



Α.Π. : 54604
Αθήνα, 11/11/23

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Προς:
Αξιότιμα Μέλη ΔΕΠ
Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του Υποψήφιου Διδάκτορα κ. **ΛΙΑΤΣΙΚΟΥΡΑ Αθανάσιου του Γεωργίου**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, με τίτλο:

«Τεχνικές Κίνησης Άκαμπτων Σωμάτων στη Μετακίνηση Πλέγματος και την Παραμετροποίηση Μορφών χωρίς χρήση CAD, στην Αεροδυναμική Βελτιστοποίηση»

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 15 Νοεμβρίου 2023 και ώρα 12:00 το μεσημέρι, διαδικτυακά.

Κάθε ενδιαφερόμενος/η να την παρακολουθήσει, παρακαλείται να στείλει email στην ηλεκτρονική διεύθυνση kgianna@mail.ntua.gr ώστε να του/της δοθεί πρόσβαση.

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

Ι. Αντωνιάδης
Καθηγητής Ε.Μ.Π



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Ρευστών
Μονάδα Παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής &
Βελτιστοποίησης

Τεχνικές Κίνησης Άκαμπτων Σωμάτων στη Μετακίνηση Πλέγματος και την Παραμετροποίηση Μορφών χωρίς χρήση CAD, στην Αεροδυναμική Βελτιστοποίηση

Αθανάσιος Γ. Λιατσικούρας

Επιβλέπων: Κυριάκος Χ. Γιαννάκογλου, Καθηγητής ΕΜΠ

Περίληψη Διδακτορικής Διατριβής

Η βελτιστοποίηση μορφής στη μηχανική των ρευστών είναι θέμα αιχμής τόσο για τον ακαδημαϊκό όσο και τον βιομηχανικό κλάδο. Οι βασικές συνιστώσες ενός αυτοματοποιημένου βρόχου βελτιστοποίησης μορφής στη μηχανική των ρευστών είναι η μέθοδος παραμετροποίησης της επιφάνειας που σχεδιάζεται (οι συντεταγμένες των σημείων ελέγχου της οποίας λειτουργούν ως μεταβλητές σχεδιασμού), ο επιλύτης της ροής (κώδικας Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής), μια μέθοδος βελτιστοποίησης ικανή να εντοπίσει τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών σχεδιασμού και μια μέθοδος προσαρμογής του πλέγματος στη νέα γεωμετρία που προκύπτει σε κάθε βήμα της βελτιστοποίησης. Στόχος της διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και αυτοματοποιημένου βρόχου βελτιστοποίησης χωρίς την εμπλοκή λογισμικού CAD, για 2D και 3D εφαρμογές.

Σε αυτό το πλαίσιο, μία πρώτη ουσιαστική συμβολή αυτής της διδακτορικής διατριβής είναι η βελτίωση και επέκταση μιας μεθόδου μετατόπισης πλέγματος (Rigid Motion Mesh Morpher ή R3M). Η μέθοδος αυτή χειρίζεται νέφη σημείων και υπολογίζει το πεδίο μετατόπισης του πλέγματος. Το ότι δεν απαιτείται η συνδεσιμότητα του πλέγματος την καθιστά εφαρμόσιμη σε οποιοδήποτε τύπο πλέγματος. Δεδομένα της μεθόδου είναι οι μετατοπίσεις των οριακών κόμβων του πλέγματος, που ανήκουν στις επιφάνειες προς βελτιστοποίηση. Στη συνέχεια, όλοι οι κόμβοι του πλέγματος (συμπεριλαμβανομένων των οριακών) ομαδοποιούνται με κριτήρια γειννίας και μπορούν να μετατοπίζονται μαζί με τρόπο ο οποίος είναι όσο πιο κοντά γίνεται στην άκαμπτη κίνηση. Η μετρική προς ελαχιστοποίηση είναι γραμμική ως προς τους αγνώστους του προβλήματος και αρκεί η λύση ενός γραμμικού συστήματος για τον υπολογισμό της μετατόπισης των εσωτερικών κόμβων. Ο υπολογισμός της άκαμπτης κίνησης υπολογίζεται με τη βοήθεια της θεωρίας απειροελάχιστων περιστροφών και ως εκ τούτου, η συνολική μετατόπιση των οριακών κόμβων είναι αναγκαίο να υποδιαιρεθεί σε βηματικές μετατοπίσεις. Η διατριβή ασχολείται με τη μείωση του υπολογιστικού κόστους και της απαιτούμενης μνήμης του λογισμικού μετατόπισης πλέγματος.

Παρότι στη μέθοδο R3M επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του κόστους CPU και των απαιτήσεων μνήμης, η κατά περίπτωση ανάγκη υποδιαίρεσης της συνολικής μετατόπισης σε βηματικές επιβραδύνει τη συνολική διαδικασία βελτιστοποίησης μορφής, ειδικά σε προβλήματα με μεγάλα πλέγματα. Για τον σκοπό αυτό, αναπτύχθηκε η μη-γραμμική παραλλαγή του R3M, δηλαδή ο Finite Transformation-R3M ή FT-R3M ο οποίος είναι σε θέση να χειριστεί ακραίες αλλαγές της γεωμετρίας διατηρώντας ικανοποιητική ποιότητα πλέγματος. Στη μέθοδο αυτή, η μετρική προς ελαχιστοποίηση είναι μη-γραμμική ως προς τις άγνωστες μετατοπίσεις, παρουσιάζοντας πολλά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με τον R3M. Η προηγηθείσα ανάπτυξη του R3M χρησιμοποιείται ως βάση για τον FT-R3M. Δεν χρειάζεται πλέον ο κατακερματισμός των μετατοπίσεων του ορίου, καθώς

ο FT-R3M μπορεί να μετατοπίσει το πλέγμα από την αρχική στην τελική κατάσταση σε ένα μόνο βήμα. Ο FT-R3M αποδεικνύεται αποτελεσματικότερος και ταχύτερος του R3M και η ποιότητα του μετατοπισμένου πλέγματος είναι καλύτερη.

Η χρήση ενός εργαλείου μετατόπισης πλέγματος σε έναν βρόχο βελτιστοποίησης μορφής στη μηχανική των ρευστών απαιτεί την παραμετροποίηση της επιφάνειας. Οι βέλτιστες τιμές των μεταβλητών σχεδιασμού που καθορίζει η παραμετροποίηση υπολογίζονται με αιτιοκρατικές ή στοχαστικές μεθόδους βελτιστοποίησης. Στη διατριβή αυτή, αναπτύσσεται ένα εργαλείο παραμετροποίησης μορφής βασισμένο σε “χειριστήρια” το οποίο αναλαμβάνει τις αλλαγές μορφής και την εξάλειψη του αριθμητικού θορύβου κατά τον υπολογισμό της κλίσης της συνάρτησης κόστους, ο οποίος μπορεί να είναι αιτία μη-αποδεκτών ή και μη-κατασκευάσιμων μορφών. Ως “χειριστήρια” επιλέγεται ένα υποσύνολο των επιφανειακών κόμβων, ενώ ο FT-R3M αναλαμβάνει την προσαρμογή των εσωτερικών κόμβων του πλέγματος στις αλλαγές σχήματος/ορίων. Όταν χρησιμοποιείται μία μέθοδος παραμόρφωσης πλέγματος σε ένα λογισμικό βελτιστοποίησης μορφής με αιτιοκρατική μέθοδο, είναι απαραίτητη η διαφόριση της. Στη διατριβή, η μέθοδος παραμόρφωσης πλέγματος (FT-R3M) και η μέθοδος παραμετροποίησης της επιφάνειας διαφορίζονται αναλυτικά και συνδυάζονται με τη διακριτή συζυγή μέθοδο της εταιρίας ESI και τη συνεχή συζυγή μέθοδο της Μονάδας Παράλληλης Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής & Βελτιστοποίησης/ΕΜΠ (ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ) η οποία έχει προγραμματιστεί στο OpenFOAM. Η συζυγής μέθοδος υπολογίζει τις παραγώγους της συνάρτησης κόστους ως προς τις μεταβλητές σχεδιασμού με κόστος υπολογισμού ανεξάρτητο του πλήθους αυτών.

Η συμβολή της διδακτορικής διατριβής είναι η αντιμετώπιση προβλημάτων βελτιστοποίησης μορφής τα οποία παρουσιάζουν αβεβαιότητες στις συνθήκες ροής ή/και κατασκευαστικές. Σε μια τέτοια βελτιστοποίηση, απαιτείται ο υπολογισμός της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της συνάρτησης ενδιαφέροντος. Η ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας (Uncertainty Quantification), για την εύρεση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της συνάρτησης ενδιαφέροντος, είναι η μη-επεμβατική εκδοχή του αναπτύγματος πολυωνυμικού χάους (niPCE), στην οποία ο επιλύτης ροής χρησιμοποιείται ως “μαύρο κουτί”. Αυτή συνδυάζεται τόσο με τη συνεχή συζυγή μέθοδο στο OpenFOAM, όσο και με τον EASY (πλατφόρμα βελτιστοποίησης βασισμένη σε εξελικτικούς αλγόριθμους και μεταπρότυπα) που αναπτύχθηκαν από τη ΜΠΥΡ&Β/ΕΜΠ, για την αεροδυναμική βελτιστοποίηση μορφής υπό αβεβαιότητας. Μεταξύ άλλων, πραγματοποιούνται συγκρίσεις με συμβατικές μεθόδους δειγματοληψίας, όπως η Monte Carlo, για την επικύρωση του αποτελέσματος του niPCE.

Η διατριβή πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος IODA, το οποίο έλαβε χρηματοδότηση από τη δράση Marie Skłodowska-Curie κατά τα τρία πρώτα έτη της.

Λέξεις κλειδιά: Μετατόπιση Πλέγματος, Κίνηση Άκαμπτων Σωμάτων, Παραμετροποίηση Μορφής, Μηχανική Ρευστών, Συνεχής και Διακριτή Συζυγής Μέθοδος, Βελτιστοποίηση Μορφής, Μέθοδος Ποσοτικοποίησης της Αβεβαιότητας, Βελτιστοποίηση Υπό Αβεβαιότητες

Αθήνα, 2023