

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Statik TU München

Band 16

Thomas Georg Gallinger

**Effiziente Algorithmen zur
partitionierten Lösung stark gekoppelter Probleme
der Fluid-Struktur-Wechselwirkung**

Shaker Verlag
Aachen 2011

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.: München, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2011

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9754-1

ISSN 1860-1022

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

Effiziente Algorithmen zur partitionierten Lösung stark gekoppelter Probleme der Fluid-Struktur-Wechselwirkung

Dr.-Ing. Thomas Georg Gallinger

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Aspekt der Effizienz bei der partitionierten Simulation von Problemen des Typs Fluid-Struktur-Wechselwirkung. Dabei werden eine starke Kopplung, große Verformungen und instationäres Verhalten angenommen. Es werden unterschiedliche Bereiche identifiziert, die auf die Effizienz des Gesamtsimulationskonzeptes Einfluss haben. Diese sind sowohl kopplungsmethodischer als auch programmtechnischer Art. Die kopplungsmethodischen Aspekte beinhalten die Algorithmen zur Lösung des gekoppelten nichtlinearen Problems. Innerhalb einer impliziten Kopplung sind dies die Feldlöseransätze, die Bestimmung der Initialposition des Interfaces innerhalb eines Zeitschrittes und der Kopplungsalgorithmus. Bei der iterativen Lösung der nichtlinearen Feldgleichungen wird in dieser Arbeit das Konzept des angepassten Feldlösers entwickelt. Angepasste Feldlöser nutzen die Konvergenzeigenschaften des übergeordneten Kopplungsproblems zur Beschleunigung der Feldkonvergenz. Im numerischen Beispiel zeigt sich, dass dieser Ansatz im Vergleich zu einer konventionellen Methode die Gesamtrechenzeit um bis zu 23,7 % verringert. Die Bestimmung der Initialposition des Interfaces in der ersten Kopplungsiteration innerhalb eines Zeitschrittes stellt einen weiteren wichtigen kopplungsmethodischen Aspekt dar. Hierbei werden diverse bereits bestehende Methoden hergeleitet, neue Methoden entwickelt und diese miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass eine erweiterte Betrachtung der physikalischen Verhältnisse am Interface die prädiktive Qualität deutlich erhöht. Der direkte Vergleich zwischen der besten und der schlechtesten Methode ergibt in der Gesamtrechenzeit einen Unterschied von 59,2 %. Der dritte wichtige Aspekt beinhaltet die Wahl des Kopplungsalgorithmus als Kern einer gekoppelten Berechnung. Hierbei werden die Methoden relaxationsbasierte Fixpunktiteration nach Aitken, Vektorextrapolation, Quasi-Newton-Verfahren und inexakte Newton-Krylov-Verfahren mit einer Krylovraumevaluierung über finite Differenzen oder ein linearisiertes Ersatzproblem im Detail hergeleitet. Im numerischen Beispiel wird eine große Zahl an Einzelberechnungen durchgeführt, um Aussagen über Effizienz und Stabilität zu treffen. Vor allem in Bezug auf Effizienz treten sehr hohe Unterschiede auf. Zwischen dem langsamsten und dem schnellsten Verfahren liegt im Extremfall ein Faktor 11 in der Gesamtrechenzeit. Nach einer getrennten Untersuchung der Einzelaspekte werden diese miteinander kombiniert und so eine möglichst effiziente Methodenkombination festgelegt. Die programmtechnischen Aspekte beinhalten die Softwareumgebung und das Parallelisierungskonzept. In dieser Arbeit wird eine Softwareumgebung entwickelt, die drei Programme für die Bereiche Struktur, Wechselwirkung und Fluid verwendet. Diese Methode setzt die Idee des partitionierten Ansatzes konsequent um und zeichnet sich durch eine besonders hohe Flexibilität aus, da jedes der Programme nur für einen spezifischen Bereich zuständig ist. Das Parallelisierungskonzept erlaubt die Aufteilung des Kopplungsinterfaces auf eine beliebige Anzahl an Prozessoren und ermöglicht so die massiv parallele Berechnung großer Probleme, ohne eine Beschränkung des Parallelisierungskonzeptes der Teilfeldlöser. Im numerischen Beispiel wird gezeigt, dass dadurch die parallele Skalierung und Effizienz der Teilfeldlöser auch bei einer gekoppelten und partitionierten Berechnung erhalten bleibt.