

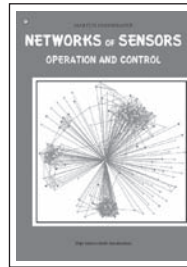
# In de verdediging

| In defence

*Pas gepromoveerden brengen hun werk onder de aandacht. Heeft u tips voor deze rubriek of bent u zelf pas gepromoveerd? Laat het weten aan onze redacteur.*

Redacteur: Geertje Hek  
la Voie-du-Coin 7  
1218 Grand-Saconnex  
Zwitserland

[verdediging@nieuwarchief.nl](mailto:verdediging@nieuwarchief.nl)



## Network of Sensors, operations and control

*Martijn Onderwater*

Op 8 februari 2016 promoveerde Martijn Onderwater aan de Vrije Universiteit op zijn proefschrift *Network of Sensors, operations and control*, dat hij schreef onder begeleiding van prof. dr. Rob van der Mei en dr. Sandjai Bhulai. De dag van zijn promotie was de perfecte afsluiting van zijn oio-tijd: een goede verdediging, positieve reacties op zijn onderzoek en een geweldige dag met familie, vrienden en collega's. Ook over zijn verdere tijd als oio is Onderwater heel positief, hoewel hij de start van zijn onderzoek wel lastig vond. Drie maanden lang las hij alleen maar papers en hij raakte volledig verdwaald in alle mogelijke onderzoeksgebieden. "Deze vrijheid is in principe heerlijk om te hebben, maar ik had wat tijd nodig om me te realiseren hoe ik daar gebruik van kon maken."

### Sensornetwerken

De afgelopen jaren is het gebruik van sensoren enorm toegenomen. Ze worden tegenwoordig in allerlei toepassingen gebruikt, zoals het meten van binnenklimaat (temperatuur, CO<sub>2</sub>-gehalte), het volgen van containers, en het monitoren van de conditie van windmolens. Deze sensoren zijn vaak draadloos met elkaar verbonden, en vormen zo een netwerk waarover hun metingen verstuurd kunnen worden naar een verzamelpunt. Het eerste deel van Onderwaters proefschrift gaat over dit soort sensornetwerken.

### Doorvoersnelheid

Net als bij een wifi-netwerk dat mensen kennen van thuis, is het ook in sensornetwerken interessant om te bekijken wat de snelheid van het netwerk is. Deze zogenaamde doorvoersnelheid geeft aan hoe snel een sensornetwerk in staat is om een meting te versturen. Het draadloze netwerk kan maar één meting tegelijk versturen, waardoor sensoren die een verzendpoging doen vaak in de wacht staan.

De snelheid wordt onder andere bepaald door het protocol dat de sensoren gebruiken om te communiceren op het netwerk. Meestal is dit het IEEE 802.15.4-protocol, wat aan de basis ligt van het veelgebruikte Zigbee-protocol. In het bijzonder is de snelheid afhankelijk van de instelling van enkele protocol-parameters. Het bepalen van een juiste waarde voor deze parameters kan lastig zijn, met name bij grote netwerken.

In een van de hoofdstukken in het eerste deel van zijn proefschrift beschrijft Onderwater een nieuw wiskundig model dat nauwkeurig inzicht biedt in de doorvoersnelheid van een sensornetwerk, en hoe deze snelheid afhangt van de protocolparameters. In de praktijk betekent dit dat men zonder dure experimenten kan bepalen welke parameterwaarden tot goede prestaties leiden en welke ongewenste effecten hebben.

### Markov-beslismodellen

Het tweede deel van het proefschrift gaat over Markov-beslismodellen. Deze modellen zijn toepasbaar in een breed scala van toepassingen, waaronder die waar sensoren gebruikt worden. Een mooi voorbeeld, dat Onderwater ook in zijn lekenpraatje gebruikte, is het onderhoud van een windmolen. Vaak staan deze windmolens op ontoegankelijke plaatsen en als ze kapot gaan is het een hele klus om een reparatie te regelen. Er moet een monteur beschikbaar zijn, hij moet vervoerd worden naar de locatie, er zijn onderdelen nodig en de weersomstandigheden moeten gunstig zijn. Terwijl dit alles geregeld wordt staat de molen stil en genereert hij geen stroom en dus ook geen inkomsten.

Het zou beter zijn om de conditie van een windmolen te monitoren (met bijvoorbeeld sensoren), en een onderdeel van de molen preventief te vervangen zodra uit de metingen van de sensoren blijkt dat er iets mis dreigt te gaan. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een versnellingsbak die steeds meer begint te trillen. Echter, in de praktijk is het 'aflezen' van een dreigend mankement uit sensormetingen niet gemakkelijk: een toename in trillingen in de versnellingsbak kan ook veroorzaakt worden door onstuimig weer. Bovendien hebben metingen van sensoren van nature ook een bepaalde (on)nauwkeurigheid, en kan er daarnaast ook incidenteel gewoon een foute meting worden gedaan. Deze onzekerheden zorgen ervoor dat de sensoren geen compleet beeld geven van de conditie van de molen, maar slechts een indicatie ervan. Om in dergelijke onzekere omstandigheden toch een goed preventief vangmoment te vinden, kan men gebruik maken van Markov-beslismodellen. Zo'n model beschrijft de situatie, de onzekerheden en de beslissingen die genomen kunnen worden.

### Value Function Discovery

Het oplossen van deze modellen is vaak niet haalbaar met de bekende technieken, en daardoor is men aangewezen op zware numerieke procedures. Deze procedures hebben een groot nadeel: zodra de parameters van het model (welke zorgen voor een juiste afstemming op de praktijk) veranderen, moeten de procedures opnieuw uitgevoerd worden en dat kost veel tijd.

In zijn proefschrift beschrijft Onderwater een nieuwe techniek genaamd *Value Function Discovery* (VFD). Deze komt er in het kort op neer dat er, gebruikmakend van technieken uit de Kunstmatige Intelligentie, een benaderende oplossing voor het Markov-beslismodel geconstrueerd of 'geleerd' wordt. In deze benadering zijn ook de parameters van het beslismodel meegenomen. Die benaderende oplossing wordt vervolgens meegenomen in het model, waardoor dat veel makkelijker en goedkoper aangepast kan worden aan veranderende parameters.

Deze techniek is volgens Onderwater het belangrijkste resultaat in zijn proefschrift. Hij noemt het idee achter VFD zeer interessant, en de techniek heeft volgens hem de potentie om een vaste kracht te worden tussen de bestaande technieken voor Markov-beslismodellen.

### Een toekomst als Data Scientist

Onderwater heeft een brede technische interesse en houdt ook van echt handwerk. In zijn vrije tijd probeert hij zoveel mogelijk hobby's te zoeken waar hij plezier in heeft en ook wat van kan leren. Zo bouwt hij graag houten modelschepen, om naast het denkwerk ook wat met zijn handen te doen. Deze schepen zijn complex om

in elkaar te zetten, en vergen veel geduld en nauwkeurig werk. Zijn laatste project (de Amerigo Vespucci) heeft tien jaar geduurd.

Hij kan iedereen het doen van promotie-onderzoek aanraden. Behalve het doen van onderzoek, heeft hij als oio ook veel andere dingen geleerd die nuttig zijn in de rest van zijn carrière: presenteren, uitleggen, lesgeven, zichzelf verkopen en een kritische en nieuwsgierige blik.

Qua werk hoopt hij de opgedane praktische en theoretische vaardigheden te combineren als Data Scientist in het bedrijfsleven. Hij werkt graag met data en wil meer leren over *data mining* en *machine learning* en de bijbehorende analyse en optimalisering. Op dit moment werkt hij bij ORTEC Consulting, waar hij zich tot Data Scientist ontwikkelt. ☞



### Dangerous Connections: The spread of infectious diseases on dynamic networks

KaYin Leung

KaYin Leung hield tijdens de Nationale Wiskunde Dagen 2014 een voordracht met de prikkelende titel 'Met een model kun je een soa krijgen'. Hoe beïnvloeden relatiestructuren, zoals het gelijktijdig onderhouden van meerdere relaties, de verspreiding van seksueel overdraagbare aandoeningen zoals hiv? Dat is wat Leung met behulp van wiskundige modellen beter probeert te begrijpen.

"Je zou denken dat er geen risico is om een soa (seksueel overdraagbare aandoening) op te lopen als jij en je partner beiden soa-vrij zijn. Maar je kunt natuurlijk nooit zeker weten hoe je partner zich gedraagt. Via een partner van je partner zou je toch besmet kunnen worden. Op deze manier kun je je, zonder je dit te realiseren, in een heel seksueel netwerk bevinden. Dit kan al snel erg ingewikkeld worden. Bovendien is het netwerk dynamisch; het verandert in de loop van de tijd omdat mensen relaties verbreken en nieuwe relaties aangaan. Hoe verspreidt een soa zich over zo'n netwerk?"

### NWO Mozaieksubsidie

Tijdens haar masteropleiding ontdekte Leung de mathematische biologie. Na een seminarium wiskundige modellen in de infectieziektenepidemiologie wilde ze graag verder in die richting. De docent, prof.dr. Odo Diekmann, bracht haar in contact met prof.dr. Mirjam Kretzschmar (RIVM en Julius Centrum van het Utrechts Medisch Centrum). Zij had het idee om met behulp van een wiskundig model te onderzoeken hoe polygyny (een vorm van polygamie waar mannen meerdere vrouwen hebben maar vrouwen monogaam zijn) de verspreiding van hiv beïnvloedde. Van een masterscriptie groeide dit uit tot Leungs PhD-project waarvoor ze een NWO Mozaieksubsidie kreeg.

### Onderzoek in twee delen

Leungs onderzoek bestond uit twee delen. In het eerste deel hield zij zich bezig met het ontwikkelen en analyseren van modellen voor dynamische seksuele netwerken en de verspreiding van infectieziekten. In het tweede deel bestudeerde ze epidemiologische vraagstukken met behulp van de modellen uit het eerste gedeelte.

De twee delen van het onderzoek kwamen elk met hun eigen uitdagingen. Aan de ene kant ging het om het vertalen van biologische processen naar wiskundige modellen, en vervolgens de wiskundige analyse en de vertaling van de wiskundige resultaten naar de biologie. Aan de andere kant was het net zo uitdagend om te bedenken hoe een gegeven epidemiologische vraag goed kan worden beantwoord met behulp van de modellen.

### Markovketens gecombineerd met deterministische modellen

De gemodelleerde netwerken zijn dynamisch op twee manieren: (1) veranderingen in de relatiestructuren door scheiding en het aangaan van nieuwe relaties en (2) demografische veranderingen door mensen die seksueel actief of inactief worden. Bovenop de netwerkdynamica is er de verspreiding van een infectieziekte.

Modellen voor infectieziekten verdelen populaties veelal in groepen S, I en R van mensen die *susceptible*, *infectious* of *recovered* (en daarmee immuun) zijn. Ook de modellen van Leung zijn gebaseerd op deze verdeling. In tegenstelling tot traditionele modellen moet in Leungs werk ook rekening worden gehouden met de netwerkstructuur. Via 'gevaarlijke relaties' tussen vatbare en besmettelijke individuen kan de infectie zich verspreiden.

Het modelleren begint met een Markovketenbeschrijving op individuniveau. De toestand van een individu hangt af van de populatie via zogenaamde omgevingsvariabelen die op populatieniveau gedefinieerd zijn. Leung neemt aan dat een individu bestaat uit conditioneel onafhankelijke eenheden die ze bindingsplaatsen noemt. Via bindingsplaatsen kunnen twee individuen een relatie aangaan.

Op populatieniveau is het model deterministisch: door uit te gaan van een oneindig grote populatie en naar fracties van individuen in de mogelijke toestanden te kijken, kan het model op populatieniveau worden beschreven door een groot stelsel gewone differentiaalvergelijkingen. Zo beschreef Leung het model in haar eerdere werk. Het blijkt echter veel gemakkelijker om in plaats daarvan vergelijkingen voor de omgevingsvariabelen te bestuderen (en dit leverde dan ook het hoofdstuk op waar haar proefschrift haar titel aan ontleent). De omgevingsvariabelen worden beschreven door een stelsel *renewal*-vergelijkingen: de variabelen worden vastgelegd door de geschiedenis van diezelfde variabelen. De bindingsplaatsen spelen hierbij een belangrijke rol. De resulterende vergelijkingen leggen de dynamica vast op drie niveaus: bindingsplaatsen, individuen en de populatie.

Uit het stelsel van vergelijkingen voor de omgevingsvariabelen konden vrij gemakkelijk relevante epidemiologische grootheden worden gekarakteriseerd. Voorbeelden zijn het endemisch evenwicht en het reproductiegetal  $R_0$  van de infectieziekte — een parameter die informatie geeft over de stabiliteit van de triviale (ziektevrije) toestand.

Veel van de wiskundige analyse werd geleid door de biologische interpretatie, een belangrijke reden waarom Leung dit vakgebied zo leuk vindt. Door het perspectief van een pas-geïnfecteerd individu in een volledig vatbare populatie aan te nemen, kan er

vaak een uitdrukking voor  $R_0$  worden gevonden met behulp van de biologische interpretatie. Zo wordt  $R_0$  dan ook vaak bepaald voor modellen in de infectieziektenepidemiologie. Door een net wat ander perspectief te gebruiken kon  $R_0$  eenvoudig worden bepaald uit het stelsel vergelijkingen voor de omgevingsvariabelen: in plaats van het perspectief van een pas-geïnfecteerd individu keek Leung vanuit het perspectief van een 'gevaarlijke relatie' tussen een vatbaar en een geïnfecteerd individu.

Voor Leung hieraan ging werken bestond er maar weinig algemene theorie over de verspreiding van infectieziekten over dynamische netwerken. Haar werk heeft nuttig wiskundig gereedschap geleverd voor het modelleren van de verspreiding van infectieziekten. De ontwikkelde klasse van modellen biedt een systematische manier om de verspreiding van infectieziekten over dynamische netwerken te bestuderen. Enerzijds zijn ze wiskundig goed te bestuderen, maar anderzijds ook flexibel genoeg om gemakkelijk uit te breiden met meer realistische details.

### Diversiteit

Tijdens haar aio-periode heeft Leung samen met kamergenote Valentijn Karemaker de Nederlandse tak van de European Women in Mathematics (EWM-NL) nieuw leven ingeblazen. Ze hecht erg aan diversiteit in de wetenschap en gelooft dat diversiteit leidt tot verschillende, waardevolle, wetenschappelijke perspectieven. Leung denkt dat het voor de diversiteit belangrijk is om een wiskundegemeenschap te hebben die daar belang aan hecht. Mensen die 'anders' zijn dan de 'standaard' moeten zich welkom voelen in de gemeenschap. Ze hoopt erg dat EWM kan bijdragen aan de nodige bewustwording. Een van de doelen van EWM is om meer zichtbaarheid te geven aan vrouwelijke wiskundigen. Dat dat belangrijk is blijkt: recent vertelde een deelnemer dat ze er via EWM achterkwam dat er überhaupt vrouwelijke wiskundehoogleraren zijn in Nederland.

### Verder in het wetenschappelijk onderzoek

Het onderzoek was ontzettend leuk om te doen. Leung heeft genomen van het reizen naar het buitenland voor workshops, conferenties en zomerscholen en twee keer voor een langer verblijf om elders samen te werken. Niet alleen waren de reizen wetenschappelijk heel leerzaam en nuttig, ook de sociale aspecten ervan vindt Leung belangrijk. Ook geniet ze van het presenteren van haar onderzoek, of dat nou in artikelvorm, tijdens voordrachten of gewoon een-op-een is. Haar eerste voordracht op een grote conferentie voor mathematische biologie in Göteborg in de zomer van 2014 is haar echt bijgebleven. Door een lastminute zaalwijziging was dat opeens in de plenaire zaal wat nogal wat extra zenuwen opleverde, maar het ging erg goed en smaakte naar meer.

Op 27 juni zal Leung haar proefschrift *Dangerous Connections: The spread of infectious diseases on dynamic networks* verdedigen aan de Universiteit Utrecht; Diekmann en Kretzschmar zullen beiden optreden als promotor. In september gaat Leung beginnen aan een postdoc in Stockholm. De groep daar werkt ook aan netwerken en de verspreiding van infectieziekten, maar is vooral sterk met stochastische modellen, terwijl Leung uit de wereld van deterministische modellen komt. Het lijkt haar een spannende en leerzame ervaring. Het idee is om de verschillende technieken en perspectieven te combineren en hopelijk komen daar mooie dingen uit.