

الذكاء الاصطناعي الرمزي

1. مقدمة عامة:

يُعتبر الذكاء الاصطناعي الرمزي (Symbolic AI) أحد أقدم المدارس الفكرية في الذكاء الاصطناعي، وقد شكّل الأساس النظري الذي بُنيت عليه معظم المحاولات الأولى لجعل الحاسوب "يفكر" بطريقة قريبة من التفكير البشري.

الفكرة الجوهرية في هذا الاتجاه هي أن: التفكير يمكن تمثيله باستخدام رموز وقواعد منطقية.

أي أن العقل-وفق هذا التصور- لا يقوم إلا بمعالجة معلومات منظمة وفق قواعد محددة، تمامًا كما يحدث في الرياضيات والمنطق.

ولهذا السبب ارتبط الذكاء الاصطناعي الرمزي ارتباطًا وثيقًا بـ:

. المنطق الرياضي

. نظرية الحوسبة

. الفلسفة العقلانية

. اللغات الشكلية (Formal Languages)

الإطار النظري والفرضية الأساسية

1. ما معنى "الإطار النظري"؟

عندما نتحدث عن الإطار النظري لمجال علمي، فنحن لا نقصد التطبيقات أو البرامج مباشرة، بل نقصد:

. الأسس الفكرية التي بُني عليها المجال

. التصور الفلسفي الذي يفسر الظاهرة

. الفرضيات التي يعتمد عليها

. الطريقة التي يرى بها هذا المجال مفهوم "الذكاء"

في حالة الذكاء الاصطناعي الرمزي، السؤال الأساسي كان: كيف يمكن تمثيل التفكير البشري بطريقة رياضية تسمح للحاسوب بمحاكاته؟

2. الفكرة المركزية للذكاء الرمزي

الذكاء الرمزي يفترض أن التفكير البشري يتكون من ثلاث عمليات أساسية:
. تمثيل المعرفة
. معالجة الرموز
. تطبيق قواعد منطقية

أي أن الذكاء لا يُنظر إليه هنا كظاهرة غامضة، بل كعملية حسابية (Computational Process).

3. فرضية النظام الرمزي الفيزيائي

تُعد هذه الفرضية الأساس الفلسفي والعلمي للذكاء الرمزي.

وقد صاغها كل من: Allen Newell and Herbert A. Simon

الصياغة الأصلية للفرضية

A physical symbol system has the necessary and sufficient means for general intelligent action

تعني هذه العبارة أن: "أي نظام قادر على تمثيل الرموز ومعالجتها وفق قواعد معينة يمكنه إنتاج سلوك ذكي."
وهنا يجب فهم ثلاث كلمات مهمة جدًا:

. ماذا نعني بـ "Physical"؟

المقصود ليس "مادي" بالمعنى الفيزيائي فقط، بل:
نظام حقيقي قابل للتنفيذ. مثل: الحاسوب، الدماغ، آلة منطقية.

أي أن الذكاء لا يحتاج إلى شيء "سحري"، بل إلى نظام يعالج المعلومات.

. ماذا نعني بـ "Symbol"؟

الرمز (Symbol) هو تمثيل مجرد لشيء ما.

مثلاً: Planet, Ahmed, Tree, Electron
هذه الكلمات ليست الأشياء نفسها، بل تمثيلات لها.

فعندما يكتب النظام: **Human(Ahmed)**
فإن الحاسوب لا "يعرف" أحمد كشخص حقيقي.
بل يتعامل فقط مع:
Human كرمز
Ahmed كرمز
العلاقة بينهما كبنية منطقية

. ماذا نعني بـ "System"؟

أي مجموعة منظمة تحتوي على:
. رموز
. قواعد
. عمليات معالجة
. آليات استنتاج

4. الفكرة الفلسفية للفرضية

الفرضية تقول ضمناً: الذكاء لا يعتمد بالضرورة على "الفهم الداخلي"، بل على التلاعب الصحيح بالرموز. أي أن النظام ليس مضطراً لأن "يشعر" أو "يفهم" كما يفعل الإنسان. يكفي أن: يمثل المعلومات, يطبق القواعد و ينتج استنتاجات صحيحة.

5. العلاقة بين التفكير والحساب

هذه النقطة كانت ثورية جداً.

لأن الذكاء الرمزي افترض أن: **Thinking = Computation**, أي أن = التفكير عملية حسابية. وهذا هو السبب الذي جعل الذكاء الاصطناعي مجالاً رياضياً.

6. الفرق بين Syntax و Semantics

أولاً: **Syntax** (التركيب): يمثل الشكل أو البنية الرسمية للجملة.

مثال: **Human(Ahmed)**

من ناحية: **Syntax**

Human = Predicate

Ahmed = Constant

النظام يهتم بكيفية بناء العبارة.

ثانيًا: **Semantics (الدلالة)**: تمثل المعنى الحقيقي للعبارة.

أي أنها تعني: أحمد إنسان.

فالنقطة الجوهرية أن: الذكاء الرمزي يعتمد أساسًا على **Syntax** ويفترض أن معالجة الرموز بشكل صحيح قد يؤدي إلى سلوك يبدو "ذكياً".

7. مثال استدلال

لدينا: **Human(Ahmed)**

وقاعدة عامة: **Human(x) -> Mortal(x)**

يقوم النظام باستنتاج: **Mortal(Ahmed)**

رغم أنه لا يفهم: معنى الإنسان و معنى الموت. بل يطبق قواعد شكلية فقط.

كانت هذه الفكرة مهمة جدًا لأنها سمحت بتحويل: التفكير, الاستنتاج و حل المشكلات إلى عمليات قابلة للبرمجة.

وهذا فتح الباب أمام:

. الأنظمة الخبيرة

. البرمجة المنطقية

. أنظمة الاستدلال

8. حدود الفرضية

مع تطور الذكاء الاصطناعي ظهرت تساؤلات مهمة: مثل هل التلاعب بالرموز يكفي لتحقيق فهم حقيقي؟ وهنا ظهرت انتقادات فلسفية مثل تجربة: "الغرفة الصينية" لـ John Searle التي تقول إن النظام قد يعالج الرموز بطريقة صحيحة دون أن "يفهم" معناها.

II. تمثيل المعرفة (Knowledge Representation)

تمثيل المعرفة هو عملية تحويل المعلومات البشرية إلى صيغة رياضية ومنطقية تسمح للحاسوب بمعالجتها.

1. لماذا نحتاج تمثيل المعرفة؟

الحاسوب لا يستطيع التعامل مباشرة مع:
. اللغة الطبيعية
. المعاني المجردة
. الفهم البشري

لذلك يجب تحويل المعرفة إلى Formal Representation أي تمثيل رسمي ودقيق.

2. الهدف الحقيقي من تمثيل المعرفة

الهدف ليس مجرد "تخزين" المعلومات. بل تمكين النظام من إجراء استدلالات جديدة.

مثال: إذا عرف النظام أن: $Human(Ahmed) \text{ and } Human(x) \rightarrow Mortal(x)$

فيجب أن يكون قادرًا على استنتاج: $Mortal(Ahmed)$

4. النظام الصوري (Formal System): أي تمثيل معرفي يعتمد على أربعة عناصر أساسية:

. الأبجدية (Alphabet): تمثل مجموعة المتغيرات

Human
Mortal
Ahmed

. الصيغ الصحيحة (Well-Formed Formulas)

المتغير يجب ان يكون بين قوسين $Human(Ahmed)$. مثل $(Human Ahmed)$ غير صحيح.

. البديهيات (Axioms): مثل ان احمد انسان, $Human(Ahmed)$.

. قواعد الاستدلال: مثل الاستلزام بين قضيتين $P \text{ and } Q$, يمثل كالتالي: $P \rightarrow Q$

5. خصائص التمثيل الجيد للمعرفة

القدرة التعبيرية (Expressiveness):

قدرة النظام على تمثيل جميع أنواع المعرفة والعلاقات المطلوبة لوصف المجال بشكل دقيق.

قوة الاستدلال (Inferential Power):

قدرة النظام على استخراج معلومات جديدة واستنتاج نتائج غير موجودة بشكل مباشر في قاعدة المعرفة.

الكفاءة (Efficiency):

مدى سرعة وفعالية النظام في إجراء عمليات الاستدلال دون استهلاك مفرط للوقت أو الموارد.

السلامة (Soundness):

ضمان أن جميع الاستنتاجات التي ينتجها النظام صحيحة منطقيًا ولا تحتوي على أخطاء.

الاكتمال (Completeness):

قدرة النظام على استنتاج كل النتائج الصحيحة الممكنة التي يمكن اشتقاقها من قاعدة المعرفة.

المنطق القضي ومنطق الرتبة الأولى في الذكاء الاصطناعي الرمزي

مقدمة

يُعتبر المنطق (Logic) القلب الرياضي للذكاء الاصطناعي الرمزي، لأنه يوفر الطريقة الرسمية التي يستطيع النظام الذكي من خلالها تمثيل المعرفة، إجراء الاستنتاجات، حل المشكلات واتخاذ القرارات. فالذكاء الاصطناعي الرمزي لا يعتمد أساسًا على البيانات كما يحدث في التعلم العميق، بل يعتمد على:

Knowledge + Logic + Inference

أي:

. معرفة ممثلة منطقيًا

. قواعد استدلال

. آليات استنتاج

1. المنطق القضي (Propositional Logic)

1. التعريف العام للمنطق القضي

المنطق القضي هو أبسط أنواع المنطق الرياضي، ويُستخدم للتعامل مع الجمل الخبرية التي يمكن أن تكون:
. صحيحة (True)
. خاطئة (False) فقط.

2. ما هي القضية (Proposition)؟

القضية هي جملة خبرية لها قيمة منطقية واحدة.

أمثلة على قضايا

. الشمس تشرق من الشرق من الشرق ✓ : هذه قضية صحيحة.

. 5 عدد زوجي ✓ : هذه قضية خاطئة.

أمثلة ليست قضايا

. كيف حالك؟ ✗ : ليست قضية لأنها ليست True أو False.

3. الرموز الأساسية في المنطق القضي

عادة نستعمل رموزاً مثل: P , Q , R . مثال:

P : السماء تمطر

Q : الطريق ممتلئ

4. الروابط المنطقية (Logical Connectives):

لفرض ان P و Q قضيتين, فان العلاقات المنطقية بينهما يمكن تلخيصها كالتالي:

. النفي (Negation)

الرمز: $P \neg$ أو $\sim P$

المعنى:
ليس P

مثال:

P : السماء تمطر

$\neg P$: السماء لا تمطر

. الوصل and

الرمز: $P \wedge Q$

المعنى:
P و Q معًا

مثال:

السماء تمطر \wedge الطريق مبتل

. الفصل or

الرمز: $P \vee Q$

المعنى:
P أو Q

4.4 الشرط (Implication)

الرمز: $P \rightarrow Q$

المعنى:
إذا تحقق P فإن Q

مثال:

5. المعنى الرياضي للشرط

في المنطق تمثيل التلازم بين قضيتين يعبر عنه كالتالي:

$$P \rightarrow Q \equiv \neg P \vee Q$$

6. جدول الحقيقة (Truth Table): هو جدول يُستخدم لعرض جميع القيم الممكنة (صحيحة أو خاطئة) للقضايا المنطقية، ويُبين قيمة العبارة المنطقية الناتجة لكل حالة ممكنة.

| P | Q | P → Q |

| T | T | T |

| T | F | F |

| F | T | T |

| F | F | T |

تكون العبارة خاطئة فقط في حالة واحدة لأن: $P \rightarrow Q$ يعني: عندما يتحقق الشرط يجب أن تتحقق النتيجة. فإذا تحقق الشرط ولم تتحقق النتيجة فهذا تناقض منطقي.

7. مثال تطبيقي:

في نظام إنذار حريق مثلاً:

P : يوجد دخان

Q : يوجد حريق

$P \rightarrow Q$

إذا:

$P = \text{True}$

فإن:

$Q = \text{True}$

8. أهمية المنطق القضي

يُستخدم بشكل كبير في:

. تصميم الدوائر الإلكترونية: حيث يتم تمثيل البوابات المنطقية (and, or, not) باستخدام صيغ منطقية، مما يسمح بتحليل وبناء الدوائر الرقمية بطريقة رياضية دقيقة.

. أنظمة الإنذار: يُستخدم لتمثيل قواعد بسيطة مثل: يوجد حريق \Rightarrow إذا وُجد دخان

مما يسمح للنظام باتخاذ قرارات تلقائية بناءً على شروط محددة.

. التحقق من البرامج: يُستعمل في التأكد من صحة البرامج وخلوها من الأخطاء المنطقية، من خلال تحليل الشروط والتعليمات البرمجية بشكل صوري.

. الأنظمة الخبيرة البسيطة: يُستخدم لتمثيل المعرفة على شكل قواعد (If-Then) تساعد في اتخاذ قرارات في مجالات محدودة مثل التشخيص الأولي أو الاستشارة.

. نمذجة المشكلات البسيطة: يساعد في تمثيل مسائل منطقية واضحة ومحددة، حيث تكون القضايا مستقلة ولا تحتوي على علاقات معقدة.

. التعليم والتبسيط: يُعتبر مدخلاً أساسياً لفهم المنطق الرياضي، مما يجعله أداة تعليمية مهمة في علوم الحاسوب والذكاء الاصطناعي.

9. حدود المنطق القضي

لا يستطيع التعبير عن:

. العلاقات: لا يمكنه تمثيل العلاقات بين الكائنات مثل: **Loves(Mom, Son)** حيث يتعامل فقط مع قضايا مستقلة بدون بنية داخلية.

. الكميات: لا يمكنه التعبير عن مفاهيم مثل "لكل" أو "يوجد"، وبالتالي لا يستطيع تمثيل عبارات عامة أو جزئية.

. التعميمات: لا يسمح بتمثيل القوانين العامة التي تنطبق على مجموعة كاملة من العناصر.

مثال: "كل الطلاب يدرسون". لا يمكن تمثيلها مباشرة بالمنطق القضي، لأنه يتطلب تعداد كل حالة على حدة.

. غياب البنية الداخلية: القضايا في هذا المنطق تُعامل كوحدات مغلقة (Black Boxes)، دون تحليل مكوناتها أو خصائصها.

. ضعف التعبير عن المعرفة المعقدة: لا يستطيع تمثيل الأنظمة الواقعية التي تحتوي على تفاعلات متعددة وعلاقات متشابكة.

. عدم الكفاءة في التوسع: عند زيادة عدد القضايا، يصبح تمثيل المعرفة ضخماً ومعقداً، مما يجعل استخدامه غير عملي في الأنظمة الكبيرة.

II. منطق الرتبة الأولى (First-Order Logic)

1. لماذا ظهر منطق الرتبة الأولى؟

ظهر لحل مشاكل المنطق القضي بهدف: تمثيل العالم الحقيقي بطريقة أكثر قوة ومرونة. وذلك لأن المنطق القضي يعجز عن التعبير عن العلاقات والتعميمات، فجاء منطق الرتبة الأولى ليضيف بنية داخلية للعبارات المنطقية، مما يسمح بوصف الكائنات والعلاقات بينها بشكل دقيق وقابل للاستنتاج.

2. الفكرة الأساسية : هي كيفية تمثيل كائنات, خصائص, علاقات و كميات. أي أن هذا المنطق لا يتعامل مع قضايا مغلقة فقط، بل يسمح ببناء جمل منطقية تحتوي على متغيرات وروابط تصف الواقع بطريقة أقرب للغة الطبيعية ولكن بصيغة رياضية دقيقة.

3. مكونات منطق الرتبة الأولى

. الثوابت (*Constants*) مثل: **Ahmed , Ali , Paris , Electron**

و هي تمثل كائنات محددة وثابتة في المجال، أي أنها تشير إلى عناصر معينة لا تتغير أثناء عملية الاستدلال.

. المتغيرات (*Variables*) مثل: **x , y , z**

و هي تمثل عناصر غير محددة يمكن أن تأخذ قيمًا مختلفة، وتستخدم للتعبير عن التعميمات.

. المسندات (*Predicates*) مثل: **Human(x) , Student(x), Loves(Mom, Son)**

تمثل خصائص (مثل **Human**) أو علاقات (مثل **Loves**)، وهي الأساس في بناء المعرفة داخل النظام.

. معنى المسندات

Human(Ahmed) → أحمد إنسان

Studies(Ali, Physics) → علي يدرس الفيزياء

أي أن المسند يعبر عن علاقة بين كائنات أو عن خاصية لكائن معين، ويُعتبر الوحدة الأساسية التي تحمل المعنى في منطق الرتبة الأولى.

. الكميات (*Quantifiers*)

$\forall x (Human(x) \rightarrow Mortal(x))$

- الكمية الكلية: وتمثل بالشكل التالي

تعني أن القاعدة تنطبق على جميع العناصر في المجال، أي لكل x إذا كان إنساناً فهو فان.

- الكمية الوجودية: وتمثل بالشكل التالي:

$$\exists x (Student(x) \wedge Intelligent(x) \rightarrow Succeed(x))$$

تعني وجود عنصر واحد على الأقل يحقق الشروط، أي يوجد طالب ذكي واحد على الأقل.

الكميات تسمح بالتعبير عن التعميم والوجود، وهي ما يجعل هذا المنطق قوياً مقارنة بالمنطق القضي.

4. مثال عن استدلال كامل: إذا كان أحمد إنساناً، وكل إنسان فان، فإن أحمد فان. يمكننا التعبير عن هذه الجملة منطقياً كما يلي:

$$\forall Ahmed (Human(Ahmed) \wedge Mortal(Human) \rightarrow Mortal(Ahmed))$$

يمثل هذا المثال قاعدة عامة (قانون) وحقيقة خاصة، ويُستخدم لاستخراج نتيجة منطقية.

. الفرق بين \forall و \exists :

$$\forall x Student(x) \rightarrow \text{كل العناصر طلاب}$$

$$\exists x Student(x) \rightarrow \text{يوجد طالب واحد على الأقل}$$

الفرق الجوهرى هو أن الأولى تعبر عن تعميم كامل، بينما الثانية تعبر عن وجود جزئي فقط.

5. مثال تطبيقي واقعي

$$\forall x (Student(x) \wedge Registered(x) \rightarrow AllowedExam(x))$$

هذا المثال يوضح كيف يمكن استخدام القواعد العامة مع حقائق محددة لاتخاذ قرارات عملية داخل نظام ذكي.

6. أهمية منطق الرتبة الأولى: يُستخدم في

. الذكاء الاصطناعي

. قواعد البيانات

. الأنظمة الخبيرة

. معالجة اللغة الطبيعية

. البرمجة المنطقية

وذلك لأنه يوفر لغة قوية لتمثيل المعرفة المعقدة وإجراء استنتاجات دقيقة.

7. لماذا يعتبر أقوى من المنطق القضي؟

لأنه يسمح بتمثيل العلاقات, البنية الداخلية للعالم, القوانين العامة و الكميات.

كما أنه يمكنه التعبير عن المعرفة بطريقة أكثر قربًا من التفكير البشري، مما يجعله مناسبًا للأنظمة الذكية المتقدمة.

8. حدود منطق الرتبة الأولى

زيادة قوته التعبيرية تأتي على حساب الكفاءة الحسابية، مما يجعل بعض المسائل صعبة أو مستحيلة الحل آليًا.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson Education

Brachman, R. J., & Levesque, H. J. (2004). Knowledge Representation and Reasoning. Morgan Kaufmann Publishers

Gallier, J. H. (2015). Logic for Computer Science: Foundations of Automatic Theorem Proving. Dover Publications

Rich, E., & Knight, K. (1991). Artificial Intelligence (2nd ed.). McGraw-Hill

Newell, A., & Simon, H. A. (1976). Computer Science as Empirical Inquiry: Symbols and Search. Communications of the ACM, 19(3), 113–126

Stanford Encyclopedia of Philosophy (SEP)

[/https://plato.stanford.edu/entries/logic-ai](https://plato.stanford.edu/entries/logic-ai)

Stanford CS221 Course Notes

[/https://stanford-cs221.github.io](https://stanford-cs221.github.io)