



Α.Π. : 33651
Αθήνα, 13/7/23

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής της Υ.Δ. **κας Χρηστίδη- Λουμπασέφσκι Όλγας-Ορσαλίας**, διπλωματούχου Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών, την οποία εκπόνησε στον Τομέα Μηχανολογικών Κασκευών & Αυτομάτου Ελέγχου. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 19 Ιουλίου 2023 και ώρα 13:00 διαδικτυακά στο:

<https://centralntua.webex.com/centralntua/j.php?MTID=m5e5c246fac9b62845944dd3633cf5a63>

Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Δυναμική και Αναγνώριση Άκαμπτων και Εύκαμπτων Ρομποτικών Συστημάτων στο Διάστημα»

και ο Αγγλικός ως εξής:

« Dynamics and Identification of Rigid and Flexible Space Robotic Systems ».

Ο Κοσμήτορας της Σχολής

N. Μαρμαράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Abstract

To achieve cost-effective in-orbit servicing, space manipulator systems can be employed as a viable solution. To execute precise tasks in orbit, advanced control strategies, such as model-based ones, must be employed; these require accurate knowledge of a system's parameters. However, the space robot's parameters can change in orbit for several reasons, including environmental and mission ones. Therefore, this thesis focuses on developing system identification methods for both rigid and flexible space robotic systems.

The system identification of rigid space robotic systems is addressed first. A parameter identification method is developed to accurately estimate the inertial parameters required for the complete reconstruction of a system's free-floating dynamics. Unlike alternative methods, this approach does not rely on acceleration measurements, making it less sensitive to sensor noise. The method utilizes the conservation of angular momentum as a model set. During the identification experiment, optimized exciting trajectories are followed by all manipulator joints while the system is in free-floating mode. This identification method is further extended to reconstruct the full free-flying dynamics of rigid space robotic systems within the same experiment. The extended method employs the differential kinematics through a Jacobian as an additional model set and is validated through simulations and experiments.

Spacecrafts are subject to different sources of flexibility. These are mainly due to their flexible appendages, and to fuel sloshing in their thruster fuel tanks. Both impact their dynamics behaviour and controlled performance. In this thesis, the system identification of space robotic systems with a flexible appendage and a harmonic oscillator is addressed. Sloshing is modelled as a harmonic oscillator and the flexible appendage is modelled according to the Euler-Bernoulli theory. A system identification scheme is developed, which identifies all parameters required despite the unmeasurable modal and sloshing states. This is accomplished through two consecutive identification experiments. In the first experiment, modal and sloshing model parameters, along with the space robot's base mass, are identified using modal analysis and a transfer-function-based approach. In the second experiment, a method is developed based on kinematics and conservation of momentum that eliminates unmeasurable sloshing states and identifies the needed space robot's inertial parameters. The scheme developed is validated through simulations.

In summary, this thesis presents novel system identification methods to address the challenges of changing parameters in both rigid and flexible space manipulator systems used for in-orbit servicing activities. The effectiveness of the developed methods is demonstrated through simulations, experiments, and validation, while their potential in enhancing the control strategies employed in the control of robotic systems in-orbit is showcased.

Περίληψη

Για να επιτευχθούν εργασίες σε τροχιά, τα διαστημικά ρομποτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οικονομικά βιώσιμη λύση. Για την εκτέλεση εργασιών σε τροχιά με ακρίβεια, προηγμένες στρατηγικές ελέγχου, όπως αυτές που βασίζονται σε μοντέλο, πρέπει να χρησιμοποιηθούν, και οι οποίες απαιτούν ακριβή γνώση των παραμέτρων ενός συστήματος. Ωστόσο, οι παράμετροι των διαστημικών ρομπότ μπορούν να μεταβληθούν όταν βρίσκονται σε τροχιά για διάφορους λόγους, συμπεριλαμβανομένων λόγων σχετικών με το περιβάλλον και την ίδια την διαστημική αποστολή. Επομένως, αυτή η διατριβή εστιάζει στην ανάπτυξη μεθόδων αναγνώρισης παραμέτρων τόσο για άκαμπτα όσο και για εύκαμπτα διαστημικά ρομποτικά συστήματα.

Αρχικά μελετάται η αναγνώριση παραμέτρων άκαμπτων διαστημικών ρομποτικών συστημάτων. Μια μέθοδος αναγνώρισης παραμέτρων αναπτύχθηκε για την ακριβή εκτίμηση των αδρανειακών παραμέτρων που απαιτούνται για την πλήρη ανακατασκευή της δυναμικής των ελεύθερα αιωρούμενων διαστημικών ρομποτικών συστημάτων (free-floating space manipulators). Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, αυτή η μέθοδος δεν βασίζεται σε μετρήσεις επιτάχυνσης, καθιστώντας την λιγότερο ευαίσθητη στον θόρυβο των αισθητήρων. Η μέθοδος χρησιμοποιεί την εξίσωση διατήρησης στροφορμής του συστήματος ως σετ μοντέλου (model set). Κατά τη διάρκεια του πειράματος αναγνώρισης, βελτιστοποιημένες τροχιές κίνησης ακολουθούνται από όλες τις αρθρώσεις των βραχιόνων του ρομποτικού συστήματος ενώ το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία ελεύθερης αιώρησης (free-floating mode). Αυτή η μέθοδος αναγνώρισης επεκτάθηκε με σκοπό την ανακατασκευή της πλήρους δυναμικής των ελεύθερα ιπτάμενων (free-flying) άκαμπτων διαστημικών ρομποτικών συστημάτων, μέσω του ίδιου πειράματος αναγνώρισης. Η μέθοδος που αναπτύχθηκε χρησιμοποιεί τη διαφορική κινηματική μέσω ενός Ιακωβιανού πίνακα ως επιπρόσθετο σετ μοντέλου, και επικυρώνεται μέσω προσομοιώσεων και πειραμάτων.

Οι δορυφόροι υπόκεινται σε διαφορετικές πηγές ευκαμψίας. Αυτές οφείλονται κυρίως στα εύκαμπτα μέλη τους, και στην ανακίνηση του καυσίμου στις δεξαμενές τους. Και οι δύο τύποι ευκαμψιών επηρεάζουν τη δυναμική συμπεριφορά και την ελεγχόμενη απόδοση των δορυφόρων. Στην παρούσα διατριβή, μελετάται η αναγνώριση παραμέτρων των διαστημικών ρομποτικών συστημάτων παρουσία εύκαμπτου μέλους και αρμονικού ταλαντωτή. Το κινούμενο καύσιμο μοντελοποιείται ως αρμονικός ταλαντωτής και το εύκαμπτο μέλος σύμφωνα με τη θεωρία Euler-Bernoulli. Μια μέθοδος αναγνώρισης παραμέτρων αναπτύχθηκε, η οποία εκτιμάει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται παρά τις μη μετρήσιμες μεταβλητές κατάστασης του αρμονικού ταλαντωτή (sloshing states) και της ιδιομορφικές μεταβλητές κατάστασης του εύκαμπτου μέλους (modal states). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδοχικών πειραμάτων αναγνώρισης. Στο πρώτο πείραμα, οι παράμετροι του ιδιομορφικού μοντέλου και του μοντέλου του αρμονικού ταλαντωτή, μαζί με

τη μάζα του διαστημικού ρομπότ, αναγνωρίζονται με τη χρήση ιδιομορφικής ανάλυσης και ενός σετ μοντέλου βασισμένου σε συνάρτηση μεταφοράς. Στο δεύτερο πείραμα, αναπτύχθηκε μια μέθοδος βασισμένη στην κινηματική και τη διατήρηση της ορμής του συστήματος που εξαλείφει τις μη μετρήσιμες καταστάσεις κίνησης του αρμονικού ταλαντωτή (sloshing states) και τις ιδιομορφικές καταστάσεις κίνησης του εύκαμπτου μέλους (modal states) και εκτιμάει τις απαραίτητες αδρανειακές παραμέτρους του διαστημικού ρομπότ. Το προτεινόμενο σχήμα επικυρώνεται μέσω προσομοιώσεων.

Συνοπτικά, η διατριβή παρουσιάζει καινοτόμες μεθόδους αναγνώρισης παραμέτρων για την αντιμετώπιση της μεταβολή των παραμέτρων τόσο σε άκαμπτα διαστημικά ρομποτικά συστήματα όσο και σε συστήματα με εύκαμπτα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για εργασίες σε τροχιά. Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων που αναπτύχθηκαν αποδεικνύεται μέσω προσομοιώσεων και πειραμάτων, ενώ παρουσιάζονται οι δυνατότητές τους στην ενίσχυση των στρατηγικών ελέγχου ρομποτικών συστημάτων σε τροχιά.