

پایدارسازی تصویری در حل معادلات سینماتیک و کاهش منطقه مرده موتورها در کنترل کننده‌ها

دکتر مهرزاد نصیریان^۱

چکیده

پایدارسازی تصویری یکی از مهمترین قسمت‌ها در ردگیری هدف بصورت ثابت در تجهیزات مختلف که دارای بدنه متحرک هستند می‌باشد. در این مقاله یک روش ارایه شده است که از آن در حل معادلات سینماتیک معکوس در کسب زوایای جبران کننده بدنه متحرک برای ردگیری ثابت یک منظر خاص استفاده می‌شود. در ضمن علاوه بر استفاده از روش شناسایی سامانه در تعیین دینامیک مدل موتورها، کنترل کننده‌های مربوطه بصورتی طراحی می‌گردند که در حداقل زمان و حداقل خطای حالت دائم عمل ردگیری را انجام دهند. همچنین از یک روش تکنیکی برای از بین بردن مسئله منطقه مرده کارکرد موتورها و لنگی چرخ دهنده‌ها برای عملکرد صحیح ردگیری بهره گرفته شده است. در نهایت نتایج بر روی یک مدل عملی مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج مطلوبی بدست آمده است.

کلید واژه

معادلات سینماتیک، پایدارسازی تصویری، کنترل کننده، ژيروسکوپ، منطقه مرده

۱. دانشگاه صنعتی مالک اشتر m_nasirir@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱/۱۵

مقدمه

پایدارسازها دارای کاربردهای گسترده ای هستند از آنجمله در تی وی پریسکوپ زیردریاییها ، نشانگرهای هدف در ناوها و در کلیه وسایل متحرک که نیاز به یک دید ثابت در حین حرکت از یک منطقه خاص دارند مورد نیاز می‌باشند. هر چقدر که تصویر مورد مشاهده اپراتور از وسیله متحرک دارای تثبیت و عدم حرکت و نوسان و لرزش کمتر باشد پردازش اطلاعات از داده‌های مشاهده دارای صحت و دقت و ارزش بالاتری در کاربردهای عملی خواهد بود. برای انجام این روش بطور متداول از ژيروسکوپها و تثبیت کننده های پایه بصورت دمپ حرکات امواج آب استفاده می شود [۱،۲،۳]. تاکنون در کشور در این زمینه کار تحقیقاتی صورت نگرفته است و این کار اولین تجربه موفق در این زمینه است. در این مقاله به بررسی و حل معادلات سینماتیک معکوس بمنظور تبدیل دو چرخش کادری ناخواسته (متناسب با حرکت وسیله نقلیه که مشاهده‌گر بر روی آن نسب شده) و جبران آن بتوسط سه چرخش تحت کنترل برای تثبیت هدف پرداخته می‌شود. این پایدارساز دارای یک مرکز کنترل می‌باشد که با توجه به فرمانهای ورودی، فرمانهای کنترلی لازم را برای جبران نوسانات تولید می‌کند. این فرمانهای کنترلی در نهایت به سه موتور که دارای سه چرخش عمود بر هم هستند و مشاهده‌گر بر روی آن قرار دارد منتقل شده و در نهایت سبب تثبیت تصویر مشاهده‌گر می‌گردند. میزان دقت اجرای فرامین صادر شده به میزان دقت کنترل‌کننده‌های این سه موتور بستگی دارد در این مقاله چگونگی طراحی کنترل‌کننده و نحوه برخورد با مسئله منطقه مرده ۱ و لنگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. طراحی کنترل‌کننده مربوط به هر موتور در چهار مرحله انجام می‌گیرد.

۱- در آوردن مدل تک تک موتورها به روش شناسایی سامانه

۲- طراحی کنترل‌کننده مربوط به هر مدل با خصوصیت حداقل خطای حالت دائم در سریعترین زمان ممکن

۳- حل مسئله منطقه مرده و لنگی و کنترل غیرخطی

۴- شبیه‌سازی رایانه ای و عملی به منظور بررسی عملکرد طراحی .

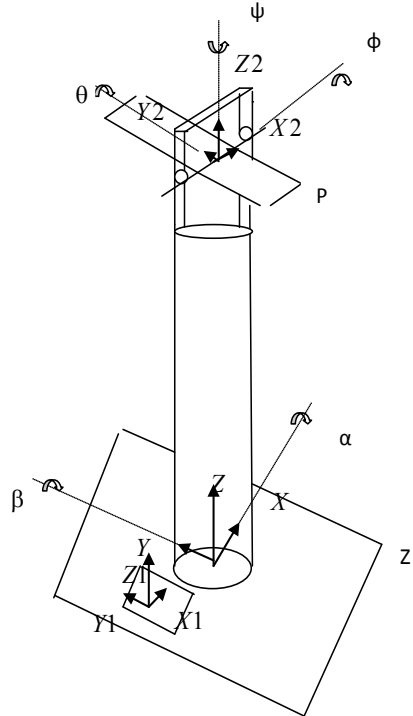
۱- طراحی پایدارساز

۱-۱- صورت مسئله:

شکل فیزیکی یک پایدارساز ، مطابق شکل (۱) است همانطور که دیده می‌شود این مدل پایدارساز دارای ۵ درجه آزادی حرکت می‌باشد که حرکت امواج آب توسط چرخش دو زاویه α ، β پیاده سازی گردیده است (در عمل این کار توسط دو موتور صورت می‌پذیرد که صفحه نگهدارنده دکل است را حول دو محور X_1 ، Y_1 می‌چرخانند). از طرف دیگر توسط سه موتور دیگر که به ترتیب بر

روی یکدیگر سوار شده‌اند صفحه P را که نماینده مشاهده‌گر است را حول سه محور x_2, y_2, z_2 می‌چرخانند. چرخشهای حول محور x_2, y_2, z_2 با اختیار و توسط لوپهای کنترل شونده بطور دقیق صورت می‌پذیرند. ولی چرخشهای حول دو محور x_1, y_1 غیر اختیاری و بصورت تصادفی بمنظور شبیه‌سازی حرکت نوسانات بدنه متحرک می‌باشند [۴].

1. Backlash



شکل ۱. نمایش مدل پایدارساز به‌مراه شمای ۵ درجه آزادی زوایا (α, β) نوسانات آب و Φ, θ, ψ حرکات کنترلی موتور برای جبران نوسانات آب است

همانطور که در شکل دیده می‌شوند محورهای مختصات بصورت متعامد یکه و چرخشها حول محورها بصورت راستگرد در نظر گرفته شده‌اند. در ضمن هر ۵ زاویه اطلاعات آنها توسط حساسه‌های مربوطه بر حسب درجه خوانده می‌شوند و در دسترس هستند.

۱-۲- هدف

می‌خواهیم در هر لحظه کادر تصویری که توسط مشاهده‌گر از طریق یک دوربین مشاهده می‌گردد بصورت ثابت و بدون توجه به حرکت وسیله متحرک (چرخش حول محورهای X_1, Y_1) ثابت مانده و مشاهده گردد. به زبان ریاضی دو چرخش حول X_1, Y_1 (α, β) توسط سه چرخش حول محورهای x_2, y_2, z_2 (ϕ, θ, ψ) طوری جبران گردند که همواره نمای تصویر از دید آینه ثابت باشد [۴].

۱-۳- مدلسازی

برای مدلسازی فرض می‌کنیم ابتدا کلیه $\alpha, \beta, \phi, \theta, \psi$ در موقعیت صفر خود قرار گرفته باشند در این حالت محورهای هر سه دسته مختصات بطور موازی با هم قرار خواهند داشت. در صورتیکه فرض کنیم کلیه سه دسته مختصات $x_1y_1z_1, x_2y_2z_2, xyz$ بر روی همدیگر منطبق‌اند و مرکز آنها را نقطه O فرض کنیم بطریق زیر می‌توان مسئله را شبیه‌سازی کرد. با توجه به اینکه در عمل موتور محور رول بر روی موتور محور پیچ قرار گرفته است و موتور محور پیچ بر روی موتور محور یابو قرار گرفته است و موتور محور یابو بر روی صفحه نگهدارنده Z قرار گرفته است که چرخش خود آن هم می‌توان به صورت چرخش دو موتور روی هم سوار که حول محورهای X_1, Y_1 می‌چرخند تصور کرد، پس هر حرکت تصادفی مشاهده‌گر می‌تواند توسط δ چرخش متوالی حول محورهای متغیر دستگاه مختصات چرخنده نسبت به وضعیت صفر آن بصورت زیر می‌باشد. در مرحله بعد کافی است ماتریس دوران معادل این δ دوران متوالی را با بعد 3×3 بدست آورد و سپس با توجه به اینکه آزادی عمل ما در جبران زوایا توسط سه زاویه صورت می‌پذیرد آن را تبدیل به یک ماتریس دوران معادل 3×3 دوران متوالی با بعد 3×3 کرد. بعد از انجام این کار برای عمل پایدار سازی کافی است در هر لحظه از زمان سه زاویه معادل کادر پایدار شونده را بدست آورد (زوایای اوپلر) و سپس سه زاویه معادل وضعیت فعلی کادر را اندازه گیری کرد. پس از انجام این کار تفاضل این دو دسته زوایا، خطاهای زوایا خواهند بود که بمنظور عمل تصحیح برای تثبیت کادر پایدار شونده مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

۱-۴- عملیات ریاضی

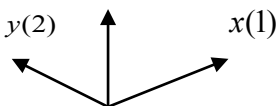
با توجه به اینکه وضعیت فعلی آینه ناشی از δ چرخش راستگرد حول محورهای متغیر بطور متوالی بوده‌است. باید بصورت نظریه δ چرخش چپگرد بطور برعکس حول محورهای متغیر صورت پذیرد تا کادر رویت شونده مطابق وضعیت اولیه خود دیده شود. این چرخشها در ماتریس معادل زیر به‌مراه ترتیب ضرب شونده می‌گردند

$$\gamma_2 \rightarrow \alpha_1 \rightarrow \psi_3 \rightarrow \phi_1 \rightarrow \theta_2 \equiv \text{چرخش راستگرد} \quad (1)$$

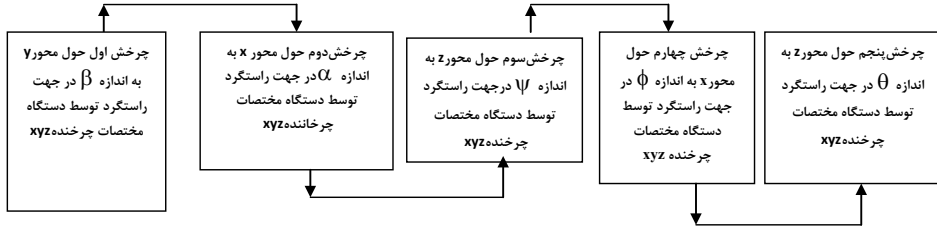
$$\gamma_2 \leftarrow \alpha_1 \leftarrow \psi_3 \leftarrow \phi_1 \leftarrow \theta_2 \equiv \text{چرخش چپگرد}$$

$$z(3)$$

ترتیب چرخش پشت سرهم بطور برعکس



$$\theta_2 \rightarrow \phi_1 \rightarrow \psi_3 \rightarrow \alpha_1 \rightarrow \gamma_2 \quad (2)$$



منظور از چرخش حول محور Y_2 بصورت چپگرد است.

$${}^f_c A_5 = \begin{bmatrix} c\gamma & 0 & s\gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ s\bar{\gamma} & 0 & c\gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha & s\bar{\alpha} \\ 0 & s\alpha & c\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\psi & s\bar{\psi} & 0 \\ s\psi & s\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\phi & s\bar{\phi} \\ 0 & s\phi & c\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\theta & 0 & s\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ s\bar{\theta} & 0 & c\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_2 & c_2 & c_3 \\ c_3 & c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$${}^f_c A_5 = \begin{bmatrix} c\gamma & s\gamma s\alpha & s\gamma c\alpha \\ 0 & c\alpha & s\bar{\alpha} \\ s\bar{\gamma} & c\gamma s\alpha & c\gamma c\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\psi c\theta + s\bar{\psi} s\bar{\phi} s\bar{\theta} & s\bar{\psi} c\phi & c\psi s\theta + s\bar{\psi} s\bar{\phi} c\theta \\ s\psi c\theta + c\psi s\bar{\phi} s\bar{\theta} & c\psi c\phi & s\psi s\theta + c\psi s\bar{\phi} c\theta \\ c\phi s\bar{\theta} & s\phi & c\phi c\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 \\ c_2 & c_2 & c_3 \\ c_3 & c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$${}^f_c A_3 = \begin{bmatrix} c\psi c\theta + s\bar{\psi} s\bar{\phi} s\bar{\theta} & s\bar{\psi} c\phi & c\psi s\theta + s\bar{\psi} s\bar{\phi} c\theta \\ s\psi c\theta + c\psi s\bar{\phi} s\bar{\theta} & c\psi c\phi & s\psi s\theta + c\psi s\bar{\phi} c\theta \\ c\phi s\bar{\theta} & s\phi & c\phi c\theta \end{bmatrix}$$

$${}^f_c A_5 = \begin{cases} c_1 = c\gamma c\psi c\theta + c\gamma s\bar{\psi} s\bar{\phi} s\bar{\theta} + s\gamma s\alpha s\psi c\theta + s\gamma s\alpha c\psi s\bar{\phi} s\bar{\theta} + s\gamma c\alpha c\phi s\bar{\theta} \\ c_2 = c\alpha s\psi c\theta + c\alpha c\psi s\bar{\phi} s\bar{\theta} + s\bar{\alpha} c\phi s\bar{\theta} \\ c_3 = s\bar{\gamma} c\psi c\theta + s\bar{\gamma} s\bar{\psi} s\bar{\phi} s\bar{\theta} + c\gamma s\alpha s\psi c\theta + c\gamma s\alpha c\psi s\bar{\phi} s\bar{\theta} + c\gamma c\alpha c\phi s\bar{\theta} \end{cases} \quad (3)$$

$${}^f_c A_5 \begin{cases} c_2 = c\gamma s\bar{\psi} c\phi + s\gamma s\alpha c\psi c\theta + s\gamma c\alpha s\phi \\ c_2 = c\alpha c\psi c\theta + s\bar{\alpha} c\phi s\bar{\theta} \\ c_3 = s\bar{\gamma} s\bar{\psi} c\phi + c\gamma s\alpha c\psi c\theta + c\gamma c\alpha s\phi \end{cases}$$

$${}^f_c A_5 = \begin{cases} c_3 = c\gamma c\psi s\theta + c\gamma s\bar{\psi} s\bar{\phi} c\theta + s\gamma s\alpha s\psi s\theta + s\gamma s\alpha c\psi s\bar{\phi} c\theta + s\gamma c\alpha c\phi c\theta \\ c_3 = c\alpha s\psi s\theta + c\alpha c\psi s\bar{\phi} c\theta + s\bar{\alpha} c\phi c\theta \\ c_3 = s\bar{\gamma} c\psi s\theta + s\bar{\gamma} s\bar{\psi} s\bar{\phi} c\theta + c\gamma s\alpha s\psi s\theta + c\gamma s\alpha c\psi s\bar{\phi} c\theta + c\gamma c\alpha c\phi c\theta \end{cases}$$

$$\phi = \sin^{-1} c_3, \quad \theta = -\tan^{-1} \frac{c_3}{c_3}, \quad \psi = -\tan^{-1} \frac{c_2}{c_2}$$

زوایای معادل چرخش ۳ تایی از چرخش ۵ تایی در رابطه (۳) آورده شده‌است. فهم این چرخش معادل ۳ تایی از چرخش معادل ۵ تایی از روی ماتریس قابل درک است و دلیل آن اینست که ضرب ماتریسهای متعامد یک‌ه‌خود متعامد یک‌ه‌است و کلیه خواص را نگه می‌دارد. سه زاویه اولبری (ψ, θ, ϕ) که از این ماتریس 3×3 بدست می‌آید زوایای کنترلی برای جبران چرخش نوسانات آب می‌باشد.

اما لازم به ذکر است که توضیح داده شده بعلت اینکه ما در حل معادلات سینماتیک از فرض هم مرکز بودن دستگاه مختصات اینرسی (لحظه صفر) و دستگاه مختصات متحرک استفاده کردیم و در عمل اینچنین نیست و دارای مقداری خطا در پایدار سازی می‌باشیم که در کارهای تحقیقاتی آینده می‌توان با افستهای این خطا را از بین برد. اما غیر از این خطا خطاهای دیگری هم در سامانه موجود است (مثل خطای مکانیکی، خطای عدم دقت خواندن زوایا و ...) که آنها هم منابع خطا هستند و در کارهای تحقیقاتی آینده باید با ترفندهای مخصوص خود بر طرف گردند. نتایج حاصل از این روش بر روی یک سامانه نمونه عملی مورد آزمایش قرار گرفته است و ردگیری با دقت ۰.۱ درجه بدست آمده است [۴,۱۱].

۲) کنترل کننده‌های موقعیت و سرعت موتور DC

۲-۱) ایده اساسی در حل مسئله

برای ردیابی دقیق و کامل در حداقل زمان نشست و حداقل خطای حالت دائم توسط مشاهده‌گر نیاز به طراحی کنترل کننده‌های دیجیتال سرعت و موقعیت با دقت بالا است. طراحی کنترل کننده‌ها در سه محور رول، پیچ، یاو شامل مراحل زیر می‌باشد.

۱- در آوردن مدل تک‌تک موتورهای سه محور رول، پیچ، یاو با روش شناسایی سامانه

۲- طراحی کنترل کننده مربوط به هر مدل با خصوصیت حداقل خطای حالت دائم در سریعترین زمان ممکن

۳- حل مسئله منطقه مرده موتور، ولنگی و مسئله کنترل غیرخطی

۴- شبیه‌سازی کامپیوتری به منظور بررسی نتایج و اعمال کنترل کننده‌ها به سامانه واقعی

باید توجه داشت که مدل موتورها با بارهای روی آنها بصورت یک پروسه غیرخطی است. یکی از راهکارهای برخورد با این مسئله طراحی مدل خطی پروسه در نقطه کار و سپس طراحی کنترل کننده مناسب با آن پروسه خطی است و در انتها اعمال کنترل کننده طراحی شده به پروسه غیرخطی واقعی است این کار در عمل صورت گرفته و کنترل کننده‌های تا دقت ۰/۰۱ درجه برای یک مدل نمونه بدست آمده است. در اینجا از روش RLS برای شناسایی مدل استفاده گردیده است و کنترل کننده‌های دیجیتال بر اساس حداقل زمان نشست برای ورودی پله طراحی گردیده‌اند. البته اگر برای ورودی شیب کنترل کننده‌ها طراحی کردند نتایج بهتری حاصل می‌گردد [۵,۶,۷].

در طراحی فرآیند از ورودی پایایی یک موج مربعی با حداقل فرکانسی که خروجی بتواند یک جواب شبه مربعی که قابلیت پاسخ دهی و نمایش تاخیر را در خود داشته باشد استفاده شده است. پایین

آوردن فرکانس از بالا به پایین تا اینکه خروجی قابلیت پاسخ دهی برای نمایش تاخیر را داشته باشد یک شرط اساسی در این روش است. در شناسایی از ورودی ولتاژ و خروجی سرعت استفاده شده است در نمونه زیر دنباله داده‌های ورودی و خروجی به هر موتور از یک آزمایش در ابتدا بدست آورده می‌شود و سپس با نسبت دادن ساختار مدل زیر به فرآیند به شناسایی آن پرداخته می‌شود.

$$y(k)+a_1y(k-1)+a_2y(k-2)=b_0u(k)+b_1u(k-1)+b_2u(k-2) \quad (4)$$

$$\theta = (a_1 \ a_2 \ b_0 \ b_1 \ b_2)$$

$$y(t) = -a_1y(t-1) - a_2y(t-2) + b_0u(t) + b_1u(t-1) + b_2u(t-2) + e(t)$$

$$\varphi(t) = (-y(t-1) \ -y(t-2) \ u(t) \ u(t-1) \ u(t-2))^T$$

$$\hat{\Theta}_t = \arg \min \sum_{k=1}^t \beta(t,k)[y(t) - \varphi^T(t)\Theta]^2$$

$$\beta(t,k) = \lambda(t)\beta(t-1,k), \dots, 1 \leq k \leq t-1$$

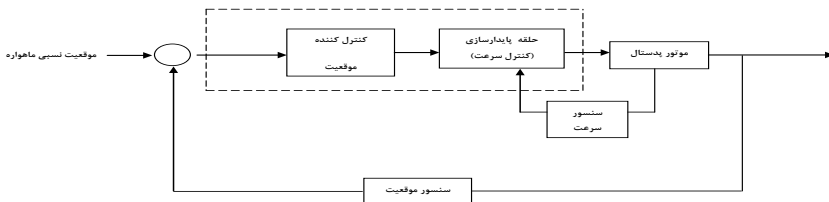
$$\beta(t,t) = 1, \beta(t,k) = \prod_{j=k+1}^t \lambda(j), 0 < \lambda < 1$$

$$\hat{\Theta}(t) = \hat{\Theta}(t-1) + L(t)[y(t) - \varphi^T(t)\hat{\Theta}(t-1)] \quad (5)$$

$$L(t) = \frac{P(t-1)\varphi(t)}{\lambda(t) + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t)}$$

$$P(t) = \frac{1}{\lambda(t)} \left[P(t-1) - \frac{P(t-1)\varphi(t)\varphi^T(t)P(t-1)}{\lambda(t) + \varphi^T(t)P(t-1)\varphi(t)} \right]$$

بردار پارامترها و بردار رگرسیون و روش RLS را زیر در نظر گرفته شده است [۸,۹,۱۰]. مدل حلقه کنترل بصورت زیر می باشد. مدلی که برای موتور از روابط شناسای ذکر شده بدست آمده P(z) و نیز مدل کنترل کننده دیجیتال مربوطه K(z) مطابق روابط زیر است



شکل ۲. بلوک دیاگرام مدار کنترلی

$$P(z) = \frac{-.000193(1 + 2.1306z^{-1})(1 + .028305z^{-1})z^{-1}}{(1 - z^{-1})(1 + .066553z^{-1})(1 - .064903z^{-1})} \quad (6)$$

$$K(z) = \frac{-(1 - .4678z^{-1} + .11889z^{-2})}{(1 - .112287z^{-1} + .78z^{-2})}$$

۲-۲) مسئله منطقه مرده موتور ولنگی و مسئله کنترل غیرخطی

با توجه به اینکه موتورها دارای یک منطقه مرده برای حس ولتاژ ورودی به آنها هستند (کنترل غیرخطی) لذا فرمانهای که از طرف کنترل کننده به آنها اعمال می شود بطور صحیح اجرا نمی گردند و این خود سبب پایین آمدن دقت کارکرد کل سامانه حلقه بسته می شود. برای از بین بردن این معضل این ابتکار تکنیکی بخرج داده می شود که بطریق تکنیکی

$$\begin{aligned} IF \dots |UP| < deadzone \dots and \dots UP > 0 \dots \rightarrow UP = 2048 + \min up \\ IF \dots |UP| < deadzone \dots and \dots UP < 0 \dots \rightarrow UP = 2048 - \min down \end{aligned} \quad (7)$$

همواره موتورها را در آستانه کارکرد قرار می دهند. با اجرای دو حلقه IF زیر می توان این کار را کرد و منطقه مرده را حداقل امکان حذف نمود. باید توجه داشت که حذف منطقه مرده بطور کاملاً مستقیم باعث تصحیح خطای حالت دائم می شود. (لنگی ناشی از فاصله هوایی بین دو دندانه، چرخ دندانه های درگیر نیز از عوامل ایجاد خطای حالت دائم است).

در روابط بالا ولتاژ دیجیتال ۲۰۴۸ نقطه صفر کارکرد موتورها است و UP ولتاژ ورودی به موتورها است. ایده جدیدی که در بالا پیشنهاد شده است اینست که در صورتی که ولتاژ ورودی به پروسه چه از لحاظ مثبت و چه از لحاظ منفی در داخل منطقه مرده قرار بگیرد ولتاژ ورودی به موتور طوری تصحیح می گردد که مینیمم ولتاژ قابل حس به موتور برای آن اعمال گردد، یعنی همواره موتورها به ازای ولتاژهای کم در آستانه حرکت قرار می گیرند. بهر حال اجرای این ایده بطور نسبی در عمل موفقیت آمیز بوده و بنظر می رسد استفاده از الگوریتمهای هوشمند در اعمال ولتاژ بهینه به موتور و وارد کردن روابط غیرخطی پروسه و کنترل کننده بتوانند در کسب نتایجی با دقت بالاتر کارساز باشد. که این کار جزو راهکارهای ادامه این طرح تحقیقاتی خواهد بود [۴].

۳) جمع بندی

در این مقاله علاوه بر ارائه دادن یک روش ابتکاری در تثبیت منظر دید تلسکوپ تی وی پریسکپ زیردریایی در مقابل حرکت های موجی آب، همچنین با روشهای کلاسیک شناسای سامانه و کنترل

کننده های دیجیتال، کنترل کننده های سه موتور تثبیت حرکت درجه‌تهای رول و پیچ و یاو برای ردگیری طراحی شده است. نهایتاً این متد بر روی یک سامانه واقعی ساخته شده در دانشگاه مالک اشتر آزمایش شده و نتایج آن مورد تایید قرار گرفته است.

مراجع

- 1.Hilton, J. L., Hohenkerk, C. Y. , " Rotation Matrix from the Mean Dynamical Equator and Equinox at J2000.0 to the ICRS ", Astronomy and Astrophysics, Vol. 413, pp. 765-770, 2004.
- 2.J. Nobari Haierani, " Inertia Navigation Systems ", published on K.N.T.U University, IRAN, 2003.
- 3.Kaplan, G. H., " Another Look at Non-Rotating Origins", submitted to proceedings of IAU XXV Joint Discussion 16, 2003.
- 4.Michelin, J. L. and Masson, " Strap Down Inertial Systems For Tactical Missiles Using Mass Unbalanced Two-Axes Rate Gyro", Agrad lecture series No-133, 1998.
۵. مهرزاد نصیریان، طراحی کنترل کننده موتورهای رول، پیچ، یاو، گزارش علمی دانشگاه مالک اشتر، دانشکده برق، گروه کنترل، ۱۳۸۲.
۶. مهرزاد نصیریان، معادلات سینماتیک به منظور پایدارسازی کادری تصویری، گزارش علمی گروه صنایع فضای صا ایران، گروه کنترل، ۱۳۸۶
- 7.K.OGATA." Discrete Time Control Systems", Translated by Dr. Parviz Jabedard_Maralani & Ali Khaki- Sedig, Tehran University publications, 1994
- 8.Schuler, A. R, " Grammatik's, K.A. Fegby, " Measuring Rotational Motion With Linear Accelerometer ",IEEE Trans.Aerospelectron, 1980.
- 9.H. Bolandi," Principal of Designing Satellite ", published on science and technology university, IRAN, 1998.
- 10.Kaplan,G. H, Navig. " Determining the Position and Motion of a Vessel from Celestial Observations "ation, Vol.42,No.4, pp. 631-648, 1995.

11.Kaplan, G. H. , " The Motion of the Observer in Celestial Navigation", Navigator's Newsletter, Issue 51 (Spring 1996), pp.10-14, 1996.

12.Kaplan, G. H. , " A Navigation Solution Involving Changes to Course and Speed", Navigation, Vol. 43, No. 4, pp. 469-482, 1996.