

AVT-354 Multi-Fidelity Methods for Military Vehicle Design

(STO-MP-AVT-354)

Executive Summary

The workshop aimed to facilitate the identification and possibly the extension of the current state of the art in multi-fidelity models associated with frameworks, architectures, and methodologies for the adaptive selection of different sources of information from data/models for design of military vehicles. The workshop covered a broad range of topics in the multi-disciplinary design optimization of military vehicles and emphasized how the incorporation of multi-fidelity methods in the design process can accelerate design procedures and enable more accurate physical analysis.

Over 50 experts and participants gathered to address benchmarks for assessment of methods and discussion on future needs and capabilities. The workshop was successful in synthesizing benchmarks for the assessment of multi-fidelity methods ranging from kernel-based approaches to reduced order models and neural networks, and ranked proposed approaches in terms of global accuracy and objective driven metrics. There is still no standard for attributing fidelity costs to different fidelities. This may not have an impact on the MF methods assessment, but may have in the choice of using multi-fidelity versus single fidelity methods. Current state of the art blends the expected information gain on the optimum with the fidelity cost in the search function to determine the next fidelity and evaluation point. It was noted that noise must be considered in multi-fidelity modelling in order to achieve a suitable accuracy for both global and local model representativity.

The majority of exploratory methods use Gaussian processes as basis to integrate different fidelity information into a predictive tool. Both Gaussian processes and neural networks based approaches can use similar training and search function formulations, meaning that practices and methods used in machine learning can be used in the implementation of multi-fidelity multi-disciplinary design optimization approaches.

Multi-fidelity approaches based on different kernels (Gaussian exponential, compositional kernels, partial least squares) were explored and multi-fidelity kriging was the most popular choice. Other multi-fidelity approaches were based on radial basis functions, reduced order models and deep neural networks. Scaling continues to be a challenge, although some proposals for dimensionality reduction (parametric model embedding, reduction to latent space) have proven to be useful. Although multi-disciplinary optimization problems were used as benchmarks in some cases, the effects of multi-disciplinarity in the computational cost of multi-fidelity multi-disciplinary design optimization were not addressed to a significant extent, perhaps because the multi-fidelity approaches are agnostic to high fidelity data.

Although significant progress has been made, there is still work to be done in order to establish the multi-fidelity methods and their efficiency and effectiveness metrics. There are also other less explored avenues that deserve more effort in understanding their applicability in multi-fidelity and multi-disciplinary design optimization. Final recommendations include the standardization of fidelity cost metrics, development and improvement of benchmark problems with increased multi-disciplinarity, further exploration of reduced order models and neural network based multi-fidelity methods.

Méthodes multifidélités pour la conception de véhicules militaires

(STO-MP-AVT-354)

Synthèse

Le séminaire visait à faciliter l'identification et éventuellement l'élargissement de l'état actuel de la technique aux modèles multifidélités associés aux cadres, architectures et méthodologies permettant la sélection adaptative de différentes sources d'informations à partir de données/modèles, en vue de la conception de véhicules militaires. Le séminaire a couvert un large éventail de sujets dans le domaine de l'optimisation de la conception multidisciplinaire des véhicules militaires et a souligné comment l'intégration de méthodes multifidélités dans le processus de conception pouvait accélérer les procédures de conception et permettre une analyse physique plus précise.

Plus de 50 experts et participants se sont réunis pour établir des référentiels d'évaluation des méthodes et discuter des besoins et capacités futurs. Le séminaire a réussi à synthétiser des référentiels permettant l'évaluation des méthodes multifidélités, qui allaient des approches basées sur les noyaux aux modèles d'ordre réduit, en passant par les réseaux neuronaux, et a classé les approches proposées en termes de précision globale et d'indicateurs axés sur les objectifs. Il n'existe pas encore de norme pour attribuer les coûts de fidélité à différentes fidélités. Cela peut ne pas avoir d'effet sur l'évaluation des méthodes multifidélités, mais en avoir un sur le choix d'utiliser des méthodes multifidélités au lieu de méthodes monofidélités. L'état actuel de la technique combine le gain informationnel attendu à l'optimum avec le coût de fidélité de la fonction de recherche, pour déterminer le prochain point de fidélité et d'évaluation. Il a été signalé que le bruit devait être pris en compte dans la modélisation multifidélité pour que la représentativité globale et locale du modèle soit suffisamment précise.

La majorité des méthodes exploratoires s'appuient sur les processus gaussiens pour intégrer différentes informations de fidélité dans un outil prédictif. Les processus gaussiens comme les approches basées sur les réseaux neuronaux peuvent utiliser des formulations similaires d'entraînement et de fonction de recherche, ce qui signifie que les pratiques et les méthodes utilisées dans l'apprentissage automatique peuvent servir à la mise en œuvre d'approches multifidélités et multidisciplinaires d'optimisation de la conception.

Les approches multifidélités basées sur différents noyaux (noyau exponentiel gaussien, noyau compositionnel, moindres carrés partiels) ont été explorées et le krigeage multifidélité a été le choix le plus courant. Les autres approches multifidélités reposaient sur des fonctions radiales de base, des modèles d'ordre réduit et des réseaux neuronaux profonds. La mise à l'échelle reste un défi, même si certaines propositions de réduction de la dimensionnalité (intégration du modèle paramétrique, réduction à l'espace latent) se sont avérées utiles. Bien que des problèmes d'optimisation multidisciplinaire aient été utilisés comme référentiels dans certains cas, les effets de la multidisciplinarité sur le coût du calcul d'optimisation de la conception multidisciplinaire multifidélité n'ont pas été traités dans une mesure significative, peut-être parce que les approches multifidélités sont indépendantes des données à haute fidélité.

Bien que des progrès sensibles aient été réalisés, il reste encore du travail à accomplir pour établir les méthodes multifidélités et leurs indicateurs d'efficacité et d'efficience. Il existe également d'autres pistes moins explorées, qui méritent d'autres travaux, afin que l'on comprenne leur applicabilité à l'optimisation de la conception multifidélité et multidisciplinaire. Les recommandations finales incluent la standardisation

des indicateurs de coût de la fidélité, le développement et l'amélioration des référentiels par une multidisciplinarité accrue, l'exploration plus poussée des modèles d'ordre réduit, ainsi que des méthodes multifidélités basées sur les réseaux neuronaux.

