

الفاعل:	روبرت	النوع:	إنسان
المصدر:	؟	غيايبي:	منزل روبرت مدينة
المقصد:	باريس	النوع:	مدينة
		مرادف:	عاصمة فرنسا
الوسيلة:	؟	سفر بواسطة:	القطار
			الطائرة
			السيارة

وليس ضروريا أن تكون جميع هذه الاستنتاجات صحيحة، ولكن لابد لأي برنامج جيد لتمثيل المعرفة أن يمكن العمليات الاستنتاجية أن تؤدي دورها في البرنامج.

وكما لم ينجح أحد في تصميم لغة برمجة واحدة للعالم كله، فكذلك لم يتمكن أحد من تصميم شكل نموذجي لتمثيل المعرفة في برامج الذكاء الاصطناعي. فبعض أشكال تمثيل المعرفة أفضل من غيرها في تمثيل العمليات الاستدلالية البحتة، بينما تتميز أشكال أخرى في حالات الاستدلال بالمحاكاة.. وهكذا.

وهناك تمييز فلسفي كلاسيكي بين نوعين من المعرفة: المعرفة الماهية "what" knowing والمعرفة الكيفية knowing how ويقابل ذلك في الذكاء الاصطناعي الفرق بين المعرفة المعلنة declarative knowledge والمعرفة الإجرائية procedural knowledge <> وتمتاز مواد المعرفة المعلنة بأنها سهلة القراءة والتعديل كما أنها لا تتطلب شرحا لكيفية استخدامها. ولكن يعيها أن معالجة هذا النوع من المعرفة يتطلب وقتا طويلا نسبيا. أما المعرفة الإجرائية فلها عكس مميزات وعيوب المعرفة الأولى. وتكون مواد المعرفة المعلنة بمثابة البيانات التي يعمل عليها ويفسرهما البرنامج. وقد سبق أن رأينا مثالا على التمايز بين المعرفة المعلنة والإجرائية في تحليل اللغات الطبيعية، وذلك بين القواعد اللغوية (التي تمثل المعرفة المعلنة) وبين البرامج التي تفسر وتطبق هذه القواعد. وكما أن هيكل البيانات data structure ليس هو المعرفة ذاتها، فإن الكتاب ليس سوى مصدر للمعرفة، وهو لا ينتج المعرفة إلا حين يتحد مع القدرة على القراءة والفهم.

وتستخدم الإجراءات التفسيرية هيكل المعرفة المعلنة بعدة طرق فمثلا

يمكن استخدام القاعدة أُلله ب-ج بأحد الطرق الأربعة التالية:

- 1- إذا كان كل من أ و ب صحيحين، إذا ج تكون أيضا صحيحة.
- 2- إذا كان الهدف هو إثبات صحة ج، إذن فالطريقة الممكنة هي إثبات صحة أ و ب.

3- إذا كان أ صحيحا و ج كاذبا، إذن ب يكون كاذبا.

4- إذا كان ج كاذبا، إذن فواحد على الأقل من أ و ب يكون كاذبا.

إن لدينا مخزونا هائلا من المعرفة حول حقائق العالم من حولنا، مثل «الكلاب نوع من الحيوانات» و«الفيل له خرطوم».. الخ، ونحن نريد في الذكاء الاصطناعي أن نستطيع وصف خواص الأشياء من أسمائها، وأن نجد طرقا لتصنيف هذه الأشياء. كما نريد أن نجد طرقا لوصف الأحداث مثل «قابل جيسكار بريجينيف في وارسو» و«قتل جون ماري وهو في حالة غضب».

وتقاس قوة طريقة التمثيل بقدرتها على التعبير بدقة عن المواقف المعقدة، وبقدرتها أيضا على تمثيل الترابط بين الأشياء، كأن يعبر عن حقيقة أن روايتين مختلفتين تشتركان في شيء ما: ففي المعلومات الجيولوجية مثلا يجب أن يمثل «حجر الجير المضغوط»، و«حجر الجير المسامي» باعتبارهما شكلين خاصين من «حجر الجير»، وليس كمادتين مختلفتين لا يربط بينهما شيء. ولا تحسن هذه الخاصية الثانية وضوح التمثيل فقط بل تخفف أيضا العبء على ذاكرة الحاسب لأنها تمكن من تسجيل مواد المعرفة التي لها خواص مشتركة مرة واحدة بدلا من تسجيلها في مداخل منفصلة.

ويمكن قياس قوة البرنامج بالقدرة على معالجة الحجج غير الدقيقة، خاصة العمليات الاستقرائية، والتي هي دائما أصعب من العمليات الاستنباطية البحتة، وهنا يمكن أن نشير إلى فكرة الاستدلال «بالسليقة»، والتي تختلف عن المنطق الصوري، والرياضيات في أنها تستخدم حين نضطر إلى اتخاذ القرار في غيبة معلومات كاملة. ففي الرياضيات لا يمكن قبول أحكام ما لم يتم التوصل إليها بتطبيق قوانين الاستدلال على مقدماتها الأولية، بينما كثيرا ما نضطر في حياتنا اليومية إلى التسليم بقصور معرفتنا، ونتوصل إلى نتائج لا يمكننا أن نثبت صحتها بدقة ولكنها تبدو لنا معقولة بل وكثيرا ما نصفها بأنها «معقولة». وسنعرض في هذا القسم صياغة

المنطق التقليدي أولاً ثم نؤكد على حاجتنا لأن نكون قادرين على محاكاة هذا الشكل غير المحكم من الاستدلال.

## منطق الدرجة الأولى

### First Order Logic

يتناول هذا الفصل نظام المنطق الصوري الذي اهتم به الفلاسفة والرياضيون لزمن طويل. وكان جون مكارثي هو أول من اقترح استخدام هذا المنطق لتمثيل عمليات الاستدلال واتخاذ القرارات، وذلك في بحث قدمه عام 1958. وسنصف أولاً حساب القضايا propositional calculus باعتباره أداة مفيدة، إلا أنه غير قادر على التعبير عن غالبية المسائل التي يعني بها الذكاء الاصطناعي، كما نعرض لامتداده إلى حساب المحمول predicate calculus، ونعطي أمثلة عديدة للمسائل التي يمكن أن يعبر عنها بسهولة في الصياغة الصورية الأخيرة.

#### حساب القضايا Propositional calculus

يتحدد حساب القضايا بمجموعتين من القوانين، هما مجموعة قوانين التراكيب التي تحكم شكل الإفادة التي يمكن أن يعبر عنها في اللغة، وتلك التي تحكم اشتقاق إفادات جديدة من إفادات قديمة. ويعين لكل إفادة قانونية (تسمى قضية proposition) قيمة واحدة من بين اثنتين هما الصدق

والكذب اللذان يسميان «قيم بولية» Boolean values باسم عالم الرياضيات والمنطق. جورج بول (1815-1964 م).

فإذا نظرنا إلى القضيتين التاليتين: «ريجان هو رئيس الولايات المتحدة»، و«مدريد عاصمة بلجيكا»، نجد أن واحدة منهما فقط صحيحة في هذه اللحظة (1984 م). ويمكن التعبير عن قضايا أكثر تعقيدا باستخدام الروابط المنطقية Logical connective والتي عادة ما تكتب بالشكل الآتي:

«و» أو &

«أو» V

«غير» أو ~

«تتضمن» <---- أو C

ويمكن استخدام هذه الروابط للتعبير بلغة صورية عن قضايا مثل «الجورب إما على المنضدة أو في الدرج» أو «هنري ليس عالم رياضيات أو عالم طبيعة». لاحظ أن «أو» هنا متضمنة inclusive في هذه اللغة الصورية بينما غالبا ما تكون استبعادية exclusive في حياتنا اليومية، كما في الجملة السابقة عن الجورب. فالقضية «أ أو ب» تكون صادقة صوريا إذا كانت أي من أ أو ب صادقة أو في حالة كون الاثنتين صادقتين، ولكن إذا ثبت لنا صحة إحدهما، فلا حاجة لنا للنظر في قيمة صدق الأخرى.

والقضية «أ = ب صادقة إذا تساوى أ و ب في الصدق أو الكذب، أما إذا اختلفا في قيمة الصدق تكون القضية كاذبة».

وتعني القضية «أ <== ب» أنه إذا كانت «أ» صادقة، فكذلك تكون «ب»، وعلى هذا ف «أ <== ب» تكون صادقة إذا كانت «ب» صادقة، وكذلك إذا كانت «أ» كاذبة. وقد يبعث الإثبات الأخير على الدهشة، ولكن يمكن التدليل على صحته بإعطاء مثال كالآتي: «إذا كنت في باريس، إذن أنا في فرنسا»، وهو يعادل منطقيا «أما أنا في فرنسا أو لست أنا في باريس». إن قيمة صدق القضايا الشرطية لا تتضح دائما بالبديهة، فمثلا: «إذا استطاعت الخيول أن تتكلم، فإن الخنازير يمكنها أن تطير» صادقة. ونفى قضية «أ» يكون صادقا إذا كان «أ» كاذبة والعكس صحيح.

وتحدد القائمة التالية الروابط المنطقية الخمسة بفعالية حيث «ص» تعني صادقة، و«ك» كاذبة:

## منطق الدرجة الأولى

أ	ب	أ ∧ ب	أ ∨ ب	أ ⇒ ب	أ ⇔ ب	¬ أ
ص	ص	ص	ص	ص	ص	ك
ص	ك	ك	ص	ك	ك	ك
ك	ص	ك	ص	ص	ص	ك
ك	ك	ك	ك	ص	ص	ك

ويعتمد حساب القضايا على القانون المسمى مودوس بونينز Modus ponens والذي يقول إنه إذا كان  $P \Rightarrow Q$  وكانت P صادقة، فلا بد أن تكون Q أيضا صادقة. ويكتب هذا صوريا بالشكل التالي:

$$(A \Rightarrow B) \Rightarrow B$$

كما أن هناك أيضا قانونان يسميان «قوانين دي مورجان» de Morgan 's Laws.

$$\neg(A \wedge B) = \neg A \vee \neg B$$

$$\neg(A \vee B) = \neg A \wedge \neg B$$

والتعبير الصوري لمنهج the reductio ab absurdum في الاستدلال كالتالي:

$$(A \Rightarrow B) = (\neg B \Rightarrow \neg A)$$

ويمكن تطبيق هذه الطريقة إذا كان هدفنا إثبات أ-ب، فإنه يمكننا تحقيق ذلك بافتراض أن ب كاذبة، ونوضح أنه في هذه الحالة تكون أ كاذبة، وهذا يناقض الفرض بأن «أ» صادقة، وعلى ذلك فلا بد أن تكون «ب» صادقة.

## حساب المحمول: Predicate Calculus

لا يمكننا استخدام حساب القضايا في التعبير عن جمل كثيرة تهتم الذكاء الاصطناعي، بل وميادين أخرى أيضا، فمثلا عندما نود أن نذكر حقائق عن الأشياء في العالم، يجب أن نكون قادرين على أن نعين بدقة الأشياء ذاتها التي نشير إليها (مسألة الضعيفين instantiation)، وأن نذكر ما إذا كنا نقصد كل من ينتمي إلى مجموعة بعينها أم بعضا منها فقط. ويسمح لنا حساب المحمول وهو امتداد لحساب القضايا-بذلك، وذلك باستخدام فكرتي المحمول predicate والسور quantifier. والسور نوعان: السور الكلي universal quantifier والسور الوجودي existential quantifier وأهم ما

يميز حساب المحمول عن حساب القضايا هو تقديمه لفكرة المتغير variable .  
والمحمول هو تابع أو دال function له حد أو أكثر argument، ويعطي أحد  
قيم الصدق. وبذلك يعرف المحمول (كـ) على الوجه التالي:  
كـ (س): «س هو كـ».  
ويكون هذا المحمول صادقا إذا كان «س»-بوبي، ويكون كاذبا إذا كان  
«س»-بوسي .

ومن المتبع استخدام الحروف الأخيرة من الأبجدية الإنجليزية للمتغيرات  
واستخدام الحروف الأولى أو المعرفات الرمزية (الأسماء) مثل بوسي أو  
مديرد كـثوابت. ويمكن للمحمول أن يعرف علاقة أو يحدد فعلا مثل:  
يعطي (س، ع، ف)  
ويمكن أن يعني هذا «س يعطي ع إلى ف».  
والتابع تعميم لفكرة المحمول، وهو قادر على إرجاع قيمة من أي نوع،  
بولية، أو رمزية، أو عددية. فالتابع:  
عاصمة(س)

يرجع القيمة «روما» عندما تكون «س» = إيطاليا .  
ويمكن دمج المحمول والتابع، ولكن بمراعاة بعض القيود على ذلك،  
فمثلا إذا دمجنا المحمول «كـ» م مع التابع «عاصمة» بالترتيب التالي: كـ  
(عاصمة «س»)، وإذا كانت «س» = إنجلترا، يكون المحمول المراد تقييمه هو  
كـ (لندن)، والذي ربما كان كاذبا. أما إذا عكسنا ترتيب التابع والمحمول  
وأصبح. عاصمة (كـ «س»)، فيكون التابع المراد تقييمه هو عاصمة (كاذب)،  
بمعنى «ما هي عاصمة كاذب؟» والذي من الواضح أنه سؤال لا معنى له.

## الأسوار Quantifiers

هناك نوعان من الأسوار: السور الكلي، ويعني «لجميع.....»، والسور  
الوجودي ويعني «يوجد.....».

مثال: «كل كـب حيوان» يعبر عنها منطقيا كالتالي:

( $\forall$  س) (كـ س)  $\implies$  حيوان (س).

«كل ولد يمتلك دراجة» يعبر عنها كالتالي:

( $\forall$  س) ( $\exists$  ع) (ولد (س)  $\implies$  < دراجة (ع)  $\wedge$  يمتلك (س، ع)).

## منطق الدرجة الأولى

وتعني الإفادة الثانية أن لكل من كان ولد (س)، هناك دراجة (ع) بحيث أن (ع) يملكها (س).

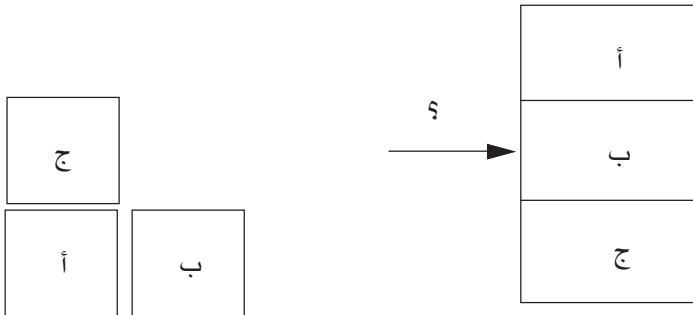
### قواعد الاستدلال Rules of inference

تمكننا قواعد الاستدلال من التوصل إلى إفادات جديدة مشتقة من إفادات موجودة من قبل، باستخدام قانوني مودوس بونينز اللذين عرفناهما فيما سبق والتخصيص الكلي الذي ينطوي على إحلال المتغير المسور بثابت:  $\forall$  س (ق س)  $\rightarrow$  ق(س) <sup>(1)</sup>

وتسمى هذه العملية «الاستبدال»، وعملية تساوي تعبيرين مصورين عن طريق الإحلال تسمى التوحد unification. وقد أثرت خوارزمية التوحد لروبينسون <sup>(2)</sup> تأثيرا هاما في أبحاث إثبات النظرية theorem proving. (انظر على سبيل المثال نيلسون) <sup>(3)</sup> Nilsson.

### تطبيقات في حل المسائل : تجميع الكتل

يوضح شكل 9- أ مسألة مطلوب حلها: أ و ب وج ثلاث كتل متطابقة، مرتبة في البداية كما هو مبين على اليسار، حيث أ و ب موضوعان على المنضدة، بينما ج موضوعة فوق أ، و ب حرة بمعنى أنه لا تستقر أي كتلة عليها. والمطلوب هو تغيير الترتيب إلى ما هو مبين في الجانب الأيمن، حيث ج مستقرة على المنضدة، و ب على ج و أ على ب، مع الالتزام بقاعدة تقول إنه لا يمكن تحريك إلا كتلة واحدة كل خطوة.



شكل 9-1 المسألة المطلوب حلها



يمكن للتعبير عن الصورة الأولية للمسألة على النحو التالي:

تصور أولي: على (أ، ج)

على-المنضدة(أ)

على-المنضدة (ب)

حرة (ج)

حرة (ب)

وتكون الصورة النهائية (الهدف) على النحو التالي:

تصور نهائي: على (أ، ب)

على (ب، ج)

على-المنضدة (ج).

ولابد من تعريف المحمول «حر»، كما لابد من إعطاء القواعد التي تحدد الظروف التي تجعل كتلة ما حرة. ويعطي البرنامج القواعد التالية ويحاول تطبيقها بترتيب مختلف.

1- حرة (أ)  $\Leftarrow$  على(ع) على(أ، ع).

بمعنى إذا كانت كتلة حرة فإنه لا تستقر عليها أي كتلة أخرى.

2- على (ع، أ)  $\Lambda$  ابعد (ع، أ)  $\Leftarrow$  حر (أ)  $\Lambda$  على (ع، أ).

يعرف فعل «ابعد» بأنه تحرير كتلة لم تكن حرة من قبل.

3- حر(أ)  $\Lambda$  حر(ع)  $\Lambda$  تجميع (أ، ع)  $\Leftarrow$  على (أ، ع).

تعريف «تجميع» أو «تكويم» الذي ينتج عنه استقرار كتلة فوق أخرى.

وعلى البرنامج-مزودا بهذه القواعد-أن يجد سلسلة من الأعمال التي

تؤدي إلى تغيير الشكل من صورته الأولية إلى صورته النهائية.

وهذه المشكلة نموذج للإنتاجية التي نعرض لها في الفصل الثاني عشر.

والاستراتيجية هي أن يحاول البرنامج تحقيق سلسلة من الأهداف

الفرعية. يأخذ البرنامج «على (أ، ب)» كهدفه الفرعي الأول، ويبحث عن

قاعدة تؤدي إلى «على (س، ع)، فيجد القاعدة رقم 3، فيحاول البرنامج

تطبيق هذه القاعدة مستبدلا «س» ب «أ، و ع = ب، وبذلك يضع الهدف

الفرعي الأول (هف 1).

هف 1: حر(أ)

حر(ب)

تجميع (أ، ب).

ولتحقيق ذلك لابد من تحقيق «حر (أ)»، ولذلك يقوم البرنامج بتطبيق القاعدة رقم 2، مستبدلاً «س» = أ، وبذلك يضع الهدف الفرعي الثاني (هـ 2):

هـ 2: على (ع، أ)

ابعد (ع، أ).

ويستطيع البرنامج حينئذ تحقيق «على (ع، أ) بسهولة، مستبدلاً ع = ج، لأنه سبق أن أعطى «على (ج، أ)». ويعطي هذا «ابعد (ج، أ) كأول عمل حقيقي يؤدي. وشرط أن يكون «أ» حراً «حر (أ)» أصبح محققاً، وهكذا يصبح تحقيق «جمع (أ، ب)» ممكناً الآن.

ولتحقيق الهدف النهائي، لابد من تنفيذ «على (ب، ج) بتطبيق القاعدة رقم 3، وذلك يتضمن هدفاً فرعياً جديداً:

هـ 3: حر (ب)

حر (ج)

جمع (ب، ج).

تحدد القاعدة رقم 1 الشروط لكي تكون (ب) حرة:

حر (ب) = (ع  $\vee$  ع) على (ب)  $\Leftarrow$  على (أ، ب).

(أي إذا كانت ب حرة، فليست هناك كتلة مستقرة على ب، وبالتالي لا يمكن أن تكون أ مستقرة على ب)، وبذلك يلزم تطبيق القاعدة رقم 2 لتنفيذ «ابعد (أ، ب)»، ملغياً نتيجة العمل السابق «جمع (أ، ب)». ليس لدى البرنامج وسيلة لمعرفة أن «ابعد» هي الفعل العكسي لـ «جمع» (ولكن بمجرد تحقيق «على (ب، ج)» فإن الفعل الثاني «جمع (أ، ب)» يحل المشكلة.

ويوضح هذا المثال أن الترتيب الصحيح للأهداف الفرعية يمكن أن يعطي حلاً أسرع للمسألة. وهنا لا يكون الهدف الفرعي «على (أ، ب)» مستقلاً عن «على (ب، ج)»، فتحقيق الأول يعيق تحقيق الثاني، بينما لا يشكل الثاني أي عائق أمام الأول، ولو درس هذا القيد في البداية، لأمكن تجنب تنفيذ «على (أ، ب)» الذي أوقف بعد ذلك وتم التراجع عنه. إن استخدام هذا النوع من الحجة المعرفية heuristic reasoning مع ملاحظة أن تحقيق أحد الأهداف الفرعية قد يعوق تنفيذ هدف آخر يميز بين بحث

search ترشده قواعد ذات مستوى عال، وبين بحث أعمى. ويعطى برنامج توليد الخطة NOAH لا يزل ساكردوتي<sup>(4)</sup> Earl Sacerdoti نتائج جيدة جدا بالنسبة للمسائل التي تحتاج مثل هذا المنهج.

ويمكن التعبير عن كثير من المسائل ذات الطبيعة الاستنباطية-مثل المسألة التي ناقشناها أعلاه أو مشكلة برج هانوي الشهيرة<sup>(\*)</sup>- باستخدام المنطق من الدرجة الأولى، ولكن هذه في الحقيقة مجرد ألعاب منطقية، وغالبية المسائل التي يواجهها الإنسان ذات الطبيعة الاستقرائية أكبر بكثير من هذه الألعاب، ومثال ذلك فهم وتفسير السجل الطبي للمريض، فمثل هذه المشاكل تتطلب تناول بيانات غير مؤكدة، بل قد تكون خاطئة، ولا يمكن التوصل إلى حل إلا بالقيام بعمليات استدلالية معقدة، مثل وضع فرض مبدئي، يؤكد تدريجيا كلما توافرت معلومات أكثر، مع إجراء الكثير من التأكيدات لاكتشاف الأخطاء... وهكذا. ولهذا تم تطوير صياغات رسمية أخرى بخلاف المنطق من الدرجة الأولى لإمكان وضع طبيعة العمليات الإدراكية للإنسان موضع الاعتبار.

وكان المنطق من الدرجة الأولى أول التقنيات التي استخدمت في استفسار قواعد البيانات كما في برنامج<sup>(5)</sup> SIR وقد أعطى جرين<sup>(6)</sup> مثالا لسؤال موجه إلى قاعدة بيانات به متغيرات حرة، وعلى البرنامج أن يجد في قاعدة المعلومات الوحدات التي ترتبط بهذه المتغيرات حتى يجيب على الاستفسار، كما ناقش جالير ومينكر Minker & Gallaire<sup>(7)</sup> في كتابيهما استخدام المنطق في قواعد البيانات، وقد اهتم ليفيسك Levesque<sup>(8)</sup> بوجه خاص بقواعد البيانات، التي تكون فيها المعلومات غير كاملة، فإذا كان السؤال مثلا «كم عدد أبناء ماري؟» موجهها إلى برنامج يفترض أن المعلومات التي بقاعدة البيانات كاملة، سيقوم ببساطة بحساب عدد الأفراد الذين

(\*) تتلخص مشكلة برج هانوي الشهيرة في أن هناك ثلاث معطبات مثبتة فوق لوح خشبي، وفوق إحدى المعطبات يوجد عدد «ن» من الأقراص ذات أحجام مختلفة، متراسة بترتيب متزايد في الحجم من الأصغر في القمة إلى الأكبر على القاعدة. المطلوب هو نقل هذه الأقراص من المصطبة الحالية إلى مصطبة أخرى مع اتباع قواعد معينة، من بينها أنه لا يجوز نقل أكثر من قرص في المرة الواحدة، وأنه لا يجوز أن يوضع قرص فوق قرص أصغر منه، وأن المصطبة الثالثة يمكن استخدامها عند الضرورة. وهناك مناقشة لهذه المشكلة في نيلسون<sup>(3)</sup> Nilsson أثناء عرضه لحساب المحمول.

ينطبق عليهم معيار «ابن ماري». ويؤكد ليفيسك أنه لا بد من وجود لغة يمكن استخدامها للتعبير عن مجال الاستفسار وعما تعرفه قاعدة البيانات عن هذا المجال، للإجابة على مثل هذا السؤال بشكل صحيح.

## المراجع

- (1) McCarthy J. (1968), Programs with common sense, in Semantic Information processing, M. Minsky (ed.) Cambridge, Mass. MIT Press (Article originally appeared in 1958).
- (2) Robinson J. A. (1965), A Machine-oriented logic based on the resolution principle, JACM 12(1), pp. 23-41.
- (3) Nilsson N. (1980), Principles of Artificial Intelligence, Palo Alto California, Tioga Publishing Company.
- (4) Sacerdoti E.D. (1975), A structure for plans and behavior, Technical Note 109, AI Center, SRI International, Menlo Park, California.
- (5) Raphael B. (1968), SIR: A computer program for semantic information retrieval, in semantic information processing, Cambridge, Mass. MIT Press (original article in 1964).
- (6) Green C. (1969), The application of theorem-proving to question-answering systems, Ph.D. thesis, Dept. of Electrical Engineering, Stanford University.
- (7) Gallaire H. Minker J. (Eds.) 1978, Logic and databases, New York, Plenum Press.
- (8) Levesque H.J. (1983), The logic of incomplete knowledge bases, in Conceptual Modelling: Perspectives from artificial intelligence, Databases and programming languages, Bordie, Mylopoulos and Schmidt (eds.), New York, Springer-Verlag.

## التمثيل الإجرائي

### مقدمة

لا يوجد في مواد المعرفة المعلنة declarative knowledge ما يدل على كيفية استخدامها، بينما تحتوي مواد المعرفة الإجرائية procedural knowledge في المقابل على معلومات واضحة حول هذه النقطة. الأولى لها طبيعة مواد البيانات التي تستخدمها برامج الحاسب، بينما الثانية هي البرنامج ذاته، ويترتب على هذا التعريف أن التمثيل الإجرائي procedural representation هو الوحيد من بينهن الأنواع الخمسة التي نصفها في هذا الجزء من الكتاب الذي لم يؤكد الفائدة العظيمة للشكل المعلن.

ويظهر الفرق بين التمثيل المعلن والإجرائي بوضوح في مجال اللغات الطبيعية، فيمكن تعريف المركب الاسمي بإفادة معلنة في شكل قواعد قليلة للنحو، وتنفذ هذه القواعد بواسطة برنامج قادر على تقرير ما إذا كان تتابع كلمات العبارة يطابق عددا من المعايير اللغوية أم لا؟ وإذا لم تنطبق قاعدة لغوية على هذا التتابع، تجرب قاعدة أخرى. ويشمل التمثيل الإجرائي البرنامج الذي يسمح ocanò الكلمات، والقواعد التي تعرف المركب الاسمي. ولن

يفوت القارئ يلاحظ أن مادة المعرفة المعلنة لا يمكن أن تظل قائمة بذاتها، ولكنه يجب أن تتمم بإجراءات تفسيرية، وبذلك لا يمكن أن يكون البرنامج معلنا كلية، لكن يمكن أن يكون إجرائيا تماما. وتتطلب كتابة برنامج يحتوي على معرفة معلنة بدرجة عالية استخدام لغة برمجة ذات تركيب «متسع» wide syntax ليسمح بالتعبير عن التنوع الكبير في المعلومات، بينما يجبر التركيب المحدد المبرمج على أن يحيل معظم المعلومات إلى الأجزاء الإجرائية من البرنامج.

يوضح ذلك تمثيل الجملة التالية<sup>(1)</sup>.

جميع الجنود الإسرائيليين والأمريكيين مدربون.

فيكون التمثيل المعلن لها باستخدام المنطق من الدرجة الأولى:

$(\Lambda \text{ س})$  (جندي (س)  $\Lambda$  (إسرائيلي (س)  $\vee$  أمريكي (س))  $\Leftarrow$  مدرب

«س».

أما الصورة الإجرائية فتكون بالشكل التالي مع استخدام لغة البرمجة-

: MICRO PLANNER<sup>(2)</sup>

(نتيجة(مدرب ؟(س)

هدف (جندي ؟(س)

(أو (هدف إسرائيلي ؟(س)

(هدف أمريكي ؟(س))

ويمكن أن يستخدم التمثيل المعلن لتقرير ما إذا كان شخص ما مدربا أم لا، وكذلك لإثبات أن الجندي الذي لا يكون مدربا ليس إسرائيليا. ويمكن أن يستخدم التمثيل الإجرائي بهذه الكيفية، لإثبات أن فردا ما «س» مدرب، أثبت أولا أنه جندي، فإذا نجحت في ذلك، أثبت أنه إسرائيلي، فإذا نجحت في ذلك، فهذا هو البرهان، وإذا فشلت أثبت أنه أمريكي، ويحتل ترتيب الحدود term والاستدلالات أهمية خاصة.

ونعرض الآن للمميزات والعيوب النسبية لشكلي التمثيل، وقد ثار جدل

كثير<sup>(3)</sup> حول هذا في بداية السبعينات.

## مميزات الصور المعلنة للمعرفة

سهولة القراءة: فقراءة مواد البيانات أسهل بكثير من قراءة برامج

الحاسب خاصة لغير المتخصصين، ويتضح أهمية هذا المبدأ العام من المثال أعلاه.

الإيجاز والمرونة. فالجملة التي تحوي عدة متغيرات لا يلزم كتابتها بالصورة المعلنة سوى مرة واحدة فقط، ويمكن استخدامها عدة مرات بطرق مختلفة في مناسبات مختلفة وفقا للنتائج المرجوة، لكن الصورة الإجرائية لنفس المعرفة يجب أن تكرر في كل برنامج يستخدمها، لأن توجه الاستدلال والقيود على المتغيرات قد تختلف من برنامج لآخر. ولهذا تتميز الصورة المعلنة بالإيجاز والمرونة.

سهولة التعديل. البنية المعلنة أسهل في التعديل، كما يمكن إضافة معلومات جديدة بسهولة أكثر. ولهذا أهمية خاصة في تطور برامج الذكاء الاصطناعي، وإعطائها القدرة على التعلم من الممارسة، أي القدرة على أن يعدل البرنامج نفسه من سلوكه (انظر الفصل التاسع عشر).

### مميزات الصور الإجرائية

ما وراء المعرفة: يعبر عن بعض مواد «المستوى الثاني» للمعرفة-وهي نوع من «ما وراء المعرفة»-بسهولة أكثر في الصور الإجرائية: فالعلاقة «قريب من» يمكن أن تعامل كعلاقة انتقالية<sup>(4)</sup> بشرط ألا تستخدم أكثر من اللازم في سلسلة استتبائية. ولا تناسب الصور المعلنة هذا النوع من المعلومات جيدا، لأن استخدامها يتطلب التوصل إلى البنية العميقة للخطوات الحسابية كالخطوات التكرارية مثلا.

### اعتماد صورة المعرفة على استخدامها مستقبلا:

نظريا، يمكن كتابة بيانات المعرفة دون اعتبار لاستخداماتها في وقت لاحق، ولكن من الناحية العملية يكون ذلك دائما في ذهن كاتب البرنامج. انظر إلى هذه الجملة المستخدمة في تشخيص أمراض النبات:

«إذا وجدت بقعا على أوراق النبات، وكانت هذه البقع في شكل قرح، فإن من المحتمل أن فطر كذا وكذا موجود».

من الواضح أن الجزء الثاني من الجملة لا يقيم إلا إذا كان الجزء الأول صادقا، وأي كاتب للبرنامج يدرك أن الإجراء التفسيري سوف يقيم أجزاء



القضية بترتيب معين، وعادة ما يكون هذه هو نفس الترتيب الذي كتبت به. الضرورة القصوى. هناك دائماً مستوى نهائي يجب أن تفسر عنده أي معلومات معلنة وأن تنفذ بإجراء ما أو بعبارة أخرى هناك دائماً أجزاء من المعلومات لا يمكن اختصارها ويتحتم أن يبرمج وبالتالي يصبح بالضرورة جزءاً من صورة إجرائية.

### التقويم العام للنظم الإجرائية

تمثل Micro-planner نموذجاً جيداً للغات البرمجة الإجرائية: قاعدة للمعرفة مكونة من بيانات وبراهين نظرية theorem، والأخيرة عبارة عن إجراءات معالجة تعمل كلما طرأ تعديل على قاعدة المعرفة وكلما تحققت شروط سابقة.

وبالإضافة إلى أن جميع الاستدلالات في هذه الإجراءات تسيير دائماً في اتجاهات واضحة ومحددة، فإن الفرق الرئيسي بينها وبين قواعد الإنتاج (انظر الفصل الثاني عشر) يكمن في أن هذه البراهين يمكن أن يستدعي كل منها الآخر، بينما لا تتصل قواعد الإنتاج ببعضها أبداً إلا عن طريق مفسر. وتعطي هذه الخاصية نظم الإنتاج ميزة أساسية هي قابليتها للتركيب modularity، وقد أدى هذا إلى التخلي عن النظم الإجرائية الخالصة إلى حد كبير. كما أن من بين عيوب النظم الإجرائية أيضاً صعوبة التحكم في عدد الاستنتاجات التي تفرزها، والتي رأى كثير من الباحثين فيها حجة ضد استخدام هذه النظم في التطبيقات الواسعة.

## المراجع والحواشي

(1) هذا المثال ليس ترجمة للمثال الموجود في النص الإنجليزي، ولكنه يحقق نفس الغرض، وقد استخدمناه لأن المثال بالنص الإنجليزي قد يصعب فهمه على القارئ العربي. (المترجم).

(2) Hewitt C(1972), "Description and theoretical analysis of PLANNER: a language for proving theorems and manipulating models in a robot". Memo AI-TR-258, MIT.

(3) Winograd T.(1975), Frame representation and the declarative/ procedural controversy', in Representation and understanding: studies in cognitive science, Bobrow and Collins (ed), New York, Academic. Press, pp. 185-210

(4) يوضح المثال التالي ما نعنيه بالانتقالية:

إذا كان  $A = B$ ،  $B = C$

إذن  $A = C$  (المترجم).



## الشبكات الدلالية

II

### مقدمة

تتكون الشبكة الدلالية من مجموعة من العقد nodes تربطها أقواس arcs، وبوجه عام تمثل العقد مفاهيم بينما تعطي الأقواس العلاقات بين هذه المفاهيم. وعادة ما تسمى العقد البسيطة بأسماء المفاهيم التي تعبر عنها، أما العقد الأكثر تعقيدا فليس لها بالضرورة أسماء، وهي نفسها شبكات دلالية فرعية. وتتسب فكرة استخدام الشبكات الدلالية لتمثيل المعرفة الإنسانية إلى كويليان Quilian<sup>(1)</sup>. ويمكن تمثيل عبارة «يطارد بوبي بوسي» على الوجه التالي:

كما يمكن تمثيلها كتابة كالاتي:  
وعادة ما يرتبط مفهوم ما بمجموعة أو أسرة،  
ويكون هو عضوا فيها، وباستخدام «ع» لتدل على  
«عنصر من» يمكن أن نعطي شبكة أكثر تعقيدا:

### تطور التمثيل باستخدام الشبكات

لننظر إلى جملة أكثر تعقيدا مثل «يطارد بوبي القطّة ذات الفراء الطويل». تقول هذه الجملة إن بوبي (وهو كلب) يطارد كائنا وهو قطّ يمتلك شيئا وهو (الفراء) الذي له خاصية معينة وهي خاصية أنه طويل. من الممكن تمثيل هذه الجملة بالشكل التالي حيث «م» تدل على الملكية:

وغالبا ما تكون العقد غير المعنونة حالات خاصة لمفاهيم أعم، ويمكن أن تعنون في حالة الضرورة بإضافة لاحقة كما في «قط-ا» أعلاه، وتتصل بالمفهوم الأم بقوس يسمى «ع» ليدل على علاقة العضوية. إذن تربط العلاقة «ع» الفرد individual بالمجموعة أو العائلة التي هو عضو فيها، وهناك علاقة أخرى «ف»، ودلالاتها «مجموعة فرعية من»، تربط المجموعة بمجموعة أكبر أو بطبقة أعم وأكبر. وبهذا يمكن التعبير عن الجملة: «بوبي كلب وهو حيوان» كالآتي:

قد يلاحظ القارئ أنه من الممكن عنونة العقدة «بوبي» ب «بوبي-ا» لتشير أن هذا الكلب المعين هو عضو في مجموعة الكلاب التي تشترك في الاسم «بوبي»، وربطها بقوس «ع» لتتصل بعقدة «بوبي». وقد يلاحظ القارئ أيضا أن «هو» و«هو» في الجملة «بوبي هو كلب وهو حيوان»، مختلفتان في المعنى، ولا بد لأي ميكانيكية استدلالية أن تتعامل مع كل منهما بشكل مختلف. والخواص «خ» للعقدة الأم عادة ما «يتوارثها» العقد الأبناء، وهكذا يمكن استنباط أن الكاناري له أجنحة وجلد من الأقواس الصاعدة المعنونة «ف»:

وبعض الخواص لا تنتقل بواسطة العلاقة «ع» وهكذا يمكن أن نستنبط من الشكل التالي أن الطائر أبا الحناء بوجه عام يدرسه علماء الطيور ولكن لا نستطيع القول إن أبا الحناء المسمى «بول» يدرسه علماء الطيور.

وقد لفت وليم وودز<sup>(2)</sup> وجاري هيندريكس<sup>(3)</sup> الانتباه إلى خطورة انعدام التقنين في هذه الصياغة الرسمية، وإلى الحاجة لقواعد تحكم ما يمكن تمثيله بالأقواس حتى نقتل من خطورة التوصل إلى استنتاجات زائفة نتيجة لاتباع سلسلة من الحلقات. وحتى في تمثيل الجمل البسيطة تظهر المشاكل، ففي تمثيل بسيط مثل:

فإذا أردنا إضافة «بالمطرقة»، لا نعرف أين نضعها، ويؤدي هذا إلى فكرة أن نأخذ الفعل كمكون رئيسي في التمثيل. وبهذا يكون تمثيل الجملة «ضرب جون ماري بالمطرقة في الحديقة الليلة الماضية» بالشكل التالي:

## الشبكات الدلالية

إلا أن مثل هذا الرسم التوضيحي، غير كاف، بأي حال من الأحوال،  
لجملة مثل «ضرب جون ماري ولكم هنري جيمس»، فإذا عبرنا عن الجملة  
كما يلي، فلن يكون واضحاً من ضرب من:

ولهذا من الأفضل أن نمثل نفس الحدث بعقدتين مختلفتين هنا، بالإضافة  
إلى الاسم العام للحدث «يضرب» وهكذا يكون التمثيل كالآتي:

ويمكن إدخال المعلومات الخاصة بفاعل الفعل والمفعول.. الخ ضمن  
المفهوم العام «يضرب»، مما يجعل اختبار صحة الجملة ممكناً.  
ويوضح ذلك الرسم التالي حيث تظهر الصفات العامة في الجانب



الأيمن والمحددة في الجانب الأيسر:

لاحظ أننا ذهبنا من رسم نمثل فيه مفهوم «يضرب» بواسطة قوس إلى شكل آخر يظهر فيه نفس المفهوم كعقدة، وهكذا أصبح المفهوم محمولا له عدد قياسي من الحدود مثل الفاعل والمفعول وحدود أخرى مثل الأداة، الزمن، المكان إذا لزم الأمر.

ويشبه ذلك نحو الحالات الإعرابية لفيلمور<sup>(4)</sup> مع اختلاف نظرته إلى الزمن حيث يمثله كصيغة وليس كحالة. ويعبر الرسم التوضيحي التالي عن الجملة «حرس الكلب المنزل بعناية طوال اليوم». وقد قدم سيمونز<sup>(5)</sup> Simmons مساهمات هامة في مجال فهم اللغات الطبيعية وعلاقتها بتمثيل مثل هذه الجمل.

### التصنيفات العامة Texonomies

كثير من العلوم الطبيعية والتجريبية لها فروع كثيرة يمكن أن تمثل ببساطة ببناء شجرة تمثل العقد فيها المفاهيم الدالة، بينما تمثل الأقواس، علاقات مثل «مجموعة فرعية من» أو «عنصر من».

ويمكن اعتبار هذه الأشجار شبكات دلالية مبسطة ؟ وهي في الحقيقة شبكات دلالية تتحصر فيها وظيفة الأقواس في التعبير عن العلاقات الهرمية مثل تلك التي أشرنا إليها توا، التي تستخدم بواسطة العمليات التي تتعامل مع الشبكات، ميكانيكيات تحكم الوراثة، أي لنقل الخواص من العقدة الأم

(الخواص العامة) إلى أبنائها (الخواص الأكثر خصوصية). ولا تكفي العلاقات التي سبق تقديمها «عنصر من» و«مجموعة فرعية من» للتعبير عن العلاقة بين العقد الشقيقة، أي بين العقد التي لها أم مشتركة، ولهذا استحدثت علاقات أكثر تخصصا في بعض الصيغ وخاصة في الشبكات الدلالية المجزأة partitioned semantic networks<sup>(3)</sup> مثل عم (عنصر مباشر-direct element)، وفم (فرع منفصل disjoint Subset).

ويوضح الرسم التالي قيمة العلاقة «عم». فبيتر وبول وجون متورطون في تحقيق بوليسي: فقد ارتكبت جريمة والثلاثة مشتبه فيهم، ويرتبط الثلاثة بمجموعة الأدميين بواسطة قوس «عم» بينما يرتبط المجرم (غير معروف) بقوس «ع» لنبين أنه قد يكون أحد الثلاثة.

ويوضح الرسم التالي الفرق بين «ف» (مجموعة فرعية من) و«فم» (مجموعة فرعية منفصلة). فلا يمكن أن تكون مدينة ما أمريكية وفرنسية في نفس الوقت، ولكن منطقيا لا يوجد ما يمنع أن تكون مدينة كبيرة وجميلة في آن واحد.

إن استخدام هذه الأنواع المتقدمة من الأقواس يزيد من قوة الشبكة، وبذلك يمكن لبرنامج أن يستنبط من هذا المثال أن ليون ليست مدينة أمريكية، ولكن لا يوجد ما يمنع البرنامج من أن يقرر أن امستردام من المدن الكبرى.

### تجزئة الشبكات الدلالية Partitioning semantic networks

تسمح فكرة الشبكات الدلالية المجزأة-التي قدمها جاري هندركس<sup>(3)</sup>- لمجموعات من العقد والأقواس أن تتجمع سويا في مساحات مجردة لتحدد مجالا دلاليا لعلاقات مختلفة. ويمكن أن تنتمي كل عقدة وكل قوس إلى واحد أو أكثر من هذه المساحات، كما يمكن أن يكون هناك روابط بين عقد في مساحات مختلفة، ولكن يجب اعتبار جميع هذه الروابط عابرة لحدود المساحات المختلفة. وتعرف المساحات تجزئة الشبكة.

وبين الرسم التوضيحي أدناه المأخوذ عن هندركس تمثيل عبارة «هناك رجل يمتلك سيارة»، كما يبين صفة هامة للشبكات المجزأة وهي افتراض السور الوجودي عندما تخصص نجدة ما إلى مساحة من المساحات. وهنا تحتوي المساحة «م» على معلومات خلفية، مثل معلومات عن الناس وملكية السيارات، التي قد تكون ذات فائدة في فهم الجملة. وتمثل م2 «رجل معين ر»، والذي يقوم بدور الفاعل في الجملة. وتمثل م3 مثالا خاصا للملكية وهي الترجمة لعبارة «يمتلك سيارة» إلى هذه الصور من التمثيل.

وفيما يلي مثال آخر لتجزئة جملة «يشرب بول النبيذ أو تأكل ماري الجبن»

ويمكن تمثيل النفي-أسوة بالانفصال-فتستبدل العقدة «D» بالعقدة «N»  
والانفصال بالنفي. ويمكن التعبير عن التضمين إما باستخدام equivalence  
(أ  $\Rightarrow$  ب) = (ب  $\vee$   $\neg$  أ) أو كما يوضح الرسم التالي:

وهناك ميل قوي لاستخدام الأسوار الكلية في المعادلات المنطقية، فوفقا لهندركس<sup>(3)</sup> يمكن أن نكتب:

$$(\forall x \in X) p(x) \Leftrightarrow (\forall x) (\text{member}(x, X) \Rightarrow p(x))$$

وتكمن قوة هذه المعادلة في أن أي معادلة تصوير للسور الكلي يمكن ترجمتها إلى معادلة شرطية.

ولا يوجد تمثيل خاص لاقتران القضايا المنطقية لأن هذا متضمنا. ولن يكون تمثيل الشبكات الدلالية-الذي أعطينا أمثلة له-مؤثرا إلا بقدر ما يكون هناك من برامج للحاسب قادرة على تناولها. وتعمل مثل هذه البرامج كخوارزمية توحيدية, unification, بمعنى أنها تسعى لإحلال المتغيرات-وهي مجهولات نبحث لها عن قيمة-بثوابت، وهي تقوم بذلك بمقارنة السؤال بمجموعة من الجمل المتاحة. فلسؤال مثل «من يشرب النبيذ؟» والذي يمكن تمثيله كالآتي:

يجرى مقارنته بالرسم الذي يمثل «يشرب بول النبيذ» باستخدام تقنية مضاهاة التشكيلات, pattern matching، ويستطيع برنامج الحاسب بذلك أن

يجد الحل بسهولة «س = بول». وهذه العملية مساوية تماما لتلك التي أعطيناها في الفصل التاسع عن المنطق من الدرجة الأولى. وكثيرا ما يحدث أن إجابة السؤال لا تكون متاحة بشكل مباشر، ويتطلب التوصل إليها اجتياز الشبكة وذلك باستخدام علاقات أو صفات تتعلق بكيانات متضمنة. وقد قدم شوبرت<sup>(6)</sup> Schubert ما أسماه «هيكل الاقتراب- > access skele ton لهذا الغرض، ويوضح سؤال «هل الجامبو فيل ؟»، إننا قد نضطر إلى اختبار اللون، والشكل، والجوهر.. الخ للكيان موضع السؤال لكي نجد إذا كانت هذه القيم الخاصة يمكن أن تصور فيلا.

## خاتمة

لقد استخدمت الشبكات الدلالية في بناء أنظمة خبيرة، من بينها- PROS PECTOR الذي يهتم بالتوقعات الخاصة باكتشاف المعادن mineral pros pecting (انظر الفصل السابع عشر)، والذي استفاد بدرجة عظيمة من هذه التقنية. وقد حاولنا في هذا الفصل أن نوضح أن قوة الشبكات تتزايد بتعدد الصياغة. ولا بد أن يكون هناك دائما حل وسط بين تعقد هيكل البيانات والبرنامج المفسر، فكلما كان الهيكل مفهرا جيدا، كلما كان إرشاد المفسر أفضل. وقد أدت دراسة بنية الشبكات الدلالية إلى زيادة استخدام أنواع من التمثيل مولدة من قواعد الإنتاج والكيانات الهيكلية، وهما موضوعان نتاولهما في الفصلين التاليين.

وقد قام الباحثون في المجال بمحاولات لجعل هذه الصياغة أكثر دقة وأكثر تقنيًا، نذكر منهم رونالدبراخمان<sup>(7)</sup> Ronald Brachman, مؤلف لغة

## الشبكات الدالية

البرمجة<sup>(8)</sup> K1one، وشاببيرو<sup>(9)</sup> الذي أشار باستخدام المنطق من الدرجة الأولى وأساسا الأسوار، وأعمال شوبرت<sup>(10)</sup>، وفالهمان<sup>(11)</sup> Fahlman وأسلوب البناء الذي اقترحه للقيام بعمليات حاسوبية متوازية بواسطة تطبيقات مصممة بمكونات مادية. وقد وجهت الأبحاث عن الشبكات الدالية باضطراد لتحسين دقة وتماسك تمثيل المفاهيم المتصلة بالتطبيقات العملية. وقد أعطيناها اهتماما أكبر هنا عن الأبحاث الأخرى للإمكانات الفلسفية في تمثيل المعرفة.



## المراجع

- (1) Quillian M. R. (1968), Semantic memory, in Semantic Information Processing, M. Minsky (ed.), Cambridge, Mass., MIT Press, pp. 227- 270.
- (2) Woods W. (1975), Whats in a link? Foundations for semantic networks, Representation and Understanding, Bobrow and Collins (eds.), New York, Academic Press, pp. 35- 82.
- (3) Hendrix G. (1979), Encoding knowledge in partitioned networks, in Associative Networks, N. Findler (ed), New York, Academic Press, pp. 51- 92.
- (4) Fillmore C. (1968), The case for case, in Bach and Harms (eds.), Universals in Linguistic theory, Chicago, Holt, Rinehart and Winston.
- (5) Simmons R. F. (1973), Semantic networks: their computation and use for understanding English sentences, in Computer Models of Thought and Language, Schank and Colby (eds.), Freeman, San Francisco.
- (6) Schubert L. K., Goebel R.G., Cercone N.J. (1979), Structure and organization of a semantic net, in Associative networks, Findler (ed.), New York, Academic Press, pp. 121- 175.
- (7) Brachman R. J. (1977), Whats in a concept: Structural foundations for semantic networks, International Journal of Man-machine studies, 9, 2, pp. 127- 152.
- (8) Brachman R. J. (1979), On the epistemological status of semantic networks, in Associative networks, Findler (ed), New York, Academic Press, pp. 3- 50.
- (9) Shapiro S. C. (1971), A net structure for semantic information storage, deduction and retrieval, Advance papers of IJCAI-7 1, pp. 512- 523.
- (10) Schubert L. K. (1976), Extending the expressive power of semantic networks, Artificial Intelligence, 7, 2, pp. 163- 198.
- (11) Fahlman S. E. (1979), NETL: a system for representing and using real-world knowledge, Cambridge, Mass. MIT Press.

## مقدمة

استخدمت صياغة القواعد الإنتاجية في ميادين عديدة قبل ظهور الذكاء الاصطناعي بفترة طويلة، ومنها المنطق الرمزي لبوست<sup>(1)</sup> Post وفي بعض الخوارزميات لماركوف Markov وفي علم اللغة لتشومسكي<sup>(2)</sup> حيث استخدمت كقواعد إعادة الكتابة<sup>(\*)</sup> rewriting rules للتعرف على بنية جمل اللغات الطبيعية.

والقاعدة الإنتاجية هي (ازدواج-موقف-عمل)، بمعنى أنه كلما واجهنا موقفاً، يطابق الجانب الأيمن من القاعدة، قمنا بتنفيذ الجانب الأيسر من نفس القاعدة. وغالبا ما يكون التنفيذ باتخاذ قرار ما، ولكن ليس الأمر دائما كذلك. إذ لا يوجد إلزام مسبق على شكل الموقف أو شكل العمل.

وعادة ما يكون للبرنامج الذي يعتمد على القواعد الإنتاجية ثلاثة مكونات:

1- قاعدة القواعد المكونة من مجموعة القواعد الإنتاجية.

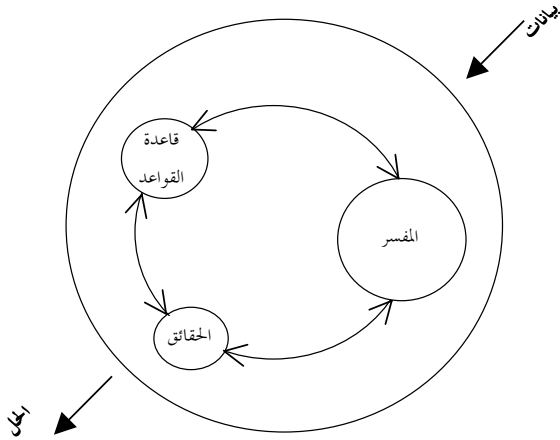
(\*) قاعدة إعادة الكتابة تنص على تطابق سلسلتين من الرموز، مثال ذلك:

<المجموعة الاسمية>: <ج = <أداة> <صفة> <اسم>

2- قاعدة الحقائق وتتكون من واحد أو أكثر من البيانات الهيكلية التي تحتوي على حقائق معروفة مرتبطة بمجال الاهتمام، كما يمكن أن تشمل أيضا بعض التعريفات.

3- مفسر هذه الحقائق والقواعد، وهو أيضا الآلية التي تحدد أي قاعدة تطبق، وبأي ترتيب، وتبدأ العمل المناسب.

وللحقائق والقواعد تركيب معروف للمفسر، ولهذا يستطيع معالجتها منطقيا ويتوصل إلى صدقها أو كذبها، واستخلاص حقائق جديدة أو طمس حقائق معينة. وليس هناك فرق واضح دائما بين «البيانات» و«الحقائق»، وسنعني «بالحقائق» هنا المعرفة الدائمة المضمنة في البرنامج، بينما تتعلق البيانات بموضوع محددة أو مشكلة معينة.



لم تكن فكرة فصل القواعد الإنتاجية عن آلية البرنامج المفسر-التي تسمى عادة آلة الاستنتاج-دائما بنفس درجة الوضوح التي هي عليها الآن، حيث يراعي-أن تتخذ القواعد شكلا معلنا بقدر الإمكان حتى تسهل قراءتها إلى أقصى درجة ممكنة. فقد كانت السمة الإجرائية هي الغالبة في كثير من برامج القواعد الإنتاجية، حيث تختلط قاعدة المعرفة بطرق تفسير هذه المعرفة. وحتى الآن توجد برامج تتصل فيها القواعد بطرق عمل الاستنتاجات كما تتصل بالاستنتاجات نفسها. ويشكل الفصل الواضح بين

القواعد والمفسر تقدما منهجيا له تأثير عميق على مفاهيم الذكاء الاصطناعي وعلى أدوات البحث التي طورت حتى الآن.

وكلما كانت صياغة القواعد الإنتاجية أبسط وأكثر اتساقا-كلما تحسنت قدرة البرنامج على التعلم، حيث يدعم الانتظام كلا من تعميم وتخصيص القواعد الإنتاجية. إلا أن الصياغة المفرطة في التبسيط يمكن أن تحد من نوعية البيانات التي يمكن تمثيلها في مجال معين من مجالات المعرفة. وليس فاك توافق مثالي في التعقيد بين صياغة القواعد والمفسر، كما ذكرنا من قبل حول تمثيل المعرفة بواسطة الشبكات الدلالية.

ولننظر إلى هذا المثال البسيط:

قاعدة القواعد:

قاعدة-1: إذا كان س حيوان، وس يموء، إذن س يكون قطا (قاعدة واحدة فقط).

قاعدة الحقائق:

حقيقة-1: فيلكس حيوان

حقيقة-2: فيلكس يموء

قاعدة الحقائق بعد مسح المفسر للحقائق والقواعد:

حقيقة-1: فيلكس حيوان

حقيقة-2: فيلكس يموء

حقيقة-3: فيلكس قط (وهذه حقيقة جديدة توصل إليها البرنامج بتطبيق

قاعدة-1 بإحلال فيلكس للمتغير «س» س-فيلكس.

## قاعدة القواعد

من المبادئ الأساسية في البرمجة المعتمدة على القواعد أن كل قاعدة تمثل بندا مستقلا من بنود المعرفة يحتوي على جميع الشروط المطلوبة لتطبيقها. وأول نتيجة طبيعية تترتب على ذلك أنه لا توجد آلية في أي مكان آخر-سوى القاعدة نفسها-يمكن أن تخلق شروطا تمنعها من أن تطبق. وثاني نتيجة أنه لا يمكن لقاعدة أن تستدعي أخرى للعمل، بمعنى أن كل قاعدة جاهلة بالقواعد الأخرى، ولا يعرف ما يحدث بالنسبة للقواعد سوى المفسر الذي يقوم بدور قائد الأوركسترا.

والقواعد الإنتاجية لا توضع بترتيب معين، ويمكن من ناحية المبدأ أن تنشط أي منها في أي لحظة، إنها تجمع معا ببساطة دون أي معرفة عن كيفية استخدامها. أما ترتيب استخدامها في الحقيقة فيتقرر بواسطة المفسر طبقا لمعايير معينة سوف نقدم بعض تفاصيلاتها عنها في الجزء التالي عن حل التناقضات. وقد لا يكون هناك طبعاً أي استراتيجية، وفي هذه الحالة تستخدم القواعد بالترتيب الذي كتبت به.

ويمكن أن نلخص مزايا منهجية استخدام قاعدة القواعد الإنتاجية في التمثيل كما يلي. نظراً لقابليتها الكبيرة للتركيب (على هيئة وحدات متكررة) فإنه يصبح من السهل تعديل البرنامج، وبذلك يمكن أن يتطور، دون أن ينهار التركيب الهيكلي للبرنامج بإضافة أو حذف أو تعديل القواعد، ولا يحتاج لاتخاذ احتياطات ضد التأثيرات الجانبية. وبوجه عام، كلما ازداد عدد القواعد بالبرنامج مع افتراض صحتها بالطبع كلما كانت نتائجها أكثر قوة وتفصيلاً.

وبالطبع ليست منهجية قاعدة القواعد الإنتاجية هي الوحيدة التي تعطي إمكانية التركيب، فالكيانات أو الأشياء الهيكلية والتي نصفها في الفصل التالي-تفعل ذلك أيضاً ولكن بطريقة مختلفة.

والخطر الرئيسي الذي يجب الاحتياط منه في البرامج ذات القابلية للتركيب هو فقدان الاتساق المنتظر، لأنه بازدياد حجم قاعدة القواس قد يبلغ عدد القواعد الإنتاجية عدة مئات، وعندئذ يصبح من الصعب مراجعة هذه القواعد كلما أضفنا قاعدة جديدة للتأكد من عدم تناقضها أو تكرارها لقاعدة أخرى موجودة. ولهذا تضم أنظمة جمع المعلومات الحديثة آليات قوية لمساعدة مصمم البرامج على تجنب إدخال التضارب إلى البرنامج (انظر الفصل الرابع عشر)، وتشمل هذه الآليات البرامج البيئية الودودة ووسائل كشف التشابهات في القواعد الإنتاجية.

### تصنيف المفسرات تسلسل أمامي أم خلفي؟

Forward or backward chaining?

نستطيع أن نميز المفسر (أو آلة الاستنتاج) طبقاً للطريقة التي يحاول بها تنفيذ القواعد، كنتيجة للحقائق التي يدرسها. فإذا نظر أولاً إلى الحقائق

والبيانات الثابتة ليقرر ما إذا كانت تلك الحقائق تحقق الجانب الأيمن من القاعدة (المقدمة)، نقول إنه يعمل بتسلسل أمامي. أما إذا كان المفسر ينظر أولاً إلى الأهداف كما هي معطاة في الجانب الأيسر من القاعدة (الجزء التنفيذي)، ثم يحاول أن ينفذ فقط القواعد التي بها هذه الأهداف، نقول أنه يعمل تسلسل خلفي. ويعدل هذا التمييز بالضبط حالة مفسري الأنحاء الذين يعملون من أسفل لأعلى المناظر للتسلسل الأمامي، لأنهم يبدؤون من البيانات، ومن أعلى لأسفل المناظر للتسلسل الخلفي لأنهم يبدؤون من الأهداف الممكنة.

ولم تظهر أي من هذه الطرق ميزة واضحة على الأخرى فيما يتعلق بالكفاءة العامة. ويمتاز التسلسل الأمامي بتحكم أفضل في ترتيب البيانات التي قد تحقق المقدمات. بينما يمتاز التسلسل الخلفي في أنه يقرب المفسر من الأهداف التي يرغب في الوصول إليها، لأنه يستطيع أن يقصر تنفيذه على القواعد المتعلقة بهذه الأهداف. وعلى أي حال، فإنه من الصعب التنبؤ بالترتيب الذي تطبق فيه هذه القواعد.

وفي التسلسل الأمامي، كثيراً ما يدور المفسر في مجموعة القواعد ليجد القاعدة التي سوف تطبق؛ ويواجه تضارباً عندما تكون أكثر من قاعدة مرشحة للتطبيق، وسنصف مواقف التضارب هذه فيما بعد. والقاعدة التي لا يمكن تطبيقها في دورة ما، قد تصبح قابلة للتطبيق في دورة تالية، لأن الحقائق ربما تغيرت في ذلك الوقت كنتيجة لتطبيق قواعد أخرى. وتعمل مفسرات OPS<sup>(3)</sup> و SNARK<sup>(4)</sup> بهذه الطريقة.

وفي التسلسل الخلفي يكون للمفسر دائماً هدف واضح الرؤية، ويقوم بدراسة القواعد التي يمكن أن تقوده لهذا الهدف. وعندما يجد أنه غير قادر على تقويم مقدمة إحدى القواعد في حدود معرفته آنذاك، يقوم بوضع هذا التقويم كهدف جديد، ويستمر بهذه الطريقة حتى يصل إلى بيانات معروفة؟ ويعمل EMYCIN<sup>(5)</sup> بهذا الطريقة مع إمكانية إضافة بعض روابط أمامية: يمكن تذييل بعض القواعد بحيث تنشط بمجرد تحقق شروط معينة، ولكن لا تمتد نتائجها لأكثر من خطوة واحدة للأمام. ويسمح PROSPECTOR<sup>(6)</sup> بمزج الصيغتين: يتطلب ذلك أن يدخل المستخدم بيانات أولية ويتوصل منها إلى ترتيب الأهداف التي يجب التوصل إليها بالاستنباط

الأمامي، وبعد عرض قائمة الأهداف المرتبة، يسأل أي هدف يجب أن يحقق أولا.

### الآلة «المغلقة» أو الحوار الموجه

“Closed” engine or guided dialog

تقوم البرامج الأقل تقدما بقراءة البيانات في بداية دورة التحوار session، وتؤدي العمليات المنطقية عليها، ثم تعطى النتائج، بدون الاستفادة من الإمكانيات التفاعلية التي يقدمها الحاسب. وهذا هو ما أسميه الآلة المغلقة. وفي المستقبل ستحتاج جميع الأنظمة الخبيرة التي تستخدم صياغة القواعد الإنتاجية إلى بعض القدرة على فهم اللغات الطبيعية، حيث تكون قادرة على التحوار مع مستخدميها بسهولة. ولا شك أن أول خطوة في هذا الاتجاه هي تزويد البرنامج بالقدرة على أداء حوار بلغة طبيعية، مع توقع البرنامج أن يكون محتوى الردود التي يحصل عليها قاصرا على موضوع السؤال المطروح، لذلك لا يحتاج إلى القيام بتحليل معقد لهذه الإجابات. ويمكن تحسين أسلوب التحوار بالسماح للمفسر باستكمال السؤال كلما وجد أنه يحتاج إلى معلومات أكثر، بدلا من أن يراجع باجتهاد قائمة ثابتة. وينتج عن هذا حوار يمكن أن يعد ذكيا، لدرجة اعتبار السؤال الذي يطرحه البرنامج دليلا على «رأيه» في المعلومات المتوافرة لديه، و«إدراكه» أن شيئا ما ناقص.

### استراتيجيات حل التضارب strategies for connect resolution

يشير اصطلاح «حل التضارب» إلى سلوك المفسر عندما يكون عدد من القواعد قابلة للتطبيق، ويتعين عليه عندئذ أن يقرر ما إذا كان يطبقها بترتيب معين، أو إذا كان يطبق كل ما هو قابل للتطبيق أم يطبق فقط بعض الاختيارات.

وتفرض مشكلة ترتيب القواعد نفسها على مستويات عديدة. فعلى المستوى الأعلى Top Level يمكن للبرنامج تحديد الترتيب الذي تطبق به القواعد، ومن المبادئ الشائعة في البرامج التي تستخدم درجات الترجيح، ترتيب القواعد ترتيبا تنازليا طبقا لقوة المقدمات أو النتائج. كما يمكن

أيضا ترتيب القواعد يدويا، أثناء إدخالها البرنامج، ولكن ذلك غير مستحب منهجيا، لأنه يضعف من قابلية البرنامج للتغير، وهي ميزة قيمة للأنظمة الصورية. ومع ذلك، قد يكون لمصمم البرنامج أسباب وجيهة لعمل ذلك في حالات خاصة عندما لا تأخذ كفاءة البرنامج أسبقية على قدرته على التطور. ولكن مبدأ القابلية للتغير يظل هدفا صالحا، حيث يمكن لأي قاعدة أن تحفز بعد تطبيق قاعدة أخرى.

ولا تتأثر القابلية للتغير إذا قام البرنامج نفسه بترتيب القواعد، فالبرنامج في هذه الحالة هو الذي يحدد الترتيب الصحيح لكل قاعدة جديدة. ولا يكون هذا الإجراء قيما إلا إذا كان اختيار القواعد القابلة للتطبيق في مرحلة ما ليس ناتجا عن بحث مستفيض، ولكن عن طريق أخذ درجة الأهمية في الاعتبار، ويمكن اعتبار مثل هذه الاستراتيجية «سلوكا ذكيا»، لأن اختيار المعيار الذي على أساسه يتخذ القرار ينطوي على عملية استدلالية أكثر تعقيدا من البحث الأعمى لكل الاحتمالات-أخذين في الاعتبار أن أحد معايير الذكاء هو القدرة على معالجة التعقيد عندما يكون التعقيد ضرورة، ولنسترجع قول أينشتين الشهير «يجب أن تبسط الأشياء بقدر الإمكان، ولكن ليس أكثر من اللازم».

وعلىنا أن نكون متيقظين دائما لمخاطر استراتيجيات البحث غير المستفيض عندما لا تكون المعلومات مؤكدة 100٪، حيث يتكرر التضارب بين مواد البيانات، ويستحيل التعرف على البيانات الخطأ. فإذا قبلنا مثلا خرجا من الحاسب مثل «تشخيص 12 د ينطبق» لمجرد أن درجة احتمالنا تفوق حدا معين، بدون اختبار جميع البيانات، فنحن نفتح الباب في هذه الحالة لخطر وصول بيانات أخرى تؤثر على درجة احتمال هذا التشخيص وتؤدي لهبوطه إلى ما دون هذا الحد. وسوف ننظر في هذه المشكلة في حديثنا عن برنامج LITHO (الفصل السابع عشر) لتفسير البيانات الجيولوجية، عندما لا نستطيع أن نكون ثقة كاملة في المعلومات المتوفرة. ومن المعايير الأخرى لترتيب القواعد، إعطاء الأولوية للقواعد التي تكرر استخدامها أكثر من غيرها ؟ وفي الحالات التي تترجم فيها الإحصائيات التي توضح تكرار الاستخدام النسبي لكل قاعدة، يكون ذلك ذا قيمة في التنبه إلى القواعد التي يمكن أن «تنسى» لأنها لم تستخدم



أبدا. إلا أن هذه الطريقة تفشل في التمييز بين حالتين. فبعض القواعد نادرا ما تستخدم، لأن المواقف التي تستدعي تطبيقها نادرا ما تحدث؛ ولكن يجب الاحتفاظ بها رغم ذلك، لأنها تمثل الحالات الخاصة التي حققت شهرة لأخصائي معين. والقواعد الأخرى التي قلما تستخدم وربما لا تستخدم أبدا لأنه أسىء التعبير عنها أو لأنها عديمة الفائدة، لأن نتائجها مثلا لا تستخدم إطلاقا. وسيكشف التمهيص الدقيق والمفصل للطريقة التي ترتبط فيها القواعد بالعمليات الاستدلالية هذا النوع الثاني من القواعد، والتي يمكن عندئذ حذفها من البرنامج.

### هل يسمح أو لا يسمح بالمتغيرات المشورة؟

Does or does not allow quantified variables?

احتوى الفصل التاسع على تفرقة هامة بين حساب القضايا وحساب المحمول. وتأتي القوة الإضافية لمنطق الحساب المحمول من استخدامه للمتغيرات المشورة: لذلك فإن القضية القائلة «كل طائر له منقار»، يمكن التعبير عنها بلغة حساب المحمول لمنطق الدرجة الأولى، وليس بحساب القضايا؛ لأنه يتطلب أن نذكر بوضوح أن كل طائر محدد له منقار. ويمكن أن يكون حساب القضايا كافيا في الحالات الكثيرة التي يقتصر النظر فيها إلى كينونة entity منفردة وإلى خواصها، وهذا هو الحال في كثير من الأنظمة الخبيرة اليوم، حيث تكون الكينونة المنفردة هي المريض مثلا (في برامج التشخيص الطبي أو بئر (في برنامج جيولوجي). ومع هذا قد تنشأ حاجة لاستخدام المتغيرات، فقد نحتاج لمناقشة تفصيلات، فمثلا في حالة البشر تقسيمه إلى عدة مناطق على أعماق مختلفة. ومثال آخر، فلنفترض أن برنامجا «يعرف» قانون (أو م)  $RI\ Ohm = V$  والذي كلما كان لديه قيمة متغيرين اثنين يقرر أن يحسب قيمة المتغير الثالث. وتوضح المقارنة التالية بين تمثيل الحساب المحمول وحساب القضايا فرق القوة بين هاتين الصياغتين:

حساب القضايا	حساب المحمول
قاعدة 01 إذا كانت V معلومة، R معلومة	توجد معادلة م، وبها
I و غير معلومة	إذا كانت س غير

## القواعد الإنتاجية

معلومة، و ص، وع	إذن احسب $I = V/R$
معلوماتان	قاعدة-2: إذا كانت $V$ معلومة، $I$ معلومة
إذن احسب $S$ باستخدام	$R$ و $I$ غير معلومة
م، و ص، وع	إذن احسب $R = V/I$
المعادلات	قاعدة-3: إذا كانت $I$ معلومة
$V = RI$	$R$ و $V$ غير معلومة
$P = VI...etc$	إذن احسب $V = RI$

## القدرة على ضم بنود معلومات غير مؤكدة

يتميز الجزء الأكبر من الاستدلال الإنساني بطبيعته الاستقرائية؟ فعادة ما تدفعنا مجموعة من الملاحظات إلى تبني افتراض ما، ثم يتوفر لنا ملاحظات أكثر، فيؤدي ذلك إما إلى تزايد ثقتنا في هذا الافتراض، أو إظهاره لنا بأنه غير صالح. وتسمح صياغات القواعد الإنتاجية بإدخال فكرة الثقل، لتوضح مدى الثقة التي يمكن أن توضع في النتائج المؤقتة (أو المشروطة). وعادة ما يطلق على هذا الثقل الاستحسان: لقد تجنبت هنا استخدام كلمة «احتمال» نظرا لما لها من معنى إحصائي معين، وكذلك لأن الاستحسان لا يكون عادة موضوعيا، ولكن يمثل عادة خبرة الخبير في مجاله والذي قد يعطي ثقلا لأحداث نادرة رغم عدم توافر معلومات إحصائية لديه عنها.

## مثال بسيط (لكنه محدد)

يستخدم المثال التالي إحدى قواعد القواعد التي تصف حيوانات عدة أو أصنافا من الحيوانات طبقا لخصائص معينة، ويهدف البرنامج إلى التعرف على الحيوان أو الحيوانات التي ينطبق عليها وصف معين. وتعمدنا أن تكون قاعدة القواعد المستخدمة ناقصة وغير كاملة، لكي نبين إمكانيات التحسين في مثل هذه البرامج، وفي نفس الوقت، فإن البرنامج ليس واقعيًا إلى حد ما، فالنتائج التي يتوصل إليها ليست في الواقع مؤكدة تماما، إذ يجب أن يكون هناك طرق تأخذ في الاعتبار الثقل الذي يمكن أن يمثل درجة استحسان البيانات المختلفة. ولسوء الحظ، فإنه من الصعب تقديم

الأمثلة الواقعية والمشوقة التي تستخدم استنتاجات ضعيفة، لأنها سريعا ما تتطلب الرجوع إلى قواعد كثيرة مرتبطة بالنتائج. ويحدد المثال قاعدة من القواعد، وخوارزمية تعرف المفسر، والحقائق الأولية. ونصح القارئ الذي له اهتمام بعلم الحيوان أن يراجع أعمالا جادة أخرى في هذا الموضوع.

### قاعدة القواعد

- ق-1: إذا رضع صغير فهو ثديي  
 ق-2: إذا كان له ريش فهو طائر  
 ق-3: إذا كان له فراء أو ثدي فهو يعيش بالغابة  
 ق-4: إذا كان طائرا، ولا يطير، ولا يعيش بالغابة، فهو بطريق  
 ق-5: إذا كان يعيش بالغابة، وثقيل جدا، فهو دب  
 ق-6: إذا كان ثقيلًا جدا، وثندي، فهو حوت المفسر
- 1- تعرف على جميع القواعد التي تكون المقدمات فيها صادقة (مضاهاة التشكيلات).
- 2- إذا انطبقت (1) على أكثر من قاعدة، تجاهل أي قاعدة تكرر خاصية معروفة من قبل (فك التضارب).
- 3- أد العمل المطلوب بواسطة القاعدة صاحبة أقل رقم تسلسلي، إذا لم تجد مثل هذه القاعدة، توقف.
- 4- كرر.

### الحقائق الأولية

- حقائق: (صغار-رضع، ثقيل جدا)  
 أهداف ممكنة. (دب حوت بطريق)
- إن الاستراتيجية المعطاة للمفسر هي أبسط استراتيجية يمكن تخيلها: فهو يستعرض قاعدة القواعد باستمرار، ويختار قاعدة ليطبقها (مع مراعاة شرط ألا تؤثر تلك القاعدة على نتيجة سبق التوصل إلى صحتها)، ويبداً العمل المطلوب.
- وتتطوي العملية على عدد من التكرارات iterations لخطوات الخوارزمية.

تكرار-1: قاعدة-1 هي الوحيدة القابلة للتطبيق، وهي تضيف «ثدي» إلى قاعدة الحقائق فتصبح:

حقائق-(صغار-رضع، ثقیل جدا، ثدي)

تكرار-2: قواعد 1 و 3 و 6 قابلة للتطبيق، قاعدة-أ تستبعد لأنها تكرر صفة معروفة من قبل، تختار قاعدة-3 لأنها ذات الرقم الأصغر في التسلسل. ويعطي هذا:

حقائق-(صغار-رضع، ثقیل جدا، يعيش بالغاً به)

تكرار-3: قواعد 1 و 3 و 5 و 6 قابلة للتطبيق. تستبعد القاعدتان 1 و 3 وتختار قاعدة-5 للتطبيق، ويعطي هذا:

حقائق-(صغار-رضع، ثقیل جدا، ثديي، يعيش بالغاً، دب)

تكرار-4: تنفذ قاعدة-6، التي تأخر تنفيذها طويلاً، ويتوقف البرنامج، وتكون النتيجة كما يلي:

حقائق = (صغار-رضع، ثقیل جدا، ثدي، يعيش بالغاً، دب، حوت).  
ونلاحظ فوراً أن لدينا حيوانين مختلفين تنطبق عليهما الأوصاف الأولى وذلك لأن قاعدة القواعد لا توفر تمييزاً منطقياً كافياً، ومن الواضح أن وصف الحوت ناقص جداً. وعلاوة على ذلك فمن المحتمل وجود ثدييات أخرى بخلاف الدب، ثقیلة جداً وتعيش بالغاً، ولذلك يجب أن يكون هناك قواعد للتعرف عليها. وقاعدة-6 هنا هي المسؤولة عن النتيجة الغامضة، وكل ما نحتاجه لإزالة الغموض د، هو إضافة مادة جديدة في مقدمة القاعدة كالآتي:

قاعدة-6: إذا كان ثقیل جداً، ويعيش في الماء فهو حوت

وإذا أجرينا هذا التغيير، ثم أعدنا تشغيل البرنامج، فإن الاختلاف الوحيد سيكون في أن قاعدة-6 لن تنفذ، وبالتالي يكون الحل الوحيد النهائي هو «دب». وقاعدة-3 ليست صحيحة تماماً (لأسباب التي ذكرناها توا) ويجب أن تتغير.

والدرس الذي يجب أن نتعلمه من هذا المثال هو أنه يمكن تعديل سلوك البرنامج بتعديل (وتطوير) المعرفة المعلنة به، باستخدام برامج التفتيح editors الموجودة في جميع اللغات العلمية للبرمجة، دون الحاجة للبحث عن تعليمات مختبئة في أعماق البرنامج، وهو ما يواجهها في البرامج التقليدية غالباً.

## استخدام مقاييس الاستحسان في الاستبدال غير المؤكد

Use of plausibility measures in uncertain reasoning

لا تناسب الطرق الاستنباطية معاقل الحياة الواقعية جيدا، لأن البيانات عادة ما تكون غير مؤكدة، وكذلك الاستنتاجات، التي تعكس وجهة نظر الخبير غالبا ما تكون عرضة للشك. وقد طورت عدة طرق لأخذ هذه المجهولات uncertainties في الاعتبار بواسطة مقاييس مرتبطة بالاستنتاجات المستحسنة لهذه المجهولات، وتتساوى هذه الطرق المختلفة في أنها تتفق بشكل عام في درجات الاستحسان التي تعطيها للبيانات، حتى لو اختلفت فيما بينها اختلافات بسيطة حول النتائج التفصيلية.

وسنصف هنا الطريقة المستخدمة في برنامج EMYCIN<sup>(5)</sup> وهو أداة من أدوات بناء برامج الأنظمة الخبير واستخدم في برنامج MYCIN للتشخيص الطبي، هناك الكثير من الدراسات المقارنة الجيدة عن الطرق المختلفة منها دراسات إدوارد شمورتليف<sup>(7)</sup> sedward Shortliffe وبروس بوكانان وديك دودا<sup>(8)</sup> Bruce Buchaman and Dick Duda وهنري بريد<sup>(9)</sup> Henry Prade

وتبني هذه الطريقة على تحديد درجة احتمال أو مصداقية لكل بيان من البيانات وتتراوح هذه الدرجة بين 1 (تعني الثقة التامة بمعنى أن البيانات صادقة بالتأكيد) و-1 (وتعني أن البيانات كاذبة بالتأكيد)، ويمثل الصفر عدم التأكد التام. وتتخذ قيمة 0,2 الحد الذي إذا تعدته البيانات، يكون من المعقول اعتبارها صادقة، وتتخذ 0,2 الحد الذي إذا نزلت عنه البيانات، يمكن اعتبارها كاذبة. ونعبر عن احتمالية قضية أو بيان أ بالشكل التالي ح (أ) ؟ وعالي هذا فإذا كان عندنا قاعدة أ «ب، التي سيكون لمصداقيتها قيمة معينة Likelihood value، وكانت درجة الاحتمال ح (أ) 0,3 ؟ مثلا، فلا يمكن أن تكون درجة احتمال ب في هذه القاعدة أكبر من 0,3

المقدمات غير المؤكدة. لنفترض أن لدينا قاعدة ر:

إذا كان أ و ب و ج =====> د

بدرجة مصداقية ح (ر) 0,8، ح (أ) 0,4، ح (ب) 0,6، ح (ج) 0,7 = 0,7 تكون درجة مصداقية مقدمة القاعدة (أ)، ب، ج المترابطة بالوصل المنطقي كالآتي:

ح (مقدمة) = أقل ((ح (أ)، ح (أب)، ح ((ج) 0,4-

وبذلك تكون قيمة مصداقية النتيجة، باستخدام ر هي:

$$ح(د) = 0,4 \times 0,8 = 0,32$$

ضم مواد المعلومات. لنفترض أن بيان «د» له قيمة مصداقية أولية ح(ا)، ثم توافرت معلومات أكثر فجعلت مصداقيته ح(2) ؟ يحسب EMYCIN المصدقية الناتجة حسب الآتي:

أولاً: ح-ح(ا) + ح(2)-ح(ا). ح(2) إذا كان ح(ا) و ح(2) بالموجب  
ثانياً: ح-ح(ا) + ح(2) + ح(أ). ح(2) إذا كان ح(أ) و ح(2) بالسالب

$$\text{ثالثاً-} = \frac{\text{ح(ا) + ح(2)}}{\text{1-الأدنى (ا، ح، ا، ح، 12)}}$$

مختلفة

وهكذا فالمصدقية الأولية قد تزيد أو تنقص بتوافر معلومات جديدة. ولا تتعدى القاعدتان (أولاً) و(ثانياً) كونهما ببساطة امتداداً لمعادلة الاحتمالات المركبة للسماح بالقيم السالبة. ومبرر القاعدة (ثالثاً) هو أنها تزيد الفرق بين القيم الموجبة والسالبة. وقد كان من المعتاد في هذه الظروف استخدام الجمع البسيط ح = ح(ا) + ح(2). وقد علقت المجموعة العاملة ببرنامج EMYCIN أنه إذا كان لدى الفرد خمسة أسباب للاعتقاد أن ح(E) (9,0=) (ومنها ينتج أن قيمة المصدقية تكون ح(E) = - 0,99، بتطبيق قاعدة (أو أربع مرات)، وسبب واحد للاعتقاد أن ح(E) = - 0,9، فيعطينا الجمع البسيط 0,09، بمعنى أن السبب السالب الوحيد قد ألغى في الواقع جميع الأسباب الأخرى، وتعطي المعادلة الجديدة نتيجة مختلفة تماماً:

$$ح = (0,90 - 1) / (0,90 - 0,99) = 0,90$$

وهكذا يتأكد الفرق بين القيم الموجبة والسالبة في حدود 1. ويجب أن يلاحظ هنا التالي:

أ- أن قيمة الثقل أو الاستحسان أو المصدقية التي تعطى للاستنتاجات هي قيمة عددية يعطيها خبير المجال، وقد يكون هناك مبررات إحصائية لهذه القيم، ولكنها تعبر في حالات كثيرة عن خبرة ودراية الخبير وليس لها أساس إحصائي.

ب- أن المعادلة السابقة لتجميع قيم الاستحسانات هي تمثيل تقريبي

للأحكام الذاتية، وليس لها مبررات رياضية.

وقد يكون هناك أناس قليلون ممن-عند مواجهة الحاجة لاتخاذ قرار-لا يضعون نقاطا ضد أو لصالح القرار الذي هم بصدد، ثم يتخذون القرار بناء على القائمة الأكبر. أنه ذلك النوع من التفكير المنطقي الذي نحاول محاكاته هنا، مع إضافة إمكانية إعطاء ثقل مختلف لكل من المعايير المطروحة.

وهناك طريقة أخرى لمعالجة هذه المشكلة تأخذ في اعتبارها عدم دقة البيانات، وتستخدم هذه الطريقة فكرة «المجموعة الغامضة» Fuzzy set التي طرحها زاده Zadeh<sup>(10)</sup>. وكما يدل الاسم، فالمجموعة الغامضة هي تلك المجموعة التي ليس لها حدود واضحة، والتي يكون التغيير فيها لكيان ما من حالة العضوية إلى عدم العضوية بشكل تدريجي، مثل مجموعة النساء الجميلات أو مجموعة السيارات الصغيرة أو خاصية الشباب. والذي يحدد درجة عضوية فرد أو شيء إلى مجموعة غامضة هي وظيفة Function لقياس مدى عضويته فإذا افترضنا وجود مجموعة من كبار السن ولنسميها ك وس تمثل عمر الشخص المراد قياس درجة عضويته و ظ هي الوظيفة التي تقيس ذلك، فيمكن أن نقول:

ظ م (1) = صفر إذا كان العمر سنة تكون درجة عضويته صفر

ظ ك (2) = صفر

ظ ل (3) = صفر

ظ ك (4) = 0, 1 إذا كان عمر الفرد أربع سنوات تكون درجة عضويته

واحد من عشرة

ظ ك (20) = 0, 3

ظ ك (50) = 0, 7

ظ ك (100) = 1

وكما يلاحظ القارئ طبعاً، فإن فكرة الشباب أو كبار السن تعتمد كثيراً جداً على شخصية المتكلم، وإعطاء قيمة دون أخذ السياق في الاعتبار لا شك أنه أمر تحكمي، فالأكاديمي الشاب أكبر كثيراً من «الجينة القديمة». وقد طبق مفهوم المجموعة الغامضة في عدة برامج، في الطب<sup>(11)</sup>، وفي جيولوجيا المعادن حيث يشمل نظام الخبير PROSPECTOR<sup>(6)</sup> في عملية

الاستدلال التقريبي درجات لعدم التأكد من صحة الحقائق كما يشمل أيضا المدى الذي تبتعد به قيمة معينة لصفة ما عن القيمة العامة التي يقبلها البرنامج لتمييز هذه الصفة عن غيرها. ولا يعتبر هذا النهج غريبا في مجال الطب. فبينما يكون هناك مدى «طبيعي» لضغط الدم مثلا، يمكن اعتبار قيمة ضغط الدم لمريض ما خارج هذا المدى الطبيعي، ومع ذلك تقبل «كطبيعية» في ظروف معينة.



## المراجع

- (1) Post E. (1943), Formal reductions of the general combinatorial decision problem American Journal of Mathematics, 65, pp. 197- 268.
- (2) Chomsky N. (1957), Syntactic structures, La Haye, Mouton.
- (3) Forgy C., McDermott J. (1977) OPS a domain-independent production system language, IJCAI 77, pp. 933- 939.
- (4) Lauriere J. L. (1982), Representation des connaissances, RAIRO/ TSI Vol. 1, No. 2, pp. 109- 133.
- (5) Van Melle W. (1980), A domain-independent system that aids in constructing knowledge-based conclusion program, Stanford Heuristic Programming Project memo, HPP-80-22.
- (6) Duda R., Gasching J., Hart P. (1979), Model design in the Prospector consultant system for mineral exploration, in Expert Systems in the microelectronic age, Michie (ed.), Edinburgh, University of Edinburgh Press.
- (7) Shortliffe E. H., Buchanan B.G. (1975), A model of inexact reasoning in medicine, Mathematical Biosciences 23, pp. 351.379.
- (8) Buchanan B.G., Duda R.O. (1982), Principles of rule-based systems, Stanford University technical report, HPP-82- 14.
- (9) Prade H. (1983), A synthetic view of approximate reasoning techniques, IJCAI-83, pp. 130- 136.
- (10) Zadeh L.A. (1978), Fuzzy sets as a basis for a theory for possibility, Fuzzy sets and systems, New York, North Holland.
- (11) Sanchez E., Soula G. (1983), Possibilistic analysis of fuzzy modelling in medicine, in Modelling and data analysis in biotechnology and medical engineering, Vansteenkiste and Young (eds.), Amsterdam, North-Holland Publishing Company.

«... كنت في منتصف الطريق بين استيعاب المفهوم العام للحصان والتعرف على-حصان بعينه، وعلى أي حال، استمددت معرفتي بالحصان بشكل عام من خطوط عريضة مميزة، فأنت إذا شاهدت شيئاً من بعيد، ولم يكن لديك فكرة عن ماذا يكون، فشد تقنّع بأن تصفه بأنه مجرد شبح. وعندما يقترب منك يمكنك أن تقول إنه حيوان، مع أنك لا تستطيع أن تحدد إذا كان حصاناً أم حماراً، وعندما يقترب منك أكثر تستطيع أن تقول إنه حصان، إلا أنك لا تستطيع أن تقول ما إذا كان برونل أم فافل. عندما يصبح قريباً بما فيه الكفاية فستطيع فقط أن تقول إنه برونل-بمعنى أنك تستطيع أن تقول إنه حصان بعينه وليس حصاناً آخر، أي إنه حصان تعرفه باسمه». أمبرتو إيكو<sup>(1)</sup> Umberto Eco

### مقدمة

نبح استخدام الكيانات الهيكلية كوسيلة من وسائل التمثيل من العديد من الأفكار التي ولدتها اتجاهات بحثية مختلفة. وقد سميت هذه الكيانات بأسماء مختلفة عديدة نذكر منها ما يلي:

- «الأوصاف المنطقية الشاملة»، schemas، ذكرها

العالم النفسي بارتليت Bart Lett<sup>(2)</sup> في أبحاثه عن الذاكرة.

- «الإطارات»، كما وردت في بحث مينسكي<sup>(3)</sup> عن عملية فهم اللغات الطبيعية والمرئيات، ثم في عدة لغات برمجة مثل FRL<sup>(4)</sup> و UNITS<sup>(5)</sup>.

- «السيناريوهات» لروجر شانك وابيلسون<sup>(6)</sup> في وصفهما للعلاقات بين الأحداث في المواقف المقننة (انظر الفصل الثامن).

- «النماذج» Prototypes أو «الوحدات» Units في لغة البرمجة لبوبرو ووينوجراد<sup>(7)</sup> الذي استخدم عمل روش Rosch<sup>(19)</sup> في تصنيف المفاهيم.

- «الكائنات» Objects في كثير من لغات البرمجة، مثل SMALLTALK<sup>(8)</sup> و LOOPS<sup>(20)</sup> و FLAVORS<sup>(9)</sup> و ORBIT<sup>(10)</sup> و FORMES<sup>(11)</sup> و MERING<sup>(12)</sup>.

وسوف أستخدم مصطلح «كيان» oject، لعدة أسباب، أولها أنه عام بدرجة كافية تغطي الدلالات الأخرى، وثانياً لأن المصطلح المنافس «إطار»، رغم أنه كثيراً ما يستخدمه الباحثون الأمريكيون، فقد كثيراً من غنى المعنى الذي كان له عندما اقترحه مينسكي أولاً.

### خواص الكيانات الهيكلية

سنقدم أولاً عدداً من المصطلحات التقنية الشائع استخدامها في هذا المجال. كل كيان له عدد من الصفات المميزة attributes، وهي أسماء الخواص التي تحدد الكيان، فالدائرة مثلاً لها مركز ونصف قطر، والتفاصيل الشخصية للإنسان تشمل الاسم، والعمر، والجنس، والعنوان، والمهنة. ويمكن أن يكون لكل صفة مميزة عدد من السطوحات FACETS المتميزة، سيكون بعضها قياسياً: يمكن أن يكون أحدها مجموعة من القيم الممكنة التي قد تأخذها الصفة المميزة، وبعضها يمكن أن يكون البدائل الافتراضية التي يمكن أن تتخذ عند عدم تحديد قيمة الصفة المميزة، فيمكن مثلاً للكيان «سيارة» أن يكون له صفات مميزة مثل «السرعة القصوى» الذي قد يكون قيمة افتراضية تتراوح بين 70 و 120 ميلاً في الساعة. ومن الممكن وضع كيان ما في نقطة معينة من سلم هرمي مع كيانات أخرى أعلى وأدنى منه في ذلك السلم الهرمي موحية بقدر أكبر أو أصغر من العمومية، وهكذا يكون الطائر أقل عمومية من الحيوان، ولكنه أكثر عمومية من الكناري.

ويمكن اعتبار الكيان الهيكلية كنموذج، يقارن به الأمثلة الأخرى الجاري

دراساتها، وتظهر هذه المقارنة بعض الاختلافات رغم وجود خواص عامة مشتركة، وقد تكون هذه الاختلافات استثناءات حقيقية للنموذج-مثل النعامة فهي لا تطير رغم كونها طائراً، وقد تكون هذه الاختلافات تعبيراً عن التفاصيل الدقيقة التي لم تتوفر في النموذج الذي اقتصر على الصفات العامة. وقد استخدم هذا النوع الأخير وهو مقارنة الشيء بالنموذج في التشخيص الطبي: فتتفق مثلاً الأنفلونزا التي يعاني منها مريض بعينه مع نموذج الأنفلونزا المعروف، ولكن سيكون لها مع ذلك بعض السطوح الخاصة بهذا المريض بالذات.

وتسمح معظم طرق التمثيل بالكيانات الهيكلية بتحديد القيم الافتراضية عندما لا تتوافر معلومات محددة، ويمكن استبدال قيمة افتراضية بقيمة حقيقية إذا توافرت الأخيرة في مرحلة لاحقة. ولا شك أن هذا النوع من الاستدلال-والذي يعرف عادة بأنه غير مطرد<sup>(13)</sup>-له أهمية في النشاط الذهني الإنساني ولا يمكن التعبير عنه بمنطق الدرجة الأولى الخالص (انظر الفصل التاسع). وقد أوضحنا المزايا الكثيرة للتعبير عن المعرفة في صورة معلنة في مناقشتنا للبرامج الإجرائية، ولكن كان من الأفضل التعبير عن بعض الأعمال في شكل برامج. وتمكن طريقة التمثيل باستخدام الكيانات من مزج الصورتين (الإجرائية والمعلنة-المترجم)، بإعطاء المعلومات الإجرائية الضرورية مع بعض خواص معينة للكيان. وتشمل لغة البرمجة KRL<sup>(7)</sup> إجراءات من نوعين اثنين. فهناك ما يسمى بالإجراءات «الداخلية» domestic، التي تحدد ما يجب أن يفعل لأداء عمليات معينة بنجاح، مثل إيجاد قيمة بعض الخواص. وسنعطي مثلاً على ذلك عندما يكون الكيان هو «تاريخ اليوم» فيما بعد، وهناك الإجراءات «الحارس»<sup>(14)</sup> التي تنشط للعمل كلما تحققت شروط معينة-وليسست هذه الفكرة بجديدة في الذكاء الاصطناعي، فهي موجودة منذ زمن بعيد. ويوجد هذا المزج بين الصياغة الصورية والإجرائية أيضاً في الشبكات الدلالية، حيث ربما ظل الفرق بين الصياغتين غير واضح حتى الآن.

ويرى كتاب كثيرون إنه من المهم أن تستطيع النظر إلى حدث ما من وجهات نظر مختلفة. فيعطي وينوجراد وبوبرو، في KRL مثلاً لحدث يمكن اعتباره إما زيارة لشخص أو كرحلة، ففي الحالة الأولى يتركز الاهتمام

على الأشخاص المعنيين، أما في الثانية فينصب الاهتمام على وجهة ووسيلة السفر.

وليس هناك طريقة عامة لتقرير ما إذا كان نموذج ما قريبا بدرجة كافية من الموقف الذي يجب التعرف عليه. وغالبا ما تكون للخصائص الهامة القيم المطلوبة، ولكن اختبار الخصائص الأخرى قد يؤدي إلى اختلافات أكبر بين النموذج والواقع. ويمكننا القول إنه لا بد من اتخاذ موقف عندما تتجاوز هذه الاختلافات حدا مقبولا: فعندما تكون أعراض المريض مثلا متمشية مع إصابته بالأنفلونزا، ولكنه يعاني من «كحة شائبة loose cough»، فيجب عندئذ النظر في احتمال إصابته بنزلة شعبية.

### بعض الأمثلة

افترض أننا نريد أن نصف شكلا مستطيلا بالخواص الأربع الطول، والعرض، وموقع المركز واللون. ويمكن أن نحدد الأرقام كقيم محتملة للخاصتين الأوليين، ونقطة بالنسبة للثالثة، أما القيم المحتملة للرابعة فقد تكون أحمر، أو أصفر أو أزرق، وعلى هذا يكون وصف المستطيل بالشكل التالي:

(تعريف المستطيل)

((الطول (القيمة (رقم ما)))

((العرض (القيمة (رقم ما)))

((المركز (القيمة (نقطة ما)))

((اللون (القيمة (الاحتمالات (أحمر أصفر أزرق))))

ونعرض الآن لبعض السطوحات الرئيسية.

1- القيمة. وتحدد هذه قيمة إحدى الخواص المميزة للكيان، ويمكن أن

تكون رقم، أو كلمة، أو مجموعة، أو مصفوفة array.

مثال: (كناري

((اللون (القيمة (أصفر))))

ويعنى هذا أن اللون هو أحد الصفات المميزة للكناري فهو إذن «خاصية

مميزة >attribute، وأن هذه الخاصية المميزة لها قيمة وهي «أصفر». إذن

«أصفر» هي قيمة الخاصية المميزة للكناري-المترجم).

2- البديل الافتراضي. ويحدد القيمة الافتراضية التي تعطى للخاصية المميزة عند غياب معلومات أخرى. ويمكن استبدالها بأي قيمة أخرى دون أن يؤثر ذلك على النسق المنطقي.

مثال: (كرسي

(النوع (القيمة أثاث))

(عدد الأرجل (بديل افتراضي 4))

(كرسي الجدة

(النوع (القيمة كرسي))

(عدد الأرجل 3))

في البداية تكون قيمة «خاصية عدد الأرجل» لكرسي الجدة «4» وذلك بنقل القيمة الافتراضية للكيان ألام «كرسي» إلى الكيان المحدد «كرسي الجدة»، ثم استبدلت القيمة الافتراضية بالقيمة الحقيقية لعدد أرجل كرسي الجدة والتي أصبحت معروفة وهي «3».

3- القيود constraints. وتكون هذه القيود في شكل قائمة من المحمولات، تختبر هذه القيود القيمة المعطاة للسطوحات موضع الاعتبار، فإذا كانت صادقة، كان معنى هذا أنها متمشية مع القيود، أما إذا لم تكن فلا يسمح لها بأن تأخذ القيمة.

مثال: (العمر

(قيود (أكثر من صفر)

(أقل من 150))

ويعني هذا أن البرنامج سيرفض قيمة العمر لإنسان أو حيوان إذا كان العمر أقل من صفر أو أكثر من 150.

4- القيم الممكنة possibilities. وهذه حالة خاصة من القيود، عندما تذكر القيم الممكنة لصفة ما.

مثال: (الجنس

(القيم الممكنة (مذكر مؤنث))

فهنا تتحدد القيم الممكنة لصفة الجنس بقيمتين اثنتين، هما المذكر والمؤنث، وبالتالي أي محاولة لإعطاء قيمة المحايد مثلا neuter لصفة الجنس، سيرفضها البرنامج ويقول «محايد ليست قيمة صالحة لصفة الجنس».

5- الفاصل intervals.. وهي طريقة أخرى للتعبير عن القيود، فإذا كان القيد رقمياً، سيعطى قيمة قصوى ودنيا.

مثال: (العمر

(فواصل (صفر 150)))

6- إجراء procedure. يساعد على بغاء وظيفة (مكتوبة بلغة ليسب) لحساب قيمة السطوحات، ويطلق على هذا النوع من «الارتباط الإجرائي» إجراء داخلي في KRL<sup>(7)</sup>.

فلننظر مثلاً إلى كيان مثل «التاريخ»، بسطوحات مثل اليوم، الشهر، السنة، وأيام الأسبوع. ويمكن حساب يوم الأسبوع بسهولة بواسطة وظيفة تأخذ كشرط مبدئي حقيقة أن أول يناير 1905 وافق يوم الاثنين، وتستخدم الحقائق التي تقول أن يوم الأسبوع سوف يتحول لليوم التالي لنفس التاريخ في السنة التالية بشرط ألا تكون السنة كبيسة، وهكذا:

(تاريخ

(يوم (فواصل (311)))

(شهر (فواصل (121)))

(سنة (فواصل (990)))

(يوم-الأسبوع

(قيود (الاثنين الثلاثاء... الأحد))

(إجراء (حساب يوم-الأسبوع

(اليوم)

(الشهر)

(((((السنة))))

وتعمل أداة التعريف هنا «ال» كوظيفة مساعدة تأخذ قيمة اليوم، والشهر، والسنة من الكيان الذي أنشئ، وتكرر هذه القيم إلى وظيفة حساب يوم الأسبوع.

7- حراسة demon. تحدد وظيفة يجب أن تتفد كلما تغيرت قيمة الصفة المميزة المناظرة. فإذا أكان لدينا كيان «إشارة-المرور» الذي يمكنه أن يتخذ اللون الأحمر أو الأخضر، فيمكن كتابة وظيفة حراسة للتبنيه كلما تغير لون الإشارة. يمكن كتابة مثل هذه الوظيفة على النحو التالي:

(إشارة

لون

(قيود (أحمر أخضر))

(حراسة (تنبيه (اللون))((

ويمكن كتابة وظيفة التنبيه كما يلي:

(تعريف تنبيه (لون)

(اكتب (اختار اللون)

(أحمر «الجهاز مشغول»)

(أخضر «الجهاز خالي»(((

### التسلسل الهرمي hierarchies.

من أهم خواص لغات البرمجة للكيانات object programming languages أنها تسمح ببناء تسلسل هرمي للكيانات المختلفة، كما تسمح للخواص بالانتقال من الكيانات الأم إلى فروعها إذا لم تتواجد الصفات المطلوبة على مستوى الكيان موضع النظر. فيمكن مثلاً تعريف سلسلة من الكيانات على الوجه التالي:

(تعريف-كيان طائر

(حيوان)

((صفات «يطير»))

(تعريف-كيان كناري

(طائر)

((اللون «أصفر»))

(تعريف-كيان «جوي»

(كناري))

(تعريف-كيان نعامة

(طائر)

((صفات «لا يطير»))

يمكن إجراء الحوار التالي بمساعدة برنامج بلغة ليسب، ترمز «م» هنا لمستخدم البرنامج وترمز «ب» للبرنامج.



### الحوار التعليق

- م: (صفات نعامة) توجد مباشر على مستوى «نعامة»  
 ب: لا تطير  
 م: (صفات «جوي») لا توجد على مستوى «جوي» ولا على مستوى  
 ب: يطير «كناري» ولكن توجد على مستوى «طائر»  
 م: (اللون «جوي») لا توجد على مستوى «جوي» ولكن ورثت عن  
 ب: أصفر «كناري»  
 لاحظ أن صفات «النعامة» لا تتوافق مع الصفات العامة «للطائر».

### تناول الكيانات Handling objects

ونعرض الآن لمشكلة التعرف على كيان ما أو موقف ما، من بين العديد من الكيانات المترابطة بمختلف العلاقات التي، عادة ما يكون من بينها علاقات التسلسل الهرمي 4 والمطلوب هو تحديد الكيان الذي يتفق مع المواصفات المعطاة بأكبر قدر ممكن من التطابق والتفصيل. فإذا كان الموضوع قيد البحث عن التشخيص الطبي لاضطرابات شرايين المخ بالتحديد، كان من الأفضل تسمية، حالة كجلطة فقر الدم الموضعي أفضل من تسميتها فقر الدم الموضعي، لأن التسمية الأولى تعطى قدرا أكبر من التفاصيل.

وعادة ما يكون الكيانات، إحدى حالات ثلاثة (سزولوفتش<sup>(15)</sup>: Szolovits) حالة نشطة-عندما يكون الكيان موجودا فعلا في قائمة للافتراضات الحالية، التي يجري البحث في مدى صحتها.

حالة شبه نشطة-عندما يكون وضع الكيان في قائمة الافتراضات مطروحا، ولكن ليس بالقوة الكافية لوضعه فعلا في هذه القائمة. حالة غير نشطة-عندما يكون قد رفض كل افتراض يؤدي إلى وضع الكيان في قائمة الافتراضات القائمة أو لم ينظر فيه.

وعادة ما تنظم عملية اختبار الافتراضات بالشكل التالي:

أ- إدخال البيانات الأولية.

ب- وضع إشارات للافتراضات المختلفة باستخدام القواعد المتعلقة بالبيانات.

ج- ترتيب هذه الافتراضات طبقا لمعايير معينة.

د- اختبار الافتراضات بإضفاء سطحيات الكيانات التي خلقت، مما قد يؤدي إلى استنتاج حقائق جديدة من الحقائق الموجودة من قبل، وعندئذ تضاف افتراضات جديدة، مع إمكانية العودة إلى الخطوة (ب)، إذا وجد أن الافتراض الحالي يجب أن يستبدل بآخر. ويمكن توجيه أسئلة للبرنامج أثناء عملية إضفاء القيم، شأنه في ذلك شأن البرامج التي تعتمد على قاعدة القواعد.

هـ- إذا تبين وجود أكثر من افتراض قابل للتطبيق بعد اختبار صحة جميع الافتراضات في القائمة-توضع سياسة مؤقتة للتمييز بين هذه الافتراضات.

و- يتم إخراج الاختيار الأفضل، أو إعطاء عدة اختيارات إذا تحققت فيهم الشروط المطلوبة.

### الاستدلال بمعلومات ناقصة وباستخدام القيمة الافتراضية

Reasoning from incomplete information, and by default

يستطيع الإنسان القيام بمعظم العمليات الاستدلالية برغم غياب المعلومات الكاملة التي لا يؤدي نقصها إلى إعاقة التفكير.

وقد بين البحث في إمكانية محاكاة تفكيرنا عدم ملائمة الوسائل التقنية كشجرة اتخاذ القرار، لفشلها في حالة المعلومات الناقصة في اتباع الفرع التالي من الشجرة. ومن هنا، كما لاحظ ريتر Reiter<sup>(16)</sup>، استحدثت في جميع برامج الذكاء الاصطناعي قاعدة صريحة تنص على «إذا لم تستطع استنتاج معلومة معينة من قاعدة المعلومات، إذن....».

والاستدلال باستخدام القيمة الافتراضية هو أساسا وسيلة للتعامل مع الاستثناء. فمعظم الحقائق في الحياة العملية تأخذ شكل «معظم الأشياء هكذا» أو «معظم الأشياء لها صفة كذا». وذلك مثل قولنا «معظم الطيور تطير» بمعنى «جميع الطيور تستطيع الطيران ما عدا النعامة، والبطريق...». ونظرا لضرورة أن يكون البرنامج سليما من الناحية المنطقية، فلا بد لأي برنامج مبني على منطق المحمول من الدرجة الأولى أن يتضمن بوضوح جميع الاستثناءات لأي قضية منطقية، وعلى هذا لا بد من التعبير عن الحقيقة السابقة بالشكل التالي:

(7 س) طائر (س) 28 نعامة (س) 28 بطريق (س) ب ===> يطير(س)  
ولكن لا يسمح لنا هذا بأن نستنتج أن الطيور عادة تستطيع الطيران،  
ولكي يثبت البرنامج أن طائراً بعينه «س» يطير، لا بد له من تحقيق الأهداف  
الوسيطة التالية:

س ليس بنعامة، وس ليس ببطريق  
والذي يكون مستحيلاً لو اقتصرنا المعلومات المحددة بالبرنامج على أن  
«س» هو طائر.

وعادة ما تشمل البرامج التي تستخدم منطق الدرجة الأولى قواعد من  
نوع «إذا كان س كيانا، وإذا كانت 2 ك (س) لا يمكن أن يستدل عليها من  
قاعدة البيانات، إذن افترض ك (س) صادقة» وليست هذه الفكرة من  
مفاهيم منطق الدرجة الأولى. وقد ضمنت هذه القاعدة في لغة برولوج<sup>(17)</sup>  
بواسطة المعامل NOT وفي MICRO-PLANNER<sup>(18)</sup> بواسطة المعامل  
THENOT. ولا يمكن أن تكون لغة برمجة قابلة للتطبيق بدون مثل هذه  
القاعدة، لأن بدونها سيتحتم إضافة عدد هائل من الحقائق المنفية بوضوح  
إلى البرنامج.

## المراجع

- (1) Eco, U. (1982), Le Nom de la rose, Paris, Grasset.
- (2) Bartlett, F. (1932), Remembering, a study in experimental and social psychology, London, Cambridge University Press.
- (3) Minsky, M. (1975), A framework for representing knowledge, in P. Winston (ed), The psychology of computer vision, New York, McGraw-Hill.
- (4) Roberts, B. Goldstein I. (1977). The FRL manual, MIT AT Laboratory memo 409, September 1977. (FRL = Frame Representation language.)
- (5) Stefik, M. (1979), An examination of a frame-structured representation system, IJCAI-79, Tokyo
- (6) Schank, R., Abelson, R. (1977), Scripts, plans, goals and understanding, Lawrence Erlbaum Ass., Hillsdale, NJ.
- (7) Bobrow, D., Winograd, T. (1977), KRL, another perspective, Cognitive Science 3, pp. 29- 42. (KRL = Knowledge Representation Language).
- (8) Kay A. Goldberg A. (1977), Personal dynamic media, Computer 10, pp.31- 41.
- (9) Moon, D.A., Weinreb, D. (1980), FLAVORS: message-passing in the LISP machine, MIT, AI memo 602.
- (10) Steels, L. (1982), An applicative view of object oriented programming. European Conference on Integrated Interactive Computing Systems Stress It!ilv
- (11) Cointe, P. Rodet X. (1983), Formes: a new object-language for managing a hierarchy of events:, IFIP-83, Paris.
- (12) Ferber J. (1984), MERING: un langage d'acteur pour la représentation des connaissances et la compréhension du langage naturel, 4 Congrès de Reconnaissance des formes et intelligence artificielle, Paris, pp. 179- 189.
- (13) McDermott, D., Doyle, J. (1980), Non-monotonic logic I, Artificial intelligence, Vol. 13, 1 & 2, PP. 41- 72.
- (14) Selfridge, O. (1959), Pandemonium a paradigm for learning, Symposium on mechanization of thought process, National physical Laboratory, Teddington, England.
- (15) Szolovits, P., Pauker, S.G. (1978), Categorical and probabilistic reasoning in medical diagnosis, Artificial Intelligence, 11, pp. 115- 144
- (16) Reiter, R. (1978), On reasoning by default, Theoretical issues in Natural Language Processing-2, University of Illinois.
- (17) Roussel, P. (1975), PROLOG, manuel de référence et d'utilisation, Groupe d'intelligence artificielle, Marseille.

- (18) Hewitt, C., (1972), Description and theoretical analysis (using schemata) of PLANNER: A Language for proving theorems and manipulating models in a robot, AI memo 271, MIT.
- (19) Rosch, E. (1975), Cognitive representation of semantic categories, Journal of experimental psychology, 1975, 104, pp. 192- 233.
- (20) Bobrow, E., Stefik, M. (1983), the LOOPS manual, Xerox PARC. Palo Alto.

## برامج لعب الشطرنج وحل المسائل

### برامج لعب الشطرنج

ينظر كثير من الناس إلى كتابة برامج لعب الشطرنج أو البريدج على أنها نوع من العبث، ولكن هذه النظرة غالبا ما تعكس عدم القدرة على إدراك الأهمية البالغة للتحليل، وبحث طرق التمثيل المختلفة لكل وجه من وجوه التفكير الإنساني، فقد أدت الأبحاث في برامج لعب الشطرنج، في الواقع، إلى اكتشاف خوارزم للبرمجة ذات كفاءة عالية في البحث في بنية الشجرات التي تستخدم حاليا لتمثيل تتابع حركات قطع الشطرنج الممكنة في اللعبة (انظر شكل 14-2). كما أن الإنسان يستخدم في لعبة مثل الشطرنج نفس العمليات الإدراكية التي يستخدمها في النواحي الأخرى التي تعتبر أكثر جدية، كما أنه يستخدم نفس الاستراتيجيات التي يستخدمها في المواقف التي يواجه فيها خصما والتي يطمح في أن يرى النجاح لخطئه والفشل لخصومه.

وقد كان بناء برامج لعب الشطرنج من أولى اهتمامات الباحثين في الذكاء الاصطناعي، وتعود

أولى الأفكار في هذا المجال للباحث كلود شانون Claude Shannon<sup>(1)</sup> في عام 1949 عندما لم يكن اسم «الذكاء الاصطناعي» قد عرف بعد. وقد اقترح شانون نظاما لتمثيل الأربع والستون مربعا على اللوح، ومجموعة من القيم لقطع الشطرنج المختلفة (الوزير = 9، الطاوية = 5، الفيل = 3، الحصان = 3، العسكري = 1)، لاستخدامها في تقويم أي وضع من أوضاع اللعبة، بالأخذ في الاعتبار قدرة القطعة على الحركة (عدد التحركات القانونية الممكنة)، وتنظيم العساكر (إعطاء قيمة سالبة للعساكر المعزولة أو المزدوجة في نفس الرتبة). وكان اقتراحه لمعالجة المشكلة يتلخص في النظر في كل وضع من أوضاع اللعبة في جميع الحركات الممكنة للاعب الذي عليه الدور، ثم النظر في جميع الردود الممكنة لخصمه، وكف الحركات التي يمكن أن تكون ردا لها.. وهكذا، على أن يقوم جزء من البرنامج بوضع قيمة لكل وضع ممكن من أوضاع اللعبة، ثم اختيار الحركة التي تؤدي إلى أفضل وضع للاعب في مرحلة تالية للتركيب الشجري الذي كونه البرنامج.

وقد قدم خلفاء شانون معايير جديدة من أجل تطوير برنامج تقييم أوضاع لعبة الشطرنج. فقد اقترح ريتشارد جرينبلات، Richard Greenblatt<sup>(2)</sup> من معهد ماسوتشوستس للتقنية استخدام بارامتر لتشجيع اللاعب الحاصل على أكبر عدد من النقاط على استبدال القطع، وآخر لقياس الأمن النسبي لكل من ملكي الشطرنج. وقد أدخلت معايير أخرى منذ ذلك الحين، مثل السيطرة على مركز اللعب والتحكم في إمكانيات الهجوم، إلا أن أهمية هذه المعايير قد تختلف من وقت لآخر أثناء اللعب، فتقل مثلا أهمية الأمن الأنسب للملكين كلما استبعدت القطع الرئيسة من اللعب.

وعندما اقترح لأول مرة بناء برامج للعب الشطرنج، اعتبر ذلك تحديا عظيما<sup>(3)</sup>، ومازال يعتبر حتى اليوم مشكلة أمام الذكاء الاصطناعي، مع أن البرامج المتوافرة تجاريا الآن (1984) لا تتفق مع طرق الاستدلال الإنسانية إلا في أقل القليل. فإن الانفجار التوافقي combinatorial explosion يبلغ هنا درجة من الاتساع يستحيل معها إجراء بحث مستفيض لكل الأوضاع في اللعبة التي يمكن التوصل إليها، ولهذا تتحدد المشكلة في التوصل إلى حل مقبول، أي أفضل الحلول الممكنة في حدود الوقت المتاح، بالرغم من عدم استكمال عملية البحث. وتوضح استحالة إجراء البحث المستفيض من حقيقة

## برامج لعب الشطرنج وحل المسائل

أنه إذا كان متوسط الحركات في دور الشطرنج تبلغ ثمانين حركة، فإن العدد الكلي للأوضاع المختلفة للعبة يبلغ 10 أس 120 .

وفي حالة برمجة منهج شانون بالطريقة التقليدية، يصير اختيار الخطوة التالية في اللعبة بتقويم شجرة الحركات الممكنة، من أعلى لأسفل حتى عمق محدد، ويفترض البرنامج أنه على مستوى كل عقدة سيختار اللاعب الذي عليه الدور الفرع «الأفضل» بالنسبة له. وعادة ما يتحدد «الأفضل» هنا بواسطة قيمة وظيفة محددة. فإذا كان لأبيض هو الذي يلعب، وكان البرنامج جدد أن القيمة العالية للوظيفة تعني تفوق الأبيض، فعلى البرنامج أن يختار الأفرع التي تزيد القيمة في العقد الفردية (اللعبة للأبيض)، وتقللها في العقد الزوجية (اللعبة للأسود)، ويسمى هذا خوارزمية الأدنى-الأعلى minimax algorithm<sup>(4)</sup>.

ويظهر تمثيل لوحة الشطرنج المستخدم هنا في شكل 14-1. وكمثال بسيط

8	R	Kt	B	Q	K	B	Kt	R	B
7	P	P	P	P	P	P	P	P	
6									
5									
4									
3									
2	P	P	P	P	P	P	P	P	
1	R	Kt	B	Q	K	B	Kt	R	W
	a	b	c	d	e	f	g	h	

أبيض	W: Wight	B: Black	أسود
طابية	R: Rook	Kt: Knight	حصان
ملك	K: King	Q: Queen	وزير
فيل	B: Bishop	P: Pawn	عسكري

شكل 14-1 أسماء قطع الشطرنج وعلامات اللوحة



جدا، طرحه فراي Frey<sup>(5)</sup>، انظر إلى حركات بدء اللعبة الموضحة في شكل 14-2، والتي يبدأ اللعب فيها الأبيض كما هو متبع. يقوم البرنامج بتقويم القليل من الحركات الممكنة، كحركات الوزير والطايب، ويقوم بتقويم الشجرة حتى عمق 4، أي حركتان للأبيض واثنان للأسود. وتوضع علامة على العقد في شكل مربع أو دائرة لتوضيح ما إذا كان الدور للأبيض أو للأسود بهذا الترتيب، كما ترقم بحسب ترتيب اختبارهم. والاستراتيجية المستخدمة هي «العمق أولا»، بمعنى أن الفروع التي تختار تتيح استنفاد أقصى عمق ممكن قبل اختيار فرع آخر على نفس المستوى.

ويفحص البرنامج حركات القطع على النحو التالي:

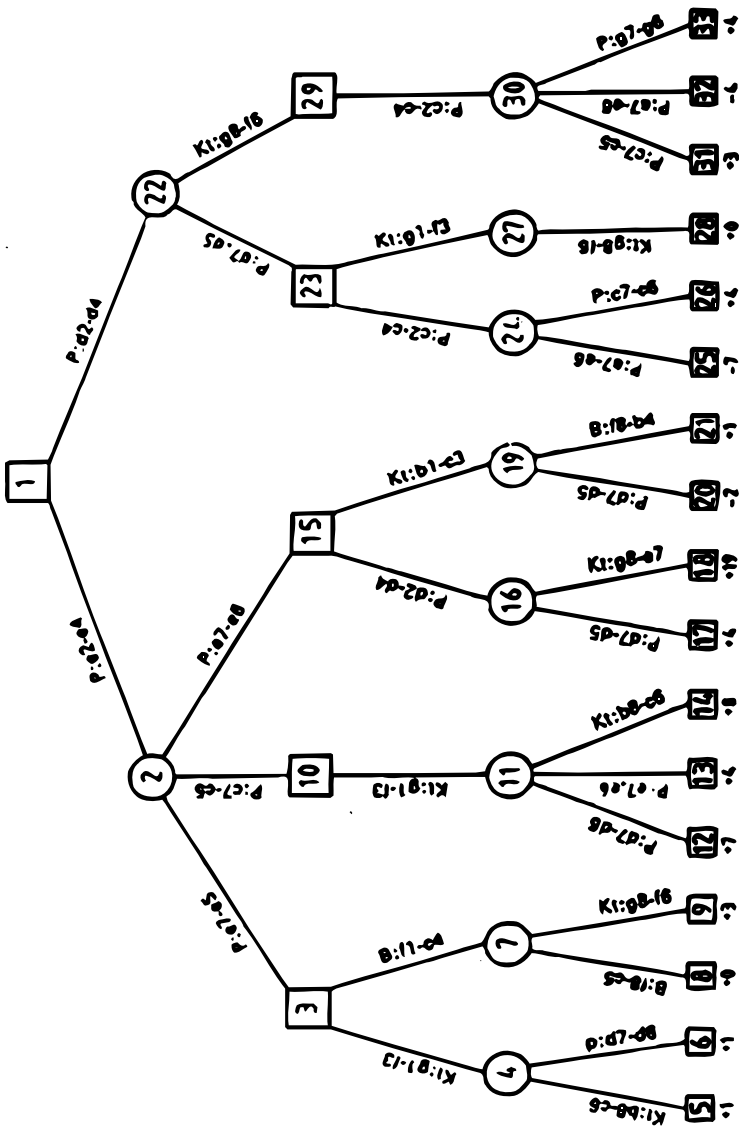
1- عسكري e4-e2 عسكري e5-e7

2- حصان f3-g1 عسكري d6-d6

ويحسب البرنامج القيمة النهائية في وضع 5، ويخزن النتيجة +1، ثم يستمر مؤديا إلى قيمة +1 في وضع<sup>(6)</sup>، وهكذا حتى يصل إلى نهاية الأطراف السبعة عشر في الشكل الجاري تقويمه. وبعد أن يقوم البرنامج بتقويم عقدة ما، تعطى هذه القيمة للعقدة التي تعلوها مباشرة، وتظل هناك حتى تستبدل بقيمة أفضل (أي أعلى)، آتية من عقدة أخرى منحدره عنها. ويستمر البرنامج هكذا حتى ينتهي من تقويم جميع العقد (6)، ويصل إلى العمق المحدد سلفا، وإلى الحركة التي ترفع قيمة الوظيفة لأعلى حد ممكن. وتستخدم أفضل البرامج وظائف تقويم معقدة، ولكن لننظر على سبيل المثال- إلى الشكل البسيط التالي. عند وضع معين من أوضاع اللعبة، دع قب (قانوني أبيض)، قس (قانوني أسود) يرمزان لعدد الحركات القانونية للأبيض والأسود في اللعبة، ودع صب، ومس يرمزان لأقل عدد ممكن من الحركات اللازمة لكن الملك، ودع مب، ومس يرمزان لعدد المربعات المركزية التي هو جمعت، إذن تكون الوظيفة كالآتي:

$$و = (قب-قس) + 3 (صب-مس) + 3 (مب-مس)$$

والتي تعني أن ميزة الأبيض (تقاس بالقيمة الكبرى ل «و») تكون أكبر، كلما كان عدد الحركات القانونية المتاحة له أكبر، وكلما كان عدد المربعات المركزية التي يستطيع مهاجمتها أكبر، وكلما كان أقرب إلى إعطاء كش. ويبين شكل 14-3 كل القيم الوسطى للشجرة الموضحة في شغل 14-2 المؤدية



شكل 2-14 شجرة فرعية لحركتين مختلفتين يمكن أن يفتح الأبيض بأحدها اللعب-فراي<sup>(5)</sup>

للقيم النهائية الموضحة. كما يوضح شكل 14-4 أن العقدة 2 تتناسب مع القيمة القصوى +1، وعلى هذا يجب على الأبيض أن يلعب e2-e4. p.

وبلاحظ القارئ اليقظ ما يلي:

أ- لا يقوم اللاعب البشري إطلاقاً بهذه الحسبة إثاء لعب الشطرنج: فإنها معقدة للغاية. وحتى هذه الحسبة ما هي إلا تبسيط هائل لما يجري بالبرامج المتاحة بالسوق الآن، فهي لا تقوم عشرات قليلة من أوضاع اللعبة، بل تقوم آلاف عديدة.

ب- ليس هناك ضمان أن تكون الوظيفة المختارة هي «الأفضل». فلا بد من أن تكون هناك اعتبارات يأخذها اللاعبون الكبار في الحسبان، ولكن يصعب جداً حسابها، وبالتالي إدخالها في وظيفة التقويم.

وقد كان جاك بيترات Jacques Pitrat<sup>(7)</sup> من جامعة باريس أول من عالج

Terminal position	Legal Moves		Moves to check		Center squares attacked	
	White	Black	White	Black	White	Black
5	27	29	2	3	3	3
6	27	32	2	3	3	2
8	33	33	2	2	2	2
9	33	27	2	2	2	2
12	27	29	2	4	3	2
13	27	29	2	3	3	2
14	27	25	2	4	3	3
17	38	34	3	3	3	3
18	38	22	3	3	3	2
20	33	35	3	3	3	3
21	31	33	3	2	3	1
25	30	34	4	3	3	3
26	30	29	4	4	3	2
28	29	29	3	3	4	4
31	30	24	4	3	3	3
32	30	28	4	2	3	3
33	30	23	4	2	3	2

شكل 14 - 3 حساب أولى لوظيفة التقويم - وفقاً لفيري (5)

المشكلة الموضحة في (أ) أعلاه، ثم تبعه ويلكنز Wilkins<sup>(8)</sup>، حيث قدما فكرة الاستراتيجيات العليا high-level strategies كوسيلة لتمحيص الشجرة.

## برامج لعب الشطرنج وحل المسائل

Node	Value from Minus	Node	Value from Minus	Node	Value from Minus	Node	Value from Minus
4	+1	13	+1				
7	0			2	+1		
11	+4	10	+4				
16	+4	15	+4			1	+1
19	-2						
24	-7	23	0				
27	0			22	-4		
30	-4	29	-4				

شكل 14 - 4 تقوم يصل إلى جذر شجرة شكل 14 - 2 فري (5)

وقد جعل هذا إهمال كافة الفروع-عدا «المبشرة» منها فقط-ممكنا، حيث يعرف «المبشرة» في ضوء الهدف المطلوب تحقيقه. وقد يكون الهدف هو «خذ هذه القطعة أو تلك من الفريق المضاد» أو «كش الملك للفريق الآخر»، ويضع البرنامج أهدافا فرعية، يؤدي تحقيقها إلى إنجاز الهدف الرئيسي. ويستطيع البرنامج الذي يستخدم مثل هذه الاستراتيجية التطلع لعشرين حركة أو أكثر للأمام-الأمر الذي يستحيل تحقيقه في ظل منهجية البحث المستفيض-لأنه لا يحتاج إلا لاختبار الحركات التي تؤدي لتحقيق أحد الأهداف الفرعية.

وتحدد طبيعة الهدف الرئيسي المطلوب تحقيقه شكل الاستراتيجية التي يتبناها البرنامج. فإذا اختار البرنامج حماية الملك كهدف رئيسي، فسيجد عدة طرق لتحجيم الأخطار التي تهدده قد يكون أحدها مهاجمة الوزير المضاد، ويصبح هذا هدفا فرعيا رقم (1) ولتحقيق ذلك قد يجد البرنامج أنه لا بد أن يحرك الفيل أو الحصان ؟ فإذا اختار تحريك الفيل، فيصبح ذلك هدفا فرعيا رقم (2). وقد يظهر عندئذ أن مثل هذه الحركة قد تترك أحد العسكر دون حماية، ولهذا فلا بد من تقديم عسكري آخر لحماية الأول الذي كان محميا بالفيل قبل تحريك الفيل، ويصبح هذا هدفا

فرعيا رقم (3)، وهكذا.

وتكون الأشجار في ظل هذه المنهجية أكثر محدودية much narrower من أشجار البحث المستفيض، إلا أنها أكثر عمقا، كما ينخفض عدد الأوضاع التي يجري بحثها من عدة آلاف إلى معان قليلة، أو حتى عدة عشرات، وهكذا يبدأ البرنامج في العمل بطريقة اللاعب الإنساني. وتربط الاستراتيجية عددا من الحركات المتتالية في ظل هذه المنهجية، بخلاف البحث «الأعمى» الذي لا يوجد فيه ما يمكن أن يربط بين حركتين متتابعين، لأنه يجري إعادة تقويم الشجرة بأكملها نتيجة لتغير الشروط. وبهذا يكون أي تشابه بين هذه الطريقة والسلوك الإستراتيجي نتيجة الصدفة البحتة. وقد ظهرت الحاجة لوظيفة التقويم-في غيبة شيء أفضل-لأنه لا بد من تزويد الحاسب بما يحل محل نظرة اللاعب الإنساني التي تستوعب الموقف على لوحة الشطرنج بأكمله في ثوان معدودة. وقد لا يكون اعتماد البرنامج على مثل هذه الوظائف هو المبدأ الأفضل، ومن المحتمل جدا أن يكون تقليل الاعتماد على هذه الوظائف في المستقبل لصالح الطرق التجريبية التي نستخلصها من اللاعبين المهرة ذا فائدة عظيمة في المستقبل. وعلاوة على ذلك، إذا استطعنا بناء برامج تضاهي مهارتها في اللعب مهارة كبار اللاعبين، تمكنا من فهم الاستراتيجيات التي يستخدمها كبار اللاعبين.

ونود أن نضيف أن النجاح في بناء برامج تلعب الشطرنج ببراعة تتعدى أهميته لعبة الشطرنج إلى الذكاء الاصطناعي بوجه عام: فهو يؤدي إلى فهم أفضل لمفهوم «الخطة»، ويؤثر أيضا في فهم اللغات الطبيعية. فكثيرا ما يحدث أننا لا نستطيع فهم مغزى حدث ما بدون معرفتنا بدوافع المشاركين فيه، التي تفسر تصرفاتهم في ضوء مخططاتهم.

وأخيرا، فمن الطريف أن نذكر أن برنامج لعب الطاولة الذي كتبه هانز بيرلنر Hans Berliner<sup>(9)</sup> قد هزم بطل العالم في اللعبة. وقد اعترف بيرلنر نفسه أن برنامجه قد حالفه الحظ، لأن كل دور اعتمد على رمية الزهر، وقد أظهرت دراسة جادة بعد انتهاء اللعبة أن 8 من بين 73 حركة لم تكن مثلى. وكان هذا في الواقع حدث فريد في تاريخ الذكاء الاصطناعي، ويمكن تعميم بعض المناهج المستخدمة في تقويم أوضاع اللعب إلى مسائل أخرى.

## حل المشاكل

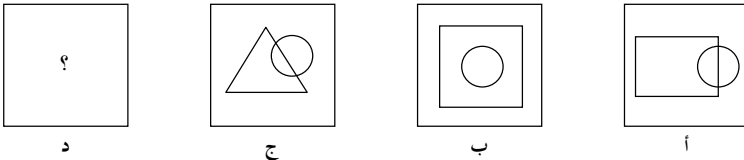
يعتبر حل المشاكل من أكثر الأنشطة الذهنية استخداما، ويتراوح بين مسائل مثل «كيف أمط إلى بيتي من برنجهام؟» إلى اختبارات الذكاء، أو مشكلة آكلي البشر والإرساليات التبشيرية التي سنتحدث عنها فيما بعد في هذا الفصل.

### ١ - التناظر الهندسي

من الأنماط المعتادة في اختبارات الذكاء إعطاء مسائل تحتوي على رسومات مختلفة، ثم السؤال عن القاعدة التي تحول رسم أ إلى رسم 2، ثم عن الشكل التالي منطقيا لشكل 3. ونعرض المثال التالي لايغانز<sup>(١٠)</sup> ويوندي<sup>(١١)</sup> Evans and Bundy.

وتتلخص الطريقة في أن تجد أولا وصفا لفظيا لكل رسم، وتستنق قاعدة تربط كل رسم بالرسم الذي يليه، وعادة لن تجد القاعدة في المحاولة الأولى، لأنه يتعين في أغلب الأحيان اختبار عدة احتمالات، مع التوصل إلى القاعدة التي تنطبق أيضا على التحويل الثاني.

عندئذ يجب التوصل إلى تمثيل رمزي للوصف اللفظي للرسم، والذي يمكن على أساسه التعبير عن كافة علاقات الشبه والاختلاف بين الرسوم المختلفة. ونحن نقوم بهذه العملية بأنفسنا دون وعي منا، ولكن كان لابد من جعلها واضحة محددة حتى يمكن للحاسب أن يستخدمها، ذلك كالاتصال من جملة بلغة طبيعية إلى التمثيل الداخلي لها المكون من مجموعة من



شكل 14-5 ماذا يكون د ؟

العلاقات بين الأسماء والأفعال.. وهكذا. يمكن أن يكون الوصف اللفظي للمسألة في شكل 14 - 5 كالآتي مثلا:  
أ: مربع بدائرة على محيطه.

- ب: مربع بدائرة في داخله .  
 ج: مثلث بدائرة على محيطه .  
 والقاعدة التي تغير شكل أ إلى شكل ب هي:  
 غير «على محيطه» إلى «في داخله»  
 والتي عندما تطبق على ج تعطي:  
 د: مثلث بدائرة في داخله .  
 ويمكن بناء الوصف الرمزي لهذه الأشكال بتعريف المحمولين «على-محيط، في»، وتكون حدودهما الأشياء في الشكل، مما يعطينا:  
 أ: (على-محيط دائرة مربع)  
 ب: (في دائرة مربع)  
 ج: (على-محيط دائرة مثلث)  
 وتكون القاعدة إذن: أ — ب غير على-محيط إلى في  
 والتي إذا طبقناها على شكل ج، تكون النتيجة:  
 د: (في دائرة مثلث)  
 ولا شك أن قدرة التعرف على التشابهات والاختلافات بين المواقف المختلفة سمة رئيسة ونموذجية لعمليات التعليم التي سوف نناقشها في الفصل التاسع عشر؟ وهي أيضا أساسية لعملية الاستدلال المنطقي بشكل عام.

## 2- مشكلة «المبشرون وأكلوا لحوم البشر»

تواجد ثلاثة مبشرين مع ثلاثة من آكلي لحوم البشر سويا بالضفة الشرقية (ش) لأحد الأنهار، ويودون جميعا عبور النهر للضفة الغربية (غ) ؟ ولديهم قارب لا يتسع إلا لراكبين فقط كل مرة. وإذا زاد في أي مرحلة، وفي أي ضفة من النهر، عدد آكلي لحوم البشر عن عدد المبشرين، فإن شهية آكلي لحوم البشر للحم الأدمي تنفتح، وتكون العواقب وخيمة للمبشرين، الذين يحاولون تجنب حدوث ذلك بأي ثمن. ويعتبر القارب جزءا من الضفة التي يكون فيها. والمشكلة هي نقل كل فرد عبر النهر، مع الحفاظ على سلامة المبشرين. وقد علق دانيال كايزر (16) على ذلك قائلا لي إنه لا يستطيع أن يرى لماذا لا يستطيع اثنان من آكلي لحوم البشر الإجهاز على

ثلاثة من المبشرين: ولكي يبدي برنامجا مثل هذه الملاحظة، لابد أن يكون ذكيا جدا.

ومشكلة الذكاء الاصطناعي هنا هي كتابة برنامج يستطيع أن يجد بنفسه الخطوات الواجب اتخاذها-من يركب القارب ذهابا وإيابا-لتحقيق الهدف المنشود؟ ولتحقيق ذلك، يجب أن نعطي الحاسب وصفا صوريا للحالة الأولية (الحالة التي يكون فيها المبشرون وأكلة لحوم البشر في الضفة التي يرغبون الانتقال منها-المترجم)، ووصفا آخر للحالة النهائية (عند انتقالهم جميعا سالمين إلى الضفة الأخرى من النهر-المترجم)، ومعاملات تغيير الحالة. ولابد أن يتأكد البرنامج أنه في جميع الأوقات تتوافر الشروط التالية:

يزيد عدد المبشرين (م) عن عدد أكلي لحوم البشر (آ)، في كل ضفة من النهر أو في القارب أثناء إبحاره، إلا إذا كان (م) = صفر في أي موقع من المواقع.

ويجب أن نلاحظ هنا أننا في حديثنا عن بناء الوصف الصوري للمواقف المختلفة، تجاهلنا العملية الدقيقة للانتقال بالجمال من صورتها الطبيعية إلى تمثيل رمزي باستخدام المعاملات والحالات: وهذه العملية أصعب جزء في البرنامج وتتطلب فهما عميقا جدا للغة. فمثلا حقيقة أن «وجود المبشرين يفتح شهية أكلي لحوم البشر للحم الآدمي...»، ينطوي بدهاء على أن عدد (م) يجب أن يزيد عن عدد (آ).. الخ، يمثل استتباطا لا يسهل على برنامج أن يتوصل إليه. وتبلغ هذه المشكلة بالذات درجة من السهولة تجعل القيام ببحث أعمى ممكنا، أي يمكن للبرنامج أن يطبق جميع المعاملات، مع مراعاة قيد واحد، وهو أنه لا يجب السماح بحالة يزيد فيها عدد أكلي لحوم البشر عن عدد المبشرين.

ويكون التعريف الصوري للمشكلة كما يلي:

الحالة الأولية: ش = (م م م آ آ آ) (كل فرد في الضفة الشرقية)

غ = صفر

الحالة النهائية: ش = صفر

غ-(م م م آ آ آ) (كل فرد في الضفة الغربية)

وهناك أيضا مجموعة من المعاملات مع = (مع 1، مع 2، مع 3، مع 4، مع



(5) وتعريفاتهم. وهذه المعاملات لا تطبق إلا تحت ظروف محددة، وينتج عن تطبيقها تغيير في الحالة، فمثلا يمكن تعريف مع 1 على النحو التالي:

نقطة البداية: ش أو غ

نقطة النهاية: ش أو غ

الشروط:

1- نقطة البداية  $\neq$  نقطة النهاية

2- (مبشر واحد على الأقل وأكل لحوم بشر واحد في المكان الأصلي)

$$N(C, ORIGIN) 1, n(M, ORIGIN) > 1$$

النتيجة:

نقطة البداية  $====$  نقطة البداية-(م آ) وصف لحالة جديدة

نقطة النهاية  $====$  نقطة النهاية + (م آ)

ويمكن الرجوع إلى البرنامج الكامل لهذا المثال في بوندي Bundy<sup>(11)</sup>. وما يعيب طريقة حل المسألة التي عرضناها أعلاه هو أن الحل خاص جدا لهذه المسألة بالذات، ولا يمكن تعميم استخدامه لحل مسائل أخرى، وقد أدت هذه الاعتبارات لباحثين آخرين مثل JeanLouiv Lauriere أن يحاولوا تطوير طرق أكثر قابلية للتعميم مثل ALICE<sup>(12)</sup>. ويعتبر (الحلال العام للمسائل) General Problem Solver (GPS) الذي بناه نيويل وسيمون، وشو Newell, Simon and Shaw<sup>(13)</sup> أفضل برنامج في هذا المجال.

### 3- برنامج حلال المشاكل العام The GPS Program

يجب تحديد الحالات الأولية والنهائية (البيانات والأهداف)-كما هو الحال في برامج حل المسائل-كما يجب أيضا تحديد معاملات تغيير الحالات، لكن-في البرنامج العام-يمكن أن تتخذ المعاملات شكلا أكثر عمومية، لأن هدفها الوحيد هو تقليل الفرق بين الحالة الراهنة والهدف، وذلك باتباع منهجية الوسيلة التي تحقق الهدف، والتي يمكن تطبيقها على مسائل تختلف اختلافا بينا.

فإذا كنت أريد حل مشكلة الذهاب من منزلي-لنقل أنه في لندن-إلى أدنبره، فإنني أبحث عن معامل يمكن أن يخفض الفرق بين حالة «المنزل» وحالة «في أدنبره». وهذا الفرق هو اختلاف في الموقع، ويمكن تقليلة

## برامج لعب الشطرنج وحل المسائل

باستخدام الطائرة أو القطار؟ ولكن لا تقلع الطائرة ولا القطار من المنزل، وإنما من المطار أو عطه السكك الحديدية، وهكذا أصبح لدي هدف فرعي «الوصول إلى المطار (أو محطة السكك الحديدية)، والذي يتعين علي الآن أن أخطط لتحقيقه.. وهكذا. ومن إحدى السمات الهامة المميزة للبرامج العامة، أن المعامل الذي اختير لتقليل الفرق بين الحالة الأولية والنهائية قد لا يكون قابلا للتطبيق في الموقف المطروح في ذلك الوقت، مثل الطائرة أو القطار، وبدلا من أن يقوم GPS برفض هذا المعامل، فإنه يحاول أن يغير الموقف ليصبح مناسباً لهذا المعامل. ونلخص فيما يلي أنواع الأهداف التي يستطيع GPS التعامل معها:

1- تحويل كيان-ا إلى كيان-ب

2- تقليل الفروق بين أ و ب بتعديل أ

3- تطبيق معامل ما على أ

وتستطيع أكثر نسخ GPS عمومية أن تحل أحد عشر نوعاً مختلفاً من المسائل، بما في ذلك الألغاز ومسائل تتعلق بمجالات خاصة مثل الشطرنج والتكامل الرمزي. إلا أن أدائه في المجال الأخير أقل كثيراً من البرامج المتخصصة مثل-MAC SYMA<sup>(14)</sup> أو SAINT<sup>(15)</sup>. ولكن لم يقصد أبداً أن يكون GPS كفوّاً، ويجب اعتباره، كما ذكر مؤلفو البرنامج «سلسلة من الدراسات التي تهدف إلى تقديم فهم أفضل لطبيعة عملية حل المسائل والآلية المستخدمة في التوصل إلى حلول لها».

## 4- برنامج أليس The ALICE Program

يستطيع برنامج أليس-الذي أعد بواسطة حين لوي لوريير-Jean-Louis Lau riere<sup>(12)</sup> من جامعة باريس-أن يحل المسائل الرياضية والمنطقية المكتوبة بلغة تستخدم مفردات نظرية المجموعات والمنطق التقليدي.

وتحدد المسألة في أربعة أجزاء:

1- التعريف، مسبقاً بكلمة «دع» LET، ويعرف هذه العناصر التي تتكون منها المشكلة ويحدد أنواعها.

2- الهدف، مسبقاً بكلمة «أوجد» FIND، و يحدد القيم التي يجب أن توجد.

3- القيود، مسبوقا بكلمة «مع» WITH، ويحدد العلاقات بين المتغيرات في المسألة.

4- البيانات، التي يمكن أن تكون عددية أو رمزية.

وهناك ثلاث مراحل رئيسية في عملية الحل:

أ- مد القيود، باستبدال القيم التي اختيرت لمتغيرات معينة. وهنا يظهر برنامج «أليس» مهارته باستخدام القيود فهو لا يستخدمها وفق ترتيب ثابت مسبق، بل طبقا لمعايير خاصة مثل استخدام القيود القصيرة قبل الطويلة منها.

ب- توليد الفروض ؟ تتم الاختيارات بأكبر قدر ممكن من الذكاء، بانتقاء القيم الأكثر احتمالا.

ج- التوصل إلى الحل مع إظهار أنه الحل الأمثل.

ويتميز برنامج «أليس» بقدرته على حل مسائل الهاليز الرياضية بوجه خاص، فمثلا:

$$\begin{array}{r} \text{GERALD} \\ + \text{DONALD} \\ \hline = \text{ROBERT} \end{array}$$

حيث يمثل كل من الحروف GERALDONBT رقما تحت العشرة؛ صفر ، 1 ، 2 ، 9000، وكلها مختلف والمجموع صحيح، والأرقام الأولية GDR كلها ليست صفرية

وإذا كانت a,b,c,d,e هي الأرقام المرحلة من اليسار إلى اليمين في عملية الجمع، فإن برنامج «أليس» يقوم بتوليد العلاقات التالية والتي تشكل القيود في هذه المشكلة:

$$2D = T + 10e \quad (1)$$

$$e + 2L = R + 10d \quad (2)$$

$$d + 2A = E + 10c \quad (3)$$

$$C + R N = B + 10b \quad (4)$$

$$b + E + O = O + 10a \quad (5)$$

$$a + G + D = R \quad (6)$$

وتكون الاستنتاجات الأولى التي يتوصل إليها البرنامج؛

## برامج لعب الشطرنج وحل المسائل

T رقم زوجي، توصل إليها بواسطة<sup>(1)</sup>

أما  $(a=0 \ \& \ b=0 \ \& \ E=0)$

أو  $(a=1 \ \& \ b=1 \ \& \ E=9)$ ، بواسطة<sup>(5)</sup>

$R=e \pmod{2}$ ، بواسطة<sup>(2)</sup>

$E=D \pmod{2}$ ، بواسطة<sup>(3)</sup>

ويقوم برنامج «أليس» باختيار تجريبي وهو  $E=0$  (متضمنا أن قيمة كل من، a، b، صفر)، حيث يغير تلك القيود الأصلية إلى أشكال أقوى:

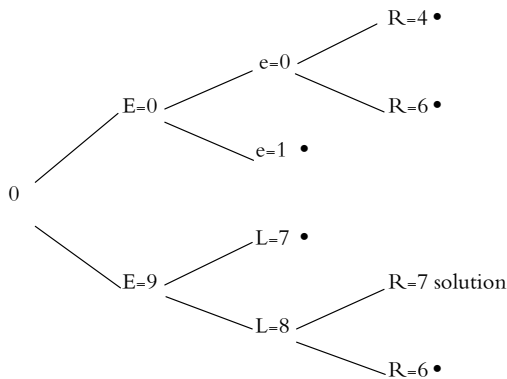
$$d + 2A = 10c \quad (3')$$

$$C+R+N=B \quad (4')$$

$$G+D=R \quad (6')$$

وينتج عن (ص3) أن d لا بد أن تكون زوجية نظرا لأنها رقم مرحل فإن d = صفر. وتستمر العملية بهذه الطريقة، ويوجد الحل باستحداث شجرة ذات ست عقد فقط، كما هو موضح في شكل 14-6. ويؤدي فرعا الشجرة  $R=4$  و  $R=6$  إلى وضع مستحيل عندما يستبدلا في المعادلات الأخرى ولهذا لا تقبل إلا  $R=7$  ويصبح حل المسألة كالتالي:

G	E	R	A	L	D	O	N	B	T
1	9	7	4	8	5	2	6	3	0



شكل 14 - 6 شجرة بحث Gerald + Donald = Robert

ويمكن الرجوع إلى البرنامج الكامل في كتاب لوريير<sup>(12)</sup>

### خاتمة:

لقد أثرت دراسة حل المسائل بوجه عام تأثير هاماً على تطور آلات الاستنتاج inference engines والمستخدم في الأنظمة الخبيرة، وهو موضوع القسم الرابع من هذا الكتاب. ومن المحتمل أن يحقق إدخال الاستراتيجيات العليا، مثل فكرة الخطة في برامج الشطرنج، فوائد في المستقبل.

## المراجع والحواشي

- (1) Shannon, C. F. (1950), Programming a computer to play chess, Scientific American, February 1950.
- (2) Greenblatt, R. D. et al. (1967), The Greenblatt chess program. Proc. AFIPS Fall Joint Computer Conference, 1967, 31, pp. 801- 8 10.
- (3) Even the possibility (of creating a good chess-playing program) was questioned by Dreyfus in his book What computers cant do: A critique of Artificial Reason. New York, Harper & Row, 1972. The challenge now is to produce a program that will play at Grandmaster level, or even world champion.
- (4) Von Neuman, J., Morgenstern, O. (1944), Theory of games and economic behavior, Princeton N.J., Princeton University Press.
- (5) Fray, P. W. (ed.) (1977), Chess skill in man and machine, New York, Springer-Verlag.
- (6) There are in fact tree-pruning methods that do not require all the nodes to be evaluated. The reader interested in these optimization procedures should consult, for example, Barr, A. & Feigenbaum E. (eds.) (1981), The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. 1, 46- 108, Los Altos, California, Kaufman.
- (7) Pitrat, J. (1977), A chess combination program which uses plans, Journal of Artificial Intelligence, Vol. 8, No. 3, June 1977.
- (8) Wilkins, D. (1979) Using plans in chess, IJCAI-79 pp. 960- 967, Tokyo, August 1979.
- (9) Berliner H. (1980), Computer Backgammon, Scientific American, pp. 54- 69, June 1980.
- (10) Evans, I. G., (1963), A heuristic program to solve geometric analogy problems, in Semantic Information Processing, M. Minsky (ed.), Cambridge, Mass., MIT Press.
- (11) Bundy, A., Burstall, R. M., Weir, S., Young, R. M., (1980), Artificial Intelligence: Introductory course, Edinburgh, Edinburgh University Press.
- (12) Lauriere, J. L. (1978), A language and a program for stating and solving combinatorial problems, Artificial intelligence, 10, 1, pp. 29- 127.
- (13) Ernst, G. Newell, A. (1969), GPS: A case study in generality and problem solving, New York, Academic Press.
- (14) Moses, J. (1967), Symbolic integration, Technical report MAC TR-47 MIT.
- (15) Slagle J. R. (1963), A heuristic program that solves symbolic integration problems in freshman calculus, Feigenbaum and Feldman (eds.), New York, McGraw-Hill.
- (16) Kaysar, D. (1984), Personal letter.

## القسم الرابع الأنظمة الخيرة

## خصائص الأنظمة الخبيرة

### مقدمة

توافق ازدياد اهتمام علماء الذكاء الاصطناعي بالأنظمة الخبيرة مع تدني حماسهم للمناهج العامة لتمثيل العمليات الاستدلالية. فقد ثبت في الواقع عدم فعالية المناهج والطرق، التي كان يقصد بها أن تكون عامة وكلية، عند تطبيقها في مجالات محددة<sup>(1)</sup>، مما يوضح العلاقة التبادلية المألوفة بين الفعالية والعمومية. ففي أوائل الستينيات بدأ إدوارد فيجينباوم Edward Feigenbaum في الاهتمام بطرق الاستدلال الاستقرائية والتجريبية. والتي كانت عادة ما تستخدم في المسائل التي تتطلب وضع افتراضات تفسر تفسيراً جيداً مجموعة من الظواهر التي تم رصدها. وقد أدت الرغبة في احتذاء هذا النوع من السلوك العلمي إلى إرساء دعائم مشروع مشترك<sup>(2)</sup> بين علماء المعلوماتية من ناحية، وخبراء من مجالات معينة كان من بينهم جوشوا ليديربرج Joshua Lederberg الكيميائي وعالم الوراثة. وقد اختير تفسير بيانات أجهزة مطياف الكتلة ليكون مجال التجربة، في مطياف الكتلة تقذف عينة صغيرة من المادة المطلوب معرفة تركيبها الكيميائي بواسطة إلكترونات ذات طاقة عالية، مما



ينتج عنه تكسر جزيئاتها إلى أجزاء عديدة، وتنتقل الذرات بين هذه الأجزاء، ويمكن التوصل إلى بنية الجزيئات الأصلية من فحص هذه الأجزاء. ونعرض في الفصل السابع عشر برنامج ديندراL DENDRAL<sup>(3)</sup> الذي كتب لمعالجة هذه المسألة.

ولسنوات عديدة نظر علماء الذكاء الاصطناعي بقدر كبير من التحفظ إلى هذا العمل الذي يسير في اتجاه مضاد لمبادئ المناهج العامة السائدة في ذلك الوقت والمفضلة لدى علماء الرياضيات. ولكن سرعان ما ساعد هذا العمل على إثارة المشكلة الرئيسية من جديد، وهي مشكلة تمثيل وهيكل المعرفة، وذلك لأن المشاكل المطروقة على بساط البحث لم تعد مشاكل «دمية» يمكن حلها باستخدام عدد ضئيل من المعاملات، ولكنها أصبحت مشاكل الحياة «الحقيقية».

ويمثل بروز وسقوط النظريات العلمية في مجالات البحث العلمي المختلفة خير مثال على التعاقب الذي وصفه توماس كون thomas Kuhn في كتابه «بنية الثورات العلمية» the stmeture of Scientific Revolution<sup>(4)</sup>. فهو يصف تطور العلوم باعتباره عملية دورية تتعاقب فيها «اعتيادية» مع «فترات ثورية». ففي المراحل الاعتيادية يكون فيها شبه إجماع بين علماء المجال حول المسائل المهمة التي يجب دراستها، وأنواع الحلول والتفسيرات المراد التوصل إليها. ولا يكون هناك تساؤلات أو شكوك حول أسس النظرية أو النموذج. ومع مرور الوقت، تظهر بعض المشاكل-من خلال هذه النظرية أو النموذج-التي تتطلب حلا سريعا. ويتم تجاهلها في بادئ الأمر، ولكن تأتي لحظة حرجة يتزايد بعدها عدد الباحثين غير الراضين عن النظرية السائدة أو النموذج الحالي، ويبدعون في وضع الأسس لنظرية جديدة. ويوفر النموذج الجديد فهما أفضل للأسئلة غير المجابة في ظل النظرية السابقة، وقد يصبح تفسير بعض الظواهر أقل عن ذي قبل. وليست النظرية الجديدة مجرد امتداد لسابقتها، ولكنها تكون الأساس لمرحلة اعتيادية جديدة في البحث العلمي، وتكون بالطبع مصدر نزاع بين أنصار النظرية القديمة ومؤيدي النظرية الجديدة.

وعندما أدرك العلماء أن البحث في آليات عمليات الاستدلال في مجالات معينة قد أدى إلى تقدم عظيم، سارعوا بحماس إلى العمل لبناء أدوات

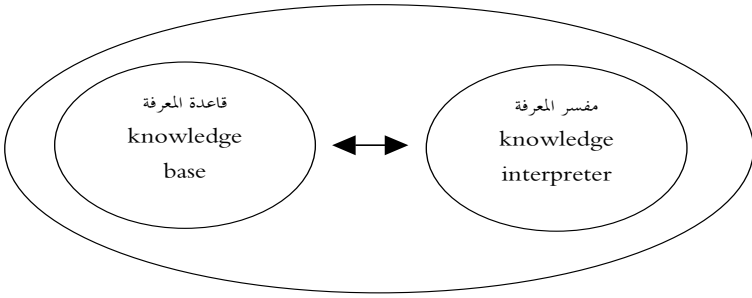
عامة general tools لتمثيل المعرفة في مجالات مختلفة، ولذلك يمكن اعتبار البحث في الأنظمة الخبيرة جزءاً مهماً من «الذكاء الاصطناعي». وكان أول درس تعلمه الباحثون من بناء برنامج مثل DENDRAL الذي اشتمل على قدر هائل من المعلومات الكيميائية المتخصصة، هو أن تكلفة أقل تعديل فيه كانت باهظة جداً. ويرجع ذلك إلى تداخل المعلومات المتخصصة في الآلية التي تستخدمها وتفسرها، ومن هنا انبثق المبدأ الأساسي-بالتدرج-القائل بوجوب فصل قاعدة المعرفة عن الآلية التي تفسرها.

### مبادئ بناء الأنظمة الخبيرة

#### 1- تحديد الميدان

تتطلب عملية بناء الأنظمة الخبيرة، التي هي بطبيعتها عملية متزايدة- incremental، عقد عدة جلسات مع أحد خبراء المجال المحدد. ويقوم الخبير البشري بشرح معرفته في هذا الميدان، والطرق التي يتبعها في حل المسائل. وقد يقدم شرحه هذا بطريقة غير منظمة، لأنها ربما المرة الأولى التي يطلب منه القيام بذلك. ويجب السماح للخبير بإجراء مراجعات عديدة لما يريد أن يضمّنه في البرنامج، بما في ذلك العودة إلى ما سبق ذكره، وإعطاء تفسيرات مطولة لنقاط معينة، وإضافة معلومات جديدة. ويوضح ذلك الحاجة إلى فصل تمثيل المعرفة عن البرنامج الذي يقوم بتطبيقها. وقد يتم الاستعانة بخبراء آخرين في مرحلة تالية، للتعليق على المعلومات التي أعطيت بواسطة الخبير الأول. ولهذا يجب أن توضع هذه المعلومات في شكل بسيط، ليسهل قراءتها ودراستها. وتساعد أشكال التمثيل التي وصفناها في الفصول 9- 13 فهم هذه الأغراض، ومن الضروري أن تتخذ شكل المعرفة المعلنة، وألا تتبع الأسلوب التقليدي للغات البرمجة. وإذا نظرنا إلى المستقبل البعيد، يمكننا أن نتوقع أن يقوم الخبراء البشريون أنفسهم ببناء هذه البرامج دون مساعدة علماء المعلومات.

ويمثل الرسم الموضح في شكل 15- أ البنية الهيكلية المقترحة للأنظمة الخبيرة، وهي تمكن المستخدم من إجراء حوار مع النظام الخبير. وليس ضرورياً أن نستخدم هذا الشكل الموضح، ولكنه في الواقع الشكل الأكثر



شكل 15 - 1 المكونات الأساسية للأنظمة الخبيرة

شيوعا في الاستخدام. إن الضرورة الحقيقية تكمن في التعاون مع خبير في المجال. وعلى أي حال، قد أصبح مثل هذا الهيكل ضروريا، لأن المعلومات المعطاة عبارة عن مواد للمعرفة مجمعة تجميعا عشوائيا، مما يجعل طرق البرمجة التقليدية غير ملائمة. إذا أمكن وضع مواد المعرفة هذه بصورة منظمة، تكون في هذه الحالة طرق أخرى كلاسيكية مناسبة أكثر من طرق الأنظمة الخبيرة. وحالما يطور أو يصل البرنامج إلى مرحلة يعتبر فيها أداؤه في مجاله الخاص مرضيا، يمكن عندئذ-إذا اقتضت الضرورة-إدماج قاعدة المعرفة في البرنامج المفسر لإعطائه فعالية أكثر، ولتقليل الذاكرة المستخدمة خاصة غد تشغيل البرنامج على أجهزة أصغر من تلك التي طور عليها.

## 2- تفسير عملية الاستدلال

من السمات الهامة للأنظمة الخبيرة قدرتها على إعطاء المستخدم تفسيراً لخطة «تفكير» البرنامج. ويتم ذلك بإدماج بعض الإجراءات داخل البرنامج، حيث تقوم هذه الإجراءات بعرض مواد المعرفة التي استخدمها النظام الخبير في التوصل لأحكامه. ويحتوي البرنامج على المعرفة أو المعلومات في صورة لا تختلف كثيرا عن صورة المعرفة كما يدركها الخبير البشري، فقد يحتوي البرنامج على مادة المعرفة التالية:

«إذا كانت درجة حرارة المريض عالية، وأرجله ضعيفة، فقد يكون مصابا بالأنفلونزا». ويمكن للبرنامج بسهولة عرض الاستنتاجات المتعاقبة التي قام بها للوصول إلى النتيجة. وهذه السمة بالغة الأهمية، حتى إذا لم يكن

### خصائص الأنظمة الخبيرة

الإيضاح الذي يقدمه البرنامج على درجة كبيرة من العمق، لأنه يساعد المستخدم على تقويم ثقته-أو عدم ثقته-في البرنامج. ولم يعد البرنامج صندوقاً أسود سحريا، كما تبدو أغلب البرامج العادية.

#### 3- المستخدم:

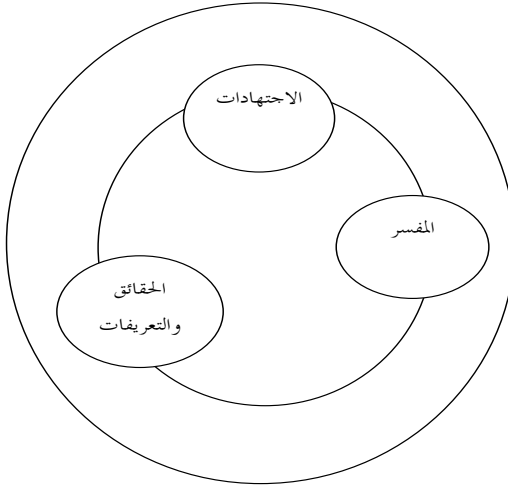
لابد من مراعاة عدة اعتبارات عملية عند بناء الأنظمة الخبيرة. فهي أولا يجب أن تصمم لمساعدة غير الخبير الذي يطلب نصيحة أو مشورة في إحدى المجالات التخصصية. والمثال الشائع لذلك حاليا هو الطبيب الممارس العام الذي يحتاج لنصيحة خبير في أمراض الكلى أو ضغط الدم المرتفع، قبل تحويل مريضه إلى أخصائي. ولثل هذا البرنامج أهمية خاصة لطبيب الریف الذي قد يكون على بعد أميال من أقرب أخصائي. ولهذا يجب أن يكون مستوى أداء البرنامج الخبير مقاربا لأداء الخبير البشري في المجال ذاته، ويمكن أن يستفيد البرنامج الخبير من النقد البناء لمجموعات مختلفة من الأخصائيين. ويمكن للبرنامج الخبير-ل يجب-أن يتضمن خبرات وتجارب عدد من الخبراء، وهذه المعلومات نادرا ما تكون مسجلة بالكتب والدوريات العلمية في هذا المجال.

وهناك نوع ثان من مستخدمي الأنظمة الخبيرة يسعون لاكتساب معرفة مهنية في موضوع تخصصي، ويمكن الحصول عليها من أحد الأنظمة الخبيرة التي لها بعض القدرات التعليمية-نعرض لهذا الجانب في الفصل الثامن عشر عن التعليم بواسطة الحاسب-، وأخيرا يمكن للأنظمة الخبيرة أن تحفظ الخبرات الفريدة للخبراء والمختصين العظام، والتي نفقدها عادة عندما يتقاعد هؤلاء دون نقل خبراتهم النادرة إلى خلفائهم.

#### 4- الأنواع المختلفة للمعرفة:

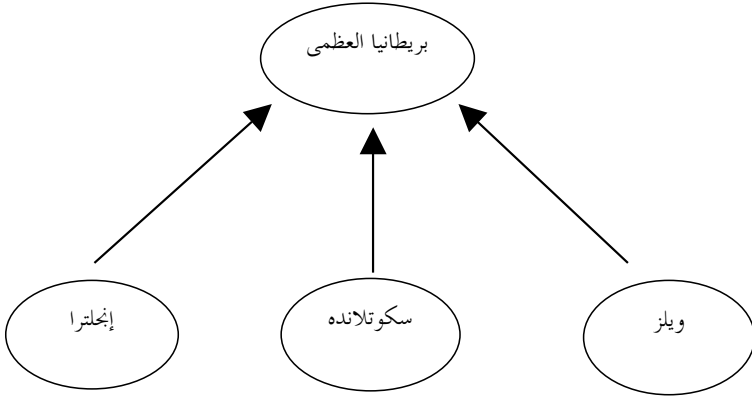
إن مشكلة تمثيل المعرفة في الأنظمة الخبيرة هي مشكلة أساسية، فننادرا ما يمكن وضع المعرفة المتعلقة بمجال معين في صياغة واحدة، فهناك مواد المعرفة البديهية والتجريبية مثل «إذا لوحظ وقوع أ و ب إذن من المحتمل وقوع ج ولكن بالتأكيد لا يمكن توقع د»، وهناك أيضا مواد المعرفة الإجرائية مثل «إذا كانت أ معلومة، إذن يكون التسلسل ب ثم ج، أما إذ أكانت أ غير معلومة فيكون التسلسل ج ثم ب هكذا». ويسمى هذا النوع الثاني «ما وراء المعرفة Knowledge meta والنوحم الثالث من مواد المعرفة هو

المعرفة الحقائقية factual Knowledge مثل «تحتوي ا على ب و ج و د». وعادة ما يكون التعبير عن النوعين الأولين من مواد المعرفة بواسطة القواعد الإنتاجية، بينما يعبر عن النوع الثالث بواسطة بنية الشجرة. ويوضح شكل 15-2 هذا التمايز. ويختلف الخبراء كثيرا فيما بينهم بشأن تمثيل مواد معرفة النوعين الأولين بينما يرجح اتفاقهم بشأن تمثيل معرفة النوع الثالث. فيتفق مثلا جميع الجغرافيين على تمثيل المعرفة بالجملة «تشمل بريطانيا العظمى كل من إنجلترا، وسكوتلاند وويلز» في شكل 15-3.



شكل 15 - 2 التمييز بين مكونات قواعد المعرفة

ويكمن الفرق الأساسي بين قواعد المعرفة knowledge base وقواعد البيان data base في أن قاعدة المعرفة تتضمن مواد المعرفة البديهية والحدسية والتجريبية بينما تخلو أو تكاد تخلو منها قواعد البيانات. وتسمى الحقائق والتعريفات المتضمنة في قواعد المعرفة «بيانات» في قواعد البيانات. بينما تعني «البيانات» في النظم الخبيرة تلك البنود التي ترتبط بوجه خاص بالمشكلة التي يعالجها البرنامج في وقت ما، وتعتبر خارج برنامج المعالجة نفسه.



شكل 15-3 شجرة تنظيمية لمجموعة حقائق (ج = جزء من).

### دليل مختصر لبناء الأنظمة الخبيرة

إن بناء الأنظمة الخبيرة هو فن أكثر منه علم دقيق. وقد علمتنا التجارب من وقت لآخر عددا من المبادئ التي تبدو بسيطة، بل واضحة وضوح الشمس في بعض الأحيان. ونوجه الإرشادات التالية، بوجه خاص إلى علماء المعلومات الذين يعملون في تطوير النظم الخبيرة بالتعاون مع خبير بشري في المجال.

أ- تتناسب بعض-وليس كل-المسائل مع الأنظمة الخبيرة، وقد قام بوكانان ودودا<sup>(6)</sup> Buchanan and Duda بتصنيف هذه المسائل التي يمكن أن توصف بعدة طرق:

- 1- تفسير أو فهم كمية معقدة وضخمة من المعلومات.
- 2- التصنيف.
- 3- تقويم المواقف.
- 4- التشخيص مثل التشخيص الطبي أو تشخيص خلل الأجهزة والمعدات.
- 5- اكتشاف القصور في بعض النظم مثل الدوائر (الكهربائية أو الإلكترونية مثلا).
- 6- معالجة الأزمات.

والصفة المشتركة في هذه المسائل أنها تتضمن عددا كبيرا من المعاملات غير المتجانسة والمتداخلة، والتي تفتقد قيمها إلى تفسيرات مقننة، وعادة ما تكون عرضة للخطأ.

ب- من المهم وجود «الخبير الحقيقي» طوال فترة المشروع، مع إمكانية الاستعانة بخبراء آخرين لنقد وتحسين النموذج الأصلي للمشروع. ولا تكمن قوة الخبير البشري في مجال الطب مثلا-في معرفته الموسوعية للأمراض (والتي يمكن الحصول عليها من الكتب) بل من قدرته على تطوير الاستراتيجيات ومعرفة «حيل الصنعة» التي يستخدمها للتوصل بسرعة وبثقة إلى التشخيص الصحيح. و«هذه الحيل» هي ثمار خبرة طويلة نادرا ما توجد في الكتب. ومن الأهمية القصوى الإلمام بكل الحالات غير العادية- والتي غالبا ما تكون خطرة-التي تقابل الخبير. ويشق الخبير الأخصائي طريقة إلى لب المشكلة مباشر لأنه على علم بنوعية الأسئلة التي يجب أن تطرح، ولا تكون هذه الأسئلة بالضرورة مقننة أو قياسية، وإنما توحى بها الأعراض التي يستطيع هو ملاحظتها.

ج- ونطرح هنا قضية مستوى المعرفة المستخدمة في الأنظمة الخبيرة. فمن المهم في الحالة الراهنة لعلم الذكاء الاصطناعي ألا يتضمن البرنامج سوى المعلومات التي تستند على أسس علمية سليمة، وألا يتضمن كثيرا من المعلومات البديهية أو حقائق الحياة اليومية. فيستطيع مثلا برنامج للتشخيص الطبي أن يأخذ في الاعتبار مؤشرات مثل حالة المريض العصبية، أو ميله للمشروبات الكحولية. ولكن ليس من الضروري أن يشتمل البرنامج على عبارات مثل «القهوة ضارة للأعصاب»، أو «يحتوي نوع من القهوة على كافيين أكثر من نوع آخر». فالجيل الحالي من البرامج لا يمكنه استخدام هذا النوع من المعلومات، ونأمل أن تستطيع الأجيال القادمة من البرامج استيعاب مثل هذه المعلومات في فاعلة المعرفة بأنظفها الخبيرة.

د- بناء النسخة الأولى. يجب أن يكون عالم المعلومات منذ البداية-على دراية بالمفردات والمصطلحات المستخدمة في مجال الخبرة، وذلك حتى يتمكن من تسجيل الطرق التي يضعها خبير المجال لحل الحالات النمطية. ويعطي هذا عالم المعلومات فكرة عن المؤشرات الأساسية للمجال، وخطوات التفكير والمنطقة، والاستراتيجيات الأولية المستخدمة في المجال لتناول

المسائل، كما يوضح لعالم المعلومات كيف تتم الاستشارة عادة، والترتيب الذي يتم به جمع البيانات، فيمكن مثلا أن تتم الاستشارة الطبية على النحو التالي:

- بيانات أساسية عن المريض.
- ما هي شكاوى المريض؟
- ما هي الملاحظات الأولية للطبيب عن المريض؟
- التاريخ المرضي للمريض.
- نتائج أي فحوصات سابقة.
- التشخيص المبدئي.
- التوصية بإجراء فحوصات أو اختبارات أخرى.
- العلاج المقترح.

هـ- تطوير النسخة الأولى. سرعان ما تحقق النسخة الأولى أداء جيدا في الحالات النمطية التي تأسس عليها بناؤها، لكن يظهر أيضا قصور في قدرات البرنامج لحل المسائل عندما يواجه مشاكل الحياة الحقيقية التي عادة ما تختلف كثيرا عن الحالات النمطية، وهنا يصبح من الضروري إجراء تغييرات هامة في البرنامج للانتقال من النسخة الأولى إلى نسخة ثانية تكون أقرب إلى سلوك الخبير.

ويمكن اعتبار النسخة الأولى كمجرد دراسة جدوى تهدف إلى توضيح إمكانية كتابة برنامج يستخدم قدرا كبيرا من المعرفة التخصصية في مجال محدد لتحقيق هدف ما. وبعد إعداد النموذج prototype للعمل، يمكن إثبات نجاحه بتجربته على عدد من المسائل، ويكون المتطلب الثاني-بعد نجاح التجربة-جعل استخدامه «طبيعيا» و«وديا». وجعل البرنامج «طبيعيا» يعني جعل الحوار بين المستخدم والبرنامج مماثلا للحوار الإنساني المعتاد، مثل أن يوجه البرنامج أسئلته بطريقة متسقة ومرتبطة، وأن يكون لأسئلته علاقة بالموضوع. ومن المفيد هنا أن نذكر أن كثيرا ما يوجه الخبير البشري أسئلة لا علاقة مباشرة لها بالمسألة قيد البحث، ولكن تشكل مثل هذه الأسئلة جزءا من الحوار والاتصال لتبادل المعلومات، ويمكن للبرنامج أن يتصرف بالمثل. وجعل البرنامج «وديا» يعني أن الأسئلة التي توضع «من أي جانب» يجب أن تكون واضحة وبلغة مفهومة، وأقرب ما تكون إلى اللغة الطبيعية،



مع إمكانية إضافة شرح أو أسئلة إضافية لجعل المعنى أكثر وضوحاً. كما يجب أن تكون إجابة البرنامج واضحة وألا تكون مختصرة جداً أو بشفرة، وألا يتطلب البرنامج من المستخدم مراعاة التفاصيل التقنية الدقيقة المتعلقة باستخدام الجهاز، كأن يضطره مثلاً إلى إنهاء كل سطر بالضغط على مفتاح معين بلوحة المفاتيح، وألا يتطلب البرنامج أن يكون المستخدم خبيراً في الحاسب الآلي. فمثل هذه المسائل يمكن أن تعالج بالوحدات البينية interface modules.

ويجب أن يكون البرنامج قادراً على إعطاء تفسيرات لسلوكه على مستويين اثنين، فأولاً يجب أن يكون قادراً على توضيح «دوافعه» لتوجيه السؤال وبهذا يبين للمستخدم ما يحاول أن يفعله، وثانياً يجب أن يكون قادراً على توضيح خط تفكيره المنطقي. ولهاتين القديرتين أهمية خاصة في كسب البرنامج لثقة المستخدم في أنه يعمل بطريقة صحيحة، وإعطاء الفرصة للمستخدم لنقده إذا دعت الحاجة لذلك. وتوفر بعض البرامج المتقدمة الفرصة للمستخدم لتسجيل انتقاداته للبرنامج حتى يمكن لمصممي البرنامج دراستها بتأن في وقت لاحق. وتتراوح هذه الانتقادات بين اقتراحات لتحسين طرق استخدام البرنامج أو نقد لبعض القواعد المستخدمة مدعوماً بأمثلة مضادة. وأخيراً يجب أن يحتفظ كل نظام خبير بتسجيل لكل المسائل التي دخلت إليه، مما يفيد في إحصاء عمله ودراسة طرق تحسين أدائه. ثم إنه عند إضافة قوانين جديدة إلى البرنامج يجب القيام باختبار المسائل القديمة التي عالجها اله ناهج في السابق بنجاح للتأكد من أنها لا تزال تحل بنجاح.

و- الاحتفاظ باهتمام الخبير. لقد عانى الذكاء الاصطناعي لفترة طويلة من تنبؤات الباحثين المتفائلين الذين بالغوا في ادعاءاتهم عما يمكن للحاسب أن يقوم به في الأمد القصير... ويجب التغلب على الشك السائد الذي نجم عن ذلك بتطوير سريع لنموذج prototype برامج تبين أنه يعمل فعلاً، حتى إذا كانت إنجازاته لا تطابق تماماً أهدافه الأصلية. وسيتحمس الخبير المشترك في البرنامج عندما يرى بعض طرق تفكيره الخاصة تمثل في الحال في الآلة. وفي نفس الوقت، من المهم إبعاد المسائل التقنية البحتة المتعلقة بنظم التشغيل ولغات البرمجة... الخ عن الخبير، فليس مطلوباً

منه أن يصبح ضليعا في الحاسب الآلي، كما لا يوجد ما يحتم أن يكون عالم الحاسب الآلي خبيرا في مجال الخبرة. وفي جميع الأحوال، يجب عدم انتقاد الخبير بسبب قصور منطقي في طريقة تفكيره، فعادة ما يرجع هذا القصور إلى طبيعة المجال نفسه، بل وغالبا ما يكون ظاهريا فقط، لأنه يمكن أن يخفي عدة خطوات في عمليات التفكير لم يستطع الخبير الإنساني اكتشافها أو توضيحها.

ل- تقويم البرامج. يمكن أن يتم ذلك من عدة وجوه مختلفة .. فقد تتناقض وجهة نظر عالم المعلومات، الذي يهدف أن يبين أن سرعة برنامجه تبلغ ضعف سرعة البرامج الأخرى، مع مستخدم البرنامج في المستقبل من عدة جوانب، لأن لديهم معايير مختلفة تماما. وحتى إذا ثبتت جودة البرنامج بمقارنته بالبرامج الأخرى، يظل دائما احتمال مقارنة أدائه بأداء الخبير البشري. ومن ناحية أخرى، يمكن لمستخدم البرنامج الذين ليسوا خبراء معلومات أن ينتقدوا البرنامج لصعوبة استخدامه أو لأنه ليس سهلا على الفهم. وفي حالة برنامج MYCIN لتشخيص أمراض الدم، لم يؤكد الخبراء سوى 75٪ فقط من نتائجه الأولى، وقد كان هذا مخيبا للآمال. إلا أن المقارنات التالية التي قام بها V.L. Yu<sup>(7)</sup> لتشخيص مرض التهاب السحايا أظهرت أنه لم يكن هناك اتفاق أكبر من ذلك عندما روجع التشخيص الذي قامت به مجموعة من الخبراء بواسطة مجموعة أخرى. ولذلك كان الأداء الضعيف ظاهريا للبرنامج هو نتيجة لعدم توفر الاتفاق بين الخبراء وليس لقصور أو فشل في البرنامج ذاته.

إن مقارنة البرنامج بالخبير البشري أكثر تعقيدا من مجرد حصر الحالات واستخراج نسبة النجاح المثوية لكل منهما وذلك لعدة أسباب: أولا يجب يكون للحالات موضع المقارنة تشخيص صحيح ومتفق عليه، أي أن يكون هناك إجماع من قبل خبراء المجال حول تشخيص كل منها، فمثلا في حالة الحوادث المحتملة الوقوع في محطات القوى النووية، يكون كل ما يمكن عمله هو محاكاة الحوادث التي وقعت فعلا، والتي لها سجلات محفوظة. وهنا قد يكون للبرنامج ميزة يتمتع بها وهي كونه محصورا في نطاق مجال عدد، بينما يكون للخبير البشري خلفية واسعة قد تقوده في التشخيص إلى افتراضات خارج نطاق المجال، وبالتالي قد يتبع مسارا خاطئا قبل أن

يتمكن من رؤية المسار الصحيح. وهكذا يكون الخبير البشري في وضع غير موات.

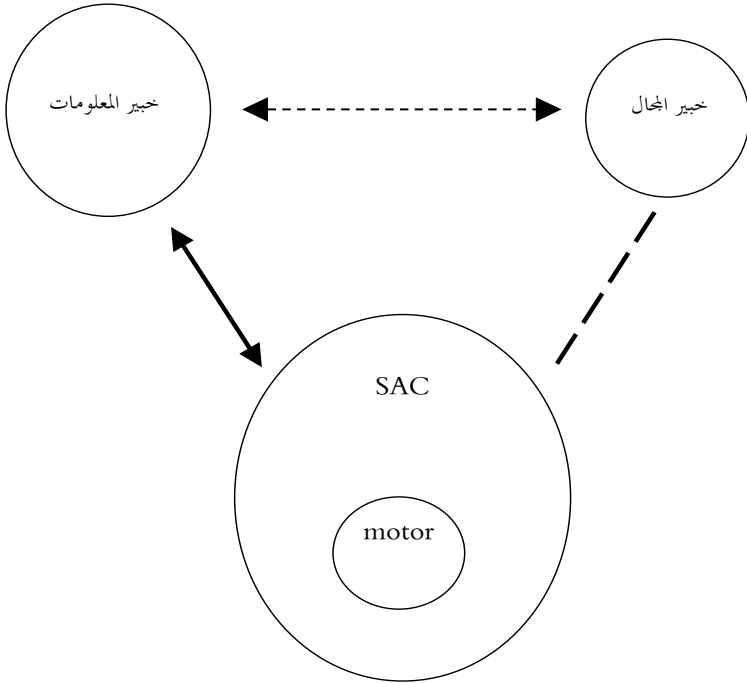
وأخيرا، فمن أسباب صعوبة المقارنة الموضوعية بين كفاءة النظام الخبير والخبير البشري أن البرامج المتوافرة اليوم ينقصها وسائل الإبصار والإدراك المتاحة للخبير البشري، وهي تحصل على المعلومات من خلال وسيط بشري قد لا يعطيها وصفا موضوعيا للمشكلة، بل قد تتلون المعلومات التي يعطيها بتفسيراته ورؤياه الخاصة. ولو وضع الخبير البشري موضع البرنامج لحاد عن الطريق بسبب الظروف غير المألوفة التي سيعمل فيها.

### الأنظمة الخبيرة ونقل الخبرة

إن المجالات التي تكون فيها الأنظمة الخبيرة ذات قيمة كبرى هي تلك التي تتسع فيها مساحة الحل لدرجة تحتم طلب مساعدة خبير بشري ليجعل معرفته وخبرته متاحة لعالم المعلومات في عدد من الجلسات المشتركة. وفي بعض حالات بسيطة وقليلة وجد أنه من الممكن بناء برامج أنظمة خبيرة من أمثلة وحالات لها حلول معروفة (انظر الفصل التاسع عشر). ويكون من الضروري-في معظم الأحيان-سؤال الخبير البشري عن طريقته في العمل، والاستراتيجية التي يستخدمها، و«حيل الصنعة»، التي اكتسبها تدريجيا من خلال الخبرة. والتي لا يكون في معظم الأحيان مدركا لها. وعادة ما يتم ذلك على مرحلتين: فيتم أولا نقل المعرفة من خبير المجال إلى عالم المعلومات، ثم من عالم المعلومات إلى البرنامج المراد استحدثه (انظر شكل 4-15).

وعادة ما يخشى خبير المجال بعض مواد المعرفة، أو يحذف بعض الخطوات التي يتبعها في عملية التفكير في حل المسائل، ويكتشفها تدريجيا عالم المعلومات. كما قد يعطي خبير المجال بعض القواعد الخاطئة، والتي يجب أن تصحح فيما بعد. وهنا، تكون الفائدة العظمى لبرامج التدقيق-وتسمى عادة برامج اكتساب البيانات-data acquisition programs-لأنها تساعد على كشف الأخطاء في قاعدة المعرفة في الحال، حتى قبل البدء في اختبار البرنامج، وهناك عدة برامج أدواتي استحدثت لهذه الغاية واستعملت في بعض الأنظمة الخبيرة.

## خصائص الأنظمة الخبيرة



شكل 15 - 4 رسم كلاسيكي لنقل الخبرة

ويمكن تبسيط مراجعة قواعد المعرفة باستخدام صياغة واضحة تغني عن الحاجة للتمكن من لغة برمجة معينة. ففي برنامج ROSIE<sup>(8)</sup> على سبيل المثال، يمكن التعبير عن القوانين بصيغة تشبه اللغة الطبيعية، كما هو موضح بالمثال التالي حيث نضع خطأ تحت الكلمات المفتاحية:

إذا	كان هناك	نظام تشغيل
الذي يعمل	على جهاز	معروف
وله	رسالة حث PROMH	معروفة
ومن نوع	نوع نظام التشغيل	غير معروف
إذن	نستنتج	(«هذا هو نظام» نوع-النظام)
أرسل	المستخدم	إلى

ويمكن استخدام التمثيل الداخلي للقوانين نفسها لتوليد جمل باللغة الطبيعية، ويجعلها ذلك واضحة ومفهومة، خاصة بالنسبة لخبير المجال الذي نادرا ما يكون من علماء المعلومات:

لذلك فإن القاعدة في نظام EMYCIN تأخذ الشكل التالي بلغة «ليسب»<sup>(9)</sup>:

PREMISE: (SAND (SAME CNTXT AGE ADULT)

(SAME CNTXT LEAVES-YELLOWING)

(SAME CNTXT STEM-COLOR-ABNORMAL)

ACTION: (CONCLUDE CNTXT DIAGNOSTIC TALLY ((FU SAR IOSE

400

(VERTICILLIOSE 400))))))

ومن هذه القاعدة يمكن توليد الجمل التالية للتعبير عن معناها: إذا كان «عمر» النبات ناضجا وهناك اصفرار في الأوراق، وإذا كان لون الساق غير طبيعي. إذن فالتشخيص المحتمل هو

FUSARIOSE (0.4) VERTICILLIOSE (0.4)

ومن الصفات الهامة الأخرى في برامج اكتساب البيانات-DATA ACQUISITION PROGRAMS هي قدرتها على اكتشاف التفاعلات والتناقضات في القوانين والقواعد، فليس من المستبعد على الخبير أن يريد إضافة قاعدة جديدة إلى البرنامج ونسى أن في البرنامج قاعدة مشابهة منذ فترة طويلة، وعند اكتشاف ذلك يجب اتخاذ قرار سريع إما بحذف واحدة منهما، أو استبدالهما بقاعدة جديدة. ويستطيع برنامج EMYCIN مثلا اكتشاف القواعد المتشابهة مثل:

قاعدة-1 إذ أكانت أ و ب إذن س.

قاعدة-2 إذ أكانت أ و ب و ج إذن ص.

فكلما نشطت قاعدة-2 تنشط قاعدة-أ أيضا، وهذه رسالة موجهة من البرنامج إلى المستخدم تدعوه للتفكير في هذه المشكلة لفض هذا التشابك.

## ما وراء المعرفة Metaknowledge

نقصد بما وراء المعرفة «المعرفة حول المعرفة»، وهي مستوى ثان للمعرفة

## خصائص الأنظمة الخبيرة

مبني على المستوى الأول. والفرق بين المستويين ليس دائما واضحا جدا. وقد أدت صعوبة تمثيل ما وراء المعرفة إلى استخدام كثير من العاملين في المجال نفس طرق التمثيل المستخدمة في أنواع المعرفة الأخرى. وقد تكون ما وراء معرفة شخص ما هي نفسها معرفة شخص آخر. وهكذا يتضح أن مفهوم ما وراء المعرفة هو مفهوم نسبي، وأن عدد المستويات اختياري. وتكون أعلى مستويات ما وراء المعرفة في برنامج ما بمثابة «إدراكه» للمعرفة الممثلة داخله.

فلننظر إلى القواعد التالية:

م-1-عندما يمكن استخلاص عدة استنتاجات، خذ أولا أحدث هذه الاستنتاجات.

م-2-لا يعرف البرنامج شيئا عن علم النبات.

م-3-إذا كان الفصل شتاء، حاول أولا قواعد تشخيص الأنفلونزا.

تحتوي برامج قليلة على معرفة من نوع م-1، لأنه نادر ما يحتفظ البرنامج بتاريخ القاعدة أو الاستنتاج. أما المعرفة من نوع م-2 فلا تستخدم في البرامج، لأن مصممي البرامج يفضلون عادة استخدام المعرفة الإيجابية لا السلبية، كما أن قائمة الأشياء التي يجهلها أي برنامج قائمة طويلة بل لا منتهية. وأخيرا يمكن أن يتضمن برنامجا للتشخيص الطبي قاعدة مثل م-3 على نفس مستوى قاعدة «إذا كان المريض يرتعش، فهناك احتمال إصابته بالأنفلونزا»، ولكنه مع ذلك تختلف في أنها لا تعطي النتيجة، كما تفعل القواعد التشخيصية، ولكنها تقترح ببساطة ترتيبا يتم به تطبيق القواعد. ولهذا تكون على مستوى أكثر عمومية من القواعد التشخيصية نفسها.

ومن المعتاد اليوم، وضع المعرفة التي يعطيها خبير المجال في ثلاثة مستويات. معرفة الحقائق، Factual knowledge، ومعرفة تجريبية heuristic Knowledge، وما وراء المعرفة metaknowledge. ويوضح المثال التالي-من جيولوجيا البترول- مستويات المعرفة المختلفة.

**معرفة الحقائق:** Caboniferous precedes pemian.

المعرفة التجريبية. إذا وجدت منطقة تحتوي على graptooliths، فمن المحتمل أن تكون Silurian أو Ordovician.

الأولى-أعلاه هي حقيقة يقبلها جميع الجيولوجيين. والثانية هي قاعدة للتفكير يقرها المختصون أيضا، ولكنها رغم ذلك استقرائية بطبيعتها، فهي يمكن أن تعدل إذا وجد الجيولوجي graptolithis في منطقة تعود لعصر مختلف. أما الثالثة، فهي قاعدة سلوكية تتمثل في نصيحة تتعلق بترتيب استخدام مواد المعرفة. ويمكن أن تختلف من جيولوجي لآخر، وفقا للتوافر النسبي لمصادر المعلومات المختلفة.

ومن الضروري تمثيل المعرفة على مستويات مختلفة عديدة، خاصة عند بناء البرامج الكبيرة جدا التي قد تحتوي على آلاف القواعد.

### أدوات وصياغة الأنظمة الخبيرة

Tools and formalism for expert systems.

هناك عدة لغات برمجة يمكن استخدامها لصياغة قواعد المعرفة بالأنظمة الخبيرة، وفيما يلي جدول يقسم هذه اللغات إلى ثلاثة أقسام، وفقا للقواعد المنطقية المستخدمة:

جدول 15- 1 لغات البرمجة المستخدمة بالأنظمة الخبيرة مصنفة طبقا للقواعد المنطقية:

#### 1- منطق المستوى الأول

Language	Author(s)	Place
PLANNER	Hewitt (11)	MIT
PROLOG	Rousse (12)	Marseille
	Colmerauer (13)	Marseille
	Warren (14)	Edinburgh
SNARK	Lauriere(15)	ParisVI
FOL	Weyhrauch(16)	Stanford
TANGO	Cordier (13)	Orsay

#### 2- القواعد الإنتاجية Production Rules

EMYCIN	Van Melle(9)	Stanford
OPS	Forgy (17)	Carnegie-Mellon
EXPERT	Weiss(18)	Rutgers

## خصائص الأنظمة الخبيرة

KAS	Reboh(19)	SRI-Int.
RAINBOW	Hollander(20)	IBM Palo Alto
ARGOS-II	Farreny(21)	Toulouse

### 3- الشبكات الدلالية، الكيانات:

Language	Author(s)	Place
KRL	Bobrow, Winograd(22)	Xerox PARC
OWL	Szolovits(23)	MIT
UNITS	Stefik(24)	Stanford
FRL	Roberts(25)	MIT
AIMDS	Sridharan(26)	Rutgers
KLONE	Brachman(27)	BRN
ORBIT	Steels(28)	Schlumberger
HPRL	Rosenburg(29)	Hewlett-Packard
LOOPS	Bobrow, Stefik(32)	Xerox PARC
KEE	Kehler(33)	IntelliCorp

## أوجه قصور الأنظمة الخبيرة الحالية

البرامج الحالية سطحية جدا. إن القصور الرئيسي في برامج الأنظمة الخبيرة الموجودة اليوم يتمثل في انعدام تمثيل البنية العميقة للعلاقات التي توجد بين الظواهر المختلفة. فبرنامج مثل MYCIN يكون فعالا جدا عندما يتعلق السؤال بارتباط أعراض ما بتشخيص معين، أو بتفسير معلومات عن مزرعة بكتريا.. الخ ولكنه لا يحتوي على نموذج لتركيب الدم، أو عملية التجلط، أو أي معرفة على الإطلاق بدور القلب في الدورة الدموية. ولا يمنع هذا النقص البرنامج من التوصل إلى التشخيص الصحيح في الأحوال العادية حيث يسير كل شيء بشكل مرضي، ولكنه يظهر قصورا شديدا إذا ظهر تناقض بين الفروض المختلفة للتشخيص، وهنا يظهر بوضوح تفوق



الخبير البشري على البرنامج. ولا يمكن حل التناقض بين الفروض المختلفة بتقويم بسيط لدرجات استحسان كل فرض، بل يتطلب الأمر دراسة أعمق لأسباب الظاهرة الملحوظة.

التدهور السريع في الأداء.. يتدهور البرنامج في الأداء عندما يواجه مشكلة خارج مجال إدراكه، الذي عادة ما يكون محدودا، كما يتدهور الأداء لعدم قدرة البرنامج على استخدام «الحس السليم common sense» لاستنتاج البيانات الناقصة. بينما يملك البشر قدرة تفكير عامة أكبر وفهم أعمق للمسائل. ويمكنهم ذلك من التعامل مع تلك المواقف مع أن أداءهم يتدهور، ولكن ببدء أكثر، في تلك الحالات.

الوصلات البينية لا تزال غير متطورة. لا تزال مشكلة فهم اللغة الطبيعية عسيرة على الحاسب، مما يشكل مصدر صعوبة للمستخدم. إلا أن من المحتمل تحسن هذا الوضع في المستقبل القريب نتيجة للتقدم في تطوير البرامج البينية باللغة الطبيعية لقواعد البيانات.

صعوبة تعديل الاستراتيجية. لقد قيل من قبل أن الاستراتيجيات المستخدمة في تفسير قاعدة المعرفة هي دائما مبرمجة، وعلى هذا فهي ذات طبيعة إجرائية، ولكن يكمن في هذه الاستراتيجيات جزء من الخبرة التي يفضل أن تمثل بواسطة القواعد الإنتاجية حتى يكون تعديلها وتطويرها أكثر سهولة. وقد كان استخدام ما وراء القواعد meta-rules في برنامج TIRESIAS (30) خطوة يجب أن تتبعها خطوات في هذا الاتجاه.

الاستدلال ليس من نوع واحد. إن للإنسان مقدرة غير عادية على التوافق مع الموقف السائد، واستخدام استراتيجيات مختلفة وفقا لهذا الموقف. بينما لا تستطيع الأنظمة الخبيرة المعتمدة على القواعد الإنتاجية أن تختصر إجراءاتها المعتادة في الحالات الخاصة التي تستدعي ذلك. ويمكن لبعض الخبراء البشريين اتخاذ قرارات فورية لمجرد تعرفهم على شيء في الموقف الذي يواجههم يذكرهم بموقف سابق، ولا يحتاجون في هذه الحالة إلى اللجوء لعملية وضع الافتراضات واختبارها كما يفعلون في الأحوال المعتادة.

ونعطي في الفصلين التاليين أمثلة عديدة لأنظمة خبيرة في التطبيقات الطبية والصناعية.

# المراجع والحواشي

- (1) تعتمد المناهج العامة للاستدلال بشكل أساسي على عملية التصور على مستوى أعلى من مستوى المشكلة المطروحة للحل.
- (2) McCorduck, P.(1979), Machines who think, freeman, San Francisco
- (3) Feigenbaum E. A., Buchanan B.G., Lederberg J.(1971), on gen-erality and problem solving: a case study using the DENDRAL pro gram, Machine Intelligence, Vol. 6, Meltzer & Michie(eds.)New. 190-165. York, Elsevier, New York pp
- (4) Kuhn T. The Structure of Scientific revolution, 2nd edition, Chicago, University of Chicago.
- (5) Barstow D., Buchanan B.G.,(1981), Maxims for knowledge engineering, Stanford University Memo, HPP-81-4.
- Duda R.(1982) Principles of rule-based expert. .
- (6) Buchanan B.G. 14- 82- systems, Stanford University memo, HPP
- (7)Yu V.L., Fagan L.M. et al.(1979), Antimicrobial selection by a computer: a blinded evaluation by infectious disease experts, J. Amer Med. Assoc. 24 1- 12, pp. 1279- 1282,
- (8) Fain J., Hayes-Roth F., Sowizral H., Waterman D. (1981), Pro gramming Examples in ROSIE, Rand Corporation, Technical Report. N-1 646- ARPA.
- (9) Van Melle W. (1980), A domain-independent system that aids in constructing knowledge-based consultation programs, Ph.D. dis sertation, Stanford University, Computer Science Department, STAN CS-XI)-X2()
- (10) Hayes-Roth F., Waterman D.A., Lenat D.B. (eds.) (1983), Build-ing expert systems, Reading, Mass., Addison-Wesley.
- (11) Hewitt C. (1972), Description and theoretical analysis (using schemata) of PLANNER: a language for proving theorems and ma nipulating models in a robot, Ph.D. Thesis, Department of Mathemat ics MIT.
- (12) Roussel P. (1975), PROLOG, Manuel de reference et dutilisation. Marseille, Groupe dIntelligence Artificielle, U.E.R. de Luminy, Uni versite dAix-Marseille.
- (13) Colmerauer A., Kaoui H. (1983), Prolog, bases theonque et de velopment actuels, RAIRO/TSI, Vol. 2, No. 4, pp. 271- 311.
- (14) Warren D., et al. (1977), PROLOG: The language and its imple mentation compared with LISP, Proc. SIGART/SIPLAN symposium on programming languages, Rochester, N.Y.
- (15) Lauriere J.L., Introduction a Lintelligence artificielle (in prepara tion).
- (16) Weyhrauch R. W. (1980), Prolegomena to a theory of mech anized formal reasoning, Artificial Intelligence, 13, 1- 2, April 1980.

- (17) Forgy C., McDermott J. (1977), OPS, a domain-independeneni production system language, Proc. IJCAI-77, pp. 953- 939.
- (18) Weiss S., Kulikowski C. (1979), EXPERT: A system for de veloping consultation models, Proc. IJCAI-79, pp. 942- 947.
- (19) Reboh R. (1981), Knowledge engineering techniques and tools in the prospector environment Tech. Note 243, artificial intelligence Center, SRI International, Menlo Park, CA1, June 1981.
- (20) Hollander CR., Reinstein H.C. (1979), A knowledge-based ap plication definition system, Proc. IJCAI-79, pp. 397- 399.
- (21) Farreny H. (1981), Un systeme de Maintenance automatique dinterrelations dans un systeme de production, Congres de re connaissance des formes et intelligence artificielle, Nancy, pp. 751- 761.
- (22) Bobrow D. Winograd T. (1977), An overview of KRL, a knowl. edge representation language, Cognitive Science 1, 1, pp. 3- 46.
- (23) Szolovits P., Pauker S.G. (1978), Categorical and probabilistic reasoning in medical diagnosis, Artificial Intelligence 11, pp. 115- 144.
- (24) Stefik M. (1979), An examination of a frame-structured repre sentation system, Proc. IJCAI-79, pp. 845- 852.
- (25) Roberts R.B. Goldstein I.P. (1977), The FRL primer, MIT A] Lab Memo 408.
- (26) Sridharan N.S. (1980), Representational facilities of AIMDS: a sampling, Tech. Report No. CBM-TM-86, Dept. of Computer Sci ence, Rutgers University.
- (27) Brachman R.J. (1977), Whats in a concept: structural founda tions for semantic networks, Int. Jnl Man-Machine Studies 9, pp. 127- 152.
- (28) Steels L. (1982), An applicative view of object oriented pro gramming, European Conference on integrated interactive computing systems, stresa, Italy. (29) Rosenberg S. (1983), HPRL: a language for building expert sys tems, IJCAI-83, Karlsruhe, August 1983, pp. 215- 217.
- (30) Davis R. (1977), Knowledge acquisition in rule-based systems Knowledge about representation or a basis for system construction and maintenance, in pattern-directed inference systems, Waterman Hayes-Roth (eds.).
- (31) Cordier M.O., Rousset M.C. (1984), TANGO: moteur dinferences pour un systeme expert avec variables, Quatrieme Con gres de Reconnaissance des frames et intelligence artificielle, Paris.
- (32) Bobrow D.G., Stefik M. (1983), The LOOPS manual, Xerox PARC, Palo Alto.
- (33) Kehler T.P., Clemenson C.D. (1984), An application system for expert systems, systems and Software, pp. 2 12- 224.

## الأنظمة الخبيرة في الطب وعلم الأحياء

### مقدمة

يعتبر الطب مجالا مفضلا لبناء الأنظمة الخبيرة، ولهذا السبب قد خصصنا فصلا خاصا له. وقد كانت التطبيقات الأولى للحساب الآلي في الطب تختص بعمل سجلات المرضى، بهدف تحسين الإدارة وجمع معلومات أكثر عن الأمراض<sup>(1)</sup>. وغالبا ما يعطي تاريخ الحالات المرضية مادة لقواعد البيانات يمكن استخراج نتائج إحصائية طبية منها، مثل احتمال شفاء المرضى دون الأربعين من سرطان المعدة خلال ض سنوات.

وقد عولجت مؤخرا مشكلة المساعدة في التشخيص الطبي بأحد طريقتين، إما باستخدام قواعد البيانات المتوفرة من قبل لاستقراء علاقات هامة ودالة بين الأمراض والتشخيصات بتطبيق طرق خوارزمية ورياضية، أو كما حدث مؤخرا باستخدام تقنية الذكاء الاصطناعي كالأنظمة الخبيرة، ونعطي في هذا الفصل وصفا موجزا للنوعين الأولين من الطرق المتبعة، كما نبين أوجه قصورها مما يوضح أهمية المنهجية الحديثة

المعتمدة على الأنظمة الخبيرة.

هناك أسباب عديدة للتعاون الذي نشأ بين الأطباء وعلماء المعلومات في السنوات الأخيرة، من بينها أن كثيرا من التقارير قد أظهرت شيوع الأخطاء في التشخيص ووصف المضادات الحيوية، مع ما ينتج عن ذلك من تكاليف باهظة للمجتمع سواء من الناحية الصحية أو الاقتصادية، وسريعا ما نشأت فكرة أن الحاسب لا يعاني من الضعف الإنساني كالنسيان بسبب الإرهاق، أو الفشل لعدم تدبر تشخيص معين، ولذلك قد يكون أداء الحاسب أفضل في تفسير البيانات الطبية عندما يكون لاهتمام الطبيب الشخصي دور أقل. وقد استخدمت في المحاولات الأولى في هذا الاتجاه طرق إحصائية وخوارزمية، ربما لأنها كانت الطرق الوحيدة المتاحة في الستينات، ولكن سرعان ما أصبح قصورها واضحا كالشمس.

#### الطرق الرياضية Mathematical methods

لقد استخدمت طرق التصنيف لتحديد التشخيص الطبي الأكثر احتمالا بناء على مجموعة من الملاحظات<sup>(4)</sup>، ولهذا استحدث برنامج يصنف الكيانات بحسب وجود أو غياب علامات أو أعراض معينة، وتعتمد هذه الطريقة على انتقاء مجموعة من الكيانات (وفي حالتنا هذه تكون مجموعة من المرضى) يكون توزيع كل منها بين الفئات معروفا ومحددا، ويمكن وصف الفئة كمتمجه  $X = (x_1, \dots, x_n)$  حيث  $X$  هي المعايير المميزة ويكون لوظيفة التمييز الشكل التالي:

$$P(D/x) = \sum_{j=1}^n a_j x_j$$

(ترمز  $P$  هنا للمريض،  $D$  للتشخيص و  $x$  للأعراض المميزة- المترجم) حيث تستمد  $a_j$  من دراسة مجموعة كبيرة من المرضى. وتحسب الوظيفة لكل مريض جديد لتحديد ما إذا كان ينتمي لفئة معروفة من قبل- أو بمعنى آخر ما إذا كان التشخيص يطابق حالة المريض بدرجة كافية أم لا. وتتمثل صعوبة هذه الطريقة في إيجاد عينة كافية من المرضى لاستخراج قيمة  $a_j$  منها، والتي هي الأساس لتحديد المرض الذي يعاني منه المريض. وهناك طريقة خوارزمية أخرى بسيطة تعتمد على استخدام شجرات

القرار, decision trees حيث تمثل كل عقدة سؤالاً، تؤدي الإجابة عليه إلى عقدة أخرى، وهكذا حتى نصل إلى أوراق الشجرة الطرفية التي تعطى التشخيص، وتتميز هذه الطريقة-من وجهة نظر علماء المعلومات-ببساطة التشغيل، ولكنها تعاني من اثنين من المساوئ الخطيرة، احتمال عدم قدرة المريض على الإجابة عن سؤال معين يتطلب إجابة مريحة (قد يعرقل عدم توافره البرنامج)، وصعوبة تعديل الشجرة عند اكتشاف أخطاء في المعرفة أو عندما تتوافر معلومات إكلينيكية أفضل. وتسمح الطريقة البيئية Bayesim<sup>(5,6)</sup> بحساب احتمال إصابة المريض بمرض معين، من خلال مقارنة الأعراض التي تلاحظ على المريض بالتكرار النسبي للأعراض المختلفة في كل حالة إصابة نمطية لهذا المرض، فإذا كانت  $P(s/mi)$  تمثل احتمال ملاحظة أعراض  $S$  في مريض يعاني من مرض  $Mi$ ، و  $P(Mi)$  يمثل الاحتمال الأقوى للإصابة بمرض  $Mi$  في الأشخاص المعنيين، إذن إذا لوحظت أعراض  $S$  في مريض ما، فإن احتمال إصابته بمرض  $Mi$  يكون كالتالي:

$$P(mi/s) = \frac{P(mi) p(s/mi)}{\sum_{i=1}^n P(mi) p(s/mi)}$$

وللطريقة البيسية قصور في مجال الطب للأسباب التالية:



شكل 1-16 تشخيص طبي بالطريقة البيسية

- 1- عدد عناصر الاحتمالات المشروطة التي تكون في الناحية اليمنى من القواعد كبير جدا ونادرا ما تعرف بدقة، كما أن الحاجة لاستخدام البدائل الافتراضية للبيانات الناقصة يقلل من دقة النتائج.
  - 2- تفترض القواعد أن الأمراض ينفي بعضها بعضا mutually exclusive وأن جميع الاحتمالات أخذت في الاعتبار، وهذه افتراضات نادرا ما تتواجد في الواقع.
  - 3- من الصعب تبرير القرار إذا ورد ما ينقضه، بخلاف عرض مصفوفة الارتباط بين الأعراض والتشخيص، وينطبق هذا النقد على كل المناهج المعتمدة على الطرق الإحصائية.
- ويوضح شكل 1-16 التشخيص الطبي البيسي في العمل، ولكن يمكننا أن نؤكد أنه لا يمثل الطريقة التي يعمل بها الأطباء في الواقع.

### الطرق الوسيطة بين الرياضيات والذكاء الاصطناعي

يمكن تحليل قواعد البيانات-بالإضافة إلى الطرق المعتمدة على الأنظمة الخبيرة للتعقب بتطور المرض والتوصية بالعلاج. ويستخدم هذا المنهج تسجيلا لتطور الحالات المرضية على مدى فترة من الزمن ولعدد من المرضى لقيم المعاملات الإكلينيكية الدالة، عوضا عن الاستنتاج والاستقراء اللذين يستخدمهما الأطباء. ومثال ذلك مشروع ARAMIS<sup>(7)</sup> لجون فريز بجامعة ستانفورد، فكلما فحص الطبيب مريضا، ينتقي عددا من المؤشرات ليدخل بها إلى قاعدة البيانات ليستفسر عن حالة مماثلة لمريض أو مجموعة مرضى سبق تشخيصهم وسجل لهم العلاج وتقدم المرض، مما يوحي للطبيب بالعلاج المقترح لمريضه.

ويوفر لنا هذا المنهج استدلالا شبه إلى باستخدام التماثل في قواعد البيانات، ويعتمد نجاح هذا المنهج على الاختيار الصحيح للمؤشرات التي تبحث في قواعد البيانات، وقد جرت عدة محاولات، مثل محاولة روبرت بلوم Robert Blum<sup>(8)</sup>، لوضع قواعد لترشيح هذا الاختيار معتمدا على تحليل إحصائي لقواعد البيانات، مع ما في ذلك من مخاطرة فقدان الثقة نتيجة لبيانات ناقصة أو خاطئة. أما في الأنظمة الخبيرة، فلا تسمح بمثل هذه الأخطاء لأن الطبيب ذا الخبرة سيبعد أي تناقضات يجدها مستخدما قوة

تفكيره الخاص للوصول إلى القواعد العامة، ومع ذلك، فقد يعطي التحليل الإحصائي مؤشرات قيمة للترابطات.

### الأنظمة الخبيرة

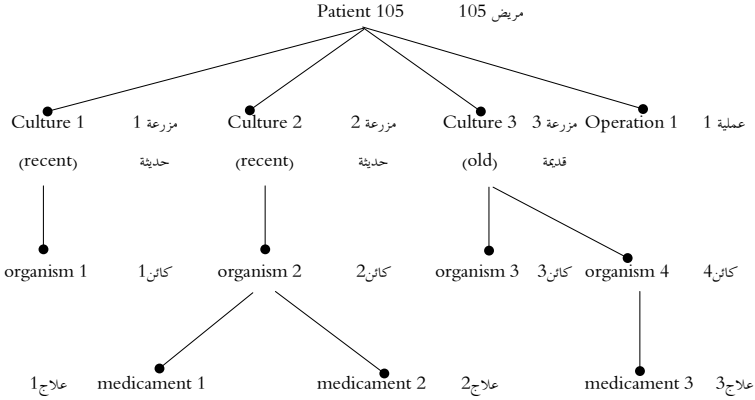
إن ما يميز الأنظمة الخبيرة عن كل ما سبقها من برامج أنها لا تتطلب أن نقرر سلفا الكيفية التي يستخدم بها البرنامج المعرفة الموجودة به، ويشكل هذا تناقضا تاما لطرق البرمجة التقليدية.

وأكثر الأنظمة المعروفة، هي. مايسين MYCIN<sup>(9)</sup>، وبيب PIP<sup>(10)</sup> و--IN وأكثر الأنظمة المعروفة، هي. مايسين MYCIN<sup>(9)</sup>، وبيب PIP<sup>(10)</sup> و--IN و PuFF<sup>(15)</sup>، وكذلك PuFF<sup>(15)</sup>، و VM<sup>(12)</sup>، و CASnet/Expert<sup>(13, 14)</sup>، و TERNIST/CADUCEUS<sup>(11)</sup>، و IRIS<sup>(16)</sup> وجميعها كتبت بعد عام 1973. وتختلف هذه الأنظمة في استخدامها للصياغة الصورية لتمثيل المعرفة المتضمنة، فيستخدم بعضهم القواعد الإنتاجية، والبعض الشبكات الدلالية والآخر «الإطارات» frames ص ص كما يختلفون أيضا في تحديداتهم لمدى الارتباط بين العلامات والأعراض من جهة والتشخيص من جهة أخرى، وهناك أيضا اختلافات في الاستراتيجيات المستخدمة، فبعضها يسعى للتوصل إلى تشخيص يتعدى احتمال صحته نسبة معينة محددة مسبقا، بينما يزيد الآخرون الفروق بين التشخيصات المحتملة مستخدمين استراتيجيات خاصة لهذا الغرض، وأخيرا تختلف الأنظمة الخبيرة في قدرتها على شرح وتبرير عملها، وهي صفة ضرورية لكسب ثقة الأطباء وأولئك الذين سيستخدمونه. ويصف الجزء التالي الأنظمة الخبيرة الأساسية في المجال الطبي:

#### مايسين MYCIN

إن الهدف من هذا النظام الخبير هو تشخيص الأمراض المعدية خاصة عدوى الدم والسائل السحائي، ويحاول التعرف على البكتيريا المسؤولة عن المرض واقتراح العلاج والجرعة المناسبة، والموقف المعتاد هو أنه عندما تظهر علامات على مريض، نأخذ منه عينة من الدم أو البول ونجري لها مزرعة، ثم نعبر عن المعلومات المستقاة في شكل قواعد إنتاجية (انظر الفصل الثاني عشر) والمرتبطة بعدد من المواقف المرتبة هرميا في شكل شجرة تركيبية، انظر المثال في شكل 16-2. ويتعلق هذا المثال بمريض أخذ





شكل 16 - 2 شجرة السياق MYCIN

له ثلاث مزارع (واحدة قديمة واثنان حديثتان)، وأجريت له عملية واحدة وعزل كائن عضوي في كل من المزرعتين الحديثتين ولكن المريض مازال تحت العلاج لواحدة منها، وعزل كائنين عضويين في المزرعة القديمة وأعطى دواء واحدا لذلك، وتتعدى أهمية هذه الشجرة مجرد التعبير لمشكلة التشخيص إلى العمل كمتغير (بالمعنى الرياضي) حيث تساعدنا في الرجوع إلى التكرارات المختلفة لنفس المفهوم.

وتظهر القواعد المستخدمة في البرنامج بسهولة في صورة تشبه اللغة الطبيعية، فإذا أدخلنا إلى البرنامج طق 37 بمعنى نريد طباعة قاعدة رقم 37، يستجيب مايسين لهذا الأمر بطباعة الآتي:

قاعدة 37:

إذا 1- نوع الميكروب غير معروف و.

2- الميكروب سالب Gram-negative و

3- الكائن على شكل «قضيبي» و

4- الميكروب حيهاوائي (لا يعيش إلا بوجود الأكسجين)

إذن: هناك احتمال قوي (8 و 0) أن الميكروب من نوع «*enterobacteriaceae*».

وبين هذا المثال أن مايسين يحسب المعاملات coefficients ليعين درجة

احتمال النتائج، وتترابط هذه النتائج بالطريقة التي أوضحناها في الفصل

الثاني عشر عند مناقشة الاستدلال غير المؤكد fuzzy reasoning وقد كان مايسين برنامجا رائدا بين الأنظمة الخبيرة المساعدة للتشخيص الطبي، ورغم عدم استعماله في المستشفيات كان له تأثير قوى في البحث عن طرق تمثيل طرق الاستدلال التي يستخدمها الخبراء في الفروع المختلفة، حتى خارج مجال الطب أيضا، وقد كان لمايسين الفضل في تقبل العلماء فكرة فصل قاعدة المعرفة عن المفسر، كما استخدم مايسين أيضا في تدبير طلبة الطب ليبين لهم طرق الاستدلال التي يتبعها في التوصل للتشخيص.

### برنامج المرض الحالي Present Illness Program (PIP)

طور هذا البرنامج في MIT لتشخيص أمراض الكلى. وتمثل المعرفة فيه على شكل كيانات هرمية (انظر الفصل الثالث عشر)، ونعطي مثالا لها في شكل 16-3. ويمكن للكيان أن يكون له عدة أنواع من الملامح، يؤدي بعضها إلى جعل الكيان موضع نظر (يصبح نشطا)، والبعض يومي بجعله نشطا (يصبح شبه نشط)، وهناك ملامح أخرى تجعله مستبعدا (أي غير نشط)، وعند معالجة الكيانات، يتركز اهتمام البرنامج على الكيان النشط ويختبره، ويتحول الاهتمام إلى الكيان شبه نشط عندما يتوقف الكيان الأول عن كونه نشطا. ويمكن أن تتغير حالة الكيان أثناء اختبار كيان آخر، إما بسبب أن وجود أحدهما يلغي وجود الآخر، أو لأنهما متماثل لبعضهما.

المسبب: استسقاء = وجهي أو مداري

غير مؤلم

متماثل

غير روماتيزمي

يؤكد ب: ضعف واختناق

تسبب ب: تلوث Streptococcal حديث

أسباب: استسقاء الصوديوم، ضغط الدم المرتفع، تضخم الكلى

glomerulitis.

أسباب المضاعفات: فشل كلوي حاد

المضاعفات: التهاب النسيج الكلوي callulitis

التشخيص المميز: ضغط دم مرتفع ومزمن يدل على glomerulitis ورم

متكرر يدل على استسقاء

ألم بالبطن يدل على Henoch-Schonlein Purpura

شكل 16- 3 جزء من الكيان Acute,glomerulonephritis في PIP

### برنامج INTERNIST/CADUCEUS

طور هذا البرنامج في جامعة بيتسبرج، ويتضمن معلومات عن ما يقرب من 355 تشخيص في الأمراض الباطنية، ويؤخذ في الاعتبار ما يقرب من 5500 من الأعراض والعلامات.

وتمثل قاعدة المعرفة بهذا البرنامج في صورة تصنيف بنيوي للأمراض. وهناك روابط في اتجاهين بين الأمراض والملاحظات، وتشمل الملاحظات الأعراض المرضية والعلامات والبيانات الإكلينيكية، ويحدد درجة قوة لكل رابطة، ويعبر عن الاتجاه بالطريقة التالية «الملاحظة توحى بالتشخيص» بدرجة قوة تتراوح من صفر إلى خمسة، أو «التشخيص يفترض الملاحظة» ولها درجة قوة من 1 إلى خمسة، وتمثل درجة القوة هذه مدى اطراد الارتباط بين الملاحظة والمرض.

إن طريقة التحكم في INTERNIST/CADUCEUS غير معتادة، من حيث اعتمادها على التشخيص المميز بالدرجة الأولى، فهو ينظر إلى فرضيتين على أنهما متنافستان إذا كان كلاهما (باعتبارهما فرضية واحدة) لا يفسران مجتمعين ملاحظات أكثر مما تفسره كل منهما منفردة، وهناك ثلاثة مبادئ استراتيجية كما يلي.

- 1- الاستبعاد: إذا كان التنافس بين أكثر من أربع فرضيات، ابحث عن الملاحظات السلبية التي تمكن من تخفيض عدد الفرضيات المتنافسة.
- 2- التمييز: إذا تراوح عدد الفرضيات المتنافسة بين 2 و 4، ركز على الفرضيتين الأعلى وابحث عن معلومات يمكن أن تعطيها درجات مختلفة.
- 3- المتابعة: إذا بقي تشخيصان اثنان بعد استبعاد الباقي، ابحث عن معلومات لتصل بالفرق بين درجاتهما إلى حد معين.

### برنامج Ventilator Manager (VM)

استحدث هذا البرنامج لاري فاجان Larry Fagan<sup>(12)</sup> كجزء من مشروع

مشترك بين جامعة ستانفورد ومستشفى سان فرانسيسكو، ويهدف البرنامج إلى عمل ملاحظات كمية للمرضى في وحدة العناية المركزة، ويقوم بالمهام التالية:

- أ- اكتشاف الأخطاء المحتمل وجودها في القياسات المختلفة
- ب- التعرف على أي خلل بأجهزة مساندة الحياة system life support واقتراح الإجراء المناسب
- ج- تلخيص الحالة الفسيولوجية للمريض
- د- اقتراح تغييرات في المعالجة، مع أخذ التغيرات في حالة المريض في الاعتبار والأهداف الطويلة الأمد للعلاج، مثل أن يكون قادرا على التنفس بشكل طبيعي
- هـ- التنبؤ بالاستجابة المعتادة للعلاج للتأكد من أنه يسير بطريقة مرضية.

### شبكة الترابطات السببية

Casnet-expel (Causal Association Network)

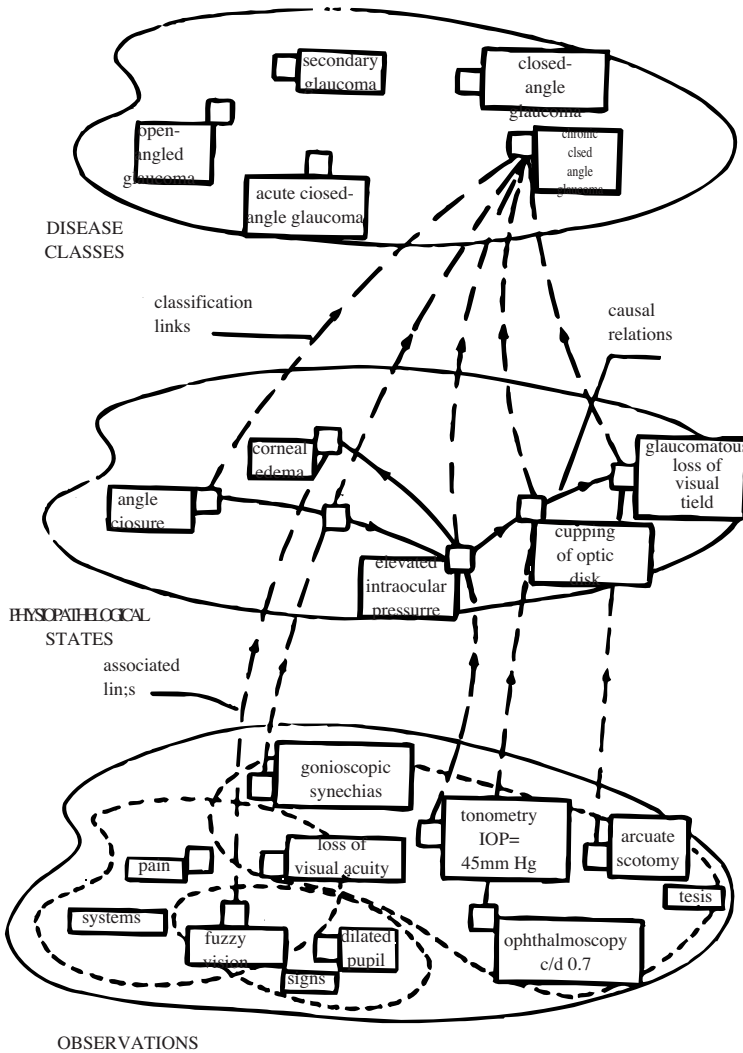
يختص هذا البرنامج بتشخيص حالات الجلوكوما، وينفرد بتمثيله للمعرفة على عدة مستويات (انظر شكل 16 - 4) ملاحظات-حالات باثولوجية وتشخيصها، وقد أمكن هذا الفصل لأن الظواهر الفسيولوجية للمرض أصبحت واضحة ومعروفة.

برنامج EXPERT هو تعميم لبرنامج CASNET والعلاقة بينهما تشبه العلاقة بين مايسين وايماسين، فلم يعد هناك تمثيل ظاهر للحالات الفسيولوجية والباثولوجية، وقد استخدم هذا في بناء برامج أخرى، كما هو موضح في شكل 16 - 5.

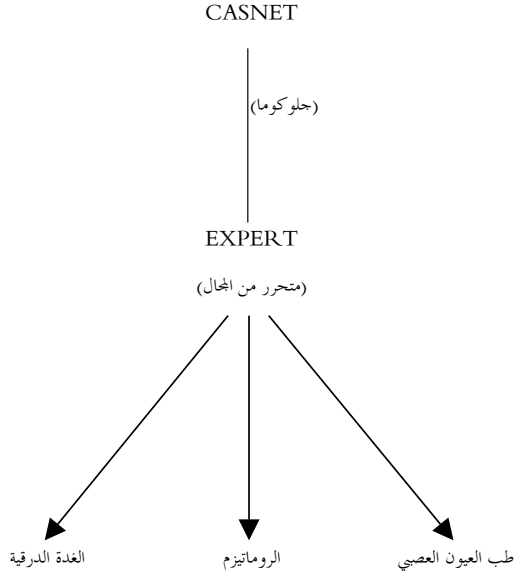
إن قواعد EXPERT من ثلاثة أنواع:

- ترابطات بين الملاحظات
- ترابطات بين الملاحظات والافتراضات
- ترابطات بين الافتراضات

ويتم تطبيق القواعد دائما بهذا الترتيب، ويكون الربط دائما في اتجاه الأمام (للقارئ أن يقارن هذا بعمل آلة الاستنتاج للقواعد الإنتاجية في الفصل الثاني عشر).



جدول 1-16 لأنظمة الخبرة في الطب



شكل 16 - 5 تطور CASNET و EXPERT

وبخلاف مايسين لا تزداد قوة العلاقة عندما تؤدي عدة قواعد إلى نفس النتيجة، بل يؤخذ معامل القيمة الأكبر، فإذا كانت درجة احتمال فرضية ما تعادل 0,06 ثم تكتسب دعما يعادل 0,04 تظل درجة الاحتمال 0,06 بينما يختلف الأمر في مايسين، فيؤدي مثل هذا الوضع إلى تغير في درجة احتمال الفرضية لتصل إلى 0,76. ومع ذلك لا تختلف النتائج كثيرا لأن معاملات الاحتمال لها معان مختلفة في البرنامجين كما أنها تستخدم بطريقة مختلفة في كل برنامج: فبينما يحسب مايسين الزيادة في درجة الاحتمال، يأخذ EXPERT النقل الأساسي لدرجة الاحتمال دون زيادة ويقوم في النهاية بحساب زيادة للفرضية التي يدعمها العدد الأكبر من القواعد مما يوحي بأنها أكثر الفرضيات اتساقا.

وبرنامج EXPERT يمكن نقله بسهولة لأنه كتب بلغة فورتران، إلا أن العدد الضخم من الاختصارات المستخدمة يجعل من الصعب قراءته. ويلخص الجدول التالي الأنظمة الخبيرة الأساسية التي استحدثت للتطبيقات الطبية.

المؤلف	اسم البرنامج	الموضوع
(9)SHORTLIFFE	MYCIN	أمراض الدم والسحايا
(11)POPL	INTERNIST/CADUCEUS	الأمراض الباطنية
(18)Shomliffe	ONCOCIN	السرطان
(13)weiss	CASNET	الجلوكوما
(10)Pauker	PIP	الاضطرابات الكلوية
(15) Kunz	PUFF	متابعة مرضى العناية المركزة (12)Fagan VM
(19)Fieschi	SPHINX	الأمراض الصدرية
(16)Trgoboff	Iris	آلام معوية
(20)Gory	DIGITALIS	الرمد
(21)Patil	ABEL	القلب
(22)Martin	MOLGEN	PHCOHTROL
(23)Engelmore	CRYALIS	تخطيط التجارب البيولوجية
(24)Gascuel	SAM	تحليل البروتين
		ضغط الدم الشرياني

جدول 16-1 لأنظمة الخبرة في الطب

## الوضع الراهن

أظهرت هذه الأنظمة الخطيرة قدرة على التشخيص يمكن أن تكون ذات فائدة في المستشفيات وذلك على الرغم من انعدام التعمق في الربط بين الظواهر التي يمكن للنظم الخبرة أن تقيمها، ورغم أن كثيرا من الأطباء لا يرغبون في استخدام ما يطلقون عليه «تفكير الآلة»، فإنه يمكن التغلب على ذلك بإيضاح خط التفكير الذي تتبعه الآلة وشرح الطريقة التي يستخدمها البرنامج في التوصل إلى النتائج.

وما يجب عمله الآن بسرعة هو نقل هذه النظم الخبرة إلى أجهزة الحاسب الصغيرة، التي يمكن أن يستخدمها الطبيب في عيادته الخاصة، وبذلك لا يحتاج الطبيب إلى خطوط تليفونية لكي يتصل ببرنامج كبير يعمل على جهاز بعيد. كما يجب أيضا أن يكون ممكنا للأطباء أنفسهم أن

يعدلوا البرامج دون أن يضطروا إلى استدعاء عالم الحاسب للمساعدة، وهذا يتضمن تحسن في الاتصال ألبيني بين المستخدم والآلة.



# References

- (1) Degoulet P., Chantalou J.P., Chatelier G., Goupy S., Zweigenbaum P. (1983), Structured and standardized medical records, Van Demmel, Ball and wigertz (eds.) MEDINFO-83, New York, North-Holland, pp. 1164- 1168.
- (2) Ledley R., Lusted L. (1959), Reasoning Foundations of medical diagnosis, *Science*, 130, pp. 9- 21.
- (3) Junin C. M., Tupasa I., Craig W.A. (1973), Use of antibiotics, a brief exposition of the problem and some tentative solutions, *Annals of Internal Medicine*, 79, pp. 555- 560.
- (4) Duda R.O., Hart P. E. (1973), *Pattern classification and scene analysis*, New York, Wiley.
- (5) Lusted L.B. (1968), *Introduction to medical decision making*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas.
- (6) De Dombal FT., Gremy F. (eds.) (1976), *Decision making and medical care: can information science help?*, New York, North-Holland.
- (7) Fries J.F. (1972), Time-oriented patient records and a computer database, *J. Amer. Med. Assoc.*, 222, pp. 1536- 1542.
- (8) Blum R. (1982), *Discovery and representation of causal relationships from a large time-oriented clinical database: the RX project*, Department of Computer Science report, STAN-CS-82900, Stanford University.
- (9) Shortliffe E.H. (1976). *Computer-based medical consultation: MYCIN*, New York, Elsevier.
- (10) Pauker S., Gorroo A., Kassirer J., Schwartz W. (1976), Towards the simulation of clinical cognition Taking a present illness by computer, *American Journal of Medicine*, June 1976, 60, pp. 981- 996.
- (11) Pople H. (1982), Heuristic methods for imposing structure on ill-structured problems; the structuring of medical diagnosis, in *Artificial Intelligence in medicine*, P. Szolovits (ed.), Boulder, Colorado, Westview Press.
- (12) Fagan L.M. (1980), *VM Representing time-dependent relations in a clinical setting* Ph.D. dissertation, Heuristic Programming project, Stanford University.
- (13) Weiss S., Kulikowski C., Safir A. (1978), A model-based method for computer-aided medical decision making, *Journal of Artificial Intelligence*, 11, pp. 145- 172.
- (14) Kulikowski C., Weiss S. (1982), Representation of expert knowledge for consultation: the CASNET and EXPERT projects, in *Artificial Intelligence in medicine*, P. Szolovits (ed.), Boulder, Colorado, Westview Press.
- (15) Kunz et al (1978), A physiological rule-based system for interpreting pulmonary function test results, *Heuristic programming project report, HPP-78- 19*, Stanford University.
- (16) Trigoboff M., Kulikowski C. (1977), IRIS, A system for the propagation of inferences in a semantic net, *IJCAI-77*, pp.274- 280.

- (17) De Dombal F.T., Leaper D.J., Staniland J.R. (1972), Computer aided diagnosis of acute abdominal pain, British Medical Journal, pp9- 13
- (18) Shortliffe E.H., Scott C.A., Bishoff M.B., Van Melle W., Jacobs C.D. (1981), ONCOCIN: an expert system for oncology protocol management, IJCAI-81, pp. 876- 881.
- (19) Fiesch M. (1981), Aide a la decision en medicine: le systeme SPHINX. Application au diagnostic d'une douleur epigastrique. These de Doctorat en Medecine, marseille.
- (20) Gorry G.A., Silverman H. Pauker S.G. (1978), Capturing clinical expertise: a computer program that considers clinical responses to dig ital is, American Journal of Medicine, pp. 452.460.
- (21) Patil R., Szolovits P. Schwartz W.B. (1982), Modelling knowl edge of the patient in acid-base and electrolyte disorders, in Artificial Intelligence in medicine, Szolovits (ed.), Boulder, Colorado, West-view Press.
- (22) Martin N., Friedland P., King J., Stefik M. (1977), Knowledge-based management for experiment planning in molecular genet ics, IJCAI-77, pp. 882- 887.
- (23) Engelm ore R., Terry A. (1979), Structure and function of the cry sal is system, I JCAI-79, pp. 250-256.
- (24) Gascuel O. (1981), Un systeme expert dans le domaine medical, these de 3e cycle, Universite Paris VI.
- (25) Fox J. Rector A. (1982), Expert systems for medical care? Automedica Vol. 4. pp. 123- 130.



## النظم الخبيرة في العلوم والصناعة

نشير في هذا الفصل إلى النظم الخبيرة الرئيسة التي استحدثت حتى الآن للتطبيق في العلوم والصناعة، كما نصنفها وفقا لمجالاتها التطبيقية، ونعطي وصفا تفصيليا لبعض منها.

### ديندرال وميتاديندرال DENDRAL و META- DENDRAL

يهدف ديندرال DENDRAL<sup>(1)</sup> إلى التعرف على بنية الجزيء العضوي-organic Molecule باستخدام بيانات الكيمياء الطبيعية والطيفية، ويعطي تفسير بنود هذه البيانات تركيبات محتملة لبعض ذرات الجزيء العضوي، كما أن تجميع هذه الأجزاء يمكننا من التوصل إلى التركيب التكويني الكامل للجزيء، وتسير هذه العملية في ثلاث مراحل.

1- التوليد: حصر جميع الإمكانيات باستخدام برنامج Congen<sup>(2)</sup> الذي يعتمد على، ويعتبر تطويرا لخوارزم توفيقى استحدثه ج. ليديربيرج J. Lederberg.

2- التخطيط: تنفيذ بعض القيود التي تحد من

حجم البحث الذي تولده المرحلة الأولى والذي قد يكون كبيرا جدا .  
3- الاختبار والتصنيف: بناء وتنفيذ قيود أخرى لتخفيض عدد الاحتمالات التي يتحتم النظر فيها، مع ترتيب هذه الاحتمالات ترتيبا تنازليا طبقا لدرجة المعقولية أو الاستحسان.

ويمكن أن يستخدم ميتا ديندرال كبرنامج تعليمي استقرائي لتطوير وتعميم القواعد التي يستخدمها ديندرال، كما يولد قواعد جديدة، ويبني عمله على معلومات طيفية شاملة، ويتعامل مع الآلة كصندوق مغلق يحاول اكتشاف القواعد التي تحكمه، أي القواعد التي تحكم تجزأ الجزيئات العضوية، وهكذا يمكن لميتا ديندرال أن يستنتج قاعدة من النوع التالي:



وتعني هذه القاعدة أنه إذا كان الجزيء يحتوي على ذرة نيتروجين متصلة بسلسلة من ثلاث ذرات من الكربون، فإن الفصل سيكون بين ذرتي الكربون الوسطيين.

ماكسيما (4)MACSYMA

ويهدف هذا البرنامج للمساعدة في حل مسائل التفاضل والتكامل والمعادلات الجبرية وجبر المصفوفات والمتجهات vector and matrix algebra ويمثل هذا البرنامج أحد الجهود الكبرى في تاريخ الذكاء الاصطناعي، ويبلغ الوقت المبذول فيه حوالي خمسين سنة، ويشمل البرنامج.  
- قواعد لتبسيط المعادلات الرياضية وتحديد التناظر بينها، وهذه القواعد سهلة الاستخدام كما يمكن للمستخدم أن يضيف إليها إذا أراد.  
مثال ذلك:

$$\sin(x + 1/2 \pi) \rightarrow \cos x, \sin^2 + \cos^2 x \rightarrow 1$$

$$\log(ab) \rightarrow \log a + \log b$$

- إجراءات للتعرف على الأشكال الجبرية، ليس فقط على المستوى التركيبي بل أيضا على المستوى الدلالي، فهي يمكن أن تدرك أن  $3x^2 + 4x - 1$  يمكن أن تتخذ الشكل التالي  $ax^2 + Bx + c$  وكذلك  $(x-1)(x+1)$   
- إجراءات استنتاجيه وتجريبية، فإذا حدد المستخدم، بواسطة الأمر Declare، أن  $N$  عدد صحيح يقوم ماكسيما باستنتاج أن  $\cos(n + 1/2)\pi = 0$  ويمكن للخوارزم الذي استحدثه جينيسيرث Genesereth<sup>(5)</sup> من القيام

باستنتاجات تصنيفية Deductions TKonoric-type وانتقال الخصائص من كيان لآخر، والنظر في تقاطع المجموعات. وقد تم تركيب البرنامج في MIT ويمكن تشغيله عن طريق شبكة أربا ARPA وقد كتب هذا البرنامج بلغة ليسب، واستخدمه كثير من العاملين. وقد كتبت برامج أخرى لتقوم بعمليات التكامل الجبري، ولكن باستخدام قاعدة معرفة أصغر، ومن هذه البرامج REDUCE الذي استحدثه <sup>(6)</sup>hearm وبرنامج آخر للولبير معتمدا على <sup>(7)</sup>SNARK وبرنامج LEX لميتشيل <sup>(8)</sup> ويتميز الأخير باشماله إجراءات للتعلم.

### بروسبيكتور PROSPECTOR <sup>(9)</sup>

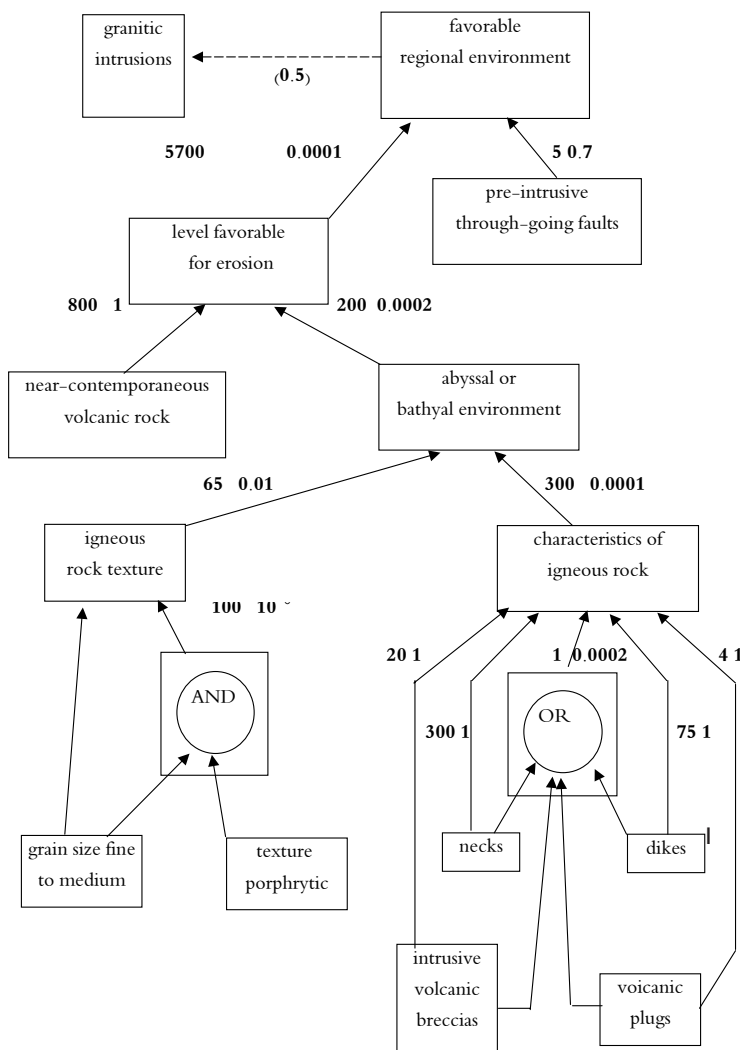
يتعلق هذا البرنامج بجيولوجيا المعادن، وهو يعالج المشكلة التالية: إذا توفر لنا وصفا جيولوجيا لمنطقة حفر، ما هي المعادن المتوقع استخراجها من هذه المنطقة؟ يستخدم البرنامج عمليات استدلالية مستقلة غير مرتبطة بالموضوع الخاص (هنا الجيولوجيا) باستخدام شبكات دلالية مقسمة ومجموعة بكفاءة.

ويمكن إظهار عدم اليقين سواء في البيانات المستخدمة أو في الاستنتاجات التي يتوصل إليها البرنامج، ويمكن إدخال البيانات في بداية دورة التحوار مع الحاسب في شكل عبارات بسيطة بلغة طبيعية، وتحلل هذه العبارات بواسطة النحو الدلالي الذي يستخدمه برنامج التحليل LIFER <sup>(11)</sup> (انظر الفصل السابع) وقد استخدم برنامج التحليل هذا لتطوير عدة برامج ببنية للغة الطبيعية وقواعد البيانات، وعادة ما تكون جلسة التحوار متفاعلة interactive وقد يطلب البرنامج أثناءها معلومات إضافية، وشأنه شأن برامج النظم الخبيرة المتقدمة، يستطيع برنامج بروسبيكتور أن يشرح عمله في أي مرحلة في الجلسة، كما يمكنه تبرير النتائج التي توصل إليها.

وقد طورت عدة أدوات نافعة جدا حول بروسبيكتور، منها برنامج يقوم بترجمة مزدوجة بين الشكل الداخلي للمعلومات (الشبكة الدلالية) وبين الشكل الخارجي القريب من اللغة الطبيعية، ويساعد Knowledge Acquisition system (KAS) برنامج اكتساب المعلومات <sup>(12)</sup> المستخدم على خلق نماذج جديدة

أو تعديل تلك الموجودة من قبل، ويقوم KAs بالتأكد من أن درجة الاستحسان المقدرة لأحداث معينة تراعى قيود معينة، فإذا كانت درجة الاستحسان لحدث ما  $A$  هي  $PI(A)$ ، وكانت  $A$  مجموعة فرعية من  $B$ ، فإن العلاقة  $PI(A) > PI(B)$  ممكن أن تكون صادقة أبداً، لأن  $A$  يجب أن تراعى كل القيود على  $B$ ، بل وقيود أكثر من تلك المفروضة على  $B$  نفسها.

وبين شكل 17-1 جزءاً من شبكة الاستنتاج لبروسبكتور، ويمثل أحد الرقمين المرتبطين بكل فرع درجة الكفاية (Degree of Sufficiency (DS) وبينما يمثل الآخر درجة الضرورة (Degree of Necessity (DN) وتعني درجة الكفاية العالية لحدث أو ملاحظة  $E$  أن هذا الحدث أو الملاحظة كاف لقيام الفرض  $H$  ودرجة الكفاية اللامنتهية مساوية منطقياً للجزم بأن  $H \rightarrow E$  والقيمة الصغرى لدرجة الضرورة  $DN \ll 1$  تعني أن الحدث أو الملاحظة مع ضرورية لقيام الفرض  $H$  فإذا كان  $DN = 0$  يكون ذلك مساوياً منطقياً للجزم بأن  $H \rightarrow E$  وهكذا كما يمكن أن نرى في شكل 17-1 يظهر وجود «رقبة neck» كدليل قوى (درجة كفاية 300) لوجود الصخور النارية ولكن ليس على الإطلاق ضرورياً (درجة الضرورة = 1)، بينما تقل درجة الكفاية «للرقات البركانية Dikes» أو «التداخل البركاني» (درجة الكفاية 75, 20). ولكن حقيقة أن كتلة معينة تتميز بوجود صخور نارية هو شرط كاف وضروري لكي يمكن تصنيفها بأنها بيئة هاوية أو متعلقة بأعماق المحيطات.



شكل 17 - 1 جزء من شبكة الاستنتاج لبرنامج بروسبيكتور (المصدر : دودا (9)).



## برنامج ليثو LITHO

إن من أهم مشاكل الكشف عن البترول تفسير المقاييس المختلفة التي ترتبط بالخواص الطبيعية لصخور المنطقة مثل الكثافة، التوصيل الكهربائي والنشاط الإشعاعي، ويمكن بهذه القياسات الاستدلال على نوع عينات الصخور المستخرجة بواسطة الثاقب Driller وتمثيلها بواسطة منحنيات تعرف بالخط السلكي أو الكتل الكهربائية.

والهدف من برنامج ليثو<sup>(13, 14)</sup> الذي طور في شلومبرجر-Schlumberger، هو تفسير هذه القياسات كما يفعل العالم الجيولوجي البشري خاصة في استخدام مثل هذه المعلومات كجغرافية المنطقة ونشأتها وطبقاتها الجغرافية، ومعادنها وتكون البترول فيها، ونحصل على وصف مفصل للقاع الأسفل يربط الشواهد التي يؤكد ما يزيد عن مائة من المعاملات المختلفة، مستخدما ثقل الشواهد، وهكذا يمكن تصفية الفروض غير المؤكدة بالتدريج حتى نصل إلى نتيجة حازمة مقبولة.

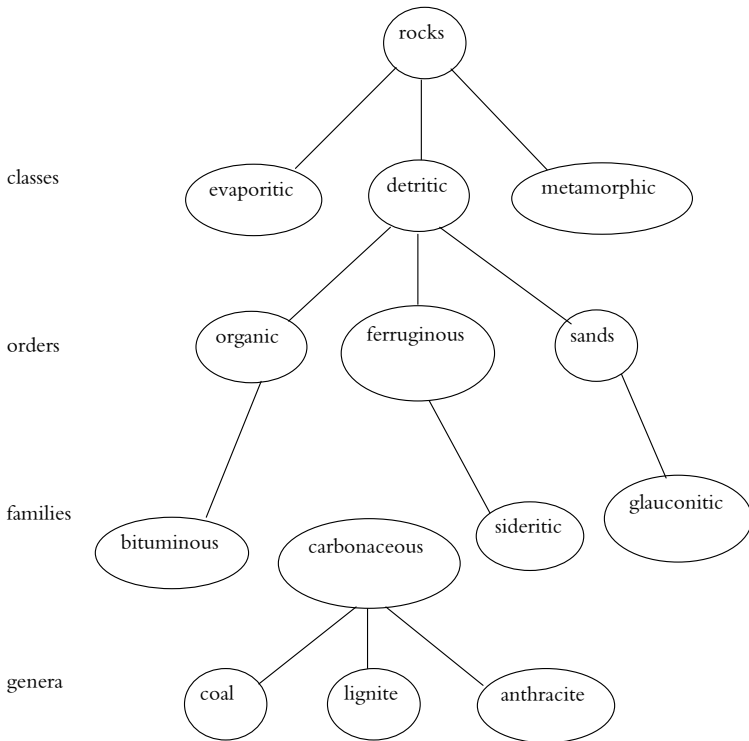
ويستخدم البرنامج كثيرا طرق ربط مقاييس الصدق، التي يبدو أنها ضرورية في البحث الجيولوجي حيث إن كثيرا من النتائج تعتبر غير نهائية، ويرجع إلى كثير من المعلومات من أجل ترجيح الفروض الأولية، وفي بعض الأحيان لمناقضتها حتى يمكن استبعادها وليس من غير المألوف في هذا المجال أن نضطر لمعالجة بيانات متناقضة، وسنتحدث عن ذلك في فقرة قادمة.

وقد قام ديفيز Davies<sup>(15)</sup> بمحاولة لتفسير كتل خط السلك Wireline logs ص ولكن بمثال واحد فقط لكل حالة، ويأخذ البرنامج في الاعتبار كل ما هو مرتبط بالحالة موضع البحث، مشيرا إلى بث موجات الصوت والكثافة والمقاومة وإشعاع جاما.. الخ، وعندما تجمع هذه الأنواع المختلفة من المعلومات معا، غالبا ما يتضح أن الكثير منها مكرر وأن بها تناقضات كثيرة أيضا، وأن مصادر الخطأ كثيرة ومتعددة.

## مراحل الاستدلال في برنامج LITHO

لقد استحدث LITHO أساسا بالاعتماد على برنامج EMYCIN<sup>(16)</sup>، ويستخدم القواعد الإنتاجية (انظر الفصل الثاني عشر) بنفس قواعدها

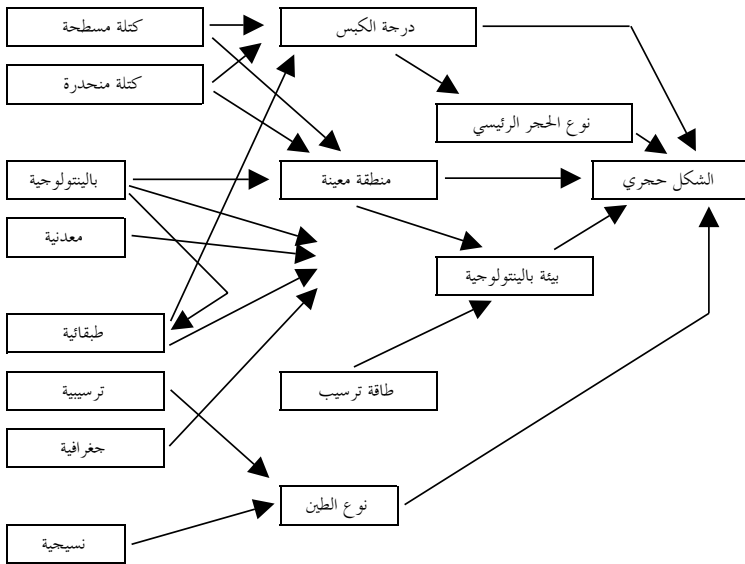
التركيبية، ويعطي البرنامج درجة ثقل للنتائج التي يتوصل إليها، وهو ما نسميه درجة الصدق، وبالإضافة إلى تلك القواعد، يعتمد البرنامج على قاعدة معرفة تصنيفية taxonomic عريضة للمعادن، والبليوتكنولوجيا، والجغرافيا، والبيتروجرافى، وعلم الطبقات والتي تمكن البرنامج من استخدام معلومات أكثر عمومية من البيانات المدخلة. فإذا افترضنا أن هناك قاعدة تبدأ بالشكل التالي «إذا كانت المرحلة الجيولوجية ثانوية، و..»، وأدخل مستخدم البرنامج «الفترة الجيولوجية هي الطباشيرية»، فستشيط القاعدة لأن البرنامج «يدرك أن الفترة الطباشيرية هي جزء من المرحلة الثانوية، ويوضح شكل 17 - 2 جزءا من شجرة الجغرافية البترولية.



شكل 17 - 2 جزء من تصنيف فحم البترول في برنامج LITHO

## بيانات من مصادر مختلفة

إن المهمة الرئيسية التي يؤديها LITHO هي تحديد أنواع الصخور من بين التسعين نوعا الموجودة في قاعدة المعرفة، التي يمكن أن يقال بحق إنها من المنطقة التي يكمن فيها البئر فعلا، ويوضح شكل 17 - 3 تدفق المعلومات بين البيانات المعطاة و الهدف المصبو إليه، ويستخدم في هذه العملية عشرات من معايير متوسطة، والرسم الذي يمثل عملية الاستدلال ليس عميقا جدا، فمستوى عمقه لا يتعدى أربعة مستويات في المتوسط.



شكل 17-3 مراحل العملية الاستدلالية

## تحديد البنية العامة الليثولوجية

Determination of the broad Lithological Structure

مما يجعل التحديد المفصل لأنواع الصخور أمرا معقدا أن أنواعا كثيرة من الصخور لها أشكال كتل متشابهة مثل Silixite charts و quartzite على سبيل المثال، بحيث يعتمد التمييز بين الاثنين على استخدام البيانات الجيولوجية الأخرى فقط، إلا أنه من الممكن إحراز بعض التقدم بالتعرف

على «المجموعات العليا-Su Per-Groups التي يمكن التمييز بينها فيما بعد على أساس، اعتبارات أخرى: فيمكن أن تتطوي كل heavy, dolomitic rocks, Saline rocks Rocks (Phosphates, siderites, Fenginous, limestones, etc) etc صندوق عام باسم النسيجية Histogram (انظر شكل 17 - 3).

فقاعدة رقم 54 في برنامج Litho مثلا هي:  
إذا كانت نسبة «الجبس» في Histogram تتعدى 5%.  
إذن تكون البيئة القديمة لمنطقة الترسيب هي ضحلة (0, 7) وشاطئ (0, 3)، صخرية (0, 2)، بحيرة (0, 2) وبحر مفتوح (95, -0).

### البيانات الخارجية

يشير هذا التعبير إلى جميع أنواع المعلومات المستمدة من مصادر أخرى غير الكتل Logs. وبعض مواد مثل هذه المعلومات لا تكون دائما متوفرة مثل وصف شظايا الصخور التي يعثر عليها في الطين أثناء عمليات الاستكشاف أو مواد علم الاحاث Paleontology كالتي تدل على وجود المرجان، وهناك أنواع أخرى من المعلومات التي عادة ما تكون معروفة أو يمكن استنتاجها: وهكذا يمكن التوصل إلى معلومات قيمة عن أنواع الصخور في منطقة الاستكشافات من خلال المعرفة الجغرافية لموقع البئر، مثل مساطب الكربون في الشرق الأوسط، وفي معظم الأحيان يكون للمعلومات الجغرافية دور كبير في التوصل إلى استنتاج جزئي لعصر التكوينات، ومن ذلك يمكن التوصل إلى نتائج لها أهميتها.

ويمكن برنامج LITHO عادة من التوصل إلى العصر الجيولوجي من معلومات الإحاث حتى في حالة عدم معرفة عالم الجيولوجيا لذلك، فيعرف برنامج LITHO مثلا «شأنه شأن أي عالم جيولوجي جيد» أنه طبقا للقاعدة 101 فإن وجود مادة graptolithis يشير إلى أن المرحلة تكون إما Silurian أو Ordovician

ويمكن وضع المعلومات الخارجية في ثمانية تصنيفات كما هو موضح أدناه، وهى تتكون من كل من أبنية تصنيفية تدخل بواسطتها البيانات في نظم يمكن أن تستخدم للتوصل إلى قواعد عامة جدا، وقواعد استنتاجية تنشط عندما تدخل البيانات إلى البرنامج. ومثال ذلك أنه إذا كان التكوين

cambrian (قديم جدا يرجع إلى أكثر من 570 مليون سنة) يكون هناك احتمال قوي أن الصخور عالية الضغط.

والتصنيفات الثمانية للمعرفة الخارجية هي كالآتي:  
معرفة جغرافية (مناطق جيولوجية، أحواض، حقول، آبار)  
أنشطة بنائية (ثايا، تشققات أرضية، أنظمة)  
معلومات طبقاتية «عن طبقات الأرض». مراحل جيولوجية، عصور،  
نظام)

معلومات عن نشأة الأرض (التحجر)  
معلومات عن التعدين (التكلس، الكوارتز)  
معلومات عن وصف الصخور وتصنيفها (الحجر الجيري، الطفل، الرمال)  
معلومات ترسيبية (صخور منحدر، قنوات، تعرج، كثبان)  
طبيعة بترولية (المسامية، المتغذية، التشبع)  
وفيما يلي مثال عن قاعدة تربط المعلومات الجغرافية والطبقاتية:  
قاعدة 295

إذا 1- كانت المرحلة الطبقاتية هي العصر الطباشيري  
و 2- وكانت المعلومات الجيولوجية واحدة من:  
طبقة إيرانية أو حزام زاجروس zagros المنثني  
إذن 1- من المحتمل أن تكون البيئة الأصلية:

fluvial بحيرة (-0.6) دلتا (=0.6)

LAGoon (-0.3) Arid (-0.6) GLACIAL (0.8- )

PELAGic (0.4)....

2- احتمال أن تكون أنواع الليثيوم الرئيسة في المنطقة:

deitric (-0.3) biological (0.3) evaporitic (0.3)

Plutonic (0.5)

3- هناك احتمال ضئيل أن المنطقة ليست مضغوطة كليا (0.2 , -)

4- هناك احتمال ضئيل لوجود بترول بالمنطقة (0.2 , 0)

وتربط القاعدة أعلاه الترسيب الأولي بنوع الليثيوم الأساسي للوصول  
إلى أصدق احتمالات وجود تفرعات الليثيوم.

قاعدة 201

إذا كان ترسيب البيئة الطبقاتية من نوع نيتريك  
و ونوع الليثيوم الأساسي هو بيولوجي  
إذن احتمالات وجود أنواع الليثيوم المختلفة هي:  
HALITE (0.2) DOLOMITE LIMESTONE ...

### استخدام الخصائص العامة لكتل الخط السلكي

تحتوي الكتل على معلومات عديدة ورمزية وعلى ملامح هامة تتعلق  
بشكل المنحنيات وهذه لها معان رمزية مهمة.

وقد استحدثت مجموعة من المفردات لتساعد على وصف أشكال الكتل  
المختلفة في ضوء أشكال أساسية Normalized signatures، وقد تم تجميع  
أشكال نمطية ووضعت في كتيب بحيث يمكن للمستخدم أن يتعرف عليها  
أثناء تشغيل البرنامج، ويقوم برنامج LITHO بمقارنة ومضاهاة البيانات  
الرمزية الهامة مع كافة البيانات الأخرى، وهذا يساعد على حل إشكالية  
التعرف، ويوضح شكل 4-17 مسارين نمطيين، بينما يوضح شكل 5-17 مسار  
ثالث وبعض السمات الوصفية، والصفات الرئيسية هي:

Plateaux: المناطق التي تظهر استجابات واسعة وثابتة على مدى 25 مترا  
على الأقل.

Megaramps: المناطق التي تظهر زيادة أو نقصان على مسافة 25 مترا  
على الأقل.

Major Beds: استجابة ثابتة على مسافة تتراوح بين 2, 25 متر.

Mesoramps: زيادة أو نقصان على مسافة تتراوح بين 5, 25 متر.

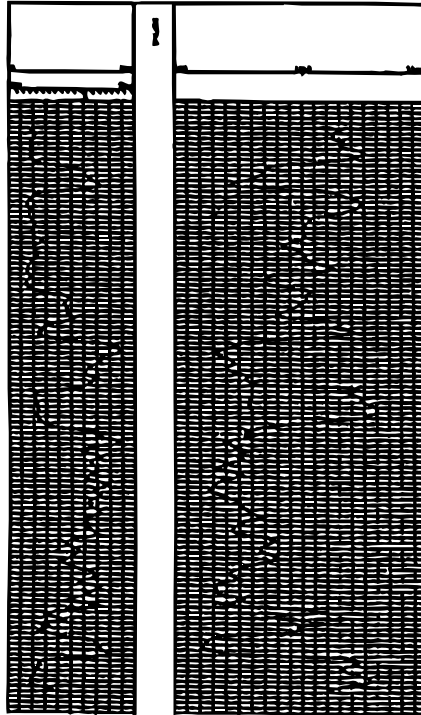
ويتحدث الجيولوجيون دائما عن «قمة طينية Clay Peak» بالكشف بواسطة  
أشعة جاما، لأن من خصائص الطين النشاط الإشعاعي العالي، ولكي يحصل  
البرنامج على هذه المعلومات فإنه يسأل المستخدم عن المنحنى الطبيعي  
المتوقع، أي اختلافات فرق الجهد الطبيعي مع العمق ويطلب رأى المستخدم  
حول وجود صفات مختلفة في مسارات معينة.

مثل صفات درجة الإشعاع والكثافة والمقاومة. ومن واقع هذه البيانات  
التي يحصل عليها البرنامج يقوم بحساب درجات الاستحسان Plausibility  
Measures لكل بيئة تحت الدراسة، ولمجموعات الليثيوم الرئيسة وربما لكل

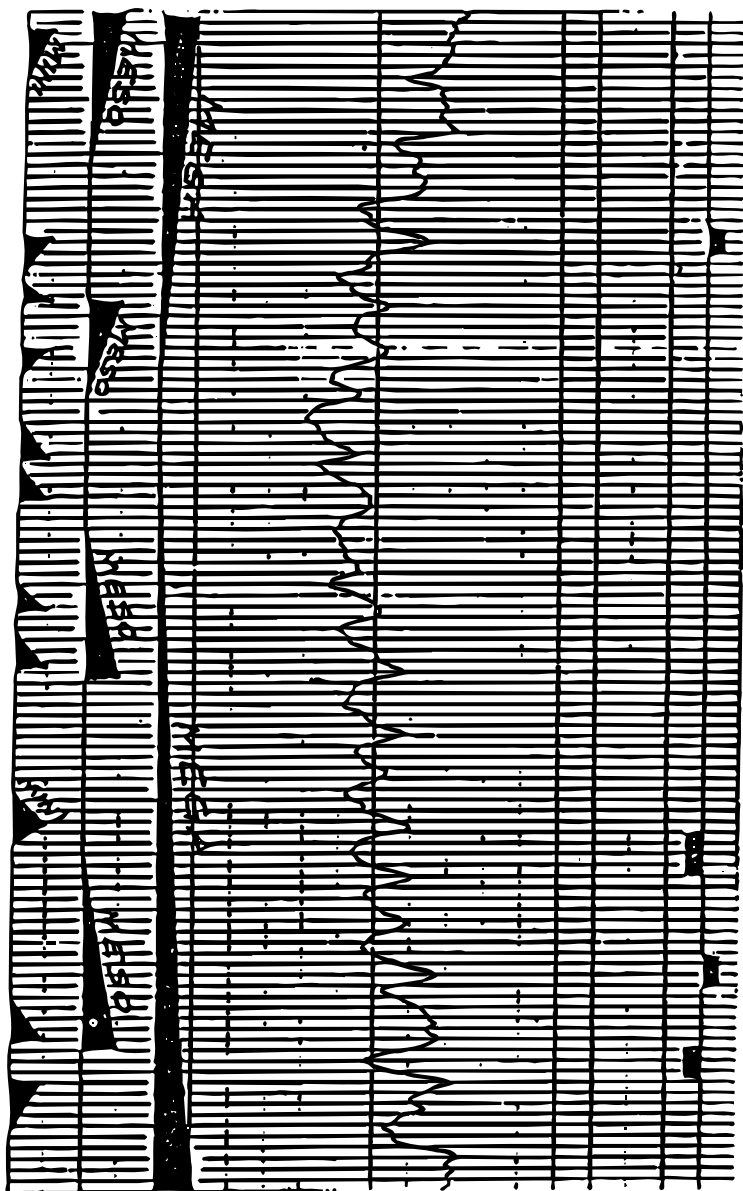
نوع من أنواع الصخور، ولا يحتاج أي شك لدى المستخدم في التعرف على الصفات المختلفة أن يوقف هذه العملية، لأنه حر في وضع رؤيته الخاصة بتحديد درجات استحسان يستخدمها البرنامج لتقليل قوة استنتاجاته، وفيما يلي مثال للطريقة التي تستخدم المعلومات الوصفية مع البيانات الرقمية:

قاعدة 8..

إذا كانت هناك هضبة في منحنى أشعة جاما و مستوى النشاط الإشعاعي أدنى من 40API (الوحدات الدولية لأشعة جاما التي استحدثتها مؤسسة البترول الأمريكية). إذن هناك احتمال قوي (0,8) إن المنطقة «نظيفة» أي بها محتوى طين ضئيل جداً.



شكل 4-17 تخطيط مساران نمطيان



شكل 5-17 السمات الوصفية للمسار التخطيطي



## المحصلة النهائية للبرنامج

يقوم برنامج حسابي بإعداد المحصلة النهائية للبرنامج أخذاً في الاعتبار الآتي:

1- قائمة بأنواع الصخور الأكثر احتمالاً، مع درجات الاستحسان لكل نوع.

2- الكتل المسجلة في البئر تحت الدراسة.

وتشمل النتيجة النهائية التي نحصل عليها من البرنامج وصفاً جيولوجياً كاملاً للبئر على أبعاد 15 سم، وقد أثبتت التجارب أن هذه النتائج قريبة جداً من النتائج التي يتوصل إليها العالم الجيولوجي البشري.

## معالجة البرنامج للبيانات الخاطئة

لا تكون الظروف التي يتم في ظلها تسجيل المسارات ظروفًا مثالية أبداً، والنتيجة أنه قلما تخلو النتائج من الأخطاء، كما يمكن أن تنشأ الأخطاء أيضاً في عملية جمع شظايا الصخر، إذ يمكن أن تنحدر واحدة من مكانها الأصلي وبذلك تسجل في عمق مغاير لعمقها الأصلي، ويعالج LITHO مثل هذه المشاكل على النحو التالي:

1- لا يدعي أبداً أن أي نتيجة يتوصل إليها صحيحة 100٪، ولذلك إذا ثبت خطأ البيانات التي تعتمد عليها نتيجة ما، فإن مصادر المعلومات الأخرى البيانات التي تعتمد عليها نتيجة ما، فإن مصادر المعلومات الأخرى تساعد في التوصل إلى نتائج أقرب إلى الصحة.

2- يستخدم كثيراً من ألا طرادات، فتكون النتيجة الصحيحة الموثوق منها حاصل جمع من 5 إلى عشر نتائج أضعف.

## علاقة مجال الاستخدام بعمليات الاستدلال

إنها حقيقة مدهشة أن صياغة القواعد الإنتاجية المرتبطة بدرجات الاستحسان لها نفس الفاعلية الجيدة في مجالين مختلفين متباعين كالتطب والجيولوجيا، وفي الحقيقة، أن العمليات الاستدلالية المستخدمة في المجالين متشابهة تماماً بمعنى أن في كلا الحالتين تكون النتائج المتوصل إليها في العادة ضعيفة وتتطلب تأكيداً، بفحوصات وعمليات مخبرية إضافية، وهناك

أيضا تماثلا أبعد، ففي حالة الاستخدام المشترك للمعلومات الرمزية والعددية يتشابه رسم القلب مع كتلة الخط السلبي، كما يتشابه أيضا التاريخ الطبي للمريض مع التاريخ الجيولوجي للبئر، وفي كلا الحالتين يكون الهدف النهائي التوصل إلى تشخيص، للمريض في حالة الطب ولقاع البئر في حالة الجيولوجيا.

وتختلف هذه التطبيقات اختلافا صارخا مع فهم الصور المرئية أو لفهم الكلام، فهنا تتم المعالجة الرقمية أولا « التعرف على الأشكال Pattern (recognition) معطيا وصفا غير دقيق للظاهرة، ويتم بعد ذلك معالجة هذا الوصف بطرق رمزية التي تستخدم مثالا معرفة عامة لأشكال الصور المرئية ومعرفة تركيبية أو دلالية لأشكال الكلام، ومن المهم تقدير أنه في حالة الجيولوجيا مثالا يكون للمعلومات الرمزية أسبقية ودور رائد في المعالجة العددية للكتل بتحديد أنواع الصخور الفردية التي يجب النظر فيها.

وتعكس مقاييس الاستحسان تقويم الخبراء للثقة التي يمكن أن توضع في النتائج، وليس لهذا أساس نظري، فقد تعطى بعض الدلالات الإحصائية، ولكنها تمثل في أغلب الأحيان الخبرة المتراكمة للخبير الذي إذا سئل: «إذا طلب منك أن تعطى درجة ثقة لبعض العبارات تتراوح بين-10 و +10 فماذا تقول ؟ ولا شك أن هذه الفكرة غير شكلية.

### النظم الحالية - خاتمة

لقد تصدرت التطبيقات الجيولوجية عرضنا هذا للنظم الموجهة للصناعة، مما يعكس أهميتها في الحياة الحقيقية لأن لها أهمية اقتصادية عظيمة، وحاليا هناك تطبيقات أخرى في الأعمال الزراعية لتشخيص أمراض النبات، وفي البيولوجيا الحيوية، وفي البنوك لحساب المخاطر المالية، وفي البيولوجيا الحيوية، وفي البنوك لحساب المخاطر المالية، وفي النقل لصيانة أساطيل الناقلات.. وهكذا، وأعظم البرامج نجاحا من الناحية التجارية حتى الآن هي بلا شك مجموعة البرامج التي استحدثتها شركة ديجيتال للحاسبات مثل برنامج RI ومن بعده برنامج xcon لقياس مواصفات أجهزة ال VAX وبرنامج XSEL كمساعدة في المبيعات.

وقد اشتركت الشركة الفرنسية ELF-aquitaine مع شركة الذكاء

الاصطناعي الأمريكية Teknowledge في إنتاج أحد الأنظمة الخبيرة للمساعدة في عمليات حفر الآبار، كما تعمل حاليا في فرنسا شركة CGE في بناء برامج تشخيص الأعطال في الأجهزة الكهربائية، وتعمل أيضا شركة CII في بناء برامج مشابهة لبرامج شركة ديجيتال لقياس وتشغيل الحاسبات الآلية.

ويحتوي جدول 17- 1 النظم الموجهة للصناعة المستخدمة حاليا أو في طريق الإنشاء.

## النظم الخبيرة فى العلوم والصناعة

جدول 1-17

المؤلف	اسم البرنامج	الموضوع	الجال
Feigenbaum (1)	DENDRAL	تفسير بيانات مطياف الكتلة	الكيمياء
Buchanan (3)	META-DENDRAL	شرحه (تعليمي)	
Wipke (17)	SECS	تركيب عضوي	
Gelernter (18)	SYNCHM	تركيب عضوي	
Bundy (19)	MECHO	حل مسائل ميكانيكا	طبيعة
Brown (20)	SOPHIE	تحليل الدوائر الكهربائية	
Dincbas (21)	PEACE	تحليل الدوائر الكهربائية	
Brown (22)	EL	الالكترونات	
Novac (23)		ميكانيكا	
Langley (24)	BACON	اكتشاف قوانين	
Bennett (25)	SACON	مقاومة المواد	
Duda (9)	PROSPECTOR	علم المعادن	جيولوجيا
Bonnet (13, 14)	LITHO	بترو	
Davies (15)	DIPMETER ADVISOR	بترو	
Hollander (26)	DRILLING ADVISOR	بترو	
Lenat (28)	AM	اكتشاف مفاهيم	رياضيات
Moses (4)	MACSYMA	معادلات تكامل . .	
Hcses (6)	REDUCE	معادلات تكامل . .	
Lauriere (7)	SNARK/INTEGRATION	التكامل	
McDermott (29)	RI, XSEL, XCON VAX	تحديد مواصفات	نظم الحاسب
Bennett (30)	DART	تشخيص الأخطاء	
Barstow (31)	PECOS	بناء برامج	البرمجة الآلية
Manna (32)	DEDALUS	بناء برامج	
Green (33)	PSI	بناء برامج	
Rich (34)	PROGRAMMERS APPRENTICE	بناء برامج	
Blazer (35)	SAFE	بناء برامج	
Descotte (36)	GARI	استشارة في تنظيم المصانع	صناعة
Nii (27)	HASP/SIAP	معالجة الإشارات	شئون عسكرية

## المراجع

- (1) Feigenbaum E., Buchanan B., Lederberg J. (1971), On generality and problem solving: A case study using the DENDRAL program, in machine Intelligence, Vol. 6, New York, Elsevier.
- (2) Carhart R.E. (1979), CONGEN: An expert system aiding the structural chemist, in Revolution in the micro-electronic age, Michie (ed.) Edinburgh, Edinburgh University Press.
- (3) Buchanan B., Mitchell T. (1978), Model-directed learning of production rules, in Pattern-directed inference systems, Waterman and Hayes-Roth (eds.), New York, Academic Press.
- (4) Moses J. (1967), A Macsyma Primer, Mathlab Memo 2, MIT Computer Science Lab.
- (5) Genesereth M. (1976), DB: High-level data base system with inference, Memo 4, Macsyma Group, MIT.
- (6) Hearn A. (1969), Reduce 2 users manual, Stanford AI memo AI-90.
- (7) Lauriere J. L. (1982), Utilisation et representation des connaissances, RAIRO/TSI, 1 and 2.
- (8) Mitchell I. (1983), Learning and problem solving, IJCAI-83, PP.1139- 1151.
- (9) Duda R., Gasching J., Hart P. (1979), Model design in the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration, in Expert systems in the micro-electronic age, D. Michie (ed.), Edinburgh, Edinburgh University Press.
- (10) Konolige K. (1979), An inference net compiler for the PROSPECTOR rule-based consultation system, IJCAI-79
- (11) Hendrich G.G. (1977), Human engineering for applied natural language processing, IJCAI-77, pp. 183- 191.
- (12) Reboh R. (1981), Knowledge engineering and tools in the prospector environment, Techn. Note 243, Artificial intelligence Center, SRI International, Menlo Park, California.
- (13) Bonnet A., Harry J., Ganascia J.G. (1982), LITHO, un système expert inférant la géologie du sous-sol, RAIRO/TSI, Vol. 1 No. 5, pp. 393- 402.
- (14) Bonnet A., Dahan C. (1983), Oil-well data interpretation using expert system and pattern recognition technique, IJCAI-83 pp. 185- 189.
- (15) Davis R., Austin H., Carlboom I. Frawley B., Pruchnik P., Sneiderman R., Gilreath J.A. (1981), The DIPMETER ADVISOR: interpretation of geologic signals, ICJAI-81, Vancouver, pp. 846- 849.
- (16) Van Melle W. (1980), A Domain-independent system that aids in constructing knowledge-based consultation programs, Stanford University Heuristic Programming Project memo 80-82.
- (17) Wipke W.T., Braun H., Smith G., Choplin F., Sieber W. (1977), SECS-Simulation and evaluation of chemical Synthesis: Strategy and planning, in W.T. Wipke and W.J. House (eds.), Computer Assisted Organic Synthesis, Washington, D.C., American Chemical Society, pp. 97- 127.

- (18) Gelernter H.L., Sanders A.F., Larsen D.L., Agarwal K.K., Boivie R.H., Spritzer G.A., Searlman J.E. (1977), Empirical Exploration of SYNCHEM, *Science* 197, pp. 1041- 1049.
- (19) Bundy A., Byrd L., Mellish C., Milne R., Palmer M. (1979), MECHO, a program to solve mechanics problems, Dept. of AI. University of Edinburgh, working paper 50.
- (20) Brown J.S., Burton R. (1975), Multiple representation of knowledge for tutorial reasoning, in Bobrow & Collins (eds.), *Representation and understanding*, New York, Academic Press, pp. 311-350.
- (21) Dincbas M. (1980), A knowledge-based expert system for automatic analysis and synthesis in CAD, *Proc. of IFIP Congress*, pp. 705- 710.
- (22) Brown A., Sussman G.J. (1974), Localization of failures in radio circuits, a study in causal and teleological reasoning, MIT Artificial Intelligence memo 319.
- (23) Novak G. (1977), Representation of knowledge in a program for solving physics problems. *IJCAI-77*. MIT
- (24) Lanley P. (1979), Rediscovering physics with BACON-3, *IJCAI-79*. Tokyo, pp. 505- 507.
- (25) Bennet J.S., Englemore R. (1979), SACON: a knowledge-based consultant for structural analysis, *IJCAI-79*, pp. 47- 49.
- (26) Hollander C.R. Iwasaki Y., Courteille J.M., Fabre M. (1983), Trends and Applications conference, Washington.
- (27) Nii H.P., Feigenbaum E.A., Anton J.J., Rockmore A.J. (1982), Signal to symbol transformation: HASP/SIAP case study, *the AI Magazine*, 3,2, pp. 23- 55.
- (28) Lenat D. (1980), On automated Scientific theory formation: a case study using the Am program, in Davis & Lenat (eds.), *knowledge-based systems in Artificial Intelligence*, New York, McGraw Hill.
- (29) McDermott J. (1980), RI: an expert in the computer systems Domain, in *AAAI-80*, pp. 269.271.

## القسم الخامس

### نظرة مستقبلية

## الذكاء الاصطناعي والتدريس بواسطة الحاسب الآلي

### مقدمة

نتناول في هذا الفصل استخدام الحاسب كوسيلة معاونة في التدريس. وقد استحدثت كثير من البرامج والنظم ضمن الأطر التقليدية لهذه الغاية. وتتضمن هذه البرامج إجابات وحلول المسائل التي تطرحها على الطالب، ولكن بقدرة محدودة جدا على الاستدلال والتفكير، وبالتالي فليس معظم هذه البرامج قدرة ذاتية كل هذه المسائل بنفسها. وأفضل هذه البرامج لها بعض القدرة على المسائل- إذا عرفنا هذه القدرة بمعناها الواسع جدا، ولكنها لا تفصل قاعدة المعرفة التي تستخدمهما عن آلية التحكم، مما يجعل من الصعب ضمهما إلى البرنامج. ولهذا نقترح في هذا الفصل بناء برامج التعلم على غرار الأنظمة الخبيرة.

وبعكس النظم التقليدية، تبدأ البرامج الذكية للتعليم من الفرضية القائلة إنه لا بد للبرنامج التعليمي نفسه أن يكون خبيرا في المجال الخاص به، بمعنى أنه يجب أن يكون قادرا على حل المسائل التي يضعها-ربما بعدة طرق-كما يجب أن يكون قادرا



على تتبع ونقد الحلول التي يتوصل إليها الطالب. كما يجب أن يكون لهذه البرامج الذكية أساس نظري للاستراتيجية التعليمية التي تتبعها والتي يجب أن تكون واضحة وغير متضمنة بشكل غامض في قاعدة المعرفة للبرنامج. كما يجب أيضا أن تكون هذه الاستراتيجيات قابلة للتطبيق في مجالات مختلف وعديدة، وقد لا نكون واقعيين إذا طمحنا إلى استراتيجية واحدة لكل المجالات، ولكنه يبدو من المنطق أن نتوقع بعض المبادئ العامة التي يمكن أن تهدي بها مثل هذه البرامج. ويستطيع البرنامج الذي اختبر قدرات الطالب ومعرفته أن يستخدم نتائج تقويمه في وضع صورة للطلاب profile لتصبح إحدى القيم المستخدمة في توجيه عملية التعليم الفردية.

### نبذة تاريخية

وتتلخص الطريقة المعتادة لبرامج التعليم بواسطة الحاسب في الآتي:  
أولا: يعرض نص الدرس على شاشة الحاسب، ثم توضع الأسئلة للطلاب الذي يجيب على الأسئلة باختصار، وذلك لعدم قدرة البرنامج على تحليل اللغة الطبيعية. وأخيرا يستمر البرنامج في عرض مادة تعليمية أكثر صعوبة، إذا كانت إجابة الطالب صحيحة، أو يبين الخطأ في إجابة الطالب ويعرض الإجابة الصحيحة.

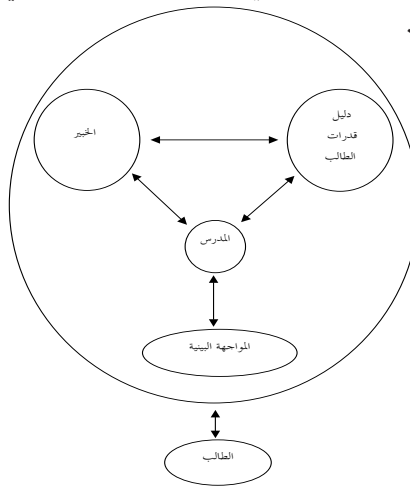
وسوف لا نعرض هنا طريقة لوجو LOGO لسيمور بايبرت-seymour pa 1 pert<sup>(1, 2)</sup>، التي تتبع نهج بياجيت Piaget للتعليم التلقائي-spontaneous learning بالتفاعل مع البيئة المحيطة، وذلك لأن هذا النهج يهتم بتنمية قدرات الأطفال الإبداعية بإعطائهم وسيلة تتجاوز مع الأفكار التي يعبرون عنها أكثر من اهتمامه بتعليم مادة معينة. فيمكن للأطفال باستخدام طريقة لوجو رسم اللوحات وتأليف الموسيقى كذلك أن فلسفة هذا النهج عكس برامج التعليم التقليدية التي تتميز بالوضع السلبي للطلاب.

وتعود بداية استخدام أساليب الذكاء الاصطناعي في التعليم إلى برنامج سكولار scholar<sup>(3)</sup> لتدريس جغرافية أمريكا الجنوبية، واستخدام قاعدة معرفة جغرافية التي لم تكن مجرد نصوص مسجلة سلفا. ومن الأفكار الجديدة في هذا البرنامج أنه من الممغن لكل من البرنامج أو الطالب أن يأخذ المبادرة في الحوار. ويقوم برنامج صوفي SOPHIE<sup>(4)</sup> بتعليم الطالب

كيف يجد ويصحح الأخطاء في الدوائر الإلكترونية، ولهذا البرنامج مواجهة مرنة جدا باللغة الطبيعية مع المستخدم مما يمكنه من فهم وانتقاد الحلول المقدمة له. وقد اتجه البحث في السنوات الأخيرة إلى دراسة تحليل أخطاء الطلاب. وقد أظهر استخدام باجي BUGGY<sup>(5)</sup> أن بعض أخطاء الطلاب الحسابية التي بدت أولا عشوائية كانت في أغلب الأحيان أخطاء مطردة نتجت عن الطريقة المستخدمة من قبل الطلاب. وقد طورت ألعاب تربوية مثل ويمبوس<sup>(6)</sup> WUMPUS للتوصل إلى الأسباب التي تكمن وراء عدم استخدام اللاعبين الاستراتيجيات المثلى. كما أظهر برنامجا واي WHY<sup>(7)</sup> وجايدون GUIDON<sup>(8)</sup> الفرق بين تدريس موضوع خاص والاستراتيجيات العامة للتدريس. فهناك مثلا قاعدة عامة تقول: «إذا لم يستطع الطالب فهم قانون عام، أعطه مثالا محددا، وهي تنطبق على تدريس كافة المواضيع. وتوضح الفقرات التالية بعض طرق تمثيل الموضوعات التي تدرس، وبعض المبادئ التعليمية التي استحدثت.

### مكونات برامج التعليم الذكية بمعاونة الحاسب

يوضح شكل 18-1 التخطيط العام<sup>(9)</sup> لبرامج التعليم بمعاونة الحاسب في إطار الأنظمة الخبيرة، والذي يمثل ثمرة الأبحاث في هذا المجال في السنوات الأخيرة.



شكل 18 - 1 البرامج الذكية للتعليم بمعاونة الحاسب

ولا داعي لأن نؤكد هنا مرة أخرى أهمية وجود مواجهة بينية «ودية» بين المستخدم والبرنامج، ولكن علينا أن نذكر أنه يجب أخذ التطور التقني بعين الاعتبار عند تزويد البرنامج بالمواجهة البينية. ونشير هنا بوجه خاص إلى إمكانية استخدام الرسومات و«الفأرة mouse» لتحريك مؤشر الشاشة cursor لا اختيار بنود من الشاشة، وهذا أسهل وأسرع من استخدام طرق تتطلب تحليل اللغة الطبيعية. ويجب طبعاً أن يستمر البحث في فهم اللغات الطبيعية، ولكن في حدود مغرفتنا الحالية لا يبدو أنه أهم متطلب لتطوير برامج التعليم بمعاونة الحاسب. وعلى أي حال فالمطلوب هو استخدام طرق أكثر تقدماً في مجال التعليم للوصول إلى فهم أعمق.

ويركز هذا الفصل على وظيفتين رئيسيتين: هما الأنظمة الخبيرة وبرامج التعليم.

### دور النظم الخبيرة

قد يبدو ذكرنا في مقدمة هذا الفصل أن برامج التعليم بمعاونة الحاسب يجب أن تكون خبيرة في مجالها أمراً بديهياً، إلا أنه يجب ألا ننسى أن الكثير من هذه البرامج التقليدية لا تستطيع حل المسائل التي تضعها للطلاب بنفسها، فمثلاً لا يستطيع برنامج بيب Bip<sup>(10)</sup> لتعليم لغة بيسيك للبرمجة أن يكتب برنامجاً بلغة بيسيك على الرغم من قدرته على تصحيح أخطاء معينة في البرامج المقدمة له. كما يجب أن يتمكن البرنامج الخبير من توليد المسائل، أخذاً في الاعتبار قدرات الطالب العلمية بالتفصيل كمستوى أداء الطالب والصعوبات المتوقعة، ومدى التأكيد على النقاط الصعبة والهدف من التعليم في تلك اللحظة، كما يجب أن يكون قادراً على تنفيذ تعليمات المدرس لوضع مسائل أكثر صعوبة من التي قبلها على أن يمكن حلها بنفس الطريقة.

ويجب أن يمون البرنامج الخبير قادراً على إعطاء إجابات تفصيلية مرتبة، موضحاً فيها النقاط الصعبة، وعارضاً لخطوات الحل، وذلك لتحقيق الأهداف التالية.

- مقارنة حل الطالب بحل البرنامج.
- قياس وتقويم طريقة حل الطالب بمقارنتها بطريقة البرنامج.

- مساعدة الطالب الذي بدأ في المسار الصحيح، ولم يستطع أن يتعدى مرحلة معينة في الحل.

ويجب أن يكون البرنامج قادرا على الجمع بين الطرق الخوارزمية والتجريبية. ويكتسب البرنامج الطرق التجريبية من الخبراء البشريين وتتميز بملاءمتها لشرح المسائل الصعبة وطرق الشرح لأنها توضح كيفية عمل العقل البشري في مثل تلك المواقف<sup>(11)</sup>. وتستخدم الطرق الخوارزمية لسرعة الإنجاز أو لعدم إمكانية حل المسائل بطريقة أخرى. وعندما نضطر لاستخدام الطرق الخوارزمية، فإنه يجب أن تكمل بطرق أكثر تعليمية للطالب أو تعتبر كصندوق مغلق. ولا يعتبر هذا عائقا للبرنامج، فهناك مستوى معين لكل إنسان أو برنامج لا يستطيع أن يتعده.

ومن المتطلبات الأخرى لهذه البرامج أن تكون لديها القدرة على اكتشاف الأخطاء المطردة أو الشائعة، واكتشاف أي ثغرات في فهم الطالب العام التي قد تنشأ عنها مثل هذه الأخطاء. ويفترض ذلك وجود نموذج تحليلي متقدم يستطيع أن يستفيد من الاعتبارات النفسية.

وأخيرا يجب أن يكون البرنامج قادرا على إعطاء تفسيرات على مستويات مختلفة. فإذا استخدم البرنامج في حل إحدى المسائل سلسلة من الاستنتاجات مثل أ-- ب-- ج، يكون الجواب العادي لسؤال «لماذا ج؟» هو «لأن ب»، و«لماذا ثانية، يكون الجواب لأن أ». بينما يعني السؤال الثاني في الأغلب أن الطالب يريد أن يعرف لماذا تدل «ب» على «ج» بدلا من تسلق سلم النتائج. وزد يكون مناسبا جدا في هذه الظروف إعطاء تفسير في شكل رسومات «فين Ven diagrams» حيث تمثل المجموعات في شكل دوائر.

### دور البرنامج التعليمي

إن المدرس الذي يصمم البرنامج هو الشخص الذي يجب أن يتخذ قرارات مثل «ما هو الوقت المناسب لإعطاء الطالب لمحة عن الإجابة؟» أو «إلى أي مدى يمكن السماح للطالب بالاستمرار في الخطأ؟» وللمساعدة في حل مثل هذه المشاكل، يمكن الاستفادة من النظريات النفسية كأس آس لأبحاث استخدام الذكاء الاصطناعي في التعليم بمعاونة الحاسب.

إن الفرضية الشائعة والمقبولة هي أنه يوجد في ذهن الطالب نموذج

للمعرفة والمهارات التي يتوقع أن يكتسبها، وأنه يستخدم هذا النموذج بقوة في محاولة حل المشاكل التي تواجهه. ويعني هذا سلوك حتمي (محدد سلفا) للطلاب-terministic behavior، de- يحدده النموذج، وهو طبعا افتراض مبسط. ويرى المدرس في النموذج صورة للقدرات التي على الطالب اكتسابها، مما يمكن أن يستخدم لتوجيه استراتيجية التدريس. ومن وجهة نظر علم المعلومات، فإن القيم المرتبطة بقدرات الطالب تشكل الحدود Arguments لوظائف البرنامج المتضمنة في البرنامج التعليمي. وهكذا يكون تصور المدرس لقدرات الطالب هو تقريب للنموذج الداخلي في ذهن الطالب والذي لا ندعي معرفتنا الكاملة به.

وتطرح النظرية التعليمية التي تتبع النهج السقراطي فكرة أن فهم وتعلم المفاهيم المعقدة يمكن أن يسهل بدراسة الأمثلة الخاصة لاستخلاص القوانين العامة منها. ويناسب الحوار السقراطي بوجه خاص المواضيع التي تدخل فيها العلاقات السببية، وإن لم يكن لها دور مباشر في الحال. ويوضح ذلك كولينز Cellins<sup>(8)</sup>، فهو يعطي 24 قاعدة إرشادية يبني عليها النقاش للوصول خلال عدة خطوات إلى الظروف التي تساعد على زراعة الأرز. وفيما يلي مثال لحوار افتراضي يمكن إجراؤه باستخدام البرنامج بين المدرس (م) والطالب (ط)، ونضع القاعدة المناسبة بين أقواس بعد كل سؤال).

م: أين ينمو الأرز في شمال أمريكا؟

(قاعدة 1: اسأل عن حالة معروفة)

ط: في لوزيانا

م: لماذا هناك )

(قاعدة 2: اسأل عن الأسباب)

ط: لأنه توجد مياه وفيرة هناك

م: هذا صحيح. ولكن هل تعتقد أن هناك أرزا مزروعا في ولايتي

واشنطن وأوريجون مثلا؟

(قاعدة 6: أعط مثلا مناقضا لتوضيح العوامل الضرورية الأخرى).

ط: لا، لا أعتقد ذلك

م: لماذا لا تعتقد ذلك ؟

(قاعدة 2: اسأل عن الأسباب)

ط: هناك ماء وفير، ولكن يوجد سببان لعدم زراعة الأرز في هذه المنطقة: المناخ ليس صالحا، ولا أعتقد أن الأرض مسطحة بدرجة كافية- يجب أن تكون الأرض مسطحة لتستطيع إغراقها بالماء، أو على الأقل يجب أن تمهدا.

م. إذن، ماذا عن اليابان ؟

(قاعدة 8: استخدم مثالا مضادا لتبين أي العوامل غير ضرورية)

.....! إلخ

ومن مبادئ كولنيز التجريبية الآتي: «إذا شرح الطالب علاقة سببية وضمنها أحد العوامل غير الضرورية، فابحث عن مثال مناقض يكون فيه لهذا العامل قيمة معاكسة، واسأل لماذا لا تقوم العلاقة في مثل هذه الحالة». وتتكون قاعدة المعرفة لهذا البرنامج من علاقات من نوع «يتبخر الماء من سطح البحر، ثم ينتقل الهواء الرطب بفعل الرياح إلى اليابسة، حيث يبرد، وتسقط رطوبته في شكل أمطار أو ثلج». وما يميز مثل هذا البرنامج عن برامج التعليم التقليدية أن مثل هذه العبارة ليست جزءا من نص سبق تسجيله، ولكنها مستخلصة من التمثيل الدلالي الموجود في البرنامج.

ويعطي استخدام بيرتون Burton، وبراون Brown<sup>(12)</sup> للعبة West المقتبسة من PLATO<sup>(13)</sup> مثالا تطبيقيا لنظرية «الأخطاء البناءة». وهذه اللعبة هي من اللعب التي تستخدم رقعة كرقع الشطرنج بها ثعابين وسلالم حيث يجب تجنب الوقوع في الكمائن واتخاذ أقصر الطرق للتقدم حول الدائرة، ويرمي كل لاعب بالزهر ثلاث مرات ويجمع الأرقام بأي طريقة تحلو له مستخدما العمليات الحسابية العادية ليقرر عدد الخطوات التي سيتقدمها. وليس بالضرورة أن يكون العدد الأكبر هو الاختيار الصحيح، والمشكلة هي إيجاد العدد الأمثل في كل لعبة. وبالإضافة إلى أن البرنامج خبير في هذه اللعبة، فهو أيضا ذو استراتيجية تعليمية هامة، فكلما اكتشف حركة غير موفقة من اللاعب، فإنه يعطي عدة دلائل تمكن اللاعب من التنبيه إلى خطئه بالتدريج، ولهذا سميت بالأخطاء البناءة. ونظرا لكونها لعبة تعليمية، يتبنى المعلم مبدأ عدم التدخل إلا عندما يكون هناك فرق كبير بين حركة اللاعب والبرنامج.

وقد استحدثت Carr و Goldstein<sup>(14)</sup>، نظرية تنظر إلى نموذج الطالب

الداخلي كصورة مشوهة من مهارات ومعرفة الخبير. فالتشويه يمكن أن ينجم عن استخدام القواعد الخاطئة. ويجب على البرنامج أن «يعرف» هذه القواعد الخاطئة، وأن يضعها موضع التطبيق في المسائل التي يعالجها، حتى إذا أعطت قاعدة منهم نفس الإجابة الخاطئة التي يعطيها الطالب، يكون الاستنتاج المعقول أن هذه القاعدة الخطأ تشكل جزءا من نموذج فكر الطالب، وفي هذه الحالة يمكن تدريس الصيغة الصحيحة للقاعدة.

وما زالت هذه النظريات التعليمية بسيطة جدا، ولا تستطيع تناول جميع المواقف، إلا أنها تمثل مرحلة من مراحل تطور الاستراتيجيات غير المباشر في التدريس بواسطة الحاسب. ولاشك أن استغلال إمكانيات الحاسب التفاعلية قد تم بشكل أفضل وأكبر من خلال هذه النظريات عن طرق التدريس التقليدية. ويجب على الباحثين في هذا المجال أن يكونوا واعين باستمرار للحاج الواضح بين المجال العلمي لموضوع الدرس وبين الاستراتيجيات للتدريس.

### قيود على بناء نظم خبيرة في البرامج التعليمية

إن المبدأ الذي تبنى عليه هذا الجزء هو «ليس بالضرورة أن يكون الخبير الممتاز مدرس ممتاز أيضا». ويمكن أن نعبر عن ذلك بطريقة أخرى أنه قد يمكن لبرنامج ما أن يشرح كيفية حل مسألة معينة، ويعطي أسباب اختيار مجموعة من الافتراضات بدلا من غيرها، ولكن لا يعني ذلك بالضرورة أنه يمكن أن يشرح لماذا سلك الطريق الذي سلكه في الحل. فالقدرة على شرح الاستراتيجيات المستخدمة في الحل تتطلب درجة أكثر من التفصيل في المعرفة ليست ضرورية لعملية الحل ذاتها (أي يمكن التوصل إلى الحل في غيابها). وتمثل عملية ترجمة compiling البرامج مثالا واضحا، لهذا فالبرنامج المترجم compiled program يكون من الصعب جدا قراءته على الرغم من أنه يكون على درجة عالية جدا من الكفاءة.

وهناك اتفاق عام على أن البناء التركيبي modular structure للتمثيل يجعل العمليات الاستدلالية للبرنامج أكثر وضوحا، وأسهل تفسيراً. إلا أن كلاني، W. clancey قد علق على ذلك قائلاً إن معظم البرامج تغفل الخطوات الوسطى في العمليات الاستدلالية، خاصة عندما تتعامل مع العلاقات

السببية، وبينما لا يقلل هذا من كفاءة عملية الاستدلال، بل على العكس قد يزيدها، إلا أنها تصبح عائقا عندما يطلب من البرنامج أن يشرح كيفية توصله للنتائج التي انتهى إليها.

### خاتمة

تفتح تقنية الذكاء الاصطناعي آفاقا جديدة في البحث في طرق التعليم. وإذا كان لنا أن نغتتم هذه الفرصة، فلا بد أن تتوافر النظم الخبيرة لأغراض التعليم، كما لا بد وأن تبني بشكل جيد بحيث تستخدم بنجاح في البرامج التعليمية. والحاسب هو أداة جيدة وقوية لاختبار نظريات التعليم والتعلم، وخصوصا لاختبار عمومية، وخصوصية هذه النظريات في المجالات المختلفة، وكذلك لاختبار فتالياتهم<sup>(16)</sup>. ويمكن للبرامج التي تستخدم هذه الطرق أن تفسر خطوات تفكيرها، بدلا من مجرد عرض النص التعليمي على شاشة الحاسب معظم الوقت كما يحدث في برامج التعليم التقليدية.



## المراجع

- (1) Papert S. (1970), Teaching Children Programming, IFIP Conference on Computer Education, New York, North Holland.
- (2) Papert S. (1980), Mindstorms, Children, Computers and Powerful Ideas, Basic Books, New York.
- (3) Carbonnel J. (1970), AI in CAI, an artificial approach to computer-assisted instruction, IEEE Transactions on man-machine systems, Vol. MMS-11, December.
- (4) Brown J. S., Burton R. (1975), Multiple representation of knowledge for tutorial reasoning, in Bobrow & Collins (eds.), Representation and Understanding, New York, Academic Press.
- (5) Brown J. S., Burton R. (1978), Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills, Cognitive Science 2, pp. 155- 192.
- (6) Carr B., Goldstein I. (1977), Overlays, a theory of modelling for CAI, MIT AI lab memo 406.
- (7) Clancey W. (1970), tutoring rules for building a case method dialogue, International Journal of Man-Machine Studies, 11, pp. 25- 49.
- (8) Collins A. (1976), Process in acquiring knowledge, in Schooling and Acquisition of Knowledge, Anderson, Spiro, Monague (eds.), Hillsdale, N.J. Lawrence Erlbaum Assoc.
- (9) Bonnet A., Cordier M. O., Kayser D. (1981), An ICAI system for teaching derivatives in mathematics, Proc. of 3rd World Conference on computer Education (WCCE), Lausanne, 27- 31 July.
- (10) Barr A., Beard M., Atkinson R. C. (1975). A rationale and description of a CAI program to teach the BASIC programming language, Instructional Science, 4, pp. 1- 31.
- (11) Polya G. (1945) How to solve it, a new aspect of mathematical method, Princeton, Princeton University Press.
- (12) Burton R., Brown J. S. (1979), An investigation of computer coaching for informal learning activities, IJMM 11, pp. 5- 24.
- (13) Dugdale S., Kibbey D. (1977), Elementary mathematics with PLATO, Urbana, University of Illinois.
- (14) Goldstein I, Papert S. (1977), Artificial intelligence, language and the study of knowledge, Cognitive Science, Vol. 1, 1.
- (15) Clancey W., Lester R. (1981), Neomycin: reconfiguring a rule-based expert system for application to teaching, IJCAI-81, pp. 829- 835, Vancouver.
- (16) Stevens A., Collins A., Goldin S. (1979), Misconceptions in students understanding, International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 11, pp. 145- 156.

## مقدمة

إن القدرة على التعلم هي أحد المكونات الأساسية للذكاء، ونحن نتحدث هنا عن التعلم بمعناه العام أي بأنه يمثل الطريقة التي يزيد بها البشر والحيوانات والحاسبات مخزون المعرفة لديهم، ويطورون مهاراتهم وقدراتهم الفكرية.

وقد استمرت دراسة عملية التعلم منذ الأيام الأولى للذكاء الاصطناعي. فقد احتوى مثلاً برنامج CHECKERS<sup>(1)</sup> لصامويل سجلات لعدد كبير من اللعب التي يستخدمها البرنامج ليحسن من طريقة لعبه، وذلك كما تعلم البرنامج الذي كتبه وترمان waterman<sup>(2)</sup> لعبة البوكر؛ وتوضح هذه الأمثلة أن برنامج الحاسب لا يستطيع التعلم بكفاءة ما لم يكن متاحاً لديه تمثيل صحيح للمعرفة ألغى يهدف لاكتسابها. وقد تناقشت الجهود البحثية في هذا المجال بعد فترة، ربما لتحول الاهتمام إلى مجالات أخرى مثل طرق تمثيل المعرفة. وقد عاد الاهتمام الآن إلى البحث في جعل البرامج قادرة على التعلم لأن برامج الحاسب الحالية قد ازداد حجمها وكفاءة أدائها لدرجة يستحيل معها إدخال التحسينات عليها يدوياً، وأصبحت الاستعانة بالحاسب لهذا الغرض

أمراً ضرورياً.

وقد كان التعلم يعتبر في الماضي مساوياً للتأقلم، ولهذا ينطوي على التقريب المستمر لقيم المعاملات parameters للظاهرة أو الفكرة المعينة تحت الدراسة. ويهدف هذا المنهج إلى تطوير برنامج تعليمي يصبح مع مرور الوقت أكثر ثباتاً، وأكثر كفاءة؟ وهو قريب مما يتبع في مضاهاة وتصنيف التشكيلات - pattern classification and recognition<sup>(3)</sup>. وقد كان النوع الأول من برامج تعلم الحاسب عددياً بطبيعته، واعتمد دائماً على استخراج، من الأمثلة المعطاة، وظيفة متعددة الحدود polynomial function. وتعتبر آلة التمييز الصناعي perceptron لروزنبلات Rosenblatt<sup>(4)</sup> مثلاً جيداً لذلك. إلا أنه سرعان ما اتضح قصور هذا النهج كما أوضح سيمون Simon<sup>(5)</sup>، وكان الدرس الأساسي المستخلص من ذلك هو أن البرنامج الذي يبدأ بدون معرفة أولية لا يمكن أن يصل لمستوى أداء جيد.

وقد ابتعد مفهوم التعلم في الذكاء الاصطناعي عن هذا الاتجاه العددي في الستينات، واتجه البحث نحو بناء بنية رمزية معتمدة على علاقات المفاهيم، ويعتبر برنامج إيبام EPAM<sup>(6)</sup> لإدوارد فايجنباوم Edward Feigenbaum الذي استخدم شبكة تمييز discriminating network لدراسة العلاقات بين المقاطع في تجارب الحلم بالحفظ عن ظهر قلب - مثلاً على ذلك وكان منهج التقويم المتتابع للمعايير والمعاملات يعتبر الوسيلة الأخيرة التي يلجأ إليها لتعلم المستويات العليا من البنية الرمزية. إلا أنه لم يتوفر في ذلك الوقت فهم كاف عن كيفية تمثيل المعرفة، الأمر الذي يساعد برامج التعلم الجيدة على التطور في اتجاه هذا الخط الجديد. ونتيجة لهذا تلاش الاهتمام بالموضوع في دوائر الذكاء الاصطناعي بعد المحاولات التجريبية الأولى. ويمكن تمييز أنواع مختلفة من التعلم كما يلي:

### الحفظ الصم والقبول المباشر للمعلومات الجديدة

لا يتطلب البرنامج هنا أي قدرات استنتاجية، بل يسجل ببساطة الحقائق والأمثلة الجديدة دون تحويل أو تطبيق؛ وهذا هو الأسلوب المعتاد في البرمجة.

### التعلم بتلقي الإرشادات.

يتلقى البرنامج مواد جديدة للمعرفة أو إرشادات في شكل يمكن أن يندمج في المعرفة المخزنة قبلاً في البرنامج لتحسين القدرة الاستدلالية للبرنامج.

### التعليم بالتناظر.

يتلقى البرنامج حقائق جديدة مشابهة بدرجة كبيرة لبعض الحقائق الموجودة بالبرنامج من قبل، مما يؤدي إلى تمكن البرنامج من أن يوفق سلوكه في مواقف جديدة لها بعض الشبه بمواقف تعامل معها البرنامج من قبل.

### التعلم من الأمثلة.

يستبطن البرنامج القواعد العامة من الأمثلة المحددة المعطاة له. فلكي نعلم البرنامج المعنى العام لماهية أن يكون الشيء حصاناً، نعطيهِ أمثلة لحيوانات من بينها خيول وأشياء أخرى، ونذكر للبرنامج أي منها الخيول، وعلى البرنامج أن يجد القواعد التي تمكنه من تمييز الخيول من غيرها. وليس من الضروري إعطاؤه أمثلة سلبية، إلا أن ذلك يسرع من عملية التعلم.

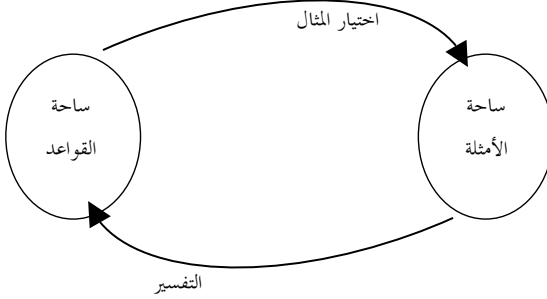
### التعلم بالملاحظة والاكتشاف.

التعلم بهذه الطريقة تعلم ذاتي، غير خاضع للإشراف والتوجيه، ويتطلب قدرة عالية على الاستنتاج، فيقوم البرنامج بتدقيق المعرفة الخاصة لديه في محاولة لاكتشاف الأنماط ليستخلص منها قوانين وحقائق جديدة. وسوف نعرض للطريقتين الأخيرتين فقط في هذا الفصل، ويمكن للقارئ الرجوع إلى ميخاليسكي وكاربونيل وميتشيل Michalski, Cubonell and Mitchell<sup>(7)</sup> للحصول على معلومات عن كافة طرق التعلم المذكورة أعلاه.

### نماذج عامة لبرامج التعلم

سنعرض من بين نماذج التعلم-العامة-نعرريخ الساحتين-two-space mod اصح الذي وضعه سايمون ولي Simon and Lea<sup>(8)</sup>. وكما يتضح من شكل 19-

ا يتكون هذا النموذج من ساحة للأمثلة وأخرى للقواعد، ومن الملائم استخدام التعبير «قواعد» هنا رغم أنه قد تتخذ الأفكار التي يمكن استنتاجها من الأمثلة شكلا يختلف عن القواعد المألوفة، فقد تمثل مفهوما معينا أو خواص تميز كيان ما .



شكل 1-19 نموذج الساحتين للتعلم من الأمثلة

ومن الأمثلة التي سنستخدمها كثير «فيما يلي ذلك الخاص بتعلم مفهوم «الفلوش» flush في لعبة البوكر، والذي يعني أي خمس أوراق من نقش واحد في يد اللاعب.

فمن خلال عدة أمثلة يتعين على البرنامج أن يكتشف أن رتب الأوراق لا تهم، كما أن النقشة نفسها لا تدخل في الاعتبار، فسواء كانت الأوراق من نقشة البستوني spades أو القلوب hearts لا يهم، ولكن الصفة الضرورية هي أن تكون الأوراق الخمسة من نقشة واحدة.

#### ساحة الأمثلة The example space.

إن من أهم أسس التعلم الناجح استخدام الأمثلة الجيدة الخالية من الأخطاء. ويجب اختيار هذه الأمثلة بحيث تمكن البرنامج من التمييز بين القمح والتبن، أي أن يستطيع البرنامج أن يجد العوامل المميزة للمفاهيم التي عليه أن يتعلمها. ورغم أن برنامج التعلم الجيد يجب أن ينجح رغم وجود بعض الأخطاء في الأمثلة المعطاة، إلا أن التقنية المتاحة الآن ليست على درجة من الرقي بحيث تسمح بالتوصل إلى هذا المستوى. وبالنسبة لمعيار التمييز، فإنه ليس من الحكمة استخدام ورقة آس ace مثلا في كل

مثال للفلوش flush لبرنامج مهمته أن يستنتج مفهوم الفلوش فإنه قد يلحظ هذا الاطراد ويتوصل-لو كان ماهرا- إلى الاستنتاج الخاطئ بأن وجود ورقة الآس ضروري للفلوش.

وهناك متطلب آخر وهو أن الأمثلة يجب أن توضح بترتيب صحيح، فالمدرس الجيد يعطي أمثله بترتيب يتدرج من السهولة إلى الصعوبة.

### ساحة القواعد The rule space.

ويعتبر استخلاص المبادئ والقوانين العامة عملية جوهرية في التعلم من الأمثلة. ويكون وصف (أ) أكثر عمومية من وصف آخر (ب) مثلاً، إذا كان (أ) ساريا في جميع المواقع التي يكون فيها (ب) ساريا، بالإضافة إلى مواقع أخرى. فالتعميم التالي مثلاً:

1- جميع طلبة قسم الكيمياء لديهم دراجات.  
يتضمن في

2- جميع طلبة كلية العلوم لديهم دراجات.  
أو في

(2)، جمع الطلبة لديهم دراجات.

قاعدة (2)، يمكن استنتاجها بعد إعطاء أمثلة أخرى، مثلاً

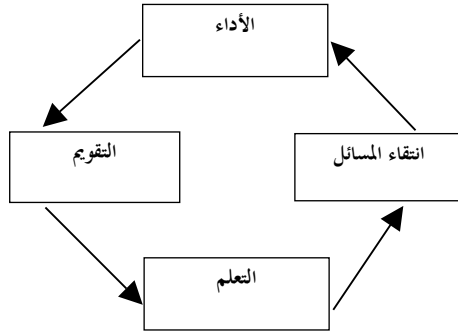
(1)، جميع طلبة قسم الفيزياء لديهم دراجات.

(1)، جميع طلبة الجامعة لديهم دراجات.

وهنا يتضح أنه لم يعد هناك حاجة للجزء الوصفي الذي يحدد الجماعة الجزئية من طلاب الجامعة (طلاب الكيمياء، طلاب العلوم.. الخ) ولهذا يمكن تجاهله.

ويمكن طبعاً أن يكون التعميم خطأ، وبالإضافة إلى ذلك فإن هذه صورة مبسطة جدا للتعلم، فنحن قادرون على ممارسة صور أكثر تعقيداً من ذلك بكثير، لأنها لا تساعدنا في استنباط القواعد والقوانين الجديدة فحسب، بل تغير من البنية التي تمثل بها معرفتنا.

وهناك مخطط آخر للتعلم قدمه سميث Smith<sup>(9)</sup> وهو يعبر عن الناحية الوظيفية، وموضح بشكل 19-2، وقد استخدمه برنامج LEX لميتشيل<sup>(10)</sup>، ويتألف هذا البرنامج من أربعة مكونات: الانتقاء (للمسائل والأمثلة)، الأداء،



شكل 19 - 2 بناء التعلم في LEX (10)

#### التقويم، والتعلم.

الأداء هو البرنامج الذي نهدف لتحسين أدائه، ويمكن أن يكون برنامجاً للعب إحدى اللعب، أو لتشخيص موقف ما، أو لوضع خطط عمل لمهمة ما ذات هدف محدد. والافتراض الأولي أن أدائه ليس جيداً، ويحتاج إلى تحسين. التقويم هو المكون الذي يقارن الأداء الفعلي بمستوى الأداء المتوقع، وتعتمد نوعية التعلم طبعاً على دقة هذه المقارنة، وعلى ما إذا كان تم تحديد الأداء المتوقع بدقة ووضوح. ويعتمد التقويم في برنامج التشخيص الطبي لمرض ما مثلاً على ملاحظات عن فعالية العلاج وتقدم الحالة المرضية لحالات عديدة من المرضى الذين قد عولجوا من هذا المرض.

التعلم هو المكون الذي يستخدم نتائج المقارنة التي قام بها مكون التقويم لتحديد أي مكونات الأداء مسئولة عن النتائج غير المرضية، ولذلك تحتاج إلى تغيير، ويمكن أن تكون هذه من قاعدة المعرفة أو من مجموعة آليات الاستدلال المنطقي. ومن الطبيعي أن ينتج عن تحسين الأداء في جزء ما من البرنامج أثر في تدهور أداء جزء آخر، ولهذا يتعين لمكون التعلم الجيد أن يستعرض في فترات مختلفة التعديلات التي أدخلها ليتأكد أن الأداء العام للبرنامج ككل يتجه إلى الأفضل.

الانتقاء عادة ما يتم خارج البرنامج، فاختيار الأمثلة يتم يدوياً ثم تدخل إلى البرنامج بترتيب معين لتحقيق النتائج المثلى للتعلم، ولكن يمكن تصور

صيغة تسمح للبرنامج نفسه أن يقرر الترتيب الذي تعرض فيه الأمثلة لتحقيق الأداء المنشود. وسنتناول الآن قواعد التعميم الشائعة الاستخدام.

### القواعد العامة للاستقراء

سنستخدم «&» للتعبير عن العلاقة المنطقية للوصل conjunction و «>»: لعلاقة التضمن للدلالة على العلاقة بين وصف المفهوم واسمه، وبذلك

أ: >: ب تعني أم ب هو اسم المفهوم الذي تصفه أ.

استبدال الثوابت بالمتغير. توضح القاعدة الأولى تحقيق هدف تعريف مفهوم الفلوش في لعبة البوكر. إذا اعتبرنا و- 5 ترمز لخمس أوراق، وعرفنا النقشة والترتبة كمحمولين في الصياغة التالية:

نقشة (و، i، 5) تعني أن الورقة وأهي بستوني (نفس الشيء بالنسبة للقلوب Hearts والماسة Diamond والاسباتي Clubs).

رتبه (و، i، 5) تعني أن الورقة و أهى خمسة) وكذلك (2- 10 ولد، شايب، بنت، آس).

وبإعطاء المثالين الآتيين:

مثال 1: نقشة (و، ا، ب) & نقشة (و، 2، ب) & نقشة (و، 3، ب) & نقشة (و، 4، ب) & نقشة (و، 5، ب)

:: < فلوش (و، ا، 2، 3، 4، 5)

مثال 2: نقشة (و، ا، س) & نقشة (و، 2، س) & نقشة (و، 3، س) & نقشة (و، 4، س) & نقشة (و، 5، س)

:: < فلوش (و، ا، 2، 3 و 4 و 5)

يمكن للبرنامج أن يستنتج القاعدة التالية:

قاعدة 1: نقشة (و، x، ا) & نقشة (و، x، 2) & نقشة (و، x، 3) نقشة (و، x، 4) & نقشة (و، x، 5)

:: < فلوش (و، ا، 2، 3، 4، 5)

باستبدال الثوابت ب وس بالمتغير x.

### التفاضي عن الشروط.

من الطرق الأخرى للاستقراء التفاضلي عن أحد الشروط المتضمنة في



القاعدة؛ وبذلك تصبح القاعدة الجديدة أكثر عمومية من القاعدة الأصلية لاتساع مجال تطبيقها. ويمكن اتباع هذه الاستراتيجية في المثال التالي بتجاهل كل الشروط الخاصة بترتيب أوراق اللعب. وباستخدام قاعدة استبدال الثوابت بالمتغير أيضا يمكن أن نحصل على الآتي:

مثال-3: نقشة (و أ و أ و ب) & رتبة (و أ، 2) &

نقشة (و 2، ب) & رتبة (و 2، 5) &

نقشة (و 3، ب) & رتبة (و 3، 7) &

نقشة (و 4، ب) & رتبة (و 4، 8) &

نقشة (و 5، ب) & رتبة (و ه أ شايب)

:: < فلوش (و أ ، و 2 ، و 3 ، و 4 ، و 5)

والتي يمكن أن تعمم لقاعدة 1 أيضا.

التعميم عن طريق الفصل disjunction.

والطريقة الثالثة هي إضافة اختيارات إلى القاعدة باستخدام أداة الفصل المنطقية «أو» والتي مثل الطريقة السابقة تجعل القاعدة أكثر عمومية. افترض أننا نريد تعليم فكرة HONOR في لعبة البريدج، فبإعطاء الأمثلة التالية:

مثال-4: رتبة (x، 10) :: < HONOR (x)

مثال-5: رتبة (x، ولد) :: < HONOR (x)

مثال-6: رتبة (x، بن) :: < HONOR (x)

مثال-7: رتبة (x، شايب) :: < HONOR (x)

مثال-8: رتبة (x، آس) HONOR (x)

يعطي التعميم باستخدام الفصل المنطقي القاعدة التالية:

قاعدة 2. رتبة (x، 10) أو رتبة (x، ولد) أو رتبة (x، بنت) أو رتبة (x،

شايب) أو رتبة (x، آس).

(HONOR (x)

وهذا التعميم في الواقع أقل مجازفة من التعميمات السابقة.

### التعميم الكمي:

لنفترض أن لدينا فردين من مجموعة أفراد نقوم بدراستها، ووجدنا

أنهما يشتركان بخاصية ما بدرجات متفاوتة نرمز لهما بـ أ، ب، فيكون افتراض وجود هذه الخاصية في جميع أفراد المجموعة بدرجات تتراوح بين أ و ب تعميم منطقي. ومن الواضح أن احتمال الخطأ يتضاءل كلما زادت الأمثلة.

### العميم بتتبع مسار الشجرة.

تحدد الشجرة في 19-3 هيئة الأشكال المسطحة، فإذا أعطينا المعلومات التالية:

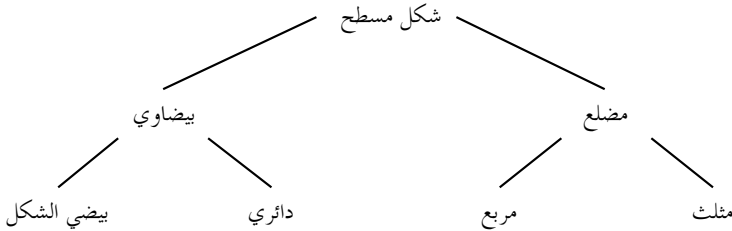
شكل (x، مستطيل): : < أزرق (x)

شكل (x، مثلث): : < أزرق (x)

فتتبع مسارات الشجرة نتوصل إلى التعميم التالي:

شكل (x، مضلع): : < أزرق (x)

بمعنى أنه إذا عرفنا أن جميع أفراد مجموعة x الذين على شكل مثلث أو مستطيل ذوو لون أزرق. فإننا نستنتج أن كل الأشكال المضلعة من مجموعة x ذوو لون أزرق.

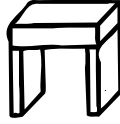


### برنامج وينستون Winston program

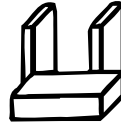
من أمثلة برامج التعلم المعروفة ذلك البرنامج الذي كتبه باتريك وينستون<sup>(11)</sup> بعهد ماسوتشوستس للتقنية حيث يقوم البرنامج بتعليم مفهوم القنطرة ويوضح شكل 19-4 كيف يمكن أن تقود الأمثلة المتدرجة بعناية عملية التعلم. فتعطى الصورة الأولى المثال الصحيح للمفهوم المراد تعلمه، بينما تعطى الصورة الثانية مثالا للخطأ القريب near miss، هي فكرة هامة لوينستون لتبين خطأ في شرط واحد فقط من الشروط الأساسية للمفهوم،

وفي هذا المثال هو شرط أنه يجب أن تكون هناك كتلة أفقية ترتكز على الكتلتين الرأسيتين، والخطأ القريب في الصورة الثالثة هو أن الكتلتين الرأسيتين قد لامس كل منهما الآخر، وأخيرا تبين الصورة الرابعة أن المكون الأفقي لا يتحتم أن يكون مستطيلا، بل يمكن أن يكون في شكل منشور. ويعرف البرنامج كيف ينقح مفهومه الأولى لما يجب أن تكون عليه القنطرة وذلك بالاستبعاد التدريجي للملامح غير الأساسية في التعريف.

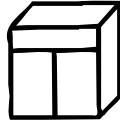
قنطرة



خطأ بسيط



خطأ بسيط



قنطرة



شكل 4-19 تعلم مفهوم «القنطرة».

### تعلم التراكيب المجردة Learning abstract structures

يهدف برنامج ديتريش وميكاليسكي Dietrich and Michalski المعروف باسم INDUCE<sup>(12)</sup> لوصف المواقف والمفاهيم التي تتميز بأن لها بنية داخلية. ففي بعض الأشكال تدخل المكونات المختلفة في علاقات فيما بينها يمكن أن توصف بكلمتي أعلى أو أسفل، وعلى البرنامج أن يجد أكثر الأوصاف تحديدا والتي يمكن أن تصلح كتعميم للأمثال التالية:

مثال-1:  $\exists O(u)$  كبير  $(u)$  دائري

$O$  & كبير  $(v)$  & دائري  $(v)$

& أعلى  $(v, u)$

مثال-2:  $\exists O(y, x, w)$  : صغير  $(w)$  & دائري  $(w)$

$\square$  & كبير  $(x)$  & مربع  $(x)$

$\square$  & كبير  $(y)$  & مربع  $(y)$

& أعلى  $(x, w)$  & أعلى  $(y, x)$

الرمز  $\exists$  معناه «يوجد».

ويولد البرنامج التراكيب التالية:

مثال-1:  $\exists (v, u)$  : أعلى  $(v, u)$

كمثال، 2:  $\exists (y, x, w)$  . أعلى  $(v, u)$  & أعلى  $(y, x)$

ومنه نستنتج الشرط التالي شرط ت أعلى  $(v, u)$ ، الذي يمثل أكثر التعميمات تحديدا بينما لا يتناقض مع الأمثلة المعطاة.

ويمكن أن يكون التمثيل بواسطة متجه تركيبى: syntactic vector > حجم  $(u)$ ، شكل  $(u)$ ، حجم  $(v)$ ، شكل  $(v)$

والتي يمكن في ضوءها إعادة كتابة الأمثلة أعلاه بالشكل التالي:

مثال-، 1: (كبير، دائري، كبير، دائري)

مثال-، 2: (صغير، دائري، كبير، مربع)

مثال-، 2: (كبير، مربع، كبير، مربع)

وبمقارنة مثال-، 1 ومثال، 2 بمثالي، 1 و، 2، يجد البرنامج المخصص

لإيجاد التعميم الأدنى الوصف التالي:

(\*)، دائري، كبير، (\*) و (كبير، \*، كبير، \*)

حيث «(\*)» تعني أن الصفة المقابلة لها غير مهمة.

وباستخدام العلاقة البنيوية نجد ما يلي:

شرط-1:  $\exists (v, u)$  : أعلى  $(v, u)$  & دائري  $(u)$  & كبير  $(v)$

شرط-2:  $\exists (v, u)$  : أعلى  $(v, u)$  & كبير  $(u)$  & كبير  $(v)$

ويعني هذا بكلمات أخرى: يوجد شيء ما كبير أعلى شيء ما كبير آخر

ويوجد شيء دائري أعلى شيء كبير. ويمكن أن يعطى هذا إجابة جيدة

لسؤال وضع كاختبار للملاحظة.

وهناك أعمال أخرى مشابهة قام بوصفها كودراتوف kodratoff<sup>(13)</sup>.

### برنامج AQ 11

نصف في هذا الجزء منهجا بديلا للطرق التقليدية لتكوين القواعد الإنتاجية بإجراء حوار مع الخبير البشري المتخصص في المجال. فعلى الرغم من اتخاذ الخبير البشري قرارات صحيحة في معظم الحالات، إلا أنه عادة ما يجد صعوبة في شرح الكيفية التي توصل بها لاتخاذ هذه القرارات، وكثيرا ما ينسى ذكر معايير معينة (التي أخذها في الاعتبار دون أن يعي)، كما أنه لا يعطي تقويما دقيقا لمدى قوة النتائج التي توصل إليها. ويتمثل المنهج الجديد الذي نطرحه هنا في وضع المعلومات المتضمنة في الأمثلة المعروفة في شكل يمكن برامج التعلم من استخدامها. وأبسط طريقة لتحقيق ذلك هي صياغة الأمثلة بنفس الصورة التركيبية للقواعد التي سوف تكتشف.

وقد استحدث برنامج AQ11 بواسطة ريزارد ميكاليسكى RysZard Mi-chalski<sup>(14)</sup> بجامعة الينوي، وقد استخدم لتطوير قواعد تشخيص الأمراض التي تصيب نبات الصويا<sup>(15)</sup>. وتحتوي الأمثلة المعروفة على وصف 630 مرضا من أمراض النباتات، يعبر عنها كمجموعات زوجية من المعايير لم القيم/ puameter value pairs والتشخيص المعروف، ويبلغ عدد الشخصيات المحتملة خمسة عشر وهناك 35 من المعايير التي يمكن لكل منها أن يتخذ قيمة تتراوح بين 2, 7 وكان عدد الأعراض الممكنة حوالي عشرة<sup>(15)</sup>.

وهذا هو مثال لقاعدة أعطاها الخبير البشري:

إذا كانت أوراق النبات عادية & والساق غير عادية

& وعنق النبات به آفة

& والساق بها آفة، ولونها بني

إذن يكون جذر النبات قد تعفن لإصابته بفطر الأرومة وتحول خوارزمية البرنامج مشكلة اكتشاف القواعد التي تميز الحالات إلى مسألة تعلم سلسلة من المفاهيم. وهي في أول الأمر تنظر في جميع الأمثلة المؤيدة لتشخيص معين، ثم تضع وصفا عاما بدرجة كافية بحيث يتفق مع جميع الأمثلة دون استثناء. وتقوم بعد ذلك بتحديد هذا الوصف حتى يستبعد جميع الأمثلة

المعاكسة (أي جميع الأمثلة المؤيدة للتشخيصات الأخرى)، وهكذا تكرر العملية لكل تشخيص. ويختار البرنامج الأمثلة التي تختلف فيما بينها كثيرا داخل إطار العينة، لأنها أكثرها أهمية. وقد اختار البرنامج في حالتنا هذه عينة تضم 290 نبات لعملية التعلم، تاركا باقي النباتات ويبلغ عددها 340 لاستخدامهم في اختبار صحة القواعد المستمدة من العينة (295 نبات).

وتؤدي عملية التعلم هذه إلى بناء برنامج خبير؛ فلنسميه PL، ولنسمي البرنامج المماثل الذي يتبع الطريقة التقليدية في الحوار مع الخبير البشري PD. وفي حالة برنامج AQII اقترح الخبير البشري بعض الأوصاف التي تطلبت تفاصيل أكثر من تلك التي تطلبها صيغة AQ11، مثل بعض القواعد التي تلعب فيها بعض الصفات دورا أساسيا، بينما تستخدم صفات أخرى لمجرد التأكيد. ورغم هذه المرونة الكبيرة، فقد وجد أن PD أقل كفاءة من PL، فقد كان يعطي PL التشخيص الصحيح في 97,6% من حالات الاختبار مقابل 71,8% لبرنامج PD. وعلاوة على ذلك أعطى PL 100% من الحالات التي قدم فيها قائمة قصيرة من التشخيصات المحتملة والتي كان من بينها التشخيص الصحيح مقابل 96,9% لبرنامج PD، في الوقت الذي كانت قائمة PL أقصر، وبالتالي يمكن استخدامه لأن نسبة الخطأ فيها أقل.

وليس لنا الحق في اعتبار نتائج هذه التجربة كبرهان على أن الأنظمة الخبيرة التي تبني بطريقة التعلم هذه تتفوق بانتظام على تلك التي تبني بإجراء الحوار مع الخبير البشري. فقد كان هناك تطابق في البرنامج الذي ناقشناه بين الأعراض والتشخيص. وستعمل برامج التعلم بكفاءة أقل في الأحيان التي تتطلب استخدام نتائج وسيطة intermediate conclusions أو الاستراتيجيات التي تعتمد على النتائج. كما أن الصور التركيبية التي يولدها البرنامج محدودة المجال، بينما يستخدم الخبير البشري صورا أخرى للاستدلال بالإضافة إلى القواعد الإنتاجية، بل يستخدم عدة أشكال في استخدامه للقواعد الإنتاجية؟ بعضها يؤدي إلى التشخيصات المحتملة، وبعضها يساعد في التأكد من التشخيص الصحيح. ومن الصعب تحقيق هذا التمييز بواسطة برنامج التعلم.

وقد حملت بعض القواعد التي يولدها PL بصور منطقية أكثر من اللازم، ويمكن تبسيطها، إلا إذ البرنامج ليس لديه المعرفة البديهية التي تمكنه من

تبسيطها. ومع هذا، فإن الإنجاز مدهش، ويمكن استخدام التقنية في مجالات أخرى مشابهة. وقد استحسن الخبراء معظم قواعد البرنامج. وبشكل عام يبدو أنه يجب النظر إلى طرق التعلم كأداة تعاون الخبير في وضع قواعده، وكطريقة جديدة للتعاون بين عالم المعلومات والخبير البشري في المجال.

### برنامج AM

كتب هذا البرنامج دوجلاس لينات Douglas Lenat<sup>(16)</sup> بجامعة ستانفورد، وهو نموذج مدهش لبرنامج قادر على توليد المفاهيم باستخدام الحجة المعرفية الماثلة لتلك المستخدمة في برامج التعلم. وليس AM برنامجا للتعلم بالمعنى السابق تعريفه لأنه لا يستخدم المعرفة الجديدة لتحسين أدائه، ولكنه يعدل أنشطته في ضوء اكتشافاته. وقد أضفناه هنا لتوافر جميع إمكانيات برامج التعلم فيه.

ويبدأ برنامج AM بقاعدة معرفة تتضمن 115 من مفاهيم نظرية المجموعات في شكل كيانات هيكلية structured objects (انظر الفصل الثالث عشر)، بالإضافة إلى عدد من الحجج المعرفية في شكل قواعد إنتاجية، والتي بتطبيقها على الكيانات الأولية يمكن أن تولد أخرى جديدة.

### الكيانات في AM

يتميز كل كيان بمجموعة قياسية standud من الخصائص؛ وهي التعريف، الأمثلة والأمثلة المعاكسة، العموميات، والخصوصيات. وهناك أيضا قيمة، وهي رقم يرمز لدرجة الأهمية للمفهوم.

انظر المثال التالي لكيان «الأعداد الأولية»: prime numbers

الاسم: الأعداد الأولية

التعريف:

الأصل: عدد من القواسم  $2 = (x) \text{ divisors}$

حساب المحمول: أولي  $(x) = (y \vee y) (x \mid y) = y < \mid y = x$  أو  $y = x$

أمثلة: 2, 3, 5, 7, 11, 13, 23

العموميات: أعداد صحيحة

أعداد صحيحة لها رقم زوجي من القواسم  
الخصوصيات: أعداد صحيحة زوجية  
أعداد صحيحة فردية  
أزواج من الأعداد الصحيحة  
القيمة: 800 (انظر حم 2 أدناه)

ويستخدم برنامج AM الأربع قواعد من الحجج المعرفية (حم) التالية  
كثيرا، وهي تساعدنا على أن نرى بالضبط كيف يسير البرنامج لإيجاد  
مفاهيم جديدة.

حم-1: إذا كانت الخصوصيات لمفهوم (م) ما قد تم توليدها، وإذا كانت  
المهمة الحالية هي إيجاد أمثلة لكل من هذه الخصوصيات.  
إذن قد تكون الأمثلة المعروفة للمفهوم (م) هي أيضا أمثلة لبعض المفاهيم  
الخصوصية الجديدة.

حم-2: إذا وجد أن جمع الأمثلة للمفهوم (م) هي أمثلة لمفهوم آخر (م 1)،  
وإذا لم يكن معروفا بعد أن (م) هو تخصص (م 1).  
إذن افترض أن (م) هو تخصص ل (م أ)، وقم بزيادة قيمة المفهومين.  
حم-3: إذا انضوت جميع الأمثلة لمفهوم ما في مجال وظيفية function  
نادرة الاستخدام.

إذن احسب صورة هذه العناصر تحت هذه الوظيفة وادرس المجموعة  
الناجمة كمفهوم مستقل.

حم-4: إذا وجد أن لمفهوم ما أمثلة قليلة جدا.  
إذن حاول أن تجد السبب، واعتبر أن المفهوم قليل الأهمية.  
وإذا قمنا بتطبيق الحجة المعرفية حم-1 على الأرقام من 1-1000 وعلى  
مفهوم عدد القواسم المحدد، تكون النتيجة كما يلي:  
قاسم صفر = أعداد بصفر من القواسم: لا أحد  
قاسم 1- أعداد بقاسم واحد: 1

قاسم 2= أعداد بعدد 2 من القواسم 2, 3, 5, 7, 11, 13, .. ..

قاسم 3 = أعداد لها 3 قواسم: 4, 9, 25, 49, 121, 169, .. ..

وطبقا لحم 4 فإن المجموعات الصغيرة جدا ليس لها أهمية، وعلى هذا  
قاسم صفر وقاسم 1 يمكن أن يستبعدا. ولا تنطبق أي حم على قاسم 2،



ولكن قاسم 3 لها جذور تامة، وحم 3 تومي بالنظر في جذورهم التريعية، والتي هي مجموعة قاسم 2: الأعداد الأولية. وطبقا لحم 2 يجب زيادة قيمة كل منهما.

وهكذا يولد AM مفاهيم جديدة بتطبيق الحجج المعرفية على المفاهيم الموجودة، ولكنه لا يستطيع بالطبع أن يخلق حججا معرفية جديدة، الأمر الذي يعتبر نقصا خطيرا من وجهة نظر برامج التعلم. فالتعليم يتطلب مستوى أعلى من المستوى الإجرائي، وتتطلب القدرة على اكتشاف الحجج المعرفية الجديدة وجود «ميتا حجج معرفية» metaheuristics التي بدورها تتطلب «ميتا ميتا حجج معرفية».. وهكذا.

### برنامج 3 - BACON

يهدف برنامج 3-BACON إلى (إعادة) اكتشاف القوانين الأمبيريقية، وعلى الأخص قوانين الطبيعة مثل قوانين الغاز التام perfect gas laws، قانون كولومب coulomb's law ص وقانون أوم Ohm's law، وقانون جاليليو، باستخدام الحجج المعرفية لاكتشاف الأنساق والانتظام في البيانات المعطاة له، وعلى ضوء ذلك يكون الافتراضات التي يسعى لاختبار صحتها بعد ذلك. ومن الحجج المعرفية المفيدة في اكتشاف العلاقات بين متغيرين عددين التالي:

إذا ازدادت قيمة متغير ما م-1 كلما ازدادت قيمة متغير آخر م-2. إذن افترض علاقة اطرادية متزايدة بين م-1 وم-2 حسب درجة الميل. وبإعطاء البرنامج البيانات في جدول 19- 5، يكتشف البرنامج قانون

$$PV=nRT$$

يتوصل البرنامج إلى ذلك على مراحل. أولا يكتشف أن p (الضغط) يزداد كلما ازداد V (الحجم) مما يجعله ينظر في حاصل ضرب الضغط في الحجم PV ؛ إلا أنه يجد أن هذا ليس ثابتا. ولكنه يحتفظ بنفس القيمة عندما تبقى T (درجة الحرارة) ثابتة. وحيث أنه وجد أن PV تزداد كلما ازدادت الحرارة، ينظر البرنامج في احتمال PV/T، والتي تظهر قيمتها في جدول 19-6. والملاحظة الثانية هي أن هذه الكمية الأخيرة تتزايد مع أعداد جزيئات moles'n، الغاز، مما يدعو للنظر في حاصل قسمة جديدة PV/nT،

## البرامج القابلة للتعليم

ويتضح أنها كما هو واضح من جدول 19 - 7 ثابتة. وأثناء عمل البرنامج يقوم بالنظر في احتمالات أخرى إلا أنه يجد أنها لا تؤدي إلى نتائج هامة.

Moles	Temperature	Pressure	Volume	PV
1	300	300 000	0.008 320 0	2 496.0
1	300	400 000	0.006 240 0	2 496.0
1	300	500 000	0.004 992 0	2 496.0
1	310	300 000	0.008 597 3	2 579.2
1	310	400 000	0.006 448 0	2 579.2
1	310	500 000	0.005 158 4	2 579.2
1	320	300 000	0.008 874 7	2 662.4
1	320	400 000	0.006 656 0	2 662.4
1	320	500 000	0.005 324 8	2 662.4

جدول 19-5 بيانات متوافقة مع قوانين الغاز التام

Moles	Temperature	PV	PV/T
1	300	2.496 0	8.32
1	310	2 579.2	8.32
1	320	2 662.4	8.32
2	300	4 992.0	16.64
2	310	5 158.4	16.64
2	320	5 324.8	16.64
3	300	7 488.0	24.96
3	310	7 737.6	24.96
3	320	7 987.2	24.96

جدول 19-6 القيم الناتجة من جدول 19-5 بعد اعتبار أن PV/T يمكن أن تكون كمية مهمة

Moles	PV/T	PV/NT
1	8.32	8.32
2	16.64	8.32
3	24.96	8.32

جدول 19-7 القيم الناتجة من جدول 19-6 بعد اعتبار أن PV/NT

(حيث N عدد المولات في الغاز) يمكن أن تكون كمية مهمة

## الخاتمة

مازالت طرق التعلم المستخدمة حتى الآن متخصصة جداً، لأنها إما

مقصورة على مجالات ضيقة، أو لأنها تعتمد على بنية معرفية محدودة بأنماط تركيبية جامدة؛ بينما في المقابل تختلف طرق وأساليب التعلم الإنسانية باختلاف الموضوع، ويمكن أن تعمل في ميادين مختلفة تماماً. وقليل جداً من البرامج الموجودة لها قدرات تعليمية حقيقية، فلا تزداد المعرفة المخزنة بها إلا بعد التدخل البشري أثر تقويم أدائها. وسيصبح ذلك أكثر صعوبة في المستقبل، عند تطوير برامج بها ملايين عديدة من القواعد. إن برامج التعلم أمامها في الواقع مستقبل عظيم.

## المراجع

- (1) Samuel A. U. (1963), Some studies in machine learning using the game of checkers, in Computers and thought, Feigenbaum and Feldman (eds.), New York, McGraw-Hill, pp. 71- 105.
- (2) Waterman D. A. (1970), Generalization learning techniques for automating the learning of heuristics, Journal of Artificial Intelligence I, pp. 121- 170.
- (3) Selfridge O. G., Neisser U. (1963), Pattern recognition by machine, in Computers and thought, Feigenbaum and Feldman (eds.), New York, McGraw-Hill, pp. 237- 256.
- (4) Rosenblatt, F. (1958), The perceptron: a theory of statistical separability in cognitive systems, Technical Report VG-1 196- G-2, Cornell aeronautical lab.
- (5) Simon H. (1983), Why should machines learn, in Machine learning, an artificial intelligence approach, Michalski, Carbonell (eds.), Palo Alto, California, Tioga Publishing Company.
- (6) Feigenbaum E.A. (1963), The simulation of verbal learning behaviour, in Computers and thought, Feigenbaum and Feldman (eds.), New York, McGraw-Hill, pp. 228- 284.
- (7) Michalski R. S., Carbonell J. G., Mitchell T. M. (1983) eds., Machine learning, an artificial intelligence approach, Palo Alto, California, Tioga Publishing Company.
- (8) Smith H.A., Lea G. (1974), Problem solving and rule induction: a unified view, in L. Gregg (ed.), Knowledge and acquisition, Hillsdale, N.J. Lawrence Erlbaum.
- (9) Simon R.G., Mitchell T. M., Chestek R. A., Buchanan B. G. (1977), A model for learning systems, Stanford Heuristic Programming Project Memo HPP-77- 14.
- (10) Mitchell T.M. (1983), Learning and problem solving IJCAI-1983, pp. 1139\_ 1151.
- (11) Winston P. H. (1975), Learning structural descriptions from examples, in The psychology of computer vision, P. Winston (ed.), New York, McGraw-Hill.
- (12) Dietrich T. G., Michalski R.S. (1981), Inductive learning of structural descriptions: Evaluation criteria and comparative review of selected methods, Artificial intelligence 16, pp. 257- 294.
- (13) Kodratoff Y., Sallantin J. (1983) eds., Outils pour l'apprentissage, Publication du GR 22, Journées d'Orsay, January 1983).
- (14) Michalski R.S., and Larson J.B. (1978) Selection of most representative training examples and incremental generation of VU hypotheses: The underlying methodology and the description of programs ESEL and AQII, Rep. No. 867, Computer Science Department, University of Illinois, Urbana.
- (15) Michalski R. S., and Chilauski R. L. Learning by being told and learning from examples: An experimental comparison of the two methods of knowledge acquisition in the context of developing an expert system for soybean disease diagnostic, International Journal of Policy Analysis and Information System 4, pp. 125- 161.

- (16) Lenat D. B. (1977), The ubiquity of discovery, Artificial Intelligence, Vol. 9, 3.
- (17) Langley P. (1981), Data-driven discovery of physical laws, Cognitive Science 5, pp. 31- 54.

نهدف في هذا الفصل الأخير إلى إعطاء فكرة عما يمكن توقعه من تطبيقات ناجحة للذكاء الاصطناعي في المستقبل القريب، وعن الموضوعات التي من المحتمل أن تظل لسنوات عديدة قادمة مجالاً للبحث. وقد أظهرت محاولات التنبؤ المماثلة في معظم الميادين إلى أخطاء فادحة في تقدير ما يمكن توقعه على المدى القصير، ولا شك أن محاولتنا هنا عرضة لنفس الخطأ، إلا أن النتائج تشير إلى اتفاق تقديراتنا بشكل عام مع التقديرات الأخير للباحثين الأمريكيين<sup>(1)</sup> والأوروبيين<sup>(2,3)</sup> في استجابتهم للإعلان عن المشروع الياباني لحاسبات الجيل الخامس. وقد تأكدت تقديراتنا بالنسبة إلى موضوعين وضع عليهما التركيز الرئيسي في هذا الكتاب وهما معالجة اللغات الطبيعية والنظم الخبيرة. وقد اصطدمت محاولة جعل الحاسب يفهم فهما تاماً نصوصاً غير محدودة من اللغات الطبيعية بعقبات عنيدة في ظل الحالة الراهنة للتقنية في هذا المجال. ويضطر مصممو برامج معالجة اللغات الطبيعية اليوم إلى أن يقيموا برامجهم على افتراضات مبسطة وذلك لأن هذه البرامج لا تتصل بالعالم الحقيقي الخارجي، فهي

لا تستطيع أن ترى المتكلم أو أن تعرف ما يكفي عن البيئة الطبيعية بحيث تميز بين الأصوات اللغوية والضوضاء التي قد تصاحبها. وتشمل مثل هذه الافتراضات أن الكلام الذي يحلله البرنامج مكون من كلمات منفصلة (أي أن المتكلم يتوقف بعد كل كلمة قبل أن يقول الكلمة التالية)، وأن تكون التراكيب والمفردات محدودة، ويكون عدد المتكلمين محدودا للغاية، وعادة ما يكون شخصا واحدا.

وتقتصر البرامج التجارية الحالية على متحدث واحد ومئات قليلة من الكلمات، التي يجب إن تصاحبها وقفة قصيرة بعد كل واحدة، وهناك أيضا برامج للتحكم في الإنسان الآلي عن طريق توجيه الأوامر المنطوقة إليه. أما البرامج المتقدمة مثل برنامج شركة الآي ب م والذي يستطيع فهم عدة آلاف من الكلمات، لا يستطيع العمل في المواقف العملية لأنها بطيئة جدا، فهي تعتمد على حساب احتمالات تتابع كلمات معينة بعد أخرى معينة، وهذه طريقة لا يستخدمها السامع البشري.

لذلك يبقى فهم الكلام خارج نطاق محدود جدا هدفا بعيدا الأمد. وسيعتمد التقدم فيه على نتائج أبحاث فهم اللغة المكتوبة (أي اللغة التي أدخلت إلى الحاسب عن طريق لوحة المفاتيح)، والتي قطعت شوطا كبيرا لأنها لم تعان، كما يحدث في حالة الكلام، من فقدان المعلومات نتيجة للتفسير غير الكامل للرسالة اللغوية. ويستحيل عادة استرجاع المعلومات التي فقدت بهذه الطريقة، حتى بمساعدة المعرفة على المستوى الدلالي أو المقامي pragmatic. وسيعتمد التقدم على المدى القصير في هذا المجال على استخدام رقاقات Chips متخصصة للقيام بمهام خاصة، وبها يمكن أن يستمر التحليل على مستويات مختلفة بشكل متواز في آن واحد، متناولا مثلا اختيار الكلمات والتركييب وأوجه المعاني والمقام، ويساهم كل منها في برنامج لحل أي تضارب فيما بينها وللتوصل إلى التفسير الأكثر احتمالا. وسيغمر الأسواق في السنوات القليلة القادمة العديد من البرامج لاستخراج المعلومات من قواعد البيانات بالرد على استفسارات باللغات الطبيعية، وسيستمر البحث بهدف بناء برامج أكثر ذكاء وأكثر كفاءة في التعاون مع المستخدم، أخذة في الاعتبار القواعد العامة للحوار، ودوافع وطبيعة المستخدم. وبهذا تستطيع الآلة أن تنوع طبيعة إجابتها وفقا لما

تعرفه عن المستخدم. والأكثر من هذا، لن تقتصر الآلة على استخراج المعلومات من قاعدة المعرفة المخزنة بها حول موضوع الاستفسار، بل سيكون لها «الحصافة والبديهة» لتساعدها على التفكير العام جيداً، وبذلك تبدي سلوكاً أكثر ذكاءً، ولكن سيكون ذلك على المدى البعيد جداً.

وما زال فهم وتوليد الوثائق في مراحله الأولى، ويتطلب تمحيص وفحص الوثائق، بطبيعته، عدداً غير محدود من المفردات، ولا تستطيع الطرق الحالية أن تفعل أكثر من التعرف على الكلمات المفتاحية key words. ويجب أن تتمكن الآلة مع إحراز التقدم في المستقبل في فهم اللغات الطبيعية-من إحراز ما يود المستخدم معرفته بالضبط، وأن تجد المراجع المناسبة، بدلاً من إعطائه قائمة طويلة من الاحتمالات والتي عليه أن ينظر فيها ويختار ما يناسبه. ومن المحتمل أن يصبح الإنتاج الآلي أو شبه الآلي للوثائق المتخصصة جداً مثل كتيبات manuals الإصلاح والصيانة ممكناً في السنوات الخمس القادمة.

لقد أثبتت النظم الخبيرة بالفعل نجاحها، على كل من المستوى التقني وكوعاء للمعرفة. وسنحل في المستقبل محل كثير من البرامج الإجرائية التقليدية التي أصبحت من الضخامة بحيث يستحيل تجديدها أو تطويرها. ومن المحتمل بناء كثير من النظم الصغيرة التي تحتوي على بضع مئات من القواعد للمساعدة في بعض المسائل المتخصصة جداً والتي يوجد لها خبراء بشريون إلا أنهم غير متاحين بسهولة. وفي بعض الأحيان تكون الخبرة الحيوية لبعض الشركات والمؤسسات قاصرة على حفنة صغيرة من الخبراء البشريين، ويسبب وفاة أو رحيل أحدهم عن المؤسسة خسارة فادحة، وهنا يكون من الأهمية على المستوى الاقتصادي والعلمي حفظ مثل هذه الخبرة في شكل برامج متاحة بسهولة وعلى نطاق واسع. وبالإضافة إلى كونها تشكل درع الأمان للمؤسسة، فإنه يمكن دائماً تطويرها وتجديدها كلما استجد جديد وتوافرت معلومات جديدة في مجالها. ويمكن توقع تقدم في الميادين التالية: البنوك لتقدير المخاطرة ومسائل الإفلاس، الاستشارات الاستثمارية، التأمين لتقديم مجموعة الخبرات اللازمة لتقدير أقساط التأمين، المسائل الإدارية والقانونية، لتقديم المشورة والعون في أمور بيع العقارات والميراث. وسيختلف مستوى الخبرة باختلاف المستخدمين فقد



يكونوا من المحترفين الذين يفهمون المصطلحات الفنية أو من الجمهور العام الذين يستخدمون ببساطة حاسباتهم الشخصية من منازلهم. كما سيكون هناك برامج للمساعدة في حالة الكوارث الطبيعية كالفيضانات، وهبوط الأرض، وثورات البراكين، والزلازل والحرائق... حيث يمكن للنظم الخيرة التحكم في الموقف وإبداء النصيحة بالتعاون فيما بينهم والعمل بشكل متواصل دون كلل لتنظيم إجراءات الإنقاذ.

وسيستمر البحث بهدف بناء برامج تحتوي على عشرات الألوف من القواعد. وسيطلب ذلك تطوير أساليب بناء جديدة، architecture وخاصة المعالجة المتوازية حيث تصبح ضرورية سواء بالنسبة للعتاد hardware أو البرامج software. وسيكون لهذه البرامج مستويات عديدة من المعرفة، حيث يمكن للمستويات العليا أن تستخدم المستويات الدنيا بذكاء، فإذا سئل برنامج عن رقم تليفون لشخص ما متوفى. فإنه ليس من الضروري أن يبحث في قاعدة البيانات لديه لمعرفة ما إذا كان لديه الرقم.

وستربط نظم خيرة مختلفة تتعلق بنفس الموضوع بشبكة اتصال واسعة بحيث تسمح لأي منها بتحويل الاستفسار الموجه إليها إلى إحدى النظم الأخرى إذا اعتبرت الثاني أقدر على الإجابة على هذا السؤال بالذات، ويكون الأثر هكذا في الاستفسارات الطبية مثلا، وبالنسبة للزراعة يمكن بناء برامج متخصصة على أساس إقليمي.

وستجعل النظم الخيرة نقل المعرفة بين الميادين المختلفة أكثر سهولة، كما تسهل عملية التحقق من مواد المعرفة وطرق الاستدلال التي يستخدمونها، كما تستخدم كأساس للنقاش بين الخبراء من نفس المجال أو من مجالات مختلفة الذين قد لا يتبعون نفس الطرق في حل المسائل. وتستطيع هذه النظم توضيح خطوات حل المسائل للطالب بدلا من مجرد عرض النص على الشاشة كما هو متبع في برامج التعلم بمساعدة الحاسب الحالية. وفي الحقيقة إذا لم نستخدم إمكانات الحاسب في الاستدلال والتفاعل، فإنه قد يكون من الأفضل لنا استخدام وسيلة التعلم التقليدية وهي الكتاب. وما تزال الطرق المستخدمة اليوم لتمثيل المعرفة مقصورة على أنواع معينة من المهام، وأكثر ما فهمنا من المشاكل هي تلك المتعلقة بالتشخيص الطبي، وتتطوي عادة على إيجاد افتراض (الذي يسمى تشخيص) بحيث

يفسر بطريقة منتظمة وثابتة مجموعة من البيانات. ولا زال أمامنا شوط طويل قبل التوصل لحلول مرضية لمسائل التكهانات prognosis أو بناء كيانات هيكلية معقدة، خاصة عندما لا يمكن التعبير عن المعايير المميزة بالأسلوب التقني مثل المعايير الجمالية أو الفنية، وفي بعض المسائل تعطى أنواع من المعلومات كالمعلقة بالزمن والمكان بطريقة عشوائية ولا يمكن التعميم بها بسهولة. ويجب أن نمثل المعرفة المكانية في الآلة-في حدود إمكاناتنا الحالية- بصورة واضحة تعوض الآلة عن إدراكنا الفيزيقي بالمكان. ولا نتوقع أن نتمكن في السنوات الخمس القادمة من ربط إدراكنا السمعي أو المرئي بالنظم الخبيرة على مستوى عال.

وسيستمر الباحثون في تطوير أدوات بناء النظم الخبيرة وستساعد هذه في معالجة أنواع جديدة من المسائل، وعلى الاستفادة من معرفة ومعلومات في مجالات عديدة على أن تكون المعرفة في كل ميدان مصاغة بتركيب syntax مماثل، وأن تكون أهداف المعرفة واحدة.

وتؤدي العلاقة الرمزية مع أبحاث فهم اللغات الطبيعية إلى نظم سهلة الاستعمال ومتاحة لغير علماء المعلومات، وستستحدث برامج متخصصة للقيام بالمهمة المتخصصة وهي استخلاص المعرفة الأساسية-من بين المواد المحيطة-ويستخدم هذه البرامج عالم المعرفة لتسهيل مهمته لمساعدة الخبير البشري في استخراج كامل معرفته وخبرته وأن يبينها بالصورة التي تمكن آليات الاستدلال من الاستفادة منها.

ويستمر علماء المعلومات اليوم في تطوير قواعد المعرفة في برامجهم باليد لعدم وجود طريقة أفضل، ويسمح بذلك صغر حجم البرامج الحالية، ولكن ماذا سيحدث عندما يصل حجم القواعد في برامجهم إلى أكثر من مليون قاعدة ومفهوم؟ على البرامج التي على هذه الدرجة من الضخامة أن تتعلم من الخبرة، وأن تطور نفسها باستخدام قواعد بسيطة يضيفها الخبير الإنساني لتقويم أدائها. فهي أولا ستصبح قادرة على تحسين قواعد معرفتها، ثم تطور بعد ذلك آليات استخدام هذه القواعد أي استراتيجياتها العليا. وسيفقد النقد الشائع القائل بأن الحاسبات لا تستطيع أن تفعل إلا ما يأمرها به الإنسان مشروعيته أكثر فأكثر.

## المراجع

- (1) Feigenbaum, E.A., A., McCorduck, P. (1983). The Fifth Generation, Reading, Mass. Addison-Wesley (London, Pan Books 1984).
- (2) Project ESPRIT (1983), Report of the EEC, Brussels.
- (3) English, M. (1983). The European IT-Industry, Report of the EEC, Brussels.