



Begrensde rationaliteit in model

Auteur(s):

Frenken, K.

Jager, W.

De eerste auteur is als docent-onderzoeker verbonden aan de disciplinegroep Economische Geografie van de Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht. De tweede auteur is als universitair docent verbonden aan het cluster Marketing van de Faculteit Bedrijfskunde, Rijksuniversiteit Groningen.

Verschenen in:

ESB, 87e jaargang, nr. 4362, pagina 412, 24 mei 2002

Rubriek:**Trefwoord(en):**

technologie

De nieuwste theorie van complexe evolutionaire systemen maakt het mogelijk om begrensde rationaliteit en technologische vooruitgang in een evolutionair model te formaliseren.

Met het begrip begrensde rationaliteit (bounded rationality) duidde Herbert Simon aan dat de mens niet altijd een optimale keuze kan maken. Het heeft lang geduurd voordat het begrip zijn intrede deed in formele modellen. Dankzij recente ontwikkelingen in de theorie van complexe evolutionaire systemen kan begrensde rationaliteit op een nieuwe wijze worden geformaliseerd.

Economen veronderstellen doorgaans dat economische agenten in staat zijn keuzeproblemen te lijf te gaan met een algoritme dat de optimale keuze genereert. Dit uitgangspunt van de economische theorie heeft een ongekeerde en brede impuls gegeven aan de rationele keuzetheorie. Kernleerstuk hierbij is de neoklassieke theorie van productie en consumptie. Simon heeft erop gewezen dat mensen en organisaties in de praktijk zelden optimaliseren, maar begrensd zijn in hun rationaliteit¹. In veel gevallen hebben mensen niet de tijd en cognitieve capaciteit om alle relevante informatie te verzamelen en te verwerken.

Zoekkosten en zoekbaten

Zowel met rationele keuzetheorie als met alternatieve modellen kan begrensde rationaliteit beschreven worden. Binnen de rationele keuzetheorie kan begrensde rationaliteit opgevat worden als een optimaliseringsprobleem waarbij de zoekkosten verdisconteerd worden. De zoekkosten kunnen bijvoorbeeld constant toenemen, terwijl de zoekbaten afnemende meeropbrengsten kennen. Het is dan rationeel te stoppen met zoeken wanneer de marginale zoekkosten gelijk worden aan de marginale baten.

Een groot scala van keuzeproblemen kent evenwel een 'complexe' relatie tussen zoekkosten en zoekbaten. In dat geval kunnen mensen niet langer optimaliseren, aangezien zij de relatie tussen kosten en baten niet kennen. Een favoriet voorbeeld van Simon is het schaakspel. Voor spelers en voor computers is er geen algoritme te bedenken dat de optimale tijdsbesteding per zet uitrekent. Een ander voorbeeld van dergelijke complexe problemen is de optimale omvang van een onderzoeks- en ontwikkelingsbudget dat een bedrijf besteedt aan het ontwerpen van een nieuwe technologie.

In deze gevallen maken mensen meestal gebruik van heuristieken (vuistregels). Voorbeelden van heuristieken zijn zoeken en proberen (trial and error), het imiteren van succesvol gedrag van anderen, het selecteren van de keuzeoptie die het hoogste scoort op de belangrijkste eigenschap of het herhalen van gedrag dat in het verleden ook tot tevredenstellende uitkomsten leidde. Dergelijke heuristieken kunnen worden opgevat als een voorbeeld van procedurele rationaliteit. Het zijn besluitvormingsprocedures die het beslissingsproces vereenvoudigen en daarmee de zoekkosten verminderen, terwijl de uitkomsten van de beslissingen doorgaans op een aanvaardbaar niveau blijven².

Heuristiek kiezen

De vraag is nu hoe mensen beslissen welke heuristiek te gebruiken. Als mensen een beslissing zouden moeten nemen welke heuristiek te gebruiken, vervallen we in een eindeloos patroon van beslissen over beslissen. Kennelijk doen mensen dat in de praktijk toch handiger. Dit wordt duidelijk uit de betekenis van het woord heuristiek, dat afkomstig is van het Griekse heuriskein, hetgeen staat voor leren door te proberen. Dit staat in contrast tot het volgen van een vastomlijnd algoritme om een probleem op te lossen.

De psychologie geeft inzicht in de condities waaronder bepaalde heuristieken vaker gebruikt worden. Over het algemeen zal een beslisser minder tijd investeren in een keuzeprobleem naarmate hij of zij minder betrokken is, het probleem bekender is, er meer tijdsdruk is en de beslisser over minder cognitieve vaardigheden beschikt. Een beslisser zal daarbij eerder letten op het gedrag van anderen naarmate hij of zij onzekerder is, het keuzeprobleem sociaal gezien meer relevant is en het gedrag meer publiekelijk zichtbaar is.

Hoewel begrensde rationaliteit in hoge mate overeenkomt met 'de praktijk' zoals deze in psychologische theorieën is verwoord, heeft dit begrippenapparaat slechts beperkt ingang gevonden in de economische wetenschap³. Dit is waarschijnlijk te wijten aan het feit dat deze

ideeën lastig geïmplementeerd kunnen worden in een eenvoudig formeel model. In de laatste jaren is hierin verandering gekomen door de vooruitgang die is geboekt op het terrein van complexe systemen in de natuurwetenschappen. Deze inzichten vinden nu hun toepassing in de economie en bedrijfskunde. In het bijzonder biedt het nk-model van bioloog Stuart Kauffman interessante mogelijkheden om begrensde rationaliteit te modelleren ⁴.

Het NK-model

Het NK-model modelleert een complex keuzeprobleem als een combinatorisch probleem. Een typisch voorbeeld is het ontwerpen van een product dat bestaat uit meerdere onderling afhankelijke componenten. Bij het ontwerpen van een nieuw vliegtuig, bijvoorbeeld, worden veel componenten gecombineerd, zoals het type motor, het type vleugels en het type landingsgestel, zonder dat de functionele afhankelijkheden ertussen precies bekend zijn.

In het nk-model staat N voor het aantal dimensies. Hierbij kan worden gedacht aan de componenten in een product of de genen in een organisme. Elke dimensie is in zijn functioneren afhankelijk van keuzes in K andere dimensies. De minimale waarde van K is nul wanneer het functioneren van elke dimensie geheel onafhankelijk is van andere dimensies. De maximale waarde van K is N-1 wanneer elke dimensie afhankelijk is van alle andere dimensies. In het model is K dus een parameter van complexiteit.

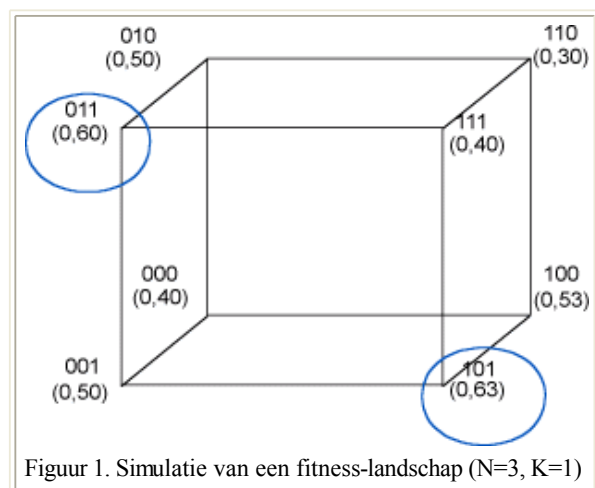
Elke dimensie kan een aantal toestanden aannemen, waarbij gemakshalve wordt verondersteld dat dit aantal twee is. Gelijk een genetische code kan een elke combinatie van toestanden worden weergegeven als een combinatie van nullen en enen. Voor een systeem van grootte N zijn dus twee tot de macht N mogelijke combinaties tussen nullen en enen. De mogelijkhedenruimte neemt exponentieel toe met het aantal dimensies. Vanwege de vele dimensies waarin een keuze gemaakt moet worden, kenmerken economische problemen zich typisch door enorm grote mogelijkhedenruimten. Zo heeft Gary Bradshaw bijvoorbeeld geschat dat de gebroeders Wright geconfronteerd werden met dertien miljoen mogelijke vliegtuigontwerpen ⁵.

Complex probleem

We nemen hier ter simplificatie als voorbeeld een complex probleem dat beschreven wordt door slechts drie dimensies met elk twee mogelijke toestanden (N=3). We nemen het geval dat elke dimensie afhankelijk is van één andere dimensie (K=1). Vervolgen we het voorbeeld van een vliegtuigontwerp, dan nemen we aan dat het functioneren van de motor afhankelijk is van het gekozen type vleugels, het functioneren van de vleugels afhankelijk is van het gekozen type motor en het functioneren van het landingsgestel, afhankelijk van het gekozen type motor.

Het functioneren van elke dimensie wordt uitgedrukt in een fitnesswaarde tussen 0,00 en 1,00. Dit cijfer laten we telkens volgens een toevalsverdeling veranderen wanneer er een relevante 'mutatie' optreedt. Het functioneren van de motor w1 verandert bijvoorbeeld telkens als het type motor zelf muteert of als het type vleugels (de andere dimensie) muteert. De fitness, bijvoorbeeld de productkwaliteit, van elke combinatie wordt uitgedrukt door de variabele W die het gemiddelde is van de fitnesswaarden van de motor w1, de vleugels w2 en het landingsgestel w3.

In [figuur 1 tabel 1](#) is een simulatie weergegeven van het resulterende fitness-landschap (fitness landscape) van dit complexe systeem. In deze simulatie zijn de omcirkelde combinaties 011 en 101 lokale optima. Deze combinaties kunnen niet worden verbeterd door een mutatie in één dimensie, oftewel een verplaatsing over een ribbe van de kubus. Volgens de metafoor van een fitness-landschap zijn lokale optima dus de bergtoppen, terwijl de tussengelegen combinaties valleien representeren.



Tabel 1. Simulatie van een fitness-landschap (N=3, K=1)

	w1	w2	w3	w
000	0,7	0,2	0,3	0,40
001	0,7	0,2	0,6	0,50
010	0,9	0,3	0,3	0,50
011	0,9	0,3	0,6	0,60
100	0,8	0,7	0,1	0,53
101	0,8	0,7	0,4	0,63
110	0,3	0,5	0,1	0,30

111	0,3	0,5	0,4	0,40

In de context van natuurlijke selectie in biologische evolutie, waar mutatie slechts in één gen tegelijk optreedt, zijn de lokale optima evolutionaire eindpunten van ontwikkeling. Het optimum waar natuurlijk selectie zal uitkomen hangt enkel af van de toevallige volgorde waarin mutaties optreden (padafhankelijkheid). Kauffman heeft hiermee willen laten zien dat natuurlijke selectie in de biologie niet per se tot optimale uitkomsten leidt.

Optimale zoekafstand

In het nk-model kan ook menselijk zoekgedrag door zoeken en proberen worden gemodelleerd. Wanneer een mutatie een verhoging van de fitness W oplevert, dan wordt de mutatie geaccepteerd en zoekt men verder vanaf de nieuw gevonden combinatie.

De bekendste vorm van zoeken en proberen staat bekend als lokaal zoekgedrag en kenmerkt zich door mutatie in één enkele dimensie analoog aan biologische evolutie. Lokaal zoeken zal dus altijd uitkomen in een lokaal optimum. Wanneer bijvoorbeeld een agent start met zoeken vanuit 110 en vervolgens een mutatie doorvoert in de eerste dimensie, schuift de agent langs de x -as van 110 naar 010. De verbetering in fitness W betekent dat de agent de verandering accepteert en vanuit 010 verder gaat zoeken. Vanaf het nieuwe punt leidt alleen een mutatie in de derde dimensie nog tot een verbetering van W om zo in de suboptimale combinatie 011 uit te komen. Volgens deze zoekprocedure is een agent dus in staat geweest vooruitgang te boeken, maar het optimum, hier 101, is niet gevonden. Had de agent in het begin van het zoekproces een andere keuze gemaakt, welke even rationeel was, dan had het optimum wel gevonden kunnen komen. Lokaal zoeken is dus in sterke mate padafhankelijk.

Agenten zijn evenwel niet gedwongen een lokale zoekstrategie te volgen zoals biologische organismen dat doen. Immers, niets staat agenten in de weg om mutaties in meerdere dimensies tegelijk door te voeren om zo te 'springen' van een top in het landschap naar een hoger gelegen top. Verschillende zoekstrategieën kunnen dan worden geformuleerd aan de hand van het begrip zoekafstand dat is gedefinieerd als het maximale aantal dimensies waarin simultaan een mutatie kan optreden.

Minimaliseren

De reeds besproken strategie van lokaal zoeken kenmerkt zich dus door een minimale zoekafstand van 1. Wanneer een agent mutaties in alle dimensies tegelijk toelaat, wordt een maximale zoekafstand van N gehanteerd. In dat geval zal de optimale combinatie altijd gevonden worden, ongeacht het aantal dimensies van een probleem. Immers, het optimum kan vanaf elke combinatie bereikt worden als de juiste mutaties in dimensies maar simultaan worden doorgevoerd. Naast strategieën met minimale en maximale zoekafstand, kan er ook gezocht worden met een tussenliggende zoekafstand. In figuur 1 zou bijvoorbeeld een zoekstrategie met afstand twee volstaan om de optimale combinatie 101 te bereiken, omdat deze combinatie de enige is die niet verbeterd kan worden door twee simultane mutaties.

De zoekafstand die de beslisser hanteert, is dus van invloed op zowel de zoekkosten als de zoekbaten. Wanneer zoekkosten te verwaarlozen zijn, zal men simpelweg een maximale zoekafstand hanteren om er zeker van te zijn dat de optimale uitkomst wordt gevonden. Wanneer zoekkosten echter relatief hoog zijn, dan is het efficiënter om te bezuinigen op de zoekafstand en dus genoeg nemen met een lokaal optimum. De optimale strategie kan evenwel niet ex ante worden afgeleid aangezien de precieze vorm van het landschap vooraf onbekend is ⁶.

De heuristiek die mensen zullen gebruiken is dus afhankelijk van de inschatting van de belangrijkheid van de baten, die wordt bepaald door hun mate van betrokkenheid. Bijvoorbeeld, naarmate mensen meer geïnvolveerd zijn, zullen ze eerder de verschillende baten ten opzichte van elkaar wegen (compensatoire heuristieken), hetgeen opgevat kan worden als een toename van de zoekafstand, in plaats van hun keuze te baseren op de één of twee belangrijkste baten (non-compensatoire heuristieken).

Vooruitblik

Het algemene karakter van het nk-model maakt het mogelijk een groot aantal heuristieken te simuleren in een zelfde model. Zo heeft Rivkin onlangs de mogelijkheid gesimuleerd dat agenten succesvolle concurrenten kunnen imiteren (een voorbeeld van het gebruik van sociale informatie) ⁷. In dat geval blijkt dat een kopieerfout in één enkele dimensie desastreuze gevolgen kan hebben voor de waarde van fitness W vanwege de onderlinge afhankelijkheid van dimensies. Hieruit kan worden afgeleid dat imitatie minder succesvol zal zijn naarmate de complexiteit van het geïmiteerde toeneemt.

Een andere onderzoekslijn is gestart door Kauffman en Macready rond de vraag op welke wijze het zoekproces gedecentraliseerd kan worden ⁸. In dat geval zijn N agenten elk verantwoordelijk voor de toestand van één dimensie. Zij accepteren een mutatie op grond van hun fitness-score per dimensie en niet langer aan de hand van de collectieve fitness W . Het zoekproces zal dan pas stoppen wanneer een Nash-evenwicht is bereikt, omdat alleen in die situatie elk individu geen mogelijkheid meer heeft zijn eigen fitness te verhogen. Gedecentraliseerde processen zullen daarom doorgaans veel langer duren dan gecentraliseerd zoeken, maar ook betere uitkomsten genereren.

Een belangrijke vraag is hoe de uitkomsten van dergelijke formele modellen empirisch gevalideerd kunnen worden. Zoals is gebleken hangt het succes van zoekstrategieën af van de dimensionaliteit (N) en de complexiteit (K) van een combinatorisch probleem aan de ene kant, en de zoekkosten aan de andere kant. Empirisch onderzoek zal zich dus moeten richten op het verklaren van verschillen in heuristisch zoekgedrag door deze te relateren aan indicatoren van dimensionaliteit, complexiteit en zoekkosten

2 W. Jager, Modeling consumer behaviour, dissertatie, Rijksuniversiteit Groningen, <http://docserver.ub.rug.nl/eldoc/dis/ppsw/w.jager/>, 2000.

3 Vergelijk W.A. Brock en C.H. Hommes, Rational route to randomness, *Econometrica*, jrg. 65, 1997, blz. 1059-1095.

4 S.A. Kauffman, *Self-organization and selection*, Oxford University Press, Oxford en New York, 1993; H.A. Simon, persoonlijke correspondentie, 17 augustus 1999; K. Frenken, *Understanding product innovation using complex systems theory*, dissertatie, Universiteit van Amsterdam en University of Grenoble, 2001, <http://econ.geog.uu.nl/frenken.html>.

5 G. Bradshaw, The airplane and the logic of invention, in: R. Giere (red.) *Cognitive models of science*, University of Minnesota Press,

6 S.A. Kauffman, J. Lobo en W.G. Macready, Optimal search on a technology landscape, *Journal of Economic Behavior and Organization*, jrg. 43, 2000, blz. 141-166.

7 J.W. Rivkin, Imitation of complex strategies, *Management Science*, jrg. 46, 2000, blz. 824-844.

8 S.A. Kauffman en W.G. Macready, Technological evolution and adaptive organizations,