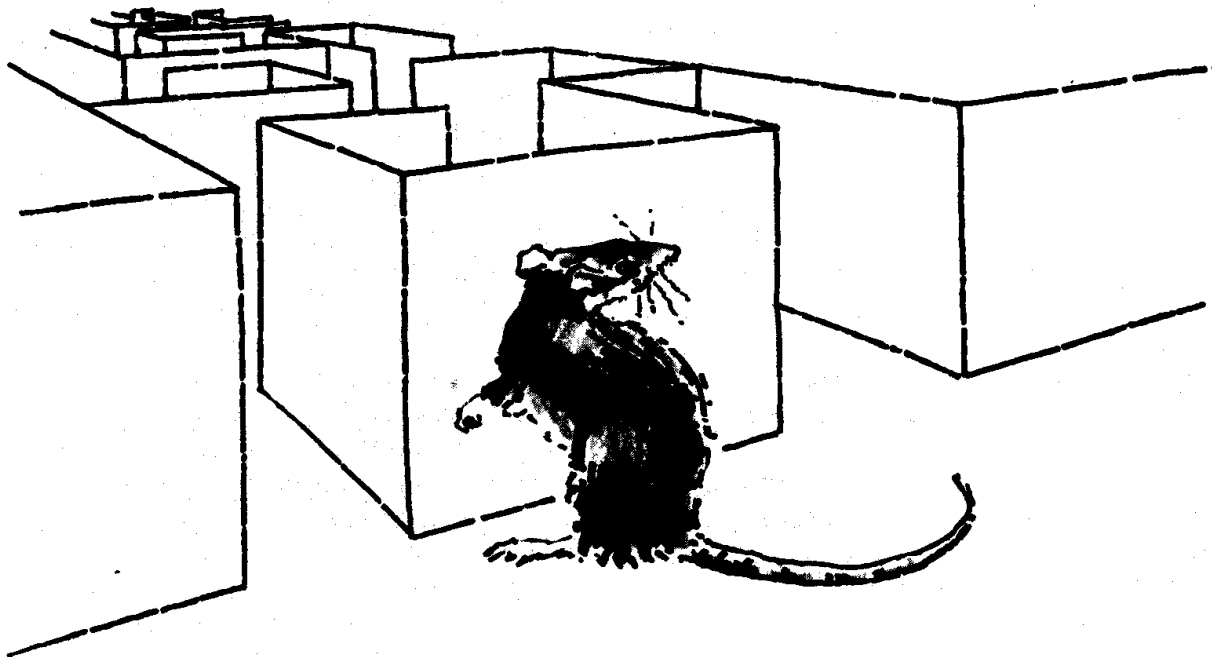


Het geheugen



Voor de ontwikkeling van bruikbare informatietechnologie is het van belang dat men de beschikking heeft over efficiënte geheugensystemen, dat wil zeggen systemen die grote hoeveelheden informatie zodanig kunnen opslaan dat gezochte of benodigde informatie gemakkelijk en snel teruggevonden kan worden. Systemen voor de opslag van informatie (geheugens) kunnen grofweg in twee categorieën ingedeeld worden: *associatieve* en *niet-associatieve* geheugens. Bij een associatief geheugen is de wijze van opslag afhankelijk van de 'inhoud' van de informatie. Bij een niet-associatief geheugen daarentegen wordt de informatie opgeslagen in de volgorde waarin deze het systeem binnenkomt. Zo zijn een magnetische band of een notitieboekje voorbeelden van een niet-associatief geheugen, en is het menselijk brein het voorbeeld bij uitstek van een associatief geheugen.

Het belangrijkste verschil tussen deze beide typen geheugens ligt in de wijze waarop men toegang kan krijgen tot de opgeslagen informatie. Bij een niet-associatief geheugen moet men om bepaalde informatie terug te vinden de plaats (het *adres*) kennen waar deze opgeslagen ligt. Men spreekt dan ook wel van een *plaats- of locatie-adresseerbaar* geheugen. Als het adres niet bekend is, zit er niets anders op dan alle geheugensporen één voor één na te zoeken, hetgeen uiterst inefficiënt is. Vele niet-associatieve geheugens maken dan ook op de één of andere manier gebruik van een index waarmee via sleutelwoorden het gezochte adres gevonden kan worden. Een associatief geheugen daarentegen is *inhoud-adresseerbaar*: via de inhoud van de vraag ('de kenmerken van de stimulus', zoals dat gewoonlijk in het psychologisch spraakgebruik genoemd wordt) krijgt men direct

toegang tot de gezochte informatie. De inhoud geeft als het ware het adres waar de informatie opgeslagen zou moeten liggen. Dit betekent niet dat het *retrieval*- (dat wil zeggen ophaal-)mechanisme niet specifiek gestimulus kan bijvoorbeeld niet specifiek genoeg zijn waardoor andere dan de gezochte informatie geactiveerd kan worden. Deze eigenschap is kenmerkend voor het verschil tussen associatieve geheugens zoals het menselijk brein en niet-associatieve geheugens zoals het geheugen van een computer. Door de associatieve eigenschap van het menselijk geheugen zijn we al in staat ons een bepaalde gebeurtenis of een bepaald item te herinneren wanneer we de beschikking hebben over slechts een gedeeltelijke beschrijving van de kenmerken van dat item of van de relaties van dat item met andere items. Het is duidelijk dat het een belangrijke vooruitgang zou zijn als we een computergeheugen zouden kunnen construeren dat ook volgens associatieve principes zou werken. Kennis over het functioneren van het menselijk geheugen kan aan dat onderzoek een belangrijke bijdrage leveren. Het is vanuit deze achtergrond dat ik in dit artikel enkele recente theoretische ontwikkelingen zal bespreken op het gebied van de cognitieve-geheugenpsychologie.

Geheugenprocessen

Ik zal eerst in het kort een zeer algemeen geformuleerd raamwerk voor geheugenprocessen schetsen, waardoor de verschillen en overeenkomsten tussen de te bespreken benaderingen duidelijker uit de verf zullen komen. De moderne cognitieve-geheugenpsychologie stelt zich tot doel geheugenverschijnselen te verklaren vanuit een analyse van informatieverwerkingsprocessen. Zij analyseert de mechanismen die een rol spelen bij de opslag, het onthouden en het herinneren of reproduceren van informatie. In de meest gebruikelijke visie (zie Raaijmakers, in druk) wordt een onderscheid gemaakt tussen wat genoemd wordt een *korte*- en een *lange-termijngeheugen*. Het korte-termijngeheugen (of *werkgeheugen*) wordt tegenwoordig ge-

definieerd als het *actieve* geheugen. Het bevat die informatie welke op een bepaald moment in geactiveerde toestand verkeert. Het lange-termijngeheugen is dan de verzameling van alle geheugenelementen die in een niet-geactiveerde, passieve toestand verkeren. Het belangrijkste verschil tussen de geactiveerde en de passieve toestand is dat informatie in de geactiveerde toestand direct beschikbaar is voor hogere-order-verwerkingsprocessen.

Het algemene idee is dat stimuli die het systeem (via de zintuigen) binnenkomen, corresponderende elementen in het lange-termijngeheugen activeren, waardoor deze informatie in het werkgeheugen geplaatst wordt. Op deze informatie kunnen vervolgens allerlei bewerkingen worden uitgevoerd. Als gevolg van deze bewerkingen wordt nieuwe informatie toegevoegd aan het geheugen. Er worden nieuwe verbindingen of associaties gevormd of reeds bestaande associaties worden versterkt. De informatie die op een bepaald moment in het werkgeheugen verkeert, kan gerelateerde of geassocieerde informatie uit het lange-termijngeheugen oproepen. Welke informatie uit het lange-termijngeheugen opgeroepen wordt, hangt af van de specifieke op dat moment in het werkgeheugen beschikbare informatie. Deze vormt met andere woorden de sleutel die ons toegang verschaft tot het geheugen. We spreken in dit verband van de beschikbare *retrieval cues* of ophaalaanwijzingen.

De drie benaderingen die hieronder besproken worden verschillen van elkaar al naar gelang het soort vragen waarin men geïnteresseerd is. Bij *associatieve netwerkmodellen* ligt de nadruk op de structuur van het geheugen en de wijze waarop deze structuur (het patroon van associatieve verbanden) onze kennis en ervaringen representeert. *Zoekmodellen* proberen geheugenverschijnselen te verklaren vanuit de relaties tussen de gebruikte ophaalaanwijzingen en de in het geheugen opgeslagen ervaringen. In beide gevallen wordt vrijwel geen aandacht besteed aan de wijze waarop de veronderstelde mechanismen neurofysiologisch gereali-

seerd zouden kunnen worden. Dit nu vormt wel een expliciete doelstelling van de derde klasse van modellen, de *parallele modellen*. Bij deze modellen streeft men naar een beschrijving van de wijze waarop informatie opgeslagen wordt in het geheugen, die zoveel mogelijk neurofysiologisch plausibel is. Bovendien wordt niet aangenomen dat bepaalde informatie op een specifieke plaats in het geheugen of de hersenen opgeslagen ligt, maar dat de opslag gespreid is over een zeer groot aantal neuronen.

Associatieve netwerkmodellen

Associatieve netwerkmodellen gaan uit van de veronderstelling dat men de wijze waarop informatie in het geheugen opgeslagen is, kan representeren door middel van een associatief netwerk. Een dergelijk netwerk bestaat uit een aantal 'knopen' die via allerlei associaties of relaties met elkaar verbonden zijn. Het aantal associaties en/of de sterkte daarvan varieert als functie van de ervaring: hoe vaker een bepaalde associatie of relatie gemaakt is in het verleden, hoe sterker hij is. Bij deze benadering wordt getracht zoveel mogelijk verschijnselen te verklaren in termen van een dergelijke associatieve structuur.

De op dit moment meest uitgewerkte en meest ambitieuze netwerktheorie is de *ACT*-theorie van de Amerikaanse psycholoog J. R. Anderson (1976, 1983). Eén van de belangrijkste aspecten van deze theorie is het onderscheid dat daarin gemaakt wordt tussen *procedurele kennis* en *feitenkennis*. Procedurele kennis omvat de kennis over hoe taken – van het smeren van een boterham tot het oplossen van vierkantsvergelijkingen – moeten worden uitgevoerd. Anders gezegd, het is het geheugen voor aangeleerde (en zo men wil aangeboren) vaardigheden. De *ACT*-theorie postuleert een fundamenteel verschil in de wijze waarop deze beide typen kennis in het geheugen gerepresenteerd zijn. Feitenkennis wordt gerepresenteerd in de vorm van een *propositioneel netwerk*. Hiermee wordt bedoeld dat deze kennis opgeslagen is als een

taire kenniseenheden, proposities genaamd. Deze proposities zijn vergelijkbaar met (abstracte representaties voor) elementaire zinnen. Een belangrijk onderdeel van Andersons onderzoek bestaat er dan ook uit aan te tonen dat alle (feiten)kennis die mensen (kunnen) hebben, gerepresenteerd kan worden met behulp van een dergelijk propositioneel of associatief netwerk.

Procedurele kennis daarentegen wordt in de *ACT*-theorie gerepresenteerd door middel van *produktiesystemen*. Een produktiesysteem bestaat uit een verzameling regels, produkties genaamd, van de vorm: als A dan B, waarbij A een bepaalde conditie of toestand van het werkgeheugen specificceert en B een bepaalde handeling. In het geval van de *ACT*-theorie kunnen deze handelingen een verandering in de toestand van het geheugen betreffen of het genereren van een bepaalde observeerbare respons, dat wil zeggen het verrichten van een concrete handeling. Wat op een bepaald moment in het cognitieve systeem gebeurt, hangt derhalve af van welke informatie op dat moment actief is.

Niet-geactiveerde informatie kan op twee manieren geactiveerd worden: door de toepassing van een produktieregel en door *activatiespreiding*, het proces waarbij activatie van een bepaalde knoop X in het netwerk ertoe leidt dat andere met X verbonden (nabijgelegen) knopen eveneens geactiveerd worden. In de meest recente versie van de *ACT*-theorie (Anderson, 1983) wordt aangenomen dat elke knoop een bepaalde sterkte heeft. Deze sterkte speelt een rol bij de waarschijnlijkheid dat een item herinnerd wordt en de snelheid waarmee het uit het geheugen opgehaald wordt.

In de *ACT*-theorie is de snelheid van allerlei verwerkingsprocessen afhankelijk van het *activatieniveau* van het geheugenspoor. Het activatieniveau van een geheugenspoor wordt bepaald door een proces van activatiespreiding. Op elk willekeurig moment fungeert een klein aantal elementen van het netwerk in het werkgeheugen als 'bronnen' van activatie, bijvoorbeeld omdat zij corresponderen met

de aangeboden stimulusinformatie. De activatie verspreidt zich vanuit deze elementen over het netwerk naar geassocieerde elementen.

Anderson (1983) neemt aan dat het netwerk zich bij een constante input zeer snel naar een asymptotisch patroon van activatie beweegt (dat wil zeggen: zich stabiliseert). Dit asymptotische activatiepatroon is zodanig dat – gemiddeld genomen – nabijgelegen elementen zich op een hoger niveau stabiliseren dan verafgelegen elementen. Dit betekent dat de input het grootste effect heeft op nabijgelegen elementen. De spreiding van activatie (en dus het asymptotisch patroon) is echter niet gelijkmatig, maar is afhankelijk van de sterkte van de geheugenelementen. De hoeveelheid activatie die van een bepaald element (zeg *a*) naar een bepaald geheugenspoor stroomt is afhankelijk van de relatieve sterkte van dat spoor vergeleken met alle andere sporen die met *a* verbonden zijn. Op deze wijze heeft de associatieve structuur van het netwerk een beslissende invloed op het activatieniveau van de verschillende geheugensporen.

De informatieverwerkingsprocessen zijn niet alleen afhankelijk van de aanwezige associatieve structuur, maar bovendien van de beschikbare produktieregels die de procedurele kennis representeren (de tweede poot van het systeem). Anderson (1982) analyseert de wijze waarop produktie gevormd en gewijzigd worden. Hij neemt aan dat een nieuwe cognitieve vaardigheid in eerste instantie als feitenkennis opgeslagen wordt in het propositionele netwerk. Bij de uitvoering wordt dan aanvankelijk een beroep gedaan op bestaande, algemene procedures die gebruik maken van deze propositionele informatie. Deze procedures zijn echter vrij traag omdat er voortdurend informatie uit het geheugen opgehaald moet worden en omdat er een groot beroep gedaan wordt op de beperkte capaciteit van het werkgeheugen. Door training in de desbetreffende vaardigheid worden nieuwe produktieregels gevormd waardoor de taakuit-

voering als het ware geautomatiseerd wordt. Dit is een belangrijk onderdeel van het leerproces. Anderson (1982) noemt dit het *compileren* van kennis, de transformatie van propositionele informatie in direct uitvoerbare produkties. Als gevolg van ervaring in de uitvoering van een taak kunnen eveneens nieuwe produktieregels gevormd worden, door *generalisatie* en *discriminatie* van bestaande produktieregels. Generalisatie duidt op het vormen van een nieuwe produktieregel die twee (of meerdere) bestaande, onderling sterk gelijkende, produktieregels integreert. Discriminatie treedt op wanneer een bestaande produktieregel soms tot correcte en soms tot incorrecte resultaten leidt. In dat geval wordt een produktieregel gevormd die specifiek is dan de bestaande, te algemene regel, waardoor de correcte toepassingen onderscheiden kunnen worden van de incorrecte (zie Anderson, Kline & Beasley, 1979). Er is in de afgelopen jaren een groot aantal op deze ACT-theorie gebaseerde modellen ontwikkeld voor specifieke toepassingen. Deze hebben zowel betrekking op enkele verschijnselen uit de traditionele geheugenpsychologie als op meer algemene cognitieve vaardigheden, zoals redeneerprocessen en begripsvorming. Deze algemeenheid en flexibiliteit van de theorie is echter tevens een van haar zwakkere kanten. Het lijkt er vaak op alsof de ACT-theorie niet echt een empirische theorie is maar meer een abstract formalisme dat gebruikt kan worden als een middel waarmee onderling zeer verschillende empirische modellen geformuleerd kunnen worden, vergelijkbaar met andere wiskundige formalismen.

Zoekmodellen

We hebben gezien dat netwerkmodellen geheugenprocessen analyseren in termen van de associatieve structuur van het geheugen. Bij zoekmodellen verschuift de aandacht van de relaties tussen de geheugenelementen onderling naar de relaties tussen de aangeboden informatie (de ophaalaanwijzingen) aan de ene kant en de opgeslagen geheugensporen

aan de andere kant. Een recent, redelijk succesvol voorbeeld van een dergelijke theorie is de SAM-theorie van Raaijmakers en Shiffrin (zie Raaijmakers & Shiffrin, 1980, 1981; Raaijmakers, 1984). Zoekmodellen zijn oorspronkelijk ontwikkeld vanuit het idee dat het proces waarbij items uit het geheugen opgehaald worden vergeleken kan worden met het selecteren van knikers uit een vaas (de klassieke urn-modellen uit de waarschijnlijkheidsleer). Een aantal verschijnselen (zoals de geobserveerde verdeling van zoektijden) suggereert een dergelijke analogie.

De huidige zoekmodellen verschillen echter in een aantal wezenlijke aspecten van de oudere modellen, zodat uitsluitend de benaming nog herinnert aan het oorspronkelijke uitgangspunt. De SAM-theorie (Search of Associative Memory) is zo genoemd omdat zij aspecten van zoekmodellen verenigt met aspecten van associatieve netwerkmodellen. Uitgangspunt is de veronderstelling dat het geheugen bestaat uit een groot aantal 'episodes': complexe, samenhangende verzamelingen gegevens welke de neerslag van onze ervaringen en onze kennis vormen. In tegenstelling tot de netwerkmodellen wordt geen enkele aanname gemaakt over de structuur van het lange-termijngeheugen, de wijze waarop de relaties tussen episodes in het geheugen gerepresenteerd worden. Dergelijke relaties komen uitsluitend op indirecte wijze tot uiting, in de zogenaamde *retrieval-structuur*. Een retrievalstructuur bestaat niet uit associaties tussen episodes, maar geeft de associaties tussen enerzijds mogelijke *retrieval cues* (ophaalaanwijzingen) en anderzijds de opgeslagen episodes. Het idee is dat een mogelijk associatief verband tussen twee episodes A en B tot uiting komt in het feit dat, wanneer de in A gerepresenteerde informatie als retrieval cue gebruikt wordt, met grote waarschijnlijkheid de episode B geactiveerd, opgehaald wordt uit het lange-termijngeheugen. Het ophaalproces is volgens deze theorie cue-afhankelijk: op elk moment bepaalt de in het werkgeheugen aanwezige informatie wel-

ke episode opgeroepen wordt uit het lange-termijngeheugen.

Dit retrievalproces wordt verondersteld opgebouwd te zijn uit een aantal successieve elementaire ophaalpogingen. Elke ophaalpoging bestaat uit twee stadia, *selectie* en *reconstructie*. Bij elke elementaire ophaalpoging worden kortstondig kenmerken van een groot aantal episodes geactiveerd. Het aantal kenmerken dat van een bepaalde episode geactiveerd wordt, is afhankelijk van de associatieve sterkte tussen de gebruikte cues en de desbetreffende episode. Omdat het werkgeheugen een beperkte capaciteit heeft, wordt één van de episodes geselecteerd voor nadere inspectie. Bij het selectieproces is de kans dat een bepaalde episode geselecteerd wordt afhankelijk van de relatieve sterkte waarmee deze episode geassocieerd is met de retrieval cues (relatief ten opzichte van de overige episodes).

Vervolgens moet op basis van de geactiveerde informatie het antwoord op de vraag 'gereconstrueerd' worden. Dit lukt niet altijd. Soms kan men zich wel iets herinneren, maar niet genoeg om de vraag te kunnen beantwoorden. Bij dit reconstructieproces is de kans op succes alleen afhankelijk van het aantal geactiveerde kenmerken van de geselecteerde episode (en dus niet van de associaties van de retrieval cues met andere episodes). Het totale ophaalproces bestaat uit een serie van dergelijke elementaire ophaalpogingen, waarbij de op een bepaald moment gebruikte retrieval cues afhankelijk kunnen zijn van de tijdens eerdere pogingen opgehaalde informatie.

Deze theorie is zo geformuleerd dat zij in principe algemeen toepasbaar is. Het onderzoek richt zich op de uitwerking van de theorie naar specifieke experimentele situaties. Bij een dergelijke toepassing moet gespecificeerd worden welke episodes gevormd worden en welke retrievalstrategie gebruikt wordt. Een dergelijke retrievalstrategie specificeert welke retrieval cues gebruikt zullen worden. Zo kan men wanneer de naam van een persoon achterhaald moet worden, bij-

voorbeeld gebruik maken van een alfabetische strategie, waarbij de letters van het alfabet successievelijk als retrieval cue gebruikt worden.

Op basis van de SAM-theorie zijn in de afgelopen jaren modellen ontwikkeld voor de belangrijkste taken die in de experimentele geheugenpsychologie gebruikt worden (zowel herkenning- als herinneringstaken). Het blijkt dat een groot aantal verschijnselen met behulp van deze modellen verklaard kan worden (zie onder meer Raaijmakers & Shiffrin, 1980; Gillund & Shiffrin, in druk).

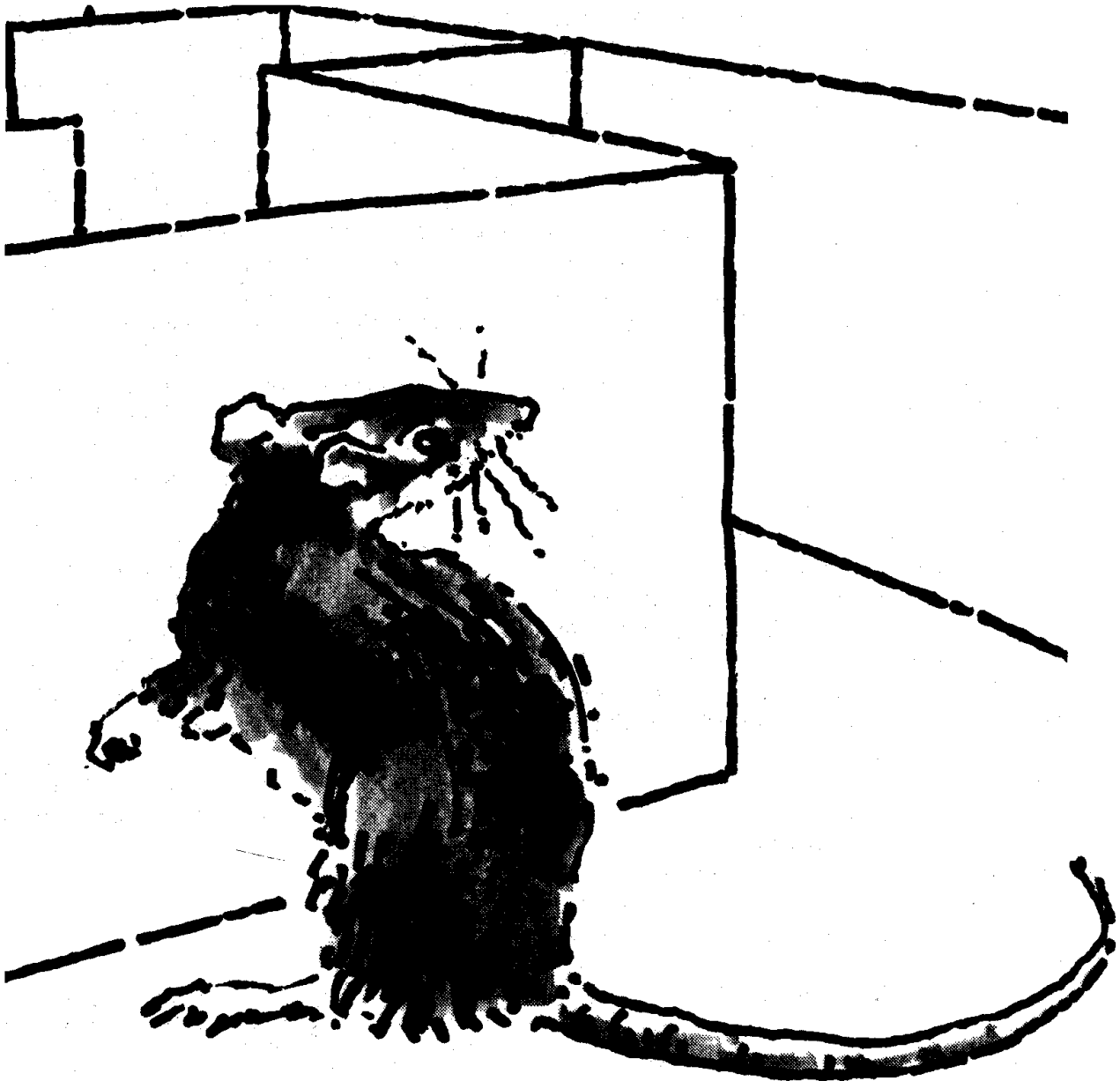
Een belangrijk aspect van de SAM-theorie is dat daarin aangenomen wordt dat de ophaal-informatie (de retrieval cues) niet alleen bestaat uit de gestelde vraag maar bovendien uit allerlei contextuele informatie. Deze contextinformatie omvat zowel informatie over de omgeving waarin geleerd wordt (de externe context) als over de interne context, de gevoelens, emoties en gedachten van het lerende subject. Deze informatie wordt tijdens het leren eveneens opgeslagen in de gevormde episodes. Hierdoor kan het zoekgebied begrensd worden (bijvoorbeeld beperkt blijven tot leermateriaal dat tijdens een bepaalde studieperiode is aangeboden). Met behulp van deze veronderstelling kunnen allerlei verschijnselen verklaard worden die te maken hebben met contextveranderingen. Het blijkt bijvoorbeeld dat de geheugenprestatie afneemt naarmate de context ten tijde van de geheugentoets meer verschilt van de context tijdens de leerfase. Dit is één van de oorzaken waarom informatie na verloop van tijd (wanneer de context sterk veranderd is) vergeten wordt, dat wil zeggen niet meer herinnerd kan worden.

De belangrijkste verdienste van een zoekmodel als de SAM-theorie is dat het in staat is een groot aantal experimentele bevindingen te verklaren en te herleiden tot algemene principes met betrekking tot de werking van het geheugen. Dit geschiedt op basis van een nauwkeurige analyse van de relatie tussen de gestelde vraag (de stimulus) en de in het geheugen opgeslagen informatie.

Parallele modellen

Recentelijk is er een aantal geheugenmodellen in de belangstelling gekomen die in ten minste één aspect sterk verschillen van de zojuist besproken modellen. Bij deze zogenaamde parallelle modellen ligt een belangrijk accent op de neurofysiologische plausibiliteit van de voorgestelde theorie. De benaming 'parallel' duidt op de veronderstelling dat het menselijk brein niet gekarakteriseerd moet worden als een serieel verwerkingssysteem (vergelijkbaar met de centrale processor in een computer) maar gezien moet worden als een systeem dat bestaat uit een zeer groot aantal parallel werkende verwerkingseenheden. Hoewel de afzonderlijke verwerkingseenheden alleen reageren op invoer die ze van hun directe burens krijgen toegespeeld, wordt verondersteld dat het systeem als geheel in staat is tot complexe, doelgerichte activiteiten. Verder wordt aangenomen dat bepaalde informatie niet op één specifieke plaats opgeslagen is, zoals in associatieve netwerkmodellen verondersteld wordt, maar dat er sprake is van *gespreide opslag*: specifieke informatie wordt gerepresenteerd door de toestand van het systeem als geheel, de relaties tussen de verschillende parallel werkende eenheden. De individuele episodes kunnen desondanks opgehaald worden doordat de stimulus werkt als een filter welke (via een soort 'spectrale decompositie') de juiste informatie eruithaalt. Het voordeel daarvan is dat inefficiënte zoekprocessen vermeden kunnen worden.

Voor de realisering van een dergelijk geheugensysteem wordt gebruik gemaakt van met name twee wiskundige modellen, het holografisch model en het matrix-model, die onderling sterk gerelateerd zijn (zie Willshaw, 1981). Het *holografisch* model is gebaseerd op de analogie van associatieve geheugenprocessen met hologrammen. Het basisidee is als volgt. Bij de constructie van een hologram worden twee objecten, A en B, verlicht door een lichtbron. Het gezamenlijk patroon van de beide reflecties wordt vastgelegd op lichtgevoelig materiaal. Dit patroon



kan wiskundig beschreven worden als de *convolutie* van de beide afzonderlijke reflecties. Vervolgens wordt één van beide objecten, zeg B, verwijderd en wordt het hologram ontwikkeld, zodat het niet verder verandert. Wanneer het hologram daarna blootgesteld wordt aan het licht dat door object A gereflecteerd wordt, ziet men niet alleen A maar men krijgt tevens een (wat vager) beeld van B. B wordt als het ware gereconstrueerd. Deze laatste operatie wordt *correlatie* genoemd.

Deze beide operaties, convolutie en correlatie, kunnen gebruikt worden als model voor een associatief geheugen. Convolutie correspondeert dan met de opslag van een associatie tussen twee items A en B, en correlatie met het retrievalproces. Een soortgelijk resultaat kan ook verkregen worden met een ander wiskundig formalisme, de *matrixmodellen*. Hierop kan in dit bestek echter niet worden ingegaan (voor meer informatie zie J. A. Anderson, 1973, 1977).

Veel van het werk op dit gebied verkeert nog in een conceptueel stadium. Dat deze benadering levensvatbaar is, hoeft echter niet betwijfeld te worden. Zo geeft de Finse wiskundige Kohonen een spectaculair voorbeeld van de effectiviteit van deze methode. Hij toont aan dat het met behulp van een matrixsysteem mogelijk is een complete afbeelding van een gezicht te reconstrueren op basis van slechts een gedeelte of een zeer vage versie van de afbeelding. Een eerste aanzet tot de toepassing van dergelijke parallelle modellen ter verklaring van de resultaten van conventionele geheugenexperimenten is gegeven door het werk van de Canadese psychologen Eich, Metcalfe en Murdock. Deze analyses zijn van belang omdat zij zowel de kracht van deze modellen aantonen als ook duidelijk laten zien voor welke problemen men komt te staan bij de concrete uitwerking ervan. Een zwak punt bij deze modellen is dat zij geen rekening houden met de contextafhankelijkheid van het geheugen. Men komt dan voor het probleem te staan hoe verklaard moet worden dat een persoon de talloze associaties waarin een bepaald item voorgekomen is uit elkaar weet te houden en met een hoge waarschijnlijkheid de in die context correcte associatie weet op te halen.

Voorts worden verschillende wiskundige formalismen gebruikt voor herkenning en herinnering (zie Murdock, 1982), hetgeen niet erg elegant is. Al met al lijkt het correct te concluderen dat dit type model weliswaar veelbelovend is, maar dat de taak-specifieke uitwerkingen vooralsnog niet geheel overtuigend zijn.

Samenvattend kan gesteld worden dat er in de afgelopen jaren belangrijke vooruitgang is geboekt bij het ontwerpen van een psychologische theorie voor geheugenprocessen. Deze vooruitgang is met name te danken aan het gebruik van exacte, wiskundige modellen, waardoor het mogelijk wordt complexe processen op een nauwkeurige wijze te analyseren. De verschillende benaderingen kunnen waarschijnlijk beter gezien worden als elkaar

aanvullend dan als elkaar uitsluitend. Zij richten zich immers grotendeels op verschillende aspecten van geheugenprocessen. Zo is er op zich geen enkele reden waarom een zoekmodel als de SAM-theorie niet gecombineerd zou kunnen worden met een neurofysiologische representatie zoals gebruikt in holografische modellen. De keuze voor een bepaald model is voor een belangrijk deel afhankelijk van de aard van de verschijnselen die men zou willen verklaren.

Zo kan een deel van de verschillen tussen de ACT-theorie en de SAM-theorie toegeschreven worden aan de omstandigheid dat de ACT-theorie voortkomt uit een onderzoekstraditie die de nadruk legt op de wijze waarop kennis in het geheugen gerepresenteerd is, terwijl een zoekmodel als de SAM-theorie vrijwel uitsluitend gericht is op de analyse van ophaalprocessen. Het probleem hoe we ons moeten voorstellen dat allerlei kennis in het geheugen gerepresenteerd is, staat bij deze zoekmodellen niet op de voorgrond. Daarnaast is de bestudering van met name de parallelle modellen, uit puur technologisch oogpunt, van belang bij de ontwikkeling van computersystemen met een inhoud-adresseerbaar geheugen.

Literatuur

- Anderson, J. A. 'A theory for the recognition of items from short memorized lists', *Psychological Review*, 1973, 80, 417-438.
- Anderson, J. A., Silverstein, J. W., Ritz, S. A. & Jones, R. S. 'Distinctive features, categorical perception, and probability learning: Some applications of a neural model', *Psychological Review*, 1977, 84, 413-451.
- Anderson, J. R. *Language, memory, and thought*, Hillsdale, N. J., Erlbaum, 1976.
- Anderson, J. R. 'Acquisition of cognitive skill', *Psychological Review*, 1982, 89, 369-406.
- Anderson, J. R. 'A spreading activation theory of memory', *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1983, 22, 261-295.
- Anderson, J. R., Kline, P. J. & Beasley, C. M. Jr. 'A general learning theory and its application to schema abstraction', in: G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 13. New York, Academic Press, 1979.

- Eich, J. M. 'A composite holographic associative recall model', *Psychological Review*, 1982, 89, 627-661.
- Gillund, G. & Shiffrin, R. M. 'A retrieval model for both recognition and recall', *Psychological Review*, in druk.
- Kohonen, T., Oja, E. & Lehtiö, P. 'Storage and processing of information in distributed associative memory systems', in: G. E. Hinton & J. A. Anderson (Eds.), *Parallel models of associative memory*. Hillsdale, N. J., Erlbaum, 1981.
- Metcalf, J. & Murdock, B. B. 'An encoding and retrieval model of single-trial free recall', *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1981, 20, 161-189.
- Murdock, B. B. Jr. 'A theory for the storage and retrieval of item and associative information', *Psychological Review*, 1982, 89, 609-626.
- Raaijmakers, J. G. W. *Psychologie van het geheugen*. Deventer, Van Loghum Slaterus, 1984.
- Raaijmakers, J. G. W. & Shiffrin, R. M. 'SAM: A theory of probabilistic search of associative memory', in: G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 14. New York, Academic Press, 1980.
- Raaijmakers, J. G. W. & Shiffrin, R. M. 'Search of associative memory', *Psychological Review*, 1981, 88, 93-134.
- Willshaw, D. 'Holography, associative memory, and inductive generalization', in: G. E. Hinton & J. A. Anderson (Eds.), *Parallel models of associative memory*. Hillsdale, N. J., Erlbaum, 1981.