

Ein deterministisch-stochastischer Algorithmus für die Mehrkriterienoptimierung

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur Andrej Wachal

geboren am 15. September 1976 in Nitra, Slowakei

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Gerhard Lappus
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Bestle
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Arnold Kühhorn

Tag der mündlichen Prüfung: 07. Mai 2010

Industriemathematik und Angewandte Mathematik

Andrej Wachal

**Ein deterministisch-stochastischer Algorithmus
für die Mehrkriterienoptimierung**

Shaker Verlag
Aachen 2010

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.: Cottbus, BTU, Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9464-9

ISSN 1615-6390

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

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand hauptsächlich während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Technische Mechanik und Fahrzeugdynamik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

Mein ganz besonderer Dank gilt dem Leiter des Lehrstuhls Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Bestle für die hervorragende Betreuung und die vielen wertvollen Anmerkungen und Anregungen, die einen entscheidenden Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Arnold Kühhorn danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens und für die Übernahme des Vorsitzes bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gerhard Lappus.

Meinen Kollegen am Lehrstuhl danke ich ganz herzlich für die gute Zusammenarbeit, die vielen Diskussionen und fachlichen Anregungen sowie für das angenehme Arbeitsklima in einem guten Kollektiv.

Weiterhin möchte ich Herrn Dr.-Ing. Ahmed Abou-El-Ela danken, dass er mich bei meiner derzeitigen Industrietätigkeit in meinem Promotionsvorhaben stets motiviert und unterstützt hat.

Ein besonders großer Dank gilt meiner Frau für ihre Unterstützung, große Geduld, ihr Verständnis und den immer gewährten Rückhalt.

Zorneding, im August 2010

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der wichtigsten Symbole, Formelzeichen und Abkürzungen . .	IX
1 Einführung	1
1.1 Einsatz der Optimierung im modellbasierten Entwicklungsprozess	2
1.2 Ziel und Inhalt der Arbeit	5
2 Mehrkriterienoptimierung	7
2.1 Klassifikation der Mehrkriterienoptimierung	7
2.2 Problemformulierung und weitere Aspekte der Mehrkriterienoptimierung	11
3 Methoden der Mehrkriterienoptimierung	25
3.1 Klassische Methoden der Mehrkriterienoptimierung	25
3.1.1 Gewichtete Kriterien	26
3.1.2 Adaptive Methode der Gewichteten Summe	28
3.1.3 Distanz-Methode	29
3.1.4 Benson'sche Methode	31
3.1.5 NBI Methode	32
3.1.6 Rekursive Knie-Suche	34
3.2 NSGA-II, eine stochastische Methode der Mehrkriterienoptimierung . . .	38
3.3 Robustheit klassischer Mehrkriterienoptimierungsmethoden	42
3.3.1 Einsatz von Heuristik bei gradientenbasierten Verfahren	42
3.3.2 Startwurfstrategie für lokale Suchalgorithmen	44
4 Ein robuster Algorithmus WaBe für die Mehrkriterienoptimierung	49
4.1 Hauptkonzept	49
4.2 Rekursion bei bi-kriteriellen Problemen	52
4.3 Akzeptanz der Lösung	55
4.4 Startwertstrategie	56
4.5 Nicht-dominierte Front	58
4.6 Höherdimensionale Probleme mit mehr als zwei Kriterien	59

5 Algorithmenvergleich	67
5.1 Metriken zur Konvergenzbeurteilung von Mehrkriterienoptimierungsalgorithmen	67
5.1.1 Frontgenauigkeit	69
5.1.2 Frontverteilung	71
5.2 Testprobleme	74
5.3 WaBe kontra NSGA-II, ein Algorithmenvergleich	83
5.3.1 Rahmenbedingungen der Analyse mit WaBe	84
5.3.2 Rahmenbedingungen des Algorithmus NSGA-II	85
5.3.3 Auswertung	87
5.3.4 Merkmale der Algorithmen WaBe und NSGA-II	98
6 Anwendung auf ein Identifikations- und Optimierungsproblem	101
6.1 Problemformulierung	101
6.2 Modellierung einer Luftfeder	102
6.3 Identifikation der Modellparameter	106
6.3.1 Quasi-statische Identifikation	107
6.3.2 Dynamische Identifikation	108
6.4 Ersatzmodell	109
6.5 Horizontale Schwingungsisolierung einer Plattform	112
6.6 Optimierungsproblem der Schwingungsisolierung	114
7 Zusammenfassung	121
Literatur	125
Anhang A	
Entwurfs- und Kriterienraum des relativen und absoluten Plattformmodells	131
Anhang B	
MATLAB-Programm des Algorithmus WaBe	133