

Agents als concept voor het modelleren van de ruimte

Arend Ligtenberg

Landbouw Economisch Instituut (LEI) - Postbus 29703 - 2502 LS Den Haag - Telefoon 070-3358330 - arend.ligtenberg@lei.dlo.nl

Arnold Bregt

Wageningen UR, laboratorium geo-informatiekunde en remote sensing - Postbus - Wageningen - Telefoon 0317 arnold.bregt@staff.girs.wau.nl

Het modelleren van ruimtelijke processen wordt in Nederland door een toenemend aantal te vervullen doelstellingen en betrokken actoren steeds complexer. Het huidige instrumentarium voor het modelleren heeft op onderdelen beperkingen. In dit artikel worden twee technieken gepresenteerd, die een waardevolle aanvulling bieden ten opzichte van de huidige aanpak. Dit zijn Cellulaire Automata en Multi Agent Simulatie. Vooral de combinatie van beide technieken biedt naar onze mening goede perspectieven voor een beter modelleren van de ruimtelijk processen.

Trefwoorden: Cellulaire Automata, Multi-Agent Simulatie, GIS, SWARM.

Inleiding

Het plannen van de ruimte in Nederland wordt complexer. De ruimte moet een toenemend aantal doelstellingen vervullen. Naast traditionele functies als landbouw moet de ruimte ook een aantrekkelijke plek zijn om te recreëren en te wonen. Daarnaast leggen steden, grote infrastructurele werken en industrie een toenemend beslag op de ruimte. Een tweede ontwikkeling is de verregaande decentralisering van de besluitvorming aangaande de inrichting van de ruimte. Gevolg is dat een toenemend aantal belanghebbenden (actoren) inspraak hebben. Concluderend kunnen we stellen dat veranderingsprocessen in het landelijk gebied multi-scale, multi-actor en multi-goal karakteristieken hebben, hetgeen modelleren van ruimtelijke veranderingsprocessen tot een complexe zaak maakt.

In de praktijk worden oplossingen gezocht door gebruik te maken van statistische methoden en verregaande generalisaties van processen. Ter ondersteuning van toekomststudies naar de ontwikkeling van de ruimtelijke organisatie in Nederland is er een toenemende behoefte aan modellen die aansluiten op het afzonderlijke en locatie afhankelijke gedrag van actoren. Dit type modellen wordt vaak aangeduid met multi-actor modellen. Binnen het Wageningen UR loopt onderzoek naar dit nieuwe type modellen. Hiervoor wordt onder andere gebruikt gemaakt van technieken afkomstig uit het werkveld van de kunstmatige intelligentie. Dit artikel gaat nader in op het gecombineerd gebruik van twee veelbelovende technieken, Cellulaire Automata (CA) en Multi-Agent Modelering (MAS).

Cellulaire Automata

Het principe van Cellulaire Automata (CA) dateert van eind zestiger jaren. Conway ontwikkelde de Game Of Life, GOL, wat het eerste werkende voorbeeld was van een CA. Aan de hand van GOL zullen de principes van CA worden behandeld. De Game Of Life werkt als volgt:

Op een (theoretisch) oneindig speelveld bestaande uit rechthoekige cellen bevinden zich levende (1) en dode (0) cellen. Elke tijdstap wordt dit speelveld parallel geëvalueerd aan de hand van de volgende regels:

- Cellen die dood zijn op tijdstip t worden levend op tijdstip $t + 1$ als precies 3 van alle 8 directe burens levend zijn;
- Cellen die levend zijn op tijdstip t gaan dood op tijdstip $t+1$ als minder dan twee of meer dan drie cellen levend zijn.

In de eerste situatie zijn er niet genoeg levende cellen om zich voort te planten, in de tweede situatie heeft overbevolking afsterven tot gevolg. Deze twee eenvoudige regels zijn in staat om complexe ruimtelijk dynamische patronen te genereren.

In het hiervoor beschreven spel kunnen we de volgende aspecten onderscheiden:

- Een regelmatige n -dimensionale *array* (in theorie oneindig);
- Een status van een cel (in dit geval binair 1 = levend 0 = dood);
- Een omgeving (in dit geval de acht cellen die direct contact maken met de actieve cel);
- Een regel die, voor elke tijdstap, op basis van de toestand van de beschouwde cel en de toestanden van de omringende cellen een nieuwe toestand van de cel bepaalt.

Deze vier aspecten zijn de basiskenmerken die terugkomen in elke CA toepassing.

De mogelijkheden van CA zijn onder andere:

- Integratie van verschillende soorten kennis (met name kennis die niet goed kan worden beschreven in mathematische modellen);
- Integratie en uitwisseling van kennis tussen verschillende schaalniveaus;
- Vervaardigen van dynamische modellen op een redelijk schaalniveau;
- Omgang (in combinatie met GIS) met heterogeniteit en dwarsverbanden tussen de verschillende ruimtelijke functies en input uit andere modellen.

Zie verder pagina 18

Cellulaire Automata technieken zijn sinds een jaar of 15 voor diverse toepassingen ontwikkeld. Het blijkt dat met name dynamische verschijnselen - relatief moeilijk te simuleren met traditionele mathematische methodieken zoals (partiële) differentiaal vergelijkingen - relatief eenvoudig te simuleren zijn met CA. Voorbeelden zijn gasdispersiemodellen, modellen die de groei van kristallen simuleren, stedelijke groei modellen en zelfs modellen die de verspreiding van het HIV virus in een kunstmatig immuunsysteem simuleren. Al deze modellen, weliswaar afkomstig uit verschillende disciplines, hebben met elkaar gemeen dat ze een dynamisch ruimtelijke systeem beschrijven via de interacties die objecten in dat ruimtelijk systeem met elkaar hebben. Wat karakteristiek is voor bovenstaande voorbeelden, is dat er voor gekozen is om relatief autonome systemen te modelleren.

De belangrijkste beperking van het gebruik van CA als techniek voor het modelleren van planvormingsprocessen is de starheid. De lokale regels blijven gelijk door de tijd. Een van de kenmerken van ruimtelijke relaties in een planvormingscontext is dat ze dynamisch zijn. Opvattingen over hoe ruimtelijke objecten zich tot elkaar verhouden veranderen door de tijd. De factoren die deze veranderingen tot gevolg hebben, hebben lang niet altijd een ruimtelijke relatie of een duidelijke wetmatigheid. Veel hangt af van actorgebonden preferenties, doelstellingen en de veranderingen hierin. Door verschillende auteurs (b.v. Couclelis 1985) zijn uitbreidingen van het CA concept voorgesteld, die de techniek beter toepasbaar maakt voor ruimtelijke planning. De helderheid en elegantie van het concept gaan daarbij echter verloren.

Multi Agent Simulatie

Het onderzoek binnen Wageningen UR richt zich daarom naast CA op het gebruik van Multi-Agent Simulaties (MAS) om het gedrag van actoren (bijvoorbeeld agrariërs, overheden, recreanten) in een planvorming situatie te modelleren. Het begrip agent is breed, variërend van eenvoudige zoekrobots die met een opdracht het world wide web opgaan tot agents die complexe industriële procesomgevingen beheren en daarin zelfstandige beslissingen nemen.

Een voor onze toepassing bruikbare definitie van MAS wordt gegeven door Sanders (1997):

'Multi-agents are conceptual entities (agents) who influence in a reactive or proactive manner themselves and their environment'. Maes (1997) ziet multi agents als: 'a system that tries to fulfil a set of goals in a complex dynamic environment. An agent is situated in the environment: it can sense the environment through its sensors and act upon the environment using its actuators'.

Van de bovenstaande definitie kunnen we afleiden dat agents

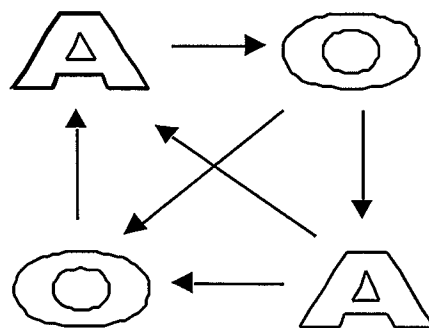
- Zich kunnen aanpassen;
- Zelfstandig doelen kunnen verwezenlijken;
- Weet hebben van hun omgeving en hierop kunnen reageren.

Op dit moment staat het onderzoek naar het gebruik van de multi-agent architectuur voor het ontwikkelen van ruimtelijke planningondersteunende modellen nog in de kinderschoenen.

Genoemd kan met name het werk van Deadman et al (1994), Gimblet et al. (1996) en Ferrand, N. (1996) worden. In deze onderzoeken worden recreanten (agents) met verschillende karakteristieken en preferenties losgelaten in een virtueel berggebied. Het ontwikkelde model simuleert vervolgens de routes die de recreanten nemen als reactie op de karakteristieken van hun omgeving en mederecreanten.

Combinatie CA/MAS

Binnen het Wageningen UR onderzoek wordt MAS met CA gecombineerd. Hierdoor ontstaat een sterk concept met aantrekkelijke mogelijkheden voor het implementeren van een nieuwe generatie ruimtelijke modellen. Dit is het best te illustreren aan de hand van figuur 1 waarin schematisch de verschillende processen binnen een ruimtelijk planningsproces zijn weergegeven.



Figuur 1: Typologie van processen binnen ruimtelijke planvorming, O = ruimtelijk object, A = actor.

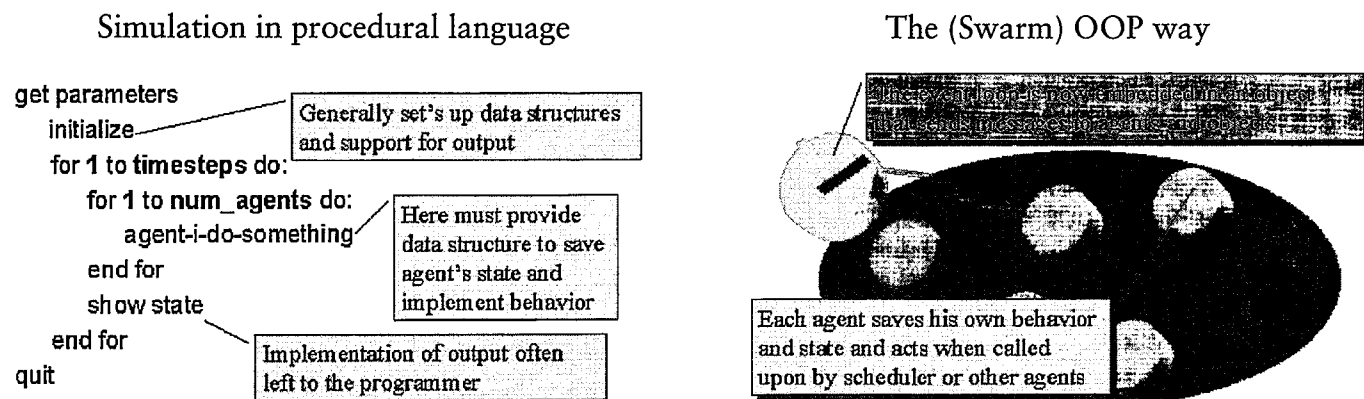
We kunnen de volgende processen onderscheiden:

1. Processen tussen ruimtelijke objecten (OO). Dit omvat met name de autonome fysieke processen zoals groei van vegetatie, stroming van water enz;
2. Processen tussen ruimtelijke objecten en actoren (OA). Dit betreft met name vergaring van informatie. De presentatie en soort informatie die een agent beschikbaar krijgt hangt af van de karakteristiek van de agent. Een natuurbeschermingsorganisatie verzamelt andere informatie dan bijvoorbeeld een agrariër;
3. Processen tussen actoren en ruimtelijke objecten (AO). Hierbij gaat het om intentionele handelingen van actoren met als doel de ruimtelijke organisatie te veranderen;
4. Processen tussen actoren (AA). Dit betreft met name communicatieve processen (bijvoorbeeld onderhandeling over een deel van de ruimte) tussen actoren met verschillende doelstellingen.

In het concept wordt CA toegepast om een model van de fysieke wereld te creëren waaruit de agents hun informatie halen en welke de agents proberen te beïnvloeden. Met behulp van een tweedimensionale array van cellen (pointers naar objecten) wordt een discrete representatie van de relevante karakteristieken van een plangebied vastgelegd. Met behulp van lokale regel worden de OO processen gedefinieerd. Agents evalueren vervolgens deze (constant veranderende) omgeving. Op basis van hun karakteristieken bevragen zij deze wereld (OA interacties) en proberen zij de processen die door de CA op gang worden gehouden te beïnvloeden (AO interacties). Binnen een ideaal *agent-based* model moeten zij daarbij rekening houden met ander agents (AA interacties). Voor de im-

plementatie van modellen wordt gebruik gemaakt van SWARM. SWARM is een software pakket ontwikkeld aan het Santa Fe Instituut. Het bestaat uit een bibliotheek met objecten, geïmplementeerd in GNU Objective C, waarmee relatief eenvoudig modellen kunnen worden gebouwd van non-lineaire systemen met grote hoeveelheden agents. Daarnaast wordt er een koppeling met ARC/INFO en ArcView opgezet voor het vervaardigen en onderhouden van grote ruimtelijke datasets. Figuur 2 geeft het verschil tussen de *traditionele wijze* van implementeren van simulatiemodellen en de objectgeoriënteerde aanpak die SWARM volgt.

op verschillende schaalniveaus (zowel ruimtelijk als temporeel) te modelleren. Processen geïmplementeerd via agents worden niet centraal *getriggerd* (*main loop* van een simulatie model) maar reageren reactief op andere agents of pro-actief op informatie die ze vergaren uit het model van de omgeving. Dit leidt tot een meer *natuurlijke* benadering van de werkelijkheid. Om dit soort modellen te kunnen inzetten ter ondersteuning van de ruimtelijke planning ligt nog veel werk in het herdefiniëren van processen. De top-down benadering van de *traditionele* modellen is gebaseerd op een verregaande generalisatie van processen als gevolg van een statistische behande-



Figuur 2: verschil tussen traditionele simulatie modellen en de SWARM aanpak (bron: Benedikt Stefansson, <http://www.santafe.edu/projects/swarm>)

Uit testen blijkt dat SWARM in combinatie met een goede en stabiele ontwikkelomgeving biedt onder verschillende platforms (Unix, Linux, Windows, Mac). Grote ruimtelijke databases (typisch 1000*1000 *arrays*) zijn probleemloos in te lezen en te manipuleren met behoud van een redelijke performance.

Pilotstudy

Op dit moment is een pilotstudy gestart binnen Wagening UR waar getracht wordt processen die binnen de grondmarkt spelen via een multi-actor benadering vorm te geven en te vertalen naar een CA/MAS model met behulp van SWARM. Hierbij is een intensief contact tussen gamma en bèta onderzoekers van groot belang. Relevante ruimtelijke kenmerken moeten worden verzameld en opgeslagen. Harde en zachte kennis over preferenties van en relaties tussen spelers op de grondmarkt moeten verzameld, vastgelegd en gedefinieerd worden. Interacties tussen agents onderling en humn omgeving moeten worden gedefinieerd en gesimuleerd waarbij onder andere gebruik wordt gemaakt van technieken uit de besliskunde en geo-informatiekunde.

Reflectie

Het gebruik van de MAS en CA architectuur lijkt een sterke troef voor het vervaardigen van simulatiemodellen voor complexe ruimtelijke processen. Het gedistribueerde en autonome karakter van de agents maakt het relatief eenvoudig processen

ling van data. De *bottom-up* benadering van *agent-based* modellen vereist een meer expliciete definitie van processen op lokaal en individueel niveau. Bij het bouwen van agent-based modellen hebben de informatici relatief de eenvoudigste taak. De grootste uitdaging ligt in definiëren en formaliseren van de processen op het gewenste lage schaalniveau. Inzet van zowel gamma als beta onderzoekers is hierbij onontbeerlijk!

Literatuur

Couclelis, H., 1985. Cellular Worlds a framework for modelling micro-macro dynamics. Environment and Planning A, 1985 volume 17: pp 585-596.

Deadman, P., Gimblett R.H., 1994. The Role of Goal-Oriented Autonomous Agents in Modelling People-Environment Interactions in Forest Recreation. Mathematical and Computer modelling, 20 no. 8.

Ferrand, N., 1996. Modelling and Supporting Multi-Actor Spatial Planning Using Multi-Agents Systems. 3d National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) Conference on GIS and Environmental Modelling Santa Fe.

Gimblett, H. R., R. M. and Itami and D. Durnota., 1996. Some Practical Issues in Designing and Calibrating Artificial Human-Creator Agents in GIS-based Simulated Worlds. Workshop on Comparing Reactive (ALife-ish) and Intentional Agents. Complexity International, 3.

Sanders, L. and Pumain, D. and Mathian, H., 1997. SIMPOP: a multiagent system for the study of urbanism. Environment and Planning B.