

مقارنة بين خوارزميات تخفيض النمط في المتحكم العائم من النمط⁽¹⁾2

محمد مازن المحاييري⁽²⁾

هيام خدام⁽³⁾

ضياء الدين الأجرد⁽⁴⁾

الملخص

مع تطور النظم الهندسية التي أصبحت أكثر تعقيداً ولاخطية، ظهرت الحاجة إلى تطوير المتحكم العائم من النمط 1 إلى النمط 2 الذي يتم التعبير فيه عن درجات الانتماء بقيم عائمة أيضاً. أدى ذلك لوجود مرحلة جديدة في المتحكم العائم ألا وهي تخفيض النمط، التي تعتبر من أهم مراحل المتحكم العائم من النمط 2، وظهرت دراسات عديدة تضع الخوارزميات المستخدمة ضمن هذه المرحلة. تضمن هذا البحث دراسة لأهم خوارزميات تخفيض النمط، ومقارنة لنتائج عمل المتحكم من خلال التحكم بموضع وقوف عربة باستخدام هذه الخوارزميات بغية الوصول لأفضل استجابة حيث أعطت كل من خوارزمية KM و WM أفضل النتائج في دراستنا من حيث السرعة والدقة.

كلمات مفتاحية: المجموعات العائمة من النمط 2، المنطق العائم، التحكم العائم.

(1) أعد هذا البحث في سياق دراسة الدكتوراة للمهندس ضياء الدين الأجرد.

(2) قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

(3) قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

(4) قسم هندسة الحواسيب والأتمتة- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

Comparison of Type-Reduction Algorithms for Type-2 Fuzzy Controller ⁽¹⁾

Muhammad Mazen Almahairi⁽²⁾

Hiyam Khaddam⁽³⁾

Dia Addeen Alajrad⁽⁴⁾

Abstract

As engineering systems evolved and became more complex and nonlinear, there was a need to develop the type-1 fuzzy controller to type-2 fuzzy controller, in which the degrees of membership functions were expressed with fuzzy values. This led to a new stage in the type-2 fuzzy controller, namely, the type-reduction, which is one of the most important stages of the type-2 fuzzy controller. Many articles have been written to study the algorithms used in type-reduction. In this research, the most important type-reduction algorithms were studied, and the results of the type-2 fuzzy controller were compared by using these algorithms to control the position of the cart parking in order to reach the best response, where KM and WM algorithms gave the best results in our study in terms of speed and accuracy.

Keywords: Type-2 Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Control

⁽¹⁾ This Research prepared during doctorate degree in Computers and Computing Engineering.

⁽²⁾ Dr. Eng. Department of Engineering Computers and Computing- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

⁽³⁾ Dr. Eng. Department of Engineering Computers and Computing- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

⁽⁴⁾ Dr. Eng. Department of Engineering Computers and Computing- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Damascus University.

المقدمة:**1-2- لمحة تاريخية:**

يوجد العديد من خوارزميات التخفيض المستخدمة في التحكم العائم من النمط 2 من أشهرها خوارزمية Karnik-Mendel (KM) [3]، التي تعتبر خوارزمية سريعة ولكن تحتاج لعمليات تكرارية عديدة (من 2 إلى 6 مرات) وبالتالي فإن التعقيد الحسابي لها سيكون مرتفع، ثم تم محاولة تحسين هذه الخوارزمية لينتج لدينا خوارزمية KM المحسنة وسميت Enhanced Karnik-Mendel التي تعتمد على اجتزاء النقاط من على يمين ويسار حدود المجموعة العائمة، هذا الاقتراح ساعد على تقليل التعقيد الحسابي [4] ولكن بقي تطوير خوارزميات تخفيض النمط مفتوحا للدراسة، لتأتي خوارزمية التكرار مع شرط التوقف Iterative Algorithm with Stopping Condition (IASC) [5] التي ساعدت في تقليل التعقيد الحسابي وتم تحسينها فيما بعد لتنتج خوارزمية Enhanced Iterative Algorithm with Stopping Condition (EIASC) [6] التي تعتبر من الخوارزميات المنافسة لخوارزميتي EKM و KM في الاستخدام ضمن المتحكم العائم من النمط 2، وظهر بعدها خوارزميات عديدة منها ما يعتمد التبسيط في إيجاد نقطتي الاختزال للمجموعة العائمة في الخرج خلال مرحلة تخفيض النمط فيكون تعقيدها الحسابي بسيطا، ومنها ما يعتمد دقة النتيجة المرجوة فتكون معقدة ومكلفة حسابيا، فمن الخوارزميات البسيطة خوارزمية Nie-Ti [7]، حيث تقي بالغرض وتعتمد على حالة النظام المدروس، وأما المعقدة حسابيا خوارزمية Wang-Mendel (WM) التي تعطي دقة في الحساب ولكن على حساب الزمن والكلفة [8]. وقد قام كل من Maowen Nie و Dongrui u [10] بمقارنة خوارزميات تخفيض النمط للمجموعات والأنظمة العائمة من النمط 2 بالنسبة للتعقيد الحسابي عن طريق Monte Carlo دون التطرق لتطبيقها على أنظمة غير

خلال السنوات القليلة الماضية، كان هنالك اهتمام في تطوير المتحكم العائم من النمط 2 Type-2 Fuzzy Logic Controller (T2FLC)، وقد تم إثبات أن المتحكم العائم من النمط 2 أفضل من النمط 1 في القدرة على التعامل مع أوجه عدم اليقين في العديد من التطبيقات العملية [1]. ركز الباحثون خلال دراسة التحكم العائم من النمط 2 على دراسة خوارزميات تخفيض النمط Type-Reduction (TR) وهي المرحلة التي تميز المتحكم العائم من النمط 2 عن النمط 1، حيث خلال هذه المرحلة يتم تحديد المجموعة العائمة الأفضل في خرج المتحكم لتطبيق أمر التحكم على النظام المدروس والحصول على أفضل استجابة [2].

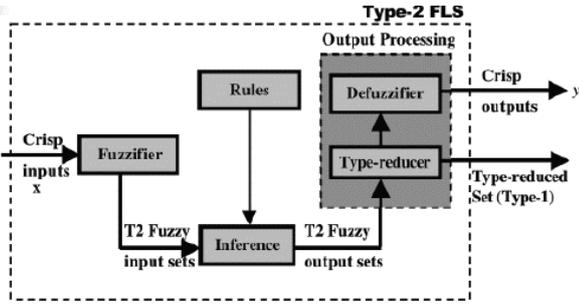
هدف البحث:

يهدف البحث إلى بناء متحكم عائم من النمط 2 وتطبيقه على نظام عربية للتحكم بموضع وقوفها، ومقارنة نتائج الاستجابة من خلال تطبيق عدة خوارزميات لمرحلة تخفيض النمط وسيتم ذلك وفق الخطوات التالية:

- 1- دراسة بنية المتحكم العائم من النمط 2، والتعرف على أهم خوارزميات تخفيض النمط المستخدمة ضمنه.
- 2- دراسة نموذج لعربة يتم تحريكها بواسطة زوج محرك DC.
- 3- تصميم متحكم T2FLC للتحكم بنظام العربة مع تغيير نوع خوارزمية تخفيض النمط في كل مرة، ومحاكاة النظام باستخدام MATLAB.
- 4- مقارنة النتائج.
- 5- التوصيات.

استوجب هذا الفرق بين المجموعة العائمة من النمط 1 والنمط 2 وجود مرحلة جديدة ضمن المتحكم العائم من النمط 2 وهي مرحلة تخفيض النمط التي تهدف للحصول ضمن المجموعة العائمة من النمط 2 على أفضل مجموعة عائمة من النمط 1 لأجل تطبيق فك التعويم عليها، وبالتالي الحصول على أفضل قيمة رقمية نطبقها على النظام المدروس.

و يبين المخطط الصندوقي في الشكل (2) موقع مرحلة تخفيض النمط ضمن المتحكم العائم من النمط 2 [1]:



الشكل (2) بنية المتحكم العائم من النمط 2

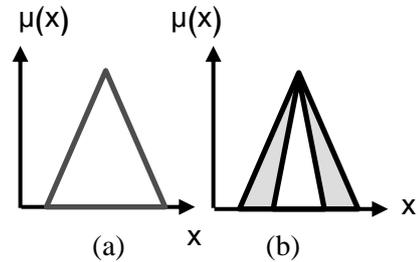
2-1- دراسة أهم خوارزميات تخفيض النمط: من أهم الأمور الأساسية في الأنظمة العائمة هو الانتقال من المجموعة العائمة إلى قيمة رقمية بحيث يمكن تطبيقها على النظام المدروس، فعندما يكون المتحكم العائم من النمط 1 يتم ذلك عن طريق مرحلة فك التعويم، أما في حالة المتحكم العائم من النمط 2 فلدينا أسلوبين متبعين:

- إما الانتقال مباشرة من المجموعة العائمة من النمط 2 إلى قيمة رقمية عن طريق مرحلة فك التعويم defuzzification.
- أو الانتقال من المجموعة العائمة من النمط 2 إلى مجموعة عائمة من النمط 1 ثم إلى قيمة رقمية وتدعى

مستقرة أو لا خطية وما سنقدمه خلال هذا البحث المقارنة بين هذه الخوارزميات عند تطبيقها على نظام عربة يجرها محرك DC.

2 - دراسة بنية المتحكم العائم من النمط 2:

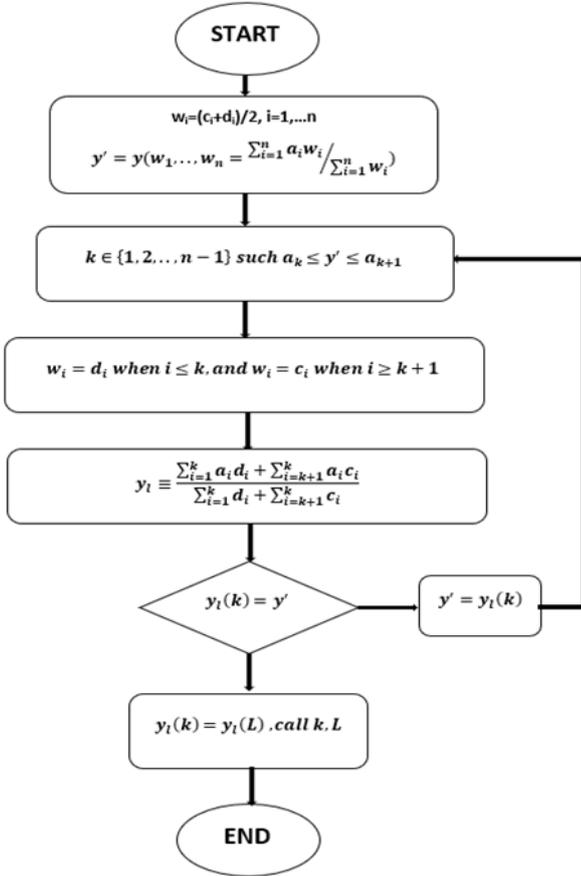
تم تقديم مفهوم زيادة درجات الأنظمة العائمة (Fuzzy Systems FSs) من قبل العالم لطفي زاده [1]، وذلك من خلال زيادة أبعاد المجموعة العائمة من النمط الأول (Type1 Fuzzy Sets T1FSs) لتصبح نمط ثاني وثالث.. إلخ، حيث وضع مفهوم توسيع المجموعات العائمة، وبما أننا نستخدم توابع الانتماء (Membership Functions MFs) في المتحكم العائم (Fuzzy Logic Control FLC) لتمثيل المجموعات العائمة التي أصبحت في النمط الثاني تمتلك درجة انتماء أخرى نتيجة تعويم تابع الانتماء، فزادت بذلك دقة اتخاذ القرار عند استنباط النتائج من جملة القواعد (Rule Base RB). إذاً تعتمد فكرة المتحكم العائم من النمط 2 (Type-2 Fuzzy Logic Controller T2FLC) على تعويم تابع الانتماء (MFs) [6] أي جعلها مجموعة عائمة كذلك، وبالتالي الحصول على مجالات قرار أكثر عند بناء جملة القواعد واستنباط النتائج مقارنة بالتحكم العائم من النمط الأول (Type-1 Fuzzy Control) وذلك نحصل على استجابة أفضل للنظام الخاضع للتحكم ويبين الشكل (1) الفرق بين المجموعات العائمة من النمط 1 والنمط 2:



الشكل (1) المجموعة العائمة من

النمط 1 (a) والنمط 2 (b)

العملية التكرارية في إيجاد نقطتي الاختزال كما يبين المخطط التدفقي في الشكل (4):



الشكل (4) المخطط التدفقي لخوارزمية KM

حيث $w_i \in [c_i, d_i]$ قيمة حقيقية موجبة و y متوسط النقل. هذا بالنسبة لإيجاد نقطة الاختزال اليسرى، ونكرر نفس التسلسل السابق لإيجاد نقطة الاختزال اليمنى مع مراعاة b, r, R بدل a, l, L على الترتيب.

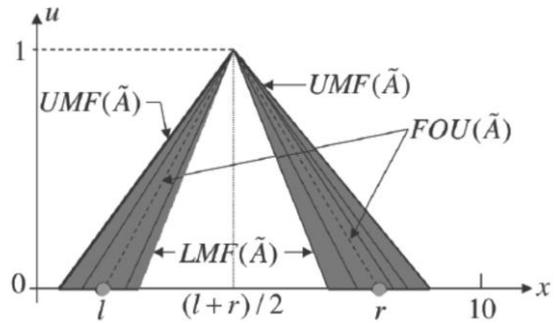
2-1-2- Enhanced خوارزمية KM المحسنة

(Karnik-Mendel (EKM

تم تحسين خوارزمية KM من خلال اختصار مجال النقاط N الذي نجري فيه البحث عن النقطتين l, r بحيث تم من خلال التجريب باختصار نقاط الجهة اليمنى ليتم تقسيمها على الرقم 1.7 أي يصبح عدد نقاط الجهة اليمنى

مرحلة تخفيض النمط type-reduction ومعها مرحلة فك التعويم type-reduction + defuzzification.

ويجب التنويه أنه عندما يختفي الغموض أو الترجيح المتواجد في المجموعات العائمة من النمط 2 عندها تصبح المجموعة عائمة من النمط 1، وكما يتم التعامل مع المجموعة العائمة من النمط 1 في مرحلة فك التعويم باستخدام مركز الثقل ينتج لدينا قيمة رقمية ليتم تطبيقها على النظام المدروس. كذلك الأمر في مرحلة التخفيض نحتاج أن نحدد نقطتي الاختزال l, r اللتين تحددان أفضل مجموعة عائمة من النمط 1 ضمن المجموعات العائمة العديدة المتواجدة في المجموعة العائمة من النمط 2 كما يبين الشكل (3) [9]:



الشكل (3) نقطتي الاختزال l, r

لإجراء هذا العمل ظهرت عدة خوارزميات هدفها إيجاد هاتين النقطتين للحصول على أفضل أمر تحكم يمكن تطبيقه على النظام المدروس وتحسين استجابته، وسنبداً بملخص لعمل أهم الخوارزميات المستخدمة ضمن تخفيض النمط.

2-1-1- خوارزمية (KM) Karnik-Mendel

تعتبر هذه الخوارزمية من أشهر الخوارزميات [3]، حيث تعتمد

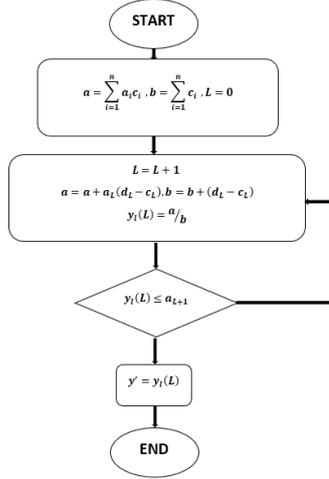
2-1-4- خوارزمية التكرار مع شرط التوقف

المحسنة Enhanced Iterative Algorithm with Stopping Condition (EIASC)

:Stopping Condition (EIASC)

يبين المخطط التدفقي في الشكل (6) عمل هذه

الخوارزمية:



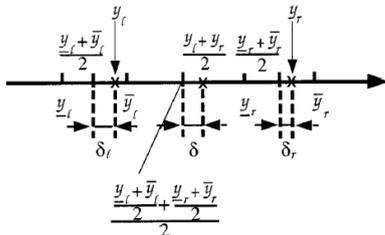
الشكل (6) المخطط التدفقي لخوارزمية EIASC

هذا المخطط التدفقي لإيجاد النقطة اليسرى، وبنفس التسلسل توجد النقطة اليمنى حيث $R=n$ و $R=R-1$ ، وشرط التوقف عندما $y_r(R+1) \geq b_R$ نحصل عندها على النقطة اليمنى.

2-1-5- خوارزمية (WM) Wang-Mendel

تختلف هذه الخوارزمية عن الطرق التكرارية السابقة حيث تعتمد على مبدأ Uncertainty Bound، حيث يتم تحديد لكل نقطة اختزال حدود bounds للحصول على النقطة التي نبحث عنها

بدقة أعلى كما يبين الشكل (7):



الشكل (7) Uncertainty Bound

N/1.7 واليسرى N/2.4 وبالتالي تم تسريع عملية البحث عن النقطتين L, r [4].

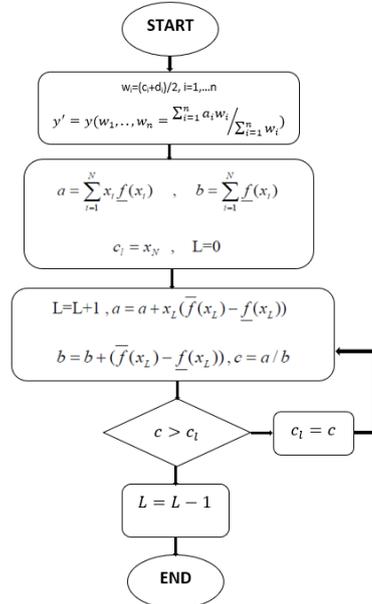
2-1-3- خوارزمية التكرار مع شرط التوقف

Iterative Algorithm with Stopping Condition (IASC)

إن هدف كل خوارزمية هو إيجاد نقطتي الاختزال كما رأينا سابقا وطبعا أغلب الخوارزميات التكرارية تأخذ نفس السياق المتبع في خوارزمية KM مع إجراء بعض التعديلات بهدف تسريع عملية البحث عن نقطتي الاختزال اليمنى واليسرى [5].

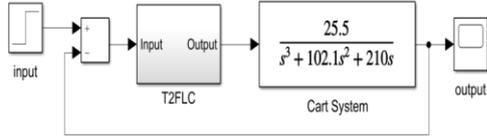
تقوم هذه الخوارزمية بعملها وفق المخطط التدفقي في الشكل (5) لحساب النقطة اليسرى حيث يتم تكرار نفس الخطوات لحساب النقطة اليمنى مع مراعاة R بدل L و r بدل l، ونلاحظ أن التعديل الذي تم وضعه في هذه الخوارزمية هو البدء بالبحث عن النقطة اليسرى من $L=0$ واليمنى من $R=N$ مع مراعاة شرط توقف الخوارزمية عند كل نقطة فليسرى ومنها كان اسمها

IASC.



الشكل (5) المخطط التدفقي لخوارزمية IASC

بعد اختيار توابع الانتماء وتصميم المتحكم نطبقه على نظام العربة ليكون الشكل النهائي في برنامج SIMULINK في MATLAB كما في الشكل (11):

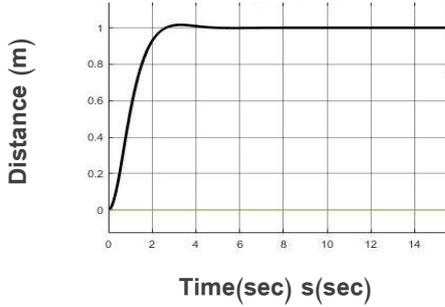


الشكل (11) مخطط النظام المدروس باستخدام T2FLC

3-2-2- دراسة استجابة نظام العربة باستخدام عدة خوارزميات لتخفيض النمط في المتحكم العائم من النمط 2

- نبدأ بخوارزمية التخفيض TR من النوع KM حيث

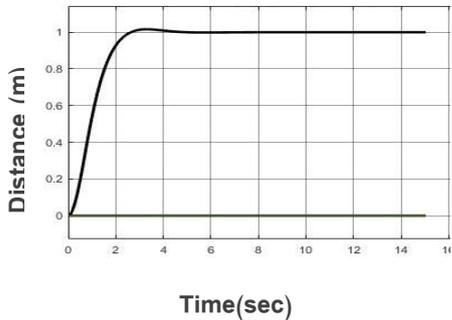
تكون استجابة النظام كما يبينها الشكل (12):



الشكل (12) استجابة النظام المدروس باستخدام خوارزمية KM

- خوارزمية تخفيض النمط EKM

حيث تصبح استجابة النظام المدروس باستخدام هذه الخوارزمية كما في الشكل (13):

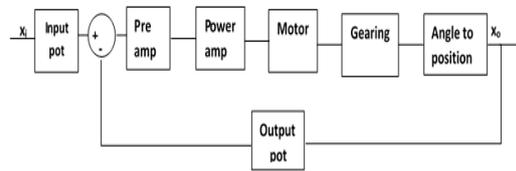


الشكل (13) استجابة النظام المدروس باستخدام EKM

وبالتالي يمكننا الحصول على نقطتي الاختزال اليمنى واليسرى دون الحاجة للتكرار الحسابي ولكن على حساب الزمن حيث تأخذ وقتاً حسابياً أطول من سابقتها [7].

3- دراسة نظام عربة يتم تحريكها بواسطة محرك DC: 1-3- النموذج الرياضي للعربة:

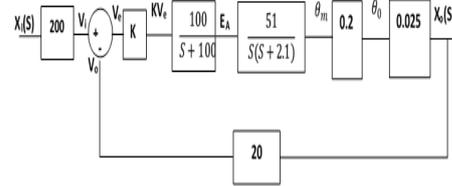
يبين الشكل (8) المخطط العام لنظام العربة وهو نظام لا خطي وغير مستقر نهدف للتحكم بموضع هذه العربة حيث أن دخل النظام المدروس هو قيمة الجهد المطبق على المقاومة المتغيرة وخرجه هو المسافة التي تقطعها العربة:



الشكل (8) المخطط العام لنظام العربة

وبعد تعويض توابع النقل يصبح المخطط الصندوقي كما في

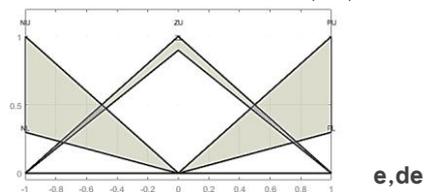
الشكل (9):



الشكل (9) المخطط الصندوقي لنموذج العربة

3-2- تصميم متحكم عائم T2FLC للتحكم بموضع

العربة: سيتم خلال هذه المرحلة تصميم متحكم عائم من النمط 2 من النوع سوجينو sugeno، مع استخدام شكل توابع الانتماء المثلثية لكل من الخطأ وتغير الخطأ كما في الشكل (10):

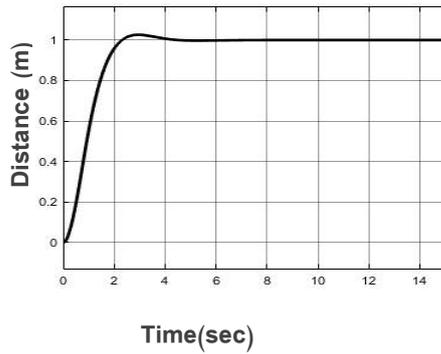


الشكل (10) توابع الانتماء للدخل في المتحكم T2FLC

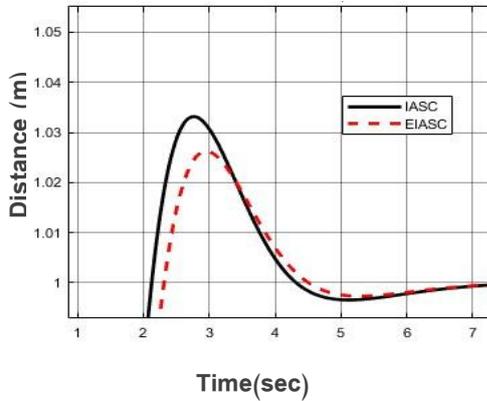
نلاحظ وجود تجاوز أكثر مقارنة مع KM و EKM ويبقى لدينا استخدام خوارزمية EIASC لنقارنها مع الخوارزميات السابقة ضمن أكثر الخوارزميات التكرارية استخداما.

خوارزمية تخفيض النمط EIASC:

نطبق الخوارزمية التكرارية مع شرط التوقف المحسنة على نظام العربة لتظهر الاستجابة كما في الشكل (17):



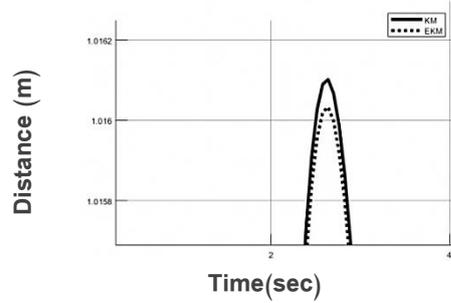
الشكل (17) استجابة النظام المدروس باستخدام EIASC يظهر في الشكل (18) مقارنة استجابة النظام بين كل من الخوارزميتين EIASC, IASC:



الشكل (18) الفرق في الاستجابة بين استخدام كل من IASC, EIASC

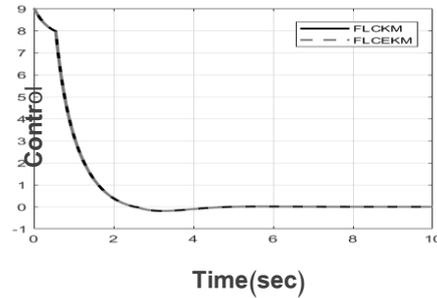
نلاحظ أن الاستجابة أفضل عند استخدام خوارزمية EIASC وذلك بالنسبة لنظام العربة المدروس لدينا، ويكون شكل إشارة خرج المتحكم عند استخدام كل من الخوارزميتين IASC, EIASC كما في الشكل (19):

لو أردنا المقارنة بين KM, EKM لوجدنا أن التجاوز يكون أقل باستخدام خوارزمية EKM مقارنة باستخدام KM بالنسبة لنظامنا المدروس كما يبين الشكل (14):



الشكل (14) الفرق في الاستجابة عند استخدام كل من KM, EKM

وتكون إشارة التحكم المطبقة على النظام عند استخدام كل من الخوارزميتين KM, EKM متقاربة كما في الشكل (15):



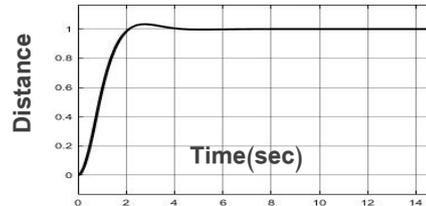
الشكل (15) إشارة خرج المتحكم عند استخدام كل من KM, EKM

ننتقل الآن لتطبيق خوارزميتي التخفيض IASC, EIASC على نظام العربة.

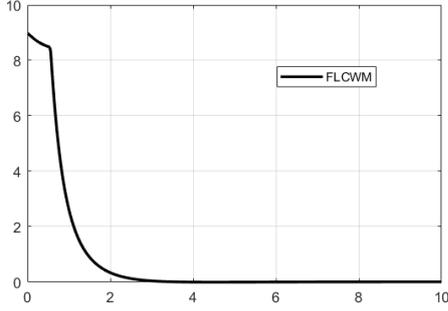
خوارزمية تخفيض النمط IASC:

عندما نطبق خوارزمية التكرار مع شرط التوقف نحصل على

استجابة للنظام المدروس كما في الشكل (16):



الشكل (16) استجابة النظام المدروس باستخدام IASC

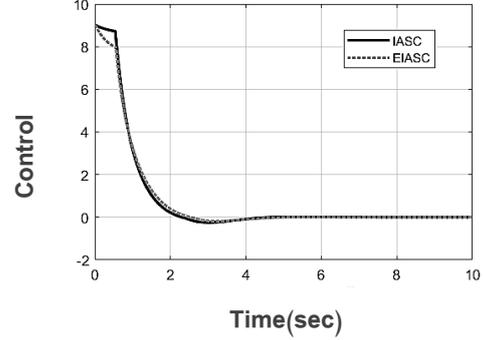


الشكل (21) إشارة خرج المتحكم عند استخدام WM

2-4- مقارنة النتائج:

قمنا في هذه الدراسة بتنفيذ عدة خوارزميات تخفيض النمط عند تصميم المتحكم العائم من النمط 2 للتحكم بنظام عربة تتحرك بواسطة محرك DC وكانت استجابة النظام تتغير مع تغيير نوع الخوارزمية المستخدمة حيث كان هنالك تقارب في النتيجة بالنسبة لكل من KME, EKM حيث يكمن الفرق بينهما في تقليص عدد مرات التكرار عند البحث عن نقطتي الاختزال لr, L أجل تحديد المجموعة العائمة من النمط 1 التي يتم تطبيق فك التعويم عليها للحصول على القيمة المطبقة على النظام المدروس. أما بالنسبة لكل من

IASC, EIASC حيث نعتمد على تخفيض عدد مرات التكرار للوصول لنقطتي الاختزال من خلال وضع شرط للتوقف وكانت النتيجة فيما بينهما متقاربة، هذا من أجل أشهر الخوارزميات التكرارية المستخدمة في مرحلة تخفيض النمط. أما بالنسبة للخوارزميات التي تعتمد مبدأ Uncertainty Bound وأشهرها خوارزمية WM فقد أعطت أفضل استجابة للنظام المدروس حيث يتم بشكل مباشر حساب نقطتي الاختزال دون الحاجة لعمليات تكرارية ومن ثم تطبيق الناتج على النظام المدروس. بهذا نجد أن للخوارزمية المستخدمة في مرحلة تخفيض النمط أثر مباشر على أداء المتحكم العائم من النمط 2 وبالتالي على استجابة النظام الخاضع لأمر التحكم، ويبين الجدول التالي مقارنة بارامترات استجابة النظام في كل مرة نستخدم فيها خوارزمية تخفيض النمط:

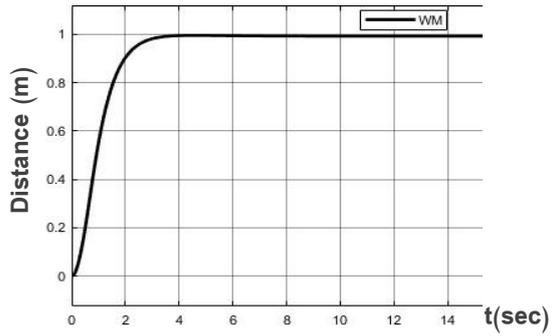


الشكل (19) إشارة خرج المتحكم عند استخدام كل من

IASC, EIASC

خوارزمية تخفيض النمط WM:

نتنقل الآن لنمط آخر من خوارزميات التخفيض وهي التي تعتمد على مبدأ Uncertainty Bound وأشهرها خوارزمية WM حيث نحصل على الاستجابة كما في الشكل (20):



الشكل (20) استجابة النظام المدروس باستخدام WM

نلاحظ من هذه الاستجابة عدم وجود أي تجاوز للقيمة المرغوبة وبالتالي فإن خوارزمية WM كانت أفضل استجابة على حساب زمن الاستقرار بالنسبة لنظامنا المدروس وهو نظام جر عربة باستخدام محرك DC مقارنة بالخوارزميات السابقة، وتكون إشارة خرج المتحكم كما في الشكل (21):

References

المراجع

- [1] MENDEL.J, Uncertain Rule-Based Fuzzy Systems Introduction and New Directions, 2nd Edition, Springer International Publishing, 2017.
- [2] Chen.C, Wu.D, Garibaldi.J, John.R, Twycross.J MENDEL.J, A Comment on “A Direct Approach for Determining the Switch Points in the Karnik-Mendel Algorithm”, IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, DOI 10.1109/TFUZZ.2018.2865134, IEEE 2018.
- [3] Vivekanand.G, Sekhar.C, Suresh.D, Type-2 Fuzzy Logic Controlled Adjustable Step-Size LMS Algorithm for DSTATCOM, International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.27) (2018) 531-534.
- [4] Tai.K, ElSayed.A, Biglarbegian.M, Gonzalez.C, Castillo.O, Mahmud.S, Review of Recent Type Fuzzy Controller Applications www.mdpi.com/journal/algorithms Algorithms 2016, 9,39; doi:10.3390/a9020039.
- [5] Maere.G, Kayacan.E, Hybrid Learning for Interval Type-2 Intuitionistic Fuzzy Logic Systems as Applied to Identification and Prediction Problems, Citation information: DOI 10.1109/TFUZZ.2018.2803751, IEEE, Transactions on Fuzzy Systems.
- [6] Runkler.T, Chen.C, John.R, “Type reduction operators for interval type-2 defuzzification”, Information Sciences, vol. 467, pp. 464–476, 2018.
- [7] Chen.C, Wu.D, “Source Code for ‘A Comprehensive Study of the Efficiency of Type-Reduction Algorithms’”, <https://www.codeocean.com>, 2019.
- [8] Ontiveros.E, Melin.P, Castillo.O, “High order - planes integration: A new approach to computational cost reduction of General Type-2 Fuzzy Systems,” Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 74, pp.186–197, 2018.

جدول (1) مقارنة بارامترات استجابة النظام عند استخدام

خوارزميات تخفيض النمط

KM,EKM,IASC,EIASC,WM

| RMS | التجاوز | زمن الاستقرار sec | زمن الصعود sec | الخوارزمية المستخدمة |
|------|---------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| 0.89 | 0.016 | 5 | 1.52 | KM |
| 0.88 | 0.014 | 4.9 | 1.50 | EKM |
| 0.90 | 0.021 | 4.85 | 1.39 | IASC |
| 0.89 | 0.016 | 4.8 | 1.51 | EIASC |
| 0.80 | 0 | 4 | 1.5 | WM |

5- التوصيات:

يبقى لنا أن نذكر أنه لم نصل لنهاية المطاف في تصميم المتحكم العائم من النمط 2. وإنما يبقى مجال التحسين في تصميم المتحكم العائم من النمط 2 مجالاً مفتوحاً، فمن هذه التحسينات هي تطوير مرحلة تخفيض النمط TR التي تميّز بها النمط 2 عن النمط 1، من خلال دمج أكثر من خوارزمية بحيث نحسن من أداء المتحكم للوصول إلى استقرار أفضل في النظم المعقدة واللاخطية، وخصوصاً عندما يتم استخدام المتحكم العائم من النمط 2 العام General Type-2 Fuzzy Controller الذي يعتبر المتحكم العائم من النمط 2 الموحد Interval Type-2 Fuzzy Controller حالة خاصة من المتحكم العام [8]، وكما بينت الدراسة سرعة خوارزمية KM ودقة خوارزمية WM حيث يمكننا الاستفادة من هاتين الميزتين لكل خوارزمية بدمجهما في خوارزمية تخفيض نمط واحدة بهدف الحصول على أفضل أداء للمتحكم وبالتالي تحسين عمل النظام الخاضع للتحكم، وهذا ما سيتم العمل عليه مستقبلاً.

- [9] MENDEL.J, “Type-2 Fuzzy Sets and Systems: an Overview”, Computational Intelligence Magazine, IEEE, Vol. 2, pp. 20-29, 2007.
- [10] U.D, Nie,M, “Comparision and Practical Implementation of Type-Reduction Algorithms for Type-2 Fuzzy Sets and Systems” International Conference on Fuzzy Systems, IEEE, June 27-30, 2011.

| | | |
|--------------------|-----------|------------------|
| Received | 2021/5/24 | إيداع البحث |
| Accepted for Publ. | 2021/7/4 | قبول البحث للنشر |