

ON MODIFICATIONS TO THE TRAFFIC-RESPONSIVE URBAN CONTROL METHOD

Von der
Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und
Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

Dissertation

von
LUCIANO DIONISIO DANTAS
geboren am 26.06.1978
aus Aracaju – Brasilien

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades eines Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Eingerichtet am 10 Januar 2014
Disputation am 2 September 2014

Berichterstatter Prof. Dr.-Ing. Bernhard Friedrich
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Eckehard Schnieder

INSTITUT FÜR VERKEHR UND STADTBAUWESEN
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
UNIV.-PROF. DR.-ING. BERNHARD FRIEDRICH

**Schriftenreihe
Heft 59**

Luciano Dionisio Dantas

**On Modifications to the Traffic-Responsive
Urban Control Method**

**SHAKER
VERLAG**

Aachen 2014

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2014

Copyright Shaker Verlag 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3247-5

ISSN 1615-2948

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Acknowledgments

First of all, I would like to thank my partner for all the support that she has given me. Without it, I don't believe that I would have made it. My family's support has also been invaluable, fostering me in the achievement of my goals that they also see as best for me.

Thank you Rodrigo Castelan Carlson for the constructive critiques that were essential in making the present work better.

Thank you Prof. Werner Kraus Junior for all your time and support given throughout these years.

Many thanks for the whole team of the *Institut für Verkehr und Stadtbaugesellschaft* and Prof. Bernhard Friedrich.

Finally, I would also like to thank the CAPES Foundation, Ministry of Education of Brazil, for the scholarship that made the present work possible.

Abstract

The current work has its focus on further improvements envisioned for an existing traffic control system called Traffic-responsive Urban Control (TUC). Originally conceived for corridor networks, TUC only offers the possibility to maintain synchronized traffic lights that give right-of-way for the vehicles traveling through the main routes or, more specifically, the routes that do not intersect. This synchronization is achieved through the adjustment of the Offset parameter, and it is known to avoid unnecessary stops at the successive traffic controlled intersections, reducing traffic delays and increasing the drivers' comfort.

The present investigation proposes an extension to TUC's original formulation, enabling it to handle more complex networks (meshed networks), where the secondary intersecting routes may also profit from traffic lights synchronization. Moreover, TUC's original method, employed during the necessary changes in Offsets, is also improved. The new method takes into consideration the impacts that the change in Offsets may incur to the operation of the network.

TUC's main input information, during its operation, is the description of current traffic queue lengths. Complementing the mentioned modifications to TUC, a new method for the estimation/prediction of traffic queues is presented. The proposed Queue Estimator/Predictor uses a macroscopic traffic model to capture the traffic dynamics of the network, and uses this information for improving the traffic queue estimations calculated in a previous step.

Finally, the evaluation of the current developments is presented. The evaluation is carried out through the simulation of a real network during a whole day operation. The new developments are not only compared to TUC's original formulation, but also against a recently developed Adaptive Traffic Control System (ATCS) prototype. The results show that the developments proposed in the current work were indeed beneficial to TUC's operation, even though the improvements were not quite as high as expected.

Kurzfassung

Das Verkehrs-Steuersystem *Traffic-responsive Urban Control* (TUC) wurde ursprünglich konzipiert für Hauptverkehrsadern, und bietet nur die Möglichkeit, die Schaltzeit der Lichtsignalanlagen zu synchronisieren, die die Durchfahrt der Hauptverkehrsströme vorberechtigen. Nebenströmen, die die Hauptroute überschneiden, können durch TUC in der Regel nicht synchronisiert werden. Diese Synchronisierung wird durch die Einstellung der Versatzzeit erreicht, und sie vermeidet die unnötige Stopps an aufeinanderfolgenden signalgesteuerten Knotenpunkten. Dadurch werden Verzögerungen im Verkehrsablauf reduziert und der Komfort der Fahrer erhöht.

Die vorliegende Arbeit schlägt eine Erweiterung der ursprünglichen Formulierung TUCs vor, wodurch komplexe Netzwerke behandelt werden können, und auch die sekundären Nebenströmen von der Synchronisierung profitieren. Darüber hinaus ist die ursprüngliche Methode TUC, die für die notwendigen Veränderungen in Versatzzeiten verwendet wird, auch verbessert. Die neue Methode berücksichtigt die Auswirkungen auf den Betrieb des Verkehrsnetzes, die die Änderung der Versatzzeiten ergeben.

Eine der wichtigsten Eingangsdaten TUCs ist die Beschreibung der aktuellen Rückstaulängen. Ergänzend zu den oben genannten Änderungen zu TUC, eine neue Methode für die Schätzung/Prognose von Rückstaus wird vorgestellt. Die vorgeschlagene Rückstauschätzer-prädiktor verwendet ein makroskopisches Verkehrsmodell, um die Verkehrsdynamik des Netzes zu erfassen. Diese Dynamik wird dann benutzt, um die Schätzung der Rückstaulängen, die in einem vorherigen Schritt berechnet wurden, zu verbessern.

Schließlich ist die Beurteilung der aktuellen Entwicklung dargestellt. Die Auswertung erfolgt durch die Simulation eines realen Netz während eines ganzen Tages. Die neuen Entwicklungen sind nicht nur mit der ursprünglichen Formulierung TUCs verglichen, sondern auch gegen eine andere kürzlich entwickelte *Adaptive Traffic Control System* (ATCS) Prototyp. Die Ergebnisse zeigen, dass die vorgeschlagene Entwicklungen in Vorteil für TUC waren, obwohl die Verbesserungen nicht ganz so hoch wie erwartet waren.

Contents

1	Introduction	1
1.1	Objectives _____	3
1.2	Outline _____	4
1.3	Basic Concepts and Terminology _____	4
2	Literature Review	7
2.1	Adaptive Traffic Control Systems _____	7
2.1.1	SCOOT _____	7
2.1.2	SCATS _____	9
2.1.3	BALANCE _____	11
2.1.4	OPAC _____	12
2.1.5	RHODES _____	13
2.1.6	Pohlmann's _____	15
2.1.7	TUC _____	17
3	TUC	19
3.1	Control Scheme _____	19
3.2	Cycle Control Module _____	20
3.2.1	Webster's Cycle Alternative _____	21
3.2.2	Saturation Based Cycle Alternative _____	23
3.3	Offset Control Module _____	24
3.4	Green Control Module _____	28
3.4.1	Traffic Flow Model _____	28
3.4.2	Control Problem _____	30
4	Proposed Modifications to TUC	39
4.1	Proposed Alternative _____	40
4.1.1	Green Control Module Extension _____	40
4.1.2	Offset Module _____	46
4.1.3	Unexpected Setback _____	52
4.2	Legacy Alternative _____	55

5	Queue Estimation	57
5.1	Local Queue Estimation _____	59
5.1.1	Mück's Local Queue Estimator _____	59
5.1.2	Vigos's Local Queue Estimator _____	60
5.2	Cell Transmission Model _____	62
5.3	Unscented Kalman Filter _____	66
6	Evaluation	71
6.1	System Setup _____	71
6.1.1	Test Network _____	71
6.1.2	Simulation Environment _____	72
6.1.3	External Traffic Control Module _____	74
6.2	Queue Predictor Evaluation _____	75
6.3	Cycle Alternatives Evaluation _____	80
6.4	Offset Alternatives Evaluation _____	83
7	Conclusion	93
7.1	Summary _____	93
7.2	Discussion _____	95
A	Appendix	97
A.1	LQR _____	97
A.2	Cell Transmission Model _____	98
A.2.1	Merges _____	99
A.2.2	Diverges _____	101
A.3	Standard Kalman Filter _____	101
A.4	Unscented Kalman Filter _____	103
A.5	Performance Comparison of the Statistical Indicators Used _____	108
A.6	Tests with Pohlmann's ATCS _____	109
	Bibliography	113
	List of Symbols	123
	List of Figures	127
	List of Tables	129
	List of Algorithms	129