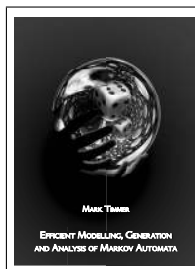


In de verdediging

| In defence

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

Redacteur: Geertje Hek
la Voie-du-Coin 7
1218 Grand-Saconnex
Zwitserland
verdediging@nieuwarchief.nl



Efficient Modelling, Generation and Analysis of Markov Automata

Mark Timmer

Sinds september 2012 is Mark Timmer (parttime) wiskundedocent aan het Carmel College Salland te Raalte, waar hij terecht kwam door deel te nemen aan het project 'Promovendi voor de klas'. Dit hield in dat hij al tijdens zijn promotietraject de eerstegraads lesbevoegdheid voor wiskunde heeft behaald. Ter compensatie voor de tijd waarin hij voor de klas stond en werkte aan zijn onderwijsbevoegdheid kreeg hij een aantal maanden verlenging van zijn promotietijd aangeboden.

Op 13 september 2013 is Timmer gepromoveerd in de theoretische informatica aan de Universiteit Twente. Hij schreef zijn proefschrift *Efficient Modelling, Generation and Analysis of Markov Automata* onder begeleiding van prof.dr.ir. Joost-Pieter Katoen, prof.dr. Jaco van de Pol en dr. Mariëlle Stoelinga, en studeerde tevens af als wiskundedocent bij dr. Nellie Verhoef.

Vooraf was Timmer behoorlijk nerveus voor de verdediging, onzeker of er niet allerlei vragen gesteld zouden worden waar hij geen antwoord op zou weten. Hij wijdde er zelfs een stelling aan: "Een verdediging kan niet perfecter gepland worden dan op vrijdag de 13de. Bijgeloof is toch maar onzin, en als er iets misgaat kan je altijd nog de datum de schuld geven." Tegen zijn verwachtingen in werd de verdediging echter het mooiste moment van zijn promotie: interessante vragen, levendige discussies en tot slot ook nog eens de mededeling dat hij *cum laude* geslaagd was!

Naast zijn huidige werk als wiskundedocent in Raalte is hij nog één dag per week als postdoc werkzaam aan de Universiteit Twente. Hoewel hij de meeste voldoening haalt uit het overbrengen van wiskunde op de nieuwe generatie, vindt hij het ook erg leuk om zich nog een beetje bezig te kunnen houden met onderzoek.

Model checking

Sinds enkele decennia werken informatici aan het concept *model checking*, waarbij computersystemen gemodelleerd worden en vervolgens automatisch op fouten kunnen worden gecontroleerd. Deze techniek is een belangrijke aanvulling op het ouderwetse testen, waarbij een systeem verscheidene keren wordt uitgevoerd in de hoop dat aanwezige fouten aan het licht komen. Bij model checking daarentegen, kunnen bepaalde problemen met wiskundige precisie worden uitgesloten.

Voor model checking wordt vaak gebruikgemaakt van procesalgebra's: formele talen om op een beknopte manier systemen of processen te beschrijven. Via temporele logica's kunnen dan verscheidene eigenschappen worden geformuleerd, zoals 'de kans dat onderdeel A eerder stukgaat dan dat onderdeel B zijn taak volbrengt is kleiner dan 0,01'. Een *model checker* genereert vervolgens automatisch uit een procesalgebraïsche beschrijving zijn zogeheten toestandsruimte: een soort graaf waarin de knopen de toestanden van het systeem representeren, en de lijnen de overgangen tussen deze toestanden. Een model

checker verifieert op basis van die toestandsruimte automatisch of alle toestanden, en dus het hele systeem, voldoen aan de gestelde eisen.

Een nieuwe procesalgebra

Voorheen werden er voornamelijk probabilistische automaten gebruikt, met transities op basis van discrete kansen of nondeterminisme (in het tweede geval wordt de keus tussen toekomstige toestanden niet gekwantificeerd). In de laatste jaren is er echter steeds meer aandacht gekomen voor nog expressievere modellen, die ook gegevens over tijdsduur bevatten. Voor model checking van dit soort modellen zijn natuurlijk ook nieuwe methoden nodig. Timmer heeft zich gericht op het verbeteren van dit zogenaamde *kwantitatief* model checking, en wel in twee verschillende richtingen.

Ten eerste heeft hij de zogenaamde expressiviteit verbeterd door het framework van probabilistische automaten te generaliseren naar modellen die naast probabilistische en nondeterministische transities ook (continue) stochastische tijdsduren kunnen modelleren. Dergelijke modellen, de zogenaamde Markov-automaten, zijn een in 2010 geïntroduceerd formalisme dat doen denken aan continue-tijd Markovketens. Timmer heeft als eerste een procesalgebra ontwikkeld, genaamd MAPA, die op eenvoudige wijze Markov-automaten kan genereren. Hiervoor heeft hij voortgeborduurd op een eerdere niet-quantitatieve aanpak die gebruikmaakte van *data*: een methode om op een efficiëntere manier nog complexere toestandsruimtes te kunnen genereren.

Reductietechnieken voor grote toestandsruimten

Toestandsruimten worden al snel ontzettend groot. Procesalgebra's helpen om systemen beknopt te kunnen representeren, maar zelfs een eenvoudige procesalgebraïsche systeembeschrijving leidt gemakkelijk tot een toestandsruimte met honderdduizenden toestanden. Dit is het gevolg van de zogeheten combinatorische toestandsruimte-explosie, veroorzaakt door het aantal manieren waarop parallele acties uitgevoerd kunnen worden. Boven bepaalde grenzen is het niet meer mogelijk om analyses uit te voeren op de verkregen modellen. In de afgelopen decennia is er daarom veel onderzoek gedaan naar methoden om beter met de toestandsruimte-explosie om te gaan, waaronder reductietechnieken die ervoor zorgen dat slechts een gedeelte van de toestandsruimte hoeft te worden gegenereerd. De tweede bijdrage van Timmer was op dit vlak.

Hij heeft verschillende nieuwe reductietechnieken ontwikkeld die automatisch toegepast kunnen worden op procesalgebraïsche beschrijvingen in zijn taal MAPA. Hierdoor worden toestandsruimtes gegenereerd die significant kleiner zijn dan de initiële varianten, maar bewijsbaar equivalent wat betreft de waarheidswaarden van alle mogelijke eigenschappen. Alles komt samen in de door hem geprogrammeerde tool SCOOP, die automatisch en efficiënt MAPA-specificaties omzet in Markov-automaten door gebruik te maken van al deze technieken.

Het belangrijkste resultaat

Het onderzoek heeft als belangrijkste resultaat opgeleverd dat het nu mogelijk is om op een efficiënte wijze systemen te modelleren, genereren en analyseren op basis van Markov-automaten, door gebruik te maken van de procesalgebra MAPA en de tool SCOOP (in samenwerking met een reeds bestaande model checker voor Markov-automaten, genaamd IMCA). Daarnaast heeft hij tijdens het generaliseren van reductietechnieken naar het domein van Markov-automaten een uitgebreide vergelijking gemaakt tussen twee bestaande technieken (*partial order*

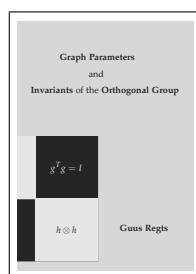
reduction en *confluence reduction*) die uit twee verschillende onderzoeksgebieden komen. Waar tot nu toe nog altijd onduidelijkheid was over het verband tussen deze twee technieken, heeft hij precies hun verband weten te karakteriseren.

Conferenties en publicaties

Timmer houdt ervan om nieuwe mensen te ontmoeten en nieuwe plekken te zien en wijdde ook daaraan een stelling: "Een reis met verre bestemming is een van de meest waardevolle ervaringen in dit leven. Het laat je kennismaken met andere culturen, en doet je realiseren dat onze wereld zo veel groter is dan het stukje dat we in ons dagelijks leven zien." Getuige de lijst van conferenties die hij bezocht in China, Macao, Cyprus, Engeland, Portugal, Duitsland, Italië, Estland en zelfs bij NASA in Californië, heeft hij ook als aio veel kunnen reizen. Op de Universiteit Twente was hij onderdeel van de vakgroep Formal Methods and Tools, waar hij met verscheidene mensen heeft samengewerkt en het erg naar zijn zin had. Ook een onderzoeksbezoek van twee maanden aan de universiteit van Oxford was een bijzondere ervaring, evenals vele projectontmoetingen in Duitsland en Frankrijk. Daarbij kwamen nog inspirerende en gezellige bijscholingen met alle aio's van zijn vakgebied bij elkaar, wat altijd inspirerende en gezellige dagen opleverde.

Niet alles ging echter van een leien dakje. Hij had vooral moeite met afwijzingen van zijn artikelen. In de informatica wordt voornamelijk in de proceedings van conferenties gepubliceerd, die altijd slechts een beperkt aantal artikelen kunnen accepteren. Soms wordt je artikel dan afgewezen op basis van goede argumenten, soms omdat er nou eenmaal te veel ingediend was en soms op basis van argumenten waar hij zich echt niet in kon vinden. Dat heeft zo nu en dan wel eens tot behoorlijk wat frustraties geleid.

Zoals gezegd heeft Timmer nu een baan in het onderwijs. Per december 2013 maakt hij bovendien als redacteur Onderwijs deel uit van de redactie van het NAW. In dat kader sluit hij af met de stelling "Het wiskundecurriculum op Nederlandse middelbare scholen is te veel gericht op procedures, en te weinig op bewijs en daadwerkelijk begrip." ←



Graph Parameters and Invariants of the Orthogonal Group Guus Regts

Op 22 november 2013 promoveerde Guus Regts aan de Universiteit van Amsterdam bij prof.dr. Lex (Alexander) Schrijver op het proefschrift *Graph Parameters and Invariants of the Orthogonal Group*. Hij werkte de afgelopen vier jaar aan het CWI, waar de sfeer altijd goed was, zodat werken niet echt als werken aanvoelde. Het leven als aio beviel dan ook goed, ook vanwege de congressen in het buitenland die het mogelijk maakten nieuwe mensen en landen/steden te leren kennen. Toen hij pas tien maanden in dienst was werd zijn dochter geboren,

het absolute hoogtepunt van de afgelopen vier jaar. Regts genoot dan ook van de mogelijkheid om zijn eigen tijd in te delen en zo een dag in de week met haar thuis te kunnen zijn.

Snijvlak van algebra en combinatoriek

Zijn proefschrift gaat over verbanden tussen graafparameters en de invariantentheorie van de orthogonale groep en enkele van haar ondergroepen. Deze verbanden worden gegeven door zogenaamde partitiefuncties van lijnkleuringmodellen. Lijnkleuringmodellen zijn generalisaties van het Ising–Potts-model uit de statistische mechanica en werden geïntroduceerd als graafparameters door De la Harpe en Jones in 1993. Het werk van Regts ligt op het snijvlak van algebra en combinatoriek; aan de ene kant gebruikt hij technieken uit de algebra (en algebraïsche meetkunde) om stellingen over graafparameters te bewijzen en aan de andere kant worden grafen en andere combinatorische objecten gebruikt om meer inzicht te krijgen in bepaalde algebraïsche structuren.

Zijn onderzoek is gemotiveerd door recente resultaten op het gebied van graaflimieten, een vrij nieuwe tak in de (discrete) wiskunde, waarover in 2012 een boek verscheen van de hand van László Lovász.

Lijnkleuringmodellen

Gegeven een graaf G , kan men de lijnen (of kanten) van G kleuren met k kleuren. Dit hoeft geen propere kleuring te zijn, dat wil zeggen lijnen die elkaar ontmoeten in een punt u van G mogen dezelfde kleur hebben. Stel iedere kleur voor door een element van $\{1, \dots, k\}$. In een punt u van G geven de kleuren van de lijnen die u bevatten dan een multideelverzameling van $\{1, \dots, k\}$ die wordt geïdentificeerd met een element van \mathbb{N}^k . Een k -kleur lijnkleuringmodel h is nu een afbeelding $h : \mathbb{N}^k \rightarrow \mathbb{C}$ die hieraan een complex getal toekent. Door het product te nemen over alle punten in de graaf van deze getallen krijgen we een nieuw complex getal, welke het *gewicht* van de kleuring genoemd wordt. In de statistische mechanica wordt dit het Boltzmann-gewicht genoemd. De *partitiefunctie* van h , p_h , is de *graafparameter* die aan een graaf het getal toekent dat verkregen wordt door de gewichten te sommeren over alle kleuringen van de lijnen:

$$p_h(G) = \sum_{\phi: E(G) \rightarrow [k]} \prod_{v \in V(G)} h(\phi(\delta(v))). \quad (1)$$

Karakterisatie van graafparameters

In zijn proefschrift karakteriseert Regts welke graafparameters partitiefuncties zijn van lijnkleuringmodellen, in termen van een oneindig aantal vergelijkingen van de vorm $\sum_{i=1}^n \lambda_i f(G_i) = 0$ voor zeker $n \in \mathbb{N}$, $\lambda_i \in \{\pm 1\}$ en grafen G_i . Deze vergelijkingen kunnen beschouwd worden als een combinatorische interpretatie van een ideaal in een polynomring R met een oneindig aantal variabelen. In het bewijs van de karakterisatie gebruikt Regts de Nullstellensatz van Hilbert en de eerste en tweede hoofdstelling van de invariantentheorie voor de orthogonale groep.

Een belangrijk hulpmiddel zijn zekere gemarkeerde grafen, die *fragmenten* genoemd worden. Voor een lijnkleuringmodel h kan men een afbeelding definiëren van de ruimte van formele lineaire combinaties van fragmenten naar de tensoralgebra, $\sum_{n=0}^{\infty} (\mathbb{C}^k)^{\otimes n}$. In Regts' proefschrift wordt bewezen dat over \mathbb{R} het beeld van die afbeelding precies de deelalgebra van de tensoralgebra is die gegeven wordt door de tensoren die invariant zijn onder de ondergroep van de orthogonale groep die h stabiliseert. Over \mathbb{C} is de situatie ietwat gecompliceerder, maar wordt een vergelijkbare stelling bewezen.

De partitiefunctie van een puntkleuringmodel is eenzelfde soort uitdrukking als (1), alleen wordt de rol van punten en lijnen omgedraaid (dus de som is over het aantal kleuringen van de punten van de graaf). Deze partitiefuncties zijn generalisaties van het aantal homomorfismen in een vaste graaf H .

Gebruikmakend van geavanceerde meetkundige invariantentheorie karakteriseert Regts voor welke puntkleuringmodellen hun partitiefuncties gelijk zijn aan de partitiefunctie van een lijnkleuringmodel over \mathbb{R} .

Compacte baanruimtes in Hilbert-ruimtes

Gemotiveerd door de theorie van graaflimieten wordt in het laatste hoofdstuk een stelling bewezen die aangeeft hoe je de ruimte van G -banen in de eenheidsbal van een Hilbert-ruimte (waar G een ondergroep is van de groep van orthogonale transformaties van de Hilbert-ruimte) van een pseudo-metriek kan voorzien waarmee deze ruimte compact wordt. Gebruikmakend van deze stelling wordt een start gemaakt met het bestuderen van limieten van lijnkleuringmodellen.

Zijn stelling over compacte baanruimtes in Hilbert-ruimtes is zeer algemeen en Regts verwacht dat daar wel mooie toepassingen uit te halen zijn. In het bijzonder staan er al twee toepassingen in zijn proefschrift en denkt Regts dat hij er nog een andere (reeds bestaande) stelling eenvoudig mee kan bewijzen.

Diverse ervaringen

Het compleet vastzitten met een probleem vindt Regts niet altijd even leuk; het gevoel dat je na een week werken niets bent opgeschoten is soms best demotiverend. Gelukkig staan daar vaak uiteindelijk momenten van inzicht tegenover die het harde werken weer de moeite waard maken: een van zijn leukste ervaringen was dat hij na wekenlang vrij vruchteloos te hebben nagedacht, eindelijk op de juiste manier naar een probleem keek en toen meteen de stelling kon opschrijven en bewijzen. Wel jammer was dat daarna het resultaat vrij triviaal leek en hij zich afvroeg waarom het nodig was er zo lang over na te denken...

Het afronden van zijn proefschrift kostte Regts veel moeite, in het bijzonder het zetten van de puntjes op de spreekwoordelijke 'i' en het polijsten van de tekst. Inmiddels is hij met hernieuwde energie als post-doc begonnen bij Lex Schrijver aan de UvA. In die twee jaar hoopt hij een beter beeld te krijgen van een eventuele toekomst als onderzoeker of een toekomst in een geheel andere branche. ←