

تصویرسازی از هدف متحرک زیر آب با استفاده از سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه با منابع مجازی

جواد تقی‌زاده^۱، سید علیرضا سیدین^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری ۲- دانشیار گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت: ۱۹/۰۴/۹۳، پذیرش: ۱۲/۱۱/۹۳)

چکیده

تصویربرداری از اهداف زیر آب با استفاده از امواج صوتی، مشابه روش به‌کار رفته در رادار روزنه مصنوعی، امکان‌پذیر است و در سال‌های اخیر در پژوهش‌های متعددی به موضوع سونار روزنه مصنوعی پرداخته شده‌است. در مواردی که نیاز به تصویربرداری از اهداف زیر آبی متحرک باشد، ایده سونار روزنه مصنوعی معکوس با الهام گرفتن از رادار روزنه مصنوعی معکوس قابل به‌کارگیری است اما باید شرایط و محدودیت‌های کانال زیر آب، مدنظر قرار گیرد. در این مقاله ضمن بررسی سونار روزنه مصنوعی معکوس تک‌پایه و چالش‌های به‌کارگیری آن، سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه‌ای پیشنهاد خواهد شد که با شرایط و هندسه خاص قرارگیری و با استفاده از منابع مجازی ایجاد شده به دلیل نحوه انتشار امواج در آبهای کم عمق، تصاویر باکیفیت تری از اهداف متحرک زیر آب نسبت به حالت تک‌پایه ایجاد خواهد کرد. کیفیت بهتر تصاویر به دلیل دستیابی به چندگانگی مکانی ناشی از چندپایه کردن مجازی سونارهاست که با استفاده از خاصیت آب‌های کم عمق و چندمسیرگی موجود در آن و با استفاده از تنها یک فرستنده واقعی ایجاد گشته است.

واژگان کلیدی

سونار روزنه مصنوعی معکوس، سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه، الگوریتم تصویرسازی پس تابش

۱. مقدمه

آب دارای حداقل یکی از مشکلات محدودیت در فاصله و میدان دید، کنتراست پایین، نورپردازی غیر یکنواخت، کدری، ضعف درخشندگی، نقصان رنگ (و ظهور رنگ آبی) و نویز خواهد بود [۱]. در هنگام انتشار امواج الکترومغناطیس در محیط زیر آب و به‌دلیل اندرکنش با ملکول‌های آب و سایر ذرات محلول در آب، فاصله انتشار و تشعشع در محیط زیر آب به میزان قابل توجهی نسبت به محیط هوا کاهش می‌یابد [۲] لذا استفاده از تجهیزاتی همچون رادار نیز برای تصویربرداری زیر آب مناسب نمی‌باشد.

سونار روزنه مصنوعی (SAS) که از رادار روزنه مصنوعی (SAR) الهام گرفته است، از چندین پالس برای ایجاد یک آرایه (دهانه) مصنوعی بزرگ استفاده می‌کند.

این قابلیت باعث شده است که این روش تصویربرداری به تکنیکی مناسب برای تصویربرداری از بستر دریا و اشیاء زیر آب

به‌دست آوردن قابلیت دید رضایت‌بخش از اجسام زیر آب به دلیل خواص جذبی و پراکنش آب دریا همواره مشکلی تاریخی بوده و کاهش دادن اثرات ناشی از این خواص برای سالیان متمادی، موضوع مورد توجه جوامع تصویربرداری از زیر آب بوده است. مشخصه اصلی تصاویر زیر آب، ضعف در قابلیت دید است زیرا نور در هنگام عبور از آب به صورت نمایی تضعیف می‌شود و تصاویر ایجاد شده دارای کنتراست پایین و به صورت تیره و تاریک خواهند بود. تضعیف نور، میدان دید را در آب‌های شفاف به حدود بیست متر و در آب‌های کدر به حدود پنج متر محدود می‌کند. پدیده تضعیف نور به‌دلیل خاصیت جذب (که باعث از بین رفتن انرژی نور می‌شود) و پراکنش (که باعث تغییر مسیر جهت نور می‌شود) ایجاد می‌گردد. تصاویر زیر

باید به نحو مناسبی جبران‌سازی گردد. به طور کلی روش‌های جبران‌سازی حرکت به دو دسته تکنیک‌های پارامتری ذکر شده و غیرپارامتری دسته‌بندی می‌شوند. در تکنیک‌های پارامتری مانند تکنیک مبتنی بر کنتراست تصویر (ICBT)^۷ و تکنیک مبتنی بر آنترپی (EBT)^۸ از مدل سیگنال استفاده می‌گردد و پارامترهای این مدل سیگنال باید تخمین زده شود تا جبران‌سازی حرکت هدف صورت پذیرد اما در روش‌های غیرپارامتری مانند پردازش نقطه برجسته (PPP)^۹ و الگوریتم گرادیان فاز (PGA)^{۱۰} نیازی به مدل سیگنال نیست و با بررسی فاز سیگنال، جبران‌سازی صورت می‌گیرد [۶]. در اولین مقاله‌ای که درباره سونار روزنه مصنوعی معکوس (ISAS) در سال ۱۹۹۱ منتشر شده است، تکنیک تصویربرداری روزنه مصنوعی معکوس دوبعدی برای سیگنال‌های صوتی بازگشتی از سازه‌های ساده درون آب به کار گرفته شده و نتایج آن برای دو نوع متفاوت هدف مورد بررسی قرار گرفته است [۷]. در [۸-۱۲] نیز که به زبان چینی منتشر شده‌اند، روش‌های مختلف تشکیل تصویر در ISAS مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۳] یک روش تصویربرداری RID^{۱۱} جدید با استفاده از تحلیل زمان-فرکانس ارائه شده است که تصویربرداری از اهداف متحرک را بهبود می‌دهد. در [۸] یک روش تصویربرداری ISAS مبتنی بر الگوریتم پس تابش کانولوشنی^{۱۲} ارائه شده است که نیاز به پردازش داده کمتری دارد. در [۱۰] یک الگوریتم تحلیل زمان-فرکانس جدید برای حذف جملات اضافی ناشی از تداخل ارائه شده است. در [۱۱] رزولوشن در برد و سمت در ISAS تحلیل شده و تصویربرداری ISAS برای یک هدف نقطه‌ای تحت شرایطی خاص برای دستیابی به نتایج مطلوب شبیه‌سازی شده است. در [۱۲] نیز به کاربردهای خاص این فناوری تصویربرداری پرداخته شده است. در [۱۴] فرض شده است که سونار ثابت و هدف با رفتار همکارانه (با اطلاعات حرکتی معلوم) در مسیر مستقیم در حال حرکت است. در ابتدا سیگنال اکو دریافتی مدل‌سازی شده است. سپس با استفاده از الگوریتم پس تابش، پردازش اکو در سمت و برد صورت پذیرفته است. نهایتاً با انجام شبیه‌سازی، امکان پذیری شکل‌گیری تصویر در این حالت تصویربرداری نشان داده شده است. در [۱۵] به بررسی الگوریتم‌های تشکیل تصویر در ISAS پرداخته شده است. در این مقاله الگوریتم برد-داپلر (RDA)^{۱۳}، الگوریتم قالب‌بندی قطبی (PFA)^{۱۴} برای تصویربرداری روزنه مصنوعی معکوس در شرایط میدان-دور و الگوریتم توموگرافی محاسبه شده (CTA)^{۱۵} یا پس تابش برای تصویربرداری در شرایط میدان-نزدیک

تبدیل گردد [۳]. در فناوری تصویربرداری با سونار روزنه مصنوعی، عموماً از یک آرایه کوچک دارای حرکت خطی یکسواخت برای دستیابی به یک روزنه (دهانه) مصنوعی بزرگ و رزولوشن بالا در راستای مسیر حرکت استفاده می‌شود. در تصویربرداری با سونار روزنه مصنوعی معکوس (ISAS)^۱ (الهام گرفته شده از رادار روزنه مصنوعی معکوس^۲ یا ISAR)، بهبود در رزولوشن زاویه‌ای با استفاده از حرکت هدف در حالی به دست می‌آید که مجموعه سونار ثابت است. مزایای این سونار نیز مانند سونار روزنه مصنوعی، در کوچکی ابعاد فیزیکی روزنه (آنتن) به همراه رزولوشن زاویه‌ای زیاد که مستقل از فاصله شعاعی^۳ و فرکانس سیگنال است، می‌باشد. به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در حرکت هدف، پردازش سیگنال در تصویربرداری ISAS بسیار پیچیده‌تر از تصویربرداری SAS می‌باشد [۴].

در بخش ۲ به چالش‌های به کارگیری ISAS اشاره خواهد شد و در بخش ۳ پس از بررسی نحوه انتشار امواج صوتی در آب، روشی پیشنهاد می‌گردد که در آن با استفاده از منابع مجازی ایجاد شده به دلیل خاصیت انتشار امواج در آب‌های کم عمق، ISAS چندپایه ایجاد گردد و روابط مربوطه استخراج خواهد شد. در بخش ۴ شبیه‌سازی‌ها صورت خواهد گرفت و در بخش ۵ به نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

۲. چالش‌های به کارگیری ISAS

در ISAS سونار ثابت و هدف در حرکت است و سونار، داده‌های منتشره از هدف را در زوایای دید مختلف با حرکت هدف به دست خواهد آورد. در هنگام حرکت هدف، زوایای دید هدف^۴ نسبت به خط دید^۵ سونار تغییر نموده و باعث شکل‌گیری تصویر ISAS خواهد شد. از این تنوع زاویه‌ای در داده‌ها، برای جداسازی نقاط در راستای محور زاویه‌ای (عمود بر برد) استفاده می‌شود. در حالی که مشابه SAR/SAS، رزولوشن مورد نیاز در راستای محور برد از پهنای باند فرکانسی مشخص سیگنال ارسالی تامین می‌شود. با نوشتن روابط مربوط به حرکت چرخشی هدف (در حالت حرکت چرخشی مطلق همانند یک میز چرخان) و سیگنال ارسالی و دریافتی مشاهده می‌گردد رابطه مستقیمی بین حرکت چرخشی هدف و راستای عمود بر برد تصویر به دست 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 [۵]. البته در کاربردهای واقعی، هدف ممکن است حرکت انتقالی نیز داشته باشد یعنی مقدار برد هدف نیز در هنگام چرخش هدف تغییر نماید. این حالت باعث جابه‌جایی پراکنده‌سازها^۶ در راستای برد در هر یک از مقاطع و منجر به محو شدن تصویر خواهد شد لذا این حرکت انتقالی

⁷ Image Contrast Based Technique

⁸ Entropy Based Technique

⁹ Prominent Point Processing

¹⁰ Phase Gradient Algorithm

¹¹ Range Instantaneous Doppler

¹² Convolutional Back Projection

¹³ Range-Doppler Algorithm

¹⁴ Polar Format Algorithm

¹⁵ Computed Tomography Algorithm

¹ Inverse Synthetic Aperture Sonar

² Inverse SAR

³ Radial distance

⁴ Aspect Angle

⁵ Line of Sight

⁶ Scatterers

تصویر مانند [۲۵-۲۷] RID ارائه شده است.

علیرغم وجود شباهت‌های بسیار زیاد بین ISAR و ISAS، تفاوت‌های فراوانی نیز بین آن‌ها وجود دارد که عامل اصلی عدم توسعه SAS و ISAS تا کنون به نسبت SAR و ISAR بوده است و در جدول ۱ به برخی از این تفاوت‌ها اشاره می‌شود [۲۸].

راه کارهای ارائه شده تا حدودی برخی از محدودیت‌های کاربردی ذکر شده را برطرف می‌نماید اما از سوی دیگر با توجه به تفاوت‌های مندرج در جدول ۱، مشکلاتی هم به طور خاص برای ISAS وجود دارد که از آن جمله عبارتند از:

- ممکن است برخی از مفروضات در نظر گرفته شده برای تشکیل تصویر در ISAR در ISAS صادق نباشد که از آن جمله می‌توان به فرض میدان دور^{۱۶} بودن هدف نسبت به رادار [۲۹] اشاره کرد.
 - عوامل مرتبط با کانال آب همچون عدم تجانس و ناپایداری کانال صوتی آب، امواج دریا، جریان‌های آبی، جزر و مد باعث ایجاد خطا در فاز خواهد شد.
 - به دلیل سرعت کم صوت در آب، فرکانس‌های تکرار ارسال سیگنال صوتی و در نتیجه سرعت حرکت (حامل سونار یا هدف) نمی‌تواند زیاد باشد و این مساله موضوع خطای فاز به دلیل ناپایداری کانال یا حرکت‌های ناخواسته را تشدید می‌کند.
- با توجه به تمامی نکات فوق، تصویربرداری از اهداف متحرک در زیر آب با استفاده از فناوری سونار روزنه مصنوعی معکوس هنگامی محقق خواهد شد که مشکلات مورد اشاره به نحو مقتضی رفع شده باشد و از آنجا که تا کنون کمتر به این مقوله پرداخته شده است، در ادامه با در نظر گرفتن فرضیات مناسب، به روش و راه حلی جدید پرداخته می‌شود که بتواند با استفاده از ساختار سونار روزنه مصنوعی معکوس، تصویری مناسب از اهداف متحرک زیر آب ایجاد نماید.

۳. روش پیشنهادی

از بین مشکلات و موانع تحقق عملی ISAS که در بخش ۲ به آنها اشاره گردید، بسیاری از موارد برای ISAR نیز مصداق داشت که به راه کارهای ارائه شده برای آن‌ها اشاره شد. بدیهی است این راه کارها از جمله استفاده از ساختار چندپایه باید در طراحی ISAS نیز مدنظر قرار گیرد. از طرفی بخشی از مشکلات ذکر شده به ماهیت کانال آب و نحوه انتشار صوت در زیر آب و تفاوت‌های ذاتی ISAR و ISAS مرتبط است و باید به طور خاص در طراحی ISAS مدنظر قرار گیرد. حال آن‌که در تحقیقات صورت گرفته تا کنون در خصوص ISAS تنها به حالت تک‌پایه توجه شده و تمامی تلاش صورت گرفته در

بررسی و مقایسه شده‌اند که الگوریتم CTA عملکرد بهتری خصوصاً از منظر رزولوشن داشته است. در جدیدترین مقاله منتشر شده مرتبط با [۱۶] ISAS، تصویرسازی یک بعدی در راستای عمود بر برد (زاویه) با روش روزنه مصنوعی معکوس غیرفعال از یک منبع صوت توزیع شده با حرکت مستقیم الخط با رفتار همکارانه (فاصله و سرعت معلوم) مورد بررسی قرار گرفته است.

برخی از چالش‌ها و مشکلات کاربردی که برای استفاده از ISAS (و همچنین ISAR) در شرایط معمولی وجود دارد عبارتند از:

- برای ایجاد تصویر ISAS باید سرعت و جهت حرکت هدف دانسته فرض شود تا تصویر ایجاد گردد [۵] لذا هدف باید رفتار همکارانه‌ای^{۱۶} داشته باشد اما این فرض در دنیای واقعی همواره شدنی نیست.
- در اهداف با رفتار غیرهمکارانه، تصویر تشکیلی از هدف، تصویری دوبعدی از هدف سه بعدی بر روی صفحه انعکاس تصویر^{۱۷} است. جهت این صفحه بستگی به مکان سونار نسبت به هدف و حرکات هدف دارد که در کنترل اپراتور نیست لذا تفسیر تصویر ISAS و شناسایی هدف را مشکل خواهد کرد [۱۷].
- در اهداف با رفتار غیرهمکارانه، رزولوشن زاویه‌ای (در راستای عمود بر برد) در تصویر ISAS مشخص نیست چون به بردار چرخش نسبی بین سونار و هدف بستگی دارد [۱۷].
- برای حذف حرکت انتقالی هدف و رسیدن به حرکت چرخشی مطلق برای ایجاد تصویر، باید هدف حرکات مانوردهنده نداشته باشد. برای اهداف مانوردهنده، محور چرخشی هدف نسبت به سونار متغیر با زمان است.
- از آنجا که باید زاویه هدف نسبت به سونار تغییر کند تا تصویر ایجاد گردد، تنها در برخی از هندسه‌های حرکتی این امر امکان پذیر است و در برخی از شرایط مانند حرکت مستقیم‌الخط هدف به سمت سونار (حرکت در راستای خط دید) کارایی ندارد.
- با توجه به رزولوشن تصویر، ابعاد هدف نباید از مقدار مشخصی بیشتر باشد در غیر این صورت تصویر هدف مبهم خواهد شد.

در راستای حل مشکلات و چالش‌های ذکر شده که در به کارگیری رادار روزنه مصنوعی معکوس نیز وجود دارد، راه حل‌ها و روش‌های مختلفی مانند استفاده از خاصیت تداخل‌سنجی^{۱۸} [۱۸]، به کارگیری هندسه دوپایه^{۱۹} [۱۹]، سیستم‌های چندآنتنه [۲۰-۲۲]، چندورودی-چندخروجی^{۲۰} [۲۳-۲۴] و استفاده از روش‌های جدید شکل‌گیری

¹⁶ Image Projection Plane (IPP)

¹⁷ Cooperative Target

¹⁸ Interferometry

¹⁹ Bistatic

²⁰ MIMO

جدول ۱. تفاوت‌های ISAR و ISAS

روش	SAR/ISAR	SAS/ISAS
نوع سیگنال	الکترومغناطیسی	صوتی
محیط انتشار	هوا یا فضا	آب
سرعت انتشار سیگنال در محیط (m/s)	3×10^8	تقریباً ۱۵۰۰ (متغیر)
محدوده فرکانسی	(GHz) ۰/۲۵ - ۱۱۱	(KHz) ۵ - ۶۵۰
طول موج	(cm) ۰/۳ - ۱۲۰	۲/۳ میلی‌متر - ۰/۳ متر
فاصله تا هدف	۱ Km تا فاصله در حدود ماهواره ها	۱۰ متر تا ۱۰ کیلومتر
سرعت هدف	۲۰۰ Km/h (اهداف هوایی) تا ۲۷۰۰ Km/h (اهداف فضایی)	کمتر از ۲۰ Knot (۳۷ Km/h)
رزولوشن در برد و سمت (تقریبی)	۱ - ۳۰ (m)	۰/۰۲۵ - ۶ (m)
زمان روزنه مصنوعی ^{۲۱}	چند ثانیه	چند دقیقه - چند ساعت
طول روزنه مصنوعی	صدها متر - چند کیلومتر	ده‌ها متر - چند کیلومتر
نوسانات فاز ناشی از محیط انتشار	۰/۴ تا ۰/۷ درجه	تا ۱۵۰ درجه
افتها و اختلالات متداول ناشی از محیط	افت انتشار ^۲ (کروی)	افت انتشار (کروی یا استوانه‌ای بسته به عمق آب)
		افت به دلیل جذب در آب ^۳
		انکسار ^۴ یا انعکاس ^۵ از سطح آب یا بستر دریا (بسته به عمق آب)
		چندمسیرگی ^۶ (خصوصاً در آب‌های کم عمق)
		نویز ناشی از امواج و حباب‌های هوا در سطح آب

در مواردی که مرز بین دو محیط در مقایسه با طول موج محدود بوده و یا این مرز صاف نباشد، بازتاب صوت تابع پدیده تفرق^{۲۸} خواهد بود. تفرق یا بازپراکنش به پدیده پخش‌شدگی موج از سطوح ناهموار و توده اجسامی که در مقایسه با طول موج کوچک تلقی می‌شوند، اطلاق می‌گردد. موج تابیده شده به سطح صاف فقط در زاویه انعکاس بازتاب می‌یابد. با افزایش ناهمواری بستر دامنه موج بازتاب تضعیف شده و موج در تمامی زوایا متفرق می‌گردد و در نهایت موج بازتاب در میان امواج تفرقی قابل شناسایی نخواهد بود. علاوه بر دامنه و فرکانس، جنس بستر نیز در میزان تفرق موثر است. زمانی که سونار فعال، پالس سوناری خود را به محیط گسیل می‌نماید، علاوه بر امواج منعکس شده از سطوح و اجسام، حجم قابل توجهی از سیگنال‌های تفرقی از محیط دریافت می‌کند. به مجموعه صوتی که از سطح یا بستر دریا و همچنین توده‌های حجمی متفرق شده توسط گیرنده سوناری دریافت می‌گردد، طنین^{۲۹} گفته می‌شود. معمولاً در دریای کم عمق، طنین سطحی و در دریای عمیق طنین حجمی ملموس تر و تاثیرگذارتر است [۳۰].

تمامی مدل‌های انتشار موج مبتنی بر معادله موج می‌باشند. این معادله رابطه بین مشتقات مرتبه دوم زمانی و مکانی فشار صوت است. انتشار موج صوتی در شرایط مختلف با دو مدل انتشار پرتو^{۳۰} و انتشار موج قابل توجیه و مدل‌سازی است. مدل‌سازی مبتنی بر

راستای اثبات امکان پذیر بودن تشکیل تصویر و انتخاب مناسب‌ترین روش برای تصویرسازی بوده است. در نتیجه در این بخش تلاش می‌گردد روشی پیشنهاد گردد تا علاوه بر دارا بودن ساختار سونار روزنه مصنوعی معکوس و ضمن لحاظ کردن شرایط خاص زیر آب، از ساختار چندپایه برای غلبه بر چالش‌ها و موانع کاربردی شدن طرح استفاده گردد. در ادامه پس از ارائه توضیحاتی در مورد نحوه انتشار امواج صوتی در آب و چندمسیرگی در آب‌های کم عمق، به ارائه روش پیشنهادی برای ISAS چندپایه می‌پردازیم.

۳-۱. نحوه انتشار امواج صوتی در آب

انتشار امواج صوت در دریا متأثر 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^{۲۷} باعث شکست یا انعکاس موج می‌گردد. در هنگام انتشار یک موج صوتی، به دو دلیل گسترش جبهه موج و پدیده جذب، موج تضعیف می‌شود که در آب تابع پارامترهایی چون شوری، دما و فرکانس است.

²¹ Synthetic Aperture time

²² Spreading Loss

²³ Absorption Loss

²⁴ Refraction

²⁵ Reflection

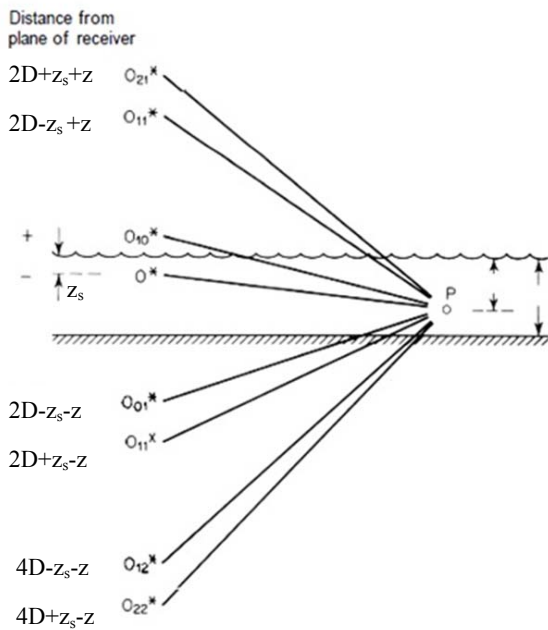
²⁶ Multipath

²⁷ Snell

²⁸ Scattering

²⁹ Reverberation

³⁰ Ray Propagation



شکل ۱. تصاویر منبع ایجادی در آب کم‌عمق [۳۲]

تئوری انتشار به صورت پرتو که در آن میدان صوتی به صورت مجموعه‌ای از پرتوهای صوتی نمایش داده می‌شود و هر یک از آنها از منبع صوت یا تصویر آن نسبت به سطح آب یا کف دریا ساطع می‌شوند. در شکل زیر یک منبع صوتی در نقطه O و یک گیرنده در نقطه P در یک کانال کم عمق قرار گرفته‌اند. تصویر O_{10} از منبع نسبت به سطح آب با شدت سیگنال منبع و شیفت فاز 180° درجه به عنوان نمایانگر انعکاس سطح آب اضافه شده است. برای نشان دادن انعکاس بستر دریا زوج تصاویر O_{01} و O_{11} اضافه شده است. مجدداً با توجه به قابلیت انعکاس سطح آب، تصاویر منابع O_{01} و O_{11} ، تصاویر O_{21} و O_{11} 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 می‌تواند تا بی‌نهایت ادامه داشته باشد اما از تصاویر مرتبه بالاتر به دلیل تضعیف ناشی از انعکاس‌های متوالی می‌توان صرف‌نظر کرد.

۳-۲. روش پیشنهادی برای چندپایه شدن ISAS

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، به دلیل 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 ISASها تصویری از آن هدف ایجاد می‌کنند که با تلفیق مناسب این تصاویر و با توجه به مبانی سیستم‌های چندپایه، تصویری

تئوری پرتو دارای حجم محاسبات کمتر بوده و در فرکانس‌های بالا پاسخ نسبتاً مناسبی می‌دهد. روشهای مدل‌سازی مبتنی بر تئوری موج یا مدهای نرمال^{۳۱} با اعمال شرایط مرزی و میانی دارای پاسخ کامل برای معادله موج هستند ولی با حجم پردازش زیاد، تفسیر پاسخ‌های آن نیز مشکل می‌باشد.

انتشار امواج صوتی در دریا را در فرکانس‌های بالاتر از ۵KHz می‌توان به صورت پرتو یا خطی فرض کرد. این فرض هنگامی معتبر است که ناهمگنی‌های موجود در آب بزرگتر از طول موج امواج در مقیاس مکانی باشند. با توجه به قانون اسنل در خصوص خمیدگی پرتوها، پرتو امواج صوتی به طرف ناحیه با سرعت کمتر خم می‌شود که به این پدیده انکسار گویند. علاوه بر این امواج پس از برخورد با سطح آب یا کف دریا انعکاس می‌یابند. برای بروز پدیده انکسار باید در هنگام انتشار، تغییر در سرعت صوت رخ دهد که معمولاً در آب‌های عمیق اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر پدیده انعکاس معمولاً در آب‌های کم عمق رخ می‌دهد [۳۱]. منظور از آب‌های کم‌عمق، عمقی است که در آن صوت تا فاصله‌ای از سطح آب و کف دریا مکرراً منعکس شود. این موضوع بستگی به شرایط صوتی سطح آب و کف دریا دارد لذا نمی‌توان تعریف دقیقی برای آب کم‌عمق ارائه نمود بلکه از لحاظ صوتی به جایی کم‌عمق گفته می‌شود 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 ۶۰۰ فوت یا ۱۸۰ متر می‌توانند مناطق کم‌عمق تلقی شوند. در آب‌های کم‌عمق، کانال صوتی بین سطح آب و کف دریا ایجاد می‌شود که صوت در بین این دو محدوده به دام می‌افتد [۳۲].

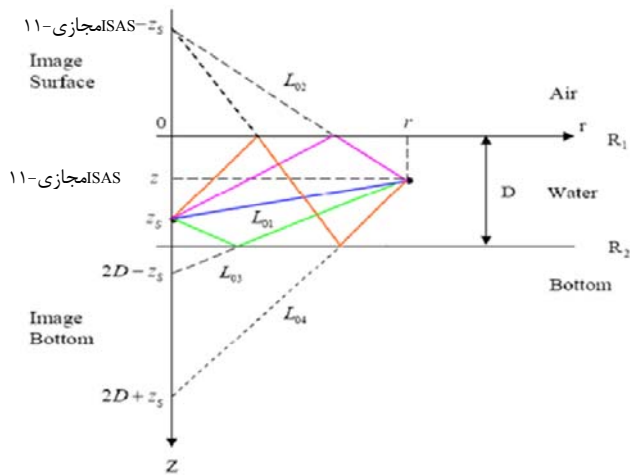
با بررسی دو روش انتشار، روش انتشار به صورت پرتو در فواصل کوتاه، برای استفاده بسیار راحت‌تر است. روش انتشار حالت نرمال برای فواصل بیشتر مناسب است. فاصله مرزی r جهت سهولت استفاده بین این دو روش انتشار، از رابطه زیر به دست می‌آید [۳۲]:

$$r = \frac{H^2}{A} \quad (1)$$

که در آن H عمق آب و A طول موج است.

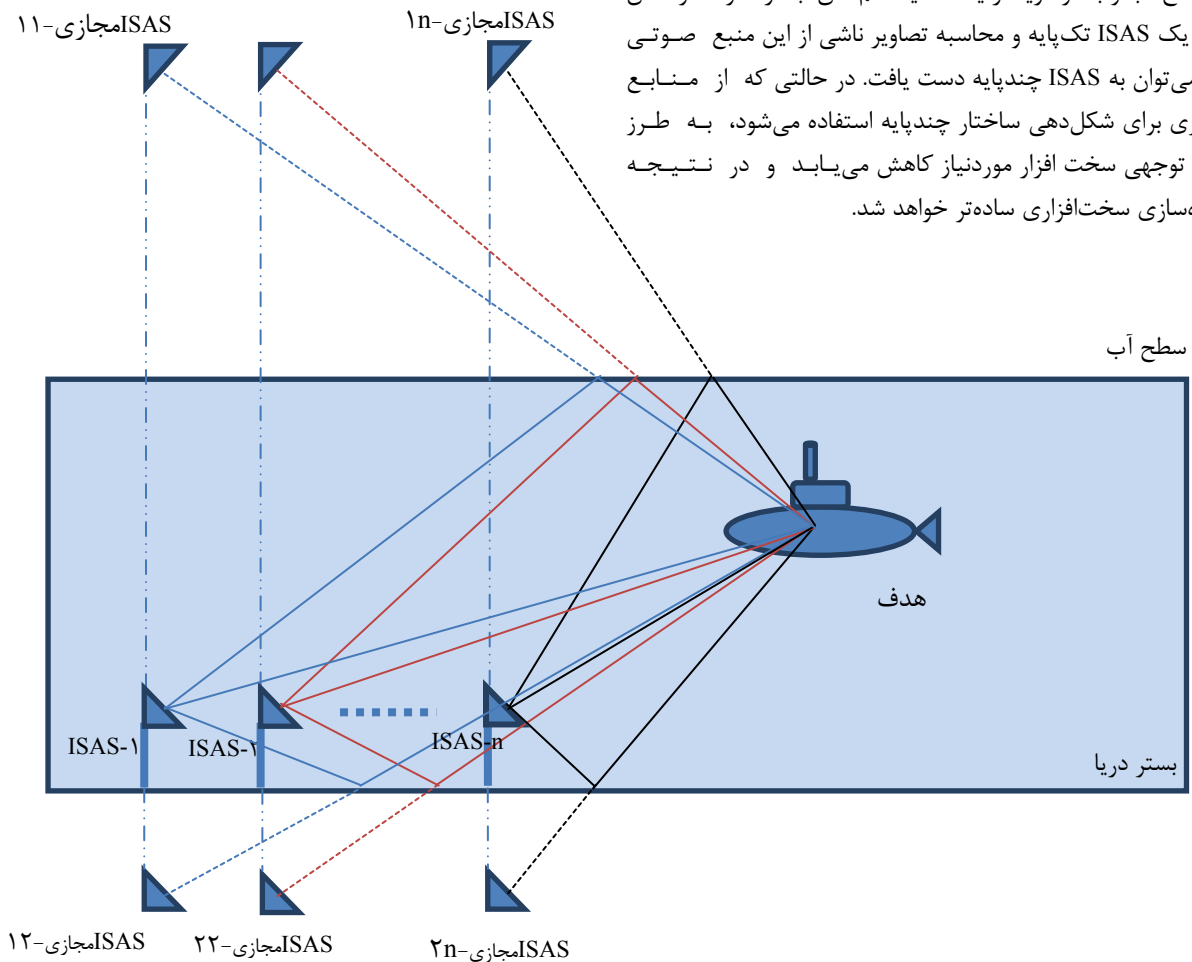
مثلاً برای فرکانس ۳۰KHz و عمق آب ۱۰۰ متر، r برابر ۲۰۰ کیلومتر خواهد شد. این مقدار برای فرکانس ۵KHz با همان عمق برابر ۳۳ کیلومتر است. با توجه به عمق به‌کارگیری و فرکانس‌های معمول در ISAS، فرض استفاده از روش انتشار به صورت پرتو در آب‌های کم‌عمق معقول به نظر می‌رسد لذا در این مقاله از این روش استفاده خواهیم کرد.

³¹ Normal Modes



تصویری با کیفیت تر از ISAS تک پایه ایجاد خواهد شد. به طور مثال در شکل ۲ فرض شده است که چند ISAS تک پایه در محدوده‌ای از آب‌های کم عمق نصب شده‌اند و تصاویر ایجاد شده از این منابع صوتی نسبت به سطح آب و بستر دریا نشان داده شده است. در این شکل که تصویر صحنه فرارگیری سونارها و هدف بر روی صفحه دوبعدی نشان داده شده است، ISAS چند پایه‌ای ایجاد شده است که پوشش زاویه‌ای بیشتری ایجاد نموده است. در واقع این ISAS چند پایه دارای n فرستنده و گیرنده واقعی و ۲n فرستنده مجازی خواهد بود. در شکل ۲ در صورتی که تعداد ISAS های تک پایه افزایش یابد و ISAS چند پایه به صورت واقعی شکل گیرد، باز هم با استفاده از منابع مجازی شکل گرفته در بالای سطح آب و زیر بستر دریا می‌توان به ISAS چند پایه کامل تری دست یافت که با افزایش تعداد فرستنده‌ها، منطقه تحت نظر را تحت پوشش زاویه‌ای و مکانی بهتری قرار خواهد داد و چندگانگی مکانی حاصل خواهد شد.

به دلیل خاصیت چندمسیرگی ناشی از انعکاسات متوالی امواج صوتی از سطح آب و بستر دریا در یک محیط کم عمق، با در نظر گرفتن تنها یک ISAS تک پایه و محاسبه تصاویر ناشی از این منبع صوتی نیز می‌توان به ISAS چند پایه دست یافت. در حالتی که از منابع مجازی برای شکل دهی ساختار چند پایه استفاده می‌شود، به طرز قابل توجهی سخت افزار مورد نیاز کاهش می‌یابد و در نتیجه پیاده سازی سخت افزاری ساده تر خواهد شد.



شکل ۲. ایده پیشنهادی برای ISAS چند پایه با منابع مجازی

که در آن σ_B سطح مقطع پراکندگی دوپایه، σ_M سطح مقطع پراکندگی تک‌پایه، θ جهت قرارگیری گیرنده، β زاویه دوپایه و f فرکانس کاری است. با فرض کوچک بودن زاویه β در رابطه (۴) و با توجه به شکل ۴، برای فاز ISAS ترکیبی اول معادل ISAS-۱ و ISAS مجازی-۱۱ می‌توان نوشت:

$$\varphi_{12}(x, f, t) = \frac{\varphi_{01} + \varphi_{02}}{2} \quad (۵)$$

که در آن

$$\varphi_{01} = \frac{4\pi f}{c}(L_{01} + x.i_{01}) \quad (۶)$$

$$\varphi_{02} = \frac{4\pi f}{c}(L_{02} + x.i_{02}) \quad (۷)$$

$$L_{01} = \sqrt{r^2 + (z_s - z)^2} \quad (۸)$$

$$L_{02} = \sqrt{r^2 + (z_s + z)^2} \quad (۹)$$

و c سرعت حرکت صوت در آب، x بردار نشان‌دهنده یک نقطه عام بر روی هدف، i_{01} و i_{02} بردار یکه نشان دهنده خط دید هر یک از فرستنده‌ها و r تصویر فاصله هدف تا ISAS در راستای محور افقی می‌باشند. با جایگزینی $\varphi_{12}(x, f, t)$ در رابطه (۲) سیگنال دریافتی برای ISAS دوپایه معادل ISAS-۱ و ISAS مجازی-۱۱ به‌سخت خواهد آمد:

$$S_{12}(f, t) = W(f, t) \int_V \zeta(x) e^{-j\varphi_{12}(x, f, t)} dx \quad (۱۰)$$

برای در نظر گرفتن حالت چندپایه، باید سایر منابع مجازی ایجاد شده نیز به ترتیب مدنظر قرار گرفته شوند لذا برای ISAS ترکیبی دوم معادل ISAS ترکیبی اول و ISAS مجازی-۱۲ داریم:

$$\varphi_{123}(x, f, t) = \frac{\varphi_{12} + \varphi_{03}}{2} \quad (۱۱)$$

که در آن

$$\varphi_{03} = \frac{4\pi f}{c}(L_{03} + x.i_{03}) \quad (۱۲)$$

$$L_{03} = \sqrt{r^2 + (2D - z_s - z)^2} \quad (۱۳)$$

و i_{03} بردار یکه نشان دهنده خط دید ISAS مجازی-۱۲ است. لذا سیگنال دریافتی برای ISAS ترکیبی دوم به شکل زیر است:

$$S_{123}(f, t) = W(f, t) \int_V \zeta(x) e^{-j\varphi_{123}(x, f, t)} dx \quad (۱۴)$$

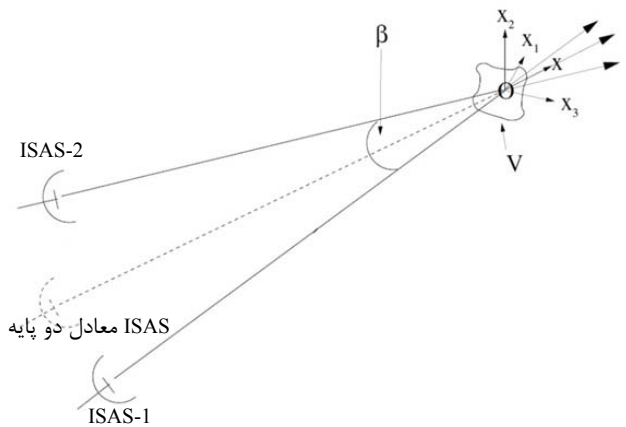
در شکل ۳ فرض شده است که ISAS تک‌پایه در یک کانال آبی کم‌عمق با عمق D قرار گرفته است. اگر ساختار انتشار امواج را مطابق با شکل ۳ فرض کنیم که در آن برای هر ISAS تک‌پایه واقع در مکان z_s سه ISAS مجازی در مکانهای $-z_s$ ، $2D - z_s$ و $2D + z_s$ متصور شده است و با فرض وجود حرکت چرخشی برای هدف واقع در عمق Z و حذف حرکت انتقالی هدف پس از انجام پیش‌پردازش و با استفاده از روش‌های جبران‌سازی حرکت، رابطه سیگنال دریافتی را می‌توان مطابق [۳۴] به صورت زیر نوشت:

$$S_R(f, t) = W(f, t) \int_V \zeta(x) e^{-j\varphi(x, f, t)} dx \quad (۲)$$

که در آن

$$W(f, t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_{\text{obs}}}\right) \text{rect}\left(\frac{(f - f_0)}{B}\right) \quad (۳)$$

و f_0 فرکانس حامل، B پهنای باند سیگنال ارسالی، T_{obs} زمان مشاهده، V ناحیه مکانی است که در آن تابع انعکاس از هدف یعنی $\zeta(x)$ تعریف شده است و تابع $\text{rect}(x)$ هنگامی که $|x| < 0.5$ باشد، برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. عبارت فاز $\varphi(x, f, t)$ در رابطه فوق متأثر از ساختار قرارگیری سونارها می‌باشد. لذا با توجه به نحوه قرارگیری ISAS اولیه واقعی و ISAS‌های مجازی ایجاد شده به دلیل انتشار امواج صوتی در آب کم عمق، می‌توان فاز سیگنال دریافتی را به ازای هر دو ISAS مطابق با شکل ۴ محاسبه نمود.

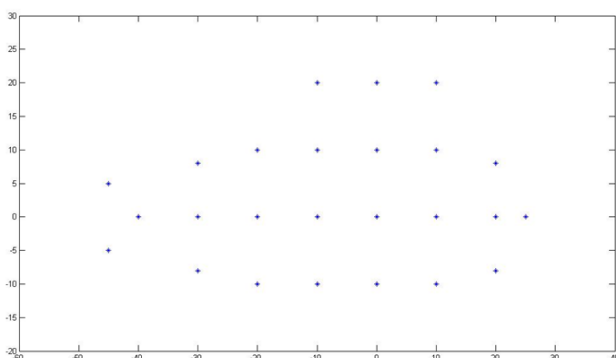


شکل ۴. ساختار محاسباتی به ازای هر دو ISAS بر اساس قضیه معادل‌سازی دوپایه با تک‌پایه (MBET)^{۳۲}، سطح مقطع پراکندگی هدف در حالت دوپایه معادل با سطح مقطع پراکندگی^{۳۳} اندازه‌گیری شده در نیم‌ساز زاویه بین تک‌پایه‌ها با رابطه زیر است [۳۵]:

$$\sigma_B(\theta = \beta, f) = \sigma_M\left(\theta = \frac{\beta}{2}, f \sec\left(\frac{\beta}{2}\right)\right) \quad (۴)$$

³² Monostatic to Bistatic Equivalence Theorem

³³ Scattering Cross Section



شکل ۵. مدل در نظر گرفته شده برای زیردریایی به عنوان هدف

جدول ۲. پارامترهای شبیه‌سازی

مقدار	پارامتر
LFM	نوع سیگنال ارسالی
۶	فرکانس حامل (کیلو هرتز)
۰/۷۵	پهنای باند (کیلو هرتز)
۰/۲	نرخ تکرار پالس (ثانیه)
۰/۰۰۸	طول پالس (ثانیه)
۱۵۰۰	سرعت صوت (متر بر ثانیه)
۷	میزان چرخش هدف (درجه)

۴-۱. شبیه‌سازی اول

نتایج تصویرسازی برای هدف تک‌نقطه‌ای با استفاده از ISAS تک‌پایه در شکل ۶ و با استفاده از ISAS چندپایه پیشنهادی در شکل ۷ نمایش داده شده است. بهبود کیفیت تصویر ایجاد شده با استفاده از روش پیشنهادی با تقویت قابل توجه دامنه سیگنال تصویر، متمرکز شدن تصویر نقطه ایجاد شده و کاهش لوب‌های جانبی مشهود است.

برای بررسی کیفیت تصویر می‌توان به اندازه لوب اصلی و لوب‌های کناری در هر نقطه از هدف توجه نمود. به این منظور از معیارهای $PSLR^{35}$ که نشان دهنده نسبت بزرگ‌ترین لوب فرعی به لوب اصلی، $ISLR^{36}$ که بیان‌گر نسبت مجموع انرژی موجود در لوب‌های کناری به لوب اصلی، $IPRWR^{37}$ که نشان‌گر نسبت عرض لوب اصلی در dB ۱۵ پایین‌تر از قله به عرض dB ۳ پایین‌تر از قله و IRW^{38} که نمایان‌گر عرض لوب اصلی پاسخ ضربه در dB ۳ پایین‌تر از قله است، استفاده می‌کنیم. شکل‌های ۸ و ۹ نمودارهای سمت و برد به‌دست‌آمده توسط ISAS و MISAS پیشنهادی را نشان می‌دهد.

با همین استدلال، سیگنال دریافتی برای ISAS چندپایه با معادله‌سازی ISAS ترکیبی دوم و ISAS مجازی-۱۳ از رابطه (۱۵) به‌دست خواهد آمد:

$$S_{1234}(f, t) = W(f, t) \int_V \zeta(x) e^{-j\Phi_{1234}(x, f, t)} dx \quad (15)$$

که در آن

$$\Phi_{1234}(x, f, t) = \frac{\Phi_{123} + \Phi_{04}}{2} \quad (15)$$

$$\Phi_{04} = \frac{4\pi f}{c} (L_{04} + x \cdot i_{04}) \quad (15)$$

$$L_{04} = \sqrt{r^2 + (2D + z_s - z)^2} \quad (15)$$

با داشتن سیگنال دریافتی از MISAS و برای تشکیل تصویر در آن، مشابه با ISAS معمولی می‌توان از هر یک از انواع روش‌های تشکیل تصویر استفاده نمود که البته روش‌های پس‌تابش نتایج بهتری نسبت به روش‌هایی همچون برد-داپلر و قالب‌بندی قطبی خواهند داشت [۱۵]. در صورتی که مشابه شکل ۲ علاوه بر ISAS-۱، ISAS-های دیگری نیز مانند ISAS-۲، ISAS-۳، ... و ISAS-n در محدوده مورد نظر قرار داشته باشند، می‌توان به‌همین روش تصویر هر یک را استخراج نمود و سپس با انواع روش‌های تلفیق تصاویر، به تصویر کامل‌تری از هدف مورد نظر دست یافت.

۴. شبیه‌سازی

به منظور بررسی و ارزیابی ایده طرح شده، ISAS تک‌پایه در یک کانال کم‌عمق به عمق ۶۰ متر فرض شده و انتشار امواج آکوستیکی مشابه شکل (۳) شبیه‌سازی شده است. ISAS تک‌پایه (فرستنده و گیرنده) در عمق ۵۰ متر ثابت و مرکز هدف در عمق ۲۵ متری و در فاصله ۲۰۰ متری از ISAS فرض شده است. همچنین فرض شده است که با توجه به ماهیت اهداف نوعی زیر آبی، حرکت هدف خطی است و مانوردهنده نیست لذا با فرض انجام پیش‌پردازش‌های لازم به منظور جبران‌سازی حرکات انتقالی، هدف دارای حرکت چرخشی مطلق می‌باشد. در شبیه‌سازی اول یک نقطه از هدف به مختصات (۱۲۰۶) و در شبیه‌سازی دوم یک زیردریایی به شکل ۵ به عنوان هدف در نظر گرفته شده است.

پارامترهای شبیه‌سازی مطابق با جدول ۲ و مشابه [۱۴] در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج [۱۵]، روش تصویرسازی پس‌تابش فیلترشده^{۳۴} انتخاب شده است که الگوریتم آن در [۳۶] آمده است.

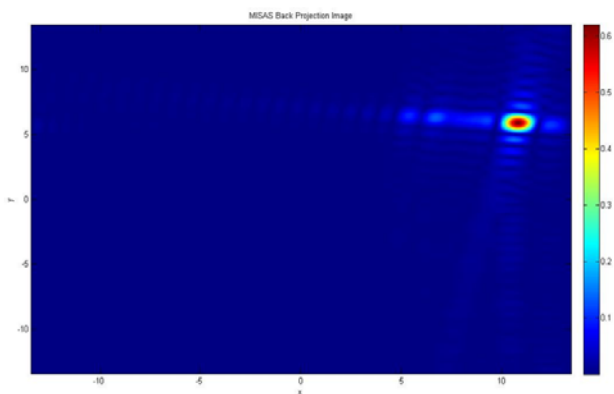
³⁵ Peak Side Lobe Ratio

³⁶ Integrated Side Lobe Ratio

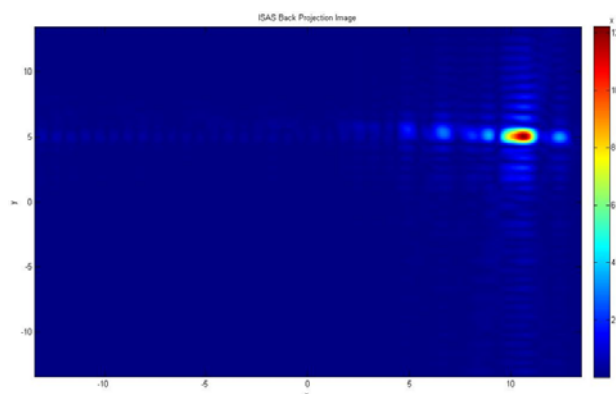
³⁷ Impulse Response Width Ratio

³⁸ Impulse Response Width

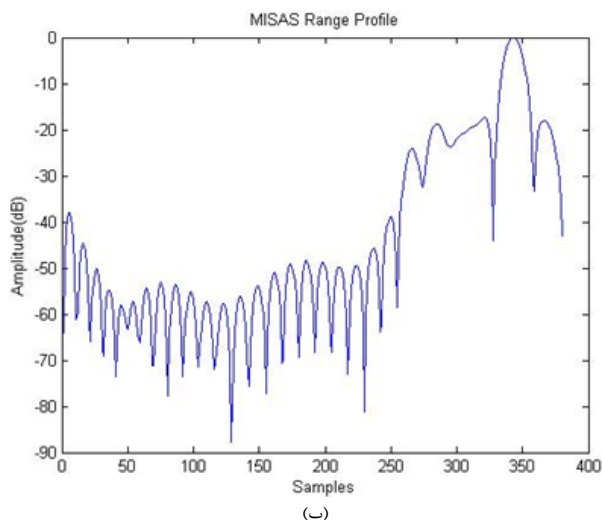
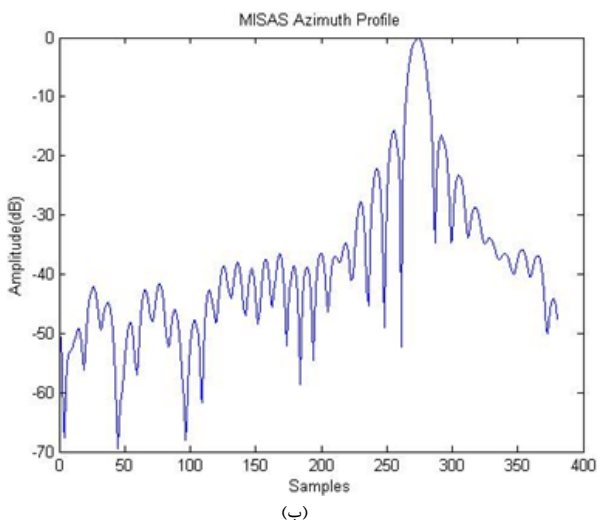
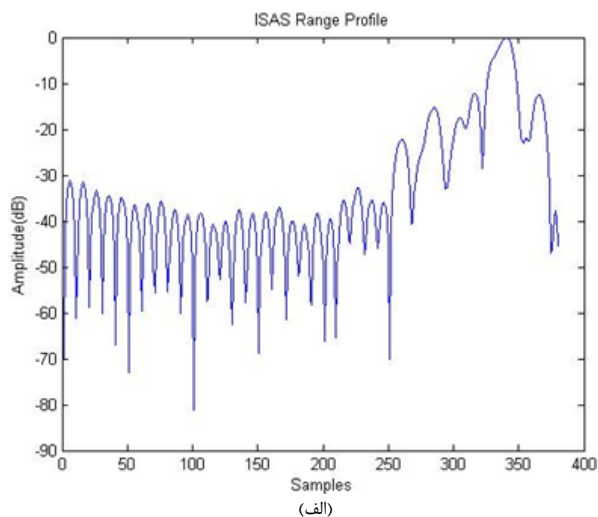
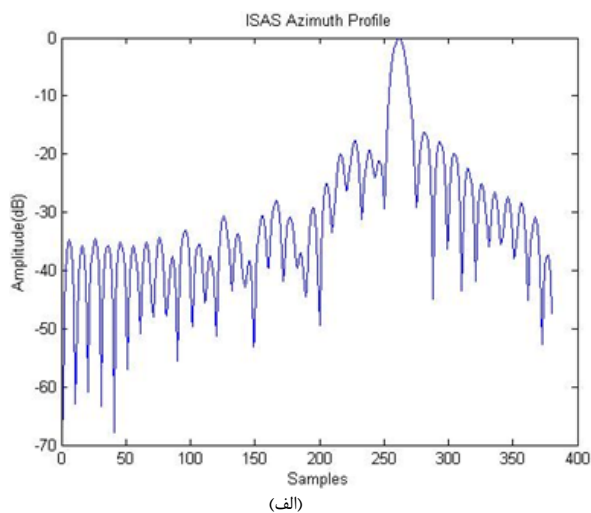
³⁴ Filtered Back Projection



شکل ۷. تصویر ایجاد شده از هدف تک‌نقطه‌ای توسط MISAS پیشنهادی



شکل ۶. تصویر ایجاد شده از هدف تک‌نقطه‌ای توسط ISAS تک‌پایه



شکل ۹. (الف) نمودار زاویه هدف تک‌نقطه‌ای توسط ISAS، (ب) نمودار زاویه هدف تک‌نقطه‌ای توسط MISAS پیشنهادی

شکل ۸. (الف) نمودار برد هدف تک‌نقطه‌ای توسط ISAS، (ب) نمودار برد هدف تک‌نقطه‌ای توسط MISAS پیشنهادی

جدول ۳. مقایسه کیفیت تصویر هدف تک نقطه‌ای

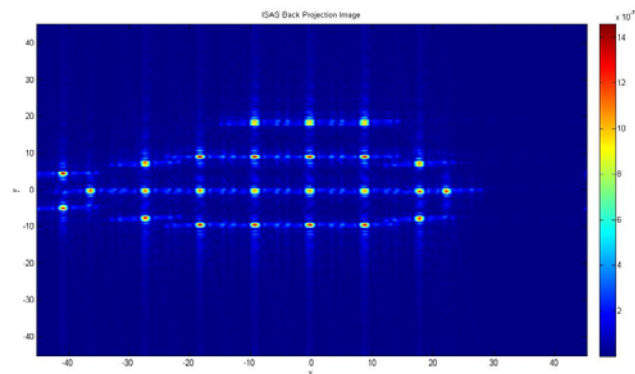
MISAS	ISAS	معیار کیفیت تصویر
-۱۵/۷۵	-۱۶/۲۴	PSLR در سمت (dB)
-۱۷/۳۳	-۱۲/۰۹	PSLR در برد (dB)
-۳۷/۰۳	-۲۹/۳۱	ISLR در سمت (dB)
-۳۴/۷۰	-۲۸/۰۸	ISLR در برد (dB)
۱۰/۴۹	۹/۲۷	IRW در سمت (نمونه)
۱۱/۹۹	۱۲/۰۸	IRW در برد (نمونه)
۱/۹۶	۲/۰۸	IPRWR در سمت
۲	۲/۱۴	IPRWR در برد

۵. نتیجه‌گیری

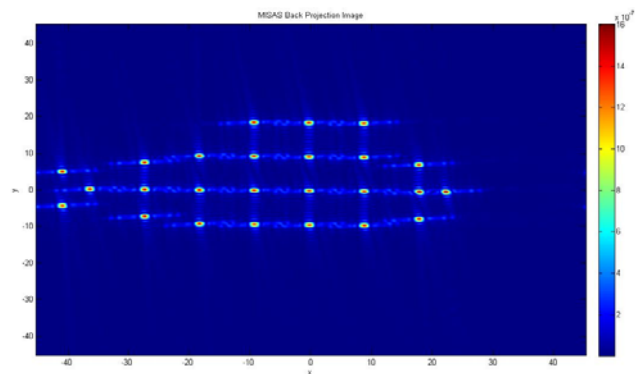
در این مقاله پس از بررسی سونار روزنه مصنوعی معکوس تک پایه و چالش‌های به‌کارگیری آن، روش جدیدی برای تصویرسازی از اهداف متحرک زیر آب، با استفاده از سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه با منابع مجازی پیشنهاد شد. با بهره‌گیری از این روش که به‌دلیل خاصیت انتشار امواج صوتی در آب‌های کم‌عمق و چندمسیرگی ناشی از آن ایجاد می‌شود، می‌توان با استقرار حداقل یک فرستنده سوناری به‌عنوان ISAS اصلی، چندین فرستنده مجازی به‌دست آورد و سونار روزنه مصنوعی معکوس چندپایه را ایجاد نمود. هر چند می‌توان چندپایه کردن را با افزایش تعداد ISAS های واقعی نیز انجام داد اما تنها با قراردادن یک ISAS واقعی در شرایط تعریف شده نیز می‌توان به ساختار MISAS دست یافت. به‌دلیل چندگانگی مکانی حاصل از این هندسه قرارگیری، تصاویری با کیفیت مطلوب‌تر از هدف متحرک نسبت به روش معمول تک پایه حاصل خواهد شد. هرچند چندمسیرگی به‌طور معمول جزو عوامل نامطلوب و مزاحم محسوب می‌گردد، با توجه به هندسه در نظر گرفته شده برای استقرار و به‌کارگیری ISAS، از خاصیت چندمسیرگی استفاده مطلوب شده است. همچنین پس از استخراج روابط مربوطه نشان داده شده‌است که در ساختار MISAS پیشنهادی، با به‌کارگیری الگوریتم تصویرسازی پس تابش می‌توان به تصاویر مناسبی از هدف متحرک زیرآبی دست یافت.

۵. مراجع

- [1] Raimondo, Schettini, and Corchs Silvia, "Underwater image processing: state of the art of restoration and image enhancement methods", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010.
- [2] Bonin, F., A. Burguera, and G. Oliver, "Imaging systems for advanced underwater vehicles", J. Marit. Res, Vol. 8, pp.65-86, 2011.
- [3] Roy Edgar Hansen, "Introduction to Synthetic Aperture Sonar Systems"; Edited by Prof. Nikolai Kolev, Publisher InTech, September, 2011.
- [4] Guo, Haitao, et al., "Review of research on sonar imaging technology in China", Chinese Journal of Oceanology and Limnology 31, pp.1341-1349, 2013.
- [5] Ozdemir, Caner, "Inverse synthetic aperture radar imaging with MATLAB Algorithms"; Vol. 210. John Wiley & Sons, 2012.
- [6] Berizzi, Fabrizio, et al. "A survey on ISAR autofocus techniques." Image Processing, ICIP'04. International Conference on., Vol. 1, IEEE, 2004.



شکل ۱۰. تصویر ایجاد شده از زیردریایی مدل توسط ISAS تک پایه



شکل ۱۱. تصویر ایجاد شده از زیردریایی مدل توسط MISAS پیشنهادی

با توجه به جدول ۳ و معیارهای ISLR و PSLR، وضعیت لوب‌های جانبی و با توجه به معیارهای IRW و IPRWR، وضعیت لوب اصلی در روش پیشنهادی در مجموع بهبود یافته است.

۴-۲. شبیه‌سازی دوم

نتایج تصویرسازی برای هدف زیردریایی مفروض با استفاده از ISAS تک پایه در شکل ۱۰ و با استفاده از ISAS چندپایه پیشنهادی در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. بهبود کیفیت تصویر ایجاد شده با

- [22] Ma, Changzheng, et al., "Three-dimensional ISAR imaging based on antenna array", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, Vol.46, No.2, pp.504-515, 2008.
- [23] Xiaochun, Xie, and Zhang Yunhua, "3D ISAR imaging based on MIMO radar array", *Synthetic Aperture Radar, 2009. APSAR 2009. 2nd Asian-Pacific Conference on. IEEE*, 2009.
- [24] Zhu, Yutao, Yi Su, and Wenxian Yu, "An ISAR imaging method based on MIMO technique", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, Vol. 48, No.8, pp.3290-3299, 2010.
- [25] Munoz-Ferreras, J. M., and F. Perez-Martinez, "On the Doppler Spreading Effect for the Range-Instantaneous-Doppler Technique in Inverse Synthetic Aperture Radar Imagery", *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, Vol. 7, No.1, pp.180-184, 2010.
- [26] Wang, Y., "Inverse synthetic aperture radar imaging of manoeuvring target based on range-instantaneous-Doppler and range-instantaneous-chirp-rate algorithms", *IET Radar, Sonar & Navigation*, Vol. 6, No.9, pp.921-928, 2012.
- [27] Wang, Bao Ping, Chao Sun, and Jun Jie Guo, "A New Rang-Instantaneous Doppler ISAR Imaging Algorithm", *Advanced Engineering Forum*, Vol. 6, 2012.
- [28] Hansen, Roy E., et al., "Challenges in seafloor imaging and mapping with synthetic aperture sonar", *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, Vol. 49, No.10, pp.3677-3687, 2011.
- [29] Marco Martorella, "Introduction to Inverse Synthetic Aperture Radar", *IEEE International Radar Conference*, 2010.
- [30] Masoud Bahadori, "Introduction to Underwater Acoustic and Sonar Technology"; 1st edition, Naghous Press (Iran Space Organization, Engineering Research Center), 2013. (in Persian)
- [31] An, Erdal Epc Ac., "Underwater Channel Modeling for Sonar Applications."; MSc Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, 2011.
- [32] Urick, Robert J., "Principles of underwater sound"; 3d edition, McGraw-Hill, New York, London, 1983.
- [33] Dargahi, Mohammad Javad, Abdollah Doosti Aref, and Ahmad 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, 2011.
- [34] Martorella, Marco, et al., "Advances in bistatic inverse synthetic aperture radar", *Radar Conference-Surveillance for a Safer World, RADAR International IEEE*, 2009.
- [35] R. E. Kell, "On the derivation of bistatic RCS from monostatic measurements", *Proceedings of the IEEE* 53, No. 8, pp. 983-988, 1965.
- [36] J.X. Lopez, "Inverse Synthetic Aperture Radar Imaging, Theory and Applications"; MSc Thesis, The Graduate School of the University of Texas-Pan American, 2011.
- [7] Blake, W. K., 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.
- [8] Xu J, Jiang X Z, Zhu Y, Yuan B C., "Research of inverse synthetic aperture sonar based on convolution back projection algorithm", *ActaAcustica*, Vol. 26, pp.400-404, 2001. (In Chinese with English abstract)
- [9] Jia, X. U., J. I. A. N. G. Xingzhou, and T. A. N. G. Jingsong, "Range-instantaneous Doppler imaging of inverse synthetic aperture sonar", *Torpedo Technology*, Vol. 22, No.1, 2003.
- [10] Qian G, Liang H, Li Z S, Liu Y Q, Li Y L., "An improved range- instant Doppler imaging algorithm in inverse synthetic aperture sonar", *Torpedo Technology*, Vol.11, pp.14-15, 2003. (In Chinese with English abstract)
- [11] Xu G J, Cheng G L, Zhang M M., "Point target imaging of inverse synthetic aperture sonar", *Shipboard Electronic Countermeasure*, Vol. 31 pp.64-65, 2008. (In Chinese with English abstract)
- [12] HE Xinyi, "The research on the application of inverse synthetic aperture imaging technology on acoustic homing torpedo", *Ship Science and Technology Journal*, Vol.30, pp.96-100, 2008.
- [13] Xingzhou, XU Jia JIANG, and T. A. N. G. Jinsong, "A new range-instantaneous Doppler imaging method in Inverse Synthetic Aperture Sonar based on time-frequency analysis", *Acta Acustica* 6, Vol. 012, 2001. (In Chinese with English abstract)
- [14] Liu, Dan-dan, et al., "A new mode of target-motion-induced sonar imaging and processing", *Signal Processing, 2008. ICSP 2008. 9th International Conference on. IEEE*, 2008.
- [15] Zhang, Ming-min, et al., "On 2D-Imaging Algorithm for Underwater Target in Near-Field", *Image and Signal Processing, 2008. CISP'08. Congress on. Vol. 3. IEEE*, 2008.
- [16] Parmeswaran, H., et al., "Cross-range imaging of a cooperative source using passive inverse synthetic aperture technique", *Underwater Technology Symposium (UT), 2013 IEEE International*, 2013.
- [17] Martorella, Marco, "Optimal Sensor Positioning for Inverse Synthetic Aperture Radar", *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, Vol. 49, No.1, pp.648-658, 2013.
- [18] Theodoros G. Kostis, "Interferometric inverse synthetic aperture radar"; Master of Science thesis, University College London, Department of Electrical & Electronic Engineering, 2001
- [19] Zhu, Zhenbo, Yabiao Zhang, and Ziyue Tang, "Bistatic inverse synthetic aperture radar imaging", *Radar Conference, 2005 IEEE International.*, 2005.
- [20] Mehrdad, Soumekh, "Synthetic aperture radar signal processing with MATLAB algorithms"; A Wiley Interscience Publication, 1999.
- [21] Wang, Genyuan, Xiang-Gen Xia, and Victor C. Chen, "Three-dimensional ISAR imaging of maneuvering targets using three receivers", *Image Processing, IEEE Transactions on*, Vol. 10, No.3, pp.436-447, 2001.

Underwater Moving Target Imaging using Multistatic Inverse Synthetic Aperture Sonar (MISAS) with Virtual Resources

J. Taghizadeh, S. A. Seyedin*

*Ferdowsi University of Mashhad
(Received: 10/07/2014, Accepted: 01/02/2015)

Abstract

Underwater target imaging using acoustic waves is possible by employing the method used in synthetic aperture radars. In recent years, synthetic aperture sonar has been the subject of several researches. Wherein imaging of underwater moving target is required, inverse synthetic aperture sonar (ISAS) idea can be used but specifications and limitations of underwater channel should be considered. In this paper, first we survey monostatic inverse synthetic aperture sonar and its difficulties for use; then we propose multistatic inverse synthetic aperture sonar (MISAS) with specific geometry and condition which can create better images of underwater moving targets than monostatic ISAS. Improvement in images quality is achieved by space diversity of multistatic ISAS which is the result of placement and multipath effect of only one transmitter in shallow waters.

Keywords: Inverse Synthetic Aperture Sonar (ISAS), Multistatic Inverse Synthetic Aperture Sonar (MISAS), Back Projection Imaging Algorithm.