

Delivery Time Uncertainty in Dynamic Supply Networks

Vom Fachbereich Produktionstechnik

der

UNIVERSITÄT BREMEN

zur Erlangung des Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte

Dissertation

von

M.Sc. Mehdi Safaei

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Dieter Thoben (Universität Bremen)
Gutachter: Prof. Christopher Irgens (University of Strathclyde, Glasgow)

Tag der mündlichen Prüfung: 17.09.2014

Berichte aus der Logistik

Mehdi Safaei

**Delivery Time Uncertainty
in Dynamic Supply Networks**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

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.: Bremen, 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 978-3-8440-3126-3

ISSN 1611-6836

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

In the Name of Allah

تقدیم به مہین عزیزم ایران

به مادر و پدر مهربانم، همسر عزیزم فarnaz و فرزند دلبندم رادین

و به همه انہائی کہ دوستشان دارم.

To my dear country, Iran

To my kind parents, beloved spouse, Farnaz and my dear son, Radin

&

To all those, I love.

ACKNOWLEDGMENTS

It would not have been possible to write this doctoral thesis without the help and support of the kind people around me, to only some of whom it is possible to give particular mention here.

This thesis would not have been possible without the help, support and patience of my principal supervisor, Professor Dr.-Ing. Klaus-Dieter Thoben. He gave me a lot of advice, support and friendship which it has been invaluable on both an academic and a personal level, for which I am extremely grateful. Second, I would also like to include my gratitude to my second supervisor, Professor Christopher Irgens, Professor at University of Strathclyde, Glasgow, for his critical comments, which enable me to notice the weaknesses of my dissertation and make the necessary improvements according to his comments. He is someone you will instantly love and never forget once you meet him. I express my gratitude to Professor Jürgen Pannek, for his support and advice. His precious comments on this work help me a lot to do this research. I am also very grateful to Professor Dr.-Ing. Marcus Seifert, for supporting me during these periods of the time.

I would like to acknowledge the financial, academic and technical support of the International Graduate School (IGS) in the University of Bremen, Prof. Dr. rer. pol. Hans-Dietrich Haasis, the spokesman of IGS, and Dr.-Ing. Ingrid Rügge, the managing director of IGS, particularly, in the award of a postgraduate research studentship that provided the necessary financial support for this research. Moreover, it is necessary to have a special grateful for Dr. -Ing. Ingrid Rügge, because of her unwavering supports for my peace of mind for living and studying in Germany.

In addition, I would like to thank all of my colleagues in BIBA-IKAP and IGS, especially, Jasmin Nehls, Stefan Wiesner, Thorsten Wuest, Dr.-Ing. Pierre Kirisci, Robert Hellbach, Elahe Nabati, Molin Wang, and Samaneh Beheshti-Kashi, who help me a lot to proofread, and for their helpful advice and suggestions in general. Moreover, it is needed to appreciate Prof. Abdollah Hadi, and Dr. Meisam Nasrollahi, my Iranian friends, who help me with their valuable comments.

I would like to thank the god because of my family. Dear mother and father (Maryam and Ahmad), intellection spirit and indescribable support to me throughout my whole life are invaluable. I appreciate your honesty, including compliments and criticisms. I am very grateful about your care, your love and trust in me, and future thank you for your constant interest and positive stimulation. I thank my lovely son, Radin, for his sweet smile and understanding.

Last but not least, and most importantly, I would like to thank my wife Farnaz. The best outcome from these past five years is finding my best friend, soul-mate, and wife. Her support, encouragement, quiet patience and unwavering love were undeniably the bedrock upon which the past five years of

my life have been built. There are no words to convey how much I love her. Farnaz, has been a true and a great supporter and has unconditionally loved me during my good and bad times.

ABSTRAKT

Heut zu Tage verändert sich der Konkurrenzgedanke von Unternehmen untereinander hin zu einer interunternehmerischen Konkurrenz zwischen Logistiknetzwerken (Rice & Hoppe, 2001). Der Gewinn der Gunst des Kunden ist einer der primären Elemente, um am Markt zu bestehen. Die Erwartungen und Bedürfnisse der Kunden nehmen von Tag zu Tag an Diversivität zu. Um diese Bedürfnisse mit neuen angebotenen Dienstleistungen kurzfristig zu erfüllen, braucht es mehr Flexibilität auf allen Ebenen (Versorger, Hersteller, Logistikdienstleister) des Versorgungsnetzwerkes, um die Produktionskosten und Qualität im Rahmen zu halten. Deshalb ist es notwendig für jede Marktchance ein separates Versorgungsnetzwerk einzurichten (Barker & Finnie, 2004). Organisationen sind nicht länger auf Langzeitverträge mit ihren Versorgern angewiesen. Vielmehr ist die Auswahl des Versorgers damit verbunden, welche Qualifikationen dieser im Hinblick auf die Bereitstellung von Dienstleistungen und deren Kompatibilität mit den Kundenwünschen erbringt. So muss ein Versorgungsnetzwerk entsprechend der spezifischen Marktchance, mit Blick auf die Struktur und Teilnehmer, entworfen werden. Daraus resultierend muss der Aufbau von Versorgungsnetzwerken flexibler werden und bewegt sich dabei in Richtung Dynamik (Humphries & Mena, 2012). Betrachtet man die Dynamik und Kurzlebigkeit heutiger Versorgungsnetzwerke, unterscheiden sich die Managementstrategien zum Lösen dieser Netzwerkprobleme von den traditionellen Strategien (welche in den Versorgungsnetzwerken mit festen Strukturen Anwendung finden).

Die Lieferzeit ist eine der Hauptkriterien für die Evaluation der Leistung eines Versorgungsnetzwerkes. Lieferzeit und Genauigkeit in dynamischen Versorgungsnetzwerken sind, wegen ihrer Kurzlebigkeit solcher Netzwerke, die größten Herausforderungen für Netzwerkmanager (da Silveira & Arkader, 2007).

Aus einem anderen Blickwinkel betrachtet dürfen Ungenauigkeit und deren Ursachen, welche die Lieferzeit direkt betreffen, deshalb nicht ignoriert werden. Aus diesem Grund fokussiert diese Untersuchung auf die Auswirkung von Unsicherheit auf die Lieferzeit in dynamischen Versorgungsnetzwerken. Genauergesagt untersuchen und definieren wir im ersten Schritt Versorgungsnetzwerke und Aufgaben, vor denen die Manager in entscheidungstreffenden Prozessen in Zusammenhang mit Versorgungsnetzwerken stehen. Anschließend werden die Ursachen der Unsicherheit in den Versorgungsnetzwerken aus der Sicht anderer Wissenschaftler identifiziert und gesammelt. Laut der Literatur sind Netzwerkaufbau und in diesem Zusammenhang auftretende Komplexitäten einer der Hauptfaktoren, die zu Unsicherheit in einem Versorgungsnetzwerk beitragen (Simangunsong, et al., 2012). Netzwerke mit einer höheren Komplexität (die Anzahl der Teilnehmer, wie auch der Typ der Subnetzwerke), weisen eine höhere Unsicherheit auf. In der laufenden Untersuchung besteht ein

Versorgungsnetzwerk aus einer Anzahl Versorger und einem Hersteller (die Hauptorganisation, welche die Kundenaufträge sammelt). Also beinhaltet ein Versorgungsnetzwerk Knoten, welche Netzwerkteilnehmer beinhalten, die die Möglichkeit haben zur Wertsteigerung beizutragen, wie auch Verbindungen zwischen den Teilnehmern. Nach der Diskussion der Herausforderungen und Unsicherheiten der Versorgungsnetzwerke, werden die Versorgungs Subnetzwerke (Basisnetzwerke) grafisch aufgearbeitet. Im Anschluss werden wir wiedergeben, wie durch eine Kombination von Subnetzwerken komplexe Netzwerke entstehen.

Wie gesagt, wird ein Versorgungsnetzwerk als aus zwei, oder mehr unterschiedlichen Organisationsinstanzen die von einander abhängig sind, beschrieben (Harland, et al., 2001). Lieferzeitliche Unsicherheiten sind eine der Aufgaben vor denen dynamische Versorgungsnetzwerke stehen. Der Aufbau der Netze und die Mitglieder haben einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Niveau der Unsicherheit (Safaei, et al., 2013). Jedes Mitglied des Versorgungsnetzwerkes hat sein eigenes Niveau der Unsicherheit. Die Unsicherheit der gesamten Lieferzeit hängt von der Unsicherheit jedes Mitgliedes des Netzwerkes ab. Eine Untersuchung des Einflusses der Unsicherheit jedes einzelnen Mitgliedes des Netzwerkes auf die gesamte Unsicherheit des Netzwerkes zeigt, dass dies in Verbindung, mit einer Kombination des Netzwerktyps, dem Niveau der Komplexität des Aufbaus und direkt mit den Mitgliedern, steht. Die Messung des Niveaus akkumulierter Unsicherheit im Netzwerk diese Ursachen betreffend, ist eines der Anliegen denen sich diese Untersuchung stellt. Außerdem ist es unentbehrlich Versorger mit dem höchstmöglichen Potential für die akkumulierte Unsicherheit zu identifizieren, um die Netzwerkeffizienz und Leistung zu verbessern (Safaei, et al., 2011).

Auf Grund der Kurzlebigkeit dynamischer Versorgungsnetzwerke, sollten Methoden zur Bewältigung der Forschungsaufgaben schnell und genau sein (Alkhatib, et al., 2013). Weshalb wir, auf Grund des Vorgehens welches in dieser Untersuchung vorgeschlagen wurde, nicht im Detail auf jedes Netzwerk ein gehen und betrachten lieber jeden Versorger (Mitglieder) als Quelle, dessen Lieferzeit und Unsicherheit gute Indikatoren und Schätzwerte, des ganzen Vorgangs interner Unsicherheiten, sind. Also wurde das Versorgerverhalten, durch abschätzen statistischer Funktionen der Lieferzeitunsicherheit jedes Versorgers durch die Auswertung von Stichproben der Lieferzeiten ähnlicher Projekte, untersucht. Diese statistischen Funktionen bilden die Basis aller folgenden Berechnungen. Im Anschluss werden die Versorger mit dem größten Einfluss auf die Unsicherheit des gesamten Netzwerkes, durch den Einsatz, der modifizierten und angepassten PERT Methode, auf das Versorgernetzwerk, identifiziert. Im nächsten Schritt wird mittels eines angepassten GUM und einer Monte Carlo Technik, welche später erläutert werden, die akkumulierte Netzwerkunsicherheit errechnet.

Durch das Studium der Forschungsliteratur stellte sich heraus, dass die meisten Untersuchungen auf die Bereitstellung von Strategien zur Reduzierung der Unsicherheit fokussieren. Es ist aber nötig die Unsicherheit vor dem Einsatz solcher Strategien zu berechnen, was in vorherigen Untersuchungen allerdings außer acht gelassen wurde. Die vorgeschlagene Methode in dieser Forschungsarbeit hat versucht, ohne den Einsatz mathematischer Formeln, einen einfachen Weg zu beschreiben. In den Händen von Managern kann dies ein Werkzeug sein, um sie bei der Berechnung und Überwachung von Unsicherheit in ihren Versorgungsnetzwerken und der Entscheidungsfindung, zu unterstützen, bevor Kürzungsstrategien zum Einsatz kommen. Aus diesem Grund gibt es Managern die Möglichkeit kritische Versorger zu identifizieren und zu ermitteln, wo Unsicherheitskürzungsstrategien anzuwenden sind und deren Effektivität zu messen.

ABSTRACT

Nowadays, business competition turns from inter-company competition into competition between supply networks (Rice & Hoppe, 2001). Winning customer satisfaction is one of the primary elements of survival in the market. Customers' expectations and demands get more diversified day by day. Meeting customers' full satisfaction through offering them diverse services and fulfilling their varying expectations in the short term requires increased flexibility in all different levels (suppliers, manufacturers, distributors) of the supply network in order to control production costs and quality (Ari-Pekka & Antti, 2005). Therefore, it is necessary to design a separate structure of supply network for each market opportunity (Barker & Finnie, 2004). Organizations no longer are committed to long-term cooperation with suppliers. Furthermore, choosing suppliers is only based on their qualifications with regard to providing service and their compatibility with the type of customers' demands. Thus, each supply network needs to be designed according to a specific market opportunity with regard to structure and members. As a result, the structure of supply networks must be more flexible and is moving toward dynamics (Humphries & Mena, 2012). Given the dynamic and short-time nature of today's supply networks, the management strategies required to handle issues related to such networks is different from traditional strategies (which are applied in the supply networks with fixed structures.).

Delivery time is one of the main criteria for evaluating the performance of a supply network. Delivery speed and accuracy in dynamic supply networks are the main challenges ahead of network managers due to the short-time nature of such networks (da Silveira & Arkader, 2007). Therefore, from a different viewpoint, uncertainty and its sources, which directly affect delivery time, could not be ignored easily. Therefore, this study essentially focuses on the impact of uncertainty on delivery time in dynamic supply networks. In particular, we examine and define supply networks and challenges ahead of managers in decision-making processes related to supply networks in the first step. Then, the causes of uncertainty in supply networks from the viewpoint of other researchers are identified and collected.

According to the literature, network structure and relevant complexities are one of the main factors contributing to uncertainty in supply networks (Simangunsong, et al., 2012). The networks with greater complexity (in terms of the number of members as well as the type of sub-networks), will create higher uncertainty. In the current study, a supply network consists of a number of suppliers and a manufacturer (the main organization, which collects the customers' orders). Therefore, a supply network includes nodes, which cover network members who are capable of creating added value in the network as well as links between these members. After discussing supply network challenges and uncertainty, the supply sub-networks (basic networks) will be

illustrated. Then, we express how complex networks are created by combining sub-networks.

As stated, a supply network is described to consist of two or more different organizations that depend on each other (Harland, et al., 2001). Delivery time uncertainty is one of the challenges ahead of dynamic supply networks. Network structure and members have an undeniable effect on the level of uncertainty (Safaei, et al., 2013). Each member of the supply network has its own level of uncertainty. The uncertainty of the final delivery time depends on the uncertainty of each member of the network. An examination of the influences of the uncertainty of each network member on the final uncertainty of the network is related to the combination of the basic types of the network, level of structural complexity, and members directly. Measuring the level of accumulated uncertainty in the network regarding to these causes is one of the issues covered by this study. On the other hand, it is indispensable to identify suppliers with the highest contribution to the accumulated uncertainty in order to be able to improve network efficiency and performance (Safaei, et al., 2011).

Because of the short lifetime of dynamic supply networks, the methods required to deal with the research challenges should enjoy proper speed and accuracy (Alkhatib, et al., 2013). For this reason, based on the methodology proposed in this study, we will not go into the details of each network separately and will rather approach each supplier (member) as a black box whose delivery time and uncertainty outputs are good indicators and estimators of the whole event and relevant internal uncertainties. Thus, supplier behavior has been examined based on delivery time uncertainty by calculating the statistical function of each supplier's delivery time uncertainty obtained through sampling the delivery times in similar projects. These statistical functions form the basis of further calculations. Then, those suppliers with the highest effect on the total delivery time uncertainty of the network will identify through employing the modified and adapted PERT method to the supply network. In the next stage, by using adapted GUM and Monte Carlo techniques, which will be discussed later, the network's accumulated uncertainty will be calculated.

A study of the research's literature revealed that most studies had focused on offering strategies to reduce uncertainty. However, it is necessary to calculate the uncertainty before employing such strategies, something that has been overlooked by previous studies. The proposed methodology in this research, has been trying to express in a simple way and without using complex mathematical formulas. It could be a tool in the hand of managers to calculate and monitor uncertainty in their supply networks to support them in their decision before using the reduction strategies. For this reason, it enables managers to identify critical suppliers and determine where to employ uncertainty reduction strategies and measure their effectiveness.

Table of Contents

Acknowledgments.....	I
Abstrakt	III
Abstract.....	VI
Table of contents.....	VIII
List of abbreviations.....	XI
List of tables.....	XII
List of figures.....	XIV
 1 CHAPTER 1 – Introduction	 1
1.1 Motivation	1
1.2 Gap of knowledge and research problem	2
1.3 Purpose and procedure of the dissertation.....	4
1.4 Structure of the dissertation.....	6
 2 CHAPTER 2 – Supply networks: definition and literature	 9
2.1 Supply network management: introduction and definitions	9
2.2 Literature review on supply network process.....	10
2.2.1 Evolution of supply network: yesterday, today, and tomorrow	11
○ Step one - Decentralization of supplies	12
○ Second step - Cost management.....	13
○ Third step - Integration of functions.....	14
○ Fourth step - Supply-chain management.....	15
○ Fifth Step: Towards supply networks and their electronic data management.....	16
2.3 A general view of a supply network.....	17
2.4 Common challenges in supply network and their sources	19
2.5 Toward an effective and efficient supply network.....	20
2.6 Importance of quick response (QR) in supply networks	22
2.7 Summary	24
 3 CHAPTER 3 – Uncertainty in supply networks: Strategies and resources.....	 25
3.1 Error and uncertainty.....	25
3.2 Classification of uncertainty.....	26
3.3 Uncertainty in supply networks.....	26
3.3.1 Definitions of uncertainty in supply networks	27
3.4 Sources of uncertainty in supply networks	28
3.5 Literature review on managing and controlling uncertainties in supply networks ..	34
○ Designing an efficient information management system and controlling of supply network information	35
○ supply network integration and cost reduction	35
○ Implementation of cooperative communication.....	36
○ The structure of the network partners.....	36
3.5.1 Qualitative models.....	37
3.5.2 Quantitative models.....	42
3.6 Advantages and limitations of the approaches	50

3.7	Possible mathematical methods in explanation of uncertainty	52
3.7.1	Most common probability density functions.....	54
3.8	The gap in the literature review.....	55
3.9	Summary	57
4	CHAPTER 4 – Dynamic and complex supply networks: Delivery time and uncertainty challenges	58
4.1	Dynamic supply networks	58
4.2	The importance of monitoring and controlling delivery time uncertainty	59
4.3	Structure of supply networks and complex supply networks.....	62
4.4	Delivery time uncertainty in complex supply networks.....	65
4.5	Mathematical definition of delivery time uncertainty.....	67
4.6	Features of expected method.....	69
4.7	Summary	69
5	CHAPTER 5 – A hybrid methodology for delivery time uncertainty in dynamic supply networks ..	71
5.1	Probability density function	71
5.1.1	Adapted probability density functions	72
5.2	Preparing the network	77
	Table 5-1: The numbers of connected oriented graphs (Weisstein, 2003).....	78
5.2.1	Basic networks with two nodes	79
5.2.2	Basic networks with three nodes	80
5.2.3	Basic networks with four nodes	81
5.3	Program (or Project) Evaluation and Review Technique (PERT)	84
5.3.1	Adapted PERT.....	85
5.4	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)	88
5.4.1	Adapted GUM	89
5.5	Monte Carlo method.....	92
5.6	Hybrid algorithm	93
5.7	Summary	95
6	CHAPTER 6 – Qualification and verification of the hybrid methodology	97
6.1	Qualification and verification of the methodology by a numerical example with complexity.....	97
6.1.1	Accuracy and efficiency of Monte Carlo method	99
o	supply network with normal probability density functions	99
•	Mathematical calculations of GUM for the considered network	101
•	Monte Carlo method results and assumption for scenario1	102
•	Compare the results of GUM and Monte Carlo method	103
6.1.2	Applicability of methodology in high complex supply network with alternative probability density functions.....	105
6.1.3	Validation of hybrid methodology by cross –validation.....	106
6.2	Applicability of hybrid methodology in three different supply networks as case study 111	
6.2.1	A case study from the commodity supply networks for custom products	112
6.2.2	A case study for supply networks with more than one OEM.....	118
6.2.3	A case study for supply networks with more than one critical path.....	124
6.3	Summary	132
7	CHAPTER 7 – Conclusion and outlook	134

7.1	Conclusion.....	134
7.1.1	Summary of the research and results.....	134
7.1.2	Contribution of the research	136
7.1.3	Suggestion for implementation	141
7.2	Limitations	142
7.3	Future research and outlook	142
8	Literatures.....	144
9	Appendixes	158
9.1	Expected value of some common probability density functions.....	158
9.2	The generalized extreme value distribution	159
9.3	The Error probability density function.....	162
9.4	Forward and backward calculations regarding to the adapted PERT algorithm....	164
9.4.1	Calculations for exemplary complex supply network in section 6.1	164
9.4.2	Calculations for notebook computer supply network case study in section 6.3.1	165
9.4.3	Calculations for Noramco's spray nozzles supply network case study in section 6.3.2	167
9.4.4	Calculations for Bulldozer supply network case study in section 6.3.3.....	169
9.5	EasyFit and Monte Carlo method results	172
9.5.1	Obtained Monte Carlo method results for scenario 1, section 6.1.1	172
9.5.2	Obtained Monte Carlo method and EasyFit results for scenario 2, section 6.1.....	173
9.5.3	Obtained Monte Carlo method and EasyFit results for section 6.3.2	175
9.6	All possible basic types of network with 4 nodes	177