مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (7) العدد(1) 2023
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (1) 2023

تطوير خوارزمية جينية موثوقة من أجل تصحيح الأخطاء في أنظمة ملاحة الطائرات

د. م. محمد عنبر*

(تاريخ الإيداع 2022/9/28 . قُبِل للنشر في 2023/1/16)

□ ملخّص□

تم في هذا البحث تطوير خوارزمية حينية معدلة و موثوقة لكي تتلاءم مع صناعة الطائرات. حيث تم محاكاة العديد من القياسات ضمن أجهزة الحاسب المخصصة للطائرات وذلك لموائمة استخدام الخوارزميات الجينية. تم توضيح تعديلات الخوارزميات الجينية المقترحة من خلال مثال عن بناء نماذج و أخطاء لنظام الملاحة الخاصة بالطيران.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات الجينية، نماذج التنبؤ الرياضي، أخطاء نظام الملاحة.

*مدرس في قسم هندسة تكنولوجيا المعلومات و الاتصالات – كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات و الاتصالات – جامعة طرطوس– سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (7) العدد(1) 2023
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (1) 2023

Developing a compact genetic algorithm for error correction in aircraft navigation systems

***Dr. Mohammad Anbar**

(Received 28/9/2022 . Accepted 16/1/2023)

□ ABSTRACT

In this research, a modified and reliable Genetic Algorithm (GA) has been developed to be suitable for implementation on board an aircraft. A set of measures has been simulated to simplify implementation of genetic algorithm in the onboard computer system. Efficiency of the proposed genetic algorithm modification is demonstrated by the example of constructing models and errors of an aircraft navigation system.

Keywords: genetic algorithm, prediction mathematical model, navigation system errors

*Teacher, department of telecommunication technology engineering, college of information and telecommunication technology engineering, Tartous university

1. المقدمة

يتزامن تصميم أنظمة التحكم لمختلف التجهيزات و خاصة الطيران منها مع الحاجة لإيجاد نموذج رياضي للحالة المدروسة و تستخدم نفس الأنظمة أيضاً لتنبؤ الحالات ..... والبارامترات و التي تشكل أساسيات التحليل المعمق و ادارة اتخاذ القرار و أيضاً في حل المشاكل التي ترافق نظام الملاحة للطائرات (aircraft navigation system) [1,2].

يمكن استخدام الخوارزميات الجينية ضمن أنظمة التنبؤ و ذلك عند استخدام عدة بارامترات في عملية البحث وصولاً إلى الحل و أيضاً عند استخدام طرق مختلفة في عملية التنظيم الذاتي (self organization) و الشبكات العصبونية [3,4].

تساعد هذه الطرق على بناء نماذج عالية الدقة (high precision) للنظام المدروس وضمن شروط الحد الأدنى من المعلومات. تتطلب الخوارزمية المقترحة أداء عالي من أجهزة الحاسب المستخدمة.

من أجل ذلك فإنه يتم استخدام مقاربة لتخفيض كلفة العمليات الحسابية عند تطبيق هذه الخوارزمية للنموذج المقترح تطبيقه على الطائرات.

2. هدف البحث

يهدف البحث إلى تصميم و بناء نموذج رياضي من أجل تقليل الأخطاء في الأنظمة الديناميكية و خاصة أنظمة الملاحة الجوية بحيث يتم إيجاد و تنفيذ نموذج تنبؤي يقوم بالتنبؤ بالحالات و البارامترات التي تؤثر على أنظمة الملاحة الجوية وبالتالي تصحيح أخطاء هذه الأنظمة.

3. طرائق البحث و مواده

تم في هذا البحث دراسة الخوارزمية الجينية التقليدية بشكل مفصل و من ثم اقتراح تعديل على هذه الخوارزمية من ناحية عمليات الاختيار الجينية و تكاثر مجموعة الحلول باستخدام طريقتي توليد و هما in breeding و out breeding. تم تطبيق الخوارزمية الجينية المعدلة على أنظمة الملاحة الجوية من أجل تقدير الأخطاء و اكتشافها. تم وضع نموذج رياضي يحاكي أنظمة الملاحة الجوية و من ثم تطبيق الخوارزمية الجينية المعدلة على هذا النموذج. تمت عملية المحاكاة و تنفيذ الخوارزمية المعدلة باستخدام برنامج Matlab.

3.2 الخوارزمية الجينية المعدلة

كما تم الذكر سابقاً تعمل الخوارزمية الجينية بوجود مجموعة من الحلول المقترحة(أفراد أو أجزاء) و يتم تقييم هذه الحلول وفق مبدأ اللياقة أو الملاءمة (fitness).

تولد كل خطوة من الخوارزمية الجينية مجموعة جديدة من التقريبات بحيث يتم توليدها من عملية اختبار وفقاً لمستوى الصلاحية. يمكن استخدام الخوارزمية الجينية لبناء نموذج تنبؤي عندما تستخدم لإيجاد الحل الصحيح وهو أساس استخدام الخوارزمية الجينية حيث يتم من خلالها إيجاد الحل الأكثر كفاءة.

يتم تطبيق التصالب الجيني (crossover) للنماذج الباقية عند مراحل الاختبار اللاحقة. و تساعد هذه الخطوة على إيجاد حلول أكثر موثوقية باستخدام الخوارزميات الجينية و التي قد تفقد شيئاً من وقتها عند بناء النموذج. يأتي ذلك كله على حساب سرعة التعقيد ووقته مقارنة مع تطبيق الخوارزمية الجينية التقليدية.

تم استخدام الخوارزمية الجينية في هذا البحث وفق الآلية الآتية و ذلك لإنقاص زمن العمليات الحسابية. من المستحسن استخدام (in breeding) و (out breeding) في بناء الخوارزمية الجينية الموثوقة. يمكن فهم (in breeding) من خلال الطريقة التالية: عندما يتم اختيار الفرد الأول من الزوج الأول عشوائياً أما الفرد الثاني يتم اختياره أقرب ما يكون إلى الفرد الأول. أما في حالة (out breeding)

على العكس يتم اختيار الأزواج من أفضل الأفراد ((the most distant specimens. يعد تطبيق المشاكل الأكثر خطورة (multi–extreme problems) أكثر التطبيقات نجاعة لاستخدام كلال الطريقتين [5].

لكل من هاتين الطريقتين تأثيرات مختلفة على الخوارزمية الجينية حيث يمكن تطبيق (in breeding) عند البحث ضمن العقد المحلية local nodes و التي تؤدي إلى تفريق المجموعة (population) إلى مجموعات محلية متفرقة حول مجموعات مشكوك في صلاحيتها(suspicious).

أما (out breeding) فتهدف إلى منع تقارب الخوارزمية الجينية باتجاه الحلول التي تم إيجادها. الأمر الذي يجبر الخوارزمية على فحص مناطق جديدة و غير مكتشفة (un explored).

تعتمد طرق الاختيار الأفضل على بناء مجموعة جديدة من أفضل الأفراد المعاد انتاجها في عملية فشل الآباء و كذلك من الطفرات (mutations). يتم تفسير هذا الاختيار بالخطر المحتمل للتقارب المبكر و من خلال إعطاء الأفضلية للاختيار النسبي. يتحقق التقارب السريع عن طريق اختيار النخبة (elite) و يمكن تعويضه بنجاح من خلال طرق مناسبة لاختيار الآباء كما هي الحالة في طريقة (out breeding) و تعد هذه الطريقة الأكثر نجاعة لهذه العملية. يوجد طريقة أخرى يمكن من خلالها تعويض التقارب السريع و تسمى الانبعاث (extrusion). يتم اختيار نموذج من المجموعة المولدة لتصبح مجموعة أساسية (population) و التي يتم تحديدها ليس فقط من خلال قابليتها للتكيف (adaptability) و إنما أيضاً إذا وجد نموذج مع كروموسوم (chromosome) مشابه للمجموعة الجديدة التي تم انشاؤها من بين جميع النماذج ذات الأنماط الجينية. يتم إعطاء الأولوية للنماذج ذات قيمة تابع التكيف الأعلى (higher adaptability function value). وبالتالي لا يتم ضياع أفضل الحلول و ذلك لأنها تحتوي كروموسومات مختلفة من كل مجموعة جديدة كما يتم الحفاظ على نموذج جيني كافي في المجموعات المعاد توليدها.

عند استخدام طريقة الانبعاث فإن مجموعة خاصة من الأفراد تتوضع بشكل متباعد بدلاً من تجميع العينات بالقرب من الحل الموجود حالياً. و قد أثبتت هذه الطريقة فعاليتها خاصة في حل المشاكل الأكثر تطرفاً إضافة لظهور إمكانية بثق النهايات العظمى و التي تقترب قيمتها من القيم الشاملة (global values).

يتم تقليل زمن العمليات الحسابية عند تنفيذ الخوارزمية الجينية ضمن أجهزة الحواسيب المخصصة للطائرات و ذلك من خلال تنظيم عمليات التصالب(crossover) و نسخ عمليات الانقسام الاختزالي (copying meiosis) و الذي يعد وسيلة لتقليل عدد الكروموسومات خلال عملية الانشطار (fusion). يتضمن استخدام الانقسام الاختزالي عبور الأفراد مع تقليل عدد الكروموسومات . يتم استخدام الأساس الجيني المحدد و طريقة إنقاص عدد الكروموسومات أثناء الإنشطار بشكل مشابه لإجرائيات الانقسام الاختزالي ضمن الخوارزمية الجينية و ذلك لتبسيط اجراءات بناء النموذج [6، 7، 8].

بناء على ما سبق تم تطوير خوارزمية جينية معدلة تتضمن مجموعة من المقاييس تساهم في تقليل زمن و تعقيد العمليات الحسابية عند تنفيذها على متن الطائرة.

تؤدي اجراءات بناء نموذج مخفض (reduced model) إلى تقليل الدقة (loss in accuracy) أو إلى زيادة في الوقت المطلوب لبناء نموذج بدقة محددة و من أجل تحديد الخصائص النوعية للخوارزمية المطورة. يجب إجراء محاكاة عددية (numerical simulation) باستخدام مثال ملموس (مادي) و كمثال سيتم استخدام عملية تصحيح الخطأ بالنسبة للنظام الملاحي الجوي الخاص بالطائرات.

3.3 محاكاة الخطأ ضمن أنظمة الملاحة الجوية

يتم تصحيح مقاييس الأنظمة الحديثة باستخدام الخوارزميات، وتتضمن هذه الخوارزميات نماذج رياضية يتم وضعها وفقاً للنموذج المدروس ووفقاً للأخطاء المحتملة، حيث لا تصلح النماذج المعروفة سابقاً مع طبيعة الأنظمة الديناميكية المتغيرة باستمرار أي يجب بناء نموذج جديد مع الحالة المدروسة.

تستخدم الشبكات العصبونية وطرق التنظيم الذاتي والخوارزميات الجينية للحصول على تصحيح عالي الدقة لأنظمة القياس وأيضاً لبناء نماذج رياضية جديدة [9−10−11] .

يمكن تنفيذ النموذج الرياضي بعدة طرق لكن الخوارزمية الجينية تعد واحدة من أدق الخوارزميات أو يمكن معها استخدام الحد الأدنى من المعلومات السابقة حول الكائن قيد الدراسة.

يعد تطوير نموذج تنبؤي أمر ضروري لنظام القياس قيد الدراسة ويتم الحصول على النموذج من خلال المعلومات السابقة ولا يتم ضبطه أثناء عملية قياس محددة للنظام.

تتيح الخوارزمية الجينية بناء نموذج تنبؤ مناسب ودقيق يعتمد على الفترات الزمنية لنظام التشغيل من أجل إنشاء عملية التنبؤ [12−13−14]

تحوي أنظمة الملاحة على أخطاء بسبب التعرض للعديد من عوامل التشغيل للبيئة المحيطة وخصائص التصميم للنظام الملاحي ويعد دراسة مثل هذه الأخطاء مهم وضروري ويتطلب معالجة فورية لتعويضها.

يمكن وصف سلوك أخطاء قصور نظام الملاحة Inertial navigation system (INS) بمجموعة من المعادلات اللاخطية nonlinear equations

تمت محاكاة أخطاء النموذج الرياضي لجهاز INS المدمج مع نظام INS (GLONASS, radar) مع الخوارزمية الجينية لإنشاء نموذج خطأ INS مترافق مع تعطيل مصادر المعلومات الخارجية.

تم العمل على فصل قناة النموذج اللاخطي لأخطاء INS وتم الأخذ بالحسبان نموذج خطأ INS للقنوات الشمالية والشرقية Northern and Eastern

تتحدد معادلات القنوات الشمالية وفق الآتي:

$$\boldsymbol{x}_k = \boldsymbol{F}\boldsymbol{x}_{k-1} + \boldsymbol{w}_{k-1} \qquad (1)$$

$$\boldsymbol{x}_k = \begin{matrix} \delta v_N \\ \Phi_E \\ \omega_E^{dr} \end{matrix}_k ; \quad F = \begin{matrix} 1 & Tg & 0 \\ -\frac{T}{R}\cos\Phi_N & 1 & T\cos\Phi_N \\ 0 & 0 & 1-T\beta \end{matrix} ; \quad \boldsymbol{w}_k = \begin{matrix} TB_N \\ 0 \\ TA\sqrt{2\beta}w \end{matrix}_k ;$$

حيث أن:

ω: الضجيج الأبيض.

A: الانحراف العشوائي المعياري

β: متوسط تردد التغيير من الانحراف العشوائي.

T: الخطوة التقديرية discretization step

g : تسارع الجاذبية الأرضية

B : الانزياح عن التسارع

R : نصف قطر الأرض

W_{k-1} : الضجيج الأبيض الغاوصي التماثلي المتقطع

δVk: خطأ INS في تحديد السرعة

Φ_k :زاوية انحراف المنصة الجيروسكوبية GSP عن ثلاثي السطوح trihedral

ω_k: انحراف سرعة GSP

يتم توليد تصحيح الإشارات للقناة الشمالية وفق المعادلات الآتية [2]:

(2)

$$z\left(\delta v_N\right) = \frac{-gT^2\cos\Phi_N + R\left(T\beta - 1\right)}{\beta T^2\cos\Phi_N} z_k + \frac{R\left(2 - T\beta\right)}{\beta T^2\cos\Phi_N} z_{k+1} - \frac{R}{\beta T^2\cos\Phi_N} z_{k+2};$$

$$z\left(\Phi_E\right) = z_k;$$

$$z\left(\omega_E^{dr}\right) = \frac{gT^2\cos\Phi_N + R}{R\beta T^2\cos\Phi_N} z_k + \frac{2}{\beta T^2\cos\Phi_N} z_{k+1} - \frac{1}{\beta T^2\cos\Phi_N} z_{k+2}.$$

يمكن استخدام الأشكال المطورة من هذه المعادلة كإشارات دخل للخوارزمية الجينية ثم تصميم نماذج خطأ INS باستخدام COA وتحدث لتقييم دقة INS أثناء الطيران.

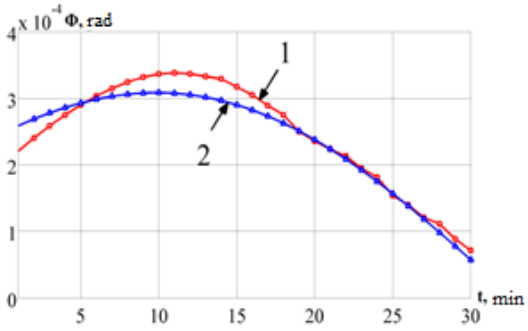
تم إجراء محاكاة للنموذج الرياضي لاختبار أخطاء INS ولإشارات الضجيج المولدة وللخوارزمية الجينية GA . أظهرت نتائج النمذجة الرياضية فعالية الخوارزميات المطورة كما أظهرت النتائج أن الخوارزمية المطورة تجعل من الإمكان تحسين فعالية النظام الملاحي في الوضع المستقل standalone mode كما تضمن إنجاز المهام المحددة للطائرة.

تم استخدام الخوارزمية الجينية GA وعينات من تقييم الخطأ لزمن مقداره t=3 min وذلك لبناء نموذج التنبؤ .تتم تقديم النماذج التي تم الحصول عليها للتنبؤ بالأخطاء في تحديد الموقع location والسرعة velocity بانحراف زاوية نظام GSP وانحراف السرعة.

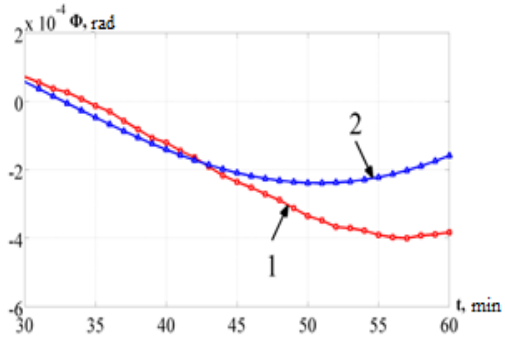
4. النتائج والمناقشة:

تم اجراء عملية المحاكاة لتنبؤ انحراف زاوية المنصة الجيروسكوبية GrRo

عند استخدام نموذج تنبؤ الضجيج لمنصة Gsp تزداد دقة التحديد determination بمعدل 65%مقارنة مع نظام INS القائم بمعرفة المستقل وبزيادة بمعدل 8% مقارنة مع طرق التصحيح المعروفة operation known.



(a): بناء نموذج زاوية انحراف osp



(b) : التنبؤ بزاوية انحراف osp

الشكل 1 الفرق بين النموذج الخوارزمية الجينية1 ونموذج الاختبار2

كقاعدة عامة يتم قياس جزء من شعاع الحالة state vector في التطبيقات العملية .يمكن تقديم معادلة القياس على النحو الآتي.

$$\boldsymbol{z}_k = \boldsymbol{H}\boldsymbol{x}_k + \boldsymbol{V}_k \qquad (3)$$

حيث أن:

Z_k : مقياس الشعاع r.

H: مصفوفة القياسات(r x n).

V_k: خطأ القياس أو ضجيج القياس.

يعد الضجيج عملية عشوائية وتم اقتراحه كضجيج أبيض غاوصي تماثلي متقطع r بعد والذي من أجله :

$$M\ V_k = 0,\quad M\ V_j V_k^T = R_k \delta_{j,k}$$

هنا R_k هي المصفوفة ذات الأبعاد (r x r) و المعرفة بشكل غير سلبي. $\delta_{j,k}$ هو رمز Kronecker.

تم توليد القياسات وفق المعادلة (3) على أنها الفرق بين إشارات INS و GLOASS وهي مزيج من أخطاء نظام الملاحة. تستخدم هذه الإشارة مع مخطط الضجيج بواسطة مرشح كالمان Kaliman filters في حال اختفاء الإشارة LONAS أم عدم موثوقيتها تصبح عملية التصحيح غير ممكنة ومن أجل هذه الحالة يتم استخدام مخطط تصحيح معتمد على التنبؤ ويكون من الضروري بناء نموذج رياضي للتنبؤ بأخطاء INS.

5. الخاتمة و الاستنتاجات

تم في هذا البحث تعديل الخوارزمية الجينية التقليدية و تطبيقها في بناء نموذج شعاع الحالة غير المقاس مباشرة و ذلك بدقة كافية. المدة الزمنية من أجل بناء نموذج بدقة معروفة باستخدام الخوارزمية الجينية GA هي بمعدل 16 ثانية و المدة الزمنية من أجل بناء نموذج باستخدام الخوارزمية الجينية المعدلة هي بمعدل 11.2 ثانية. الاستنتاج الأهم الذي يمكن الحصول عليه بعد هذا البحث هو استقرار الخوارزمية الجينية GA في تصحيح INS و ذلك عندما تكون اشارة المعلومات من حساس المعلومات الخارجي مفقودة.

6. المراجع

1. Neusipin K.A., Chun Ngok Hyong (2016). Study of independent navigation systems algorithmic correction method. Automation. Modern technologies, (1), 29-33.
2. Neusipin, K.A., & Chun, N.H. (2015). Generation of independent inertial navigation systems correction signals. Automation. Modern technologies, (4), 30-33.
3. Golovko, V.A., & Galushkin, A.I. (2001). Neural networks: training, organization and application. Neural computers and their application.
4. Neusipin, K. A. (2009). Development of modified self-organization algorithms for navigation data correction. Automation. Modern technologies, (1), 37-39.

5. Neusipin, K. A., Proletarsky, A.V., Weis, Yu. L., & Sholokhov, D.O. (2012). Generation of criteria ensemble for compact self-organization algorithm selection. Automation and modern technologies, (11), 14-16.

6. Proletarsky, A., & Neusipin, K. (2011). Research Filtering Algoritm With Delay Effect For Measurment system. Science & Military Journal, 6(2), 47.

7. Fang, K. E., & Neusipin, K. A. (2010). The research on modeling algorithm using self-organization method in aerocraft intelligent control system. Journal of Projectiles Rocket Missiles and Guidance, 5, 39-42.

8. Proletarsky, A., & Neusipin, K. (2010). Research scalar filtering algorithm with selforganization method for modeling control system. Science & military, 5(2), 17-21.

9. Fang, K., & Neusipin, K. (2011). Algorithms in intelligent control systems of aircrafts. China, Chengdu: Sichuan university press, 162.

10. Proletarsky, A.V., & Neusipin, K. A. (2010). Adaptive filtering for navigation systems of robot-aerocraft. Science & Military Journal, 5(1), 75.

11. Neusypin K.A., Selezneva M.S., Tsibizova T.Yu. (2018). Diagnostics algorithms for the flight vehicles navigation complex // 2018 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Art.no 8501679. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501679

12. Shen, K., Neusypin, K.A., Selezneva, M.S., Proletarsky, A.V. (2018). Research on High-Precision Measurement Systems of Modern Aircraft. Russian Aeronautics. 61(2), 279-286.

13. Neusypin K.A., Tsibizova T.Y., Kuznetsov I.A. (2015). Development of criterion of degree of identifiability of parameters of dynamic systems. 5th International Workshop on Computer Science and Engineering: Information Processing and Control Engineering, WCSE 2015-IPCE, Code 112346, 66-71.

14. Ke, F., & Neusipin, K.A. (2010). Research progress of intelligent control systems of aerocrafts. Binggong Xuebao, 31(7), 939-949.

15. Carvalho, H., Del Moral, P., Monin, A., & Salut, G. (1997). Optimal nonlinear filtering in GPS/INS integration. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 33(3), 835-850.

16. Dmitriyev, S. P., Stepanov, O. A., & Shepel, S. V. (1997). Nonlinear filtering methods application in INS alignment. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 33(1), 260-272.

17. Fang, K., Proletarsky, A., & Neusipin, K. (2011). Selection of Measured Signals in the Navigation Measuring Complex. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2(4), 346-348.

18. Neusypin, K.A., Selezneva, M.S., Huong, T.N., Tsibizova, T.Y. (2019). Correction of autonomous navigation systems using the Kalman filter // AIP Conference Proceedings. 2019. Volume 2171, 190013.

19. Shakhtarin, B.I., Shen, K., Neusypin, K.A. (2016). Modification of the nonlinear kalman filter in a correction scheme of aircraft navigation systems. Journal of Communications Technology and Electronics 61(11), c. 1252-1258.

20. Shen, K., Proletarsky, A.V., Neusypin, K.A. (2016). Algorithms of constructing models for compensating navigation systems of unmanned aerial vehicles. 2016 International Conference on Robotics and Automation Engineering, ICRAE 2016, 7738798, 104-108.