



**BRAINSTORM**  
EDITIE 2011-02

# Paradox



# Inhoudsopgave

|                                                              |    |                                                                         |    |
|--------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Van de Redactie</b><br>DIRK ZITTERSTEYN                   | 3  | <b>Puzzel</b><br>ERIC JANSEN                                            | 18 |
| <b>Van het Bestuur</b><br>JORIS DE KEIJSER                   | 4  | <b>Strip</b><br>ANDRIES DE VRIES                                        | 19 |
| <b>Wiskundige paradoxen</b><br>ROEL LUPPES                   | 5  | <b>Jaap en de wondere wereld van:<br/>Paradoxen</b><br>JAAP OOSTERBROEK | 20 |
| <b>Wat hoor je als je luistert?</b><br>ROBERT VAN DER LINDEN | 8  | <b>De weg van de afstudeerder</b><br>JASPER VAN DE GRONDE               | 23 |
| <b>Decoding brain activity</b><br>MARIEKE VAN VUGT           | 13 |                                                                         |    |

## Colofon

De Brainstorm is een uitgave van Studievereniging Cover en wordt verspreid onder leden, staf en anderszins geïnteresseerden. De Brainstorm verschijnt 3 maal per jaar, in een oplage van 600 stuks.

### Redactie

Voorzitter: Eveline Broers  
Eindredacteur: Dirk Zittersteyn  
Penningmeester: Tineke Slotegraaf

### Lay-out

Dirk Zittersteyn

### Voor- en achterkant

M.m.g door  
de Fotocie

### Adverteerders

Café Karakter  
TNO  
Topicus

### Redactieadres

Studievereniging Cover  
t.a.v. De Brainstorm  
Postbus 407  
9700 AK Groningen

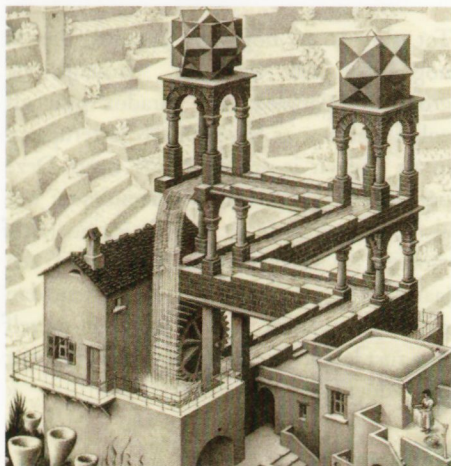
brainstorm@svcover.nl  
www.svcover.nl

# Van de Redactie

DIRK ZITTERSTEYN

Paradoxen zijn er in alle vormen en maten. Iedereen die Logica gevolgd heeft zou bekend moeten zijn met de basis van alle paradoxen:  $A \wedge \neg A$ . Alle logische paradoxen zijn te herleiden tot dit statement. De Barbier van Sevilla, de grootvaderparadox: de lijst met reduceerbare paradoxen is enorm. Het probleem van deze observatie is dat, net als bij boter-kaas-en-eieren, het een beetje de lol uit de zaak haalt.

Gelukkig zijn er ook een hoop paradoxen die, zelfs met deze kennis in het achterhoofd, nog steeds maf zijn om mee te maken. (Ik neem hier voor het gemak illusies als deel van de verzameling paradoxen, je ziet immers iets wat er niet is.) Ronde zwarte puntjes op een wit raster, kleur in een zwart-witplaatje of soms zelfs beweging in een stilstaand plaatje. Het is wel duidelijk dat je je ogen in ieder geval niet kan geloven.



Tijdens het rondgoogelen, wat iedereen doet voordat 'ie een stukje schrijft, kwam ik er echter achter dat niet alleen je ogen maar ook je oren makkelijk voor de gek te houden zijn. Pak maar eens de Wikipedia-pagina over de Shepard Tone er bij. Het is alsof je naar M.C. Escher's 'Waterfall' zit te luisteren. Je zou het bijna paradoxaal kunnen noemen hoe veel we op onze zintuigen vertrouwen, terwijl ze ons zo vaak voor de gek houden.

Nog een taak waar je je zintuigen hard voor de gek houdt: eindredacteur zijn van de Brainstorm. Je zou denken dat het lezen van zoveel artikelen je steeds beter maakt in spell-check, maar het paradoxale is dat je spelling er slechter van wordt... Dus voordat het voor mij te laat is en ik geen ABN meer ben, draag ik het stokje over. Ik heb de afgelopen jaren met veel plezier in de Brainstorm gezeten en wens de commissie veel succes met de komende etidies! «

# Van het Bestuur

JORIS DE KEIJSER, PENNINGMEESTER VAN COVER

Als informaticus moet ik bij het woord paradox al gauw denken aan logische (oké, verzamelingenleer) paradoxen als de barbier van Sevilla die alle mannen uit het dorp scheert die zichzelf niet scheren (wie scheert de barbier?). Een andere zeer bekende paradox is natuurlijk Russels paradox, de verzameling van alle verzamelingen die geen lid zijn van zichzelf. Gelukkig zijn er ook paradoxen waar je minder over hoeft na te denken zoals de taalkundige paradoxen. Opmerkingen die op het eerste gezicht heel logisch lijken, maar als je er even over nadenkt een tegenspraak bevatten.

Als je teveel over paradoxen nadenkt, kom je altijd uit bij iets wat niet klopt. Ga maar na, klopt altijd. Paradoxen worden veel gebruikt, maar ze kloppen nooit. Wat eigenlijk heel raar is, want ze hebben wel voor grote doorbraken gezorgd. Zo heeft Russels paradox geleid tot het inzicht dat de wiskunde onvolledig is en worden ze veel gebruikt om zwakke redeneringen aan te tonen.

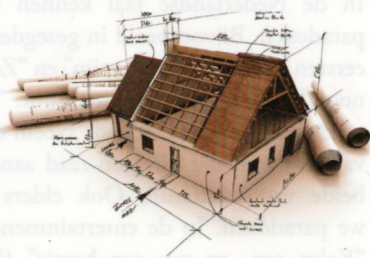
Nu is een jaartje bestuur ook vol met paradoxen. Zo verwacht je er van tevoren van alles van, maar uiteindelijk zijn het de onverwachte dingen die je had moeten verwachten. Zo verloopt ons jaar heel rustig en is het toch heel druk. De tijd vliegt voorbij terwijl de klok tergend traag tikt als je bezig bent met het doen van je taakjes en je ergert je dood aan de heerlijke afleiding die de leden in je buurt je te bieden hebben. Af en toe moet je natuurlijk oninteressante dingen doen als bestuur, maar gelukkig zijn er bijna geen oninteressante taakjes. En als



je toch zo'n taakje tegenkomt, wordt dat taakje direct al interessant, oninteressante taakjes zijn tenslotte zeldzaam.

Tot slot is er nog één paradox die ik nog even wil aanhalen, namelijk de grootvadersparadox. De paradox gaat als volgt: wat zou er gebeuren als je teruggaat in de tijd en je schiet je opa neer? Deze paradox is ook als volgt te formuleren: wat als je terug kon in de tijd en je zou jezelf moeten adviseren over het doen van een jaartje bestuur? Ik zou het wel weten, dan zou ik de paradox niet uitdagen en mezelf met rust laten. Mezelf zeggen dat ik het niet moet doen? Dat is geen optie. «

# VOEL JE THUIS



**TNO** innovation  
for life

## ONTDEK TNO

TNO IS TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK  
ONDERZOEK. TNO IS OOK ALLE AANDACHT VOOR  
JOUW ONTWIKKELING. KIJK OP [WERKENBIJTNO.NL](http://WERKENBIJTNO.NL)  
BIJ TALENT DEVELOPMENT PROGRAMME OF  
TRAINEESHIP

**WERKENBIJTNO.NL**

# Wiskundige paradoxen

ROEL LUPPES, DOCENT WISKUNDE

Volges de “Dikke Van Dale, Groot woordenboek der Nederlandse taal”, is een paradox een schijnbare tegenstrijdigheid. Wat betekent dit? Is er sprake van een tegenspraak, die er niet echt is? In dat geval bevat voorgaande zin een paradox (ga na) en is het woord paradox zelf een paradox. Bestaan paradoxen dan eigenlijk wel? Over dergelijke filosofische vragen kun je uren debatteren. Neem eens het begrip ‘niets’.

Je kunt hier ook over discussiëren. Maar wat is niets? Kun je daar eigenlijk een definitie van geven? Praat je dan over iets wat er niet is? Kun je daar dan eigenlijk wel over praten?



In de Nederlandse taal kennen we vele paradoxen. Bijvoorbeeld in gezegden: “Vele eersten zullen de laatsten zijn” en “Zeg nooit nooit”. Maar ook in de literatuur: “Niets is zeker, en zelfs dat niet” en “Neem één raad van mij aan: dat gij geen raad aanneemt”, beide van Multatuli. Ook elders vinden we paradoxen. In de entertainmentwereld: “Kalm aan, en rap een beetje” (Herman Finkers) en “Ik was altijd besluiteloos, maar nu ben ik daar niet meer zo zeker van” (Tommy Cooper). In de sport: “Voordat ik een fout maak, maak ik die fout niet” (Johan Cruyff). In de geschiedenis: “Als je vrede wil, bereid dan de oorlog voor” (Titus Livius) en “Wees matig in alles, zelfs in de matigheid” (Gaius Petronius). In de filmwereld: “Back to the Future” (Universal Studios).

Nog een paar leuke voorbeelden: “Gaaf u deze vraag met nee beantwoorden?”, “Deze zin is onwaar” en “Ik lieg altijd”. Drie varianten van de zogenaamde ‘Leugenaarsparadox’. Mogen we hieruit concluderen dat leugenaars nooit liegen? Hoe dan ook, wiskundige puristen zien dit als voorbeelden van echte paradoxen. Neem de eerste. Als ‘ja’ het antwoord op de vraag is, wordt de vraag dus met ‘nee’ beantwoord, hetgeen een tegenspraak is. Als het antwoord op de vraag ‘nee’ is, wordt de vraag dus met ‘ja’ beantwoord; opnieuw een tegenspraak. Er wordt geen enkele fout gemaakt en toch is er altijd een tegenstrijdigheid.

*Mogen we hieruit concluderen dat leugenaars nooit liegen?*

In de wiskunde kennen we vele leuke paradoxen. Vanuit de verzamelingenleer komt de “Bibliotheekparadox” van Bertrand Russell. In een bibliotheek moet orde worden gebracht in een stapel catalogi. Sommige van deze catalogi vermelden zichzelf, terwijl andere dat niet doen. We maken twee nieuwe catalogi: catalogus 1 vermeldt alle catalogi die zichzelf vermelden, catalogus 2 vermeldt alleen catalogi die dat niet doen. Het is duidelijk dat catalogus 1 zichzelf zal vermelden. Maar moet catalogus 2 nu worden vermeld in zichzelf? Catalogus 2 mag zichzelf per definitie niet opnemen, het is immers de catalogus voor catalogi die zichzelf niet vermelden. Maar als catalogus 2 zichzelf niet opneemt, moet hij toch

opgenomen worden omdat hij zichzelf niet vermeldt. Er zit geen enkele fout in de redenaties, het probleem heeft gewoon geen oplossing. Een echte wiskundige paradox dus.

De bibliotheekparadox is equivalent aan het probleem van "de barbier van Sevilla". Van deze man is bekend dat hij alleen mannen scheert die zichzelf niet scheren. Maar scheert deze barbier zichzelf dan wel of niet? Logisch redeneren leert dat de barbier zichzelf zowel niet als wel scheert. Eveneens een onoplosbaar probleem en dus een echte



wiskundige paradox. Je kunt je trouwens afvragen of onoplosbare problemen wel echt bestaan. Zo'n probleem is namelijk pas opgelost als is bewezen dat het onoplosbaar is, wat toch wel weer erg paradoxaal is.

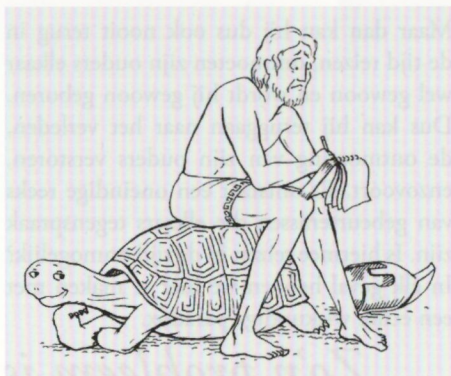
Ook tijdmachines leiden tot echte paradoxen. Wat gebeurt er als een reiziger terug in de tijd gaat en er voor zorgt dat zijn vader en moeder elkaar nooit ontmoeten? Dan wordt de reiziger nooit geboren.



Maar dan kan hij dus ook nooit terug in de tijd reizen, ontmoeten zijn ouders elkaar wel gewoon en wordt hij gewoon geboren. Dus kan hij teruggaan naar het verleden, de ontmoeting van zijn ouders verstoren, enzovoort. Er ontstaat een oneindige reeks van gebeurtenissen die elkaars tegenspraak zijn. Is hiermee reizen in de tijd onmogelijk? In elk geval hebben we hier te maken met een echte wiskundige paradox.

*Zo'n probleem is  
namelijk pas  
opgelost als is  
bewezen dat het  
onoplosbaar is*

Vanuit de meetkunde kennen we de 'Manhattan-paradox', welke leidt tot een ontkenning van de stelling van Pythagoras. Beschouw de driehoek  $\triangle ABC$ . Er geldt zonder benadering dat  $A + B = d_1 + d_2$ . Nu kunnen we in plaats van  $d_1 + d_2$  ook lopen langs  $e_1 + e_2 + e_3 + e_4$ , hetgeen doet denken aan een wandeling door een stad met een rechthoekig stratenplan zoals bijvoorbeeld Manhattan in New York. Ook via  $f_1 + f_2 + \dots + f_8$  leggen we dezelfde afstand af. Zo kunnen we onze wandeling steeds verder verfijnen. Uiteindelijk lopen we langs de lijn  $C$  zelf. En daarmee vinden we dus dat  $A + B = d_1 + d_2 = C$ , terwijl volgens Pythagoras  $A^2 + B^2 = C^2$ . Welke fout maken we hier? Wel, we gaan ervan uit dat de oneindig fijne wandeling de afstand  $C$  heeft. Maar we moeten natuurlijk netjes alle oneindig kleine lengtes langs de



rechthoeken optellen. Hier is dus sprake van een fout, en de Manhattan-paradox is geen echte wiskundige paradox. De uitspraak “de Manhattan-paradox is een paradox” is dan weer wel een paradox.

*Gelukkig maar,  
anders hoef je ook  
nooit aan een  
studie te beginnen*

Een vergelijkbare fout wordt gemaakt in “Zeno’s paradox”, bedacht door de Griek Zeno van Elea, waarin een schildpad hardloper Achilles uitdaagt voor een hardloophwedstrijd.

De schildpad krijgt een bepaalde voorsprong. De schildpad redeneert dat het Achilles een bepaalde tijd kost om de helft van de achterstand in te lopen. Op dat moment is er nog steeds een (gehalveerde) achterstand in te halen. Het kost weer enige tijd om de helft van deze achterstand in te halen. En omdat Achilles steeds maar de helft inhaalt, blijft de schildpad altijd voor en wint uiteindelijk de wedstrijd. Vermoeid ziet Achilles af van de wedstrijd en geeft zich bij voorbaat gewonnen.

Een variant van deze paradox is dat van een af te leggen traject nooit de eindstreep kan worden gehaald. Dit omdat je steeds de helft van de nog te lopen afstand overbrugt en nog altijd een resterende helft hebt te gaan. De fout in de redenering is natuurlijk dat de afstanden en daarmee ook de tijden steeds kleiner worden. Er moet een wiskundig nette oneindige reeks genomen worden met een eindige limietwaarde. Zeno’s paradox is dus eigenlijk geen echte wiskundige paradox. Gelukkig maar, anders hoef je ook nooit aan een studie te beginnen. Het kost namelijk steeds weer tijd om de helft van de nog resterende studie af te ronden... «



# Software hergebruik bij agile ontwikkelomgevingen

Copy-pasten, als student zijnde gebruik je het waarschijnlijk al, in het bedrijfsleven is het niet anders. Ondanks dat het een negatieve bijklank heeft, is het vaak wel een snelle vorm van hergebruik. Op dat moment natuurlijk, want fouten worden rustig mee gekopieerd. Een oplossing hiervan is het generieker definiëren van een specifiek stuk code, een component, zodat dit in een breder spectrum herbruikbaar kan zijn. Echter, hoe weet je van te voren waar je het nog meer nodig gaat hebben?

Voordat deze vraag beantwoord kan worden, moet de code worden geanalyseerd en geoptimaliseerd. Met de komst van agile ontwikkeling zijn er weer nieuwe vragen ontstaan omtrent dit proces, aangezien de focus nu niet meer ligt op geformaliseerde processen en de documentatie hiervan, maar juist op mensen en communicatie. Hiermee wordt het interessant om uit te zoeken hoe dit proces nu het beste vorm kan krijgen en welke factoren hierbij een rol spelen.

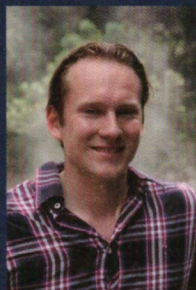
Grote multinationals als IBM en HP hebben in het verleden zelfstandige business units opgezet om software componenten te creëren en te onderhouden. Het lastige van deze opzet is dat kennis over de componenten verzameld moet worden bij andere business units, wat na verloop van tijd steeds moeilijker wordt, zeker aangezien het hergebruik vaak slechts een secundair proces is.

Naast deze organisatorische factoren zijn diverse andere factoren van invloed op software hergebruik. Om alle factoren goed te kunnen analyseren is er een model gedefinieerd, waarin

onderscheid gemaakt wordt tussen een vijftal hergebruik niveaus, 15 hergebruik factoren en een assessment component. De hergebruik niveaus beschrijven incrementele plateaus waarop software hergebruik plaats kan vinden, variërend van ad-hoc tot optimaliserend. De factoren beschrijven de verschillende invalshoeken en met behulp van de assessment component kunnen diverse verbeterpunten worden gedefinieerd.

Dit model is binnen verschillende business units van Topicus getoetst op correctheid en volledigheid. De cellenstructuur van Topicus, waarbij kleine units zich richten op specifieke marktsegmenten, leent zich uitstekend voor toepassing van dit model: naast de vele standaard componenten, worden er ook echte marktspecifieke componenten ontwikkeld, wat leidt tot een potentiële hoog niveau van hergebruik.

Naar aanleiding van het onderzoek zijn diverse verbeterpunten gevonden. De belangrijkste is het toevoegen van een extra variabele om de schaalbaarheid van hergebruik factoren expliciet te meten, om zo de toepasbaarheid te vergroten. Daarnaast blijkt dat agile organisaties niet de processen als belangrijkste factor zien, maar juist de bewustwording bij het individu om hergebruik mogelijkheden te herkennen en te benutten. Het herkenningproces begint bij het analyseren van de klantbehoefte en werkt door in de projecten. Ook bleek dat er behoefte is aan tool support om communicatie tussen projecten te verzorgen, echter zijn hier slechts beperkte mogelijkheden beschikbaar voor.



Wouter Spoelstra is student Bedrijfsinformatie technologie geweest aan de Universiteit Twente. Tijdens zijn afstudeeropdracht heeft hij in opdracht van Topicus onderzoek gedaan naar software hergebruik in agile ontwikkelomgevingen.

Topicus is een jong en innovatief ICT bedrijf met ca. 270 medewerkers in zowel Deventer, Enschede als Zwolle. Topicus identificeert zich niet alleen met hoogwaardige software oplossingen maar vooral ook door het automatiseren van gehele ketens in de sectoren zorg, onderwijs en finance.



# Wat hoor je als je luistert?

ROBERT VAN DER LINDEN, ALUMNUS KI

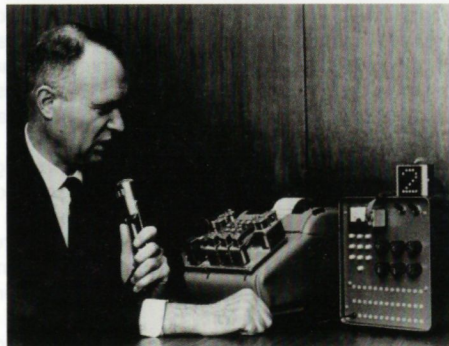
In dit artikel vertel ik iets over mijn afstudeerproject onder supervisie van Tjeerd Andringa. Ik heb de afgelopen anderhalf jaar gewerkt aan het probleem van het annoteren van geluidsopnames. Eerst ga ik in op de context van dit onderzoek, daarna bespreek ik het programma dat ik speciaal voor dit doel heb geschreven, vervolgens beschrijf ik een experiment met dit programma. Inmiddels ben ik als onderzoeksmedewerker in dienst van de groep 'Sensory Intelligence' en werk ik aan een aantal toepassingen van 'mijn' annotatieprogramma. Aan het eind van dit stuk ga ik in op verschillende toepassingen die momenteel worden uitgewerkt.

De kunstmatige intelligentie bevindt zich vaak op de grens tussen het bestuderen van oplossingen uit de natuur en het maken van systemen die een kunstmatige oplossing implementeren. Een van onze twee masteropleidingen richt zich specifiek op het ontwikkelen van systemen die zelf in staat zijn om informatie uit de 'echte' wereld tot zich te nemen of zelfstandig met die complexe wereld te interacteren. Zo'n zelfstandig waarnemend systeem kan bijvoorbeeld tot taak hebben om uit geluid informatie te verzamelen over de omgeving, bijvoorbeeld het herkennen van een specifieke geluidsbron.

Dat blijkt geen gemakkelijke opgave: er zijn nog maar weinig succesvolle voorbeelden van systemen die op een betrouwbare manier geluidsherkenning kunnen uitvoeren in een realistische omgeving. Er zijn een paar uitzonderingen, bijvoorbeeld de

automatische spraakherkenning: na twintig jaar onderzoek is die techniek redelijk bruikbaar, ook voor consumenten. Ook muziekherkenning is een succes(je): het lukt je moderne smartphone redelijk goed om in de kroeg te herkennen welk deuntje er uit de speakers knalt (en natuurlijk wil degene die dat programma ter beschikking stelt maar al te graag dat je dat nummer vervolgens meteen aanschaft). Maar vraag het systeem niet om zelfstandig een partituur van een klassiek stuk uit te schrijven, daarvoor heeft het te weinig kennis over de muziek zelf, het herkent slechts wat het nodig heeft om het nummer te identificeren.

Beide systemen doen het goed in de praktijk omdat ze uit kunnen gaan van een interne structuur in het signaal: bij de smartphone-app is dat de slimme toon- en beardedetectie waarvan het resultaat vergeleken kan worden met een grote database van bekende nummers, bij spraakherkenning heeft de computer veel steun aan een klank- en taalmodel dat met veel zorg is samengesteld.



*De Shoebox van IBM: een systeem dat rekenopdrachten kan uitvoeren op basis van gesproken commando's. © IBM Corp.*

Beide taken zijn niet eenvoudig, maar blijken redelijk goed uitvoerbaar wanneer het systeem aannames kan doen over het te verwachten geluid.

Specifieke geluiden en geluidstromen herkennen in de 'echte wereld' is een heel stuk moeilijker, vooral omdat we nog niet precies weten hoe je de onmisbare kennis over de wereld in zo'n herkenner inbouwt en welke kennis vereist is. Zonder die kennis is een samengesteld geluidssignaal een grote brij aan ongecorreleerde signaalcomponenten waarbij het groeperen van die componenten een lastige klus is. Hedde van de Vooren, AIO bij KI, werkt aan een mogelijke oplossing van dit probleem op basis van signaaleigenschappen en hij maakt vooruitgang, maar een oplossing die real-time signalen kan scheiden is nog niet in zicht.

Mensen daarentegen hebben juist enorm veel kennis van de wereld en o.a. die kennis stelt ze in staat om waargenomen geluiden te relateren aan wat ze verwachten te horen: de context bereidt ze voor en maakt het veel makkelijker om een betekenis te geven aan al die brokjes geluids-informatie die de oren bereiken. Je zou dat proces van betekenis geven kunnen zien als het maken van een reconstructie van de wereld: we combineren alle beschikbare informatie tot een beeld dat ons het meest 'logisch' lijkt, het beeld dat coherent is met onze waarnemingen. Dit proces verloopt grotendeels ongemerkt: we zijn zo gewend aan het samenstellen van onze eigen versie van de werkelijkheid dat we die versie behandelen als de waarheid.

Het reconstrueren van de werkelijkheid is een selectief proces: grote delen van de 'invoer' worden niet actief verwerkt omdat ze niet relevant worden geacht; mensen blijken bijzonder goed in staat om grote gedeelten van de input te negeren of irrelevante input hooguit tot een basaal niveau te verwerken. Het zogenaamde 'cocktail party effect' is daarvan een goede illustratie: in een kroeg lukt het de meeste mensen (met normaal gehoor) prima om de muziek en het andere kroeglawaaï te negeren en de aandacht te richten op 1 gesprekspartner. Aandacht blijkt cruciaal in alle vormen van perceptie, ik kom er verderop in dit artikel op terug.

Terug naar geluidsherkenning. Stel dat het toch lukt om een automatische geluidsherkenner te bouwen die in staat is om een lijstje op te leveren van het al dan niet aanwezig zijn van de 10 belangrijkste geluidsbronnen in de omgeving, hoe test je dan of die herkenning klopt? Of, wanneer je leeralgoritme dat vereist: hoe kom je aan gelabelde trainingsdata voor dit probleem?

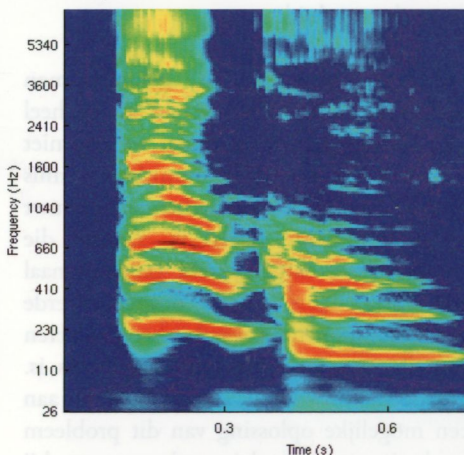
Ik heb me in mijn afstudeeronderzoek gericht op het ontwikkelen van een methode om menselijke luisteraars via een speciaal voor dat doel ontworpen programma hun 'luisterervaring' te laten rapporteren. Het lijkt eenvoudig: stop een proefpersoon in een stille kamer, zet hem of haar een koptelefoon op, speel een audio-opname af en laat de proefpersoon op een tijdlijn aangeven wanneer welke geluidsbron te horen was. Iedere geluidsgebeurtenis wordt op deze manier weergegeven als een tijdsinterval, liggend tussen een begin-

en eindpunt. Aan die interval wordt een semantische beschrijving of een klasse gekoppeld.

Deze taak noem ik het annoteren van een geluidsopname. Het begrip 'annotatie' is wat ambigu in de wetenschap, het wordt ook gebruikt voor het labelen van complete brokken data (dat zou in dit geval de hele opname zijn), maar het gaat mij hier om het annoteren van bronnen binnen de opname, dus in de tijdsdimensie. Eventueel kan ook frequentie-informatie worden opgeslagen, dat zou nuttig kunnen zijn om een geluidsbron ook in het frequentievlak te kunnen lokaliseren, maar dat is geen vereiste.

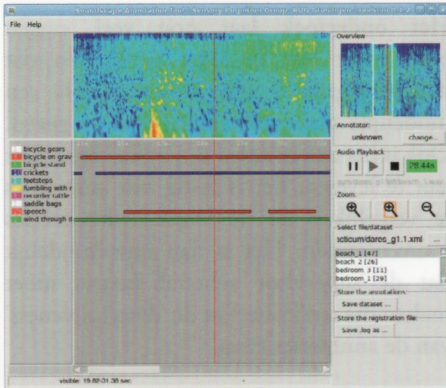
Er is geen standaardsoftware beschikbaar voor deze annotatietaak, en omdat de beschikbare Matlab-implementatie op meerdere gebieden niet voldeed heb ik in Python een nieuwe versie geschreven. Python is een moderne programmeertaal die bijzonder geschikt is voor rapid prototyping: ondanks mijn beperkte ervaring met het schrijven van gui's ontstond er al snel een bruikbaar programma. Net als de Matlab-implementatie presenteert deze Python-implementatie de proefpersoon een cochleogram van de geluidsopname. Een cochleogram is een weergave van de frequentierespons van een model van de cochlea, de plek in het oor waar fysiek geluid omgezet wordt in zenuwsignalen. Het laat in de tijd- en frequentie-as zien waar de energie in het signaal zit; met een beetje training kun je op basis van zo'n plaatje al snel een globaal beeld vormen van

de inhoud van de opname, en het is daarom een goede kandidaat om te gebruiken als steun bij het annoteren.



***Cochleogram van een spreker die het woord 'welkom' uitspreekt.***

Niet voor niets is er een heel wetenschapsgebied ontstaan in de psychologie rondom taakverrichting: zodra je meer proefpersonen deze annotatietaak laat uitvoeren blijkt dat ze de taak allemaal net een beetje anders opvatten en volbrengen. Geen twee annotatie-sets zijn hetzelfde: de start- en stoppunten van de intervallen verschillen, wat bij de ene proefpersoon één klasse is splitst de andere proefpersoon in meerdere subklassen, sommige proefpersonen missen geluidsbronnen die anderen wel hebben opgemerkt, enzovoort. Blijkbaar maken proefpersonen ruim gebruik van de vrijheid die de taak biedt en dat maakt het lastig om algemene conclusies te trekken op basis van alle annotatie-sets samen.



**Screenshot van de Python-implementatie van de annotatietool**

Wat ligt er ten grondslag aan die variatie in annotaties van verschillende personen? Om die vraag te beantwoorden moeten we nog een niveau dieper kijken: hoe voeren proefpersonen de annotatietask uit?

Om die vraag te kunnen beantwoorden moeten we eerst de taak van een luisteraar nog eens goed bekijken. Het is belangrijk om te weten hoe menselijke luisteraars omgaan met hun geluidsomgeving: net als in het visuele domein speelt aandacht een cruciale rol bij het waarnemen van geluid. In het visuele domein is dat duidelijk zichtbaar aan de anatomie van het menselijk oog, in het bijzonder het netvlies: met slechts een klein gedeelte van het visuele veld kun je scherp zien. Als je om je heen kijkt ben je constant bezig met het aftasten van het beschikbare visuele veld door middel van kleine sprongen, saccades. Zoals gezegd zijn de hersenen bijzonder goed in staat om alle waargenomen brokjes beeld weer

samen te voegen tot een coherent beeld. Dat samengestelde beeld bevat niet altijd alle belangrijke informatie: je kent vast uit een van de eerstejaarscolleges de video van studenten die een bal overgooien in de hal van hun faculteit. Jouw taak is om de bal te volgen en het aantal keer stuiteren te tellen, en omdat je zo gefocust bent op die bal is de kans groot dat je bij de eerste keer dat je de video bekeek niet doorhad dat er een persoon verkleed als een gorilla door het beeld loopt. Dit fenomeen heet 'inattention blindness': blindheid voor een bepaalde stimulus doordat je aandacht op andere stimuli is gericht. [1]

Ook bij luisteren speelt het aandachtssysteem een cruciale rol. Het is simpelweg onmogelijk om alle geluids informatie tot een hoog niveau te verwerken en daarna pas te kiezen welk gedeelte bewust verwerkt moet worden. Tot voor kort werd gedacht dat dat de manier is waarop de hersenen geluid verwerken: eerst de invoer scheiden in verschillende geluidsstromen en dan een van die geluidsstromen bewust verder verwerken. Deze theorie noemt men wel 'attentive selection of auditory streams'.

De laatste jaren is er veel aandacht voor een alternatieve theorie die stelt dat er al vroeg in het proces een keuze wordt gemaakt uit de beschikbare stimuli en alleen het deel van de stimuli waar de aandacht op is gericht wordt verder verwerkt tot een hoger niveau.

Aude Oliva beschrijft in het visuele domein hoe een 'tussentijdse representatie' wordt samengesteld die gist wordt genoemd.

Gist is een representatie die precies genoeg informatie bevat om een globaal beeld te krijgen van de input en verdere verwerking op hoger niveau te sturen richting het interessante deel van de input. Er is nog niet onomstotelijk vastgesteld dat zo'n representatie bestaat, maar er zijn steeds meer aanwijzingen dat er ook in het auditieve domein inderdaad zoiets bestaat als gist.[2]

Om in de praktijk te zien hoe aandacht werkt in een annotatietaak heb ik 19 proefpersonen een geluidsopname van ongeveer 20 minuten laten annoteren. De gebruikte opname is gemaakt in een relatief rustige straat in Assen en bevat de geluiden van vogeltjes, langsrijdende auto's, af en toe wat spraak en het geluid van een vliegtuig dat rondjes boven de stad draaide.

De resultaten varieerden inderdaad enorm tussen de proefpersonen: zo waren sommige proefpersonen geobsedeerd door de auto's in de opname en besteedden ze veel tijd aan het vastleggen van de verschillende typen auto's die de opnamelocatie passeerden. Andere proefpersonen gaven tot in detail aan waar de 'twiets' van de aanwezige vogeltjes in het signaal zaten.

Toch waren er veel gemeenschappelijke patronen te vinden in de annotatie-sets. Vrijwel alle proefpersonen waren sterk gefocussed op stemgeluid en andere menselijke geluiden zodra die te horen waren en er was duidelijk te zien dat ze in die periodes minder aandacht hadden voor andere geluidsbronnen.

Het onderzoek laat nog veel vragen over, maar laat in ieder geval zien dat het belangrijk is om de annotators een duidelijke taakomschrijving mee te geven. Ook is het aan te raden een vaste klassenlijst aan te leveren; het is lastig om annotaties te vergelijken als de klassen niet precies overeenkomen. Het is dan onvermijdelijk dat de supervisor achteraf keuzes moet maken die ten koste van de 'descriptiveness' van de annotaties gaan.

Het annotatieprogramma dat ik heb ontwikkeld blijkt intussen op veel plekken inzetbaar. Zo doet een AIO samen met twee bachelorstudenten momenteel onderzoek naar de ideale geluidsomgeving voor verstandelijk gehandicapten; bij dit onderzoek gebruiken zij de annotatie-tool om geluidsopnames in wooninstellingen te beschrijven. Ook in mijn huidige onderzoek naar geluidsoverlast in het woongebied rond het TT-circuit in Assen speelt de tool een rol: we verwachten een relatie tussen de aandacht die een (storende) geluidsbron trekt en de kans dat iemand zo'n geluidsbron annoteert in een opname. In de toekomst kan de tool ook worden uitgebreid om andere informatie zichtbaar te maken, zoals de resultaten van meer basale herkenningalgoritmen. «

#### Referenties:

- [1] A. Mack & I. Rock, 'Inattentional Blindness'. 1998  
The MIT press
- [2] Harding et. al, 'Auditory gist perception: an alternative to attentional selection of auditory streams?'  
*Attention in Cognitive Systems*, p399-416, 2007 Springer



# Decoding brain activity

MARIEKE VAN VUGT, STAFLID KI

Although I am Dutch, I will write this article in English, because having spent the past 7+ years in the US, and having studied at the all-English University College Utrecht before that, I simply don't know how to say a lot of these things in Dutch. As a new addition to the Department of Artificial Intelligence, I figured it would be useful for me to say something about the work I am doing. If you're interested in doing a Bachelor or Master project with me, feel free to contact me anytime.



*When I'm inside the lab..., and when I'm outside it.*

So what do I do in my lab? Probably the best term for it is Computational Cognitive Neuroscience: I study the brain and cognition with the aid of computational models. I am interested in virtually all aspects of cognition, but up to now I have focused mostly on memory

and decision making. In this article, I will share some of my work on memory.

One very interesting type of memory is recognition memory. This is the type of memory you use when someone asks you:

"Have you seen this bike before?" It's the kind of memory you would use when the police asks you as an eye witness which person in a line-up has committed the crime. We study recognition memory in the lab with a task such as the Sternberg task (Sternberg, 1966, named after Prof. Saul Sternberg, who coincidentally was a professor at the University of Pennsylvania where I did my PhD. He was quite a character: even in his seventies he would come to the lab every day, on his bike, with a helmet accommodated with a little mirror so he could look behind him). And that considering that in the US biking is not as normal as it is here... Anyway, in the Sternberg task, participants see a sequence of a few stimuli, for example faces, as I used in my studies. Then they see a probe stimulus after a delay, and their job is to say whether the probe stimulus is identical to one of the stimuli on the to-be-remembered list ("study list").

*"Have you seen this bike before?"*

A very successful computational model of this task is the Noisy Exemplar Model (NEMO; Kahana & Sekuler, 2002), which describes task performance based on the similarities of the stimuli. This is a really cool model, because it makes it as if you are looking into the participants' head, into the way they have organized their stimuli. So how does it work? It assumes that a person has in their head an abstract similarity space where items that are very similar live closely

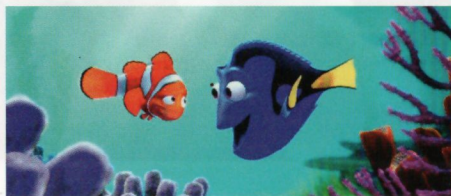
together. Items that are dissimilar live far apart. We can find out a person's similarity space by asking them which stimuli are more similar to one another and then performing a Multidimensional Scaling procedure (Takane, Young, & Leeuw, 1977), which is a statistical technique to configure the stimuli in such a space that it best captures the obtained similarity matrix. Once you have obtained the similarity coordinates of your stimuli, NEMo says that to decide whether you have seen a stimulus before, you compute the similarity between the probe item and all the study list items. If this so-called "summed similarity" is large enough, i.e., it exceeds a decision threshold, then you will say *yes*, and otherwise "*no*". When a person sets their threshold higher, it takes more summed similarity before a person says "*yes, I have seen this stimulus before*".

What makes this model interesting to me is that based on the similarity relations between stimuli, you can predict performance on a trial. Moreover, task performance depends not only on the most similar item in each list, but really on a blended representation of all items in the list. So if you put a lot of people in your line-up who look similar to the perpetrator, then people are more likely to give a *yes* response. Scary! Given that this model is quite successful,

I wanted to see whether we could find a neural correlate of it: is there brain activity that covaries with the summed similarity on every trial?

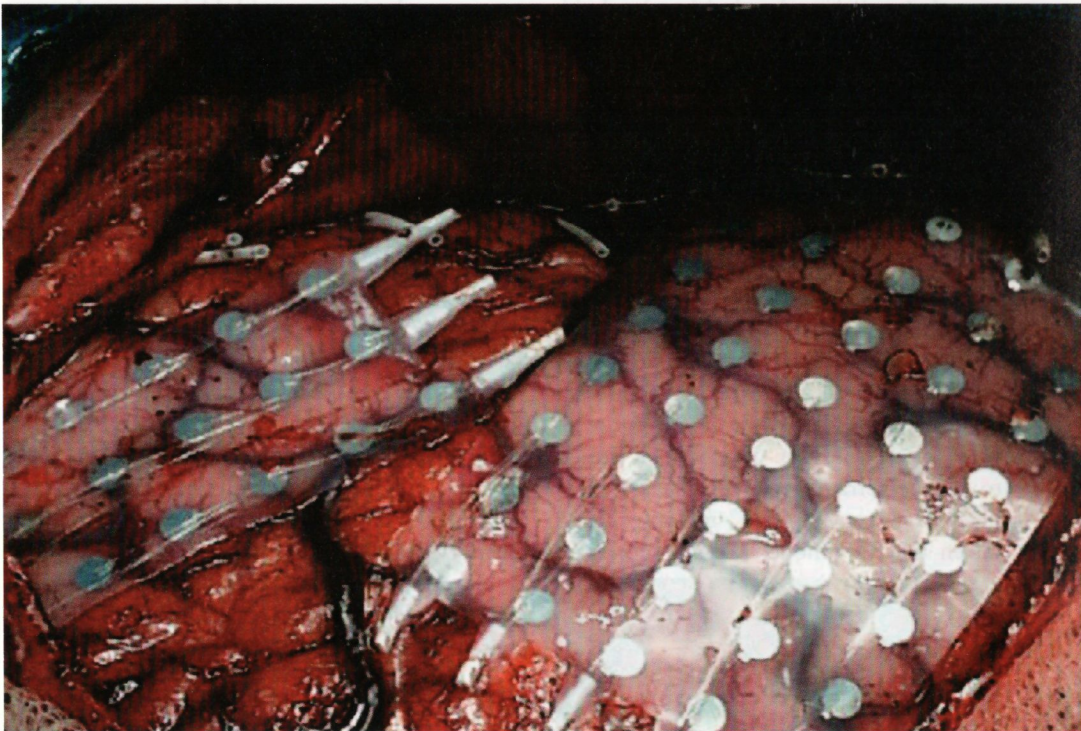
*Based on the  
similarity relations  
between stimuli,  
you can predict  
performance*

To find NEMo in the brain, I looked at both scalp and intracranial EEG. EEG can be used to measure brain waves with high temporal resolution. While scalp EEG, obtained from an electrode cap or net placed on a person's scalp, measures the activity of large patches of cortex (cubic decimeters), intracranial EEG can measure activity from only a cubic cm or so (Jacobs & Kahana, 2010). How do we ethically obtain intracranial EEG? Sometimes epileptic patients have electrodes implanted to localize the source of their seizures when all other methods fail. During that time, they stay in the hospital for a period of 1-3 weeks, waiting for seizures to happen. As they are sitting there in the hospital with wires coming out of their heads, we come by with our laptops, smile nicely, and ask them to do one of our memory tasks. We can then line up the information from our testing laptop with the obtained brain activity and see whether there is a relation between the two.



We then asked whether we could find neural activity that correlated with the summed similarity a participant in our task is computing. After all, if a person is really using summed similarity to base their decision on, then it should be measurable somewhere in the brain. We did not just look at “plain” EEG activity but also brain oscillations: periodic activity in the EEG. What is interesting about these oscillations is that they are thought to reflect communicating networks of brain activity. By oscillating at a particular frequency, neurons will talk to other neurons

(“synchronize”) at the same frequency. In that way, multiple “conversations” are going on at the same time at different frequencies (Fries, 2009). I found that the conversation about summed similarity seemed to be going on primarily in low-frequency (2-9 Hz) activity (van Vugt, Schulze-Bonhage, Litt, & Kahana, in preparation; van Vugt et al., 2009): as summed similarity increased, oscillatory power in these frequencies increased. So it seems like 2-9 Hz delta and theta oscillations are the combiners of information, and they play an important role in memory and decision making.



*intercranial EEG*

Yet this analysis has only looked at the average activity during the decision stage of a trial. In the next few years I would like to continue my search for NEMO in the brain. Instead of looking at just the single point in time at which the decision takes place, I want to study the *dynamics* of this decision. How does the process of deciding based on the summed similarity between probe and items in your memory evolve over time? What influence do previous trials have on that process? For example, we know that as you make an error, cognitive control increases (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001).

How is that manifested in the dynamics of the decision process? And then we can further probe the mental representation of stimuli. Some fMRI studies have already explored neural correlates of similarity spaces. Can we similarly find correlates of the similarity space in which the stimuli live in our EEG data? Oscillations at what frequency and location have to do with that?

As you can see, there are plenty of questions that remain to be answered. What is unique in my approach of model-based EEG is that rather looking at the neural correlate of a task condition, as most cognitive neuroscientists do, we are looking at the neural correlates of a mechanism by which you solve a task. Using these models, we can really start to think about decoding brain activity «

## References:

- Botvinick, M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624–652.
- Fries, P. (2009). Neuronal Gamma-band Synchronization as a Fundamental Process in Cortical Computation. *Annual Review of Neuroscience*, 32 (1).
- Jacobs, J., & Kahana, M. J. (2010). Direct brain recordings fuel advances in cognitive electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (4), 162–171.
- Kahana, M. J., & Sekuler, R. (2002). Recognizing spatial patterns: A noisy exemplar approach. *Vision Research*, 42, 2177–2192.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652–654.
- Takane, Y., Young, F. W., & Leeuw, J. de. (1977). Nonmetric individual differences multidimensional scaling: an alternating least squares method with optimal scaling features. *Psychometrika*, 42 (1), 7–67.
- van Vugt, M. K., Schulze-Bonhage, A., Litt, B., & Kahana, M. J. (in preparation). Summed similarity correlates with theta oscillations.
- van Vugt, M. K., Schulze-Bonhage, A., Sekuler, R., Litt, B., Brandt, A., Baltuch, G., et al. (2009). Intracranial electroencephalography reveals two distinct similarity effects during item recognition. *Brain Research*, 1299, 33–44.

# Paradoxen

JAAP OOSTERBROEK

Soms is het leven een grote paradox. Om een goede baan te krijgen heb je doorgaans werkervaring nodig en om werkervaring te krijgen moet je eerst worden aangenomen bij een degelijk bedrijf. Meisjes vallen doorgaans sneller voor jongens als ze al bezet zijn. Ergens in een plaatsje in zuidwest Spanje is een barbier<sup>1</sup> die alle mannen scheert die niet zichzelf scheren.

Het grote probleem bij iedere paradox is zelfreferentie. Zelfreferentie is de Duivel, als eigenschappen niet op grond van zichzelf bepaald kunnen worden lost dat alle problemen in de wereld op. Honger, oorlog en armoede zouden allen zeer zeker verleden tijd zijn als mensen eens wat meer aan een ander zouden denken.

Gelukkig heeft de wetenschap hierin een goede eerste stap gezet. Toen ik laatst de eerste versie van mijn scriptie inleverde met daarin een referentie naar diezelfde scriptie, werd er nadrukkelijk met het vingertje geschud.

Helaas kan men natuurlijk ook via een omweg paradoxen creëren. Cirkelredeneringen worden doorgaans als drogredenen aangemerkt. Waarom paradoxen van dergelijke vernietigende terechtwijzing worden onttrokken is mij altijd een raadsel gebleven; gelukkig is ook refereren naar artikelen die nog gepubliceerd moeten worden, zodat deze weer naar jou kunnen refereren, absoluut not done. Het moge duidelijk zijn dat voor een betere wereld ook deze constructies moeten verdwijnen.

Een mogelijke oplossing is het introduceren van tijdsgebonden referenties. Ik zou dan altijd moeten zeggen op welk moment ik een eigenschap observeer. Laten we als voorbeeld de grootvaderparadox nemen.<sup>4</sup> Op tijdstip 1 word ik geboren, vind ik een tijdsmachine uit en reis ik naar het verleden met geen ander doel voor ogen dan het verstoren van de integriteit van het ruimte-tijds-continuüm. Op tijdstip 2 schiet ik een jongen op zijn 10<sup>e</sup> verjaardag door zijn hoofd, hopelijk ruim voordat hij mijn grootmoeder bezwangert. Op tijdstip 3 ben ik dan vervolgens niet geboren en word ik ook niet in de gelegenheid gesteld om de wetten van ruimte en tijd te tarten door mijn grootvader om te leggen. Deze leeft vervolgens weer lang genoeg om met mijn grootmoeder alles to doen wat god verboden heeft en op tijdstip 4 ben ik gewoon weer in staat om natuurkundige onmogelijkheden te begaan. Simpel toch?<sup>5</sup>

Een dergelijke oplossing levert in het continue geval helaas opnieuw problemen op. Aangezien zelfs de kapper van Sevilla zichzelf niet oneindig snel kan scheren moet hij ergens halverwege zijn linker bakkebaard doorkrijgen dat hij met een potentieel logisch-problematische actie bezig is.



Voor mij is het inmiddels duidelijk geworden dat er maar een manier is om de wereld van verschrikkelijke zaken te ontdoen: het handhaven van een strikte hiërarchie van eigenschappen.<sup>3</sup> Eigenschappen mogen dan alleen worden vastgesteld op basis van zaken die boven hen in de hiërarchie een plaats hebben. Dit leidt tot de vraag wat er bovenaan die hiërarchie als absolute waarheid moet gelden. Sommige mensen zijn van meningen dat Descartes daar in de 17<sup>e</sup> eeuw een goed idee over had met zijn uitspraak "Cogito ergo sum". Deze mensen hebben het volledig bij het verkeerde eind. Om te beginnen waren de gedachten van René in het Frans en verwoordde hij ze in het Latijn. Beide talen zijn volledig onbegrijpelijk en dat zou een belabberd begin zijn van onze hiërarchie van uiteindelijke duidelijkheid. Niemand heeft ook ooit beweerd dat deze hiërarchie erg diep hoeft te zijn.

Ik stel voor om alle eigenschappen te baseren op feiten. Hoe kunnen mensen nou weten wat de feiten zijn zou je je misschien afvragen. Daarvoor hebben we gelukkig bèta's uitgevonden, deze kunnen anderen, zoals psychologen en andere werklozen, uitleggen wat de feiten zijn. Daarop kan vervolgens weer al het andere worden gebaseerd. Sommige mensen (waarschijnlijk dezelfde groep die vond dat de grondwaarheid in het Latijn geformuleerd moest worden) claimen dat bèta's elkaar wel eens tegenspreken, dat is natuurlijk volledig onwaar, in een dergelijk geval hebben ze het gewoon over een ander vakgebied.

Zodoende staan wij bèta's weer op onze rechtmatige plek in het universum, net onder de top van de piramide. Slechts ondergeschikt aan de feiten die wij zo graag voor onze eigen doeleinden interpreteren, maar ruim boven de methodeloze massa's die ons zo graag geloven maar er vervolgens niet naar handelen. Bijna weer paradoxaal.«

1. Een vrouwelijke barbier zou hier uiteraard een minder problematische situatie creëren.<sup>2</sup>
2. Opnieuw een paradox.
3. Ik verkeer me hierbij in goed gezelschap. Hitler, Stalin en Mao waren allen groot voorstanders van dergelijke hiërarchien. Of het echte wereldverbeteraars waren is een tweede vraag.
4. Ja, dit is een kutidee.
5. Ik adviseer lezers van harte er niet over na te denken dat zowel tijdstippen 1 en 3 als tijdstippen 2 en 4 tegelijkertijd plaatsvinden en dat tijdstippen 2 en 4 in het verleden spelen, verscheidene tijdstappen voor tijdstippen 1 en 3.

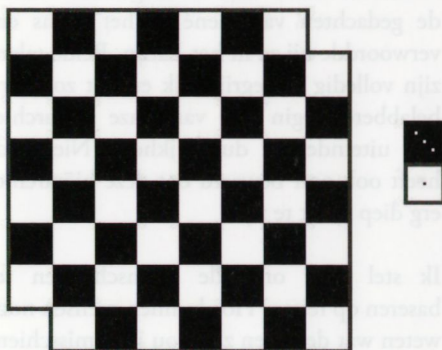
Voor een conceptuele visualisatie zie <http://xkcd.com/657/>, rechtsonder.

## Pa Radoks en zijn 100 kinderen

In een ver verleden was er eens een man, Rafael Radoks. Rafael had een erg groot gezin: samen met zijn vrouw had hij wel honderd kinderen. Op een dag riep hij al zijn kinderen bij elkaar voor een spel. De bedoeling was dat alle kinderen in een rij achter elkaar gingen staan en dat hun vader ieder van hen een hoed op zou zetten. Alle hoeden waren blauw of rood en hoewel niemand de kleur van zijn of haar eigen hoed kon zien, kon iedereen de kleur zien van de hoeden van iedereen die voor hem of haar in de rij stond. Vervolgens zou Rafael de kinderen één voor één vragen naar de kleur van de hoed die hij of zij op had, beginnend bij het achterste kind. Wie de vraag goed beantwoordde, was voor de rest van de week vrij, iedereen die een fout antwoord gaf zou de rest van de week moeten helpen met vervelende taakjes in het huishouden. Natuurlijk mochten de kinderen niet met elkaar communiceren als ze eenmaal waren opgesteld, maar voor die tijd mochten ze wel overleggen over een strategie. Gegeven is dat ze met z'n allen proberen zoveel mogelijk kinderen onder de klusjes uit te krijgen, zonder vals te zullen spelen. Hoeveel kinderen kunnen met zekerheid worden vrijgesteld van de klusjes van pa Radoks?

## Zeno's schaakbord

Zeno heeft een schaakbord waarvan de vakjes allemaal precies 2x2 centimeter groot zijn. Dit schaakbord mist tevens twee hoekjes aan weerszijde van de zwarte diagonaal (zie afbeelding). Daarnaast heeft Zeno een heel grote bak met dominosteentjes die precies 2x4 centimeter groot zijn. Zeno wil graag alle vakjes van het schaakbord bedekken met dominosteentjes. Hoe moet hij de steentjes neerleggen?



# De weg van de afstudeerder

JASPER VAN DE GRONDE, ALUMNUS INFORMATICA

Begonnen in 2003 met de studie Informatica (toen nog aan de andere kant van de vijver) ben ik nu, na zeven jaar en vier maanden, afgestudeerd informaticus. Dat voelt best een beetje vreemd, maar ook erg fijn. Vooral het laatste jaar was erg intensief. November 2009 begon ik met een scriptie over een model voor *Streptococcus pneumoniae* en december 2010 leverde ik een scriptie in over een nieuw soort kleurenoverloop...

Om deze gang van zaken toe te lichten moet ik eerst terug naar begin 2008. Mijn vriendin, die toendertijd haar studie Internationale Betrekkingen en Internationale Organisaties aan het afronden was, had een stageplek weten te veroveren in Wenen. Ik wou graag mee en besloot te kijken of ik niet ook een stage in Wenen kon krijgen. Eén mailtje bleek genoeg. Voor ik het wist had ik contact met mijn toekomstige begeleider en waren mijn vriendin en ik huisvesting aan het regelen.

Wenen bleek een lot uit de loterij. Prachtige stad, prima universiteit en bijster interessant onderzoek. Bij het kiezen van een onderwerp bleek dat zowel ik als mijn toekomstige begeleider geïnteresseerd waren in compressed sensing. Het lag dan ook voor de hand dat ik in die richting aan de slag zou gaan.

Compressed sensing (ook wel compressive sensing) combineert, hoe verassend, elementen van compressie en sensing (waarneming). Compressie is voor velen vanzelfsprekend. Foto's worden als JPG opgeslagen en verstuurd, andere plaatjes

vaak als PNG, documenten worden 'gezip't'. Maar als je een foto met een factor 10 kunt comprimeren, waarom moet je dan eerst wel de ongecomprimeerde data 'waarnemen' met een enorme sensor? Waarom kun je niet volstaan met een 10x zo kleine sensor? Dit is de vraag die heeft geleid tot compressed sensing.

De bekende 'Nyquist-Shannon sampling theorem' is in feite compressed sensing avant la lettre. Deze stelt, dat als je weet dat een signaal geen frequenties boven de  $f$  Hz bevat dat het dan genoeg is om het met een frequentie van (net iets meer dan)  $2f$  Hz te meten. Dit is bijvoorbeeld waarom een CD een zogeheten sampling rate van ruim 40 kHz heeft. Mensen horen namelijk nauwelijks iets boven de 20 kHz, dus kan een geluidssignaal zonder problemen gefilterd worden zodanig dat het geen frequenties hoger dan zo'n 20 kHz bevat, en volgens de Nyquist-Shannon sampling theorem volstaat het dan om te meten met een frequentie van  $2 \times 20$  kHz, oftewel zo'n 40 kHz.

In zijn algemeenheid kun je stellen dat je voor het reconstrueren van een signaal een hoeveelheid metingen nodig hebt die verband houdt met hoe 'compact' een signaal is in een bepaalde representatie. Hierbij is het cruciaal in welke representatie je meet. In het bijzonder is het over het algemeen een zeer slecht idee om te meten in dezelfde representatie als waarin het signaal compact is. Immers, als het signaal compact is dan meet je er al gauw 'naast'. De representaties die het beste zijn om in te

meten zetten daarom een signaal juist om in iets wat verdacht veel op ruis lijkt.

Na afloop van mijn stage was ik begin 2009 nog in Wenen toen ik een mailtje las over een wedstrijd voor teams van studenten waarbij je bacteriën genetisch moest modificeren, genaamd iGEM (international genetically engineered machine competition). En ze zochten niet alleen microbiologen en dergelijke, maar ook informatici en wiskundigen. Ik had nog geen idee waar ik voor nodig zou zijn, maar ik meldde me per mail aan en kort nadat ik weer in Nederland was ging het project van start. Er heerste een enthousiaste en ondernemende sfeer. Hier gebeurde wat!

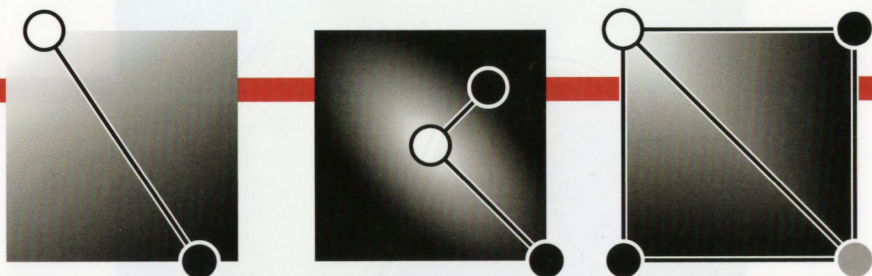
Langzaam maar zeker vormde zich een hecht team van elf mannen en vrouwen afkomstig van zeven verschillende studies. We begonnen met brainstormen over mogelijke projecten, waarbij wilde ideeën als bacteriën met de kleuren van de regenboog en drijvende en waterzuiverende bacteriën niet geschuwd werden. In tegendeel, dat laatste leek ons zo leuk dat we dat maar gewoon zijn gaan doen, en niet zonder success.

Na een periode van voorbereiding gingen we in de zomer voltijd met ons idee aan de slag. Dag in dag uit waren we druk bezig op het lab, ik samen met een natuurkundige en een bio-informaticus achter de computer om allerlei dingen uit te zoeken, onze bacteriën te modelleren en de site op te zetten. Anderen probeerden uit alle macht onze bacteriën zware metalen op te laten eten en ze te laten drijven.

Helaas houden bacteriën niet zo van arsenicum en het bleek best lastig om ze een redelijke hoeveelheid op te laten nemen. Drijven wilden ze daarentegen wel, al kwam het er in de praktijk meer op neer dat ze langer in suspensie bleven. Dit mocht de pret echter niet drukken en we werkten stug door. Hoogtepunt van de resultaten waren misschien wel de plaatjes van onze bacteriën (gemaakt met een elektronenmicroscoop) waarop duidelijk te zien was dat ze inderdaad de 'drijvers' bevatten die ze naar de oppervlakte moesten brengen.

Mijn iGEM-avontuur werd met een klapper afgesloten toen we op een herfstige dag in Boston gedeeld vierde werden op de iGEM-jamboree. Op dat moment had ik al geregeld dat ik kort daarop, in november 2009, zou beginnen aan een scriptie die zou moeten leiden tot een beter begrip van 'broedermoord' onder *Streptococcus pneumoniae*. Een onderwerp dat me via microbiologie, speltheorie, differentiaalvergelijkingen en agents leidde naar een concept wat 'individual based modelling' heet.

Individual based modelling houdt zich bezig met het maken van populatiemodellen op basis van modellen van individu's. Het bleek echter dat dit meestal niet veel meer inhoudt dan simpelweg hetzelfde model een flink aantal keren te kopiëren en op ad hoc wijze in te bedden in een, hopelijk, natuurgetrouw model van de omgeving. Naar mijn mening een wel erg simplistische en weinig interessante aanpak. Dat moest beter kunnen.



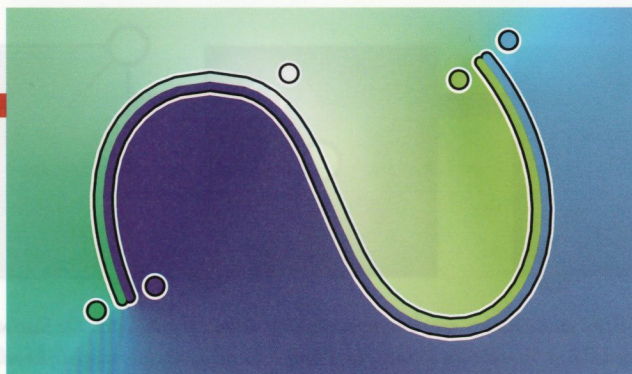
*Figuur 1: Van links naar rechts een lineaire, radiale en mesh gradient. De laatste gebruikt in dit geval een 'mesh' van driehoeken, één van de simpelste mogelijkheden.*

Omdat ik tot de conclusie kwam dat het te veel gevraagd was om individual based modelling in zijn algemeenheid aan te pakken, richtte ik mij op het maken van een nieuw framework voor individual based modelling. Veel van de bestaande frameworks waren mijns inziens namelijk wel erg specifiek en leenden zich bovendien niet erg voor sommige van de ideeën die ik had over hoe het beter kon. Hierdoor onttaarde mijn initiële bijzonder interessante en spannende scriptie echter in een soort domme programmeeropdracht en na een flinke innerlijke strijd besloot ik in het voorjaar van 2010 de handdoek in de ring te gooien.

Uiteraard waren begeleiders niet blij dat ik na al die maanden zomaar met mijn scriptie stopte. Maar goed, ik had besloten dat ik niet meer door wou met die scriptie en ik had al iets anders op het oog. Rond het regelen van mijn stage in Wenen was ik namelijk in aanraking gekomen met het fenomeen 'diffusion curves'. Dit is een zeer flexibele methode om in vectorplaatjes (denk aan svg, Adobe Illustrator, etc.) kleurenoverlopen te maken. Normaliter beperken kleurenoverlopen zich tot de zogeheten lineaire, radiale en 'mesh' types, zie Figuur 1.

Diffusion curves proberen zowel flexibel als handig in het gebruik te zijn door uit te gaan van de grenzen tussen 'glad' gekleurde vlakken. Het begrip 'glad' wordt precies gemaakt door te zeggen dat de zogeheten Laplacian van de kleur (per kleurkanaal) nul moet zijn. De Laplacian is de som van de tweede afgeleides in x- en y-richting en is een maat voor hoeveel de waarde op een punt afwijkt van het gemiddelde van de directe omgeving. Nu blijkt dat een functie waarvan de Laplacian nul is binnen een bepaald gebied volledig wordt bepaald door zijn waarden op de grens van dat gebied. Bij diffusion curves wordt hier handig gebruik van gemaakt door de kleur te specificeren langs curves en de rest zodanig in te vullen dat de Laplacian overal nul is behalve op de curves, zie Figuur 2.

In mijn scriptie beschrijf ik een nieuwe manier om diffusion curves te renderen. Hierbij maak ik gebruik van een 'Boundary Element Method'. In mijn scriptie laat ik zien dat een dergelijke methode het potentieel heeft om sneller een precies antwoord te geven dan eerder gebruikte methodes. En dit zonder te werken op een rooster, alles wordt gedaan binnen de wereld van krommen in een continu vlak. De enige discretisatie zit hem in het



*Figuur 2: Bij diffusion curves wordt de kleur langs curves gespecificeerd, de rest van het vlak wordt glad ingevuld.*

opdelen van die krommen en het benaderen van de grenswaarden met een klein aantal basisfuncties.

Goed, maar wat is een Boundary Element Method (of BEM)? Dit is een methode voor het oplossen van (partiële) differentiaalvergelijkingen die niet uitgaat van de ruimte tussen de grenzen maar van de grenzen zelf. Bij een BEM worden basisfuncties genomen die al aan de differentiaalvergelijkingen voldoen en die worden zodanig gecombineerd dat zo goed mogelijk aan de grenswaarden wordt voldaan. Dit levert dus een oplossing die per definitie aan de differentiaalvergelijkingen voldoet maar mogelijk niet helemaal aan de grenswaarden.

Vastbesloten om van mijn tweede scriptie wel een succes te maken ging ik als een bezetene aan de slag. Maandenlang deed ik nagenoeg niets anders dan aan mijn scriptie werken en bijna op de dag af leverde ik zes maanden na de start van mijn tweede scriptie mijn laatste werk als student in. Ik was klaar.

Eigenlijk had ik het idee om na mijn scriptie eens even rustig aan te gaan doen en me pas na mijn studie zorgen te gaan maken over wat voor werk ik zou gaan doen. Ik had ten slotte tijdenlang doorgeraasd en ik vond het hoog tijd worden om tot rust te komen. Toen werd ik attent gemaakt op een wel heel aantrekkelijke PhD-positie. Toch maar eens solliciteren.

Ondertussen ben ik aangenomen en ben ik, na een heerlijke twee maanden in Nieuw Zeeland, druk bezig met alweer een geheel ander onderzoek. De komende vier jaar ben ik als het goed is te vinden op de vierde verdieping van de Bernoulliborg, druk bezig met mathematische morfologie en tensorbeelden. Maar dat onderwerp bewaar ik maar even voor een andere keer. «

# Iets te vieren?

Wij denken graag met je mee.

Kijk voor meer informatie op [www.cafekarakter.nl](http://www.cafekarakter.nl)



- Dé locatie voor je (afstudeer)borrel of (verjaardags)feest
- Regelmatig live optredens
- Ideale ruimte voor activiteiten en/of borrels van je (studie) vereniging tot 90 personen

C A F E

**KARAKTER**

[WWW.CAFEKARAKTER.NL](http://WWW.CAFEKARAKTER.NL)

**KLEINE PELSTERSTRAAT 6  
GRONINGEN**

**T: 050-3187566**

