المحاضرة #٨ الذكاء الصناعي

١ مقدمة

أجهزة الحاسوب هي أجهزة مذهلة. يمكنهم رسم صور ثلاثية الأبعاد معقدة ومعالجة كشوف رواتب شركة بأكملها وتحديد ما إذا كان الجسر الذي تقوم ببنائه سيصمد أمام ضغط حركة المرور المتوقعة. ومع ذلك قد يواجهون صعوبة في فهم محادثة بسيطة وقد لا يتمكنون من التمييز بين الطاولة والكرسي.
من المؤكد أن الحاسوب يمكنه القيام ببعض الأشياء بشكل أفضل مما يستطيع الإنسان القيام به. على سبيل المثال إذا تم تكليفك بمهمة جمع ١٠٠٠ رقم مكون من أربعة أرقام معًا باستخدام قلم رصاص وورقة بالتأكيد يمكنك القيام بذلك لكن المهمة ستستغرق وقتًا طويلاً ومن المحتمل جدًا أن ترتكب أخطاء أثناء إجراء الحسابات. ولكن يمكن لجهاز الحاسوب إجراء نفس العملية الحسابية في جزء من الثانية دون أخطاء. ولكن إذا طُلب منك الإشارة إلى القطة في الصورة الموضحة بالشكل ١ فيمكنك القيام بذلك دون تردد. على النقيض من ذلك سيواجه الحاسوب صعوبة في تحديد هذا ذلك وقد يخطئ. لدى البشر قدرًا كبيرًا من المعرفة والقدرة على التفكير لهذه الأنواع من المشاكل ولكننا ما زلنا نحاول لإيجاد طرق لجعل الحاسوب قادر على أداء نفس طريقه التفكير البشري.

شكل ١: من السهولة على الإنسان البالغ التعرف على صورة القطة

في عصر التقنيات الحديثة تعتبر أجهزة الحاسوب جيدة في الحساب ولكنها أقل مهارة في الأشياء التي تتطلب الذكاء. مجال الذكاء الاصطناعي (AI) هو دراسة أنظمة الحاسوب التي تحاول نمذجة وتطبيق ذكاء العقل البشري.
في عام ١٩٥٠ كتب عالم الرياضيات الإنجليزي آلان تورينج (Alan Turing) بحثًا تاريخيًا طرح فية السؤال التالي: هل يمكن للآلات أن تفكر؟ بعد تحديد مصطلحات مثل الذكاء والتفكير بعناية خلص

في النهاية إلى أننا سنكون قادرين في النهاية على إنشاء جهاز حاسوب يفكر. لكنه سأل بعد ذلك سؤالاً آخر: كيف لنا أن نعلم إذا نجحت الآلات بذلك؟

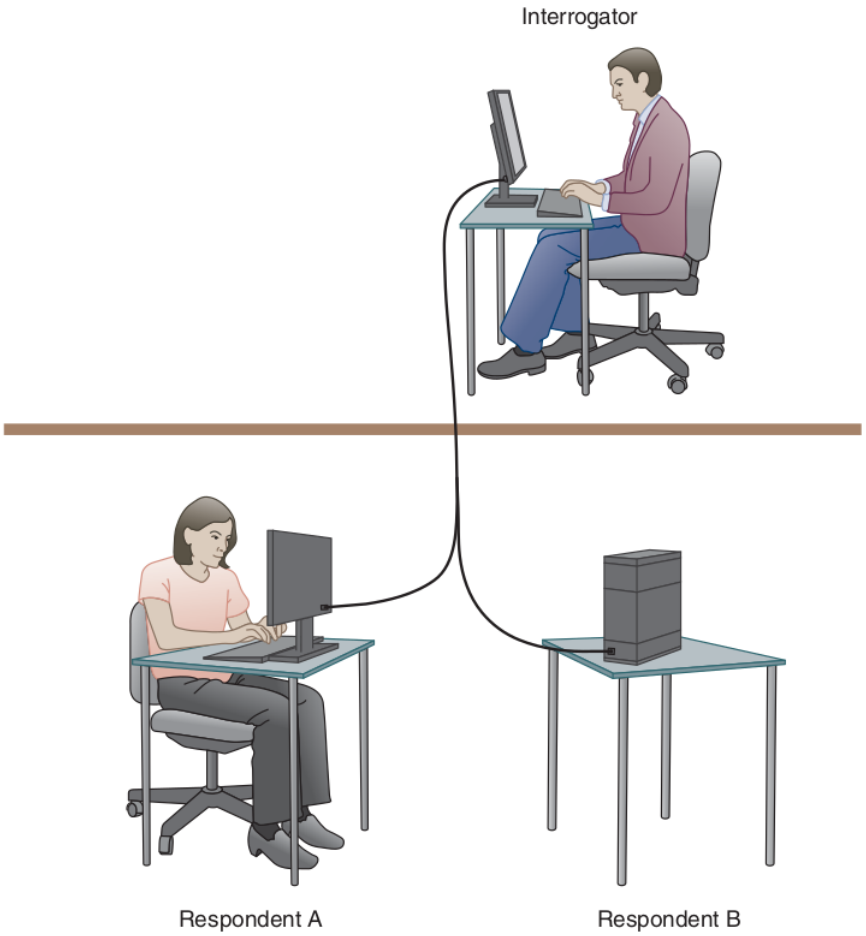
سميت إجابته على هذا السؤال باختبار تورينج (Turing Test) والذي يستخدم لتحديد ما إذا كان الحاسوب قد حقق الذكاء بشكل تجريبي. يعتمد الاختبار على ما إذا كان الحاسوب يمكن أن يخدع الإنسان ليصدق أن الحاسوب هو إنسان آخر.

حدثت العديد من التغيرات في اختبارات تورينج على مر السنين لكننا سوف نركز على المفهوم الأساسي هنا. تم إعداد الاختبار على النحو التالي: محقق بشري يجلس في غرفة ويستخدم جهاز حاسوب للتواصل مع اثنين من المستجيبين ، أ و ب. يعرف المحقق أن أحد المستجوبين إنسان والآخر حاسوب لكنه لا يعرف من منهم الإنسان والحاسوب (انظر الشكل ٢). بعد إجراء محادثات مع كل من "أ" و "ب" يجب أن يقرر المحقق أي المستجوب هو الحاسوب. يتم تكرار هذا الإجراء مع العديد من المحققين البشر. الفرضية هي أنه إذا كان بإمكان الحاسوب خداع عدد كافٍ من المحققين ، فيمكن اعتباره ذكيًا.

يجادل بعض الناس بأن اختبار تورينج هو اختبار جيد للذكاء لأنه يتطلب أن يمتلك الحاسوب نطاقًا واسعًا من المعرفة ويتمتع بالمرونة اللازمة للتعامل مع التغييرات في المحادثة. لخداع محقق بشري فإن المعرفة التي يتطلبها الحاسوب تتجاوز حقائق المعلومات وتتطلب وعيًا بالسلوك البشري والعواطف.

يجادل آخرون بأن اختبار تورينج لا يُظهر حقًا أن الحاسوب يفهم خطاب اللغة وهو أمر ضروري للذكاء الحقيقي ويقترحون أن برنامجًا ما يمكن أن يحاكي فهم اللغة ربما بما يكفي لاجتياز اختبار تورينج لكن هذا وحده لا يجعل الحاسوب ذكيًا.

سيظهر الحاسوب الذي يجتاز اختبار تورينج تكافؤًا ضعيفًا (Weak equivalence) مما يعني أن النظامين (الإنسان والحاسوب) متكافئان في النتائج (المخرجات) ولكنهما لا يصلان إلى هذه النتائج بنفس الطريقة. يشير التكافؤ القوي (Strong equivalence) إلى أن نظامين يستخدمان نفس العمليات الداخلية لتحقيق نفس النتائج.



شكل ٢: اختبار تورنك (Turing Test)

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

يؤكد بعض باحثي الذكاء الاصطناعي أن الذكاء الاصطناعي الحقيقي لن يكون موجودًا حتى نحقق تكافؤًا قويًا (Strong equivalence)- أي حتى نصنع آلة تعالج المعلومات كما يفعل العقل البشري. قام هيو لوبنر (Hugh Loebner) في نيويورك بتنظيم أول اختبار رسمي لاختبار تورينج. يتم إجراء هذه المسابقة سنويًا منذ عام ١٩٩١. ويتم منح جائزة كبرى قدرها ١٠٠٠٠٠ دولار أمريكي وميدالية ذهبية خالصة لأول جهاز حاسوب لا يمكن تمييز ردود أفعاله عن ردود فعل الإنسان (بما في ذلك إدخال النصوص والمرئية والصوتية). حتى الآن لا تزال الجائزة الكبرى في متناول اليد. تُمنح جائزة قدرها ٢٠٠٠ دولار وميدالية برونزية كل عام لجهاز الحاسوب الذي تم تحديده ليكون الأكثر شبهاً بالإنسان مقارنةً ببقية المتنافسين في ذلك العام. أصبحت مسابقة جائزة Loebner حدثًا سنويًا مهمًا لعشاق الحوسبة المهتمين بالذكاء الاصطناعي.

تم تطوير برامج مختلفة غالبًا ما يشار إليها باسم روبوتات المحادثة (Chatbots) لأداء هذا النوع من تفاعل المحادثة بين الحاسوب والبشر. تتوفر العديد من هذه البرامج عبر الويب ويركز معظمها على موضوع معين. اعتمادًا على مدى جودة تصميمها يمكن لهذه البرامج إجراء محادثة معقولة. ومع ذلك في معظم الحالات لا يستغرق الأمر وقتًا طويلاً حتى يكتشف المستخدم ردود غريبة في المحادثة تكشف حقيقة أن العقل البشري ليس هو من يجيب.

مجال الذكاء الاصطناعي له فروع عديدة. في هذه المحاضرة سوف نستعرض المشكلات الأساسية والتحديات التي لم يتم التغلب عليها بعد. في الأقسام المتبقية سوف نستكشف المشكلات التالية في عالم الذكاء الاصطناعي:

- تمثيل المعرفة - التقنيات المستخدمة لتمثيل المعرفة بحيث يمكن لنظام الحاسوب تطبيقها على حل المشكلات بذكاء
- الأنظمة الخبيرة - أنظمة الحاسوب التي تجسد معرفة الخبراء البشريين
- الشبكات العصبية - أنظمة الحاسوب التي تحاكي معالجة الدماغ البشري
- معالجة اللغات الطبيعية - تحدي معالجة اللغات التي يستخدمها البشر للتواصل
- الروبوتات - آلات قابلة للبرمجة يمكنها تنفيذ سلسلة معقدة من الإجراءات تلقائيًا

٢ تمثيل المعرفة (Knowledge Representation)

تختلف المعرفة التي نحتاجها لتمثيل كائن أو حدث بناءً على الموقف. اعتمادًا على المشكلة التي نحاول حلها نحتاج إلى معلومات محددة. على سبيل المثال إذا كنا نحاول تحليل العلاقات الأسرية فمن المهم أن نعرف أن فريد (Fred) هو والد كاثي (Cathy) ولكن ليس أن فريد سباك أو أن كاثي تمتلك شاحنة نقل صغيرة. علاوة على ذلك لا نحتاج إلى معلومات معينة فحسب بل نحتاج إليها أيضًا في شكل يسمح لنا بالبحث عن تلك المعلومات ومعالجتها بكفاءة.

هناك طرق عديدة لتمثيل المعرفة. على سبيل المثال يمكننا وصفها بلغة طبيعية. بمعنى يمكننا كتابة فقرة باللغة العربية او الإنجليزية تصف على سبيل المثال طالبًا والطرق التي يتعامل بها الطالب مع محيطة. ومع ذلك على الرغم من أن اللغة الطبيعية وصفية للغاية إلا أنها لا تصلح للمعالجة الفعالة. بدلاً من

ذلك يمكننا صياغة هذه اللغة باستخدام التعبيرات الرياضية. هذه الصيغة تفسح المجال لمزيد من المعالجة الحاسوبية ولكن من الصعب تعلمها واستخدامها بشكل صحيح.

بشكل عام نريد إنشاء عرض منطقي للبيانات بغض النظر عن كيفية تنفيذها الفعلي بحيث يمكن معالجتها بطرق محددة. في عالم الذكاء الاصطناعي غالبًا ما تؤدي المعلومات التي نريد إدراكها إلى تمثيل بيانات جديدة ومثيرة للاهتمام. لا نريد أدراك المعلومات فحسب بل العلاقات التي تربطها أيضًا. قد يحدد نوع المشكلة التي نحاول حلها البنية الذي نفرضها على البيانات.

كما تم تحديد العديد من مجالات المشكلات والمسائل التي تتطلب حلا تم تطوير العديد من الطرق لتمثيل المعرفة. سوف نناقش اثنين منهما الشبكات الدلالية (Semantic Networks) وشجرة البحث (Search Trees).

٢.١ شبكات المعاني (Semantic Networks)

الشبكة الدلالية هي تقنية تمثيل للمعرفة تركز على العلاقات التي تربط الأشياء. يستخدم الرسم البياني الموجه لتمثيل الشبكة دلالية. تمثل عقد (Nodes) الرسم البياني الكائنات وتمثل الأسهم (Arrows) بين العقد العلاقات. يتم تسمية الأسهم للإشارة إلى أنواع العلاقات الموجودة.

لدى الشبكة الدلالية الموضحة في الشكل ٣ العديد من العلاقات من نوع (is-a) و(instance-of). ولكن لديها أيضًا عدة أنواع أخرى من العلاقات مثل (Lives-in) (يعيش جون في Heritage Acres). مبدئياً لا توجد قيود على أنواع العلاقات التي يمكن نمذجتها في الشبكة الدلالية ويمكن إضافة العديد من العلاقات إلى هذه الشبكة. على سبيل المثال كان بإمكاننا الإشارة إلى أن أي شخص إما أعسر أو يمين أو أن جون يمتلك سيارة هوندا أو أن كل طالب لديه متوسط درجة. ان العلاقات التي نمثلها هي اختيارنا بالكامل بناءً على المعلومات التي نحتاجها للإجابة على أنواع الأسئلة التي سنواجهها.

يمكن أن تختلف الطريقة التي نؤسس بها العلاقات أيضًا. على سبيل المثال بدلاً من إظهار أن كل طالب يعيش في مساكن معينة يمكننا إظهار أن المساكن تضم أفرادًا معينين. بعبارة أخرى يمكننا قلب تلك الأسهم وتغيير علاقة الحياة في (Lives-in) الى علاقة بين المنازل. اي ان الخيار لنا في

تصميم الشبكة. ما النهج الذي يصف على أفضل وجه نوع القضايا التي نتعامل معها؟ في بعض المواقف قد نختار تمثيل كلتا العلاقات.

تحدد أنواع العلاقات الممثلة الأسئلة التي يسهل الإجابة عليها وأيها يصعب الإجابة عليها وأي الأسئلة لا يمكن الإجابة عليها. على سبيل المثال تجعل الشبكة الدلالية في الشكل ٣ من السهل الإجابة على الأسئلة التالية:

- هل ماري (Mary) طالبة؟
- ما هو جنس جون (John)؟
- هل تعيش ماري (Mary) في مسكن أو شقة؟
- ما هو رقم هوية الطالب ماري (Mary)؟

ولكن مع هذه الشبكة يصعب الإجابة على الأسئلة التالية:

- كم عدد الطالبات وكم عدد الطلاب؟
- من يعيش في دوجيرتي هول (Dougherty Hall)؟

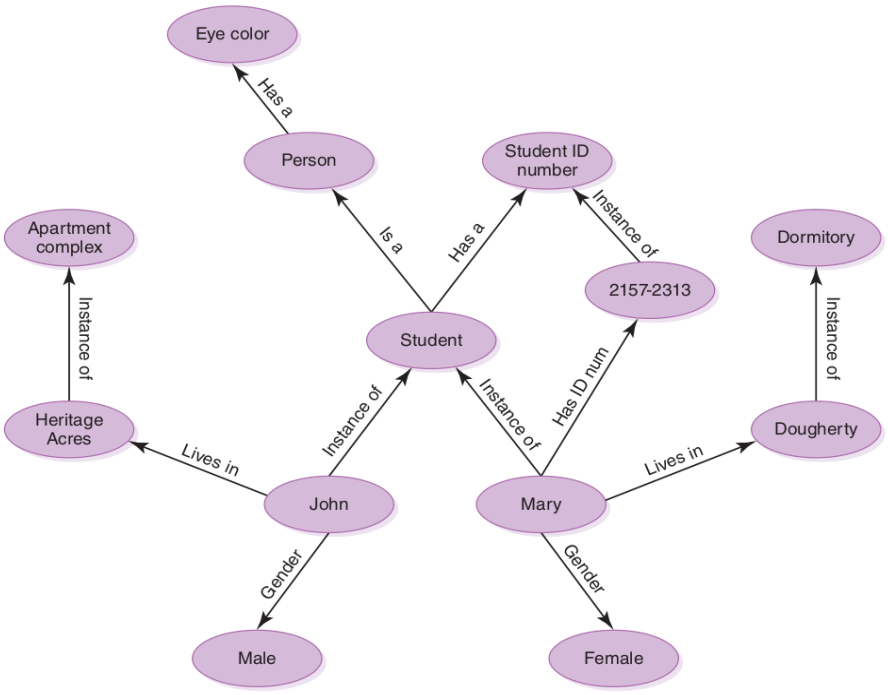
لاحظ أن للإجابة على هذه الأسئلة فان المعلومات موجودة في الشبكة ولكن ليس من السهل معالجتها. تتطلب الأسئلة الأخيرة القدرة على العثور بسهولة على جميع الطلاب ولا توجد علاقات تجعل من السهل الحصول على هذه المعلومات. تم تصميم هذه الشبكة بشكل يتيح تمثيل أكبر للعلاقات التي تربط الطلاب بالعالم.

لا يمكن استخدام هذه الشبكة للإجابة على الأسئلة التالية ، لأن المعرفة المطلوبة ببساطة غير ممثلة في هذه الشبكة:

- ما نوع السيارة التي يقودها جون (John)؟
- ما لون عيون ماري (Mary)؟

نحن نعلم أن ماري لها لون عين لأنها طالبة وجميع الطلاب بشر وجميع البشر لديهم لون عيون معين. نحن فقط لا نعرف ما هو لون عين ماري بالنظر إلى المعلومات المخزنة في هذه الشبكة.

تعد الشبكة الدلالية طريقة قوية ومتعددة الاستخدامات لتمثيل الكثير من المعلومات. يتمثل التحدي في تصميم العلاقات الصحيحة وملء الشبكة ببيانات دقيقة وكاملة.



شكل ٣: مثال لشبكات المعنى (Semantic Networks)

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٢-٢ البحث عبر الأشجار (Search Trees)

تلعب بنية الأشجار دورًا مهمًا في الذكاء الاصطناعي. على سبيل المثال يمكننا استخدام شجرة لتمثيل البدائل الممكنة في الحالات التنافسية مثل اللعب.

شجرة البحث عبارة عن بناء يمثل جميع الحركات الممكنة في اللعبة لك ولخصمك. يمكنك إنشاء برنامج لعبة يزيد من فرصه الفوز. في بعض الحالات قد تكون قادرة على ضمان الفوز.

في أشجار البحث ، تمثل المسارات أسفل الشجرة سلسلة القرارات التي يتخذها اللاعبون. القرار الذي يتم اتخاذه على مستوى واحد يحدد الخيارات المتبقية للاعب التالي. تمثل كل عقدة في الشجرة حركة تستند إلى جميع الحركات الأخرى التي حدثت حتى الآن في اللعبة.

دعنا نحدد تنوعًا مبسطًا للعبة تسمى Nim لاستخدامه كمثال. في نسختنا هناك عدد معين من المسافات على التوالي.

يمكن للاعب الأول وضع علامة X واحدة أو اثنتين أو ثلاثة في أقصى اليسار. يمكن للاعب الثاني بعد ذلك وضع واحد أو اثنين أو ثلاثة علامة O بجوار X مباشرة. يستمر اللعب ذهابًا وإيابًا. الهدف هو وضع علامتك في آخر مسافة (أقصى اليمين).

فيما يلي مثال على لنسختنا من لعبة Nim باستخدام تسعة مسافات:

Initial: _ _ _ _ _ _ _ _ _

Player 1:X X X _ _ _ _ _ _

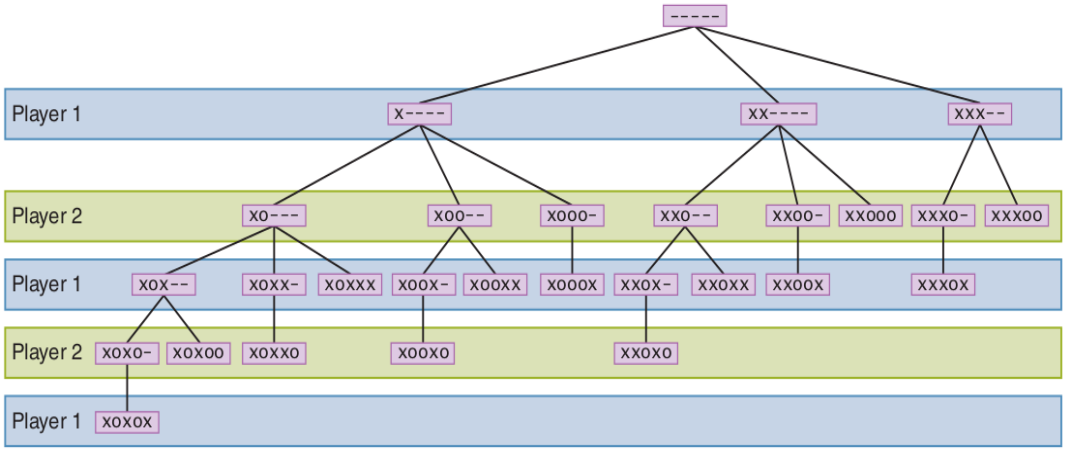
Player 2:X X X O _ _ _ _ _

Player 1:X X X O X _ _ _ _

Player 2:X X X O X O O _ _

Player 1:X X X O X O O X X Player 1 wins.

تعرض شجرة البحث في الشكل ٤ جميع الحركات الممكنة في نسختنا من اللعبة باستخدام خمسة مسافات فقط (بدلاً من المساحات التسعة المستخدمة في المثال السابق). عند جذر الشجرة ، تكون جميع المساحات فارغة في البداية. يُظهر المستوى التالي الخيارات الثلاثة التي يمتلكها اللاعب الأول (لوضع واحد أو اثنين أو ثلاثة X). في المستوى الثالث ، تُظهر الشجرة جميع الخيارات التي يمتلكها اللاعب ٢ ، بالنظر إلى الحركة التي قام بها اللاعب ١ بالفعل.



شكل ٤: شجرة البحث لنسختنا من لعبة Nim

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

لاحظ أنه عندما يتم عمل عدد كبير من العلامات في الدور الواحد ، قد تتوفر خيارات أقل للاعب التالي ، وتميل المسارات أسفل الشجرة إلى أن تكون أقصر. اتبع المسارات المختلفة لأسفل من الجذر مع الإشارة إلى الخيارات المختلفة التي يتخذها كل لاعب. يتم تمثيل كل خيار في لعبتنا المبسطة في هذه الشجرة.

لقد عمدنا إلى تبسيط لعبة Nim حتى نتمكن من إظهار شجرة بحث بسيطة. تحتوي لعبة Nim الحقيقية على بعض الاختلافات المهمة - على سبيل المثال هناك صفوف متعددة وتتم إزالة العناصر بدلاً من إضافتها. ومع ذلك حتى نسختنا المبسطة توضح العديد من الأفكار الرياضية المثيرة للاهتمام.

يمكن تطبيق مفاهيم تحليل شجرة البحث بشكل جيد على ألعاب أخرى أكثر تعقيدًا مثل الشطرنج. في مثل هذه الألعاب المعقدة تكون أشجار البحث أكثر تعقيدًا بكثير حيث تحتوي على العديد من العقد والمسارات.

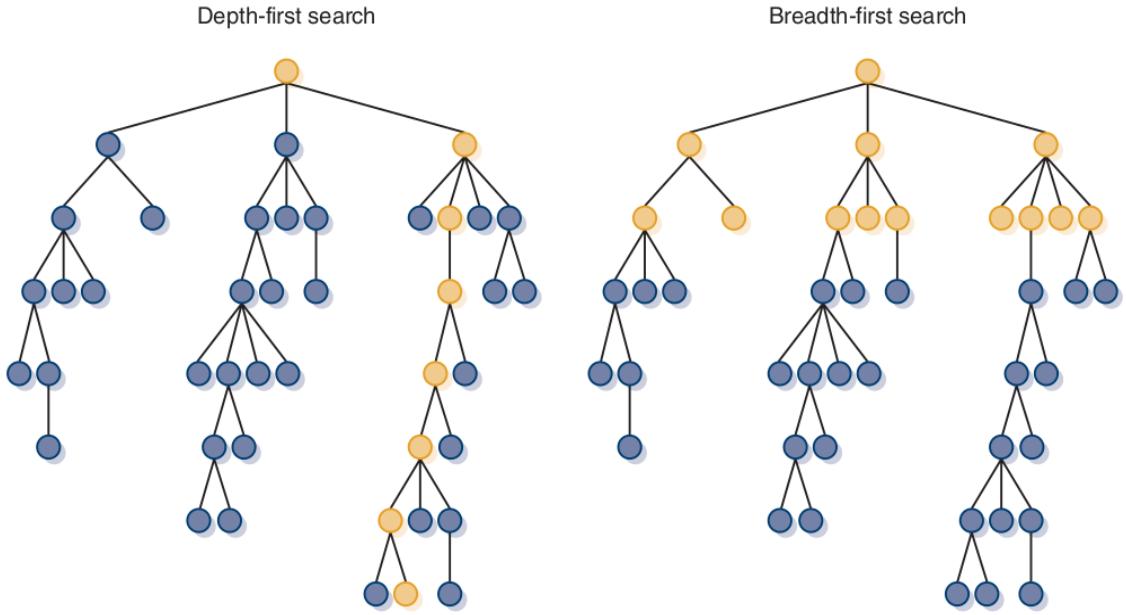
فكر في كل الحركات المحتملة التي قد تقوم بها في البداية في لعبة الشطرنج. ثم ضع في اعتبارك جميع الحركات المحتملة التي قد يقوم بها خصمك ردًا على ذلك. تحتوي شجرة بحث الكاملة للعبة الشطرنج على جميع التحركات الممكنة في كل مستوى مع كل دور للعبة على لوحة الشطرنج. نظرًا لأن هذه الأشجار كبيرة جدًا لا يمكن تحليل سوى جزء بسيط من الشجرة في غضون فترة زمنية معقولة حتى مع قوة الحوسبة الحديثة.

نظرًا لأن الآلات أصبحت أسرع يمكن تحليل المزيد من شجرة البحث ولكن لا يزال من غير الممكن تحليل جميع الفروع. توصل المبرمجون إلى طرق "لتقليم" أشجار البحث والقضاء على المسارات التي لا يعتبرها أي لاعب بشري معقولة. ومع ذلك فإن الأشجار كبيرة جدًا بحيث لا يمكن تحليلها بالكامل لكل حركة.

هذا يتركنا مع سؤال: هل نختار نهج العمق أولاً (depth-first approach) وتحليل المسارات الانتقائية على طول الطريق أسفل الشجرة التي نأمل أن تؤدي إلى حركات ناجحة؟ أم أننا نختار نهج العرض أولاً (breadth-first approach) ونحلل جميع المسارات الممكنة ولكن لمسافة قصيرة فقط أسفل الشجرة؟

كلا النهجين ، الموضحين في الشكل ٥ قد يفوتان الاحتمالات الرئيسية. في حين أن هذه القضية قد نوقشت بين مبرمجي الذكاء الاصطناعي لسنوات عديدة فإن نهج العرض أولاً (breadth-first approach) يميل إلى تحقيق أفضل النتائج. يبدو أنه من الأفضل القيام بحركات آمنة خالية من الأخطاء باستمرار من القيام بحركات خطرة في بعض الأحيان.

أصبحت البرامج التي تلعب الشطرنج على المستوى الرئيسي مكانًا شائعًا. في عام ١٩٩٧ ، هزم برنامج الشطرنج للحاسوب Deep Blue الذي طورته شركة IBM باستخدام نظام خبير (Expert System) بطل العالم غاري كاسباروف (Garry Kasparov) في مباراة من ست مباريات. كان هذا الحدث هو المرة الأولى التي يهزم فيها جهاز حاسوب بطلًا بشريًا في لعبة من المستوى الممتاز.



شكل ٥: نهج العمق أولاً (depth-first approach) ونهج العرض أولاً (breadth-first approach)

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٣ النظم الخبيرة (Expert Systems)

غالبًا ما نعتمد على الخبراء لمعرفتهم الفريدة وفهمهم لمجال معين. نذهب إلى الطبيب عندما تكون لدينا مشكلة صحية وميكانيكي سيارات عندما لا تعمل سيارتنا ومهندس عندما نحتاج إلى بناء شيء ما.

النظام القائم على المعرفة (knowledge-based system) هو نظام برمجي يجسد ويستخدم مجموعة محددة من المعلومات (البيانات المنظمة) التي يستخرج منها أجزاء معينة ويعالجها. غالبًا ما يتم استخدام المصطلحين "نظام الخبراء" و "النظام القائم على المعرفة" كاصطلاح واحد مع أن الأنظمة الخبيرة عادةً ما تجسد المعرفة في مجال متخصص وتشكل نموذجًا لخبرة المحترف في هذا المجال. يستشير المستخدم نظامًا خبيرًا عند مواجهة مشكلة معينة ويستخدم النظام خبرته لإرشاد المستخدم حول كيفية المتابعة.

يستخدم النظام الخبير مجموعة من القواعد لتوجيه معالجته لذلك يطلق عليه نظام قائم على القواعد (Rule-Based System). يشار إلى مجموعة القواعد في نظام خبير بقاعدة المعرفة الخاصة به. محرك الاستدلال (Inference Engine) هو جزء من البرنامج يحدد كيفية اتباع القواعد لكي يستنتج النتائج.

الطبيب هو مثال حي لنظام الخبير. يقوم الطبيب بجمع البيانات عن طريق طرح الأسئلة وإجراء الاختبارات. قد تؤدي إجاباتك الأولية ونتائج الاختبار إلى المزيد من الأسئلة والمزيد من الاختبارات. تسمح القواعد التي تجسدها معرفة الطبيب له بمعرفة الأسئلة التي يجب طرحها بعد ذلك. ثم يستخدم الطبيب المعلومات لاستبعاد الاحتمالات المختلفة وفي النهاية تضيق البدائل لتشخيص معين. بمجرد تحديد المشكلة تسمح هذه المعرفة المحددة للطبيب باقتراح العلاج المناسب.

لنتعرف على مثال عملي على معالجة النظام الخبير. لنفترض أنك أردت الإجابة على هذا السؤال: ما نوع العلاج الذي يجب أن أضعه في حديقتي؟

سيكون النظام الخبير الذي يجسد معرفة البستاني قادراً على إرشادك في هذا القرار. دعنا نحدد بعض المتغيرات حتى نتمكن من اختصار القواعد في نظام البستنة لدينا:

النظام: هل يحتوي العشب على مساحات كبيرة خالية؟

المستخدم: لا

النظام: هل يُظهر العشب دليلاً على وجود حشرات؟

المستخدم: لا

النظام: هل العشب رقيق بشكل عام؟

المستخدم: نعم

النظام: هل يحتوي العشب على أعشاب كبيرة؟

المستخدم: نعم

النظام: يجب عليك تطبيق علاج مركب يشمل الأسمدة ومادة لقتل الأعشاب الضارة.

لاحظ أن النظام لا يسأل عن الأشياء التي يمكنه البحث عنها مثل تاريخ آخر علاج. ومن الواضح أن السيناريو الخاص بنا لم يحدث في فصل الشتاء لأن النظام سأل عن مشكلة حشرات محتملة. لو كانت المشكلة في فصل الشتاء لتم القضاء على مشكلة الحشرات بالفعل.

يتمتع النظام الخبير بالعديد من المزايا مقارنة بتقنيات تقديم المشورة الأخرى. أولاً ، إنها موجهة نحو الهدف: فهي لا تركز على المعلومات المختصرة أو النظرية بل تركز على حل مشكلة معينة. ثانيًا ، إنها فعالة: فهي تسجل الردود السابقة ولا تطرح أسئلة غير ذات صلة. ثالثًا ، من خلال مجموعة من القواعد المصممة بعناية يمكن لنظام خبير حقيقي أن يقدم إرشادات مفيدة حتى إذا كنت لا تعرف الإجابات على بعض الأسئلة.

٤ الشبكات العصبية (Neural Networks)

يركز بعض باحثي الذكاء الاصطناعي على كيفية عمل الدماغ البشري فعليًا ويحاولون إنشاء أجهزة حوسبة تعمل بطرق مماثلة. تحاول شبكة عصبية اصطناعية في الحاسوب محاكاة أفعال الشبكات العصبية لجسم الإنسان.

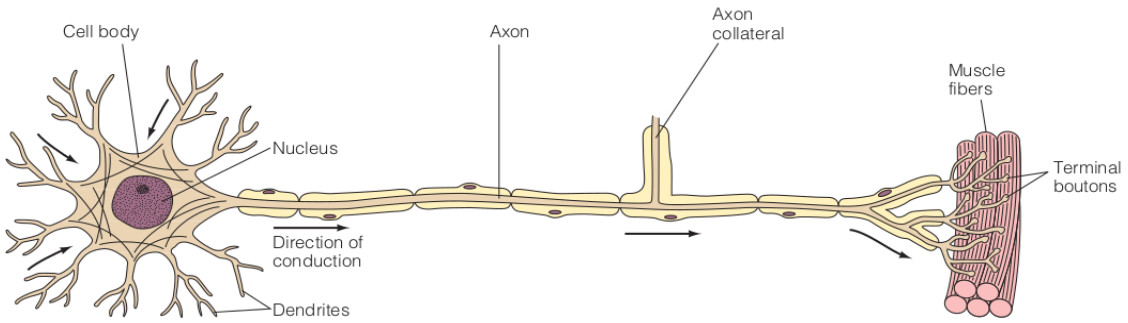
٤.١ الشبكات العصبية للأحياء (Biological Neural Networks)

الخلية العصبية هي خلية مفردة تقوم بتوصيل إشارة إلكترونية كيميائية. يحتوي الدماغ البشري على مليارات الخلايا العصبية المتصلة بشبكة. في أي وقت من الأوقات تكون الخلية العصبية إما في حالة مثارة (excited state) أو حالة مثبطة (inhibited state). توصل الخلية العصبية (neuron) المثارة إشارة قوية بينما تقوم الخلية العصبية المثبطة بتوصيل إشارة ضعيفة. تشكل سلسلة من الخلايا العصبية المتصلة مسارًا. يتم تقوية الإشارة على طول مسار معين أو ضعفها وفقًا لحالة الخلايا العصبية التي تمر عبرها. تخلق سلسلة من الخلايا العصبية المثارة مسارًا قويًا.

تحتوي الخلية العصبية البيولوجية على مخالب مدخلات متعددة تسمى التشعبات (dendrites) ولامسة إخراج أولية تسمى محور عصبي (axon). تلتقط التشعبات في إحدى الخلايا العصبية الإشارات من محاور الخلايا العصبية الأخرى لتشكيل الشبكة العصبية. الفجوة بين المحور العصبي و التشعبات تسمى المشبك (synapse). (انظر الشكل ٦). إن التركيب الكيميائي للمشبك يحد من قوة إشارة الدخل الخاصة به. ناتج خلية عصبية على محورها (axon) هو دالة لجميع إشارات الإدخال.

تقبل الخلية العصبية إشارات إدخال متعددة ثم تتحكم في مساهمة كل إشارة بناءً على "الأهمية" التي يعينها لها المشبك المقابل. إذا كان ما يكفي من إشارات الإدخال الموزونة (weighted) قويًا تدخل الخلية العصبية في حالة الأثارة وتنتج إشارة أخراج قوية. أما إذا كان هنالك عدد كافٍ من إشارات الإدخال ضعيفًا أو ضعيفًا بسبب عامل الأوزان (weighting factor) لمشبك تلك الإشارة تدخل الخلية العصبية في حالة مثبطة وتنتج إشارة خرج ضعيفة.

تطلق الخلايا العصبية أو تنبض ما يصل إلى ١٠٠٠ مرة في الثانية لذا فإنّ المسارات على طول الشبكات العصبية في حالة تدفق مستمر. يتسبب نشاط دماغنا في تقوية بعض المسارات وإضعاف البعض الآخر. عندما نتعلم أشياء جديدة تتشكل مسارات عصبية قوية جديدة في دماغنا.



شكل ٦: الخلية العصبية

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٢.٤ الشبكات العصبية الصناعية (Artificial Neural Networks)

كل عنصر معالجة في شبكة عصبية اصطناعية يماثل الخلايا العصبية البيولوجية. يقبل العنصر عددًا معينًا من قيم الإدخال وينتج قيمة إخراج واحدة إما (٠) أو (١). تأتي قيم الإدخال هذه من مخرجات عناصر أخرى في الشبكة ، لذلك تكون كل قيمة إدخال إما (٠) أو (١). ترتبط بكل قيمة إدخال قيمة عددية تمثل الوزن (weight). يتم تعريف الوزن الفعال (effective weight) للعنصر على أنه مجموع الأوزان مضروبة في قيم الإدخال الخاصة بكل منها.

افترض أن الخلايا العصبية الاصطناعية تقبل ثلاث قيم إدخال: v1 و v2 و v3. يقترن بكل قيمة إدخال وزن: w1 و w2 و w3. وبالتالي فإن الوزن الفعال:

v1 * w1 + v2 * w2 + v3 * w3

كل عنصر له قيمة عتبة عددية(threshold value).يقوم العنصر بمقارنة الوزن الفعال مع قيمة العتبة. إذا تجاوز الوزن الفعال العتبة فإن الوحدة تنتج قيمة خرج قدرها ١.اما إذا لم تتجاوز قيمة العتبة فإنها تنتج قيمة خرج تبلغ ٠.

تعكس هذه المعالجة عن كثب نشاط خلية عصبية بيولوجية. تتوافق قيم الإدخال مع الإشارات التي تمر عبر التشعبات. تتوافق قيم الوزن مع تأثير التحكم في المشبك لكل إشارة دخل. يتوافق حساب قيمة العتبة واستخدامها مع الخلايا العصبية التي تنتج إشارة قوية إذا كانت "كافية" من إشارات الإدخال الموزونة قوية.

لنأخذ مثال حقيقي. لنفترض أن هناك أربعة مدخلات لعنصر المعالجة. وبالتالي فهناك أربعة عوامل وزن له. افترض أن قيم الإدخال هي (١) و (١) و (٠) و (٠) أما الأوزان المقابلة هي (٤) و (٢٢) و (٢٥) و (٢٢) ؛ وقيمة العتبة للعنصر هي (٤). علية فان الوزن الفعال يساوي:

$$1(4) + 1(22) + 0(25) + 0(22) = 2$$

نظرًا لأن الوزن الفعال لا يتجاوز قيمة العتبة ، فإن ناتج هذا العنصر هو (٠). على الرغم من أن قيم الإدخال إما (٠) أو (١) ، يمكن أن تكون الأوزان أي قيمة على الإطلاق ويمكن أن تكون سالبة. لقد استخدمنا الأعداد الصحيحة للأوزان وقيم العتبة في مثالنا لكنها قد تكون أرقامًا حقيقية أيضًا.

أن ناتج كل عنصر هو في الواقع دالة للأجزاء الأخرى لذلك العنصر. إذا كانت إشارة الدخل(٠) فإن وزنها ليس له تأثير. أما إذا كانت إشارة الإدخال (١) فإن قيمة الوزن تؤثر بشكل كبير على الوزن الفعال سواء كان موجبًا أم سالباً. وبغض النظر عن الوزن الفعال الذي يتم حسابه فان الأخراج يتم حسابة نسبة إلى قيمة العتبة لهذا العنصر. أي أذا كان الوزن الفعال هو (١٥) قد يكون كافيًا لعنصر واحد لإنتاج ناتج (١) ولكن بالنسبة لعنصر آخر ينتج عنه ناتج (٠).

أن المسارات التي تم إنشاؤها في شبكة عصبية اصطناعية هي دالة لكل عناصر المعالجة الخاصة بها. ويتغير ناتج كل عنصر معالجة على أساس إشارات الإدخال والأوزان وقيم العتبة. لكن إشارات الإدخال هي في الحقيقة مجرد إشارات أخراج من عناصر أخرى. لذلك فإننا نؤثر على معالجة الشبكة العصبية عن طريق تغيير الأوزان وقيمة العتبة في كل عناصر المعالجة.

تسمى عملية ضبط الأوزان (Weights) وقيم العتبة (Threshold value) في الشبكة العصبية بالتدريب (Training). يمكن تدريب الشبكة العصبية لإنتاج أي نتائج مطلوبة. في البداية يمكن إعداد شبكة عصبية بأوزان عشوائية وقيم عتبة وقيم إدخال أولية. تتم مقارنة النتائج (الأخراج) بالنتائج المرجوة (desired results) ويتم إجراء التغييرات تبعا لمقدار الفارق بينهما. تستمر هذه العملية حتى يتم تحقيق النتائج المرجوة.

تأمل المشكلة التي طرحناها في بداية هذه المحاضرة: البحث عن قطة في صورة. لنفترض أن الشبكة العصبية تستخدم لمعالجة هذه المشكلة باستخدام قيمة إخراج واحدة لكل بكسل. هدفنا هو إنتاج قيمة إخراج قدرها (١) لكل بكسل يساهم في صورة القط وإنتاج (٠) إذا لم يكن كذلك. يمكن أن تأتي قيم الإدخال للشبكة من بعض تمثيل لون وحدات الـ بكسل. ثم نقوم بتدريب الشبكة باستخدام صور متعددة تحتوي على قطط وتقوية الأوزان والعتبات التي تؤدي إلى الإخراج (الصحيح) المطلوب.

فكر في مدى تعقيد هذه المشكلة! تأتي القطط بجميع الأشكال والأحجام والألوان ويمكن توجيهها في صورة بآلاف الطرق. قد يندمجون في خلفيتهم (في الصورة) أو قد لا يندمجون. قد تكون الشبكة العصبية لهذه المشكلة كبيرة بشكل لا يصدق مع مراعاة جميع أنواع المواقف. ومع ذلك فكلما زاد التدريب الذي نقدمه للشبكة زاد احتمال تحقيق نتائج دقيقة في المستقبل.

ما فائدة الشبكات العصبية أيضًا؟ لقد تم استخدامها بنجاح في الآلاف من التطبيقات في كل من الأعمال التجارية والمساعي العلمية. يمكن استخدامها لتحديد ما إذا كان يجب منح مقدم الطلب قرضًا عقاريًا. يمكن استخدامها في التعرف على الأحرف عبر المسح الضوئي له مما يسمح للحاسوب "بقراءة" مستند مطبوع. يمكن حتى استخدامها للكشف عن المتفجرات البلاستيكية في الأمتعة في المطارات.

تكمن براعة الشبكات العصبية في حقيقة أنه لا يوجد معنى متأصل في أوزان وقيم عتبة الشبكة. يأتي معناها من التفسير الذي نطبقه عليهم.

٥ معالجة اللغة الطبيعية (Natural-Language Processing)

في أفلام الخيال العلمي من المألوف أن يتفاعل الإنسان مع جهاز حاسوب بمجرد التحدث إليه. قد يقول قبطان سفينة الفضاء "حاسوب ما هي أقرب قاعدة نجمية بها مرافق طبية كافية للتعامل مع

حالة طبية؟" قد يستجيب الحاسوب بعد ذلك ، "القاعدة النجمية رقم ٤٢ على بعد ١٤٠٧ سنة ضوئية ولديها التسهيلات اللازمة."

كم يبعد هذا الخيال العلمي عن الحقيقة العلمية؟ بتجاهل السفر إلى الفضاء والطب المتقدم في الوقت الحالي ، لماذا لا نتفاعل مع أجهزة الحاسوب بمجرد التحدث إليها؟ في الحقيقة نستطيع ولكن بشكل محدود. لا نميل إلى إجراء محادثات كلامية حتى الآن لكننا قطعنا تقدمًا بالتأكيد.

في وقتنا الحالي يمكن إعداد بعض أجهزة الحاسوب للاستجابة لأوامر شفهية محددة. كما تعد الأجهزة مثل Amazon Echo و Google Home أمثلة على الأجهزة الحديثة التي تعتمد على الأوامر الصوتية (انظر الشكل ٧). يمكنك ببساطة طرح أسئلة مثل "ما حالة الطقس؟" أو "كيف تتهجى مسيسيبي (اسم ولاية امريكية)؟" وسوف يجيبك الجهاز . لجعل الجهاز يدرك أنك تتحدث إليه عليك أن تبدأ السؤال بعبارة رئيسية مثل "مرحبًا جوجل" (Hi Google) أو "أليكسا" (Alexa). كذلك يمكنك أيضًا استخدام هذه الأجهزة كمكبرات صوت لبث الموسيقى والإبلاغ عن الأخبار ولعب الألعاب.

هنالك ثلاثة أنواع أساسية من المعالجة تحدث أثناء التفاعل الصوتي بين الإنسان والحاسوب:

- التعرف على الصوت (Voice Recognition) - لإدراك الكلمات المنطوقة من قبل الإنسان
- فهم اللغة الطبيعية (Natural-Language Comprehension) - تفسير المحادثات البشرية
- توليد الصوت اصطناعيا (Voice Synthesis) - إعادة توليد الصوت البشري

يجب أن يتعرف الحاسوب أولاً على الكلمات المميزة التي يتم التحدث بها إليه ثم فهم معنى هذه الكلمات وأخيراً (بعد تحديد الإجابة) توليد الكلمات التي تتكون منها الإجابة.

أن سبب صعوبة هذه العمليات تكمن في أننا نستخدم لغة طبيعية والتي يمكن أن تكون أي لغة يستخدمها البشر للتواصل مثل الإنجليزية أو العربية. قد تحتوي اللغات الطبيعية على مخالفات نحوية وغموض متأصل يجعل بعض هذه المعالجة صعبة للغاية. لقد قطعت تكنولوجيا الحوسبة خطوات كبيرة في جميع هذه المجالات ، وإن كان ذلك في بعض المجالات أكثر من غيرها.

شكل ٧: الأجهزة الصوتية الذكية (Google Home and Amazon Echo)

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٦ علم الإنسان الآلي (Robotics)

الروبوتات مألوفة لنا جميعًا. من الإعلانات التجارية التليفزيونية عن الكلاب الآلية إلى الأخبار المسائية حول استكشاف الفضاء إلى خطوط التجميع التي تنتج السيارات أو الأدوات ولذا أصبحت الروبوتات جزء من المجتمع الحديث. تنقسم دراسة الروبوتات إلى فئتين رئيسيتين: الروبوتات الثابتة (Fixed Robot) والروبوتات المتحركة (Mobile Robot). الروبوتات الثابتة هي ما تراه في خطوط تجميع المنتجات في المعامل حيث تبقى الآلات في مكانها وتتحرك المنتجات. تنتمي الروبوتات الثابتة في الغالب إلى مجال الهندسة الصناعية. على النقيض من ذلك تتحرك الروبوتات المتنقلة وتتفاعل مع بيئتها. تتطلب نمذجة عالم الروبوت المتحرك تقنيات الذكاء الاصطناعي.

٦.١ نموذج المعنى-الخطة-الفعل (The Sense–Plan–Act Paradigm)

أن علم الروبوتات المتنقلة هو دراسة الروبوتات التي تتحرك بالنسبة لبيئتها مع إظهار درجة من الاستقلالية. أن الطريقة الأولية لنمذجة العالم المحيط بإنسان آلي متنقل يستخدم طريقة الخطط (Plans).

أن أنظمة التخطيط (Planing System) هي أنظمة برمجية كبيرة والتي بتحديدها لهدف معين وموضع بداية وحالة نهائية يمكن أن تولد مجموعة محدودة من الإجراءات (خطة) إذا تم اتباعها (عادة

من قبل الإنسان) لكي تؤدي إلى الوضع النهائي المرغوب. تعمل أنظمة التخطيط هذه على حل المشكلات العامة من خلال دمج كميات كبيرة من المعرفة بالمجال. في حالة وجود الروبوت المتحرك فإن معرفة المجال هي المدخلات من مستشعرات الروبوت. في هذا النهج يتم تمثيل عالم الروبوت في شبكة دلالية معقدة حيث تلتقط المستشعرات الموجودة على الروبوت البيانات المستخدمة لبناء الشبكة. يستغرق ملء الشبكة وقتًا طويلاً حتى بالنسبة لأجهزة الاستشعار البسيطة. إذا كان المستشعر عبارة عن كاميرا فإن العملية تستغرق وقتًا طويلاً. يُطلق على هذا النهج اسم نموذج المعنى - التخطيط - الفعل (SPA) وهو موضح في الشكل ٨.

يتم تفسير بيانات المستشعر من خلال نموذج يسمى نموذج العالم المحيط والذي بدوره يولد خطة عمل للخطوات التي سوف يسير عليها الروبوت. لكي يقوم نظام التحكم في الروبوت بتنفيذ خطوات هذه الخطة. بمجرد أن يتحرك الروبوت تحصل مستشعراته على بيانات جديدة وتتكرر الدورة مع دمج البيانات الجديدة في الشبكة الدلالية. تحدث المشكلات عندما لا يتمكن نظام التحكم من معالجة البيانات الحسية الجديدة بالسرعة الكافية لاستخدامها. (ربما يسقط الروبوت في حفرة قبل أن يدرك النموذج أن التغيير في الضوء هو ثقب وليس ظل.) والعيب في هذه الطريقة هو أن محاكاة الروبوت في نظام عام أمر واسع جدًا وغير مصمم لمهمة الروبوت.

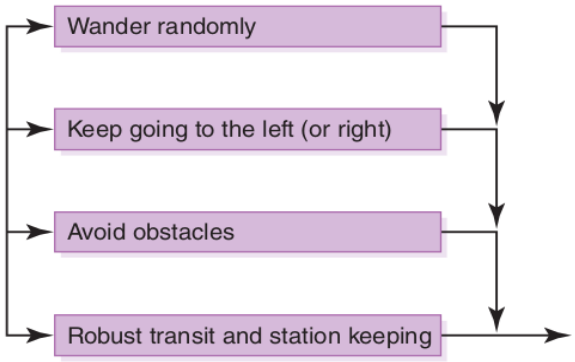
شكل ٨: نموذج المعنى-الخطة-الفعل (The Sense–Plan–Act Paradigm)

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٢-٦ معمارية التبعية (Subsumption Architecture)

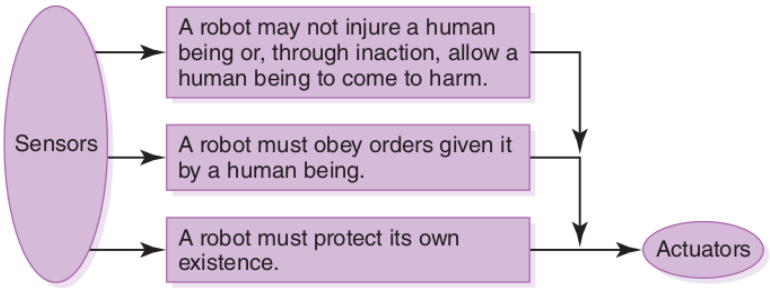
في عام ١٩٨٦ ، حدث تحول كبير داخل مجتمع علم الروبوت مع دخول الهندسة التبعية. وبدلاً من محاولة نمذجة العالم بأكمله طوال الوقت يتم إعطاء الروبوت مجموعة بسيطة من السلوكيات كل منها مرتبط بجزء من العالم الضروري لهذا السلوك. تعمل هذه السلوكيات بالتوازي ما لم تتعارض. أما إذا تعارضت يحدد ترتيب أهداف السلوكيات السلوك الذي يجب تنفيذه بعد ذلك. أدت فكرة أن أهداف السلوكيات يمكن ترتيبها ، أو أن هدف أحد السلوكيات يمكن أن يندرج في سلوك آخر أدى إلى اسم هذه المعمارية المعمارية.في النموذج الموضح في الشكل ٩، يحظى الاستمرار بالذهاب إلى اليسار

(أو اليمين) بالأولوية على تجنب العوائق ما لم يقترب الجسم كثيرًا وفي هذه الحالة يكون لسلوك تجنب العوائق الأسبقية. نتيجة لهذا النهج تم بناء الروبوتات التي يمكنها التجول في غرفة لساعات دون الاصطدام بالأشياء أو تحريك الأشخاص. تتلاءم قوانين الروبوتات الثلاثة التي حددها إسحاق أسيموف بدقة في بنية الاستيعاب هذه. انظر الشكل ١٠.



شكل ٩: نموذج السيطرة الجديد

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale



شكل ١٠: قوانين ازموف لعلم الروبوت

مصدر الشكل كتاب Computer Science Illuminated by Nell B. Dale

٣.٦ المكونات المادية (Physical Components)

يتكون الروبوت من أجهزة استشعار (sensors) ومحركات (actuators) وعناصر حسابية (معالج دقيق). تجلب المستشعرات البيانات من محيط الروبوت وترسل العناصر الحسابية التعليمات إلى المشغلات فتحرك المشغلات الروبوت. المستشعرات عبارة عن محولات طاقة (transducers) تقوم بتحويل بعض الظواهر الفيزيائية إلى إشارات كهربائية يمكن للمعالج الدقيق قراءتها كبيانات. تسجل بعض المستشعرات وجود الضوء أو غيابه أو شدته.

يمكن استخدام كواشف التقريبية للأشعة تحت الحمراء-القريبة (Near-infrared proximity) وكاشفات الحركة وكاشفات القوة كأجهزة استشعار. يمكن أن تكون الكاميرات والميكروفونات

أجهـزة استشـعار أيضـاً. الأنظمـة الثلاثـة الأكـثر شـيوعًا الـتي تتحـرك عليهـا الروبوتات هي العجلات والمسارات والساقين.