# Francken Vrij

Jaargang 19, editie 1

Systeem

# How do you print 20 nm structures using 193 nm light waves?

**Join ASML as a Physics Engineer to find out.**

We bring together the most creative minds to develop lithography machines that are key to producing cheaper, faster, more energy-efficient microchips. Our machines image billions of structures in a few seconds. And we intend to be imaging even more billions, because our latest technology will create microchip features of just 20 nm, using light waves of 193 nm. That's like drawing an extremely fine line using an oversized marker. So we need talented Physicists who can design, model and manipulate at nanometer levels.

If you're up for it, you'll be part of a multidisciplinary team with plenty of freedom to experiment and learn new skills.

**www.asml.com/careers**

ASML

/ASML @ASMLcompany

**For students who think ahead**

# Inhoudsopgave


4 Redactioneel en colofon

5 Automatische piloot
*Van de voorzitter*

6 Verenigingsnieuws

9 A new system for nano-sized metal clusters
*Under the microscope*

14 De Turingmachine (met puzzel)

18 De nobelprijs
*De theoreet*

21 Discrete Technology & Production Automation
*An inside view*

26 Optimal linear control

30 Francken 4

31 Bewustzijn als systeem
*Katverhaal*

34 Leven bij Liander
*Leven na Francken*


## De Turingmachine

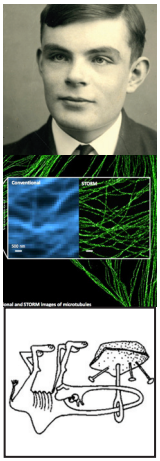
Pagina 14

## De theoreet

Pagina 18

## Katverhaal

Pagina 31



## Colofon

*De Francken Vrij is het periodiek verenigingsorgaan van de Technisch Fysische Vereniging 'Professor Francken' en wordt verspreid onder haar leden, sponsoren en andere geïnteresseerden.*

| | |
|---|---|
| *ISSN:* | *2213-4840 (print)* |
| | *2213-4859 (online)* |
| *Jaargang:* | *19, 2014/2015* |
| *Nummer:* | *December 2014* |
| *Oplage:* | *Duizend* |
| *Volgend thema:* | *Universe* |
| *Deadline:* | *6 februari 2015* |
| *Hoofdredacteur:* | *Paul Wijnbergen* |
| *Redactie:* | *Serte Donderwinkel* |
| | *Kathinka Frieswijk* |
| | *Jasper Pluijmers* |
| *Eindredacteur:* | *Steven Groen* |

**Redactie-adres:**
*T.F.V. 'Professor Francken'*
*t.a.v. Francken Vrij*
*Nijenborgh 4*
*9747 AG Groningen*
*Telefoon: 050 363 4978*
*E-mail: franckenvrij@professorfrancken.nl*

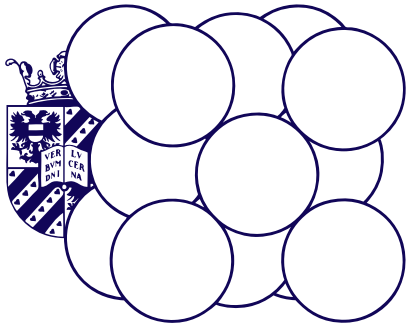
**Met dank aan:**
*prof.dr. J.Th.M. de Hosson, prof. dr. B. Jayawardhana, Kristel Lok, Gerjan Wielink, Jasper Compaijen en Rick Meijerink*

**Adverteerders:**
*ASML* 2, *DNV GL* 8, *Nanoscience* 25, *Schut Meettechniek* 36

*Om te adverteren in de Francken Vrij kunt u contact opnemen met de bedrijvencommissaris van T.F.V. 'Professor Francken', via bedrijvencommissaris@professorfrancken.nl*


# Redactioneel

**Met drie nieuwe** leden in de redactie is het mij als kersverse hoofdredacteur een eer om deze editie aan u te mogen presenteren. Na het afscheid van Guus Winter en Djim Kanters is het natuurlijk altijd de vraag of met nieuwe redactieleden de kwaliteit gewaarborgd blijft. Gelukkig hebben Jasper Pluijmers en Kathinka Frieswijk zich zeker bewezen als goede redactieleden. Ook hebben wij Kristel Lok en Gerjan Wielingk als vaste tekenaars van de themastrip mogen ontvangen. En daarmee hebben we weer een fantastische editie uitgebracht waar wij in ieder geval trots op zijn en wij hopen dat u er net zo over denkt.



# Van de voorzitter

## Automatische piloot

Hilbert van Loo

**Zo, dat is** even schrikken! Het is inmiddels alweer november, wat betekent dat er al vijf maanden van het bestuursjaar van bestuur 'Ingenieus' verstreken zijn! Deze vijf maanden zijn voor mijn gevoel ontzettend snel gegaan. Gelukkig kan ik nu eindelijk zeggen dat ik een beetje gewend begin te raken aan het besturen van onze vereniging. Door deze gewenning beginnen steeds meer vaste bestuurstaken op de automatische piloot te gaan. Zo kan ik inmiddels met robotsnelheid mails versturen, notities lezen, agenda's maken en pilsjes wegtikken.

Dit automatisme is sterk verweven met het thema van deze editie van de Francken Vrij: systeem. Bij dit thema denk ik persoonlijk al snel aan robots en automatisering. Dat ik en met mij vooral onze bedrijvencommissaris hier erg weg van zijn is inmiddels al wel duidelijk bij de meeste besturen uit Groningen. Zo zijn er dit jaar weer allerlei (geautomatiseerde) constructies bedacht om onze broertjes kennis te laten maken met de geliefde jonge graanjenever. Dit heeft er in geresulteerd dat we nog steeds bekend staan als lompe techneuten met een goed gevoel voor humor, iets waar we naar mijn mening (stiekem) best wel trots op mogen zijn.
Iets waar al jaren een redelijk vast systeem voor is, is het introductiekamp. Voor dit systeem heb je elk jaar dezelfde componenten: een aantal ouderejaars, een aantal fusten bier, duizend eerstejaars en een stinkende boerderij. Ook dit jaar zijn we weer met een boel eerstejaars en ouderejaars afgereisd naar Bakkeveen en is het academisch jaar weer op een vertrouwde manier gestart. Daaropvolgend startten de eerste weken waarin weer genoeg Franckenactiviteiten te bezoeken waren. Na deze vloedgolf aan activiteiten kwam in oktober ook nog eens ander groot 'systeem' tot leven: Franckenstein, het zesde lustrum van T.F.V. 'Professor Francken'. Nu, een paar weken na dit festijn, is eindelijk de rust wedergekeerd en is zoals eerder al geschreven de automatische piloot gestart.

Wat gaan we nu verder doen? Een van de belangrijkste en moeilijkste dingen voor mij persoonlijk gaat 'het uitzetten van die automatische piloot' worden. Het blijkt soms moeilijk om uit de dagelijkse sleur te stappen en iets vernieuwends te gaan doen. Gelukkig ontbreekt het niet aan ideeën binnen het bestuur, dus is het vooral een kwestie van aanpakken. Wat ga jij nu doen? Verder bladeren en genieten van deze gloednieuwe Francken Vrij. Veel leesplezier!

# Verenigingsnieuws

## Inspiratie genoeg!

Serte Donderwinkel

**Dit is toch** wel een van de hoogtepunten in het jaar van een secretaris van onze mooie vereniging: het schrijven van het Verenigingsnieuws. Ik was wel een beetje zenuwachtig, maar gelukkig zijn er een heleboel activiteiten geweest, dus inspiratie genoeg! Hieronder een greep uit de evenementen van de afgelopen maanden.

### Oefensessies

Sinds het verschijnen van de vorige Francken Vrij zijn er drie oefensessies geweest en zijn de oude en nieuwe eerstejaars een hoop kennis over Elektriciteit en Magnetisme, Calculus 3 en Calculus 1 rijker. Naast de hersencellen werden ook de smaakpapillen geprikkeld met niks minder dan de beruchte oefensessiecake.

### Pienterkamp

Het laatste weekend van augustus vond het introductiekamp voor wis- en natuurkunde plaats. In het pittoreske Bakkeveen werden oude klassiekers als vlaby, ananassjoelen en bier drinken weer uit de kast getrokken om het blik eerstejaars dat was opengetrokken te vermaken. Ook nieuwe uitdagingen zoals een pubquiz en sprinkhanen snoepen werden niet geschuwd. Het was mooi!

### De eerste week

De eerste week van het collegejaar was zoals altijd rijkelijk gevuld met toffe activiteiten, omdat iedereen naast de collegebanken, de professoren en de fysica, ook Francken wel een beetje gemist heeft. Never change a winning team, dus de Cocktailborrel, Movie night en Casinoborrel verschenen weer op de agenda. De mixdrankjes, popcorn en overwinning smaakten uitstekend!

*Ook de presentatie van het lustrumboek mag niet ongenoemd blijven*

*Figuur 1. De beeldschone en overheerlijke lustrumtaart. Complimenten voor de Traktaartcie!*

### Septemberbarbecue

Nog nooit was een barbecue van Francken zo goed bezocht en het vleesch zo mals als afgelopen september! Er werden dan ook 140 maagjes

gevuld met een allerhande aan heerlijkheden (VLEESCH, red.). Ook dit jaar bleken de statafels het ideale platform voor een aantal fijne potjes speedmexxen, want wat smaakt er beter bij een enorme carbo dan een biertje of vijf?

**Masters of engineering lecture**

Op 30 september kwamen drie medewerkers van Gate Terminal naar Groningen om te vertellen over hun werk en gingen 60 leden van Francken, Lugus en Bernoulli naar het Van Swinderenhuys om daarnaar te luisteren. Achteraf konden degenen die daarvoor geselecteerd waren aanschuiven om te genieten van een heerlijk maaltje.

*Figuur 2. De menigte mensen op de septemberbarbecue. Het lijkt hier alsof de voorzitter als eerst recht had op vlees, maar dat is een misvatting.*

**Lustrumweek**

T.F.V. 'Professor Francken' is weer vijf jaartjes ouder en dat werd goed gevierd tijdens de legendarische lustrumweek. De kneitse activiteiten, waaronder het running dinner, de barbecue, de excursie naar DNV-GL, de Crash & Compile, de alumnidag en het grootse eindfeest maakten het tot een geslaagd verjaardagsfeestje van de vereniging. Ook de presentatie van het lustrumboek mag niet ongenoemd blijven.

**Klaverjastoernooi**

Hoe bepaal je wie het alfamannetje onder de bètastudenten is? Meer dan een paar potjes jassen is daar niet voor nodig. Degenen die het nog niet konden kregen een spoedcursus en degenen die het al wel dachten te kunnen bepaalden hun strategie. Vervolgens barstte de strijd los en vlogen de boden, kaarten en verwensingen over de tafel. Door omstandigheden moest het duel vroegtijdig afgebroken worden, dus de winnaar hou je van me tegoed.

## About DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organisations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil & gas and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries.

Combining leading technical and operational expertise, risk methodology and in-depth industry knowledge, DNV GL empowers our customers' decisions and actions with trust and confidence. We continuously invest in research and collaborative innovation to provide customers and society with operational and technological foresight.

Originated in 1864, DNV GL operates globally in more than 100 countries with our 16,000 professionals dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.

## In the oil & gas industry

DNV GL is the leading technical advisor to the global oil and gas industry. We provide consistent, integrated services within technical and marine assurance and advisory, risk management and offshore classification, to enable safe, reliable and enhanced performance in projects and operations. Together with our partners, we drive the industry forward by developing best practices and standards. Our people combine industry expertise, multi-disciplinary skills and innovation to solve complex challenges for our customers.

## Why do you get up in the morning?

We are proud to say that we live our values every day in the work we do for customers, and in the way we interact with each other. Our employees get up in the morning because they care deeply about the issues they are working on, and because they are inspired by their coworkers, committed to their clients, and driven to make things better for future generations. This is why we get up in the morning. Join us to find your own reason! Find us at www.dnvgl.com\careers.

# Under the microscope

## A new system for nano-sized metal clusters

J.Th.M. De Hosson

**Around the early** nineties, the visionary argument was made that materials, if made nanocrystalline, would have a number of appealing new physical characteristics of potential significance for structural and functional applications. This followed, quite plausibly, from what was known about the extraordinary structural and functional properties of materials. These provocative thoughts stimulated widespread interest in the properties of materials and novel mechanisms of nanostructured materials over the past two decades. Although many of us make a lot of noise about the nano's (see my earlier column 'onder de loep/under the magnifying glass' volume 12 issue 2, Nano's and NoNo's: a sloganized science ?) materials in the nanometer range were produced since the 19th century. Already In 1861 the Scottish (Glasgow) professor Thomas Graham created the term colloid to describe a solution containing 1 to 100 nm diameter particles, reference, Phil. Trans. Roy. Soc., 151 (1861) 183. He is referred to as the father of colloid physics and chemistry, see Figure 1. Nonetheless, making an appropriate experimental system to produce nano-structured materials in a controlled manner is still an epitome in materials research. Why is that, you may ask? Indeed, the impetus behind these developments is to explore novel materials with entirely new properties by tailoring the structure at the nanoscale. Even, nanotechnology has also an ecological ambition to reduce the amount of undesirable waste. However, to tune size-dependent properties of nanoparticles also the formation process of these nanostructured particles needs to be controlled. In fact, that is the most critical part in the nano-world.

In the MK group, we concentrate on nanostructured materials like nanoclusters and nanoparticles. The term nanoparticle was commonly used already in the early 1990s together with the related concepts, nanoscaled or nanosized particle. Before that period rather general terms, such as submicron and ultrafine particles were used. Now the term nanoparticle generally point to particles with diameters of about 100 nm. A closely related but not identical concept, cluster, frequently indicates smaller nanoparticles with diameters less than 100 nanometers having distinguishable properties. It is like a separa-

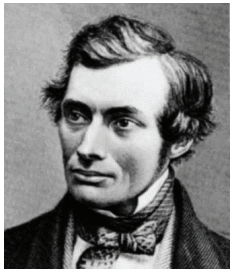


*Figure 1: nano-scientist 'avant la lettre' in 1861; Thomas Graham, (born Dec. 20, 1805, Glasgow, Scot.—died Sept. 11, 1869, London, Eng.), often referred to as "the father of colloids"*

te state in between atomic and bulk. The terms cluster, particle and nanoparticle are used interchangeably

Basically, two key factors in nanostructured materials determine the material strength: the concentration of lattice defects and the details of the numerous interfaces, including the topology of the triple points between the interfaces. The overarching challenge is therefore the design of a nano-structured material that is free of defects that degrade the structural and functional behavior. For hard materials, the key challenge is to avoid grain boundary sliding, but as far as the toughness is concerned more compliant (amorphous) boundary layers might be more beneficial. At first sight dislocation motion (2nd year applied physics materials science course, Callister) is thought to become suppressed upon grain refinement but softening is expected if grain boundary diffusion predominates over bulk diffusion.

As a rule of thumb, all the phases in a nano-structured material must be made of a strong material and the grain boundaries must be sharp by optimizing the hardness/stiffness ratio. However, this is a too global view because knowledge of the deformation mechanisms in the nano-structured materials is simply very rudimentary at present. For instance, grain boundary ledges for the generation of dislocations may become increasingly important in the production of dislocations at smaller grain sizes.

**System and control**

Any system also needs a control and a feedback loop. Therefore, in evaluating the performance of a manufacturing process of nano-structured materials it is essential to examine the defect content as well as the microstructural features, in particular, grain size dispersion, distribution of interface misorientation angles, and internal strains. Clearly, defects, such as microcracks, can completely mask the intrinsic strength of the nano-structured materials. In the past, the noisy Hosanna's about low E-moduli of nano-structured materials have been often attributed to the unusual grain-boundary structures present but that was wrong and these phenomena are actually determined by the defect structure, like porosity. Further, it can be anticipated that control of the grain-size dispersion is extremely important in the experimental design of these nano-structured coatings. A nano-structured material with a broad grain-size dispersion will exhibit a lower overall flow stress than a material with the same average grain size but with a much smaller grain-size distribution. Consequently, experimental control over the grain-size distribution is important to investigate concepts in materials design of nano-structured materials.

This contribution to the FranckenVrij summarizes recent accomplishments that were achieved by Mikhail Vasilievich Dutka, - he just got his PhD degree with MK- , with the help of David Vainchtein and Anatoly Turkin to control the defect content and microstructure in nano-structured materials via a new system, i.e. using a so-called nanocluster source. An important point here is that the cluster size distribution is more or less monodisperse and that the kinetic energy of the clusters is well defined. The home-made experimental system for pro-

ducing nanoclusters using gas aggregation technique is displayed in Figure 2.

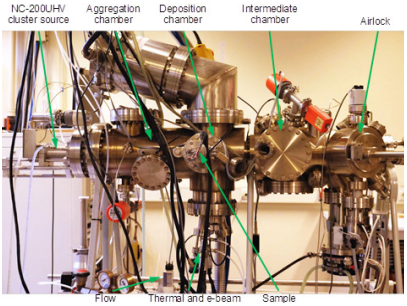



*Figure 2. The home-made experimental setup for producing nanoclusters using gas aggregation technique by Mikhail Dutka.*

It is designed to produce beams of well-defined nanoparticles using the gas aggregation method, i.e. the material is sputtered from a standard 50 mm target by a DC magnetron source into the high pressure aggregation region. The clusters are formed in this region and then transferred through an aperture into the deposition chamber. The cluster size can be varied by adjusting the following parameters: power supplied to the magnetron, the aperture size, the gas flow rate, type of gas, temperature in the aggregation region and distance between the magnetron and the aperture (aggregation length).

Due to the nature of the gas aggregation technique, narrow size distributions can be achieved without the need for further mass-selection. The new source is capable of producing clusters consisting of a couple of tens of atoms up to particles with diameters of more than 10 nm for a large number of materials including semiconductors, magnetic materials and most metals. Compound clusters, such as TiO2, can also be formed by adding O2 to the aggregation region during operation. A large percentage of the clusters generated by the source are ionized (typically 40% for Cu clusters). An ionized beam can be accelerated towards a substrate. This technique is called energetic cluster impact. It can be used to form highly adherent and uniform coatings. The ionized clusters can also be electrostatically manipulated in the deposition system. The mass of the ionized clusters can be measured and filtered by devices such as a quadrupole mass filter if necessary to achieve even more narrow size distribution.

In our MK system the deposition rates lie between 0.001 nm/s and 0.5 nm/s (measured at a distance of 100 mm for Cu clusters). The deposition rate achieved depends on a number of parameters including the material and the size of clusters required. The new system as designed by Mikhail Dutka can accommodate different magnetron sputtering guns, for example MicroMagnetics SpinTron, which is available in the MK lab and can be mounted using an adapter flange. The SpinTron can be used with RF power supply. This allows sputtering of insulating targets much more efficiently than in case of DC power supply.

### Challenges and opportunities

In short, metal atoms due to collisions with Ar atoms loose energy and combine to form clusters, which are subsequently jet-propelled through a nozzle to form a cluster beam. Interestingly, the nano- clus-

ters are grown in extreme non-equilibrium conditions, which allow obtaining metastable structures of materials (Figure 3).

Moreover, because one avoids the effects of nucleation and growth on a specific substrate one may tailor the properties of thin layers by choosing the appropriate preparation conditions of the prefor med clusters. In general, the crystal structure and habit of nano-sized particles depend on temperature and composition. In many cases the particles have a polyhedral form with various degrees of truncation. These shapes occur since they lead to surface energy minimization for particles formed at equilibrium, or because of kinetics where the shape is determined by the rate at which different crystal faces grow. The combination of factors such as temperature, kinetics, impurities, and surface energy effects could lead also to unusual nanoparticle shapes and size distributions. Therefore, it is crucial to study these controlling factors in detail with high-resolution transmission electron microscopy.

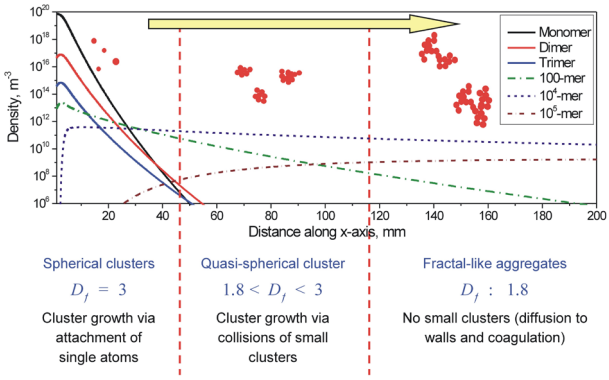



*Figure 3. Evolution of size distribution of nanoclusters when transported along the aggregation chamber with fractal dimensions between 1.8 and 3.*

Several basic tests were performed with the new experimental setup to explore its capabilities. The influence of different parameters on the formation of nanoclusters was investigated. Experiments were performed with different types of gas, e.g. Ar and Kr, and at different pressures, e.g. 20 and 40 Pa. As revealed by transmission electron microscopy, near the exit of the aggregation chamber the nanoclusters are fractal-like (Figure 3). The experimental data were used to validate a new model of cluster formation and coagulation in the inert gas. For properly chosen parameters a good agreement has been obtained between the experimental data and the theoretical predictions (Figure 4). This means that our model can be used as a practical tool in planning future experiments with nanoparticles production in the new nanocluster source and similar installations. The nanoparticles size distribution can be manipulated by selecting the type of target, the sputtering yield of precursor (that is controlled by the power supplied to the magnetron), the exit aperture size, the type and flow rate of inert gas, temperature in the aggregation tube, etc.

An interesting route for future research is to explore the energy of deposition as an experimental parameter and compound

formation. High impact energy deposition has been more than a shining success in producing exceptionally good (smooth and highly adhering) coatings. This is because diffusion and local rapid annealing of the constituent atoms follow cluster fragmentation. Consequently, hills and valleys are removed producing very smooth films. Moreover, the cluster fragmentation enhances the formation of nucleation sites and adatom diffusion allowing the formation of epitaxial coatings even at room temperature. *Interested in a BaIMsc thesis project on this topic? Please contact Mikhail Dutka, David Vainchtein or drop me an e-mail for a brainstorm session.*

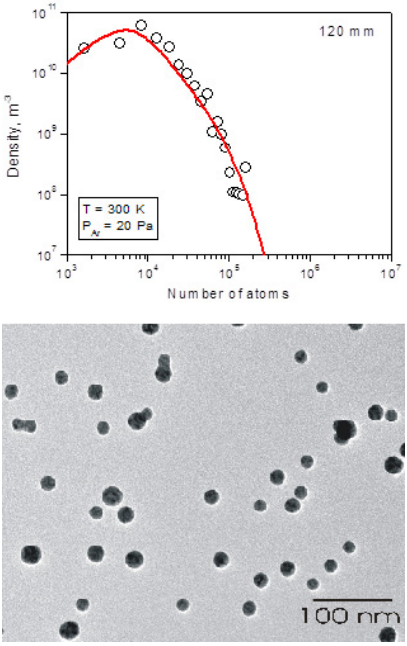



*Figure 4. (top) The size distribution of nanoclusters at distances 120 mm from the Ag target. Argon was used as the buffer gas at 20 Pa. Symbols correspond to experimental distributions; the solid line shows results of our new theoretical modeling. (below) experimental nanosized clusters of Ag examined in the high-resolution transmission electron microscope.*

# De Turingmachine

## Maar kan het ook theoretisch?

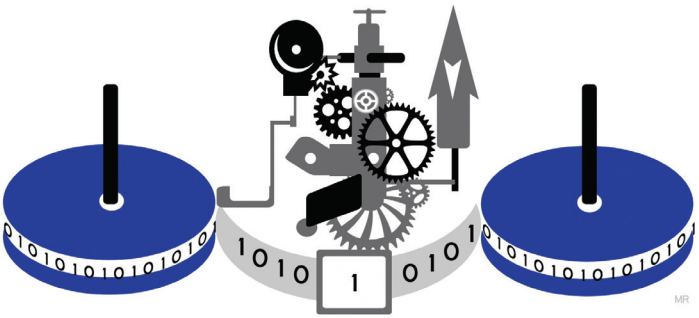
Steven Groen

**Hoe zou jij** een dag besteden zonder gebruik te maken van een computer of een *spin-off* zoals de geliefde smartphone? Ikzelf zou niet weten wat ik zou moeten doen. Aangezien computers niet meer weg te denken zijn uit ons leven wordt de vraag waar computers allemaal toe in staat zijn steeds relevanter. Het antwoord op deze vraag was, bijzonder genoeg, jaren voor het bestaan van de eerste elektromechanische computer al uitgewerkt door Alan Turing, een Britse wiskundige, logicus, filosoof, amateurviolist, hardloper, omstreden homofiel en pionier op het gebied van computerwetenschappen, die op 41-jarige leeftijd overleed aan een (hoogstwaarschijnlijk door hemzelf) met cyanide vergiftigde appel (Turing was geobsedeerd door Sneeuwwitje). Bij het uitwerken van deze vraag maakte hij gebruik van de Turing machine.

### Het idee

Het was dus in 1937 al zover: Turing publiceerde '*On computable numbers with an application to the Entscheidungsproblem*' over de zogenaamde *a(utomatic)-machine*. Ondanks zijn bescheidenheid werd dit hierna natuurlijk al snel de Turingmachine. Laat ik allereerst het idee dat de Turingmachine ooit daadwerkelijk gebouwd is of gebouwd zou kunnen worden uit de wereld helpen; dat is een misvatting. De Turing machine is een simpel theoretisch concept waardoor elk computeralgoritme nagebootst kan worden. Wie het nu al veel te theoretisch vindt moet even door de zure appel heen bijten, want dit gaat uiteindelijk iets met robots te maken hebben (kneits!). De originele en simpelste Turingmachine bestaat uit het volgende:

1. Een rol tape, verdeeld in vakjes met symbolen, die aan één kant oneindig lang



doorgaat.

2. Een lees-/schrijfkop die over de rol kan bewegen en de symbolen in de vakjes kan lezen en veranderen.

3. Iets waarop de toestand van de machine staat. Er is een eindig aantal toestanden.

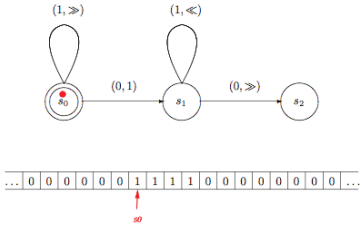
4. Een verzameling regels. Een regel beschrijft, gegeven een bepaalde toestand en het symbool dat de kop leest, wat de volgende toestand wordt en wat de kop gaat doen.

We beginnen met de symbolen '0' en '1', dat is voor nu wel genoeg. De kop heeft de restrictie dat hij op elk moment maar één ding tegelijk kan doen: ofwel het symbool dat hij leest veranderen, ofwel één stapje naar links doen, ofwel één stapje naar rechts doen. Wat een Turing machine uiteindelijk gaat doen, het algoritme, wordt bepaald door de verzameling regels en de symbolen die aan het begin op de tape staan. Dit is dus de *input* die je de machine kunt geven. Als de machine in een toestand is waar geen regel meer voor bestaat is het afgelopen. De uitkomst is dan aan de symbolen op de tape af te lezen. Lang, vaag verhaal; tijd voor een relatief toegepast uitstapje.

*Lang verhaal, tijd voor een relatief toegepast uitje*

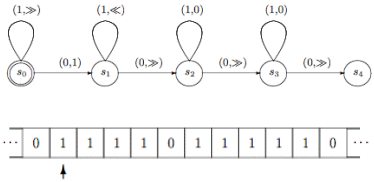
### Optellen

Het lijkt praktisch om met de Turingmachine gehele getallen *m* en *n* bij elkaar te kunnen optellen. Gelukkig kan dat als volgt:




*Figuur 1: optellen met de Turingmachine*

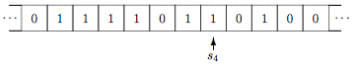
we beginnen door een geheel getal n op te schrijven als *n+1* enen achter elkaar. Een scheiding tussen twee getallen wordt vertegenwoordigd met een '0'. Vervolgens maken we als tussenstapje een systeem voor '*+1*', iets dat ik mezelf toch wel regelmatig hoor zeggen. Dit systeem is te zien in figuur 1. De toestand $s_0$ die dubbel omcirkeld staat is de beginstaat, een combinatie (symbool, actie) bij een lijn betekent dat de machine bij het lezen van dat symbool die actie zal ondernemen en de lijn zal volgen om bij de volgende toestand uit te komen. De begintoestand is van het programma is een rij van *n* enen, omgeven door nullen. De output daarentegen is een rij van *n+1* enen, oftewel het aantal pils dat wél gehaald dient te worden. De kop begint op de meest linker '*1*' en verplaatst zich naar rechts tot hij ergens een *'0'* leest. Daar maakt hij gauw een '*1*' van, om vervolgens terug te gaan naar de meest linker '*1*'. Het nieuwe aantal




*Figuur 2: de begintoestand en het systeem*

enen is de gewenste uitkomst.

Echter, enkel *'+1'* zal niet volstaan, want soms moet er echt aanzienlijk meer pils gehaald worden dan aanvankelijk is ingeschat. Twee gehele getallen, bijvoorbeeld drie en




*Figuur 3: het systeem erop loslaten*

vier, bij elkaar optellen is iets ingewikkelder. We beginnen dan met de begintoestand die te zien is in figuur 2 en laten daar het systeem op los. Je kunt nu als het goed is zelf nagaan wat de kop gaat doen: Eerst maakt hij van de *'0'* die de twee getallen scheidt een *'1'*, waarna er $(n+1)+1+(m+1)$ enen op een rij staan. Omdat dit natuurlijk te veel is gaat de kop weer terug naar links en maakt daar van twee enen een *'0'*. Wat overblijft is een rij van $n+m+1$ enen, hetgeen het getal $n+m$ representeert. Waarom zou je dat nog uit je hoofd doen?

*Waarom zou je dat nog uit je hoofd doen?*

**Oké, en nu?**

Het is duidelijk dat de Turingmachine, hoewel programmeren in Turingmachine suboptimaal lijkt (oneindig *challenge*-punten op de *Crash&Compile*?), een apparaat is dat op een basale en vrij ondoorzichtige manier een door de gebruiker ingevoerd algoritme kan uitvoeren. Het blijkt echter dat je met een Turingmachine meer kunt dan je misschien dacht. Sterker nog, met de volgende aanpassingen kun je helemaal niets berekenen dat je niet met de originele Turingmachine kunt berekenen!

1. Er zijn meerdere rollen tape die tegelijk worden gescand.

2. De tape is aan beide kanten oneindig.

3. De tape heeft meerdere dimensies.

4. De kop kan in één stap een symbool veranderen en verplaatsen.

5. De kop kan meer dan één vakje in één keer afleggen.

Het toevoegen van zulke stappen zal systemen alleen maar ingewikkelder en misschien korter maken. Turing bewees dat een Turing machine elk denkbaar computeralgoritme zou kunnen nabootsen. Hoe ingewikkeld de nodige systemen zouden zijn is irrelevant (ikzelf heb al geen moeite gedaan om het systeem dat nodig is om een rij enen te kopiëren, oftewel een getal met twee te vermenigvuldigen, te begrijpen); het gaat erom dat ze gemaakt kunnen worden.

**De Church-Turing these**

Volgens mij was het doel van het uitwer-

ken van de Turing machine het concreet maken wat een willekeurige computer kan. Dit zegt alleen niet zo veel als je niet weet wat een willekeurig mens precies kan, mijns inziens een relevanter vraagstuk, maar *soit*. Alan Turing en zijn PhD-begeleider Alonzo Church hebben voor dit onderwerp de Church-Turing-these in het leven geroepen. Van alle formuleringen van deze these die ik kon vinden waren er geen twee hetzelfde, maar ze komt ongeveer hierop neer: 'Alles wat berekenbaar is, is berekenbaar met een Turingmachine.' Hierbij laten ze in het midden of alle processen in onze hersenen berekeningen zijn.

*Hoe ingewikkeld de nodige systemen zouden zijn is irrelevant*

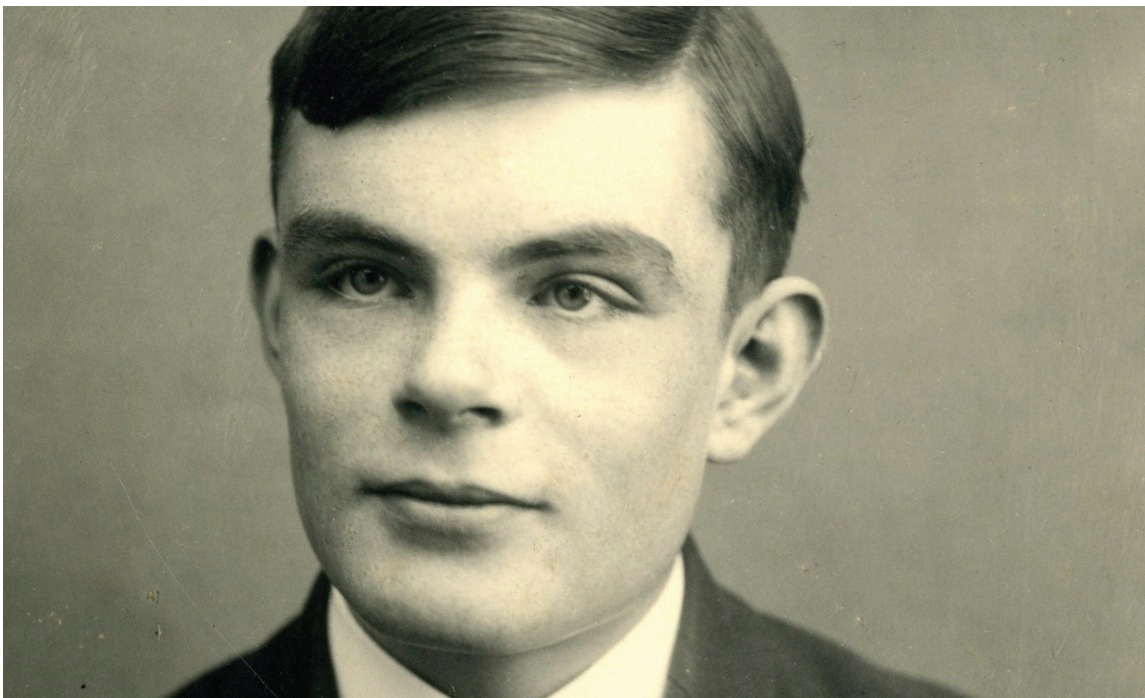
Wat Alan Turing vlak voor zijn dood in 1954 waarschijnlijk niet, of misschien ook juist wel, had verwacht is dat de *msn-bot* Chatman al minder dan 50 jaar later beschikbaar zou zijn voor iedereen met een pc met Windows 95 of hoger en een internetverbinding.

**Bronnen:**

http://plato.stanford.edu/entries/turing-machine/
https://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Turing_machine.html
http://plato.stanford.edu/entries/church-turing/
http://www.turing.org.uk/scrapbook/machine.html
http://www.cs.ox.ac.uk/activities/ieg/e-library/sources/tp2-ie.pdf
Douglas Hofstadter, Gödel, Escher Bach, 1986

**Puzzel**

Omdat we graag dingen combineren is dit ook gelijk de puzzel: kun jij een originele Turing machine n! voor je laten berekenen? De winnaar krijgt een pc met Windows 95.

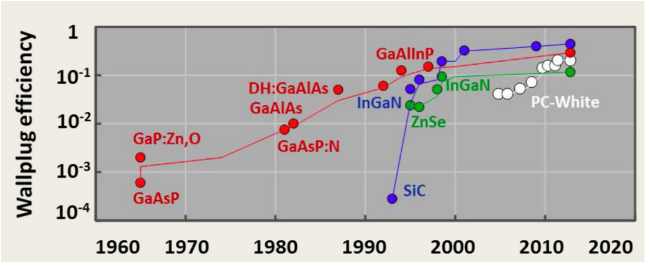


## De nobelprijs

Jasper Compaijen

**Aangezien ik dit** keer niet echt een bijdrage kan leveren wat betreft het thema, wijk ik uit naar een veilig onderwerp voor deze tijd van het jaar: de nobelprijs, een onderwerp dat alle aspirant wetenschappers toch zou moeten interesseren. De prijs wordt jaarlijks uitgereikt voor de belangrijkste ontdekking of uitvinding, zelfs ingenieurs maken dus een kans. Dat uitvindingen ook meetellen vind ik uiteraard een beetje jammer. Er zijn genoeg voorbeelden te noemen van nobelprijswaardige uitvindingen die gebruiken maken van boeiende, toen nog onbekende fysica. Helaas zijn er ook gevallen waarbij dit niet zo is.

Je raadt het al, de nobelprijs voor de natuurkunde 2014 behoort tot de laatste categorie. Dat wil overigens niet zeggen dat het geen belangrijke uitvinding was, integendeel zelfs. De prijs is uitgereikt aan de heren Akasaki, Amano en Nakamura, die het voor elkaar hebben gekregen om energiezuinige blauwe LEDs te maken. Rode en groene LEDs waren al lang bekend, maar de blauwe waren nog nodig om wit licht te kunnen produceren. Voor de lezer die zijn gloei- en/of spaarlampen nog steeds niet heeft vervangen voor LED verlichting: kom onder je steen vandaan en regel dat! LEDs zijn echt vele malen efficiënter, gaan langer mee en tegenwoordig is de kleur van het licht ook prima. Aangezien verlichting voor 20%-30% van ons energieverbruik zorgt, kunnen er door deze uitvinding grote stappen gezet worden naar een duurzamere samenleving [Fig. 1]. Dat klinkt inderdaad allemaal wel alsof onze Alfred dolgraag wat van zijn spaargeld zou willen delen met deze heren. Echter, de belangrijkste fysica achter de werking van een LED was in de jaren 50 al bekend. De kleur van het licht wordt bepaald door de bandgap van het gebruikte materiaal. Het enige probleem dat opgelost diende te worden om blauwe LEDs te kunnen maken, was dus het vinden van het juiste materiaal. Nu is dat natuurlijk wel een behoorlijke speurtocht en het




*Figuur 1: Overzicht van de efficiency van LED verlichting en de gebruikte materialen*

bleek ook nog eens dat het materiaal dat men wilde gebruiken (GaN) zich niet zo eenvoudig liet groeien en dopen, maar zo spectaculair is het nu ook weer niet. Het deed mij eigenlijk een beetje denken aan de nobelprijs die in 2009 werkt uitgereikt voor de CCD-beeldsensor. Om met de woorden van mijn beroemde voorganger, de weledelzeergeleerde heer Vlaming, te spreken: "Het is geen boeiende fysica, ik heb er geen aars verstand van en toepassingen zijn er wel degelijk, maar naar mijn mening zijn toepassingen voor HBO'ers [Franckenvrij 14.1]."

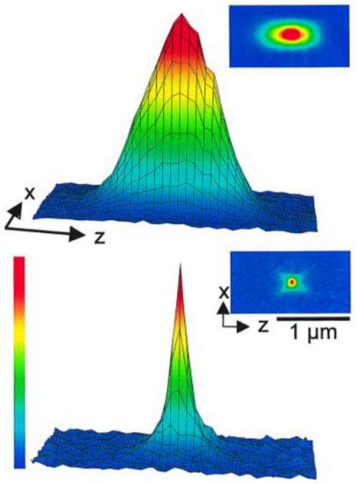
Misschien kan ik er nog een schepje bovenop doen: dit jaar bevatte de nobelprijs voor de scheikunde meer interessante natuurkunde dan de nobelprijs voor natuurkunde.

*Het deed mij eigenlijk een beetje denken aan de nobelprijs in 2009*

Goed, laten we het daar dan maar over hebben. De scheikundeprijs ging naar Betzig, Hell en Moerner voor het ontwikkelen van super-resolutie fluorescentiemicroscopie, en dat is echt net zo gaaf als het klinkt. Met een aantal schitterende ontdekkingen hebben zij de basis gelegd voor het bestuderen van structuren met een resolutie kleiner dan de golflengte van het gebruikte licht en het observeren van absorptie en fluorescentie van enkele moleculen.

In de optica bestaat er zoiets als de diffractielimiet, bedacht door Ernst Abbe aan het einde van de 19e eeuw. Deze limiet vertelt ons dat het maximale resolutie die we met een optische microscoop kunnen bereiken gelijk is aan de helft van de golflengte. Met andere woorden, als twee elementen dichter bij elkaar zitten dan de helft van de golflengte, dan kunnen we ze niet meer van elkaar onderscheiden. Uiteraard is er altijd de optie om naar kleinere golflengtes te gaan of een elektronenmicroscoop te gebruiken, maar voor het bekijken van bijvoorbeeld levende cellen is dit vrijwel onmogelijk (iets met golflengte en energie). Bij 'Golven en Optica' hebben jullie natuurlijk allemaal geleerd dat diffractie komt doordat er een voor licht ondoordringbaar obstakel in de weg staat. Meestal wordt het geassocieerd met een gat in een scherm, de apertuur. Theoretisch gezien kan het beeld van een object geconstrueerd worden door de fouriertransformatie van het licht in de apertuur te meten. Om één enkele bron te kunnen waarnemen, moeten we dus de fouriertransformatie van het licht dat hij uitstraalt berekenen. Hier zit nu net het probleem, de fouriertransformatie van een gelokaliseerde bron, is oneindig breed. Dit betekent dus dat om alle informatie over het object te verzamelen we over een oneindige ruimte moeten meten, en dat gaat niet.

Een consequentie van de diffractielimiet is dat het onmogelijk is om een laserbundel te focussen tot een punt, ook hier is de minimale grootte de helft van de golflengte. In de praktijk wordt dus al snel een groot gedeelte van het te bestuderen object belicht. Een van de oplossing voor dit probleem werd aangedragen door Hell: Stimulated



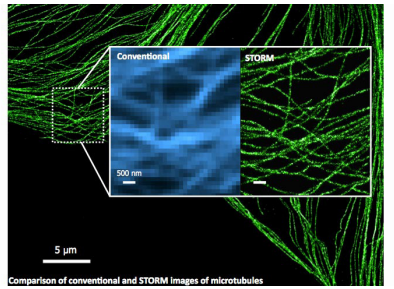

*Figuur 2: Illustratie van het intensteitsprofiel van een emitter zonder (boven) en met STED (onder)*

Emission Depletion (STED) microscopie. Bij deze techniek wordt een tweede laser gebruikt, met een iets lagere frequentie, en een intensiteitsminimum in het midden van de bundel. Hierdoor komen alle moleculen die door de eerste bundel in hun aangeslagen toestand zijn gebracht, door gestimuleerde emissie weer in hun grondtoestand. Behalve in het midden van de bundel, daar is de intensiteit van de tweede laser immers nul. De omvang van de diffractiespot wordt nu bepaald door de intensiteit van de tweede laser [Fig. 2].

Een andere geniale manier om onder de diffractielimit uit te komen, werd voorgesteld door Betzig. Het probleem was dat we twee emitters niet meer kunnen onderscheiden als ze te dichtbij zitten, en in veel samples zitten ze nu eenmaal dichtbij elkaar. Als deze emitters nu niet allemaal tegelijk zouden stralen, maar als individuen die ver uit elkaar liggen, dan is het probleem feitelijk opgelost. Deze benadering wordt PALM (Photoactivated Localization Microscopy) of STORM (Stochastic Optical Reconstruction Microscopy) genoemd. Men maakt hierbij gebruik van fluorescente labels die aan- of uitgeschakeld kunnen worden met een externe laser [Fig. 3].

Tot slot wil ik nog wel even genoemd hebben dat de eerste observatie van een enkele emitter gedaan werd door Moerner in 1989, op de voet gevolgd door prof. Orrit uit Leiden in 1990. De laatste heeft daarna nog veel baanbrekend onderzoek gedaan in dit veld en ik weet zeker dat hij ook op de shortlist stond voor nobelprijs. Toch jammer dat hij hem niet gekregen heeft.

Bij ons op de faculteit wordt ook behoorlijk veel gewerkt aan verschillende spectroscopie technieken en het observeren van enkele moleculen. Voor meer informatie en een mogelijk bachelor- of masteronderzoek, kan je ongetwijfeld goed terecht in de groepen van Thorben Cordes, Antoine van Oijen en Maxim Pchenitchnikov. Om lekker te theoretiseren over het breken van de diffractielimiet is Bernhard Hoenders een uitstekende optie.




*Figuur 3: Microscoopopname van microtubules waarbij gebruik gemaakt is van STORM*

# An inside view

## Discrete Technology & Production Automation

prof. dr. B. Jayawardhana

**For the past** few decades, robots have evolved from the mundane industrial robots in factories to the challenging robotic applications at home and at work, from executing pre-programmed repetitive tasks to deciding multiple different tasks autonomously, from the classical manipulator arms to the biologically-inspired robots, and from an independent robot to the smart cooperative robots. Contributing to this evolution, our research group has been developing advanced control methods for solving various robotic problems associated to novel applications, such as, robots for healthy ageing population and cooperative robots in maritime technology.

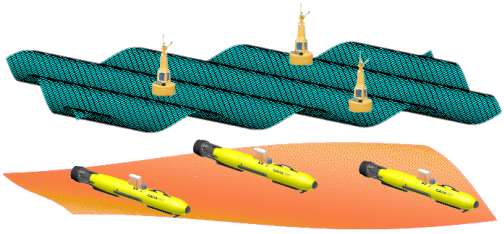
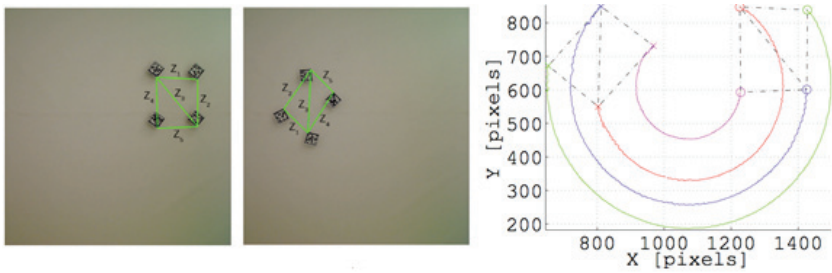


*Figure 1. The formation control problem of underwater robots where each robot maneuvers independently based on a local measurement to maintain a desired formation. The only available local measurement is the relative position with its neighbors that is provided by the floating buoys. In this scenario, none of the buoys has a centralized computation capability to control all robots.*

In this 'inside view', we discuss our recent results on the design of a robust formation control law for mobile robots[1]. Here, the formation refers to a polygonal or polyhedral geometric shape where the robots are represented by the vertices. In order to achieve the desired formation, each robot has to maintain a prescribed distance to its neighbours. The deployment of robots in formations is used, for example, to sample unknown environment[2], to optimally cover a geographical region or to achieve better cooperation efficiency[3]. Several relevant applications are the formation of underwater robots and of autonomous road vehicles.

In the absence of global positioning information and centralised controller, such as the formation of underwater robots' case, the control law of each robot has to rely on a relative position measurement with respect to its neighbouring robots. The de-facto control law is based on the gradient of a 'virtual' potential function, which is a function of the distance to its neighbours and has a minimum at the desired distance .

1: In much literature, these mobile robots are often referred to as autonomous systems or agents.
2: N.E. Leonard, et al.,"Collective motion, sensor networks and ocean sampling," Proceedings of IEEE, vol. 95, pp. 48-74, 2007.
3: D.M. Stipanovic, et al., "Formation control and collision avoidance for multi-agent non-holonomic systems: Theory and experiments," Int. Journ. Rob. Res., vol. 27, pp. 107-126, 2008.




*(a)* *(b)* *(c)*

*Figure 2. Experimental results of a 2D formation with a constant measurement discrepancy where a standard gradient-based control is used; (a). initial configuration; (b). final configuration at 100 seconds; (c). the robot's trajectories where circles are the starting points. The crosses are the robots' position at 100 seconds and the formation still moves.*

However, it was recently reported that the gradient-based control approach may lead to an undesirable behaviour when the neighbouring robots disagree on the distance measurement . This fact is rather surprising since the potential-based control law has been known to exponentially stabilise the formation; a property that is close to robustness. Figure 2 shows the behaviour of four robots forming a rectangular using the gradient-based control with constant discrepancy in the measurement[4]. The disagreement results in an undesirable circular movement of the whole formation. The influence of distance disagreement has been rigorously analysed[5] and it is shown that a screw movement of the formation can occur in 3D case. This problem may affect the application of robotic formations in practice for several reasons: i). each robot may use different guidance systems; ii). identical "low-grade" sensors may not return the same reading due to the heterogeneity in manufacturing processes; iii). the sensors' reading is often influenced by the environments, such as, sea wave influencing buoys' location.

For solving this problem, we have added an extra state dimension to the gradient-based controller where an estimator of the discrepancy can be embedded[6]. Such an estimator provides an estimation of the discrepancy signals based on the measured relative position with respect to the neighbouring robots. In the literature of systems and control, this approach is well-known as the internal-model principle[7] where a copy

4: B.D.O. Anderson, C. Yu, B. Fidan, J. Hendrickx, "Rigid graph control architectures for autonomous formations," IEEE Contr. Syst. Mag., vol. 28, pp. 48-63, 2008

5: A. Belabbas, S. Mou, A. Morse, B. Anderson, "Robustness issues with undirected formations," Proc. 51st IEEE Conf. Dec. Contr., pp. 1445-1450, Hawaii, USA, 2012.

6: H.G. de Marina, M. Cao, B. Jayawardhana, "Controlling formations of autonomous agents with distance disagreements," Proc. 4th IFAC Workshop Distr. Est. Contr. Netw. Syst., 2013.

7: C. De Persis, B. Jayawardhana, "On the Internal Model Principle in the Coordination of Nonlinear Systems," IEEE Trans. Contr. Netw., Syst., vol. 1, no. 3, pp. 272-282, 2014.

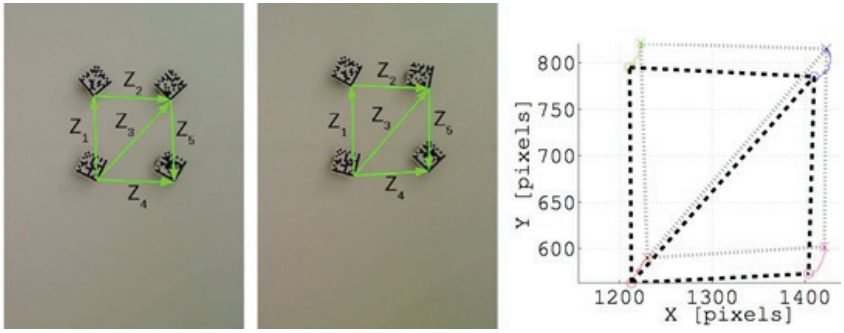
of the dynamical model, able to generate the exogenous signals, is integrated in the controller. The principle is mostly used for rejecting disturbance signals and for tracking reference signals. In our case, the principle is used to eliminate the discrepancy. As a simple example, if the discrepancy is a constant signal then an integrator (which can generate any constant signal) can be added to the controller so that when the steady-state is reached, the unknown discrepancy signal is cancelled by the integrator part of the controller.

By combining the internal-model based principle and gradient-based formation control law, we are able to show rigorously[8] that the formation remains exponentially stable in spite of the presence of measurement discrepancy. In particular, the aforementioned undesired motion of the formation is completely eliminated. Figure 3 shows the experimental results using our proposed approach.

8: H.G. de Marina, M. Cao, B. Jayawardhana, "Controlling Rigid Formations of Mobile Agents under Inconsistent Measurements," IEEE Trans. Robotics, to appear.

The simplicity and strength of our control design that still takes the full advantage of the existing gradient control, allows it as the viable and promising solution to the current problem and can lead to a wide adoption of the approach. There are a number of other open problems in the context of formation control that we are currently looking at. The first one is related to the formation problem for complex robots described by high-order state equations. The second one is related to the control design with collision avoidance and guaranteed safety properties.

Apart from the formation control problem



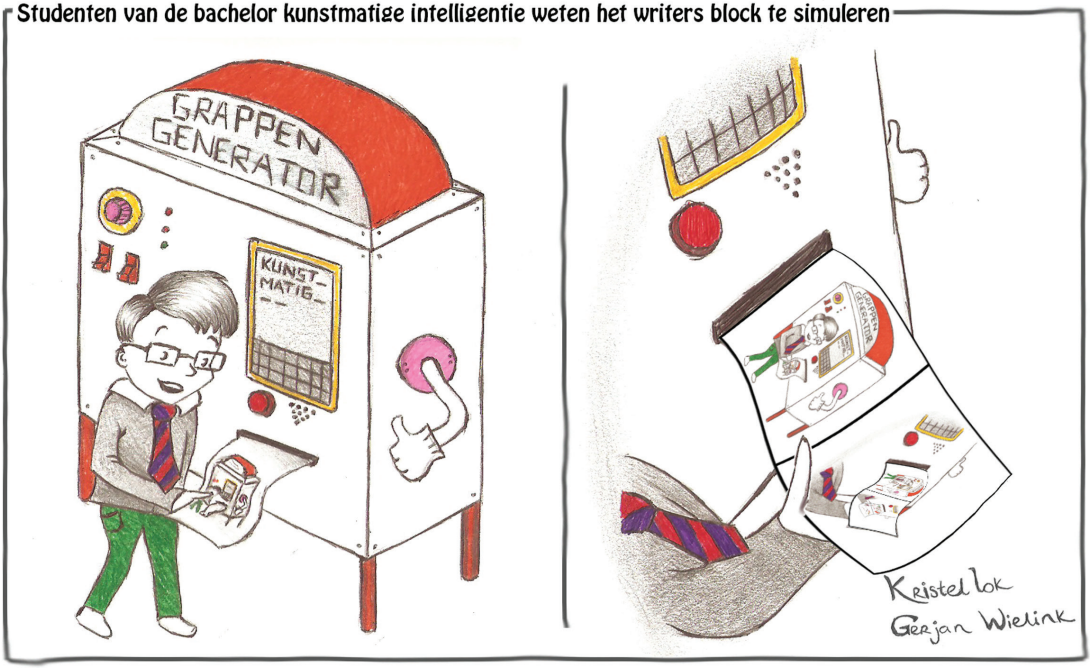

*(a)* *(b)* *(c)*

*Figure 3. Experimental results of a 2D formation with a constant measurement discrepancy where our proposed estimator-based gradient control is used; (a). initial configuration; (b). final configuration after 20 seconds; (c). the robot's trajectories where circles are the starting points. The crosses are the final configuration when the robots stop moving.*

as described above, there are many other open control problems in robotics and mechatronics that are investigated in our group. These include: i). the EU SmartBot project where we are looking at the optimal and guaranteed-safety control problems in the design of smart robots for maritime and manufacturing technology[9,10]; ii). the development of an inspection robotic platform for hazardous environment in the oil and gas industry where advanced control systems are needed to deal with the limited sensor and actuator technologies[11], and; iii). the development of advanced control systems for cryogenic applications, such as HIFI instrument in the Herschel space telescope[12] or METIS instrument in the European Extremely Large Telescope[13]. Finally, we remark that control systems technology is a hidden technology that is ubiquitous in almost all modern apparatus and is one of the key information technologies for future smart robots.

9: M.Z. Romdlony, B. Jayawardhana, "Uniting Control Lyapunov and Control Barrier Functions," Proc. 53rd IEEE Conf. Dec. Contr., Los Angeles, USA, 2014.
10: EU SmartBot project official website, http://www.smartbot.eu/, last retrived: 8 Nov. 2014.
11: Y. de Koster, "Future influence of robotics in the oil and gas industry: key technology or just a trend?," Research Report, Accenture, August 2014.
12: R. Huisman, et. al., "Cryogenic mechatronic design of the HIFI Focal Plane Chopper," Mechatronics, vol. 21, no. 8, pp. 1259-1271, 2011.
13: NOVA press release, "Eerste Nederlandse onderdeel van reuzentelescoop E-ELT doorstaat alle tests", http://www.astronomie.nl/#!/index/_detail/gli/eerste-nederlandse-onderdeel-van-reuzentelescoop-e/, last retrieved: 8 Nov. 2014.

**Studenten van de bachelor kunstmatige intelligentie weten het writers block te simuleren**



university of groningen / faculty of mathematics and natural sciences / zernike institute for advanced materials

## Top Master programme in

# Nanoscience

In addition to the 'regular' MSc-programmes in physics, applied physics, chemistry, and chemical engineering, our Faculty offers a selective master programme: the Top Master Programme in Nanoscience. This Programme distinguishes itself from the other programmes through the following characteristics:

- International orientation: all courses are taught in English and some 2/3 of the students come from abroad;
- Taught by leading scientists of the Zernike Institute for Advanced Materials;
- Aimed at a career in top-level research;
- Multi-disciplinary, uniting aspects of chemistry and physics, and aimed at understanding phenomena at the atomic/molecular scale;
- Selective: possession of a BSc-degree does not provide automatic entrance to the Programme;
- Challenging: about 20% heavier than regular MSc-programmes.

The Top Master Programme in Nanoscience aims to train the leading-edge scientists of the future. This is achieved by offering a challenging interdisciplinary programme and by admitting very talented and motivated students only. The educational programme is strongly intertwined with the research at the Zernike Institute: the courses are taught by international top-level scientists, and a large part of the programme consists of actually doing research alongside world-class scientists, using the state-of-the-art facilities of the Zernike Institute. Participants come from all over the world.

### Quality assessment

In recent years, the Programme was evaluated by the Nederlands-Vlaamse Accreditatie Organisatie, and judged to be of exceptional quality. All aspects of the Programme were singled out as 'excellent'.

### Application

To apply for the Top Master Programme in Nanoscience, send a motivation letter, explaining why you think this programme is suitable for you, and why you are a good candidate for this programme to Prof.dr. Caspar H. van der Wal (c.h.van.der.wal@rug.nl), annually before **May 1st** (for EU students).
If this letter and your grades are sufficiently promising, you will be invited for an interview with members of the Admissions Board. The next cohort of students will start 1st September 2014.

### More information

For further information, see www.rug.nl/zernike, or visit Prof. Caspar van der Wal (Programme Coordinator) or any of the currently participating students.

# Optimal linear control

## In finite time

Paul Wijnbergen

**Since the theme** of this Francken Vrij is 'system', why wouldn't we think of some nice control systems.

As wikipedia states: 'Control engineering or control systems engineering is the engineering discipline that applies control theory to design systems with desired behaviors. The practice uses sensors to measure the output performance of the device being controlled and those measurements can be used to give feedback to the input actuators that can make corrections toward desired performance.' Now a legit question would be, how can we optimize our control? That is, what's the minimum cost to obtain the desired optimization of the control. To make this a bit more concrete, you can visualize such a problem by thinking of the question of how to get to Zernike as quick as possible by bike, with the constraint that you don't get sweaty.

If you want to minimize the cost of a control, it seems a good idea to minimize the cost functional. Since we live here on earth it is also convenient to minimize the cost in finite time.

Let's get to action. We consider the control system $\Sigma$:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ z(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases} \qquad (1)$$

where $u$ is the input in U, to be identified with $\mathbb{R}^m$, z the output in Z, to be identified with $\mathbb{R}^p$ and x is the state in X, to be identified with $\mathbb{R}^n$. The initial state is $x_0 = x(0)$.

The cost functional is defined as the integral over the squared Euclidean norm of the output z(t). So minimizing the cost functional, is equal to minimizing the output. If we want the output z(t) to be as small as possible, the ideal situation would be that the initial state x(t=0) is equal to zero. Then the output of the uncontrolled system would be zero for all t. If, however, the initial state is not equal to zero, we speak of a disturbance.

For an initial state $x(0) = x_0 \neq 0$ the uncontrolled system will not tend to the stationary zero solution. Therefore we apply an input function to minimize the output. To measure the size of the output we define the quadratic cost functional:

$$J(x_0, u) = \int_0^\infty ||z(t)^2|| \, \mathrm{d}t \qquad (2)$$

For any initial state and any input function u, it must hold that $J(x_0 ; u) > 0$

Because of the finite time we reduce the problem of minimizing (2) to the finite problem:

$$J(x_0, u, T) = \int_0^T ||z(t)||^2 \, \mathrm{d}t \qquad (3)$$

Furthermore, I would like to introduce the following definition: problem (2) and (3) are called regular if D is injective, equivalently, $D^TD >= 0$. The problem is said to be in standard form if $C^TD = 0$ and $D^TD = I$.
This is an important definition to rewrite the cost functional. When the problem
is written in the standard form, the integral of the cost functional reduces to $||z||^2 = x^TC^TCx + u^Tu$ . We often write $Q = C^TC$.

The reason for the two distinctions from the definition is quite useful.
The first reason is that it will help you to analyse without much effort if there will be a solution for the minimalisation of the cost function. There will only be a solution if the problem is regular. Therefore, in our study we will only look at regular problems.
The second reason is to help you to reduce the problem to an easier one. As we have seen above, the integral of the standard case is written in a simpler way. Because of that, it is sometimes convenient to write a regular form of the problem as a standard form of the problem, using a feedback transformation. Feedback transformation means that a new control variable v will be introduced and is related to v by u = Fx + Gv. Here is $F := -(D^TD)^{-1}D^TC$ and $G := -(D^TD)^{-1/2}$.

After this feedback transformation, the system $\Sigma$ will look like:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = (A + BF)x(t) + BGv(t) \\ z(t) = (C + DF)x(t) + DGv(t) \end{cases} \quad (4)$$

For this system to be in the standard form, we substitute C into (C+DF) and D into DG. If then $(DG)^T$ (C + DF) = 0 and $(DG)^TDG$ = I, the system will be in standard form.
This is indeed the case. We also assume that the infimum of $J(x_0; u; T)$ is a quadratic
function of $x_0$, since $J(x_0; u; T)$ is a quadratic function of $x_0$ and as well $x_0^T K x_0$ for some suitable matrix K.
Let us now continue with the minimization. The output of a system $\Sigma$ can be measured by using the quadratic cost functional $J(x_0; u; T)$. The squared norm of of the output
can be considered as a quadratic function of u and x because

$$\begin{aligned} ||z||^2 &= ||Cx + Du||^2 \\ &= (Cx + Du)^T(Cx + Du) \\ &= (x^TC^T + u^TD^T)(Cx + Du) \\ &= x^TC^TCx + u^TD^TDu + 2u^TD^TCx \\ &= x^TC^TCx + u^TD^TDu + 2u^T(C^TD)^Tx \\ &= x^TQx + u^TIu \end{aligned}$$

The last equality holds only if the system is in standard form. With this result we now can rewrite the cost functional and add a final weight on the state vector. This additional weight factor is not of any concern in our calculation, as will be shown. The result is that our problem slightly changed to minimalizing the following integral:

$$J(x_0, u, T) = \int_0^T x(t)^TQx(t) + u(t)^Tu(t)\mathrm{d}t + x(T)^TNx(T) \quad (5)$$

The trick is that we assumed that the minimum of the cost functional is a quadratic

function of $x_0^T K x_0$ , or in other words, we assumed that the minimum of the integral $\int_{t_0}^{T} x(t)^T Q x(t) + u(t)^T u(t) \mathrm{d}t$ is of the form $x_0^T K(t_0) x_0$. If K(t) is a symmetric-matrix-valued continuously differentiable function, defined on [0,T], a nice result will occur when considering the difference $J(x_0, u, T) - x_0^T K(0) x_0$ . It will appear that the result is minimalized only if K(t) is a solution of a Riccati equation. Now let's first have a look at the difference:

$$J(x_0, u, T) - x_0^T K(0) x_0 =$$

$$\int_0^T x(t)^T Q x(t) + u(t)^T u(t) + x(T)^T N x(T) \mathrm{d}t - x_0^T K(0) x_0$$

$$= \int_0^T x(t)^T Q x(t) + u(t)^T u(t) \mathrm{d}t + \int_0^T \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} x(t)^T K(t) x(t) \mathrm{d}t + x(T)^T (N - K(T)) x(T)$$

$$= \int_0^T x(t)^T Q x(t) + u(t)^T u(t) + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} x(t)^T K(t) x(t) \mathrm{d}t + x(T)^T (N - K(T)) x(T)$$

Because we can use the differential equation in the integral, we integrate over the following:

$$x(t)^T Q x(t) + u(t)^T u(t) + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} x(t)^T K(t) x(t) =$$

$$x^T (Q + A^T K + K A + \dot{K}) x + 2 u^T B^T K x + u^T u$$
$$= x^T K B B^T K x + 2 u^T B^T K x + u^T u + x^T S x$$

$$= ||u + B^T K x||^2 + x^T S x$$

Where S : $= \dot{K} + A^T K + K A - K B B^T K + Q$ . This leads us to the completion of squares formula, which is crucial in accomplishing our goal:

$$J(x_0, u, T) = x_0^T K(0) x_0 + \int_0^T [x(t)^T S(t) x(t) + ||u + B^T K x||^2] \mathrm{d}t + x(T)^T (N - K(T)) x(T)$$

One way to minimize equation (5) is to choose an input u such that the integral attains its minimum for every t. This does not work because choices of u will affect the values of x for larger t. For instance, some input u that minimizes the integral for a certain $t_0$ could affect the value of the integral in such a way that its value for some $t_1$ is much larger. It is difficult to predict to what extent the choice of u will aect the value of (5). The same problem arises for the above equation. We can avoid this by reducing the equation to simpler form.

This can be done by choosing the matrix K such that S(t) is equal to zero and K(T) equal to the weight factor matrix N. Setting S(t) equal to zero is equivalent to solving the Riccati equation for K given by:

$$\dot{K} = -A^T K(t) - K(t) A + K(t) B B^T K(t) - Q$$

Using these substitutions, equation (6) gives:

$$J(x_0, u, T) = x_0^T K(0) x_0 + \int_0^T x(t)^T * 0 * x(t) + ||u + B^T K x||^2 \mathrm{d}t + x(T)^T (N - N) x(T)$$

$$= x_0^T K(0) x_0 + \int_0^T ||u + B^T K x||^2$$

Since the integral over any squared norm is always greater than or equal to zero, we know that $J(x_0; u; T) \geq x_0^T K(0) x_0$ for all u. This is obvious because $x_0^T K(0) x_0$ is defined

to be the minimum of J. We search for the particular u such that equality is achieved. By setting the norm in the integral equal to zero, we find that $u = -B^T K(t)x(t)$ for all t. We now have derived an equation that enables us to find a desired input u in terms of a given B, a matrix K that solves the Riccati equation and a state x. Substituting this input leads to minimizing the generalized cost functional given by equation (5).

The Riccati equation with initial value (7), has a unique solution on the interval [0; T] for every symmetric N. This solution is symmetric. This can be proven, but this is enough for now.

**References**

[1] Harry L. Trentelman, Anton A. Stoorvogel and Malo Hautus, Control Theory for Linear Systems, Springer, London, 2001.

[2] G.J. Olsder, J.W. van der Woude ea, Mathematical Systems Theory, VSSD, Delft, 2011.

# Francken 4

## De legende keert terug

Rick Meijerink

**Na 3 sombere** jaren van afwezigheid stond afgelopen vrijdag het beruchte zaalvoetbalteam Francken 4 weer in de zaal.

Onder luid applaus van twee trouwe supporters traden wij aan tegen team Veracles. Vol enthousiasme en goede wil gingen wij de strijd aan. We wilden namelijk niet de eervolle naam van het team bezoedelen. De strijdlust uitte zich al snel in een voorsprong. Er werd goed en snel combinatievoetbal gespeeld; 'FC Barcelona lijkt er niks bij', aldus een anonieme bron. Binnen twintig minuten stonden we zelfs met 6-1 voor. Toen werden er helaas enkele nonchalante fouten gemaakt, waardoor de eindstand 6-3 werd. Een mooie prestatie waar we heel trots op kunnen zijn, hoewel de tegenstander ons al waarschuwde: 'Jullie waren niet goed, wij waren gewoon erg slecht.' De beste mannen hadden namelijk tot in de late uurtjes pasjes gemaakt in de guurste kroegen van Groningen.

Desondanks gingen we vol zelfvertrouwen naar de volgende wedstrijd. Na een half uurtje rust en een tactische voorbespreking betraden de mannen en vrouwen van Francken 4 weer het speelveld. De tegenstander was dit keer Dream Tim; altijd lastig die Spanjaarden. Al gauw bleek dat deze tegenstander meer het niveau bereikte waar wij naar streven. Ondanks enkele grote kansen van hun kant wist onze keeper het doel schoon te houden. Er werd zelfs gescoord door Francken 4 uit een counter en na een kwartier stonden we met 2-1 voor. De spanning naar het einde was duidelijk voelbaar. Uiteindelijk brak dat ons op en werden we verslagen met 4-2. Onnodig in mijn opinie, want een gelijkspel was eerlijker geweest. Helaas werkt dat niet zo in de voetbalwereld. Zoals onze beroemde Johan Cruiff zei: 'Voetbal is een spel van fouten. Wie de minste fouten maakt wint.' De fijne voetbalmiddag werd afgesloten met een klein biertje in de Franckenkamer. Met 3 punten in de zak en de nodige leerzame ervaringen kijk ik vol goede hoop uit naar de volgende wedstrijden. Als we zo doorgaan, moeten Francken 1, 2 en 3 uitkijken voor degradatie. Ten slotte kan het Franckenteam wel wat extra steun gebruiken. Onder gejuich en aanmoedigingen schijnen wij nog beter te presteren. Ik hoop jullie daarom op de vrijdagmiddag eens in de Struikhal van de Aclo te zien!

*Jullie waren niet goed, wij waren gewoon erg slecht.*

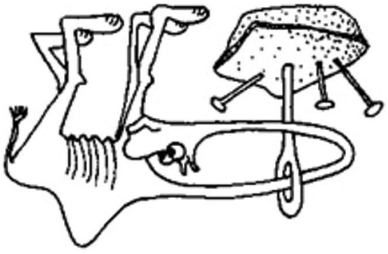
# Katverhaal

## Bewustzijn als systeem

Kathinka Frieswijk

**Kunnen kunstmatige elektromechanische** systemen (zoals robots en computers) bewustzijn ontwikkelen? Dat is een vraag die al menig nerd heeft bezig gehouden.

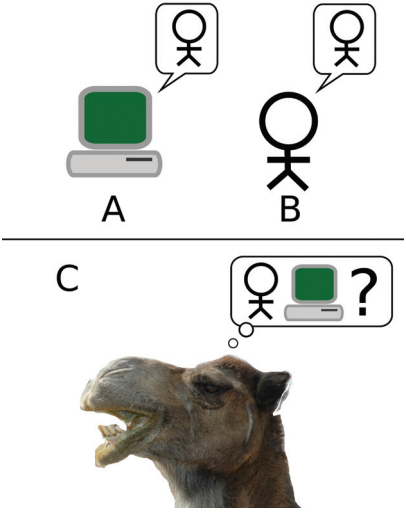
Het onderstaande is een zeer beknopt en weinig verdiepend kakverhaal over het thema, en dat is exact wat te verwachten is van iemand die het onderwerp van haar scriptie koos op basis van het feit dat ze ondersteboven een plaatje van een Apatosaurus meende te zien (zie figuur 1). Een Apatosaurus is niet alleen een onverschillige saurië, maar ook het hoofdpersonage in de klassieker 'Platvoet'. De teleurstelling die je wist dat zou komen diende zich aan toen ik het artikel omdraaide en het een plaatje van een dromedaris bleek te zijn.



*Figuur 1. De Apatosaurus in volle glorie.*

**Turing test**

De Turing-test (Alan Turing, 1936) is een imitatietest die ontwikkeld is om te bepalen of een computer in staat is om intelligent gedrag te vertonen dat niet te onderscheiden is van het gedrag van een mens.
Een menselijke ondervrager heeft via twee terminals een zinnige discussie met zowel een mens als een intelligent, kunstmatig systeem. Als de ondervrager achteraf niet kan bepalen welke van de twee terminals verbonden is aan een mens, is de machine geslaagd voor de Turing-test en is het sys-




*Figuur 2. Een dromedaris die er niet in slaagt uitsluitsel te vinden bij de Turing test.*

teem volgens Alan in staat om bewuste gedachten te vormen.

Alan's Turing-test heeft veel kritiek gekregen. De bekendste tegenreactie kwam in de vorm van John Searle's Chinese kamer (1980).

**De Chinese kamer**

In Searle's *Gedankenexperiment* wordt een proefpersoon (laten we hem Henk noemen) die geen woord Chinees kent opgesloten in een kamer. Henk heeft louter een boek, inkt en vellen papier tot zijn beschikking. Onderzoekers leveren input in de vorm van Chinese symbolen. Van Henk wordt vervolgens verwacht dat hij een relevante reactie geeft in het Chinees met behulp van het boek. Het boek is geschreven in Henks moedertaal en bevat instructies over welke symbolen hij als output moet leveren, als de input bestaat uit bepaalde Chinese symbolen.

Dus stel dat de input bestaat uit een vel papier met: "De computel doet 't niet" (in Chinees schrift).

Dan zou de relevante output bestaan uit: "GEEEEEEEEEEEELT!!!!!!!!" (in Chinees schrift).

Uiteraard heeft Henk geen flauw benul wat de betekenis is van de symbolen die hij heeft nagetekend en begrijpt hij dus ook niet dat hij ervoor gezorgd heeft dat Gert de computer van de onderzoekers gaat fiksen.

John stelt dat de perfecte imitatie van intelligent menselijk gedrag niet hoeft te betekenen dat het kunstmatige systeem intelligent is, omdat er geen enkel begrip aan te pas hoeft te komen. Volgens John zijn computers geen intelligente systemen, maar slechts symboolverwerkende machines zonder enig begrip van hun eigen handelen.

*Figuur 3. Een andere dromedaris in een Chinese kamer*

Dit kan men bijvoorbeeld vergelijken met de situatie waarin een bèta-tentamen gemaakt wordt door een briljant student en een ontzettend lui systeem, dat niet de moeite heeft genomen om het vak te leren beheersen. Stel dat het systeem een absurd grote geheugencapaciteit heeft waardoor het met gemak de gegeven antwoorden op werkcollegeopgaven kan reproduceren zonder te begrijpen wat de natuurkundige symbolen betekenen. Dan kan de docent aan de hand van de identieke uitwerkingen van het schriftelijke tentamen niet bepalen welke van de twee

uitwerkingen toebehoort aan de student met daadwerkelijk talent op bèta-vlak. Het systeem zou dus slagen voor de Turing-test (en het tentamen), zonder benul te hebben gehad van de betekenis van het geschrevene. Grappig genoeg zijn er dus ook genoeg mensen die handelen als een kunstmatig programma.

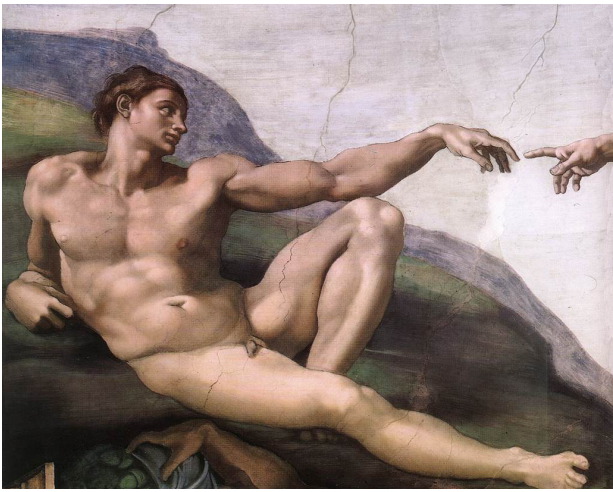
Zolang de proefpersoon niet gekoppeld is aan de buitenwereld en geen enkele mogelijkheid heeft om de syntax een betekenis te geven, zal het systeem inderdaad nooit benoemd kunnen worden als intelligent. Mensen zijn bij geboorte domme systemen, en sommigen weten zich op te werken tot een intelligent systeem door te observeren en verbanden te trekken. De connectie met de wereld buiten het systeem is tot op heden nog lastig te implementeren bij kunstmatige systemen.

*Uiteraard heeft Henk geen flauw benul dat Gert de computer van de onderzoekers gaat fiksen.*

Daarnaast wordt het leerproces versterkt als het systeem in staat is om de omgeving te manipuleren en de gevolgen daarvan waar te nemen. Bij robots is de huidige performance met betrekking tot het vermogen om objecten te manipuleren, het oriëntatievermogen en de snelheid nog steeds niet indrukwekkend te noemen. Dit is terug te zien aan het feit dat '*soccer robots*' meestal het doel niet weten te treffen (in tegenstelling tot Francken 4 natuurlijk).

**Conclusie**

In theorie is het dus mogelijk om bewustzijn bij kunstmatig systemen te kweken, maar gezien de trage ontwikkelingen op dit gebied, betwijfel ik of dit binnen korte termijn zal gebeuren. De snelste manier om een autodidactisch, intelligent programma te creëren, is tot op heden nog altijd door zwanger te worden.



*Figuur 4. Een plafondschildering van het vermeende eerste autodidactische, intelligente systeem.*

# Leven na Francken

## Leven bij Liander

Victor Haverkort

**Halverwege oktober mocht** ik een delegatie Franckenleden verwelkomen op Bellevue in Arnhem, het hoofdkantoor van Alliander. Ik verzorgde een deel van de Inhousedag, waar T.F.V. 'Professor Francken' en NSA uit Amsterdam voor waren uitgenodigd. Voor mij was het echt een thuiswedstrijd, vooral door de aanwezigheid van Francken natuurlijk, maar ook NSA is voor mij, zij het in mindere mate, geen onbekende, aangezien ik mijn master natuurkunde in Amsterdam heb gedaan. Het was leuk om eens aan de andere kant van de tafel te zitten van zo'n bedrijfspresentatie. Een goede vraag die gesteld werd, waarvan ik me afvraag of deze goed beantwoord is en bij mij is blijven hangen, was wat Alliander interessant maakt voor een technisch natuurkundige. Ik zal hierop een antwoord proberen te geven door aan te geven waarom ik het interessant vind bij Alliander.

Eerst zal ik een beetje over mezelf vertellen en over hoe ik van natuurkunde in Groningen uiteindelijk terecht ben gekomen bij Alliander. Ik ben afgestudeerd in theoretische natuurkunde, maar ik vind technisch natuurkunde eigenlijk net zo fantastisch. Mijn bacheloronderzoek was dan ook technisch van aard, over *laser cladding*, bij de vakgroep van professor De Hosson. Dit onderzoek heb ik gedaan tijdens mijn bestuursjaar 'Surreëel'. Het jaar daarna heb ik de lustrumreis naar Japan en Zuid-Korea mede georganiseerd en daar hebben we naar mijn idee de meest fancy technisch natuurkundige onderzoeksinstituten ter wereld bezocht. Uiteindelijk ben ik toch theoretische natuurkunde gaan doen. Eerst een halfjaar aan de 'École Normale Supérieure' in Parijs en later aan de Universiteit van Amsterdam. Mijn masteronderzoek heb ik gedaan in de vakgroep '*string cosmology*', over het onderwerp '*eternal inflation*'. Dit is superinteressant, maar ik vond het uiteindelijk toch wat te ver gaan om mezelf hier helemaal aan te wijden. Ik raakte wel steeds geïnteresseerd in de ontwikkelingen die gaande zijn in de energiesector. Omdat ik hier meer van wilde weten, ben ik '*Sustainable Energy Technology*' gaan studeren in Delft. Ik had mijn zinnen gezet op het volgende: vanuit de techniek bijdragen aan de energietransitie. Zo ben ik terecht gekomen bij Alliander.

Alliander is een netwerkbedrijf, of eigenlijk een holding, met daarin twee netbeheerders en een aantal andere net-gerelateerde bedrijven. Verreweg de meeste activiteiten vinden plaats bij netbeheerder Liander. Liander beheert ongeveer een derde van het Nederlandse distributienet voor elektriciteit en gas. Voor elektriciteit is dit laag- en middenspanning en voor gas is zijn dit de leidingen met een druk tot acht bar.

Je kunt je afvragen waarom het interessant

is om bij een netwerkbedrijf te werken. Voor mij zit dit in het volgende. Het aandeel duurzame energie is snel aan het toenemen. Daarnaast gebeurt dit steeds meer decentraal. In plaats van grote gas- en kolencentrales gaat iedereen steeds meer zijn eigen energie produceren door middel van bijvoorbeeld zonnepanelen. De infrastructuur is niet gebouwd op deze verschuiving en als er niets verandert kan dit leiden tot ernstige black-outs . Een simpele oplossing is om gewoon nog meer aluminium (elektriciteitskabels zijn tegenwoordig van aluminium in plaats van koper) in de grond te leggen, maar dit is wel een hele dure. Ik vind het leuk om na te denken over alternatieven. Wat ook leuk is aan de netinfrastructuur is dat je te maken krijgt met veel verschillende technologieën. Wind, zon, opslag; alles heeft invloed op het net.

Ik ben sinds een halfjaar technisch trainee bij Alliander. Dit is een traject van twee jaar, waarbij je in het eerste jaar twee opdrachten kiest bij verschillende interne afdelingen, en in het tweede jaar stroom je uit in een functie. Er worden jaarlijks ongeveer vijftig trainees aangenomen. Het leuke van het traineeship is dat je eerst bij verschillende onderdelen mee kunt draaien voordat je ergens gaat solliciteren. Ook worden er allerlei initiatieven gestart door de trainees. Ik zit bijvoorbeeld in het zonnebootteam. Alliander doet dit ter promotie van emissievrij varen. In een internationale competitie doen we mee op het hoogste niveau met als hoogtepunt een driedaagse race voor de wereldbeker in Monaco.

Momenteel zit ik bij een start-up binnen de Alliander holding, genaamd EXE, wat staat voor Energy eXchange Enablers. Het doel van deze start-up is om de energiemarkt van de toekomst te faciliteren. Steeds meer mensen gaan terugleveren op het net. Nu is de enige mogelijkheid om terug te leveren aan de leverancier waar je bij aangesloten bent. Dit zou ook anders kunnen. Een van de diensten die bij EXE ontwikkeld wordt is om het mogelijk te maken dat je aan wie dan ook de elektriciteit die je over hebt kunt verkopen. Een andere dienst die wordt ontwikkeld, en waar ik me vooral mee bezig houd, heet R.E.X. – Realtime Energy eXchange. R.E.X. is een smart-grid technologie dat een cluster van apparaten in staat stelt om te handelen op energiemarkten (onbalans en APX). Energiemarkten zijn interessant, omdat het steeds minder vanzelfsprekend is, dat vraag en aanbod van energie op elkaar zijn afgestemd. Dit komt omdat de opwek van zon- en windenergie niet flexibel is, terwijl ouderwetse gas- en kolencentrales dit wél zijn. Hierdoor ontstaan grote fluctuaties in energieprijzen. Omdat het net altijd in balans moet zijn, moet het verschil in vraag en aanbod worden opgevangen. Een manier om dit te doen is via opslag, maar dit is de komende jaren nog te duur. Een andere manier is om de vraag aan te passen op het aanbod. Dit is wat R.E.X. doet voor apparaten die beschikken over flexibiliteit, denk bijvoorbeeld aan warmtepompen, elektrische auto's of brandstofcellen. Dankzij deze technologie wordt capaciteit van duurzame opwek verhoogd, zonder miljarden te hoeven investeren in meer aluminium in de grond.

**Schut Geometrische Meettechniek** is een internationale organisatie met vijf vestigingen in Europa en de hoofdvestiging in Groningen. Het bedrijf is ISO 9001 gecertificeerd en gespecialiseerd in de ontwikkeling, productie en verkoop van precisie meetinstrumenten en -systemen.

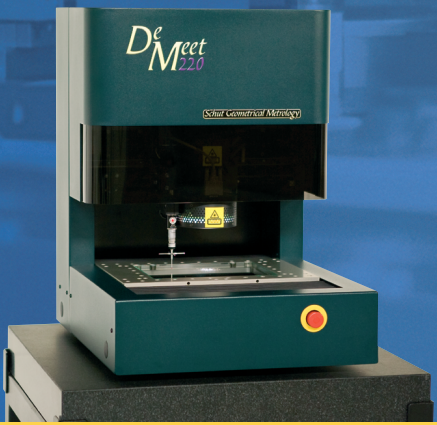
Aangezien we onze activiteiten uitbreiden, zijn we continu op zoek naar enthousiaste medewerkers om ons team te versterken. Als jij wilt werken in een bedrijf dat mensen met ideeën en initiatief waardeert, dan is Schut Geometrische Meettechniek de plaats. De bedrijfsstructuur is overzichtelijk en de sfeer is informeel met een “no nonsense” karakter.

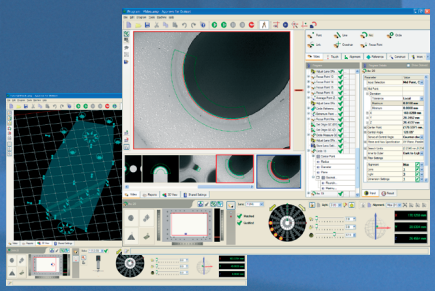
Op onze afdelingen voor de technische verkoop, software support en ontwikkeling van onze 3D meetmachines werken mensen met een academische achtergrond. Hierbij gaat het om functies zoals ***Sales Engineer***, ***Software Support Engineer***, ***Software Developer (C++)***, ***Electronics Developer*** en ***Mechanical Engineer***.

Er zijn bij ons ook mogelijkheden voor een technisch interessant **stage-** of **afstudeerproject**. Dit kan in overleg met de docent worden afgestemd.

Open sollicitaties zijn ook zeer welkom. Voor echt talent is altijd ruimte.

Voor meer informatie kijk op **www.Schut.com** en **Vacatures.Schut.com**, of stuur een e-mail naar **Sollicitatie@Schut.com**.



APPROVE for DeMeet