

VU Research Portal

Optimal Quality of Service Control in Communication Systems

Bosman, J.W.

2014

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

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

citation for published version (APA)

Bosman, J. W. (2014). *Optimal Quality of Service Control in Communication Systems*. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam].

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

Optimal Quality of Service Control in Communication Systems

© J.W. Bosman, Amsterdam, 2014.

The research in this dissertation has been carried out in the context of the IOP GenCom project Service Optimization and Quality (SeQual), which is supported by the Dutch Ministry of Economic Affairs, Agriculture and Innovation via its agency Agentschap NL.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means including information storage and retrieval systems without permission in writing from the author.

Printed by *Ipskamp Drukkers*, The Netherlands.

ISBN: 978-94-6259-029-8

VRIJE UNIVERSITEIT

Optimal Quality of Service Control in Communication Systems

ACADEMISCH PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad Doctor aan
de Vrije Universiteit Amsterdam,
op gezag van de rector magnificus
prof.dr. F.A. van der Duyn Schouten,
in het openbaar te verdedigen
ten overstaan van de promotiecommissie
van de Faculteit der Exacte Wetenschappen
op woensdag 12 februari 2014 om 11.45 uur
in de aula van de universiteit,
De Boelelaan 1105

door

Joost Willem Bosman

geboren te Amsterdam

promotoren: prof.dr. R.D. van der Mei
prof.dr. R. Núñez-Queija

Dankwoord (Acknowledgments)

Het moment is daar, voor u ligt het werk van vier voorbijgevlogen jaren.

Dit werk was niet mogelijk geweest zonder mijn promotoren Rob van der Mei en Sindo Núñez Queija. Rob, jouw tomeloze energie en optimisme heeft me geïnspireerd en veel geleerd. Je hebt me binnengehaald als stagair en me enthousiast gemaakt voor dit promotieonderzoek. Sindo, mij blijven de vele waardevolle middagen bij die we hebben besteed aan het kraken van moeilijke problemen. Ook wil ik de leden van leescommissie: Mark Squillante, Hans van den Berg, Sandjai Bhulai, Michel Mandjes en Erik Meeuwissen voor de grondige wijze waarop zij mijn proefschrift gereviewd hebben.

Ik wil Gerard Hoekstra en Sandjai Bhulai bedanken voor de vruchtbare samenwerking, die loopt vanaf het moment dat ik als stagair bij het CWI begon tot aan onze laatste publicatie die in deze dissertatie is verwerkt. Veel collega's hebben mij van waardevolle, wetenschappelijke input voorzien. In het bijzonder wil ik daarvoor Demeter Kiss, Yoni Nazarathy en Florian Simatos bedanken. Bert Zwart wil ik bedanken voor zijn inspiratie op zowel wetenschappelijk als sportief gebied.

Ook ben ik dank verschuldigd aan Hans van den Berg, Erik Meeuwissen en Miroslav Živković voor een prettige samenwerking met TNO, waarvan de resultaten in deze dissertatie zijn verwerkt.

Het bezoek aan congressen heeft mij wereldwijd naar een aantal schitterende locaties gebracht. Tijdens mijn eerste congres in Toledo, vlak bij Madrid, werd de sfeer versterkt door de WK wedstrijden van het Nederlands elftal. Verder heb ik tijdelijk de winter kunnen vermijden door na een congres in Miami door Florida rond te trekken met als grote finale Key-West. Eén van de congressen heeft mij zelfs in Japan gebracht, waar de reis begon op een congres in Fukuoka en eindigde in een rondreis met de Shinkansen (hoge snelheidstreinen).

Goede herinneringen heb ik aan mijn kamergenoten Chrétien Verhoef en Arnoud den Boer. Ik dank Chrétien voor de avonturen die we beleefd hebben. Arnoud, bedankt voor je wetenschappelijke en filosofische gesprekken. Na de verbouwing van het CWI verhuisde ik naar de kamer van Jan-Pieter Dorsman, die een zeer bedreven wetenschapper is. Dat was ook goed te merken als de oplossing van een vraagstuk hem niet zinde ;). Een bron van goede wetenschap is een omgeving waar je je gemakkelijk voelt. Onze groep bestaat uit veel jonge wetenschappers die het goed met elkaar kunnen vinden. De gezamenlijke activiteiten bleven niet beperkt binnen de activiteitenruimte van het CWI gebouw. Zo maakten we mooie hardlooptochten langs het Flevopark en door Diemen. Bovendien gingen we regelmatig samen wat

vi *Acknowledgements*

drinken. Wat dat betreft heb ik goede herinneringen aan collega's: Martijn Onderwater, Martin van Buuren (onze vrolijke noot), Sihan Ding, Pieter van den Berg en de vele andere collega's in de Stochastics groep.

Op donderdagen is een groot deel van onze afdeling te vinden bij de OBP groep op de Vrije Universiteit. Ik wil Ger Koole bedanken voor het bieden van gastvrijheid op de VU en de mooie tochten die we hebben gemaakt door de Alpen.

In the winter of 2012 a research visit brought me to the department of Mark Squillante at the IBM Thomas J. Watson Research Center. The visit started very adventurous as my flight was amongst the first flights to New York after hurricane Sandy. Immediately when I started my research visit, I was involved in a challenging project together with Mayank Sharma, Yingdong Lu. Mark, thank you for the inspiring time that I spent at IBM.

Tenslotte wil ik mijn ouders bedanken. Jullie ambitie, zorg en geduld heeft mij geïnspireerd om mij te ontwikkelen tot wie ik nu ben.

Joost Bosman
Amsterdam, 2014

Table of Contents

1	Introduction	1
1.1	Goals	1
1.2	Challenges	2
1.3	Overview of the dissertation	4
2	A Fluid Model Analysis of Streaming Media in the Presence of Time-Varying Bandwidth	7
2.1	Background	8
2.2	Model	11
2.3	Analysis	13
2.4	Dimensioning the initial buffer size	23
2.5	Numerical experiments	23
2.6	Discussion	27
3	A Spectral Theory Approach for Extreme Value Analysis in a Tandem of Fluid Queues	29
3.1	Analysis	30
3.2	Numerical experiments	46
3.3	Discussion	50
4	Efficient Traffic Splitting over Parallel Wireless Networks with Partial Information	57
4.1	Background	57
4.2	Model	60
4.3	Splitting algorithms	62
4.4	Numerical experiments	67
4.5	Discussion	73
5	Stochastic Optimal Control for a General Class of Dynamic Resource Allocation Problems	75
5.1	Background	75
5.2	Model	79
5.3	Optimal control policy	83
5.4	Numerical experiments	87
5.5	Discussion	94
6	Run-time Optimization of Composite Web Services with Response Time Commitments	107
6.1	Background	107

6.2	Motivating example	110
6.3	Model	111
6.4	Algorithm description	115
6.5	Numerical experiments	118
6.6	Discussion	135
7	Autonomous Runtime QoS Control for Composite Services in SOA	141
7.1	Background	141
7.2	Model	143
7.3	Closed loop control	144
7.4	Algorithms	146
7.5	Experimental setup	151
7.6	Results	153
7.7	Discussion	159
	Publications of the author	161
	Summary	163
	Samenvatting (Dutch Summary)	167
	Bibliography	171