

NEW TIES: Emergentie en Complexiteit in Artificial Societies

Rory Sie, AI Masterstudent aan de VU
(rllsie@few.vu.nl)

Sinds 2004 bent u bezig met het project 'NEW TIES'. Wat maakt dit project zo speciaal?

Wetenschappelijk is het speciaal omdat er drie verschillende adaptatiemechanismen in dit project toegepast worden die nog nooit in deze combinatie bij elkaar gezet zijn. Die drie adaptatiemechanismen zijn evolutie, individueel leren en sociaal leren.

Waarom is het zo belangrijk om deze mechanismen te bestuderen en bij elkaar te zetten?

Soms is het in bepaalde softwaretechnologieën, zoals robotica of *ambient intelligence*, heel moeilijk om een systeem kritisch te programmeren zoals wij gewend zijn: een algoritme programmeren en dat het werk laten doen. Wij zijn er steeds meer van overtuigd dat toekomstige systemen adaptief moeten zijn. Op sommige omstandigheden kunnen we de systemen niet voorbereiden omdat ze onbekend zijn en daarom weten we niet wat gepast gedrag zal zijn in het geval dat de omstandigheid zich voordoet. Dus wat we kunnen doen is onze systemen voorzien van een adaptieve kracht en het ze zelf uit laten zoeken. Dus alles wat een systeem adaptief maakt is een stap in deze richting. Evolutie en individueel leren hebben hun nut afzonderlijk reeds bewezen, maar er is relatief weinig bekend over wat er gebeurt als je ze in combinatie met elkaar gebruikt. Het derde mechanisme, sociaal leren, maakt het plaatje nog completer. Want dat houdt in dat alles wat individueel geleerd wordt ook met anderen gedeeld kan worden. Dat laatste is überhaupt nog niet in kaart gebracht. Het uitzoeken van dit mechanisme en het in combinatie gebruiken met de andere mechanismen is uniek. De kracht van dit project is adaptiviteit.

Gusztai Eiben is geboren in Hongarije. Na het behalen van zijn wiskundediploma besloot hij naar Eindhoven te gaan om te promoveren op het gebied van beslissingsondersteunende systemen. Daaropvolgend kreeg hij een Post-doc plaats op de VU in Amsterdam en werkte hij in Utrecht en Leiden als universitair (hoofd)docent. In 1989 is hij begonnen met onderzoek naar genetische en evolutionaire algoritmen, en heeft hij het veelgelezen boek *Introduction to Evolutionary Computing* geschreven. Sinds 2004 is hij bezig met het project NEW TIES aan de VU, dat meer dan anderhalf miljoen euro aan subsidie van de EU heeft gekregen om *Artificial Societies* te onderzoeken.

Op zich is evolutie en individueel leren wel onderzocht, maar de combinatie niet?

Het hangt er vanaf hoe je het interpreteert. Als je kijkt naar evolutie, individueel leren en sociaal leren dan denk ik aan het volgende: Eén individu evolueert niet, zijn genetisch materiaal (DNA) verandert niet tijdens zijn leven. Evolutie werkt op populatie niveau, van generatie op generatie, dus op een grote tijdschaal. Verder is het kenmerkend dat geëvolueerde "kennis" zich verspreidt doordat individuen met goede genen relatief veel kinderen krijgen. Individueel leren

is anders. Ten eerste is het veel sneller. De tijdschaal waarop dat gebeurt is het leven van één individu. Ten tweede wordt opgedane kennis niet verspreid. Hetgeen het individu leert komt niet terecht in het genetisch materiaal, dus kan het niet geërfd worden. Dat weten we sinds de genetica is ontdekt. Dus, alles wat het individu leert verdwijnt als hij sterft, tenzij het gedeeld wordt met anderen. En precies daarvoor hebben we sociaal leren

bedacht. Dat is echter nog grotendeels onontgonnen terrein met veel issues voor discussie: Wat is sociaal leren? Is pure imitatie sociaal leren? Moeten we de kennis die bij een individu ontstaat ex-

“Wat ik op het oog heb is dat we over ongeveer 5 tot 15 jaar grote groepen robots kunnen bouwen die we zo kunnen instellen dat ze gezamenlijk goed gedrag vertonen.”

plicitet overnemen? Moet je een taal hebben waardoor die kennis verspreid wordt, of kan je bijvoorbeeld door telepatie of delen van de hersenen kennis overseinen van de ene individu naar de andere, zonder taal, gewoon rechtstreeks? Het komt uiteindelijk neer op een definitiekwestie: Wat beschouwen wij als goed sociaal leergedrag en hoe kunnen we dat implementeren in de computer. Ik sta daar, binnen dit project, flexibel tegenover. Het hoeft niet zo te zijn dat mechanismen van de computer hetzelfde moeten zijn als in de natuur. Zolang de mechanismen maar werken. We toetsen onze mechanismen niet op hun realiteitsgehalte of natuurgetrouwheid, maar op hun effectiviteit. Dan hebben we het breedste scala van mogelijkheden voor het implementeren van sociaal leren.



Guszti Eiben

Interessant genoeg zijn er projectpartners die hier anders over denken, met name onze hoogleraar sociologie en de taalkundige expert. Zij hebben niet veel te maken met *Swarm Engineering*, *Distributed Artificial Intelligence*, *Collective Robotics* en dergelijke, maar wel met Artificial Societies en de evolutie van taal. Zij zijn vooral geïnteresseerd in simulaties die iets over het echte systeem, d.w.z. over ons, mensen, kunnen zeggen. Vanuit dat perspectief wil je juist wel dat je model alleen met realistische mechanismen werkt. Dus, bijvoorbeeld, geen telepathe of teleportatie, maar gewoon praten en lopen. Een van de toepassingen die onze socioloog in het projectplan beschrijft betreft het creëren van een maatschappij van vele individuen die “ecologisch verantwoord” gedrag leren dat hun leefmilieu niet aantast. Naast de technische uitdaging van het project zijn er een aantal toepassingen vanuit de sociologie die deze onderneming heel attractief maakt voor een groter publiek, bijvoorbeeld het maken van simulaties van maatschappelijke fenomenen.

Hoe bent u op het idee gekomen voor dit project?

Eigenlijk door een kort verhaal van een Poolse schrijver¹. Het bestaat uit twee delen. Het eerste deel beschrijft een wetenschappelijk experiment. In hedendaagse termen gaat het om een groot computerexperiment waarin kunstmatige wezens geschapen worden die aan hun lot

1. *Non Serviam* van Stanislaw Lem uit 1973. Engelse vertaling in de beroemde AI collectie: Douglas R. Hofstadter and Daniel C. Dennett (Editors), *The Mind's I: Fantasies and Reflections on Self & Soul*, Basic Books Inc. 1981, pp. 296-317.

worden overgelaten. Ze kunnen leren en met elkaar praten. Het experiment is nooit uitgevoerd; toen ik het las in de jaren '70 was dit natuurlijk absoluut onmogelijk. Het tweede deel gaat over de communicatie tussen deze wezens en hun ideeën over een schepper. Dat is heel leuk voor de lezer, want wij weten dat ze in een kunstmatige wereld leven en dat ze gecreëerd zijn door de mens. Vele jaren later kreeg ik dat boek weer in handen en toen dacht ik: Dat is precies wat ik een beetje doe. Ik houd me voornamelijk met *Evolutionary Computing* bezig en ik heb ook al een aantal *Artificial Life* artikelen geschreven, dus als we zoiets zouden kunnen doen, maar dan met een wetenschappelijk doel, dan zou ik dat heel graag willen uitproberen.

Heeft dat echt bewust invloed gehad op uw carrière of is dat puur toeval?

Geen invloed op mijn carrière. Ik heb het wel als tiener al gelezen, net zoals vele andere sci-fi boeken, maar ik was het min of meer vergeten totdat ik het boek een keer toevallig bij mijn ouders tegenkwam. Ik ga daar meestal in de zomer naartoe. Het is daar rustig en ik ben op dat moment creatiever dan tussen de semesters door. Ik heb als wetenschapper goed nagedacht of dit wel interessant is. Ik ben er achter gekomen dat het heel veel wetenschappelijke waarde heeft als je de drie adaptieve mechanismen bij elkaar kunt brengen. Van de twee grote groepen toepassingen, *Engineering Collective Intelligence* c.q., *Artificial Society Simulations*, ben ik op dit moment meer geïnteresseerd in het eerste. Wat ik op het oog heb is dat we over ongeveer 5 tot 15 jaar grote groepen robots kunnen bouwen die we zo kunnen instellen dat ze gezamenlijk goed gedrag vertonen—dat ze iets doen wat wij willen dat ze doen. Ik zie daar een enorme behoefte in over een paar jaar. Dit project zou een heel belangrijke stap in die richting zetten als wij in staat zijn te leren hoe de drie adaptieve mechanismen met elkaar werken en voor welke doeleinden ze belangrijk zijn. Ik kan me voorstellen dat je voor de ene toepassing heel veel evolutie en weinig individueel leren en helemaal geen sociaal leren nodig hebt. Voor een andere toepassing is evolutie misschien niet belangrijk of werkt het bijvoorbeeld vertragend, maar moet je juist heel veel individueel en sociaal leren. Dat soort dingen moeten we binnen 10 jaar goed onder de knie krijgen om *Collective Robotics* of *Collective Intelligence* mogelijk te kunnen maken.

Zijn er al tussentijdse resultaten?

We beginnen al een beetje te zien hoe het in elkaar zit. Het is heel moeilijk om in een soort *live environment* alles op elkaar af te stemmen. Er zijn heel veel planten en heel veel beesten die alle planten opeten. Het gevolg is

dat er geen planten meer zijn waardoor de beesten weer doodgaan. Deze predator-prey cyclus moet je heel goed kalibreren zodat je een voldoende stabiel systeem krijgt. De kern van het probleem is de totaal asynchrone manier van voortplanting, waar elk individu elk moment kan beslissen om zich voort te willen planten. Terwijl in een gewoon genetisch algoritme de centraal georchestreerde reproductie ervoor zorgt dat populaties van dezelfde grootte elkaar netjes opvolgen, kunnen in ons systeem te veel of te weinig kinderen geboren worden, met als gevolg dat de populatie explodeert of implodeert. We zijn nu zover dat we het kalibreren achter de rug hebben en kunnen kijken naar wat er gebeurt als je met één van de adaptieve mechanismen werkt. Wat we nu al zien is dat je door evolutie stabielere en ook grotere populaties lijkt te krijgen, maar dit is misschien een beetje een voorbarige conclusie. Met individueel leren schijnt één van de observaties te zijn dat je grotere fluctuaties krijgt binnen je systeem. De gemiddelde populatiegrootte is dan over de langere termijn ook lager dan met evolutie alleen. We hebben ook twee concrete resultaten uit NEW TIES experimenten. In het eerste experiment gaven we de populatie een “taalkundige uitdaging”: de individuen leefden in een wereld met veel objecten en ze moesten zelf een gezamenlijk vocabulaire ontwikkelen. Dit was gelukt, ze ontwikkelden een woordenboek met 50 woorden en ze gebruikten die met 95% accuraatheid. In het tweede experiment kreeg de populatie een echte uitdaging. De wereld bevatte goed en slecht (giftig) voedsel, en ze konden alleen overleven door te leren de giftige planten niet op te eten. Na een aanvankelijk slecht begin (krimpende populatie en gelijke afname van goede en giftige planten) zagen we een keerpunt, waarna de populatie weer groeide en het aantal giftige planten ook toenam. Conclusie: het vermogen om eerst goed kijken en daarna pas toe te happen was geëvolueerd.

Hoe benadert u evolutie in uw onderzoek?

We hebben hier te maken met een heel ander type evolutie dan in genetische algoritmen, of andere dialecten binnen *Evolutionary Computing*. Bij een gewoon evolutionair algoritme heb je een goed gedefinieerde fitness functie, afgeleid van het op te lossen probleem, een centraal gecoördineerde reproductie cyclus, waar de selectie van ouders en overlevenden van de gegeven fitness afhangt, en een duidelijk stopcriterium. Dit geldt ook voor toepassingen buiten de “simpele” optimalisatie. Bijvoorbeeld bij de evolutie strategieën voor spelletjes of het goede oude Iterated Prisoners Dilemma, alleen wordt dan de fitness wat ingewikkeld vastgesteld door de individuen (strategieën) tegen elkaar te laten spelen. In NEW TIES lijkt het veel meer op het echte leven:

geen concrete fitness functie om te optimaliseren, ongecoördineerde, asynchrone ouder selectie en reproductie, impliciete overlevende selectie (dood als te oud of te weinig energie) en geen echt stopcriterium. Voor ons hier heeft evolutie betrekking op ontwikkelen van goed genetisch materiaal, en het daardoor verkregen gedrag. Zowel individueel leren als evolutie gebeurt op een fysieke en mentale wijze. Dus de organismen binnen de simulatie hebben fysieke eigenschappen, bijvoorbeeld kleur, grootte, vorm, geslacht, en ze hebben mentale eigenschappen. De mentale eigenschappen modelleren we als een beslisboom die bepaalt wat een individu gaat doen onder bepaalde omstandigheden. De basisstructuur van de beslisboom is overerfelijk. Dus de originele beslisboom krijg je van je ouders en deze verander je tijdens je leven – als je tenminste aan leren doet. Dan hebben we nog de genen die het gedrag beïnvloeden. Dat is een van de fundamentele beslissingen van ons ontwerp. De beslisboom kent kansen toe aan bepaalde acties, dus je kunt bijvoorbeeld kiezen tussen twee acties: eten of een vrouw zoeken (als je een man bent). De beslisboom zal beslissen welke gekozen wordt door de kansen van beide acties te berekenen. Deze kansen hangen af van je individuele levensproces én je geërfde voorkeuren. De beslisboom wordt aangepast door eigen ervaringen tijdens het leven van het individu, dit is wat individueel leren doet. Maar wat we ook hebben is genetisch materiaal dat niet verandert tijdens het leven. Dit materiaal beïnvloedt ook de keuzes voor het al dan niet uitvoeren van bepaalde acties. Dat noemen we *attitude-genes*. Dus je kunt bij je geboorte een grote voorkeur hebben voor seks en een lage voorkeur voor eten of andersom. Voor dat er een beslissing valt in de beslisboom wordt er niet alleen gekeken naar wat er geleerd is tijdens het leven, maar ook naar de aangeboren genetische voorkeuren en de uiteindelijke kansen van acties worden door een gecombineerde formule berekend. Hoe natuurgetrouw dit is weten we niet. We kunnen in ieder geval een effect simuleren dat we in de natuur waarnemen. Aan de ene kant zijn er genetische neigingen: Je bent bijvoorbeeld van nature meer of minder agressief aangelegd. Aan de andere kant heb je aangeleerde dingen die deze aanleg kunnen compenseren of versterken. Evolutie en leren zijn op een fundamentele manier met elkaar verweven.

Kan het genetisch materiaal ook veranderen?

In ons systeem kun je bij een experiment geen nieuwe genen krijgen. De waarden voor de bestaande genen worden door evolutie wel aangepast, dus in die zin veranderen ze wel over een reeks van generaties.

Maar kan leren compenseren voor slechte genen?

We hebben door ons ontwerp de mogelijkheid hiertoe wel gecreëerd. In die zin kan dat. Maar de echte vraag is natuurlijk of dat ook gaat gebeuren. We kunnen een experiment opzetten waar bijvoorbeeld relatief weinig eten is. Dan is het juiste gedrag dat je je moet richten op het eten om te overleven. We kunnen gewoon met de hand in de eerste populatie allemaal individuen neerzetten die genetisch weinig neiging hebben eten te zoeken, dus hebben ze slechte genen. Dan is de vraag of een individu kan leren om voor de slechte genen te compenseren. Zo ja, onder welke omstandigheden gebeurt dit dan?

Ik stel me voor dat als er weinig te eten is, dat de agenten onderling gaan uitvechten wie het eten gaat krijgen. Houden jullie daar rekening mee?

We hebben aan de mogelijkheid gedacht en we hebben een gen dat agressiviteit bepaalt. Maar we moeten nog de mechaniek van het vechten programmeren. Dus voorlopig kunnen onze individuen enkel met elkaar communiceren en samen kinderen maken.

Hoe past NEW TIES bij uw ander werk op het gebied van Evolutionary Computing?

Veel wat ik eerder gedaan heb ligt hier heel ver vanaf. Neem bijvoorbeeld mijn eerste paper over theoretische convergentie eigenschappen van genetische algoritmen, of meer recentelijk, het oplossen van *constraint satisfaction* problemen met evolutionaire methodes. Maar ik heb tegenwoordig een onderzoeksthema dat bij alle toepassingen relevant is: het automatisch kalibreren van evolutionaire algoritmen.

Wat houdt dat in?

Een evolutionair proces is altijd onderhevig aan parameters, ongeacht of het een optimalisatie- of simulatiecontext is. Bijvoorbeeld de sterkte van de mutatie, de grootte van je eerste populatie, of de strengheid van de selectie. Dat zijn parameters van je mechanisme en je kunt deze

goed of slecht instellen. Een goede of slechte instelling is afhankelijk van het probleem en soms ook van de tijd binnen je evolutie. Eerst moet je het zus doen, en nadat de evolutie voortgaat moet je het zo doen. Dat is echt essentieel. Evolutie is een dynamisch proces, het blijft niet optimaal. Het is dus heel triest dat in de huidige praktijk we het meestal zo goed als mogelijk met de hand instellen en dat laten we vervolgens vrijwel onveranderd. Het is eigenlijk dubbel sub-optimaal: Je doet het met de hand en verandert het vervolgens niet. Mijn hoofdonderzoek is in die richting. Ik probeer antwoorden te vinden op de vraag: *'Hoe moet ik verschillende facetten van het evolutieproces, dan wel de populatie, dan wel de selectieprocessen, dan wel de voortplantingsprocessen (kruising en mutatie) tijdens het verloop aanpassen zodat deze "optimaal" worden?'*

Wat wilt u over, zeg, drie jaar bereikt hebben met het onderzoek?

Goh, dat is geen makkelijke vraag. Ik zal het maar splitsen. Vanuit NEW TIES wil ik in een aantal interessante, uitdagende werelden populaties van agenten hebben gemaakt die door de driedubbele adaptiviteit de uitdaging aankunnen en niet-triviale emergente eigenschappen vertonen. En dan maakt het niet veel uit of dit in de context van een sociale simulatie of bij een groep taakuitvoerende robots plaatsvindt, al heb ik op dit moment meer affiniteit met het tweede. En tegen die tijd wil ik ook graag voldoende theoretisch inzicht en praktisch toepasbare vaardigheden over het effectief mengen van evolutie, individueel leren en sociaal leren in één systeem, verkregen hebben. In het kort, ik wil graag meer weten over hoe *Emergent Collective Intelligence* door adaptatie te bereiken. Vanuit *Evolutionary Computing* in het algemeen, wil ik over een paar jaar over technieken beschikken die de parameters van een evolutionair algoritme efficiënt en effectief kunnen instellen, en liefst ook tijdens een run bijstellen. Mijn hoofddoel is om de ontwerpers, cq., gebruikers in staat te stellen evolutionaire processen goed en makkelijk te kunnen kalibreren. Hierdoor zou de instapdrempel van deze prachtige techniek verlaagd kunnen worden, met als gevolg nog meer mooie toepassingen. ø