

In het vakgebied artificial life bestudeert men levende processen met behulp van computersimulaties. De gedachte achter a-life is dat het geheel meer is dan de som der delen en dat het complexe gedrag van een systeem niet afhangt van centrale besturing. Een voorbeeld van een dergelijk proces is het tot stand komen van complexe termietenheuvels. 'Framsticks' is een programma om deze biologische processen te visualiseren en te onderzoeken, maar dat is niet alles. In dit artikel schetst Walter de Back het onderzoeksterrein van a-life en gaat hij in op de vele mogelijkheden van 'Framsticks' en het nut van a-life voor de kunstmatige intelligentie. Artificial Life blijkt een boeiende manier te zijn om toe te werken naar intelligente systemen.

# WALTER DE BACK

## FRAMSTICKS DEATHMATCH

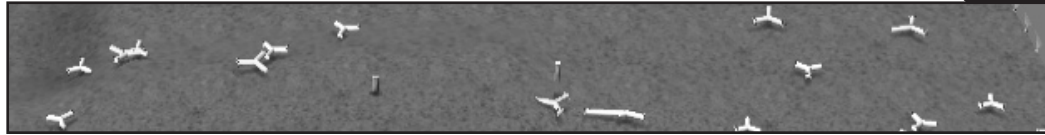
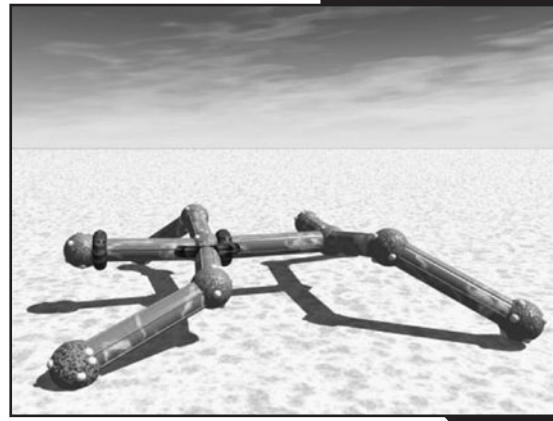
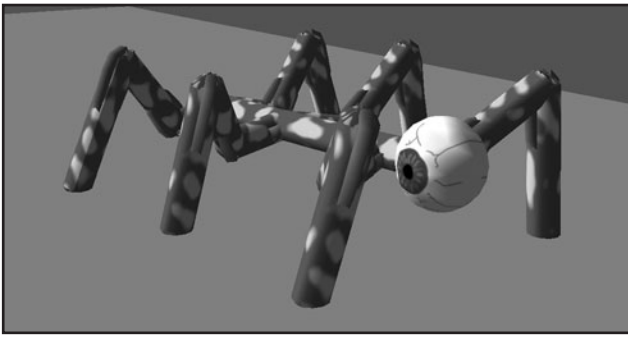


Wie kent ze niet? De bewegende en replicerende patronen van de Game of Life, de groepen zwermdende *boids* van Reynolds, of de klungelig maar effectief voortbewegende *evolved creatures* van Karl Sims. Ze behoren tot de meest aansprekende voorbeelden van *artificial life*, oftewel *a-life*, het vakgebied dat levende processen bestudeert door middel van computersimulaties. A-life modellen zijn gebaseerd op het idee dat het geheel meer is dan de som der delen. En in het bijzonder dat complex gedrag van een systeem (het geheel) kan emergeren uit de interacties tussen vele simpele individuen (de delen), zonder dat daarvoor centrale besturing nodig is. Het ontstaan van complexe termietenheuvels, bijvoorbeeld, kan niet worden toegeschreven aan centrale besturing, maar toch ook niet aan het brein van een individuele termiet. Niet zozeer de termieten zelf, maar juist de interacties tussen hen en de omgeving zijn van belang voor de bouw van de heuvel. Een ander voorbeeld is het menselijk brein. Ten opzichte van de andere lichaamsfuncties lijken de hersenen veel op een centraal controlesysteem, maar bij nadere inspectie blijkt ook dit een systeem te zijn waarbij de werking ontstaat uit de interacties tussen simpele neuronen.

### A-LIFE ROUTE NAAR AI

Typische a-life onderwerpen zoals emergentie en zelf-organisatie staan bij veel AI-ers in de belangstelling. Na de lessen over de gesitueerdheid en lichamelijke van individuele cognitieve systemen, vormen ze belangrijke schakels tot het begrijpen van het ontstaan van complex en cognitief gedrag. Als men uitgaat van een zekere continuïteit tussen de processen van leven en cognitie, biedt artificial life een interessante route naar het ontwikkelen van intelligente systemen. Het past binnen de trend die is ingezet met de opkomst van autonome robotica in de AI-gelederen, waarin dezelfde nadruk wordt gelegd op interactie van de robot met zijn omgeving. Bovendien is artificial life net als robotica een zeer experimenteel gebied, waarin theorie en praktijk zeer dicht bij elkaar komen. Uit het feit dat er inmiddels door het hele land robotlabs zijn opgericht, kan men opmaken dat er hiervoor grote interesse bestaat.

De multidisciplinaire samenstelling van a-life verschilt echter iets van robotica, doordat in artificial life biologische processen niet enkel ter inspiratie dienen, maar zelf juist het onderwerp van onderzoek zijn. Ook verschilt het experimenteel instrumentarium, omdat men zich hoofdzakelijk bedient van computersimulaties. Vanuit praktisch oogpunt biedt dit het voordeel dat men geen dure robots hoeft aan te schaffen om aan de slag te kunnen. Vele applets en simulatoren zijn online beschikbaar waarmee in een handomdraai interessante fenomenen kunnen worden gevisualiseerd. De meeste hiervan zijn echter gericht op het simuleren van zeer specifieke onderwerpen en lenen zich slecht voor eigen onderzoek. Een welkome uitzondering hierop is Framsticks.



VERSCHILLENDE CREATURES GEMAAKT MET FRAMSTICKS

## FRAMSTICKS

Framsticks<sup>1</sup> is een artificial life programma dat een drie-dimensionale wereld simuleert waarin virtuele *creatures* met elkaar en met de omgeving kunnen interacteren. De individuen in het model zijn mechanische structuren bestaande uit stokjes, die voorzien kunnen worden van sensoren en spieren, en worden bestuurd door middel van neurale netwerken. Alle aspecten van de *creatures* kunnen 'met de hand' worden geconstrueerd, maar ook ontworpen en geoptimaliseerd door evolutionaire algoritmen. Op deze manier kan men bijvoorbeeld snel en eenvoudig lopende of zwemmende *creatures* evolueren.

Framsticks is echter niet beperkt tot het simuleren van een bepaald fenomeen, maar biedt de gebruiker een reeks mogelijkheden om zelf te experimenteren door zoveel mogelijk functionaliteit voor de gebruiker toegankelijk te maken. Framsticks is ontworpen om inzicht te geven in complexe evolutionaire processen en beschikt daarom over een duidelijke visualisatie en vele tools voor ondersteuning en analyse. Men kan met Framsticks spelen, terwijl en *hands-on* leren over autonome robotica, evolutionaire algoritmen, en neurale netwerken. Bovendien biedt de Java-achtige taal FramScript ruime mogelijkheden tot het aanpassen en ontwerpen van eigen sensoren, neuronen of experimentdefinities. Deze eigenschappen maken Framsticks zeer geschikt voor onderwijs en onderzoek.

Op verschillende universiteiten wordt deze simulator ingezet bij onderwijs over biocomputing, adaptieve systemen en robotica, en zelfs neurofilosofie. In Utrecht wordt Framsticks gebruikt bij het vak 'virtual life' waarin studenten zelfstandig onderzoeksprojecten doen waarin experimenten in artificial life moeten worden ontworpen en uitgevoerd. Deze projecten kunnen variëren in onderwerp van evolutionaire robotica tot mierkolonies, en van natuurlijke en seksuele selectie tot competitieve co-evolutie.

## DEATHMATCH

Alvorens aan zo'n project te beginnen is het aan te raden Framsticks eerst te verkennen en de verschillende functionaliteiten te leren gebruiken. Hiervoor kan men uiteraard de documentatie en tutorials doornemen, maar een andere aardige manier om met het programma te leren werken is deelname aan een Framsticks Deathmatch. Hierin nemen enkele teams van studenten het tegen elkaar op door een *creature* te ontwerpen die moet zien te overleven in de vijandige omgeving van de *deathmatch*. In deze omgeving lopen van ieder team een aantal *creatures* rond die alle hun energieniveau op peil moeten houden door voedsel te eten. Bij voldoende energie kan een individu zichzelf repliceren. Ook kunnen *creatures* van verschillende teams met elkaar vechten waarbij degene met de meeste energie als winnaar uit de bus komt en met extra energie wordt beloond. Doordat *creatures* sterven als ze geen energie meer over hebben, zullen de populaties met minder goede *creatures* minder nageslacht nalaten en eerder uitsterven. De makers van de *creatures* die uiteindelijk alle andere tot uitsterven dwingen, en als laatste overlevenden overblijven, winnen de *deathmatch*.

Bij het ontwerpen van de *creatures* mogen alle technieken en methoden uit de kast getrokken worden. Het is mogelijk de mechanische constructie, de sensoren, en het neurale netwerk eigenhandig te specificeren, maar ook om evolutionaire algoritmen aan het werk zetten voor het optimaliseren van de vorm van het lichaam of de gewichten van het netwerk. Zelfgeprogrammeerde sensoren en neuronen zijn eveneens toegestaan. Deze vrijheid zorgt voor een grote verscheidenheid aan creatieve oplossingen. Het probleem wordt op verschillende wijzen benaderd en iedereen gebruikt een andere combinatie van technieken. De *deathmatch* zelf loopt dikwijls uit op een eindstrijd tussen onverwachte kandidaten. In één interessant geval onttaarde de *deathmatch* in een direct conflict tussen volledig handgemaakt

“De makers van de creatures die uiteindelijk alle andere tot uitsterven dwingen, en als laatste overlevenden overblijven, winnen de deathmatch.”

*creatures* en *creatures* waarvan zowel het lichaam als het brein geëvolueerd waren. Uiteindelijk trokken de laatstgenoemde aan het langste eind.

### ENDOGENE FITNESS

De meeste *creatures* in de *deathmatch* zijn deels ontworpen met behulp van traditionele evolutionaire algoritmen. Hierbij bepaalt de gebruiker de selectiecriteria en legt deze vast in de vorm van een fitnessfunctie. Individuen worden naar prestatie op deze criteria gerangschikt, waarbij individuen met een hoge fitness een hogere kans hebben om te reproduceren. Door zelf deze criteria te bepalen wordt het evolutionaire proces bewust in een bepaalde richting geduwd. Wanneer we bijvoorbeeld in *Framsticks* het loopgedrag van een individu willen optimaliseren, kunnen we daarvoor de vorm van het lichaam of de gewichten van het neurale netwerk random muteren. Door de snelheid van deze *creatures* als fitnesscriterium te hanteren, creëert men bewust een selectiedruk in de richting van lichamen of netwerken waarmee de *creatures* zich sneller voortbewegen. De bijzondere lichaamsvormen van *Sims' evolved creatures* zijn bijvoorbeeld door dergelijke evolutionaire optimalisatie verkregen. Het evolueren van neurale netwerken voor robots krijgt tegenwoordig veel aandacht op het gebied van evolutionaire robotica<sup>2</sup>.

In dat laatste vakgebied ondervindt men dagelijks de moeilijkheden van het definiëren van geschikte fitnessfuncties. Hoewel dit soms eenvoudig is voor simpele navigatietaken, wordt het snel moeilijker naarmate de taak voor de robot complexer wordt. Dit geldt zeker voor het evolueren van collectieve gedragingen waaraan vele individuen deelnemen, omdat hierbij een kenmerk van een groep wordt nagestreefd terwijl het gedrag en de selectie op individueel niveau plaatsvindt. Dit probleem komt mooi tot uitdrukking in artikelen met titels als “(Not) Evolving Collective Behaviours in Synthetic Fish”<sup>3</sup>, waarin de schrijvers stellen dat het formuleren van een effectieve fitnessfunctie minstens zo moeilijk is als het handmatig programmeren van de besturing voor de scholende visjes.

De beperkingen van het gebruik van expliciete fitness voor robotgedrag geven aanleiding tot interesse in evolutionaire modellen waarin deze impliciet worden gelaten. In zulke modellen worden de selectiedrukken niet vooraf door de gebruiker bepaald, maar ontstaan deze tijdens de simulatie door de interacties tussen de individuen en hun omgeving. Individuen die meer kinderen krijgen, hebben simpelweg een hogere fitness en zullen naar verloop van tijd de populatie domineren. In de *deathmatch*

komt deze benadering al enigszins naar voren. Ongeacht hoe de deelnemende *creatures* zijn ontworpen, tijdens de *deathmatch* staan ze alle bloot aan de selectiedrukken die de omgeving ze oplegt. Deze selectiedrukken zorgen ervoor dat bij de *deathmatch* uiteindelijk de meest fitte *creatures* overblijven, doordat ze het beste zijn in overleven en reproduceren. Dit soort fitness wordt niet van tevoren bepaald, maar komt vanuit het systeem zelf. Het wordt om deze reden ook wel ‘endogene fitness’ genoemd.

Een kenmerk van evolutionaire systemen met endogene fitness is dat selectie hierbij niet zoals gebruikelijk, gebaseerd is op de fitness, maar dat de fitness juist gebaseerd is op de selectie. Endogene fitness wordt in artificial life gezien als een belangrijk kenmerk van ongerichte of *open-ended* evolutie, waarin een (eco)systeem zelf de richting van evolutie bepaalt doordat de selectiecriteria vanuit het systeem zelf voortkomen. De fitness van een individu binnen zo'n systeem is steeds veranderlijk, omdat het voor een groot deel afhankelijk is van het gedrag van alle andere individuen. Wanneer de ene soort in een ecosysteem sterker wordt, verandert dat de selectiedruk voor andere soorten, wat kan resulteren in de befaamde co-evolutionaire *arms races* in de richting van steeds complexere individuen. Voor AI is dergelijke co-evolutionaire complexificatie interessant, omdat het in theorie een basis vormt voor het ontstaan van cognitief gedrag.

### TIERRA

Eén van de eerste experimentele onderzoeken naar open-ended evolutie is gedaan door de bioloog Thomas Ray met behulp van zijn simulator *Tierra*<sup>4</sup>. In deze simulator zijn de individuen gemodelleerd als zelfreplicerende computerprogrammaatjes die met elkaar competieren en evolueren. Ieder individu bestaat uit een reeks instructies en ‘leeft’ als een proces in de computer. Er is slechts beperkt plaats in het werkgeheugen en ook rekentijd is schaars. Dat laatste hebben individuen onder andere nodig om de instructies voor reproductie uit te voeren. Ook worden bij het repliceren zo nu en dan wat foutjes gemaakt als analogie met natuurlijke mutatie.

Nadat met enkele voorouders - van zo'n 80 instructies lang - is begonnen met de simulatie, loopt het geheugen al snel vol. Wanneer het grotendeels is bezet, ontstaat er competitie tussen de individuen om geheugenruimte en rekentijd. De programmaatjes die zich sneller voortplanten door daarvoor minder instructies nodig te hebben, krijgen gemiddeld meer kinderen en zijn daarmee in het voordeel. Al snel verspreiden de kleinere individuen zichzelf en domineren uiteindelijk de populatie. Dan

- M. Komosinski, S. Ulatowski, *Framsticks: towards a Simulation of a Nature-like World, Creature and Evolution*, ECAL 5, Springer-Verlag, 1999.[1]  
 S. Nolfi, D. Floreano, *Evolutionary Robotics: the Biology, Intelligence and Technology of Self-Organizing Machines*, MIT Press, 2000.[2]  
 N. Zaera, D. Cliff, J. Bruten, (Not) Evolving Collective Behaviours in Synthetic Fish, *From Animals to Animats 4*, MIT Press, 1996.[3]  
 T. Ray, *An Approach to the Synthesis of Life, Artificial Life 2*, Addison-Wesley, 1991.[4]  
 A. Adamatzky, M. Komosinski (Eds), *Artificial Life Models in Software*. Springer-Verlag, 2005 (in press).[5]

gebeurt er echter iets onverwachts tijdens Ray's experimenten. Er ontstaan plotseling individuen die slechts 45 instructies nodig hadden voor reproductie, wat de ontwerper zelf onmogelijk achtte. Deze individuen doen het op den duur even goed als de individuen met langere instructies. Bij nadere inspectie blijkt dat de 'korte' individuen niet zélf de code voor reproductie bevatten, maar op één of andere manier parasiteren op deze capaciteit van gastheren van de 'langere' soort. De parasieten dreigen echter aan hun eigen succes ten onder te gaan wanneer er bij een groeiende populatie parasieten steeds minder plaats in het geheugen is voor de langere. Dit gebeurt echter niet, omdat de parasieten afhankelijk zijn van hun gastheren voor reproductie. Nadat de populatie gastheren weer aangroeit, begint de cyclus weer van voor af aan. We herkennen hier de populatiedynamica uit biologische ecosystemen waarin negatieve feedback de populatiegroottes van bijvoorbeeld prooi- en roofdieren in stand houdt.

Later in de simulaties met Tierra ontstonden nog variaties van de langere individuen die met enkele extra instructies voorkwamen dat parasieten meelifften op hun replicerende vermogen. Helaas voor deze immune individuen zorgde een mutatie binnen de parasietenpopulatie er vervolgens weer voor dat ook deze vatbaar werden voor de nieuwe parasiet. De populaties van parasieten en gastheren in Tierra waren verwickeld in een co-evolutionaire wapenwedloop.

## VIRTUAL LIFE

De mogelijkheden voor AI lijken onbegrensd wanneer we een Tierra-achtige *open-ended* evolutie op robots zouden kunnen gebruiken. Niet alleen zouden we er slimme robots mee kunnen evolueren, we zouden ons er - na het zaaien van wat voorouders - zelfs niet meer mee hoeven te bemoeien. Bovendien zouden we in staat zijn het evolutionaire verloop ervan te bestuderen om daarmee inzicht krijgen in de stadia die organismen doorlopen vanaf simpel reactief tot complex cognitief gedrag. Zover is het echter (gelukkig) nog lang niet.

De simpele programmaatjes in de abstracte wereld van Tierra verschillen hemelsbreed van de complexe robots die hun werk moeten doen in de echte wereld. De individuen in Tierra zijn nou niet bepaald de gesitueerde en lichamelijke systemen waarover men in autonome robotica spreekt. Maar andersom demonstreert Tierra met endogene fitness enkele voorbeelden van evolutionaire zelforganisatie waar robotici jaloers op kunnen zijn. In *virtual life* projecten<sup>5</sup> worden deze ideeën gecombineerd tot Framsticks simulaties van natuurlijke selectieprocessen in po-

pulaties van gesimuleerde robots.

Aan de ene kant zijn de individuen veel realistischer dan de programmaatjes in Tierra en lijken soms meer op de robots uit evolutionaire robotica. Zo zijn de individuen gesitueerd door middel van sensormotor koppelingen met hun omgeving, en zijn (op zekere wijze) belichaamd door de simulatie van fysieke krachten die op hun lichaam werken. Aan de andere kant kunnen deze individuen, net als in Tierra, onderworpen worden aan evolutionaire processen met endogene fitness. *Virtual life* experimenten kunnen worden voorgesteld als simulaties van ecosystemen met daarin populaties van lopende, rijdende of vliegende beestjes. Deze worden geboren en overleven door te eten. Ze kunnen met anderen reproduceren en ten prooi vallen aan roofdieren, of anderszins aan hun einde komen. Het is moeilijk voor te stellen hoe men dergelijke experimenten met fysieke robots zou willen doen.

*Virtual life* modellen zijn gecontroleerde kunstmatige ecosystemen, waarmee vele onderwerpen in zowel robotica als evolutionaire en theoretische biologie bestudeerd kunnen worden. Studenten gebruiken deze voor zelfstandige projecten, waarin hot topics worden onderzocht zoals de evolutie van communicatie en coöperatie, verschillende typen van soortvorming, populatiedynamica, co-evolutie tussen prooi- en roofdierpopulaties, interacties tussen natuurlijke en seksuele selectie, en interacties tussen leren en evolutie. Centraal in deze projecten staat steeds het onderzoeken van de verschillende selectiedrukken en reproductieve voordelen die de evolutie of emergentie van verschillende gedragingen (on)mogelijk maken.

Virtual life begeeft zich op het overlappende gebied tussen AI, theoretische biologie, en autonome robotica. Hierin worden bekende AI-technieken als neurale netwerken en evolutionaire algoritmen veelvuldig gebruikt, maar nu met een theoretische ondergrond die beter bij de biologie aansluit, en een kunstmatige en lichamelijke benadering die we uit de robotica kennen. De combinatie van gesimuleerde robots met open-ended evolutie, die centraal staat in *Virtual life*, is even veelbelovend als onontgonnen.∅

## MEER INFORMATIE EN DOWNLOADS

<http://connectie.org/links.php>