



Ανακατασκευή ρομποτικού οχήματος ATRV-mini εξωτερικού χώρου



Υπό τον
Οδυσσέα Μαυροματάκη

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης
Χανιά, 2017



Ευχαριστίες

Με το πέρας της μεταπτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, κύριο Νίκο Τσουρβελούδη για την εμπιστοσύνη και την καθοδήγηση που μου έδειξε για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, την συνεχή υποστήριξη και την άριστη συνεργασία. Σε μεγάλο βαθμό χωρίς την δική του καθοδήγηση και υποστήριξη η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να μην είχε υλοποιηθεί.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Σάββα Πιπερίδη για την υποστήριξη και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, καθώς ήταν ένας πολύτιμος συνεργάτης, ο οποίος με την σωστή καθοδήγησή του, σε ζητήματα καίριας σημασίας, κατάφερε να με ωθήσει στο πέρας της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης των συμφοιτητή μου, Θεοδόση Ντεγιαννάκη για την άριστη συνεργασία και για την πολύτιμη βοήθεια του από την αρχή μέχρι το τέλος της εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξή της σε κάθε βήμα μου και για την συμπαράστασή τους καθ όλη την διάρκεια της εργασίας μου αλλά και όλων αυτών των χρόνων σπουδών μου.



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή.....	5
1.1 Γενικά στοιχεία ρομποτικών οχημάτων εξωτερικών χώρων	5
1.2 Ανακατασκευή ρομποτικού οχήματος ATRV-mini	8
1.3 Διατύπωση προβλήματος.....	9
Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini	11
2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού οχήματος	11
2.3 Τμήματα του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini.....	12
2.3.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος	12
2.3.2 Σύστημα κατεύθυνσης	12
2.3.3 Σύστημα αξόνων	13
2.3.4 Αισθητήρες υπερήχων	13
2.3.5 Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων Θέσης – GPS	14
2.3.6 Πυξίδα (IMU).....	14
2.3.7 Το λογισμικό MOBILITY	15
2.3.8 Σύστημα ελέγχου rFlex.....	15
2.3.9 Οπτικό σύστημα.....	16
2.4 Η σημερινή μορφή του ATRV-mini.....	17
Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή, Σχεδιασμός, Υλοποίηση ανακατασκευής	18
3.1 Εισαγωγή	18
3.2 Υλικά	18
3.2.1 Κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black	18
3.2.2 Κινητήρες	19
3.2.3 Αισθητήρες υπερήχων	19
3.2.4 IMU – Inertial Measurement Unit.....	20
3.2.5 Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (ΠΣΣ) (GPS).....	20
3.2.6 Ηλιακά πάνελ	21
3.2.7 Ρυθμιστής φόρτισης ηλιακών πάνελ	22
3.2.8 Συσσωρευτές Ενέργειας (Μπαταρίες)	23
3.2.9 Πλακέτα ελέγχου κινητήρα Sabertooth 2X12A.....	23
3.2.10 Συσκευή ασύρματης επικοινωνίας	24
3.2.11 Αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5	25
3.2.12 Μετατροπέας πολλαπλών θηρών USB (USB hub 4 port).....	26
3.2.13 Τροφοδοτικό και πλακέτα πολλών παροχών 5V, 3.3V	27
3.2.14 Ενδιάμεσα κυκλώματα σύνδεσης κεντρικού επεξεργαστή	28
3.2.15 Σχέδια και PCB πλακετών.....	30
3.2.16 Μέτρηση ισχύος (τάσης μπαταρίας)	32
3.2.17 Πλακέτα μέτρησης ρεύματος	33
3.3 Ανάλυση κόστους υλικών	34
3.4 Μελέτη τοποθέτησης ηλεκτρονικών μερών.....	35
Κεφάλαιο 4 – Λογισμικό και πειραματική λειτουργία	37
4.1 Το νέο λογισμικό σύστημα του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini	37
4.1.1 Λειτουργικό σύστημα ROS	37
4.1.2 Εργαλείο απεικόνισης rviz	37
4.1.3 Εργαλείο γραφικής απεικόνισης, παρουσίασης rqt_graph.....	38



4.2 Πειράματα που διεξάχθηκαν για την διαπίστωση λειτουργίας του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini	40
4.2.1 Μέτρηση κατανάλωσης ισχύος ρομποτικού οχήματος.....	40
4.2.2 Μέτρηση ακρίβειας και λειτουργίας αισθητηρίων μέτρησης απόστασης.....	44
4.2.3 Μετακίνηση μέσω στίγματος GPS από σημείο σε σημείο.....	45
4.2.3 Δημιουργία ορθογωνικής πορείας μέσω στιγμάτων από το GPS	46
4.2.4 Δοκιμή του αισθητηρίου εικόνας (κάμερα Pixy CMUcam5).....	47
Κεφάλαιο 5 – Σκοπός της εργασίας	48
Κεφάλαιο 6 - Βιβλιογραφία.....	50
Παράρτημα	53
Βίντεο από την πειραματική διαδικασία	53



Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία ρομποτικών οχημάτων εξωτερικών χώρων

Τα τελευταία χρόνια η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας, η ανησυχία του ανθρώπου για το άγνωστο έδωσαν φτερά στην ανάπτυξη της πληροφορικής και της ρομποτικής. Η τάση που έχει αρχίσει να επικρατεί είναι προς τις αυτοματοποιημένες ή τηλεχειριζόμενες μηχανές τις οποίες ο άνθρωπος θέτει σε λειτουργία για την προσωπική του ή κοινή ευκολία. Σε κλάδους όπως είναι η βιομηχανία, η ιατρική, η γεωργία ο άνθρωπος προσπαθεί μέσω των μηχανών να αντικατασταθεί. Σε ακόμα μεγαλύτερα επίπεδα συμβαίνει αυτό σε τομείς όπως η εξερεύνηση του διαστήματος, οι επιτηρήσεις εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, η έρευνα και η διάσωση, ενώ καθίσταται απαραίτητη η εξέλιξη ευέλικτων, αυτόνομων οχημάτων ώστε να υποβοηθούν ή να αντικαθίστουν τον άνθρωπο σε επικίνδυνες ή μη εφαρμογές. Για τους παραπάνω λόγους αναπτύσσονται συνεχώς σε παγκόσμιο επίπεδο διάφορων ειδών αυτόνομα οχήματα όπως, επίγεια, εναέρια, πλωτά, υποβρύχια και διαστημικά.

Στο πέρασμα των χρόνων έχουν αναπτυχθεί τόσο εσωτερικού όσο και εξωτερικού χώρου αυτόνομα οχήματα. Το πρώτο ρομπότ που ήταν εμπορικά διαθέσιμο και είναι ικανό να επιδείξει τις δυνατότητες του «MDARS project» για γενικές χρήσεις, όπως χρήση σε αεροδρόμια, σε εργοστάσια, στην εσωτερική ασφάλεια κλπ., είναι το ρομπότ Seekur της ActivMedia Robotics. Το Seekur είναι ένα αρκετά μεγάλο, παντός καιρού ρομπότ το οποίο μπορεί να διασχίσει ανώμαλα εδάφη χαρτογραφώντας την επιφάνεια με τριών διαστάσεων απεικόνιση. Διαθέτει τέσσερις ανεξάρτητα ελεγχόμενους τροχούς, μπορεί να εξοπλιστεί με βαριά ωφέλιμα φορτία και με διάφορα εξαρτήματα για βέλτιστη απόδοση. Υπάρχει η επιλογή χρήσης απομακρυσμένου ελέγχου αλλά μπορεί να αυτονομηθεί σε ένα βαθμό με τη βοήθεια επεξεργασίας εικόνων, ασύρματη επικοινωνία, GPS και δέσμη λέιζερ (Εικόνα 1.1) [1].



Εικόνα 1.1: Seekur



Ένα άλλο παντός εδάφους ρομποτικό όχημα είναι το Pioneer 3-AT (Εικόνα 1.2) της Activmedia, το οποίο έχει διαστάσεις 50 X 49 X 26 εκατοστά (μήκος x πλάτος x ύψος) και βάρους 12 κιλών. Το όχημα διαθέτει τέσσερις κινητήριους τροχούς οι οποίοι κινούνται με τη χρήση τεσσάρων κινητήρων συνεχούς ρεύματος και ο επεξεργαστής του είναι ο Hitachi H8S με 1MB flash ROM. Διαθέτει θύρα εισόδου/εξόδου 8bit, πέντε εισόδους μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A2D), τρεις σειριακές θύρες, θύρα δικτύου και ηχείο. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται με ενσύρματη σύνδεση με τοπικό δίκτυο και ο προγραμματισμός του πραγματοποιείται με ARIA Robotics API, ενώ η χρήση του είναι για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ακόμα περιλαμβάνει οκτώ εμπρόσθιους αισθητήρες υπερήχων και άλλους οκτώ πίσω για την αποφυγή εμποδίων [2].



Εικόνα 1.2: Pioneer 3-AT

U-Go Robot είναι τα ακρωνύμια από τις λέξεις «Unmanned Ground Outdoor Robot», «μη επανδρωμένα έδαφος υπαίθρια ρομπότ». Αυτό το ρομπότ έχει αναπτυχθεί στο ερευνητικό κέντρο του Πανεπιστημίου της Κατάνιας το οποίο ασχολείται με δραστηριότητες στους τομείς των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και στους Ηλεκτρονικούς Αυτοματισμούς. Το εργαστήριο Ρομποτικής του Πανεπιστημίου της Κατάνιας κυρίως ασχολείται με την επίλυση προβλημάτων όπως οι μεταφορές, πλοήγησης και ελέγχου σε πολύ σκληρές εξωτερικές συνθήκες. Το ρομπότ που δημιουργήθηκε χρησιμοποιείται σήμερα ως ένα πολυλειτουργικό όχημα που μπορεί να λειτουργήσει μέσα σε θερμοκήπια ή αμπελώνες για εφαρμογές



ακριβείας στη γεωργία, για τη διενέργεια ελέγχων σε ηφαιστειακό περιβάλλον και ως πεδίο δοκιμών για το νέο GNSS (Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης) τεχνολογίες εντοπισμού, προκειμένου να δοκιμαστούν σε γενετικούς αλγορίθμους εξωτερικής πλοήγησης. Οι διαστάσεις που έχει το ρομπότ έχει 0,6 m πλάτος και μήκος 1,2 m. Επιπλέον, χρησιμοποιεί ελαστικές ερπύστριες αντί τροχών κινήσεως και το βάρος του είναι περίπου 250 kg. Την πηγή ισχύος του αποτελούν τέσσερις 12V - 80Ah μπαταρίες μολύβδου-οξέος τοποθετημένες στην πίσω πλευρά της μηχανικής δομής του ρομπότ. Το ρομπότ περιλαμβάνει πληθώρα αισθητήρων, αποτελείται από στέρεο φωτογραφική μηχανή, κάμερα διαδικτύου, τηλεμετρικό λέιζερ (LRF), Ultrasound σόναρ, Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) ή δέκτη DGPS. Επιπλέον, υπάρχουν δύο διπύρηνι υπολογιστές, ο ένας χρησιμοποιείται για την πλοήγηση, ενώ ο άλλος χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της τεχνητής όρασης [3].



Εικόνα 1.3: U-Go Robot

ARTOR (Autonomous Rough-Terrain Outdoor Robot) (Εικόνα 1.4) είναι ένα ρομποτικό όχημα το οποίο είναι ικανό να πλοηγηθεί αυτόνομα, χρησιμοποιώντας το GPS και βασίζεται επίσης στα δεδομένα που καταγράφουν οι αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω στο όχημα. Το ARTOR είναι ικανό να υπερνικήσει στατικά και κινούμενα αντικείμενα καθώς επιλέγει την συντομότερη διαδρομή για τον επόμενο στόχο του μέσα από ένα αριθμό προκαθορισμένων σημείων αναφοράς. Έχουν αναπτυχθεί δυο οχήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά αλλά και τα δύο λειτουργούν με ηλεκτροκινητήρες. Το πρώτο είναι τροχοφόρο όχημα, έχει μήκος περίπου 100 εκατοστά, πλάτος 80 εκατοστά και το βάρος του είναι 250 κιλά καθώς μπορεί να μεταφέρει ωφέλιμο φορτίο που φτάνει τα 100 κιλά. Το



δεύτερο τροχοφόρο όχημα, έχει μήκος 170 εκατοστά, πλάτος 80 εκατοστά, το βάρος του είναι 425 κιλά και το ωφέλιμο φορτίο που μπορεί να μεταφέρει είναι 200 κιλά. Η μέγιστη ταχύτητα κίνησης και τον δυο οχημάτων φτάνει τα 15 χιλιόμετρα την ώρα. Η μέση ώρα διάρκειας της μπαταρίας του φτάνει τις τέσσερις ώρες [4].



Εικόνα 1.4: ARTOR (Autonomous Rough-Terrain Outdoor Robot)

Ένα σύγχρονο ρομποτικό όχημα είναι το Summit XL (Εικόνα 1.5), το ρομπότ διαθέτει αυτόνομη πλοήγηση αλλά και χειροκίνητη, είναι μεσαίου μεγέθους υψηλής κινητικότητας ρομπότ παντός εδάφους με εξαιρετική απόδοση. Είναι ιδανικό ως πλατφόρμα δοκιμών και έρευνας για την ανάπτυξη εφαρμογών τόσο για εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους. Το Summit XL έχει σύστημα διεύθυνσης με τέσσερις υψηλής ισχύος κινητήρες. Διαθέτει οδόμετρο και η κίνησή του υπολογίζεται με τη χρήση των τεσσάρων κωδικοποιητών (προαιρετικά) και έναν αισθητήρα υψηλής γωνιακής ακρίβειας τοποθετημένο στο εσωτερικό του πλαισίου. Μπορεί να πλοηγηθεί αυτόνομα ή τηλεχειριζόμενα μέσω μίας pan tilt zoom κάμερας (PTZ κάμερα), που μεταδίδει βίντεο σε πραγματικό χρόνο. Οι κοινές επιλογές αισθητήρα περιλαμβάνουν ένα σαρωτή λέιζερ Hokuyo και μια σειρά από πακέτα RTK-DGPS. Διαθέτει επίσης εσωτερική (USB, RS232, GPIO και RJ45 συνδέσεις) και εξωτερική συνδεσιμότητα με (USB, 12V DC και 24V DC) για να προστεθούν εύκολα επιπλέον προσαρμοσμένα στοιχεία. Η αρχιτεκτονική ελέγχου είναι ανοικτού κώδικα, ROS [5].



Εικόνα 1.5: Summit XL

1.2 Ανακατασκευή ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

Η εξέλιξη και η δημιουργία ολοένα νέων τεχνολογιών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων κατέστησε την ανάγκη ανακατασκευής του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini. Με το πέρασμα των χρόνων τα ηλεκτρονικά κυκλώματα μικραίνουν σε



μέγεθος, αυξάνεται η επεξεργαστική τους ισχύς και η συνδεσιμότητά τους με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, μειώνεται η ενέργεια που καταναλώνουν και με αυτό τον τρόπο γίνονται πιο φιλικά προς το περιβάλλον. Η ανάπτυξη των αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων εξωτερικού περιβάλλοντος παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες προσαρμογής λόγω:

- a) Των ιδιαίτερων γεωγραφικών ιδιομορφιών του εδάφους
- b) Των πολλών διαφορετικών ειδών σε πυκνότητα εδαφών
- c) Των ασταθειών που προκύπτουν στους αισθητήρες
- d) Των καιρικών συνθηκών

Το ATRV-mini είναι ρομποτικό όχημα το οποίο συνδυάζει όλα τα πλεονεκτήματα των μεγαλύτερων σε μέγεθος συγγενών του, έχοντας όμως πολύ μικρότερες διαστάσεις. Παρέχει πολύπλευρες δυνατότητες και καλύπτει τομείς της σύγχρονης ρομποτικής. Το ATRV-mini είναι ένα από τα ρομποτικά οχήματα που ανέπτυξε η Real World Interface, το οποίο είναι το πρώτο έντροχο όχημα που απέκτησε το τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εργαστήριο Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής). Το εν λόγω όχημα ενδείκνυται για κίνηση σε εσωτερικούς και σε εξωτερικούς χώρους λόγω της κατασκευής του και υπό προϋποθέσεις. Το όχημα θα μελετηθεί ως προς τα ηλεκτρονικά μέρη που διαθέτει και θα διερευνηθεί ο τρόπος που μπορεί να αντικατασταθούν με νέα κυκλώματα τα οποία θα υλοποιούν τις ίδιες λειτουργίες με την αρχική εργοστασιακή κατασκευή. Το ATRV-mini είναι εφοδιασμένο με :

- Προσωπικό υπολογιστή Pentium και λειτουργικό σύστημα LINUX
- Ασύρματη τηλεπικοινωνία BREEZECOM
- Σύστημα όρασης SONY με περιστρεφόμενο εικονολήπτη υψηλής ταχύτητας
- 24 αισθητήρες υπερήχων
- Αισθητήρες εύρεσης πορείας
- Δέκτη ΠΣΣ (Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων) 12 καναλιών [6]

1.3 Διατύπωση προβλήματος

Το ρομποτικό όχημα ATRV-mini είναι ένα παλαιό όχημα εξωτερικής χρήσης, το οποίο είχε αποκτηθεί από το Πολυτεχνείο Κρήτης το 2000 για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Με το πέρασμα των ετών το συγκεκριμένο ρομποτικό όχημα παροπλίστηκε διότι σταδιακά υπήρχαν ασυμβατότητες με τα καινούρια λογισμικά συστήματα που αναπτύσσονταν. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι το λογισμικό που διαθέτει δεν μπορεί να τροποποιηθεί από τον χρήστη που σημαίνει ότι οι λειτουργίες του είναι προκαθορισμένες από την εταιρία κατασκευής του και η αναβάθμιση του λογισμικού του είναι δαπανηρή. Ακόμα ένα μειονέκτημα είναι το ότι τα ηλεκτρονικά κυκλώματά του έχουν αποσυρθεί, δηλαδή δεν είναι εμπορικά διαθέσιμα και είναι πρακτικά αδύνατο να αντικατασταθούν. Η συνδεσιμότητα με επιπλέον αισθητήρια είναι περιορισμένη και τέλος η μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση των υπαρχόντων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και αισθητηρίων καθιστούν τη χρήση του οχήματος ασύμφορη και τεχνολογικά ξεπερασμένη.



Για τους παραπάνω λόγους πραγματοποιήθηκε έρευνα νέων εξαρτημάτων χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ελεύθερου λογισμικού συστήματος ικανών να θέσουν εκ νέου σε πλήρη λειτουργία το ρομποτικό όχημα με χαμηλό κόστος. Στα επόμενα κεφάλαια πραγματοποιείται περιγραφή των συστημάτων που υπάρχουν στο ρομποτικό όχημα, αναλύονται τα νέα συστήματα που επιλέχθηκαν και τοποθετήθηκαν καθώς και πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για την απόδειξη λειτουργίας των καινούριων συστημάτων.



Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

2.1 Εισαγωγή

Το ρομποτικό όχημα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για ανακατασκευή είναι το ATRV-mini της εταιρίας Real World Interface (Εικόνα 2.1) το οποίο βρίσκεται στο Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Πρόκειται για ένα όχημα που μπορεί να λειτουργήσει τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Το όχημα ανήκει στην κατηγορία των οχημάτων που στρίβουν με ολίσθηση τροχών. Το συγκεκριμένο ρομποτικό όχημα αποκτήθηκε το 2000 για εκπαιδευτικούς σκοπούς.



Εικόνα 2.1: ATRV-mini ρομποτικό όχημα

2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού οχήματος

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini παραθέτονται στον παρακάτω Πίνακα 2.1 έτσι όπως αναγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του οχήματος από την ίδια την εταιρία. Καθώς και κάποια επιπλέον εξαρτήματα τα οποία χρειάστηκαν για της ανάγκες του Εργαστηρίου Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα επιπλέον εξαρτήματα ήταν το GPS, η κάμερα και κάποιοι επιπλέον αισθητήρες αποφυγής εμπορίων.

Μήκος	62.2 cm
Πλάτος	53.3 cm
Ύψος	45.0 cm
Βάρος	40 kg
Ταχύτητα	0-1.5 m/sec
Ωφέλιμο φορτίο	9 kg
Χρόνος λειτουργίας	3-6 hr., εξαρτάται από το έδαφος
Κίνηση	4 wheel, PWM
Κατεύθυνση	Στρίψιμο με ολίσθηση
Γωνία στροφής	0 μοίρες (στρίβει στο κέντρο)
Μπαταρίες	2x12V, 12 amp/hr.
Σύστημα ελέγχου	PWI rFlex System
Κινητήρες	2x0.10 HP, 24V DC servo motors



Υπολογιστής	Pentium III EBX
I/O Ports	Ethernet, RS-232, Joystick
Αισθητήρες	24 Sonar (6 κάθε γωνία μπροστά και πίσω) Κάμερα (Sony EVI D30) GPS Πυξίδα Γωνιόμετρο

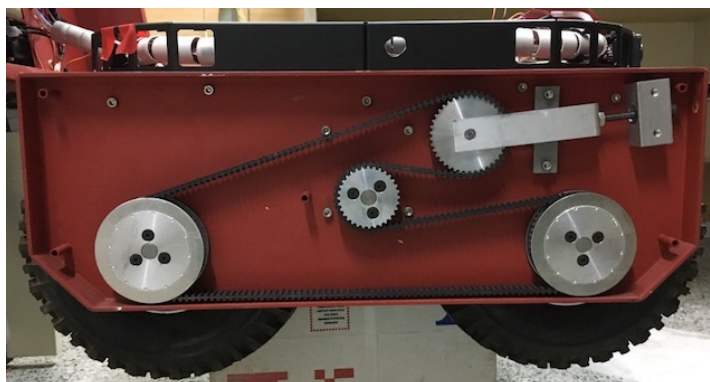
Πίνακας 2.1: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ATRV-mini

2.3 Τμήματα του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

2.3.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Το ρομποτικό όχημα ATRV-mini είναι εφοδιασμένο με δυο κινητήρες συνεχούς ρεύματος ονομαστικής τάσεως 24V 0.10 HP ο κάθε ένας. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στους συσσωρευτές συνεχούς τάσεως και την μετατρέπουν σε κινητική. Αυτού του είδους οι κινητήρες είναι οι πιο κατάλληλοι για ρομποτικές εφαρμογές.

Οι κινητήρες δεν είναι απευθείας συνδεδεμένοι στους τροχούς αλλά παρεμβάλλεται το σύστημα μετάδοσης κίνησης και τους κωδικοποιητές (αισθητήρες προσδιορισμού θέσης). Το σύστημα μετάδοσης κίνησης συνδέει τον άξονα του κάθε κινητήρα με τους άξονες των δυο τροχών της κάθε μεριάς του οχήματος και αυτό συνεπάγεται στην αύξηση ροπής που έχει ο κινητήρας. Όμως αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους και των διαστάσεων του οχήματος (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2: Σύστημα μετάδοσης κίνησης ATRV-mini

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων συνεχούς τάσεως είναι το χαμηλό κόστος απόκτησης, η ακρίβεια θέσης, η επαναληψιμότητα και απλή υλοποίησης ανάδρασης θέσης και ταχύτητας. Από την άλλη, τα μειονεκτήματά τους είναι ο κατώτερος λόγος ισχύος προς το βάρος έναντι των υδραυλικών, η χαμηλή ταχύτητα, η ανάγκη ψύξης του κινητήρα με παράλληλη αύξηση του μεγέθους του και η αργή απόκριση σε σύγκριση με άλλους τύπους κινητήρων [7].

2.3.2 Σύστημα κατεύθυνσης

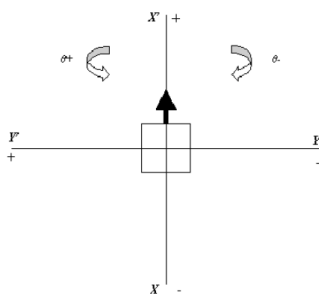
Το ρομποτικό όχημα ATRV-mini είναι ένα έντροχο όχημα το οποίο στρίβει με ολίσθηση. Το πλεονέκτημα των οχημάτων που στρίβουν με ολίσθηση είναι ότι είναι συμπαγή, απαιτούν λιγότερα εξαρτήματα για να κατασκευαστούν και επιδεικνύουν



εξαιρετική ευελιξία στο να κινούνται χρησιμοποιώντας εξαρτήματα τα οποία απαιτούνται για να κινηθεί το όχημα σε ευθεία γραμμή [8]. Επιπλέον πλεονέκτημα αυτού του τύπου συστήματα είναι ο τρόπος μετάδοσης κίνησης, όπου πραγματοποιείται μόνο σε έναν άξονα γύρω από τον οποίο περιστρέφονται οι τροχοί. Αντίθετα, στα ρομποτικά οχήματα που έχουν κατευθυντήριο τροχό, η κίνηση γίνεται σε δυο άξονες δυσκολεύοντας έτσι την μετάδοση της κίνησης.

2.3.3 Σύστημα αξόνων

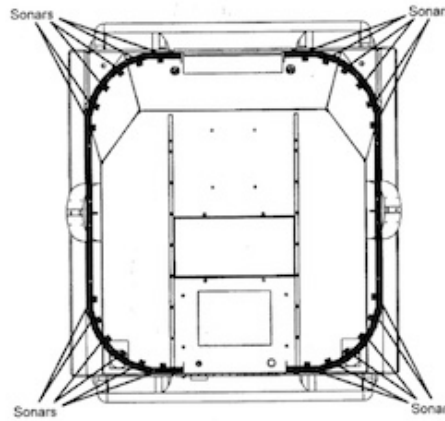
Το σύστημα αξόνων που κινείται το ATRV-Mini είναι ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων που έχει οριστεί από την εταιρία κατασκευής του και έχει τον προσανατολισμό που φαίνεται στην (Εικόνα 2.3). Οι διαφορές του συστήματος αυτού σε σχέση με το καρτεσιανό σύστημα αξόνων είναι ο ορισμός των αξόνων X-Y. Ο άξονας Y του καρτεσιανού συστήματος αντιστοιχεί στον άξονα X του συστήματος του οχήματος και αντίστροφα. Διαφορετικά επίσης ορίζονται και τα θετικά και τα αρνητικά πρόσημα. Οι γωνίες στροφής και ο ορισμός τους ως αρνητικές ή θετικές φαίνονται στην εικόνα 2.3. Κατά την δημιουργία των προγραμμάτων ο σχεδιασμός έγινε με βάση το παραπάνω σύστημα αξόνων [9].



Εικόνα 2.3: Ορθοκανονικό σύστημα αξόνων του ATRV-Mini

2.3.4 Αισθητήρες υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων λειτουργούν με την ίδια αρχή που λειτουργούν τα ραντάρ και τα σόναρ μόνο που είναι πολύ μικρότερα σε μέγεθος και κόστος. Εκτιμούν την απόσταση ενός στόχου λαμβάνοντας υπόψη τους την αντανάκλαση ενός ραδιοκύματος ή ενός ηχητικού σήματος πάνω στο στόχο. Δημιουργούν υψηλής συχνότητας κύματα και χρησιμοποιώντας το επιστρεφόμενο σήμα καθορίζουν την απόσταση ή ακόμα και την ταχύτητα του στόχου. Για να το επιτύχουν αυτό χρησιμοποιούν τον χρόνο που έκανε το σήμα για να καλύψει την απόσταση από τον αισθητήρα στο αντικείμενο και πίσω. Περιμετρικά του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini βρίσκονται 24 αισθητήρες υπερήχων, από έξι σε κάθε του γωνία (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Διάταξη των αισθητήρων υπερήχων για το ATRV-mini

Η περιοχή εντοπισμού κάθε αισθητήρα περιγράφεται από έναν κώνο με κορυφή το κέντρο του και γωνία 30° . Σε προηγούμενες αναφορές, είχε επισημανθεί η δυσκολία των αισθητήρων να εντοπίζουν αντικείμενα μικρού μεγέθους ή σε μεγάλη γωνία σε σχέση με την ακτίνα των αισθητήρων. Τρόπος αποφυγής λάθους ήταν η ομαδοποίηση ανά δύο αισθητήρων με ασαφή λογική και βάση των αποτελεσμάτων κρίθηκε αποτελεσματικός [10].

2.3.5 Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων Θέσης – GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων Θέσης (Global Positioning System-GPS) είναι ένα σύγχρονο σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού της θέσης στην οποία θέλουμε να κατευθυνθούμε. Το σύστημα αυτό βασίζεται στους δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά με την γη και δημιουργούν ένα πλέγμα συντεταγμένων. Για την εύρεση ενός σημείου χρειάζεται μία συσκευή η οποία ονομάζεται «GPS» η οποία στέλνει ένα σήμα στο πλέγμα των δορυφόρων και αυτοί με την σειρά τους στέλνουν τα δεδομένα σε αυτή την συσκευή της οποίας μπορεί να προσδιοριστεί η θέση της (στίγμα), το υψόμετρο, η ταχύτητα και η κατεύθυνσή της.

Ένα Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (ΠΣΣ) αποτελείται από τρία βασικά στάδια.

- 1) Το τμήμα ελέγχου
- 2) Το δορυφορικό τμήμα
- 3) Την μονάδα χρήσης

Το σφάλμα που είναι αποδεκτό να έχει ένα αξιόπιστο ΠΣΣ είναι μικρότερο της τάξεως των 100 μέτρων. Φυσικά το σύστημα αυτό επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στη γη και ιδίως από τις καιρικές συνθήκες που μπορεί να προκαλέσει επιπλέον σφάλμα της τάξεως των 5-10 μέτρων. Το ρομποτικό όχημα ATRV-mini διαθέτει ΠΣΣ του οποίου το σφάλμα είναι μικρότερο των 100 μέτρων.

2.3.6 Πυξίδα (IMU)

Το ATRV-min εκτός από το ΠΣΣ (GPS), χρησιμοποιεί και μία ηλεκτρονική πυξίδα η οποία χρησιμοποιείται για να οδηγήσει στην κατεύθυνση της πορείας μετακίνησης (κλασική μαγνητική ένδειξη). Επίσης, η πυξίδα μπορεί να παρέχει πληροφορίες μέτρησης της θερμοκρασίας και μέτρηση της κλίσης. Ο λόγος που χρειάζονται και τα δυο είναι γιατί το ΠΣΣ (GPS) δίνει πληροφορίες για το σημείο

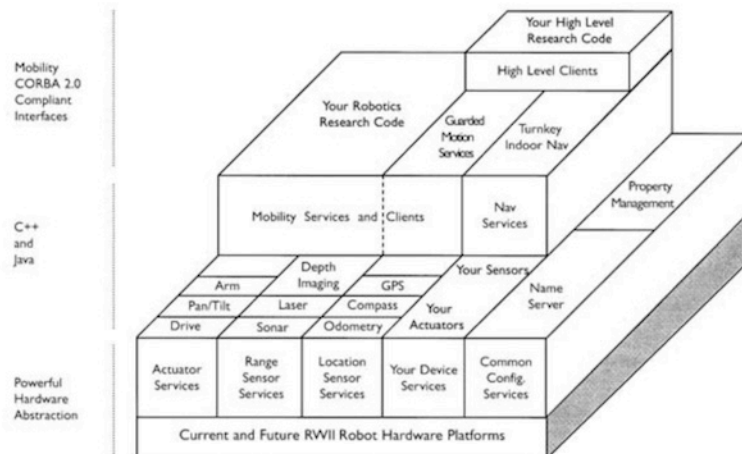


(στίγμα) προορισμού χωρίς βασικές οδηγίες για την κατεύθυνση της πορείας στο συγκεκριμένο προορισμό. Μαζί, το GPS και η πυξίδα αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλοήγησης.

2.3.7 Το λογισμικό MOBILITY

Το λογισμικό Mobility είναι ένα αντικειμενοστραφές εργαλείο που παρέχεται από την εταιρεία για την δημιουργία προγραμμάτων ελέγχου για συστήματα ενός ή περισσότερων έντροχων ρομπότ. Αποτελείται από ένα σύνολο λογισμικών εργαλείων, το αντικείμενο του μοντέλου του ρομποτικού οχήματος, βασικές μονάδες (modules) ελέγχου του ρομπότ (κίνηση, sonar, κάμερα, GPS) και ένα αντικειμενοστραφές περιβάλλον εργασίας για την απλοποίηση της ανάπτυξης κώδικα.

Το Mobility προσδιορίζει το αντικείμενο του οχήματος χρησιμοποιώντας το CORBA standard, το οποίο του δίνει τη δυνατότητα να υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού σε διάφορες πλατφόρμες (Εικόνα 2.5). Το περιβάλλον του Mobility επιτρέπει στο χρήστη να τροποποιήσει βασικά μέρη του συστήματος του ρομπότ και να προσθέσει νέα, ανάλογα με τις ανάγκες του.



Εικόνα 2.5: Η αρχιτεκτονική του περιβάλλοντος Mobility

Το αντικείμενο του ρομποτικού οχήματος αποτελείται από μια σειρά άλλων αντικειμένων. Καθένα από αυτά αντιπροσωπεύει μέρη του ρομπότ όπως τους αισθητήρες και το μηχανισμό κίνησης. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να τροποποιηθούν ή να χρησιμοποιηθούν ως συναρτήσεις σε νέους αλγόριθμους. Το Mobility υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού Java και C++.

2.3.8 Σύστημα ελέγχου rFlex

Το rFlex είναι ένα σύστημα ελέγχου του ρομποτικού συστήματος και των περιφερειακών του που λειτουργεί χωρίς την χρήση υπολογιστικής μονάδας και βρίσκεται πάνω στο ρομπότ. Αποτελείται από ένα απλό αλληλεπιδραστικό περιβάλλον εργασίας με το οποίο πραγματοποιείται διαχείριση, διαμόρφωση και διάγνωση των περιφερειακών.

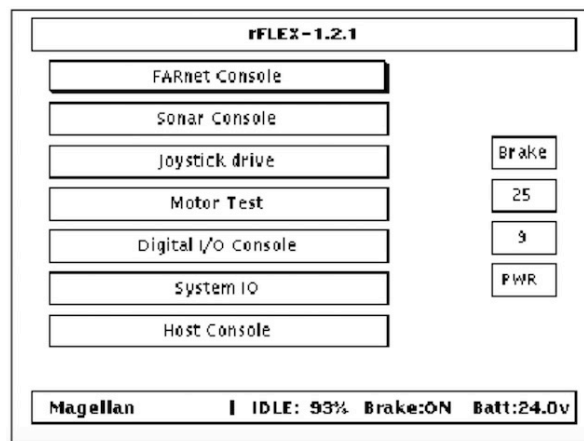
Οι κύριες λειτουργίες του rFlex είναι:

- Εκκίνηση- Τερματισμός λειτουργίας του ρομπότ
- Ορισμός του τύπου του δικτύου στο οποίο μετέχει το ρομπότ



- Ενεργοποίηση και έλεγχος των αισθητήρων ήχου
- Ενεργοποίηση της οδήγησης με χειριστήριο
- Έλεγχος των κινητήρων
- Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των φρένων
- Ένδειξη στάθμης μπαταρίας
- Μεταφορά στην οθόνη του λειτουργικού συστήματος
- Έλεγχος των θυρών επικοινωνίας

Οι πληροφορίες παρέχονται στον χρήστη μέσω μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων που βρίσκεται στο πίσω μέρος της κορυφής του ρομπότ (Εικόνα 2.6). Η εναλλαγή μεταξύ των λειτουργιών πραγματοποιείται με διακριτό ποτενσιόμετρο.



Εικόνα 2.6: Η κεντρική οθόνη λειτουργιών του rFlex.

2.3.9 Οπτικό σύστημα

Σημαντική συσκευή για την πλοήγηση ρομποτικού οχήματος αποτελεί το οπτικό σύστημα. Με τη βοήθεια του είναι δυνατή η σύλληψη του χώρου σε εικόνες ή βίντεο. Οι εικόνες και το βίντεο επεξεργάζονται και παρέχουν σημαντικά στοιχεία για την πορεία του ρομπότ.

Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται από το ATRV-mini αποτελείται από την κάμερα SONY EVI-D30 (Εικόνα 2.7). Λειτουργεί σε NTSC Color standard, έχει 12X βαθμό μεγέθυνσης και διαθέτει δύο κινητήρες που της επιτρέπουν κίνηση στον οριζόντιο άξονα με εύρος 200° με μέγιστη ταχύτητα $80^\circ/\text{sec}$ και στον κατακόρυφο άξονα με εύρος 50° με μέγιστη ταχύτητα $50^\circ/\text{sec}$. Η SONY EVI-D30 έχει την ικανότητα αναγνώρισης και παρακολούθησης κίνησης.

Η επικοινωνία της κάμερας με τον υπολογιστή του ATRV-mini γίνεται με το πρωτόκολλο VISCA/RS-232C το οποίο είναι σε θέση να διαχειριστεί 142 εντολές που σχετίζονται με την λειτουργία της. Οι πληροφορίες του οπτικού σήματος μεταφέρονται στον υπολογιστή με την χρήση μιας συσκευής πρόσκτησης γραφικών. Για το ATRV-Mini, η iRobot έχει επιλέξει την HAUPPAUGE BTV848 η οποία έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει τρεις κάμερες σε διαδοχική λειτουργία. Η σύνδεση του οπτικού συστήματος με την συσκευή πρόσκτησης γραφικών πραγματοποιείται με ομοαξονικό καλώδιο.



Εικόνα 2.7: Οπτικό σύστημα ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

2.4 Η σημερινή μορφή του ATRV-mini

Το ρομποτικό όχημα ATRV-mini έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετές ερευνητικές και εκπαιδευτικές εργασίες οι οποίες εκπονήθηκαν από το Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Οι ερευνητικές εργασίες πραγματοποιήθηκαν κυρίως σε εσωτερικούς χώρους καθώς το ρομποτικό όχημα είναι εξοπλισμένο με κατάλληλα εξαρτήματα (αισθητήρες υπολογισμού εμπορίων, κάμερα, πυξίδα, κωδικοποιητές) για την μελέτη και έρευνα πάνω σε θέματα πλοήγησης και κίνησης με βάση τις πληροφορίες που συλλέγουν οι αισθητήρες υπερήχων ή το οπτικό σύστημα. Τα ηλεκτρονικά μέρη και τα αισθητήρια που διαθέτει το ρομποτικό όχημα δεν έχουν αλλάξει ή αναβαθμιστεί από τότε που αποκτήθηκε (Εικόνα 2.8). Εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι είναι παλαιάς τεχνολογίας και δεν μπορεί να υποστηρίξει τεχνολογικές εξελίξεις και ερευνητικές ανάγκες που μετά από σχεδόν δυο δεκαετίες έχουν αλλάξει σημαντικά.



Εικόνα 2.8: Εξωτερική όψη του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini



Εικόνα 2.9 : Εσωτερική όψη του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini



Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή, Σχεδιασμός, Υλοποίηση ανακατασκευής

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα περιγραφούν τα υλικά τα οποία αντικατέστησαν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini έτσι ώστε αυτό να είναι λειτουργικό. Καθώς, θα μελετηθεί και η θέση που τοποθετήθηκαν για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος.

3.2 Υλικά

3.2.1 Κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black

Η κεντρική μονάδα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε για να αντικαταστήσει τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που διέθετε το ρομποτικό όχημα ATRV-mini είναι το Beaglebone Black Rev. C. Το Beaglebone Black είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ανοιχτού κώδικα χαμηλής ισχύος που παράγεται από την Texas Instruments με συνεργασία της Digi-Key και Newark element14. Η κύρια φιλοσοφία σχεδίασης και δημιουργίας του Beaglebone Black είναι η ανάπτυξη λογισμικού ανοιχτού κώδικα χρησιμοποιώντας το σύστημα OMAP3530 της Texas Instrument. Το Beaglebone Black αναπτύχθηκε από μια μικρή ομάδα μηχανικών, ως εκπαιδευτική πλατφόρμα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε κολέγια ανά τον κόσμο για να διδάξει λογισμικό ανοιχτού κώδικα αλλά και υλικό (hardware) (Εικόνα 3.1) [11].

Τα χαρακτηριστικά του Beaglebone Black παρουσιάζονται παρακάτω:

Κεντρικός επεξεργαστής AM335x 1GHz ARM Cortex-A8

- 512MB DDR3 RAM
- 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage
- 3D graphics accelerator
- NEON floating-point accelerator
- 2x PRU 32-bit microcontrollers

Συμβατότητα λογισμικών

- Debian
- Android
- Ubuntu
- Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library
- ακόμα περισσότερα

Συνδεσιμότητα

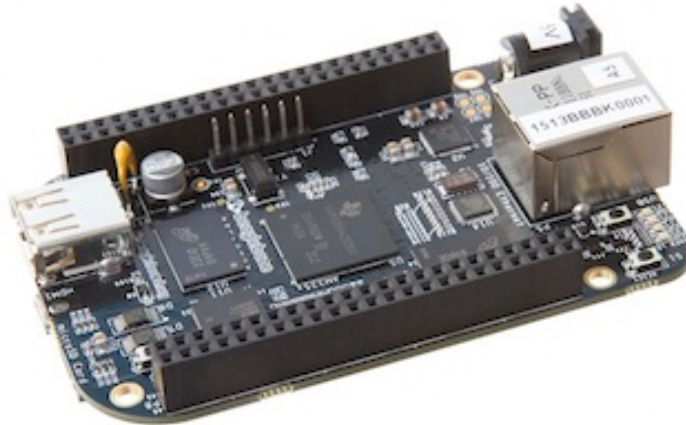
- USB client for power & communications
- USB host
- Ethernet
- HDMI
- 2x 46 pin headers

Υποστηριζόμενες διεπαφές

- 4x UART
- 8x PWM
- LCD
- GPMC
- MMC1



- 2x SPI
- 2x I2C
- A/D Converter
- 2x CAN Bus
- 4 Timers



Εικόνα 3.1: BeagleBone Black πλατφόρμα ανάπτυξης

3.2.2 Κινητήρες

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν παρέμειναν οι ίδιοι με το αρχικό ρομποτικό όχημα, 24V 0.1HP συνεχούς τάσης, καθώς κρίθηκαν λειτουργικοί και μαζί με το σύστημα του κιβωτίου μείωσης ταχύτητας περιστροφής είναι οι πλέον κατάλληλοι για να διαχειριστούν τις συνθήκες των εξωτερικών τερέν στους οποίους προορίζεται να κινηθεί το ρομποτικό όχημα ATRV-mini.

3.2.3 Αισθητήρες υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι ευρέως διαδεδομένοι για μέτρηση απόστασης και αποφυγή εμποδίων ιδιαίτερα για ρομποτικές εφαρμογές. Οι αισθητήρες υπερήχων που χρησιμοποιήθηκαν είναι ψηφιακοί, έχουν μέγιστη εμβέλεια τα 6.45m και το κόστος τους είναι σχετικά μικρό. Στο ρομποτικό όχημα επιλέχτηκε ο «Ultrasonic Range Finder - LV-MaxSonar-EZ1» (Εικόνα 3.2). Στο ρομποτικό όχημα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αισθητήρες υπερήχων, τρεις στο εμπρός μέρος και ένας στο πίσω καθώς κρίθηκε ικανοποιητική η συμπεριφορά τους σε σχέση με του παλαιότερους οι οποίοι ήταν περισσότεροι σε αριθμό. Το συγκεκριμένο αισθητήριο έχει τρεις επιλογές σύνδεσης είτε ψηφιακή είτε αναλογική είτε σειριακά. Η σύνδεση που πραγματοποιήθηκε με την κεντρική μονάδα Beaglebone Black είναι η αναλογική. Το αισθητήριο υπερήχων έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά [12].

- 42kHz αισθητήριο υπερήχων
- Ακρίβεια μέτρησης 1 inch ή 2.54cm
- Τάση λειτουργίας από 2.5V έως 5.5V
- Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος μόλις 2mA
- Ρυθμός ανάγνωσης 20Hz
- Σειριακή επικοινωνίας RS232-9600bps
- Αναλογική έξοδος – 10mV/inch
- PWM έξοδος – 147 us/inch



- Μικρό σε διαστάσεις και ελαφρύ



Εικόνα 3.2: Ultrasonic Range Finder - LV-MaxSonar-EZ1

3.2.4 IMU – Inertial Measurement Unit

Για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης που θα κινηθεί το ρομποτικό όχημα θα πρέπει να τοποθετηθεί μια πυξίδα. Η ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιήθηκε έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από μια πυξίδα και γρήγορο ρυθμό ανανέωσης δεδομένων. Αυτή η συσκευή είναι η IMU (Inertial Measurement Unit) της SparkFun. Η IMU 9DoF Razor διαθέτει τρεις αισθητήρες 3 αξόνων, ένα επιταχυνσιόμετρο, ένα γυροσκόπιο και ένα μαγνητόμετρο που δίνουν τη δυνατότητα να ανιχνεύσει τη γραμμική επιτάχυνση, τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής και τα μαγνητικά πεδία [13]. Παρακάτω διακρίνονται τα χαρακτηριστικά της IMU (Εικόνα 3.3) η οποία έχει :

- Ενσωματωμένος μικροεπεξεργαστής MPU-9250 IMU και SAMD21
- Φορτιστή μπαταρίας LiPo
- Τάση λειτουργίας από 3.3V έως 5v
- Σύνδεση με micro Usb
- Υποδοχή κάρτας μνήμης microSD
- 9 Degree of freedom (DoF) (9 βαθμών ελευθερίας)
- Κεντρικός διακόπτης on/off παροχής ρεύματος



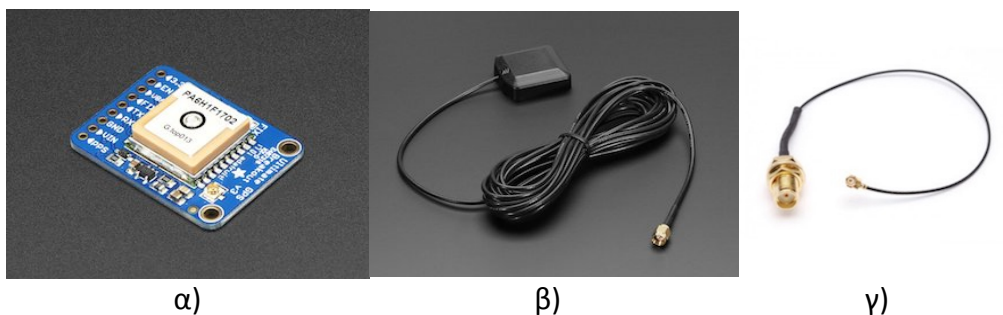
Εικόνα 3.3: SparkFun 9DoF Razor IMU M0

3.2.5 Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (ΠΣΣ) (GPS)

Δεν εννοείται πλέον ρομποτικό όχημα εξωτερικών χώρων και να μην έχει Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (GPS). Για αυτό το λόγο επιλέχτηκε το ΠΣΣ της Adafruit το οποίο διαθέτει το MTK3339, ένα ασύρματο, υψηλής ποιότητας μονάδα GPS που μπορεί να εντοπίσει μέχρι 22 δορυφόρους σε 66 κανάλια, διαθέτει έναν



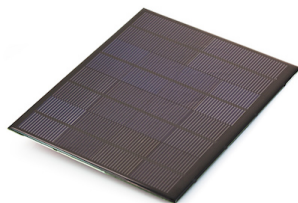
εξαιρετικό δέκτη υψηλής ευαισθησίας και μια ενσωματωμένη κεραία . Μπορεί να κάνει έως και 10 ενημερώσεις τοποθεσίας ανά δευτερόλεπτο με απόκλιση από την πραγματική θέση να είναι μόλις τα 3 μέτρα. Η κατανάλωση ενέργειας είναι εξαιρετικά χαμηλή, μόνο 20 mA κατά τη διάρκεια της πλοήγησης (Εικόνα 3.4 α) [14]. Η κεραία που διαθέτει το συγκεκριμένο GPS είναι ενσωματωμένη αλλά διαθέτει βύσμα u.FL για σύνδεση εξωτερικής κεραίας. Επιλέχτηκε εξωτερική ενεργή κεραία 28dB με 5m καλώδιο και βύσμα SMA (Εικόνα 3.4 β) [15]. Η σύνδεση μεταξύ τους πραγματοποιήθηκε με το σύνδεσμο SMA σε u.FL (Εικόνα 3.4 γ) [16].



Εικόνα 3.4: α) Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel, β) GPS Antenna, γ) Interface Cable SMA Female to U.FL - 20cm

3.2.6 Ηλιακά πάνελ

Για την βελτίωση και την αναβάθμιση του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini τοποθετήθηκαν 3 ηλιακά πάνελ (Εικόνα 3.5) σε συνδεσμολογία σειράς. Τα ηλιακά πάνελ που χρησιμοποιήθηκαν είναι πάνελ υψηλής ποιότητας, υψηλής απόδοσης, πλήρως κλειστού τύπου. Το κάθε πάνελ έχει ονομαστική τάση 8V και ρεύμα βραχυκύκλωσης τα 650mA. Σε πραγματικές συνθήκες που δοκιμάστηκε το κάθε πάνελ έχει ονομαστική τάση που φτάνει τα 9.55V και το ρεύμα βραχυκύκλωσης τα 550mA. Το πάνελ συνοδεύεται συνδεδεμένο με ένα καλώδιο 2 μέτρων και με βύσμα κυκλικό 5.5mm X 2.1mm. Τα πάνελ διαθέτουν μονοκρυσταλλικά κύτταρα υψηλής απόδοσης που φτάνει το 15-15.2% και προστατεύονται με μια καθαρή εποξική επίστρωση για εξωτερικές εφαρμογές (Εικόνα 3.6) [17].



Εικόνα 3.5: Ηλιακό πάνελ 5W



Εικόνα 3.6: Τοποθέτηση ηλιακών πάνελ στο ρομποτικό όχημα ATRV-mini

3.2.7 Ρυθμιστής φόρτισης ηλιακών πάνελ

Ο ρυθμιστής φόρτισης των ηλιακών πάνελ που χρησιμοποιήθηκε είναι ο ρυθμιστής φόρτισης Lumiax των 10A (Εικόνα 3.7) ο οποίος προστατεύει την μπαταρία από υπερβολική φόρτιση και εκφόρτιση. Εύκολος στη χρήση και στη σύνδεση. Χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στις αυτόνομες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μικρής ισχύος λόγω του μικρού μεγέθους του. Κατάλληλος για φωτοβολταϊκά συστήματα μέχρι 6A, η τάση λειτουργίας του είναι στα 12V και 24V. Διαθέτει ενδείξεις LED που δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση της μπαταρίας και ολόκληρου του φωτοβολταϊκού συστήματος [18]. Διαθέτει προστασία από:

- Υπερβολική φόρτιση συσσωρευτή
- Υπερβολική εκφόρτιση συσσωρευτή
- Λανθασμένη σύνδεση με φωτοβολταϊκό συλλέκτη
- Λανθασμένη σύνδεση με φορτία
- Βραχυκύκλωση φορτίου
- Βραχυκύκλωση φωτοβολταϊκού συλλέκτη
- Υπερβολική τάση από φωτοβολταϊκό συλλέκτη
- Αντιστροφή ρεύματος

Τεχνικά Χαρακτηριστικά:

- Μέγιστο Ρεύμα Φόρτισης: 10A
- Τάση συστήματος: 12 / 24 V
- Αυτόματη αναγνώριση τάσεως συστήματος
- Με ενδείξεις LED για παρακολούθηση της κατάστασης της φόρτισης
- Με αριθμητικές ενδείξεις για καθοδήγηση κατά τη σύνδεση του φωτοβολταϊκού συστήματος
- Διαστάσεις: 150 x 72 x 35 mm
- Βάρος: 130 gr
- Αδιάβροχο: IP 32
- Μέγιστη διατομή καλωδίου σύνδεσης: 2.5 χιλιοστά



Εικόνα 3.7: Ρυθμιστής φόρτισης ηλιακών πάνελ Lumiax 10A

3.2.8 Συσσωρευτές Ενέργειας (Μπαταρίες)

Η πηγή ισχύος ενός ρομποτικού συστήματος είναι ένα από τα βασικά υλικά που το απαρτίζουν. Το συγκεκριμένο ρομποτικό σύστημα χρησιμοποιεί δύο μπαταρίες των 12V 12Ah σε συνδεσμολογία σειράς, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επειδή όμως τα καινούρια ηλεκτρονικά κυκλώματα καταναλώνουν περίπου δέκα φορές λιγότερη ισχύ επιλέχθηκαν δυο μπαταρίες μολύβδου 12V 7.2Ah (Εικόνα 3.8) σε συνδεσμολογία σειράς, με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του βάρους του ρομποτικού οχήματος κατά 7 κιλά περίπου χωρίς να μειώνεται η αυτονομία του. Η μπαταρία μολύβδου έχει άριστη αποδοχή επαναφόρτισης. Δεν απαιτεί συντήρηση και ελάχιστη ποσότητα εκφόρτισης. Η μπαταρία μολύβδου έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, ασφαλή λειτουργία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές όπως: συστήματα ασφαλείας, συστήματα σηματοδότησης, πίνακες αυτοματισμών για ανελκυστήρες, συστήματα φωτισμού έκτακτης ανάγκης, ηλεκτρικά παιχνίδια, αναπηρικά αμαξίδια, συστήματα τηλεπικοινωνιών, ρομποτικά οχήματα κτλ. Τα χαρακτηριστικά τα οποία έχει η μπαταρία μολύβδου που χρησιμοποιήθηκε περιγράφονται παρακάτω:

- Ηλεκτρική τάση: 12 V
- Χωρητικότητα: 7.2 Ah
- Διαστάσεις (ΠxΜxΥ): 65x151x95mm
- Βάρος: 2.54 κιλά
- Διάσταση ακροδεκτών: 6.4mm



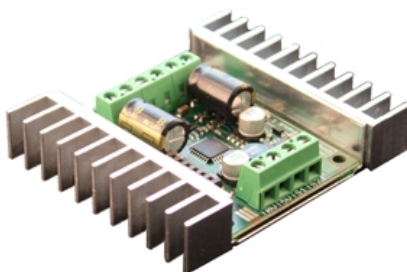
Εικόνα 3.8: Μπαταρία μολύβδου 12V 7.2Ah

3.2.9 Πλακέτα ελέγχου κινητήρα Sabertooth 2X12A

Ο συνδετικός κρίκος ανάμεσα στους κινητήρες και στη κεντρική μονάδα ελέγχου είναι η πλακέτα ελέγχου κινητήρα Sabertooth 2X12A. Μέσο της πλακέτας αυτής διοχετεύονται οι εντολές κίνησης των κινητήρων. Το Sabertooth 2X12 είναι ένας από τους πιο ευπροσάρμοστους, αποτελεσματικούς και εύχρηστους οδηγούς



διπλού κινητήρα. Μπορεί να τροφοδοτήσει δύο κινητήρες συνεχούς ρεύματος μέχρι 12A το καθένα και το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να αντέξει για μερικά δευτερόλεπτα μόνο, φτάνουν τα 25A. Το Sabertooth είναι εφοδιασμένο με κυκλώματα προστασίας υπερβολικών ρευμάτων και θερμικής προστασίας για την αποτροπή καταστροφής της πλακέτας. Η επικοινωνία που επιτυγχάνετε με τον εκάστοτε μικροελεγκτή ή πλακέτα ελέγχου μπορεί να πραγματοποιηθεί με τέσσερις τρόπους: α) με αναλογική τάση, β) με ραδιοχειριστήριο, γ) με σειριακή και δ) με πακέτα σειριακής. Η εκάστοτε επιθυμητή λειτουργία επιλέγετε από ενσωματωμένους διακόπτες πάνω στην πλακέτα. Το Sabertooth είναι ο πρώτος σύγχρονος αναγεννητικός οδηγός κινητήρα στην κατηγορία του. Η αναγεννητική τοπολογία σημαίνει ότι οι μπαταρίες επαναφορτίζονται όποτε δίνετε εντολή στο ρομπότ να επιβραδύνει ή να αντιστρέψει την κίνηση στους κινητήρες. Το Sabertooth έχει ενσωματωμένο τροφοδοτικό 5V 1A που μπορεί να παρέχει ισχύ σε μικροελεγκτή ή δέκτη R / C και σε δύο σερβομηχανισμούς. Επίσης μπορεί να λάβει τροφοδοσία από μπαταρίες ιόντων λιθίου και από μπαταρίες μολύβδου μέγιστης τάσης 24V (Εικόνα 3.9) [19].



Εικόνα 3.9: Sabertooth 2X12A

3.2.10 Συσσκευή ασύρματης επικοινωνίας

Μια συσκευή ασύρματης επικοινωνίας εγκαταστάθηκε στο ρομποτικό όχημα για την επικοινωνία με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή για τη συλλογή δεδομένων και χειρισμού. Η ασύρματη συσκευή που τοποθετήθηκε είναι ο ασύρματος USB Adaptor της TP-Link TL-WN722N. Η ασύρματη συσκευή περιλαμβάνει αποσπώμενη κεραία 4dBi η οποία έχει εμβέλεια ακτίνας 50 έως 100 μέτρων (Εικόνα 3.10) [20].



Εικόνα 3.10: Ασύρματο USB Adapter TL-WN722N



3.2.11 Αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5

Το αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5 (Εικόνα 3.11) είναι ένα αισθητήριο γρήγορης όρασης που μπορεί γρήγορα να «διδασχτεί» να εντοπίσει αντικείμενα και συνδέεται απευθείας με ελεγκτές και με αναπτυξιακές πλατφόρμες όπως το Beaglebone Black. Είναι ιδανικό για ρομποτική ή οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή που απαιτεί όραση υπολογιστή. Το Pixy αποτελείται από έναν ισχυρό επεξεργαστή και έναν αισθητήρα εικόνας. Το Pixy επεξεργάζεται τις εικόνες από τον αισθητήρα εικόνας και στέλνει μόνο στον χρήστη τον χρήσιμο αριθμό πληροφοριών (πχ. πράσινη σφαίρα που ανιχνεύετε σε $x = 54$, $y = 103$ συντεταγμένες), ο ρυθμό καρτέ με τον οποίο πραγματοποιεί αυτές τις λείψεις εικόνας μπορεί να φτάσει τα 50 Hz. Οι πληροφορίες διατίθενται μέσω μιας από τις διάφορες διεπαφές: UART serial, SPI, I2C, USB, ή ψηφιακή / αναλογική έξοδος. Έτσι, ο Beaglebone Black ή άλλος μικροελεγκτής μπορεί να επικοινωνήσει εύκολα με το Pixy και να έχει ακόμα αρκετή επεξεργαστική ισχύ για να πραγματοποιήσει και άλλες εργασίες που απαιτούνται για την εκάστοτε εφαρμογή [21].



Εικόνα 3.11: Αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5

Το αισθητήριο εικόνας Pixy επεξεργάζεται ένα ολόκληρο πλαίσιο εικόνας 640x400 κάθε 1 / 50ο του δευτερολέπτου (20 χιλιοστά του δευτερολέπτου). Αυτό σημαίνει ότι λαμβάνετε μια πλήρη ενημέρωση όλων των θέσεων εντοπισμένων αντικειμένων κάθε 20ms. Με αυτό το ρυθμό, είναι δυνατή η παρακολούθηση της πορείας της μπάλας όταν αυτή πέφτει και αναπήδα.

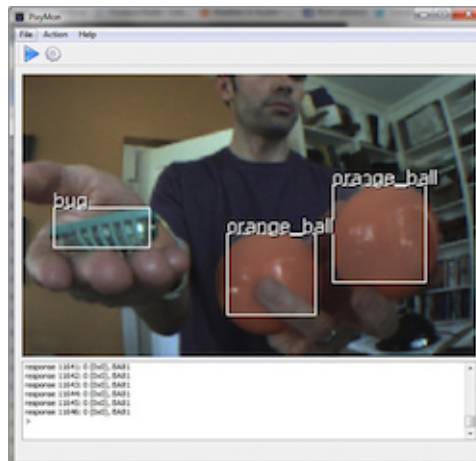
Το Pixy χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο φιλτραρίσματος με βάση το χρώμα για την ανίχνευση αντικειμένων. Οι περισσότεροι από εμάς είναι εξοικειωμένοι με το RGB (κόκκινο, πράσινο και μπλε) για να αντιπροσωπεύουν τα χρώματα. Το Pixy υπολογίζει το χρώμα (απόχρωση) και τον κορεσμό κάθε εικονοστοιχείου RGB από τον αισθητήρα εικόνας και τα χρησιμοποιεί ως τις κύριες παραμέτρους φιλτραρίσματος. Το Pixy «θυμάται» έως και 7 διαφορετικές υπογραφές χρώματος (Εικόνα 3.12), πράγμα που σημαίνει ότι αν υπάρχουν 7 διαφορετικά αντικείμενα με μοναδικά χρώματα, ο αλγόριθμος φιλτραρίσματος χρώματος του Pixy δεν θα έχει κανένα πρόβλημα να τα αναγνωρίσει.



Εικόνα 3.12: Αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5 αναγνώριση χρωμάτων

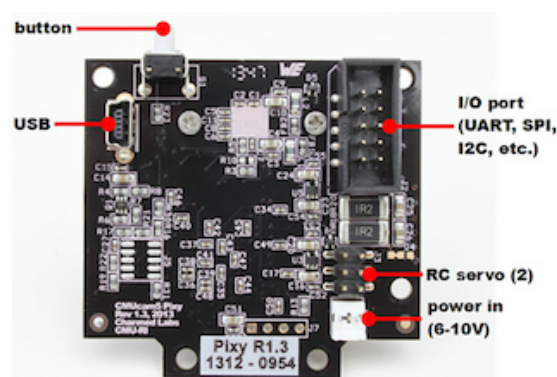


Το PixyMon (Εικόνα 3.13) είναι μια εφαρμογή που συνοδεύεται με την κάμερα και μπορεί να εκτελεστεί σε Windows, MacOS και Linux. Επιτρέπει την προβολή εικόνας από το αισθητήριο Pixy, είτε ως ακατέργαστο είτε ως επεξεργασμένο βίντεο. Επίσης ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει το Pixy, να ρυθμίσει τη θύρα εξόδου και να διαχειριστεί τις υπογραφές χρώματος. Το PixyMon επικοινωνεί με το Pixy μέσω ενός τυπικού μίνι καλωδίου USB. Το PixyMon είναι ιδανικό για τον εντοπισμό σφαλμάτων στην εφαρμογή καθώς και στην τοποθέτηση της κάμερας στη σωστή θέση προβολής.



Εικόνα 3.13: Εφαρμογή προβολής PixyMon

Το Pixy μπορεί εύκολα να συνδεθεί με πολλούς διαφορετικούς ελεγκτές επειδή υποστηρίζει διάφορες επιλογές διασύνδεσης (UART serial, SPI, I2C, USB ή ψηφιακή / αναλογική έξοδο), αλλά το Pixy ξεκίνησε να συνεργάζεται αρχικά με τον Arduino. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων μηνών προστέθηκε υποστήριξη για το Arduino Due, Raspberry Pi και BeagleBone Black (Εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14: Οι τρόποι διασύνδεσης αισθητήρα Pixy

3.2.12 Μετατροπέας πολλαπλών θηρών USB (USB hub 4 port)

Επειδή η κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black διαθέτει μόνο μια θήρα USB χρησιμοποιήθηκε ένας μετατροπέας πολλαπλών θηρών USB (USB hub 4 port). Ο μετατροπέας αυτός μετατρέπει την μια είσοδο USB σε άλλες τέσσερις θήρες από τις οποίες η μια δεν χρησιμοποιείται για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Στο USB hub συνδέεται η ασύρματη USB επικοινωνία, η IMU και η κάμερα Pixy CMUcam5. Για τη σωστή λειτουργία των συσκευών, το USB hub υποστηρίζει θήρα επιπλέον



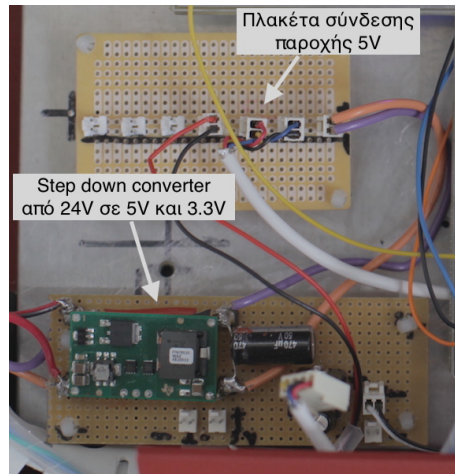
εξωτερικής τροφοδοσίας 5V για την πιο ομαλή και σταθερή λειτουργία (Εικόνα 3.15) [22].



Εικόνα 3.15: Μετατροπέας πολλαπλών θηρών USB (USB hub 4 port)

3.2.13 Τροφοδοτικό και πλακέτα πολλών παροχών 5V, 3.3V

Ένα από τα κύρια μέρη ενός ρομποτικού οχήματος μπορεί να θεωρηθεί και η πηγή τροφοδοσία του, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η μπαταρίες. Όμως τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα δεν έχουν την ίδια τάση λειτουργίας, άλλα κυκλώματα έχουν τάση λειτουργίας τα 5V και άλλα τα 3.3V. Επιπλέον κάποια έχουν ένα μεγάλο φάσμα τάσης λειτουργίας τα οποία μας επιτρέπουν να επιλέξουμε την τάση λειτουργίας τους. Για παράδειγμα οι αισθητήρες μέτρησης της απόστασης που τοποθετήθηκαν στο ρομποτικό όχημα μπορούν να λειτουργήσουν στα 3.3V και στα 5V, όμως ο κατασκευαστής αναφέρει ότι στην τάση λειτουργίας 5V το αισθητήριο μέτρησης απόστασης έχει την μέγιστη απόδοση από ότι θα είχε αν η τάση λειτουργίας του ήταν στα 3.3V. Γι' αυτό το λόγο είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει η κατάλληλη τάση για το κάθε κύκλωμα του υπάρχει στο ρομποτικό όχημα έτσι ώστε να αξιοποιούνται στο μέγιστο και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε το τροφοδοτικό μείωσης τάσεων PTN78020W με αποδοτικότητα που φτάνει το 94% (step down converter) το οποίο ρυθμίστηκε από τα 24V που είναι η ονοματική τάση των μπαταριών στα 5V και έπειτα χρησιμοποιήθηκε επιπλέον μια βαθμίδα μείωσης της τάσεως η οποία ρυθμίστηκε στα 3.3V και για να το επιτύχει χρησιμοποιεί το σταθεροποιητή τάσης LM3940 (Εικόνα 3.16). Πλέον η τάση τροφοδοσίας των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων έχει μειωθεί κατά 70% σε σύγκριση με τα παλαιότερα κυκλώματα που η τάση λειτουργίας τους ήταν στα 12V. Αυτό το ποσοστό όλο και αυξάνεται καθώς η τάση λειτουργίας πολλών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων κυμαίνεται από 5V μέχρι 3.3V ή και μικρότερης τάσεως. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνετε εξοικονόμηση ενέργειας, μικρότερο μέγεθος στα κυκλώματα και χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας. Ακόμα κατασκευάστηκε μια πλακέτα παροχής συνδέσεων 5V για την εύκολη σύνδεση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων των οποίων η τάση λειτουργίας είναι τα 5V.



Εικόνα 3.16: Τροφοδοτικό και πλακέτα πολλών παροχών 5V

3.2.14 Ενδιάμεσα κυκλώματα σύνδεσης κεντρικού επεξεργαστή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα αισθητήρια, το GPS, η IMU, η ασύρματη επικοινωνία και η κάμερα δεν είναι κατασκευασμένα από τον ίδιο κατασκευαστή και αυτό προκαλεί προβλήματα ασυμβατότητας στην απευθείας σύνδεση τους με την κεντρική μονάδα ελέγχου. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν κάποια ενδιάμεσα κυκλώματα σύνδεσης με την κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black.

Για την αποφυγή της καταστροφής των επαφών εισόδων και εξόδων της κεντρικής μονάδας ελέγχου, όταν αυτή είναι απενεργοποιημένη, κατασκευάστηκε ένα ενδιάμεσο κύκλωμα το οποίο αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC04 [23] (Εικόνα 3.17) και ένα CD74HC244 [24] (Εικόνα 3.18). Ουσιαστικά είναι ένα κύκλωμα το οποίο αν δεν ενεργοποιηθεί η κεντρική μονάδα ελέγχου αποκόπτει τη σύνδεση με αυτήν. Μόλις ενεργοποιηθεί η κεντρική μονάδα ελέγχου, το ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC04 είναι συνδεδεμένο σε μια επαφή η οποία ονομάζεται «SYS_RESET» και όταν αυτή η επαφή μετατρέπεται σε κατάσταση ενεργή (HIGH) τότε το CD74HC04 το μετατρέπει σε κατάσταση ανενεργή (LOW) και τροφοδοτεί το CD74HC244 το οποίο με την σειρά του επιτρέπει την επικοινωνία των επαφών της κεντρικής μονάδας ελέγχου με τα περιφερειακά κυκλώματα και αισθητήρια.



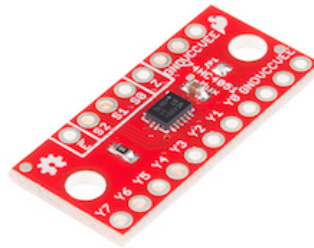
Εικόνα 3.17: Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC04



Εικόνα 3.18: Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC244

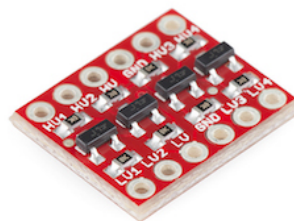
Όπως αναφέρθηκε η κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black διαθέτει αναλογική σύνδεση (A/D converter). Οι θήρες οι οποίες έχει δεν ήταν επαρκείς γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ένας πολυπλέκτης οκτώ εισόδων [25] της εταιρίας SparkFun (Εικόνα 3.19) στον οποίο μέσω τριών επαφών επιλέγεις κάθε φορά μια είσοδο επιθυμείς. Τα χαρακτηριστικά του διακρίνονται παρακάτω:

- Διακόπτει αναλογικά ή ψηφιακά σήματα
- 8 κανάλια που ελέγχονται από 3 εισόδους επιλογής
- Πλατύ εύρος τάσεως λειτουργίας: 2-10V
- Υποστήριξη διπολικής παροχής(πχ., $\pm 5V$)
- Προαιρετική είσοδος ενεργοποίησης



Εικόνα 3.19 : Πολυπλέκτης οκτώ σε ένα της SparkFun

Ακόμα ένα ενδιαμέσο κύκλωμα συμβατότητας είναι ο μετατροπέας λογικής (Logic Level Converter) (Εικόνα 3.20) [26]. Αυτός ο μετατροπέας μετατρέπει το χαμηλό σήμα της κεντρικής μονάδας ελέγχου σε πιο υψηλό έτσι ώστε να επιτυγχάνετε η επικοινωνία. Στη συγκεκριμένη ρομποτική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία του ελεγκτή και της μονάδας ελέγχου των κινητήρων Sabertooth καθώς το σήμα που έστειλε η κεντρική μονάδα ελέγχου στη Sabertooth είναι από 0 έως 3.3V ενώ αυτή μπορεί να δεχτεί σήματα από 0 έως 5V. Οπότε με τον μετατροπέα λογικής μετατράπηκε το σήμα από 3.3V σε 5V. Ο συγκεκριμένος μετατροπέας μπορεί να επιτύχει και την αντίστροφη μετατροπή.

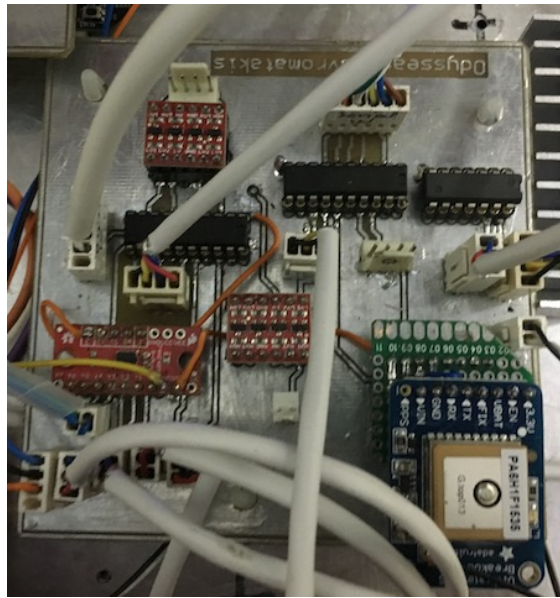


Εικόνα 3.20: Μετατροπέας λογικής (Logic Level Converter)



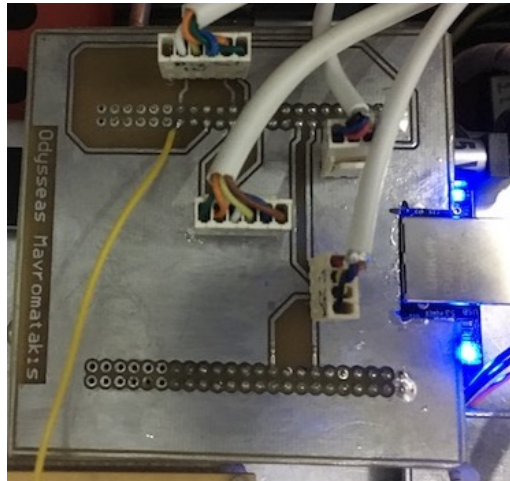
3.2.15 Σχέδια και PCB πλακετών

Για την υλοποίηση και σύνδεση των ενδιάμεσων κυκλωμάτων σύνδεσης του κεντρικού επεξεργαστή σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε πλακέτα που περιελάμβανε όλα τα ενδιάμεσα κυκλώματα με το πρόγραμμα Protel Design Explorer 99SE. Όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 3.21) σε αυτήν την πλακέτα τοποθετήθηκαν το GPS, ο πολυπλέκτης οκτώ σε ένα, οι μετατροπείς λογικής, το ολοκληρωμένο αντιστροφής λογικής CD74HC04, το ολοκληρωμένο CD74HC244 καθώς και τα βύσματα συνδέσεων με τα αισθητήρια μέτρησης απόστασης, μέτρησης της τάσης της μπαταρίας, μέτρησης του ρεύματος καταναλώσεως και τα βύσματα σύνδεσης με την κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black.

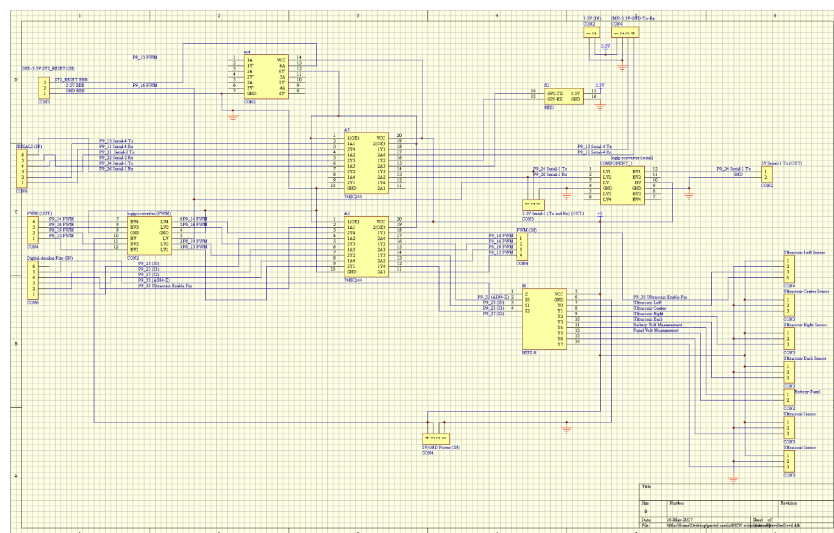


Εικόνα 3.21: Πλακέτα ενδιάμεσων κυκλωμάτων

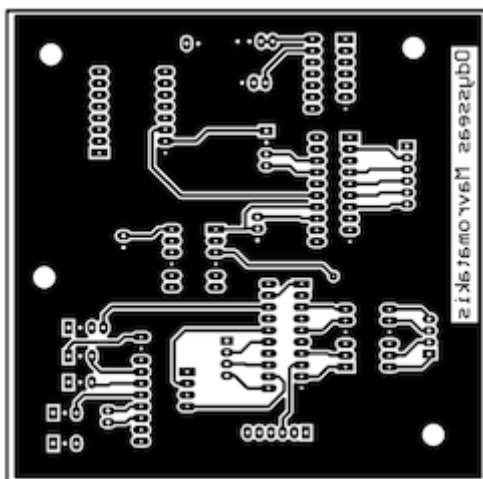
Επιπλέον σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε μια πλακέτα η οποία συνδέεται στις επαφές που διαθέτει το Beaglebone Black (Εικόνα 3.22). Η χρησιμότητα αυτής της πλακέτας είναι η ομαδοποίηση και η εύκολη σύνδεση και αποσύνδεση των επαφών του Beaglebone Black αν αυτό απαιτηθεί από την πλακέτα ενδιάμεσων κυκλωμάτων. Επειδή το Beaglebone Black διαθέτει πληθώρα επαφών, δεν χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν όλες για την υλοποίηση της ανακατασκευής του ρομποτικού οχήματος. Η μη χρησιμοποίηση όλων των επαφών του Beaglebone Black αποδεικνύει ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί επιπλέον αναβάθμιση σε ότι αφορά τα ηλεκτρονικά μέρη και τα αισθητήρια που μπορεί να χρησιμοποιήσει το ρομποτικό όχημα.



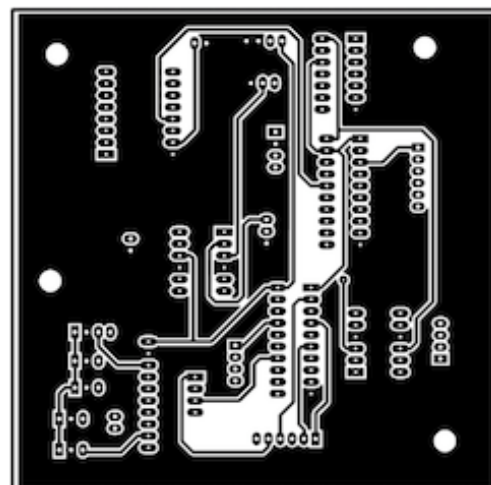
Εικόνα 3.22: Πλακέτα σύνδεσης επαφών Beaglebone Black



Εικόνα 3.23: Σχηματικό πλακέτας ενδιάμεσων κυκλωμάτων

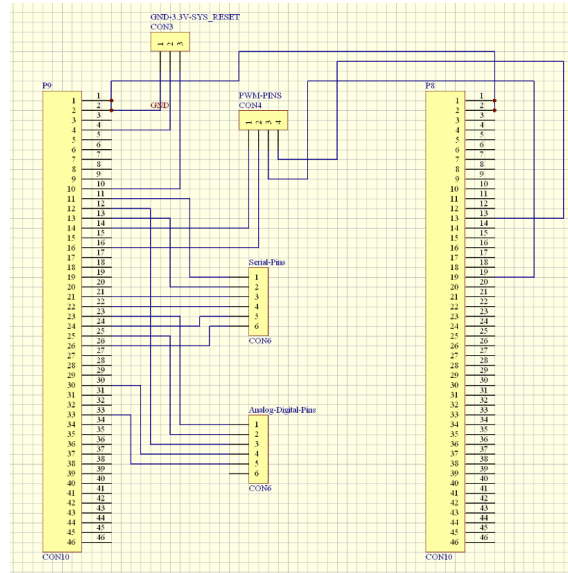


Εικόνα 3.24α

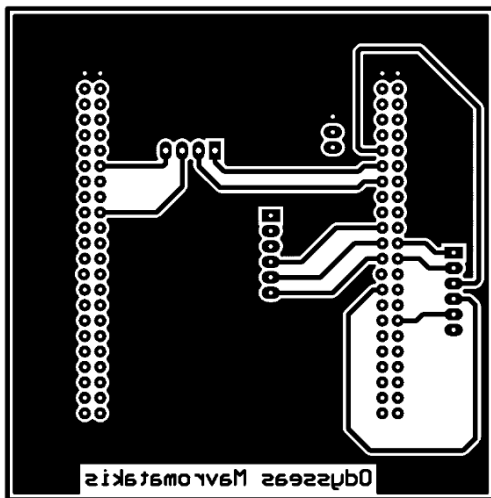


Εικόνα 3.24β

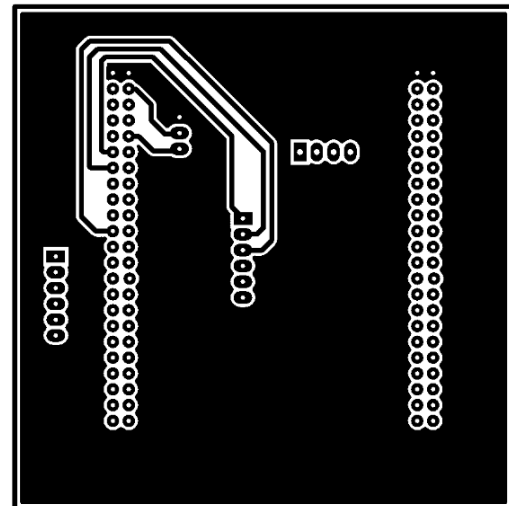
Εικόνα 3.24: α) PCB πλακέτας ενδιάμεσων κυκλωμάτων πάνω όψη, β) PCB πλακέτας ενδιάμεσων κυκλωμάτων κάτω όψη



Εικόνα 3.25: Σχηματικό πλακέτας σύνδεσης επαφών Beaglebone Black



Εικόνα 3.25α



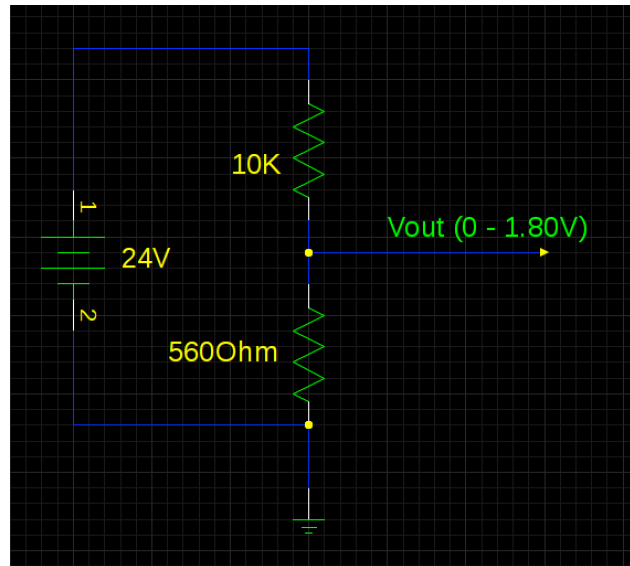
Εικόνα 3.25β

Εικόνα 3.25: α) PCB πλακέτας σύνδεσης επαφών Beaglebone Black πάνω όψη, β) PCB πλακέτας σύνδεσης επαφών Beaglebone Black κάτω όψη

3.2.16 Μέτρηση ισχύος (τάσης μπαταρίας)

Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο υπολογισμός της κατανάλωσης του ρομποτικού οχήματος. Γι' αυτό το λόγο κατασκευάστηκε όπως φαίνεται στην εικόνα 3.26 ένα κύκλωμα διαιρέτη τάσεως το οποίο υπολογίστηκε έτσι ώστε η τιμές της τάσης εξόδου να είναι ανάμεσα στα 0V και 1.80V. Η μέγιστη αναλογική τιμή τάσεως που μπορεί να λάβει η κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black για να μην τεθεί σε κίνδυνο καταστροφής είναι τα 1.80V. Βάση της παρακάτω εξίσωσης επιλέχτηκαν οι αντιστάσεις $R1=10K$ και $R2=560\Omega$.

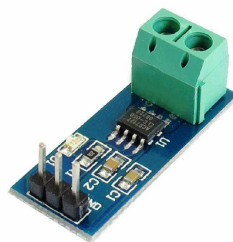
$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1 + R2}$$



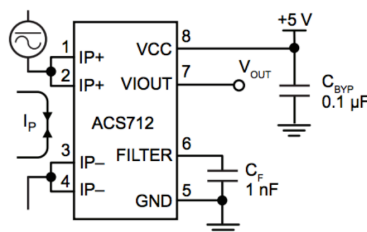
Εικόνα 3.26: Διαιρέτης τάσης

3.2.17 Πλακέτα μέτρησης ρεύματος

Για την μέτρηση της ισχύος που καταναλώνει το ρομποτικό όχημα δεν επαρκεί μόνο η γνώση της τάσεως αλλά και το ρεύμα κατανάλωσης του. Χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα μέτρησης ρεύματος (Εικόνα 3.27) η οποία χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο κύκλωμα ACS712 [27]. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα ACS712 χρησιμοποιεί την μέθοδο «Hall Effect» για την πραγματοποίηση της μέτρησης του ρεύματος. Δηλαδή το ρεύμα διοχετεύεται κοντά στις επαφές του ολοκληρωμένου όπως φαίνεται στην εικόνα 3.28 και ανάλογα του μαγνητικού πεδίου που αναπτύσσει, το ολοκληρωμένο κύκλωμα το αντιστοιχεί σε μέτρηση τάση. Η συγκεκριμένη πλακέτα μέτρησης ρεύματος είναι ικανή να μετρήσει ένταση ρεύματος μέχρι τα 30A ή τα -30A. Η τάση εξόδου όταν δεν διέρχεται ρεύμα από το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι στα 2.5V, ενώ όταν η ένταση του ρεύματος είναι θετική η τάση κυμαίνεται από 2.5V μέχρι τα 5V και αντιστρόφως όταν η ένταση του ρεύματος είναι αρνητική η τάση εξόδου κυμαίνεται από 2.5V μέχρι τα 0V. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο η κεντρική μονάδα ελέγχου δεν μπορεί να δεκτή αναλογική τάση μεγαλύτερη από 1.80V και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε ένας διαιρέτης τάσης με αντιστάσεις τιμών $R1=10K$ και $R2=10K$. Η τάση εξόδου της πλακέτας μέτρησης ρεύματος αντιστοιχεί με $66mV/A$, δηλαδή αν η έξοδος είναι $66mV$ τότε διέρχεται ρεύμα εντάσεως ενός αμπερ από την πλακέτα.



Εικόνα 3.27: Πλακέτα μέτρησης ρεύματος



Εικόνα 3.28: Ολοκληρωμένο κύκλωμα ACS712

3.3 Ανάλυση κόστους υλικών

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρέασε την υλοποίηση της ανακατασκευής του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini, εκτός από την έρευνα των κατάλληλων ηλεκτρικών εξαρτημάτων, ήταν η πραγματοποίηση οικονομικής έρευνα προτού να ξεκινήσει η υλοποίηση του όλου εγχειρήματος. Στον Πίνακα 3.1 διακρίνονται τα υλικά που είναι απαραίτητα για την επαναλειτουργία του οχήματος καθώς και μερικά υλικά, όπως τα φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία αναβαθμίζουν το όχημα σε ένα βαθμό από ότι το προηγούμενο ρομποτικό όχημα. Παρατηρείτε ότι το συνολικό κόστος που χρειάστηκε για την ανακατασκευή του ρομποτικού οχήματος δεν ξεπερνά τα 900€, αυτό σημαίνει ότι με μικρό σχετικά κόστος, επειδή χρησιμοποιήθηκαν τα μηχανικά μέρη και ο σκελετός από το παλαιό όχημα, το ρομποτικό όχημα του εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης μπορεί πλέον να ξαναχρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Πρέπει να σημειωθεί ότι, ρομποτικό όχημα με αντίστοιχες περίπου ιδιότητες στις μέρες μας, θα χρειαζόταν να δαπανηθούν πάνω από 10.000€ για την απόκτησή του.

Υλικά	Ποσότητα	Τιμή Τεμαχίου	Συνολική Τιμή
Beaglebone Black Rev C	1	80.00€	80.00€
Sabertooth 2x12A	1	95.00€	95.00€
Ηλιακά πάνελ	3	60.00€	180.00€
Φορτιστής ηλιακών πάνελ	1	25.00€	25.00€
Αισθητήρες υπερήχων LV-MaxSonar-EZ1	4	32.00€	128.00€
Συσσωρευτές 12V 7.2Ah	2	18.00€	36.00€
Usb Hub 4 θυρών	1	20.00€	20.00€
Usb ασύρματη επικοινωνία	1	17.00€	17.00€
Παγκόσμιο Σύστημα Στίγματος (GPS)	1	55.00€	55.00€
Εξωτερική κεραία GPS	1	12.00€	12.00€
Πυξίδα (IMU)	1	58.00€	58.00€
Αισθητήριο εικόνας Pixy CMUcam5	1	80.00€	80.00€
Πλακέτα μείωσης τάσεως (Step down converter)	1	60.00€	60.00€
Πλακέτες ενδιάμεσων κυκλωμάτων	1	35.00€	35.00€
Συνολική τιμή υλικών			881.00€

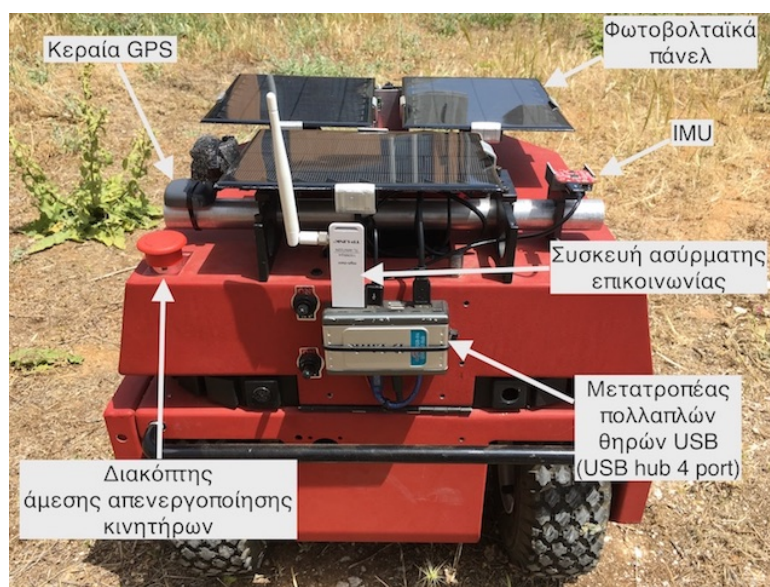
Πίνακας 3.1: Κόστος υλικών



3.4 Μελέτη τοποθέτησης ηλεκτρονικών μερών

Σημαντικός παράγοντας για την σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών συστημάτων και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν είναι η διάταξη τους τόσο στον εσωτερικό χώρο του ρομποτικού οχήματος όσο και στην εξωτερική επιφάνεια του. Αυτό σημαίνει ότι η λανθασμένη τοποθέτηση των υλικών στο χώρο μπορεί να έχει ανεπιθύμητες ιδιότητες, όπως η μη σωστή λειτουργία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων από μαγνητικά πεδία αν αυτά βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τους ηλεκτροκινητήρες, η μη σωστή κατανομή του βάρους του οχήματος μπορεί να επηρεάσει την κατανάλωση του και η σκίαση από διάφορα εξαρτήματα που μπορεί να καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος από την επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πάνελ μπορούν να προκαλέσουν επίπτωση στην απόδοσή τους.

Όπως διακρίνεται στην εικόνα 3.30 στην εξωτερική επιφάνεια του ρομποτικού οχήματος τοποθετήθηκαν τα φωτοβολταϊκά πάνελ, η κεραία του GPS, η IMU, ο διακόπτης άμεσης απενεργοποίησης των κινητήρων, ο μετατροπέας πολλαπλών θηρών USB (USB hub 4 port), η κάμερα και η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας. Η IMU, η κεραία GPS και η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας τοποθετήθηκαν στον εξωτερικό χώρο επειδή το ρομποτικό όχημα είναι κατασκευασμένο από μέταλλο το οποίο επηρεάζει τις ασύρματες επικοινωνίες, δηλαδή δημιουργείται κατά κάποιο τρόπο κλωβός Faraday, σύμφωνα με τον οποίο ένα μεταλλικό πλέγμα θωρακίζει τον χώρο από ηλεκτρικά πεδία και ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διακοπή επικοινωνίας του οχήματος τόσο με το χρήστη όσο και με τους δορυφόρους για τον καθορισμό πορείας. Τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετήθηκαν με κλίση 0° και με αυτή την τοποθέτηση τα φωτοβολταϊκά πάνελ προσφέρουν απόδοση 90% διότι το ρομποτικό όχημα λόγω της συνεχούς κίνησης που πραγματοποιεί δεν μπορεί, αν τα φωτοβολταϊκά πάνελ είχαν κάποια κλίση, να είναι στραμμένα προς την κατεύθυνση του ηλίου και η τοποθέτηση μηχανισμού παρακολούθησης του ηλίου δεν ήταν εφικτή να τοποθετηθεί λόγω των πολλών κραδασμών που έχει το όχημα καθώς κινείται. Ακόμα τοποθετήθηκε ένας διακόπτης άμεσης απενεργοποίησης των κινητήρων για λόγους ασφάλειας.

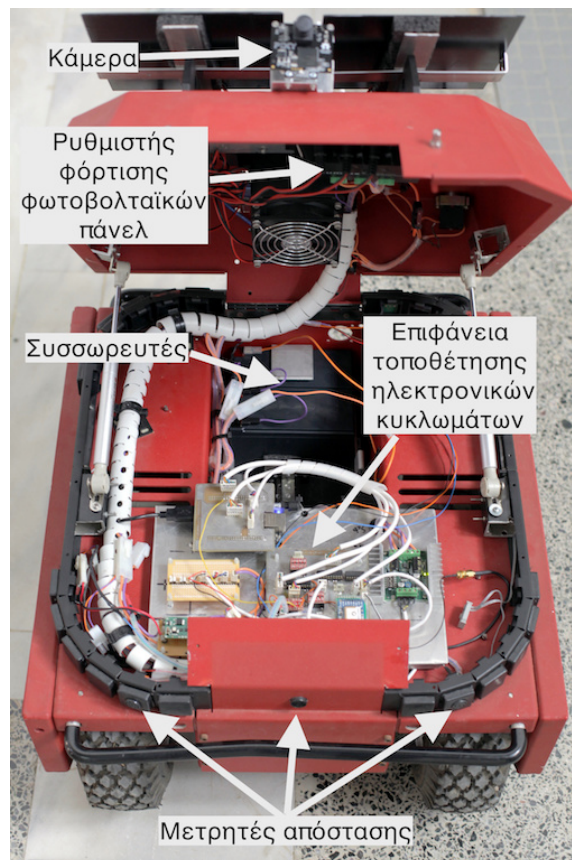


Εικόνα 3.30: Τοποθέτηση ηλεκτρονικών μερών εξωτερικά του οχήματος



Στο εσωτερικό του οχήματος κρίθηκε αποτελεσματική η τοποθέτηση των συσσωρευτών ενέργεια στο πίσω μέρος του οχήματος όπως φαίνεται στην εικόνα 3.31 και η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στο εμπρός μέρος. Η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών μερών στο εμπρός μέρος έχει ως αποτέλεσμα την εύκολη πρόσβαση του χρήστη στα κυκλώματα και καθώς βρίσκονται αρκετά μακριά από τους ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι δημιουργούν μαγνητικά πεδία προκαλώντας παρεμβολές στα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Τα ηλεκτρονικά μέρη που τοποθετήθηκαν πάνω στην επιφάνεια που κατασκευάστηκε απαρτίζονται από το τροφοδοτικό και πλακέτα πολλών παροχών 5V, 3.3V, πλακέτα κεντρικής μονάδας ελέγχου ενδιάμεσα κυκλώματα σύνδεσης κεντρικού επεξεργαστή και πλακέτα ελέγχου κινητήρα Sabertooth 2X12A. Ο ρυθμιστής φόρτισης των φωτοβολταϊκών πάνελ τοποθετήθηκε στην εσωτερική μεριά του καπακιού επειδή είναι πολύ ελαφρύς και είναι κοντά στα πάνελ διευκολύνοντας την σύνδεσή του με αυτά.

Τέλος τα τρία από τα τέσσερα αισθητήρια μέτρησης απόστασης τοποθετήθηκαν στο εμπρός μέρος του οχήματος και ένα στο πίσω μέρος. Κρίθηκε αποτελεσματική η συγκεκριμένη τοποθέτηση των αισθητηρίων μέτρησης απόστασης διότι με τρία αισθητήρια καλύπτουν την εμπρός επιφάνεια για την αποφυγή εμποδίων.



Εικόνα 3.31: Τοποθέτηση ηλεκτρονικών μερών εσωτερικά του οχήματος



Κεφάλαιο 4 – Λογισμικό και πειραματική λειτουργία

4.1 Το νέο λογισμικό σύστημα του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

Εκτός από τα υλικά μέρη που απαρτίζουν ένα ρομποτικό όχημα το λογισμικό σύστημα είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του. Το νέο λογισμικό το οποίο εγκαταστάθηκε και αντικατέστησε το υπάρχον του Beaglebone Black είναι το λογισμικό ελεύθερης ανάπτυξης Ubuntu έκδοσης 16.4. Ο κύριος λόγος που επιλέχτηκε το συγκεκριμένο λογισμικό σύστημα είναι επειδή διατίθεται χωρίς πληρωμή και διαθέτει μεγάλη υποστηρικτική βοήθεια καθώς είναι ένα από το πιο διαδεδομένα ελεύθερα λογισμικά συστήματα ρομποτικών εφαρμογών. Επιπλέον το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιείται από πολλές πλατφόρμες ανάπτυξης, όπως το Raspberry Pi, το Beaglebone Black και μπορεί να εγκατασταθεί σε όλα τα είδη ηλεκτρονικών υπολογιστών. Το πλεονέκτημά του είναι ότι είναι πολύ «ελαφρύ» επιτυγχάνοντας να είναι διαχειρίσιμο από επεξεργαστές με μικρή επεξεργαστική ισχύ αλλά και μικρής κατανάλωσης ενέργειας.

4.1.1 Λειτουργικό σύστημα ROS

Στο λογισμικό αυτό εγκαταστάθηκε και η πλατφόρμα ανάπτυξης Robot Operating System (ROS) [28]. Το λειτουργικό σύστημα ROS αποτελείται από ένα σύνολο βιβλιοθηκών και εργαλείων λογισμικού που βοηθούν το χρήστη να δημιουργήσει τις δικές του ρομποτικές εφαρμογές, καθώς ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει από απλά προγράμματα έως τους πιο σύγχρονους αλγορίθμους και περιλαμβάνει ακόμα ισχυρά εργαλεία ανάπτυξης που είναι πιθανόν να χρειάζεται ο χρήστης. Επίσης το λειτουργικό σύστημα ROS έχει την δυνατότητα χρήσης σε ρομποτικές εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανίες αλλά και από ένα μικρό παιδί το οποίο θέλει να ενταχθεί στο κόσμο της ρομποτικής είτε για να μάθει είτε για να διασκεδάσει. Ακόμα υποστηρίζει μια μεγάλη ποικιλία ρομπότ, συμπεριλαμβανομένων πλατφορμών χαμηλού κόστους, όπως το TurtleBot και το LEGO Mindstorms, το ROS είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για εκπαιδευτικούς σκοπούς μέσα στην τάξη. Οι κύριες γλώσσες προγραμματισμού που έχουν αναπτυχθεί από τους χρήστες και υποστηρίζει το λειτουργικό σύστημα ROS είναι η C++ και η python χωρίς όμως να αποκλείει τη χρήση άλλων. Τα πλεονεκτήματα που έχει το λειτουργικό σύστημα ROS είναι:

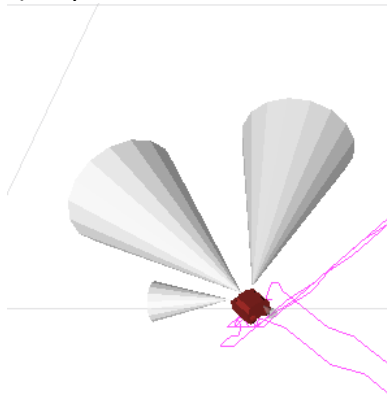
- Λειτουργικό σύστημα χωρίς πληρωμή
- Συμβατό σε μεγάλη ποικιλία ρομποτικών συστημάτων
- Μεγάλη υποστήριξη
- Χρήση τόσο σε βιομηχανικό επίπεδο όσο και σε εκπαιδευτικό
- Περιέχει χρήσιμα εργαλεία για την υλοποίηση ρομποτικών εφαρμογών
- Ο κάθε χρήστης μπορεί να μοιραστεί αλλά και να χρησιμοποιήσει βιβλιοθήκες και προγράμματα που έχουν δημιουργήσει άλλοι χρήστες

4.1.2 Εργαλείο απεικόνισης rviz

Ένα από αυτά τα εργαλεία απεικόνισης δεδομένων που διαθέτει το ROS μπορεί να θεωρηθεί και το rviz. Το rviz είναι στην πραγματικότητα ένας τριών διαστάσεων οπτικοποιητής εμφάνισης δεδομένων από τα αισθητήρια και των πληροφοριών



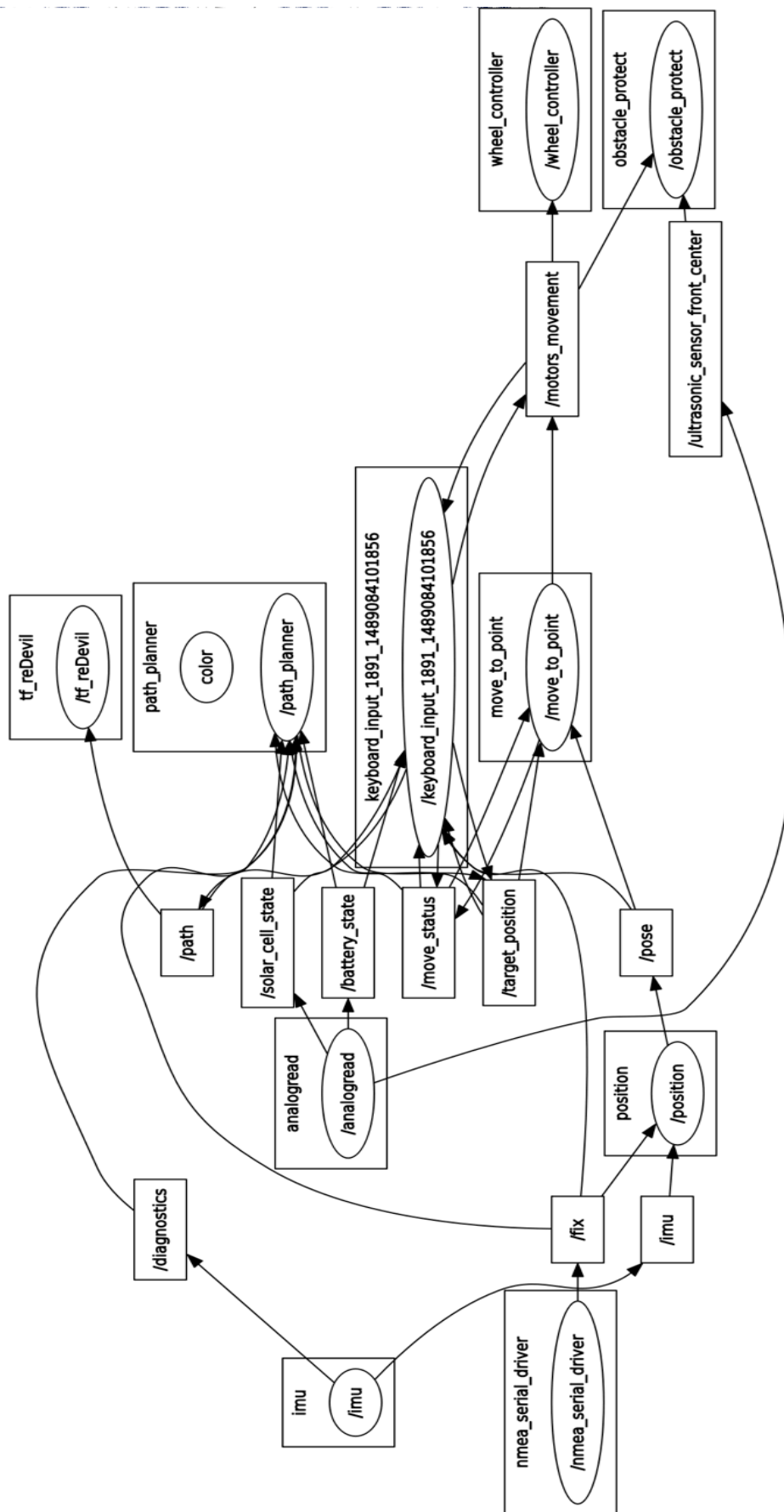
κατάστασης του ROS. Μέσω του `rviz` μπορεί να απεικονιστούν ζωντανά οι τιμές των αισθητήρων που προέρχονται από «θέματα (topics)» του ROS, όπως δεδομένα κάμερας, δεδομένα από αισθητήρια μέτρησης απόστασης, δεδομένα προσανατολισμού από την IMU και πολλά άλλα. Παραδείγματος χάρη όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1 το εργαλείο `rviz` αποτυπώνει γραφικά σε σχήμα κώνου την μέτρηση απόστασης. Ο κεντρικός κώνος και ο δεξιός μετρούν τη μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρήσει το κάθε αισθητήριο και για αυτό το λόγο φαίνονται γραφικά πολύ μεγαλύτερα σε σχέση με τον αριστερό κώνο οποίος έχει ανιχνεύσει κάποιο εμπόδιο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συρρίκνωσή του. Οι τιμές της μέτρησης απόστασης από το αντικείμενο που εντοπίζεται δεν μπορεί να αναπαρασταθούν εικονικά ταυτόχρονα μαζί με την μεταβολή του κώνου, που ανάλογα το μέγεθος του κάθε κώνου και η τιμή της απόστασης του, αλλά οι τιμές μπορούν να καταγραφούν μέσω του `rviz` ή να προβάλλονται σε ένα ξεχωριστό παράθυρο του `rviz` σε μορφή κειμένου.



Εικόνα 4.1: Γραφική απεικόνιση με το `rviz` πραγματικών δεδομένων μέτρησης απόστασης

4.1.3 Εργαλείο γραφικής απεικόνισης, παρουσίασης `rqt_graph`

Ακόμα ένα εργαλείο παρουσίασης και οπτικής καταγραφής που διαθέτει το ROS είναι το `rqt_graph`. Το `rqt_graph` όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2 είναι ένα εργαλείο το οποίο αναπαριστά γραφικά όλους τους κόμβους, δηλαδή τα προγράμματα, καθώς και τις συνδέσεις που πραγματοποιούνται μεταξύ τους. Ουσιαστικά το εργαλείο αυτό παριστά τις διαδρομές και με πιο τρόπο επικοινωνούν τα προγράμματα ακόμα και η συνάρτησης μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης μπορεί εύκολα να κατανοήσει τη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των προγραμμάτων και του δίνεται η ευκαιρία να πραγματοποιήσει αλλαγές.



Εικόνα 4.2: Γραφική αναπαράσταση των κόμβων και η σύνδεση μεταξύ τους



4.2 Πειράματα που διεξάχθηκαν για την διαπίστωση λειτουργίας του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

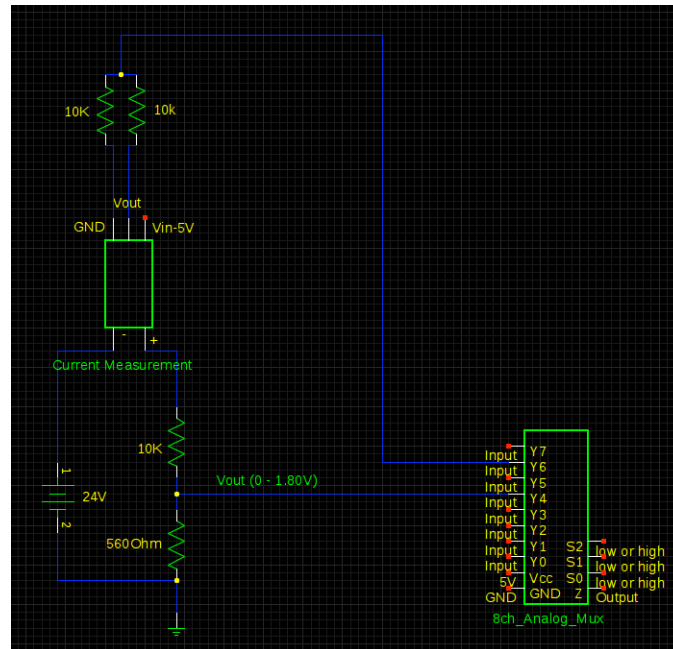
4.2.1 Μέτρηση κατανάλωσης ισχύος ρομποτικού οχήματος

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι πολύ σημαντικό ζήτημα στις μέρες μας η ισχύς που καταναλώνουν οι ηλεκτρονικές συσκευές. Με αυτήν την αφορμή πραγματοποιήθηκαν πειράματα τα οποία μας διαπιστώνουν την χαμηλή κατανάλωση του νέου ρομποτικού οχήματος σε σχέση με την κατανάλωση του παλαιότερου. Για την μέτρηση αυτή χρειάζονται δυο μετρήσεις, μια μέτρηση της τάσης του ρομποτικού οχήματος και μια μέτρηση της έντασης του ρεύματος. Αρχικά, επειδή η μέγιστη τάση των συσσωρευτών είναι στα 26.2V όταν είναι πλήρεις φορτισμένοι, αν συνδεθεί στην αναλογική επαφή της κεντρικής μονάδας ελέγχου θα επέλθει η καταστροφή, με αφορμή αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιήθηκε ένας διαιρέτης τάσης με αντιστάσεις $R1=10K$ και $R2=560\Omega$ (Εικόνα 4.3), ο οποίος υπολογίστηκε με βάση την εξίσωση (1) έτσι ώστε η τάση εξόδου του να μην ξεπερνά τη μέγιστη αναλογική τάση εισόδου της κεντρικής μονάδας ελέγχου που είναι στα 1.8V. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1 πραγματοποιήθηκαν ασφαλιστικά μέτρα έτσι ώστε αν η τάση εισόδου από τους συσσωρευτές ξεπεράσει τα 26.5V, που αυτό δεν είναι εφικτό στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η τάση εξόδου του διαιρέτη τάσης να απέχει από την μέγιστη τάση που μπορεί να δεχτεί η αναλογική επαφή της κεντρικής μονάδας ελέγχου.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R2}{R1+R2} \quad (1)$$

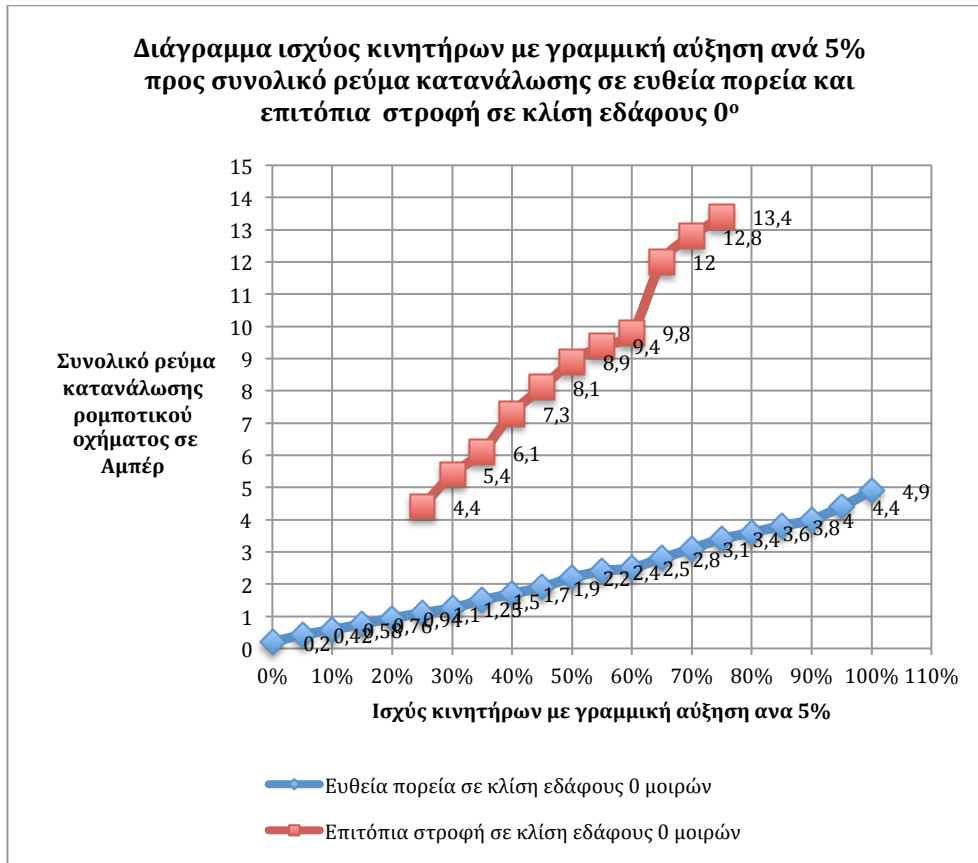
Τάση εισόδου διαιρέτη τάσης (V_{in})	Τάση εξόδου διαιρέτη τάσης (V_{out})
27.00 V	1.43 V
26.50 V	1.41 V
26.00 V	1.38 V
25.50 V	1.35 V
25.00 V	1.33 V
24.50 V	1.30 V
24.00 V	1.27 V
23.50 V	1.25 V

Πίνακας 4.1: Τάση εισόδου και τάση εξόδου διαιρέτη τάσης



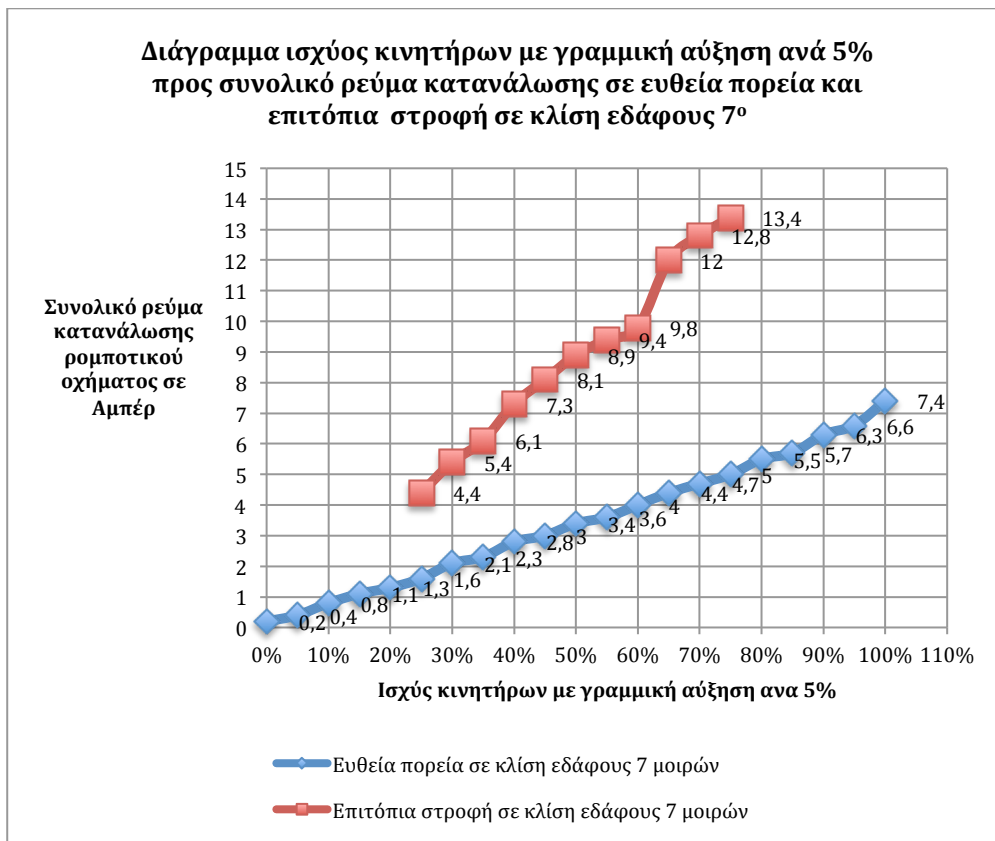
Εικόνα 4.3: Σχηματικό διαιρέτη τάσης και πλακέτας μέτρησης έντασης ρεύματος

Η μέτρηση έντασης του ρεύματος πραγματοποιήθηκε με πλήρης τα ηλεκτρονικά μέρη που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα εκτός τη σύνδεση με τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αυτό αποσκοπούσε στη μέτρηση της έντασης ρεύματος του οχήματος με τις ίδιες συνθήκες με της οποίες λειτουργούσε το παλαιό όχημα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.1 πραγματοποιήθηκαν πειράματα μέτρησης της έντασης ρεύματος του ρομποτικού οχήματος σε ευθεία πορεία και σε επιτόπια στροφή σε κλίση εδάφους 0° . Στο διάγραμμα 4.1 η ισχύς των κινητήρων αυξάνεται γραμμικά ανά 5%, το ρομποτικό όχημα αρχίζει να κινείται με χαμηλή ταχύτητα από το 20% της ισχύος των κινητήρων και η κατανάλωση ρεύματος ακολουθεί την ίδια γραμμικά αύξηση. Παρατηρείται ότι η κατανάλωση του ρομποτικού οχήματος δεν ξεπερνά τα 5A όταν οι ισχύς των κινητήρων είναι στη μέγιστη τιμή. Σε αντίθεση με την επιτόπια στροφή που πραγματοποιεί το ρομποτικό όχημα διαπιστώνεται ότι μετά το 25% της ισχύος των κινητήρων αρχίζει να στρίβει, το ρεύμα κατανάλωσης αυξάνεται ραγδαία προσεγγίζοντας τα 4.5A και στο 75% της ισχύος των κινητήρων το ρεύμα κατανάλωσης προσεγγίζει τα 14A που είναι ένα τεράστιο ποσό ρεύματος που δαπανάτε και καθιστά απαγορευτική τη χρήση των συγκεκριμένων συσσωρευτών για μεγάλη χρονική περίοδο. Γι' αυτό το λόγο η ισχύς των κινητήρων για επιτόπια στροφή που χρησιμοποιήθηκε στα επόμενα πειράματα δεν ξεπερνά το 50% της ισχύος τους.



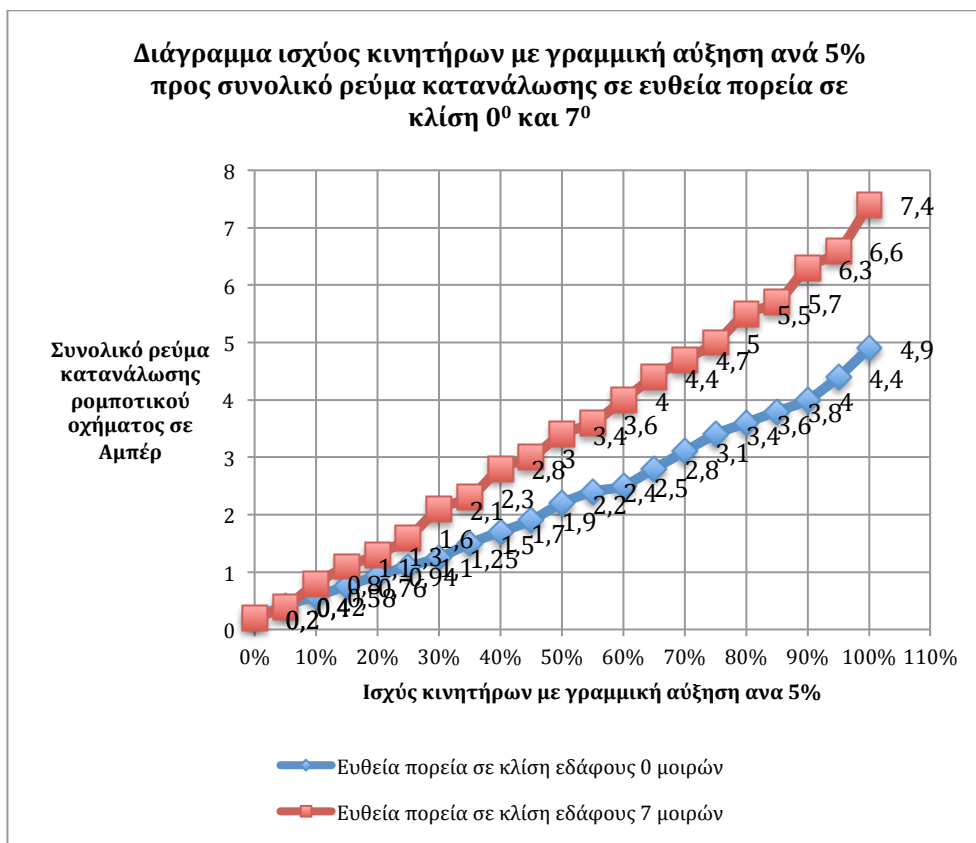
Διάγραμμα 4.1: Ισχύς και κατανάλωση ρεύματος κινητήρων προς ρεύμα κατανάλωσης σε ευθεία πορεία και επιτόπια στροφή σε κλίση εδάφους 0°

Το ίδιο πείραμα πραγματοποιήθηκε με τη διαφορά ότι πραγματοποιήθηκε σε κλίση εδάφους 7°. Στο διάγραμμα 4.2 φαίνεται ότι οι τιμές του ρεύματος είναι αυξημένες σε σχέση με την χρήση του οχήματος σε κλίση εδάφους 0° και αυτό συνεπάγεται με ότι απαιτείται περισσότερη ενέργεια για να ανέβει μια ανηφόρα το ρομποτικό όχημα. Αυτό αποδεικνύει ότι η κλίση και οι συνθήκες του εδάφους παίζουν καθοριστικό ρόλο για την αυτονομία χρήσης του ρομποτικού οχήματος. Η κατανάλωση ισχύος της επιτόπια περιστροφή του οχήματος δεν επηρεάστηκε από την αλλαγή κλίσης εδάφους.



Διάγραμμα 4.2: Ισχύς και κατανάλωση ρεύματος κινητήρων προς ρεύμα κατανάλωσης σε ευθεία πορεία και επιτόπια στροφή σε κλίση εδάφους 7°

Στο διάγραμμα 4.3 συγκρίνεται η κατανάλωση ισχύος σε ευθεία πορεία σε κλίση εδάφους 0° και 7°. Παρατηρείτε ότι μέχρι το 25% της ισχύος των κινητήρων το ρεύμα κατανάλωσης της κλίσης εδάφους 7° είναι αμυδρά αυξημένο από την κλίση εδάφους 0° αλλά μετά το 25% της ισχύος των κινητήρων αρχίζει να αυξάνεται το ρεύμα κατανάλωσης περίπου μιάμιση φορά από το ρεύμα κατανάλωσης της κλίσης εδάφους 0°.



Διάγραμμα 4.3: Σύγκριση κατανάλωσης ρεύματος σε ευθεία πορεία σε κλίση εδάφους 0° και 7°

4.2.2 Μέτρηση ακρίβειας και λειτουργίας αισθητήριων μέτρησης απόστασης

Όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο για την μέτρηση απόστασης χρησιμοποιήθηκαν 4 αισθητήρια LV-MaxSonar-EZ1 αντί 24 που διέθετε το ρομποτικό όχημα ATRV-mini. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιήθηκαν μόνο 4 αισθητήρια είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας και αυτό συνεπάγεται ότι με λιγότερα αισθητήρια αλλά καλύτερης ακρίβειας μπορούσε να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή λειτουργία του ρομποτικού οχήματος. Η ακρίβεια που μπορεί να έχει το κάθε αισθητήριο που αναφέρει ο κατασκευαστής είναι της τάξεως της 1inch ή του 2.54cm. Στον Πίνακα 4.2 φαίνονται στην πρώτη στήλη οι πραγματικές τιμές όπως μετρήθηκαν με μέτρο ακριβείας και στη δεύτερη στήλη η τιμές έτσι όπως μετρήθηκαν από τα αισθητήρια (Εικόνα 4.4).

Απόσταση πραγματικών συνθηκών σε μέτρα (m)	Απόσταση μετρούμενη τιμών από το αισθητήριο LV-MaxSonar-EZ1 σε μέτρα (m)
0.50 m	0.48 m
1.00 m	0.97 m
1.50 m	1.47 m
2.00 m	1.98 m
2.50 m	2.50 m
3.00 m	2.96 m

Πίνακας 4.2: Απόσταση πραγματικών τιμών και απόσταση μετρούμενων τιμών



Όπως είναι λογικό σε σχέση πάντα με την ακρίβεια που δίνει ο κατασκευαστής διαπιστώθηκε ότι τα αισθητήρια έχουν απόκλιση από 0 έως 4cm που είναι αποδεκτό για την λειτουργία που χρησιμοποιούνται. Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε είναι η εξής:

$$Distance = \left(\frac{analog\ read * 1.81 * 512}{4.92} \right) * 0.0254$$

Τα αισθητήρια όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο συνδέθηκαν σε ένα πολυπλέκτη οκτώ σε ένα και έπειτα στη κεντρική μονάδα ελέγχου Beaglebone Black. Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε δινόταν από τον κατασκευαστή των αισθητηρίων. Η ανάλυση της συνάρτησης είναι: η τιμή analog read είναι η τάση εξόδου του αισθητηρίου αλλά επειδή είναι μια πολύ μικρή τιμή θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με το 1.81 του είναι η τάση αναφοράς της αναλογικής εισόδου του Beaglebone Black και έπειτα να πολλαπλασιαστεί με το 512 για να πραγματοποιηθεί σε ψηφιακή μορφή και όλα μαζί να διαιρεθούν με την τάση τροφοδοσία των αισθητηρίων που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι τα 4.92V. Το αποτέλεσμα που βγαίνει είναι η απόσταση που μετράνε τα αισθητήρια, όμως αυτό το αποτέλεσμα μετριέται σε ίντσες οπότε τελικά το αποτέλεσμα θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 2.54 για να μετριέται η απόσταση σε εκατοστά.



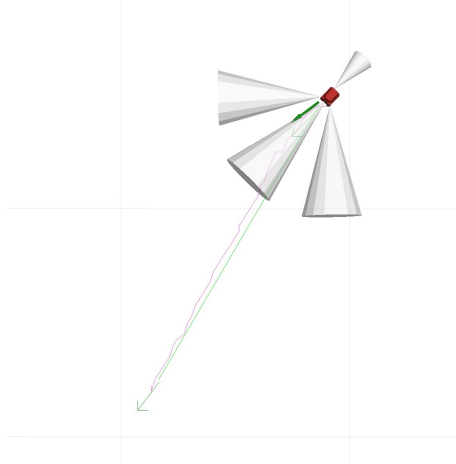
Εικόνα 4.4: Μέτρηση της απόστασης με το κεντρικό αισθητήριο μέτρησης απόστασης

4.2.3 Μετακίνηση μέσω στίγματος GPS από σημείο σε σημείο

Ακόμα ένα πείραμα πραγματοποιήθηκε για την απόδειξη λειτουργίας μετακίνησης του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini από σημείο σε σημείο με τη χρήση GPS και IMU. Για την πλοήγηση του ρομποτικού οχήματος είναι απαραίτητη η χρήση του GPS και της IMU. Το GPS εξάγει τις συντεταγμένες, τη δέση που βρίσκεται το ρομποτικό όχημα και ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες του σημείου που επιθυμεί να προχωρήσει το όχημα, αλλά το GPS δεν του προσδιορίζει τον τρόπο που θα προσεγγίσει το σημείο. Δηλαδή με πια γωνία θα προσεγγίσει το σημείο, παραδείγματος χάρη θα κάνει ημικυκλική πορεία για να το προσεγγίσει ή θα εκτελέσει μια ευθεία γραμμή. Αυτό το καθορίζει η IMU η οποία διαθέτει πυξίδα και μαγνητόμετρο έτσι ώστε το ρομποτικό όχημα να έχει ως σημείο αναφοράς το βορά. Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε επιλέχτηκε η προσέγγιση του σημείου σε ευθεία γραμμή. Στην εικόνα 4.5 διακρίνεται με πράσινο χρώμα η πορεία που



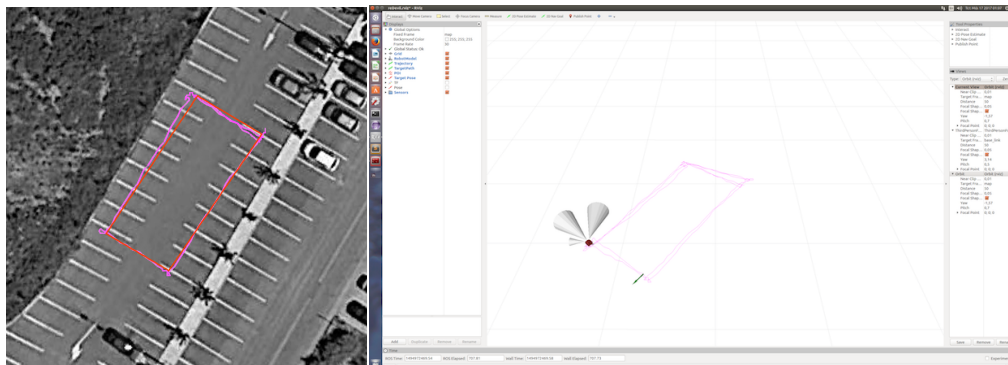
πρέπει να υλοποιήσει το ρομποτικό όχημα και με μοβ χρώμα φαίνεται η πορεία που πραγματοποίησε το ρομποτικό όχημα. Η δύο γραμμές μεταξύ τους δεν ταυτίζονται και αυτό οφείλεται στην ακρίβεια που διαθέτει το GPS που επιλέχτηκε. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο το GPS έχει απόκλιση από την πραγματική θέση του οχήματος μόλις τα 3 μέτρα αν και από ότι φαίνεται στην εικόνα 4.5 είναι μικρότερη από τα 3 μέτρα.



Εικόνα 4.5: Πορεία από σημείο σε σημείο με χρήση GPS

4.2.3 Δημιουργία ορθογωνικής πορείας μέσω στιγμάτων από το GPS

Επιπλέον ένα πείραμα πορείας μέσω στίγματος με χρήση GPS πραγματοποιήθηκε. Το συγκεκριμένο πείραμα έχει σκοπό την δοκιμή του κώδικα που υλοποιήθηκε να δέχεται πολλαπλά σημεία θέσης και το ρομποτικό όχημα να τα επισκέπτεται διαδοχικά. Για την υλοποίηση επιλέχτηκε το ρομποτικό όχημα να πραγματοποιήσει μια ορθογωνική πορεία βασισμένη σε τέσσερα σημεία GPS (Εικόνα 4.6). Η υλοποίηση πραγματοποιήθηκε σε εξωτερικό χώρο σε τερέν με ασφάλτο. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6 με κόκκινη γραμμή διακρίνεται η διαδρομή που έπρεπε να πραγματοποιήσει το ρομποτικό όχημα και με ροζ γραμμή είναι η τελική διαδρομή που τελικά πραγματοποιήθηκε. Παρατηρείτε ότι η απόκλιση που φαίνεται είναι εντός των ορίων σφαλμάτων που τυχών έχει τόσο το GPS όσο και η IMU. Για την χρησιμότητα του ρομποτικού οχήματος μπορεί να θεωρηθεί ότι ανταποκρίνεται πλήρως στις απαιτήσεις για τις οποίες υλοποιήθηκε η ανακατασκευή του.



Εικόνα 4.6: Δημιουργία ορθογωνικής πορείας με την χρήση GPS



4.2.4 Δοκιμή του αισθητηρίου εικόνας (κάμερα Pixy CMUcam5)

Ένα ακόμα πείραμα που πραγματοποιήθηκε με το ρομποτικό όχημα ATRV-mini είναι η δοκιμή του αισθητηρίου εικόνας (κάμερα Pixy CMUcam5). Η συγκεκριμένη κάμερα όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο μπορεί να εντοπίζει ταυτόχρονα μέχρι και επτά αντικείμενα με διαφορετικό χρώμα. Για το πείραμα η κάμερα προγραμματίστηκε να αναγνωρίζει το ορθογώνιο φωσφορίζε πράσινο αντικείμενο όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7. Επιλέχτηκε αυτό το ιδιαίτερο χρώμα διότι είναι δύσκολο να υπάρχει στο εξωτερικό περιβάλλον και δεν υπάρχει η πιθανότητα να σύγχυση της κάμερα. Η κάμερα συνδυάστηκε με τους δύο κινητήρες για την υλοποίηση του πειράματος. Το πείραμα περιλαμβάνει τον εντοπισμού του αντικειμένου και παρακολούθησής του στο χώρο. Αυτό συνεπάγεται ότι το ρομποτικό όχημα έχει προγραμματιστεί να ακολουθεί το αντικείμενο σε μια απόσταση που του έχει οριστεί από το χρήστη η οποία μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τις ανάγκες τις εκάστοτε εφαρμογής που πρέπει να πραγματοποιηθεί. Το ρομποτικό όχημα έχει προγραμματιστεί να στρέφεται επιτόπου αν το αντικείμενο στρέφεται είτε αριστερά είτε δεξιά αλλά και αν το αντικείμενο απομακρύνεται και στρέφεται ταυτόχρονα το ρομποτικό όχημα μπορεί να το ακολουθήσει. Αν το αντικείμενο προσεγγίσει το ρομποτικό όχημα σε κοντινή απόσταση πραγματοποιείται η παραπάνω διαδικασία μόνο που το όχημα αντί να κινείται προς τα εμπρός, κινείται προς τα πίσω. Για την απόδειξη σωστής λειτουργίας έχει πραγματοποιηθεί βιντεοσκόπηση του πειράματος [29].



Εικόνα 4.7: Δοκιμή κάμερας Pixy CMUcam5



Κεφάλαιο 5 – Σκοπός της εργασίας

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η επίτευξη της επαναλειτουργίας του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini τόσο σε υλικό (hardware) όσο και σε λογισμικό (software) επίπεδο. Ο κύριος στόχος είναι να μελετηθεί με βάση τα νέα ηλεκτρονικά και το λογισμικό σύστημα που εγκαταστάθηκαν η αυτόματη συμπεριφορά του σε εξωτερικούς χώρους με σύνθεση των πληροφοριών που θα αντλεί από τους αισθητήρες (GPS, IMU, κάμερα, αισθητήρια μέτρησης απόστασης).

Στο πρώτο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται μια ανασκόπηση για τα μέρη που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα ATRV-mini και το λογισμικό σύστημα που διαθέτει. Έπειτα διαπιστώνεται το πρόβλημα που υπάρχει κυρίως για την παλαιότητα και ασυμβατότητα του λογισμικού συστήματος αλλά και την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας του, που στις μέρες μας είναι ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που απασχολεί όλες τις κοινωνίες του κόσμου. Πραγματοποιήθηκε έρευνα για την εύρεση κατάλληλων υλικών και λογισμικού συστήματος για την επαναλειτουργία του οχήματος με όσο το δυνατόν κοντινά, ίδια ή και πιο εξελιγμένα χαρακτηριστικά από αυτά που διέθετε. Αυτό συνεπάγεται στην εξέλιξη του ρομποτικού οχήματος ικανό να κινηθεί αυτόνομα έχοντας ως πλεονέκτημα την αυξημένη υπολογιστική ισχύς, την μειωμένη κατανάλωση ισχύος των ηλεκτρονικών μερών του αλλά και το μειωμένο βάρος του κατά εφτά κιλά. Σχετικά με την διάρκεια ζωής της μπαταρίας του, το ρομποτικό όχημα χωρίς να κινηθεί μπορεί να είναι λειτουργικό από 15 έως 20 ώρες. Αν όμως απαιτηθεί η λειτουργία του σε εξωτερικό χώρο τότε η αυτονομία της μπαταρίας του θα κυμανθεί από 2 έως 4 ώρες συνεχόμενης κίνησης ανάλογα το τερέν που θα πρέπει να κινηθεί.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται η πειραματική διαδικασία του ρομποτικού οχήματος. Με τη διαδικασία αυτή ελέγχονται, δοκιμάζονται όλα τα νέα ηλεκτρονικά κυκλώματα και το λογισμικό σύστημα για να διαπιστωθεί η σωστή λειτουργία του ρομποτικού οχήματος. Τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν δοκιμάζουν τη λειτουργία της κάμερας μαζί με τους κινητήρες, τα αισθητήρια μέτρησης απόστασης με τους κινητήρες, το συνδυασμό IMU με GPS και κινητήρων καθώς και η ασύρματη επικοινωνία με τον χρήστη.

Ολοκληρώνοντας την ανακατασκευή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini, καταλήγουμε ότι το ρομποτικό όχημα έχει ανανεωθεί πλήρως και καθιστά ικανό να λειτουργήσει με τις προδιαγραφές που ήταν σχεδιασμένο από την εταιρία κατασκευής του πριν από 16 περίπου χρόνια. Το όχημα ανακατασκευάστηκε για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς κυρίως σκοπούς του Εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης στο οποίο μπορούν να πραγματοποιηθούν μελλοντικές επεκτάσεις. Μπορεί να τοποθετηθεί λείζερ τριών διαστάσεων με το οποίο μπορεί να χαρτογραφεί το χώρο στο οποίο βρίσκεται το ρομποτικό όχημα έτσι ώστε να υπάρχει η πλήρης επίγνωση των συνθηκών που επικρατούν στο περιβάλλον που κινείται το όχημα. Ακόμα μπορεί να προγραμματιστεί εφαρμογή για κινητό τηλέφωνο με την οποία θα μπορεί ο χρήστης να λαμβάνει χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του ρομποτικού οχήματος, αν δηλαδή κινείται, αν φορτίζει, αν έχει προγραμματιστεί για κάποια διαδρομή που πρέπει να πραγματοποιήσει, αν τα



Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης - Πολυτεχνείο Κρήτης

φωτοβολταϊκά πάνελ που διαθέτει παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και το επίπεδο στάθμης μπαταρίας και πολλά άλλα.



Κεφάλαιο 6 - Βιβλιογραφία

- [1] (Ηλεκτρονική πηγή) Seekur, from Omron Adept MobileRobots, διαθέσιμο: <http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/Seekur.aspx>
- [2] (Ηλεκτρονική πηγή) Pioneer 3-AT, from Omron Adept MobileRobots, διαθέσιμο: <http://www.mobilerobots.com/ResearchRobots/P3AT.aspx>
- [3] (Ηλεκτρονική πηγή) U-Go Robot, from Department of Engineering Electrical and Electronics Systems (DIEES), διαθέσιμο: http://www.robotic.diees.unict.it/robots/u_go/u_go.htm
- [4] (Ηλεκτρονική πηγή) ARTOR, from Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ), διαθέσιμο: http://www.armyrecognition.com/september_2012_new_army_military_defence_industry/ruag_presents_artor_and_vehicle_robotic_kit_unmanned_vehicles_at_m-elrob_event_2709121.htm
- [5] (Ηλεκτρονική πηγή) Summit XL, from Robotnik, διαθέσιμο: <http://www.robotnik.eu/mobile-robots/summit-xl>
- [6] (Ηλεκτρονική πηγή) Χαρακτηριστικά ρομποτικού οχήματος ATRV-mini, Εργαστήριο Ευφύων Συστημάτων & Ρομποτικής, Πολυτεχνείο Κρήτης, διαθέσιμο: http://www.robolab.tuc.gr/GRPAGES/GR_EQUIPMENT/GR_ATRV.htm
- [7] Σχεδιασμός και προσδιορισμός λειτουργικών τμημάτων ρομποτικού οχήματος εξωτερικού χώρου, Διπλωματική εργασία Ευαγγελίας Μεριστούδης, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [8] Experimental comparison of skid steering vs. explicit steering for wheeled mobile robot, Shamah B. (1999), The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, M.Sc. Thesis, Pittsburgh Pennsylvania.
- [9] Σύνθετη πληροφοριών αισθητήρων για την ασφαλή πλοήγηση έντροχου ρομποτικού οχήματος, Μεταπτυχιακή εργασία Αθανάσιου Τσαλατσάνη, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- [10] Fuzzy Logic Based Autonomous Skid Steering Vehicle Navigation, L. Doitsidis, K. P. Valavanis, N. C. Tsourveloudis Technical University of Crete
- [11] (Ηλεκτρονική πηγή) Beaglebone Black Rev C, from www.beagleboard.org, διαθέσιμο: <https://beagleboard.org/black>



- [12] (Ηλεκτρονική πηγή) *Ultrasonic Range Finder*, from www.sparkfun.com, διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/639>
- [13] (Ηλεκτρονική πηγή) *Sparkfun 9DoF Razor M0*, from www.sparkfun.com, διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/14001>
- [14] (Ηλεκτρονική πηγή) *Adafruit Ultimate GPS Breakout - 66 channel w/10 Hz updates*, from www.adafruit.com, διαθέσιμο: <https://www.adafruit.com/product/746>
- [15] (Ηλεκτρονική πηγή) *GPS Antenna - External Active Antenna - 3-5V 28dB 5 Meter SMA*, from www.adafruit.com, διαθέσιμο: <https://www.adafruit.com/product/960>
- [16] (Ηλεκτρονική πηγή) *Interface Cable SMA Female to U.FL - 20cm*, from www.grobotronics.com, διαθέσιμο: <https://grobotronics.com/interface-cable-sma-to-u.fl-20cm.html>
- [17] (Ηλεκτρονική πηγή) *Ηλιακά πάνελ*, from www.sparkfun.com, διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/retired/9241>
- [18] (Ηλεκτρονική πηγή) *Ρυθμιστής Φόρτισης Lumiax 10A - 12/24V*, from www.solarcooking.com, διαθέσιμο: <http://www.solarcooking.com/rythmistes-fortishs/lumiax-rythmistes/lumiax-shine-rythmisths-fortishs-10a>
- [19] (Ηλεκτρονική πηγή) *Sabertooth dual 12A motor driver*, from www.dimensionengineering.com, διαθέσιμο: <https://www.dimensionengineering.com/products/sabertooth2x12>
- [20] (Ηλεκτρονική πηγή) *150Mbps Ασύρματο USB Adapter*, from Tp-Link, διαθέσιμο: http://www.tp-link.gr/products/details/cat-11_TL-WN722N.html
- [21] (Ηλεκτρονική πηγή) *Pixy CMUcam5 Image Sensor*, from www.robotshop.com, διαθέσιμο: <http://www.robotshop.com/en/pixy-cmucam5-image-sensor.html>
- [22] (Ηλεκτρονική πηγή) *D-Link 4-Port.*, from www.mgmanager.gr, διαθέσιμο: <https://www.mgmanager.gr/usb-hubs/1205-d-link-dub-h4-usb-20-4-port.html>
- [23] (Ηλεκτρονική πηγή) *Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC04*, from www.ti.com, διαθέσιμο: <http://www.ti.com/product/CD74HC04>
- [24] (Ηλεκτρονική πηγή) *Ολοκληρωμένο κύκλωμα CD74HC244*, from www.ti.com, διαθέσιμο: <http://www.ti.com/product/cd74hc244?keyMatch=CD74HC244&tisearch=Search-EN-Everything>
- [25] (Ηλεκτρονική πηγή) *SparkFun Multiplexer Breakout - 8 Channel*, from www.sparkfun.com, διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/13906>



- [26] (Ηλεκτρονική πηγή) *SparkFun Logic Level Converter*, from www.sparkfun.com, διαθέσιμο: <https://www.sparkfun.com/products/12009>
- [27] (Ηλεκτρονική πηγή) *30A Range Current Sensor Module ACS712*, from www.ebay.com, διαθέσιμο: <http://www.ebay.com/itm/5A-20A-30A-ACS712-Range-Angebot-Current-Stromsensor-Sensor-Module-For-Arduino-/142133145394?var=&hash=item2117cbaf32>
- [28] (Ηλεκτρονική πηγή) *Robot Operating System (ROS)*, from www.ros.org, διαθέσιμο: <http://wiki.ros.org/>
- [29] (Ηλεκτρονική πηγή) *ATRV-mini with Beaglebone Black, ROS and Pixy CMUcam follows object and visualizing in Rviz*, Ntegiannakis Theodosios, from www.youtube.com, διαθέσιμο: <https://www.youtube.com/watch?v=mKo34wQ2vJg&t=36s>
- [30] (Ηλεκτρονική πηγή) *ATRV-mini with Beaglebone Black and ROS follows path and visualizing in Rviz*, Ntegiannakis Theodosios, from www.youtube.com, διαθέσιμο: <https://www.youtube.com/watch?v=Pm8886Gxl7c&t=322s>



Παράρτημα

Βίντεο από την πειραματική διαδικασία

Η ανακατασκευή ενός ρομποτικού οχήματος εκτός από την υλοποίηση της κατασκευής και του προγραμματισμού των ηλεκτρονικών, απαρτίζεται και από την πειραματική διαδικασία. Για την απόδειξη λειτουργίας του ανακατασκευασμένου ρομποτικού οχήματος ATRV-mini πραγματοποιήθηκαν πειράματα τα οποία αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παραθέτω την βιντεοσκόπηση των πειραμάτων τα οποία έχουν ανέβει στο διαδίκτυο και αποδεικνύουν την λειτουργία του οχήματος:

1. <https://www.youtube.com/watch?v=Pm8886Gxl7c&t=322s> [30]
2. <https://www.youtube.com/watch?v=mKo34wQ2vJg&t=87s> [29]