ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

المنطق الضبابي: مفهومه و تطبيقاته

الدكتور فادي متوج

(كلية الهندسة، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني: fadi.motawej@manara.edu.sy)

الملخص

يعرف المنطق الضبابي على أنه منطق متعدد القيم والذي قد يحتوي على قيم حقيقة للمتغيرات في أي رقم حقيقي بين 0 و1. وهو مفهوم التعامل مع الحقيقة الجزئية. يحاكي المنطق الضبابي طريقة اتخاذ القرار لدى الإنسان والتي تأخذ في الاعتبار جميع الاحتمالات بين القيمتين 0 و1. يساعد المنطق الضبابي على حل المشكلة المطروحة بعد النظر في جميع البيانات المتاحة، ثم يتخذ أفضل قرار ممكن للمدخلات المحددة. تتناول هذه المقالة المنطق الضبابي حيث تتطرق للمفاهيم المرتبطة به و تعرض تطبيق المنطق الضبابي في بناء متحكم ضبابي لموازنة النواس المقلوب.

كلمات مفتاحية: المنطق الضبابي، المتغيرات اللغوية، توابع الانتماء، التحكم الضبابي.

I. مقدمة

ولد مصطلح المنطق الضبابي (المنطق الغامض Fuzzy Logic) على يد عالم الرياضات لطفي زاده في عام 1965 [1]، [2]. في البداية، بقي المنطق الضبابي إلى حد كبير مفهوماً نظرياً مع تطبيقات عملية قليلة حتى عام 1970، حيث تم بناء أول نظام ضبابي، و كان عبارة عن متحكم للمحرك البخاري. ومنذ ذلك الوقت، انتشر استخدام المنطق الضبابي في العديد من المجالات مما أدى إلى تطوير واسع في تطبيقات التحكم الضبابي (Fuzzy controllers) والمنتجات الموجودة اليوم.

يعرف المنطق الضبابي بأنه فرع من فروع الذكاء الصنعي يهدف إلى تقليد عملية اتخاذ القرار عند الإنسان. و هو منطق متعدد القيم يوسع مفهوم المنطق الكلاسيكي المستخدم عادة في الكمبيوتر حيث يتعامل مع معلومات غير دقيقة والتي عادة ما يستخدمها البشر خلال عملية اتخاذ قراراتهم (الشكل1).

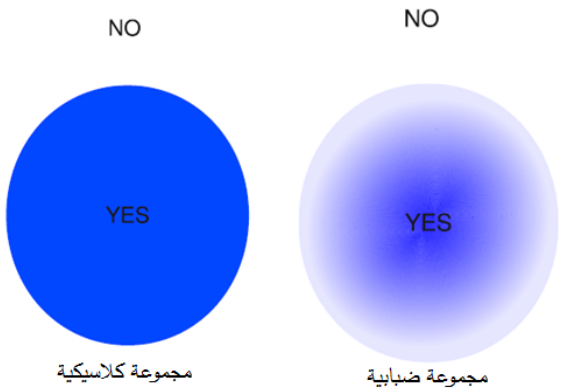
II. المجموعات الكلاسيكية / المجموعات الضبابية

في المجموعات الكلاسيكية تحدد عضوية العناصر بشكل واضح و دقيق، حيث إن عنصر ما x إما أن ينتمي لمجموعة ما A أو لا ينتمي إليها و بالتالي فان التعبير عن عضوية عنصر ما و انتمائه إلى المجموعة سوف يحتمل أحد الأمرين (نعم،لا)، (صح ،خطأ) ، (1,0) مما يجعل هذا المنطق ثنائي القيمة (Two-Valued) ولايسمح بوجود حلول وسطى.

الشكل 1 . عندما تكون الدقة قاتلة و الغموض رحمة

في العالم الحقيقي يبدو الأمر مختلفاً، فالإنسان يعبر عن الأشياء باستخدام كلمات غامضة تحمل قدراً كبيراً من الاحتمالات، فمثلاً للتعبير عن طول شخص ما فإن الإنسان يستخدم ألفاظ مثل: (طويل، قصير، طويل جداً، قصير جداً، متوسط الطول) و لكن المنطق الثنائي القيمة يعجز عن تمثيل كل هذه الأطياف. و من هنا دعت الحاجة إلى إيجاد بديل لهذا المنطق فكانت نظرية المجموعة الضبابية Fuzzy Set Theory (الشكل2).

لتمثيل المتغيرات اللغوية والمجموعات غير الدقيقة، طرح مفهوم المجموعة الغامضة Fuzzy Set. تختلف المجموعة الغامضة عن المجموعة الكلاسيكية في أنها تسمح لعنصر ما بالانتماء الجزئي و يرمز لدرجة انتماء عنصر x للمجموعة الغامضة A بالرمز $\mu_A(x)$.



الشكل 2 . الفرق بين المجموعة الكلاسيكية و المجموعة الضبابية

في حالة المجموعات الكلاسيكية تكون $\mu_A(x)$ ثنائية القيمة (1 في حالة الانتماء و0 في غير ذلك). أما في حالة المجموعات الغامضة فبإمكانها أن تأخذ قيماً بين 0 و1. و بالتالي، فالتعبير عن عضوية عنصر ما في نظرية المجموعة الضبابية يمكن أن يأخذ احتمالات متعددة و هي:

- إن العنصر ينتمي إلى المجموعة بصورة أكيدة.
- العنصر لا ينتمي إلى المجموعة مطلقاً.
- العنصر ينتمي إلى المجموعة بصورة جزئية أو بعبارة أخرى بدرجة معينة أكبر.

III. المتغيرات اللغوية

في الرياضيات أو حتى في المنطق الكلاسيكي يكون المتغير عددياً وبالتالي تكون قيمه كميّة أما في المنطق الغامض فإن المتغيرات تحمل قيماً على شكل كلمات أو جمل من اللغة مثل "حار"، "بارد" ، "سريع"، "طويل"....

و مع إن الكلمات أقل دقة من الأرقام إلا أن هناك العديد من الدوافع التي تبرر استخدامها كبديل للأرقام منها:

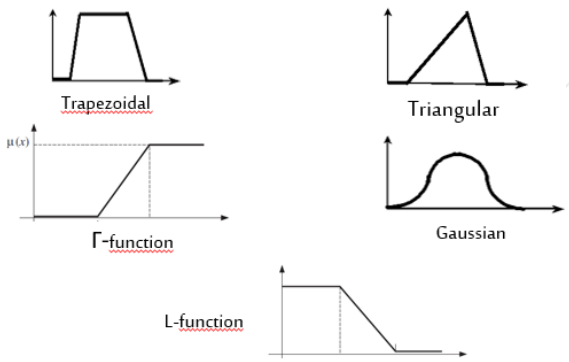
– استخدام الكلمات هو أقرب للحس البشري يستطيع دماغ الإنسان أن يُفسّر معلومات غير دقيقة و غير مكتملة تزوده بها الحواس التي يمتلكها، و سعياً وراء محاكاة الإنسان في سلوكه وتصرفاته جاء المنطق الضبابي ليكون طريقة للحساب باستخدام الكلمات بدلاً من الأرقام.

– الحساب باستخدام الكلمات بدلاً من الأرقام يمكن من التعامل بكفاءة مع مستويات من عدم الدقة و بهذا يقلل كلفة الحل.

IV. أشكال توابع الانتماء

يوضح (الشكل 3) أكثر أشكال التوابع شيوعاً للتعبير عن المجموعات الضبابية وهي :

- المثلثية (Triangular)
- شبه المنحرفة (Trapezoidal)
- الغاوصية (Gaussian)
- Γ –function
- L–function



الشكل 3 . أشكال توابع الانتماء المستخدمة في التعبير عن المجموعات الضبابية

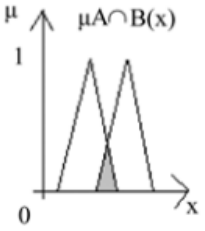
V. العمليات المنطقية

بفرض لدينا المجموعتين الضبابيتين A و B معرفتان على نفس المجموعة الشاملة X، يمكن تعريف أربع عمليات أساسية على المجموعات الضبابية و هي:

- **التقاطع Intersection**

يعطى تقاطع مجموعتين ضبابيتين بالعلاقة:

$$\mu_{A\cap B}(x) = \min\left(\mu_A(x), \mu_B(x)\right)$$



الشكل 4. عملية التقاطع

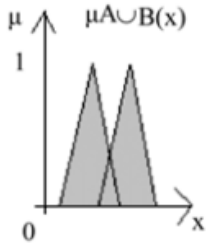
يبين الشكل 4 مثال على عملية التقاطع.

- **الاجتماع Union**

يعطى اجتماع مجموعتين ضبابيتين بالعلاقة :

$$\mu_{A\cup B}(x) = max\ (\mu_A(x), \mu_B(x)$$

يبين الشكل 5 مثال على عملية الاجتماع.



الشكل 5. عملية الاجتماع

- **التكملة Complement**

يعطى تكملة مجموعة ضبابية A بالعلاقة :

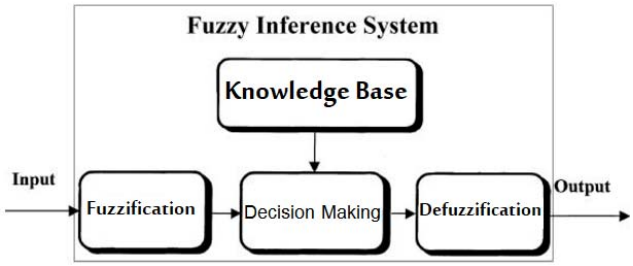
$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

يبين الشكل 6 مثال على عملية التكملة.

الشكل 6. عملية التكملة

VI. نظام الاستنتاج(الاستدلال) الضبابي

نظام الاستنتاج الضبابي Fuzzy Inference System (FIS) هو العملية الكاملة لاتخاذ القرارات باستعمال المنطق الضبابي و تجمع هذه العملية كل المكونات التي تم طرحها حتى الآن. و لها أربع خطوات أساسية هي (الشكل 7):



الشكل 7 . نظام الاستنتاج(الاستدلال) الضبابي

- **التغميض Fuzzification**

هي بوابة الدخول لعالم المنطق الضبابي حيث يتم في هذه المرحلة تحويل المدخلات العددية إلى قيم ضبابية.

- **قاعدة المعرفة Knowledge Base**

تحتوي قاعدة المعرفة على القوانين الضبابية من نوع " إذا كان كذا، إذاً كذا "، وقد يضم الشطر الأول من القانون أكثر من شرط واحد مثل : إذا (كانت درجة الحرارة عالية و درجة الرطوبة معتدلة) أو (كانت درجة الحرارة معتدلة و درجة الرطوبة عالية)، إذاً (الطقس غير مريح).

و لا يقتصر دور قاعدة المعرفة على عملية تخزين القوانين فقط بل يتعداها إلى تحديد مدى توفر الشروط وذلك بتقييم الشطور الأولى من كل القوانين باستعمال عملية الدلالة و التي بدورها تطبق كل العمليات المنطقية من اجتماع و تقاطع و تكملة.

- **اتخاذ القرار Decision Making**

تعتبر هذه الخطوة تقليداً للطريقة البشرية في اتخاذ القرارات، فهي رغم أهميتها تعتبر بسيطة جداً و تعتمد أساساً على القاعدة التالية :

" إذا كان الشرط متوفراً بنسبة معينة فجواب الشرط نافذ المفعول بنفس النسبة ".

- **إزالة التغميض Defuzzification**

إذا كانت عملية التغميض هي بوابة الدخول لعالم المنطق الضبابي فإن عملية إزالة التغميض هي بوابة

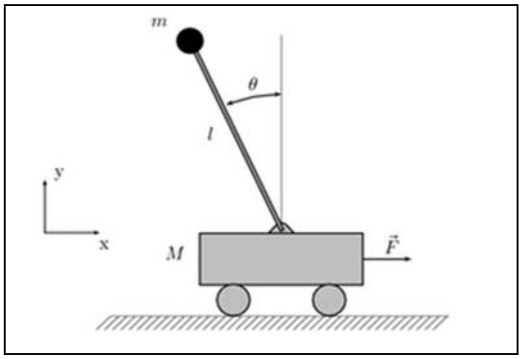
الخروج منه. عن طريق هذه العملية يتم تحويل النتائج اللغوية (الضبابية) إلى قيم عددية يسهل على الحاسوب و الآلات بصفة عامة التعامل معها. توجد عدة طرق لإزالة التغميض لكن طريقة مركز الثقل (Center of gravity) أو مركز المساحة (Center of Area COA) هي الأكثر استخداما تطبيقات التحكم الضبابي

تشمل تطبيقات التحكم الضبابي المجالات التالية:

- مكيفات الهواء
- الغسالات / أجهزة تجفيف الغسيل
- المكانس الكهربائية
- الكاميرات
- أفران الميكروويف
- ثلاجات
- تلفزيون
- آلات تصوير
- نظام منع انغلاق المكابح ABS

VII. موازنة النواس المقلوب عن طريق التحكم الضبابي

يتكون النظام في هذا المثال من نواس مقلوب مثبت على عربة (الشكل 8) و يجب الحفاظ على النواس في وضعية التوازن من خلال تطبيق قوة على العربة.

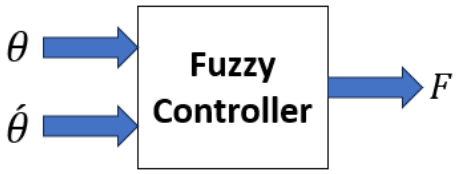


الشكل 8 . نظام النواس المقلوب

يعد نظام النواس المقلوب أحد الأمثلة الشائعة في كتب نظم التحكم والأدبيات البحثية. تنبع شعبيتها من حقيقة أنها مسألة غير مستقرة بدون تحكم، أي أن النواس سوف يسقط ببساطة إذا لم يتم تحريك العربة لتحقيق التوازن. بالإضافة إلى ذلك، فإن ديناميكيات النظام غير خطية. الهدف من نظام التحكم الضبابي هو موازنة النواس المقلوب من خلال تطبيق قوة على العربة التي يرتبط بها النواس.

القوة F ينبغي اختيارها وفقا لمتغيرات الدخل θ (الزاوية من الوضع الشاقولي) و $\dot{\theta}$ السرعة الزاوية [3].

يبين الشكل 9 مداخل و مخارج المتحكم الضبابي المطلوب.



الشكل 9 . المتحكم الضبابي لموازنة النواس المقلوب

كما يبين الشكل 10 القواعد الضبابية الكاملة و التي تشكل قاعدة المعرفة للنظام الضبابي المطلوب وعددها 49 قاعدة.

$\theta\backslash\dot{\theta}$	NL	NM	NS	AZ	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	PS
NM	NL	NL	NM	NM	NS	PS	PS
NS	NL	NM	NS	NS	PS	PS	PM
AZ	NL	NM	NS	AZ	PS	PM	PL
PS	NM	NS	NS	PS	PS	PM	PL
PM	NS	NS	PS	PM	PM	PL	PL
PL	NS	PS	PM	PL	PL	PL	PL

الشكل 10 . القواعد الضبابية للمتحكم الضبابي بموازنة النواس المقلوب

و فيما يلي مثال على قاعدتين من القواعد التي تحكم عمل المتحكم الضبابي:

1- IF $\dot{\theta}$ is positive small (PS) and θ is negative small (NS) THEN F is positive small.

2- IF $\dot{\theta}$ is negative small (PS) and θ is positive small (NS) THEN F is negative small.

بعد كتابة القواعد الضـــبابية يتم تقييم كل قاعدة من القواعد بناءً على قيم دخل معينة و حســاب نتيجة كل قاعدة حيث ينتج لدينا عدد من القرارات الضـــبابية و لإيجاد القرار النهائي يتم اللجوء لطريق إزالة التغميض حيث نحصــل على قرار نهائي واحد يحدد القوة اللازم تطبيقهـا على العربـة بحيـث يعود النواس المقلوب لوضعية التوازن.

VIII. الاستنتاجات

تم في هذه المقالة شـرح مفهوم المنطق الضـبابي و المجموعات الضـبابية و العمليات التي تجري عليها، بالإضـافة لعرض بعض تطبيقات المنطق الضـــبابي لا ســيما في مجال التحكم بالأنظمة المختلفة. كما أنهيت الدراســة بدراســة تصــميم متحكم ضــبابي لموازنة النواس المقلوب.

المراجع:

[1]. L. A. Zadeh, *"Fuzzy sets"*, Information and control., vol. 8, pp. 338–353, 1965.

[2]. L. A. Zadeh, *" Similarity relations and fuzzy orderings"*, Information sciences, vol. 3, pp. 177–200, 1971.

[3]. A. Roose and S. Yahya and H. Al-Rizzo, *"Fuzzy-logic control of an inverted pendulum on a cart"*, Computers & Electrical Engineering, vol. 61, pp. 31–47, July 2017.