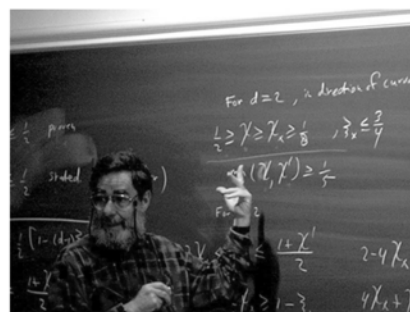




Onno Boxma

Technische Universiteit Eindhoven

EURANDOM & Faculteit wiskunde en informatica

Postbus 513

5600 MB Eindhoven

boxma@win.tue.nl



Onderzoek EURANDOM

Goede kansen

Onderzoeksinstituut Eurandom bestaat bijna tien jaar. In korte tijd heeft het instituut, dat zich richt op onderzoek op het gebied van kansrekening en statistiek, zich vooral ontwikkeld tot een populaire pleisterplaats voor jonge wiskundige onderzoekers komende vanuit alle windstreken. Onno Boxma, hoogleraar in de stochastische besliskunde aan de Technische Universiteit Eindhoven is sinds 2005 wetenschappelijk directeur van dit instituut. Hij volgt hiermee de stichters Willem van Zwet en Frank den Hollander op. Hoe staat het instituut er momenteel voor?

Een in 1992 verschenen rapport van een *Verkenningcommissie Wiskunde*, getiteld *Wiskunde in beweging*, deed onder andere de volgende aanbeveling: "Neem op Europees niveau initiatief om te komen tot de oprichting in Nederland van een Europees instituut voor fundamenteel en toegepast onderzoek in de statistiek, kansrekening en (stochastische) besliskunde". Argumentatie: deze vakgebieden worden in Nederland op een zeer hoog niveau beoefend, en zijn in potentie enorm belangrijk in onze technologische maatschappij. Het onderzoek is echter te kleinschalig en verbrokkeld om een sterke maatschappelijke impact te hebben.

Vijf jaar later was het zo ver: het onderzoeksinstituut EURANDOM werd opgericht. Een instituut met een uniek concept, zonder

vaste wetenschappelijke staf, bemand door postdocs, en met een voor wiskundige begrippen grote kritische massa. Dit artikel schetst een beeld van de huidige positie van EURANDOM. In een drietal kaders wordt een indruk gegeven van recente onderzoeksprojecten.

Missie

De missie van EURANDOM is het onderzoek in de stochastiek en haar toepassingen te bevorderen. Zij vervult deze missie door de aanstelling van postdocs en promovendi, door bezoekersprogramma's en de organisatie van workshops, en door initiatieven te nemen betreffende (inter-)nationale onderzoeksprogramma's.

EURANDOM is overwegend een postdoc instituut. Het heeft zo'n twintig postdocs en een stuk of zes promovendi. De postdocs krijgen in het algemeen een aanstelling voor twee jaar. Vanaf de komst van de eerste postdoc, in 1998, heeft EURANDOM 103 jonge onderzoe-

kers aangesteld; 85 ervan waren uit het buitenland afkomstig. Een derde deel van de buitenlanders vindt na afloop van de aanstelling bij EURANDOM een positie in een Nederlandse universiteit of industrieel laboratorium.

De jonge onderzoekers worden begeleid door senior onderzoekers ('adviseurs'), die van diverse universiteiten afkomstig zijn. Momenteel hebben twaalf onderzoekers een formeel adviseurschap bij EURANDOM, meestal voor een dag per week.

Programma's

Vanaf het begin is het onderzoek van EURANDOM in programma's geordend. Deze programma's worden regelmatig bijgesteld. Momenteel zijn er drie programma's, elk met een aantal thema's (meer details zijn te lezen op www.eurandom.nl):

- a. Random Spatial Structures (RSS)
 - Critical phenomena
 - Disordered systems
 - Combinatorial probability

Het programma RSS richt zich op systemen die bestaan uit een groot aantal random componenten met onderlinge interactie. Het tracht hun ruimte-tijd gedrag te vangen door een combinatie van probabilistische, combinatorische en ergodische methoden te gebruiken. Kritische verschijnselen en

Figuur 1 Linksonder: Jack Serafin, postdoc afkomstig uit Polen presenteert zijn onderzoek aan een groep aio's en post-doc's. Frank den Hollander zit links op de voorste rij. Rechtsmidden: Harry Kesten, die de EURANDOM leerstoel in 2002 bekleedde, geeft college.

- universaliteit krijgen speciale aandacht.
- b. Queueing and performance analysis (QPA)
- Queueing theory
 - Performance analysis of production systems
 - Performance analysis of communica-

tion systems

- Multivariate risk modelling

QPA houdt zich bezig met wachtrijtheorie en haar toepassing op de prestatie-analyse van stochastische netwerken, i.h.b. productie- en communicatienetwerken.

Ook wordt onderzoek gedaan naar modellen uit de verzekeringswiskunde en risicoteorie, hierbij gebruik makend van het feit dat er een nauwe verwantschap bestaat met modellen en methoden die centraal staan in de wachtrijtheorie.

SIM: Genregelnetwerken

In de systeembioïologie zijn genregelnetwerken van primair belang. De interacties tussen genen en hun producten binnen een netwerk stellen cellen in staat hun specifieke biologische taken uit te voeren. Allerlei typen van metingen aan genexpressies bevatten informatie over het onderliggende genetisch mechanisme. Enorme hoeveelheden gegevens zijn/komen beschikbaar. Deze gegevens schreeuwen om de ontwikkeling van geschikte statistische technieken en theorieën om de relevante informatie eruit te destilleren.

Een voorbeeld is de embryonale ontwikkeling van de *Drosophila Melanogaster*, het fruitvliegje. In het beginstadium gaat het embryo door een segmentatiefase. Dit proces wordt geregeld door een aantal genen, waarbij men van het betreffende genregelnetwerk vooral wil weten welke genproducten welke genen activeren dan wel onderdrukken. Door middel van confocal laser scanning microscopy zijn in het vliegenlab van John Reinitz te Stony Brook (<http://flyex.ams.sunysb.edu>) honderden plaatjes gemaakt van de verdeling van genproducten in het embryo, waarbij slechts drie genproducten tegelijkertijd zichtbaar kunnen worden gemaakt. Als model voor het betreffende genregelnetwerk is een systeem van gewone differentiaalvergelijkingen opgesteld dat de genproductconcentraties als functies van de tijd beschrijft. Hierbij wordt de invloed van de genen weergegeven door parameters waarvan de waarden

op basis van de plaatjes dienen te worden geschat.

Binnen het *Statistics in Biology* programma van EURANDOM is de laatste jaren in samenwerking met de groep van bioinformaticus Jaap Kaandorp van de UvA gewerkt aan dit deterministische model. Een echt embryo wijkt natuurlijk op een stochastische manier van dit model af en bij de waarnemingen komen hier nog vele meetfouten bij. Een belangrijke meetfout treedt op bij het realiseren van het beoogde moment waarop de genproducten in het embryo gekleurd en waargenomen moeten worden. Gebruikmakend van juist het systeem van differentiaalvergelijkingen kon door postdoc Nadia Lalam (EURANDOM) en Chris Klaassen (EURANDOM/UvA) een redelijk statistisch model voor de waarnemingen worden afgeleid.

Dit model genereert nieuwe, zeer interessante, statistische problemen door de ingewikkelde afhankelijkheidsstructuur van de stochastische grootheden die de concentraties aan genproducten op verschillende plaatsen binnen elk embryo beschrijven. Voor dit model hebben we $\sqrt{n}$ -consistentie van de pseudo-meest-aannemelijke schatter afgeleid. Deze schatter is efficiënt als alle stochastische variabelen normaal verdeeld zijn. Het aardige is dat dit statistische model algemeen toepasbaar is bij waarnemingen aan realisaties van een stelsel differentiaalvergelijkingen naar de tijd, waarbij het beoogde tijdstip van waarneming met een stochastische fout wordt gerealiseerd.

QPA: Wachtrijmodellen voor kabelnetwerken

EURANDOM heeft naast postdocs ook enige promovendi. Johan van Leeuwen werkte van 2002 tot 2005 als AIO op een door Philips gefinancierd project betreffende kabelnetwerken. Voor zijn proefschrift kreeg hij de prijs voor het beste proefschrift van onderzoeksschool Beta; onlangs ontving hij een VENI-beurs.

Kabelnetwerken zijn oorspronkelijk ontworpen voor het uitzenden van TV-beelden, maar door hedendaagse technieken is tweerichtingsverkeer van data mogelijk. Dit opent een nieuwe wereld van interactieve diensten met internet als meest prominente toepassing. Een belangrijke kwestie hierbij is hoe de capaciteit van het netwerk te verdelen onder de gebruikers.

Het centrale punt van een netwerk, verbonden met alle gebruikers, wordt aangeduid met head-end (HE). Een dienstverlener kan een signaal versturen van het HE naar de gebruikers over het neerwaartse kanaal. De gebruiker kan op zijn beurt reageren over het opwaartse kanaal (zie de figuur hiernaast). Het opwaartse kanaal wordt dus gedeeld door 100 tot circa 1000 gebruikers.

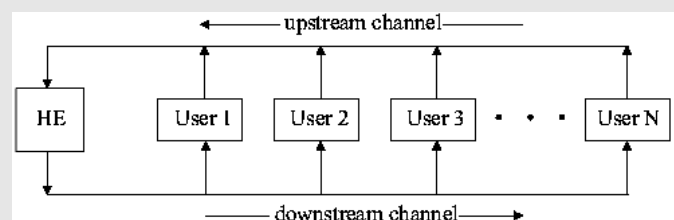
Verdelen van capaciteit

Het gedeelde opwaartse kanaal is een voorbeeld van *multi-access* communicatie: meerdere gebruikers hebben toegang tot hetzelfde communicatiekanaal. Ter verdeling van de capaciteit bekijken we een zogeheten *request-grant* mechanisme, waarbij een gebruiker eerst een verzoek stuurt naar de HE. Wanneer dit verzoek wordt

toegestaan, dan mag de gebruiker daadwerkelijk data versturen. Dit mechanisme voorkomt dat datapakketten botsen en zorgt voor een efficiënt gebruik van het kanaal. Wij modelleren deze situatie in termen van wachtrijmodellen die typisch meerdere-dimensionale Markov-ketens voorstellen. De analytische oplossingen van de modellen leiden tot prestatiematen in termen van capaciteit en vertraging, op grond waarvan we efficiënte schema's voorstellen ter verdeling van de capaciteit onder de gebruikers.

Andere toepassingen

Andere toepassingen zijn er legio. De modellen bevatten kenmerken van multi-access communicatie en capaciteitsverdeling, twee onderwerpen van belang in onderzoeksgebieden als computernetwerken, mobiele telefonie, netwerken op chips, satellietssystemen.



Een kabelnetwerk

- c. Statistical information and modelling (SIM)
 - Statistical signal and image analysis
 - Statistics in biology
 - Statistics in industry

SIM combineert analytische en algebraïsche methoden bij de behandeling van een aantal uiteenlopende statistische vraagstukken, zoals statistische classificatie, bootstrap methoden, microarrays, statistische signaal- en beeldanalyse, proefopzet, onderhoudsplanung en quantumstatistiek.

Bezoekers en workshops

De qua nationaliteit en cultuur zo diverse achtergrond van de postdocs staat in opvallend contrast met hun sterke overeenkomst qua onderzoeksoriëntatie. Deze mixture blijkt fantastisch te werken. De postdocs en het ondersteunende bureau organiseren allerlei professionele en sociale activiteiten, van een postdoc seminar tot gezamenlijke filmuitjes. Dit alles draagt sterk bij tot het bruisende karakter van het instituut, dat door bezoekers al is vergeleken met "het bubbelen van champagne". Andere bezoekers spraken over het leukste instituut dat ze ooit bezocht hadden; een classicistisch geschoolde bezoeker vertaalde het acroniem EURANDOM treffend met 'goede kansen'.

Overigens dragen die bezoekers zelf ook sterk bij tot het karakter van het instituut. Jaarlijks zijn er tussen de veertig en vijftig bezoekers voor een week of langer (buiten de workshopdeelnemers). Driemaal gaf een 'EURANDOM hoogleraar' tijdens een langdurig verblijf een serie lezingen: Harry Kesten, Francois Baccelli en Sid Resnick. Daarnaast brachten Gordon Slade en Offer Kella er enige tijd door als Stieltjes hoogleraar, en Uri Yechiali als gasthoogleraar van onderzoeksschool BETA. De afgelopen acht jaar zijn ruim zeventig workshops georganiseerd, met gemiddeld 40–45 deelnemers. Van 9 tot 11 juli 2007 organiseert EURANDOM het *Applied Probability INFORMS congres*; men verwacht dan ruim driehonderd deelnemers. Peter Glynn, Frank Kelly en Alain-Sol Sznitman zijn de hoofdsprekers.

Visitatie

Juistgenoemde Peter Glynn was de voorzitter van een geheel buitenlandse visitatiecommissie, die EURANDOM in opdracht van NWO najaar 2005 beoordeelde. De commissie was vol lof over het instituut. Niet alleen ontvingen de RSS- en QPA-programma's de hoogst mogelijke scores, maar ook was de commissie diep onder de indruk van de grote impact die

EURANDOM in haar korte bestaan al had gehad op de internationale stochastiek en van de efficiënte manier waarop het instituut werd gerund, op een manier die geheel ten dienste van de wetenschap staat — een groot compliment voor de eerste wetenschappelijke directeuren Willem van Zwet en Frank den Hollander, en zakelijk directeur Wim Senden en zijn mensen.

Financiën

De jaarlijkse kosten van EURANDOM bedragen ruim 2 Meuro (miljoen euro). Haar hoofdsponsors zijn NWO en de Technische Universiteit Eindhoven, die samen momenteel een kleine zestig procent van het budget leveren. De overige veertig procent betreft externe financiering, vooral via Europese en nationale onderzoeksprogramma's, persoonlijke beurzen en industriële contracten.

Toekomst

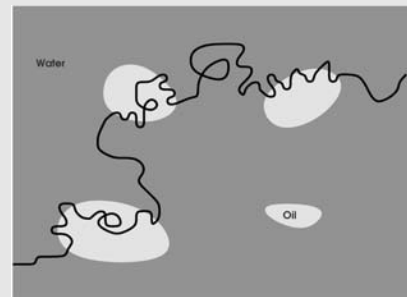
EURANDOM wil zich de komende jaren richten op een aantal projecten in strategisch gekozen gebieden van grote wetenschappelijke en maatschappelijke relevantie. Het wil, met gebruikmaking van bestaande sterkten, ook enige nieuwe toepassingsgebieden aanboren. Zo is de expertise betreffende de prestatieanalyse van communicatienetwerken (files van files) relevant voor de bestudering van files in het wegverkeer en van wachttijden in de gezondheidszorg. En het gedachtengoed van de mathematische statistische fysica wordt van grote betekenis in de mathematische biologie, met als sleutelwoorden: complexe structuren, hiërarchische interactie en multi-schaalgedrag. Interessante raakgebieden zijn o.a. moleculaire biologie, immunobiologie en epidemiologie. Ook hier liggen voor EURANDOM goede kansen! 

Dankwoord De auteur is dank verschuldigd aan Connie Cantrijn, Frank den Hollander, Chris Klaassen, Patty Koorn, Johan van Leeuwen en Wim Senden voor foto's, kaderteksten, en andere nuttige tekstuele bijdragen.

RSS: Faseovergangen bij polymeren

Polymeren zijn lange ketens van moleculen die via flexibele chemische bindingen aan elkaar zijn geregen. *Copolymeren* bestaan uit twee of meer verschillende typen moleculen — bijvoorbeeld hydrofobe en hydrofiele — aan elkaar geregen in een min of meer toevallige volgorde. Wanneer een copolymeer wordt geplaatst in de buurt van een scheidingsvlak tussen twee of meer verschillende media — bijvoorbeeld water en olie — dan zal het proberen zich zodanig langs dit scheidingsvlak te positioneren, dat zoveel mogelijk hydrofobe moleculen in de olie belanden en zoveel mogelijk hydrofiele moleculen in het water. Dat verlaagt de *energie*, maar gaat gepaard met een verlies aan *entropie* (= wanordelijkheid).

Nu blijkt dat bij het variëren van de parameters, die de interactie tussen de monomeren en de media bepalen, een zogenaamde *faseovergang* kan plaatsvinden, tussen een fase waar het polymeer sterk rond het scheidingsvlak kronkelt en een fase waar het zich van het scheidingsvlak verwijdt. In het eerste geval wint de energie, in het tweede geval wint de entropie. Het blijkt lastig om de curve in de parameterruimte waar deze faseovergang plaatsvindt te lokaliseren en om te doorgronden hoe het polymeer zich precies gedraagt in de buurt van deze curve. Een van de onderzoekprojecten op EURANDOM, uitgevoerd door F. den Hollander (Leiden+EURANDOM) en N. Pétrelis (EURANDOM) in samenwerking met S. Whittington (Toronto), concentreert zich op het geval waar het scheidingsvlak zelf toevallig is (zie de figuur), zoals in een *emulsie* bestaande uit oliedruppeltjes die in water zweven. Technieken uit de theorie van wanordelijke systemen laten zien dat de faseovergang gladder is in een emulsie dan in een systeem waar het scheidingsvlak lineair is.



Een copolymeer in een emulsie