

GEHOORIMPLANTATEN geïnspireerd op het brein

Sander Bohte en Magriet van Gendt. Toen Van Gendt het artikel van Bohte over adaptatie las, begreep ze hoe computational neuroscience en audiologie elkaar zouden kunnen aanvullen.



Kunstmatige intelligentie op basis van neurale netwerken breekt snel door. De link naar cochleaire implantaten en hoortoestellen zal niet iedereen meteen duidelijk zijn. Toch is die er; dit artikel maakt stap voor stap duidelijk hoe dit zit. Simpel gesteld komt het er op neer dat als de software van een implantaat is geïnspireerd op de werking van het brein, de aansluiting op de hersenen beter te maken is. Sander Bohte als computational neuroscientist van het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) in Amsterdam en Margriet van Gendt als klinisch fysicus - audioloog in het Leids Universitair Medisch Centrum (LUMC) behoren tot de pioniers die een brug slaan tussen de vakgebieden (computational) neuroscience en audiologie om tot betere gehoorprothesen te komen.

27 januari 2016. Google's computer AlphaGo verslaat Fan Hui, drievoudig Europees kampioen in het spel go vijf keer op rij. Het is een doorbraak: go is veel moeilijker te kraken dan schaken waarin de computer al twintig jaar heer en meester is. Toch is de go-gemeenschap nog niet echt onder de indruk. Europa is tenslotte niet bepaald het sterkste continent als het om go aankomt... Slechts anderhalve maand later, op

Door **Leendert van der Ent**
leendert.vanderent@edpsante.org
Foto's Bureau Lorient Communicatie

9 maart 2016, verslaat AlphaGo ook wereldkampioen Lee-Se-DoI. In nauwelijks anderhalve maand is AlphaGo dankzij 'intensieve training' opgerukt van de mondiale subtop naar de absolute nummer één in de wereld. Het idee dat alleen mensen het enorme aantal varianten in



Spiking neuronen brengen de vakken computerwetenschap (computational neuro sciences) en de biologie (audiologie) dichter bij elkaar.

go aankunnen en de computer en nog zeker tien jaar niet rijp voor zou zijn, ligt aan duigen.

Voor wie dit nog altijd niet indrukwekkend genoeg is, heeft het nieuws van 29 juni alweer een verrassing in petto. ALPHA, een virtuele piloot van de University of Cincinnati op basis van kunstmatige intelligentie, schiet kolonel Gene Lee van de Amerikaanse Luchtmacht keer op keer neer in virtuele luchtgevechten. Voor het eerst is de buitengewoon ervaren gevechtspiloot volkomen kansloos tegen de technologie.

ICT-revolutie

Op de achtergrond van deze nieuwsfeiten speelt zich een ICT-revolutie af. Die start met het artikel van Geoffrey Hinton en Alexander Krizhevsky van de University of Toronto getiteld 'ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks'. De auteurs laten zien dat beeldherkenning met neurale netwerken veel beter werkt dan met traditionele algoritmen. De toepassingen komen ongekend snel: inmiddels is de tekst-, beeld- en spraakherkenning van Google, Facebook, Microsoft, Apple en andere grootmachten gebaseerd op neurale netwerken met hun zelflerende capaciteiten (deep learning). Autofabrikanten werpen zich enthousiast op de toepassing ervan voor de zelfrijdende auto.

Doordat de computer gezichten inmiddels beter herkent dan de mens, komen allerlei beveiligings- en monitoringstaken binnen bereik. Sander Bohte van het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) in Amsterdam: "Deep learning biedt de computer de verbinding met de buitenwereld: de 'zintuigen' in de vorm van microfoons en camera's waren er al, nu kan de computer de informatie die dat oplevert zelf duiden en ernaar handelen." Een robot die zintuiglijke waarnemingen zelf kan interpreteren, kan veel menselijke taken overnemen.

Neurale netwerken / Deep Learning

De termen vielen al: neurale netwerken en deep learning. Maar wat is dat nu? Laten we het simpel houden: in de

kern gaat het om het inrichten van de computer naar het voorbeeld van de hersenen. Dr. Dharmendra Modha van het IBM Almaden Research Center: "De afgelopen zeventig jaar waren bijna alle computersystemen gebaseerd op dezelfde 'Von Neumann'-architectuur. Deze verfijnde apparaten blinken inmiddels uit in snelle berekeningen. Maar helaas gaat hogere snelheid hierbij samen met steeds hoger energieverbruik. Het blijkt moeilijk voor deze systemen om taken efficiënt uit te voeren die ons compacte brein routinematig kan doen, zoals gezichtsherkenning."

De nieuwe 'deep learning'-architecturen werken voor een groot deel zoals de menselijke hersenen. Er zijn twee belangrijke structurelementen in een neuraal netwerk.

Het knooppunt is te vergelijken met een neuron in een menselijk brein. Daarnaast is er de koppeling, die staat voor de verbindingen tussen deze neuronen. Waar het om draait is dat deze verbindingen ervoor zorgen dat met algoritmen op hoog niveau de niet-relevante informatie voor een bepaalde taak snel kan worden weggegooid. De computer benadert een beeld niet meer pixel voor pixel, zoals in een Van Neumann-architectuur, maar herkent snel de selectie van pixels met kenmerken van een gezicht en negeert de overgrote rest die geen relevante betekenis heeft.

Spiking neuronen

De grotere efficiëntie zorgt ervoor dat IBM's TrueNorth chip, gebaseerd op een (eenvoudig) spiking neuraal netwerk, duizend keer minder stroom verbruikt als een vergelijkbare conventionele centrale processor van een pc. Toch moet het energieverbruik nog lager, vooral als het om autonome toepassingen gaat zoals robots of implantaten. Om dit te bereiken bieden de menselijke hersenen wederom de inspiratie. De doorbraak van neurale netwerken gaat door met nog betere spiking neurale netwerken. Daarin moet het verzenden van communicatiesignalen uiteindelijk net zo efficiënt verlopen als het in onze hersenen gebeurt. Dat kan door uit te zoeken hoe de bouwstenen van hersenen, 'spiking neuronen', precies werken en ze vervolgens na te bootsen in kunstmatige neurale netwerken. Daardoor hebben ze minder rekenkracht nodig en verbruiken ze veel minder energie. Dat brengt efficiëntere, goedkopere en krachtiger hardware binnen bereik.

"Spiking neurale netwerken ondersteunen het doel om gebeurtenis-gedreven, (energie-)efficiënte hersenachtige computertechniek te bereiken", aldus Modha. "Dat doen ze door de hoeveelheid energie die nodig is voor neuronen om



Van Gendt's onderzoek richt zich op de ontwikkeling van samenhangende modellen voor geluidscodering in cochleaire implantaten. "Nieuw is dat de lange termijn tijdseffecten met het oog op adaptatie in mijn model zijn opgenomen."

informatie te communiceren te verlagen. In de biologische context bieden spikes een gemeenschappelijke taal, die het brein gebruikt om te communiceren met onze verschillende zintuiglijke en motorische organen (spieren en klieren). Op die manier maakt 'spiking' multisensor-fusie mogelijk - en daarmee een manier om de stroom data die de moderne maatschappij produceert te verwerken." Bohte en zijn collega's willen netwerken van spiking neuronen gaan gebruiken voor kunstmatige neurale netwerken, omdat die veel minder communicatie binnen het neurale netwerk vereisen. "We weten hoe efficiënt de neuronen in de hersenen communiceren, met ongeveer tien bits per spike. De huidige standaard 'rate based' spiking

neuron-modellen zijn nog lang niet zo efficiënt als echte neuronen. Dat scheelt tenminste een factor drie. Hoe spiking neuronen in de hersenen hun informatie uitwisselen weten we nog niet precies. We denken dat het vergelijkbaar is met analoog-digitaal-omzetting en weer terug van digitaal naar analoog, ongeveer zoals de DA-conversie van een CD-speler. Signalen zelf zijn analoog, maar

laten zich digitaal veel gemakkelijker en beter verzenden." Het uitvinden hoe dit zit is onder andere van belang voor de aansluiting op implantaten. "Die willen we min of meer 'dezelfde taal' laten spreken als echte neuronen", merkt Bohte op. Met spiking neuronen zit de computerwetenschap dicht op de biologie. "Dat betekent ook een belofte voor de cybernetica, de besturing van biologische systemen zoals lichaamsdelen", geeft Bohte aan. "Het brengt de aansluiting van implantaten en protheses direct op zenuwen, zoals bij cochleaire implantaten al met een beperkt aantal zenuwen gebeurt, dichterbij. De sleutel tot verdere verbetering ligt bij het ontrafelen van onze hersenactiviteit: welke informatie wordt verstuurd?"

Kleiner, zuiniger, betere aansluiting

Daar is dan eindelijk de link met audiologie gelegd. Bohte: "Chipfabrikant Qualcomm is bezig met AD/DA-conversie door middel van spiking neuronen, zogeheten Pulsed Sigma-Delta encoding. Dat is heel interessant voor hoortoepassingen, omdat niet alleen de chips, maar ook de AD-DA-converters dan kleiner, sneller en zuiniger kunnen", constateert Bohte.

Volgens hem is er nog een derde reden die de ontwikkelingen rond neurale netwerken interessant

maakt voor de audiologie: "Bij cochleaire implantaten streef je naar een zo rechtstreeks mogelijke aansluiting van de elektroden op de zenuwen en vandaar naar de hersenen. Vermoedelijk gaat dat beter als de methodiek van het implantaat meer lijkt op hoe de hersenen werken." Net als in de ICT is het aantal nieuwe inzichten in de neurowetenschap de laatste tijd in een stroomversnelling geraakt. Veel van die nieuwe inzichten zijn relevant voor de audiologie.

Adaptatie

Het centrale gegeven in dat verhaal is adaptatie. Bohte: "Loop je op een stille avond een druk muziekcafé binnen, dan vergaat horen en zien je aanvankelijk. Langzamerhand wordt het geluid dragelijk. Ga je weer weg, dan hoor je eerst niets, maar langzamerhand dringen de subtiele geluiden van de nacht weer tot je door. Deze aanpassing komt voort uit het feit dat neuronen een vast aantal spikes afgeven om te reageren op een signaal, ook als het dynamisch bereik veel groter is. Daaraan past het systeem zich aan. Bij licht werkt het ook zo; de ogen passen zich aan aan licht dat qua intensiteit een factor miljard verschilt. Conventionele elektronica houdt niet helemaal juist rekening met dergelijke aanpassingen in het gehoor. Dit leidt er bij hoortoestel- en CI-gebruikers toe dat geluiden ook niet helemaal binnenkomen zoals zou moeten." Van Gendt legt uit: "Aanpassing gebeurt door de versterking van het hoortoestel of het CI terug te draaien als harder geluid binnenkomt. Maar de tijdsconstante waarmee dit gebeurt en de manier waarop luidheid geencodeerd wordt in een CI (amplitude van de puls, en niet (spike-)rate) komen niet overeen met hoe het brein zich aanpast." Saarom concludeert Bohte: "Adaptatie is een belangrijk mechanisme om het dynamisch bereik te bepalen en daarom is het al even belangrijk om het mee te nemen in de strategie voor het ontwikkelen van cochleaire implantaten."

Dit aspect van adaptatie trok de aandacht van audioloog Margriet van Gendt van het LUMC toen ze een artikel van Bohte las. Dit was precies waar zij naar zocht: het antwoord op de vraag hoe de adaptatie van neuronen gemodelleerd kan worden. Van Gendt: "Omdat CI's direct de zenuwen stimuleren, kunnen ze maar een beperkt dynamisch bereik hebben. Daarom moeten alle geluiden binnen dat bereik worden gemapt, waarbij alle geluiden met hetzelfde volume binnenkomt. In dat omzettingsproces verlies je dus heel veel informatie. Huidige CI's houden te weinig rekening met de factor adaptatie, terwijl deze aan de menselijke kant een zeer belangrijke factor is." Data uit de neurowetenschap leert, dat adaptatie tijdsbepaald is en een 'geheugen' heeft. Van Gendt: "Het apparaat houdt geen rekening met een neuron dat zich aanpast. Daarom kan hetzelfde geluid bij een mens op een ander moment een heel ander effect sorteren. Een vraag in mijn promotieonderzoek is: hoe kun je de pulstrein van je CI



Sander Bohte: "Adaptatie is een belangrijk mechanisme om het dynamisch bereik te bepalen en daarom is het al even belangrijk om het mee te nemen in de strategie voor het ontwikkelen van cochleaire implantaten."

daarop aanpassen? Daarvoor moeten berekeningen komen. Een chip met een neuraal netwerk kan de oplossing zijn. Die stap kan daarna aan de orde komen."

Modellen

Van Gendt's onderzoek richt zich op de ontwikkeling van samenhangende modellen voor geluidscodering in cochleaire implantaten. Het doel is die codering te optimaliseren. *"Daarvoor heb ik een computermodel van de respons van de gehoorzenuw op stimulatie door het implantaat ontwikkeld. Wat gebeurt er precies op celniveau en kun je dat berekenen?"* Zo'n model is essentieel om goed aan te sluiten op grote spiking neurale netwerken in de hersenen en maakt het mogelijk om aanpassingen aan het CI te testen. Over twee jaar moet het model klaar zijn; voor dit tijd vindt nog uitgebreide validatie plaats. De beschikbaarheid van het model zal de codeerprecisie ten goede komen, bijvoorbeeld bij het vaststellen van drempelwaarden. Van Gendt: *"Er zijn altijd maar betrekkelijk kleine aantallen patiënten beschikbaar om in de praktijk te testen. Daarom is het belangrijk als je de testdata kunt vervangen door een goed model. Uit patiënttesten weten we dat de individuele verschillen in ervaring met CI groot zijn. In het model kunnen we theoretisch nagaan waar die verschillen uit voortkomen."*

Haar volgende project is om hieraan een interpretatie- en perceptiemodel te koppelen, vertelt Van Gendt. *"Wat zeggen de gegevens en berekeningen uit de eerste stap en hoe kun je dat benutten voor betere signaalverwerking? Hoe kun je de geluidscodering op het CI, de CI-pulstrein, aanpassen op de spiketrein van het brein? Nieuw is dat de lange termijn tijdseffecten in het model zijn opgenomen – het belang van dit tijdsaspect is nog maar sinds 2014 bekend. Het is waarschijnlijk dat met neurale netwerken dit aspect meegenomen kan worden. Het mooiste zou het zijn als je een spiking neural netwerk rechtstreeks kunt gebruiken voor de signaalstroom van het CI naar het brein. Het klinkt logisch dat het goed zou werken: het signaal dat uit het CI komt, sluit uitstekend aan op het biologische neurale netwerk omdat het daaraan is ontleend."*

Een spiking neuraal netwerk dat voor deze toepassing zou kunnen worden gebruikt heeft het CWI al beschikbaar. Als de kennis vanuit het model eenmaal is uitgekristalliseerd, is de daarop aangepaste geluidscodering daarom snel te realiseren. Bohte: *"Het is leuk om van elkaar te leren en het is inspirerend om aan iets te werken dat zo dicht tegen implementatie aan ligt. Het is fascinerend om te zien hoe twee aparte werelden – die van de audiologie en de computational neuroscience – vanuit een verschillende perspectief in feite aan hetzelfde probleem werken."* ■

Het onderzoek van Margriet van Gendt wordt gesponsord door Advanced Bionics.