



Soutenance de thèse – Mehdi Jadoui

Solveurs de Krylov robustes pour la résolution partitionnée et monolithique
du système adjoint couplé aéro-structure

Robust Krylov Solvers for efficient partitioned and monolithic strategies applied to
aerostructural coupled adjoint systems

Judi 16 Novembre 2023 à 14 h00

ONERA/Châtillon – Salle Contensou

Devant le jury composé de :

Directeur de Thèse :

François-Xavier Roux, Professeur, Laboratoire Jacques Louis Lions, UPMC Paris

Rapporteurs :

Luc Giraud, Directeur de Recherche, INRIA Bordeaux

Michel Visonneau, Directeur de Recherche, CNRS Nantes

Examineurs :

Pierre Jolivet, Chercheur CNRS, LIP6, Sorbonne Université Paris

Gilbert Rogé, Ingénieur de Recherche, Dassault Aviation, Paris

Encadrant :

Christophe Blondeau, Ingénieur de Recherche, ONERA DAAA Châtillon

Résumé/Abstract

L'optimisation multidisciplinaire à base de gradient est une technique largement utilisée dans l'industrie aéronautique et plus particulièrement dans le cadre de dimensionnement de voilures flexibles. Il existe essentiellement deux approches pour le calcul du gradient, à savoir l'approche tangente et l'approche adjointe. Pour une optimisation de forme d'une structure flexible, il y a en général peu de fonctions d'intérêt et de nombreux paramètres de conception. Il est donc adapté d'utiliser la méthode adjointe. Nous nous intéressons ici à l'amélioration des techniques numériques de résolution du problème adjoint couplé fluide-structure.

Dans ce travail, nous considérons l'approche partitionnée d'une part et l'approche monolithique d'autre part. La première a l'avantage de résoudre alternativement le problème fluide et structure en réutilisant des solveurs disciplinaires existants. Elle souffre cependant de limitations numériques dès qu'il s'agit de résoudre des problèmes couplés raides et peut diverger dans le cas d'un fort couplage aéroélastique. L'approche monolithique consiste à résoudre le système adjoint couplé de manière globale et permet d'éliminer les limitations de l'approche partitionnée. En contrepartie elle requiert la mise en place de stratégies de préconditionnement robustes typiquement basées sur un complément de Schur approché et également une mise à l'échelle appropriée du système couplé. Ce mémoire de thèse se compose de trois parties. Tout d'abord nous avons amélioré la résolution du problème adjoint purement fluide en proposant des stratégies de préconditionnement robustes couplées à des solveurs de Krylov emboîtés. Dans un deuxième temps, la convergence de l'approche partitionnée a été améliorée en introduisant des techniques de recyclage d'espace invariant approché entre cycles fluide-structures. Enfin, un solveur monolithique adjoint couplé a été développé et comparé à l'approche partitionnée. Nous démontrons l'efficacité de ces solveurs sur un cas réaliste de calcul adjoint aéroélastique pour l'aile M6 ONERA en écoulement fluide RANS en considérant un modèle de turbulence entièrement linéarisé. Les résultats numériques ont effectivement montré d'une part l'intérêt du recyclage dans le cadre d'une résolution partitionnée et d'autre part l'intérêt de la résolution monolithique des problèmes numériques raides.

Gradient-based multidisciplinary optimization is a technique widely used in the aeronautical industry and more particularly in the context of flexible wing design. There are basically two approaches for computing the gradient, namely the tangent approach and the adjoint approach. For a shape optimization of a flexible structure, there are generally few functions of interest and many design parameters. It is therefore appropriate to use the adjoint method. We are interested in improving numerical techniques for solving the fluid-structure coupled adjoint problem. In this work, we consider the partitioned approach on one hand and the monolithic approach on the other hand. The first approach has the advantage of alternatively solving the fluid and structure problem by re-using existing disciplinary solvers. However, it suffers from numerical limitations when it comes to solving stiff coupled problems and can diverge in the case of strong aeroelastic coupling. The monolithic approach consists in solving the coupled adjoint system in a global way and makes it possible to circumvent the limitations of the partitioned approach. However, it requires the implementation of robust preconditioning strategies typically based on an approximate Schur complement and also an appropriate scaling of the coupled system. This dissertation consists of three parts. First of all, we improved the resolution of the pure fluid adjoint problem by proposing robust preconditioning strategies coupled with nested Krylov solvers. In a second step, the convergence of the partitioned approach was improved by introducing recycling techniques of approximate invariant subspace between fluid-structure cycles. Finally, a coupled monolithic adjoint solver was prototyped and compared to the partitioned approach. We have demonstrated the efficiency of these solvers on a realistic case of aeroelastic adjoint calculation for the ONERA M6 wing in RANS fluid flow by considering a fully linearized turbulence model. The numerical results have indeed shown the interest of recycling within the framework of a partitioned strategy and also the interest of the monolithic resolution for stiff numerical problems.

Mots clés / Key words :

Adjoint couplé, Krylov, solveur partitionné, solveur monolithique, recyclage, espace invariant

Coupled adjoint, Krylov, partitioned solver, monolithic solver, recycling, invariant subspace

Communications :

- M. Jadoui, C. Blondeau, "Recycling Krylov Subspaces for Efficient Partitioned Solution of Aerostructural Adjoint Systems", preprint soumis à Journal of Computational Physics, 2023, <http://arxiv.org/abs/2309.09925>

- M. Jadoui, C. Blondeau, E. Martin, F. Renac, F.-X. Roux. "Comparative Study of Inner-Outer Krylov Solvers for Linear Systems in Structured and High-Order Unstructured CFD problems", Computer and Fluids, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2022.105575>

- M.Jadoui, C. Blondeau, F.-X. Roux, "Recycling Krylov Subspaces for Efficient Partitioned Solution of Aerostructural Coupled Adjoint Systems", AIAA Aviation, 2022, AIAA 2022-4055, Chicago USA, <https://doi.org/10.2514/6.2022-4055>

- M.Jadoui, C. Blondeau, E. Martin, F. Renac, F.-X. Roux. "Comparative Study of Inner-Outer Krylov Solvers for Linear Systems in Structured and High-Order Unstructured CFD problems", 14th WCCM ECCOMAS Virtual Congress, 2021.