



Doctoral Thesis

Representation concepts in evolutionary algorithm-based structural optimization

Author(s):

Giger, Mathias

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005330701> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 17017

REPRESENTATION CONCEPTS
IN
EVOLUTIONARY ALGORITHM-BASED
STRUCTURAL OPTIMIZATION

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ZURICH

for the degree of
Dr. sc. ETH Zurich

presented by
MATHIAS GIGER
Dipl. Masch. Ing. ETH
born on August 31, 1977
citizen of Niedergösgen (SO)

accepted on recommendation of
Prof. Dr. P. Ermanni, examiner
Prof. Dr. E. Zitzler, co-examiner

2007

Abstract

This thesis investigates several aspects of numerical optimization in the world of structural engineering. In particular the representation of structural parts as a prerequisite for any optimization process is of great importance. Typically, the representation intensively interacts with the applied optimization algorithm and decisively contributes to the generation of superior design solutions. Moreover, the qualities of the optimization algorithm also heavily influence the convergence behavior of the optimization process.

The development of CFRP racing motorcycle rims is presented, whereas EAs and a constant-length vector genotype are applied during the development process. The application of optimization methods provides optimum stacking sequences which lead to decisively lighter rear and front rims compared to state-of-the-art magnesium alloy rims. The identified needs for further research in terms of the performance of the optimization algorithm and the representation concept are addressed in this thesis.

AORCEA - an Adaptive Operator-Rate Controlled Evolutionary Algorithm - is developed which changes the operator rates of the variation operators based on the search state of the optimization algorithm. A success and a relative diversity measure are applied which are used as an indicator for the adjustment of the variation operator rates. AORCEA is tested on several well-known numerical benchmark functions as well as on the optimization of a steel trellis motorbike frame. The adaptive strategies always perform superior or at least equal to a reference EA with constant variation operator rates.

In particular in the field of composite laminate optimization the representation of the stacking sequence is a critical issue. A patch concept treating single laminate layers as design entity is the basis for a variable-length representation concept. The optimization of a simple eigenfrequency problem indicates that this variable-length representation concept may lead to superior solutions with less evaluations. Furthermore, the optimization of a hockey stick is presented as an example for an engineering application.

Besides the traditional vector representation also mathematical graph-based representation concepts are investigated within this thesis. The optimization of truss structures is investigated due to the obvious similarity between trusses and mathematical graphs. The nodes and members are encoded as vertices and edges of a graph, respectively, and a major advantage is the independency from ground structures which are the basis of many of the popular truss optimization methods. Moreover, an important advantage of graph-based representations is the possibility of concurrent optimization of topology, shape, and sizing what today is most often strictly separated.

The graph-based approach leads to novel solutions which hardly could be found with traditional methods.

A graph-based representation concept is also developed for global laminate optimization. Such laminate structures are most often evaluated by FE-simulations. The underlying FE-mesh which typically consists of layered shell elements is ideally suited for a representation concept. The finite elements are represented in a mathematical graph which further groups them to zones. The stacking sequences of all zones are optimized and the zone layout allows for local reinforcements and the incorporation of domain knowledge.

Modern CAD systems are essential for product development processes because they offer a parametric-associative representation of mechanical structures. A generic EC framework is established which provides all required functionalities to optimize topology and shape of such mechanical structures. The CAD package CATIA V5 and its C++ interface CAA V5 are ideally suited for the implementation of an optimization framework because the mechanical structures are represented by specification trees. This specification tree is interpreted as mathematical graph which allows for traditional shape but also topology optimization, i.e., the generation of structures with a variable number of design entities is rendered possible.

For all these graph-based representation concepts appropriate variation operators are developed and the concepts are validated with illustrative applications which lead to convincing results.

Zusammenfassung

Diese Dissertation befasst sich mit verschiedenen Aspekten der numerischen Optimierung im Bereich der Strukturoptimierung. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Repräsentation der Strukturen zu, die eine wichtige Voraussetzung für den Optimierungsprozess darstellt. Sie interagiert mit dem Optimierungsalgorithmus und trägt entscheidend zu der Entwicklung von bedeutend besseren Optimierungslösungen bei. Zusätzlich hat auch die Qualität der Optimierungsalgorithmen einen bedeutenden Einfluss auf das Konvergenzverhalten der Optimierung.

Der Entwicklungsprozess von faserverstärkten Karbonfelgen, die mit evolutionären Algorithmen und Vektorgenotypen konstanter Länge optimiert worden sind, wird in dieser Arbeit vorgestellt. Die Anwendung der Optimierungsmethode liefert einen optimierten Lagenaufbau, der zu Hinter- und Vorderfelgen führt, welche bedeutend leichter sind als die Standardfelgen aus Magnesiumlegierungen. Die erkannten weiteren Forschungsbedürfnisse in Bezug auf die Leistung des Optimierungsprozesses und der Repräsentationskonzepte werden in dieser Dissertation thematisiert.

AORCEA - der *Adaptive Operator-Rate Controlled Evolutionary Algorithm* - wird entwickelt, der die Anwendungswahrscheinlichkeiten der Variationsoperatoren basierend auf dem momentanen Suchverlauf steuert. Ein Erfolgs- und ein relatives Diversitätsmesskriterium werden als Indikator für die Anpassung der Anwendungswahrscheinlichkeiten der Variationsoperatoren verwendet. AORCEA wird anhand von verschiedenen numerischen Testfunktionen sowie mit der Optimierung eines Stahlrohrmotorradrahmens überprüft. Die adaptiven Strategien erbringen jeweils eine bessere oder zumindest gleich gute Optimierungsleistung wie der Referenzalgorithmus mit unveränderlichen Anwendungswahrscheinlichkeiten der Variationsoperatoren.

Im Gebiet der Laminatoptimierung stellt die Repräsentation des Lagenaufbaus eine besondere Herausforderung dar. Ein *Patchkonzept*, welches eine einzelne Laminatlage als kleinste Einheit betrachtet, bildet die Basis für ein Repräsentationskonzept mit variabler Länge. Die Optimierung eines einfachen Eigenfrequenzproblems indiziert, dass dieses variabel lange Repräsentationskonzept zu überlegenen Optimierungslösungen führen kann bei deutlich geringerem Evaluationsaufwand. Die Optimierung eines Eishockeystockes dient schliesslich als Beispiel um die Anwendbarkeit dieses Repräsentationskonzeptes für Ingenieurprobleme zu demonstrieren.

Neben der traditionellen Vektorrepräsentation werden auch auf mathematischen Graphen basierende Repräsentationskonzepte entwickelt. Die Optimierung von Fachwerken wird untersucht, da eine offensichtliche

Ähnlichkeit zwischen mathematischen Graphen und solchen Fachwerken besteht. Die Gelenke und Stäbe werden als Knoten beziehungsweise Kanten eines Graphen repräsentiert. Ein grosser Vorteil dieser Methode ist die Unabhängigkeit von einer Grundstruktur, die die Grundlage vieler bekannter Fachwerkoptimierungsmethoden darstellt. Zudem stellt die gleichzeitige Optimierung von Topology, Form und Grösse (Querschnitte der Stäbe) einen weiteren wichtigen Vorteil der Methode dar, da diese Aspekte bei anderen Methoden häufig getrennt betrachtet werden müssen. Das graphbasierte Repräsentationskonzept führt zu neuartigen Lösungen, die mit herkömmlichen Methoden kaum hätten gefunden werden können.

Ein graphbasiertes Repräsentationskonzept wird auch für die Optimierung von Laminatstrukturen entwickelt. Laminatstrukturen werden häufig mit FE-Simulationen berechnet und das zugrundeliegende FE-Netz, welches normalerweise aus Schalenelementen mit Lagenaufbau besteht, ist bestens als Basis für ein Repräsentationskonzept geeignet. Die finiten Elemente werden in einem Graph abgebildet der diese wiederum zu Zonen gruppiert. Der Lagenaufbau all dieser Zonen wird optimiert wobei die Anordnung der Zonen lokale Verstärkungen und das Einbringen von Ingenieurwissen ermöglicht.

Moderne CAD Systeme sind aus der modernen Produktentwicklung nicht mehr wegzudenken da sie eine parametrisch-assoziative Darstellung der mechanischen Strukturen ermöglichen. Eine generische Optimierungsumgebung, die alle Funktionalitäten für Topologie- und Formoptimierung bietet, wird entwickelt. Die CAD Software CATIA V5 und das integrierte C++ Interface CAA V5 ist sehr gut für die Implementation einer solchen Optimierungsumgebung geeignet, weil die mechanischen Strukturen in einem Spezifikationsbaum repräsentiert sind. Dieser Spezifikationsbaum wird als mathematischer Graph interpretiert, der sowohl normale Form- als auch Topologieoptimierung zulässt, d.h. die Generierung von Strukturen mit einer unterschiedlichen Anzahl Bausteinen wird ermöglicht.

Für alle diese graphbasierten Repräsentationskonzepte werden passende Variationsoperatoren entwickelt. Die Tauglichkeit dieser Konzepte wird jeweils mit anschaulichen Beispielen, die zu überzeugenden Resultaten führen, unter Beweis gestellt.