پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران
هفدهم الی نوزدهم شهریورماه ۱۳۸۳

بهینه سازی عملکرد سیستم گیرنده دریک سونار فعال با استفاده از منطق فازی

رضا جاویدان[۱]، حسن اقبالی‌جهرمی[۲]
دانشگاه شیراز ـ بخش علوم و مهندسی کامپیوتر
Reza_Javidan@Hotmail.com

چکیده

سیستمهای سونار بعنوان ابزاری جهت رد یابی و تعین موقعیت اهداف مختلف در زیر آب مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه سونارهای فعال و غیر فعال در انواع مختلفی از شناورهای نظامی و غیر نظامی بکار گرفته می شوند. در آبهای کم عمقی نظیر خلیج فارس، بازتابش امواج صوتی سونار از سطح و کف تاثیر زیادی بر عملکرد سیستم دارد. در چنین شرایطی سیستم های تشخیص خودکار بهره گیرنده (AGC) و بهره متغیر با زمان (TVG) از ابزارهای کنترل اصلی عملکرد سیستم می باشند. در این مقاله با هدف کاهش نقش اپراتور در سیستم های سونار و افزایش کارایی آن در کاربردهای دفاعی، با استفاده از منطق فازی روشی هوشمند جهت کنترل بهینه بهره گیرند ه در یک سونار فعال ارائه شده است. نتایج حاصل از داده های آزمایشی نشا ن دهنده عملکرد مناسب سیستم می باشد .

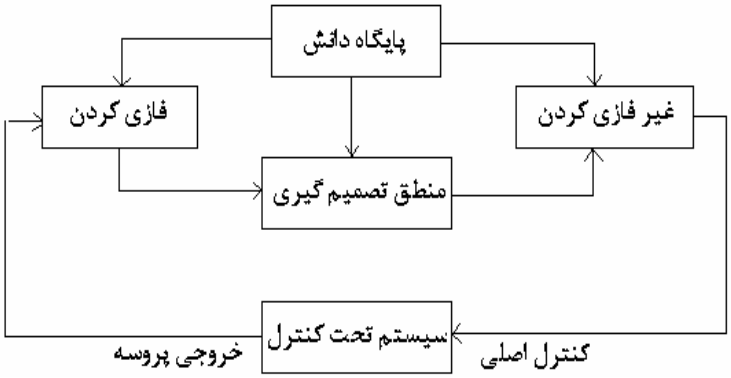
کلمات کلیدی: سونار فعال - سیستم گیرنده- منطق فازی- AGC-TVG

مقدمه

منطق فازی که توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد [۱]، مفهوم مجموعه ها و کمیتهای نادقیق و همراه با عدم صراحت را در یک روال کاملا منظم و قانونمند معرفی کرده و روشهای تصمیم گیری در چنین محیطهایی را پیشنهاد می کند. از آنجایی که منطق فازی با واقعیتها و حقایقی که فکر بشر با آنها درگیر است بیشتر منطبق است و از طرفی مدل سازی پدیده ها و فرآیندها با استفاده از تئوری فازی ساده تر و حقیقی تر می باشد، این نظریه در بسیاری از علوم و گرایشهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. منطق فازی و روش استنتاج تقریبی مفهوم جدیدی را در مهندسی کنترل و همچنین سیستمهای خبره نیز عرضه کرده است. این مفهوم روش تفکر انسانی را تقلید کرده و در بسیاری از سیستمهای واقعی بخصوص سیستمهای مبتنی بر اپراتور انسانی بهتر از روشهای کلاسیک عمل می کند. قسمت اساسی کنترل کننده مبتنی بر منطق فازی، Fuzzy Logic Controller (FLC) شامل مجموعه ای از قوانین زبان شناختی (Linguistic) است که فرآیند تحت کنترل را مدل می کند [۲]. بنابراین FLC الگوریتمی در جهت تبدیل استراتژی زبانشناختی کنترل است که مبتنی بر اطلاعات یک خبره (اپراتور) از مسائل سیستمهای خودکار می باشد. شکل ۱ ساختار اصلی یک FLC را نشان می دهد.

۱- دانشجوی دکتری بخش علوم و مهندسی کامپیوتر، دانشگاه شیراز و عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر
۲- دانشیار بخش علوم و مهندسی کامپیوتر دانشگاه شیراز، Eghbali@cse.Shirazu.ac.ir

منطق فازی و FLC اخیرا در سیستم های Sound navigation and Ranging (SONAR) ، بخصوص در کاربردهای نظامی که عملکرد اپراتور در تشخیص هدف نقش اساسی دارد، نیز مورد استفاده قرار گرفته است. تشخیص تعداد دور در دقیقه پروانه کشتی‌های مهاجم، تعداد پره‌های پروانه آنها و بدنبال آن تخمین سرعت و طبقه‌بندی کشتی، دنبال کردن خودکار



شکل ۱- ساختار کلی یک FLC

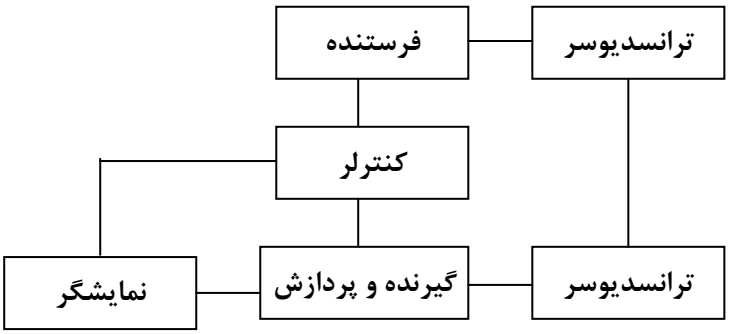
هدف (Automatic Target Tracking) از جمله برخی از این کاربردها است [۳]اکثر روشهای ارائه شده در این زمینه، در آبهای عمیق کاربرد دارند. خلیج فارس که از آبهای کم عمق جهان محسوب می شود، دارای شرائط محیطی خاصی است که به سیستمهای سوناری پیشرفته نیز محدودیت های فراوانی اعمال می کند. بازآوایش از سطح و کف (reverbration) از مهمترین عواملی است که در آبهای کم عمق باعث بروز خطا می شود. در چنین شرائطی عملکرد اپراتور نقش اساسی در جبران این محدودیتها دارد. معمولا تنظیم برد(Range) ، توان ارسالی (Power)، تنظیم بهره گیرنده(AGC)، تنظیم بهره متغیر با زمان (TVG) از مهمترین ابزارهای کنترل دستگاه هستند که در اختیار اپراتور سونار می باشند.

در این مقاله با هدف کاهش نقش اپراتور در سیستم های سونار، پیشنهاد استفاده از منطق فازی جهت بهینه سازی کنترل بهره گیرنده در یک سونار فعال ارائه گردیده است. به این منظور ابتدا مقدمه ای برای معرفی سیستمهای سونار ارائه می گردد. سپس در ادامه در خصوص چگونگی عملکرد سیستم گیرنده در یک سونار فعال توضیحاتی بیان می شود. در انتها نیز بهینه سازی سیستم AGC و TVG در گیرنده یک سونار فعال با کمک منطق فازی ارائه می گردد.

سیستمهای سونار

سونار [۴] ، ابزاری است که با استفاده از انرژی صوتی که در دریا بهتر انتشار می یابد و دارای حداقل تضعیف است، آشکارسازی و ردگیری هدف را انجام می دهد. سونار هم در زمینه های تجاری و هم نظامی کاربردهای گوناگونی دارد. ماهی یابی، نقشه برداری از کف دریا، ناوبری دریایی، عمق یابی، بسترشناسی کف دریا برخی از کاربردهای مهم آن می باشند. انواع مختلفی از سونار بصورت تجارتی طراحی و ساخته شده است [۵و۶]، اما بطورکلی سونار را به دو دسته فعال (Active) و غیرفعال (Passive) تقسیم می کنند. سیستم سونار فعال به سیستمی گفته می شود که در آن صوت از طریق ترانسدیوسر (مبدل) در آب انتشار یافته و پس از برخورد با هدف و انعکاس، بسوی گیرنده باز می گردد. در سیستم سونار غیر فعال اصواتی که توسط هدف تولید می گردند توسط ترانسدیوسر سونار دریافت شده و آشکار می شود. شکل ۲ بیانگر عملکرد کلی یک سیستم سونار می باشد. همانطور که از شکل هویداست، فرستنده سیگنالی را تولید و ازطریق ترانسدیوسر به بیرون ارسال می کند. سیگنال پس از برخورد به هدف منعکس شده و به سمت سونار برمی گردد. چنانچه سونار غیرفعال باشد، سیگنال تولیدی از شناور مقابل که می تواند نویز پروانه ، موتور و یا امواج حاصل از سونار فعال آن باشد بجای سیگنال برگشتی به دستگاه سونار می رسد. سیگنال وارده به ترانسدیوسر پس از تقویت وآشکارسازی درگیرنده به نمایشگر رفته و نتیجه برای کاربر سونار به نمایش در می آید. چنانچه در یک سیستم سونار فعال از یک سوئیچ جداکننده فرستنده و گیرنده استفاده شود می توان از

یک ترانسدیوسر هم برای ارسال و هم دریافت سیگنال سود جست. تمام فعالیتهای فوق توسط سیستم کنترل، هدایت می‌شود. وظیفه قسمت کنترل، خواندن کلید های ورودی، ذخیره حالت آنها همزمان سازی دقیق زمان ارسال و دریافت سیگنال و نظارت بر کار سایر قسمتها است.



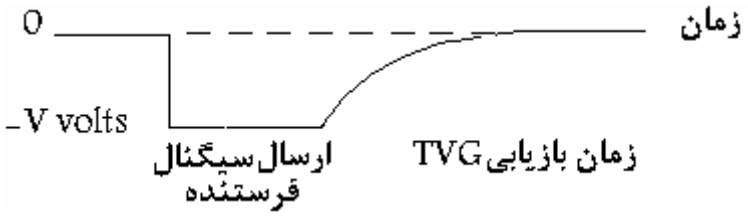
شکل۲- عملکرد کلی سونار

با توجه به هدف اصلی این مقاله، توجه خود را به گیرنده یک سونار فعال معطوف می کنیم. در گیرنده نوع نمایش سیگنال دریافتی، بنحوی مناسب جهت اپراتور از اهمیت اساسی برخوردار می باشد. بدین منظور توجه اصلی به تقویت سیگنال ورودی و شکل دهی Directivity لوب اصلی و حذف لوبهای کناری می باشد[۷و۸]. از آنجایی که سیستم های سونار در حضور میدانهای جهتی ومتغیر با زمان، نویز ، بازآوایش (Reverbration) و محیطی که بطور اتفاقی در حال تغیر است قرار دارند، برای امکان بررسی اطلاعات در گیرنده، نیاز به یک سطح آستانه یا مرجع می باشد که مستقل از جهت و انتشار موج دریافتی باشد و دامنه تغیرات گیرنده را محدود نماید. همچنین گیرنده سونار باید برد وسیعی را پوشش دهد بطوریکه قادر باشد ضعیف ترین سیگنالها را دریافت و آشکار کند، در حالیکه با قوی ترین سطح اکو برگشتی به اشباع نرود. با توجه به اینکه واحد نمایشگر نیز سطوح معینی از تغیرات رنگ ونور را می تواند نشان دهد دامنه شدت اکو برگشتی همواره باید در یک محدوده معینی قرار داشته باشد و از آن فراتر نرود. برای انجام این موارد، قسمتی از سیستم گیرنده بنام واحد Dynamic Range Compression and Normalization که به اختصار DRCN نامیده می شود، می بایست حداکثر دامنه سیگنال دریافتی را در یک سطح محدود نگه دارد تا اطلاعاتی از سیگنال در هنگام نمایش از بین نرود. DRCN این وظیفه را به کمک اجزاء خود شامل Automatic Gain Control (AGC) و Time Variable Gain (TVG) انجام می دهد[۹].

در مدارهای سونار فعال، AGC بطور پیوسته ضریب تقویت گیرنده را مطابق با سطح DC سیگنالهای دریافتی تنظیم می نماید. AGC اصولا به تغیرات آرام یا ولتاژهای DC پاسخ می دهد و بهره گیرنده را کاهش می دهد. این مقادیر DC هم اکثرا مربوط به پوش نویز زمینه یا بازآوایش است. در عوض تغیرات سریع با دامنه قابل قبول را که به سیگنال اصلی مربوط است را تقویت میکند. همه اعمال فوق در صورتی انجام می شود که دامنه سیگنال ورودی بین دو حد آستانه معین (Thr1, Thr2) باشد. در حالتی که سیگنال دارای مقادیر کمتر از این دو آستانه باشد، AGC عمل نمی کند و سیگنال ورودی به صورت معمول تقویت می شود. در حالتی که مقدار بیشتر از حد بالای آستانه باشد، خروجی مدار AGC در یک سطح ثابت می ماند که ولتاژ سطح قطع (Break Down Level) نامیده می شود.

در سیستم TVG بهره تقویت کننده با زمان تغیر می کند. وظیفه این بخش کاهش حساسیت گیرندگی بلافاصله بعد از ارسال و برگرداندن آن به مقدار اولیه طی یک ثابت زمانی می باشد. این خاصیت نویز سطحی را که معمولا قسمت مرکزی را می پوشاند، حذف می کند. خصوصا وقتی که زاویه Tilt ترانسدیوسر تقریبا بطور افقی تنظیم شده باشد، وظیفه جبران افت

سیگنال ناشی از تلفات انتشار را به عهده دارد. معمولا تغیرات منحنی TVG بصورت لگاریتمی می باشد. نمودار سیگنال اعمال شده توسط TVG در شکل ۳ رسم شده است.



شکل ۳- منحنی تغیرات بهره گیرنده نسبت به زمان در TVG

طراحی بلوک DRCN با استفاده از کنترل کننده فازی

در یک سونار فعال معمولا توسط کلیدهایی به اپراتور سونار امکان فعال کردن/ غیر فعال کردن سیستم AGC و امکان تغیر در حالتهای انتخاب (تنظیم دامنه، سطح و زمان) TVG را می دهند. تغیر در این کلیدها که تاثیر مستقیم در عملکرد گیرندگی سونار دارد، براساس عمق عملکرد سونار، برد انتخابی (Range) ، شرائط محیطی سونار (عمق محیط، جنس کف، درجه حرارت و بطور خلاصه خصوصیات کانال مخابراتی) ، شکل، جنس و اندازه اهداف مورد نظر و همچنین تجربه شخص اپراتور انجام می گیرد. همچنین آستانه های ۱ و ۲ و میزان ولتاژ ثابت برش در AGC نیز معمولا ثابت می باشند. با توجه به آنچه که در مورد منطق فازی بیان شد، یک کنترلر استنتاجی فازی جایگزین دقیق و مناسبی برای چنین سیستمی می باشد. قلب یک سیستم کنترل فازی، همانگونه که در شکل ۱ مشخص است، پایگاه دانش می باشد که از قواعد **اگر – آنگاه** فازی تشکیل شده است. این قواعد از مجموعه ای از دانش و تجربه بشری و نیز توصیفاتی راجع به خود سیستم تحت کنترل بوجود می آیند. برای بیان قوانین مورد نیاز در این سیستم سونار، تعدادی متغیر زبان شناختی تعریف می گردد. این متغیرها عبارتند از:

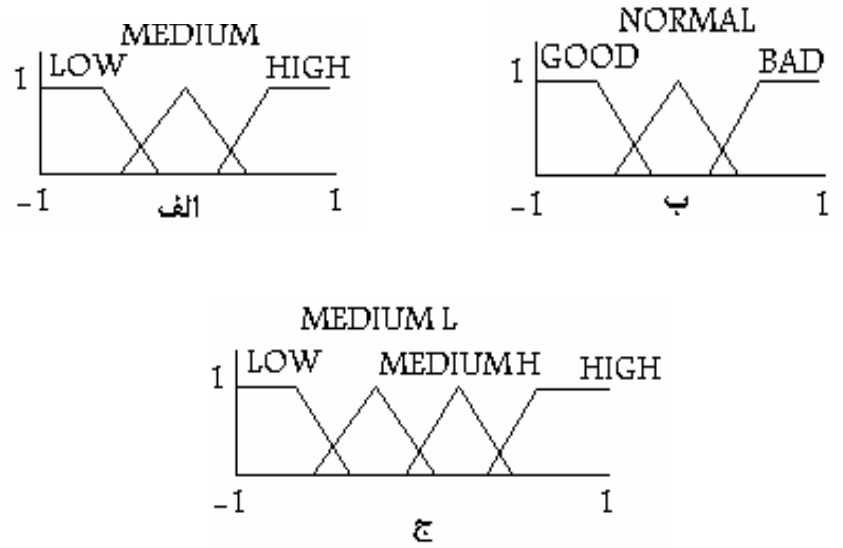
۱. Depth (D): عمق محیط عملکرد سونار را مشخص می کند. مقدار آن توسط کاربر سونار مشخص می شود (ورودی).
۲. Range (R): برد عملیاتی مورد نظر در سونار را مشخص می کند. این برد معمولا انتخابی بوده و توسط کاربر سونار مشخص می شود (ورودی).
۳. Recovery Time (RT): زمان صفر شدن سیگنال TVG را مشخص می کند(خروجی).
۴. Threshold1 (TH1): آستانه پایین سیگنال AGC را مشخص می کند(خروجی).
۵. Threshold2 (TH2): آستانه بالای سیگنال AGC را معلوم می کند(خروجی).
۶. Operating Condition (OC): شرائط محیطی عملکرد سونار را از نظر سطح نویز و میزان بازآوایش و بطور کلی شرائط کانال مخابراتی را بیان می کند. این سیگنال می تواند توسط یک کلید چند حالته توسط کاربر تعین گردد. در سیستمهای پیشرفته تر می توان از یک زیر سیستم استفاده کرد که توسط ارسال یک سیگنال تست مرجع و دریافت نتیجه بازتاب آن در محیط و مقایسه آنها با یکدیگر، شرائط محیطی را مشخص می کند (ورودی).

منظور از ورودیها، سیگنالهایی هستند که وارد کنترلر فازی می شوند. این متغیرهای ورودی توسط نمودارهایی به مقادیر متناظر زبانشناختی نسبت داده می شوند. این عمل را فازی کردن (Fuzzification) می نامند. بر اساس یک سری قوانین استنتاج در پایگاه قواعد (Rull Base)، خروجی تعین می گردد. در مقابل، خروجی ها توسط نمودارها، غیر فازی شده و به سیستم تحت کنترل اعمال می گردند. مقدار RT و همچنین میزان حد بالا و حد پایین سطح آستانه به مدارات سخت افزاری گیرنده بستگی دارد. برای ورودی ها و خروجی های نرمالیزه شده (بین ۱- و ۱)، متغیر های زبان شناختی در شکل ۴ رسم شده است. برخی از قوانین موجود در پایگاه قواعد عبارتند از:

IF (D is HIGH) AND (R is HIGH) AND (OC is GOOD) THEN
(TH1 is a1) AND (TH2 is a2) AND (RT is a3)
IF (D is LOW) AND (R is HIGH) AND (OC is GOOD) THEN
(TH1 is b1) AND (TH2 is b2) AND (RT is b3)
IF (D is LOW) AND (R is HIGH) AND (OC is BAD) THEN
(TH1 is c1) AND (TH2 is c2) AND (RT is c3)

.....

که در آن از حروف اول متغیرهای زبانشناختی جهت خلاصه نویسی استفاده شده است. مقادیر مختلف پارامترهای a,b,c,... می بایست بر اساس مشخصات مدارات گیرنده و برد های متصل به آن و همچنین مشاوره با یک اپراتور با تجربه و در نهایت تست قوانین بدست آمده در شرائط محیطی واقعی تعین گردند. ناگفته پیداست که با مساوی قرار دادن دو سطح آستانه با مقدار ولتاژ ثابت برش می توان عملا سیتم AGC را خاموش کرد. همچنین امکان تغیر در آستانه ها خارج از محدوده اپراتور باعث بهینه تر شدن عملکرد گیرندگی کل سونار می شود.



شکل ۴- متغیرهای زبان شناختی نرمالیزه شده بین ۱- و ۱ جهت ورودیها و خروجی ها :
الف- Range و Depth ب- Operation Condition ج- Threshold1,2 و Recovery Time

نتیجه گیری و پیشنهادات

جهت آزمایش آلگوریتم ارائه شده و مقایسه آن با روش مرسوم اپراتوری، از سیستم سونار CH16 ساخت شرکت Furuno استفاده گردید [۱۰و۱۱]. این سیستم یک سونار ماهی یاب رنگی است که هم در حالت فرستندگی و هم گیرندگی در فرکانس ۶۰ کیلو هرتز کار میکند و دارای توان خروجی ۱۲۰۰ وات می باشد. پهنای پرتو ارسال و دریافت در حالت افقی ۱۵ درجه و در حالت عمودی ۱۲ درجه است و بمنظور یافتن توده های ماهی در آبهای عمیق طراحی شده است. این سونار دارای کلیدهای کنترل AGC و TVG جداگانه می باشد. در روش مرسوم، اپراتور مسئولیت تنظیم این کلیدها و انتخاب سایر پارامترهای موثر بر عملکرد سیستم را بعهده دارد. این کلیدها به اپراتور سونار امکان فعال کردن/ غیر فعال کردن سیستمAGC و امکان تغیر در حالتهای انتخاب (تنظیم دامنه، سطح و زمان) TVG را می دهند. تغیر در این کلیدها که تاثیر مستقیم در عملکرد گیرندگی

سونار دارد، براساس عمق عملکرد سونار، برد انتخابی (Range) ، شرائط محیطی سونار (عمق محیط، جنس کف، درجه حرارت و بطور خلاصه خصوصیات کانال مخابراتی) ، شکل، جنس و اندازه اهداف مورد نظر و همچنین تجربه شخص اپراتور انجام می گیرد. بعلاوه آستانه های ۱ و ۲ و میزان ولتاژ ثابت برش در AGC نیز معمولا ثابت می باشند. سیستم سونار فوق، با افزودن یک سیستم FLC بر اساس آنچه در بالا به آن اشاره شد و با انجام حداقل تغیرات در سخت افزار آن، خودکار می شود. هدف(target) در این آزمایش یک جسم کروی صلب از جنس فولاد به قطر حدود ۷۰ سانتی متر می باشد که در فاصله حدود ۱۰۰ متر از سیستم سونار قرار گرفته است. هم در روش متکی به اپراتور و هم در روش ارائه شده در این مقاله هدف در نهایت کشف می شود. اما در روش سنتی، نتیجه عملکرد واقعی این سیستم در شرایط کم عمق خلیج فارس قابل پیش بینی نیست و متکی به توانمندی اپراتور است. اما در روش پیشنهاد شده، عملکرد گیرندگی سیستم بهینه تر شده است. علت این امر، خودکار سازی در نتیجه حذف اپراتور و کاهش احتمال خطاهای انسانی و همچنین امکان اعمال کنترل بیشتر سیستم، از طریق کنترل پارامترهایی نظیر (THR1, THR2) می باشد. بعلاوه زمینه هوشمند سازی عملکرد سونار نیز فراهم می شود. بخصوص امکان بکارگیری این سونار در شرایط خاص و بدون حضور اپراتور قابل تصور خواهد بود. چنین سیستمی در کاربردهای نظامی و در شرایطی که امکان حضور فیزیکی اپراتور نیست بسیار موثر خواهد بود. هرچند ضرورت دارد جهت بهینه تر کردن قوانین پایگاه دانش و مشخص کردن دقیق تر مقادیر پارامترهای آن، سیستم در محیط واقعی بکار گرفته شود، اما با استفاده از شرایط آزمایشگاهی، نیز نتایج قابل قبولی بدست آمده است که بطور خلاصه بیان می گردد: در هر دو روش سنتی اپراتوری و روش ارائه شده در این مقاله (فازی)، اهداف بصورت نسبتا یکسانی آشکار می گردند، اما در روش اپراتوری، سرعت عکس العمل سیستم پایین است و دقت آن بسته به تجربه یک اپراتور خاص است، ولی در روش ارائه شده در این مقاله، سرعت عکس العمل سیستم نسبت به هدف که در کاربردهای نظامی از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است، بیشتر شده و تجربه تعداد بیشتری اپراتور از طریق پایگاه دانش بکار گرفته می شود. حداقل کردن خطاهای انسانی و امکان بکارگیری سیستم در شرایط خطرناک و بدون حضور اپراتور از سایر مزایای سیستم ارائه شده می باشند.

مراجع

[1] Zadeh L. A., (1965), "Fuzzy sets", Information and control, Vol. 8, Pages. 338-353.
[2] Cox E., (1994), "The Fuzzy Systems Handbook", Academic Press, MA.
[3] Kummert A.,(1993), "Fuzzy Technology Implemented in Sonar Systems", IEEE Jornal of Oceanic engineering, Vol. 18, No. 4.
[4] Winder A., (1975), "Sonar System Technology", IEEE Transaction on sonic & ultrasonic, september
[5] Somers M. A. and Stubbs A. R., (June1984), " Side Scan Sonars", IEE Proceeding, Vol. 131, Part F, No. 3.
[6] Weight Arthur St. C., (June 1994), "Deep-Towed Side-Scan Sonars", Sea Technology
[7] Kinsler L.E., (2000),"Fundamental of Acoustics", John Wiley and Sones.
[8] Urick R. J., (1975), "Principle of Underwater Sound".
[9] Nielson Richard O., (1991), "Sonar Signal Processing", Artech House
[10] (1988), "Color Searchlight Sonar, Service Manual Model CH-14/16", Furuno Electric Co. LTD, Nishinomiya, Japan.
[۱۱] حسینی کرابی ع، (۱۳۷۵)، "آنالیز و بهینه سازی روشهای ضبط و پردازش داده در تصاویر سونار فعال و شبیه سازی آنها"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

.