

# Je eigen digitale geheugen

## *Informatieverwerking in de hersenen*

De werking van onze hersenen, dat complexe, interessante en tegelijkertijd efficiënte orgaan, staat volop in de belangstelling.

De krachtigste computer kan nog steeds niet wat zelfs een kleuter van vier jaar kan: in een oogwenk mensen en situaties herkennen.

Onze kennis van de hersenen groeit de laatste tijd enorm.

Misschien komt er ooit een tijd dat we weten hoe ons brein informatie opslaat en verwerkt.

*Guus Pijpers*

Al eeuwenlang doet de mens zijn best de werking van zijn hersenen te doorgronden. Schilders als Leonardo da Vinci en Michelangelo maakten zeer realistische tekeningen van de hersenen. Maar een juiste kaart maken van onze hersenen is pas de laatste jaren mogelijk geworden dankzij technieken als *functional MRI*. De kennis over onze hersenen groeit daardoor exponentieel.

### *Metaforen*

Bij de beschrijvingen van het menselijk geheugen komen twee aspecten terug. Het ene aspect betreft het geheugen als een opslagruimte van informatie; het andere gaat over het maken van sporen. Vooral dat laatste aspect geeft goed weer hoe de mens door de eeuwen heen dacht dat informatie werd vastgelegd. Met iedere technologische vernieuwing werd een nieuwe geheugen-metafoor geïntroduceerd. Zo kende de oudheid kleitabletten, bast en papyrus om informatie vast te leggen. Het geheugen werd daarmee vergeleken. Het wastablet als metafoor was al een hele verbetering om het geheugen te begrijpen. In een wastablet kun je indrukken en impressies vastleggen, die je echter ook weer kunt wissen. De metafoor van het wastablet geeft aan dat ook

de taal is verbonden met de manier waarop we over het geheugen denken. De uitvinding van de fotografie leidde tot de metafoor van het fotografisch geheugen. Uurwerken, stoommachines, telefooncentrales, radio's, veel apparaten hebben ooit model gestaan voor de verklaring van ons brein of een deel daarvan. Het hologram is korte tijd als metafoor gebruikt, maar werd verdrongen door de computer. Hiermee hadden we eindelijk een bruikbare metafoor. Toegang, opslagcapaciteit, werkgeheugen, besturingsprogramma: alles lijkt te verklaren door ons geheugen te vergelijken met een computer.

Toch voldoet de computer als model voor ons denken en het geheugen niet. De werking van het brein is vele malen complexer dan die van een computer. Informatie is niet op één plaats opgeslagen. Bepaalde functies zijn op meer plaatsen gelokaliseerd en kunnen door andere delen van de hersenen worden overgenomen. De gegevens worden parallel gedistribueerd en verwerkt. Waar de informatie precies is opgeslagen is niet van belang, zolang de toegang maar is geregeld. Met de komst van het internet wordt de nieuwste metafoor dan ook duidelijk. Het succes van het internet is immers niet alleen aan hypertext en

## Samenvatting

Sinds de uitvinding van de computer wordt die gebruikt als metafoor voor het menselijk geheugen. Die metafoor voldoet echter niet, want het brein is veel complexer dan een computer. In de hersenen is informatie niet op één plaats opgeslagen, zijn bepaalde functies op meer plaatsen gelokaliseerd en kunnen die door andere delen worden overgenomen. De gegevens worden parallel gedistribueerd en verwerkt.

## »De computer voldoet niet als model voor ons denken en het geheugen«

links te danken, maar ook aan het feit dat internet inspeelt op de manier waarop wij denken. Wij zijn er al eeuwenlang aan gewend in associaties te denken.

### Verschillen

De belangrijkste verschillen tussen computers en onze hersenen luiden als volgt. De controle is bij de computer centraal geregeld, bij de CPU en het besturingssysteem. De hersenen daarentegen hebben een sterk gedistribueerde controle met een aantal autonome onderdelen. Informatie kan bij een mens op vele verschillende manieren door

het neurale netwerk stromen.

De invoer voor onze hersencellen wordt traag verwerkt in vergelijking met computers, tot wel een miljoen maal trager. Maar wij mensen kunnen zeer complexe patronen in milliseconden herkennen, eenvoudigweg omdat we grote hoeveelheden invoer parallel verwerken. Daartoe is nog geen enkele computer in staat.

Met multimediale toepassingen heeft de mens relatief weinig moeite. Zo kunnen we een drukke website met geluid toch begrijpen, omdat wij verschillende processors hebben om die invoer te verwerken, die echt tegelijk actief zijn. Een computer kan dat (nog) niet.

Een nieuw besturingssysteem voor de computer overschrijft alle vorige versies. Ons brein echter heeft nog alle oude versies van zijn besturingssysteem. Sommige activiteiten worden ook nog door die eerste versies van het brein uitgevoerd: simpel, snel en betrouwbaar.

De geheugenruimte van ons brein raakt nooit

### Enkele weetjes over onze hersenen

- De hersenen bevatten ongeveer 100 miljard hersencellen (neuronen).
- Elke cel kan verbinding maken met zo'n 100.000 andere cellen. Dat zijn honderd biljoen ( $10^{14}$ ) mogelijke verbindingen.
- De snelheid waarmee de neuron informatie uitwisselen, is tussen de 3 en 300 kilometer per uur.
- De totale lengte van alle routes in de hersenen bedraagt wel 12 miljoen kilometer.
- Per minuut vinden tussen de 100.000 en 1 miljoen chemische reacties plaats in je hersenen.
- De hersenen zijn voor de geboorte al voor het grootste deel functioneel; een foetus maakt 1 miljoen neuron aan per uur.
- De geheugengrootte varieert tussen  $10^{11}$  en  $2,8 \times 10^{20}$  bits. Andere schattingen komen tot 31 petabytes ( $10^{15}$ ). Dat is 31.000 keer een miljoen maal een miljoen.
- Alle 107 miljard mensen die ooit hebben geleefd (dus vanaf een kleine 50.000 jaar geleden) hebben 16 exabytes ( $10^{18}$ ) aan informatie opgeslagen in hun geheugen. Dat is 20 keer alle informatie van het internet in 2002.
- Het maximum voor de bewuste informatieverwerking van informatie ligt omstreeks de 60 bits. Maar bij de onbewuste informatieverwerking ligt dat omstreeks de 11,2 miljoen bits per seconde. Een verschil van een factor 200.000.
- Een persoon herinnert zich ongeveer twee gegevens per seconde, zijn leven lang.
- Een persoon verwerkt tijdens zijn aardse periode gemiddeld 10 terabytes ( $10^{12}$ ) aan gegevens.
- Gedurende ons leven verwerken we ongeveer 650 miljoen woorden (27.000 woorden per dag, gesproken of geschreven).



uitgeput. Waarschijnlijk wordt de indeling van die ruimte 's nachts telkens weer gereorganiseerd. Het brein selecteert, interpreteert en herziet informatie 24 uur per dag. Dat is geen defect maar een noodzakelijke vorm van zelfbescherming. De opslagapparatuur bij computers moet de hoogst mogelijke betrouwbaarheid bezitten. Voor ons brein is dat helemaal niet noodzakelijk. Bij ratten is aangetoond dat zelfs wanneer er willekeurig 10 procent van de hersenmaterie wordt weggehaald, dat geen enkele invloed heeft op het geheugen. Kom daar maar eens mee aan bij een computer.

Het brein heeft bovendien nog enkele typische eigenschappen. Ons gedrag is niet altijd voorspelbaar, omdat de beschikbare gegevens voor een besluit geen strikt algoritme volgen. Ons intelligente gedrag is het resultaat van een chaotisch en complex informatieverwerkingsproces.

De ontwikkeling van het brein volgt een evolutionair proces. In de eerste jaren na de geboorte worden veel nieuwe verbindingen gemaakt, maar wordt ook veel gesnoeid. Alleen verbindingen die echt nuttig zijn, blijven bestaan. Als je ouder bent, heb je minder vrije neuronen.

De verwerking van de invoer van de vijf zintuigen is gelijk: deels elektrisch, deels chemisch. Slechts het hersengebied waar de prikkel wordt verwerkt, bepaalt wat je ervaart. De hersenen zien, niet je ogen. Experimenten tonen aan dat je zelfs beelden kunt laten zien door je tong.

Mensen zijn gewend met mensen te werken en onze hersenen zijn gebouwd voor sociale interacties. Een krachtig overlevingsmechanisme toen we nog op de savanne leefden. Computers en hun toepassingen beginnen nu pas een beetje te begrijpen dat ze moeten onthouden wie wie is, wat iemands voorkeuren zijn en wat die gebruiker allemaal heeft gedaan via de computer.

### Heethoofd

Leveranciers van computerchips hebben een groot probleem: hoe koel ik de chips? Op het kleine oppervlakte van een chip ontstaat door al die stroompjes namelijk zoveel warmte dat er ingenieuze koeltechnieken nodig zijn om oververhitting te voorkomen. Onze hersenen worden echter nauwelijks warm. Het aantal berekeningen dat ze uitvoeren overtreft het aantal van zelfs de meest geavanceerde chips. Hoe doen ze dat? Het antwoord is eenvoudig: efficiëntie.

Zo is de overdrachtssnelheid tussen neuronen laag, vergeleken met bijvoorbeeld computers. Daardoor wordt de energie zeer efficiënt gebruikt en ontstaat er weinig warmte. De onderdelen van de hersenen zijn ook erg klein. Dat betekent dat er geen grote afstanden hoeven te worden afgelegd, waardoor er weinig energieverlies optreedt. Ook het verwerkingsproces zelf is gereguleerd. Dat gebeurt 's nachts, met verschillende processors en subsystemen en flexibele opslagmethoden.

### Snelheid

Waarom zijn wij mensen zo goed in het herkennen van situaties en van andere mensen? We herkennen een beeld in minder dan een halve seconde. In die tijd kunnen maar een kleine honderd neuronen worden geactiveerd. Hoe herken je daaruit nu een patroon? Een van de heersende opvattingen is dat ons brein dat patroon niet berekent, maar vergelijkt met een eerder opgeslagen patroon. De ontbrekende gegevens worden gewoon aangevuld, vanuit het geheugen dus. Of erbij verzonnen als je niet alles van deze situatie ooit in je geheugen hebt opgeslagen. Dat komt overeen met wat we al lang weten: ons brein neemt maar heel weinig zaken uit de totale context waar.

Het mooie van ons brein, zeker in vergelijking met computers, is dat we een groot aantal van de patronen en modellen in vele varianten opslaan. Vanuit een net ander perspectief of met net iets meer contextgegevens als temperatuur, kleuren of mensen. Als je vaak dezelfde route naar je werk neemt, hoeft je ook niet veel nieuwe informatie op te slaan. Je brein weet de weg wel, wat je soms ervaart wanneer je denkt: ben ik hier al?

### **Blue Brain-project**

Een computer kan dus niet als metafoor voor ons brein dienen, maar diezelfde computer gebruiken we wel om een model van ons brein te maken! Een Zwitsers onderzoeksinstituut is namelijk begonnen met een 'reverse engineering'-project van het zoogdierenbrein. Ergens in de opbouw van atomen tot DNA en uiteindelijk de menselijke cellen die met elkaar verbonden zijn, moet intelligentie ontstaan. De onderzoekers bouwen hersencel voor hersencel op om een model te maken van de neocortex, het grootste en meest complexe deel van onze hersenen. Ze hopen zo ooit een juist computermodel van het brein te krijgen. IBM's supercomputer eServer Blue Gene wordt hiervoor gebruikt.

### **HTM**

Computers zijn krachtige hulpmiddelen maar tegelijkertijd oliedom. Wij kunnen een eenvoudig plaatje direct herkennen, een computer lukt dat niet. Daar heeft de uitvinder van de Palm Pilot, Jeff Hawkins, iets op gevonden. Met zijn software Hierarchical Temporal Memory (HTM) simuleert hij de neocortex van ons brein. Dat deel is immers vooral betrokken bij cognitieve processen. De kern van zijn HTM-toepassing is het lerend vermogen van de software. De software kent geen programma's, maar maakt modellen van de werkelijkheid. En past die bij iedere observatie opnieuw aan. Daarmee sluit HTM beter aan bij de manier waarop onze hersenen werken: ze verwerken continu allerlei zintuiglijke informatie, verwerken nieuwe informatie bij aanwezige herinneringen en leren voor toekomstig gebruik.

### **Conclusie**

We weten al heel veel van onze hersenen. Maar we kunnen nog geen echt intelligent apparaat ontwerpen, hoewel het Blue Brain-project hoop geeft. De huidige computers zullen over een aantal jaren als het kleitablet van het begin van deze eeuw worden gezien. Of we straks nog externe apparaten nodig hebben of via een geavanceerd breinimplantaat echt de kracht van al onze hersenen gebruiken, is nu nog een voorspelling. Zeker is dat de laatste tijd over onze hersenen en hun informatieverwerking heel veel nieuwe, verrassende inzichten beschikbaar komen.

#### **Literatuur**

- Gazzaniga, M.S. (2008). *Human: The Science Behind What Makes Us Unique*. New York: HarperCollins.
- Klingberg, T. (2009). *The Overflowing Brain: Information Overload and the Limits of Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Medina, J. (2008). *Brain Rules: 12 Principles for Surviving and Thriving at Work, Home, and School*. Seattle, WA: Pear Press.
- Pijpers, A.G.M. (2009). *Slaap je slim! Hoe win je tijd zonder iets te missen*. Amsterdam: Nieuw Amsterdam.

#### **Dr. ir. Guus Pijpers MBA**

is managing director van Acuerdis. Hij helpt mensen slim en effectief met informatie om te gaan. Daarnaast is hij als associate professor in Information Behavior verbonden aan TiasNimbas Business School te Tilburg. E-mail: ask@guuspijpers.com.