

تحسين أداء منظومة ملاحقة الأهداف الجوية

باستخدام المتحكم PID

طالب الدراسات العليا: محمد فايز احمد

الدكتور المشرف: فواز ياسين محمد

هندسة التوجيه والتحكم - كلية: الهندسة الالكترونية

أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية

المخلص

تناول هذا البحث النمذجة الرياضية والمحاكاة الحاسوبية لمنظومة ملاحقة هدف جوي مفترض يتحرك بسرعة معينة، وتقييم أدائها بدون وباستخدام المتحكم PID. تم في البحث المطروح استنتاج تابع النقل لمنظومة الملاحقة، ثم تحسينها باستخدام المتحكم PID، وتحليل وتقييم الاستقرار والأداء من خلال أشكال الاستجابة الزمنية، وقيم الأصفار والأقطاب، بالإضافة إلى قيم المؤشرات النوعية لأداء المنظومة (زمن الوصول إلى القمة الأولى t_p ، والنسبة المئوية لتجاوز الهدف O_s ، وزمن الاستقرار t_s) باستخدام المحاكاة الحاسوبية ضمن بيئة MATLAB من أجل قيم مختلفة لريح المستقبل.

تم إجراء مقارنة الأداء مع المنظومة المحسنة، وأثبتت نتائج المقارنة أن المتحكم PID يحسن من أداء المنظومة، من خلال تخفيض قيم المؤشرات النوعية السابقة.

كلمات مفتاحية:

منظومات الملاحقة، مؤشرات الأداء والاستقرار، المتحكم PID، MATLAB.

Improving the performance of the air targets tracking system using the PID controller

Abstract

This search studied the simplified mathematical modeling of a system to pursue a hypothetical air targets moving at a certain speed and evaluate its performance without and with the use of the PID controller.

Transfer function derivation of tracking system using the PID controller is presented, then improving using PID controller, and analysis and evaluation of the stability and performance via time response, zeros and poles values, and the loop performance qualitative pointer values (peak time t_p , the percentage of Overshoot O_s , and settling time t_s) using computer simulation in MATLAB environment for different values of air object signal receiver gain.

Performance comparison with the enhanced system is achieved comparison results showed that the PID controller enhances the system performance, via the reduction of the previous qualitative pointer values.

Key words: tracking system, performance and stability indicators, PID controller and MATLAB.

1- مقدمة Introduction

تُعرّف ملاحقة الهدف بأنها مطابقة محور تناظر الهوائي أو محور الإشارات المتساوية مع محور خط النظر الواصل بينه وبين الهدف، وذلك في كل من مستوي السمات ومستوي الارتفاع [1، 2].

نظراً لظهور التكنولوجيا الحديثة ما أدى لتطور التقنيات المستخدمة في تصنيع الطائرات بحيث أصبحت أكثر سرعة ومناورة، لذلك كان لا بُدّ من إعادة النظر في أداء منظومة ملاحقة الأهداف الجوية، ومن هنا برزت أهمية تحسين أداء هذه المنظومة بحيث تعمل بسرعة ودقة عاليتين، يقدم هذا البحث عرضاً للتمثيل الرياضي والمحاكاة الحاسوبية لمنظومة ملاحقة الهدف، ومن ثم تحسين أدائها باستخدام المتحكم PID المضبوط بطريقتين الأولى بالاعتماد على التقنيات الكلاسيكية [3، 4]، والثانية بالاعتماد على أحد تقنيات الذكاء الصناعي [5].

لقد أثبتت نتائج المقارنة أن استخدام التقنيات الحديثة في ضبط بارامترات المتحكم PID يزيد نسب التحسين بشكل كبير، من خلال خفض قيم مؤشرات الأداء التي تحكم عمل المنظومة.

2- هدف البحث

يهدف البحث إلى دراسة واستنتاج توابع النقل للمكونات المختلفة لمنظومة الملاحقة ومحاكاتها حاسوبياً، ثم تحسين أداء هذه المنظومة باستخدام المتحكم PID، من خلال تخفيض مؤشرات الأداء سابقة الذكر.

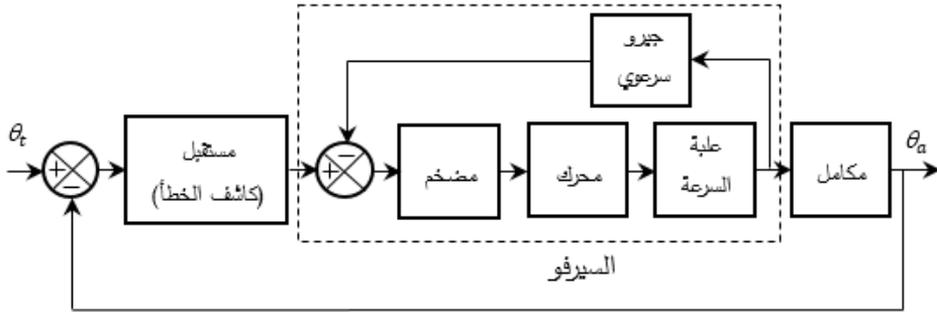
3- آلية البحث وأدواته

نظراً لتعقيد وارتفاع تكلفة التجارب على منظومات ملاحقة الأهداف ظهرت أهمية التمثيل الرياضي والمحاكاة الحاسوبية للمنظومات، ومن ثم تقييم الأداء من خلال دراسة الاستجابة الزمنية للمنظومة والمؤشرات النوعية للأداء، وتبيان أهمية استخدام المتحكم PID المحسّن والنتائج المرجوة والمناسبة التي تمّ الحصول عليها. إنّ الدراسة الرياضية لمنظومة الملاحقة وحدها لا تكفي، لذلك لا بُدّ من محاكاتها حاسوبياً، حيث يفيد ذلك

بإعطاء التصور الكامل عن عمل المنظومة واستقرارها وتقييم الأداء الأولي لها، وإظهار التحسين المطبق عليها باستخدام المتحكم PID. لقد تم اعتماد مجموعة من البرامج الحاسوبية في محاكاة المنظومة لإيجاد المؤشرات النوعية للأداء، وذلك باستخدام البيئة البرمجية MATLAB، نظراً لما تتمتع به هذه البيئة البرمجية من مرونة وسهولة والإظهارات المناسبة، والتي تؤدي الغرض المطلوب.

4- البنية العامة لمنظومة ملاحقة الهدف

يبين الشكل (1) البنية العامة لمنظومة ملاحقة الهدف [1].



الشكل (1) البنية العامة لمنظومة ملاحقة الهدف

تعمل منظومة الملاحقة على مطابقة محور تناظر الهوائي على خط النظر (LOS) الواصل بينه وبين الغرض الجوي. بالرغم من أن معظم كواشف الخطأ لاختيائية، لكن يمكن اعتبارها خطية عند القيم الصغيرة للانحرافات الزاوية (أقل من درجة واحدة). تطبق مركبة السيرفو (وحدة التحكم بتحريك الهوائي) من مضخم استطاعي إلى محرك كهربائي ومنه إلى خافض سرعة المسننات.

5- النموذج الرياضي لمنظومة ملاحقة الهدف

باعتبار أن كاشف الخطأ نظام خطي، لذا يعطى تابع نقله بتابع بسيط

$$.k_{rec}[v/rad]$$

سيتم استخدام محرك كهربائي مستمر [6]. له تابع النقل الموضح في المعادلة

الآتية:

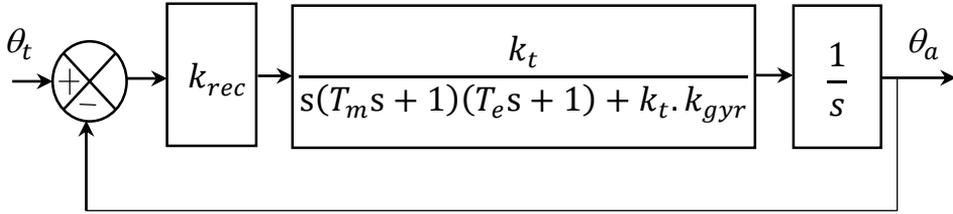
$$\frac{\omega(s)}{v(s)} = \frac{k_t}{s(T_m s + 1)(T_e s + 1)} \quad (1)$$

حيث أن: $k_t = \frac{k_{mot}}{f R_a}$, $T_e = \frac{L_a}{R_a}$, $T_m = \frac{J}{f}$

T_m : الثابت الزمني الميكانيكي، $T_e = \frac{L_a}{R_a}$: الثابت الزمني الكهربائي.

J : عزم العطالة، f : معامل الاحتكاك اللزج، k_{mot} : ثابت التناسب.

يتم عادةً تأمين تغذية عكسية بالسرعة الزاوية بواسطة جيرو إخماد يُطرح خرجه من خرج كاشف الخطأ، ويمكن التعبير عن تابع نقله بالريح k_{gyr} .
 بشكل مبسط يمكن تمثيل المخطط الصندوقي لمنظومة الملاحقة بالشكل (2):



الشكل (2) منظومة الملاحقة المدروسة

يمكن إيجاد تابع نقل منظومة الملاحقة الزاوية كما يلي:

$$\frac{\theta_a(s)}{\theta_t(s)} = \frac{k_{rec} k_t}{s[s(T_m s + 1)(T_e s + 1) + k_t \cdot k_{gyr}]} \quad (2)$$

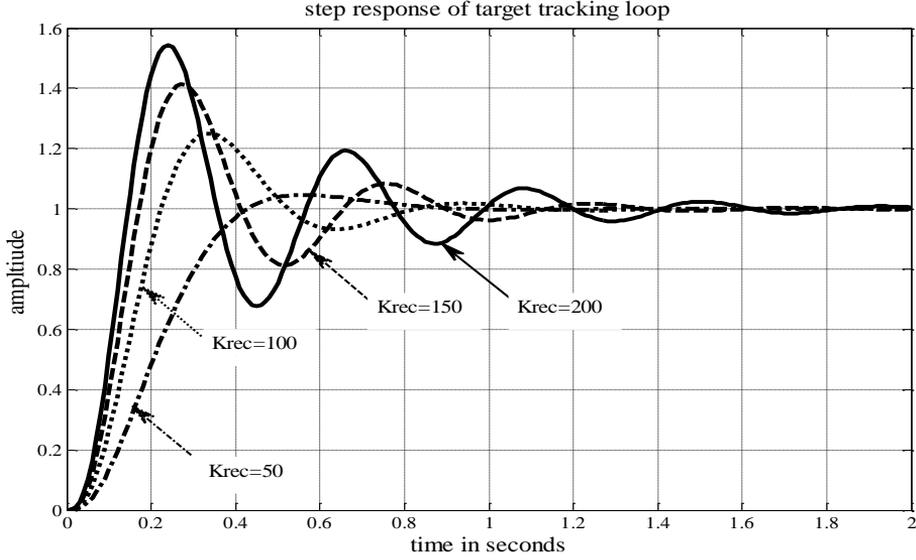
$$\frac{\theta_a(s)}{\theta_t(s)} = \frac{k_{rec} k_t}{s[s(T_m s + 1)(T_e s + 1) + k_t \cdot k_{gyr}] + k_{rec} k_t} \quad (3)$$

تمثل المعادلة الأخيرة تابع نقل منظومة الملاحقة.

6- المحاكاة الحاسوبية لمنظومة ملاحقة الهدف

تم إعداد برنامج حاسوبي من أجل تحليل وتقييم استقرار وأداء منظومة ملاحقة الهدف، وبتنفيذ البرنامج تم الحصول على مايلي:

a- الاستجابة الزمنية لمنظومة الملاحقة عند تطبيق تابع خطوة واحدة في الدخل من أجل قيم مختلفة لريح مستقبل الملاحقة $k_{rec}[v/rad]$ كما في الشكل



(3).

الشكل (3) الاستجابة الزمنية لمنظومة الملاحقة عند قيم مختلفة لريح المستقبل يوضح الشكل (3) الاستجابة الزمنية لمنظومة الملاحقة، وذلك من أجل قيم مختلفة لريح المستقبل عند تطبيق دخل خطوة واحدة.

b- قيم أقطاب منظومة الملاحقة من أجل قيم مختلفة لريح المستقبل، كما في الجدول (1).

الجدول (1) قيم أقطاب حلقة الملاحقة بدلالة ربح المستقبل $k_{rec}[v/rad]$

$k_{rec}[v/rad]$	قيم أقطاب حلقة ملاحقة الغرض الجوي
50	-28.3929, -5.8036±6.0629i
100	-31.3040, -4.3480±10.4343i
150	-33.4025, -3.2987±12.9902i
200	-35.0976, -2.4512±14.8972i

c- قيم المؤشرات النوعية للأداء (زمن الوصول إلى القمة الأولى، والنسبة المئوية لتجاوز الهدف، وزمن الاستقرار، والريح في الحالة الثابتة) بدلالة ربح المستقبل كما في الجدول (2).

الجدول (2) قيم المؤشرات النوعية للأداء بدلالة ربح المستقبل $k_{rec}[v/rad]$

$k_{rec}[v/rad]$	$t_p(sec)$	$Os(\%)$	$t_s(sec)$	$ssgain$
50	0.56	4.67	0.62	1
100	0.34	25.06	0.77	1
150	0.27	41.33	1.08	1
200	0.24	54.36	1.36	1

يلاحظ من الجدولين السابقين (1)، (2) والشكل (3) بأن المنظومة المدروسة مستقرة (كافة الأقطاب واقعة في النصف الأيسر من المستوي العقدي) ضمن قيم ربح مستقبل الملاحقة (200 ÷ 50). كما يلاحظ عند زيادة ربح المستقبل مايلي:

- زيادة النسبة المئوية لتجاوز الهدف Os .

- زيادة زمن الاستقرار ts .

- انخفاض زمن الوصول إلى القمة الأولى tp .

في الدراسة اللاحقة سيتم العمل على ضبط بارامترات المتحكم PID، الذي

يحسن من مؤشرات الأداء سابقة الذكر.

7- تصميم المتحكم PID

يمكن تصميم المتحكمات PID الكلاسيكية في المجال الزمني أو في المجال الترددي، وذلك بالاعتماد على عدة طرائق، كطريقة كوهين كون (Cohen-Coon)، أو طريقة نيكولس زيغلر (Ziegler-Nichols) أو طريقة المحل الهندسي للجذور (Root Locus) [3، 4]. لكن بسبب التطور في مجال الحوسبة فيمكن استخدام الذكاء الصناعي لاختيار القيم الأمثل لبارامترات المتحكم PID، مستعاضين بذلك عن الطرائق الكلاسيكية في ضبط هذه البارامترات.

يعطى تابع نقل المتحكم PID بالعلاقة (1):

$$T_{PID}(s) = \frac{K_D \cdot s^2 + K_P \cdot s + K_I}{s} \quad (4)$$

1-7 ضبط بارامترات المتحكم PID بالاعتماد على طريقة المحل الهندسي للجذور

- وهي طريقة شائعة وملائمة لجميع المصممين وتستخدم لدراسة وفهم استقرار النظام [7]، يمكن تصميم المتحكم PID بإتباع الخطوات التالية:
- حساب قيم الاستجابة الترددية للحلقة المفتوحة أي لتابع النقل $G_P(j\omega)H(j\omega)$ من أجل قيم مختلفة للتردد.
 - تحديد قيمة التردد ω_1 والتي من أجلها يتم تحقيق احتياطي الصفحة المطلوب (Φ_m) وزمن الاستقرار المطلوب (t_s) باستخدام العلاقة التالية:

$$\omega_1 = \frac{8}{t_s \tan(\Phi_m)} \quad (5)$$

- حساب قيمة طويلة وزاوية تابع نقل الحلقة المفتوحة عند التردد ω_1 أي $\tan^{-1}G_P(j\omega)H(j\omega)$ و $|G_P(j\omega)H(j\omega)|$ على الترتيب.
- حساب قيمة الزاوية θ والتي تمثل زاوية المتحكم PID عند التردد ω_1 أي $\tan^{-1}[G_c(j\omega_1)]$ باستخدام العلاقة التالية:

$$\theta = \tan^{-1}[G_c(j\omega_1)] = -180 + \Phi_m \tan^{-1}G_P(j\omega_1)H(j\omega_1) \quad (6)$$

- حساب قيمة بارامتر المتحكم K_P باستخدام العلاقة التالية:

$$K_P = \frac{\cos(\theta)}{|G_P(j\omega_1)H(j\omega_1)|} \quad (7)$$

- تحديد قيمة بارامتر المتحكم K_I بشكل يتم من أجله تحقيق خطأ حالة ثابتة مقبول.
- حساب قيمة بارامتر المتحكم K_D باستخدام العلاقة التالية:

$$K_D = \frac{\sin(\theta)}{\omega_1 |G_P(j\omega_1)H(j\omega_1)|} + \frac{K_I}{\omega_1^2} \quad (8)$$

بالتعويض في العلاقات السابقة يمكن الحصول على قيم بارامترات المتحكم PID كما يلي:

$$T_{PID}(s) = \frac{0.208 S^2 + 4.66 S + 32.9}{S} \quad (9)$$

2-7 ضبط بارامترات المتحكم PID باستخدام الخوارزمية الجينية

يتم استخدام الخوارزمية الجينية (GA) بغرض تحسين مؤشرات أداء منظومة الملاحظة المقترحة وزيادة دقتها وسرعتها. تعتبر GA أحد أساليب الذكاء الصناعي وهي خوارزمية بحث شبه عشوائية تستند إلى مبادئ الانتقاء الطبيعي وعلم الوراثة، ويمكن اعتبار الحل الناتج من تطبيقها حلاً أقرب ما يكون إلى الحل الأمثل [8].

في الخوارزمية الجينية يتم توليد مجموعة شبه عشوائية من الحلول الأولية لتشكيل فضاء البحث، ثم تقييم قيمة ملاءمتها وفقاً لتابع الموضوعية (Objective Function)، وذلك من أجل اختيار أنسب الحلول. تخضع هذه الحلول لثلاث عمليات أساسية هي الاختيار (Selection) والعبور (Crossover) والطفرة (Mutation) وذلك لإيجاد حلول جديدة، في كل دورة بحث يتم انتخاب الحل الأفضل وفقاً لمعيار الملائمة، وتكرر عملية البحث حتى تحقيق معيار التوقف المطلوب.

يتطلب ضبط بارامترات المتحكم PID وفقاً للخوارزمية الجينية ثلاث مراحل رئيسية [9]:

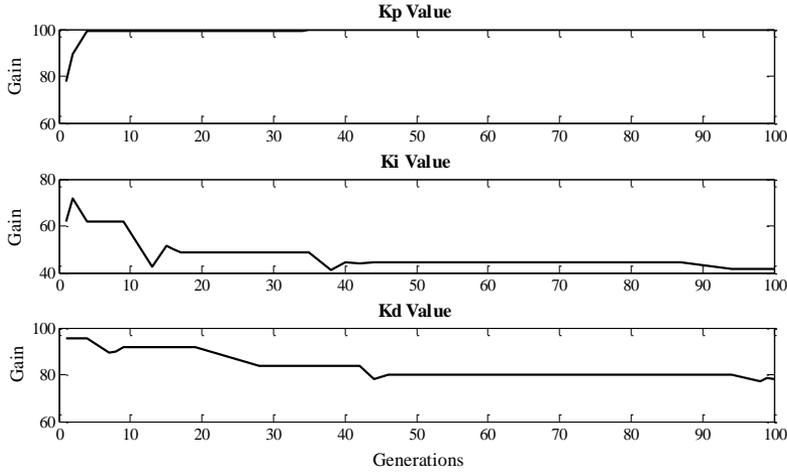
- تهيئة الخوارزمية الجينية: من خلال تحديد ثلاث خصائص أساسية وهي حجم فضاء البحث (Search Space Size) وحدود المتغيرات (Variable Bounds) وتابع الموضوعية (OF).
- إعداد الخوارزمية الجينية: وذلك وفقاً لمجموعة من التعليمات البرمجية ضمن البيئة MATLAB. تتضمن هذه التعليمات تحديد التوابع الوظيفية (functions) للعمليات الثلاث (الاختيار، والعبور، والطفرة).
- تنفيذ الخوارزمية الجينية: ويتم ذلك بتجميع التعليمات في المرحلتين السابقتين في وظيفة برمجية واحدة ضمن البيئة MATLAB.

أما قيم المحددات التي تحكم عمل الخوارزمية فهي موضحة في الجدول (3).

الجدول (3) محددات الخوارزمية الجينية

قيمة المحدد / الطريقة المستخدمة	محددات الخوارزمية الجينية
80	حجم فضاء البحث (Search Space Size)
[-100, 100]	حدود المتغيرات (Variable Bounds)
عجلة روليت (Roulette Wheel)	طريقة الاختيار (Selection Method)
طريقة العبور متعدد النقاط	طريقة العبور (Crossover Method)
طريقة الطفرة المتعددة	طريقة الطفرة (Mutation Method)
التوقف بعد 100 جيل	معياري التوقف (Stopping Criterion)
تقليل مقدار الخطأ	تابع الموضوعية (Objective function)

في الدراسة الراهنة تم اعتبار أن حجم فضاء البحث هو 80، ونتيجة البحث والاستقصاء لوحظ أنها تحقق استجابة جيدة للمنظومة. لأن القيم الأقل من ذلك تخفض من أداء المنظومة، والقيم الأعلى لا تسبب زيادة في التحسين [10]. إن مبدأ الاختيار في الخوارزميات الجينية يمكن أن يتم بطرائق عديدة [11]، ويعتبر الاختيار وفقاً لعجلة روليت من أبسط الطرائق وأكثرها شيوعاً. توجد عدة تقنيات لتنفيذ عملية العبور [12]، وتعتبر تقنية العبور المتعدد النقاط من أفضلها. أما بالنسبة لعملية الطفرة فيمكن تطبيقها بعدة طرائق [13]، أستخدمت منها طريقة الطفرة المتعددة. بما أن الخوارزمية سستخدم لتعيين القيم الأمثل للمتحكم PID فإنه سيتم اختيار تابع الموضوعية بحيث يحقق قيم صغرى لمؤشرات الأداء. تنتهي عملية البحث عند بلوغ معيار التوقف [14]، والذي يُعبر عن عدد مرات دورات البحث. في الدراسة الراهنة تتوقف عملية البحث بعد 100 عملية تكرار (جيل). تم إعداد برنامج حاسوبي ضمن البيئة MATLAB، والذي يبين كيفية تغيير قيم بارامترات المتحكم GPID حتى تحقيق معيار التوقف.



الشكل (4) تغيير قيم بارامترات المتحكم GPID وفقاً لمعيار التوقف

يتضح من الشكل (4) بأن قيم بارامترات المتحكم GPID المثلى عند تحقيق معيار التوقف، تأخذ القيم الموضحة في الجدول (4):

الجدول (4) قيم أرباح المتحكم GPID

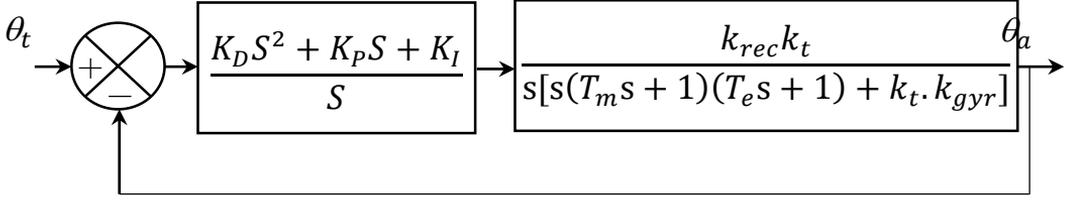
Kp	Ki	Kd
99.6	41.69	78.33

اعتماداً على الشكل السابق وعلى المعادلة (4) يصبح تابع نقل المتحكم GPID كما هو موضح في العلاقة الآتية:

$$T_{GPID}(S) = \frac{78.33 S^2 + 99.6 S + 41.69}{S} \quad (10)$$

8- المحاكاة الحاسوبية لمنظومة ملاحقة الهدف بوجود المتحكم PID

تم العمل على ضبط بارامترات المتحكم PID بطريقتين الأولى بالاعتماد على أحد التقنيات الكلاسيكية، والثانية بالاعتماد على أحد تقنيات الذكاء الصناعي، وذلك من أجل الحصول على بارامترات متحكم PID يقدم التحسين الأفضل للمنظومة المدروسة. سيتم استخدام المتحكم PID في مسار التغذية الأمامية لمنظومة الملاحقة الهدف في الشكل (5).



الشكل (5) منظومة ملاحقة الهدف بوجود المتحكم PID

تم إعداد برنامج حاسوبي من أجل تحليل وتقييم استقرار وأداء منظومة ملاحقة الهدف بعد إضافة المتحكم PID المضبوط بالطريقتين السابقتين. بتنفيذ البرنامج تم التوصل إلى النتائج التالية:

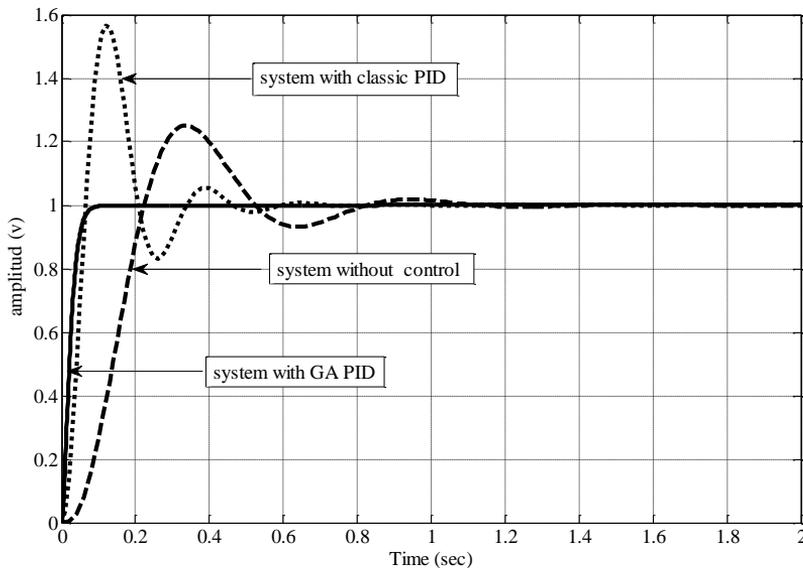
a- قيم بارامترات المتحكم من أجل قيم متعددة لربح مستقبل ملاحقة الهدف كما في الجدول (5).

الجدول (5) قيم بارامترات المتحكم من أجل قيم متعددة لربح مستقبل ملاحقة الهدف

$k_{rec}[v/rad]$	الطريقة المستخدمة	K_P	K_I	K_D
50	classic	9.3294	65.8162	0.4168
	GA	99.63	97.01	27.71
100	classic	4.6647	32.9081	0.2084
	GA	99.6	41.69	78.33
150	classic	3.1098	21.9387	0.1389
	GA	57	96.73	21.74
200	classic	2.876	18.9	0.112
	GA	97.44	99.99	80.32

b- الاستجابة الزمنية لمنظومة ملاحقة الهدف عند تطبيق تابع خطوة واحدة في

الدخل كما في الشكل (6).



الشكل (6) الاستجابة الزمنية لمنظومة ملاحقة الهدف باستخدام المتحكم

يبين الشكل (6) أن استخدام التقانات الحديثة في ضبط بارامترات المتحكم PID يقدم تحسناً كبيراً للمنظومة، وذلك من خلال خفض قيم مؤشرات الأداء.

c- قيم المؤشرات النوعية لأداء منظومة الملاحقة كما في الجدول (6).

الجدول (6) قيم المؤشرات النوعية لأداء منظومة ملاحقة الهدف بوجود المتحكم

الطريقة المستخدمة	$t_p(sec)$	$OS(\%)$	$t_s(sec)$	$ssgain(rad/rad)$
-	0.34	25.05	0.77	1.00
Classic PID	0.12	56.69	0.53	1.00
GA PID	0.10	0.046	0.071	1.00

يتضح من الجدول (6) أنّ كافة مؤشرات الأداء قد انخفضت باستخدام المتحكم PID المضبوط باستخدام الخوارزمية الجينية.

9- النتائج ومناقشتها

تناول البحث دراسة منظومة ملاحقة الأهداف الجوية وإيجاد الموديل الرياضي والمحاكاة الحاسوبية لها بدون ومع وجود المتحكم PID وكانت أهم النتائج المستخلصة من البحث كما يلي:

- منظومة ملاحقة الهدف بدون استخدام أي متحكم مستقرة، ولكن يوجد تجاوز قمة كبير (تبلغ النسبة المئوية لتجاوز الهدف 25.06 %).
- ازدياد قيم كل من النسبة المئوية لتجاوز الهدف وزمن الاستقرار بازدياد ربح مستقبل ملاحقة الهدف، ولكن تتناقص قيم زمن الوصول إلى القمة الأولى.
- أدى استخدام المتحكم PID الكلاسيكي ضمن منظومة ملاحقة الهدف إلى:
 - خفض قيمة زمن الوصول إلى القمة الأولى بنسبة 64.7%.
 - خفض قيمة زمن الاستقرار بنسبة 31.1%.
 - ازدياد النسبة المئوية لتجاوز الهدف بنسبة 55.8%.
- أدى استخدام المتحكم GPID الجيني ضمن منظومة ملاحقة الهدف إلى ما يلي:

- خفض قيمة زمن الوصول إلى القمة الأولى بنسبة 70.5%.
- خفض قيمة زمن الاستقرار بنسبة 90.78%.
- ازدياد النسبة المئوية لتجاوز الهدف بنسبة 99.8%.

يلاحظ من النتائج التي تم الحصول عليها أن استخدام الخوارزمية الجينية في ضبط بارامترات المتحكم PID يقدم متحكم ببارامترات أمثلية، يؤدي إلى تحسين أداء عمل المنظومة، من خلال خفض قيم المؤشرات النوعية للأداء بنسب كبيرة مقارنة مع التقنيات الكلاسيكية.

10- المقترحات والتوصيات

- تقييم أداء منظومة الملاحقة بوجود الضجيج والاضطراب.
- استخدام تقنيات التحكم المتكيف في تحسين أداء منظومة ملاحقة الهدف.

11- قائمة الاختصارات

مسلسل	الاختصار	المصطلح
1	PID	Proportional Integrative Differential
2	k_{rec}	Recipient Gain
3	K_P	Proportional Controller Gain
4	K_I	Integrative Controller Gain
5	K_D	Differential Controller Gain
6	θ_t	Target Direction Angle
7	θ_a	Antenna Direction Angle

REFERENCES

- [1] JOHNSON R, (1994) – **Antenna Engineering Handbook**. McGraw Hill, Third Edition, USA, 1512P.
- [2] KOCHIN A, (2018) – **Air Missile Guidance Theory**. One Edition, Mosco, 853P.
- [3] SARIF B, KUMAR A and RAO V, (2018) **Comparison Study of PID Controller Tuning using Classical/Analytical Methods**, International Journal of Applied Engineering Research, vol. 13(8), 5618-5625.
- [4] Ige O, (2018) **Automatic Tuning of PID Controllers**, Master's Thesis, Faculty of Technology, Natural sciences and Maritime Sciences, university college of Southeast Norway, p88.
- [5] MITCHELL M, (1998) – **An Introduction to Genetic Algorithms**. MIT press, 5th ed, London, 158p.
- [6] LINUS A, (2016) **DC Servomotor-based Antenna Positioning Control System Design using Hybrid PID-LQR Controller**, European International Journal of Science and Technology, vol. 5(2), 17-31.
- [7] HONG W L, Jan (2020) – **Position Control of antenna Emitter Using PID Digital control**. UTAR Library, P 58.
- [8] CHAMBERS L, (2001) – **The Practical Handbook Genetic Algorithm Applications**. Chapman & Hall/CRC, 2nd ed, USA, P 535.
- [9] IBRAHIM S, (2005) – **The PID controller design using**

- Genetic Algorithm**, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, p 88.
- [10] GOTSHALL S, RYLANDER B, (2002) **Optimal Population Size and The Genetic Algorithm**, Proc On Genetic and Evolutionary Computation Conference, P 5.
- [11] JEBARI K, MADIAFI M, (2013) **Selection Methods for Genetic Algorithms**, Agdal University, vol 3(4), 333-344.
- [12] KOR P, YADLAPALLI P, (2017) **Crossover Operators in Genetic Algorithm**, A Review International Journal of Computer Applications, vol 162(10), 34-36.
- [13] ABDOUN O, March (2012) **Analyzing the Performance of Mutation Operators to Solve the Travelling Salesman Problem**, International Journal of Emerging Sciences, vol 2(1), 61-77.
- [14] BHANDARI D, (2012) **Variance as a Stopping Criterion for Genetic Algorithms**, IOS Indian Statistical Institute, vol 120(2), 145-164.

