

Ρομποτικά συστήματα με έμπνευση από τη φύση

Τεχνικό άρθρο Τα τελευταία χρόνια η ρομποτική, μετά την επιτυχημένη πορεία της στα αυστηρά επιεγχόμενα βιομηχανικά και εργαστηριακά περιβάλλοντα, κάνει τα πρώτα της βήματα κι έξω απ' αυτά, με σκοπό τη λύση πολύπλοκων προβλημάτων στον πραγματικό κόσμο.

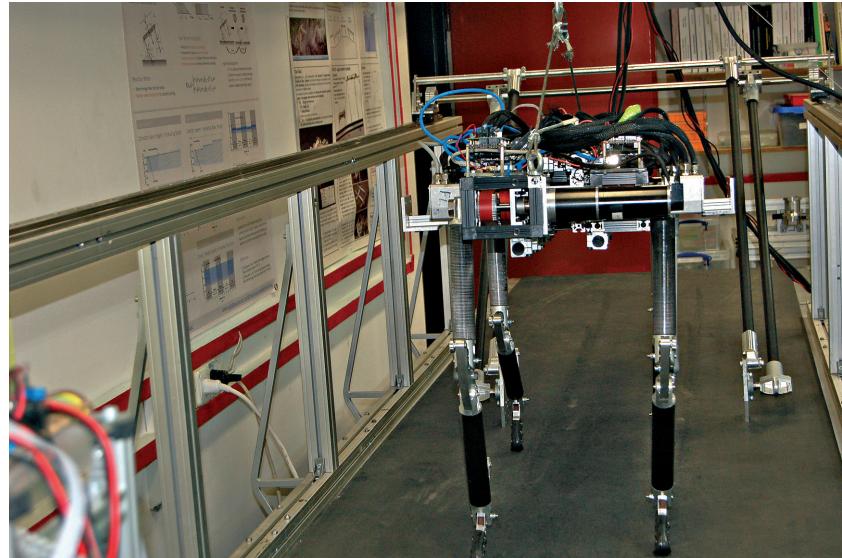
ΑΡΘΡΟ ΤΩΝ κ. ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΜΑΧΑΙΡΑ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΚΟΥΤΣΟΥΚΗ, ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ ΜΑΣΤΡΟΓΕΩΡΓΙΟΥ, ΜΙΧΑΗΛ ΜΑΚΡΟΔΗΜΗΤΡΗ, ΜΑΝΟΥ ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΙ ΙΩΑΝΝΗ ΒΑΛΒΗ*

Στην προσπάθεια χρήσης των δομών που στο εξωτερικό περιβάλλον, τα δομόπτηρα έρχονται αντιμέτωπα με την ανάγκη κίνησης σε μη δομημένα περιβάλλοντα, με ανώμαλα ή και επικίνδυνα εδάφη, με ασυνέχειες, εμπόδια και μεταβλητή υποχωρητικότητα.

Σε αυτές τις δύσκολες συνθήκες τα βιομηχανικά δομόπτηρα, των οποίων ο σχεδιασμός εμπνέεται από τη φύση, υπερέχουν από εκείνα που έχουν άλλους τρόπους κίνησης (π.χ. ρόδες, ερυθροτροπεις, έλικες), αφού –λόγου χάρη– μπορούν να υπερηφάνησουν εμπόδια, να κινηθούν αποδοτικά σε ασυνεχή και απορρόφητα περιβάλλοντα, ή να γλιστρούν αθρόυστα μέσα στο νερό.

Τα βιομηχανικά δομόπτηρα μπορούν να βρουν εφαρμογή σε επικίνδυνες για τον άνθρωπο καταστάσεις, όπως είναι π.χ. οι επιχειρήσεις πυρόσβεσης, διάσωσης επιζώντων, εξερεύνησης του υποθαλάσσιου χώρου ή των πλανητών αλλ. Στο άρθρο αυτό θα αναφερθούμε σε δύο εφαρμογές που έχουν υλοποιηθεί στο Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου (ΕΑΕ) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου: σε ένα τετράποδο δομόπτηρα και σε ένα δομόπτηρο ψάρι.

Ακολουθώντας τις επιταγές της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας που απαιτούν πειραματική επιβεβαίωση των μαθηματικών και αναλυτικών αποτελεσμάτων, το ΕΑΕ υλοποιεί μεταξύ



άλλων δομοποτικές διατάξεις, ξεκινώντας από τη σύλληψη της ιδέας και φτάνοντας έως την κατασκευή των διατάξεων (τα περισσότερα τμήματα των οποίων κατασκευάζονται αποκλειστικά στο Εργαστήριο), τον έλεγχο τους, τις επικοινωνίες και τη δικτύωση, την τεχνητή οραση κ.ά. Έτσι το ΕΑΕ συνεισφέρει πολύτιμη γνώση στην ακαδημαϊκή έρευνα αλλά και στην εφαρμογή στη βιομηχανία.

Ρομπότ με πόδια

Τα δομόπτηρα με πόδια του ΕΑΕ εμπνέονται από τη φύση και την κίνηση των τετράποδων ζώων, χωρίς να τις αντιγράφουν απαραίτητα. Η ερευνητική ομάδα, την οποία απαρτίζουν 14 άτομα (Κ. Μαχαιράς, Κ. Κουτσούκης, Θ. Μαστοργεωργίου, Γ. Μπολανάκης, Ι. Βάλβης, Σ. Αθηνιώτης, Αρ. Παπαθεοδώρου, Σ. Βαγενάς, Η. Ζουρναντζής, Μ. Καραμουσαδάκης, Β. Γιαγκλίσης, Οδ. Σιμάτος, Ν. Βαΐνδηλης, Ασ. Αναστασίου), προσπαθεί να εντοπίσει τα χαρακτηριστικά κίνησης των ζώων που θα μπορούσαν να βοηθήσουν τα δομόπτηρα να κινούνται γρήγορα και αποτελεσματικά σε δύσβατα περιβάλλοντα με κλίσεις και ασυνέχειες, στα οποία εδάφη τα δομόπτηρα με ρόδες δεν μπορούν να κινηθούν με ασφάλεια.

Ένα δομόπτηρο με τέτοιες δυνατότητες, το οποίο θα κινούνταν σαν γάτα ή κα-

τίκι, ή ακόμα και ως βάτραχος με τεράστια άλματα, θα μπορούσε να δράσει σε ένα φλεγόμενο κτίριο ή σε ένα κτίριο υπό κατάρρευση, μέσα στα οποία έχουν εγκλωβιστεί άνθρωποι. Σε ένα τέτοιο απρόβλεπτο περιβάλλον θα ήταν άσκοπο να τεθούν σε κίνδυνο ζωές πυροσβεστών, και αντί αυτών θα ήταν δυνατό να χοησμοποιηθούν πολλά τετράποδα δομόπτηρα. Τέτοια δομόπτηρα μπορούσαν να δράσουν και σε περίπτωση ατυχήματος σε χημικό ή πυρηνικό εργοστάσιο, όπως σε αυτό της Φουκουσίμα (Ιαπωνία).

Χρονικά, το πρώτο τετράποδο δομόπτηρο που υλοποιήθηκε στο ΕΑΕ ήταν το SAHR (Single Actuator Hopping Robot, βλ. εικόνα 1) [1]. Κύριοι στόχοι αυτής της υλοποίησης ήταν η επαλήθευση μεθόδων σχεδιασμού και θεωρίας ελέγχου που οδηγούν ένα έντονα υποεπενδρυμένο σύστημα (με ένα μόνο κινητήρα ανά πόδι) σε αποδοτική δυναμική κίνηση, αξιοποιώντας τη δυναμική του συστήματος και ειδικότερα τα ενσωματωμένα παθητικά ελαστικά στοιχεία του (ελατήρια στα πόδια).

Βασικές σχεδιαστικές απαιτήσεις ήταν η απλότητα στην κατασκευή και η ελαχιστοποίηση του βάρους. Το δομόπτηρο έχει μήκος περίπου 0,5 m, μάζα μόλις 10 kg και διαθέτει πόδια με 8 βαθμούς ελευθερίας, απ' τους οποίους οι τέσσερις είναι επενεργούμενοι με ηλεκτρικούς κινητήρες, ενώ οι υπόλοι-

ποι τέσσερις είναι παθητικοί (φυσικά ελατήρια συμπίεσης).

Το εν λόγω ρομπότ μπορεί να εκτελέσει κινήσεις με άλματα (bound) και συγχρονισμένα άλματα (pronk) εκμεταλλεύμενο την παθητική δυναμική του, δηλαδή τη δυναμική που προκύπτει εάν αφαιρεθούν όλοι οι επενεργητές του. Οι βιβλιαρισμοί που μπορούν να επιτευχθούν χωρίς τη συνεισφορά (ή με μικρή συνεισφορά) των κινητήρων είναι και οι πιο αποδοτικοί ενεργειακά για το ρομπότ.

Σε αυτή τη βάση, ο καινοτόμος αλγόριθμος ελέγχου που χρησιμοποιείται επιτρέπει στο τετράποδο SAHR τον ταυτόχρονο έλεγχο τόσο της πρόσθιας ταχύτητας όσο και του μέγιστου ύψους αναπήδησης, παρά την έντονα υποεπενδρούμενη φύση του ρομπότ.

Laelaps

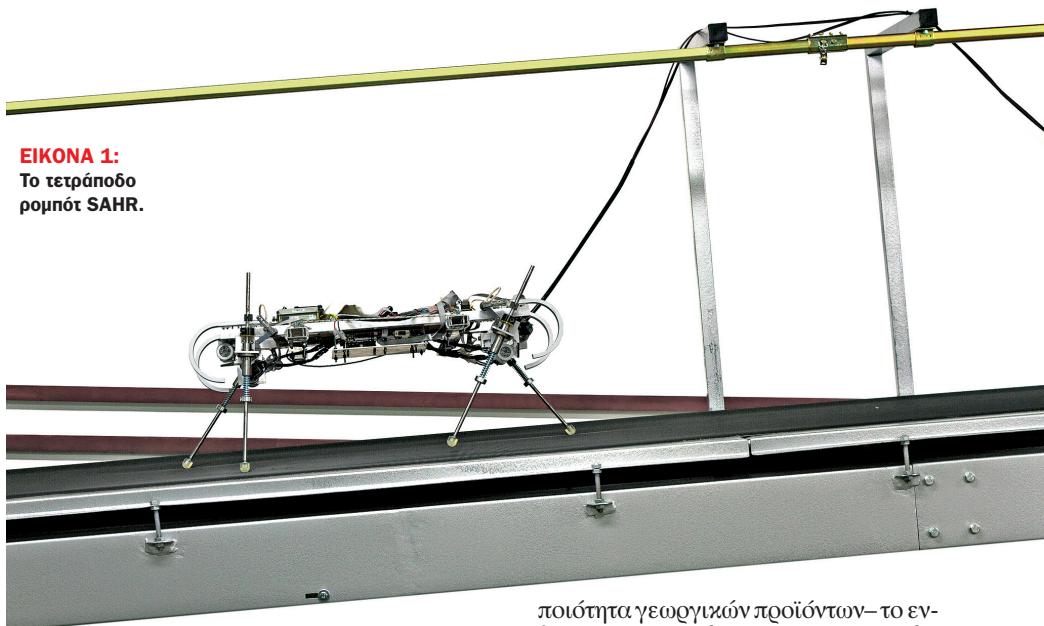
Η τρέχουσα ερευνητική δραστηριότητα του ΕΑΕ στο πεδίο των ρομπότ με πόδια εστιάζεται στο τετράποδο ρομπότ Laelaps (από την αρχαία λέξη «Λαλαψ»), που πήρε το όνομά του από το μυθικό σκύλο Λαλαπα που δημιούργησε ο Ήφαιστος και που μπορούσε να πιάνει όποιο θήραμα κυνηγούσε (και είναι σήμερα ο αστερισμός Μέγας Κύων).

Το τετράποδο αυτό ρομπότ στοχεύει στη μελέτη της κίνησης με υψηλή ταχύτητα και με χοήση ηλεκτρικής επενέργησης. Για το σκοπό αυτό, το σώμα του αποτελείται από δύο διακριτά τμήματα κατασκευασμένα από αλουμίνιο και σωλήνες ανθρακονήματος. Αυτά συνδέονται μέσω μηχανισμού στροφικής αρθρωτής μέσης, ο οποίος περιλαμβάνει ηλεκτρικό κινητήρα παραλλήλα με φυσικό στροφικό ελατήριο.

Το ρομπότ έχει μάζα 40 kg, διαθέτει πόδια 2 επενεργούμενων βαθμών ελευθερίας και στο σώμα του μπορεί να ενσωματώθει μηχανισμός ουράς, με σκοπό τη διατήρηση της ευστάθειας του ρομπότ με τεχνικές ελέγχου στροφοριμής.

Το τετράποδο Laelaps βρίσκεται ήδη σε φάση αναβάθμισης όλων των υποσυστημάτων που το αποτελούν, με στόχο να αποκτήσει η κίνηση στα πόδια του έναν ακόμα βαθμό ελευθερίας (προσαγωγή και απαγωγή του ποδιού) αλλά και να αποκτήσει καλύτερη αντίληψη του περιβάλλοντος με το να ενισχυθεί με αισθητήρες laser και κάμερες (βλ. εικόνα 2). Βασική προτεραιότητα βέβαια παραμένει η εξασφάλιση πυκνότητας ισχύος, έτσι ώστε η μεγάλη ροπή και η υψηλή ταχύτητα να συνδυάζονται με όσο το δυνατό μικρότερο βάρος^[2-4].

Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα της ομάδας περιλαμβάνουν επίσης το σχε-



ΕΙΚΟΝΑ 1:
Το τετράποδο
ρομπότ SAHR.

Η πρωτοπορία του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου του ΕΜΠ έγκειται στο ότι τα ρομπότ κατασκευάζονται εξολοκλήρου μέσα στο εργαστήριο

διασμό και την κατασκευή καινοτόμων ευέλικτων τετράποδων ρομπότ με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας ανά πόδι, καθώς και με ικανότητες αντίληψης του περιβάλλοντος (π.χ. τεχνητή όραση) και λήψης αποφάσεων, για χοήση σε περιβάλλοντα με αισυνέχειες, με στατικά και δυναμικά εμπόδια.

Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε θεμελιώδεις ερευνητικούς στόχους που θα επιτρέψουν την εισαγωγή ευέλικτων τετράποδων ρομπότ με δυνατότητες επιθεώρησης και χειρισμών σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής.

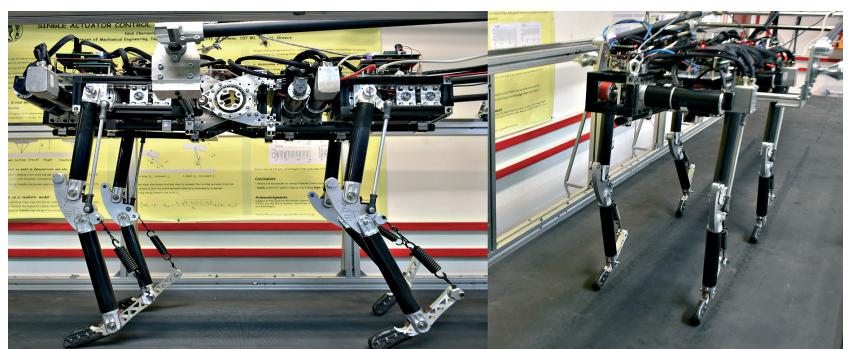
Εφαρμογές

Παράδειγμα πιθανής χοήσης τέτοιων ρομπότ αποτελεί ο τομέας της γεωργίας ακριβείας, όπου –με γνώμονα την ανάγκη για αυξημένη παραγωγή και

ποιότητα γεωργικών προϊόντων– το ενδιαφέρον εστιάζεται στην ανάπτυξη αυτόνομων βοηθών για κουραστικές γεωργικές εργασίες (βλ. εικόνα 3). Σε ένα τέτοιο δύσκολο και απρόβλεπτο περιβάλλον, ένα τετράποδο ρομπότ με πολύλειτουργικό βραχίονα μπορεί να κινείται με ευελιξία μεταξύ σειρών φυτών, να προσεγγίζει επιλεγμένα φυτά, να παρακολουθεί την κατάστασή τους και να μεταδίδει χρήσιμα δεδομένα.

Η πρωτοπορία, για τα ελληνικά δεδομένα, του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ έγκειται στο ότι τα ρομπότ, από τη σύλληψη της ιδέας και τη θεωρητική μελέτη μέχρι την τελική υλοποίησή τους (που περιλαμβάνει όλα τα μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά συστήματα) κατασκευάζονται μέσα στο εργαστήριο. Το επιστημονικό επίπεδο των ερευνητών της ομάδας είναι πολύ υψηλό, και το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζεται σε τεχνολογίες ακμής οι οποίες εφαρμόζονται στα ρομπότ του εργαστηρίου και κατέχουν ανταγωνιστική θέση σε παγκόσμιο επίπεδο.

Βασική επιδίωξη της ομάδας τετραπόδων του ΕΑΕ είναι η υλοποίηση ρομπότ ικανών να μπορούν να ενταχθούν



ΕΙΚΟΝΑ 2: Το τετράποδο Laelaps στον κυλιόμενο διάδρομο του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αυτοματισμός



ΕΙΚΟΝΑ 3: α) Δενδροστοιχίες, β) σχέδιο τετράποδου ρομπότ με ποιητηποριγκό βραχίονα, γ) πειτοργία του ρομπότ στο πεδίο.

στην καθημερινή μας ζωή και να δράσουν αποτελεσματικά σε εξωτερικό περιβάλλον στη γη ή ακόμα και στο διάστημα, εκεί που δεν μπορούν να δρουν οι άνθρωποι.

Ρομποτικό ψάρι

Η φυσική επιλογή και η διαδικασία της εξέλιξης έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη ιδιαίτερα αποδοτικών συστημάτων κίνησης των ψαριών στο υγρό στοιχείο. Η πρόωση των ψαριών προγραμματοποιείται μέσω της ταλαντωτικής κίνησης μέρους του σώματος τους και μέσω πτερυγίων.

Ο συγκεκριμένος τρόπος κίνησης είναι ιδιαίτερα αποδοτικός ενεργειακά, αφού μελέτες δείχνουν πώς η ταλαντωτική κίνηση μέρους του σώματός τους μπορεί να επιφέρει σημαντική μείωση της υδροδυναμικής αντίστασης εναντί της συμβατικής κίνησης ενός άκαμπτου σώματος που κινείται με προπέλα.

Επιπλέον, προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης υψηλών ταχυτήτων και επιταχύνσεων, όπως και την ικανότητα απότομων ελιγμών. Σε αντίθεση μάλιστα με τα υπαίρχοντα μη επανδρωμένα υποβρύχια οχήματα (Unmanned Underwater Vehicles, UUV), των οποίων οι ελιγμοί (όπως π.χ. μια στροφή 180 μοιρών) απαιτούν χώρο πολλαπλάσιο του μήκους του σώματός τους, στα ψάρια και στα θαλάσσια θηλαστικά η αντίστοιχη κίνηση απαιτεί απόσταση μικρότερη του μήκους του σώματός τους.

Για τους προσαναφεθέντες λόγους, το ΕΑΕ ενδιαφέρθηκε πολύ νωρίς να μελετήσει ρομποτικά ψάρια και να αναπτύξει δικό του ρομποτικό ψάρι (βλ. εικόνα 4) του οποίου η κίνηση είναι εμπνευσμένη από βασικούς μηχανισμούς κίνησης των ψαριών. Οι κινήσεις του ρομποτικού ψαριού στο επί-

πεδίο βασίζονται στην κίνηση της ουράς του, ενώ για την αλλαγή του βάθους πλεύσης αυξομειώνεται το βάρος του μέσω εισαγωγής ή απόρριψης νερού στο εσωτερικό του, όπως κατά αναλογία πραγματοποιούν πολλά ψάρια.

Το ρομποτικό ψάρι προωθείται από την ταλάντωση της ουράς, με οριζόμενη συχνότητα και πλάτος, και υπό κατάλληλη γωνία ως προς το σώμα του ρομπότ. Υλοποιείται νόμος ελέγχου για την κίνηση της ουράς με στόχο την παραγωγή κατάλληλης δύναμης προώσης, έτσι ώστε να υπερνικάται η υδροδυναμική αντίσταση, και το ρομπότ να εκτελεί επιθυμητές τροχιές.

Επιδίωξη του ΕΑΕ είναι η υλοποίηση ρομπότ ικανών να δράσουν αποτελεσματικά σε εξωτερικό περιβάλλον στη γη ή στο διάστημα, εκεί που δεν μπορούν οι άνθρωποι

Το ρομποτικό ψάρι έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντέχει την υδροδυναμική πίεση σε αρκετά μεγάλο βάθος, ενώ στο εσωτερικό του σώματός του υπάρχουν όλα όσα απαιτούνται για τον αυτόματο έλεγχο της κίνησης της ουράς. Το κύριο στοιχείο είναι ένας σερβοκινητήρας συνεχούς ρεύματος, ο οποίος ελέγχεται μέσω μικρούπολογιστή. Ο κινητήρας αυτός μεταφέρει την κίνηση στην ουρά, μέσω συστήματος μετάδοσης που απαρτίζεται από κιβώτιο ταχυτήτων, τροχαλία και μη εκτατά νήματα τα οποία συνδέονται με την ουρά και την θέτουν σε κίνηση.

Όσον αφορά την κίνηση στο κατακόρυφο επίπεδο, το ρομποτικό ψάρι

είναι εφοδιασμένο με έναν αισθητήρα πίεσης, μια μικρή τρισδιάστατα εκπυαμένη δεξαμενή και μια μικρή αντλία, τα οποία υπό την επίβλεψη του μικρούπολογιστή υλοποιούν έλεγχο βάθους αυξομειώνοντας το βάρος του ρομπότ μέσω άντλησης ή απάντλησης νερού από/προς το περιβάλλον. Τέλος, το ρομποτικό ψάρι είναι εφοδιασμένο με κατάλληλες μπαταρίες, έτσι ώστε να αποτελεί ένα αυτόνομο υποβρύχιο όχημα που εκτελεί σύνθετες τροχιές κίνησης.

Η ερευνητική εργασία που πραγματοποιείται στο ΕΑΕ (αντ' τη στιγμή η ερευνητική ομάδα απαρτίζεται από τους Μ. Μακροδημήτη, Μ. Σωτηρόπουλο, Σ. Χατζηζαχαρία και Θ. Καμπύλη) έχει οδηγήσει σε δημοσιεύσεις σε έγκριτα περιοδικά και διεθνή συνέδρια της ρομποτικής, του αυτομάτου ελέγχου και της μηχανοτρονικής, οι οποίες δημοσιεύσεις επικεντρώνονται στην απόδειξη της ημισεληνικής μορφής των ουράνων πτερυγών των πειστότερων ψαριών, καθώς και στην εξαγωγή μαθηματικών συνθηκών για τον ακριβή υπολογισμό τροχιών των ρομποτικών ψαριών^[5-6].

Επιπλέον, διερευνήθηκε το πώς πρέπει να κινηθεί η ουρά ώστε να επιτευχθεί μια επιθυμητή τροχιά, ενώ δημοσιεύθηκε η πρώτη μεθοδολογία με την οποία μπορεί να σχεδιαστεί έλεγχος βάθους μικρών υποβρύχιων οχημάτων με μηχανισμό αντλίας και δεξαμενής νερού, με δεδομένα επιθυμητά χαρακτηριστικά (όσον αφορά το χρόνο ισορρόπησης στο επιθυμητό βάθος, το πλάτος των ταλαντώσεων κλπ.)^[7].

Το ρομποτικό σύστημα του ψαριού, εκτός του σώματος του ψαριού, περιλαμβάνει επιπλέον περιφερειακά συστήματα που έχουν αναπτυχθεί και σχετίζονται με αυτό. Για παράδειγμα, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν μια δεξαμενή διαστάσεων 5m x 1m x 1m, ένα φορείο ρυμουλκησης με αισθητήρα δυνάμεων 6 βαθμών ελευθεροίας (με σκοπό τη μέτρηση υδροδυναμικών



δυνάμεων, βλ. εικόνα 5), καθώς και τα ηλεκτρονικά και μηχανολογικά μέρη του ρομποτικού ψαριού.

Το φορείο ρυμουλκήσης αποτελείται από ένα ορθογωνικό πλαίσιο, στο εσωτερικό του οποίου κινείται τετραγωνική βάση με δυνατότητα κίνησης στο επίπεδο μέσω συστήματος που απαρτίζεται από σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος, κιβώτια ταχυτήτων, τροχαλίες και πλαστικές αλυσίδες μετάδοσης κίνησης (βλ. εικόνα 6).

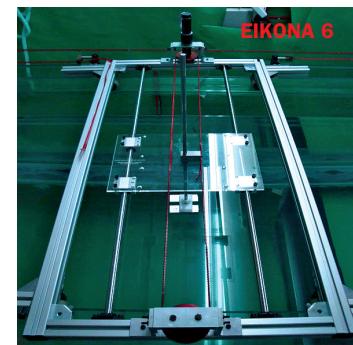
Η τετραγωνική πλατφόρμα φέρει κατακόρυφη δοκό με την οποία επιτυγχάνεται η σύζευξη του μηχανισμού με το ρομποτικό ψάρι και επιτρέπει τη ρυμουλκήση του κατά το μήκος και πλάτος της δεξαμενής, ενώ προσφέρει και τη δυνατότητα περιστροφής του ψαριού γύρω από τον κατακόρυφο άξονα μέσω κατάλληλου κινητήρα.

Μέσω του φορείου ρυμουλκήσης, και με τη βοήθεια καταλλήλου αισθητήρα δυνάμεων / ρυπών πραγματοποιούνται πειραματικές μετρήσεις προσδιορισμού της υδροδυναμικής αντίστασης του ρομποτικού ψαριού. Ωστόσο, έχει αναπτυχθεί και ένας αλγόριθμος εύρεσης των υδροδυναμικών δυνάμεων χωρίς την παρουσία αισθητήρα, μέσω της μετρητής ρευμάτων στους σερβοκινητήρες του φορείου ρυμουλκήσης, με



ΕΙΚΟΝΑ 4: Το ρομποτικό ψάρι του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μεταόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

ΕΙΚΟΝΑ 5: Η δεξαμενή με το φορείο ρυμούλκησης του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου του ΕΜΠ. **ΕΙΚΟΝΑ 6:** Το φορείο ρυμούλκησης του ρομποτικού ψαριού του ΕΜΠ.



σκοπό τη μείωση του κόστους των πειραματικών διατάξεων εύρεσης υδροδυναμικών δυνάμεων.

Σε μελλοντική εργασία του ΕΑΕ θα εξεταστεί η δυνατότητα κατασκευής βελτιωμένου υδροδυναμικού σχήματος του περιβλήματος του ρομποτικού ψαριού. Επιπλέον, στο εσωτερικό του ψαριού, έχει προβλεφθεί η δυνατότητα προσαρμογής κάμερας και αισθητήρων που θα λαμβάνουν πληροφορίες για τις συνθήκες που επικρατούν μέσα στο νερό. Έτοιμη για παραδειγμα, το ρομποτικό ψάρι θα μπορεί στο μέλλον να εντοπίζει βλάβες σε πλοία ή σε υδροπλήκτρικά φράγματα, διαρρογού καναλίμων κ.ά.

Το ρομποτικό ψάρι έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να αντέχει την υδροδυναμική πίεση σε αρκετά μεγάλο βάθος, και διαθέτει αυτόματο έλεγχο της κίνησης της ουράς.

Επιπλέον, στο ΕΑΕ αναπτύσσονται αλγόριθμοι επεξεργασίας εικόνας για την εύρεση της θέσης του ψαριού μέσω εξωτερικής κάμερας, παρά τις αντανακλάσεις του νερού. Κατά συνέπεια, θα είναι δυνατή η ακριβής γνώση της θέ-

■ Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου

Το Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου (ΕΑΕ) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, με επικεφαλής τον καθηγητή κ. Ευάγγελο Παπαδόπουλο, επικεντρώνει την ερευνητική δραστηριότητά του στην περιοχή του αυτομάτου ελέγχου, της Ρομποτικής και της Μηχανοτρονικής.

Το Εργαστήριο έχει ιδιαιτέρως δυναμική παρουσία διεθνώς, τόσο με εκπόνηση ανταγωνιστικών εργών όσο και με αριθμό δημοσιεύσεων σε έγκριτα διεθνή περιοδικά και συνέδρια. Είναι εξοπλισμένο με τηλερομποτικά, τετράποδα, εξάποδα, σερβοϋδραυλικά και υποθρύχια ρομπότ, με εξομοιωτή διαστημικών

ρομπότ σε τροχιά, με εργαλειομηχανές, με δίκτυα υπολογιστών, με εργαλεία ανάπτυξης, με εξειδικευμένα μετρητικά συστήματα και με εξειδικευμένο πογισμικό, και διαθέτει βασικό εργαστηριακό μηχανολογικό, πληκτρικό και πλεκτρονικό εξοπλισμό.

Το ΕΑΕ έχει μεταξύ άλλων οικοκληρώσει τα τελευταία δώδεκα χρόνια τον έλεγχο διαφόρων ρομπότ με πόδια (κάθε ένα από τα οποία έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διαφορετικούς στόχους), καθώς και ρομποτικών ψαριών.

Το Εργαστήριο στεγάζεται στο κτίριο Μ των Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ.

σης του σε κάθε χρονική στιγμή της τροχιάς που εκτελεί, επιτρέποντας το σχεδιασμό αλγορίθμων για αυξημένη ακριβεία των κινήσεων και των ελιγμών που πραγματοποιεί. ■

Βιβλιογραφία

- Cherouvim, N., and Papadopoulos, E., "The SAHR Robot - Controlling Hopping Speed and Height Using a Single Actuator," *Applied Bionics and Biomechanics*, Vol. 5, No. 3 September 2008, pp.149 - 156.
- Koutsoukis, K., and Papadopoulos, E., "On Passive Quadrupedal Bounding with Translational Spinal Joint," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '16)*, Deajeon, Korea, October 9-14, 2016.
- Machairas, K., and Papadopoulos, E., "An analytical study on trotting at constant velocity and height" *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '18)*, Madrid, Spain, October, 1-5, 2018.
- Mastrogeorgiou, A., and Papadopoulos, E., "Towards an Enhanced Controller for Stable Slope Climbing," in *ECCOMAS Thematic Conference on Multibody Dynamics*, June 29 - July 2, 2015, Barcelona, Catalonia, Spain.
- Makrodimitris, M., Nikolakakis, A., and Papadopoulos, E., "Semi-autonomous Color Line-Following Educational Robots: Design and Implementation," *Proc. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Systems (AIM '11)*, July 3-7, 2011, Budapest, Hungary.
- Tsounis, V., Makrodimitris, M., Papadopoulos, E., "A Low Cost, Sensorless Drag Force Estimation Methodology via Current Measurements," *2014 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2014)*, July 8-11, 2014, Besançon, France.
- Makrodimitris, M., Aliprantis, I., and Papadopoulos, E., "Design and Implementation of a Low Cost, Pump-Based, Depth Control of a Small Robotic Fish," *Proc. of the 2014 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '14)*, Chicago, Illinois, Sept. 14-18, 2014, USA.

*Ο κ. Ευ. Παπαδόπουλος είναι καθηγητής στο Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μεταόβιου Πολυτεχνείου, οι κ. Κ. Μαχαράς, Κ. Κουτσούκης, Αθ. Μαστρογεωργίου και Μ. Μακροδημήτρης υποψήφιοι διδάκτορες, και οι κ. Μ. Σωτηρόπουλος και Ι. Βάθης προπτυχιακοί σπουδαστές στο παραπάνω Εργαστήριο.