

Schriften aus dem Institut für Technische und Numerische
Mechanik der Universität Stuttgart

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Peter Eberhard

Band 10/2007

Michael Lehner

Modellreduktion in elastischen Mehrkörpersystemen

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Aachen 2007

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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2007

Copyright Shaker Verlag 2007

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6783-4

ISSN 1861-1651

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

Zusammenfassung

Die numerische Simulation ist ein wichtiges Werkzeug bei der Entwicklung komplexer technischer Systeme. Maßgebliche Einflüsse auf die Weiterentwicklung der hierzu verwendeten Simulationsverfahren sind darin zu sehen, dass einerseits die gesamtheitliche Simulation von Komponenten aus verschiedenen Fachdisziplinen an Bedeutung gewinnt, andererseits aber auch immer höhere Anforderungen an die jeweiligen fachspezifischen Simulationswerkzeuge gestellt werden.

Die vorliegende Arbeit basiert auf Ergebnissen, die im Rahmen der Entwicklung eines Mehrkörpersimulationsmoduls als Bestandteil eines fachübergreifenden Simulationspakets erarbeitet wurden. Um die sich daraus ergebenden Anforderungen an die Softwarearchitektur erfüllen zu können, wird ein objektorientierter Ansatz verwendet, wodurch es auf einfache Weise möglich ist, das Modul in das übergeordnete Simulationssystem zu integrieren. Aber auch bei der Implementierung des Mehrkörpersimulationsmoduls selbst ergeben sich daraus Vorteile, wie beispielsweise anhand der gewählten Vorgehensweise zur Implementierung der Gelenkbibliothek gezeigt werden kann.

Da für manche Anwendungen die ausschließliche Beschränkung auf starre Körper bei der Mehrkörpersimulation nicht ausreicht, ist das neu entwickelte Modul in der Lage, auch elastische Strukturen zu berücksichtigen. Dies wird mit Hilfe der Methode des bewegten Bezugssystems realisiert, bei der die Bewegung des Körpers in die nichtlineare Bewegung eines körperbezogenen Referenzsystems und eine überlagerte, im Allgemeinen linearelastische Deformation aufgeteilt wird. Dieses Verfahren ermöglicht es u.~a. auch kommerzielle Finite Elemente Programme zur Beschreibung der flexiblen Substrukturen zu nutzen, wodurch auf die vielfältigen Modellierungsmöglichkeiten solcher Softwarepakete zurückgegriffen werden kann. Zur Erstellung der Bewegungsgleichungen des Gesamtsystems wird ein rekursiver Formalismus herangezogen, der es erlaubt, die explizite Form der Bewegungsgleichungen auf effiziente Weise zu berechnen.

Die mit Hilfe einer Finite Elemente Diskretisierung erhaltenen Modelle elastischer Körper besitzen jedoch häufig eine sehr große Anzahl an Freiheitsgraden. Eine effiziente Simulation elastischer Mehrkörpersysteme ist daher nur möglich, wenn leistungsfähige Modellreduktionsverfahren verfügbar sind.

Als Alternativen zu den in der Mehrkörperdynamik fast ausschließlich verwendeten Verfahren auf Basis modaler Reduktion werden in der vorliegenden Arbeit Methoden vorgestellt, die ursprünglich für Anwendungen im Kontext der Kontrolltheorie entwickelt wurden und im Allgemeinen auf eine Approximation des Ein-/Ausgangsverhaltens von Systemen abzielen.

Eine solche Verfahrensgruppe sind die Krylov-Unterraummethoden, welche hier so modifiziert werden, dass eine Anwendung auf elastische Strukturen als Bestandteile von Mehrkörpersystemen möglich ist. Anhand von Beispielen kann gezeigt werden, dass sich damit sehr genaue reduzierte Modelle erzeugen lassen, falls nur wenige auf den Körper wirkende Lasten bei der Reduktion berücksichtigt werden müssen. Die sich dabei ergebenden Approximationsfehler im Frequenzbereich können dann um Größenordnungen kleiner sein als bei reduzierten Modellen gleicher Dimension, die mit Hilfe modaler Reduktion erhalten werden. Für den Fall, dass Modelle mit relativ vielen angreifenden Kräften reduziert werden sollen, müssen jedoch gewisse Einschränkungen bei der Anwendung dieser Methoden hingenommen werden.

Als ein alternatives Verfahren wird daher die Ordnungsreduktion unter Verwendung Gramscher Matrizen untersucht. Um bestimmte Frequenzbereiche bei der Reduktion betonen zu können, werden dabei bekannte Verfahren um frequenzgewichtete bzw. bandbegrenzte Varianten ergänzt. Wie anhand von Beispielen gezeigt werden kann, besitzen diese Methoden sehr günstige Approximationseigenschaften sowohl im Frequenz- als auch im Zeitbereich. Weiterhin lassen sich für bestimmte Ausprägungen der Verfahren Fehlerabschätzungen angeben, die dazu beitragen können, den Reduktionsprozess zu vereinfachen. Neben dem gewünschten Frequenzband ist dann nur noch ein skalarer Wert vorzugeben, der die Approximationsgüte spezifiziert.

Anders als bei den Krylov-Unterraummethoden ist bei den Verfahren auf Basis Gramscher Matrizen eine direkte Anwendung auf Modelle sehr hoher Dimension kaum möglich. Es werden deshalb zwei Approximationsverfahren vorgeschlagen, die auf der Verwendung von Krylov-Unterräumen bzw. der so genannten Proper Orthogonal Decomposition beruhen und die Anwendung der Ordnungsreduktionsverfahren auf Basis Gramscher Matrizen auch auf große Systeme ermöglichen.