

SIMULATIE

D.L. Kettenis

In dit artikel wordt het begrip simulatie beknopt geïntroduceerd als service aan de lezer die met de techniek minder bekend is. Aan de orde komen zowel de continue als de discrete simulatie en de technieken die daarbij van belang zijn. Er wordt een overzicht gegeven van de gebieden waarin simulatie op dit moment een rol speelt bij het onderzoek. Het valideren van een model is van het grootste belang, iets dat niet iedere onderzoeker in voldoende mate beseft. Mits met verstand toegepast, is simulatie een succesvol gereedschap gebleken in vele toepassingsgebieden, ook buiten het landbouwkundig onderzoek.

Inleiding

Een onderzoeker geconfronteerd met een probleem zal in het algemeen proberen door middel van het doen van experimenten te weten zien te komen hoe het probleem opgelost kan worden. De experimenten worden in het algemeen uitgevoerd met het systeem zelf, maar soms is dat niet mogelijk, of zal men uit praktische overwegingen een alternatief zoeken. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld de invloed van een meststof op de opbrengst van een plant. Als het experiment wordt gedaan met de werkelijke plant dan zal de tijdschaal waarop de effecten meetbaar zijn te groot zijn om het onderzoek snel te laten verlopen. Simulatie kan dan een alternatief zijn. Experimenteren met een model komt daarbij in de plaats van experimenteren met het werkelijke systeem. Simulatie kan ook worden toegepast als het experimenteren met het systeem bijvoorbeeld te gevaarlijk of te kostbaar is.

Er zijn diverse definities te geven van simulatie. Een van de meest gehanteerde definities is ontleend aan Shannon (1975):

Simulatie is het vervaardigen van een model van een werkelijk systeem en experimenteren met dit model met als doel:

- het gedrag van het systeem te leren begrijpen;
- het ontwikkelen van een strategie voor het optimaal werken met het systeem;
- training van bijvoorbeeld bedieningspersoneel.

een systeem kan van alles zijn, zal in het algemeen in de werkelijkheid bestaan of ook kunnen bestaan. Een model is een afbeelding van een systeem. Er bestaat een groot aantal soorten modellen, waaronder begrepen:

• Schaal model

Model op ware grootte of een schaalmodel. Denk maar aan windtunnelproeven ter bepaling van de stroomlijn van een auto.

• Analogie model

Er wordt dan gezocht naar een fysisch systeem dat vergelijkbare verschijnselen vertoont als het te onderzoeken systeem. Een voorbeeld hiervan is het elektrisch analogon dat in de dertiger jaren door de Heidemij ontwikkeld is ten dienste van drainage. Een ander voorbeeld is het wateranalogon dat in de vijftiger jaren onder leiding van prof. Tinbergen gemaakt is. Dit model werd gebruikt om macroeconomische ontwikkelingen te bepalen. Aan de Landbouwuniversiteit heeft men een analogie model ontwikkeld om het afvoeren van neerslag te berekenen.

• Computer model

Hierbij wordt op één of andere manier het gedrag van het systeem beschreven door instructie aan een computer.

In het vervolg zal alleen nog maar over computer modellen gesproken worden.

Binnen en buiten het landbouwkundig onderzoek wordt simulatie al lang toegepast. Onderwerpen die bestudeerd worden door middel van simulatie zijn onder andere:

- ontwerpen van regelsystemen, bijvoorbeeld voor het bepalen van het klimaat in de kas;
- ontwerpen en verbeteren van bijvoorbeeld landbouwwerktuigen;
- gewasgroei modellen, waarmee de vakgroep Theoretische Productie Ecologie en het CABO naam gemaakt hebben over de gehele wereld;
- transport van water, voedingsstoffen en verontreinigingen in de bodem;
- transport van sporen, vervuiling in de lucht;
- bedrijfsorganisatie, zoals voorraadplanning, optimaal verzagen van boomstammen;
- bestrijding van plagen en ziekten;
- ontwerp van informatiesystemen;
- organisatie van produktiestraten, zoals een slachtlijn;
- ecologie van de wereld door de Club van Rome.

Modelbegrip

Het woord model wordt in veel toepassingen gebruikt, bijvoorbeeld in de psychologie en in de gedragswetenschappen, maar ook bijvoorbeeld in de wereld van de mode. Zeker als de betekenis van het woord model ruim opgevat wordt, zijn de begrippen verwant. In het kader van dit artikel wordt onder een model verstaan *een aantal instructies die de verandering van een systeem bepalen, mogelijk onder invloed van omgevingsfactoren*. In bepaalde wiskundige toepassingen gebruikt men het woord model ook voor een formule, die bijvoorbeeld een aantal metingen moet samenvatten. In dit geschetste voorbeeld ontbreekt het dynamisch aspect, of ontbreekt het aspect dat de veranderingen een gevolg zijn van invloeden van buitenaf. Alhoewel dit soort modellen een rol kunnen spelen in een dynamisch simulatiemodel, worden ze in het kader van si-

mulatie in het algemeen niet beschouwd als model. Een simulatiemodel moet ook gebaseerd zijn op kennis van de processen die een rol spelen in het systeem. Die kennis kan in eerste instantie vrij gebrekkig zijn; zoals later besproken zal worden, kan het experimenteren met een model bijdragen tot kennisvermeerdering over het systeem onder studie.

Het is niet altijd eenvoudig een model te maken van een systeem. Of het lukt een model te vervaardigen, dat in voldoende mate betrouwbare resultaten oplevert, is met name afhankelijk van het kennisniveau. In technische systemen, bijvoorbeeld een mechanisch systeem, zal dat meestal wel lukken, omdat het kennisniveau van dit vakgebied voldoende is. Bij andere disciplines kan dat anders liggen. In biologische systemen, bijvoorbeeld, weet men (nog) niet volledig hoe de zaak in elkaar zit. Bij sociale systemen en in de neurologie is nog veel onbegrepen. Hierbij treedt meestal ook nog een probleem op doordat de grootheden waarmee bijvoorbeeld in de beschrijving van maatschappelijke processen gewerkt wordt, niet echt goed kwantificeerbaar zijn. Luchtverontreiniging kan worden uitgedrukt in kwantificeerbare getallen, de invloed van de luchtverontreiniging op bijvoorbeeld het milieu is moeilijker te kwantificeren.

Van een systeem bestaat in feite slechts één model dat onder alle omstandigheden resultaten oplevert die gelijk zijn aan die van het werkelijke systeem. Dit model wordt vaak het basismodel genoemd. Men zal niet altijd in staat zijn het basismodel te bepalen. Ook zal men vaak tevreden zijn met vereenvoudigde modellen, omdat bijvoorbeeld het berekenen van de reacties van het model soms zeer lang kan duren. Indien het vereenvoudigde model voldoende nauwkeurigheid heeft, is daar niets op tegen. Het is alleen wel van belang te beseffen dat een vereenvoudigd model slechts in een beperkt aantal omstandigheden bruikbaar is. Een gelineariseerd model bijvoorbeeld, kan heel goed toegepast worden om een regelaar af te stellen, als het doel van de regelaar is dat het systeem slechts kleine afwijkingen van een evenwichtssituatie ondergaat.

De modellen die in het gebied van kunstmatige intelligentie in navolging van Kuipers (1986) bekend staan onder de verzamelnaam *kwalitatieve modellen*, zijn ook op te vatten als vereenvoudigde modellen. In de kwalitatieve modellen beschrijft men bijvoorbeeld een bewegende bal door slechts 3 toestanden, te weten: omhoog gaand, omlaag gaand en de toestand daartussen. De ratio achter deze modellen is, dat men denkt dat de mens ook op deze manier redeneert, gebruik makend van ervaringsfeiten. Een alternatief model voor deze situatie kan worden gemaakt uitgaande van de wetten van Newton, het kwalitatieve model kan gezien worden als een vereenvoudiging van dit model.

Zoals in de vorige paragraaf reeds is geïllustreerd wordt bij bewegingen van massa's meestal uitgegaan van de wetten van Newton. Sinds de relativiteitstheorie is bekend dat de wetten van Newton slechts beperkt geldig zijn. Desondanks worden de wetten van Newton nog steeds toegepast, omdat die onder aardse omstandigheden resultaten opleveren die voldoende nauwkeurig zijn.

Computer modellen

Bij een computer model worden op één of andere manier de veranderingen in de toestand van het model beschreven. Hiervoor zijn een groot aantal mogelijkheden. In het algemeen deelt men de modellen in twee categorieën in:

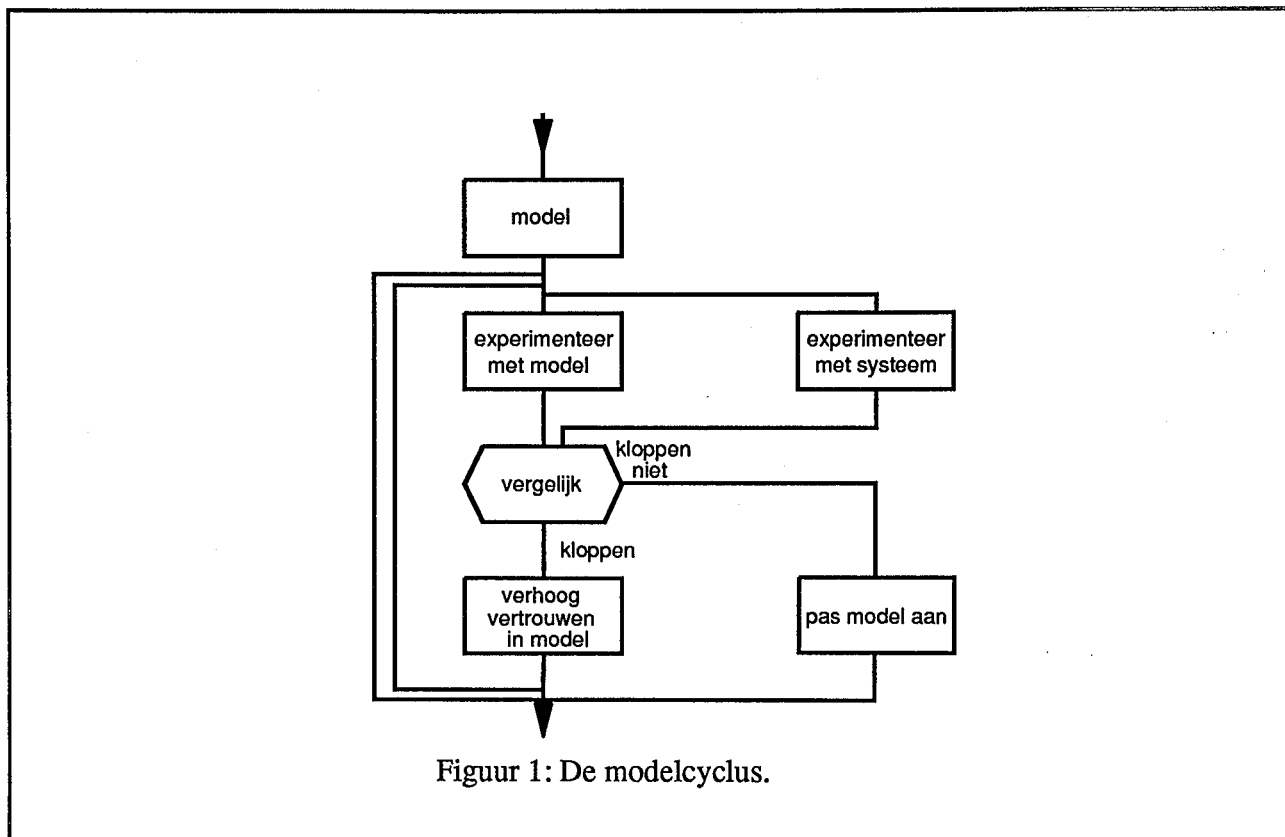
- *Continue modellen:*
Wiskundige vergelijkingen, zoals differentiaal of gewone vergelijkingen.
- *Discrete modellen:*
De toestandsveranderingen worden stapsgewijs beschreven. Discrete gebeurtenissen beschrijving, zoals next event of proces interactie.

SOORT MODEL	continu	discreet
aard	deterministisch	stochastisch
toepassingsgebied	techniek, biologie, economie	bedrijfskundig, OR, economie
talen	CSMP, COSMOS	SIMULA, COSMOS
wiskundige kennis	oplossen differentiaalvergelijkingen (numeriek)	statistiek

Tabel 1: Overzicht simulatieveld

Wanneer een model een beperkt aantal discrete toestandsveranderingen ondergaat, terwijl in het algemeen het gedrag continu is, spreekt men over continue modellen. Continue modellen worden voornamelijk toegepast in de techniek en in de biologie. De continue simulatie methodologie is ontstaan vanuit de regeltechnische toepassingen, maar wordt tegenwoordig veel ruimer toegepast. De differentiaalvergelijkingen worden opgelost door middel van numerieke integratie algoritmen, waarmee de numerieke wiskunde haar intrede doet. Met behulp van de voor continue modellen geschikte gereedschappen gaat dat meestal redelijk goed zonder al te veel specifieke kennis. Het is overigens wel aan te bevelen de kennis uit de numerieke wiskunde betreffende het oplossen van differentiaalvergelijkingen in huis te hebben. Zonder enige kennis zal het namelijk onmogelijk zijn probleemgevallen te herkennen. Tot de probleemgevallen behoren de afhandeling van mogelijke discontinuïteiten en stijfheid. Stijfheid kan optreden in systemen waarin de reactiesnelheden van de diverse differentiaalvergelijkingen veel van elkaar verschillen. Een voorbeeld van zo'n systeem is een schip, waarbij de reacties van het roer sneller zijn dan de reactie van het schip. Ook in de chemie treedt dit verschijnsel op daar waar de snelheid van de omzettingen verschilt. De numerieke analyse heeft een groot aantal algoritmen opgeleverd voor het oplossen van differentiaalvergelijkingen. Het kiezen van het juiste algoritme en daarenboven een goede keuze van de intervallen waarop de vergelijking berekend moet worden (stapgrootte) zodat een stabiele oplossing verkregen wordt, is niet iets dat lichtvaardig gedaan kan worden.

Bij discrete modellen verandert de toestand alleen op bepaalde momenten en de veranderingen gaan ook schoksgewijs. Het is gebruikelijk bij discrete modellen, dat bepaalde verschijnselen vereenvoudigd worden tot een stochastische variabele, dat is een variabele waarvan de



Figuur 1: De modelcyclus.

waarde op toeval berust. Een voorbeeld daarvan is de tijd die verloopt tussen twee aankomsten van klanten bij een winkel. De waarde van een stochastische variabele wordt getrokken uit een bepaalde verdelingsfunctie, bijvoorbeeld een negatief exponentiële verdeling. Echte stochastische getallen trekken met behulp van de computer is vrijwel onmogelijk. Dat kan alleen bij benadering gebeuren. Doordat de modellen stochastiek bevatten, is het van belang de experimenten herhaald uit te voeren. Daar het hierbij gaat om zeer veel runs en het maken van de runs geld en tijd kost, is het verstandig het experimenteel ontwerp heel zorgvuldig vast te stellen. Mede daardoor is kennis van de statistiek zeer belangrijk bij het uitvoeren van experimenten met dit soort modellen. Discrete modellen worden voornamelijk toegepast bij bestudering van problemen in bedrijfsorganisaties en bij operationele analyse.

In het voorgaande is een indeling gegeven in welke toepassingen welk model moet worden toegepast. Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden, dat het duidelijk is dat men een continu model moet gebruiken bij groeimodellen en een discreet model als men een model van een bedrijf moet maken. Het tegendeel kan waar zijn. Dat wordt geïllustreerd met behulp van modellen die toegepast kunnen worden bij het bestuderen van de afhandeling van het verkeer bij een knooppunt. Als men kan volstaan met een globale beschrijving van de verkeersstromen dan leidt dat tot een continu model dat bestaat uit een partiële differentiaalvergelijking. Als er iets meer detail nodig is dan kan men individuele verkeersdeelnemers onderscheiden, die zich van verkeerslicht naar verkeerslicht begeven, al of niet wachtend voor de verkeerslichten die de verkeersdeelnemer op zijn weg ontmoet. Dit leidt tot een volledig dis-

creet model. Als de dynamica van de verschillende deelnemers van belang gaat worden, dan leidt dat naar een gecombineerd continu/discreet model. Dit voorbeeld illustreert duidelijk dat het mogelijk is voor één systeem meerdere modellen te maken en dat welk soort model gemaakt moet worden, wordt bepaald door het detail in het model dat nodig is voor het beantwoorden van de vragen.

Validatie

Een van de meest belangrijke aspecten aan een simulatiestudie is het vaststellen of het model gegeven de vragen die men daarmee wil beantwoorden wel valide is. Een element van het validatie proces is de reactie van het model en het systeem op een signaal van buitenaf met elkaar te vergelijken. Het valideren van een model is eigenlijk niet mogelijk, want in wezen is een model een hypothese. Van een hypothese kan nooit bewezen worden, dat deze juist is. Het is alleen mogelijk te bewijzen dat de hypothese niet juist is. Men houdt de hypothese in het algemeen voor waar, zolang niet is aangetoond dat het tegendeel waar is. Validatie is daarom zo van belang, omdat men heel graag het model wil gebruiken onder andere omstandigheden dan waaronder het model is vergeleken met het echte systeem. Hoe moeilijk ook, het valideren van een model is van het grootste belang. Zoals aangetoond is, blijft er altijd een zekere mate van onzekerheid, maar in die gebieden waarvan men al zeer goed weet hoe de systemen in elkaar zitten, is men meestal toch in staat redelijk zeker vast te stellen dat een model valide is. In de vliegtuigindustrie, bijvoorbeeld, wordt tegenwoordig het luchtvaardigheidsbewijs afgegeven op basis van tests die voor meer dan de helft worden uitgevoerd op grond van simulatie studies. In de gebieden waar het onderzoek nog niet zover gevorderd is,

zullen modelresultaten met de nodige voorzichtigheid gehanteerd moeten worden.

Bij de groei van mensen, bijvoorbeeld, wordt veelal uitgegaan van exponentiële groei. Dit soort modellen zijn van belang bij het plannen van de bouw van huizen, scholen en ziekenhuizen. In een exponentieel groeiemodel gaat men er vanuit dat de groei van het aantal mensen evenredig is met het aantal mensen dat op dat moment leeft. Indien men het exponentiële groeiemodel niet valideert, vooral op de langere termijn, dan zal men vermoedelijk teveel van dit soort voorzieningen bouwen, want een exponentieel groeiemodel blijkt bij een zorgvuldige validatie slechts geldig voor een zeer korte termijn. Bij een nadere analyse blijkt dat de groeisnelheid op de lange termijn afneemt als gevolg van bijvoorbeeld ruimte problemen. Daarom past men in de praktijk een ander model toe dat bekend staat onder de naam logistische groei. Vooral modellen die een voorspelling moeten opleveren zijn in het algemeen moeilijk te valideren, iets dat onder andere ook de Club van Rome heeft ondervonden.

Het experimenteren met modellen is overigens wel een middel om meer kennis te vergaren over het werkelijke systeem. De simulatie-omgeving maakt het namelijk relatief eenvoudig te experimenteren met het systeem en het model en de resultaten te vergelijken. Zijn de resultaten met elkaar in overeenstemming, dan kan het vertrouwen in het model verhoogd worden en kan men een nieuw experiment bedenken. Als de resultaten niet met elkaar in overeenstemming zijn, dan is dat een reden om na te denken wat daarvan de oorzaak kan zijn en dus om het werkelijke systeem weer te bestuderen. Een aanpassing van het model is het gevolg en het experiment zal herhaald moeten worden. De hierboven geschetste procedure wordt de "model-cyclus" genoemd. Zie figuur 1.

Soms weet men in voldoende mate wat de modelvergelijkingen zijn, maar kent men een aantal parameterwaarden niet. Als die parameters niet uit experimenten bepaald kunnen worden, dan blijft er niet veel anders over dan de parameters te bepalen met behulp van experimenten met het model. Door nu de resultaten van die experimenten met het model te vergelijken met dezelfde experimenten met

het werkelijke systeem, kan men een redelijke schatting maken van de parameterwaarden. Deze procedure moet echter met de nodige voorzichtigheid toegepast worden. Een aantal fouten wordt namelijk in de gevonden parameters gecompenseerd. Hiertoe behoren modelonvolkomenheden en rekenfouten als gevolg van de gebruikte oplossingstechnieken. Het aantal onafhankelijke metingen zal ook groter moeten zijn dan het aantal parameters dat op deze wijze bepaald moet worden.

Conclusie

Simulatie werd in het verleden veel gebruikt en wordt steeds vaker gebruikt. Door met name geschikte gereedschappen zoals speciale simulatietalen te gebruiken, is het zelfs zo eenvoudig dat men het ook toepast onder omstandigheden die voor simulatie niet geschikt zijn. Dit beeld wordt goed weergegeven in het volgende anonieme citaat:

"Science is generally conceived of as a dialogue between theory and experiment, but in recent years a third party has joined the conversation. The intruder is computer simulation and it proposes nothing less than a new method of discovering truth - a way of understanding the world by re-inventing it. In the 1980s this third way of doing science has penetrated most areas of research ..."

De constatering is juist. De simulatiemethodologie heeft tot doel de wereld te herontdekken, om die nieuwe kennis toe te passen ten dienste van de mensheid en bijvoorbeeld het milieu. Met verstand toegepast is reeds overduidelijk bewezen dat simulatie een te waardenen bijdrage kan leveren aan het onderzoek.

Literatuur

Kuipers, B., 1986, *Qualitative Simulation*, in: *Artificial Intelligence* 29, 1986, p. 289-238.

Shannon, 1975, R.E., *Systems Simulation, the Art and Science*, Prentice Hall. □

Ir. D.L. Kettenis is Universitair Hoofddocent bij de vakgroep Informatica van de Landbouwniversiteit, Dreijenplein 2, 6703 HB te Wageningen, tel. 08370 - 83773.