

**RoboCupRescue 2008 - Robot League Team
P.A.N.D.O.R.A. (Greece)**

Ομάδα Ρομποτικής

Παπαδόπουλος Χαράλαμπος babisnet@gmail.com, Μαλλιάκας Παναγιώτης pmaliak@hotmail.com, Λάμαρης Κωνσταντίνος ironlam@gmail.com, Ζολώτας Χριστόφορος imgchris@ath.forthnet.gr, Ζαπάρτας Παναγιώτης pazarpart@gmail.com, Παπάζογλου Ανέστης mourgos23@gmail.com, Γεωργίου-Σαρλικιώτης Βασίλειος billgs@gmail.com, Φελεκίδης Νικόλαος nfelekidis@gmail.com, Τσαλίδης Πάρης rainfugi@gmail.com, Φούντας Ζαφείρης zfountas@hotmail.com, Θωμαρέης Νικίτας absintheus@gmail.com, Σκαλιστής Στέφανος sskalist@gmail.com, Συμονίδης Δημήτριος mitso_23@hotmail.com, Τσελεπής Νικόλαος ntselepi@ieee.org, Καστάνης Θεόδωρος kastado@gmail.com, Κουφός Δημήτριος d_th_koufos@yahoo.gr, Αθανασιάδης Γιάννης johnny.ath@gmail.com,

Επιβλέποντες καθηγητές: Βασίλειος Πετρίδης, Ζωή Δουλγέρη, Λουκάς Πέτρου.

robochapter@ee.auth.gr
<http://robotics.ee.auth.gr/>

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ομάδα ρομποτικής PANDORA του Α.Π.Θ. (IEEE Robotics Chapter of AUTH) αποτελείται από προπτυχιακούς φοιτητές του THMMY αλλά και της σχολής θετικών επιστημών. Τη χρονιά 2007-2008 διεκδίκησε και πέτυχε τη συμμετοχή στον διεθνή διαγωνισμό RoboCup-RoboRescue για τις ανάγκες του οποίου υλοποίησε μία ρομποτική πλατφόρμα για αναζήτηση θυμάτων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Η ομάδα επέλεξε να συμμετάσχει στον συγκεκριμένο διαγωνισμό λόγω των υψηλών απαιτήσεων και του σκληρού ανταγωνισμού δεδομένα που αποτελούσαν πρόκληση. Παρά την έλλειψη εμπειρίας, το μειωμένο προϋπολογισμό και τα στενά χρονικά περιθώρια, κατέλαβε την 9 θέση ανάμεσα σε 18 ομάδες αφήνοντας πίσω κάποιες με πολυετή συμμετοχή στο διαγωνισμό.

Λέξεις κλειδιά: RoboCup, RoboRescue, SLAM, Navigator, αναγνώριση εικόνας, αναγνώριση ήχου, αυτόνομο, τηλεχειριζόμενο, πλοήγηση, βραχίονας.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ρομποτική πλατφόρμα που αναπτύχθηκε αποτελείται από το κύριο μηχανολογικό μέρος το οποίο έχει την ικανότητα προσπέλασης εμποδίων και διαθέτει ρομποτικό βραχίονα για την προσέγγιση σημείων. Επάνω φέρει αισθητήρες για την πλοήγηση του και την αναγνώριση θυμάτων στο χώρο καθώς και ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο τρέχει όλο, ανεξαιρέτως, το λογισμικό.

Οι δύο βασικές λειτουργίες του οχήματος είναι:

- Τηλεχειριζόμενη, όπου η πλατφόρμα παίρνει εντολές από το χειριστή και επιστρέφει δεδομένα που περιγράφουν την κατάσταση του.
- Αυτόνομη, όπου η πλατφόρμα πλοηγείται αυτόνομα στο χώρο, αναζητεί θύματα και επιστρέφει δεδομένα με τη κατάστασή του.

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

2.2 ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Αισθητήρες πλοήγησης

- 4 αισθητήρες υπερήχων (Sonar-SRF05) με εμβέλεια 3cm-4m .
- 5 υπέρυθροι αισθητήρες (IR- GP2D12) με εμβέλεια 10-80cm.
- Τρισδιάστατη ψηφιακή πυξίδα (OS5000) με ακρίβεια πρώτου δεκαδικού.
- Laser scanner(Hokuyo URG04) εμβέλειας 5.5m και εύρος λοβού 240 μοίρες
- Κάμερα (Logitech) στο πίσω μέρος του οχήματος
- 3 μικρόφωνα (electret condenser) στην κεφαλή του οχήματος

Αισθητήρες Αναγνώρισης

- 1 θερμικό αισθητήριο στην κεφαλή του βραχίονα για μέτρηση θερμότητας με εμβέλεια περίπου 2m.
- 1 αισθητήρας CO₂ στο πίσω μέρος του οχήματος που αντλεί από την κεφαλή του βραχίονα τον αέρα του περιβάλλοντος και δίνει ένδειξη για την περιεκτικότητά του σε διοξείδιο του άνθρακα.
- Κάμερα (Logitech) στην κεφαλή του οχήματος
- 3 μικρόφωνα (που αναφέρθηκαν παραπάνω)

Όλα τα παραπάνω αισθητήρια συνδέονται σε 4 μικροελεγκτές AVR τύπου ATMEGA128. Αυτοί με τη σειρά τους επικοινωνούν με το κεντρικό laptop μέσω σειριακής επικοινωνίας, με τη χρήση καλωδίων USB-TO-SERIAL και δύο HUB. Έχει τοποθετηθεί ακόμη ένας AVR ως εφεδρικός για την περίπτωση που θα χρειαστεί γρήγορη αντικατάσταση κάποιος από τους παραπάνω.

2.1 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

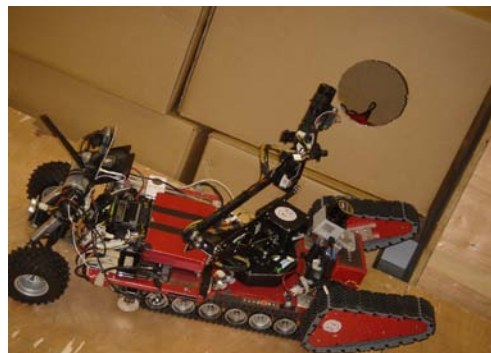
2.1.1 ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ

Το όχημα αποτελούν

- 1 ερπυστριοφόρο Tamiya Leopard 2A6 βάρους 2 κιλών.
- 2 πρόσθιες ερπύστριες TTRK-KT
- 1 διαφορικό σύστημα με ρόδες από RC car.

Κάθε ένα από τα τρία παραπάνω μέρη μπορεί να ενεργοποιηθεί ανεξάρτητα μειώνοντας την συνολική κατανάλωση ισχύος .

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της πλατφόρμας έγιναν με στόχο την εξασφάλιση προσπέλασης όλων των εμποδίων σύμφωνα με τις προδιαγραφές του διαγωνισμού.



Σχήμα 1. Η ρομποτική πλατφόρμα

Παρόλαυτά, ήταν αδύνατο να ανέβει σκαλοπάτια και να προσπελάσει εμπόδια ύψους 25 εκατοστών και άνω. Η αυτονομία του είναι 40 λεπτά εξαιτίας του ιδιαίτερα υψηλού βάρους του, περίπου 15 κιλά (7 φορές μεγαλύτερο της αρχικής πλατφόρμας).

2.1.2 ΒΡΑΧΙΟΝΑΣ

Έχει τις εξής ιδιότητες ικανότητες:

- 5 βαθμούς ελευθερίας.
- Μπορεί να προσεγγίσει και να ελέγξει για θύμα σε δυσπρόσιτα σημεία.
- Κλειδώνει στη βάση του(θέση ισορροπίας με χρήση ενός ακόμη σερβοκινητήρα. Στη θέση αυτή απενεργοποιούνται όλοι οι σερβοκινητήρες εκτός εκείνου της κεφαλής).
- Ελέγχεται από έναν μικροελεγκτή AVR atmega128.

Το σύστημα κλειδώματος ήταν αναξιόπιστο εξαιτίας του mini servo και δεν μπορούσε να διορθωθεί λόγω του περιορισμένου χώρου. Αν και είχαμε μια πολύ μικρή ταλάντωση(2mm) γύρω από τη θέση ισορροπίας ο στόχος της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος επετεύχθη.

2.2.1 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΙΘΑΝΩΝ ΘΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ

Συνολικά η επεξεργασία εικόνας που υλοποιήσαμε περιλάμβανε δυο βασικά στάδια.

- Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στην εύρεση ύπαρξης θύματος η μη, στο οπτικό πεδίο του ρομπότ.
- Το δεύτερο στην αναγνώριση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται και ενεργοποιείται εφόσον υπάρχει θετικό αποτέλεσμα από το πρώτο στάδιο.

Η αναγνώριση της παρουσίας θύματος υλοποιείται ως εξής:

- Αφαιρείται το τμήμα της εικόνας που αποτελεί το background.
- Εκτελείται ένας αλγόριθμος που προσπαθεί να εντοπίσει ανθρώπινα μέλη όπως πρόσωπο, χέρια κ.λ.π. Εδώ χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη `opencv`.
- Η εικόνα ελέγχεται ως προς την ύπαρξη υψής ανθρώπινου δέρματος η οποία και είναι χαρακτηριστική.

Εφόσον διαπιστωθεί η παρουσία θύματος εκτελούνται δυο βήματα για την αξιολόγηση της κατάστασης του θύματος.

- Το πρώτο βήμα άφορα το κατά πόσο το θύμα έχει τις αισθήσεις του και επιτυγχάνεται αξιολογώντας την κίνηση που παρατηρείται στο χώρο.
- Το δεύτερο βήμα αποσκοπεί στην εκτίμηση του περιβάλλοντος χώρου που βρίσκεται το θύμα. Πιο συγκεκριμένα εκτιμούμε την πιθανότητα το θύμα να είναι εγκλωβισμένο.

2.2.2 ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΘΥΜΑΤΟΣ

Όσον αφορά τους αισθητήρες ήχου, χρησιμοποιούμε τρία *electret condenser* μικρόφωνα για την πλοήγηση και αναγνώριση της κατάστασης του θύματος. Είναι τοποθετημένα περιμετρικά στην κεφαλή του βραχίονα. Τα δύο εμπρός με κλίση 90 μοιρών μεταξύ τους, και τα πίσω με κλίση 135 μοιρών με κάθε ένα από τα άλλα δύο ώστε να αναγνωρίζουν ήχους που προέρχονται από εμπρός, πίσω, αριστερά και δεξιά του ρομπότ. Συγκεκριμένα έχουν τρεις λειτουργίες:

- Κατά την κίνηση του ρομπότ αναγνωρίζουν διάχυτο ήχο. Αυτό επιτυγχάνεται μετρώντας την συνολική ενέργεια των ηχητικών σημάτων που δέχονται τα μικρόφωνα.
- Όταν το ρομπότ βρίσκεται σε στάση, εντοπίζουν την ηχητική πηγή. Ομοίως, υπολογίζοντας την ενέργεια για κάθε ένα μικρόφωνο, υλοποιήσαμε έναν αλγόριθμο που δίνει στην έξοδό του την κατεύθυνση της ηχητικής πηγής σε μια περιοχή ± 11 μοιρών.
- Μπροστά στο θύμα, αντιλαμβάνονται αν μιλάει ή όχι, ή αν φωνάζει μετρώντας την ένταση της ακουστικής ισχύος σε dB.

Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις υπολογίζεται η πιθανότητα να έχουμε την αντίστοιχη έξοδο, ούτως ώστε να συμβάλει στην τελική εκτίμηση για την παρουσία του θύματος.

2.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

2.3.1 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα κύρια χαρακτηριστικά στα οποία επικεντρώνεται η αρχιτεκτονική λογισμικού του ρομπότ είναι :

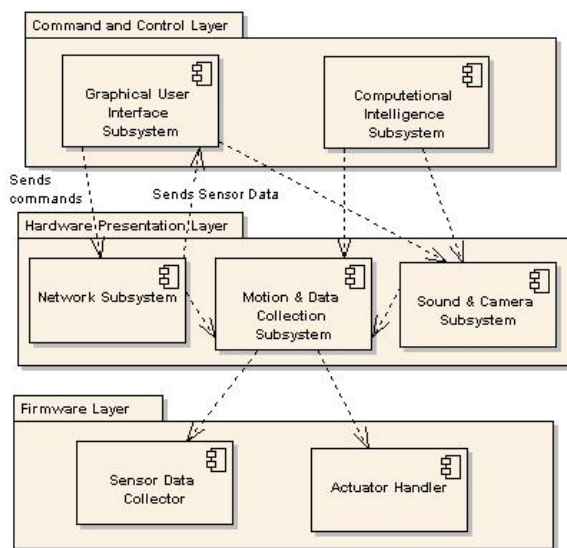
- η απόδοση (performance), προς την επίτευξη της οποίας η κύρια αρχιτεκτονική τακτική που χρησιμοποιήθηκε ήταν η εισαγωγή παραλληλισμού σε μεγάλο βαθμό για την καλύτερη αξιοποίηση και του υπάρχοντος υλικού,
- η υψηλή μεταβλητότητα (modifiability)[Clements ,2003] απαραίτητη για την αντιμετώπιση των συχνών αλλαγών και προσθηκών νέων χαρακτηριστικών που απαιτούνται σε τέτοιου είδους εφαρμογές. Υλοποιήθηκε χρησιμοποιώντας:
 - μονάδες λογισμικού με ρόλο διαμεσολαβητή (intermediaries),
 - στοιχεία λογισμικού σχεδιασμένα με βάση την εννοιολογική τους συνοχή.

2.3.2 ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Προσεγγίζοντας την αρχιτεκτονική λογισμικού μέσω μιας όψης επιπέδων (uses-layered view) [Clements ,2003], παρατηρούμε τα ακόλουθα τρία βασικά επίπεδα λογισμικού με τα επιμέρους υποσυστήματά τους:

- Firmware Layer:
 - Το υποσύστημα μικροελεγκτών αποτελεί βάση όλου του λογισμικού, όπου κατά απαίτηση συλλέγονται τα δεδομένα από τους αισθητήρες, και εκτελούνται οι εντολές κίνησης των ποικίλων κινητήρων που φέρει το όχημα..
- Middleware – hardware presentation Layer:
 - Τα υποσυστήματα κίνησης και συλλογής δεδομένων βρίσκονται ένα επίπεδο πιο πάνω στην αρχιτεκτονική αποκρύπτοντας από τα ανώτερα επίπεδα λογισμικού τις λεπτομέρειες επικοινωνίας και χειρισμού των μικροελεγκτών, διεκπεραιώνοντας κάθε φορά την επιθυμητή ενέργεια κίνησης/συλλογής δεδομένων.
 - Το υποσύστημα δικτύου αποτελεί συνδετικό κρίκο με το σταθμό τηλεχειρισμού και εποπτίας, έχοντας διπλό ρόλο. Αφενός, κωδικοποιεί και αποστέλλει περιοδικά τα δεδομένα των αισθητήρων , αφετέρου λαμβάνει τις εντολές του χειριστή, τις αποκωδικοποιεί, και στέλνει το κατάλληλο μήνυμα στην αρμόδια μονάδα λογισμικού προκειμένου να εκτελεστούν.

- Τα υποσυστήματα εικόνας και ήχου τα οποία χειρίζονται τόσο την αποστολή βίντεο και ήχου μέσω δικτύου (λειτουργία τηλεχειρισμού), όσο και την ενεργοποίηση αλγορίθμων προς έλεγχο ύπαρξης θύματος, τις αποκρίσεις των οποίων αποστέλλουν στα αρμόδια νήματα λογισμικού της μονάδας υπολογιστικής νοημοσύνης.
- **Command and Control Layer:**
 - Το σύστημα γραφικής διασύνδεσης χρήστη παρέχει οπτικοποιημένες πληροφορίες για την κατάσταση του ρομπότ (σήμα wifi, ενέργεια, κλίσεις βραχίονα κτλ) όσο και για το περιβάλλον αυτού, παρέχοντας εικόνα/ήχο και οπτικές ενδείξεις για τις αποστάσεις από τα τυχόντα εμπόδια. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα στο χειριστή, πλήρους τηλεχειρισμού του οχήματος μέσω του πληκτρολογίου και άλλων εξωτερικών χειριστηρίων.
 - Το υποσύστημα υπολογιστικής νοημοσύνης(αυτόνομη λειτουργία) , τα στοιχεία λογισμικού του οποίου (planner,navigator, SLAM module) ελέγχουν την κατάσταση του οχήματος και του περιβάλλοντος του χρησιμοποιώντας τα δεδομένα απο τα κατώτερα επίπεδα λογισμικού, προκειμένου να εξασφαλίσουν την ομαλή πλοήγηση στο χώρο , το διαρκή έλεγχο για εύρεση θυμάτων καθώς και τη χαρτογράφηση των τυχόντων ευρυμάτων.



Σχήμα 2. Software Architecture Uses-Layered View (UML)

2.3.3 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Από τεχνική άποψη , το μεγαλύτερο τμήμα του λογισμικού εκτελείται σε σύγχρονο πυρήνα linux(2.6.25). Για το λογισμικό του ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν νήματα **POSIX** η επικοινωνία των οποίων υλοποιήθηκε με τη χρήση **System V ουράς μηνυμάτων και κοινής μνήμης**[Matthew, 2005], ενώ ο συγχρονισμός τους επιτυγχάνεται με τη χρήση **δυναμικών σηματοφόρων** της ίδιας οικογένειας συστημάτων διαδιεργασιακής επικοινωνίας. Το μεγαλύτερο μέρος του κώδικα γράφτηκε χρησιμοποιώντας **C/C++** και τις αντίστοιχες αρχές προγραμματισμού.

2.4 ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Το ρομπότ έχει τη δυνατότητα να κινείται αυτόνομα με τη βοήθεια των περιμετρικών αισθητήρων και του συστήματος χαρτογράφησης. Η αυτόνομη λειτουργία χωρίζεται σε δύο ανεξάρτητα μέρη, την πλοήγηση και το σχεδιασμό ενεργειών.

2.4.1 ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ(NAVIGATOR)

Η πλοήγηση του οχήματος μέσα στο χώρο γίνεται αποκλειστικά με τη βοήθεια περιμετρικών αισθητήρων και του συστήματος χαρτογράφησης. Το σύστημα του πλοηγού (Navigator) υλοποιεί για την αποφυγή των εμποδίων μία αντιδραστική

συμπεριφορά βασισμένη σε ένα μη-γραμμικό διανυσματικό πεδίο. Το ρομπότ είναι ικανό να διατηρεί την κίνησή του στο κέντρο ενός διαδρόμου και παράλληλα να στρίβει μόνο και μόνο ελέγχοντας τους αισθητήρες υπερήχων, και υπερύθρων. Ο σχεδιασμός ενεργειών(planner) δυστυχώς είτε υπολειπόμενος, είτε δεν λειτουργούσε.

2.4.2 ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΕΥΡΕΣΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ ΧΑΡΤΗ(SLAM)

Η χαρτογράφηση του περιβάλλοντος του ρομπότ καθώς και η εκτίμηση της θέσης του (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping) γίνεται με τη χρήση του αισθητήρα Hokuyo URG04 Laser scanner και ενός scan-matching αλγόριθμου.

Η προσπάθεια δημιουργίας INS (Inertial Navigation System) με χρήση ψηφιακής πυξίδας και επιταχυνσιομέτρου για οδομετρία εγκαταλήφθηκε λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας και περιορισμένου χρόνου. Η χρήση encoders για τον ίδιο σκοπό δεν είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα σε συνεργασία με αλγόριθμους που απαιτούν control data και κάνουν χρήση του EKF (*Extended Kalman Filter*) ή των Particle Filters. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων από το laser είναι ο ICP (Iterative Closest Point) που δεν απαιτεί τη χρήση οδομετρίας και επιπλέον καταναλώνει μικρότερη επεξεργαστική ισχύ.

Ο χάρτης του χώρου αναπαρίσταται με τη μορφή ενός occupancy grid, ένα πλέγμα όπου το κάθε κελί παίρνει gray-scale αποχρώσεις ανάλογα με την πιθανότητα να είναι κατειλημμένο ή όχι από κάποιο εμπόδιο και αποθηκεύεται σε μορφή geoTiff.

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά τη ολοκλήρωση του διαγωνισμού έγινε αντιληπτός ο μεγάλος βαθμός πολυπλοκότητας του έργου το οποίο απαιτούσε:

- Ιδιαίτερο και λεπτομερή σχεδιασμό δίνοντας έμφαση στη διαχείριση κινδύνων.
- Εξειδικευμένο προσωπικό σε συγκεκριμένες τεχνολογίες.
- Προσωπικό με ευρύτερη αντίληψη του έργου για την διασύνδεση του.
- Πειθαρχία του προσωπικού και προσήλωση του σε αυτό.

Το ό τι η ομάδα δεν κατέλαβε μεγαλύτερη θέση οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μη συμμόρφωση της με του παραπάνω παράγοντες. Παρόλα αυτά η γενική παρουσία της και το τελικό αποτέλεσμα ήταν πολύ καλύτερο από το αναμενόμενο ενώ το τεχνολογικό χάσμα με τις υπόλοιπες ομάδες που κατέλαβαν υψηλότερες θέσεις ήταν σχετικά μικρό.

4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Daniel Bovet, Marco Cesati(2005), “Understanding the linux kernel 3rd edition”, O'Reilly Media

Neil Matthew, Richard Stones(2007), “Beginning linux programming”, Wrox.

Paul Clements, Len Bass (2003), “Software architecture in practice 2nd edition“, Addisison Wesley.

Vijay K. Madisetti, Douglas B. Williams (1999), “Digital Signal Processing Handbook”, CRC Press LLC.

Sebastian Thrun, Dieter Fox, Wolfram Burgard(1999-2000), "Probabilistic Robotics", MIT Press.