

# De complexiteit van Collectieve Intelligentie

**dr. Martijn Schut**, universitair docent AI aan de VU  
(schut@cs.vu.nl)

Het is nu 2006 en we zijn nog steeds 25 jaar verwijderd van het vroegste toekomstscenario, maar een groeiende groep wetenschappelijke pioniers werkt nu al aan een nieuwe generatie ontwerpmethoden en technieken voor groot-schalige, gedistribueerde en zelforganiserende systemen die bestaan uit heel veel zelfstandige en adaptieve eenheden. Door een brug te slaan tussen natuur en technologie is het mogelijk om op de natuur geïnspireerde theorieën (zoals bijvoorbeeld evolutie, ecologie en sociale interactie) toe te passen op nieuwe technologische uitdagingen (zoals bijvoorbeeld robotsystemen, ge-embedde systemen en autonome computernetwerken).

Om deze systemen eens wat nauwkeuriger te bekijken, moeten we ons eerst realiseren dat je eigenlijk op twee manieren naar dit soort systemen kunt kijken. Enerzijds kun je een analyse-bril opzetten, waarbij je dit soort zelforganiserende complexe systemen in de natuur bekijkt en onderzoekt. Anderzijds kun je kijken door de ontwerp-bril, waarbij je met name geïnteresseerd bent in het maken van programma's en het ontwerpen van algoritmen die gebaseerd zijn op dit soort systemen. Een goed voorbeeld van een analytisch onderzoek is het werk van Hemelrijk (RU Groningen), waarbij zij kijkt naar het fenomeen van dominantie interacties bij primaten. Bij dit onderzoek worden op basis van een simpel individueel model (van hoe een primate zich gedraagt) een aantal geobserveerde fenomenen gesimuleerd. Het blijkt bijvoorbeeld dat het meest dominante mannetje, letterlijk, altijd een centrale plaats in de kolonie heeft. Aan de andere kant is bijvoorbeeld het werk van Dorigo (VU Brussel) gericht op het bedenken van efficiënte algoritmen voor onder andere het *Traveling Salesman Problem*, op basis van de manier waarop mieren feromonen<sup>1</sup> gebruiken om voedsel te vinden. Allebei de onderzoeken hebben te maken met complexe zelforganiserende systemen, maar ze hebben duidelijk verschillende invalshoeken. Je kunt het een beetje vergelijken met het onderzoek naar evolutionaire methoden – de bioloog is geïnteresseerd in hoe evolutie 'in het echt' heeft plaatsgevonden, en de informaticus gebruikt het idee van evolutie om er een intelligent zoekalgoritme op te baseren.

<sup>1</sup> Door dieren geproduceerde stof, afgegeven in de omgeving, met als doel het gedrag van andere individuen van dezelfde soort te beïnvloeden. (Red.)

**Stel je voor dat het het jaar 2091 is en je stuurt de nano-robots van je shuttle naar buiten om meteorschade te repareren. Vertrouw je dat ze dit goed zullen doen?**

**Stel je voor, het is nu 2061 en de stad Amsterdam heeft besloten om een nieuw surveillance systeem te gaan gebruiken dat bestaat uit een zwerm van autonome micro-camera's. Voel jij je veilig?**

**Stel je voor dat het 2031 is en het eerste androïde voetbalteam daagt een menselijk elftal uit om de openingswedstrijd van de wereldcup te spelen. Op welk team zet jij je geld?**

Wij gebruiken van oorsprong evolutionaire methoden, dus het is logisch dat wij de ontwerp-bril op zetten als we praten over complexe zelforganiserende systemen. Er is een goed voorbeeld dat duidelijk aangeeft wat onze interesse is. Stel je een zwerm vogels voor of een school vissen. Deze vogels of vissen organiseren zich dusdanig dat er een mooi patroon ontstaat – een grote zwerm vogels die bij zonsondergang zo gecoördineerd bewegen, dat ze wel gedirigeerd lijken te zijn. Of je kent misschien de cartoon wel waar veel kleine vissen een grote vis vormen die

een andere grote vis aanvallen. Nu zou het onderzoek van dat patroon dus analytisch zijn, zoals we boven hebben besproken. In de jaren '80 van de vorige eeuw heeft Reynolds een simulatie gemaakt van een zwerm vogels. Daarbij bleken drie parameters voldoende om de natuurlijke bewegingen van een zwerm na te bootsen: *separation* – stuur dusdanig om andere vogels te ontwijken, *alignment* – stuur richting de gemiddelde richting van andere vogels, en *cohesion* – stuur richting de gemiddelde locatie van andere vogels.<sup>2</sup>

Reynolds had dus een analyse-bril op. Maar nu over naar het ontwerp-probleem – stel je voor dat je graag wilt dat de zwerm een rechte lijn vormt, of een cirkel, of een acht. Hoe moeten de vogels dan reageren op separation, alignment en cohesion? Reynolds had dusdanige regels gevonden voor zijn vogels, zodat er natuurlijk zwermgedrag ontstond. Maar hij vond geen regels voor een lijn, cirkel of een achtje. Zijn deze drie parameters dan eigenlijk wel voldoende? Of moeten er andere parameters bij (die misschien niet bestaan in het echt)? En als je meerdere parameters bedacht hebt, welke regels horen er dan bij? En een specifieke eigenschap van een complex systeem is dat de regels alleen op 'lokale informatie' kunnen werken, dus er kan geen centrale coördinatie zijn. Is het dan wel mogelijk om een succesvol algoritme te bedenken dat alleen lokale informatie nodig heeft? Het moge duidelijk zijn dat het vinden van antwoorden op dit soort vragen veel werk behoeft – theoretisch en experimenteel onderzoek.

Het voorbeeld geeft duidelijk aan hoe de analyse- en ontwerp-brillen elkaar aanvullen – eerst is Reynolds er in geslaagd om iets uit de natuur na te bootsen en daarna gaat de ontwerper er mee aan de haal om het toe te passen op allerlei ontwerp-problemen. Voor de toekomstscenario's die in het begin geschetst

<sup>2</sup> De simulaties zijn te zien op Craig Reynolds' website, die te vinden is op: <http://red3d.com/>

werden moeten dit soort vragen ook opgelost worden. En dan zijn de tijdsinschattingen waarschijnlijk zo slecht nog niet – er moet nog heel veel werk verzet gaan worden.

Natuurlijk zijn we niet alleen geïnteresseerd in vogels die in achtvormige formaties kunnen vliegen. We kunnen de hele aanpak ook veel abstracter bekijken – dan hebben we het in het algemeen over problemen die we hopelijk met gedecentraliseerde mechanismen kunnen oplossen. En die range van problemen kan erg breed zijn – van *microflyers* die het oppervlak van Mars inspecteren, tot een zoekmachine op internet waarbij de *crawlers* zichzelf organiseren om zo efficiënt mogelijk te opereren.

Er is veel werk verricht op het gebied van evoluerende communicatie en taal, in het bijzonder aan deze kant van de oceaan door het lab van Luc Steels (VU Brussel, Sony). Bij ons systeem evolueert de taal niet als zodanig, maar meer het communicatiemechanisme zelf. Dus de taal, syntax en semantiek, leggen we vast; een agent leert de waarde van een parameter die bepaalt of hij communiceert. Bij wijze van spreken gooit de agent elke keer een muntje op – bij kop gaat hij communiceren, bij munt niet. En bij een muntje is de parameterwaarde 0,5. Maar het idee van leren te communiceren is dat de agent deze waarde zelf leert, zodat hij optimaal opereert. Een waarde van 1,0 geeft aan dat de agent altijd communiceert. We gebrui-



Er zijn hele lijsten op te zetten met eigenschappen van complexe, adaptieve, zelf-organiserende systemen. Veel onderzoekers hebben dit in de laatste twee à drie decennia gedaan. Twee fundamentele bouwstenen voor zulke complexe systemen komen hier elke keer terug: communicatie en coöperatie. De individuele eenheden (agenten, cellen, apparaten, etc.) moeten informatie met elkaar uitwisselen door middel van communicatie om iets uit te voeren dat ze niet zelfstandig kunnen doen. Wij hebben de relatie tussen communicatie en coöperatie onderzocht in een complex adaptief systeem: een *virtuele samenleving*. Hierbij moesten agenten samenwerken om te overleven. Ze beschikten over drie verschillende communicatiemogelijkheden: Centraal via een soort prikbord waar alle andere agenten toegang toe hebben, decentraal via sociale netwerken waarmee kan worden gecommuniceerd, en adaptief, waarbij de agenten gaandeweg leren communiceren. Wij onderzochten welke communicatiemogelijkheid de beste is. De omgeving is dus een virtuele samenleving, zoals het computerspel *The Sims*, waarbij we ons baseerden op de *Sugarscape*-wereld van Epstein en Axtell.<sup>3</sup>

ken een evolutionair algoritme als leermethode: Via genetische overdracht worden langzamerhand de individuen intelligenter. Ze leren te communiceren omdat het moet.

Een agent wisselt informatie uit over zijn huidige locatie en de hoeveelheid voedsel op deze locatie. Samenwerking wordt afgedwongen doordat een agent in zijn eentje slechts een van tevoren bepaalde, maximale hoeveelheid voedsel kan consumeren. Als de hoeveelheid voedsel op zijn huidige locatie boven dit maximum ligt, heeft hij een andere agent nodig om te eten – in dat geval wordt de hoeveelheid voedsel netjes gedeeld.

Nadat we de simulaties hadden gedraaid, bleek dat de agenten zowel praten als luisteren hadden geleerd. Beide waren dus ten goede van de agent en de agenten hadden dat zelf uitgevonden. Maar wat ons verbaasde was dat de agenten meer de neiging ontwikkelden tot luisteren dan tot praten. In termen van de eerdere parameterwaarden: luisteren convergeerde naar ongeveer 0,9; terwijl praten naar 0,7 convergeerde.

Dit onderzoek is een voorbeeld van hoe er wordt gekeken naar

<sup>3</sup> <http://brookings.edu>

manieren om bepaalde individuele parameters adaptief te kunnen maken (op basis van evolutionair leren) in systemen waarbij er op het systemniveau iets collectiefs bereikt moet worden. We doen dit soort onderzoek ook in een iets bredere context voor het ontwerpen van de controllers van *microflyers* die een onbekend landschap gaan verkennen, bijvoorbeeld het oppervlak van Mars. Hierbij zijn er ook een aantal individuele parameters waarvan de waarden op een adaptieve manier bepaald moeten worden. Er is ook vaak weinig tot niets bekend over het landschap waar de agenten in komen te opereren – daarom is het belangrijk dat het ontwerpen eigenlijk gebeurt op het moment van uitvoering (bij wijze van spreken als de flyers al op Mars zijn). Dit alles zorgt ervoor dat er weinig voorbereidend werk gedaan kan worden. Natuurlijk is dit een extreem voorbeeld, maar het is wel ons ideaal om een ontwerpmethodete hebben die uiteindelijk zoets aan kan.

De specifieke invalshoek bij dit grotere onderzoek is te kijken naar ‘collectieve specialisatie’ – het ontwikkelen van gespecialiseerde agenten, of groepen van agenten, als reactie op een bepaalde omgevingsdruk. Hierbij kunnen de agenten zichzelf specialiseren, of kunnen groepen zich specialiseren in één bepaalde parameter. Die specialisatie is mogelijk door het instellen van de parameters: Agenten met een hogere luister- dan praatparameter zijn bijvoorbeeld gespecialiseerd in luisteren. Dan is het interessant om te kijken wat er in verschillende situaties nodig is – soms is het bijvoorbeeld nodig dat er 30% praat-agenten zijn en 70% luister-agenten, terwijl in een andere situatie juist 90% praat-agenten en 10% luister-agenten

beter werkt. Dit heeft dus een beetje te maken met de manier waarop in het echt soorten (of: *species*) ontstaan zijn. Binnen de evolutionaire biologie is dit ook een heet hangijzer, dus hopelijk kunnen onze verschillende invalshoeken elkaar een beetje aanvullen om hier meer over te weten te komen.

Het is nu wellicht duidelijk dat, willen de scenario’s aan het begin van dit artikel werkelijkheid worden, er nog veel zal moeten gebeuren.∅



**Martijn Schut studeerde van 1993-1998 Kunstmatige Intelligentie aan de VU. Daarna promoveerde hij in 2002 aan de University of Liverpool (UK) op het proefschrift “Intention Reconsideration”.**

**Sinds 2001 is Martijn Universitair Docent Kunstmatige Intelligentie aan de VU, gespecialiseerd in organisatiedynamiek en zelforganisatie.**

(advertentie)

<p><b>DECOI2006</b> INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL ON COLLECTIVE INTELLIGENCE AND EVOLUTION</p> <p><b>7-11 AUGUST 2006 AMSTERDAM</b></p>	
	<p><i>Van maandag 7 tot en met vrijdag 11 augustus 2006 vindt op de Vrije Universiteit Amsterdam de eerste DECOI summerschool plaats, een uniek initiatief binnen het vakgebied van de Kunstmatige Intelligentie waarbij een groep internationale studenten geïnstrueerd zal worden door een internationale academische staf van deskundigen in het ontwerpen van collectieve intelligentie. We onderzoeken het gebruik van intelligente mechanismen uit de biologische, exacte en sociale wetenschappen voor het oplossen van maatschappelijk relevante en technologische problemen. Het doel van de summerschool is om studenten te voorzien van cutting-edge kennis over steeds belangrijker wordende thema's in deze context, zoals: zelforganisatie, sociale organisatie, co-evolutie, gedecentraliseerde systemen, artificial life, evolutionaire linguïstiek en evolutionaire methoden. Meer informatie over de summerschool en een registratieformulier is beschikbaar op de website <a href="http://www.decoi2006.nl/">http://www.decoi2006.nl/</a>.</i></p>