

Kunstmatige intelligentie: Enkele basiselementen Deel één



Marco Saerens
is consultant bij de sectie
Onderzoek binnen de
afdeling Consultancy van
de SmalS-MvM sinds
1999. Al sinds meer dan
tien jaar zorgt hij voor
het welslagen van
projecten inzake
gegevensanalyse, data
mining en artificiële
intelligentie, zowel in de
bedrijfswereld als in de
academische wereld. Hij
levert regelmatig
bijdragen voor
tijdschriften over
artificiële intelligentie
zoals "IEEE
Transactions on Neural
Networks", "Neural
Computation" of
"Machine Learning
Conference".
Contact : 02/509.59.92



Figuur 1. Affiche van de volgende
film van Steven Spielberg.

«Om te begrijpen wat intelligentie is, moet je volgens mij begrijpen welke de mechanismen zijn om kennis te verwerven, ze voor te stellen, ze te memoriseren, op welke manier een intelligent gedrag tot stand komt en aangeleerd wordt, op welke manier motivaties, emoties en prioriteiten zich ontwikkelen en gebruikt worden, welke procedures er zijn om symbolen te onderkennen op basis van signalen, of nog de processen om deze symbolen te manipuleren om logische deducties te maken, te redeneren op basis van het verleden, en de toekomst te plannen, welke mechanismen van de intelligentie leiden tot fenomenen als geloof, hoop, vrees, droom - en ook goedheid, gehechtheid of liefde. Deze functies begrijpen op een fundamenteel niveau zou, denk ik, een wetenschappelijke sprong voorwaarts zijn van de omvang van de kernfysica, de relativiteit en de moleculaire genetica.»

James Albus, Response to Henry Hexmoor¹

1. Inleiding

Terwijl iedereen zit te wachten op de nieuwe film van Spielberg "Artificial Intelligence" (zie Figuur 1), is hier een Techno die niet de ambitie heeft de film samen te vatten en ook niet beweert dat hij u zal laten begrijpen wat kunstmatige intelligentie is. Hij wil u wel laten delen in mijn passie voor dit domein en zal idealiter een aantal basisconcepten toelichten. Tevens gaan we kijken in welke mate deze toegepast kunnen worden.

Door de omvang van het onderwerp en om de lezer niet te overbelasten, werd deze Techno in twee delen gesplitst. Dit document bevat de hoofdstukken 1 tot 6; het vervolg (deel twee, hoofdstukken 6 tot 8) zal gepubliceerd worden in een tweede document dat snel zal volgen.

¹ Beschikbaar op <http://tommy.isc.nasa.gov/er/er6/mrl/papers/symposium/albus.txt>

Na een algemene inleiding (hoofdstuk 2), een historische inleiding (hoofdstuk 3), een kleine filosofische omweg (hoofdstuk 4) en enkele "success stories" (hoofdstuk 5), overlopen we de verschillende capaciteiten die een weerspiegeling zijn van, en onmisbaar zijn voor, intelligentie, namelijk (1) de waarnemingscapaciteiten (hoofdstuk 6), (2) de structurering van de kennis, de redenering en de planning (zal verschijnen in deel twee, hoofdstuk 7), (3) het leerproces (zal verschijnen in deel twee, hoofdstuk 8) en (4) de communicatie (zal verschijnen in deel twee, hoofdstuk 9).

2. Wat is kunstmatige intelligentie?

De mens noemt zichzelf graag « homo sapiens », omwille van de dominerende rol van de verstandelijke vermogens in het leven van alledag, in de perceptie van het reële en van zichzelf, alsook in het bewustzijn. Is intelligentie niet de essentie zelf van de mens aangezien zij de mens lijkt te onderscheiden van het dier. Het domein van « kunstmatige intelligentie » (KI) tracht juist machines (robots) en programma's (softbots) te bouwen die intelligent gedrag nabootsen. Een ambitieus project, moet dat nog gezegd worden, maar het moet ondernomen worden want wat is er uiteindelijk mysterieuzer dan intelligentie, behalve het leven zelf ?

We moeten nog definiëren wat intelligentie is. Laat ons eens kijken in de "Van Dale" :

Intelligentie. *Verstandelijk vermogen.*

Denken. *Het verstand gebruiken, doen werken, t.w. een reeks voorstellingen van de geest bewust op elkaar doen volgen om verschil, overeenkomst, oorzakelijk verband te vinden en begrippen en oordelen te vormen.*

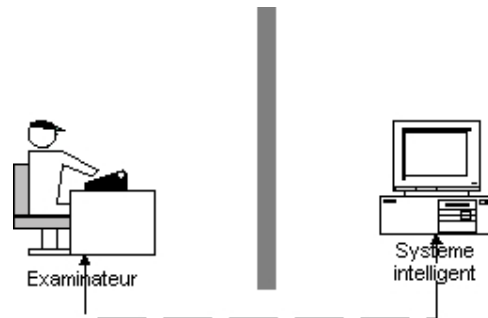
Let op de circulariteit die men vaak terugvindt in woordenboeken (worden woorden niet gedefinieerd op basis van andere woorden?). Dit geeft ons aan, als het echter nog niet van in het begin duidelijk was, dat intelligentie niet eenvoudig te definiëren is. Daarom redden wetenschappers uit de kunstmatige intelligentie en de « computer science » zich eruit door een operationele en empirische, pragmatische definitie te geven. Zij bestaat erin de « entiteit die verondersteld wordt intelligent te zijn » te vergelijken met de mens die op zijn beurt per definitie dit vermogen bezit : de Turing-test (paragraaf 2.1 is gewijd aan de Turing-test). In wiskundige termen betekent dit dat men een niet-constructieve² definitie van intelligentie geeft. Want mocht men uiteindelijk precies en op constructieve wijze kunnen definiëren wat intelligentie echt is, dan zou men intelligentie ook kunnen opbouwen. Maar ziehier de beschrijving van de bekende Turing-test.

2.1 De Turing-test

Kunstmatige intelligentie heeft zowel een **technische/ingenieuristische** als een **wetenschappelijke** doelstelling. Wetenschappelijk gezien interesseert kunstmatige intelligentie zich voor de modellering van de intelligentie, en de overzetting ervan naar de informatica. Op het vlak van engineering moeten onderzoekers en experts uit de kunstmatige intelligentie wel nadenken over het concept van de intelligente of denkende machine (zie hoofdstuk « Een beetje filosofie », hieronder) maar het is niet hun hoop de intelligentie te modelleren of te begrijpen, zij streven er wel naar als intelligent gereputeerde gedragingen te reproduceren. De Turing-test, algemeen aanvaard als test voor intelligent gedrag, is hiervan een goede illustratie.

² Een constructieve definitie veronderstelt dat men een algoritme of recept levert dat toelaat het gedefinieerde object op te bouwen. De definities van geneesmiddelen zijn een goed voorbeeld van constructieve definities.

Deze test werd dus voorgesteld door Alan Turing (1950), met de bedoeling een pragmatische en operationele definitie te geven van intelligentie. Turing definieert een intelligent gedrag als een gedrag dat gelijkaardige prestaties bereikt als dat van de mens in het geheel van de cognitieve taken; en in elk geval voldoende goede resultaten om een examinator te kunnen misleiden. In dit geval bezit de machine voldoende verstandelijke vermogens om zich voor een mens te laten doorgaan.



Figuur 2. Een examinator ondervraagt de machine, waarbij hij niet weet dat hij te maken heeft met een machine. Als de examinator de machine niet kan onderscheiden van een menselijk wezen, dan wordt de machine intelligent verklaard.

In zeer grote lijnen bestaat de Turing-test erin de machine, die verondersteld wordt intelligent te zijn, te ondervragen via een terminal. De examinator (een mens, zie Figuur 2) ziet zijn gesprekspartner niet en weet niet of hij te maken heeft met een machine of met een menselijk wezen. De machine zal in de test slagen als de examinator niet kan zeggen of het systeem aan de andere kant van de terminal een machine of een menselijk wezen is. Dit is uiteraard een grote vereenvoudiging; de geïnteresseerde lezer kunnen we verwijzen naar Haugeland (1985). Het voordeel van deze methode is natuurlijk haar vervalsbaarheid (als een relevant aantal examinatoren vindt dat de machine niet intelligent is, dan zal deze niet-intelligent verklaard worden). We kunnen de « intelligentie » van de machine echt empirisch testen. Maar deze definitie verschaft ons uiteraard geen informatie over het feit of de machine echt intelligent is.

Dit veronderstelt onder andere dat de machine in staat is

- **Natuurlijke taal te verwerken**, om efficiënt te communiceren
- **De kennis weer te geven**, om de tijdens de ondervraging geleverde informatie efficiënt te registreren
- **Automatisch en logisch te redeneren**, om de geleverde informatie te analyseren en tot conclusies te komen
- **Te leren**, om zich aan te passen aan nieuwe omstandigheden en dingen af te leiden uit de verworven kennis

De Turing-test vermijdt elke directe fysieke interactie tussen de examinator en de computer, gewoon omdat het fysieke niets te maken heeft met intelligentie. Een meer uitgewerkte test, de totale Turing-test, omvat echter inputsignalen (een videosignaal) om ook de waarnemingscapaciteiten van de intelligente entiteit te kunnen testen. Om te slagen in de totale Turing-test zal de computer belangrijke waarnemende en eventueel ook motorische capaciteiten moeten bezitten, namelijk:

- Capaciteiten inzake **visuele waarneming**
- Capaciteiten inzake **auditieve waarneming**
- Capaciteiten als **robot** en inzake **tastwaarneming**

Tevens is de kunstmatige intelligentie een zeer interdisciplinair veld, dat in interactie treedt met zeer diverse domeinen zoals de informatica, de cognitieve psychologie, de (Angelsaksische) filosofie, de wiskunde, de linguïstiek, de automatiseringswetenschap, de statistiek, de signaalverwerking, de robotica, enz.

Men moet uiteraard realistisch en dus bescheiden blijven : op het niveau van de concrete toepassingen is het doel nog niet bereikt ! In elk van de voornoemde domeinen overtreffen de menselijke prestaties die van de computers zeer sterk. Er werden echter enorme inspanningen geleverd en hoewel de resultaten niet revolutionair zijn, zijn zij alles behalve verwaarloosbaar. We zullen de gelegenheid hebben om hierop in te gaan in het hoofdstuk « Enkele success stories » hieronder.

2.2. Symbolische en subsymbolische kunstmatige intelligentie

Naast de technische/ingenieuristische visie onderscheidt men twee scholen in het algemene domein van de kunstmatige intelligentie : de **symbolische** en **subsymbolische** school.

De **symbolische** school interesseert zich voor de processen inzake redenering, logische deductie, planning; alles wat gekwalificeerd kan worden als van « hoog niveau ». Het is de school die de kunstmatige intelligentie tot nu toe domineerde. Zij manipuleert vooral symbolische gegevens – logische stellingen, woorden; in tegenstelling tot de subsymbolische school die zich interesseert voor de signalen en de overstap van het signaal naar het symbool. De symbolische systemen werken volgens de « top-down »-aanpak, d.w.z. dat de analyse van een gedrag uitgaat van de entiteiten van hoog niveau om geleidelijk af te dalen naar de symbolen van laag niveau (dichter bij de perceptie). De symbolisten interesseren zich dus in de eerste plaats voor de weergave van kennis, voor de extractie en exploitatie ervan. Zeer vaak richten deze systemen zich op de logische programmering, de automatische en probabilistische afleiding met, op de achtergrond, de logica van de eerste of tweede orde en de uitbreidingen ervan. Een prototypisch voorbeeld van deze aanpak is de taal Prolog.

De **subsymbolische** school interesseert zich dus eerder voor de overstap van het signaal naar het symbool, waarbij biologische paradigma's gebruikt worden (de kunstmatige neurale netwerken, bijvoorbeeld). De systemen zijn geschikt op « bottom-up »-wijze, vertrekkend van het laagste niveau – een elektrisch signaal, een camerabeeld, enz. – om dan abstracter te worden en te conceptualiseren tot het symbool, en misschien zelfs verder.

De subsymbolische systemen met biologische inslag worden dan ook zeer vaak gebruikt om taken te vervullen inzake « vormherkenning ». De vormherkenning is een ingenieuristische discipline die zich wijdt aan de extractie van informatie op basis van ruwe gegevens van een zeer laag niveau (beelden, signalen) - bijvoorbeeld de herkenning van gezichten op basis van een camerabeeld, de herkenning van handgeschreven karakters op basis van een gescand document, de spraakherkenning op basis van het akoestisch signaal, enz. Zeer schematisch gesteld probeert de vormherkenning dus systemen te ontwikkelen die waarnemende taken vervullen, zonder zich altijd bezig te houden met de biologische aannemelijkheid. De populairste subsymbolische systemen zijn de kunstmatige neurale netwerken.

De subsymbolisten argumenteren vaak dat tal van taken van laag niveau niet gemodelleerd kunnen worden onder een logische vorm, of toch zeer moeilijk. Wanneer ik een gezicht herken tussen honderden andere, dan pas ik geen enkele logische redenering toe; ik herken de persoon globaal, holistisch, alleen op basis van het signaal, zonder een beroep te doen op het begrip symbool.

Zoals we net gezien hebben, zijn deze twee scholen complementair en worden zij inderdaad als dusdanig beschouwd door de onderzoekers. Het gebeurt zeer courant dat de geperfectioneerde robots uitgerust worden met een batterij van subsymbolische systemen voor de waarnemende taken en daarbovenop symbolische systemen die de taken verzekeren op het vlak van planning, beslissing en redenering.



Laat ons een voorbeeld nemen dat we goed kennen, de spraakherkenning. Het spraaksignaal wordt opgevangen door een microfoon, die de vibraties van geluidsgolven omzet in een elektrisch signaal. Dit elektrisch signaal wordt gedigitaliseerd en verwerkt om er parameters uit te halen die de informatie binnenin het signaal samenvatten. Deze parameters worden dan ingebracht in systemen voor vormherkenning – kunstmatige neurale netwerken, verborgen modellen van Markov – met als taak de identificatie van de bijbehorende opeenvolging van fonemen. Zo hebben we dus een mapping uitgevoerd tussen het spraaksignaal en de atomische symbolen die de fonemen zijn. We kunnen nu een symbolisch systeem gebruiken om de zinnen te herkennen en de antwoorden aan te maken. Dit gebeurt meestal door gebruik te maken van grammatica's die de geldige syntaxis van de te identificeren zinnen definiëren.

2.3. Enkele andere definities

Laat ons nu eens kijken hoe kunstmatige intelligentie gedefinieerd wordt in de naslagwerken. Figuur 3 bevat enkele definities die ontleend zijn aan werken die gelden als autoriteit in het domein (uit Russell & Norvig, 1995). Deze definities variëren volgens twee hoofddimensies. De definities bovenaan focussen zich meer op het aspect **denkproces**, terwijl die onderaan zich alleen focussen op het **operationele aspect** en het **gedrag van het systeem**. Verder meten de linkse definities het succes van de onderneming in termen van **prestaties gelijkaardig aan die van de mens**, terwijl de rechtse zich vergelijken met een **ideaal concept** van intelligentie, dat wij « rationaliteit » zullen noemen. Dit bezorgt ons vier doelstellingen die nagestreefd zouden kunnen worden door kunstmatige intelligentie.

<p><u>(1) Systemen die denken zoals de mens</u></p> <p>« De boeiende inspanning die ernaar streeft machines te bouwen die denken ... machines met een geest, in de volle betekenis van het woord » (Haugeland, 1985)</p> <p>« De automatisering van de activiteiten die geassocieerd worden met het denken (human thinking), d.w.z. activiteiten zoals het nemen van beslissingen, het oplossen van problemen, het leren... » (Bellman, 1978)</p>	<p><u>(2) Systemen die rationeel denken</u></p> <p>« De studie van de verstandelijke vermogens, gebruik makend van computationele modellen » (Charniak & McDermott, 1985)</p> <p>« De studie van de computationele processen die de perceptie, de reden en de actie mogelijk maken » (Winston, 1992)</p>
<p><u>(3) Systemen die handelen als de mens</u></p> <p>« De kunst machines te creëren die acties uitvoeren waarvoor intelligentie vanwege de mens vereist is » (Kurzeil, 1990)</p> <p>« De studie van de computationele middelen die computers er zouden kunnen toe brengen taken uit te voeren waarvoor de mens performanter is » (Rich & Knight, 1991)</p>	<p><u>(4) Systemen die rationeel handelen</u></p> <p>« Het studiegebied dat een intelligent gedrag probeert uit te leggen en na te bootsen in termen van computationele processen » (Schalkoff, 1990)</p> <p>« Het domein van de computationele wetenschappen (computer science) dat zich interesseert voor de automatisering van intelligent gedrag » (Luger & Stubblefield, 1993)</p>

Figuur 3. Enkele definities van kunstmatige intelligentie gegroepeerd in vier categorieën.

Op operationeel, en ingenieuristisch, vlak wordt de laatste definitie (4) – rationeel handelen – vaak weerhouden. Op operationeel niveau maakt men zich immers zeer weinig zorgen over het feit of de machine echt denkt of gelijkaardig is aan de mens. Deze aanpak wordt vaak « rationele agent » genoemd.

Definitie (3) – menselijk handelen – is verwant met de Turing-test, aangezien men hier meet ten opzichte van de prestaties van de mens. Definitie (1) – menselijk denken – valt meer onder de cognitieve wetenschappen, die waarnemende, cognitieve modellen of modellen van menselijk gedrag uitwerken en observeren of dit model aansluit bij de experimentele realiteit. Definitie (2) is op haar beurt verwant met de uitwerking van ideale

systemen, met een rationele intelligentie. Deze weg wordt gevolgd door de « logische » traditie van de kunstmatige intelligentie, die hoopt intelligente systemen te bekomen die gebaseerd zijn op de formele logica. De systemen van definitie (2), die ideale intelligentieconcepten voorstellen en daarom uiteraard niet vergeleken worden met de mens - en de Turing-test weigeren - botsen op belangrijke interpretatie- en validatieproblemen.

2.4. Samengevat

Samengevat heeft de kunstmatige intelligentie zowel een technische/ingenieuristische als een wetenschappelijke doelstelling. De Turing-test, algemeen aanvaard als test van intelligent gedrag, illustreert de ingenieuristische aanpak.

De symbolische school interesseert zich voor redeneringen van hoog niveau – de planning, de deductie – door meestal gebruik te maken van de logische programmering en haar uitbreidingen. De subsymbolieke school interesseert zich voor de voornamelijk waarnemende taken van laag niveau, zoals de herkenning van vormen waarbij gebruik gemaakt wordt van biologische paradigma's zoals de kunstmatige neurale netwerken.

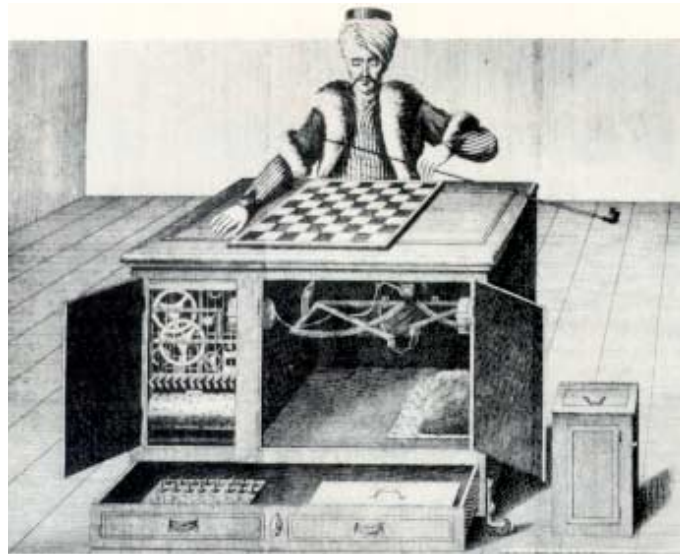
Men dient echter bescheiden te blijven. Intelligentie reproduceren – net als het leven reproduceren (zie het domein « Artificial Life ») - behoort meer tot het mythische, tot het domein van de science fiction dan tot de huidige wetenschap.

3. Een korte historie...

Hoewel het concept van de intelligente robot reeds oud is, gaat men er algemeen van uit dat de kunstmatige intelligentie geboren is in de loop van de zomer van 1956, het moment waarop een conferentie in Dartmouth een verzameling wetenschappers van hoog niveau samenbrengt, waaronder McCarthy, Minsky, Shannon, Newell, Simon, die van plan waren de mogelijkheid te bestuderen om computerprogramma's te realiseren die uitgerust waren met intelligentie. De term «artificial intelligence», die het licht zag tijdens deze gelegenheid, bleef bestaan ondanks zijn gebreken. De eerste programma's voor kunstmatige intelligentie verschenen eveneens in die periode : een "theoremprover" (Logic Theorist), een schaakspel dat in staat was te leren en ook de taal bij uitstek van de kunstmatige intelligentie: LISP.

3.1 Van in de oudheid...

Maar deze «officiële» geboorte werd voorafgegaan door een lange periode van totstandkoming die teruggaat tot de oudheid, waar het concept «intelligente machine» reeds verschijnt. Zo vertelt de Ilias ons dat Hephaestus, de god van het vuur, tafels had gebouwd met drie poten en voorzien van wielletjes die zich op eigen kracht bewogen in de paleizen van de goden. Hephaestus zou tevens gouden vrouwen gebouwd hebben om hem te helpen. Voorzien van verstand, waren zij in staat te werken en te praten.



Figuur 4. Een mechanische machine die geacht wordt schaak te spelen. In de XIIIe eeuw waren de geesten bereid te geloven dat een uurwerkmechanisme de gedachten van een schaakspeler kon reproduceren en dat de mogelijkheden van de mechanica grenzeloos waren.

Sindsdien hebben intelligente machines voortdurend een grote fascinatie uitgeoefend op het publiek. In de XVIIe eeuw voerde Descartes het idee in van de « mens-machine », die hij echter een volledige intelligentie weigerde. In de XVIIIe eeuw realiseerde Vaucanson zeer opmerkelijke automaten. Hij probeerde zelfs een sprekende automaat te maken. In zijn spoor stelde De Kempelen in 1769 zijn beroemde schaakspelende automaat voor, dat in werkelijkheid bedrog was (het versloeg onder andere Napoleon). Het was de tijd waarin men zeer sterk geloofde in het potentieel van de mechanica (zie Figuur 4). Men was bereid te geloven dat een uurwerkmechanisme de gedachten van een schaakspeler kon reproduceren. En het zal inderdaad blijken dat men in theorie een mechanische computer kan ontwerpen met dezelfde rekenkracht als de machines van Turing (dit zijn "universele machines" met dezelfde kracht als de computer, ook voor het spel van het leven).

Op wetenschappelijk vlak vormen de theoretische en praktische ontwikkelingen van de automaten enerzijds en de werken inzake wiskundige logica anderzijds de fundamente van de kunstmatige intelligentie. Bij het eerste punt kan men Babbage citeren en zijn analytische machine (1842), Turing en zijn universele machine (1936), de cybernetica, geboren rond 1943 onder meer met Wiener, die het licht wierp op fenomenen van terugkoppeling in de verwerking van informatie in de hersenen. Bij het tweede punt zijn de opvallende werken onder andere toe te schrijven aan Leibniz, Boole, Hilbert, alsook aan Goedel en Church, wat leidde tot het feit dat er klassen van problemen bestaan waarvan de oplossing niet algoritmisch is (niet uitgedrukt wordt onder de vorm van een eindige reeks operaties uit te voeren in een bepaalde volgorde).

Maar de katalysator die geleid heeft tot de echte geboorte van de kunstmatige intelligentie was uiteraard het verschijnen van de computer rond 1943. Vanaf die periode hebben enkele pioniers de problemen van de kunstmatige intelligentie aangesneden. Zo stelt Turing in 1950 zijn beroemde Turing-test voor.

3.2. De grote ontwikkelingsfasen in de 20e eeuw

In de loop van de 20e eeuw kan de geschiedenis van de kunstmatige intelligentie zeer schematisch verdeeld worden in vijf fasen :

- Zoals we zagen, beleefden de jaren 1950 de geboorte van de kunstmatige intelligentie, gekenmerkt door een overdreven optimisme van de onderzoekers die de juiste maat van de enorme moeilijkheid der aangesneden problemen nog niet genomen hadden.
- Het volgende decennium luidt het echte begin in van de discipline, met talrijke projecten en enkele belangrijke resultaten : MACSYMA, een systeem voor formeel rekenen in de wiskunde, enz.
- De jaren 70 komen overeen met een explosie van werken die toelaten de basis te leggen van de kunstmatige intelligentie op het vlak van de weergave van de kennis, de redenering en de robotica. De kunstmatige intelligentie wordt een volwaardige discipline.
- De tachtiger jaren zijn die van de intrede van de kunstmatige intelligentie in het economische leven, met praktische realisaties en een duidelijke stijging van de onderzoeksinspanning. Er treedt ook een zekere desillusie op want de praktische realisaties blijven onder de verwachtingen.
- Het einde van de jaren 80 en de jaren 90 kenden de verschijning van het connectionistisch paradigma (de kunstmatige neurale netwerken), in tegenstelling tot de systemen gebaseerd op de redenering, alsook van andere paradigma's met biologische inslag (de discipline « artificial life »).

Vandaag kan men zeggen dat er grote successen geboekt werden, maar ook dat de onderzoeksgemeenschap zich bewust geworden is van de enorme moeilijkheid van de behandelde problemen.

Laat ons bijvoorbeeld het probleem van het zicht nemen. Terwijl de door de tastzin geleverde informatie relatief gemakkelijk geïnterpreteerd kan worden, slagen we er nog altijd niet in snel en goed een beeld te analyseren dat genomen wordt door een camera in de normale omgeving van een fabriek of een keuken, die talrijke objecten bevat, van gevarieerde vormen, meer of minder goed verlicht, en waarvan sommige nieuw kunnen zijn voor het systeem. Er bestaat een echt zwak punt op het niveau van de kunstmatige perceptiesystemen.

4. Een beetje filosofie...

4.1. Inleiding

Alvorens de realiteit van het concrete aan te snijden, zullen wij eerst zeer kort enkele bedenkingen overlopen die voortvloeien uit het domein van de kunstmatige intelligentie. En dit gewoon omdat deze reflexie ons naar het hart van de fundamentele concepten inzake algoritme of machine brengt.

4.2. Kan een machine denken?

De fundamentele vraag die aan de basis ligt van elk onderzoek naar kunstmatige intelligentie is uiteraard « **kan een machine denken ?** », alsook het uitvloeisel ervan : « **is de mens een machine ?** ». Als de mens een machine is, dan kan een machine uiteraard denken want we hebben een bewijs van bestaan. Een enorme hoeveelheid argumenten, paradoxen, denkoefeningen werden gepubliceerd over dit onderwerp dat nog altijd veel inkt doet vloeien. Er bestaan wetenschappelijke tijdschriften die bijna volledig aan dit boeiende onderwerp gewijd zijn (het tijdschrift *Mind*, bijvoorbeeld).

Maar om deze vraag te kunnen beantwoorden, moet men nog elk van de termen ervan precies kunnen definiëren.

Laat ons de term « **kan** » nemen. Onder kunnen verstaan we een bewijs dat een machine idealiter in staat is te denken, zonder dat we het algoritme kennen dat toelaat dit doel te bereiken. Deze situatie is courant in de wiskunde en de theoretische informatica : men bewijst dat iets technisch mogelijk is zonder dat men kan zeggen hoe men hiertoe komt. Tal van onderzoekers denken dat een machine inderdaad zou kunnen denken, maar dat deze machine zo complex zou zijn dat wij nooit in staat zullen zijn om er één te bouwen. Laat ons een ander voorbeeld nemen : de weersimulaties. Geen van de huidige systemen slaagt erin de evolutie van de klimatologische omstandigheden exact te simuleren.

Vervolgens is er de term « **machine** ». Voor de meesten onder ons is een machine iets inert, zoals een rotatiepers. De computer heeft echter onze opvatting over de machine veranderd ; de machine komt in de buurt van de robot.

De computer voegt intelligentie toe aan de machine. En in tegenstelling tot intelligentie kan een computer precies gedefinieerd worden. Hij werd geformaliseerd op diverse manieren, die allemaal evenwaardig zijn gebleken. Een van die modellen werd de « Turing-machine » genoemd, naar de naam van de ontwerper (dezelfde Turing die de « Turing-test » voorstelde). Een Turing-machine is zeer rudimentair : zij kan alleen schrijven op een lint van willekeurige lengte, een symbool van het lint lezen of er één wissen. Zij bezit verder een band die de instructies geeft die zij moet volgen (het programma) - het lint n symbolen verplaatsen, een symbool wissen,... Er werd aangetoond dat elke computer met een geheugen van willekeurige grootte equivalent is aan een Turing-machine – de "universele" machine.

Maar ondanks hun eenvoud bezitten de Turing-machines zeer opmerkelijke eigenschappen. Men heeft bijvoorbeeld kunnen aantonen dat er problemen bestaan die « onbeslisbaar » zijn, d.w.z. waarvoor er geen algoritme bestaat dat toelaat ze op te lossen. Merk op dat dit niet betekent dat het algoritme niet gekend is, maar wel dat geen enkel algoritme ooit het probleem in kwestie zal kunnen oplossen. Het probleem van het plaveien van een vlak met een geheel van veelhoeken is een van deze onoplosbare problemen. Geen enkel algoritme dat als parameter alle gegevens van het probleem ontvangt, zal deze vraag ooit kunnen oplossen.

Maar een machine is meer dan een computer : een machine bezit ook autonomie, kan in interactie treden, alsook een actie produceren op haar omgeving. Het is, in zeer grote lijnen, een computer die zich kan verplaatsen en die kan handelen. Zij kan eventueel ook evolueren door een leerproces.

We vermelden nog het onderzoek dat gevoerd wordt in het domein van het begrijpen van de biologische mechanismen die ons tot een nieuwe interpretatie van het begrip machine gebracht hebben. Nemen we bijvoorbeeld het virus *E6 Bacteriofaag*. Dit virus heeft een bijzonder verbluffend voorgeprogrammeerd gedrag. Dit virus bevat viraal DNA. Het hecht zich aan een cel of een bacterie, doorboort de celwand en injecteert zijn DNA in de cel. De cel - of beter haar biochemische fabriek - voert vervolgens de bevelen uit die in de geïnjecteerde code zitten, door kopieën te produceren van de elementaire delen van het virus. Deze delen komen dan automatisch samen om nieuwe virussen te vormen die, eens ze uit de cel geraken, het proces gaan herhalen en andere cellen zullen infecteren. Is dit geen bijzonder opmerkelijk voorbeeld van een machine.

Tot slot komen we bij het werkwoord « **denken** ». Het denken is nauw verbonden met de intelligentie en het bewustzijn. In het geval van de intelligentie hebben we een definitie gegeven die operationeel, aanvechtbaar en aangevochten is - honderden boeken en artikelen ontwikkelen en commentariëren deze argumentatie - namelijk de Turing-test. Maar talrijke onderzoekers weigeren de Turing-test met het argument dat deze test zeker niet toelaat te zeggen of « de machine echt denkt » ; hij verwacht denken en simulatie van denken. Het is duidelijk dat er geen test of geldig criterium bestaat dat toelaat het denken te

detecteren. Het is bovendien amusant vast te stellen dat het concept van denken in de loop der tijd geëvolueerd is. Volgens Descartes, en in zeer grote lijnen, was het denken nauw verbonden met rationaliteit, logische deductie, in tegenstelling tot de emotie, de gevoelens. Nu wordt de rationaliteit echter gemodelleerd, geautomatiseerd, of toch gedeeltelijk, terwijl de emotie, de gevoelens volledig ontsnappen aan de kracht van de computer.

Diverse scholen werden gevormd; hun argumentaties vallen onder de « filosofie van de geest » (philosophy of mind). We zullen niet ingaan op dit debat dat het kader van onze studie overschrijdt. Maar we kunnen toch niet nalaten de argumentatie van de « **functionele** » school toe te lichten. Deze school stelt de vraag van de onafhankelijkheid van de intelligentie ten opzichte van het fysieke substraat dat deze intelligentie overbrengt. Laat ons het voorbeeld nemen van een computer. Er is natuurlijk het fysieke niveau – de hardware – en het toepassingsniveau – de software. Redelijkerwijze kan men zeggen dat deze twee niveaus onafhankelijk zijn in die zin dat als men elke hardwarecomponent vervangt (de chips, de condensators, enz.) door een functioneel equivalent dat in een andere materie gebouwd werd (of zelfs gesimuleerd door code of een virtuele machine), dit niets zal veranderen op het toepassingsniveau, tenzij vanuit het standpunt van de antwoordtijden. « Vervangen door een functioneel equivalent » betekent de component vervangen door een andere component met dezelfde input-output-kenmerken. Anderzijds kan men de fysieke componenten van een informaticasysteem zoveel in detail bestuderen als men maar wil, deze kennis zal ons nooit toelaten te begrijpen wat de machine uitvoert op toepassings- of softwareniveau (het kan zijn dat zij statistieken berekent, dat zij de boekhouding bijhoudt, enz.). Blijft deze scheiding geldig voor de mens? In het geval van de fysieke ledematen zou men de neiging hebben om bevestigend te antwoorden. Maar wat de hersenen betreft? Als men elke eenvoudige eenheid zou vervangen, bijvoorbeeld het neuron, door siliconen equivalenten, zou het bewustzijn bewaard blijven? Dat is dus wat de functionele school bestudeert. Het debat is verre van afgerond.

Tot slot van dit hoofdstuk waarin wij de filosofische problematiek verbonden met de kunstmatige intelligentie slechts even konden aanraken, willen wij nog zeggen dat er talrijke scholen en opinies bestaan, die trachten de intelligentieconcepten te formaliseren, met meer of minder succes. Deze scholen baseren zich op bepaalde hypothesen – bijvoorbeeld de functionele hypothese – en leiden er gevolgen uit af. Aangezien jammer genoeg slechts weinig zaken experimenteel verifieerbaar zijn, baseren onderzoekers zich vaak op « denkoefeningen », met alle gevaren die daaraan verbonden zijn.

5. Enkele "success stories"

Alvorens de verschillende concepten te ontwikkelen, beschrijven wij in dit hoofdstuk een reeks toepassingen - of beter success stories – uit de kunstmatige intelligentie. Deze reële toepassingen, die echter ontwikkeld werden door ervaren onderzoekslaboratoria, beschrijven de toestand van de technologie zeer goed. Zij genoten uiteraard van de toewijding van vastberaden onderzoekers en ontwikkelaars met een passie voor KI-technologieën.

Meer dan voor enige andere discipline werd de in de kunstmatige intelligentie gestelde hoop maar al te vaak ontgoocheld; de balans blijft echter positief zelfs al vereist een project van kunstmatige intelligentie resources die in de industriële wereld als onbetaalbaar beschouwd worden. Het is dus in universiteiten en belangrijke onderzoeks- en ontwikkelingslaboratoria (NASA, IBM, enz.) dat de meest opvallende realisaties verwezenlijkt worden.

Ziehier dus enkele successen (de lezer die bezorgd is om de objectiviteit dient het mij niet kwalijk te nemen dat ik geen voorbeelden van mislukkingen heb opgenomen !)

- Grootmeester Arnold Denker bestudeert de stukken die op zijn schaakbord staan. Niets aan te doen, hij heeft de partij verloren. Zijn tegenstander, het systeem Hitech wordt het eerste programma dat een Grootmeester schaakmat zet (Berliner, 1989). Sindsdien deed



Big Blue het nog beter, zoals u waarschijnlijk weet. Bovendien veroverde een systeem op basis van kunstmatige neurale netwerken een plaats in de top drie van Backgammonspelers in de wereld (Tesauro, 1992).

- « Ik wil een vlucht van Boston naar San Francisco », vraagt de reiziger in zijn micro. « Op welke dag en hoe laat wilt u reizen ? », repliceert het systeem. De reiziger legt uit dat hij wil vertrekken op 20 oktober 's morgens, en dat hij een goedkope vlucht wil. Een spraakbegripsysteem, PEGASUS genoemd, stelt hem een plaats voor op een lijnvlucht waarbij het de som vraagt aan de reiziger. Zelfs als het herkenningssysteem slechts een bepaald percentage van de woorden correct identificeert, kan het zichzelf verbeteren door gebruik te maken van grammatica's (Zue et al., 1994).
- De aandacht van een analist van het « Jet propulsion Laboratory » wordt getrokken door een bericht dat er zich een anomalie voordeed tijdens de missie Voyager, die zich dichtbij Neptunus bevindt. Het probleem kon verbeterd worden van op de grond. Het is MARVEL, een expertsysteem belast met het beheer van de massale stroom van gegevens doorgestuurd door de pendel, dat het personeel waarschuwde (Schwuttke, 1992).
- Terwijl hij op een autosnelweg in de buurt van Pitsburg rijdt, heeft de persoon in het voertuig het stuur en de bedieningspedalen niet aangeraakt sinds meer dan 10 km. En de reden : de bestuurder is een roboticasysteem dat de informatie verzamelt van videocamera's, sonars en meetinstrumenten. Nadat hij het gedrag van de menselijke bestuurder gememoriseerd heeft tijdens een leerfase, heeft hij geleerd de input te combineren zodat hij het voertuig kan besturen op een autosnelweg (Pomerleau, 1993).
- Een expert in de lymfklierpathologie legt een moeilijk geval voor aan het diagnosesysteem dat gebaseerd is op probabilistische grafen. Hij is het niet eens met de diagnose van de computer en vraagt hem zijn beslissing toe te lichten. Het systeem ontleedt de interacties tussen de verschillende factoren en symptomen die zijn beslissing beïnvloeden, en de expert erkent de relevantie van de diagnose (Heckerman, 1991).
- Vanaf een camera bovenop een verkeerslicht ziet de verkeersanalysator toe op de scène. Er heeft zich zopas een ernstig ongeval voorgedaan. Hij rapporteert aan het centrum voor verkeersbeheer : « Ernstig ongeval op de Place de la Concorde », en waarschuwt automatisch de hulpdiensten (King et al., 1993 ; Koller et al., 1994).
- De gebruiker start Excel op en voert een gegevensmanipulatie uit. Het resultaat is niet het verwachte. De gebruiker doet, geïrriteerd, een beroep op de on-line hulp. Die zegt hem « Misschien zou u de module x kunnen gebruiken, die hebt u nooit onderzocht ». De assistent memoriseert het gedrag van de gebruiker en tracht vanaf dit model een gepersonaliseerd antwoord te bieden.
- Mijn kleine robothond "Smaly" volgt mij naar de woonkamer. Ik zeg hem "de bal ligt achteraan in de kamer". Hij heft zijn hoofd op en kijkt rond; hij ziet de bal en brengt hem naar mij om met mij met de bal spelen³.

Het spreekt vanzelf dat elk van deze systemen "op maat" manjaren ontwikkeling gevraagd heeft. En men kan zich de vraag stellen of dit soort toepassingen ooit de onderzoeks- en ontwikkelingsomgevingen zal verlaten om zich te verspreiden binnen de ondernemingen.

Dit is, denken wij, de uitdaging voor de kunstmatige intelligentie van de 21e eeuw. Persoonlijk denken wij dat de KI nooit het overheersende paradigma van de informatica zal worden, maar dat zij een steeds belangrijker rol zal spelen (steeds meer aanwezig zal zijn) in de high-tech-toepassingen, zoals reeds het geval is voor de karakterherkenning, de regeling van de wasmachines door "fuzzy logic", enz. De meeste taken die van een machine of computer gevraagd worden, zijn immers vooral van repetitieve aard en vereisen slechts weinig intelligentie : boekhouding, tekstverwerking, enz.

³ zie de robot Aibo die gecommmercialiseerd wordt door Sony; <http://www.aibo.com>.



6.1. Inleiding

De waarneming is uiteraard een fundamenteel proces dat de agenten toelaat informatie te verzamelen over de hen omringende wereld en dus te communiceren. De waarneming wordt ingeleid door de sensoren. Een sensor is een instrument dat de toestand van een agent verandert ingevolge een externe verandering die zich voordoet in de hem omringende wereld. De sensor kan zowel rudimentair zijn, bijvoorbeeld een sensor die detecteert of een schakelaar « on » of « off » staat, als uiterst complex, zoals een menselijk oog.

De meest verspreide zintuigen onder de « intelligente » agenten zijn de tastzin, het zicht en het gehoor. Deze waarnemingen worden dan gecombineerd om de hypothesen over de al dan niet aanwezigheid van een object te bevestigen. Maar soms zijn de verschillende zintuiglijke inlichtingen tegenstrijdig, waardoor zij leiden tot potentiële conflicten. We kunnen de zintuiglijke experimenten vermelden waarbij een auditieve stimulus wordt gegeven die een foneem « b » bevat, naast een gezicht waarvan de lippen een « k » uitspreken. De auditieve en visuele informatie is tegenstrijdig in dit geval - en experimenten hebben inderdaad aangetoond dat de proefpersonen moeilijkheden hebben om het foneem te identificeren.

Het is echter belangrijk te signaleren dat van de zeer grote hoeveelheid informatie die op ons af komt, erg vaak slechts een zeer kleine hoeveelheid geëxploiteerd wordt op het moment dat zij waargenomen wordt. Zij laat toe elementen te identificeren die wij op datzelfde ogenblik van de waarneming nodig hebben. Bijvoorbeeld : « Is er een hindernis vóór mij ? » of nog « waar staat de kop koffie ? ». In dit kader moeten wij de kleur van het trottoir niet kennen, noch de structuur van de tafel waarop het kopje staat. De agent zal zich dus toeleggen op de detectie van de hindernis of het kopje, zonder zich zorgen te maken over de andere elementen, wat op zich reeds een buitengewoon complexe taak is.

Hoewel de waarnemende taken bij de mens inderdaad zonder al te veel inspanning gebeuren, ligt dit helemaal anders voor de machine. De oplossing voor het probleem van de verwerking van waargenomen informatie is zeker nog niet voor morgen.

6.2. Het zicht

Het zien wordt gedefinieerd door de afstemming tussen een of meer digitale beelden (die een « scène » voorstellen) en conceptuele entiteiten van hoog niveau (een tafel, een kop koffie, enz.). Deze taak wordt onderverdeeld in drie subcategorieën :

- De vorming van het beeld op het netvlies ;
- De bewerkingen voor beeldanalyse die zeer vroeg in het kijkproces plaatsvinden (image processing – « early vision ») ;
- De detectie van objecten, textuur, kleur, enz.

De vorming van het beeld

De stap van de beeldvorming op het netvlies is vrij goed gekend, zowel vanuit biologisch als geometrisch oogpunt. Zij lijkt op de beeldvorming in een camera - en kan overigens gesimuleerd worden door een camera. Eens dit beeld gedigitaliseerd is, komt het er echter op aan het te verwerken en er de relevante informatie uit te halen.



Figuur 6. Het systeem voor beeldverwerking heeft het gezicht van de sfinx geïdentificeerd en afgebakend. Maar zal het kunnen afleiden dat het een beeld is en geen levend wezen ?

Bewerkingen voor beeldanalyse

Het gaat hier over de analyse van het digitale beeld om er interessante informatie uit te halen. Men kan bijvoorbeeld de contouren van de objecten afbakenen (zie Figuur 6). Hiervoor is het noodzakelijk het beeld vooraf te bewerken door te proberen de ruis te verwijderen (filtering). Men kan er ook aanwijzingen uithalen die toelaten de latere verwerking te vereenvoudigen. Al deze bewerkingen worden opgenomen onder het woord « beeldverwerking » (image processing). Deze zeer gerichte technieken worden uitvoerig bestudeerd in de domeinen van de beeldverwerking en de vormherkenning.

De detectie van objecten, texturen, kleuren, enz.

In deze context dient men de driedimensionale objecten terug te vinden in één of meer tweedimensionale beelden. Die essentiële elementen bemoeilijken deze bewerking :

- De objecten zijn driedimensionaal maar de informatie waartoe wij toegang hebben, is tweedimensionaal ;
- De herkenning van objecten heeft een onbeperkte woordenschat, d.w.z. dat de hoeveelheid en het type waargenomen objecten in een beeld potentieel onbeperkt is ;
- Het is zeer moeilijk het semantische aspect en de « top-down »-informatie te modelleren.

Hier duikt een belangrijke moeilijkheid op omdat de objecten geprojecteerd werden op een plat vlak (de netvliesoppervlakte), terwijl zij in werkelijkheid driedimensionaal zijn. Eenzelfde object kan dus een totaal verschillende vorm hebben naargelang het standpunt, wat uiterst moeilijk te verwerken is.

Bovendien laten de huidige technieken in het beste geval toe precieze objecten te zoeken in een beeld - en niet het maken van de inventaris van alle objecten aanwezig in het beeld. Zo bestaan er zeer specifieke technieken die een lijn kunnen detecteren, of een kubus in een beeld (in dit geval is er een beperkte woordenschat van objecten), maar er bestaat geen algemene techniek die toelaat alle aanwezige objecten naar voor te brengen (in dit geval is er een onbeperkte woordenschat van objecten). Met andere woorden, er bestaan algoritmen van het type « opzoeking_lijn(beeld) » of « opzoeking_kubus(beeld) », maar geen algemeen algoritme van het type « som_alle_objecten_op(beeld) ».

De derde moeilijkheid komt van het gebruik van de semantische informatie. De mens gebruikt voortdurend een zeer belangrijke hoeveelheid informatie van semantische aard van zeer hoog niveau. Wanneer we bijvoorbeeld 's morgens opstaan en ons naar onze eetkamer begeven, en wanneer onze echtgenote en onze kinderen al op zijn, dan verwachten we ons aan croissants en koppen koffie. De integratie van de semantische informatie vereenvoudigt de verwerking sterk. Men heeft bijvoorbeeld waargenomen dat semantische informatie de waarnemingsdrempels kan wijzigen. In dit geval zegt men dat de informatie van hoog niveau (top-down) interfereert met informatie van zeer laag niveau (bottom-up) om een beeld te decoderen. De semantische informatie is echter zeer complex om te modelleren.

Het komt erop neer dat, ondanks de inspanningen en de aanzienlijke vooruitgang in dit domein, dit probleem verre van opgelost is. In sommige gevallen is er een beperkte objectenbasis, de objecten zijn van tweedimensionale aard, en de semantische informatie is weinig relevant, wat de verwerking van het probleem aanzienlijk vereenvoudigt. Laat ons het voorbeeld nemen van de herkenning van gedrukte karakters. In dit precieze geval werden er gesofistikeerde technieken ontwikkeld, en de resultaten zijn bevredigend.

6.3. De waarneming van de spraak

In dit hoofdstuk interesseren wij ons voor een andere waarnemingsmodaliteit, de spraak (voor meer informatie consulteert u de "delivable" over spraakherkenning van Hervé Haut, verschenen in 1999). De spraak is één van de belangrijkste componenten van de communicatie tussen mensen (met het schrift). De spraakherkenning wordt gedefinieerd door de afstemming tussen een akoestisch spraaksignaal en een reeks woorden. Het begrijpen van de spraak, een complexere taak, is het in overeenstemming brengen van een akoestisch spraaksignaal met een interpretatie van de betekenis van de boodschap.

Om de spraak te begrijpen, zijn er verschillende etappes :

- De afbakening van relevante aanwijzingen op basis van een digitaal akoestisch signaal ;
- De classificatie van signaalsegmenten in fonemen ;
- De hergroepering van de sequentie van fonemen in woorden ;
- De semantische interpretatie van de boodschap.

Verschiedene benaderingen kunnen overwogen worden in het kader van spraakherkenning. De twee populairste benaderingen zijn gericht op « kennisbasis » en « statistische modellen ». De kennisgebaseerde modellen trachten onze kennis inzake spraakproductie en -waarneming te modelleren. Er werden goede resultaten geboekt, hoewel deze modellen momenteel verdrongen worden door de statistische en connectionistische modellen. In tegenstelling tot de kennisgebaseerde modellen hebben de statistische modellen meer weg van een « zwarte doos » en vereisen zij een zeer belangrijke leerfase.

Samengevat zijn de kennisgebaseerde modellen geïnspireerd op onze eigen mogelijkheden om spraak te produceren en waar te nemen, terwijl de statistische modellen volledig steunen op het statistische leerproces. In het vervolg geven wij een korte beschrijving van de statistische modellen. De lezer die meer details wenst te bekomen, kan de delivable consulteren die in 1999 gepubliceerd werd door Hervé Haut.

Afbakening van aanwijzingen

Deze etappe heeft louter te maken met de aard van de verwerking van het signaal. Het akoestische signaal wordt gedigitaliseerd en dan geanalyseerd om akoestische aanwijzingen te bekomen. Men kan bijvoorbeeld het frequentiespectrum van het signaal afbakenen, de fundamentele frequentie (de toon) van het signaal, enz. Het akoestisch signaal wordt zo samengevat door een beperkt aantal waarden (een twintigtal) die om de ongeveer 10 ms berekend worden. Deze aanwijzingen worden dan doorgestuurd naar het niveau van de fonetische classificatie.

Fonetische classificatie

De volgende stap bestaat erin fonetische segmenten te identificeren op basis van de aanwijzingen die afgebakend werden. Deze classificatietaak wordt gerealiseerd door statistische modellen die het tijdelijke aspect van het spraaksignaal integreren. Immers, als ik « maaaaaaaarco » uitspreek of « marcoooooooooo », ook al is de akoestische realisatie telkens verschillend, dan blijft het uitgesproken woord (dat herkend moet worden) wel hetzelfde – « marco ». Deze statistische modules worden vooraf geoefend op grote corpussen van voorbeelden – soms uren spraak !

Zij leveren dus een reeks fonemen (of meer bepaald een reeks van waarschijnlijke aanwezigheden van fonemen) die geïnterpreteerd zal moeten worden op het hogere niveau.

Hergroepering in woorden

De statistische modellen leveren dus waarschijnlijke aanwezigheden van fonemen. Modellen van woorden of formele grammatica's kunnen gebruikt worden voor de evaluatie van de sequentie van woorden die het meest waarschijnlijk overgebracht wordt door het signaal. Deze etappe is gebaseerd op een formele grammatica die gedefinieerd wordt voor de behoeften van het probleem. Alleen de syntactisch correcte woordsequenties worden geldig verklaard, en gesofistikeerde technieken laten toe de meest waarschijnlijke syntactisch correcte woordsequentie te identificeren, gezien het waargenomen signaal. We zullen terugkomen op het concept van de formele grammatica in hoofdstuk 8 (communicatie), met meer details.

Semantische analyse

De analyse van de semantische inhoud is uiterst complex en moeilijk uit te voeren. Eén van de meest toegepaste oplossingen is het verhogen van de grammatica van zijn semantische inhoud vertaald onder de vorm van logica ; we zullen hierop terugkomen in hoofdstuk 8. Het in aanmerking nemen van de semantiek is momenteel alleen denkbaar in gevallen die duidelijk gedefinieerd en afgebakend werden.

Samengevat

Het domein van de spraakherkenning heeft al een aantal successen geboekt. De prestaties van de systemen zijn afhankelijk van drie belangrijke factoren : gaat het om een probleem

- Van herkenning van continue spraak of geïsoleerde woorden
- Met beperkte of onbeperkte woordenschat
- Afhankelijk van de spreker of onafhankelijk van de spreker

In het geval van de continue spraak met onbeperkte woordenschat zijn de woordenschat en de syntaxis potentieel onbeperkt, wat betekent dat ons systeem praktisch om het even welke reeks van fonemen moet kunnen herkennen. In het geval van herkenningssystemen met beperkte woordenschat moeten daarentegen slechts bepaalde woorden herkend worden (bijvoorbeeld cijfers).

Een spreker-afhankelijk systeem wordt trouwens specifiek getraind om de stem van een bepaalde persoon te herkennen (een gepersonaliseerd dicteesysteem), terwijl een spreker-onafhankelijk systeem de spraak van iedereen kan herkennen (bijvoorbeeld een automatisch reserveringssysteem).

De spreker-afhankelijke systemen met beperkte woordenschat behalen zeer goede prestaties inzake herkenning terwijl de spreker-onafhankelijke systemen voor continue spraak met onbeperkte woordenschat middelmatig zijn.

7. Conclusie van deel één

In dit korte document hebben wij een overzicht van de kunstmatige intelligentie geschetst dat beschamend onvolledig is door de verplichtingen qua plaats.

Nadat we ons vragen hebben gesteld over het concept van de intelligente agent overliepen we zeer kort enkele eigenschappen die bijdragen tot de « intelligentie » van machines. Een intelligente machine moet in staat zijn waar te nemen, te plannen en te handelen, te redeneren, te leren en te communiceren. Hoewel er meer dan bemoedigende successen geboekt werden, staan we nog zeer ver van de menselijke mogelijkheden. De concepten planning, redenering, leren en communicatie zullen behandeld worden in het tweede deel van deze Techno dat zeer binnenkort zal verschijnen.

In beperkte en duidelijk gedefinieerde domeinen kunnen de technieken van de kunstmatige intelligentie echter opmerkelijke resultaten geven. Men moet er zich evenwel goed van bewust zijn dat kunstmatige intelligentie weinig aanwezig is, en nog lang zal blijven, in de operationele informatica, gewoon omdat die zich voornamelijk bezighoudt met de systematisering van repetitieve sequentiële taken – een database consulteren, facturen uitgeven in verband met een bepaalde periode, enz. – waarvoor de « requirements » bepaald werden door analisten. Maar in de gevallen waar systematisering moeilijk is, bijvoorbeeld omdat de omgeving of de te bereiken doelstelling mettertijd wijzigt, kan een zeker aanpassingsvermogen of « intelligentie » een rol spelen (en speelt het al een rol). De informaticatoepassingen die intelligentie vereisen, blijven echter vrij zeldzaam.

Persoonlijk denk ik dat de toepassingen van de kunstmatige intelligentie zullen toenemen in de komende jaren, voornamelijk omwille van het groeiende aantal toepassingen dat zich afspeelt in een digitale virtuele omgeving (een computernetwerk (internet), informaticaspelletjes, gegevensbanken, enz.), waarvoor de waarnemingstaken sterk vereenvoudigd worden. We zien reeds talrijke voorbeelden (informaticaspelletjes, intelligente agenten die informatie verzamelen op het web, softwaresystemen die toelaten het profiel te bepalen van een internaut die zijn aankopen doet op het web, enz.).

Verder noteren we dat de kunstmatige intelligentie zowel een toegepast/ingenieuristisch als een fundamenteel wetenschappelijk doel heeft (de studie van de potentiële intelligentie van de machine). Door haar aard is zij dus sterk interdisciplinair - de experts inzake kunstmatige intelligentie zijn zowel ingenieur, informaticus, wiskundige als psycholoog, linguïst, automaticus (cyberneticus), bioloog of zelfs filosoof.

8. Referenties

Wij raden zonder reserve twee werken aan die de recente technieken van de kunstmatige intelligentie zeer pedagogisch samenvatten :

- Nilsson N. (1998). « Artificial Intelligence : A new synthesis ». Morgan Kaufmann Publishers.
- Russell S. & Norvig P. (1995). « Artificial Intelligence : A modern approach ». Prentice-Hall.

De in deze Techno geciteerde referenties zijn erin opgenomen. De populairste tijdschriften inzake kunstmatige intelligentie zijn :

- IEEE Expert (uitgegeven door IEEE Computer Society)
- Artificial Intelligence (uitgegeven door Elsevier Science)

Er bestaat ook een internationale conferentie waar de belangrijke toepassingen van kunstmatige intelligentie voorgesteld worden :

- Annual Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence (IAAI; <http://www.aaai.org/Conferences/IAAI>)

De populairste wetenschappelijke en technische conferentie is :

- International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI ; <http://www.aaai.org/Conferences/IJCAI/>)

De Amerikaanse vereniging voor kunstmatige intelligentie bezit een zeer informatieve site :

- <http://www.aaai.org>

