

# VU Research Portal

## Efficient Simulation Algorithms for Optimization of Discrete Event Systems Based on Measure-Valued Differentiation

Farenhorst-Yuan, T.

2010

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Farenhorst-Yuan, T. (2010). *Efficient Simulation Algorithms for Optimization of Discrete Event Systems Based on Measure-Valued Differentiation*.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

## **Efficiënte Simulatie Algoritmen voor de Optimalisatie van Discrete Event Systems op Basis van Measure-Valued Differentiation**

Stochastische systemen kunnen worden ingezet in allerlei domeinen, zoals de industriële productie, de transportsector, de financiële wereld, en voor allerlei vraagstukken op het gebied van logistiek en communicatie. Veel van dit soort systemen kunnen worden gemodelleerd als zogehete “discrete event systems” (DES) die de werking van het systeem representeren als een chronologische reeks van gebeurtenissen. Wiskundige modellen van een DES proberen het gedrag van het systeem zo simpel en goed mogelijk te beschrijven door het maken van een aantal aannames. In het algemeen zijn ‘echte’ systemen in onze wereld vaak te complex om goed beschreven te worden door een gesimplificeerd model, waardoor het moeilijk is om data analyse toe te passen. Het inzetten van simulaties is echter een krachtig alternatief en kan ingezet worden om de prestaties van DES te kunnen meten en optimaliseren.

In dit soort simulaties worden de afgeleiden van de prestatie-meten geschat in plaats van berekend. Om dit te kunnen doen is het noodzakelijk om efficiënte en zuivere gradiënt-schatters in te zetten. Vanuit een praktisch oogpunt moeten dit soort gradiënt-schatters 1) makkelijk te implementeren zijn, 2) een lage variantie hebben, en 3) weinig rekenkracht kosten. Dit proefschrift is primair gewijd aan de ontwikkeling van efficiënte gradiënt-schattingsmethodieken voor het optimaliseren van DES. Daarnaast beschrijven we in dit proefschrift een aantal toepassingen van de resulterende algoritmen voor het oplossen van alledaagse stochastische problemen.

In ons onderzoek hebben we gebruik gemaakt van een recent geïntroduceerde Measure-Valued Differentiation (MVD) methode. In hoofdstuk 1 wordt een gedetailleerd overzicht van de basisconcepten van deze methode geven. Daarnaast beschrijven we een algemene toepassing van MVD voor Markov processen en de theoretische resultaten die relevant zijn voor de analyses in dit proefschrift. Ook worden in dit hoofdstuk andere gradiënt-schattingsmethodes besproken en de toepassingen hiervan op het optimaliseren van DES.

In hoofdstuk 2 presenteren we een praktische handleiding voor het uitvoeren van robuuste gevoeligheidsanalyse via MVD. We laten zien dat MVD geautomatiseerd kan worden en dat het daardoor mogelijk is om verschillende gradiënt-schattingstechnieken in algemene simulatiepakketten te integreren. De uitdaging van het automatiseren van MVD zodat het geïntegreerd kan worden in een simulatiepakket is de verificatie van de integriteitsconditie om zo te garanderen dat de schatter zuiver is. De belangrijkste bijdrage van onze handleiding is dat het een algemene conditie voor zuiverheid bevat die eenvoudig in toepassingen getest kan worden. De numerieke resultaten tonen aan dat dit soort generieke “fantoom-schatters” makkelijk te implementeren zijn, een lage variantie hebben, maar relatief veel rekenkracht vereisen.

In hoofdstuk 3 accumuleren we de verzamelde kennis in de literatuur over gradiënt-schatters, waarna we in staat zijn uiterst efficiënte gradiënt-schatters te ontwikkelen. Om dit te doen hebben we de perturbatie generatieregels van zwakke differentiatie gecombineerd met de perturbatie propagatieregels bekend van de perturbatie-analyse. We hebben een enkele-run schatter ontwikkeld voor de wachttijden in de G/G/1 rij. Deze schatter combineert het beste

uit twee werelden: lage variantie omdat de enkele eindige perturbaties geanalyseerd worden, en efficiënt in numerieke zin omdat de fantomen berekend kunnen worden tijdens de nominale DES simulatie.

Het onderzoek dat in hoofdstuk 2 en 3 gepresenteerd wordt heeft veel geavanceerde simulatiemethodes voor het optimaliseren van DES opgeleverd. In hoofdstuk 4 en 5 van dit proefschrift worden deze algoritmen toegepast op alledaagse systemen. In hoofdstuk 4 hebben we een gecompliceerd DES bestudeerd: een uit meerdere componenten bestaand onderhoudsysteem met een  $F$ -foutgroep leeftijdsvervangingsstrategie. We hebben zuivere gradiënt-schatters gedefinieerd op basis van MVD voor de afgeleide van de gemiddelde kosten voor zo'n systeem. Op het theoretisch vlak zijn wij hiermee de eerste die een werkende gradiënt-schatter voor een dergelijk systeem presenteren. We laten in dit hoofdstuk zien hoe je een discrete-tijd Markov keten kan construeren voor een  $N$ -type,  $F$ -groep fout multi-component onderhoudsysteem, zodat de geassocieerde overgangskernel afgeleid kan worden als een functie van de parameter van de leef-tijd. Praktisch gezien hebben we een gradiënt-schatter afgeleid die toegespitst is in de praktijk veelvoorkomende situaties, waarbij de beste gradiënt-schatter gevonden moet worden door binnen een vast simulatiebudget te blijven.

In hoofdstuk 5 hebben we een ander type uitdagend systeem uit de praktijk bestudeerd als DES: een callcenter. We presenteren in dit hoofdstuk een nieuwe aanpak om callcenters in te richten d.m.v. willekeurige richtlijnen. Dit noemen we optimale gebalanceerde controle. Onze aanpak stoelt op gebalanceerde reeksen als implementatie van willekeurig gekozen richtlijnen. Een kernobservatie van onze analyse is dat de prestaties van het callcenter (d.w.z. lage wachttijden voor bellers en een groot aantal mensen dat geholpen wordt in een bepaalde periode) verbeterd kunnen worden door gebruik te maken van gebalanceerde reeksen in plaats van het Bernoulli schema. We presenteren een gradiënt-schatter die het mogelijk maakt om optimale gebalanceerde reeksen te vinden voor een operationeel probleem van een callcenter. Ook dit is een noviteit; het is de eerste keer dat resultaten van de toepassing van gebalanceerde reeksen ten behoeve van de optimale controle van complexe systemen gepresenteerd worden.