

Robotica, biologie en evolutietheorie

door: Wim de Jong¹

In de industrie worden steeds meer taken uitgevoerd door robots, en ook elders, in kantoren, ziekenhuizen en woningen, rukken de robots op. Daarnaast spelen ze een belangrijke rol in het fundamenteel wetenschappelijk onderzoek naar motoriek, taal, leren en zelforganisatie. Dat onderzoek toont aan dat het mogelijk is dat robots door toevalsprocessen steeds beter gaan communiceren, redeneren en handelen. Dit lijkt een krachtige steun in de rug voor de evolutietheorie.

Ontwikkelingen in de robotica

Robots zijn programmeerbare machines, die, bijvoorbeeld, stoffen kunnen weven, auto's in elkaar kunnen zetten, of koeien kunnen melken. Een robot zet een input volgens een verwerkingsprogramma om in een output, waarbij het verwerkingsprogramma gevarieerd kan worden door het instellen van een reeks sturingsparameters. Bij een Jacquard weefgetouw uit 1800 werden deze besturingsparameters vastgelegd op een ponskaart. Tegenwoordig gebeurt dat meestal via een besturingsprogramma in een computer, en kunnen de sturingsparameters snel en flexibel gewijzigd worden. Door het beschikbaar komen van steeds betere sensoren, camera's, processoren, geheugens, en programmatuur voor patroonherkenning, het nemen van beslissingen en het leren van ervaringen, kunnen steeds meer besturingstaken van een menselijke operator overgebracht worden naar het besturingsprogramma van de robot (zie figuur 1).

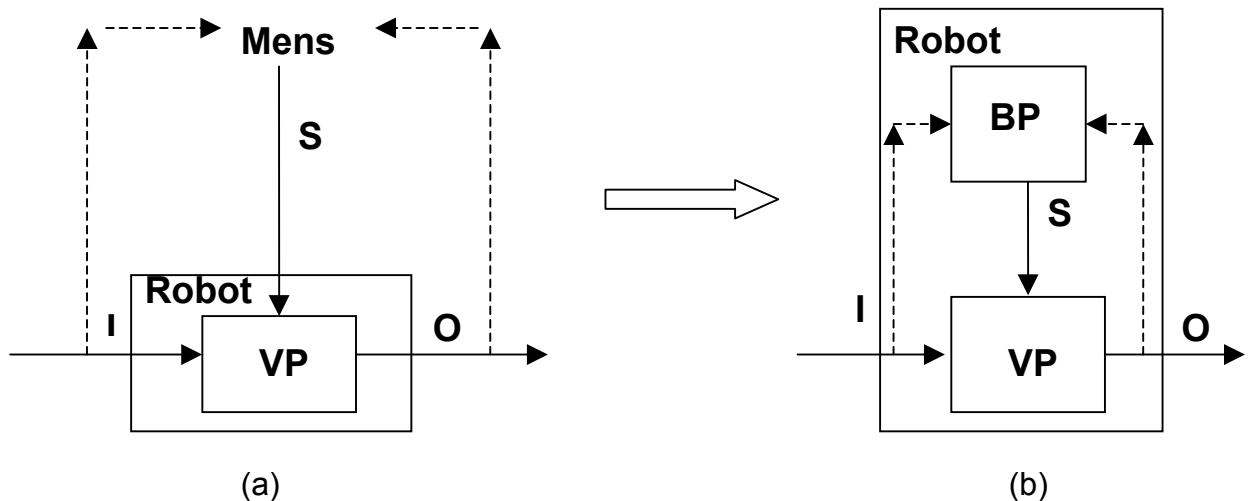


fig. 1: ontwikkeling in de besturing van robots

I = Input; O= Output; VP= Verwerkingsprogramma; S= Sturingsparamters; BP=Besturingsprogramma
---> = besturingsinformatie

Het instellen van de sturingsparameters van een moderne robot kan op verschillende manieren plaatsvinden. Een eerste manier is de robot met de hand een gewenste beweging te laten uitvoeren. Tijdens die beweging wordt bepaald welke reeks sturingsparameters een zelfde beweging zou opleveren. Deze reeks wordt opgeslagen en kan vervolgens eindeloos en zelfstandig door de robot worden herhaald.

¹ dr. ir. W.M. de Jong studeerde toegepaste Wiskunde en Bedrijfskunde, is adviseur innovatiemanagement bij INI-Consult, en is initiator van de Evoskepsis-Association

Een tweede manier bestaat uit het aanbrengen van vele kleine variaties op een 'nulinstelling' van de sturingsparameters. Voor elke variant wordt vervolgens nagegaan tot welk resultaat deze instelling leidt. Met de sturingsparameters die een resultaat opleveren dat het meest voldoet aan een vooraf gespecificeerd selectiecriteria wordt verder gewerkt, door er opnieuw variaties op aan te brengen en weer het beste eindresultaat te selecteren, etc. Richard Dawkins geeft in zijn boek 'De blinde horlogemaker' hiervan een goed voorbeeld, aan de hand van een computerprogramma dat 'bomen' kan tekenen, bestaande uit een serie zich vertakkende lijnstukken. De hoek van de vertakkingen, de lengte en het aantal vertakkingen kan gevarieerd worden. Met bovenstaande techniek - die bekend staat als evolutionair programmeren - kan hij de sturingsparameters van zijn programma in een proces van toevallige variatie en selectie zó instellen dat de 'bomen' gaan lijken op een insect. Nadat hij het tekenprogramma heeft uitgebreid met extra programmacode, kan het gesegmenteerde 'bomen' tekenen, waarvan sommige, na variatie en selectie van sturingsparameters, tenslotte gaan lijken op gesegmenteerde insecten.

Een derde mogelijkheid is om de sturingsparameters te laten instellen door de robot zelf, door het construeren en programmeren van de vereiste voorwaartse- en terugkoppelingen en het aanbrengen van een besturingsprogramma (zie fig. 1b). Een voorbeeld hiervan zijn de robotauto's die op 8 oktober 2005 aan de 'Big Challenge' deelnemen, en door een stuk woestijn naar een 280 kilometer van hun startplaats gelegen doel moeten proberen rijden. Met hun stereoscopische camera's nemen zij de omgeving op, analyseren met hun patroonherkenningprogrammatuur de beelden, en vergelijken de resultaten met de in hun geheugen opgeslagen kennisbasis en daaraan gekoppelde beslissingsregels; en genereren tenslotte de instellingen voor het stuur, de remmen, het gaspedaal en de versnelling. De veranderingen die van deze sturingsacties het gevolg zijn worden teruggekoppeld en geanalyseerd, en de resultaten worden toegevoegd aan de kennisbasis van de robot. Bij het zoeken van een begaanbare weg kunnen echter tal van omstandigheden en gebeurtenissen optreden die de makers van de robots niet voorzien hebben, en kunnen fouten aan het licht komen in de programmatuur of kunnen onderdelen kapot gaan. Vorig jaar kwam de beste robotauto niet verder dan 12 kilometer.

Een tweede voorbeeld van robots die zelfstandig hun sturingsparameters instellen is een groep autorobots die elk beschikken over een ingebouwde taalgenerator, taaldetector, taalgeheugen en taal-motoriek koppeling. Hierdoor kunnen ze met elkaar communiceren in hun strijd om de toegang tot een oplaadpunt voor hun accu. Wanneer de robots gaan rondrijden op de gladde vloer van een laboratorium, ontstaat interactie en begint hun taalgeheugen zich te vullen met reeksen van woorden. De reeksen die gunstig zijn voor het bereiken van het oplaadpunt voor de accu komen 'bovendrijven' in het taalgeheugen, terwijl reeksen die niet gunstig zijn wegzakken en tenslotte worden weggeselecteerd doordat robots die ze blijven gebruiken uiteindelijk stil komen te staan. Duidelijk is dat door toevals- en selectieprocessen de taal van de robots zich ontwikkelt. Maar deze taalontwikkeling vindt niet plaats vanuit het niets, maar dankzij de in de robots ingebouwde taalgenerator, taaldetector, taalgeheugen en taal-motoriek koppeling, en binnen het totaal aan mogelijkheden dat door deze voorzieningen geboden wordt. Feitelijk is ook hier weer sprake van een techniek van evolutionair programmeren, waarbij de sturingsparameters van het verwerkingsprogramma van de robots een instelling bereiken die wordt bepaald door het selectiecriteria "zorg dat je accu tijdig bijgevuld wordt" en de groepsdynamiek die hiervan het gevolg is.

Inderdaad krijgen robots door het gebruik van steeds lichtere en sterkere materialen en steeds krachtiger sensoren, camera's, accu's, processoren, en verwerkings- en besturingsprogrammatuur steeds grotere mogelijkheden om te interacteren met hun omgeving, en kunnen steeds beter beslissingen nemen en leren. Maar hun handelingsrepertoire blijft altijd gebonden aan hun fysieke vormgeving en het ingebouwde verwerkingsprogramma. Dit verwerkingsprogramma 'spant' een voor de robot specifieke 'systeemruimte' op. Binnen deze systeemruimte kan de output variëren, afhankelijk van de input en de instelling van de sturingsparameters. De output kan de grenzen van deze systeemruimte echter niet overschrijden. Dat kan alleen wanneer een (software) ingenieur aan de slag gaat en de mechanica en/ of het verwerkingsprogramma uitbreidt naar een nieuwe dimensie. Het 'boomtekenprogramma' van Richard Dawkins gaat pas gesegmenteerde bomen tekenen nadat hij het programma heeft uitgebreid met een aantal nieuwe programmaregels; de robotauto's die door de woestijn rijden vallen niet meer in een ravijn, nadat het aantal stereoscopische camera's is uitgebreid en de besturingsprogrammatuur daar rekening mee houdt; en de groep pratende robots gaat pas converseren over de losse snoertjes waarmee ze herhaaldelijk met elkaar verward raken,

nadat hun taalgenerator, taaldetector, taalgeheugen en taal-motoriekkoppeling daarop door een programmeur zijn aangepast.

Robots worden steeds krachtiger op het terrein waarvoor ze gemaakt zijn. Net zoals een graafmachine een man met spade overvleugelt, zullen robots de mens overvleugelen op het terrein waarvoor ze gemaakt zijn. Maar zélf hun mechanica en verwerkingsprogramma aanpassen kunnen ze niet. En het toeval kan het evenmin. De reden hiervan is dat computerprogramma's beveiligd zijn tegen mutatie. Elke byte bevat namelijk een 'controlebit' dat verandert, zodra een van de bits in de byte zonder opdracht daartoe muteert. Wanneer een willekeurige beschadiging wordt aangebracht in het verwerkingsprogramma van een robot, dan veranderen er één of meer controlebits, een foutmelding volgt en het programma crasht.

Robots en de biologie

Honderd jaar geleden dachten wetenschappers nog dat cellen niets meer waren dan klompjes slijm. Tegenwoordig weten we dat een cel bestaat uit tientallen organen, waartussen zich talloze complexe chemische processen afspelen die aangestuurd worden vanuit het in de celkern opgeslagen DNA-programma. Bezien vanuit de robotica, kunnen cellen beschouwd worden als biochemische nano-robots, evenals de organismen die cellen met hetzelfde DNA-programma, in samenwerking met elkaar, kunnen vormen.

Het DNA-programma van biochemische robots is bijzonder omvangrijk. Bij mensen bestaat het uit 3 miljard tekens. Afgedrukt op A4-tjes kun je er een boekenkast van 7x3 meter mee vullen, of 4 Cd's. Aangezien de informatie in 8-voud aanwezig is (paren chromosomen, bestaande uit 2 chromatiden, die elk bestaan uit een DNA-keten met 2 strengen complementaire informatie) zit in elke menselijke cel een hoeveelheid informatie die overeenkomt met de inhoud van 32 Cd's. Deze informatie is bovendien in een zeer grote dichtheid aanwezig. Menselijke cellen hebben een diameter van ongeveer 10 micrometer (= 0,01 millimeter; de dikte van aluminiumfolie). Daardoor bevat alleen al het kootje van een pink tientallen miljoenen cellen, met in elk daarvan een 'box met 32 Cd's'.

Bij een biochemische robot bestaan de sturingsparameters van het DNA-verwerkingsprogramma uit de verschillende combinaties die de genen uit de genenpool van de soort waartoe het organisme behoort kunnen vormen. Honden, bijvoorbeeld, kunnen sterk variëren in grootte, vacht en karakter, afhankelijk van de specifieke combinatie van genen uit hun genenpool (te weten, die van de wolf). Honden met een voordelige combinatie van genen worden door fokkers geselecteerd om zich voort te planten. In de vrije natuur vindt natuurlijke selectie plaats. Vinken, bijvoorbeeld, die een genencombinatie voor een brede snavel bezitten zijn soms in staat om te overleven, en vinken met een smalle snavel niet. Wanneer de selectiecriteria van de omgeving veranderen, zullen ook de genen combinaties veranderen die gunstig zijn, evenals het ermee corresponderende uiterlijk van de organismen. De genenpool blijft echter onveranderd, omdat tenminste 3 onderhoudsdiensten in de celkern (in het jargon *het FA-Pad*) beschadigingen van de genen voortdurend repareren, en genmutaties die niet gerepareerd kunnen worden over het algemeen leiden tot gehandicapte nakomelingen; deze verliezen de strijd om het bestaan, waardoor de mutaties alsnog uit de genenpool verdwijnen.

Hoe het verwerkings- en besturingsprogramma van biochemische robots in elkaar zit is nog grotendeels onbekend. De delen van het DNA die coderen voor de eiwitten waaruit een organisme is opgebouwd zijn inmiddels geïdentificeerd, maar van de rest is nog vrijwel onbekend wat de functie is, al zijn er inmiddels schakelaars en tijd klokken in ontdekt. Aangezien het DNA krachtig beschermd wordt tegen mutaties, is het onwaarschijnlijk dat het DNA dat niet codeert voor eiwitten bestaat uit rommel. Bovendien is vanuit de informatica bekend dat programmatuur niet alleen moet vastleggen wat er verwerkt moet worden, maar ook hoe. Dat bewijst ook het eerste de beste kookboek: per recept wordt eerst kort opgesomd welke ingrediënten gebruikt moeten worden, en vervolgens wordt, in een deel dat veel langer is, aangegeven hoe ze verwerkt moeten worden. Het ligt daarom voor de hand dat in het niet voor eiwitten coderende deel van het DNA vastligt hoe bijvoorbeeld harten, bloedvatenstelsels, botten, gewrichten, ogen, oren, en hersenen gebouwd moeten worden. En ook wanneer en hoe een organisme zich moet ontwikkelen (bijvoorbeeld van rups tot vlinder), en wanneer en hoe allerlei vormen van erfelijk gedrag tot uiting moet komen, zoals het bouwen van nesten en holen, het veroveren van een partner, en het verzorgen van nakomelingen. Bij mensen codeert ongeveer 10% van het DNA voor de te gebruiken eiwitten. Dit deel is vrijwel identiek aan dat van chimpansees: mensen en chimpansees worden blijkbaar van bijna dezelfde eiwitten gemaakt. Maar ook het Guggenheim Museum en een willekeurige kantoorflat zijn van bijna dezelfde

materialen gemaakt. Het verschil tussen beide zit in de manier waarop de materialen verwerkt zijn. Nader onderzoek aan het niet voor eiwitten coderende deel van het DNA van mensen en chimpansees zal moeten ontsluiten hoe hun bouw, ontwikkeling en erfelijk gedrag zijn vastgelegd, en wat daarin de verschillen zijn.

Anders dan bij robots van metaal, plastic en silicium het geval is, kunnen biochemische robots zichzelf verder ontwikkelen, zoals hun uiterlijk, spierkracht en de grootte van hun neurale netwerk. Opmerkelijk is ook hun verfijnde constructie, grote aanpassingsvermogen, vele functionaliteiten, zelfstandige energievoorziening, lage energieverbruik, en hun vermogen om zichzelf te repareren en te reproduceren. Wanneer bijvoorbeeld het Japanse robotohondje 'Aibo' vergeleken wordt met een biochemische robotohond, dan springen deze verschillen in het oog.

Niet alleen bacteriën, mieren en honden, maar ook mensen kunnen beschouwd worden als biochemische robots: niets meer dan de waarneembare materie waaruit ze bestaan en de chemische processen die zich in hen afspelen, aangestuurd door hun DNA-programma en interacterend met de toevallige omstandigheden waarin ze verkeren. Door de eeuwen heen hebben mensen echter steeds weer ervaringen opgedaan die hen doen vermoeden dat een mens meer is dan dat. Alle religies gaan er dan ook van uit dat een mens bestaat uit een lichaam en een geest. Dit bijzondere aspect van mensen laten we hier echter rusten.

Robotica en evolutietheorie

Wanneer cellen en organismen worden beschouwd als biochemische robots, dan stelt de evolutietheorie dat biochemische robots vanzelf kunnen ontstaan, en vanzelf steeds complexer kunnen worden. Maar in de werkelijkheid ontstaan robots nooit vanzelf, en worden nooit vanzelf complexer. Het enige dat vanzelf gaat, is kapot gaan. Iedereen is het er wel over eens dat ijzer, plastic en silicium zich niet vanzelf kunnen gaan ordenen tot een robot. Toch denken velen dat voor organische basisstoffen andere natuurwetten gelden, en dat deze stoffen de natuurlijke neiging hebben zich vanzelf om te vormen tot steeds grotere eenheden. Zij baseren deze veronderstelling op de wereldberoemde proef van Miller. Inderdaad toont deze proef aan dat door toevallige, ongerichte bliksemflitsen uit organische basisstoffen grotere eenheden kunnen ontstaan. In zijn aanvankelijke proefopstelling ontdekte Miller echter ook dat deze grotere eenheden door nieuwe bliksemflitsen weer vernietigd werden. In een verbeterde proefopstelling voerde hij deze grotere eenheden daarom af naar een kolf, waar ze veilig waren tegen vernietiging door nieuwe bliksemflitsen, en waar een steeds geconcentreerdere 'oersoep' ontstond. Met zijn bliksembol en daaraan gekoppelde transportsysteem creëerde Miller een primitieve bouwstenen-voor-het-leven fabriek en bevestigde dat de productie van een complexere chemische substantie uit eenvoudige basisstoffen nooit vanzelf gaat, maar gerichte inspanning van buitenaf vereist. Dat is nog steeds de bestaansgrond voor elke vorm van chemische industrie.

Robots van ijzer, plastic en silicium kunnen door toevalsprocessen hun kennisbasis ontwikkelen en betere beslissingen gaan nemen. Dat geldt ook voor biochemische robots. Maar zelf hun programmatuur uitbreiden kunnen ze niet. Daarvoor zijn biotechnologen nodig die, bijvoorbeeld, gendefecten repareren, of een gen toevoegen aan het DNA van een bacterie, om deze ertoe te brengen een geneesmiddel te gaan produceren.

Robots van ijzer, plastic en silicium kunnen niet vanzelf ontstaan, en biochemische robots - die vele malen complexer zijn - kunnen dat evenmin. Dat is een wetenschappelijke zekerheid. Maar hoe zijn biochemische robots dan wél ontstaan? De wereldreligies hebben daarvoor allerlei verklaringen, maar de wetenschap staat met lege handen. De theorie dat een schepper of een intelligente ontwerper de levende natuur tot stand heeft gebracht is namelijk niet toetsbaar en kan daarom niet de status krijgen van wetenschappelijke theorie. Het blijft een geloof, dat echter plausibeler en rationeler is dan het geloof dat biochemische robots vanzelf zijn ontstaan. Wetenschappers zullen zich tevreden moeten stellen met het standpunt. "Wij weten niet hoe de levende natuur tot stand is gekomen". Dat is een zeer respectabel standpunt. Wetenschappers hoeven niet alles te weten.