

ترکیب اطلاعات سنسوری در هدایت و مسیریابی هوشمند کشتی

بهزاد مشیری*

دانشیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

مسعود نجفی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد کنترل - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۸/۷/۱۲، تاریخ تصویب ۸۰/۱۱/۱۳)

چکیده

هدف از این مقاله، طراحی و شبیه سازی نرم افزاری سیستم هدایتی است که با استفاده از داده های سنسورهای مختلف نصب شده روی کشتی، به شناسایی محیط دریا پرداخته و ضمن تعیین موقعیت موانع و خود کشتی، با اعمال فرمانهای کنترلی مناسب به کشتی، آنرا به سوی هدف هدایت نمایند. بر این اساس این مقاله دارای دو بخش اساسی (۱) تخمین موقعیت موانع و کشتی و (۲) مسیریابی هوشمند می باشد. برای تخمین موقعیت موانع و خود کشتی، از سنسورهای متعددی نظیر رادار، فاصله یاب لیزری، دوربین معمولی، دوربین مادون قرمز، سیستم سونار و... می توان استفاده نمود. هر کدام از این سنسورها مشخصه خاص خود را دارند و در محدوده خاصی می توانند عملکرد مطلوبی در شناسایی و ردیابی موانع از خود نشان دهند. لذا برای طراحی یک سیستم شناسایی مقاوم، لازم است داده های این سنسورها بطور موثری با هم ترکیب شوند تا کاستی های هر کدام، توسط بقیه جبران شود. در این مقاله برای بهبود تخمین موقعیت موانع سطحی روشی بر اساس تخمین لحظه ای "کوواریانس حالت" و برای بهبود تخمین موقعیت موانع زیرسطحی روشی براساس ترکیب چند فریم مختلف عکسبرداری سونار ارائه شده است. بعد از تخمین موقعیت موانع و کشتی، سیستم هدایت خودکار، باید بتواند اطلاعات تخمین موقعیت موانع و کشتی را دریافت دارد و با استفاده از آنها مسیر حرکت کشتی را طرح نموده و به سوی هدف حرکت کند. این طرح مسیر باید کاملاً خودکار، هوشمند و بدون دخالت انسان و تا حد امکان مقاوم در برابر نامعینی ها باشد و نیز امنیت کشتی هم تضمین شده باشد. در این مقاله از مسیر یابی فازی چند عامله برای مسیر یابی هوشمند استفاده شده است.

واژه های کلیدی: هدایت کشتی، سیستم چند عامله، کنترل کننده فازی، ترکیب اطلاعات، سیستم های

چند سنسوره

مقدمه

دیگری هستند، تأمین امنیت و حرکت کشتی بسیار مهم می گردد و لازم است که یک هدایت کننده اتوماتیک روی کشتی نصب شود و با دریافت اطلاعات محیطی و شناخت موانع به سوی هدف حرکت کند.

در هنگام هدایت اتوماتیک کشتی، بمنظور جلوگیری از برخورد با موانع و یا حتی نزدیک شدن به ناحیه خطر موانع، سیستم هدایت باید در هر لحظه، موقعیت خود کشتی و نیز موقعیت و مشخصات دینامیکی موانع و نیز موقعیت هدف را داشته باشد تا بتواند براساس این اطلاعات، به پیش بینی موقعیت آینده موانع بپردازد و بتواند با امنیت کافی به سوی مقصد حرکت کند. این اطلاعات از سنسورهای مختلف روی کشتی و یا اطلاعات

با پیشرفت تکنولوژی، سنسورهای متعدد نظیر رادار، دوربین نور مادون قرمز^۱، سونار و فاصله یاب لیزری برای هدایت هرچه بهتر کشتی ارائه شده اند ولی عامل هدایت همچنان عامل انسانی باقی مانده است و اپراتورهای انسانی، کار نظارت و دریافت اطلاعات از سنسورها و ترکیب و نتیجه گیری کلی را برعهده دارند و در نهایت کار هدایت توسط سکاندار انجام می شود. گذشته از خطرهای احتمالی و خطاهای انسانی که ممکن است در اینکار پیش بیاید، گاهی لازم است که یک کشتی بدون سرنشین به سوی هدفی حرکت کند و هیچگونه عامل کنترل کننده انسانی بر آن نظارت نداشته باشد. در اینگونه موارد و یا موارد اضطراری که خدمه کشتی در گیر امور مهمتر

کشتی از مبدأ به مقصد و مسیر یابی محلی به معنی هدایت کشتی برای جلوگیری از برخورد با موانع موجود در مسیر حرکت کشتی^۱ است.

در شکل (۱) نمای کلی سیستم هدایت بکار رفته آورده شده است. موانع مختلف موجود در محیط سطح دریا و زیر دریا توسط سنسورها شناسایی می شوند و بعد از ترکیب داده های سنسورها، موقعیت دقیق هر مانع بدست می آید و به سیستم هدایت داده می شود. علاوه بر این داده ها موقعیت کنونی کشتی هم توسط سنسورهای GPS, Gyro بدست می آید و همراه با موقعیت نقطه هدف، به سیستم هدایت داده می شود. سیستم هدایت با داشتن این اطلاعات، با اعمال فرمانهای کنترلی مناسب به کشتی، آنرا هدایت می کند [۱].

ترکیب اطلاعات سنسوری در مکان یابی موانع محیطی

ردیابی موانع سطحی

در این قسمت به بهبود تعیین موقعیت و ردیابی موانع ثابت یا متحرک روی سطح آب پرداخته می شود. فرض کنید سنسورهای متعددی نظیر رادار در فرکانسهای مختلف، فاصله یاب لیزری و دوربین برای شناسایی محیط بکار می روند هر کدام از این سنسورها به علت متفاوت بودن نحوه نگرش به محیط، مشخصات مختلفی از موانع را گزارش می دهند. مثلاً، فاصله یاب لیزری فاصله را دقیقتر از زاویه گزارش می دهد و رادار برعکس. در این بخش هدف این است که مشخصات مختلف مانع که از سنسورهای مختلف گزارش شده اند با هم ترکیب شده و موقعیت دقیق لحظه ای مانع، به سیستم هدایت کشتی ارسال گردد ولی برای تخمین خوب، دانستن مشخصات آماری هم لازم است. معادله (۱) را در نظر بگیرید:

$$X(k+1) = F X(k) + B U(k) + V(k)$$

$$Z(k) = H X(k) + W(k)$$

$$E(V*V^T) = Q$$

$$E(W*W^T) = R$$

(۱)

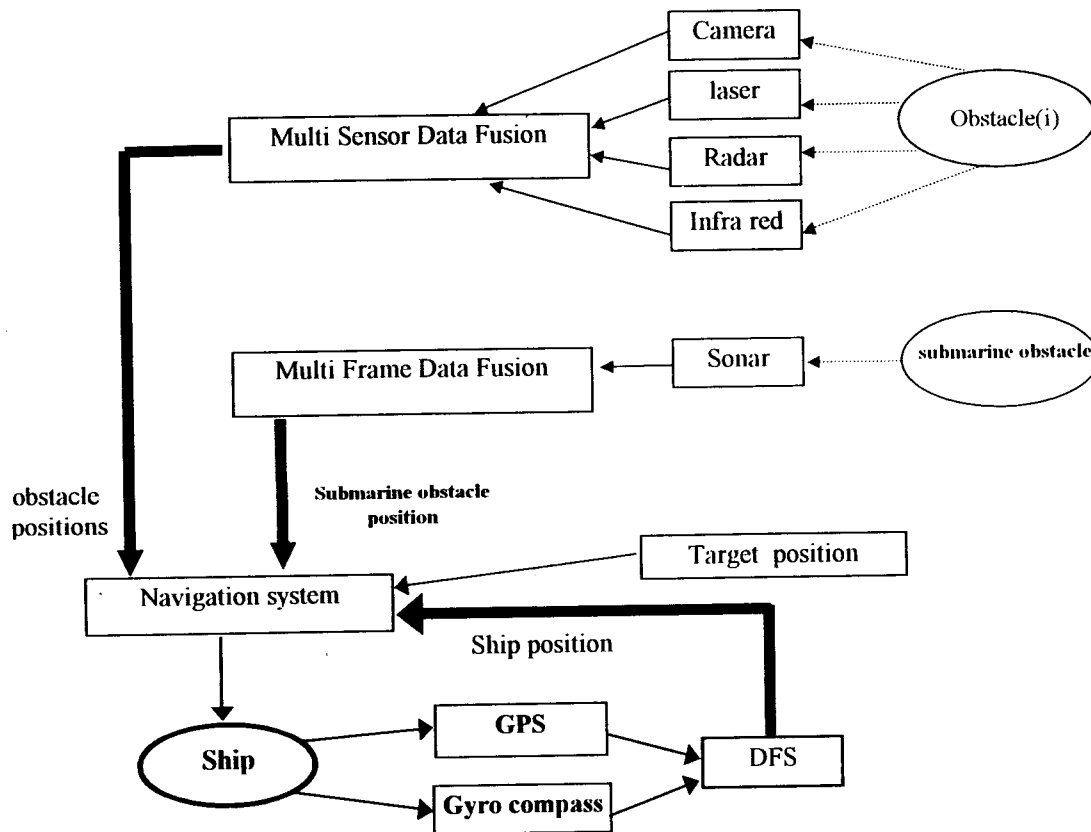
دریافت شده از رادیو بدست می آیند. اطلاعات دریافت شده هیچگاه کاملاً صحیح نمی باشند و همواره مقداری نامعینی همراه آنها وجود دارد. علاوه بر این نامعینی ها، منبع دیگر نامعینی، نداشتن مدل دقیق حرکت کشتی و حرکت موانع است. مدل کشتی در شرایط مختلف جوی و یا زمانهای مختلف تغییر می کند و مدل حرکت موانع هم با هم تفاوت دارند و باید در حین حرکت و بطور "زمان حقیقی" شناسایی شوند و طبیعی است که هیچگاه دقیق نیستند [۱۳ و ۳ و ۴].

این عدم دقتها باعث می شود که پیش بینی موقعیت آینده موانع و یا کشتی، بطور دقیقی انجام نشود. به این دلیل موقعیت، اعم از موقعیت موانع و یا خود کشتی، باید تخمین زده شود، تا حتی الامکان مقداری با کمترین نامعینی بدست آید. بعد از تخمین موقعیت موانع، هدف و خود کشتی، سیستم هدایت خودکار، باید بتواند در همان لحظه با اعمال، کنترلهای مناسب روی کشتی، کشتی را از بین موانع عبور دهد و به سوی هدف هدایت کند. روش مسیریابی که در این مساله باید بکار رود باید: اولاً "هدایت محلی باشد، ثانیاً" باید روی خط^۲ باشد زیرا همیشه امکان تغییر محیط و حضور موانع جدید در مسیر حرکت کشتی وجود دارد و سیستم هدایت باید بتواند کشتی را براساس وضعیت کنونی محیط به سوی هدف هدایت کند.

در این مقاله که برای هدایت کشتی از یک روش هدایت هوشمند مبتنی بر ترکیب کنترلهای فازی (چند عامله^۳) استفاده شده است از سه بخش تشکیل شده است: بهبود ردیابی موانع روی سطحی^۴ (موانع ثابت و متحرک موجود در محیط اطراف کشتی) که با ترکیب داده های سنسورهای مختلف مشاهده گر، موقعیت موانع تخمین زده می شود. در بخش ۲-۱ روشی برای ترکیب و تخمین بهتر ارائه شده است.

ردیابی موانع زیر سطحی^۵ (تعیین موقعیت موانع زیر آبی) از روش ترکیب داده های حاصل از چند عکسبرداری سونار.

مسیریابی به سوی هدف^۶: که به معنی حرکت از مبدأ به سوی مقصد است و شامل دو زیر مجموعه مسیریابی کلی^۷ و مسیر یابی محلی^۸ است. مسیریابی کلی به معنی هدایت



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم مسیریابی و ترکیب اطلاعات.

شرایط محیطی بستگی دارد بنابراین مقدار Q در هر لحظه باید تخمین زده شود. برای محاسبه Q روشهای مختلف محاسباتی ارائه شده است ولی عموماً دارای محاسبات پیچیده شامل انتگرالهای دوپل می باشند که بسیار زمانبر می باشند و برای اندازه گیری های زمان حقیقی مناسب نمی باشند. در ادامه برای تخمین پارامتر Q روش نسبتاً ساده ای ارائه می شود که بطور زمان حقیقی کار تخمین Q را انجام می دهد [۱۳ و ۱۴].

این روش برپایه این فرض است که مقدار ورودی به سیستم (عامل محرکه هدف مورد تعقیب) در یک بازه زمانی، ثابت فرض شود و یا تغییرات این ورودی، کند باشد.

این فرض با توجه به اینکه حرکت موانع یا اهداف در داخل دریا نسبت به تعداد نمونه هایی که در هر ثانیه برداشته می شود، بسیار کندتر است فرض نسبتاً مورد

توصیف	ابعاد	ماتریس
موقعیت (n بعدی) لحظه ای واقعی مانع	$n \times 1$	$X(k)$
بردار موقعیت مانع گزارش شده از سنسور	$n \times 1$	$Z(k)$
نویز حالت	$n \times 1$	V
نویز سنسور	1×1	W
کوواریانس نویز حالت یا موقعیت مانع	$n \times n$	Q
کوواریانس نویز سنسور	1×1	R

که هدف ما تخمین $X(k)$ با کمترین خطا می باشد. به دلیل خطی بودن سیستم حرکت مانع در دریا [۸]، ردیابی بهینه این سیستم توسط فیلتر کالمن صورت می پذیرد [۹]. و یکی از اشکالات فیلتر کالمن، معلوم فرض نمودن مقادیر Q و R می باشد.

مقدار R عموماً توسط کارخانه سازنده سنسور در شرایط مختلف داده می شود ولی مقدار Q که نقش نسبتاً مهمی در کارکرد بهینه فیلتر کالمن دارد، کاملاً به

فاصله^{۱۰} و زاویه^{۱۱} هدف بدست می آید. علاوه بر نامعینی‌هایی که در داده های فاصله و زاویه وجود دارد، به خاطر بازشدن عرض موج سونار^{۱۲} که ناشی از دریچه^{۱۳} هیدروفون است، هر قدر فاصله مانع از هیدروفون بیشتر می شود. به خاطر باز شدن پهنای موج، دقت موقعیت تخمین زده شده برای آن مانع کم می شود. این امر به این معنا است که اگر سونار فاصله R_0 را نشان دهد (شکل ۴) و زاویه آن α_0 باشد موقعیت باید به صورت $R = R_0$ و $\alpha = \alpha_0 \pm \theta/2$ بیان شود و خطای موقعیت (ΔP) زیاد است و باعث می شود میزان ΔP برای آن مانع زیاد شود و دقت تخمین کم شود. در این بخش برای کاهش خطا و تخمین بهتر موقعیت مانع یا هدف، عکسبرداریهای مختلف سونار با هم ترکیب می شوند تا دقت بهتری حاصل شود.

مطابق شکل (۳) در این سیستم فرض میشود در لحظه اول، کشتی در نقطه S_1 و فاصله بدست آمده تا ساع P ، R_1 است و بعد از طی مسافت L ، کشتی به نقطه S_2 می رسد و در این نقطه فاصله کشتی تا مانع R_2 ، بدست می آید. با داشتن فاصله R_1 و α_1 تابع توزیع چگالی احتمالی عمق مانع P به صورت شکل (۸) به دست می آید [۱].

تابع توزیع چگالی احتمالی عمق مانع مطابق شکل (۴) از روی احتمال حضور مانع در نقاط هم ارتفاع، بدست می آید به این معنی که کلیه نقاط روی کمان AA' دارای یک احتمال هستند و هر قدر که روی سطح کروی حرکت می کنیم بسته به طول کمان AA' ، احتمال کم یا زیاد می شود منحنی تابع توزیع احتمال حاصله در شکل (۸) رسم شده است.

مانع P می تواند در تمام محدوده ای که تابع توزیع چگالی احتمال صفر نیست وجود داشته باشد به این علت تخصیص زاویه تابش سونار (α) به زاویه وجود مانع (α_1) دقت چندان زیادی ندارد. هدف از ترکیب داده ها در این بخش استفاده از دو یا چند تابع توزیع است که با ترکیب آنها به همدیگر تابع توزیع چگالی احتمال باریکتر شود و

قبولی است. برای تحلیل روش ارائه شده سیستم گسسته (۱) را در نظر بگیرید که به صورت (۲) بازنویسی شده است.

$$\begin{aligned} X(k+1) - F X(k) &= V(k) + B U(k) \\ E [X(k+1) - F X(k)] &= E (V(k)) + E (B U(k)) \\ E [X(k+1) - F X(k)] &= E (B U(k)) \approx B U(k) \end{aligned} \quad (2)$$

با فرض ذکر شده معادله سیستم را می توانیم به فرم (۳) بازنویسی کنیم

$$\begin{aligned} X(k+1) - F X(k) - B U(k) &= V(k) \\ X(k+1) - F X(k) - E [X(k+1) - F X(k)] &= \underline{V}(k) \\ Q &= E [\underline{V}(k) \underline{V}^T(k)] \end{aligned} \quad (3)$$

با محاسبه $\underline{V}(k)$ (مقدار تقریبی $V(k)$) از روی داده های $X(k)$ و محاسبه کوواریانس آن می توان با دقت خوبی ماتریس Q را تخمین زد. در این روش با محاسبه امید ریاضی $E(\underline{V}^* \underline{V}^T)$ (مقدار تقریبی Q) به دست می آید و تخمین موقعیت مانع با دقت بیشتری انجام می شود. در قسمت نتایج شبیه سازی تخمین Q و افزایش دقت تخمین آورده شده است.

ردیابی موانع زیر سطحی

تعیین موقعیت موانع زیر سطحی از نقطه نظر امنیت، اهمیت خاصی دارد. این موانع می توانند ثابت، نظیر کشتی های غرق شده و یا متحرک، نظیر زیردریایی باشند. روش اصلی تعیین دقیق محل این موانع، استفاده از موج برگشتی سونار است که فاصله و زاویه موانع را به سیستم ناوبری ارائه می دهد. سنسورهای دیگر نظیر رادار در زیر آب بعلت تضعیف شدید کارایی ندارند. لذا نمی توانیم از روش معمول ترکیب داده های سنسوری برای افزایش دقت استفاده کنیم. در این بخش از روش ترکیب چند فریم مختلف عکسبرداری سونار برای افزایش دقت استفاده می شود تا تخمین، دقت بالاتری داشته باشد [۱۱].

برای تعیین موقعیت اهداف و موانع موجود در زیر آب، هیدروفون یا یک آرایه از هیدروفونها زیر شناور نصب می شود و با استفاده از این سنسورها، پارامترهای

احتمال حضور در زاویه خاصی بسیار بالا رود و دقت در پیدا کردن عمق مانع بالا رود.

اگر تابع چگالی احتمال نقاط برخورد دو سطح کروی حاصله از دو اندازه گیری سونار را بدست آوریم چون مانع در محل تقاطع دو سطح کروی حاصل از دو اندازه گیری سونار قرار دارد، طبیعتاً با دقت بیشتری می توانیم موقعیت مانع را تخمین بزنیم. اگر باز شبیه حالت قبل تابع توزیع چگالی احتمال وجود مانع را در عمق خاصی به دست آوریم می بینیم این تابع توزیع باریکتر است (شکل ۹).

این کاهش نامعینی ناشی از ترکیب توابع احتمال دو فریم عکسبرداری هیدروفونها است و بدیهی است که با افزایش تعداد فریمها و ترکیب داده های متوالی با همدیگر، دقت تخمین بالاتر می رود و با دقت بالایی می توانیم موقعیت مانع را پیدا کنیم. البته برای اثبات این موضوع که اگر توابع توزیع زیاد شود، ترکیب بهتر می شود، تنها از دیدگاه صرف فیزیکی به مساله توجه شده است به این معنی که تشخیص مانعی که در روی کمان حاصل از تقاطع دو کره قرار دارد به مراتب آسانتر از تشخیص مانعی است که تنها می دانیم روی کره قرار دارد.

سیستم هدایت

در این سیستم هدایتی، هدف، هدایت خودکار کشتی بسوی هدف، مبتنی بر دینامیک کشتی و نیز داشتن امنیت کافی هنگام عبور از کنار موانع پیش بینی شده و یا غیر منتظره است. الگوریتمهای مختلفی برای مسیر یابی وجود دارند ولی بخاطر اینکه دینامیکهای حرکت کشتی نظیر جهت، میزان حداکثر چرخش، دایره چرخش، سرعت، میزان لختی کشتی و ... در آنها لحاظ نشده است، مسیر ارائه شده توسط آنها لزوماً قابل ردیابی نمی باشد. از جمله اینگونه الگوریتمها میتوان به الگوریتم کمترین زمان، کمترین مسافت، روشهای پتانسیل مجازی و ... اشاره کرد [۱۰ و ۷ و ۶ و ۵].

در سیستم ارائه شده، هدایت کشتی، با نظارت لحظه ای روی موقعیت و جهت خود کشتی و جهت و موقعیت موانع و موقعیت هدف انجام میشود و با توجه به این پارامترها، مقدار فرمانهای کنترلی مناسب به سکان و

موتور کشتی اعمال می گردد.

فرق دیگر این سیستم با سیستمهای هدایت و مسیر یابی دیگر، متغیر بودن سرعت کشتی است. این عامل باعث می شود که کشتی بتواند با امنیت بیشتری از کنار موانع عبور کند. زیرا با نزدیک شدن به موانع، سرعت حرکت کاهش می یابد و در نتیجه قدرت مانور حین حرکت در بین موانع بیشتر می شود. سرعت کشتی در ناحیه ای که مانعی در مسیر نیست، میتواند تا آخرین حد بالا برود. در الگوریتمهای معمول هدایت و مسیر یابی که سرعت ثابت است برای ردیابی مناسب مسیر ارائه، سرعت نمی تواند خیلی زیاد شود.

یکی دیگر از مشخصه های خوب این سیستم، تأثیر اندک نامعینی های موجود در تعیین موقعیت خود کشتی و موانع در هدایت کشتی است. با توجه به اینکه موقعیت موانع از طریق یک مجموعه فازی در هدایت کشتی مؤثر است، جابجایی اندکی روی محور فاصله، تنها باعث تغییر کوچکی در خروجی فازی نهایی می شود و در نتیجه قدرت کنترلر مربوط به جلوگیری از برخورد با آن مانع، تنها اندکی تغییر می کند و تأثیر چندانی روی هدایت کلی کشتی ندارد. در این سیستم، به خاطر محاسبه لحظه ای نحوه هدایت، کشف مانع جدید و یا حرکت موانع روی عملکرد هدایت تأثیری ندارد و کشتی با امنیت از کنار آنها عبور می کند.

برای هدایت کشتی دو عامل زاویه سکان^{۱۴} و سرعت کشتی^{۱۵} را در اختیار داریم با این دو ورودی کنترلی، باید کشتی را به سوی هدف هدایت کنیم و مسیر حرکت نیز طوری باشد که فاصله کافی از موانع داشته باشد و یک مسیر امن و خالی از خطر فراهم شود. فرض کنید کشتی از مبدأ^{۱۶} به سوی مقصد^{۱۷} در حرکت است و موانع O1 تا O2 در مسیر وجود دارند. سیستم هدایت باید بتواند با گرفتن داده های خارجی از وضعیت محیط و موانع، مسیر خود را به سوی هدف طوری تصحیح کند که فاصله مناسب از موانع از پیش معلوم و موانع تازه کشف شده داشته باشد.

سیستم هدایت یک سیستم هوشمند فازی است و برای هدایت کشتی از قوانین^۳ اگر آنگاه^{۱۸} استفاده می کند. در این سیستم در هر لحظه تعداد مانعهای

if (a is left) & (d is long) => $Rudder_{i1} = \text{right}$
if (a is zero) => $Rudder_{i3} = \text{zero}$
if (d is near) & (a is zero) => $Speed_{i4} = \text{low}$
if (d is long) => $Speed_{i4} = \text{high}$

مقدارهای $(Rudder_j)$ و $(Speed_j)$ مقادیر خروجی قانون ژام برای اعمال به سکان و موتور کشتی هستند. بعد از غیر فازی کردن^{۱۹} این قوانین، هر قانون مقداری برای $Speed$ ($Speed_j$) و $Rudder$ ($Rudder_j$) پیشنهاد می کند و خروجی نهایی کنترلر به صورت زیر محاسبه می شود.

$$Rudder_i = \text{MAX}(Rudder_j)$$

$$Speed_i = \text{MIN}(Speed_j)$$

این مقادیر، مقادیر پیشنهادی برای سرعت و زاویه سکان کشتی است که توسط این کنترلر پیشنهاد می شود. علاوه بر این دو مقدار، mf_i هم به صورت مقابل تعریف می شود.

$$mf_i = \mu ((d \text{ is near}) \text{ or } (\alpha \text{ is zero}))$$

مقدار mf_i ، که نماینده قدرت سیستم کنترل برای رساندن کشتی به هدف است، نقش اساسی در تأثیر این کنترلر در تصمیم نهایی دارد.

سیستم کنترل جلو گیری از برخورد کشتی با مانع

مطابق شکل (۲) فرض کنید کشتی در p قرار دارد برای جلو گیری از برخورد با مانع a ام کنترلر ام عمل می کند و باعث تأثیر گذاری در سکان و سرعت کشتی میشود. اکنون به عنوان نمونه به چند قانون فازی که برای جلوگیری از برخورد با مانع بکار رفته است اشاره می کنیم:

if (a is left) & (d is near) => $Rudder_{i1} = \text{left}$
if (a is left) & (d is near) => $Rudder_{i1} = \text{left}$
if (a is left) & (d is far) => $Rudder_{i3} = \text{zero}$
if (a is left) & (d is near) => $Speed_{i2} = \text{low}$
if (a is left) & (d is far) => $Rudder_{i3} = \text{zero}$
if (a is left) & (d is near) => $Speed_{i2} = \text{low}$
=high $Speed_{i4}$ if (d is long) =>

(۴)

موجود در محیط و موقعیت هر کدام از آنها در محیط، در یک قسمت از فضای حافظه مشترک ذخیره می شود و به این ترتیب هرگاه مانع جدیدی شناسایی شود، وارد این فضای حافظه می شود و اگر مانعی از محیط خارج شد، از این فضا خارج می شود. سیستم هدایت از این فضای حافظه مشترک شده استفاده می کند و تعداد موانع و موقعیت آنها را بدست می آورد. با داشتن این اطلاعات و نیز موقعیت و جهت کشتی، سیستم هدایت به تعداد مانعها، کنترلر فازی تعریف می کند که وظیفه تک تک آنها جلوگیری از برخورد با مانع مربوطه است. علاوه بر این کنترلرها یک کنترلر مهم دیگر هم تعریف می شود که وظیفه آن رسیدن به هدف است. هر کدام از کنترلرها دو خروجی $Speed$ ، $Rudder$ (سرعت و زاویه سکان) را تولید می کنند. با توجه به قدرت یا اهمیت این کنترلرها، میزان سرعت و سکان پیشنهادی توسط این کنترلرها با هم ترکیب می شوند و سپس به کشتی اعمال می شوند.

قدرت کنترلرها، نقش اساسی در هدایت کشتی دارند به عنوان مثال در نظر بگیرید در محیط دو مانع وجود دارد در این صورت تعداد سه کنترل کننده وجود دارد که یکی وظیفه رساندن کشتی به هدف و دو مورد دیگر وظیفه جلوگیری از برخورد با دو مانع را دارند. در این سیستم کشتی به هر مانع که نزدیک شود، قدرت کنترلر مربوط به آن مانع بیشتر می شود و این کنترلر نقش مهمتری در هدایت به عهده می گیرد و کشتی را به جهتی هدایت میکند که از این مانع دور شود. میزان قدرت کنترلرها با قوانین فازی تعیین می شوند. ادامه به بحث درباره این کنترلرها می پردازیم.

سیستم کنترل برای رساندن کشتی به هدف

مطابق شکل (۲) فرض کنید کشتی در نقطه P قرار دارد برای رسیدن به هدف یک کنترلر فازی وجود دارد که با استفاده از وضعیت کنونی سیستم، کشتی را بسوی هدف هدایت میکند. d و α ، متغیرهای ورودی و $Speed$ و $Rudder$ متغیرهای خروجی هستند. این متغیرها در شکل (۲) نمایش داده شده اند. اکنون به عنوان مثال به چند قانون نمونه که کشتی را بسوی هدف هدایت می کنند، اشاره می کنیم:

می شود. علاوه بر این دو مقدار، mf_i هم به صورت زیر تعریف میشود.

$$mf_i = \mu((\beta \text{ is zero}) \& (ds \text{ is near}))$$

مقدار mf_i ، که نماینده قدرت سیستم کنترل جلو گیری از برخورد کشتی با مانع است نقش اساسی در تأثیر این کنترلر در تصمیم نهایی دارد و در حقیقت میزان خطر مانع است.

ترکیب کنترلرها

بعد از محاسبه متغیرهای Rudder, Speed, mf برای هر کنترلر، باید این مقادیر را با هم ترکیب کنیم و Rudder و Speed نهایی را بدست آوریم.

ds : Distance between Obstacle and ship

d : Distance between Target and ship

α : Angle between Ship Direction and Target

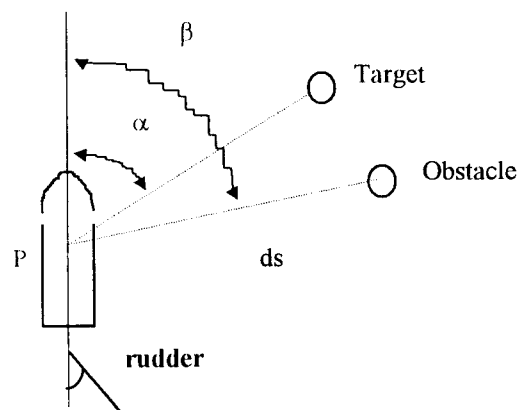
β : Angle between Ship Direction and Obstacle

متغیرهای Rudder, Speed, ds , β در شکل (۲) نمایش داده شده اند. و مقدارهای $(Speed_{ij})$ و $(Rudder_{ij})$ مقدارهای خروجی قانون زام برای اعمال به سکان و موتور کشتی هستند. بعد از غیر فازی کردن این قوانین، هر قانون مقداری برای Speed $(Speed_{ij})$ و Rudder $(Rudder_{ij})$ پیشنهاد می کند و خروجی نهایی کنترلر به صورت زیر محاسبه می شود.

$$Rudder_i = \text{Max}(Rudder_{ij})$$

$$Speed_i = \text{Min}(Speed_{ij})$$

این مقادیر، مقادیر پیشنهادی برای سرعت و زاویه سکان کشتی است که توسط این کنترلر پیشنهاد

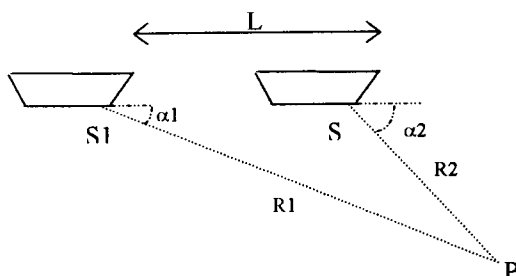


شکل ۲: تعریف متغیرهای فازی.

speed (final) =

$$\frac{\sum (\text{speed}_i * mf_i) + \text{Rudder}_i * mf_i}{\sum mf_i + mf_i}$$

این مقادیر به ورودیهای مدل کشتی اعمال می شود و نتایج شبیه سازی ارائه شده است.



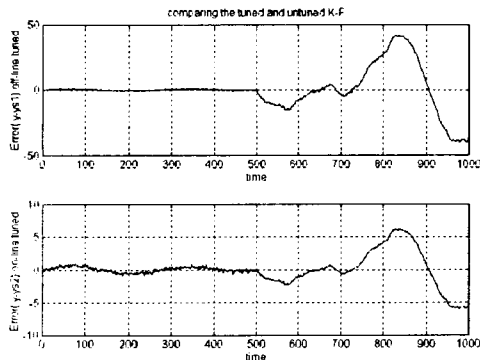
شکل ۳: ترکیب اطلاعات چند فریم از یک سنسور سونار.

برای ترکیب این متغیرها می توانیم از هر روش ترکیب فازی استفاده کنیم. در این تحقیق از روش میانگین وزن دار استفاده شده است زیرا مساله زمان مورد نیاز برای انجام محاسبات یکی از نکات مهم در کنترل کشتی هوشمند است. در صورت وجود حالت تقارن (حاصل Σ صورت صفر شود) با استفاده از اعمال قانون جدید در پایگاه دانش سیستم کنترل طراحی شده انحراف به چپ را انتخاب می کند.

Rudder (final) =

$$\frac{\sum (\text{Rudder}_i * mf_i) + \text{Rudder}_i * mf_i}{\sum mf_i + mf_i}$$

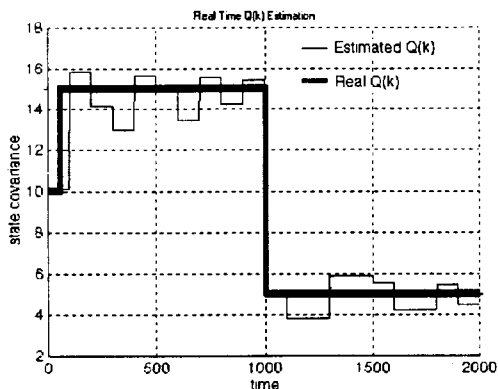
در شکل (۶) اثر تغییرات Q روی عملکرد فیلتر کالمن نمایش داده شده است و در شکل (۷) منحنی تغییرات Q واقعی و تخمین زده شده نمایش داده شده است خطوط ضخیم، تغییرات Q واقعی را در طول زمان نمایش می دهد. همانطور که دیده می شود با تغییر Q ، مقدار Q تخمین زده شده با طی شدن زمانهای اندازه گیری، به مقدار واقعی Q همگرا می شود.



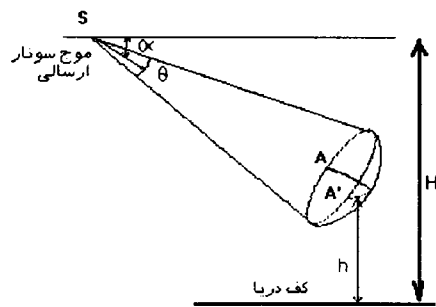
شکل ۶: مقایسه خروجی موقعیت دو فیلتر کالمن تنظیم شده و تنظیم نشده.

نتایج شبیه سازی مربوط به ردیابی موانع زیر سطحی

در شکل (۸) تابع توزیع احتمال حضور مانع در عمق خاصی از دریا نشان داده شده است. این تابع احتمال در مرکز ماکزیمم است و بسته به فاصله و میزان باز شدگی موج سونار در عمق های خاصی صفر می شود. به این معنی که با توجه به موج سونار برگشتی، به احتمال زیاد، مانع در مرکز موج بوده است (فرضی که لزوماً صحیح نمی باشد).



شکل ۷: تخمین همزمان (روی خط) پارامتر $Q(k)$.

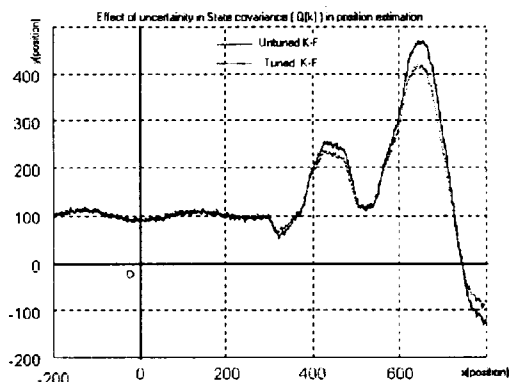


شکل ۴: واگرایی موج سونار در طول انتشار در دریا.

نتایج شبیه سازی

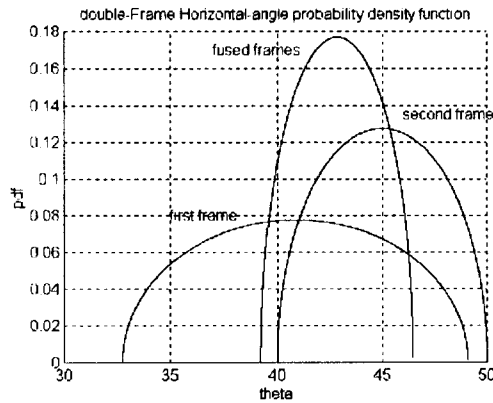
نتایج شبیه سازی مربوط به ردیابی موانع سطحی مقدار Q که پارامتر مهمی در فیلتر کالمن است بستگی به شرایط محیط و حالت سیستم دارد. در این قسمت برای نمایش اثر Q در ردیابی فیلتر کالمن و نیز تخمین در زمان حقیقی دو شبیه سازی انجام شده است.

در شکل (۵) حرکت یک شی در محیط توسط فیلتر کالمن مورد ردیابی قرار گرفته است مسیر نقطه چین ردیابی توسط فیلتر کالمن است که بطور همزمان توسط سیستم معرفی شده، تنظیم می شود و مسیر دیگر، ردیابی توسط فیلتر کالمن است که تغییرات Q در آن لحاظ نشده است. در این شبیه سازی در وسط مسیر مقدار Q تغییر می کند. همانطور که دیده می شود تخمین دوم کم کم دقت خود را از دست می دهد و از تخمین اول دور می شود و خطای ردیابی فیلتر افزایش پیدا می کند.



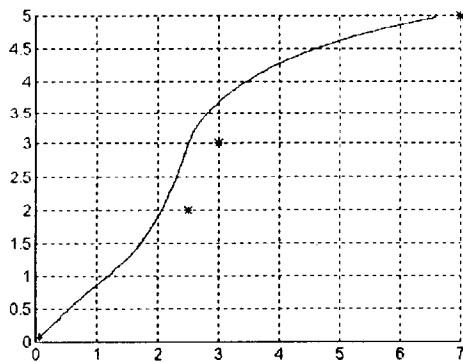
شکل ۵: تاثیر تنظیم نبودن فیلتر کالمن در تخمین موقعیت.

شبه سازی در سه بخش انجام شده است نخست فقط دومانع نقطه ای با موقعیت دقیقاً معلوم و بدون عدم قطعیت در نظر گرفته شده است ، سپس عدم قطعیت برای محل موانع و محل خود کشتی در نظر گرفته شده است و در پایان تعداد کثیری موانع در نظر گرفته شده است.



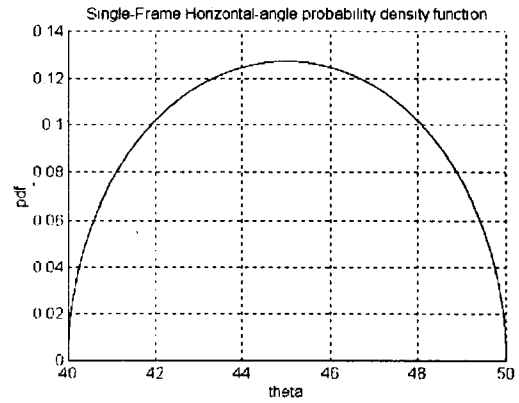
شکل ۹: چگالی توزیع احتمال موقعیت زیردریایی حاصل از ترکیب دو قرانت سنسور سونار.

شکل (۱۰) نحوه حرکت کشتی از مبدأ به طرف هدف را نمایش می دهد. در مسیر دو مانع O2, O1 وجود دارد. هنگامی که کشتی به موانع نزدیک می شود با توجه به ابعاد مانع , فاصله مانع , میزان خطر مانع و اهمیت



شکل ۱۰: حرکت و مسیر یابی کشتی به سوی هدف در حضور دو مانع.

مانع با کاهش سرعت به آهستگی تغییر مسیر می دهد تا به مانع برخورد نکند و بعد از رد نمودن مانع باز به سوی



شکل ۸: چگالی توزیع احتمال موقعیت زیردریایی حاصل از یک بار قرانت سنسور سونار.

در شکل (۹) تابع توزیع فریم اول موج سونار و تابع توزیع فریم دوم و نیز تابع توزیع حاصل از ترتیب این دو تابع توزیع نمایش داده شده است . تابع توزیع فریم دوم به علت نزدیک تر شدن فاصله تا مانع جمع تر است و احتمال حضور اندکی بیشتر شده است . بعد از محاسبه محل تقاطع دو سطح کروی حاصله از دو فریم ، تابع توزیع حاصله بر حسب عمق به صورت تابع توزیع باریک در شکل فوق است . همانطور که دیده می شود این تابع توزیع بسیار باریکتر از دو تابع قبلی است و این افزایش احتمال ناشی از ترکیب دو فریم سونار است و این باعث می شود محل و عمق مانع با دقت بیشتری تخمین زده شود.

نتایج شبیه سازی مربوط به مسیر یابی هوشمند

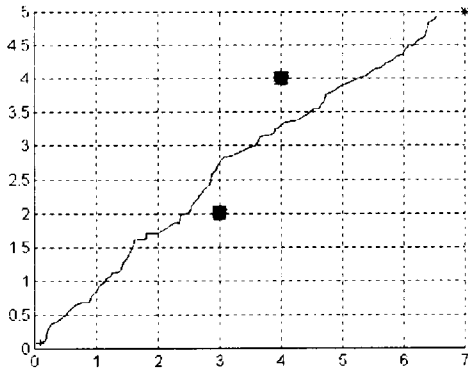
شبه سازی روی کشتی ساده ای با مدل معادلات حالت زیر انجام شده است.

$$\begin{cases} p(k) = [x(k), y(k)]^T \\ p(k+1) = p(k) + k * \Delta t * v(k) * \begin{bmatrix} \cos(\gamma(k)) \\ \sin(\gamma(k)) \end{bmatrix} \end{cases}$$

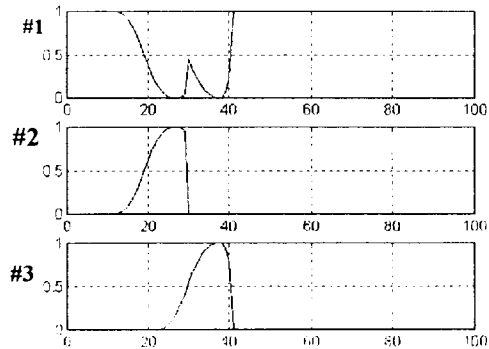
(۵)

موقعیت کشتی در لحظه k ام	P(k)
مقدار ثابت	K0
سرعت در لحظه k ام	V(k)
زاویه سکان	γ(k)

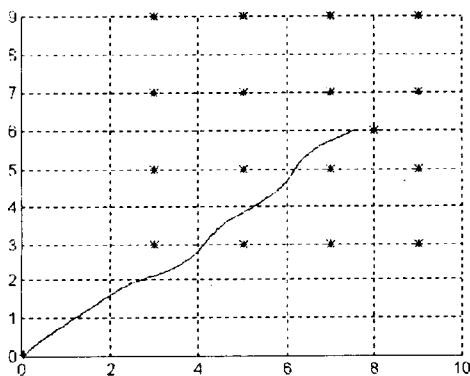
هدف تغییر مسیر می دهد .



شکل ۱۳: مسیریابی کشتی با وجود نامعین در تخمین موقعیت کشتی و موقعیت موانع.

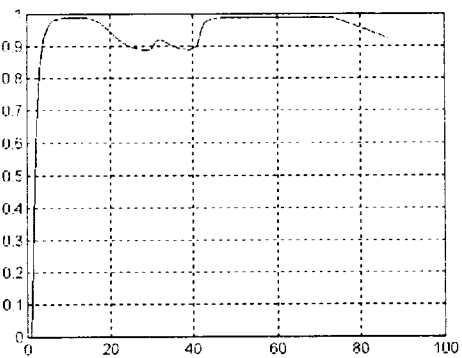


شکل ۱۱: میزان فعالیت کنترل کننده ها در طول مانور شکل ۱۰.



شکل ۱۴: مسیریابی کشتی و حرکت به سوی هدف در حضور ۱۶ مانع (مسیر شلوغ).

در شکل (۱۱) عملکرد کنترلر ها نمایش داده شده است. کنترلر های ۲ و ۱ وظیفه جلوگیری از برخورد با موانع را دارند و کنترلر شماره ۳ وظیفه رسیدن به هدف را دارد و همانطور که مشخص است کنترلر های ۲ و ۱ تنها در محدوده خاصی فعالیت دارند ولی کنترلر ۳ در تمام مواقع فعال است ولی میزان فعالیت آن در نزدیکی موانع کم می شود. به خاطر طبیعت فازی میزان خطر موانع هر قدر به موانع نزدیکتر می شویم و یا مستقیماً به طرف مانع نزدیک می شویم خطر برخورد با مانع بیشتر می شود، بنابراین قدرت کنترلر مرتبط با آن مانع بیشتر می شود .



شکل ۱۲: مقدار سرعت (نرمالیزه شده) کشتی در طول مانور شکل ۱۰.

میدهد هر قدر که به موانع نزدیکتر می شویم خطر موانع بیشتر می شود برای افزایش قدرت مانور کشتی سرعت کم می شود. در ضمن هر قدر هم که به هدف نزدیک می شویم به آهستگی سرعت کم میشود تا به محدوده هدف برسیم و کشتی متوقف شود. در شکل (۱۳) وضعیت هدایت کشتی در مواجهه با اغتشاشات و نویز در تشخیص موقعیت موانع و موقعیت خود کشتی داده شده است. مسیر رسم شده، داده های موقعیتی ورودی به سیستم هدایت است. همانطور که در شکل دیده می شود وجود این نامعینی ها تأثیر چندانی روی هدایت صحیح کشتی نداشته است. در شکل (۱۴) نحوه هدایت در حضور موانع متعدد نمایش داده شده است.

در نهایت در شبیه سازی شکل (۱۵) وضعیت سیستم در مواجهه با حالت تقارن در نحوه قرار گیری موانع نشان داده شده است.

در شکل (۱۲) نحوه تغییر سرعت کشتی در حین حرکت به سوی هدف نمایش داده شده است و نشان

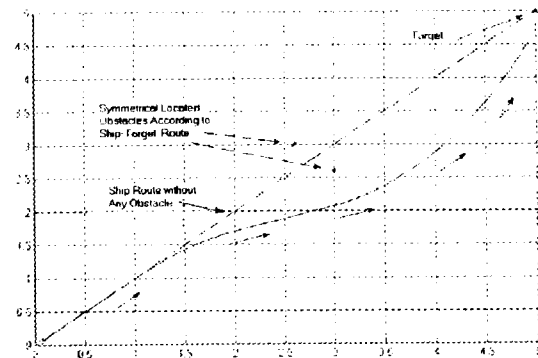
ایده جدید برای کنترلر فازی معرفی شده است یکی احداث یک کنترلر به ازای کشف هر مانع جدید که به خاطر ساختار غیرمتمرکز یافته^۲ این کنترلر ها، ترکیب خروجیها بسیار آسان است. ایده دیگر معرفی کمیت فازی قدرت کنترلر و ادخال آن در قوانین فازی است. این دو کار در روشهای مرسوم کنترل فازی به خصوص در مسائل مسیر یابی هوشمند سابقه ندارد. بطور کلی و با توجه به نتایج شبیه سازی، مزایای زیر در این روش وجود دارد.

۱ - لازم نیست کل مسیر و نقشه به سیستم هدایت داده شود بلکه تنها کافی است نقاط ابتدا و انتهای مسیر به سیستم هدایت داده شود.

۲ - لازم نیست که تمام موانع از پیش تعیین شده باشند و اگر مانعی جدید وارد محیط شود قادر به شناسایی و عبور از کنار آن می باشد.

۳ - حرکت سیستم با سرعت متغیر است و باعث می شود قدرت مانور بالا برود. امنیت حرکت زیاد می شود و سرعت کلی حرکت زیاد می شود.

۴ - وجود عدم دقت در تعیین موقعیت موانع و هدف و خود کشتی اثر چندانی روی حرکت و هدایت ندارد.



شکل ۱۵: مسیریابی کشتی با وجود دو مانع که به طور متقارن در مسیر کشتی قرار داده شده اند.

نتیجه گیری

روش پیشنهادی برای تخمین مقدار Q باتوجه عدم نیاز به محاسبات پیچیده و افزایش دقت تخمین و ردیابی قابل توجه است. همچنین این روش برای تخمین موقعیت موانع زیر سطحی روش جدیدی است که بدون افزایش در تعداد سنسورها با استفاده از ترکیب اطلاعات سنسوری دقت تخمین بالاتر رفته است. در روش پیشنهادی برای هدایت هوشمند کشتی دو

مراجع

- ۱ - نجفی، م. "ترکیب اطلاعات سنسوری در هدایت و مسیریابی هوشمند کشتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد کنترل. دانشگاه تهران، (۱۳۷۸).
- ۲ - فرزانه، ک. "جداسازی بافتهای مختلف مغزی به کمک اپراتور فازی انتگرال". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۷۳).
- ۳ - جذبی، ع.، بامداد، ا. و لوکس، ک. "کنترل سیستمهای غیر خطی با استفاده از کنترل کننده ترکیبی فازی SMC". ششمین کنفرانس برق ایران، (۱۳۷۶).
- 4 - Tahani, H. and Keller, J. M. (1990). "Information fusion in computer vision using fuzzy integral." *IEEE Trans. on Man & System Cybernetics*, Vol. 20.
- 5 - McMichael, D. W. (1996). "Data fusion for vehicle - borne mine detection." *CSSIP Centre, Australia*.
- 6 - Ruspini, E. H., Saffiotti, A. and Konolige, K. (1995). "Progress in research on autonomous vehicle motion planing." *Industrial Application of Fuzzy Logic & Intelligent system IEEE*.
- 7 - Saffiotti, A. and Ruspini, E. H. (1997). "Using fuzzy logic for mobile robot control." *Inter. Handbook of Fuzzy sets & Possibility Theory*.
- 8 - Helzhter, T. (1990). "A high precision track controller for ship." *IFAC*.

- 9 - Doyle, R. H. and Horris, C. J. (1996). *Neuro Fuzzy Multi sensor Data Fusion for Helicopter Guidance*. South Hampton University.
- 10 - Vandorpe, I. And Russed, H. V. B. (1997). "LIAS: reflexive - navigation architecture for an intelligent mobile robot system." *Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 43.
- 11 - Ling, J. and Guan, B. (1996). *A Neural Network Approach to Underwater Target Tracking*. Department of Electrical Eng., University of Sydney.
- 12 - Harrison, F., Bond, J. and Gibson, R. E. (1997). "A fuzzy logic architecture for autonomous multi sensor data fusion." *IEEE. Trans.on Industrial Electronics*, Vol. 43.
- 13 - Sharma, R. K. and Pavel, M. (1996). "Fusion of radar images rectification without the flat earth assumption." *SPIE Proceeding*, Vol. 2736, PP. 108-118.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - FILER (Forward Looking Infra Red)
- 2 - On-Line
- 3 - Multi-Agent
- 4 - Obstacle Tracking
- 5 - Submarine Obstacle Tracking
- 6 - Path Planning
- 7 - Global Navigation
- 8 - Local Navigation
- 9 - Obstacle Avoidance
- 10 - Range
- 11 - Bearing
- 12 - Beam Width
- 13 - Aperature
- 14 - Rudder
- 15 - Speed
- 16 - Origin
- 17 - Target
- 18 - If-Then Rules
- 19 - Defuzzify
- 20 - Decentralized