



NATIONAL
TECHNICAL
UNIVERSITY OF
ATHENS

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μέθοδοι Μηχανικής Μάθησης στη Ρευστομηχανική & Εφαρμογές στη Ναυπηγική και Ναυτική Μηχανολογία

Ερευνητικές Προοπτικές & Εκπαιδευτικοί Στόχοι

ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΟΝΤΟΛΕΦΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2025 10 15

Ερευνητικό έργο | Στόχοι στο πλαίσιο της Σχολής | Μελλοντικές κατευθύνσεις

Ερευνητικό έργο

Μελέτη δυναμικών φαινομένων πλοίων σε μονοχρωματικούς κυματισμούς ανώτερης τάξης

Βασική υδροδυναμική μοντελοποίηση

Εργαλεία θεωρίας δυναμικών συστημάτων

Μελέτη δυναμικών φαινομένων πλοίων σε πολυχρωματικούς κυματισμούς

Βασική υδροδυναμική μοντελοποίηση

Έννοιες & εργαλεία ρευστομηχανικής & θεωρίας δυναμικών συστημάτων

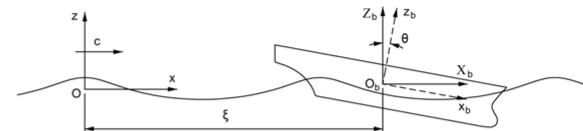
Εργαλεία μη επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης

Αξιολόγηση της ελκτικής ικανότητας πλοίων σε περιβάλλον κυματισμών

Υδροδυναμική μοντελοποίηση

Έννοιες από την περιοχή της υπολογιστικής ανάλυσης κίνησης (computational movement analysis)

Εργαλεία μη επιβλεπόμενης μηχανικής μάθησης



Μοντέλο διαμήκους κίνησης πλοίου

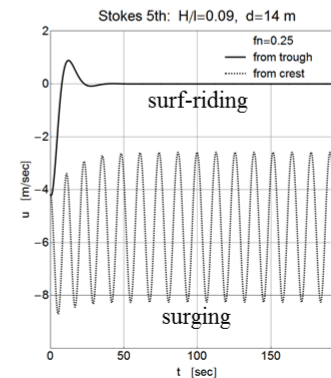
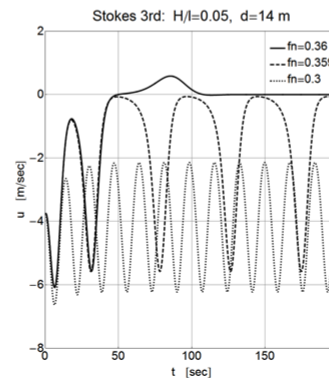
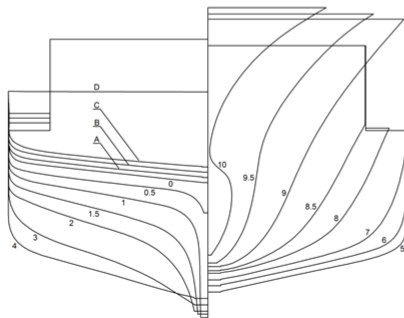
Θεώρηση κυματισμών Airy και κυματισμών Stokes 2^{ης}, 3^{ης} και 5^{ης} τάξης

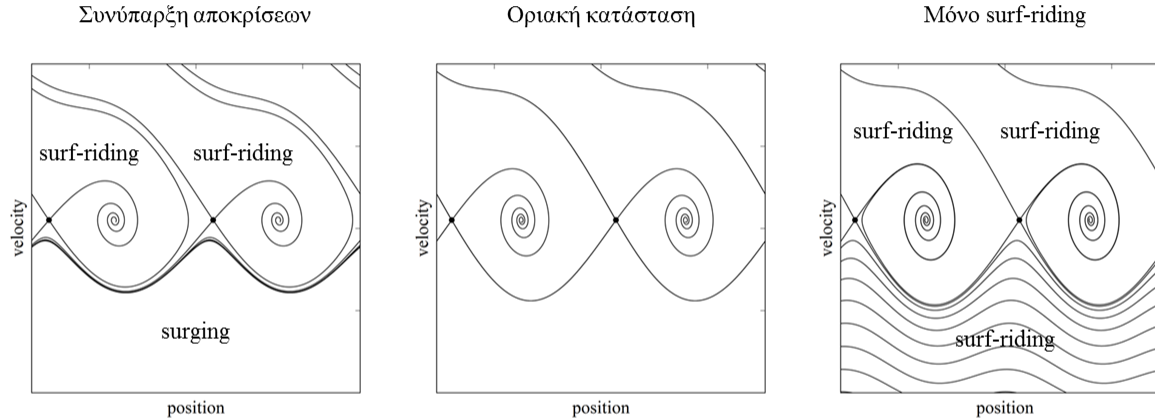
Υπολογισμός στατικής ισορροπίας πάνω στο κύμα στις διευθύνσεις heave και pitch

Υπολογισμός δύναμης Froude-Krylov στη στιγμιαία βρεχόμενη επιφάνεια

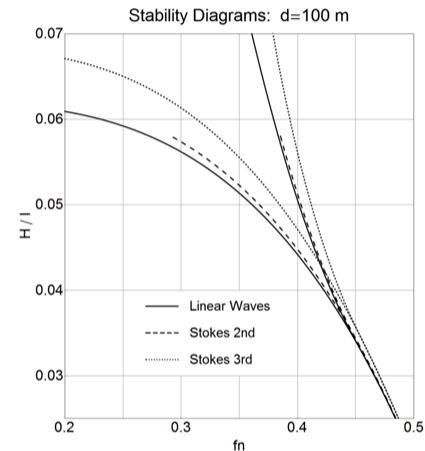
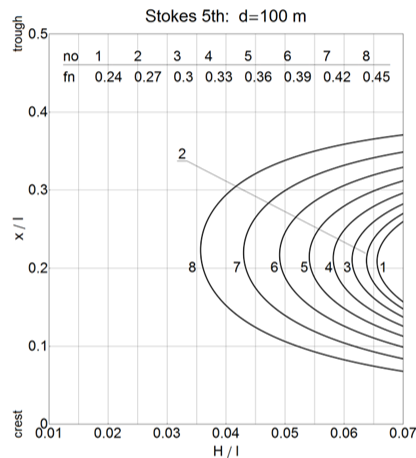
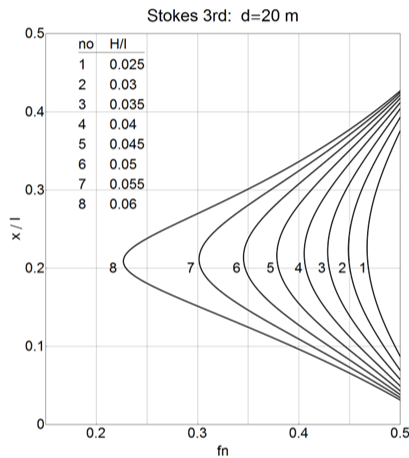
Πολυωνυμικές εκφράσεις για ώση-αντίσταση

Ημιεμπειρικές εκφράσεις για τις υδροδυναμικές παραγώγους





Η απόκτηση πληροφορίας για ορισμένες λύσεις με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά
Επιτρέπει την κατανόηση της ποιοτικής συμπεριφοράς κάθε λύσης του συστήματος



Αριθμητική συνέχιση μόνιμων λύσεων στον παραμετρικό χώρο του συστήματος

Διαφοροποίηση των ορίων ευστάθειας ανάλογα με την τάξη του κύματος

Μοντέλο της διαμήκους κίνησης πλοίου

Κυματικό πεδίο ως γραμμική υπέρθεση αριθμού αρμονικών συνιστωσών

Υπολογισμός δύναμης Froude-Krylov μέχρι την αδιατάρακτη επιφάνεια

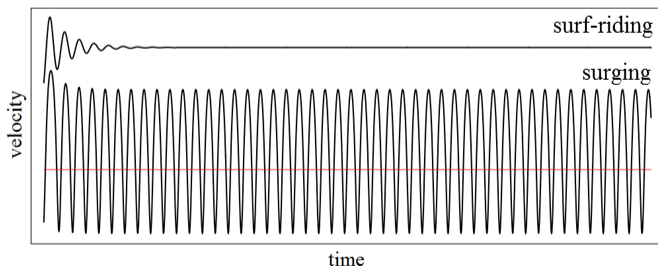
Πολυωνυμικές εκφράσεις για ώση-αντίσταση

Ημιεμπειρικές εκφράσεις για τις υδροδυναμικές παραγώγους

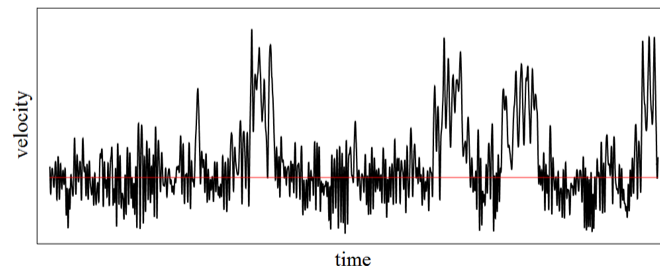
Λόγω της ρητής εξάρτησης του συστήματος από τον χρόνο

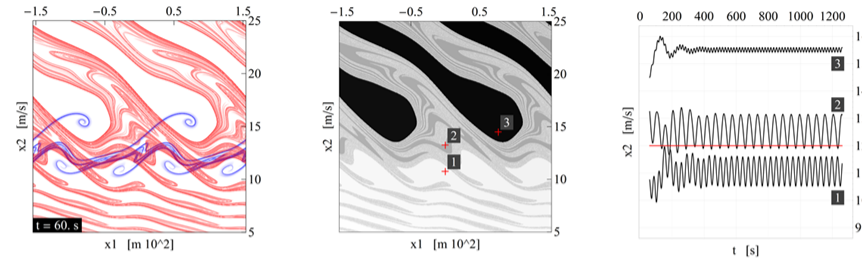
Τα κλασσικά εργαλεία της θεωρίας δυναμικών συστημάτων δεν μπορούν να εφαρμοστούν

Απόκριση σε μονοχρωματικό κύμα



Απόκριση σε πολυχρωματικό κύμα





Κριτήρια για την αναγνώριση στροβίλων

Q-criterion (Hunt et al. 1998)

Δ -criterion (Chong et al. 1998)

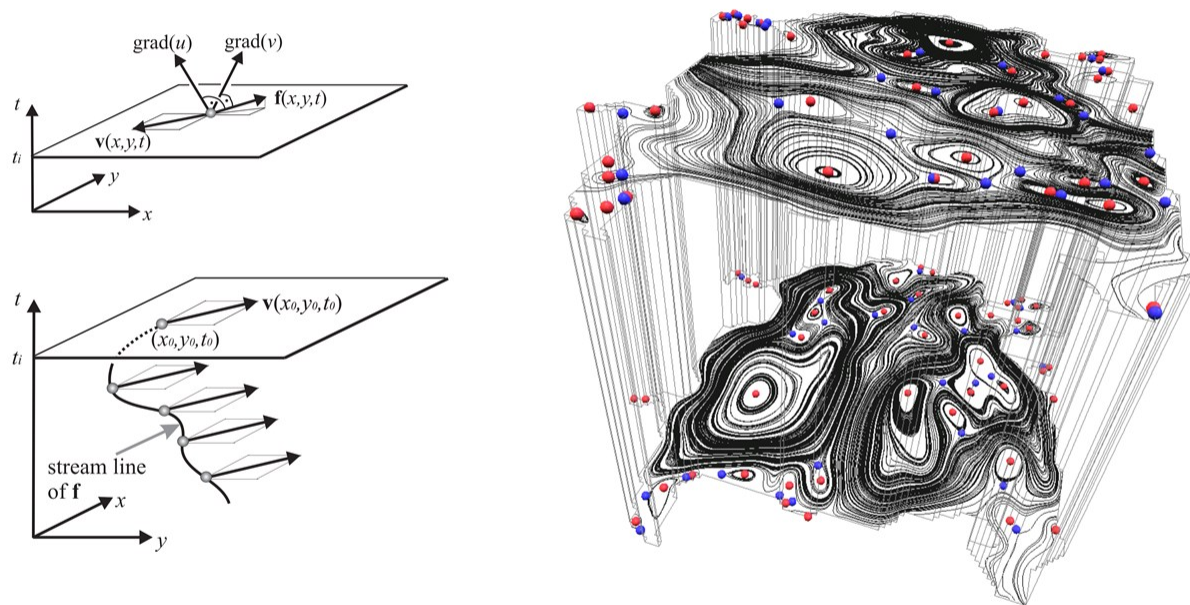
λ_2 -criterion (Jeong & Hussain 1995)

Enhanced swirling strength criterion (Chakraborti et al. 2005)

Triple decomposition of motion (Kolar 2005)

Μέθοδοι για την ιχνηλάτηση χαρακτηριστικών της ροής

Feature flow field (Theisel & Seidel 2003)



Figures adapted from Theisel & Seidel (2003)

Λαγκρανζιανές συνεκτικές δομές (Lagrangian coherent structures, LCS)

* Η ελαχιστοποιούν

Υλικές επιφάνειες που μεγιστοποιούν* κατάλληλο μέτρο Λαγκρανζιανής έλξης, άπωσης ή διάτμησης

Εκθέτης Lyapunov πεπερασμένου χρόνου (Haller 2001, Haller 2002, Shadden 2005)

Εκθέτης Lyapunov πεπερασμένου μεγέθους (Artale et al. 1997, Aurell et al. 1997)

Μεταβολική θεωρία LCS (Haller 2011, Farazmand & Haller 2012)

Συνεκτικά σύνολα πεπερασμένου χρόνου (Finite-time coherent sets)

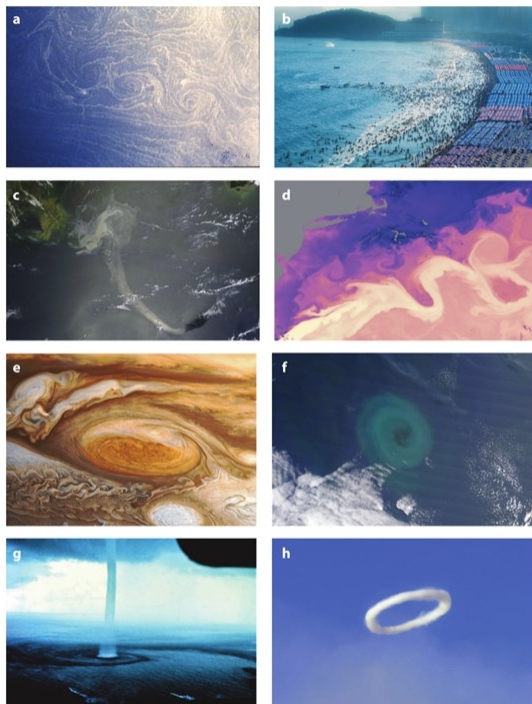
Σύνολα σωματιδίων που ανθίστανται στην διασπορά τους και εμφανίζουν ισχυρή χωροχρονική συσχέτιση

Τελεστής Perron–Frobenius (Froyland et al. 2010)

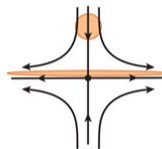
Ασαφής συσταδοποίηση (fuzzy clustering) (Froyland & Padberg–Gehle 2015)

Φασματική συσταδοποίηση (spectral clustering) (Hadjighasem et al. 2016)

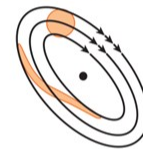
Χάρτες διάχυσης (diffusion maps) (Banisch & Koltai 2017)



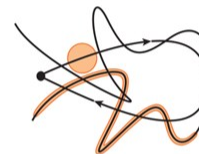
Saddle fixed point
Compare with Figure 1b,c



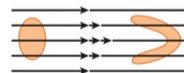
Center fixed point
Compare with Figure 1e,f



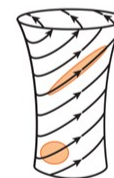
Homoclinic tangle
Compare with Figure 1a



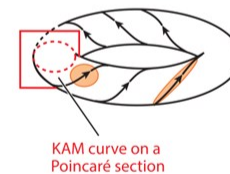
Steady shear flow
Compare with Figure 1d



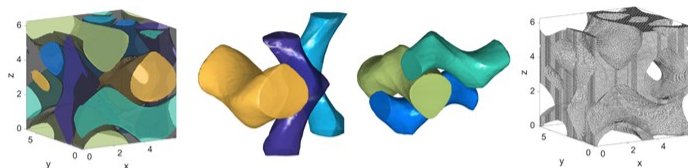
Steady shear flow
Compare with Figure 1g



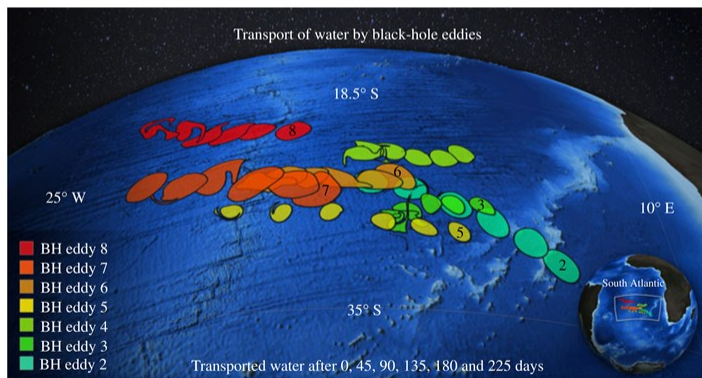
KAM torus
Compare with Figure 1h



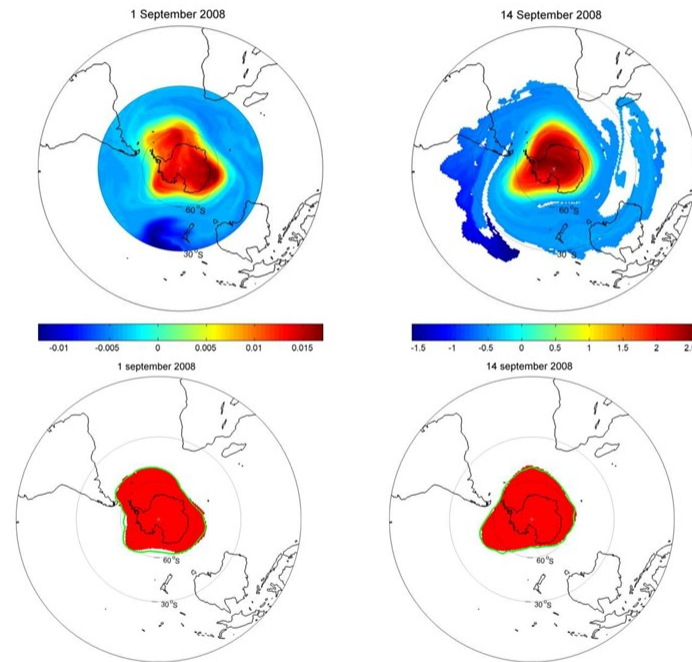
Figures adapted from Haller (2015)



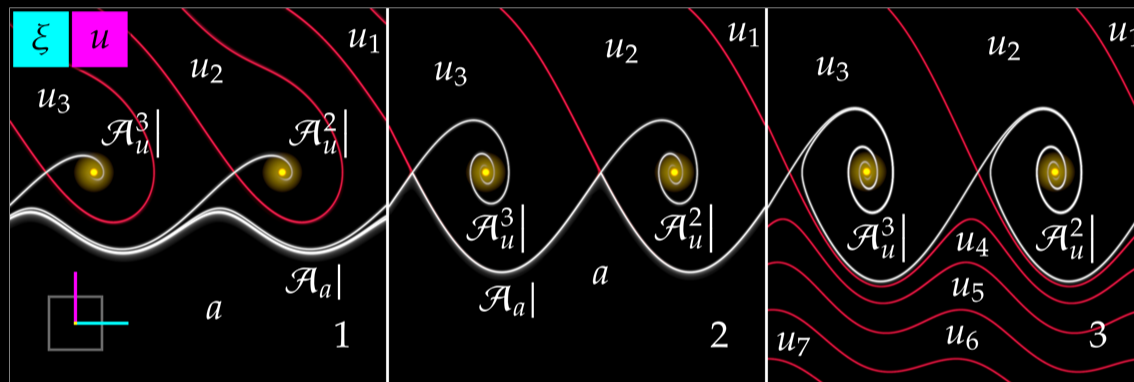
Figures adapted from Hadjighasem et al. (2016)



Figures adapted from Haller & Beron-Vera (2013)

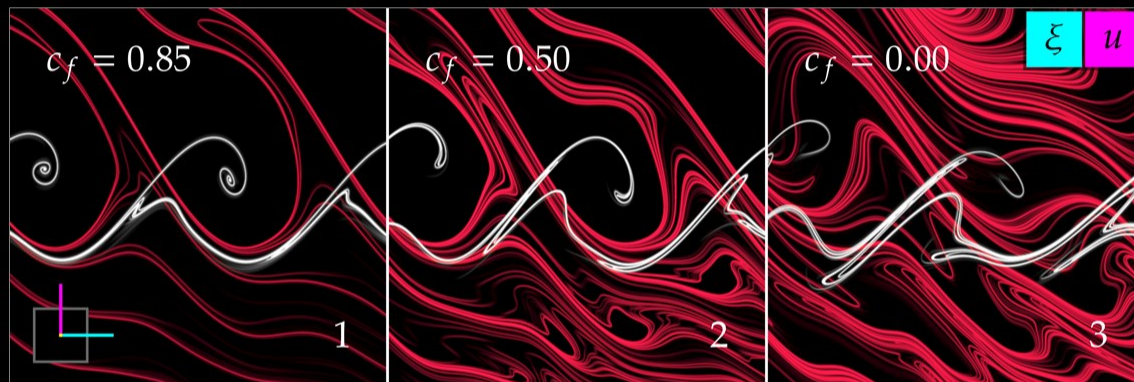


Figures adapted from Froyland et al. (2010)



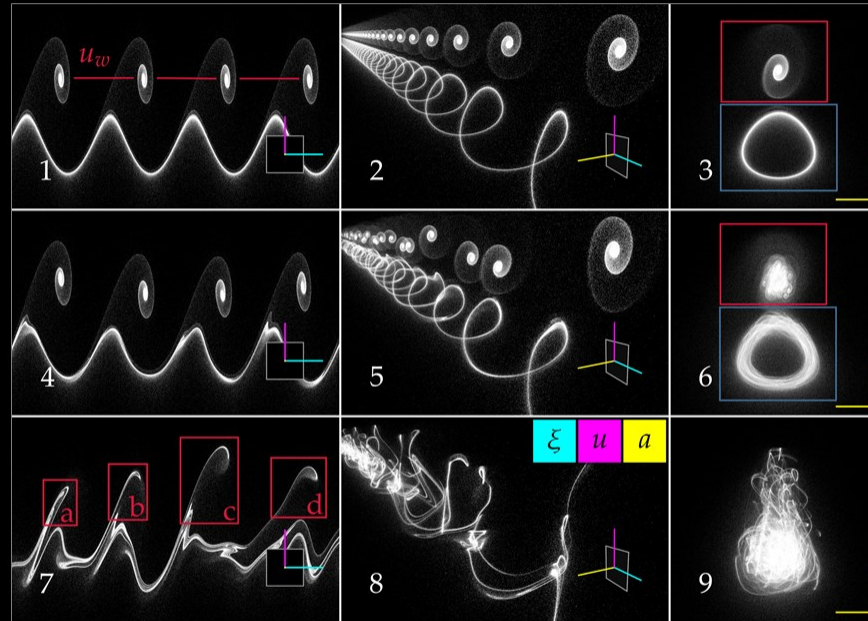
Αναγνώριση υπερβολικών Λαγκρανζιανών συνεκτικών δομών στον χώρο φάσεων της εξίσωσης surge

Συμφωνία (για μονοχρωματική διέγερση) με τις πολλαπλότητες των υπερβολικών λύσεων

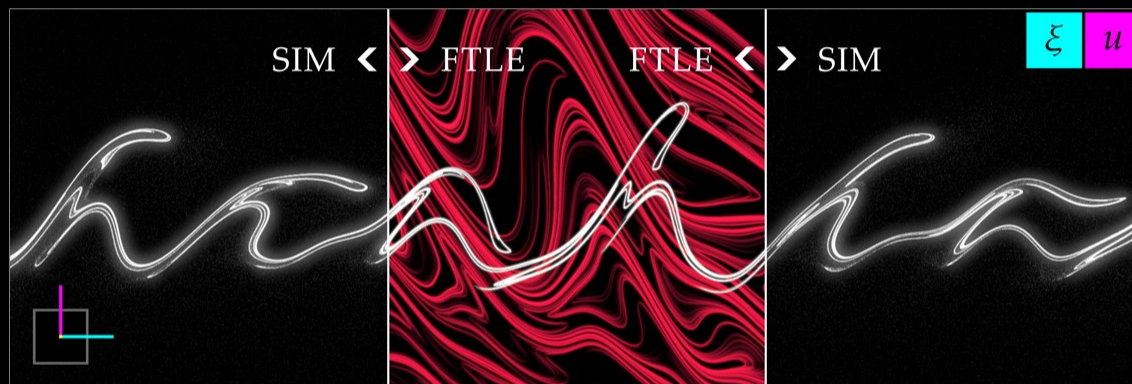


Αναγνώριση υπερβολικών Λαγκρανζιανών συνεκτικών δομών στον χώρο φάσεων της εξίσωσης surge

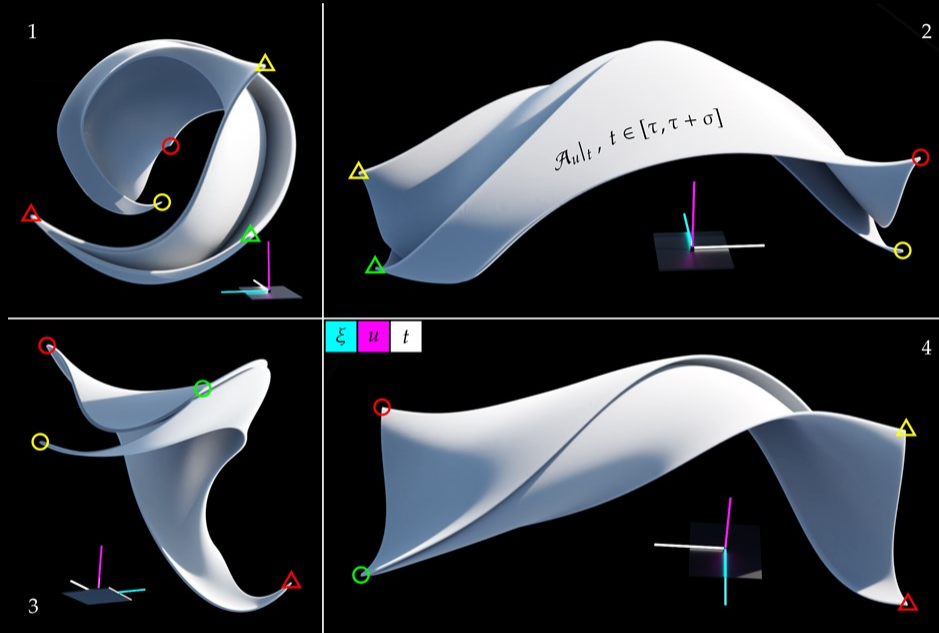
Το σύνορο μεταξύ των ελκτικών πεδίων surging και surf-riding καταρρέει σταδιακά



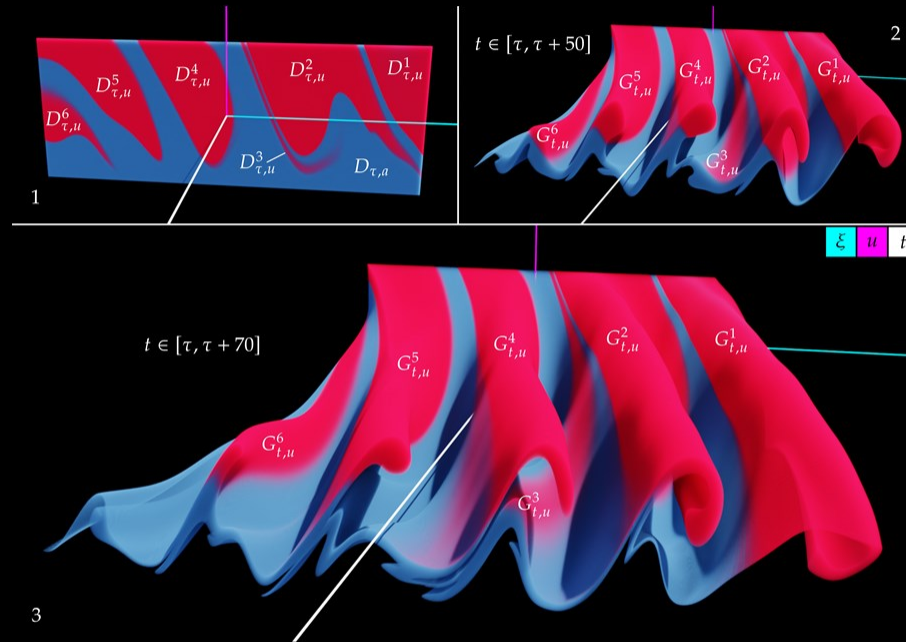
Η κατάρρευση του συνόρου επαληθεύεται από προσομοιώσεις μεγάλης κλίμακας



Συμφωνία προσομοιώσεων μεγάλης κλίμακας με μεθόδους αναγνώρισης Λαγκρανζιανών συνεκτικών δομών



Αναγνώριση χαοτικών ελκυστών μέσω προσομοιώσεων μεγάλης κλίμακας



Αναγνώριση συνεκτικών συνόλων πεπερασμένου χρόνου μέσω μεθόδων συσταδοποίησης

Διαχωρισμός των αποκρίσεων σε αποδεκτές και μη αποδεκτές

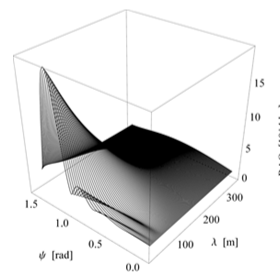
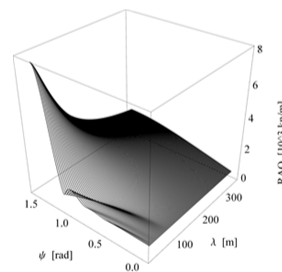
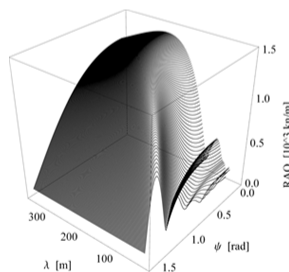
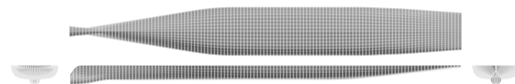
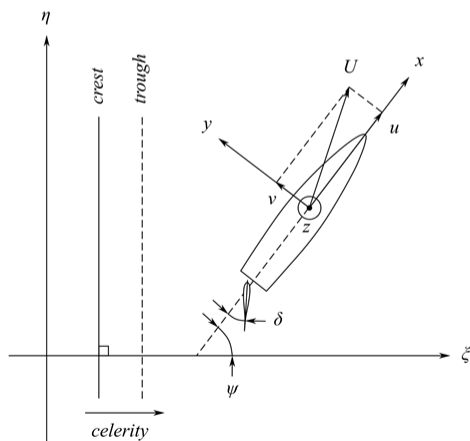
Μοντέλο επίπεδων κινήσεων πλοίου

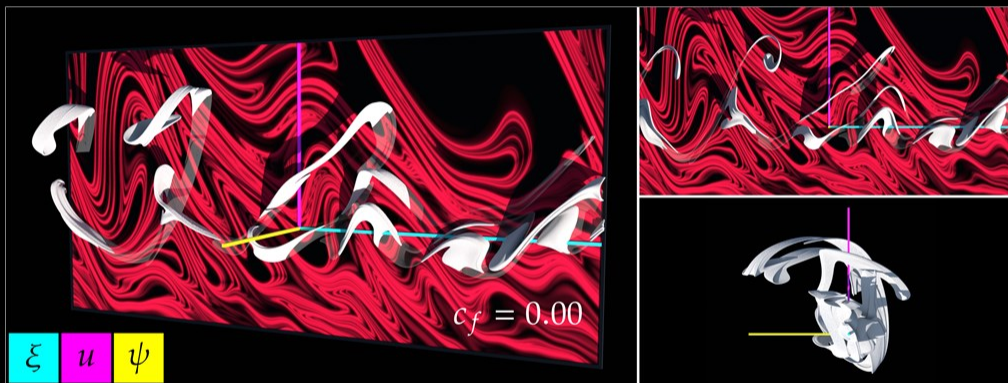
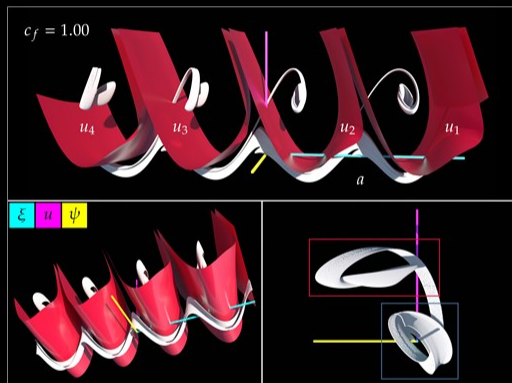
Κυματικό πεδίο ως γραμμική υπέρθεση αριθμού αρμονικών συνιστωσών

Υπολογισμός δύναμης Froude-Krylov μέχρι την αδιατάρακτη επιφάνεια

Πολυωνυμικές εκφράσεις για ώση-αντίσταση

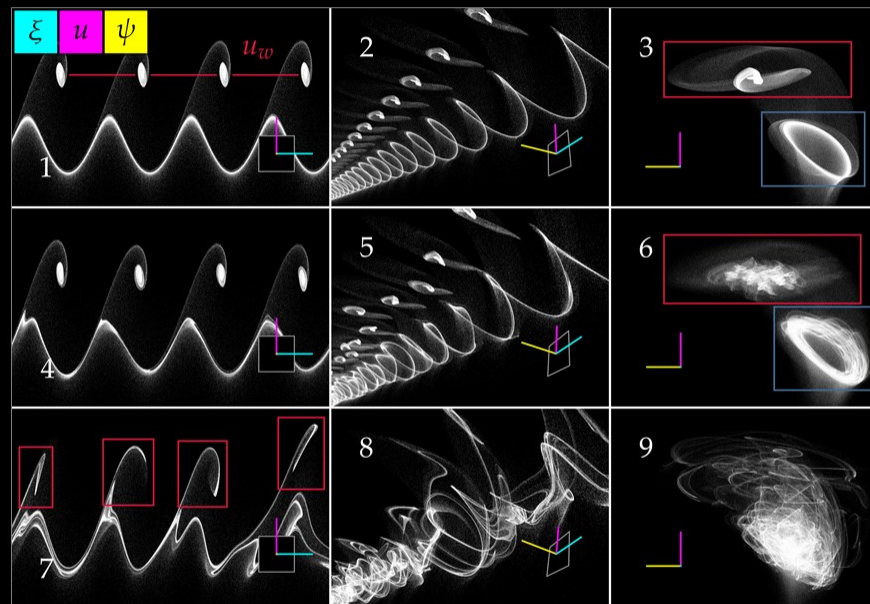
Ημιεμπειρικές εκφράσεις για τις υδροδυναμικές παραγώγους



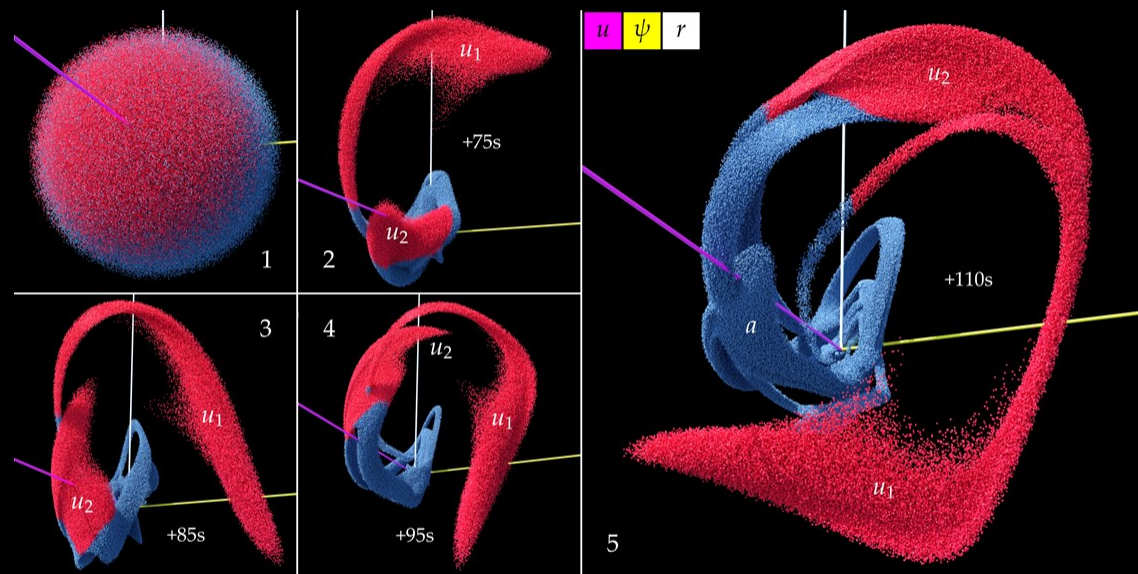


Αναγνώριση υπερβολικών Λαγκρανζιανών συνεκτικών δομών στον χώρο φάσεων του συστήματος

Το σύνορο μεταξύ των διαφορετικών ελκτικών πεδίων καταρρέει σταδιακά

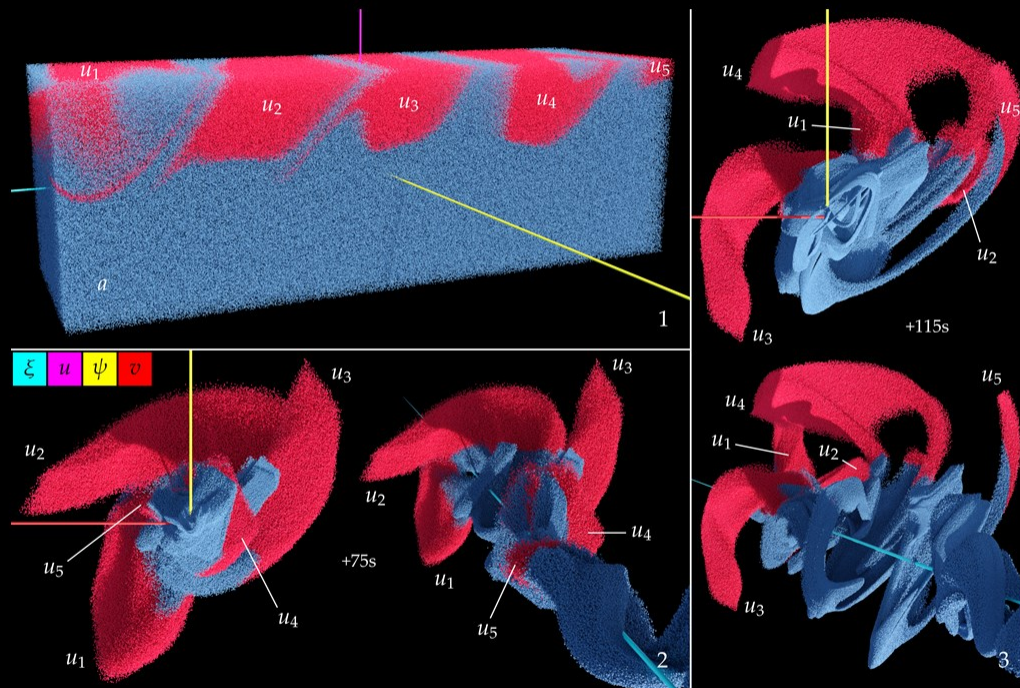


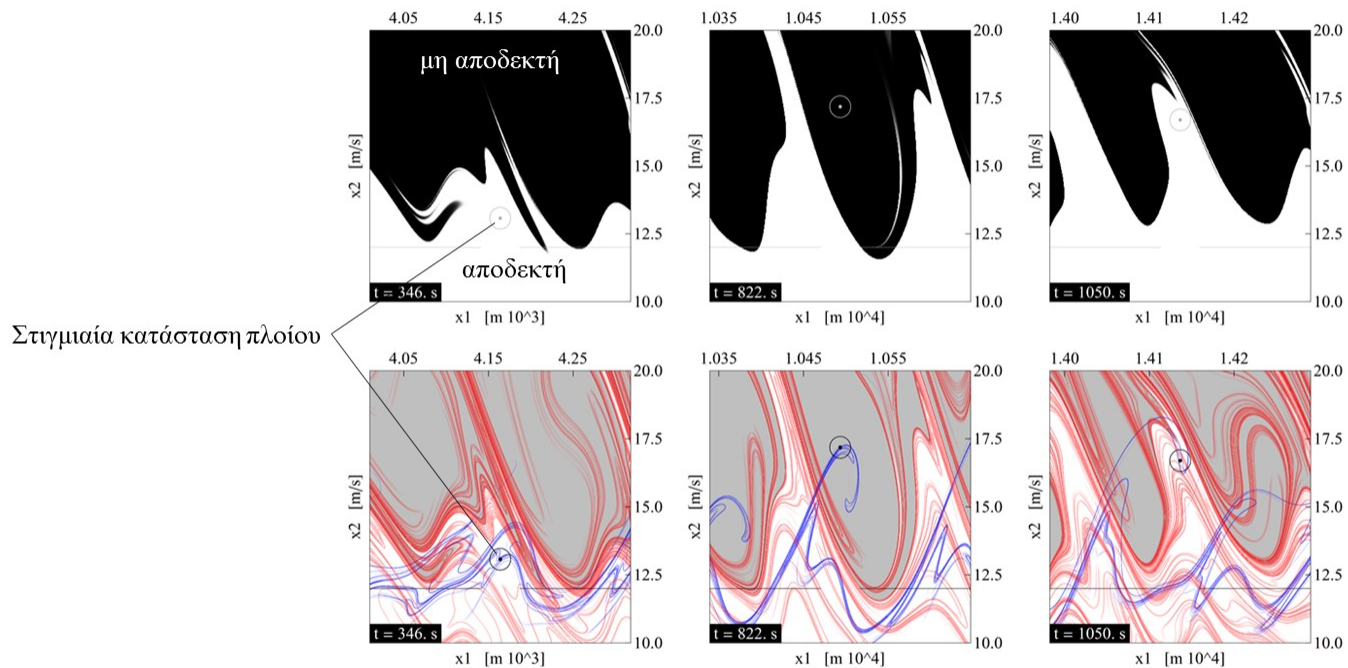
Η κατάρρευση του συνόρου επαληθεύεται από προσομοιώσεις μεγάλης κλίμακας



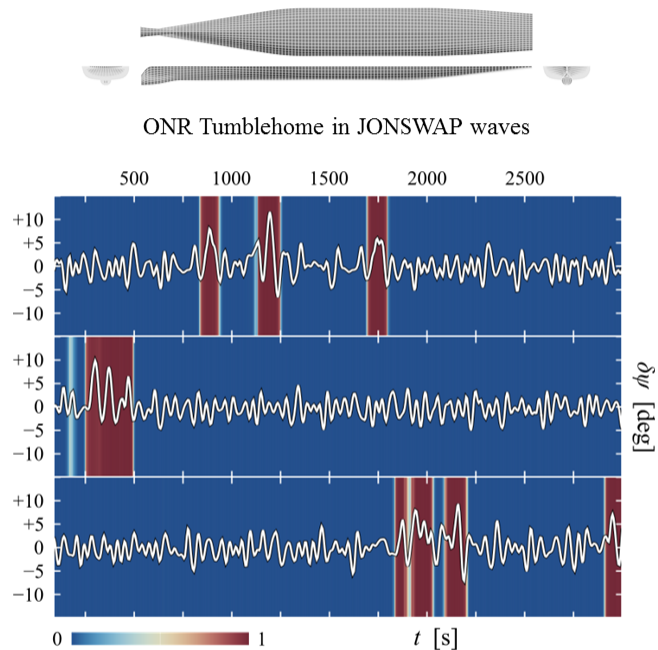
Αναγνώριση συνεκτικών συνόλων πεπερασμένου χρόνου μέσω μεθόδων συσταδοποίησης

Διαχωρισμός των αποκρίσεων σε αποδεκτές και μη αποδεκτές

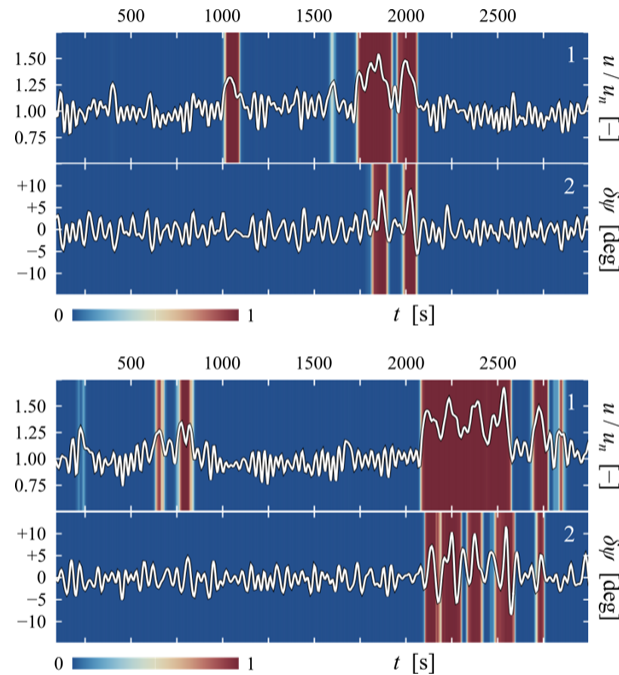




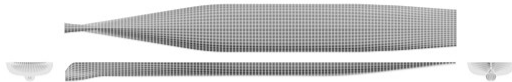
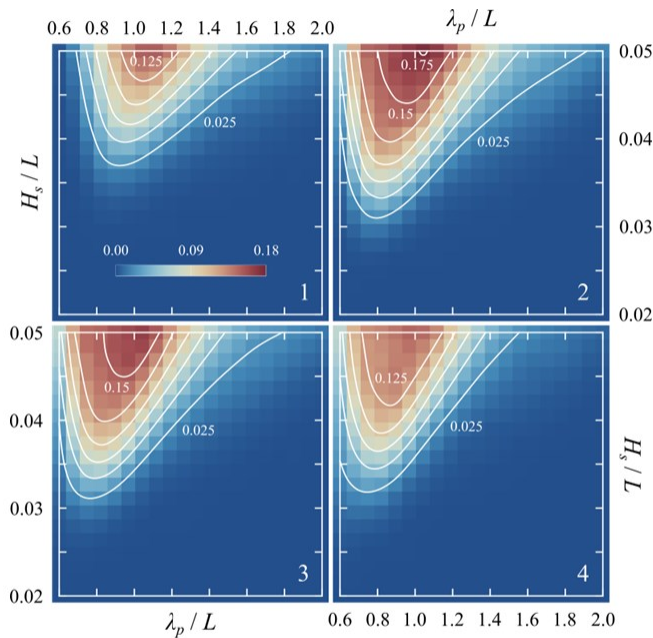
Ο διαχωρισμός των αποκρίσεων επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της στιγμιαίας κατάστασης του πλοίου



Broaching membership and yaw angle history for solutions referring to 3 different realizations



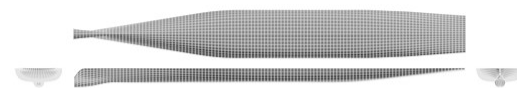
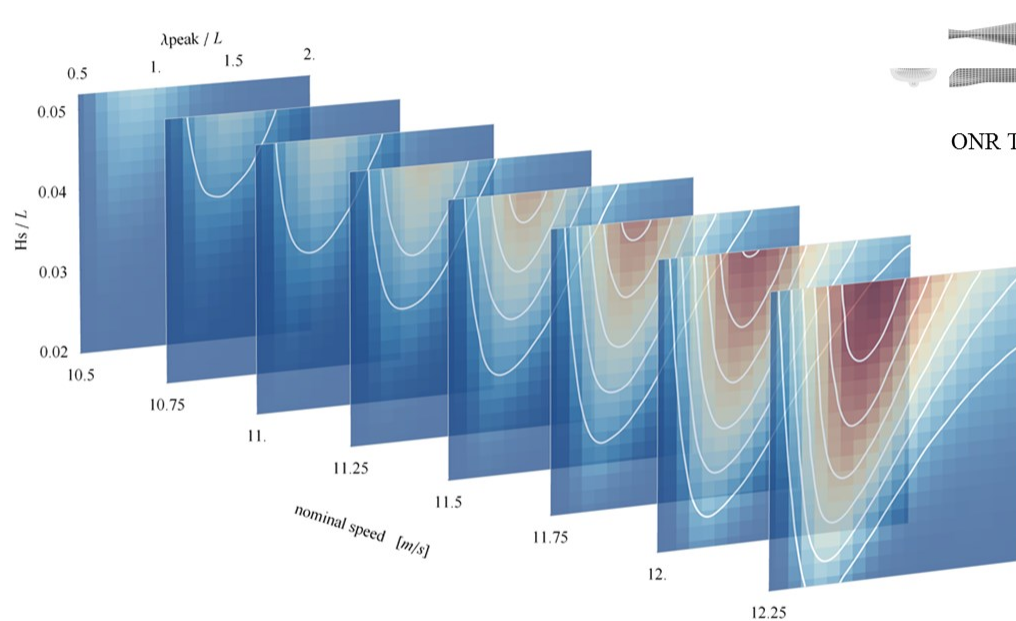
Surf-riding membership and surge velocity history vs. broaching membership and yaw angle history for solutions referring to 2 different realizations



ONR Tumblehome in JONSWAP waves

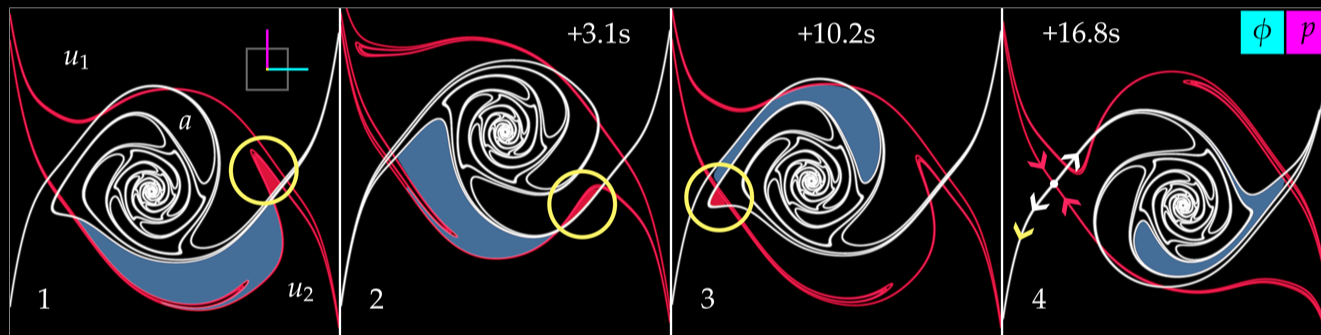
Probability of broaching on the H_s / λ_p plane for 4 different values of ψ_c (5, 10, 12, and 15 degrees)

No of realizations	20×10^3 per square	32×10^6 in total (all subfigures)
No of integrations	5.12×10^6 per square	8.19×10^9 in total (all subfigures)

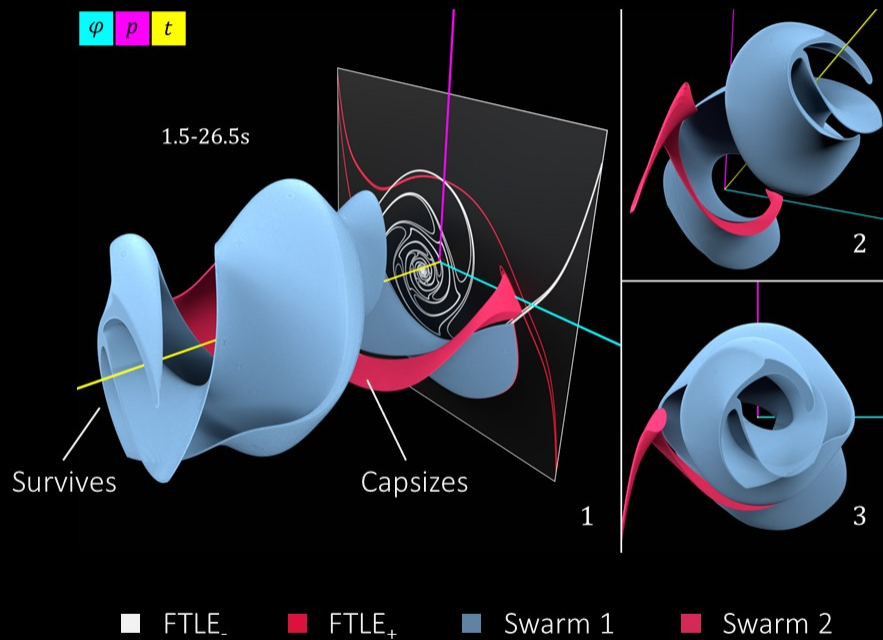


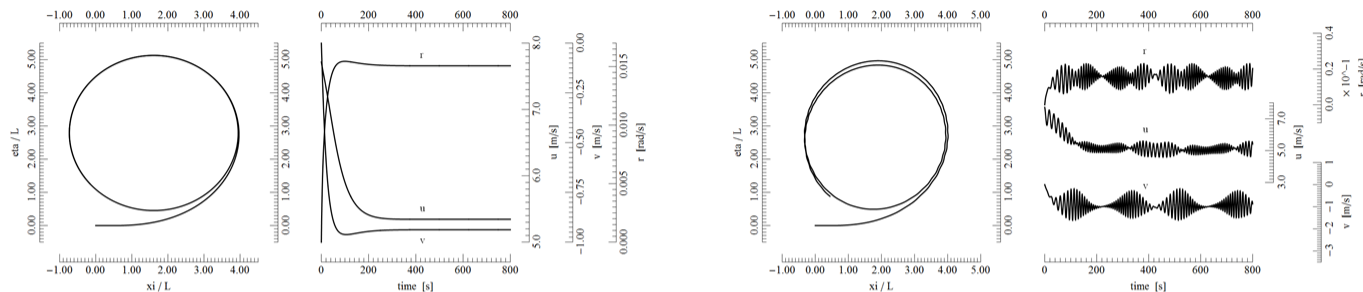
ONR Tumblehome in JONSWAP waves

Probability of surf-riding on the $H_s \lambda_p$ plane for 8 different values of u_n



Αναγνώριση υπερβολικών Λαγκρανζιανών συνεκτικών δομών στον χώρο φάσεων της εξίσωσης διατοιχισμού





Μοντέλο επίπεδων κινήσεων πλοίου

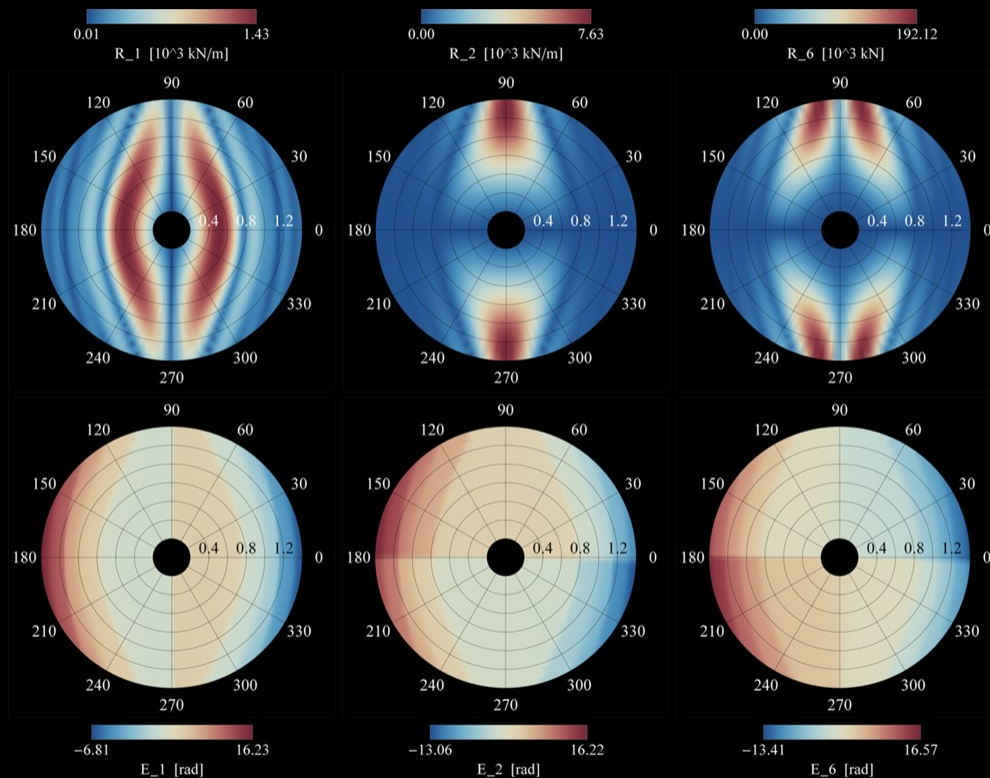
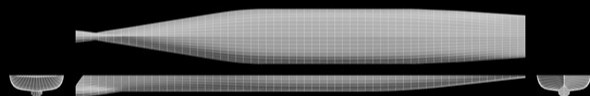
Κυματικό πεδίο ως γραμμική υπέρθεση αριθμού αρμονικών συνιστωσών

Υπολογισμός δυνάμεων Froude-Krylon μέχρι την αδιατάρακτη επιφάνεια

Υπολογισμός δυνάμεων περίθλασης μέσω θεωρίας λωρίδων

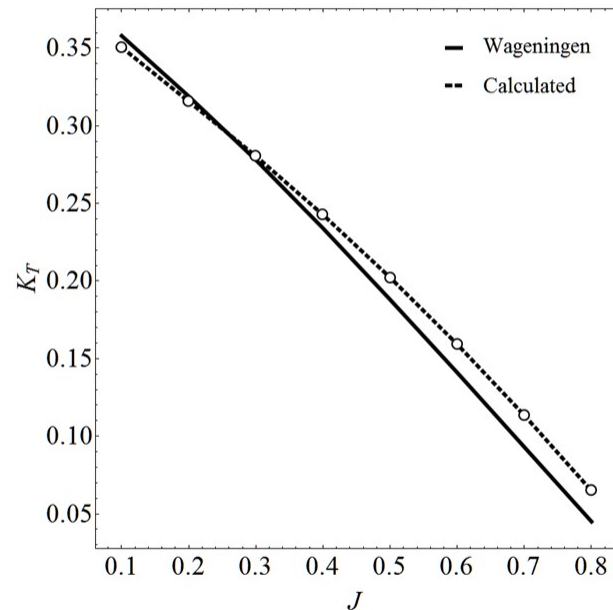
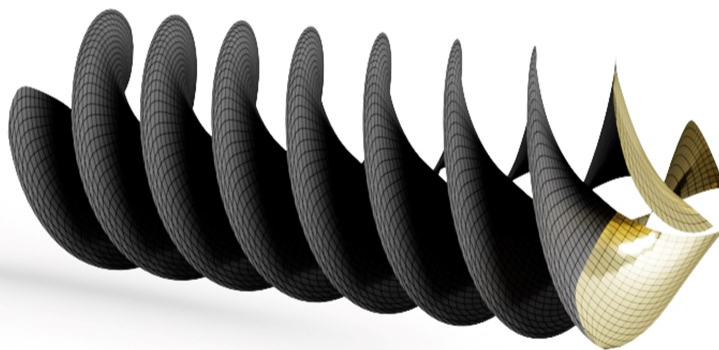
Υπολογισμός ώσης μέσω μεθόδου συνοριακών στοιχείων

Ημιεμπειρικές εκφράσεις για τις υδροδυναμικές παραγώγους (συντελεστές μέσω CFD)



Lifting Surface Theory via Vortex-Lattice method

Wageningen B-Screw 3-65



CUDA C/C++ : ① & ② FORTRAN : ③

Intel H81
Intel i7-4790
16 GB DDR3 1600 MHz
NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti

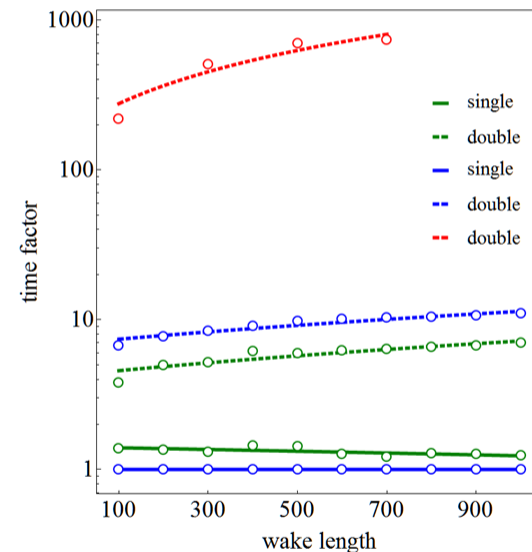
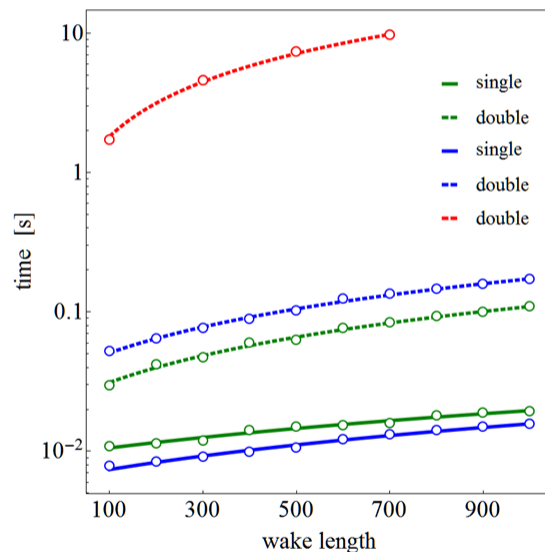
1

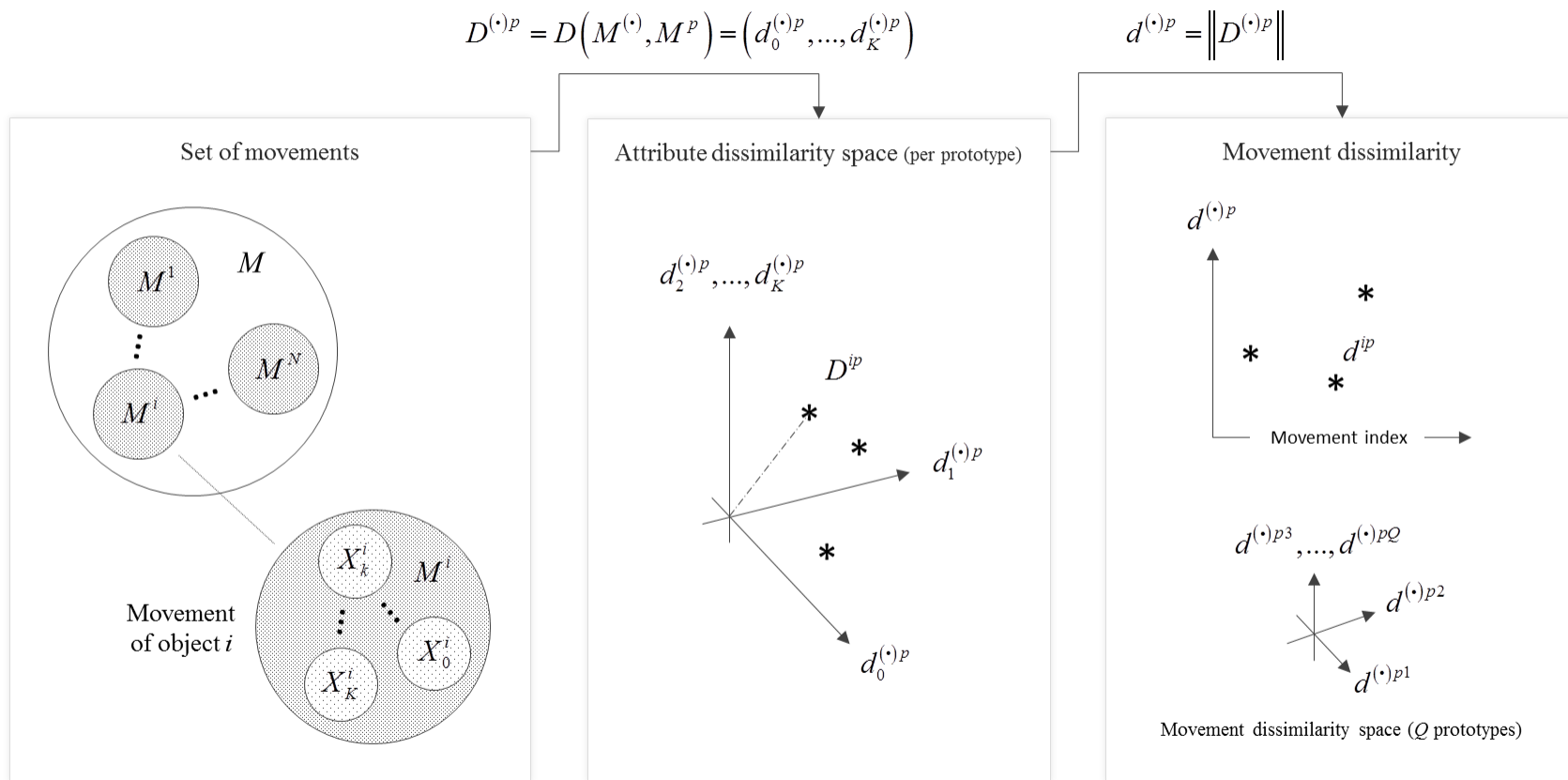
Intel H470
Intel i7-11700
16 GB DDR4 2933 MHz
NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti

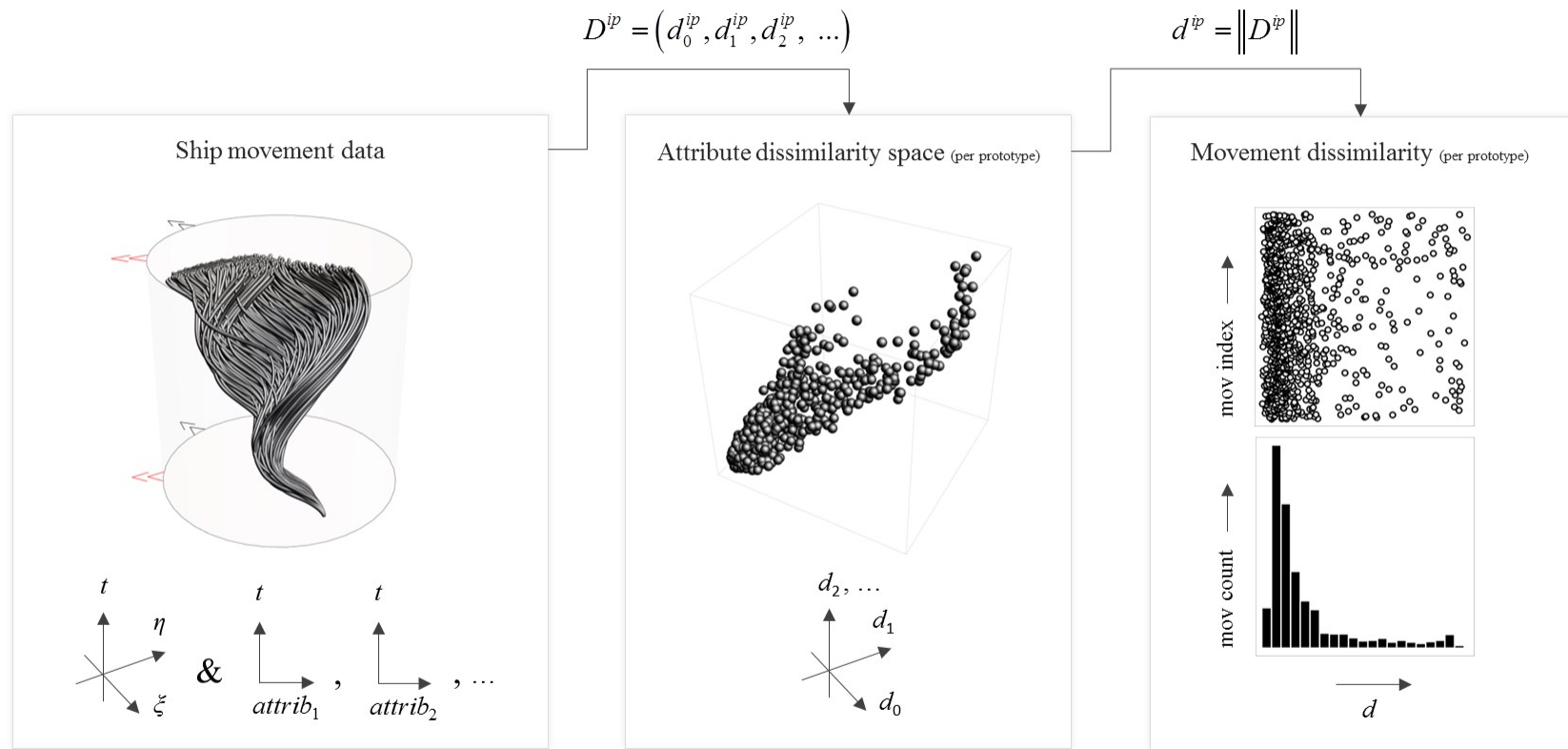
2

Intel Q470
Intel i5-10400
16 GB DDR4 2666 MHz

3

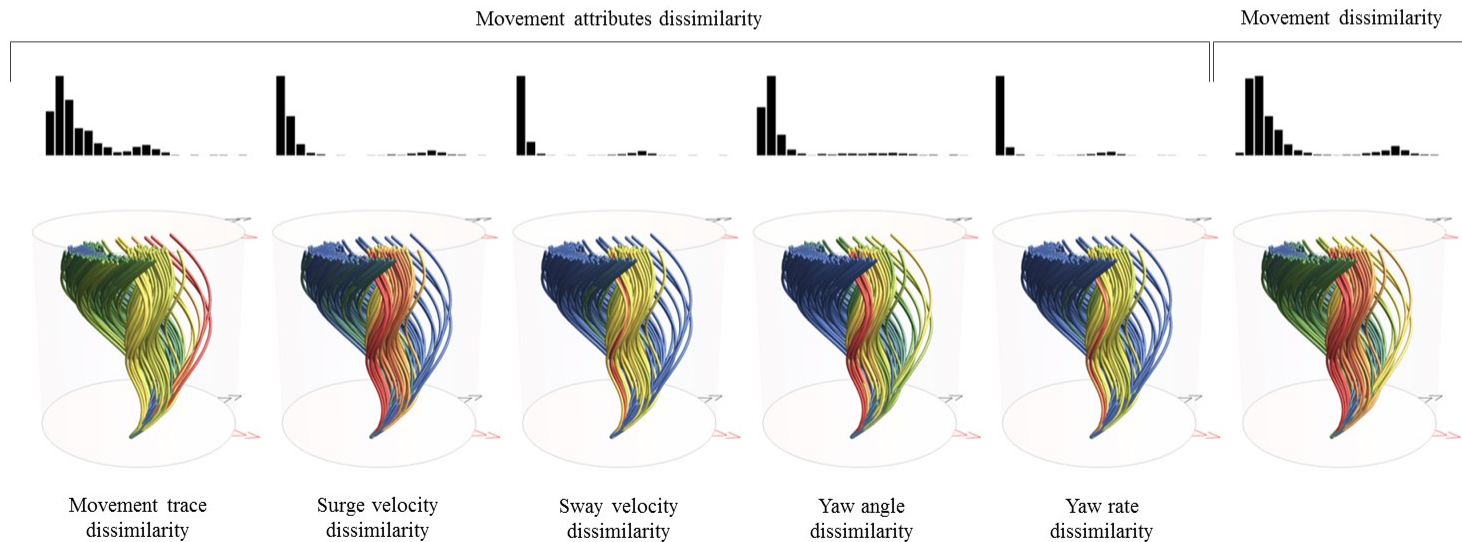






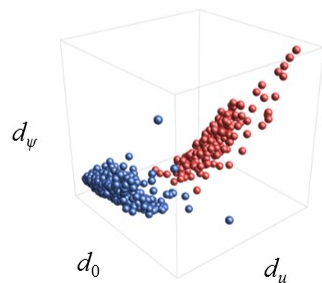
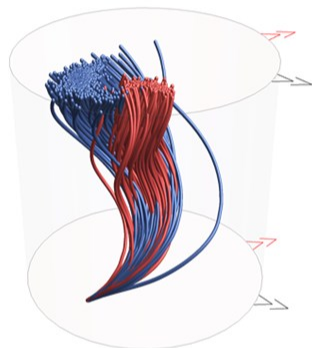
Movement dissimilarity calculations – Prototype: calm water maneuver

Fixed rudder 15°

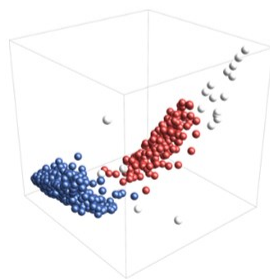
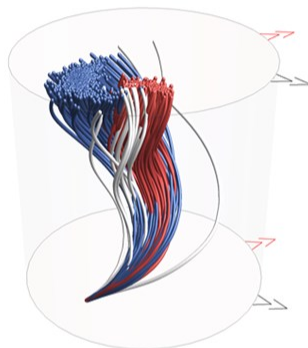


Clustering in attribute dissimilarity space

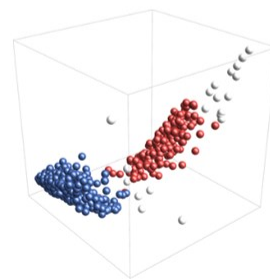
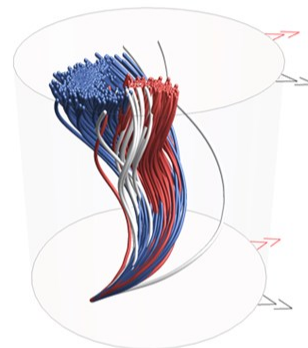
Agglomerative*



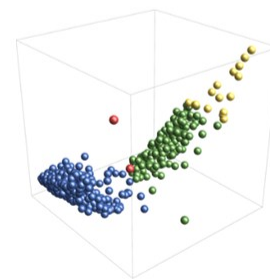
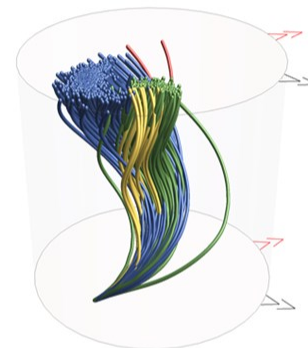
DBSCAN



OPTICS



Mean shift



* Good agreement with affinity propagation and spectral clustering

Outliers in movement dissimilarity space

Prototype: calm water maneuver

Left column

Local outlier factor (LOF)

Middle column

Isolation forest (iForest)

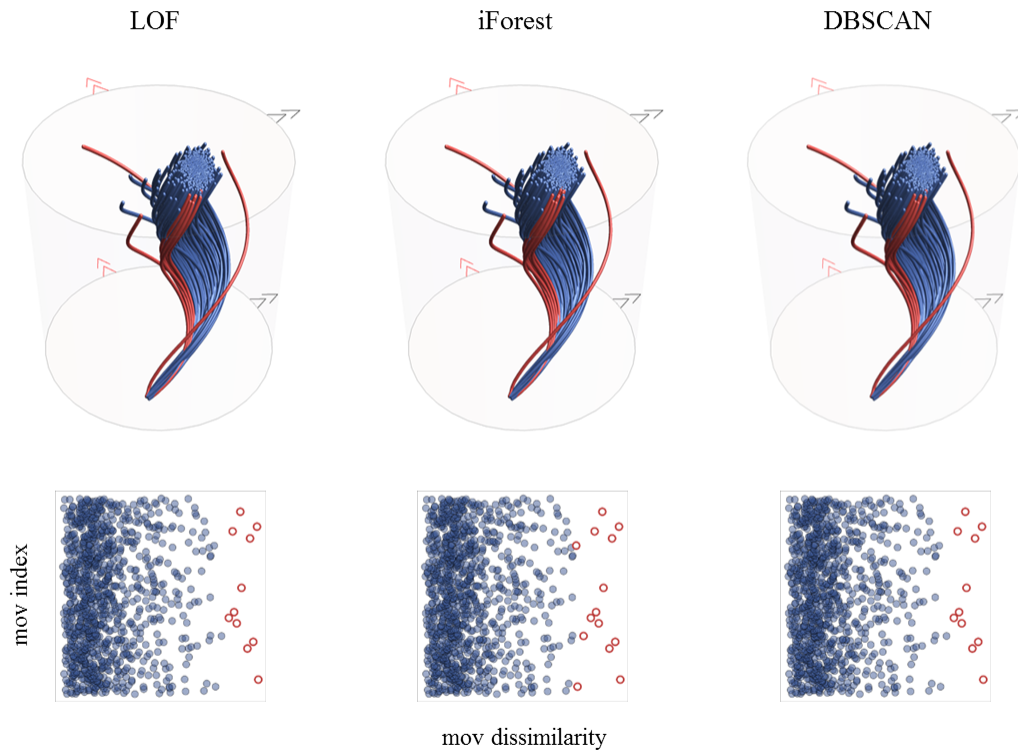
Right column

DBSCAN

Outlier detection as a by-product of clustering

Outlier detection

Local outlier factor (Breunig et al 2000)
Isolation forest (Liu et al 2008)



Στόχοι στο πλαίσιο της Σχολής

Διδασκαλία φοιτητών και εξοικείωση τους με

Βασικές έννοιες και μεθόδους της μηχανικής μάθησης

Τεχνικές για την οπτικοποίηση μεγάλων όγκων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Βασικές αρχές και μεθόδους της θεωρίας δυναμικών συστημάτων

Προχωρημένες μεθόδους από τη διεπιφάνεια θεωρίας δυναμικών συστημάτων και ρευστομηχανικής

Αξιοποίηση διαθέσιμων λογισμικών της σχολής

Επέκταση τους και ανάπτυξη νέων

Χρήση του εργαστηριακού εξοπλισμού της σχολής

Συλλογή, ανάλυση και αξιοποίηση δεδομένων

Συμμετοχή των φοιτητών στην έρευνα του αντικειμένου

Μέσω διπλωματικών εργασιών και διδακτορικών διατριβών

Δημιουργία ερευνητικής ομάδας

Συνεργασίες με

Ακαδημαϊκά ιδρύματα και ερευνητικούς φορείς Ελλάδας και εξωτερικού

Ιδιωτικό Τομέα (βιομηχανία, ναυτιλιακές εταιρίες & νηογνώμονες)

Μελλοντικές κατευθύνσεις

Εφαρμογή μεθόδων μείωσης διαστάσεων, εξαγωγής χαρακτηριστικών και συσταδοποίησης για

Την αναγνώριση δομών/μοτίβων σε πολύπλοκες ροές και την κατανόηση των υποκείμενων διεργασιών

Τη διευκόλυνση εξαγωγής γνώσης και συμπερασμάτων από δεδομένα

που προκύπτουν από προσομοιώσεις, πειράματα ή μετρήσεις του πραγματικού κόσμου

(POD, autoencoders, self-organizing maps, diffusion maps...)

Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ

Μοτίβων του λανθάνοντος χώρου αυτοκωδικοποιητών και

Δομών/συνόλων που προκύπτουν από την εφαρμογή μεθόδων αναγνώρισης Λαγκρανζιανής συνεκτικότητας

Διερεύνηση της διασύνδεσης

Ποιοτικών μεταβολών στην κατάσταση του συστήματος ή ποσοτικών μεταβολών κρίσιμων μεγεθών
Με μεταβολές στα αναδυόμενα μοτίβα σε ροές ή σύνολα δεδομένων

Επέκταση της διαδικασίας για τον χαρακτηρισμό της ελκτικής ικανότητας πλοίου σε

Γενικότερα προβλήματα συμπεριφοράς/λειτουργίας πλοίων και ναυτικών μηχανολογικών συστημάτων
(δεδομένα από προσομοιώσεις, πειράματα ή μετρήσεις του πραγματικού κόσμου)

Χρήση αλγορίθμων συσταδοποίησης για την εκπαίδευση ταξινομητών με απώτερο σκοπό

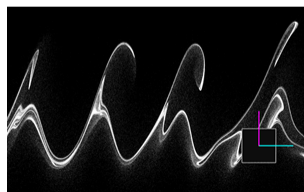
Τον χαρακτηρισμό της στιγμιαίας κατάστασης του υπό εξέταση συστήματος σε πραγματικό χρόνο

Προσπάθεια αναγνώρισης

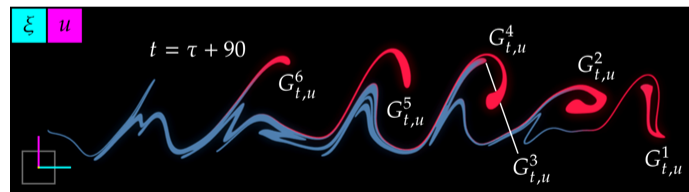
- (1) Μοτίβων σε δυναμικές διεργασίες και
- (2) Των μηχανισμών που οδηγούν στην ανάδυση τους

Προς την κατεύθυνση

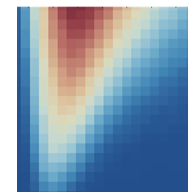
- (1) Κατανόησης δυναμικών φαινομένων και
- (2) Την ανάπτυξη αλγορίθμων για την αξιολόγηση της κατάστασης του υποκείμενου συστήματος
πάνω στη βάση της αποκτηθείσας γνώσης



Data



Pattern



Guidance