



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα: Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης

Πλοήγηση ρομποτικού οχήματος με χρήση οπτικών πληροφοριών



*Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης*

Υπό

Νικόλαο Φ. Μιχαηλίδη

ΧΑΝΙΑ, Οκτώβριος 2007

**© Copyright υπό Μιχαηλίδη Φ. Νικόλαο
Έτος 2007**

Η διατριβή του ΜΙΧΑΗΛΙΔΗ Φ. ΝΙΚΟΛΑΟΥ εγκρίνεται:

Τσουρβελούδης Νικόλαος

(Αναπληρωτής Καθηγητής – Επιβλέπων)

Κουϊκόγλου Βασίλειος

(Καθηγητής)

Νικολός Ιωάννης

(Λέκτορας)

Περιεχόμενα

| | |
|--|------------|
| Περιεχόμενα..... | iv |
| Ευρετήριο Εικόνων..... | vii |
| Ευχαριστίες..... | xi |
| Σύντομο Βιογραφικό..... | xii |
| Περίληψη Εργασίας..... | 1 |
| 1. Εισαγωγή | 2 |
| 1.1 Κίνητρο | 2 |
| 1.2 Διατύπωση του Προβλήματος | 2 |
| 1.3 Επιστημονική Μεθοδολογία | 3 |
| 1.4 Περίληψη Αποτελεσμάτων | 3 |
| 1.5 Δομή Εργασίας | 3 |
| 2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση | 5 |
| 3. Περιγραφή του Οχήματος ΑΛΕ II | 10 |
| 3.1 Εισαγωγή | 10 |
| 3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά..... | 11 |
| 3.3 Σύστημα Κατεύθυνσης [12, 14]..... | 11 |
| 3.4 Μικροελεγκτής OOPic-R..... | 12 |
| 3.5 Ασύρματη Επικοινωνία [12, 14]..... | 13 |
| 3.6 Αισθητήρες Υπερύθρων [12, 14]..... | 14 |
| 3.7 Οπτικό Σύστημα [7]..... | 15 |
| 3.8 Λοιποί Αισθητήρες [14]..... | 16 |
| 4. Μεθοδολογία Αυτόνομης Πλοήγησης..... | 17 |
| 4.1 Εισαγωγή | 17 |
| 4.2 Δομικό Διάγραμμα..... | 17 |
| 4.3 Η Σειριακή Θύρα | 18 |
| 4.4 Η Έννοια του Αντικειμένου στον OOPic-R | 19 |
| 4.5 Αντικείμενα που Χρησιμοποιούνται [16] | 20 |
| 4.5.1 Κινητήρες - oDCMOTOR2 | 21 |
| 4.5.2. Αισθητήρες Υπερύθρων - oIRRANGE | 21 |
| 4.5.3 Σειριακή Θύρα - oSERIALPORT..... | 22 |
| 4.5.4. oBYTE | 22 |
| 4.5.5 oBUFFER | 22 |
| 4.5.6 Καθυστέρηση Συστήματος | 23 |
| 4.6 Περιγραφή Αλγορίθμου Πλοήγησης | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 4.6.1 Γενικά..... | 23 |
| 4.6.2 Σχεδίαση του Ελεγκτή Πλοήγησης..... | 24 |
| 4.6.3 Περιγραφή του Κώδικα | 27 |
| 4.6.4 Περιγραφή Συναρτήσεων του Αλγορίθμου | 29 |
| 4.7 Περιορισμοί του Αλγορίθμου | 32 |
| 5. Μεθοδολογία με Χρήση Ενδιάμεσου Υπολογιστή Βάσης..... | 33 |
| 5.1 Εισαγωγή | 33 |
| 5.2 Δομικό Διάγραμμα..... | 33 |
| 5.3 Ανάπτυξη Περιβάλλοντος Αλληλεπίδρασης | 34 |
| 5.3.1 Λογισμικό Σχεδίασης Γραφικού Περιβάλλοντος [13]..... | 34 |
| 5.3.2 Βασικό Παράθυρο..... | 35 |
| 5.3.3 Γραφικά Στοιχεία Ελέγχου | 36 |
| 5.3.4 Γραμμή Εργαλείων | 37 |
| 5.3.5 Εμφάνιση στιγμιότυπου | 40 |
| 5.3.6 Επιλογή χρώματος εικονοστοιχείου | 40 |
| 5.3.7 Ορισμός χρωματικών παραμέτρων..... | 41 |
| 5.3.8 Μετρητές τάσεων..... | 41 |
| 5.3.9 Λήψη και Αποθήκευση Στιγμιότυπου και Τερματισμός | 42 |
| 5.3.10 Επιλογές Ανίχνευσης | 42 |
| 5.3.11 Έναρξη και Τερματισμός Ανίχνευσης | 43 |
| 5.3.12 Προειδοποιητικά Μηνύματα..... | 43 |
| 5.4 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας | 44 |
| 5.4.1 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας του OOPic-R..... | 45 |
| 5.4.2 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας της CMUcam2 | 48 |
| 5.5 Προγραμματισμός Γραφικού Περιβάλλοντος | 49 |
| 5.5.1 Βασικό παράθυρο | 49 |
| 5.5.2 Λήψη στιγμιότυπου..... | 50 |
| 5.5.2.1 Ψηφιοποίηση Εικόνας [10, 24] | 50 |
| 5.5.2.2 Χρωματικοί Χώροι [10, 24]..... | 51 |
| 5.5.2.2.1 Χρωματικός Χώρος RGB | 52 |
| 5.5.2.2.2 Χρωματικός Χώρος YCbCr | 52 |
| 5.5.2.3 Εντολή ‘SF’ | 53 |
| 5.5.2.4 Αλγόριθμος Λήψη Στιγμιότυπου | 53 |
| 5.5.2.5 Στιγμιότυπα..... | 56 |
| 5.5.3 Λήψη Χρώματος Εικονοστοιχείου | 56 |
| 5.5.4 Ορισμός Χρωματικών Συνιστώσεων | 57 |
| 5.5.5 Βολτόμετρα..... | 58 |
| 5.5.6 Τροχιά – Διάγραμμα Ταχυτήτων Κινητήρων [19, 31] | 59 |
| 5.5.7 Σχεδίαση Ελεγκτή Πλοήγησης Συστήματος Μη Αυτόνομης Πλοήγησης | 60 |
| 5.5.8 Περιγραφή Αλγορίθμου Πλοήγησης | 64 |
| 5.5.9 Ρυθμίσεις Εικονολήπτη..... | 65 |
| 5.6 Εγχειρίδιο Χρήσης του Προγράμματος | 66 |
| 5.6.1 Ασύρματη Επικοινωνία [13]..... | 67 |
| 5.6.2 Δήλωση Αριθμού Σειριακών Συσκευών..... | 68 |
| 5.6.3 Χρήση του Προγράμματος | 68 |
| 5.6.3.1 Λήψη Στιγμιότυπου | 69 |

| | |
|--|-----------|
| 5.6.3.2 Τερματισμός..... | 69 |
| 6. Πειραματικά Αποτελέσματα..... | 70 |
| 6.1 Επιλογή εμποδίου | 70 |
| 6.2 Αποτελέσματα μεθοδολογίας αυτόνομης πλοήγησης | 72 |
| 6.3 Αποτελέσματα μεθοδολογίας με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης | 74 |
| 6.3.1 Κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S..... | 75 |
| 6.3.2 Κίνηση σε κυκλική τροχιά..... | 77 |
| 6.3.3 Κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’ | 80 |
| 7. Συμπεράσματα | 83 |
| 8. Βιβλιογραφία | 84 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α | 87 |
| ΕΝΤΟΛΕΣ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ | 87 |
| Delay Mode – DM number\r..... | 87 |
| Poll Mode – PM mode\r..... | 87 |
| Packet Skip – PS number\r | 87 |
| Raw Mode – RM bit_flags\r | 87 |
| Packet Filter – PF boolean\r..... | 88 |
| Output Mask – OM packet number\r..... | 88 |
| Send Frame – SF channel\r | 89 |
| L0 ή L1 boolean\r | 89 |
| Track Color – TC Rmin Rmax Gmin Gmax Bmin Bmax\r..... | 89 |
| Track Window – TW\r..... | 90 |
| Get Tracking Parameters – GT\r..... | 90 |
| Set Tracking Parameters - ST Rmin Rmax Gmin Gmax Bmin Bmax\r | 90 |
| ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΩΝ | 91 |
| Get Mean – GM\r..... | 91 |
| ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 91 |
| Sleep – SL\r..... | 91 |
| Reset – RS\r | 91 |
| Get Version – GV | 92 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β..... | 93 |
| Εικονολήπτης CMUcam2 | 93 |
| Μικροελεγκτής OOPic-R..... | 94 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ | 95 |
| Γ.1 ACK..... | 95 |
| Γ.2 NCK..... | 95 |
| Γ.3 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ F (F-packet)..... | 95 |
| Γ.4 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ T (T-packet) | 96 |
| Γ.5 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ S (S-packet)..... | 96 |

Ευρετήριο Εικόνων

2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

| | |
|---|---|
| Εικόνα 2.1: Το όχημα <i>VADR</i> | 6 |
| Εικόνα 2.2: Το όχημα <i>NavBot</i> | 6 |
| Εικόνα 2.3: Το όχημα <i>Angus</i> | 6 |
| Εικόνα 2.4: Το όχημα <i>KickBot</i> | 6 |
| Εικόνα 2.5: Το όχημα PPPK..... | 7 |
| Εικόνα 2.6 Το όχημα <i>ATRV-Mini</i> | 7 |
| Εικόνα 2.7: Το όχημα Pioneer 2DX | 8 |
| Εικόνα 2.8: Το όχημα AmigoBot..... | 8 |
| Εικόνα 2.9: Το όχημα <i>BoeBot</i> | 9 |
| Εικόνα 2.10: Το οπτικό σύστημα EyeCam και το όχημα <i>Hemisson</i> | 9 |

3. Περιγραφή του Οχήματος ΑΛΕ II

| | |
|--|----|
| Εικόνα 3.1: Το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ | 10 |
| Εικόνα 3.2: Εξοπλισμός του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ | 10 |
| Εικόνα 3.3: Το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ, με την προσάρτηση του εικονολήπτη CMUcam2 | 11 |
| Εικόνα 3.4: Ο κινητήρας HSIANG NEN, GH12-2217Y | 12 |
| Εικόνα 3.5: Ο επεξεργαστής OOPic-R, | 13 |
| Εικόνα 3.6: Οι πομποδέκτες HandyWave HPS-120 και HPU-120 | 13 |
| Εικόνα 3.7: Αρχή λειτουργίας των αισθητήρων υπερύθρων | 14 |
| Εικόνα 3.8: Αισθητήρες υπερύθρων, GP2D12..... | 14 |
| Εικόνα 3.9: Το οπτικό σύστημα CMUcam2..... | 15 |
| Εικόνα 3.10: Το οδόμετρο WW-01 | 16 |
| Εικόνα 3.11: Η ψηφιακή πυξίδα CMPS-03 | 16 |

4. Μεθοδολογία Αυτόνομης Πλοήγησης

| | |
|---|----|
| Εικόνα 4.1: Δομικό διάγραμμα του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης..... | 17 |
| Εικόνα 4.2: Ονόματα, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες σημάτων σειριακής θύρας..... | 19 |
| Εικόνα 4.3: Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας του εικονολήπτη | 19 |
| Εικόνα 4.4: Σύστημα αναφοράς συντεταγμένων στο επίπεδο της εικόνας του εικονολήπτη | 24 |
| Εικόνα 4.5: Αναπαράσταση ανίχνευσης χρώματος (a) και απεικόνιση του κέντρουβάρους του χρώματος στο επίπεδο της εικόνας του εικονολήπτη (b) | 26 |
| Εικόνα 4.6: Το δομικό διάγραμμα του αλγορίθμου..... | 28 |

5. Μεθοδολογία με Χρήση Ενδιάμεσου Υπολογιστή Βάσης

| | |
|--|----|
| Εικόνα 5.1: Δομικό Διάγραμμα του συστήματος με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης..... | 33 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Εικόνα 5.2: Το παράθυρο του γραφικού περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης | 35 |
| Εικόνα 5.3: Στιγμιότυπο του λογισμικού κατά τη λειτουργία του | 36 |
| Εικόνα 5.4: Γραφικά Στοιχεία Ελέγχου, (a) κουμπιά εκτέλεσης εντολών, (b) ετικέτες εμφάνισης (c) τιμών, κουτιά εισαγωγής κειμένου, (d) διακόπτες ενεργοποίησης λειτουργιών | 36 |
| Εικόνα 5.5: Το μενού Αρχείο (File) του λογισμικού | 37 |
| Εικόνα 5.6: Το παράθυρο διαλόγου για την αποθήκευση του στιγμιότυπου | 38 |
| Εικόνα 5.7: Το μενού Λήψη Δυαδικού (Get Binary) του λογισμικού | 38 |
| Εικόνα 5.8: Το μενού Βολτόμετρα (Voltmeter) του λογισμικού | 38 |
| Εικόνα 5.9: Το μενού Εικόνα (Image) του λογισμικού | 39 |
| Εικόνα 5.10: Το μενού Βοήθεια (Help) του λογισμικού | 39 |
| Εικόνα 5.11: Πληροφορίες σχετικές με την CMUcam2 | 40 |
| Εικόνα 5.12: Πληροφορίες σχετικές με τον OOPic-R | 40 |
| Εικόνα 5.13: Πληροφορίες σχετικές με το όχημα ΑΛΕ II | 40 |
| Εικόνα 5.14: Επιλογή χρώματος εικονοστοιχείου | 40 |
| Εικόνα 5.15: Ορισμός χρωματικών παραμέτρων | 41 |
| Εικόνα 5.16: Μετρητές τάσεων συσσωρευτών μικροελεγκτή και κινητήρων | 41 |
| Εικόνα 5.17: Λήψη και αποθήκευση στιγμιότυπου και τερματισμός προγράμματος | 42 |
| Εικόνα 5.18: Επιλογές ανίχνευσης TC –Track Colour και TW – Track Window | 42 |
| Εικόνα 5.19: Έναρξη και τερματισμός ανίχνευσης χρώματος | 43 |
| Εικόνα 5.20: Προειδοποιητικό μήνυμα προσαρμογής του εικονολήπτη στις συνθήκες φωτισμού | 43 |
| Εικόνα 5.21: Μήνυμα λάθους ότι η επιλογή του εικονοστοιχείου είναι εκτός ορίων | 43 |
| Εικόνα 5.22: Εμφάνιση γραφημάτων θέσης και ταχυτήτων του οχήματος | 44 |
| Εικόνα 5.23: Εμφάνιση των τιμών των τάσεων των συσσωρευτών του μικροελεγκτή και των κινητήρων | 44 |
| Εικόνα 5.24: Αναφόρτιση συσσωρευτών | 44 |
| Εικόνα 5.25: Δήλωση αριθμών σειριακής θύρας για κάθε συσκευή | 44 |
| Εικόνα 5.26: Ο χρωματικός χώρος RGB | 52 |
| Εικόνα 5.27: Δομικό διάγραμμα αλγορίθμου λήψης στιγμιότυπου | 55 |
| Εικόνα 5.28: Το οπτικό πεδίο του εικονολήπτη | 56 |
| Εικόνα 5.29: Δομικό διάγραμμα επιλογής χρώματος | 57 |
| Εικόνα 5.30: Δομικό διάγραμμα λειτουργίας μετρητών τάσης | 58 |
| Εικόνα 5.31: Οι θέσεις και τα μεγέθη του οχήματος τις χρονικές στιγμές $i-1$ και i [19] | 59 |
| Εικόνα 5.32: Υπολογισμός της παραμέτρου δ | 61 |
| Εικόνα 5.33: Μεταβολή παραμέτρων συστήματος ανάλογα με την κίνηση του εμποδίου | 62 |
| Εικόνα 5.34: Υπολογισμός του ds τη χρονική στιγμή $t+1$ | 62 |
| Εικόνα 5.35: Δομικό διάγραμμα αλγορίθμου πλοήγησης με χρήση υπολογιστή βάσης | 65 |
| Εικόνα 5.36: Δομικό διάγραμμα λειτουργίας της εφαρμογής | 67 |
| Εικόνα 5.37: Δήλωση αριθμού σειριακής θύρας που θα χρησιμοποιηθεί | 68 |

6. Πειραματικά Αποτελέσματα

| | |
|---|----|
| Εικόνα 6.1: Ανίχνευση εμποδίου κόκκινου χρώματος | 70 |
| Εικόνα 6.2: Ανίχνευση εμποδίου κίτρινου χρώματος | 70 |
| Εικόνα 6.3: Ανίχνευση εμποδίου πράσινου χρώματος | 71 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 6.4: Ανίχνευση εμποδίου μπλε χρώματος | 71 |
| Εικόνα 6.5: Ανίχνευση εμποδίου πορτοκαλί χρώματος | 71 |
| Εικόνα 6.5: Συνδέσεις εικονολήπτη και μικροελεγκτή | 72 |
| Εικόνα 6.6: Αρχική θέση του οχήματος | 73 |
| Εικόνα 6.7: Δεξιά στροφή από R1 σε L2 | 73 |
| Εικόνα 6.8: Ευθύγραμμη κίνηση από L2 σε L3 | 73 |
| Εικόνα 6.9: Αριστερή στροφή από L3 σε R4 | 73 |
| Εικόνα 6.10: Ευθύγραμμη κίνηση προς L4 | 73 |
| Εικόνα 6.11: Στροφή αριστερά από L4 σε R5 | 73 |
| Εικόνα 6.12: Ευθύγραμμη κίνηση προς L5a | 73 |
| Εικόνα 6.13: Ευθύγραμμη κίνηση προς L5b | 73 |
| Εικόνα 6.14: Στροφή δεξιά προς το στόχο | 73 |
| Εικόνα 6.15: Τελική θέση του οχήματος | 73 |
| Εικόνα 6.16: Αρχική θέση οχήματος | 75 |
| Εικόνα 6.17: Ευθύγραμμη κίνηση οχήματος | 75 |
| Εικόνα 6.18: Έναρξη αριστερής στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.19: Συνέχιση αριστερής στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.20: Ολοκλήρωση αριστερής στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.21: Έναρξη δεξιάς στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.22: Συνέχιση δεξιάς στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.23: Ολοκλήρωση δεξιάς στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.24: Εκτέλεση αριστερής στροφής | 75 |
| Εικόνα 6.25: Τελική θέση οχήματος | 75 |
| Εικόνα 6.26: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S | 76 |
| Εικόνα 6.27: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S | 76 |
| Εικόνα 6.28: Αρχική θέση | 77 |
| Εικόνα 6.29: Ενδιάμεση θέση | 77 |
| Εικόνα 6.31: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε κυκλική τροχιά | 77 |
| Εικόνα 6.32: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε κυκλικής τροχιάς | 78 |
| Εικόνα 6.33: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε διπλή κυκλική τροχιά | 78 |
| Εικόνα 6.34: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε διπλή κυκλική τροχιά | 79 |
| Εικόνα 6.35: Αρχική θέση οχήματος | 80 |
| Εικόνα 6.36: Κίνηση από R1 προς R2 | 80 |
| Εικόνα 6.37: Έναρξη δεξιάς στροφής οχήματος | 80 |
| Εικόνα 6.38: Συνέχιση δεξιάς στροφή του οχήματος | 80 |
| Εικόνα 6.39: Κίνηση από R2 προς R1 | 80 |
| Εικόνα 6.40: Τελική θέση οχήματος | 80 |
| Εικόνα 6.41: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, πρώτο πείραμα | 81 |
| Εικόνα 6.42: Διάγραμμα ταχυτήτων των κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, πρώτο πείραμα | 81 |
| Εικόνα 6.46: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, δεύτερο πείραμα | 82 |
| Εικόνα 6.47: Διάγραμμα ταχυτήτων των κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, δεύτερο πείραμα | 82 |

Παράρτημα Β

| | |
|--|----|
| Εικόνα Β.1: Ρυθμίσεις σειριακής επικοινωνίας εικονολήπτη..... | 93 |
| Εικόνα Β.2: Διαμόρφωση εντολών εικονολήπτη | 93 |
| Εικόνα Β.3: Ρυθμίσεις σειριακής επικοινωνίας μικροεπεξεργαστή | 94 |
| Εικόνα Β.4: Διαμόρφωση εντολών μικροεπεξεργαστή | 94 |

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία αποτελεί για εμένα όχι μόνο την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών, αλλά και την εκπλήρωση της επιθυμίας μου για την εκπόνηση μιας ερευνητικής διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή της συγκεκριμένης εργασίας Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Νικόλαο Τσουρβελούδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τη συνεχή του υποστήριξη και την υπομονή του. Χωρίς την δική του καθοδήγηση η παρούσα εργασία δεν θα υπήρχε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής Καθηγητή κ. Κουϊκόγλου Βασίλειο και Λέκτορα κ. Νικολό Ιωάννη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν στην εξέταση της παρούσας εργασίας

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Σάββα Πιπερίδη, Μηχανικό Η/Υ και Πληροφορικής για την καθοδήγησή του, καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωνε, λύνοντας προβλήματα τεχνικής φύσεως που προέκυπταν. Ευχαριστώ επίσης τον επίκουρο καθηγητή κ. Νικόλαο Βλάσση για την πολύτιμη του βοήθεια στην επίλυση αποριών. Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Τσαλατσάνη Αθανάσιο, υποψήφιο διδάκτορα του πανεπιστημίου της Ν. Φλόριντα (USF), για τις πολύτιμες συμβουλές του, το χρόνο του και για την καθοδήγηση του σε θέματα σχετικά με το θεωρητικό μέρος της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Βιτζηλαίο Νίκο, για την βοήθεια του στην διεξαγωγή των πειραμάτων, τους κ. Δοϊτσίδη Ελευθέριο και Τσιναράκη Γεώργιο για την συνεργασία τους.

Θα ήταν παράληψη να μην εκφράσω ένα ιδιαίτερα θερμό ευχαριστώ σε όλους τους φίλους μου, για την αμέριστη ηθική τους συμπαράσταση, το ζήλο και τη διάθεση που επέδειξαν για επίλυση διάφορων προβλημάτων, που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια της εργασίας.

Ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη τους σε κάθε μου βήμα, καθώς και για την συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια της παρούσας εργασίας. Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου.

Σύντομο Βιογραφικό

Ο Μιχαηλίδης Φ. Νικόλαος γεννήθηκε στις 10 Μαΐου 1982 στον Εύοσμο Θεσσαλονίκης. Το έτος 2000 αποφοίτησε από το 1^ο Ενιαίο Λύκειο Ευόσμου, ενώ την ίδια χρονιά εισήχθη στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, από όπου και αποφοίτησε το 2005, με βαθμό 7.44. Το Σεπτέμβρη του 2005 έγινε δεκτός στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Ειδίκευσης του ιδίου τμήματος, στον τομέα Συστημάτων Παραγωγής. Με την εργασία αυτή ολοκληρώνει τον κύκλο σπουδών του.

Περίληψη Εργασίας

Στη εργασία αυτή παρουσιάζονται δυο μεθοδολογίες πλοήγησης ρομποτικών οχημάτων, που κάνουν χρήση πληροφοριών, οι οποίες αντλούνται από το οπτικό σύστημα που εξοπλίζει το όχημα. Η πρώτη μεθοδολογία στηρίζεται στη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης του εικονολήπτη με τον μικροελεγκτή του οχήματος, μέσω σειριακής θύρας, ενώ η δεύτερη κάνει χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης, ο οποίος μπορεί να επικοινωνεί σειριακά με δυο διαφορετικές συσκευές. Η περιορισμένη υπολογιστική ισχύς της πρώτης μεθόδου καθιστά αναπόφευκτη τη χρήση της δεύτερης μεθόδου. Παρ' όλα αυτά οι δυο μεθοδολογίες ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην ιχνηλασία έγχρωμων αντικειμένων. Πειραματικά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα των μεθόδων.

1. Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο

Συχνή απαίτηση πολλών κινούμενων ρομποτικών εφαρμογών είναι ο εντοπισμός ενός αντικειμένου και ο προσανατολισμός σε σχέση με αυτό. Η απαίτηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, αλλά συνήθως δεν εφαρμόζεται επιτυχώς, διότι οι τεχνικές προσδιορισμού της θέσης, που εφαρμόζονται δεν παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για τον προσανατολισμό του οχήματος.

Είναι γεγονός ότι οι αισθητήρες υπερύθρων χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές πλοήγησης οχημάτων. Οι αισθητήρες αυτοί χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι μπορούν να υπολογίσουν αποστάσεις με ακρίβεια, εύκολα και γρήγορα. Ωστόσο, δεν παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη μορφή και τη θέση των αντικειμένων.

Αντίθετα τα οπτικά συστήματα πλεονεκτούν έναντι των αισθητήρων υπερύθρων στον εντοπισμό αντικειμένων και τον προσανατολισμό του οχήματος σε σχέση με αυτά. Τέτοια συστήματα παρέχουν τη δυνατότητα αναγνώρισης χρωμάτων επιφανειών ή αντικειμένων ανάλογα με το σχήμα τους. Επιπλέον, σε αντίθεση με τους αισθητήρες υπερύθρων, μπορούν να διακρίνουν αντικείμενα παρόμοιας δομής και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ευρέως για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση στόχων.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μια μέθοδος σύνθεσης πληροφοριών, οι οποίες αντλούνται από τους αισθητήρες του οχήματος. Με τη σύνθεση πληροφοριών περιγράφεται επαρκώς το περιβάλλον κίνησης και ο προσανατολισμός του οχήματος. Το οπτικό σύστημα εντοπίζει ένα αντικείμενο, ενώ ταυτόχρονα το ρομποτικό όχημα προσανατολίζεται προς το αντικείμενο αυτό. Πολλές παρόμοιες εργασίες έχουν προταθεί, όμως η συγκεκριμένη χαρακτηρίζεται από το χαμηλό υπολογιστικό κόστος και την ακρίβεια εντοπισμού των αντικειμένων.

1.2 Διατύπωση του Προβλήματος

Το προς επίλυση πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία σύνθεσης πληροφοριών από αισθητήρες, τοποθετημένους σε ένα έντροχο ρομποτικό όχημα, με σκοπό την πλοήγησή του, ιχνηλατώντας ένα αντικείμενο. Συγκεκριμένα ζητείται το όχημα να διαγράφει τροχιά, παρακολουθώντας ένα κινούμενο αντικείμενο στο πεδίο εργασίας του οχήματος.

Ο εντοπισμός των αντικειμένων πραγματοποιείται με χρήση του εικονολήπτη του οχήματος.

1.3 Επιστημονική Μεθοδολογία

Με δεδομένη τη δυσκολία των αισθητήρων υπερύθρων να εντοπίσουν μικρά σε μέγεθος αντικείμενα ή να διακρίνουν χρώματα, η επίλυση του προβλήματος έγκειται στις δυνατότητες του οπτικού συστήματος να καλύψει τις προαναφερθείσες απαιτήσεις.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές, οι οποίες στηρίζονται στην εύρεση του κέντρου βάρους ενός αντικειμένου, στην προσέγγισή του από το όχημα και στην παρακολούθησή του από απόσταση ασφαλείας, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο σύγκρουσης. Οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους ενός αντικειμένου προκύπτουν από το ενσωματωμένο λογισμικό του εικονολήπτη.

1.4 Περίληψη Αποτελεσμάτων

Η εφαρμογή του αλγορίθμου έγινε στο ρομποτικό όχημα ΑΛΕ II, του Εργαστηρίου Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Δοκιμάστηκαν διάφορα σενάρια, στα οποία το όχημα κλήθηκε να ιχνηλατήσει επιλεγμένα αντικείμενα.

Ο αλγόριθμος πλοήγησης του ρομποτικού οχήματος αποδεικνύεται ότι λειτουργεί αρκετά ικανοποιητικά. Η λειτουργία του αλγορίθμου διευκολύνεται όταν οι συνθήκες φωτισμού του χώρου είναι ιδανικές.

1.5 Δομή της Εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται βιβλιογραφική επισκόπηση του θέματος. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται εργασίες που αφορούν στη σύνθεση πληροφοριών από αισθητήρες υπερήχων ή υπερύθρων και οπτικών συστημάτων για την, αυτόνομη ή μη, πλοήγηση έντροχων ρομποτικών οχημάτων, καθώς και δημοφιλή εμπορικά προϊόντα παρόμοιων εφαρμογών.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τεχνικά χαρακτηριστικά του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται ο αλγόριθμος αυτόνομης πλοήγησης του οχήματος, όταν το οπτικό σύστημα συνδέεται απευθείας με τον μικροελεγκτή του οχήματος μέσω σειριακής θύρας.

Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται ο αλγόριθμος κίνησης όταν η επικοινωνία μεταξύ του οπτικού συστήματος και του μικροελεγκτή του οχήματος πραγματοποιείται μέσω προσωπικού υπολογιστή βάσης. Για την υλοποίηση της μεθοδολογίας σχεδιάστηκε γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης.

Στα Κεφάλαια 6 και 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεθοδολογιών και τα συμπεράσματα της εργασίας αντίστοιχα.

Στο τέλος της εργασίας, στα παραρτήματα Α, Β και Γ, παρουσιάζονται οι εντολές του σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας, που χρησιμοποιήθηκαν για χρήση του εικονολήπτη, οι ρυθμίσεις στην εφαρμογή των Windows HyperTerminal για την επικοινωνία των χρηστών με τις συσκευές αυτές και η μορφή των πακέτων απόκρισης του εικονολήπτη αντίστοιχα.

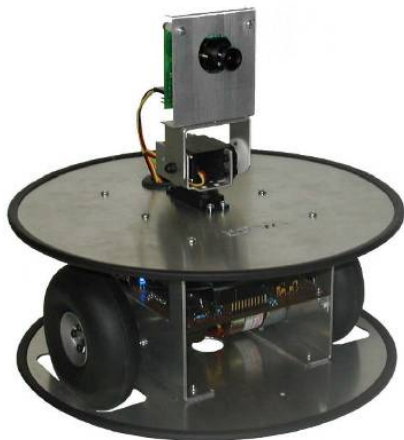
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Η αυτόνομη πλοήγηση οχημάτων αποτελεί ένα ερευνητικό πεδίο, στο οποίο σημειώνεται έντονη δραστηριότητα. Πολλές από τις μεθοδολογίες που έχουν προταθεί επιτυγχάνουν αξιόπιστα αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας συνδυασμούς διαφόρων τύπων αισθητήρων καθώς και πρωτότυπους αλγορίθμους πλοήγησης. Με την αύξηση της απόδοσης των οπτικών συστημάτων διευκολύνθηκε η επίλυση του προβλήματος, με αποτέλεσμα συχνά να προτείνονται μεθοδολογίες που κάνουν χρήση τέτοιου εξοπλισμού.

Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα που μελετήθηκε αφορά στην πλοήγηση έντροχου ρομποτικού οχήματος με εφαρμογή θεμελιωδών αρχών μηχανικής όρασης (*machine vision*). Πολλές παρόμοιες εργασίες έχουν προταθεί από άλλους ερευνητές για την αντιμετώπιση του προβλήματος σύνθεσης πληροφοριών του οπτικού συστήματος και λοιπών αισθητήρων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται μερικές από αυτές.

Οι A. Sehgal, J. Kadarusman, L. Fife [1] παρουσιάζουν τον εξοπλισμό και την αρχιτεκτονική του υποβρύχιου ρομποτικού οχήματος *LUV*. Ο αλγόριθμος πλοήγησης στηρίζεται στη λειτουργία του εικονολήπτη, ο οποίος λαμβάνει πληροφορίες από το περιβάλλον. Οι πληροφορίες μεταφέρονται στον μικροελεγκτή, ο οποίος συνθέτει τις πληροφορίες του εικονολήπτη και των υπόλοιπων αισθητήρων, κατευθύνοντας ανάλογα το όχημα. Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή OOPic-R και τον εικονολήπτη CMUcam 2.

Οι T. Comport και M. Cornall [4] παρουσιάζουν τον εξοπλισμό και την αρχιτεκτονική του αυτόνομου ρομποτικού οχήματος *VADR* (Εικόνα 2.1). Το όχημα εξυπηρετεί αποφυγή εμποδίων, ανίχνευση χρώματος, καθώς και τον εντοπισμό και την παρακολούθηση κινούμενων αντικειμένων. Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον επεξεργαστή AVR ATmega 128 της Atmel καθώς και το οπτικό σύστημα CMUcam 2. Η εργασία πρωτοτυπεί στο γεγονός ότι έχει σχεδιαστεί ένα πρωτότυπο ηλεκτρικό κύκλωμα, μέσω του οποίου ελέγχονται όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις του οχήματος.



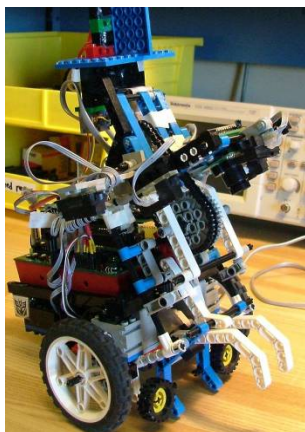
Εικόνα 2.1: Το όχημα *VADR*



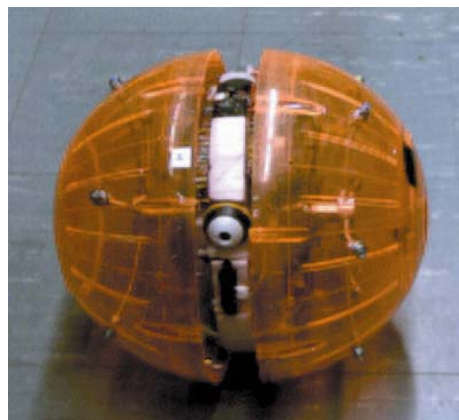
Εικόνα 2.2: Το όχημα *NavBot*

Οι M. Marge *et al.* [2] παρουσιάζουν τον εξοπλισμό και την αρχιτεκτονική του ρομποτικού οχήματος έρευνας *NavBot* (Εικόνα 2.2). Το οπτικό του σύστημα μπορεί να εντοπίζει μονόχρωμα αντικείμενα διαφόρων μεγεθών και σχημάτων, ενώ με χρήση μιας αρπάγης τα τοποθετεί σε ένα καλάθι που εξοπλίζει το όχημα. Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή OOPic-R, φορητό υπολογιστή και τον εικονολήπτη CMUcam2. Επίσης διαθέτει φακό αλογόνου για την παροχή λευκού φωτός.

Οι A. Chanler και G. Pantazopoulos [5] παρουσιάζουν τον εξοπλισμό και την αρχιτεκτονική του ρομποτικού οχήματος *Angus* (Εικόνα 2.3). Βασική του λειτουργία είναι η αναγνώριση έγχρωμων αντικειμένων. Το πλαίσιο του οχήματος στηρίζεται στην εμπορική εφαρμογή των LEGO MindStorms και είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή Handy Board, καθώς και με το οπτικό σύστημα CMUcam1.



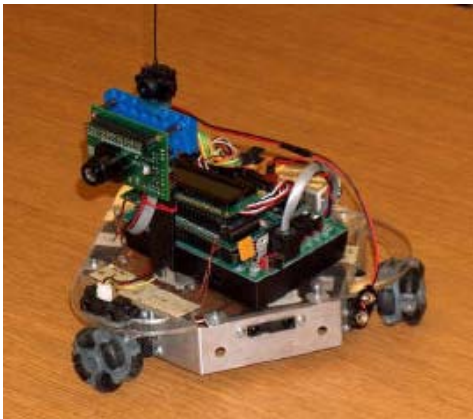
Εικόνα 2.3: Το όχημα *Angus*



Εικόνα 2.4: Το όχημα *KickBot*

Οι C. Batten και D. Wentzlaff [3] παρουσιάζουν τον εξοπλισμό και την αρχιτεκτονική του αυτόνομου ρομποτικού οχήματος *Kickbot* (Εικόνα 2.4). Ο αλγόριθμος πλοήγησής του στηρίζεται στη δυνατότητα ανίχνευσης κίνησης του οπτικού συστήματος. Το όχημα περιπλανιέται στο χώρο, εντοπίζοντας ανθρώπους που θέλουν το κλωτήσουν. Το σφαιρικό του σχήμα το καθιστά ιδανικό για λακτίσματα μικρής δύναμης. Επίσης το όχημα μπορεί να αποφεύγει επιτυχώς εμπόδια.

Οι Chris Olsen *et al.* [6] παρουσιάζουν μια αποτελεσματική μέθοδο ασφαλούς πλοήγησης ενός έντροχου ρομποτικού οχήματος σε άγνωστο περιβάλλον, ενώ ένα δεύτερο ρομποτικό όχημα αναλαμβάνει την ασφαλή πλοήγησή του σε επιθυμητή περιοχή. Ο εικονολήπτης του συστήματος αποτελεί το μέσον για την προσέγγιση του επιθυμητού στόχου. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα ρομποτικά οχήματα PPPK (Εικόνα 2.5), που είναι εξοπλισμένα με τον μικροελεγκτή Handy Board, καθώς και ο εικονολήπτης CMUcam2.



Εικόνα 2.5: Το όχημα PPPK



Εικόνα 2.6 Το όχημα *ATRV-Mini*

Οι R. Madhavan, K. Fregene και L. Parker [28] προτείνουν μια μεθοδολογία αυτόνομης πλοήγησης στόλου οχημάτων σε άγνωστο περιβάλλον εξωτερικού χώρου, καθώς και τη χαρτογράφηση αυτού. Για τη χαρτογράφηση του χώρου χρησιμοποιούνται οπτικά συστήματα, καθώς και ένα σύστημα εντοπισμού της θέσης του στόλου των οχημάτων. Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία ήταν τα ATRV-Mini (Εικόνα 2.6).

Οι A. Howard, L. E. Parker και G. S. Sukhatme [29] αναπτύσσουν μια μεθοδολογία συνεργατικής συμπεριφοράς ετερογενούς στόλου οχημάτων μεγάλου αριθμού. Κάθε όχημα του στόλου εξυπηρετεί χαρτογράφηση εσωτερικού χώρου,

ανίχνευση και ιχνηλασία ‘εισβολέων’, δηλαδή οχημάτων τα οποία δεν ανήκουν στο στόλο, καθώς και την αποστολή των παραπάνω δεδομένων σε απομακρυσμένο χειριστή. Ο στόλος των οχημάτων αριθμεί περίπου 80 μέλη. Τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: ATRV-Mini (Εικόνα 2.6), Pioneer-2DX (Εικόνα 2.7) και AmigoBot (Εικόνα 2.8). Η χαρτογράφηση του χώρου πραγματοποιείται με τη χρήση οπτικών συστημάτων.



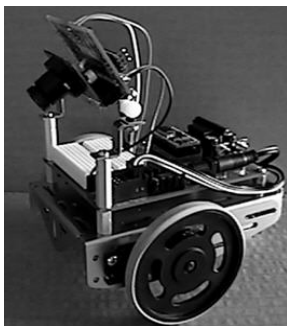
Εικόνα 2.7: Το όχημα Pioneer 2DX



Εικόνα 2.8: Το όχημα AmigoBot

Τέλος παρουσιάζονται μερικά από τα πλέον δημοφιλή εμπορικά προϊόντα, τα οποία για την πλοήγησή τους χρησιμοποιούν μεθοδολογίες σύνθεσης πληροφοριών μέσω των οπτικών συστημάτων. Ο εξοπλισμός τους συνήθως απαρτίζεται μόνο από το οπτικό σύστημα και για το λόγο αυτό είναι χαμηλού κόστους, ενώ έχουν περιορισμένες δυνατότητες.

Η εταιρεία Seattle Robotics [9] έχει αναπτύξει το ρομποτικό όχημα *BoeBot* (Εικόνα 2.9). Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή BrainStem καθώς και τον εικονολήπτη CMUcam1. Οι δυνατότητες του οχήματος περιλαμβάνουν την ιχνηλασία μονόχρωμων αντικειμένων, καθώς και τη διενέργεια ποδοσφαιρικού αγώνα απλοποιημένης μορφής. Το όχημα αναζητά συνεχώς μια μπάλα, περιστρεφόμενο γύρω από τον εαυτό του, την οποία, όταν την εντοπίσει, την προσεγγίζει και την σπρώχνει προς κάθε κατεύθυνση.



Εικόνα 2.9: Το όχημα *BoeBot*



Εικόνα 2.10: Το οπτικό σύστημα EyeCam και το όχημα *Hemisson*

Η ελβετική εταιρεία K-Team [22] κατασκευάζει το ρομποτικό όχημα *Hemisson* (Εικόνα 2.10). Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή PIC16F876 της εταιρείας Microchip, καθώς και με το οπτικό σύστημα EyeCam (Εικόνα 2.10). Βασικές λειτουργίες που εξυπηρετεί το όχημα μέσω του οπτικού συστήματος είναι η ιχνηλασία μονόχρωμων αντικειμένων και γραμμών.

3. Περιγραφή του Οχήματος ΑΛΕ II

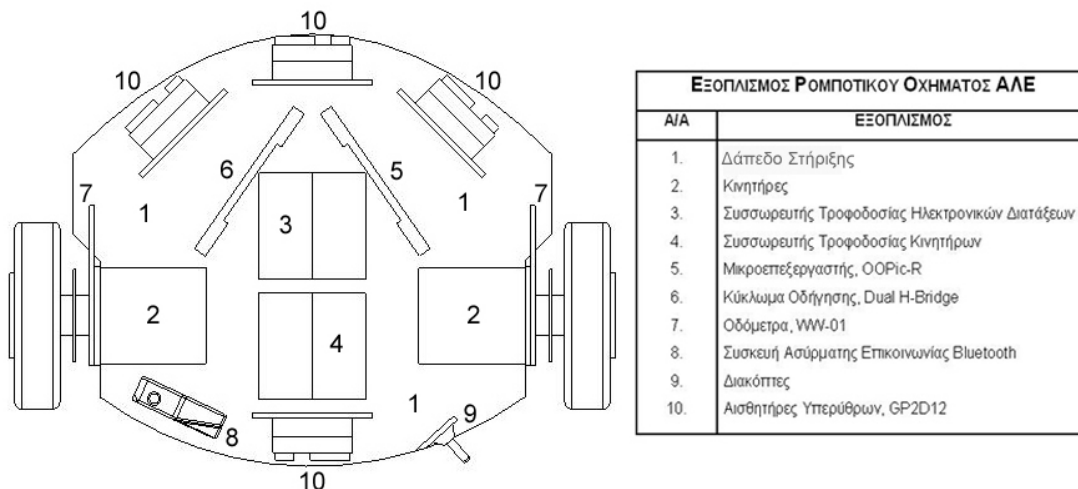
3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ II (Εικόνα 3.1), το οποίο αποτελεί ιδιοκατασκευή του εργαστηρίου Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής, του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Εικόνα 3.1: Το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ

Το όχημα ΑΛΕ είναι ένα ρομποτικό όχημα εσωτερικού χώρου, μεσαίου μεγέθους, σχεδιασμένο ώστε να καλύπτει ερευνητικές και εκπαιδευτικές δραστηριότητες. Συνεπώς είναι κατασκευασμένο ώστε να έχει μικρές διαστάσεις και μικρό βάρος, ενώ παράλληλα διατηρεί την ευελιξία του και έχει μικρές απαιτήσεις ισχύος.



Εικόνα 3.2: Εξοπλισμός του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ

Στην Εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η διάταξη του εξοπλισμού του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ ΙΙ. Στην Εικόνα 3.3, παρουσιάζεται το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ ΙΙ μετά την προσάρτηση του εικονολήπτη CMUcam2.



Εικόνα 3.3: Το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ ΙΙ, με την προσάρτηση του εικονολήπτη CMUcam2

3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Το δάπεδο του οχήματος είναι κατασκευασμένο από φύλλο αλουμινίου πάχους 1.2 mm. Στο δάπεδο είναι προσαρμοσμένες όλες οι συσκευές και ο εξοπλισμός του οχήματος. Οι διαστάσεις του δεν ξεπερνούν τα 240x180 mm. Το ύψος του οχήματος δεν ξεπερνά τα 300 mm μαζί με την προσαρμογή του εικονολήπτη. Το σχήμα του δαπέδου είναι καμπύλο, ώστε να διατηρείται η ευελιξία του. Τέλος υπάρχει εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα.

3.3 Σύστημα Κατεύθυνσης [12, 14]

Το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ ΙΙ για την κίνησή του διαθέτει δύο κινητήριους τροχούς (Εικόνα 3.4) και χρησιμοποιεί τον διαφορικό τρόπο κίνησης. Το όχημα στρίβει περιστρέφοντας με διαφορετική ταχύτητα τους τροχούς του, διαγράφοντας έτσι

καμπύλες. Μπορεί να περιστραφεί γύρω από τον έναν τροχό ή επί τόπου γύρω από το μέσο του μετατροχίου του.



Εικόνα 3.4: Ο κινητήρας HSIANG NEN, GH12-2217Y

Το όχημα κινείται από κινητήρες 12V με κιβώτιο υποβιβασμού της σχέσης μετάδοσης. Ο αριθμός των στροφών του κινητήρα κυμαίνεται από 0 έως 120 rpm. Οι κινητήρες είναι υποβίβασης 50:1, δηλαδή ο τελικός άξονας του κιβωτίου εκτελεί μια πλήρη περιστροφή, ενώ ο κινητήρας έχει εκτελέσει 50 rpm. Η κατανάλωση ρεύματος, με την προσάρτηση του εξοπλισμού φτάνει τα 130mA στις 5330 rpm.

Η τροφοδοσία των κινητήρων πραγματοποιείται από επαναφορτιζόμενους συσσωρευτές μολύβδου 7.2V, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο κέντρο του οχήματος. Για τη λειτουργία των κινητήρων απαιτείται ρεύμα τάξης 1.5A, μια τιμή που δεν μπορεί να την παρέχει ο μικροελεγκτής του οχήματος. Για το λόγο αυτό έχει τοποθετηθεί το κατάλληλο κύκλωμα οδήγησης των κινητήρων, το οποίο ενισχύει τα σήματα ελέγχου και παρέχει ρεύμα μέχρι 1.5A σε καθένα από τους κινητήρες. Το κύκλωμα είναι το Dual H-Bridge v2.0, της Lynxmotion.

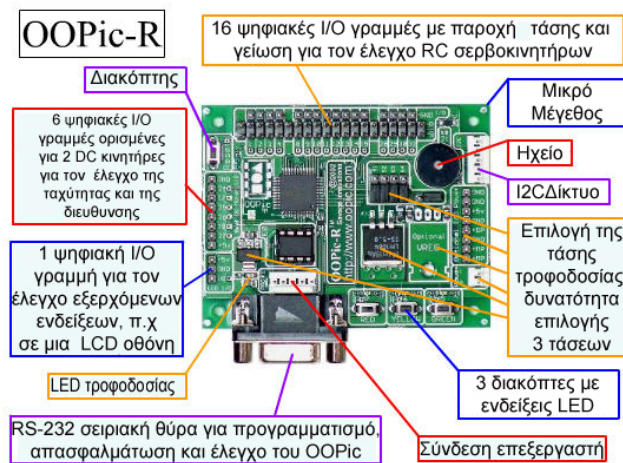
3.4 Μικροελεγκτής OOPic-R

Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τον μικροελεγκτή OOPic-R (Εικόνα 3.5), της Savage Innovation, με την έκδοση B.2.2+. Ο OOPic-R είναι ιδιαίτερα δημοφιλής και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές ρομποτικές εφαρμογές.

Ο OOPic-R είναι φιλικός κατά τον προγραμματισμό του και κάνει χρήση αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού σε ένα ιδιαίτερα φιλικό περιβάλλον, χωρίς να απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού, ρομποτικής και ηλεκτρονικών. Διαθέτει βιβλιοθήκη 130 αντικειμένων, τα οποία αλληλεπιδρούν με το υλικό (*hardware*) που εξοπλίζει το ΑΛΕ II. Όλες οι συσκευές που φέρει το όχημα είναι απόλυτα συμβατές με τον μικροελεγκτή.

Σημαντικό του πλεονέκτημα είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο. Ο OOPic-R επαναπρογραμματίζεται εύκολα ανταλλάσσοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Με τον τρόπο αυτό εκτελεί έλεγχο σε επίπεδο υλικού, αποστέλλοντας δεδομένα σε αισθητήρες του οχήματος.

Τέλος διαθέτει επαρκή αριθμό αναλογικών και ψηφιακών θυρών επικοινωνίας για τον έλεγχο των συσκευών του οχήματος. Συγκεκριμένα διαθέτει μια σειριακή θύρα, μια θύρα επικοινωνίας με το πρωτόκολλο I²C, τέσσερις αναλογικές θύρες εισόδου καθώς και δεκαέξι ψηφιακές θύρες εισόδου- εξόδου.



Εικόνα 3.5: Ο επεξεργαστής OOPic-R

3.5 Ασύρματη Επικοινωνία [12, 14]

Το όχημα έχει τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω σειριακής θύρας. Αυτό σημαίνει ότι ένας προσωπικός υπολογιστής βάσης μπορεί να επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή και τον εικονολήπτη του οχήματος. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω πομποδέκτη, που συνδέεται στον υπολογιστή βάσης μέσω της θύρας USB και δύο ακόμη μονάδων ασύρματης επικοινωνίας, οι οποίες συνδέονται στον μικροελεγκτή και στον εικονολήπτη του οχήματος.

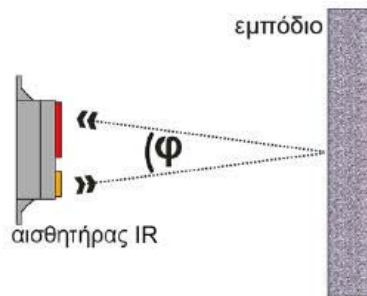


Εικόνα 3.6: Οι πομποδέκτες HandyWave HPS-120 και HPU-120

Ο πομποδέκτης, που συνδέεται στον υπολογιστή βάσης, είναι ο HPU-120 (Εικόνα 3.6), ενώ οι πομποδέκτες, που συνδέονται στις συσκευές, είναι οι HPS-120 της εταιρείας HandyWave. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού Bluesoleil, το οποίο διαχειρίζεται ασύρματες ζεύξεις.

Το πρωτόκολλο ασύρματης ζεύξης των συσκευών είναι το BlueTooth έκδοσης 1.1. Οι συσκευές υποστηρίζουν διαφορετικούς ρυθμούς αποστολής δεδομένων μέχρι 115.2 kbps, για οκτώ διαφορετικές συσκευές. Το βεληνεκές τους κυμαίνεται από 100 μέχρι 300 m, ανάλογα με την επιλογή της κεραίας σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους με συχνότητα επικοινωνίας τα 2.4 GHz. Τέλος η μέγιστη κατανάλωση ρεύματος ανέρχεται στα 110 mA

3.6 Αισθητήρες Υπερύθρων [12, 14]



Εικόνα 3.7: Αρχή λειτουργίας των αισθητήρων υπερύθρων

Στην Εικόνα 3.7 παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων υπερύθρων. Οι αισθητήρες υπολογισμού απόστασης με χρήση υπερύθρων ακτίνων αποτελούνται από ένα σύστημα πομπού και δέκτη. Οι ακτίνες εκπέμπονται από τον πομπό του αισθητήρα, στη συνέχεια ανακλώνται από το εμπόδιο και τέλος συλλέγονται από το δέκτη. Ο αισθητήρας παράγει στην έξοδο του μια τάση, που αναπαριστά την απόσταση του εμποδίου και εξαρτάται από τη γωνία ανάκλασης των ακτίνων.



Εικόνα 3.8: Αισθητήρες υπερύθρων, GP2D12

Οι αισθητήρες υπερύθρων, με τους οποίους είναι εξοπλισμένο το όχημα, είναι οι GP2D12 της εταιρείας Sharp (Εικόνα 3.8). Χαρακτηριστικά λειτουργίας τους είναι ότι μπορούν εντοπίζουν αντικείμενα από 10 μέχρι 80cm τοποθετημένα μακριά τους. Απαιτούν τάση λειτουργίας από 4.5 μέχρι 5.5V και καταναλώνουν ρεύμα από 30 μέχρι 50mA. Στο όχημα είναι τοποθετημένοι στο εμπρόσθιο και το οπίσθιο μέρος του.

Οι αισθητήρες συναντώνται σε πολλές ρομποτικές εφαρμογές. Πλεονεκτήματα τους αποτελούν η μεγάλη αξιοπιστία που εμφανίζουν, χωρίς να απαιτούν πολύπλοκα κυκλώματα υποστήριξης, καθώς και το χαμηλό κόστος αγοράς. Μειονεκτήματα τους είναι η αδυναμία μέτρησης αποστάσεων μεγαλύτερων από 80cm, αλλά και το γεγονός ότι επηρεάζονται αρκετά από το φωτισμό του χώρου.

3.7 Οπτικό Σύστημα [7]

Σημαντική συσκευή για την πλοήγηση οχήματος ΑΛΕ II αποτελεί το οπτικό του σύστημα, με τη βοήθεια του οποίου είναι δυνατή η λήψη εικόνων και δεδομένων από το χώρο. Το οπτικό σύστημα του ρομποτικού οχήματος είναι ο εικονολήπτης CMUcam2 (Εικόνα 3.9), που αποτελεί ένα εμπορικό προϊόν από το Carnegie Mellon University.



Εικόνα 3.9: Το οπτικό σύστημα CMUcam2

Ο εικονολήπτης CMUcam2 φέρει τον μικροεπεξεργαστή SX52 στα 75 MHz και την φωτοευαίσθητη επιφάνεια OV7620 Omnivision CMOS. Η επικοινωνία του οπτικού συστήματος με έναν μικροελεγκτή ή υπολογιστή βάσης πραγματοποιείται μέσω σειριακής θύρας, με το πρωτόκολλο επικοινωνίας RS-232. Ο εικονολήπτης υποστηρίζει ρυθμούς αποστολής δεδομένων από 1.200 μέχρι 115.200 Bps (*Bytes per second*).

Ο εικονολήπτης έχει δυνατότητες ανίχνευσης χρώματος και κίνησης μέχρι 50 και 26 στιγμιότυπων ανά λεπτό αντίστοιχα, στους χρωματικούς χώρους *RGB* και *YCbCr*.

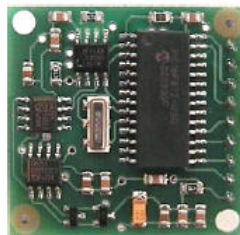
Επίσης υπάρχει η δυνατότητα σύλληψης εικόνας, υπολογισμού της μέσης τιμής της χρωματικής φωτεινότητας και του ιστογράμματος της εικόνας. Η ανάλυση των εικόνων του οπτικού συστήματος ανέρχεται στα 160x255 dpi (*digits per inch*). Τέλος διαθέτει εξόδους βίντεο σε *PAL* ή *NTSC*.

3.8 Λοιποί Αισθητήρες [14]



Εικόνα 3.10: Το οδόμετρο WW-01

Το όχημα είναι εξοπλισμένο με τα οδόμετρα WW-01 της εταιρείας NUBOTICS (Εικόνα 3.10). Τα οδόμετρα είναι τοποθετημένα στο σύστημα κίνησης του οχήματος και εξυπηρετούν τον υπολογισμό της θέσης του. Χρησιμοποιούν ένα δίσκο με 64 τομείς, 32 άσπρους και 32 μαύρους, αλλά και υπέρυθρους αισθητήρες. Καταναλώνουν 30mA, παράγοντας παλμούς πλάτους 25ms. Χαρακτηριστικά τους είναι δυνατότητα αναγνώρισης φοράς της κίνησης, η εύκολη προσαρμογή τους στο όχημα και το χαμηλό κόστος αγοράς τους.



Εικόνα 3.11: Η ψηφιακή πυξίδα CMPS-03

Τέλος ο προσανατολισμός του οχήματος υπολογίζεται από μια ψηφιακή πυξίδα (Εικόνα 3.11). Στο όχημα έχει τοποθετηθεί η ψηφιακή πυξίδα CMPS-03 της εταιρείας Devantech. Η ακρίβεια της είναι 3-4°, ενώ η ανάλυσή της είναι 0.1°. Η τάση λειτουργίας της είναι 5V και η κατανάλωσή της 30mA.

4. Μεθοδολογία Αυτόνομης Πλοήγησης

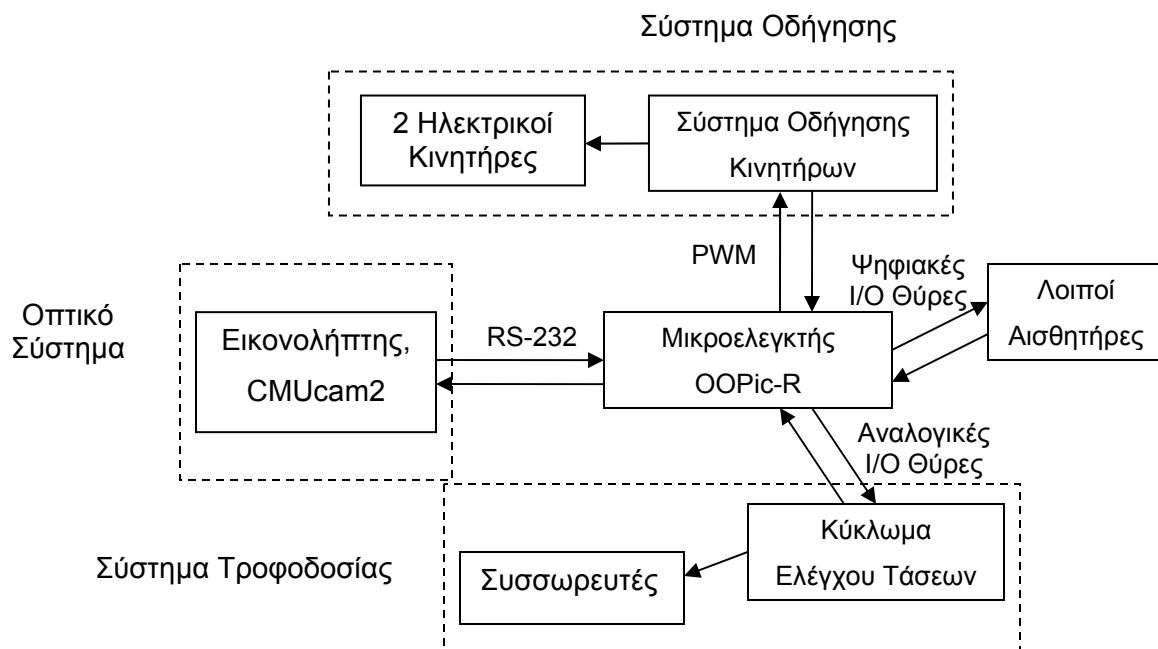
4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μέθοδος αυτόνομης πλοήγησης του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ II, με τη χρήση οπτικών πληροφοριών. Ως σύστημα αυτόνομης πλοήγησης ορίζεται το σύστημα στο οποίο η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται αποκλειστικά στον μικροελεγκτή του οχήματος. Η παρούσα μεθοδολογία στηρίζεται στη δυνατότητα επικοινωνίας, μέσω του πρωτόκολλου RS-232, του εικονολήπτη και του μικροελεγκτή του οχήματος.

Ο εικονολήπτης απομονώνει ένα συγκεκριμένο χρώμα ενώ, κατόπιν επεξεργασίας στον μικροεπεξεργαστή του, εξάγει πληροφορίες, τοποθετώντας το στο επίπεδο της εικόνας. Ανάλογα με τις τιμές των πληροφοριών, ο μικροελεγκτής του οχήματος κατευθύνει το όχημα και προσανατολίζεται σε σχέση με αυτό. Αν δεν εντοπιστεί το χρώμα, τότε το όχημα παραμένει σε αδρανή κατάσταση.

4.2 Δομικό Διάγραμμα

Τα κύρια μέρη, που συνθέτουν το συνολικό σύστημα, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 4.1: Δομικό διάγραμμα του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης

4.3 Η Σειριακή Θύρα

Η επικοινωνία του συστήματος πραγματοποιείται μέσω σειριακής θύρας. Η σειριακή θύρα είναι το πλέον συνηθισμένο και απλό πρωτόκολλο επικοινωνίας χαμηλού επιπέδου (*low-level*), το οποίο διαβάζει δεδομένα με σειριακό τρόπο, σύμφωνα με τη δομή FIFO (*First In First Out*), που σημαίνει ότι ό,τι εισέρχεται πρώτο στον προσωρινό χώρο αποθήκευσης (*buffer*) εξέρχεται και πρώτο.

Η μορφή των δεδομένων που μεταδίδεται κάθε φορά μέσω της σειριακής θύρας, είναι συγκεκριμένη. Η σειριακή θύρα κάθε φορά διαβάζει μια μονάδα δυαδικής πληροφορίας (*1 bit*). Αρχικά υπάρχει μια εναρκτήρια μονάδα ελάχιστης πληροφορίας (*start bit*), στη συνέχεια ακολουθούν πέντε έως οκτώ μονάδες πληροφορίας (*data bits*) και μια μονάδα πληροφορίας τέλους (*stop bit*). Επίσης υπάρχει και η μονάδα ισοτιμίας (*parity bit*). Ο αριθμός των *bits*, που μεταδίδονται ανά δευτερόλεπτο, εκφράζεται από τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (*Baud Rate*) και μετριέται σε BPS (*Bits Per Second*).

Η σειριακή θύρα αποτελείται από 9 ακροδέκτες (*pins*). Η βασική επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω τριών ακροδεκτών, του ακροδέκτη που μεταδίδει δεδομένα (ακροδέκτης 2), του ακροδέκτη που δέχεται δεδομένα, (ακροδέκτης 3) και του ακροδέκτη της γείωσης (ακροδέκτης 5). Οι υπόλοιποι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ροής των δεδομένων.

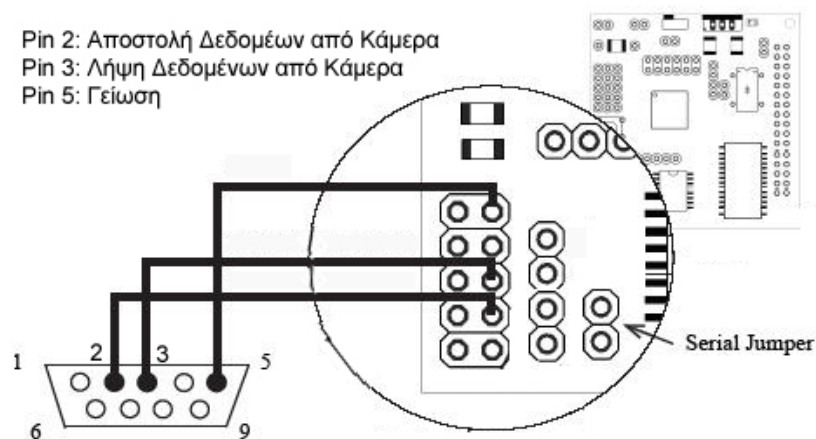
Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται είναι το RS-232 και καθορίζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά επικοινωνίας:

- Τον μέγιστο ρυθμό αποστολής δεδομένων.
- Τα ονόματα, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες των σημάτων.
- Τις μηχανολογικές συνδέσεις και τις προδιαγραφές των ακροδεκτών.

Στη συνέχεια (Εικόνα 4.2) παρουσιάζονται η αρίθμηση, τα ονόματα, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες των σημάτων για κάθε ακροδέκτη της σειριακής θύρας.

| Pin | Label | Signal Name | Signal Type |
|-----|-------|---------------------|-------------|
| 1 | CD | Carrier Detect | Control |
| 2 | RD | Received Data | Data |
| 3 | TD | Transmitted Data | Data |
| 4 | DTR | Data Terminal Ready | Control |
| 5 | GND | Signal Ground | Ground |
| 6 | DSR | Data Set Ready | Control |
| 7 | RTS | Request to Send | Control |
| 8 | CTS | Clear to Send | Control |
| 9 | RI | Ring Indicator | Control |

Εικόνα 4.2: Ονόματα, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες σημάτων σειριακής θύρας



Εικόνα 4.3: Ακροδέκτες σειριακής επικοινωνίας του εικονολήπτη

Ο εικονολήπτης για την σειριακή του επικοινωνία διαθέτει ως έξοδο 5 ακροδέκτες (Εικόνα 4.3), από τους οποίους οι τρεις πραγματοποιούν τη βασική επικοινωνία (2, 3, 5). Ο μικροελεγκτής του οχήματος είναι εξοπλισμένος με ενσωματωμένη σειριακή θύρα.

4.4 Η Έννοια του Αντικειμένου στον OOPic-R

Ο μικροελεγκτής OOPic-R είναι εξοπλισμένος με τον μικροεπεξεργαστή PIC16877, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με το λειτουργικό σύστημα B.2.2+. Ο προγραμματισμός του OOPic-R γίνεται κάνοντας χρήση αντικειμενοστραφούς

προγραμματισμού, στο γραφικό περιβάλλον OOPic IDE, το συντακτικό του οποίου είναι συμβατό με τις δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού Basic, C και JAVA [12, 16]. Ο αντικειμενοστραφής προγραμματισμός κάνει χρήση των αντικειμένων, δηλαδή προγραμματιστικών οντοτήτων οι οποίες προσπαθούν να μοντελοποιήσουν και να προσεγγίσουν καλύτερα τον φυσικό κόσμο [27].

Η διαχείριση των αντικειμένων γίνεται με τη βοήθεια των ιδιοτήτων (*properties*), με τις οποίες οι χρήστες μπορούν να διαβάσουν τιμές των δεδομένων των αντικειμένων αλλά και να εκχωρήσουν τιμές σε αυτά. Η εκχώρηση ή ανάγνωση των τιμών των ιδιοτήτων πραγματοποιείται με χρήση της τεχνικής σήμανση τελείας (*dot notation*) και γίνεται με τον εξής τρόπο:

$$\{\text{ΌνομαΑντικειμένου}\}.\{\text{Ιδιότητα}\} = \{\text{Τιμή}\}$$

Το ακόλουθο παράδειγμα δείχνει την εκχώρηση της τιμής της ιδιότητας της ταχύτητας (Value) σε ένα αντικείμενο, με όνομα motor, που αναπαριστά τους κινητήρες του οχήματος:

$$\text{motor.Value} = 100$$

4.5 Αντικείμενα που Χρησιμοποιούνται [16]

Ο μικροελεγκτής OOPic-R έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας και αλληλεπίδρασης με συσκευές, που έχουν προσαρτηθεί σε αυτόν, με τη χρήση αντικειμένων. Ο ελεγκτής αλληλεπιδρά με τα αντικείμενα, διαβάζοντας ή θέτοντας τις τιμές των παραμέτρων των αντικειμένων.

Η τυπική δομή ενός προγράμματος είναι η εξής: δήλωση των αντικειμένων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των συσκευών του οχήματος, αρχικοποίηση των παραμέτρων και των ιδιοτήτων τους και τέλος δήλωση των βρόγχων και των εντολών υλοποίησης.

Το ενσωματωμένο λογισμικό του OOPic-R περιλαμβάνει ένα σύνολο αντικειμένων, τα οποία διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες αντικειμένων:

- Αντικείμενα διαχείρισης υλικού (*Hardware Object*)
- Αντικείμενα διαχείρισης διαδικασιών (*Processing Object*)
- Αντικείμενα διαχείρισης μεταβλητών (*Variable Object*)
- Αντικείμενα ορισμένα από τους χρήστες (*User Definable Object*)
- Αντικείμενα διαχείρισης συστήματος (*System Object*)

Στην προτεινόμενη μεθοδολογία χρησιμοποιούνται αντικείμενα διαχείρισης υλικού, που εξυπηρετούν τη διαχείριση κυκλωμάτων υλικού - συσκευών, αντικείμενα διαχείρισης μεταβλητών, τα οποία αποθηκεύουν τιμές μεταβλητών και αντικείμενα διαχείρισης συστήματος, τα οποία εκτελούν λειτουργίες του εσωτερικού συστήματος του μικροελεγκτή.

Στη συνέχεια ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται. Αρχικά περιγράφονται τα αντικείμενα διαχείρισης υλικού, ακολουθεί η περιγραφή των αντικειμένων διαχείρισης μεταβλητών και τέλος των αντικειμένων διαχείρισης συστήματος.

4.5.1 Κινητήρες - oDCMOTOR2

Το αντικείμενο, που ελέγχει τους κινητήρες που τοποθετήθηκαν στο όχημα ΑΛΕ, είναι το oDCMOTOR2, με τις εξής ιδιότητες:

- **Brake:** Ελέγχει αν το κύκλωμα οδήγησης θα ασκήσει ηλεκτρικά φρένο ή όχι στον κινητήρα.
- **Direction:** Καθορίζει τη φορά κίνησης του κινητήρα.
- **IOLineB:** Καθορίζει τον αριθμό της ψηφιακής εξόδου, που ελέγχει το φρένο του κινητήρα.
- **IOLineD:** Καθορίζει τον αριθμό της ψηφιακής εξόδου, που ελέγχει τη φορά περιστροφής του κινητήρα.
- **IOLineP:** Καθορίζει τον αριθμό της ψηφιακής εξόδου, που ελέγχει την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα.
- **Operate:** Θέτει σε λειτουργία το αντικείμενο.
- **Value:** Καθορίζει την τιμή της ταχύτητας περιστροφής.

4.5.2. Αισθητήρες Υπερύθρων - oIRRANGE

Το αντικείμενο, που ελέγχει τους αισθητήρες υπερύθρων και αποθηκεύει το αποτέλεσμα της μέτρησης τους, είναι το oIRRANGE, με τις εξής ιδιότητες:

- **Center:** Προσαρμόζει το κεντρικό σημείο της τιμής της μέτρησης.
- **IOLine:** Καθορίζει τον αριθμό της ψηφιακής εισόδου και εξόδου, που χρησιμοποιεί το αντικείμενο.

- **Operate:** Θέτει σε λειτουργία το αντικείμενο.
- **Value:** Η τιμή της μέτρησης.

4.5.3 Σειριακή Θύρα - oSERIALPORT

Το αντικείμενο, που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του μικροελεγκτή και του εικονολήπτη, είναι το oSERIALPORT, το οποίο επιτρέπει σύγχρονη ή ασύγχρονη διαχείριση δεδομένων μέσω της σειριακής θύρας. Το αντικείμενο έχει τις εξής ιδιότητες:

- **Baud:** Καθορίζει το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων.
- **Mode:** Καθορίζει σύγχρονη ή ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων.
- **Operate:** Θέτει σε λειτουργία το αντικείμενο.
- **Received:** Η τιμή ενός byte δεδομένων, που εισέρχεται στο χώρο προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων του OOPic.
- **String:** Η τιμή ενός byte δεδομένων, που αναπαρίσταται ως αλφαριθμητικό.
- **Transmitting:** Η τιμή ενός byte δεδομένων, που εξέρχεται από το χώρο προσωρινής αποθήκευσης του OOPic.
- **Value:** Η τιμή ενός εισερχόμενου ή εξερχόμενου byte δεδομένων.

4.5.4. oBYTE

Το αντικείμενο, που αποθηκεύει τιμές μεταβλητών, είναι το oByte. Η τιμή του αντικειμένου αυτού αποτελείται από 8 μονάδες δυαδικής πληροφορίας (bit), με εύρος τιμών από 0 έως 255 . Το αντικείμενο αυτό έχει τις εξής ιδιότητες:

- **NonZero:** Ελέγχει αν η τιμή του αντικειμένου είναι μηδενική ή όχι.
- **String:** Η τιμή του αντικειμένου αναπαρίσταται ως αλφαριθμητικό.
- **Value:** Η τιμή 8 μονάδων δυαδικής πληροφορίας.

4.5.5 oBUFFER

Το αντικείμενο oBuffer αναπαριστά έναν πίνακα μεταβλητού μεγέθους, για την αποθήκευση δεδομένων bytes. Η προσπέλαση των δεδομένων του αντικειμένου μπορεί να γίνει με τον καθορισμό της θέσης του πίνακα των δεδομένων. Το αντικείμενο έχει τις εξής ιδιότητες:

- **Location:** Καθορίζει τη θέση ενός byte στον πίνακα.
- **NonZero:** Ελέγχει αν η τιμή σε κάθε κελί του αντικειμένου είναι μηδενική ή όχι.

- **String:** Οι τιμές των περιεχομένων του αντικειμένου αναπαρίστανται αλφαριθμητικά.
- **Value:** Η τιμή ενός byte σε ένα κελί του πίνακα, που καθορίζεται από την ιδιότητα Location.
- **Width:** Καθορίζει το μέγεθος των δεδομένων του πίνακα σε bytes, με μέγιστη δυνατή τιμή ίση με 32.

4.5.6 Καθυστέρηση Συστήματος

Το αντικείμενο αυτό καθυστερεί την εκτέλεση εντολών του συστήματος του OOPic-R. Το αντικείμενο DELAY προκαλεί στο σύστημα καθυστέρηση 1/100 του δευτερολέπτου, με μέγιστη δυνατή καθυστέρηση περίπου τα 10 λεπτά.

4.6 Περιγραφή Αλγορίθμου Πλοήγησης

4.6.1 Γενικά

Ο αλγόριθμος αυτόνομης πλοήγησης της κίνησης του οχήματος που αναπτύχθηκε, αξιοποιεί πληροφορίες, που αντλούνται από το οπτικό σύστημα και τους αισθητήρες υπερύθρων, με σκοπό την ιχνηλασία χρωμάτων.

Ως πρωτεύων αισθητήρας έχει οριστεί το οπτικό σύστημα, αφού έχει τη δυνατότητα εντοπισμού χρωμάτων, δυνατότητα που στερούνται οι αισθητήρες υπερύθρων. Ωστόσο οι δύο αισθητήρες έχουν συμπληρωματικό ρόλο, αφού όταν ένα συγκεκριμένο χρώμα εντοπιστεί από το οπτικό σύστημα, τότε ο αισθητήρας υπερύθρων διατηρεί το όχημα σε σταθερή απόσταση από αυτό, αποτρέποντας πιθανές συγκρούσεις.

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκε μόνο ο κεντρικός εμπρόσθιος αισθητήρας υπερύθρων, ώστε να παρουσιάζεται κοινή ακτίνα εντοπισμού με το οπτικό σύστημα, αλλά και για τον περιορισμό της πολυπλοκότητας του αλγορίθμου, λόγω της μικρής υπολογιστικής ισχύος του μικροελεγκτή.

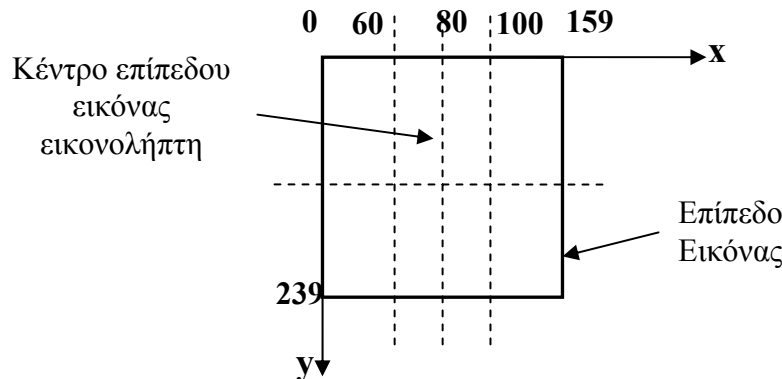
Τέλος, για καλύτερη απόδοση του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης γίνεται ρύθμιση του εικονολήπτη στις συνθήκες φωτισμού του χώρου, με την προσαρμογή των επιπέδων φωτεινότητας και λευκού φωτός. Με τη ρύθμιση των επιπέδων φωτεινότητας ομαλοποιούνται σημεία της εικόνας, που είναι περισσότερο ή λιγότερο φωτεινά. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται σε αρκετά στιγμιότυπα, ώστε ο εικονολήπτης να

προσαρμόσει αυτόματα τους δείκτες φωτεινότητας του. Η ρύθμιση των επιπέδων λευκού φωτός επιτρέπει τα χρώματα που αντιλαμβάνεται ο εικονολήπτης να είναι ίδια, όταν πάνω σε αυτά πέσει λευκό φως. Ο εικονολήπτης, λόγω των ανομοιομορφων συνθηκών φωτισμού στο χώρο και της μεγάλης ευαισθησίας του σε αλλαγές φωτός, αντιλαμβάνεται τα χρώματα διαφορετικά από το ανθρώπινο μάτι.

4.6.2 Σχεδίαση του Ελεγκτή Πλοήγησης

Για την πλοήγηση του οχήματος σχεδιάστηκε ένας αναλογικός ελεγκτής (P-Controller). Κύρια μεταβλητή του ελεγκτή ελέγχου αποτελεί μόνο η τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος. Η κίνηση των αντικειμένων πραγματοποιείται στο επίπεδο και έτσι οι μεταβολές της τεταγμένης του κέντρου βάρους είναι μικρές και δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τη σχεδίαση του ελεγκτή.

Στην Εικόνα 4.4, παρουσιάζεται το σύστημα αναφοράς των συντεταγμένων στο επίπεδο της εικόνας του εικονολήπτη.



Εικόνα 4.4: Σύστημα αναφοράς συντεταγμένων στο επίπεδο της εικόνας του εικονολήπτη

Ο εικονολήπτης εξάγει τιμές του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος. Οι τιμές των συντεταγμένων είναι ακέραιες και κυμαίνονται στα $[0, 160)$ και $[0, 240)$, για την τετμημένη και τεταγμένη αντίστοιχα. Οι τιμές των παραπάνω διαστημάτων αναφέρονται σε εικονοστοιχεία. Όταν επιστρέφεται η τιμή μηδέν τότε το χρώμα που αναζητά ο εικονολήπτης δεν έχει εντοπιστεί. Μεταβολή της τιμής της τετμημένης σημαίνει ότι το εντοπισμένο χρώμα κινείται παράλληλα στο επίπεδο της εικόνας. Μεταβολή της τιμής της τεταγμένης σημαίνει ότι το χρώμα κινείται κατακόρυφα σε σχέση με το επίπεδο της εικόνας. Οι τιμές των συντεταγμένων είναι αυστηρά ακέραιες,

διότι ο μικροελεγκτής δεν υποστηρίζει τη χρήση δεκαδικών τιμών, οι οποίες για την αναπαράστασή τους δεσμεύουν περισσότερη μνήμη από τις ακέραιες.

Όταν ο εικονολήπτης εντοπίζει ένα χρώμα τότε το όχημα θα πρέπει να το προσεγγίσει. Η ενέργεια αυτή καθορίζεται από την τιμή της συντεταγμένης x , η τιμή της οποίας κυμαίνεται στο διάστημα $[0, 160)$. Για $x=80$ το εντοπισμένο χρώμα βρίσκεται στο κέντρο του επιπέδου της εικόνας. Συνεπώς, όταν το κέντρο βάρους του αντικειμένου εντοπιστεί στο διάστημα $(0,60)$, το αντικείμενο βρίσκεται αριστερά του οχήματος, οπότε το όχημα πρέπει να στρίψει αριστερά. Όταν εντοπιστεί το κέντρο βάρους στο διάστημα $[60, 100]$, τότε το αντικείμενο βρίσκεται μπροστά από το όχημα και το όχημα πρέπει να κινηθεί ευθεία, ενώ όταν το κέντρο βάρους εντοπιστεί στο διάστημα $(100, 160)$, τότε το αντικείμενο βρίσκεται δεξιά το οχήματος και θα πρέπει να στρίψει δεξιά. Για την τιμή $x=0$ το όχημα ακινητοποιείται.

Το όχημα διατηρείται σε απόσταση ασφαλείας από το αντικείμενο που παρακολουθεί. Η συνθήκη αυτή επιτυγχάνεται με την ένδειξη του αισθητήρα υπερύθρων, η οποία αποθηκεύεται στην μεταβλητή ' c_IR '.

Οι συνθήκες, που περιγράφησαν παραπάνω, μπορούν συμπεριληφθούν στον ακόλουθο ψευδοκώδικα:

AN $60 \leq x \leq 100$ TOTE

AN $c_IR > 22$ TOTE

Κίνηση Ευθεία

ΑΛΛΙΩΣ AN $c_IR < 18$

Κίνηση προς τα Πίσω

ΑΛΛΙΩΣ

Ακινητοποίηση Οχήματος

ΑΛΛΙΩΣ AN $x < 60$ TOTE

AN $x = 0$ TOTE

Ακινητοποίηση Οχήματος

ΑΛΛΙΩΣ

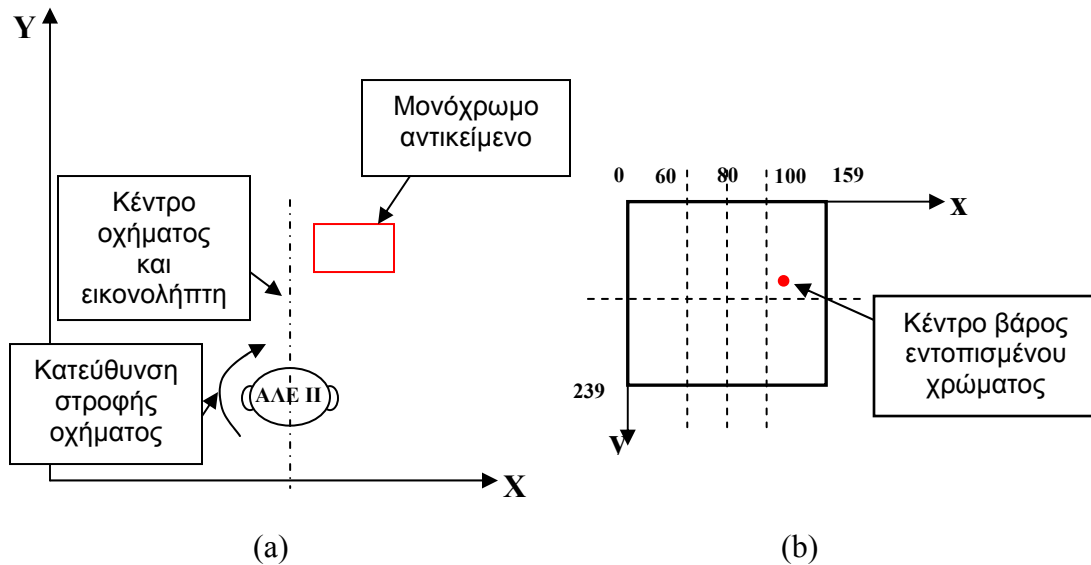
Στρίψε Αριστερά

ΑΛΛΙΩΣ

Στρίψε Δεξιά

Η στροφή του οχήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους. Πρώτος τρόπος είναι δίνοντας στους κινητήρες διαφορετικές τιμές ταχύτητας αλλά ίδιας φοράς, ενώ στο δεύτερο τρόπο οι τιμές ταχύτητας είναι ίσες αλλά αντίθετης φοράς, έτσι το όχημα εκτελεί επιτόπια στροφή γύρω από το μέσο του μετατροχίου του. Ο δεύτερος τρόπος οδηγεί το όχημα να κάνει ανεπιθύμητες ταλαντώσεις κατά την κίνησή του στις στροφές, με αποτέλεσμα η κίνησή του να μην είναι ομαλή. Ο πρώτος τρόπος δεν προκαλεί ταλαντώσεις και για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε. Συνεπώς, όταν το χρώμα εμφανίζεται στα αριστερά του οχήματος το όχημα για να στρίψει αριστερά περιστρέφει τον δεξί του κινητήρα με μεγαλύτερη ταχύτητα από τον αριστερό. Προφανώς για κίνηση προς τα εμπρός ή πίσω, οι ταχύτητες των κινητήρων έχουν την ίδια τιμή.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται γραφικά ένα παράδειγμα ανίχνευσης αντικειμένου κόκκινου χρώματος. Θεωρούμε ότι το αντικείμενο βρίσκεται εντός του οπτικού πεδίου του εικονολήπτη στα δεξιά του οχήματος (Εικόνα 4.5(a)). Έστω ότι το κέντρο βάρους του εντοπισμένου χρώματος ο εικονολήπτης το τοποθετεί στο σημείο (110, 115), (Εικόνα 4.5(b)). Ο ελεγκτής χρησιμοποιεί μόνο την τιμή της τετμημένης, δηλαδή $x=110$, οπότε το όχημα θα πρέπει να στρίψει προς τα δεξιά.



Εικόνα 4.5: Αναπαράσταση ανίχνευσης χρώματος (a) και απεικόνιση του κέντρου βάρους του χρώματος στο επίπεδο της εικόνας του εικονολήπτη (b)

4.6.3 Περιγραφή του Κώδικα

Αρχικά υπάρχει το στάδιο της δήλωσης των αντικειμένων. Στο στάδιο αυτό δηλώνονται τα ονόματα των αντικειμένων που θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η αρχικοποίηση των ιδιοτήτων των αντικειμένων, η οποία πραγματοποιείται μέσω συναρτήσεων. Οι ιδιότητες των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται είναι αυτές που περιγράφονται στην παράγραφο 4.5.

Την αρχικοποίηση των αντικειμένων έπεται η προσαρμογή του εικονολήπτη στις συνθήκες φωτισμού. Το σύστημα παραμένει σε αδρανή κατάσταση για έξι (6) δευτερόλεπτα, όπως ορίζει ο κατασκευαστής του. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι, επειδή ο εικονολήπτης και ο μικροελεγκτής είναι συνδεδεμένοι σειριακά, κάθε φορά που μια εντολή αποστέλλεται στον εικονολήπτη καθαρίζεται ο χώρος προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων της σειριακής σύνδεσης.

Στη συνέχεια ακολουθεί η ανίχνευση χρώματος και ο υπολογισμός της απόστασης του εμποδίου και ο προσανατολισμός του οχήματος, βάσει του ελεγκτή που έχει σχεδιαστεί. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται σε έναν ατέρμονα βρόγχο. Ο τερματισμός του αλγορίθμου πραγματοποιείται όταν ο χρήστης σταματήσει την τροφοδοσία των διατάξεων του οχήματος.

Τα βήματα και το δομικό διάγραμμα του αλγορίθμου (Εικόνα 4.6) που αναπτύχθηκε παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Βήμα 1: Δηλώσεις αντικειμένων.

Βήμα 2: Αρχικοποίηση αισθητήρων.

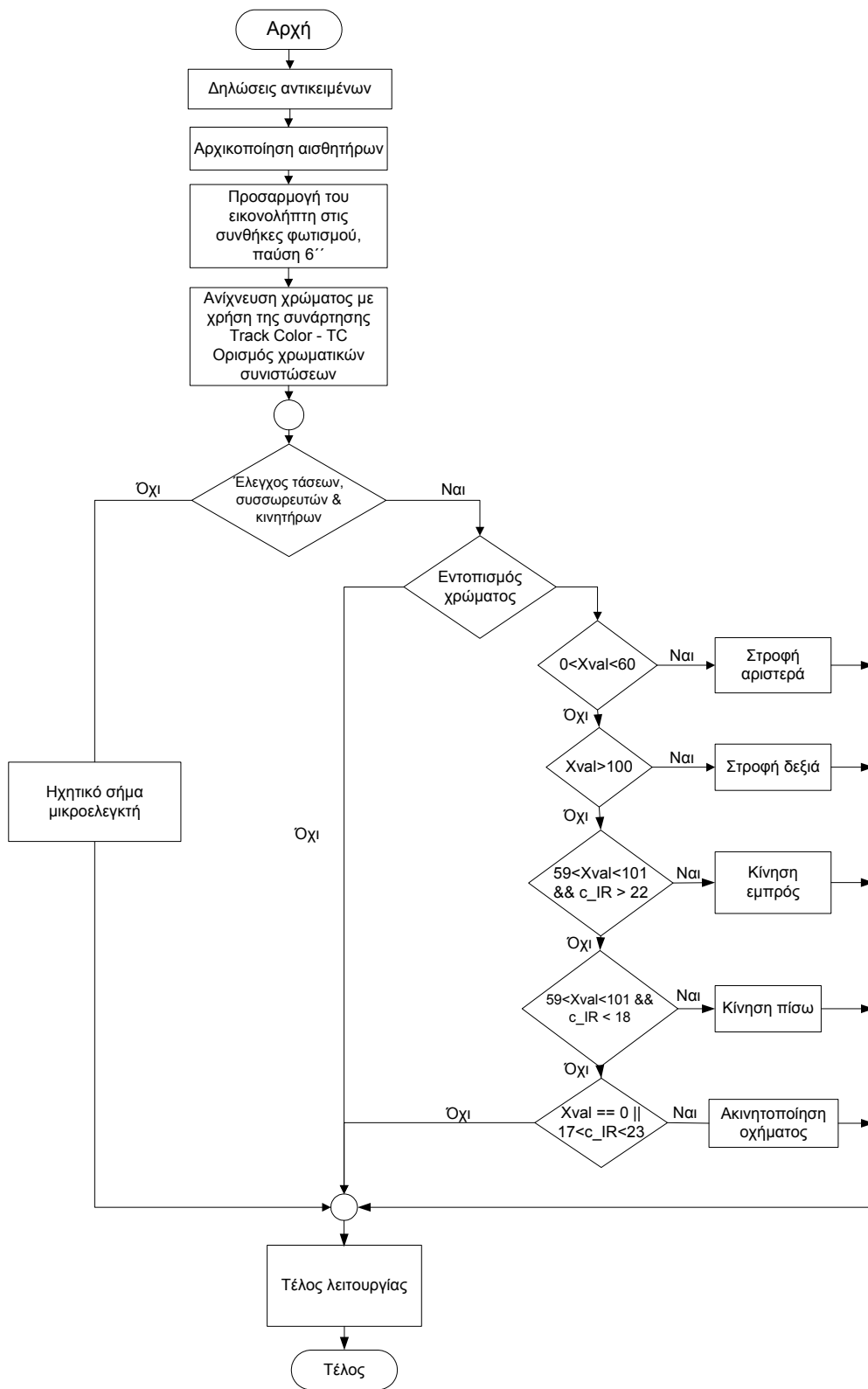
Βήμα 3: Προσαρμογή του οπτικού συστήματος στις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου.

Βήμα 4: Ανίχνευση χρώματος, που βρίσκεται εντός του πεδίου εργασίας του οπτικού συστήματος.

Βήμα 5: Αναζήτηση της θέσης του συγκεκριμένου χρώματος και τοποθέτησή του στο επίπεδο της εικόνας.

Βήμα 6: Υπολογισμός της απόστασης από τους αισθητήρες υπερέθρων.

Βήμα 7: Προσανατολισμός και κίνηση του οχήματος προς το συγκεκριμένο χρώμα. Επιστροφή στο Βήμα 4.



Εικόνα 4.6: Το δομικό διάγραμμα του αλγορίθμου

4.6.4 Περιγραφή Συναρτήσεων του Αλγορίθμου

Ο κώδικας του προγράμματος συντάχθηκε βάσει της γλώσσας προγραμματισμού Basic και για καλύτερη απόδοσή του χρησιμοποιήθηκαν δεκατρείς συναρτήσεις.

Οι υπορουτίνες ***RMotorSetUp()*** και ***LMotorSetUp()*** θέτουν σε λειτουργία και αρχικοποιούν τα αντικείμενα του δεξιού και αριστερού κινητήρα αντίστοιχα. Η υπορουτίνα ***IRSetUp()*** θέτει σε λειτουργία και αρχικοποιεί το αντικείμενο του αισθητήρα των υπερύθρων.

Η υπορουτίνα ***CMUcamSetUp()*** θέτει σε λειτουργία το σειριακό αντικείμενο που αναπαριστά τον εικονολήπτη συστήματος και διαμορφώνει τα δεδομένα απόκρισης του εικονολήπτη σε μια επιθυμητή και εύκολα διαχειρίσιμη μορφή. Η συγκεκριμένη υπορουτίνα καλεί με τη σειρά της την υπορουτίνα ***ComWait()***, η οποία διαχειρίζεται τα δεδομένα που αποστέλλει ο εικονολήπτης στον μικροελεγκτή κατά την επιτυχή λήψη εντολών. Ο εικονολήπτης του συστήματος κατά την ανίχνευση χρώματος αποκρίνεται με μεγάλο όγκο δεδομένων, όμως ο μικροελεγκτής, λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής του ισχύος, δεν μπορεί να χειριστεί όλες αυτές τις πληροφορίες. Συνεπώς, ο όγκος των πληροφοριών πρέπει να μειωθεί με κατάλληλη αρχικοποίηση του οπτικού συστήματος. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά οι εντολές διαμόρφωσης του εικονολήπτη στη συνάρτηση ***CMUcamSetUp()***. Εκτενής περιγραφή της λειτουργίας των εντολών γίνεται στο Παράρτημα Α.

Η διαμόρφωση των δεδομένων σε επιθυμητή μορφή κρίνεται απαραίτητη, διότι ο εικονολήπτης είναι εξοπλισμένος με έναν μικροεπεξεργαστή στα 75 MHz, ενώ ο μικροελεγκτής του οχήματος φέρει έναν μικροεπεξεργαστή στα 20 MHz, ο οποίος δεν μπορεί να διαχειριστεί τον αρχικό όγκο των δεδομένων. Επίσης, η αρχικά προκαθορισμένη ρύθμιση του εικονολήπτη είναι να αποκρίνεται με δεδομένα από ορατούς ASCII χαρακτήρες, δηλαδή κάθε χαρακτήρας να δεσμεύει μνήμη ενός byte. Η ρύθμιση αυτή δεν ευνοεί την εύκολη διαχείριση των δεδομένων από τον μικροελεγκτή.

Αρχικά ενεργοποιήθηκε η εντολή περιορισμού της ροής των δεδομένων (PM – Poll Mode). Η εντολή αυτή επιτρέπει στον εικονολήπτη του οχήματος να ‘απαντά’ με ένα αλφαριθμητικό δεδομένων σε κάθε αίτηση εντολής ανίχνευσης χρώματος. Ο εικονολήπτης έχει τη δυνατότητα να αποκρύπτει κενά πακέτα δεδομένων, δηλαδή πακέτα δεδομένων που περιέχουν μηδενικές τιμές. Η εντολή που ενεργοποιεί αυτή την ιδιότητα είναι η εντολή φιλτραρίσματος δεδομένων (PF – Packet Filtering). Οι εντολές

αυτές περιορίζουν το πλήθος πακέτων απόκρισης του εικονολήπτη σε κάθε αίτηση ανίχνευσης χρώματος, επιτρέποντας καλύτερη διαχείριση των δεδομένων από τον εικονολήπτη. Επίσης χρησιμοποιήθηκε η εντολή καθυστέρησης της αποστολής μονάδων δυαδικών πληροφοριών από τον εικονολήπτη (DM – *Delay Mode*).

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή διαμόρφωσης της δομής του αλφαριθμητικού εξόδου (RM – *Raw Mode*). Η εντολή διαμορφώνει τις απαντήσεις της κάμερας έτσι ώστε οι επιβεβαιώσεις λήψης ή απόρριψης εντολών να αποκρύπτονται και ταυτόχρονα η μορφή του αλφαριθμητικού να είναι σε μη ορατή, από το χρήστη, δυαδική μορφή. Η νέα μορφή του αλφαριθμητικού εξόδου δεν περιλαμβάνει κενά διαστήματα και ξεκινάει με ένα αρχικό διακριτικό byte με την τιμή 255 και τελειώνει με ένα διακριτικό byte με την τιμή 58, που αποτελεί τη δεκαδική τιμή του συμβόλου ‘:’ στον πίνακα ASCII. Η εντολή αυτή προσαρμόστηκε στις ανάγκες του αλγορίθμου ως εξής: ‘RM 3’. Με την εντολή αυτή μειώνεται σημαντικά το μέγεθος του αλφαριθμητικού απόκρισης από μέγεθος >20 bytes, μόλις σε 5 - 10 bytes.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η εντολή περιορισμού των δεδομένων εξόδου (OM – *Output Mask*). Με την εντολή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής των δεδομένων που θα χρησιμοποιήσει. Η εντολή έχει ως είσοδό της δυο ορίσματα, το πρώτο αναφέρεται στην επιλογή του πακέτου, ενώ το δεύτερο ενεργοποιεί τα δεδομένα που θα εμφανιστούν στην οθόνη. Η εντολή αυτή προσαρμόστηκε στις ανάγκες του προγράμματος ως εξής: ‘OM 0 1’. Η πρώτη τιμή, τιμή μηδέν (0), αναφέρεται στο πακέτο απόκρισης ανίχνευσης χρώματος, ενώ η δεύτερη στον αριθμό δεδομένων που θα εμφανίζεται στο πακέτο ανίχνευσης χρώματος. Για τις ανάγκες του αλγορίθμου εμφανίζεται μόνο η τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους και η τιμή αυτή αποθηκεύεται στη μεταβλητή με όνομα ‘XVal’.

Τέλος καλείται η συνάρτηση ανίχνευσης χρώματος (TC – *Track Colour*) με παραμέτρους τις επιθυμητές τιμές ανίχνευσης χρώματος. Για ανίχνευση διαφορετικού χρώματος ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει νέες τιμές. Το γεγονός αυτό καθιστά τον αλγόριθμο δύσχρηστο κατά τη χρήση του από μη εξειδικευμένους χρήστες. Η αρχικά προκαθορισμένη μορφή απόκρισης των δεδομένων της συγκεκριμένης εντολής είναι η εξής:

$$T \text{ mx my x1 y1 x2 y2 pixels confidence}\backslash r, \quad (4.2)$$

όπου στην (4.2) έχουμε τα εξής:

- *T*: Αναφέρεται στο είδος του πακέτου απόκρισης του εικονολήπτη.
- *mx*: Η τετμημένη του κέντρου βάρους.
- *my*: Η τεταγμένη του κέντρου βάρους.
- *x1*: Η τετμημένη του κάτω αριστερού σημείου του οριακού ορθογωνίου.
- *y1*: Η τεταγμένη του κάτω αριστερού σημείου του οριακού ορθογωνίου.
- *x2*: Η τετμημένη του πάνω δεξιού σημείου του οριακού ορθογωνίου.
- *y2*: Η τεταγμένη του πάνω δεξιού σημείου του οριακού ορθογωνίου.
- *pixel*: Ο αριθμός των εικονοστοιχείων του χρώματος που έχει ανιχνευθεί υπό την κλίμακα του 255.
- *confidence*: Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που καλύπτει το οριακό τετράγωνο υπό την κλίμακα του 255.

Η (4.2) μετά την εφαρμογή των παραπάνω εντολών μετασχηματίζεται στην ακόλουθη μορφή:

$$255\ 84\ mx\ 13\ 58, \quad (4.3)$$

όπου,

- 255: Το εναρκτήριο διακριτικό byte της εντολής TC μετά από εφαρμογή της εντολής RM.
- 84: Η δεκαδική τιμή το γράμματος 'T' στον πίνακα ASCII.
- *mx*: Η τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος.
- 13: Η δεκαδική τιμή του χαρακτήρα CR (*Carriage Return*) στον πίνακα ASCII.
- 58: Η δεκαδική τιμή του χαρακτήρα ':' στον πίνακα ASCII.

Η υπορουτίνα ***ComWait()*** χρησιμοποιείται μετά από κάθε αποστολή μιας εντολής στον εικονολήπτη. Ο εικονολήπτης μετά από κάθε επιτυχημένη λήψης μιας εντολής αποκρίνεται με μια συγκεκριμένη τιμή κάθε φορά. Η συνάρτηση αυτή διαβάζει τα δεδομένα εισόδου στον μικροελεγκτή μέχρι να βρει την τιμή '58' και αποτελεί πάντα την τελευταία τιμή κάθε αλφαριθμητικού απόκρισης. Τα περιττά δεδομένα που διαβάζονται δεν αποθηκεύονται, γιατί δεν βοηθούν την λειτουργία του αλγόριθμου πλοήγησης.

Στη συνέχεια καλείται η υπορουτίνα ***TrackColor()***, η οποία με τη σειρά της καλεί τις υπορουτίνες ***Values()*** και ***ColorFollow()***. Η υπορουτίνα ***TrackColor()*** στέλνει στον εικονολήπτη την εντολή ανίχνευσης χρώματος Track Color – TC, η συνάρτηση αυτή

καλείται χωρίς ορίσματα οπότε ο εικονολήπτης ανιχνεύει τις χρωματικές συνιστώσες που έχουν οριστεί στην υπορουτίνα **CMUcamSetUp()**. Η υπορουτίνα **Values()** διαχειρίζεται τα εισερχόμενα δεδομένα στον μικροελεγκτή μετά από ανίχνευση χρώματος από τη συνάρτηση TC. Τα εισερχόμενα δεδομένα έχουν τη μορφή της σχέσης (4.2). Η συνάρτηση αυτή εκχωρεί την τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους στη μεταβλητή 'XVal'.

Τέλος η υπορουτίνα **ColorFollow()** καλεί με τη σειρά της, τις υπορουτίνες που ορίζουν την κίνηση του οχήματος. Οι υπορουτίνες αυτές είναι οι εξής: **Stop()**, **Forward()**, **Backward()**, **TrnRight()**, **TrnLeft()**. Η συνάρτηση περιέχει το σύνολο των συνθηκών που ορίζουν την κίνηση του οχήματος βάσει της μεταβλητής 'XVal', η οποία αναπαριστά την τετμημένη του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος.

4.7 Περιορισμοί του Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.6 επιτρέπει την ιχνηλασία ενός επιθυμητού χρώματος. Απαραίτητη προϋπόθεση για την λειτουργία του αλγορίθμου είναι ο συντονισμός των ρυθμών αποστολής δεδομένων του εικονολήπτη και του μικροελεγκτή του οχήματος, διαφορετικά δεν παρατηρείται επικοινωνία.

Το οπτικό σύστημα είναι σε θέση να απομονώνει ένα συγκεκριμένο χρώμα μέσα σε μια εικόνα. Συνεπώς, ο αλγόριθμος παρουσιάζει βέλτιστη συμπεριφορά κατά την ανίχνευση μονόχρωμων αντικειμένων, μέσα σε ένα ομοιόμορφο χρωματικά περιβάλλον. Η ιχνηλασία μονόχρωμων αντικειμένων στις αποχρώσεις του περιβάλλοντος χώρου, δεν ενδείκνυται, διότι ο εικονολήπτης δεν μπορεί να αναγνωρίσει αν ένα σημείο του περιβάλλοντος χώρου παρόμοιας χρωματικής απόχρωσης, ανήκει στο αντικείμενο που παρακολουθεί το όχημα.

Επίσης για την καλύτερη απόδοση του οπτικού συστήματος προτείνεται η διαμόρφωση όσο το δυνατό περισσότερο ομοιόμορφων συνθηκών φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου. Τέλος, το αντικείμενο πρέπει να είναι σε απόσταση τουλάχιστον μισού μέτρου από το όχημα, ώστε να βρίσκεται συνεχώς εντός του οπτικού πεδίου του εικονολήπτη.

5. Μεθοδολογία με Χρήση Ενδιάμεσου Υπολογιστή Βάσης

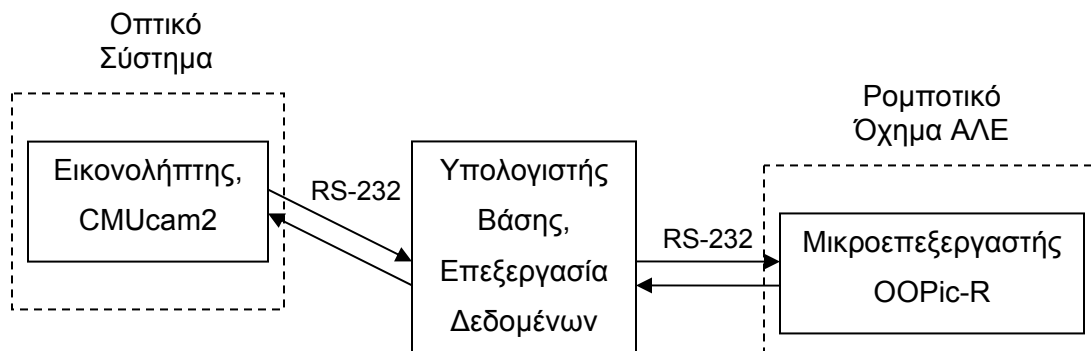
5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μέθοδος πλοήγησης του ρομποτικού οχήματος, με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης. Η παρούσα μεθοδολογία στηρίζεται στη δυνατότητα του υπολογιστή βάσης να επικοινωνεί ταυτόχρονα με δυο διαφορετικές σειριακές συσκευές.

Για την υλοποίηση της μεθόδου σχεδιάστηκε λογισμικό διασύνδεσης, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη να έχει την εποπτεία του συστήματος. Το λογισμικό διασύνδεσης παρέχει δυνατότητες όπως συλλογή εικόνων, αυτόματη ή χειροκίνητη επιλογή χρώματος. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης χρωμάτων με χρήση διαφορετικών εντολών ανίχνευσης χρώματος. Στην παρούσα μεθοδολογία έχει ξεπεραστεί το πρόβλημα της περιορισμένης υπολογιστικής ισχύος, αφού η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται αποκλειστικά σε απομακρυσμένο υπολογιστή βάσης.

5.2 Δομικό Διάγραμμα

Τα κύρια μέρη που συνθέτουν το συνολικό σύστημα, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, παρουσιάζονται στο ακόλουθο δομικό διάγραμμα (Εικόνα 5.1). Στο ρομποτικό όχημα ΑΛΕ είναι συνδεδεμένες όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.1.



Εικόνα 5.1: Δομικό Διάγραμμα του συστήματος με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης

5.3 Ανάπτυξη Περιβάλλοντος Αλληλεπίδρασης

Η ανάπτυξη λειτουργικών, αποτελεσματικών και εύχρηστων εφαρμογών αλληλεπίδρασης διέπεται από βασικές αρχές οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια [17]:

- Εστίαση στις ανάγκες του χρήστη και όχι αποκλειστικά στην τεχνολογία.
- Συμμόρφωση με την οπτική γωνία του χρήστη.
- Σχεδίαση που να μην περιπλέκει το χρήστη.
- Το γραφικό περιβάλλον να διανέμει πληροφορίες και όχι απλά δεδομένα.

Η διαδικασία ανάπτυξης ενός λογισμικού που χαρακτηρίζεται από τις παραπάνω αρχές έχει ως κέντρο της τον χρήστη του γραφικού περιβάλλοντος (*User Centered Design*). Η βασική ιδέα του σχεδιασμού είναι ότι ο χρήστης έχει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό των προδιαγραφών του συστήματος [13].

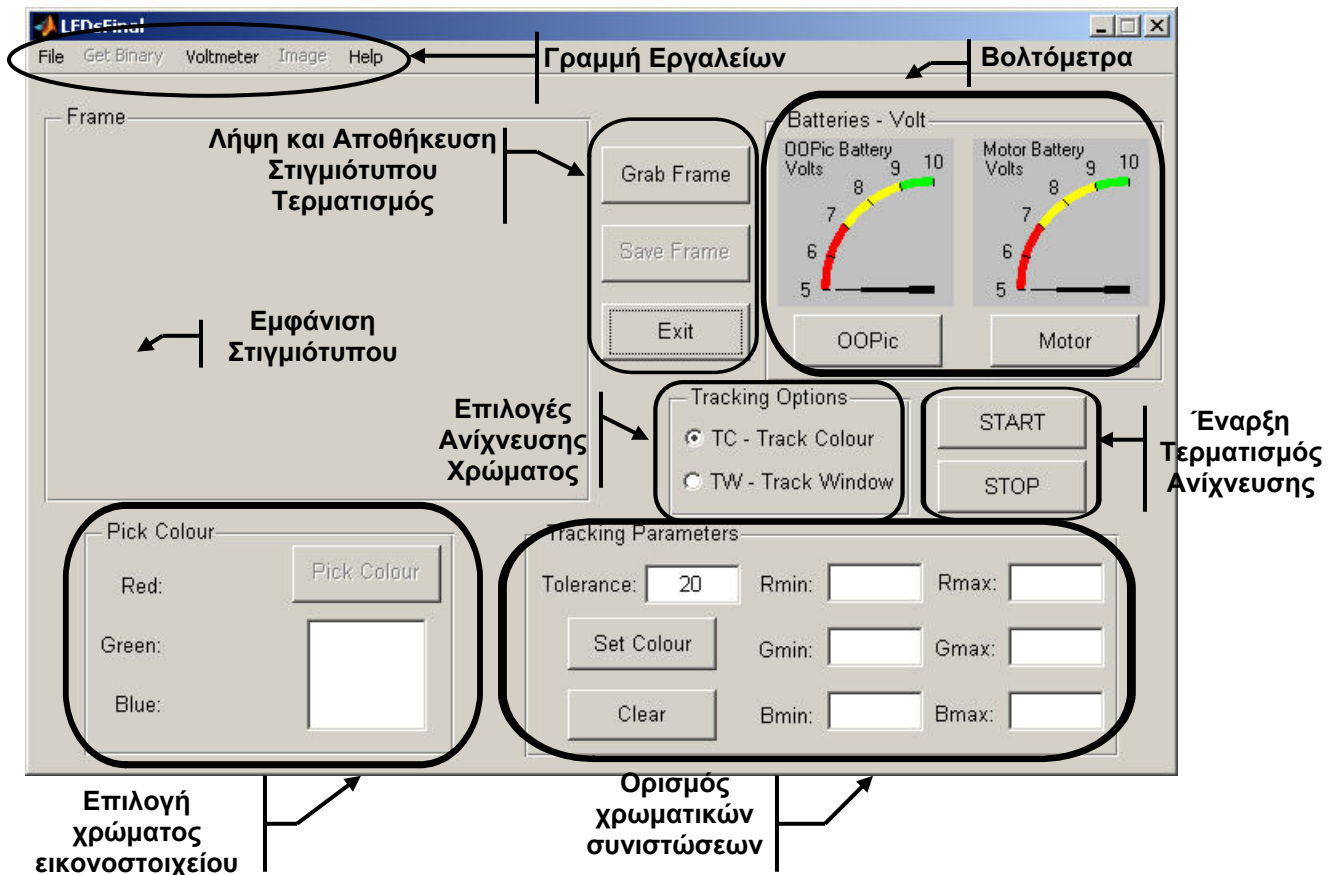
5.3.1 Λογισμικό Σχεδίασης Γραφικού Περιβάλλοντος [13]

Το λογισμικό πακέτο MATLAB παρέχει τη δυνατότητα για την ανάπτυξη γραφικών εφαρμογών υψηλού επιπέδου προγραμματισμού. Η εφαρμογή που παρέχεται είναι το γραφικό περιβάλλον GUIDE (*Graphical User Interface Design Environment*), η οποία διευκολύνει τη σχεδίαση γραφικών εφαρμογών αλληλεπίδρασης, διότι προσφέρει πλήρη εποπτεία των γραφικών στοιχείων, καθώς και εύκολη διαχείριση του απαιτούμενου κώδικα.

Κατά την εκκίνηση της εφαρμογής επιλέγεται να ανοιχθεί ο κενός τύπος του περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης. Κατά την εκτέλεση του προγράμματος το GUIDE αποθηκεύει το γραφικό περιβάλλον σε δύο αρχεία, τα οποία δημιουργούνται την πρώτη φορά που σώζεται το γραφικό περιβάλλον. Το ένα αρχείο είναι κατάληξης *‘.fig’*, που περιέχει πλήρη περιγραφή του σχεδίου των γραφικών στοιχείων, ενώ το άλλο είναι κατάληξης *‘.m’* και περιέχει ολόκληρο τον κώδικα που ελέγχει το γραφικό περιβάλλον. Τα δύο αυτά αρχεία αντιστοιχούν στον σχεδιασμό και τον προγραμματισμό του γραφικού περιβάλλοντος. Το γραφικό περιβάλλον δεν είναι άμεσα εκτελέσιμο, συνεπώς πρέπει η εκτέλεσή του να γίνει μέσω του περιβάλλοντος της MATLAB και το αρχείο που πρέπει να εκτελεστεί είναι το *LEDsFinal.m*.

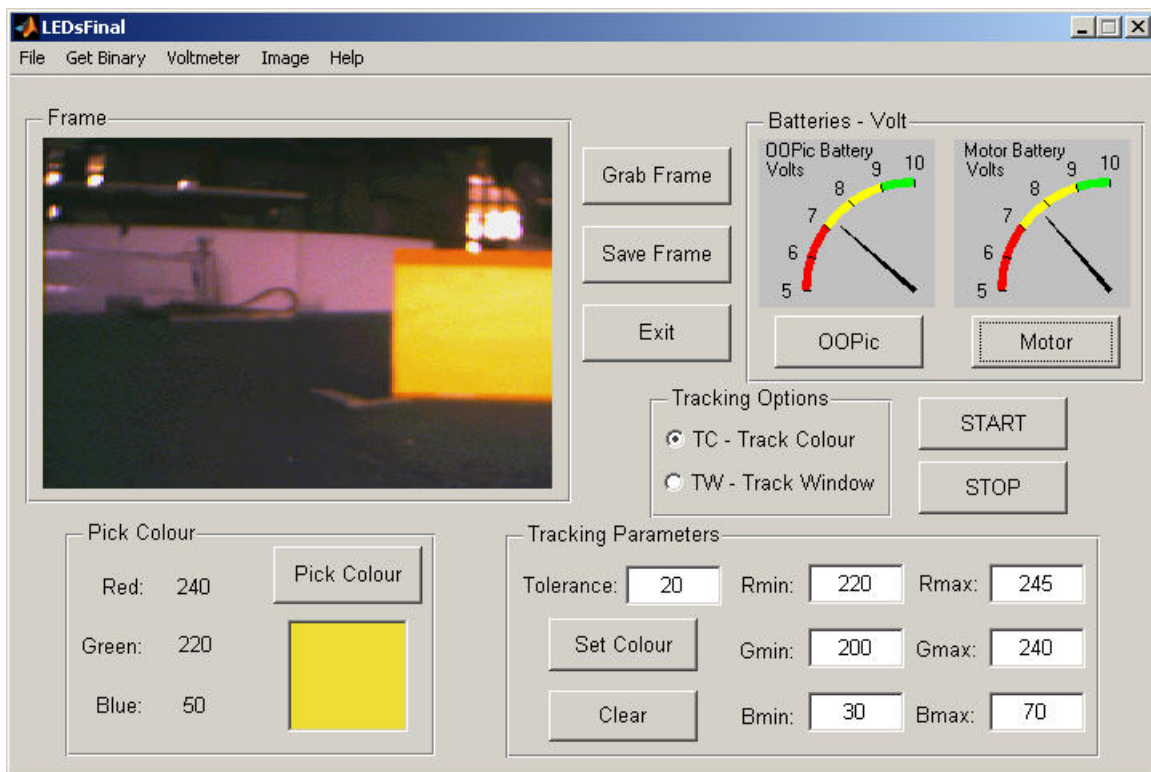
5.3.2 Βασικό Παράθυρο

Το βασικό παράθυρο είναι το αντικείμενο στο οποίο περιέχονται όλα τα γραφικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης. Το βασικό παράθυρο αποτελείται από τη γραμμή εργαλείων, την εμφάνιση του στιγμιότυπου, την επιλογή χρώματος ενός εικονοστοιχείου, τον ορισμό των χρωματικών συνιστώσεων, τις επιλογές ανίχνευσης χρώματος, τη δυνατότητα λήψης και αποθήκευσης στιγμιότυπων και τα κουμπιά έναρξης και τερματισμού της διαδικασίας ανίχνευσης (Εικόνα 5.2). Σε βοηθητικά παράθυρα εμφανίζονται προειδοποιητικά μηνύματα ή άλλα μηνύματα σφάλματος.



Εικόνα 5.2: Το παράθυρο του γραφικού περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης

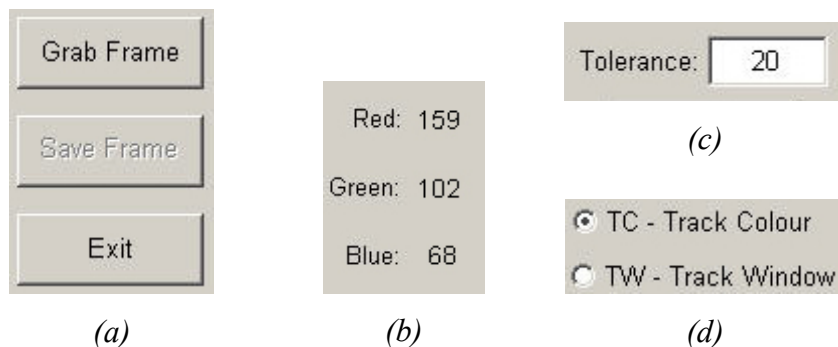
Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται το βασικό παράθυρο του λογισμικού κατά τη λειτουργία του. Είναι εμφανή τα γραφικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 5.3: Στιγμιότυπο του λογισμικού κατά τη λειτουργία του

5.3.3 Γραφικά Στοιχεία Ελέγχου

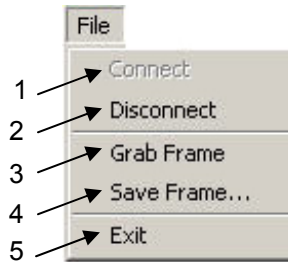
Τα γραφικά στοιχεία ελέγχου επιτρέπουν την αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή. Η εφαρμογή GUIDE προσφέρει πληθώρα γραφικών στοιχείων ελέγχου που διευκολύνουν το σχεδιασμό εύχρηστων και λειτουργικών εφαρμογών. Στην Εικόνα 5.4 παρουσιάζονται μερικά από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή.



Εικόνα 5.4:Γραφικά Στοιχεία Ελέγχου, κουμπιά εκτέλεσης εντολών (a), ετικέτες εμφάνισης τιμών (b), κουτιά εισαγωγής κειμένου(c), διακόπτες ενεργοποίησης λειτουργιών (d)

5.3.4 Γραμμή Εργαλείων

Στο περιβάλλον αλληλεπίδρασης δημιουργήθηκε μια γραμμή εργαλείων που βρίσκεται στην επάνω αριστερή πλευρά του παραθύρου. Ο σχεδιασμός του έγινε για την ευκολότερη διαχείριση της εφαρμογής, καθώς και για την ύπαρξη πρόσθετων εφαρμογών και πληροφοριών, οι οποίες δεν θέλαμε να είναι εμφανής στο βασικό παράθυρο. Ο κατάλογος των εντολών παρέχει πέντε επιλογές στον χρήστη. Αυτές είναι οι ακόλουθες, σύμφωνα με τη σειρά που παρουσιάζονται στο βασικό παράθυρο της εφαρμογής. Η Εικόνα 5.5 παρουσιάζει τις επιλογές του μενού Αρχείο (File).



Εικόνα 5.5: Το μενού Αρχείο (File) του λογισμικού

Σύνδεση (Connect):

1.



Απενεργοποιημένο. Ενεργοποιείται μετά την αποσύνδεση των σειριακών συσκευών. Εμφανίζει το μενού εισαγωγής των αριθμών των σειριακών θυρών κάθε συσκευής.

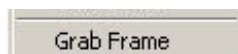
2.



Αποσύνδεση (Disconnect):

Αποσυνδέει τις σειριακές συσκευές.

3.



Λήψη Στιγμιότυπου (Grab Frame):

Λήψη του στιγμιότυπου από τον εικονολήπτη.

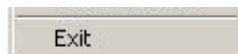
4.



Αποθήκευση Στιγμιότυπου (Save Frame):

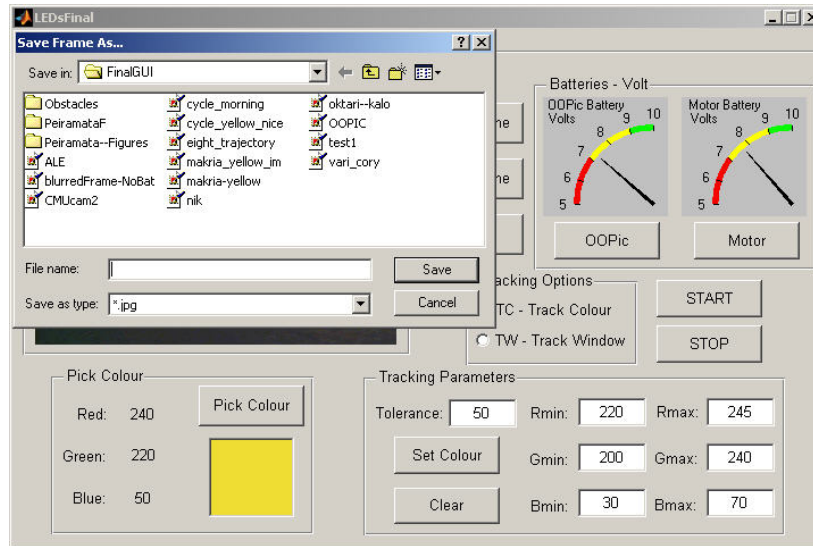
Αποθηκεύει το στιγμιότυπο σε μορφή '.jpg', σε οποιοδήποτε φάκελο επιθυμεί ο χρήστης (Εικόνα 5.6).

5.

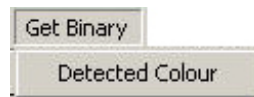


Εξόδος (Grab Frame):

Αποσύνδεση των σειριακών συσκευών και τερματισμός του προγράμματος.

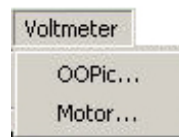


Εικόνα 5.6: Το παράθυρο διαλόγου για την αποθήκευση του στιγμιότυπου



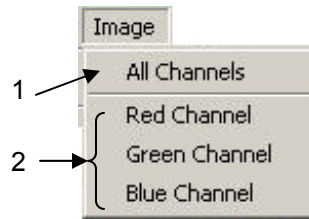
Εικόνα 5.7: Το μενού Λήψη Δυαδικού (Get Binary) του λογισμικού

Στην Εικόνα 5.7 με την επιλογή Λήψη Δυαδικού (Get Binary) εμφανίζεται ο υποκατάλογος Δυαδική Εικόνα (Binary Image), όπου ο χρήστης λαμβάνει δυαδική εικόνα του στιγμιότυπου, η οποία περιέχει τις τιμές του ανιχνευόμενου χρώματος. Εικονοστοιχεία τα οποία περιέχουν τις τιμές του προς ανίχνευση χρώματος χρωματίζονται λευκά, διαφορετικά χρωματίζονται μαύρα. Επίσης τυπώνεται το κέντρο βάρους του εντοπισμένου χρώματος.



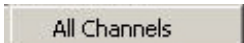
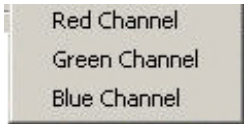
Εικόνα 5.8: Το μενού Βολτόμετρα (Voltmeter) του λογισμικού

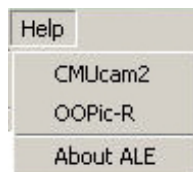
Στην Εικόνα 5.8 παρουσιάζεται το μενού Μετρητές Τάσεων (Voltmeter) με τις επιλογές OOPic και Motor εμφανίζονται οι τιμές των τάσεων των συσσωρευτών του μικροελεγκτή και των κινητήρων του οχήματος.



Εικόνα 5.9: Το μενού Εικόνα (Image) του λογισμικού

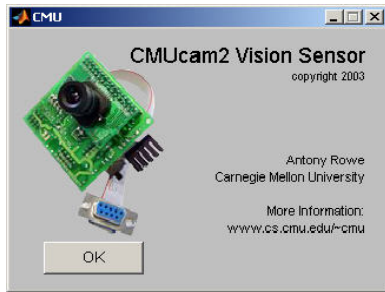
Στην Εικόνα 5.9 παρουσιάζεται το μενού Εικόνα. Η επιλογή αυτή της γραμμής εργαλείων ενεργοποιείται μετά τη λήψη του στιγμιότυπου.

1.  *Όλες οι Συνιστώσες (All Channels):*
Εμφανίζει το αρχικό στιγμιότυπο με τις τιμές όλων των χρωματικών συνιστώσεων.
2.  *Κόκκινη, Πράσινη, Μπλε Συνιστώσα (Red, Green, Blue Channel):*
Εμφανίζουν το στιγμιότυπο μόνο με τις τιμές της χρωματικής συνιστώσας που δηλώνουν.



Εικόνα 5.10: Το μενού Βοήθεια (Help) του λογισμικού

Στην Εικόνα 5.10 εμφανίζεται ο κατάλογος Βοήθεια (Help), με τις επιλογές CMUcam2, OOPic-R και About ALE (Εικόνες 5.11 - 5.13), ο οποίος εμφανίζει πληροφορίες σχετικές με την κάθε συσκευή.



Εικόνα 5.11: Πληροφορίες σχετικά με την CMUcam2



Εικόνα 5.12: Πληροφορίες σχετικά με τον OOPic-R

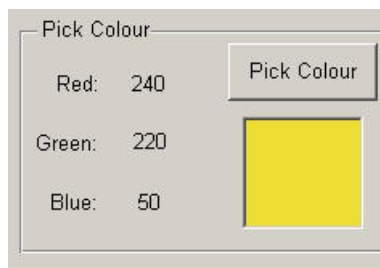


Εικόνα 5.13: Πληροφορίες σχετικά με το όχημα ΑΛΕ II

5.3.5 Εμφάνιση στιγμιότυπου

Απαραίτητη για την πλοήγηση του οχήματος είναι η λήψη ενός στιγμιότυπου από τον εικονολήπτη. Το στιγμιότυπο εμφανίζεται σε καθορισμένη θέση στο χώρο του λογισμικού, το οποίο εμφανίζεται στις πραγματικές του διαστάσεις.

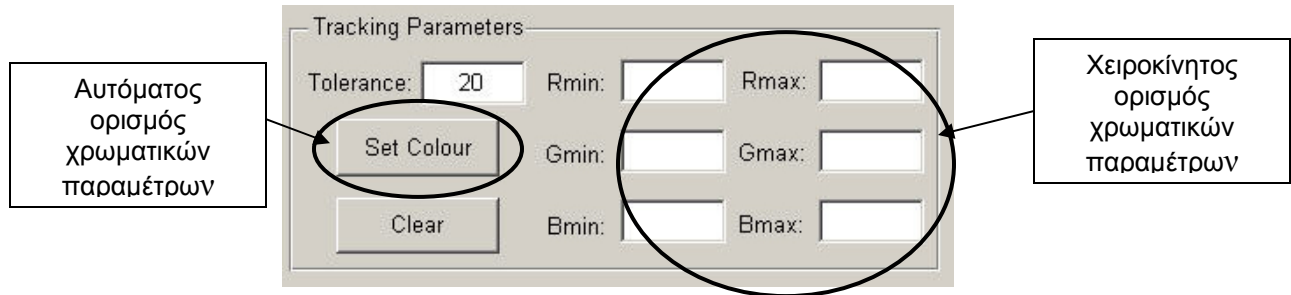
5.3.6 Επιλογή χρώματος εικονοστοιχείου



Εικόνα 5.14: Επιλογή χρώματος εικονοστοιχείου

Στην Εικόνα 5.14 παρουσιάζεται εφαρμογή επιλογή χρώματος εικονοστοιχείου. Η επιλογή αυτή αρχικά είναι απενεργοποιημένη και ενεργοποιείται μετά τη λήψη του στιγμιότυπου. Ο χρήστης επιλέγει ένα σημείο μέσα στις διαστάσεις της εικόνας και μετά το πάτημα του κουμπιού 'Pick Colour' εμφανίζονται οι τιμές των χρωματικών συνιστώσεων του εικονοστοιχείου.

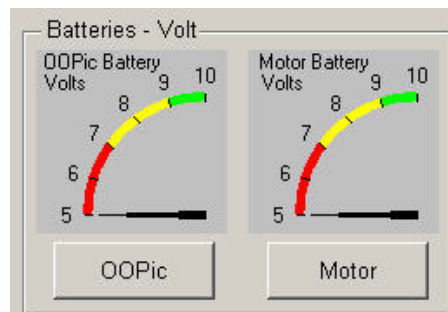
5.3.7 Ορισμός χρωματικών παραμέτρων



Εικόνα 5.15: Ορισμός χρωματικών παραμέτρων

Στην Εικόνα 5.15 παρουσιάζεται η επιλογή ορισμού των χρωματικών παραμέτρων. Η επιλογή αυτή είναι συνεχώς ενεργοποιημένη και ο χρήστης μπορεί να εισάγει τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή για κάθε χρωματική συνιστώσα αυτόματα με το πάτημα του κουμπιού 'Set Colour' ή χειροκίνητα εισάγοντας ο ίδιος τις αντίστοιχες τιμές. Ο αυτόματος ορισμός των παραμέτρων προϋποθέτει την επιλογή του χρώματος του εικονοστοιχείου. Τέλος, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει το εύρος της μέγιστης και ελάχιστης τιμής.

5.3.8 Μετρητές τάσεων



Εικόνα 5.16: Μετρητές τάσεων συσσωρευτών μικροελεγκτή και κινητήρων

Οι μετρητές τάσεων αναπαρίστανται με τη χρήση των γραφικών στοιχείων activex controls. Τα γραφικά αυτά στοιχεία επιτρέπουν και προάγουν την αλληλεπίδραση με την εφαρμογή. Το αντικείμενο που χρησιμοποιήθηκε είναι ο γωνιακός μετρητής (Angular activex control) και χρησιμοποιήθηκε για την αναπαράσταση των μετρητών των τάσεων των συσσωρευτών.

Στην Εικόνα 5.16 παρουσιάζεται η μορφή των μετρητών. Διακρίνεται η χρωματική κλίμακα, όπου για τιμές τάσεων από 5 μέχρι 7 V, εμφανίζεται προειδοποιητικό μήνυμα διακοπής της λειτουργίας της εφαρμογής και αναφόρτισης των συσσωρευτών, διαφορετικά εμφανίζεται μήνυμα με τις ενδείξεις των τιμών των τάσεων.

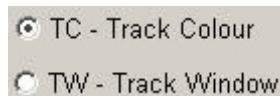
5.3.9 Λήψη και Αποθήκευση Στιγμιότυπου και Τερματισμός



Εικόνα 5.17: Λήψη και αποθήκευση στιγμιότυπου και τερματισμός προγράμματος

Στην Εικόνα 5.17 διακρίνονται οι επιλογές λήψης (Grab Frame) και αποθήκευσης (Save Frame) του στιγμιότυπου. Η επιλογή αποθήκευσης του στιγμιότυπου ενεργοποιείται μετά την επιτυχή λήψη του. Η επιλογή έξοδος (Exit) αποσυνδέει τις σειριακές συσκευές και τερματίζει τη λειτουργία του λογισμικού.

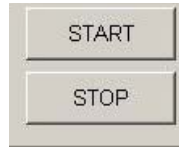
5.3.10 Επιλογές Ανίχνευσης



Εικόνα 5.18: Επιλογές ανίχνευσης TC –Track Colour και TW – Track Window

Στην Εικόνα 5.18 διακρίνονται οι τρόποι ανίχνευσης χρώματος. Η πρώτη μέθοδος (TC –Track Colour) απαιτεί τον ορισμό των τιμών των χρωματικών συνιστώσεων. Η δεύτερη μέθοδος (TW – Track Window) δεν απαιτεί τον ορισμό των παραμέτρων. Προϋποθέτει όμως την τοποθέτηση ενός επιθυμητού χρώματος στο οπτικό πεδίο του εικονολήπτη, ώστε να επιλεγεί αυτόματα το χρώμα που βρίσκεται στο κέντρο του οπτικού πεδίου.

5.3.11 Έναρξη και Τερματισμός Ανίχνευσης



Εικόνα 5.19: Έναρξη και τερματισμός ανίχνευσης χρώματος

Στην Εικόνα 5.19 παρουσιάζονται τα κουμπιά έναρξης (START) και τερματισμού (STOP) της διαδικασίας ανίχνευσης. Το κουμπί της έναρξης απενεργοποιείται μετά το πάτημά του και ενεργοποιείται με το πάτημα του κουμπιού ακινητοποίησης. Το κουμπί ακινητοποίησης επαναφέρει τον εικονολήπτη στις αρχικά προκαθορισμένες του τιμές και τερματίζει την ανίχνευση του χρώματος.

5.3.12 Προειδοποιητικά Μηνύματα

Σκοπός του περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης είναι να ενημερώνει το χρήστη σε περιπτώσεις εσφαλμένης λειτουργίας ή απλά να τον προειδοποιεί για την εξέλιξη των διαδικασιών που εκτελούνται. Για τους λόγους αυτούς στο πρόγραμμα έχουν ενσωματωθεί προειδοποιητικά μηνύματα, τα οποία είναι τα εξής:



Εικόνα 5.20: Προειδοποιητικό μήνυμα προσαρμογής του εικονολήπτη στις συνθήκες φωτισμού

Προειδοποιητικό μήνυμα.

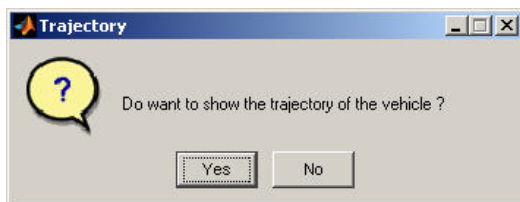
Εμφανίζεται κατά την έναρξη του προγράμματος, το οποίο ενημερώνει το χρήστη για την προσαρμογή του εικονολήπτη στις συνθήκες φωτισμού του χώρου (Εικόνα 5.20).



Εικόνα 5.21: Μήνυμα λάθους η επιλογή του εικονοστοιχείου είναι εκτός ορίων

Μήνυμα λάθους.

Εμφανίζεται όταν ο χρήστης επιλέξει κάποιο σημείο του λογισμικού, το οποίο δεν ανήκει στο στιγμιότυπο για την επιλογή χρώματος (Εικόνα 5.21).



Εικόνα 5.22: Εμφάνιση γραφημάτων θέσης και ταχυτήτων του οχήματος



Εικόνα 5.23: Εμφάνιση τιμών των τάσεων των συσσωρευτών του μικροελεγκτή και των κινητήρων



Εικόνα 5.24: Αναφόρτιση συσσωρευτών



Εικόνα 5.25: Δήλωση αριθμών σειριακής θύρας για κάθε συσκευή

Προειδοποιητικό Μήνυμα.

Ο χρήστης επιλέγει αν θα εμφανιστούν τα γραφήματα θέσης και ταχυτήτων του οχήματος (Εικόνα 5.22).

Προειδοποιητικό Μήνυμα.

Ο χρήστης ενημερώνεται για τις τιμές των τάσεων των συσσωρευτών του μικροελεγκτή και των κινητήρων (Εικόνα 5.23).

Μήνυμα λάθους.

Μήνυμα τερματισμού λειτουργίας και αναφόρτισης των συσσωρευτών λόγω μη επάρκειας της τιμής των τάσεων (Εικόνα 5.24).

Βοηθητικό Μήνυμα.

Μήνυμα στο οποίο ο χρήστης καλείται να εισάγει τους αριθμούς των σειριακών θυρών με τα οποία έχει συνδεθεί η κάθε συσκευή. (Εικόνα 5.25).

5.4 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας

Κάθε σειριακή συσκευή απαιτεί έναν προκαθορισμένο τρόπο, με τον οποίο εντολές θα πρέπει να αποστέλλονται σε αυτήν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός προγράμματος. Το σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι η γλώσσα με την οποία κάθε προγραμματιστής μπορεί να επικοινωνεί με τη συσκευή αυτή.

Το σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας επιτρέπει στον εκάστοτε προγραμματιστή να ελέγξει τις ιδιότητες της συσκευής, αλλά και να δημιουργήσει εφαρμογές που κάνουν χρήση της συσκευής. Συνήθως το σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας περιέχει εντολές από ένα σύνολο αναγνώσιμων χαρακτήρων των οποίων η διαχείριση γίνεται ως αλφαριθμητικά.

5.4.1 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας του OOPic-R

Κατά την ενεργοποίησή του ο μικροελεγκτής επικοινωνεί με τις I/O γραμμές 22 και 23 αντίστοιχα. Οι προκαθορισμένες ρυθμίσεις για τη σειριακή επικοινωνία είναι οι ακόλουθες: ρυθμός αποστολής δεδομένων: 9600, πλήθος μονάδων πληροφορίας: 8, μονάδα ισοτιμίας: όχι, πληροφορίας τέλους: 1, έλεγχος ροής του προγράμματος: όχι. Οι ρυθμίσεις συμβολίζονται με τον εξής τρόπο: 9600, 8, N, 1, N. Το εύρος του ρυθμού αποστολής δεδομένων του μικροελεγκτή κυμαίνεται από 1200 μέχρι 9600 BPS. Στη συνέχεια περιγράφονται μόνο οι χαρακτήρες του σειριακού πρωτόκολλου επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του προγράμματος.

Για τον καθορισμό του σειριακού τρόπου ελέγχου του μικροελεγκτή πρέπει να σταλεί από τον χρήστη ένας χαρακτήρας διαφυγής. Οι χαρακτήρες διαφυγής αναπαρίστανται με την χρήση του χαρακτήρα “\” και ενός άλλου χαρακτήρα που τον ακολουθεί. Όταν ο μικροελεγκτής είναι ενεργός η ηλεκτρονική υπομονάδα του σειριακού πρωτόκολλου επικοινωνίας καταγράφει σιωπηλά όλους τους χαρακτήρες που αποστέλλονται από την σειριακή θύρα, μέχρι να εντοπίσει κάποιον χαρακτήρα διαφυγής. Εάν θέσουμε τον μικροελεγκτή υπό σειριακό έλεγχο, τότε είναι δυνατή η διαχείριση των αντικειμένων του OOPic. Αυτό ισχύει μέχρι ένας νέος χαρακτήρας διαφυγής να αλλάξει την κατάσταση ελέγχου. Για τεθεί ο OOPic υπό σειριακό έλεγχο στέλνεται “\0” και για να τεθεί εκτός ελέγχου στέλνεται “\A”[13, 16].

Από την στιγμή που ο μικροελεγκτής βρεθεί υπό σειριακό έλεγχο μπορούν να σταλούν εντολές σε αυτόν, έτσι ώστε να γραφτούν και να διαβαστούν τιμές από τα αντικείμενα που λειτουργούν. Στην περίπτωση που είναι εκτός σειριακού ελέγχου ο μικροελεγκτής αγνοεί όλες τις εντολές που στέλνονται. Η μορφή των εντολών που αποστέλλονται είναι η ακόλουθη:

53J100NM

Η εντολή αναλύεται ως εξής: “**διεύθυνση μνήμης του αντικείμενου, J, τιμή στο αντικείμενο, N, M**”. Στον κώδικα που υπάρχει στον OOPic κάθε αντικείμενο κατέχει μια συγκεκριμένη θέση μνήμης. Το παραπάνω παράδειγμα σημαίνει ότι στο αντικείμενο του αριστερού κινητήρα (με διεύθυνση μνήμης 53), εκχωρήθηκε η τιμή 100. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες θέσεις μνήμης των αντικειμένων που χρησιμοποιούνται.

Πίνακας 1: Διαστασιολόγηση αντικειμένων μικροελεγκτή

| Αντικείμενο | Θέση Μνήμης | Τιμές |
|---------------------|-------------|---------------------------------|
| Δεξί Οδόμετρο | 041 | 0 – 65535 |
| Αριστερό Οδόμετρο | 047 | |
| Αριστερός Κινητήρας | 053 | -128...0...128 |
| Δεξιός Κινητήρας | 058 | |
| Τάση Κινητήρων | 063 | Volt = (Reading)*0.42761 |
| Τάση Μικροελεγκτή | 066 | |
| Αριστερό IR | 069 | Dis = (Reading)*0.47625 |
| Κεντρικό IR | 074 | |
| Δεξί IR | 079 | |
| Οπίσθιο IR | 084 | |
| Πυξίδα | 121 | Degree= (Reading)*1.411 |

Οι κινητήρες είναι τα μόνα αντικείμενα του μικροελεγκτή στα οποία εκχωρούνται τιμές. Σε όλα τα υπόλοιπα η μόνη δυνατότητα που έχει ο χρήστης είναι να διαβάσει τιμές από αυτά. Κατά τη σύνταξη μιας εντολής για να εκχωρηθούν τιμές σε ένα αντικείμενο πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο χαρακτήρας “N”, ο οποίος και ακολουθεί την τιμή που αποστέλλεται στο αντικείμενο. Να αναφερθεί ότι σε ένα αλφαριθμητικό που εκχωρεί τιμές στους κινητήρες το λογισμικό διασύνδεσης στέλνει ένα χαρακτήρα τερματισμού (Terminator Character), ο οποίος είναι ο χαρακτήρας ‘m’. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κάθε φορά να επιστρέφεται η τιμή της ταχύτητας των κινητήρων, με αποτέλεσμα οι ενδείξεις των υπόλοιπων αισθητήρων να μην είναι έγκυρες. Συνεπώς, ο χαρακτήρας τερματισμού πρέπει να μην αποστέλλεται όταν τιμές εκχωρούνται στους κινητήρες. Το λογισμικό

διασύνδεσης προβλέπει την περίπτωση αυτή οπότε ο χρήστης θα πρέπει να κάνει την εξής σύνταξη του αλφαριθμητικού:

fprintf(OOPic, '%s', '53j100n')

Ο μικροελεγκτής είναι προγραμματισμένος ώστε κάθε φορά που στέλνεται μια εντολή να απαντάει με ένα χαρακτήρα επιβεβαίωσης, ο οποίος είναι ίδιος με τον τελευταίο χαρακτήρα της εντολής που στάλθηκε, έτσι ώστε ο χρήστης να είναι σίγουρος ότι υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή βάσης και του μικροελεγκτή. Αυτή η επιλογή μπορεί να απενεργοποιηθεί στέλνοντας την εντολή "U".

Το λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης, παρέχει τη δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή. Για την αποστολή των εντολών χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση *fprintf()*, η οποία επιτρέπει την αποστολή δεδομένων σε μορφή αλφαριθμητικού. Για την ανάγνωση των τιμών των αντικειμένων χρησιμοποιείται η συνάρτηση *fgetl()* και οι δυο εντολές αναφέρονται στην αποστολή και λήψη ASCII δεδομένων.

Η διαδικασία αποστολής και λήψης έχει ως εξής: ο χρήστης στέλνει την εντολή ανάγνωσης της τιμής ενός αντικειμένου, από τον υπολογιστή βάσης στον μικροελεγκτή, ο μικροελεγκτής επιστρέφει την τιμή στον υπολογιστή βάσης όπου μέσω της σειριακής θύρας την λαμβάνει ο χρήστης. Για παράδειγμα για να διαβαστεί η τιμή του κεντρικού αισθητήρα υπερύθρων ο χρήστης στέλνει:

fprintf(OOPic, '74J')

Infrared = fgetl(OOPic)

Στη μεταβλητή Infrared αποθηκεύεται η τιμή του κεντρικού αισθητήρα υπερύθρων. Με την χρήση της συνάρτησης *fgetl()* λαμβάνονται δεδομένα από τον μικροελεγκτή, αλλά από κάθε δεδομένο που λαμβάνεται απορρίπτεται ο τελευταίος του χαρακτήρας, ο οποίος έχει οριστεί να είναι ο χαρακτήρας 'm'. Ο μικροελεγκτής λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής του ισχύος απαντά μόνο με ακέραιους αριθμούς και για το λόγο αυτό πρέπει να γίνει μετατροπή των τιμών σε μονάδες κατανοητές από χρήστη. Με αντίστοιχο τρόπο γίνονται η αποστολή και λήψη δεδομένων των υπόλοιπων οργάνων που έχουν διαστασιοποιηθεί στον μικροελεγκτή.

5.4.2 Το Σειριακό Πρωτόκολλο Επικοινωνίας της CMUcam2

Οι προκαθορισμένες ρυθμίσεις για τη σειριακή επικοινωνία του εικονολήπτη είναι οι ακόλουθες: ρυθμός αποστολής δεδομένων: 115200, πλήθος μονάδων πληροφορίας: 8, μονάδα ισοτιμίας: όχι, πληροφορίας τέλους: 1, έλεγχος ροής του προγράμματος: όχι. Οι ρυθμίσεις συμβολίζονται με τον εξής τρόπο: 115200, 8, N, 1, N. Το εύρος του ρυθμού επικοινωνίας του μικροεπεξεργαστή του εικονολήπτη κυμαίνεται από 1200 μέχρι 115200 BPS. Ο εικονολήπτης για να τεθεί υπό σειριακό έλεγχο, θα πρέπει να τοποθετηθεί ένας βραχυκυκλωτήρας (*jumper*) στη θέση που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3.

Όλες οι εντολές αποστολής χρησιμοποιούν ορατούς ASCII χαρακτήρες, όπου κάθε χαρακτήρας αποτελεί ένα byte. Σε μια επιτυχή ή ανεπιτυχή αποστολή μιας εντολής, ο εικονολήπτης επιστρέφει ένα αλφαριθμητικό επιβεβαίωσης ή απόρριψης, το οποίο είναι το 'ACK' ή το 'NCK' αντίστοιχα. Για την ενεργοποίηση μιας εντολής απαιτείται ο τελευταίος χαρακτήρας να είναι ο '\r'. Η δυνατότητα ορισμού του τελευταίου χαρακτήρα παρέχεται από το λογισμικό πακέτο MATLAB και έτσι έχει οριστεί η ASCII αναπαράσταση του χαρακτήρα αυτού, που είναι ο αριθμός 13. Τέλος το μέγεθος του προσωρινού χώρου αποθήκευσης των εισερχόμενων δεδομένων της σειριακής θύρας έχει μεγαλώσει, γιατί το αρχικά προκαθορισμένο μέγεθος δεν επαρκούσε, διότι έπρεπε να αποθηκευτεί το στιγμιότυπο που ο χρήστης λαμβάνει. Το αρχικά προκαθορισμένο μέγεθος αποθήκευσης ήταν 512 bytes, ενώ το μέγεθος της εικόνας είναι περίπου 115kB.

Οι εντολές του εικονολήπτη ομαδοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το έργο που εκτελούν. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιήθηκαν εντολές για την ανίχνευση χρώματος, εντολές περιορισμού της ροής των δεδομένων.

Το λογισμικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του γραφικού περιβάλλοντος αλληλεπίδρασης παρέχει τη δυνατότητα σειριακής επικοινωνίας και με τον εικονολήπτη. Για την αποστολή των εντολών χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση *fprintf()*, η οποία επιτρέπει την αποστολή δεδομένων σε μορφή αλφαριθμητικού. Για την ανάγνωση των αλφαριθμητικών απόκρισης χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις *fscanf()* και *fread()*. Η πρώτη χρησιμοποιείται για την ανάγνωση ASCII χαρακτήρων, όπου το αποτέλεσμα της ανάγνωσης επιστρέφεται ως αλφαριθμητικό. Η δεύτερη χρησιμοποιείται για την ανάγνωση δεδομένων δυαδικής μορφής και ως ορίσματά της δέχεται τον αριθμό

των bytes που αναμένεται να διαβάσει και την επιθυμητή μορφή των δεδομένων. Για τις ανάγκες του λογισμικού κάθε φορά η συγκεκριμένη συνάρτηση διαβάζει ένα byte και το καταχωρεί ως μη προσημασμένο ακέραιο (*unsigned integer*).

Για τη διαδικασία αποστολής και λήψης ο χρήστης στέλνει μια εντολή στον εικονολήπτη, από τον υπολογιστή βάσης στον μικροελεγκτή, ο μικροελεγκτής επιστρέφει την τιμή στον υπολογιστή βάσης, όπου μέσω της σειριακής θύρας την λαμβάνει ο χρήστης. Για παράδειγμα για να σταλεί η εντολή ανίχνευσης χρώματος ο χρήστης στέλνει την εντολή:

```
fprintf(CMUcam2, 'TC 80 100 50 80 15 20')
```

```
ack = fscanf(CMUcam2)
```

```
TrackColour = fscanf(CMUcam2)
```

```
colon = fscanf(CMUcam2)
```

Στη μεταβλητή **TrackColour** αποθηκεύεται το αλφαριθμητικό απόκρισης του εικονολήπτη. Στη μεταβλητή **ack** αποθηκεύεται το αλφαριθμητικό επιβεβαίωσης 'ACK', ενώ στη μεταβλητή **colon** αποθηκεύεται το σύμβολο ':'. Όπως και στον μικροελεγκτή έτσι και ο εικονολήπτης, λόγω της περιορισμένης υπολογιστικής του ισχύος, αποκρίνεται μόνο με ακέραιους αριθμούς.

5.5 Προγραμματισμός Γραφικού Περιβάλλοντος

Ο προγραμματισμός των γραφικών στοιχείων της επιφάνειας αλληλεπίδρασης γίνεται έτσι ώστε να καθοριστούν οι λειτουργίες τους. Ο προγραμματισμός γίνεται αντικειμενοστραφώς, όπου όλα τα αντικείμενα διαθέτουν τις δικές τους ξεχωριστές ιδιότητες και εκτελούν ξεχωριστές λειτουργίες, οι οποίες καθορίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις του προγράμματος.

5.5.1 Βασικό παράθυρο

Στο βασικό παράθυρο έχουν γραφτεί δύο συναρτήσεις. Η μια καλείται και εκτελείται πριν γίνει εμφανές το βασικό παράθυρο, ενώ η δεύτερη καλείται και εκτελείται κατά του κλείσιμο του βασικού παραθύρου.

Η πρώτη συνάρτηση εμφανίζει ένα βοηθητικό παράθυρο στο οποίο ο χρήστης εισάγει τους αριθμούς των σειριακών θυρών. Στη συνέχεια το πρόγραμμα καθορίζει τις βασικές παραμέτρους των αντικειμένων και ανοίγει τις σειριακές συνδέσεις για κάθε

συσκευή. Ο καθορισμός των ιδιοτήτων γίνεται βάσει του σειριακού πρωτοκόλλου επικοινωνίας και για τις δύο συσκευές. Σε περίπτωση που συμβεί κάποιο λάθος κατά το άνοιγμα των συνδέσεων τότε εμφανίζονται μηνύματα λάθους. Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω εμφανίζεται το βασικό παράθυρο.

Στη δεύτερη συνάρτηση όταν ο χρήστης επιχειρεί να κλείσει το βασικό παράθυρο εκτελείται μια συνάρτηση, η οποία κλείνει το βασικό παράθυρο χωρίς να αποσυνδέει τον υπολογιστή από τις σειριακές συσκευές. Συστήνεται η αποσύνδεση των σειριακών συσκευών και στη συνέχεια το κλείσιμο του παραθύρου.

5.5.2 Λήψη στιγμιότυπου

Απαραίτητο για τη λειτουργία του αλγορίθμου είναι λήψη ενός στιγμιότυπου από τον εικονολήπτη. Κατά τη διάρκεια λήψης του στιγμιότυπου ο εικονολήπτης δεν εκτελεί καμία άλλη ενέργεια. Μετά την επιτυχή του λήψη το στιγμιότυπο εμφανίζεται στην οθόνη.

5.5.2.1 Ψηφιοποίηση Εικόνας [10, 24]

Ένα συνεχές αναλογικό οπτικό σήμα, προκειμένου να γίνει κατάλληλο για επεξεργασία από τον υπολογιστή, διακριτοποιείται όσον αφορά στις χωρικές συντεταγμένες και στην φωτεινότητα σε μια διδιάστατη συνάρτηση εικόνας $f(x,y)$, ανάλογη με τη φωτεινότητα της εικόνας σε εκείνο το σημείο. Η διακριτή συνάρτηση $f(x,y)$ μπορεί να αναπαρασταθεί με τη μορφή πίνακα $N \times M$.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,M) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,M) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N,1) & f(N,2) & \dots & f(N,M) \end{bmatrix}$$

Οι διαστάσεις M και N του πίνακα $f(x,y)$ είναι ανάλογες της διακριτοποίησης των χωρικών συντεταγμένων που απαιτεί κάθε εφαρμογή.

Τα στοιχεία του πίνακα ονομάζονται εικονοστοιχεία και συνήθως λαμβάνουν τιμές στο διάστημα $[0, 255]$ για μονόχρωμες εικόνες, όπου στο στοιχείο μηδέν αντιστοιχούν τα μαύρα εικονοστοιχεία ενώ στο 255 τα λευκά. Ωστόσο υπάρχουν περιπτώσεις όπου το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων είναι διαφορετικό. Για

παράδειγμα, στις εικόνες που χρησιμοποιούνται στην ιατρική οι τιμές των εικονοστοιχείων ανήκουν στο διάστημα $[0, 4095]$.

Στην περίπτωση όπου το αναλογικό οπτικό σήμα περιλαμβάνει πληροφορίες χρώματος, η διακριτοποίηση πραγματοποιείται προς μια τρισδιάστατη συνάρτηση $f(x,y,z)$ όπου στη διάσταση z περιλαμβάνονται οι πληροφορίες χρώματος. Ο πιο διαδεδομένος χρωματικός χώρος για την απεικόνιση μιας έγχρωμης εικόνας είναι ο RGB, ο οποίος χρησιμοποιεί τα τρία βασικά χρώματα: κόκκινο (*Red*), πράσινο (*Green*) και μπλε (*Blue*). Η διακριτή συνάρτηση $f(x,y,z)$ μπορεί να αναπαρασταθεί με τη μορφή ενός πίνακα $N \times 3M$.

$$f(x,y,z) = \begin{bmatrix} f(1,1,r) & f(1,1,g) & f(1,1,b) & \dots & f(1,M,r) & f(1,M,g) & f(1,M,b) \\ f(2,1,r) & f(2,1,g) & f(2,1,b) & \dots & f(2,M,r) & f(2,M,g) & f(2,M,b) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(N,1,r) & f(N,1,g) & f(N,1,b) & \dots & f(N,M,r) & f(N,M,g) & f(N,M,b) \end{bmatrix}$$

Κάθε εικονοστοιχείο συμπληρώνεται από μια διαδοχική τριάδα των στοιχείων του πίνακα $f(x,y,z)$. Αυτό συμβαίνει επειδή τα τρία στοιχεία του πίνακα $f(x,y,z)$ περιέχουν τις τιμές του κόκκινου, πράσινου και μπλε χρώματος που συνθέτουν το εικονοστοιχείο.

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμες εικόνες του χρωματικού χώρου RGB με διακριτοποίηση των χωρικών συντεταγμένων 240×320 . Το μέγεθος αυτό προκύπτει από τις ιδιότητες του οπτικού συστήματος, καθώς περιγράφει ικανοποιητικά τον χώρο και δεν απαιτεί σημαντική υπολογιστική ισχύ για την επεξεργασία του.

5.5.2.2 Χρωματικοί Χώροι [10, 24]

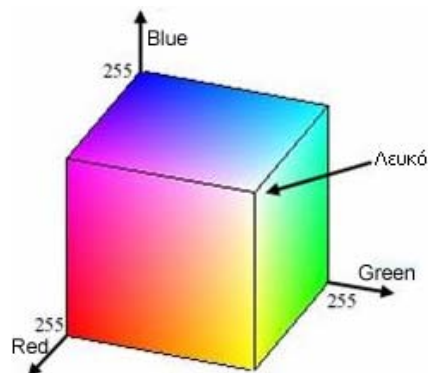
Ο σκοπός της χρήσης των χρωματικών χώρων είναι να διευκολύνεται ο ορισμός των χρωμάτων στα πλαίσια της τυποποίησης. Στην πραγματικότητα, ένας χρωματικός χώρος είναι ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων και ένα υποσύστημα μέσα σε αυτό, όπου κάθε χρώμα αναπαρίσταται από ένα σημείο.

Οι βασικότεροι χρωματικοί χώροι που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία εικόνας είναι ο RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε), ο YCbCr (φωτεινότητα, πληροφορίες χρώματος ως προς μπλε και κόκκινο), ο HSI (απόχρωση, χρωματική φωτεινότητα, ένταση) και ο HSV (απόχρωση, χρωματική φωτεινότητα, τιμή).

Το οπτικό σύστημα, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, υποστηρίζει τους χρωματικούς χώρους RGB και YCbCr, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για την επεξεργασία ψηφιακών εικόνων.

5.5.2.2.1 Χρωματικός Χώρος RGB

Στο χρωματικό χώρο RGB, κάθε χρώμα εμφανίζεται ως συνάρτηση των τριών βασικών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο, μπλε και βασίζεται σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Το μοντέλο αναπαρίσταται από έναν κύβο, όπου στις τρεις γωνίες που βρίσκονται επί των αξόνων, είναι τα τρία βασικά χρώματα. Το μαύρο βρίσκεται στην αρχή των αξόνων, ενώ το άσπρο στην απώτατη κορυφή του κύβου. Κάθε άλλο σημείο του κύβου αναπαριστά ένα μοναδικό χρώμα. Οι τιμές των χρωμάτων ανήκουν στο διάστημα $[0, 255]$. Στην Εικόνα 5.26 παρουσιάζεται η έννοια του χρωματικού χώρου RGB.



Εικόνα 5.26: Ο χρωματικός χώρος RGB

5.5.2.2.2 Χρωματικός Χώρος YCbCr

Ο χρωματικός χώρος YCbCr χρησιμοποιείται στην έγχρωμη τηλεοπτική εκπομπή. Πρόκειται για την επανακωδικοποίηση του σήματος RGB, για την ικανοποιητική εκπομπή και την διατήρηση συμβατότητας με τις μονόχρωμες τηλεοράσεις, αλλά δεν απεικονίζει τα χρώματα σύμφωνα με τον τρόπο που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι. Οι βασικές συνιστώσες του είναι η φωτεινότητα Y και τα χρωματικά χαρακτηριστικά Cb και Cr.

Η μετατροπή του χρωματικού χώρου RGB σε YCbCr προκύπτει βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -37.797 & -74.203 & 112 \\ 112 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

5.5.2.3 Εντολή ‘SF’

Για τη λήψη του στιγμιότυπου πρέπει να σταλεί στον εικονολήπτη η εντολή ‘SF’ (Send Frame). Η εντολή αυτή αποκρίνεται με ένα συγκεκριμένο τύπο δεδομένων, τα οποία είναι bytes δυαδικής μορφής μη ορατά από το χρήστη. Επίσης η εντολή στέλνει διακριτικά bytes βάσει των οποίων ο αλγόριθμος αναγνωρίζει την εξέλιξη λήψης του στιγμιότυπου. Η μορφή των δεδομένων απόκρισης είναι η ακόλουθη:

1 xSize ySize rgb rgb ...rgb rgb 2...2... 2 rgb rgb ...rgb rgb 2 3

όπου:

- 1: Επιτυχής λήψη στιγμιότυπου.
- xSize: Αριθμός στηλών, xSize = 159.
- ySize: Αριθμός γραμμών, ySize = 239.
- 2: Έναρξη καινούριας γραμμής του στιγμιότυπου.
- r, g, b: Τιμή της χρωματικής συνιστώσας κάθε εικονοστοιχείου για Red, Green, Blue αντίστοιχα.
- 3: Τέλος στιγμιότυπου.

Επίσης το στιγμιότυπο που έχει στείλει ο εικονολήπτης είναι διαστάσεων 239x159, το μέγεθος του οποίου δεν είναι το σωστό, για το λόγω αυτό θα πρέπει να διπλασιαστεί η τιμή των χρωματικών συνιστωσών κάθε εικονοστοιχείου, έτσι ώστε το τελικό στιγμιότυπο να γίνει διαστάσεων 239x318.

5.5.2.4 Αλγόριθμος Λήψη Στιγμιότυπου

Αρχικά διαβάζονται όλες οι απαντήσεις του εικονολήπτη με τη συνάρτηση *fscanf()* για την ανάγνωση μη δυαδικών χαρακτήρων. Ακολουθεί η έναρξη επαναληπτικής ανάγνωσης των τιμών του εικονοστοιχείου με τη συνάρτηση *fread()*. Ο επαναληπτικός βρόγχος συνεχίζεται μέχρι την ικανοποίηση των συνθηκών τερματισμού. Στη συνέχεια γίνεται ο διπλασιασμός των τιμών κάθε εικονοστοιχείου και η αποθήκευσή τους σε ένα νέο πίνακα.

Τελευταία διαδικασία που πραγματοποιείται είναι η μετατροπή των τιμών των χρωματικών συνιστώσεων στα αντίστοιχα χρώματα, καθώς και η εμφάνιση τους, ως εικόνα, σε καθορισμένη θέση στην οθόνη του λογισμικού. Η μετατροπή των τιμών των χρωματικών συνιστώσεων πραγματοποιείται με χρήση της εντολής *image()* της MATLAB. Η συνάρτηση δέχεται ως όρισμά της έναν τρισδιάστατο πίνακα. Οι τρεις διαστάσεις του πίνακα είναι οι εξής: η *x* διάσταση ορίζει τον αριθμό των γραμμών της εικόνας, η *y* διάσταση ορίζει τον αριθμό των στηλών της εικόνας και η *z* διάσταση ορίζει τα επίπεδα των χρωματικών συνιστώσεων R, G, B.

Τα βήματα του αλγορίθμου καθώς και το δομικό του διάγραμμα (Εικόνα 5.27) παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Βήμα 1: Αίτηση για λήψη εντολής.

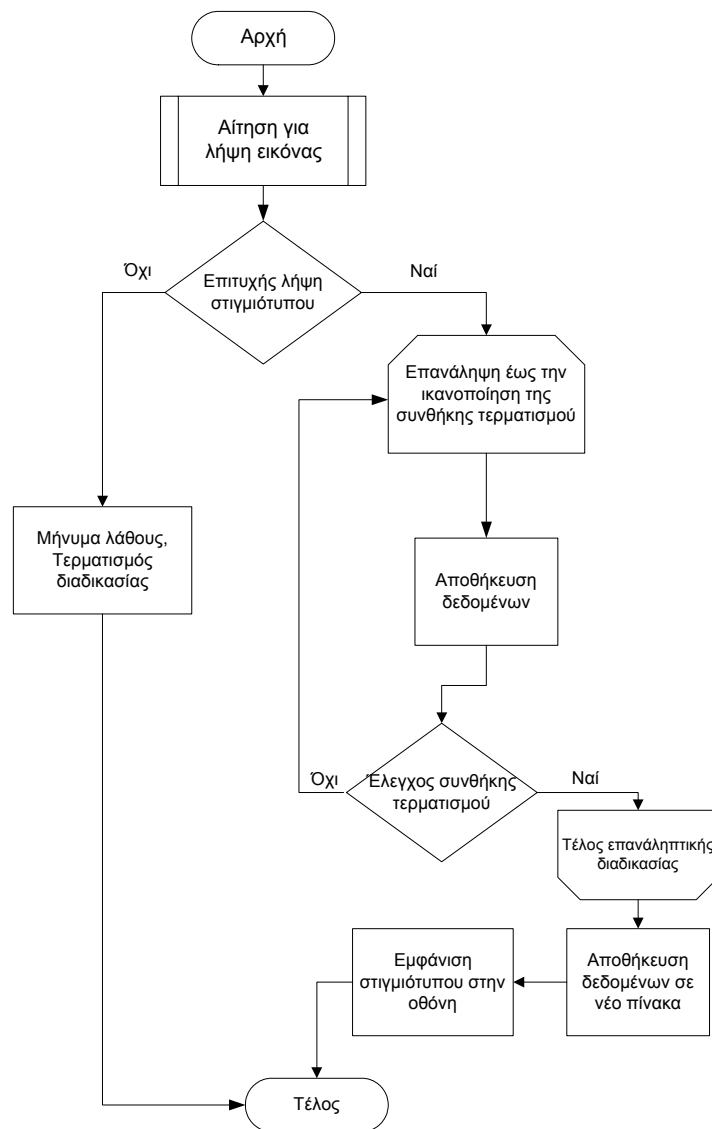
Βήμα 2: Ανάγνωση αλφαριθμητικού επιβεβαίωσης 'ACK'.

Βήμα 3: Επαναληπτική ανάγνωση και αποθήκευση bytes δυαδικής μορφής.

Βήμα 4: Ανάγνωση επιβεβαίωσης ': '.

Βήμα 5: Αποθήκευση τιμών σε νέο πίνακα με διπλάσιο αριθμό στηλών.

Βήμα 6: Λήψη και εμφάνιση νέου στιγμιότυπου στην οθόνη.



Εικόνα 5.27: Δομικό διάγραμμα αλγορίθμου λήψης στιγμιότυπου

5.5.2.5 Στιγμιότυπα

Στη συνέχεια (Εικόνα 5.28) παρουσιάζεται το οπτικό πεδίο του εικονολήπτη. Το στιγμιότυπο έχει αποθηκευτεί ως αρχείο διαμόρφωσης τύπου ‘.jpg’, το οποίο είναι το καταλληλότερο για την αποθήκευση εικόνων 24-bit.



Εικόνα 5.28: Το οπτικό πεδίο του εικονολήπτη

5.5.3 Λήψη Χρώματος Εικονοστοιχείου

Η εμφάνιση των χρωματικών συνιστώσεων ενός εικονοστοιχείου αποτελεί χρήσιμο εργαλείο επιλογής χρώματος. Για την εκτέλεση της λειτουργίας αυτής, έχει γραφτεί μια συνάρτηση στην οποία μετά από κάθε ‘κλικ’ του χρήστη πάνω στο στιγμιότυπο που έχει ληφθεί, επιστρέφεται η θέση του δείκτη του ποντικιού. Τέλος ο χρήστης πρέπει να πατήσει το κουμπί ‘Pick Colour’, για να εμφανιστούν οι τιμές στις αντίστοιχες ετικέτες. Σε περίπτωση που η επιλογή του εικονοστοιχείου βρίσκεται εκτός ορίων ο χρήστης λαμβάνει προειδοποιητικό μήνυμα.

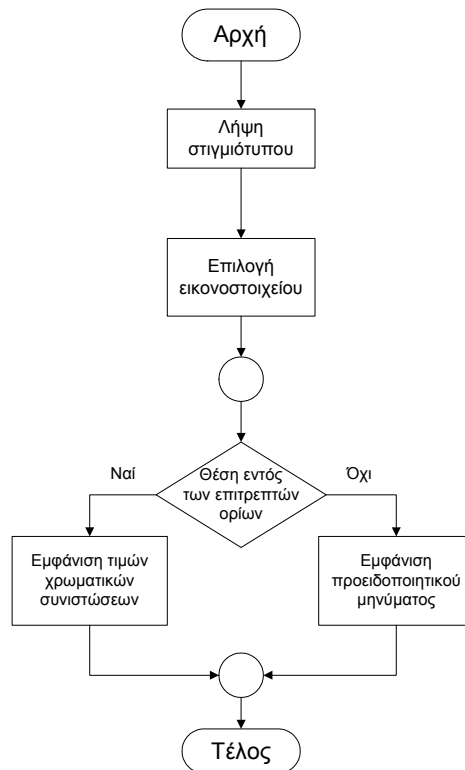
Τα βήματα του αλγορίθμου παρουσιάζονται στη συνέχεια:

Βήμα 0: Λήψη στιγμιότυπου.

Βήμα 1: Επιλογή εικονοστοιχείου κάνοντας ‘κλικ’ πάνω σε αυτό.

Βήμα 2: Αν η θέση του εικονοστοιχείου είναι εντός των αποδεκτών ορίων τότε εμφανίζονται οι τιμές των χρωματικών συνιστώσεων, διαφορετικά εμφανίζεται προειδοποιητικό μήνυμα και πηγαίνει στο Βήμα 1.

Το δομικό του διάγραμμα του αλγορίθμου παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.29.



Εικόνα 5.29: Δομικό διάγραμμα επιλογής χρώματος

5.5.4 Ορισμός Χρωματικών Συνιστώσεων

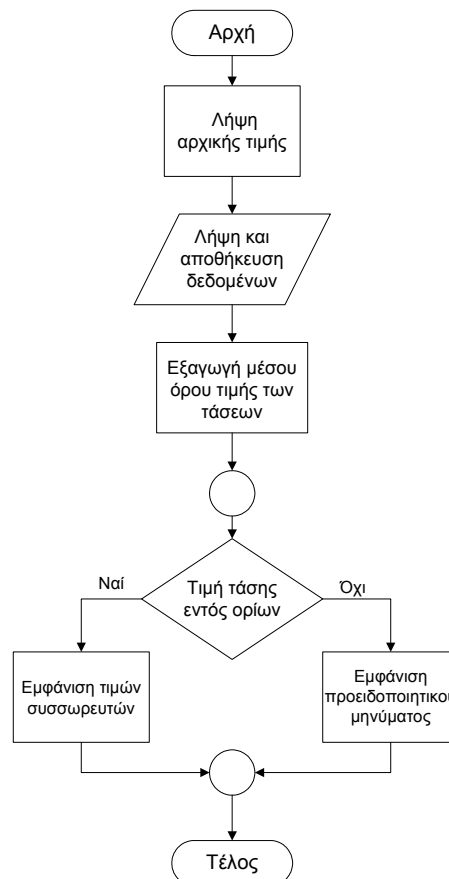
Για τον ορισμό των τιμών χρωματικών συνιστώσεων, ο χρήστης μπορεί να ορίσει αυτόματα ή να εισάγει ο ίδιος τις τιμές των ορίων τους στα κουτιά εισαγωγής κειμένου. Ο αυτόματος ορισμός των ορίων προϋποθέτει τη λήψη του χρώματος ενός εικονοστοιχείου του στιγμιότυπου.

Επιλέγοντας το χρώμα ενός εικονοστοιχείου του στιγμιότυπου, εμφανίζονται η μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπτή τιμή της κάθε χρωματικής συνιστώσας, βάσει ενός ορίου που έχει θέσει ο χρήστης. Η αρχικά προκαθορισμένη τιμή του ορίου είναι 20, ενώ το επιτρεπτό του διάστημα είναι [5, 40]. Το εύρος των χρωματικών συνιστώσεων είναι [0, 245], τιμές εκτός των ορίων ορίζονται στη μέγιστη ή την ελάχιστη αντίστοιχα, τιμή του διαστήματος αυτού.

5.5.5 Βολτόμετρα

Οι τάσεις των δύο συσσωρευτών απεικονίζονται με δύο γωνιακούς μετρητές της ίδιας κλίμακας. Η τιμή που επιστρέφει ο μικροελεγκτής, πολλαπλασιάζεται με 0.42671, ώστε οι τιμές των τάσεων να κυμαίνονται από 0 έως 7.2V συνεχούς ρεύματος.

Για τη δειγματοληψία των τάσεων ο υπολογιστής λαμβάνει δέκα τιμές τάσεων των συσσωρευτών για 2 sec, τις οποίες αποθηκεύει σε ένα πίνακα και εξάγει τη μέση τους τιμή. Στη συνέχεια γίνεται η αναπαράστασή τους στο γραφικό στοιχείο των μετρητών των τάσεων, σε περίπτωση μη επαρκούς τιμής τάσης εμφανίζεται προειδοποιητικό μήνυμα ότι οι συσσωρευτές πρέπει να επαναφορτιστούν. Στην Εικόνα 5.30 παρουσιάζεται το δομικό διάγραμμα του αλγορίθμου.



Εικόνα 5.30: Δομικό διάγραμμα λειτουργίας μετρητών τάσης

5.5.6 Τροχιά – Διάγραμμα Ταχυτήτων Κινητήρων [19, 31]

Ο χρήστης κατά τον τερματισμό της διαδικασίας ανίχνευσης χρώματος έχει την δυνατότητα να δει αν επιθυμεί την πορεία που κατέγραψε το όχημα καθώς και το διάγραμμα τιμών των ταχυτήτων των κινητήρων σε κάθε χρονική στιγμή.

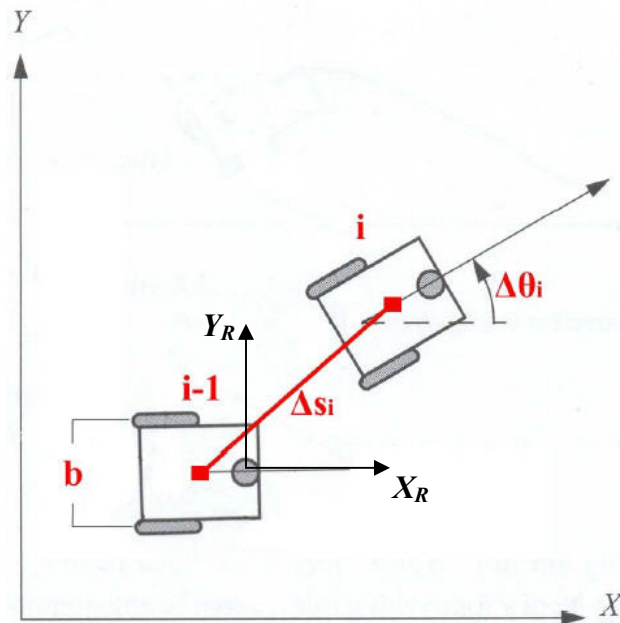
Το ρομποτικό όχημα χρησιμοποιεί το διαφορικό τρόπο κίνησης και η τροχιά κίνησής του περιγράφεται από ένα απλό μαθηματικό μοντέλο, το οποίο στηρίζεται στις ενδείξεις των οδομέτρων που εξοπλίζουν το όχημα.

Κατά κάθε χρονική στιγμή i , ο μετρητής μεταβολής του δεξιού και αριστερού οδομέτρου είναι N_r και N_l , αντίστοιχα. Ο γεωμετρικός συντελεστής του οχήματος είναι:

$$C_m = \frac{\pi D_n}{nC_e}, \quad (5.1)$$

όπου,

- C_m , ο συντελεστής μετατροπής μετρήσεων του οδομέτρου σε απόσταση που διήνυσε ο κάθε τροχός.
- D_n , η διάμετρος των τροχών του οχήματος. Για το ΑΛΕ $D_n=75$ mm.
- n , είναι ο λόγος μείωσης της μετάδοσης από το σημείο που έγινε η κωδικοποίηση του οδομέτρου μέχρι τον τροχό. Για το ΑΛΕ II $n=1$.
- C_e , η ανάλυση του οδομέτρου σε παλμούς ανά περιστροφή. Για το ΑΛΕ II $C_e=64$.



Εικόνα 5.31: Οι θέσεις και τα μεγέθη του οχήματος τις χρονικές στιγμές $i-1$ και i [19]

Στην Εικόνα 5.31 παρουσιάζονται οι θέσεις, τα μεγέθη και το σύστημα συντεταγμένων για το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ II, τις χρονικές στιγμές $i-1$ και i .

Η απόσταση που διήνυσε ο κάθε τροχός, από τη χρονική στιγμή $i-1$ έως την i , με την αντίστοιχη μεταβολή στους τροχούς $N_{r,i}$ και $N_{l,i}$, δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S_{l,i} = C_m N_{l,i}, \quad (5.2)$$

$$\Delta S_{r,i} = C_m N_{r,i}, \quad (5.3)$$

Η γραμμική μετατόπιση του κέντρου της βάσης του οχήματος δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta S_i = \frac{\Delta S_{i,l} + \Delta S_{i,r}}{2}, \quad (5.4)$$

Η γωνία της στροφής του οχήματος κατά τη μετακίνηση αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta \theta_i = \frac{\Delta S_{i,r} - \Delta S_{i,l}}{b}, \quad (5.5)$$

όπου b είναι η απόσταση των σημείων επαφής των τροχών στο έδαφος. Για το ΑΛΕ II $b=205\text{mm}$.

Ο προσανατολισμός, θ_i , του οχήματος τη χρονική στιγμή i δίνεται από τη σχέση:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \Delta \theta_i, \quad (5.6)$$

Οι συντεταγμένες του οχήματος κάθε χρονική στιγμή i δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$x_i = x_{i-1} - \Delta \theta_i \cos \theta_i, \quad (5.7)$$

$$y_i = y_{i-1} + \Delta \theta_i \sin \theta_i, \quad (5.8)$$

Μετά την ολοκλήρωση του διαγράμματος της τροχιάς του οχήματος εξάγεται το διάγραμμα των ταχυτήτων των κινητήρων του οχήματος για κάθε χρονική στιγμή.

5.5.7 Σχεδίαση Ελεγκτή Πλοήγησης Συστήματος Μη Αυτόνομης Πλοήγησης

Ο ελεγκτής του πλοήγησης του συστήματος πρέπει να κατευθύνει ασφαλώς το όχημα σε άγνωστο περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα το όχημα θα παρακολουθεί ένα συγκεκριμένο χρώμα. Ο ελεγκτής θα πρέπει να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια:

- ο Ευθυγράμμιση του οχήματος με το κέντρο του αντικειμένου.

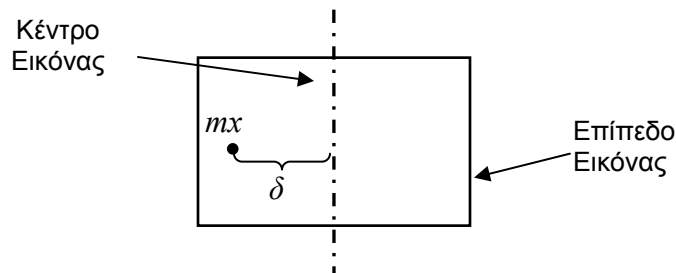
- ο Μεταβολή στην ταχύτητα του οχήματος βάσει της μεταβολής της ταχύτητας του αντικειμένου που παρακολουθείται.
- ο Μεταβολή της ταχύτητας του οχήματος βάσει της απόστασης που βρίσκεται το αντικείμενο που παρακολουθείται.

Κατάλληλος ελεγκτής που ικανοποιεί τις παραπάνω προϋποθέσεις είναι ένας ελεγκτής με αναλογικούς και παραγωγικούς όρους (PD Controller). Ως μεταβλητές του συστήματος χρησιμοποιούνται η τιμή του τετμημένης του κέντρου βάρους και οι ενδείξεις του αισθητήρα υπερύθρων.

Θεωρούμε ως δ την απόσταση του σημείου του κέντρου βάρους από το κέντρο του επιπέδου της εικόνας του εικονολήπτη. Ως δ ορίζεται η διαφορά της τετμημένης του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος κάθε χρονική στιγμή t από το κέντρο της εικόνας του στιγμιότυπου. Η τιμή του δ αναφέρεται σε αριθμό εικονοστοιχείων και η τιμή *center* αναφέρεται στο κέντρο της εικόνας και έχει την τιμή *center*=80. Έτσι, προκύπτει ότι:

$$\delta = mx(t) - center, \quad (5.9)$$

Στην Εικόνα 5.32, παρουσιάζεται ο υπολογισμός της παραμέτρου δ στο επίπεδο της εικόνας.



Εικόνα 5.32: Υπολογισμός της παραμέτρου δ

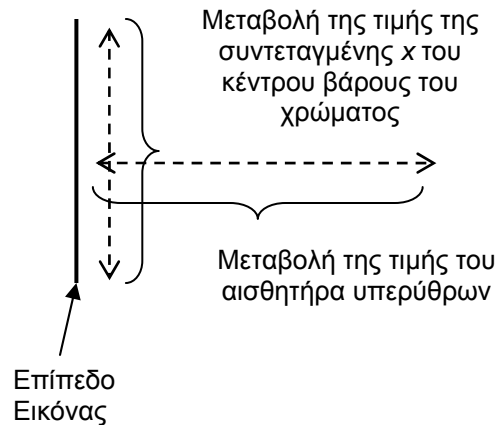
Συνεπώς η τιμή του δ καθορίζει προς ποια κατεύθυνση πρέπει να κινηθεί το όχημα. Όταν το δ κυμαίνεται από $[-20, 20]$ τότε το όχημα κινείται ευθύγραμμα, όταν κυμαίνεται στο $(-80, -20)$ τότε το όχημα στρίβει αριστερά, όταν κυμαίνεται στο $(20, 80]$ στρίβει δεξιά, ενώ όταν έχει την τιμή $\delta=-80$ τότε δεν έχει εντοπιστεί το συγκεκριμένο χρώμα. Τέλος η απόλυτη τιμή του δ πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή K_p , ο οποίος δίνει την τιμή της ταχύτητας των κινητήρων ανάλογα με την θέση του κέντρου βάρους του χρώματος. Η τιμή του συντελεστή έχει προκύψει με τη μέθοδο δοκιμής και

σφάλματος και βρέθηκε ότι $K_p=0,075$. Έτσι, προκύπτει η παρακάτω σχέση για την ταχύτητα:

$$\hat{v}_1 = v_0 + K_p |\delta|, \quad (5.10)$$

όπου v_0 μια αρχική τιμή της ταχύτητας.

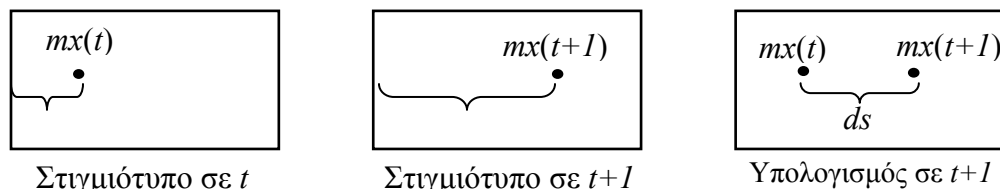
Για την αναπαράσταση της ταχύτητας του εμποδίου κάνουμε την ακόλουθη παραδοχή. Θεωρούμε ότι γρήγορη κίνηση του παρακολουθούμενου αντικειμένου συνεπάγεται και μεγάλη μεταβολή της θέσης του ανάμεσα σε δυο διαδοχικά στιγμιότυπα (*frame*). Η κίνηση του εμποδίου αναλύεται σε δυο διευθύνσεις, σε μια διεύθυνση παράλληλη με το επίπεδο της εικόνας και σε μια διεύθυνση κάθετη σε αυτό. Όταν το αντικείμενο κινείται παράλληλα με το επίπεδο της εικόνας τότε έχουμε μεταβολή στην τιμή της συντεταγμένης x , ενώ για κίνηση σε διεύθυνση κάθετη με το επίπεδο της εικόνας εμφανίζεται μεταβολή στην τιμή του αισθητήρα υπερύθρων ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μετρήσεις. Οι αντίστοιχες μεταβολές παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.33.



Εικόνα 5.33: Μεταβολή παραμέτρων συστήματος ανάλογα με την κίνηση του εμποδίου

Θεωρούμε ως ds τη μεταβολή του σημείου του κέντρου βάρους ανάμεσα σε δυο διαδοχικά στιγμιότυπα. Ο υπολογισμός της θέσης της τετμημένης του κέντρου βάρους παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.34 και προκύπτει από την ακόλουθη σχέση:

$$ds = mx(t+1) - mx(t), \quad (5.11)$$



Εικόνα 5.34: Υπολογισμός του ds τη χρονική στιγμή $t+1$

Επίσης θεωρούμε ως dr τη μεταβολή της απόστασης των ενδείξεων του αισθητήρα υπερύθρων ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μετρήσεις. Ο υπολογισμός της θέσης λόγω μεταβολής των ενδείξεων του αισθητήρα υπερύθρων υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$dr = infrared(t+I) - infrared(t), \quad (5.12)$$

όπου $infrared(t)$ και $infrared(t+I)$ η ένδειξη του αισθητήρα τη χρονική στιγμή t και $t+I$ αντίστοιχα. Οι σχέσεις (5.11) και (5.12) κάθε φορά πολλαπλασιάζονται με τους συντελεστές K_{D1} και K_{D2} , οι οποίοι δίνουν τις ταχύτητες ανάλογα με τη μεταβολή των ενδείξεων των αισθητήρων. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται στην ακόλουθη σχέση:

$$\begin{aligned} \hat{v}_2 &= K_{D1} \cdot \left| \frac{ds_1}{dt} \right| + K_{D2} \cdot \left| \frac{ds_2}{dt} \right| \approx K_{D1} \cdot \left| \frac{\Delta s_1}{\Delta t} \right| + K_{D2} \cdot \left| \frac{\Delta s_2}{\Delta t} \right| \Rightarrow \\ \hat{v}_2 &= K_{D1}|mx(t+I) - mx(t)| + K_{D2}|infrared(t+I) - infrared(t)|, \end{aligned} \quad (5.13)$$

Από (5.11) και (5.12) προκύπτει ότι:

$$\hat{v}_2 = K_{D1} \cdot |ds| + K_{D2} \cdot |dr|, \quad (5.14)$$

Τέλος ανάμεσα σε δυο διαδοχικές μετρήσεις ενδέχεται να μη σημειωθεί μεταβολή της θέσης του παρακολουθούμενου αντικειμένου, συνεπώς η ταχύτητα του οχήματος θα είναι μικρή όμως το αντικείμενο μπορεί να βρίσκεται αρκετά μακριά και το όχημα να μπορεί να τρέξει με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Η παραδοχή αυτή προβλέπεται με το αν η τιμή του αισθητήρα υπερύθρων (dis) είναι μεγαλύτερη από ένα ορισμένο κατώφλι (Dis_Thres) τότε η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή, ο οποίος προέκυψε με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Τα παραπάνω συνοψίζονται στην ακόλουθη γραμμική σχέση:

$$\hat{v}_3 = (dis > Dis_Thres) \cdot K \cdot dis, \quad (5.15)$$

Ο όρος $dis > Dis_Thres$ επιστρέφει την τιμή 1 όταν ικανοποιείται, διαφορετικά επιστρέφει 0 και η τιμή μηδενίζεται. Πειραματικά βρέθηκε ότι $K = 0.05$. Έτσι από τις σχέσεις (5.10), (5.14) και (5.15) η τελική σχέση της ταχύτητας διαμορφώνεται ως εξής:

$$\hat{v} = \hat{v}_1 + \hat{v}_2 + \hat{v}_3 = v_0 + K_p \cdot |\delta| + K_{D1} \cdot |ds| + K_{D2} \cdot |dr| + (dis > Dis_Thres)K \cdot dis, \quad (5.16)$$

5.5.8 Περιγραφή Αλγορίθμου Πλοήγησης

Ο αλγόριθμος πλοήγησης του οχήματος μπορεί να κατευθύνει το όχημα παρακολουθώντας ένα χρώμα που επιλέγει ο χρήστης. Βήματα του αλγορίθμου αποτελούν τα εξής:

Βήμα 1: Δηλώσεις αντικειμένων και μεταβλητών.

Βήμα 2: Προσαρμογή του οπτικού συστήματος στις συνθήκες φωτισμού.

Βήμα 3: Επιλογή – Εισαγωγή χρώματος από το χρήστη.

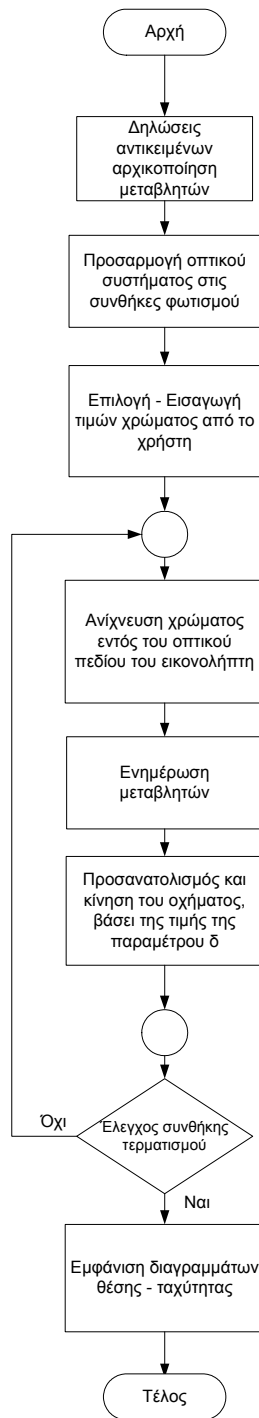
Βήμα 4: Ανίχνευση χρώματος, το οποίο βρίσκεται εντός του πεδίου εργασίας του οπτικού συστήματος.

Βήμα 5: Υπολογισμός νέων τιμών των μεταβλητών από τις ενδείξεις του συστήματος.

Βήμα 6: Προσανατολισμός και κίνηση του οχήματος προς το συγκεκριμένο χρώμα.

Βήμα 7: Έλεγχος συνθήκης τερματισμού από το χρήστη. Επιστροφή στο Βήμα 4.

Το δομικό διάγραμμα (Εικόνα 5.35) του αλγορίθμου παρουσιάζεται στην.



Εικόνα 5.35: Δομικό διάγραμμα αλγόριθμου πλοήγησης με χρήση υπολογιστή βάσης

5.5.9 Ρυθμίσεις Εικονολήπτη

Στη συγκεκριμένη μεθοδολογία το πρόβλημα της υπολογιστικής ισχύος έχει ξεπεραστεί συνεπώς τα δεδομένα του εικονολήπτη μπορούν να διαχειριστούν ως έχουν

στην αρχική τους μορφή. Συνεπώς μετατροπή της μορφής των χαρακτήρων του εικονολήπτη δεν ήταν αναγκαία.

Οι ρυθμίσεις που έγιναν αφορούν τις απαντήσεις απόκρισης σε επιτυχή ή μη λήψη εντολών από τον εικονολήπτη. Για τη ρύθμιση αυτή χρησιμοποιήθηκε η εντολή διαμόρφωσης των αλφαριθμητικών απόκρισης, για τις ανάγκες του προγράμματος προσαρμόστηκε ως: ‘*RM 2*’, η οποία επιστρέφει τα δεδομένα σε μορφή ASCII χαρακτήρων αλλά απενεργοποιεί τα αλφαριθμητικά απόκρισης (ACK ή NCK). Επίσης είναι προκαθορισμένο ο εικονολήπτης να αποκρίνεται με συνεχόμενη ροή αλφαριθμητικών, η ρύθμιση αυτή άλλαξε και ο εικονολήπτης αποκρίνεται πλέον με ένα μόνο αλφαριθμητικό απόκρισης σε κάθε αίτηση ανίχνευσης χρώματος. Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η ‘*PM 1*’. Τέλος χρησιμοποιήθηκε η εντολή περιορισμού των δεδομένων απόκρισης. Για τις ανάγκες του αλγορίθμου τα δεδομένα απόκρισης περιορίζονται μόνο στην τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους του εντοπισμένου χρώματος, με εφαρμογή της συνάρτησης περιορισμού δεδομένων εξόδου (Output Mask – OM), η οποία προσαρμόστηκε για τις ανάγκες του αλγορίθμου ως ‘*OM 0 1*’.

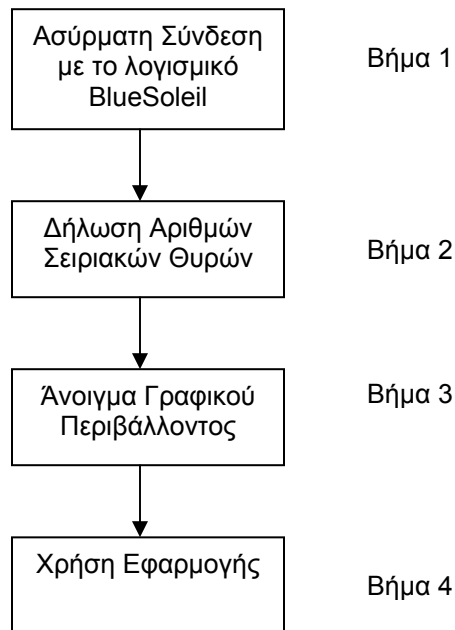
Η τελική μορφή των δεδομένων σε μια αίτηση ανίχνευσης χρώματος είναι οι ακόλουθη:

TC 100 200 100 200 0 50\r
T 82
:

5.6 Εγχειρίδιο Χρήσης του Προγράμματος

Μετά την ολοκλήρωση του προγραμματισμού των βασικών στοιχείων, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το λογισμικό για την αλληλεπίδρασή του με το ρομποτικό όχημα. Απαραίτητα προγράμματα για τη λειτουργία του λογισμικού διασύνδεσης είναι το λογισμικό πακέτο MATLAB καθώς και το λογισμικό BlueSoleil, το οποίο επιτρέπει την ασύρματη σύνδεση με πολλές σειριακές συσκευές.

Στη συνέχεια (Εικόνα 5.36) παρουσιάζεται το δομικό διάγραμμα χρήσης του λογισμικού διασύνδεσης.



Εικόνα 5.36: Δομικό διάγραμμα λειτουργίας της εφαρμογής

5.6.1 Ασύρματη Επικοινωνία [13]

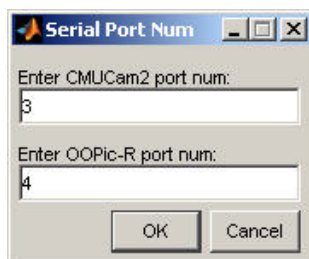
Η ασύρματη επικοινωνία του υπολογιστή βάσης με τις σειριακές συσκευές είναι το πρώτο βήμα που πρέπει να πραγματοποιηθεί από το χρήστη, ώστε να λειτουργήσει το πρόγραμμα. Το σύστημα ασύρματης σύνδεσης συνοδεύεται από ειδικό λογισμικό, το οποίο πρέπει να είναι εγκατεστημένο στον υπολογιστή. Το λογισμικό αυτό είναι το *BlueSoleil - Multi Serial Port* και πρέπει να εκτελεστεί, ώστε να συνδεθούν οι σειριακές συσκευές με τον υπολογιστή.

Το λογισμικό αναζητά στο χώρο εμβέλειάς του όλες τις σειριακές συσκευές που φέρουν το πρωτόκολλο επικοινωνίας Bluetooth, ώστε όταν συνδεθεί με αυτές να κάνει την προσομοίωση της σειριακής θύρας. Όταν το λογισμικό συνδεθεί στην εκάστοτε σειριακή συσκευή, καθορίζει μέσω ποιας θύρας θα γίνεται η μεταφορά των δεδομένων. Το πρόγραμμα υποστηρίζει την ταυτόχρονη ασύρματη σύνδεση μέχρι 8 σειριακών συσκευών.

5.6.2 Δήλωση Αριθμού Σειριακών Συσκευών

Όταν ο υπολογιστής βάσης συνδεθεί με τις σειριακές συσκευές ο χρήστης μπορεί να ανοίξει την εφαρμογή από το λογισμικό πακέτο της MATLAB.

Κατά την εκτέλεση του αρχείου αυτού εμφανίζεται ένα βοηθητικό παράθυρο στο οποίο ο χρήστης πρέπει να δηλώσει μόνο τον αριθμό της σειριακής θύρας στην οποία έχει συνδεθεί η εκάστοτε σειριακή συσκευή. Στη συνέχεια, αφού δηλωθούν οι σειριακές θύρες, δημιουργούνται τα σειριακά αντικείμενα.



Εικόνα 5.37: Δήλωση αριθμού σειριακής θύρας που θα χρησιμοποιηθεί

Στην Εικόνα 5.37 παρουσιάζεται το βοηθητικό παράθυρο στο οποίο ο χρήστης δηλώνει τον αριθμό κάθε σειριακής θύρας. Ο εικονολήπτης έχει συνδεθεί στη σειριακή θύρα 3 (COM3), ενώ ο μικροελεγκτής στη σειριακή θύρα 4 (COM4). Μετά τη σύνδεση των σειριακών συσκευών εμφανίζεται το γραφικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης, οπότε το πρόγραμμα είναι έτοιμο για χρήση. Αν κατά την σύνδεση των συσκευών παρουσιαστεί κάποιο σφάλμα, τότε εμφανίζεται ανάλογο μήνυμα λάθους.

5.6.3 Χρήση του Προγράμματος

Κατά την έναρξη του προγράμματος ο χρήστης έχει ενεργοποιημένες τις εντολές: Λήψη Στιγμιότυπου (*Grab Frame*), Καθορισμού των Παραμέτρων Ανίχνευσης (*Set Tracking Parameters*), Ανίχνευσης Χρώματος (*Track Colour - Track Window*), ελέγχου των τιμών των τάσεων των συσσωρευτών του οχήματος (*Voltmeter OOPic - Motor*) και Τερματισμού (*Exit*) της λειτουργίας του λογισμικού. Οι υπόλοιπες ενεργοποιούνται μετά την επιτυχή λήψη στιγμιότυπου.

5.6.3.1 Λήψη Στιγμιότυπου

Ο χρήστης μπορεί να λάβει ένα στιγμιότυπο του οπτικού πεδίου του εικονολήπτη του οχήματος. Η διαδικασία λήψης στιγμιότυπου διαρκεί περίπου 1.5 min και ο χρήστης παρακολουθεί την εξέλιξη λήψής του, όση ώρα διαρκεί η λήψη του στιγμιότυπου ο εικονολήπτης δεν εκτελεί κάποια άλλη λειτουργία.

5.6.3.2 Τερματισμός

Για τον τερματισμό της λειτουργίας του προγράμματος ο χρήστης έχει δυο επιλογές. Η πρώτη είναι πατώντας το κουμπί 'Exit', το οποίο θέτει τον μικροεπεξεργαστή εκτός σειριακού ελέγχου και διαγράφει τα σειριακά αντικείμενα. Ενώ η δεύτερη είναι από το μενού: File, Disconnect, ώστε να πραγματοποιηθεί η αποσύνδεση των σειριακών συσκευών και στη συνέχεια να τερματιστεί η λειτουργία του προγράμματος.

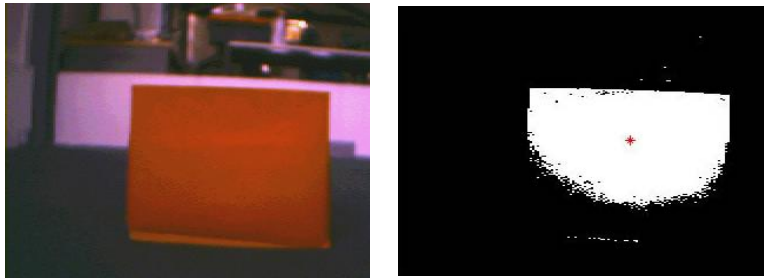
6. Πειραματικά Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μεθοδολογιών πλοήγησης του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ II. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, στο εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

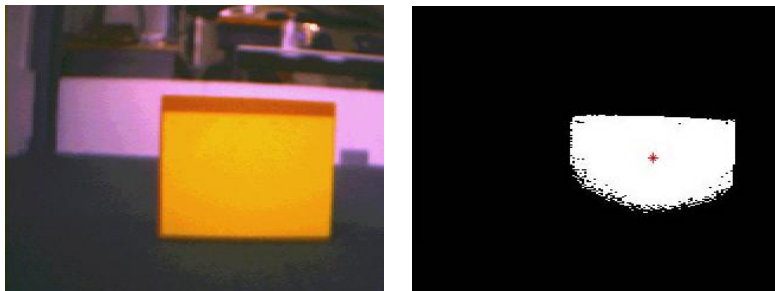
Για την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν εμπόδια διαφορετικών χρωμάτων και διαστάσεων. Για καλύτερη απόδοση του εικονολήπτη οι συνθήκες φωτισμού διατηρήθηκαν ομοιόμορφες. Τέλος για πιστότερη αναπαράσταση της κίνησης του οχήματος χρησιμοποιήθηκαν κώνοι, οι οποίοι δηλώνουν την αρχική και τελική θέση της μετατόπισής του καθώς και το γράφημα θέσης του οχήματος.

6.1 Επιλογή εμποδίου

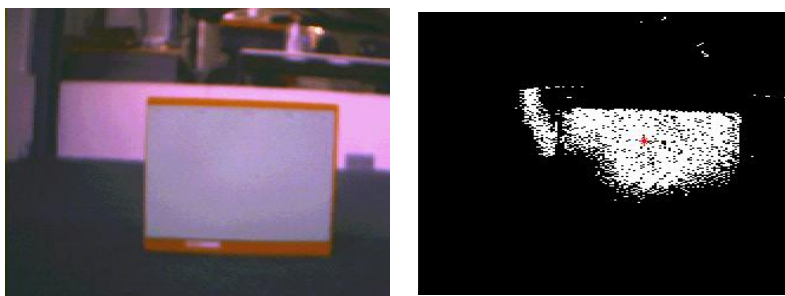
Το σύστημα με τη χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης παρέχει τη δυνατότητα λήψης και αποθήκευσης ενός στιγμιότυπου του εικονολήπτη. Μπροστά από το οπτικό πεδίο του οχήματος και σε απόσταση ενός μέτρου έχουν τοποθετηθεί αντικείμενα διαφορετικού χρώματος.



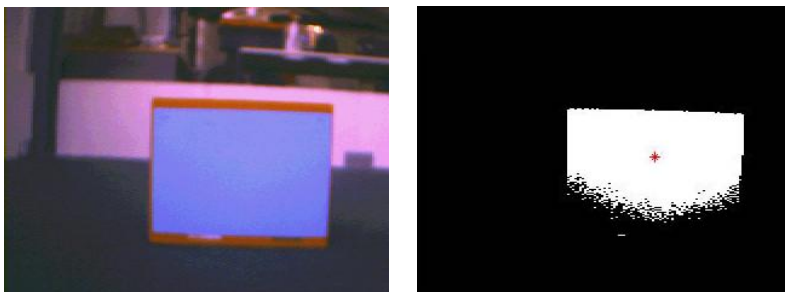
Εικόνα 6.1: Ανίχνευση εμποδίου κόκκινου χρώματος



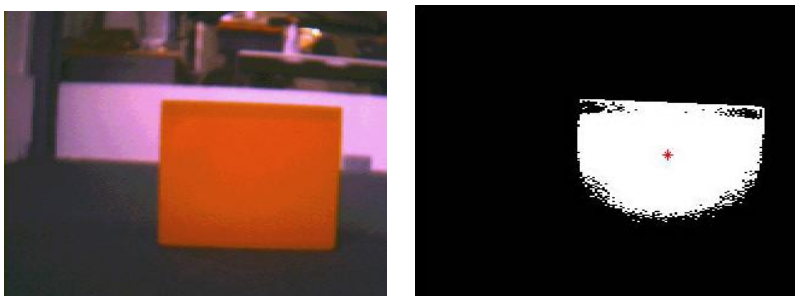
Εικόνα 6.2: Ανίχνευση εμποδίου κίτρινου χρώματος



Εικόνα 6.3: Ανίχνευση εμποδίου πράσινου χρώματος



Εικόνα 6.4: Ανίχνευση εμποδίου μπλε χρώματος

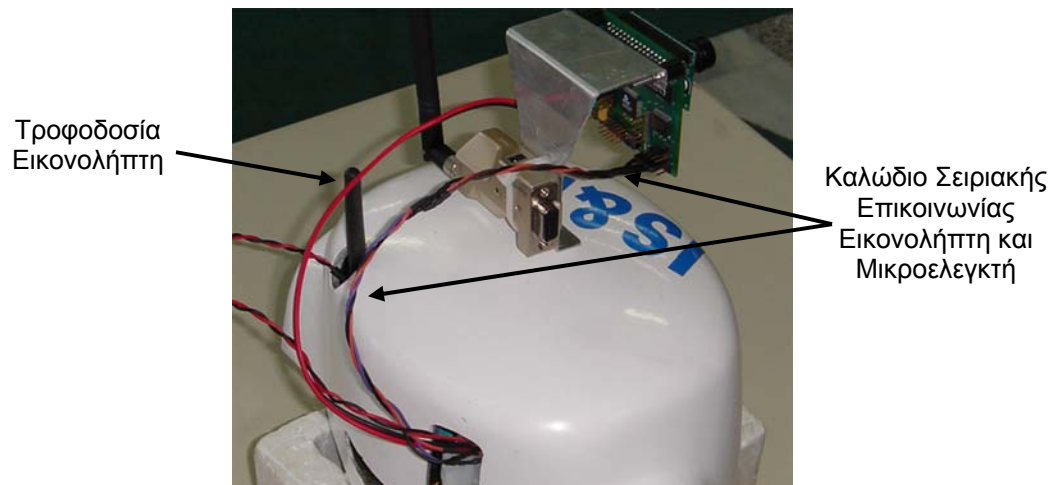


Εικόνα 6.5: Ανίχνευση εμποδίου πορτοκαλί χρώματος

Στις Εικόνες 6.1-6.5 παρουσιάζονται στιγμιότυπα και δυαδικές εικόνες με το πλήθος των εικονοστοιχείων που έχουν εντοπιστεί από τον εικονολήπτη και το κέντρο βάρους του εντοπισμένου χρώματος. Παρατηρούμε ότι ο εικονολήπτης μπορεί να αναγνωρίζει επιτυχώς σχεδόν όλους τους τύπους των χρωμάτων. Για την διεξαγωγή των πειραμάτων επιλέχθηκε το εμπόδιο χρώματος κίτρινου, γιατί ο περιβάλλον χώρος του εργαστηρίου δεν περιέχει αποχρώσεις του συγκεκριμένου χρώματος, οπότε διευκολύνεται η λειτουργία του εικονολήπτη.

6.2 Αποτελέσματα μεθοδολογίας αυτόνομης πλοήγησης

Για τη λειτουργία του συστήματος αυτόνομης πλοήγησης πρέπει να γίνουν πρώτα οι απαραίτητες ρυθμίσεις και συνδέσεις στο συνολικό σύστημα. Οι ρυθμίσεις αυτές είναι η τοποθέτηση ενός βραχυκυκλωτήρα στον εικονολήπτη, ώστε ο ρυθμός αποστολής δεδομένων να οριστεί στα 9600kBps. Σε περίπτωση που οι ρυθμοί αποστολής δεδομένων είναι διαφορετικοί δεν υφίσταται επικοινωνία μεταξύ του εικονολήπτη και του μικροελεγκτή OOPic-R. Επίσης πρέπει να γίνουν η σειριακή σύνδεση του εικονολήπτη με τον μικροελεγκτή του οχήματος και η τροφοδοσία του εικονολήπτη, η οποία πραγματοποιείται μέσω του μικροελεγκτή.



Εικόνα 6.5: Συνδέσεις εικονολήπτη και μικροελεγκτή

Στην Εικόνα 6.5 παρατηρούμε τα καλώδια τροφοδοσίας και επικοινωνίας του εικονολήπτη. Το καλώδιο επικοινωνίας αποτελείται από τρία επιμέρους καλώδια, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποστολή και λήψη δεδομένων, καθώς και για τη γείωση που απαιτείται.

Το όχημα κινήθηκε σε ένα χώρο διαστάσεων 2.0x3.0 m, η τροχιά του εμποδίου οριοθετείται από κώνους που βρίσκονται δεξιά και αριστερά του οχήματος και συμβολίζονται με R(1-5) και L(1-5) αντίστοιχα. Το όχημα κινήθηκε επιτυχώς σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘S’ στο χώρο. Στις Εικόνες 6.7 – 6.16 παρατηρούμε την τροχιά και τις διάφορες θέσεις του οχήματος.



Εικόνα 6.6: Αρχική θέση του οχήματος



Εικόνα 6.7: Δεξιά στροφή από R1 σε L2



Εικόνα 6.8: Ευθύγραμμη κίνηση από L2 σε L3



Εικόνα 6.9: Αριστερή στροφή από L3 σε R4



Εικόνα 6.10: Ευθύγραμμη κίνηση προς L4



Εικόνα 6.11: Στροφή αριστερά από L4 σε R5



Εικόνα 6.12: Ευθύγραμμη κίνηση προς L5a



Εικόνα 6.13: Ευθύγραμμη κίνηση προς L5b



Εικόνα 6.14: Στροφή δεξιά προς το στόχο



Εικόνα 6.15: Τελική θέση του οχήματος

Αρχικά, το όχημα κινείται ευθύγραμμα από την κατεύθυνση L1 προς L2, στη συνέχεια ακολουθεί μια δεξιά στροφή κατεύθυνσης από R2 προς L3 και στη συνέχεια κινείται ευθύγραμμα. Έπειτα ακολουθεί μια ακόμη αριστερή στροφή από την κατεύθυνση R3 προς L4. Στη συνέχεια ακολουθεί μια μικρή δεξιά στροφή από την κατεύθυνση L4 προς R5. Τέλος το όχημα κινείται ευθύγραμμα όπου οδηγείται εκτός του χώρου που ορίζουν οι κώνοι και ακινητοποιείται σε απόσταση ασφαλείας από το εμπόδιο.

Η μεθοδολογία αυτόνομης πλοήγησης ανταποκρίνεται επαρκώς στην ιχνηλασία αντικειμένων. Μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η περιορισμένη υπολογιστική ισχύς του μικροελεγκτή, η οποία οδηγεί σε υπερχείλιση του συστήματος, με αποτέλεσμα το σύστημα μετά από ικανοποιητικό αριθμό επαναλήψεων να μην μπορεί να ανταποκριθεί.

6.3 Αποτελέσματα μεθοδολογίας με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης

Για τη λειτουργία του συστήματος με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης έγιναν οι ακόλουθες ρυθμίσεις και συνδέσεις στο συνολικό σύστημα. Οι ρυθμοί αποστολής δεδομένων και για τις δύο συσκευές επιλέχθηκαν να είναι οι αρχικά καθορισμένοι από τις συσκευές. Για τον εικονολήπτη είναι τα 115.200 kBps, ενώ για τον μικροελεγκτή τα 9600 kBps. Τέλος απαραίτητη σύνδεση για τη λειτουργία του συστήματος ήταν το καλώδιο τροφοδοσίας της συσκευής ασύρματης επικοινωνίας.

6.3.1 Κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S

Το όχημα κλήθηκε να διαγράψει κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S.



Εικόνα 6.16: Αρχική θέση οχήματος



Εικόνα 6.17: Ευθύγραμμη κίνηση οχήματος



Εικόνα 6.18: Έναρξη αριστερής στροφής



Εικόνα 6.19: Συνέχιση αριστερής στροφής



Εικόνα 6.20: Ολοκλήρωση αριστερής στροφής



Εικόνα 6.21: Έναρξη δεξιάς στροφής



Εικόνα 6.22: Συνέχιση δεξιάς στροφής



Εικόνα 6.23: Ολοκλήρωση δεξιάς στροφής

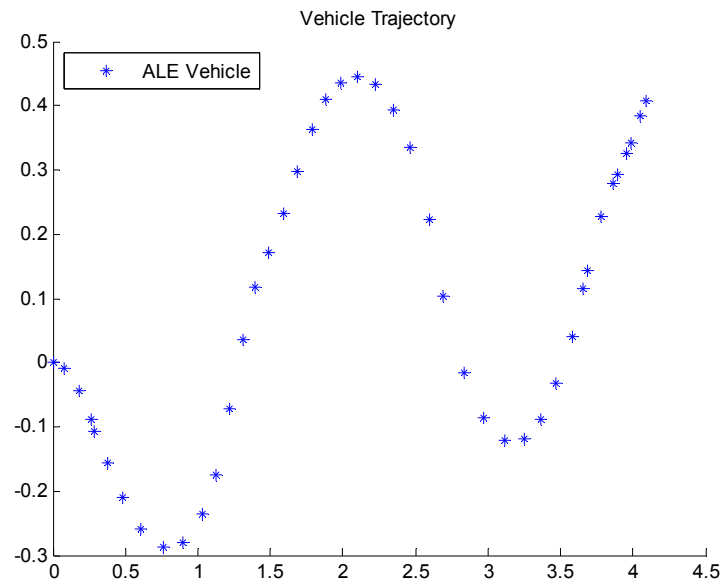


Εικόνα 6.24: Εκτέλεση αριστερής στροφής

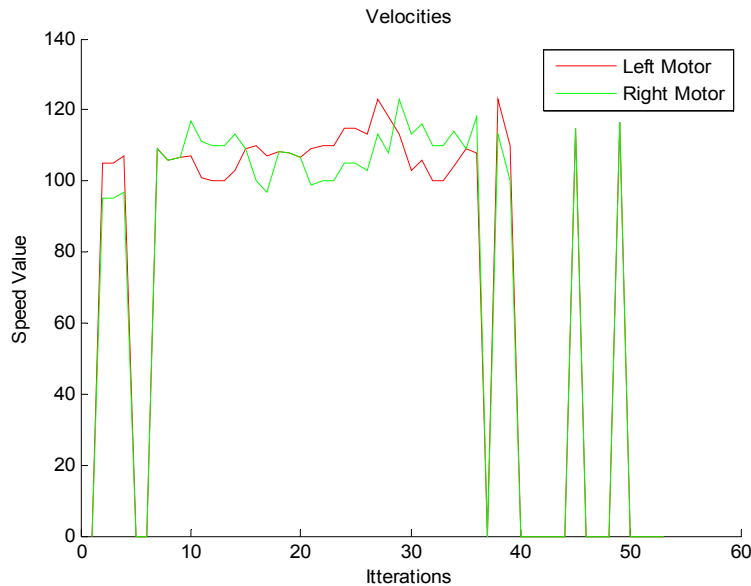


Εικόνα 6.25: Τελική θέση οχήματος

Το όχημα αρχικά κινείται ευθύγραμμα, στη συνέχεια διαγράφει μια αριστερή στροφή (Εικόνες 6.18 – 6.20), περνώντας ανάμεσα από τους κώνους R1 και R2. Αμέσως μετά αρχίζει να κινείται στρίβοντας δεξιά, περνώντας ανάμεσα από τους κώνους R2 και R3 (Εικόνες 6.21 – 6.23). Τέλος διαγράφει μια αριστερή στροφή μετά τον κώνο R3 (Εικόνα 6.24) και ακινητοποιείται σε απόσταση ασφαλείας από το εμπόδιο (Εικόνα 6.25). Στις Εικόνες 6.26 και 6.27 παρουσιάζονται τα διαγράμματα θέσης και ταχυτήτων των δυο κινητήρων, αντίστοιχα.



Εικόνα 6.26: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S



Εικόνα 6.27: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου S

6.3.2 Κίνηση σε κυκλική τροχιά

Το όχημα κλήθηκε να διαγράψει κυκλική τροχιά. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου πλοήγησης με τα διαγράμματα τους παρουσιάζονται στη συνέχεια. Στις Εικόνες 6.28, 6.29 και 6.30 παρουσιάζονται η αρχική, μια ενδιάμεση και η τελική θέση του οχήματος.



Εικόνα 6.28: Αρχική θέση

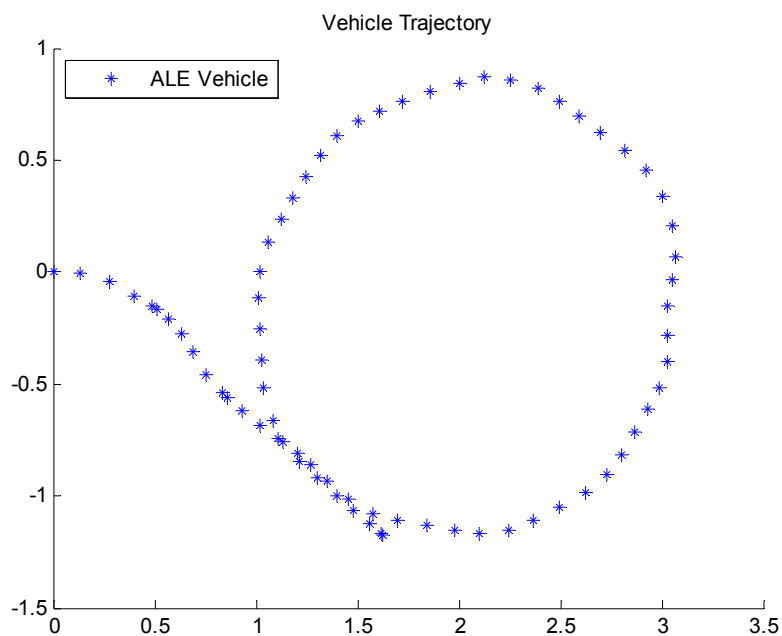


Εικόνα 6.29: Ενδιάμεση θέση

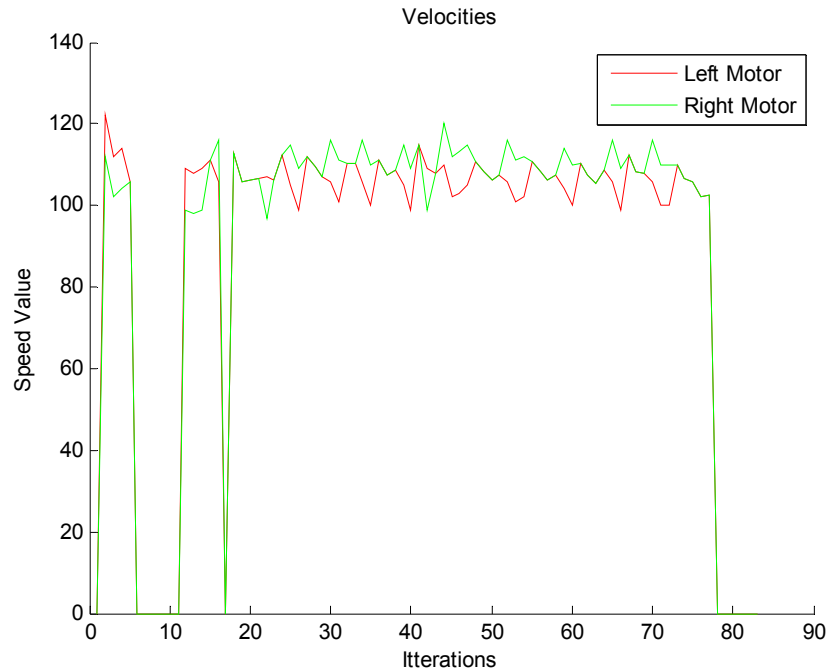


Εικόνα 6.30: Τελική θέση

Στη συνέχεια (Εικόνες 6.31 και 6.32) παρουσιάζονται τα διαγράμματα θέσης του οχήματος και ταχυτήτων των κινητήρων, αντίστοιχα.

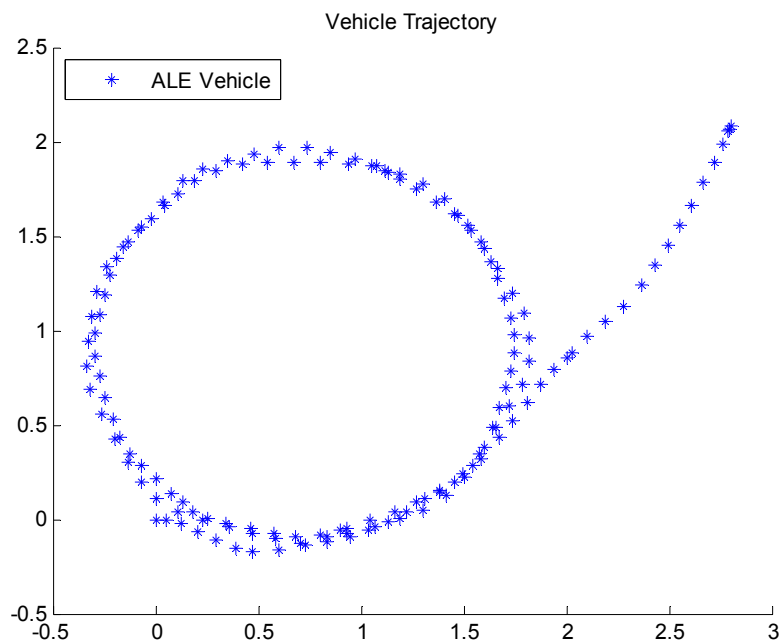


Εικόνα 6.31: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε κυκλική τροχιά

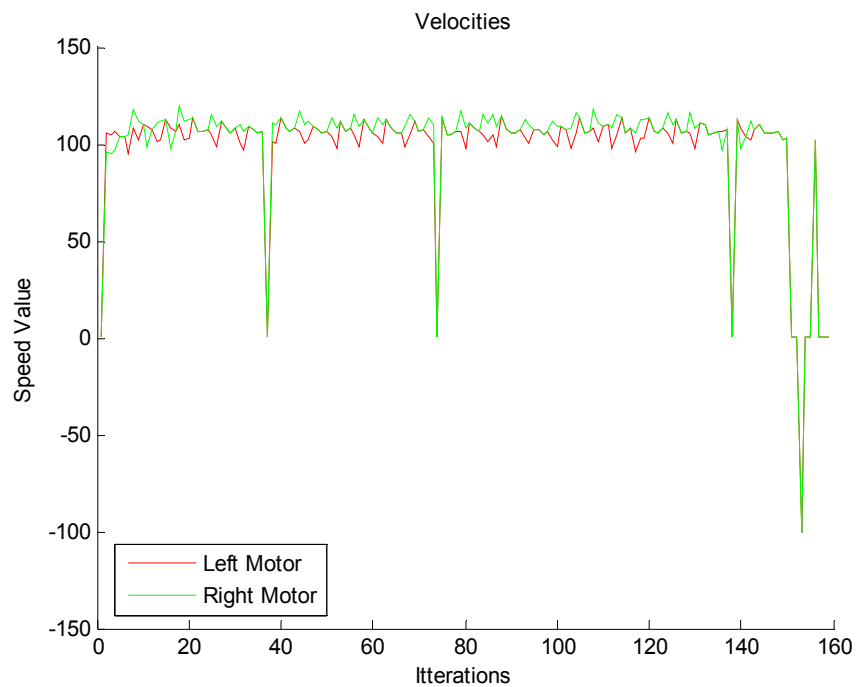


Εικόνα 6.32: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε κυκλικής τροχιάς

Στη συνέχεια το όχημα διέγραψε δυο κυκλικές τροχιές. Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται στη συνέχεια στις Εικόνες 6.33 και 6.34.



Εικόνα 6.33: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε διπλή κυκλική τροχιά



Εικόνα 6.34: Διάγραμμα ταχυτήτων κινητήρων για κίνηση σε διπλή κυκλική τροχιά

Στην Εικόνα 6.33 είναι εμφανείς οι δυο κύκλοι που διαγράφει το όχημα. Το όχημα διαγράφει δύο κύκλους ακτίνας περίπου 1.5 m. Όταν οι κύκλοι ολοκληρώνονται, το όχημα οδηγείται σε σημείο διαφορετικό της τροχιάς που είχε διαγράψει.

6.3.3 Κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’

Το όχημα κλήθηκε να διαγράψει καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου πλοήγησης παρουσιάζονται στη συνέχεια (Εικόνες 6.35 – 6.40)



Εικόνα 6.35: Αρχική θέση οχήματος



Εικόνα 6.36: Κίνηση από R1 προς R2



Εικόνα 6.37: Έναρξη δεξιάς στροφής οχήματος



Εικόνα 6.38: Συνέχιση δεξιάς στροφής του οχήματος

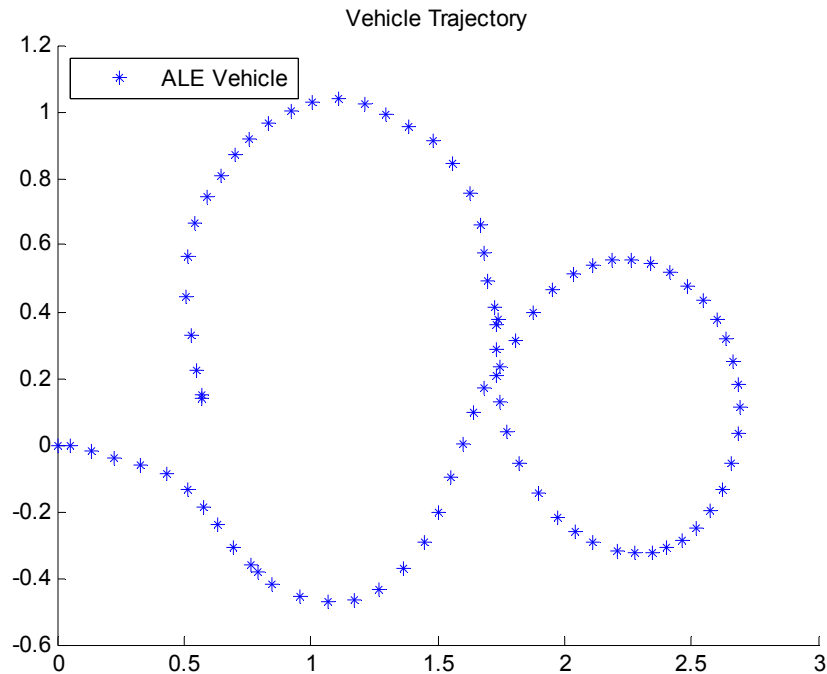


Εικόνα 6.39: Κίνηση από R2 προς R1

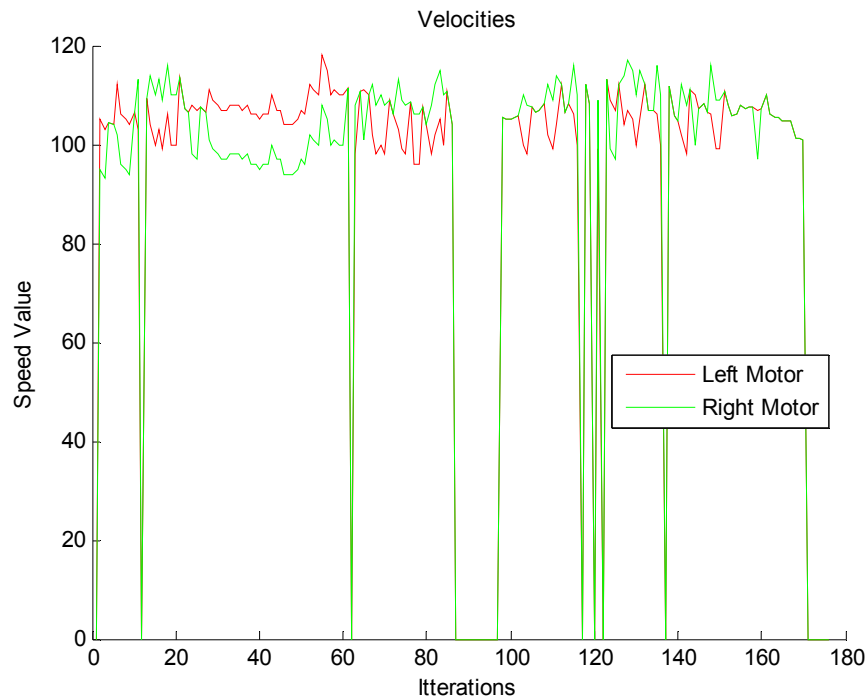


Εικόνα 6.40: Τελική θέση οχήματος

Στη συνέχεια (Εικόνες 6.41 και 6.42) παρουσιάζονται τα διαγράμματα θέσης και ταχυτήτων των δυο κινητήρων, αντίστοιχα.



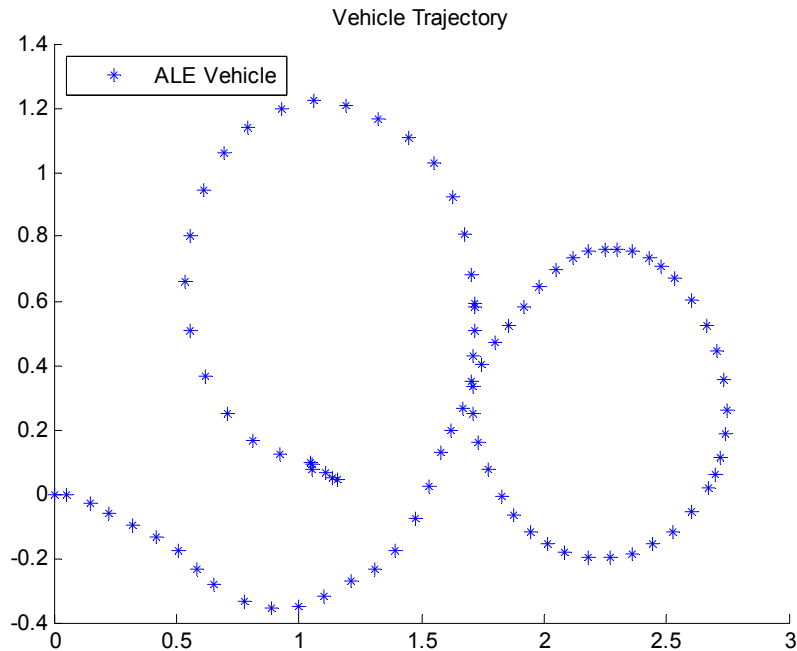
Εικόνα 6.41: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, πρώτο πείραμα



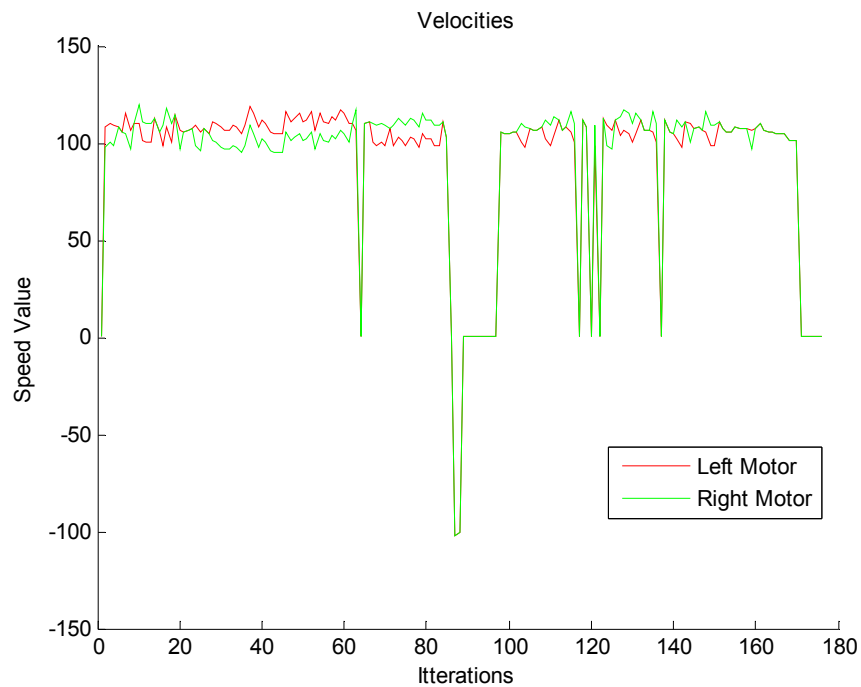
Εικόνα 6.42: Διάγραμμα ταχυτήτων των κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’,
πρώτο πείραμα

Από το διάγραμμα ταχυτήτων των κινητήρων παρατηρούμε ότι στις επαναλήψεις 85 μέχρι 95, το όχημα ακινητοποιείται. Το γεγονός αυτό οφείλεται ότι το αντικείμενο

βρέθηκε εκτός οπτικού πεδίου του εικονολήπτη του οχήματος. Το ίδιο πείραμα με τις ίδιες συνθήκες φωτισμού πραγματοποιήθηκε δεύτερη φορά με παρόμοια αποτελέσματα (Εικόνες 6.46 -6.47).



Εικόνα 6.46: Διάγραμμα θέσης για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, δεύτερο πείραμα



Εικόνα 6.47: Διάγραμμα ταχυτήτων των κινητήρων για κίνηση σε καμπύλη τροχιά τύπου ‘8’, δεύτερο πείραμα

7. Συμπεράσματα

Σκοπός της εργασίας ήταν η σύνθεση οπτικών πληροφοριών με στόχο την ασφαλή πλοήγηση του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ II. Για την ολοκλήρωση της εργασίας αναπτύχθηκαν δύο μέθοδοι υλοποίησης του αλγόριθμου πλοήγησης. Η πρώτη αποτελεί ένα αυτόνομο σύστημα πλοήγησης, όπου η επικοινωνία του εικονολήπτη και του μικροελεγκτή του οχήματος πραγματοποιείται απ' ευθείας, μέσω σειριακής θύρας. Η δεύτερη αποτελεί ένα σύστημα στο οποίο ο μικροελεγκτής και ο εικονολήπτης του συστήματος συνδέονται, ανεξάρτητα μεταξύ τους, με ενδιάμεσο υπολογιστή βάσης.

Το αυτόνομο σύστημα πλοήγησης, παρά την περιορισμένη υπολογιστική ισχύ του μικροελεγκτή, αποδεικνύεται ικανό για την ιχνηλασία χρωμάτων. Πλεονεκτήματά του αποτελούν η γρήγορη απόκρισή του κατά την ανίχνευση χρώματος. Επίσης το σύστημα υπερτερεί στο γεγονός ότι, παρά την περιορισμένη ισχύ του, ανταποκρίνεται επαρκώς στις απαιτήσεις του αλγόριθμου. Μειονεκτήματα θεωρούνται η περιορισμένη υπολογιστική ισχύς του μικροελεγκτή, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την υπερχειλίση του συστήματος, μετά όμως από ικανοποιητικό αριθμό επαναλήψεων, λόγω εξάντλησης των πόρων του. Επίσης το συνολικό σύστημα δεν είναι φιλικό σε μη εξειδικευμένους χρήστες.

Το σύστημα με χρήση ενδιάμεσου υπολογιστή βάσης δεν αντιμετωπίζει το πρόβλημα της υπολογιστικής ισχύος, διότι η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται σε απομακρυσμένο υπολογιστή. Το σύστημα πλεονεκτεί στο γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα προσιτό προς κάθε χρήστη, ο οποίος έχει την πλήρη εποπτεία του οχήματος ΑΛΕ II. Οι σχετικά αυξημένοι χρόνοι απόκρισης αποτελούν μειονέκτημα του συστήματος και οφείλονται στο λογισμικό υλοποίησης που παρεμβάλλεται ανάμεσα στις δυο μονάδες. Τέλος το σύστημα μειονεκτεί στο γεγονός ότι απαιτούνται αυξημένοι χρόνοι λήψης στιγμιότυπων του εικονολήπτη.

Να σημειωθεί ότι ο εικονολήπτης του οχήματος είναι ιδιαίτερα ευμετάβλητος σε μεταβολές των συνθηκών φωτισμού, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργία του. Βελτίωση του φωτισμού επιτυγχάνεται με τοποθέτηση λαμπτήρων αλογόνου [8], καθώς και με τη διαμόρφωση ομοιόμορφων συνθηκών φωτισμού στο χώρο.

8. Βιβλιογραφία

- [1] Sehgal A., Kadarusman J., Fife L., LUV: The Low Underwater Vehicle, Brigham Young University of Hawaii, Computer Science Department, available in <http://robotics.cs.byuh.edu>, 2005.
- [2] Marge M., Alrawahi N., Karim M. M., Sawas A., Wlliams Ch., NavBot: The Navigational Search and Rescue Robot, Stony Brook University, Department of Computer Science, AAI Robot Competition and Exhibition, 2005.
- [3] Batten Ch., Wentzlaff D., Kickbot: A Spherical Autonomous Robot, Massachusetts Institute of Technology, Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory, 2001.
- [4] Comport T., Cornall T., *Vision Based Autonomous Docking Robot*, Thesis Project ECE-4911/ECE-4912, June 2004.
- [5] Chanler A., Pantazopoulos G., Angus – Egg Hunt Fall, *Robotics One*, 2003.
- [6] Olson C., Werner B., DeLongpre J., Joegn Min H., A Simple Rescue Mission for Multiple Mobile Robots, University of Minnesota, Twin Cities, 2004.
- [7] Rowe A., Roseberg C., Nourbakhsh I., A Second Generation Low Cost Embedded Color Vision System, Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE Computer Society, 2005.
- [8] Rowe A., Illumination and its effect on CMOS cameras, Carnegie Mellon University, 2003.
- [9] Seattle Robotics, *CMUcam Vision System for BoeBot – User Guide*, 2002.
- [10] Τσαλατσάνης Αθανάσιος, *Σύνθεση πληροφοριών αισθητήρων για την ασφαλή πλοήγηση έντροχου ρομποτικού οχήματος*, Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ. 2004.
- [11] Δοϊτσίδης Ελευθέριος, *Πλοήγηση και έλεγχος αυτόνομων επίγειων οχημάτων με πολλαπλούς αισθητήρες*, Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., 2002.

- [12] Πιπερίδης Σάββας, *Σχεδίαση, Μελέτη και Κατασκευή του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ*, Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., 2005.
- [13] Τσολάκος Κωνσταντίνος, *Ανάπτυξη Λογισμικού Διασύνδεσης και Επεξήγηση Λειτουργίας για το ρομποτικό όχημα ΑΛΕ*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., 2005.
- [14] Μιχαηλίδης Φ. Νικόλαος, *Σχεδίαση και Εμπορική Ανάπτυξη του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ*, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., 2005.
- [15] Βιτζηλαίος Ι. Νικόλαος, *Μελέτη Ελέγχου-Λειτουργίας του Ρομποτικού Μηχανισμού Τύπου Γερανογέφυρας Talos*, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μ.Π.Δ., Πολυτεχνείο Κρήτης, 2004.
- [16] Clark D., *Controlling and Optimizing the OOPic Microcontroller*, McGraw-Hill/TAB Electronics, ISBN 0071420843, 2003.
- [17] Merchand P., Holland O.T., *Graphics and GUIs with MATLAB*, Chapman & Hall/CRC, ISBN 1584883200, 2002.
- [18] Adams A.J, Critical Considerations for Human Robot Interface Development, *Proceedings of the 2002 AAAI Fall Symposium: Human Robot Interaction Technical Report FS-02-03*, pp. 1-8, Nov. 2002.
- [19] Siegwart R., Nourbakhsh R. Illah, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*, Massachusetts The MIT Press, 2004.
- [20] Rowe A., *CMUcam2 Vision Sensor - User Guide*, Carnegie Mellon University, 2003.
- [21] Nourbakhsh R Illah, Crowley K., Bhave A., Hamner E, Hsiu T., Perez-Bergquist A., Richards S., Wilkinson K., The Robotic Autonomy Mobile Robotics Course: Robot Design, Curriculum Design and Educational Assessment, Springer Science and Business Media, Autonomous Robots 18, pp. 103-128, 2005.
- [22] Colot A., *Hemision - User Guide*, K-Team S.A., 2003.

- [23] Brown S., Vranesik Z., *Σχεδίαση Ψηφιακών Συστημάτων με τη γλώσσα VHDL*, εκδ. ΤΖΙΟΛΑ, ISBN 960-8050-50-2, Θεσ/νικη, 2001.
- [24] Παπαμάρκος Ν., *Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας*, εκδ. Β. ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, ISBN 960-387-352-7, Αθήνα 2005.
- [25] Jain R., Kasturi R., Schunvk G. B., *Machine Vision*, McGraw-Hill International Editions, 1995.
- [26] Gonzalez R. C., Woods R. E., *Digital Image Processing*, Addison-Wesly, 1992.
- [27] Stroustrup B., *Η γλώσσα προγραμματισμού C++ / Τρίτη Αμερικάνικη Έκδοση*, εκδ. ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΟΜΟΣ, ISBN 960-332-142-7, Αθήνα, 1999.
- [28] Madhavan R., Fregene K., Parker E. L., Distributed Cooperative Outdoor Multirobot Localization and Mapping, *Autonomous Robots 17*, Kluwer Academic Publisher, pp. 23-29, 2004.
- [29] A. Howard, Parker L. E., Sukhatme G. S., Experiments with a Large Heterogeneous Mobile Robot Team: Exploration, Mapping, Deployment and Detection, *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 25, No. 5-6, pp. 431-447, June 2006.
- [30] J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng, Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning, Michigan: University of Michigan, 1996.
- [31] Κοϊνή Γεωργία, *Ανάπτυξη λογισμικού για την παραμετρική σχεδίαση πολυβάθμιων πτερυγώσεων στροβιλομηχανών*, Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μ.Π.Δ., 2007.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΕΝΤΟΛΕΣ ΡΥΘΜΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Delay Mode – DM number\r

Με χρήση της εντολής ενεργοποιείται η καθυστέρηση αποστολής δυαδικών χαρακτήρων (*bit*), που μεταφέρονται μέσω της σειριακής θύρας. Η εντολή επιτρέπει σε αργούς μικροελεγκτές να χειριστούν ευκολότερα σειριακά δεδομένα. Το εύρος τιμών της κυμαίνεται από 0 μέχρι 255, από την ελάχιστη προς την μέγιστη καθυστέρηση. Κάθε μονάδα καθυστέρησης είναι ίση με το χρόνο μιας μονάδας δυαδικής πληροφορίας στον τρέχων ρυθμό αποστολής δεδομένων.

Poll Mode – PM mode\r

Με χρήση της εντολής περιορίζεται ο αριθμός των πακέτων ανίχνευσης από τον εικονολήπτη. Με την τιμή *mode*= 0 υπάρχει συνεχής αποστολή δεδομένων από τον εικονολήπτη, με την τιμή *mode*=1 επιστρέφεται μόνο ένα πακέτο ανίχνευσης δεδομένων, ενώ όταν *mode*=2 επιστρέφονται πακέτα δεδομένων μόνο όταν ένα χρώμα έχει ανιχνευτεί.

Packet Skip – PS number\r

Με χρήση της εντολής ενεργοποιούνται ποια πακέτα δεδομένων θα εμφανίζονται. Με την αρχική τιμή εμφανίζονται όλα τα πακέτα δεδομένων. Με την τιμή *number*=1 εμφανίζεται κάθε επόμενο πακέτο δεδομένων. Με την τιμή *number*=1 τα πακέτα δεδομένων εμφανίζονται ανά δύο. Όταν ενεργοποιηθεί και εντολή *Poll Mode*, τότε εμφανίζεται κάθε δεύτερο πακέτο ανίχνευσης δεδομένων κλπ..

Raw Mode – RM bit_flags\r

Με τη χρήση της εντολής ενεργοποιείται η αποστολή δεδομένων σε δυαδική μορφή, δηλαδή ο εικονολήπτης παύει την αποστολή ASCII χαρακτήρων και στέλνει μόνο δυαδικές τιμές δεδομένων. Η εντολή εκτελεί επίσης τις εξής διαδικασίες, εξαγωγή αποτελεσμάτων του εικονολήπτη σε μονάδες δυαδικής πληροφορίας, απόκρυψη των σημάτων επιβεβαίωσης ή μη, οι εισερχόμενες πληροφορίες του εικονολήπτη σε μονάδες δυαδικής πληροφορίας. Η εντολή αυτή κάνει χρήση δυαδικής λογικής και έτσι μπορεί να

εκτελεστούν παράλληλα και οι τρεις επιλογές. Αν η τιμή του bit_flag είναι 0, τότε όλα τα αποτελέσματα από τον εικονολήπτη είναι δεδομένα ASCII χαρακτήρων. Το πακέτο έχει τους εξής χαρακτήρες δεδομένων, αρχίζει με ένα χαρακτηριστικό byte με την τιμή 255, ακολουθεί ένας χαρακτήρας διαφορετικός για κάθε πακέτο απόκρισης και στη συνέχεια ακολουθούν τα δεδομένα, τελευταίος χαρακτήρας είναι το 58. Αν η τιμή του bit_flag είναι 1, τότε τα σήματα επιβεβαίωσης ή μη, απενεργοποιούνται. Τέλος αν η τιμή του bit_flag είναι 2, τότε όλα τα δεδομένα από τον εικονολήπτη διαβάζονται ως μονάδες δυαδικής πληροφορίας. Για παράδειγμα αν ο χρήστης γράψει RM 3, τότε απενεργοποιούνται οι εντολές επιβεβαίωσης και τα δεδομένα εξόδου έχουν την εξής μορφή:

RM 3

:TC 80 120 50 80 0 30

255 84 95 85 80 70 110 100 125 202 58 (μη ορατά)

Η τελευταία σειρά των δεδομένων δεν είναι ορατή από το χρήστη με ένα απλό πρόγραμμα επικοινωνίας. Ο χρήστης για να δει τα δεδομένα αυτά πρέπει να γράψει ένα μικρό πρόγραμμα ανάγνωσης μονάδων δυαδικής πληροφορίας.

Packet Filter – PF boolean\r

Η εντολή αυτή ενεργοποιεί το φιλτράρισμα των πακέτων απόκρισης του εικονολήπτη. Κατά την ενεργοποίηση της τα κενά πακέτα απόκρισης, δηλαδή όσα περιέχουν μηδενικές τιμές, δεν εμφανίζονται στην οθόνη όταν δεν έχει ανιχνευτεί κάποιο χρώμα. Μόλις εντοπιστεί ένα χρώμα, τότε εμφανίζονται τα νέα δεδομένα του εικονολήπτη. Η εντολή αυτή αποσυμφορίζει τον μικροελεγκτή από την επεξεργασία περιττών δεδομένων.

Output Mask – OM packet number\r

Με τη χρήση της εντολής ενεργοποιείται το φιλτράρισμα των πακέτων απόκρισης. Κάνοντας χρήση της δυαδικής αναπαράστασης, ο χρήστης καθορίζει ποια από τα δεδομένα απόκρισης θα είναι εμφανή στο χρήστη. Η τιμή του *number*=255 εμφανίζει όλα τα δεδομένα των πακέτων απόκρισης στο χρήστη, για τιμή *number*=3 εμφανίζονται στην οθόνη μόνο οι συντεταγμένες του κέντρου βάρους του ανιχνευόμενου

χρώματος, ενώ για τιμή *number=0* εμφανίζεται μόνο ο χαρακτήρας ‘Τ’. Τα αποτελέσματα μετά από χρήση της συνάρτησης αυτής είναι τα εξής:

:OM 0 3

ACK

:TC

ACK

T 50 80

Send Frame – SF channel\r

Με την εντολή αυτή αποστέλλεται ένα στιγμιότυπο από τον εικονολήπτη μέσω σειριακής θύρας στον υπολογιστή βάσης. Η εντολή στέλνει ομάδες δεδομένων δυαδικών πληροφοριών (bytes), στη μορφή του πακέτου δεδομένων ‘F’. Το πακέτο δεδομένων ‘F’ αποστέλλει τις τιμές των χρωματικών συνιστώσεων για κάθε εικονοστοιχείο του στιγμιότυπου. Η ανάλυση της εικόνας δεν εξαρτάται από τον ρυθμό αποστολής των δεδομένων, ο οποίος απλά καθορίζει την ταχύτητα μετάδοσης της εικόνας. Αν προστεθεί η τιμή του *channel 1-2*, αποστέλλονται μόνο οι τιμές των χρωματικών συνιστώσεων για κάθε μια χρωματική συνιστώσα, έτσι εμμέσως μειώνεται το πλήθος των αρχικών δεδομένων στο 1/3. Οι τιμές του *channel 1-2*, αναφέρονται στις συνιστώσες *Red*, *Green* και *Blue* αντίστοιχα. Για περισσότερα βλ. Παράρτημα Γ.

L0 ή L1 boolean\r

Με τις εντολές αυτές ενεργοποιείται η λειτουργία των φωτοδιόδων επικοινωνίας. Η τιμή 0 απενεργοποιεί τις φωτοδιόδους, η τιμή 1 ενεργοποιεί τις φωτοδιόδους, ενώ η τιμή 2, που είναι η αρχικά προκαθορισμένη τιμή, ενεργοποιεί την αυτόματη τους λειτουργία.

Track Color – TC Rmin Rmax Gmin Gmax Bmin Bmax\r

Με την εντολή ενεργοποιείται η ανίχνευση χρώματος. Η συνάρτηση δέχεται ως ορίσματα εισόδου την ελάχιστη και μέγιστη τιμή κάθε χρωματικής συνιστώσας και εξάγει το πακέτο απόκρισης δεδομένων ‘T’. Το πακέτο απόκρισης δεδομένων επιστρέφει τις συντεταγμένες *x* και *y* του κέντρου βάρους του χρώματος, τις συντεταγμένες του περιβάλλοντος τετραγώνου, του κάτω αριστερά σημείου *x1*, *y1*, του επάνω δεξιά

σημείου x2, y2, τον αριθμό των εικονοστοιχείων που ανιχνεύτηκαν και την τιμή του *confidence*. Με χρήση της εντολής OM τα δεδομένα αυτά μπορεί να περιοριστούν. Αν η κλήση της συνάρτησης γίνει χωρίς ορίσματα, τότε ανιχνεύονται οι τιμές του προηγούμενου χρώματος. Για περισσότερα βλ. Παράρτημα Γ.

Track Window – TW\r

Με την εντολή ενεργοποιείται η αυτόματη επιλογή χρώματος το οποίο βρίσκεται στο κεντρικό σημείο του τρέχοντος παραθύρου. Κατά την κλήση της εντολής, επιστρέφεται ένα σύννηθες πακέτο απόκρισης ανίχνευσης χρώματος. Η σμίκρυνση του παραθύρου πραγματοποιείται μόνο για τη λήψη των χρωματικών συνιστώσεων και οι διαστάσεις του παραθύρου επανέρχονται στις αρχικές τιμές τους. Τα βήματα που εκτελούνται εσωτερικά είναι τα εξής:

1. Υποδιπλασιασμός του αρχικού παραθύρου.
2. Εύρεση των μέσων τιμών των χρωματικών συνιστώσεων και εμφάνιση του πακέτου S.
3. Επαναφορά του παραθύρου στο αρχικό του μέγεθος.
4. Καθορισμός των μέγιστων και των ελάχιστων τιμών για κάθε χρωματική συνιστώσα με εύρος τιμών ± 30 και εμφάνιση του πακέτου T.

Τα αποτελέσματα έχουν την εξής μορφή:

:TW

ACK

S 89 90 67 5 10 11

T 50 80 38 82 53 128 35 98

Get Tracking Parameters – GT\r

Η εντολή εμφανίζει τις τρέχουσες τιμές των παραμέτρων ανίχνευσης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον έλεγχο των χρωματικών παραμέτρων που ανιχνεύονται κάθε φορά από τον εικονολήπτη.

Set Tracking Parameters - ST Rmin Rmax Gmin Gmax Bmin Bmax\r

Η εντολή θέτει τις τιμές των χρωματικών συνιστώσεων στις εντολές ανίχνευσης χρώματος, χωρίς να απαιτείται κλήση της συνάρτησης ανίχνευσης χρώματος. Οι τιμές

αυτές αποθηκεύονται στη μνήμη του εικονολήπτη και κάθε επόμενη κλήση της εντολής ανίχνευσης χρώματος μπορεί να γίνει χωρίς ορίσματα.

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΩΝ

Get Mean – GM\r

Εμφανίζει τις μέσες τιμές των χρωματικών συνιστώσεων του τρέχοντος στιγμιότυπου. Αν ένα τμήμα του στιγμιότυπου έχει επιλεγεί, με χρήση της εντολής *Virtual Window*, τότε εμφανίζονται οι τιμές του συγκεκριμένου τμήματος. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από 16 έως 240, ανάμεσα στα όρια που προκύπτουν από το CMOS κύκλωμα του εικονολήπτη. Επίσης επιστρέφεται η τιμή της τυπικής απόκλισης του εντοπισμένου χρώματος. Με χρήση της εντολής ευνοείται η αυτόματη λήψη ανίχνευσης χρώματος.

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Sleep – SL\r

Η εντολή αδρανοποιεί τον μικροεπεξεργαστή του συστήματος και χρησιμοποιείται για εξοικονόμηση ενέργειας. Για να τεθεί πάλι ο εικονολήπτης σε ενεργή κατάσταση πρέπει να σταλεί σειριακά ένας χαρακτήρας στον εικονολήπτη, ο οποίος συνίσταται να είναι ο 'r', όπου ο εικονολήπτης ενεργοποιείται μετά από 10ms. Η εντολή απενεργοποιεί επίσης την έξοδο των σερβομηχανισμών.

Reset – RS\r

Η εντολή επαναφέρει τις ρυθμίσεις του εικονολήπτη στην αρχική τους κατάσταση. Αποτελέσματα της εντολής είναι τα εξής:

:RS

ACK

CMUcam2 v1.0 c7

:

Get Version – GV

Η εντολή εμφανίζει την έκδοση του ενσωματωμένου λογισμικού του εικονολήπτη. Επιστρέφει μια εντολή επιβεβαίωσης που ακολουθείται από την έκδοση του ενσωματωμένου λογισμικού. Όπου c6 σημαίνει ότι έχει εντοπιστεί το η φωτοευαίσθητη επιφάνεια OV6620, ενώ c7 σημαίνει ότι έχει εντοπιστεί η φωτοευαίσθητη επιφάνεια OV7620.

: GV

ACK

CMUcam2 v1.0 c7

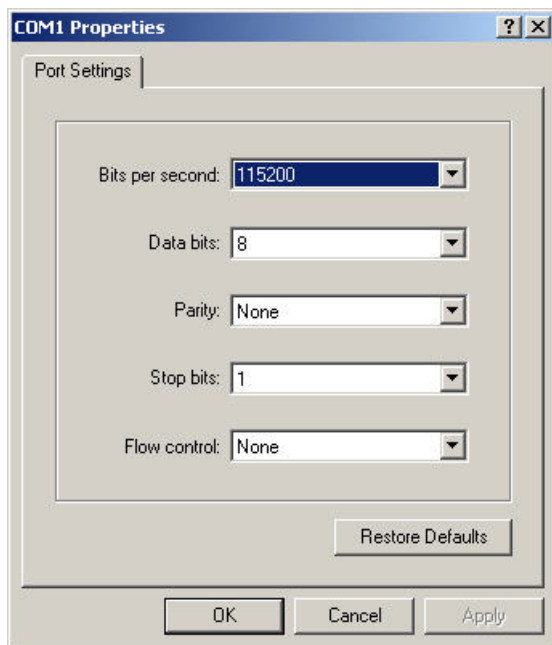
:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

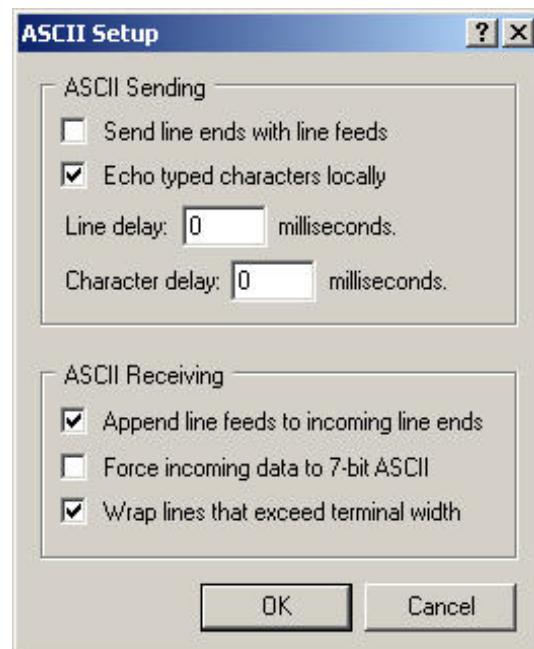
Οι χρήστες πριν από κάθε χρήση των προτεινόμενων μεθοδολογιών, συνίσταται να ελέγχουν αν οι σειριακές συσκευές βρίσκονται σε λειτουργία. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει με το πρόγραμμα *HyperTerminal*, εφαρμογή που προσφέρουν όλες οι εκδόσεις των Windows. Η εφαρμογή αυτή βρίσκεται στη διαδρομή: *Start, Programs, Accessories, Communications, HyperTerminal*. Στη συνέχεια περιγράφονται οι ρυθμίσεις του προγράμματος για κάθε σειριακή συσκευή.

Εικονολήπτης CMUcam2

Στην καρτέλα ορισμού των ιδιοτήτων ορίζονται ο αριθμός της σειριακής θύρας καθώς και οι υπόλοιπες ιδιότητες της σειριακής επικοινωνίας οι οποίες είναι οι: ***Baud Rate:115200, Data Bits:8, Parity: None, Stop Bits:1, Flow Control: None***. Στις Εικόνες B.1 και B.2 παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις της σειριακής επικοινωνίας.



Εικόνα B.1: Ρυθμίσεις σειριακής επικοινωνίας
εικονολήπτη



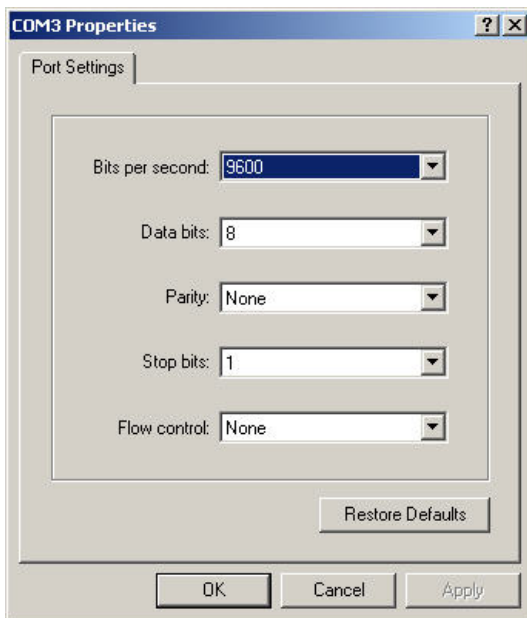
Εικόνα B.2: Διαμόρφωση εντολών
εικονολήπτη

Στη διαδρομή Properties, Settings, ASCII Setup, ορίζονται όλες οι ιδιότητες του προγράμματος για την επικοινωνία με τον εικονολήπτη. Ο χρήστης θα πρέπει να έχει

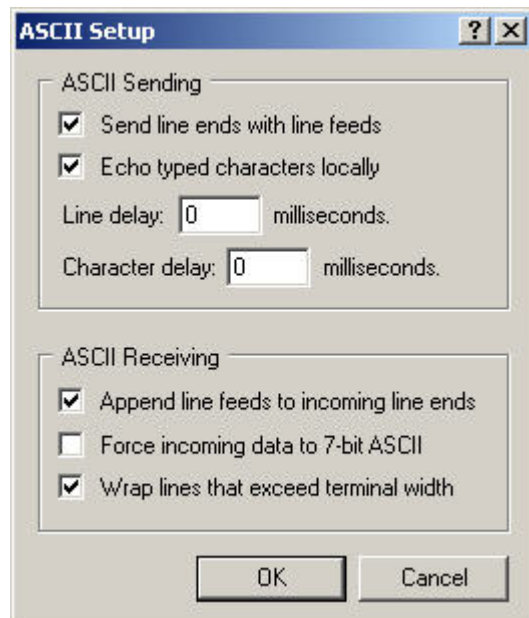
απενεργοποιημένη την εντολή: “Send line ends with line feeds”, γιατί το πρόγραμμα HyperTerminal, στέλνει ένα επιπλέον χαρακτήρα ‘CR’, ο οποίος τερματίζει τη λειτουργία των εντολών του εικονολήπτη.

Μικροελεγκτής OOPic-R

Στην καρτέλα ορισμού των ιδιοτήτων ορίζονται ο αριθμός της σειριακής θύρας καθώς και οι υπόλοιπες ιδιότητες της σειριακής επικοινωνίας οι οποίες είναι οι: **Baud Rate:9600, Data Bits:8, Parity: None, Stop Bits:1, Flow Control: None**. Στις Εικόνες B.3 και B.4 παρουσιάζονται οι ρυθμίσεις τις σειριακής επικοινωνίας.



Εικόνα B.3: Ρυθμίσεις σειριακής επικοινωνίας μικροεπεξεργαστή



Εικόνα B.4: Διαμόρφωση εντολών μικροεπεξεργαστή

Στη διαδρομή Properties, Settings, ASCII Setup, ορίζονται όλες οι ιδιότητες του προγράμματος για την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζονται συνοπτικά τα πακέτα απόκρισης του εικονολήπτη.

Γ.1 ACK

Αποτελεί το αλφαριθμητικό επιβεβαίωσης κατά την επιτυχή λήψη μιας εντολής.

Γ.2 NCK

Αποτελεί το αλφαριθμητικό το οποίο δηλώνει την ύπαρξη λάθους ή αποτυχίας λήψης μιας εντολής.

Γ.3 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ F (F-packet)

Αποτελεί το πακέτο δεδομένων με το οποίο ο εικονολήπτης αποκρίνεται κατά την κλήση της εντολής 'SF', με δυαδικά δεδομένα μη ορατά από το χρήστη. Η μορφή των δεδομένων είναι η ακόλουθη:

1 xSize ySize rgb rgb ...rgb rgb 2...2... 2 rgb rgb ...rgb rgb 2 3

Όπου:

- 1: Επιτυχής λήψη στιγμιότυπου.
- xSize: Αριθμός στηλών.
- ySize: Αριθμός γραμμών.
- 2: Έναρξη καινούριας γραμμής του στιγμιότυπου.
- r, g, b: Τιμή της χρωματικής συνιστώσας κάθε εικονοστοιχείου για Red, Green, Blue αντίστοιχα.
- 3: Τέλος στιγμιότυπου.

Οι τιμές των χρωματικών συνιστώσεων κυμαίνονται από 16-240 και η τιμή μιας τριπλέτας τιμών *rgb* αναφέρεται σε δύο εικονοστοιχεία. Έτσι, για τη σωστή διαμόρφωση των διαστάσεων της εικόνας, πρέπει να διπλασιαστεί ο αριθμός των εικονοστοιχείων ή διαφορετικά ο αριθμός των στηλών του στιγμιότυπου.

Γ.4 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ T (T-packet)

Αποτελεί το πακέτο δεδομένων με το οποίο ο εικονολήπτης αποκρίνεται κατά την κλήση των εντολών 'TC' ή 'FD'. Η μορφή των δεδομένων απόκρισης είναι η ακόλουθη:

T mx my x1 y1 x2 y2 pixel confidence

Όπου:

- mx: Η τιμή της τετμημένης του κέντρου βάρους.
- my: Η τιμή της τεταγμένης του κέντρου βάρους.
- x1: Η τιμή της τετμημένης του κάτω αριστερού σημείου του τετραγώνου του οριακού τετραγώνου.
- y1: Η τιμή της τεταγμένης του κάτω αριστερού σημείου του τετραγώνου του οριακού τετραγώνου.
- x2: Η τιμή της τετμημένης του πάνω δεξιού σημείου του τετραγώνου του οριακού τετραγώνου.
- y2: Η τιμή της τετμημένης του πάνω δεξιού σημείου του τετραγώνου του οριακού τετραγώνου.
- pixel: Ο αριθμός των εικονοστοιχείων του χρώματος που έχει ανιχνευθεί υπό την κλίμακα του 255.
- confidence: Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που καλύπτει το οριακό τετράγωνο υπό την κλίμακα του 255.

Γ.5 ΠΑΚΕΤΟ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ S (S-packet)

Αποτελεί το πακέτο δεδομένων με το οποίο ο εικονολήπτης αποκρίνεται κατά την κλήση της εντολής 'GM' και αναπαριστά στατιστικά δεδομένα για την εικόνα. Η μορφή των δεδομένων απόκρισης είναι η ακόλουθη:

S Rmean Gmean Bmean Rdeviation Gdeviation Bdeviation

όπου:

- Rmean, Gmean, Bmean: Οι μέσες τιμές των χρωματικών συνιστώσεων, που βρίσκονται στο κεντρικό παράθυρο του εικονολήπτη.
- Rdeviation, Gdeviation, Bdeviation: Οι τιμές της τυπικής απόκλισης σ των χρωματικών συνιστώσεων που βρίσκονται στο κεντρικό παράθυρο του εικονολήπτη.