

Mitteilung

Projektgruppe / Fachkreis: Numerische Simulation

Eine netzfreie parallele Moving-Least-Squares-basierte Interpolationsmethode zur Anwendung in aeroelastischen Simulationen mit dem FlowSimulator

Andreas Schuster^x, Lars Reimer^x, Jens Neumann^o

^x Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abteilung C²A²S²E, Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

Andreas.Schuster@dlr.de, Lars.Reimer@dlr.de

^o Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Aeroelastik, Bunsenstrasse 10, 37073 Göttingen

Jens.Neumann@dlr.de

Im Rahmen aeroelastischer Simulationen mittels partitionierter Verfahren, wie sie in der Industrie vordergründig zum Einsatz kommen, ist die korrekte räumliche Interpolation von aerodynamischen Kräften und strukturdynamischen Verschiebungen zwischen den an der Mediengrenze unterschiedlich diskretisierten Strömungs- und Strukturnetzen nach wie vor ein bedeutsames Problem – insbesondere, da die im industriellen Kontext verwendeten Strömungs- und Strukturnetze durch die Berücksichtigung immer weiterer Geometriedetails fortlaufend komplexer werden.

In der Literatur seit langem veröffentlichte konventionelle Ansätze zur Lösung des räumlichen Kopplungsproblems auf der Basis von Punkt-zu-Punkt- oder Punkt-zu-Element-Zuordnungen, wie z.B. [1], erweisen sich jedoch in aeroelastischen Simulationen, ungeachtet anderer Nachteile¹, je nach Grad der Diskretisierungsunterschiede zwar als effiziente, aber oft nicht hinreichend robuste Methoden. Alternative netzfreie Ansätze basierend auf einer Least-Squares-Formulierung mit globalem Ansatzpolynom, wie vorgestellt von Wendland *et al.* in [2], bieten oftmals Abhilfe, sind aber in Bezug auf Speicher- und Rechenzeitbedarf² vielfach zu aufwendig, zumindest ohne Nutzung des Partition-of-Unity-Konzepts [3,4]. Infolgedessen muss bei industrierelevanten Konfigurationen der hohe Ressourcenbedarf oft durch eine Reduktion der Interpolationsgenauigkeit gemindert werden. Ein zu [2-4] alternativer, weit ressourcen-schonenderer, netzfreier Ansatz wurde von Quaranta *et al.* [5] vorgestellt. Er basiert auf einer mit radialen Basisfunktionen (mit kompakten Träger) gewichteten Moving-Least-Squares-Formulierung mit lokalem Ansatzpolynom. Im Gegensatz zum Ansatz aus [2] müssen dabei zwar viele, allerdings nur sehr kleine Gleichungssysteme³ zur Berechnung der Kopplungsmatrix gelöst werden. Dies mindert die mit dem Ansatz erzielte Interpolationsqualität allerdings in keiner Weise [6]. Sie ist mindestens gleichwertig zum Ansatz aus [2], wenn nicht sogar in manchen Fällen besser [6].

In [5,6] wird die Interpolationsmethode von Quaranta *et al.* in der sequentiellen Version vorgestellt. Dieser Beitrag behandelt die grundlegenden Eigenschaften der Methode von Quaranta *et al.* im Vergleich zum Ansatz von Wendland *et al.* [2-4], sowie insbesondere die Parallelisierung der Methode im Rahmen der FlowSimulator-Simulationsumgebung. FlowSimulator ist eine von DLR, Airbus und weiteren Beteiligten entwickelte Softwareschnittstelle zur massiv parallelen Simulation, speziell von multidisziplinären Problemen. Wesentliche Schwierigkeit bei der Parallelisierung des Ansatzes von Quaranta *et al.* ist die Suche nach den für die Interpolation relevanten Stützstellen innerhalb eines jeweiligen kompakten Trägers in den mittels Gebietszerlegungsverfahren zerteilten Kopplungsnetzen. Das in diesem Zusammenhang verfolgte Parallelisierungskonzept, das die Unabhängigkeit des Ansatzes von der zu Grunde liegenden Gebietszerlegung gewährleistet, wird in seinen Bestandteilen

¹Benötigt Netzkonktivitätsinformationen

²Die Methode bedingt die Invertierung einer $(N+Q) \times (N+Q)$ -Matrix und anschließender Multiplikation der Inversen mit einer $M \times (N+Q)$ -Matrix mit M als Anzahl der Oberflächenpunkte des Strömungsnetzes, N als entsprechende Anzahl auf Strukturnetzseite und Q als Anzahl der Monome des Ansatzpolynoms.

³Die Systemmatrix des zu lösenden Gleichungssystems hat jeweils die Größe $n \times Q$ mit Q als Anzahl der Monome des Ansatzpolynoms und n als Anzahl lokal verwendeter Stützstellen

vom Beitrag dargelegt. Die prinzipielle Funktionsfähigkeit des parallelen Algorithmus, sowie dessen parallele Performance werden anhand von ausgewählten Testfällen mit aufsteigender Komplexität nachgewiesen (siehe Testfallbeispiele in Abb. 1 und 2).

Die Interpolationsmethode von Quaranta *et al.* wurde darüber hinaus in ein Verfahren zur bauteil-basierten Kopplung eingebettet, welches einen physikalisch korrekten Transfer aeroelastischer Kopplungsgrößen bei Mehrkomponentenkonfigurationen gewährleistet. Der Beitrag zeigt die Verifikation des resultierenden Gesamtalgorithmus in Anwendung auf eine Hochauftriebskonfiguration.

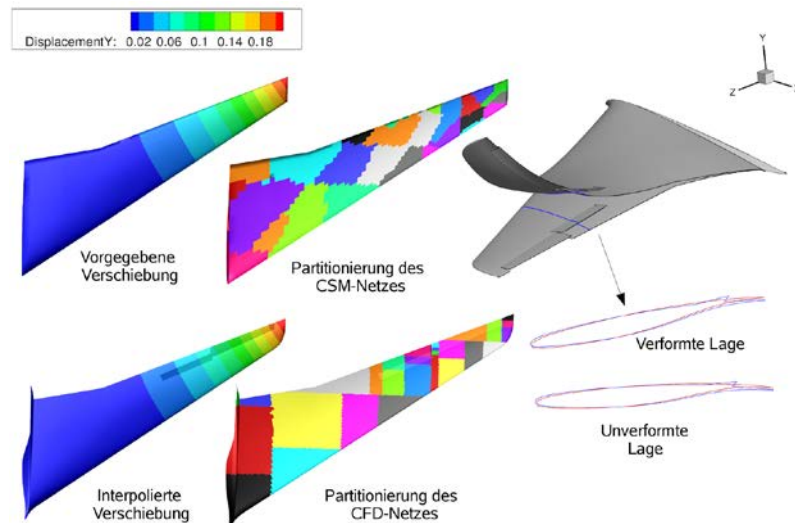


Abb. 1: Anwendung der parallelisierten Interpolationsmethode von Quaranta *et al.* [5,6] auf ein Flügelmodell in Lastabminderungskonfiguration (kombinierter Querruder- und Spoilerausschlag)

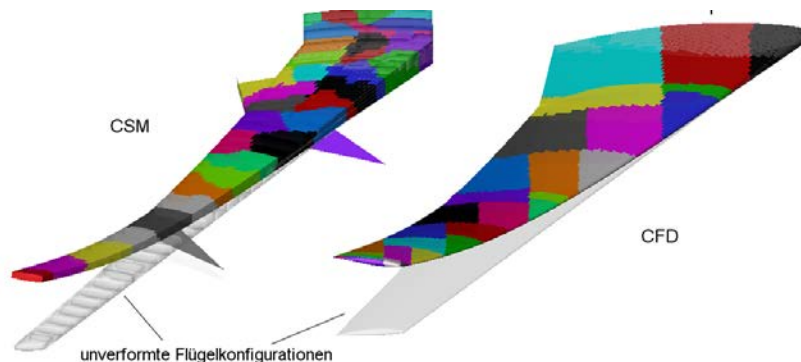


Abb. 2: Anwendung der parallelisierten Interpolationsmethode von Quaranta *et al.* [5,6] auf ein generisches Flügelkastenmodell

Literatur:

- [1] Beckert, A. (2000): "Coupled fluid (CFD) and structural (FE) models using finite interpolation elements". *Aerospace Science and Technology*, **4**(1): 13-22
- [2] Beckert, A., Wendland, H. (2001): "Multivariate interpolation for fluid-interaction problems using radial basis functions". *Aerospace Science and Technology*, **5**(2): 125-134
- [3] Ahrem, R., Beckert, A., Wendland, H. (2006): "A meshless spatial coupling scheme for large-scale fluid-structure-interaction problems". *Comp. Modeling in Engineering & Sciences*, **12**:121-136
- [4] Neumann, J., Krüger, W. (2013): "Coupling Strategies for Large Industrial Models". In: Kroll, N. *et al.* (Eds.): "Computational Flight Testing". *Notes on Numer. Fluid Mech. and Multidisc. Design*, **123**:207-222
- [5] Quaranta, G., Masarati, P., Mantegazza, P. (2005): "A Conservative Mesh-free Approach for Fluid-Structure Interface Problems". In proc.: *Intl. Conf. on Computational Methods of Coupled Problems in Science and Engineering*
- [6] Wellmer, G., Reimer, L., Flister, H., Behr, M., Ballmann, J. (2013): "A Comparison of Fluid/Structure Coupling Methods for Reduced Structural Models". In: Eisfeld, B. *et al.* (Eds.): "Management and Minimisation of Uncertainties and Errors in Numerical Aerodynamics". *Notes on Numer. Fluid Mech. and Multidisc. Design*, **122**:181-218