Analogical Reasoning[1] الاستدلال القياسي

حجج (ابن تيمية) مرجع أساسي لدعم نظريات حديثة بالذكاء الإصطناعي

John F. Sowa
VivoMind LLC

Arun K. Majumdar
VivoMind LLC

الحلقة (٢ : ٢)

أنتجت الحضارة الإسلامية فكرًا منهجيًا غنيًا، يمكن أن يساهم في حل مشاكل عصرية معقدة. فالذكاء الاصطناعي يحتاج إلى تكامل بين الحدس والمرونة (الشبكات العصبية) والمنطق والاستدلال (الرمزية) – وهي الفكرة نفسها التي دافع عنها ابن تيمية عندما جمع بين النص الشرعي والقياس الفقهي المرن. وهذا التقاطع بين التراث والتقنية مجال خصب لمزيد من البحث والاكتشاف.

استشهد (جون سوا) بكلام وآراء وحجج (**ابن تيمية**) في القرن الرابع عشر في الرد على المنطقيين الإغريق، كمرجع أساسي لدعم نظريات حديثة بالذكاء الإصطناعي، حيث كان دافع ابن تيمية عن القياس (Analogy) كبديل عملي للمنطق الاستنتاجي الجامد. د. سامر قنطقجي

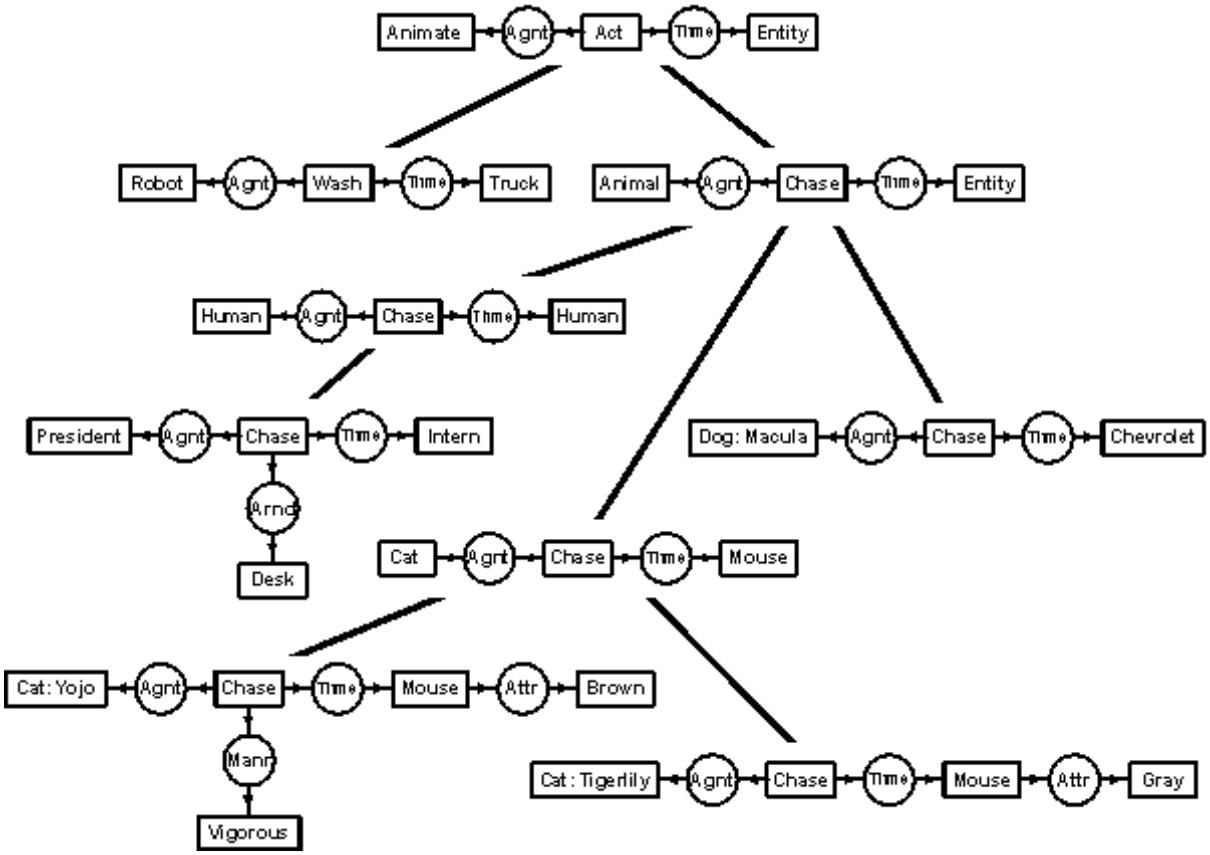
٤ . محرك الاستدلال

تستخدم معظم برامج إثبات النظريات نسخة مقيدة بشدة من رسم خرائط البنية تُسمى التوحيد، والتي تجبر بنيتين على أن تصبحا متطابقتين. يؤدي تخفيف القيود في اتجاه واحد إلى تحويل التوحيد إلى تعميم، بينما يؤدي تخفيفها في اتجاه آخر إلى تخصيص. مع أي توليفة من التعميم والتخصيص، يوجد نوع من التشابه غير المقيد، والذي، إذا لم يكن هناك حد لنطاقه، يمكنه ربط أي رسم بياني بأي رسم بياني آخر. عند إعادة تعريف قواعد بيرس للاستدلال من حيث التعميم والتخصيص، فإنها تدعم إجراء

[1] This paper was published in the proceedings of the International Conference on Conceptual Structures in Dresden, Germany, in July 2003: A. Aldo, W. Lex, & B. Ganter, eds. (2003) *Conceptual Structures for Knowledge Creation and Communication*, LNAI 2746, Springer-Verlag, pp. 16-36, https://www.jfsowa.com/pubs/analog.htm

استدلال يمكنه استخدام نفس الخوارزميات وهياكل البيانات المصممة لمحرك التناظر VivoMind. يكمن الاختلاف الرئيسي بين محرك التناظر ومحرك الاستدلال في الاستراتيجية التي تُجدول الخوارزميات وتحدد القيود التي يجب تطبيقها.

عندما ابتكر بيرس عامل الاستلزام في الجبر البولياني، لاحظ أن قيمة الصواب للمقدمة تكون دائمًا أقل من أو تساوي قيمة الصواب للنتيجة. لذلك، يمكن استخدام الرمز ≥ لتمثيل الاستلزام: $p \leq q$ تعني أن قيمة الصواب لـ p أقل من أو تساوي قيمة الصواب لـ q. يمكن استخدام الرمز نفسه للتعميم: إذا كان رسم بياني أو صيغة p صحيحة في حالات أقل من رسم بياني أو صيغة أخرى q، فإن p أكثر تخصصًا و q أكثر تعميمًا. يوضح الشكل ٨ تسلسلاً هرميًا للتعميمات، حيث يكون الرسم البياني الأكثر عمومية في الأعلى. يمثل كل خط داكن في الشكل ٨ عامل ≥: الرسم البياني أعلاه هو تعميم، والرسم البياني أدناه هو تخصص.



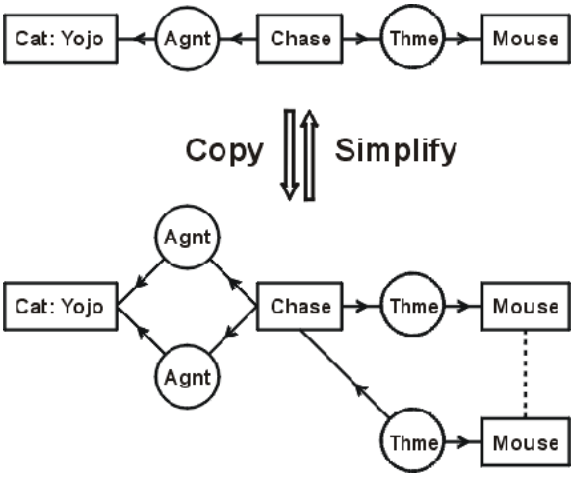
الشكل ٨: تسلسل هرمي للتعميمات

يشير الرسم البياني العلوي إلى أن كائنًا حيًا هو الفاعل في فعل ما، ويكون الكيان هو موضوع هذا الفعل. أسفله يوجد تخصصان: رسم بياني لروبوت يغسل شاحنة، ورسم بياني لحيوان يطارد كيانًا. يتضمن الرسم البياني لحيوان يطارد كيانًا ثلاثة تخصصات: إنسان يطارد إنسانًا، وقطة تطارد فأرًا، والكلب ماكولا يطارد سيارة شيفروليه. يمثل الرسمان البيانيان في الأسفل أكثر الجمل تخصصًا: القط يوجو يطارد فأرًا بنيًا بنشاط، والقطة تايجرليلي تطارد فأرًا رماديًا.

تعتمد العمليات على الرسوم البيانية المفاهيمية على تركيبات من ست قواعد تكوين أساسية، تُنفذ عمليات بناء البنية في الإدراك وعمليات رسم خرائط البنية في القياس. منطقيًا، لكل قاعدة أحد التأثيرات الثلاثة المحتملة على الرسم البياني المفاهيمي: قد تجعله أكثر تخصصًا، أو أكثر تعميمًا، أو مكافئًا منطقيًا ولكن بشكل مُعدَّل. لكل قاعدة قاعدة عكسية تُعيد الرسم البياني المفاهيمي إلى شكله الأصلي. عكس التخصص هو التعميم، وعكس التعميم هو التخصص، وعكس التكافؤ هو تكافؤ آخر.

جميع الرسوم البيانية في الشكل ٨ تنتمي إلى المجموعة الفرعية الوجودية–الاقترانية من المنطق، والتي تقتصر عواملها على المُكمِّم الوجودي E والاقتران ٨. بالنسبة لهذه المجموعة الفرعية، تتخذ قواعد التكوين الأساسية الأشكال الموضحة في الأشكال ٥ و ٦ و ٧. هذه القواعد بيانية في جوهرها، إذ يسهل عرضها عمليًا بدلاً من وصفها كتابيًا. وقد قدم سوا (٢٠٠٠) التعريفات الرسمية التي تحدد تفاصيل كيفية تأثر العقد والأقواس بكل قاعدة.

مثال على قواعد النسخ والتبسيط.



الشكل ٩ : قواعد النسخ والتبسيط

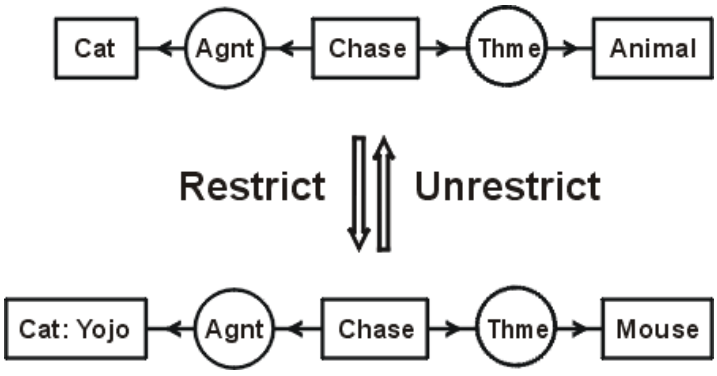
يوضح الشكل ٩ أول قاعدتين: النسخ والتبسيط. في الأعلى، يوجد رسم بياني للجملة "القط يوجو يطارد فأرًا". يشير السهم المتجه للأسفل إلى تطبيقين لقاعدة النسخ. ينسخ الأول علاقة الفاعل، بينما ينسخ الثاني الرسم البياني الفرعي ← (الزمان) ← [الفأر]. النسختان من مفهوم [الفأر] في أسفل الشكل ٩ متصلتان بخط منقط يُسمى رابط الإحالة؛ هذا الرابط، الذي يُقابل علامة المساواة = في حساب المسند، يُشير إلى أن كلا المفهومين يجب أن يُشيرا إلى نفس الكائن. بما أن النسخ الجديدة لا تُضيف أي معلومات، يُمكن حذفها دون فقدان أي معلومات. يشير السهم المتجه للأعلى إلى قاعدة التبسيط، التي تُنفذ العملية العكسية لحذف النسخ الزائدة. تُسمى قواعد النسخ والتبسيط بقواعد التكافؤ، لأن أي مجموعتين منطقيتين يمكن تحويلهما من إحداهما إلى الأخرى بأي توليفة من قواعد النسخ والتبسيط تكونان متكافئتين منطقيًا. كذلك، فإن الصيغتين في حساب المسندات المشتقتين من الشكل ٩ متكافئتان منطقيًا. تُقابل قاعدة البيانات العلوية الصيغة التالية:

$$(\exists x{:}Cat)(\exists y{:}Chase)(\exists z{:}Mouse)(name(x,'Yojo') \wedge agnt(y,x) \wedge thme(y,z))$$

في الصيغة المقابلة لقاعدة البيانات السفلية، يُمثل التساوي **Z=W** رابط الإحالة الذي يربط بين نسختي [Mouse]:

$$(\exists x{:}Cat)(\exists y{:}Chase)(\exists z{:}Mouse)(\exists w{:}Mouse)(name(x,'Yojo') \wedge agnt(y,x) \wedge agnt(y,x) \wedge thme(y,z) \wedge thme(y,w) \wedge z=w)$$

بحسب قواعد الاستدلال في حساب المسندات، يُمكن اشتقاق أيٍّ من هاتين الصيغتين من الأخرى. مثال على قواعد التقييد وعدم التقييد.



الشكل ١٠ : قواعد التقييد وعدم التقييد

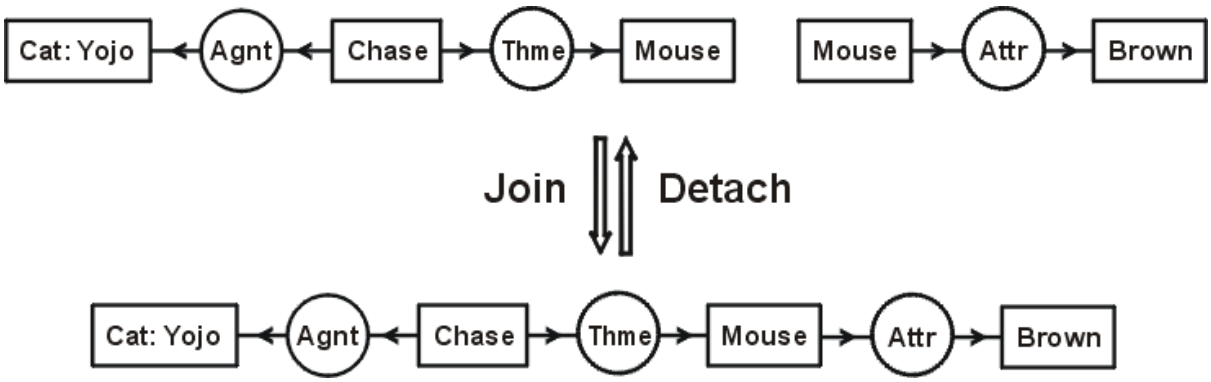
يوضح الشكل ١٠ قواعد التقييد وعدم التقييد. في الأعلى، يوجد رسم بياني عام للجملة "قطة تطارد حيوانًا". تطبيقان لقاعدة التقييد يحولانها إلى الرسم البياني العام للجملة "القطة يوجو تطارد فأرًا". الخطوة الأولى هي تقييد المفهوم [قطة]، الذي يمثل قطة غير محددة، بالمفهوم الأكثر تحديداً [قطة: يوجو]، الذي يمثل قطة معينة اسمها يوجو. الخطوة الثانية هي تقييد المفهوم [حيوان] بالمفهوم الفرعي [فأر]. تطبيقان لقاعدة عدم التقييد يُجريان التحويل العكسي للرسم البياني السفلي إلى الرسم البياني العلوي. قاعدة التقييد هي قاعدة تخصيص، وقاعدة عدم التقييد هي قاعدة تعميم. الرسم البياني الأكثر تخصيصًا يستلزم الرسم البياني الأكثر عمومية: إذا كانت القطة يوجو تطارد فأرًا، فإنه يترتب على ذلك أن قطة تطارد حيوانًا. ينطبق نفس الاستنتاج على الصيغ المقابلة في حساب المسندات. الصيغة العامة:

$$(\exists x{:}Cat)(\exists y{:}Chase)(\exists z{:}Animal)(agnt(y,x) \wedge thme(y,z))$$

مستنتجة من الصيغة الأكثر تخصصًا:

$$(\exists x{:}Cat)(\exists y{:}Chase)(\exists z{:}Mouse)(name(x,'Yojo') \wedge agnt(y,x) \wedge thme(y,z))$$

مثال على قواعد الربط والفصل.



الشكل ١١ : قواعد الربط والفصل

يوضح الشكل ١١ قواعد الربط والفصل. في الأعلى، يوجد رسمان بيانيان للجملتين "Yojo is chasing a mouse" و"A mouse is brown". تُطبّق قاعدة الربط نسختين متطابقتين من المفهوم [فأر]، لتشكيل رسم بياني واحد للجملة "يوجو يطارد فأرًا بنيًا". أما قاعدة الفصل فتقوم بالعملية العكسية. ينتج عن الربط رسم بياني أكثر تخصصًا يستلزم الرسم البياني الناتج عن الفصل.

وينطبق الاستلزام نفسه على الصيغ المقابلة في حساب المسندات. يُستنتج من صيغة منطق الترتيب الأول (CG):

(∃x:Cat)(∃y:Chase)(∃z:Mouse)(name(x,'Yojo') ∧ agnt(y,x) ∧ thme(y,z))

(∃w:Mouse)(∃v:Brown)attr(w,v)

صيغة منطق الترتيب الثاني (CG):

(∃x:Cat)(∃y:Chase)(∃z:Mouse)(∃v:Brown)(name(x,'Yojo') ∧ agnt(y,x) ∧ thme(y,z) ∧ attr(z,v))

يمكن تطبيق هذه القواعد على منطق الرتبة الأولى الكامل بتحديد كيفية تفاعلها مع النفي. في قواعد اللغة المركبة، يُمثَّل كل نفي بسياق مُرتبط بعلاقة من نوع Neg أو اختصارها بالرمز ¬ أو ~. السياق الإيجابي مُضمَّن في عدد زوجي من حالات النفي (قد يكون صفرًا). السياق السلبي مُضمَّن في عدد فردي من حالات النفي. تُحدِّد المبادئ الأربعة التالية كيفية تأثير حالات النفي على القواعد:

١. **قواعد التكافؤ** Equivalence rules: تبقى قاعدة التكافؤ قاعدة تكافؤ في أي سياق، إيجابيًا كان أم سلبيًا.

٢. **قواعد التخصيص** Specialization rules: في السياق السلبي، تُصبح قاعدة التخصيص قاعدة تعميم؛ أما في السياق الإيجابي، فتبقى قاعدة تخصيص.

٣. **قواعد التعميم** Generalization rules: في السياق السلبي، تُصبح قاعدة التعميم قاعدة تخصيص؛ أما في السياق الإيجابي، فتبقى قاعدة تعميم.

٤. **النفي المزدوج** Double negation: النفي المزدوج هو تداخل بين حالتي نفي، حيث لا يوجد مفهوم أو علاقة بين النفي الداخلي والخارجي. (يجوز أن يعبر قوس علاقة أو رابط مرجعي الفراغ بين النفيين، بشرط أن تكون إحدى نقطتيه داخل النفي الداخلي والأخرى خارجه). عندئذٍ، يُعد رسم أو مسح نفي مزدوج حول أي رسم بياني مُنسق أو أي رسم بياني فرعي منه عملية تكافؤ.

باختصار، يُعكس النفي الأحادي تأثير قواعد التعميم والتخصيص، لكنه لا يؤثر على قواعد التكافؤ. وبما أن رسم أو مسح النفي المزدوج يُضيف أو يطرح نفيين، فإنه لا يؤثر على أي قاعدة.

من خلال معالجة التفاصيل التركيبية للرسوم البيانية المفاهيمية، تُمكّن قواعد التكوين الأساسية من صياغة قواعد الاستدلال بشكل مستقل عن ترميز الرسم البياني. لكل قاعدة من القواعد الست، توجد قاعدة مكافئة لحساب المسندات أو أي ترميز آخر لمنطق الرتبة الأولى الكلاسيكي. لاستنتاج قواعد مكافئة لترميزات أخرى، ابدأ بتوضيح تأثير كل قاعدة على المجموعة الفرعية الوجودية–الاقترانية (بدون عوامل أخرى غير E و ∧). لمعالجة النفي، أضف واحداً إلى عدد حالات النفي لكل رسم بياني فرعي أو صيغة فرعية يحكمها الرمز ∼. بالنسبة للعوامل الأخرى (∀، ⊂، و ∨)، احسب عدد حالات النفي في تعريفاتها. على سبيل المثال، يُعرَّف p⊃q على أنه ∼(p∧∼q)؛ وبالتالي، فإن الصيغة الفرعية p مضمنة داخل نفي إضافي واحد، والصيغة الفرعية q مضمنة داخل نفيين إضافيين.

عند تطبيق قواعد الرسم البياني الموجه (CG) على رموز أخرى، قد يلزم إجراء بعض التوسعات. على سبيل المثال، يُعد الرسم البياني الفارغ رسمًا بيانيًا موجهًا (EG) أو رسمًا بيانيًا موجهًا (CG) صحيحًا، وهو صحيح دائمًا. في حساب المسندات، يمكن تمثيل الفراغ بصيغة ثابتة T، وهي صحيحة. تتوافق عملية مسح الرسم البياني مع استبدال الصيغة بـ T. عند مسح الصيغ أو إدراجها، يجب أيضًا مسح رمز العطف المصاحب أو إدراجه في بعض الرموز. أما الرموز الأخرى، مثل تنسيق تبادل المعرفة (KIF)، فهي أقرب إلى قواعد الرسم البياني الموجه (CG) لأنها لا تتطلب سوى رمز عطف واحد لقائمة طويلة من العطفات. في منطق KIF، يمكن استخدام الصيغة (و)، وهي قائمة فارغة من العناصر المقترنة، كمرادف للرسم البياني الفارغ أو T. وتُعدّ هياكل تمثيل الخطاب (DRSs) أقرب إلى الرسوم البيانية الوجودية (EGs) والرسوم البيانية المترابطة (CGs) لأنها لا تستخدم أي رمز للربط؛ لذا، يمكن اعتبار الفراغ DRS صحيحًا دائمًا.

تشكل قواعد بيرس، التي صاغها باستخدام الرسوم البيانية الوجودية، نظام استدلال سليمًا وكاملاً لمنطق الرتبة الأولى مع المساواة. إذا اعتُبرت كلمة "رسم بياني" مرادفًا للصيغة أو العبارة، فيمكن تطبيق التعديل التالي لقواعد بيرس على أي ترميز لمنطق الرتبة الأولى، بما في ذلك الرسوم البيانية الوجودية، والرسوم البيانية المترابطة، وهياكل تمثيل الخطاب، ومنطق KIF، والعديد من تنويعات حساب المسند. ويمكن أيضًا تطبيق هذه القواعد على مجموعات فرعية من منطق الرتبة الأولى، مثل منطق الوصف وقواعد بنود هورن.

١. **الحذف Erasure**: في سياق إيجابي، يمكن استبدال أي رسم بياني أو رسم بياني فرعي u بتعميم u. على وجه الخصوص، يمكن حذف u (أي استبداله بالفراغ، وهو تعميم لكل رسم بياني).

٢. **الإدراج Insertion**: في سياق النفي، يمكن استبدال أي رسم بياني أو رسم بياني فرعي u بتخصيص له؛ وعلى وجه الخصوص، يمكن إدراج أي رسم بياني (أي يمكن أن يحل محل الفراغ).

٣. **التكرار Iteration**: إذا ظهر رسم بياني أو رسم بياني فرعي u في سياق C، فيمكن إدراج نسخة أخرى من u في السياق C نفسه أو في أي سياق متداخل في C.

٤. **إلغاء التكرار Deiteration**: يمكن حذف أي رسم بياني أو رسم بياني فرعي u كان من الممكن اشتقاقه بالتكرار.

٥. **التكافؤ Equivalence**: يمكن تطبيق أي قاعدة تكافؤ (النسخ، أو التبسيط، أو النفي المزدوج) على أي رسم بياني أو رسم بياني فرعي في أي سياق.

تشكل هذه القواعد، التي صاغها بيرس في عدة صيغ مكافئة من عام ١٨٩٧ إلى عام ١٩٠٩، تعميمًا أنيقًا وقويًا لقواعد الاستدلال الطبيعي لجينتزن (١٩٣٥). كما هو الحال في نسخة جنتزن، فإنّ المسلّمة الوحيدة هي الفراغ. ما يجعل قواعد بيرس أكثر فعالية هو إمكانية تطبيقها في أي سياق مهما بلغ عمقه. هذه الإمكانية تُختصر العديد من البراهين، وتُغني عن حسابات جنتزن المعقدة لوضع الافتراضات واستبعادها. لمزيد من النقاش والمقارنة، انظر المخطوطة رقم ٥١٤ (بيرس ١٩٠٩) والتعليق الذي يُبيّن كيفية اشتقاق قواعد استدلال أخرى من قواعد بيرس.

على عكس معظم إجراءات البرهان، المرتبطة ارتباطًا وثيقًا ببنية نحوية محددة، تُصاغ هذه النسخة من قواعد بيرس بمصطلحات مستقلة عن الترميز، أي التعميم والتخصيص. وبهذا الشكل، يُمكن تطبيقها حتى على اللغات الطبيعية. بالنسبة لأي لغة، تتمثل الخطوة الأولى في توضيح كيفية تأثير كل قاعدة نحوية على التعميم والتخصيص والتكافؤ. عند حساب عمق النفي في اللغات الطبيعية، من المهم إدراك العدد الكبير من كلمات النفي، مثل: ليس، أبدًا، لا شيء، لا أحد، أو في أي مكان. لكن العديد من الكلمات الأخرى تحتوي أيضًا على نفي ضمني، يؤثر على أي سياق تحكمه تلك الكلمات. أفعال مثل

"يمنع" أو "ينكر"، على سبيل المثال، تُدخل نفيًا في أي جملة أو عبارة في مكملها. العديد من الصفات أيضًا لها نفي ضمني: الدب المحشو، على سبيل المثال، يفتقر إلى الخصائص الأساسية للدب، مثل كونه حيًا. بعد مراعاة تأثيرات هذه الخصائص على التعميم والتخصيص في التعريف النحوي للغة، يمكن تطبيق قواعد بيرس على اللغة الطبيعية بسهولة كما تُطبق على اللغة الرسمية.

٥. أساس دلالي للإدراك

طوّر بيرس نظريته في العلامات أو الدلالات كنظرية إدراك مستقلة عن النوع. واعتبرها صحيحة لأي "ذكاء علمي"، قاصداً بذلك أي ذكاء "قادر على التعلم من التجربة". كان بيرس على دراية بالحاسوب الميكانيكي لباباج؛ وكان أول من اقترح أن تُبنى هذه الآلات على الدوائر الكهربائية بدلاً من الوصلات الميكانيكية؛ وفي عام ١٨٨٧، نشر مقالاً عن "الآلات المنطقية" في المجلة الأمريكية لعلم النفس، والذي يُعد حتى اليوم تعليقًا قيّمًا على إمكانيات الذكاء الاصطناعي وصعوباته. إن تعريفه للعلامة مستقل عن أي تطبيق في البروتينات أو السيليكون:

> أُعرّف العلامة بأنها شيء، أ، يُجري نوعًا من التوافق مع شيء آخر، ب، وهو مُفسِّرها، كما هو الحال بين ما تجُريه العلامة نفسها وموضوعها. في هذا التعريف، لا أُشير إلى أي شيء يُشبه العقل البشري أكثر مما أفعل عندما أُعرّف الخط بأنه المكان الذي يقع فيه جسيم خلال فترة زمنية. (١٩٠٢، ص ٢٣٥)

بصفته صديقًا مُقرّبًا لويليام جيمس، كان بيرس مُلمًّا بعلم النفس التجريبي في عصره، والذي اعتبره دراسة قيّمة للإمكانيات المُتحققة في أي نوع مُعين. لكنه اعتبر علم العلامات توصيفًا أكثر جوهرية للإدراك، مُستقلاً عن التطبيق.

عرّف بيرس المنطق بأنه "دراسة القوانين الشكلية للعلامات" (١٩٠٢، ص ٢٣٥)، مما يعني أنه يستند إلى نفس أنواع العمليات الدلالية التي تستند إليها جميع العمليات المعرفية الأخرى. وقد خصّص كلمة "القياس" لما يُسمى "الاستدلال القياسي" في هذه الورقة. فيما يتعلق بأنواع رسم الخرائط الهيكلية التي تجُريها نماذج SME و VAE، استخدم بيرس مصطلح "الاستدلال التخطيطي"، ووصفه على النحو التالي:

> أول ما اكتشفته هو أن كل استدلال رياضي هو استدلال تخطيطي، وأن كل استدلال ضروري هو استدلال رياضي، مهما بدا بسيطًا. أعني بالاستدلال التخطيطي الاستدلال الذي يبني مخططًا وفقًا لمبدأ مُعبَّر عنه بعبارات عامة،

> ويُجري تجارب على هذا المخطط، ويُدوِّن نتائجها، ويتأكد من أن تجارب مماثلة تجُرى على أي مخطط مُنشأ وفقًا للمبدأ نفسه ستُعطي النتائج نفسها، ويُعبِّر عن ذلك بعبارات عامة. كان هذا اكتشافًا بالغ الأهمية، إذ يُبيِّن أن كل المعرفة، بلا استثناء، تأتي من الملاحظة. (١٩٠٢، ص ٩١–٩٢)

تُلخِّص هذه الفقرة القصيرة العديد من المواضيع التي طوَّرها بيرس بمزيد من التفصيل في أعماله الأخرى. في الواقع، تُلخِّص هذه الفقرة المواضيع الرئيسية لهذه المقالة:

١. يقصد بيرس بالمخطط أي نمط مجرد من الرموز. أدرج أنماط الجبر وقياسات أرسطو المنطقية ضمن المخططات، لكنه أشار أيضًا إلى أن مخططاته الوجودية "أكثر تخطيطية".

٢. تتوافق "تجاربه" على المخطط مع إجراءات الذكاء الاصطناعي المختلفة، مثل التوليد والاختبار، والتراجع، والبحث المتوازي بالعرض أولاً، وخوارزميات تتبع المسار، وكلها تُنفذ على هياكل بيانات تتوافق مع مفهوم بيرس عن "المخطط".

٣. تُطبّق الجملة الأولى من الفقرة مصطلح "رياضي" على أي نوع من الاستدلال، بما في ذلك قياسات أرسطو المنطقية وأي منطق غير رسمي قد يُستخدم في محادثة عادية.

٤. أما الجملة الأخيرة، التي تربط الملاحظة بالاستدلال التخطيطي، فتُردد صدى مواضيع القسم الأول من هذه الورقة، الذي أكد على ضرورة دمج الإدراك مع آليات القياس. وقد أوضح بيرس هذه النقطة بقوة أكبر: "لا يمكن لأي شيء مجهول أن يصبح معروفًا إلا من خلال قياسه على أشياء أخرى معروفة" (١٩٠٢، ص ٢٨٧).

باختصار، تُشكّل عمليات الاستدلال التخطيطي أو رسم الخرائط البنيوية جسرًا يربط الإدراك بجميع أشكال الاستدلال، بدءًا من أبسطها وصولاً إلى أكثرها تعقيدًا. وقد طبّق فوربوس وآخرون (٢٠٠٢) مصطلح "الاستدلال من المبادئ الأولى" على المنطق، وليس على الاستدلال القياسي. لكن بيرس، مبتكر اثنين من أكثر الرموز استخدامًا في المنطق، أدرك أن الآليات السيميائية الكامنة وراء ذلك أكثر جوهرية. ويؤكد تطبيق VivoMind حدس بيرس.

في فهم اللغة الطبيعية، تُعدّ عمليات التوحيد والتعميم المقيدة مهمة، لكن الاستثناءات والاستعارات والحذف والمعاني الجديدة للكلمات والأخطاء الحتمية تتطلب قياسات أقل تقييدًا. عند استخدام

خوارزميات VAE في المفسر الدلالي، لا وجود للاستثناءات: تُستخدم القياسات في كل خطوة، والفرق الوحيد بين التوحيد والتعميم والتشابهات الأقل صرامة هو طبيعة القيود المفروضة على القياس.

References

- Chalmers, D. J., R. M. French, & D. R. Hofstadter (1992) "High-level perception, representation, and analogy: A critique of artificial intelligence methodology," Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence **4**, 185–211.
- Falkenhainer, B., Kenneth D. Forbus, Dedre Gentner (1989) "The Structure mapping engine: algorithm and examples," Artificial Intelligence **41**, 1–63.
- Forbus, Kenneth D., Dedre Gentner, & K. Law (1995) "MAC/FAC: A Model of Similarity-Based Retrieval," Cognitive Science **19**:**2**, 141–205.
- Forbus, Kenneth D., Dedre Gentner, Arthur B. Markman, & Ronald W. Ferguson (1998) "Analogy just looks like high level perception: Why a domain-general approach to analogical mapping is right," Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence **10**:**2**, 231–257.
- Forbus, Kenneth D., T. Mostek, & R. Ferguson (2002) "An analogy ontology for integrating analogical processing and first-principles reasoning," Proc. IAAI-02 pp. 878–885.
- Gentzen, Gerhard (1935) "Untersuchungen über das logische Schließen," translated as "Investigations into logical deduction" in The Collected Papers of Gerhard Gentzen, ed. and translated by M. E. Szabo, North-Holland Publishing Co., Amsterdam, 1969, pp. 68–131.
- Hallaq, Wael B. (1993) Ibn Taymiyya Against the Greek Logicians, Clarendon Press, Oxford.
- LeClerc, André, & Arun Majumdar (2002) "Legacy revaluation and the making of LegacyWorks," Distributed Enterprise Architecture **5**:**9**, Cutter Consortium, Arlington, MA.
- Morrison, Clayton T., & Eric Dietrich (1995) "Structure-mapping vs. high-level perception: the mistaken fight over the explanation of Analogy," Proc. 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society, pp. 678–682. Available at http://babs.cs.umass.edu/~clayton/CogSci95/SM-v-HLP.html
- Peirce, Charles Sanders (1887) "Logical machines," American Journal of Psychology, vol. 1, Nov. 1887, pp. 165–170.
- Peirce, Charles S. (1902) Logic, Considered as Semeiotic, MS L75, edited by Joseph Ransdell, http://members.door.net/arisbe/menu/library/bycsp/l75/l75.htm
- Peirce, Charles Sanders (1909) Manuscript 514, with commentary by J. F. Sowa, available at http://www.jfsowa.com/peirce/ms514.htm
- Sowa, John F. (2000) Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations, Brooks/Cole Publishing Co., Pacific Grove, CA.