



افزایش کارایی فیلترهای ذره ای در رهگیری اهداف با حرکات سریع به کمک یک کنترلگر فازی

محسن یادگاری^۱، سید علیرضا سیدین^۲

^۱دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، myadegar@gmail.com

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، seyedin@um.ac.ir

چکیده - یکی از موضوعات مورد علاقه در زمینه ماشین بینایی، رهگیری یک هدف در دنباله ای از تصاویر می باشد. فیلترهای ذره ای در سال های اخیر به عنوان یک روش قدرتمند در این زمینه مطرح شده اند. اما چنانچه هدف مورد نظر برای رهگیری دارای حرکات سریعی باشد، عموماً عملیات رهگیری با مشکل مواجه می شود. در این مقاله بر اساس دو ورودی سرعت و ضریب همبستگی ابتدا میزان تغییرات هدف تشخیص داده شده، سپس به کمک یک کنترلگر فازی با وفقی نمودن ضریب پراکندگی ذرات در الگوریتم فیلتر ذره ای، به روشهای کارامد برای رهگیری یک هدف با حرکات سریع رسیده ایم.

کلید واژه- رهگیری، ضریب پراکندگی ذرات، فیلتر ذره ای، کنترلگر فازی

یک دنباله از تصاویر ابتدا به صورت مجزا توسط چند گروه محقق بر روی این زمینه مطرح شد و در بین افرادی که در زمینه های بینایی ماشین و پردازش تصویر فعالیت می کردند نام الگوریتم چگالی را به خود گرفت. این روش به طور عمده بر روی روشهای تشخیص هدف بر اساس لبه استوار است [۴]. یک روش قدرتمند دیگر برای رهگیری هدف در فیلترهای ذره ای استفاده از مدل توزیع رنگ هدف و یا همان هیستوگرام آن برای رهگیری می باشد. که در این مقاله از این روش برای رهگیری هدف استفاده شده است [۵-۶].

۲- مدل توزیع رنگ

هیستوگرام رنگی یک جسم مزایای فراوانی برای رهگیری آن به وجود می آورد. به طور مشخص در فیلترهای ذره ای یک هدف بر اساس مقایسه هیستوگرام رنگی آن با هیستوگرام موقعیت نمونه ها و با استفاده از فاصله های باتاچاریا رهگیری می شود [۷-۸].

در این مقاله ناحیه دور هدف با یک بیضی نمایش داده می شود. توزیع رنگ $\{p_y^{(u)}\}_{u=1,2,\dots,m}$ در محل u در درون این بیضی به صورت زیر محاسبه می شود.

فیلتر ذره ای روشی عددی و محاسباتی برای به دست آوردن تابع چگالی احتمال یک فرایند تصادفی و نیز تخمین یک پارامتر مشخص از روی آن می باشد و در اصل صورت گسترش یافته ای از روشهای زنجیره ای مونت کارلو هستند. در این روشها هدف یافتن مقدار سیگنال در همان لحظه رخداد بر اساس یک دنباله از مشاهدات می باشد [۱-۳]. روش غالباً تاکنون استفاده از فیلترهای کالمون و یا فیلتر کالمون گسترش یافته بوده است، که این روشها معمولاً برای حالتی که مدل خطی بوده و نویز گوسی فرض می شود، جواب بهینه مسئله را به دست می دهند. اما در غیر این حالات بسته به دور بودن از فرضیات مذکور از جواب بهینه دور می شوند.

به دیگر بیان از آنجایی که فیلتر ذره ای یک روش عددی برای تخمین سیگنال می باشد، غیر خطی بودن مدل و یا غیر گوسی بودن نویز برای آن اهمیتی ندارد. در چنین مواردی فیلترهای ذره ای با توان اجرایی بالا در زمینه های مختلف نظیر مخابرات، پردازش سیگنال، رهگیری و بسیاری زمینه های دیگر به کار می روند. ایده استفاده از فیلترهای ذره ای برای رهگیری یک شی در



$$S_k = AS_{k-1} + W_{k-1} \quad (6)$$

که A برای مدل حرکتی با شتاب ثابت به صورت زیر می باشد [۱۰].

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

W هم بردار نویز سفید گوسی می باشد که ماتریس کوواریانس آن به صورت رابطه‌ی زیر محاسبه می شود.

$$R = \begin{bmatrix} Ry & 0_{4 \times 3} \\ 0_{3 \times 4} & Re \end{bmatrix} \quad (8)$$

که Ry ماتریس کوواریانس موقعیت و سرعت هدف می باشد و به صورت زیر است.

$$Ry = \sigma_y \begin{bmatrix} \frac{\Delta^3}{3} & \frac{\Delta^2}{2} & 0 & 0 \\ \frac{\Delta^2}{2} & \Delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\Delta^3}{3} & \frac{\Delta^2}{2} \\ 0 & 0 & \frac{\Delta^2}{2} & \Delta \end{bmatrix} \quad (9)$$

و Re ماتریس کوواریانس ناحیه بیضی شکل طبق رابطه‌ی زیر می باشد.

$$Re = \begin{bmatrix} \sigma_{H(x)}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{H(y)}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

برای وزن دادن به نمونه‌ها، باید ضریب باتاچاریا بین هیستوگرام هدف و هیستوگرام ناحیه‌ای که هر نمونه نشان می دهد محاسبه گردد. ناحیه‌ی هر نمونه با بردار حالت آن $S^{(n)}$ مشخص می شود. از آنجایی که ما مایلیم نمونه‌هایی را داشته باشیم که توزیع رنگ آنها بیشتر شبیه توزیع رنگ هدف باشد، وزن بیشتر به نمونه‌ای با فاصله‌ی باتاچاریایی کمتر تعلق می گیرد. لذا وزن نمونه‌ها را که در اینجا با $\Pi^{(n)}$ نشان می دهیم، به صورت زیر تعریف می شود.

$$\Pi^{(n)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(1-\rho[p,q])}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

$$p_y^{(u)} = f \sum_{i=1}^I k \left(\frac{\|y - x_i\|}{a} \right) \delta[h(x_i) - u] \quad (1)$$

که u جزء‌های گسته سازی در رنگ و m تعداد جزء‌ها می باشد، k یکتابع وزن است که به نمونه‌های دورتر از مرکز بیضی وزن کمتری می دهد، I تعداد پیکسل‌های موجود در ناحیه و f تابع ضربه می باشد. h تابع هیستوگرام بوده که در مکان x_i جزء مربوطه رنگ را به دست می دهد. H_x و H_y نیز به ترتیب طول نیم محورهای افقی و عمودی در ناحیه بیضی وار دور هدف می باشند، $a = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ برای تطبیق اندازه ناحیه استفاده می شود و f یک ضریب نرمالیزاسیون است که اطمینان می دهد که رابطه‌ی زیر برقرار شود.

$$\sum_{u=1}^m p_y^{(u)} = 1 \quad (2)$$

در رهگیری، حالت تخمین زده شده در هر مرحله زمانی، بر اساس تابع مشاهده جدید به روز می شود. بنابراین ما به یکتابع مشاهده یا اندازه گیری که بر اساس توزیع رنگ باشد نیاز داریم. یک اندازه مشهور بین دو توزیع $p(u)$ و $q(u)$ ضریب باتاچاریا می باشد.

$$\rho[p, q] = \sum_{u=1}^m \sqrt{p^{(u)} q^{(u)}} \quad (3)$$

هرچه این ضریب بیشتر باشد، دو توزیع بیشتر به هم شبیه اند. به طوریکه برای دو توزیع نرمالیزه منطبق داریم $\rho = 1$ و مبین تطبیق کامل دو توزیع می باشد. لذا فاصله بین دو توزیع به صورت زیر تعریف می شود.

$$d = \sqrt{1 - \rho[p, q]} \quad (4)$$

۳- فیلتر ذره‌ای مبتنی بر رنگ

الگوریتم رهگیری مبتنی بر رنگ از فاصله باتاچاریا برای به روز کردن تابع چگالی پیشین محاسبه شده توسط فیلتر ذره‌ای، بهره می گیرد. هر نمونه از تابع چگالی نمایانگر یک بیضی حول ناحیه هدف است که به صورت زیر داده می شود.

$$S = [x, x^\bullet, y, y^\bullet, H_x, H_y, \theta]^T \quad (5)$$

که x و y مرکز بیضی را مشخص می کنند، x^\bullet و y^\bullet سرعت حرکت، H_x و H_y طول نیم محورهای بیضی و θ زاویه چرخش بیضی می باشد.

مدل پویا یا مدل حالتی که نمایانگر تغییرات نمونه‌ها در طول زمان است، به صورت زیر مشخص می شود.



بهتر آن است که همان تعداد نمونه‌ای که در دست است در ناحیه‌ی بزرگتری از تصویر پخش شوند که برای این کار می‌باشد ضریب پراکندگی نمونه‌ها را افزایش دهیم.

برای افزایش ضریب پراکندگی نمونه‌ها می‌باشد با افزایش ضریب σ_y در رابطه‌ی (۹) تأثیر ماتریس کوواریانس Ry را در پراکندگی نمونه‌ها افزایش داد تا نمونه‌ها در ناحیه‌ی بزرگتری از تصویر پخش شوند.

البته باید توجه داشت که تنها در حالتی که هدف دارای حرکات سریع است، می‌باشد ضریب پراکندگی نمونه‌ها را افزایش داد و در حالت معمول می‌باشد پراکندگی نمونه‌ها حتی الامکان کم باشد تا نمونه‌ها به خوبی بر روی هدف استقرار یابند و از طرفی چنانچه جسم دیگری به غیر از هدف مورد نظر و با توزیع رنگی مشابه هدف در حوالی آن در تصویر موجود باشد، به اشتباہ رهگیری نشود.

به همین علت نیازمند آن هستیم که با یک الگوریتم تطبیقی در هر قاب از رشته‌ی تصاویر با تنظیم σ_y ضریب پراکندگی نمونه‌ها را کنترل نماییم. که در این مقاله از یک کنترلگر فازی استفاده شده است.

۵- طراحی کنترلگر فازی

با توجه به دو پارامتر سرعت هدف و ضریب همبستگی می‌توان یک کنترلگر فازی با دو ورودی مذکور و خروجی ضریب پراکندگی σ_y طراحی کرد. به طوریکه وظیفه این کنترلگر آن است که به صورت تطبیقی و در هر قاب از رشته‌ی تصاویر، خروجی خود را به نحوی کنترل کند که با افزایش سرعت هدف و یا کاهش ضریب همبستگی، ضریب σ_y افزایش یابد. کنترلگر فازی به گونه‌ای طراحی شده است که هر دو ورودی سرعت و ضریب همبستگی دارای سه بازه‌ی کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) می‌باشند. برای خروجی پنج بازه‌ی خیلی کم (VL)، کم (L)، متوسط (M)، زیاد (H) و خیلی زیاد (VH) در نظر گرفته شده است. شکل‌های ۱ تا ۳ توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی‌ها و خروجی را نشان می‌دهند و جدول ۱ جدول قانونهای تصمیم گیری بین ورودی‌ها و خروجی را به نمایش می‌گذارد.

یعنی وزن نمونه‌ها از یک توزیع گوسی با واریانس σ^2 محاسبه می‌شوند که نحوه انتخاب عدد مناسب برای σ وابسته به مسئله رهگیری مورد نظر است. در نتیجه‌ی این وزن دادن، نمونه‌هایی که انطباق بیشتری با هدف دارند احتمال بیشتری دارند که در چندین تکرار الگوریتم باقی بمانند و نمونه‌های با انطباق کمتر احتمال بیشتری برای حذف شدن دارند. در نهایت تخمین بردار حالت هدف به صورت زیر حاصل می‌شود.

$$E[S_k] = \sum_{n=1}^N \Pi_k^{(n)} S_k^{(n)} \quad (12)$$

که N تعداد نمونه‌ها بوده و عدد آن بر اساس میزان دقت مورد نیاز و حجم محاسبات قابل انجام، انتخاب می‌شود.

۴- اهداف با حرکات سریع

برای اهداف با حرکات سریع دو مشخصه‌ی سرعت هدف و ضریب همبستگی را می‌توان مورد توجه قرار داد. هنگامی که یک هدف در تصویر دارای حرکات سریعی باشد، مقادیر مولفه‌های سرعت آن x° و y° افزایش می‌یابد، پس با در نظر گرفتن سرعت کل هدف به صورت

$$V = \sqrt{(x^\circ)^2 + (y^\circ)^2} \quad (13)$$

و آگاهی از افزایش آن، می‌توان معیاری برای حرکت سریع هدف در دست داشت. همچنین وقتی تصویر دچار تغییرات سریع شود، هدف از مرز ناحیه بیضی مشخص شده برای آن در قاب قبلی خود در طول رشته‌ی تصاویر خارج می‌شود. در نتیجه فاصله‌ی بین دو توزیع رنگ هدف ($q(u)$ و $p(u)$) و توزیع رنگ ناحیه جستجو در قاب جاری ($p(u)$ زیاد شده و باعث کاهش ضریب همبستگی ρ می‌شود).

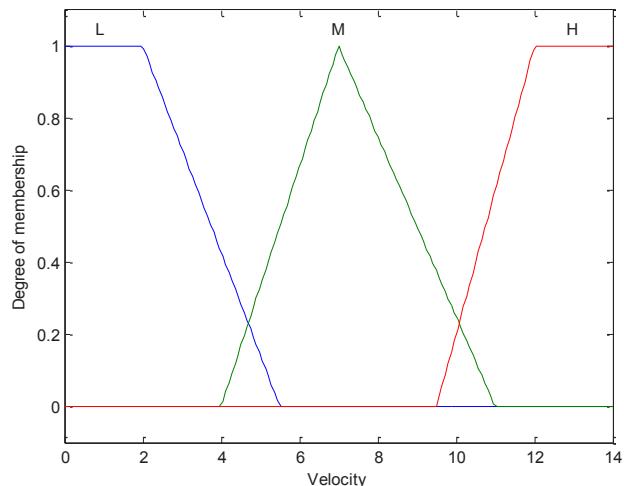
بر اساس این دو معیار یعنی افزایش سرعت و کاهش ضریب همبستگی در هر قاب از تصویر می‌توان از حرکات سریع هدف آگاه شد.

برای آنکه بتوان به خوبی یک هدف با تغییرات سریع را رهگیری نمود باید در لحظه‌ی ایجاد حرکات سریع در هدف ناحیه‌ی جستجو در تصویر را گسترش داد تا بتوان دوباره هدف را در تصویر پیدا و رهگیری نمود. بدین منظور می‌باشد نمونه‌ها در فیلتر ذره‌ای ناحیه‌ی بزرگتری از تصویر را پوشش دهند. یک راهکار این است که تعداد نمونه‌ها را افزایش دهیم که این باعث افزایش محاسبات و کاهش سرعت اجرای الگوریتم می‌شود، راه



جدول ۱: جدول قانونهای ورودی- خروجی

$\rho \backslash V$	L	M	H
L	M	L	VL
M	H	M	L
H	VH	H	M



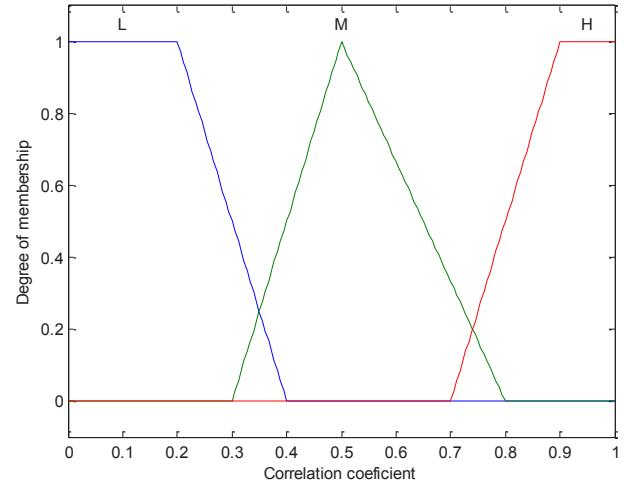
شکل ۱: تابع عضویت سرعت.

۶- نتایج

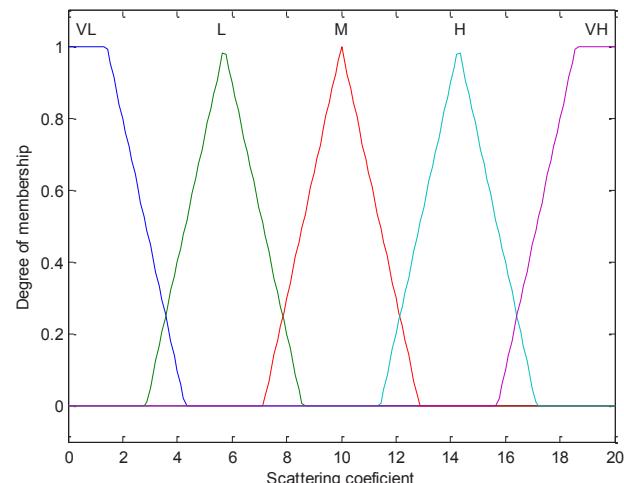
الگوریتم پیشنهادی برای یک دنباله از تصاویر دریایی مورد ارزیابی قرار گرفته است . در این تصاویر چون معمولا دوربین بر مکان ثابتی نصب نمی باشد، دچار لرزش بوده و هدف در این تصاویر دچار حرکات سریع می شود. در این دنباله یک کشتی، هدف مورد نظر برای رهگیری می باشد. دنباله‌یی مورد نظر از قاب تشکیل شده است که چند قاب از این دنباله و نحوه رهگیری هدف در آن به کمک روش پیشنهادی در شکل ۴ به نمایش در آمده است.

در این دنباله ابتدا موقعیت اولیه بیضی بر روی هدف قرار داده شده است، سپس الگوریتم رهگیری به اجرا درآمده است. در قاب های ابتدایی عملیات رهگیری کشتی به خوبی انجام شده است، در قاب ۲۲۹ دوربین دچار تغییرات سریعی می شود و باعث می شود هدف از ناحیه‌ی رهگیری دور شود. اما با توجه به زیاد شدن ضریب پراکندگی نمونه ها در طی چند قاب دوباره هدف پیدا شده و عملیات رهگیری با موفقیت ادامه پیدا می کند. به طوریکه در قاب ۲۵۰ دوباره بیضی بر روی هدف قرار می گیرد.

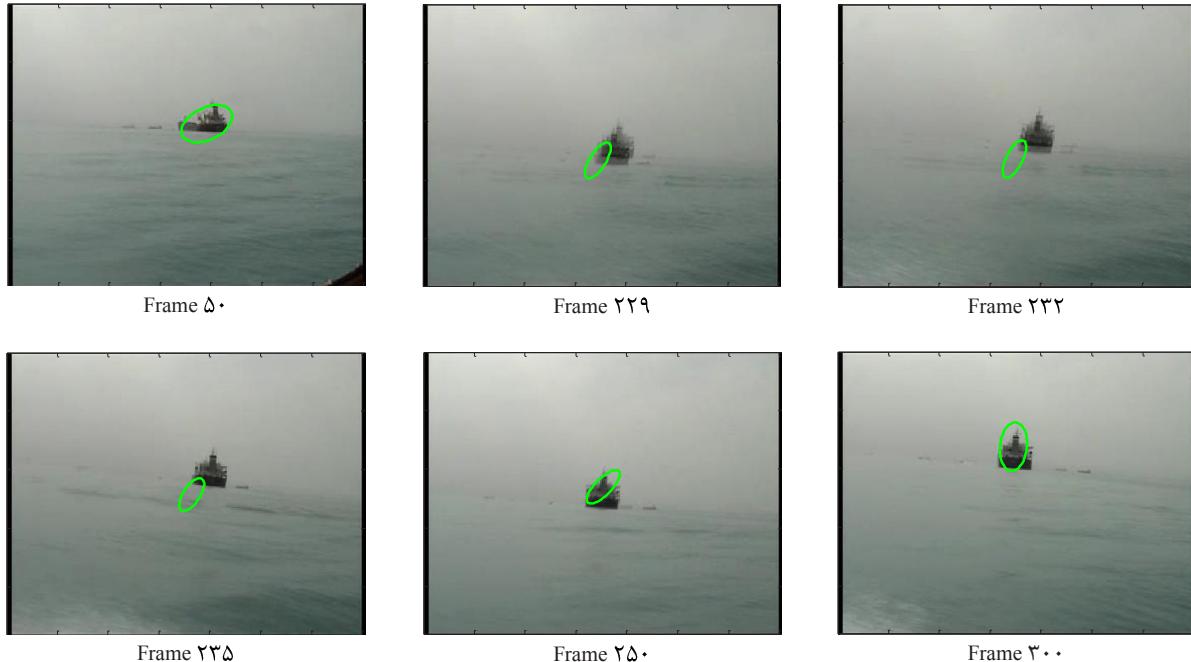
در شکل ۵ نتیجه‌ی اجرای الگوریتم رهگیری بدون استفاده از کنترلگر فازی برای تطبیقی نمودن ضریب پراکندگی، نمایش داده شده است. در این حالت عدد ثابت ۱ برای ضریب σ در نظر گرفته شده است. همانطور که شکل نشان می دهد با ایجاد تغییرات سریع در قاب ۲۲۹، به تدریج هدف گم شده و در قاب ۲۵۰ به طور کامل بیضی مشخص کننده محدوده هدف، از هدف دور می شود.



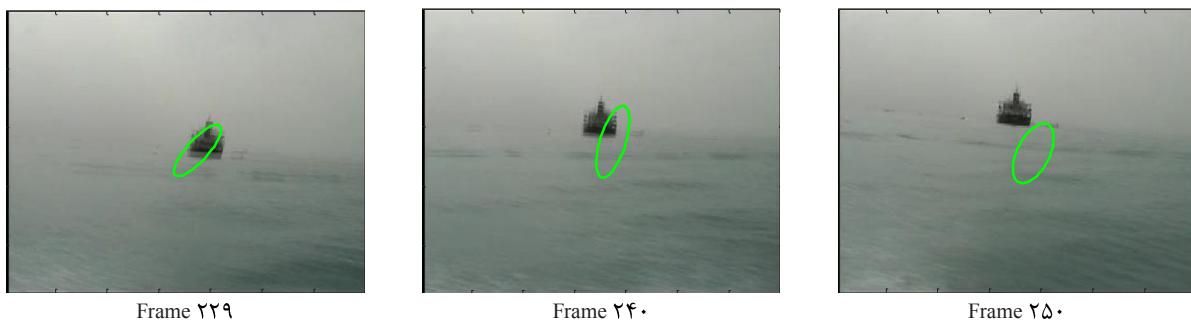
شکل ۲: تابع عضویت ضریب همبستگی.



شکل ۳: تابع عضویت ضریب پراکندگی.



شکل ۴: قابهای مختلف از یک دنباله ای از تصاویر دریایی و رهگیری کشتی در آن با روش پیشنهادی.

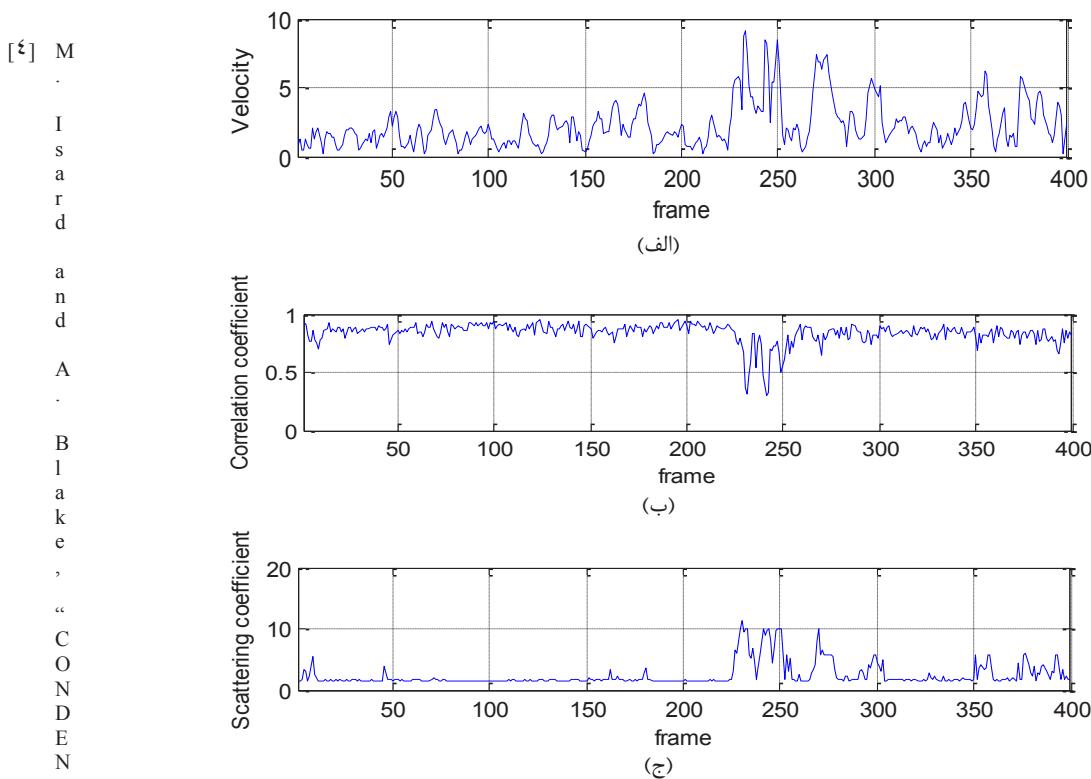


شکل ۵: قابهای مختلف از یک دنباله ای از تصاویر دریایی و رهگیری کشتی در آن بدون استفاده از روش پیشنهادی.

الگوریتم، به خوبی توانسته است به رهگیری موفق اهداف با حرکات سریع منجر شود.

در شکل ۶ نمودار تغییرات سرعت، ضریب همبستگی و ضریب پراکندگی در طول تمام قاب ها به نمایش در آمده است. همانطور که مشخص است در قاب ۲۲۹ که هدف دچار تغییرات سریع شده است، سرعت آن افزایش پیدا کرده است و از طرفی به علت جدا شدن هدف از ناحیه‌ی بیضی رهگیری، ضریب همبستگی کاهش پیدا کرده است. در نتیجه کنترلگر فازی باعث افزایش ضریب پراکندگی نمونه ها شده است. در ادامه با کاهش تغییرات هدف و کاهش سرعت آن و همچنین در زمانهایی که هدف به خوبی در درون ناحیه بیضی قرار گرفته و باعث افزایش ضریب همبستگی شده است، ضریب پراکندگی کاهش پیدا کرده است تا اکثر نمونه ها بر روی هدف متمرکز شوند.

نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی نشان می دهد که استفاده از کنترلگر فازی برای تطبیقی نمودن ضریب پراکندگی نمونه ها بدون اضافه کردن زمان قابل ملاحظه ای در زمان اجرای



شکل ۶: نمودار (الف) تغییرات سرعت (ب) تغییرات ضریب همبستگی (ج) تغییرات ضریب پراکندگی در دنباله‌ی تصاویر دریابی

ION – Conditional Density Propagation for Visual Tracking”
International Journal on Computer Vision 1, ۲۹, ۵–۲۸, ۱۹۹۸.

- [۵] P. P’erez, C. Hue, J. Vermaak, and M. Gangnet, “Color-based probabilistic tracking” In Proc. European Conf. Computer Vision. volume 1, pages ۶۶۱–۶۷۵, ۲۰۰۲.

۷ -نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از منطق فازی روشی تطبیقی برای کنترل ضریب پراکندگی نمونه ها در الگوریتم فیلتر های ذره ای مطرح شد که به کمک آن می توان اهداف با حرکات سریع در یک دنباله از تصاویر را به خوبی رهگیری نمود.

با مقایسه‌ی روش پیشنهادی در این مقاله با روشی که از منطق فازی برای تغییر تطبیقی ضریب پراکندگی نمونه ها استفاده نمی کند، برتری قابل توجه روش پیشنهادی در رهگیری اهداف با حرکات سریع، مشخص می شود.

مراجع

- [۱] M. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, and T. Clapp, “A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-gaussian Bayesian tracking” *IEEE Trans. Signal Proc*, Vol. ۵۰, No. ۴, pp. ۱۷۴-۱۸۸, ۲۰۰۲.
- [۲] Dan Simon, *Optimal State Estimation, Kalman, H_∞ , and Nonlinear Approaches*. John Wiley & Sons, pp. ۴۶۱-۴۸۳, ۲۰۰۶.
- [۳] Branko Ristic, Sanjeev Arulampalam and Neil Gordon, *Beyond the Kalman Filter, Particle Filters for Tracking Applications*. Artech House, ۲۰۰۴.



- [۷] Katja Nummiaro, Esther Koller-Meier and Luc Van Gool, “An adaptive color-based particle filter” *Elsevier. Image and Vision Computing* ۲۱, ۹۹–۱۱۰, ۲۰۰۳.
- [۸] D. Comaniciu, V. Ramesh and P. Meer, “Kernel-Based Object Tracking” *IEEE Trans. Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol. ۲۵, No. ۵, ۲۰۰۳.
- [۹] S.K. Zhou, R. Chellappa and B. Moghaddam, “Visual tracking and recognition using appearance-adaptive models in particle filters” *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. ۱۳, No. ۱۱, ۲۰۰۴.
- [۱۰] D. Comaniciu, V. Ramesh and P. Meer, “Real-Time Tracking of Non-Rigid Objects using Mean Shift,” *Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, ۲۰۰۴.
- [۱۱] Matej Kristan, *Tracking people in video data using probabilistic models*, Ph.D. Thesis, University of Ljubljana, ۲۰۰۸