

Mobile Radio Network Management in the Context of Realistic Heterogeneous Scenarios

Von der Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von

Sören Hahn, M.Sc.

aus Rostock

Eingereicht am: 03.05.2017

Mündliche Prüfung am: 30.08.2017

1. Referent:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Kürner
2. Referent:	Prof. Dr. Hans van den Berg
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers

**Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig,
Fakultät für Elektrotechnik, Informationstechnik, Physik**

Mitteilungen aus dem Institut für Nachrichtentechnik der
Technischen Universität Braunschweig

Band 53

Sören Hahn

**Mobile Radio Network Management in the Context
of Realistic Heterogeneous Scenarios**

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5557-3

ISSN 1865-2484

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

*“After climbing a great hill, one finds that
there are many more hills to climb.”*

— Nelson Mandela

Vorwort

Diese Arbeit ist komplett während meiner Zeit am Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig entstanden. Sie basiert zu einem sehr großen Teil auf Forschungsergebnissen, die im Rahmen des europäischen SEMAFOUR-Projektes erarbeitet wurden. Obwohl eine Promotion dem Nachweis der Befähigung zu vertiefter selbstständiger wissenschaftlicher Arbeit auf einem ausgewiesenen Fachgebiet dienen soll, wäre diese Dissertation jedoch ohne die Unterstützung zahlreicher Menschen so nicht möglich gewesen. Deshalb möchte ich an dieser Stelle genau diesen Personen meinen Dank aussprechen.

An erster Stelle danke ich meinem Doktorvater Prof. Thomas Kürner für die stets vorbildliche Betreuung. Die von Ihnen gewährten Freiheiten und geschaffene Arbeitsatmosphäre habe ich stets versucht mit Forschungsergebnissen zurückzuzahlen. Geschätzt habe ich außerdem, dass Ihre Tür allzeit offen stand und Sie mir jederzeit mit Rat und Tat (auch fernab von wissenschaftlichen Fragestellungen) zur Seite standen. Mein weiterer Dank gilt Prof. Hans van den Berg für die Übernahme der Rolle des zweiten Gutachters meiner Dissertationsschrift. Ein ganz herzlicher Dank gebührt natürlich auch Prof. Ulrich Reimers für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Wie Sie das Institut führen und wie Sie zu dieser tollen Arbeitsumgebung beitragen habe ich stets bewundert.

Einen entscheidenden Anteil am Gelingen dieser Arbeit hatten sicherlich auch meine Kollegen. Besonders hervorheben muss ich an dieser Stelle Dennis M. Rose, der mich gerade am Anfang meiner wissenschaftlichen Karriere führend an die Hand genommen hat und mir so den Einstieg sehr einfach gemacht hat. Außerdem danke ich Johannes Baumgarten und Nils Dreyer dafür, dass die stets ein offenes Ohr für mich hatten und auch wesentliche Teile meiner Arbeit korrigiert haben. Selbiges gilt natürlich auch für Stefan Ilsen, Alexander Fricke und Tianxiang Nan, die ebenfalls ausgewählte Kapitel gelesen haben. Letztendlich möchte ich mich noch besonders bei Petra Beyer, die meine Veröffentlichungen sprachlich korrigiert hat, und bei Rudi Görke bedanken, der meine komplette Dissertation gegengelesen hat.

Dank gebührt auch meinen Studenten Sergi Ramon Ferran, Benedikt Heckmanns, Christoph Herold und Paula Becker, die mit Ihren (teils preisgekrönten) Arbeiten meine wissenschaftlichen Studien unterstützt und vorangetrieben haben.

Während meiner Zeit im internationalem SEMAFOUR-Forschungsprojekt haben mich vor allem Dr. Andreas Eisenblätter, Dr. Ulrich Türke und Dr. Dario Götz von der Firma atesio in Berlin, sowie Lars Christoph Schmelz und Andreas Lobinger von der Firma NOKIA in München beratend unterstützt und gefördert. Thanks also to all remaining colleagues of the SEAMFOUR project for the interesting research in the domain of self-organising network management.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, ohne die ich diese Dissertation so gewiss nicht hätte umsetzen können. Vielen Dank an meine Eltern Elke und Volker für die langjährige Unterstützung und den stetigen Zuspruch, sodass ich meine Ziele immer ungestört verwirklichen konnte. Gleiches gilt auch für meine Schwiegereltern Christine und Claus die meine Frau und mich in all den Jahren so oft am Wochenende aufgenommen haben, damit wir Kraft tanken und wieder entspannt in die (Arbeits-)Wochen starten konnten. Zu guter Letzt noch ein paar Wort an meine Frau Imke: Danke – für einfach alles.

Braunschweig, im September 2017

Sören Hahn

Abstract

Every generation of mobile radio communication standards leads to a new level of complexity in the cellular systems. Moreover, due to the ever-increasing data traffic demands of mobile users as well as declining revenues in recent years, the operators of such networks have to deal with all those network administration difficulties in the most efficient manner. One promising approach that shall relieve the operator from time-consuming manual tasks is to use so-called Self-Organising Network (SON) functionalities. SON functions monitor the performance of the network and change the (radio) parameters accordingly, based on internal algorithms that focus on dedicated optimisation goals.

This work investigates whether SON functions can be used to enforce Key Performance Indicator (KPI) targets demanded by the operators. Therefore, the impact of SON on the network manageability and performance is studied by using SON functions that consider multiple technologies (i.e. LTE and WLAN) and different cell layers (macro and small cells). The evaluations are based on sophisticated system-level simulations that rely on an in-house developed platform called “SiMoNe” (Simulator for Mobile Networks). Moreover, the foundations of the scenarios used are realistically planned mobile networks on the one hand, and advanced mobility models with a particular emphasis on realistic movements and behaviours, on the other hand.

As a preparatory step, the newly introduced mobility models are investigated regarding the handover performance. The results show that the behaviour and nature of the movements have a profound impact on the overall network performance. After that, three well-known SON functions are tested that operate in the domain of self-optimisation. This is done by varying SON algorithm parameterisation values in three distinct network environments. The insights gained into the behaviour of the SON functions are then used to manage a complex heterogeneous cellular network by setting appropriate SON parameterisation values that alter the behaviour of SON functions accordingly. By that, the formulated KPI goals can be achieved. However, the evaluations show that the implementations of the objectives are only doable to some extent in realistic settings due to the compound and inhomogeneous nature of the network scenarios.

Kurzfassung

Jede neue Mobilfunk-Generation sorgt dafür, dass die Komplexität in den Netzen zunimmt. Außerdem führt die immer weiter steigende Nachfrage nach mobilem Datenverkehr sowie sinkende Einnahmen dazu, dass die Betreiber solcher Netze mit administrativen Aufgaben in möglichst effizienter Weise umgehen müssen. Eine Möglichkeit stellen sogenannte Selbst-Organisierende Netze (engl. Self-Organising Network (SON)) dar, um den Betreiber von zeitaufwendigen manuellen Arbeiten zu befreien. SON Funktionen überwachen Kenngrößen im Netz und ändern, je nach Zielfunktion des Algorithmus, entsprechende (Radio-)Parameter im Netz.

Diese Dissertation untersucht, ob SON Funktionen geeignet sind um ein Mobilfunknetz zu steuern und somit vorgegebene Zielvorgaben der Netzbetreiber umzusetzen. Die verwendeten SON Funktionen arbeiten hierbei mit unterschiedlichen Technologien (z.B. LTE und WLAN) und auf mehreren Zellschichten (Makro- bis Femtozellen). Als Simulationsumgebung wird auf die leistungsfähige Plattform “SiMoNe” (engl. Simulator for Mobile Networks) zurückgegriffen. Die Simulationsgrundlagen bilden einerseits realistisch geplante Mobilfunknetze und andererseits fortschrittliche Mobilitätsmodelle, wobei eine besondere Betonung auf die realistische Umsetzung von Bewegung und Verhalten der Nutzer gelegt wird.

In einem vorbereitenden Schritt werden neuartige Mobilitätsmodelle auf ihr Handover-Verhalten untersucht. Die Ergebnisse zeigen hierbei, dass das Verhalten und die Bewegung einen entscheidenden Einfluss auf die Netzperformance haben können. Im Anschluss werden drei bekannte SON Funktionen in drei unterschiedlichen Netzumgebungen getestet. Dies geschieht durch eine Variation der Parameterwerte der SON Algorithmen, welche das Verhalten der Funktionen verändern und somit auch die Netzperformances entscheidend beeinflussen kann. Die über das Verhalten der SON Funktionen gesammelten Erkenntnisse werden letztendlich genutzt, um Zielvorgaben an ein komplexes heterogenes Mobilfunknetzwerk zu realisieren. Die Auswertungen zeigen, dass dies nur in einem gewissen Maße geschehen kann. Die hohe Komplexität und die inhomogene Topologie der Netze beeinträchtigen eine zielgenaue Veränderung der Netzperformance entscheidend.

Contents

List of Figures	xv
List of Tables	xix
Abbreviations	xxi
1 Introduction	1
1.1 The Need to Alter the Performance of a Mobile Network	2
1.2 Approach of the Work	6
2 Fundamentals	9
2.1 Realistic Network Scenarios	9
2.1.1 Macroscopic View	11
2.1.2 Microscopic View	12
2.1.3 Network Topology	13
2.1.4 SiMoNe – Simulator for Mobile Networks	18
2.2 Self-Organising Network Functions	20
2.2.1 LTE Load Balancing	22
2.2.2 LTE Robustness Optimisation	23
2.2.3 LTE/WiFi Traffic Steering	24
2.3 Key Performance Indicators	25
2.3.1 Cell Load	26
2.3.2 Cell Throughput	28
2.3.3 Unsatisfied Users	28
2.3.4 Handover Success Ratio	29
2.4 Related Work	30
2.4.1 State of the Art	30
2.4.2 Open Issues and Contributions of this Work	32

3	Advanced Mobility Modelling	35
3.1	Mobility Models	37
3.1.1	Random Walk/Waypoint Mobility	38
3.1.2	Vehicular Mobility	39
3.1.3	Pedestrian Mobility	39
3.1.4	Indoor Mobility	40
3.1.5	Group/Correlated Mobility	41
3.1.6	Highway Mobility	42
3.2	Impact on the Network Performance in Realistic Network Scenarios . .	43
3.2.1	Handover Success Ratio	46
3.2.2	Handover Failure Ratio	46
3.2.3	Ping-Pong Handover Ratio	51
3.2.4	Overall Handover Performance	52
3.2.5	Other Key Performance Indicators	54
3.3	Concluding Remarks	56
4	Cell Classification and Network Simulation Scenarios	59
4.1	Cell Attributes and Classification	59
4.1.1	Cell Attribute Descriptions	60
4.1.2	Cell Attribute Determination	66
4.1.3	Cell Classification	70
4.2	Simulation Methodology and Network Evaluation Scenarios	73
4.2.1	Methodology	73
4.2.2	Scenario A: <i>Urban Location with a Normal Mobility Profile</i> . . .	75
4.2.3	Scenario B: <i>Rural Location with a Normal Mobility Profile</i> . . .	78
4.2.4	Scenario C: <i>Rural Location with a High-Speed Mobility Profile</i> .	80
4.2.5	Scenario D: <i>Large-Scale Network for Reference and Evaluation</i> .	80
4.3	Concluding Remarks	83
5	The Impact of Realistic Network Scenarios on SON Functions	87
5.1	LTE Load Balancing	89
5.2	LTE Robustness Optimisation	94
5.3	LTE/WiFi Traffic Steering	98
5.4	Concluding Remarks	100
6	Self-Organising Networks – Management and Operations	103
6.1	Examples for Operator Goals	104

6.2	Evaluation of SON Function Steering	106
6.2.1	Default SCV Settings	106
6.2.2	Managed SCV Settings	111
6.3	Evaluation of SON Function Combinations	117
6.3.1	Impact of SON Function Combinations on the KPI Behaviour	119
6.3.2	Probabilistic Combination of Different SON Functions	123
6.3.3	Improved SON Management Decisions	130
6.4	Instructions for a Mobile Network Operator	133
6.5	Concluding Remarks	136
7	Conclusions and Future Work	139
7.1	Realistic Mobile System Modelling	140
7.2	From Self-Organising to Cognitive Networks	141
7.3	The Future of Mobile Radio Communications	143
	Appendix A SON Function Configuration Values	145
	Appendix B Data Traffic Types	149
	Appendix C Simulation Scenarios	152
	Bibliography	157