

## بررسی حسگرها و روش‌های اجتناب از موانع در زیرسطحی‌های هوشمند

سحر جعفری<sup>۱</sup>، سمیه صدقی<sup>۲</sup>، بهنام صادق‌زاده پراپری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مکترونیک، شرکت سپهر سیستم اندیش؛ sahar.jafari@gmail.com

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی مکترونیک، شرکت سپهر سیستم اندیش؛ sedghi\_3773@yahoo.com

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد معماری کشتی، شرکت سپهر سیستم اندیش؛ behnam.sadeghzadeh@gmail.com

### چکیده

سهم عهده‌ی منابع آبی از کره‌ی زمین، اهمیت غیر قابل انکار دریاها و اقیانوس‌ها در کاربردهای تجاری، تفریحی، تحقیقاتی و دفاعی و همچنین خطرات انسانی موجود در اعماق دریاها، سبب شد که روبات‌های زیرسطحی بدون سرنشین به عنوان یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مهم، مطرح شوند. در این میان وسایل زیرسطحی هوشمند<sup>۱</sup> به دلیل مزایای قابل توجه آن‌ها بر وسایل زیرسطحی نیمه اتوماتیک<sup>۲</sup>، به یک زمینه‌ی تحقیقاتی مهم تبدیل شده و به موازات گسترش تکنولوژی حسگرها، محاسبات پیشرفته و ...، فعالیت‌های تحقیقاتی بسیاری برای گسترش این وسایل صورت پذیرد. اما کنترل رفتار هوشمندانه توسط این سیستم‌ها به جهت وجود موانع بسیار دشوار می‌باشد. اولین گام جهت اجتناب از موانع تعیین دقیق حسگرها است، اما استفاده از این حسگرها زمانی مفید واقع خواهد شد که عملکرد و کارایی آن‌ها با الگوریتم‌های مناسب مسیریابی و اجتناب از موانع تلفیق گردد. حسگرهای صوتی، دوربین‌های نوری و دوربین‌های صوتی سه دسته‌ی مهم از حسگرهای مورد استفاده در زیرسطحی‌های هوشمند به شمار می‌روند. لیزر نیز به صورت مکملی برای دوربین‌های نوری به کار برده می‌شود. در این بررسی، حسگرهای متفاوت به کار رفته در زیرسطحی‌ها و الگوریتم‌های لازم جهت اجتناب از موانع، با توجه به هدف زیرسطحی‌ها، مورد بررسی قرار خواهند گرفت. اگرچه این بررسی جامع نیست، اما افق‌های جدیدی را برای بررسی‌های آینده، خواهد گشود.

**کلمات کلیدی:** زیرسطحی هوشمند، سونار، دوربین‌نوری، دوربین صوتی، تشخیص موانع، اجتناب از موانع

### مقدمه

اقیانوس‌ها بیش از هفتاد درصد سطح زمین را پوشانده و تأثیر فوق‌العاده‌ی آن‌ها بر حیات موجودات زنده سبب شده تا محققان بسیاری بر استفاده از منابع آن‌ها تمرکز کنند. اما وجود اعماق غیرقابل دسترس در آب‌ها، مسئله‌ی جستجو در آن‌ها را با مشکلات بسیاری همراه می‌سازد. در این میان، استفاده از وسایل بدون سرنشین به دلیل کاهش خطرات انسانی در بخش دریا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. روبات‌های زیرسطحی به دو دسته‌ی وسایل زیرسطحی نیمه اتوماتیک و هوشمند تقسیم می‌شوند، اما معایب زیرسطحی‌های نیمه اتوماتیک، از نظر هزینه، اتکا به تکنسین‌ها و ایجاد فرسودگی و خرابی‌ها بر اثر حرکت القایی، و قدرت مانور بالا در زیرسطحی‌های هوشمند، سبب شد تا تمرکز بر زیرسطحی‌های هوشمند افزایش یابد. روبات زیرسطحی هوشمند یک وسیله‌ی نقلیه‌ی پویاگر هوشمند است که به کاربر امکان عملیات مورد نظر، نظیر جستجو در اعماق آب‌ها را می‌دهد. اما کاربرد این روبات‌ها تنها به دریا محدود نشده و استفاده از این تجهیزات در خشکی نیز، نظیر خطوط لوله، از اهمیت زیادی برخوردار است. این گستره‌ی وسیع کاربرد در دریا و خشکی نیازمند حرکت و مسیریابی یکنواخت و بدون برخورد به موانع است، اما لازمه‌ی این حرکت استفاده از حسگرهای مناسب بوده، علاوه بر آن تلفیق عملکرد این حسگرها با الگوریتم‌های مناسب نیز ضروری می‌باشد.

حسگرهای صوتی و غیرصوتی دو دسته از حسگرهایی هستند که در وسایل زیرسطحی هوشمند به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. سیستم صوتی تشخیص دیواره‌ها و پرتوهای باریک چندتایی و تشخیص بر اساس بینایی و تصویر، به ترتیب نمونه‌هایی از کاربرد حسگرهای صوتی و غیرصوتی در زیرسطحی‌هاست [۲]. هر دو دسته حسگرها دارای تکنیک‌های فعال<sup>۳</sup> و غیرفعال<sup>۴</sup> می‌باشند. انتخاب نوع حسگرها بر اساس کاربرد صورت گرفته و در این میان حسگرهای صوتی، به دلیل میرایی کم صوت در آب و توانایی ایجاد تصاویر سه‌بعدی در فواصل دور جهت هدایت زیرسطحی تا هدف و اهداف بازبینی و نظارت بر بستر دریاها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۳]. اما حسگرهای بینایی و تصویر، به دلیل میرایی زیاد نور در آب، بیشتر در فواصل نزدیک، جهت انجام مأموریت‌ها و محیط‌های آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند، البته شایان ذکر است که تلفیق ویژگی‌های نوری ناشی از لیزرها، با دوربین‌ها نیز می‌تواند مفید واقع گردد [۴]. در سال‌های اخیر، تلفیق ویژگی‌های صوت در آب،

<sup>1</sup> AutoNomous Underwater Vehicles

<sup>2</sup> Remotely Operated Vehicle

<sup>3</sup> Active

<sup>4</sup> Passive

نظیر میرایی کم، با توانایی دوربین‌ها در ایجاد تصاویر مناسب، سبب معرفی دوربین‌های صوتی شده است، استفاده از این دوربین‌ها بیشتر جهت بررسی فواصل میانی مطرح شده و توانایی آن‌ها در ایجاد تصاویر سه‌بعدی، شناسایی قطرات روغن و توده‌ی ماهی‌ها و ... سبب ایجاد اشتیاق فراوان در استفاده از این دوربین‌ها شد، تا آنجا که ارتش آمریکا، ناوگان آلمان و ... از مالکین این تکنولوژی به شمار می‌روند [۵، ۳]. اما ردیابی موفق، نه تنها نیازمند استفاده از حسگرهای مناسب می‌باشد، بلکه جهت شناسایی و اجتناب از موانع و همینطور اجتناب از برخورد با سایر زیرسطحی‌ها، نیازمند استفاده از قوانین هدایتی نیز می‌باشد [۱۰].

در این بررسی ابتدا حسگرهای به کار رفته در زیردریاهای مورد بررسی قرار گرفته و سپس جهت استفاده‌ی کارآمد از این حسگرها، الگوریتم‌های مناسب جهت تشخیص موانع و اجتناب از آن‌ها بررسی خواهند شد.

### بررسی حسگرهای اجتناب از موانع در زیرسطحی‌ها

همان‌طور که قبلاً هم بیان شد، حسگرهای صوتی، دوربین‌های نوری و صوتی سه‌دسته‌ی مهم از حسگرهای مورد استفاده در زیرسطحی‌ها به شمار می‌روند، در ادامه این حسگر به اختصار بررسی خواهند شد.

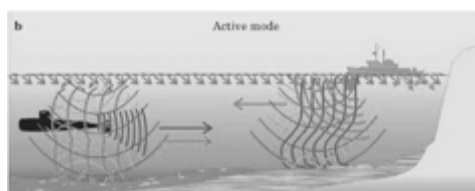
#### حسگرهای صوتی (سونار)

سونار<sup>۱</sup> به معنی ناوبری و تشخیص فاصله توسط صوت است و در حالت کلی می‌توان گفت تکنولوژی است که با استفاده از انتشار صدا در زیر آب قادر به شناسایی دیگر ناوها و کشتی‌هاست [۱]. سونارها از امواج فراصوتی، که مانند امواج صوتی بوده ولی دارای بسامد بسیار بالایی هستند، بهره می‌برند، این امواج نیز مانند امواج نوری دارای خاصیت بازتابش بوده و امکان ایجاد نقشه‌ی سطح زیر دریاها را فراهم می‌آورند، در این نقشه‌ها نقاط پستی و بلندی کاملاً مشخص می‌گردد. این حسگرها به دو دسته‌ی غیرفعال و فعال تقسیم می‌شوند [۱].

اولین سونار غیرفعال در سال ۱۹۰۶، جهت شناسایی توده‌های یخ، توسط لویی نیکسون اختراع گردید. تلاش‌های صورت گرفته، جهت گسترش سونارها، موجب معرفی اولین سونار فعال در سال ۱۹۱۵ توسط پاول دانکوین فرانسوی به همراه کنستانتین چلوسکی روس شد. اگر چه مبدل‌های پیزوالکتریک نسبت به این سونار ترجیح داده شدند، اما در جای خود این نوع سونارها آینده‌روشنی را در علم رادارشناسی باز کردند و تحقیقات صورت گرفته (در سال ۱۹۱۶ در بریتانیا و ۱۹۱۸ در انگلیس با همکاری ایالت متحده و ...) موجب شد تا در سال ۱۹۲۳ تولید این سیستم‌ها به طور رسمی آغاز شود [۱]. در ادامه در مورد سونارهای فعال و غیرفعال به تفصیل بررسی خواهند شد.

#### سونار فعال

سیستم سونار فعال، مثل ماهی‌یاب‌ها، یک پالس صدا را فرستاده و منتظر پژواک آن می‌ماند. در سیستم سونار فعال، منبع مانند یک دریافت‌کننده عمل می‌کند. سونارهای فعال، زمانی که بتوانند موقعیت هدف را به خوبی تشخیص دهند، بسیار مفید هستند. پالس صوتی ارسال شده در تمامی مسیرها شروع به حرکت کرده و در اثر برخورد به زمین در تمام جهات بازتابیده می‌شود بعضی از سیگنال‌های بازگشتی که به سونارهای فعال می‌رسند، تکنیسین‌های سونار را قادر می‌سازند تا با بررسی پارامترهایی از قبیل فرکانس و انرژی سیگنال رسیده شده، عمق و درجه حرارت آب و ... به شناسایی موقعیت هدف بپردازند. شکل ۱. **Error! Reference source not found.** استفاده از سیستم تشخیص موانع توسط سونار فعال [۱].



شکل ۱- استفاده از سیستم تشخیص موانع توسط سونار فعال [۱]

سونار فعال، به علت توانایی ایجاد تصاویر سه‌بعدی با وضوح بالا از محیط اطراف، در بسیاری از عملیات در زیر دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملیات نظامی، شناسایی توده ماهی‌ها، اندازه‌گیری عمق دریا (عمق سنجی اکوستیکی<sup>۲</sup>) و اندازه‌گیری مسافت بین دو پاسخ‌گر<sup>۱</sup> از موارد کاربرد

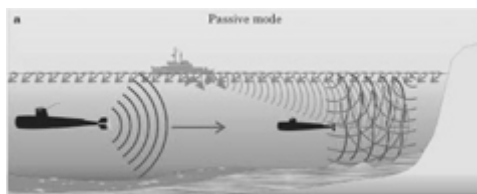
<sup>1</sup> Sound Navigation And Ranging (SONAR)

<sup>2</sup> Echo sounding

سونار فعال در زیر دریاست. با این وجود، این نوع سونارها در عملیات جاسوسی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و برای عملیات نظامی نیز (به دلیل امکان شناسایی توسط ناوها و دیگر زیردریایی‌ها) گزینه‌ی مناسبی به شمار نمی‌روند. برای تشخیص نوع سونار ساطع کننده انرژی، کافی است تا به سیگنال صوتی ناشی از سونار توجه شود (معمولاً با استفاده از فرکانس سیگنال‌های رسیده شده به حسگر). در نتیجه با استفاده از انرژی دریافتی می‌توان موقعیت رادار را شناسایی کرد [۱].

### سونار غیرفعال

در این سونارها تنها عمل گوش دادن (عدم ارسال پالس) انجام می‌شود. سیستم سونار غیرفعال علاوه بر دریافت صداهای منعکس شده از اهداف، به صداهای تولید شده توسط وال‌ها، آتش‌فشان‌ها، زیردریایی‌ها و منابع دیگر تولید صدا در زیر آب نیز گوش فرا می‌دهد [۱]. شکل ۲ استفاده از سیستم تشخیص مانع توسط سونار غیرفعال را نشان می‌دهد.



شکل ۲- استفاده از سیستم تشخیص مانع توسط سونار غیرفعال [۱۱]

عملیات جاسوسی و مسیریابی اهداف (آنالیز مسیر هدف<sup>۱</sup>) دو کاربرد عمده این سونارهاست. در عملیات جاسوسی، به هنگام جنگ، وجود فرکانس‌های گزین، دریافت کننده‌های حساس و ... ضروری است. افزایش هزینه به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های مطرح شده، موجب می‌شود که این سونارها تنها در تجهیزات گران‌قیمت (جهت بهبود وضعیت تشخیص و شناسایی) زیرسطحی استفاده شوند. در عملیات جاسوسی، زیرسطحی‌های مجهز به سونارهای غیرفعال می‌توانند با پنهان شدن در زیر لایه‌های حرارتی آب از خود محافظت کنند. مسیریابی هدف به کمک سونارهای غیرفعال، زیرسطحی‌ها را قادر می‌سازد تا محدوده‌ی حرکت، راستا، جهت و سرعت هدف را تعیین نمایند. در این کاربرد، با تفسیر جهت و زمان سیگنال‌های دریافتی، نحوه حرکت هدف تعیین می‌شود. با آنالیز نسبی هدف یک مدل هندسی، با تعیین شرایط محدود ایجاد می‌گردد. با وجود کاربردهای مطرح شده، سیستم‌های سونار غیرفعال، به علت اغتشاشاتی که توسط وسایل نقلیه ایجاد می‌شوند، دارای محدودیت‌های بسیاری هستند. این محدودیت‌ها از واکنش‌پذیری هسته‌ای در زیرسطحی‌ها، که سبب می‌شود آن‌ها بدون استفاده از پمپاژها به راحتی سرد شوند، انتقال دهنده‌های گرمایی بی‌صدا، استفاده از سوخت‌های فسیلی و یا استفاده از باتری‌هایی که در تمامی حالات می‌توانند به طور بی‌صدا به فعالیت بپردازند، ناشی می‌شود [۱].

### پارامترهای مؤثر بر عملکرد سونار

عملکرد سونار وابسته به سرعت صوت می‌باشد و این سرعت در همه آب‌ها، وابسته به چگالی آب بوده و چگالی نیز به نوبه‌ی خود به پارامترهایی نظیر دما، میزان املاح (معمولاً میزان شوری آب، به طوری که سرعت صوت در آب‌های شیرین کمتر از این سرعت در دریاهاست.) و فشار وابسته است. افزایش فشار باعث افزایش چگالی شده و افزایش سرعت صوت پیامد عمده‌ی این افزایش چگالی است. منکسر شدن صوت در برخورد با دیگر محیط‌ها، که به دلیل افزایش سرعت صوت اتفاق می‌افتد، به قانون شکست اسنل معروف است [۲].

### ارزیابی حسگر سونار

ناوگان‌های مدرن امروزی به طور گسترده از سونارها استفاده می‌کنند. دو نوع سوناری که در مباحث قبلی مطرح شد (سونارهای فعال و غیر فعال) به طور مکرر مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً در زیرسطحی‌ها از سونارهای فعال جهت شناسایی اشیا در فواصل دور استفاده می‌شود، دقت این حسگرها، جهت هدایت زیرسطحی به سمت ناحیه هدف ضروری می‌باشد. با وجود کاربردهای گسترده‌ی این حسگرها در زیرسطحی‌ها، اما این

<sup>1</sup> Transponder

<sup>2</sup> Target Motion Analysis (TMA)

حسگرها از معایبی نظیر تداخل سیگنال، تخمین نادرست فاصله، تجمع خطای ناشی از اندازه‌گیری فاصله و انعکاس‌های چندگانه، عدم قطعیت، امکان شناسایی در عملیات نظامی و ... نیز رنج می‌برند [۲].

## حسگرهای غیر صوتی

لیزر و دوربین‌ها بیشتر برای ارزیابی شکل و فاصله اجسام از زیرسطحی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ادامه به عملکرد و کاربرد هر حسگر در زیرسطحی‌ها پرداخته خواهد شد.

### دوربین‌ها

اندازه‌گیری صوتی عمدتاً توسط سیستم‌ها در زیر آب استفاده می‌شود [۷]. ولی به طور مؤثر در انجام مأموریت‌ها، به دلیل مشکلات پراکندگی و تفکیک‌پذیری<sup>۱</sup> کم صوت در برخورد با موانع، پیشنهاد نمی‌شود. به هنگام دستکاری فضای کاری و در فواصل نزدیک دوربین‌های ویدئویی ترجیح داده می‌شوند [۳]. در حس کردن غیرفعال براساس تصویر، از دوربین‌های CCD<sup>۲</sup> و تلویزیونی<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. یک تراشه CCD آرایه‌ای از عناصر تصویری حساس به نور (پیکسل) است. اما این دوربین‌ها به همه فرکانس‌های نور حساسیت یکسانی نشان نمی‌دهند، فوتودیودهای این حسگرها کمترین حساسیت را به طیف‌های انتهایی امواج فرابنفش را داشته و بیشترین حساسیت آن‌ها سهم امواج مادون قرمز است. تصاویر دریافتی از دوربین می‌تواند بصورت بی‌سیم به کنترلر منتقل شوند و با پردازش تصاویر دریافتی، دستورات لازم جهت اجتناب از موانع به صورت بردارهای سرعت صادر می‌شود [۸].

بینایی بعلاوه ایجاد چندین نوع اطلاعات محیطی مانند سمت، رنگ و بافت اجسام، می‌تواند در بسیاری از عملیات مانند مدل‌سازی اشیاء، شناسایی و اجتناب از موانع، ارتباط با کاربر و تشخیص موقعیت نسبی مفید واقع شود [۳]. اما متأسفانه و به دلیل میرایی شدید نور در آب، دوربین‌ها دارای گستره‌ی دینامیکی کمی بوده و به این مسئله باید نوبزه‌های ناشی از اجسام متحرک، حجیم و معلق در آب، مسائل ناشی از وجود گازها در آب (که البته این مسئله قابل حل می‌باشد)، نورپردازی‌های نامتحد و اثر نورهای مصنوعی نصب شده بر روی سیستم را نیز افزود [۸].

### لیزر

در حس کردن فعال بر اساس تصویر، از پرتو لیزر استفاده می‌شود. کاربردهای نظامی مهم‌ترین زمینه‌های کاربردی لیزر را تشکیل می‌دهند. استفاده از لیزرها به عنوان فاصله‌یاب یکی از مهم‌ترین کاربردهای لیزرهاست. فاصله‌یاب لیزری از اصول به کار رفته در رادارها بهره می‌برد. یک تپ کوتاه لیزری (معمولاً با زمان ۱۰ تا ۲۰ نانوثانیه) به سمت هدف نشانه‌گیری شده و تپ پراکنده بازگشتی به وسیله یک دریافت‌کننده‌ی مناسب نوری، که شامل آشکارساز نوری است، ثبت می‌شود. فاصله‌ی مورد نظر با اندازه‌گیری زمان پرواز این تپ لیزری به دست می‌آید [۹].

در تشخیص فاصله به کمک لیزر، با تصویر کردن خطوط لیزر بر روی یک دوربین ویدئویی، فاصله زیرسطحی تا مانع تعیین می‌گردد. اطلاعات موجود در خطوط لیزر، از تصاویر گرفته شده به کمک دوربین‌های ویدئویی، استخراج شده و به کمک این اطلاعات، فاصله از زیرسطحی و جهت هر مانع محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است، که این تکنیک بیشتر در زیرسطحی‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰].

### دوربین‌های صوتی

همان‌طور که پیشتر هم اشاره شد، تلفیق ویژگی‌های صوت در آب با توانایی دوربین‌ها، سبب تولید دوربین‌های صوتی<sup>۴</sup> شد. تصاویر ایجاد شده به کمک این دوربین‌ها، دارای کیفیتی نظیر تصاویر ایجاد شده با دوربین‌های ویدئویی بوده و این دوربین‌ها برای تجسس و شناسایی اشیاء زیر دریا در فواصلی میانی (نه فواصل بسیار دور و نه بسیار نزدیک که زیرسطحی باید خود را برای شناسایی جسم هدف و قرار گرفتن در فضای کاری آماده کند.) بسیار مناسب می‌باشند [۸، ۹].

<sup>1</sup> Resolution

<sup>2</sup> Charged Coupled Device

<sup>3</sup> TV

<sup>4</sup> Acoustic camera

این دوربین‌ها، به جهت میرایی کم نور در آب، جایگزین مناسبی برای دوربین‌های نوری در آب‌های گل‌آلود و تیره می‌باشند. تصاویر ایجاد شده توسط این دوربین‌ها قابلیت ذخیره‌سازی بر روی حافظه و کار با سیستم‌های معمول نظیر چاپگرها، اینترنت و ... را دارا می‌باشند. سیستم‌های جدید در این حوزه، DIDSON<sup>1</sup> نامیده می‌شوند که بیشتر در رودخانه‌های کوچک و کم آب و در حالت کلی در مناطقی که سایر تجهیزات سونار ناتوان هستند، استفاده می‌گردند. بررسی رفتار ماهی‌ها در طبیعت و محیط‌های ساخته شده توسط انسان از کاربردهای اساس این دوربین‌ها به شمار می‌روند. این سیستم‌ها در دانشگاه واشنگتن جهت کاربردهای نظامی نظیر آشکارسازی غواصان و شناسایی مین‌های زیردریا استفاده می‌شوند [۵].

کیفیت مطلوب تصاویر و امکان ایجاد تصاویر سه‌بعدی با چرخش دوربین و سپس تفسیر داده‌ها توسط نرم‌افزارها، تشخیص لکه‌های روغن، قابلیت استفاده در خطوط لوله‌ها، شناسایی توده ماهی‌ها، کار با دو فرکانس (فرکانس پایین جهت آشکارسازی در فواصل دور و فرکانس‌های بالا جهت شناسایی در فواصل نزدیک مورد استفاده قرار می‌گیرند) و ... سبب استفاده‌ی روز افزون از این دوربین‌ها شده است [۵].

## تشخیص موانع

تشخیص موانع اولین و حیاتی‌ترین مرحله در کنترل روبات‌هاست. این مرحله با جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات بدست آمده، صورت می‌گیرد. در ادامه روش‌های رایج در تشخیص موانع به کمک حسگرهای سونار و دوربین‌ها، ارائه خواهد شد.

سیستم‌های سونار<sup>۲</sup>، جهت تشخیص و اجتناب از موانع بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، الگوریتم‌های تشخیص موانع با اعمال فیلترهای فضایی<sup>۳</sup> و زمانی<sup>۴</sup> بر روی داده‌های به دست آمده از سونارها، اجسام، موقعیت، سرعت و شتاب آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنند، در تشخیص موانع به کمک حسگرهای سونار، ابتدا با استفاده از فیلترهای فضایی (الگوریتم‌های پردازش تصویر)، موانع استخراج شده و در مرحله‌ی بعد، فیلترهای زمانی نویزهای تصادفی و عناصر ناخواسته (به طور مثال سنگ‌های بستر دریا، آشغال‌های موجود در دریا و ...) را حذف می‌کنند [۱۱]. از دیگر راه‌های تشخیص موانع سونار، قطعه‌بندی تصاویر با استفاده از میدان‌های تصادفی مارکو<sup>۵</sup> و یا روش‌های خوشه‌بندی (مانند فازی) می‌باشد که حاصل این تقسیم‌بندی، شناسایی سایه‌ها و پژواک‌های کف دریاست. پس از قطعه‌بندی تصاویر، دسته‌بندی موانع، جهت شناسایی موانعی که اجتناب از آن‌ها لازم است، ضروری می‌باشد [۱۲]. این دسته‌بندی به کمک تبدیلات فوریه، موجک‌ها، روش‌های آماری و یا شبکه‌های عصبی می‌تواند صورت گیرد [۱۳].

در تشخیص مانع به کمک دوربین‌ها، فیلترسازی، تشخیص لبه‌ها، گروه‌بندی مرزها و تعیین جهت و موقعیت موانع ضروری می‌باشد [۱۴]. پس از قطعه‌بندی، موانع به کمک روش‌های دسته‌بندی تصاویر سونار، دسته‌بندی می‌شوند [۱۳]. یکی دیگر از تکنیک‌های مورد استفاده در دوربین‌ها، بینایی استریو<sup>۶</sup> است، در این روش دو تصویر با دو زاویه‌ی متفاوت از دو دوربین گرفته شده و به کمک محاسبه‌ی همبستگی دو تصویر، یک تصویر سه بعدی ایجاد می‌شود [۶].

پس از تشخیص موانع، ایجاد نقشه‌های شبکه‌بندی محلی<sup>۷</sup> و یا شبکه‌های اشغال جهت ارائه‌ی موانع و به خاطر سپردن آن‌ها مفید است، اما از آنجا که محیط اطراف پویا بوده و ممکن است اشیاء جدیدی در میدان دید قرار گرفته و یا از آن محو شود، می‌توان نقشه‌های ایجاد شده را در حافظه‌های کوتاه ذخیره کرده و اطلاعات موجود را به روزرسانی کرد [۱۱].

## الگوریتم‌های اجتناب از موانع

پس از استخراج موانع و تعیین لزوم اجتناب از آن‌ها، با اعمال الگوریتم‌های اجتناب از موانع، ناوبری ایمن و مطمئن تضمین می‌گردد. از میان الگوریتم‌های موجود جهت اجتناب از موانع، الگوریتم‌های VFH<sup>۸</sup>، APF<sup>۹</sup> و شبکه قطعیت<sup>۱۰</sup> در زیرسطحی‌ها با مقبولیت بیشتری روبرو شده‌اند [۱۱]. در ادامه در مورد هر الگوریتم به اختصار بحث خواهد شد.

<sup>1</sup> Dual frequency IDentification SONar

<sup>2</sup> Forward Looking Sonar (FLS)

<sup>3</sup> Spatial

<sup>4</sup> Temporal

<sup>5</sup> Markov Random Field (MRF)

<sup>6</sup> Stereovision

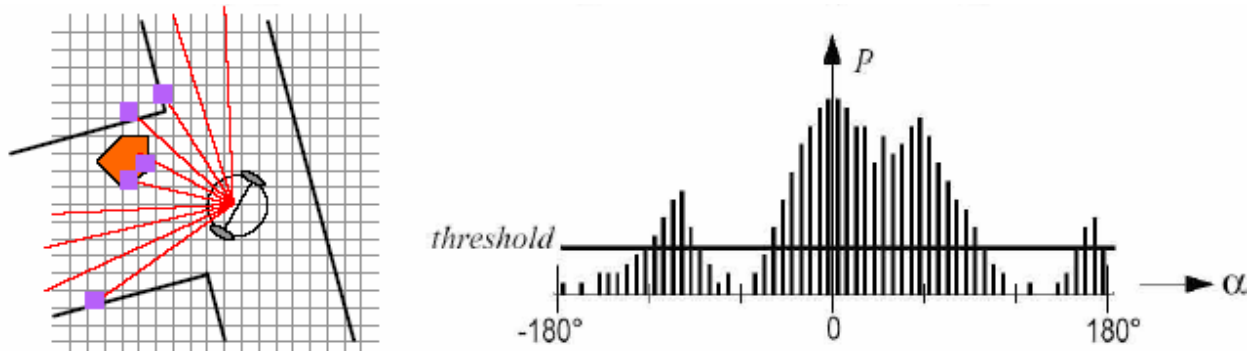
<sup>7</sup> Local Grid Map (LGM)

<sup>8</sup> Vector Field Histogram

<sup>9</sup> Artificial Potential Field

<sup>10</sup> Certainty Grid

هدف از الگوریتم VFH، هدایت کردن روبات تا رسیدن به هدف در بهترین مسیر ممکن و بدون برخورد به موانع است. در این روش، ابتدا به کمک یکی از حسگرهای فاصله، یک نقشه‌ی دوبعدی از محیط اطراف روبات تهیه می‌شود، در مرحله بعدی این نقشه دوبعدی به یک هیستوگرام قطبی ترجمه می‌شود. در این هیستوگرام، محور X نشان‌دهنده‌ی زوایای اطراف مانع و محور Y نشان‌دهنده‌ی احتمال وجود مانع در زاویه‌ی مورد نظر است، در این نقشه قطبی قله‌ها نشان‌دهنده‌ی اجسام حجیم و دره‌ها نشان‌دهنده‌ی اجسام کم حجم هستند، دره‌هایی که زیر حد آستانه قرار می‌گیرند، دره‌های مناسب جهت حرکت روبات هستند، در نهایت دره‌ای از بین دره‌های مناسب انتخاب می‌گردد که فاصله کمتری تا هدف داشته باشد و موقعیت این دره، زاویه‌ی حرکت و سرعت روبات را تعیین می‌کند. شکل ۳ هیستوگرام قطبی متناظر با یک موقعیت را نمایش می‌دهد [۸].



شکل ۳- مانع و روبات (سمت چپ) و هیستوگرام قطبی متناظر (سمت راست) [۱۲]

اگر چه این الگوریتم مسیر حرکتی یکنواختی را برای روبات فراهم می‌آورد، حد آستانه‌ی ثابت در نظر گرفته شده در این الگوریتم، ممکن است در محیط‌هایی با چندین دره‌ی محدود، روبات را دچار شک کرده و تغییر مداوم جهت روبات برای یافتن مسیر مناسب، از پیامدهای این مسئله است که با انتخاب دو حد آستانه این مشکل قابل رفع می‌باشد. به طوری که به کمک این حدهای آستانه، پس از تولید هیستوگرام قطبی، یک هیستوگرام قطبی دودویی تولید شده که به ایجاد یک مسیر یکنواخت‌تر منجر می‌شود [۱۴].

بهبودهای صورت گرفته بر روی VFH، منجر به معرفی VFH<sup>+</sup> و VFH\* شد. در الگوریتم VFH<sup>+</sup> انتخاب دره، بر اساس محاسبه‌ی تابع هزینه صورت گرفته و دره‌ی مناسب با کمترین تابع هزینه، جهت و سرعت روبات را تعیین می‌کند. تغییرات صورت گرفته به مسیری هموارتر و قابل اعتمادتر منجر می‌شود. به علاوه پارامترهای در نظر گرفته شده در محاسبه‌ی تابع هزینه، نیاز به استفاده از فیلترهای پایین‌گذر را مرتفع می‌سازد [۱۴].

VFH\* با ترکیب VFH با الگوریتم A\* به بهبود و کاهش هزینه‌ها می‌پردازد (الگوریتم A\* یکی از الگوریتم‌های رایج در هوش مصنوعی بوده که در هر قسمت تصمیم‌گیری بر مبنای هزینه‌ی واقعی از نقطه شروع و هزینه‌ی تخمین زده شده بر اساس یک هیوربستیک صورت گرفته و در صورتی که این تابع هیوربستیک هزینه را بیشتر از مقدار واقعی تخمین نزد، الگوریتم مورد نظر بهینه است). به این ترتیب روبات قبل از تصمیم‌گیری نتایج هر عمل را تحلیل کرده و بهترین تصمیم را اتخاذ می‌کند. این الگوریتم از توانایی بسیار خوبی برای دستکاری محیط‌های دشواری که VFH<sup>+</sup> و VFH در دستکاری آن‌ها ناتوان هستند، برخوردار است [۱۵].

یکی دیگر از تکنیک‌های مطرح برای مسیریابی همراه با اجتناب از موانع در زیرسطحی‌ها، الگوریتم APF نامیده می‌شود [۶]، این الگوریتم در چند سال اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و به عنوان مطرح‌ترین الگوریتم در زیرسطحی‌ها شناخته شده است. در این تکنیک روبات مانند نقطه‌ای است که تحت تأثیر میدان‌های پتانسیل مصنوعی قرار گرفته و با اجتناب از موانع به سمت هدف هدایت می‌شود، درست مانند توپبی که به سمت دره می‌گلتد (هدف دره‌ای است که با اعمال نیروهای جاذبه، روبات را به سمت خود کشیده و موانع مانند قله‌هایی هستند که نیرویی دافعه بر روبات اعمال می‌کنند، میزان این نیروی دافعه متناسب با فاصله روبات از مانع تغییر می‌کند) و حاصل جمع آثار نیروهای جاذبه و دافعه ناشی از اهداف و موانع آن را هدایت می‌کند. این الگوریتم نه تنها یک الگوریتم مسیریابی بلکه یک قانون کنترلی برای روبات نیز به شمار می‌رود، در این صورت روبات با ایجاد نقشه و به کمک میدان‌های پتانسیل، جهت ادامه مسیر و اقدام بعدی تصمیم‌گیری می‌کند. مهمترین مشکل ناشی از این الگوریتم، وجود چاله‌های محلی است که به واسطه شکل و اندازه موانع ایجاد می‌گردد. مشکل بعدی این الگوریتم وجود اشیاء مقعر در فضا است، که می‌تواند به چند فاصله کمینه منجر شده و روبات را در مسیریابی به اشتباه بیاندازد. نوسان بین دو مانع نزدیک به هم نیز می‌تواند کامل بودن این الگوریتم (در هوش مصنوعی منظور از کامل بودن یک الگوریتم، تضمین یافتن جواب در صورت وجود، است). را زیر سوال ببرد. این تکنیک در بیشتر شرایط و در آب‌های آزاد، قابل استفاده بوده و در چند سال گذشته بارها مورد بازبینی و تغییر قرار گرفته است، با این وجود، چندان مقاوم نبوده و از نظر محاسباتی چندان کارا نیست [۸].

شبکه‌های قطعیت یکی از روش‌های شناخته شده، قدرتمند و کارا در استفاده از ترکیب چند حسگری، جهت شناسایی محیط و تعیین مسیر حرکت است. این تکنیک شبیه تجزیه‌ی سلولی می‌باشد، که در آن هر مانع به کمک اشیاء چندضلعی نمایش داده شده و بر این اساس یک نقشه‌ی

فضای آزاد تعیین می‌گردد، با این تفاوت که در شبکه‌های قطعیت نقشه بدست آمده مرتباً و به کمک اطلاعات به دست آمده از حسگرهای سونار و یا به کمک تصاویر بدست آمده از بینایی استریو به روز رسانی می‌شود که این مسئله سبب حذف عدم قطعیت‌های ناشی از تجزیه سلولی می‌شود. در این روش فضای حرکتی روبات به سلول‌های بدون همپوشانی تجزیه شده و از فضای حرکتی گرافی تهیه شده (هر فضای آزاد به صورت گره و روابط بین آنها به صورت یال تعیین می‌گردد). و بر مبنای روش‌های جستجوی گراف (نظیر جستجوی اول عمق) مسیر حرکت تعیین می‌شود [۱۶].

جدول ۱ مهمترین خصوصیات الگوریتم‌های مطرح شده در بالا را لیست می‌کند.

جدول ۱- مقایسه‌ی ویژگی‌های الگوریتم‌های اجتناب از موانع

روش	حسگر مورد نیاز	دید	نقشه	ملاحظات
APF	سونار	محلی	آرایش فضایی ساده	وقوع چاله‌های محلی، مسیرهای نوسانی مخصوصاً در عبور از موانع بسیار نزدیک به هم، ناکارآمد و نه چندان مقاوم
VFH	فاصله	محلی	هیستوگرام	وقوع چاله‌های محلی و مسیرهای نوسانی
VFH <sup>+</sup>	سونار	محلی	هیستوگرام	چاله‌های محلی
VFH*	سونار	ذاتاً محلی	هیستوگرام	چاله‌های محلی کمتر
شبکه‌های قطعیت	سونار، دوربین و حسگرهای لمسی	محلی	شبکه‌های اشغال	توانایی ترکیب اطلاعات به دست آمده از چند حسگر و به روز رسانی اطلاعات و رفع مشکلات ناشی از عدم قطعیت‌ها در حسگرها، ناتوانی هنگامی که حسگرها به طور دائم اطلاعات اشتباه می‌دهند.

الگوریتم‌های اجتناب از موانع در زیرسطحی‌ها، تنها به موارد بالا محدود نبوده و منطق فازی و شبکه‌های نوروفازی نیز می‌توانند جهت اجتناب از موانع مورد استفاده قرار گیرند، در این میان منطق فازی جهت رفع مشکلات ناشی از جریان اقیانوس، می‌تواند مفید واقع شود.

## نتیجه‌گیری

در چند سال اخیر، روبات‌های زیرسطحی به یکی از زمینه‌های تحقیقاتی و در حال گسترش تبدیل شده‌اند. در این میان روبات‌های هوشمند از مقبولیت بسیاری برخوردار شده‌اند. اما کنترل رفتار هوشمند این وسیله‌ها بسیار دشوار بوده و اجتناب از موانع جهت مسیریابی ایمن و مطمئن از نیازهای اساسی این سیستم‌ها به شمار می‌رود. حسگرهای سونار فعال و غیرفعال به طور مکرر در زیرسطحی‌ها مورد استفاده قرار گرفته و کاربرد قابل قبول آن‌ها در عملیات کاوش، بازرسی و ... تأیید شده است. دوربین‌های نوری، صوتی و لیزرها نیز از دیگر حسگرهای مورد استفاده در زیرسطحی‌ها بوده و استفاده از دوربین‌های نوری و یا تلفیق توانایی دوربین‌ها و لیزر، بیشتر محدود به مطالعات تحقیقاتی بوده و در اعماق اقیانوس‌ها کمتر مطرح می‌باشند. اولین مرحله در اجتناب از موانع، قطع‌بندی موانع و شناسایی موانع قابل اجتناب می‌باشد، که با توجه به حسگر مورد استفاده، روش‌های متفاوتی ارائه شده است. سپس با استفاده از الگوریتم‌های اجتناب از موانع، تصمیمات مورد نظر اتخاذ شده و به صورت بردارهای سرعت به زیرسطحی، اعمال می‌شود.

## مراجع

- [۱] روحانی‌دریندسری، م.، ت.، سیستم‌های سونار، تهران، ۱۳۸۵.
- [۲] روحانی‌دریندسری، م.، ت.، آنالیزسیستم‌های سونار، تهران، ۱۳۸۵.
- [3] Marani, M., Choi, S. K., Yuh, J., "Underwater autonomous manipulation for intervention missions AUV's", Journal of ocean engineering, Vol. 36, pp. 15-29, 2009.
- [4] Ohata, S., Ishii, K., Sakai, H., Tanaka, T., Ura, T., "An autoNomous underwater vehicle for observation of underwater structure", International congress series Vol. 1291, pp. 277-280, 2006.
- [5] <http://www.soundmetrics.com>.
- [6] Roberts, G., N., Sutton, R., *Advances in Unmanned Marine Vehicles*, The Institution of Engineering and TechNology. London. United Kingdom. 2006.

- [7] YUH, J., "Design and control of autoNomous underwater robots: a survey", *AutoNomous Robots* Vol. 8, pp. 7-24, 2000.
- [8] Siegwart, R., Nourbaksh, I., *Introduction to autonomous mobile robots*, the MIT press, Cambridge, Massachusetts, 2004.
- [9] Emmanuel, R., Moutaye, Tap-Beteille, H., "CMOS available photodiode embedded in a phase-shift laser rangefinder", *IEEE TRANSACTION ON ELECTRON DEVICES*, Vol. 55, No. 12, 2008.
- [10] Sakai, H., Tanaka, T., Ishituska, M., Ishii, K., Ura, T., "Applicability and improvement of underwater video mosaic system using AUV", 0-7803-8669-8/04, IEEE, 2004.
- [11] Toe, k., Ong, K., W., Lai, H., Ch., "Obstacle Detection, Avoidance and Anti Collision for MEREDITH AUV", 0-933957-38-1/09, 2009.
- [12] MigNotte, M., Collet, Ch., Perez, P., Bouthemy, P., "Sonar Image segmentation using an unsupervised hierarchical MRF Model", *IEEE TRANSACTION ON IMAGE PROCESSING*, Vol. 9, No. 7, 2000.
- [13] Tang, X., Stewart, W., K., "Optical and sonar image classification: wavelet packet transform vs. Fourier transform", *computer vision and image understanding* Vol. 79, pp. 25-40, 2000.
- [14] Kushnerik, A., A., Vorontsov, A., V., Scherbatyuk., A., Ph., "small AUV docking algorithm near dock unit based on visual data", 0-933957-38-1/09, 2009.
- [15] Ulrich, I., Borenstein, J., "VFH\*: Local Obstacle Avoidance with Look-Ahead Verification", *IEEE international conference on robotics and automation*, San Francisco, CA, pp. 2025-2511, 2000.
- [16] Moravec, H., P., "Sensors fusion in certainty grids for mobile robots", *AI Magazine*, Vol. 2, 1988.