

STAtOR

periodiek van de VVS jaargang 5 nummer 3 novemberr 2004

**Van SEM tot gen. Toepassing van structurele
vergelijkingsmodellen in de gedragsgenetica**

50 jaar Militaire Operations Research

Samenwerken en clusteren

Over fractionele bewegingen, Noach en olifanten

Echte en onechte toevalsgetallen

Econometrie en besliskunde in de lift

STATOR

Jaargang 5, nummer 3, november 2004

STATOR is een uitgave van de Vereniging voor Statistiek en Operationele Research (VVS). STATOR wil leden, bedrijven en overige geïnteresseerden op de hoogte houden van ontwikkelingen en nieuws over toepassingen van statistiek en operationele research. Verschijnt 4 keer per jaar.

Redactie

Dick den Hertog (hoofdredacteur), Wies Akkermans, Martijn Berger, Han Oud, Gerrit Stermerdink (eindredacteur), Fred Steutel, Marnix Zoutenbier.

Kopij en reacties richten aan

Prof. dr. ir. D. den Hertog (hoofdredacteur), Faculteit der Economische Wetenschappen van de Universiteit van Tilburg, Postbus 90153, 5000 LE Tilburg, telefoon 013 - 466 2122, <D.denHertog@uvt.nl>.

Bestuur van de VVS

A.W. van der Vaart (voorzitter) <aad@cs.vu.nl>; S.J. Koopman (penningmeester) <s.j.koopman@econ.vu.nl>; namens de Bedrijfssectie (BDS) P. Banens <banens@cqm.nl>; namens de biometrische sectie (BMS) A. Stein <alfred.stein@wur.nl>; namens de economische Sectie (ECS) P.H.F.M. van Casteren <casteren@fee.uva.nl>; namens het Ned. Genootschap voor Besliskunde (NGB) H. Fleuren <fleuren@uvt.nl>; namens de Sectie Mathematische Statistiek (SMS) P. Spreij <spreij@science.uva.nl>; namens de Sectie Statistische Programmatuur (SSP) S.H. Heisterkamp <sh.heisterkamp@rivm.nl>; namens de Sociaal Wetenschappelijke Sectie (SWS) C. Glas <c.a.w.glas@edte.utwente.nl>.

Leden- en abonnementenadministratie van de VVS

VVS, Postbus 2095, 2990 DB Barendrecht, telefoon 0180 - 623796, fax 0180 - 623670, e-mail <admin@vvs-or.nl>. Raadpleeg onze website over hoe u lid kunt worden van de VVS of een abonnement kunt nemen op STATOR of op een van de andere periodieken.

VVS-website

<http://www.vvs-or.nl>

Advertenties

Uiterlijk vier weken voor verschijnen te zenden aan Pharos, Moeflonstraat 5, 6531 JS Nijmegen, telefoon 024 - 3559214, e-mail <hootegem@xs4all.nl>. STATOR verschijnt in maart, juni, september en december.

Ontwerp en opmaak

Pharos / M. van Hooitegem, Nijmegen

Uitgever

© Vereniging voor Statistiek en Operationele Research
ISSN 1567-3383

Inhoud

- 3** Blijf vragen.
- 4** Van SEM tot gen.
Toepassing van structurele vergelijkingsmodellen in de gedragsgenetica.
Reinoud Stoel en Dorret Boomsma
- 10** 50 jaar Militaire Operations Research.
Freek-Jan Toevank en Ana Isabel Barros
- 15** Samenwerken en clusteren. Column.
Onno Boxma
- 17** Over fractionele bewegingen, Noach en olifanten.
Ton Dieker
- 20** VVS-mededelingen.
- 21** Echte en onechte toevalsgetallen. Column.
Fred Steutel
- 23** Econometrie en besliskunde in de lift.
Arjan Tebbenhof en Rommert Dekker
- 29** Reacties op het themanummer 'Statistiek in de rechtszaal': Aart De Vos, Gemiste kansen in de zaak Lucy de B.; J. Sittig, Rechtszekerheid bij onzekerheid.
- 31** Ledenenquête NGB 2003
- 32** Verslag OR 2004 congres

Blijf vragen



Een van de valkuilen van ons vakgebied is onze specialistische vakkennis. Die kan verhinderen dat we uitgebreid luisteren naar de vragen van onze klanten. Wij zijn geneigd al snel een oplossing te zien voor een vraag. Maar weten we eigenlijk wel of die vraag ook écht de vraag van de klant is? Ook onze klanten kunnen deze fout maken. Ook zij veronderstellen, vanuit hún specialisme, meer bekend dan de statisticus weet.

Dit probleem is niet exclusief voor onze beroepsgroep: berucht zijn de misverstanden tussen arts en patiënt. Er is een hele tak van wetenschap ontstaan rond het communiceren, compleet met theorieën, modellen en meetinstrumenten. Altijd draait het weer om de vraag of de boodschap van de zender goed begrepen is door de ontvanger. Het zou te gemakkelijk zijn om te constateren dat dit probleem altijd en overal voorkomt, en ons vervolgens daardoor gerust te laten stellen. Juist omdat wij zo'n gespecialiseerd, en voor veel buitenstaanders mysterieus, vak beoefenen moeten wij extra alert zijn! Een goede communicatie is alleen mogelijk als we vragen, nog eens vragen en blijven doorvragen.

Het speciale nummer van *STATOR* rond Lucy de B. geeft te denken. Statistici kunnen het niet eens worden, al laat het samenvattend artikel van Van Zwet toch een zekere overeenkomst tussen de ogenschijnlijk verschillende uitkomsten zien. Is er ook hier sprake van een verschillende interpretatie van dezelfde vraag, of van meerdere van elkaar verschillende vragen?

We kunnen ons afvragen of het uit zal maken of de statisticus een uitspraak doet ten behoeve van de aanklager (die schuld probeert te bewijzen), de verdediger (die tracht onschuld aan te tonen) of de rechter (die van onschuld uit gaat en beide partijen hoort). In dit specifieke geval kunnen we ons zelfs verdiepen in details als de kans dat de verdachte schuldig is aan dit grote aantal sterfgevallen, of aan minstens één van deze sterfgevallen, of aan iedere tussenfase. Uitermate belangrijk is in dit soort gevallen het elkaar uitputtend bevragen. Een statisticus is wellicht niet op de hoogte van allerlei voor een jurist vanzelfsprekende uitgangspunten. Omgekeerd zal een jurist meestal niet beseffen dat kleine veranderingen in de vraagstelling grote gevolgen voor het statistisch werk kunnen hebben en tot geheel afwijkende uitkomsten kunnen leiden.

STATOR heeft vanaf het eerste nummer aandacht gevraagd voor ons vak in ruimere kring. Dat heeft onder andere geresulteerd in het thema-nummer rond Lucy de B. Dit nummer is in een grotere oplage dan normaal gedrukt en is breed verspreid, onder andere op het symposium 'De Rekende Rechter', en naar bibliotheken van opleidingen voor rechtspraak en politie. Wij hopen hiermee een aanzet te geven tot een betere communicatie. Want we zeggen het nog maar eens ter afsluiting: blijf vragen, vragen, vragen! (Vergeet intussen niet dit nummer met veel plezier te lezen.)

De redactie

Van SEM tot gen



Toepassing van structurele vergelijkingsmodellen in de gedragsgenetica

Eeneiige tweelingen zijn individuen met een identieke genetische aanleg, terwijl twee-eiige tweelingen slechts een deel van hun genen gemeen hebben. Dit gegeven heeft geleid tot de ontwikkeling van een reeks statistische modellen voor het bepalen van de erfelijkheid van zowel fysieke als psychologische kenmerken. De takken van wetenschap die zich hiermee bezighouden zijn de gedragsgenetica en de genetische epidemiologie. Hun primaire doel is te onderzoeken of, en zo ja in welke mate, de oorzaken van verschillen in gedrag, of in ziekte en gezondheid, tussen mensen kunnen worden toegeschreven aan erfelijke factoren en omgevingsinvloeden. *Structural equation modeling* (maar zeker ook de komst van het computerprogramma Mx van Mike Neale) heeft het specificeren en testen van zowel simpele als meer complexe genetische modellen aanzienlijk vereenvoudigd. De combinatie van *structural equation modeling* en grote datasets, met informatie over tweelingen en ouders zoals die bijvoorbeeld aanwezig is op de Afdeling Biologische Psychologie van de Vrije Universiteit, is dan ook veel belovend.

Persoonskenmerken clusteren binnen families. Dit gegeven is op zich zelf nog niet voldoende om de conclusie te trekken dat er sprake is van erfelijke of genetische invloeden. Het is immers mogelijk dat de door de familieleden gedeelde omgeving heeft bijgedragen aan de gelijkenis van verschillende gezins- en familieleden. Zonder extra informatie zijn genetische factoren niet te scheiden van de invloeden uit de gedeelde omgeving.

Het adoptiedesign

Een veel gebruikt design om genetische factoren te scheiden van omgevingsinvloeden is het adoptiedesign, waarin geadopteerde kinderen worden vergeleken met zowel hun biologische als niet-biologische ouders. Geadopteerde kinderen delen alleen hun genen en prenatale omgeving met hun biologische ouders, terwijl ze de omgeving alleen delen met hun adoptie-ouders. Als adoptiekinderen op een bepaald kenmerk meer lijken op hun biologische ouders dan op hun niet-biologische ouders dan is dit een sterke aanwijzing voor de invloed van erfelijke factoren op dit kenmerk. Andersom, als ze meer gelijkenis vertonen met hun niet-biologische ouders dan krijgen omgevingsinvloeden meer gewicht. Met dit design zijn enkele belangrijke successen geboekt. Zo heeft het onderzoek geleid tot een keerpunt in het onderzoek naar het ontstaan van schizofrenie, een ziekte waarvan men aannam dat ze volledig veroorzaakt werd door omgevingsfactoren. De resultaten van Heston (1966) lieten zien dat 11% (5 van 47) van de geadopteerde kinderen waarvan de biologische moeder als schizofreen was gediagnosticeerd, zelf ook schizofrenie ontwikkelde. Een percentage dat aanzienlijk hoger is dan dat van 0% (0 van de 50) in de controlegroep van adoptiekinderen waarvan de biologische ouders geen schizofrenie hadden. Dit resultaat betekent dat de familiale over-

eenkomst met betrekking tot schizofrenie een genetische oorsprong heeft. Adoptiestudies in Scandinavië lieten bovendien zien dat opgroeien in een familie waarin schizofrenie voorkomt niet leidt tot een verhoogd risico.

De allereerste adoptiestudie stamt uit 1924 (Theis, 1924) en beschrijft een onderzoek naar de erfelijkheid van intelligentie, in een tijd dat adoptie nog relatief veel voorkwam. In de huidige maatschappij komt adoptie aanzienlijk minder vaak voor dan vroeger. Verder neemt de toepasbaarheid van het adoptiedesign af doordat er in de regel sprake is van selectieve plaatsing van kinderen in adoptiegezinnen. Adoptiegezinnen worden vaak gematched op relevante kenmerken van de biologische ouders, wat de scheiding van erfelijke factoren en omgevingsinvloeden bemoeilijkt. Deze en andere factoren hebben er toe geleid dat het adoptiedesign maar beperkt toepasbaar is en de nadruk binnen de gedragsgenetica is komen te liggen op methoden met bredere toepasbaarheid. Een van deze methoden betreft het tweelingdesign.

Het tweelingmodel

Eeneiige tweelingen, of monozygoten (MZ)¹, vormen een genetisch identiek paar. Dit betekent dat zij al hun genen gemeenschappelijk hebben. Ook hebben zij vanzelfsprekend een deel van hun omgeving gemeenschappelijk indien ze samen zijn opgevoed. De mate waarin MZ tweelingen van elkaar verschillen kan dus alleen worden toegeschreven aan unieke, niet gedeelde omgevingsinvloeden (inclusief een eventuele meetfout). Twee-eiige tweelingen, of dizygoten (DZ), delen hun omgeving ook, maar hebben net als andere eerstegraads familieleden gemiddeld 50% van hun genen gemeenschappelijk². De mate waarin DZ van elkaar verschillen kan dus zowel worden

toegeschreven aan genetische factoren als aan unieke, niet gedeelde omgevingsinvloeden. De redenatie is nu dat als genetische factoren van invloed zijn op een bepaald persoonskenmerk, MZ tweelingen een grotere gelijkenis vertonen op dit persoonskenmerk dan DZ tweelingen.

Afhankelijk van welke familieleden gegevens bekend zijn kan er een decompositie plaatsvinden van de totale fenotypische variantie (variantie van de geobserveerde kenmerken) in variantie ten gevolge van additieve genetische effecten (a^2), interactieve genetische effecten of dominantie (d^2), gedeelde omgevingseffecten (c^2), en unieke omgevingseffecten (e^2). Simultane schatting van de vier variantiecomponenten is uitgaande van het standaard tweeling design echter niet mogelijk, aangezien dit model niet geïdentificeerd is. Wel kan de passing van een ADE-model worden vergeleken met de passing van een ACE-model. Uit zowel empirisch als theoretisch onderzoek blijkt dat voor veel concepten in de psychologie de omgevingseffecten van groter belang zijn dan dominantie; dit impliceert een ACE-model. In de rest van dit verhaal zullen we ons daarom richten op de schatting van de A, C en E componenten. Een centrale statistische grootheid in de gedragsgenetica is de erfelijkheid ('heritability' of h^2), gedefinieerd als de proportie fenotypische variantie die verklaard wordt door genetische verschillen tussen mensen. Bij afwezigheid van dominantie is de erfelijkheid gelijk aan $a^2/(a^2 + c^2 + e^2)$.

Een eerste schatting van de verschillende variantiecomponenten, uitgaande van een ACE model, kan worden verkregen met behulp van de fenotypische correlatie binnen MZ en DZ paren zoals staat vermeld in Tabel 1. De puntschattingen zoals die worden verkregen met de formules in Tabel 1 betreffen echter slechts een berekening van de grootte van de parameters.

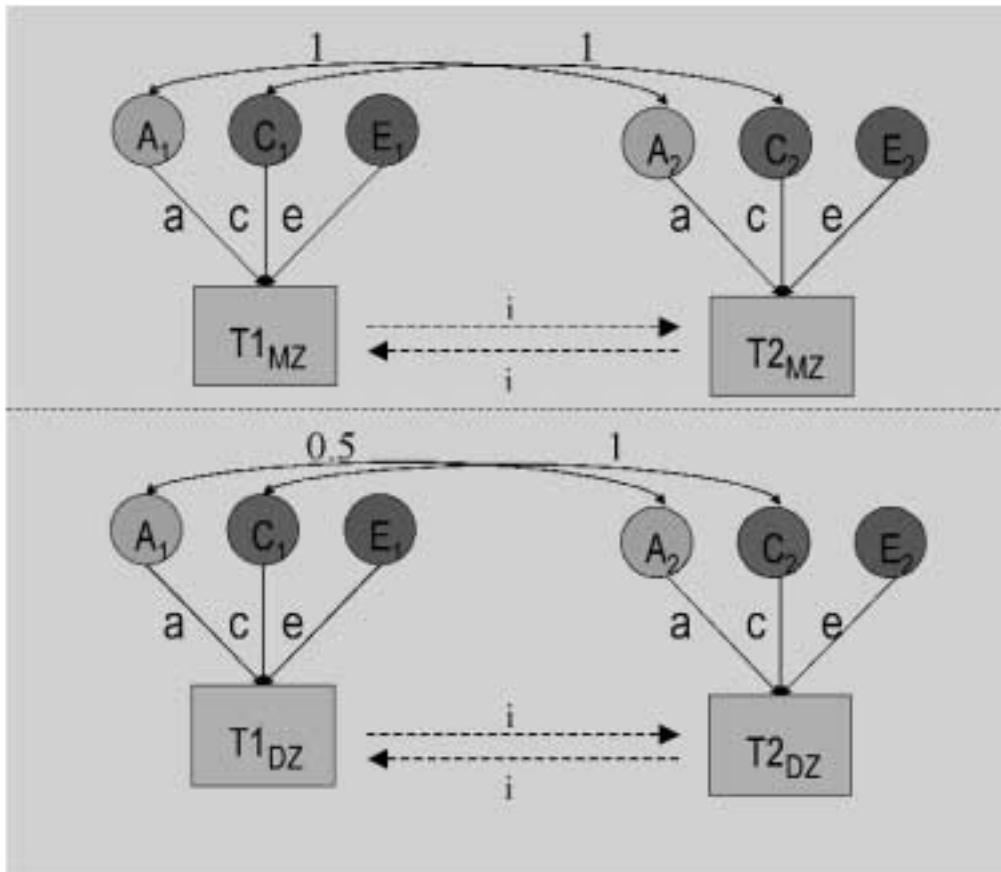
Met behulp van Structural Equation Modeling (SEM), uitgevoerd bijvoorbeeld met de computerprogramma's LISREL (Jöreskog en Sörbom) of Mx (Neale et al), kunnen additioneel ook schattingen van de standaardfouten en betrouwbaarheidsintervallen worden verkregen, alsmede van de overall fit van het model door middel van een likelihood-ratio test. Uiteraard onder de voorwaarde dat de aannames die aan SEM ten grondslag liggen niet zijn geschonden. SEM is een verdere uitwerking van de door Wright (1921) ontwikkelde padanalyse.

De formules in Tabel 1 houden er onder meer geen rekening mee dat de erfelijkheid bij mannen en vrouwen vaak niet gelijk is. SEM is bij uitstek geschikt voor analyseren van seksespecifieke modellen en allerlei multivariate uitbreidingen van het model in Tabel 1.

Een voorbeeld van een pad-diagram van een 'ACE' model voor het klassieke tweelingdesign is te vinden in Figuur 1. We zullen deze figuur hier kort toelichten.

$r_{mz} = a^2 + c^2$	$r_{dz} = \frac{1}{2} a^2 + c^2$	
$a^2 = 2(r_{mz} - r_{dz})$	$c^2 = 2r_{dz} - r_{mz}$	$e^2 = 1 - r_{mz}$

Tabel 1: Berekening van gestandaardiseerde variantie componenten op basis van fenotypische correlaties r_{mz} en r_{dz} in het ACE model..

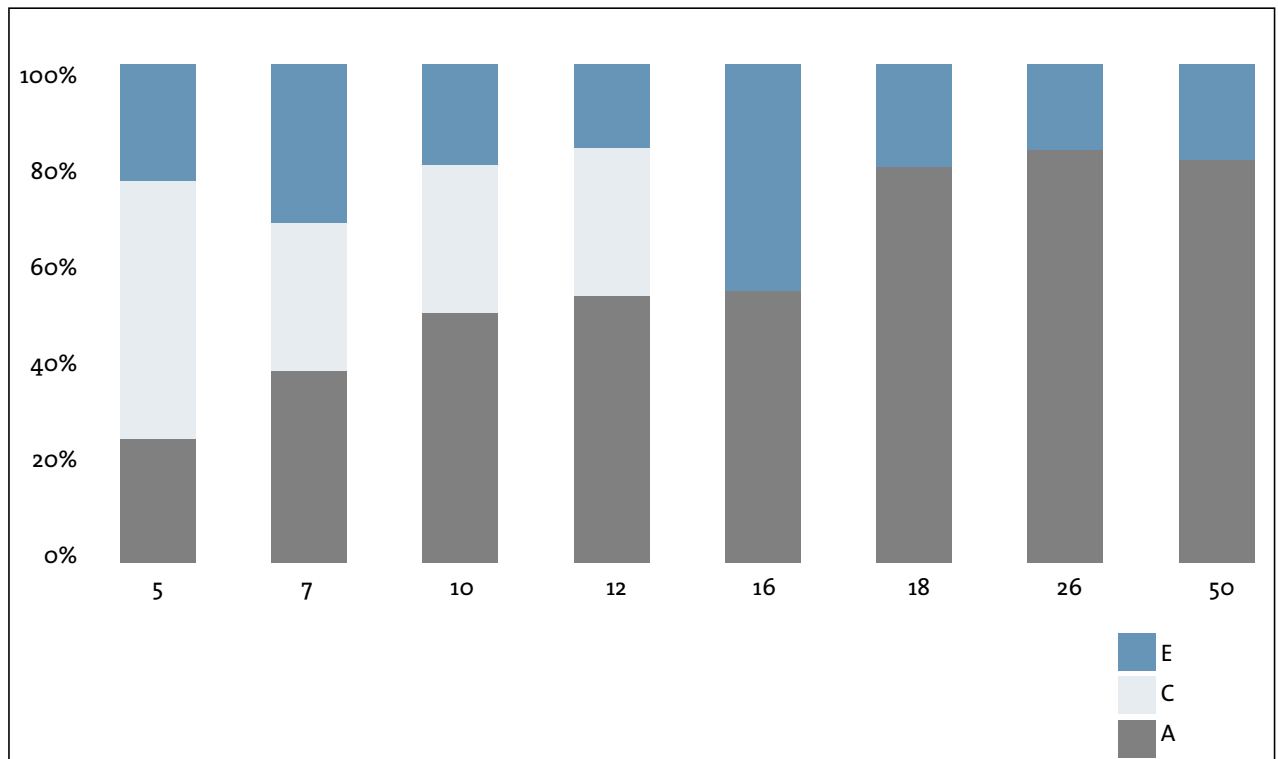


Figuur 1: Pad-diagram van het ACE model.

Figuur 1 betreft de decompositie van de fenotypische variantie van tweeling 1 en 2 (T_1 en T_2) in de drie componenten $A_{1(2)}$, $C_{1(2)}$ en $E_{1(2)}$, gerepresenteerd door gestandaardiseerde latente variabelen in het padmodel. De factorladingen (a , c en e) worden geschat en het kwadraat van de factorladingen geeft de variantie die verklaard door het overeenkomstige effect. Het model wordt geschat als tweegroepenmodel, waarbij een groep de MZ betreft, en de andere de DZ. C is gedefinieerd door middel van de restrictie van de correlatie tussen T_1 en T_2 op de waarde 1 in beide groepen, A door restrictie van de correlatie bij MZ op 1 en bij DZ op 0.5 (zie boven), en E blijft ongecorrleerd in beide groepen en bevat dus naast de unieke omgeving ook een eventuele meetfout. Verder worden de factorladingen (a , c en e) zowel binnen als tussen

de groepen aan elkaar gelijk gesteld. Indien er ook een groep met geadopteerde tweelingen zou zijn opgenomen in het model, dan zou daar de waarde van de C geresliceerd worden op de waarde nul.

Normaliter is een tweegroepenmodel met drie latente variabelen per geobserveerde variabele niet geïdentificeerd. Identificatie wordt hier echter verkregen door middel van de restricties van parameters zowel binnen als tussen de groepen. Uit het paddiagram kan worden afgeleid dat de modelgeïmpliceerde variantie van zowel T_1 als T_2 in beide groepen gelijk is aan: $a^2+c^2+e^2$. De modelgeïmpliceerde covariantie tussen T_1 en T_2 bij de MZ is gelijk aan: a^2+c^2 ; terwijl deze bij DZ gelijk is aan: $\frac{1}{2}a^2+c^2$. Met deze parameters kunnen de modelgeïmpliceerde covariantie-matrices worden opgesteld, die vervolgens worden vergeleken



Figuur 2: Erfelijkheid van intelligentie op verschillende leeftijden. Leeftijd 5 tot 12 betreffen herhaalde metingen binnen dezelfde kinderen. Leeftijd 16-50 betreffen onafhankelijke steekproeven.

met de geobserveerde covariantie-matrices³. Het model kan worden uitgebreid met een wederkerige relatie tussen de tweelingen, gerepresenteerd door de parameter i . Deze parameter representeert de wederzijdse invloed van tweelingen op elkaar op fenotypisch niveau en heeft tot gevolg dat de totale varianties voor MZ en DZ van elkaar gaan verschillen. Deze parameter blijkt met name van belang bij variabelen als rookgedrag, en taalgebruik, maar minder bij bijvoorbeeld intelligentie en lengte. Tevens kan i een indicatie zijn voor de aanwezigheid van zogenaamde 'rater-bias'.

In een recente analyse van de intelligentiescores op de RAKIT van 12-jarige scholieren met behulp van het ACE model werd een erfelijkheid gevonden van 51% (Bartels, Rietveld, Van Baal & Boomsma, 2002). De gemeenschappelijke omgeving verklaarde 33% van de verschillen in intelligentie

tussen scholieren en de overige 15% konden worden toegeschreven aan de unieke omgeving of meetfouten. Deze resultaten zijn consistent met bestaande kennis op het gebied van de erfelijkheid van cognitieve vaardigheden. Tevens blijkt uit onderzoek dat de erfelijkheid van intelligentie toeneemt met leeftijd. Dit patroon van een toenemende erfelijkheid werd ook gevonden in het onderzoek van Bartels et al. Figuur 2 geeft de percentages verklaarde variantie door de verschillende variantie componenten voor verschillende leeftijden.

Het hier besproken model berust onder meer op de aannames dat interactie tussen genen en omgeving en correlatie tussen genen en omgeving afwezig zijn. We volstaan hier met de mededeling dat de aannames die aan het model ten grondslag liggen expliciet getoetst kunnen worden. De geïnteresseerde lezer verwijzen wij graag

naar het boek van Neale & Cardon (1992) dat diepgaand ingaat op de verschillende manieren waarop dat kan gebeuren en hoe het model verder kan worden uitgebreid.

Een nieuwe uitdaging

De bevinding dat er erfelijke factoren ten grondslag liggen aan overeenkomsten en verschillen tussen mensen is al een interessant gegeven op zichzelf. Het kan gebruikt worden om gevonden fenotypische relaties tussen variabelen nader te verklaren. Het kan tevens van groot belang zijn voor patiënten en hun familie om te weten dat de oorzaken van een bepaalde aandoening eerder gezocht moet worden in de omgeving dan in de genen. Winst valt zeer zeker ook te behalen in de zoektocht naar specifieke genen. Immers, als er genetische factoren ten grondslag liggen aan overeenkomsten en verschillen tussen mensen, dan moet het ook mogelijk zijn om deze genen te identificeren. De aandacht verschuift dan ook steeds meer naar zogenaamde koppelings- en associatiestudies (Sham, 1998). Met dergelijke studies worden de specifieke genen geïdentificeerd die verantwoordelijk zijn voor de erfelijkheid van een fenotype. *Structural equation modeling* is flexibel genoeg om het model dat we in dit stuk bespreken uit te breiden met componenten die koppeling en associatie mogelijk maken. Hiertoe kan in het padmodel bijvoorbeeld een extra latente variabele worden opgenomen die het gemeten genotype (een stukje DNA) indiceert.

Voor complexe tweelingmodellen en uitbreidingen naar koppeling en associatie zijn grote databestanden nodig waarin informatie is opgenomen van tweelingen en hun families van zowel hun fenotypen als hun genotypen. Het Nederlands Tweeling Register van de Afdeling Biologische Psychologie van de Vrije Universiteit is een voorbeeld van een dergelijk databestand⁴.

NOTEN

1. Een belangrijke schakel binnen het tweelingdesign vormt de vaststelling van de zygositeit van de tweeling. Het meest betrouwbare resultaat hieromtrent geeft de nog steeds kostbare vergelijking van het DNA. Onderzoek heeft echter uitgewezen dat een classificatie op basis van uiterlijke kenmerken en hoe vaak de kinderen worden verward door familie in meer dan 90% van de gevallen tot een correcte beslissing leidt omtrent de zygositeit.
2. Het menselijk DNA is voor een groot deel hetzelfde. Variatie tussen mensen kan alleen worden veroorzaakt door de zogenaamde polymorfe genen.
3. Indien een ADE model was gebruikt van zou de variantie gelijk zijn aan: $a^2 + d^2 + e^2$; de covariantie bij MZ gelijk aan: $a^2 + d^2$; en bij DZ gelijk aan: $a^2 + 0.25d^2$.
4. <http://www.tweelingenregister.org/>

LITERATUUR

- Bartels, M., Rietveld, M.J.H., Baal van, G.C.M., Boomsma, D.I. (2002). Heritability of Educational Achievement in 12-year-olds and the Overlap with Cognitive Ability. *Twin Research*, 5, 544-553.
- Heston, L.L. (1966). Psychiatric disorders in the foster home reared children of schizophrenic mothers. *British journal of Psychiatry*, 112, 819-825.
- Neale, M.C. & Cardon, L.R. (1992). *Methodology for genetic studies of twins and families*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Sham, P.C. (1998). *Statistics in human genetics*. London: Arnold Publishers.
- Theis, S. (1924). *How foster children turn out*. New York: SCAA.
- Wright, S. (1921). Correlation and causation. Part 1: Method of path coefficients. *Journal of agricultural research*, 20, 557-585.

REINOUW STOEL heeft als postdoc bij de Afdeling Biologische Psychologie van de Vrije Universiteit Amsterdam gewerkt, alwaar hij zich bezig hield met structural equation modeling van longitudinale tweelingdata op het NWO project 904-61.193 'Resolving cause and effect in the association between regular exercise and psychological well-being'. Momenteel werkt hij als Universitair Docent Methodenleer en Statistiek bij de Afdeling Pedagogiek en Onderwijskunde van de Universiteit van Amsterdam. E-mail <rstoel@fmg.uva.nl>.

DORRET BOOMSMA is hoogleraar gedragsgenetica bij de Afdeling Biologische Psychologie van de Vrije Universiteit Amsterdam. E-mail <di.boomsma@psy.vu.nl>.



Oorlogs- en vredesmissies in verstedelijkt gebied, Kabul 2003.

50 jaar militaire Operations Research

In *STATOR* 2003-3, stond een informatief artikel over de ontwikkeling van Operationele Research (OR) in de afgelopen decennia. Als toevoeging op dit artikel is het interessant om eens nader te bekijken in hoeverre de OR in haar oorspronkelijke toepassingsgebied, de militaire Operationele Research, de afgelopen jaren veranderd is en waarom en hoe deze verandering heeft plaatsgevonden.

FREEK-JAN TOEVANK EN ANA ISABEL BARROS

Zoals ook Aarts en Jansen (2003) al memoreerden heeft Operationele Research zich sterk ontwikkeld in de nadagen van de Tweede Wereldoorlog. De oorlog was gaande en wachtte op niemand, dus OR diende direct, binnen enige uren of hoogstens dagen, resultaten op te leveren om de operaties effectiever en efficiënter te laten verlopen.

Na de Tweede Wereldoorlog is in de OR-wereld een scheiding ontstaan tussen de toepassing van OR in het militaire métier en toepassing in het bedrijfsleven. Ook in Nederland is deze scheiding herkenbaar aanwezig: op de universiteiten wordt vooral aandacht besteed aan de toepassing van OR methoden en technieken op vraagstukken uit

het bedrijfsleven, zoals logistiek management, productiemanagement of financieel management. Voor een deel zijn deze toepassingen, zoals in de logistiek, vertaalbaar naar het militaire métier, maar daarnaast zijn er binnen de militaire OR zeer specifieke toepassingen ontstaan. Een aardig overzicht van verschijningsvormen van OR op het militaire gebied is te vinden in Jaiswal (1997).

Militaire OR

Maar wat is militaire OR nu eigenlijk? Het toepassen van OR-methoden in militaire operaties? Of is het meer dan dat? Het is wel duidelijk dat militaire operaties een heel andere aard hebben dan 'operaties' in het bedrijfsleven: de krijgsmacht heeft in het algemeen relatief meer aandacht voor effectiviteit dan voor efficiëntie. Daarnaast spelen in vele militaire onderzoeksvragen aantallen slachtoffers (en niet alleen aan eigen zijde!) een rol bij afwegingen en keuzes.

Militaire OR wordt niet alleen gebruikt om de uitvoering van militaire operaties effectiever en efficiënter te laten verlopen. De OR heeft daarnaast ook een belangrijke rol bij de ondersteuning van complexe militaire besluitvorming rond de aanschaf van militair materieel, en bij de ontwikkeling van tactieken voor nieuwe missies in een veranderende operationele omgeving. Hierbij kan men denken aan de opkomst van zogenoemde 'vredesmissies' en aan het uitvoeren van militaire operaties in verstedelijkt gebied in plaats van in (min of meer) open terrein.

Hoewel er in Nederland geen specifieke opleiding tot militaire OR consultant bestaat, is er toch een bloeiende militaire OR gemeenschap. Naast de aandacht die de militaire officiersopleidingen (Koninklijk Instituut voor de Marine en de Koninklijke Militaire Academie) aan OR besteden, zijn er tenminste vier locaties in Nederland waar

militaire OR wordt toegepast: bij TNO, bij het Nederlands Instituut voor Lucht- en Ruimtevaart (NLR), bij de NATO Consultation, Command and Control Agency (NC3A) en bij het NATO Joint Force Command Headquarters Brunssum. Twee van deze locaties bevinden zich weliswaar in Nederland, maar zijn onderdeel van de grote internationale NATO-organisatie. De Nederlandse militaire OR gemeenschap heeft sowieso een zeer internationaal karakter. Dit uit zich bijvoorbeeld in gezamenlijke onderzoeken onder NATO-vlag (NATO Research and Technology Organisation, Studies, Analysis and Simulation panel). Daarnaast heeft de militaire OR-gemeenschap haar eigen symposia. Nederland is in dit internationale gezelschap een gewaardeerde partner.

50 jaar ontwikkeling in de Militaire or

Pas na de Tweede Wereldoorlog heeft de militaire OR in Nederland zich echt kunnen ontwikkelen. Na de wapenstilstand in Wageningen tussen de Geallieerden en Duitsland rolde Nederland samen met de rest van de wereld de koude oorlog in. De oorlog werd niet op het slagveld uitgevochten maar achter bureaus van politici, op militaire kaartentafels en op tekentafels van ingenieurs. Zo heeft TNO sinds 1953 een afdeling die zich met militaire OR bezighoudt (Jonker, 1987). De nadruk kwam daarbij te liggen op het bepalen van gevechtskrachtverhoudingen, het uitvoeren van vuurkracht- en kwetsbaarheidanalyses, het evalueren van de militaire geschiktheid van nieuw materieel, het plannen van specifieke militaire missies en natuurlijk ook logistieke vraagstukken.

De val van de Berlijnse muur (1989) is het bekendste symbool dat het eind van de Koude Oorlog markeert. Etnische conflicten die door de dreiging van een alles vernietigende oorlog onder het maaiveld leken te zijn verdwenen, vonden in de jaren negentig van de vorige eeuw voedzame

grond om opnieuw te ontspruiten. De krijgsmachten leken als gevolg van het verdwijnen van een duidelijke vijand arbeidsloos te zijn geworden. Zij vonden echter een nieuwe rol in, onder andere, het trachten te beheersen van deze nieuwe, kleinschaligere conflicten (Klep en Van Gils 1999). De kenmerken van deze conflicten bleken beduidend anders dan die waarvoor de krijgsmachten zich decennia lang hadden voorbereid. De nieuwe conflicten hadden en hebben een meer lokaal karakter, met minder grootschalig geweld en beperken zich beslist niet tot deelname van alleen militairen in uniform. Deze voor de krijgsmachten nieuwe rol leidde ook tot veranderingen in de door de militaire operationele researcher geleverde ondersteuning. Internationaal wordt het toepassen van militaire OR vaak operationele analyse (OA) genoemd. Het modelleren van 'zachte' factoren als menselijk gedrag en het voorspellen van de effectiviteit van systemen ter beïnvloeding van menselijk gedrag (Psychologische Operaties) hebben in de internationale OA gemeenschap meer aandacht gekregen. 'Soft OR' technieken lijken zich goed te lenen om deze 'zachte' factoren op te nemen in beslissingsondersteunende modellen en om de complexe besluitvormingssituaties met een groep militaire beslissers te doorgronden.

Operationele analisten

Het feit dat steeds meer militairen worden uitgezonden naar conflictgebieden overal ter wereld, heeft ook zijn effect op de ondersteuning die operationele analisten aan deze militairen leveren. Een groeiend aantal operationele analisten wordt toegevoegd aan de eenheden die worden ingestuurd en ingezet. Het Duits-Nederlandse Legerkorps, dat het hoofdkwartier leverde aan de International Security Assistance Force (ISAF III) in Afghanistan, beschikte over zo'n OA-cel. Deze cel bestond uit twee operationele analisten¹ die

voor de duur van hun uitzending waren gemilitariseerd. Tijdens hun verblijf in Afghanistan heeft deze OA-cel vooral aandacht besteed aan de missie-evaluatie. Zij hebben de vraag beantwoord of de staf de juiste aandacht aan de juiste zaken besteedde en of de staf door andere dingen te doen een grotere operationele effectiviteit zou hebben gehad (Toevank, Gouweleeuw 2004). Door het meesturen van operationele analisten met een Nederlandse militaire eenheid maakt Nederland kennis met OA zoals het 60 jaar geleden begon.

Een andere zichtbare ontwikkeling van de laatste jaren in de militaire OR in Nederland, is de sterkere behoefte aan een gestructureerde aanpak voor en tijdens de aanschaf van nieuw militair materieel. Deze sterkere behoefte aan ondersteuning heeft aan de ene kant te maken met het grote aantal mogelijkheden van verschillende soorten materieel en aan de andere kant met de complexiteit die is ontstaan door het grote aantal verschillende missies dat moet kunnen worden uitgevoerd. Maar niet in het minst ook omdat de volksvertegenwoordiging rekenschap vraagt bij de besteding van enorme bedragen van de rijksbegroting aan militair materieel. De krijgsmacht-delen worden daarom tegenwoordig voor en tijdens een aanschaftraject (zoals bij de vervanging van het gevechtsvliegtuig F16) vrijwel altijd bijgestaan door operationele analisten. Zo worden prestaties en kosten van kandidaatssystemen gestructureerd met elkaar vergeleken, en het benodigde aantal onderbouwd met behulp van onder meer OR modellen.

Operationele vraagstukken

Ook op het gebied van de niet-oorlogsoperaties, heeft militaire OR nieuwe uitdagingen gekregen. Voorbeelden van dergelijke operaties zijn de handhaving van handels- of wapenembargo's,



Planningtools worden gebruikt bij de inzet van transport- en gevechtshelikopters.

maar ook visserijcontroles en drugsbestrijdingsoperaties. Al deze operaties brengen specifieke operationele vraagstukken met zich mee, die variëren van het plannen van zo'n operatie tot en met het ondersteunen tijdens de daadwerkelijk uitvoering ervan. Daarbij komen onder andere search- en scheduling-problemen aan de orde. De behoefte aan on-line en/of real-time beslissingsondersteunende tools is, net als in het bedrijfsleven, ook in de militaire wereld in de laatste 20 jaar sterk toegenomen.

In een operationele omgeving die zich kenmerkt door onzekere factoren en gebeurtenissen die elkaar zeer snel opvolgen en waarbinnen bovendien een enorme hoeveelheid, op veel verschillende manieren verkregen, informatie beschikbaar is, wordt het nemen van juiste en tijdige militaire beslissingen kritischer dan ooit. De

militaire OR heeft in de ondersteuning daarvan een grote uitdaging gekregen.

Veiligheid

Tenslotte is het nu meer dan ooit noodzakelijk om vooruit te kijken. Wat is de behoefte van de Nederlandse maatschappij daar waar het gaat om de nationale en internationale veiligheid? Het strategische en beleidsmatige militaire onderzoek blijft daarom een speerpunt van de militaire OR. TNO is op dit moment bijvoorbeeld bezig om samen met de Koninklijke Landmacht na te denken hoe de Landmacht er in 2020 uit zou moeten zien. Een belangrijke vraag daarbij is welke omvang noodzakelijk is voor een goede taakuitvoering en over welk materieel de Landmacht moet beschikken om ook over krap 20 jaar snel en

adequaat te kunnen reageren op onverwachte en uiteenlopende conflictsituaties.

Gegeven de nauwe relatie tussen militair onderzoek en onze maatschappelijke veiligheid is het vanzelfsprekend dat militaire OR ook in de veiligheidsector toepassingen heeft gevonden. Er zijn verschillende decision support systemen ontwikkeld ter ondersteuning van de verschillende veiligheidsdiensten in geval van rampen, en trainingssimulators waarmee rampsituaties kunnen worden geoefend. Op ditzelfde veiligheidsbeleidsgebied zijn ook kwetsbaarheidanalyses een belangrijke pilaar van de bescherming van Nederland tegen terroristische aanvallen.

De militaire OR profiteert ook van de operationele research in het bedrijfsleven. Een goed voorbeeld hiervan is het nieuwe fysieke distributie concept van de Landmacht waarin elementen uit de ketenlogistiek in de militaire wereld zijn toegepast (Klein Baltink et al, 1999).

En nu...

Vijftig jaar geleden beëindigde de Reserve Tweede-Luitenant van Zwet zijn artikel 'Operational Research en de moderne oorlogsvoering' met de zin: 'De vraag schijnt gewettigd of Nederland, zowel voor zijn krijgsmacht als voor de civiele sector niet meer aandacht aan de toepassing van Operational Research dient te besteden dan tot op heden.'

Vijftig jaar later is dat zeker veranderd, in de loop der jaren heeft de militaire OR zich ontwikkeld en aangepast aan de behoeften van de krijgsmacht. Aarts en Jansen eindigen hun beschouwing met het statement dat minister-president Balkenende jammer genoeg niet beschikt over een Chief Operations Research Analyst. Daarentegen kan de Nederlandse overheid wel terugvallen op organisaties met een lange histo-

rie, die de benodigde OR kennis en ondersteuningservaring op vele gebieden weten aan te wenden ten dienste van de Nederlandse samenleving.

NOOT

1. Eén van de auteurs, Freek-Jan Toevank, vervulde deze rol samen met een collega.

REFERENTIES

Aarts, E. en Jansen, B. (2003). 50 jaar georganiseerde OR. *STAtOR*, 23-25.

Jaiswal, N.K. (1997). *Military Operations Research: quantitative decision making*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Jonker J. (1987). *Van RVO naar HDO, 40 jaar Defensieonderzoek TNO*. Centrale Stafafdeling In- en Externe communicatie TNO.

Klein Baltink, G.D., Merrienboer, S. van, Kwaijtaal, A. (1999). Fysieke distributie, een ingrijpende verandering. *Militair Logistiek Magazine*, 4 (3).

Klep, C., Gils, van R. (1999). *Van Korea tot Kosovo: de Nederlandse deelname aan vredesoperaties sinds 1945*. Den Haag: SDU.

Toevank, F.J.G., Gouweleeuw, R.G.W. (2004). Operationeel Analisten bij ISAF III. *Militaire Spectator*, 173 (10), 473-480

Zwet, C.J. van (1953). 'Operational Research' en de moderne oorlogsvoering. *Militaire Spectator*, 122 (10), 543-548.

DANKWOORD

De auteurs willen ir. J.J. Meinardi danken voor zijn bijdrage. De heer Meinardi vervulde van 1956 tot 1985 diverse functies bij TNO, onder meer als directeur TNO Fysisch en Electronisch Laboratorium.

FREEK-JAN TOEVANK is senior wetenschappelijk medewerker en programmaleider bij TNO Defensie en Veiligheid.

E-mail: <freek-jan.toevank@tno.nl>.

ANA ISABEL BARROS is senior wetenschappelijk medewerker en technologie manager Operationele Research bij TNO Defensie en Veiligheid..

E-mail: <ana.martinsbottodebarros@tno.nl>.

Samenwerken en clusteren

ONNO BOXMA

Een wereldvreemde maar ongevaarlijke kamergeleerde, die na jaren van eenzame opsluiting, spreuken brabbelend en formules krabbelend, een moeilijke stelling bewijst. Ziedaar het clichébeeld van de wiskundige; en het succes van Andrew Wiles na zeven jaar van zelfgekozen afzondering heeft dat beeld nog versterkt.

Werkt de wiskundige nog wel zo vaak in isolatie? Mijn eerste vijf artikelen heb ik alleen geschreven, denkend dat dat zo hoort; en zo hoorde het ook, midden zeventiger jaren. Daarna ontdekte ik mijn sterkste kant: het stellen van domme vragen aan slimme collega's. Dat heeft geresulteerd in menige vruchtbare en leuke samenwerking. Slimme vragen – als ik ze al zou kunnen bedenken – werken trouwens veel minder goed, want die zijn meestal al eens gesteld en beantwoord.

De wiskundecusters

Wiskundigen zouden meer moeten samenwerken, althans dat vinden veel niet-wiskundigen, en ook steeds meer wiskundigen. In de nota *Nieuwe dimensies, ruimer bereik van het OOW (Overleg Onderzoekscholen Wiskunde)* werd opgemerkt dat wiskunde in toenemende mate belangrijk is bij de oplossing van thematische vragen uit zulke uit-

eenlopende gebieden als de levenswetenschappen, de economie en de ICT. De nota pleitte mede daarom voor de vorming van 12 tot 14 clusters. In zulke clusters zouden wiskundigen uit diverse subdisciplines, en ook niet-wiskundigen, onderzoek kunnen doen 'op raakvlakken'. Helaas vonden de diverse Colleges van Bestuur en het ministerie van OC&W de plannen uit de nota slechts goed zolang het geld door een ander zou worden geleverd. Het Gebiedsbestuur Exacte Wetenschappen (GBE) en Algemeen Bestuur van NWO hebben zich vervolgens de noden van de wiskunde zo aangetrokken, dat ze samen 5 miljoen euro ter beschikking hebben gesteld voor de realisering van een paar wiskundecusters. Dankzij de onvolprezen inspanning van Annejet Meijler (directeur Exacte Wetenschappen) en haar medewerkers, en enige wiskundigen, is ook EZ bereid gebleken bij te dragen.

Inmiddels zijn vier voorstellen ingediend [deze column is overigens al voor het vorige STATOR-nummer geschreven maar plaatsing werd uitgesteld omdat het gehele nummer werd gewijd aan Lucia de B.] waaronder één op het terrein van de stochastiek. Als (net afgetreden) lid van het GBE wil ik me in dit stadium onthouden van het geven van meningen over clusterplannen. Maar ik hoop en verwacht dat de clusters een groot succes wor-

den en dat daadwerkelijk sprake zal zijn van intensieve en vruchtbare samenwerking.

Samenwerken

Bij het GBE heb ik in de keuken van de astronomie kunnen kijken. De Nederlandse sterrenkunde staat internationaal buitengewoon hoog aangeschreven (en terecht!). Zij blinkt, vergeleken met de Nederlandse wiskunde, daarnaast uit in een voortreffelijke public relations en in een opvallend vermogen op het goede moment de rijen te sluiten en als één front naar buiten te treden. Misschien wel omdat ze een lange traditie van samenwerking heeft; vaak dienen astronomen waarneemtijd bij sterrenwachten te verwerven via flinke consortia, en ze publiceren vervolgens met 15 of meer coauteurs de resultaten en gevolgtrekkingen van hun waarnemingen.

Terug naar de wiskunde.

In hoeverre werkten stochastici samen in de jaren zeventig, en hoe is de situatie momenteel? Om die vragen te beantwoorden bekeek ik de eerste vijf jaargangen van de *Advances in Applied Probability* (1969-1973). Dat leverde 129 artikelen en abstracts op. In 103 ervan was er slechts één, eenzame, auteur. Eén artikel was door zeven Russen, die hun tijd ver vooruit waren, samen tot stand gebracht, en dat schroefde het gemiddeld aantal auteurs op tot 1,25. Ik nam ook de laatste index van de *Advances in Applied Probability* waarover ik beschik, namelijk die van 1998-2000. In slechts 74 van de 191 artikelen was geen sprake van een coauteur, en het gemiddeld aantal auteurs was tot 1,80 gestegen. Een steekproef van 100 artikelen uit de *Mathematical Reviews* van december 1973 en van 100 artikelen uit de *Mathematical Reviews* van december 2003, hopelijk redelijk aselekt genomen, levert een zelfde beeld:

in **1973** telde ik 76 x 1, 22 x 2 en 2 x 3 auteurs, dus gemiddeld **1,26**;

in **2003** was het 33 x 1, 46 x 2, 16 x 3 en 5 x 4, resulterend in een gemiddelde van **1,93**.

Geen erg betrouwbare steekproef, maar de trend lijkt me toch redelijk overtuigend aangegeven, in de wiskunde als geheel maar ook in ons eigen vakgebied.

Wat zijn de redenen, dat wiskundigen beginnen te transformeren van kamergeleerden tot sociale wezens? Ik noem er een paar. Veruit de belangrijkste lijkt me de opkomst van e-mail en www. Het samen aan een artikel schrijven wordt door e-mail veel makkelijker gemaakt. Met een beetje ijverige Australische coauteur werk je trouwens rond de klok aan nieuwe versies van je doorbraak.tex file. Op het web zie je vervolgens dat iemand in Columbia University net de expertise op een belendend terrein heeft die jullie nog een forse stap verder kan helpen. Samenwerken kan dus tegenwoordig goed op afstand. Persoonlijk contact helpt overigens ook, en dat brengt me bij een tweede reden. Er wordt wellicht iets gemakkelijker gereisd dan dertig jaar geleden, resulterend in meer samenwerkingsmogelijkheden met buitenlandse collega's. Een derde reden kan een veranderende promotietraditie zijn, met een toenemende tendens dat de promovendus werkt in een team. Een vierde reden is de grotere druk om te publiceren - dat laatste gaat immers makkelijker met anderen samen. Maar zeker niet de minste reden is de groeiende noodzaak tot samenwerken 'op raakvlakken'. En dat brengt me terug bij de wiskundeclusters.

Grijpen die kans, en vooral veel domme vragen stellen!

ONNO BOXMA is hoogleraar Stochastische Besliskunde bij de Faculteit Wiskunde en Informatica van de TU Eindhoven. E-mail: <boxma@win.tue.nl>.



Over fractionele bewegingen, Noach en olifanten

Fractionele Brownse beweging (fBb) is een stochastisch proces dat in de laatste tientallen jaren gebruikt wordt in uiteenlopende gebieden. Het modelleert bijvoorbeeld beurskoersen, internetverkeer, regenval en bloedstromingen in delen van het menselijk lichaam.

Alle reden om een scriptie te schrijven over hoe dit proces gesimuleerd kan worden.

TON DIEKER

De hydroloog Hurst (1900-1978) werkte aan een project om dammen te bouwen aan de Nijl. Toen hij de waterstanden bestudeerde die de Egyptenaren tussen 622 en 1469 (!) bijgehouden hadden, viel hem op dat er bepaalde patronen in zaten. Een jaar met een bovengemiddeld waterpeil werd vaak gevolgd door weer zo'n bovengemiddeld jaar, wat doorbroken werd door een plotselinge daling. Na deze daling, die het Noach-effect wordt genoemd, volgden enkele ondergemiddelde jaren. De zo ontstane cyclische structuur kan niet verklaard worden met een model gebaseerd op een stochastische wandeling, omdat lange-termijn correlaties een grote rol spelen. Ook de trendwis-

seling heeft een Bijbelse naam gekregen, namelijk het Jozef-effect: zeven overvloedige jaren worden gevolgd door zeven droge jaren.

Dit is het bekendste voorbeeld van gegevens met lange-termijn correlaties die zo heftig zijn dat traditionele modellen geen uitkomst lijken te bieden. Dit fenomeen speelt ook in andere gebieden, zoals in de economie, natuurkunde en biologie. Mijn onderzoek was vooral gemotiveerd door modellen voor communicatienetwerken. In de jaren negentig van de vorige eeuw werden metingen verricht die soortgelijk gedrag ook voor netwerkverkeer suggereerden. De lang-termijn correlaties kunnen bijvoorbeeld veroorzaakt worden

door mensen die films downloaden ('olifanten'), terwijl anderen alleen kleine bestanden versturen ('muizen'). In een model gebaseerd op fractionele Brownse beweging kunnen deze lange-termijn effecten worden opgenomen, dus is een introductie van dit proces op zijn plaats.

Fractionele Brownse beweging

Fractionele Brownse beweging (fBb) is een gecentreerd stochastisch proces in continue tijd met stationaire Gaussische aangroeiingen. Voor zo'n proces worden alle eindig-dimensionale verdelingen vastgelegd door de variantiefunctie. Een fBb B wordt gedefinieerd door een variantiefunctie van de vorm $\text{Var}(B(t)) = t^{2H}$ waarbij H een parameter is tussen 0 en 1, de zogenoemde Hurst parameter. Als deze parameter $\frac{1}{2}$ is, reduceert de fractionele Brownse beweging tot de klassieke Brownse beweging.

Een mogelijke reden voor de populariteit van fBb is een eigenschap die bekend staat onder de naam *self-similarity*. In gewoon Nederlands: hoe veel je ook in- of uitzoomt, het proces ziet er altijd hetzelfde uit (in verdeling). Wiskundig gezien hangt de schaling van de Hurst parameter af. De *self-similarity* houdt ook verband met de benaming 'fractioneel', omdat objecten met deze eigenschap *fractals* worden genoemd. Denk bijvoorbeeld aan sneeuwvlokken, wolken, vertakkingen in onze longen, en het welbekende Drosteplaatje. Intuïtief is het aannemelijk dat deze eigenschap te maken heeft met bepaalde lange-termijn correlaties, die worden aangeduid met de term *long-range dependence*. Voor simulatie heeft zo'n structuur verstrekkende gevolgen.

Simulatie

In veel gevallen is het onmogelijk om expliciete berekeningen te maken in modellen op basis van fBb. Computersimulatie vormt dan een belangrijk

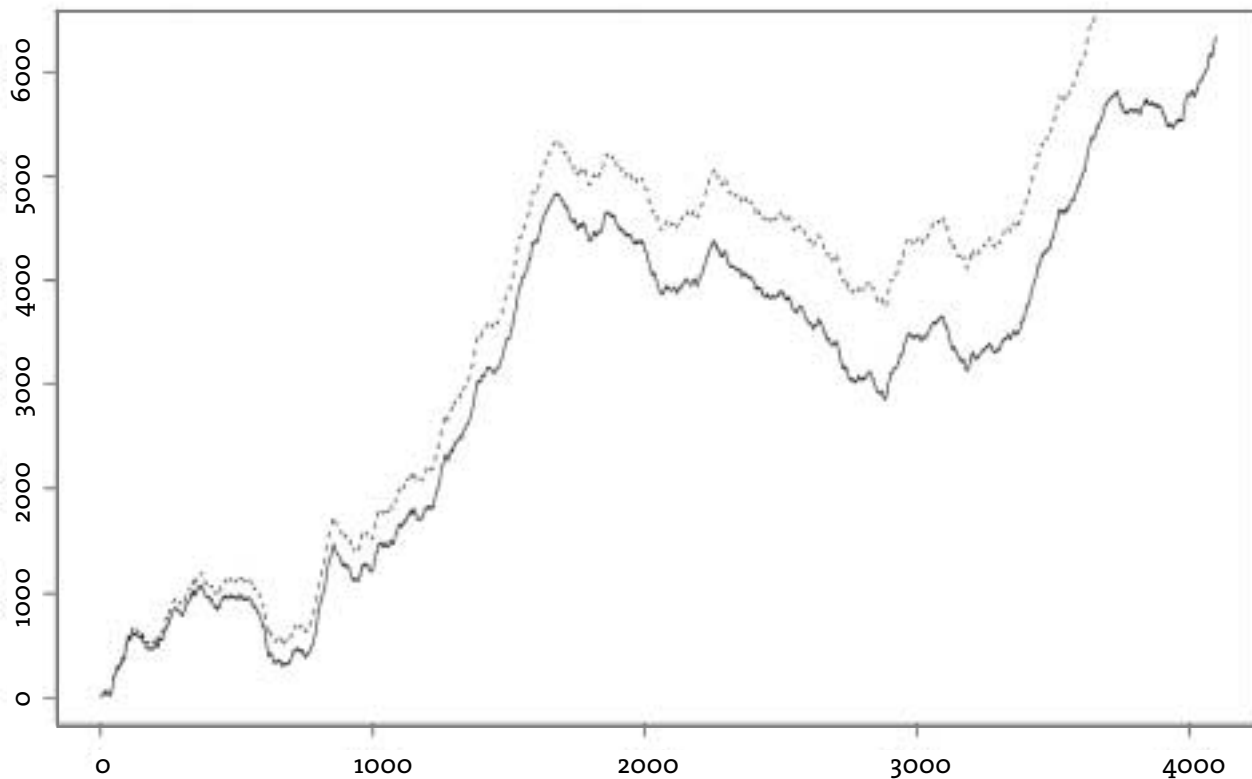
instrument om inzichten te verschaffen. Hoewel er verschillende simulatiemethoden bestaan voor fBb, kunnen simulatiemethoden die dit proces benaderen interessant zijn vanwege hun snelheid. Voor een gegeven benadering is het dan van belang te weten in welke opzichten de verkregen realisatie op fBb lijkt. Er bleek een drietal methoden veelbelovend: een methode gebaseerd op handig conditioneren (hierna: Random Midpoint Displacement (RMD) methode), een spectrale methode, en een wavelet methode.

Theoretische vergelijking

Hoewel theoretisch onderzoek naar de benaderingen slechts beperkt mogelijk is, levert dit toch interessante inzichten op.

Voor de RMD methode beschrijf ik in mijn scriptie een algoritme om de covariantiematrix van het benaderende proces te berekenen. Bij vergelijking met de gewenste covariantiematrix (die van fBb) valt op dat de benadering vooral veel moeite heeft om de lange-termijn correlaties correct te simuleren. Toch is dit te overzien: de benadering wordt een stuk beter als bijvoorbeeld twee keer zo veel punten gesimuleerd worden en alleen het middelste deel daadwerkelijk gebruikt wordt.

De spectrale methode, die in mijn scriptie het grondigst bestudeerd wordt, heeft een aantal mooie theoretische eigenschappen. Zo presteert de methode beter als het aantal te simuleren punten groter wordt. Bovendien is de methode nauw verwant met een tweetal andere methodes uit de literatuur, waaronder een exacte methode. Dit maakt het mogelijk om de fout in de benadering onder de loep te nemen. Ter illustratie: in Figuur 1 is zowel een 'exacte' als een 'spectrale' realisatie gegeven, waarbij dezelfde willekeurige getallen zijn gebruikt. Het verschil tussen de twee lijnen wordt steeds groter, hetgeen typisch is voor de spectrale methode. Op dit voorbeeld komen we later terug.



Figuur 1. Een vergelijking tussen een exacte realisatie (zwarte lijn) en een spectrale realisatie (onderbroken lijn).

De wavelet-methode is theoretisch lastig te bestuderen, maar het is bijvoorbeeld wel mogelijk om de covariantiematrix te simuleren en te vergelijken met de covariantiestructuur van fBb. De resultaten zijn teleurstellend, maar er kan geen simpele verklaring gegeven worden waarom deze methode zo slecht presteert.

Statistische vergelijking

Nu we een eerste indruk hebben van de drie methoden om fBb te simuleren, kan de analyse gecompleteerd worden met behulp van statistische toetsen. De moeilijkheid is dat niet duidelijk is wat we eigenlijk zouden willen toetsen. De statistische literatuur over gegevens met long-range dependence richt zich vooral op het schatten van de Hurst parameter. De schattingen kunnen dan vergeleken worden met de gewenste Hurst parameter.

Omdat de Hurst parameter een fBb uniek karakteriseert, speelt deze een rol in elke eigenschap van fBb waarop een schattingsprocedure gebaseerd kan worden. Er zijn daarom erg veel manieren om deze parameter te schatten. In mijn scriptie heb ik negen verschillende schattingsmethoden onder de loep genomen, maar dat is slechts een selectie.

De RMD methode komt vrij goed door deze analyse heen, maar de wavelet methode blijkt dramatisch slecht. De spectrale methode is redelijk te noemen, maar net als bij de RMD methode blijken de lange-termijn correlaties niet goed uit de verf te komen. Ook in Figuur 1 is dit te zien: het verschil tussen de twee lijnen is lokaal vrijwel constant, maar globaal missen we een grote 'golf' in de spectrale simulatie. Deze golf zou precies voor de lange-termijn correlaties moeten zorgen.

Snelheidsvergelijking

Een van de meest belangrijke aspecten van een (benaderende) methode voor het genereren van fBb is zijn snelheid, met name als realistische systemen gesimuleerd dienen te worden. Toch hangt het erg af van de situatie welke methode het beste gebruikt kan worden. Hoewel de lange-termijn correlaties niet geheel naar wens zijn, kan het dan toch interessant zijn om een snelle methode te kiezen in plaats van een exacte methode.

Van de drie methoden is de RMD methode het snelst, maar er moet nog een aantal parameters gekozen worden die invloed hebben op de snelheid. De spectrale methode is goede tweede, en de wavelet method is uiterst traag.

Conclusies

Het simuleren van fBb is vrij lastig; alle bestudeerde benaderende methoden hebben moeite met de lange-termijn correlaties. De RMD methode presteert het beste van de benaderende methoden, maar toch is het in veel gevallen niet de juiste keuze. De snelste exacte methode, gebaseerd op een eigenwaarde decompositie van een circulant matrix, kan zelfs op snelheid erg goed concurreren met de RMD methode. De RMD methode is lineair in de grootte van de realisatie N , terwijl deze exacte methode orde $N \log N$ is. Voor ongeveer 15.000 punten is de exacte methode ongeveer tien keer zo langzaam, hetgeen in veel gevallen een redelijke prijs is om exacte realisaties te kunnen genereren.

De scriptie en gerelateerde bestanden kunnen gedownload worden van www.cwi.nl/~ton/fbm.

TON DIEKER is als promovendus verbonden aan het CWI en aan de de Universiteit van Twente. Zijn scriptie schreef hij als student aan de Vrije Universiteit. E-mail: ton.dieker@cwi.nl.



Opheffing Sectie Statistische Programmatuur

Op de laatste Statistische Dag heeft de sectie SSP op een goed bezochte bijeenkomst (met Brian Ripley als discussant) aangegeven dat statistische programmatuur inmiddels zo verweven is in het werk en de belangstelling van de andere secties van de VVS-OR, dat een speciale sectie SSP niet langer meer nodig is. Het Algemeen Bestuur van de VVS-OR heeft daarop in haar vergadering van mei 2005 de sectie SSP op verzoek, en eervol, opgeheven.

Leden van de sectie SSP kunnen zich aanmelden bij een van de andere secties van de VVS-OR. Dit kan worden opgegeven bij het administratiekantoor.

Statistiek en OR in het nieuws

Na het succes van de lezingenmiddag over de zaak Lucy de B. heeft het bestuur van de VVS-OR besloten tot het instellen van een werkgroep die statistiek en OR in de actualiteit gaat volgen. De activiteiten van deze werkgroep kunnen, naast het signaleren van actuele gebeurtenissen op het werkterrein van de vereniging, bestaan uit het organiseren van lezingenmiddagen, het op gang brengen van discussie, bijvoorbeeld via het internet, of het voorbereiden van een verenigingsstandpunt. Een belangrijk deel van de discussie zal plaatsvinden via het internet. Het bestuur nodigt leden die aan deze werkgroep willen bijdragen uit zich te melden bij de voorzitter.

ECHE EN ONECHTE TOEVALSGETALLEN

FRED STEUTEL

Random numbers, aselechte getallen of toevalsgetallen worden al heel lang gebruikt voor het simuleren van toevalsprocessen, zoals loterijen en gokspelen. Al heel lang worden ook ingewikkelde processen zoals wachttijdsituaties ‘nagespeeld’. Een belangrijk nieuw gebied voor het gebruik van aselechte getallen is de cryptografie, waarbij ‘aselect’ wordt gekozen uit priemgetallen die de sleutel van de code bepalen.

Niet alleen de toepassing van toevalsgetallen is geëvolueerd, ook het genereren van deze getallen is aan verandering en zelfs aan mode onderhevig.

Random.

In de film *Kind Hearts and Coronets* parafraseert Louis Mazzini twee regels van Longfellow: *I shot an arrow in the air; she fell to earth ... in Berkeley Square*. Hij aarzelt even, want hij kan niet precies voorspellen waar zijn tante zal neerkomen. Maar, zo random als hieronder was het niet.

O! many a shaft, at random sent,
Finds mark the archer little meant;
And many a word, at random spoken,
May soothe or wound a heart that's broken!
Sir Walter Scott

Het woord random kan alleen in negatieven worden omschreven: *without governing design, method or purpose*. Etymologisch hangt het

woord samen met ‘rennen’; at random betekent dan ‘in volle vaart’, zoals een galopperend paard; je gaat zo hard dat je niet weet waar je terecht zult komen.

In 1927 verscheen bij Cambridge University Press als ‘Tracts for Computers’ No. 15 het boekje *Random Sampling Numbers* door L.C.H Tippet. Het bevatte 41600 getallen die waren verkregen door de ‘middelste’ cijfers te nemen van oppervlaktemetingen bij Engelse kerken. De getallen waren gerangschikt in groepen van vijf, die gezien konden worden als trekkingen uit een homogene verdeling op (0,1). De ‘computers’ waren natuurlijk geen machines, maar ‘human-computers’, mensen die met pen en papier berekeningen uitvoerden. De random numbers waren bedoeld voor het aselect trekken uit populaties. In mijn tijd op het Mathematisch Centrum werd het boekje nog gebruikt.

Alfred Bork merkte in dit verband op: *‘A rational nineteenth-century man would have thought it the height of folly to produce a book containing only random numbers.’* Desondanks verschenen steeds meer boeken met steeds meer random getallen, zoals *A million random digits with 100,000 normal deviates* van the RAND Corporation

Er wordt maar sporadisch gezegd wat deze random-getallen eigenlijk voorstellen: rijen getallen die zich gedragen alsof ze met gelijke kansen en onafhankelijk van elkaar gekozen zijn uit de getallen 0 tot en met 9; in wat grotere groepen bij elkaar genomen en gelezen als decimale breuken

gedragen ze zich dan als onafhankelijke trekkingen uit een homogene verdeling op $(0,1)$. Deze kunnen dan weer getransformeerd worden tot onafhankelijke trekkingen uit andere verdelingen.

Pseudo random getallen en generatoren.

Inmiddels zijn de boeken met getallen vervangen door computerprogramma's voor het genereren van 'pseudo-random getallen'. Deze getallen ontstaan bij voorbeeld door met een groot getal van N cijfers te beginnen, dit te kwadrateren en van dat getal de 'middelste' N cijfers te nemen; het zo ontstane getal wordt weer gekwadraterd, tot de middelste N cijfers beperkt, en zo voort. Zo ontstaat een reeks van getallen, die als decimale breuk gelezen, lijken op trekkingen uit een homogene verdeling. Deze getallen zijn precies voorspelbaar voor de gene die het eerste getal kent; toch zijn ze door statistische toetsen niet te onderscheiden van 'echte' aselechte trekkingen. De procedure kan verbeterd worden door het eerste getal aselekt te trekken. De voorspelbaarheid en reproduceerbaarheid van pseudo-aselechte getallen is soms gewenst: *'a series of random numbers can be replayed for use in several experiments'*. Maar, *'for cryptographic use it is important that the numbers used to generate keys are not just seemingly random; they must be truly unpredictable'*.

True random numbers.

Het is verrassend hoe sterk het geloof is in de ware aseletheid, *true randomness*, van fysisch gegenereerde random numbers (ik vertaal): *'HotBits* is een internet-hulpmiddel dat ware toevalsgetallen – gegenereerd door een proces dat fundamenteel wordt gestuurd door de inherente onzekerheid in de kwantummechanische natuurwetten – direct in je computer invoert. Ware toevalsgetallen worden typisch gegenereerd door een *entropybron* buiten de computer.

Een bron van radioactiviteit is een echt goede bron van entropy (wanorde): de tijdstippen waarop een radioactieve bron uiteenvalt zijn volledig onvoorspelbaar; ze kunnen worden waargenomen en in een computer worden ingevoerd.' Over pseudo toevalsgetallen wordt gezegd: 'Er is een toetsingsprogramma beschikbaar dat toegepast op pseudo-random getallen van hoge kwaliteit laat zien dat deze niet te onderscheiden zijn van echte random getallen, niet te onderscheiden, maar ze zijn niet waarlijk random.' Er zijn sinds kort nog 'true-ere' random getallen, rechtstreeks uit de kwantummechanica: Quantum random getallen, waarvan gezegd wordt: *'Note that this procedure has greater claim on being truly random, because it generates a single random number from a single quantum, while Hotbits times the difference between two paired decay events in order to generate a single bit.'*

Vanwaar dit geloof in de waarlijk 'randomness' van de kwantummechanica? Het is niet duidelijk of er sprake is van meer dan een geloof.

Simuleren met simulatie.

Behalve radioactiviteit als bron van randomness worden ook andere bronnen voorgesteld, zoals de bewegingen van een computermuis (waarom niet een echte muis?), atmosferische ruis of achtergrond geluid (noise) in een kantoor. We zijn weer bijna terug bij de Engelse kerken van Tippett. Het zal er nog van komen dat we Brown-beweging gaan simuleren met behulp van echte ('true') Brown-beweging. Het lijkt niet onbelangrijk om na te gaan of the 'true' random numbers inderdaad beter zijn dan de veel eenvoudiger te produceren en te hanteren pseudo random getallen.

FRED STEUTEL is emeritus hoogleraar kansrekening aan de TU Eindhoven; hij is redacteur van STATOR. E-mail: <f.w.steutel@tue.nl>.

Econometrie & besliskunde in de lift



ARJEN TEBBENHOF EN ROMMERT DEKKER

Liften zijn onmisbaar in hoge gebouwen en het wachten erop is helaas één van de hoofdergissen binnen gebouwen. Dit gold zeker voor de medewerkers en studenten in het 17 verdiepingen hoge H-gebouw op het Woudestein complex van de Erasmus Universiteit, die veel klachten hadden over lange wachttijden. Aangezien een deel van het liftstelsel aan vervanging toe was vroeg de faculteitsdirecteur zich af of een slimme manier van werken de problemen zou kunnen verminderen. Tien jaar geleden was het liftstelsel al eens door een econometrist bestudeerd, daarom benaderde hij nu professor Dekker, hoogleraar wiskundige besliskunde. Die legde het probleem voor aan een groep studenten bedrijfseconometrie, welke het in het kader van een werkcollege bestudeer-

den. Dit artikel verhaalt van hun belevenissen.

Het H-gebouw is een lang rechthoekig gebouw uit de zestiger jaren, met een terrein verdieping (T), een basisverdieping (B) en 17 verdiepingen voor medewerkerkamers en studiezalen. Er zijn twee liftsystemen. Aan de achterkant zijn er de zogenoemde kleine liften, 2 stuks met een capaciteit van 8 personen die alle verdiepingen bedienen. Aan de voorkant zijn er 6 naast elkaar liggende grote liften, met een capaciteit van 15 personen, drie liften zijn voor de medewerkerverdiepingen, vanaf de begane grond en terreinverdieping naar de 6de tot en met de 17de verdieping (de zogenaamde *high-rise*). De andere drie liften (de *low-rise*) bedienen de studentenzalen en alle verdiepingen tot en met de zesde.

Aanpak

De meeste opdrachtcases voor een werkcollege beginnen met een een min-of-meer geïdealiseerde probleembeschrijving, echter niet deze. Het bleek essentieel om eerst het probleem meer reëel te specificeren, het daarna uit te werken tot een researchopdracht en dan een werkplan te maken gebaseerd op uitvoering in 7 weken. Voorts was het handig een emergencyplan op te stellen voor het geval dat onderdelen zouden uitlopen of anderszins niet uitvoerbaar zouden blijken. Na overleg met de faculteitsdirecteur werd het doel als volgt gedefinieerd: 'vind uit welke werkverdeling van de liften tot een optimaal gebruik van de huidige capaciteit leidt'. Zes stappen werden gedefinieerd om dit doel te bereiken.

Ten eerste zou een vragenlijst voor studenten en staf inzicht moeten geven in het gebruik en de tekortkomingen van de liften. Een literatuurstudie, als tweede stap, zou de huidige wetenschappelijke inzichten moeten opleveren alsmede suggesties voor verbeteringen. Ten derde, via een afspraak met de liftenfabrikant OTIS zouden gegevens worden verzameld over liftsnelheid, versnelling, sluittijd van de deuren, etc. De vierde stap bestond uit het verzamelen van data over de verkeerslast voor de liften. Als vijfde stap zouden alternatieven voorgesteld moeten worden. De huidige instelling (een low- en een high-rise met een overstap op de 6de verdieping) zou vergeleken moeten worden met andere keuzes. Daarnaast wilden we weten welke instellingen (zoals snelheid) überhaupt veranderd kunnen worden. Tenslotte moest een simulatiemodel van de liften worden gemaakt, waarbij een keus moest worden gemaakt voor een taal of pakket. Het uiteindelijke doel van de simulatie was het minimaliseren van de wachttijden én de verblijftijden in de liften.

Data

Wat in feite nodig was, was een tijdsafhankelijke Herkomst-Bestemmings-matrix voor iedere afzonderlijke verdieping. Zoals bij veel transportproblemen kon zo'n matrix niet direct gemeten worden, omdat bijvoorbeeld niet alle combinaties van verdiepingen door één lift worden bediend en men soms moet overstappen. Een optie was het installeren van een monitoring-systeem dat het gewicht van de mensen in de liften zou registreren, alsmede alle knopregistraties in de liften en erbuiten. Dit leek handig, maar had ook nadelen. Zo zou het lang duren voor het geïnstalleerd was en zou het evenmin alle gewenste informatie geven: zo ontbrak bijvoorbeeld het aantal wachtenden. Het kwam er op neer dat we zelf onze data moesten verzamelen. We besloten de handen ineen te slaan en een meetplan op te zetten, zowel voor de morgen- als voor de lunch-tijd. Voor elke lift zou op iedere verdieping het aantal in- en uitstappende mensen geteld worden. Informatie over de wachttijden kon hierbij niet worden verzameld, dat zou te moeilijk zijn. Wachttijden zou ons model maar moeten berekenen.

Met elf studenten in de werkgroep hield dit in dat er per lift (8 in totaal) één student zou zijn en drie voor de basisverdiepingen. Ieder moest van 8.30 – 9.30 uur en van 11.30 – 14.00 uur meten. Voor elke 5 minuten (als in een militaire operatie werden de horloges gelijk gezet) werd het totaal in- en uitgaande mensen geteld. Er werd op 16 november 2001 gemeten. Dat bleek geen goede keus, er waren weinig wachttijden, omdat het de rustdag was van het trimestersysteem dat voor de eerste twee studiejaar juist was ingevoerd. De gegevens waren dus onbruikbaar en de meting moest op een andere dag herhaald worden. De volgende meetdag was een week later, en gelukkig waren er toen wel wachtrijen. Door deze herscheduling kon OTIS niet voor gegevens zorgen

omdat men niet zo snel alles opnieuw kon installeren, we moesten het dus met alleen de eigen data doen.

Resultaat tellingen

Gezamenlijk gaven de tellingen een goed overzicht van al het verkeer. We deden een aantal statistische tests om te zien of de verkeerlast echt per 5 minuten veranderde of over een langer interval als constant kon worden beschouwd. De volgende stap was het construeren van de Herkomst-Bestemmingsmatrix, uitgaande van de tellingen van het aantal in- en uitstappers per verdieping. We maakten daarbij onderscheid tussen verkeer tussen de hoofdverdiepingen (B en T) naar andere verdiepingen en verkeer tussen de niet-hoofdverdiepingen (inter floor verkeer genoemd).

Tijdens de metingen merkten we nog diverse andere punten op die van invloed zijn op de performance van het liftstelsel. Ten eerste bleek de praktische capaciteit een stuk onder de nominale waarde te liggen. De grote liften werden al bij 13 mensen als vol beschouwd (tegen 15 opgegeven), de kleine bij 5 (tegen 8). Daarnaast, als een lift buiten werking is, bijvoorbeeld om schoongemaakt te worden, stijgt de wachttijd aanzienlijk. Ook claimen verhuizers een lift vaak voor een langere tijd. Naast de metingen kregen we informatie via een vragenlijst op internet. Ten eerste werd gebruikers gevraagd wanneer wachttijden lang waren en welke liften het dan betrof. Ook vroegen we hen naar de meest gemaakte lift-bewegingen en naar suggesties voor verbeteringen.

Alternatieven

Alternatieven voor het huidige systeem werden beperkt door technische mogelijkheden. Voor de grote liften bleek er gelukkig veel mogelijk te zijn,

aangezien de systemen software-matig aangestuurd worden. Variaties in deur-open-tijd, rustvloer en beperkingen van stops op bepaalde verdiepingen waren alle mogelijk. Voor de kleine liften was dat minder. Aangezien deze sowieso gerenoveerd zouden worden, concentreerden we ons op de grote liften en bekeken slechts één alternatief voor de kleine, namelijk een andere leegpositionering dan de terreinverdieping. Tabel 1 laat een aantal alternatieven zien met leegpositionering.

Simuleren

De volgende stap was het bouwen van een simulatiemodel. De drie groepen mochten zelf hun favoriete taal kiezen. Twee kozen algemene talen, Delphi® en Visual Basic®, terwijl de derde haar heil zocht in het simulatiepakket Arena®. Om vergelijking van de resultaten mogelijk te maken werd met dezelfde input gewerkt. Die input werd verkregen door het simuleren van aankomsten van mensen op verdiepingen volgens een niet-homogeen Poisson-proces. De resultaten werden in files weggeschreven die de drie groepen voor alle scenario's zouden gebruiken. Hierdoor werd de variantie verkleind. Tien datasets met elk 2000 mensen voor de lunchtijd werden gegenereerd.

De twee groepen met algemene talen slaagden er na een tweetal weken in een lopend simulatiemodel te bouwen. De groep met Arena lukte dat niet. Dit kwam deels doordat de templates onvoldoende mogelijkheden boden om liften te modelleren en deels omdat het aanvullend programmeren naast de templates te lastig werd gevonden. De simulaties werden event-driven opgezet. Dit betekent dat in het model elke event (aankomst van iemand bij de lift, aankomst van lift bij een verdieping) werd gesimuleerd en afzonderlijk werd afgehandeld.

SCENARIO	CONFIGURATIE	LEEG POSITIONERING
1	Huidige configuratie; Overstap op 6	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 6
2	Low-rise T-3, High-rise 3-17; Overstap op 3	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 3
3	Low-rise T-5, High-rise 5-17; Overstap op 5	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 5
4	Low-rise T-7, High-rise 7-17; Overstap op 7	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 7
5	Low-rise T-8, High-rise 8-17; Overstap op 8	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 8
6	Low-rise T-9, High-rise 9-17; Overstap op 9	Low-rise: B, B, 3; High-rise: B, B, 9
7	Low-rise T-9, High-rise 6-17; Overstap op 6, 7, 8 and 9	Low-rise: B, B, 7; High-rise: B, B, 8
8	Alle liften stoppen op alle verdiepingen (deur opentijd 11 s.)	B, B, B, B, 3, 14
9	Alle liften stoppen op alle verdiepingen (deur open tijd 13 s.)	B, B, B, B, 3, 14
10	Alle liften stoppen op alle verdiepingen (deur open tijd 14 s.)	B, B, B, B, 3, 14
11	3 liften stoppen op T, B en even verdiepingen, 3 liften stoppen op T, B en oneven verdiepingen	Even: B, B, 8 Oneven: B, B, 7
12	2 stop op even, 2 op oneven, 2 op alle; Overstap op 7, 8, 9	B, 8, B, 7, B, 8
13	2 Low-rise T, B, 1-5; 2 Middle-rise T, B, 5-13; 2 High-rise T, B, 13-17; Overstap op 5 en 13	B, 3, B, 7, B, 13

Tabel 1: Alternatieven met leegpositionering.

Complex beslissingsprobleem

De hoofdbeslissing in de simulatie is de allocatie van een lift aan een oproep. Dit is eigenlijk een zeer complex stochastisch dynamisch beslissingsprobleem. Newell (1998) heeft voor versimpelde situaties interessante resultaten afgeleid. Het ligt voor de hand de lift te nemen die de persoon het eerste kan bereiken, maar zo simpel is het niet, aangezien ook de richting van de lift en de wensrichting van de persoon van belang zijn. Bovendien kan dat de verblijftijd van de mensen die in de lift zitten verlengen. Men kan berekenen hoe lang het voor elke lift duurt om de persoon te bereiken en daarbij gebruiken we een tijdsboete als de lift van richting moet omdraaien. OTIS adviseerde ons dat het handiger is reeds bewegende liften te kiezen boven stilstaande (meestal op de plek van de leegpositionering) aangezien er nog meer oproepen kunnen komen. We voerden daar-

om een extra tijdsboete in voor het gebruiken van stilstaande liften. Een technisch slimigheidje hierbij is dat volle (dat wordt aan de hand van het gewicht bepaald) liften nieuwe oproepen negeren. In de simulatie ligt het voor de hand bij elke oproep direct een lift te alloceren. Het kan echter voorkomen dat door nakomende oproepen de oorspronkelijke allocatie niet optimaal meer is en men deze eigenlijk wil wijzigen. Het probleem is te beslissen wanneer een herroeping te doen en wanneer een allocatie te bevrozen. Beide groepen slaagden erin dit in hun simulatie op te nemen.

Tenslotte zijn er nog twee aspecten van belang. Allereerst is daar de keuze van de basisverdieping. Beide liftsystemen gebruikten de terreinverdieping als basisverdieping, met als gevolg dat de liften eerst naar de terreinverdieping gaan alvorens te keren. De grondverdieping is echter veel drukker en dit geeft nogal wat oponthoud, omdat daar

SCENARIO	WACHTTIJD (s)	LIFTTIJD (s)	SERVICETIJD (s)	MAX (WACHTTIJD)	# STOPS
1	44.0	48.6	92.6	335.4	2.82
2	117.2	59.2	176.4	1643.8	3.57
3	55.5	51.0	106.4	480.5	2.99
4	44.6	48.4	93.0	309.1	2.80
5	45.1	47.7	92.8	298.8	2.49
6	46.4	47.2	93.6	269.1	2.72
7	45.6	46.7	92.4	288.2	2.69
8	30.2	48.1	78.3	178.0	2.77
9	40.6	56.3	96.9	240.0	2.95
10	47.6	60.9	108.5	312.1	3.04
11	56.5	45.1	101.6	310.5	2.50
12	45.6	46.7	92.4	288.2	2.69
13	56.1	42.8	99.0	352.3	2.35

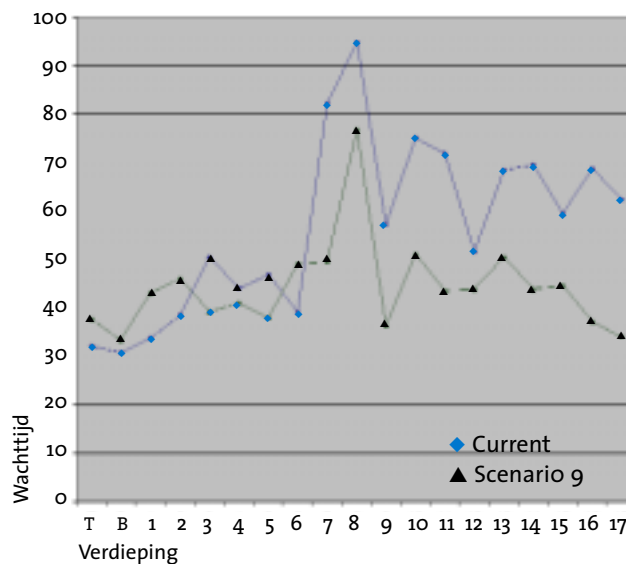
Tabel 2: Resultaten van de simulaties.

veel mensen vast in de lift stappen die dan eerst omlaag gaat alvorens omhoog te gaan. Het tweede aspect is de leegpositionering, het kiezen van de verdieping waar een lege lift moet wachten op oproepen. Theoretisch kan bewezen worden dat een verdeling daarvan over het gebouw de optimale positionering is om de eerstvolgende oproep zo snel mogelijk te bedienen. Dit wordt ook bij andere transportsystemen gebruikt, zoals taxi's. In drukke tijden heeft dit weinig effect, als het rustig is wel. Ook keken we naar de gebruikelijke even/oneven partitionering. Een partitionering werkt omdat je daarmee verkeer hoopt te bundelen, zodat een lift gemiddeld minder vaak stops maakt. Het optrekken en afremmen van een lift kost namelijk veel tijd. In de literatuur is een aantal artikelen te vinden dat aangeeft dat voor hoge gebouwen zo'n even/oneven partitionering handig is.

Resultaten van de simulatie

De variatie tussen de tien runs was redelijk klein. Na validatie en verificatie van de programma's konden we de alternatieven vergelijken. Tabel 2 geeft de resultaten van de simulaties. Voor scenario's die bepaalde verdiepingen niet bedienden, berekenden we de lifttijd naar de dichtsbijzijnde verdieping, zonder de tijd voor de trap mee te nemen. De beide simulatieprogramma's vertoonden een systematisch verschil in lifttijd van zo'n 10 seconden, dat moeilijk ergens op te traceren viel. Achteraf vermoeden we dat een andere modellering van de deur-open-tijd de bron kan zijn. De ene groep gebruikte een vaste tijd, bij de andere hing het af van hoeveel mensen erin of eruit gingen. Hoewel de verwachtingen voor beide hetzelfde zijn, is in geval van drukte de tweede langer, waardoor de liftprestaties achteruit gaan voor een meerderheid van de mensen.

Scenario 8 bleek de laagste totale wacht- en lifttijd te hebben. Helaas betekent dit dat mensen wel verder moeten lopen om de lift te pakken (de hal met de 6 liftkokers is zo'n 15 meter breed). Dit kan gecompenseerd worden door de deur-open-tijd te verlengen. Als we deze met 2 seconden verhogen (scenario 9) blijft dit nog het beste, maar bij 3 seconden meer (scenario 10) is de huidige opsplitsing even goed, met een iets lagere bedieningstijd (4 seconden lager). De 6de verdieping levert namelijk qua werklast een redelijke verdeling op. Een voordeel van overall stoppen is wel dat de wachttijd beter verdeeld is over de verdiepingen (Figuur 1).



Figuur 1: Wachttijd per verdieping.

Het blijkt dat de wachttijd voor de hoger gelegen verdiepingen langer is dan voor de lagere. Dit komt doordat de gemiddelde cycletijd (van B naar boven en weer terug) in het eerste geval 2,5 minuten is en in het tweede geval 1,5. Een piek in wachttijd bij de 8ste verdieping intrigeerde ons bijzonder, we konden het echter niet verklaren.

Tabel 2 laat zien dat er niet veel verschil zit tussen de scenario's met verschillende overstapverdieping (scenario's 4-7). Als we kijken naar de even-oneven verdeling, dan is er weinig verschil met de huidige scenario's. Voor de kleine liften bleek de theoretische

wachttijd van 24 seconden mee te vallen. Alleen als een lift buiten werking raakte, steeg de wachttijd naar 84 seconden. Hieruit concludeerden we dat geen speciale acties nodig waren (afgezien van het veranderen van de basisverdieping), zolang ze het maar allebei deden.

Follow-up

De resultaten zijn gepresenteerd aan de faculteitsdirecteur. Deze was erg enthousiast, meer dan de technische dienst die eigenlijk niets in een studentenproject zag. Later gaven we de presentatie aan OTIS die het vergeleek met het soort onderzoek dat ze in het algemeen doen. Het blijkt dat in veel gebouwen de ochtendpiek het belangrijkste is en dat er relatief weinig interverdiepingen-verkeer is vergeleken met ons H-gebouw. Omdat het lastig bleef om alle verdiepingen door elke lift te laten bedienen is er voor gekozen om alleen de basisverdieping te veranderen, zowel bij de grote als de kleine liften. De wachttijden zijn inmiddels iets verminderd, maar nog steeds moet je in de lunchtijd ruim tijd uittrekken om naar een andere verdieping te gaan. In ieder geval weten alle deelnemers nu veel beter hoe een lift werkt en de ervaring in de case was heel leerzaam.

DANKWOORD

De auteurs willen graag alle betrokken studenten noemen: Robert Rooderkerk, Ralf van der Lans, Peter-Jan Roes, Pim Ouwehand, Johan van Andel, John Nieuwenhuis. Ook zijn zij OTIS Nederland dankbaar voor haar medewerking.

LITERATUUR

Newell, G.F. (1998). Strategies for serving peak elevator traffic, *Transportation Review Part B*, 32(8), p. 582-588.

ARJEN TEBBENHOF is student econometrie en besliskunde aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en rondt momenteel zijn studie af na een stage bij TNO-INRO.
E-mail: arjen@tebbenhof.nl

ROMMERT DEKKER is hoogleraar bij Econometrie & Besliskunde van de Erasmus Universiteit Rotterdam.
E-mail: <rdekker@few.eur.nl>.

Het vorige nummer van *STATOR* was in zijn geheel gewijd aan ‘Statistiek in de rechtszaal’. Dit nummer is niet onopgemerkt gebleven. We ontvingen tal van reacties, bijval maar ook kritische opmerkingen. Twee daarvan willen we de lezers van *STATOR* niet onthouden. De reactie van de heer A. de Vos spitst zich toe op het gebruik van Bayesiaanse methoden. De heer J. Sittig wees ons er terecht op dat ditzelfde thema al in 1969 op de jaarlijkse Statistische Dag van de VVS onderwerp was van zijn lezing. Hieronder een paar citaten uit zijn lezing.

Gemiste kansen in de zaak Lucy de B.

AART F. DE VOS

Er zijn twee geleerden van wereldformaat die zich bezighouden met het verband tussen statistiek en rechtspraak, Phil Dawid en Jay Kadane (zie hun websites). Beiden zijn hier toe gekomen na zich eerst uitgebreid in alle aspecten van de Bayesiaanse statistiek te hebben verdiept. Dat kan geen toeval zijn, om Elffers te citeren. Mijn bemoeienis met de zaak Lucy de B (LdB) die veel publiciteit opleverde had eenzelfde achtergrond. Ik ben overtuigd Bayesiaan (zie mijn website) en heb daardoor al decennia lang meningsverschillen met de meeste collega's op het gebied van econometrie, kansrekening en statistiek. Toen mijn buurman Henk Tijms mij in maart vroeg of ik al eens gekeken had naar Elffers' uitspraak in de rechtbank over die kans van 1 op 342 miljoen ging ik zitten rekenen en mijn uitkomsten waren zo verbijsterend dat ik de publiciteit zocht. Vooral om Bayes te propageren, moet ik toegeven.

Voor de lezers die niet zo op de hoogte zijn: Bayesianen zijn van mening dat de conventionele statistiek zich op de verkeerde vragen richt. Niet op de vraag hoe groot de kans is dat LdB onschul-

dig is. Of dat een boekhouding niet klopt, gegeven de data (ik heb mij veel bezig gehouden met accountancy). Of wat de kansverdeling is van een parameter, gegeven de data. En dat zijn de vragen die beantwoord moeten worden wil statistiek coherent gebruikt worden ter ondersteuning van beslissingen. Men leze Bernardo(2003).

Het debat hierover duurt al vijftig jaar en de wereld is verdeeld in twee kampen. Het conventionele kamp hebben de enorme vooruitgang die de Bayesianen boekten vrijwel genegeerd. Nederland hoort bijna geheel tot het conventionele kamp. Wat het meest opvalt in de vele correspondentie die ik over de zaak LdB heb gevoerd, is dat achterhaalde vooroordelen tegen de Bayesiaanse aanpak nog springlevend zijn, ook bij wetenschappers waarvan ik dat niet verwacht had. Maar echt verbaasd heeft het mij niet: op Bayesiaanse conferenties zie je vrijwel geen Nederlanders.

Voor een bijdrage aan het themanummer van *STATOR* ben ik niet uitgenodigd, naar ik begreep omdat ik te polemisch zou zijn. Ook hier moet ik mij beperken tot 600 woorden. Dat is jammer. Ik heb inmiddels de voornaamste aspecten van de zaak LdB in kaart gebracht en er zeer uitgebreid aan gerekend. De geïnteresseerde lezer verwijst ik naar mijn website.

Hoogtepunt van het *STAtOR*-nummer is ELFFERS. Hij verwerpt de vraag naar de kans dat LdB het heeft gedaan 'verdachte heeft het gedaan of niet, daar zit geen kansruimte op'. Einde discussie. Jammer voor de rechter. Ook jammer is dat zijn berekeningen ervan uitgaan dat alle verpleegsters dezelfde kans hebben om met onverklaarbare sterfgevallen geconfronteerd te worden. Dat is niet waar en het maakt heel veel uit. Je kunt ervoor corrigeren, maar dat vergt een analyse van de data van tenminste tien soortgelijke ziekenhuizen. Ik heb de computerprogramma's klaarliggen en hoop nog eens zo'n dataset te bemachtigen.

MEESTER gaat slechts in op één wonderlijk aspect van de berekeningen van Elffers. Hij concludeert eigenlijk dat statistiek onbruikbaar is. Dat is juist voor de conventionele benadering. In Bayesiaans perspectief is zijn schalingsprobleem afwezig. De prior kan slaan op de kans dat een willekeurige verpleegster een seriemoord pleegt

of dat er in het betreffende ziekenhuis een seriemoordenaar is. Het resultaat is hetzelfde.

VAN ZWET denkt dat ik het heb over de kans dat LdB de schuldige is *gegeven dat er acht moorden zijn gepleegd*. Dit is een misvatting. Hij eindigt zijn stuk met de vrees voor een scenario van onschuldige veroordeling en daar gaat mijn analyse over. De kans dat dat gebeurd is, is volgens mij ongeveer 10%.

SJERPS maakt iets duidelijk van wat ik allemaal had willen zeggen. Zij wil echter de prior geheel aan de rechter overlaten, en volgens mij heeft die erg veel baat bij wat hulp.

LITERATUUR

Bernardo, J.M. (2003), Bayesian Statistics, <www.uv.es/~bernardo/valenciam.html>.

Dawid, A.P. (2000), Weighing evidence by Juries, <www.ucl.ac.uk/~ucako6d/reports.html>.

Vos A.F. de (1995), De godsdienstoorlog der statistici, <<http://staff.feweb.vu.nl/avos>>.

Rechtszekerheid bij onzekerheid

J. SITTIIG

Bewijs in het recht

[...]In het strafrecht zal men, althans in een rechtsstaat, ervan uitgaan dat de 'g-schade' (veroordeeling van een onschuldige) groter is dan de 's-schade' (niet veroordelen van een schuldige). De te toetsen hypothese is daarom de hypothese van de onschuld van de verdachte. De bewijslast ligt bij het Openbaar Ministerie. Als het bewijs niet geleverd wordt, volgt vrijspraak 'wegens gebrek aan bewijs'. [...]

De kans op het veroordelen van een onschuldige kan nooit tot nul worden teruggebracht, maar deze kans moet klein zijn en wel kleiner naarmate de zwaarte van het delict en dus van de straf groter is. Dit is de rechtszekerheid voor het indivi-

du. Maar ook de gemeenschap kan aanspraak maken op rechtszekerheid. Dit soort rechtszekerheid eist dat niet teveel misdadigers vrijuit gaan. Verzwaring van de eisen voor de bewijsvoering verhoogt de rechtszekerheid van het individu maar vermindert de rechtszekerheid van de gemeenschap; verlichting van de eisen heeft de omgekeerde uitwerking. [...]

Als wij het naieve geloof in de zekerheid van de bewijsvoering hebben verloren, moeten wij leren met de onzekerheden te leven. De modellen van besliskunde en wiskundige statistiek kunnen ons de richting wijzen waarin wij moeten zoeken naar de grootste mate van rechtszekerheid die op basis van de onvermijdelijke onzekerheid mogelijk is. [...]

Sittig, J. (1969). Rechtszekerheid bij onzekerheid, *Statistica Neerlandica*, 23(3), p.213-225.

Ledenenquête NGB 2003

Halverwege 2003 is door het NGB-bestuur een schriftelijke enquête gehouden onder de leden om na te gaan hoe we de inhoud van het NGB lidmaatschap kunnen verbeteren.

Hierbij een samenvatting van de resultaten. Gedetailleerde resultaten van de enquête kunt u vinden op de NGB website (www.ngb-online.nl).

Van de 338 leden hebben er 78 de enquête ingevuld, waarvoor dank! Deze feedback is voor ons van groot belang om onze taak goed te vervullen.

Aandachtsgebieden

Populaire aandachtsgebieden binnen de besliskunde zijn (met tussen haakjes het aantal respondenten dat dit heeft aangekruist): Simulation (40), Decision Support Systems (37), Transportation (36), Optimization Techniques (34), Logistics (32), Supply Chain Management (32), Manufacturing (31), Linear Programming (31), Scheduling (29), Economics (26), Combinatorics (25), Decision Analysis (24), Probability (24).

Beoordeling activiteiten

Ongeveer 2/3 van de respondenten beoordeelt de huidige inhoud van het lidmaatschap (publicaties, activiteiten) als goed, en 1/3 als matig.

Van het huidige aanbod aan activiteiten en publicaties geven de respondenten aan dat zij *STATOR*, externe promotie van de besliskunde, de lezingendagen (inclusief de Lunteren praktijkdag) en mogelijkheid tot netwerken het meest belangrijk vinden. Daarbij wordt de kwaliteit van *STATOR* en de lezingendagen door het merendeel als goed beoordeeld, terwijl de mogelijkheden tot netwerken en de externe promotie op kwaliteit als 'matig' beoordeeld worden.

De cursussen van de VVS, de publicaties *Statistica Neerlandica* en *Kwantitatieve Methoden*, en de VVS

Statistische Dag worden het minst belangrijk gevonden. De kwaliteit van *Statistica Neerlandica* en *Kwantitatieve Methoden* wordt door de meerderheid wel als goed beoordeeld.

Van de genoemde suggesties voor nieuwe activiteiten en diensten worden korting op boeken, lezingen aan het einde van de middag met een borrel of diner, adressenbestand op internet, en subsecties op vakgebied als meest positief beoordeeld. Het minst positief worden salariswijzer, vacaturebank en cursussen op vakgebied beoordeeld.

Ongeveer 2/3 van de leden vindt dat de activiteiten van de NGB evenwichtig verdeeld moeten zijn tussen theorie en toepassing, terwijl bijna 1/3 voornamelijk aandacht voor toepassingen wenst.

Aanvullende suggesties

- Verbetering van zichtbaarheid en profiel van het NGB naar buiten toe. Aangegeven wordt dat hierbij een duidelijke visie op het vakgebied nodig is, en een vergroting van de binding met de leden kan helpen.
- Meer aandacht voor werving van leden op hogescholen en universiteiten, en gericht aanbod van activiteiten en diensten voor deze groep leden (onder meer door samenwerking met studieverenigingen).
- Vergroten van beschikbaarheid informatie via website (adressenbestand met aandachtsgebieden per lid, nieuwsgroepen, vakinformatie en -literatuur, stages en vacatures voor studenten).

OPERATIONS RESEARCH 2004 International Conference

Van 1 tot en met 3 september vond in Tilburg de conferentie 'Operations Research 2004' plaats, georganiseerd door het Nederlands Genootschap voor Besliskunde (NGB) tesamen met haar Duitse zusterorganisatie de GOR. De GOR organiseert haar jaarlijkse internationale conferentie eens in het decenium bij haar buurlanden. In dit geval Tilburg nadat deze conferentie eerder in Eindhoven (1987) en Amsterdam (1993) heeft plaatsgevonden.

We kijken met veel plezier terug op deze conferentie. We hadden ruim 460 deelnemers vanuit 30 landen. De helft van de deelnemers kwam uit Duitsland, twintig procent uit Nederland en de rest van buiten de organiserende landen. Er waren een kleine 340 lezingen over 20 parallelsessies.

De speciale toepassingsdomeinen dit jaar waren *Reverse Logistics* ingeleid door Luk van Wassenhove en *OR in sports and entertainment* gepresenteerd en gedemonstreerd (!) door Gerard Sierksma. Als OR-topic dit jaar *Combinatorial Optimization* dat zeer fraai historisch werd neergezet door Lex Schrijver

vanuit de theoriekant en Martin Grötschel vanuit de praktijkkant. Naast deze plenaire sprekers hadden we voor elk van de parallelsessies een semi-plenaire spreker.

Begin 2005 verschijnen de *proceedings*. De deelnemers krijgen deze toegestuurd. Voor overige geïnteresseerden zijn exemplaren à 50 euro te bestellen bij <ilse@uvt.nl>. Raadpleeg voor een overzicht van de sessies en parallelsessies de website <www.uvt.nl/or2004>.

Tot slot wil ik allen die hebben bijgedragen aan deze geslaagde conferentie bedanken: de plenaire, semi-plenaire en overige sprekers, leden van het comité van aanbeveling, sessieleiders, voorzitters van de sessies, *program committee*, de leden van het bestuur van de GOR, het NGB-bestuur, sponsors, leden van het *organizing committee* en de studenten die operationele ondersteuning hebben gegeven.

Hein Fleuren

voorzitter conferentie en NGB voorzitter



Honorary Members prof. em. Christoph Schneeweiss (links) en dr. Jo Minnemann.



Uit handen van Thomas Kasper van SAP (uiterst links) ontvingen de Award Winners hun prijs. Het zijn (van links naar rechts) Eric Sucky, Jörn Schönberger, Alexander Hall, Gregor Dudek. Helmaal rechts staat Gerhard Waescher (voorzitter GOR).