Lehrstuhl für Statik
der Technischen Universität München

Robust Design Optimization Based on Metamodeling Techniques

Florian Jurecka

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur– und Vermessungswesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor–Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.–Prof. Dr. rer.nat. Ernst Rank

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.–Prof. Dr.–Ing. Kai–Uwe Bletzinger
2. Prof. Vassili Toropov, Ph.D.,
   University of Leeds / UK

Die Dissertation wurde am 01.03.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Bauingenieur– und Vermessungswesen am 23.04.2007 angenommen.

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Statik TU München

Band 8

Florian Jurecka

Robust Design Optimization Based on Metamodeling Techniques

Shaker Verlag
Aachen 2007

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.: München, Techn. Univ., Diss., 2007

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6390-4
ISSN 1860-1022

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

Robust Design Optimization Based on Metamodeling Techniques

Abstract. In this thesis, the idea of robust design optimization is adopted to improve the quality of a product or process by minimizing the deteriorating effects of variable or not exactly quantifiable parameters. Robustness can be achieved via different formulations, which are compiled and discussed in the present work. All of these formulations have in common that they require many function evaluations throughout the optimization process. Especially in the growing field of computational engineering, the governing equations are typically not explicit functions but rather a nonlinear system of equations – for instance, derived from a nonlinear finite element discretization. In this case, even pointwise solutions can be quite expensive to evaluate. To reduce the tremendous numerical effort related to the described robustness analyses, metamodeling techniques are used replacing the actual numerical analysis codes by a simpler formulation. In this thesis, a method is proposed to sequentially augment the significance of metamodels for robust design optimization through additional sampling at infill points. As a result, a robust design optimization can be applied efficiently to engineering tasks that involve complex computer simulations. Even though the suggested approach is applicable to many engineering disciplines, the present work is focused on problems in the field of structural mechanics.

Robust Design Optimierung mit Hilfe von Metamodellierungstechniken

Zusammenfassung. In dieser Arbeit wird die Idee der Robust-Design-Optimierung aufgegriffen, deren Ziel es ist, die Qualität eines Produktes oder Prozesses dadurch zu verbessern, dass die störenden Auswirkungen von variablen oder nicht genau quantifizierbaren Parametern reduziert werden. Robustheit kann durch verschiedene Formulierungen erreicht werden, die in dieser Arbeit zusammengetragen und diskutiert werden. Alle diese Ansätze haben gemein, dass sie im Laufe der Optimierung viele Auswertungen der Systemgleichungen erfordern. Insbesondere für das aufstrebende Gebiet des *Computational Engineering* ist es typisch, dass das betrachtete System nicht durch geschlossen darstellbare Formeln beschrieben wird, sondern vielmehr durch ein nichtlineares Gleichungssystem, wie es z.B. aus einer nichtlinearen Finite-Elemente-Diskretisierung entsteht. In einem solchen Fall sind meist selbst punktweise Auswertungen der Systemgleichungen recht zeitaufwändig und damit teuer. Um den numerischen Aufwand von Robustheitsanalysen dennoch überschaubar zu halten, werden hier Metamodelltechniken verwendet, mit deren Hilfe das teure Originalproblem durch eine simplere Formulierung ersetzt wird. In dieser Arbeit wird eine Methode vorgeschlagen, mit der die Aussagekraft von Metamodellen in Bezug auf die Robustheit des Systems durch Hinzunahme von neuen Stützstellen sequentiell verbessert wird. Auf diese Weise kann eine Robust-Design-Optimierung auch auf Ingenieurprobleme angewendet werden, die durch aufwändige Computersimulationen beschrieben werden. Das hier vorgestellte Verfahren kann in vielen Feldern des Ingenieurwesens eingesetzt werden, im Fokus der vorliegenden Arbeit sind jedoch strukturmechanische Problemstellungen.

Acknowledgements

The present dissertation was written between 2001 and 2007 while I was research associate at the Chair of Structural Analysis (Lehrstuhl für Statik), Technische Universität München.

First of all I would like to express my gratitude to my supervisor and examiner Professor Dr.-Ing. Kai-Uwe Bletzinger for his remarkable support and guidance during my time at his chair. He initiated this research in the fascinating field of robust design and gave me the opportunity to work as course director for the master course Computational Mechanics. His permanent willingness to spare precious time for me – even when a short question turned into a lengthy discussion – and his valuable contributions to this thesis are highly respected.

Sincere thanks go to Professor Dr. Vassili Toropov, who acted as co-examiner of this thesis. His thorough and constructive review has contributed significantly to my dissertation. Furthermore, I owe many thanks to Professor Dr. Ernst Rank, who not only presided the examining commission for my doctorate but also supported me throughout the management of the master course. Special thanks go to Professor Dr.-Ing. Manfred Bischoff for taking the time to proof-read the following text. I also enjoyed the proficient counseling he provided by many invaluable advices while he was engaged in Munich.

I was always fond of working at TUM and this is due to the cordial and motivating atmosphere amongst all colleagues at the institute. I am deeply grateful to all current and former staff members for contributing to this unique work environment. I will always love to reminisce not only about our close and amicable collaboration but also about all common leisure activities. I am much obliged to my 'room mates' Dr.-Ing. Bernhard Thomée and Dipl.-Ing. Johannes Linhard as well as to my 'fellow passenger' Matthias Firl, M.Sc. for enduring my nature with great patience. Furthermore, I would like to thank Dipl.-Ing. Kathrin Grossenbacher and Dipl.-Math. Markus Ganser for their assistance in setting up the application example.

I would like to thank my family and especially my parents Ulrike and Harald for all their love and support. Above all, I am deeply indebted to my dear wife Britta who was bearing the brunt of work while I was released to compile my dissertation. Thank you for everything – most notably for being such a caring mother to our children.

Munich, May 2007 Florian Jurecka

Contents

List of Figures

List of Tables