

طراحی ردیاب تطبیقی هدف مانور دار مبتنی بر فیلتر چند مدلی تعاملی فازی در شبکه های حسگر بیسیم

امین حسنی^۱ و فرزاد نجاتی محرمی^۲

^۱عضو هیات علمی گروه رباتیک موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری مشهد، hassani@eqbal.ac.ir , amin_hassani@ieee.org

^۲گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، f.nejatimoharrami@ieee.org

چکیده - در این مقاله، یک روش نوین تطبیقی برای حل مسئله ردیابی هدف متحرک مانور دار در شبکه های حسگر بیسیم ارائه خواهد شد. در این روش از یک سیستم استنتاج مبتنی بر منطق فازی استفاده شده است که به کمک آن تنظیم سطح ماتریس کوواریانس نویز پروسه مدل معروف چرخش هماهنگ به صورت تطبیقی و همزمان صورت می گیرد. نوآوری این تحقیق در مقایسه با کارهای گذشته در این زمینه، عدم نیاز به مدل های مختلف مدهای حرکتی می باشد که به نوبه خود باعث کاهش بار محاسباتی عملیات فیلترینگ و بهبود کارایی تخمین گر می گردد. همچنین روش مکان یابی مثلثاتی همراه با گروه بندی دینامیکی حسگرها برای واحد جمع آوری اطلاعات خام در شبکه حسگر مورد استفاده قرار گرفته است. همانند تمام مسائل فیلترینگ در فضای استوکستیک، برای نشان دادن عملکرد و میزان بهبود روش پیشنهاد شده، از چندین اجرای مستقل مسئله به روش مونت کارلو استفاده شده است. نتایج شبیه سازی حاکی از افزایش دقت این روش نسبت به روش کلاسیک حل مسئله در هر دو مد مانوردار و غیر مانور دار می باشد.

کلیدواژه- شبکه حسگر بیسیم، ردیابی هدف مانور دار، فیلتر چند مدلی تعاملی، مکان یابی مثلثی.

۱- مقدمه

ردیابی هدف متحرک در شبکه های حسگر بیسیم توجه فراوانی را در کاربردهای تجاری، امنیت اجتماعی و نیز نظامی به خود جلب کرده است. چالش بر انگیز ترین قسمت این نوع مسائل، میزان دقت واحد تخمین حالات حرکتی در مدهای مختلف است. در اینجا اشاره به این نکته لازم است که بر خلاف ردگیری یک سیگنال تصادفی (که به صورت ساختار متمرکز صورت می گیرد) ردیابی هدف در شبکه حسگر بیسیم به دلیل ذات گسترده این شبکه ها، یک مسئله غیر متمرکز (decentralized) است [2].

برای مسئله ردگیری هدف متحرک با سرعت تقریباً ثابت، فیلتر کالمن استاندارد می تواند بهترین راه حل برای تخمین حالات حرکتی متحرک باشد. از طرف دیگر، وقتی احتیاج به ردیابی اهداف مانوری به صورت مسئله اضافه شود، به دلیل احتیاج به یک نویز سیستم بسیار زیاد برای در نظر گرفتن شتاب مجهول،

شبکه های حسگر بیسیم (WSN) به دلیل مزایایی همچون قیمت پایین، گسترش سریع، خود تنظیم بودن و نیز مقاومت بالا در برابر خطاهای احتمالی، روز به روز توجه بیشتری را در علوم مهندسی به خود جلب می کنند. از مزایای گوناگون شبکه های حسگر بیسیم بر روش های سنتی سیستم های حسگری می توان به توانایی آنها در پردازش محلی اطلاعات خام و نیز قابلیت گسترش آسان آنها اشاره کرد. این شبکه های نوظهور شامل چندین گره حسی ارزان هستند که به صورت تقریباً یکنواخت در یک محیط پخش شده اند. هر گره حسگر در این شبکه می تواند به محض دریافت اطلاعات حسی، آنها را پردازش و محاسبات محدودی را انجام دهد و نتیجه را به حسگرهای مجاور خود و یا به سرگروه خود ارسال کند [1].

این فیلتر مجزا توانایی تخمین را از دست داده و در شرایطی حتی ممکن است به واگرایی منجر به شود.

اولین تلاش برای حل این مسئله توسط Singer انجام شد که بر اساس آن، مانور یک فرآیند مرتبه اول مارکوف با وابستگی زمانی فرض شد [3]. از این پس روش های متعددی ارائه شد که شاید بتوان بهترین و موفق ترین آنها را استفاده از فیلتر تعاملی چند مدلی (IMM) دانست. در این روش تعدادی مدل مختلف برای توصیف حرکت در نظر گرفته می شود و تخمین نهایی بر اساس جمع وزنی فلتر های داخلی متناظر با هر مدل حاصل می شود [4-6]. اکثر این چنین سیستم هایی معمولاً احتیاج به حسگرهای گران قیمت با توانایی محاسباتی بالاتری از گره های حسگر را داشتند [3]. همچنین این الگوریتم احتیاج به زیر مدل های از پیش تعریف شده با ابعاد مختلف میزان نویز پروسه دارد که باز هم در صورت عدم تطابق یکی از مدل ها با مد حرکتی هدف، تضمین مناسبی را برای کارایی مطلوب نمی دهد. یک راه برای حل این قضیه تخمین لحظه به لحظه ورودی مجهول یا استفاده از فیلتر چند مدلی تعاملی تطبیقی (AIMM) می باشد. در این فیلتر ورودی توسط یک فیلتر کالمن دو مرحله ای تخمین زده می شود و سپس مدل های داخلی بر اساس آن انتخاب می شوند [7,8]. از طرف دیگر، بانکی از مدل های بالقوه برای هر مد حرکتی باید در سیستم در نظر گرفته شود. با در نظر گرفتن این موضوع، پیچیدگی سیستم و بار محاسباتی آن به شدت افزایش پیدا می کند [9].

با در نظر گرفتن موارد فوق، این مقاله مکانیسمی تطبیقی برای شناسایی میزان نویز مدل CT با استفاده از یک سیستم فازی ارائه خواهد داد. این سیستم با استفاده از تشخیص زمان شروع، زمان خاتمه و شدت مانور، نیاز به داشتن اطلاعات قبلی را که موجب پیچیده کردن الگوریتم IMM معمولی می شود را از بین می برد.

۲- توصیف مسئله

مسئله ردیابی هدف متحرک مانور دار در سیستم مختصات دکارتی ۲ بعدی در نظر گرفته می شود. بردار حالت متحرک شامل سرعت ها و موقعیت ها در راستای هر دو محور و نیز نرخ چرخش برای قسمت های حرکتی منحنی وار می باشد. با فرض این که متحرک دارای سرعت و نرخ چرخش نسبتاً ثابت در فاصله های نمونه برداری می باشند، دو مدل حرکتی زیر را معرفی می کنیم :

۲-۱- مدل حرکت با سرعت ثابت

مدل حرکتی با سرعت نسبتاً ثابت برای حرکت یکنواخت توسط رابطه زیر در فضای حالت عنوان می شود که در آن موقعیت ها و سرعت ها از یکدیگر جدا هستند، به عبارت دیگر

$$X = [x_{k+1} | Vx_{k+1} | y_{k+1} | Vy_{k+1}]^T \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ Vx_{k+1} \\ y_{k+1} \\ Vy_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_k \\ Vx_k \\ y_k \\ Vy_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2}T^2 & 0 \\ T & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^2 \\ 0 & T \end{bmatrix} v(k)$$

۲-۲- مدل حرکتی با چرخش هماهنگ

در جهت توصیف الگو های پیچیده تر حرکتی، مانند چرخش به راست یا به چپ، در این قسمت مدل چرخش هماهنگ توسط روابط زیر ارائه می شوند :

$$x_{k+1} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 & -\frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \cos \omega T & 0 & -\frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \frac{1 - \cos \omega T}{\omega} & 1 & \frac{\sin \omega T}{\omega} & 0 \\ 0 & \sin \omega T & 0 & \cos \omega T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} x_k + \begin{bmatrix} \frac{1}{2}T^2 & 0 & 0 \\ T & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^2 & 0 \\ 0 & T & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن $u_k \sim N(0, \text{diag}[\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_\omega^2])$ یک نویز سفید گوسی است که برای مدل کردن تغییرات از حالت ایده آل در نظر گرفته شده است. در صورتی که مقدار نرخ چرخش معلوم نباشد، مدل چرخشی هماهنگ CT لزوماً یک مدل غیر خطی است. به این دلیل از فیلتر های غیر خطی مثل EKF برای این مدل باید استفاده شود و این نیز احتیاج به خطی سازی و ماتریس ژاکوبین دارد. می توان فرض کرد که در T های کوچک میزان چرخش بین دو زمان نمونه برداری ثابت می باشد.

۲-۳- فیلتر چند مدلی تعاملی IMM

یک سیکل کامل الگوریتم به صورت زیر می باشد :

گام اول : محاسبه احتمال های ترکیبی و تعاملی بین مدل ها:

$$P_k^+ = \sum_{j=1}^r \mu_{jk} \{P_{jk}^+ + [\hat{x}_{jk}^+ - \hat{x}_k^+] \cdot [\hat{x}_{jk}^+ - \hat{x}_k^+]^T\} \quad (10)$$

این ترکیب فقط برای اهداف خروجی به دست می آید و همانطور که دیده می شود در الگوریتم بازگشتی هیچ نقشی ندارد [10, 11].

۲-۴- مدل سیستم اندازه گیری و انتخاب حسگر

در این مقاله فرضیاتی در مورد حسگرها در نظر گرفته شده است که به صورت زیر می باشد:

تمامی حسگرها مشخصات یکسان دارند - حسگرها به صورت تصادفی و تقریباً یکنواخت در محدوده مورد مطالعه گسترده شده اند و فرض می شود که موقعیت هر کدام در صفحه معلوم است - هر حسگر ۲ شعاع حسی دارد، فاصله نرمال r و فاصله بلند R . در حالت عادی حسگرها در حالت نرمال کار می کنند و فقط در صورت لزوم مد فاصله بلند فعال می شود - کانال حسی و ارتباطی تا زمان مورد نیاز در حالت غیر فعال قرار دارند که در این حالت بسیار انرژی کمی مصرف می کنند - همچنین در این مقاله، از روش مکان یابی مثلثاتی استفاده شده است. اصلی ترین فایده این روش، کاهش حجم محاسبات غیر خطی به کمک خطی سازی معادله مشاهدات است [12].

هر حسگر بیسیم توانایی تامین فاصله هدف در شعاع شناسایی مجاز را تا خود دارد. فاصله اندازه گیری شده توسط تنها یک حسگر، موقعیت هدف را تنها روی مکان هندسی یک دایره به شعاع r مشخص می کند. به همین ترتیب اگر دومین حسگر فاصله خود را تا هدف در آن لحظه محاسبه کند، مکان هندسی به ۲ نقطه تقاطع ۲ دایره محدود میشود. با اندازه گیری سومین حسگر موقعیت هدف به طور دقیق به یک نقطه که مکان هندسی ۳ دایره می باشد، محدود می شود. در حقیقت در یک محیط ۲ بعدی، تعیین ۳ فاصله تا هدف، به طور دقیق موقعیت مکانی متحرک را مشخص میکند و استفاده از ۴ فاصله یا بیشتر برای جواب اطلاعات زیادی محسوب میشود.

اگر موقعیت مجهول متحرک را با (x, y) و موقعیت آمین حسگر را با (x_i, y_i) نمایش دهیم، آنگاه رابطه زیر به ازای هر سنسور i با فرض عدم وجود خطا برقرار خواهد بود.

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

با مرتب کردن و به توان رساندن روابط برای n فاصله مستقل در فرم ماتریسی خواهیم داشت:

$$\mu_{i|jk-1} = \frac{1}{c_j} p_{ij} \mu_{ik-1} \quad (3)$$

که در آن $\mu_{i|jk-1}$ احتمال تاثیر i امین مد در گام $k-1$ به شرط تاثیر j امین مد در گام k با آخرین اندازه گیری موجود در لحظه $k-1$ است. ثابت نرمال سازی عبارت است از:

$$\hat{c}_j = \sum_{i=1}^r p_{ij} \mu_{ik-1} \quad (4)$$

که در آن p_{ij} احتمال انتقال در سویچینگ بین مدل i و j است. شرایط اولیه ترکیبی برای هر فیلتر با توجه به معادله ... عبارت است از:

$$\hat{x}_{jk-1}^+ = \sum_{i=1}^r \hat{x}_{ik-1}^+ \cdot \mu_{i|jk-1} \quad j = 1, \dots, r \quad (5)$$

$$P_{jk-1}^+ = \sum_{i=1}^r \mu_{i|jk-1} \{P_{ik-1}^+ + [\hat{x}_{ik-1}^+ - \hat{x}_{jk-1}^+] \cdot [\hat{x}_{ik-1}^+ - \hat{x}_{jk-1}^+]^T\}$$

گام دوم - مقادیر جدید فیلترها: در این قسمت هر کدام از فیلترها به صورت موازی عمل کرده و مقادیر جدید به دست می آیند. به عنوان مثال روابط فیلتر کالمن در زیر آورده شده اند:

$$\hat{x}_{jk-1}^- = F_{jk-1} \hat{x}_{jk-1}^+ + G_{k-1} u_{k-1}$$

$$P_{jk-1}^- = F_{jk-1} P_{jk-1}^+ F_{jk-1}^T + Q_{jk-1}$$

$$S_{jk} = H_{jk} P_{jk}^- H_{jk}^T + R_k$$

$$K_{jk} = P_{jk}^- H_{jk}^T (S_{jk})^{-1} \quad (6)$$

$$\hat{z}_{jk} = z_{jk} - H_{jk} \hat{x}_{jk}^-$$

$$\hat{x}_{jk}^+ = \hat{x}_{jk}^- + K_{jk} [\hat{z}_{jk}]$$

$$P_{jk}^+ = (I - K_{jk} H_{jk}) P_{jk}^- (I - K_{jk} H_{jk})^T + K_{jk} R_k K_{jk}^T$$

گام سوم: ارزیابی احتمال مدلها: با استفاده از متغیر مانده \hat{z}_{jk} هر یک از فیلترها و کوواریانس آن و نیز با فرض توزیع احتمال گوسی، خواهیم داشت:

$$\Lambda_{jk} = \frac{1}{\sqrt{2\pi|S_{jk}|}} \exp \left[-0.5 \left(\hat{z}_{jk}^T (S_{jk})^{-1} \hat{z}_{jk} \right) \right] \quad (7)$$

مقدار جدید احتمال مدل به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\mu_{jk} = \frac{1}{c} \Lambda_{jk} \hat{c}_j \quad j = 1, \dots, r,$$

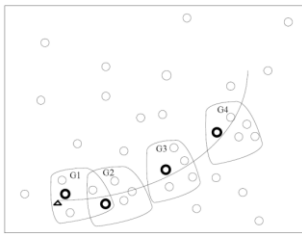
$$c = \sum_{j=1}^r \Lambda_{jk} \hat{c}_j \quad (8)$$

گام چهارم - ترکیب کننده خروجی: این قسمت تمام تخمین های حالت و کوواریانس تک تک فیلترها را با یکدیگر ترکیب می کند:

$$\hat{x}_k^+ = \sum_{j=1}^r \hat{x}_{jk}^+ \mu_{jk}$$

$$(9)$$

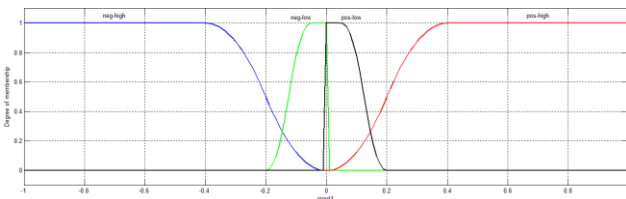
نرمال و بلند هر حسگر استفاده کند.



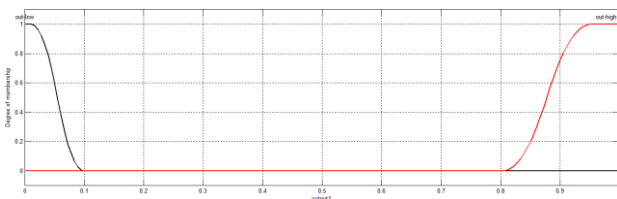
شکل ۱- گروه بندی پویا [1]

۳- IMM تطبیقی پیشنهادی بر اساس منطق فازی

مشکل اساسی IMM سنتی این است که باید تمامی مدل های حرکتی با میزان نویز پروسه متفاوت متناظر با مد های حرکتی در نظر گرفته شوند. همانطور که قبلاً نیز به آن اشاره شد چون به ازای هر مدل یک فیلتر نیز به سیستم اضافه می شود که دلیل نیاز به کارکرد موازی آن ها، بار محاسبات به طور وسیعی افزایش پیدا می کند. برای مقابله با این مشکل، منطق فازی برای تصحیح مقدار نویز کوواریانس فیلتر با گین بزرگ که در این مقاله CT در نظر گرفته شده است، پیشنهاد شده است. این روش به سیستم اجازه می دهد که علاوه بر استفاده از مدل های کمتر، دقت زیادی را از دست ندهد. میزان این نویز با استفاده از فرآیند تخمین نرخ چرخش و اعمال آن به سیستم استنتاج فازی صورت می گیرد. در نتیجه در این قسمت احتیاج به یک نگاهت از نرخ چرخش تخمین زده شده به کوواریانس نویز قابل تغییر مدل CT داریم. تخمین مقدار نرخ چرخش توسط اضافه کردن این متغیر به بردار حالت صورت گرفته است. توابع عضویت ورودی و خروجی سیستم فازی در شکل های ۲ و ۳ نمایش داده شده اند.



شکل ۲- توابع عضویت ورودی



شکل ۳- توابع عضویت خروجی

نشان داده شده است که افزایش شتاب یا نرخ چرخش توسط

$$\begin{bmatrix} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 \\ \dots \\ \dots \\ (x_{n-1} - x)^2 + (y_{n-1} - y)^2 \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ \dots \\ \dots \\ r_{n-1}^2 \\ r_n^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

و با گسترش جملات سمت چپ خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} x_1^2 - 2x_1x + x^2 + y_1^2 - 2y_1y + y^2 \\ x_2^2 - 2x_2x + x^2 + y_2^2 - 2y_2y + y^2 \\ \dots \\ \dots \\ x_{n-1}^2 - 2x_{n-1}x + x^2 + y_{n-1}^2 - 2y_{n-1}y + y^2 \\ x_n^2 - 2x_nx + x^2 + y_n^2 - 2y_ny + y^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 \\ r_2^2 \\ \dots \\ \dots \\ r_{n-1}^2 \\ r_n^2 \end{bmatrix}$$

می توانیم با تفریق سطر آخر از دیگر سطرها که منجر به از بین رفتن تمام توان دوم های مجهولات میشود و انتقال تمام توان دوم معلومات به سمت راست معادله و برای تعیین دقیق موقعیت مکانی، با استفاده از تعیین ۳ فاصله از ۳ حسگر مستقل روابط به صورت زیر تبدیل میشوند:

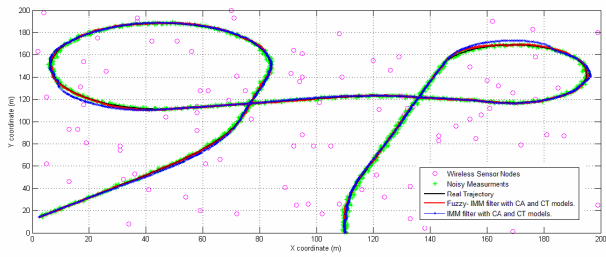
$$2 \begin{bmatrix} (x_n - x_1) & (y_n - y_1) \\ (x_n - x_2) & (y_n - y_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^2 - r_n^2 - x_1^2 + x_n^2 - y_1^2 + y_n^2 \\ r_2^2 - r_n^2 - x_2^2 + x_n^2 - y_2^2 + y_n^2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

که به عنوان یک دستگاه معادلات دو معادله دو مجهول به راحتی قابل حل است. با این حال، همیشه اندازه گیری ها توأم با مقداری نویز هستند و چون این نوع نویز ها به صورت نویزهای مکانی ظاهر می شوند، خواهیم داشت:

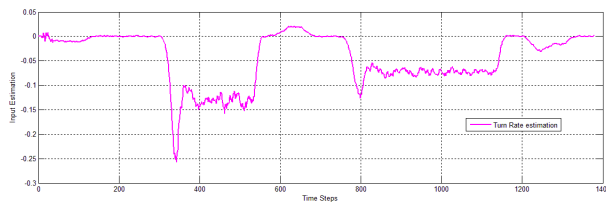
$$Z_k = Hx_k + v_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x_k + v_k \quad (13)$$

که در آن v_k یک نویز سفید گوسی است که برای مدل سازی خطای اندازه گیری بکار رفته است که کوواریانس آن R می باشد.

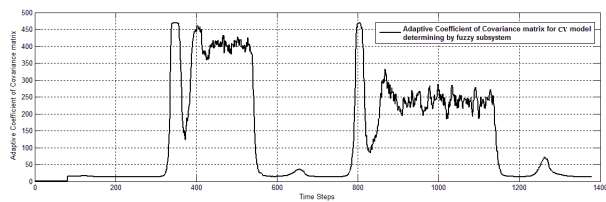
برای استفاده از فرآیند مکان یابی مثلثاتی، احتیاج به یک گروه بندی پویا می باشد. اولین حسگر در زمانی که برای اولین بار هدف آشکار می شود فعال می گردد. این حسگر در حالت ایده آل نزدیک ترین مورد به هدف است. در شکل ۱ نحوه بکار گیری گروه بندی در این مقاله، نمایش داده شده است. نقطه شروع همانطور که دیده می شود با یک مثلث کوچک متمایز شده است. دایره های تیره رنگ نزدیکترین حسگر را در هر مرحله نمایش می دهند. در هر گام زمانی، حسگر فعال دیگر حسگرهای موجود را بر اساس فاصله هدف تا آنها انتخاب و فرمان فعال شدن را ارسال می کند. این عمل می تواند از هر دو مد حسی



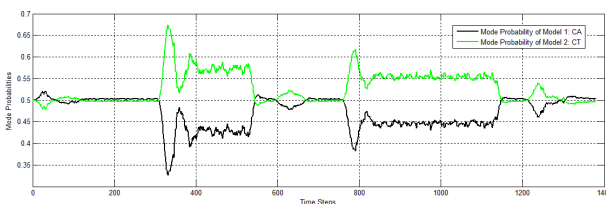
شکل ۴- مسیر واقعی و تخمین زده شده



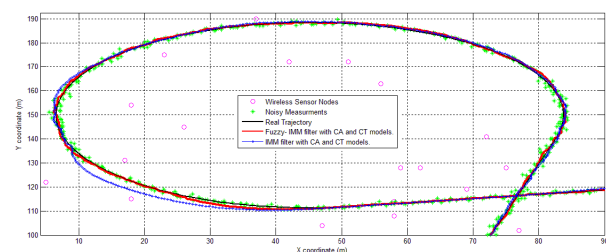
شکل ۵ - تخمین نرخ چرخش



شکل ۶- خروجی سیستم فازی



شکل ۷ - احتمال انتخاب مدل ها



شکل ۸ - قسمت مانور بالا مسیر حرکتی

در ادامه برای اینکه بتوانیم عملکرد این دو فیلتر را با یکدیگر مقایسه کنیم، ۵۰ اجرای مستقل را انجام داده و از میانگین گیری آنها، مجموع خطای بردار حالت را روی تمام مسیر به صورت جدول ۱ خلاصه می کنیم.

افزایش کوواریانس نویز سیستم خود را نشان می دهد. در نتیجه، قوانین فازی را به شکل زیر در نظر می گیریم :

Rule 1: If the input is *neg-high* Then the output is *out-high*.

Rule 2: If the input is *pos-high* Then the output is *out-high*.

Rule 3: If the input is *neg-low* Then the output is *out-low*.

Rule 4: If the input is *pos-low* Then the output is *out-low*.

۴- نتایج شبیه سازی

برای نشان دادن کارایی و اثبات بهبود دقت روش پیشنهادی، این روش با IMM سنتی مقایسه شده است. برای در نظر گرفتن شرایط جامع، یک مسیر حرکتی خاص به صورت شکل ۴ پیشنهاد می شود. در این شکل مسیره های تخمین زده شده نیز نمایش داده شده اند. محیط مورد مطالعه 200×200 در نظر گرفته می شود که تعداد ۱۰۰ حسگر بیسیم به صورت تصادفی در این محیط گسترده می شوند. در این حالت فاصله حسی کوتاه هر حسگر حدود ۳۵ متر و فاصله حسی بلند هر حسگر ۵۵ متر می باشد. $T = 0.05s$ در نظر گرفته می شود.

فیلتر IMM اول مانند قسمت قبل متشکل از یک مدل CT با تخمین گر میزان نرخ چرخش و ماتریس کوواریانس نویز سیستم $0.05 \times I$ و یک مدل CV با ماتریس کوواریانس نویز سیستم $0.5 \times I$ است. برای بهبود دقت تخمین، با اندازه گیری نرخ چرخش تخمین زده شده در هر لحظه، یک سیستم تصمیم گیری فازی برای تعیین تطبیقی ضریب ماتریس کوواریانس نویز مدل CA پیشنهاد شده است.

ماتریس گذار احتمال ها و کوواریانس خطای اولین تخمین برای هر دو فیلتر IMM به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$p_{ij} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.1 & 0.9 \end{bmatrix}$$

$$P_{1_0}^+ = P_{2_0}^+ = I$$

$$\mu_{1_0} = \mu_{2_0} = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

شرایط اولیه برای هر مدل نیز از اولین اندازه گیری دریافت شده توسط حسگرها تامین می شود. شکل ۵ تخمین نرخ چرخش و شکل ۶ خروجی سیستم فازی را نشان می دهد. در شکل ۷ احتمال انتخاب هر مدل نمایش داده شده است. در شکل ۸، جهت شفاف سازی بیشتر، بخشی از مسیر با مانور شدید بزرگنمایی شده است.

مراجع

- [1] Y. L. B. X. L. Feng, "Distributed IMM Filter based Dynamic-Group Scheduling Scheme for Maneuvering Target Tracking in Wireless Sensor Network," in Image and Signal Processing, 2009. CISP '09. 2nd International Congress on.
- [2] L. H. B. Ma Di and Er Meng Joo "A Comprehensive Study of Kalman Filter and Extended Kalman Filter for Target Tracking in Wireless Sensor Networks," in IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2008.
- [3] Singer, R.A.: 'Estimating optimal tracking filter performance for manned maneuvering targets', IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1970, AES-6, (4), pp. 473-483.
- [4] Blom, H.A.P., and Bar-Shalom, Y.: 'The interacting multiple model algorithm for systems with a jump-linear smoothing application', IEEE Trans. Autom. Control, 1988, AC-33, (8), pp. 780-783
- [5] Bar-Shalom, Y., Chan, K.C., and Blom, H.A.P.: 'Tracking a maneuvering target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm', IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., 1989, AES-25, (2), pp. 296-300
- [6] Bar-Shalom, Y., and Li, X.: 'Estimation and tracking; principles, techniques and software' (Artech House, Norwood, MA, USA, 1993)
- [7] Munir, A., and Artherton, P.: 'Adaptive interacting multiple model algorithm for tracking a maneuvering target', IEE Proc., Radar, Sonar Navig., 1995, 142, (1), pp. 11-17
- [8] Alouani, A.T., Xia, A.T., Price, P., and Blair, W.D.: 'A two-stage Kalman estimator for state estimation in the presence of random bias for tracking maneuvering targets'. Proc. 30th IEEE Conf. on Decision Control, December 1991, pp. 2059-2062
- [9] J. B. P. B.J. Lee, H.J. Lee and Y.H. Joo, "Fuzzy-logic-based IMM algorithm for tracking a manoeuvring target," IEE Proc.-Radar Sonar Navig, 2005.
- [10] Bar-Shalom X. Li., Estimation with Application to Tracking and Navigation WILEY, 2001.
- [11] D. Simon, Optimal State Estimation: WILEY, 2006.
- [12] B. S. H. Yang "A Protocol for Tracking Mobile Targets using Sensor Networks," in: Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the First IEEE. 2003 IEEE, 2003.

سناریو	روش فیلترینگ		میزان بهبود
	تطبیقی پیشنهادی	IMM سنتی	روش پیشنهادی نسبت به روش سنتی
مجموع خطای موقعیت محور x	۲۲۴.۳۱	۵۵۷.۶۴	٪۱۴۸
مجموع خطای موقعیت محور y	۲۵۲.۶۲	۶۴۳.۸۷	٪۱۵۴
مجموع خطای سرعت محور x	۶۵۷.۲۹	۱۰۵۱.۵	٪۵۹.۲
مجموع خطای موقعیت محور y	۷۲۱.۴	۱۲۲۳.۶	٪۶۹.۶

جدول ۱- خطاهای تخمین

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، از منطق فازی برای تطبیقی کردن فیلتر IMM استفاده کردیم و آن را برای حل مسئله ردیابی هدف مانور دار در شبکه های حسگر بیسیم استفاده کردیم. برای واحد جمع آوری اطلاعات از روش مکان یابی مثلثاتی و گروه بندی پویا در شبکه های حسگر بهره بردیم. با استفاده از شبیه سازی و روش میانگین گیری مونت کارلو روش پیشنهادی را مورد ارزیابی قرار دادیم. نتایج شبیه سازی نشان دادند که روش پیشنهادی دقت بیشتری را به ارمغان می آورد. نتیجه کلی که می توان از این تحقیق گرفت این است که می توان برای افزایش دقت تخمین در فیلتر IMM به جای استفاده از مدل های متعدد با میزان نویز های متفاوت، که به نوبه خود باعث افزایش تعداد فیلترها و بار محاسباتی بیشتر می شود، از سیستم فازی تطبیقی پیشنهاد شده استفاده کرد و از مزایای آن در بهبود تخمین موقعیت و سرعت متحرک بهره جست.