بسمه تعالی

دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)

دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش مدارهای مجتمع الکترونیک

سمینارکارشناسی ارشد

عنوان سمینار:

بررسی الگوریتم های کوانتومی درشکل دهی بیم (پرتو) سونار آرایه ای

تهیه وتدوین:

رضا رضوانی‌گیل‌کلایی

استادراهنما:

دکتر محمد کاظمی راد

استادمشاور:

دکتر سیدمجید حسنی اژدری

دی ۱۴۰۱

Contents

فصل ۱ ..... ۴

۱ – ۱ مقدمه ۴

۱ – ۲ مفهوم سونار ۵

۱ – ۳ تاریخچه سونار ۶

۱ – ۴ انواع سونار ۸

۱ –۴ –۱ سونار فعال ۸

۱ –۴ –۲ سونار غیرفعال ۱۱

۱ – ۵ ساختار سیستم سونار ۱۲

۱ – ۶ سونار آرایهای ۱۶

۱ – ۷ شکل دهی پرتو ۱۷

۱ –۷ –۱ ویژگی های شکل دهی پرتو ۱۸

۱ –۷ –۲ کاربرد های شکل دهی پرتو ۲۰

۱ –۷ –۳ مزایای شکل دهی پرتو ۲۰

۱ –۷ –۴ روش پیاده سازی شکل دهی پرتو ۲۰

۱ – ۸ الگوریتم کوانتومی ۲۶

۱ –۸ –۱ حالت های کوانتومی ۲۶

۱ –۸ –۲ گیت های کوانتومی ۲۸

۱ –۸ –۳ مدارات کوانتومی ۲۹

۱ –۸ –۴ الگوریتم کوانتومی ۲۹

۱ – ۹سوابق الگوریتم کوانتومی در شکل دهی پرتو سونار ۳۱

۱ – ۱۰ نتیجه گیری ۳۴

منابع ۳۵

چکیده

سیستم سونار، فناوری است که با استفاده از انتشار امواج صوتی و فراصوتی در زیر آب قادر به شناسایی دیگر ناوها یا کشتی‌ها است. در گیرنده سونار آرایه‌ای از یک سری هیدروفون آرایه‌ای استفاده می‌شود که با استفاده از شکل‌دهی بیم (پرتو) می‌توان موقعیت و جهت صوت دریافتی را تشخیص داد. شکل‌دهی پرتو یکی از مهم‌ترین بلوک‌های پردازش سیگنال آرایه‌ای در سونار می‌باشد که به دلیل ماهیت محیط و شرایط کاری، نیازمند بهره‌گیری از روش‌های وفقی و مقاوم است تا بتواند مشخصات مناسبی در خروجی شکل‌دهنده پرتو ارائه دهد. به‌منظور کنترل بیم سونار آرایه‌ای از شیفت دهی فاز و تغییر دامنه سیگنال اصلی تغذیه‌شده به آرایه استفاده می‌گردد. از طرفی محاسبات وزن‌های بردار ضرایب شکل‌دهی بیم دامنه و فاز نیاز به محاسبات پیچیده‌ای دارد که در زمان کم قابل انجام نیست. از طرفی موقعیت اهداف با توجه به دینامیک بودن آن‌ها همواره در حال تغییر بوده و نیاز است تا بردار ضرایب شکل‌دهی بیم با سرعت بیشری انجام شود، از طرفی الگوریتم‌های کوانتوم که زمان محاسبات را تا حدی زیادی کاهش می‌دهند، می‌توانند در مراحل محاسبات این بردار ضرایب نقش مؤثری ایفا نمایند. در این سمینار الگوریتم‌های کوانتومی بهینه در شکل‌دهی پرتو سونار را بررسی کردیم.

کلمات کلیدی: سونار آرایه‌ای، الگوریتم کوانتومی، شکل‌دهی بیم، آرایه

فصل ۱

۱ - ۱ مقدمه

در حال حاضر، فناوری تشخیص زیر آب به‌طور گسترده برای بررسی بستر دریا، عملیات نجات، بازرسی خطوط لوله، موقعیت‌یابی زیر آب و بسیاری از کاربردهای دریایی دیگر استفاده می‌شود. سونار[1] یکی از مهم‌ترین تجهیزات شناسایی است که می‌تواند اشیاء زیر آب را از طریق شدت صوتی، فرکانس و فاز آنالیز کند. تصویربرداری سونار دارای مزایای تشخیص از راه دور و نفوذ قوی است؛ بنابراین، به‌طور گسترده‌ای برای بازرسی‌های زیر آب، بررسی‌های هیدروگرافی و عمق سنجی، موقعیت‌یابی زیر آب، لایروبی، کابل گذاری، بازرسی‌های خط لوله و بسیاری از کاربردهای دریایی دیگر استفاده می‌شود [۱].

کشف و تعیین موانع و اهداف در زیر آب با استفاده از سونارها انجام می‌شود. ویژگی‌های ذاتی موج صوتی باعث می‌شود صوت بتواند تا کیلومترها منتشر گردد. محیط زیر آب برای اکثر طیف‌های الکترومغناطیسی محیطی مات و غیرقابل‌انتشار محسوب می‌شود. درحالی‌که موج‌های آکوستیکی می‌توانند در آب کاوش و انتشار پیدا کنند. سونار امروزه نقش اساسی در سیستم‌های ناوبری و امنیت در محیط‌های دریایی دارد و درواقع راداری است که کارایی آن در آب بوده و در آن به‌جای امواج رادیویی از امواج صوتی جهت پویش محیط استفاده می‌گردد. امواج رادیویی در فضای سطحی به‌خوبی و با سرعت بالایی منتشر می‌گردد لیکن امواج صوتی به‌سرعت انرژی خود را ازدست‌داده و تا برد کمی منتشر می‌گردد، اما در آب چنین نیست. ویژگی‌های ذاتی موج صوتی باعث می‌شود صوت بتواند تا کیلومترها منتشر گردد این در حالی است که محیط زیر آب برای اکثر طیف‌های الکترومغناطیسی محیطی مات و غیرقابل کاوش محسوب می‌شود [۲].

یکی از چالش‌های مهم در سونار، چندگانگی مسیر و تأخیر زمانی امواج دریافتی است. شکل‌دهی پرتو یکی از راهکارهایی است که می‌تواند پدیده چندمسیرگی را به‌طور مؤثر بهبود بدهد. شکل دادن به پرتو از طریق کاهش تداخل، ظرفیت سیستم را افزایش می‌دهد. مبدل‌ها به‌صورت آرایه خطی یکنواخت در کنار هم قرار می‌گیرند. شکل‌دهی پرتو فرآیندی است که با پردازش سیگنال آرایه سروکار دارد. در این فرآیند خروجی حسگرهای آرایه به نحوی با یکدیگر ترکیب می‌گردند و بدین ترتیب انتخاب فضایی هر نقطه از محیط امکان‌پذیر خواهد شد. در الگوریتم‌های معمولی، سیگنال‌های نمونه‌برداری شده از حسگرهای آرایه به‌صورت خطی تأخیر

[1] SONAR

داده‌شده و با یکدیگر جمع می‌شوند. این روش‌ها دارای یک محدودیت اساسی هستند و آن اینکه کیفیت عملکرد این روش‌ها مستقیماً به‌اندازه فیزیکی آرایه وابسته است [۳].

اهمیت طراحی مناسب واحد شکل‌دهی پرتو در انتخاب درست روش تولید پالس و استفاده از پردازنده مناسب است. اصول کلی طراحی این قسمت به این صورت است که پردازنده‌ای استفاده شود که متناسب با هزینه‌ای که سازنده صرف می‌کند ازنظر سرعت پردازش و بازدهی نتایج بهتری حاصل شود؛ بنابراین می‌بایست با توجه به مقادیر فرکانسی و تعداد کانال‌های پالسی موردنیاز از پردازنده یا میکروکنترلر مناسب استفاده شود. به‌طور خاص، الگوریتم‌های بهینه‌سازی شکل‌دهی پرتو یک زمینه تحقیقاتی مهم جدید در تشخیص تصویر سونار هستند [۴]. در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های بهینه‌سازی شکل‌دهی پرتو به‌تدریج توجه بیشتری را در داخل و خارج از کشور به خود جلب کرده‌اند. در این سمینار ابتدا سیستم سونار بخش‌های عمده روش‌های شناسایی و کشف اهداف روابط حاکم بر سونار موردبررسی و بحث قرار می‌گیرد. یکی از سونارهای امروزی که کاربرد بسیاری در کشف اهداف نقش دارد سونار آرایه‌ای است که با استفاده از شکل‌دهی بیم تعیین دامنه و فاز ضرایب شکل‌دهی بیم جهت و موقعیت اهداف بعد از پردازش‌های پیچیده تعیین می‌گردد. در گام دوم الگوریتم‌های کوانتومی موردبررسی قرارگرفته و مؤلفه‌های بهینه نیز در پردازش‌های سیگنال مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه بهینه‌ترین الگوریتم کوانتومی مورد تجزیه‌وتحلیل قرارگرفته و با بررسی مقالات و نتایج سعی داریم از بین الگوریتم‌های کوانتومی موجود بهینه‌ترین الگوریتم برای سریع‌تر شدن محاسبات پردازش تعیین ضرایب بهینه شکل‌دهی بیم معرفی گردد.

۱ - ۲ مفهوم سونار

مفهوم سونار از جنگ جهانی دوم سرچشمه گرفته است که برگرفته از مخفف Navigation Sound and Ranging[۱] است که فرآیند تشخیص و مکان یک شئ با دریافت صدای ساطع‌شده از شئ (فرآیند سونار غیرفعال[۲]) یا با دریافت پژواک منعکس‌شده از یک شئ، از طریق یک فرآیند تشخیص فاصله صوت (فرآیند سونار فعال[۳]) می‌باشد. بااین‌حال تشخیص اشیا توسط صوت مربوط به قرن نوزدهم و با از بین رفتن کشتی مسافری تایتانیک و فعالیت زیردریایی‌ها در طول جنگ جهانی اول است که تحولاتی در فناوری سونار و کاربرد

[۱] ناوبری و تشخیص فاصله توسط صوت

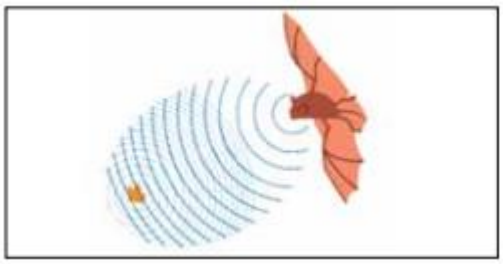
[2] Passive Sonar
[3] Active Sonar

آن صورت گرفت. درواقع سونار عبارت است از ناوبری و تشخیص فاصله اهداف با استفاده از امواج صوتی است. به‌عبارت‌دیگر سونار فنّاوری است که با استفاده از انتشار صدا در زیرآب قادر به شناسایی دیگر ناوها و کشتی‌هاست. درون آب به دلیل ماهیت فیزیکی آن، امواج صوتی به‌خوبی منتشر می‌شوند و دارای تضعیف کمتری نسبت به امواج الکترومغناطیسی می‌باشند؛ بنابراین در سیستم‌های سونار برای تشخیص اهداف و موانع و همچنین تصویربرداری در آب‌ها از سیگنال‌های صوتی استفاده می‌شود [۵]. تصویر سونار زیر آب شامل سه نوع ناحیه است: ناحیه برجسته شی، سایه و ناحیه پس‌زمینه. ناحیه برجسته شی از انعکاس موج صوتی از یک شی نشات می‌گیرد. ناحیه سایه از عدم وجود پس‌پراکندگی صوتی در پشت جسم ناشی می‌شود. اطلاعات باقی‌مانده از به‌اصطلاح منطقه پس‌زمینه تشکیل‌شده است. با توجه به پیچیدگی محیط زیر آب، ماسه، سنگ و حیوانات در آب دریا می‌توانند باعث شوند که مقادیر خاکستری ناحیه پس‌زمینه نزدیک به مناطق برجسته شیء و ناحیه سایه باشد [۱].

۱ - ۳ تاریخچه سونار

سیستم حرکت کردن و تعیین مسیر و شکار حشرات در خفاش‌ها که قدمتی ۶۰ میلیون ساله دارد نیز مشابه سیستم سونار می‌باشد با این تفاوت که از هر سیستم ناوبری‌ای که تاکنون به‌وسیله فناوری سونار تولیدشده برتر است. با فریاد زدن در فرکانس‌های فراصوت خفاش‌ها می‌توانند صداهای بازتابیده از اشیاء اطرافشان را تشخیص دهند و آن‌ها را به‌صورت تصویر صوتی تفسیر کنند. ازجمله ابتدایی‌ترین گام‌ها در دانش بیونیک[1] که علم الهام گرفتن از طبیعت برای ساخت مصنوعات بشری است پیشنهادهای اولیه برخی از دانشمندان در ابتدای قرن بیستم برای ساختن وسایل ردیابی با الهام از مکانیسم مسیریابی خفاش‌ها است. البته سیستم‌های رادار و سونار در ابتدای امر صرفاً بر اساس الهام گیری از فرآیند مسیریابی در خفاش‌ها و سایر حیوانات با سازوکار مشابه ساخته نشدند و اصولاً زمانی که نخستین تلاش‌ها برای ساخت رادار و سونار به عمل آمد، فرآیند ناوبری فراصوتی در خفاش‌ها هنوز به شکل کامل شناخته‌نشده بود (شکل ۱) [۶].

[1] Bionic



شکل ۱: سازوکار مسیریابی و شکار با استفاده از امواج فراصوت در خفاش‌ها

برای بررسی کامل تاریخچه سونار باید تاریخچه دانش آکوستیک[1] را مرور کرد؛ اما گام‌های اصلی در این عرصه پس از ارائه روشی برای ضبط‌صوت توسط توماس ادیسون و روش انتقال سیگنال‌های الکتریکی توسط الکساندر گراهام بل برداشته شد. درنهایت توسعه علم الکتروآکوستیک[2] بود که راه را برای ساختن سونارهای امروزی هموار ساخت. در سال ۱۹۰۶، اولین سونار غیرفعال جهت شناسایی توده‌های یخ توسط لوییس نیکسون اختراع گردید. در سال ۱۹۱۲ میلادی فیزیکدان انگلیسی؛ لوییس ریچاردسون به دنبال فاجعه کشتی تایتانیک، دستگاهی برای سنجش امواج صوتی در زیر آب اختراع کرد. در همان سال، رینالد فسندن؛ مهندس کانادایی؛ دستگاهی با استفاده از امواج صوتی در فرکانس۵۰۰ Hz جهت عمق سنجی و تشخیص موانع زیر آب طرحی کرد که در بندر بوستون آمریکا به آزمایش گذاشته شد و به نام نوسان‌ساز فسندن مشهور گشت [۳].

در سال ۱۹۱۳ میلادی فیزیکدان آلمانی الکساندر بهم نیز سیستم ای مشابه دستگاه ساخته‌شده توسط ریچاردسون طراحی کرد در جنگ جهانی اول به علت نیاز به شناسایی اهداف دریایی تمایل به استفاده از سونار افزایش یافت و به دنبال این نیاز در سال ۱۹۱۵ میلادی فیزیکدان فرانسوی؛ پل لانجوین به همراه کنستانتین چلوسکی روس موفق به اختراع نخستین سونار فعال شدند. اگرچه مبدل‌های پیزوالکتریک[3] نسبت به این سونار ترجیح داده شدند، اما در جای خود این نوع سونارها آینده روشنی را در علم رادار شناسی باز کردند. در سال ۱۹۱۶ میلادی رابرت ویلیام بویل، فیزیکدان کانادایی با تشکیل کمیته تحقیقاتی تشخیص ضد زیردریایی[4] زیر نظر بخش تحقیقات و اختراعات نیروی دریایی، انگلستان موفق به ساخت نمونه آزمایشی نظامی سونار فعال شد که بانام ASDIC شناخته شد. درنهایت در سال ۱۹۱۸ میلادی انگلستان و ایالات‌متحده آمریکا ساخت سیستم‌های سونار فعال را آغاز کردند و در سال ۱۹۲۳ میلادی، تولید انبوه این نوع از سیستم‌ها به‌طور رسمی شروع شد. در خلال دهه ۱۹۳۰ میلادی نام سونار که توسط متخصصان آمریکایی به خاطر شباهت به کلمه

[1] acoustics
[2] Electro acoustics
[3] Piezoelectric
[4] ASDIC: Allied Submarine Detection Investigation Committee

رادار برگزیده‌شده بود. به سیستم تشخیص و ناوبری صوتی اطلاق گردید. عمده پیشرفت‌ها در ساختار سیستم سونار متعلق به پس از جنگ جهانی دوم است. پس از جنگ جهانی دوم ناوگان آمریکا اقدام به تولید کشتی‌ها و زیردریایی‌هایی کرد که دارای فناوری معروف به ماهی کوچک بودند. ازجمله این پیشرفت‌ها می‌توان به افزایش برد سونار فعال در کاربردهای نظامی و همچنین تنظیم فرکانس سونارهای غیرفعال در فرکانس‌های پایین‌تر که سبب دریافت نویز فرکانس پایین زیردریایی‌ها می‌شود، نام برد [۳].

شکل ۲: نمونه‌ای از نمایشگر سیستم سونار

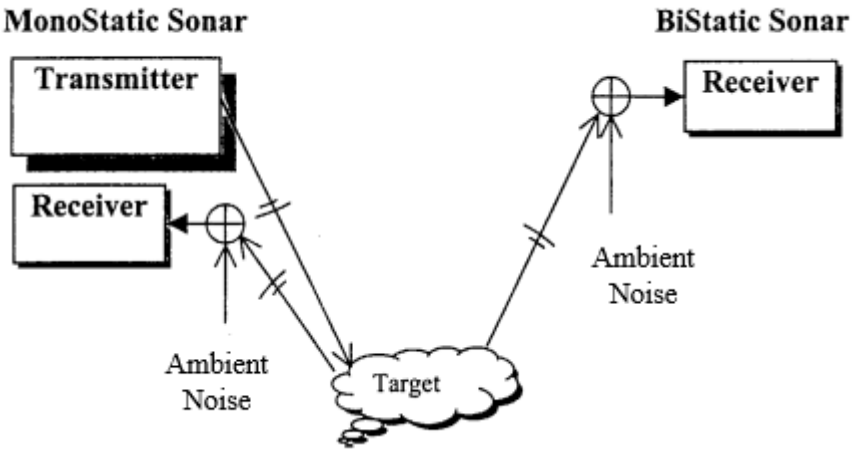
۱ - ۴ انواع سونار

۱ -۴ -۱ سونار فعال

در نوع فعال، عملکرد سیستم سونار بسیار شبیه به رادار است با این تفاوت که به‌جای امواج الکترومغناطیسی از امواج صوتی و فراصوتی استفاده می‌کند. اساس کار سیستم سونار فعال، تشکیل‌شده است از یک قسمت فرستنده امواج صوتی و یک قسمت گیرنده که درنهایت بر اساس امواج بازتابیده، اطلاعات را بر روی صفحه‌نمایش سونار نمایش می‌دهد. دو نوع سیستم سونار مطرح می‌باشند که در شکل ۳ نمایش داده‌شده‌اند.

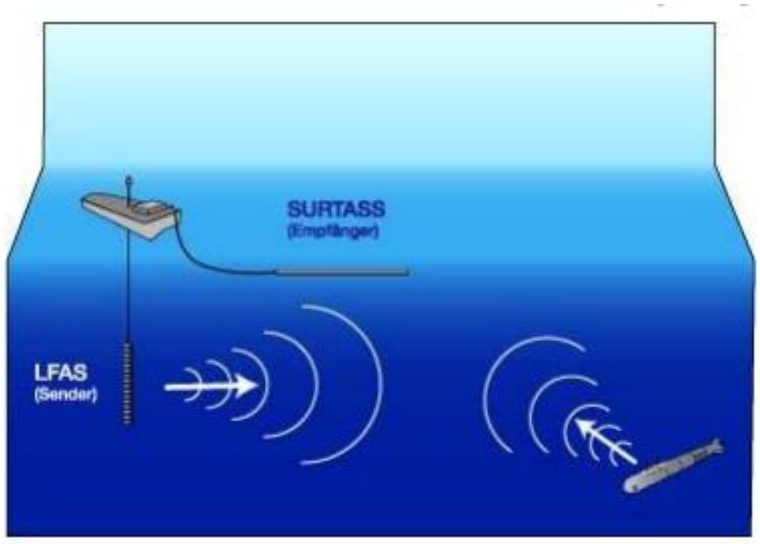
۱- سیستم‌های سونار MonoStatic: در این سیستم سونار، گیرنده و فرستنده در یک مکان قرار دارند.

۲- سیستم‌های BiStatic: در این سیستم سونار گیرنده و فرستنده در یک مکان قرار ندارند و گیرنده در مکان مناسبی قرار می‌گیرد که قادر به دریافت سیگنال‌های اکوی ناشی از برخورد باهدف باشد [۷].



شکل ۳: ساختار سونارهای فعال

با ایجاد پالس‌های صوتی معروف به پینگ[1] و گوش کردن به پالس بازگشتی عمل می‌کند، یعنی این نوع فرستنده از یک اسیلاتور با فرکانس بالا و یک تقویت‌کننده تشکیل‌شده است که فرستنده یک پالس باانرژی کم را به دستگاه ترنسدیوسر[2] برای ارسال به داخل آب تغذیه می‌کند سپس پژواک برگشتی را دریافت می‌کند (شکل ۴).



شکل ۴: سونار فعال

[1] Ping
[2] Transducers

ترنسدیوسر دستگاهی است که یک نوع انرژی را به انرژی دیگر تبدیل می‌کند که در سیستم سونار فعال انرژی الکتریکی را به انرژی صوتی تبدیل می‌کند، سپس در پژواک دریافتی برای نمایش دادن انرژی صوتی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، بدین ترتیب هر دو عمل میکروفون و بلندگو را انجام می‌دهد [۸]. بعضی از انواع آن عبارت‌اند از:

الف) سونارهای نورافکن[1]: سونارهای فعال اولیه اصول نورافکن را برای مخابره صوت به کار می‌بردند. ترنسدیوسر مانند نورافکن به قسمت معینی چرخانده می‌شود تا امواج صوتی در آن جهت مخابره شود. پرتو صوتی بسیار نازک بوده (در حدود ۵ درجه) و درنتیجه فقط قسمت کوچکی از آب‌های اطراف پژواک دریافت می‌شود. معایب این نوع سونار بررسی زاویه خاصی است که امکان فرار را برای زیردریایی فراهم می‌کند و از معایب دیگر به دست آوردن اطلاعات فقط به‌صورت سمعی بوده درحالی‌که سونارهای امروزی اطلاعات را هم به‌صورت سمعی و هم به‌صورت بصری در اختیار می‌گذارند [۳].

ب) سونارهای همه‌جانبه[2]: ناوهای ضد زیردریایی و زیردریایی‌های مدرن با سونارهای همه‌جانبه که پالس صوتی را در تمام جهات مخابره می‌کند، مجهز می‌باشند. سونارهای همه‌جانبه که امروزه بسیار موردتوجه قرارگرفته‌اند انرژی قابل‌ملاحظه‌ای تولید نموده که برای ارسال امواج در ۳۶۰ درجه در یک آن کافی می‌باشد. طرز کار سونارهای فعال مدرن را با تقسیم‌بندی به سه قسمت می‌توان بررسی کرد:

۱- ارسال امواج: ارسال پالس‌های صوتی از قسمت کنترل که دارای کلیدهای ضروری می‌باشد، سرچشمه می‌گیرد. طول پالس نیز توسط اپراتور در هر قسمت کنترل می‌شود.

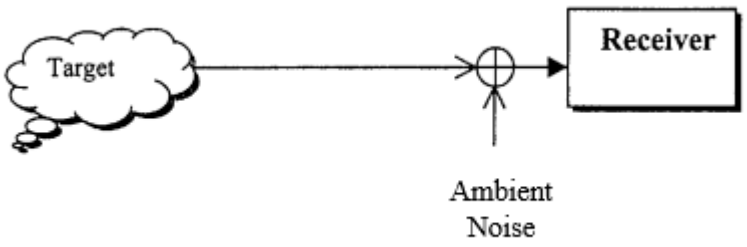
۲- دریافت امواج: چنانچه امواج صوتی مخابره شده به شیئ که دارای خاصیت منعکس نمودن به‌اندازه کافی باشد برخورد کنند یک قسمت کوچک از این علائم به ترنسدیوسر برمی‌گردد. در داخل ترنسدیوسر علائم صوتی در اثر خواص پیزوالکتریک به علائم الکتریکی تبدیل می‌شود سپس در تقویت‌کننده‌ها تقویت می‌شود و بعد از تقویت اولیه علائم به سوئیچ‌های همه‌جانبه سمعی و بصری که در داخل گیرنده همه‌جانبه قرار دارد فرستاده می‌شود.

[1] Searchlight Sonar
[2] Scaning Sonar

۳- نمایش: برای آنکه پژواک‌های بازگشتی مورداستفاده قرار گیرند بایستی طوری نمایش داده شوند که اپراتور سونار بتواند اطلاعات به‌دست‌آمده را تفسیر نماید. در این قسمت از سیستم ODN[1] جهت خنثی نمودن اثر داپلر[2] استفاده می‌شود. پس‌ازآنکه انرژی خروجی سوئیچ همه‌جانبه بصری به قسمت بصری گیرنده تغذیه شد در صفحه سونار درروی لامپ اشعه کاتدی نمایش داده می‌شود. برای تشخیص فاصله از هدف می‌توان مدت‌زمان ارسال و دریافت پالس را اندازه‌گیری کرد. برای اندازه‌گیری جهت و راستای هدف می‌توان از هیدروفون‌های[3] مختلف استفاده کرد و سپس زمان دریافت پالس توسط هر یک از این هیدروفون ها را اندازه‌گیری کرد و با مقایسه این زمان‌ها جهت و راستای هدف را مشخص کرد. رابطه بین فرکانس و مسافت بدین‌صورت است که برای مسافت‌های طولانی از فرکانس‌های پایین استفاده می‌کنیم [۳].

۱ -۴ -۲ سونار غیرفعال

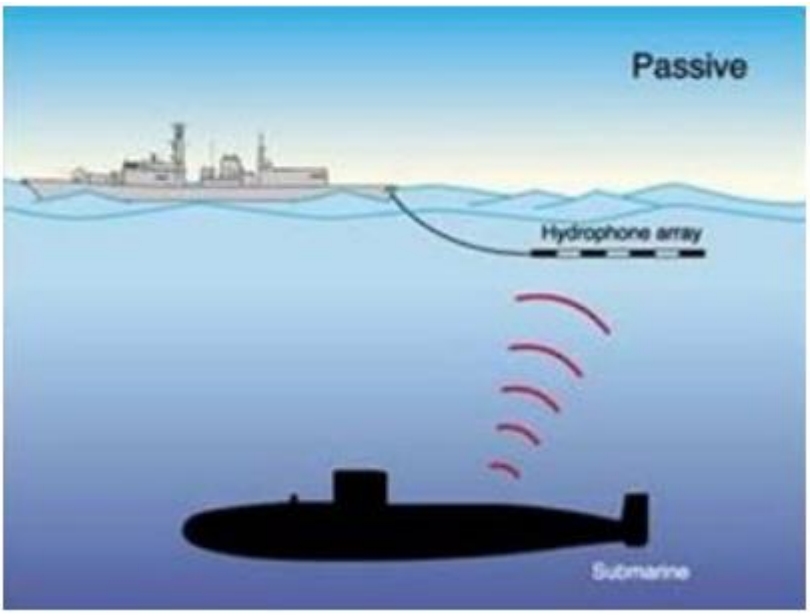
در سیستم سونار غیرفعال انرژی صوتی توسط خود هدف تولید و منتشر می‌شود مانند امواج مکانیکی منتشره از کشتی‌ها، زیردریایی‌ها، توده ماهی‌ها و غیره در این حالت سونار تنها شامل یک گیرنده امواج صوتی است. در این سیستم‌ها امواج صوتی ایجادشده از هدف، توسط هیدروفون‌ها دریافت شده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵: ساختار سونار غیرفعال

[1] Own Doppler Nallifier
[2] Doppler Shift
[3] Hydrophones

همان‌طور که از اسم آن پیداست سونار غیرفعال روی صدای هدف به‌عنوان منبع تولید صوت به‌جای بازگشت پژواک امواج ارسالی تکیه می‌کند (شکل ۶). درنتیجه هیدروفون‌های بسیار حساس جهت اکتشاف هدف در فاصله‌های دور به‌کاربرده می‌شود. گرچه سونار غیرفعال معمولاً توسط زیردریایی‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد ولی تعداد زیادی از ناوها از سیستم سونار غیرفعال نیز استفاده می‌کنند که دارای ترنسدیوسرهای غیرفعال می‌باشد. دریافت پژواک در این نوع سونارها با سونار فعال هیچ فرقی نخواهد داشت، فقط ارسال امواج در سیستم سونار غیرفعال نخواهیم داشت. بخش اصلی سونار غیرفعال هیدروفون‌ها می‌باشد. سونار غیرفعال تنوع سونار فعال را ندارد اما اغلب کار یکسانی دارند [۹].



شکل ۶: سونار غیرفعال

۱ - ۵ ساختار سیستم سونار

ساختار سیستم سونار در حالت کلی از سازوکار سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی پیروی می‌کند. در طراحی و ساخت سونار فعال نیاز به طبقات فرستنده و گیرنده داریم، اما سونار غیرفعال تنها نیازمند یک گیرنده است. عملکرد گیرنده سونار غیرفعال و فعال به‌جز در بازه فرکانسی دریافتی تفاوت چندانی ندارند طبقه انتهایی

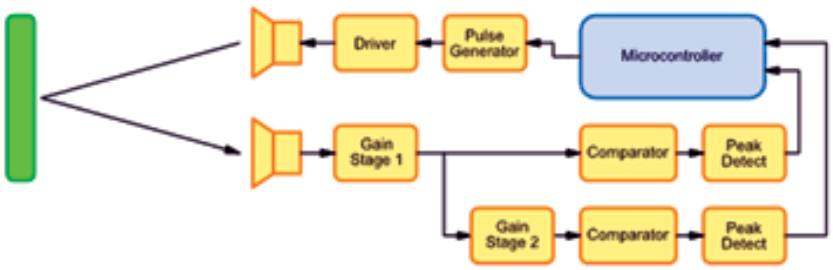
فرستنده در سونار فعال و هم‌چنین طبقه ابتدایی گیرنده در سونار فعال و غیرفعال عبارت است از یک مبدل[1] (تراگردان). در سیستم‌های ابزار دقیق و اندازه‌گیری الکترونیکی مبدل عنصری است که یک کمیت فیزیکی را در ورودی دریافت کرده و به یک کمیت فیزیکی متناظر دیگر در خروجی تبدیل می‌کند [۱۰].

دو نوع از مبدل‌ها در سیستم‌های اندازه‌گیری الکترونیکی اهمیت بیشتری دارند:

الف) حس‌گرها[2]: که یک نوع کمیت فیزیکی را در ورودی دریافت کرده و در خروجی به انرژی الکتریکی متناظر تبدیل می‌کنند.

ب) عمل‌کننده‌ها[3]: که ورودی آن‌ها از نوع انرژی الکتریکی است و در خروجی آن را به یک کمیت فیزیکی متناظر دیگر تبدیل می‌کنند.

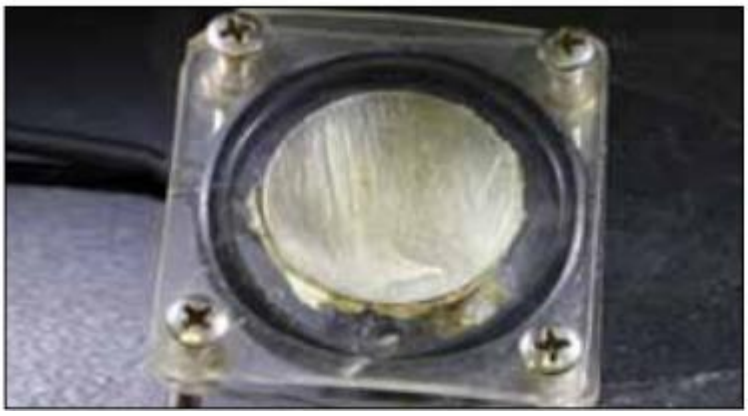
با توجه به این‌که سونار با امواج صوتی و فراصوتی کار می‌کند ساختار آن نیازمند مبدل‌های صوتی است. حس‌گرهای صوتی درصورتی‌که در هوا از آن‌ها استفاده شود، میکروفون[4] و درصورتی‌که در محیط زیر آب مورداستفاده قرار گیرند، هیدروفون نامیده می‌شوند. به همین ترتیب عمل‌کننده‌های صوتی درصورتی‌که در هوا از آن‌ها استفاده شود بلندگو[5] و درصورتی‌که در محیط زیر آب مورداستفاده قرار گیرند پروژکتور[6] نامیده می‌شوند. مهم‌ترین مبدل‌های مورداستفاده در سیستم سونار مبدل‌های پیزوالکتریک مگنتواستریکتیو[7] و الکترواستریکتیو[8] هستند [۱۰].



شکل ۷: دیاگرام بلوکی یک سیستم سونار فعال بسیار ساده

[1] Transducer
[2] Sensor
[3] Actuator
[4] Microphone
[5] Speaker
[6] Projector
[7] Magnetostrictive
[8] Electrostrictive

مبدل‌های پیزوالکتریک دارای دو اثر مستقیم و معکوس هستند. در اثر مستقیم انرژی مکانیکی وارده به آن‌ها سبب جابجایی مولکول‌ها در شبکه بلوری مبدل شده و این جابجایی باعث تغییرات بار الکتریکی و تولید جریان الکتریکی می‌شود. با توجه به این‌که صوت یک ارتعاش مکانیکی است اثر مستقیم مبدل‌های پیزوالکتریک برای ساختن حسگرهای صوتی و فراصوتی مناسب است. در حالت اثر معکوس انرژی الکتریکی وارده به مبدل سبب تولید انرژی مکانیکی خواهد شد که این حالت برای ساختن عمل‌کننده‌های صوتی و فراصوتی مناسب است. یک مثال جالب از کاربرد اثر معکوس در موادی که خاصیت پیزوالکتریکی دارند ساخت نوسان‌سازهای کریستالی است. در مواد معدنی اثر پیزوالکتریک در بلورهای کوارتز[1] و نمک راشل[2] و برخی دیگر از مواد مشاهده‌شده است. برخی از سرامیک‌های مصنوعی مانند تیتانات دوباریم نیز تولیدشده‌اند که دارای خواص پیزوالکتریکی بسیار مناسبی هستند [۱۰].



شکل ۸: یک نمونه از هیدروفون های پیزوالکتریک

استفاده از مبدل‌های پیزوالکتریکی دارای این مزیت است که یک مبدل می‌تواند هم به‌عنوان طبقه انتهایی فرستنده و هم به‌عنوان طبقه ابتدایی گیرنده در سیستم سونار فعال استفاده شود. مبدل‌های مگنتواستریکتیو، بر اساس خاصیت مگنتو استریکشن[3] (مغناطوتنگش) ساخته می‌شوند. خاصیت مغناطوتنگش به این صورت است که وقتی مواد فرومغناطیس در یک میدان الکتریکی قرار گیرند، یک تغییر جزئی در طول آن‌ها به وجود می‌آید که بستگی به جنس ماده فرومغناطیسی و شدت میدان الکتریکی دارد. بسته به جهت میدان الکتریکی

[1] Quartz
[2] Rochelle salt
[3] Magnetostriction

اندازه طول ماده فرومغناطیسی ممکن است کم یا زیاد شود معکوس این پدیده نیز ممکن است یعنی اعمال تغییر طول به یک ماده فرومغناطیس می‌تواند باعث مغناطیس و مرتعش شدن آن شود. با استفاده از خاصیت مگنتواستریکشن در مبدل‌های مگنتواسترکتیو می‌توان عمل‌کننده‌ای ساخت که تغییرات میدان الکتریکی را به ارتعاشات صوتی و فراصوتی مبدل سازد و همچنین معکوس این خاصیت نیز برای ساختن حسگر صوتی و فراصوتی مناسب است. استفاده از مبدل‌های مگنتواسترکتیو نیز مانند مبدل‌های پیزوالکتریک دارای این مزیت است که یک مبدل می‌تواند هم به‌عنوان طبقه انتهایی فرستنده و هم به‌عنوان طبقه ابتدایی گیرنده در سیستم سونار فعال استفاده شود [۱۰].

شکل ۹: ساختار یک مبدل مگنتواسترکتیو ساده

در مبدل‌های الکترواسترکتیو به‌جای مواد فرومغناطیس از مواد فروالکتریک[1] استفاده می‌شود. این مواد خاصیتی شبیه به مواد پیزو الکتریکی دارند و لذا به آن‌ها شبه پیزوالکتریک نیز می‌گویند. در حالت کلی در یک سیستم سونار فعال، ابتدا طبقه فرستنده پالسی الکتریکی را که توسط طبقات دیجیتال تولیدشده با استفاده از یک مبدل دیجیتال به آنالوگ به‌صورت آنالوگ درمی‌آورد و سپس به عمل‌کننده (پروژکتور) اعمال می‌کند که نتیجه آن انتشار یک ارتعاش صوتی یا فراصوتی در آب است بازتاب‌های این موج ارتعاشی در برخورد با موانع از طریق هیدروفون دریافت می‌گردد و اطلاعات حاصل، پس از مراحل پردازش آنالوگ و دیجیتال، بر روی نمایشگر سیستم سونار، نمایش داده می‌شود [۱۰].

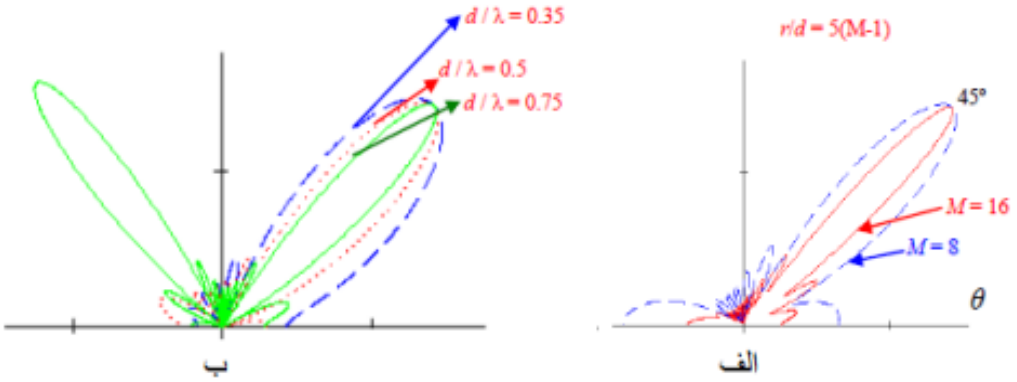
[1] Ferroelectric

۱ - ۶ سونار آرایه‌ای

آرایه‌های هیدروفون بیش از پنجاه سال است که بخشی از سیستم‌های سونار نیروی دریایی هستند. آن‌ها به‌صورت غیرفعال و فعال استفاده می‌شوند و اکنون کاملاً پیچیده هستند. سونار آرایه‌ای فعال امواج صوتی خود را تولید می‌کنند. این فرکانس‌های منتشرشده فعال در آب حرکت می‌کنند. هنگامی‌که صدا به یک جسم برخورد می‌کند، امواج صوتی به آرایه‌ای که گیرنده اکو را دریافت می‌کند، منعکس می‌شود. سونارهای آرایه‌ای در پیکربندی ثابت مانند سیستم SOSUS[1] و آرایه‌های یدک‌کشی که در کشتی‌های سطحی و زیردریایی‌ها مستقر می‌شوند، استفاده می‌شوند. هیدروفون‌ها در یک سیستم سونار آرایه‌ای یدک‌کشی در فواصل مشخصی در امتداد کابل قرار می‌گیرند، عناصر انتهایی به‌اندازه کافی از هم فاصله‌دارند تا توانایی اولیه برای مثلث‌بندی روی منبع صدا را به دست آورند. به‌طور مشابه، عناصر مختلف به سمت بالا یا پایین زاویه داده می‌شوند که توانایی مثلث سازی عمق عمودی تخمینی هدف رادارند. می‌توان ادعا کرد که این آرایه‌ها فعال کلیدی در پیروزی در جنگ سرد بودند. به‌طور مشابه، اولتراسونیک‌های پزشکی از بسیاری از تکنیک‌هایی که در ابتدا برای سیستم‌های سونار توسعه داده‌شده‌اند، استفاده کرده‌اند. منطقه اصلی که در آن سونارهای مدرن متفاوت هستند شامل استفاده از پردازش آرایه تطبیقی است که به‌موجب آن شخص معمولاً نیاز به محلی سازی سیگنال ضعیف در حضور تداخل قوی در یک محیط غیرثابت دارد [۱۱].

در سونارهای آرایه‌ای، یک آرایه وظیفه ارسال یک سیگنال مشخص را به عهده دارد. در گیرنده نیز با استفاده از آرایه، سیگنال بازتاب شده در اثر برخورد باهدف، دریافت می‌شود. سیستم‌های آرایه فازی از روش‌هایی مبتنی بر شکل‌دهی پرتو در فرستنده و گیرنده سود می‌برند. با استفاده از این تکنیک، می‌توان پرتو آرایه را در هر جهت دلخواه در فضا متمرکز نمود. در این صورت حداکثر انرژی توسط فرستنده به نقطه دلخواه ارسال خواهد شد. می‌توان نشان داد در پردازش سیگنال با استفاده از روش‌های شکل‌دهی پرتو، درصورتی‌که فاصله بین دو سنسور مجاور بیشتر از نصف طول‌موج سیگنال دریافتی باشد، علاوه بر گلبرگ اصلی پرتو، گلبرگ‌های فرعی در ساختار پرتو نیز به وجود خواهند آمد که موجب تقویت نویزهای جهت‌دار می‌شود. بر این اساس حداکثر فاصله مجاز بین سنسورها در سونارهای آرایه فازی نصف طول‌موج سیگنال است. آرایه‌ها به‌صورت خطی، صفحه‌ای مسطح، صفحه‌ای غیر مسطح، کروی و استوانه‌ای وجود دارند. کاربرد هر یک از این آرایه‌ها باهم فرق دارد اما استفاده از آرایه خطی معمول‌تر است؛ اما بسته به اینکه این آرایه در چه شرایط و محیطی قرار است کار کند؛ نوع آن متفاوت می‌شود [۱۲].

[1] surface arrays and surveillance systems



شکل ۱۰: الف) اثر تعداد سنسورها روی پرتو ب) اثر فاصله سنسورها روی پرتو

پهنای پرتو آنتن همواره ثابت نبوده و عواملی مانند طول آرایه، فاصله سنسورها از همدیگر، ابعاد سنسور، نوع چیدمان آنتن، فرکانس کاری و غیره روی آن تأثیرگذار هستند. در شکل ۱۰ قسمت الف می‌بینیم که هرچه تعداد سنسورها بیشتر شود پهنای پرتو کوچک‌تر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۰ قسمت ب مشخص است اگر قاعده مربوط به فاصله سنسورها رعایت نشود باعث ایجاد گلبرگ‌های اضافی می‌گردد که اصلاً مطلوب نیست چون موجب ابهام در آشکارسازی هدف می‌گردد [۱۲].

۱ - ۷ شکل دهی پرتو

می‌توان شکل‌دهی پرتو را به ساده‌ترین شکل به این صورت تعریف کرد که فرایند متحد کردن خروجی چندین آنتن همه‌سویه که در یک آرایه دلخواه قرارگرفته‌اند به‌منظور دریافت یا ارسال یک سیگنال در یک‌جهت خاص که مانع از دریافت یا ارسال سیگنال از دیگر جهات می‌شود؛ بنابراین می‌توان از شکل‌دهنده پرتو به‌عنوان یک فیلتر فضایی یادکرد. باید این نکته را متذکر شد که در یک آرایه میزان اختلاف‌زمانی رسیدن موج مابین هر دو سنسور آرایه، یا به‌عبارت‌دیگر تقدم و تا خر زمانی رسیدن موج به هر سنسور آرایه از عوامل اساسی در شکل‌دهی پرتو آرایه است.

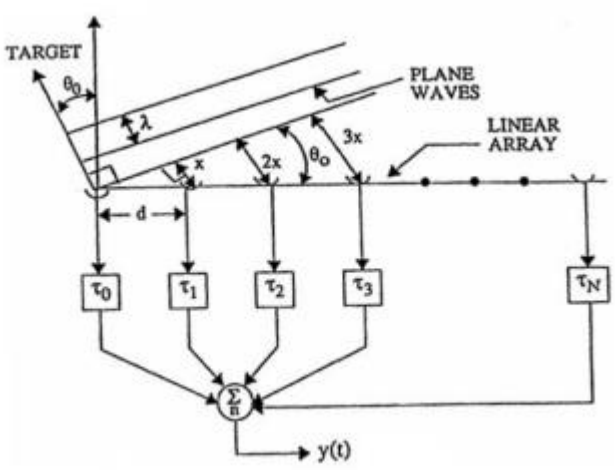
در حالت کلی شکل‌دهی پرتو شامل سه مرحله است:

۱) وزن دهی

(۲) تأخیر

(۳) جمع سیگنال‌های دریافتی از عناصر

شکل ۱۰ یک سیستم شکل‌دهی پرتو را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: یک سیستم شکل‌دهی پرتو

خروجی جمع شده شامل اطلاعاتی در مورد یک‌جهت خاص است که آن را پرتو می‌نامیم. سپس این خروجی به واحد پردازش سیگنال می‌رود سیستم شکل‌دهی پرتو می‌تواند در حوزه زمان یا فرکانس اتفاق بیفتد. شکل‌دهنده‌های پرتو هم در سیستم سونار فعال و هم در سیستم سونار غیرفعال مورداستفاده قرار می‌گیرند. در سونار غیرفعال شکل‌دهنده پرتو روی امواج دریافتی و در سیستم سونار فعال روی سیگنال‌های دریافتی از اهداف مانور می‌دهد. از برتری‌های پردازش دیجیتال نسبت به آنالوگ می‌توان به موارد پایداری بیشتر، حساسیت کمتر نسبت به درجه حرارت قابل‌اعتمادتر و کنترل آسان‌تر اشاره کرد [۱۳].

۱-۷-۱ ویژگی های شکل دهی پرتو

یکی از ویژگی‌های یک‌شکل دهنده پرتو خوب نداشتن گلبرگ فرعی و باریک بودن پهنای گلبرگ اصلی است. یکی از راه‌های کاهش گلبرگ فرعی استفاده از پنجره است. اعمال پنجره‌ای مانند Hamming روی نماد

پرتو[1] باعث کاهش گلبرگ فرعی در حدود dB ۴۰- می‌شود. مسئله دیگری که باید به آن پرداخت خطای کوانتیزه کردن است. یکی از روش‌هایی که باعث کم کردن این خطا می‌شود استفاده از درون‌یابی نمونه‌های ورودی است. مسئله‌ای که وجود دارد این است که نداشتن گلبرگ فرعی و باریک بودن پهنای گلبرگ اصلی هم‌زمان باهم اتفاق نخواهد افتاد. در این میان یک بده بستان بین پهنای گلبرگ اصلی و میرایی گلبرگ فرعی وجود دارد. این مشخصات در شکل‌دهنده پرتو معمولی ثابت هستند [۱۳].

با افزایش فرکانس یا تعداد عناصر پهنای گلبرگ اصلی کاهش می‌یابد درصورتی‌که سطح گلبرگ فرعی[2] تغییری نمی‌کند افزایش فاصله بین سنسورها نیز به کاهش پهنای گلبرگ اصلی کمک می‌کند؛ اما باید این محدودیت را هم در نظر داشته باشیم که فاصله بیش از $\frac{\lambda_{min}}{2}$ باعث برهم‌نهی فرکانسی[3] می‌شود. پس برای کاهش اثر گلبرگ فرعی، خروجی سنسورها باید وزن دهی شود. پس در فرمول‌ها به‌جای یک ضریب ثابت از یک بردار وزن دهی که به خروجی هر سنسور یک وزن خاص اختصاص می‌دهد، استفاده می‌کنیم. یکی دیگر از ویژگی‌های یک شکل‌دهنده پرتو خوب قدرت تفکیک‌پذیری بالای آن یا همان رزولوشن است پهنای گلبرگ اصلی به طول آرایه بستگی دارد اما رزولوشن به تعداد سنسورهای آرایه وابسته است. هر چه تعداد سنسورها بیشتر شود رزولوشن هم بیشتر می‌شود؛ اما باید این نکته را هم در نظر داشت که افزایش تعداد عناصر نیز مشکلات خاص خود مانند افزایش هزینه محاسباتی را به دنبال خواهد داشت [۱۴].

از دیگر ویژگی‌های یک شکل‌دهنده پرتو این است که عملکرد آن در شرایط مختلف پایین نیاید به‌عنوان‌مثال همیشه آرایه ما ثابت نیست و ممکن است در امتداد کشتی حرکت کند. در این شرایط نیز باید سیستم ما عملکرد قابل قبولی داشته باشد همچنین سیستم شکل‌دهی پرتو باید این قابلیت را داشته باشد که بتواند داده حاصل از انواع آرایه را پردازش کند. مثلاً این سیستم هم در مورد آرایه خطی و هم در مورد آرایه استوانه‌ای یا مسطح خوب کار کند. این نکته را هم باید متذکر شد که استفاده از شکل‌دهی پرتو باعث کاهش اثر جمینگ[4] می‌شود؛ اما ممکن است توان جمر[5] آن‌قدر بالا باشد که حتی اگر منبع آن خارج از گلبرگ اصلی باشد اما گلبرگ‌های فرعی قادر به تشخیص و توقیف کامل آن نباشند [۱۳].

[1] Beam pattern
[2] Side Lobe Level
[3] Aliasing
[4] Jamming
[5] Jammer

۱ -۷ -۲ کاربرد های شکل دهی پرتو

استفاده از آرایه‌ها کاربردهای زیادی دارد. پیرو استفاده از آرایه‌ها فنّاوری شکل‌دهی پرتو نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال از آرایه‌ها در موارد رادار و سونار، شبکه‌های رادیو شناختی، آرایه‌های میکروفونی پردازش سیگنال پردازش گفتار زلزله‌شناسی، مخابرات، تصویربرداری صوتی مایکروویو عکس‌برداری پزشکی رادیو کیهانی و آنتن‌های هوشمند بهره برده می‌شود [۱۳].

۱ -۷ -۳ مزایای شکل دهی پرتو

از مزایای شکل‌دهی پرتو می‌توان به عملکرد بهتر سیستم در زمینه آشکارسازی و تخمین سیگنال مطلوب، کاهش سطح گلبرگ فرعی، افزایش رزولوشن، فیلترینگ فضایی، افزایش نسبت سیگنال به نویز، تخمین جهت هدف کاهش تداخل کاهش اثر محوشدگی چندمسیره[1]، افزایش برد مؤثر در مقایسه با آنتن همه‌سویه و کاهش طنین اشاره کرد [۱۵].

۱ -۷ -۴ روش پیاده سازی شکل دهی پرتو

در شکل‌دهی پرتو آرایه روش‌های جداسازی سیگنال از نویز و حصول مقادیر دقیق متغیرهای موردنیاز برای الگوریتم‌های مختلف موجب شده است که هرکدام در موقعیت‌های مختلفی بکار گرفته شوند. در حال حاضر تکنیک‌های زیر فضای سیگنال به‌عنوان قدرتمندترین روش بر مبنای بردار ویژه‌ماتریس کوواریانس داده‌ها بناشده است. از مزایای این روش می‌توان به تخمین‌هایی باقدرت بالاتر کاهش ابهام‌ها و تخمین دقیقی برای DOA[2] اشاره کرد؛ اما این تکنیک‌ها حساس به نمونه‌برداری مدل خطا و عدم قطعیت هستند. به‌طورکلی روش‌های تخمین جهت را که تاکنون پیشنهادشده‌اند را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

۱. روش‌های تخمین طیفی

۲. روش‌های ساختار ویژه

[1] Multipath fading
[2] Direction Of Arrival

در روش‌های گروه اول با محاسبه طیف مکانی و به دست آوردن نقاط بیشینه محلی، تعداد و جهت منابع سیگنال تعیین می‌گردد. تخمین هم‌زمان تعداد و جهت منابع ارسال‌کننده سیگنال و همچنین زمان پردازش کم این روش‌ها ازجمله نقاط قوت آن‌ها محسوب می‌گردند ولی قدرت تفکیک‌پذیری کم در تشخیص منابع نزدیک به هم و منابع با اختلاف توانی زیاد، همچنین حساسیت زیاد آن‌ها به نویز و کالیبراسیون آرایه دلایلی هستند که استفاده از آن‌ها را محدود نموده است. روش‌های گروه دوم بر پایه این خاصیت ماتریس کوواریانس پایه‌گذاری شده‌اند که فضا توسط بردارهای ویژه آن به دو زیر فضای سیگنال و نویز تقسیم می‌شود. سادگی فرمول‌بندی، قدرت تفکیک زیاد و حساسیت بسیار کمتر آن‌ها به نویز ازجمله محاسن آن‌هاست ولی از عیوب دسته دوم می‌توان به این نکته اشاره کرد که بعضی از روش‌های این دسته فقط قابل‌اعمال به آرایه‌های خطی هستند. الگوریتم‌های سنتی[۱] و وفقی[۲] در گروه اول جای می‌گیرند.

روش‌های معمولی شکل‌دهی پرتو وفقی حساسیت زیادی به جهت دریافت سیگنال مطلوب دارند و هرگونه عدم تطابق میان جهت دریافت مطلوب و جهت دریافت واقعی به‌شدت کارایی این روش‌ها را کاهش می‌دهد مهم‌ترین روش‌ها برای انتخاب بردار وزن دهی به‌صورت زیر است:

۱) کمینه کردن میانگین خطا[۳]: در این روش گیرنده از شکل سیگنال مربع مطلوب اطلاع دارد؛ بنابراین بردار وزن دهی بر اساس کمینه کردن میانگین مربع خطای بین خروجی شکل‌دهنده پرتو و سیگنال موردنظر انتخاب می‌شود.

(۲) بیشینه کردن نسبت سیگنال به نویز و تداخل[۴]: وقتی‌که گیرنده بتواند توان سیگنال مطلوب و سیگنال تداخلی را تخمین بزند از این روش استفاده می‌شود. بردار وزن دهی طوری انتخاب می‌شود که این نسبت را بیشینه کند.

کمینه کردن واریانس[۵]: وقتی از شکل سیگنال و جهت منبع اطلاع داریم از این روش استفاده می‌کنیم. بردار وزن دهی طوری انتخاب می‌شود که نویز را در خروجی شکل‌دهنده پرتو کمینه کند [۱۳].

در این قسمت طریقه پیدا کردن بردار وزن دهی را با استفاده از روش دوم شرح می‌دهیم. توجه شود بردار وزن دهی بر اساس روش‌های دیگر نیز به طریق مشابه به دست خواهد آمد. در ابتدا روابط ریاضی مربوط به

---

[1] Conventional
[2] Adaptive
[۳] Minimum Mean Square Error (MMSE)
[4] Signal to Interference-plus-Noise Ratio (SINR)
[5] Minimum Variance (MV)

نماد پرتو را بررسی می‌کنیم و سپس بردار وزن دهی را می‌یابیم. فرض می‌کنیم سنسور iام در محل $r_i=(x_i,y_i,z_i)$ واقع باشد معادل قطبی آن نقطه (x_i,φ_i,θ_i) است که در مختصات کارتزین به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{cases} x_i = r_i cos\theta_i cos\varphi_i \\ y_i = r_i cos\theta_i sin\varphi_i \\ z_i = r_i sin\theta_i \end{cases} \quad (۱)$$

اگر جبهه موجی که به آرایه می‌رسد تخت فرض شود بردار یکانی u با مختصات قطبی $(1,\varphi,\theta)$ که بردار واحدی عمود بر جبهه موج دریافتی است راستای آن جبهه را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن زمان تقدم سیگنال در سنسور iام به‌عنوان یک پارامتر اساسی، آن را به‌صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$T_i = \frac{r_i . u}{c} \quad (۲)$$

که c سرعت صوت است و برای محیط دریا برابر با مقدار c=1500m/s است. اگر سیستم شکل‌دهنده پرتو را به‌صورت LTI[1] مانند شکل ۱۱ در نظر بگیریم، آنگاه b(f,u) که نماد پرتو مختلط آرایه است رفتار تشعشعی آرایه را نسبت به مکان u و فرکانس f نشان می‌دهد.

شکل ۱۱: شکل‌دهنده پرتو به‌صورت یک سیستم LTI

با فرض LTI بودن آرایه برای یافتن پاسخ فرکانسی می‌توان یک مؤلفه $e^{j2\pi ft}$ را به آن اعمال کرد و سپس با محاسبه خروجی سیستم و حذف همین مؤلفه در خروجی به پاسخ فرکانسی رسید. اگر نمونه‌های زمانی را گسسته فرض کنیم که با نرخ $f_s = \frac{1}{T_s}$ نمونه‌برداری شده‌اند آنگاه $t = nT_8 = \frac{n}{f_s}$ در نظر گرفته می‌شود. فرض می‌کنیم:

سیگنال جبهه موج در مبدأ مختصات:

[1] Linear Time Invariant

$$e^{j2\pi ft} = e^{j2\pi f\frac{n}{f_s}} \quad (۳)$$

سیگنال اعمال‌شده در سنسور iام:

$$x_i(n) = e^{j2\pi f\frac{n}{f_s}+j2\pi T_i f} = e^{\{j2\pi f(\frac{n}{f_s}+\frac{r_i.u}{c})\}} \quad (۴)$$

خروجی y(n) حاصل از ترکیب سیگنال‌های موجود در سنسورهای مختلف است. لذا مقدار y(n) به نحوه ترکیب $x_i(n)$ ها بستگی دارد. فرض کنید از N سنسور در آرایه استفاده‌شده است؛ بنابراین خروجی شکل‌دهنده پرتو به‌صورت زیر است:

$$y(n) = \sum_{i=1}^{N} A_i x_i(n) = e^{j2\pi f\frac{n}{f_s}} \sum_{i=1}^{N} \alpha_i\, e^{\{j2\pi\frac{f}{c}(r_i.u-T_i c)\}} \quad (۵)$$

که در آن A_i ها ضرایب مختلط شکل‌دهنده پرتو با رابطه زیر هستند:

$$A_i = \alpha_i e^{-j2\pi f T_i} \qquad i = 1,2,\dots,N \quad (۶)$$

در این صورت نماد پرتو مختلط آرایه به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$b(f,u) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i\, e^{\{jk(r_i.u-T_i c)\}}, \qquad k = 2\pi\frac{f}{c} \quad (۷)$$

که در آن k عدد موج است. نماد پرتو آرایه، قدر مطلق عبارت (۷) است. این کمیت میزان تشعشع یا دریافت آرایه را در فرکانس‌های مختلف در جهت‌های مختلف فضا را نشان می‌دهد. اگر ψ زاویه بردار موج منتشر شونده با محور قائم باشد، در رابطه نماد پرتو، به ازای مقداری از ψ نماد پرتو بیشینه می‌شود که جبهه موج به‌طور یکسان به سنسورها رسیده و تأخیری بین سنسورها در دریافت موج وجود نداشته باشد (ψ= 0). لذا اگر بخواهیم پرتو اصلی در جهتی مانند ψ_0 واقع گردد باید کاری کنیم که تحت این زاویه، تأخیر بین سنسورها نباشد. ازآنجایی‌که تأخیر ذاتی $T_i = \frac{r_i.u}{c}$ الزاماً برای هر سنسور iام وجود دارد باید تحت زاویه ψ_0 این تأخیر را با مقدار تأخیر مصنوعی $T_i = \frac{r_i.u}{c}$ جبران کنیم که u_0= $(1,\varphi_0,\theta_0)$ بردار جبهه موج در جهت موردنظر ψ_0 است که ψ_0 زاویه راستای موردنظر با قائم است.

لذا برای خنثی‌سازی T_iها در رابطه کلی b(f,u) به خروجی هر سنسور iام تأخیر $T_i = \frac{r_i.u}{c}$ را اعمال می‌کنیم. لذا نماد پرتو مختلط از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$b(f,u) = \sum_{i=1}^{N} e^{\{jk(r_i.u - r_i.u_0)\}} = \sum_{i=1}^{N} e^{\{jkr_i.(u-u_0)\}} \quad (۸)$$

رابطه (۸) یک رابطه کلی برای تمامی آرایه‌ها است. برای آرایه خطی یکنواخت داریم:

$$\begin{cases} r_i.u = r_i sin\psi = (i-1)d\ sin\psi & i = 1,2,\dots,N \\ r_i.u_0 = r_i sin\psi_0 = (i-1)d\ sin\psi_0 & i = 1,2,\dots,N \end{cases} \quad (۹)$$

که d فاصله بین هر دو سنسور متوالی آرایه است.

$$|b(f,u)| = \left| \frac{\sin\left(\frac{\pi N d}{\lambda}(\sin\psi - \sin\psi_0)\right)}{N \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}(\sin\psi - \sin\psi_0)\right)} \right| \quad (۱۰)$$

همان‌طور که اشاره شد، به این رابطه نماد پرتو می‌گوییم. خروجی شکل‌دهنده پرتو را می‌توان هم به‌صورت برداری زیر نوشت:

$$y(n) = w^H x(n) \quad (۱۱)$$

که n مشخص‌کننده زمان، بردار $x(n) = [x_1(n), x_2(n), \dots, x_N(n)]^T$ بردار مشاهدات و بردار $w = [w_1, w_2, \dots, w_N]^T$ بردار وزن دهی شکل دهنده پرتو است.

بردار مشاهدات برابر است با:

$$x(n) = s(n) + i(n) + n(n) \quad (۱۲)$$

که در آن s(n)، i(n) و n(n) به ترتیب بردار سیگنال مطلوب، اختلال[1] و نویز سنسورها بوده و ازلحاظ آماری مستقل هستند در این حالت اگر s(n) سیگنال موجود در مبدأ مختصات باشد، سیگنال در محل سنسور iام از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$s_i(n) = s(n + f_s T_i) \quad (۱۳)$$

[1] Interference

اگر از این رابطه DFTY [1] بر روی متغیر n بگیریم، خواهیم داشت:

$$s = \begin{bmatrix} s_1(k) \\ \vdots \\ s_N(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j2\pi f_s T_1} \\ \vdots \\ e^{j2\pi f_s T_N} \end{bmatrix} s(k) \triangleq \mathrm{a}s(k) \qquad (۱۴)$$

که به بردار a بردار جهت‌دهی سیگنال می‌گوییم. همچنین می‌توان نماد پرتو را با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

$$w^H a = \left[\alpha_1 e^{-j2\pi f_s T_1} \dots \alpha_N e^{-j2\pi f_s T_N}\right] \times \begin{bmatrix} e^{j2\pi f_s T_1} \\ \vdots \\ e^{j2\pi f_s T_N} \end{bmatrix} =$$

$$\sum_{i=1}^{N} \alpha_i e^{(j2\pi f_s (T_i - \tau_i))} = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i e^{\left(j2\pi \frac{f_s}{c}(r_i u - r_i u_0)\right)} = b(f,u) \qquad (۱۵)$$

رابطه (۱۵) بسیار مهم است، زیرا با داشتن بردار جهت‌دهی و وزن دهی سیگنال، نماد پرتو به‌آسانی به دست خواهد آمد و الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتو بر این اساس طراحی می‌شوند. می‌خواهیم بردار وزن‌ها را به‌گونه‌ای انتخاب کنیم که نسبت توان سیگنال به نویز و اختلال (SINR) بیشینه شود. به عبارت بهتر باید عبارت (۱۶) را بیشینه کنیم.

$$SINR = \frac{w^H R_s w}{w^H R_{I+N} w} \qquad (۱۶)$$

که در آن R_s و R_{I+N} به ترتیب ماتریس‌های همبستگی بردار سیگنال و بردار نویز و اختلال به‌صورت زیر است:

$$R_s = E\{s(n)s^H(n)\}$$

$$R_{I+N} = E\{(i(n)+n(n))(i(n)+n(n))^H\} \qquad (۱۷)$$

برای منابع نقطه‌ای مدل سیگنال به‌صورت $s(n)=s(n)a(\psi)$ است. در این حالت ماتریس همبستگی سیگنال مطلوب برابر با $R_s= \sigma_s^2 a(\psi)a^H(\psi)$ است که در اینجا s(n) شکل موج سیگنال با میانگین صفر و واریانس $\sigma_s^2 = E\{|s(n)|^2\}$ و $a(\psi)$ بردار جهت‌دهی سیگنال است. در این حالت می‌توانیم معادله (۱۶) را به‌صورت زیر بازنویسی کنیم:

[1] Discrete Fourier Transform

$$SINR = \frac{\sigma_s^2 |w^H \mathrm{a}(\psi)|^2}{w^H R_{I+N} w} \quad (۱۸)$$

برای اینکه یک شکل‌دهنده پرتو بهینه داشته باشیم سعی می‌کنیم SINR به‌دست‌آمده را بیشینه کنیم. برای اینکه خروجی بدون اعوجاج داشته باشیم صورت کسر را ثابت نگه می‌داریم و مخرج را کمینه می‌کنیم. این جمله را به‌صورت ریاضی بیان می‌کنیم:

$$\min w^H R_{I+N} w \quad subject\ to \quad w^H R_s w = 1 \quad (۱۹)$$

که حل این مسئله به‌صورت زیر است:

$$w_{opt} = P\{R_{I+N}^{-1} R_s\} \quad (۲۰)$$

که در این رابطه $P\{.\}$ عملگری است که بردار ویژه متناظر با مقدار ویژه بیشینه را به دست می‌دهد. محاسبه R_{I+N} برای استفاده در روابط بالا امکان‌پذیر نیست و می‌توان نشان داد بردار ضرایبی که با جایگزینی ماتریس همبستگی داده‌های ورودی R_I به‌جای R_{I+N} به دست می‌آید، شرایط رابطه (۱۹) را ارضا می‌کند.؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$w_{opt} = P\{R_I^{-1} R_s\} \quad (۲۱)$$

در عمل ما مجبور هستیم ماتریس R_I را از روی‌داده‌های ورودی تخمین بزنیم. برای این کار معمولاً K نمونه از داده‌های ورودی برای تخمین استفاده می‌کنیم. در حقیقت روش پیدا کردن بردار وزن دهی است که بین الگوریتم‌ها تفاوت ایجاد می‌کند. تکنیک‌های زیادی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌های شکل‌دهنده پرتو وجود دارد [۱۳].

۱ - ۸ الگوریتم کوانتومی

۱ -۸ -۱ حالت های کوانتومی

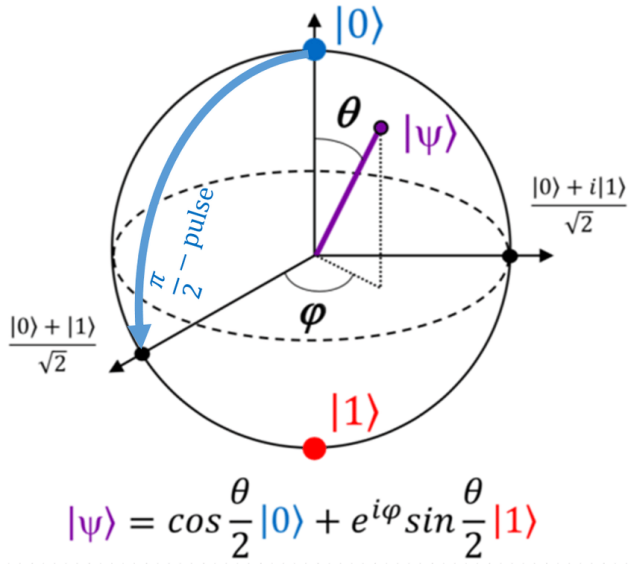
در کامپیوترهای کوانتومی بجای بیت از کیوبیت استفاده می‌شود. کیوبیت یک سیستم کوانتومی است که فضای هیلبرت آن دوبعدی است. این فضای هیلبرت را به‌صورت زیر نمایش می‌دهیم:

$$\mathrm{C}^2 = \left\{ \left(\binom{\alpha}{\beta}, \middle| \alpha, \beta \epsilon \mathrm{C} \right) \right\}$$

بردارهای پایه‌ای فضای برداری به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$|1\rangle = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} \qquad |0\rangle = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix}$$

شکل زیر نمای کلی بردار پایه‌ای بر اساس کره بلاخ را نشان می‌دهد. در کره بلاخ وضعیت هر بردار و هر نقطه به‌صورت فضای برداری هیلبرت نمایش داده می‌شود.



$$|\psi\rangle = cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\varphi}sin\frac{\theta}{2}|1\rangle$$

فضای برداری در کره بلاخ برای کیوبیت های مختلف

یک کیوبیت برخلاف بیت کلاسیک می‌تواند به‌صورت ترکیبی از حالت‌های پایه‌ای فوق قرار داشته باشد. بنابراین یک کیوبیت بر اساس فضای برداری به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$|\boldsymbol{\psi}\rangle = \boldsymbol{\alpha}|\mathbf{0}\rangle + \boldsymbol{\beta}|\mathbf{1}\rangle = \begin{pmatrix}\boldsymbol{\alpha}\\\boldsymbol{\beta}\end{pmatrix} \qquad \boldsymbol{that} \quad \boldsymbol{\alpha^2 + \beta^2 = 1}$$

حافظه‌های کوانتومی از n کیوبیت تشکیل‌شده‌اند که فضای هیلبرت آن به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$(\mathbb{C}^2)^{\otimes n}$$

در کامپیوترهای کوانتومی ورودی در یک رجیستر حافظه کوانتومی به‌صورت زیر ذخیره می‌شود.

$$|\boldsymbol{\psi}\rangle = |\boldsymbol{\psi}\rangle_1 \otimes |\boldsymbol{\psi}\rangle_2 \otimes |\boldsymbol{\psi}\rangle_3 \otimes \cdots |\boldsymbol{\psi}\rangle_n$$

رجیستر های حالت را می‌توان به‌صورت ضرب دودویی به‌صورت زیر نمایش داد:

$$\begin{pmatrix}\boldsymbol{x_0}\\\boldsymbol{x_1}\end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix}\boldsymbol{y_0}\\\boldsymbol{y_1}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\boldsymbol{x_0 y_0}\\\boldsymbol{x_0 y_1}\\\boldsymbol{x_1 y_0}\\\boldsymbol{x_1 y_1}\end{pmatrix}$$

به‌عنوان‌مثال عدد ۵ در حالت کوانتومی عبارت است از $|101\rangle$. به‌عبارت‌دیگر حالت ۵ در کوانتوم عبارت است از حاصل‌ضرب دودویی سه حالت $|1\rangle \otimes |0\rangle \otimes |1|$ است که نتیجه خواهد شد:

$$|\mathbf{5}\rangle = |\boldsymbol{\psi}\rangle_{\mathbf{1}} \otimes |\boldsymbol{\psi}\rangle_{\mathbf{2}} \otimes |\boldsymbol{\psi}\rangle_{\mathbf{3}} = |\mathbf{1}\rangle \otimes |\mathbf{0}\rangle \otimes |\mathbf{1}\rangle = \begin{pmatrix}\mathbf{0}\\\mathbf{1}\end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix}\mathbf{1}\\\mathbf{0}\end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix}\mathbf{0}\\\mathbf{1}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\mathbf{0}\\\mathbf{0}\\\mathbf{0}\\\mathbf{0}\\\mathbf{0}\\\mathbf{1}\\\mathbf{0}\\\mathbf{0}\end{pmatrix}$$

در حالتی که مشاهده دوبیتی (یا حافظه دوبیتی مدنظر باشد) مشابه حالت باینری دوبیت کنار هم قرار نمی‌گیرند بلکه دو بیت کنار هم به‌صورت ضرب دودیی ترکیب می‌شوند. به‌عنوان‌مثال برای مشاهده حافظه دو بیتی A(00) و B(11) نتیجه به‌صورت زیر خواهد بود.

$$\frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{2}}}(|\mathbf{0}\rangle_{\boldsymbol{A}} \otimes |\mathbf{0}\rangle_{\boldsymbol{B}}) + \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{2}}}(|\mathbf{1}\rangle_{\boldsymbol{A}} \otimes |\mathbf{1}\rangle_{\boldsymbol{B}}) = \frac{\mathbf{1}}{\sqrt{\mathbf{2}}}(|\mathbf{00}\rangle \otimes |\mathbf{11}\rangle)$$

۱ -۸ -۲ گیت های کوانتومی

برای پردازش اطلاعات ذخیره‌شده در کیوبیت های کوانتومی، باید از عملگرهای یکانی یا همان گیت کوانتومی استفاده می‌کنیم. اگر گیت بر روی یک کیوبیت اثر کند به آن گیت تک کیوبیتی و اگر روی n کیوبیت اثر کند به آن گیت n کیوبیتی اطلاق می‌شود. با توجه به اینکه موقعیت کیوبیت در کره بلاخ همواره در حال چرخش است گیت‌های کوانتومی نیز باید گیت‌های قابل چرخش باشد. مهم‌ترین گیت‌های کوانتومی که در عملگرهای کوانتومی استفاده می‌شوند عبارت است از گیت‌های I ، X، Y و Z که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

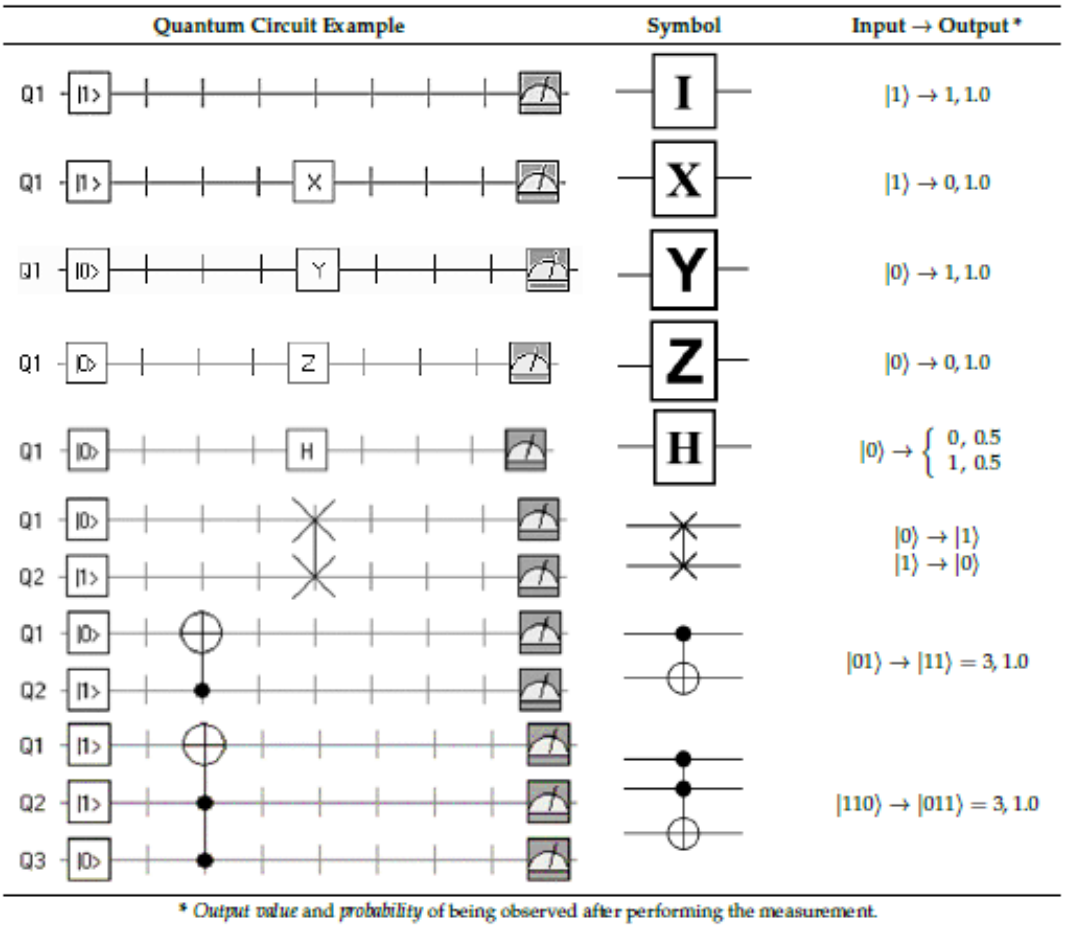
$$Z = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & -1\end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix}0 & -i\\i & 0\end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix} \quad I = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{pmatrix}$$

گیت گوانتومی I گیت خنثی است. گیت کوانتومی X گیت معادل NOT در باینری است. گیت کوانتومی Y گیت تبدیل $|\mathbf{0}\rangle \rightarrow \boldsymbol{i}|\mathbf{1}\rangle$ و یا $|\mathbf{1}\rangle \rightarrow -\boldsymbol{i}|\mathbf{0}\rangle$ است. گیت کوانتومی Z گیت تغییر فاز کیوبیت یا به عبارت دیگری تبدیل $|\mathbf{0}\rangle \rightarrow |\mathbf{0}\rangle$ **و یا** $|\mathbf{1}\rangle \rightarrow |-\mathbf{1}\rangle$ است. در زیر نمونه تأثیر گیت‌های کوانتومی بر کیوبیت های $|\mathbf{0}\rangle$ و $|\mathbf{1}\rangle$ به‌صورت ضرب نمایش داده‌شده است:

$$I.|\mathbf{0}\rangle = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} \qquad X.|\mathbf{0}\rangle = \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix}$$

$$Y.|\mathbf{0}\rangle = \begin{pmatrix}0 & -i\\i & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\-i\end{pmatrix} \qquad Z.|\mathbf{1}\rangle = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}0\\-1\end{pmatrix}$$

۱ -۸ -۳ مدارات کوانتومی



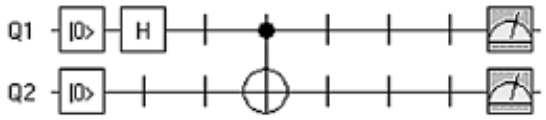


Figure 4. EPR circuit.

۱ -۸ -۴ الگوریتم کوانتومی

الگوریتم کوانتومی در ساده‌ترین شکل آن به مجموعه‌ای از گیت‌های متوالی گفته می‌شود که روی یک حالت معین اولیه اثرمی کنند و چنان تنظیم‌شده‌اند که حالت نهایی چنان باشد که پس از اندازه‌گیری‌های سنجیده‌ای روی آن جواب یک مسئله‌ی معین را با احتمال بسیار خوب دربرداشته باشد.هدف ما در این اینجا این است که با چند الگوریتم ساده کوانتومی آشنا وببینیم که چگونه کامپیوترهای کوانتومی والگوریتم های کوانتومی می‌توانند بعضی از مسائل را سریع‌تر از کامپیوترها و الگوریتم‌های کلاسیک حل کنند. الگوریتم

کوانتومی الگوریتمی است که بر مدلی واقع‌گرا از یک کامپیوتر کوانتومی[1] اجرا می‌شود.پر استفاده‌شده‌ترین مدل مدلی است که از جریان کوانتومی[2] استفاده می‌کند. الگوریتم کلاسیک روشی است که هر مرحله آن بر روی کامپیوترهای کلاسیک قابل‌اجرا باشد و در مقابل آن الگوریتم کوانتومی روشی است که هر مرحله آن بر روی کامپیوترهای کوانتومی قابل‌اجرا باشد. مسئله‌های غیرقابل‌حل با الگوریتم‌های کلاسیک همچنان با الگوریتم کوانتومی غیرقابل‌حل است؛ اما مزیت الگوریتم کوانتومی این است که مسئله‌های قابل‌حل بازمان کمتری حل می‌شوند. معروف‌ترین الگوریتم‌های کوانتومی الگوریتم شور[3] برای تجزیه به عوامل اول و الگوریتم گرور برای جستجو در یک پایگاه داده نامرتب است. الگوریتم شور به‌صورت نمایی از بهترین الگوریتم کلاسیکی که تجزیه به فعال اول را انجام می‌دهد بهتر عمل می‌کند و همین‌طور الگوریتم گرور به‌اندازه رادیکال زمان بهترین الگوریتم کلاسیک با عملکرد مشابه زمان می‌گیرد. یک الگوریتم کلاسیک یا غیر کوانتومی دنباله‌ای محدود از دستورالعمل‌ها یا یک روش گام‌به‌گام برای حل یک مسئله است که در آن هر مرحله یا دستورالعمل می‌تواند بر روی یک کامپیوتر کلاسیک انجام شود. به‌طور مشابه، یک الگوریتم کوانتومی یک روش گام‌به‌گام است که در آن هر یک از مراحل را می‌توان بر روی یک کامپیوتر کوانتومی انجام داد. اگرچه تمام الگوریتم‌های کلاسیک را می‌توان روی سیستم سونار یک کامپیوتر کوانتومی نیز انجام داد. اصطلاح الگوریتم کوانتومی معمولاً برای آن دسته از الگوریتم‌هایی استفاده می‌شود که ذاتاً کوانتومی به نظر می‌رسند یا از برخی ویژگی‌های اساسی محاسبات کوانتومی مانند برهم‌نهی کوانتومی یا درهم تنیدگی کوانتومی استفاده می‌کنند [۱۶].

الگوریتم‌های کوانتومی معمولاً با مدل جریانی از محاسبات کوانتومی مدل می‌شوند با جریان کوانتومی‌ای که بر روی کیوبیت‌های ورودی تأثیر می‌گذارد و آن‌ها را با اندازه‌گیری نابود می‌کند. هر جریان کوانتومی شامل یک گیت کوانتومی[4] است که بر تعداد ثابتی از کیوبیت‌ها تأثیر می‌گذارد (معمولاً ۲ یا ۳). الگوریتم‌های کوانتومی می‌توانند با مدل‌های کوانتومی دیگر مانند مدل همیلتون اراکل[5] مدل شوند. الگوریتم‌های کوانتومی را بر اساس تکنیک‌هایی که استفاده می‌کنند به دودسته کلی الگوریتم‌هایی که از تبدیل فوریه کوانتومی استفاده می‌کنند و الگوریتم‌هایی که از تقویت دامنه استفاده می‌کنند، تقسیم می‌کنند.

الف) تبدیل فوریه کوانتومی

[1] quantum computer
[2] quantum circuit
[3] Shor
[4] quantum gate
[5] Hamilton oracle model

تبدیل فوریه کوانتومی معادل کوانتومی تبدیل فوریه گسسته است. تبدیل فوریه کوانتومی بر روی کامپیوتر کوانتومی که از اردر یک چندجمله‌ای گیت کوانتومی دارد اجرا شود.

ب) تقویت دامنه

تقویت دامنه تکنیکی است که دران یک فضای فرعی از حالت‌های کوانتومی تقویت می‌شوند. معمولاً الگوریتم‌هایی که از تقویت دامنه استفاده می‌کنند زمانشان به‌صورت رادیکالی نسبت به الگوریتم کلاسیکشان کاهش می‌یابد. می‌توان گفت الگوریتم‌هایی که از این تکنیک استفاده می‌کنند تعمیم الگوریتم گرور هستند [۱۷].

۱ - ۹ سوابق الگوریتم کوانتومی در شکل دهی پرتو سونار

امروزه پردازش داده‌های سونار به‌طور گسترده‌ای در سیستم‌های مختلف درحال‌توسعه می‌باشد. پردازنده‌های سرعت‌بالا پردازش داده‌های سونار را سریع‌تر و امکان پردازش آن‌ها را در زمان واقعی فراهم نموده است. تعدادی تکنیک برای تشخیص اجسام زیر آب از تصویر سونار پیشنهادشده است. یک روش خوشه‌بندی فازی بر روی تصویر سونار برای حل مشکل تشخیص پیشنهادشده است. بااین‌حال، خوشه‌بندی فازی به نویز لکه‌ای بسیار حساس است. فناوری کوانتومی یک‌رشته نوظهور و بالقوه مخرب است که توانایی تأثیرگذاری بر بسیاری از فعالیت‌های انسانی را دارد. فناوری‌های کوانتومی فناوری‌هایی با کاربرد دوگانه هستند و به همین دلیل موردتوجه صنعت دفاعی و امنیتی و بازیگران نظامی و دولتی هستند. این گزارش کاربردهای نظامی احتمالی فناوری کوانتومی را بررسی و ترسیم می‌کند که به‌عنوان نقطه ورود برای ارزیابی صلح و امنیت بین‌المللی تحقیقات، اخلاقی سیاست‌های نظامی و دولتی استراتژی و تصمیم‌گیری عمل می‌کند. فناوری‌های کوانتومی برای کاربردهای نظامی قابلیت‌های جدیدی را معرفی می‌کنند، کارایی را بهبود می‌بخشند و دقت را افزایش می‌دهند؛ بنابراین منجر به جنگ کوانتومی می‌شود که در آن استراتژی‌ها، دکترین‌ها، سیاست‌ها و اخلاقیات جدید نظامی باید ایجاد شود این گزارش یک نمای کلی از فناوری‌های کوانتومی در دست توسعه ارائه می‌کند همچنین مقیاس زمانی مورد انتظار تحویل یا تأثیر استفاده را تخمین می‌زند. کاربردهای نظامی خاص فناوری کوانتومی برای حوزه‌های جنگی مختلف مانند، زمین، هوافضا، الکترونیک جنگ سایبری و زیرآبی و ISTAR اطلاعات، نظارت، اکتساب هدف و شناسایی توصیف‌شده‌اند و مسائل و چالش‌های مرتبط بیان می‌شوند [۱۶].

در مقاله‌ای ترکیبی از اطلاعات فضایی غیر محلی و الگوریتم جهش قورباغه به‌هم‌ریخته با الهام از کوانتومی را برای تشخیص اجسام زیر آب در تصاویر سونار پیشنهاد می‌کند به‌طور خاص برای اولین بار، مشکل پارامتر درجه فیلتر نامناسب که معمولاً در اطلاعات فضایی غیر محلی رخ می‌دهد و به‌طورجدی بر عملکرد حذف نویز در تصاویر سونار تأثیر می‌گذارد با استفاده از یک پارامتر درجه فیلتر جدید حل شد. سپس یک الگوریتم جهش قورباغه به‌هم‌ریخته با الهام از کوانتومی بر اساس مکانیسم جستجوی جدید (QSFLA-NSM) برای تشخیص دقیق و سریع تصاویر سونار پیشنهادشده است. هر فرد قورباغه مستقیماً توسط اعداد واقعی کدگذاری می‌شود که می‌تواند فرآیند تکامل الگوریتم جهش قورباغه‌ای با الهام از کوانتومی (QSFLA) را تا حد زیادی ساده‌سازی کند در همین حال یک تابع تناسب‌اندام ترکیبی از تفاوت درون کلاسی با تفاوت بین طبقاتی برای ارزیابی موقعیت قورباغه با دقت بیشتری اتخاذشده است بر این اساس با تکرار تجزیه‌وتحلیل بهینه‌سازی ازدحام ذرات با رفتار کوانتومی (QPSO) و الگوریتم جهش قورباغه‌ای مخلوط شده (SFLA)، مکانیسم جستجوی جدیدی برای بهبود توانایی جستجو و دقت تشخیص توسعه داده‌شده است درعین‌حال، پیچیدگی زمانی بیشتر کاهش می‌یابد. درنهایت نتایج آزمایش‌های مقایسه‌ای با استفاده از تصاویر سونار اصلی، مجموعه داده‌های UCI و توابع معیار نشان می‌دهد [۱].

با توجه به نیازهای رو به رشد تشخیص تصویر سونار زیر آب، وانگ و همکاران، ACA-IQPSO را برای تشخیص تصاویر سونار زیر آب در فضای جمعیتی، زمان‌های تکراری و ارزش تناسب ذرات به‌عنوان عواملی برای تنظیم سازگاری ضریب انقباض-انبساط QPSO استفاده می‌شود. IQPSO می‌تواند باعث شود ذرات رفتار خود را برای بهبود توانایی جستجو تنظیم کنند. علاوه بر این، برای افزایش استفاده از اطلاعات در فضاهای جمعیتی، تابع پذیرش و تأثیرپذیری در پروتکل ارتباطی جدید دوباره طراحی‌شده است. پروتکل ارتباطی جدید می‌تواند فضای محلی را با اطلاعات تکاملی کافی ایجاد کند که می‌تواند تکامل ذرات را در فضای جمعیت به‌طور دقیق‌تر هدایت کند و توانایی جستجوی الگوریتم را بیشتر بهبود بخشد. علاوه بر این، پروتکل ارتباطی جدید می‌تواند کارایی همگرایی الگوریتم را افزایش دهد. ACA-IQPSO پیشنهادی بر اساس یک مدل خوشه‌بندی است. مناطق برجسته شیء، سایه و پس‌زمینه در تصویر سونار توسط مراکز خوشه‌بندی شناسایی می‌شوند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که ACA-IQPSO می‌تواند مراکز خوشه‌بندی خوبی را پیدا کند و تشخیص اشیاء زیر آب را با دقت کامل کند. در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها، ACA-IQPSO اثربخشی و سازگاری خوبی دارد و توانایی جستجوی قدرتمند و راندمان همگرایی بالایی دارد. در همین حال، عملکرد ACA-IQPSO بیشتر با تجزیه‌وتحلیل توابع معیار نشان داده می‌شود، می‌تواند نشان دهد که ACA-IQPSO به‌طور قابل‌توجهی بهتر از سایر الگوریتم‌ها در توانایی جستجو، کارایی همگرایی و پایداری است [۱۸].

برای تجزیه‌وتحلیل تصویر سونار، تشخیص تصویر سونار نقش بسیار مهمی در پردازش تصویر سونار بعدی دارد. هدف آن استخراج نواحی برجسته شیء و سایه از ناحیه پیچیده طنین کف دریا و تا حدودی ذخیره اطلاعات لبه اولیه تصویر است. فقط تحت شرایط تشخیص دقیق، استخراج ویژگی و اندازه‌گیری پارامتر می‌تواند برای اشیاء زیر آب انجام شود؛ بنابراین تشخیص لبه شیء برای مطالعه تشخیص لبه تصویر سونار بسیار ارزشمند است. تشخیص، ردیابی و طبقه‌بندی در اقیانوس به این بستگی دارد که آیا تشخیص لبه دقیق تصویر سونار زیر آب دارد یا خیر؛ اما با الگوریتم‌های فعلی، بهبود کیفیت تشخیص لبه تصویر سونار بسیار دشوار است، بنابراین الگوریتم تشخیص لبه باکیفیت بالا برای کاوش فوری موردنیاز است. در مقاله‌ای به‌منظور استخراج دقیق خطوط شیء زیر آب از تصویر سونار، یک الگوریتم جدید تشخیص لبه با الهام از کوانتومی پیشنهادشده است. این الگوریتم از پارامترهای مدل ناهمسانگرد مشخصات توزیع مرتبه دوم MRF (میدان تصادفی مارکوف، MRF) برای توصیف ویژگی بافت تصویر اصلی سونار برای صاف کردن نویز استفاده می‌کند. بر اساس شرایط ذکرشده در بالا، تصویر سونار بابیت کوانتومی در تئوری کوانتومی، اپراتور تشخیص لبه ساختار تصویر سونار با ایجاد یک رابطه برهم‌نهی کوانتومی بین پیکسل‌ها نشان داده می‌شود. مقایسه آزمایش‌های مختلف نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی نتیجه هموارسازی تصویر اصلی سونار را به دست می‌آورد و خطوط اشیاء زیر آب را می‌توان با دقت استخراج کرده و سازگاری بهتری دارد [۱۹].

گوا و همکاران، با استفاده از سیستم کوانتومی چند بیتی برای رمزگذاری ذرات، یک الگوریتم تقسیم‌بندی تصویر سونار جدید بر اساس ازدحام ذرات الهام گرفته از کوانتوم و خوشه‌بندی فازی پیشنهاد کرده‌اند. بر اساس ذرات بهینه خود و ذرات بهینه جهانی، زاویه چرخش تعیین می‌شود. با محاسبه واریانس تناسب گروه ذرات، دروازه گردان کوانتومی چند بیتی برای به‌روزرسانی موقعیت ذرات در زمان واقعی استفاده می‌شود. خروجی بهینه‌سازی ازدحام ذرات بهبودیافته برای مقداردهی اولیه مرکز خوشه‌بندی K-mean برای همگرایی به راه‌حل بهینه جهانی استفاده می‌شود. بر اساس ایده ماتریس عضویت فازی در FCM، همراه با ویژگی‌های اطلاعات فضایی جداشده نویز، تقسیم‌بندی تصویر سونار و نویز زدایی انجام می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند توانایی جستجوی جهانی بهینه‌سازی ازدحام ذرات را به‌طور مؤثر بهبود بخشد. در تقسیم‌بندی تصویر بهتر از خوشه‌بندی فازی کوانتومی و الگوریتم ژنتیک کوانتومی است. نتایج تجزیه‌وتحلیل چندین تصویر سونار واقعی زیر آب نشان می‌دهد که الگوریتم بهینه‌سازی جدید دارای سرعت همگرایی سریع‌تر، ظرفیت بهینه‌سازی بهتر و نتایج تقسیم‌بندی بهتر برای تصاویر سونار است [۲۰].

در مقاله‌ای وانگ و همکاران به‌منظور حل مشکل تشخیص هدف سونار در محیط پیچیده، یک روش تشخیص هدف سونار بر اساس شبکه‌های عصبی کانولوشنال متصل متراکم قابل جداسازی (DS-CNN) و

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با رفتار کوانتومی (QPSO) پیشنهادشده است. در مرحله اول، هسته کانولوشن قابل جداسازی گشاد شده برای گسترش میدان پذیرای محلی و افزایش توانایی استخراج ویژگی لایه‌های پیچشی پیشنهادشده است. در مرحله دوم، بر اساس الگوریتم درون‌یابی خطی، یک عملیات ادغام چند نمونه (MS-pooling) برای کاهش از دست دادن اطلاعات ویژگی و بازیابی وضوح تصویر پیشنهادشده است. درنهایت، با ضریب انقباض-انبساط و واریانس تفاوت در الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات سنتی معرفی‌شده، الگوریتم QPSO برای بهینه‌سازی پارامترهای وزن مدل شبکه استفاده می‌شود. روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده‌های تصویر سونار تائید شده و با سایر روش‌های موجود مقایسه می‌شود [۲۱].

۱ - ۱۰ نتیجه گیری

سونار یکی از مهم‌ترین تجهیزات شناسایی است که می‌تواند اشیاء زیر آب را از طریق شدت صوتی، فرکانس و فاز آنالیز کند. تصویر سونار زیر آب دارای ویژگی‌های پس‌زمینه پیچیده و آلودگی صوتی شدید است. ازآنجایی‌که محدودیت‌های تصاویر سونار زیر آب وجود دارد، بسیاری از روش‌های پردازش تصویر نوری باید برای اعمال پردازش تصویر صوتی زیر آب اصلاح شوند. بسیاری از تحقیقات، مجموعه‌ای از روش‌ها را برای تشخیص هدف سونار پیشنهاد کرده‌اند. ترکیبی از الگوریتم استخراج ویژگی و طبقه‌بندی کننده‌ها به‌طور گسترده در تشخیص هدف سونار استفاده‌شده است. دور از انتظار نیست که با افزایش روزافزون حجم اطلاعات و داده‌های پردازشی، محاسبات کلاسیک به سبب محدودیت‌هایی همچون افزایش شدید بار محاسباتی و پیچیدگی زمانی و همچنین عدم توانایی یا مقرون به‌صرف نبودن اجرای برخی الگوریتم‌ها و پردازش‌ها، به انتهای راه خود برسد. در دهه‌های اخیر الگوریتم‌های کوانتومی به‌عنوان یکی از فناوری‌های نویدبخش جدید برای غلبه بر محدودیت‌های محاسبات کلاسیک پیشنهادشده است و نسل جدیدی از کامپیوترها و شبکه‌های ارتباطی بر مبنای آن در حال شکل‌گیری است.

منابع

[1] Wang, X. Liu, S. & Liu, Z. (2017). Underwater sonar image detection: A combination of non-local spatial information and quantum-inspired shuffled frog leaping algorithm. *Plos One*, 12(5), e0177666.

[۲] سقایی، ف. سعادتیان، ع. (۱۳۹۳). بررسی، شناسایی و طراحی سیگنال‌های موردنیاز در فرستنده سونار فعال. شانزدهمین همایش صنایع دریایی، بندرعباس.

[۳] ترقی‌خواه، الف. (۱۳۹۳). بررسی و شبیه‌سازی روش‌های وفقی شکل‌دهی پرتو در آرایه‌های سونار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند.

[۴] امیری، ه. ناصری، م. (۱۳۹۸). شکل‌دهی پرتو مقاوم در پردازش سیگنال آرایه‌ای. فصلنامه علمی دریا فنون، ۱۷، ۲۷-۴۲.

[5] Blomberg, A. E. Austeng. A. A. & Hansen, R. E. (2012). Adaptive Beamforming Applied to a Cylindrical Sonar Array Using an Interpolated Array Transformation. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 37(1), 25-34.

[6] Blomberg, A. E. A. Austeng, A. Hansen, R. E. & Synnes, S. A. V. (2013). Improving Sonar Performance in Shallow Water Using Adaptive Beamforming. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 38 (2), 297 – 307.

[7] Yang, H. Byun, S. H. Lee, K. & Kim, K. (2020). Underwater Acoustic Research Trends with Machine Learning: Active SONAR Applications. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 34(3), 277-284.

[8] Chen, Y. Liang, H. & Pang, S. (2022). Study on Small Samples Active Sonar Target Recognition Based on Deep Learning. *J. Mar. Sci. Eng*, 10(8), 1144.

[9] Somasundaram, S. D. (2013). Wideband Robust Capon Beamforming for Passive Sonar. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 38(2), 308-322.

[۱۰] اریک، ر. (۱۳۸۶). مقدمه‌ای بر سیستم سونار. ترجمه: محمدرضا سهیلی فر. نشر اتحاد، تهران.

[11] Lee, H. Ahn, J. Kim, Y. & Chung, J. (2021). Direction-of-Arrival Estimation of Far-Field Sources Under Near-Field Interferences in Passive Sonar Array. *IEEE Access*, 9, 28413- 28420.

[12] Blomberg, A.E.A. Austeng, A. Hansen, R.E. & Synnes, S.A.V. (2013). Improving Sonar Performance in Shallow Water Using Adaptive Beamforming. *Oceanic Engineering, IEEE Journal*, 38(2), 297-307.

[۱۳] امیری فر، ز. (۱۳۹۲). بررسی و ارزیابی الگوریتم‌های شکل‌دهی پرتو در سیستم‌های سونار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه یزد.

[14] Edelman, A. (2009). Scalable Multi-core Sonar Beamforming with Computational Process Networks. Ph.D. *dissertation, Dept. Elect. Eng. Comput. Sci. Mass. Inst. Technol*. Cambridge, MA.

[15] Bin, L. Shing-Chow, C. & Kai-Man, T. (2013). Recursive Steering Vector Estimation and Adaptive Beamforming under Uncertainties. *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions*, 49(1), 489-501.

[16] Krelina, M. (2021). Quantum technology for military applications. *EPJ Quantum Technology*, 8(1), 24.

[17] Kubiak, K. (2020). Quantum technology and submarine near-invulnerability. Global security policy brief, *European leadership network*.

[18] Wang, X. Hao, W. & Li, Q. (2017). An Adaptive Cultural Algorithm with Improved Quantum-behaved Particle Swarm Optimization for Sonar Image Detection. *Scientific Reports*, 7, 17733.

[19] Wang, X. Liu, G. Li, L. & Liu, Z. (2014). A novel quantum-inspired algorithm for edge detection of sonar image. *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*, Nanjing, China, 1934-1768.

[20] Guo, Y. Wei, L. & Xu, X. (2020). A sonar image segmentation algorithm based on quantum-inspired particle swarm optimization and fuzzy clustering. *Neural Computing and Applications*, 32, 16775–16782.

[21] Wang, Z. Wang, B. Guo, J. & Zhang, S. (2021). Sonar Objective Detection Based on Dilated Separable Densely Connected CNNs and Quantum-Behaved PSO Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, 6235319.