

STAtOR

periodiek van de VVS jaargang 8 nummer 1, maart 2007

Pseudo cluster-randomisatie

Operations research voor duurzame
landbouw in Nigeria

Robuust mengen

Toen was optimisme heel gewoon

Nonrespons en online panels;
een ongemakkelijke waarheid

Toewijding en toewijzing

Juryrapport VVS-scriptieprijs

Efficiënt verzenden van digitale
bestanden over het internet

Wordt vervolgd: de zaak Lucia de B.

STATOR

Jaargang 8, nummer 1, maart 2007

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

Goos Kant (hoofdredacteur), Ana Isabel Barros, Mirjam Moerbeek, Gerrit Stemerding (eindredacteur), Fred Steutel, Hilde Tobi, Marnix Zoutenbier.

Kopij en reacties richten aan

Prof. dr. G. Kant (hoofdredacteur), Faculteit der Economische Wetenschappen van de Universiteit van Tilburg, Postbus 90153, 5000 LE Tilburg, telefoon 013 - 4668234, mobiel 06-11045089, <G.Kant@uvt.nl>.

Bestuur van de VVS

Voorzitter: A.W. van der Vaart <aad@cs.vu.nl>
Penningmeester: S. J. Koopman <s.j.koopman@feweb.vu.nl>
Namens de Bedrijfssectie (BDS):
P. Banens <banens@cqm.nl>
Namens de Biometrische Sectie (BMS):
A.H. Zwinderman <a.h.zwinderman@amc.uva.nl>
Namens de Economische Sectie (ECS):
P.H.F.M. van Casteren <casteren@fee.uva.nl>
Namens het Ned. Genootschap voor Besliskunde (NGB):
J. van de Klundert <j.vandeklundert@math.unimaas.nl>
Namens de Sectie Mathematische Statistiek (SMS):
P. Spreij <spreij@science.uva.nl>
Namens de Sociaal Wetenschappelijke Sectie (SWS):
J.K. Vermunt <j.k.vermunt@uvt.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

Monique van Hootegem, Moeflonstraat 5, 6531 JS Nijmegen, e-mail <hootegem@xs4all.nl>. STATOR verschijnt in april, juni, september en december.

Ontwerp en opmaak

Pharos / M. van Hootegem, Nijmegen

Uitgever

© Vereniging voor Statistiek en Operationele Research
ISSN 1567-3383

Inhoud

- 3** Variatie, optimisme en vooruitgang
- 4** Pseudo cluster-randomisatie: laveren tussen de Scylla en Charybdis van cluster-versus individuele randomisatie
Steven Teerenstra, René J.F. Melis, George F. Borm
- 8** Operations research voor duurzame landbouw in Nigeria
E.D. Berkhout en O. Coulibaly
- 14** Robuust mengen
Eligius M.T. Hendrix
- 18** Toen was optimisme heel gewoon - *column*
Fred Steutel
- 20** Nonrespons en online panels; een ongemakkelijke waarheid
Ineke Stoop
- 24** Toewijding en toewijzing - *column*
Onno Boxma
- 27** Juryrapport VVS-scriptieprijs: Maaïke Verloop winnaar, eervolle vermelding voor Edgar de Gelder
- 28** Efficiënt verzenden van digitale bestanden over het internet
Maaïke Verloop
- 32** Wordt vervolgd: de zaak Lucia de B.
Agenda



Variatie, optimisme en vooruitgang

De eerste *STATOR* van 2007 ligt voor u. Variatie in onderwerpen, maar vooral ook binnen de onderwerpen variatie in de toepassing en de gekozen aspecten van het onderwerp.

Twee artikelen zijn bijvoorbeeld gewijd aan het verzamelen van gegevens. Het belang van het verzamelen van goede gegevens zal voor de *STATOR*-lezer niets nieuws zijn, het pallet interessante vragen dat hierbij een rol speelt en de mogelijke antwoorden hierop wellicht wel.

Zo gaat het artikel over pseudo cluster-randomisatie in op de voor- en nadelen van verschillende randomisatie strategieën bij medisch onderzoek. Een relatief nieuwe methode die de voordelen van bekende aanpakken combineert wordt besproken. Daarnaast een artikel van Ineke Stoop over het probleem van non-respons bij het verzamelen van informatie. Ineke eindigt met een aantal praktisch goed toepasbare aanbevelingen.

De artikelen van Maaike Verloop en Onno Boxma hebben ook een sterke verwantschap. Maaike is de winnares van de VVS-scriptieprijs. Ze beschrijft de Toewijzing van capaciteit op het internet aan concurrerende datastromen. Uit het lovende juryrapport wordt duidelijk dat ze zich met grote Toewijding van haar taak gekweten heeft. Alle lof hiervoor. Daarnaast beantwoordt ze gedeeltelijk de vragen die Onno stelt, het verdient dus aanbeveling om eerst het artikel van Onno te

lezen. In een volgend nummer van *Sator* zal een artikel van Edgar de Gelder staan. Edgar heeft een eervolle vermelding gekregen van de jury.

Het artikel van Eligius Hendrix beschrijft de praktische problemen bij het maken van een goede longdrink. De conclusie ligt voor de hand: binnenkort in iedere kroeg een wiskunde-student achter de bar die gewapend met goede software de jonglerende barkeeper-macho van zijn sokkel verdringt. Wetenschap in de kroeg, wie durft nog te beweren dat wiskunde niet interessant kan zijn voor de jeugd!

Fred Steutel vraagt zich af waar het optimisme, de hang naar avontuur, en het vooruitgangsgeloof van vijftig jaar geleden gebleven zijn. Het antwoord op die vraag wordt gegeven door het artikel over duurzame landbouw in Nigeria. Het toepassingsgebied, Nigeria, is natuurlijk avontuurlijk genoeg. Daarnaast is het een prachtige uitdaging om met behulp van Operations Research enerzijds de productie van voedsel te verbeteren en anderzijds dat op duurzame wijze te doen zodat de bodem niet op korte termijn uitgeput raakt. Wat een vooruitgang zou het zijn als we erin zouden slagen om, zowel op de lange als korte termijn, voldoende voedsel te produceren daar waar er nu tekorten zijn!

De redactie



Foto: P. Bosch

PSEUDO CLUSTER-RANDOMISATIE

Laveren tussen de Scylla en Charybdis van cluster- versus individuele randomisatie

STEVEN TEERENSTRA, RENÉ J.F. MELIS, GEORGE F. BORM

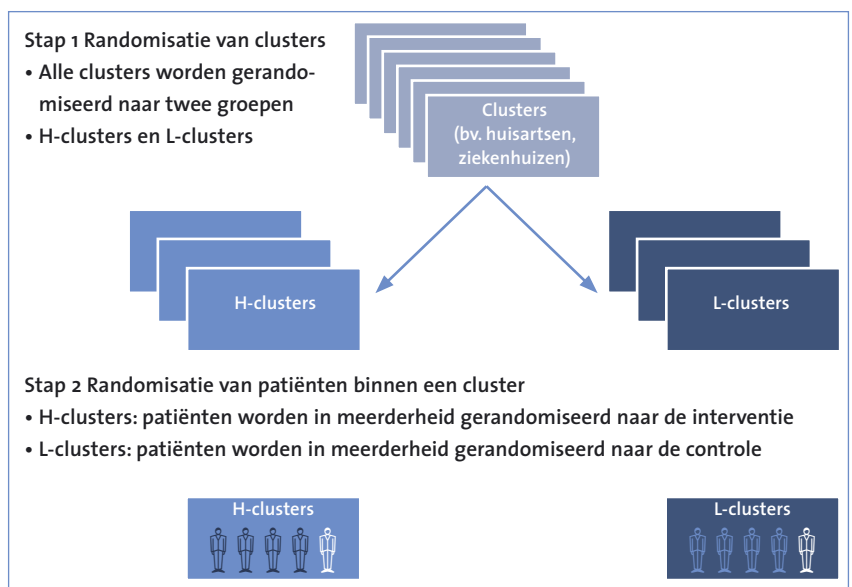
Terwijl je de ene valkuil probeert te vermijden val je soms in een andere. In die situatie kwamen we terecht bij het opzetten van de Dutch EASYcare studie. In deze studie inclusieerden huisartsen patiënten uit hun eigen praktijk. Het probleem was op welk niveau we zouden randomiseren. Als we patiënten zouden randomiseren (individuele randomisatie) was er risico op substantiële contaminatie, terwijl randomisatie van huisartsen (cluster-randomisatie) – hetgeen de gangbare oplossing is om contaminatie te beperken – problemen als selectiebias en achterblijvende rekrutering zou geven. Uiteindelijk kozen we voor een middenweg die cluster- en individuele randomisatie combineert: pseudo cluster-randomisatie. Aan de hand van de Dutch EASYcare studie zullen we uitleggen wat deze nieuwe randomisatiemethode inhoudt en hoe deze kan helpen om selectiebias en contaminatie te beperken.

Dilemma

De EASYcare studie (Melis et al 2005) had tot doel om de effecten van huisbezoek en coaching door geriatrische verpleegkundigen te onderzoeken bij ouderen met belangrijke ouderdomsproblemen zoals vallen en dementie. We wilden daarbij aantonen dat de kwaliteit van leven zou toenemen door de winst in gezondheid die met de interventie te verwachten was. Bij deze studie was het onmogelijk om de patiënten te blinderen voor de interventie: in de interventiegroep bezochten gespecialiseerde geriatrische verpleegkundigen de patiënten aan huis en in de controlegroep niet. De betrokkenheid van de huisartsen bestond uit regelmatige patiëntbesprekingen met de verpleegkundige. In het belang van de patiënt was het niet te voorkomen noch te verbieden dat bij zulke besprekingen ook onderdelen van de interventie ter tafel kwamen. Omdat de huisarts op deze wijze gedeeltelijk 'blootgesteld' werd aan de interventie, was het niet uit te sluiten dat de huisarts elementen van de interventie ook zou gaan toepassen bij controle patiënten (contaminatie).

In het algemeen zorgt contaminatiebias ervoor dat het verschil in effect tussen de interventie- en de controlegroep kleiner wordt. Om toch met voldoende onderscheidingsvermogen (power) een effect aan te kunnen tonen, moeten dan ook meer patiënten gerekruteerd worden. Verder leidt de aanwezigheid van contaminatie tot interpretatieproblemen van zogenaamde negatieve studies: was het onmogelijk om het effect aan te tonen omdat er geen effect was, of was het effect niet aantoonbaar omdat het contrast door contaminatie verdwenen was?

Als we cluster-randomisatie gebruikt hadden, dan hadden alle patiënten van één huisarts dezelfde behandeling gekregen: ofwel de huisbezoeken van verpleegkundige ofwel de gebruikelijke zorg van de huisarts. Cluster-randomisatie zou contaminatie inderdaad voorkomen hebben.



Figuur 1. Pseudo cluster-randomisatie

Helaas hield cluster-randomisatie ook een tweetal bedreigingen voor de interne validiteit in. Ten eerste leende de aard van de problemen waarvoor de interventie bedoeld was, zich niet voor uitstel van de behandeling en dus moest gelijk na indicatiestelling met de interventie gestart worden. Als cluster-randomisatie was gebruikt, zou de verwijzende huisarts hierdoor na inclusie van de eerste patiënt weten aan welke behandeling alle volgende patiënten toegewezen zouden worden. Dit zou de inclusiesnelheid in de controlegroep waarschijnlijk verminderd hebben; een belangrijke motivatie voor de huisartsen om mee te doen aan deze trial was juist de interesse in de nieuwe behandeling. Nog belangrijker was dat huisartsen – wanneer zij weet hebben van het behandelbesluit voor een individuele patiënt – deze informatie bewust of onbewust kunnen meewegen in de selectie van geschikte patiënten. Immers, zelfs met strakke inclusievoorwaarden blijft de geschiktheid van een individuele patiënt een kwestie van interpretatie, en voorkennis van de toewijzing kan dit beïnvloeden. Verschil in selectie van patiënten in de beide groepen zou tot

selectiebias hebben geleid en tot onvergelijkbare groepen.

Samenvattend was het methodologische dilemma dus: randomisatie van individuele patiënten zou contaminatiebias veroorzaken, terwijl cluster-randomisatie selectiebias en achterblijvende rekrutering zou opleveren.

Pseudo cluster-randomisatie

Bij pseudo cluster-randomisatie (Borm et al 2005) worden eerst de clusters gerandomiseerd in twee 'types': H (hoog) en L (laag) (figuur 1). Daarna worden de patiënten binnen de clusters op zo'n manier gerandomiseerd dat in H-clusters de meerderheid de interventie krijgt, terwijl in L-clusters de meerderheid de controle behandeling krijgt.

In de EASYcare studie hadden patiënten in de H-clusters 80 procent kans op de interventie, terwijl de kans op interventie voor patiënten in de L-clusters 20 procent was.

Hoe werkt pseudo cluster-randomisatie?

Bovenstaande aanpak biedt mogelijkheden om zowel selectiebias als contaminatie te beperken (Teerenstra et al 2006). De artsen (clusters) weten niet naar welk type cluster ze gerandomiseerd zijn en weten bovendien ook niet van te voren welke behandeling een volgende patiënt zal krijgen, omdat patiënten net als bij een individuele randomisatie gerandomiseerd worden. Deze onvoorspelbaarheid beperkt de kans op selectiebias. We hebben voor de EASYcare studie onderzocht of huisartsen aan het einde van de inclusieperiode de gebruikte randomisatieverhouding konden schatten. Dat was niet het geval. De grote meerderheid van de huisartsen schatte dat een 1:1 randomisatie was gebruikt; en de huisartsen die dachten dat een ongelijke randomisatieverhou-

ding was gebruikt waren hier over het algemeen minder zeker van.

Verder zijn er bij pseudo cluster-randomisatie geen clusters meer waarvan alle patiënten aan de controlebehandeling worden toegewezen. Dit voorkomt dat huisartsen minder, of niet meer, gemotiveerd zijn te includeren omdat ze weten dat geen enkele patiënt die ze includeren de (naar verwachting betere) innovatieve behandeling zal krijgen. In de EASYcare studie gaven de huisartsen aan dat ze een sterke voorkeur voor de interventiebehandeling hadden en meer dan de helft gaf ook aan dat ze minder patiënten zouden hebben geïncludeerd als ze hadden geweten dat al hun patiënten de controlebehandeling zouden hebben gekregen.

Hoe zit het tenslotte met vermindering van contaminatie? Het idee is dat pseudo cluster-randomisatie contaminatie vermindert door het aantal patiënten onder interventiebehandeling (de 'blootstelling') binnen één cluster te beperken. Dit vermindert contaminatie indien de diffusie van elementen van de interventie een geleidelijk proces is dat redelijkerwijs af zal hangen van het aantal interventiepatiënten in elk cluster. In de L-clusters krijgen de meeste patiënten de controlebehandeling en slechts een paar krijgen de interventie. In de EASYcare studie heeft dit de contaminatie beperkt, omdat er in de L-clusters voor de huisartsen veel minder mogelijkheden waren om bekend te geraken met de nieuwe behandeling. De contaminatie in de H-clusters is mogelijk erg groot geweest, omdat in deze clusters de meerderheid van de patiënten de interventie kreeg, maar de impact van deze contaminatie is beperkt, omdat het aantal patiënten dat überhaupt gecontamineerd kon worden klein is (immers: de controlepatiënten zijn in de minderheid in H-clusters).

Tenslotte is pseudo cluster-randomisatie soms zelfs een efficiëntere methode dan individuele of cluster-randomisatie. In de EASYcare studie was

de steekproefgrootte voor pseudo cluster-randomisatie kleiner dan voor individuele of cluster-randomisatie (Teerenstra et al 2006). Dit laatste blijkt niet ongebruikelijk te zijn (Borm et al 2005).

Discussie

Bij het opzetten van een studie moeten de voor- en nadelen van de beschikbare methoden tegen elkaar afgewogen worden. Het beperken van contaminatie bij pseudo cluster-randomisatie stoelt op de aanname dat de mate van contaminatie afhangt van de mate van 'blootstelling' aan de interventie. Of dit een redelijke aanname is, hangt af van de aard van de interventie. Voor de EASYcare studie lijkt dit redelijk, omdat de interventie een complexe samenwerking van de verpleegkundige, huisarts en geriater behelsde die niet makkelijk te kopiëren was. Deze aanname is echter aanvechtbaar als de interventie makkelijk aan te leren is. Bijvoorbeeld wanneer één enkele patiënt op de experimentele behandeling al leidt tot volledige contaminatie van alle andere patiënten, dan is het nodig om blootstelling geheel te voorkomen en is cluster-randomisatie de enige optie.

Het beperken van selectiebias doet pseudo cluster-randomisatie niet anders dan individuele randomisatie; namelijk door onvoorspelbaarheid in het proces van behandeltoewijzing te brengen. Weliswaar is voorspelbaarheid bij pseudo cluster-randomisatie groter dan bij individuele randomisatie, maar ze zal altijd kleiner zijn dan die van cluster-randomisatie. Aan het eind van de EASYcare studie bleek nauwelijks sprake van voorspelbaarheid van de behandeltoewijzing. Gedurende de studie was de onvoorspelbaarheid waarschijnlijk zelfs nog groter, omdat de huisartsen onbekend waren met de exacte randomisatieverhoudingen en het type cluster waar ze in vielen, en kennis over de randomisatieverhou-

ding enkel verkregen kan worden door veel deelnemers te includeren. De voorspelbaarheid is dus waarschijnlijk niet substantieel groter geweest dan in een individueel gerandomiseerde studie.

Conclusie

Wanneer de verwachting is dat individuele randomisatie tot contaminatie leidt, en cluster-randomisatie tot selectiebias en/of trage inclusie, dan biedt pseudo cluster-randomisatie een alternatief. Welke methode het beste is, hangt af van de eigenschappen van de specifieke studie, maar met pseudo cluster-randomisatie is een statistisch efficiënte methode toegevoegd aan de design toolbox.

LITERATUUR

- Borm G.F., Melis R.J.F., Teerenstra S., Peer P.G. (2005). Pseudo cluster randomization: a treatment allocation method to minimize contamination and selection bias. *Statistics in Medicine*, 24, 3535-3547
- Melis R.J.F., Eijken M.I.J. van, Borm G.F. et al (2005). The design of the Dutch EASYcare study: a randomised controlled trial on the effectiveness of a problem-based community intervention model for frail elderly people. *BMC Health Services Research*, 5, 65
- Teerenstra S., Melis R.J.F., Peer P.G., Borm G.F. (2006). Pseudo cluster randomization dealt with selection bias and contamination in clinical trials. *Journal of Clinical Epidemiology*, 59, 381-386

STEVEN TEERENSTRA <s.teerenstra@epib.umcn.nl> en GEORGE BORM werken als onderzoeker/biostatisticus respectievelijk universitair hoofddocent/hoofd biostatistiek bij de afdeling Epidemiologie en Biostatistiek, Universitair Medisch Centrum St Radboud, Nijmegen. Het onderzoek van de groep biostatistiek – methodologie van interventie-onderzoek – richt zich met name op efficiënte onderzoeksdesigns en analyses, cluster-randomisatie en statistische methoden voor het beheersen en evalueren van de kwaliteit van medisch handelen.

RENÉ MELIS is arts-onderzoeker en epidemioloog bij het Kenniscentrum Geriatrie van het Universitair Medisch Centrum St Radboud, Nijmegen. Zijn promotie-onderzoek richt zich zowel op de methodologische als health care aspecten van de Dutch EASYcare studie.



Een huishouden in Ikuzeh bestaat uit verschillende huizen van de bewoners en graansilo's (kleine ronde huisjes)

Operations Research voor duurzame landbouw in Nigeria

EZRA BERKHOUT EN OUSMANE COULIBALY

Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van een zogenaamd bio-economisch *Farm Household Model* en de toepassing daarvan op een dorp in Noord Nigeria. Dit model, gebaseerd op wiskundige programmering, wordt gebruikt om de effecten van verschillende productiestrategieën op de duurzaamheid van de bodems en verschillende indicatoren in het boerenhuishouden te begrijpen en te kwantificeren. Het bleek dat belangrijke productiedoelstellingen niet duurzaam waren met betrekking tot stikstof. Maar, duurzaamheid hangt sterk af van het gebruik van plantenresten. Productiestrategieën met weinig variantie zijn vaak minder duurzaam. Meer duurzame productiestrategieën leveren weliswaar een bescheiden winst, maar ze zijn onaanvaardbaar wat hun variantie betreft. Om tot betrouwbare aanbevelingen te komen wordt nu meer onderzoek gedaan; enerzijds om de verschillen te bepalen tussen de productiestrategieën van boeren in het gebied en, anderzijds, om het effect te simuleren van nieuw beleid en nieuwe technologieën.

Landbouw is voor het merendeel van de bevolking in de savannen van Afrika ten Zuiden van de Sahara (AZS) de belangrijkste bron van voedsel en inkomen. De meeste boerderijen zijn fami-

liebezit en voorzien vooral in het onderhoud van de familie, die zelf de benodigde arbeidskracht levert. Meestal is weinig geld beschikbaar om grondstoffen te kopen, zoals veredeld zaai-

goed of (kunst)mest. Zowel sociaal-economische omstandigheden (gebrekkige markten, zwakke infrastructuur, enz.) als biofysische (onvruchtbare grond, ongedierte en ziekten, onregelmatige regenval) zijn belangrijke belemmeringen voor de intensivering van de landbouw in AZS.

Het International Institute of Tropical Agriculture is een onderzoeksinstituut met zijn hoofdkantoor in Nigeria en bijkantoren in verscheidene andere landen in Afrika. Door wetenschappelijk onderzoek en innovatie wordt gezocht naar methoden om het leven van de arme plattelandsbevolking van Afrika te verbeteren. Wetenschappers van verschillende disciplines werken samen; de sociale wetenschappen spelen een sleutelrol bij het verzamelen en samenvatten van basisinformatie over het platteland en het bepalen van veelbelovende ingangen voor verbetering van de situatie van de plattelandsbevolking. Hierbij spelen kwantitatieve methoden een belangrijke rol.

Optimalisering voor boeren

Beslissingen van boeren ten aanzien van de productie, en andere beslissingen in het boerenhuis houden worden vaak gesimuleerd met behulp van mathematische programmering. Deze modellen, die in dit verband *Farm Household Models* (FHMs) worden genoemd, zijn gebaseerd op OR-methoden en worden veel gebruikt in de landbouweconomie (bv. Schweigman, 1985, Hazell en Norton, 1979). Urgente complexe kwesties, zoals bodemvruchtbaarheid in Afrika, vereisen een interdisciplinaire aanpak; vandaar de behoefte aan deze klasse van bio-economische optimaliseringsmodellen (voor een overzicht, zie Heerink et al, 2001). Deze modellen zijn gebaseerd op klassieke FHMs, maar zijn daarnaast uitgebreid met kennis en modellen uit de biofysische wetenschappen. Of ze nu beschouwd worden als economisch of OR-

gereedschap, hun waarde, zoals die blijkt uit hun groeiende toepassing, is gelegen in hun bijdrage aan het kwantificeren en simuleren van processen bij kleine boerenbedrijven.

Dit artikel illustreert de waarde van bio-economische modellen die zich richten op uitputting van de bodem. Voedselproductie is direct gekoppeld aan de voedingsbalansen van de bodems, zodat hun wisselwerking kan worden gemeten. De opzet is om eerst een basismodel te ontwikkelen om huidige productieprocessen te kwantificeren. In een later stadium zal dit model gebruikt worden om nieuw ontwikkelde technologieën (ter bevordering van duurzaam bodemgebruik) te testen en te vergelijken. Het uiteindelijke doel van het onderzoek is om beleid en technologieën te bepalen die leiden tot een positieve balans van voedingsstoffen in de bodems om zo de voedselproductie in de toekomst veilig te stellen.

Het is meestal niet a priori duidelijk hoe het optimaliteitscriterium voor boeren eruit ziet, omdat het vaak een combinatie is van diverse criteria. In deze studie worden geen nadere veronderstellingen gedaan over de precieze vorm van het optimaliteitscriterium, maar we onderzoeken de wisselwerking tussen de verschillende criteria en het effect daarvan op de vruchtbaarheid van de bodem.

Vijf verschillende criteria zijn omschreven waarvan verwacht wordt dat ze een belangrijke rol spelen, te weten: 1. bruto winst, 2. totale voedselproductie, 3. duurzaamheid van de bodemvruchtbaarheid, 4. variantie van de bruto winst, en 5. gebruik van arbeidskracht. De beslissingsvariabelen weerspiegelen in de eerste plaats de oppervlakte die in de boerderij gebruikt wordt voor de diverse mogelijke gewassen en technologieën, gebaseerd op zestien, in de regio veel voorkomende gewassen.

Om het gebruik van meer of minder mest en de mogelijkheden voor gemengde gewassystemen te kunnen modelleren is in het model een

iets groter aantal mogelijkheden tot grondgebruik opgenomen.

Verdere beslissingsvariabelen die zijn opgenomen: maandelijkse beslissingen over consumptie, verkoop en inkoop van geogste producten, het aangaan van kleine leningen, het huren van mankracht en het verrichten van betaald werk op andere boerderijen.

De verzameling restricties is zo gekozen dat zij een nauwkeurig beeld geeft van de werkelijke restricties die de boer aantreft. Het totaal van het gekozen grondgebruik mag niet groter zijn dan de omvang van het boerenbedrijf. De totale arbeidsbehoefte voor gekozen vormen van landgebruik mag niet groter zijn dan dan het totale arbeidsaanbod, inclusief loonarbeid, verminderd met werkzaamheden buiten het bedrijf. Verder moet aan de voedselbehoefte van het gezin in het onderzochte jaar worden voldaan. Bodemvruchtbaarheid is opgenomen als een evenwichtsvergelijking, waarbij de verandering per jaar wordt berekend in de concentratie van stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K), afhankelijk van het gekozen productieplan. Deze elementen zijn belangrijk voor een gezonde plantgroei en zijn vaak al in lage hoeveelheden aanwezig in Afrikaanse bodems waardoor het van belang is verdere afname te voorkomen. Figuur 1 laat de samenstellende onderdelen zien

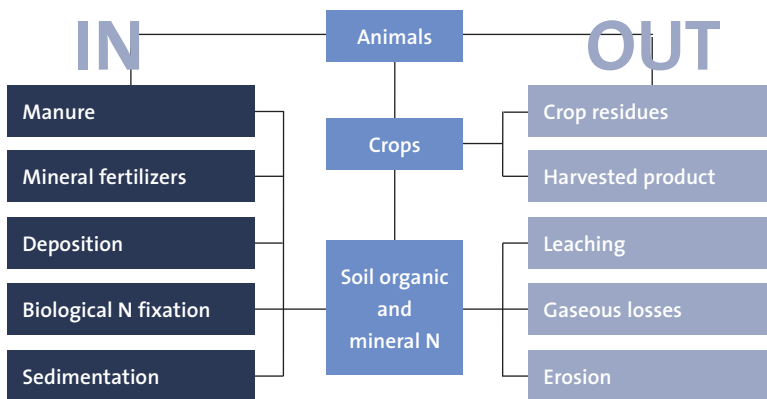
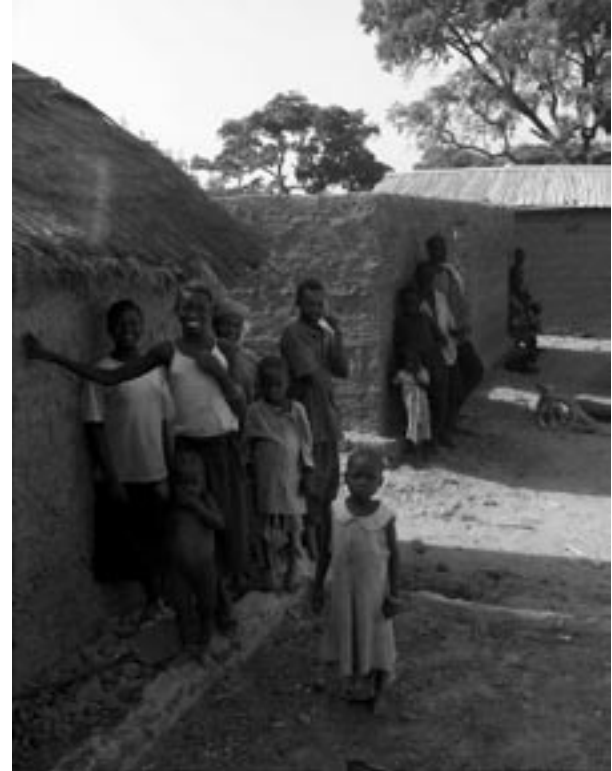


Figure 1: Components of a soil nutrient balance (adapted from FAO, 2004). The left boxes show factors positively contributing to a nutrient balance, while the factors in the right boxes contribute negatively.



Dorpelingen van Ikuzeh.

van dit evenwicht. We hebben verondersteld dat alle plantenresten van het land verwijderd worden, zoals meestal gebeurt.

Achtergrond.

Het model is toegepast op de boerenbevolking van het dorp Ikuzeh in de staat Kaduna in Noord Nigeria. Er is één regenseizoen, van mei tot oktober, en de totale regenval is ongeveer 1200 mm per jaar. Het dorp heeft betrekkelijk weinig inwoners en daarom zijn de boerderijen gemiddeld vrij groot. De belangrijkste markt ligt 15 kilometer ver weg langs een slecht onderhouden zandweg. De benodigde gegevens zijn verzameld gedurende onderzoeken in 2002 en 2005, en/of overgenomen van regeringsinstanties. Biofysische gegevens zijn verzameld in veldexperimenten, aangevuld met gegevens uit de literatuur (FAO, 2004, 2006).

Om verschillende boerderijtypen te onderscheiden, werden de boeren met behulp van statistische analyse in betrekkelijk homogene groepen verdeeld. Er zijn drie hoofdgroepen bepaald;

hun kenmerken zijn weergegeven in Tabel 1. De meeste boeren behoren tot de armste groep 1. Tot groep 2 behoren voornamelijk veehouders en de boeren in groep 3 zijn grootgrondbezitters. De groepsgemiddelden zijn gebruikt om drie ‘gemiddelde boeren’ te construeren.

Duurzaam of niet?

Het model werd geprogrammeerd in AIMMS 3.5 en opgelost voor elk van de drie ‘gemiddelde boeren’ en elk van de gespecificeerde doelen. In Tabel 2 is de resultaten-matrix te zien voor de gemiddelde boer van groep 1, met daarin de hoogstbereikbare waarde voor een criterium en de waarden die optreden als andere criteria wor-

den geoptimaliseerd. Het patroon voor de andere twee groepen is vergelijkbaar, al zijn de getallen natuurlijk anders.

De matrix laat zien dat het moeilijk is om duurzaamheid met betrekking tot de voor planten belangrijke voedingsstof stikstof te bereiken; er blijken negatieve balansen voor stikstof wanneer wordt geoptimaliseerd voor van energieproductie of bruto winst. Gezien het grote belang van deze doelstellingen voor veel boeren zullen de werkelijke plannen waarschijnlijk ook negatieve balansen vertonen. Voor andere voedingsstoffen in de bodems is het beeld nog minder rooskleurig. Het blijkt vooral moeilijk om een positieve fosforbalans te handhaven in een regime van strikte winstoptimalisering (gegevens niet getoond). Het model is ook toegepast in alternatieve scenario’s, waarbij

| | UNIT | CLUSTER 1 | CLUSTER 2 | CLUSTER 3 |
|-------------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|
| Number in cluster | # | 23 | 8 | 4 |
| Tropical Livestock Units owned | # | 0.52 | 1.70 | 0.91 |
| Total in household | # | 6.17 | 14.63 | 11.50 |
| The total stated value of assets | \$ | 23 | 44 | 23 |
| Total Common Farm Size | Ha | 4.28 | 5.73 | 16.12 |
| Total Fadama ^a Farm Size | Ha | 0.45 | 0.72 | 1.96 |

^a Fadama's are fields in river beds, suitable for growing crops such as rice and sugarcane

Table 1: Characteristics of the representative farm household

| Optimization of: | | Gross Margin (maximization) | Energy Production (maximization) | Nitrogen Gain ¹ (maximization) | Variance (minimization) | Labour (minimization) |
|-------------------------|-----|--------------------------------|--|--|----------------------------|--------------------------|
| <i>Resulting values</i> | | | | | | |
| Gross Margin | \$ | 2031 | 1252 | 992 / 1704 | 947 | 958 |
| Energy Prod. | MJ | 3588 | 4390 | 381 / 2414 | 820 | 298 |
| Nitrogen Gain | Kg | -33 | -95 | 47 / 47 | 31 | 46 |
| Standard Deviation | \$ | 784 | 625 | 353 / 2657 | 223 | 728 |
| Labour | Hrs | 3611 | 3839 | 1325 / 2968 | 1394 | 693 |

¹ Multiple solutions give the same optimal value of Nitrogen Gain. Displayed are, respectively, the solution with minimal standard deviation and maximal gross margin.

Table 2: Pay-off matrix for Cluster 1. FHM is solved for each of the objectives below, showing the optimal or ideal values and the worst outcomes, the anti-ideal values.

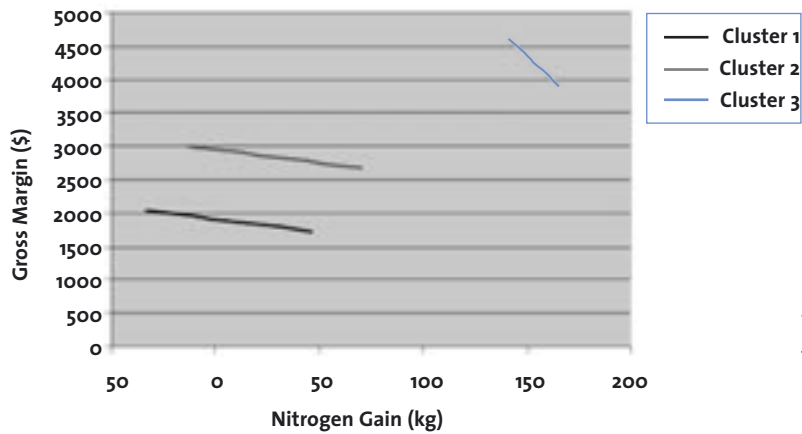


Figure 3: Trade-off between Gross Margin and Sustainability.

The lines represent the values of efficient farm plans, found by parametrization of the optimization model between the ideal values of both production criteria.

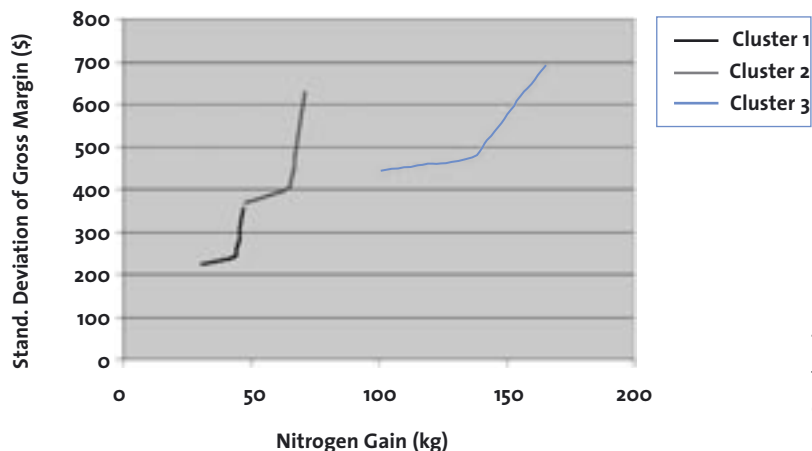


Figure 4: Trade-off between Variance and Sustainability.

The lines represent the values of efficient farm plans, found by parametrization of the optimization model between the ideal values of both production criteria.

alle plantenresten op de boerderij blijven. In de meeste gevallen werden de balansen van voedingsstoffen dan positief (data niet getoond). Dit laat zien dat het hergebruik van plantenresten (bv. als veevoer en mestproductie) een belangrijke sleutel is tot duurzaamheid van de bodem.

Vervolgens construeerden we wisselwerkingskrommen voor stikstoftoename tegenover bruto winst (Figuur 3) en voor stikstoftoename tegenover variantie (Figuur 4) op basis van het principe van Multi-Objective Programming (bv. Ballestro en Romero, 1998) om Pareto-effectieve productiepunten op te sporen. Dit is gedaan door één criterium-variabele te parametrizeren tussen de ideale en de minst ideale waarde en de andere objectvariable te optimaliseren. Figuur 3 laat zien dat hogere duurzaamheidsniveaus samen gaan

met een lagere bruto winst., maar het effect is niet erg groot, met een matige bruto winst bij een positieve voedingsbalans.

De invloed van duurzaamheid en variantie op elkaar is meer uitgesproken: kleine variaties in duurzaamheid leiden tot een aanzienlijke toename van de variantie. Dit zijn belangrijke resultaten, omdat minimalisering van de variantie beschouwd wordt als een belangrijke productie-doelstelling, in het bijzonder voor de armste boeren. Maar, voor de optimalisering van stikstof is er meer dan één oplossing (zie Tabel 2), één met een hoge bruto winst en een hoge variantie, en één met een lage bruto winst en een lage variantie. Geen van beide oplossingen lijkt aanvaardbaar voor mensen die meestal voor eigen gebruik boeren en risico's proberen te vermijden. Daarom



Huishouden in Ikuzeh omringd door velden voor landbouw. Hopen mest en compost zijn al verspreid over het veld in afwachting van de eerste regens

moet, naast winstgevendheid, beperking van risico's deel uit maken van technieken en beleid bij het stimuleren van bodemduurzaamheid.

Verder onderzoek.

Aanvullend onderzoek is nu gericht op het in de praktijk vaststellen van de verschillende productiedoelen bij boeren, omdat de opbrengst-matrix, naast de bovenbeschreven oplossingen, mogelijk nog vele andere Pareto-efficiënte oplossingen bepaalt. Bovendien zullen verschillende boeren verschillende optimale oplossingen kiezen, en er wordt naar gestreefd in het bio-economische model de doelen voor de verschillende typen boeren nauwkeurig vorm te geven. Hiervoor is OR-gereedschap van onschatbare waarde, zowel om verschillende productieplannen te kwantificeren als om de effecten van nieuwe beleidsmaatregelen en technologieën te simuleren voor verschillende indicatoren bij kleine bedrijven. De resultaten worden dan doorgegeven aan lokale en regionale partners voor verdere implementatie. Recent werd hiertoe een succesvolle seminar georganiseerd met lokale partners, waar de hierboven besproken methodologie en resultaten werden bediscussieerd.

Dit artikel had niet tot stand kunnen komen zonder dr. Nicoline de Haan (opzet van de gegevensverzameling) en Zacharia Jamagani en George Ucheibe (verzamen en invoeren van de feitelijke gegevens).

LITERATUUR

- Ballestero, E. en Romero, C. (1998). *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problems*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (2004). *Scaling soil nutrient balances; Enabling meso-level applications for African realities*. Rome.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations, Economics Division (FAO) (2006). *Nutritive factors* <www.fao.org/es/ess/xxx.asp>. Rome.
- Hazell, P.B.R en Norton, R.D. (1986). *Mathematical Programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan publishing, New York, N.Y..
- Heerink, N., van Keulen, H. en Kuiper, M. (editors) (2001). *Economic Policy and Sustainable Land Use*. Physica-Verlag, Heidelberg.
- Schweigman, C.(1985). *Operations Research problems in Agriculture in Developing Countries*. Khartoum University Press, Khartoum.

E.D. BERKHOUT werkt als kwantitatief-economisch onderzoeker/trainee in het Savanna-onderzoeksteam van IITA op het kantoor in Kano, Nigeria. Zijn functie is mogelijk gemaakt door het Ministerie van Buitenlandse Zaken en Ontwikkelingssamenwerking in Den Haag.
E-mail: <e.berkhout@cgiar.org>.

O. COULIBALY werkt als senior economisch onderzoeker in het Savanna-onderzoeksteam van IITA op het kantoor in Cotonou in de Republiek Benin.



ELIGIUS M.T. HENDRIX

Op welke manier kunnen wiskundige modellen worden ingezet bij het ontwerpen van mengsels, en hoe kan dat op een robuuste manier worden gedaan.

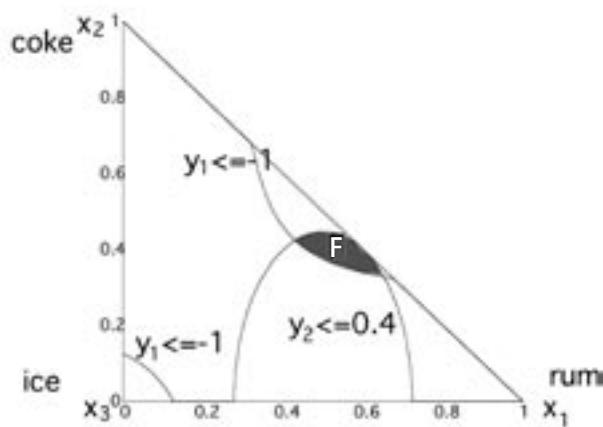
Blenden, mixen, receptuurbepaling zijn allemaal woorden voor het idee om een mix van grondstoffen samen te stellen die aan kwaliteitseisen voldoet, terwijl we in principe zo weinig mogelijk geld kwijt zijn aan de grondstoffen. Klassiek voorbeeld voor onze studenten is het samenstellen van een menu, terwijl aan nutriënteneisen wordt voldaan. Een dagelijkse berekening met standaard Lineaire Programmering (LP) software vindt plaats in de mengvoeder industrie. De receptuurbepaling vormt een basis voor vele logistieke uitdagingen m.b.t. voorraadbeheer, wat waar opslaan, productievulgorde etc. waar we vanuit Wageningen naar gekeken hebben. Nee, de aandeelhouders van Hendrix UTD zijn de rijke tak van de familie, daar hoor ik niet bij. Het samenstellen van portfolio's en toepassingen in

de petrochemische industrie zijn andere gebieden, waar het mengprobleem een basis vormt. Wiskundig betekent het dat je een punt zoekt op de eenheidssimplex.

Om een intuïtie te krijgen is het goed om te bedenken dat een mengsel van twee grondstoffen kan worden afgebeeld op een lijnstuk en van drie in een driehoek. Een standaardvoorbeeld dat ik gebruik in Figuur 1 bestaat uit het samenstellen van een rum-coke uit ijsblokjes, rum en cola. Zuiver zijn die ingrediënten niet te drinken (cola zonder rum bijvoorbeeld, bah), maar als mengsel wel. De hoekpunten van de driehoek representeren de zuivere ingrediënten en het inwendige de mengsels. Lineaire eisen zoals minimum nutriëntenverhoudingen kunnen met LP worden aangepakt. Zo'n model is een basis voor grotere uitdagingen.

Uitdagingen

Een van de uitdagingen kreeg ik van een bedrijf dat colloïdale oliën mengt. Het bedrijf dat me belde had uit proeven eigenschappen van het mengsel geschat wat bij gebruik van kwadratische respons modellen leidt tot het type contouren die ook in Figuur 1 staan. Het probleem was dat er moeilijk een oplossing te vinden was die aan de kwadratische eisen voldoet. Ze hadden heel het raam met printen van driehoeken beplakt. Hoger dimensionale problemen met meer dan 3 grondstoffen beginnend met tetraëders leidde tot een probleem dat op geen enkele manier op een sudoku lijkt. We hebben daar met diverse studenten naar gekeken, en afgezien van het praktische succes hadden we ook wetenschappelijke uitdagingen. Ik wilde met Branch-and-Bound tot een zekerheid komen dat we de oplossing hadden gevonden. We ontworpen een algoritme daarvoor, zie Hendrix en Pintér (1991). Een van de studenten wilde het eenvoudiger aanpakken en begon een equidistant rooster over het toegelaten gebied te programmeren. Hij liep al snel tegen de curse of dimensionality op. Pas in de nieuwe eeuw was ik in staat om een formule op te schrijven die het aantal roosterpunten weergeeft, zie Casado et al



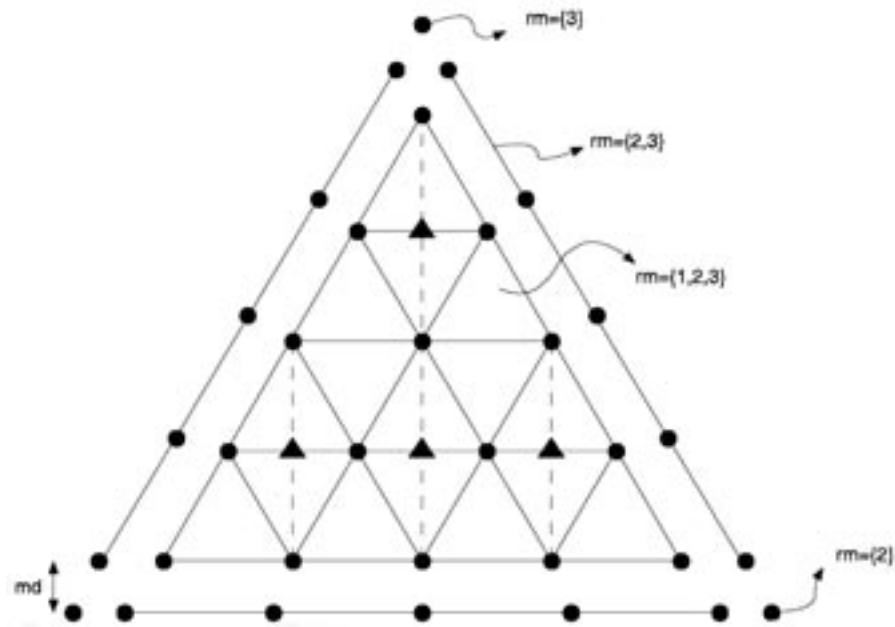
Figuur 1. Het samenstellen van een goede rum-coke

(2006). Ik vroeg me jarenlang af of die kwadratische constraints niet handiger aan te pakken zijn. Gelukkig kwam ik op een Lunteren bijeenkomst Etienne de Klerk tegen die spontaan over kwadratische functies op de unit simplex begon te praten. Het lijkt eenvoudig, maar is dus moeilijk, zie de Klerk en Pasechnik, 2007.

Nieuwe uitdagingen kwamen via hetzelfde type problemen in een samenwerking met Unilever; ze willen gezonde nieuwe margarines op tafel brengen. Niet alleen waren de kwadratische eigenschappen scherp gefit uit experimenten, maar men ging ook uit van een minimum dosering en men wilde weten hoeveel grondstoffen er minimaal nodig zijn. Minimum dosering met een minimale fractie MD en lineaire voorwaarden kan met mixed integer programmering worden aangepakt via semicontinuiteit. Het aantal nodige ingrediënten kan als een Pareto curve worden gezet tegen de minimale kosten die daarmee worden gemaakt. De kwadratische beperkingen en semicontinuiteit geven dat er in principe gezocht moet worden in de $2^n - 1$ facetten van de eenheids-simplex. Figuur 2 (zie de volgende pagina) uit het corresponderende artikel (Hendrix et al, 2006) schetst de 7 facetten van de 3 dimensionale unit simplex en geeft tevens een aantal roosterpunten weer. Het probleem is moeilijk gegarandeerd op te lossen als het aantal grondstoffen toeneemt. Momenteel zijn we aan het kijken naar verschillende vormen om met parallel rekenen voor een gegeven nauwkeurigheid oplossingen te kunnen bepalen.

Robuustheid en mengen

De perceptie van robuustheid heeft iets stevigs; het ontwerp moet blijven functioneren ondanks allerlei onzekere invloeden van buiten af. Er zijn verschillende concepten ontwikkeld. Men kan via de kansrekening kijken vanuit stochastische



Figuur 2. Toegelaten gebied mengen van $m = 1,2,3$ grondstoffen en minimum dosering md

programmering. Een succesvolle aanpak met veel impact in de industrie kan worden toegewezen aan Taguchi (1986). Een andere uitwerking is om te denken in een regio van variatie van onzekere parameters waarvoor alle ontwerpen moeten voldoen, onder andere bekend geworden door Ben Tal en Nemirovski (2001). Als we kijken naar de basale receptuurontwerp problemen in de mengvoeder industrie dan kunnen we denken aan de variatie die er van nature is in de nutriëntengehaltes van de grondstoffen. Daar bestaat literatuur over en diverse van onze studenten hebben er naar gekeken, maar praktisch is het geen big business; gemiddeld krijgen de dieren voldoende binnen. Wiskundig heeft Maarten van de Vlerk me wel eens uitgelegd dat de manier waarop die variatie in de matrix voorkomt niet veel afwijkt van klassieke variatie in de eisen vector. Gevoeligheden bleken veel groter te zijn in andere toepassingsgebieden die ik tegenkwam; die van colloïdale oplossingen, menselijk voedsel en elektrische schakelingen. Als daar iets te veel variatie voorkomt, hebben we geen toegelaten

oplossing meer.

Directe aanleiding om het robuustheid probleem te bekijken was een uitspraak door een chemisch ingenieur bij de prachtige uitkomsten van ons project over colloïdale oplossingen. 'Mooi verzonnen Hendrix, maar nu ligt jouw suggestie precies op de rand van de specificaties. Als we dat voorschrijven staat straks Klaas iets te lang te kletsen met Willem en hup, er zit 10 liter te veel in de tank en heel het product is *out of spec* (voldoet niet meer aan de eisen).' De variatie die we dus moesten bekijken is de afwijking van het geproduceerde product ten opzichte van het ontwerp. Eigenlijk wil je op een bewuste manier van de randen van je toegelaten gebied af blijven zitten. In gesprekken bleek de oneindig norm en euclidische afstand aan te sluiten bij de perceptie van variatie. De ontdekkingstocht ging via lineaire voorwaarden. Het blijkt dat de speling ten opzichte van de eisen gedeeld moet worden door de juiste norm om de afstand te berekenen, zie Hendrix et al, 1996. Later wees Edwin Romeijn me er op dat dit wiskundig kan worden generalisi-

seerd voor een willekeurige Hölder norm. So far so good. Maar 'Mr Dantzig, we all know that the world is nonlinear'. Hoe zit het dan met de kwadratische beperkingen? Laten we de robuustheid eerst beschrijven als de afstand tot de dichtstbijzijnde (minimalisatie) eis. De bijbehorende eerste orde voorwaarde ziet er in feite eenvoudig uit. Echter er kunnen meerdere optima zijn, er kunnen meerdere oplossingen zijn die geen optimum zijn en er is geen analytische oplossing. Wederom iets wat er eenvoudig uitziet, maar waar je aardig mee bezig kunt zijn.

Midden jaren negentig werkten we met een afdeling van Philips aan het robuustheidvraagstuk voor circuitontwerpen. Gebruikte weerstanden en condensatoren zijn aan een kleine variatie onderhevig, waardoor het eindproduct afwijkt van het ontwerp. We ontworpen een algoritme om de afstand tot een kwadratische eis iteratief te bepalen op een lokale manier vanuit een startpunt. Theoretisch heb je dan niet gegarandeerd de robuustheid te pakken. In Branch-and-Bound methoden zoek je net naar garantie: kan een deelverzameling een robuuste oplossing bevatten, ja of nee. De gedachte is dan dat je gedeelten van het toegelaten gebied kunt weggoeien waarvan via afschatting (bounding) is bewezen dat die geen toegelaten robuuste oplossing kan bevatten. Voor het project met Unilever gingen we hier naar op zoek. Hoe scherper de afschatting, hoe beter het algoritme. De robuustheid als de straal van de grootste toegelaten bol om een oplossing (=minimale afstand) is moeilijk te bepalen voor kwadratische eisen. Ze kan wel worden afgeschat door naar de grootste hellingshoek in een gebied of de grootste eigenwaarde te kijken, zie Casado et al, 2006. Op deze wijze valt op een niet-heuristische manier (merk op dat niet-heuristiek eigenlijk niet gedefinieerd is) met een bepaalde nauwkeurigheid worden bepaald of een mengsel-ontwerp probleem een toegelaten robuuste oplossing kan bevatten.

Tot slot

Het samenstellen van een goede longdrink kan met een zekere robuustheid gebeuren. De wiskundige uitdagingen kwamen voor mij toen eisen aan het eindproduct als kwadratisch werden geformuleerd. Praktisch gezien kun je dan al snel oplossingen genereren via Niet-lineaire Programmering of heuristieken. De echt leuke puzzel ontstaat als je gegarandeerd een globaal optimum van het geheel wil hebben dat dan ook nog gegarandeerd robuust is.

LITERATUUR

- Ben-Tal, A. en Nemirovski, A. (2001), Robust Solutions of Uncertain Linear Programs, *OR Letters*, Volume 25, pages 1-13
- Casado L.G., Hendrix, E.M.T. and García I. (2006), Infeasibility spheres for finding robust solutions of blending problems with quadratic constraints, Submitted to *Journal of Global Optimization*, *Mansholt Working paper 31*, Wageningen <www.sls.wau.nl/mi/mgs/publications/Mansholt_Working_Papers/MWP_titles.htm>
- Hendrix, E.M.T. and Pintér, J.D. (1991), An Application of Lipschitzian Global Optimization to Product Design, *Journal of Global Optimization*, 1, 389-401
- Hendrix, E.M.T., Mecking, C.J. and Hendriks, Th.H.B. (1996), Finding robust solutions for product design problems, *European Journal of Operational Research*, 92, 28-36
- Hendrix, E.M.T., Casado L.G. and García I. (2006), The semi-continuous quadratic mixture design problem, Accepted by *European Journal of Operational Research*, *Mansholt Working paper 24*, Wageningen <www.sls.wau.nl/mi/mgs/publications/Mansholt_Working_Papers/MWP_titles.htm>
- De Klerk, E. and Pasechnik, D.V. (2007), A Linear Programming Reformulation of the Standard Quadratic Optimization Problem, *Journal of Global Optimization*, 37, 75-84
- Taguchi, G. (1986), *Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes*, Asian Productivity Organization, Tokyo

ELIGIUS HENDRIX is universitair hoofddocent
Operationele Research aan Wageningen Universiteit.
Email: <Eligius.Hendrix@wur.nl>



Chevrolet Bel Air 1957

Toen was optimisme heel gewoon

FRED STEUTEL

Komt het omdat ik sinds mijn laatste verjaardag oud ben, dat de wereld zo saai en eenvormig lijkt, zo weinig avontuurlijk en optimistisch, of is het echt zo, zowel binnen de statistiek als daarbuiten?

Auto's

Lang geleden had ik een vriendje in Amsterdam dat kort na de oorlog van alle toen voorhanden auto's al uit de verte het merk kon herkennen. Er waren toen relatief veel Amerikaanse auto's: De Soto, Studebaker, Oldsmobile. Auto's hadden in die tijd, en nog vrij lang daarna, een eigen persoonlijkheid. Hun 'design' en uitbundige versieringen straalden zelfverzekerdheid en optimisme uit. In 1969 reed ik in Texas in een Chevrolet Bel Air van 1957, vol glimmende strippen en uitstulpingen, en met een tankdop die onder een chromen staartvin verborgen zat, geen pompbediende kon hem vinden. *The sky was the limit* en de benzine was goedkoop (nog geen *dime* – dollardubbeltje – de liter). Toppunten van auto-optimisme en geloof in de toekomst waren in de jaren vijftig

de ID (Idée) en de DS (Déesse) van Citroën; ze zien er nog steeds moderner, en zeker vrolijker, uit dan de auto's van nu.

De auto's van vandaag zijn bijna allemaal eender: saaie bakkies zonder kraak of smaak. Gebouwd om de voordurende prijsstijging van de benzine hoofd te bieden. Ze stralen zuinigheid, miezigheid en gebrek aan vertrouwen uit. De lompe SUV's zijn alleen maar een financieel verzet tegen deze zuinigheid; optimisme vertegenwoordigen ze niet. Zal de auto-industrie nog ooit de stralende jaren vijftig terugwinnen?

Statistiek

In de zelfde jaren vijftig werkte ik op het, nu jubilerende, Mathematisch Centrum (CWI). Dat was in die tijd het dorado van de parametervrije (verdelingsvrije) statistiek. Varianten van statistische procedures droegen Nederlandse namen: toetsen van Van der Waerden, Van der Vaart en Terpstra. Waar mogelijk werden verdelingsvrije alternatieven voor standaardmethoden toegepast: teken-toets, Wilcoxon, etc. Ook hier vierde het optisme

hoogtij. Er heerste een stemming van vernieuwing en natuurlijk verbetering. De tijd van de universeel veronderstelde normale verdeling was voorbij: weg met de Student-toets. Met Newton zeiden we toen: *'Hypotheses non fingo'* – wij verzinnen geen aannamen. Er werd ook zeer wantrouwig gekeken naar Bayesiaanse methoden: dat was allemaal speculatie – deden we niet aan mee. Het was misschien geen *Statistical Priesthood*, maar het kwam er dichtbij.

Dit is allemaal grondig veranderd, er is geen optimisme of idealisme meer in de statistiek. In zijn afscheidscollege in 1989 schrijft professor Doornbos: 'Wel ben ik vrij spoedig de betrekkelijkheid van de voordelen van de niet-parametrische boven de klassieke methoden gaan inzien.' Dat bedoel ik dus, toen al: platte doelmatigheid in plaats van idealisme.

Ook de afkeer van Bayesiaanse methoden is niet meer zo algemeen. Deze methoden zullen best af en toe hun nut hebben, mits verstandig en terughoudend toegepast, maar ze hebben inderdaad hun gevaren. Vroeger werden die gevaren geïllustreerd aan de hand van een Bayesiaans 'bewijs' dat de maan bewoond was, tegenwoordig vind je ze terug in 'berekeningen' in verband met de (on)schuld van Lucia de B. – je kunt er van alles uitkrijgen. Hier heeft het idealisme plaats gemaakt voor botte *Rechthaberei*.

Mathematisch Centrum

Werken op het Mathematisch Centrum was iets bijzonders. Runnenburg antwoordde, op Van Dantzig's vraag waarom hij op het MC wilde werken, dat hij het tijd vond om een baan te zoeken; zijn ouders hadden lang genoeg voor hem betaald. Van Dantzig repliceerde met 'als je een baantje zoekt, moet je niet hier zijn'; mogen werken op het MC was een voorrecht – en de salarissen waren navenant. Runnenburg werd toch aangenomen. Hij en ik zaten jarenlang samen op een kamer. Op het MC/CWI

werd toen, net als overal elders, nog op zaterdag tot half een gewerkt. Het gebeurde geregeld dat we om half drie nog bezig waren, omdat we een probleem wilden afronden. Doen ze dat daar nog?

Nu werken er 210 mensen op het CWI, er is een CAO en een waardevast pensioen. Mijn MC-pensioen is maar ongeveer een kwart waard van wat ik er voor betaald heb; het is pas sinds enkele jaren 'waardevast' geworden – op de geslonken waarde van toen. Toch ben ik nog steeds blij dat ik daar mijn carrière ben begonnen. Het waren opwindende en vooral optimistische tijden.

Het Mathematisch Centrum heet nu dus CWI, een afkorting die gestolen is door het Centrum voor Werk en Inkomen. Niemand van wat ik maar het MC blijf noemen, heeft daartegen geprotesteerd. Dat zou destijds – denk ik – niet zo makkelijk gegaan zijn. Labbekakken zijn we geworden.

Onderwijs, onderzoek en ik

Ook in het universitaire onderwijs en onderzoek, in de wiskunde in het algemeen en de statistiek in het bijzonder, heeft het pessimisme toegeslagen. Van het totale personeel is veel minder dan de helft belast met onderwijs en/of onderzoek. Het management en het 'ondersteunende' personeel nemen toe in aantal en salaris. Er zijn beleids-ondersteuners, subsidiedeskundigen, juridische adviseurs, projectschrijvers en 'Den Haag'-kenners. Onderwijs en onderzoek raken meer en meer gescheiden. Een groot deel van het personeel is in tijdelijke dienst. Het aantal proefschriften dat per jaar verschijnt (honderden) is omgekeerd evenredig met de gemiddelde kwaliteit ervan. Hetzelfde geldt voor de vele artikelen.

Het lijkt allemaal zonder idealisme en zonder optimisme. Of zou het toch een beetje aan mijzelf liggen?

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

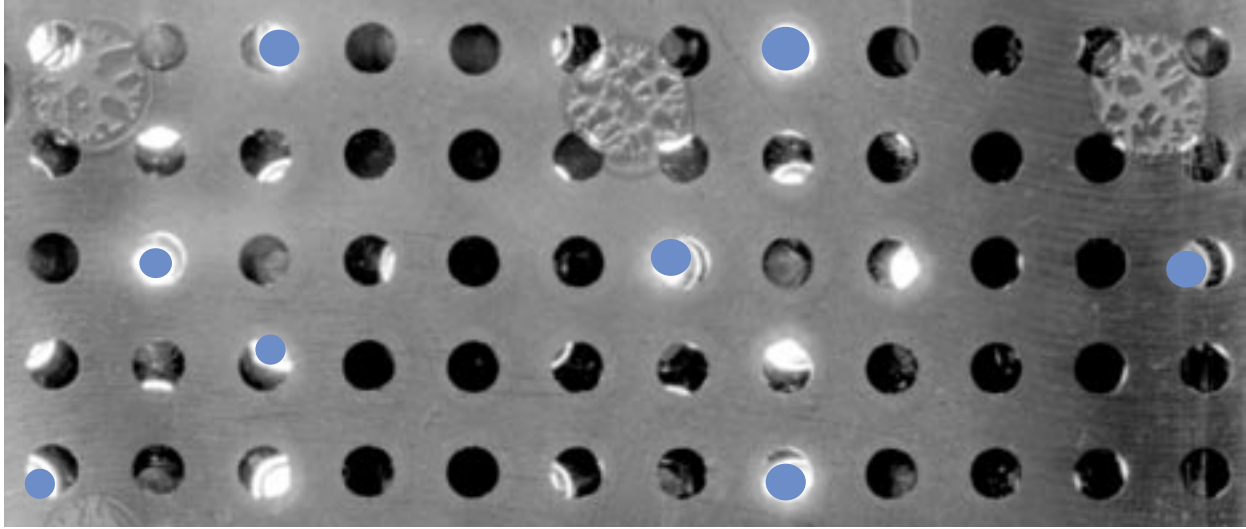


Foto: P. Bosch

Nonrespons en online panels Een ongemakkelijke waarheid

INEKE STOOP

Volgens de wet van de grote getallen kan men op basis van een relatief kleine, random getrokken steekproef met een zekere mate van nauwkeurigheid uitspraken doen over de gehele achterliggende populatie (Bethlehem, 2000). Dan moet wel over ieder element van die steekproef informatie beschikbaar zijn, ofwel – bij een survey onder de bevolking – moet iedereen in de steekproef ook daadwerkelijk de vragen in de vragenlijst hebben beantwoord. Nu is 100% deelname aan een survey in Nederland, en eigenlijk overal, een volstrekte illusie. Mensen kunnen vaak niet bereikt worden, omdat ze een geheim nummer hebben of veel niet thuis zijn, of hebben absoluut geen zin om een vragenlijst in te vullen, of een interviewer telefonisch te woord te staan of binnen te laten.

Er zijn vier manieren om met dalende respons om te gaan. Deze komen in dit artikel achtereenvolgens aan de orde. Ten eerste kan je de lage respons als een gegeven beschouwen en een grotere steekproef trekken om toch aan het benodigde aantal respondenten te komen. Ten tweede kan je beter je best doen, meer inspanningen verrichten om de respons om hoog te krijgen. Ten derde kan je de random-steekproef theorie overboord gooien en bijvoorbeeld gebruik maken van een online panel. En ten vierde kan je een stapje achteruit

zetten, nadenken waar het bij een onderzoek ook weer om gaat, en proberen met diverse middelen vertekening in surveys te minimaliseren.

Grotere steekproefomvang

Bij een grotere steekproefomvang haal je ook bij een lagere respons het benodigde aantal respondenten. Eventueel kan je de omvang van de steekproef alleen voor bepaalde groepen vergroten bij wie de respons meestal laag is, bijvoorbeeld voor inwoners van grote steden. Dit zou tot betere schatters leiden als nonrespons een random verschijnsel is gegeven bepaalde achtergrondkenmerken. Als grotestadsbewoners een homogene groep vormen, die alleen wat minder vaak thuis zijn, het te druk hebben voor interviews en liever niet een vreemde in huis laten, zou het helpen de steekproef in grote steden op te hogen. Als nonrespons in grote steden het gevolg is van andere factoren, zoals een grote studentenpopulatie of veel niet-Nederlandssprekenden in de grote stad, lost een grotere steekproef niets op. Stel dat studenten zelden thuis zijn en meestal in grote steden wonen. Dan krijg je met een grote steekproef wel veel meer stedelingen, maar nog steeds veel te weinig studenten. Of stel dat mensen met Turks of

Berbers als eerste taal vaak geen Nederlandstalige vragenlijst kunnen beantwoorden, en veelal in grote steden wonen. Ook dan is ophoging van grotestadsbewoners geen oplossing omdat de grotestadsbewoners die de lage respons veroorzaken nog steeds ondervertegenwoordigd blijven. Dit zal een groot probleem zijn in bijvoorbeeld onderzoek naar schoolkeuze, of interesse in de wetenschap, ofwel in die gevallen dat het onderwerp van het onderzoek samenhangt met de kans dat personen in de steekproef aan het survey meedoen. Uit deze voorbeelden blijkt dat een grotere steekproefomvang niet noodzakelijk tot betere onderzoeksresultaten hoeft te leiden. Hoe groot ook de steekproef, als belangrijke groepen buiten beschouwing blijven kan er een grote vertekening optreden.

Meer onderzoeksinspanning

Als je je niet wil neerleggen bij een lagere respons, kan je proberen het tijt te keren door extra inspanningen om beoogde respondenten te bereiken en ze over te halen mee te doen. Met veel inzet blijkt ook in Nederland een redelijk hoge respons mogelijk. In het Aanvullend Voorzieningsgebruik Onderzoek (AVO) van het SCP was de respons in 1991 43%. Door een betere aanpak, meer inspanningen om iedereen te bereiken en door het overhalen van weigeraars haalde GfK Panel Services Benelux bij latere peilingen een respons tussen de 60 en 70% (Stoop, 2005). Bij het European Social Survey scoorde Nederland veel beter dan verwacht (Stoop en Philippens, 2004), terwijl het Centraal Bureau voor de Statistiek in de afgelopen jaren spectaculaire vooruitgang heeft geboekt bij het behalen van respons (De Bie en Luiten, 2004, 2005).

Een hoge respons vereist verschillende soorten extra inspanningen. Goede interviewers verdienen een fatsoenlijk salaris en hebben training en voorlichting nodig. Om moeilijk bereikbare mensen toch te pakken te krijgen, is veel extra

reistijd nodig en moeten mensen ook 's avonds en in het weekend worden benaderd. Om mensen die eerst geweigerd hebben toch over te halen worden idealiter de beste interviewers ingezet die daarvoor extra beloond worden, terwijl de aarzelende deelnemers ook vaak extra presentjes krijgen. Extra monitoring vereist duurbetaalde supervisors, vastleggen van het veldwerkproces en analyse van de gevolgde strategieën. Deze investeringen verdienen zich gedeeltelijk terug – slechtgetrainde interviewers die er met de pet naar gooien kosten alleen maar geld – maar toch: hoge respons is niet goedkoop.

De afnemende bereidheid om aan onderzoek mee te doen leidt dus tot een aanslag op het onderzoeksbudget, een grotere kans op overschrijding van budgetten, en bovendien de kans dat een gewenst responspercentage toch niet gehaald wordt en een klein aantal gerealiseerde interviews. Des te teleurstellender is het feit dat uit Amerikaans onderzoek blijkt dat extra inspanningen meestal wel leiden tot een hogere respons, maar niet altijd tot uitkomsten die beter de kenmerken van de populatie weergeven (Curtin, Presser and Singer, 2000; Keeter et al, 2002; Teitler, Reichman and Sprachman, 2003). Uit analyse van het eerder genoemde AVO-onderzoek blijkt dat moeilijk bereikbare huishoudens wel degelijk verschillen van makkelijk bereikbare, maar dat de overgehaalde weigeraars eigenlijk vooral lijken op de mensen die ogenblikkelijk meedoen en veel minder op de standvastige weigeraars (Stoop, 2005). Uit ander nonresponsonderzoek van het SCP komt naar voren dat pogingen om de respons te verhogen het meest effectief lijken voor de groepen die toch al oververtegenwoordigd waren in de steekproef (Van Ingen, 2007; Verhagen, 2007). Groves (2006) komt op grond van een meta-analyse tot de conclusie dat de relatie tussen responspercentage en vertekening als gevolg van nonrespons niet erg sterk is. Dit betekent dat noch het aantal respondenten, noch de behaalde respons eenduidig de kwaliteit van een survey bepaalt.

Weg met de random steekproef

Het Nederlandse marktonderzoek heeft al lang vraagtekens gezet bij random steekproeven. Wegens de lage respons (vooral bij telefonisch onderzoek), de lange doorlooptijd en de hoge kosten van klassiek onderzoek is men zich in toenemende mate gaan richten op online panels. De leden van deze panels hebben toegezegd regelmatig, via internet, een vragenlijst in te vullen. Aan online panels en websurveys wijdde DANS (Data Archiving and Networked Services) onlangs een seminar¹. Een onderwerp van dit seminar is in een eerder nummer van dit blad al aan de orde gekomen. Das en Scherpenzeel (2006) zijn ingegaan op de kwaliteit van online onderzoek en hebben een panel geïntroduceerd dat gebaseerd is op een random steekproef waar ook niet-internetters aan mee kunnen doen. Dit is echter een grote uitzondering in panelland. Bijna altijd is er sprake van zelf-selectie en van een overmaat aan fanatieke internetgebruikers. Dit heeft natuurlijk invloed op de uitkomsten.

Veel indruk tijdens het DANS-seminar maakten Van Ossenbruggen, Vonk en Willems (2006) met de resultaten van het Nederlandse Online Panel Vergelijkingsonderzoek (NOPVO). Zij vergeleken de wijze van recruterende van respondenten in de grote Nederlandse panels, en slaagden er via een ingenieuze proefopzet – met de steun van de Marktonderzoekassociatie en de medewerking van de meeste grote Nederlandse opiniepeilers – in om samenstelling, respons en antwoordpatronen van 19 panels te vergelijken. In het NOPVO-onderzoek varieerde de respons tussen de 18 en 77%. De onderzoekers concluderen dat de hoogte van de respons afhangt van de manier waarop panelleden geworven zijn en de beloning, maar laten ook zien dat de respons geen duidelijke relatie heeft met belangrijke onafhankelijke variabelen. Veel panelleden doen mee aan meer dan een panel. Volgens een schatting wordt 80% van de

vragenlijsten op internet dan ook ingevuld door 20% van de mensen die lid zijn van een panel. Dit komt overeen met een recente schatting van Pring (2005) 'members of the panels of each of the 10 leading survey panel companies (in the US) belong on average to 7 other survey panels'.

Het Nederlandse NOPVO onderzoek oogstte bewondering op de recente ESOMAR-conferentie over panel research in Barcelona. Op deze conferentie bleek dat de responsgeneigdheid van panelleden achteruit holt: een respons van 20% was geen uitzondering. Het is echter de vraag hoe erg een hoge nonrespons bij een panel is. Je zou bij een panel een hoge respons kunnen creëren door alleen panelleden te benaderen die altijd enthousiast meedoen. Daarmee vergroot je de vertekening waarschijnlijk echter alleen maar. Het probleem is dat bij een online panel in zoveel fasen vertekening kan optreden dat de nonresponsfout daarbij in het niet valt. Lee (2004) onderscheidt vier stappen in online panels die ieder selectiviteit en vertekening kunnen veroorzaken, namelijk van populatie naar internet-populatie (dekkings-effect) naar access panel (recruterende-effect) naar steekproef (steekproef-effect) en respons (nonrespons-effect). Zelfs bij een hoge respons van panelleden kan de totale vertekening dus nog groot zijn, en zelfs groter dan bij een random steekproef met een lagere respons. Ook online panels zijn daarmee geen simpele oplossing voor het probleem van de nonrespons.

Wat te doen?

Een lage responsgeneigdheid, de hoge kosten van surveys, nonresponsvertekening ook na veel inspanningen en online panels die deze problemen niet oplossen: een lastige situatie, maar niet uniek voor Nederland. Groves (2006, pp. 668-669) geeft wanhopige survey-onderzoekers een aantal tips die ik hier graag overneem:

1. Het blind najagen van een hoge respons is niet verstandig; het weloverwogen proberen een hoge respons te behalen wel. Zet extra middelen in om groepen met een lage respons beter vertegenwoordigd te krijgen, en niet om nog meer mensen van een relatief makkelijke groep mee te laten doen (zie ook Groves en Heeringa, 2006).
2. Ook bij een lage respons hebben random steekproeven als voordeel dat de trekkingskansen bekend zijn en dat informatie over het steekproefkader kan worden gebruikt om te corrigeren voor nonrespons.
3. Het is verstandig om aanvullende gegevens te verzamelen over respondenten en nonrespondenten om te corrigeren voor nonrespons. Deze aanvullende gegevens hangen idealiter samen met responsgeneigdheid en met kernvariabelen uit het onderzoek.
4. Het is verstandig om na afloop van een survey verschillende manieren te vergelijken om te corrigeren voor nonrespons.
5. Het is verstandig om met gegevens uit verschillende bronnen de mate van vertekening als gevolg van nonrespons op kernvariabelen in te schatten. Dit kan met gegevens uit het steekproefkader, gegevens over het veldwerkproces, interviewer observaties, vervolgonderzoek onder nonrespondenten, wat ook maar kan helpen om licht te werpen op de relatie tussen de deelname aan surveys en onderzoeksvariabelen.

Er bestaat geen makkelijke manier om het probleem van de nonrespons op te lossen. Des te meer reden om het probleem van nonrespons serieus te nemen.

Noot

1. De presentaties op dit seminar zijn online beschikbaar via <www.dans.knaw.nl/nl/dans_symposia/12_oktober_den_haag_access_panels_en_online_onderzoek_panacee_of_slangenkuil/>

LITERATUUR

- Bethlehem, J. (2000) De Klassieke Steekproeftheorie – Een Overzicht. *Kwantitatieve Methoden*, jr. 21, nr. 65, pp. 69-84.
- Bie, S. de, & A. Luiten (2004). *Lifting Response Rates*. Paper presented at the 15th International Workshop on Household Survey Nonresponse, Maastricht, August 2004.
- Bie, S. de, & A. Luiten (2004). *Lifting Response Rates*, Part 2. Paper presented at the 16th International Workshop on Household Survey Nonresponse, Dalecarlia, August 2005.
- Curtin, R., S. Presser & E. Singer (2000) The Effects of Response Rate Changes on the Index of Consumer Sentiment. *Public Opinion Quarterly*, Vol. 64, pp. 413-428.
- Das, M., & A. Scherpenzeel (2006) Innovatief internetpanel van start. *STATOR*, jaargang 7, nr. 4, pp. 9-12.
- Groves, R.M. (2006) Nonresponse Rates and Nonresponse Bias in Household Surveys. *Public Opinion Quarterly*, Vol. 70, pp. 646-675.
- Groves, R.M., & S.G. Heeringa (2006) Responsive design for household surveys: tools for actively controlling survey errors and costs. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)* July 2006, Vol. 169, Issue 3, pp. 439-457.
- Ingen, E. van (2007) *Nonrespons in het tijdsbestedingsonderzoek van 2005*. Den Haag, SCP.
- Keeter, S., C. Miller, A. Kohut, R.M. Groves & S. Presser (2000) Consequences of Reducing Nonresponse in a National Telephone Survey. *Public Opinion Quarterly*, Vol. 64, pp. 125-148.
- Lee, S. (2006) Propensity Score Adjustment as a Weighting Scheme for Volunteer Panel Web Surveys. *Journal of Official Statistics*, Vol. 22, No 2, pp. pp. 329-349.
- Ossenbruggen, R. van, T. Vonk en P. Willems (2006) Het eerste grote Panelonderzoek. Online panels, goed bekeken. *Clou*, Nr. 24, Oktober 2006, pp. 28-24.
- Pring, D. (2005) Will the last respondent please turn off the Internet? *Research World*, January 2005, p. 14.
- Stoop, I.A.L. (2005) *The Hunt for the Last Respondent*. The Hague: Social and Cultural Planning Office.
- Stoop, I., en M. Philippens (2004) Non-respons in Nederland. Van zwart schaap naar witte raaf. In: SCP (ed.) *Hollandse taferelen*. Den Haag: SCP.
- Teitler, J.O., N.E. Reichman & S. Sprachman (2003) Costs and Benefits of Improving Response Rates for a Hard-to-reach Population. *Public Opinion Quarterly*, Vol. 67, pp. 126-138.
- Verhagen, J. (2007) *Robuuste meningen? Het effect van responsverhogende strategieën bij het onderzoek Culturele Veranderingen in Nederland*. Den Haag, SCP.

INEKE STOOP is hoofd van de afdeling Informatievoorziening en Automatisering van het Sociaal en Cultureel Planbureau. Zij doet onderzoek naar de kwaliteit van surveys, en in het bijzonder naar nonrespons. E-mail: <i.stoop@scp.nl>.

TOEWIJDING EN TOEWIJZING



Uit: Punch, or the London Charivari, 1892

ONNO BOXMA

Vorige week heb ik drie lezingen bijgewoond van Mor Harchol-Balter: Eén bij EURANDOM in Eindhoven en twee tijdens het jaarlijkse beslis-kundecongres in Lunteren. Ik ken weinig sprekers die zo goed in staat zijn, een breed publiek gedurende de volle lezing te boeien. Mor is hoogleraar aan de Carnegie-Mellon University en houdt zich bezig met de prestatie-analyse van computersystemen; meer in het bijzonder is zij geïnteresseerd in de optimale toewijzing van jobs aan processoren. Dit gebied heeft zij de laatste jaren nieuw leven ingeblazen. Wiskundig is ze niet uitzonderlijk sterk, maar dat wordt gecompenseerd door een enorme intuïtie, niet aflatende nieuwsgierigheid en toewijding. Die toewijding bleek ook bij de voorbereiding van de lezing.

Op weg in de auto van EURANDOM naar Lunteren, met haar meegereisde partner en mij, was ze nog volop aan het schaven aan kleine nuances in de *slides*, die al tot in detail uitgedacht waren en later die dag met onstuitbaar enthousiasme en veel gevoel voor timing gepresenteerd werden. Hieronder een paar flarden van de problemen die ze besprak. Leuke problemen, heel relevante problemen, en verrassend lastig als het erom gaat goede intuïtie te ontwikkelen.

Stochastische toewijzingsproblemen

We beginnen gemakkelijk. Bekijk een M/G/1-wachtrij. Dus: aankomsten volgens een Poissonproces; onafhankelijke, eender verdeelde bedieningstijden; en één bediende die de klanten volgens een of andere bedieningsdiscipline afwerkt. Denk maar aan een éénmans kapperszaak. Gevraagd: welke bedieningsvolgorde minimaliseert de gemiddelde verblijftijd van de klanten in het systeem? Figuur 1, een *slide* van Harchol-Balter, vermeldt vijf opties:

Scheduling Single Server (M/G/1)

Poisson arrival process → [Diagram of a queue with a server] → Load $\rho < 1$ → Huge Variance

Question: Order these scheduling policies for mean response time, $E[T]$:

1. FCFS (First-Come-First-Served, non-preemptive)
2. PS (Processor-Sharing, preemptive)
3. SJF (Shortest-Job-First, a.k.a., SPT, non-preemptive)
4. SRPT (Shortest-Remaining-Processing-Time, preemptive)
5. LAS (Least Attained Service, a.k.a., FB, preemptive)

1. First-Come-First-Served (FCFS);
2. processor sharing (bedien alle klanten tegelijk – een heel gezellige kapperszaak die snel failliet zal gaan);
3. kortste-klant-eerst;
4. kortste resterende bedieningstijd eerst (zelfs preëemptief, dus onderbreek de klant die nog een lange weg te gaan heeft als een ‘kleine’ klant arriveert); en
5. de klant met minste al verkregen bediening eerst.

Voor wachtrijspecialisten is dit een bekend probleem. Als de bedieningstijdverdeling exponentieel is (‘geheugenloos’), dan doet de bedieningsvolgorde er niet toe, anders wel. Kortste resterende bedieningstijd eerst (SRPT geheten) is de winnaar. SRPT minimaliseert immers het gemiddelde aantal klanten in het systeem, doordat het steeds de klant aanpakt die het snelste klaar is.

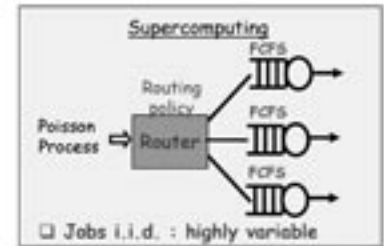
De formule van Little zegt vervolgens dat niet alleen het gemiddelde aantal klanten minimaal is, maar ook de grootte waar het om ging, de gemiddelde verblijftijd (zie kader).

Als de bedieningstijden een grote variatiecoëfficiënt vertonen (wat hoogst relevant is bij CPU tijden van UNIX jobs, en bij de grootte van web files), dan is FCFS de slechtste van de vijf. De reden: als een heel grote job aan de beurt is, dan lijden bij FCFS alle andere jobs daar heel lang onder.

Nu een lastiger probleem. Weer een Poisson aankomstproces, en algemeen verdeelde bedieningstijden met een heel grote variatiecoëfficiënt. Maar nu zijn er K parallelle processoren (of kappers). Een router (de baas van het spul) wijst jobs toe aan processoren. Uit de vele problemen die Harchol-Balter aansneet noem ik er één. Stel dat elke processor/kapper FCFS bedient wat deze toegewezen krijgt. Alle kappers zijn verder gelijk, en jobs worden niet onderbroken. We weten hoe lang een job nodig heeft. Welk van de volgende vijf toewijzingsregels is de beste (zie Figuur 2)?

Q: Compare Routing Policies for E[T]?

1. Round-Robin
2. Join-Shortest-Queue
Go to host w/ fewest # jobs.
3. Least-Work-Left,
equivalent to M/G/k/FCFS
Go to host with least total work.
4. Central-Queue-Shortest-Job
(M/G/k/SJF)
Host grabs shortest job when free.
5. Size-Interval Splitting
Jobs are split up by size among hosts.



1. Round-robin;
2. stuur naar de kortste rij;
3. stuur naar de rij met de kleinste resterende hoeveelheid werk;
4. een processor die klaar is met een job pakt de kleinste job uit de wachtkamer; en tot slot
5. *size-interval splitting*, d.w.z., de router wijst jobs met een lengte tot L_1 toe aan processor 1, jobs met een lengte tussen L_1 en L_2 aan processor 2, enz.

Eerst maar even het kader, dan kunt u ondertussen nadenken.

De formule van Little is de bekendste formule uit de wachtrijtheorie. De formule luidt: $L = \lambda W$, en zegt dat het gemiddelde aantal klanten L in het systeem het product is van de aankomstintensiteit λ en de gemiddelde verblijftijd W . Het volgende geldargument, dat ik van mijn collega Tijms heb geleerd, maakt duidelijk waarom de formule van Little geldt in nagenoeg elke wachtrij. Stel dat de beheerder van het wachtrijsysteem 1 euro betaalt aan elke klant voor elke tijdseenheid die deze in het systeem doorbrengt (dat lijkt misschien de omgekeerde wereld; maar als u mijn kapsel heeft gezien, dan bent u het met me eens dat het redelijk is als de kapper mij betaalt in plaats van omgekeerd).

De beheerder is nu gemiddeld L euro per tijdseenheid kwijt. De beheerder kan echter ook als volgt uitbetalen: geef een arriverende klant bij aankomst direct net zoveel

euro's als zijn verblijftijd zal bedragen. Dan is de beheerder gemiddeld W per klant kwijt, en omdat er gemiddeld λ klanten per tijdseenheid arriveren, moet de beheerder gemiddeld λW euro per tijdseenheid spenderen. Dus geldt $L = \lambda W$.

Uit dit argument valt te begrijpen dat $L = \lambda W$ neerkomt op het overeenstemmen van twee manieren van berekenen van de oppervlakte onder een kromme.

Het zou me niet verbazen als Little's artikel¹ uit 1961, waarin hij zijn formule bewijst, het meest geciteerde artikel uit de wachtrijtheorie is.

Volgens Web of Science is het 553 keer geciteerd. Een jaloersmakend aantal, zeker als u bedenkt dat het resultaat als *folk theorem* al jaren bekend was, en Little's bewijs niet helemaal correct is.

Little heeft overigens meer veel geciteerde artikelen op zijn naam staan, in andere gebieden van de besliskunde (zie bv. Little², met 273 citaties). Volgens Web of Science is zijn h-index 16, wat wil zeggen dat 16 van zijn artikelen minstens 16 keer zijn geciteerd, maar dat hij niet 17 of meer artikelen heeft die minstens 17 keer zijn geciteerd. Die h-index of Hirsch-index is een aardige maat, die zowel veelschrijvers die door niemand worden gelezen als eendagsvliegen 'ontmaskert'. Veel korrels zout zijn wel op hun plaats. Zo werkt de h-index in het voordeel van de oudere onderzoeker, en is ook deze index sterk vakgebonden.

Een – overigens zeer prominente – Eindhovense collega uit de chemie heeft een duizelingwekkend hoge h-index van 60; één van zijn 29 artikelen uit 1999 is al 927 keer geciteerd.

Andrew Wiles daarentegen heeft een schamele h-index van 11, en zelfs zijn artikel³ werd 'slechts' 273 keer geciteerd.

Bij toeval ontdekte ik dat naar het enige artikel van mijn huisarts, die geen wetenschapper is, tien keer zo vaak is verwezen als naar mijn beste artikel. Ooit werkte hij mee aan een onderzoek naar een nieuw geneesmiddel, dat in *Lancet* werd beschreven. Ik durf hem niet te zeggen dat ik ook wel eens wat heb geschreven.

Nu dan het antwoord op de toewijzingsvraag. Round-robin is de slechtste, ook al reduceert deze strategie de variantie van de aankomstintervallen bij een processor. Naar de kortste rij sturen is

beter, en klinkt aantrekkelijk bij supermarkten, maar als u de inhoud van de winkelwagentjes zou kunnen vergelijken, dan zou u (3) boven (2) prefereren. Bedenk dat we hier kijken naar bedieningstijden die nogal woest schommelen (grote variatiecoëfficiënt), en dan is (3) soms veel beter dan (2).

Toch kan ook (3) nog verre overtroffen worden. Het gaat immers voor één keer eens niet om wat het beste is voor u, maar voor de gehele gemeenschap: ons doel is minimalisering van de gemiddelde verblijftijd van een willekeurige klant, dus volgens Little nog steeds het gemiddelde aantal klanten in het systeem.

Dan is (4) nog beter (al zou het in een supermarkt sociaal onacceptabel zijn). De beste van de vijf blijkt echter (tot mijn aanvankelijke verassing) size-interval splitting te zijn, als je dat splitten handig genoeg aanpakt. De paar grote klanten zitten dan alleen elkaar dwars, en de vele kleine klanten hebben een kleine gemiddelde verblijftijd.

Tot slot de vraag: is er iets dat nog beter is? Het antwoord is ja, al moet de toewijzer daar wel wat meer werk voor doen dan de jobs in lengteklassen indelen. Stel dat je twee processoren hebt, één voor korte jobs en één voor lange. Als die 'lange' processor even niets te doen heeft, dan zend je daar gauw een korte job heen. Een toegewijde toewijzer kan zo nog veel extra winst boeken!

LITERATUUR

1. J.D.C. Little (1961). A proof for the queueing formula $L = \lambda W$. *Operations Research* 9, 383-387.
2. J.D.C. Little et al. (1963). An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research* 11, 972-989.
3. A. Wiles (1995). Modular elliptic-curves and Fermat's last theorem. *Annals of Mathematics* 141, 443-551.

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

Maaïke Verloop winnaar VVS-scriptieprijs 2006



De jaarlijkse VVS-scriptieprijs voor Statistiek en Operationele Research werd na de Statistische Dag van 1988 ingesteld om bij studenten de belangstelling te bevorderen voor onderzoek naar en toepassing van praktisch relevante methoden uit de statistiek en de operationele research.

Voor de VVS scriptieprijs 2006 mocht de jury 10 inzendingen ontvangen. De jury vond het dit jaar vrij lastig om tot een besluit te komen. Uiteindelijk is Maaïke Verloop van de vakgroep Wiskunde van de Universiteit Utrecht de winnaar van de VVS scriptie prijs 2006 geworden.

Het juryrapport was zeer lovend. De jury is van mening dat het werk van Maaïke Verloop met kop en schouders uitsteekt boven de anderen wat betreft theoretische diepgang en wetenschappelijk niveau. De resultaten omtrent stabiliteit condities voor een aantal size-based bediening strategieën in resource-sharing netwerken zijn helder uiteengezet en getuigen van originaliteit.

In haar werk laat Maaïke Verloop zien dat directe uitbreidingen van een aantal bediening disciplines, die goed presteren in single-server systemen, mogelijk minder efficiënt gebruik maken van de beschikbare capaciteit in multi-resource systemen en zodoende niet tot minimale vertragingen leiden.

De jury van de VVS-prijs is met name te spreken over het hoog wetenschappelijk niveau van de scriptie, waarvan een deel inmiddels is verschenen in een internationaal tijdschrift.

Voor STATOR schreef Maaïke Verloop een artikel dat in dit nummer is opgenomen.

Eervolle vermelding voor Edgar de Gelder

Edgar de Gelder van de vakgroep Econometrie van de Erasmus Universiteit Rotterdam ontving een eervolle vermelding. De motivatie voor de keuze van de jury kan als volgt worden samengevat.

Het onderzoek van Edgar de Gelder heeft als onderwerp de productie van rolgordijnen en focust daarbij op kostenreductie. Een groot gedeelte van deze kosten bestaat uit materiaalkosten en dus richt de kostenreductie zich op het verminderen van de onvermijdelijke verkwisting van materiaal. De scriptie bestudeert de een en twee-dimensionale snijprocessen die toegepast worden in het productieproces van de rolgordijnen.

Het probleem is een zogenoemd cutting stock problem. Edgar de Gelder breidt dit onderzoeksgebied uit door de ontwikkeling van twee nieuwe heuristieken. De scriptie toont aan dat, in vergelijking met de praktijk, toepassing van deze heuristieken zal leiden tot een behoorlijke reductie van snijverliezen die op kunnen lopen tot zo'n 13 procent. Daar komt nog bij dat de implementatie van deze heuristieken zal resulteren in een versnelling van de productie.

De conclusie van de jury van de VVS-prijs is dat Edgar de Gelder een helder geschreven scriptie geproduceerd heeft. Hierin zijn nieuwe heuristieken ontwikkeld die een directe praktische toepasbaarheid hebben.

Ook Edgar van Gelder schreef een artikel; zijn bijdrage zal in een volgende STATOR worden geplaatst.



Efficiënt verzenden van digitale bestanden over het internet

MAAIKE VERLOOP

Internet is deel van ons dagelijks leven geworden. Denk maar aan activiteiten zoals e-mailen, chatten, surfen over het internet, bellen en downloaden van muziek en films. Al deze toepassingen genereren een stroom aan data die over het internet getransporteerd moet worden. Bij het verzenden van een digitaal bestand wordt gebruik gemaakt van de capaciteit van de 'routers' die op het pad van zender naar ontvanger liggen. In elk van deze routers is echter kruisend dataverkeer aanwezig vanuit andere delen van het netwerk dat ook over capaciteit wil beschikken. Vanwege het groeiend aantal gebruikers is het van belang om de beschikbare capaciteit in het internet zo efficiënt en eerlijk mogelijk te verdelen onder de concurrerende datastromen, zodat gebruikers tevreden zijn met de snelheid van het internet.

Massoulié en Roberts (2000) hebben voor het internetverkeer een stochastisch netwerkmodel geïntroduceerd. Het netwerk bestaat uit een aantal knooppunten, die de eerdergenoemde routers representeren, met elk een eigen bedieningscapaciteit. Een verzoek tot het verzenden van een digitaal bestand wordt gezien als een aankomst van een bepaald type gebruiker in het netwerk. Deze gebruiker heeft van een aantal knooppunten een bepaalde hoeveelheid bediening nodig voordat hij het netwerk weer verlaat. Van belang is dat de gebruiker simultaan dezelfde hoeveelheid capaciteit nodig heeft van alle knooppunten op zijn pad. Dit komt voort uit het feit dat een bestand in veel kleine pakketjes wordt opgedeeld die met tussenpozen door het netwerk worden gestuurd.

Er bevinden zich dus pakketjes verspreid over het hele pad van zender naar ontvanger.

Voor het zojuist beschreven soort netwerken hebben Mo en Walrand (2000) een klasse van ' α -fair strategieën' geïntroduceerd om de capaciteit onder de gebruikers te verdelen. Deze strategieën passen de toegewezen capaciteit dynamisch aan aan de ophoping in het netwerk. Het standaardprotocol dat nu gebruikt wordt om digitale bestanden over het internet te versturen is het Transmission Control Protocol (TCP). TCP kan gezien worden als een speciaal geval van α -fair, namelijk wanneer α gelijk is aan 2. De klasse van α -fair strategieën garandeert dat het aantal gebruikers in het systeem niet onnodig naar oneindig groeit, wat meteen een verklaring geeft voor het feit dat TCP in het algemeen goed werkt. Er is echter weinig bekend over de gemiddelde downloadtijd en in hoeverre deze verbeterd kan worden. In mijn afstudeerscriptie [Verloop 2005] hebben we strategieën gekarakteriseerd die de gemiddelde downloadtijd minimaliseren en we vergelijken die met de α -fair strategieën.

Lineair netwerk

Voorheen werd het optreden van congestie in het internet gemodelleerd met slechts één knooppunt. Het lineaire netwerk modelleert een meer realistische abstractie van het internet waarin type-0 gebruikers bestanden versturen over een pad dat L knooppunten bevat en de type-0 gebruikers

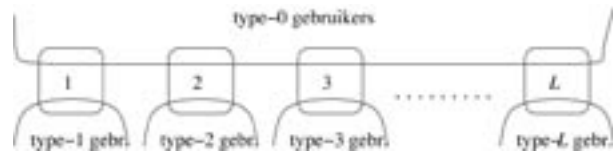
in elk knooppunt hinder ondervinden van kruisend verkeer uit andere delen van het netwerk, de type-1,...,L gebruikers. Een type-0 gebruiker heeft dus simultaan van alle knooppunten dezelfde capaciteit nodig en type- i gebruikers, $i=1,\dots,L$, gebruiken alleen capaciteit van het corresponderende knooppunt (zie Figuur 1). Elk knooppunt heeft dezelfde hoeveelheid capaciteit. Gebruikers arriveren volgens een Poisson proces en de benodigde bedieningsgrootte van type- i gebruikers is verdeeld volgens de stochastische variabele B_i . Een gebruiker wordt met een bepaalde capaciteit bediend die in sommige gevallen ook nul kan zijn. Een bedieningsstrategie verdeelt de beschikbare capaciteit in het netwerk onder de gebruikers.

Doordat type-0 gebruikers alle L knooppunten simultaan nodig hebben, ontstaat er een dynamische interactie over en weer tussen de verschillende typen gebruikers. Wanneer bijvoorbeeld op een bepaald moment de keuze wordt gemaakt om type-1 gebruikers te bedienen, betekent dit meten dat in alle L knooppunten de capaciteit niet gebruikt kan worden door type-0 gebruikers. Dit maakt het model fundamenteel verschillend ten opzichte van het klassieke model met slechts één knooppunt waar al veel meer bekend over is.

Strategieën gebaseerd op de grootte van een gebruiker

Het doel in mijn afstudeerscriptie is om voor het lineaire netwerk strategieën te vinden die het gemiddeld aantal gebruikers in het netwerk minimaliseren. Dit is equivalent met het minimaliseren van de gemiddelde verblijftijd van een gebruiker in het netwerk.

In het geval van slechts één knooppunt zijn verschillende strategieën uitvoerig geanalyseerd. Denk bijvoorbeeld aan bediening in volgorde van aankomst of de strategie die op elk moment de capaciteit eerlijk verdeelt tussen alle aanwezige



Figuur 1: Lineaire netwerk

gebruikers. De keuze voor een bedieningsstrategie beïnvloedt het gedrag van het systeem. Het is bekend dat bedieningsstrategieën goed kunnen presteren wanneer ze gebaseerd zijn op de hoeveelheid bediening die elke gebruiker nodig heeft. Neem bijvoorbeeld de *Shortest Remaining Processing Time* (SRPT) strategie welke de volledige capaciteit van het knooppunt geeft aan die gebruiker die de minste resterende hoeveelheid bediening nodig heeft. Zo wordt steeds de snelste manier gekozen om een gebruiker uit het systeem te krijgen. Ook voor de lange termijn is dit goed, want altijd wordt de totale beschikbare capaciteit gebruikt. Schrage en Miller (1966) hebben bewezen dat SRPT inderdaad het totaal aantal gebruikers in het systeem minimaliseert.

Een nadeel van SRPT is dat het vereist dat de bedieningsgrootte van elke gebruiker in het systeem bekend is. Deze informatie is in een internetrouter doorgaans niet bekend. De *Least Attained Service* (LAS) strategie geeft voorrang aan die gebruikers die tot nu toe de minste hoeveelheid bediening hebben ontvangen. Bij LAS is dus geen informatie over de werkelijke bedieningsgrootte van een bestand nodig. Voor een bepaald soort bedieningsgrootteverdelingen (welke het internetverkeer goed modelleren) is de strategie LAS optimaal binnen de klasse van strategieën die geen informatie gebruiken over de precieze grootte van elke individuele gebruiker in het systeem.

Wij hebben gekeken of strategieën zoals SRPT en LAS ook een goed resultaat geven voor het lineaire netwerk. Het rechttoe rechtaan toepassen van SRPT of LAS op het lineaire netwerk zou inhouden dat in elk knooppunt die gebruiker wordt bediend die op dat moment respectievelijk de minste resterende bediening nodig heeft of de

minste bediening heeft ontvangen. Maar door het opleggen van prioriteiten kan bijvoorbeeld een type-1 gebruiker voorrang krijgen, wat als gevolg heeft dat type 0 niet bediend kan worden, omdat deze simultaan alle knooppunten nodig heeft. Wanneer er geen type-2 gebruikers aanwezig zijn gaat nu de volledige capaciteit in knooppunt 2 verloren. Dit impliceert dat optimaliteit niet automatisch verzekerd is. In mijn afstudeerscriptie wordt bewezen dat voor het lineaire netwerk er situaties zijn waarin zowel SRPT als LAS een instabiel netwerk geven. Dat wil zeggen dat het aantal gebruikers onbegrensd groeit, terwijl een simpele strategie dit kan voorkomen. SRPT of LAS zal dus zeker niet optimaal zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat we weliswaar gebruikers op basis van hun grootte voorrang willen geven, maar tegelijkertijd ervoor moeten zorgen dat niet teveel capaciteit verloren gaat in het netwerk. Dit maakt het vinden van een optimale strategie buitengewoon moeilijk.

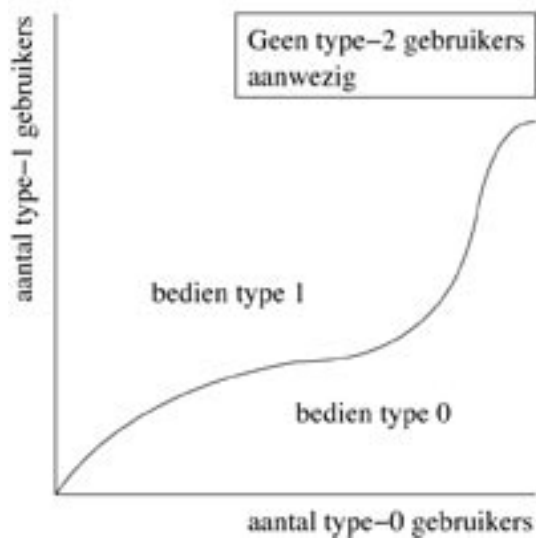
Optimale strategie

Om de optimale strategie voor het netwerk te bepalen, richten we ons op exponentiële bedieningsgrootteverdelingen. We zoeken naar de strategie die het gemiddeld aantal gebruikers in het systeem minimaliseert binnen de klasse van strategieën die geen gebruik maken van de exacte bedieningsgrootte van een gebruiker. In het geval van één knooppunt is bewezen dat de strategie die voorrang geeft aan het type gebruikers met de grootste vertreksnelheid, gedefinieerd als $\mu_i = 1/E(B_i)$, optimaal is. Willen we dit toepassen op het lineaire netwerk, dan moeten we wel met eventueel verlies van capaciteit rekening houden. In de onderstaande twee situaties bestaan er strategieën die op elk moment én de vertreksnelheid van het netwerk maximaliseren én altijd de volledig beschikbare capaciteit gebruiken. Optimaliteit is dan verzekerd:

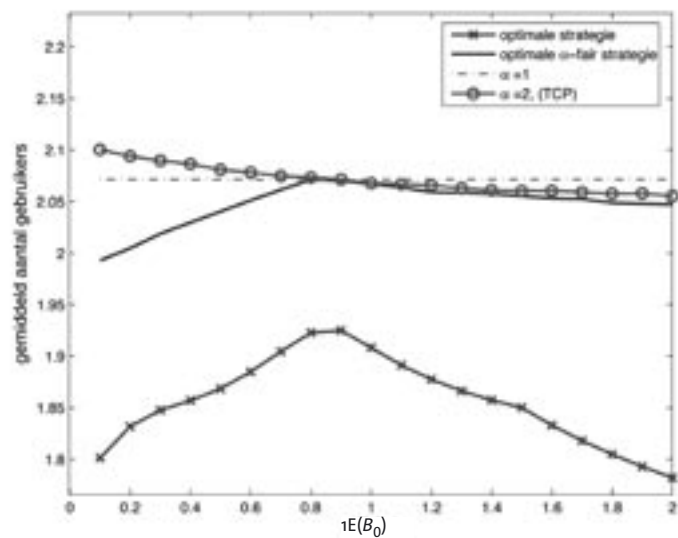
- Wanneer type-0 gebruikers gemiddeld 'klein genoeg' zijn, $\sum_{i=1}^L \mu_i \leq \mu_0$ dan is het optimaal om strikt voorrang te geven aan type 0.
- Wanneer type-0 gebruikers gemiddeld 'iets groter' zijn, $\sum_{i=1, j \neq i}^L \mu_i \leq \mu_0 \leq \sum_{i=1}^L \mu_i$ voor alle $j=1, \dots, L$, dan is het optimaal om typen 1, 2, ..., L te bedienen wanneer van elk type tenminste één gebruiker aanwezig is en anders wordt type 0 bediend. Wanneer er geen type-0 gebruikers aanwezig zijn, wordt de capaciteit in knooppunt i gegeven aan eventueel aanwezige type- i gebruikers.

Voor het overgebleven geval wanneer de type-0 gebruikers 'te groot' zijn, $\mu_0 < \sum_{i=1, j \neq i}^L \mu_i$ voor een j , is het niet mogelijk om exact de optimale strategie te bepalen. Neem voor het gemak aan dat het lineaire netwerk slechts uit twee knooppunten bestaat en stel $\mu_0 < \mu_1$. Wanneer zowel type-1 als type-2 gebruikers aanwezig zijn, is het voor de hand liggend om deze typen beide te bedienen. Wanneer er echter geen type-2 gebruikers aanwezig zijn, is het minder duidelijk wat te doen. Het bedienen van type 0 maakt gebruik van de volledige capaciteit in het netwerk. Het bedienen van type 1 laat capaciteit in knooppunt 2 ongebruikt, maar maximaliseert daarentegen de vertreksnelheid waarmee gebruikers het netwerk verlaten (want $\mu_0 < \mu_1$). Met behulp van dynamische programmering kunnen we aantonen dat de optimale strategie gekarakteriseerd kan worden met behulp van een functie. Wanneer er geen type-2 gebruikers zijn, bepaalt deze functie of type 0 dan wel type 1 bediend wordt (zie Figuur 2).

Het bepalen van de precieze vorm van deze functie is niet haalbaar. Om iets over de vorm van de curve te kunnen zeggen, hebben we ons daarom gericht op een fluid model. Simpel gezegd wordt hierin alleen naar het gemiddelde gedrag gekeken en stochastische fluctuaties in het oorspronkelijke proces worden genegeerd. Voor dit



Figuur 2: De strategie behorend bij de functie is als volgt: in het geval dat er geen type-2 gebruikers zijn, wordt type 0 bediend in een toestand onder de lijn en type 1 in een toestand boven de lijn. Type-1 en 2 gebruikers worden altijd bediend wanneer ze beiden aanwezig zijn.



Figuur 3: Grafiek van het gemiddeld aantal gebruikers in het netwerk onder verschillende strategieën, uitgezet tegen de inverse van de gemiddelde bedieningsgrootte van een type-0 gebruiker. De andere parameters zijn constant gehouden en de bedieningsgroottes zijn exponentieel verdeeld met $E(B_1)=0.5$ en $E(B_2)=1$.

deterministische fluid model is het wel mogelijk de optimale strategie te vinden. In het bijzonder is de zojuist genoemde functie lineair en exact te bepalen. De simulatieresultaten voor het stochastische model tonen bovendien aan dat in de meeste gevallen de lineaire functie een goede benadering vormt.

Effectiviteit van TCP

Nu we weten wat de optimale strategie is voor exponentiële bedieningsgroottes, kunnen we dit gaan vergelijken met het standaard protocol TCP. In Figuur 3 vergelijken we de optimale strategie met de α -fair strategieën. Uit de resultaten kunnen we concluderen dat voor exponentiële bedieningsgroottes de verbetering ten opzichte van TCP ($\alpha=2$) ongeveer 10% zal zijn. Voor meer realistische verdelingen verwachten we dat de winst aanzienlijker zal zijn. Om praktische redenen is het implementeren van de hierboven beschreven strategieën in het internet niet evident. De uitdaging is nu om een strategie te ontwerpen die een werkelijke verbetering oplevert ten opzichte van

TCP en tegelijkertijd implementeerbaar is in het internet.

LITERATUUR

- Massoulié, L., Roberts, J.W. (2000). Bandwidth sharing and admission control for elastic traffic. *Telecommunication Systems* 15, 185-201.
- Mo, J., Walrand, J. (2000). Fair end-to-end based congestion control. *IEEE/ACM Transactions on Networking* 8, 556-567.
- Righter, R., Shanthikumar, J.G. (1989). Scheduling multi-class single server queueing systems to stochastically maximize the number of successful departures. *Probability in the Engineering and Informational Sciences* 3, 323-333.
- Schrage, L.E., Miller, L.W. (1966). The queue M/G/1 with the shortest remaining processing time discipline. *Operational Research* 14, 670-684.
- Verloop, I.M. (2005). Efficient flow scheduling in resource-sharing networks. Doctoraalscriptie, Universiteit Utrecht. Beschikbaar op <http://www.cwi.nl/~maaike>.
- Verloop, I.M., Borst, S.C., Núñez-Queija, R. (2005). Stability of size-based scheduling disciplines in resource-sharing networks. *Performance Evaluation* 62, 247-262.
- Verloop, I.M., Borst, S.C., Núñez-Queija, R. (2006). Delay optimization in bandwidth-sharing networks. In: *Proc. CISS 2006*.

MAAIKE VERLOOP is als promovendus verbonden aan het CWI (centrum voor wiskunde en informatica) en aan de technische universiteit van Eindhoven. E-mail: <maaike@cwi.nl>; website: <<http://www.cwi.nl/~maaike>>.

Wordt vervolgd: de zaak Lucia de B.

Het is al weer drie jaar geleden dat Stator een geheel nummer (2004-2) wijdde aan de verschillende statistische gezichtspunten rond de rechtzaak tegen de Haagse verpleegster Lucia de B. Wat vooral duidelijk werd uit de artikelen in dat nummer was dat de vraag rond de kwestie 'heeft ze het gedaan' op veel manieren geformuleerd kan worden, en dus ook beantwoord. Intussen heeft de discussie niet stil gestaan, er zijn veel artikelen verschenen in dag- en weekbladen, maar ook in wetenschappelijke tijdschriften. De Commissie Posthumus onderzoekt momenteel de gehele gang van zaken, er zijn boeken verschenen en recentelijk heeft ook Nature aandacht aan deze zaak geschonken. Op de Dag voor Statistiek en Operations Research die 27 maart 2007 wordt gehouden zal professor Willem van Zwet in zijn lezing óók op deze zaak ingaan.

Hoewel deze kwestie dus uitermate actueel is, lijkt het de redactie van Stator op dit ogenblik niet opportuun een aantal artikelen hierover te publiceren. Dat doen we liever op een later ogenblik, als

de conclusies meer duidelijkheid hebben gekregen. Maar wél willen we de lezer wijzen op de web site van professor Richard Gill (<http://www.math.leidenuniv.nl/~gill>), waar een overzicht van de zaak wordt gegeven. Uiteraard verwoordt deze web site de opvattingen van Gill, welke niet die van de STAtOR-redactie behoeven te zijn.

Als redactie willen wij slechts aanzetten geven tot een zo breed mogelijke discussie. Daarbij wijzen we, naast de statistische, met name óók op de methodologische aspecten. Niet voor niets hebben we de redactionele inleiding van nummer 2004-3 de titel 'Blijf vragen' gegeven. Alleen door een voortdurende wisselwerking tussen de materie-deskundigen (in dit geval juristen en forensisch specialisten) en de adviserende statistici kunnen komen tot het stellen van de juiste vragen, gegeven de juiste data. En alleen dán kan er een juist antwoord worden gegeven.

De redactie

AGENDA

27 maart 2007

Dag voor Statistiek en Besliskunde! Voor uitgebreide informatie zie bijgevoegd programma.

28 maart 2007

Master Class Advising on Research Methods (KNAW Colloquium) met Janice Derr, David Hand, Willem Heiser, Robert Pool, David Kaplan, Gerald van Belle en Don Mellenbergh. Aanmelding via <www.knaw.nl/colloquia>.

18 en 19 april 2007

De conferentie **Robust planning and Re-scheduling in Railways (R3)** gaat over robuuste planning en bijsturing van spoorwegsystemen. Voor informatie zie <www.ecopt.nl/r3>.

8 – 11 mei 2007

Afdeling Nederland van de International Biometric Society organiseert de eerste **Channel Network Meeting**. Zie <www.bms-aned.nl/Rolduc2007>.

13 – 15 juni 2007

Tijdens het symposium **Spatial Data Quality** worden de laatste ontwikkelingen gepresenteerd in kwantitatieve aspecten van de kwaliteit van ruimtelijke gegevens. Voor informatie <www.itc.nl/issdq2007/>.

21 juni 2007

Eerste BIOMETRIS Lustrum Symposium, Wageningen: **Modeling for the Life Sciences**. Voor informatie <www.biometris.nl>.