



Α.Π. : 21738  
Αθήνα, 28/5/24

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Προς  
τα Μέλη ΔΕΠ της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

### Π Ρ Ο Σ Κ Λ Η Σ Η

Παρακαλείστε να παρευρεθείτε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής που εκπόνησε στον Τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών & Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, ο Υποψήφιος Διδάκτορας κ. ΠΑΝΕΤΣΟΣ ΦΩΤΙΟΣ του Ιωάννη, Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ (Integrated Master).

Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Πέμπτη 6 Ιουνίου 2024, ώρα 10:00, διαδικτυακά. Όποιος ενδιαφέρεται να παρακολουθήσει την εξέταση μπορεί να στείλει σχετικό αίτημα στο [mechlab@mail.ntua.gr](mailto:mechlab@mail.ntua.gr).

Το θέμα της Διδακτορικής της Διατριβής είναι:

Αγγλικός τίτλος: «Motion control strategies for the autonomous sampling, transportation and release of loads suspended to multicopters»

Ελληνικός τίτλος: «Μεθοδολογίες Ελέγχου για Αυτόνομη Δειγματοληψία, Μεταφορά και Εναπόθεση Φορτίων Αναρτημένων επί Ρομποτικών Πολυκοπτέρων»

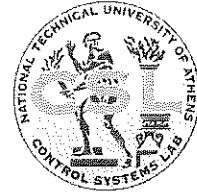
Ο Κοσμήτορας της Σχολής

Ι. Αντωνιάδης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝ/ΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ &  
ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



***Motion control strategies for the autonomous  
sampling, transportation and release of loads  
suspended to multicopters***

Διδακτορική Διατριβή του

κ. ΦΩΤΙΟΥ ΠΑΝΕΤΣΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΥ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΕΜΠ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- Καθηγητής Παπαδόπουλος Ευάγγελος
- Καθηγητής Κυριακόπουλος Κων/νος  
(Επιβλέπων)
- Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεώργιος  
Καρράς, Τμήμα Πληροφορικής, Παν/μιο  
Θεσσαλίας

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- Καθηγητής Αντωνιάδης Ιωάννης
- Καθηγητής Παπαδόπουλος Ευάγγελος
- Καθηγητής Κυριακόπουλος Κων/νος
- Αναπληρωτής Καθηγητής Ιωάννης  
Πουλακάκης
- Αναπληρωτής Καθηγητής Τζαφέστας  
Κων/νος, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχ/κων &  
Μηχ/κων Υπολογιστών, ΕΜΠ
- Αναπληρωτής Καθηγητής, Γεώργιος  
Καρράς, Τμήμα Πληροφορικής, Παν/μιο  
Θεσσαλίας
- Επίκουρος Καθηγητής, Παναγιώτης  
Βαρθολομαίος, Τμήμα Πληροφορικής με  
Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Παν/μιο  
Θεσσαλίας

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2024

**PhD Thesis Title:** Motion control strategies for the autonomous sampling, transportation and release of loads suspended to multicopters

**Abstract:** The field of multirotor Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has risen in popularity throughout the last years, since they are recognized as efficient robotic platforms for a variety of applications. More recently, the incorporation of loads onto multirotors has expanded the boundaries of UAVs, enhancing their capabilities and enabling their use in a wider range of tasks. Particularly the suspension of loads through a cable has captivated the interest of the research community as it is a ready-to-use solution, as opposed to the rigid attachment of loads, and alleviates the need for complicated designs. However, the challenges arising from the existence of the cable impede the autonomous deployment of multirotors with cable-suspended loads in real-world environments.

In this dissertation, we aim to bridge this gap by equipping multirotors with the necessary autonomy, thereby enabling their safe operation within the context of 3 distinct applications: (a) swing-free transportation of the cable-suspended load, (b) tracking of a moving ground vehicle with the goal of releasing the load towards the target, and (c) water sampling from aquatic environments. More precisely, we design innovative state estimation techniques which leverage the measurements provided by onboard sensors and reliably estimate the swinging motion and the tension of the cable. In addition, we develop robust control schemes that handle the complicated coupled dynamics of the system and fulfill the objectives of each application. Finally, we demonstrate the efficacy of the proposed methodologies in outdoor settings and practical scenarios. Consequently, we believe that our work can contribute to the ongoing research concerning multirotors with cable-suspended loads, thus broadening their applicability in real-world environments.

## **Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής:** Μεθοδολογίες Ελέγχου για Αυτόνομη Δειγματοληψία, Μεταφορά και Εναπόθεση Φορτίων Αναρτημένων επί Ρομποτικών Πολυκοπτέρων

**Περίληψη:** Το πεδίο των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs) έχει αποκτήσει μεγαλύτερη απήχηση τα τελευταία χρόνια, καθώς αναγνωρίζονται ως αποτελεσματικές ρομποτικές πλατφόρμες για ποικίλες εφαρμογές. Πιο πρόσφατα, η ενσωμάτωση φορτίων στα πολυκόπτερα έχει επεκτείνει τα όρια των UAVs, ενισχύοντας τις δυνατότητές τους και επιτρέποντας τη χρήση τους σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών. Ιδιαίτερα η ανάρτηση φορτίων μέσω σχοινού έχει μαγνητίσει το ενδιαφέρον της ερευνητικής κοινότητας καθώς είναι μια έτοιμη προς χρήση λύση, σε αντίθεση με την σταθερή προσάρτηση των φορτίων, και μετριάζει την ανάγκη για πολύπλοκους σχεδιασμούς. Ωστόσο, οι προκλήσεις που προκύπτουν από την ύπαρξη του σχοινού εμποδίζουν την αυτόνομη ανάπτυξη των πολυκοπτέρων με αναρτημένα μέσω σχοινού φορτία σε πραγματικά περιβάλλοντα.

Σε αυτή τη διατριβή, στοχεύουμε να γεφυρώσουμε αυτό το χάσμα εξοπλίζοντας τα πολυκόπτερα με την απαραίτητη αυτονομία, επιτρέποντας έτσι την ασφαλή λειτουργία τους στο πλαίσιο 3 διαφορετικών εφαρμογών: (α) μεταφορά του αναρτημένου μέσω σχοινού φορτίου χωρίς ταλάντωση του σχοινού, (β) παρακολούθηση ενός κινούμενου επίγειου οχήματος με σκοπό την εναπόθεση του φορτίου στο στόχο και (γ) δειγματοληψία νερού από υδάτινα περιβάλλοντα. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάζουμε καινοτόμες τεχνικές εκτίμησης κατάστασης που αξιοποιούν τις μετρήσεις που παρέχονται από αισθητήρες, ενσωματωμένους στο UAV, και εκτιμούν αξιόπιστα την ταλαντωτική κίνηση και την τάση του σχοινού. Επιπλέον, αναπτύσσουμε εύρωστα σχήματα ελέγχου που αντιμετωπίζουν την περίπλοκη δυναμική του συστήματος και εκπληρώνουν τους στόχους κάθε εφαρμογής. Τέλος, επιδεικνύουμε την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μεθοδολογιών σε εξωτερικούς χώρους και πρακτικά σενάρια. Ως εκ τούτου, πιστεύουμε ότι η εργασία μας μπορεί να συμβάλει στην τρέχουσα έρευνα πάνω σε πολυκόπτερα με αναρτημένα μέσω σχοινού φορτία, διευρύνοντας έτσι την εφαρμοσιμότητά τους σε πραγματικά περιβάλλοντα.