

Approche en paramètres de stratification pour l'optimisation biniveau de structures composites

D. Bettebghor¹, N. Bartoli³, S. Grihon¹, J. Morlier², M. Samuelides³

¹ AIRBUS OPERATIONS SAS, Toulouse, France, {dimitri.bettebghor,stephane.grihon}@airbus.com

² Institut Clément Ader, ISAE-SupAéro, Toulouse, France, joseph.morlier@isae.fr

³ ONERA, Toulouse, France, {nathalie.bartoli,manuel.samuelides}@onera.fr

Résumé — Les critères d'optimalité pour une structure redondante ou hyperstatique conduisent en général à un design sous-optimal du fait de la redistribution des efforts. On propose dans cet article une formulation générale biniveau de l'optimisation d'une structure composite sur la base des paramètres de stratification et de l'utilisation de mélange d'experts. La méthode de décomposition présentée ici s'inspire de la méthode Quasi Separable Decomposition (QSD) et formule le problème d'optimisation comme une optimisation globale dont les contraintes font intervenir la résolution de problèmes d'optimisation locale en stabilité. Des modèles réduits sur base de mélange d'experts sont utilisés pour approcher les résultats des optimisations locales.

Mots clés — mélange d'experts, paramètres de stratification, décomposition-coordination

1 Optimisation de structures composites

1.1 Les paramètres de stratification

L'optimisation d'une structure composite est en général un problème d'optimisation en variables mixtes : dimensions continues de la structure considérée (largeur et longueur de la plaque,...) et description de la séquence d'empilement (nombre de plis, orientations prescrites des fibres, ordre d'empilement). Les paramètres de stratification autorisent une relaxation continue de ce problème essentiellement discret. En plus de représenter continûment le comportement en membrane et hors-plan d'un stratifié, de nombreux critères mécaniques utilisés en optimisation de structures en dépendent simplement : la compliance est convexe en paramètres de lamination, les facteurs de réserve de flambage de peau sont linéaires pour les stratifiés orthotropes, tout comme les fréquences propres (Gürdal et Haftka [3]). Le problème d'optimisation en variables mixtes est alors remplacé par une stratégie en deux étapes. On commence par une optimisation continue de la structure en paramètres de stratification. Puis on identifie des séquences d'empilement correspondantes. Ce problème est essentiellement combinatoire et est en général résolu à l'aide d'une métaheuristique évolutionnaire (algorithmes génétiques,...). Une telle approche permet en outre d'obtenir le meilleur design en variables continues. Récemment, Weaver et al. [2] ont décrit un ensemble de 22 équations dites de compatibilité qui permettent de contraindre l'espace des paramètres et de s'assurer de l'existence de séquences d'empilement correspondantes aux paramètres de stratification. Néanmoins, ces séquences font intervenir des angles quelconques et certaines contraintes de fabrication ne peuvent pas être imposées sur les paramètres de stratification.

1.2 Méthodes de décomposition-coordination

On s'intéresse ici à l'optimisation d'une structure de fuselage ou plus généralement de toute structure composée d'éléments répétitifs sous des contraintes liant la redistribution des efforts et la stabilité locale (flambage,...). La nature physique de la structure fait apparaître une structure quasi bloc-diagonale des contraintes d'optimisation. D'une part, les contraintes d'optimisation pour un sous-élément dépendent majoritairement des dimensions locales du sous-élément considéré mais dépendent aussi, au travers de la redistribution des efforts, des termes de rigidité des autres sous-éléments. D'autre part, les spécificités du composite (continuité du drapage *blending*) font aussi apparaître des contraintes entre les variables d'un sous-élément et les variables des sous-éléments voisins. On voit donc apparaître une structure quasi bloc

diagonale avec à la fois des contraintes couplantes (redistribution des efforts) et des variables couplantes (contraintes de continuités inter-éléments). Le principe des méthodes de décomposition-coordination est de résoudre de tels problèmes en décomposant l'optimisation globale en autant de problèmes d'optimisation que de sous-éléments et de coordonner les résultats des optimisations locales par une optimisation au niveau global. De cette manière, la redistribution des efforts n'est faite qu'au niveau supérieur et les optimisations locales peuvent être réalisées en parallèle.

2 Approche proposée

2.1 Optimisation biniveau

Il existe de nombreuses méthodes de décomposition-coordination. Parmi celles-ci, nous nous sommes intéressés à la formulation QSD (*Quasi Separable Decomposition*) et l'avons adaptée à l'optimisation de structures composites en paramètres de stratification. Nous proposons alors la formulation suivante :

1. Optimisation globale sur les variables de rigidité (aires de section, paramètres de stratification pour le comportement en membrane). Le calcul des contraintes de cette optimisation nécessite de résoudre autant d'optimisations locales que de sous-éléments
2. Optimisation locale pour chaque sous-élément sur les variables de design locales (dimensions détaillées des sous-éléments et paramètres de stratification hors-plan) qui ont pour contraintes la compatibilité entre variables globales et variables locales (l'aire de section trouvée au niveau supérieure doit correspondre à celle calculée sur les dimensions locales, compatibilité sur les paramètres de stratification membrane et hors-plan).
3. Une fois que l'optimisation (globale) est achevée, l'identification des séquences d'empilement est réalisée par des algorithmes génétiques.

2.2 Utilisation des multiplicateurs de Lagrange et mélanges d'experts

Chaque itération de l'optimisation globale dans notre approche fait intervenir autant d'optimisations locales que de sous-éléments. Cette optimisation globale est réalisée à l'aide de méthodes de gradient qui nécessitent le calcul des sensibilités post-optimum des optimisations locales. Ce calcul peut être réalisé de manière exacte en utilisant les multiplicateurs de Lagrange des optimisations locales (*Global Sensitivity Equation*). Néanmoins, les contraintes de l'optimisation globale peuvent ne pas être continues [3], c'est pourquoi comme approche complémentaire nous avons utilisé des modèles réduits spécialement construits pour approcher des fonctions discontinues. Nous avons récemment proposé une stratégie pour partitionner l'espace des entrées/sorties de manière à détecter automatiquement les zones de continuités de la fonction à approcher [1].

3 Conclusion

Nous proposons une nouvelle approche pour l'optimisation de grandes structures aéronautiques qui se base à la fois sur une décomposition du problème d'optimisation, une représentation continue du comportement mécanique des stratifiés et aussi sur l'approximation des optimisations locales par le biais de mélange d'experts. Nous avons testé cette approche sur des cas test classiques de l'optimisation de structures, un cas test industriel est en cours de validation

Références

- [1] Bettebghor, D. and Bartoli, N. and Grihon, S. and Morlier, J. and Samuelides, M. *Surrogate modeling approximation using a mixture of experts based on EM joint estimation*, Structural and Multidisciplinary Optimization, Springer, 2010
- [2] Bloomfield, MW and Diaconu, CG and Weaver, PM, *On feasible regions of lamination parameters for lay-up optimization of laminated composites*, Proceedings of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Science, The Royal Society, 2009
- [3] Gürdal, Z. and Haftka, R. T., *Elements of Structural Optimization*, Springer, 1992