

ΠΡΟΣ

- 1) Όλα τα μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών
- 2) Τους εκπροσώπους των Μεταπτυχιακών φοιτητών του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών
- 3) Την Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή
- 4) Όλα τα μέλη της Πανεπιστημιακής Κοινότητας

Πρόσκληση σε Δημόσια Παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής της

κα. Κοσκινοπούλου Μαρία

Doctoral Dissertation Defense

Mrs. Maria Koskinopoulou

Την Τρίτη, 17/12/2019 και ώρα 16:00 στην αίθουσα Τηλεδιάσκεψης Κ206 του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Κρήτης στο Ηράκλειο, θα γίνει η δημόσια παρουσίαση και υποστήριξη της Διδακτορικής Διατριβής της υποψηφίας διδάκτορος του Τμήματος Επιστήμης Υπολογιστών κα. Κοσκινοπούλου Μαρίας με θέμα:

“Μάθηση μέσω παρατήρησης για την επίτευξη ρομποτικών δράσεων χειρισμού”

“Learning from Demonstration to accomplish robotic manipulation tasks”

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αφορά τη μελέτη, ανάπτυξη και εφαρμογή, μεθόδων Μηχανικής Μάθησης μέσω Παρατήρησης (Learning from Demonstration) με στόχο την ρομποτική αναπαραγωγή δράσεων χειρισμού. Η μεθοδολογία αυτή στηρίζεται στην δημιουργία μιας αντιστοίχισης (mapping) μεταξύ της κινηματικής του ανθρώπινου χεριού και ενός ρομποτικού βραχίονα, ή πιο συγκεκριμένα μεταξύ του πολυδιάστατου χώρου των κινήσεων του ανθρώπου (human actor) με τον επίσης πολυδιάστατο χώρο δράσης του ρομπότ. Η συσχέτιση των ανθρώπινων ενεργειών με αντίστοιχες ρομποτικές, επιτυγχάνεται μέσω μιας άδηλης αναπαράστασης, που ονομάζεται λανθάνουσα απεικόνιση χώρου (latent space). Πιο συγκεκριμένα, μελετάμε την αμοιβαία αλληλεπίδραση της αντίληψης και της

δράσης, προκειμένου να διδάξουμε τα ρομπότ μια ποικιλία από νέες κινήσεις χειρός. Ως εκ τούτου, υλοποιήθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο μάθησης μέσω παρατήρησης, το οποίο ονομάζεται IMFO (Imitation Framework by Observation), που διευκολύνει την αναπαραγωγή μαθημένων και νέων κινήσεων χειρισμού από ένα ρομπότ (manipulation tasks) και, παράλληλα, έχει ευρεία εφαρμογή σε σενάρια αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ (HRI) σε καθημερινά περιβάλλοντα.

Επιπλέον, σε αυτή τη διατριβή, εξετάζουμε το ρόλο της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης μιας κίνησης μέσα από τη διαδικασία μάθησης από παρατήρηση, ενισχύοντας το διαμορφωμένο πλαίσιο IMFO με την δυνατότητα αναπαράστασης και αναπαραγωγής τόσο των χωρικών όσο και των χρονικών χαρακτηριστικών των ανθρώπινων κινήσεων. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους μάθησης μέσω παρατήρησης (LfD) που περιγράφουν την εκτελούμενη δράση μόνο με βάση τα χωρικά χαρακτηριστικά της, η προτεινόμενη μεθοδολογία ενισχύει την αναπαραγωγή των χωροχρονικών πτυχών μιας κίνησης επιτρέποντας την αποτελεσματική εφαρμογή της σε πιο σύνθετα σενάρια HRI, όπου η χρονική αλληλουχία των δράσεων είναι σημαντική. Επιπρόσθετα, εισάγεται ένα σύνολο καλά καθορισμένων μετρικών αξιολόγησης (evaluation metrics) για να αποτιμηθεί η εγκυρότητα της προτεινόμενης προσέγγισης λαμβάνοντας υπόψη τη χρονική και χωρική συνέπεια των αναπαραγόμενων συμπεριφορών.

Μια αξιοσημείωτη επέκταση του προαναφερθέντος πλαισίου αναφέρεται στην εκμάθηση της δύναμης που επιβάλλεται από τον χρήστη για την επιτυχημένη εκτέλεση λεπτών χειρισμών. Αυτή η διαδικασία παρουσιάζεται επίσης στην παρούσα διατριβή μέσω ενός νέου πλαισίου εποπτευόμενης μάθησης, το οποίο ονομάζεται SLF (Supervised Learning scheme for Force-based manipulation). Το SLF διατυπώνεται ως μία διαδικασία τριών σταδίων: (α) επιβλεπόμενη διαδικασία εκτέλεσης κινήσεων χειρισμού σε προσομοίωση για την απόκτηση επαρκών δεδομένων, (β) διαδικασία εκπαίδευσης (training) για τη διευκόλυνση της μάθησης κινήσεων χειρισμού με την κατάλληλη προσαρμογή του καρπού και της δύναμης πιασίματος και μεταφοράς και (γ) εκτέλεση της κίνησης από ρομποτικό βραχίονα σε προσομοίωση. Στη συνέχεια, με τη χρήση της μεθόδου sim-to-real transfer, επιτυγχάνεται αναπαραγωγή των μαθημένων δράσεων σε πραγματικά περιβάλλοντα γενικεύοντας την εφαρμογή του πλαισίου μάθησης σε επιπλέον συνθήκες χειρισμού εύθραυστων αντικειμένων. Τα αποτελέσματα με τη χρήση του ρομποτικού βραχίονα YuMi, σε πειράματα με διαφορετικά αντικείμενα με παρόμοιους συντελεστές τριβής, και εναλλακτικές πόζες πιασίματος, αποδεικνύουν ότι το ρομπότ είναι σε θέση να αναπαραγάγει αποτελεσματικά απαιτητικές κινήσεις μεταφοράς και χειρισμού μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας μάθησης.

Συνοπτικά, η παρούσα διατριβή μελετά την διαδικασία μάθησης μέσω παρατήρησης συνεισφέροντας με μια νέα προσέγγιση που εισάγει την μελέτη δράσεων χειρισμού αντικειμένων μέσα από έναν χώρο μειωμένων διαστάσεων, για την εύκολη και συμπαγή κωδικοποίηση των επιμέρους χαρακτηριστικών των δράσεων. Ταυτόχρονα μελετώνται τα χρονικά χαρακτηριστικά των κινήσεων ώστε να ενισχυθεί η εφαρμογή της μεθόδου σε σύνθετες, πραγματικές συνθήκες που απαιτούν χρονική ακρίβεια αναπαραγωγής. Τέλος, η διαμόρφωση μιας γενικευμένης διαδικασίας εποπτευόμενης μάθησης για τον χειρισμό εύθραυστων αντικειμένων αναβαθμίζει περαιτέρω το αρχικό πλαίσιο μάθησης.

Επιβλέπων: Καθηγητής, Παναγιώτης Τραχανιάς

ABSTRACT

The current PhD thesis addresses the formulation and implementation of a methodological framework for robot Learning from Demonstration (LfD). The latter refers to methodologies that develop behavioral policies from example state-to-action mappings. To this end, we study the reciprocal interaction of perception and action, in order to teach robots a repertoire of novel action behaviors. Based on that, we design, develop and implement a robust imitation framework, termed IMFO (IMitation Framework by Observation), that facilitates imitation learning and relevant applications in human-robot interaction (HRI) tasks. IMFO can cope with the reproduction of learned (i.e. previously observed) actions, as well as novel ones. Mapping of human actions to the respective robotic ones is achieved via an indeterminate depiction, termed latent space representation. The latter accomplishes a compact, yet precise abstraction of action trajectories, effectively representing high dimensional raw actions in a low dimensional space.

Moreover, throughout this thesis, we examine the role of time in LfD by enhancing the aforementioned framework with the notion of learning both the spatial and temporal characteristics of human motions. Accordingly, learned actions can be subsequently reproduced in the context of more complex time-informed HRI scenarios. Unlike previous LfD methods that cope only with the spatial traits of an action, the formulated scheme effectively encompasses spatial and temporal aspects. Extensive experimentation with a variety of real robotic platforms demonstrates the robustness and applicability of the introduced integrated LfD scheme.

Learned actions are reproduced under the high level control of a time-informed task planner. During the implementation of the studied scenarios, temporal and physical constraints may impose speed adaptations in the performed actions. The employed latent space representation readily supports such variations, giving rise to novel actions in the temporal domain. Experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed enhanced imitation scheme in the implementation of HRI scenarios. Additionally, a set of well-defined evaluation metrics are introduced to assess the validity of the proposed approach considering the temporal and spatial consistency of the reproduced behaviors.

A noteworthy extension of the above regards force-based object grasping for executing sensitive manipulation tasks. This is also treated in the current thesis via a novel supervised learning scheme, termed SLF (Supervised Learning for Force-based manipulation). SLF is formulated as a three-stage process: (a) supervised trial-execution in simulation to acquire sufficient training data; (b) training to facilitate grasp learning with suitable robot-arm pose and lifting force; (c) grasp execution in simulation. Subsequently, following sim-to-real transfer, operation in real environments is achieved in addition to simulated ones, generalizing also for objects not included in the trial sessions. The proposed learning scheme is demonstrated in object lifting tasks where the applied force varies for different objects with similar contact friction coefficients, and likewise the grasping pose. Experimental results on the manipulator YuMi show that the robot is able to effectively reproduce demanding lifting and manipulation tasks after learning is accomplished.

In summary, our thesis has studied LfD and has contributed with a novel approach that introduced latent space representations to encode the action characteristics. A framework implementation (IMFO) of our approach allowed extensive experimentation and also conduction of HRI scenarios. The inclusion of temporal aspects in our approach enhanced it to cope with complex, real-life interactions. Finally, the extension of IMFO with force-based grasping facilitated manipulation tasks with sensitive objects.

Supervisor: Professor, Panagiotis Trahanias