

تفادي العقبات لروبوت متنقل باستخدام متحكم المنطق الضبابي من الدرجة الثانية

محمد متوج*

محمد معين إبراهيم**

(تاريخ الإيداع 1 / 7 / 2021. قُبل للنشر في 27 / 8 / 2021)

□ ملخص □

تتنوع الحواجز والعقبات بحسب البيئة التي يسير فيها الروبوت (بيئة داخلية أو خارجية) إلى عقبات ثابتة ومتحركة، لذلك يعد تزويد الروبوت بالحساسات المناسبة وتركيبها في الأماكن الأنسب لها خطوة غاية في الأهمية، مثل حساسات قياس المسافة، الكاميرات، الحساسات التحريضية وغيرها. يمكن استخدام العديد من خوارزميات الذكاء الصناعي لتحسين حركة الروبوت وتفاديه للعقبات المحتملة التي قد تصادفه في طريقه لهدفه، قد تعتمد هذه الخوارزميات على المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) بدرجتيه الأولى أو الثانية، الشبكات العصبونية (Neural Networks) أو الشبكات العصبونية الضبابية (ANFIS). ناقشنا في هذا البحث مشكلة العقبات التي تصادف الروبوت أثناء حركته باتجاه هدف معلوم، وتجاوز هذه العقبات باستخدام المتحكم المعتمد على المنطق الضبابي من الدرجة الثانية، بينت النتائج أن هذا المتحكم يعطي حلولاً ذات كفاءة عالية لتجاوز مختلف أنواع العقبات.

الكلمات المفتاحية: الذكاء الصناعي، المنطق الضبابي من الدرجة الثانية، الروبوت المتنقل، تفادي العقبات.

* مدرس- قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Obstacles Avoidance in Mobile Robot Using Fuzzy Logic Type II Controller

Dr. Fadi Motawej*
Muhammed Moeen Ibrahim**

(Received 1 / 7 / 2021. Accepted 27 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

The obstacles while mobile robot navigation varies due to the variance of the environment (indoor or outdoor), and the sort of the obstacle itself (static or dynamic). For these reasons, we consider providing the robot with suitable sensors and installing them properly as a meaningful step, these sensors might be cameras, ultrasonic or and other distance measurement.

Many algorithms of artificial intelligence is useful to enhance the navigation of the mobile robot and to help it avoiding any possible obstacle on its path, such as fuzzy logic type I and type II, neural networks and artificial neural fuzzy networks (ANFIS).

In this paper, we discussed the obstacles facing mobile robot on its path to the destination, and avoiding it without collisions using fuzzy logic type II controller, results cleared that this controller gives effective solutions to avoid any type of obstacles.

Keywords: Artificial Intelligence, Fuzzy Logic Type II, Mobile Robots, Obstacles Avoidance.

* Assistant Professor - Department of Mechatronic Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student (Master), Department of Mechatronic Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

بعد التطور الهائل الذي شهده مجال الروبوتات المتقلبة والمقادة عن بعد والتي دخلت مجالات عديدة في الصناعة والنقل والعناية الصحية، أصبحت الروبوتات قادرة على القيام بمهام محددة دون تدخل اليد البشرية، لصعوبة هذا التدخل في بعض الأماكن أو لتكلفته العالية وتأخيره الزمني في أماكن أخرى. من بين أهم التحديات التي تواجه الروبوتات أثناء أدائها للمهام الموكلة لها هي تجاوز العقبات أثناء ملاحظتها في بيئة ما، أي أن يتعامل الروبوت مع بيئته المحيطة ويدرك أماكن تواجد العقبات والعوائق ويتفادها دون حدوث تصادمات مؤذية للروبوت والبيئة.

تتنوع البيئات التي يتحرك فيها الروبوت فقد تكون مغلقة كغرفة منزلية، مختبر أبحاث أو مصنع، وقد تكون بيئة مفتوحة خارجية كالشوارع أو الساحات، كما تتنوع العقبات التي قد يصادفها الروبوت فمنها عقبات غير متحركة كالجدران والأعمدة وغيرها، ومنها العقبات المتحركة كالروبوتات الأخرى أو المشاة في الطريق أو العمال في المصنع.

تعتمد معظم طرق المنطق الضبابي لتجاوز العقبات التي تواجه الروبوت المتنقل على متحكم ضبابي من النوع الأول بثلاثة مداخل تعبر فقط عن قراءات حساسات مسافة مثبتة على هيكل الروبوت تعطي قيمة تدل على بعد الروبوت عن أقرب عائق على يمينه أو يساره أو أمامه، فيقوم الروبوت بتجاوز العقبات المصادفة دون معرفته بمكان الهدف ودون القدرة على بلوغه، فقط يسير الروبوت مبتعداً عن الحاجز الذي يتحسسه بواسطة الحساسات المثبتة عليه [1-3].

ويمكن أيضاً استخدام متحكم المنطق الضبابي لتجاوز العقبات بتخصيص أربعة مداخل تعبر عن البعد عن الهدف وزاوية الانحراف عنه، والبعد عن العائق وزاوية الانحراف عنه، مما يعني ضرورة المعرفة المسبقة بأماكن تواجد كافة العقبات في الخريطة وإمكانية تجاوزها فقط وعدم القدرة على التعامل الديناميكي مع حواجز جديدة طارئة [4-7].

سنقوم في هذا البحث بتصميم متحكم ضبابي من النوع الثاني لروبوت متنقل يقوم بتقادي العقبات غير المعلومة مسبقاً التي تصادفه في طريقه نحو هدف معلوم، النوع الثاني يعطي مزيداً من الأريحية في التعامل مع حالات الضبابية وعدم الوضوح ويعطي قيمة أكثر ملائمة على مخارج النظام، حيث سنصمم متحكماً ضبابياً من النوع الثاني بخمسة مداخل تمثل موقع وزاوية نقطة الهدف عن الموقع الحالي للروبوت إضافة لثلاثة حساسات مسافة، ونطبقه على روبوت Pioneer-p3dx ضمن بيئة V-Rep المعدة لاختبار ومحاكاة عمل الروبوتات.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من كونه معداً لتصميم ومحاكاة روبوت متنقل يقوم بتقادي العقبات التي يصادفها نحو الهدف دون معرفة مسبقاً لفضاء حركة الروبوت ونوع العقبات التي سيصادفها باستخدام التحكم الضبابي من النوع الثاني، حيث أن القيادة الآلية للروبوتات المتقلبة تعد هدفاً هاماً في مختلف المجالات العلمية والتطبيقية، لاسيما القيادة التي تتم اعتماداً على تقنيات الذكاء الصناعي، فالذكاء الصناعي أثبت كفاءة عالية في التغلب على المشكلات التقليدية.

يهدف البحث إلى تصميم متحكم ضبابي من النوع الثاني لروبوت متنقل لتجاوز العقبات التي تصادف هذا الروبوت باستخدام برنامج Matlab ومحاكاة هذا المتحكم على روبوت Pioneer-p3dx (الشكل 1) ضمن بيئة تطوير ومحاكاة الروبوت V-Rep.



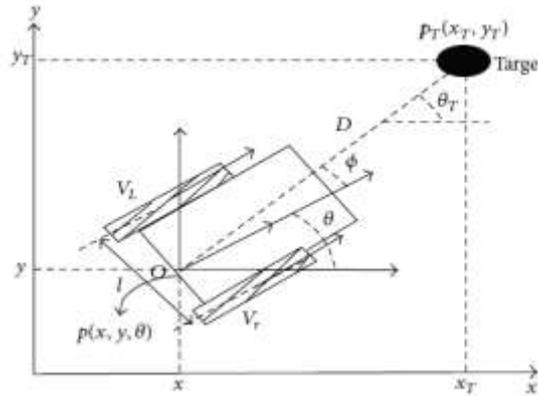
الشكل (1) الروبوت المتكفل Pioneer-3dx

طرائق البحث ومواده:

استخدمنا في بحثنا بيئة محاكاة الروبوتات V-Rep واخترنا عدة خرائط مختلفة تحتوي الروبوت ونقطة الهدف، كل خريطة مجهزة بعدة عقبات بتوزيع عشوائي، كما اخترنا الروبوت Pioneer-3dx لاختبار المتحكم المقترح، وهو روبوت متكفل صمّم لأغراض تعليمية وتدريبية، وطبقنا تقنية المتحكم الضبابي من النوع الثاني باستخدام برنامج Matlab لما يتيح من مرونة في التعامل مع مختلف فروع الذكاء الصناعي إضافة لإمكانية تصميم واجهات تفاعلية تسهّل عملية التحكم بالروبوت، وقمنا بالربط بين الواجهة وبيئة V-Rep.

1. النموذج الهندسي للروبوت المتكفل Pioneer-3dx

اخترنا الروبوت Pioneer-3dx للعمل والمحاكاة لاحتوائه على محركي تيار مستمر (DC Motors) مزودين بمشفرين رقميين لأغراض تحديد موقع الروبوت بناءً على سرعة كل من المحركين، إضافة إلى حساسات المسافة الستة عشر المتوزعة على هيكله الخارجي بكافة الاتجاهات، تم الاكتفاء باستخدام ثلاثة حساسات فقط لتحسس العقبات نحو الأمام، اليمين واليسار.



الشكل (2) النموذج الهندسي للروبوت

اعتمدنا بشكل أساسي على تحديد نقطة الهدف، وموقع الروبوت الحالي، ومن خلال معرفتنا بسرعة سير الروبوت يمكن معرفة موقعه بشكل آني، يمكن تمثيل النموذج الهندسي للروبوت [2] والموضح في الشكل (2) بالمعادلات التالية:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{V_L + V_R}{2} \cos \theta \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{V_L + V_R}{2} \sin \theta \\ \frac{d\theta}{dt} &= \frac{V_L - V_R}{2} \end{aligned}$$

حيث : $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}$: تغير موقع الروبوت في الإحداثيات الديكارتية.

V_L, V_R : سرعة المحرك الأيمن والأيسر بالترتيب.

θ : زاوية انحراف مركز الروبوت عن الأفق.

$\frac{d\theta}{dt}$: تغير زاوية انحراف الروبوت عن الأفق.

وبالتحويل إلى الشكل المتقطع الذي سنستخدمه لبناء النموذج الهندسي في برنامج Matlab تصبح المعادلات كما يلي:

$$X_{k+1} = X_k + T \frac{V_{Lk} + V_{Rk}}{2} \cos \theta_k$$

$$Y_{k+1} = Y_k + T \frac{V_{Lk} + V_{Rk}}{2} \sin \theta_k$$

$$\theta_{k+1} = \theta_k + T \frac{V_{Lk} + V_{Rk}}{2}$$

حيث : X_{k+1}, Y_{k+1} : موقع الروبوت في اللحظة التالية k+1.

θ_{k+1} : زاوية انحراف الروبوت في اللحظة التالية k+1.

X_k, Y_k : موقع الروبوت في اللحظة الحالية k.

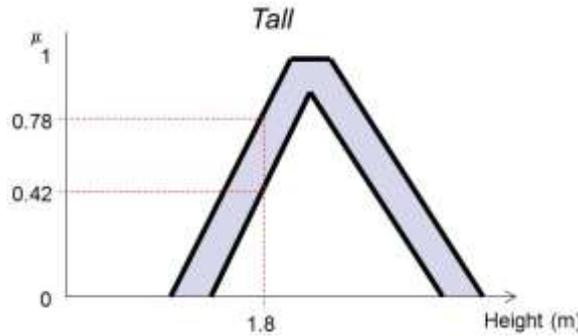
θ_k : زاوية انحراف الروبوت في اللحظة الحالية k.

T : زمن العينة.

2. المنطق الضبابي من النوع الثاني Fuzzy Logic Type II

تم طرح مفهوم المجموعات الضبابية من النوع الثاني من قبل لطفي زادة كتطوير لمفهوم المجموعات الضبابية العادية (النوع الأول)، بسبب وجود بعض الحدود التي أظهرتها المجموعات الضبابية من النوع الأول في التعامل مع حالات عدم اليقين توابع الانتماء لهذه المجموعات بحد ذاتها ضبابية، يعتمد هذا النوع على أن الكلمات قد تحمل معاني مختلفة بالنسبة لأناس مختلفين، وزيادة الضبابية في توصيف المعاني للمتحويلات اللغوية تزيد القدرة على التعامل مع معطيات غير دقيقة وغير مكتملة كما أن الأنظمة المعتمدة على النوع الثاني أثبتت كفاءتها في البيئات التي تحوي الكثير من الضبابية والمعلومات غير الدقيقة. [8]

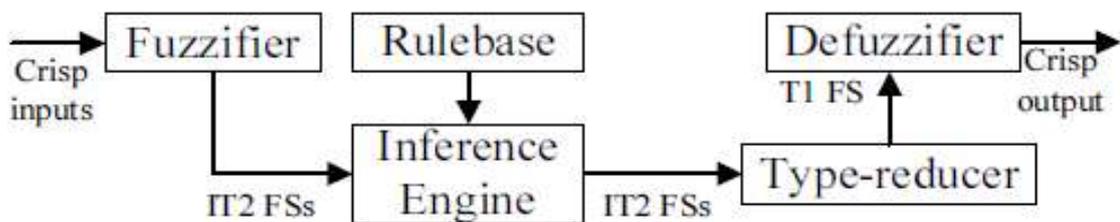
المجموعة الضبابية من النوع الثاني تتكون من تابعي انتماء أساسي وثنائي، كل منهما يمكن أن يملك قيمة بين 0 و 1 مثل أي تابع انتماء من النوع الأول، يشكل التابع الأول القيم العظمى الممكنة لمجال الغموض لدرجة الانتماء Upper Membership Function (UMF)، فيما يشكل التابع الثاني القيم الدنيا لهذا المجال Lower Membership Function (LMF)، والمجال بين القيمتين يسمى ببصمة عدم التأكد (FOU) Footprint of Uncertainty، تشكل المجموعة الضبابية من النوع الأول حالة خاصة من المجموعات الضبابية من النوع الثاني حيث يكون التابعان الأعلى والأدنى منطبقين. يوضح الشكل 2 مجموعة ضبابية من النوع الثاني، تتألف من مجموعتين ضبابيتين من النوع الأول، المجموعة الأساسية (العليا) لها شكل شبه منحرف بينما المجموعة الثانوية (الدنيا) لها شكل مثلثي.



الشكل (2) توابع الانتماء الضبابية من الدرجة الثانية لمتحول درجة الحرارة

تسمى العملية الكاملة لاتخاذ القرارات بنظام الاستدلال الضبابي من الدرجة الثانية (الشكل 3) وتتألف بشكل أساسي من خمس خطوات هي:

- التغميض Fuzzification: تمثل هذه الخطوة الفرق الأساسي والأول بين نظامي الاستدلال من النوعين الأول والثاني، وتتضمن تحويل الدخل الرقمي إلى متحولات لغوية من النوع الثاني تحمل قيمة دنيا وعليا للانتماء كما ذكر سابقاً.
- قاعدة المعرفة الضبابية Rule Base: مجموعة القواعد الضبابية (if-then)، جزء النتيجة لهذه القواعد قد يحوي توابع انتماء من النوع الثاني أو أرقام ثابتة.
- اتخاذ القرار Decision-Making: إجراء عمليات الاستدلال (تقاطع، اجتماع، نفي) على القواعد الضبابية ثم اتخاذ القرار النهائي.
- مخفض النوع (type-reducer): الفرق الأساسي الثاني، مهمته تحويل الخرج الضبابي الناتج عن اتخاذ القرار من النوع الثاني إلى النوع الأول، يوجد عدة طرق لتخفيض النوع أشهرها طريقة تحديد مركز الثقل لكل جزء من أجزاء المجموعة الضبابية الناتجة من النوع الثاني.
- إزالة التغميض Defuzzification: تحويل ناتج الاستدلال الضبابي بعد تخفيض نوعه إلى خرج رقمي نهائي بطريقة من الطرق المعتادة كحساب مركز الثقل أو طرق القيمة العظمى للانتماء.

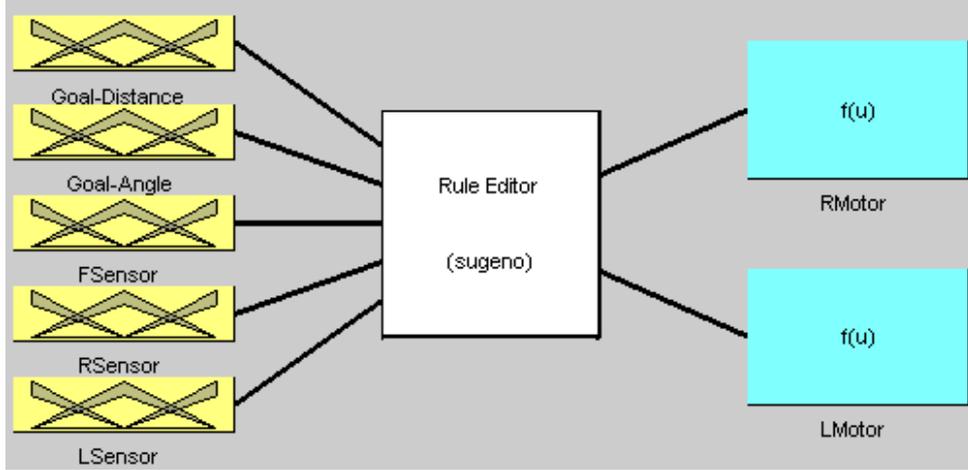


الشكل (3) - نظام الاستدلال الضبابي من النوع الثاني IT2FS

1. تصميم المتحكم الضبابي من الدرجة الثانية

قمنا في هذا البحث بتصميم متحكم ضبابي من الدرجة الثانية من النوع (Sugeno) بخمس مداخل، هذه المداخل هي البعد عن الهدف Goal-Distance، وزاوية الانحراف عن الهدف Goal-Angle إضافة إلى قراءات حساسات قياس

المسافة المتوزعة على هيكل الروبوت Pioneer-p3dx (أمام، يمين، يسار)، ومخارجه هي سرعة كل من محركي الروبوت (الأيمن، الأيسر)، يظهر الشكل (4) تصميم المتحكم الضبابي المقترح باستخدام أداة المنطق الضبابي لبرنامج Matlab.



الشكل (4) - المتحكم الضبابي المقترح لمشكلة تجاوز العقبات لروبوت متنقل

يهدف المتحكم الضبابي إلى قيادة الروبوت وتأمين عملية سيره في البيئة المطلوبة بدون تصادمات أو حوادث مع العقبات التي تصادف مساره، حيث يتم التعامل مع الهدف المعطى وحساب البعد وزاوية الانحراف عنه ، إضافة إلى قراءات الحساسات الثلاثة وإدخالها إلى نظام الاستدلال الضبابي من الدرجة الثانية ذو القواعد الضبابية التي تتحكم بعملية القيادة، ويتم إعطاء قيم السرعات المناسبة لكل من محركي الروبوت بالتالي توجيهه بالاتجاه الأفضل لضمان تفادي العقبات بأفضل وجه والحصول على قيادة آمنة للروبوت بناءً على القواعد الضبابية (if-then) التي تنظم عملية التحكم الضبابي.

كما ذكر سابقاً، فإن خطوات نظام الاستدلال الضبابي الخمس ستتم هنا بالترتيب، حيث تدخل قيم المداخل (البعد عن الهدف والانحراف عنه وقراءات الحساسات) إلى نظام الاستدلال كقيم عددية (crisp) يتم تغميضها وإعطاء كل منها قيم الانتماء المناسبة لتوابع العضوية.

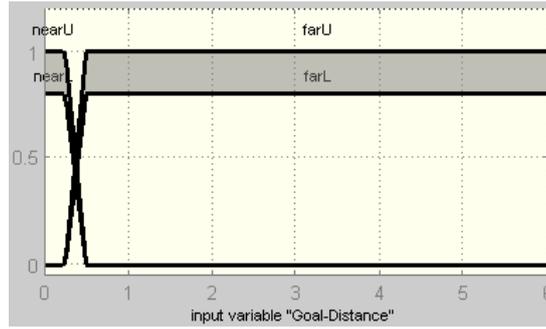
يظهر الشكل (5) توابع الانتماء للمتحول الأول للدخل والذي يعبر عن البعد عن الهدف، تم تقسيمه إلى مجموعتين بمجال كلي بين [0 6] متر وهو يعطى بالمعادلة التالية:

$$Distance_{Target} = \sqrt{(x_T - x)^2 + (y_T - y)^2}$$

حيث : x_T, y_T : الإحداثيات الديكارتية لنقطة الهدف.

x, y : الإحداثيات الديكارتية الحالية لمركز الروبوت.

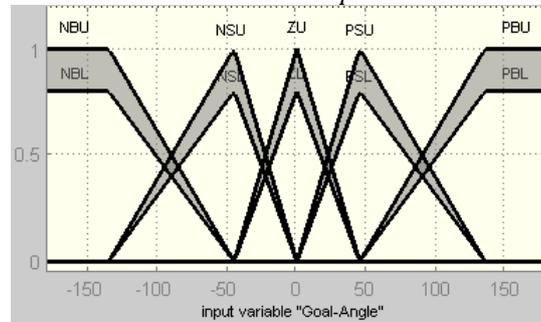
θ : زاوية انحراف مركز الروبوت عن الأفق.



الشكل (5) - توابع الانتماء لمتحول الدخل الأول (البعد عن الهدف)

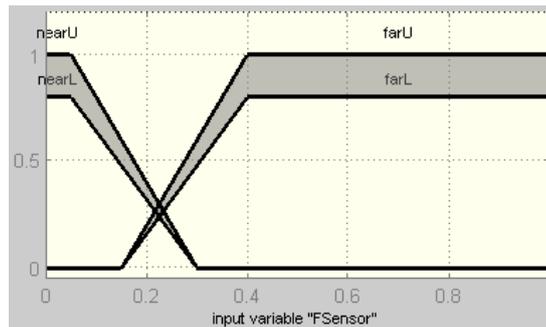
كما يظهر الشكل (6) توابع الانتماء للمتحول الثاني للدخل والذي يعبر عن زاوية الانحراف عن الهدف، تم تقسيمه إلى خمس مجموعات في مجال كلي بين [-180 180] درجة وهو يعطى بالمعادلة التالية:

$$\theta_{Target} = \tan^{-1} \left(\frac{y_T - y}{x_T - x} \right) - \theta$$



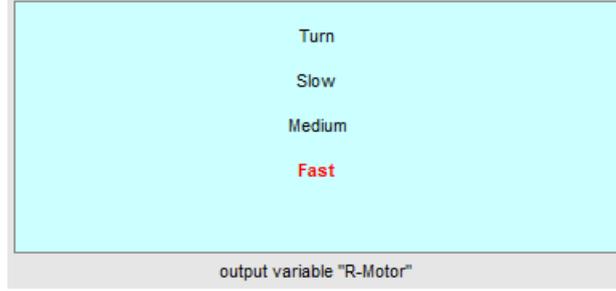
الشكل (6) - توابع الانتماء لمتحول الدخل الثاني (زاوية الانحراف عن الهدف)

بينما يظهر الشكل (7) توابع الانتماء للمتحويلات المتبقية للدخل والتي تمثل قيم قراءات الحساسات الثلاث المتوزعة على هيكل الروبوت، تم تقسيم مجال قيم قراءات كل حساس إلى مجموعتين في مجال كلي بين [0 1] متر.



الشكل (7) - توابع الانتماء لمتحويلات الدخل 3-4-5 (قراءات حساسات الروبوت)

وبما أن النظام الضبابي المقترح من النوع Sugeno فإن توابع الانتماء لمتحويلات الخرج تكون قيم عددية ثابتة، كما يظهر في الشكل (8) الذي يمثل توابع انتماء الخرج الأول الذي يمثل المحرك الأيمن، وهو مماثل تماماً للمحرك الأيسر.



الشكل (8) - توابع الانتماء لمتحول الخرج الأول (المحرك الأيمن)

الخطوة التالية هي عملية الاستدلال الضبابي أي إدخال القيم اللغوية الضبابية التي تمثل كل دخل من المداخل الخمسة إلى نظام الاستدلال المتمثل بالقواعد الضبابية، وتفعيل القواعد المناسبة بحسب هذه القيم المدخلة، فكل مجموعة قيم دخل مكونة من خمس قيم ستفعل قواعد قد تكون مختلفة عن القواعد التي ستفعلها مجموعات القيم الأخرى. اعتمادنا في نظام تجاوز العقبات الضبابي على خمس وعشرين قاعدة ضبابية لتشمل جميع الحالات التي يمكن أن يمر بها الروبوت خلال سيره اعتماداً على مجموعات انتماء المداخل الخمسة، يظهر الشكل (9) بعضاً من القواعد الضبابية التي تشكل قاعدة معرفة نظام التحكم الضبابي من الدرجة الثانية المقترح في هذا البحث.

1. If (Goal-Distance is Far) and (Goal-Angle is NB) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Slow)(L-Motor is Fast) (1)
2. If (Goal-Distance is Far) and (Goal-Angle is N) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Slow)(L-Motor is Medium) (1)
3. If (Goal-Distance is Far) and (Goal-Angle is Z) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Fast)(L-Motor is Fast) (1)
4. If (Goal-Distance is Far) and (Goal-Angle is P) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Slow) (1)
5. If (Goal-Distance is Far) and (Goal-Angle is PB) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Fast)(L-Motor is Slow) (1)
6. If (Goal-Distance is Medium) and (Goal-Angle is NB) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Slow)(L-Motor is Medium) (1)
7. If (Goal-Distance is Medium) and (Goal-Angle is N) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Slow)(L-Motor is Medium) (1)
8. If (Goal-Distance is Medium) and (Goal-Angle is Z) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Medium) (1)
9. If (Goal-Distance is Medium) and (Goal-Angle is P) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Slow) (1)
10. If (Goal-Distance is Medium) and (Goal-Angle is PB) and (Front is Far) and (Right is Far) and (Left is Far) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Slow) (1)
11. If (Goal-Distance is Near) and (Goal-Angle is NB) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Turn) (1)
12. If (Goal-Distance is Near) and (Goal-Angle is N) then (R-Motor is Medium)(L-Motor is Turn) (1)
13. If (Goal-Distance is Near) and (Goal-Angle is Z) then (R-Motor is Slow)(L-Motor is Slow) (1)
14. If (Goal-Distance is Near) and (Goal-Angle is P) then (R-Motor is Turn)(L-Motor is Medium) (1)
15. If (Goal-Distance is Near) and (Goal-Angle is PB) then (R-Motor is Turn)(L-Motor is Medium) (1)

الشكل (9) - جزء من القواعد الضبابية المستخدمة ضمن النظام

كما يظهر الجدول (1) كامل القواعد الضبابية المستخدمة في النظام:

الجدول (1) - القواعد الضبابية المستخدمة ضمن النظام

N	Distance	Angle	F_Sensor	R_Sensor	L_Sensor	R_Motor	L_Motor
1	Near	NB	-	-	-	Medium	Turn
2	Near	N	-	-	-	Medium	Turn
3	Near	Z	-	-	-	Medium	Medium
4	Near	P	-	-	-	Turn	Medium
5	Near	PB	-	-	-	Turn	Medium
6	Far	NB	Far	Far	Far	Fast	Slow
7	Far	N	Far	Far	Far	Fast	Medium
8	Far	Z	Far	Far	Far	Fast	Fast
9	Far	P	Far	Far	Far	Medium	Fast
10	Far	PB	Far	Far	Far	Slow	Fast

11	Far	NB	Near	Near	Near	Medium	Turn
12	Far	N	Near	Near	Near	Medium	Turn
13	Far	Z	Near	Near	Near	Turn	Turn
14	Far	P	Near	Near	Near	Turn	Medium
15	Far	PB	Near	Near	Near	Turn	Medium
16	Far	NB	Near	Far	Far	Medium	Turn
17	Far	N	Near	Far	Far	Medium	Turn
18	Far	Z	Near	Far	Far	Turn	Turn
19	Far	P	Near	Far	Far	Turn	Medium
20	Far	PB	Near	Far	Far	Turn	Medium
21	Far	-	Near	Near	Far	Medium	Turn
22	Far	-	Near	Far	Near	Turn	Medium
23	Far	-	Far	Near	Near	Slow	Slow
24	Far	-	Far	Near	Far	Medium	Turn
25	Far	-	Far	Far	Near	Turn	Medium

الخطوة التالية هي عملية الاستدلال الضبابي أي إدخال القيم اللغوية الضبابية التي تمثل كل دخل من المداخل الخمسة إلى نظام الاستدلال المتمثل بالقواعد الضبابية، وتفعيل القواعد المناسبة بحسب هذه القيم المدخلة، والحصول على خرج ضبابي لغوي لكل منها، ثم تتم عملية استخلاص الخرج الضبابي النهائي، يبدأ ذلك بتحصيل القواعد المفصلة بعضها مع بعض، حيث أن النظام يستخدم المعاملات المبينة في الجدول (2) كمعاملات لعمليتي التقاطع والاجتماع الضبابيتين، ولتفسير كل قاعدة على حدة ثم تجميع القواعد المشتركة وتحصيل الخرج النهائي.

الجدول (2) - طرق تفسير القواعد وتجميعها في المتحكم الضبابي المقترح

And Method	prod
Or Method	probor
Implication	prod
Aggregation	Sum
Defuzzification	wtaver
Type Reduction Method	Karnik mendel

الفرق الآخر بين نوعي نظم المنطق الضبابي هو وجود عملية تخفيض النوع Type Reduction في نظم الاستدلال المعتمدة على النوع الثاني، أي تحويل المجموعة الضبابية من النوع الثاني الناتجة عن عملية الاستدلال كاملة إلى مجموعة ضبابية من النوع الأول تمهيداً لعملية فك التغميض التي تصبح بعدها مماثلة تماماً لما كانت عليه في النوع الأول، أي تحويل الخرج الضبابي النهائي إلى خرج رقمي، وهي في هذه الحالة السرعة التي سترسل إلى كل من محركي الروبوت وتوجهه كما يجب.

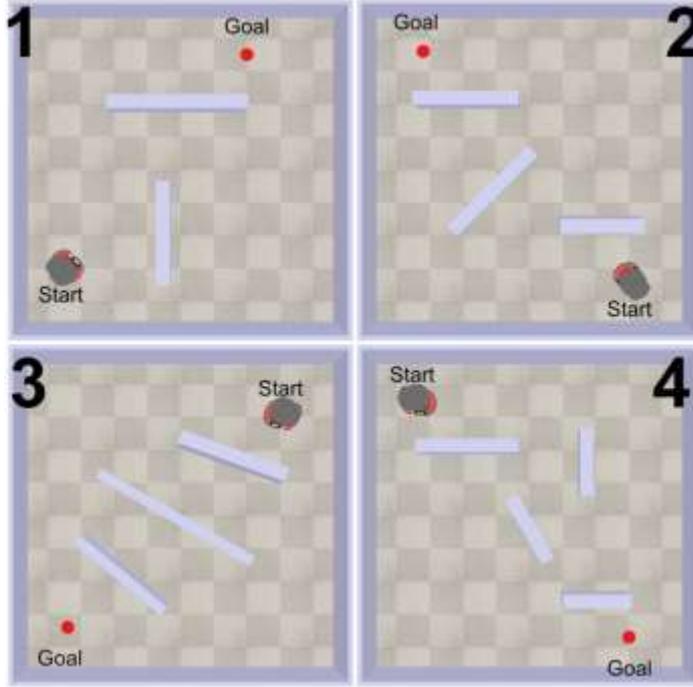
2. محاكاة عمل المتحكم الضبابي ضمن بيئة V-Rep

لاختبار عمل المتحكم الضبابي ومحاكاته على الروبوت Pioneer-p3dx قمنا باختيار البيئة متعددة الاستعمالات والقابلة للتطوير لمحاكاة الروبوت V-Rep، والتي تتيح إمكانية محاكاة واختبار مختلف أنواع المتحكمات والخوارزميات على أنواع متعددة من الروبوتات المتنقلة أو التسلسلية وغيرها، إضافة إلى إمكانية تجهيز خريطة العمل بموضع الهدف وبالروبوت المطلوب مع عدة أنواع وأشكال ممكنة من العقبات.

اعتمدنا في بحثنا على بيئة بحواجز ثابتة غير متحركة، تحاكي غرفة أو مخبر عملي، تحوي على بعض العقبات الموزعة ضمنها، ثم قمنا باستيراد ملف المتحكم الضبابي المصمم باستخدام برنامج Matlab وتضمينه ضمن الروبوت Pioneer-3dx، ثم مزامنة عمل البرنامجين معاً، وربطهما وتشغيلهما بأن واحد.

يبدأ العمل بتشغيل المحاكاة ضمن بيئة V-Rep، ثم تشغيل الكود البرمجي الموافق ضمن Matlab، عندها ستحسب المسافة بين الروبوت والهدف، وزاوية الانحراف بينهما، كما سيقراً الروبوت عبر حساسات المسافة المتوزعة على هيكله قيم المسافات التي تفصله عن أقرب حاجز أمامه وعلى جانبيه بشكل دوري، ويرسلها إلى Matlab الذي سيقوم بدوره بعملية الاستدلال الضبابي، أي يقوم بتغميضها وتفعيل القواعد المناسبة وتجميع القواعد ثم الحصول على الخرج الرقمي الذي يعبر عن سرعة كل من المحركين، ثم يرسلها إلى بيئة V-Rep، ويتحرك الروبوت متجاوزاً العقبات المثبتة ضمن الخريطة ليصل في النهاية إلى الهدف المحدد.

قمنا باختبار عمل المتحكم الضبابي على أربع خرائط مختلفة، بتغيير عدد ومواقع العقبات ضمن كل خريطة، وموقع الهدف ونقطة انطلاق الروبوت واتجاهه، يبين الشكل (11) الخرائط الأربعة المصممة لإجراء الاختبار.

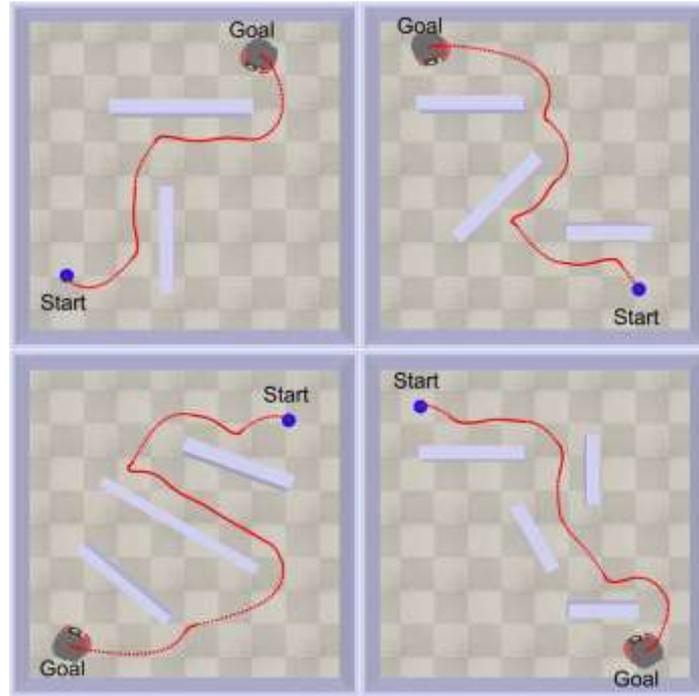


الشكل (11) - خرائط الاختبار ضمن بيئة V-Rep

النتائج والمناقشة:

لتقييم أداء المتحكم الضبابي المقترح قمنا بإجراء الاختبار على أربع خرائط ضمن بيئة V-Rep وجاءت النتائج كما في الشكل (12)، ثم حددنا عدة معايير لتقييم أداء المتحكم الضبابي هي:

- 1- إمكانية نقل الروبوت إلى هدف محدد.
- 2- ضرورة معرفة الخريطة مسبقاً، أي معرفة مواقع العقبات وأبعادها.
- 3- عدد المداخل الضبابية للمتحكم.
- 4- عدد القواعد الضبابية اللازمة.



الشكل (12) - نتائج تطبيق متحكم المنطق الضبابي من الدرجة الثانية على خرائط الاختبار ضمن بيئة V-Rep

كما يبين الجدول (3) مقارنة نتائج التقنية المقترحة مع نتائج بعض الدراسات المرجعية عبر المعيارين السابقين.

الجدول (3) - مقارنة نتائج التقنية المقترحة مع نتائج بعض الدراسات المرجعية

رقم الدراسة	إمكانية الوصول للهدف	ضرورة معرفة العقبات	عدد المداخل الضبابية	عدد القواعد الضبابية
1	لا	لا	3	7
2	لا	لا	3	35
3	لا	لا	3	27
4	نعم	نعم	3	70
5	نعم	نعم	4	12
6	نعم	نعم	2	24
المتحكم المقترح	نعم	لا	5	25

من القيم في الجدول (1) استنتجنا أن المتحكم الضبابي المقترح قادر على إيصال الروبوت المنتقل إلى هدفه المعلوم بلا تصادمات مع العقبات ودون معرفة مسبقة بالعقبات المتواجدة في البيئة المحيطة بالروبوت ومع عدد قواعد قليل نسبةً إلى الدقة العالية، بذلك قامت التقنية المستخدمة بدمج مزايا التقنيتين السابقتين ضمن متحكم ضبابي واحد.

الاستنتاجات والتوصيات:

المتحكم الضبابي من الدرجة الثانية بخمسة مداخل تعبر عن بعد الهدف وزاوية الانحراف عنه وثلاثة حساسات لقياس المسافة، ومخرجين يعبران عن سرعة كل محرك من محركي الروبوت المتنقل، والذي صمّمناه في بحثنا قادر على تجاوز العقبات دون معرفة مسبقة بأماكن تواجدها والوصول إلى هدفه المعلوم بموثوقية عالية.

بناءً على الاختبارات التي قمنا بها يمكن اقتراح النقاط التالية:

1- اختبرنا المتحكم الضبابي عند بيئة مع عقبات ثابتة فقط، ولم يتم اختباره عند بيئة بعقبات متحركة، وهو ما يمكن إضافته في أبحاث مستقبلية.

2- تمكّن الروبوت المتنقل من تجاوز العقبات لكن دون أمثلة المسار، أي دون الأخذ بعين الاعتبار أفضل وأقصر مسار واصل بين الروبوت ونقطة الهدف بعد اكتشاف العقبات، ينصح في الأبحاث المستقبلية بدمج الخوارزميتين معاً ليصل الروبوت المتنقل إلى تجاوز العقبات مع السير ضمن أفضل مسار ممكن.

3- اعتمدنا على أن تكون نقطة تواجد الهدف معلومة، يمكن إضافة كاميرا وتثبيتها على الروبوت للتعرف على الهدف ومكان تواجده إن لم يكن معلوماً مسبقاً.

References:

- [1] Bin Mohaya, T. & Ali, G. & Ibrahim, A. 2019 Fuzzy Based Obstacle Avoidance Robot Using Raspberry Pi Microcontroller, King Fahd University of Petroleum and Minerals, College of Computer Sciences and Engineering, Systems Engineering Department.
- [2] Prakash, A. & Jajulwar K. 2016 Design of adaptive fuzzy tracking controller for Autonomous navigation system, International Journal of Recent Trend in Engineering and Research, vol. 2, no. 2, pp. 268–275.
- [3] Pandey, R. & Sonkar, K. & Pandey, K. & Parhi, D. R. 2014 Path planning navigation of mobile robot with obstacles avoidance using fuzzy logic controller, IEEE 8th Int. Conf. Intell. Syst. Control, no. January 2014, pp. 39–41, 2014.
- [4] Hajer, O. & Mohamed, S. M. & Mohamed, M. 2016 Fuzzy Logic Based Control for Autonomous Mobile Robot Navigation, Computational Intelligence and Neuroscience, Vol. 2016, Article ID 9548482, 10 pages.
- [5] Motlagh, O. & Ramli, Abdul & Tang, S.H. & Esmaili Motlagh, Farid & Ismail, Napsiah. 2010. Motion modelling using concepts of fuzzy artificial potential fields, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. 2. 171-180.
- [6] Dong, Tao & Liao, X.H. & Zhang, R. & Sun, Zhao & Song, Y.D. 2005 Path Tracking and Obstacles Avoidance of UAVs - Fuzzy Logic Approach, IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 43 - 48.
- [7] Khaoula, M. & Malek, N. & Mohamed, J. 2015 Free navigation and obstacle avoidance based on fuzzy controller, 2nd World Congress on Computer Applications and Information Systems, N & NGlobal Technology, Hammamet, Tunisia, January 2015.
- [8] Volosencu, C. 2020 Fuzzy Logic.
- [9] Dernoncourt, F. 2013 Introduction to fuzzy logic.
- [10] Mohan, Ch. 2018 AN INTRODUCTION TO FUZZY SET THEORY AND FUZZY LOGIC (Second Edition).