

آنالیز خطای سکوی پایدار رادار شناور در ردیابی اهداف دریایی

چکیده

این مقاله به بررسی تاثیرات حرکت کشتی بر تخمین پرداخته است. این حرکت به صورت حرکت با ۴ درجه آزادی با سرعت ثابت و عدم تاثیر نیروی موج در نظر گرفته می شود. تاثیر حرکت کشتی در تخمین را می توان به عنوان یک اغتشاش در نظر گرفت که اضافه شدن این اغتشاش به مشاهده باعث افزایش خطا ملاحظه شده و تخمین را از حالت بهینه خارج می کند.

واژه های کلیدی: سکوی پایدار - کالمن - مدل ۴ درجه آزادی کشتی - مدل قطبی رادار

مقدمه

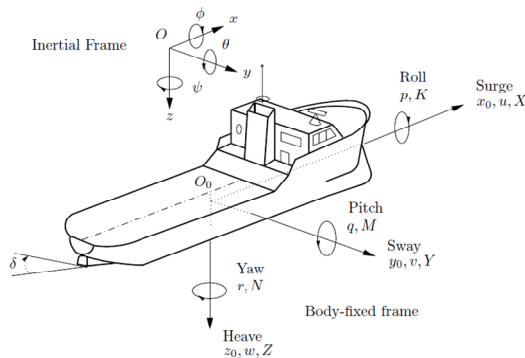
از آنالیز خطا به منظور بررسی عواملی که بر خطا تاثیر گذارند استفاده می شود. این عوامل ناشی از طراحی و محل رادار، شرایط محیطی، نوع و حرکت هدف می باشد. از تاثیر طراحی می توان به ناسازگار شدن رادار و افزایش خطا به دلیل رنگی شدن نویز مشاهده اشاره کرد. در تاثیر محل رادار باید به اثر حرکت و لغزش محلی که رادار بر روی آن نصب شده است توجه شود زیرا حرکت محل بر روی رادار باعث تغییر در ماهیت نویز مشاهده شده که این خطا را افزایش می دهد. شرایط محیط نیز بر مشاهدات تاثیر می گذارد که بیشتر این تاثیر به دلیل بررسی در چند نوع محیط می شود.

با توجه به موارد قبل می توان به مقاله [۱] اشاره کرد که به بررسی نوع و تعداد اهداف می پردازد. در این مقاله با مشاهده تعداد زیادی از اهداف به بررسی این مشکل می پردازد که مقدار کواریانس خطا مانور هدف برای تمام اهداف یکی نیست و به تاثیر این کواریانس های خطا در تخمین اهداف می پردازد و برای بهبود عملکرد آن راهکاری را پیشنهاد می کند. از مقالات مرتبط دیگر می توان به مرجع [۲] اشاره کرد. در این مقاله به بررسی اطلاعات گرفته شده از *near space SAR* پرداخته و تاثیرات گردش و قوس را بر پردازش اطلاعات بررسی می کند.

در این مقاله نیز با قرار دادن رادار بر روی کشتی عامل تاثیر گذار که نوسان و حرکت کشتی می باشد مورد بررسی قرار می گیرد تا با پیدا کردن حرکت مناسب برای کشتی تاثیرات عوجاج بر روی مشاهده و تخمین بررسی گردد. بهترین نقطه برای تخمین هدف بروی کشتی، نقطه ای است که با نقطه هدف در یک سطح باشند. اگر مرکز ثقل کشتی و هدف هر دو در یک سطح باشند می توان بررسی ها را برای حالت ۲ بعدی در نظر گرفت ولی در صورت داشتن ارتفاع یک بعد دیگر به محاسبات اضافه می شود که این ارتفاع باعث افزایش خطا از مقدار واقعی مشاهده می شود. میزان ارتفاع علاوه بر افزایش تاثیر در مقدار خطا می شود باعث افزایش حساسیت به حرکت کشتی می شود. برای کاهش حساسیت از سکوی پایدار استفاده می شود. از این سکوی پایدار جهت نگه داشتن و کاهش ارتعاشات استفاده می شود. این سکو از طریق ترکیبی از طراحی بدنه و طراحی محوری همراه با کنترل فعال عمل پایدارسازی را انجام می دهد [۳]. این ۳ نقطه دارای مشاهدات متفاوت می باشند که در بخش های بعد این مشاهدات بررسی و از نتایج حاصله به تفاوت در مشاهدات و تخمین این ۳ نقطه پی می بریم.

مدل ۴ درجه آزادی کشتی

اگر جسمی دارای ۶ درجه آزادی باشد. جهت حرکت آن در سه جهت کلی *surge*، *sway* و *heave* و چرخش حول این جهت های اصلی که *roll*، *pitch* و *yaw* می شود.



شکل ۱ - نماد و نشانه های استاندارد برای توصیف حرکت کشتی از مدل [۴]

با توجه به شکل (۱)، پارامترهای $[x \ y \ z]^T$ مربوط به موقعیت جسم و پارامترهای $[\phi \ \theta \ \psi]^T$ مربوط به زاویه حرکت جسم می باشد. سرعت های خطی برای هر یک از محورها به صورت $[u \ v \ w]^T$ سرعت های زاویه ای $[p \ q \ r]^T$ بیان می شوند. برای سادگی بررسی حرکت کشتی، آن را به صورت ۴ درجه فرض می کنیم. یعنی از پارامترهای Z و θ سرعت های w و q به دلیل تغییرات کم در کشتی صرف نظر می کنیم. برای محاسبه پارامترهای موقعیت و زاویه از روی سرعت های خطی و زاویه ای از ماتریس انتقال J استفاده می شود. از ماتریس η برای نمایش بردارهای ۴ درجه آزادی و از ماتریس V برای بیان سرعت خطی در هر یک از بردارهای مورد بحث استفاده شده است. [۴]

$$\eta = [x \ y \ \phi \ \psi]^T \quad (۱)$$

$$v = [u \ v \ p \ r]^T \quad (۲)$$

این دو رابطه (۱) و (۲) با استفاده از ماتریس J و رابطه (۳) با هم ارتباط پیدا می کنند. ماتریس J به صورت رابطه (۴) می باشد.

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \quad (۳)$$

$$J(\eta) = \begin{bmatrix} J_1(\eta)_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & J_2(\eta)_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$J_1(\eta) = \begin{bmatrix} c(\psi) & -s(\psi)c(\phi) + c(\psi)s(\phi) \\ s(\psi) & c(\psi)c(\phi) + s(\psi)s(\phi) \end{bmatrix}$$

$$J_2(\eta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & c(\phi) \end{bmatrix}$$

$$c(\bullet) = \cos(\bullet) \quad s(\bullet) = \sin(\bullet)$$

برای بیان مدل حرکت کشتی از نظریه *NOMOTO* که توسط آقای *Kensaku Nomoto* در سال ۱۹۵۷ ارائه گردید استفاده شده است.

$$\frac{r}{\delta} = \frac{K(1+T_3S)}{(1+T_1S)(1+T_2S)} \quad (9)$$

رابطه (۹) به عنوان مدل مرتبه دوم *Nomoto* شناخته شده است. با توجه به اینکه صفر، $(1+T_3S)$ و قطب، $(1+T_2S)$ به هم نزدیک هستند ساده شده و در نهایت به مدل درجه یکی به صورت معادله (۱۰) رسیده که به این مدل، مدل مرتبه اول *Nomoto* می گویند.

$$\frac{r}{\delta} = \frac{K}{(1+TS)} \quad (10)$$

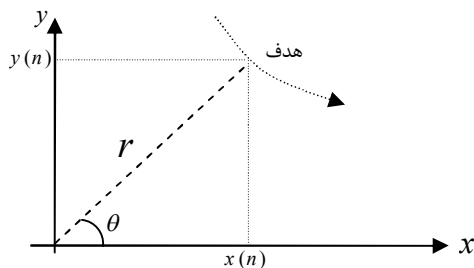
برای مدلسازی حرکت کشتی از رابطه (۸) به دلیل نزدیک بودن به مدل غیر خطی استفاده شده است. این فضای حالت با جایگذاری ضرایب هیدرودینامیک و پارامترهای دیگر در روابط (۵) تا (۷) و با کمک ماتریس انتقال محاسبه شده است. در این فضای حالت پارامترهای حالت به صورت $x = [\varphi \ p \ v \ r]^T$ می باشد. ورودی δ که زاویه سکان است و خروجی نیز رول کشتی می باشد. در رابطه (۱۲) نیز ماتریس های A , B , C , D آمده است.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu & y &= cx \\ A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.059 & -0.07 & -0.00594 & 0 \\ -0.0756 & 0 & -0.04 & -1.933 \\ 0.001134 & 0 & -0.00011 & -0.0813 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0.00821 \\ 0.1559 \\ -0.0033 \end{bmatrix} & C &= [0 \ 0 \ 0 \ 1] \end{aligned} \quad (11) \quad (12)$$

حالت های دیگر همچون x , y و ψ با کمک ماتریس انتقال محاسبه می شود.

مدلسازی حرکت هدف با مانور

برای تخمین هدف در رادار باید ابتدا به بررسی مدل حرکت هدف بپردازیم. حرکت هدف را باید در یکی از دو مختصات قطبی یا کارتزین بررسی شود. در مدل قطبی، موقعیت هدف با دو پارامتر فاصله و زاویه از مرکز مورد نظر (موقعیت رادار) به دست می آید. این دو پارامتر را در شکل (۲) ملاحظه می کنید.

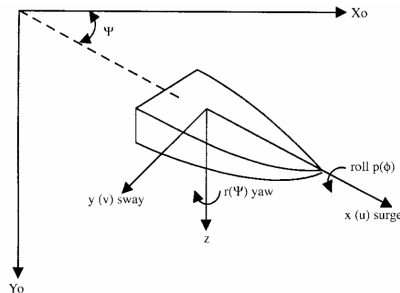


شکل ۳- نمایش عملکرد رادار

در شکل (۳)، r میزان فاصله رادار تا هدف (برد هدف) و θ میزان زاویه بین خط فاصل رادار و هدف با محور افقی (زاویه سمت هدف) می باشد. برای راحتی موقعیت رادار را در مبدا می گیریم بنابراین برد هدف از معادله (۱۳) محاسبه می شود. زاویه سمت هدف از معادله (۱۴) محاسبه می شود.

$$r(n) = \sqrt{x(n)^2 + y(n)^2} \quad (13)$$

$$\theta(n) = \tan^{-1}\left(\frac{y(n)}{x(n)}\right) \quad (14)$$



شکل ۲- نمایش پارامترها و عوامل موثر در مدل مقاله [۴]

ابتدا به بررسی معادلات نیوتن حاکم بر کشتی پرداخته تا بتوان به مدل پیشنهادی *NOMOTO* برسیم. در شکل (۲) محل قرار گیری پارامترهای ۴ درجه آزادی کشتی نمایش داده شده است. با فرض حرکت با سرعت ثابت در روی محور x کشتی (u_0) و صرف نظر از تاثیر نیروی وارده از موج به کشتی می توانیم روابط نیوتن را به صورت روابط (۵) تا (۷) بنویسیم.

$$m(\dot{v} + u_0 r) = Y_v V + Y_v \dot{V} + Y_\varphi \varphi + Y_p P + Y_{\dot{p}} \dot{P} + Y_r r + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_\delta \delta \quad (5)$$

$$I_x \ddot{\varphi} = K_p P + K_{\dot{p}} \dot{P} - mg \overline{GM} \phi + K_v V + K_{\dot{v}} \dot{V} + K_r r + K_{\dot{r}} \dot{r} + K_\delta \delta \quad (6)$$

$$I_z \ddot{\psi} = N_r r + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_\phi \phi + N_p P + N_{\dot{p}} \dot{P} + N_v V + N_{\dot{v}} \dot{V} + N_\delta \delta \quad (7)$$

پارامترهای استفاده شده در روابط (۵) تا (۷) در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۱- معرفی پارامترها

$Y_v, Y_{\dot{v}}, \dots$	ضرایب هیدرودینامیک محور <i>Sway</i>
$K_v, K_{\dot{v}}, \dots$	ضرایب هیدرودینامیک محور <i>Roll</i>
$N_v, N_{\dot{v}}, \dots$	ضرایب هیدرودینامیک محور <i>Yaw</i>
I_x, I_z	گشتاور اینرسی حول محور مورد نظر
m	جرم کشتی
v	سرعت مربوط به <i>sway</i>
u	سرعت مربوط به <i>surge</i>
r	نرخ چرخش حول <i>yaw</i>
ψ	زاویه حرکت کشتی
\overline{GM}	ارتفاع مرکز ثقل کشتی
δ	که زاویه سکان

در جدول (۱) ضرایب هیدرودینامیک بیانگر میزان تغییرات نسبت به نیروهای مشخص می باشد به عنوان مثال Y_v نشان دهنده مشتق نیروی *sway* (y) نسبت به سرعت محاسبه شده V در شرایط مرجع می باشد. با گرفتن تبدیل لاپلاس از معادلات (۵) تا (۷) و ساده سازی در نهایت به یک تابع تبدیل با ۴ قطب و ۳ صفر می رسمیم که در رابطه (۸) نمایش داده شده است.

$$\frac{r}{\delta} = \frac{K(1+T_3S)(S^2 + 2\eta\omega_0S + \omega_0^2)}{(1+T_1S)(1+T_2S)(S^2 + 2\eta\omega_nS + \omega_n^2)} \quad (8)$$

در رابطه (۸) عوامل درجه ۲ مربوط به تاثیر مسیر انحراف از رول می باشد و صفر، $(1+T_3S)$ و قطب، $(1+T_2S)$ مربوط به تاثیر حالت نوسانی بر انحراف از مسیر می باشد. برای ساده سازی بیشتر می توانیم از اثر رول صرف نظر کنیم تا به معادله درجه ۲ که در رابطه (۹) آمده است، رسید.

در روابط (۲۰)، \hat{X} حالت های سیستم، K بهره کالمن، Z مشاهده سیستم، A, B, C, G ماتریس های مشخص فضای حالت هدف است. در رابطه (۲۱) نیز روابط مربوط به، به روز رسانی زمانی است. در این رابطه $\hat{u}[n]$ بیانگر تخمین $u[n]$ است که طبق بخش قبل مقدار معلوم و برابر با $u[n]$ فرض می شود.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} & 0 \\ T & 0 \\ 0 & \frac{T^2}{2} \\ 0 & T \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$X(n+1) = AX(n) + B(U(n) + W(n)) \quad (17)$$
$$Z(n+1) \equiv CX(n) + y \quad (18)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

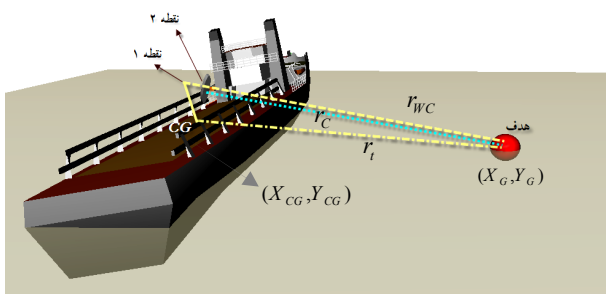
فیلتر کالمن

$$\begin{aligned}\hat{x}[n|n] &= \hat{x}[n|n-1] + K[n](Z[n] - C\hat{x}[n|n-1]) \\ M[n] &= P[n|n-1]C^T(R[n] + CP[n|n-1]C^T)^{-1}(\Upsilon \cdot) \\ P[n|n] &= (I - K[n]C)P[n|n-1] \\ \widehat{Z}[n] &= C\hat{x}[n|n]\end{aligned}$$
$$E(w(n_1)w^T(n_2)) = \begin{cases} Q(n_1) & n_1 = n_2 \\ 0 & n_1 \neq n_2 \end{cases} \quad (22)$$

$$E(v(n_1)w^T(n_2)) = \begin{pmatrix} R(n_1) & n_1 = n_2 \\ 0 & n_1 \neq n_2 \end{pmatrix} \quad (23)$$

ابتدا فرض هایی را انجام می دهیم:

۳- مرکز ثقل، کشته، و مرکز ثقل هدف در سطح مینا باشد (ارتفاع صفر).



شکل ۴- تاثیرات عدم استفاده از کنترلر و تخمین های متفاوت

۳- رادار واقع در مرکز ثقل کشته

r_C و θ_C : برد و زاویه اندازگیری شده تا هدف با سکوی پایدار

r_{WC} و θ_{WC} : برد و زاویه اندازگیری شده تا هدف بدون سکوی پایدار

θ_t و r_t : برد و زاویه واقعی تا هدف (مشاهده از مرکز ثقل)

فاصله صحیح هدف تا کشتی r_t است و موارد دیگر دارای خطاهایی در اندازه‌گیری می باشند. فاصله r_C با L برای رسیدن به r_t رابطه دارد (شکل ۵). بنابراین باید یک رابطه برای تغییر مکان آن انجام شود. فاصله r_C با ϕ و ψ برای رسیدن به r_{WC} رابطه دارد بنابراین باید یک رابطه برای تغییر مکان آن انجام شود.

بررسی موقعیت نقاط ۱ و ۲

در مدل کشتی تغییرات X و Y مربوط به تغییر مکان مرکز ثقل کشتی می باشد. بنابراین برای محاسبه موقعیت نقاط ۱ و ۲ نسبت به مرکز ثقل حساب کرد تا به تغییرات موقعیت نقاط در هر لحظه رسید. موقعیت نقطه ۱: با توجه به این که سکوی پایدار باعث می شود تا رادار همیشه به صورت موازی با سطح باشد و این نکته که رادار در مرکز ثقل کشتی قرار گرفته است، روابط (۲۴) تا (۲۶) مربوط به روابط حاکم برای محوره های (x, y, z) می باشد.

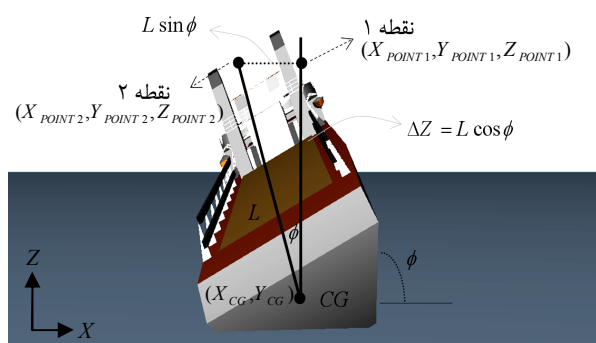
$$X_{POINT1} = X_{CG} \quad (24)$$

$$Y_{POINT1} = Y_{CG} \quad (25)$$

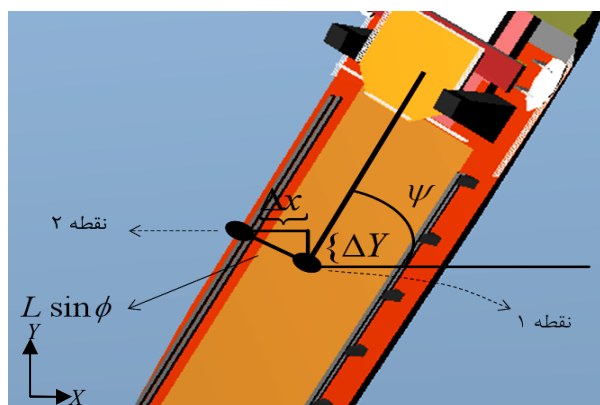
$$Z_{POINT1} = L \quad (26)$$

در روابط قبل نقطه (X_{CG}, Y_{CG}) موقعیت مرکز ثقل که حرکت ۲ بعدی را دارد نمایش می دهد. نقطه $(X_{POINT1}, Y_{POINT1}, Z_{POINT1})$ موقعیت نقطه ۱ که حرکت ۳ بعدی را دارد نمایش می دهد. بعد سوم مربوط به ارتفاع از مرکز ثقل کشتی می باشد.

موقعیت نقطه ۲: این نقطه دارای ۳ بعد می باشد که بر اثر حرکات و تغییر در موقعیت های ϕ و ψ موقعیت رادار تغییر می کند. برای محاسبه موقعیت نقطه ۲ از روابط هندسی که در شکل (۵) و (۶) به کار رفته است استفاده می شود.



شکل ۵- وضعیت کشتی از دید محوره های X و Z



شکل ۶- وضعیت کشتی از دید محوره های X و Y

با انجام محاسبات پارامترهای ΔX , ΔY و ΔZ به صورت روابط (۲۷) تا (۲۹) نشان داده شده است.

$$\Delta X = L \sin \phi \sin \psi \quad (27)$$

$$\Delta Y = L \sin \phi \cos \psi \quad (28)$$

$$\Delta Z = L \cos \phi \quad (29)$$

یا کمک پارامترهای قبل می توان موقعیت نقطه ۲ را از مرکز ثقل کشتی به صورت روابط (۳۰) تا (۳۲) نوشت.

$$X_{POINT2} = X_{CG} - \Delta X \quad (30)$$

$$Y_{POINT1} = Y_{CG} + \Delta Y \quad (31)$$

$$Z_{POINT1} = \Delta L \quad (32)$$

محاسبه r و θ

در این بخش به محاسبه برد و زاویه سمت هدف از ۳ نقطه، مرکز ثقل و نقاط ۱ و ۲ کشتی می پردازیم تا به تفاوت های بین این طول ها برسیم.

مرکز ثقل: فاصله این نقطه به صورت ۲ بعدی می باشد. فاصله و زاویه محاسبه از این نقطه به صورت رابطه (۳۳) و (۳۴) می باشد.

$$r_t = \sqrt{(X_{CG} - X_G)^2 + (Y_{CG} - Y_G)^2} \quad (33)$$

$$\theta_t = \tan^{-1} \frac{Y_{CG} - Y_G}{X_{CG} - X_G} \quad (34)$$

در روابط قبل نقطه (X_G, Y_G) به عنوان مختصات کارترین هدف به کار رفته است.

نقطه ۱: فاصله این نقطه به صورت ۳ بعدی می باشد. فاصله و زاویه محاسبه از این نقطه به صورت رابطه (۳۵) و (۳۶) می باشد.

$$r_c = \sqrt{(X_{POINT1} - X_G)^2 + (Y_{POINT1} - Y_G)^2 + Z_{POINT1}^2} \quad (35)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \frac{Y_{POINT1} - Y_G}{X_{POINT1} - X_G} \quad (36)$$

با مقایسه روابط (۳۳) و (۳۴) با روابط (۲۴) تا (۲۶) به رابطه (۳۷) که بیانگر رابطه بین فاصله و زاویه، مرکز ثقل و نقطه ۱ است می رسیم.

$$r_c = \sqrt{r_t^2 + L^2} \quad (37)$$

$$\theta_c = \theta_t$$

نقطه ۲: فاصله این نقطه به صورت ۳ بعدی می باشد. فاصله و زاویه محاسبه از این نقطه به صورت رابطه (۳۸) و (۳۹) می باشد.

$$r_{WC} = \sqrt{(X_{POINT2} - X_G)^2 + (Y_{POINT2} - Y_G)^2 + Z_{POINT2}^2} \quad (38)$$

$$\theta_{WC} = \tan^{-1} \frac{Y_{POINT2} - Y_G}{X_{POINT2} - X_G} \quad (39)$$

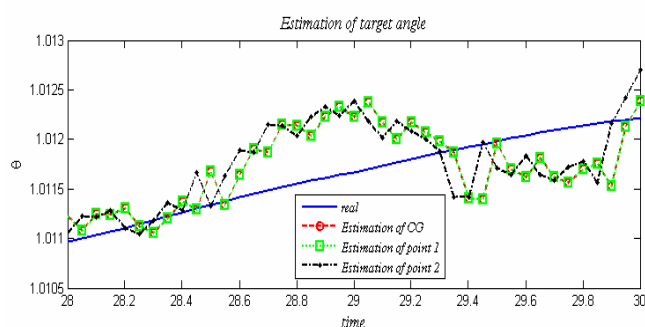
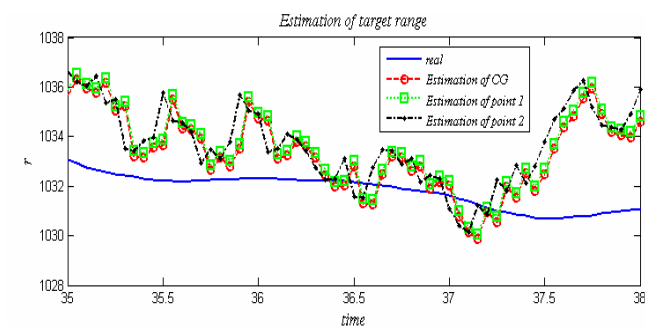
با مقایسه روابط (۳۸) و (۳۹) با روابط (۳۰) تا (۳۲) به رابطه (۴۰) که بیانگر رابطه بین فاصله نقطه ۱ و نقطه ۲ است، می رسیم.

$$r_{WC} = \sqrt{r_c^2 + \Delta r} \quad (40)$$

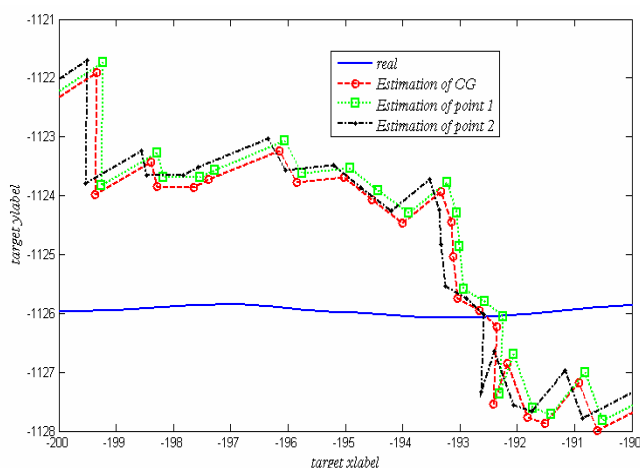
$$\Delta r = 2L \sin \phi [\cos \psi (Y_{CG} - Y_G) - \sin \psi (X_{CG} - X_G)]$$

رابطه بین زاویه نقطه ۱ و نقطه ۲ به سختی حاصل می شود ولی می توان با توجه به زاویه نقطه ۲ در شرایطی به زاویه نقطه ۱ رسید. رابطه (۴۱) ادامه رابطه (۳۹) می باشد.

$$\theta_{WC} = \tan^{-1} \frac{Y_{CG} + L \sin \phi \cos \psi - Y_G}{X_{CG} - L \sin \phi \sin \psi - X_G} \quad (41)$$

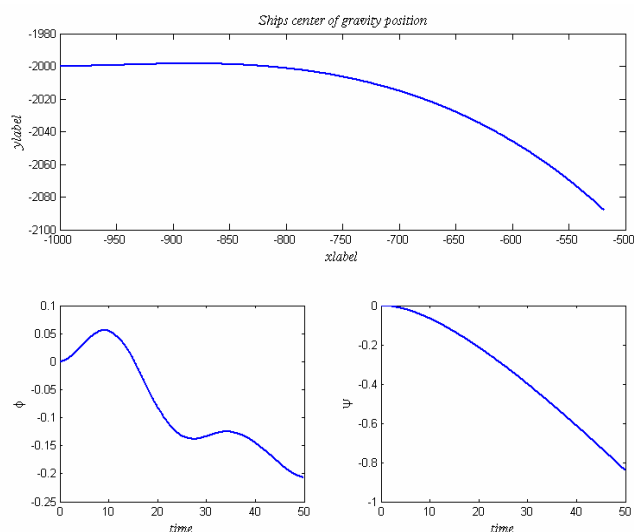


شکل ۸- نمودار تخمین r و θ در واحد زمان



شکل ۹- نمودار تغییرات موقعیت هدف در محور X و Y

نتایج شبیه سازی برای سناریو ۲



شکل ۱۰- الف- موقعیت کشتی ب- تغییرات ϕ ج- تغییرات ψ در واحد زمان

با توجه به رابطه (۴۰) در صورتی فاصله دو نقطه ۱ و ۲ با هم برابر خواهند بود که رابطه (۴۲) صدق کند.

$$\tan \psi = \frac{Y_{CG} - Y_G}{X_{CG} - X_G} \quad (42)$$

برای برابر بودن زاویه ها نیز $\sin \phi = 0$ باشد.

بررسی تخمین از ۳ نقطه

در تخمین این ۳ نقطه تنها تفاوت تخمین ها در مشاهده r و θ می باشد و روابط تخمین برای تمام نقاط یکسان می باشد. بهترین مشاهده و تخمین از مرکز ثقل کشتی است و تخمین های دیگر دارای خطا نسبت به تخمین مرکز ثقل می باشند. برای یافتن تخمین های مناسب از نقاط دیگر باید این بردها و زوایه ها به مرکز ثقل انتقال یابند مثلاً برای تبدیل برد با توجه به رابطه (۳۷) برد نقطه ۱ که مشاهده از سکوی پایدار است به مشاهده از مرکز ثقل کشتی تبدیل می شود. این رابطه به صورت رابطه (۴۳) قابل بیان است.

$$r_i = \sqrt{r_c^2 - L^2} \quad (43)$$

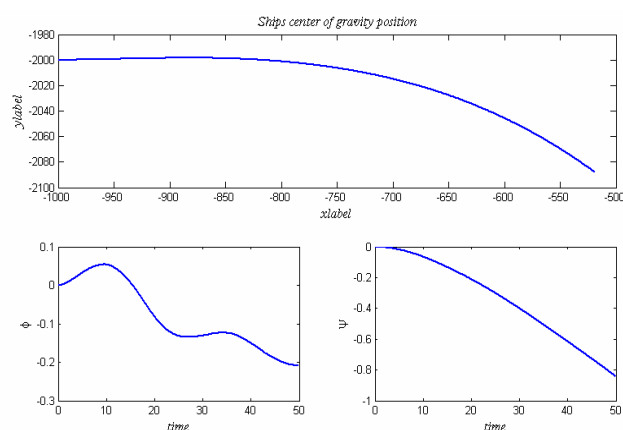
در این رابطه با توجه به این نکته که L پارامتری مشخص است می توان به راحتی این تبدیل را انجام داد. زاویه سمت هدف این نقطه با نقطه مرکز ثقل برابر بوده و نیاز به تبدیل نیست. با توجه به رابطه (۴۳) اگر $r_i \gg L$ دیگر نیازی به تابع تبدیل نیست چون برد سکوی پایدار به سمت برد از دید مرکز ثقل می رود. برای نقطه ۲ با توجه به رابطه (۴۰) نمی توان به راحتی این تابع تبدیل را یافت زیرا برد نقطه ۲ پارامترهای مشخصی بستگی ندارد و این امر باعث غیرخطی شدن رابطه می شود بنابراین شرایطی را می یابیم تا نتایج مشاهده ها به هم نزدیک شوند. برای این که مشاهده برد نقطه ۲ به مشاهده برد نقطه ۱ برسد باید مسیر حرکت کشتی به نحوی باشد که در رابطه (۴۲) صدق کند. برای زاویه سمت هدف نیز باید $\sin \phi \approx 0$ یعنی لرزشی وجود نداشته باشد. برای تبدیل به برد و زاویه سمت هدف از مرکز ثقل با توجه به شرایط بالا از رابطه (۴۳) می توان به عنوان تابع تبدیل مورد نظر استفاده کرد. در صورتی که r_i به نحوی باشد که L روی آن تاثیر گذار شود. در صورت بروز شرایط خاص به عنوان مثال اگر $\sin \phi < 0$ باشد باعث کاهش r شده که این امر منجر به بهبود مشاهده نقطه ۲ از نقطه ۱ می شود.

شبیه سازی

در شبیه سازی مانور هدف کم فرض شده است و نتایج بر اساس دو سناریو زیر طراحی شده است.

$$r_{CG} \gg L - 2 \quad (44)$$

نتایج شبیه سازی برای سناریو ۱



شکل ۱۱- الف- موقعیت کشتی ب- تغییرات ϕ ج- تغییرات ψ در واحد زمان

جدول ۳ - خطاهای تخمین برای سناریو ۲

موقعیت رادار	محور r	محور $\theta \times 10^{-3}$
مرکز ثقل	۷,۹۵۳۲	۱,۱۰۲۸
نقطه ۱	۷,۹۸۳۷	۱,۱۰۲۸
نقطه ۲	۸,۰۳۶۱	۱,۶۹۳۱

نتیجه گیری:

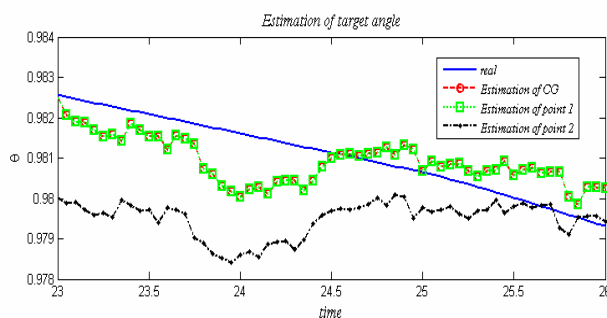
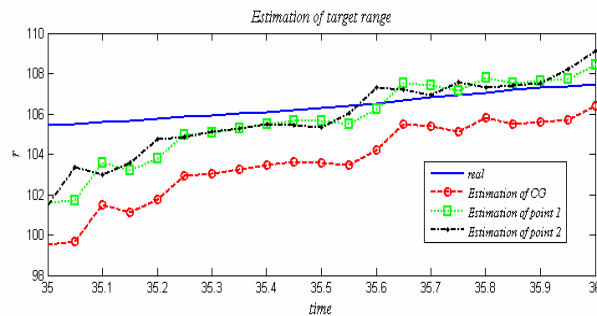
با توجه به نتایج خطاها و نتایج شبیه سازی ملاحظه می شود که هر چه میزان فاصله زیاد باشد اثر عامل تاثیر گذاری که ناشی از ارتفاع و حرکت کشتی می باشد کمتر دیده می شود و در نتیجه خطا کاهش می یابد ولی هر چه فاصله کاهش یابد اثر این عامل در مشاهده بیشتر دیده شده و خطا افزایش پیدا می کند.

مراجع:

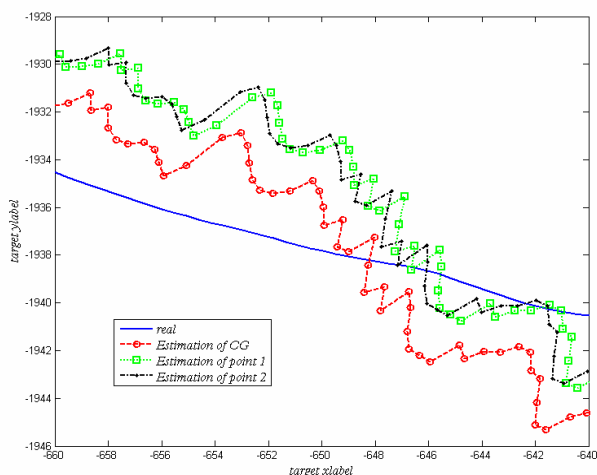
- [1] Emanuele Grossi, Marco Lops, Luca Venturino, "Min-max waveform design for MIMO radars under unknown correlation of the target scattering", *Signal Processing* 92 (2012) 1550–1558 Elsevier
- [2] Wen-Qin Wang, Jingye Cai, Qicong Peng, "Conceptual design of near-space synthetic aperture radar for high-resolution and wide-swath imaging", *Aerospace Science and Technology* 13 (2009) 340–347
- [3] J.H. VanZwieten Jr, F.R. Driscoll, T.S. VanZwieten, S.P. Marikle, "Development of an adaptive disturbance rejection system for the rapidly deployable stable platform-part 1: Mathematical modeling and open loop response", *Ocean Engineering* 37 (2010) 833–846
- [4] Blanke, M. and A. Christensen, "Rudder roll dumping autopilot robustness to sway-yaw-roll couplings", *Proceedings of 10th SCSS, Ottawa, Canada pp. 93–119.*
- [5] Ching-Yaw Tzeng, Ju-Fen Chen, "Fundamental Properties of Linear Ship Steering Dynamic Models", *Journal of Marine Science and Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 79-88 (1999)*
- [6] Mohamad Hasan Bahari, Ali Karsaz and Naser Pariz, "High Maneuvering Target Tracking Using a Novel Hybrid Kalman Filter-Fuzzy Logic Architecture", *Information and Control ICIC International Volume 6, Number 5, May 2010, ISSN 1349-4198*
- [7] A.Karsaz, H.Khaloozade, N.Parize and Peiravi, "Optimal Partitioned State Kalman Estimator for Maneuvering Target Tracking in Mixed Coordinates", *Journal of Applied Sciences* 8 (20), 2008 *Asian Network for Scientific Information*

[۸] صادق فاضل و محمد حسن محمدیان، "شبیه سازی، آنالیز خطا و بهینه سازی عملکرد فیلتر کالمن یک نوع رادار ردیاب"، سیزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران ۱۳۸۴

[9] Grimbale, M.J., Robust Industrial Control: Optimal Design Approach for Polynomial Systems, Prentice Hall, 1994, p. 261 and pp. 443-456



شکل ۱۱- نمودار تخمین r و θ در واحد زمان



شکل ۱۲- نمودار تغییرات موقعیت هدف در محور X و Y

نتایج خطاها:

برای ارزیابی میزان خطای فیلتر از معیار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) که در رابطه (۴۴) مشخص شده، استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(i) - Z_{Real}(i))^2} \quad (44)$$

برای هر محور به صورت مجزا باید از این رابطه استفاده شود. در رابطه (۴۴)، $\hat{Z}(i)$ تخمین در نمونه i توسط هر کدام از موقعیت رادارها می باشد و $Z_{Real}(i)$ موقعیت واقعی هدف در نمونه i می باشد.

جدول ۲ - خطاهای تخمین برای سناریو ۱

موقعیت رادار	محور r	محور $\theta \times 10^{-3}$
مرکز ثقل	۵,۲۱۸۵	۱,۱۲۸۵
نقطه ۱	۵,۱۹۷۲	۱,۱۲۸۵
نقطه ۲	۵,۱۹۱۲	۱,۱۳۹۱