

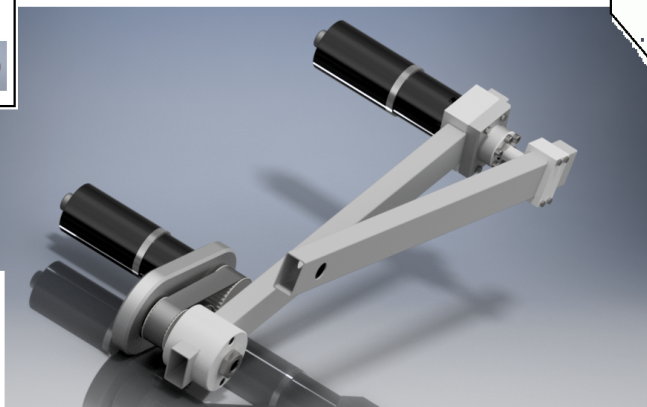
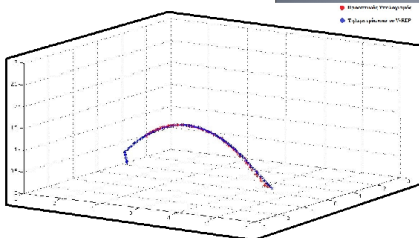
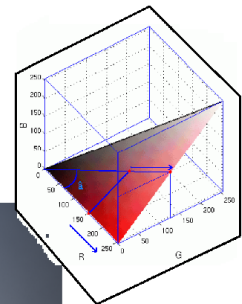
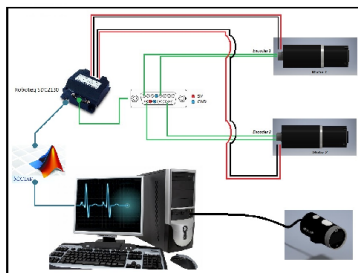


Electrical Engineering Department
School of Engineering
Technological Educational Institute of Crete



**Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού
και Ρομποτικής"**

**Ανάπτυξη συστήματος ελέγχου βραχίονα 2 DOF
που περιλαμβάνει μηχανική όραση.**



Καθηγητής:

Δρ. Μηχ. Καβουσσάνος Εμμανουήλ

Συντάκτης:

Φρουδαράκης Κων/νος Μηχ. Μηχανικός Τ.Ε.

Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εισηγητή της εργασίας μου κ. Καθηγητή Καββουσανό Εμμανουήλ για τη τεχνική του καθοδήγηση, τη προσφορά της κατεύθυνσης στην εργασία μου αλλά και την υπομονή που επέδειξε όσο προσπαθούσα να λύσω τα θέματα που προέκυπταν.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές μου που βοήθησαν με οποιοδήποτε τρόπο καθώς και την οικογένεια και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη τους και κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου.

Φρουδαράκης Κων/νος τ. Εμμ. Μηχ. Μηχανικός Τ.Ε.

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή.....	1
1.1 :Υπολογισμός της απόστασης σε αυτή την εργασία.....	4
1.2 :Υπολογισμός της τροχιάς στο χώρο κατά τη διάρκεια της ρίψης.....	5
1.3 :Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας.....	6
1.4 :Τεχνικές δυνατότητες και εξελίξεις.....	7
1.5 :Μηχανική Όραση: Σύντομη Ιστορία και εφαρμογές.....	7
1.6 :Αναφορά στην αναγνώριση αντικειμένων.....	7
1.7 :Αναφορά στην στερεοσκοπία.....	8
Κεφάλαιο 2:Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνων.....	9
2.1 :Λήψη και αποθήκευση ψηφιακών εικόνων.....	10
2.2 :Χώρος χρώματος RGB.....	10
2.3 :Χώρος Χρώματος HSV.....	13
2.4 :Σχέση και αντιστοίχιση μεταξύ RGB και HSV.....	16
2.4.1 Αντιστοίχιση της Χροιάς (Hue).....	16
2.4.2 Αντιστοίχιση της Τιμής/Φωτεινότητας (Value/Brightness).....	17
2.4.3 Αντιστοίχιση του Κορεσμού (Saturation).....	18
2.4.4 Παραδοχές που προκύπτουν.....	19
Κεφάλαιο 3:Προοπτική, αναγνώριση και μέτρηση του αντικειμένου.....	20
3.1 :Οφθαλμαπάτες λόγω προοπτικής.....	20
3.2 :Φαινόμενο Μέγεθος, Οπτική γωνία και Σημείο Σύγκλισης.....	21
3.3 :Μαθηματική σχέση Φαινόμενου Μεγέθους προς Απόστασης.....	21
3.4 :Αναγνώριση και μέτρηση του αντικειμένου.....	24
3.5 :Επιλογή μεθόδου αναγνώρισης του αντικειμένου.....	24
3.5.1 Μέθοδος αναγνώρισης σχήματος.....	25
3.5.2 Μέθοδος αναγνώρισης χρώματος.....	25
3.5.3 Επιλογή σχήματος.....	26
3.6 :Εύρεση του κόκκινου χρώματος στην εικόνα.....	28
3.6.1 Αρχική Προσπάθεια.....	28
3.6.2 Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε.....	28
3.6.3 Λειτουργία του λόγου ως όριο.....	31
3.6.4 Λειτουργία της Φωτεινότητας του Κόκκινου ως όριο.....	32
3.6.5 Μεθοδολογία επιλογής Λόγου και Φωτεινότητας για δεδομένο περιβάλλον.....	36
3.6.6 Ανάλυση της ανίχνευσης του αλγορίθμου στο παράδειγμα.....	39
3.7 :Τεχνικές μείωσης του θορύβου στην ανίχνευση.....	41
3.7.1 Μείωση του θορύβου αφαιρώντας το μέσο όρο αυτού.....	41
3.7.2 Κατωφλίωση στο εμβαδόν που μετρείται από την εικόνα.....	42
3.7.3 Αποθήκευση μόνο του μεγαλύτερου αντικειμένου ανά εικόνα.....	42
3.7.4 Γέμισμα οπών στο εσωτερικό σχημάτων.....	43
3.7.5 Προβλήματα που παραμένουν κατά την αναγνώριση.....	44
Κεφάλαιο 4:Υπολογισμός της θέσης στο χώρο και εκτίμηση της βαλλιστικής τροχιάς με μία μόνο κάμερα.....	45
4.1 :Επιλογή της μεθόδου εκτίμησης της απόστασης.....	45
4.1.1 Στερεοσκοπία με δύο κάμερες.....	45
4.1.2 Στερεοσκοπία με μία κινούμενη κάμερα.....	46
4.1.3 Μειονεκτήματα των δύο μεθόδων στερεοσκοπίας.....	46
4.2 :Υπολογισμός του βάθους με μία μόνο κάμερα.....	47
4.2.1 Αποθήκευση του μεγέθους αναφοράς και εύρεση της απόστασης.....	48

4.3 :Ορισμός συστήματος συντεταγμένων και υπολογισμός της θέσης στο χώρο.....	49
4.3.1 Ορισμός σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων και θέση του αντικειμένου.....	49
4.3.2 Το ωρολογιακό σύστημα του αζιμούθιου.....	51
4.3.3 Η “υπόθεση του 1m”.....	51
4.3.4 Ορισμός και Αναγωγή στο καρτεσιανό σύστημα της κάμερας.....	53
4.4 :Υπολογισμός του σημείου πρόσκρουσης.....	54
4.4.1 Υπολογισμός της αντίστασης του αέρα.....	54
4.4.2 Πρόβλεψη της εξίσωσης της τροχιάς με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.....	56
4.4.3 Υπολογισμός του σημείου πρόσκρουσης.....	57
Κεφάλαιο 5:Προσομοίωση της ρίψης στο λογισμικό V-REP.....	59
5.1 :Περίληψη των δυνατοτήτων του λογισμικού V-REP.....	59
5.1.1 Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών μοντέλων.....	60
5.1.2 Διαφορετικοί τρόποι προγραμματισμού στο V-REP.....	63
5.1.3 Δυνατότητα προσομοίωσης αισθητήρων.....	65
5.1.4 Ορισμός αρθρώσεων στο V-REP.....	66
5.2 :Δημιουργία μίας προσομοίωσης στο V-REP.....	66
5.3 :Σύνδεση με τη Matlab σαν εξωτερικό API.....	67
5.4 :Ορισμός της σκηνής προσομοίωσης στο V-REP.....	68
5.4.1 Το μοντέλο του βραχίονα στο V-REP.....	69
5.4.2 Εξισώσεις ελέγχου του βραχίονα.....	71
5.5 :Ρίψη και αποτελέσματα.....	74
5.5.1 Γραφική αναπαράσταση απόστασης και θέσης στο χώρο.....	75
5.5.2 Πρόβλεψη και περιορισμοί της πρόβλεψης στο V-REP.....	77
Κεφάλαιο 6:Σχεδιασμός και κατασκευή.....	80
6.1 :Πρώτη έκδοση: Προτερήματα και αδυναμίες.....	80
6.2 :Δεύτερη έκδοση:Προτερήματα και αδυναμίες.....	81
6.3 :Τρίτη έκδοση: Προτερήματα και αδυναμίες.....	85
6.4 :Ο ελεγκτής Roboteq SDC2130.....	86
Κεφάλαιο 7:Αποτελέσματα και συμπεράσματα από πειράματα.....	89
7.1 :Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τα πειράματα με το πραγματικό σύστημα.....	90
7.2 :Συμπεράσματα.....	92
Κεφάλαιο 8:Πιθανές εφαρμογές της μεθόδου αναγνώρισης βάθους.....	97
Κεφάλαιο 9:Περιοχές περαιτέρω έρευνας.....	99
Κεφάλαιο 10:Παράρτημα.....	101
10.1 :Αλγόριθμος Ελέγχου.....	101
10.2 :Αλγόριθμοι Μείωσης θορύβου στην ανίχνευση του κόκκινου.....	104
10.3 :Μελέτες αντοχής μέσω του συστήματος CAD για τον ιμάντα και τις συνδέσεις με σφήνα.	105
10.4 :Ενδεικτικά Αποτελέσματα από πειραματικές ρίψεις.....	115
10.5 :Μηχανολογικά σχέδια της τελευταίας έκδοσης του βραχίονα.....	118
Βιβλιογραφία.....	130

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος μηχανικής όρασης με μία μόνο κάμερα το οποίο να αναγνωρίζει ένα αντικείμενο σε βαλλιστική τροχιά, να υπολογίζει το σημείο πρόσκρουσης του στο επίπεδο ενός ρομποτικού βραχίονα και να το αποκρούει, φέρνοντας το άκρο του βραχίονα σε αυτό το σημείο. Επιπλέον, τα παραπάνω πρέπει να γίνονται ενώ το σύστημα χρησιμοποιεί μία μόνο ακίνητη κάμερα.

Για να γίνουν όσα αναφέρονται παραπάνω πρέπει ο αλγόριθμος να υπολογίζει τα εξής:

- Να αναγνωρίζει το αντικείμενο στο χώρο μέσα από τις εικόνες που θα λαμβάνει από την κάμερα.
- Να υπολογίζει την απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα.
- Να υπολογίζει την θέση του στο χώρο βάσει ενός συστήματος συντεταγμένων που ορίζεται με αρχή των αξόνων την ίδια την κάμερα.
- Από την ιστορία των θέσεων του αντικειμένου στο χώρο να υπολογίζει την τροχιά του και να βρίσκει το σημείο που αυτή η τροχιά τέμνει το επίπεδο του βραχίονα.

Το πιο σημαντικό από τα παραπάνω είναι ο υπολογισμός της απόστασης του αντικειμένου, αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κλασσικές τεχνικές στερεοσκοπίας που απαιτούν δύο ακίνητες ή τουλάχιστον μία κινητή κάμερα.

Και να σημειωθεί ότι όλα τα παραπάνω πρέπει να γίνονται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Και αυτό γιατί στο χρόνο στον οποίο διαρκεί μία ρίψη, περίπου 1 με 2 sec, πρέπει ο αλγόριθμος να έχει παράξει αρκετά αποτελέσματα ώστε να προσεγγίσει με ικανοποιητική ακρίβεια τη πραγματική τροχιά του αντικειμένου. Η ακρίβεια της πρόβλεψης του σημείου πρόσκρουσης εξαρτάται από αυτό. Πειραματικά, φαίνεται ότι όταν αναλύονται 30 ή περισσότερα frames τότε η πρόβλεψη απέχει 5 έως 10cm από το πραγματικό σημείο πρόσκρουσης. Με πάνω από 80 frames η ακρίβεια αγγίζει τα 20 χιλιοστά.

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, έχει προσαρμοστεί μία από τις μεθόδους που περιγράφει στο βιβλίο του "Binocular Vision and Ocular Motility" ο καθηγητής οφθαλμολογίας *Gunter K. von Noorden*. Σε αυτό το βιβλίο, στο κεφάλαιο που πραγματεύεται την μονόφθαλμη όραση, αναφέρει ότι ένας από τους τρόπους εκτίμησης της απόστασης έως ένα αντικείμενο είναι η σύγκριση του φαινόμενου μεγέθους του με το πραγματικό μέγεθος του βασιζόμενος σε πρότερη εμπειρία.

Αυτό καθίσταται δυνατό λόγω ενός από τους βασικούς κανόνες της προοπτικής που αναφέρει ότι:

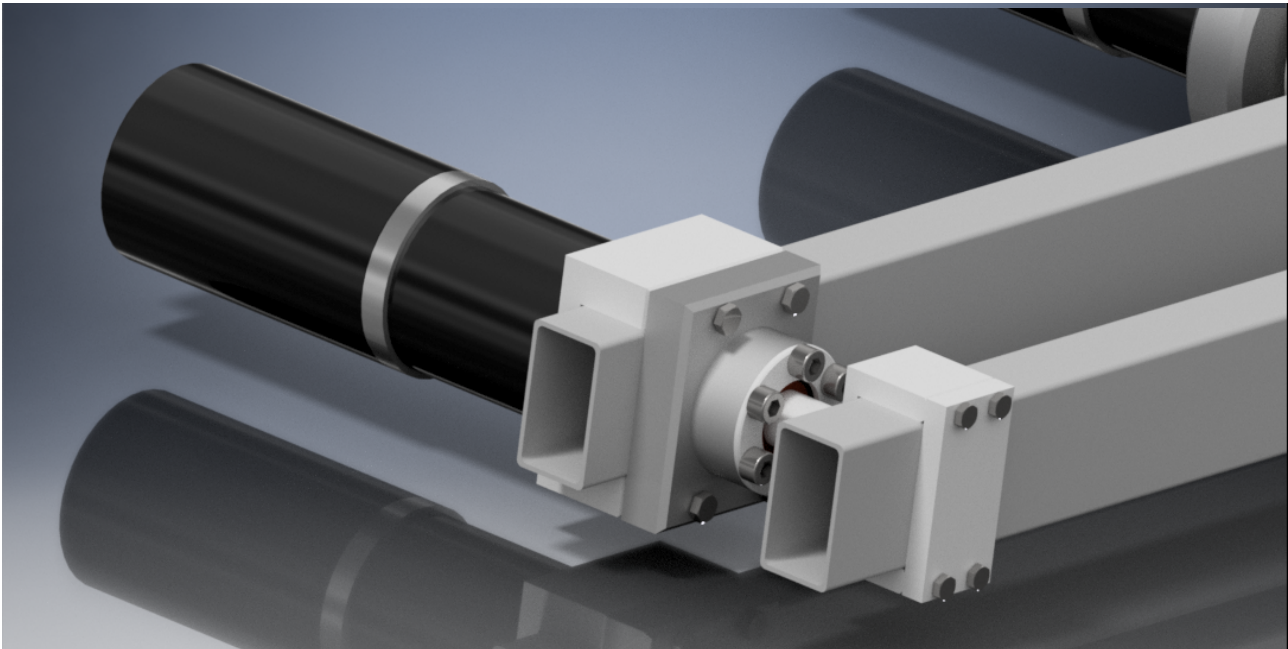
"Το φαινόμενο μέγεθος ενός αντικειμένου είναι αντιστρόφως ανάλογο με την απόσταση του από τον παρατηρητή."

Η ακριβής μαθηματική σχέση για τα παραπάνω αποδεικνύεται στο αντίστοιχο κεφάλαιο

αυτής της εργασίας. Επιπλέον, το ρόλο της πρότερης εμπειρίας παίζει μία μέθοδος καταγραφής του μεγέθους του αντικειμένου σε συγκεκριμένη απόσταση.

Αυτός ο τρόπος εύρεσης ενός αντικειμένου στο χώρο έχει σημαντικά λιγότερες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και κατά συνέπεια μικρότερο κόστος. Επιπλέον μπορεί να εφαρμοστεί εκ των υστέρων σε πολλά ήδη υπάρχοντα συστήματα. Τα παραπάνω σημαίνουν ότι μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή σε συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού όπου το περιβάλλον μπορεί να έχει “ελεγχόμενη ασάφεια”, να υπάρχουν δηλαδή κάποιες άγνωστες μεταβλητές του περιβάλλοντος ενώ τα υπόλοιπα είναι γνωστά και ελεγχόμενα. Τέτοια περιβάλλοντα μπορεί να είναι εργοστάσια που εφαρμόζουν τεχνικές “Flexible Manufacturing Systems (FMS)” ή απλώς σημεία της παραγωγής όπου υπάρχει ελλιπής αυτοματισμός, π.χ. Ένας ιμάντας μεταφοράς φέρνει μεταλλικά τεμάχια σε ένα χώρο χωρίς όμως αυτά να τοποθετούνται επάνω του με ακρίβεια.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται απεικονίσεις από την τελευταία έκδοση του σχεδίου του βραχίονα, που αντιμετωπίζει τα προβλήματα, κατασκευαστικά και λειτουργικά που παρουσίασαν οι δύο πρώτες εκδόσεις του.

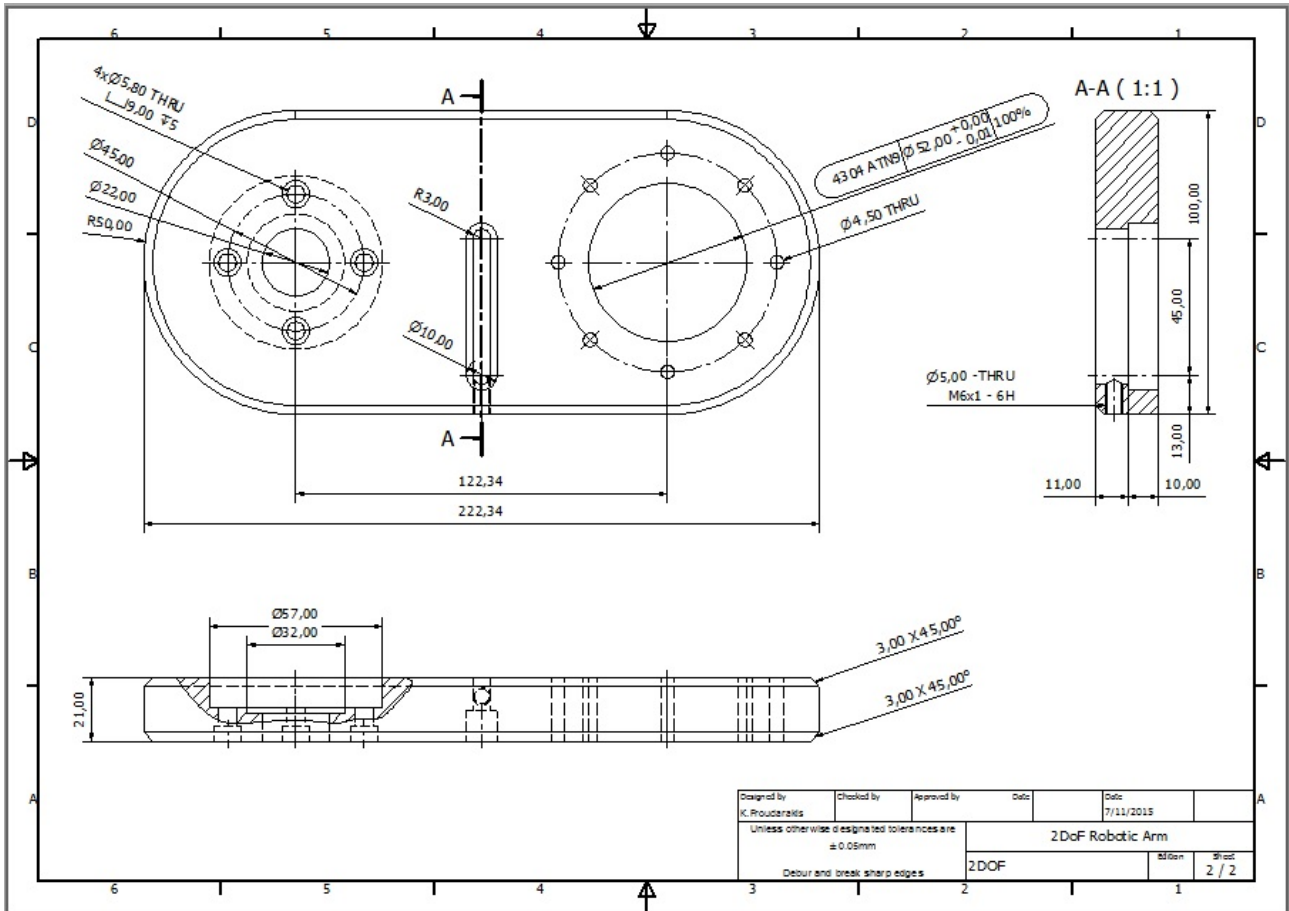


Εικόνα 1.1: Λεπτομέρεια από την τρίτη έκδοση του σχεδίου του βραχίονα.

Τα κύρια προβλήματα που λύνονται με αυτό το σχεδιασμό, είναι:

- Η όδευση της καλωδίωσης του 2^{ου} βαθμού μέσα από τον άξονα μετάδοσης της κίνησης του 1^{ου} βαθμού.
- Η στιβαρότητα του 2^{ου} βαθμού, στον οποίο έχει προστεθεί πλέον ρουλεμάν.
- Η ύπαρξη τροχαλίας εντατήρα για τον ιμάντα του 1^{ου} βαθμού.
- Και τέλος, η δυνατότητα προέντασης του ιμάντα μέσω ενός κοχλίας που μετακινεί τον εντατήρα.

Το τελευταίο φαίνεται και στα μηχανολογικά σχέδια της βάσης του βραχίονα. Ο κοχλίας είναι αυτός που σημειώνεται ως “M6x1 - 6H”.



Εικόνα 1.2: Μηχανολογικό σχέδιο της τρίτης έκδοσης της βάσης του βραχίονα.

Να σημειωθεί επίσης, ότι οι δυσκολίες που αναφέρονται παραπάνω ήταν και ο λόγος που τελικά δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα λειτουργικό πρωτότυπο του βραχίονα.

Παρ' όλα αυτά, το υποσύστημα Μηχανικής Όρασης του βραχίονα λειτουργεί ικανοποιητικά και μπορεί να προβλέψει, με τις ακρίβειες που αναφέρονται παραπάνω, την τροχιά της μπάλας όπως αποδείχθηκε πειραματικά.

1.1 :Υπολογισμός της απόστασης σε αυτή την εργασία.

Σε αυτή την εργασία θα γίνει μία προσπάθεια να υπολογιστεί η απόσταση μιμούμενοι τη φύση. Αυτή τη φορά όμως, θα μιμηθεί ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζεται η φύση την περίπτωση καταστροφικής βλάβης στον ένα οφθαλμό.

Η παραπάνω κατάσταση αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως μονόφθαλμη όραση. Υπάρχει πληθώρα συγγραμμάτων που αναφέρονται στις επιπτώσεις της απώλειας του ενός οφθαλμού και της προσαρμογής του ατόμου στην μονόφθαλμη όραση. Μάλιστα αξίζει να σημειωθεί, ότι αντίστοιχες μελέτες έχουν γίνει και σε ζώα, κυρίως θηλαστικά, τα οποία έχουν χάσει επίσης τον ένα οφθαλμό.

Το εντυπωσιακό σε αυτές τις μελέτες ήταν το χρονικό διάστημα της ανάρρωσης και της προσαρμογής στη νέα οφθαλμολογική κατάσταση. Στην πλειονότητα των ανθρώπων, ο χρόνος προσαρμογής δεν υπερέβαινε τον ένα χρόνο. Ενώ ιδιαίτερα χαμηλά ήταν και τα ποσοστά που ανέφεραν δυσκολίες στην κίνηση, την ισορροπία και την προσωπική ζωή. Επιπλέον, οι ηλικία των ασθενών δεν φάνηκε να επηρεάζει τα παραπάνω αποτελέσματα. Και μάλιστα αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε θηλαστικά διαφορετικά των ανθρώπων.

Σε προηγούμενη παράγραφο όμως αναφέρθηκε ότι ο βιολογικός εγκέφαλος βασίζεται σε μία πολύ περίπλοκη λειτουργία και στη χρήση δύο οφθαλμών για την αντίληψη του βάθους. Τίθεται λοιπόν το ερώτημα, πώς είναι δυνατόν κάποιος εάν δεν έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την απόσταση, να αυτοεξυπηρετηθεί. Πώς είναι δυνατόν να εκτελέσει απλές ενέργειες όπως, το να πιάσει ένα ποτήρι από το τραπέζι.

Στο παραπάνω ερώτημα η απάντηση είναι η απίστευτη δυνατότητα του βιολογικού εγκεφάλου να προσαρμόζεται και να μπορεί να επεξεργαστεί πληροφορίες με εντελώς διαφορετικό τρόπο από τον συνηθισμένο, εάν παραστεί η ανάγκη. Οι τρόποι λοιπόν που αντιμετωπίζεται το πρόβλημα είναι δύο:

- Με κινήσεις της κεφαλής για απόκτηση διαφορετικής οπτικής γωνίας, και
- με αναφορά σε πρότερες εμπειρίες.

Από τις δύο, η μεθοδολογία που θα εφαρμοσθεί σε αυτή την εργασία είναι η δεύτερη.

Ενδεικτικά όμως να αναφερθεί ότι στην πρώτη περίπτωση, ο εγκέφαλος εκτελεί ένα παρόμοιο υπολογισμό με βάσει δύο εικόνες από διαφορετικές όμως χρονικές στιγμές. Επιπλέον, εδώ η απόσταση μεταξύ των οφθαλμών σε αυτές τις δύο εικόνες υπολογίζεται από τον εγκέφαλο λαμβάνοντας υπ' όψιν ολόκληρη τη στάση του σώματος.

Η δεύτερη περίπτωση βασίζεται στην πρότερη γνώση ενός αντικειμένου και υπολογίζει την απόσταση ως αυτό βάσει της προοπτικής. Ως γνωστόν, όσο μακρύτερα είναι ένα αντικείμενο από τον παρατηρητή, τόσο μικρότερο εμφανίζεται. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται πιο αναλυτικά σε επόμενη παράγραφο και αποδεικνύονται και οι μαθηματικές σχέσεις που το διέπουν.

Αυτή είναι και η τεχνική που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόστασης του αντικειμένου από την κάμερα σε αυτή την εργασία. Μάλιστα, όπως και στην περίπτωση του βιολογικού εγκεφάλου, και εδώ πρέπει πρώτα να υπάρξει μία εμπειρία βάσει της οποίας θα εκτιμάται το μέγεθος και κατ' επέκταση και η απόσταση. Και αυτό γίνεται, με τη λήψη φωτογραφιών υπό συγκεκριμένες συνθήκες και τη χρήση των δεδομένων που προκύπτουν ως αναφορά για το σχετικό μέγεθος και κατά συνέπεια για την αλλαγή της απόστασης. Η ακριβής διαδικασία και ο τρόπος χρήσης των δεδομένων αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 1.3: Παράδειγμα προοπτικής. Οι σκηνές έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος. Φαίνονται όμως να μικραίνουν όσο μακρύτερα είναι από το φακό.

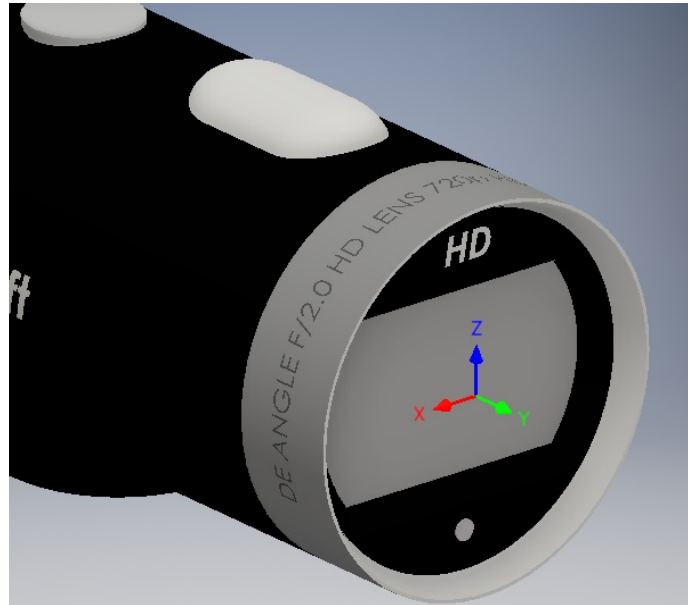
Για την επίτευξη αυτού του στόχου πρέπει πρώτα να αναγνωρισθεί το αντικείμενο και να προσδιοριστεί το μέγεθος του. Για την επίλυση αυτών των δύο προβλημάτων χρησιμοποιήθηκαν οι δύο παρακάτω τεχνικές:

- Για την αναγνώριση του αντικειμένου δημιουργήθηκε κώδικας ο οποίος, βάσει των παραμέτρων που δίνονται ως ορίσματα στη βασική συνάρτηση, αναγνωρίζει με ικανοποιητική ακρίβεια το χρώμα του αντικειμένου. Μάλιστα μπορεί να ρυθμιστεί να το ξεχωρίζει από άλλες αποχρώσεις του βασικού χρώματος του.
- Για τον προσδιορισμό του φαινομένου μεγέθους παράγεται μία δυαδική εικόνα η οποία απεικονίζει μόνο το αντικείμενο. Αφού κριθεί από τον αλγόριθμο η ακρίβεια της εικόνας ως ικανοποιητική, μετριέται το εμβαδόν που ορίζεται από το περίγραμμα του αντικειμένου. Το εμβαδόν αυτό είναι χαρακτηριστικό του σχήματος του αντικειμένου και, θεωρητικά, μοναδικό για συγκεκριμένη στάση του αντικειμένου στο χώρο και συγκεκριμένη απόσταση. Μάλιστα στην περίπτωση της σφαίρας (μπάλας) το εμβαδόν εξαρτάται μόνο από την απόσταση της σφαίρας από το εστιακό σημείο του οφθαλμού ή της ψηφιακής κάμερας. Και αυτό διότι άσχετα από τη στάση της σφαίρας στο χώρο, στο δισδιάστατο επίπεδο προβολής της κάμερας αυτή απεικονίζεται ως κύκλος.

1.2 : Υπολογισμός της τροχιάς στο χώρο κατά τη διάρκεια της ρίψης.

Ακόμα και πριν από τον υπολογισμό της απόστασης του αντικειμένου από την κάμερα, υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστεί η ευθεία από το εστιακό σημείο της κάμερας μέχρι το αντικείμενο. Ο πιο εύκολος τρόπος για αυτό είναι να ορισθεί ένα σφαιρικό σύστημα συντεταγμένων με αρχή το εστιακό σημείο της κάμερας. Σε αυτό η ευθεία ορίζεται από δύο γωνίες και η απόσταση ορίζει το ακριβές σημείο, πάνω σε αυτή την ευθεία, που βρίσκεται το αντικείμενο. Το πως ακριβώς υπολογίζονται αυτές οι γωνίες αναλύεται λεπτομερώς σε επόμενες παραγράφους.

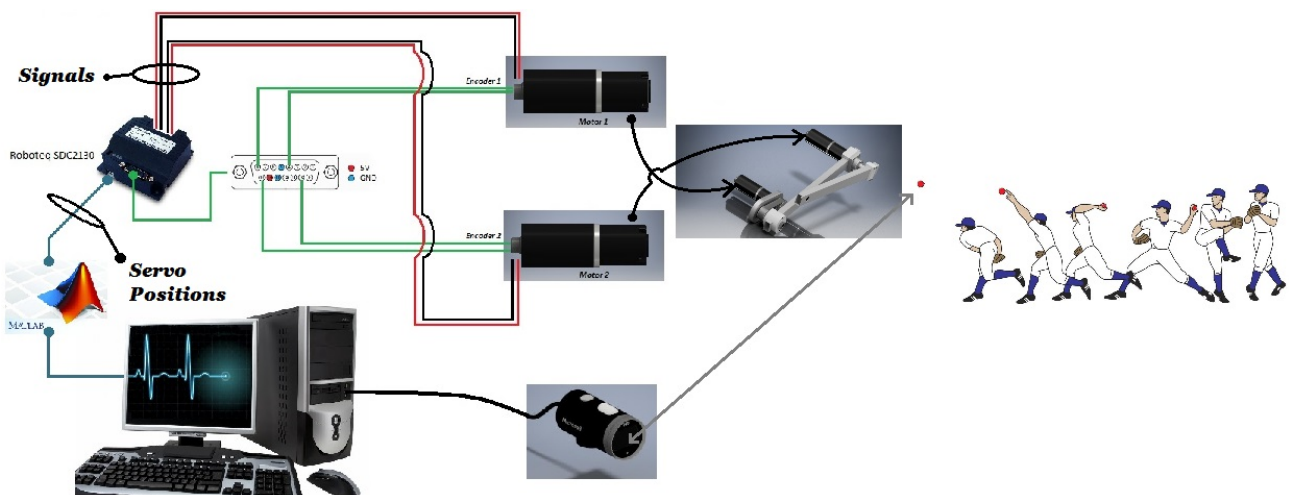
Κατόπιν υπολογίζεται και η απόσταση, και οι τρεις συντεταγμένες του σφαιρικού συστήματος, που ορίστηκε παραπάνω, μετατρέπονται σε συντεταγμένες ενός καρτεσιανού συστήματος με την ίδια αρχή των αξόνων και θετικά όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.4: Το καρτεσιανό σύστημα αναφοράς στο οποίο ο αλγόριθμος υπολογίζει τη θέση του αντικειμένου στο χώρο.

Η μετατροπή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι συντεταγμένες αυτές να είναι σε μέτρα. Στη συνέχεια υπολογίζονται με γραμμική παρεμβολή η εξισώσεις που περιγράφουν τη μετατόπιση σε κάθε άξονα ως προς το χρόνο από τις οποίες προκύπτει και η ταχύτητα του αντικειμένου σε κάθε άξονα. Επιπλέον, αποθηκεύεται και ο χρόνος από την αρχή της καταγραφής για κάθε υπολογισμό θέσης που εκτελείται. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος της σύγκρουσης και στη συνέχεια και η θέση του σημείου σύγκρουσης.

1.3 :Σύντομη περιγραφή της διαδικασίας.



Εικόνα 1.5: Διάγραμμα της λειτουργίας του συστήματος.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση του σημείου πρόσκρουσης είναι η παρακάτω:

- Γίνεται λήψη της εικόνας από τη κάμερα.
- Αξιολογείται και επεξεργάζεται η εικόνα από τον αλγόριθμο.
- Υπολογίζονται οι απαιτούμενες θέσεις των σερβοκινητήρων.
- Στέλνονται οι θέσεις στον ελεγκτή SDC2130 και μεταφράζονται σε κατάλληλα σήματα.
- Ο βρόγχος κλείνει μέσα στον ελεγκτή από τους κωδικοποιητές των σερβοκινητήρων.

1.4 :Τεχνικές δυνατότητες και εξελίξεις.

Η τεχνολογία των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών έχει προχωρήσει με ταχύτατους ρυθμούς τις τελευταίες δεκαετίες. Τα πεδία έρευνας διευρύνθηκαν είτε μέσω της φυσικής περιέργειας των ερευνητών ή για να καλύψουν τις ανάγκες της βιομηχανίας και της κοινωνίας με πιο αποτελεσματικούς ή και εντελώς νέους τρόπους.

1.5 :Μηχανική Όραση: Σύνομη Ιστορία και εφαρμογές

Με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύς και των δυνατοτήτων των υπολογιστών, ήρθε και η άνθηση της εφαρμοσμένης επιστήμης της Μηχανικής Όρασης. Για την ακρίβεια, παρ' όλο που υπήρχαν ερευνητικές προσπάθειες σε αυτό τον τομέα ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '50, η πραγματική αρχή αυτού που ονομάζουμε Μηχανική Όραση ήρθε τη δεκαετία του 1990 με την δημιουργία των πρώτων αξιόπιστων μοντέλων για την αναγνώριση σχημάτων σε μία ψηφιακή εικόνα.

Από τους βασικούς στόχους της μηχανικής όρασης είναι η αναδόμηση ενός χώρου μέσω εικόνων και η αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων μέσα σε αυτή. Τα παραπάνω μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες έρευνας:

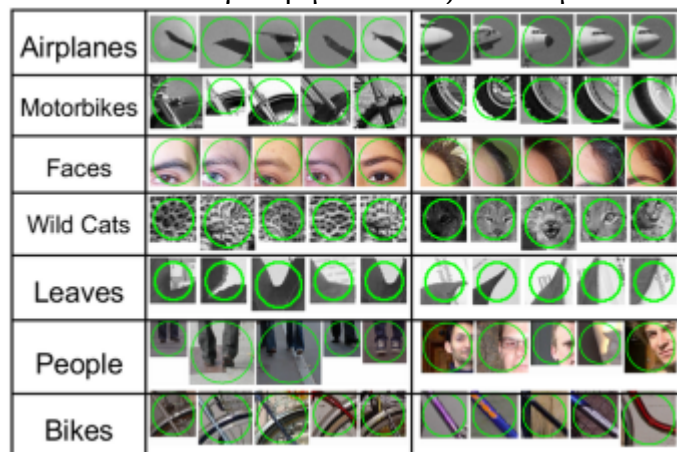
- Την αναγνώριση ενός αντικειμένου.
- Και τον υπολογισμό της απόστασης μέχρι ένα αντικείμενο.

1.6 :Αναφορά στην αναγνώριση αντικειμένων.

Η αρχή της λύσης του πρώτου προβλήματος, όπως προαναφέρθηκε, ήρθε τη δεκαετία του '90 με την ανάπτυξη των πρώτων αξιόπιστων αλγορίθμων αναγνώρισης αντικειμένων.

Τη μεγαλύτερη ώθηση σε αυτό τον τομέα την έδωσε η εξέλιξη του αλγορίθμου SIFT (Scale Invariable Feature Transformation) από τον David Lowe το 1999. Ο αλγόριθμος αυτός έδινε τη δυνατότητα για αξιόπιστη αναγνώριση σχημάτων, χωρίς να επηρεάζεται από την κλίμακα και τον προσανατολισμό ενός σχήματος μέσα στην εικόνα. Με τη δυνατότητα, να αναγνωρίζονται αξιόπιστα σχήματα μεταξύ δύο εικόνων, δόθηκε η δυνατότητα για την ανάπτυξη της Μηχανικής Μάθησης.

Η Μηχανική Μάθηση βασίζεται στη ανίχνευση ενός είδους αντικειμένου σε μία πληθώρα εικόνων και αναγνώριση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών αυτού του είδους. Στη συνέχεια, όταν αναγνωρίζονται αρκετά χαρακτηριστικά μίας κατηγορίας, ο αλγόριθμος καταλήγει ότι υπάρχει μέσα στην εικόνα αυτό το συγκεκριμένο είδος αντικειμένου στην εικόνα.



Εικόνα 1.6: Παράδειγμα σειράς εικόνων που χρησιμοποιείται στην "εκπαίδευση" των αλγορίθμων αναγνώρισης.

Στο παραπάνω βασίζονται οι αλγόριθμοι αναγνώρισης προσώπων και συρραφής εικόνων που είναι τόσο κοινοί στις σημερινές ψηφιακές φωτογραφικές κάμερες.

1.7 :Αναφορά στην στερεοσκοπία.

Για τη λύση του δεύτερου προβλήματος η επιστήμη μιμήθηκε τη φύση. Και συγκεκριμένα τον τρόπο δίοφθαλμης όρασης των θηλαστικών. Πράγματι, ο τρόπος που τα θηλαστικά αντιλαμβάνονται το βάθος, και κατ' επέκταση και τη σχετική απόσταση, είναι συγκρίνοντας τις δύο εικόνες που λαμβάνουν από τους δύο ξεχωριστούς οφθαλμούς τους.

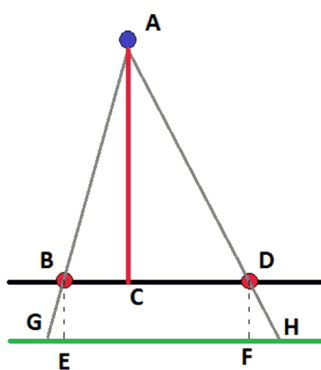
Οι οφθαλμοί των θηλαστικών είναι σε συμμετρικά σημεία της κεφαλής τους. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τις διαφορετικές εικόνες και βασιζόμενος στην διαφορά της θέσης του κάθε αντικειμένου ή χαρακτηριστικού από τη μία εικόνα στην άλλη, αντιλαμβάνεται την απόσταση μεταξύ αυτού και των οφθαλμών του.

Για να έχει νόημα αυτή η πληροφορία, πρέπει να είναι γνωστή η απόσταση μεταξύ των οφθαλμών που έλαβαν τις εικόνες. Προφανώς στην περίπτωση του βιολογικού εγκεφάλου, αυτή η απόσταση έχει υπολογιστεί, είτε ως ένστικτο ή ως εμπειρία κατά την βρεφική και παιδική ηλικία του οργανισμού.

Στην περίπτωση της Μηχανικής Όρασης όμως, αυτή η απόσταση πρέπει να δοθεί ως παράμετρος έτσι ώστε να μπορεί ο αλγόριθμος να παράγει αποτελέσματα. Και σε αυτή την περίπτωση είναι χρήσιμη η αναγνώριση χαρακτηριστικών και αντικειμένων με τη μέθοδο SIFT, καθώς για να έχουν νόημα τα αποτελέσματα πρέπει να αφορούν το ίδιο σημείο της εικόνας, το οποίο λόγω προοπτικής και απόστασης μπορεί να εμφανίζεται ελαφρώς παραμορφωμένο από τη μία εικόνα στην άλλη.

Οι παραπάνω διαδικασίες είναι αρκετά απαιτητικές υπολογιστικά. Αυτός είναι και ο λόγος που αυτές οι τεχνικές δεν αναπτύχθηκαν παρά μόνο στα τέλη της δεκαετίας του '90. Για να γίνει κατανοητό, όμως, το πόσο πραγματικά δύσκολη και απαιτητική διαδικασία είναι η όραση, να αναφερθεί ότι και στους βιολογικούς οργανισμούς απαιτεί μεγαλύτερο ποσοστό της εγκεφαλικής λειτουργίας από άλλες δραστηριότητες, συχνά άνω του 40%.

Ενδεικτικά να σημειωθεί, ότι ο τρόπος υπολογισμού βασίζεται στην ομοιότητα των τριγώνων για να υπολογισθεί η απόσταση μεταξύ του φακού της κάμερας και του αντικειμένου. Απαιτείται να είναι γνωστά η απόσταση μεταξύ των δύο καμερών και η απόσταση μεταξύ του σημείου σύγκλισης της κάμερας και του επιπέδου προβολής, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 1.7: Διάγραμμα της γεωμετρίας της στερεοσκοπίας.

Εδώ τα σημεία B και D είναι τα κέντρα των οπών των καμερών, E και F είναι τα κέντρα των εικόνων που αποθηκεύονται και G και H είναι η απεικόνιση του σημείου A σε κάθε εικόνα. Ο τύπος ορίζει ότι

η μετατόπιση της απεικόνισης $d = GE + FH = \frac{k}{z}$, όπου

$k = BD \cdot BE$ και z η απόσταση του σημείου από το φακό της κάμερας (AC). Το παραπάνω αποδεικνύεται στη βιβλιογραφία και η απόδειξη βασίζεται στην ομοιότητα των παρακάτω τριγώνων:

- ABC με BGE και
- ACD με DFH.

Κεφάλαιο 2: Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνων.

Είναι εντυπωσιακό ότι όλα τα χρώματα που αντιλαμβανόμαστε γύρω μας μπορούν να αναλυθούν σε τρία μόνο Βασικά Χρώματα. Όπως μαθαίνουμε στο σχολείο αυτά είναι το μπλε, το κίτρινο και το κόκκινο. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, βέβαια, αυτή η τριάδα δεν είναι μονοσήμαντη.

Το γεγονός όμως ότι όλα τα χρώματα που βλέπουμε μπορούν να αναλυθούν μόνο σε τρία διαφορετικά οφείλεται στο ότι το ανθρώπινο μάτι έχει μόνο τριών ειδών φωτοευαίσθητα κύτταρα που αναγνωρίζουν χρώμα.

Αυτά αντιδρούν σε ένα εύρος γύρω από ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος και γενικά τα χρώματα που αναγνωρίζουν είναι το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Η ποσοστιαία κατανομή αυτών των κυττάρων, κατά προσέγγιση, είναι:

- 30% Αυτά που αντιδρούν στο κόκκινο
- 59% αυτά που αντιδρούν στο πράσινο
- και 11% αυτά που αντιδρούν στο μπλε.

Αυτός είναι και ο λόγος που στην ψηφιακή αποθήκευση των φωτογραφιών, χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά κανάλια τα οποία αποθηκεύουν την πληροφορία για τη φωτεινότητα αυτών των τριών χρωμάτων.

Από το παραπάνω προκύπτει ότι το χρώμα, στην ψηφιακή τεχνολογία, απεικονίζεται από ένα διάνυσμα με τρία στοιχεία. Και κατ' επέκταση μπορεί να ορισθεί ένας τρισδιάστατος χώρος, η κάθε διάσταση του οποίου αντιστοιχεί στη τιμή του κάθε στοιχείου του διανύσματος. Στην περίπτωση των ψηφιακών εικόνων μάλιστα, τα παραπάνω ορίζουν ένα πεπερασμένο θετικό γεωμετρικό σχήμα. Το είδος του σχήματος δε, εξαρτάται από το σύστημα απεικόνισης που χρησιμοποιείται. Γι αυτό υπάρχουν αναλυτικότερες πληροφορίες στις επόμενες παραγράφους.

Τα παραπάνω γίνονται κατανοητά εάν αναλογισθεί κανείς ότι στην περίπτωση των υπολογιστών η τιμή για μία μεταβλητή ξεκινάει από το 0 και καταλήγει σε μία δύναμη του δύο, ίση με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιήθηκαν για να αποθηκεύσουν τη μεταβλητή αυτή.

Παρ' όλα αυτά, ο χώρος του Κόκκινου/Πράσινου/Μπλε δεν είναι ο μοναδικός χώρος που μπορεί να ορισθεί και να απεικονίζει το χρώμα. Αυτό προκύπτει και από το γεγονός του πεπερασμένου του κύβου που ορίζεται. Καθώς οποιεσδήποτε δύο κάθετες ακμές μπορούν να είναι άξονες του κύβου αυτού και η περιεχόμενη ακμή μπορεί να δώσει την τρίτη διάσταση.

2.1 :Λήψη και αποθήκευση ψηφιακών εικόνων.

Όπως περιγράφεται και παραπάνω, η πληροφορία πρέπει να περιέχει την τιμή του κάθε ενός από τα τρία στοιχεία του διανύσματος του χρώματος. Η μόνη ουσιαστική διαφορά των ψηφιακών καμερών, είναι ο τρόπος που αποθηκεύουν το φως αφού αυτό έχει περάσει μέσα από όλο τον οπτικό μηχανισμό. Και αυτό διότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων η πληροφορία αποθηκεύεται από ένα αισθητήρα ανά pixel.

Παρ' όλα αυτά, δεν είναι μονοσήμαντη η σχέση μεταξύ pixel και αισθητήρων. Και αυτό διότι πολλές φορές χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος ενώ διατηρείται η λειτουργικότητα.

Τέτοιες διατάξεις είναι τα φίλτρα τύπου Bayer καθώς και ειδικές διατάξεις των αισθητήρων όπως στον αισθητήρα Foveon X3. Για τη λήψη της φωτεινότητας του κάθε χρώματος ξεχωριστά δε, συνήθως χρησιμοποιούνται φίλτρα τα οποία είναι διαπερατά σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Αυτά τοποθετούνται πάνω από τον κάθε αισθητήρα και έτσι ο κάθε αισθητήρας λαμβάνει πληροφορία μόνο για τη φωτεινότητα του συγκεκριμένου χρώματος. Η ακρίβεια αυτού του τύπου των εικόνων εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο με τον οποίο οδηγείται και φιλτράρεται το φως καθ' οδόν για τον κάθε αισθητήρα.

2.2 :Χώρος χρώματος RGB.

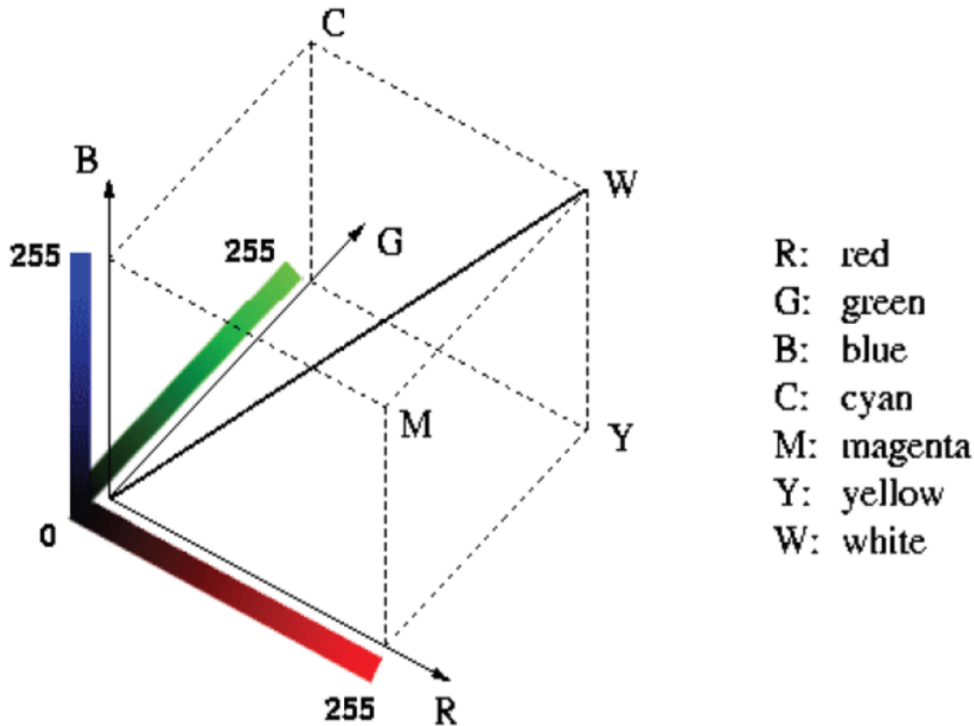
Αυτός ο χώρος απεικόνισης του χρώματος έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς είναι αυτός που χρησιμοποιείται στην προβολή εικόνων μέσα από τις οθόνες ψηφιακών συσκευών. Επιπλέον, είναι ο πιο διαδεδομένος τρόπος αποθήκευσης των εικόνων που λαμβάνονται από κάμερες, ακόμα και στη περίπτωση που η λήψη γίνεται με φίλτρα όπως π.χ. στη λήψη της εικόνας με χρήση φίλτρου τύπου Bayer.

Η προτίμηση στον ορισμό του χρώματος βάσει των τριών αυτών βασικών χρωμάτων οφείλεται στη ανατομία του ανθρώπινου οφθαλμού, καθώς αυτά είναι κατά βάση τα χρώματα που αντιλαμβάνονται τα φωτοευαίσθητα κύτταρα των ανθρώπων.

Κατά κύριο λόγο η προβολή γίνεται προβάλλοντας πολύ μικρές κουκκίδες από το κάθε χρώμα με την κατάλληλη φωτεινότητα. Από την απόσταση από την οποία ο άνθρωπος βλέπει την εικόνα, ο διαχωρισμός των χρωμάτων είναι αδύνατος και έτσι ο θεατής αντιλαμβάνεται το επιθυμητό χρώμα.

Στον κύβο που ορίζεται, εάν θεωρήσουμε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων όπου ο κάθε άξονας απεικονίζει ένα από τα τρία βασικά χρώματα, η κάθε κάθετη ακμή του κύβου αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό χρώμα. Αυτό ξεκινάει από μαύρο χρώμα και καταλήγει σε ένα πολύ καθαρό και φωτεινό χρώμα. Και επάνω σε αυτή την αρχή μπορεί να γίνει και ορισμός διαφορετικών χρωματοχώρων, οι οποίοι στην ουσία απεικονίζουν το ίδιο ακριβώς χώρο μετά από κατάλληλο μετασχηματισμό του συστήματος αναφοράς.

Τα παραπάνω γίνονται εύκολα κατανοητά στην επόμενη εικόνα:



Εικόνα 2.1: Ο κύβος που ορίζεται εάν θεωρήσουμε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων, στου οποίου τους άξονες απεικονίζεται η φωτεινότητα των τριών βασικών χρωμάτων.

Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν βασικά χρώματα και αυτά που διδάσκονται στα παιδιά στο σχολείο, δηλαδή το μπλε το κόκκινο και το κίτρινο.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η τεχνική απεικόνισης χρώματος με το RGB και το RYB ανήκουν στις Προσθετικές τεχνικές. Δηλαδή, προσθέτοντας τα τρία χρώματα, αυξάνεται η φωτεινότητα, και προσθέτοντας και τα τρία χρώματα με τη μέγιστη φωτεινότητα το χρώμα που προκύπτει είναι το λευκό.

Ένα καλό παράδειγμα για τη σύνθεση μίας εικόνας στο σύστημα RGB είναι η παρακάτω εικόνα. Εδώ φαίνονται και οι τρεις εικόνες από τις οποίες αποτελείται η τελική εικόνα, μία για κάθε χρωματικό κανάλι.



Εικόνα 2.2: Φωτογραφία που προέκυψε από τη σύνθεση τριών μονοχρωματικών εικόνων, μίας για το κάθε βασικό χρώμα.

Αυτή η φωτογραφία δεν είναι ψηφιακή. Τραβήχτηκε με φωτοχημικό φιλμ το 1911 από το Ρώσο φωτογράφο **Sergei Mikhailovich Prokudin-Gorskii**. Εμπρός από το φακό τοποθετούνταν κάθε φορά τα κατάλληλα φίλτρα για το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε και στο τέλος συντέθηκε το αποτέλεσμα των τριών φωτογραφιών. Παρ' όλο που δεν εξηγείται σε ποια από τις δεξιές φωτογραφίες χρησιμοποιήθηκε ποιο φίλτρο, με βάση τα παραπάνω είναι ξεκάθαρο ότι:

- Η πρώτη φωτογραφία απεικονίζει τις φωτεινότητες του μπλε χρώματος. Αυτό γίνεται εύκολα κατανοητό συγκρίνοντας την γενική εικόνα και παρατηρώντας ότι στην περιοχή της μπλε φορεσιάς στην εικόνα απεικονίζεται ως άσπρο. Και καθώς εκεί περιμένουμε να υπάρχει αυξημένες τιμές φωτεινότητας του μπλε και χαμηλές στα άλλα δύο, εξάγεται το συμπέρασμα ότι αυτή απεικονίζει το μπλε.
- Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι στην ίδια περιοχή παρατηρείται ενδιάμεση φωτεινότητα στη δεύτερη φωτογραφία και πολύ χαμηλή στην τρίτη. Καθώς η φορεσιά είναι μεταξωτή, αντανακλά έντονα το φως και εμφανίζεται κυανή σε κάποιες περιοχές. Ανατρέχοντας στον κύβο του RGB όπως ορίστηκε παραπάνω, παρατηρούμε ότι το κυανό συντίθεται από το μπλε και το πράσινο με πάρα πολύ χαμηλές, σχεδόν μηδενικές, τιμές του κόκκινου. Με βάση και αυτό είναι προφανές ότι η δεύτερη εικόνα απεικονίζει τις φωτεινότητες του πράσινου και η τρίτη αυτές του κόκκινου.

Η παραπάνω φωτογραφία όμως είναι χρήσιμη για την επιβεβαίωση και κάποιων άλλων βασικών χαρακτηριστικών του συστήματος RGB. Εν τάχει, παρατηρείται:

- Στις περιοχές του λευκού (π.χ. Τουρμπάνι) εμφανίζονται υψηλές τιμές και στα τρία χρώματα, απαραίτητο για τη σύνθεση του λευκού.
- Στις περιοχές του μαύρου (π.χ. Μπότες) εμφανίζονται χαμηλές τιμές και στα τρία

χρώματα, επίσης απαραίτητο για την απεικόνιση του μαύρου.

- Στις περιοχές του γκρι, εμφανίζονται παραπλήσιες τιμές και στα τρία κανάλια. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διαγώνιος που ξεκινάει από την αρχή των αξόνων και καταλήγει στο λευκό χρώμα απεικονίζει όλες τις διαβαθμίσεις του γκρι χρώματος.

Να σημειωθεί εδώ, ότι η τελευταία παρατήρηση είναι αυτή που συνδέει το χώρο του RGB με άλλους χώρους χρώματος, όπως αυτό του HSV. Μάλιστα, η προβαλλόμενη απόσταση πάνω σε αυτή την ευθεία δίνει απ' ευθείας μία εκ των τριών τιμών στην περίπτωση του HSV. Συγκεκριμένα αυτή της φωτεινότητας. Η παραπάνω έννοια αναλύεται στην επόμενη παράγραφο.

2.3 :Χώρος Χρώματος HSV

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, για την απεικόνιση χρώματος σε ψηφιακά μέσα χρησιμοποιείτε κατά κύριο λόγο ο χώρος χρώματος RGB. Τα αποτελέσματα από αυτή την απεικόνιση είναι πάρα πολύ καλά και το χρώμα που αντιλαμβάνεται ο θεατής είναι πολύ κοντά στο πραγματικό. Παρ' όλα αυτά, αυτός ο τρόπος κωδικοποίησης της πληροφορίας του χρώματος δεν είναι καθόλου πρακτικός καθώς δεν υπάρχει απ' ευθείας αντιστοίχιση μεταξύ των τριών στοιχείων του διανύσματος RGB και του αντιλαμβανόμενου χρώματος.

Με την αρχή της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων, ειδικά σε υπολογιστές, δημιουργήθηκε η ανάγκη για ένα σύστημα, στο οποίο το αντιλαμβανόμενο χρώμα να εκφράζεται με ένα μόνο από τα τρία στοιχεία του διανύσματος, για να διευκολύνεται ο χρήστης.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι το σύστημα HSV. Το όνομα του προκύπτει από τα αρχικά των λέξεων Hue, Saturation και Value. Η μεταβλητή που αναφέρεται παραπάνω είναι η Χροιά (Hue). Σε κάθε μία από τις διαθέσιμες τιμές αντιστοιχεί ένα διαφορετικό χρώμα, χωρίζοντας έτσι το ορατό φάσμα σε $X=2^n$ όπου $n=$ ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της πληροφορίας. Στην ουσία δηλαδή αυτό το σύστημα ακολουθεί μία λογική A2D (analogue to digital) μετατροπέα για την κωδικοποίηση του αντιλαμβανόμενου χρώματος μέσα στο ορατό φάσμα.

Το δεύτερο συνθετικό στοιχείο αυτό του χώρου είναι ο Κορεσμός (Saturation) του χρώματος. Αυτό εκφράζει το πόσο έντονο είναι το χρώμα. Ένα αχνό χρώμα λοιπόν θα είχε χαμηλότερη τιμή στον κορεσμό. Καλό παράδειγμα για αυτό είναι το κόκκινο και το ροζ χρώμα. Το ροζ έχει την ίδια τιμή στη χροιά αλλά χαμηλότερη τιμή ως προς τον κορεσμό του.

Το τρίτο συνθετικό αυτού του συστήματος είναι η Τιμή (Value). Στην ουσία εδώ εννοείται μία τιμή που απεικονίζει την ανακλαστικότητα του χρώματος. Το πόσο φως αντανακλά στο μήκος κύματος του συγκεκριμένου χρώματος. Να σημειωθεί επίσης ότι σε πολλά συστήματα επεξεργασίας εικόνων, αυτή η συνιστώσα ονομάζεται Φωτεινότητα (Brightness) και αντίστοιχα το σύστημα ονομάζεται HSB.

Και αυτό το σύστημα, όμως, έχει ένα μειονέκτημα ως προς τη ευκρίνεια της πληροφορίας που δίνει η τριάδα των αριθμών του στο χρήστη. Εδώ το πρόβλημα προκύπτει στην ουσία της πληροφορίας που δίνουν οι δύο τελευταίοι αριθμοί, αυτοί του κορεσμού και της τιμής. Στον μη εξοικειωμένο χρήστη αυτές οι δύο αξίες φαίνεται να αναφέρονται στο ίδιο πράγμα.

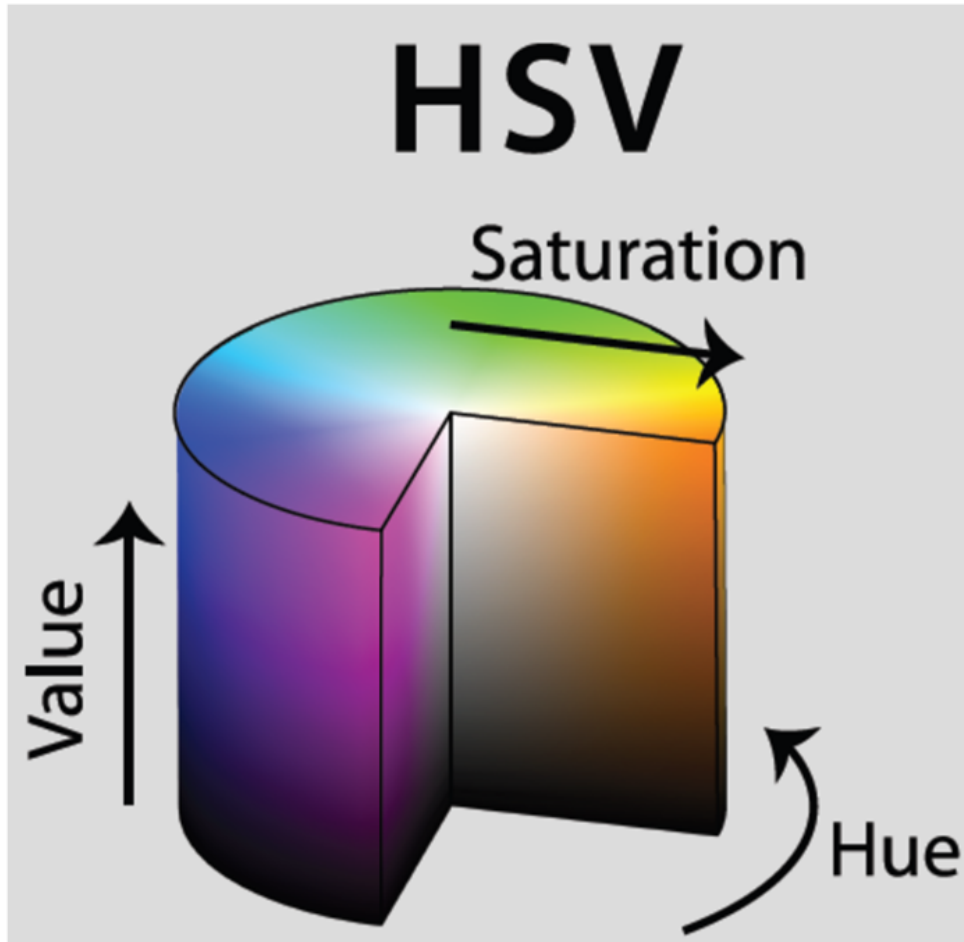
Παρ' όλα αυτά, η σημαντικότερη πληροφορία, αυτή του χρώματος, δίνεται ξεκάθαρα. Όσο για τα άλλα δύο στοιχεία, μπορεί να πει κανείς ότι ο κορεσμός αντιπροσωπεύει πόσο λευκό χρώμα έχει μέσα το χρώμα που αναλύεται, και η τιμή αντιπροσωπεύει το πόσο μακριά είναι από το μαύρο.

Επιπλέον, ο τρόπος ανάλυσης της πληροφορίας γίνεται λίγο πιο κατανοητός εάν σημειωθεί ότι το σύστημα HSV είναι μία απεικόνιση του καρτεσιανού κύβου του RGB σε συντεταγμένες

ενός κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων. Και σε αυτή την περίπτωση ο κύλινδρος έχει πεπερασμένο μέγεθος, για τους λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω. Ο τρόπος ανάλυσης της πληροφορίας εδώ είναι ο εξής:

- Η Χροιά απεικονίζεται στη γωνία γύρω από τον άξονα περιστροφής.
- Ο Κορεσμός απεικονίζεται στην ακτίνα, δηλαδή την απόσταση από τον άξονα περιστροφής.
- Και η Τιμή (Φωτεινότητα) απεικονίζεται στο ύψος, την απόσταση δηλαδή από τη βάση του κυλίνδρου.

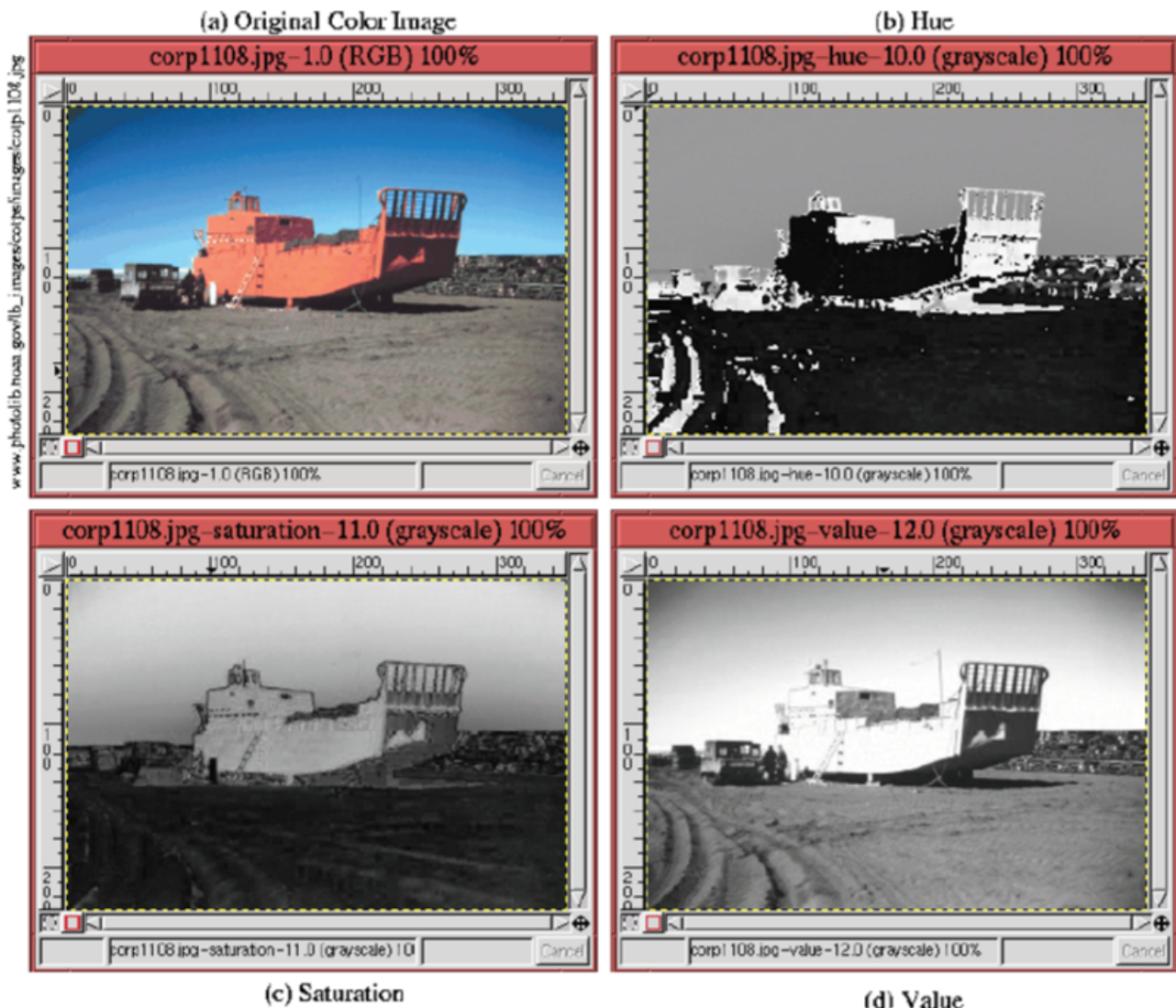
Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η τρισδιάστατη απεικόνιση αυτού του χώρου:



Εικόνα 2.3: Τρισδιάστατη απεικόνιση των χρωμάτων στο σύστημα HSV.

Προφανώς και εδώ οι τρεις τιμές ορίζουν ένα διάνυσμα, και τα διανύσματα των δύο χρωμάτων μπορούν να προστεθούν και να δώσουν το σωστό διάνυσμα του νέου χρώματος.

Και στην περίπτωση του συστήματος HSV μπορεί η κάθε εικόνα να αναλυθεί σε τρεις άλλες, με κάθε μία να ορίζεται ως μία εικόνα grayscale με την τιμή της φωτεινότητας να ορίζεται από την αριθμητική τιμή του κάθε στοιχείου του διανύσματος. Τα αποτελέσματα εδώ έχουν πολύ διαφορετική “ποιότητα” από την περίπτωση του RGB και έχει αξία να αναλυθούν περαιτέρω. Για το σκοπό αυτό παρακάτω δίνεται μία εικόνα σαν παράδειγμα καθώς και οι τρεις εικόνες στις οποίες αναλύεται.



Εικόνα 2.4: Φωτογραφία ενός πλοίου και η εικόνες που προκύπτουν από κάθε ένα στοιχείο του συστήματος HSV.

Από την παραπάνω εικόνα γίνεται προφανές ότι οι επιμέρους εικόνες συμπεριφέρονται πολύ διαφορετικά απ' ό τι στο RGB. Η βασικότερη ίσως διαφορά είναι ότι στο RGB διατηρούνταν η πληροφορία των ακμών της εικόνας και στις τρεις επιμέρους εικόνες. Σχολιάζοντας αυτές τις τρεις εικόνες αξίζει να σημειωθεί ότι:

Στην περίπτωση της Χροιάς η πληροφορία που αποθηκεύεται είναι πολύ λίγη. Καλό παράδειγμα γι αυτό είναι ο ουρανός σε αυτή τη φωτογραφία. Η τιμή του σχεδόν σε όλη την περιοχή του ουρανού είναι σταθερή. Αυτό ακολουθεί τον ορισμό της Χροιάς, καθώς ο ουρανός είναι κατά βάση μπλε. Οπότε και η τιμή της Χροιάς του είναι αυτή που αντιστοιχεί στο χρώμα μπλε.

Από την περιοχή του ουρανού επίσης φαίνεται πόσο σημαντική είναι η συνεισφορά των δύο άλλων τιμών στον καθορισμό του αντιλαμβανόμενου χρώματος.

Κάτι άλλο που γίνεται προφανές είναι ότι σε πολύ σκοτεινές και πολύ φωτεινές περιοχές της εικόνας είναι αρκετά δύσκολο να γίνει αντιληπτή η χροιά του χρώματος. Γενικά, το πρόβλημα προκύπτει στις περιοχές του χαμηλού κορεσμού. Εδώ επίσης είναι πιο εύκολο να υπάρξει αλλοίωση της πληροφορίας κατά την αποθήκευση σε ψηφιακή μορφή. Ένα τέτοιο παράδειγμα στην παραπάνω εικόνα είναι το εμπρός και το κάτω μέρος του πλοίου, το οποίο ο παρατηρητής γνωρίζει ότι πρέπει να έχει χρώμα κόκκινο, όπως και το υπόλοιπο. Εδώ όμως

φαίνεται ότι η τιμή που αποθηκεύεται δεν είναι ενιαία. Αυτό μπορεί να έχει προκύψει από μία πληθώρα λόγων, ακόμα και από τον τρόπο λήψης της φωτογραφίας από τη φωτογραφική κάμερα.

Στη συνέχεια παρατηρείται ότι υπάρχει αρκετά μεγαλύτερη ακρίβεια στην πληροφορία που δίνει η εικόνα βάσει του κορεσμού. Γενικά περιοχές που απεικονίζουν ένα συγκεκριμένο υλικό υπό ένα συγκεκριμένο φωτισμό, θα έχουν παραπλήσιες τιμές κορεσμού. Αυτό παρατηρείται και στις παραπάνω εικόνες. Ξανά, εδώ υπάρχουν διαφορές από αυτόν τον, πολύ γενικό, κανόνα οι οποίες μάλλον οφείλονται στον ίδιο λόγο που προκαλεί και τη μη αναμενόμενη συμπεριφορά των τιμών της Χροιάς.

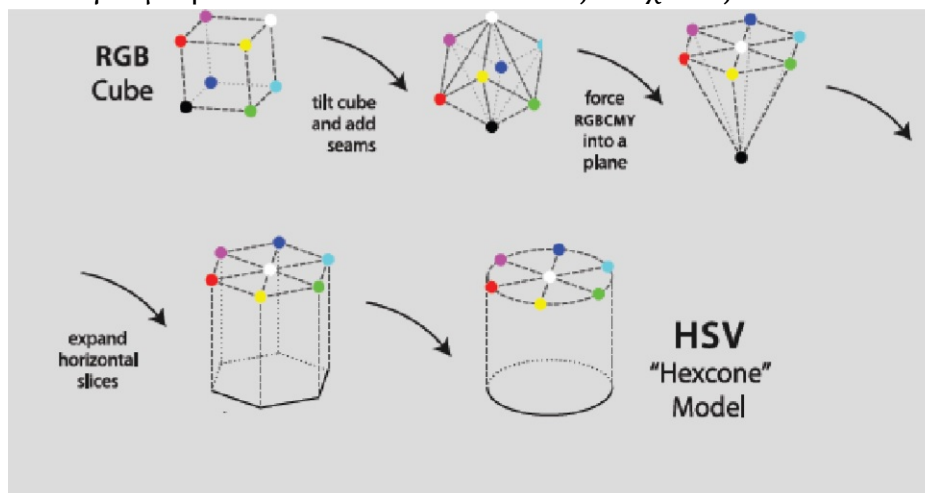
Και τέλος παρατηρείται ότι η εικόνα βάσει της Φωτεινότητας έχει εξαιρετική ακρίβεια. Αυτό συμβαίνει διότι εδώ φαίνονται, στην ουσία, οι προβολές των διαφόρων σημείων του κυλινδρικού συστήματος HSV πάνω στον άξονα περιστροφής, ο οποίος όπως έχει ήδη αναφερθεί, απεικονίζει τις διαβαθμίσεις του γκρι. Η εικόνα της φωτεινότητας δηλαδή είναι η ασπρόμαυρη εκδοχή της εικόνας και εδώ διατηρείται τέλεια η πληροφορία των ακμών.

2.4 :Σχέση και αντιστοίχιση μεταξύ RGB και HSV.

Ο κυλινδρικός χώρος του HSV παρουσιάζει κάποιες ενδιαφέρουσες ιδιότητες οι οποίες τον συνδέουν με τον κυβικό χώρο του RGB. Αυτές είναι οι εξής:

- Υπάρχει μία γραμμή, πάνω στον άξονα του κυλίνδρου, οι οποία απεικονίζει όλες τις διαβαθμίσεις του γκρι. Αντίστοιχη γραμμή υπάρχει και στο σύστημα RGB.
- Τα τρία βασικά χρώματα, Κόκκινο, Πράσινο και Μπλε είναι διατεταγμένα ανά 120° ή ανά το ένα τρίτο του διαθέσιμου εύρους τιμών.

Με βάση αυτές τις δύο ιδιότητες μπορούμε να αντιστοιχήσουμε τον κυλινδρικό χώρο του HSV στον κυβικό χώρο του RGB. Από αυτή την αντιστοίχιση δε, προκύπτουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η κυλινδρική επιφάνεια του σταθερού κορεσμού του HSV αντιστοιχεί σε ένα κώνο χρωμάτων στο RGB. Γενικά, κάθε μία τιμή του HSV αντιστοιχεί σε ένα γεωμετρικό τόπο στο RGB και αυτές οι σχέσεις αναλύονται παρακάτω:



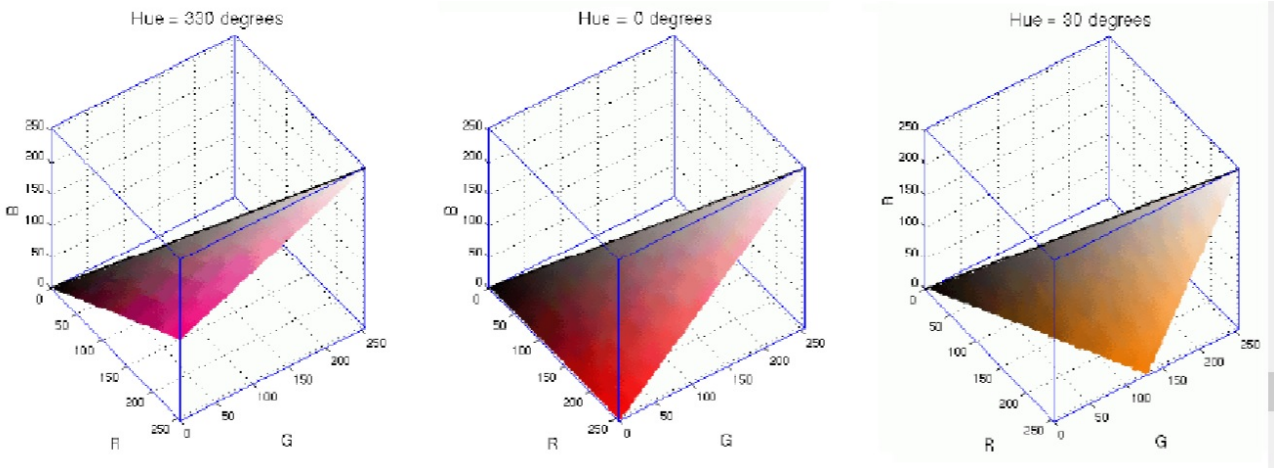
Εικόνα 2.5: Μετασχηματισμός του κύβου του συστήματος RGB στον κύλινδρο του HSV.

2.4.1 Αντιστοίχιση της Χροιάς (Hue).

Εάν θεωρήσουμε ένα κύλινδρο, μέσα στο κυβικό χώρο του RGB, με άξονα τη γραμμή των διαβαθμίσεων του γκρι προκύπτουν κάποιες ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις. Συγκεκριμένα, οι άξονες των βασικών χρωμάτων του RGB τέμνουν τον κύλινδρο αυτό ανά 120° , το οποίο

συμφωνεί με την διάταξη των βασικών χρωμάτων στο HSV. Αυτό δεν είναι τυχαίο. Ο κύλινδρος που ορίζεται με αυτό τον τρόπο είναι η απεικόνιση του HSV μέσα στο RGB. Μάλιστα, εάν αντιστοιχηθεί μαθηματικά κάθε σημείο του RGB στο HSV αυτό που προκύπτει είναι μία διπλή πυραμίδα κατά τη διαδρομή της γραμμής των διαβαθμίσεων του γκρι.

Και αφού η Χροιά είναι η γωνία στροφής γύρω από τη γραμμή των γκρι, η σταθερή Χροιά ορίζει ένα ημιεπίπεδο μέσα στο κύβο του RGB. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται μερικά παραδείγματα αυτής της απεικόνισης.

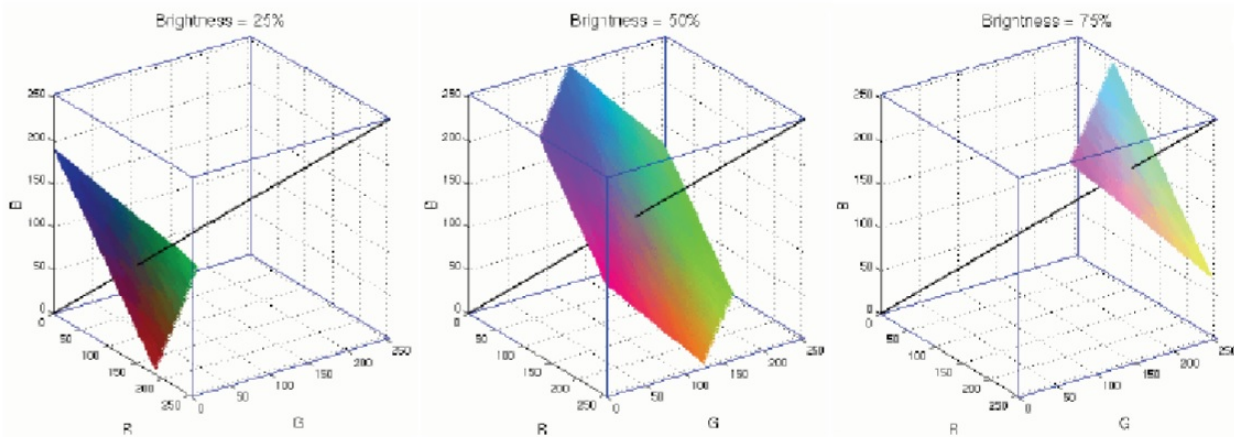


Εικόνα 2.6: Απεικόνιση των ημιεπιπέδων που ορίζονται από διάφορες τιμές της Χροιάς στο HSV, όταν αυτά απεικονιστούν στο RGB.

Εδώ να σημειωθεί και μία έλλειψη του HSV σε σχέση με το RGB. Βάσει του ορισμού του HSV, όλα τα σημεία επάνω στον άξονα των διαβαθμίσεων του γκρι, δηλαδή όλα όσα έχουν κορεσμό μηδέν, δεν έχουν χροιά. Πρακτικά, αυτό που συμβαίνει σε ένα υπολογιστικό σύστημα, όταν ο κορεσμός είναι 0 είναι ότι και στη χροιά δίνεται η τιμή 0, μόνο και μόνο επειδή πρέπει να υπάρχει μία τιμή στο πρώτο στοιχείο της τριάδας. Μαθηματικά όμως θα μπορούσε να υπάρχει εκεί μία οποιαδήποτε τιμή και να απεικονίζεται το ίδιο χρώμα. Άλλη ανωμαλία που παρουσιάζεται σε αυτή την περίπτωση είναι ότι ο γεωμετρικός τύπος του σταθερού κορεσμού, που μέχρι πρότινος είχε δύο διαστάσεις στο HSV, για κορεσμό μηδέν έχει μόνο μία. Να σημειωθεί επίσης ότι στο RGB δεν παρατηρείται τέτοιο πρόβλημα.

2.4.2 Αντιστοίχιση της Τιμής/Φωτεινότητας (Value/Brightness)

Η φωτεινότητα αναφέρεται στο πόσο φως αντανακλά το κάθε χρώμα. Εάν αντανακλά πολύ φως φαίνεται έντονο και καθαρό. Εάν αντανακλά λιγότερο τότε φαίνεται πιο μουντό και πιο κοντά στο μαύρο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η τιμή της φωτεινότητας στο κυλινδρικό σύστημα HSV εκφράζεται από την κάθετη απόσταση του σημείου από τη βάση του κυλίνδρου. Άρα για σταθερή φωτεινότητα ορίζεται ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα των διαβαθμίσεων του γκρι. Και έτσι ακριβώς αντιστοιχείται και στο κυβικό RGB. Για σταθερή φωτεινότητα ορίζονται επίπεδα κάθετα στη γραμμή των διαβαθμίσεων του γκρι, που εδώ είναι και η διαγώνιος του κύβου. Παρακάτω δίνεται μία εικόνα στην οποία φαίνονται παραδείγματα γι αυτό.



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση των επιπέδων που ορίζονται από διάφορες τιμές της φωτεινότητας στο HSV, όταν αυτά απεικονιστούν στο RGB.

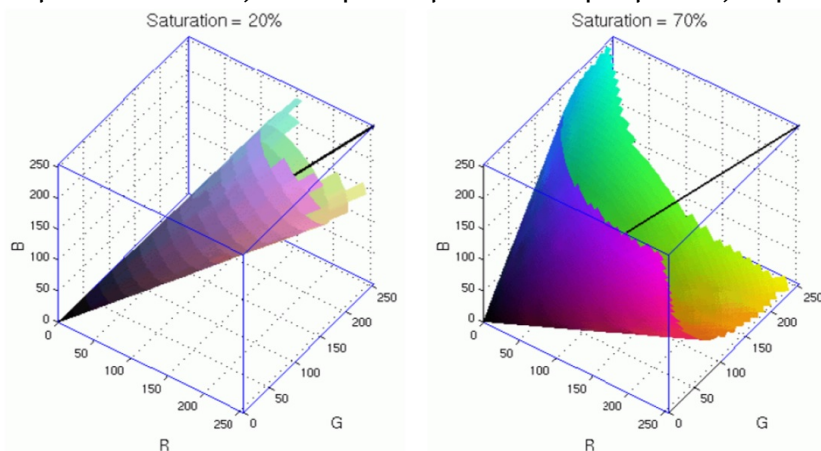
2.4.3 Αντιστοίχιση του Κορεσμού (Saturation).

Η αντιστοίχιση του κορεσμού παρουσιάζει μία αρκετά ενδιαφέρουσα ιδιαιτερότητα όταν αντιστοιχηθεί στο χώρο του RGB. Εδώ συμβαίνει αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω. Η κυλινδρική επιφάνεια που αντιπροσωπεύει μια σταθερή τιμή του κορεσμού, αντιστοιχείται σε ένα κώνο. Αυτή είναι ίσως και η δυσκολότερη περίπτωση να εξηγηθεί καθώς επηρεάζεται και από την τιμή της φωτεινότητας. Ίσως η καλύτερη περιγραφή είναι ότι:

- Ο κορεσμός απεικονίζει την καθαρότητα του χρώματος για μία συγκεκριμένη φωτεινότητα.

Έχει αναφερθεί ότι ο κορεσμός είναι η απόσταση του σημείου από τη γραμμή των διαβαθμίσεων του γκρι. Όταν όμως αντιστοιχηθεί το κυλινδρικό HSV στο κυβικό RGB η μέγιστη τιμή αυτής της απόστασης δεν είναι σταθερή. Και μάλιστα αλλάζει όσο αλλάζει και η φωτεινότητα. Αυτό έχει προκληθεί από την παραμόρφωση του σχήματος του χώρου του HSV και την αντίστοιχη παραμόρφωση του γεωμετρικού τόπου του σταθερού κορεσμού.

Από αυτό προκύπτει και ο ορισμός που αναφέρεται παραπάνω καθώς ισχύει ο ορισμός του κορεσμού ως **ποσοστό της μέγιστης απόστασης από την γραμμή των διαβαθμίσεων του γκρι**. Και με βάση αυτό μπορεί να γίνει και πιο εύκολα αντιληπτό το πως προκύπτει το σχήμα του κώνου και πως αυτό αλλάζει καθώς μεταβάλλεται η τιμή του κορεσμού. Παρακάτω δίνεται μια εικόνα με απεικονίσεις σταθερών τιμών του κορεσμού ως παράδειγμα:



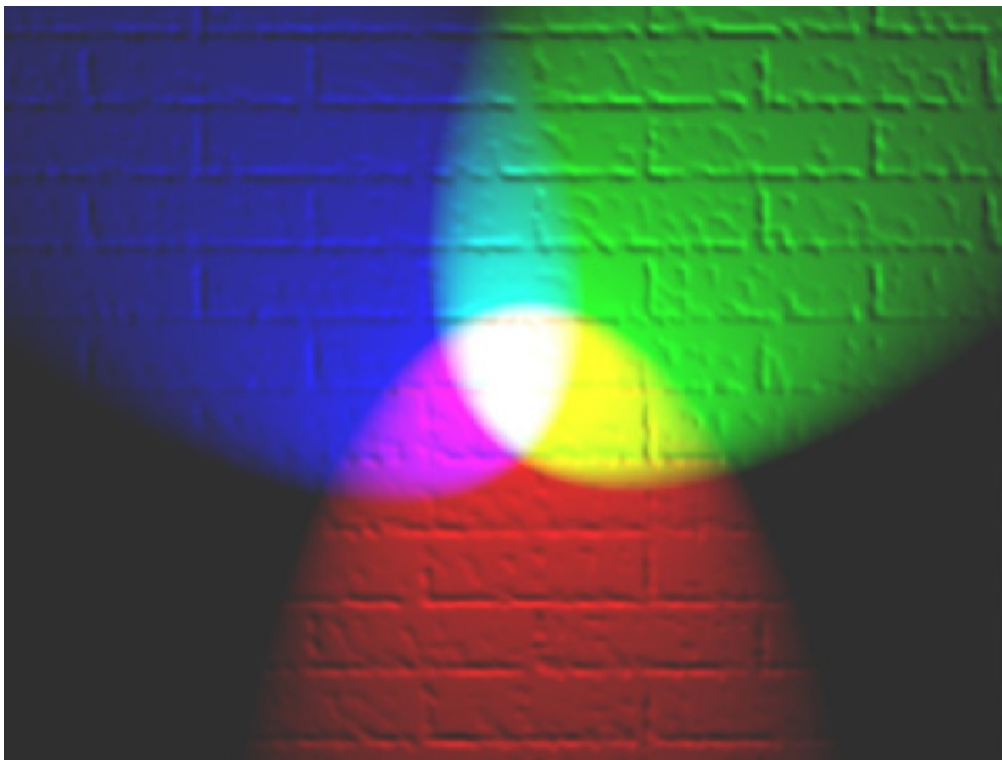
Εικόνα 2.8: Απεικόνιση του κώνου που συνιστά το γεωμετρικό τόπο που ορίζεται μέσα στο RGB από όλα τα σημεία που αντιστοιχούν σε μία τιμή του Κορεσμού στο HSV.

2.4.4 Παραδοχές που προκύπτουν.

Μια πρώτη ενδιαφέρουσα παραδοχή που προκύπτει είναι ότι από τα έξι σημεία του κύβου του RGB, το κυανό, το μωβ και το κίτρινο αντιπροσωπεύουν πιο φωτεινά χρώματα από το κόκκινο το πράσινο και το μπλε. Και αυτό διότι, από τα παραπάνω έχουμε ότι όσο αυξάνεται η φωτεινότητα μιλάμε για χρώματα που ανήκουν σε ένα επίπεδο κάθετο στον άξονα των διαβαθμίσεων του γκρι σε σημείο μακρύτερα από την αρχή των αξόνων. Τα επίπεδα φωτεινότητας λοιπόν που βρίσκονται το κυανό, το μωβ και το κίτρινο είναι μακρύτερα από την αρχή των αξόνων από το επίπεδο που προβάλλονται τα κόκκινο, πράσινο και μπλε.

Επιπλέον φαίνεται ότι εάν προστεθούν δύο χρώματα των οποίων τα διανύσματα είναι συμμετρικά ως προς τον άξονα των διαβαθμίσεων του γκρι, τότε το χρώμα που θα προκύψει είναι μία διαβάθμιση του γκρι φωτεινότερη και από τα δύο χρώματα. Παράδειγμα για το τελευταίο είναι ότι η πρόσθεση του κυανού και του κόκκινου δίνει το λευκό. Λογικό, καθώς το κυανό προκύπτει από την πρόσθεση του μπλε και του πράσινου. Άρα:

$$\mathbf{Κυανό + Κόκκινο = (Μπλε + Πράσινο) + Κόκκινο = Λευκό}$$



Εικόνα 2.9: Παράδειγμα σύνθεσης χρωμάτων.

Κεφάλαιο 3: Προοπτική, αναγνώριση και μέτρηση του αντικειμένου.

Στην περίπτωση των εικόνων, προοπτική ονομάζεται η απεικόνιση του βάθους ως σύγκλιση των διαφόρων μορφών σε ένα σημείο του ορίζοντα. Η χρήση της προοπτικής ξεκίνησε ήδη από την Αναγέννηση. Ήταν αποτέλεσμα των πειραματισμών Ιταλών καλλιτεχνών και αρχιτεκτόνων της εποχής.

Η απεικόνιση του βάθους ορίζει ότι τα αντικείμενα σε μία εικόνα τείνουν να συγκλίνουν σε ένα σημείο στον ορίζοντα. Μάλιστα οι γραμμές που είναι παράλληλες στον οριζόντιο άξονα της εικόνας φαίνεται να παραμένουν ανέπαφες, ενώ όσο πιο κάθετη είναι μία ακμή, και όσο πιο μακριά από αυτό το σημείο, τόσο περισσότερο φαίνεται να επηρεάζεται.

3.1 :Οφθαλμαπάτες λόγω προοπτικής.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της προοπτικής είναι ότι όσο μακρύτερα είναι ένα αντικείμενο τόσο μικρότερο φαίνεται. Με αυτές τις δύο βασικές αρχές μπορεί να δημιουργηθεί η προοπτική σε μία οποιαδήποτε εικόνα. Αυτές οι παραπάνω ιδιότητες προκαλούν ιδιαίτερες οφθαλμαπάτες όταν συντελούν ορισμένοι παράγοντες. Μερικές τέτοιες εικόνες δίδονται παρακάτω, ώστε να γίνουν πλήρως κατανοητά όσα αναφέρονται εδώ.



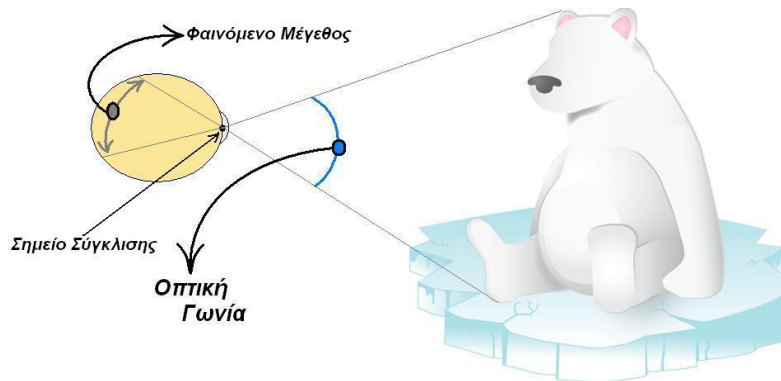
Εικόνα 3.1: Προοπτική Οφθαλμαπάτη



Εικόνα 3.2: Προοπτική Οφθαλμαπάτη

3.2 : Φαινόμενο Μέγεθος, Οπτική γωνία και Σημείο Σύγκλισης.

Οι ακριβείς κανόνες της προοπτικής δεν απασχολούν αυτήν την εργασία και για αυτό δεν θα εξεταστούν σε βάθος. Παρ' όλα αυτά η αλλαγή του μεγέθους βάσει της απόστασης είναι πολύ σημαντική καθώς σε αυτή βασίζεται ο υπολογισμός της απόστασης από την κάμερα, και για την ακρίβεια, η απόσταση από το εστιακό σημείο της.



Εικόνα 3.3: Οπτική απεικόνιση των όρων "Φαινόμενο μέγεθος", "Σημείο Σύγκλισης" και "Οπτική Γωνία" για το ανθρώπινο μάτι.

Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος ελέγχου της απόστασης είναι διότι το μέγεθος που φαίνεται να έχει ένα αντικείμενο είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης και η σχέση αυτή μπορεί να ορισθεί και να αποδειχθεί μαθηματικά.

Από την εικόνα γίνεται προφανές ότι το φαινόμενο μέγεθος εξαρτάται κυρίως από την οπτική γωνία, η οποία ορίζεται ως:

- Η γωνία που σχηματίζουν οι διαδρομές του φωτός από τις δύο ακραίες γωνίες του αντικειμένου που παρατηρείται όταν τέμνονται στο σημείο σύγκλισης.

3.3 : Μαθηματική σχέση Φαινόμενου Μεγέθους προς Απόστασης

Εάν ονομάσουμε:

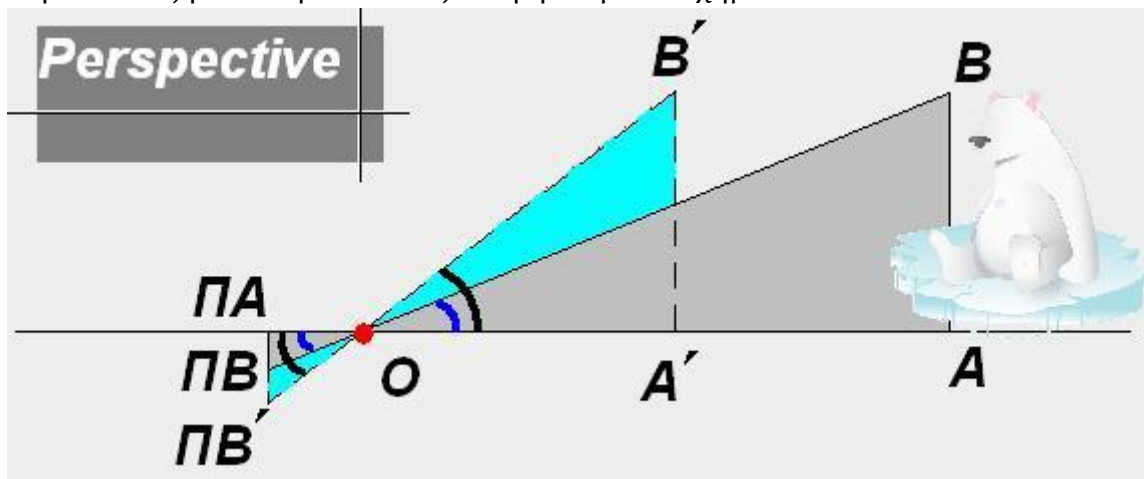
- ***h***: το Φαινόμενο Ύψος
- ***r***: το πραγματικό μέγεθος
- ***D***: η απόσταση από το σημείο σύγκλισης έως το αντικείμενο.
- ***ConvD***: η απόσταση από το σημείο σύγκλισης μέχρι το επίπεδο προβολής.

Τότε το η σχέση που δίνει το φαινόμενο ύψος είναι:

$$h = \frac{r}{D} \cdot ConvD \quad 1$$

1 [1] [Perspective](https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_(visual)) [https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_\(visual\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_(visual))

Για την απόδειξη του παραπάνω ως θεωρήσουμε το σχήμα:



Εικόνα 3.4: Γεωμετρική αναφορά για την απόδειξη της προοπτικής εξίσωσης. Φαίνεται η ομοιότητα των τριγώνων.

Στο παραπάνω σχήμα:

- **BA**: Είναι το πραγματικό ύψος του αντικειμένου.
- **OA**: Είναι η απόσταση από το σημείο σύγκλισης.
- **OBA**: Είναι η απόσταση του επιπέδου προβολής από το σημείο σύγκλισης.
- **ΠΑΠΒ**: Φαινόμενο Ύψος.

Τα τονισμένα σημεία είναι αυτά που προκύπτουν μετά τη μετακίνηση του αντικειμένου στο δεύτερο σημείο. Να σημειωθεί ότι το επίπεδο προβολής παραμένει το ίδιο. Τότε ισχύει ότι:

$$\frac{OA}{OA'} = \lambda \quad (\text{Σχέση 1}) \text{ και}$$

$$AB = A'B' \quad (\text{Σχέση 2}).$$

Φαίνεται επίσης ότι:

$$A \hat{O} B \text{ όμοιο με } ΠΑ \hat{O} ΠΒ$$

Η ομοιότητα ισχύει καθώς είναι ορθογώνια τρίγωνα με μία οξεία γωνία ίση όπως σημειώνεται στο σχήμα. Με τον ίδιο τρόπο ορίζεται και η ομοιότητα στα τρίγωνα που προκύπτουν μετά τη μετακίνηση του αντικειμένου. Άρα:

$$\frac{BA}{ΠΒΠΑ} = \frac{OA}{ΟΠΑ} \quad (\text{Σχέση 3})$$

Για την περίπτωση που το αντικείμενο έχει μετακινηθεί ισχύει η ομοιότητα των τριγώνων με τα τονισμένα σημεία: $A' \hat{O} B' \text{ όμοιο με } ΠΑ \hat{O} ΠΒ'$. Άρα ισχύει ότι:

$$\frac{B'A'}{ΠΒ'ΠΑ} = \frac{OA'}{ΟΠΑ} \quad \text{Αντικαθιστώντας από τη σχέση 1 προκύπτει ότι:}$$

$$\frac{B'A'}{ΠΒ'ΠΑ} = \frac{OA}{\lambda \cdot ΟΠΑ} \quad (\text{Σχέση 4}) \quad \text{Λύνοντας τις σχέσεις 3 και 4 ως προς το φαινόμενο ύψος}$$

και διαιρώντας κατά μέλη προκύπτουν τα παρακάτω:

$$\frac{ΠΒ'ΠΑ}{ΠΒΠΑ} = \frac{B'A' \frac{\lambda \cdot ΟΠΑ}{OA}}{BA \frac{ΟΠΑ}{OA}} \quad \text{Αντικαθιστώντας από τη σχέση 2 και απλοποιώντας προκύπτει}$$

ότι:

$$\boxed{\frac{PB' \cdot \Pi A}{PB \cdot \Pi A} = \lambda} \quad (\text{Σχέση 5})$$

Η παραπάνω σχέση δηλώνει ότι η αύξηση του φαινόμενου μεγέθους είναι ανάλογη με το λόγο της μείωσης της απόστασης από το σημείο σύγκλισης. Με απλά λόγια, όταν μειωθεί η απόσταση στο μισό, το φαινόμενο μέγεθος διπλασιάζεται κ.ο.κ.

Στη συνέχεια, λύνοντας τη σχέση 4 ως προς $PB' \cdot \Pi A$ και αντικαθιστώντας το λ από τη σχέση 1 έχουμε ότι:

$$PB' \cdot \Pi A = BA \cdot \frac{O \Pi A}{OA} \cdot \frac{OA}{OA'} \Rightarrow \boxed{PB' \cdot \Pi A = \frac{BA}{OA'} \cdot O \Pi A, O \Pi A = \text{σταθ.}}$$

Αυτή η σχέση, με την ονοματολογία που αναφέρεται στη αρχή γίνεται πράγματι:

$$\boxed{h = \frac{r}{D} \cdot \text{Conv}D} \quad (\text{Σχέση 6})$$

3.4 :Αναγνώριση και μέτρηση του αντικειμένου.

Από την πληθώρα των διαθέσιμων μεθόδων να αναγνωρισθεί ένα αντικείμενο πρέπει να επιλεγεί μία η οποία να ταιριάζει, όσο το δυνατό περισσότερο, στα παρακάτω:

- Στις συνθήκες των πειραμάτων.
- Στις δυνατότητες των υπολογιστών που θα χρησιμοποιηθούν.
- Να είναι ο κώδικας εύκολα προσαρμόσιμος αλλά και ανθεκτικός στις αλλαγές του περιβάλλοντος χώρου.

Να σημειωθεί εδώ ότι το αντικείμενο που πραγματεύεται αυτή η εργασία είναι ο υπολογισμός της απόστασης μέσω αλγορίθμων μηχανικής όρασης με μία μόνο κάμερα.

Αυτός είναι και ο λόγος που ο τρόπος που επιλέχθηκε για την αναγνώριση του αντικειμένου, είναι σχετικά απλός και εστιασμένος στα δεδομένα των πειραμάτων που διεξήχθησαν. Με τις ίδιες αρχές έγινε και η επιλογή του σχήματος του αντικειμένου που θα αναγνωρισθεί. Τα παραπάνω εξηγούνται πιο αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

3.5 :Επιλογή μεθόδου αναγνώρισης του αντικειμένου.

Από την αρχή, είχε αποφασισθεί ότι θα χρησιμοποιηθεί το πακέτο λογισμικού Matlab για τη συγγραφή του κώδικα και την εκτέλεση των υπολογισμών. Ο λόγος είναι οι πολύ μεγάλες δυνατότητες του συγκεκριμένου πακέτου στον τομέα της μηχανικής όρασης. Επιπλέον, παρέχει μεγάλη ευελιξία στην διεξαγωγή υπολογισμών σε πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία μέσα στον ίδιο κώδικα με πολλή μεγαλύτερη ευκολία από άλλες γλώσσες προγραμματισμού.

Όσον αφορά τον ίδιο τον αλγόριθμο, έπρεπε να υπάρχει η δυνατότητα για την λήψη και επεξεργασία ενός μεγάλου πλήθους φωτογραφιών, για να υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα για την εκτέλεση των προβλέψεων που απαιτούνται. Άρα, ένας αλγόριθμος μεγάλης αξιοπιστίας και ακρίβειας, παρ' όλο που θα παρήγαγε δεδομένα με λιγότερο θόρυβο, θα χρειαζόταν περισσότερο χρόνο επεξεργασίας ανά εικόνα (frame) για να παράγει αυτά τα αποτελέσματα.

Σε αυτή την περίπτωση, θα απαιτούνταν και υψηλότερου επιπέδου εξοπλισμός. Δηλαδή θα απαιτούνταν υψηλών προδιαγραφών υπολογιστής για να έχει τη δυνατότητα να εκτελεί τους υπολογισμούς στον απαιτούμενο χρόνο.

Όμως το βασικότερο πλεονέκτημα της χρήσης μίας μόνο κάμερας είναι το μικρότερο κόστος. Επιπλέον, υπάρχουν πάρα πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, που σήμερα εκτελούνται μόνο με μία κάμερα, που θα μπορούσαν να επωφεληθούν από τις επιπλέον δυνατότητες του υπολογισμού του βάθους πέρα από την αναγνώριση ενός σχήματος.

Άρα έχει νόημα να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος με σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Το μειονέκτημα ενός τέτοιου αλγόριθμου είναι η σχετικά μεγαλύτερη ύπαρξη θορύβου αλλά αυτό αντισταθμίζεται από το σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων που λαμβάνονται και επεξεργάζονται κατά τη διάρκεια του χρόνου πτήσης.

Επιπλέον, μειώνεται και ο αρχικός χρόνος επεξεργασίας μέχρι το πρώτο αποτέλεσμα. Άρα μπορούν να δοθούν οι πρώτες εντολές στο βραχίονα πιο σύντομα, το οποίο είναι επίσης σημαντικό καθώς αυξάνει τις δυνατότητες αντίδρασης του βραχίονα ακόμα και με χαμηλότερων προδιαγραφών κινητήρες.

Οι μέθοδοι που μπορούσαν να εφαρμοστούν με τον εξοπλισμό που υπήρχε ήταν:

- Αναγνώριση σχήματος και κλίμακας με αλγόριθμο τύπου SIFT.
- Αναγνώριση χρώματος και εξαγωγή δυαδικής εικόνας (binary image).

Τα βασικά κριτήρια επιλογής ήταν η ακρίβεια της πληροφορίας και ο λόγος των δειγμάτων/sec.

3.5.1 Μέθοδος αναγνώρισης σχήματος

Στα αρχικά στάδια της εργασίας ελέγχθηκε ο πρώτος τρόπος. Και μάλιστα μία υποπερίπτωση αυτού, όπου ο αλγόριθμος έψαχνε απλώς για κύκλους. Δηλαδή έψαχνε μέσα στην εικόνα να αναγνωρίσει ένα σφαιρικό αντικείμενο, το οποίο στις δύο διαστάσεις, απεικονίζεται ως ένας κύκλος.

Τα παραπάνω γινόταν με τη χρήση της προϋπάρχουσας συνάρτησης *imfindcircle* του πακέτου Matlab. Αυτή η συνάρτηση απαιτεί ως είσοδο την εικόνα που θα αναλυθεί και το εύρος της ακτίνας των κύκλων που θα βρεθούν. Μία ελάχιστη και μέγιστη τιμή δηλαδή για την ακτίνα, και όσοι κύκλοι αναγνωρίζονταν με ακτίνα εκτός αυτού του εύρους δεν θα λαμβάνονταν υπ' όψιν στα αποτελέσματα της συνάρτησης.

Η παραπάνω μέθοδος απέδιδε αποτελέσματα με μεγάλη ακρίβεια, αλλά είχε δύο πολύ σημαντικά μειονεκτήματα:

- Απαιτούσε μεγάλο χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση της επεξεργασίας της κάθε εικόνας.
- Με το να μπορεί να αναγνωρίσει κύκλους συγκεκριμένων ακτίνων, μπορούσε κατ' επέκταση να αναγνωρίσει το αντικείμενο μέσα σε συγκεκριμένο εύρος αποστάσεων από το φακό της κάμερας.

Το δεύτερο γίνεται εύκολα αντιληπτό αν αναλογισθεί κανείς ότι για μεγάλες αποστάσεις το αντικείμενο είχε φαινόμενο μέγεθος στην εικόνα μερικά pixel ενώ κοντά στην κάμερα μπορούσε να καταλαμβάνει σχεδόν όλη την εικόνα.

Άρα επιλέγοντας ένα οποιοδήποτε πεπερασμένο εύρος γινόταν αδύνατη η αναγνώριση του αντικειμένου σε αντίστοιχες αποστάσεις οι οποίες μπορούσαν να υπολογιστούν με βάση τις σχέσεις που αποδείχθηκαν παραπάνω.

Υπήρχε η δυνατότητα ορισμού του εύρους από 0 έως Inf, στην ουσία δηλαδή αφαίρεσης του περιορισμού. Τότε όμως ο αλγόριθμος αργούσε ακόμα περισσότερο, δίνοντας μάλιστα τα ίδια αποτελέσματα με πριν. Άρα η αφαίρεση του περιορισμού δεν προκαλούσε αυξημένο θόρυβο στα αποτελέσματα αλλά προκαλούσε αύξηση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας.

Ένας πιθανός λόγος γι αυτό είναι ότι η συνάρτηση *imfindcircle* βασίζεται στο μετασχηματισμό Hough. Άρα, μπορεί το τελικό αποτέλεσμα να ήταν το ίδιο, αλλά στην πορεία να υπήρχαν περισσότερες λύσεις οι οποίες να διεκδικούσαν την "ψηφο" του αλγόριθμου και εκεί να οφειλόταν τελικά η μεγαλύτερη καθυστέρηση.

Για τους παραπάνω λόγους απορρίφθηκε αυτή η μέθοδος εύρεσης και μέτρησης του αντικειμένου στην εικόνα.

3.5.2 Μέθοδος αναγνώρισης χρώματος.

Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή της αναγνώρισης του χρώματος του αντικειμένου μέσα στην εικόνα. Για να λειτουργήσει αυτή η μέθοδος θα έπρεπε να το χρώμα να είναι αρκετά κορεσμένο, ώστε να ξεχωρίζει από το περιβάλλον. Επιπλέον θα έπρεπε να είναι ένα χρώμα που να μην υπάρχει στο χώρο των πειραμάτων και να μην υπάρχει και πιθανότητα να τοποθετηθεί κάτι μόνιμα σε αυτό το χώρο που να έχει το ίδιο χρώμα.

Να σημειωθεί εδώ ότι η εικόνα λαμβάνεται ως ένας τρισδιάστατος πίνακας του οποίου οι διαστάσεις είναι **Πλάτος Εικόνας x Ύψος Εικόνας x 3**. Οι δύο πρώτες τιμές αναφέρονται στον αριθμό pixel της κάθε διάστασης της εικόνας. Η τρίτη τιμή είναι πάντα 3. Υπάρχουν δηλαδή τρεις διςδιάστατοι πίνακες, ο καθένας εκ των οποίων περιέχει την πληροφορία για

ένα εκ των τριών χρωματικών καναλιών που συνθέτουν την έγχρωμη εικόνα. Περισσότερες πληροφορίες δίνονται παρακάτω, αλλά αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος ανάλυσης της εικόνας εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις δυνατότητες της Matlab. Και αυτό διότι, αντίθετα με άλλες γλώσσες προγραμματισμού, στη Matlab γίνονται πολύ γρηγορότερα οι πράξεις πινάκων και καθυστερούν ιδιαίτερα όλοι οι βρόγχοι. Με αυτό τον τρόπο μπορούσε να γίνει ο διαχωρισμός του χρώματος πολύ γρηγορότερα αφού αφορούσε λογικές πράξεις πινάκων.

Τελικά επιλέχθηκε μία πλαστική κόκκινη μπάλα. Στις προσομοιώσεις πριν τα πραγματικά πειράματα, είχε σχεδιαστεί μία κόκκινη μπάλα, με χρώμα πλήρως κορεσμένο ($255^R 0^G 0^B$), διαμέτρου 10cm.

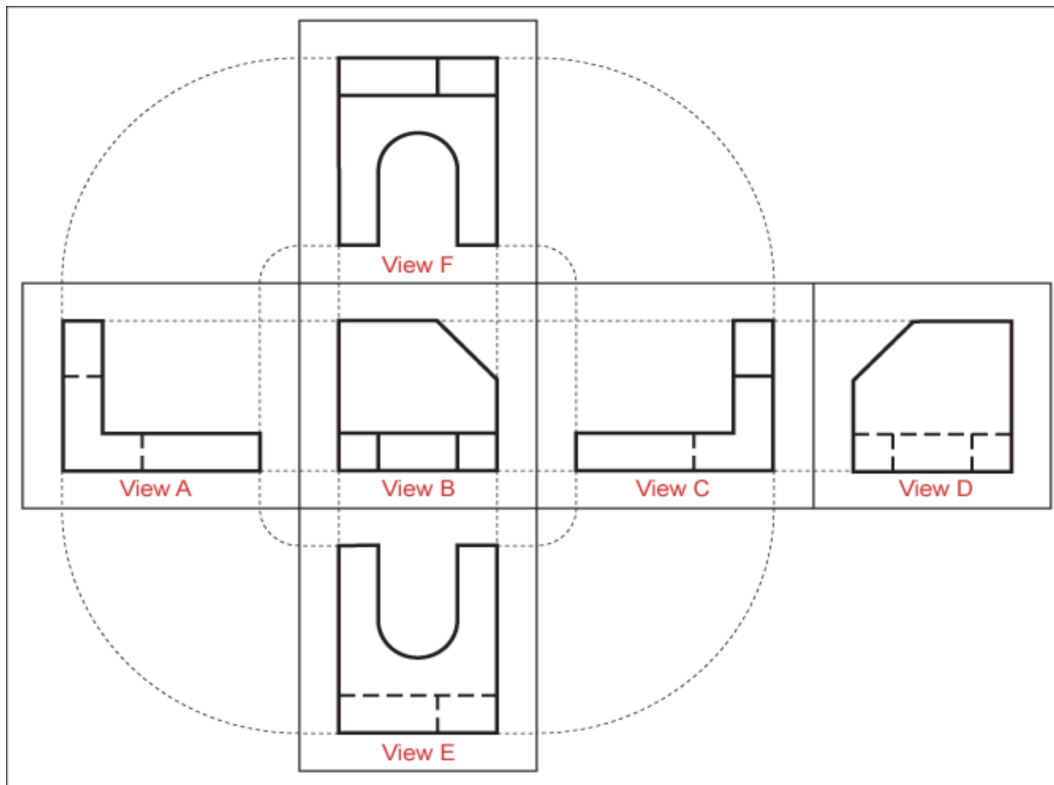
3.5.3 Επιλογή σχήματος.

Να σημειωθεί εδώ ότι και το σφαιρικό σχήμα δεν επιλέχθηκε τυχαία. Και αυτό διότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στις δύο διαστάσεις η σφαίρα απεικονίζεται ως κύκλος. Έχει ήδη αναφερθεί ότι ο υπολογισμός της απόστασης γίνεται βάσει του φαινόμενου μεγέθους. Σε αυτό τον υπολογισμό ο κύκλος έχει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι το μέγεθος του μπορεί να περιγραφεί από μία μόνο διάσταση, αυτή της διαμέτρου.



Εικόνα 3.5: Το αντικείμενο που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στα πειράματα.

Ο υπολογισμός μόνο της διαμέτρου, πέρα από το πλεονέκτημα της απλότητας και του μικρότερου χρόνου, έχει και ένα δεύτερο λιγότερο προφανές πλεονέκτημα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι, όταν ένα αντικείμενο πετιέται και ακολουθεί μία τροχιά, είναι πρακτικά αδύνατο να μην περιστρέφεται κατά τη διάρκεια αυτής της πτήσης. Για να γίνει πιο κατανοητό αυτό, ας θεωρήσουμε ένα σχήμα που δεν είναι σφαίρα. Έτσι, εάν θεωρήσουμε μία όψη του αντικειμένου ως την εμπρόσθια όψη και ανά 90° ορίσουμε τις άλλες 5 που προκύπτουν, τότε θα υπήρχε τουλάχιστον μία όψη στην οποία θα υπήρχε ένας σχηματισμός ο οποίος θα απαιτούσε περισσότερες από μία διαστάσεις για να περιγραφεί πλήρως.



Εικόνα 3.6: Απεικόνιση των 6 όψεων που απαιτούνται για να ορίσουν πλήρως ένα τρισδιάστατο αντικείμενο σε δύο διαστάσεις.

Από το παραπάνω προκύπτει ότι, πριν γίνει δυνατή η εκτίμηση των απαιτούμενων διαστάσεων θα πρέπει να υπολογισθεί η στάση του αντικειμένου στο χώρο. Είναι απαραίτητο, δηλαδή, να υπολογιστούν οι τρεις γωνίες περιστροφής γύρω από τους άξονες του καρτεσιανού συστήματος που έχει ορισθεί.

Για την αποφυγή αυτής της πολυπλοκότητας στους υπολογισμούς επιλέχθηκε το σφαιρικό σχήμα, καθώς η σφαίρα απεικονίζεται στις δύο διαστάσεις ως ο ίδιος κύκλος, άσχετα από τη στάση της στο χώρο. Παρ' όλα αυτά, γίνεται παρακάτω αναφορά, επιγραμματικά, στην παραπάνω περίπτωση ως αντικείμενο περαιτέρω έρευνας.

Ένα άλλο πλεονέκτημα του σχήματος αυτού είναι ότι απλοποιεί πάρα πολύ και τους υπολογισμούς για την εύρεση της θέσης του αντικειμένου στην εικόνα. Προφανώς, ως θέση του αντικειμένου στην εικόνα επιλέγεται η θέση ενός χαρακτηριστικού σημείου του αντικειμένου έτσι ώστε να υπάρχει συνέχεια και συνοχή ανάμεσα στα δεδομένα από τις διάφορες εικόνες. Όπως και στην περίπτωση του μεγέθους, για την εύρεση της θέσης αυτού του σημείου θα έπρεπε πρώτα να υπολογιστεί η στάση του αντικειμένου. Στην περίπτωση του κύκλου όμως μπορεί πολύ εύκολα να υπολογιστεί η θέση του κέντρου του ως η τομή δύο οποιονδήποτε διαμέτρων. Μάλιστα με τον παραπάνω υπολογισμό, λαμβάνεται τελικά το κέντρο της σφαίρας αφού αυτό που απεικονίζεται στις δύο διαστάσεις είναι η τομή της σφαίρας με ένα επίπεδο το οποίο:

- Είναι κάθετο στην ευθεία από το σημείο σύγκλισης της κάμερας μέχρι τη σφαίρα.
- Πάνω του υπάρχει η μεγαλύτερη περίμετρος της σφαίρας.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι σε αυτό το επίπεδο ανήκει και το κέντρο της σφαίρας. Αυτό γίνεται πιο κατανοητό στις δυαδικές εικόνες όπου απεικονίζεται μόνο η σφαίρα.

3.6 :Εύρεση του κόκκινου χρώματος στην εικόνα.

Εφόσον επιλέχθηκε το κόκκινο χρώμα, και μάλιστα αρκετά κορεσμένο, αρκεί στην εικόνα να βρεθεί ένα κόκκινο με αντίστοιχο κορεσμό και φωτεινότητα. Για την ακρίβεια μάλιστα, αυτό που επιλέχθηκε να γίνει είναι να απορριφθούν από την εικόνα όλα τα pixel τα οποία δεν αφορούν ένα τέτοιο χρώμα. Επιπλέον, δεν διατηρήθηκε η πληροφορία του χρώματος, αλλά μόνο το εάν το κάθε pixel πληρεί τις προδιαγραφές ή όχι. Έτσι η εικόνα που προέκυψε ήταν δυαδικού τύπου ή όπως αναφέρεται στη Matlab λογικού τύπου.

3.6.1 Αρχική Προσπάθεια.

Στην αρχή των πειραματισμών με αυτή τη μέθοδο, μετατρέπεται η εικόνα από το χώρο του RGB, στον οποίο είχε ληφθεί, σε εκείνο του HSV. Αυτό γινόταν με την προϋπάρχουσα συνάρτηση της Matlab *rgb2hsv*. Στη συνέχεια, λαμβανόταν μόνο ο πρώτος πίνακας που απεικόνιζε τη Χροιά. Στις τιμές αυτού του πίνακα γινόταν ένας λογικό έλεγχος για να απορριφθούν όλες οι τιμές χροιάς που δεν αφορούσαν το κόκκινο χρώμα. Σε περίπτωση που υπήρχαν και άλλα αντικείμενα κόκκινου χρώματος στην εικόνα, θα μπορούσε να γίνει έλεγχος και στο κανάλι του κορεσμού για να επιλεγεί το συγκεκριμένο χρώμα που αφορούσε το αντικείμενο.

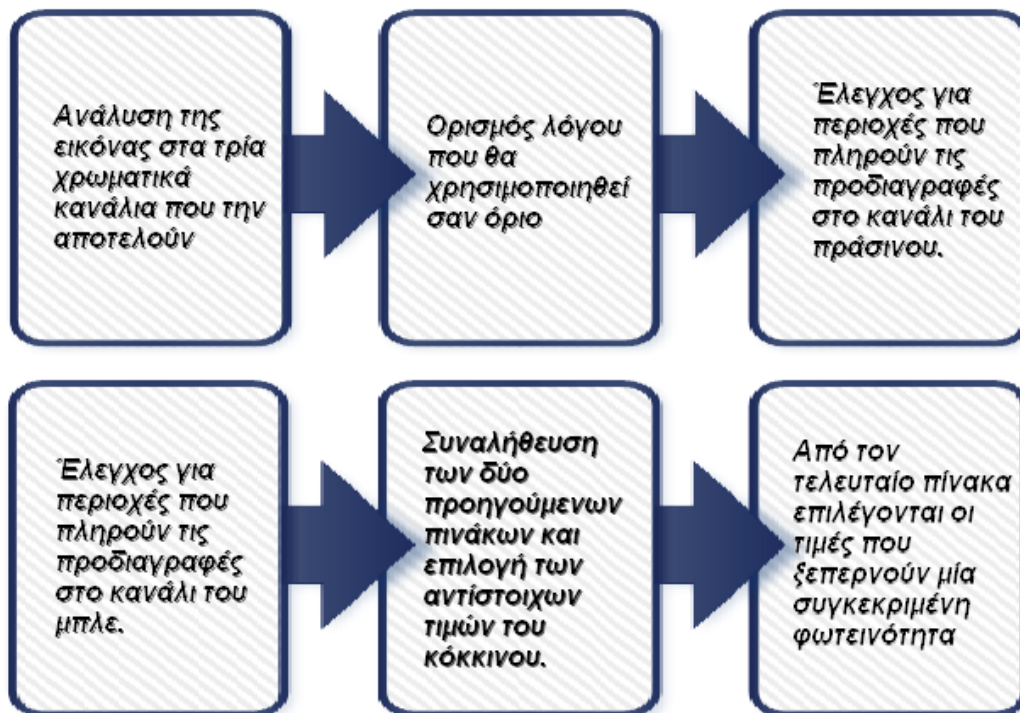
Στη θεωρία, αυτός ο τρόπος θα έδινε εξαιρετικά αποτελέσματα αφού θα μπορούσε να γίνει επιλογή του αντικειμένου με μεγάλη ακρίβεια. Τα αποτελέσματα που έδινε αυτή η μέθοδος ήταν ικανοποιητικά. Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτούνταν ήταν μικρότερος από τη χρήση της συνάρτησης *imfindcircle*. Παρ' όλα αυτά, ο χρόνος που απαιτούνταν για την επεξεργασία του κάθε frame έφτανε σχεδόν τα 0.2sec, το οποίο άφηνε ένα περιθώριο για την ανάλυση το πολύ 5 frame/sec. Μάλιστα, δεδομένου ότι θα έπρεπε να γίνουν και επιπλέον υπολογισμοί βάσει της προοπτικής εξίσωσης καθώς και οι μετασχηματισμοί συστημάτων συντεταγμένων που αναφέρονται παρακάτω, καθίσταται σαφές ότι, ρεαλιστικά, δεν θα υπήρχε η δυνατότητα για επεξεργασία περισσότερων των 4 frame/sec.

Μετά από έρευνα στο forum της Mathworks, πλούσια πηγή πληροφοριών για τη λειτουργία της Matlab, φάνηκε ότι το καταλληλότερο σημείο βελτιστοποίησης ήταν η συνάρτηση *rgb2hsv*. Επιπλέον, έγινε έλεγχος με τη χρήση των *tic* και *toc*, και φάνηκε ότι πράγματι το κομμάτι του κώδικα που έπαιρνε τον μεγαλύτερο χρόνο ήταν αυτή η συνάρτηση.

3.6.2 Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε.

Αφού εντοπίστηκε το πρόβλημα, λήφθηκε η απόφαση, ο έλεγχος για το χρώμα να γίνει μέσα στο χώρο του RGB, ώστε να αποφευχθεί η απώλεια χρόνου στην μετατροπή της εικόνας. Παρ' όλα αυτά είναι αρκετά δύσκολο να εκφραστεί μέσα στο RGB το χρώμα αφού αφορά τη σχέση και των τριών τιμών φωτεινότητας των καναλιών. Δηλαδή, τα pixel που απεικονίζουν ένα συγκεκριμένο χρώμα φαίνεται να έχουν μία συγκεκριμένη μαθηματική σχέση μεταξύ τους. Και πράγματι, η μαθηματική σχέση που διέπει αυτές τις τιμές είναι η συνάρτηση που μετασχηματίζει την τριάδα αριθμών του RGB στην αντίστοιχη του HSV, για συγκεκριμένη Χροιά.

Για την εύρεση, λοιπόν, pixel τα οποία απεικόνιζαν το χρώμα κόκκινο με τον κορεσμό και τη φωτεινότητα που έπρεπε χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία που φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 3.7: Βήματα για την εύρεση των *pixel* με κόκκινο χρώμα στην εικόνα.

Στη παραπάνω μεθοδολογία οι παράμετροι που δέχεται ο αλγόριθμος σαν ορίσματα είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται σαν όριο καθώς και μία τιμή φωτεινότητας. Παρατηρώντας αυτά που αναφέρθηκαν στην παράγραφο της αντιστοίχισης της Χροιάς από το HSV, γίνεται ξεκάθαρο ότι το κόκκινο χρώμα ορίζει ένα ημιεπίπεδο από τον άξονα των διαβαθμίσεων του γκρι το οποίο, προφανώς πρέπει να περιέχει και τον άξονα του κόκκινου.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι το ημιεπίπεδο που περιγράφεται ορίζει μία γωνία 45° τόσο με τον άξονα του πράσινου όσο και με τον άξονα του μπλε, στο RGB. Άρα, σε αυτή την περίπτωση, για να υπάρχει Χροιά 0° , όπως αυτή ορίζεται στο HSV τότε πρέπει:

- Οι τιμές του πράσινου και του μπλε να είναι ίσες.
- Πρέπει η τιμή του κόκκινου να είναι μεγαλύτερη ή ίση με τις άλλες δύο.

Το δεύτερο γίνεται ευκολότερα αντιληπτό από την γραφική αναπαράσταση του ημιεπίπεδου του κόκκινου όπως αυτή δόθηκε παραπάνω, στην παράγραφο 2.4.1.

Στην πράξη όμως ένας τόσο αυστηρός έλεγχος θα έδινε αποτελέσματα τα οποία δεν θα ανταποκρινόταν στη πραγματικότητα. Και αυτό διότι λόγω του φωτισμού αλλά και λόγω μικρών σφαλμάτων στη λήψη της εικόνας από την κάμερα, τα σημεία που ένας παρατηρητής θα αναγνώριζε εμφανώς ως κόκκινο δεν ακολουθούν τον κανόνα *μπλε=πράσινο*. Παρ' όλα αυτά όμως οι τιμές του μπλε και του πράσινου είναι σχετικά κοντά. Επιπλέον, στην περιοχή που απεικονίζεται το έντονο κόκκινο της μπάλας που επιλέχθηκε, η τιμή του κόκκινου είναι πολλαπλάσια των άλλων δύο.

Εν τέλει, η επιλογή των περιοχών του κόκκινου γίνεται από μία και μόνο γραμμή κώδικα στη Matlab. Αυτή δίνεται παρακάτω:

```
Result=(( (R>Limit*G&&R>Limit*B) .*R)>BrightnessRange);
```

Όπου:

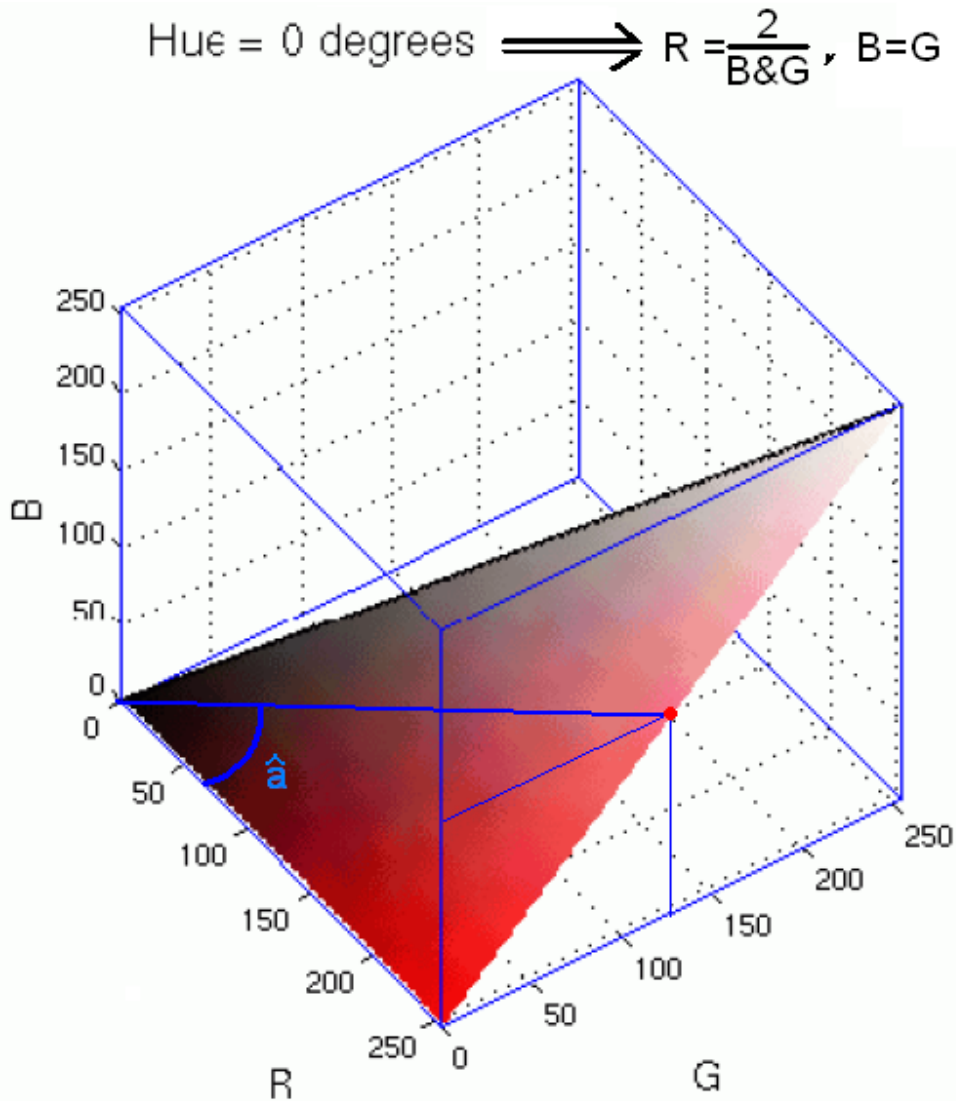
- *Result*: Είναι η δυαδική εικόνα που προκύπτει από τον έλεγχο

- *Limit*: Είναι η τιμή που χρησιμοποιείται σαν όριο για το Λόγο
- *BrightnessRange*: Είναι το όριο της φωτεινότητας
- *R,G,B*: Είναι οι δισδιάστατοι πίνακες που περιέχουν την πληροφορία του κάθε χρώματος με τιμές από 0 έως 255.

Η παραπάνω γραμμή κώδικα εκτελείται με τη σωστή σειρά λόγω της κατανομής των παρενθέσεων. Να σημειωθεί εδώ ότι στην πραγματικότητα, εδώ εκτελούνται αρκετές γραμμές κώδικα καθώς κάθε τελεστής της Matlab αντιστοιχεί σε μία συνάρτηση. Μάλιστα μπορεί να κληθεί και ως συνάρτηση, με το κατάλληλο όνομα, δίνοντας τις τιμές ως ορίσματα.

3.6.3 Λειτουργία του λόγου ως όριο.

Έτσι, επιλέχθηκε να αναζητούνται περιοχές που εμφανίζουν ένα λόγο τιμών μεταξύ του κόκκινου και του πράσινου και μεταξύ του κόκκινου και του μπλε και στη συνέχεια να γίνεται συναλήθευση. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού βέβαια απορρίπτει περιοχές, όχι μόνο



Εικόνα 3.8: Το τμήμα του ημιεπιπέδου που επιλέγεται από τον έλεγχο του λόγου "λ" όπως αυτός εκτελείται από τον κώδικα.

διαφορετικής Χροιάς, αλλά και διαφορετικού κορεσμού και φωτεινότητας.

Σαν παράδειγμα ας αναφερθεί η περίπτωση όπου ο λόγος που χρησιμοποιείται είναι $Limit=2$. Δηλαδή: $(R=\frac{2}{G}) \cup (R=\frac{2}{B})$. Σε αυτή την περίπτωση ο γεωμετρικός τόπος των σημείων που θα προέκυπτε είναι αυτός που διαγράφεται από το μπλε τρίγωνο στην επόμενη εικόνα:

$$\lambda=2,$$

$$\hat{a}=35.26^\circ$$

Εδώ φαίνεται ξεκάθαρα αυτό που αναφέρεται παραπάνω, ότι ο έλεγχος με αυτό τον τρόπο δεν επηρεάζει μόνο τη Χροιά που επιλέγεται. Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα που

παρατηρείται παραπάνω έχουν ήδη απορριφθεί τα περισσότερα σημεία με χαμηλό Κορεσμό.

Να σημειωθεί εδώ ότι δεν έχουν απορριφθεί τα σημεία με κορεσμό μικρότερο από το 50% όπως μπορεί να υποτεθεί αρχικά. Αντίθετα για κάθε τιμή Φωτεινότητας υπάρχει ένα όριο κορεσμού που θεωρείται ότι πληρεί τις προδιαγραφές. Αυτό προκύπτει και από τα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 2.4.3 που περιγράφει την αντιστοίχιση του Κορεσμού από το HSV στο RGB.

Παρ' όλα αυτά, από την απεικόνιση γίνεται ξεκάθαρο ότι έχουν επιλεγεί οι πιο “καθαρές” αποχρώσεις του κόκκινου. Επιπλέον, και αυτό είναι και το πιο σημαντικό, έχουν συμπεριληφθεί όλες οι αποχρώσεις που πρόκειται να έχει το αντικείμενο που έχει επιλεγθεί στις εικόνες που θα ληφθούν. Μάλιστα στις περιοχές χαμηλότερης Φωτεινότητας, που μπορεί να υπάρξει λάθος στην αποθήκευση και του Κορεσμού, τα όρια επιλογής είναι ευρύτερα, και όσο αυξάνεται η Φωτεινότητα αυξάνεται και το επίπεδο Κορεσμού που “περνάει” από τον έλεγχο του αλγόριθμου.

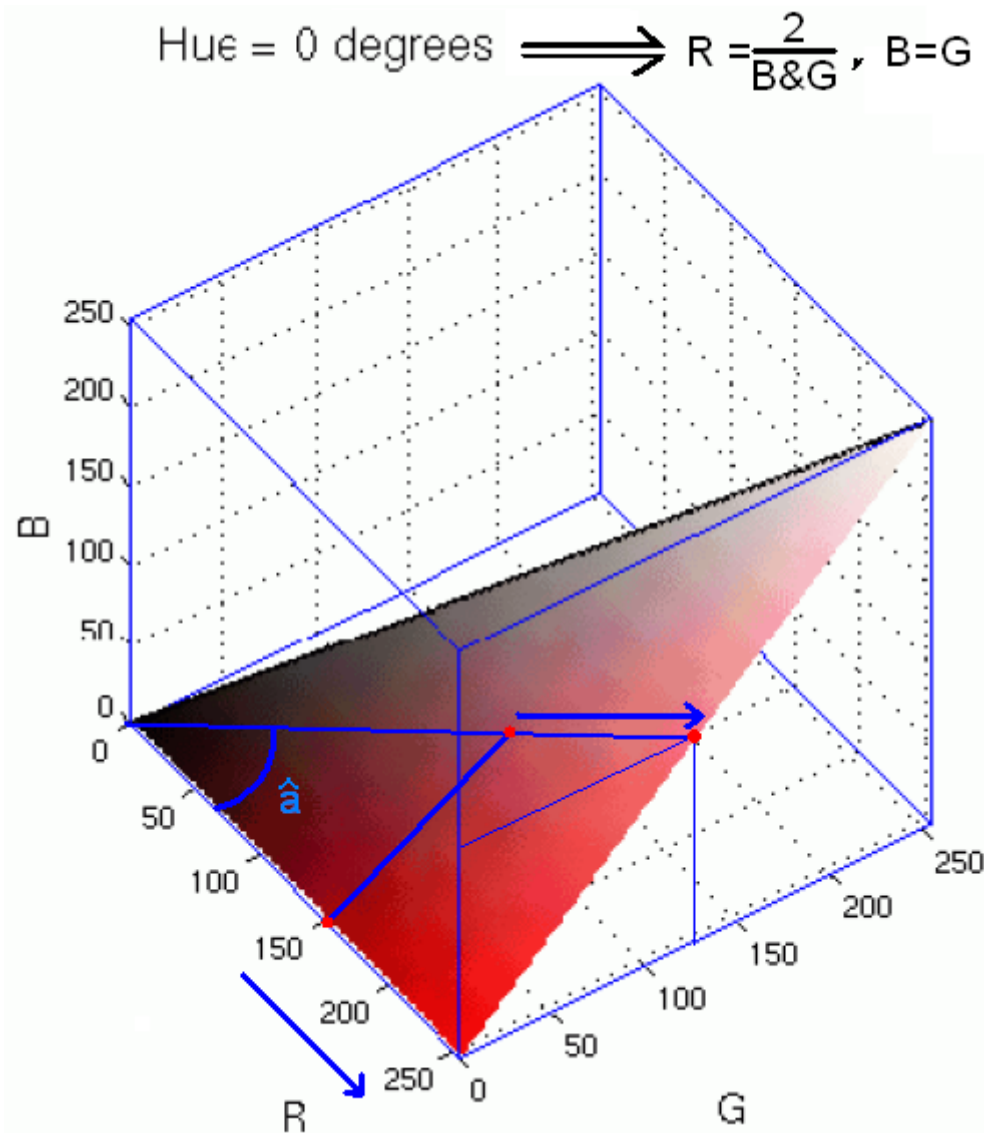
Αυτό εξασφαλίζει ότι σε κάθε περίπτωση θα υπάρχει μέσα στα αποτελέσματα του ελέγχου το σχήμα της μπάλας. Εξασφαλίζει επίσης, ότι αυτός ο αλγόριθμος ανίχνευσης είναι πάρα πολύ ανθεκτικός σε αλλαγές του φωτισμού ακόμα και κατά τη διάρκεια της πτήσης. Επιπλέον, με αυτό τον τρόπο λύνεται σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα που προκύπτει από το γεγονός ότι στην απεικόνιση της στην εικόνα, η μπάλα δεν πρόκειται να έχει το ίδιο χρώμα σε όλη της την επιφάνεια, λόγω διαφορετικής αντανάκλασης του φωτός σε κάθε σημείο της σφαιρικής επιφάνειας. Επιπλέον, ο αλγόριθμος είναι ανθεκτικός και στην ύπαρξη σκιάς στη μισή σφαίρα που προκαλεί η άλλη μισή λόγω της γωνίας του φωτισμού.

Το μειονέκτημα αυτού του είδους ελέγχου, είναι ότι είναι επιρρεπής σε παρουσία θορύβου σε περιοχές χαμηλού φωτισμού, καθώς εμφανίζονται φαινόμενα όπως αυτά που παρατηρήθηκαν στην εικόνα με το κόκκινο πλοίο στην παράγραφο 2.3, όπου η τιμή της χροιάς και του κορεσμού αλλοιώνονταν στις περιοχές με έντονη σκιά.

3.6.4 Λειτουργία της Φωτεινότητας του Κόκκινου ως όριο

Αναφέρθηκε όμως παραπάνω ότι ο αλγόριθμος δέχεται σαν ορίσματα το λόγο που θα λειτουργήσει σαν όριο αλλά και μία τιμή φωτεινότητας του κόκκινου. Η επιλογή σημείων βάσει αυτής της τιμής γίνεται αφού έχει γίνει ο έλεγχος βάσει του λόγου του κόκκινου ως προς τα άλλα δύο χρώματα. Με αυτό τον τρόπο ο γεωμετρικός τόπος που ορίζεται τελικά είναι το τρίγωνο που ορίστηκε πριν με μία γραμμή να το τέμνει. Η γραμμή αυτή ξεκινάει κάθετα από τον άξονα του κόκκινου, από την τιμή που χρησιμοποιείται σαν όριο και καταλήγει στη διαγώνιο που ορίζει στα προηγούμενα βήματα ο λόγος.

Επιλέγεται δηλαδή το τμήμα του τριγώνου που απεικονίζει τις πιο φωτεινές και κορεσμένες αποχρώσεις του κόκκινου από αυτές που ήδη επιλέχθηκαν από τα προηγούμενα βήματα. Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται γραφικά το αποτέλεσμα αυτού του τελευταίου ελέγχου.

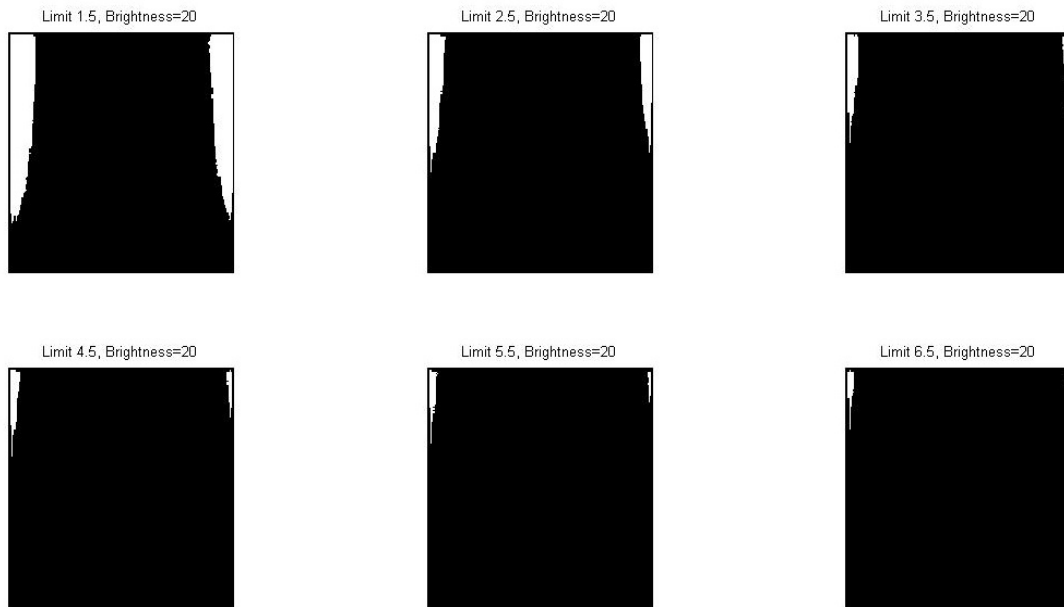


Εικόνα 3.9: Το τμήμα του ημιεπίπεδου που επιλέγεται από τον έλεγχο της φωτεινότητας όπως αυτός εκτελείται από τον κώδικα `Brightness=150`

Από την εικόνα είναι σαφές ότι ο γεωμετρικός τόπος όλων των ελέγχων που αναφέρονται παραπάνω είναι ένα τραπέζιο πάνω στο ημιεπίπεδο του κόκκινου, με σχήμα αντίστοιχο αυτού που απεικονίζεται παραπάνω. Αυτή η τιμή μπορεί να περιορίσει τον έλεγχο αρκετά και αντισταθμίζει ελαφρώς τα προβλήματα του θορύβου που προκύπτει στις πολύ σκοτεινές περιοχές, απορρίπτοντας τις εξ' αρχής. Αυτό βέβαια μπορεί να προκαλέσει προβλήματα ελλιπής αναγνώρισης εάν το σχήμα που ψάχνει ο αλγόριθμος είναι, πράγματι, σε μία σκοτεινή περιοχή της εικόνας. Παρ' όλα αυτά, με ένα στοιχειώδη φωτισμό του περιβάλλοντος αυτό το πρόβλημα δεν υφίσταται.

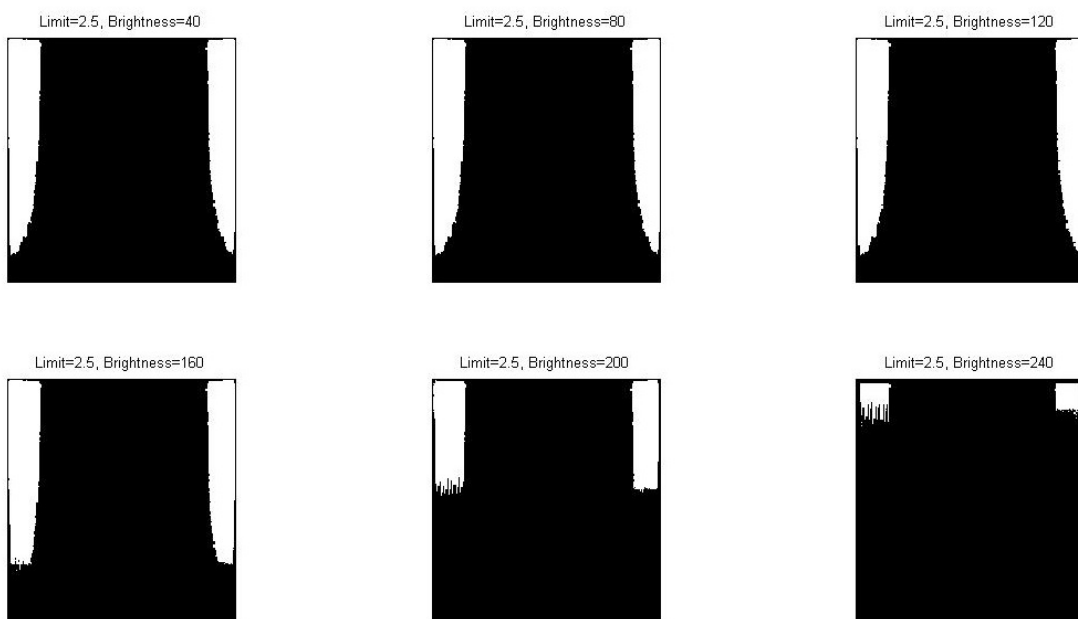
Παρακάτω δίνονται παραδείγματα ανίχνευσης του κόκκινου σε διάφορες φωτογραφίες. Αυτές είναι και οι φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για τα πρώτα πειράματα με τον αλγόριθμο ανίχνευσης του κόκκινου χρώματος.

Κατ' αρχήν δίνονται οι εικόνες που προκύπτουν εάν αναλυθεί ένα απλός χρωματικός χάρτης, όπως αυτός που εμφανίζεται κατά την επιλογή νέου χρώματος στα περισσότερα συστήματα επεξεργασίας της εικόνας, με τον αλγόριθμο που περιγράφεται παραπάνω. Στην πρώτη εικόνα μεταβάλλεται το όριο του λόγου και στη δεύτερη εικόνα μεταβάλλεται η φωτεινότητα. Θα γίνει έτσι ακόμα πιο κατανοητό το πως επηρεάζει η κάθε παράμετρος την ανίχνευση του κόκκινου.



Εικόνα 3.10: Εξέλιξη της αναγνώρισης από διαδοχικές αυξήσεις στο Λόγο.

Εδώ ο λόγος ξεκινάει από την τιμή 1.5 και καταλήγει στην τιμή 6.5. Είναι ξεκάθαρο ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσο πιο περιορισμένη είναι η περιοχή που επιλέγεται. Επίσης φαίνεται ότι μειώνεται κατά κύριο λόγο το ύψος της. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι, όπως εξηγήθηκε παραπάνω, αυξάνοντας το λόγο επηρεάζεται και η Χροιά αλλά, κυρίως, ο Κορεσμός που επιλέγεται.



Εικόνα 3.11: Εξέλιξη της αναγνώρισης από διαδοχικές αυξήσεις στη Φωτεινότητα.

Σε αυτό το παράδειγμα φαίνεται ότι η φωτεινότητα επηρεάζει μόνο το ύψος της περιοχής που αναγνωρίζεται, κάτι το οποίο είναι εντελώς αναμενόμενο. Επιπλέον, φαίνεται ότι μεγάλες αλλαγές στα αποτελέσματα προϋποθέτουν και μεγάλες αλλαγές στο όριο της φωτεινότητας. Να σημειωθεί εδώ ότι εάν η εικόνα του χρωματικού χάρτη ήταν υψηλότερης ανάλυσης και χρωματικής ακρίβειας, το κάτω μέρος της επιλεγμένης περιοχής θα ήταν μία συνεχόμενη γραμμή και δε θα εμφάνιζε την οδοντωτή μορφή που εμφανίζει τώρα.

Η επόμενη εικόνα είναι παράδειγμα ανάλυσης εικόνας από γραφικά υπολογιστή:



Εικόνα 3.12: Αναγνώριση κόκκινου χρώματος σε εικόνα που δημιουργήθηκε από υπολογιστή.

Αυτή η εικόνα είχε αρχικά τραβηχτεί μέσα από ένα προσομοιωτή οδήγησης. Λόγω του ότι πρόκειται για γραφικά που παρείχθησαν από υπολογιστή, η Χροιά είναι πολύ ξεκάθαρα ορισμένη. Δηλαδή στις περιοχές του κόκκινου, ο λόγος της φωτεινότητας του κόκκινου και των φωτεινοτήτων των άλλων δυο χρωμάτων είναι πάνω από δύο.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι είναι πάρα πολύ εύκολο για τον κώδικα να παράξει αποτέλεσμα. Επίσης ο πολύ ξεκάθαρος διαχωρισμός του κόκκινου από τα άλλα χρώματα δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί πολύ χαμηλό όριο φωτεινότητας. Και γι αυτό το λόγο

παρατηρείται ότι αναγνωρίζονται περιοχές όπου το χρώμα κόκκινο είναι σχετικά αλλοιωμένο, όπως η περιοχή κάτω από τα αεροδυναμικά βοηθήματα στον εμπρός προφυλακτήρα. Φαίνεται επίσης ότι έχει αναγνωρισθεί και το χρώμα κόκκινο που υπάρχει στο τιμόνι.

Επίσης παρατηρείται ότι υπάρχει και κάποιος θόρυβος στην εικόνα. Συγκεκριμένα έχουν αναγνωρισθεί περιοχές εσωτερικά του φανού όπου στην ουσία το χρώμα είναι ελαφρώς κίτρινο. Ο λόγος που δημιουργείται αυτός ο θόρυβος αναλύεται παρακάτω. Να σημειωθεί ότι υψηλότερος Λόγος θα θεράπευε το θόρυβο σε αυτή τη περίπτωση.

3.6.5 Μεθοδολογία επιλογής Λόγου και Φωτεινότητας για δεδομένο περιβάλλον.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι κάποιες αλλαγές στις παραμέτρους της ανίχνευσης του κόκκινου αλλάζουν ελαφρώς τα αποτελέσματα που δίνει ο αλγόριθμος. Γι αυτό το λόγο δημιουργήθηκαν δύο πολύ απλοί κώδικες που εξετάζουν διάφορες τιμές για μία συγκεκριμένη φωτογραφία. Από την εκτύπωση των αποτελεσμάτων μπορεί ο χρήστης εύκολα να εξάγει συμπεράσματα ως προς το εύρος των τιμών που θα δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο περιβάλλον.

Να σημειωθεί εδώ ότι ακόμα και εάν η εύρεση του χρώματος γίνει μέσα σε βίντεο, αρκεί να εκτελεσθεί η παρακάτω διαδικασία σε ένα frame μόνο. Παρ' όλα αυτά, εάν ληφθεί **φωτογραφία** από τη κάμερα, ρυθμιστούν οι παράμετροι και μετά γίνεται ανίχνευση στο **βίντεο**, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα τα αποτελέσματα να μην είναι τα αναμενόμενα.

Η μεθοδολογία θα εξηγηθεί καλύτερα με ένα παράδειγμα. Και επειδή έχει γίνει ήδη ανάλυση μίας εικόνας που παράχθηκε εξ' ολοκλήρου από υπολογιστή, τώρα θα αναλυθεί μία εικόνα από πραγματική κάμερα. Να σημειωθεί ότι στην εικόνα αυτή ο χώρος είναι εσωτερικός αλλά με πολύ καλό φωτισμό και ο φωτογράφος είναι επαγγελματίας. Η φωτογραφία που θα αναλυθεί δίνεται παρακάτω:



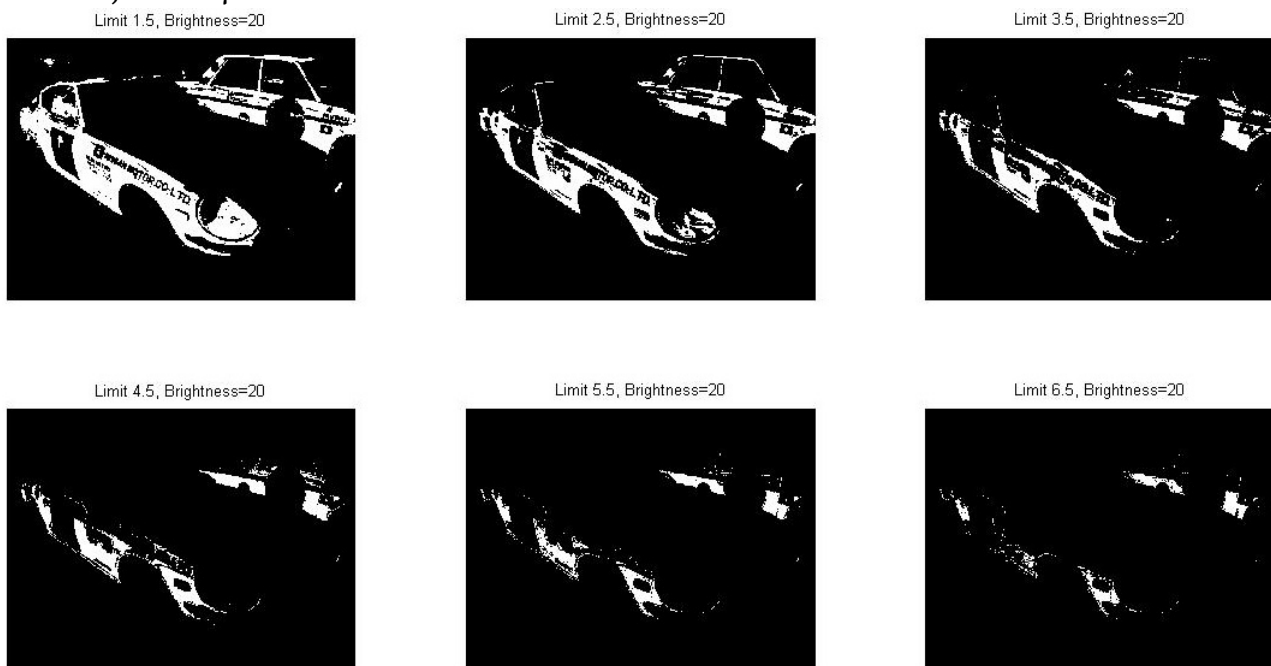
Εικόνα 3.13: Πραγματική φωτογραφία από φωτοευαίσθητο φιλμ. Θα χρησιμοποιηθεί σαν παράδειγμα.

Το αυτοκίνητο της εικόνας είναι ένα Datsun 240Z Gr.2, του οποίου το πλήρωμα αποτελούσαν ο Rauno Aaltonen, γνωστός για τη νίκη του στο Rally Monte Carlo με το μινιμαλιστικό Mini Cooper, ο Jean Todt, νυν πρόεδρος της Διεθνούς Ομοσπονδίας Αυτοκινήτου (F.I.A.) καθώς και ένας από τους Ιάπωνες οδηγούς αγώνων του εργοστασίου του οποίου το όνομα αναγράφεται στα Ιαπωνικά.

Πέρα από το ιστορικό ενδιαφέρον της φωτογραφίας, αποτελεί καλό παράδειγμα για τη λειτουργία του αλγόριθμου καθώς:

- Υπάρχει κόκκινο χρώμα κάτω από ανακλαστικές επιφάνειες
- Υπάρχουν διαφορετικές αποχρώσεις του κόκκινου η μία πάνω στην άλλη.
- Υπάρχουν περιοχές που αντανακλάται κόκκινο πάνω σε άλλα χρώματα και αλλοιώνει ελαφρώς τη Χροιά.
- Οι επιγραφές επάνω στα αυτοκίνητα θα δώσουν μία πάρα πολύ καλή εικόνα της ανίχνευσης από την ποιότητα των ακμών τους.

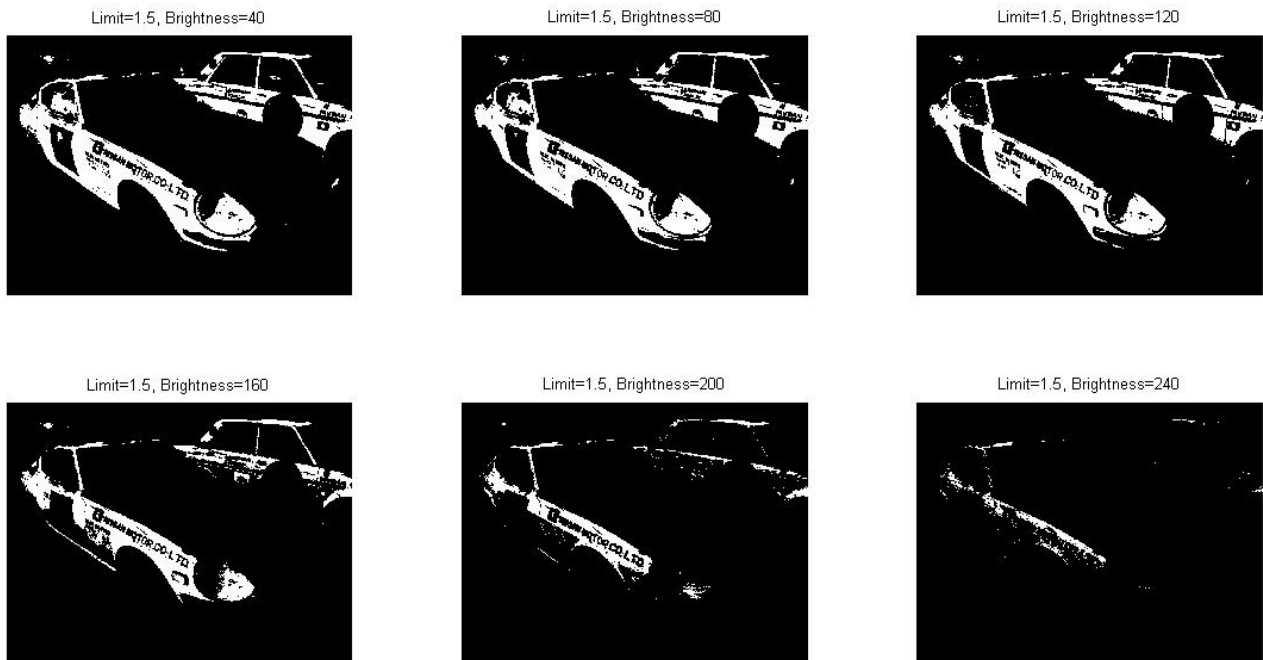
Οι δύο κώδικες που θα χρησιμοποιηθούν για την επιλογή των τιμών, απλώς εκτελούν επαναλαμβανόμενα την ανίχνευση του κόκκινου αυξάνοντας στη μία περίπτωση την τιμή του Λόγου και στην άλλη περίπτωση την τιμή της Φωτεινότητας. Κάθε κώδικας εκτελεί έξι επαναλήψεις και αποδίδει τα αποτελέσματα για οπτική σύγκριση. Πρώτα εκτελείται ο κώδικας του Λόγου:



Εικόνα 3.14: Εξέλιξη της αναγνώρισης από διαδοχικές αυξήσεις στο Λόγο.

Παρατηρείται ότι η καλύτερη ανίχνευση έχει γίνει μεταξύ των λόγων $\lambda=1.5$ και $\lambda=2.5$. Από αυτή την τιμή και πάνω η ανίχνευση δεν περιλαμβάνει πολλές περιοχές του κόκκινου. Μάλιστα, αυτή του 1.5 είναι αυτή που έχει ανιχνεύσει πληρέστερα τις κόκκινες περιοχές αλλά περιλαμβάνει πολύ θόρυβο. Ένα τέτοιο σημείο θορύβου είναι η περιοχή του αριθμού όπου υπάρχει ένα μαύρο "5". Εκεί αντανακλάται φως από ένα άλλο κόκκινο αυτοκίνητο αριστερά από το όριο της φωτογραφίας και προσδίδει μία ελαφριά κιτρινοκόκκινη Χροιά στην περιοχή. Στην εικόνα που ο λόγος ήταν $\lambda=2.5$, αυτό το συγκεκριμένο σημείο έχει λιγότερο θόρυβο αλλά υπάρχει προβληματική αναγνώριση του κόκκινου σε πολλές περιοχές τις εικόνας. Είναι ξεκάθαρο ότι από το $\lambda=2.5$ έχουν ήδη αρχίσει να χάνονται περιοχές κόκκινου στην εικόνα. Άρα η βέλτιστη τιμή είναι πιο κοντά στο $\lambda=1.5$.

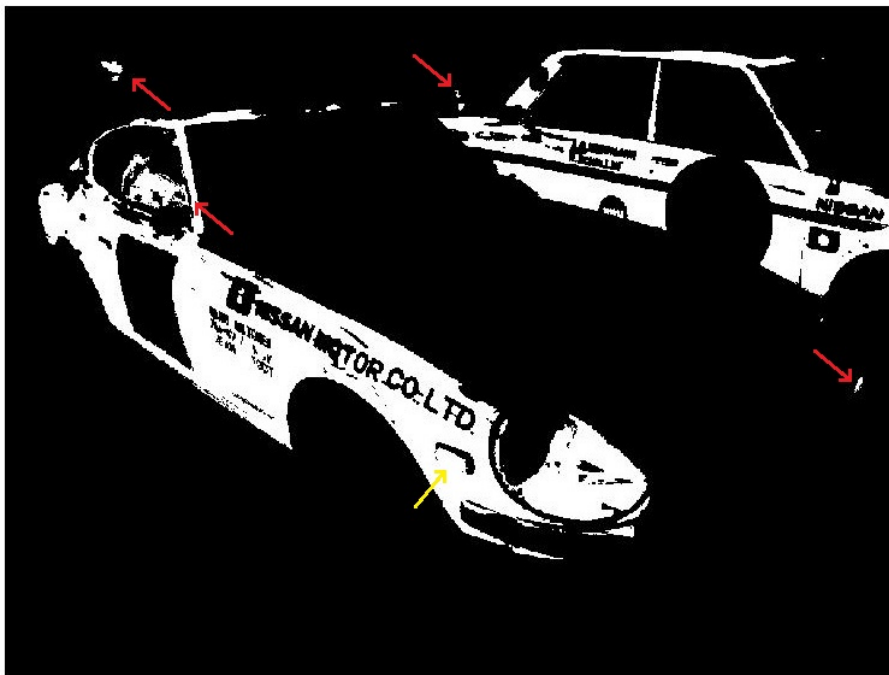
Στη συνέχεια εκτελείται ο κώδικας της φωτεινότητας:



Εικόνα 3.15: Εξέλιξη της αναγνώρισης από διαδοχικές αυξήσεις στη Φωτεινότητα.

Εδώ χρησιμοποιείται σχετικά χαμηλή τιμή του Λόγου ώστε είναι εμφανέστερη η επίδραση της Φωτεινότητας στη μείωση του θορύβου της φωτογραφίας. Εδώ φαίνεται ότι η φωτογραφία που είναι πιο κοντά στη σωστή ανίχνευση είναι αυτή της με *Brightness=80*. Όμως εκεί υπάρχει ακόμα ο θόρυβος που αναφέρεται και στις φωτογραφίες του κώδικα για το Λόγο. Άρα με δεδομένο ότι η καλύτερες ανιχνεύσεις έγιναν:

- Με Λόγο $1.5 \leq \lambda \leq 2.5$, με ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στο 1.5,
- και με Φωτεινότητα $80 \leq \text{Brightness} \leq 120$, και ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στο 80 γίνεται η επιλογή των τιμών $\lambda=1.6$ και *Brightness=95*.



Εικόνα : Σημειώνονται τα σημεία σωστής αναγνώρισης με κόκκινο και λάθος αναγνώρισης με κίτρινο.

3.6.6 Ανάλυση της ανίχνευσης του αλγορίθμου στο παράδειγμα.

Σχολιάζοντας την παραπάνω εικόνα αξίζει να αναφερθούν ότι σε κάποιες περιοχές υπάρχει ακόμα θόρυβος ενώ σε άλλες που φαίνεται να υπάρχει θόρυβος έχει γίνει πολύ σωστή αναγνώριση του κόκκινου χρώματος.

Αρχικά να αναφερθεί ότι το σημείο που δείχνει το κίτρινο βέλος σημειώνει περιοχή όπου έγινε εσφαλμένη αναγνώριση. Εκεί βρίσκεται το ανακλαστικό γυαλί του σηματοδότη, το οποίο λόγω εποχής ήταν μία απόχρωση του πορτοκαλί. Λόγω και της ανακλαστικότητας του, ο αλγόριθμος το αναγνώρισε σαν κόκκινο.

Παρ' όλα αυτά, η ποιότητα των ακμών που αναφέρθηκε παραπάνω είναι πάρα πολύ καλή. Το όνομα της εταιρείας είναι πολύ ξεκάθαρο και ακόμα και τα ονόματα του πληρώματος, ακριβώς πίσω από το θόλο του τροχού, μπορούν να αναγνωρισθούν. Στο δεύτερο αυτοκίνητο έχει γίνει πολύ καλή αναγνώριση γύρω από το σήμα της "SHELL", όπου μάλιστα υπάρχουν δύο αποχρώσεις του κόκκινου.

Το ενδιαφέρον είναι ότι όλα τα κόκκινα βέλη σημειώνουν σημεία όπου φαίνεται ότι υπάρχει θόρυβος, αλλά στην πραγματικότητα είναι έγκυρες αναγνωρίσεις. Το αριστερό βέλος σημειώνει ένα κόκκινο αυτοκίνητο στο βάθος το οποίο είναι εκτός εστίασης της κάμερας. Το δεξί βέλος στην πάνω πλευρά της εικόνας σημειώνει τα πίσω φώτα ενός άλλου αυτοκινήτου.

Η πιο σημαντική περιοχή αναγνώρισης όμως είναι στο παράθυρο του αυτοκινήτου. Εκεί εμφανίζεται στην πραγματικότητα το είδωλο ενός άλλου κόκκινου αυτοκινήτου, λόγω αντανάκλασης. Και ο αλγόριθμος το ανίχνευσε αυτό σωστά. Ένα σημείο που γενικά ήταν πολύ δύσκολο να γίνει σωστή ανίχνευση κόκκινου.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό, ότι ο κώδικας ανιχνεύει το κόκκινο σε μία εικόνα με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Επίσης φαίνεται ότι μπορεί να προσαρμοστεί στις περιβαλλοντικές συνθήκες με μεγάλη ευκολία και ότι ανιχνεύει το κόκκινο ακόμα και σε περιοχές που έχει αλλοιωθεί.

Αξίζει όμως να αναλυθούν οι περιοχές όπου έχει γίνει λάθος αναγνώριση καθώς αυτές δείχνουν τα πραγματικά όρια του αλγορίθμου και αποκαλύπτουν και ως ένα βαθμό το τρόπο λειτουργίας του.

Παρατηρήθηκε ότι περιοχές που μπορεί να γίνουν λάθη και να παρουσιαστεί θόρυβος είναι αυτές που έχουν ελαφρώς κίτρινο χρώμα. Κλασικό παράδειγμα του παραπάνω είναι οι σηματοδότες των αυτοκινήτων και γι αυτό επιλέχθηκαν και τα παραδείγματα που δόθηκαν. Γενικά τα σημεία που έχει γίνει λάθος ανίχνευση με αυτό τον τρόπο παρουσιάζουν χροιά κοντά στο κόκκινο, αλλά διαφορετική από αυτό, υψηλό κορεσμό και χαμηλή φωτεινότητα.

Και στις δύο περιπτώσεις όπου έγινε λάθος, ένας ελαφρώς υψηλότερος Λόγος ως θα διόρθωνε το πρόβλημα. Θα προκαλούσε όμως ελλιπέστερη ανίχνευση σε άλλες περιοχές. Κατά περίπτωση μπορεί να γίνει επιλογή παραμέτρων που λειτουργούν με ικανοποιητικό τρόπο. Το πρόβλημα αυτό, όμως, προκαλείται από τον τρόπο που είναι δομημένος ο αλγόριθμος.

Στην πραγματικότητα δεν είναι μόνο οι περιοχές με ελαφρώς κίτρινο χρώμα που μπορεί να μπερδέψουν τον αλγόριθμο. Μπερδεύεται εξίσου και από αυτές που έχουν ελαφρώς μωβ χρώμα.

Όπως αναφέρεται και παραπάνω στην παράγραφο 3.6.2., βρίσκονται πρώτα οι περιοχές όπου ισχύει $R > \lambda \cdot G$, στη συνέχεια $R > \lambda \cdot B$ και μετά επιλέγονται όλες οι περιοχές όπου ισχύουν οι δύο παραπάνω ανισότητες. Αυτή η μεθοδολογία δεν εξασφαλίζει ότι $G=B$, καθώς σε pixel όπου π.χ. ισχύει ότι $R=1.73 \cdot G$ αλλά $B=0$ καταλήγουν στην ανίχνευση. Αυτό σημαίνει ότι εδώ έχει αλλάξει η χροιά αφού όπως έχει αναφερθεί η χροιά του κόκκινου ορίζει

ότι $R > (\lambda \cdot G = \lambda \cdot B)$, το οποίο στο παράδειγμα δεν ισχύει.




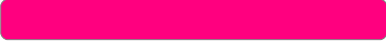

Παρ' όλα αυτά, αυτός ο τρόπος λειτουργίας κρίθηκε απαραίτητος αφού στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν ισχύει το $G=B$ ενώ το χρώμα συνεχίζει να εμφανίζεται κόκκινο. Αφήνοντας το περιθώριο για τις περιπτώσεις όπου δεν ισχύει το $G=B$, αλλά διατηρώντας τον όρο ότι δεν θα ξεπερνάει ούτε το G ούτε το B ένα συγκεκριμένο ποσοστό του κόκκινου, εξασφαλίζεται ότι όλες οι κόκκινες περιοχές θα αναγνωρίζονται.

Μάλιστα σε περιπτώσεις όπου στο περιβάλλον δεν εμφανίζονται τα χρώματα που μπερδεύουν τον αλγόριθμο όπως αναφέρονται παραπάνω, δεν υπάρχει και λόγος για περαιτέρω ενέργειες. Ένας τρόπος για να παρακαμφθεί αυτό το πρόβλημα θα ήταν να υπάρχει και ένας κατώτατος Λόγος παράλληλα με τον ανώτατο ως όρια. Θα μπορούσε, έτσι, να γίνει πάρα πολύ συγκεκριμένη η επιλογή της Χροιάς και του Κορεσμού που επιλέγονται.

Αυτό δεν κρίθηκε απαραίτητο σε αυτή την περίπτωση, για τους παρακάτω λόγους:

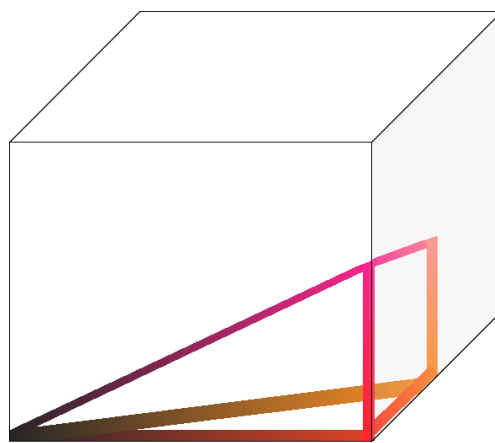
- Η μπάλα που επιλέχθηκε είναι από λεπτό πλαστικό και με έντονο φωτισμό παρουσιάζει χαρακτηριστικά διαφάνειας σε κάποια σημεία της επιφάνειάς του.
- Θα προκαλούσε επιπλέον καθυστέρηση στο χρόνο που απαιτεί ένας κύκλος επεξεργασίας.
- Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές ήταν ικανοποιητικά χωρίς να τεθούν επιπλέον όρια.

Τέλος, για λόγους πληρότητας, παρακάτω σημειώνονται οι ακραίες τιμές που χαρακτηρίζουν την πυραμίδα που αποτελεί το γεωμετρικό τόπο της ανίχνευσης που κάνει ο αλγόριθμος. Για σκοπούς καλύτερης απεικόνισης θα δοθεί τιμή για $\lambda=2$.

Παράμετροι	Χρώμα	Δείγμα
$0^R 0^G 0^B$	Μαύρο	
$255^R 0^G 0^B$	Κόκκινο	
$255^R 127^G 0^B$	Πορτοκαλί	
$255^R 0^G 127^B$	Μωβ	
$255^R 127^G 127^B$	Ροζ	

Να σημειωθεί ότι σε όλα τα χρώματα που αναφέρονται παραπάνω ο κορεσμός είναι 100%, πλην του μαύρου όπου εκεί εξ' ορισμού είναι 0%.

Στην ανίχνευση λοιπόν, στην περίπτωση όπου $\lambda=2$ συμπεριλαμβάνονται όλα τα χρώματα που περικλείονται από το γεωμετρικό σχήμα που ορίζουν τα πέντε σημεία απεικονίζονται παραπάνω.



Εικόνα 3.16: Γεωμετρικό σχήμα που ορίζεται από τα παραπάνω σημεία.

3.7 : Τεχνικές μείωσης του θορύβου στην ανίχνευση.

Αφού γίνει η ανίχνευση του κόκκινου στην εικόνα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποιες τεχνικές μείωσης του θορύβου. Αυτό δεν είναι πάντα απαραίτητο. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια, μπορεί να εξάγονται αποτελέσματα που δίνουν ανίχνευση και καταλήγουν σε ικανοποιητικές εκτιμήσεις της τροχιάς του αντικειμένου στο χώρο.

Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η απαιτούμενη ακρίβεια είναι μεγαλύτερη ή το περιβάλλον προκαλεί προβλήματα αναγνώρισης λόγω της ύπαρξης χρωμάτων κοντά σε αυτό που αναζητείται.

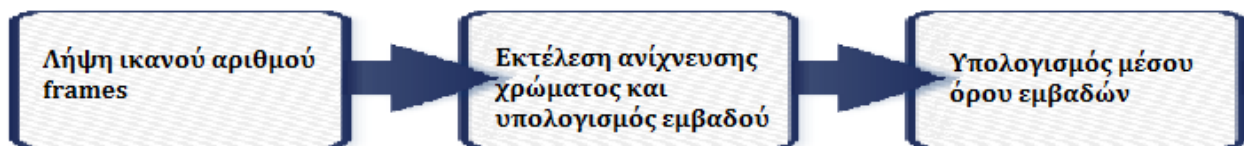
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν τελικά είναι τέσσερις:

- Μείωση του θορύβου αφαιρώντας το μέσο όρο αυτού.
- Κατωφλίωση στο εμβαδόν που μετριέται από την εικόνα.
- Αποθήκευση μόνο του μεγαλύτερου αντικειμένου ανά εικόνα.
- Και γέμισμα οπών στο εσωτερικό σχημάτων.

3.7.1 Μείωση του θορύβου αφαιρώντας το μέσο όρο αυτού.

Αυτή είναι ίσως και η απλούστερη μέθοδος αφαίρεσης θορύβου γενικά στην επεξεργασία σημάτων. Χρησιμοποιείται σε μεγάλο εύρος εφαρμογών, από επεξεργασία ήχου μέχρι και επεξεργασία ηλεκτρικών σημάτων.

Εδώ η διαδικασία είναι σχετικά απλή, όπως περιγράφεται από το επόμενο διάγραμμα:



Εικόνα 3.17: Βήματα για υπολογισμού του μέσου όρου του θορύβου.

Να σημειωθεί εδώ, ότι η παραπάνω μέθοδος εκτελείται πριν από τις ρίψεις, με όσο το δυνατόν λιγότερα κινούμενα αντικείμενα στο οπτικό πεδίο της κάμερας και χωρίς το αντικείμενο που αναγνωρίζεται. Γι αυτό το λόγο έχει δημιουργηθεί ξεχωριστός κώδικας που εκτελεί τη λήψη των frames και τον υπολογισμό του μέσου όρου.

Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις όπου ο θόρυβος οφείλεται στο περιβάλλον στο οποίο γίνεται η μέτρηση.

Αφού υπολογιστεί αυτός ο μέσος όρος, αποθηκεύεται και στις πραγματικές ρίψεις αφαιρείται από το υπολογισμένο εμβαδόν του κάθε frame. Επιπλέον, πρέπει να έχει γίνει η διαδικασία επιλογής του Λόγου και της Φωτεινότητας και η ανίχνευση χρώματος να γίνεται με αυτές τις παραμέτρους.

Μάλιστα, επειδή σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί αυτός ο τρόπος μείωσης του θορύβου, υπάρχει πρόβλεψη στον κώδικα ώστε να μπορεί ο χρήστης να τον ενεργοποιήσει δίνοντας δύο επιπλέον ορίσματα όταν καλεί τον αλγόριθμο:

- "Yes", για την ενεργοποίηση της μεθόδου.
- Την τιμή της μείωσης θορύβου, η οποία ενεργεί στον υπολογισμό του εμβαδόντος.

Η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου μείωσης του θορύβου αυξάνεται όταν συνδυάζεται με την αμέσως επόμενη μέθοδο της κατωφλίωσης του εμβαδόντος. Αυτή εξηγείται στην επόμενη παράγραφο.

Να σημειωθεί όμως ότι, αυτός ο τρόπος μείωσης του θορύβου παρουσιάζει ένα πρόβλημα όταν το αντικείμενο που ανιχνεύεται περάσει μπροστά από την περιοχή του θορύβου. Σε

αυτή την περίπτωση, η αιτία του θορύβου δεν είναι πλέον ορατή, συνεχίζει να υφίσταται όμως η μείωση του υπολογισμένου εμβαδού και το αποτέλεσμα είναι να υπολογίζεται μεγαλύτερη απόσταση του αντικειμένου από την πραγματική γι αυτά τα frames.

3.7.2 Κατωφλίωση στο εμβαδόν που μετρείται από την εικόνα.

Ένας δεύτερος τρόπος αφαίρεσης του θορύβου είναι η κατωφλίωση των εμβαδών που υπολογίζονται. Σε αυτή την περίπτωση, όταν το εμβαδόν είναι κάτω από μία τιμή που ορίζεται όταν καλείται ο αλγόριθμος, τότε η τιμή που αποθηκεύεται για το εμβαδόν είναι 0.

Αργότερα στον αλγόριθμο, όταν γίνεται η εκτίμηση της τροχιάς του αντικειμένου, βρίσκονται οι θέσεις των θετικών, μη μηδενικών στοιχείων των θέσεων X,Y,Z χώρο. Η εκτίμηση γίνεται μόνο βάσει των στοιχείων που είναι σε αυτές τις θέσεις.

Οι θέσεις των μηδενικών στοιχείων X,Y,Z είναι οι θέσεις όπου μηδενίστηκε το εμβαδόν. Αυτό λειτουργεί ως εξής:

Για $Area=0 \Rightarrow RedDots(Διάμετρος), RedDistance(Απόσταση)=0$, αφού αν $Area=0$ τερματίζεται ο βρόγχος και παραμένει η προεπιλεγμένη τιμή=0.

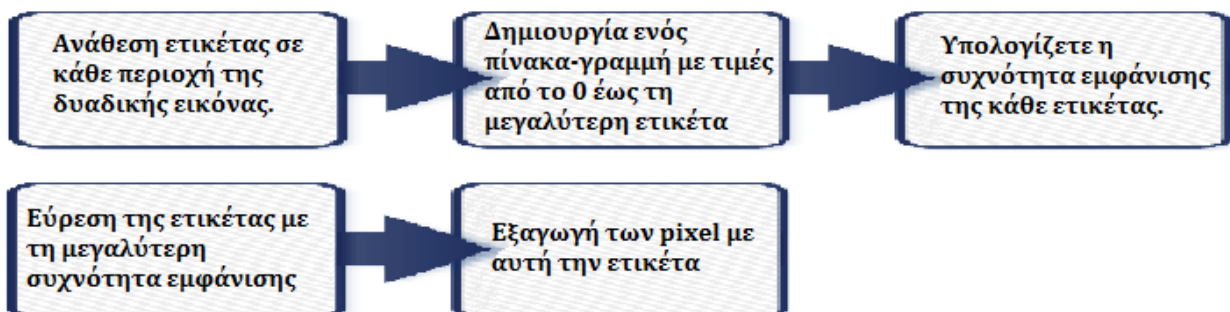
Εφόσον η απόσταση από το εστιακό σημείο είναι 0, και το εστιακό σημείο είναι στο σημείο XYZ (0,0,0) τότε οι συντεταγμένες που αποθηκεύονται είναι (0,0,0). Έτσι ο πίνακας των θέσεων που δημιουργείται είναι ένας πίνακας διαστάσεων $n \times 3$, στον οποίο πίνακα υπάρχουν κάποιες γραμμές με την τριάδα τιμών [0 0 0]. Έτσι είναι εύκολο, και εξαιρετικά αποδοτικό χρονικά, να αναγνωρισθούν αυτές οι γραμμές στον πίνακα και να αποθηκευτεί η διεύθυνση τους. Έτσι όταν δωθούν οι θέσεις στον αλγόριθμο που κάνει τον υπολογισμό της τροχιάς, μπορούν να δωθούν με τη μορφή ενός πίνακα στον οποίο έχουν αφαιρεθεί αυτές οι συγκεκριμένες γραμμές. Ο νέος πίνακας θα έχει διαστάσεις $(n-k) \times 3$, όπου:

$k = \text{ο αριθμός των frame στα οποία μηδενίστηκε το εμβαδόν.}$

3.7.3 Αποθήκευση μόνο του μεγαλύτερου αντικειμένου ανά εικόνα.

Αυτός ο τρίτος τρόπος μείωσης του θορύβου βασίζεται στην παραδοχή ότι, με σωστή ρύθμιση των παραμέτρων της ανίχνευσης, ο θόρυβος περιορίζεται σε μεμονωμένα pixel ή έστω μικρές συγκεντρώσεις pixel.

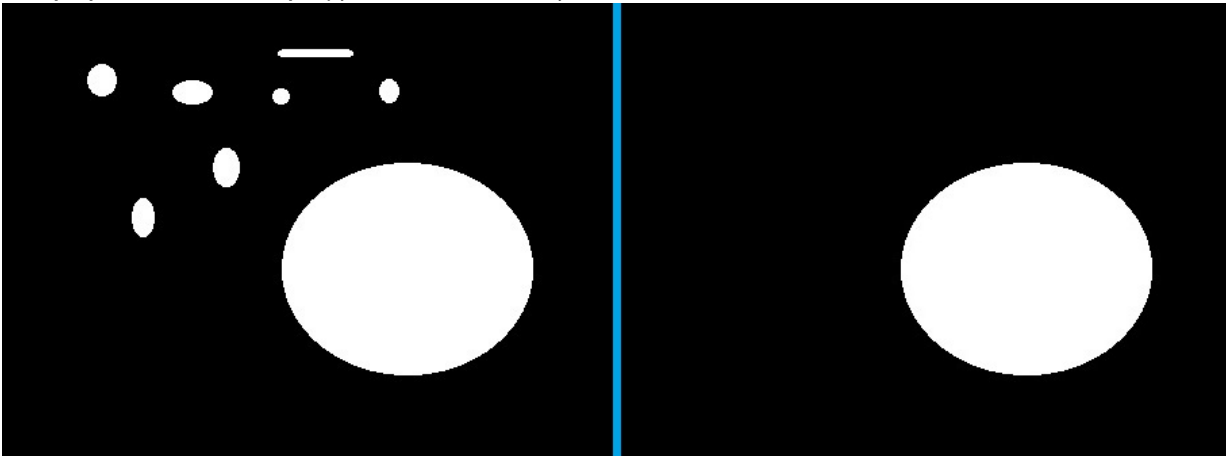
Σε αυτή την περίπτωση το συνεχές σώμα του αντικειμένου θα δημιουργεί μία πολύ μεγαλύτερη μεμονωμένη επιφάνεια από τις επιφάνειες των pixel του θορύβου. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αποδοθεί το σχήμα που αναγνωρίζεται ακόμα και σε περιπτώσεις που υπάρχει σημαντικός θόρυβος, αρκεί σαν θόρυβος να μην εμφανίζεται ένα μεγάλο αντικείμενο, ένα σταθερό περίγραμμα, κτλ. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:



Εικόνα 3.18: Βήματα για την αναγνώριση και εξαγωγή του μεγαλύτερου αντικειμένου από μία δυαδική εικόνα.

Για να λειτουργήσει σωστά αυτός ο αλγόριθμος πρέπει το pixel στη θέση (1,1), δηλαδή το τέρμα επάνω αριστερά pixel της εικόνας, να είναι μηδέν. Δηλαδή να ανήκει στο φόντο της εικόνας. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα λειτουργίας του αλγόριθμου.

Το όνομα του αλγόριθμου αυτού είναι `extract_largest_object2` και βρίσκεται μέσα στους βοηθητικούς κώδικες της εργασίας. Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι σε περιπτώσεις που υπάρχει πάρα πολύ θόρυβος, υπάρχει κίνδυνος να επιλεγεί μέρος του θορύβου αντί του πραγματικού αντικειμένου.



Εικόνα 3.19: Παράδειγμα εφαρμογής του κώδικα `extract_largest_object2`.

Επιπλέον, όταν το αντικείμενο φύγει πλέον από την εικόνα, επιλέγονται πάντα κομμάτια του θορύβου, όσο μικρά κι αν είναι αυτά. Αυτός είναι και ο λόγος που δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος χωρίς προηγουμένως να έχει εκτελεστεί αυτή της κατωφλίωσης.

3.7.4 Γέμισμα οπών στο εσωτερικό σχημάτων.

Εδώ χρησιμοποιείται η προϋπάρχουσα συνάρτηση `imfill` της Matlab για να γεμίσει τις οπές που προκύπτουν στο εσωτερικό ενός σχήματος κατά την ανίχνευση.

Αυτό δεν είναι τόσο πρόβλημα θορύβου αλλά μάλλον ελλιπής ανίχνευσης. Παρ' όλα αυτά, βοηθάει στην επίλυση ενός πολύ κοινού προβλήματος της ανίχνευσης το οποίο είναι το εξής:

Όταν το αντικείμενο που αναγνωρίζεται έχει επιφάνειες πολύ έντονα ανακλαστικές υπάρχει περίπτωση οι λάμπες του φωτισμού να ανακλαστούν σε αυτές και να φωτίσουν απ' ευθείας την κάμερα. Σε αυτή την περίπτωση, εμφανίζεται ένα μέρος του αντικείμενο ως λευκό και προφανώς απορρίπτεται από τον αλγόριθμο. Στην δυαδική εικόνα αυτό απεικονίζεται ως ένα άσπρο σχήμα με μαύρες οπές.

Με τον τρόπο που υπολογίζεται η διάμετρος όμως, διαφορά στο φαινόμενο εμβαδόν από το πραγματικό μπορεί να προκαλέσει ανακρίβειες. Αυτές οι ανακρίβειες μπορούν να προληφθούν με τη χρήση αυτής της συνάρτησης. Υπάρχει όμως και κίνδυνος να αλλοίωσης αποτελεσμάτων. Γι αυτό συνιστάται η χρήση της μόνο στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Όταν το φαινόμενο της αντανάκλασης παρατηρείται σε όλα, ή τουλάχιστον τα περισσότερα, frames κατά τη ρίψη.
- Έχει χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση `imfill` κατά τον υπολογισμό της μεταβλητής `PixDist`, δηλαδή του φαινόμενου μεγέθους αναφοράς.

Σε άλλες περιπτώσεις θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση της εκτός εάν ο χρήστης μπορεί να εκτιμήσει ότι θα έχει θετικά αποτελέσματα.

Επιπλέον, συνιστάται η χρήση της μόνο όταν είναι ενεργοποιημένες και οι μέθοδοι:

- Της κατωφλίωσης (3.7.2)
- Και της αποθήκευσης μόνο του μεγαλύτερου αντικειμένου ανά εικόνα (3.7.3)

Σε διαφορετική περίπτωση υπάρχει κίνδυνος να αυξηθεί σημαντικά ο θόρυβος.

3.7.5 Προβλήματα που παραμένουν κατά την αναγνώριση.

Ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται οι τεχνικές μείωσης του θορύβου, υπάρχουν κάποια προβλήματα που παραμένουν. Αυτά προφανώς οφείλονται σε περιπτώσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν ή που δεν εμφανίζονται με προβλέψιμο τρόπο.

Το βασικότερο πρόβλημα που προκύπτει εδώ είναι αυτό της αλλοίωσης του σχήματος του αντικείμενου λόγω της ταχύτητας του (motion blur). Ως γνωστό, η εικόνα που λαμβάνει μία κάμερα δεν απεικονίζει μία μόνο χρονική στιγμή στο χρόνο. Αντίθετα, αυτό που φαίνεται στην εικόνα είναι η σκηνή που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια της έκθεσης, του φιλμ ή των αισθητήρων της κάμερας, στο φως που εκπέμπεται από τα αντικείμενα της σκηνής αυτής.

Λόγω των παραπάνω, το κόκκινο ίχνος στην εικόνα που λαμβάνεται πολλές φορές περνάει από τον έλεγχο του αλγόριθμου και καταλήγει στην τελική εικόνα. Αυτό προκαλεί την ανίχνευση ενός σχήματος που δεν είναι κυκλικό αλλά μοιάζει περισσότερο με μία έλλειψη. Αυτό κάνει τον αλγόριθμο να αναγνωρίζει μεγαλύτερο σχήμα από το κανονικό και να φαίνεται στο αποτέλεσμα ότι το αντικείμενο είναι πιο κοντά στην κάμερα απ' ότι είναι στη πραγματικότητα. Επιπλέον, λόγω της μεθόδου που βρίσκει το κέντρο της μπάλας στην οθόνη, από αυτή την αλλοίωση επηρεάζεται και η εκτίμηση της ευθείας μεταξύ της κάμερας και της μπάλας, άρα και της τελικής θέσης της μπάλας στο χώρο. Επιπλέον να σημειωθεί ότι η αλλοίωση λόγω της κίνησης (motion blur) εξαρτάται από την ταχύτητα της προβολής της μπάλας στο επίπεδο της εικόνας. Αυτό σημαίνει ότι επηρεάζεται και από τη γωνία του επιπέδου της τροχιάς με το επίπεδο της κάμερας. Και πιο συγκεκριμένα τη γωνία του διανύσματος της ταχύτητας της μπάλας με το διάνυσμα του επιπέδου της κάμερας. Σαν αναφορά να σημειωθεί ότι το δεύτερο διάνυσμα βρίσκεται πάνω στον άξονα Y του καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων της κάμερας, όπως αυτό ορίστηκε. Ένα άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται αλλά δεν επηρεάζει μεγάλο αριθμό frame είναι το εξής:

Σε κάποια frame η αντανάκλαση που προκαλείται από τις λάμπες φωτισμού γίνεται κοντά στο περίγραμμα της μπάλας. Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση, και δω προκαλεί μια περιοχή που εμφανίζεται άσπρη και απορρίπτεται από τον αλγόριθμο.

Όταν όμως η περιοχή αυτή περιλαμβάνει και ένα μέρος από το περίγραμμα της μπάλας τότε η οπή που θα εμφανιστεί στη δυαδική εικόνα δεν είναι πλέον εσωτερικά του σχήματος. Άρα ο αλγόριθμος δε θα την αναγνωρίσει και στην εικόνα θα εμφανίζεται ένα σχήμα κυκλικό από το οποίο έχουν αφαιρεθεί μικρότεροι κύκλοι από τη περιφέρεια του. Αυτό τυπικά συμβαίνει στη πάνω πλευρά του κύκλου αφού οι λάμπες είναι πάνω από τη μπάλα σε όλα τα σημεία της τροχιάς της. Παρακάτω δίνεται μία εικόνα όπου φαίνονται δύο περιπτώσεις, μία που θα αναγνωρίσει ο αλγόριθμος και θα διορθώσει, και μία που θα περάσει στην αναγνώριση.



Εικόνα 3.20: Παράδειγμα ελλiptής διόρθωσης της εικόνας.

Και εδώ μπορεί να επηρεαστούν οι εκτιμήσεις θέσεις και απόστασης.

Κεφάλαιο 4: Υπολογισμός της θέσης στο χώρο και εκτίμηση της βαλλιστικής τροχιάς με μία μόνο κάμερα.

Σε αυτή την εργασία έχει αναπτυχθεί ένας αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει τη θέση του αντικειμένου σε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων χρησιμοποιώντας μία μόνο κάμερα.

Για να επιτευχθεί αυτό έπρεπε να είναι δυνατός ο υπολογισμός και της απόστασης του αντικειμένου από την κάμερα. Το πως επιτυγχάνεται αυτό γενικά στη βιβλιογραφία και πως θα επιτευχθεί αυτό σε αυτή την εργασία αναλύεται παρακάτω.

4.1 :Επιλογή της μεθόδου εκτίμησης της απόστασης

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές περιπτώσεις όπου υπολογίζεται η απόσταση ενός αντικειμένου από την κάμερα χρησιμοποιώντας αλγορίθμους στερεοσκοπίας. Αυτός είναι και ο πλέον διαδεδομένος τρόπος αφού υπολογίζει την απόσταση με πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η στερεοσκοπία βασίζεται στην ίδια αρχή στην οποία βασίζεται και ο βιολογικός εγκέφαλος, τόσο των ανθρώπων όσο και των υπόλοιπων ζώων. Δηλαδή στη διαφορά μεταξύ δύο εικόνων οι οποίες ελήφθησαν από κάμερες με μία συγκεκριμένη και γνωστή απόσταση μεταξύ τους. Δύο εικόνες οι οποίες έχουν ληφθεί με αυτό τον τρόπο θα έχουν μια μικρή διαφορά μεταξύ τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η κάθε κάμερα κοιτάζει το αντικείμενο από ελαφρώς διαφορετική οπτική γωνία.

4.1.1 Στερεοσκοπία με δύο κάμερες

Στην περίπτωση του βιολογικού εγκέφαλου, αυτός μπορεί να εκτιμήσει την απόσταση του αντικειμένου από τα μάτια, και κατ' επέκταση και από το ίδιο το ζώο βασιζόμενο στην διαφορά των δύο εικόνων.



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα εικόνων που λήφθηκαν από δύο διαφορετικές κάμερες με σκοπό την εφαρμογή των μεθόδων της στερεοσκοπίας.

Μπορεί όμως να γίνει και κάτι αντίστοιχο με αλγορίθμους μηχανικής όρασης υπερθέτοντας τις δύο εικόνες και μετρώντας την απόσταση που φαίνεται να έχει μετατοπιστεί το κάθε αντικείμενο. Με γνωστή αυτή τη μετατόπιση και την απόσταση μεταξύ των δύο καμερών μπορεί να υπολογισθεί και η απόσταση του αντικειμένου από την ευθεία που διέρχεται από το εστιακό σημείο της κάθε κάμερας.

Ο τρόπος του υπολογισμού είναι αυτός που αναφέρεται στην παράγραφο 1.7.

4.1.2 Στερεοσκοπία με μία κινούμενη κάμερα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η στερεοσκοπία χρειάζεται δύο κάμερες. Αυτό όμως δεν είναι απαραίτητο. Υπάρχει μία άλλη μεθοδολογία η οποία βασίζεται στις εξισώσεις της στερεοσκοπίας. Σε αυτή την περίπτωση, λαμβάνονται πολλαπλές εικόνες από την ίδια κάμερα αλλά σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Στο χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο λήψεων η κάμερα έχει μετακινηθεί κατά μία γνωστή απόσταση. Από αυτή τη μετακίνηση προκύπτει και η διαφορετική οπτική γωνία της κάθε εικόνας που κάνει δυνατή τη στερεοσκοπία.²

Αυτή η τελευταία μέθοδος οφείλει και αυτή την ύπαρξη της στο ζωικό βασίλειο. Είναι ένας από τους τρόπους που αντιλαμβάνονται την απόσταση άνθρωποι και ζώα με διόφθαλμη όραση, όταν χάσουν τον ένα οφθαλμό τους. Ακολουθεί ακριβώς την ίδια αρχή με τη στερεοσκοπία με δύο κάμερες, με τη διαφορά ότι εδώ οι δύο εικόνες δεν είναι σύγχρονες αλλά ετεροχρονισμένες.

Να σημειωθεί εδώ, ότι εξελίξεις αυτής της μεθόδου χρησιμοποιούνται σήμερα σε εφαρμογές σε υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα για τρισδιάστατη σάρωση αντικειμένων³. Εδώ χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι τύπου SIFT για την εύρεση των αντικειμένων στο χώρο, τον υπολογισμό της στάσης τους στο χώρο και την κλίμακα τους σε σχέση με την πρώτη φωτογραφία. Η τελικές διαστάσεις δίνονται αργότερα μέσα στο πρόγραμμα τελικής επεξεργασίας του τρισδιάστατου πλέγματος.

4.1.3 Μειονεκτήματα των δύο μεθόδων στερεοσκοπίας.

Και οι δύο μέθοδοι που αναλύθηκαν παραπάνω έχουν πολύ σοβαρά μειονεκτήματα όμως.

2 [2] [3D monocular robotic ball catching](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001176): <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001176>

3 [3] [Autodesk 123D](http://www.123dapp.com/) <http://www.123dapp.com/>

Στην περίπτωση της στερεοσκοπίας με δύο κάμερες, υπάρχει το βασικό μειονέκτημα της πολυπλοκότητας του εξοπλισμού καθώς πρέπει να υπάρχει υποστηρικτικός εξοπλισμός για δύο κάμερες, και πρέπει να υπάρχει αρκετή υπολογιστική ισχύ για την επεξεργασία δύο εικόνων ανά frame. Άσχετα με την επιλογή της μεθόδου αναγνώρισης και μέτρησης του αντικειμένου.

Στην περίπτωση όμως κινούμενου αντικειμένου, προκύπτει και ένα δεύτερο μειονέκτημα. Το μειονέκτημα ότι οι κάμερες θεωρούνται συγχρονισμένες, και οι εικόνες θεωρούνται ότι λήφθηκαν την ίδια στιγμή. Στην πραγματικότητα αυτό είναι αδύνατο και είναι σίγουρο ότι θα υπάρχει μία μικρή χρονική διαφορά ανάμεσα στις εικόνες. Επιπλέον, αυτή η χρονική διαφορά είναι πάρα πολύ δύσκολο να υπολογισθεί, καθώς η σημασία της ακρίβειας σε αυτό τον υπολογισμό αυξάνει με την ταχύτητα του αντικειμένου που ανιχνεύεται.

Αυτή η χρονική διαφορά αλλοιώνει τη μέτρηση αφού η διαφορά στην θέση του αντικειμένου, σε κάθε εικόνα, δεν εξαρτάται μόνο από την απόσταση μεταξύ των καμερών, αλλά και από τη χρονική καθυστέρηση και την ταχύτητα του αντικειμένου. Όταν τα παραπάνω είναι γνωστά, τότε μπορεί να υπολογιστεί αυτή η διαφορά και να αντισταθμιστεί. Στην περίπτωση όμως αυτής της εργασίας, πρέπει το σύστημα να μπορεί να αντιδράσει σε οποιαδήποτε ρίψη γίνει μέσα στο οπτικό πεδίο της κάμερας του, άσχετα από την ταχύτητα του αντικειμένου.

Αντίστοιχο πρόβλημα παρουσιάζεται και με τη δεύτερη μέθοδο. Εδώ οι δύο εικόνες λαμβάνονται εξ' ορισμού σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Εδώ, βέβαια, η χρονική καθυστέρηση είναι γνωστή. Οπότε σε περιπτώσεις όπου η ταχύτητα του αντικειμένου είναι γνωστή μπορεί να γίνει υπολογισμός και αντιστάθμιση.

4.2 : Υπολογισμός του βάθους με μία μόνο κάμερα.

Αναφέρθηκε όμως ότι η μέθοδος της μίας κάμερας που κινείται είναι ένας από τους τρόπους που τα διοφθαλμικά ζώα αντιλαμβάνονται το βάθος, όταν χάνουν τη χρήση του ενός οφθαλμού. Ένας άλλος τρόπος, όμως, παρουσιάζει μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Ο Dr. Gunter von Noorden αναφέρει χαρακτηριστικά ότι:

- *“Η φύση των μη-στερεοσκοπικών στοιχείων (για το βάθος) είναι εμπειρική και έχει νόημα μόνο όταν μπορεί να συσχετιστεί με παλαιότερες εμπειρίες.”*

Και η πλέον χρήσιμη εμπειρία σε αυτή την περίπτωση είναι η γνώση του μεγέθους του αντικειμένου. Ένας άνθρωπος που έχει χάσει το ένα μάτι, συνεχίζει να είναι ικανός να πιάσει το ποτήρι του από το τραπέζι και να πιει νερό. Για να πιάσει το ποτήρι του όμως πρέπει να τοποθετήσει το χέρι του στη σωστή θέση.

Αυτό καθίσταται δυνατό χάρη στην προοπτική και το βασικό φαινόμενο της προοπτικής που υπαγορεύει ότι όσο μακρύτερα είναι ένα αντικείμενο τόσο μικρότερο εμφανίζεται. Η απόδειξη αυτού έγινε στην παράγραφο 3.3. Άρα ο άνθρωπος μπορεί να πιάσει το ποτήρι διότι γνωρίζει το μέγεθος του ποτηριού και συγκρίνοντας το με το μέγεθος που τώρα αντιλαμβάνεται κοιτάζοντας το, μπορεί να εκτιμήσει την απόσταση μέχρι αυτό⁴.

Αυτή είναι και η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί στην εργασία τελικά. Από όσα αναφέρθηκαν όμως, προκύπτει ότι πρέπει να γίνει μία μέτρηση με συγκεκριμένο τρόπο ώστε να γνωρίζει ο αλγόριθμος το μέγεθος που θα μπορεί να συγκρίνει κάθε φορά και να υπολογίζει την απόσταση. Άρα η πρώτη ενέργεια που πρέπει να γίνει είναι να αποτυπωθεί το μέγεθος που θα χρησιμεύει για τη σύγκριση και την εφαρμογή της προοπτικής εξίσωσης.

4 [4] Gunter von Noorden - Binocular Vision and Ocular Motility – Chapter 2 Binocular Vision and Space Perception, Paragraph - Monocular (Nonstereoscopic) Clues to Spatial Orientation

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, έγινε επιλογή του σφαιρικού σχήματος διότι διευκολύνει την διαδικασία υπολογισμού του μεγέθους αυτού. Και αυτό διότι σε όποια κατεύθυνση και να μετρηθεί η μέγιστη διάσταση του, η μέτρηση θα αντιστοιχεί στην διάμετρο. Αυτό απλοποιεί πάρα πολύ τη διαδικασία υπολογισμού του μεγέθους και επιπλέον κάνει τον αλγόριθμο πιο γρήγορο, κάτι το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό αφού όσο περισσότερα δείγματα λαμβάνονται το δευτερόλεπτο, τόσο ακριβέστερη είναι και η εκτίμηση για το σημείο πρόσκρουσης στο οποίο πρέπει να μετακινηθεί ο βραχίονας.

4.2.1 Αποθήκευση του μεγέθους αναφοράς και εύρεση της απόστασης.

Για την αποθήκευση του μεγέθους αναφοράς έχει επιλεγθεί να τοποθετείται το αντικείμενο σε απόσταση 1m από την κάμερα. Η ακρίβεια της μέτρησης εδώ είναι πάρα πολύ σημαντική, καθώς οποιοδήποτε σφάλμα μέτρησης εδώ θα μεταφερθεί σε όλο τον αλγόριθμο και τελικά και στην τελική πρόβλεψη. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η τοποθέτηση της κάμερας σε ένα τραπέζι, στερεωμένη στην άκρη του τραπεζιού. Στη συνέχεια με μία μετρητική ταινία υπολογίζεται απόσταση ενός μέτρου με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται. Η απόσταση θεωρητικά θα πρέπει να ξεκινάει από το σημείο εστίασης της κάμερα και όχι από την άκρη της συσκευής, οπότε αυτό προσεγγίζεται με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Στη συνέχεια στο σημείο το οποίο απέχει ένα μέτρο από την κάμερα τοποθετείται μία ροδέλα, σχετικά μεγάλου πάχους, κατά προτίμηση γύρω στα 2mm. Ο εσωτερικός κύκλος θα βοηθήσει στον περιορισμό της σφαίρας στη απαιτούμενη θέση. Επιπλέον το μεταλλικό γκρι χρώμα της ροδέλας δεν ανιχνεύεται από τον αλγόριθμο και δεν προκαλεί ανακρίβεια στην αναγνώριση του αντικειμένου.

Αφού γίνει η τοποθέτηση, λαμβάνεται μία φωτογραφία και σε αυτή τη φωτογραφία εφαρμόζεται ο αλγόριθμος που αναφέρεται παραπάνω, στην παράγραφο 3.6.2. Το αποτέλεσμα που θα δώσει είναι ένας πίνακας δυαδικού τύπου όπου κάθε στοιχείο του πίνακα αντιστοιχεί σε ένα Pixel της εικόνας. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να έχουν την τιμή 1 ή 0. Έτσι διαχωρίζεται εάν το χρώμα στο pixel που αντιστοιχεί το στοιχείο, ήταν μέσα στην χρωματική πυραμίδα που θεωρεί ο αλγόριθμος ικανοποιητική προσέγγιση στο κόκκινο χρώμα.

Στη συνέχεια εκτελείται ο ίδιος κώδικας που χρησιμοποιείται και κατά τις ρίψεις για τον υπολογισμό του μεγέθους. Εδώ εκτελούνται δύο πολύ απλά βήματα:



Εικόνα 4.2: Βήματα για τον υπολογισμό του φαινόμενου μεγέθους.

Στο πρώτο βήμα, καταμετρούνται τα pixel όπου έχει αναγνωρισθεί κόκκινο χρώμα καθώς τα στοιχεία που αντιστοιχούν στα υπόλοιπα δεν προσφέρουν κάτι στο άθροισμα. Υπολογίζεται έτσι το εμβαδόν και αποθηκεύεται στη μεταβλητή "Area". Να σημειωθεί εδώ ότι η μονάδα μέτρησης του εμβαδού εδώ είναι τα pixel².

Στη συνέχεια λύνεται ο τύπος του εμβαδού ως προς τη διάμετρο "PixDist" και υπολογίζεται η διάμετρος του αντικειμένου με βάση το εμβαδόν που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα. Αυτή είναι και η μεταβλητή στην οποία αποθηκεύεται η πληροφορία για το μέγεθος του αντικειμένου στην απόσταση αναφοράς. Εδώ η μονάδα μέτρησης στην οποία εκφράζεται η διάμετρος είναι τα pixel. Από τα παραπάνω έχει υπολογιστεί η διάμετρος που έχει η μπάλα στην εικόνα όταν έχει απόσταση από την κάμερα 1m.

Ανατρέχοντας στη Σχέση B από την παράγραφο 3.3, γνωρίζουμε ότι το φαινόμενο μέγεθος μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα από την απόσταση. Άρα υπολογίζοντας το λόγο του μεγέθους σε pixel σε κάθε εικόνα προς το μέγεθος $PixDist$, μπορεί να υπολογισθεί η μεταβολή της απόστασης. Συγκεκριμένα, λύνοντας τη Σχέση B ως προς D έχουμε:

$$h = \frac{r}{D} \cdot ConvD \Rightarrow D = \frac{ConvD}{h} \cdot r$$

Διαιρώντας κατά μέλη για κάθε εικόνα έχουμε ότι:

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{\frac{ConvD}{h_2} \cdot r}{\frac{ConvD}{h_1} \cdot r} \Rightarrow \text{Απλοποιώντας και αφού } D_1=1 \Rightarrow D_2 = \frac{h_1}{h_2} \quad (\text{Σχέση 7})$$

Υπολογίζοντας τη Σχέση 6 για κάθε frame μπορεί με ακρίβεια να υπολογιστεί η απόσταση του αντικειμένου. Το D_2 είναι η απόσταση μεταξύ του κέντρου του αντικειμένου, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.5.3, και του εστιακού σημείου της κάμερας. Να σημειωθεί, ότι αυτή δεν εκφράζει την απόσταση των παράλληλων επιπέδων που βρίσκεται η μπάλα και η κάμερα. Τέλος, αποθηκεύεται στη μεταβλητή “RedDistance”.

Να αναφερθεί επίσης, ότι στις δύο περιπτώσεις υπολογισμού του εμβαδού και της διαμέτρου ο ορισμός της μονάδας μέτρησης είναι καταχρηστικός καθώς το pixel, ούτως ή άλλως εκφράζει ένα τετράγωνο. Παρ’ όλα αυτά, έχει νόημα η χρήση που αναφέρεται παραπάνω αφού το μικρότερο αντικείμενο που μπορεί να απεικονιστεί είναι ένα pixel το οποίο σημαίνει, εκ παραδρομής, ότι εδώ το pixel παίζει και το ρόλο του γεωμετρικού σημείου. Έτσι, όταν αναφέρεται μήκος σε pixel, αναφέρεται στην ουσία το μήκος της μίας πλευράς του pixel. Αυτή η σύμβαση είναι πάρα πολύ σημαντική καθώς για την εύρεση των συντεταγμένων στο χώρο θα γίνει αναγωγή του ενός μέτρου σε pixel, βάσει της γνωστής διαμέτρου της μπάλας.

Επιπλέον οι πράξεις με τέτοιου είδους πίνακες, τύπου *logical* όπως ονομάζονται στη Matlab, μπορούν να εκτελεστούν με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό βοηθάει τον αλγόριθμο να εκτελείται ακόμα πιο γρήγορα και είναι άλλο ένα πλεονέκτημα της απλής αναγνώρισης χρώματος υπέρ της μεθόδου SIFT, ο οποίος θα εκτελούνταν σε μία εικόνα έγχρωμη κατά RGB ή HSV. Άρα με την αποθήκευση των μεγεθών σε αριθμό pixel και την εκτέλεση όλων των πράξεων σε πίνακες τύπου *logical* επιταχύνεται η διαδικασία της επεξεργασίας και ανίχνευσης.

4.3 :Ορισμός συστήματος συντεταγμένων και υπολογισμός της θέσης στο χώρο.

Για τον υπολογισμό της θέσης του αντικειμένου στο χώρο δεν χρειάζεται επιπλέον πληροφορία πέρα από την εικόνα και την απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα. Πριν από τον υπολογισμό της θέσης όμως πρέπει να ορισθεί το σύστημα συντεταγμένων στο οποίο θα απεικονισθεί η θέση αυτή. Για την ακρίβεια μάλιστα πρέπει να ορισθούν δύο διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων για την κάμερα:

- Ένα σύστημα Σφαιρικών συντεταγμένων με κέντρο το εστιακό σημείο της κάμερας,
- Και ένα σύστημα Καρτεσιανών συντεταγμένων με κέντρο το εστιακό σημείο της κάμερας.

4.3.1 Ορισμός σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων και θέση του αντικειμένου.

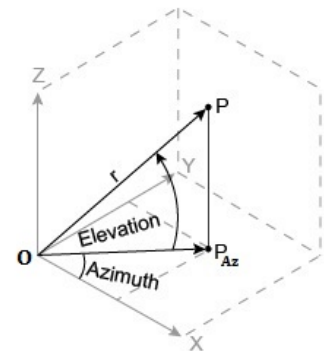
Ο ορισμός ενός τρισδιάστατου σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων δίνει τη δυνατότητα

για την εύρεση της ευθείας που ορίζεται από το εστιακό σημείο της κάμερας και το κέντρο του αντικειμένου. Αυτή η ευθεία απαιτεί να ορισθούν μόνο οι δύο γωνίες του συστήματος:

- Το αζιμούθιο⁵
- και η ανύψωση.

Αναφορικά να σημειωθεί ότι εδώ θεωρείται μία κατεύθυνση προς την οποία και οι δύο γωνίες είναι μηδέν.

- Το αζιμούθιο (Azimuth) είναι η γωνία που ορίζει η ευθεία που ψάχνουμε με το διάνυσμα το επίπεδο της εικόνας της κάμερας, καθώς αυτή περιστρέφεται γύρω από τον κάθετο άξονα (Z) του επιπέδου προβολής της εικόνας.
- Η γωνία ανύψωσης (Elevation) προφανώς είναι η γωνία που σχηματίζεται καθώς η ευθεία περιστρέφεται γύρω από τον οριζόντιο (X) άξονα.



Εικόνα 4.3: Αζιμούθιο και ανύψωση.

Με αυτές τις δύο γωνίες, όποια τιμή και να πάρει η απόσταση το τελικό σημείο θα βρίσκεται πάντα στην ίδια ευθεία. Μία γραφική απεικόνιση των παραπάνω δίνεται στην εικόνα 4.3. Η εικόνα αυτή είναι από το αρχείο βοήθειας της Matlab⁶.

Ας θεωρήσουμε λοιπόν ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων του οποίου:

- Η αρχή των αξόνων είναι στο εστιακό σημείο της κάμερας άρα και το κέντρο της εικόνας του κάθε frame.
- Τα σημεία χαρακτηρίζονται από δύο γωνίες (αζιμούθιο και ανύψωση) και την απόσταση από το εστιακό σημείο της κάμερας.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι εάν θεωρήσουμε ένα σημείο της εικόνας και τοποθετήσουμε εκεί το κέντρο του αντικειμένου, τότε εάν το αντικείμενο έχει, τυχαία, διαφορετικά φαινόμενα μεγέθη, οι θέσεις που προκύπτουν θα έχουν τις ίδιες γωνίες αζιμούθιου και ανύψωσης. Αυτό ισχύει διότι, όπως φαίνεται στην απόδειξη της παραγράφου 3.3:

- Το φαινόμενο μέγεθος εξαρτάται από την απόσταση του αντικειμένου από το εστιακό σημείο της κάμερας.

Αντιπροσωπεύει, λοιπόν, το “r” του σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων.

Ίσως να θεωρήσει κανείς ότι στην παραπάνω περίπτωση, για να εμφανίζεται το αντικείμενο όλο και μικρότερο με σταθερό ρυθμό μεταβολής του φαινόμενου μεγέθους, θα πρέπει οι θέσεις του στο χώρο κάθε φορά να διαγράφουν μία ευθεία κάθετη ως προς το επίπεδο της εικόνας. Αυτό δεν ισχύει. Ένα καλό παράδειγμα για αυτό είναι το εξής:

Όταν κάποιος στέκεται στην άκρη του δρόμου και κοιτάζει σε μία κατεύθυνση παράλληλη με αυτή του δρόμου. Τότε, η άσπρη γραμμή στην άκρη του δρόμου θα φαίνεται να κινείται διαγώνια όσο πλησιάζει τον ορίζοντα. Είναι γνωστό όμως ότι η άσπρη γραμμή στην άκρη του δρόμου συνεχίζει ευθεία. Το παραπάνω οπτικό φαινόμενο οφείλεται στην προοπτική, όπως αυτό εξηγήθηκε στην παράγραφο 3. Αντίθετα, βάσει και των κανόνων της προοπτικής, για να απεικονίζεται ένα αντικείμενο στο ίδιο σημείο της εικόνας ενώ αλλάζει το μέγεθος του, πρέπει να κινείται πάνω στην ευθεία που ορίζεται από το κέντρο του και το εστιακό σημείο της κάμερας. Από αυτό βέβαια προκύπτει ότι:

Για γωνία κώνου οπτικού πεδίου της κάμερας $\hat{\alpha}$ τότε πάντα, $180 - \hat{\alpha}/2 > \text{Αζιμ.} > \hat{\alpha}/2$

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να υπολογισθούν οι δύο γωνίες του σφαιρικού συστήματος χωρίς την απόσταση.

5 [5] Αζιμούθιο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth>

6 [6] Matlab – Product Help

4.3.2 Το ωρολογιακό σύστημα του αζιμούθιου.

Για λόγους απλούστευσης των υπολογισμών, εδώ θα χρησιμοποιηθεί το ωρολογιακό σύστημα αζιμούθιου⁷. Είναι το ίδιο που χρησιμοποιούν οι πιλότοι αεροσκαφών για να προσδιορίσουν τη διεύθυνση προς την οποία βρίσκεται ένα αντικείμενο σχετικά με το αεροσκάφος τους, και για την ακρίβεια σχετικά με το διάνυσμα της ταχύτητας του. Βέβαια η αναλυτική εξήγηση αυτού του συστήματος δεν είναι το αντικείμενο αυτής της εργασίας.

Σε αυτό το σύστημα οι τιμές του αζιμούθιου, αντί να ξεκινάνε από τον άξονα του X του αντίστοιχου καρτεσιανού, ξεκινάνε από τον άξονα του Y. Οι πιλότοι χωρίζουν τον πλήρη κύκλο σε δώδεκα υποδιαιρέσεις, όπως το κυκλικό πρόσωπο ενός ρολογιού. Αντίστοιχα με το πρόσωπο το ρολογιού ορίζονται και οι κατευθύνσεις, από “1 η ώρα” έως “12 η ώρα”, με το τελευταίο να σημαίνει ακριβώς ευθεία, “3 η ώρα” να σημαίνει 90° προς τα δεξιά κ.ο.κ. Το σύστημα αυτό, λοιπόν, έχει διακριτική ικανότητα 30° και οι τιμές αυξάνονται κατά την δεξιόστροφη στροφή. Εδώ θα χρησιμοποιηθεί η ίδια ωρολογιακή αρχή ορισμού του αζιμούθιου αλλά οι τιμές θα κυμαίνονται από 0 έως $2 \cdot \pi$ και θα τηρείται ακρίβεια 15 δεκαδικών ψηφίων αφού η μεταβλητή αποθηκεύεται σε μορφή τύπου *double*. Από αυτό προκύπτει ότι ο κανόνας που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο γίνεται, στην περίπτωση της ωρολογιακής γωνίας:

Για γωνία κώνου οπτικού πεδίου της κάμερας $\hat{\alpha}$ τότε πάντα, $-\hat{\alpha}/2 < ClockAngle < \hat{\alpha}/2$

4.3.3 Η “υπόθεση του 1m”.

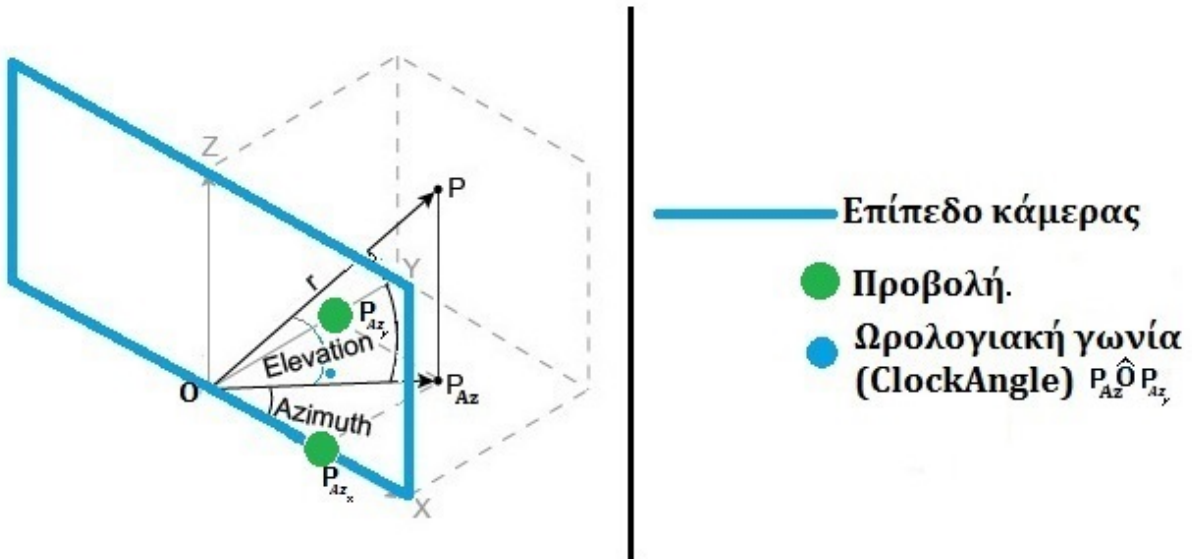
Για να υπολογιστεί η ωρολογιακή γωνία γίνονται τα παρακάτω:

- Λαμβάνοντας υπ' όψιν μόνο το σημείο (P) που απεικονίζει το κέντρο του αντικειμένου, θεωρούμε ότι το σημείο αυτό βρίσκεται σε απόσταση τέτοια ώστε το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος OP_{Az_x} , όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.4, να ισούται με ένα μέτρο (1m).

- Η ωρολογιακή γωνία υπολογίζεται ως: $ClockAngle = \arcsin\left(\frac{P_{Az_x}}{PixDist}\right)$ (Σχέση 8). Εδώ

το P_{Az_x} μετριέται σε pixel από το κέντρο της οθόνης προς τα δεξιά και η σχέση $PixDist/0,068$ μετατρέπει την απόσταση του ενός μέτρου (1m) σε pixel, κατά τα όσα αναφέρονται παραπάνω.

7 [7] Mariner, Liz (2007), Cleared for Takeoff: English for Pilots, Book 1, AE Link Publications, pp. 89–90, ISBN 978-0-9795068-0-2



Εικόνα 4.4: Απεικόνιση των δύο γωνιών που χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί η ευθεία πάνω στην οποία βρίσκεται το αντικείμενο.

➤ Στη συνέχεια υπολογίζεται η γωνία ανύψωση ως:

$$Elev = \frac{Zc}{OP_{Az}} \Rightarrow \boxed{Elev = \frac{Zc}{\left(\frac{PixDist}{0,068}\right) \cdot \cos(ClockAngle)}} \quad (\text{Σχέση 9}), \text{ όπου } Zc \text{ τα pixel από το}$$

κέντρο της εικόνας καθ' ύψος.

Εδώ είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι για να υπολογίζονται οι αποστάσεις σε pixel από το κέντρο της εικόνας πρέπει να γίνουν τα εξής βήματα.



Εικόνα 4.5: Βήματα για την εύρεση της θέσης του κέντρου του αντικειμένου στην εικόνα.

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ότι:

- Η θέση του μέγιστου αθροίσματος γραμμής δίνει το Zc και
- Η θέση του μέγιστου αθροίσματος στήλης δίνει το Xc.

Η απλότητα αυτής της μεθόδου οφείλεται, επίσης, στην επιλογή του σφαιρικού σχήματος. Και αυτό γιατί εκείνο που υπολογίζεται με αυτή τη μέθοδο, και με ακρίβεια ανάλογη της ανάλυσης της εικόνας σε pixel, είναι η οριζόντια και η κάθετη διάμετρος του κύκλου στον οποίο απεικονίζεται η σφαίρα. Το σημείο όπου τέμνονται δύο διάμετροι είναι το κέντρο του κύκλου.

Με τον τρόπο όμως που απεικονίζει η Matlab μία εικόνα, η αρίθμηση των pixel ξεκινάει από την πάνω αριστερή γωνία. Τα pixel κατά πλάτος της εικόνας πράγματι αυξάνονται προς τα δεξιά αλλά τα pixel καθ' ύψος της εικόνας αυξάνονται προς τα κάτω. Άρα για να είναι μετράται η απόσταση από το κέντρο και να αυξάνονται οι τιμές με τον τρόπο που έχει ήδη περιγραφεί πρέπει να γίνουν οι παραπάνω μετατροπές:

- $Xc = Xc - (\text{Πλάτος_εικόνας}/2)$

➤ $Z_c = -Z_c + (\text{Ύψος_εικόνας}/2)$

Αυτές είναι και η εντολές που εκτελούνται μέσα στον αλγόριθμο, με κατάλληλη σύνταξη. Σε περίπτωση που αλλάξει η ανάλυση της εικόνας που επεξεργάζεται πρέπει και αυτές οι τιμές να προσαρμοστούν αναλόγως.

4.3.4 Ορισμός και Αναγωγή στο καρτεσιανό σύστημα της κάμερας.

Με τις δύο παραπάνω γωνίες είναι γνωστή πλέον η ευθεία πάνω στην οποία βρίσκεται το κέντρο του αντικειμένου. Για να είναι όμως χρήσιμη η πληροφορία πρέπει να μετατραπεί στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων της κάμερας.

Αυτό ορίζεται όπως φαίνεται στην εικόνα 1.4 με την αρχή των αξόνων να βρίσκεται στο κέντρο της εικόνας. Αντίστοιχα τα θετικά του άξονα Z ξεκινάνε από το κέντρο της εικόνας και αυξάνονται προς τα πάνω και, τέλος, τα θετικά του X ξεκινάνε από το κέντρο της εικόνας και αυξάνονται προς τα δεξιά της εικόνας.

Με δεδομένο αυτό το καρτεσιανό σύστημα, ισχύει ότι:

- $OP_{Az} = RedDistance \cdot \cos(Elev) = projdist$
- $X = projdist \cdot \sin(ClockAngle)$
- $Y = projdist \cdot \cos(ClockAngle)$
- $Z = RedDistance \cdot \sin(Elev)$

Τα X, Y και Z που υπολογίζονται παραπάνω είναι η θέση του αντικειμένου στο χώρο όπως υπολογίζονται με βάση την προοπτική. Η ακρίβεια αυτού του υπολογισμού ελέγχεται σε επόμενο κεφάλαιο όπου γίνεται η προσομοίωση της ρίψης στο λογισμικό V-REP.

4.4 : Υπολογισμός του σημείου πρόσκρουσης.

Παρ' όλο που ο υπολογισμός της θέσης στο χώρο με μία κάμερα παρουσιάζει μία ιδιαίτερη δυσκολία, το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι στην ουσία η εκτίμηση της βαλλιστικής τροχιάς που θα ακολουθήσει το αντικείμενο. Και μάλιστα αυτό πρέπει να γίνει σε ικανό χρόνο, ώστε να προλάβει ο βραχίονας να κινηθεί και να φέρει το άκρο του σε αυτή τη θέση.

Η πρόκληση εδώ είναι να γίνει αυτό με ακρίβεια αλλά και σε ικανοποιητικό χρόνο. Ο χρόνος αντίδρασης εξαρτάται βέβαια και από τους κινητήρες και τη στιβαρότητα της κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση όμως έχει νόημα να βελτιστοποιηθεί αυτή η διαδικασία έτσι ώστε να έχει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογής σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικό περιβάλλον.

Έτσι για να γίνει η πρόβλεψη της τροχιάς που θα ακολουθήσει το αντικείμενο αναλύεται το διάλυμα της κίνησης στους τρεις άξονες τους συστήματος συντεταγμένων κατά την "Αρχή της Ανεξαρτησίας των Κινήσεων".

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για τυχαία στιγμή t , μπορούν να θεωρηθούν τρία διανύσματα της ταχύτητας. Και σύμφωνα με τους δύο πρώτους νόμους του Νεύτωνα, τα διανύσματα αυτά δεν αλλάζουν εάν δεν ασκηθεί δύναμη F επάνω στο σώμα. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα εδώ, είναι γνωστές. Κατά τον άξονα Z , όπως αυτός ορίστηκε σε προηγούμενη παράγραφο, στο σώμα ασκείται η δύναμη της βαρύτητας και της αντίστασης του αέρα. Στους άλλους δύο άξονες ασκείται μόνο η δύναμη της αντίστασης του αέρα.

4.4.1 Υπολογισμός της αντίστασης του αέρα.

Παρακάτω υπολογίζεται η αντίσταση του αέρα για να αποδειχθεί ότι η επίδραση της στην τροχιά είναι αμελητέα. Αφού για διαφορετικούς αριθμούς Reynolds αλλάζει η εξίσωση από την οποία δίνεται, αρχικά υπολογίζεται ο αριθμός Reynolds από την εξίσωση:

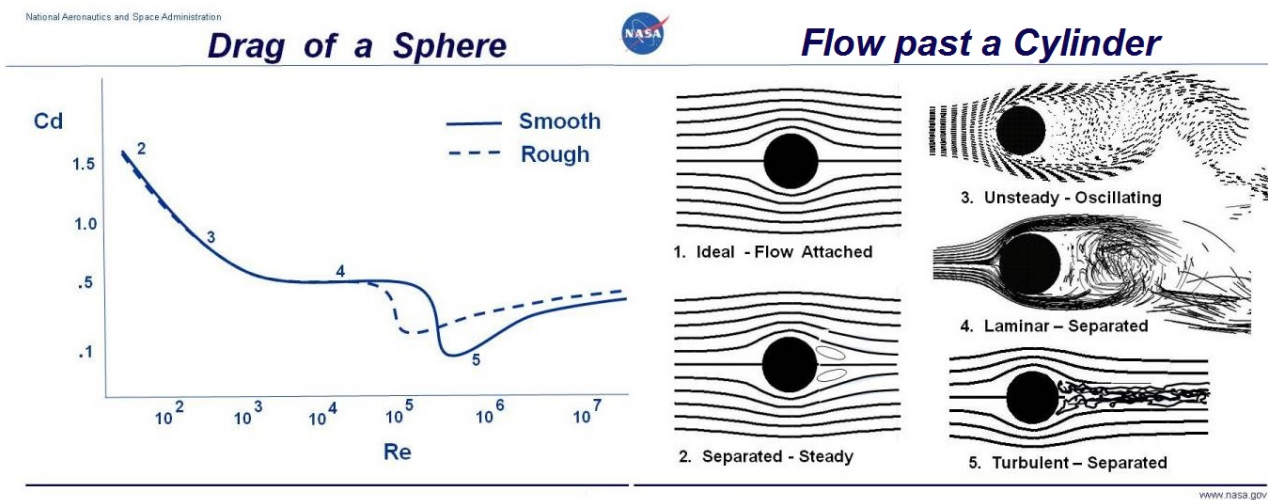
$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu} \quad \text{8 Όπου:}$$

- ρ : η πυκνότητα του ρευστού
- v : η σχετική ταχύτητα ρευστού αντικειμένου.
- l : χαρακτηριστικός μέγεθος (εδώ η διάμετρος)
- μ : Δυναμικό ιξώδες του αέρα.

8 [8] [Drag of a Sphere - NASA](#)

Οι παραπάνω αριθμοί, για τον ατμοσφαιρικό αέρα, και θερμοκρασία $\sim 30^{\circ}\text{C}$, στο S.I. γίνονται:

$$\left. \begin{aligned} &\rho = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &\nu = 6 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \\ &l = 0,068 \text{ m} \\ &\mu = 1846 \cdot 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{sec}} \end{aligned} \right\} Re = 27,07$$



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα του συντελεστή οπισθέλκουσας μίας σφαίρας και γραφική απεικόνιση των στροβιλισμών για διάφορες ταχύτητες.

Βάσει του διαγράμματος της εικόνας 4.6:

Γίνεται σαφές ότι ο αριθμός Reynolds που υπολογίζεται είναι ιδιαίτερα χαμηλός και κατά συνέπεια μπορεί να θεωρηθεί ότι $Cd_{sphere} = 1,5$. Άρα από τη εξίσωση της αντίστασης του αέρα, έχουμε:

$$F_{drag} = \frac{Cd \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A}{2} \Rightarrow F_{drag} = 0,120 \text{ N}$$

Άρα όπως προκύπτει, για μία ταχύτητα της τάξης των 6 m/sec , η αεροδυναμική αντίσταση είναι περίπου το $1/6$ του Newton. Μία δύναμη πολύ μικρή καθώς και άρα αμελητέα.

Επιπλέον, να σημειωθεί ότι η δύναμη αυτή επηρεάζει, ως επί το πλείστον, την κίνηση στον άξονα των Y, όπως αυτός έχει οριστεί. Κι αυτό διότι, για να γίνει η ρίψη με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένει μέσα στον κώνο που αποτελεί το οπτικό πεδίο της κάμερας, πρέπει η μπάλα να πεταχτεί με μικρή γωνία ανύψωσης, και άρα η συνιστώσα της ταχύτητας πάνω σε αυτόν τον άξονα θα είναι η μεγαλύτερη, και αρκετά κοντά στα 6 m/sec που υπολογίστηκαν.

Αντίστοιχα να αναφερθεί ότι η αεροδυναμική αντίσταση στους άλλους δύο άξονες είναι της τάξης του 10^{-3} N , καθώς εκεί οι ταχύτητες είναι σημαντικά μικρότερες.

Επιπλέον με τα παραπάνω, να σημειωθεί ότι ο συνολικός χρόνος ρίψης κυμαίνεται από $1 \sim 2 \text{ sec}$. Αυτό σημαίνει ότι τυχόν ανακρίβειες στην εξίσωση της κίνησης που θα προβλεφθεί ανά άξονα, θα έχουν μικρότερη επίδραση στην πρόβλεψη της τελικής θέσης πρόσκρουσης της μπάλας πάνω στο επίπεδο του βραχίονα.

4.4.2 Πρόβλεψη της εξίσωσης της τροχιάς με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Για τους παραπάνω λόγους, η επίδραση της αεροδυναμικής αντίστασης δεν υπολογίζεται στην πρόβλεψη της τροχιάς του αντικειμένου. Επιπλέον, να σημειωθεί ότι πλέον χρησιμοποιούνται οι τιμές των X,Y, και Z όπως αυτές έχουν αναχθεί στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και η μονάδα μέτρησης τους είναι πλέον τα μέτρα (m). Έτσι, οι κινήσεις που παρατηρούνται στον κάθε άξονα είναι οι παρακάτω:

- Άξονας X: Καμία δύναμη στο σώμα ⇒ **Ευθύγραμμη Ομαλή Κίνηση.**
- Άξονας Y: Καμία δύναμη στο σώμα ⇒ **Ευθύγραμμη Ομαλή Κίνηση.**
- Άξονας Z: δύναμη της Βαρύτητας στο σώμα ⇒ **Ευθύγραμμη Ομαλά Επιταχυνόμενη.**

Αντίστοιχα, οι εξισώσεις της μετατόπισης στον κάθε άξονα θα είναι:

- $S_x = v_x \cdot t + S_0$
- $S_y = v_y \cdot t + S_0$
- $S_z = \frac{1}{2} a_z \cdot t^2 + v_z \cdot t + S_0$

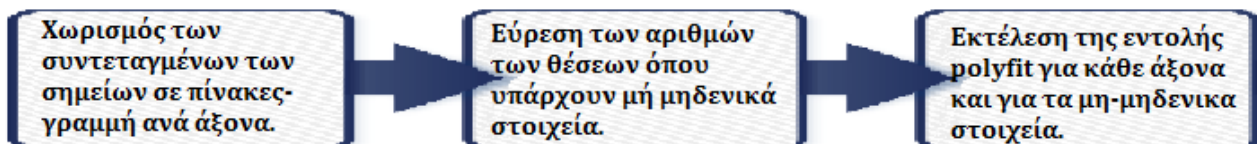
Άρα από το δείγμα των δεδομένων, μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η εξίσωση της μετατόπισης σε κάθε άξονα. Οι τρεις αυτές εξισώσεις περιγράφουν τη βαλλιστική τροχιά που διαγράφει το αντικείμενο στο χώρο.

Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όπως αυτή εφαρμόζεται από τη συνάρτηση *polyfit*. Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει σαν όρισμα:

- Τις τιμές της μεταβλητής, δηλαδή εδώ του χρόνου
- Τις τιμές των δεδομένων
- Και το βαθμό του πολυωνύμου του οποίου τους συντελεστές θα υπολογίσει ώστε να επιτύχει την καλύτερη παρεμβολή.

Εδώ γίνεται αντιληπτό ότι πρέπει να αποθηκεύεται και η τιμή του χρόνου (t) στον οποίο γίνεται η λήψη του κάθε frame και η αντιστοίχιση αυτών των τιμών με τις τριάδες X,Y,και Z.

Συγκεκριμένα η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:



Εικόνα 4.7: Βήματα για την εύρεση της εξίσωσης της κίνησης τον κάθε άξονα του καρτεσιανού συστήματος της κάμερας.

Άρα για ένα συγκεκριμένο πλήθος δεδομένων, μπορεί να επιλεγεί ο βαθμός του πολυωνύμου της παρεμβολής και θα επιστραφούν οι συντελεστές του πολυωνύμου, στη μορφή ενός πίνακα-γραμμή, που θα το περιγράφουν. Γι αυτό θα επιλεγεί για την παρεμβολή του κάθε άξονα, ο παρακάτω βαθμός πολυωνύμου:

- Για τον Άξονα των X ⇒ **1^{ου} βαθμού**
- Για τον Άξονα των Y ⇒ **1^{ου} βαθμού**
- Για τον Άξονα των Z ⇒ **2^{ου} βαθμού**

Η σημασία της εκτέλεσης της παρεμβολής μόνο για μη μηδενικά στοιχεία συνδέεται με τις τεχνικές μείωσης του θορύβου, όπως αυτές αναφέρονται στην παράγραφο 3.7. Συγκεκριμένα οι δύο πρώτοι μέθοδοι φροντίζουν στις εικόνες που υπάρχει μόνο θόρυβος να αναγράφεται η τιμή μηδέν ως εμβαδόν. Έτσι, στα frame όπου δεν υπάρχει η μπάλα μέσα, δεν γίνεται και καταγραφή στα δεδομένα που εξάγονται για την πρόβλεψη. Τέτοια frame μπορεί να

προκύψουν

- Στην αρχή της ρίψης, όπου ο άνθρωπος δεν έχει αφήσει ακόμα τη μπάλα και μπορεί να την καλύπτει με την παλάμη ή το χέρι του.
- Και στο τέλος της ρίψης όπου η μπάλα πλέον έχει βγει από το οπτικό πεδίο της κάμερας.

Επίσης να αναφερθεί ότι σαν τιμές του t στα ορίσματα της *polyfit* ορίζεται ο πίνακας του χρόνου, όπως αυτός μετριέται από τη Matlab. Δεν χρησιμοποιείται όμως όλος ο πίνακας. Από αυτόν χρησιμοποιούνται μόνο οι θέσεις με αριθμό ίδιο με αυτόν των θέσεων των μη-μηδενικών τιμών των X, Y, Z . Με τον τρόπο που εκτελείται ο αλγόριθμος, υπάρχει αντιστοιχία μεταξύ των τιμών του χρόνου και των υπολογισμένων θέσεων, με ακρίβεια $0,005\text{sec}$.

Στις τιμές του $f(t)$ της συνάρτησης *polyfit* δίνονται οι τιμές της υπολογισμένη θέσης στον κάθε άξονα. Σε συνδυασμό με τον βαθμού του πολυωνύμου, όπως έχει δοθεί παραπάνω, τα αποτελέσματα που αποδίδονται είναι η συνάρτηση της μετατόπισης ως προς το χρόνο σε κάθε άξονα.

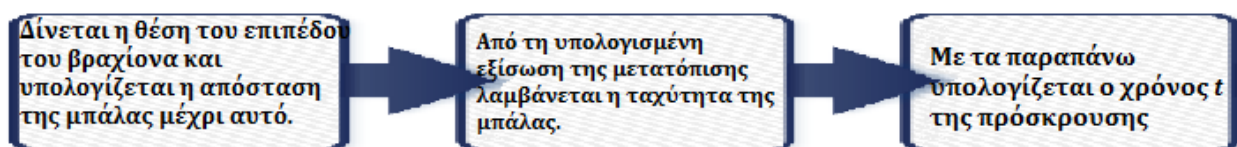
Άρα για μία οποιαδήποτε χρονική στιγμή μπορεί πλέον να υπολογιστεί η θέση του αντικείμενου σε κάθε άξονα.

4.4.3 Υπολογισμός του σημείου πρόσκρουσης.

Για να υπολογιστεί το σημείο πρόσκρουσης χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις που υπολογίστηκαν με τον τρόπο που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο. Το μόνο που πρέπει να υπολογιστεί επιπλέον είναι ο χρόνος t στον οποίο θα φτάσει το αντικείμενο στο επίπεδο που κινείται ο βραχίονας ώστε να βρεθεί το σημείο πρόσκρουσης.

Για να γίνει αυτό χρησιμοποιείται η συνάρτηση της μετατόπισης στον άξονα Y ως προς το χρόνο. Η συντεταγμένη του επιπέδου εργασίας του βραχίονα στον άξονα Y μπορεί να μετρηθεί. Και αφού το επίπεδο της εικόνας της κάμερας και το επίπεδο εργασίας του βραχίονα είναι παράλληλα, αυτή είναι και η μόνη συντεταγμένη που απαιτείται.

Για να υπολογιστεί ακολουθείται η διαδικασία που φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 4.8: Βήματα για τον υπολογισμό της χρονικής στιγμής της σύγκρουσης.

Όπως φαίνεται και παραπάνω, από την εξίσωση της μετατόπισης μπορεί να ληφθεί η ταχύτητα του αντικείμενου στον κάθε άξονα. Μάλιστα στους άξονες X και Y , όπου η κίνηση είναι *Ευθύγραμμη Ομαλή*, η στιγμιαία ταχύτητα είναι και η μέση ταχύτητα. Άρα:

Η ταχύτητα αντιστοιχεί στον πρώτο από τους δύο αριθμούς του πίνακα-γραμμή που αποδίδει η συνάρτηση *polyfit*.

Εφόσον λοιπόν η ταχύτητα είναι γνωστή μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που θα πάρει στο αντικείμενο να φτάσει από τη θέση που είναι τώρα μέχρι το επίπεδο εργασίας του βραχίονα

ως $t_{2imp} = \frac{Dist_{wall}}{V_{ynow}}$. Στη συνέχεια ο χρόνος t_{imp} υπολογίζεται ως

$t_{imp} = t_{now} + t_{2imp}$, όπου οι τιμές με το δείκτη *now* αντιστοιχούν στις τιμές του τελευταίου frame, t_{2imp} είναι ο χρόνος που απομένει μέχρι την πρόσκρουση και t_{imp} είναι ο χρόνος της πρόσκρουσης.

Ο λόγος που υπολογίζεται ο χρόνος που απομένει μέχρι την πρόσκρουση και στη συνέχεια προστίθεται στο χρόνο του τελευταίου frame είναι για μείωση του σφάλματος υπολογισμού. Και αυτό γιατί, για να υπολογιστεί ο χρόνος διαιρείται απόσταση δια ταχύτητα

$(m/\frac{m}{sec}=sec)$. Με το να χρησιμοποιείται κάθε φορά η τελευταία μέτρηση βασίζεται ο

υπολογισμός σε πιο αξιόπιστη εύρεση της θέσης του αντικειμένου στο χώρο, αφού το αντικείμενο είναι κοντύτερα στην κάμερα και εμφανίζεται πιο καθαρά στην εικόνα που λαμβάνεται. Επιπλέον, χρησιμοποιείται κάθε φορά η τελευταία εκτίμηση της ταχύτητας που είναι και ακριβέστερη.

Γνωρίζοντας πλέον το χρόνο της πρόσκρουσης μπορεί να τροφοδοτηθεί αυτή η τιμή στις εξισώσεις της μετατόπισης των αξόνων X και Z. Από κάθε μία θα δοθεί η αντίστοιχη συντεταγμένη του σημείου πρόσκρουσης στο χώρο. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, δεν υπάρχει λόγος υπολογισμού της τιμής για τον άξονα Y αφού αυτή είναι γνωστή και βάσει αυτής έγιναν οι υπολογισμοί. Άρα, εάν ονομάσουμε τους πίνακες-γραμμή με τους συντελεστές για τους άξονες X και Z ως X_v και Z_v αντίστοιχα, το σημείο πρόσκρουσης στο χώρο δίνεται τελικά από τα παρακάτω:

➤ $X_{imp} = X_v(1) \cdot t_{imp} + X_v(2)$

➤ $Y_{imp} = σταθ.$, εδώ χρησιμοποιείται απλώς η μέτρηση από την κάμερα μέχρι το εμπρός μέρος του βραχίονα.

➤ $Z_{imp} = \frac{1}{2} Z_v(1) \cdot t_{imp}^2 + Z_v(2) \cdot t_{imp} + Z_v(3)$

Κεφάλαιο 5: Προσομοίωση της ρίψης στο λογισμικό V-REP.

Με όλη τη θεωρία δομημένη, πρέπει να γίνει έλεγχος των παραπάνω σε πειραματικό περιβάλλον. Η κατασκευή του πραγματικού βραχίονα όμως δεν προχώρησε με τον ίδιο ρυθμό που προχώρησε η ανάπτυξη της θεωρίας.

Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να γίνουν τα πρώτα πειράματα σε περιβάλλον προσομοίωσης. Αυτή η επιλογή έδινε και την επιπλέον δυνατότητα ότι μπορούσαν να λαμβάνονται σε πραγματικό χρόνο τιμές όπως η απόσταση της μπάλας από την κάμερα, η ταχύτητα της μπάλας στον κάθε άξονα, κ.α. Αυτά όλα χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθούν και τυχόν σφάλματα στον κώδικα, αφού τις αντίστοιχες τιμές προσπαθούσε και ο κώδικας της μηχανικής όρασης να υπολογίσει.

Το λογισμικό V-REP υποστηρίζει τη σύνδεση με τη Matlab σαν remote API, οπότε μπορούσε να γίνεται η προσομοίωση των μοντέλων της φυσικής στο V-REP και η λήψη των δεδομένων, οι υπολογισμοί και η απόδοση των αποτελεσμάτων από τη Matlab.

Να σημειωθεί ότι θα μπορούσε όλη η προσομοίωση να γίνει μέσα στη Matlab. Αυτό όμως θα απαιτούσε ένα πολύπλοκο μοντέλο στο Simulink καθώς και ευρηματικό προγραμματισμό για να προσομοιωθεί η κάμερα και η λήψη εικόνων από αυτή⁹. Η χρήση του V-REP κάνει την προσομοίωση απείρως ευκολότερη και αποδοτικότερη όσον αφορά τη συγκέντρωση δεδομένων και τον πειραματισμό.

5.1 :Περίληψη των δυνατοτήτων του λογισμικού V-REP.

Το V-REP είναι ένα πολυεπίπεδο λογισμικό το οποίο συνδυάζει περίπλοκες μηχανές προσομοίωσης φυσικής με υποστήριξη για 7 γλώσσες προγραμματισμού, σύνδεση με εξωτερικούς ελεγκτές και με προγράμματα υπολογισμών όπως η Matlab και το Octave.

Μάλιστα η διαδικασία της προσομοίωσης είναι πλήρως ελέγξιμη και μπορεί να οποιαδήποτε παράμετρος να αλλαχθεί ανά πάσα στιγμή. Δίνεται λοιπόν η δυνατότητα να γίνει ένα μέρος της προσομοίωσης με ένα σετ παραμέτρων και στη συνέχεια αυτό να αλλάξει με ένα άλλο σετ παραμέτρων. Άρα παρέχεται η δυνατότητα κάθε μέρος της προσομοίωσης να εστιάζει σε διαφορετικές πτυχές αυτού που προσομοιώνεται επιτυγχάνοντας ακρίβεια με μειωμένο υπολογιστικό κόστος.

Επιπλέον, δίνεται στο χρήστη η επιλογή δημιουργίας πλαισίων διαλόγου εξ' αρχής. Αυτά μπορούν να είναι ενεργά συνέχεια ή μόνο κατά την προσομοίωση. Επιπλέον, κάθε επιλογή,

9 [9] [Robsim Toolbox](http://sites.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/wpage.php?wpage_id=71) http://sites.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/wpage.php?wpage_id=71

τιμή ή χειριστήριο μέσα σε αυτά τα πλαίσια μπορεί να χειριστεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Διαδραστικά από το χρήστη μέσω συσκευών διασύνδεσης χρήστη-μηχανής (πληκτρολόγιο, ποντίκι, κ.α.)
- Δυναμικά, μέσω προγράμματος ενσωματωμένου στην προσομοίωση ή σε ένα από τα αντικείμενα αυτής (π.χ. μοντέλο ενός αυτόνομου οχήματος).
- Δυναμικά, μέσω εξωτερικής σύνδεσης δεδομένων. Τέτοιες συνδέσεις μπορεί να είναι:
 - ◆ Ένας μικροελεγκτής.
 - ◆ Ο ελεγκτής ενός ρομπότ.
 - ◆ Ένα λογισμικό όπως η Matlab
 - ◆ Ένας server ο οποίος λαμβάνει δεδομένα από ένα οποιοδήποτε λογισμικό (π.χ. Πακέτο CAD), τα μετατρέπει κατάλληλα, τα αποστέλλει στο V-REP και το αντίθετο.
- Παθητικά ακολουθώντας μία μεταβλητή που υπολογίζεται από την προσομοίωση. Αυτό το τελευταίο δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας οργάνων εποπτείας μέσα στην προσομοίωση και βοηθάει στην οπτική αποτύπωση σε πραγματικό χρόνο της τηλεμετρίας που αποθηκεύεται ψηφιακά.

Τέλος, μπορεί να προσομοιωθεί μία πληθώρα αισθητήρων, όπως επαγωγικοί, υπέρυθροι, sonar, radar, γυροσκόπια κ.α.

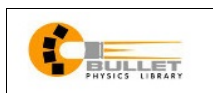
Όλα αυτά κάνουν το V-REP εξαιρετικά ισχυρό στην δημιουργία προσομοιώσεων και στη διεξαγωγή πειραμάτων. Μπορεί ακόμα να παίξει και το ρόλο του ελεγκτή ενός πραγματικού συστήματος αφού διαθέτει εξαιρετικές δυνατότητες συνδέσεως με πραγματικά συστήματα και μικροελεγκτές.

Παρακάτω θα αναφερθούν περιληπτικά οι δυνατότητες του λογισμικού.

5.1.1 Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών μοντέλων.

Το V-REP υποστηρίζει την εκτέλεση προσομοιώσεων μέσω τριών μοντέλων φυσικής. Και τα τρία μπορούν να αποδώσουν τη νευτώνεια φυσική με εξαιρετική ακρίβεια. Συγκεκριμένα τα τρία μοντέλα Φυσικής είναι τα παρακάτω:

- Μοντέλο **Bullet physics library**¹⁰



Αυτό το μοντέλο είναι μία μηχανή φυσικής “ανοιχτού κώδικα” η οποία διαθέτει ανίχνευση σύγκρουσης σε τρεις διαστάσεις, δυναμική άκαμπτου σώματος και δυναμική εύκαμπτου σώματος. Η τελευταία δεν υποστηρίζεται ακόμα στο V-REP. Άλλες εφαρμογές αυτής της μηχανής είναι η δημιουργία ειδικών εφέ σε ταινίες και ως πυρήνας σε διάφορα ηλεκτρονικά παιχνίδια, όπως το “Grand Theft Auto IV & V”.

- Μοντέλο **Open Source Dynamics (ODE)**¹¹



Αυτό το μοντέλο είναι μία μηχανή φυσικής “ανοιχτού κώδικα” η οποία έχει σαν βασικά στοιχεία, την τρισδιάστατη ανίχνευση της σύγκρουσης, τη δυναμική άκαμπτου σώματος την τριβή και τον υπολογισμό αρθρώσεων. Εκδόσεις αυτού του μοντέλου χρησιμοποιούνται και στο Simulink για την επίλυση του μοντέλου καθώς και σε πολλά παιχνίδια όπως το “Call of Juarez” κ.α.

10 [10] [Bullet Physics](http://www.bulletphysics.org/) <http://www.bulletphysics.org/>

11 [11] [Open Source Dynamics](http://www.ode.org/) <http://www.ode.org/>

➤ Μοντέλο *Vortex Dynamics*¹²



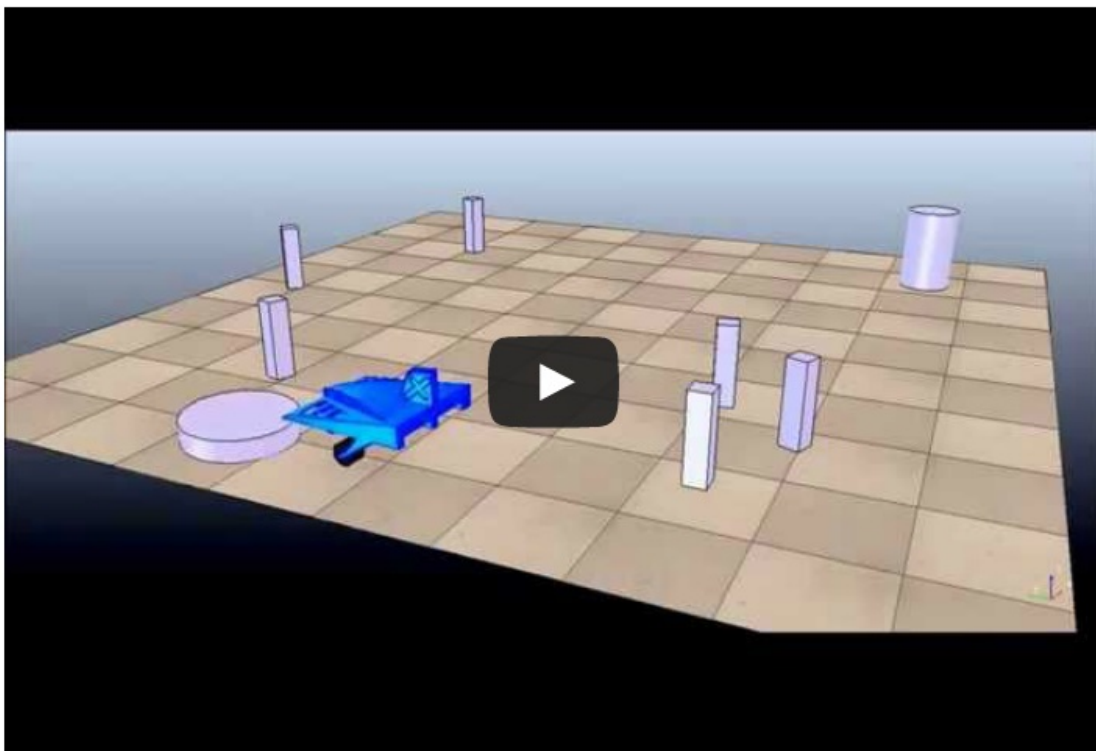
Μία μηχανή φυσικής η οποία διατίθεται εμπορικά. Παρέχει προσομοιώσεις φυσικής υψηλής πιστότητας και περιλαμβάνει πολλές επεξεργάσιμες παραμέτρους οι οποίες εκφράζονται με πραγματικές μονάδες. Η μηχανή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για προσομοιώσεις βιομηχανικών συστημάτων καθώς και στο πεδίο της έρευνας. Το plug in του V-REP για αυτή τη μηχανή είναι δοκιμαστικό και μπορεί να εκτελέσει προσομοιώσεις μόνο μέχρι 20 sec.

Με τα παραπάνω μπορούν να προσομοιωθούν οι αντιδράσεις αντικειμένων μεταξύ τους, με τρόπο που πλησιάζει πάρα πολύ τον πραγματικό. Κάνουν πράγματα δυνατά, όπως:

- Πτώση αντικειμένων.
- Διαχείριση αντικειμένων από μία αρπάγη λόγω μορφής ή τριβής.
- Τη μετακίνηση αντικειμένων από ένα ιμάντα μεταφοράς.
- Την ρεαλιστική κίνηση ενός οχήματος σε ανώμαλο έδαφος.

Επιπλέον το V-REP μπορεί να κάνει ταυτόχρονα και κινηματική και δυναμική προσομοίωση των αντικειμένων της κάθε σκηνής. Αυτό μειώνει το υπολογιστικό φόρτο και αποδίδει ακριβέστερα αποτελέσματα από μία καθαρά δυναμική προσομοίωση όπως κάνει το Matlab.

Επιπλέον υπάρχει η δυνατότητα για πλήρη κατανομή τόσο των δυναμικών όσο και των κινηματικών στοιχείων της προσομοίωσης για αξιόπιστη τηλεμετρία.¹³



Εικόνα 5.1: Παράδειγμα προσομοίωσης στο V-REP με ανταλλαγή δεδομένων με τη Matlab.

¹² [12] [Vortex Dynamics](http://www.cm-labs.com/) <http://www.cm-labs.com/>

¹³ <https://youtu.be/QYvxwLBb7n0>

Μπορούν επίσης να προσομοιωθούν και δυναμικά σωματίδια, κάνοντας δυνατές προσομοιώσεις ρευστομηχανικής, προσομοιώσεις jet και προσομοιώσεις προπελών.

Οι παραπάνω δυνατότητες προσομοίωσης φυσικής είναι και οι πιο σημαντικές για την προσομοίωση ενός ρομποτικού συστήματος. Και αυτό γιατί επιτρέπουν στο προσομοιωμένο σύστημα να επιδράσει και να επηρεάσει το περιβάλλον του, αλλά και στο περιβάλλον να επηρεάσει το ρομποτικό σύστημα. Δυνατότητα υπολογισμού ευθύ και αντίστροφου κινηματικού μετασχηματισμού.

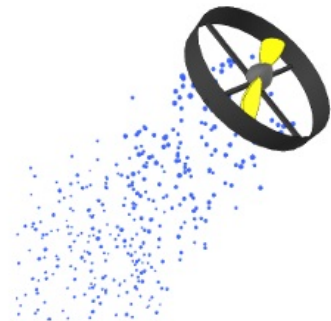
Η δυνατότητα αντίστροφου κινηματικού μετασχηματισμού του V-REP είναι αρκετά ισχυρή και ευέλικτη. Επιτρέπει στο χρήστη να χειρίζεται το σύστημα είτε σε λειτουργία αντίστροφου κινηματικού ή ευθύ κινηματικού.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δώσει σε ένα ρομποτικό σύστημα μέσα στο V-REP μόνο την επιθυμητή τροχιά που πρέπει να ακολουθήσει ο βραχίονας. Από αυτό μπορεί το V-REP να υπολογίσει τις απαιτούμενες θέσεις των αρθρώσεων και να τις στείλει σαν εντολές στους κινητήρες. Αυτό, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα να συνδέεται με τον ελεγκτή ενός πραγματικού ρομπότ, αυξάνει κατακόρυφα τη χρησιμότητα ενός ρομποτικού συστήματος και καθιστά τον προγραμματισμό του ιδιαίτερα εύκολο. Βέβαια, πολλοί κατασκευαστές ρομποτικών συστημάτων έχουν την ίδια δυνατότητα ενσωματωμένη στον ελεγκτή του ρομπότ.

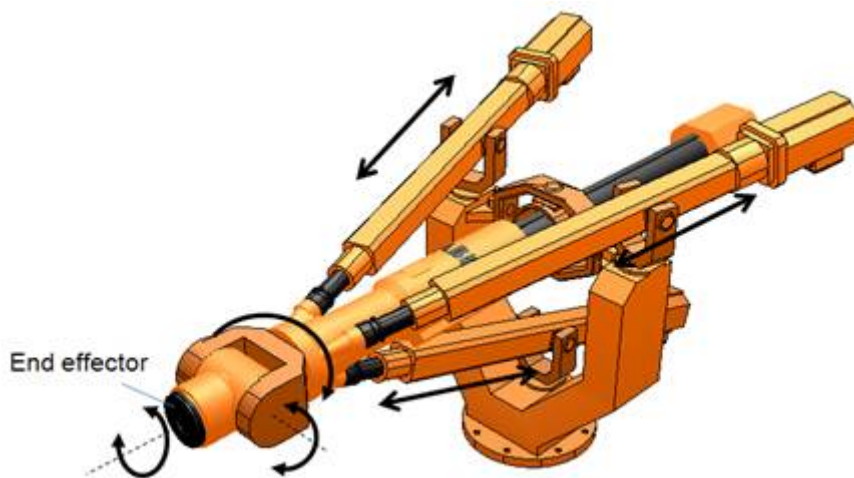
Η διαφορά εδώ είναι ότι, η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γίνει για ένα σύστημα που ο χρήστης έχει σχεδιάσει και κατασκευάσει μόνος του, με ένα πολύ βασικό μικροελεγκτή (π.χ. Arduino) σαν ελεγκτή του ρομπότ. Και μάλιστα στην προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιήσει και τα μοντέλα του CAD αυτούσια αν κριθεί απαραίτητο.

Αυτό είναι που πραγματικά αυξάνει της δυνατότητες πειραματισμού αλλά και αργότερα οδήγησης ενός πειραματικού ρομπότ.

Προφανώς βέβαια το ίδιο μπορεί να γίνει και για το ευθύ κινηματικό. Το οποίο γενικά θεωρείται και πιο εύκολο σαν πρόβλημα. Αυτό ισχύει στην πλειονότητα των περιπτώσεων αλλά πολλές φορές αποδεικνύεται το ίδιο μεγάλη πρόκληση με το αντίστροφο κινηματικό. Τέτοια παραδείγματα είναι γενικά οι κλειστές κινηματικές αλυσίδες όπως αυτή της εικόνας 5.3:



Εικόνα 5.2: Ρευστομηχανική στο V-REP.



Εικόνα 5.3: Παράδειγμα κλειστής κινηματικής αλυσίδας.

5.1.2 Διαφορετικοί τρόποι προγραμματισμού στο V-REP.

Το V-REP βασικά δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να προγραμματίσει με διάφορους τρόπους και να ελέγξει την προσομοίωση. Αυτοί γενικά μπορούν να χωριστούν σε έξι βασικές κατηγορίες:

- **Ενσωματωμένος κώδικας:** Σε αυτή την περίπτωση ο κώδικας γράφεται στη γλώσσα προγραμματισμού "Lua". Αυτή μοιάζει με τη γλώσσα python και είναι σχετικά εύκολη στη μάθηση, σε σύγκριση με άλλες γλώσσες. Η ενσωμάτωση μπορεί να γίνει είτε στη σκηνή και να επηρεάζει όλα τα αντικείμενα, είτε σε κάποιο αντικείμενο ή μοντέλο. Ή ακόμα και στα δύο. Στο δέντρο ιεραρχίας φαίνεται ποια αντικείμενα έχουν ενσωματωμένους κώδικες. Να σημειωθεί εδώ ότι ένας ενσωματωμένος κώδικας μπορεί να επηρεάσει μόνο το αντικείμενο στο οποίο έχει ενσωματωθεί και τα "τέκνα" αυτού του αντικειμένου. Γι αυτό, εάν πρέπει ένας κώδικας να επηρεάζει όλη την προσομοίωση, πρέπει να ενσωματωθεί στη σκηνή.
- **Πρόσθετοι κώδικες:** Αυτός ο τρόπος μοιάζει με τον τρόπο που λειτουργούν τα toolbox στη Matlab. Είναι δηλαδή ένα σύνολο συναρτήσεων, γραμμένων στη lua βέβαια, που μπορούν να εγκατασταθούν και να κληθούν σε πολλές διαφορετικές προσομοιώσεις.
- **plugin:** Εδώ η λειτουργικότητα είναι αντίστοιχη με τα πρόσθετα, αλλά τα *plugins* έχουν ευρύτερο φάσμα εφαρμογών καθώς μπορεί να αποτελούν υποστήριξη για την επικοινωνία ενός πραγματικού ρομπότ με το V-REP.
- **Εξωτερικό API:** Αυτός είναι βασικά ο τρόπος που επιλέχθηκε να εκτελεστεί η προσομοίωση σε αυτή την εργασία. Εδώ, όλοι ή ένα μέρος των υπολογισμών και του προγραμματισμού γίνεται εξωτερικά από το V-REP, σε ένα πρόγραμμα όπως η Matlab, σε γλώσσα C/C++ κ.α. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν περισσότερες από 100 συναρτήσεις επικοινωνίας μεταξύ V-REP και:
 - ◆ Matlab
 - ◆ Octave
 - ◆ C/C++
 - ◆ Java
 - ◆ Python
 - ◆ κ.α.
- **Απ' ευθείας σύνδεση με το λειτουργικό σύστημα του ρομπότ (ROS):** Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να δημιουργηθεί ένας κόμβος επικοινωνίας μεταξύ του ελεγκτή του ρομπότ ή μίας εφαρμογής στον ελεγκτή και του V-REP.
- **Ειδικός server για επικοινωνία με προγράμματα ή ελεγκτές**

Οι παραπάνω μέθοδοι καταγράφονται, μαζί με αρκετές χρήσιμες πληροφορίες στον παρακάτω πίνακα:

	Embedded script	Add-on	Plugin	Remote API client	ROS node	Custom client/server
Control entity is external (i.e. can be located on a robot, different machine, etc.)	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Difficulty to implement	Easiest	Easiest	Relatively easy	Easy	Relatively difficult	Relatively difficult
Supported programming language	Lua	Lua	C/C++	C/C++, Python, Java, Matlab, Octave, Urbi	Any ¹	Any
Simulator functionality access (available API functions)	>280 functions, extendable	>270 functions, extendable	>400 functions	>100 functions, extendable	>100 services, >30 publisher types, >25 subscriber types, extendable	custom implementation (up to 300 func.)
The control entity can control the simulation and simulation objects (models, robots, etc.)	Yes	Yes, but not recommended	Yes	Yes	Yes	Yes
The control entity can start, stop, pause and step a simulation	Stop, pause	Start, stop, pause	Start, stop, pause, step	Start, stop, pause, step	Start, stop, pause, step	Start, stop, pause, step
	Embedded script	Add-on	Plugin	Remote API client	ROS node	Custom client/server
The control entity can customize the simulator	No	Yes	Yes	No	No	No
Code execution speed	Relatively slow ²	Relatively slow ²	Fast	Depends on programming language	Depends on programming language	Depends on programming language
Communication lag	None	None	None	Yes, reduced ³	Yes, reduced	Yes, can be reduced
Control entity is fully contained in a scene or model, and is highly portable	Yes	No	No	No	No	No
API mechanism	Regular API	Regular API	Regular API	Remote API	ROS	Custom communication + regular API
API can be extended	Yes, with custom Lua functions	Yes, with custom Lua functions	Yes, V-REP is open source	Yes, Remote API is open source	Yes, ROS plugin is open source	N/A
Control entity relies on	Nothing	Nothing	Nothing	Sockets + Remote API plugin	Sockets + ROS plugin + ROS framework	Custom communication + script/plugin
Synchronous operation ⁴	Yes, inherent. No delays	Yes, inherent. No delays	Yes, inherent. No delays	Yes. Slower due to comm. Lag	Yes. Slower due to comm. Lag	Yes. Slower due to comm. Lag
Asynchronous operation ⁴	Yes, via threaded scripts	No	No (threads available, but API access forbidden)	Yes, default operation mode	Yes, default operation mode	Yes

¹⁾ Depends on what ROS currently supports

²⁾ The execution of API functions is however very fast

³⁾ Lag reduced via streaming and data partitioning modes

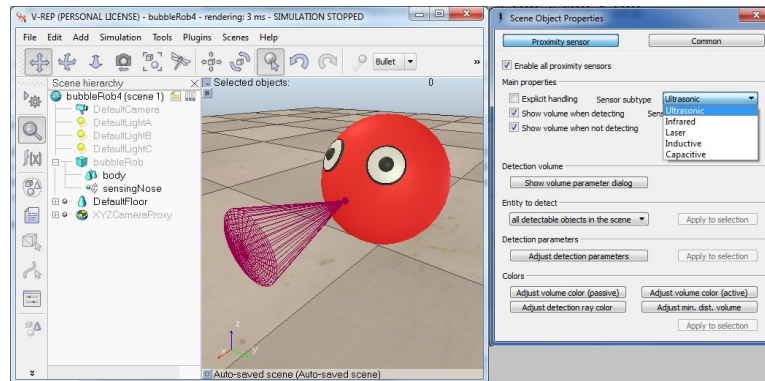
⁴⁾ *Synchronous* in the sense that each simulation pass runs synchronously with the control entity, i.e. simulation step by step

Εικόνα 5.4: Οι ενέργειες που μπορούν να εκτελεστούν μέσα στο V-REP από μία εξωτερική σύνδεση.

5.1.3 Δυνατότητα προσομοίωσης αισθητήρων.

Πέρα όμως από τα παραπάνω, η ποια σημαντική δυνατότητα του V-REP είναι η προσομοίωση αισθητήρων. Αρχικά στο χρήστη θα φανεί ότι υπάρχει πολύ μικρή δυνατότητα προσομοίωσης αισθητήρων. Και αυτό διότι υπάρχουν μόνο τρία είδη αισθητήρων που μπορούν να προστεθούν σε μία προσομοίωση:

- Αισθητήρας εγγύτητας
- Οπτικός αισθητήρας



Εικόνα 5.5: Παράδειγμα ρομποτικού οχήματος με αισθητήρας εγγύτητας στο V-REP.

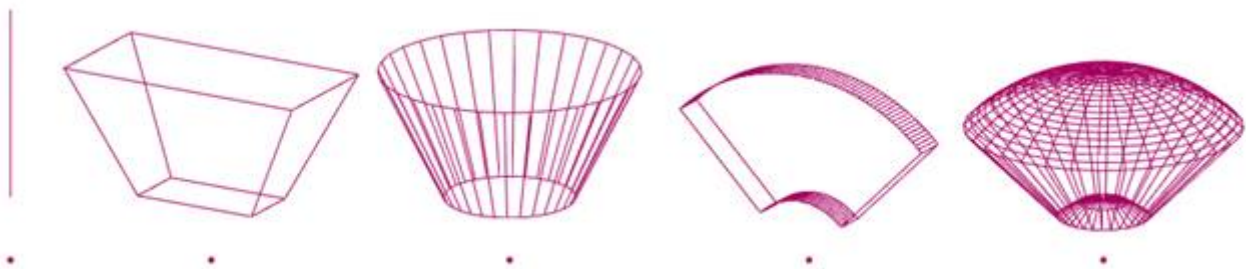
- Και αισθητήρας δύναμης.

Παρ' όλα αυτά, οι δυνατότητες προσαρμογής των αισθητήρων εγγύτητας δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να τον κάνει να συμπεριφέρεται αντίστοιχα με τους περισσότερους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται.

Οι διαφορετικές μορφές που μπορεί να πάρει ο αισθητήρας είναι:

- Υπερήχων.
- Υπέρυθρων.
- Laser
- Επαγωγικός
- Χωρητικός.

Για κάθε ένα είδος αισθητήρα, τα υπόλοιπα αντικείμενα μπορούν να γίνουν ανιχνεύσιμα ή όχι από αυτή την τεχνολογία αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο τα δεδομένα που θα δώσει αυτός ο αισθητήρας είναι πολύ κοντά στα πραγματικά. Επιπλέον, μπορεί ο χώρος ανίχνευσης του αισθητήρα να ρυθμιστεί έτσι ώστε να πλησιάζει το χώρο του πραγματικού. Τα σχήματα που μπορεί να πάρει είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 5.6: Οι διαφορετικές διατάξεις του χώρου ανίχνευσης ενός αισθητήρα εγγύτητας.

Να σημειωθεί εδώ ότι κάθε διάσταση του χώρου του αισθητήρα είναι προσαρμόσιμη (γωνία, νεκρή απόσταση, πλάτος, κλπ.).

Επιπλέον μπορεί να προσομοιωθεί και οπτικός αισθητήρας, όπως χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την εργασία. Εδώ μπορεί επίσης να ρυθμιστεί το σχήμα του χώρου καθώς και αν θα είναι προοπτικό το είδωλο που θα αντιλαμβάνεται ή όχι.

5.1.4 Ορισμός αρθρώσεων στο V-REP.

Μια άλλη πάρα πολύ σημαντική λειτουργία του V-REP είναι αυτή του ορισμού αρθρώσεων. Υπάρχουν τρία είδη αρθρώσεων:

- Περιστροφική
- Πρισματική
- Και Σφαιρική.

Με συνδυασμό των παραπάνω μπορούν να δημιουργηθούν ακόμα και οι πιο πολύπλοκοι μηχανισμοί. Επιπλέον κάθε άρθρωση μπορεί να είναι παθητική ή ενεργητική. Στην περίπτωση της ενεργητικής άρθρωσης, μπορεί να ελέγχεται η θέση ή η ταχύτητα. Όταν γίνεται έλεγχος θέσης δίνεται η δυνατότητα να ορισθεί και ένα ελεγκτής PID.

Σε κάθε περίπτωση μπορεί να γίνει προσομοίωση ενός κινητήρα, καθώς και των διαφόρων ιδιοτήτων αδράνειας και μάζας ώστε να προβλέπεται σωστά η συμπεριφορά του κινητήρα στις διάφορες φορτίσεις.

Να σημειωθεί ότι ακόμα και οι παθητικές αρθρώσεις λαμβάνονται υπ' όψιν στις περιπτώσεις υπολογισμού του ευθέως ή αντίστροφου κινηματικού μετασχηματισμού.

5.2 :Δημιουργία μίας προσομοίωσης στο V-REP.

Για να δημιουργηθεί μία προσομοίωση στο V-REP πρέπει να ορισθούν όλα όσα χρειάζονται από αυτά που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Και το πιο σημαντικό, ίσως, είναι το μοντέλο του συστήματος που θα προσομοιωθεί. Στην ουσία, αυτό μπορεί να έχει οποιοδήποτε σχήμα και να εισηχθεί απ' ευθείας από το σύστημα CAD. Η εισαγωγή γίνεται ως πλέγμα τύπου .stl. Αυτό προσφέρει και τη μεγαλύτερη ακρίβεια στην ανίχνευση συγκρούσεων, αλλά καταναλώνει πολύ υπολογιστική ισχύ και καθυστερεί την προσομοίωση. Για το λόγο αυτό, αυτό που γίνεται συνήθως είναι ότι, εισάγονται τα σχέδια ως .stl για οπτικοποίηση του μοντέλου αλλά ρυθμίζεται το V-REP έτσι ώστε να μην τους δίνει σημασία.

Το V-REP δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να ορίζει εάν το κάθε σώμα θα αντιδράει με τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα οι δυνατότητες που δίνονται ορίζουν εάν σώμα θα είναι:

- Συγκρούσιμο.
- Ορατό.
- Ανιχνεύσιμο.
- Μετρήσιμο.

Με κατάλληλο συνδυασμό των παραπάνω μπορεί να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα με τη λιγότερη δυνατή υπολογιστική ισχύ.

Επιπλέον στο V-REP υπάρχουν και επίπεδα ορατότητας. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν περίπου όπως και τα αντίστοιχα επίπεδα στο AutoCAD. Η διαφορά είναι ότι εδώ το κάθε αντικείμενο μπορεί να είναι ορατό σε περισσότερα από ένα επίπεδα. Έτσι μπορούν να δημιουργηθούν πολλές διαφορετικές απεικόνισης της προσομοίωσης και να εναλλάσσονται αυτές κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Σαν καλή πρακτική, δημιουργείται μία απεικόνιση με όλα τα αντικείμενα που μπορούν να αλληλεπιδράσουν και μία με όλα τα αντικείμενα που έχουν καλλωπιστικό σκοπό.

Όλα τα παραπάνω ορίζονται μέσα στο δέντρο ιεραρχίας όπου τοποθετούνται πριν την προσομοίωση. Εκεί μπορούν να οριστούν και οι σχέσεις εξάρτησης (parent-child) μεταξύ των

διαφόρων αντικειμένων. Αυτές είναι οι σχέσεις που ορίζουν την κινηματική του τελικού μοντέλου. Δεν είναι απαραίτητο όλα τα αντικείμενα στην προσομοίωση να ανήκουν στο ίδιο μοντέλο, είναι όμως απαραίτητο κάθε μοντέλο να έχει διαφορετική βάση.

Να σημειωθεί εδώ ότι ο ορισμός της σχέσης εξάρτησης σε μία άρθρωση είναι ιδιαίτερα σημαντικός και πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένο τρόπο. Και αυτό γιατί η σειρά αυτή επηρεάζει τη λειτουργία της άρθρωσης. Σαν παράδειγμα, για να ορισθεί ο κινητήρας ενός τροχού για ένα όχημα, πρέπει:

- Να υπάρχει ήδη η βάση του οχήματος.
- Να εισαχθεί η άρθρωση στο κατάλληλο σημείο στο χώρο σε σχέση με τη βάση.
- Να εισαχθεί ο τροχός επίσης στο κατάλληλο σημείο.
- Να επιβεβαιωθεί ότι και τα δύο σώματα είναι αντιδράσιμα (respondable).
- Και τέλος να ορισθεί η βάση ως “γονέας” της άρθρωσης και η άρθρωση ως “γονέας” του τροχού.

Τα παραπάνω είναι η ραχοκοκαλιά του ορισμού της προσομοίωσης αφού η άρθρωση μένει ακίνητη ως προς τη βάση της και κινεί το “τέκνο” της. Να σημειωθεί εδώ ότι τα όποια φορτία μεταφέρονται μέσω της βάσης σε άλλες αρθρώσεις μέσω των σχέσεων εξάρτησης. Δηλαδή στην περίπτωση μίας ανοιχτής κινηματικής αλυσίδας, θα υποστούν όλες οι αρθρώσεις το φορτίο της ανύψωσης ενός βάρους σχεδόν όπως αυτό θα κατανεμηθεί στο πραγματικό σύστημα. Οι όποιες ανακρίβειες προκύψουν θα οφείλονται στο γεγονός ότι θεωρείται πλήρως άκαμπτη η βάση της κάθε άρθρωσης, τουλάχιστον στα δύο πρώτα μοντέλα φυσικής που αναφέρονται παραπάνω στην παράγραφο 5.1.1. Σε κάθε περίπτωση όμως οι ανακρίβειες αυτές θα είναι πολύ μικρές, και εφόσον οι κινητήρες έχουν μοντελοποιηθεί σωστά, μπορούν να εξαχθούν πολύ χρήσιμα αποτελέσματα από αυτού του είδους την προσομοίωση. Αφού ορισθούν όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και δημιουργηθεί και ο κώδικας, μπορεί να ξεκινήσει η προσομοίωση.

Να σημειωθεί εδώ ότι υπάρχουν πέντε διαφορετικές επιλογές ακρίβειας για κάθε μηχανή φυσικής. Προφανώς, όσο αυξάνεται η ακρίβεια αυξάνονται και οι απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Επιπλέον το χρονικό βήμα της προσομοίωσης είναι πλήρως ελέγξιμο.

5.3 :Σύνδεση με τη Matlab σαν εξωτερικό API.

Για τη σύνδεση του λογισμικού V-REP με τη Matlab, πρέπει να έχει δημιουργηθεί η σύνδεση μέσα στο V-REP. Αυτό γίνεται ως εξής:

- Με την καταχώριση των κατάλληλων στοιχείων μέσα στο αρχείο “remoteApiConnections.txt”. Η μορφή των καταχωρίσεων εξηγείται μέσα στο ίδιο αρχείο υπό μορφή σχολίων
- Με την αντιγραφή των κατάλληλων αρχείων σε μία διαδρομή δίσκου που να υπάρχει στο path της Matlab. Τα αρχεία αυτά είναι στη θέση “/ %installdir% / V-REP_PRO_EDU \ programming \ remoteApiBindings \ matlab \ matlab”.
- Μετά τα δύο πρώτα βήματα κάθε φορά που δίνεται σε ένα script της Matlab οι εντολές:

```
vrep=remApi('remoteApi'); % using the prototype file (remoteApiProto.m)
clientID=vrep.simxStart('127.0.0.1',1999,true,true,5000,5);
```

Θα συνδέεται η Matlab ως εξωτερικό API στο V-REP.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι ο χρωματισμένος αριθμός αντιστοιχεί στον αριθμό που δίνεται στο server της σύνδεσης από το αρχείο *remoteApiConnections.txt*. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο αριθμοί θα πρέπει να συμφωνούν για να λειτουργήσει η σύνδεση. Επίσης καλό είναι να αποφεύγετε η χρήση του 19997 που χρησιμοποιείται στην αρχή, και να δίνεται μία διαφορετική θέση για το server σύνδεσης.

Στη συνέχεια θα πρέπει να λαμβάνονται τα ονόματα των αντικειμένων μέσα στη προσομοίωση που θα ελέγχονται από τη Matlab ή θα στέλνουν στοιχεία στη Matlab. Αυτό γίνεται λαμβάνοντας το κατάλληλο *handle* με εντολές όπως η *simxGetObjectHandle* και άλλες. Το σύνολο των εντολών της Matlab ως remoteAPI αναφέρονται μέσα στο εγχειρίδιο του V-REP, το οποίο είναι διαθέσιμο και online χωρίς να είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα¹⁴, στα θέματα, στην εξής διαδρομή:

*Writing code in and around V-REP ⇒ V-REP API framework ⇒ Remote API ⇒
⇒ Remote API functions (Matlab)*

Να σημειωθεί εδώ ότι, οι εντολές που αναφέρονται εκεί συντάσσονται μέσα στη Matlab σαν μέθοδος συναρτήσεων. Και άρα στην σύνταξη που αναφέρεται μέσα στο manual πρέπει να προστίθεται πάντα από μπροστά το *vrep.* Στη συνέχεια μπορεί να γραφεί η εντολή όπως αναφέρεται στο manual. Π.χ.:

Η εντολή *simxGetObjectHandle* γράφεται ως *vrep.simxGetObjectHandle*.

5.4 : Ορισμός της σκηνής προσομοίωσης στο V-REP.

Αφού ρυθμιστεί η σύνδεση μεταξύ Matlab και V-REP μπορεί να ξεκινήσει ο ορισμός των διαφόρων μοντέλων που θα αποτελέσουν τη σκηνή για τη προσομοίωση της ρίψης και του ρομποτικού βραχίονα.

Εδώ η σκηνή αποτελείται από 3 βασικά στοιχεία:

- Το αντικείμενο (Μπάλα).
- Τη χούφτα της εκτόξευσης.
- Και το μοντέλο του βραχίονα.

Η μπάλα προφανώς είναι μία απλή σφαίρα. Το υλικό και το βάρος της δεν παίζει σημασία εφόσον δεν προσομοιώνεται ούτε αεροδυναμική αντίσταση ούτε σύγκρουση και ανάκλαση πάνω σε άλλο αντικείμενο.

Για να υπάρχει επαναληψιμότητα στα αποτελέσματα της προσομοίωσης δημιουργήθηκε ένα σχήμα, στο λογισμικό Creo Parametric 2.0, το οποίο έμοιαζε με μία χούφτα. Αυτό τοποθετήθηκε πάνω σε μία πρισματική άρθρωση πακτωμένη στο πάτωμα, με τον τρόπο που αναφέρεται στη παράγραφο 5.1.4. Η γωνίες αυτής της άρθρωσης γύρω από του τρεις άξονες μπορούν να ρυθμιστούν μέσα από το μενού θέσης του αντικειμένου της άρθρωσης.

Αυτή η χούφτα έχει τέτοιο σχήμα ώστε κατά τη διάρκεια της κίνησης του να ισορροπεί η μπάλα στο ίδιο σημείο. Επιπλέον, έχει φορτωθεί στη σκηνή αυτούσιο το .stl αρχείο από το Creo Parametric. Αυτό έχει το μειονέκτημα ότι αυξάνει το υπολογιστικό φόρτο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Παρ' όλα αυτά, αφού το αντικείμενο της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση και του χρόνου αντίδρασης του αλγόριθμου, αυτό δεν αποτελεί μειονέκτημα στην προκειμένη περίπτωση.

Τέλος να αναφερθεί ότι η χούφτα είναι σε απόσταση 4,5m από το επίπεδο κίνησης του άκρου του βραχίονα.

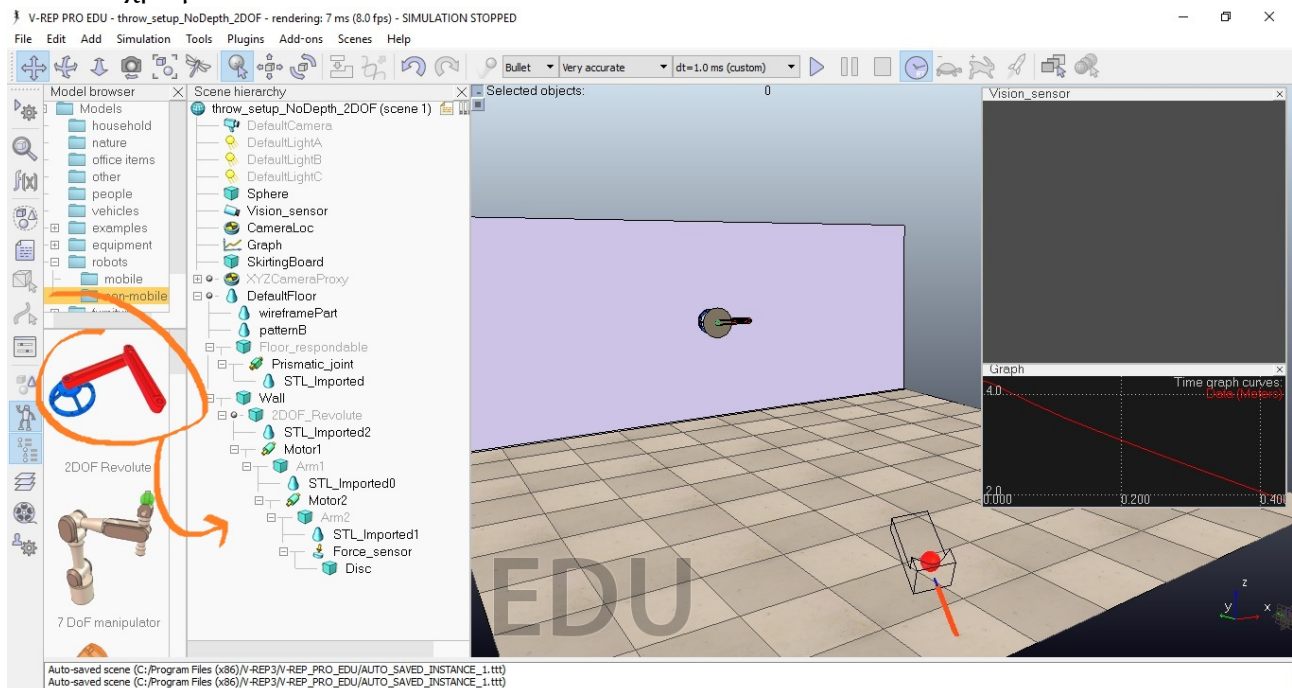
14 [13] [V-REP manual](http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/) <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/>

5.4.1 Το μοντέλο του βραχίονα στο V-REP.

Η βάση του βραχίονα, που απεικονίζεται με μπλε χρώμα στο μοντέλο, είναι και το γονεϊκό στοιχείο του βραχίονα. Σε αυτή τη βάση είναι τοποθετημένο το σταθερό κομμάτι της πρώτης περιστροφικής άρθρωσης, κατά τα όσα αναφέρονται παραπάνω.

Στο περιστρεφόμενο κομμάτι της άρθρωσης είναι πακτωμένο το ένα άκρο του πρώτου μπράτσου του βραχίονα. Το μήκος του μπράτσου είναι 0.5m, όσο και το πραγματικό δηλαδή. Αυτό σημαίνει ότι κατά την κίνηση της πρώτης άρθρωσης το δεύτερο άκρο του μπράτσου εκτελεί μία κυκλική τροχιά διαμέτρου 1m.

Σε αυτό το άκρο είναι τοποθετημένη η δεύτερη άρθρωση που συγκρατεί το δεύτερο μπράτσο με αντίστοιχο τρόπο. Άρα προκύπτει ότι ο ωφέλιμος χώρος λειτουργίας του βραχίονα είναι ένας κύκλος με διάμετρο 2m. Να σημειωθεί ότι οι βραχίονες απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα.



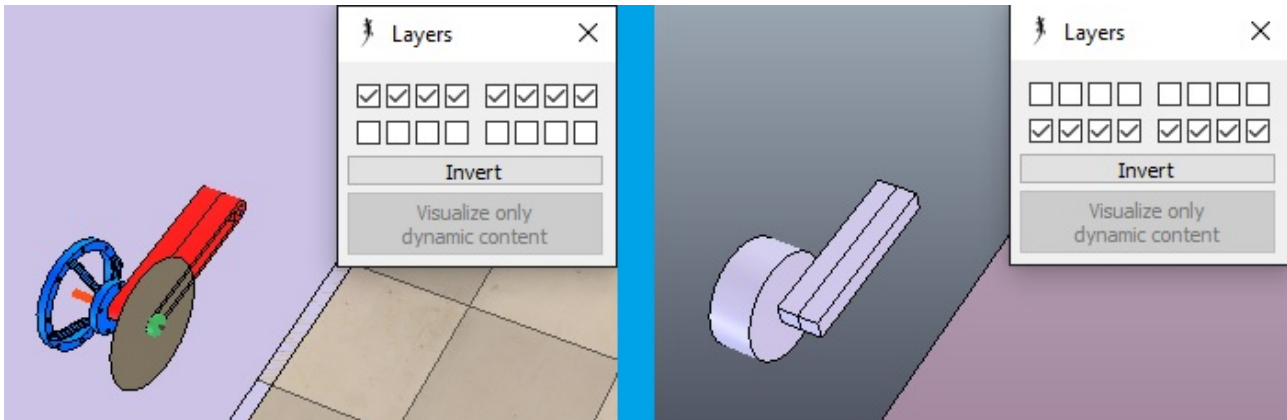
Εικόνα 5.8

Εικόνα 5.7: Η σκηνή της προσομοίωσης στο V-REP. Είναι σημειωμένο το μοντέλο του βραχίονα στην τοπική βιβλιοθήκη. Δεξιά από αυτό είναι το δέντρο της προσομοίωσης στο οποίο καταγράφονται οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων και των αρθρώσεων.

Η παραπάνω σχέση μεταξύ των αρθρώσεων και των μπράτσων απεικονίζεται και στο δέντρο της ιεραρχίας της σκηνής. Προφανώς είναι το μοντέλο με τα περισσότερα επίπεδα σε αυτή.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να παρατηρηθούν στην εικόνα 5.7. Σε αυτή φαίνονται και οι ακμές του περιγράμματος της χούφτας που χρησιμοποιείται για τη ρίψη της μπάλας, καθώς και ο άξονας της πρισματικής άρθρωσης που την κινεί.

Αξίζει να αναφερθεί πάντως ότι το σχήμα που εμφανίζεται στην εικόνα είναι μια απλή οπτικοποίηση του βραχίονα. Το δυναμικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στη προσομοίωση έχει τις ίδιες γενικές διαστάσεις αλλά πολύ πιο απλή γεωμετρία. Μια σύγκριση φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 5.8.



Εικόνα 5.9: Παράδειγμα της χρήσης των επιπέδων (layers) στη δημιουργία του μοντέλου.

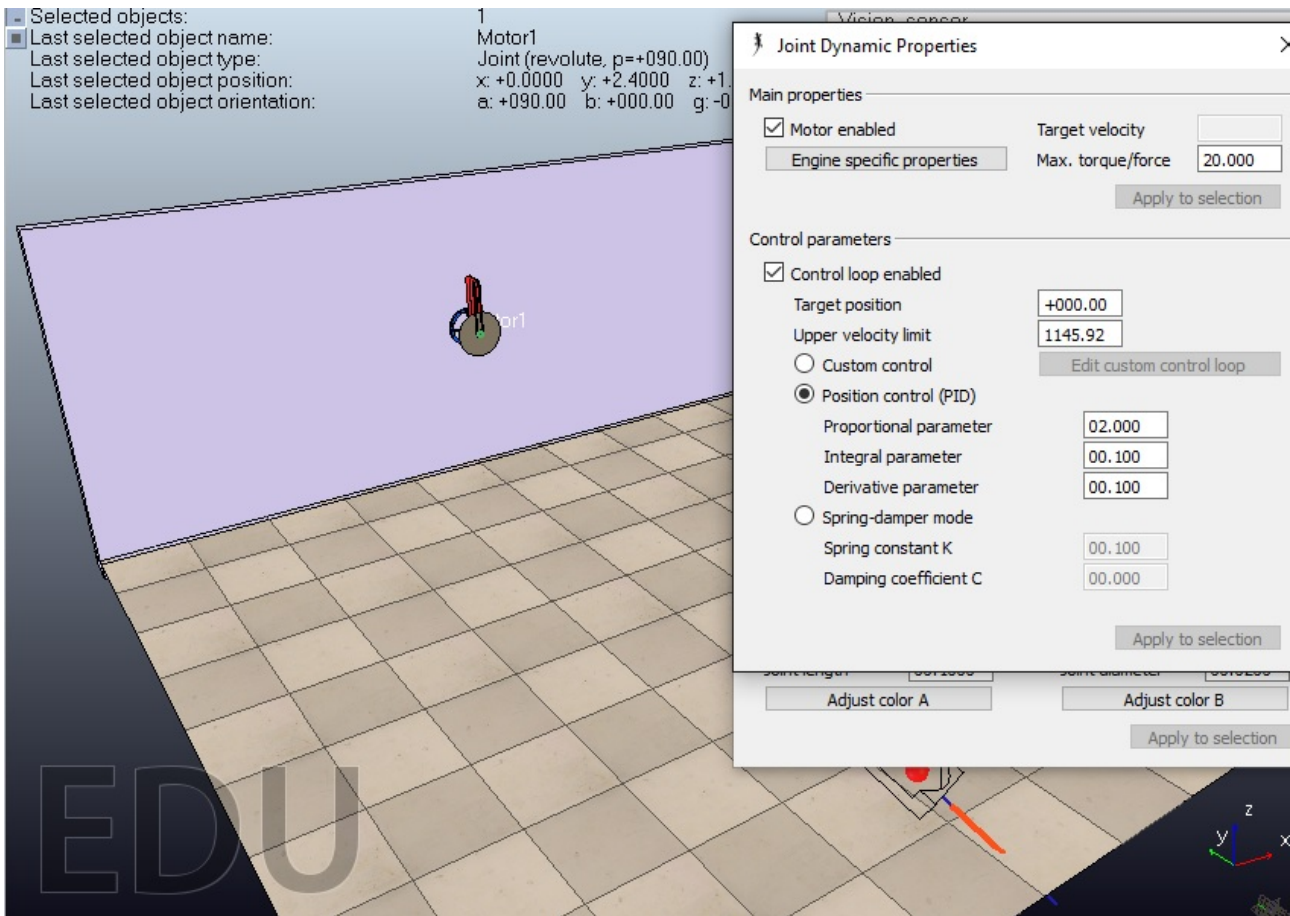
Σε αυτή την εικόνα φαίνεται το πως έχουν χρησιμοποιηθεί τα επίπεδα για να ορισθεί ο βραχίονας. Στα αριστερά έχουν τοποθετηθεί οι αρθρώσεις και τα μοντέλα που ορίζουν την εξωτερική εμφάνιση του βραχίονα. Αυτά, με την εξαίρεση του δίσκου, είναι όλα σε μη συγκρούσιμη κατάσταση. Δηλαδή δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν με άλλα αντικείμενα στη σκηνή. Στα δεξιά φαίνονται τα συγκρούσιμα μοντέλα της βάσης και των μπράτσων του βραχίονα. Φαίνεται ότι είναι πολύ απλούστερα ως γεωμετρίες.

Αυτό είναι γενικά κάτι που συνιστάται ως βέλτιστη πρακτική στο αρχείο βοήθειας του V-REP και γι αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε και εδώ αυτή η λογική. Δηλαδή η λογική του να δημιουργούνται όλα τα συγκρούσιμα μοντέλα ως βασικά σχήματα εντός του V-REP ακόμα και όταν υπάρχει άλλη πιο περίπλοκη γεωμετρία που εισάγεται για την εξωτερική εμφάνιση.

Τέλος να σημειωθεί ότι τα στοιχεία που καταχωρήθηκαν για τα δυναμικά χαρακτηριστικά του κινητήρα είναι:

- Ροπή: $20 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Μέγιστη Ταχύτητα: $1145 \frac{\text{degrees}}{\text{sec}} = 3,18 \text{ rps}$
- Έλεγχος θέσης τύπου PID με:
 - Proportional = 2
 - Integral = .1
 - Derivative = .1

Στην εικόνα 5.10 φαίνονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της άρθρωσης και οι παράμετροι του PID. Το πλαίσιο αφορά την πρώτη άρθρωση, αλλά και οι δύο είναι φτιαγμένες με ακριβώς τον ίδιο τρόπο.



Εικόνα 5.10: Το πλαίσιο διαλόγου των περιστροφικών αρθρώσεων.

Ο λόγος που τελικά επιλέχθηκε έλεγχος τύπου PID είναι διότι, παρ' όλο που ακόμα και τόσο μικρό ολοκληρωτικό μέρος στον ελεγκτή προκαλεί υπερακόντιση στον έλεγχο θέσης, βοηθάει στη πιο γρήγορη απόκριση του βραχίονα στις διαφορετικές τιμές που του δίνονται. Επιπλέον, η υπερακόντιση είναι σχετικά μικρή και με την ακρίβεια που επιτυγχάνεται στην πρόβλεψη και με το δίσκο των 30cm στο άκρο του βραχίονα, δεν επηρεάζεται η επιτυχία της αναχαίτισης.

5.4.2 Εξισώσεις ελέγχου του βραχίονα.

Αφού ορίστηκε το μοντέλο του βραχίονα στο V-REP, απαιτείται και ο ορισμός των αντίστοιχων εξισώσεων για τον έλεγχο της διάταξης. Έτσι εάν θεωρήσουμε ότι στην εικόνα 5.9 οι αρθρώσεις είναι στη θέση 0, οι θέσεις που πρέπει να λάβουν υπολογίζονται από τον παρακάτω κώδικα:

```
function [Joint1,Joint2]=RoboCom(ArmLength, X, Y)

a=atan2(Y, X);

PointD=sqrt(X^2+Y^2);

theta3=acos((PointD/2)/ArmLength);

thetal=asin((PointD/2)/ArmLength);

Joint1=a+theta3;
```

```
Joint2=thetal*2;
```

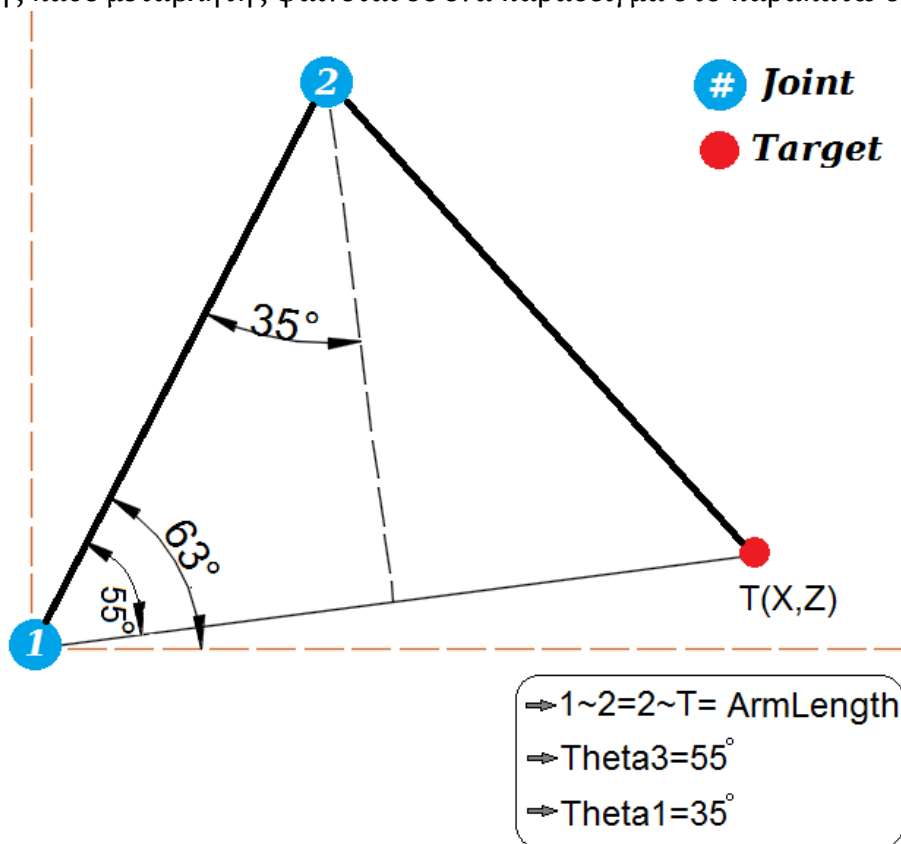
```
end
```

Από τον παραπάνω κώδικα προκύπτει ότι το αντίστροφο κινηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Joint_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{2 \cdot ArmLength}\right)$$

$$Joint_2 = 2 \cdot \sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{2 \cdot ArmLength}\right)$$

Τα X,Y είναι αυτά που εξάγει η πρόβλεψη. Για την ακρίβεια είναι τα X και Z του συστήματος συντεταγμένων της κάμερας, αλλά η συνάρτηση γράφτηκε με αυτό το τρόπο για να είναι πιο κατανοητή και πιο εύκολη η εύρεση και διόρθωση σφαλμάτων κατά τη ανάπτυξη της. Η απεικόνιση της κάθε μεταβλητής φαίνεται σε ένα παράδειγμα στο παρακάτω σχήμα (5.11):



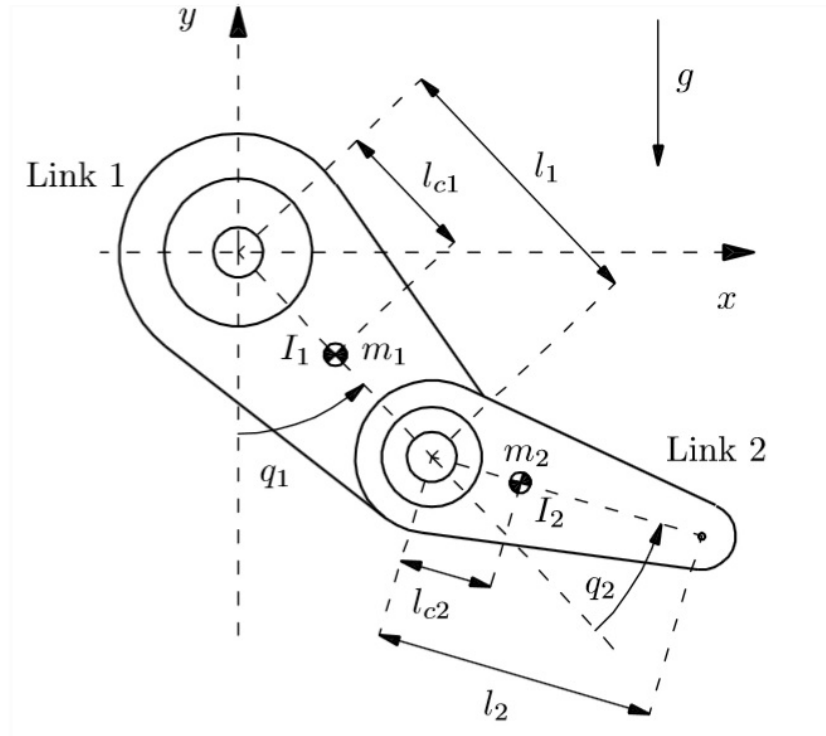
Εικόνα 5.11: Παράδειγμα θέσης του βραχίονα, όπου φαίνεται η κάθε μεταβλητή που αναφέρεται παραπάνω στο αντίστροφο κινηματικό μοντέλο.

Παρακάτω δίνεται ενδεικτικά το δυναμικό μοντέλο ενός επίπεδου βραχίονα 2 περιστροφικών βαθμών ελευθερίας (2DoF – RR), όπως αυτό υπολογίστηκε για την περίπτωση του Pelican Prototype του ινστιτούτου έρευνας CICESE του Μεξικό¹⁵.

Να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το βραχίονα καθώς στη περίπτωση του Pelican, θεωρείται ότι οι αρθρώσεις είναι στη θέση 0 όταν το άκρο του βραχίονα είναι στη θέση $-y_{max}$. Και επειδή το Pelican έχει βραχίονες

15 [14] Control of Robot Manipulators in Joint Space - Rafael Kelly, Victor Santibáñez Davila, Julio Antonio Loria Perez – Springer Science and Business Media

μήκους $0,26m$, θεωρείται ότι οι αρθρώσεις είναι στη θέση 0 όταν το άκρο είναι στο $(X, Y)=(0, -0.42)$. Δίνεται επίσης και το σκίτσο του βραχίονα όπου απεικονίζονται οι μεταβλητές.



Εικόνα 5.12: Σκίτσο του πρωτότυπου Pelican του ινστιτούτου CICESE.

Δυναμικό Μοντέλο του βραχίονα Pelican

$$\underbrace{\begin{bmatrix} M_{11}(q) & M_{12}(q) \\ M_{21}(q) & M_{22}(q) \end{bmatrix}}_{M(q)} \ddot{q} + \underbrace{\begin{bmatrix} C_{11}(q, \dot{q}) & C_{12}(q, \dot{q}) \\ C_{21}(q, \dot{q}) & C_{22}(q, \dot{q}) \end{bmatrix}}_{C(q, \dot{q})} \dot{q} + \underbrace{\begin{bmatrix} g_1(q) \\ g_2(q) \end{bmatrix}}_{g(q)} = \tau,$$

όπου,

$$M_{11}(q) = m_1 l_{c1}^2 + m_2 [l_1^2 + l_{c2}^2 + 2l_1 l_{c2} \cos(q_2)] + I_1 + I_2$$

$$M_{12}(q) = m_2 [l_{c2}^2 + l_1 l_{c2} \cos(q_2)] + I_2$$

$$M_{21}(q) = m_2 [l_{c2}^2 + l_1 l_{c2} \cos(q_2)] + I_2$$

$$M_{22}(q) = m_2 l_{c2}^2 + I_2$$

$$C_{11}(q, \dot{q}) = -m_2 l_1 l_{c2} \sin(q_2) \dot{q}_2$$

$$C_{12}(q, \dot{q}) = -m_2 l_1 l_{c2} \sin(q_2) [\dot{q}_1 + \dot{q}_2]$$

$$C_{21}(q, \dot{q}) = m_2 l_1 l_{c2} \sin(q_2) \dot{q}_1$$

$$C_{22}(q, \dot{q}) = 0$$

$$g_1(q) = [m_1 l_{c1} + m_2 l_1] g \sin(q_1) + m_2 l_{c2} g \sin(q_1 + q_2)$$

$$g_2(q) = m_2 l_{c2} g \sin(q_1 + q_2).$$

να σημειωθεί ότι οι μεταβλητές ορίζονται όπως φαίνεται παραπάνω στην εικόνα. Επιπλέον, θεωρείται ότι $q_{1,2}=0$ όταν οι αρθρώσεις είναι στη θέση από την οποία ξεκινάει να

μετريέται η γωνία q στην εικόνα 5.12.

Παρ' όλο που το συγκεκριμένο δυναμικό μοντέλο δε αντιστοιχεί ακριβώς στο βραχίονα της εργασίας αυτής, εάν ληφθεί υπ' όψιν η διαφορά στη θέση που ορίζεται ως $(q_1, q_2) = (0, 0)$, τότε μπορεί να υπολογιστεί το αντίστοιχο μοντέλο και για το βραχίονα της εργασίας.

Σε κάθε περίπτωση από το παραπάνω μοντέλο γίνεται εμφανές το πως επηρεάζει η μάζα και το κέντρο βάρους του κάθε βραχίονα, καθώς και η γωνιακή επιτάχυνση (\ddot{q}) και η γωνιακή ταχύτητα (\dot{q}) της κάθε άρθρωσης, την απαιτούμενη ροπή (τ) που πρέπει να αποδώσει ο κινητήρας σε κάθε σημείο της επιθυμητής τροχιάς.

5.5 :Ρίψη και αποτελέσματα.

Αφού ορίστηκε η σκηνή της προσομοίωσης με τον τρόπο που περιγράφεται στις προηγούμενες παραγράφους, έγινε εκκίνηση της μέσα από το Matlab.

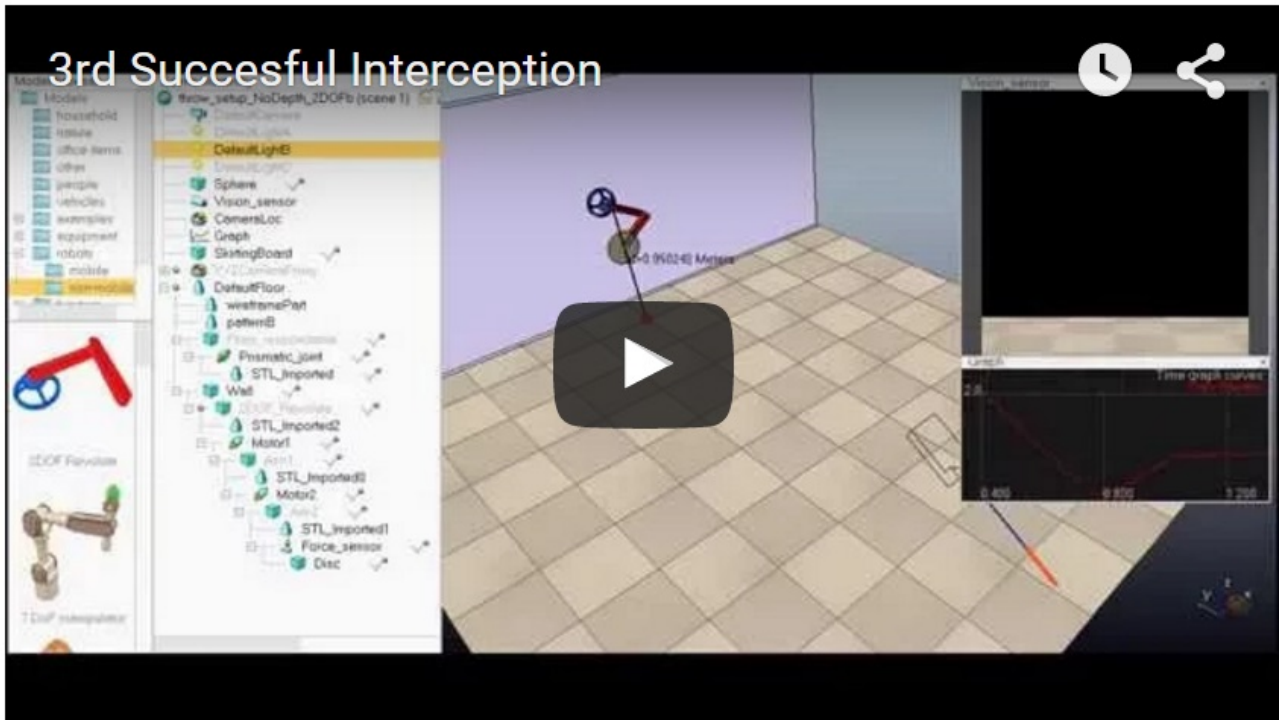
Η χούφτα σπρώχνει το αντικείμενο, το οποίο αναγκάζεται να ακολουθήσει μια βαλλιστική τροχιά. Για να μην μπερδεύεται ο αλγόριθμος από τα frame στα οποία η μπάλα είναι ακόμα μέσα στη χούφτα, σε αυτή δόθηκε διάφανο χρώμα. Έτσι, αντιδρούσε με το αντικείμενο σωστά αλλά η κάμερα δεν το καταγράφει. Με αυτό το τρόπο η μπάλα είναι ορατή στην κάμερα από το πρώτο frame.

Με την εκκίνηση της προσομοίωσης, η χούφτα υποχρεώνει τη μπάλα να μπει σε βαλλιστική τροχιά. Η Matlab τραβάει frames από την κάμερα και εφαρμόζει σε αυτά τον αλγόριθμο όπως αυτός έχει περιγραφεί παραπάνω. Ο αλγόριθμος προβλέπει τη θέση και στέλνει την εντολή στους κινητήρες.

Να σημειωθεί ότι εδώ γίνεται μία επιπλέον μετατροπή συστήματος συντεταγμένων έτσι ώστε η θέση στο χώρο που υπολογίζει ο αλγόριθμος της Matlab να συμφωνεί με αυτή που εξάγει σαν πληροφορία το V-REP. Ο σκοπός αυτής μετατροπής είναι να παρέχεται η δυνατότητα της απεικόνισης των δύο θέσεων στο ίδιο διάγραμμα για να εμφανίζεται καλύτερα η προσέγγιση του υπολογισμού στην σωστή θέση στο χώρο.

Παρακάτω δίνεται ένα στιγμιότυπο από τη ρίψη¹⁶:

16 https://www.youtube.com/playlist?list=PLr7eYHHnzpurbX7X_dVUSOphJbb1DkeUq



Εικόνα 5.13: Playlist με διάφορες ρίψεις και τα αποτελέσματά τους στο περιβάλλον του V-REP

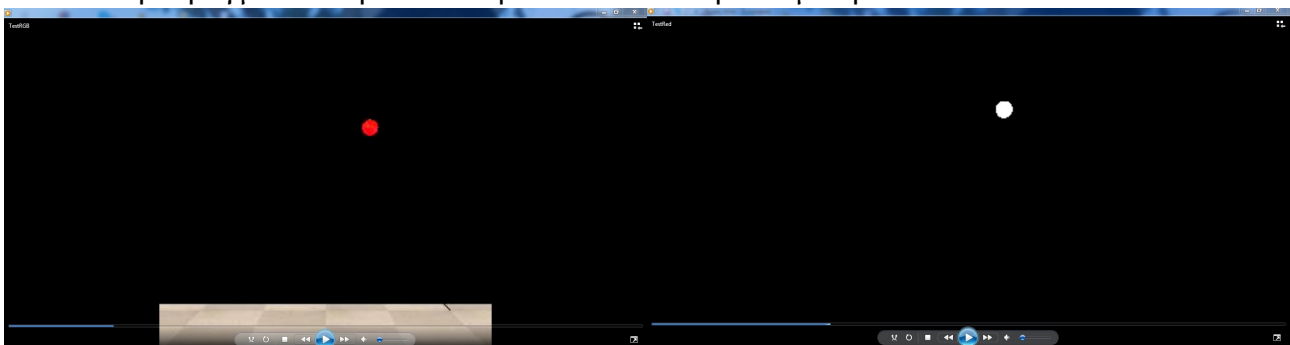
Εξάγεται επίσης και η απόσταση από την κάμερα μέχρι την μπάλα και συγκρίνεται σε κάθε frame με την υπολογισμένη. Δίνεται έτσι η δυνατότητα να εκτιμηθεί και η ακρίβεια του υπολογισμού αφού η απόσταση είναι η σημαντικότερη παράμετρος στην πρόβλεψη.

5.5.1 Γραφική αναπαράσταση απόστασης και θέσης στο χώρο.

Το βασικότερο στοιχείο των υπολογισμών ήταν η ακριβής ανίχνευση της μπάλας και η απομόνωση της σε μία δυαδική εικόνα.

Εάν αυτό γινόταν με επιτυχία τότε όπως έχει αποδειχθεί από τις προηγούμενες παραγράφους, ο υπολογισμός της θέσης θα είχε πάρα πολύ μεγάλη ακρίβεια. Ακόμα και σε σχετικά χαμηλές αναλύσεις.

Σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ανάλυση, για την κάμερα στο V-REP, 256x256 pixel. Ακόμα και σε αυτή την ανάλυση τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν ήταν εξαιρετικά κοντά στην πραγματικότητα. Αυτό φαίνεται και στην επόμενη εικόνα¹⁷.

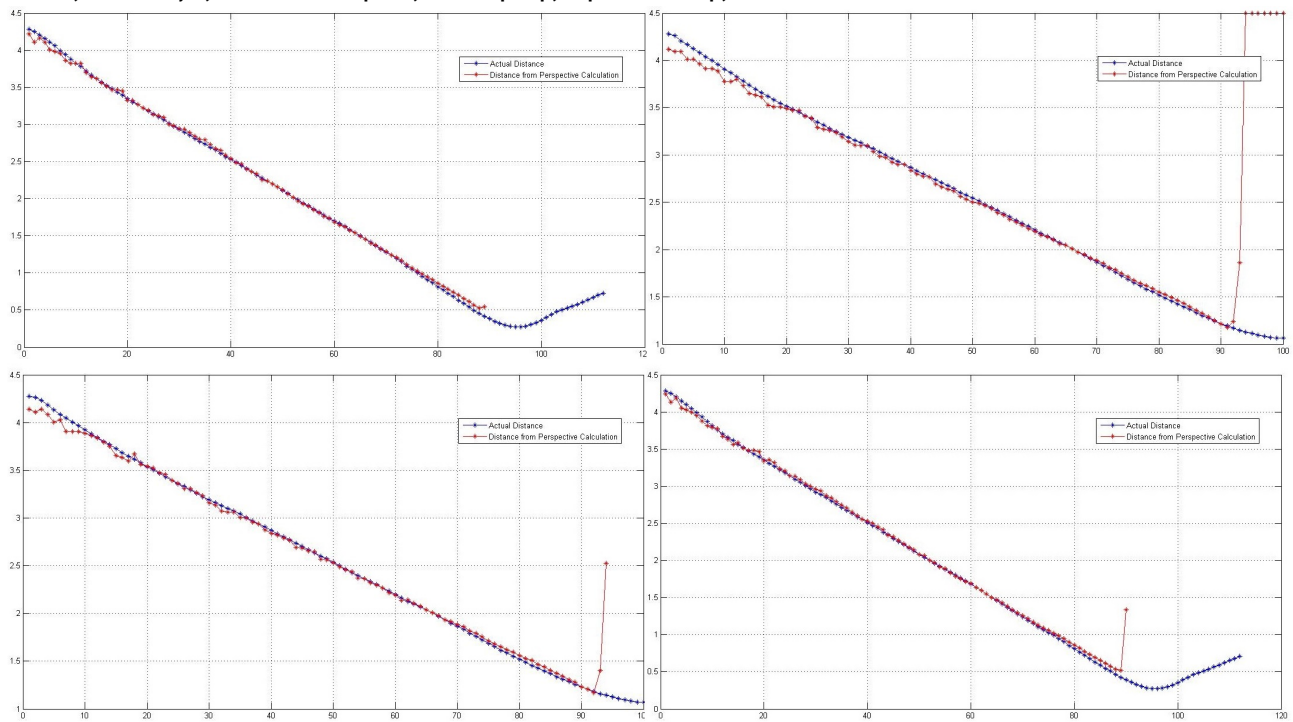


Εικόνα 5.14: Παράδειγμα των εικόνων που λήφθηκαν και της αναγνώρισης που έγινε σε πραγματικό χρόνο.

Λόγω της εξαιρετικής ευκρίνειας της ανίχνευσης του κόκκινου χρώματος, οι υπολογισμοί είχαν επίσης πάρα πολύ υψηλή ακρίβεια. Παρακάτω, δίνονται συγκριτικά διαγράμματα μέσα από τη Matlab με την απόσταση όπως αυτή μετρείται από το V-REP και με την απόσταση

¹⁷ Βίντεο με τη λήψη κάμερας και ανίχνευση Matlab στο YouTube: https://youtu.be/1mF_OCqGCB8

όπως υπολογίζεται από την εξίσωση της προοπτικής.



Εικόνα 5.15: Αντιπαράθεση της πραγματικής απόστασης από τη κάμερα με την υπολογισμένη από τον αλγόριθμο.

Τα παραπάνω διαγράμματα της εικόνας 5.15 δείχνουν ξεκάθαρα ότι η ανίχνευση του κόκκινου χρώματος ήταν αρκετά επιτυχημένη. Επίσης φαίνεται ότι η προσέγγιση για τον υπολογισμό της απόστασης ήταν εξαιρετικά επιτυχημένη και έδωσε πάρα πολύ καλά αποτελέσματα.

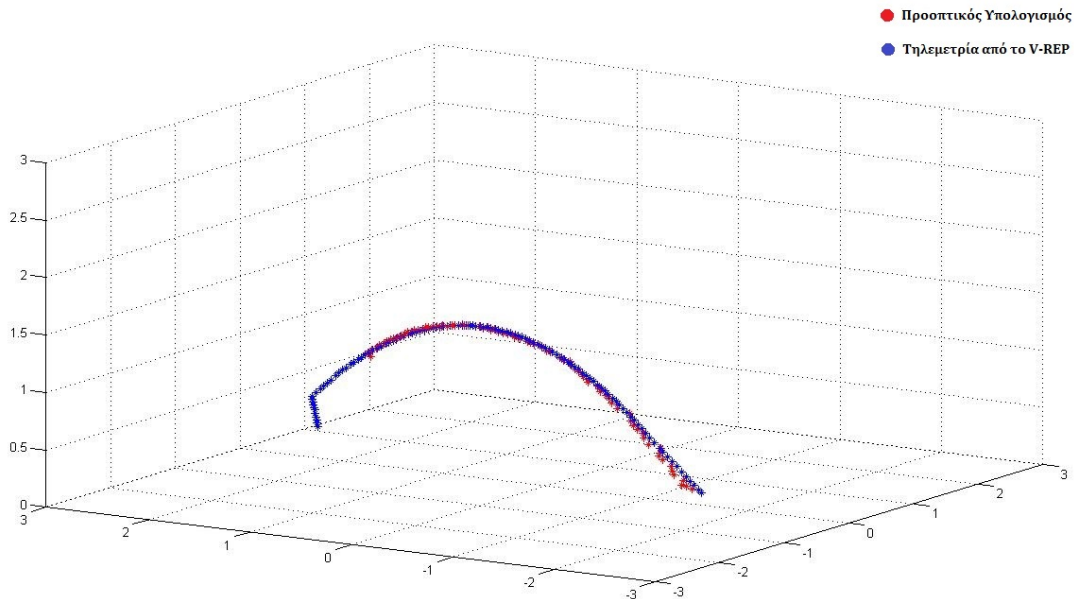
Αξίζει όμως να αφιερωθεί λίγος χρόνος για να σχολιαστούν τα διαγράμματα αυτά. Κατ' αρχήν φαίνεται ότι για τα πρώτα frame (1^ο έως 5^ο frame) υπάρχει σχετικά μεγάλη απόκλιση. Αυτό συμβαίνει διότι είναι πολύ μικρή η ανάλυση και σε αυτά τα frame το σχήμα της μπάλας είναι σχετικά τετραγωνισμένο, οπότε, ο υπολογισμός του εμβαδού δίνει μέτρια αποτελέσματα. Ακόμα και σε αυτή την περίπτωση βέβαια, το αποτέλεσμα είναι ήδη κοντά στο σωστό.

Στη συνέχεια παρατηρείται ότι η απόσταση προσεγγίζει τη σωστή αλλά είναι συνέχεια είτε λίγο πάνω ή λίγο κάτω από αυτή. Και εδώ παίζει ρόλο η χαμηλή ανάλυση που έχει ορισθεί στον οπτικό αισθητήρα μέσα στο V-REP. Αυτές οι αποκλίσεις δηλαδή αφορούν την προσέγγιση του κύκλου από πολλά τετράγωνα. Και εδώ όμως η προσέγγιση είναι άκρως ικανοποιητική και μάλιστα καλύτερη ακόμα και από πριν.

Τέλος, παρατηρείται ότι στα τελευταία frame η απόσταση αυξάνεται πάρα πολύ γρήγορα και φεύγει πολύ μακριά από το σωστό. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτά τα frame η μπάλα έχει αρχίσει να φεύγει από το οπτικό πεδίο της κάμερας. Αυτό οφείλεται στο ότι για τα τελευταία τρία με τέσσερα frame δεν φαίνεται ολόκληρη η μπάλα στην εικόνα. Μάλιστα, σε κάθε frame που περνάει, φαίνεται όλο και μικρότερο μέρος της μπάλας στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Ο αλγόριθμος όμως αντιλαμβάνεται απλώς μικρότερο εμβαδόν της μπάλας και θεωρεί βάσει αυτού ότι η μπάλα απομακρύνεται. Αυτό απεικονίζεται και στο διάγραμμα. Να σημειωθεί ότι στο script που εκτύπωνε τα διαγράμματα στη Matlab έχει τεθεί όριο στα 4.5m, που ήταν περίπου η απόσταση της μπάλας στην αρχή. Γι αυτό φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα και οι τιμές πάνε εκεί. Στην πραγματικότητα, οι τιμές σε αυτά τα frame ήταν "άπειρο" (Inf).

Τα παραπάνω δίνουν εξαιρετικά αποτελέσματα και σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο για

την εύρεση της θέσης προσεγγίζουν τη θέση του αντικειμένου στο χώρο με εξαιρετική ακρίβεια. Αυτό αποτυπώνεται και στην εικόνα 5.9:



Εικόνα 5.16: Αντιπαράθεση της τηλεμετρίας της θέσης του αντικειμένου με την υπολογισμένη θέση από τον αλγόριθμο.

Εδώ φαίνεται επίσης ότι δεν υπάρχουν σημεία κοντά στην κάμερα καθώς εκεί παρατηρούνταν και τα προβλήματα στον υπολογισμό της απόστασης που αναφέρονται παραπάνω. Μάλιστα, να σημειωθεί ότι υπάρχουν σημεία υπολογισμένα στο χώρο αλλά επειδή η απεικόνιση εδώ γίνεται με περιορισμό στους άξονες του διαγράμματος αυτά δεν φαίνονται καθώς είναι πολύ μακριά και έξω από το χώρο που απεικονίζεται.

5.5.2 Πρόβλεψη και περιορισμοί της πρόβλεψης στο V-REP.

Η υπολογισμός της θέσης με τόσο ικανοποιητική ακρίβεια βοηθάει εξαιρετικά στην πρόβλεψη της σωστής θέσης πρόσκρουσης στο επίπεδο του βραχίονα. Αυτό συμβαίνει διότι, όπως είναι γνωστό, η μέθοδοι γραμμικής παρεμβολής αποτυγχάνουν όταν στο δείγμα υπάρχει πολύς θόρυβος. Σε αυτή την περίπτωση όμως που το πείραμα γινόταν σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον προσομοίωσης, ο θόρυβος ήταν πρακτικά ανύπαρκτος. Οπότε και η πρόβλεψη γινόταν επίσης με μεγάλη ακρίβεια.

Παρ' όλα αυτά όμως, παρουσιαζόταν κάποια προβλήματα στα σημεία της πρόβλεψης ειδικά στα πρώτα frame της ρίψης. Μετά από προσεκτική ανάλυση των δεδομένων φάνηκε ότι οι αρχικές ανακριβείς προβλέψεις οφειλόταν σε δύο βασικά προβλήματα:

- Στα πρώτα frame τα σημεία αλλάζουν θέση επάνω στο επίπεδο αρκετά, μερικές φορές αλλάζοντας ακόμα και τεταρτημόριο.
- Οι τιμές της πρόβλεψης φαίνεται να ξεκινάνε από τεράστιες τιμές στον άξονα των Z. Στη συνέχεια όσο μεγαλώνει το δείγμα, η τιμή του Z προσεγγίζει τη σωστή με πάρα πολύ γρήγορο ρυθμό.

Το πρώτο οφείλεται σε ένα βασικό μειονέκτημα της γραμμικής παρεμβολής. Το ότι όταν παρεμβάλλονται γραμμικά δύο μόνο σημεία, τότε η λαμβάνεται η ευθεία που περνάει από αυτά τα δύο σημεία. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει τεράστια πιθανότητα τα πρώτα frame να δίνουν προβλέψεις με σημαντική απόκλιση.

Σε ένα μικρότερο βαθμό, το πρώτο πρόβλημα οφείλεται και στην απόκλιση στον υπολογισμό της απόστασης όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω. Εδώ η απόκλιση που

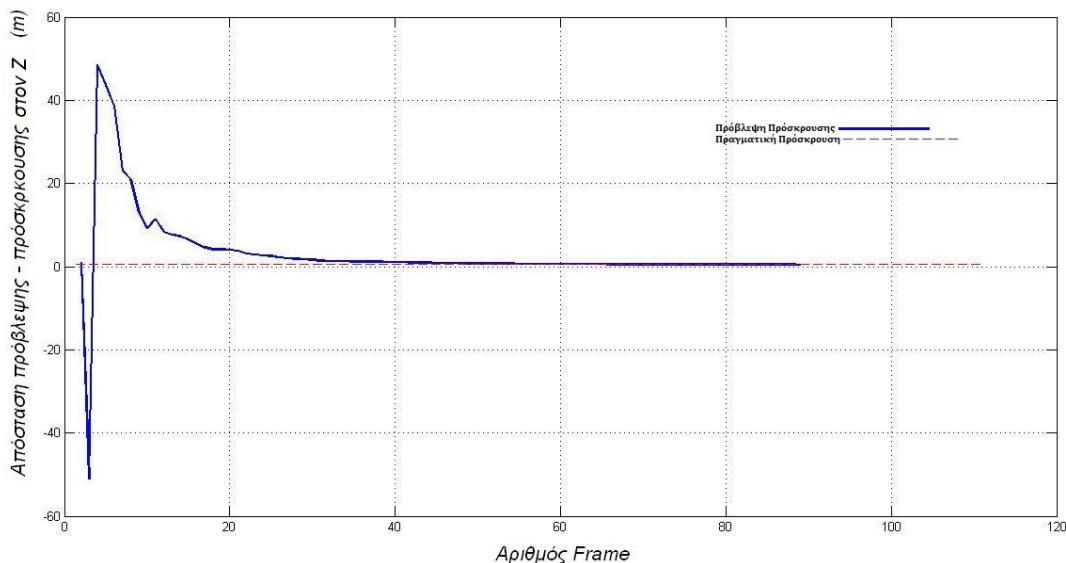
προκαλείται είναι σχετικά μικρή και δεν αλλάζει τη σχετική θέση του σημείου πρόσκρουσης πάνω στο επίπεδο, μόνο την απόσταση από το κέντρο του βραχίονα.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως παρουσιάζει το δεύτερο πρόβλημα που εμφανίζεται. Μάλιστα εδώ η αιτία του προβλήματος δεν ήταν ξεκάθαρη μέχρι την εκτέλεση των πραγματικών πειραμάτων. Και αυτό διότι στις πραγματικές ρίψεις δεν φαινόταν να εμφανίζεται. Τελικά αποδείχθηκε ότι αυτή η συμπεριφορά στα προβλεπόμενα σημεία οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η ρίψη που στη συνέχεια εξαναγκάζει τη μπάλα να ακολουθήσει τη βαλλιστική τροχιά.

Εδώ, η μπάλα σπρώχνεται από μία χούφτα την οποία κινεί μία πρισματική άρθρωση. Άρα για τα πρώτα 5 με 10 frame, γίνεται προσέγγιση δεύτερου βαθμού σε ένα σύνολο δεδομένων το οποίο όμως εκφράζουν μία ευθεία, αφού έτσι κινούνται οι πρισματικές αρθρώσεις. Για το λόγο αυτό η εξίσωση της μετατόπισης που υπολογίζεται δείχνει ένα σημείο πάρα πολύ ψηλότερα από το σωστό.

Από αυτό το παράδειγμα φαίνεται ότι όταν τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν μία ευθεία ή είναι κοντά σε αυτή, ακόμα και η προσέγγιση δεύτερου βαθμού δεν μπορεί να αποδώσει παραβολή καθώς τα δεδομένα δεν συμφωνούν με αυτό.

Επιπλέον στα δύο πρώτα σωστά αποθηκευμένα frame η *polyfit* δίνει ένα προειδοποιητικό μήνυμα ότι τα δεδομένα δεν επαρκούν για την εύρεση μοναδικής λύσης. Παρ' όλα αυτά δίνεται μία από τις πιθανές λύσεις ως απάντηση. Τα παραπάνω προκαλούν μία τεράστια διακύμανση στα δεδομένα της πρόβλεψης για τα πρώτα frame. Οι διακυμάνσεις αυτές καταγράφονται στα επόμενα διαγράμματα 5.17 και 5.18:

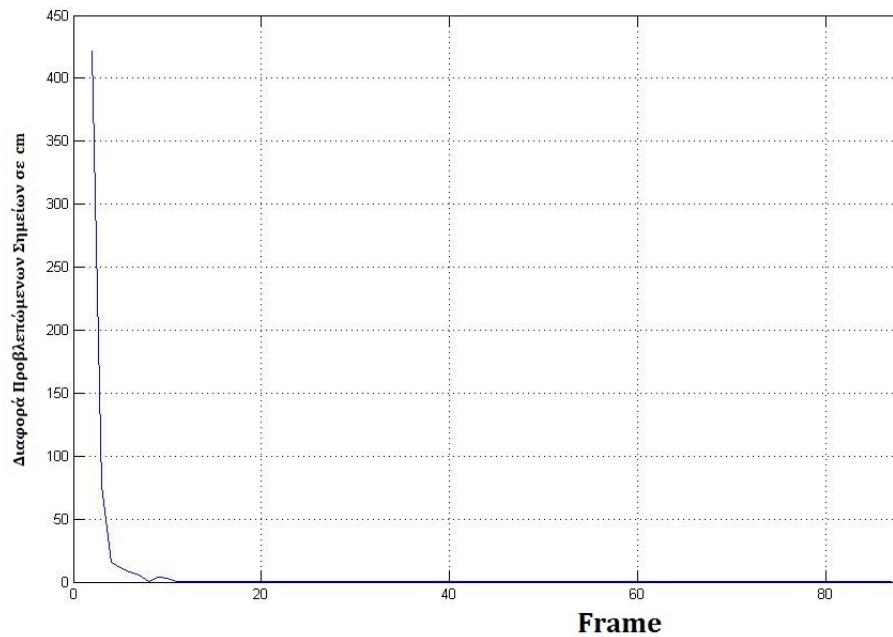


Εικόνα 5.17: Απόσταση της πρόβλεψης από την πραγματική θέση της πρόσκρουσης στο V-REP.

Στο παρακάτω διάγραμμα οι τιμές είναι σε μέτρα (*m*). Ο σκοπός αυτού του διαγράμματος είναι να δείξει το μέγεθος του σφάλματος που προκύπτει. Φαίνεται ότι στα πρώτα frame που δεν επαρκούν τα δεδομένα για μοναδική λύση, έχει επιλεγεί η συμμετρική λύση της σωστής από τις διαθέσιμες πιθανές. Μετά που τα δεδομένα επαρκούν για την εύρεση και των τριών συντελεστών, συμβαίνει αυτό που περιγράφεται παραπάνω. Δηλαδή υπολογίζεται μία τιμή, σημαντικά μεγαλύτερη από τη σωστή. Όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα, η διαφορά μειώνεται ταχύτατα και στα 30 frame η προσέγγιση είναι ήδη ικανοποιητική. Μετά τα 60 frame η διαφορά μεταξύ της σωστής τιμής στο Z και της πρόβλεψης είναι μη παρατηρήσιμη σε αυτή την κλίμακα. Η γενικότερη μορφή του προβλήματος αποτυπώνεται στο επόμενο διάγραμμα όπου απεικονίζεται η διαφορά των σημείων της πρόβλεψης μεταξύ τους, καθώς

αυτά δίνονται ανά κύκλο επεξεργασίας:

Εδώ φαίνεται ότι μετά τα 15 frame περίπου, ο ρυθμός μεταβολής των συντεταγμένων των σημείων μειώνεται πάρα πολύ και ταυτόχρονα σχεδόν σταθεροποιείται.



Εικόνα 5.18: Απόσταση μεταξύ των σημείων της πρόβλεψης της συντεταγμένης Z του σημείου πρόσκρουσης, και πως αυτή η διαφορά εξελίσσεται στο χρόνο.

Κεφάλαιο 6: Σχεδιασμός και κατασκευή.

Η αρχική έκδοση του ρομποτικού βραχίονα έγινε στο εργαστήριο Ρομποτικής του Τ.Ε.Ι. Κρήτης με κριτήριο την απλότητα, ευκολία κατασκευής και το χαμηλό κόστος. Ο σχεδιασμός έγινε στο λογισμικό Creo Parametric 2.0. Το σχέδιο αυτό είχε κάποιες αδυναμίες και έγινε προσπάθεια διόρθωσης του.

Έτσι σχεδιάστηκε μία δεύτερη έκδοση αυτού και κατασκευάστηκαν μόνο τα εξαρτήματα τα οποία άλλαξαν από το πρώτο σχέδιο. Τα παραπάνω αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

6.1 :Πρώτη έκδοση: Προτερήματα και αδυναμίες.

Η φιλοσοφία πίσω από το σχεδιασμό της πρώτης έκδοσης ήταν η απλότητα, η ευκολία κατασκευής και το χαμηλό κόστος.

Δημιουργήθηκε μία αλουμινένια βάση η οποία εφάρμοζε σε μία συγκολλητή ατσάλινη κατασκευή. Η ατσάλινη κατασκευή θα βιδωνόταν στον τοίχο έτσι ώστε ο βραχίονας να έχει το σωστό προσανατολισμό στο χώρο. Επάνω στη βάση τοποθετούνταν ο κινητήρας και επάνω σε αυτόν τοποθετούνταν ο βραχίονας του πρώτου βαθμού ελευθερίας.

Στο άκρο αυτού του βραχίονα τοποθετούνταν ο δεύτερος κινητήρας και στο άξονα αυτού ο δεύτερος βραχίονας. Έτσι ολοκληρωνόταν οι δύο βαθμοί ελευθερίας του βραχίονα.

Αυτό το σχέδιο είχε τα προτερήματα της εύκολης κατασκευής καθώς είχε σχήματα με κατάλληλη γεωμετρία αλλά απλό σχήμα. Επιπλέον, ήταν οικονομικό στην κατασκευή του καθώς τα μεγαλύτερα κομμάτια του ήταν φτιαγμένα από αλουμινένια προφίλ με κατάλληλα κοψίματα και οπές για κοχλίες.

Τέλος τα κόμπλερ για τη σύνδεση των αξόνων των κινητήρων με τους βραχίονες ήταν κατασκευασμένα από αλουμίνιο με αλουμινένιες σφήνες και παρ' όλα αυτά επέδειξαν εξαιρετική αντοχή και ακαμψία.

Υπήρχαν όμως και πολύ βασικά μειονεκτήματα. Κυριότερο αυτών ήταν το σχεδιαστικό λάθος της στήριξης ολόκληρου του δυναμικού μέρους του βραχίονα στο κινητήρα του πρώτου βαθμού, και κατ' επέκταση στο ρουλεμάν του άξονα του.

Αυτό δεν παρείχε την κατάλληλη ακαμψία και είχε ως αποτέλεσμα ο μηχανισμός να είναι αρκετά ασταθής. Σε βαθμό που κρίθηκε ότι η χρήση του θα κατέστρεφε τον κινητήρα του πρώτου βαθμού. Επιπλέον ένα πρόβλημα που προέκυψε αργότερα ήταν η επιλογή των μεθόδων συναρμολόγησης και κοχλιοσύνδεσης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την εξαιρετική

δυσκολία στην αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση. Και αυτό είναι μειονέκτημα για ένα πειραματικό μοντέλο το οποίο χρειάζεται συνέχεια έλεγχο και προσαρμογή.

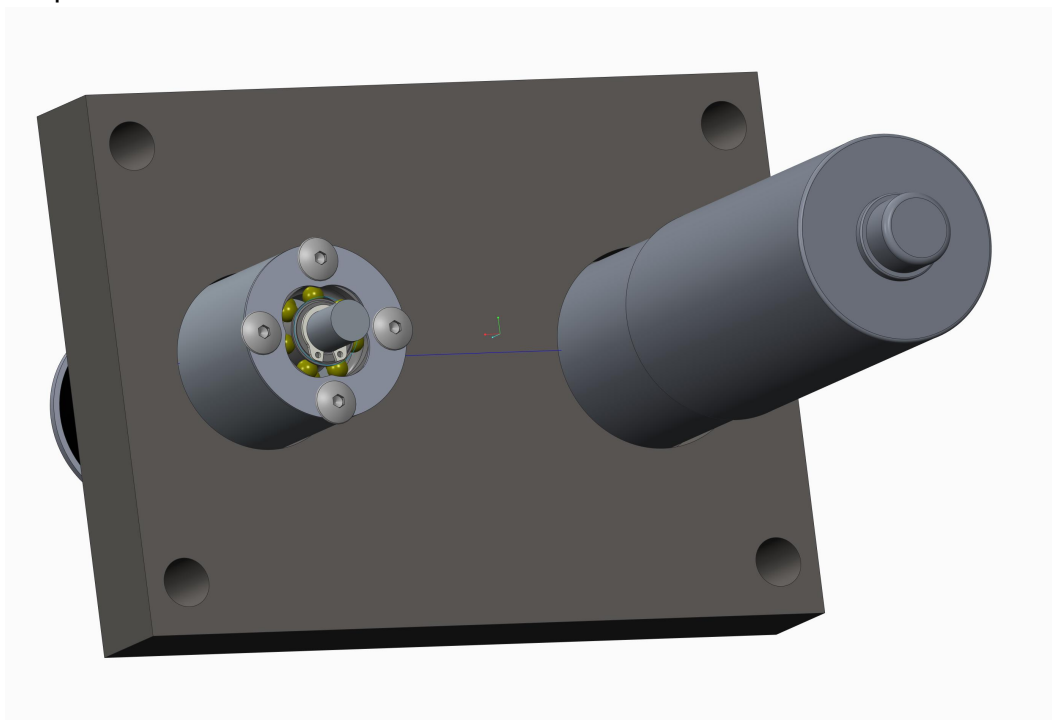
Στη δεύτερη έκδοση του σχεδίου έγινε μία προσπάθεια να διορθωθούν τα προβλήματα της πρώτης έκδοσης

6.2 :Δεύτερη έκδοση:Προτερήματα και αδυναμίες.

Στη δεύτερη έκδοση αποφασίστηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της ακαμψίας του πρώτου βαθμού. Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε νέα βάση και αποφασίστηκε να στηριχτεί ο πρώτος βραχίονας πάνω σε ένα άξονα που στηρίζεται σε δύο ρουλεμάν.

Ένα μονόσφαιρο βαθέως άυλακα και ένα δίσφαιρο το οποίο θα στηρίζει και τα όποια αξονικά φορτία προκληθούν από ανακρίβειες στην κατασκευή και από τα δυναμικά φορτία που θα προκύψουν από την κανονική λειτουργία. Τελικά τα ρουλεμάν που επιλέχθηκαν ήταν τύπου 61802¹⁸ το μονόσφαιρο και τύπου 3202¹⁹ το δίσφαιρο.

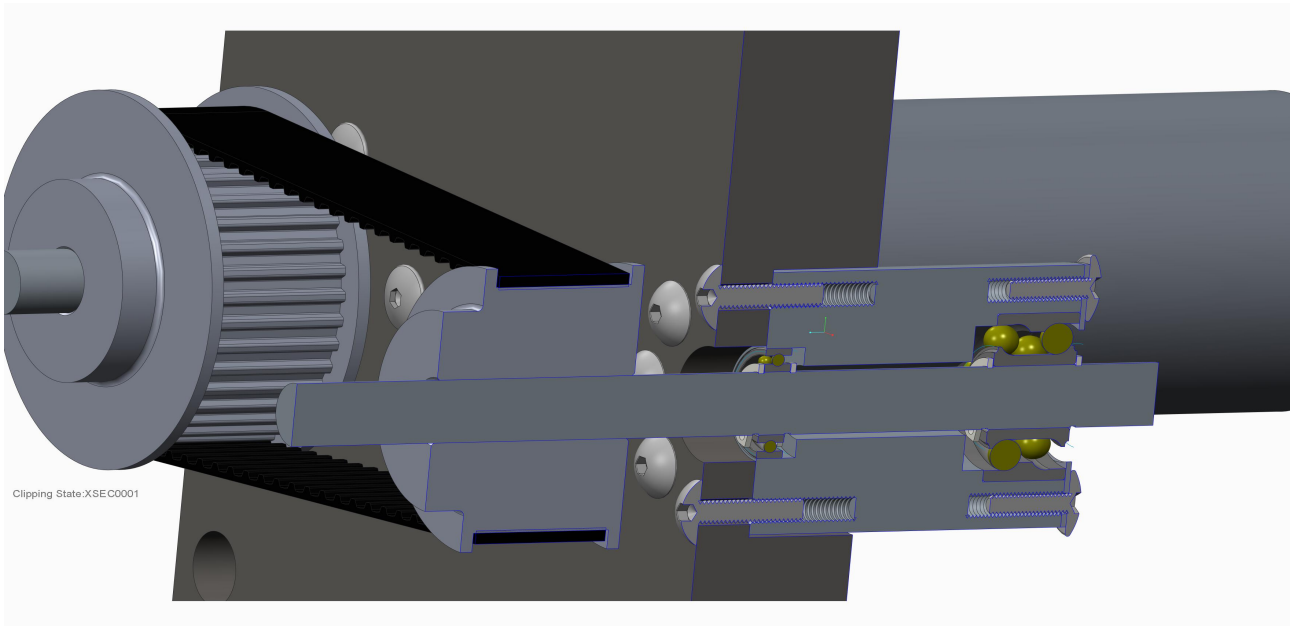
Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε ξανά, στο ίδιο λογισμικό μία βάση, η οποία θα μπορούσε να στηρίξει τον κινητήρα ξεχωριστά από τον άξονα στον οποίο θα στηριζόταν ο βραχίονας. Επιπλέον επιλέχθηκε να γίνει η μετάδοση της κίνησης με τη χρήση οδοντωτού ιμάντα χρονισμού. Τα παρακάτω φαίνονται και στις εικόνες από το λογισμικό σχεδιασμού που δίνονται παρακάτω:



Εικόνα 6.1: Δεύτερη έκδοση της βάσης του βραχίονα.

18 [15] [SKF 61802](#)

19 [16] [SKF 3202](#)

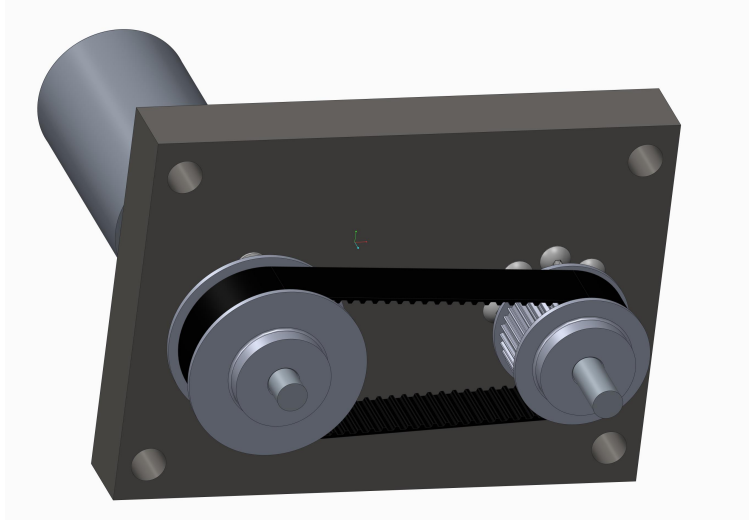


Εικόνα 6.2: Απεικόνιση του άξονα μετάδοσης της κίνησης και της στήριξης του.

Η μελέτη για τον υπολογιζόμενο χρόνο ζωής των ρουλεμάν και για το απαιτούμενο μέγεθος μάντα δίνονται στο παράρτημα. Να σημειωθεί όμως ότι όλη η μετάδοση της κίνησης του πρώτου βαθμού είναι υπερδιαστασιοποιημένη. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής του ρουλεμάν τύπου 61802, για μη-καθαρές συνθήκες λειτουργίας, είναι της τάξης του $1 \cdot 10^9$ περιστροφές. Τέλος να σημειωθεί ότι αρχικά είχε υπολογισθεί άξονας $12mm$. Αυτός εμφανίζεται και στο σχέδιο. Τελικά χρησιμοποιήθηκε άξονας $15mm$ και τα σχέδια τροποποιήθηκαν κατάλληλα.

Η κατασκευή έγινε στα μηχανήματα CNC του εργαστηρίου ρομποτικής με κώδικα ο οποίος:

- Για τις δύο φρέζες (*Haas TM-1P*, *Haas VF2*) παράχθηκε από τον post-processor του λογισμικού CAM του *Creo Parametric 2.0*
- Για τον τόρνο (*Haas SL20-L*) γράφτηκε με τη χρήση του *Windows Notepad* και διορθώθηκαν όποια συντακτικά λάθη στον ελεγκτή της μηχανής, από τον συγγραφέα αυτής της εργασίας.
- Παρακάτω δίνονται εικόνες από την κατασκευή των εξαρτημάτων:



Εικόνα 6.3: Η βάση από άλλη οπτική γωνία.



Εικόνα 6.4: Μέρος από τον κώδικα για τη κατασκευή του εδράνου των ρουλεμάν, στη δεύτερη έκδοση του ρομπότ.

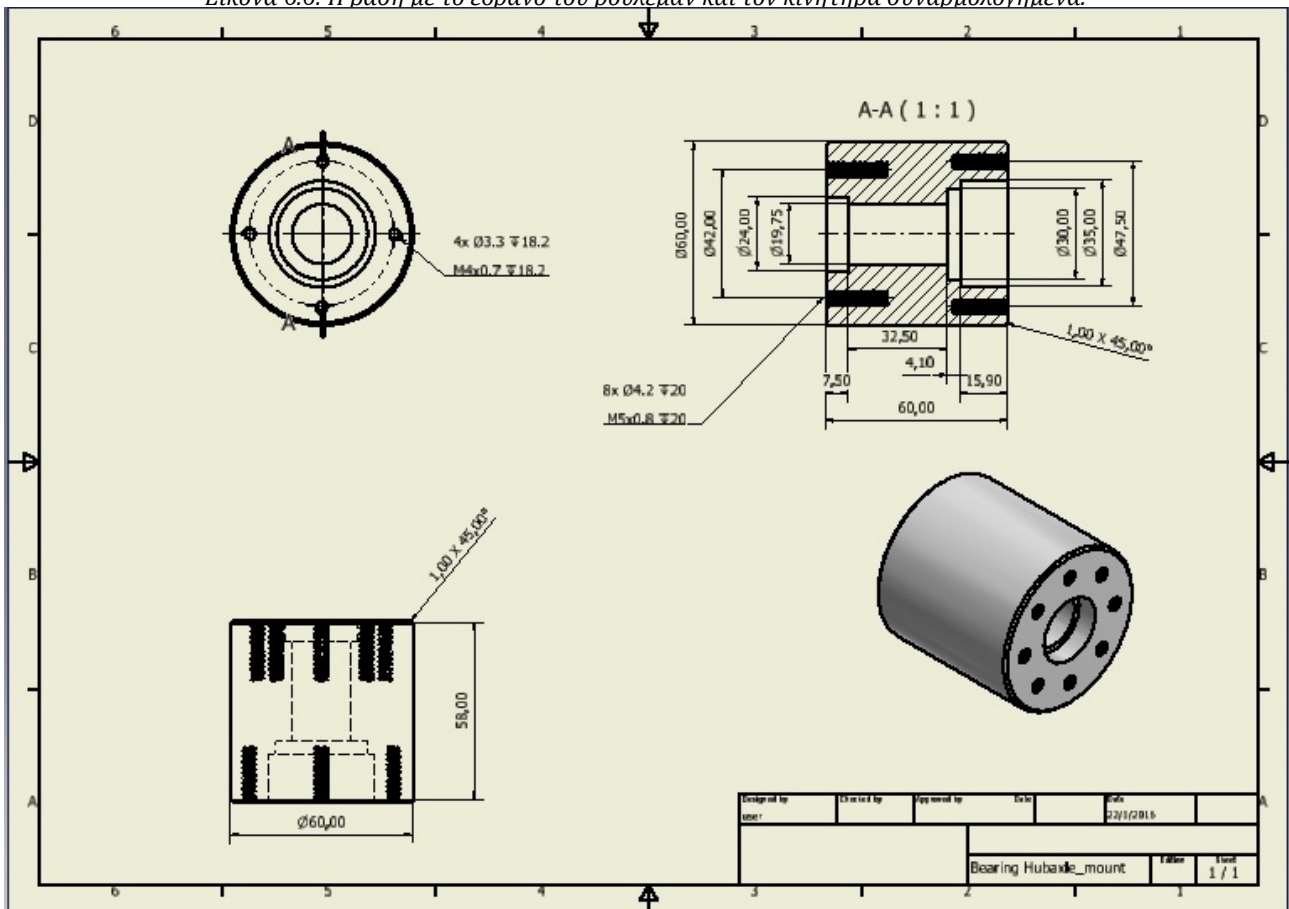


Εικόνα 6.5: Το τελικό έδρανο των ρουλεμάν. Διακρίνεται η έδρα του μονόσφαιρου ρουλεμάν, στην πλευρά που συνδέεται επάνω στη βάση του ρομπότ.

Στις παραπάνω φωτογραφίες φαίνεται η κατασκευή του αλουμινένιου εδράνου των ρουλεμάν. Δίνονται και φωτογραφίες από την ολοκληρωμένη βάση με τον μάντα μετάδοσης.



Εικόνα 6.6: Η βάση με το έδρανο του ρουλεμάν και τον κινητήρα συναρμολογημένα.



Εικόνα 6.7: Το μηχανολογικό σχέδιο του εδράνου του ρουλεμάν.

Τελικά, αποδείχθηκε ότι και αυτό το σχέδιο παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες στη συναρμολόγηση. Ειδικά στην τοποθέτηση της μικρής τροχαλίας η οποία δίνει κίνηση στον βραχίονα του πρώτου βαθμού ελευθερίας. Μάλιστα, υπήρχε ιδιαίτερη δυσκολία στην τάνυση του μάντα μετά την τοποθέτηση.

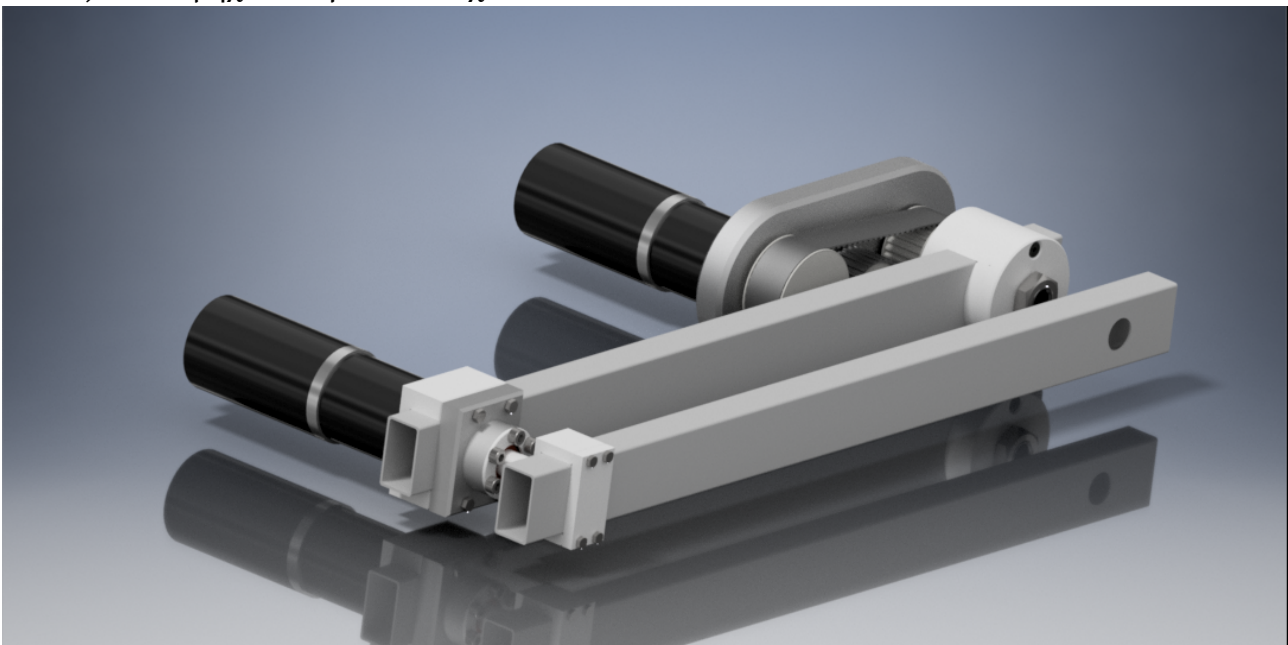
Επιπλέον, υπήρξε αστοχία του υλικού της σφήνας που μετέδιδε την κίνηση από την τροχαλία στον άξονα, πιθανώς επειδή το μέγεθος της σφήνας ήταν πολύ μικρό για την αποδιδόμενη ροπή του σερβοκινητήρα καθώς αυτός είχε πάρα πολύ μεγάλο λόγο μείωσης.

Τέλος, άκρως προβληματική ήταν η τοποθέτηση της καλωδίωσης του δεύτερου κινητήρα αφού αυτός ήταν τοποθετημένος στο άκρο του πρώτου βραχίονα. Το πρόβλημα που παρουσιαζόταν ήταν ότι σε πιθανή δυσλειτουργία του πρώτου κινητήρα, κατά την οποία γινόταν περιστροφή μεγαλύτερη των 360°, η καλωδίωση θα τυλιγόταν γύρω από τον άξονα μετάδοσης και μπορούσε να προξενήσει πρόβλημα και στον ίδιο τον ελεγκτή. Μάλιστα αυτό το πρόβλημα εμφανίστηκε, ευτυχώς όχι με καταστροφικές συνέπειες.

Βέβαια παρά αυτά τα προβλήματα βελτιώθηκε σημαντικά η ακαμψία του βραχίονα αρκετά και η κίνηση γινόταν με αρκετή ακρίβεια μέχρι την καταστροφή της σφήνας της μικρής τροχαλίας.

6.3 : Τρίτη έκδοση: Προτερήματα και αδυναμίες

Στην τρίτη έκδοση έγινε μία προσπάθεια να επιλυθούν τα προβλήματα των δύο προηγούμενων εκδόσεων, κρατώντας όμως όλα τα προτερήματα. Επιπλέον, έγινε προσπάθεια να επιτευχθούν τα παραπάνω κρατώντας όσο το δυνατόν περισσότερα εξαρτήματα από της προηγούμενες εκδόσεις για μείωση του κόστους. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην απλότητα της κατασκευής, τουλάχιστον όσο αυτό ήταν δυνατό. Δίνονται εικόνες του συναρμολογήματος, ενώ στο παράρτημα δίνονται εικόνες κάθε εξαρτήματος καθώς και τα μηχανολογικά του σχέδια.



Εικόνα 6.8: Η τρίτη έκδοση του σχεδίου του βραχίονα.

6.4 : Ο ελεγκτής Roboteq SDC2130

Ο ελεγκτής Roboteq SDC2130²⁰ έχει σχεδιαστεί για να μετατρέπει εντολές από ασύρματο ή ενσύρματο χειριστήριο, Η/Υ και άλλες μεθόδους, σε σήματα υψηλής τάσης και υψηλού ρεύματος για την οδήγηση ενός ή δύο κινητήρων. Η κάρτα του ελεγκτή είναι περίπου 7x7cm σε μέγεθος.



Εικόνα 6.9: Ο ελεγκτής SDC2130 στο εργοστασιακό κουτί του.

Ο μικροελεγκτής που έχει ο SDC2130 είναι 32bit αρχιτεκτονικής και έχει τη δυνατότητα εκτέλεσης πολύπλοκων υπολογισμών άσχετα από το είδος της λειτουργίας στην οποία έχει ρυθμιστεί. Προφανώς υπάρχουν και πολλαπλές θύρες εισόδου-εξόδου οι οποίες μπορούν να επαναπρογραμματιστούν και να τους ανατεθεί νέα λειτουργία.

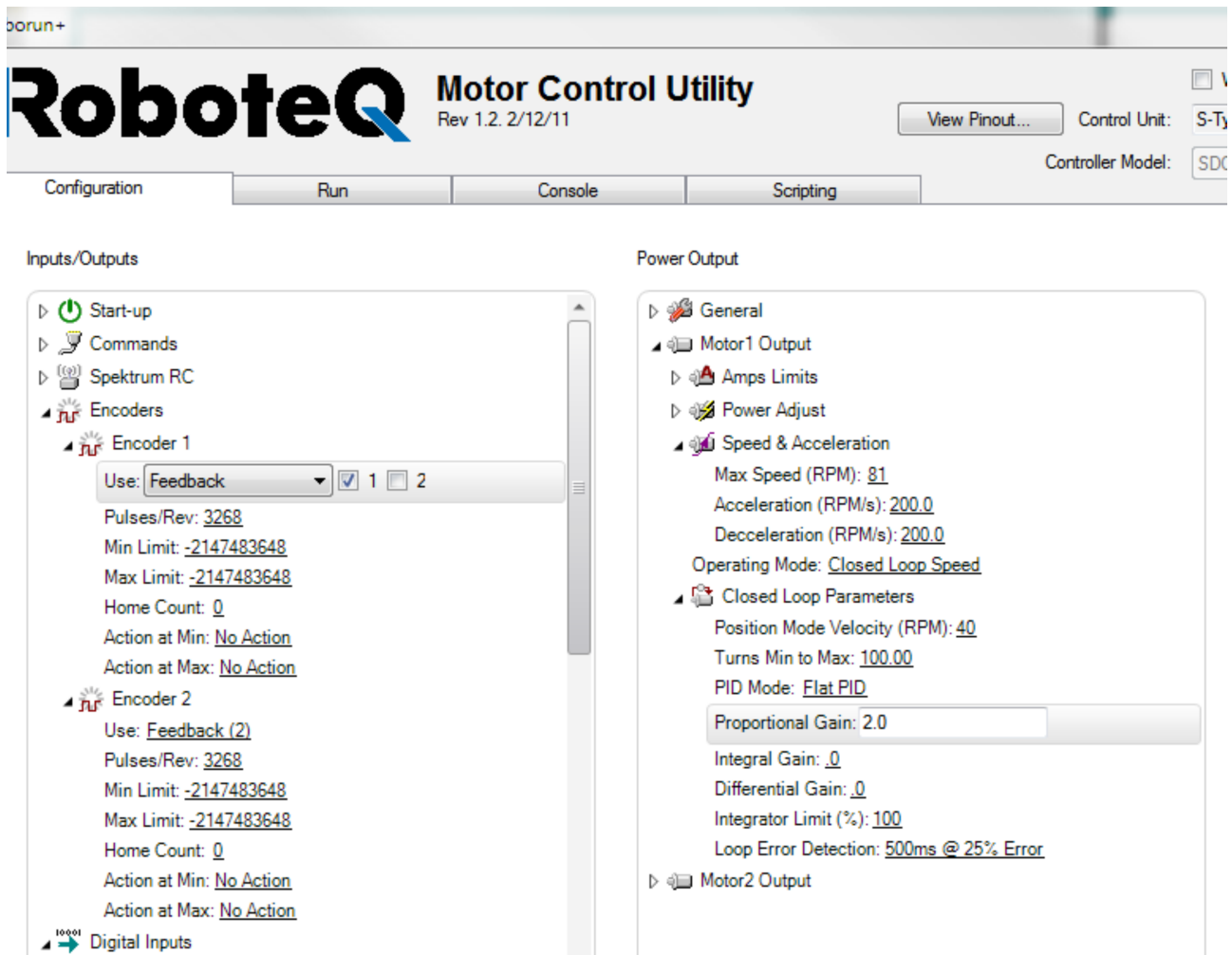
Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να δοθούν εντολές στους δύο κινητήρες ταυτόχρονα το οποίο αυξάνει κατά πολύ τις δυνατότητες ελέγχου μίας ρομποτικής εφαρμογής. Το παραπάνω είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην περίπτωση δημιουργίας ενός ρομποτικού οχήματος.

Επιπλέον, πέρα από τα στοιχεία ασφαλείας που έχει ενσωματωμένα, μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως η λειτουργία του γράφοντας κώδικα σε γλώσσα Basic.

Επιπλέον μέσα από το software το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί, μπορούν να ορισθούν διάφορες παράμετροι οι οποίες ορίζουν τη λειτουργία του κινητήρα πλήρως. Τέτοιες είναι:

- Ορισμός διακριτικής ικανότητας του γωνιακού κωδικοποιητή.
- Ορισμός της μέγιστης ταχύτητας του κινητήρα.
- Ορισμός της μέγιστης επιτάχυνσης του κινητήρα.
- Ορισμός του τύπου του ελέγχου.
- κ.α.

20 [17] [Roboteq SDC2130](http://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushed-dc-motor-controllers/sdc2130-detail) <http://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushed-dc-motor-controllers/sdc2130-detail>



Εικόνα 6.10: Το interface του ελεγκτή SDC 2130.

Μέσα από τις παραπάνω επιλογές μπορούν να απλοποιηθούν πολύ περίπλοκες διαδικασίες όπως ο ορισμός του προφίλ της ταχύτητας των κινητήρων. Το πιο σημαντικό όμως είναι η δυνατότητα ορισμού ενός ελεγκτή PID μέσα από το interface του SDC2130.

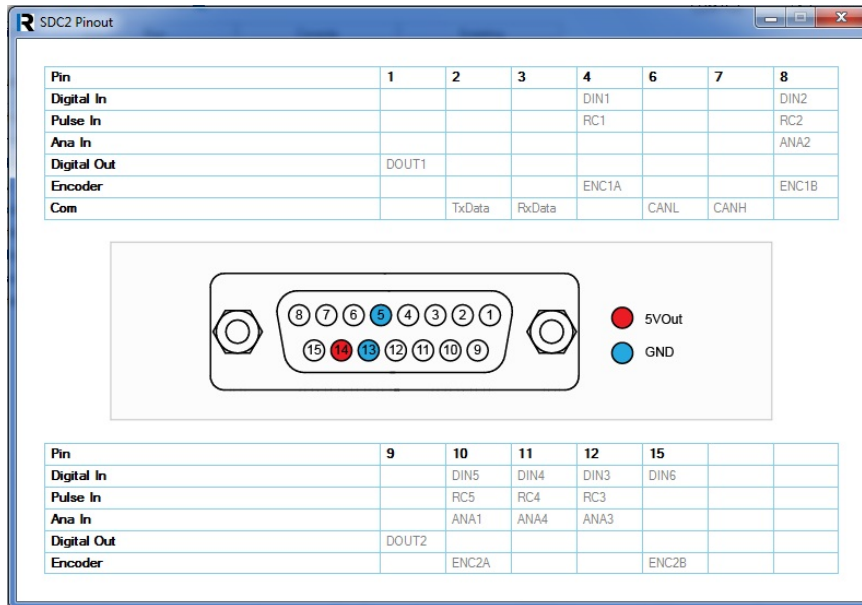
Τέλος, ο ελεγκτής έχει ενσωματωμένες ρουτίνες όπως, π.χ., η επιλογή της φοράς της κίνησης όταν δοθεί μια νέα εντολή, ανάλογα με την τρέχουσα θέση, κ.α.

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι ο συγκεκριμένος ελεγκτής απλοποιεί κατά πολύ τη διαδικασία του ελέγχου ενός σερβοκινητήρα, ενώ μπορεί παράλληλα να συνδεθεί με κινητήρες οι οποίοι έχουν σχετικά υψηλές απαιτήσεις σε τάση και ρεύμα.

Όλα τα παραπάνω έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην επιλογή του ελεγκτή καθώς και στην ευκολία της εκμάθησης της χρήσης του.

Για την συγκεκριμένη εφαρμογή έπρεπε να οδηγηθούν δύο σερβοκινητήρες, Για το λόγο αυτό έπρεπε να συνδεθεί ο κινητήρας αλλά και ο κωδικοποιητής κάθε συνόλου στον ελεγκτή. Η καλωδίωση των παραπάνω έπρεπε να επεκταθεί καθώς ο ελεγκτής, για λόγους ασφαλείας, έπρεπε να είναι τουλάχιστον έξω από το χώρο εργασίας του βραχίονα. Η επέκταση έγινε από τον υπογράφοντα καθώς και η σύνδεση των κωδικοποιητών σε d-sub connector των 15 pin.

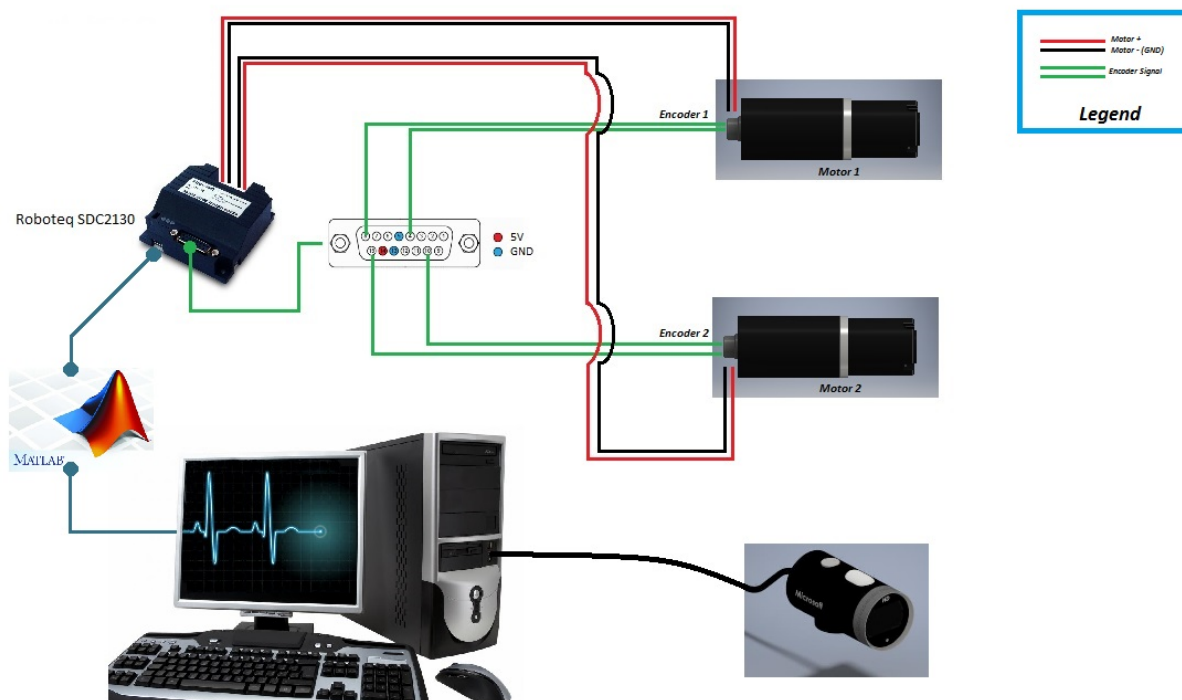
Η σύνδεση έγινε σύμφωνα με το διάγραμμα σύνδεσης όπως αυτό δίνεται από το RoboRun, το πρόγραμμα που απεικονίζεται παραπάνω.



Εικόνα 6.11: Διάγραμμα pinout του ελεγκτή SDC2130.

Επιπλέον, για λόγους ευκολίας χειρισμού τοποθετήθηκε στη τροφοδοσία διακόπτης αλλά και ασφάλεια, όπως ορίζεται και από το εγχειρίδιο του ελεγκτή.

Στην παρούσα εφαρμογή δεν υπήρχε λόγος να γραφτεί κώδικας μέσα στον ελεγκτή, αφού όλοι οι υπολογισμοί θα γίνονταν στη Matlab και θα μεταφερόταν στον ελεγκτή μέσω σειριακής σύνδεσης από τη θύρα USB.



Εικόνα 6.12: Διάγραμμα του συστήματος ελέγχου.

Στο διάγραμμα 6.12 παρουσιάζεται ο προτεινόμενος τρόπος ελέγχου. Η πληροφορία της εικόνας, μεταφέρεται από την κάμερα στον υπολογιστή, επεξεργάζεται στη Matlab και αποστέλλονται οι επιθυμητές θέσεις στον ελεγκτή σε πραγματικό χρόνο. Ο κλειστός βρόχος για τον έλεγχο των κινητήρων εκτελείτε μέσα στον ελεγκτή, όπου μπορεί να επιλεγθεί το είδος του ελέγχου και τα κέρδη του κάθε σκέλους από το interface του ελεγκτή.

Κεφάλαιο 7: Αποτελέσματα και συμπεράσματα από πειράματα.

Με την εκτέλεση πραγματικών πειραμάτων, έγινε αμέσως αντιληπτό ότι ο κώδικας της μηχανικής όρασης που είχε αναπτυχθεί στο V-REP, δεν ήταν αρκετός για την ανίχνευση της μπάλας στις ρίψεις των πραγματικών πειραμάτων.

Παρ' όλα αυτά φάνηκε αμέσως ότι η αρχή πάνω στην οποία βασίστηκε ο υπολογισμός της θέσης στο χώρο ήταν σωστή. Και ότι τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν οφείλονταν σε τρεις βασικούς παράγοντες:

- Προβλήματα στη μετατροπή των συστημάτων συντεταγμένων.
- Η σειρά των διαδικασιών ανίχνευσης του κόκκινου.
- Την ύπαρξη frame όπου η ανίχνευση έδινε αποτελέσματα μηδενικά ή πάρα πολύ κοντά στον θόρυβο.

Να σημειωθεί ότι τα πραγματικά πειράματα εκτελέστηκαν ως εξής:

- Μετρήθηκε η απόσταση της κάμερας από το τοίχο και τέθηκε ως επίπεδο της σύγκρουσης ο τοίχος.
- Γινόταν ρίψης της μπάλας.
- Κατά τη διάρκεια της ρίψης εκτελούνταν ο αλγόριθμος της μηχανικής όρασης.
- Και στη συνέχεια εμφανιζόταν ένα διάγραμμα με την εξέλιξη της πρόβλεψης στο χρόνο.
- Τέλος, μετρούνταν η πραγματική θέση της πρόσκρουσης και συγκρινόταν τα αποτελέσματα.

Να σημειωθεί εδώ ότι αναφέρεται ως πρόβλεψη και ως θέση της μπάλας σε αυτή την εργασία, αναφέρεται στο κέντρο του σφαιρικού αντικειμένου όπως εύκολα αποδεικνύεται από τη γεωμετρία στην απόδειξη της παραγράφου 3.3.

Άρα αν λάβουμε υπ' όψιν ότι το μπράτσο του βραχίονα είναι 50mm και ότι η διάμετρος της μπάλας είναι 68mm, αυτό σημαίνει ότι απόκλιση έως και:

$$dev = \frac{68\text{mm}}{2} + \frac{50\text{mm}}{2} = 59\text{mm}$$

Θα κατέληγε σε επιτυχημένη αναχαίτιση της μπάλας, εφόσον ο βραχίονας επιτύγχανε τη θέση αυτή. Με ένα δίσκο διαμέτρου 150mm στο άκρο του βραχίονας αυτή η τιμή γίνεται

$d_{ev} = 109\text{mm}$. Στο V-REP ο δίσκος ήταν $D = 300\text{mm}$.

7.1 : Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τα πειράματα με το πραγματικό σύστημα.

Από τα προβλήματα που αναφέρονται παραπάνω, αυτό που ήταν το ευκολότερο να ανιχνευθεί ήταν η λανθασμένη μετατροπή των συστημάτων συντεταγμένων. Παρ' όλα αυτά στα πραγματικά πειράματα ήταν εξαιρετικά δυσκολότερο να γίνει εντοπισμός και εκτίμηση του λάθους, αφού δεν υπήρχαν τα δεδομένα της τηλεμετρίας που υπήρχαν στην περίπτωση του V-REP. Άρα δεν μπορούσε να καταγραφεί η πορεία της απόκλισης των υπολογισμένων θέσεων από τις πραγματικές.

Επιπλέον, έπρεπε να γίνεται εκτίμηση της κλίσης της τροχιάς στο χώρο διαισθητικά. Δηλαδή κατά πόσο έμοιαζε με το πραγματικό. Κάποια εμφανή λάθη όπως, πρόσημα που δεν καταχωρήθηκαν στο κώδικα., ανακαλύφθηκαν αρκετά γρήγορα. Συνέχιζε όμως να παρατηρείται μία απόκλιση στις θέσεις στο χώρο η οποία προκαλούσε και εμφανώς λάθος προβλέψεις του σημείου πρόσκρουσης.

Η απόκλιση αυτή φαινόταν να γίνεται μεγαλύτερη εάν η μπάλα διέσχιζε το μέσο της εικόνας στα frame που τραβούσε η κάμερα κατά τη λήψη. Ενώ εάν αυτό δεν συνέβαινε, η απόκλιση στη θέση στο χώρο ήταν σχετικά μικρότερη, χωρίς όμως να βελτιώνεται η ακρίβεια της πρόβλεψης.

Τελικά, με προσεκτικό έλεγχο του κώδικα φάνηκε ότι αυτή η απόκλιση προκαλούνταν διότι ο υπολογισμός της θέσης στο χώρο θεωρούσε διαφορετική ανάλυση εικόνας από την πραγματική. Και καθώς, όπως εξηγείται στην παράγραφο 4.3.2, πρέπει να μετρηθούν τα pixel της απόστασης από το κέντρο της εικόνας για να υπολογισθεί σωστά η θέση στο χώρο. Επίσης, λόγω του τρόπου που μετράει τα pixel μίας εικόνας η Matlab έπρεπε να γίνει μία κανονικοποίηση βάση της ανάλυσης της εικόνας για να εκφράζετε η θέση του κέντρου του αντικειμένου με τον τρόπο που έχει υποτεθεί ότι εκφράζετε στον αλγόριθμο.

Επειδή όμως θεωρήθηκε ότι η ανάλυση της εικόνας που λαμβάνεται από την κάμερα θα είναι γενικά σταθερή, η κανονικοποίηση αυτή υπάρχει μέσα στον κώδικα με συγκεκριμένους αριθμούς. Δεν οδηγείται δηλαδή από κάποια μεταβλητή η οποία να προσαρμόζεται όταν η ανάλυση αλλάξει.

Μετά την διόρθωση του προβλήματος, η υπολογισμένη τροχιά και η πραγματική, φαινόταν να συγκλίνουν. Επιπλέον, το σημείο πρόσκρουσης φαινόταν να συγκλίνει με την τροχιά όσο περνούσαν τα frame. Χαρακτηριστικό παράδειγμα εδώ είναι μία ρίψη στην οποία η μπάλα χτύπησε στην βάση του βραχίονα και γύρισε πίσω. Εκεί ο αλγόριθμος αναγνώρισε μερικά κενά frame και μετά αναγνώρισε την επανεμφάνιση του αντικειμένου και αποτύπωσε την τροχιά του στο χώρο όπως ακριβώς έγινε κατά την επιστροφή.

Να σημειωθεί εδώ ότι υπάρχει η δυνατότητα με διάφορες συναρτήσεις της Matlab να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία της εξαγωγής της θέσης στην εικόνα με τον αναμενόμενο τρόπο. Τέτοιες συναρτήσεις είναι οι *size*, και πιθανών και άλλες. Αλλά επιλέχθηκε να μη γίνει αυτό καθώς η επιλεγμένη ανάλυση ήταν αρκετά υψηλή (800x600) και δεν φαινόταν να υπάρχει ανάγκη να αλλάζεται συχνά.

Το δεύτερο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν η ύπαρξη θορύβου από την ανίχνευση του κόκκινου. Θεωρητικά, όπως ήταν δομημένη η συνάρτηση της ανίχνευσης του κόκκινου, θα έπρεπε να μπορεί να ρυθμιστεί να κάνει ακόμα πιο αυστηρή επιλογή, μειώνοντας έτσι το θόρυβο. Παρ' όλα αυτά, η αλλαγή των παραμέτρων δεν προκαλούσε τα αποτελέσματα που αναμενόταν. Η ανίχνευση ήταν ικανοποιητική, αλλά πάντα είχε πολύ θόρυβο. Προσεκτική

ανάλυση του κώδικα έδειξε ότι μετά το πρώτο στάδιο του ελέγχου, η εικόνα γινόταν δυαδική. Αυτό σήμαινε ότι όταν αναζητούνταν τιμές τιμές μικρότερες από ένα αριθμό από 1 έως 256. Το πρόβλημα ήταν ότι ο δυαδικός πίνακας έχει τιμές 0 και 1. Άρα πρακτικά περνούσαν όλες οι τιμές που είχαν δοθεί από τον πρώτο έλεγχο.

Όταν ανιχνεύθηκε το πρόβλημα, με κατάλληλη αλλαγή των παρενθέσεων και των πράξεων, έγινε βέβαιο ότι όλα τα στάδια του αλγόριθμου λειτουργούσαν όπως έπρεπε. Να σημειωθεί εδώ ότι το πρόβλημα προέκυψε διότι το V-REP εξάγει τις εικόνες ως πίνακες τύπου *double* με δεκαδικές τιμές από 0 έως 1. Αυτή η λεπτομέρεια δεν ελέγχθηκε στον κώδικα για την πραγματική εικόνα και εκεί προέκυψε το πρόβλημα.

Το τελευταίο πρόβλημα μπορεί γενικά να περιγραφεί σαν ύπαρξη πολλών frame τα οποία προκαλούσαν απομάκρυνση της πρόβλεψης από το σωστό σημείο. Πιο συγκεκριμένα αυτό είχε δύο διαφορετικές αιτίες:

- Την ύπαρξη αρκετού θορύβου στις δυαδικές εικόνες.
- Την ύπαρξη μηδενικών frame ή frame με πολύ λίγα pixel με τιμή 1.

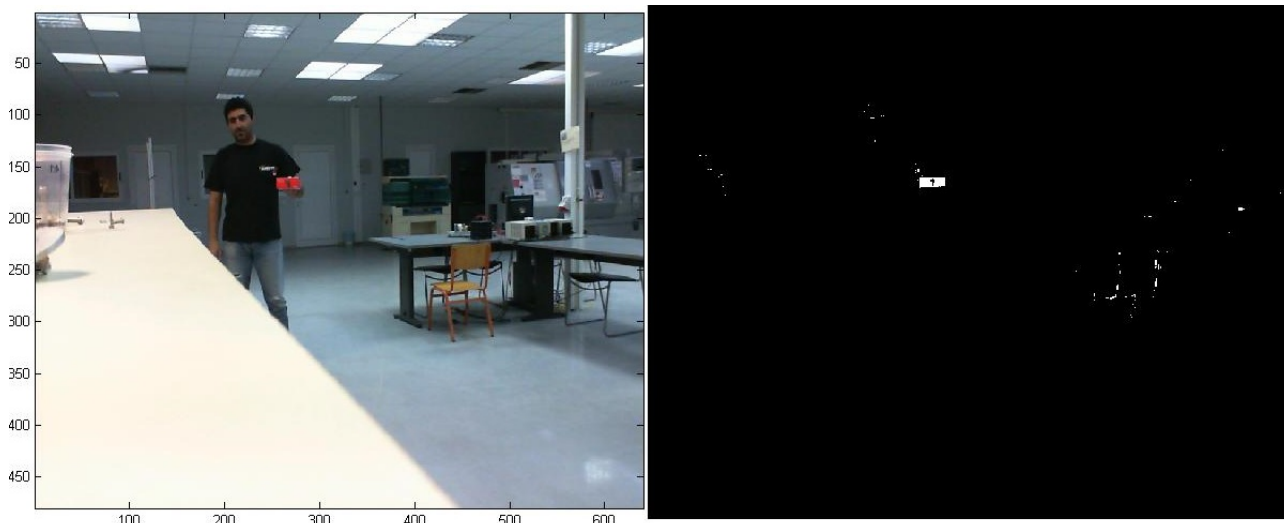
Εκινώντας από το δεύτερο να σημειωθεί ότι αντίστοιχο πρόβλημα παρατηρήθηκε και στην προσομοίωση στο V-REP, όπου εκεί υπολογιζόταν τεράστια τιμή απόστασης ή άπειρη απόσταση.

Αυτό λύθηκε κυρίως με την κατωφλίωση στο εμβαδόν που μετρείται στην εικόνα. Από τη στιγμή που τα frame που μπορούσαν, δυνητικά, να δώσουν τεράστιες αποστάσεις είχαν όλα την ίδια τιμή=0, τότε μπορούσε ο αλγόριθμος να τα αναγνωρίζει αξιόπιστα και να τα απορρίπτει κατά την πρόβλεψη του σημείου πρόσκρουσης.

Ο θόρυβος όμως παρέμενε και αλλοίωνε το αποτέλεσμα για όλα τα frame. Να σημειωθεί εδώ ότι ο θόρυβος προερχόταν κυρίως από:

- Το χρώμα των τοίχων κοντά στην είσοδο.
- Και το χρώμα του τοίχου των γραφείων, όταν η πόρτα ήταν ανοιχτή.
- Το ρομπότ και το κάθισμα στο γραφείο απέναντι από την αίθουσα της τεχνολογίας ελέγχου.

Αξίζει όμως να αναλυθεί για ποιο λόγο προκαλούνταν ο θόρυβος σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση του ρομπότ και των καθισμάτων, εκεί το χρώμα ήταν κίτρινο ή ανοιχτό πορτοκαλί. Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.6.6, μαζί με την ανίχνευση του κόκκινου γίνεται και ανίχνευση κάποιων άλλων Χρωιών. Αυτό συμβαίνει διότι δεν γίνεται να ανιχνεύονται μόνο σημεία όπου ισχύει $G=B$, το οποίο είναι και ο σωστότερος ορισμός της κόκκινης Χρωιάς. Και αυτό γιατί αντί για κλειστά σχήματα θα λαμβανόταν σαν ανίχνευση μερικά σημεία μέσα στο επιθυμητό σχήμα. Οι λόγοι γι αυτό έχουν αναλυθεί παραπάνω. Έτσι αυτά τα χρώματα προκαλούσαν κάποιο θόρυβο στην ανίχνευση.



Εικόνα 7.1: Παράδειγμα αναγνώρισης με θόρυβο στο χώρο των πειραμάτων.

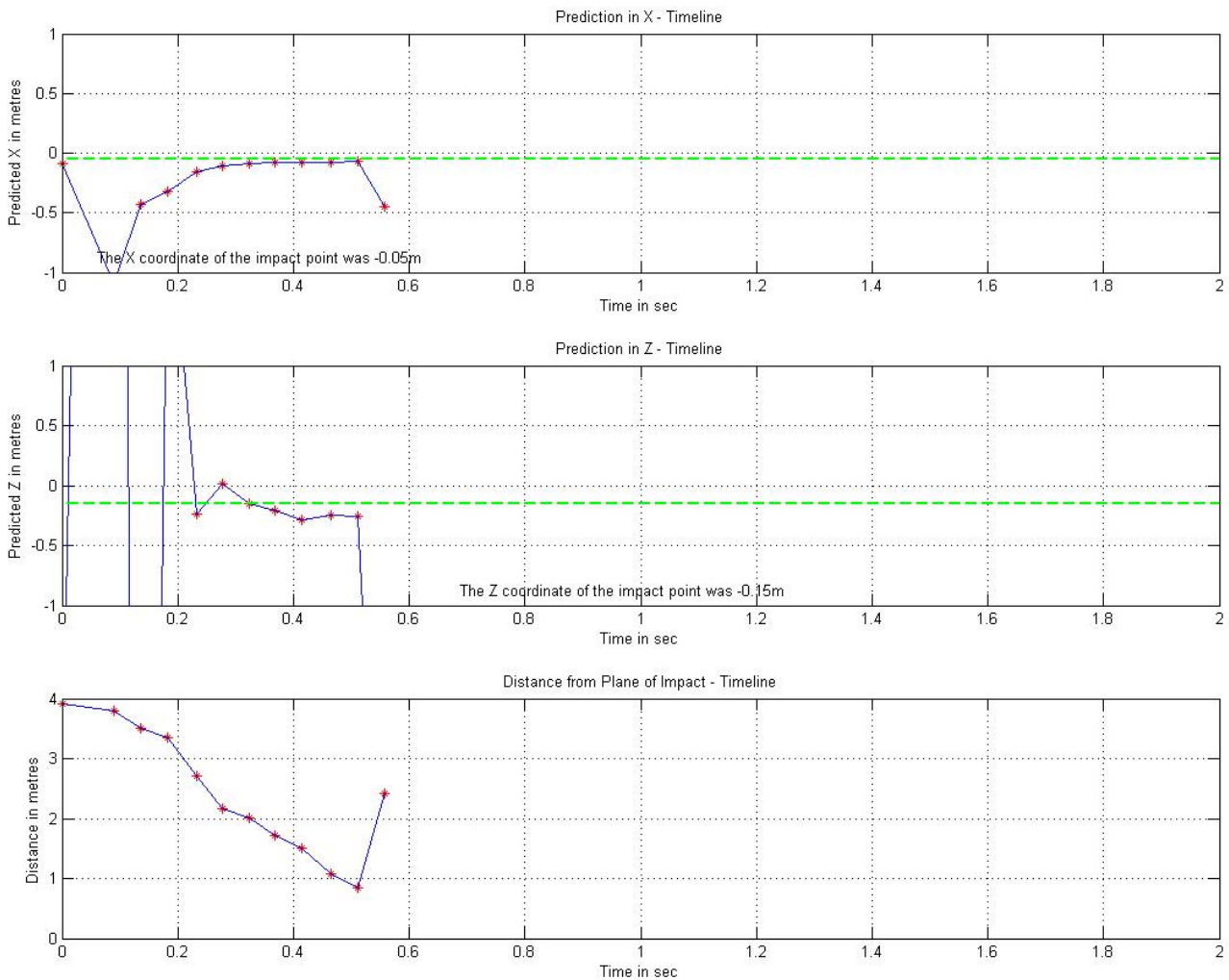
Ο ίδιος θόρυβος θα μπορούσε να προκληθεί και από αποχρώσεις του μωβ αλλά δεν έτυχε να υπάρχουν τέτοια χρώματα στο χώρο των πειραμάτων. Σε προηγούμενες παραγράφους έχουν επίσης αναλυθεί και οι τρόποι αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων στην ανίχνευση.

Ο λόγος που οι τοίχοι προκαλούσαν θόρυβο όμως είναι διαφορετικός. Το χρώμα τους μπορεί να περιγραφεί σαν “μπορντώ”. Μία βαθιά, σκοτεινή απόχρωση του κόκκινου. Εδώ λοιπόν, ο εντοπισμός της χροιάς ήταν σωστός αλλά η φωτεινότητα δεν ήταν αυτή που έπρεπε για να αναγνωρισθούν σωστά ως μέρος της μπάλας τα συγκεκριμένα pixel. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε απλώς αυξάνοντας το όριο της Φωτεινότητας, με πολύ καλά αποτελέσματα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί μία λεπτομέρεια η οποία μπορεί να φανεί και στην αντίστοιχη εικόνα στην παράγραφο 3.6.4. Τα αποτελέσματα από την αύξηση του ορίου της φωτεινότητας δεν “εξελίσσονται” γραμμικά αλλά εκθετικά. Φαίνεται δηλαδή ότι από μία τιμή και πάνω η αύξηση του ορίου κατά ίσα ποσά φέρει αυξανόμενα αποτελέσματα.

Αυτή η τελευταία λεπτομέρεια κάνει και αυτή τη ρύθμιση ελαφρώς ιδιαίτερη, καθώς από την τιμή 120 και μετά, φαίνεται ότι το όριο της φωτεινότητας αρχίζει να έχει σημαντική επιρροή στην τελική δυαδική εικόνα.

7.2 : Συμπεράσματα.

Αφού γινόταν η ρίψη όπως περιγράφηκε παραπάνω εμφανιζόταν τα διαγράμματα τα οποία αποθηκευόταν ως αποτελέσματα της ρίψης. Παρακάτω δίνονται δύο διαγράμματα από δύο ρίψεις οι οποίες δεν εξελίχθηκαν με το καλύτερο τρόπο. Οι ρίψεις αυτές ανήκουν σε ένα σετ 13 ρίψεων, από τα τελευταία που έγιναν, στις οποίες είχε γίνει πολύ προσεκτικός έλεγχος και ρύθμιση των παραμέτρων του κώδικα της αναγνώρισης του κόκκινου. Επιπλέον, οι ρίψεις αυτές γίνανε με μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερη γωνία, το οποίο κρατούσε τη μπάλα στο οπτικό πεδίο της κάμερας για περισσότερο και βελτίωνε σημαντικά τα αποτελέσματα. Σε αυτά αναλύονται τα προβλήματα που εμφανίστηκαν και πως αυτά φαίνονται μέσα στο διάγραμμα. Να σημειωθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις γίνεται κατωφλίωση του εμβადού, όπως αυτή περιγράφεται στη παράγραφο 3.7.2.



Εικόνα 7.2: Από τη ρίψη 2 με ενεργοποιημένη την εξαγωγή μεγαλύτερου αντικειμένου.

Αρχικά να αναφερθεί ότι το διάγραμμα εμφανίζει χρόνο 2sec διότι από την απόσταση που γίνεται η ρίψη διαρκεί περίπου 1 με 2sec μέχρι να φτάσει στο επίπεδο πρόσκρουσης, δηλαδή τον τοίχο. Επίσης στα δύο πρώτα διαγράμματα που απεικονίζουν την εξέλιξη της πρόβλεψης στους άξονες X και Z, οι πράσινη διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει το πραγματικό σημείο της πρόσκρουσης. Η μέτρηση αναφέρεται και με κείμενο μέσα στο διάγραμμα.

Τέλος το τρίτο διάγραμμα αφορά την απόσταση της μπάλας από το επίπεδο πρόσκρουσης, όχι από τη κάμερα. Εδώ υπάρχει σημαντική διαφορά και τα δύο δε θα πρέπει να μπερδεύονται. Δεν απεικονίζεται δηλαδή η απόσταση που υπολογίστηκε από την προοπτική εξίσωση.

Σε αυτό το διάγραμμα αυτό που γίνεται αντιληπτό αρχικά είναι οι τεράστιες διακυμάνσεις στη πρόβλεψη του Z για τα πρώτα 2 δέκατα του δευτερολέπτου. Αυτό εξηγείται εάν παρατηρήσει κανείς ότι μέχρι αυτό το σημείο υπάρχουν μόνο τρία (3) δείγματα. Με το τρόπο που λειτουργεί η συνάρτηση *polyfit* της Matlab, παράγονται αποτελέσματα ακόμα και όταν τα δείγματα είναι ανεπαρκή για την παρεμβολή πολυωνύμου του βαθμού που έχει επιλεχθεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις εμφανίζεται μία προειδοποίηση στο "Command Window" που αναφέρει ότι τα δείγματα είναι ανεπαρκή και ότι το αποτέλεσμα είναι κατά προσέγγιση. Το ίδιο έχει αναφερθεί και παραπάνω στις ρίψεις που έγιναν μέσα στο V-REP. Ακόμα και μετά το τρίτο δείγμα όμως, η πρόβλεψη δεν είναι ακριβής, διότι δεν υπάρχουν αρκετά δείγματα ώστε

να αντισταθμίσουν το θόρυβο και τις ανακρίβειες που προκύπτουν στην αναγνώριση της προβολής της μπάλας στην εικόνα που λαμβάνεται από τη κάμερα.

Στη συνέχεια, μετά το πέμπτο δείγμα, οι προβλέψεις συγκλίνουν στο πραγματικό σημείο αρκετά γρήγορα και εμφανίζουν μια διακύμανση μικρότερη των 15cm σε κάθε περίπτωση.

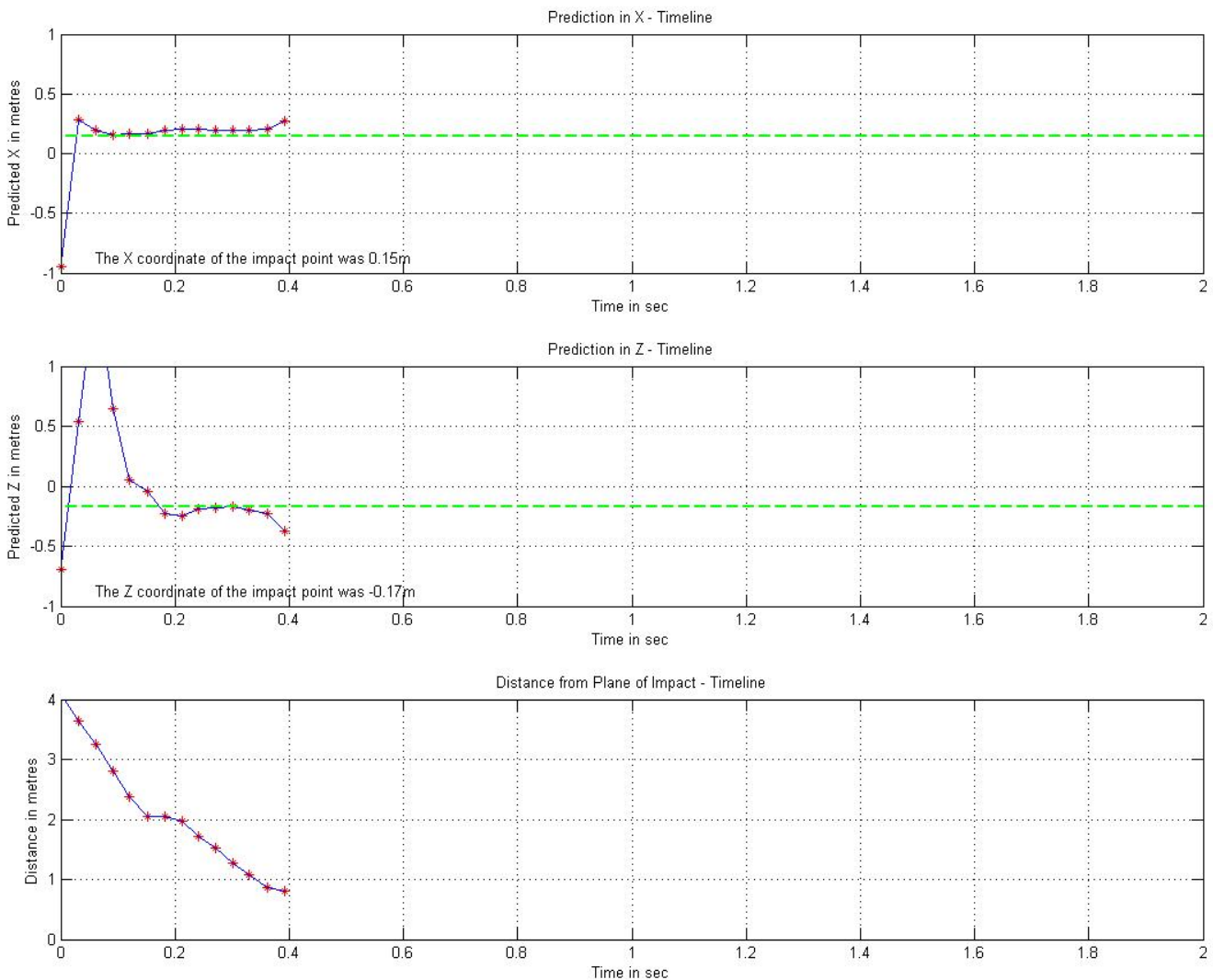
Αυτό ισχύει και μέχρι το τελευταίο frame όπου φαίνεται να απομακρύνεται η μπάλα από τη κάμερα, κάτι το οποίο είναι φυσικά αδύνατο να συμβεί. Αυτό προκαλείται από το γεγονός ότι σε αυτό το frame η μπάλα ήταν πολύ κοντά στη κάμερα και δε φαινόταν ολόκληρη μέσα στην εικόνα. Αυτό σημαίνει ότι το εμβαδόν που αναγνωρίστηκε ήταν μικρότερο και η απόσταση που υπολογίστηκε μεγαλύτερη, κατά τα όσα αποδεικνύονται στη παράγραφο 3.3. Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα αυτό προκαλεί μεγάλη διαφορά στη τελευταία πρόβλεψη που σημαίνει ότι ο βραχίονας θα προσπαθούσε να φύγει από το σωστό σημείο. Αυτό γίνεται πολύ κοντά στη πρόσκρουση χρονικά και πιθανόν να μη προκαλούσε αστοχία την αναχαίτισης. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να δημιουργηθεί ένα δεύτερο φίλτρο το οποίο να απορρίπτει και frame στα οποία η μπάλα φαίνεται να αλλάζει κατεύθυνση στο άξονα Y της κάμερας.

Φαίνεται επίσης ότι η αναγνώριση στο X είναι εξαιρετική το οποίο οφείλεται στο ότι:

- Η παρεμβολή σε αυτό τον άξονα είναι 1^{ου} βαθμού και η ανακρίβειες δε επηρεάζουν τόσο σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα.
- Η ταχύτητα της κίνησης του αντικειμένου στον άξονα του X είναι πολύ μικρότερη και δε υφίσταται το πρόβλημα της αλλοίωσης (motion blur).

Τέλος, να σημειωθεί ότι ο αριθμός δειγμάτων εδώ είναι μικρότερος διότι είχε ενεργοποιηθεί η εξαγωγή του μεγαλύτερου αντικειμένου το οποίο αυξάνει κατά περίπου 50% το χρόνο ολοκλήρωσης της ανάλυσης του frame. Παρ' όλα αυτά, αυξάνει την ακρίβεια υπό συγκεκριμένες συνθήκες αυξάνει τη ακρίβεια της αναγνώρισης και γι αυτό χρησιμοποιείται εδώ.

Στη δεύτερη περίπτωση δε χρησιμοποιείται η εξαγωγή του μεγαλύτερου αντικειμένου αλλά αφαιρείται ο μέσος όρος του θορύβου που μετριέται πριν τη ρίψη.



Εικόνα 7.3: Από τη ρίψη 6 με ενεργοποιημένη την αφαίρεση του μέσου όρου του θορύβου.

Κατ' αρχήν, και σε αυτή τη ρίψη στον άξονα των X η πρόβλεψη έχει πολύ μικρό σφάλμα για τους ίδιους λόγους που αναφέρεται παραπάνω. Επιπλέον συγκλίνει πάρα πολύ γρήγορα, περίπου στα 0.06sec.

Κι εδώ οι αρχικές διακυμάνσεις στη πρόβλεψη του Z οφείλονται στους ίδιους λόγους που αναλύθηκαν και στο προηγούμενο διάγραμμα. Η διαφορά εδώ είναι ότι στα 2 πρώτα δέκατα του δευτερολέπτου (0.2sec) έχουν ήδη αναλυθεί 7 με 8 frame αντί των τριών στη προηγούμενη περίπτωση. Αντίστοιχα και η πρόβλεψη συγκλίνει στο σωστό σημείο νωρίτερα απ' ότι στην ρίψη 2.

Το πρόβλημα που εμφανίζεται εδώ είναι ένα μικρό οροπέδιο που εμφανίζεται στο διάγραμμα της απόστασης γύρω στα 2 δέκατα του δευτερολέπτου, όπου φαίνεται σαν να έχει μείνει ακίνητη η μπάλα στον αέρα για λίγο. Αυτό σημαίνει ότι ενώ η μπάλα ήρθε πιο κοντά και έπρεπε να μεγαλώσει το φαινόμενο της μέγεθος, αυτό παρέμεινε περίπου σταθερό.

Το παραπάνω οφείλεται στην αλλοίωση λόγω της ταχύτητας (motion blur) και μάλιστα ο μηχανισμός του σφάλματος εδώ λειτούργησε ως εξής:

Η αλλοίωση υπήρχε από το πρώτο frame καθώς η μπάλα κινούταν προς τα πάνω με την ταχύτητα που της έδωσε ο άνθρωπος, επί του προκειμένου ο υπογράφων την εργασία. Άρα

αναγνωριζόταν η μπάλα και μία ουρά πίσω από αυτή από ένα χρώμα ελαφρώς λιγότερο κορεσμένο. Το παραπάνω έκανε το αντικείμενο να εμφανίζεται μεγαλύτερο. Κοντά στα 0.2sec η μπάλα έφτασε περίπου στη κορυφή της καμπύλης της τροχιάς της οπότε η ταχύτητα της προβολής στο επίπεδο της εικόνας μειώθηκε. Άρα στο οροπέδιο, που μπορεί να εμφανίζεται σαν λάθος, στη πραγματικότητα γίνονται οι πιο σωστοί υπολογισμοί, και υπάρχει ο μικρότερος θόρυβος.

Καθώς η μπάλα κατεβαίνει αυξάνεται ξανά η αλλοίωση λόγω ταχύτητας και σιγά σιγά αυξάνεται πάλι το σφάλμα. Αυτή η συμπεριφορά εξηγεί και την καμπύλη που κάνει στα τελευταία frame η πρόβλεψη στο Z. Εδώ πάντως δεν εμφανίστηκε το πρόβλημα της προηγούμενης ρίψης όπου στο frame φαινόταν μόνο μέρος τη μπάλας.

Να αναφερθεί επίσης ότι το πρόβλημα του motion blur μπορεί να εξαλειφθεί, σχεδόν, με μία κάμερα υψηλής ταχύτητας οπότε η συμπεριφορά των προβλέψεων θα είναι αυτή που παρατηρήθηκε στο V-REP.

Τέλος αποδεικνύεται ότι η χρήση της προοπτικής είναι έγκυρος τρόπος υπολογισμού της απόστασης με σημαντική ακρίβεια, άμεσα συγκρίσιμη με αυτή της στερεοσκοπίας. Μάλιστα, η ακρίβεια προκύπτει από τη επιτυχία της ανίχνευσης της γεωμετρικής ιδιότητας που χρησιμοποιείται για τον συγκριτικό υπολογισμό της απόστασης.

Να αναφερθεί εδώ ότι από τα πραγματικά πειράματα έγινε αντιληπτό ότι οι παρακάτω αλλαγές θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ακρίβεια των υπολογισμών:

- Η κάμερα να είναι πίσω από το βραχίονα ώστε να μην ανιχνεύεται αύξηση της απόστασης εάν είναι η μισή μπάλα στο οπτικό πεδίο της κάμερας.
- Να χρησιμοποιηθεί κάμερα υψηλής, ή τουλάχιστον υψηλότερης, ταχύτητας για να μειωθεί το φαινόμενο “motion blur”.
- Χρήση υπολογιστή με περισσότερη ή ταχύτερη μνήμη RAM.

Κεφάλαιο 8: Πιθανές εφαρμογές της μεθόδου αναγνώρισης βάθους.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες παραγράφους, αυτός ο τρόπος υπολογισμού του βάθους είναι πολύ λιγότερο απαιτητικός σε υπολογιστική ισχύ από τις μεθόδους που είναι σε χρήση σήμερα. Επιπλέον, σε περιβάλλοντα όπου μπορεί να γίνει αναγνώριση χρώματος αξιόπιστα, φαίνεται ότι έχει και εξαιρετική ακρίβεια τόσο στη διεύθυνση όσο και στην απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι αυτή είναι μια εξαιρετική μέθοδος για χρήση σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον όπου μπορεί να ελεγχθεί το τι θα υπάρχει μέσα και το πώς θα το αντιλαμβάνεται η κάμερα. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον θα υπήρχε και η δυνατότητα χρήσης αντικειμένων μόνο γνωστού μεγέθους χωρίς να θυσιάζεται ευελιξία ή λειτουργικότητα.

Θα μπορούσε για παράδειγμα να καλύπτονται τα αντικείμενα με επίστρωση ή κάλυμμα (αυτοκόλλητο) το οποίο να αντανακλά σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος στο υπέρυθρο. Μάλιστα το υπέρυθρο είναι και η πιο λογική επιλογή αφού χρησιμοποιείται ήδη σε βιομηχανικές εφαρμογές για την αναγνώριση σχημάτων και χαρακτηριστικών.



Εικόνα 8.1: Ρομποτικό κελί σε γραμμή παραγωγής.

Στις περισσότερες εφαρμογές, όπως και σε αυτή της εικόνας παραπάνω, ένας βιομηχανικός ρομποτικός βραχίονας βασίζεται στην καταμέτρηση κομματιών για να ολοκληρώσει την παλετοποίηση, ή για να αφαιρέσει ακατέργαστα κομμάτια από μία γνωστή παλέτα.

Σε αυτό το παράδειγμα μάλιστα, τα αντικείμενα έχουν όλα το ίδιο ύψος αφού είναι τοποθετημένα σε μία βάση, η οποία συχνά κοστίζει αρκετά να κατασκευαστεί αφού ελέγχεται η παραλληλότητα της και τηρούνται αυστηρές ανοχές.

Με τη χρήση αυτής της μεθόδου υπολογισμού του βάθους, μπορεί ο βραχίονας, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον υπολογιστική ισχύ, να εκτελεί τις παραπάνω εργασίες σε παλέτες οι οποίες δεν έχουν στοιβαχτεί σωστά ή είναι άγνωστες. Επιπλέον, θα μπορούσε να λειτουργήσει σε ένα χώρο πιο δυναμικό και πιο συχνά μεταβαλλόμενο αφού αυτό που πραγματικά πρέπει να είναι σταθερά γνωστό είναι το μέγεθος των αντικειμένων που θα χειρίζεται. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αυξήσει σημαντικά την ευελιξία μιας γραμμής παραγωγής και κατά συνέπεια και την παραγωγικότητα της.

Εκτός βιομηχανικού περιβάλλοντος, θα μπορούσε ένας τέτοιος αλγόριθμος να χρησιμοποιηθεί σε εμπορικά οχήματα για τον υπολογισμό της απόστασης από το προπορευόμενο όχημα. Σε αυτή την περίπτωση βέβαια, το σχήμα του οχήματος δεν μπορεί να είναι γνωστό καθώς υπάρχει τεράστια ποικιλία. Μπορεί όμως να είναι γνωστό το μέγεθος της πινακίδας με τον αριθμό κυκλοφορίας.

Αυτό είναι γενικά σταθερό ανά χώρα και, ούτως ή άλλως, υπάρχουν λίγα διαφορετικά πρότυπα στις πινακίδες παγκοσμίως. Συνήθως μάλιστα έχουν και αντίστοιχους χρωματισμούς. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να αντικαταστήσει τα radar μικρής εμβέλειας που χρησιμοποιούνται σήμερα. Μάλιστα θα είχε και μεγαλύτερη ακρίβεια στην παρακολούθηση της απόστασης από αυτά και θα μπορούσε να είναι ακριβέστερη η πρόβλεψη της επικείμενης σύγκρουση. Αυτό θα αύξανε και την οδική ασφάλεια.

Μία άλλη πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή θα μπορούσε να είναι διάφορα συστήματα ψυχαγωγίας ή και άθλησης. Μάλιστα η απλότητα αυτού του αλγόριθμου καθιστά δυνατό αυτή να είναι μία μόνο από τις λειτουργίες ενός ρομποτικού συστήματος. Η συνεχής ρίψη μίας μπάλας μεταξύ δύο παικτών, είναι μία πολύ διαδεδομένη, γνωστή και παλιά μορφή ψυχαγωγίας. Θα μπορούσε λοιπόν, ένας τέτοιος αλγόριθμος να είναι ενσωματωμένος σε ένα ρομποτικό σύστημα με σκοπό την ψυχαγωγία και την άσκηση παιδιών στα πλαίσια του σχολείου.

Κεφάλαιο 9: Περιοχές περαιτέρω έρευνας.

Η βασικότερη περιοχή που αξίζει να συνεχιστεί η έρευνα επάνω σε αυτή την εργασία θα ήταν η εφαρμογή του αλγόριθμου σε μη σφαιρικά σχήματα. Η πρώτη λύση που έρχεται στο μυαλό είναι η αναγνώριση χαρακτηριστικών στις διάφορες πλευρές του αντικειμένου και η μέτρηση της μεταξύ τους απόστασης. Από τη θέση στην εικόνα και το μέγεθος των χαρακτηριστικών θα μπορούσε να υπολογισθεί και η στάση του αντικειμένου στο χώρο. Οι στροφές, δηλαδή, που έχει εκτελέσει γύρω από τους τρεις άξονες που περιγράφουν των τρισδιάστατο χώρο μέσα στον οποίο βρίσκεται.

Τα παραπάνω δίνουν τη δυνατότητα του υπολογισμού της απόστασης οποιουδήποτε γνωστού σχήματος από μία μόνο κάμερα. Και όπως αναφέρθηκε και της στάσης του στο χώρο. Εδώ μάλιστα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος SIFT σε συνεργασία με αυτόν της εργασίας.

Μία άλλη πολύ σημαντική εξέλιξη αυτού του αλγόριθμου θα ήταν η ομαλή συγκράτηση αντικειμένων που είναι σε βαλλιστική τροχιά από ένα βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας. Και εδώ μπορούν να αναπαραχθούν συμπεριφορές που παρατηρούνται στο ζωικό βασίλειο αλλά και στους ανθρώπους.

Συγκεκριμένα, σε αυτή την εργασία γίνεται υπολογισμός της βαλλιστικής τροχιάς καθώς και του σημείου πρόσκρουσης σε ένα γνωστό επίπεδο. Υπολογίζεται επίσης και ο χρόνος πρόσκρουσης. Με αυτά τα δύο θα μπορούσε ένα βραχίονας να αναχαιτίζει το αντικείμενο, να το συγκρατεί (*αρπάγη, βεντούζα, μαγνήτης, κ.α.*) και στη συνέχεια να:

- Κινείται επάνω στην προβλεπόμενη τροχιά ξεκινώντας με ταχύτητα ίση με αυτή του αντικειμένου τη στιγμή της αναχαίτισης. Μπορεί να χρειαστεί να έχει ήδη ξεκινήσει να επιταχύνει ο βραχίονας επάνω στην υπολογισμένη τροχιά.
- Να επιβραδύνει ομαλά (*με σταθερή επιβράδυνση*) και με το διάνυσμα της ταχύτητας του και της επιβράδυνσης πάντα εφαπτόμενα στην βαλλιστική τροχιά που έχει υπολογιστεί.

Με αυτές τις δύο αρχές, θα μπορούσε ένας βραχίονας να αναχαιτίσει ένα αντικείμενο σε βαλλιστική τροχιά, να το συγκρατήσει και να το σταματήσει χωρίς να του προκαλέσει ζημιά, αφού η επιτάχυνση θα είναι επιλεγμένη κατάλληλα.

Το παραπάνω είναι περίπου αυτό που κάνει ένας άνθρωπος όταν πιάνει ένα βαρύ ή αιχμηρό/γωνιώδες αντικείμενο που του έχουν πετάξει, έτσι ώστε να μην τραυματίσει τα χέρια του.

Τέλος, με μικρές αλλαγές στον ήδη υπάρχοντα αλγόριθμο θα μπορούσαν να

παρακολουθούνται πολλαπλά αντικείμενα, να υπολογίζεται ο χρόνος πρόσκρουσης του καθενός και να γίνεται αναχαίτιση όλων. Η σειρά, δε, της αναχαίτισης θα καθορίζεται από τους χρόνους πρόσκρουσης και την μέγιστη ταχύτητα μετατόπισης που μπορεί να πετύχει το άκρο του βραχίονα.

Κεφάλαιο 10: Παράρτημα.

10.1 : Αλγόριθμος Ελέγχου.

```
function [RedPosition, PredCoord, RedCentres, AllAreas,
Red]=ComputerVisionontheFly(VidWebCam, PixDist, Limit, BrightnessRange, Threshold, Fr
m, varargin)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Finding a red ball in the camera's field of view and calculating its
% position in the 3D Cartesian System of the camera as it is described in
% the comments of the code.
%
% It then predicts the coordinates of the landing
% point in a particular plane that is perpendicular to the camera's Y-axis.
%
% As an option a Noise Reduction value can be set in the Area calculations.
% To do that specify 2 extra input arguments:
% 7th Input: 'Yes'. Input that to activate the Noise Reduction function
% 8th Input: input the Noise Reduction value. Please use the provided
% function to calculate this value.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
close all

NRval=0;

% Turning Noise Reduction on or off and setting the NR value.
if nargin>6
    narginchk(8, Inf)
    if strcmp(varargin{1}, 'Yes')
        disp(['Specific Noise Reduction value set at ' num2str(varargin{2})]);
        NRval=varargin{2};
    else
        disp('Specific Noise Reduction value set at 0');
    end
end

% Preallocations for speed
CmdTime (Frm)=0;
Xc (Frm)=0;
Zc (Frm)=0;
AllAreas (Frm)=0;
RedPosition (1:3, Frm)=0;
PredCoord (1:3, Frm)=0;
Red{Frm}=zeros (800, 600, 3);
Count=1;
```

```
%Time for the human to setup and startup.
pause(5)
Go=imread('Go.jpg');
imshow(Go);
pause(.5)
tic

    while Count<Frm

        Count=Count+1;

        CmdTime(Count)=toc;

        %Finding the Ball.
        Image=peekdata(VidWebCam,1);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%       Red{Count}=FindRedAssociative(Image,Limit,BrightnessRange);%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Finds the color red in an RGB picture operating under the assumption that
% color is a 2D object in the 3D RGB space/cube.
%
% This approach is inspired by the representation of HSV-Hue in the
% RGB space/cube.

% tic;

R=double(Image(:,:,1));
G=double(Image(:,:,2));
B=double(Image(:,:,3));

Result=((R>Limit*G&R>Limit*B).*R)>BrightnessRange);

% RedTime=toc
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% "Fill Holes" Noise Reduction Method, use with caution as it can cause%
% unexpected results. Activate by switching the comment below%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%       Red{Count}=Result;
        Red{Count}=imfill(Result,'holes');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Extracting the single largset object from the picture%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%To activate un-comment the next line of code%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%       Red{Count}=extract_largest_object2(Red{Count});
        Area=sum(sum(Red{Count}))-NRval;

        if Area<=Threshold
            Frm=Frm+1;
            continue
        end

        RedDots=sqrt((Area*4)/pi);

        RedDistance=PixDist/RedDots;

        [~,Xc(Count)]=max(sum(Red{Count})); % Index of the max of the Sums of
```

columns, thus revealing the Y-coordinate of the centre.

```
[~, Zc (Count)] = max (sum (Red {Count}, 2)); % Index of the max of the Sums of  
rows, thus revealing the X-coordinate of the centre.
```

```
Xc (Count) = Xc (Count) - 300;  
Zc (Count) = -Zc (Count) + 400;
```

```
AllAreas (Count) = Area;
```

```
%%%%%%%%%% Camera 3D Cartesian System %%%%%%%%%%%  
%A 3D Cartesian system is assumed for the camera with the Y-axis positive  
%values starting from the centre of the screen and going out into the camera's  
%field of view.
```

```
%  
%The X-axis positive values start from the centre of the screen and continue to  
%the right of the screen.
```

```
%  
%Similarly the Z-axis starts at the centre of the screen and goes upward.
```

```
%Calculating the Azimuth and Elevation angles that define the direction on  
%which the centre of the ball is located.
```

```
% PixDist*(1/.068) represents the value of 1m in pixels, since the ball  
% diameter is 0.068m. In this case that number is being used as a unit of  
% measurement (benchmark).
```

```
ClockAngle = atan2 (Xc (Count), PixDist*(1/.068));
```

```
%The angle can be calculated as per the Clock angle system. Here instead of  
%values of 1 ~ 12 we have values 0 ~ 2pi. 0 Meaning straight ahead or in the  
%direction of the Y-axis of the cameras coordinate system. The above can be  
%calculated from the pic data under the "1m assumption".
```

```
Elevation = atan2 (Zc (Count), ((PixDist*(1/.068))./cos (ClockAngle))); %With the  
Clock Angle and the "1m assumption", the elevation can also be calculated.
```

```
% Using the calculated distance and the direction angles to determine the  
% position of the ball in the 3D Cartesian coordinate system of the camera.
```

```
projdist = RedDistance*cos (Elevation);
```

```
RedPosition (1, Count) = projdist*sin (ClockAngle);
```

```
RedPosition (2, Count) = projdist*cos (ClockAngle);
```

```
RedPosition (3, Count) = RedDistance*sin (Elevation);
```

```
% Transforming the values to represent the calculated point in the  
%Camera coordinates.
```

```
RedPosition (1, Count) = RedPosition (1, Count);
```

```
RedPosition (2, Count) = - (RedPosition (2, Count));
```

```
RedPosition (3, Count) = (RedPosition (3, Count));
```

```
%RealTimePredictPoint
```

```
% In order to calculate the function of the motion in each axis, first the  
% components of the vector of velocity need to be calculated for each axis.
```

```
%RealTimeBallVelocity

% Analyzing the vector to its three components.
% and...
Xs=RedPosition(1,1:Count);
Ys=RedPosition(2,1:Count);
Zs=RedPosition(3,1:Count);

% Taking the zeros out of the interpolation code.
Index=find(RedPosition(1,1:Count)~=0);

% Applying the least squares method to find the function that describes
% the motion in each of the three axis.
Xv=polyfit(CmdTime(Index),Xs(Index),1);
Yv=polyfit(CmdTime(Index),Ys(Index),1);
Zv=polyfit(CmdTime(Index),Zs(Index),2);

% Next the position of the wall (impact plane) needs to be input as a
% coordinate in the Y-axis. From the calculations of velocity and distance
% the time to impact can be inferred. Feeding that time (t) back to the
% equation of motion will return the coordinates of the impact point in
% each axis.

WallPosition=0;

Run2Wall=WallPosition-RedPosition(2,Count);

TimeLeft=Run2Wall/Yv(1);

PredTime=CmdTime(end)+TimeLeft;

% Calculating the predicted coordinates.

PredCoord(1,Count)=Xv(1)*PredTime+Xv(2);
% PredCoord(2,Count)=WallPosition;
PredCoord(3,Count)=Zv(1)*PredTime^2+Zv(2)*PredTime+Zv(3);

    end

    RedCentres=[Xc;Zc];
close all

Done=imread('Done!.png');
imshow(Done)
pause(1.5)

close all
end
```

10.2 : Αλγόριθμοι Μείωσης θορύβου στην ανίχνευση του κόκκινου.

Η κατωφλίωση του εμβადού γίνεται μέσα στον κώδικα ελέγχου από τις εντολές:

```
AllAreas(Frm)=0; (Εκτελείται πριν από την εκκίνηση του βρόγχου ελέγχου)
.
```

```
.  
.
Area=sum(sum(Red{Count}))-NRval;

    if Area<=Threshold
        continue
    end (Εάν η τιμή είναι μικρότερη από το κατώφλι, προχωράει στο επόμενο
κύκλο του βρόγχου χωρίς να αποθηκεύσει καμία τιμή)
```

Η αφαίρεση του θορύβου γίνεται επίσης στον παραπάνω κώδικα.

Η εξαγωγή του μεγαλύτερου αντικειμένου γίνεται από τον παρακάτω κώδικα:

```
function [Final, Sums_array]=extract_largest_object2(Image)
% tic;
A=bwlabel(Image);

BinNo=0:max(max(A));

[Sums_array, xout]=hist(A(:),BinNo);

% This is only correct with the assumption than the pixel in position
% (1,1) is part of the background.

Sums_array(1)=0;

[~, Pos]=max(Sums_array);

Final=A==xout(Pos);
% toc;
end
```

10.3 : Μελέτες αντοχής μέσω του συστήματος CAD για τον ιμάντα και τις συνδέσεις με σφήνα.

Μελέτη του ιμάντα:

Synchronous Belts Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))
22/1/2016

Project Info

Summary

Title 2DoF Robotic Arm

Subject

Author K.Froudarakis

Manager

Company

Category

Keywords

Comments A 2 Degree of Freedom robotic arm with an integrated Machine Vision subsystem. The system utilises one vision camera and is able to track and intercept an object on a ballistic trajectory.

Project

Part Number 2DOF
Stock Number
Description
Revision Number
Project
Designer K.Froudarakis
Engineer K.Froudarakis
Authority
Cost Center
Cost 0,00 €
Date Created 7/11/2015
Vendor
Catalog web link

Status

User Status
Design Status 1
Last Saved By
Checked by
Engr Approved by
Date Eng Approved
Part Type name Assembly
Mfg Approved by
Date Mfg Approved
Standard
Manufacturer
Standards Organization

Belt Properties

Display name		Synchronous Belt
Size		25T5 x 455
Circular pitch	pb	5,000 mm
Number of teeth	z	91,000 ul
Pitch length	L	455,000 mm
Width	B	25,000 mm
Height	H	2,200 mm
Tooth width	S	2,650 mm
Tooth angle	β	20,00 deg
Tooth height	ht	1,200 mm
Root fillet radius	rr	0,400 mm

Tooth head fillet radius	ra	0,400 mm
Minimum pulley pitch diameter	Dmin	15,000 mm
Allowable maximum working tension	Ta	875,000 N
Maximum flex frequency	fmax	60,000 Hz
Maximum belt speed	vmax	80,000 mps
Specific mass	m	0,060 kg/m

Synchronous Pulley 1 Properties

Display name	Synchronous pulley	
Size	26,5T5 x 40	
Type of pulley	DriveR	
Number of teeth	z	40,000 ul
Number of teeth in contact	zc	27,000 ul
Circular pitch	pb	5,000 mm
Pitch Diameter	Dp	63,662 mm
Outside pulley diameter	D0	62,662 mm
Pitch line offset	a	0,500 mm
Pulley width	bf	26,500 mm
Fillet radius of teeth height	rt	0,600 mm
Fillet radius of teeth root	rb	0,400 mm
Groove width	bw	1,800 mm
Tooth height	hg	1,250 mm
Groove angle	φ	25,00 deg
X coordinate	x	0,000 mm
Y coordinate	y	0,000 mm
Span length	Lf	26,968 mm
Power ratio	Px	1,000 ul
Power	P	0,126 kW
Torque	T	12,000 N m
Speed	n	100,000 rpm
Arc of contact	β	235,75 deg
Force on input	F1	452,396 N
Force on output	F2	75,405 N
Resultant axle load	Fr	498,740 N
Static tensioning force	Fv	466,551 N

Synchronous Pulley 2 Properties

Display name	Synchronous pulley	
Size	26,5T5 x 32	
Type of pulley	DriveN	
Number of teeth	z	32,000 ul

Number of teeth in contact	zc	20,000 ul
Circular pitch	pb	5,000 mm
Pitch Diameter	Dp	50,930 mm
Outside pulley diameter	D0	49,930 mm
Pitch line offset	a	0,500 mm
Pulley width	bf	26,500 mm
Fillet radius of teeth height	rt	0,600 mm
Fillet radius of teeth root	rb	0,400 mm
Groove width	bw	1,800 mm
Tooth height	hg	1,250 mm
Groove angle	φ	25,00 deg
X coordinate	x	0,000 mm
Y coordinate	y	122,336 mm
Center distance	C	122,336 mm
Span length	Lf	122,170 mm
Power ratio	Px	1,000 ul
Power	P	0,122 kW
Torque	T	9,312 N m
Speed	n	125,000 rpm
Transmission ratio	i	0,800 ul
Arc of contact	β	218,50 deg
Force on input	F1	75,405 N
Force on output	F2	452,396 N
Resultant axle load	Fr	513,556 N
Static tensioning force	Fv	498,285 N

□ Flat Pulley 3 Properties

Display name	Flat Pulley1
Size	Custom
Type of pulley	Idler
Nominal diameter	D 48,000 mm
Pitch Diameter	Dp 49,000 mm
Pulley width	B 25,000 mm
X coordinate	x 12,608 mm
Y coordinate	y 61,168 mm
Center distance	C 62,454 mm
Span length	Lf 37,470 mm
Power ratio	Px 0,000 ul
Torque	T 0,000 N m
Speed	n 129,922 rpm
Transmission ratio	i 0,770 ul

Arc of contact β 94,26 deg
Force on input F1 452,396 N
Force on output F2 452,396 N
Resultant axle load Fr 663,111 N
Static tensioning force Fv 386,819 N
Strength check

Power P 0,126 kW
Torque T 12,000 N m
Speed n 100,000 rpm
Efficiency η 0,970 ul
Service factor cp 1,000 ul
Resultant service factor cPR 2,321 ul
Belt Speed v 0,333 mps
Effective pull Fp 376,991 N
Centrifugal force Fc 0,007 N
Belt installation tension Ft 263,900 N
Maximum tension in belt span Ftmax 452,396 N
Teeth in mesh factor kz 1,000 ul
Tension factor k1 1,200 ul

Summary of Messages

9:56:13 $\mu\mu$ Calculation: Calculation indicates design compliance!

Μελέτη της σφήνας του 1^{ου} βαθμού:

Parallel Key Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))
22/1/2016

Project Info

Summary

Title 2DoF Robotic Arm

Subject

Author K.Froudarakis

Manager

Company

Category

Keywords

Comments A 2 Degree of Freedom robotic arm with an integrated Machine Vision subsystem. The system utilises one vision camera and is able to track and intercept an object on a ballistic trajectory.

Project

Part Number 2DOF
Stock Number
Description
Revision Number
Project
Designer K.Froudarakis
Engineer K.Froudarakis
Authority
Cost Center
Cost 0,00 €
Date Created 7/11/2015
Vendor
Catalog web link

Status

User Status
Design Status 1
Last Saved By
Checked by
Engr Approved by
Date Eng Approved
Part Type name Assembly
Mfg Approved by
Date Mfg Approved
Standard
Manufacturer
Standards Organization

Guide

Method of Load Calculation - Power calculation for the specified torque and speed
Type of Strength Calculation - Strength check for the specified load, dimensions and joint properties

Loads

Power P 0,126 kW
Speed n 100,000 rpm
Torque T 12,000 N m

Dimensions

Shaft Diameter d 12,00000 mm

Hollow Shaft Inner Diameter d_h 0,000 mm

Key

Key Width b 4,000 mm

Key Height h 4,000 mm

Key Length l 28,000 mm

Functional Length l_f 24,000 mm

Key Chamfer s 0,400 mm

Key Radius R 0,160 mm

Joint Properties

Number of Keys N 1,000 ul

Application Factor K_a 1,200 ul

Fatigue-Life Factor K_f 1,800 ul

Wear-Life Factor K_w 1,000 ul

Load Distribution Factor K_m 1,000 ul

Desired Safety S_v 1,000 ul

Material

		Shaft		Hub	
Key		Material	Carbon steel	Material	Structural steel
Material	Carbon steel	Allowable Pressure	p_A 130,000 MPa	Allowable Pressure	p_A 90,000 MPa
Allowable Pressure	p_A 130,000 MPa	Allowable Stress in Shear	τ_A 200,000 MPa		

Results

Min. Functional Key Length l_{min} 9,209 mm

Min. Shaft Diameter d_{min} 5,884 mm

Strength Check Positive

Key

Calculated Pressure p_c 36,547 MPa

Safety S 3,557 ul

Shaft

Calculated Pressure p_c 36,547 MPa

Safety S 3,557 ul

Hub

Calculated Pressure pc 34,535 MPa

Safety S 2,606 ul

Summary of Messages

10:03:28 μμ Calculation: Calculation indicates design compliance!

Μελέτη της σφήνας του 2^{ου} βαθμού:

Parallel Key Component Generator (Version: 2016 SP1 (Build 200210100, 210))

22/1/2016

Project Info

Summary

Title 2DoF Robotic Arm

Subject

Author K.Froudarakis

Manager

Company

Category

Keywords

Comments A 2 Degree of Freedom robotic arm with an integrated Machine Vision subsystem. The system utilises one vision camera and is able to track and intercept an object on a ballistic trajectory.

Project

Part Number 2DOF

Stock Number

Description

Revision Number

Project

Designer K.Froudarakis

Engineer K.Froudarakis

Authority

Cost Center

Cost 0,00 €

Date Created 7/11/2015

Vendor

Catalog web link

Status

User Status

Design Status 1
Last Saved By
Checked by
Engr Approved by
Date Eng Approved
Part Type name Assembly
Mfg Approved by
Date Mfg Approved
Standard
Manufacturer
Standards Organization

Guide

Method of Load Calculation - Speed calculation for the specified input power and torque
Type of Strength Calculation - Strength check for the specified load, dimensions and joint properties

Loads

Power P 0,001 kW

Speed n 3600,000 rpm

Torque T 0,003 N m

Dimensions

Shaft Diameter d 10,00000 mm

Hollow Shaft Inner Diameter dh 0,000 mm

Key

Key Width b 3,000 mm

Key Height h 3,000 mm

Key Length l 8,000 mm

Functional Length lf 0,500 mm

Key Chamfer s 0,400 mm

Key Radius R 0,160 mm

Joint Properties

Number of Keys N 2,000 ul

Application Factor Ka 1,000 ul

Fatigue-Life Factor Kf 1,000 ul

Wear-Life Factor Kw 1,000 ul

Load Distribution Factor Km 0,600 ul

Desired Safety Sv 1,000 ul

Material

Key		Shaft		Hub	
Material	User material	Material	User material	Material	User material
Allowable Pressure	pA 246,000 MPa	Allowable Pressure	pA 246,000 MPa	Allowable Pressure	pA 246,000 MPa
		Allowable Stress in Shear	τA 344,000 MPa		

Results

Min. Functional Key Length lmin 0,002 mm

Min. Shaft Diameter dmin 0,340 mm

Strength Check Positive

Key

Calculated Pressure pc 0,804 MPa

Safety S 306,041 ul

Shaft

Calculated Pressure pc 0,804 MPa

Safety S 306,041 ul

Hub

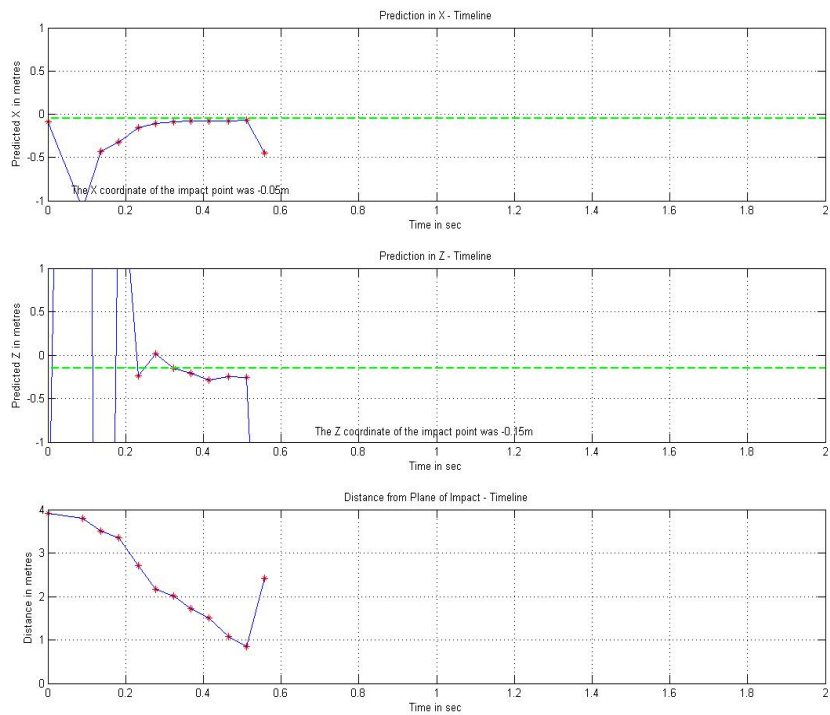
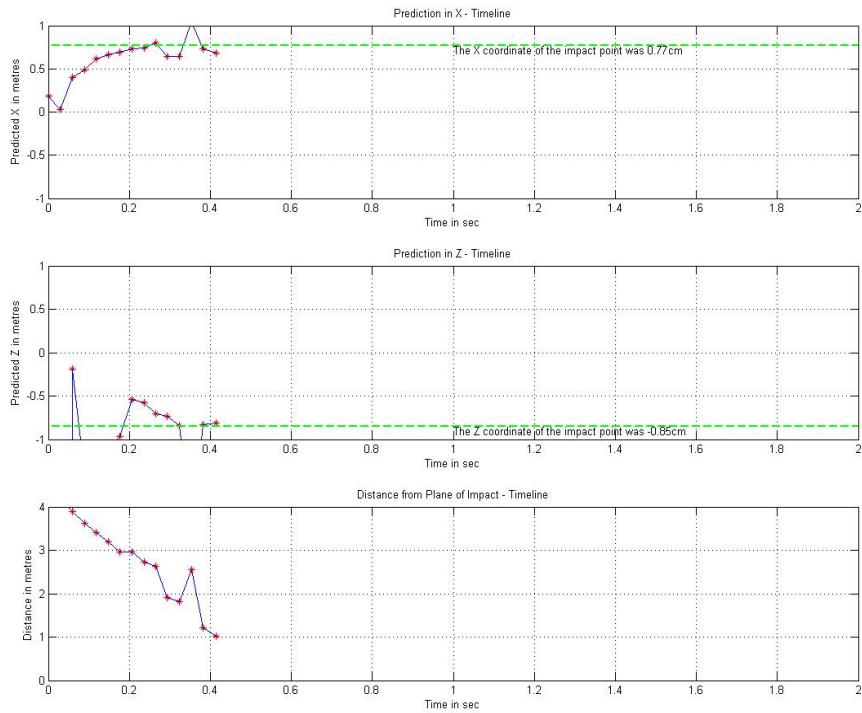
Calculated Pressure pc 0,804 MPa

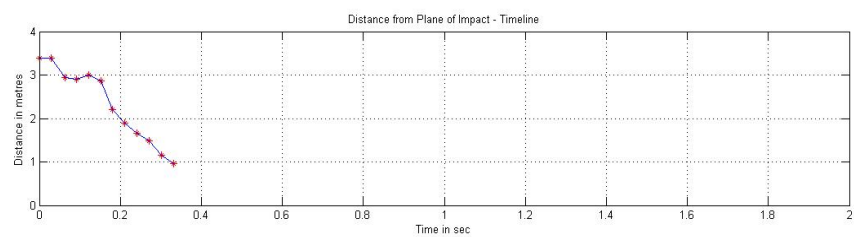
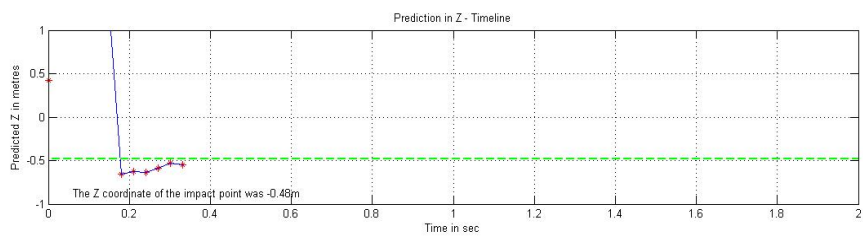
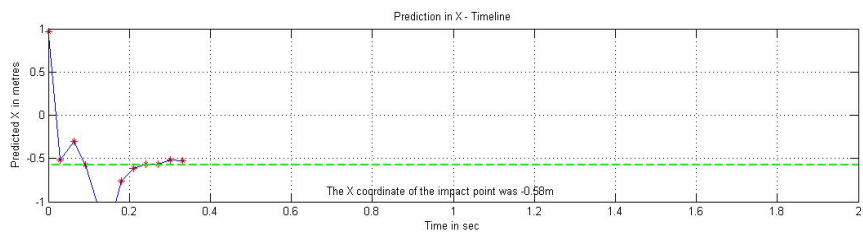
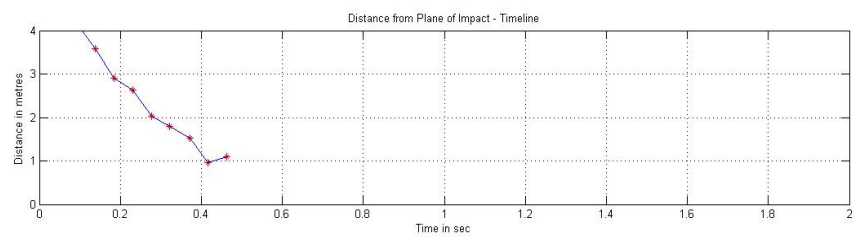
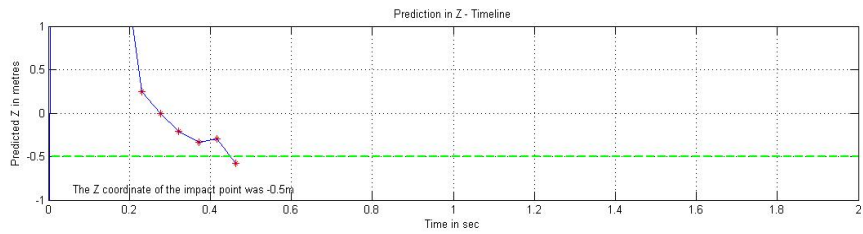
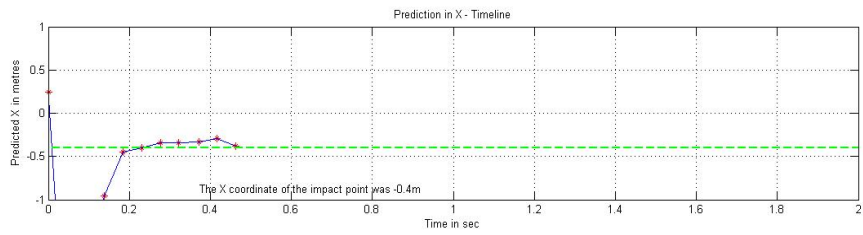
Safety S 306,041 ul

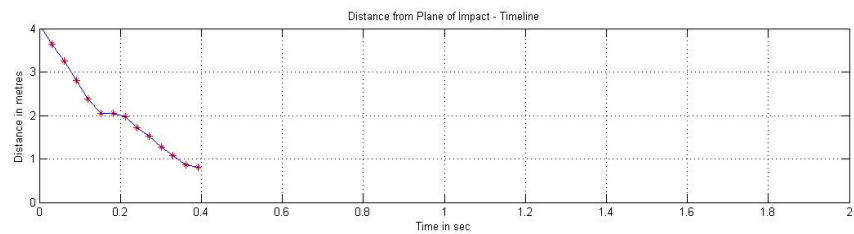
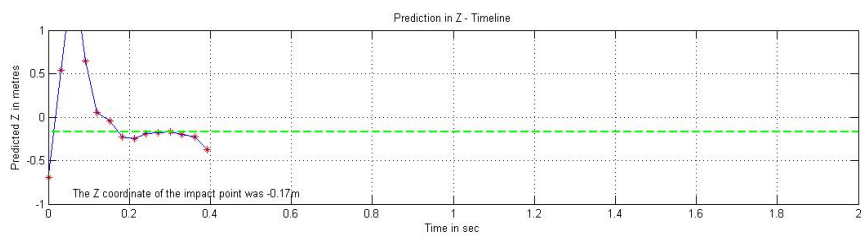
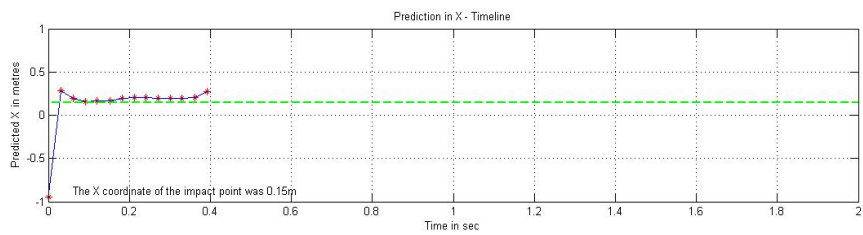
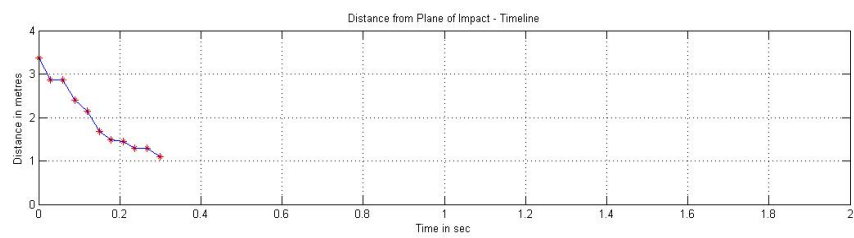
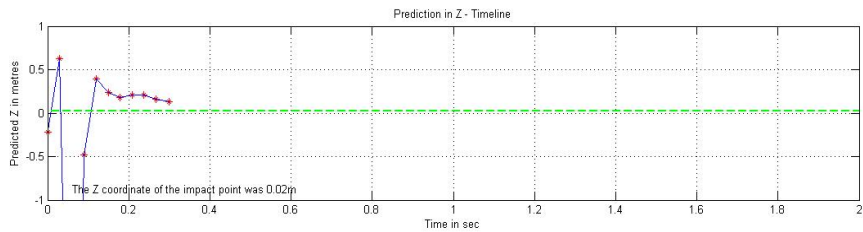
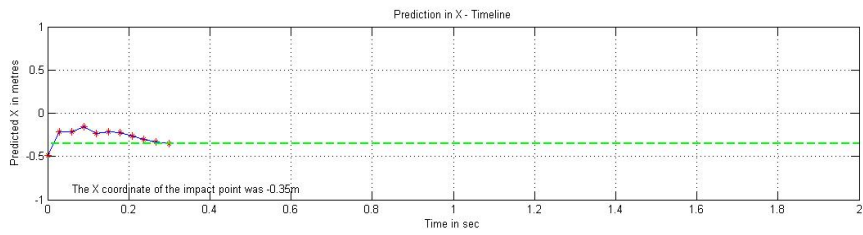
Summary of Messages

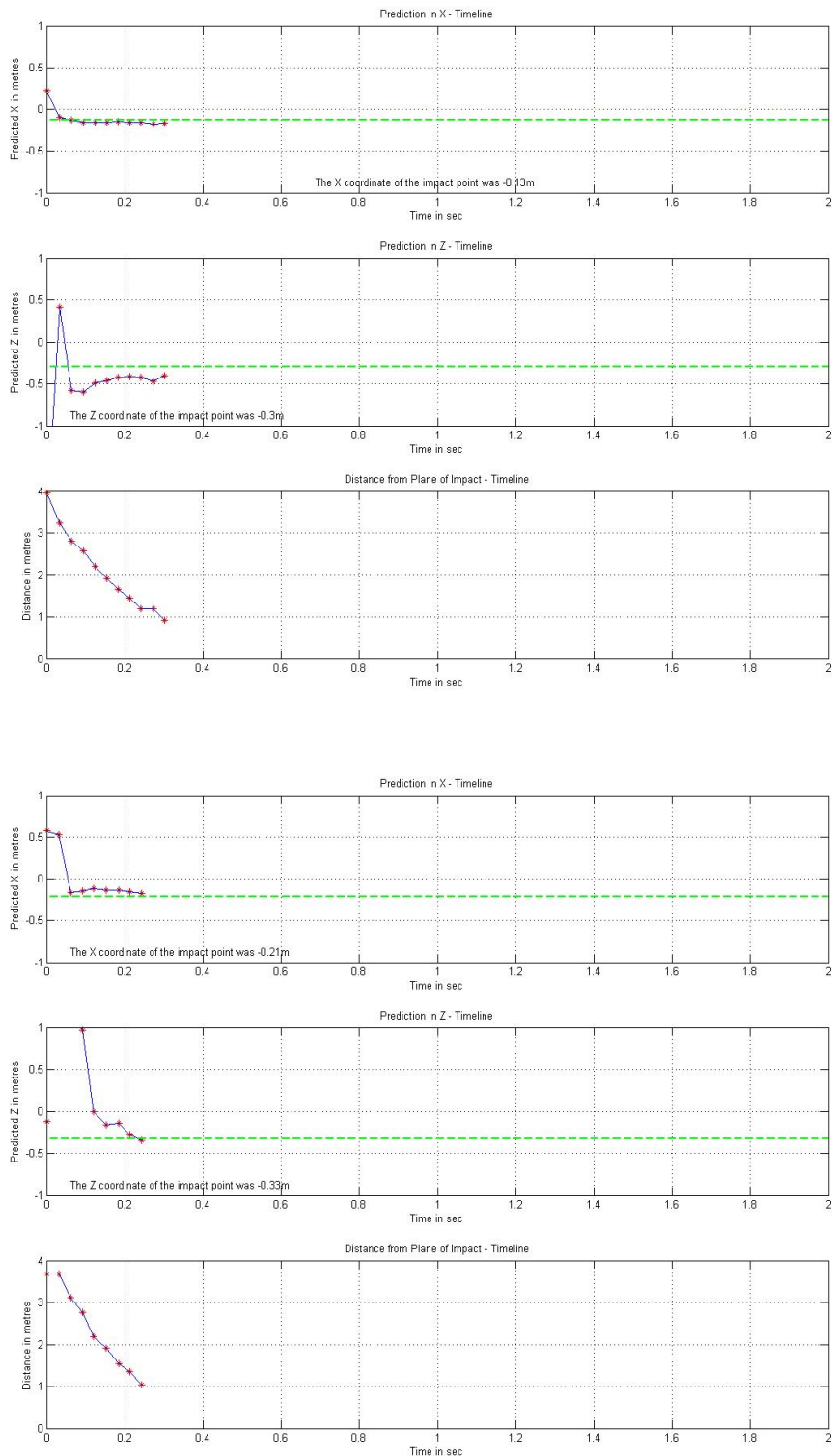
10:16:14 μμ Calculation: Calculation indicates design compliance!

10.4 : Ενδεικτικά Αποτελέσματα από πειραματικές ρίψεις.









10.5 : Μηχανολογικά σχέδια της τελευταίας έκδοσης του βραχίονα.

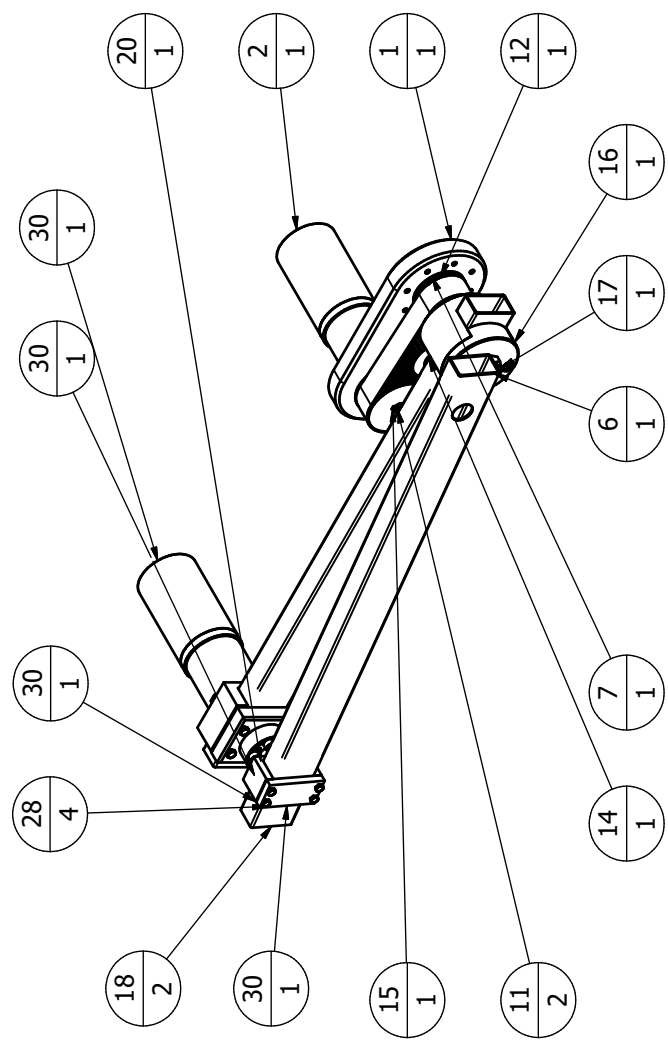
Ακολουθούν τα μηχανολογικά σχέδια της τελευταίας έκδοσης του βραχίονα.

Βιβλιογραφία

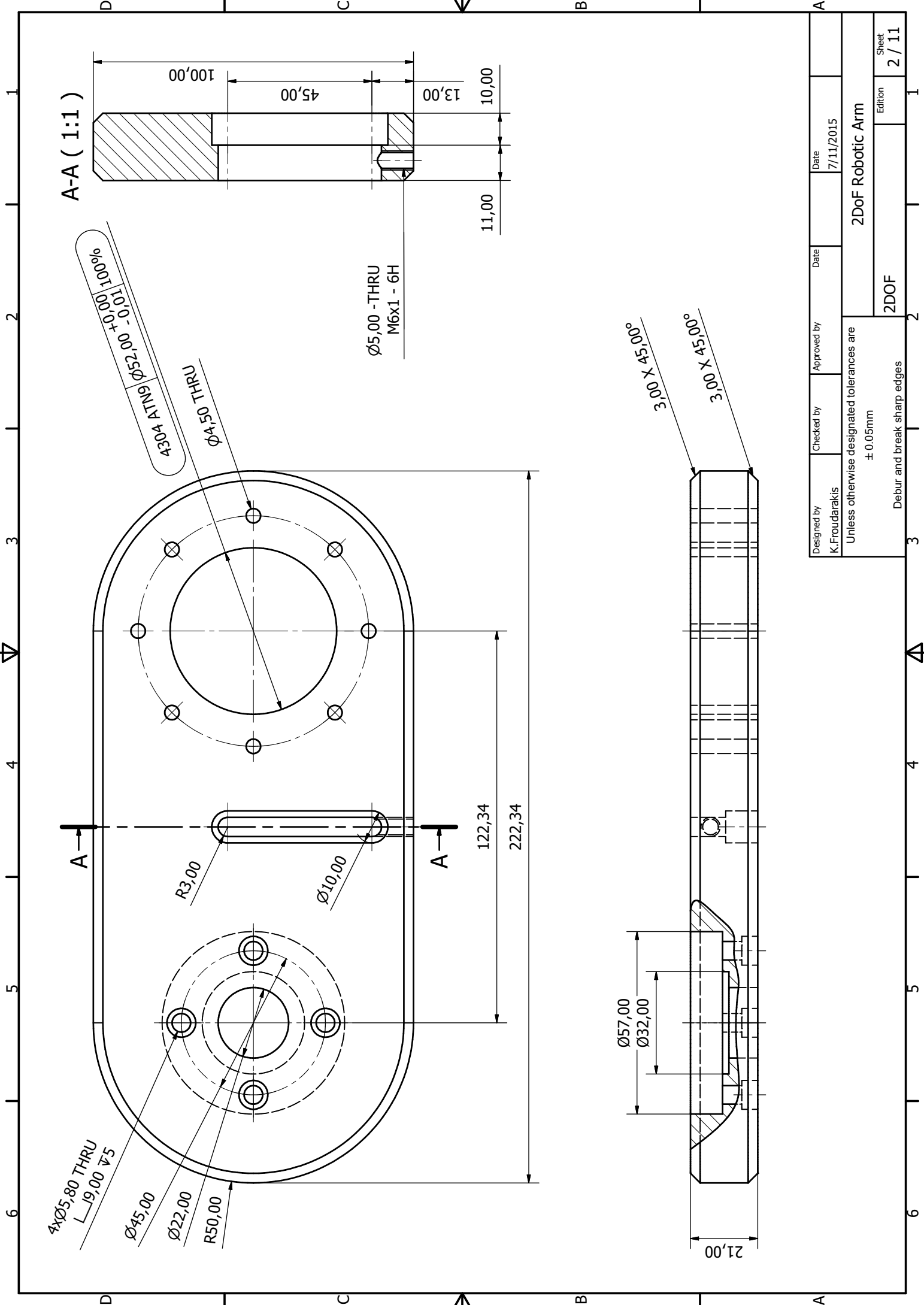
- (1) Perspective [https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_\(visual\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_(visual))
- (2) 3D monocular robotic ball catching:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001176>
- (3) Autodesk 123D <http://www.123dapp.com/>
- (4) Gunter von Noorden - Binocular Vision and Ocular Motility – Chapter 2 Binocular Vision and Space Perception, Paragraph - Monocular (Nonstereoscopic) Clues to Spatial Orientation
- (5) Αζιμούθιο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth>
- (6) Matlab – Product Help
- (7) Mariner, Liz (2007), Cleared for Takeoff: English for Pilots, Book 1, AE Link Publications, pp. 89–90, ISBN 978-0-9795068-0-2
- (8) Drag of a Sphere - NASA
- (9) Robsim Toolbox http://sites.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/wpage.php?wpage_id=7153
- (10) Bullet Physics <http://www.bulletphysics.org/>
- (11) Open Source Dynamics <http://www.ode.org/>
- (12) Vortex Dynamics <http://www.cm-labs.com/>
- (13) V-REP manual <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/>
- (14) Control of Robot Manipulators in Joint Space - Rafael Kelly, Victor Santibáñez Davila, Julio Antonio Loría Perez – Springer Science and Business Media
- (15) SKF 61802
- (16) SKF 3202
- (17) Roboteq SDC2130 <http://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushed-dc-motor-controllers/sdc2130-detail>

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
17	1	ISO 8675 - M20 x 1,5	Hexagon thin nuts (chamfered) with metric fine pitch thread
18	2	ArmProfile	
20	1	Double Row 4200 bearing	
24	2	DIN 6885 - A 3 x 3 x 8	Parallel Key
28	4	ISO 4014 - M4 x 25	Hexagon head bolt - product grades A and B
29	2	ISO 2491 - A 6 x 4 x 14	Thin parallel keys
30	1	2nd Degree of Freedom	

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TransmissionMount	
2	1	ElectroMotormotor	
3	1	TensionerMount	
4	1	ISO 7089 - 8 - 140 HV	Plain washers - Normal series - Product grade A
5	1	ISO 8675 - M8 x 1	Hexagon thin nuts (chamfered) with metric fine pitch thread
6	1	1stDegreeShaft	
7	1	4304 ATN9	Double row, design ATN9-Deep groove ball bearings
8	2	ISO 7089 - 4 - 140 HV	Plain washers - Normal series - Product grade A
9	2	ISO 4762 - M4 x 16	Hexagon Socket Head Cap Screw
10	4	ISO 4762 - M5 x 20	Hexagon Socket Head Cap Screw
11	2	Shaft	
12	1	Synchronous Belts Transmission	
13	1	Key Connection	
14	1	628	Explorer, Single row, open, with recessed outer ring-Deep groove ball bearings
15	1	DIN 6885 - A 4 x 4 x 28	Parallel Key
16	1	ArmHolderAssembly	

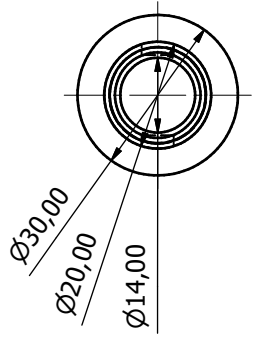
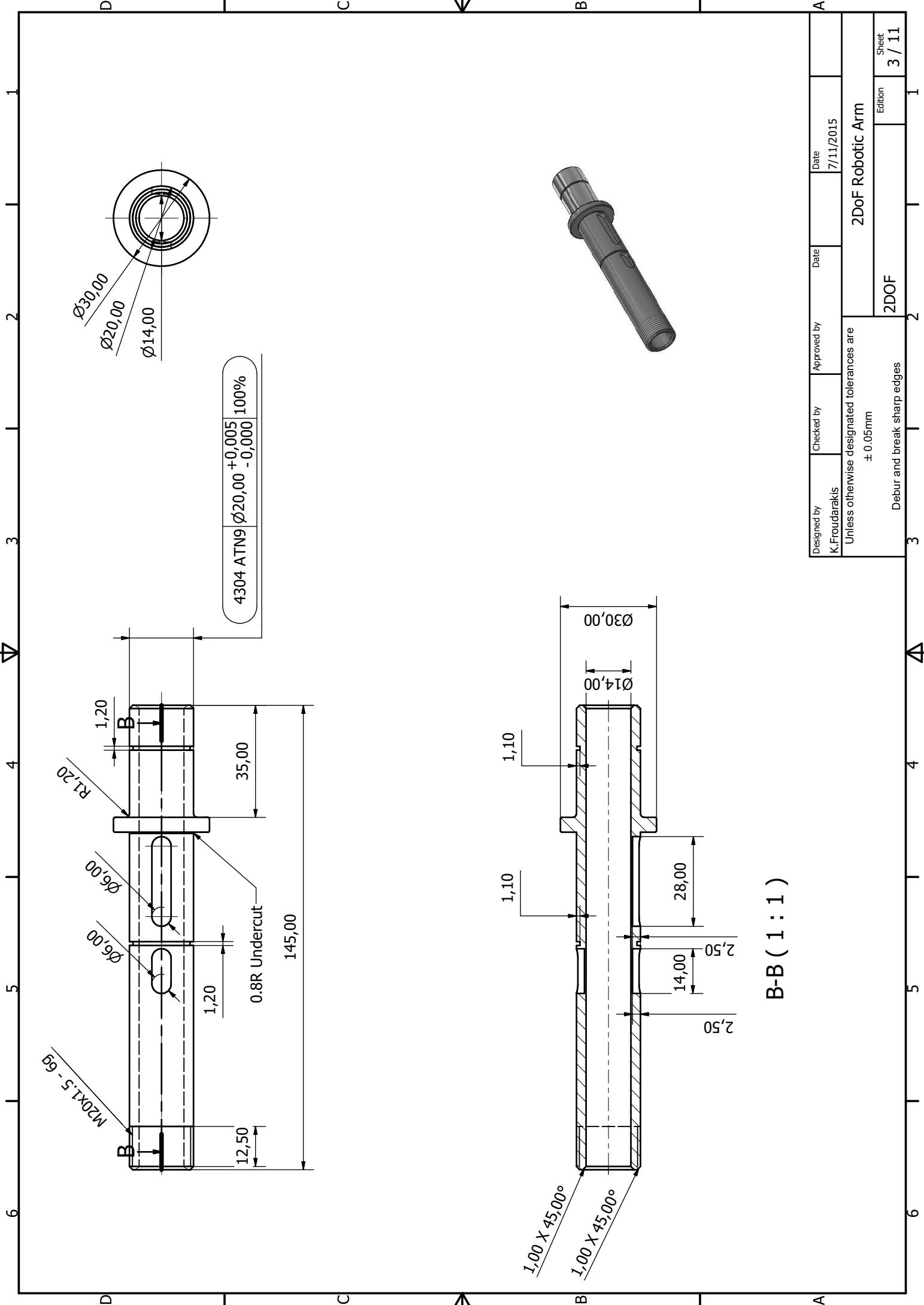


Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
2DoF			2DoF Robotic Arm
Edition			Sheet 1 / 11



Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
Unless otherwise designated tolerances are $\pm 0.05\text{mm}$			2DoF
Debur and break sharp edges			2 / 11

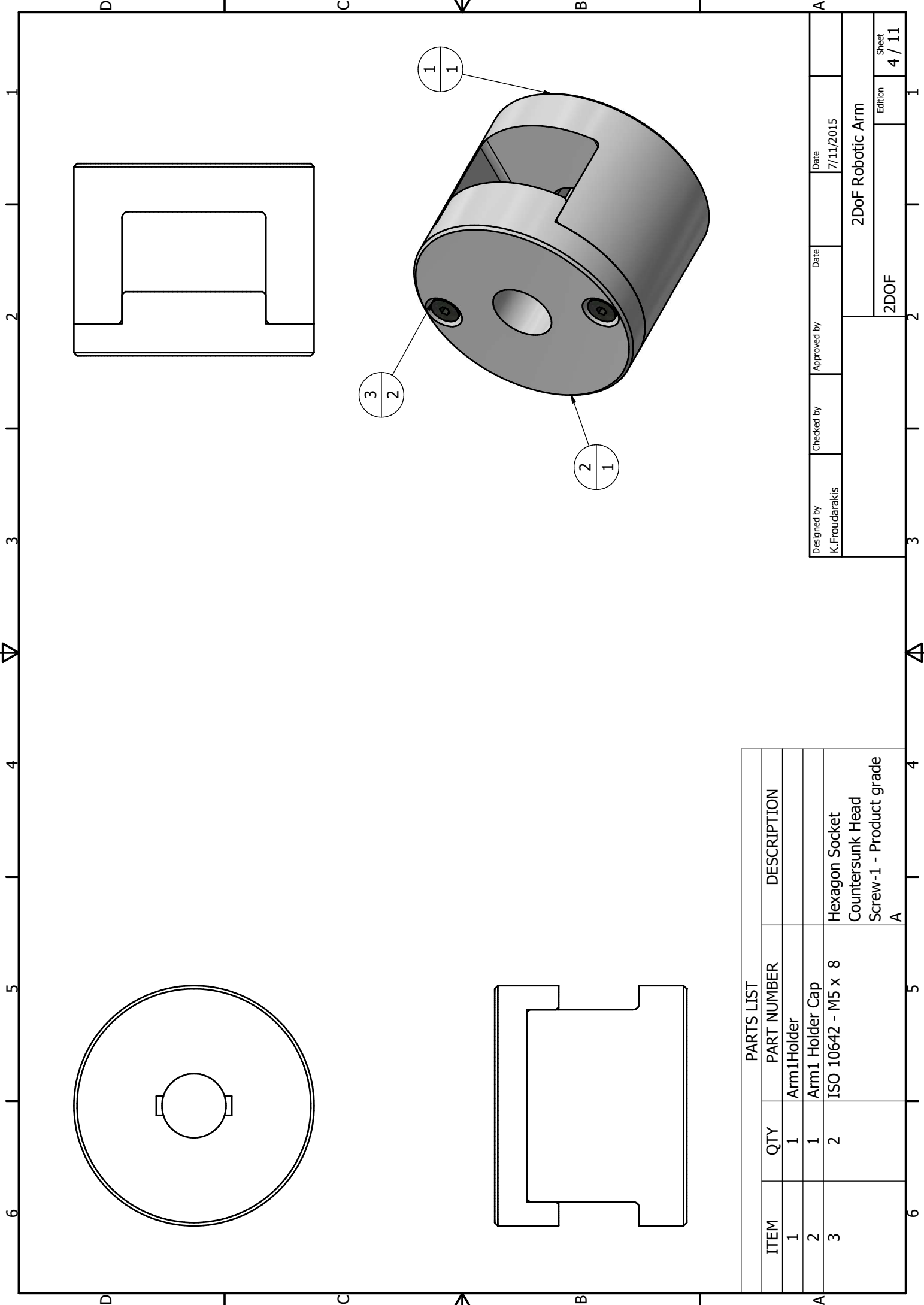
2DoF Robotic Arm



4304 ATN9	Ø20,00	+0,005	-0,000	100%
-----------	--------	--------	--------	------

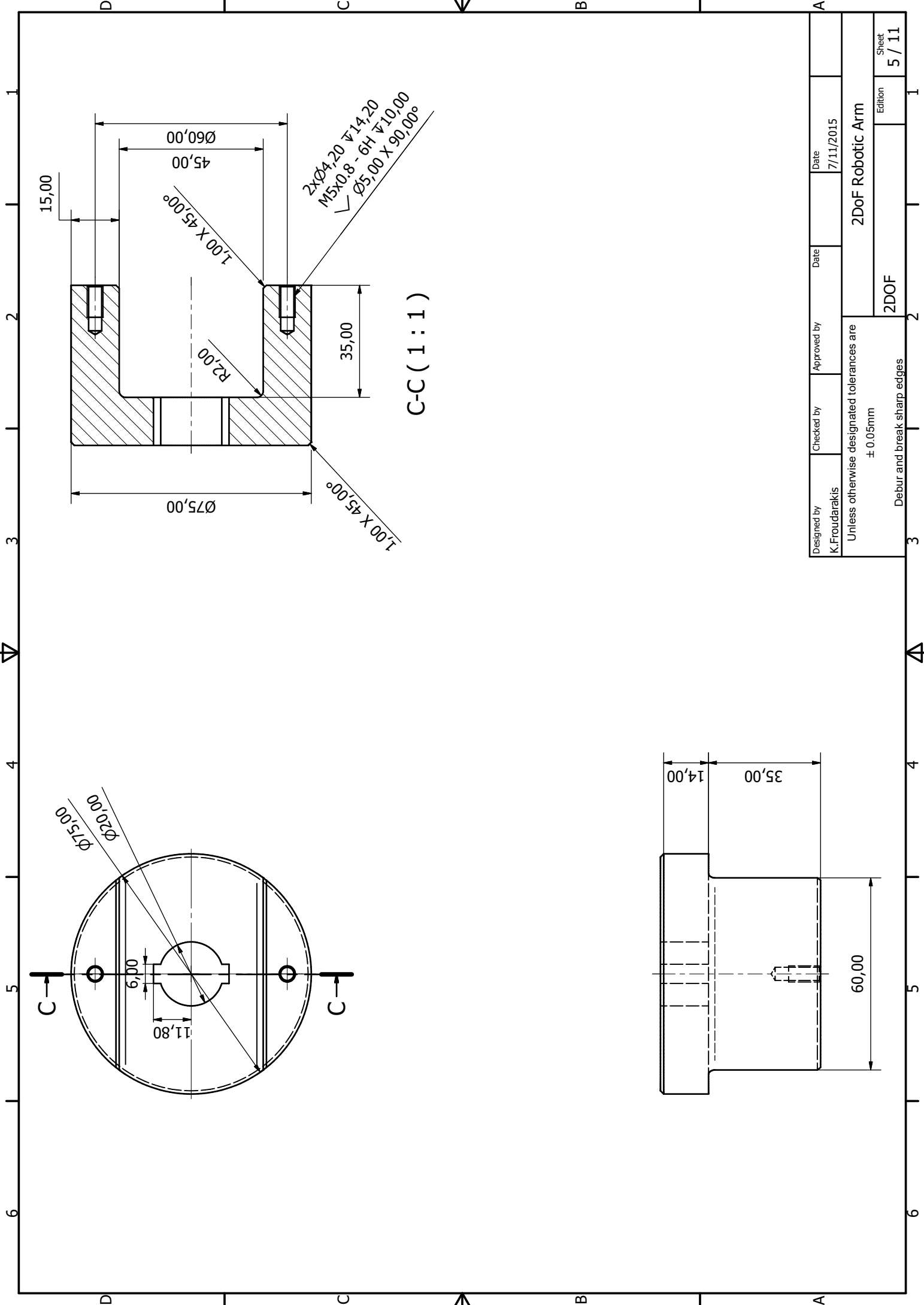
B-B (1 : 1)

Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015	
Unless otherwise designated tolerances are ± 0.05mm				2DOF
Debur and break sharp edges				Sheet 3 / 11
2DoF Robotic Arm				Edition

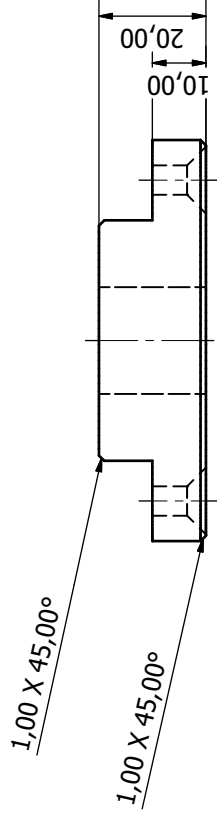
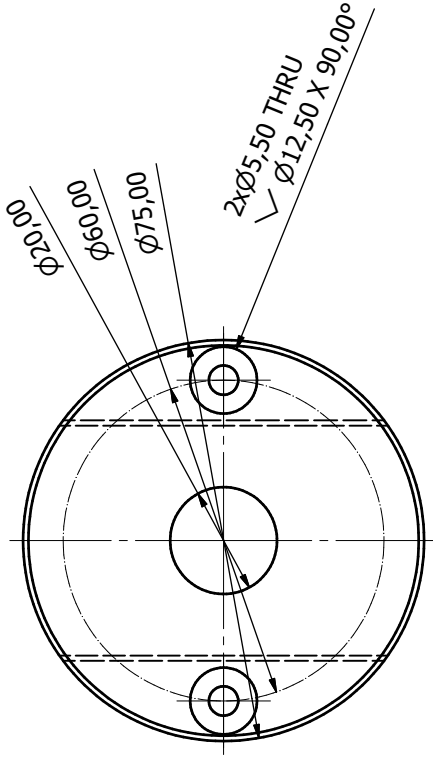
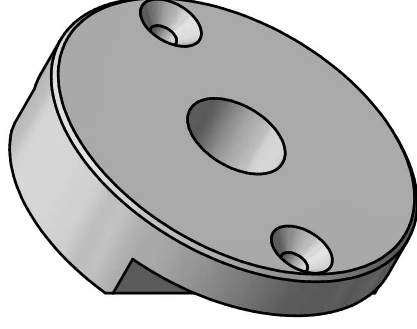
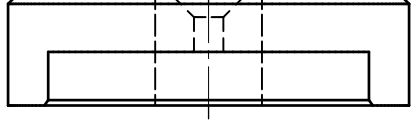


Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
2DoF			2DoF Robotic Arm
Edition			Sheet
4 / 11			4 / 11

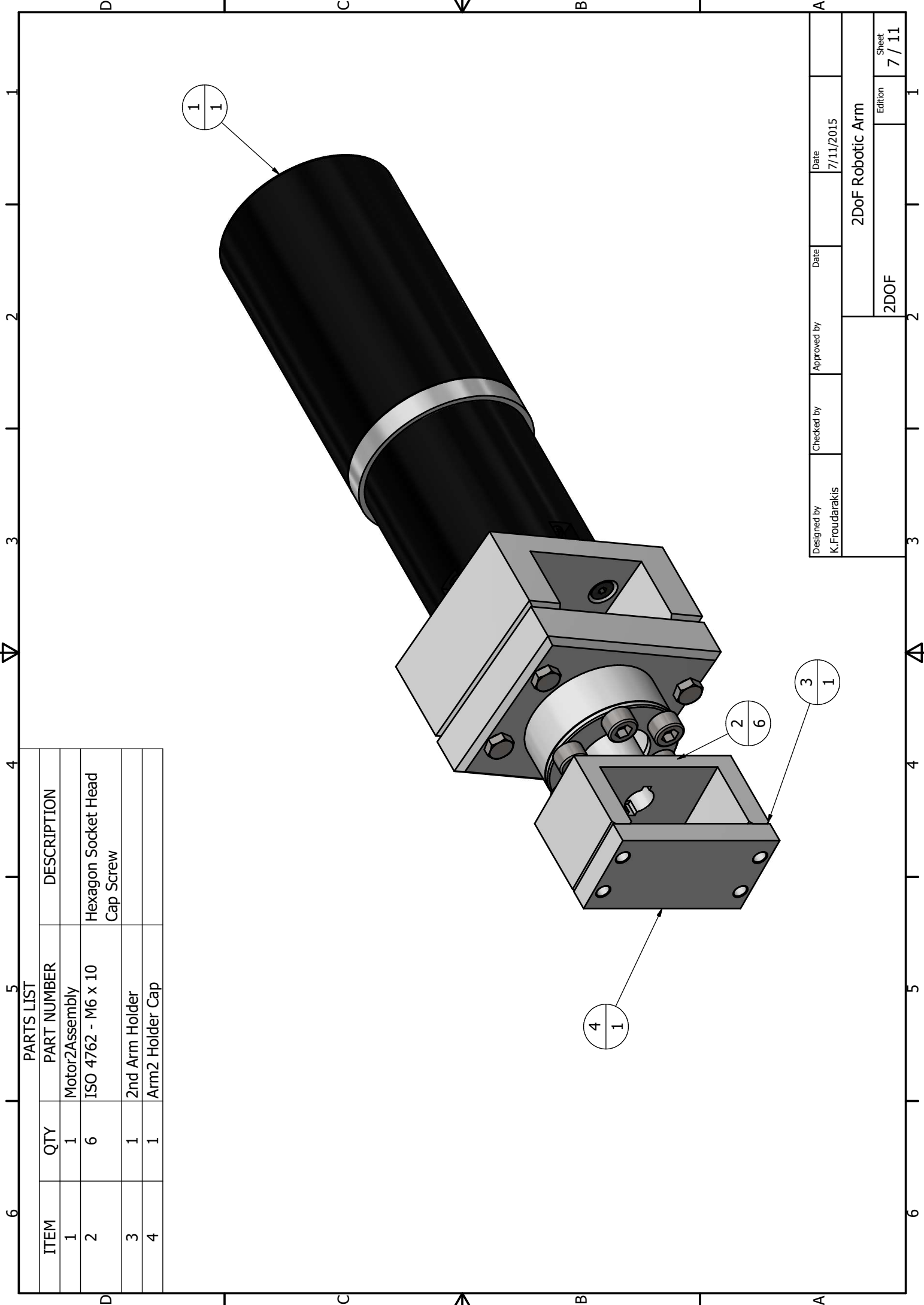
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Arm1Holder	
2	1	Arm1 Holder Cap	
3	2	ISO 10642 - M5 x 8	Hexagon Socket Countersunk Head Screw-1 - Product grade A



Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015	Sheet 5 / 11
Unless otherwise designated tolerances are $\pm 0.05\text{mm}$			Edition 2DOF	
Debur and break sharp edges			2DoF Robotic Arm	

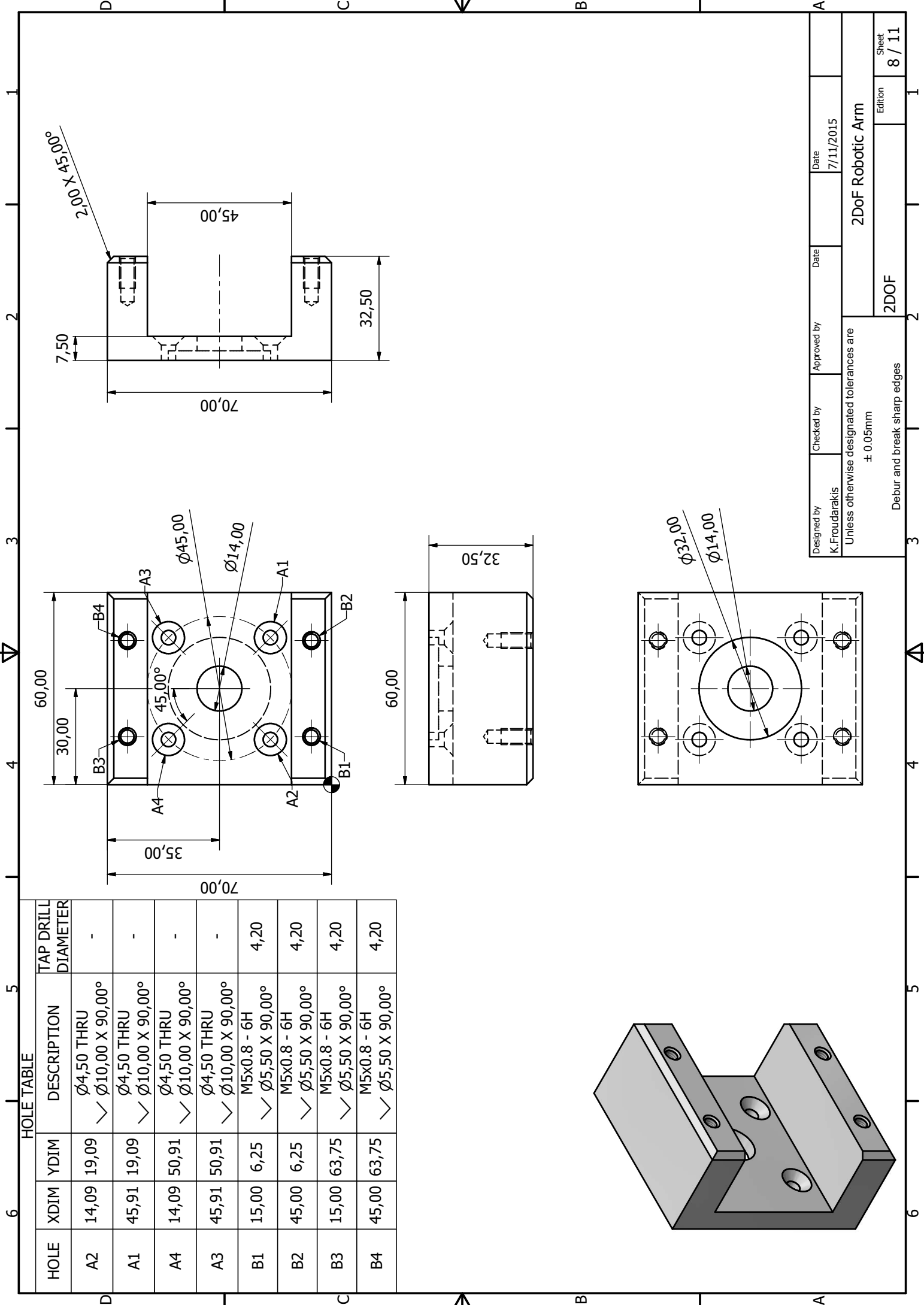


Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015	Date 7/11/2015
Unless otherwise designated tolerances are $\pm 0.05\text{mm}$			2DoF Robotic Arm	
Debur and break sharp edges			2DOF	Sheet 6 / 11



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Motor2Assembly	
2	6	ISO 4762 - M6 x 10	Hexagon Socket Head Cap Screw
3	1	2nd Arm Holder	
4	1	Arm2 Holder Cap	

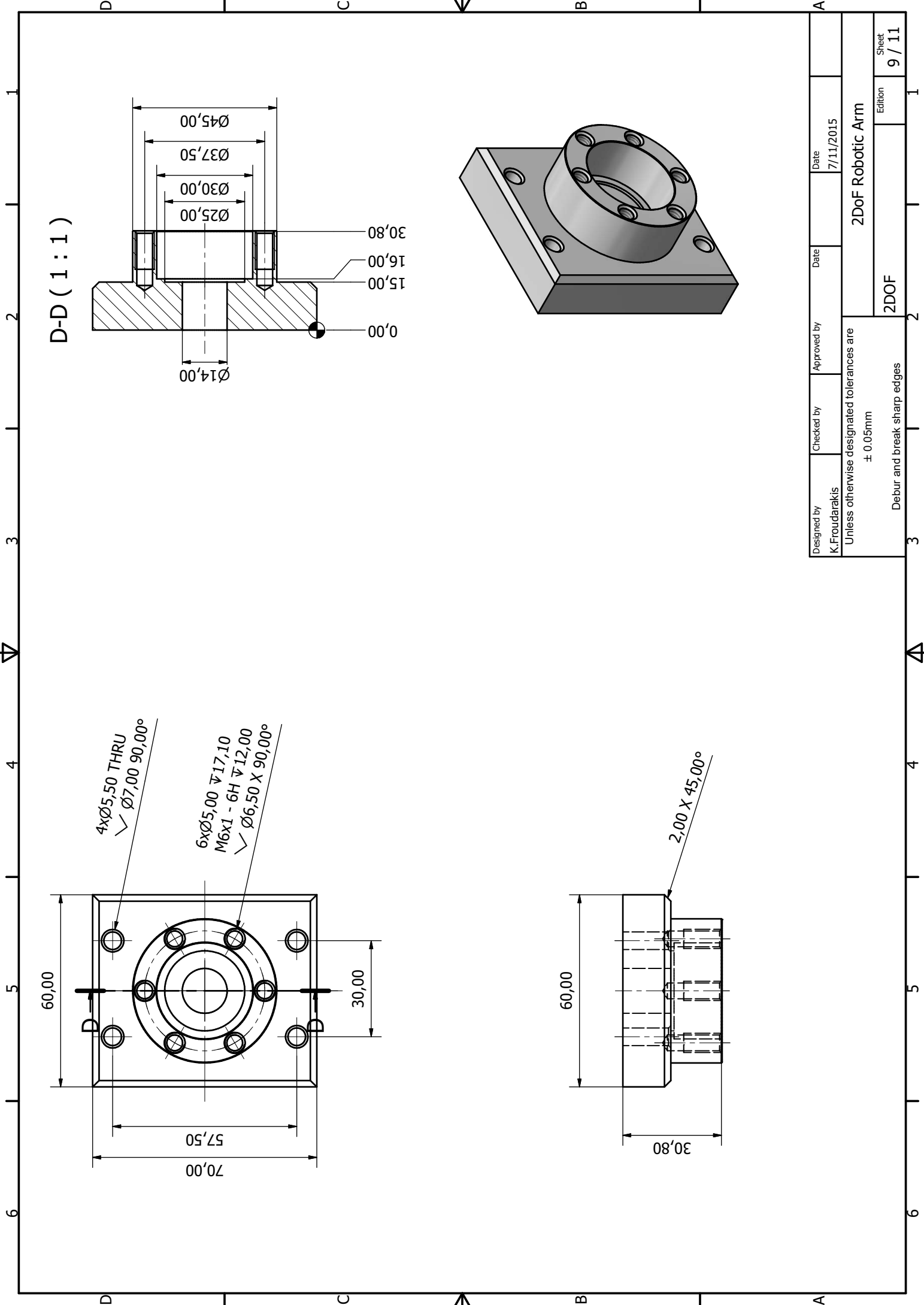
Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
2DoF			2DoF Robotic Arm
Edition 7 / 11			Sheet 7 / 11



HOLE TABLE

HOLE	XDIM	YDIM	DESCRIPTION	TAP DRILL DIAMETER
A2	14,09	19,09	∅4,50 THRU ∨ ∅10,00 X 90,00°	-
A1	45,91	19,09	∅4,50 THRU ∨ ∅10,00 X 90,00°	-
A4	14,09	50,91	∅4,50 THRU ∨ ∅10,00 X 90,00°	-
A3	45,91	50,91	∅4,50 THRU ∨ ∅10,00 X 90,00°	-
B1	15,00	6,25	M5x0.8 - 6H ∨ ∅5,50 X 90,00°	4,20
B2	45,00	6,25	M5x0.8 - 6H ∨ ∅5,50 X 90,00°	4,20
B3	15,00	63,75	M5x0.8 - 6H ∨ ∅5,50 X 90,00°	4,20
B4	45,00	63,75	M5x0.8 - 6H ∨ ∅5,50 X 90,00°	4,20

Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
Unless otherwise designated tolerances are ± 0.05mm			
Debur and break sharp edges			2DOF
2DoF Robotic Arm			Sheet 8 / 11



4x $\varnothing 5,50$ THRU
 $\checkmark \varnothing 7,00$ 90,00°

6x $\varnothing 5,00$ $\nabla 17,10$
 M6x1 - 6H $\nabla 12,00$
 $\checkmark \varnothing 6,50$ X 90,00°

60,00

70,00

57,50

30,00

2,00 X 45,00°

D-D (1:1)

$\varnothing 45,00$

$\varnothing 37,50$

$\varnothing 30,00$

$\varnothing 25,00$

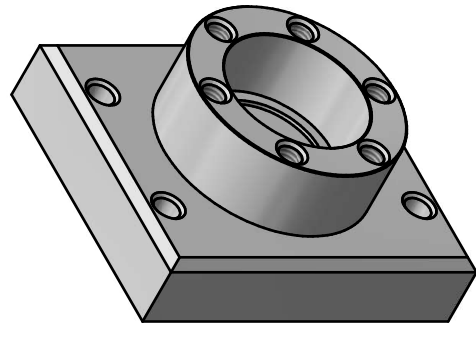
30,80

16,00

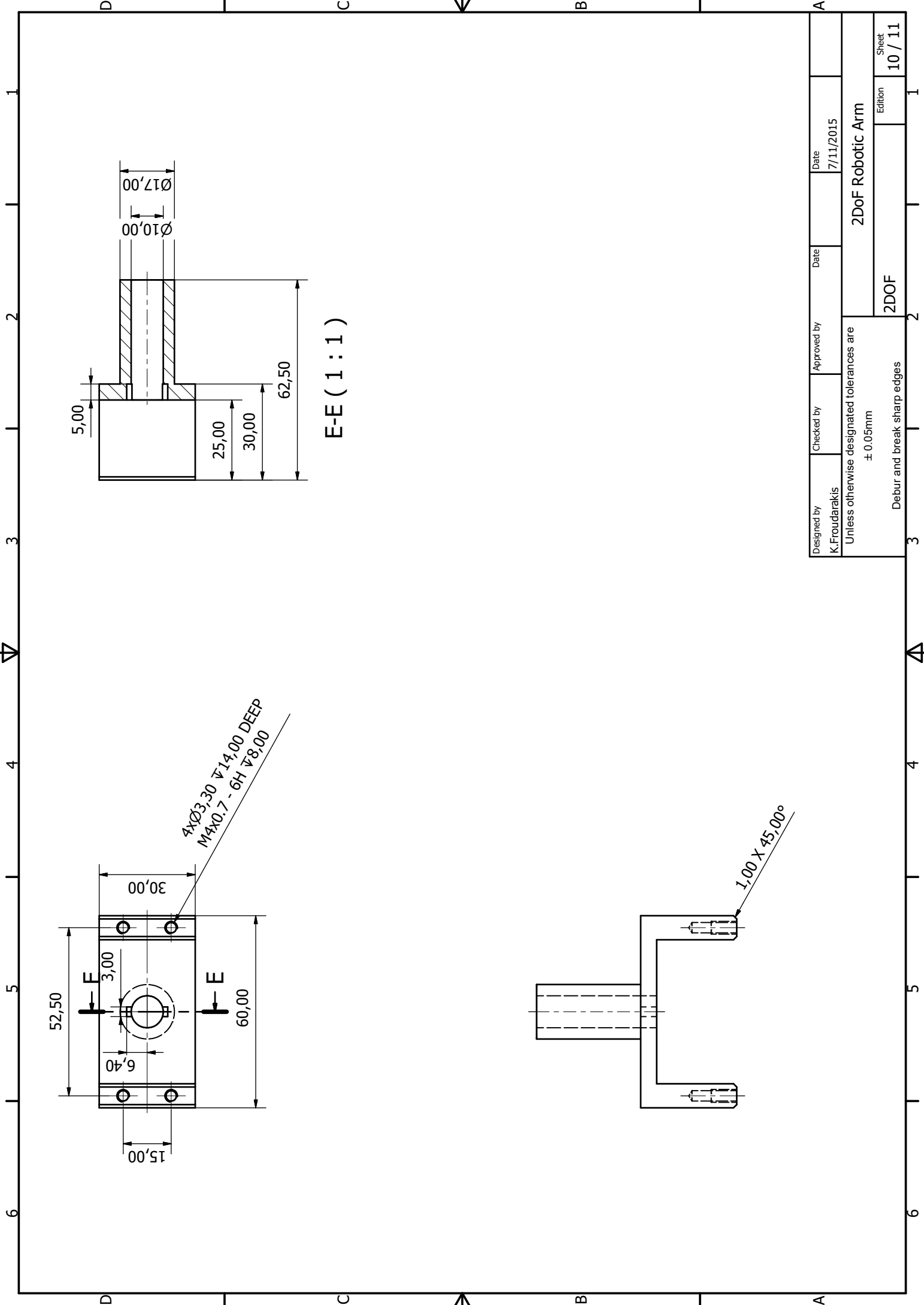
15,00

0,00

$\varnothing 14,00$



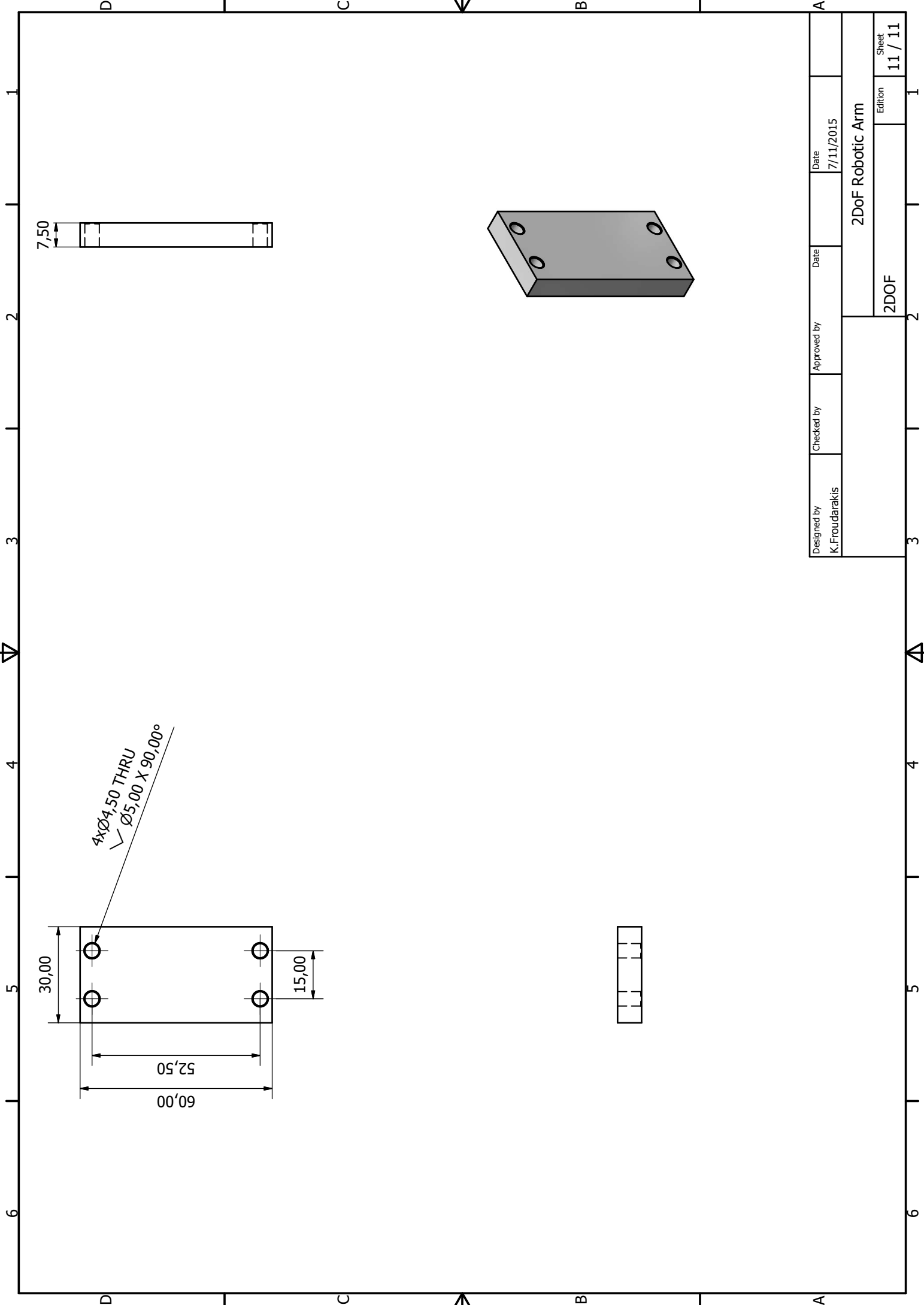
Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015	Sheet 9 / 11
Unless otherwise designated tolerances are $\pm 0.05\text{mm}$			Edition 2DOF	
Debur and break sharp edges			2DoF Robotic Arm	



4xØ3,30 ∇14,00 DEEP
 MAX0,7 - 6H ∇8,00

E-E (1 : 1)

Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015	Sheet 10 / 11
Unless otherwise designated tolerances are ± 0.05mm			Edition 2DOF	
Debur and break sharp edges			2DoF Robotic Arm	



4xØ4,50 THRU
 Ø5,00 X 90,00°

60,00
 52,50
 30,00
 15,00

7,50

Designed by K.Froudarakis	Checked by	Approved by	Date 7/11/2015
2DoF			2DoF Robotic Arm
Edition 11 / 11		Sheet 11 / 11	

Βιβλιογραφία

- (1) Perspective [https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_\(visual\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Perspective_(visual))
- (2) 3D monocular robotic ball catching:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889013001176>
- (3) Autodesk 123D <http://www.123dapp.com/>
- (4) Gunter von Noorden - Binocular Vision and Ocular Motility – Chapter 2 Binocular Vision and Space Perception, Paragraph - Monocular (Nonstereoscopic) Clues to Spatial Orientation
- (5) Αζιμούθιο: <https://en.wikipedia.org/wiki/Azimuth>
- (6) Matlab – Product Help
- (7) Mariner, Liz (2007), Cleared for Takeoff: English for Pilots, Book 1, AE Link Publications, pp. 89–90, ISBN 978-0-9795068-0-2
- (8) Drag of a Sphere - NASA
- (9) Robsim Toolbox http://sites.mecheng.adelaide.edu.au/robotics/wpage.php?wpage_id=7153
- (10) Bullet Physics <http://www.bulletphysics.org/>
- (11) Open Source Dynamics <http://www.ode.org/>
- (12) Vortex Dynamics <http://www.cm-labs.com/>
- (13) V-REP manual <http://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/>
- (14) Control of Robot Manipulators in Joint Space - Rafael Kelly, Victor Santibáñez Davila, Julio Antonio Loría Perez – Springer Science and Business Media
- (15) SKF 61802
- (16) SKF 3202
- (17) Roboteq SDC2130 <http://www.roboteq.com/index.php/roboteq-products-and-services/brushed-dc-motor-controllers/sdc2130-detail>