حاكمات المنطق الضبابي من النظرية إلى التطبيق

علي محمد عبد الشاهد[1] ، محمد بشير أبوغرسة[2]
[1] كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا
[2] كلية تقنية المعلومات، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.
m.abugharsa@it.misuratau.edu.ly[2] ، a.abdulshahed@eng.misuratau.edu.ly[1]

الملخص:
يقدم هذا المقال نظرة شاملة حول حاكمات المنطق الضبابي وطرق تطبيقها في الجانب العملي. يبدأ المقال بشرح مفهوم حاكم المنطق الضبابي ومكوناته الأساسية، مع التركيز على المجموعات الغامضة ووظائف العضوية وقواعد الاستدلال. ثم يتناول المقال عملية تصميم حاكمات المنطق الضبابي، مُسلِطًا الضوء على اختيار المتغيرات المدخلة والمخرجات، وتطوير القواعد الضبابية، وضبط معلماتها لتحقيق الأداء المثلى. كما يُقَدِّم المقال دراسة حالة تطبيقية ترتبط بتصميم متحكم ضبابي لاستخدامه في تحكم دراجة ذاتية التحكم. تتمحور الدراسة حول كيفية تطوير حاكم ضبابي يمكنه تحسين أداء الدراجة عبر تعديل سرعتها وتوجيهها بشكلٍ ملائم، مستفيدًا من المزايا التي يُقَدِّمها المنطق الضبابي في التعامل مع البيانات الغير محددة بدقة. يختتم المقال بمناقشة الاتجاهات المستقبلية في البحث وتطوير حاكمات المنطق الضبابي، حيث يُسلِّط الضوء على أهمية الاستمرار في العمل على تحسين هذه الأساليب وتطويرها لتحقيق أفضل أداء واستفادة متزايدة في مجالات متعددة، بما في ذلك التحكم الذكي والأنظمة التي تتطلب التعامل مع عدم اليقين والمتغيرات الغير محددة بدقة.
الكلمات المفتاحية: (المنطق الضبابي، التحكم، ذكاء اصطناعي، دراجة التحكم الذاتي

. المقدمــة

المعرفة هي مجموعة من الطرق والأساليب التي يكتسبها الإنسان منذ وجوده على هذه الأرض، وتشكل بحرًا لا نهائيًا من العلوم والمعارف. تعتبر المعرفة موضوعًا فلسفيًا معقدًا وواسع النطاق، حيث تُعَدُّ من العناصر الرئيسية للفلسفة وعلم المنطق. يفهمها العلماء على أنها القدرة على تمييز الحقائق والأفعال الحميدة والضارة، والتعرف على الروابط بين الحدث والنتيجة، بالإضافة إلى قدرتهم على التنبؤ بالنتائج المحتملة للأحداث المختلفة. تتم عمليات نقل المعرفة من جيل إلى جيل عن طريق التعليم والتدريب. ومع ذلك، ينبغي على الفرد التركيز على تخصص واحد، حيث لا يمكنه جمع عدد كبير من التخصصات خلال فترة حياته. تُخزَّن المعلومات في ذاكرة الإنسان بصورة بيولوجية، وهي قابلة للتغيير والنسيان، في حين يتم حفظ قواعد المعرفة في ذاكرة الحاسوب ضمن وسط كهرومغناطيسي غير قابل للضياع [1].

وبالرغم من التحديات التي واجهها الإنسان فيما مضى، مثل ضعف تراسل المعطيات عبر جهازه العصبي وحجم تخزين المعرفة المحدود مقارنة بأجهزة الحاسوب، إلا أنه يظل يتميز بالذكاء والإبداع والابتكار والحداثة. وقد أحرز الإنسان تقدمًا كبيرًا في التوصل إلى أدوات تتيح له حفظ حجم هائل من المعلومات، حيث تم تطوير قواعد خاصة لتنظيم المعطيات والمعلومات. بفضل هذه التطورات، نجح الإنسان في تحسين عمليات معالجة البيانات والحصول على النتائج بسرعة هائلة. وهذا ما يجعله يتفوق على أنظمة الذكاء الاصطناعي، التي لا تزال تعتمد بشكل كبير على المعرفة اللارقمية والخبرة التي يكتسبها الإنسان عبر مراحل حياته. فعلى الرغم من تطور الذكاء الاصطناعي، إلا أنه لم يتمكن بعد من مجاراة ذكاء الإنسان وقدرته الفريدة على التفكير الإبداعي والابتكاري، وهو ما يجعل المعرفة البشرية مكونًا لا غنى عنه في بناء وتطوير تلك النظم الذكية [2].

عندما نتحدث عن الحوسبة الصلبة (Hard computing) أو التقليدية، نجد أنها تستخدم قيمًا واضحة وأعدادًا دقيقة في معالجة البيانات. ولكن على النقيض من ذلك، تستخدم الحوسبة اللّينة (Soft computing) قيمًا لينة أو فئات ضبابية لتمثيل

المعلومات. وهي تمتلك القدرة على التعامل مع بيانات غير مؤكدة وغير دقيقة وغير كاملة، مما يعكس التفكير البشري ومرونته. في الواقع الحقيقي، يفضل البشر استخدام الكلمات كوسيلة للتعبير بدلاً من الأعداد، وهذا ما تُعامل به أعضاؤنا الحسية. المخ يتعامل مع المعلومات اللينة ويقوم بعمل استدلالات لينة في بيئات غير دقيقة وغير مؤكدة، وبالرغم من ذلك يمتلك القدرة الهائلة على التفكير واتخاذ القرارات بدقة دون الحاجة إلى الاعتماد على الأعداد. فعند استخدام الحوسبة اللّينة، تحاول تمثيل الإحساس بالكلمات والطبيعة اللغوية للمشاعر والتعابير البشرية في عمليات اتخاذ القرارات، مما يتيح للنظم الحاسوبية التفاعل بشكل أكثر تماثلًا مع البشر وأكثر تعقيدًا. هذا الأسلوب اللين في الحوسبة يعكس التناغم بين الذكاء الاصطناعي والذكاء البشري، مما يتيح استفادة أكبر من قدرات الحوسبة في تطوير تطبيقات تتفاعل مع المستخدم بطريقة أكثر إنسانية [3]. الكلمات تكون أقل وضوحاً من الأعداد، ومع ذلك، الدقة تأتي مرتفعة الثمن. يتم استخدام الكلمات عندما يُسمح بتسامح في عدم الدقة. وبالمثل، تُستغل الحوسبة اللّينة تلك التسامح في عدم التأكد وعدم الدقة لتحقيق إمكانيّة كبيرة في التتبع والمرونة، مما يُساعد على تقليل تكلفة الحلول. وبينما تعتبر الأعداد دقيقة وصارمة، إلا أنها قد تفتقد المرونة في التعامل مع الأوضاع غير المحددة بشكل دقيق. على سبيل المثال، عند استخدام الأعداد لحساب تطورات الأنظمة المعقدة، فإن أي انحراف طفيف في القيم يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات غير متوقعة على النتائج. وهنا تكمن قوة الحوسبة اللّينة، حيث تتيح استخدام الكلمات والفئات الضبابية لتحديد المفاهيم والحدود بشكل أكثر مرونة. وبذلك، تحقق الحوسبة اللّينة إمكانية التعامل مع معلومات غير مؤكدة وتحقيق نتائج أكثر توافقًا مع التغيرات في الظروف والمتغيرات. وعلى إثر ذلك، تُظهر الحوسبة اللّينة مزايا كبيرة في تحقيق الصلابة والمرونة في الحلول، وتقليل التكلفة العالية التي قد تتكبدها الحلول التقليدية التي تعتمد على الأعداد الصرفة [1]. نستخدم الكلمات أيضًا عندما تكون البيانات المتاحة غير دقيقة بشكل كافٍ لاستخدام الأعداد. يحدث ذلك غالبًا مع المشاكل المعقدة، حيث قد تفشل الحوسبة الصلبة في إنتاج أي حل قابل للتنفيذ. ومن هنا تبرز قوة الحوسبة اللينة، حيث يمكنها إيجاد حلول جيدة وملائمة لمثل هذه الحالات. واحدة من تقنيات الحوسبة اللّينة المهمة هي المنطق الضبابي، وهو يلعب دورًا حيويًا في الأنظمة التي تعتمد على العلاقات بين المتغيرات. يُمثل المنطق الضبابي البيانات والمعرفة بناءً على درجات العضوية بدلاً من العضوية الواضحة التي يعتمد عليها المنطق التقليدي. يهدف المنطق الضبابي إلى تمثيل الإحساس البشري بالكلمات واتخاذ القرارات. يُمكن أن يُشغِّل المنطق الضبابي آلاتٍ ذكيةً قادرةً على حل المشاكل الهندسية والتحديات الصعبة بفعالية. على الرغم من أن المنطق الضبابي لا يمكن أن يتعلم بشكل ذاتي كما تفعل تقنيات تعلم الآلة، فإنه يوفر تفسيرًا واضحًا لكيفية وصوله إلى حل معين. وهذا في المقابل يتيح فهمًا أفضل للعمليات والقرارات التي يتخذها. ومن الجدير بالذكر أن تقنيات تعلم الآلة يمكن أن تعمل كصندوق أسود بدون توضيحات عن كيفية وصولها للحل. لذا، يمكن أن يكون الدمج بين مميزات المنطق الضبابي وتقنيات تعلم الآلة هو الخيار المثلى لتطوير نظام ذكي أكثر قوة وفعالية يجمع بين قوة المنطق ومرونة تعلم الآلة [4].

يهدف منطق الضبابية إلى تمكين الآلة من التفكير بشكل يُشابه الفكر البشري ورفع كفاءتها لتتمكن من تقييم المواقف واتخاذ القرارات الملائمة وفقًا للظروف الحالية. تسمح قواعد الاستدلال الضبابية باستنتاج حلول أنسب للمشكلات، وبالاستفادة من تعلم البرنامج الحاسوبي من أخطائه. نقوم في هذه الحال بتزويد الحاسوب بالمعرفة اللازمة لإجراء محاكمة عقلانية، تشبه المحاكمة العقلية التي يقوم بها الإنسان لاتخاذ القرارات الأنسب في الوقت المحدد. تمثل هذه الطريقة نوعًا من محاكاة السلوك الذكي البشري، ومن هنا جاء تسمية هذا المجال بالذكاء الاصطناعي. وتتبع هذه القواعد صيغة عامة: "إذا كان كذا، فإنه سيحصل كذا"، وذلك بمعنى أن درجة تحقق الشرط أو السبب أو المقدم في الاستدلال تحدد درجة تحقق النتيجة أو التالي

فيه. ويعتمد عدد هذه القواعد على عدد المتغيرات اللغوية ودوال العضوية الضبابية للمتغير الواحد. باستخدام هذه القواعد ومفاهيم الاستدلال الضبابي، يصبح بالإمكان تمثيل الذكاء الاصطناعي بشكل أكثر اقترابًا من القرارات البشرية، والاستفادة من المرونة والتعامل مع البيانات غير الدقيقة والمتغيرات المعقدة. وهذا ما يجعل الذكاء الاصطناعي يستطيع التفاعل بشكل فعال وفاعل مع بيئة معقدة ومتغيرة [2].

يستخدم هذا المنطق حاليًا في مجال الذكاء الاصطناعي وهو تقنية واعدة يتم تطبيقها في مختلف المجالات مثل نظم التعرف على بصمات الأصابع، ونظم مكابح السيارات، ومعالجة الصور. لبناء نظام التحكم الضبابي، يتم اتباع أربع خطوات أساسية: أولاً، يتم تعيين المتغيرات اللغوية وتحديد حدودها الضبابية ودرجات الإمكان اللغوية لمتغيرات الدخل والخرج. ثم، يتم إنشاء قواعد الاستدلال الضبابي التي تربط بين هذه المتغيرات، وتكون هذه القواعد من صياغة الخبراء البشريين وقد يستعينون أحيانًا بالخبراء العاملين على خطوط الإنتاج. تأتي الخطوة الثالثة، التضبيب (Fuzzification)، حيث يتم تحويل قيم متغيرات الدخل في المتحكم الضبابي إلى قيم انتماء إلى المجموعات الفرعية الضبابية بناءً على توابع الانتماء. وأخيرًا، يتم فك التضبيب (Defuzzification) وهي العملية المعاكسة للتضبيب، حيث يتم ربط قاعدة المتحكم بقيم المتغيرات الثابتة التي سيتم التحكم بها وتحويل الخرج الضبابي إلى قيم محددة توافق القيم الثابتة للمتغيرات. تتمثل أهمية هذه العملية في توفير قدرة التحكم الفعالة والمرنة في كل لحظة عبر اختيار قيمة واحدة بناءً على المعادلات المتبعة. بالاعتماد على المنطق الضبابي، يمكن للآلة تحسين أدائها واتخاذ قرارات دقيقة في ظل تغيرات المتغيرات والظروف المحيطة.

2. المنطق الضبابي.

عام 1965، طور العالم "لطفي زادا" [5] من جامعة كاليفورنيا في بركلي علم المنطق الضبابي كأسلوبٍ أكثر فعالية لمعالجة البيانات. واستناداً إلى هذا العلم، قدَّم نموذجاً يسمح بتمثيل الشروط التي لا يُمكن وصفها بسهولة بالمصطلحات الثنائية القياسية "صفر" و"واحد"، ولكن بلغة أخرى يمكن للإنسان التعامل معها بشكلٍ أفضل، مثل "التسارع العالي" و"التسارع المتوسط" وما شابه. ويتميز المنطق الضبابي عن المنطق البولياني (Boolean) بكونه يمكنه التعامل مع قيم متعددة لمفهوم الحقيقة، حيث تتراوح قيم الحقيقة ما بين "صحيح تماماً" و"خطأ تماماً"، مما يُعرَّف بالحقيقة الجزئية. شهد المنطق الضبابي ثورة في الوضوح، حيث يتيح لنا التعامل مع الحقائق ذات القيم المتوسطة بين 0 و1، وليس مقتصرًا على خيارين فقط (0 أو 1) كالمنطق الثنائي التقليدي. وبهذا، يتناسب المنطق الضبابي مع التعقيدات الموجودة في الواقع الذي يحيط بنا. يتيح المنطق الضبابي للعالم المحيط بنا أن يكون غير قاطع، فليس هناك شيءٌ مطلقاً "صواب" أو "خطأ"، كما ليس كل شيء بياضًا أو سوادًا. بالعكس، يقسم المنطق الضبابي بين الصواب والخطأ ويفصل بين الألوان المختلفة من الرمادي، وكل هذه الدرجات تتمثل بين القيمتين 0 و1. باعتباره قريبًا من طريقة تفكير الإنسان في اتخاذ القرارات، يُشبه المنطق الضبابي عملية اكتساب الخبرة التي يمر بها الإنسان عند الولادة. فنحن نتعامل مع محيطنا ونكتسب الخبرة مع مرور الزمن، مما يمكننا من اتخاذ قرارات وصولاً إلى استنتاجات دون الحاجة لإجراءات حسابية معقدة. ويعتمد المنطق الضبابي على القواعد لإجراء الحسابات واتخاذ القرارات، وهو يُعَدُّ أسرع بكثير من النظم الحاسوبية التقليدية في هذه العمليات. وتعتبر طريقة استدلال مامداني (Mamdani) من أكثر أساليب الاستدلال الضبابي انتشارًا واستخدامًا. قام الباحث "إبراهيم ممداني" من

جامعة لندن [6] بتطوير هذه الطريقة كأحد أوائل النماذج الضبابية لمراقبة خليط من آلة بخارية وغلاية، وقام باستخدام فئة من القواعد الضبابية التي حصل عليها من خلال خبرة مشغل بشري ذو خبرة طويلة في موضوع البحث.

1.2. أهمية استخدام المنطق الضبابي

يمكن تجميع أهمية المنطق الضبابي في ثلاثة نقاط رئيسية كالتالي:

1. تحسين أداء الحوسبة: يتيح النظام الضبابي دمج القواعد وتقليل حجمها، مما يجعلها أكثر فعالية وسرعة من الأنظمة التقليدية. ويعتقد الباحثون أنه في المستقبل، ستكون نظم الخبرة الضبابية قادرة على حل المشاكل غير الخطية والصعبة الحساب بسبب مرونتها وتعدد القيم التي تعتمد عليها.

2. تحسين تمثيل معاملات الإدراك: يعتبر تمثيل المعرفة الطبيعية أمرًا معقدًا، حيث يتضمن استخدام العديد من المصطلحات الفضفاضة مثل "مرتفع"، "منخفض"، "طويل"، "قصير"، إلخ، والمصطلحات الزمنية والمكانية غير الدقيقة مثل "دائما"، "أحيانًا"، "عادة"، إلخ. يتطلب تحديد نطاق لهذه المصطلحات الفضفاضة بناء قواعد تقليدية في عملية الإدراك، وهذا يتسبب في تجزئة نظام الخبرة إلى أجزاء متعددة ويُضعف الأداء العام له عند مواجهة مشكلات معقدة. وهنا تتميز نظم الخبرة الضبابية بقدرتها على التعامل مع المعلومات غير الدقيقة وتوفير نتائج مقاربة لطريقة التفكير البشرية.

3. المقدرة على تمثيل آراء خبراء متعددين: عند حل مشكلة معينة باستخدام خبراء متعددين، يكون لكل فرد آراؤه ونظرته الخاصة، ومن المستحيل الوصول إلى اتفاق مطلق على رأي واحد. في بعض التطبيقات مثل المجال الأعمال والإدارة واتخاذ القرارات، تُعتبر جميع الآراء والأفكار مهمة ويجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. تُمثل نظم الخبرة الضبابية ميزة هنا حيث يمكنها تمثيل وتجميع الآراء المتنوعة للخبراء، وهذا ما يفتقر إليه الأنظمة التقليدية.

ويرجى ملاحظة أن تصميم النظام الضبابي يعتمد على التدخل البشري، حيث تؤثر خبرة الخبير على جودة ودقة النتائج المُتحصل عليها.

2.2. دوال العضوية Membership Functions

تستعمل دوال العضوية لتحديد درجة إنتماء أي عنصر من العناصر إلى المجموعات الضبابية Fuzzy sets والتي ينحصر مداها ما بين 0 و1 الصحيح.

في المنطق التقليدي درجة انتماء عنصر ما إلى فئة معينة تكون القيمة 1 في حالة الصحيح أو القيمة 0 في حالة الخطأ. في حين أن المنطق الضبابي درجة الانتماء يعبر عنها بدرجة العضوية تكون ما بين هاتين القيمتين 0 و1. ويتم حساب درجة العضوية لعنصر x في المجموعة الشاملة X عن طريق دالة العضوية (μ_A) التي يتم ضبط معاملاتها عن طريق الخبرة البشرية أو البيانات التي يتم جمعها من حساسات النظام أو سجلات.

3.2. أنواع دوال العضوية

هناك العديد من دوال العضوية المستخدمة في التطبيقات العملية، ولكن الأشكال الأكثر شيوعا واستعمالا هي:

- دالة العضوية المثلثية Triangular Membership Function

تتحدد الدالة العضوية المثلثية بثلاثة معاملات a,b,c حيث تكون لها قيمة خطية في النطاق (a, b) وخارجهما صفر وتكون لها أقصى قيمة 1 عند النقطة b كما هو موضح بالمعادلة الرياضية (1) والشكل (1) أدناه.

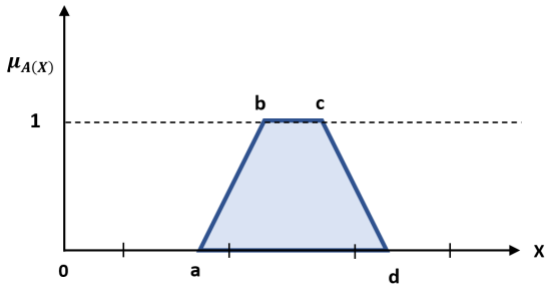
$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \le x \le b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \le x \le c \\ 0 & x \ge c \end{cases} \qquad (1)$$

شكل رقم (1): دالة العضوية المثلثية.

- دالة العضوية شبه المنحرف Trapezoid Membership Function

تتحدد الدالة العضوية شبه المنحرف بأربعة معاملات a,b,c,d حيث a هو الحد الأدنى الأيسر و b الحد الأقصى الأيمن كما هو مشار إليه بالشكل (2) والمعبر عنها بالمعادلات الرياضية (2):

$$\mu(X) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \le x \le b \\ 1 & b \le x \le c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & c \le x \le d \\ 0 & x \ge d \end{cases} \qquad (2)$$



شكل رقم (2): دالة العضوية شبه منحرف.

4.2. القاعدة الضبابية Fuzzy rule

القاعدة الضبابية هي طريقة رياضية ضبابية تربط بين مجموعة من المدخلات الضبابية بمجموعة من المخرجات الضبابية.

تُستخدم القواعد الضبابية في أنظمة التحكم الضبابية لاتخاذ القرارات في ظل ظروف عدم اليقين.تستخدم القاعدة الضبابية في الحصول على المعرفة من الخبراء وتكون القاعدة الضبابية عبارة شرطية في الصورة التالية:

If X is A then Y is B

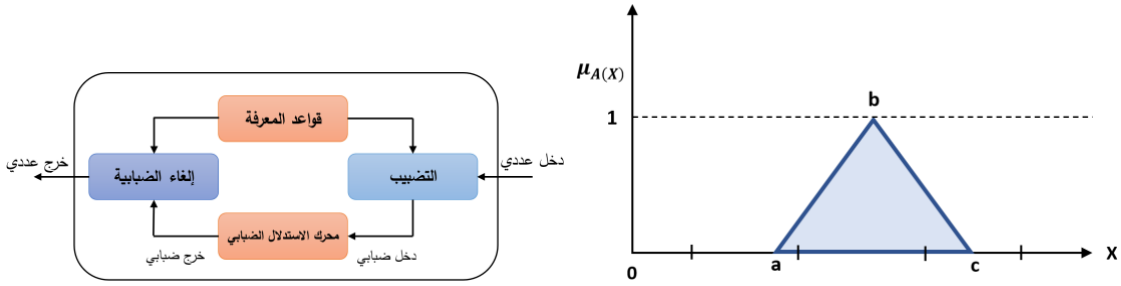
حيث *X* و *Y* متغيرات لغوية، و *A* و *B* قيم لغوية تحددها الفئات الضبابية.

تتكون القاعدة الضبابية من ثلاثة أجزاء: الشرط: وهو عبارة عن جملة رياضية تربط بين المدخلات الضبابية. الاستنتاج: وهو عبارة عن جملة رياضية تربط بين المخرجات الضبابية. درجة الارتباط: وهي درجة ارتباط الشرط بالاستنتاج. يتم حساب درجة الارتباط بناءً على مدى ملاءمة الشرط للمدخلات الضبابية. كلما زادت درجة الارتباط، زاد احتمال أن يكون الاستنتاج صحيحًا.

3.2. مراحل بناء النظام الضبابي

الاستدلال الضبابي هو عبارة عن عملية تحويل مدخلات النظام إلى مخرجات عن طريق استخدام نظرية الفئات الضبابية والاستدلال الضبابي. وتنفذ عملية الاستدلال بنمط ممداني في أربع خطوات رئيسية وهي:

عمل الضبابية لمتغيرات الدخل، وتقويم القاعدة، وتجميع مخرجات القاعدة، وأخيرا إلغاء الضبابية. الشكل (3) يوضع نموذج الاستدلال بنمط ممداني:



شكل رقم (3): نموذج الاستدلال بنمط ممداني.

حيث أنه تمر عملية بناء النظام الضبابي بنمط ممداني بمراحل عدة للوصول إلى حل كامل كالآتي:

المرحلة الأولى (التضبيب Fuzzification):

ويتم فيها تحديد دوال العضوية لمتغيرات الدخل لتحديد درجة الانتماء في كل فضاء حالة أي تحويل متغيرات دخل لها قيم عددية الى قيم لغوية وبدرجات عضوية معينة وبالتالي تصبح متغيرات ضبابية.

المرحلة الثانية (الاستدلال Interference):

وهي تحديد نتيجة كل قاعدة وذلك عن طريق تطبيق قوانين الغموض على مدخلات الخطوة السابقة. وينتج من هذه الجملة الشرطية تكوين ناتج الشرط الذي هو عبارة عن مجموعة إخراج مضببه واحدة فقط.

المرحلة الثالثة (الدمج Aggregation):

وهي دمج نتائج القواعد السابقة والتوصل إلى نتيجة واحدة، أي تجميع المجاميع الضبابية الخارجة من كل قاعدة إلى مجموعة ضبابية واحدة لكل خرج.

المرحلة الرابعة (إزالة التضبيب Defuzzification):

وهي المرحلة الأخيرة مرحلة الخروج من الغموض أو الضبابية وهي تحويل القيمة الضبابية المتحصل عليها من الخطوة السابقة إلى قيمة عددية غير ضبابية بإحدى طرق إزالة الضبابية، والطريقة الأكثر شيوعا هي طريقة المركز المتوسط حيث يتم إيجاد نقطة التوازن عن طريق حساب المعدل الموزون للإخراج المضبب.

3. التطبيق العملي

1.3. وصف النظام

لبناء نظام تحكم يحافظ على توازن دراجة التحكم الذاتي (Segway) في الاتجاهين، يمينًا ويسارًا، ويحافظ على وضعية رأسية دومًا، يتطلب ذلك اتباع أربع خطوات أساسية (أنظر الشكل (4)):

الخطوة الأولى: تعيين المتغيرات اللغوية وتحديد الحدود الضبابية.

في هذه الخطوة، نقوم بتحديد المتغيرات اللغوية التي تصف حالة التوازن للدراجة التحكم الذاتي، مثل "زاوية الميل" و "سرعة الإنحراف". يتم تقسيم هذه المتغيرات إلى مجموعات فرعية ضبابية مثل "سالبة"، "صفر"، و "موجبة" لتمثيل الانحراف بدقة.

الخطوة الثانية: الربط بين متغيرات الدخل ومتغيرات الخرج للمتحكم الضبابي.

في هذه الخطوة، نحدد قواعد الاستدلال الضبابي التي تحدد كيفية استجابة النظام لتغيرات المتغيرات المدخلة، مثل زاوية الميل وسرعة الإنحراف. يتم ربط هذه القواعد بالمتغيرات اللغوية والحدود الضبابية التي تم تعيينها في الخطوة الأولى.

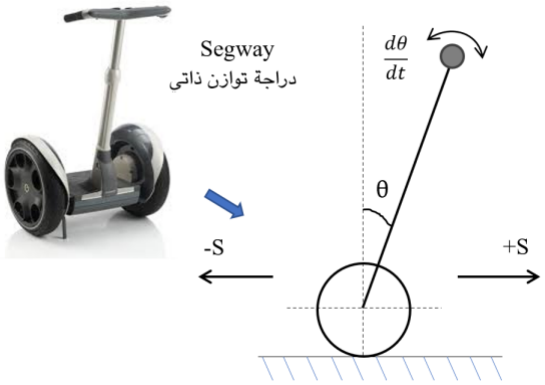
الخطوة الثالثة: التضبيب (Fuzzification).

في هذه الخطوة، نقوم بتحويل القيم الفيزيائية للمتغيرات الدخلية إلى قيم ضبابية تتناسب مع المجموعات الفرعية الضبابية المحددة. هذا التحويل يسمح للنظام بالتعامل مع عدم الدقة وتمثيلها بشكل غامض.

الخطوة الرابعة: فك التضبيب (Defuzzification).

في هذه الخطوة، يتم تحويل النتائج الضبابية إلى قيم محددة تتناسب مع القيم الفيزيائية التي يمكن التحكم بها للحفاظ على التوازن. يتم استخدام طرائق مثل أسلوب المركز المتوسط لتحديد القيم المناسبة لسرعة المحرك بناءً على زوايا الميل وسرعة الإنحراف.

مع الانتهاء من هذه الخطوات، يتمكن نظام التحكم الضبابي من الحفاظ على توازن دراجة التحكم الذاتي بشكل رأسي وتحكم بدقة في سرعتها في الاتجاهين يمينًا ويسارًا. هذا النظام يسمح بإدارة دراجة التوازن الذاتي بشكل آلي ويمكن استخدامه في تطبيقات متنوعة بحيث يحسّن من أداء الدراجة ويزيد من كفاءتها في التنقل بمهارة وأمان.



الشكل رقم (4): يوضح دراجة التوازن الذاتي.

2.3. النتائج ومناقشتها

1- تعيين المتغيرات اللغوية والحدود الضبابية

الخطوة الأولى في بناء نظام التحكُّم الضبابي هي تعيين المتغيرات اللغوية للدخل والخرج. وهذه المتغيرات في حالة التحكّم بدراجة التوازن الذاتي، هي (زاوية) انحراف الدراجة عن وضعية الرأسي- على افتراض أن الزاوية القصوى لحركة الدراجة هي (45) - والسرعة الزاوية له، وهذان متغيران للدخل وسرعة المحرك للدراجة (Speed)، وهو متغير الخرج.

ثم يتم تعيين الحدود الضبابية لكل متغير أو المجموعات الفرعية ودرجات الإمكان اللغوية لها، على النحو:

الزاوية = [سالبة، صفر، موجبة]

حيث سالبة : (Negative)، صفرية: (Zero)، موجبة (Positive)

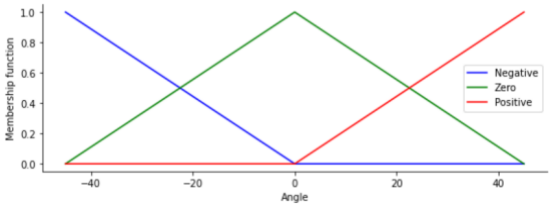
السرعة الزاوية = [سالبة، صفر، موجبة]

حيث سالبة : (Negative)، صفرية: (Zero)، موجبة (Positive)

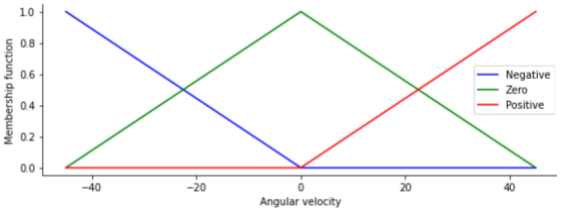
والسرعة = [يسار، صفر، يمين]

حيث يسار : (Left)، صفرية: (Zero)، يمين (Right)

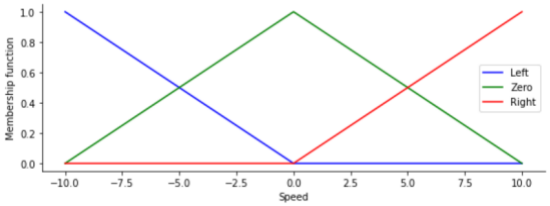
الأشكال (5)(6)(7) توضح متغيرات النظام (الزاوية، السرعة الزاوية، السرعة) على التوالي.



الشكل رقم (5): متغير الزاوية



الشكل رقم (6): متغير السرعة الزاوية



الشكل رقم (7): متغير السرعة

2 - الربط بين متغيرات الدخل والخرج

بعد تعيين المتغيرات اللغوية والحدود الضبابية تكتب قواعد الاستدلال الضبابي بالربط بين متغيرات الدخل ومتغيرات الخرج. وفي حالة التحكم بدراجة التوازن الذاتي يجري الربط بين متغيري الدخل الزاوية والسرعة الزاوية، ومتغير الخرج؛ أي السرعة التي يقوم النظام بالتحكم بها حتى تبقى الدراجة في حالة التوازن. ونكتفي بذكر قاعدة واحدة ونعلق عليها، وهي على النحو الآتي:

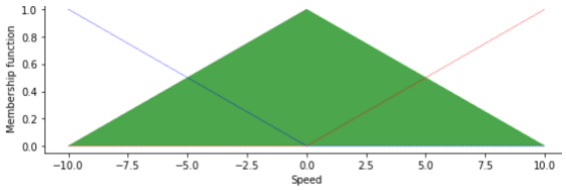
- إذا كانت الزاوية صفر والسرعة الزاوية صفر فالسرعة صفر.

(If Angle is Zero AND Angular velocity Is Zero then Speed is Zero)

3. التضبيب Fuzzification

تُسمى الخطوة الثالثة في بناء نظام التحكم الضبابي التضبيب (Fuzzification)، ويعني تحويل القيم الفيزيائية لمتغيرات الدخل في المتحكم الضبابي، إلى قيم انتماء للمجموعات الفرعية الضبابية وفق توابع انتمائها. فبعد تعيين المجموعات الضبابية وتوابع الانتماء وقواعد الاستدلال الضبابي، يمكن استخدام بيئة البايثون (Python) لمعالجة البيانات، بطريقة المحاكاة للتأكد من سلامة النظام. فلو افترضنا قيما ما، لكل من

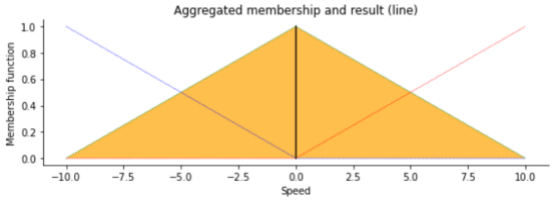
متغيري الدخل – الزاوية والسرعة الزاوية - لأمكننا معرفة متغير الخرج - السرعة - وفقا لقواعد الاستدلال. الشكل (8) يوضح نتائج عملية التضبيب.



الشكل رقم (8): نتيجة عملية التضبيب

4. فك التضبيب Defuzzification

تسمى الخطوة الرابعة والأخيرة في بناء نظام التحكم الضبابي بـ (فك التضبيب) (Defuzzification) وهي معاكسة لعملية التضبيب، وفيها يتم الربط بين قاعدة المتحكّم والقيم الفيزيائية الثابتة التي سيتم التحكم بها، والتي تؤدي دورًا في تحويل الخرج الضبابي إلى قيم محدّدة توافق القيم الفيزيائية الثابتة. ويستخدم لذلك عمليات عدة منها أسلوب المركز المتوسط (Centroid method) بحيث يجري فيها التحكم بكل لحظة باختيار قيمة واحدة من هذا السطح، اعتمادًا على المعادلات التي غُذّي بها البرنامج، وباتباع طرائق رياضية محددة (أنظر الشكل (9).



الشكل رقم (9): نتيجة عملية فك التضبيب

بناء على ماسبق، تشكل هذه الخطوة الغاية النهائية التي يهدف مصمم المتحكم الضبابي للوصول إليها، وهي ، في هذه الحالة، اختيار السرعة الملائمة للمتحكم بكل لحظة، وفقا لتغيرات «الزاوية» و«السرعة الزاوية». وهذا يعني، من جهة، أن السرعة ليست ثابتة، وإنما تتغير في كل لحظة، بتسارع وتباطؤ، وفقا للموقف الراهن؛ ويعني، من جهة أخرى، أن قواعد الاستدلال الضبابي تمثل مجموعة من الخبرات التي اكتسبها المصمم، فغذى بها البرنامج ليتمكن من اختيار السرعة الملائمة آليا.

باستكمال هذه الخطوات، يمكننا بناء نظام تحكم ضبابي يحافظ على توازن دراجة التحكم الذاتي بشكل رأسي ويسمح بالتحكم الدقيق في سرعة الحركة في الاتجاهين، يمينًا ويسارًا. هذا النظام يتيح استبعاد الحاجة لوجود الإنسان في المواقع التي تكون محفوفة بالمخاطر أو غير مناسبة للوجود البشري، مما يزيد من كفاءة العديد من التطبيقات.

4. الاستنتاجات

تظهر هذه الدراسة أهمية منطق الضبابية في مجال التحكم الآلي وقدرته على تقديم نتائج دقيقة أكثر من النهج التقليدي في التحكم. بالإضافة إلى ذلك، توفر المزايا المتعددة للمنطق الضبابي فرصًا نافعة لاستخدامه في

مجموعة متنوعة من المجالات التي تتطلب التعامل مع بيانات ذات طبيعة غير محددة بدقة، وخاصة في المجالات التي تعاني من مشاكل الريبة أو عدم اليقين.

شملت هذه الدراسة تطبيقًا عمليًا لتقديم ونمذجة المنطق الضبابي. وعلى الرغم من أن نظام الخبرة الضبابي يستغرق وقتًا وجهدًا أكبر من الأنظمة التقليدية لتحديد الفئات الضبابية وبناء قواعد المعرفة، إلا أنه يعتبر حلاً مثلى لحل التحديات التي تواجهنا في المجالات التي تتطلب التعامل مع البيانات غير المحددة بدقة.

ويمكن التغلب على هذه الصعوبات من خلال استخدام طرق التعلم البدون إشراف، مثل العنقدة الضبابية، وذلك للحصول على حاكم ضبابي دقيق يمكن استخدامه في النظام. هذا يوفر حلاً مثاليًا لتحقيق أقصى استفادة من المنطق الضبابي في التطبيقات العملية.

في النهاية، تشير هذه الدراسة إلى أن منطق الضبابية يمثل أداة هامة وفعالة في مجالات التحكم الآلي وتحليل البيانات، ويُظهر قدرة كبيرة على التعامل مع التحديات والمتغيرات الغير محددة بدقة. وباستخدام الطرق المناسبة للتدريب والتطبيق، يمكن أن يكون المنطق الضبابي خيارًا مواتيًا لتحسين الأداء والدقة في النظم الآلية.

5. المراجع

[1] L. A. Zadeh, "Soft computing and fuzzy logic," in *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi a Zadeh*: World Scientific, 1996, pp. 796-804.

[2] J. M. Belman-Flores, D. A. Rodríguez-Valderrama, S. Ledesma, J. J. García-Pabón, D .Hernández, and D. M. J. A. S. Pardo-Cely, "A Review on Applications of Fuzzy Logic Control for Refrigeration Systems," vol. 12, no. 3, p. 1302, 2022.

[3] H. Malik, A. Iqbal, and A. K. Yadav, *Soft computing in condition monitoring and diagnostics of electrical and mechanical systems*. Springer, 2020.

[4] A. Kumar and P. J. N. G. C. N. f. I. I. o. T. S. Jha, "Fuzzy logic applications in healthcare: A review-based study," pp. 1-25, 2023.

[5] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3 ,pp. 338-353, 1965.

[6] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 100, no. 12, pp. 1182-1191, 1977.