

## Design of Laboratorial Matlab Model for Omni-directional Robot with Four Wheels to Move in Specific Tracks

Dr. Rabee Habeeb \*  
Nada Albasha \*\*

(Received 24 / 6 / 2023. Accepted 30 / 8 / 2023)

### □ ABSTRACT □

The movement path of conventional robots is relatively long because of the limitations of their movement in the desired path. Omni Robots is one of the best advanced robot technologies. They have the ability to move in all directions and have mobility in difficult and narrow spaces. They also have the ability to move independently and accurately in difficult places surrounding the robot.

This research contains a study of the movement of a four-wheeled Omni robot according to different known paths using the robot's inverse velocity model and fuzzy logic controller to move the robot to the desired target. The simulation was carried out using a V-rep robot simulator. It also showed that the Omni Four Wheel Robot has great advantages in controlling and navigating different paths, thanks to its ability to move in all directions more efficiently. It was also found that the robot's arrival at the target based on the fuzzy controller is better in terms of the distance traveled and the time consumed.

**Keywords:** Omni robot, reverse velocity model, Fuzzy controller, V-rep.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

---

\* Professor, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Postgraduate Student (Master), Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. nadaalbasha@gmail.com

## تصميم نموذج ماتلاب مخبري لروبوت بأربع عجلات أومني للحركة وفق مسارات محددة

د. ربيع حبيب\*

ندى الباشا\*\*

(تاريخ الإيداع 24 / 6 / 2023. قُبِلَ للنشر في 30 / 8 / 2023)

### □ ملخص □

يعتبر مسار حركة الروبوتات التقليدية تفاضلية الحركة أو الشبيهة بالسيارة طويل نسبياً نظراً للقيود التي تعترض حركتها في المسار المطلوب وبالتالي فهي تستهلك زمن طويل في الوصول للنقطة المطلوبة. تعد روبوتات أومني (Omni Robots) واحدة من أفضل تقنيات الروبوتات المتقدمة، فهي تمتلك القدرة على الحركة بأكثر من اتجاه وتتمتع بقابلية التنقل في المساحات الصعبة والضيقة، كما أنها تتميز بقدرة على الحركة بشكل مستقل ودقيق في الأماكن الصعبة المحيطة بالروبوت.

يتضمن هذا البحث دراسة لحركة روبوت أومني رباعي العجلات وفق مسارات مختلفة معلومة وذلك باستخدام نموذج السرعة العكسي الخاص بالروبوت وباستخدام متحكم يعتمد على المنطق الضبابي لتحريك الروبوت للهدف المطلوب. وتم تنفيذ المحاكاة باستخدام محاكي الروبوتات V-rep.

بيّن هذا البحث أن الروبوت أومني رباعي العجلات يتمتع بمزايا كبيرة في التحكم والتنقل وفق مسارات مختلفة، وذلك بفضل قدرته على التحرك في جميع الاتجاهات بكفاءة أكبر. كما تبين أن وصول الروبوت للهدف بالاعتماد على المتحكم الضبابي أفضل من ناحية المسافة المقطوعة والزمن المستهلك. كما أظهر هذا البحث قدرة المحاكي V-rep على نمذجة ومحاكاة حركة الروبوت ثلاثية الأبعاد بسلاسة ووضوح.

الكلمات المفتاحية: روبوت أومني، نموذج السرعة العكسي، متحكم ضبابي، V-rep.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\* طالبة ماجستير - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

nadaalbasha@gmail.com

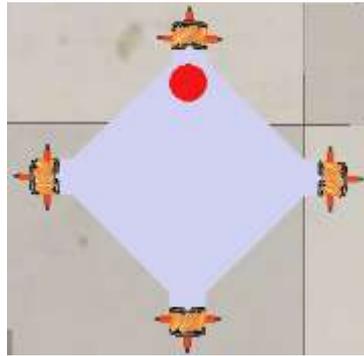
**مقدمة:**

في الروبوتات التقليدية يكون مسار الحركة طويلاً نسبياً نظراً للقيود التي تعترض حركتها في المسار المطلوب وبالتالي فهي تستهلك زمن طويل في الوصول للنقطة المطلوبة. بينما الروبوتات التي تمتلك عجلات OMNI يتزايد استخدامها بشكل كبير نظراً لأن حركتها أفضل من الروبوتات التقليدية فهذه الروبوتات تمتلك الأفضلية من ناحية المناورة والفاعلية على الرغم من زيادة التعقيد الميكانيكي وزيادة التعقيد في التحكم [1]. يتوفر العديد من التصميمات المختلفة للروبوتات ذات الحركة المتعددة الاتجاهات، بما في ذلك تصميمات الثلاث عجلات والأربع عجلات والخمس عجلات والست عجلات والثماني عجلات والعشر عجلات، وكل تصميم يتميز بميزات وعيوب خاصة به [2].

الروبوت المصمم في الدراسة، وهو روبوت رباعي العجلات من النوع أومني متوضعة بشكل قطري مما يسمح له بالتحرك في أي اتجاه بحرية. أي أن الزاوية بين عجلات الروبوت والمحور X هي 45 درجة لكل عجلة. تُختبر خوارزميات الحركة على المسار عادة باستخدام محاكٍ للروبوتات، يوفر كل الإمكانيات اللازمة لاختبار قدرة الخوارزمية الموضوعية للوصول إلى الهدف بشكل آمن وسريع لمختلف أنواع الروبوتات وفي بيئات وشروط عمل مختلفة. هناك العديد من منصات وبرامج اختبار ومحاكاة الروبوت، منها ما كان يختص بمجال محدد كالروبوتات المتحركة أو الأذرع الروبوتية، ومنها ما يشتمل على معظم أنواع الروبوتات من التسلسلية للتعرجية والمتحركة والمختلطة، من بين هذه المنصات سيستخدم هذا البحث منصة اختبار الروبوتات الافتراضي (V-rep) Virtual Robot Experimentation Platform لما تمتلكه من أدوات تساعد في بناء الروبوت وبيئة العمل المحيطة به وتنفيذ التقنيات المقترحة لحركة الروبوت على المسار واختبار أدائه بالإضافة لشهرتها في أوساط الباحثين.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف هذا البحث إلى تصميم ومحاكاة روبوت أومني رباعي العجلات وقيادته نحو هدف معلوم باستخدام النموذج العكسي للسرعة وبالاعتماد على متحكم ضبابي مصمم. ثم محاكاة حركته على المسارات المحددة ومقارنة الطريقتين باستخدام برنامج Matlab ومحاكاة هذا المتحكم على روبوت صمم خصيصاً لأجل هذه الدراسة (الشكل 1) ضمن بيئة المحاكاة V-Rep.



الشكل 1 الروبوت المتكّن أومني رباعي العجلات.

**طرائق البحث ومواده:**

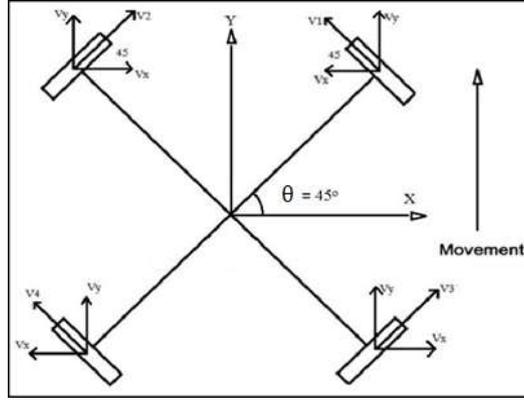
استخدمنا في بحثنا بيئة محاكاة الروبوتات V-Rep واخترنا مسارات تحتوي الروبوت ونقطة الهدف، مجهزة بعدة عجلات معدة مسبقاً، وقمنا بتصميم روبوت أومني بعجلات قطرية التوضع لاختبار الطريقتين المقترحتين. وتم برمجة

كل من نموذج السرعة العكسي وتقنية المتحكم الضبابي ضمن بيئة Matlab لما يتيح من مرونة في التعامل مع مختلف فروع الذكاء الصناعي إضافة لإمكانية تصميم واجهات تفاعلية تسهل عملية التحكم بالروبوت، وقمنا بالربط بين الواجهة وبيئة V-Rep.

### 1.1. النموذج المباشر والعكسي للسرعة للروبوت أومني:

يبين الشكل 2 تمثيلاً للروبوت المستخدم في الدراسة، وهو روبوت رباعي العجلات من النوع أومني حيث تكون متوضعة بشكل قطري مما يسمح للروبوت بالتحرك في أي اتجاه بحرية. يتضح فيه كل من المحور X الممتد نحو اليمين (اتجاهه الموجب)، والمحور Y المعبر عن السير للأمام (الاتجاه الموجب)، وأن الزاوية بين عجلات الروبوت والمحور X هي 45 درجة لكل عجلة.

تحديد محاور الروبوت سيفيد في التوصيف الهندسي وبناء النماذج الرياضية له، فعلى سبيل المثال أصبحنا نعرف أن الجسم الواقع على زاوية صفر من الروبوت يعني أنه يقع على يمينه مباشرة، والجسم الواقع على زاوية 90 من الروبوت أي أنه أمامه مباشرة، وهكذا. [3]



الشكل 2 تمثيل الروبوت أومني رباعي العجلات

#### 1.1.1. النموذج المباشر للسرعة للروبوت أومني (DVM Direct Velocity Model)

يمكن تمثيل النموذج الحركي المباشر للروبوت أومني رباعي العجلات قطري الشكل بمعادلة رياضية تربط بين سرعة الروبوت باتجاهات الحركة الثلاثة  $(x, y, \theta)$  و سرعات العجلات. يمكن تمثيل النموذج الحركي المباشر في العلاقة (1) على النحو التالي [4]:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \frac{r}{4} \begin{bmatrix} -2\sin(\theta) & -2\sin(\theta + \frac{\pi}{2}) & -2\sin(\theta + \pi) & -2\sin(\theta + \frac{3\pi}{2}) \\ 2\cos(\theta) & 2\cos(\theta + \frac{\pi}{2}) & 2\cos(\theta + \pi) & 2\cos(\theta + \frac{3\pi}{2}) \\ \frac{1}{L} & \frac{1}{L} & \frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} \quad (1)$$

حيث  $v_x, v_y$  هي سرعة الروبوت وفق الاتجاهات  $x$  و  $y$  على التوالي، و  $\omega$  هي سرعة الدوران في اتجاه الزاوية  $\theta$ ، و  $(v_1, v_2, v_3, v_4)$  هي سرعات العجلات، و  $L$  هو نصف قطر الروبوت (المسافة بين مركز الروبوت والعجلة) و  $r$  نصف قطر العجلة.

يتم تحديد قيمة سرعات العجلات لتحقيق الحركة والموقع المطلوبين للروبوت.

### 1.1.2. النموذج العكسي للسرعة لروبوت أومني (IVM (Inverse Velocity Model)

يحدد هذا النموذج سرعات العجلات اللازمة لتحقيق حركة وموقع محدد للروبوت. يمكن تمثيل هذا النموذج بمعادلة رياضية تربط سرعات العجلات بسرعة الروبوت وفق اتجاهات الحركة الثلاثة  $(x,y,\theta)$  على التوالي. يمكن تمثيل النموذج العكسي للسرعة على النحو التالي: [4]

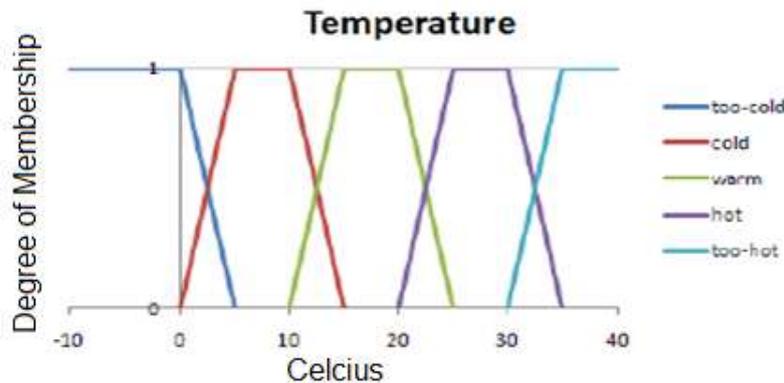
$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin(\theta) & \cos(\theta) & L \\ -\sin\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) & \cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) & L \\ -\sin(\theta + \pi) & \cos(\theta + \pi) & L \\ -\sin\left(\theta + \frac{3\pi}{2}\right) & \cos\left(\theta + \frac{3\pi}{2}\right) & L \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (2)$$

يمكن تحريك روبوت أومني رباعي العجلات قطري الشكل نحو هدف محدد باستخدام نموذج الحركة العكسي. يتطلب ذلك تحديد موقع الهدف وتحويله إلى سرعات الحركة المناسبة لكل عجلة. عملية التحريك تتم عادةً بتعيين السرعة المطلوبة واتجاه الحركة للروبوت، ثم استخدام النموذج العكسي لتحديد سرعات العجلات اللازمة لتحقيق الحركة المطلوبة. على سبيل المثال، إذا كان الهدف هو التحرك باتجاه الأمام، يتم تعيين سرعة الحركة المطلوبة في اتجاه الأمام واستخدام النموذج العكسي لتحديد سرعات العجلات اللازمة لتحقيق هذه الحركة، وبالتالي تحريك الروبوت نحو الهدف.

#### المنطق الضبابي Fuzzy Logic:

المنطق الضبابي فرع من فروع الذكاء الصناعي، يهدف إلى تقليد عملية اتخاذ القرار عند الإنسان، فيتعامل مع معلومات غير دقيقة يستخدمها البشر عادةً، ويقدم طريقة مختلفة في التعامل مع المسائل الرياضية، حيث يتم استبدال الخوارزميات التقليدية بسلسلة من القواعد اللغوية مثل: "شرط (if) نتيجة (then)" مما يسهل العمليات الحسابية [6].

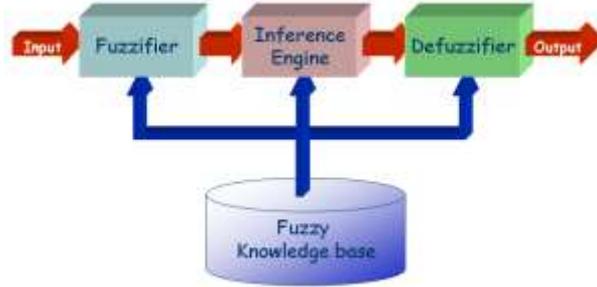
المنطق الضبابي منطق متعدد القيم يوسع مفهوم المنطق التقليدي ثنائي القيمة المستخدم عادةً في الحواسيب (1 or 0). يختلف المنطق الضبابي عن المنطق الكلاسيكي في أنه يسمح لعنصر ما بالانتماء الجزئي لمجموعة حيث يمكن لدرجة الانتماء أن تأخذ قيمة بين 0 و 1 على عكس المنطق الكلاسيكي حيث تحتل درجة انتماء العنصر إحدى القيمتين (0,1) فقط [7]. فعلى سبيل المثال يمكن للمنطق التقليدي تصنيف درجات الحرارة على أنها عالية أو منخفضة فقط، لكن عند استخدام المنطق الضبابي يمكن تقسيم مجال درجات الحرارة (من -10 مئوية إلى 40 مئوية) إلى خمسة مجالات كما يوضح الشكل 3، عندها نجد أن الدرجة 11 مثلاً تقع بين المجال البارد والمعتدل، بالتالي تمتلك درجة انتماء في كل من هذين المجالين [8].



الشكل 3 توابع الانتماء الضبابية لمتحول درجة الحرارة [4]

تسمى العملية الكاملة لاتخاذ القرارات باستخدام المنطق الضبابي بنظام الاستدلال الضبابي ( Fuzzy Inference System) الشكل 4، وتتألف بشكل أساسي من أربع خطوات هي [6]:

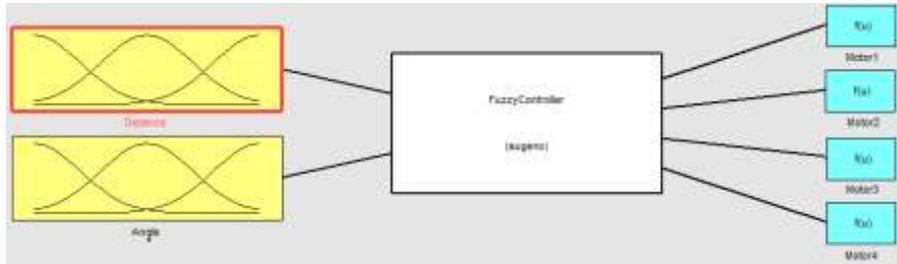
- التغميض Fuzzification: تحويل الدخل الرقمي إلى متحولات لغوية.
- قاعدة المعرفة الضبابية Fuzzy Knowledge Base: مجموعة القواعد الضبابية (if-then).
- محرك الاستدلال Inference Engine: إجراء عمليات الاستدلال (تقاطع، اجتماع، نفي) على القواعد.
- إزالة التغميض Defuzzification: تحويل ناتج الاستدلال اللغوي إلى خرج رقمي نهائي.



الشكل 4 نظام الاستدلال الضبابي FIS

## 1.2 تصميم المتحكم الضبابي:

تم تصميم متحكم ضبابي (Fuzzy Logic Controller) FLC من النوع Sugeno (الخرج يكون قيمة عددية ثابتة بدلاً من كونه مجموعات ضبابية كما في نظام Mamdani) بمدخلين وأربعة مخارج، هذه المداخل هي البعد عن الهدف Goal-Distance، وزاوية الانحراف عن الهدف Goal-Angle، ومخارجه هي سرعة كل من محركات الروبوت. يظهر الشكل 5 المتحكم الضبابي المقترح باستخدام أداة المنطق الضبابي لبرنامج Matlab.



الشكل 5 المتحكم الضبابي المقترح لروبوت أومني.

يهدف المتحكم الضبابي إلى قيادة الروبوت وتأمين عملية سيره في البيئة المطلوبة نحو الهدف المحدد، حيث يتم التعامل مع الهدف المعطى وحساب البعد وزاوية الانحراف عنه وأخذ القيم وإدخالها إلى نظام الاستدلال الضبابي ذي القواعد الضبابية التي تتحكم بعملية القيادة، ويتم إعطاء قيم السرعات المناسبة لكل من محركات الروبوت بالتالي توجيهه بالاتجاه الأفضل بناءً على القواعد الضبابية (if-then) التي تنظم عملية التحكم الضبابي.

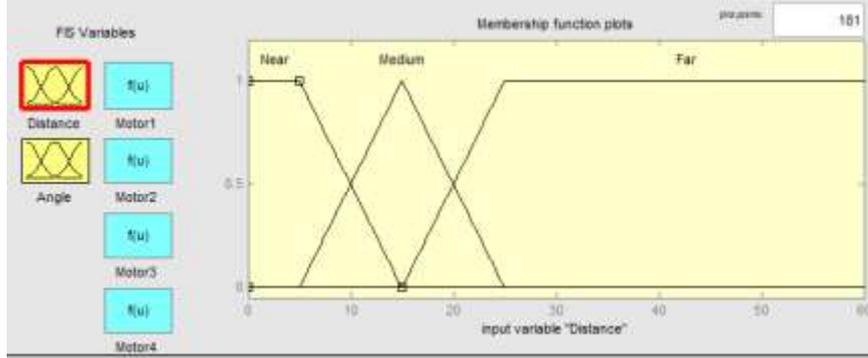
كما ذكر سابقاً، فإن خطوات نظام الاستدلال الضبابي الأربع ستتم هنا بالترتيب، حيث تدخل قيم المداخل (البعد عن الهدف والانحراف عنه) إلى نظام الاستدلال كقيم عددية (مصطلح crisp أي قيم رقمية وليست ضبابية) يتم تغميضها وإعطاء كل منها قيم الانتماء المناسبة لتوابع العضوية.

يظهر الشكل 6 توابع الانتماء للمتحول الأول للدخل والذي يعبر عن البعد عن الهدف. حيث تم تقسيم الدخل إلى ثلاث مجموعات بمجال كلي بين [0 6] متر وهو يعطى بالمعادلة (5):

$$\text{Distance}_{\text{Target}} = \sqrt{(x_T - x)^2 + (y_T - y)^2} \quad (5)$$

حيث :  $x_T, y_T$  : الإحداثيات الديكارتية لنقطة الهدف.

$x, y$  : الإحداثيات الرديكارتية الحالية لمركز الروبوت.

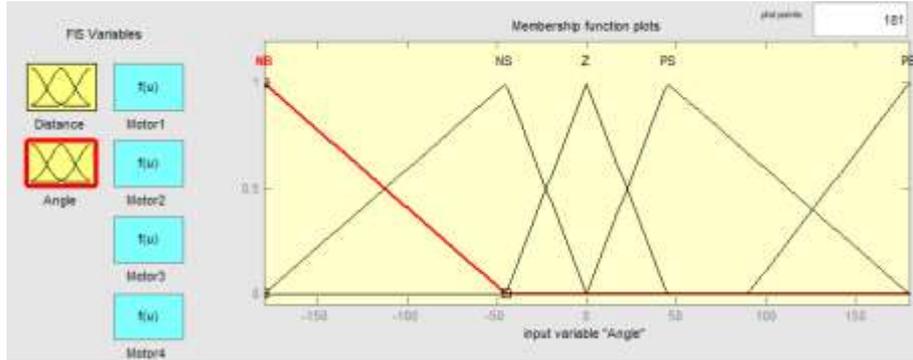


الشكل 6 توابع الانتماء لمتحول الدخل الأول (البعد عن الهدف).

كما يظهر الشكل 7 توابع الانتماء للمتحول الثاني للدخل والذي يعبر عن زاوية الانحراف عن الهدف. تم تقسيم مجال هذا الدخل إلى خمس مجموعات انتماء في المجال  $[-180 \ 180]$  درجة وهو يعطى بالمعادلة التالية (6):

$$\theta_{\text{Target}} = \tan^{-1} \left( \frac{y_T - y}{x_T - x} \right) - \theta \quad (6)$$

حيث:  $\theta$  : زاوية انحراف مركز الروبوت عن الأفق.



الشكل 7 توابع الانتماء لمتحول الدخل الثاني (زاوية الانحراف عن الهدف).

وبما أن النظام الضبابي المقترح من النوع Sugeno فإن توابع الانتماء لمتحولات الخرج تكون قيم عددية ثابتة، وتقسّم لثلاث مجموعات (P) تعني سرعة موجبة وتم وضع قيمتها  $2\text{m/s}$ ، و (Z) تعني سرعة صفرية  $0$ ، و (N) تعني سرعة سالبة وتم وضع قيمتها  $-2\text{m/s}$ . بالنسبة لنظام ضبابي بمدخلين أحدهما ثلاثي مجموعات الانتماء والآخر خماسي، يجب أن يكون عدد القواعد 15 قاعدة ضبابية، يبين الجدول 1 القواعد الضبابية التي تشكل قاعدة معرفة نظام التحكم الضبابي.

الجدول 1 - القواعد الضبابية للتحكم الضبابي المقترح لروبوت أومني

N	Distance	Angle	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Motor 4
1	Near	NB	-	-	+	+
2	Near	NS	+	-	-	+
3	Near	Z	+	+	-	-

4	Near	PS	-	+	+	-
5	Near	PB	-	-	+	+
6	Medium	NB	0	-	0	+
7	Medium	NS	+	0	-	0
8	Medium	Z	+	+	-	-
9	Medium	PS	0	+	0	-
10	Medium	PB	-	0	+	0
11	Far	NB	0	-	0	+
12	Far	NS	+	0	-	0
13	Far	Z	+	+	-	-
14	Far	PS	0	+	0	-
15	Far	PB	-	0	+	0

يمثل كل سطر في الجدول 1 قاعدة ضبابية من النوع (if-then)، فيمكن على سبيل المثال ترجمة السطر الثالث عشر كما يلي:

13. If (Goal-Distance is Far) **and** (Goal-Angle is Zero) then (Motor1 is Positive) and (Motor2 is Positive) and (Motor3 is Negative) and (Motor4 is Negative) (1)

إذا كانت المسافة عن الهدف بعيدة، وزاوية الانحراف عن الهدف صفر أي الهدف على يمين الروبوت، عندها يدور المحرك الأول والثاني بسرعة موجبة والثالث والرابع بسرعة سالبة، أي أن الروبوت سيسير لليمين وبسرعة قصوى. الخطوة التالية هي عملية الاستدلال أي إدخال القيم اللغوية الضبابية إلى نظام الاستدلال المتمثل بالقواعد الضبابية، وتفعيل القواعد المناسبة بحسب هذه القيم المدخلة، والحصول على خرج ضبابي لغوي لكل منها.

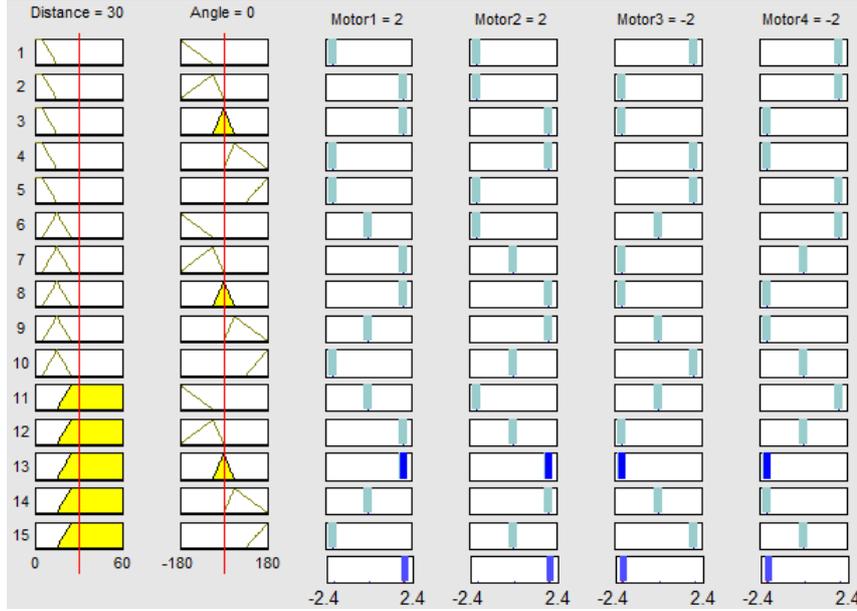
يتم بعدها عملية استخلاص الخرج الضبابي النهائي، يبدأ ذلك بتحصيل القواعد المفصلة وفق عدة خطوات تبدأ بحساب مقدمة كل قاعدة من القواعد (بحسب الشرط المتواجد في القاعدة أهو AND تقاطع أم OR اجتماع)، تليها عملية استنتاج خرج كل قاعدة ضبابية على حدة (عملية Implication)، ثم تجميع خرج القواعد الضبابية المفصلة (عملية Aggregation)، وفي النهاية حساب الخرج العددي من الخرج الضبابي (عملية فك التغميض (Fuzzification)، حيث أن النظام يستخدم المعاملات المبينة في الجدول 2 كمعاملات لعمليتي التقاطع والاجتماع الضبابيين، 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	min
Aggregation	max
Defuzzification	wtaver

الخطوة النهائية بعد عملية فك التغميض التي أعطت سرعة كل محرك من المحركات، هي إرسال هذه السرعات إلى كل من محركات الروبوت وتوجيهه كما يجب.

يظهر الشكل 9 مثلاً رقمياً بواسطة واجهة Matlab الخاصة بالمنطق الضبابي، يوافق القاعدة 13 المذكورة سابقاً، حيث يتبين أن القيم التالية للمداخل (البعد عن الهدف 30م، زاوية الانحراف عن الهدف 0 درجة) ستعطي قيم الخرج  $(2, 2, -2, -2)$  لكل من المحركات، أي سرعة قصوى للعجلة الأولى والثانية وسرعة قصوى بالاتجاه المعاكس للعجلة الثالثة والرابعة، وصفر للثانية والرابعة، والروبوت يسير لليمين.



الشكل 8 آلية عمل نظام الاستدلال الضبابي المقترح لروبوت أومني.

### 1.3 محاكاة عمل المتحكم الضبابي ضمن بيئة V-Rep:

لاختبار عمل النموذج العكسي للسرعة والمتحكم الضبابي ومحاكاتها 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.

يبدأ العمل بتشغيل عملية المحاكاة ضمن بيئة V-Rep، ثم تشغيل الكود البرمجي الموافق ضمن Matlab، عندها ستحسب المسافة بين الروبوت والهدف، وزاوية الانحراف بينهما، ويرسلها إلى Matlab الذي سيقوم بدوره بالطريقة الأولى بتعويض هذه القيم في النموذج العكسي للسرعة للحصول على السرعات المناسبة لكل محرك من محركات الروبوت، ثم يرسلها إلى بيئة V-Rep، ويتحرك الروبوت ضمن المسار المحدد ليصل في النهاية إلى الهدف وتتوقف العملية.

في الطريقة الثانية يتم تعويض القيم المرسله لبرنامج Matlab في عملية الاستدلال الضبابي، أي يقوم بتغميضها وتفعيل القواعد المناسبة وتجميع القواعد ثم الحصول على الخرج الرقمي الذي يعبر عن سرعة كل من محركات الروبوت، ثم يرسلها إلى بيئة V-Rep، ويتحرك الروبوت ضمن المسار المحدد ليصل في النهاية إلى الهدف وتتوقف العملية.

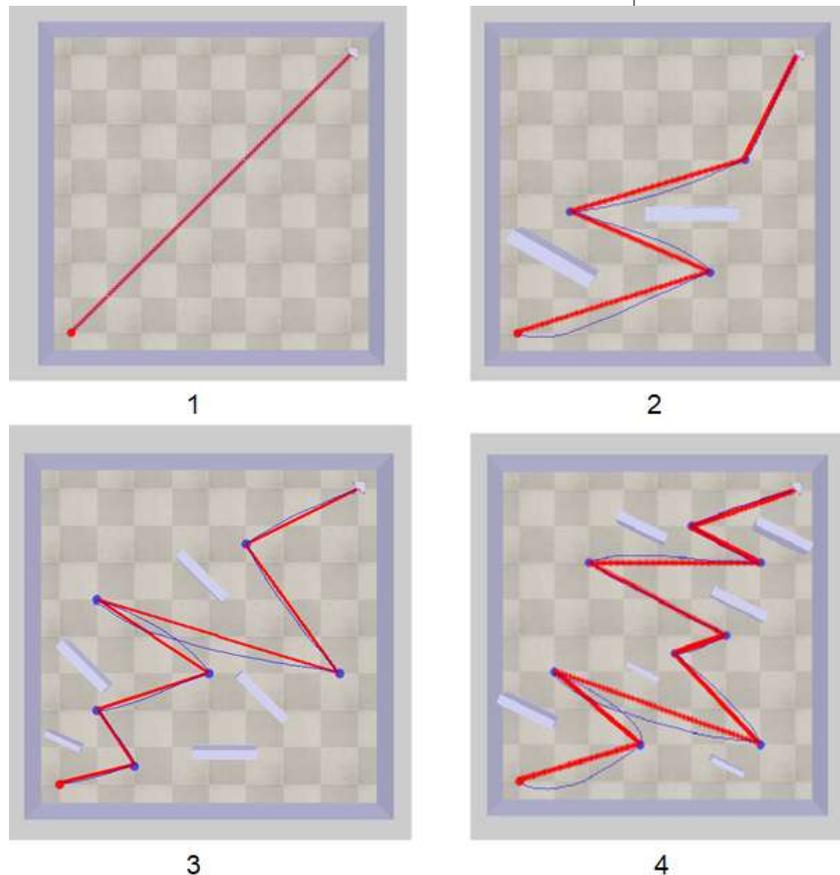
قمنا باختبار حركة الروبوت بالطريقتين على أربع مسارات مختلفة، وذلك بتغيير شكل المسارات وعدد العقبات ضمن كل مسار، يبين الشكل (10)، (11) المسارات الأربعة المصممة لإجراء الاختبار.

## النتائج والمناقشة:

لتقييم أداء النموذج العكسي للسرعة والمتحكم الضبابي المقترح ضمن بيئة V-Rep ، تم تحديد معيار أساسي هو نسبة المسافة الإقليدية (خط النظر) بين الروبوت والهدف إلى المسافة الفعلية التي يقطعها الروبوت للوصول إلى الهدف. يبين الجدول (1) بارامترات كل مسار من المسارات الاختبارية الأربع، إضافة إلى نتائج الاختبار وتقييم كل مسار عبر المعيار السابق، حيث نعتبر نقطة الصفر تقع في منتصف المسار.

الجدول 3 - نتائج اختبار النموذج العكسي للسرعة على كل مسار من المسارات الأربعة

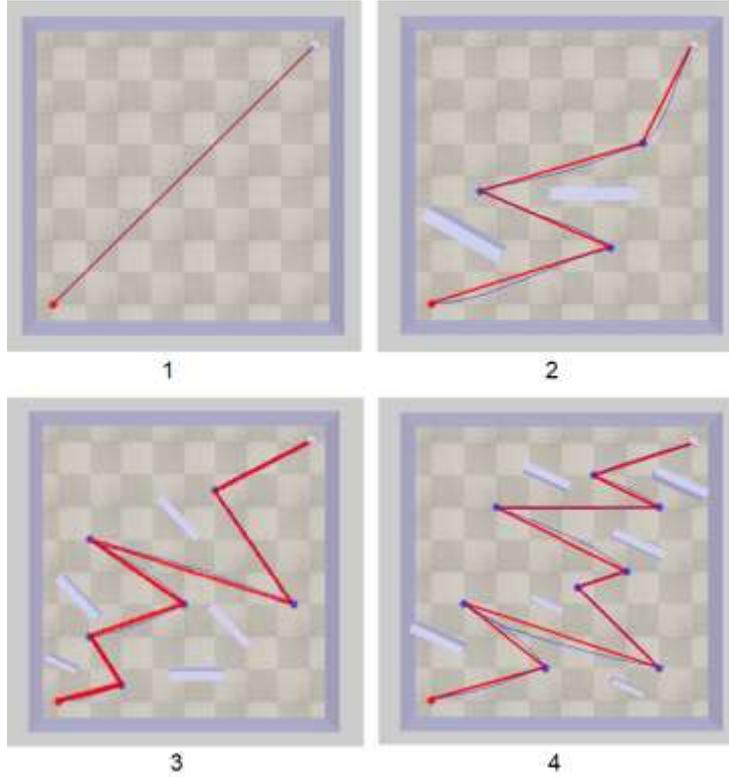
رقم المسار	1	2	3	4	المتوسط
عدد العقبات	0	2	5	7	
المسافة الإقليدية (متر)	22.6	37.5	50.2	66.3	44.15
المسافة المقطوعة (متر)	23.9	40	52.5	70	46.6
نسبة المسافتين	0.945	0.9375	0.956	0.947	0.947



الشكل 9 مسارات الاختبار ضمن بيئة V-Rep مع نتائج النموذج العكسي للسرعة

الجدول 4 - نتائج اختبار المتحكم الضبابي على كل مسار من المسارات الأربع

رقم المسار	1	2	3	4	المتوسط
عدد العقبات	0	2	5	7	
المسافة الإقليدية (متر)	22.6	37.5	50.2	66.3	44.15
المسافة المقطوعة (متر)	23.3	39.5	51.2	69.5	45.875
نسبة المسافتين	0.97	0.95	0.98	0.95	0.9625



الشكل 10 مسارات الاختبار ضمن بيئة V-Rep مع نتائج المتحكم الضبابي

من القيم في الجدولين 3 و 4 والأشكال 10 و 11، وخاصة من السطر الأخير في كل من الجدولين (نسبة المسافة الإقليدية إلى المسافة المقطوعة)، استنتجنا أن المتحكم الضبابي المقترح يوصل الروبوت المنتقل إلى هدفه دون أي تصادم مع العقبات وبمسافة مقطوعة تكاد تكون مطابقة للمسافة الفاصلة بينه وبين الهدف في حال عدم وجود عقبات، فإذا كانت نسبة المسافتين مساوية للقيمة 1 فهي تعني اتجاه الروبوت للهدف مباشرة دون أي انعطاف أو عقبة، عليه فإن القيم الناتجة والتي تتجاوز 90% عند كل مسار تعني أن الروبوت لن يقوم بانعطافات غير ضرورية تزيد من مسافته المقطوعة، وهنا تكمن أهمية وميزة روبوت أومني الذي يسير مساره بشكل كامل دون أية انعطافات غير ضرورية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

بعد مناقشة كل من النموذج العكسي للسرعة والمتحكم المعتمد على المنطق الضبابي للتحكم بروبوت أومني على عدة مسارات محددة مسبقاً، تم التوصل إلى أن الروبوت بمتحكم المنطق الضبابي يسلك مساراً فعلياً أقصر كمسافة فعلية

مقطوعة، وزمناً لازماً أقصر للتنفيذ نظراً لقلّة عدد الانعطافات اللازمة في كل المسارات دون استثناء، وكسب بهذا  
أفضلية على التوجيه اعتماداً على النموذج العكسي للسرعة للروبوت.

كما نوصي بعد الانتهاء من هذه الدراسة بما يلي:

- التوسع في دراسة المتحكمات المعتمدة على المنطق الضبابي، ودراسة تأثير الزيادة في عدد توابع الإنتماء، و  
البحث في المتحكمات المعتمدة على المنطق الضبابي النوع الثاني أو غيرها من طرق الذكاء الاصطناعي واختبارها وتنفيذها.
- دراسة روبوت أومني رباعي العجلات ضمن بيئات بعوائق ثابتة ومتحركة ودراسة كفاءة استجابة الروبوت عند  
العمل ضمن بيئة بعوائق متحركة بحاجة لتحديد المسار بشكل آني.
- التعامل مع سرعة متدرجة للعجلات ومع نماذج التسارع لحركة الروبوت للتغلب على الانزلاق وتقليل الخطأ  
في تتبع المسار.

### References:

- [1] M. A. Quiñones, V. F. Muñoz and J. G. Sánchez, "A Review of Omnidirectional Robots," in IEEE Access, vol. 9, pp. 52720-52734, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3077268.
- [2] S. Kim, C. Park, J. Kim and S. Lee, "Design and Control of an Omnidirectional Mobile Robot Based on a Spherical Differential Gear Mechanism," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 23, no. 2, pp. 697-708, April 2018, doi: 10.1109/TMECH.2018.2800823.
- [3] P., H., J., A., Paulo, A., & J., P. (2009). Modeling and Assessing of Omni-Directional Robots with Three and Four Wheels. InTech. doi: 10.5772/7796.
- [4] Almasri, E. and Uyguroğlu, M.K. (2021) 'Modeling and trajectory planning optimization for the symmetrical multiwheeled omnidirectional mobile robot', Symmetry, 13(6), p. 1033. doi:10.3390/sym13061033.
- [5] Yong Liu, J. Jim Zhu, Robert L. Williams, Jianhua Wu, Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization, Robotics and Autonomous Systems, Volume 56, Issue 5, 2008, Pages 461-479, ISSN 0921-8890, https://doi.org/10.1016/j.robot.2007.08.007.
- [6] Volosencu, Constantin. (2020). Fuzzy Logic.
- [7] Dernoncourt, Franck. (2013). Introduction to fuzzy logic.
- [8] Mohan, Ch. 2018 AN INTRODUCTION TO FUZZY SET THEORY AND FUZZY LOGIC (Second Edition).