

*Hoe werkt software die uit zichzelf kan leren?*

KOEN VERVLOESEM

# RAZENDSNELLE ONTWIKKELINGEN IN MACHINELEARNING

SOFTWARE DIE UIT ZICHZELF KAN LEREN, KENNEN WE AL EEN TIJDJE. WE KIJKEN ALLANG NIET MEER OP VAN SPRAAKHERKENNINGSTECHNOLOGIE DIE ONS BETER BEGRIJPT NAARMATE WE ER LANGER TEGEN SPREKEN, OF VAN EEN SLIMME THERMOSTAAT DIE NA EEN TIJDJE WEET WANNEER WE DAGELIJKS VAN ONS WERK KOMEN EN DAN DE VERWARMING OP TIJD WAT HOGER ZET. VAN WELKE TECHNIEKEN MAKEN DE NIEUWSTE ONTWIKKELINGEN IN MACHINELEARNING GEBRUIK? EN WELKE BEDRIJVEN EN ONDERZOEKERS MOETEN WE IN HET OOG HOUDEN? PCM ZOCHT HET UIT EN SPRAK MET EXPERTS DIE DEZE TOEKOMST MOGELIJK MAKEN.

# DE MENS PROGRAMMEERT EEN ALGORITME DAT UIT ZICHZELF LEERT OM DE TAAK UIT TE VOEREN

We spreken van machinelearning als een programma in staat is om zonder menselijke inbreng te leren hoe het een specifieke taak kan uitvoeren, en beter wordt in die taak hoe meer ervaring het heeft. Er is dus geen mens die een algoritme programmeert om die taak uit te voeren; de mens programmeert een algoritme dat uit zichzelf leert om de taak uit te voeren.

Hoe programmeer je zo'n algoritme om te leren? Kort door de bocht bestaat dat leren eruit dat het algoritme zoveel mogelijk informatie uit een verzameling gegevens haalt en zo een signaal van 'ruis' kan onderscheiden in die gegevens. Zo zijn in spraakherkenningstechnologie de gegevens een geluidsopname, terwijl de uitgesproken woorden de informatie vormen. Al de rest van de geluidsopname is ruis. In de praktijk trainen we de software op een trainingset, een verzameling gegevens die een goede voorstelling vormt van de gegevens die de software zal tegenkomen. Nadat de software op die manier getraind is, kan het ook onbekende gegevens aan. Wel moet de taak altijd duidelijk afgelijnd zijn. Software die spraak herkent, kun je niet integraal inzetten om muziek te herkennen en al zeker niet om gezichten te herkennen.

## DEEPLARNING

Vooral deeplearning maakt de laatste jaren furore in de wereld van machinelearning. Bij deeplearning gebruikt het algoritme een groot aantal lagen tussen input en output.

De invoerlaag verwerkt de input en stuurt die door naar de volgende laag, die zijn input verwerkt en naar de volgende laag doorstuurt enzovoort, tot er aan het einde de output uitkomt. Dit grote aantal lagen maakt complexe transformaties mogelijk.

Een prominente gebruiker van deeplearning is Google DeepMind. In 2014 nam Google de start-up DeepMind uit Cambridge over. Begin 2016 kwam het in het nieuws met de overwinning van AlphaGo op de menselijke kampioen in het bordspel go. Het systeem van DeepMind blinkt ook uit in het spelen van games zoals Space Invaders en Pac Man. Google DeepMind combineert deeplearning op een convolutioneel neurale netwerk (zie het kader 'Neurale netwerken') met het zogenoemde Q-learning om spelletjes te leren spelen zonder dat het hoeft te weten wat de goede zet is: het algoritme krijgt alleen informatie over 'winst' of 'verlies'. Google DeepMind noemt zijn techniek deep reinforcement learning. Wat heeft Google DeepMind dat andere bedrijven niet hebben? "Vooral geld," zegt Sander Bohte, onderzoeker bij het Amsterdamse CWI (Centrum voor Wiskunde & Informatica). "Wanneer je een industrieel onderzoekslabo hebt waar een paar honderd briljante mensen werken, verkrijgt je de resultaten van Google DeepMind. Google heeft het geld om de beste mensen ter wereld aan te nemen en ze hebben geld voor krachtige computerclusters. Zij kunnen dus op een heel andere schaal werken dan universiteiten."

## ANDERE BEDRIJVEN

Google is niet de enige die geld investeert in machinelearning. Facebook heeft een Applied Machine Learning-team dat spam herkent, foto's automatisch tagt en nog heel wat andere slimme taken uitvoert op het sociale netwerk. In 2015 kocht Microsoft het bedrijf Equivio, dat patronen in grote hoeveelheden e-mails en documenten doorspint. En Apple nam in 2016 de vooraanstaande onderzoeker Ruslan Salakhutdinov aan als hoofd van zijn AI Research team. Ook Amazon, Twitter en Baidu zijn



✧ Sander Bohte: "Onze hersenen gebruiken zo'n 25 W energie. Een neurale netwerk ter grootte van de hersenen zou 5 MW verbruiken."

bezig met machinelearning. En dan is er nog IBM, dat met zijn supercomputer Watson belangrijke toepassingen ontwikkelt.

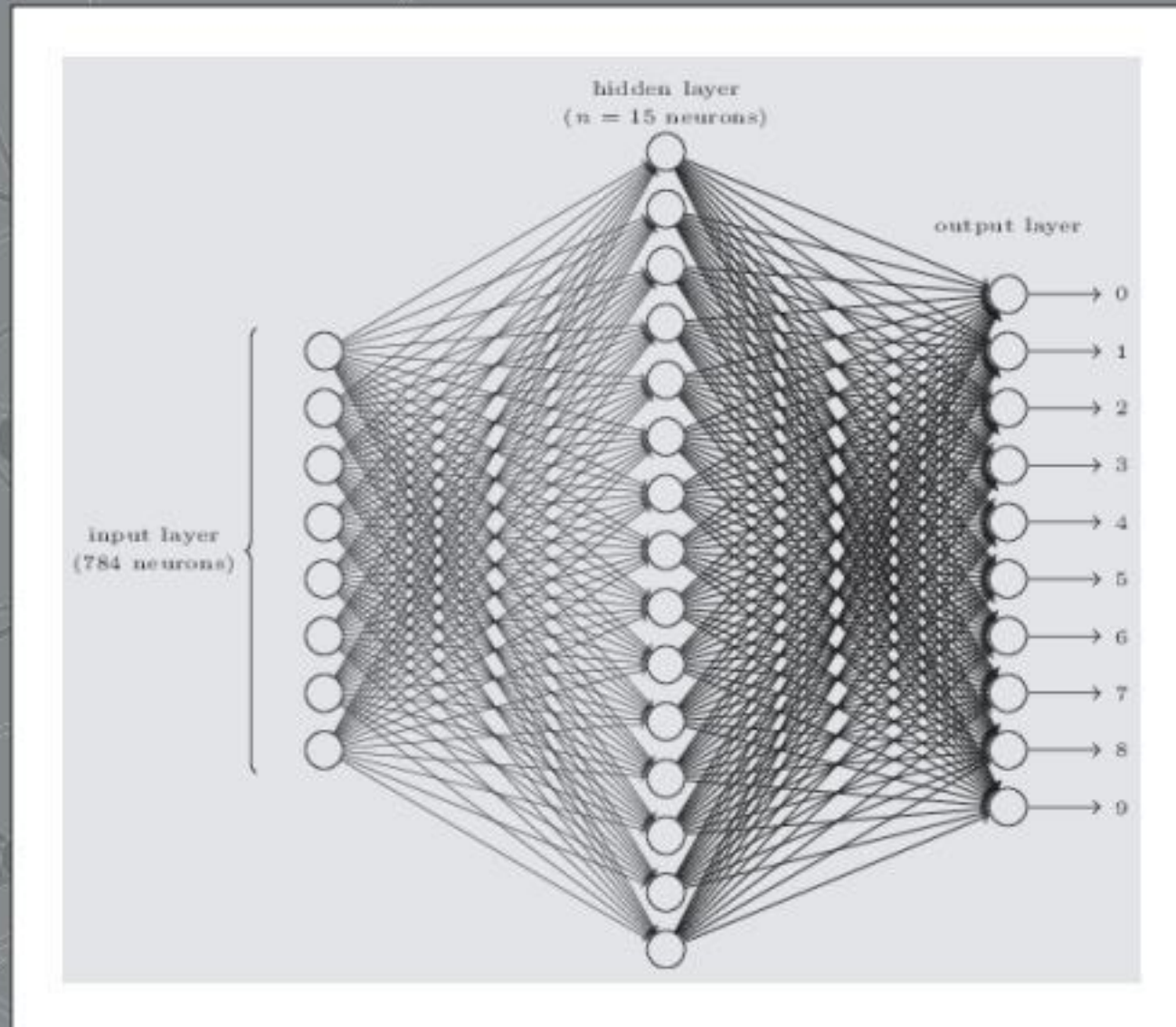
## EFFICIËNTERE NEURALE NETWERKEN

De kunstmatige neurale netwerken die een belangrijke rol spelen in machinelearning zijn losjes geïnspireerd op de neuronen in onze hersenen. Maar ze werken helemaal niet zo efficiënt, zegt Sander Bohte: "Onze hersenen verbruiken zo'n 25 W energie. Een neurale netwerk op een pc verbruikt al snel 300 W. Dat kunnen we niet in een drone implementeren, want die verbruikt dan te veel energie om lang in de lucht te blijven op zijn batterijlading. En als we een neurale netwerk ter grootte van de hersenen zouden maken, zou dat 5 MW verbruiken. Onze kunstmatige neurale netwerken zijn dus aanzienlijk minder efficiënt dan hun biologische evenknieën."

De grote uitdaging is dus om dat verschil te verkleinen. Dat kunnen we volgens Sander Bohte bereiken als we ons nog meer laten inspireren door biologische neurale netwerken: "Neuronen in onze hersenen communiceren met pul-

## Neurale netwerken

Neurale netwerken ('artificial neural networks') vormen een belangrijke aanpak in machinelearning. Ze bootsen de werking van de hersenen na, die een biologisch neuraal netwerk vormen: een kluit van ontzettend veel verbindingen tussen neuronen (hersencellen). Een kunstmatig neuraal netwerk bestaat meestal uit meerdere lagen: een invoerlaag van neuronen die de invoer van een probleem voorstellen, een uitvoerlaag van neuronen die de oplossing van het probleem voorstellen, en één of meer tussenliggende lagen die berekeningen uitvoeren. Bij een fully connected neural network krijgt elk neuron invoer van alle neuronen in de laag ervoor en geeft het zijn uitvoer aan alle neuronen in de laag erna. Bij een convolutioneel neuraal netwerk is een neuron niet afhankelijk van alle neuronen in de vorige laag. Een neuraal netwerk programmeer je niet door expliciet aan te geven hoe het een probleem moet oplossen; je 'traint' het door het vele voorbeelden van een probleem te geven, waardoor het uit zichzelf de taak leert.



✧ Een neuraal netwerk dat handgeschreven cijfers herkent, heeft voor elk cijfer een neuron in de uitvoerlaag. (bron: Michael A. Nielsen, 'Neural Networks and Deep Learning', Determination Press, 2015)

sen. Gemiddeld sturen ze één puls per seconde. Maar neuronen zijn niet continu actief. Soms doen ze een seconde niets en soms vuren ze tien keer in een seconde."

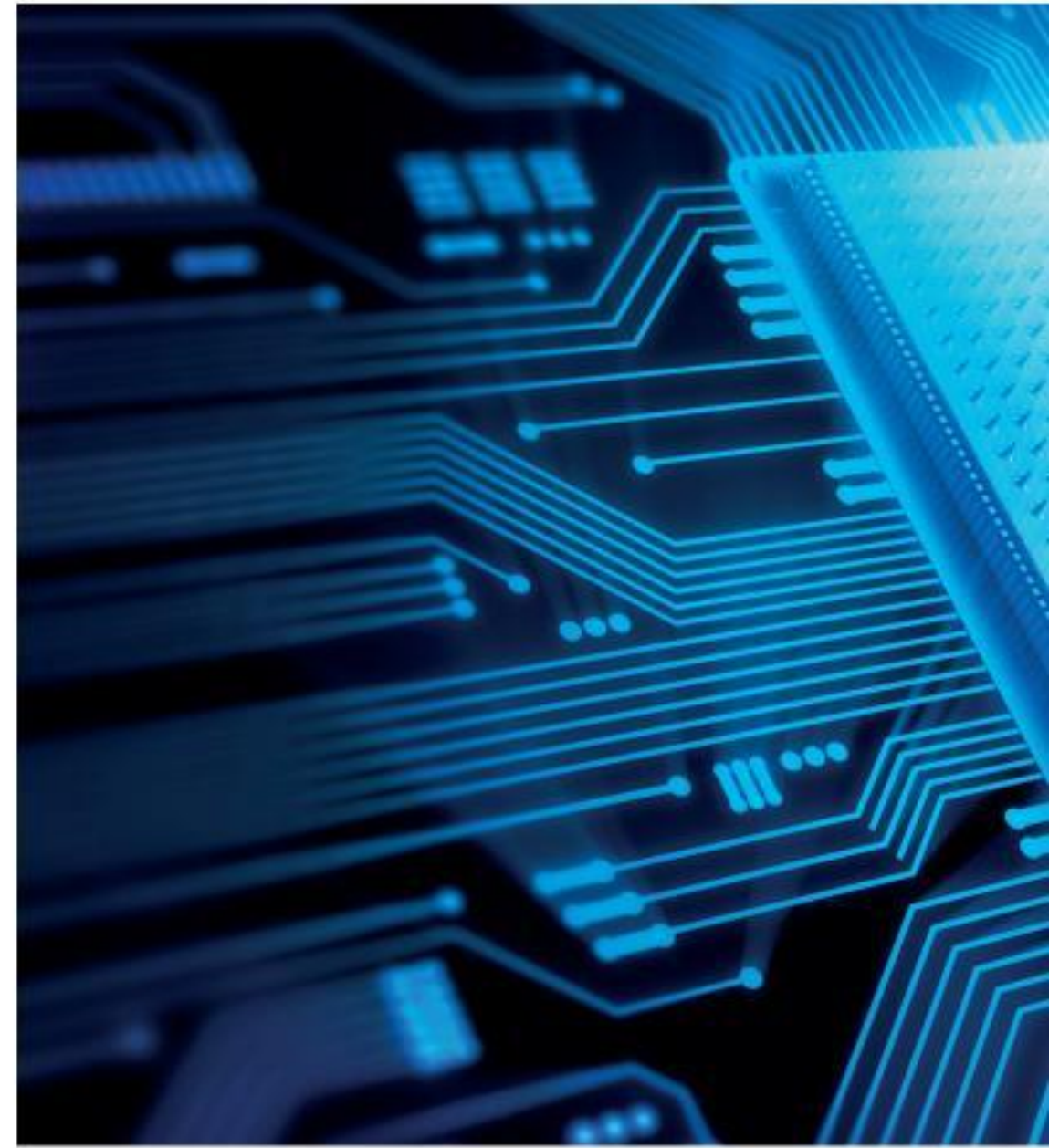
## NEUROPROTHESES

Sander Bohte doet onderzoek naar spiking neural networks, die net zoals biologische neuronen geen energie gebruiken wanneer er niets gebeurt. "We hopen zo neurale netwerken toch een factor 100 energie-efficiënter te maken," zegt hij. IBM gebruikt dezelfde aanpak in zijn TrueNorth-processor, die met een miljoen neuronen maar 70 mW verbruikt. Spiking neurale netwerken hebben volgens Sander Bohte

nog een ander voordeel: ze zijn compatibel met biologische neuronen omdat ze dezelfde taal spreken. "We kunnen een spiking neuraal netwerk in principe rechtstreeks op ons brein aansluiten. Zo werk ik nu samen met het Leids Universitair Medisch Centrum om cochleaire implantaten te verbeteren. Ik verwacht dat neuroprotheses met spiking neurale netwerken binnen vijf jaar mogelijk zijn. En ik verwacht ook veel van het Amerikaanse DARPA, dat veel geld steekt in projecten binnen het BRAIN Initiative met als doel om 1 miljoen gelijktijdige 'aansluitingen' met de hersenen te maken."

## GEEN BLACK BOX

Een nadeel van neurale netwerken is dat ze een soort 'black box' vormen: wanneer ze een resultaat geven, weet je niet hoe het netwerk tot dat resultaat komt. In sommige domeinen



is dat helemaal geen wenselijke eigenschap. Stel dat we software ontwikkelen om een arts te helpen bij het nemen van juiste beslissingen. Als de software een diagnose stelt, maar de arts helemaal niet weet waarop die diagnose gebaseerd is, kan hij daarop niet vertrouwen. Een verkeerde beslissing kan immers een grote impact hebben. "In zulke domeinen werk je daarom liever met predictieve modellen die voor de expert te begrijpen zijn," zegt Gilles Vandewiele, doctoraatsstudent aan het Internet Technology and Data Science Lab (IDLab) van de Universiteit Gent – IMEC. Gilles Vandewiele werkt daarom met 'decision support'-systemen. "Dat vereist vaak meer menselijke inbreng dan een neuraal netwerk, omdat we zelf aan feature extraction (het verminderen van de hoeveelheid middelen die nodig zijn om een grote set van gegevens te beschrijven – red.) doen, terwijl dat bij deep learning automatisch gebeurt. Maar het resultaat is dan wel een begrijpelijk model, dat



⌘ Het zal nog even duren voordat we de kracht van menselijke hersenen in een even energiezuinige chip kunnen stoppen.

vaak sneller getraind kan worden dan zijn tegenpool, omdat we dan geen miljoenen parameters meer moeten leren." Naast de medische sector, zijn ook de financiële en juridische sectoren geïnteresseerd in deze aanpak, omdat experts in die domeinen een uitleg moeten kunnen geven bij hun beslissingen. "De nauwkeurigheid ligt bij deep learning wel nog hoger. Bij de keuze tussen deep learning- en decision support-systemen maak je altijd de afweging tussen nauwkeurigheid en begrijpelijkheid van het model."

Ook IBM Watson ([www.ibm.com/watson](http://www.ibm.com/watson)) is op deze aanpak gebaseerd. De DeepQA-software die het hart uitmaakt van Watson, kan allerlei gestructureerde en ongestructureerde gegevens combineren en zijn beslissingen uitleggen. IBM heeft Watson dan ook al in meerdere ziekenhuizen ingezet en waagt zich met het systeem ook aan weersvoorspellingen.

### ALGORITMES COMBINEREN

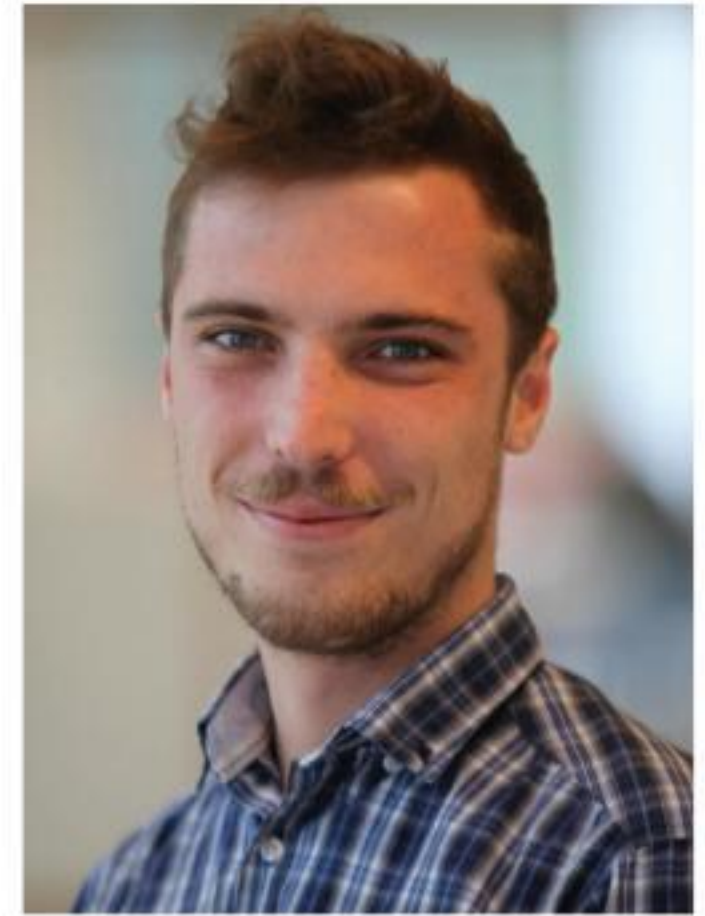
Vandewiele wijst ook op Kaggle

([www.kaggle.com](http://www.kaggle.com)), een online platform dat programmeerwedstrijden in data-science-problemen organiseert. "Op Kaggle vind je heel veel state-of-the-art oplossingen voor machine-learning-problemen. Voor problemen die niet over afbeeldingen, video's of geluid gaan, is de meest prominente tactiek om hoge classificaties te halen het trainen van heel veel verschillende modellen op basis van geëxtraheerde features en dan de voorspellingen van die modellen gebruiken als nieuwe features voor een finaal model. Een van de meest voorkomende algoritmes daarvoor is eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), een algoritme gebaseerd op beslissingsbomen." In 2015 en 2016 haalden doctoraatsstudenten van de Universiteit Gent de eerste respectievelijk tweede plaats in de Data Science Bowl van Kaggle.

### INFORMATIETHEORETISCHE AANPAK

Nog een andere aanpak in machine learning vormen de Bayesiaanse netwerken. Een Bayesiaans netwerk is een probabilistisch grafisch model dat de conditionele afhankelijkheden van willekeurige variabelen voorstelt. Zo kun je de relaties tussen ziektes en symptomen inzichtelijk maken. Bij het voorkomen van bepaalde symptomen, kun je dan berekenen wat de kans is op allerlei ziektes.

"Voor een Bayesiaans netwerk moet je



⌘ Gilles Vandewiele: "Experts in de medische, financiële en juridische sectoren moeten uitleg kunnen geven bij hun beslissingen. Als ze zich laten bijstaan door neurale netwerken, tasten ze in het duister."

ontzettend sterke aannames maken over de wereld," zegt Peter Grünwald van het Amsterdamse CWI. "Je moet aangeven hoe groot de kans is op alle mogelijke toestanden van de wereld, je prior beliefs. Voor complexere problemen gaat dat al snel over een kansverdeling van miljoenen getallen. Het is conceptueel niet zo eenvoudig om je dan voor te stellen waar je nu eigenlijk mee bezig bent."

Peter Grünwald is daarom voorstander van een informatietheoretische aanpak. "Eigenlijk is dat een veralgemening van de Bayesiaanse methode, maar de interpretatie ervan is helemaal anders, in termen van datacompressie. De kern bestaat uit het minimum description length-principe (MDL). Dit principe zegt dat de beste hypothese voor een bepaalde verzameling gegevens, degene is die leidt tot de beste compressie van deze gegevens."

Als je ruwe data zoals x- en y-coördinaten letterlijk zou opschrijven zonder enige compressie, zouden die veel ruimte innemen. Maar als er een patroon tussen x en y bestaat, bijvoorbeeld y is een functie van x, dan kun je die



✧ Francis wyffels: "Machine learning zal ons geen banen kosten, maar juist de kwaliteit van onze jobs verbeteren."

gegevens kleiner opschrijven. Je schrijft dan de functie op en daarna de x-coördinaten. Die tweede manier comprimeert de gegevens beter dan de eerste en is dus een betere hypothese.

### DE VRAAG NAAR ELEKTRICITEIT VOORSPELLEN

Het Franse energiebedrijf EDF (Électricité de France) is volgens Peter Grünwald een prominente gebruiker van de informatietheoretische aanpak. "Elk half uur maakt EDF een voorspelling van de vraag naar elektriciteit. Zo weet het bedrijf wanneer het zijn kolencentrales het best in- en uitschakelt. Nu hebben ze wel diverse modellen voor die voorspellingen, maar die zijn niet altijd even betrouwbaar. Sommige modellen werken bijvoorbeeld beter in de zomer; andere behalen betere resultaten in de winter."

EDF neemt alle mogelijke voorspellingen die ze hebben: van externe bedrijven die voorspellingen doen, van statistische modellen, van neurale netwerken enzovoort. Ze combineren dan al die voorspellingen in een infor-

### Zelf aan de slag met machinelearning

Ook als geïnteresseerde leek kun je vrij eenvoudig met machinelearning experimenteren. Sander Bohte raadt de Deep Visualization Toolbox (<http://yosinski.com/deepvis>) van Jason Yosinski aan. Die toont wat er allemaal in een neuraal netwerk omgaat. Wie nog meer zijn mouwen wil opstropen, kan terecht bij Keras (<https://keras.io>), een Python-bibliotheek voor deeplearning. In nog geen 50 regels Python-code programmeer je je eigen neuraal netwerk. De code draait op een cpu of een Nvidia-gpu. En IBM biedt zijn Watson-api aan op de Watson Developer Cloud ([www.ibm.com/watson/developercloud](http://www.ibm.com/watson/developercloud)), inclusief veel voorbeelden van hoe je Watson programmeert, bijvoorbeeld om een intelligente chatbot te ontwikkelen. Kaggle ([www.kaggle.com](http://www.kaggle.com)) is ook een onuitputtelijke bron van informatie over praktische machinelearning taken. Door aan de programmeerwedstrijden mee te doen, ontwikkel je interessante vaardigheden in machinelearning. Voor de Data Science Bowl van 2017 bedraagt het prijzengeld maar liefst 1 miljoen euro in cash.

matietheoretische aanpak en krijgen daaruit een beter model. "Diezelfde aanpak is ook in heel wat andere situaties interessant," meent Peter Grünwald. "Bijvoorbeeld als je op de beurs wilt handelen."

Waarom verdient dan niet iedereen geld met op de beurs te beleggen op basis van informatietheoretische machinelearning? "Heel eenvoudig: deze aanpak is met behulp van een computer lastig. Zelfs met de snelste computers zijn de algoritmes vaak te traag voor praktische toepassingen. Dat is het grootste nadeel," geeft Peter Grünwald toe.

### ROBOTS LATEN SAMENWERKEN MET MENSEN

We denken bij machinelearning doorgaans aan 'virtuele' oplossingen zoals slimme assistenten en vertaalprogramma's, maar we zien ook meer en meer oplossingen in robotica, die een effect in de echte wereld hebben. "Het is een hele uitdaging om robots te leren bewegen en ze zo adaptief mogelijk te maken in menselijke situaties," zegt Francis wyffels, die hiernaar onderzoek doet aan het IDLab van de Universiteit Gent.

Vooraf in kleinere bedrijven is die aanpak interessant. Terwijl grotere productiebedrijven vaak grotendeels geautomatiseerde fabrieken hebben met robots die zonder enige menselijke inbreng hun werk doen, gaat het bij mkb's vaak anders: de robots krijgen steeds wisselende taken en voeren die in nauwe sa-

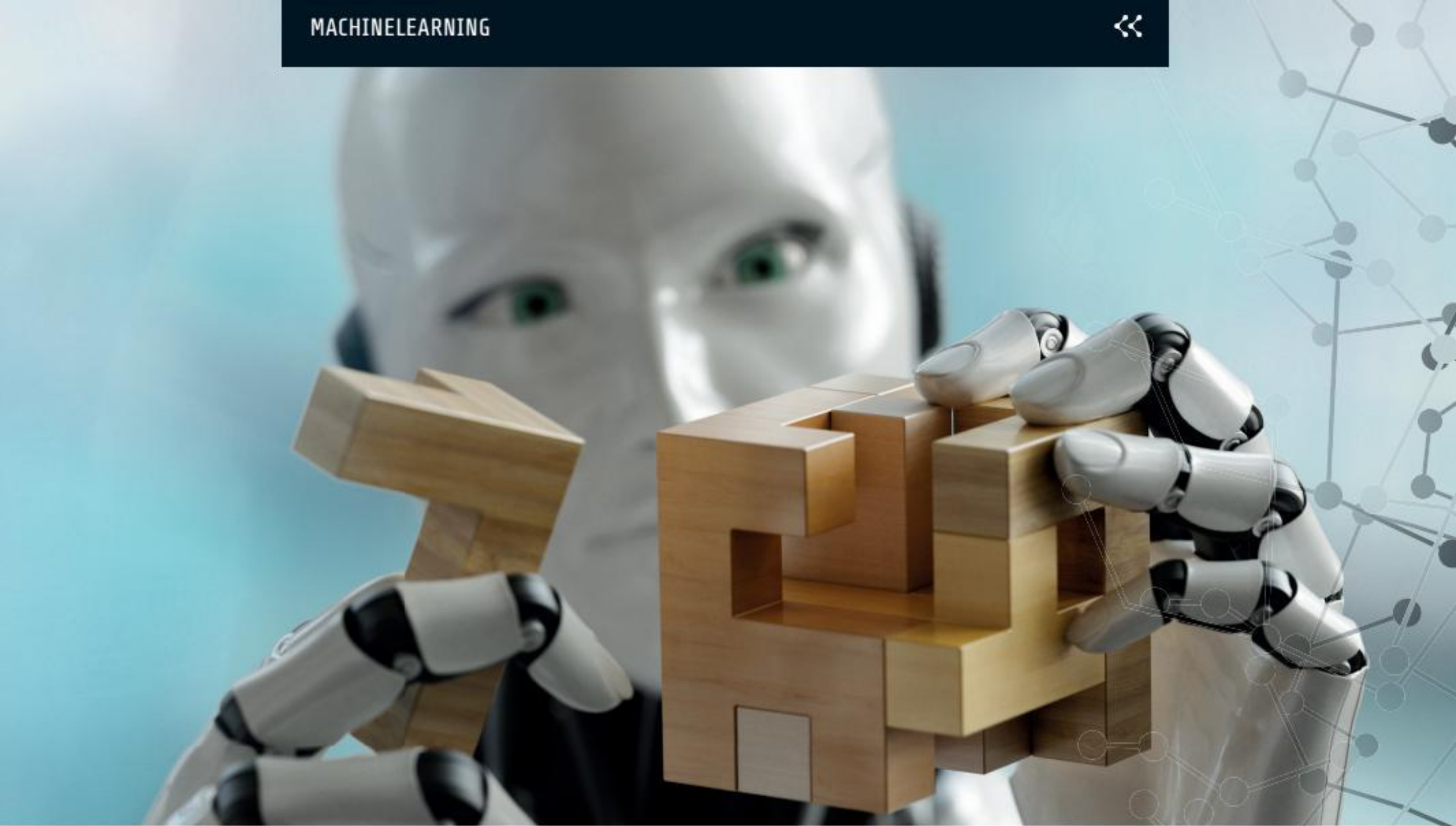
menwerking met mensen uit. Dat vereist heel wat meer intelligentie én aanpassingsvermogen.

### BIOLOGISCH GEÏNSPIREERDE AANSTURING

Om intelligentere robots mogelijk te maken, is ook heel wat fundamenteel onderzoek nodig. Zo bekijken onderzoekers hoe ze de werking van robots meer door biologische processen kunnen laten inspireren. "In onze ruggengraat zitten de Central Pattern Generators (CPG's), neurale netwerken die de spieren aansturen. Voor motorische controle op hoog niveau zijn de hersenen natuurlijk nog nodig, maar de CPG's werken op een lager niveau. De controle gebeurt dus door neurale netwerken op verschillende niveaus," legt Francis wyffels uit. "We kunnen dan ook allerlei basisbewegingen doen zonder dat onze hersenen dat moeten aansturen. Robots werken daarentegen doorgaans met één centraal programma dat alles aanstuurt. Wat als je nu de bewegingen van een robot ook hiërarchisch laat aansturen, met onafhankelijk werkende motorneuronen zoals in onze ruggengraat? Dit onderzoek staat wel nog in de kinderschoenen, maar het is een veelbelovende aanpak."

### ROBOTS IN DE HUISKAMER

Francis wyffels verwacht ook dat we in ons dagelijks leven meer robots te zien gaan krijgen, ook thuis. Dat past volgens hem in een bredere evolutie naar meer interactie met slimme systemen: "We hebben nu al veel slimme systemen in huis, bijvoorbeeld een slimme thermostaat, maar daar heb je weinig interactie mee. Ook de intelligentie in de huidige domoticasystemen blijft vrij beperkt. Je kunt wel de status van je sensoren opvragen, schakelaars in- en uitschakelen, en een aantal zaken gebeurt automatisch. Maar van echte sociale interactie is geen sprake." Binnen enkele jaren zouden we ons domoticasysteem volgens Francis wyffels dan ook niet



meer via een aanraakscherm aan de muur of via onze tablet aansturen, maar we zouden er op een natuurlijke manier mee communiceren via een soort kunstmatige huiscoach. "Zo'n sociale robot waarmee je spreekt, kan de aversie van veel mensen voor technische systemen overwinnen. Veel mensen zijn bang voor een domoticasysteem omdat ze in de war raken door al die knopjes en instellingen. Dat is allemaal veel te abstract voor hen. We hebben alle bouwblokken om een sociale interactie met ons domoticasysteem te ontwikkelen: goede spraakherkenning, beeldverwerking, kennis over human-robot-interaction enzovoort. De ontwikkelingen op dit vlak zullen dus niet zo heel lang op zich laten wachten."

### EN ONZE BANEN DAN?

De vooruitgang in machinelearning zal niet alleen in ons dagelijks leven gevolgen hebben, maar ook breder in de maatschappij. Het doemscenario is dat we allemaal onze banen gaan verliezen aan computers. Artsen, journalisten, juristen ... volgens de doemdenkers is hun baan binnen afzienbare tijd bijna volledig te

automatiseren. Onderzoeksbureau Forrester voorspelt dat in 2021 al zes procent van de banen in de VS door robots zijn overgenomen. Toch is het toekomstbeeld niet zo negatief voor onze baanvooruitzichten als vaak wordt voorgesteld. In zijn rapport 'Preparing for the Future of Artificial Intelligence' van eind 2016 schetste de Obama-administratie in één van zijn laatste publicaties dat we onze banen kunnen behouden als we mens en machine laten samenwerken om elkaars zwakheden te compenseren. Zo vermeldt het rapport een studie waarbij afbeeldingen van cellen van lymfeknopen door een computer of door een dokter beoordeeld werden, om te bepalen of het om kanker ging. De computer maakte 7,5 procent fouten, de menselijke patholoog 3,5 procent fouten. Maar als de patholoog werd bijgestaan door een computer, werd het foutpercentage van de gecombineerde aanpak gereduceerd tot 0,5 procent.

### UITDAGINGEN

De grootste uitdaging in het domein is volgens Francis wyffels dat we te weinig mensen hebben die onderzoek doen naar machinelearning. Dat is volgens hem ook een gevolg van het gebrek aan interesse in wetenschappen en technologie bij de jeugd, in het bijzonder de informaticawetenschappen. "Hier ligt een grote taak voor de overheden en scholen: zij moeten onze jeugd voldoende laten kennismaken met informaticawetenschappen en hen leren om met de snelle veranderingen in de toekomst om te gaan. Er zijn gelukkig heel

wat scholen die al op eigen houtje initiatieven invoeren om hun leerlingen warm te maken voor informaticawetenschappen." Om leerkrachten daarbij te helpen, richtte Francis wyffels Dwengo ([www.dwengo.org](http://www.dwengo.org)) op en heeft hij didactisch materiaal op de website program-uurtje ([www.program-uurtje.org](http://www.program-uurtje.org)) verzameld. «

✧ Peter Grünwald: "De beste hypothese voor een gegeven verzameling gegevens is degene die leidt tot de beste compressie van deze gegevens."

