استفاده از الگوریتم ژنتیک در موشک‌های هدایت شونده

علیرضا رضائی[1]
arrezaee@aut.ac.ir

چکیده

امروزه بسیاری از موشک‌های هدایت شونده که دارای گیرنده و ردیاب هدف می‌باشند برای هم راستا نگه‌داشتن زاویه خط دید و زاویه جهت‌گیری موشک از ژیروسکوپ استفاده می‌نمایند. حل معادلات دینامیکی ژیروسکوپ‌ها در حالت کامل و با در نظر گرفتن کلیه نویزهای ورودی از قبیل تکان‌های موشک، اغتشاشات مغناطیسی ناشی از اثر کویل‌های محرک ژیروسکوپ و ... کاری زمان‌بر و گاهی غیرممکن است. در اکثر موارد در محاسبات عملیاتی برای حل معادلات دینامیکی ژیروسکوپ و یافتن تکانه‌های حرکتی و زاویه‌ای آن از مدل ساده شده استفاده می‌شود. برای آنکه مدل ساده شده معادلات دینامیکی با دقت خوبی معادل معادلات دینامیکی باشد می‌توان زوایای اولر را به گونه‌ای تعیین کرد که این خواسته برآورده شود. یافتن این زوایا و نرخ تغییرات مرتبه اول و دوم آنها در حالت عادی کاری است که نیازمند حل معادلات دیفرانسیل است. در این مقاله با استفاده از روش‌های الگوریتم ژنتیک و Particle Swarm Optimization این کار انجام شده است.

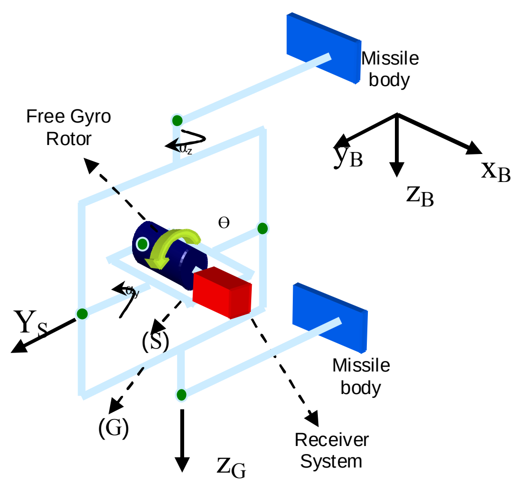
کلیدواژه:

موشک- ژیروسکوپ - الگوریتم ژنتیک - Particle Swarm

۱- دانشجوی دکتری الکترونیک- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۱- مقدمه

کلمهٔ ژیروسکوپ برای اولین بار در سال ۱۸۵۲ توسط فوکو به کار گرفته شد. در این سال فوکو از یک ژیروسکوپ ابتدایی برای اندازه‌گیری سرعت دوران زمین استفاده کرد. این دانشمند فرانسوی چندی قبل از آن توانسته بود با استفاده از یک آونگ بلند که امروزه به آونگ فوکو معروف است حرکت دورانی زمین را آشکار کند. توجیهِ پدیده با دانسته‌های امروزیِ ما ساده است: آونگ یا هر جسم صلبی که حرکت دورانی داشته باشد دارای تکانهٔ زاویه‌ای است. اگر گشتاور وارد بر این جسم صفر باشد، بنابر قانون بقای تکانه زاویه‌ای، محورِ دوران آن در فضا ثابت مانده و یک محورِ مرجعِ لخت تشکیل می‌دهد که باعث آشکار شدنِ حرکت زاویه‌ای اشیای اطرافش می‌گردد. به این ترتیب می‌توان حرکت دورانی زمین را آشکار کرده و سرعت زاویه‌ای آن را اندازه گرفت. به همین دلیل فوکو این وسیله را ژیروسکوپ نامید که از دو کلمهٔ یونانی Gyros (به معنای دوران) و Skopein (به معنای نمایاندن) ریشه گرفته است و می‌توان معادل فارسی دوران نما یا سویاب را به آن نسبت داد. در شکل(۱) نمایی از یک جستجوگر ژیروسکوپ آزاد دیده می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود با دوران طوغه‌های بیرونی و درونی سامانه بینایی آزاد نسبت به بدنه موشک دارد. این سامانه روی طوغه درونی نصب شده است و علاوه بر آن روتور ژیروسکوپ آزاد نیز روی این طوغه قرار دارد که با سرعت زاویه‌ای زیاد دوران می‌کند. جهت مدل‌سازی ژیروسکوپ آزاد و نحوه تعیین خطا، دستگاه‌های مختصات مختلفی به شکل زیر تعریف می‌شوند. مرکز تمام این دستگاه‌های مختصات را در محل تقاطع محور طوغه درونی و محور طوغه بیرونی در نظر می‌گیریم.



شکل(۱) : نمای شماتیک دستگاه مختصات یک جستجوگر ژیرسکوپ آزاد

ژیروسکوپ آزاد مورد استفاده در جستجوگرهای موشک‌های هدایت شونده از نظر ساختمانی با ژیروسکوپ نشان داده شده در شکل(۱) متفاوت است. معمولا در جستجوگرها روتور ژیروسکوپ خارج از طوغه‌ها قرار می‌گیرد و به همین دلیل به آن ژیروسکوپ معکوس گفته می‌شود. ولی این تفاوت از لحاظ عملکردی و مدلسازی تاثیری نداشته و معادلاتی که به دست می‌آوریم در هر دو نمونه قابل استفاده می‌باشد.

۲-دستگاههای مختصات ژیروسکوپ

الف- دستگاه مختصات اینرسی $ox_I y_I z_I$ دستگاهی است که نسبت به ستارگان دور دست ثابت می‌باشد. به عبارت دقیق‌تر دستگاهی است که هیچ گونه حرکت زاویه‌ای ندارد و قانون دوم نیوتن در آن صادق است. محورهای این دستگاه مختصات را طوری در نظر می‌گیریم که در لحظه پرتاب موشک بر دستگاه مختصات بدنی منطبق باشد.

ب- دستگاه مختصات بدنی $ox_By_Bz_B$ محور XB دستگاه مختصات بدنی را در راستای محور طولی موشک و محور ZB را در راستای لولای طوغه بیرونی در نظر می‌گیریم، محور YB به شکلی تعیین می‌شود که دستگاه راستگرد باشد.

ج- دستگاه مختصات طوغه بیرونی $ox_Gy_Gz_G$ این دستگاه مختصات را چسبیده به طوغه بیرونی طوری در نظر می‌گیریم که با دوران به اندازه زاویه a_z حول محور ZB از دستگاه بدنی به این دستگاه مختصات برسیم.

د- دستگاه مختصات طوغه درونی $ox_g y_g z_g$ این دستگاه مختصات را چسبیده به طوغه درونی طوری در نظر می‌گیریم که با دوران به اندازه زاویه a_y حول محور Yg از دستگاه طوغه بیرونی به این دستگاه مختصات برسیم.

ه - دستگاه مختصات روتور $ox_Ry_Rz_R$ این دستگاه مختصات را چسبیده به روتور جستجوگر طوری در نظر می‌گیریم که با دوران به اندازه زاویه ϕ_R حول محور Xg از دستگاه طوغه درونی به این دستگاه مختصات برسیم.

و- دستگاه مختصات خط دید $ox_L y_L z_L$ محور x_L این دستگاه مختصات در راستای خط دید هدف قرار دارد. θ_L, ψ_L زوایای اویلر مربوط به بیان دستگاه خط دید هستند. بدین صورت که برای رسیدن به دستگاه مختصات خط دید، ابتدا با دوران حول محور z_I به اندازه ψ_L به دستگاه مختصات۱ ($ox_1y_Lz_1$) می‌رسیم. سپس با دوران حول y_L به اندازه θ_L به دستگاه خط دید می‌رسیم.

ز- دستگاه مختصات ردیاب $ox_Dy_Dz_D$ محور x_D این دستگاه مختصات در راستای محور ردیابی سامانه بینایی (محور x_S) قرار دارد. θ_D, ψ_D زوایای اویلر مربوط به دستگاه ردیاب هستند. بدین

صورت که برای رسیدن به دستگاه مختصات ردیاب، ابتدا با دوران حول محور z_I با اندازه ψ_D به دستگاه مختصات۲ ($ox_2y_Dz_I$) می‌رسیم. سپس با دوران حول y_D به اندازه θ_D به دستگاه مختصات ردیاب می‌رسیم.

ح- دستگاه مختصات چسبیده به زمین *NED* مبدأ این دستگاه مختصات را بر خلاف سایر دستگاه‌ها یک نقطه ثابت بر روی زمین (مثلاً نقطه پرتاب موشک) در نظر می‌گیریم. این دستگاه دارای سه محور N، E و D است. محور N، به سمت شمال جغرافیایی و محور E، به سمت شرق است بطوری که N و E درصفحهٔ افق محلی قرار گیرند. محور D عمود بر بیضوی مبنا[1] قرار دارد بطوری که دستگاه متعامد راستگرد باشد.

با توجه به تعریف دستگاه‌های مختصات بدنی، طوغه بیرونی، طوغه درونی و روتور، واضح است که a_z، a_y و ϕ_R زوایای اویلر مربوط به دوران از دستگاه بدنی به دستگاه مختصات روتور می‌باشند.

۳- مدلسازی ژیروسکوپ آزاد

برای مدلسازی کامل جستجوگر ژیروسکوپ آزاد، لازم است معادلات دینامیکی ژیروسکوپ استخراج شود. در مدل ساده می‌توان سرعت دوران روتور را ثابت در نظر گرفته و معادلات دینامیکی را به شکل فضایی استخراج نمود. در مدل کامل، تغییرات سرعت روتور را نیز در نظر می‌گیریم.

فرض می‌کنیم که روتور با سرعت ω_s حول محور خود دوران می‌کند، بنابراین:

$$ {}^D\vec{\omega}_{R/D} = \begin{bmatrix} \omega_s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (۱) $$

برای به دست آوردن سرعت زاویه‌ای دستگاه ردیاب نسبت به اینرسی از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$ \vec{\omega}_{D/I} = \vec{\omega}_{D/2} + \vec{\omega}_{2/I} \qquad (۲) $$

با توجه به تعریف دستگاه مختصات ردیاب و دستگاه مختصات میانی(۲) داریم:

$$ {}^D\vec{\omega}_{D/I} = {}^D\vec{\omega}_{D/2} + {}^D_2C.{}^D\vec{\omega}_{2/I} = \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\theta}_D \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C\theta_D & 0 & -S\theta_D \\ 0 & 1 & 0 \\ S\theta_D & 0 & C\theta_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\psi}_D \end{bmatrix} \qquad (۳) $$

بنابراین سرعت زاویه‌ای دستگاه ردیاب نسبت به اینرسی به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$ {}^D\vec{\omega}_{D/I} = \begin{bmatrix} -S\theta_D.\dot{\psi}_D \\ \dot{\theta}_D \\ C\theta_D.\dot{\psi}_D \end{bmatrix} \qquad (۴) $$

حال می‌توان سرعت زاویه‌ای روتور را نسبت به اینرسی به کمک رابطه زیر به دست آورد:

$$ \vec{\omega}_{R/I} = \vec{\omega}_{R/D} + \vec{\omega}_{D/I} \qquad (۵) $$

بنابراین سرعت زاویه‌ای روتور نسبت به اینرسی به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$ {}^D\vec{\omega}_{R/I} = \begin{bmatrix} -S\theta_D.\dot{\psi}_D + \omega_s \\ \dot{\theta}_D \\ C\theta_D.\dot{\psi}_D \end{bmatrix} \qquad (۶) $$

می‌دانیم که حاصلضرب لنگر لختی در سرعت زاویه‌ای یک جسم، برابر اندازه حرکت زاویه‌ای می‌شود، لذا برای روتور داریم :

$$ \vec{H}_R = I_R\vec{\omega}_{R/I} \qquad (۷) $$

با توجه به تقارن روتور حول محور عرضی آن و تعریف دستگاه مختصات ردیاب، این دستگاه مختصات، دستگاه اصلی (Principal Coordinate System) روتور، که در آن ماتریس لختی دورانی، قطری است، خواهیم داشت :

$$ {}^DI_R = \begin{bmatrix} I_R & 0 & 0 \\ 0 & I_r & 0 \\ 0 & 0 & I_r \end{bmatrix} \qquad (۸) $$

برای اندازه حرکت زاویه‌ای روتور نیز داریم:

$$ {}^D\vec{H} = {}^DI_R.{}^D\vec{\omega}_{R/I} = \begin{bmatrix} I_R\left(-S\theta_D.\dot{\psi}_D + \omega_S\right) \\ I_r\dot{\theta}_D \\ I_rC\theta_D.\dot{\psi}_D \end{bmatrix} \qquad (۹) $$

اگر مولفه‌های بردار گشتاور وارده بر روتور در دستگاه ردیاب را به صورت زیر نمایش دهیم.

$$ {}^D\vec{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \qquad (۱۰) $$

با توجه به قانون دوم نیوتن داریم که مشتق اندازه حرکت زاویه‌ای برابر گشتاور وارده است:

$$ \vec{T} = P_{/I}(\vec{H}_R) \qquad (۱۱) $$

برای محاسبه مشتق از قضیه کوریولیس استفاده می‌کنیم. بنابراین

۱- اگر سطح متوسط آبهای آزاد را به کل زمین تعمیم دهیم با تقریب خوبی یک بیضوی دوار خواهیم داشت (گرچه بدلیل ناهمگن بودن مدار زمین این سطح، اختلاف کمی با یک بیضوی دارد) که به این بیضوی، بیضوی مبنا گویند.

داریم:

$$ {}^{D}\vec{T} = {}^{D}\left(P_{/D}\vec{H}_R\right) + {}^{D}\vec{\omega}_{D/I} \times {}^{D}\vec{H}_R \tag{۱۲} $$

با جایگذاری مقادیر بردارهای اندازه حرکت زاویه‌ای روتور و سرعت زاویه‌ای دستگاه ردیاب نسبت به اینرسی، در رابطه فوق و انجام عمل مشتق‌گیری معادلات دینامیکی ژیروسکوپ آزاد در حالت کلی، به شکل زیر بدست می‌آید:

$$ \begin{aligned} T_x &= -I_R.C\theta_D.\dot{\psi}_D.\dot{\theta}_D \\ &\quad -I_R.S\theta_D.\ddot{\psi}_D \\ &\quad +I_R.\dot{\omega}_s \end{aligned} \tag{۱۳} $$

$$ \begin{aligned} T_y &= I_r\ddot{\theta}_D \\ &\quad +I_R.\omega_S.C\theta_D.\dot{\psi}_D \\ &\quad -\left(I_R-I_r\right)S\theta_D.C\theta_D\left(\dot{\psi}_D\right)^2 \end{aligned} \tag{۱۴} $$

$$ \begin{aligned} T_z &= I_r.C\theta_D.\ddot{\psi}_D \\ &\quad -I_R.\omega_S.\dot{\theta}_D \\ &\quad +\left(I_R-2I_r\right)S\theta_D.\dot{\psi}_D.\dot{\theta}_D \end{aligned} \tag{۱۵} $$

$$ \begin{aligned} &x_1=\psi_D \;,\; x_2=\dot{\psi}_D \;,\; \mathrm{x}_3=\theta_D \\ &x_4=\dot{\theta}_D \;,\; \mathrm{x}_5=\omega_s \end{aligned} \tag{۱۶} $$

با انتخاب متغیرهای رابطه (۱۶) معادلات دینامیکی ژیروسکوپ آزاد به فرم معادلات حالت غیرخطی، به شکل زیر بدست می‌آید:

$$ \dot{x}_1 = x_2 \tag{۱۷} $$

$$ \dot{x}_2 = f\left(T_z, x_2, x_3, x_4, x_5\right) \tag{۱۸} $$

$$ \dot{x}_3 = x_4 \tag{۱۹} $$

$$ \dot{x}_4 = \begin{pmatrix} T_y - I_R.x_2.x_5.\cos x_3 \\ +\left(I_R-I_r\right).x_2^2.\sin x_3 \end{pmatrix} / I_r \tag{۲۰} $$

$$ \dot{x}_5 = \begin{pmatrix} T_x + I_R.x_2.x_4.\cos x_3 \\ +I_R.\sin x_3.f\left(M_z, x_2, x_3, x_4, x_5\right) \end{pmatrix} / I_R \tag{۲۱} $$

که در آن :

$$ f\left(\bullet\right) = \frac{T_z + I_R x_4 x_5 - \left(I_R - 2I_r\right) x_2 x_4.\sin x_3}{I_r \cos x_3} \tag{۲۲} $$

۴- تحلیل معادلات ژیروسکوپ آزاد

معادلات دینامیکی ژیروسکوپ آزاد که در قسمت قبل بدست آمدند، در حالت کلی برای هر جسم دواری که حول محور دورانش متقارن باشد، صادق است. حل تحلیلی این معادلات در حالت کلی بسیار پیچیده است، به منظور تحلیل معادلات و درک شهودی آن ابتدا معادلات را به شکل زیر بازنویسی می‌کنیم:

$$ T_x = I_R.\frac{d}{dt}(\omega_S - S\theta_D.\dot{\psi}_D) \tag{۲۳} $$

$$ \begin{aligned} &T_y = I_r(\ddot{\theta}_D + (\dot{\psi}_D)^2.S\theta_D.C\theta_D) \\ &+I_R.\dot{\psi}_D.C\theta_D.(\omega_S - S\theta_D.\dot{\psi}_D) \end{aligned} \tag{۲۴} $$

$$ \begin{aligned} &T_z = I_r(C\theta_D.\ddot{\psi}_D + 2.S\theta_D.\dot{\psi}_D.\dot{\theta}_D) \\ &-I_R.\dot{\theta}_D.(\omega_S - S\theta_D.\dot{\psi}_D) \end{aligned} \tag{۲۵} $$

حال با ساده سازی معادلات به تحلیل رفتار ژیروسکوپ آزاد می‌پردازیم. به این منظور فرض می‌کنیم که روتور با سرعت ثابت ω_S دوران می‌کند و مولفه M_x گشتاور اعمالی به ژیروسکوپ صفر است، بنابراین داریم:

$$ \begin{aligned} &I_R.\frac{d}{dt}(\omega_S - S\theta_D.\dot{\psi}_D) = 0 \\ &\Rightarrow I_R.(\omega_S - S\theta_D.\dot{\psi}_D) = Cte = H_S \end{aligned} \tag{۲۶} $$

درصورتی که سرعت دوران روتور، ω_S، به اندازه کافی بزرگتر از $\ddot{\psi}_D, \dot{\psi}_D, \dot{\theta}_D, \ddot{\theta}_D$ باشد اولاً داریم:

$$ H_S \cong H = I_R\omega_S $$

و ثانیاً در معادلات دینامیکی دوم و سوم ژیروسکوپ آزاد می‌توان از ترمهای اول در مقابل H صرفنظر کرد و معادلات ساده شده را به شکل زیر نوشت:

$$ T_x = 0 \tag{۲۷} $$

$$ T_y = H.C\theta_D.\dot{\psi}_D \tag{۲۸} $$

$$ T_z = -H.\dot{\theta}_D \tag{۲۹} $$

که در آن $H = I_R\omega_S$، تکانه زاویه‌ای روتور است.

۵- الگوریتم ژنتیک و Particle Swarm

الگوریتم‌های ژنتیک گونه‌ای از الگوریتم‌های بهینه سازی تصادفی هستند که اساساً از مکانیزم‌های الگوریتم انتخاب طبیعی و ژنتیک تکاملی انتزاع شده‌اند. این روش‌ها به‌طور همزمان بسیاری از نقاط در فضای پارامتر که به آن فضا، فضای جستجو[۲] نیز گفته می‌شود را برآورد[۳] (ارزیابی) می‌کنند و بنابر همین دلیل دارای احتمال کمتری برای همگرایی به سوی اپتیمم‌های محلی می‌باشند.

ایده Particle Swarm نیز برای اولین بار توسط کندی و ابرهارت[۴] در سال ۱۹۹۵ مطرح شد، یک الگوریتم محاسبه‌ای تکاملی الهام گرفته از طبیعت و براساس تکرار می‌باشد. در واقع الگوریتم PSO از تعداد مشخصی از ذرات تشکیل می‌شود که به طور تصادفی، مقدار اولیه می‌گیرند. برای هر ذره دو مقدار وضعیت و سرعت تعریف می‌شود که به ترتیب با یک بردار مکان و یک بردار سرعت مدل می‌شوند. این ذرات به صورت تکرار شونده‌ای در فضای n-بعدی مسئله حرکت می‌کنند تا با محاسبهٔ مقدار بهینگی[۵] به عنوان یک ملاک سنجش، گزینه‌های ممکن جدید را جستجو کنند. بُعد فضای مسئله، برابر تعداد پارامترهای موجود در تابع مورد نظر برای بهینه‌سازی می‌باشد. یک حافظه به ذخیرهٔ بهترین موقعیت هر ذره در گذشته و یک حافظه به ذخیرهٔ بهترین موقعیت پیش آمده در میان همهٔ ذرات اختصاص یافته است. با تجربهٔ حاصل از این حافظه‌ها، ذرات تصمیم می‌گیرند که در نوبت بعدی چگونه حرکت کنند. در هر بار تکرار، همهٔ ذرات در فضای n - بعدی مسئله حرکت می‌کنند تا بالاخره نقطهٔ بهینهٔ عمومی پیدا شود.

سرعت و موقعیت هر ذره با روابط زیر تنظیم می‌شوند:

$$V_i^{t+1} = wV_i^t + C_1 \times Rand(\ ) \times \left(P_i^t - X_i^t\right) + C_2 \times Rand(\ ) \times \left(P_g^t - X_i^t\right) \tag{۳۰}$$

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \tag{۳۱}$$

اندیس i، ذرهٔ iام از دستهٔ ذرات و اندیس t، تعداد تکرار الگوریتم تا این لحظه را مشخص می‌کنند. V_i بردار سرعت و X_i بردار مکان iامین ذره در فضای n-بعدی مسئله می‌باشند:

$$V_i = \left(V_{i1}, V_{i2}, \ldots, V_{in}\right) \tag{۳۲}$$

$$X_i = \left(X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{in}\right) \tag{۳۳}$$

در رابطهٔ(۱)، w عامل یا وزن لختی[۶] نام دارد. r1 و r2 عددهای تصادفی برای حفظ گوناگونی در ذرات هستند که برای ابعاد ذرهٔ iام، توزیع یکنواختی در بازهٔ [0,1] دارند. c1 و c2 ثابتهای مثبتی هستند که به ترتیب، ضریب عنصر خود شناختی[۷] و ضریب عنصر جمعی[۸] نام دارند و در مجموع آنها را ضرایب اطمینان شناختی[۹] می‌نامند.

Pi بهترین مکان موضعی است که ذرهٔ iام تا به حال به آن رسیده و Pg، بطورکلی بهترین مکانی است که ذره‌ای از بین همهٔ ذرات به آن رسیده است. تابع $Rand(\ )$، می‌تواند عددی تصادفی 0 و 1 تولید کند.

۶- پیاده‌سازی

برای پیاده‌سازی در روش Particle Swarm از برنامه نویسی به روش M-File استفاده شده است و برای پیاده سازی به روش الگوریتم ژنتیک از Genetic Algorithm Tool در نرم افزار MATLAB استفاده شده است. در این جعبه ابزار می‌توان با تعریف یک تابع هزینه و تعداد متغیرهای آن تابع و نیز با تنظیم تعداد جمعیت هر نسل و تعداد کل نسل‌ها و نیز تعیین درصد جهش و ترکیب در هر نسل به نسل بعد، جواب کمینه را برای تابع هزینه یافت. برای نوشتن تابع هزینه که صورت ریاضی آن ذکر خواهد شد، نیاز به داشتن معادلات ژیروسکوپ می‌باشد که در قبل آمده است.

اکنون برای یافتن مقادیر بهینه زوایای اویلر و نرخ تغییر آنها از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌نماییم. به این طریق که برای تعیین مقادیر مناسب تابع هزینه‌ای تعریف می‌نماییم. با تعریف این تابع هزینه، الگوریتم ژنتیک و Particle Swarm مقادیر زوایای اویلر و نرخ تغییرات آنها را به گونه‌ای خواهند یافت که این تابع هزینه کمینه گردد.

برای سادگی، پارامترهای ثابت از مقادیر نوعی زیر استفاده می‌کنیم.

$$I_R = 30 \times 10^{-6} \quad \mathrm{Kg.m^2} \tag{۳۴}$$

$$I_r = 15 \times 10^{-6} \quad \mathrm{Kg.m^2} \tag{۳۵}$$

$$\omega_S = 2\pi \times 100 \quad Rad/Sec \tag{۳۶}$$

$$\psi_D(0) = 10^\circ \tag{۳۷}$$

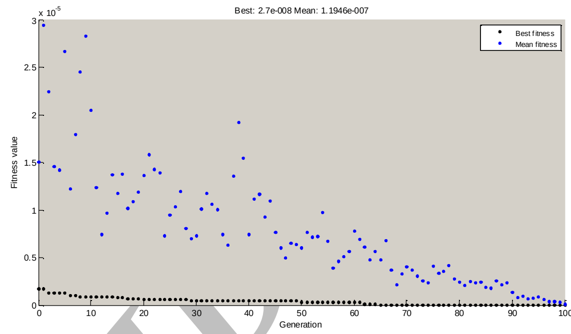
$$\theta_D(0) = 10^\circ \tag{۳۸}$$

تابع هزینه را نیز به صورت زیر تعریف می‌نماییم :

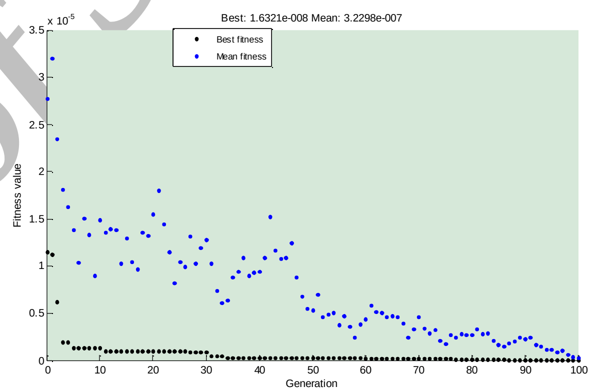
$$F(\dot{\theta}, \ddot{\theta}, \dot{\psi}, \ddot{\psi}) = \sqrt{\begin{array}{l}(T_y(Complete) - T_y(Simple))^2 + \\ (T_z(Complete) - T_z(Simple))^2\end{array}} \tag{۳۸}$$

2- Search Space
3- Evaluate
4- Kennedy and Eberhart
5- Fitness
6- Inertia Factor/Weight
7- Self Recognition Component
8- Social Component
9- Cognitive Confidence Coefficients

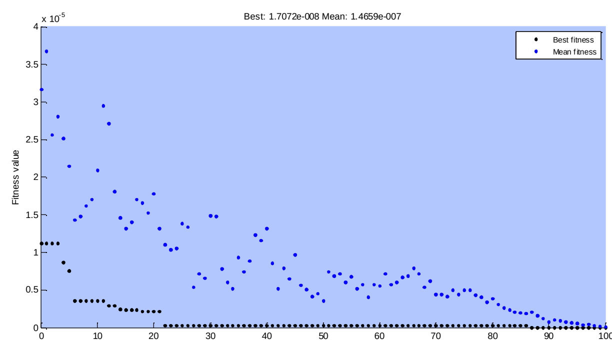
سپس این تابع در MATLAB به صورت M-File نوشته شده است و در جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک شبیه‌سازی گشته است. در شکل‌های(۲)، (۳) و (۴) نتایج شبیه‌سازی نشان داده شده است.



شکل(۲) : نتایج شبیه‌سازی برای $\theta_D = 2$ Degree



شکل(۳) : نتایج شبیه‌سازی برای $\theta_D = 10$ Degree



شکل(۴) : نتایج شبیه‌سازی برای $\theta_D = 25$ Degree

۷- نتیجه گیری

در این مقاله معادلات دینامیکی ژیروسکوپ به صورت کامل بدست آمده است. همچنین برای کاربردهای عملیاتی، مدل ساده سازی شده از مدل کامل بدست آمده است. هدف مقاله (که بهینه نمودن مدل ساده سازی شده به گونه‌ای که در عمل با تقریب خوبی معادل مدل کامل عمل نماید می‌باشد)، با تعریف یک تابع بهینه‌سازی برآورده شده است. با استفاده از الگوریتم ژنتیک و پیاده‌سازی تابع هزینه در آن، مقادیر زوایای اویلر و نرخ تغییرات مناسب آن جهت عملکرد مناسب ژیروسکوپ بدست می‌آید. از جمله پژوهش‌های بعدی که در این مقاله مجال پیاده‌سازی آن ممکن نشد انجام همین بهینه‌سازی و تعیین زوایا با استفاده از روش Particle Swarm است. روش این مقاله کاربرد زیادی برای تحلیل رفتار موشک‌های هدایت شونده و هدایت و کنترل آنها دارد و این روش بدون هرگونه محاسبات تحلیلی زمان‌بر، اندازه بهینه زوایای اویلر را در اختیار می‌نهد تا بر اساس آنها محرک‌های ژیروسکوپ حرکات لازم را برای هم راستا نگه داشتن راستای خط دید با راستای گیرنده را اعمال کنند.

۸- مراجع

[۱] حاجی‌علی م.ت.، عاروان م.ر. و ساداتی س.ح.، مدلسازی ژایرواپتیک در موشکهای آشیانه یاب غیرفعال، مجموعه مقالات اولین کنفرانس علمی کاربردی سازمان صنایع هوا فضا، جلد سوم، مجموعه مقالات الکترواپتیک، صفحات ۲۶ تا ۳۶، تهران، ایران، ۱۳۷۹.

[۲] محرم‌پور ع. و عاروان م.ر.، پیاده سازی عملی هدایت متناسب در حالت سه بعدی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس علمی کاربردی سازمان صنایع هوا فضا، جلد دوم، مجموعه مقالات هدایت کنترل و دینامیک پرواز، صفحات ۲۵۸ تا ۲۶۹، تهران، ایران، ۱۳۷۹.

[3] Ajith Abraham, He Guo, and Hongbo Liu,“SwarmIntelligence: Foundations, Perspectives and Applications”, a Swarm chapter on the Internet, 2004.

[4] C. K. Mohan and B. Al-kazemi, "Discrete Particle swarm optimization" Proc. Workshop on Particle Swarm Optimization, Indianapolis, IN: Purdue School of Engineering and Technology, IUPUI, 2001.