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

Ein deterministisch-stochastischer Algorithmus für die Mehrkriterienoptimierung

Die Mehrkriterienoptimierung, welche mehrere Kriterien oder Ansprüche an ein System oder einen Prozess gleichzeitig behandelt und als Ergebnis im Allgemeinen eine Vielzahl von optimalen Entwürfen, so genannte Pareto-Mengen, liefert, erlebt eine ständige Weiterentwicklung. Darüber hinaus wird die Kopplung von numerischer Optimierung und Simulation in der industriellen Praxis bereits erfolgreich eingesetzt.

In der vorliegenden Arbeit werden verschiedene Aspekte und Grundprinzipie der Mehrkriterienoptimierung sowie einige Algorithmen beschrieben und diskutiert, um einen Überblick über diese Thematik zu verschaffen. Im Weiteren wird der neue deterministisch-stochastische Algorithmus WaBe präsentiert. Es handelt sich um einen *a posteriori* Algorithmus, welcher rekursiv auf definierte Subprobleme eingesetzt wird, wobei die Größe der Lösungsmenge durch einen Abbruchparameter steuerbar ist. Der Gedanke der Pareto-Optimalität ist in das skalare Ersatzkriterium des WaBe-Algorithmus robust integriert und daher ist eine einmalige Pareto-Sortierung ausreichend. Durch den Einsatz eines gradientenbasierten Optimierungsalgorithmus verknüpft mit deterministischen Heuristiken und einem Zufallsgenerator ist der Algorithmus WaBe effizient und robust. Er kann auf n -kriterielle Probleme sowohl mit konvexer als auch konkaver Pareto-Front angewandt werden. WaBe liefert eine repräsentative Verteilung der Punkte entlang der Pareto-Front selbst bei Unstetigkeitsstellen und großen Krümmungen der Front, wobei die individuellen Minima oder geeignete Randpunkte benötigt werden.

Um die Funktionsweise und Effizienz des WaBe-Algorithmus zu beurteilen, wird dieser mit dem genetischen Algorithmus NSGA-II an bekannten bi-kriteriellen Testproblemen aus der Literatur getestet und die Ergebnisse werden statistisch anhand von drei Metriken ausgewertet. Diese Studie zeigt deutliche Vorteile des WaBe-Algorithmus im Vergleich zum NSGA-II Algorithmus. Darüber hinaus wird der neue Algorithmus WaBe erfolgreich auf Drei- und Vier-Kriterientestprobleme angewandt.

Abschließend wird der WaBe-Algorithmus zur Lösung eines technischen Optimierungsproblems der Schwingungsisolation genutzt. Eine Luftfeder, die als effektives Isolationselement dient, wird zunächst analysiert und ein physikalisch-mathematisches Modell entwickelt. Anhand von Versuchsdaten wird dann eine Mehrkriterien-Parameteridentifikation realisiert. Das verifizierte Luftfedermodell wird erfolgreich auf die Mehrkriterienoptimierung von zwei Konzepten der horizontalen Schwingungsisolation einer Plattform angewandt und die generierten Pareto-Mengen zeigen repräsentative Kompromisslösungen, welche gleichzeitig die Systemgrenzen darstellen.

A deterministic stochastic Algorithm for the multiobjective optimization

Multiobjective optimization, which deals simultaneously with several objectives and requirements of a system or process to provide as a result a complete set of optimal designs, the so called Pareto-set, shows permanent progress. The advantageous coupling of numerical optimization and simulation is nowadays successfully used in industry.

In the thesis the problems as well as different aspects and main principles of multicriteria optimization are presented, some algorithms are described and discussed in order to obtain an overview of this topic. A new deterministic-stochastic algorithm WaBe is introduced. This is an à posteriori algorithm applied recursively to several subproblems, where the size of the solution set can be controlled by a termination parameter. The principle of Pareto optimality is robustly implemented in the scalar objective used by the WaBe algorithm, hence a once-only Pareto sorting is sufficient. Due to the use of a gradient based optimization algorithm together with deterministic heuristic and a random generator, the WaBe algorithm is efficient and robust. It can be applied to n -criteria problems with both convex and concave Pareto fronts. WaBe generates representative solutions spread over the whole Pareto front, even in case of discontinuities and highly curved fronts, however, the individual minima or appropriate boundary points are inevitable.

In order to check the functionality and efficiency of the WaBe algorithm, WaBe together with the genetic algorithm NSGA-II are applied to some well known bi-criteria test problems from the literature and their results are statistically evaluated by means of three metrics. The metric comparison shows a predominance of the WaBe algorithm over the NSGA-II algorithm. Moreover, the new algorithm WaBe is successfully applied to three- and four-criteria test problems.

Finally the WaBe algorithm is applied to the technical optimization problem of vibration insulation. An air spring, which represents an effective insulation element, is firstly analysed and a physical mathematical model is derived. Subsequent multicriteria parameter optimization based on the measurements is performed. The validated air spring model is then successfully used for the multiobjective optimization of two concepts for horizontal vibration insulation of a platform, and the generated Pareto set shows representative compromise solutions, which at the same time represent limitations of the insulation system.