای ذکر شده باید نویز نیز در محاسبات در نظر گرفته شود. منابع نویز ممکن است موارد مختلفی همچون جریانهای آبی، جانداران زیر آب، امواج، کشتیهای عبوری، باد، باران و نویزهای ایجادی توسط انسان باشد. این نویزها را میتوان به دو دسته نویزهای محیطی و نویزهای وابسته به مکان دستهبندی کرد. نویزهای محیطی برخلاف نویزهای وابسته به مکان همواره وجود دارند و دارای طيف پيوسته و گاوسي (غير سفيد و وابسته به فركانس) هستند. نویزهای وابسته به مکان اغلب دارای مولفههای

¹ Francois-Garrison

غیرگاوسی هستند و ماهیتشان بستگی به منبع مولد آنها دارد. اصلى ترين عوامل تشكيل دهنده نويز محيطى، باد، نويز حرارتى، جریانهای آبی و کشتیهای مروری هستند که روابط مربوط به محاسبات آنها در [۲۲]آمده است.

سرعت صوت

 $L_{\rm s} = r^m$

سرعت انتشار امواج آکوستیک به مشخصههای محیط انتشار از جمله چگالی و قابلیت فشردهسازی بستگی دارد. سرعت انتشار صوت در محیط دریا تقریبا برابر ۱۵۰۰ متر بر ثانیه (معمولا ب_ین ۱۴۵۰ ت_ا ۱۵۵۰مت_ر ب_ر ثانی_ه و وابس_ته ب_ه فش_ار هیدرواستاتیک یا عمق، میزان شوری و دمای آب) است. روابط تقریبی و تجربی متعددی برای محاسبه سرعت صوت در زیر آب موجود است و در این مقاله از رابطه نسبتا ساده و دقیق لروی ۳ که در سال ۲۰۰۸ ارائه شده، استفاده شده است [۲۷].

سطح آب و بستر دریا

سطح آب و بستر دریا می توانند هم بهعنوان منعکس کننده و هم بهعنوان پراکنده کننده امواج صوتی عمل نمایند. میزان انعکاس یا پراکنش سطح آب به ارتفاع موج، فرکانس صوت و زاویه برخورد موج با سطح بستگی دارد ولی بهطور کلی و در شرایط مشابه، هر چه سطح آب صافتر باشد میزان انعکاس بیشتر و میزان پراکنش کمتر خواهد بود. بستر دریا نیز تاثیری مشابه سطح آب دارد اما در خصوص بستر دریا بهدلیل وجود تنوع و تعدد در لایهها، پیچیدگی بیشتر است. به طور کلی و در شرایط مشابه، هر چه بستر دریا صافتر و سختتر باشد، میزان انعکاس بیشتر خواهد بود. با در نظر گرفتن زوایای انتشار صوت و شرایط سطح آب از جمله ارتفاع موج و همچنین جنس بستر دریا، میزان افت ناشی از جذب و پراکنش صوت نیز قابل محاسبه است [٢٣].

عمق كانال

با توجه به اینکه ایده MISAS در آبهای کمعمق تحقق می-یابد، عمق کانال حداکثر در حدود ۱۸۰ متر باید باشد. در روابط تصویرسازی، عمق کانال در تصویر ناشی از ISAS تاثیری نـدارد اما در تصویر ایجادی از ISASهای مجازی و در نتیجه تصویر تلفيقي نهايي موثر است.

¹ Leroy



¹ Thorp

شبيهسازى

بهمنظور ارزیابی و مقایسه شرایط مختلف مطرح شده و تاثیر آنها بر تصاویر ایجادی از شبیهسازی کمک گرفته خواهد شد. بدین منظور در شبیهسازیها فرض می شود یک ISAS در کانالی کمعمق قرار گرفته است و با ارسال سیگنال صوتی و دریافت و پردازش سیگنالهای بازگشتی از هدف با استفاده از ساختار MISAS و الگوریتم تصویربرداری پستابش فیلتر شده و تلفیق تصاویر بهدست آمده با استفاده از روش تصویربرداری تشریح شده، تصویری از هدف موردنظر ایجاد خواهد کرد.

همچنین فرض می شود که با توجه به ماهیت اهداف نوعی زیر آبی، حرکت هدف خطی است و مانوردهنده نیست لذا با فرض انجام پیش پردازش های لازم به منظور جبران سازی حرکت چرخشی مطلق می باشد. در شبیه سازی ها بسته به مورد، هدف به صورت تک نقطه ای و یا به صورت یک زیردریایی به شکل (۱۲) درنظر گرفته شده است.



شکل ۱۲. نماهای مختلف از مدل در نظر گرفته شده برای زیردریایی هدف

جدول ۱. پارامترهای شبیهسازی

مقدار	پارامتر
LFM	نوع سيگنال ارسالي
٨/١	فركانس حامل (كيلو هرتز)
۰/۷۵	پهناي باند (کيلو هرتز)
۰/۴	نرخ تکرار پالس (ثانیه)
۰/۰۰۱	طول پالس (ثانيه)
۱۵	دماي آب (سانتي گراد)
٣٠	، شوري آب (p.s.u.)
۶۰	عمق کانال (متر)
۲۵	عرض جغرافيايي (درجه)
۵۰	عمق ISAS (متر)
۲۵	عمق هدف (متر)

¹ Practical Salinity Units

در تمامی شبیهسازیها شرایط کانال مانند افتهای انتشار و جذبی در نظر گرفته شده و از نویز محیط بهدلیل وابستگی به شرایط مکانی و زمانی صرفنظر شده است. همچنین سطح دریا آرام و بستر دریا سخت و صاف در نظر گرفته شده و از افتهای ناشی از جذب و پراکنش بستر دریا چشم پوشی شده است. هم-چنین در شبیهسازیها با ثابت فرض کردن دما و شوری آب، تغییرات دمایی در محدوده سطح و کف آب و همچنین تغییرات احتمالی در میزان شوری آب درنظر گرفته نشده است. برای محاسبه سرعت صوت با در نظر گرفتن عمق ISAS، دما، شوری آب و عرض جغرافیایی، سرعت صوت بر اساس فرمول لروی محاسبه (تقریبا برابر ۱۵۰۰ متر بر ثانیه) و در شبیه-سازىها استفاده مىشود. پارامترهاى ثابت درشبيهسازىها مطابق با جدول (۱) در نظر گرفته شده است. در بعضی از شبیهسازیها برخی از این پارامترها متغیر است. در ادامه تاثیر تغییرات برخی از پارامترهای موثر در تصویرسازی با استفاده از شبیه سازی بررسی خواهد شد. برای ایجاد شبیه سازی با استفاده از نرمافزار Matlab، روابط تصویرسازی تشریح شده در بخشهای قبل با درنظر گرفتن پارامترها و مفروضات شبیه-سازی بیان شده در حالات و سناریوهای مختلف، کدنویسی شده است و تصاویر ایجادی در ادامه خواهد آمد.

تصویرسازی از نماهای مختلف هدف

به منظور بررسی تاثیر نوع حرکت هدف بر تصویر ایجادی از هدف، تصویرسازی از هدف زیردریایی در سه سناریو که هدف دارای حرکت مستقیم الخط به موازات سطح آب، حرکت عمودی یا کاهش در عمق و دور زدن هدف بود، شبیهسازی شده است. در سناریو اول مشابه شکل (۸)، هدف از فاصله افقی شده است. در سناریو اول مشابه شکل (۸)، هدف از فاصله افقی متر حرکت می کند که با انجام جبرانسازی در برد معادل متر حرکت می کند که با انجام جبرانسازی در برد معادل ایجاد می شود، در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شكل ١٣. تصوير ايجادي ناشي از حركت مستقيم الخط هدف

در سناریو دوم مشابه شکل (۹)، هدف که در فاصله افقی ۶۰۰ متری قرار دارد از عمق ۵ متری به عمق ۴۵ متری میرود که با انجام جبرانسازی در برد معادل ۳٬۸۱ درجه تغییر زاویه است. تصویر که باز هم از نمای جانبی هدف ایجاد میشود، در شکل





در سناریو سوم مشابه شکل (۱۰)، هدف که در فاصله ۶۰۰ متری قرار دارد با دور زدن به اندازه ۱۰ درجه تغییر زاویه سمت میدهد. تصویری که از نمای بالا از هدف ایجاد می شود، در شکل (۱۵) نشان داده می شود.



تاثير فاصله هدف

همانگونه که قبلا بررسی شد، برای داشتن تصویری بدون اعوجاج لازم است برای فاصله هدف شروط مندرج در روابط (۲۰)، (۲۱) و (۲۳) برآورده گردد. با توجه به پارامترهای جدول (۱) طبق روابط مذکور باید فاصله هدف به ترتیب بیشتر از فاقی هدف بیشتر از ۲۴۵٫۳ متر باشد در نتیجه باید فاصله افقی هدف بیشتر از ۵٬۰۷۵ متر باشد تا تصویر ایجادی دچار اعوجاج نشود. برای بررسی صحت موضوع تصویر ایجادی از هدف در فواصل ۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ متر شبیه سازی شده و نتایج آن در شکل (۱۶) آمده است.



شکل ۱۶. تصویر ایجادی از هدف در فواصل ۵۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ متری (به ترتیب از بالا به پایین)

همان گونه که مشهود است با تخطی هر چه بیشتر از شرط عدم اعوجاج بهدست آمده، اعوجاج تصویر بیشتر شده است.

تاثير عمق هدف

برای بررسی تاثیر عمق هدف بر تصویر ایجادی، هدف تکنقطه-ای در فاصله ۶۰۰ متری فرض میشود. با تغییر عمق هدف از صفر تا ۶۰ متر، شبیهسازی تکرار و نتایج مربوطه در جدول (۲) درج شده است. همان گونه که از نتایج مشخص است در حوزه برد با افزایش عمق هدف، وضعیت لوبهای جانبی با توجه به معیارهای نسبت مجموع لوبهای جانبی((ISLR) و نسبت قله لوب اصلی به لوب جانبی((PSLR)) بهتر میشود اما وضعیت لوب اصلی به لوب جانبی((IRW) بهتر میشود اما وضعیت می در حوزه سمت با افزایش عمق تا حدود ۱۰ متر (معادل با فاصله سونار تا کف) وضعیت لوب اصلی جانبی بهبود می یابد اما با افزایش عمق بیشتر، این وضعیت رو به افول می-نهد. البته با افزایش عمق وضعیت لوب اصلی در سمت بهتر میشود.

ISLR ISLR عمق IRW PSLR PSLR IRW 610 بر د بر د برد (نمونه) (نمونه) (dB) (dB) (dB) (dB) (متر) -77.74 11.88 17.07 -17.94 -11.90 • -14.49 11.88 ۱۳.۰۵ -17.74 -71.77 -77.7 • ۵ 11.74 17.14 -10.09 -17.01 -۳۱.۷۱ -77.94 ۱. ۸ ۰.۴۱ – -18.78 -71.74 -73.03 11.77 18.49 ۲۵ 11.87 ۱۳.۷۲ -10.98 ۱۸.۳۱ – -۲۵.۵۱ -79.78 ۴۵ -77.04 -77.01 11.07 ۱۳.۷۷ -1.... -18.9. ۵۰ 11.0. ۱۳۸۱ -9.41 -18.91 -7.74 -77.71 ۵۵ ۱۱.۰۸ ۱۳.۸۷ -٨.٩٢ ۸۸.۳۳– -17.17 -77.77 ۶.

جدول۲. تاثیر تغییر عمق هدف در معیارهای کیفیت تصویر هدف تکنقطهای

تاثير عمق سونار

برای بررسی تاثیر عمق سونار بر تصویر ایجادی، هدف تک-نقطهای در عمق ۲۵ متری و فاصله ۶۰۰ متری فرض می شود. با تغییر عمق سونار از صفر تا ۶۰ متر، شبیه سازی تکرار و نتایج مربوطه در جدول (۳) درج شده است.

هدف تکنقطهای	تصوير	كيفيت	معيارهاي	در	سونار	عمق	تغيير	تاثير	ل۳.	عدوا
--------------	-------	-------	----------	----	-------	-----	-------	-------	-----	------

IRW سمت (نمونه)	IRW برد (نمونه)	PSLR سمت (dB)	PSLR برد (dB)	ISLR سمت (dB)	ISLR برد (dB)	عمق سونار (متر)
11.01	17.90	-9.77	-18.00	-18.44	۰۸.۰۳-	•
11.07	17.90	۵۲.۰۱-	-17.44	-19.69	۰ ۷. • ۳-	۵
۱۱.۵۷	17.94	-11.18	-18.20	-77.49	-7•.41	۱٠
۱۱.۶۸	۱۲.۹۵	-13.12	-17.81	-77.47	-79.87	۲٠
17.04	18.17	-13.92	-14.•8	- 29.20	-78.97	۲۵
17.07	18.66	-14.90	-18.38	-۳۳.• ۹	-79.98	۳۰
11.YY	۱۲.۵۳	-14.•1	-13.73	-71.74	-22.02	۵۰
1.54	14.09	۸۴.۰۱	-11.44	۹۸.۷۲–	-77.49	۶.

با توجه به نتایج جدول (۳) در حوزه برد با افزایش عمق سونار، وضعیت لوبهای جانبی بدتر شده است و وضعیت لوب اصلی تا محدوده ۲۵ متر (عمق هدف) بدتر و پس از آن کمی بهتر شده است. در حوزه سمت با افزایش عمق سونار، وضعیت لوبهای جانبی خصوصا بعد از ۲۵ متر بهتر شده اما لوب اصلی تا ۲۵ متر بدتر و پس از آن کمی بهتر شده است.

نتيجه گيري

در این مقاله پس از مرور ایده شکل گیری سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه و الگوریتم تصویرسازی پیشنهادی برای آن، عوامل موثر بر تصویر ایجادی از هدف متحرک زیر آب بررسی شد. تاثیر مشخصات هدف، مشخصات سونار و شرایط کانال آب بر تصویرسازی سونار از هدف تحلیل شد که اهم نتایج در ادامه آمده است:

نحوه حرکت هدف علاوه بر این که بر تصویر ایجادی از نمای مشخصی از هدف تاثیر دارد، میزان چرخش زاویهای هدف را نیز تعیین می کند که عامل موثر در تعیین رزولوشن سمت در تصویر است. حداکثر فاصله هدف از سونار به فرکانس کاری سونار وابسته است و حداقل فاصله هدف نیز برای داشتن تصویری بدون اعوجاج به عمق سونار، هدف و کانال وابسته است که رابطه آن استخراج شد. عمق قرار گیری هدف در کیفیت تصویر موثر است اما در حوزه سمت و برد تصویر تاثیرات متفاوتی ایجاد می کند و این تاثیر به عمق سونار نیز وابسته است. ابعاد هدف نیز ارتباط تنگاتنگی با ابعاد و رزولوشن تصویر ایجادی دارد لذا برای ایجاد تصویری از هدف با ابعاد و دینامیک حرکتی مشخص، باید فرکانس سونار برای این منظور تنظیم شود.

عمق قرارگیری سونار نیز در کیفیت حوزه سمت و برد تصویر ایجادی به شکلی متفاوت تاثیر دارد و تاثیر آن با توجه به عمق

¹ Integrated Side Lobe Ratio

¹ Peak Side Lobe Ratio

¹ Impulse Response Width

- [6] G. Qian, H. Liang, Z. S. Li, Y. Q. Liu and Y. L. Li, "An improved range-instant Doppler imaging algorithm in inverse synthetic aperture sonar," Torpedo Technology, Vol. 11, No. 2, pp. 14-15, 2003.
- [7] G. J. Xu, G. L. Cheng and M. M. Zhang, "Point target imaging of inverse synthetic aperture sonar," Shipboard Electronic Countermeasure, Vol. 31, No. 3, pp. 64-65, 2008.
- [8] H. Xinyi, "The research on the application of inverse synthetic aperture imaging technology on acoustic homing torpedo," Ship Science and Technology Journal, Vol. 30, No. 1, pp. 96-100, 2008.
- [9] J. Xu, X. Jiang and J. Tang, "A new rangeinstantaneous Doppler imaging method in Inverse Synthetic Aperture Sonar based on time-frequency analysis," ActaAcustica, Vol. 26, No. 6, pp. 551-556, 2001.
- [10] D. Liu and et al., "A new mode of targetmotion-induced sonar imaging and processing," 9th International Conference on Signal Processing (ICSP 2008), pp. 2567-2570, IEEE, 2008.
- [11] M. Zhang and et al., "On 2D-Imaging Algorithm for Underwater Target in Near-Field," Congress on Image and Signal Processing (CISP'08), Vol. 3, pp. 791-795, IEEE, 2008.
- [12] H. Parmeswaran and et al., "Cross-range imaging of a cooperative source using passive inverse synthetic aperture technique," IEEE International Underwater Technology Symposium (UT), pp. 1-7, IEEE, 2013.
- [13] T. G. Kostis, Interferometric inverse synthetic aperture radar, Master of Science thesis, Department of Electrical & Electronic Engineering in University College London, 2001.
- [14] Zh. Zhu, Y. Zhang and Z. Tang, "Bistatic inverse synthetic aperture radar imaging," International Radar Conference, pp. 354-358, IEEE, 2005.
- [15] M. Soumekh, Synthetic aperture radar signal processing with MATLAB algorithms, New York, Wily Interscience Publication, 1999.
- [16] G. Wang, X. G. Xia and V. C. Chen, "Threedimensional ISAR imaging of maneuvering targets using three receivers," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 10, No. 3, pp. 436-447, 2001.

قرارگیری هدف تغییر میکند. فرکانس سیگنال چیرپ ارسالی سونار باید با توجه به فاصله هدف، ابعاد هدف، میزان چرخش زاویهای هدف و رزولوشن تصویر موردنظر تعیین شود. توان سیگنال ارسالی نیز باید با توجه شرایط کانال و تضعیفهای موجود در آن و همچنین قدرت هدف موردنظر تعیین گردد.

تضعیفهای موجود در کانال آب مانند افت انتشار، افت جذبی و نویز محیط باید محاسبه گردد و در تعیین توان سیگنال ارسالی به کار گرفته شود. همچنین سرعت صوت با توجه به شرایط کانال باید تعیین شود و در روابط تصویرسازی استفاده شود. هر چه سطح آب صاف تر باشد، تصویر ایجادی بهتر خواهد بود. همچنین هر چه بستر دریا صاف تر و سخت تر باشد، تصویر بهتر خواهد شد. عمق کانال نیز باید باید در محدوده آبهای کم-عمق باشد تا تصویرسازی با این سونار امکان پذیر گردد.

شبیه سازی های صورت گرفته از نحوه ایجاد تصویر توسط سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه از یک زیردریایی مدل در شرایط مختلف هدف و با درنظر گرفتن پارامترهای کانال آب در شرایط نزدیک به واقعیت، صحت تحلیلهای صورت گرفته را تایید نمود. با تحلیلهای صورت گرفته برای اولین بار در این مقاله، عوامل موثر بر تصویر سازی از اهداف متحرک زیر آب و محدودیت های ایده سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه بررسی گردید و نتایج عملکرد آن در سناریوهای مختلف شبیه-سازی شد.

مراجع

- R. E. Hansen, "Introduction to Synthetic Aperture Sonar Systems," Edited by Prof. Nikolai Kolev, InTech, September 2011.
- [2] C. Ozdemir, "Inverse synthetic aperture radar imaging with MATLAB Algorithms," Vol. 210, John Wiley & Sons, 2012.
- [3] W. K. Blake, T. D. Le and J. R. Peoples, "Target interpretation using inverse synthetic aperture sonar techniques," The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 90, No. 4, pp. 2341-2341, 1991.
- [4] J. Xu, X. Z. Jiang, Y. Zhu and B. C. Yuan, "Research of inverse synthetic aperture sonar based on convolution back projection algorithm," ActaAcustica, Vol. 26, No. 5, pp. 400-404, 2001.
- [5] J. Xu, X. Jiang and J. Tang, "Rangeinstantaneous Doppler imaging of inverse synthetic aperture sonar," Journal of Technical Acoustics, Vol. 22, No. 1, pp. 48-51, 2003.

- [23] R. J. Urick, Principles of underwater sound, 3d edition, McGraw-HiII, 1983.
- [24] R. E. Kell, "On the derivation of bistatic RCS from monostatic measurements," Proceedings of the IEEE, Vol. 53, No. 8, pp. 983-988, 1965.
- [25] M. J. Dargahi, A. D. Aref, A. Khademzade, "Simulation and performance Analysis of a Novel Model for Short Range Underwater Acoustic communication Channel Using Ray Tracing Method in Turbulent Shallow Water Regions of the Persian Gulf," International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), Vol. 8, No.1, p. 329, 2011.
- [26] V. C. Chen, M. Martorella, Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging Principles, Algorithms and Applications, First Edition, Scitech, 2014.
- [27] X. Lurton, An introduction to underwater acoustics: principles and applications, 2nd edition, Springer, 2010.
- [28] Z. Zhu, Y. Zhang, Z. Tang, "Bistatic Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging," 2005 IEEE International Radar Conference, pp. 354-358, IEEE, 2005.
- [29] A. Ghiotto, G. Cook, "Mobile Submarine Target Strength Measurement," Preceeding of Acoustic 2005, pp. 451-457, 2005.

- [17] Ch. Ma and et al., "Three-dimensional ISAR imaging based on antenna array," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 2, pp. 504-515, 2008.
- [18] X. Xiaochun and Zh. Yunhua, "3D ISAR imaging based on MIMO radar array," 2nd Asian-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR 2009), pp. 1018-1021, IEEE, 2009.
- [19] Y. Zhu, Y. Su and W. Yu, "An ISAR imaging method based on MIMO technique," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 48, No. 8, pp. 3290-3299, 2010.
- [20] J. Taghizadeh, S. A. Seyedin, "Underwater moving target imaging using Multistatic Inverse Synthetic Aperture Sonar (MISAS) with virtual resources," Journal of Radar, Vol. 2, No. 4, pp. 51-62, 2015.
- [21] J. Taghizadeh, S. A. Seyedin, "Filtered Back Projection Imaging in Multistatic Inverse Synthetic Aperture Sonar," Tabriz Journal of Electrical Engineering, Vol. 46, No.1, pp. 41-52, 2016.
- [22] E. An, Underwater Channel Modeling for Sonar Applications, MSc thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2011.

www.SID.ir