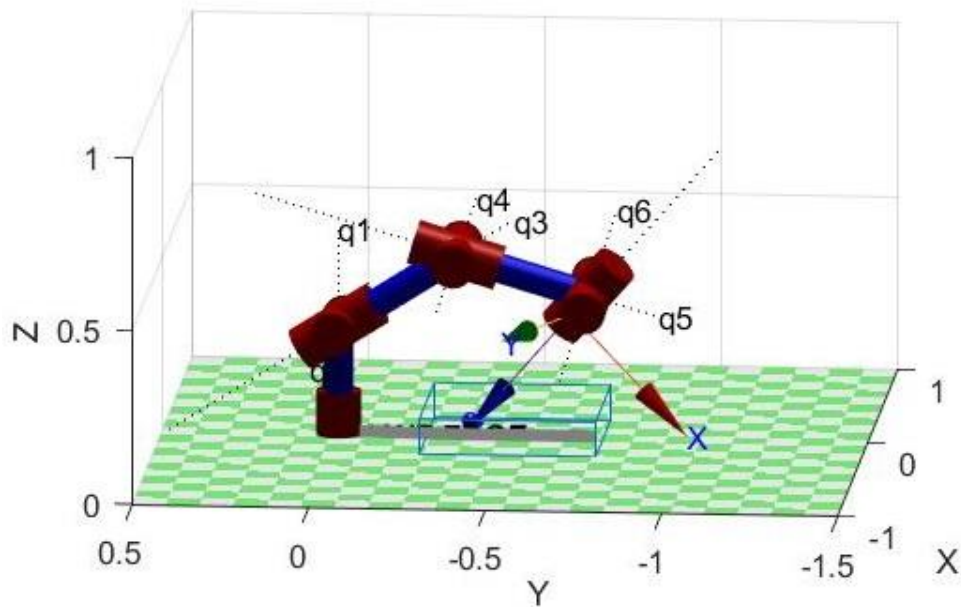


ΕΡΓΑΣΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΠΙΘΥΜΗΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ
ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ



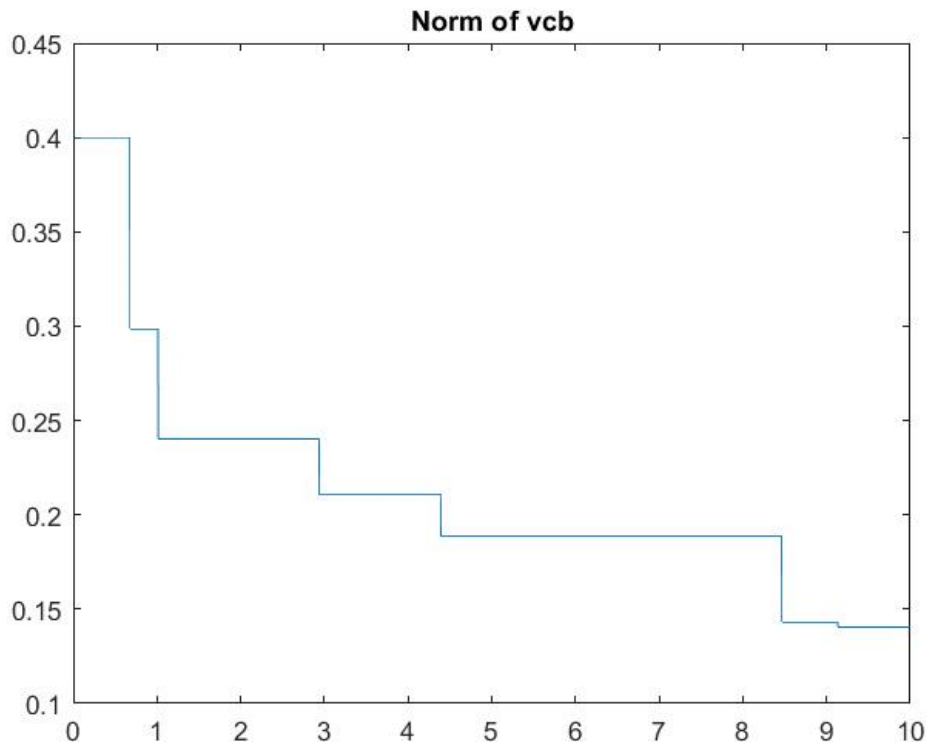
Ασημακίδης Σταμάτιος 9711

Email:asimakid@ece.auth.gr

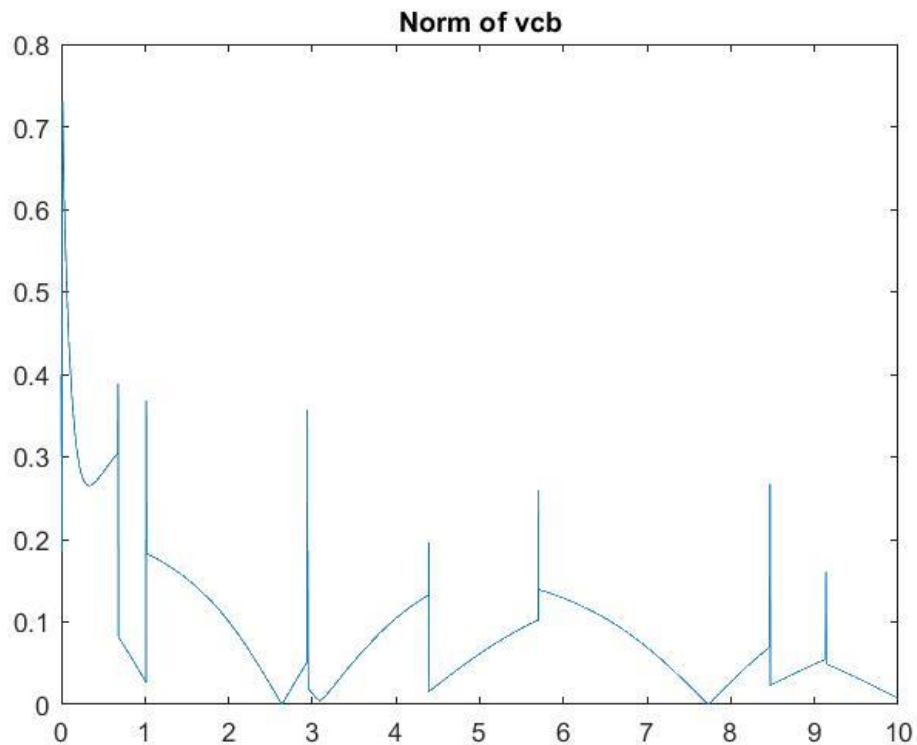
ΤΜΗΜΑ Α

Στο συγκεκριμένο τμήμα ζητείται η παρακολούθηση μιας μπάλας που υφίσταται διαδοχικές κρούσεις εντός ενός πλαισίου στο επίπεδο xy . Η παρακολούθηση του αντικείμενου σε αυτό το μέρος της εργασίας ζητείται να γίνεται από συγκεκριμένη σταθερή θέση που ταυτίζεται με αυτή των αρχικών συνθηκών όπως αυτές ορίζονται από την εκφώνηση. Συγκεκριμένα ως επιθυμητός στόχος παρακολούθησης ορίζεται, ο άξονας z του πλαισίου της κάμερας που είναι τοποθετημένη στο ρομπότ (το οποίο ταυτίζεται με το πλαίσιο του άκρου του βραχίονα) να περνάει από το κέντρο της κινούμενης μπάλας (δηλαδή να ταυτίζεται ο z να το ταυτίζεται με το διάνυσμα που δημιουργείται με αρχή το σημείο του άκρου του βραχίονα και του κέντρου της κάμερας). Για τον σκοπό της προσομοίωσης δίνεται από την εκφώνηση της εργασίας κατάλληλη συνάρτηση που προσομοιώνει την κίνηση της μπάλας, καθώς και συνάρτηση που λαμβάνει σαν είσοδο την ταχύτητα, την θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας και επιστρέφει την ταχύτητα της κινούμενης μπάλας εκφρασμένη στο πλαίσιο της κάμερας, καθώς και την θέση αυτής εκφρασμένη στο ίδιο πλαίσιο. Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι η εν λόγω συνάρτηση επιστρέφει την σχετική ταχύτητα της μπάλας σε σχέση με την κάμερα (κάτι που δεν αναφέρεται άμεσα από την εκφώνηση). Το συγκεκριμένο μπορεί να γίνει φανερό από τα δύο παρακάτω διαγράμματα που παρουσιάζουν το μέτρο της ταχύτητας που επιστρέφεται από την παραπάνω συνάρτηση σε δυο περιπτώσεις:

- 1) Ακρό ρομπότ μηδενική ταχύτητα (γραμμική και γωνιακή)

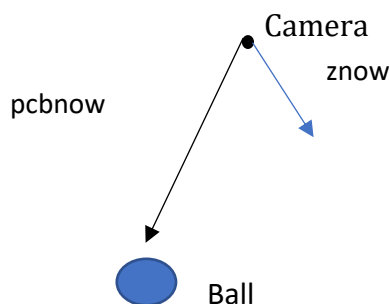


2) Άκρο ρομποτ μη μηδενική ταχύτητα



Από τα δυο παραπάνω παραδείγματα επιβεβαιώνεται ότι η συγκεκριμένη συνάρτηση επιστρέφει την σχετική ταχύτητα της μπάλας ως προς την κάμερα εκφρασμένη στο πλαίσιο αυτής. Αυτό υπονοείται και έμμεσα από την εκφώνηση καθώς αναφέρεται ότι η ταχύτητα και η θέση της μπάλας υπολογίζονται μέσω αλγορίθμου όρασης για τους οποίους είναι γνωστό ότι υπολογίζουν την σχετική ταχύτητας ως προς την κάμερα.

Σαν επόμενο βήμα θα χρειαστεί να καθοριστεί το σφάλμα προσανατολισμού σε κάθε χρονική στιγμή. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για τον στόχο παρακολούθησης του συγκεκριμένου τμήματος ορίζεται ως επιθυμητός προσανατολισμός του άκρου εκείνος που ικανοποιεί την ζητούμενη συνθήκη για το διάνυσμα z του. Επομένως σε κάθε χρονική στιγμή το σφάλμα μπορεί να οριστεί από δύο διανύσματα όπως εξηγείται:



Στόχος μας είναι το z_{now} να ταυτιστεί με την διεύθυνση του pcb_{now} . Επομένως μπορεί να οριστεί μια στροφή κατά το κάθετο διάνυσμα των pcb_{now}, z_{now} κατά μια στροφή θ που αφορά την γωνία μεταξύ των δύο διανυσμάτων. Συγκεκριμένα το ζητούμενο κάθετο διάνυσμα δίνεται από το εξωτερικό γινόμενο των των μοναδιαίων z, pcb δηλαδή:

$$wantedVector = \hat{z} \times \widehat{pcb}, \text{ όπου } \hat{x} \text{ συμβολίζει το μοναδιαίο διάνυσμα του } x$$

και η επιθυμητή γωνία από το αντιστρόφιο συνημιτόνου του εσωτερικού γινομένου των δυο διανυσμάτων, με το κατάλληλο πρόσημο, που για την συγκεκριμένη επιλογή της φοράς του κάθετου διανύσματος είναι αρνητικό. (αν το κάθετο διάνυσμα επιλεγόταν ως $\widehat{pcb} \times \hat{z}$ το πρόσημο της κατάλληλης γωνίας για στροφή θα ήταν θετικό). Επομένως στην περίπτωση μας:

$$wantedAngle = -\cos^{-1}(\hat{z} \cdot \widehat{pcb}), \text{ εφόσον τα διανύσματα είναι μοναδιαία}$$

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι ο κάθετος άξονας l προκύπτει εκφρασμένος στο πλαίσιο της κάμερας, επομένως σε επόμενο βήμα, όταν η έκφραση του σφάλματος χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της επιθυμητής γωνιακής ταχύτητας αυτή θα είναι εκφρασμένη στο πλαίσιο της κάμερας.

Από τα παραπάνω το σφάλμα προσανατολισμού σε μορφή πίνακα είναι:

$$Error = R_{l,\theta}$$

Έχοντας πλέον ορίσει το σφάλμα προσανατολισμού θα χρειαστεί να προσδιοριστεί η επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα του άκρου κάθε χρονική στιγμή ώστε να διατηρεί τον κατάλληλο προσανατολισμό τέτοιο ώστε το z να περνάει από το κέντρο της μπάλας.

Η παραπάνω απαίτηση μετράφραζεται στο ότι το ακρό θα πρέπει να έχει γωνιακή ταχύτητα τέτοια ώστε να δημιουργείται μια γραμμική ταχύτητα στο σημείο του πλαισίου της κάμερας που αντιστοιχεί η μπάλα, αν είναι εφικτό ίση (ή μια αρκετά καλή προσέγγιση) με αυτή της μπάλας κάθε χρονική στιγμή. Η συγκεκριμένη ανάλυση αφορά θεωρώντας πως έχουμε πλέον κεντράρει την μπάλα με τον άξονα z , δηλαδή για μηδενικό σφάλμα προσανατολισμού. Στην περίπτωση αυτή η θέση της μπάλας στο πλαίσιο της κάμερας θα δίνεται από το διάνυσμα

$$pcb = [0 \ 0 \ pcb_z]$$

Δηλαδή οι συνιστώσες x και y θα είναι μηδενικές. Επομένως η γραμμική ταχύτητα του σημείου pcb λόγω γωνιακής ταχύτητας της κάμερας συνδέονται με την γνωστή σχέση του εξωτερικού γινομένου

$$v = \omega \times pcb = \widehat{\omega} * pcb = -\widehat{pcb} * \omega$$

όπου εδώ συμβολίζεται με $\widehat{\omega}$ ο αντισυμμετρικός πίνακας

Στο ζητούμενο πρόβλημα γνωρίζουμε την ταχύτητα v , την θέση pcb και ζητούμενο την γωνιακή ταχύτητα. Επομένως μια λύση είναι η αντιστροφή του αντισυμμετρικού πίνακα

pcb . Όσοσο για τις συγκεκριμένες συνθήκες του προβλήματος ο τελευταίος προκύπτει της μορφής:

$$\begin{pmatrix} 0 & -pz & 0 \\ pz & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Ο παραπάνω δεν είναι αντιστρέψιμος, επομένως θα χρησιμοποιηθεί ο ψευδοαντίστροφος αυτού που θα παρέχει την καλύτερη εφικτή προσέγγιση της ταχύτητας v που μπορεί να δημιουργηθεί για το ζητούμενο σημείο με την κατάλληλη γωνιακή και μόνο ταχύτητα.

Έτσι προκύπτει ότι

$$wc = -pinv(\widehat{pcb}) * v$$

Σε αυτό το σημείο χρειάζεται να διευκρινιστεί ότι η γραμμική ταχύτητα του ζητούμενου σημείου δεν είναι η σχετική της μπάλας ως προς την κάμερα, αλλά η ταχύτητα που βλέπει ένας ακίνητος παρατηρητής (πχ. το αδρανειακό πλαίσιο) να κινείται η μπάλα εκφρασμένη στο πλαίσιο της κάμερας. Επομένως η συγκεκριμένη μπορεί να προκύψει άμεσα από την σχέση

$$v = vcb + w_{camera} \times pcb$$

Όπου ο όρος $w_{camera} \times pcb$ εκφράζει την γραμμική ταχύτητα στο ζητούμενο σημείο της μπάλας που δημιουργείται λόγω της υπάρχουσας γωνιακής ταχύτητας της κάμερας και ο όρος vcb την σχετική ταχύτητα της μπάλας ως προς την κάμερα, δίνοντας έτσι άμεσα την «απόλυτη» ταχύτητα της μπάλας εκφρασμένη στο πλαίσιο της κάμερας.

Επίσης θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι συγκεκριμένες προδιαγραφές ορίζονται για την κάμερα να έχει ήδη κεντράρει την μπάλα, επομένως όσο δεν βρισκόμαστε στην κατάσταση αυτή, δηλαδή παρατηρείται ένα σφάλμα από τον επιθυμητό προσανατολισμό τα μεγέθη (ταχύτητες, θέση μπάλας ως προς κάμερα) θα πρέπει να εκφράζονται στον επιθυμητό προσανατολισμό μέσω του πίνακα σφάλματος προσανατολισμού. Για να γίνει εξηγηθεί καλύτερα το τελευταίο περιγράφεται συνοπτικά η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί:

- 1) Υπολογισμός της απόλυτης ταχύτητας της μπάλας στο πλαίσιο της κάμερα (σύμφωνα με την τελευταία σχέση)
- 2) Υπολογισμός σφάλματος προσανατολισμού
- 3) Pcb να εκφραστεί στον επιθυμητό προσανατολισμό, έστω ότι εκεί ονομάζεται $pcb_{indemanded}$, και η ταχύτητα που υπολογίστηκε στο βήμα 1 να εκφραστεί και αυτή στον επιθυμητό προσανατολισμό, έστω ότι εκεί ονομάζεται $v_{indemanded}$
- 4) υπολογισμός γωνιακής ταχύτητας στον επιθυμητό προσανατολισμό μέσω της ψευδοαντιστροφής που περιγράφηκε προηγουμένως

5) έκφραση της γωνιακής ταχύτητας στον υπάρχοντα προσανατολισμό της κάμερας(τρέχον προσανατολισμός κάμερας/άκρου)

Πρακτικά η ύπαρξη μηδενικού σφάλματος προσανατολισμού σημαίνει ότι τα δυο πλαίσια ταυτίζονται και επομένως τα διανύσματα των ταχυτήτων,θέσεων δεν υφίσταται κάποια αλλαγή σε αυτή την διαδικασία.

Για να ακολουθεί το άκρο την μπάλα υπο τους συγκεκριμένους περιορισμούς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κινηματικός έλεγχος για το άκρο (close loop inverse kinematics- clik) για ακολούθηση επιθυμητής τροχιάς pd, vd, Qd, wd απο το οποίο η γραμμική και η γωνιακή ταχύτητα θα δίνονται από τις σχέσεις.

$$V = vd - kp * ep, \quad ep \text{ σφάλμα θέσης}, kp \text{ παράμετρος κέρδος}$$

$$W = wd - ko * eo, \quad eo \text{ σφάλμα προσανατολισμού}, ko \text{ παράμετρος κέρδος}$$

Στο εν λόγω πρόβλημα wd θα είναι η ανάλογη γωνιακή ταχύτητα που υπολογίστηκε προηγουμένως μέσω της ψευδοαντιστροφής, eo το σφάλμα προσανατολισμού για το οποίο στην συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμική έκφραση του,δηλαδή

$$eo = \theta_e * k_e, \quad \theta \text{ η γωνία και } k \text{ το διάνυσμα που αναφέρθηκαν προηγουμένως για το}$$

σφάλμα, vd μηδενική καθώς θέλουμε το άκρο να παραμένει ακίνητο και ep το αντίστοιχο σφάλμα θέσης από την αρχική θέση του ακρού. Το πρόβλημα του ότι ο αντισυμμετρικός δεν είναι αντριστρέψιμος και χρησιμοποιείται ο ψευδοαντίστροφος για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της γραμμικής ταχύτητας λύνεται μέσω της χρήσης της συγκεκριμένης δομής για τον προσδιορισμό της γωνιακής ταχύτητας,που λόγω σφάλματος προσανατολισμού θα δημιουργείται μια ικανή γωνιακή ταχύτητα που θα αντισταθμίζει το σφάλμα λόγω προσέγγισης μέσω ψευδοαντιστρόφου.Επιπλέον το σφάλμα προσανατολισμού στην παραπάνω έκφραση θα δημιουργεί ικανή γωνιακή ταχύτητα που θα επιτρέπει το «κεντράρισμα» της μπάλας όταν δεν βρίσκεται στην σωστή θέση(πχ. Κατα την αρχή της προσομοίωσης ή κατά της κρούσεις της μπάλας με τα τοιχώματα του πλαισίου).

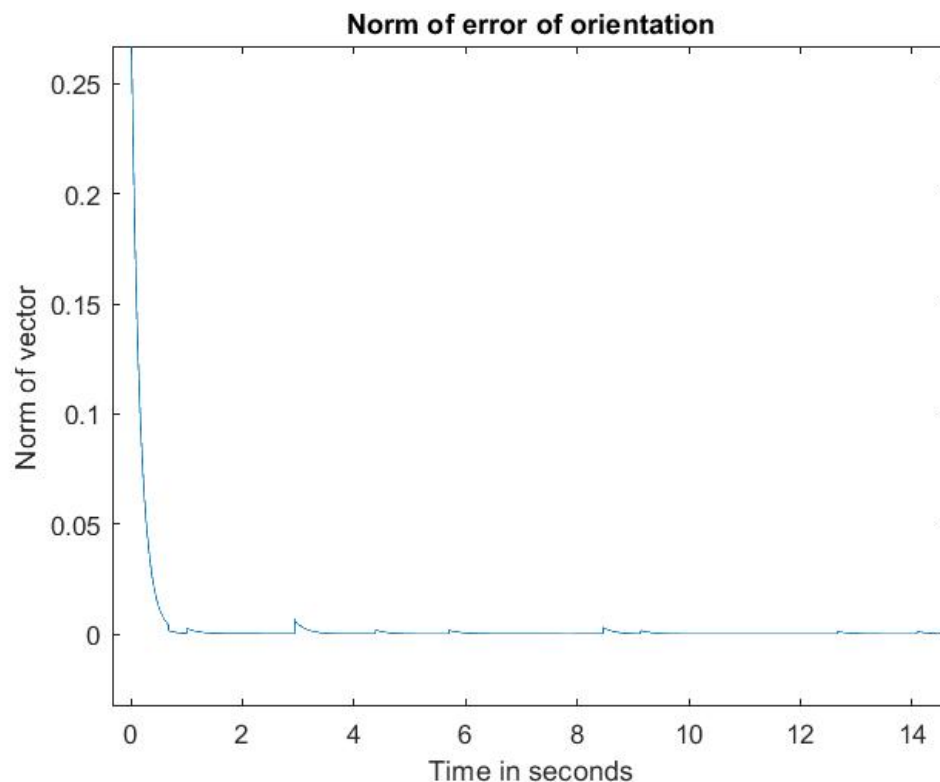
Για την υλοποίηση στα πλαίσια της προσομοίωσης όλης της διαδικασίας που περιγράφηκε παραπάνω έχει δημιουργηθεί κατάλληλη συνάρτηση στο matlab,που δίνεται στο αρχείο παράδοσης της εργασίας με όνομα calculateangularvelocity.Απο την παραπάνω επιστρέφεται η επιθυμητή γωνιακή ταχύτητα για τον συγκεκριμένο στοχο ελέγχου εκφρασμένη στο πλαίσιο της κάμερας.Η τελευταία καλείται καλείται σε κάθε βήμα του βρόγχου προσομοίωσης και η ταχύτητα αυτή και αντιστοιχίζεται σε ταχύτητες των αρθρώσεων μέσω της ψευδοαντιστροφής του πίνακα της ιακωβιανής του άκρου.

Σε αυτό το σημείο από την εκφώνηση ορίζονται κάποιοι περιορισμοί που αφορούν την μέγιστη γωνιακή ταχύτητα και επιτάχυνση της κάθε άρθρωσης.Για αυτο τον λόγο δημιουργήθηκε συνάρτηση discretelowerpassfilter,η οποία υλοποιεί την λειτουργία ιδανικού (ιδανικής απόκρισης) ψηφιακού φίλτρου για τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις,οι οποίες περιορίζονται κατα μια μέγιστη τιμή απο τις προδιαγραφές της εκφώνησης.Αντι του

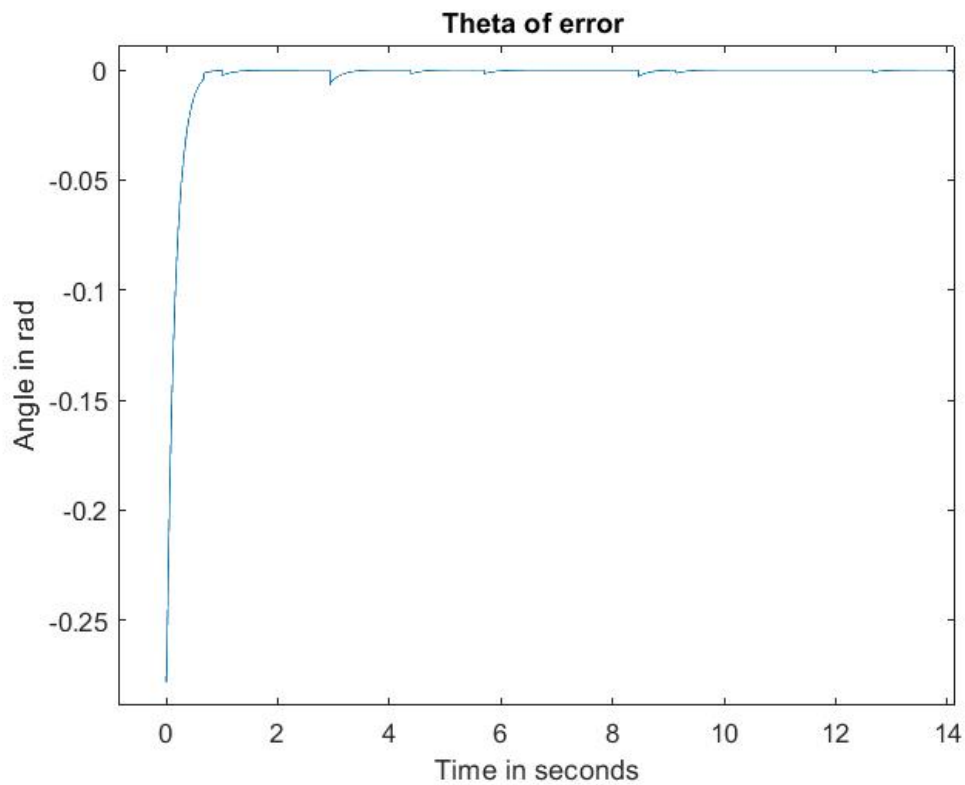
ιδανικού αυτού φίλτρου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και κάποιο πραγματικό ψηφιακό φίλτρο για το φιλτράρισμα των ταχυτήτων, όπως για παράδειγμα το ψηφιακό φίλτρο butterworth και να ρυθμιστεί κατάλληλα. Ωστόσο η συγκεκριμένη υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιεί το ιδανικό φίλτρο που αναφέρθηκε προηγουμένως το οποίο ικανοποιεί τους επιθυμητούς περιορισμούς για ταχύτητες και επιταχύνσεις, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των αποτελεσμάτων που θα ακολουθήσουν.

Στην συνέχεια αυτής της αναφοράς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που επιβεβαιώνουν την ορθή λειτουργία της θεωρητικής ανάλυσης που περιγράφηκε προηγουμένως. Τα κέρδη για τις παραμέτρους του clik για την εν λόγω προσομοίωση είναι $k_0 = 5$ $k_p = 1$. Επίσης στο αρχείο zip παράδοσης της εργασίας επισυνάπτεται και σχετικό αρχείο που οπτικοποιεί την συγκεκριμένη προσομοίωση, σε μορφή αρχείου `mp4`.

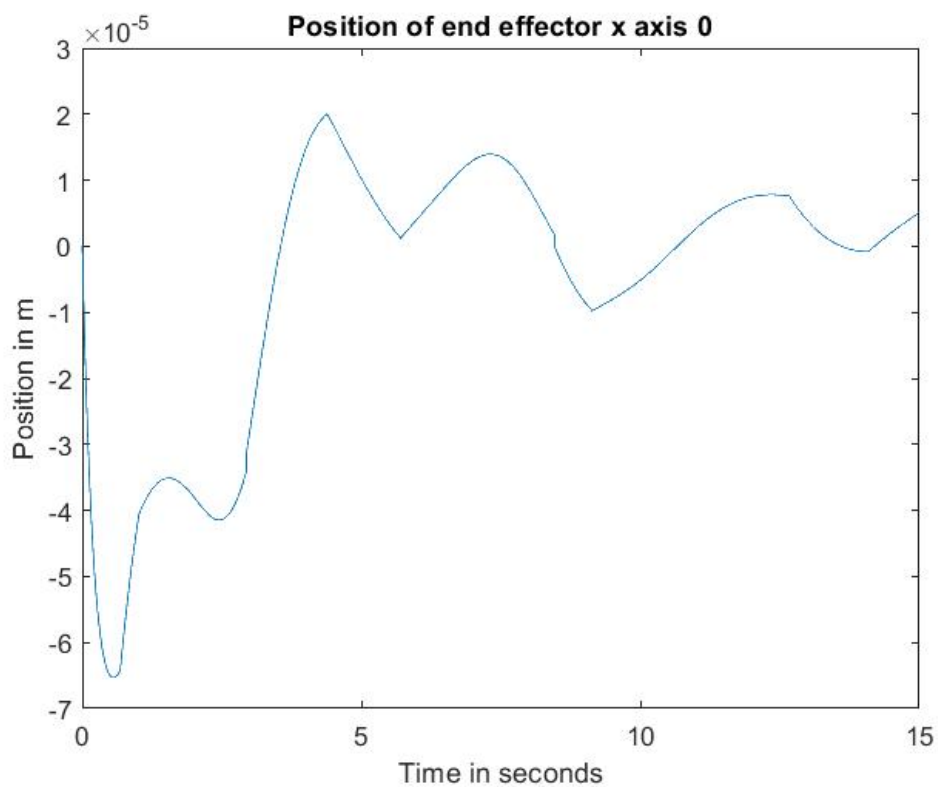
Για αρχή παρουσιάζεται το μέτρο σφαλματος προσανατολισμού όπως αυτό ορίστηκε παραπάνω για την διάρκεια της προσομοίωσης

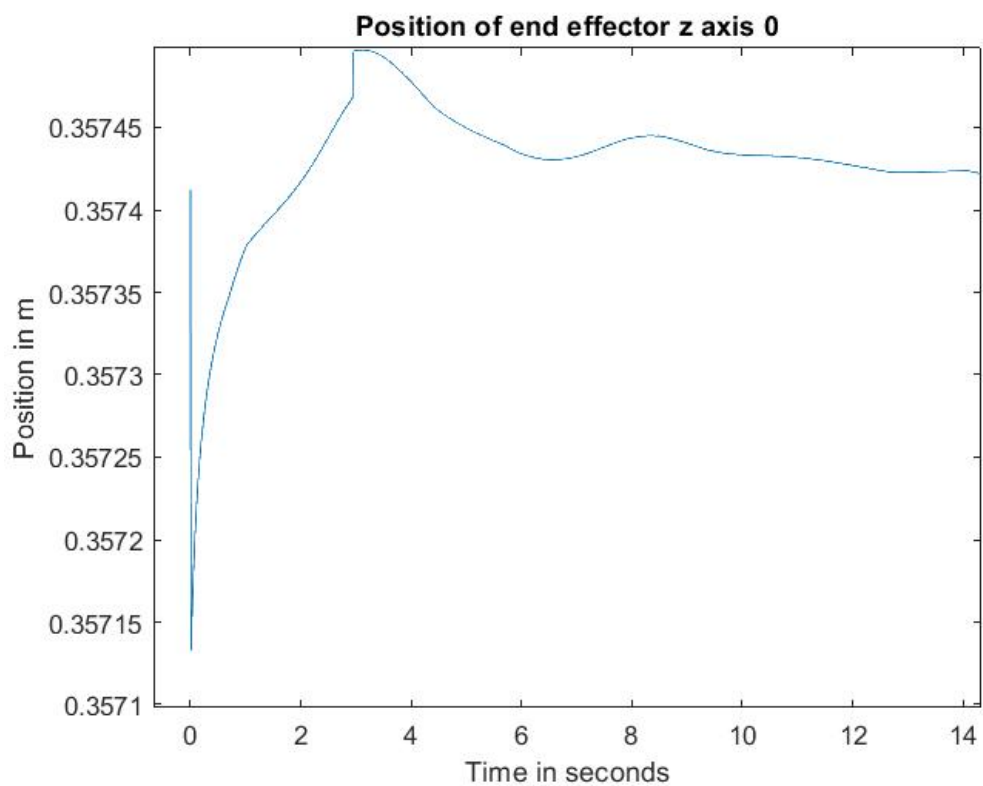
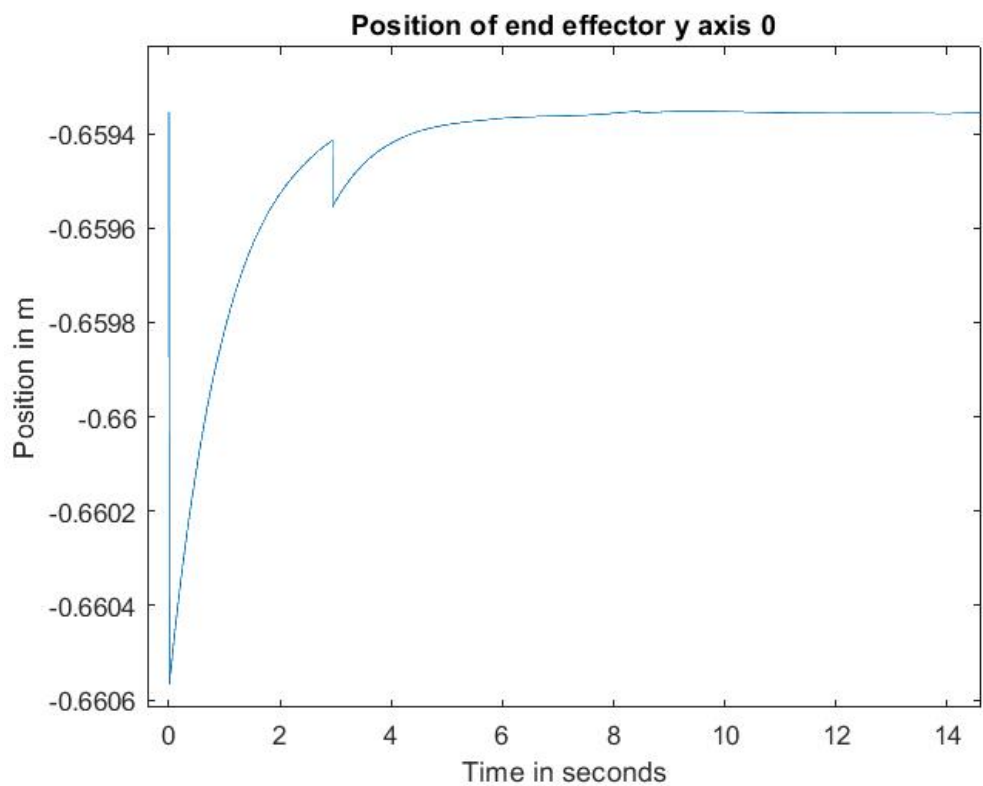


Οι τιμές της γωνίας που περιγράφει το σφαλμα προσανατολισμού

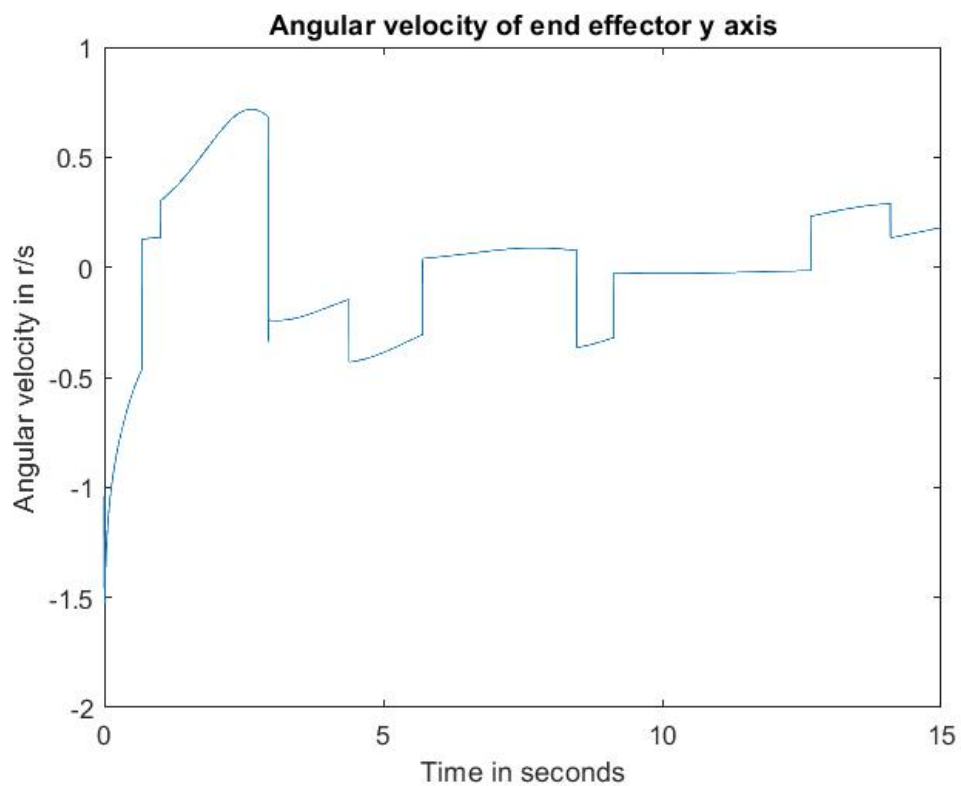
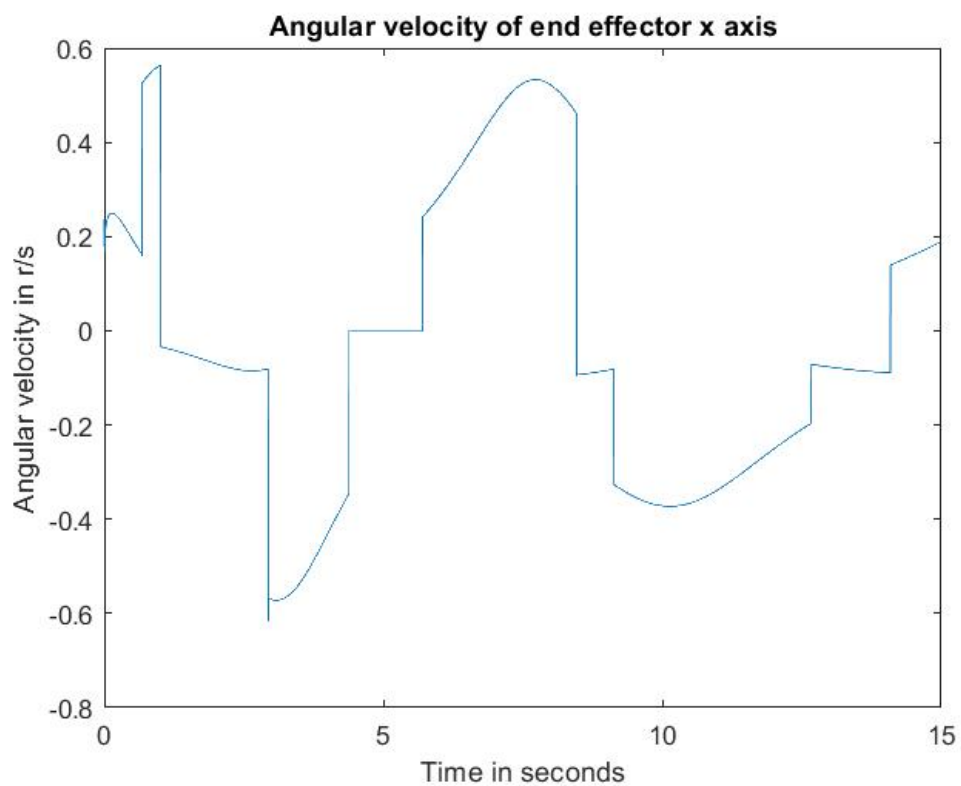


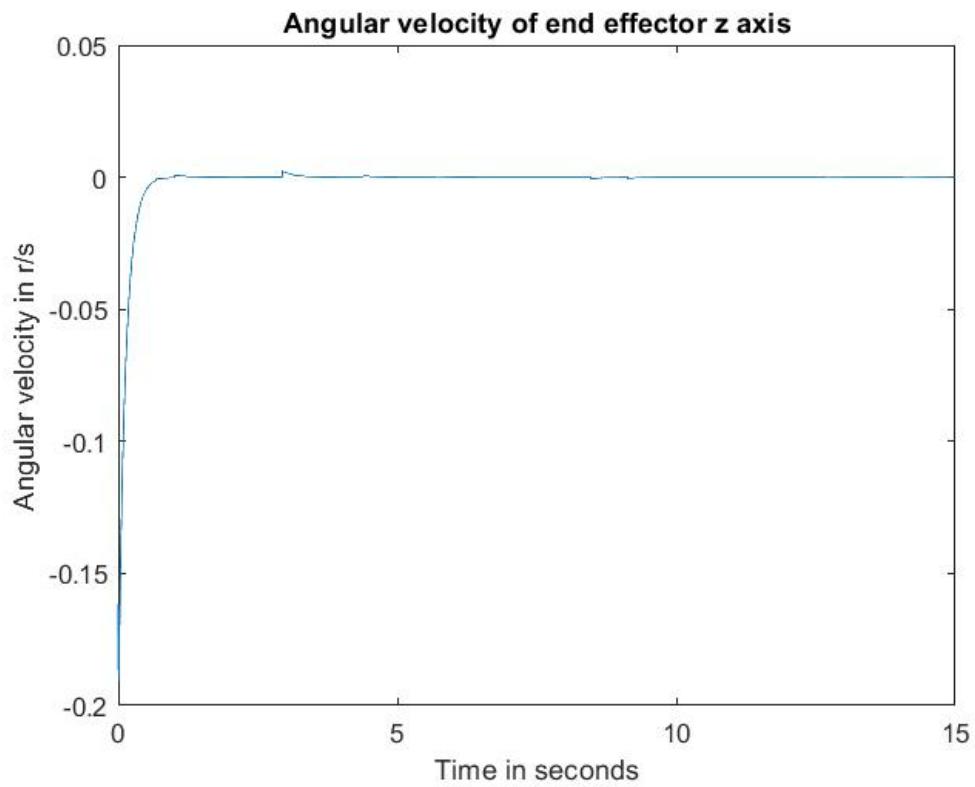
Ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν την καρτεσιανή θέση του άκρου στην διάρκεια της κίνησης.



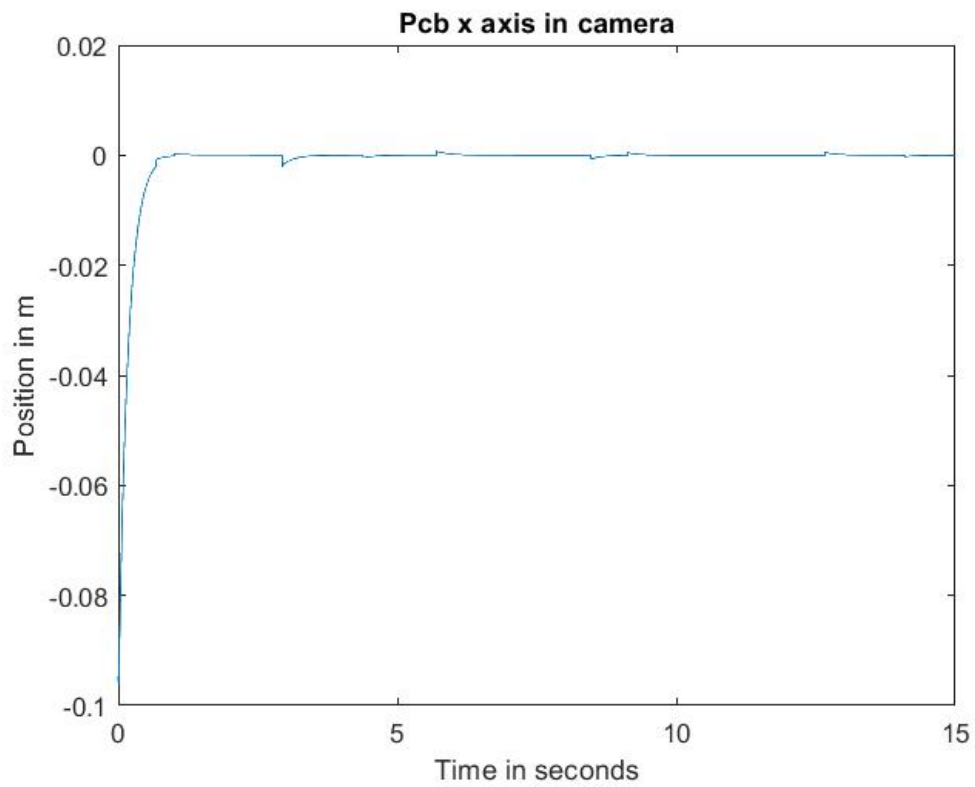


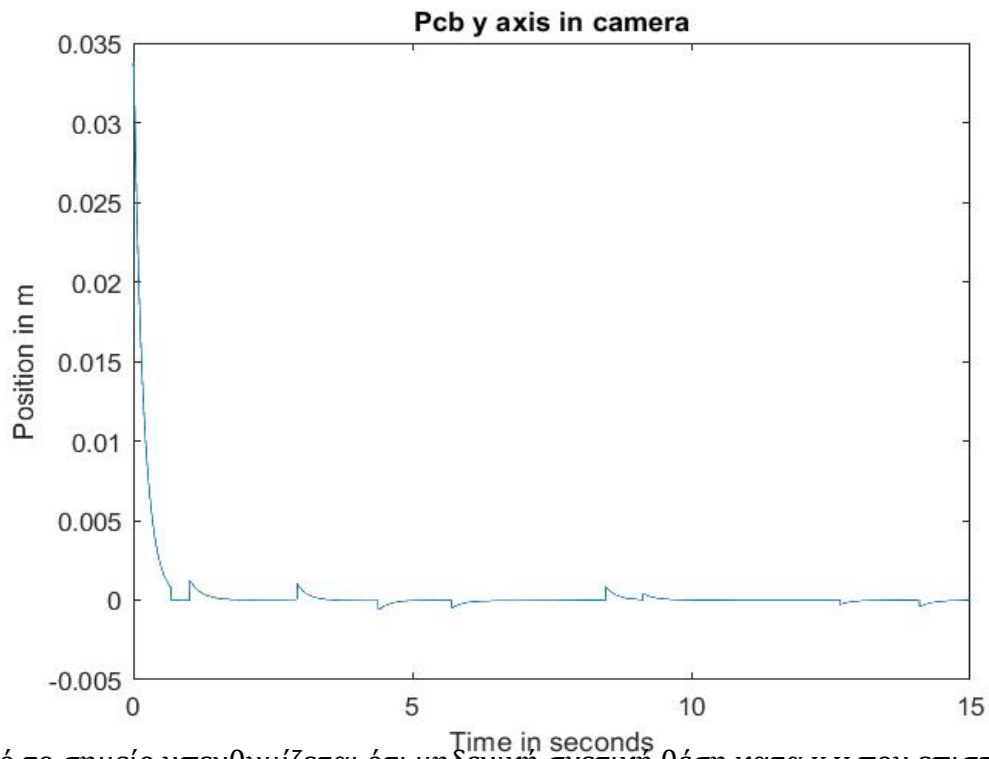
Διαγράμματα που δείχνουν την γωνιακή ταχύτητα άκρου στο πλαίσιο του



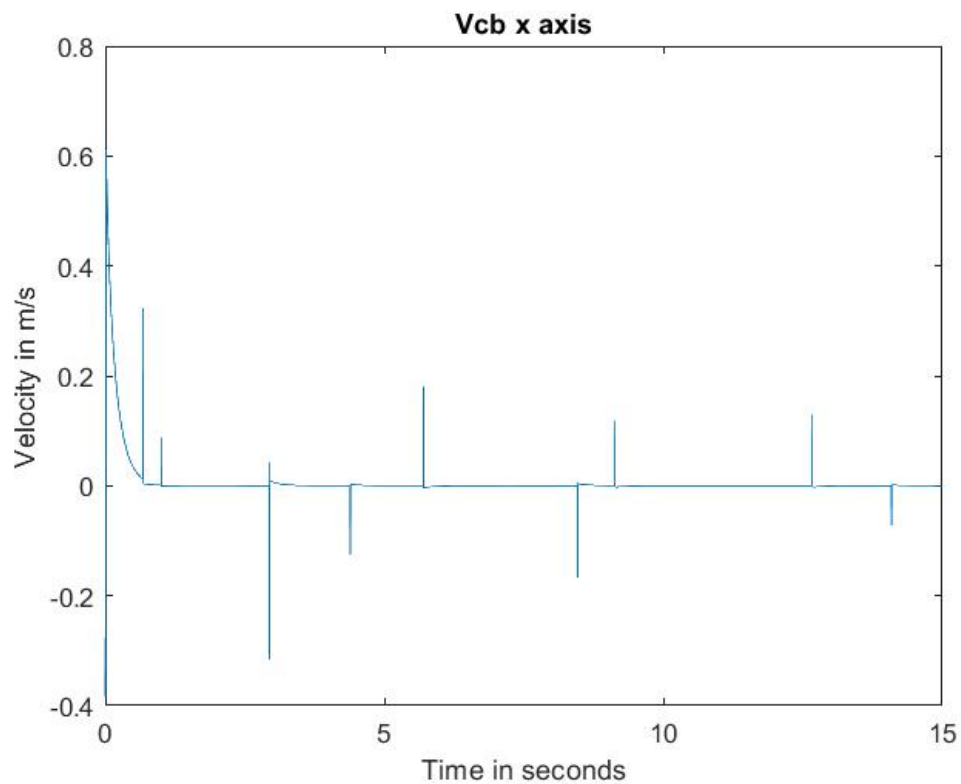


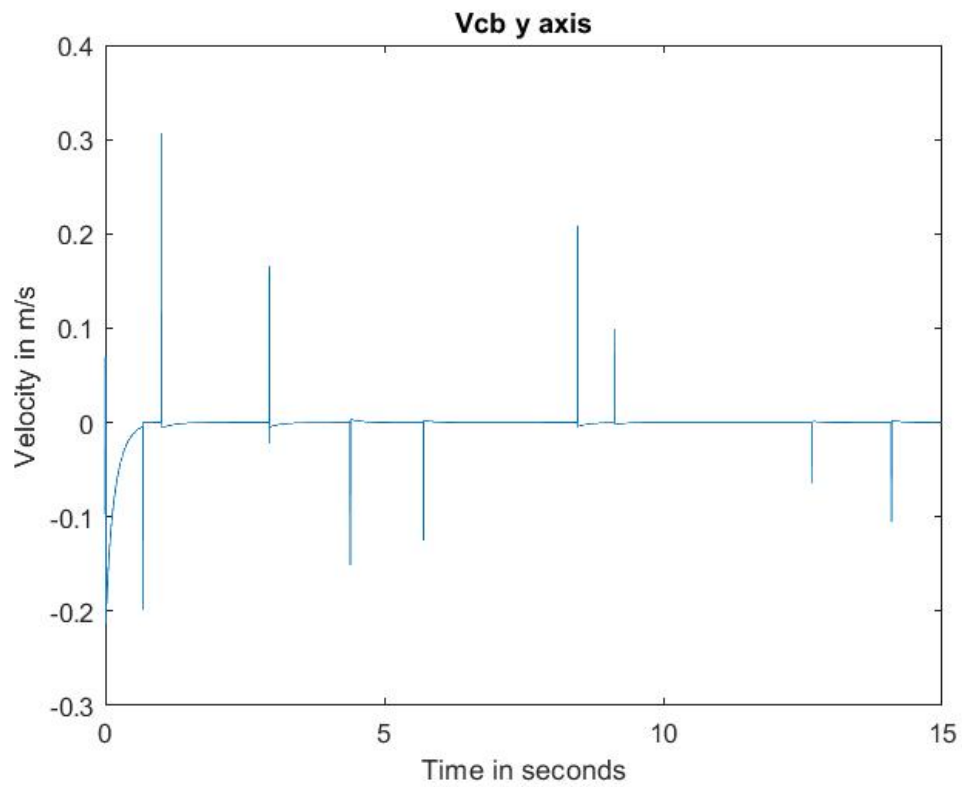
Σχετική ταχύτητα και θέση μπάλας στο πλαίσιο της κάμερας



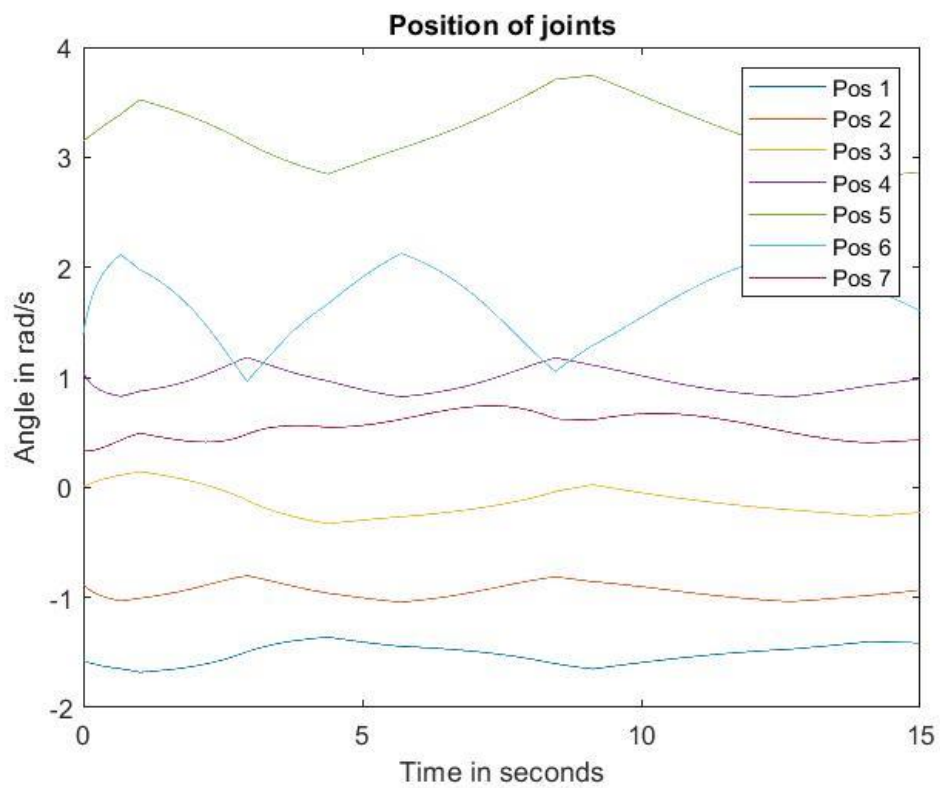


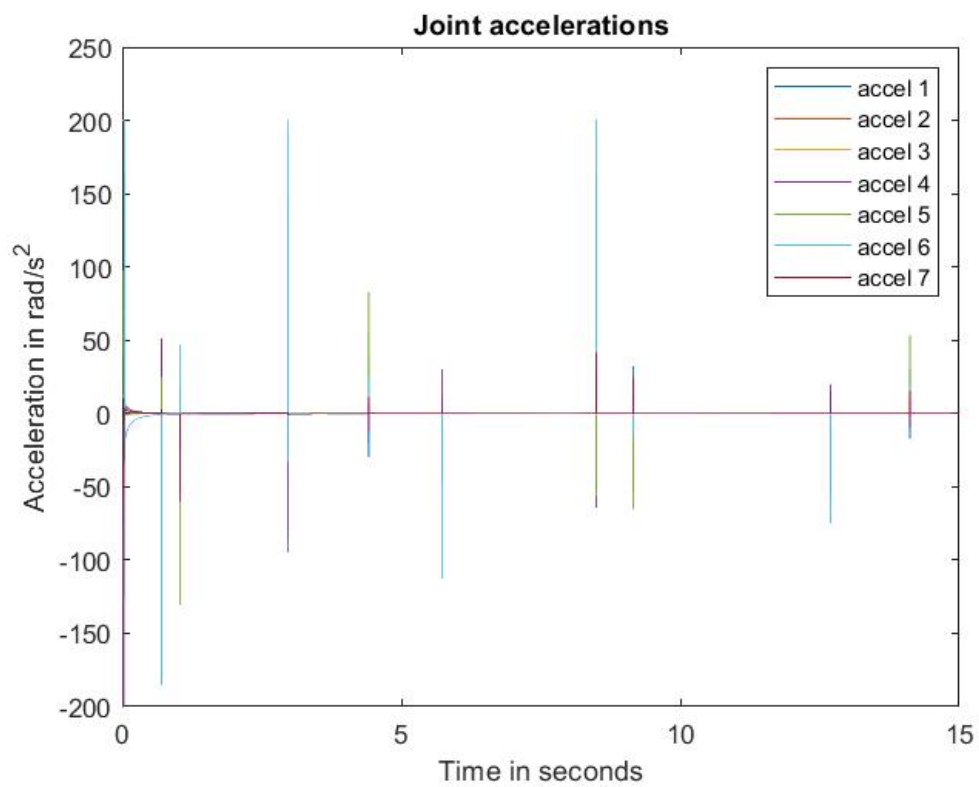
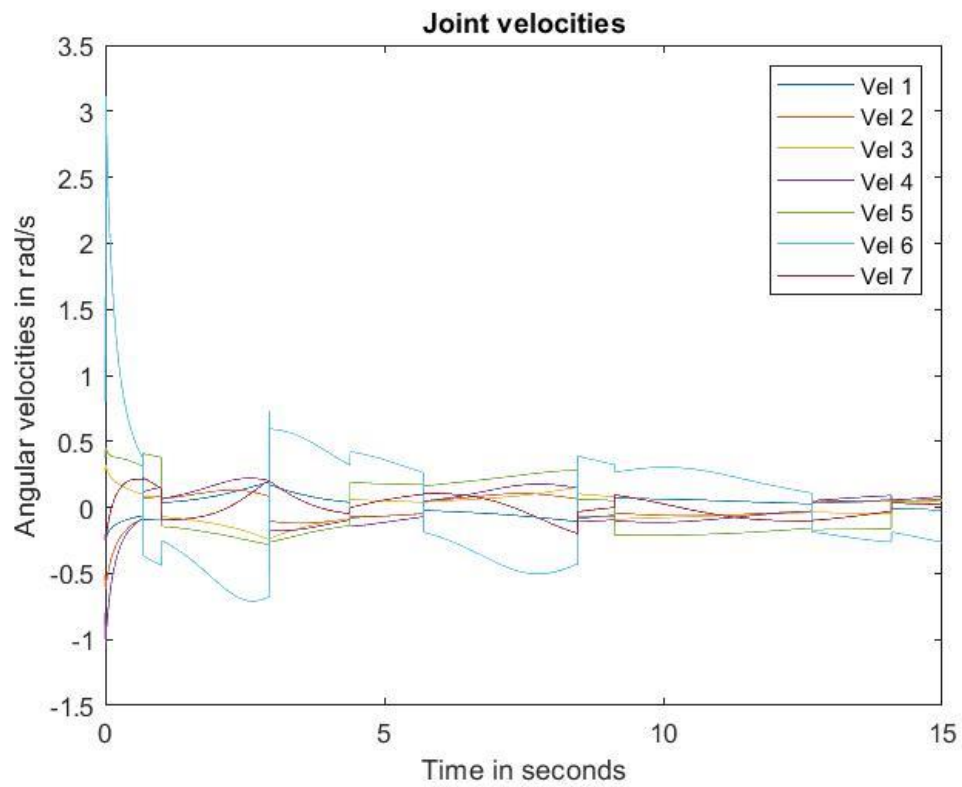
Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται ότι μηδενική σχετική θέση κατά x y που επιστρέφει ο αλγόριθμος όρασης σημαίνει ότι ο άξονας z του πλαισίου της κάμερας διέρχεται από το κέντρο της μπάλας που είναι και το ζητούμενο.





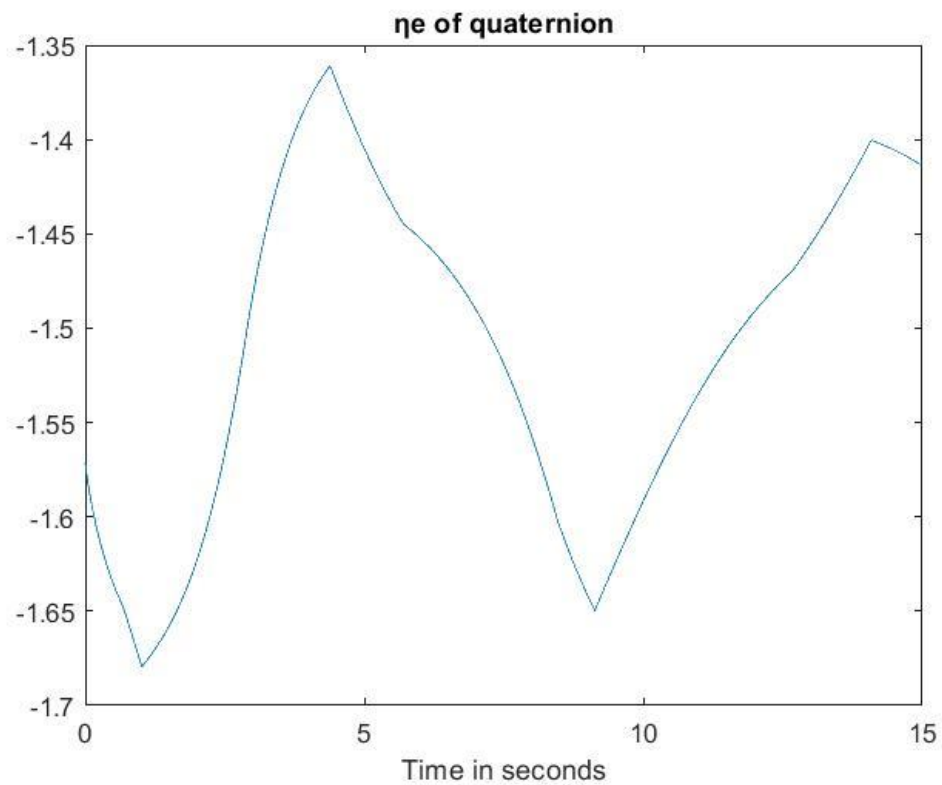
Τα διαγράμματα που δείχνουν τις θέσεις ταχυτητες και επιταχυνσεις των αρθρώσεων

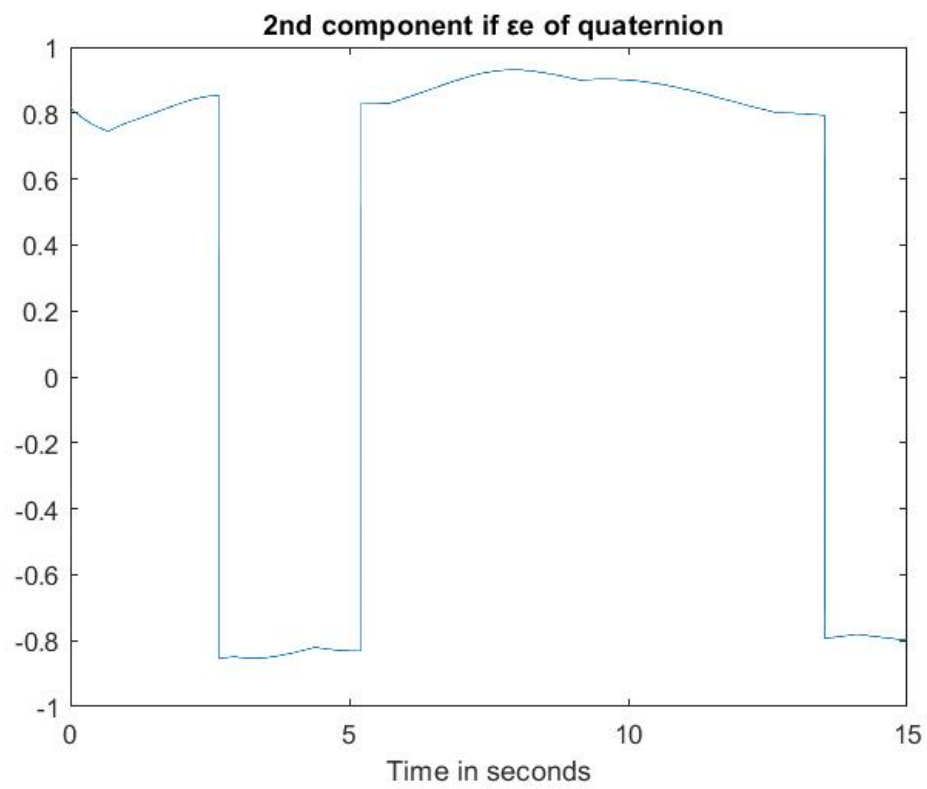
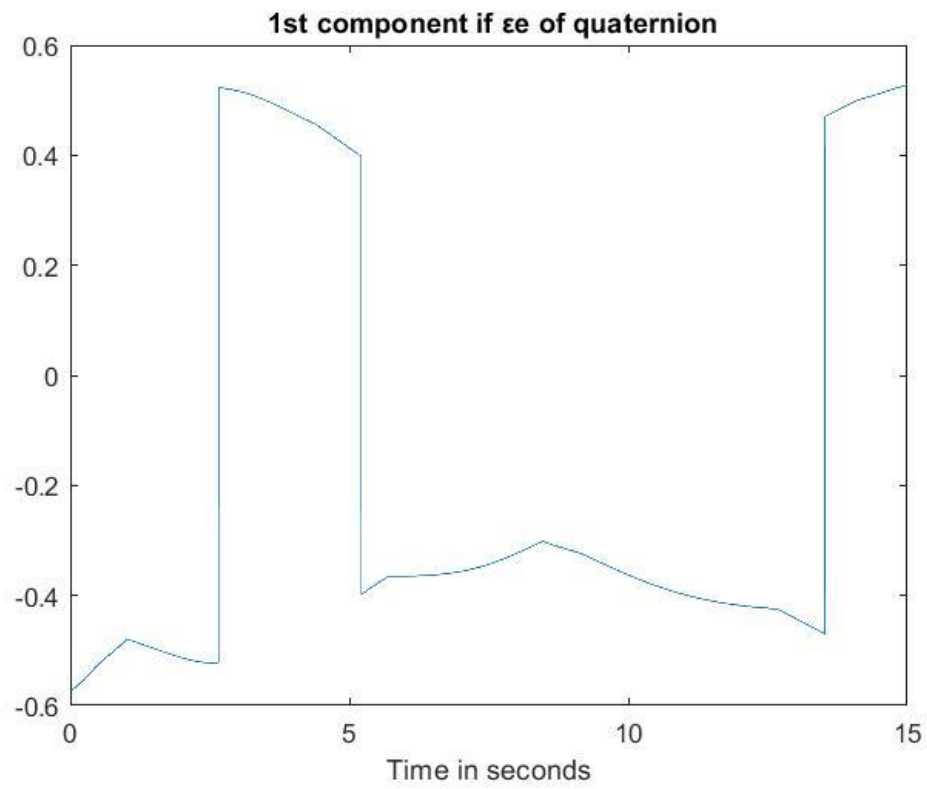


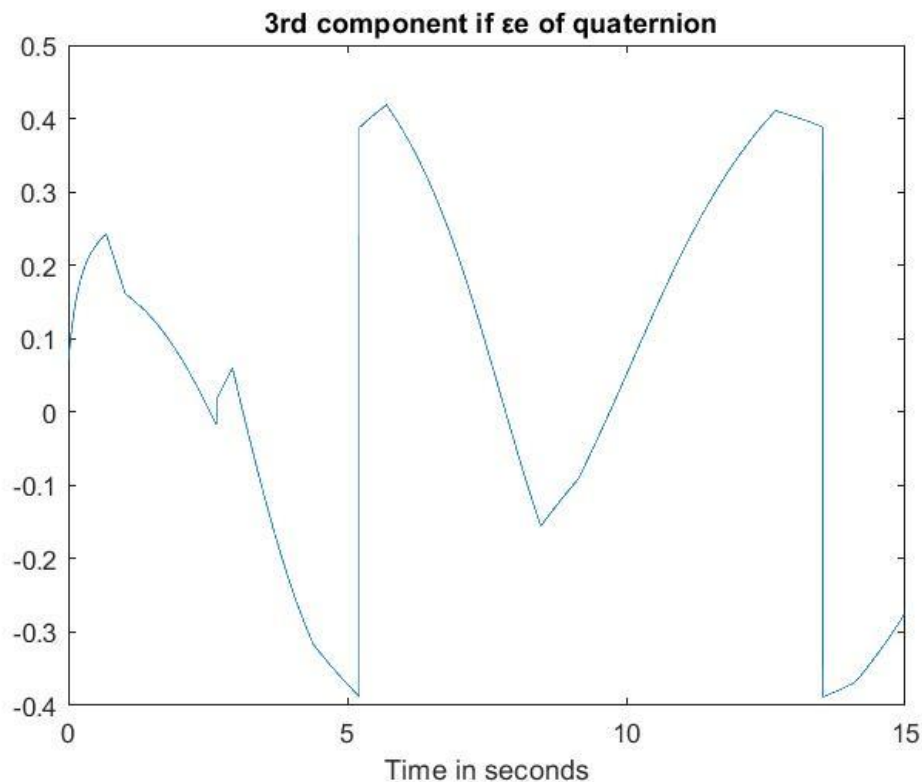


Απο τα παραπάνω επιβεβαιώνεται και η σωστή λειτουργία του ψηφιακού φίλτρου που δεν επιτρέπει τις ταχύτητες αρθρώσεων να ξεπεράσουν ένα ανώτερο όριο ταχύτητας, καθώς και ένα ανώτερο όριο επιτάχυνσης.

Ακολουθούν τα διαγράμματα για το quaternion του προσανατολισμού που δείχνουν τον προσανατολισμό του πλαισίου της κάμερας.







Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται φανερό ότι ο κινηματικός έλεγχος που εφαρμόστηκε επιτυγχάνει τον επιθυμητό στόχο διατηρώντας σταθερή την θέση της κάμερας. Μια μικρή απόκλιση στην θέση της κάμερας από την αρχική της σε κάποιες χρονικές στιγμές αφορά μόνο ένα μεταβατικό φαινόμενο και στην μόνιμη κατάσταση η θέση της κάμερας είναι σταθερή και ίση με την αρχική θέση της, όπως αυτή όριστηκε από τις αρχικές τιμές των αρθρώσεων. Συγκεκριμένα οι θέσεις στις οποίες εμφανίζεται αυτή η μικρή απόκλιση είναι χρονικές στιγμές στις οποίες το χαμηλοπερατό φίλτρο περιορίζει τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις των αρθρώσεων και επομένως δεν είναι δυνατή η πιστή ακολούθηση του στόχου ελέγχου που απαιτεί μεγαλύτερες κατά μέτρο ταχύτητες από τις επιτρεπτές. Παρόλα αυτά το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του θέση λόγω του κινηματικού ελέγχου που εφαρμόστηκε και για την θέση του άκρου.

ΤΜΗΜΑ Β

Στο δεύτερο τμήμα της εργασίας ο ρομποτικός βραγχίονας διαφοροποιείται και προστίθεται στο άκρο του μια αρπάγη γνωστών διαστάσεων. Πλέον τίθεται και ένας διαφορετικός στόχος για τον έλεγχο του βραγχίονα, ο οποίος αφορά να προσεγγίσει την κινούμενη μπάλα υπο συγκεκριμένη θέση και προσανατολισμό καθώς αυτή κινείται, εξασφαλίζοντας ότι τα άκρα («δάκτυλα») της αρπάγης δεν θα έρθουν σε επαφή με τα τοιχώματα του πλαισίου κίνησης της σφαίρας. Για το συγκεκριμένο τμήμα της εργασίας τίθενται οι ίδιοι περιορισμοί για τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις των αρθρώσεων του βραγχίονα.

Αρχικά για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε το ότι ο βραγχίονας δεν συγκρούεται με τα τοιχώματα θα πρέπει να υπολογιστούν οι διαστάσεις και η θέση του πλαισίου κίνησης της σφαίρας. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε συνάρτηση (bounds) που επιστρέφει την ελάχιστη και μέγιστη τιμή κατά x και y του αδρανειακού πλαισίου στα οποία βρέθηκε το κέντρο της σφαίρας. Έτσι τρέχοντας μια προσομοίωση για ένα εύλογο χρονικό διάστημα προκύπτουν οι τιμές αυτές και λαμβάνοντας υπόψη και την ακτίνα της σφαίρας προκύπτουν οι διαστάσεις του πλαισίου κίνησης, οι οποίες προκύπτουν ίσες με:

$$-0.25 \leq x \leq 0.25$$

$$-0.75 \leq y \leq -0.25$$

Δηλαδή το πλαίσιο έχει διαστάσεις 0.5 επί 0.5 και το κέντρο του είναι τοποθετημένο στο σημείο (0,-0.5). Τέλος για το ύψος των τοιχωμάτων του πλαισίου δίνεται από την εκφώνηση ότι είναι 10cm.

Για την οπτικοποίηση του κουτιού κίνησης δημιουργήθηκε η συνάρτηση `plotthewalls`.

Έχοντας πλέον αναγνωρίσει τους επιθυμητούς περιορισμούς είμαστε σε θέση να σχεδιάσουμε ένα πιθανό τρόπο για την προσέγγιση του αντικειμένου, ο οποίος μπορεί να χωριστεί στα ακόλουθα στάδια, που αρχικά παρουσιάζονται συνοπτικά:

- 1) Παρακολούθηση της μπάλας από ύψος μεγαλύτερο των τοιχωμάτων του πλαισίου, ώστε να είμαστε βέβαιοι ότι δεν υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με αυτά, δηλαδή στο σημείο αυτό η θέση και η ταχύτητα της κάμερα εκφρασμένες στο αδρανειακό πλαίσιο επιθυμούμε να ταυτίζονται κατά του άξονες x και y , ενώ έχουμε τον κατάλληλο προσανατολισμό για την προσέγγιση.
- 2) Εφόσον βρισκόμαστε σε σωστή παρακολούθηση της μπάλας (ζητούμενος προσανατολισμός, σωστές ταχύτητες για παρακολούθηση από μεγαλύτερο ύψος, σωστή θέση), ελέγχουμε αν για τον επιθυμητό χρόνο μπορούμε να προσεγγίσουμε το αντικείμενο χωρίς να ερθουμε σε επαφή με τα τοιχώματα
- 3) Εφόσον αυτό είναι εφικτό σχεδιάση πολυωνυμικής τροχιάς για την θέση του άκρου στον άξονα z , που καταλήγει στην επιθυμητή θέση. Σε αυτό το στάδιο οι ταχύτητες

στους x και y άξονες παραμένουν οι απαιτούμενοι για να παρκολουθούμε την θέση και ταχύτητα της μπάλας κατά του x y άξονες.

Η όλη αυτή διαδικασία υλοποιείται στα αρχεία robotics2,clik2,ενώ διευκρινίζεται ότι οι μέθοδοι σχεδιάστηκαν για να επιτρέπουν την προσέγγιση της κινούμενης μπάλας με διαφορετικούς προσανατολισμούς (όλοι απο τους οποίους έχουν το z κάθετο στο xy όπως ορίζεται απο την εκφώνηση) και για διαφορετικούς χρόνους εκτέλεση του σταδίου 3.Τα τελευταία δίνονται σαν ορισμάτα στην προσομοίωση.

Περιγραφή διαδικασίας για στάδιο 1:

Το συγκεκριμένο στάδιο είναι παρόμοιας φιλοσοφίας με το πρώτο τμήμα της εργασιας,με την διαφοροποίηση ότι εδώ αφήνεται ελεύθερο προς μετακίνηση το άκρου του βραγχίονα,επομένως μπορεί να αλλάζει η θέση του.Στόχος εδώ είναι το άκρο με επιθυμητό προσανατολισμό (z πάντοτε κάθετο στο επίπεδο xy) να παρακολουθεί το κέντρο της μπάλας(δηλαδή να ταυτίζεται με το διάνυσμα που δημιουργείται απο την σημείο του άκρου και το κέντρο της μπάλας) απο ενα επιθυμητό ύψος απο το επίπεδο xy,που για τα πλαίσια των προσομοιώσεων επιλέχτηκε να είναι τα 40 εκατοστά απο το κεντρο της μπάλας δηλαδη 42.5 απο το xy,αρα 32.5 εκατοστά απο τα τοιχώματα.Για την υλοποιηση αυτού του στόχου χρησιμοποιήθηκε και εδώ το clik με την διαφοροποίηση ότι εδώ είχε την μορφή

$$V = vb - kp * ep$$

$$W = -ko * eo,$$

Όπου εδώ το vb εκφράζει την απόλυτη ταχύτητα της μπάλας εκρασμένη στο αδρανειακό πλαίσιο και τα σφάλματα είναι επίσης εκφρασμένα στο αδρανειακό πλαίσιο.

Εδώ η ταχύτητα της απόλυτη ταχύτητα της μπάλας είναι το άθροισμα των ταχυτήτων της μεταφορικής του άκρου, της μεταφορικής στο σημειο που αντιστοιχεί στην μπάλας λόγω της γωνιακής ταχύτητας του άκρου και της σχετικής μεταφορικής ταχύτητα της μπαλας ως προς την κάμερα και όλες αυτές εκφρασμένες στο αδρανειακό πλαίσιο.Συνοπτικά δηλαδή δίνεται απο την εξίσωση

$$Vb\{0\} = V_{def\,fed\,cor}\{0\} + V_{cb}\{0\} + V_{from\,rotatioanl}\{0\}$$

, όπου το {0} σημαίνει έκφραση των ταχυτήτων στο αδρανειακό πλαίσιο

Η έξοδος του clik για το συγκεκριμένο στάδιο δίνει τις ζητούμενες ταχύτητες για το άκρο εκφρασμένες στο αδρανειακό πλαίσιο που αντιστοιχίζονται έπειτα σε ταχύτητες αρθρώσεων μέσω της ψευδοαντιστροφής της ιακωβιανής του βραγχίονα.

Περιγραφή της διαδικασίας για το στάδιο 2:

Πρακτικά το στάδιο 2 συντελείται διαρκώς όσο λαμβάνει χώρα το στάδιο 1 και ελέγχει αν είμαστε σε θέση να προσεγγίσουμε με ασφάλεια το άκρο.Για τον υλοποίηση του

ελέγχου αυτού δημιουργήθηκε η συνάρτηση canfit, η οποία καλείται σε κάθε βρόγχο προσομοίωσης όσο βρισκόμαστε στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας προσέγγισης. Πρωτού περιγραφεί η λειτουργία αυτής αναφέρεται ότι δημιουργήθηκε η βοηθητική συνάρτηση isinbound η οποία λαμβάνει σαν είσοδο τις συντεταγμένες ενός σημείου στο επίπεδο xy και μια ελάχιστη ασφαλείας και επιστρέφει αληθή τιμή αν το σημείο βρίσκεται εντός του πλαισίου κίνηση της σφαίρας και σε μια ελάχιστη απόσταση ασφαλείας από τα τοιχώματα του πλαισίου.

Η συνάρτηση canfit περιλαμβάνει όλους τους απαραίτητους ελέγχους για να βεβαιωθούμε ότι μπορούμε να κάνουμε την κίνηση προσέγγισης της μπάλας οι οποίοι μπορούν να χωριστούν στα εξής στάδια και αν δεν ικανοποιείται ο εκάστοτε έλεγχος δεν προχωράμε στα επόμενα στάδια:

- A) Ελέγχεται αν το άκρο του βραγχίονα έχει τον ζητούμενο προσανατολισμό
- B) Ελέγχεται αν το άκρο έχει τοποτετηθεί σωστά, δηλαδή αν είναι μηδενική η σχετική θέση μεταξύ των δυο κατά τις x y συνιστώσες
- Γ) Ελέγχεται αν το άκρο έχει την κατάλληλη ταχύτητα (συνιστώσες x y) ώστε να παρακολουθεί την μπάλα

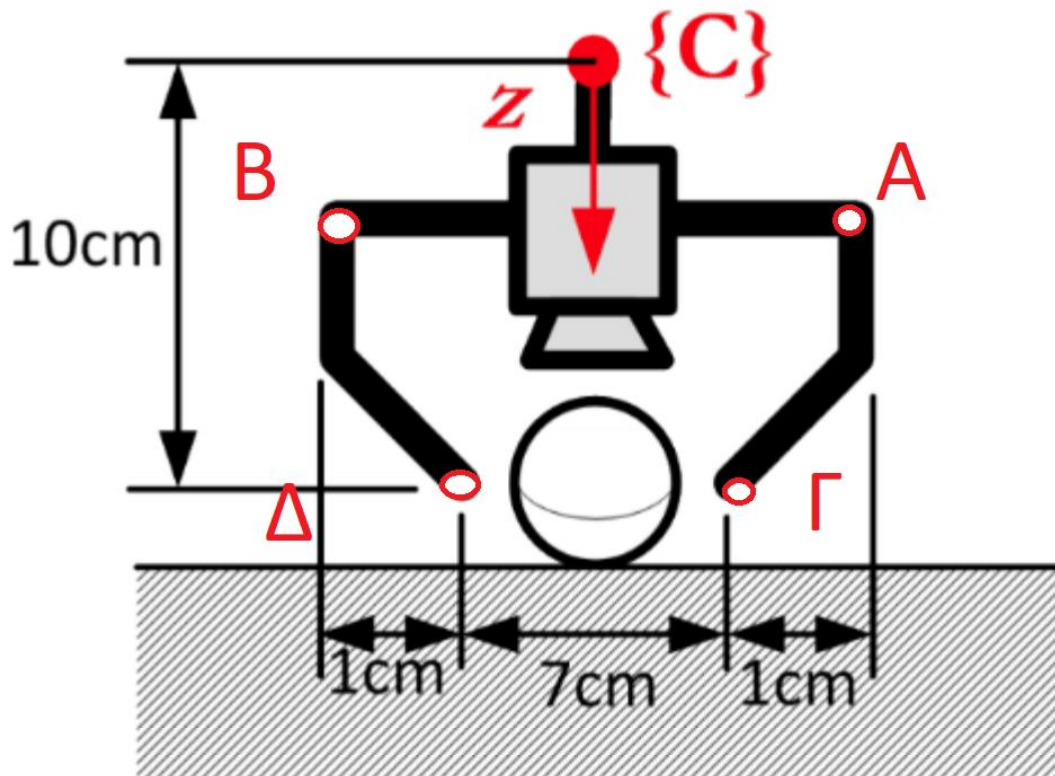
Οι τρεις παραπάνω έλεγχοι γίνονται για να διασφαλίσουμε ότι το άκρο βρίσκεται στην ζητούμενη θέση και ταχύτητα, όπως ορίζεται στο στάδιο 1 (παρακολουθεί την μπάλα από κατάλληλο ύψος), και για να αποφευχθεί η έναρξη της διαδικασίας προσέγγισης της μπάλας σε χρονικές στιγμές στις οποίες προκύπτουν σφάλματα παρακολούθησης αυτής δηλαδή, είτε κατά την έναρξη της προσομοίωσης, είτε κατά την σύγκρουση της μπάλας με τα τοιχώματα.

Έχοντας εξασφαλίσει τα παραπάνω μπορούμε είμαστε σίγουροι ότι βρισκόμαστε «ακριβώς» πάνω από την μπάλα και με τον κατάλληλο προσανατολισμό. Επίσης είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την θέση και την ταχύτητα της μπάλας. Έτσι σαν επόμενο βήμα

Δ) Για το χρονικό διάστημα της κίνησης του σταδίου 3, όπως δίνεται σαν παράμετρος στην διαδικασία ελέγχου βρίσκουμε ποια θα ήταν η θέση της μπάλας αν συνέχιζε να κινούταν με αυτή την ταχύτητα για το εν λόγω χρονικό διάστημα. Έτσι είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε αν σε αυτό το χρονικό παράθυρο θα συμβεί κάποια κρούση της μπάλας και επομένως αλλαγή της ταχύτητας της. Ο έλεγχος αυτός γίνεται άμεσα ελέγχοντας αν η τελική θέση της μπάλας διατηρώντας σταθερή ταχύτητα για το παραπάνω χρονικό διάστημα είναι έγκυρη, δηλαδή εντός των ορίων του πλαισίου κίνησης. Αν όχι ο έλεγχος για τον συγκεκριμένο κύκλο ελέγχου αποτυγχάνει και γνωρίζουμε ότι η επόμενη σύγκρουση της μπάλας θα συμβεί σε χρονικό διάστημα μικρότερο του ζητούμενου (που δίνεται σαν όρισμα) χρονικού περιθωρίου για την να κατέβει ο βραγχίονας στο ύψος της μπάλας.

Σαν επόμενο βήμα, αν έχουν επιτύχει οι έλεγχοι μέχρι στιγμής μένει να ελεγχθεί αν κατά την διάρκεια της καθόδου προς την μπάλα ο βραχίονας δεν συγκρούεται. Ο τελευταίος αυτός έλεγχος γίνεται σε δύο στάδια. Συγκεκριμένα:

Ε) Υπολογίζουμε την θέση των άκρων της αρπάγης για την τελική και ζητούμενη θέση κατά την προσέγγιση του άκρου. Αυτό είναι εφικτό καθώς γνωρίζουμε την επιθυμητή θέση και προσανατολισμό του άκρου στην τελική κατάσταση, επομένως τον ομογενή μετασχηματισμό g_{0c} . Επίσης μπορούμε να βρούμε τις συντεγμένες των σημείων των άκρων της αρπάγης εκφρασμένες στο πλαίσιο της κάμερας, όπως εξηγείται παρακάτω



Γνωρίζουμε δηλαδή ότι οι συντεταγμένες (εκφρασμένες στο πλαίσιο της κάμερας) των A, B, Γ, Δ όπως ονοματίζονται στην παραπάνω εικόνα δίνονται από :

$$\begin{aligned} p_a &= [0.045; 0; 0]; \\ p_b &= [-0.045; 0; 0]; \\ p_c &= [0.035; 0; 0.1]; \\ p_d &= [-0.035; 0; 0.1]; \end{aligned}$$

Η εξασφάλιση ότι αυτά τα σημεία βρίσκονται εντός των αποδεκτών τιμών με ένα όριο ασφαλούς απόστασης μας διασφαλίζει ότι η αρπάγη δεν θα έρθει σε επαφή με τα τοιχώματα.

ΣΤ) Τέλος μένει να διασφαλίσουμε ότι η αρπάγη δεν θα έρθει σε επαφή με τα τοιχώματα κατά την διαδικασία της καθόδου της. Θα πρέπει δηλαδή να ελεξουμε ότι

κάθε χρονική στιγμή τα άκρα θα βρίσκονται εντός των ορίων των τοιχωμάτων. Πρακτικά ο συγκεκριμένος έλεγχος (εφόσον θα σχεδιάσουμε πολυωνυμική τροχιά για την κίνηση του άκρου κατά τον άξονα Z του αδρανειακού) έγκειται στο να ελέξουμε αν την χρονική στιγμή που το κατώτερο τμήμα της αρπάγης του βραγχίονα θα φτάσει πρώτη φορά σε ύψος μικρότερο ίσο του ύψους των τοιχωμάτων τα άκρα θα βρίσκονται σε αποδεκτές θέσεις. Για μεγαλύτερα ύψη (μεγαλύτερες θέσεις κατά z) δεν είναι δυνατή η σύγκρουση του άκρου με τα τοιχώματα, ενώ όλες οι ενδιαμέσες θέσεις μεταξύ διέλευσης από το κρισιμο ύψος (κατώτερη θέση αρπάγης σε ύψος τοιχωμάτων) και τελικής θέσης θα είναι αποδεκτές εφόσον στα προηγούμενα βήματα έχουμε εξασφαλίσει ότι για όλο το χρονικό διάστημα της καθόδου η μπάλα κινείται με σταθερή ταχύτητα και η τελική θέση είναι αποδεκτή.

Για την υλοποίηση του ελέγχου που περιγράφηκε στο στ δημιουργήθηκε η συνάρτηση `checktrajectory possible`, στην οποία υπολογίζεται ποια είναι η τροχιά που θα σχεδιαστεί κατά τον άξονα z σε κατάλληλο χρόνο όπως ορίζεται σε κάθε προσομοίωση, ο αντιστοίχος χρόνος για τον οποίον το κατώτερο τμήμα του άκρου φτάνει στα τοιχώματα και ελέγχεται αν είναι αποδεκτή σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

Για την σχεδίαση τροχιά θεωρήθηκε πολυώνυμο παρεμβολής 5^{ου} βαθμού, ενώ αυτή υπολογίζεται σε διάστημα $[0, \text{time to move}]$, όπου δηλαδή $t = 0$ η χρονική στιγμή αρχίζει η προσέγγιση της μπάλας κατά τον z άξονα. Οι συντελεστές του πολυωνύμου παρεμβολής επιστρέφονται από την συνάρτηση `trajectory planning` που υλοποιήθηκε, η οποία θεωρεί μηδενικές αρχικές και τελικές ταχύτητες και επιταχύνσεις.

Περιγραφή του σταδίου 3

Έτσι εφόσον έχουν εξασφαλισθεί αυτοί οι έλεγχοι μπορούμε πλέον να περάσουμε στο στάδιο 3 της διαδικασίας κίνησης. Πλέον στον στόχος είναι η παρακολούθηση των ταχυτήτων και των συντεταγμένων κατά του άξονες x y του αδρανειακού και η ακολούθηση της τροχιάς που σχεδιάστηκε κατά z. Και σε αυτή την περίπτωση στο χρησιμοποιήθηκε το `clik` με την διαφοροποίηση ότι σε αυτό το στάδιο η επιθυμητή τροχιά κατά z δίνεται από την εξίσωση

$$v_z = v_{z \text{ trajectory}} - k_p * e_p$$

Όπου e_p είναι το σφάλμα θέσης από την επιθυμητή τροχιά που σχεδιάστηκε.

Έτσι μετά από τον αντίστοιχο χρόνο που ορίστηκε η σφαίρα βρίσκεται έχει προσεγγιστεί από την αρπάγη με την κατάλληλη θέση. Η εξασφάλιση του κατάλληλου τρόπου προσέγγισης διασφαλίζεται από τον καταλλο προσανατολισμό του άκρου, και ότι η θέση αυτού θα ταυτίζεται κατά του άξονες x y με του κέντρου της μπάλας και σε απόσταση 10 εκατοστών κατά τον άξονα z, δεν απαιτείται δηλαδή κάποιος επιπλέον έλεγχος για αποστάσει των δακτύλων από την μπάλα όπως σημειώνεται στην εκφώνηση, καθώς όλοι αυτοί οι περιορισμοί εξασφαλίζονται από τα δυο παραπάνω.

Αναφέρεται ότι η επιλογή του χρόνου για την κάθοδο (υψομετρικά) κατα το στάδιο 3 του ακρου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μην δημιουργηθούν επιταχύνσεις και ταχύτητες που ξεπερνούν τα δεδομένα όρια, καθώς και τετοιο θα σήμαινε αδυναμία ακολούθησης της τροχιάς. Αυτό που εξασφαλίζει ότι η αρπάγη δεν θα βρεί με την μπάλα καθώς κατεβαίνει είναι ότι μέσω του ελέγχου παρακολουθήσης κατά x y έχουμε εξασφαλίσει ότι θα βρισκείται διαρκώς από πάνω (πιο σωστή διατύπωση είναι ότι αν πααρουμε την προβολή της θέσης του άκρου στο xy επίπεδο, έχουμε εξασφλίσει ότι αυτή ταυτίζεται με την προβολή της θέσης του κέντρου της μπάλας στο xy επίπεδο).

Ακολουθούν διαγράμματα που επιβεβαιώνουν την σωστή λειτουργία των όσων περιγράφηκαν παραπάνω, ενώ στο αρχείο υποβολής της εργασίας περιέχονται και οι αντιστοιχες οπτικοποιήσεις.

Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα που αφορούν την κίνηση για χρόνο καθόδου του άκρου της κάμερας για 2 sec και προσανατολισμό τον

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

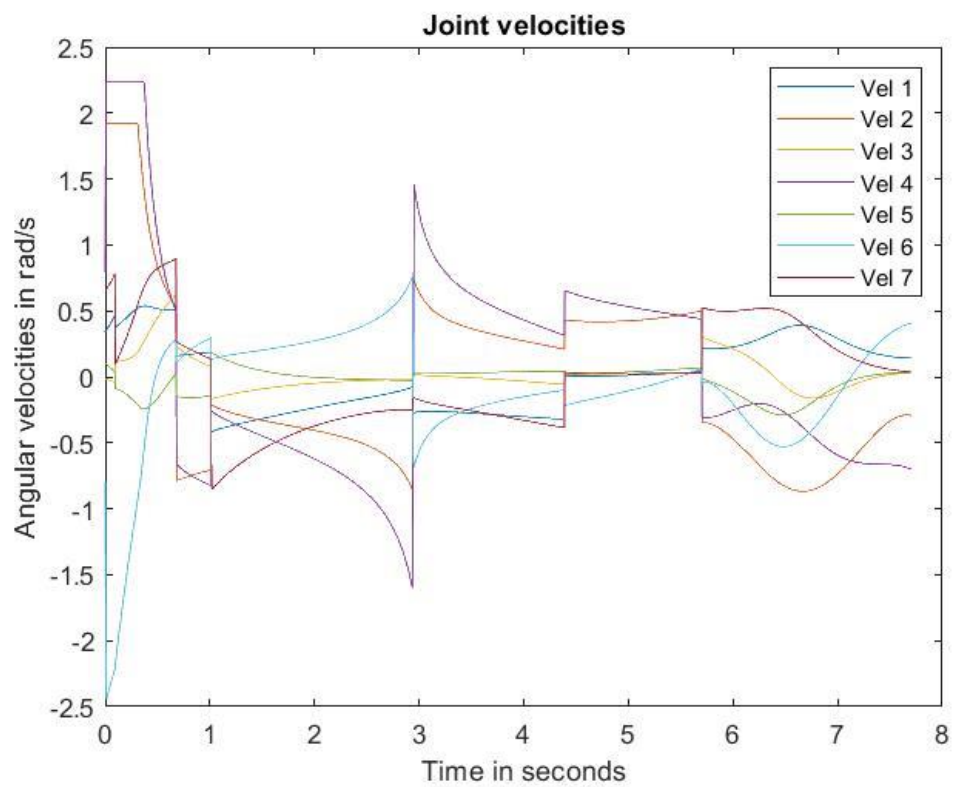
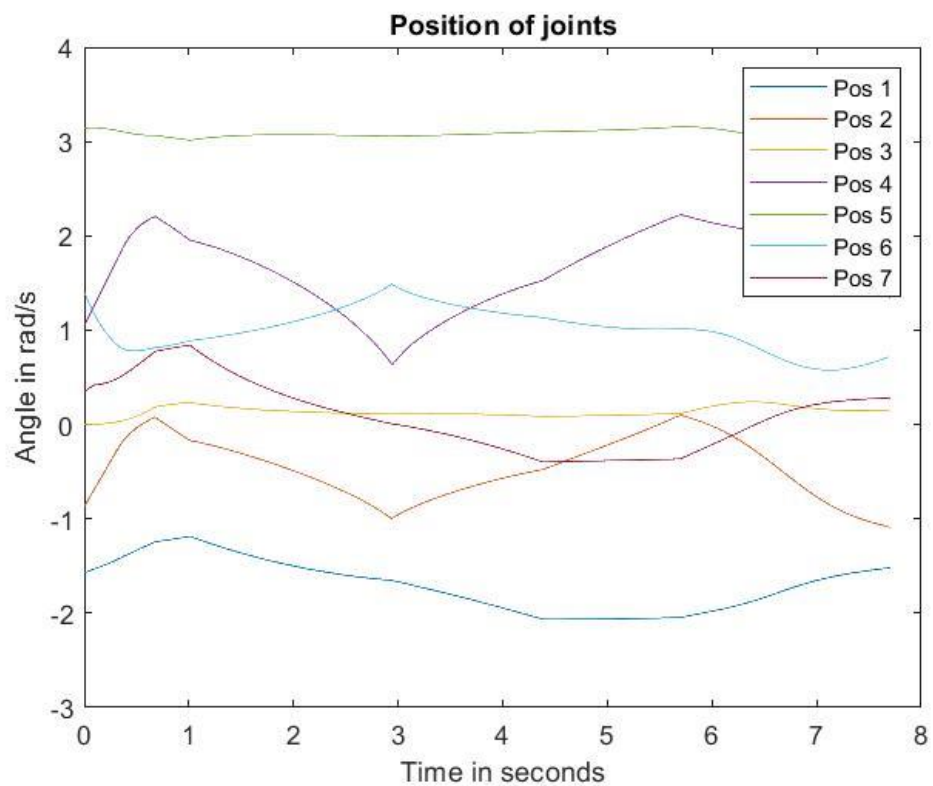
,ενώ σημειώνεται ότι τελική θέση του πλαισιου της κάμερα και της μπάλας στο επιπεδο xy για τις δεδομένες επιλογές είναι

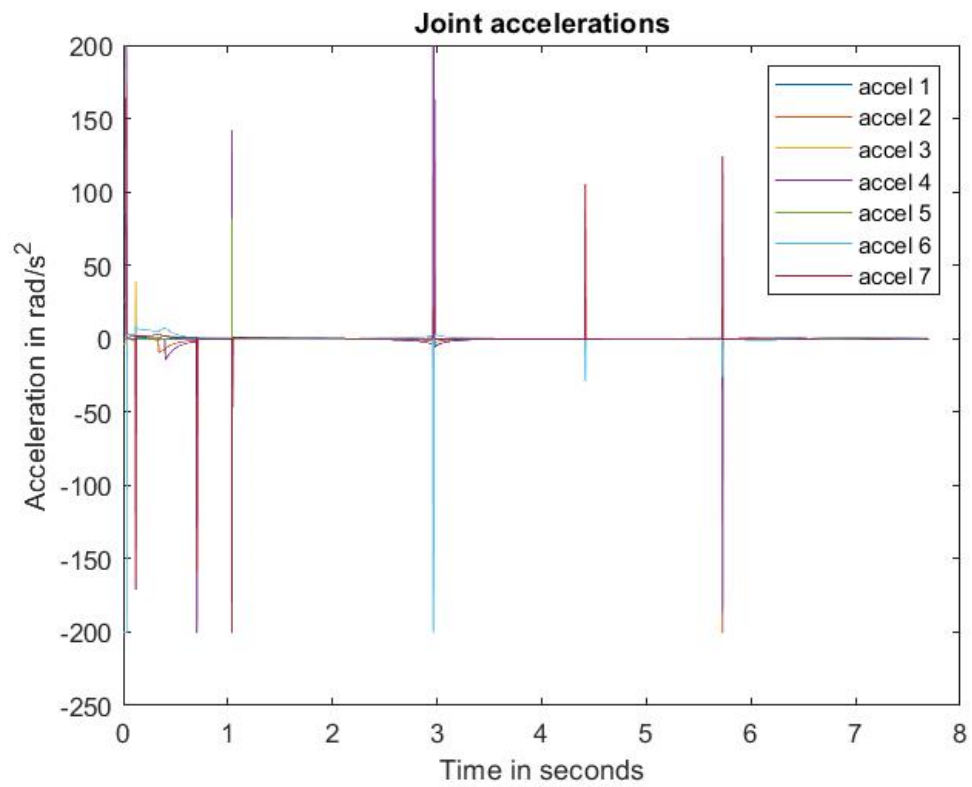
$$\text{Ball}_{xy} = \begin{pmatrix} 0.0898 & -0.6012 & 0.0250 \end{pmatrix}$$

$$\text{Camera}_{xy} = \begin{pmatrix} 0.0898 & -0.6012 & 0.1250 \end{pmatrix}$$

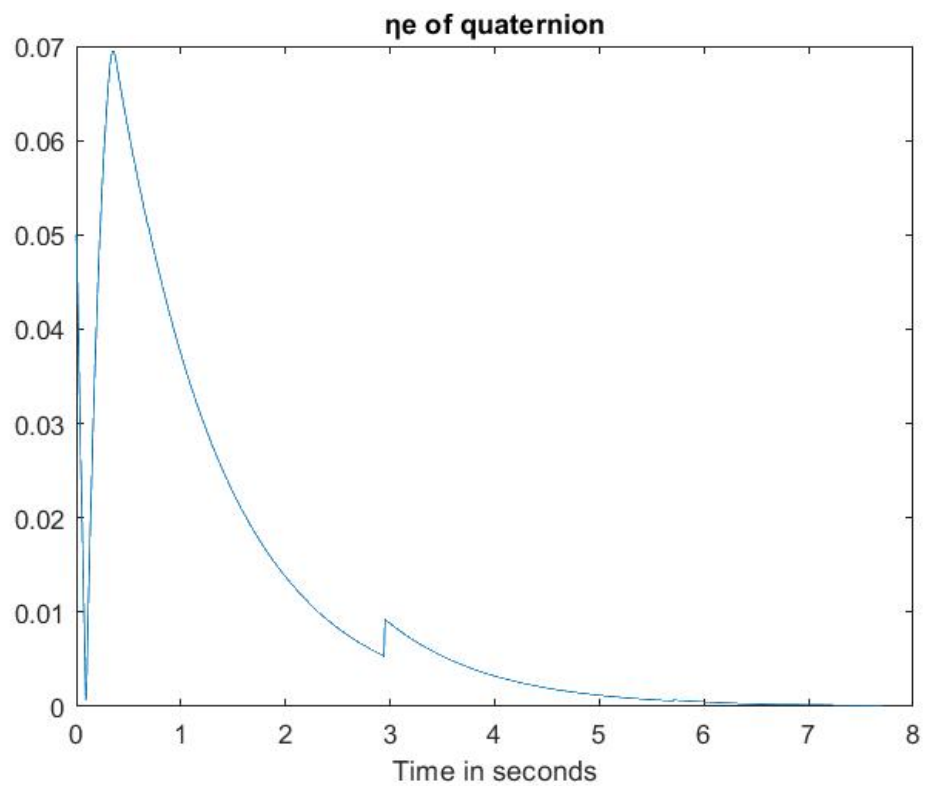
Φαίνεται δηλαδή ότι το άκρο έχει καταλήξει ακριβώς πάνω από την μπάλα όπως και ότι παρέμενε πάνω από αυτή καθόλη την διάρκεια της προσέγγισης της, όπως προκύπτει από τα διαγράμματα που ακολουθούν.

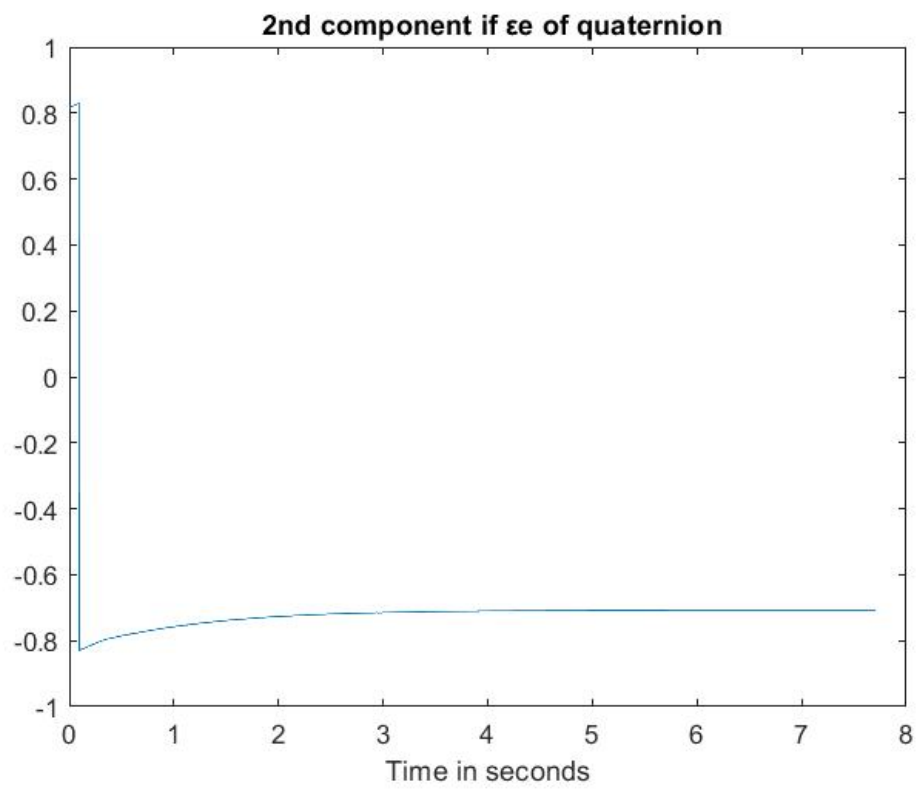
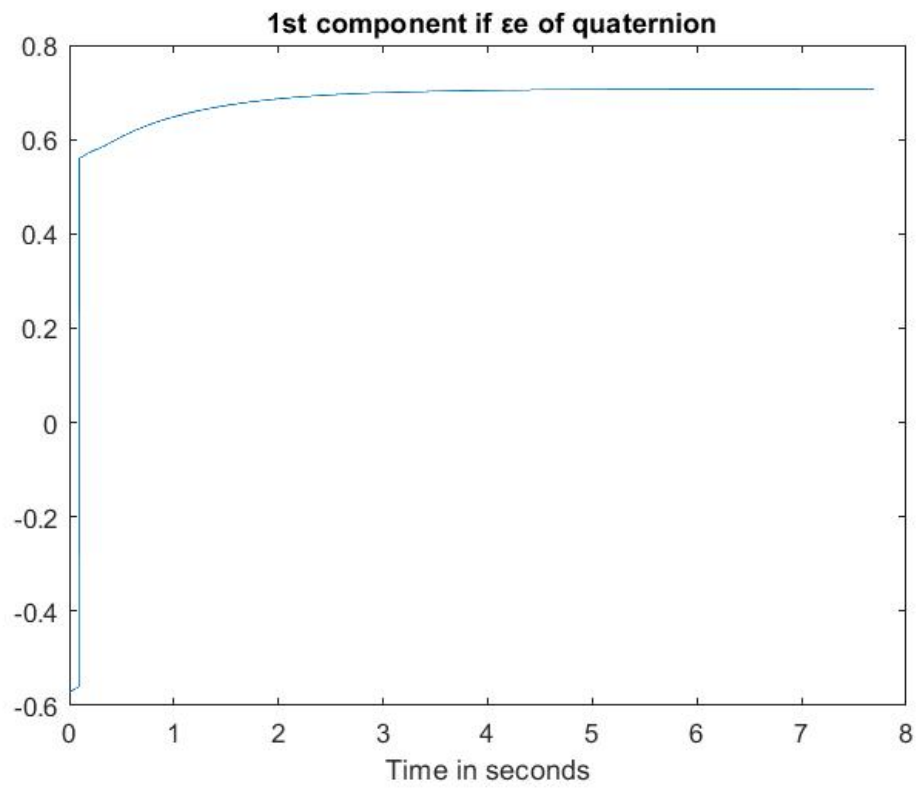
Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα που δίνουν τις θέσεις/ταχύτητες/επιταχύνσεις των αρθρώσεων για τις δεδομένες επιλογές

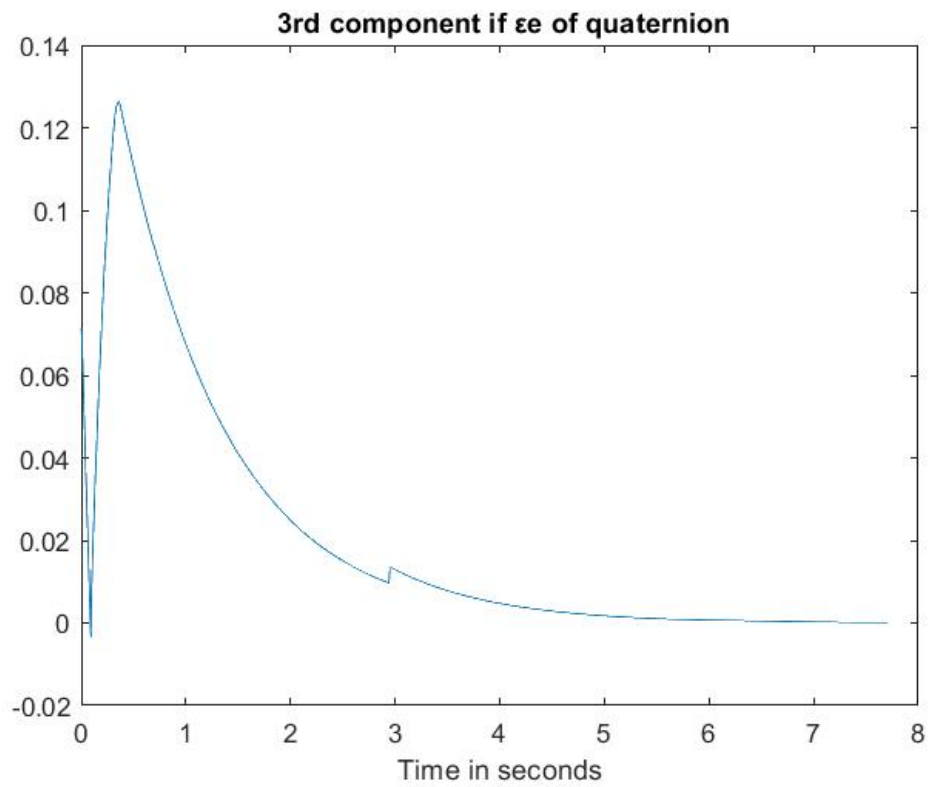




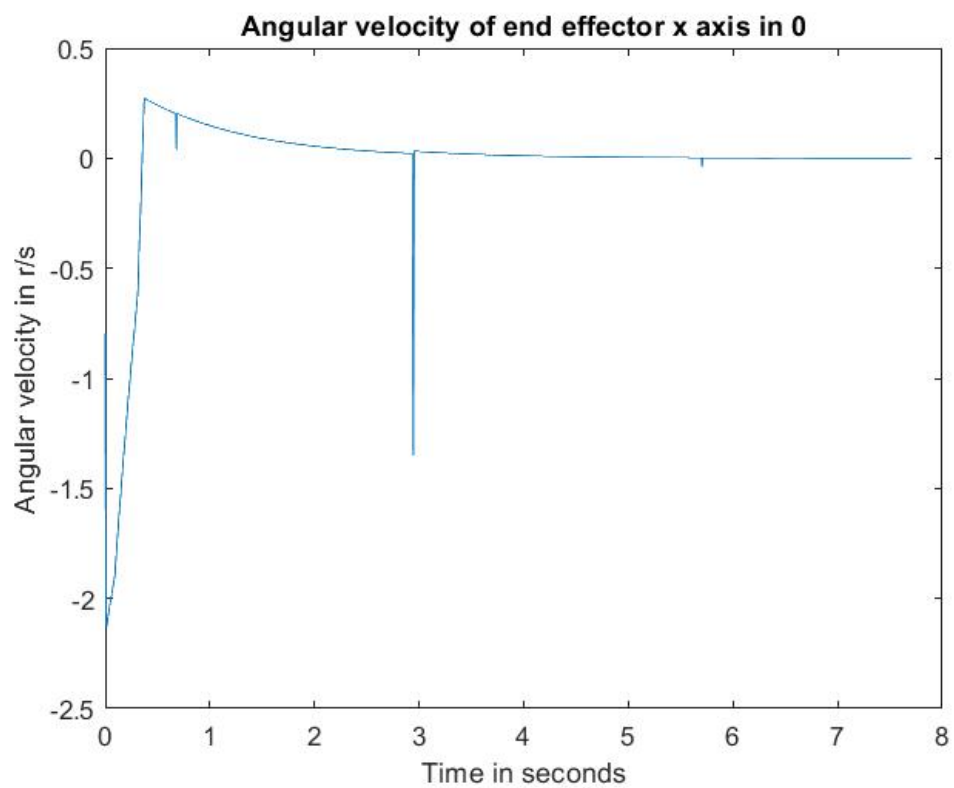
Στην συνέχεια τα διαγράμματα για το quaternion για τον προσανατολισμό του άκρου.

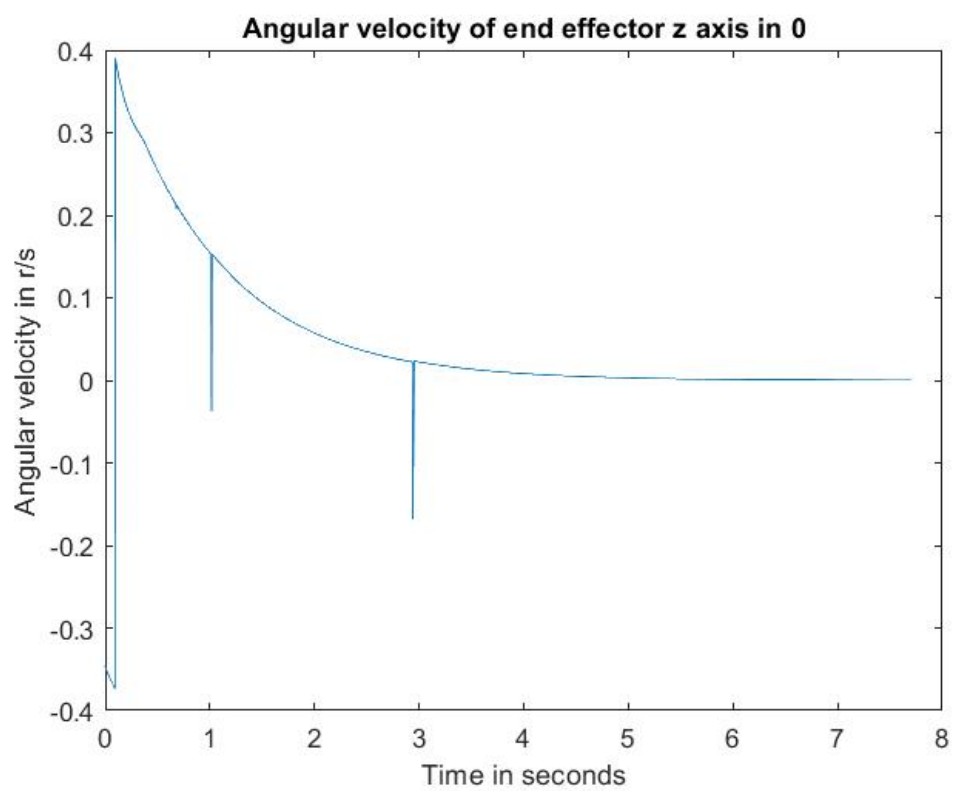
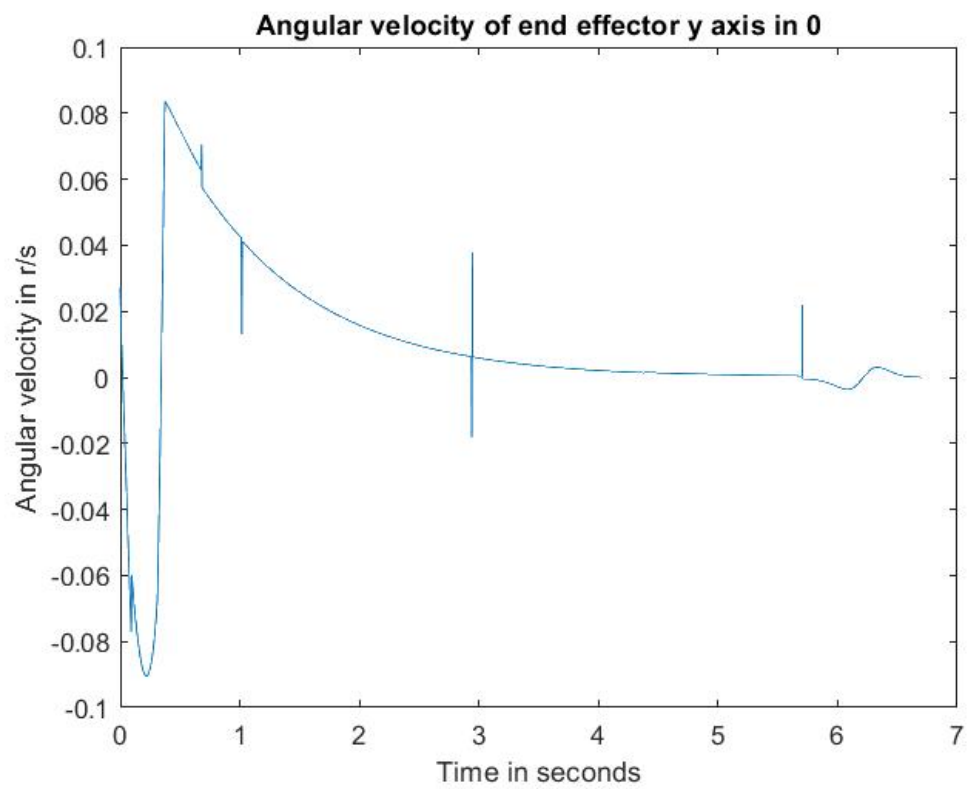




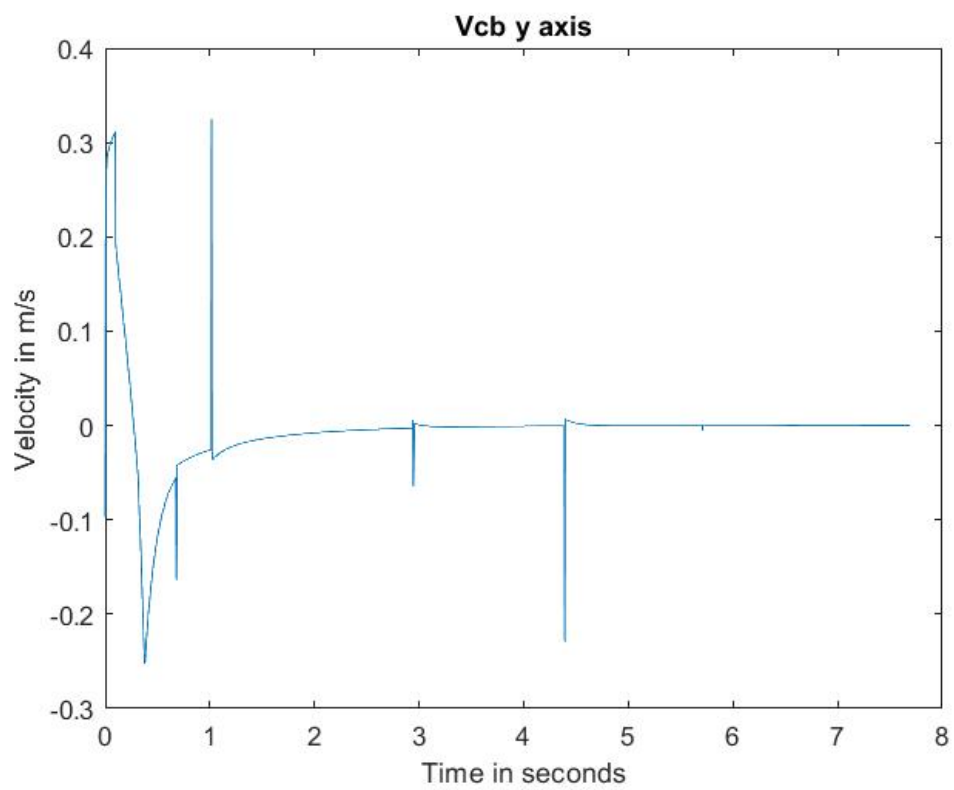
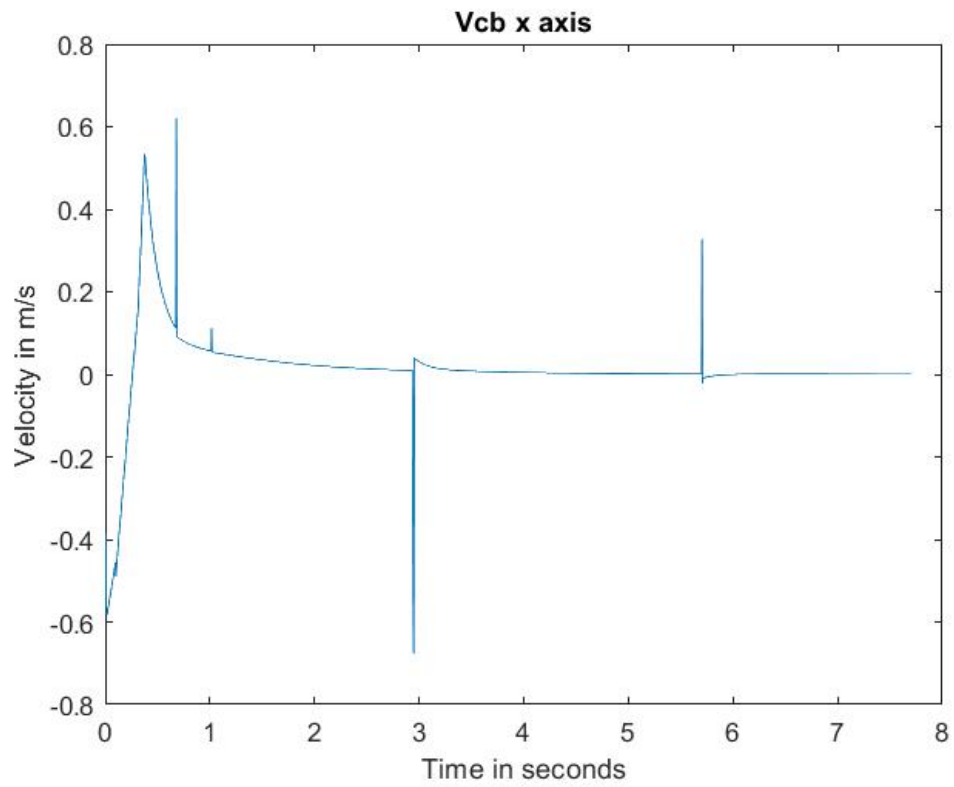


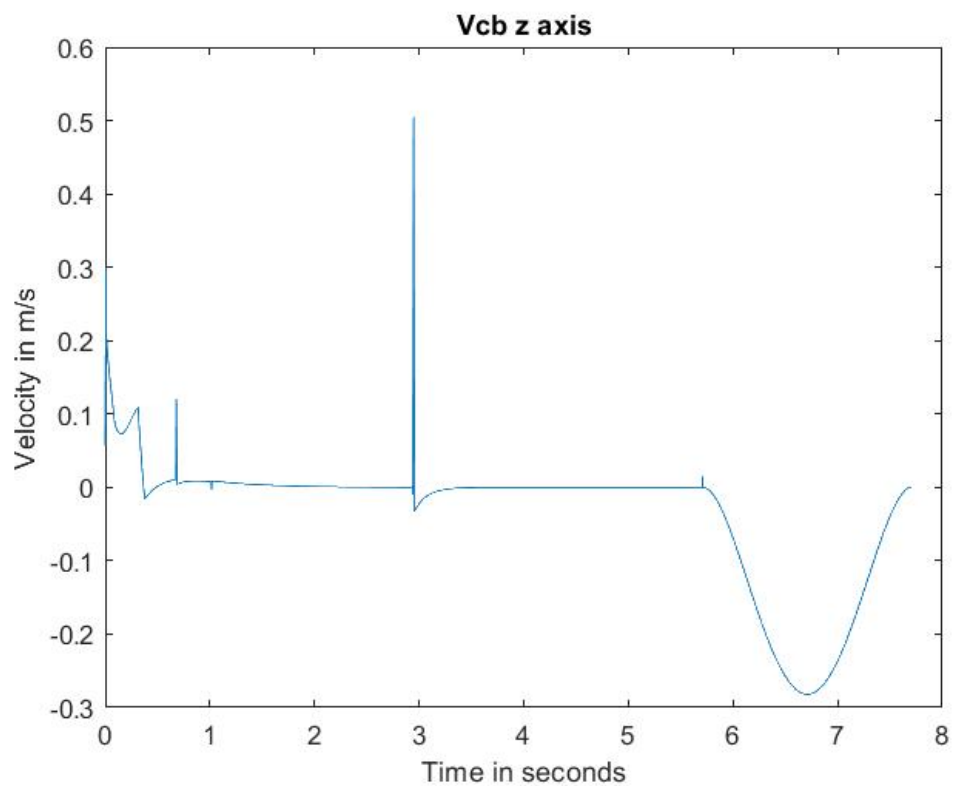
Γωνιακή ταχύτητα άκρου



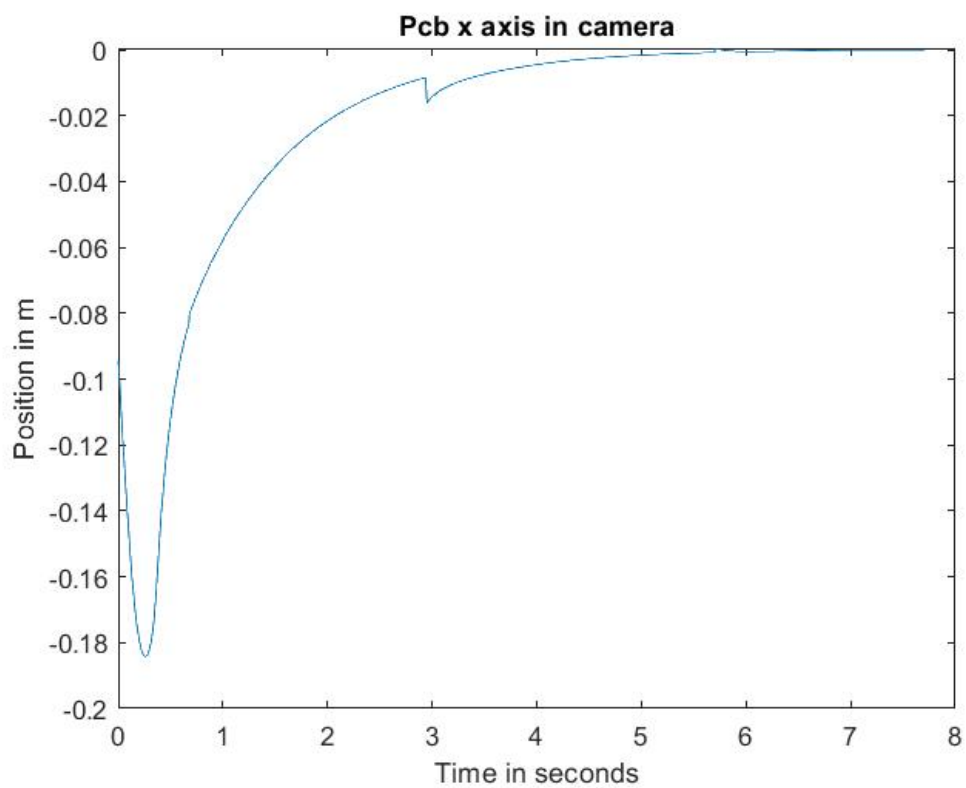


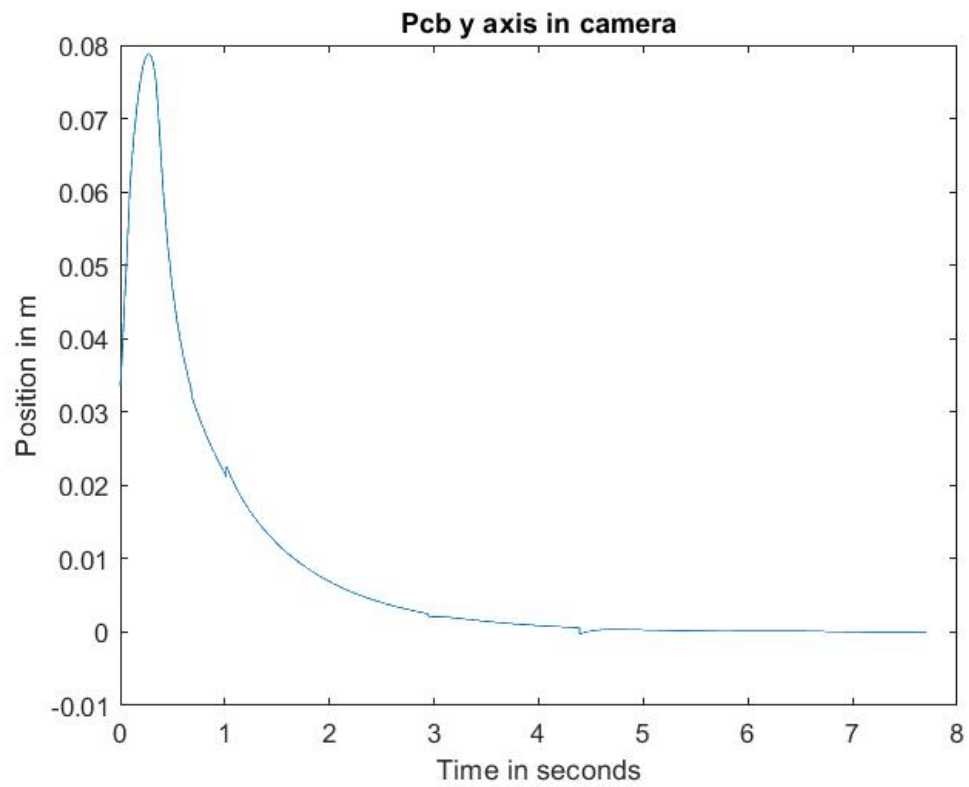
Σχετικές ταχύτητες μπάλας ως προς κάμερα στο πλαίσιο της κάμερας



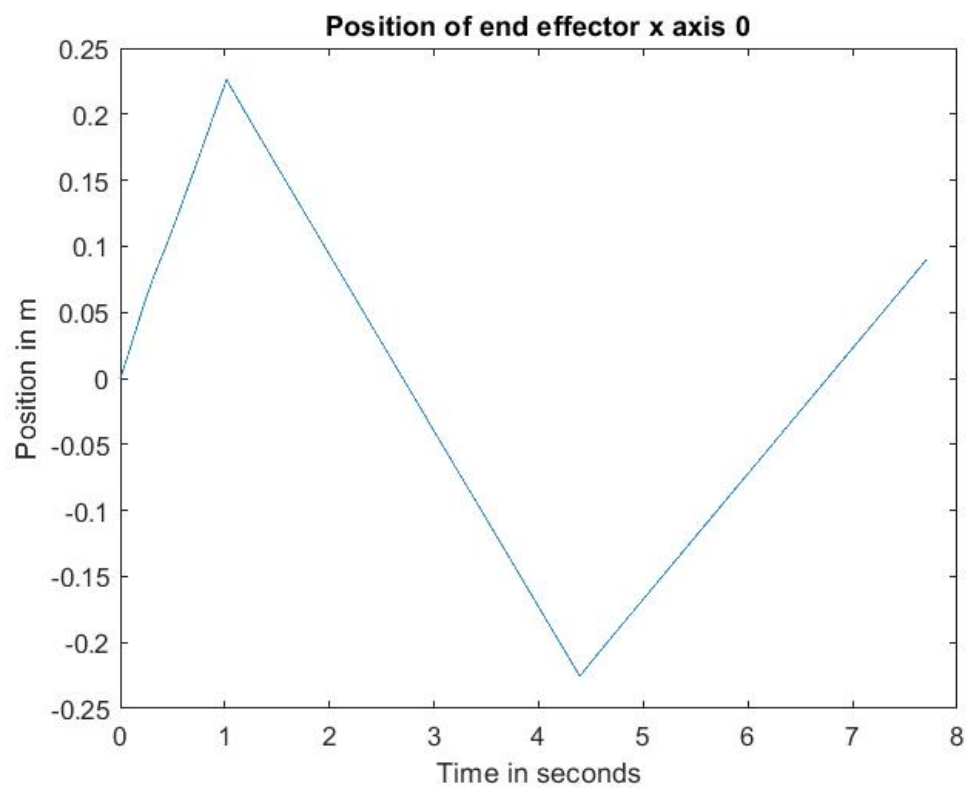


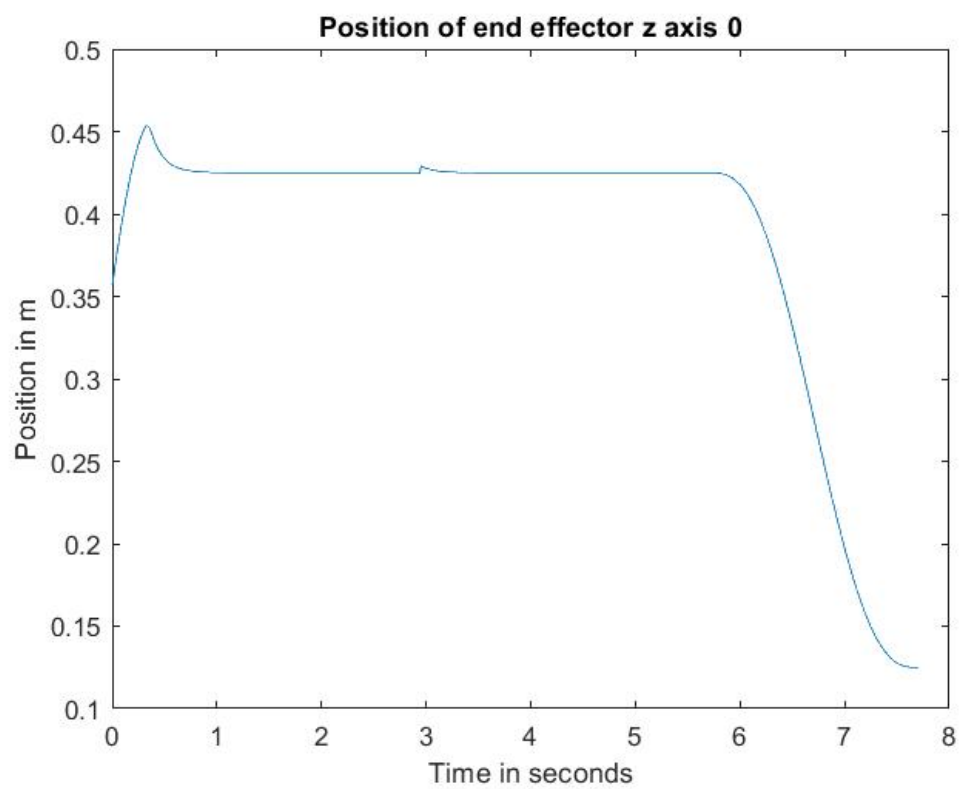
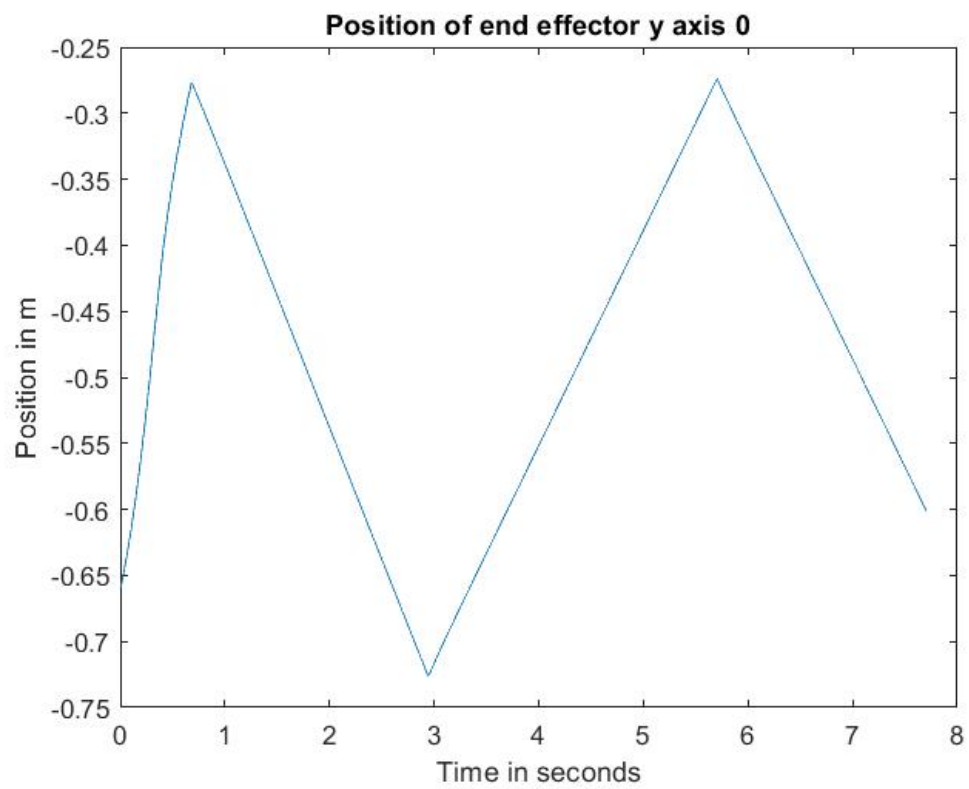
Σχετική θέση μπάλας ως προς κάμερα στο πλαίσιο της



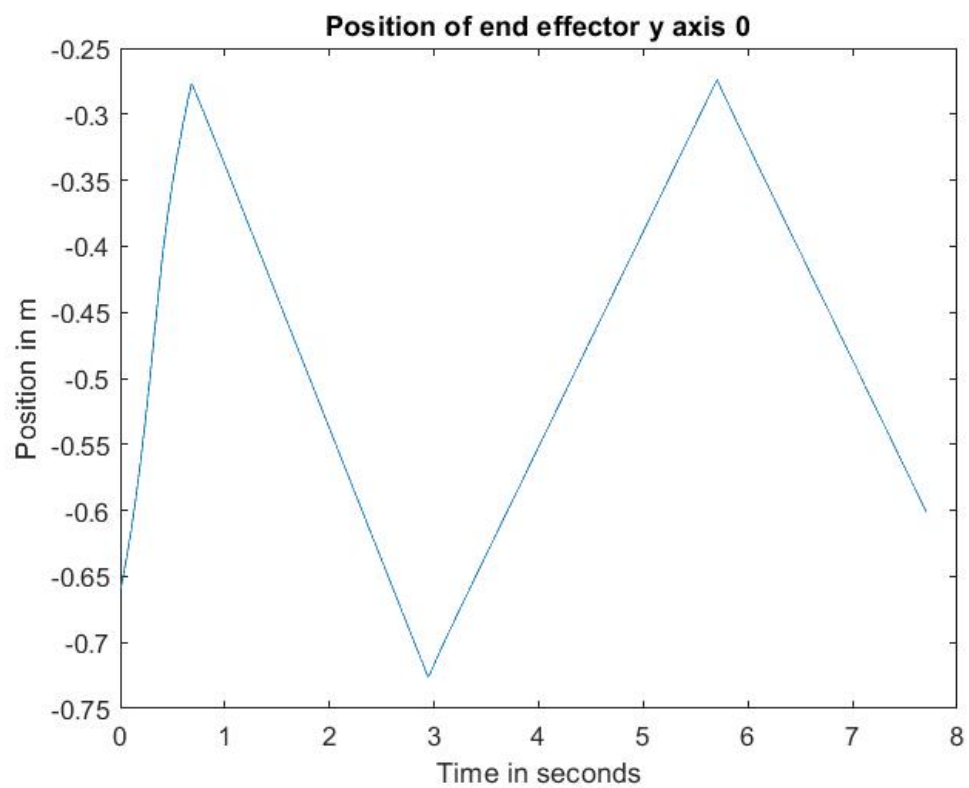
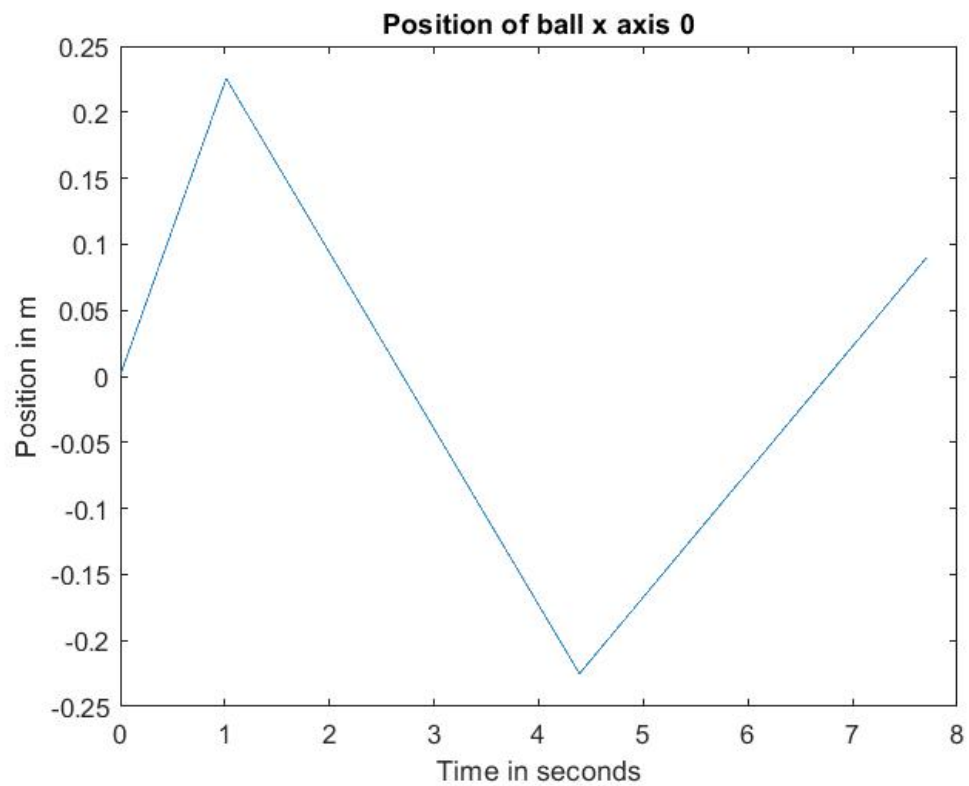


Θεση άκρου εκφρασμένη στο αδρανειακό πλαίσιο





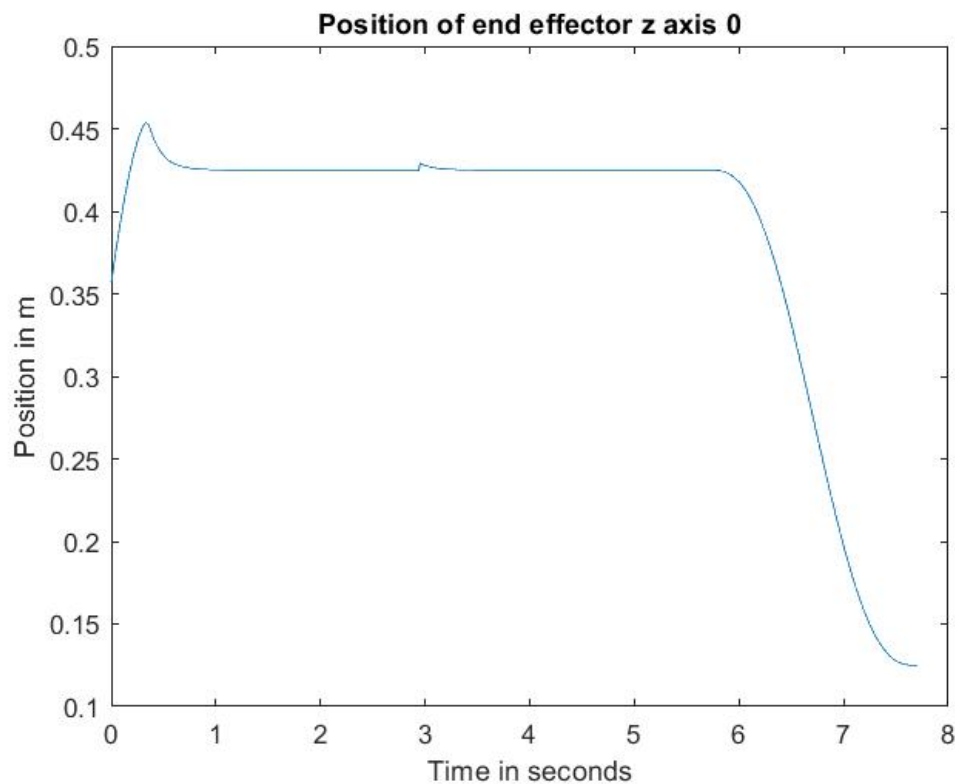
Θέση μπάλας συνιστώσες x και y στο αδρανειακό πλάσιο

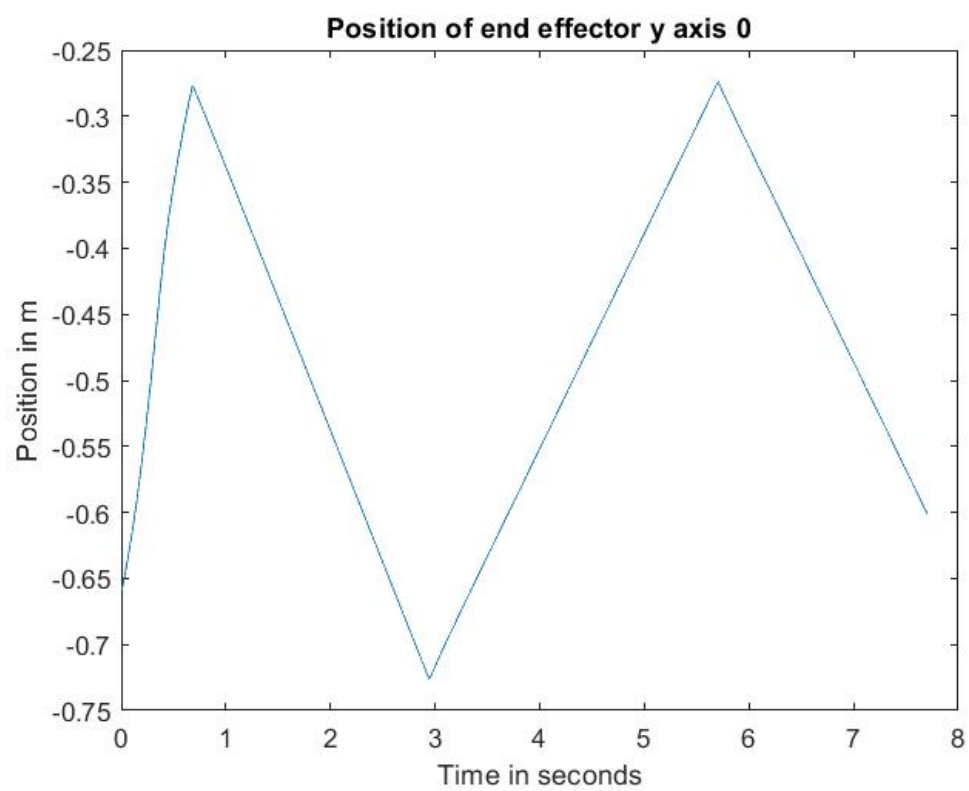
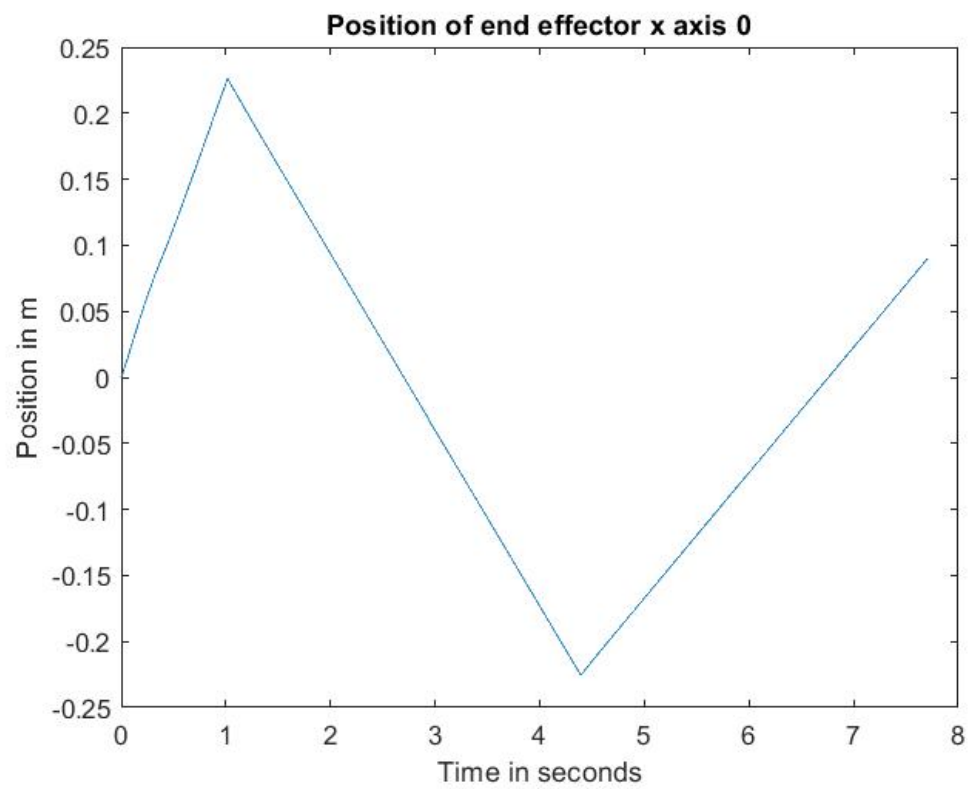


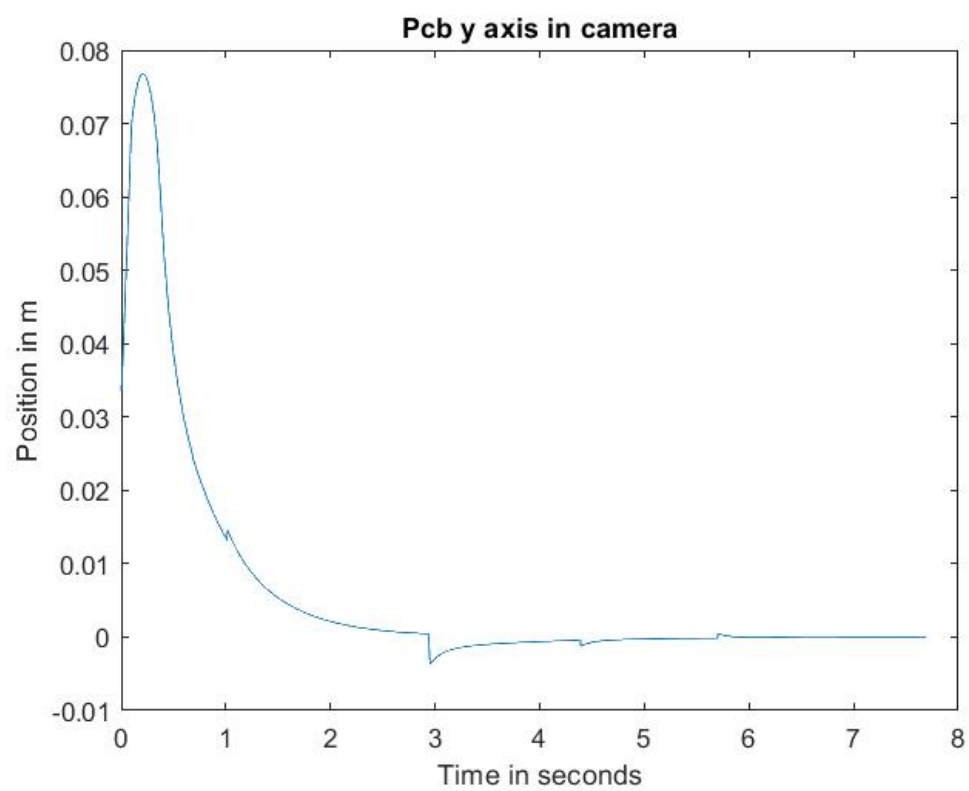
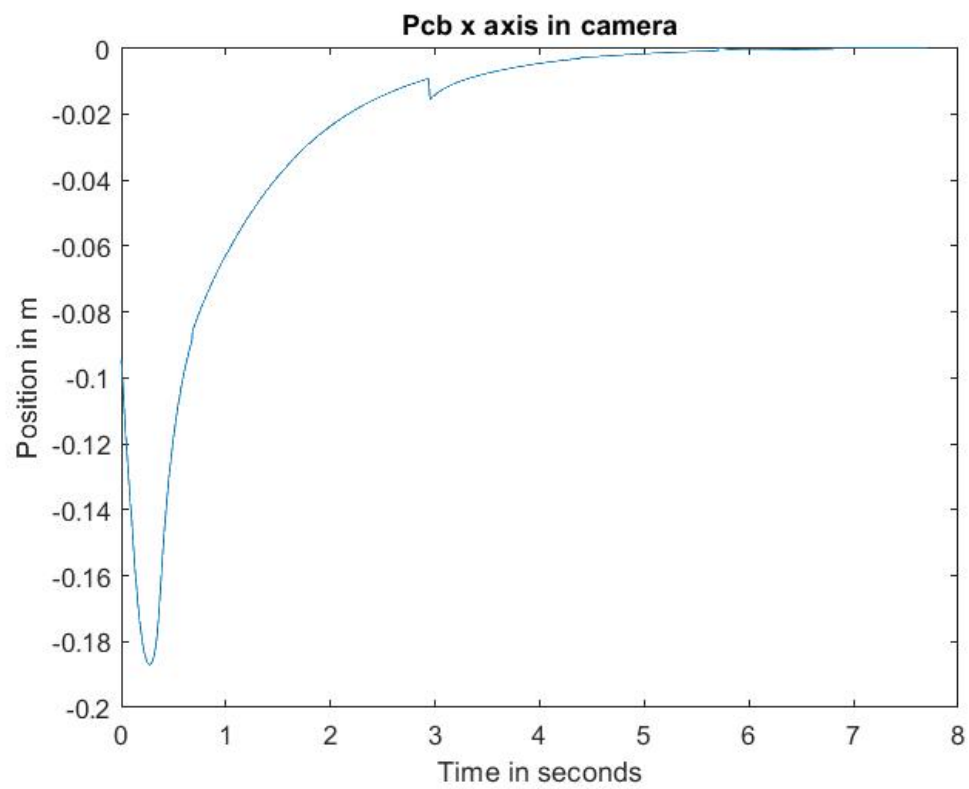
Απο τα τελευταία 5 διαγράμματα μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η προβολή της θέσης της κάμερας στο επίπεδο xy κατά την διάρκεια προσέγγισης της μπάλας είναι ίση με την θέση αυτή, επομένως η αρπάγη δεν έρχεται σε σύγκρουση ούτε με τα τοιχώματα ούτε με την μπάλα καθώς την πλησιάζει.

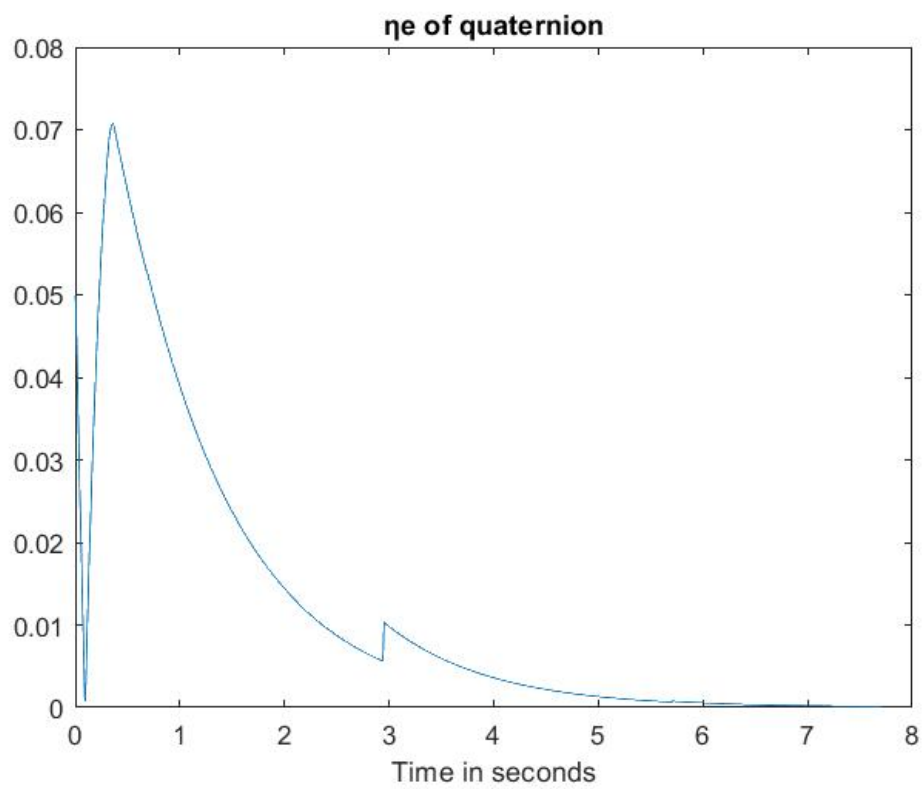
Στην συνέχεια παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων μια ακόμη περίπτωση προσέγγισης πάλι για χρόνο καθόδου 2 sec, αλλά αυτή την φορά με διαφορετικό προσανατολισμό. Για λόγους συντομίας της αναφοράς δεν παρατίθενται όλα τα διαγράμματα όπως προηγουμένως αλλά μόνο του προσανατολισμού και της θέσης του άκρου, ενώ έχει επισυναφθεί επίσης η αντίστοιχη οπτικοποίηση.

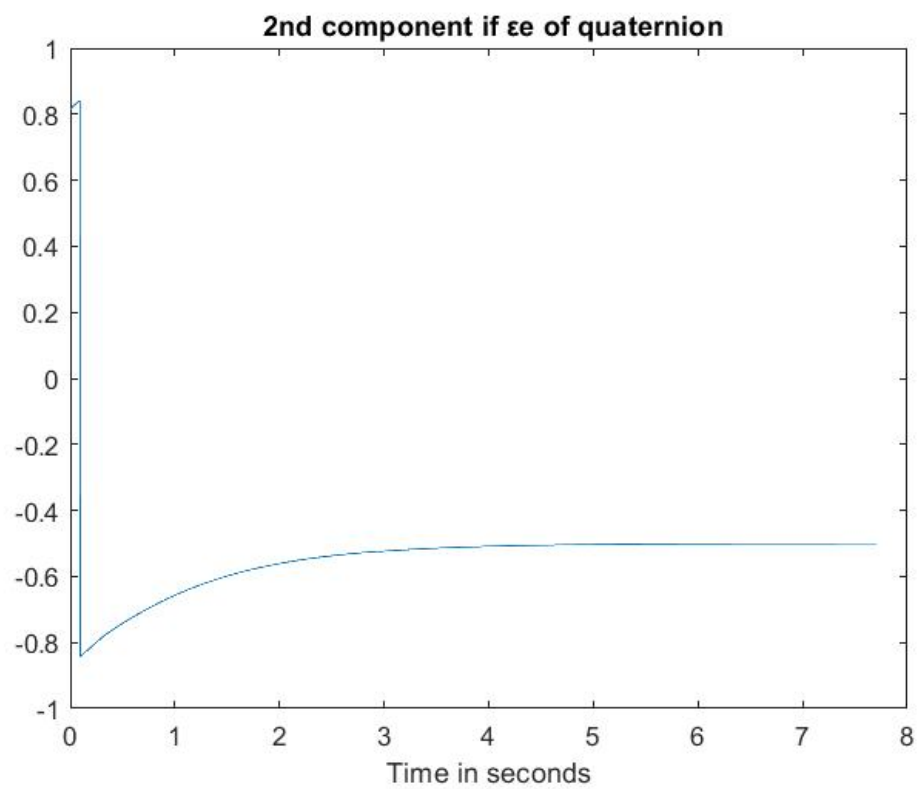
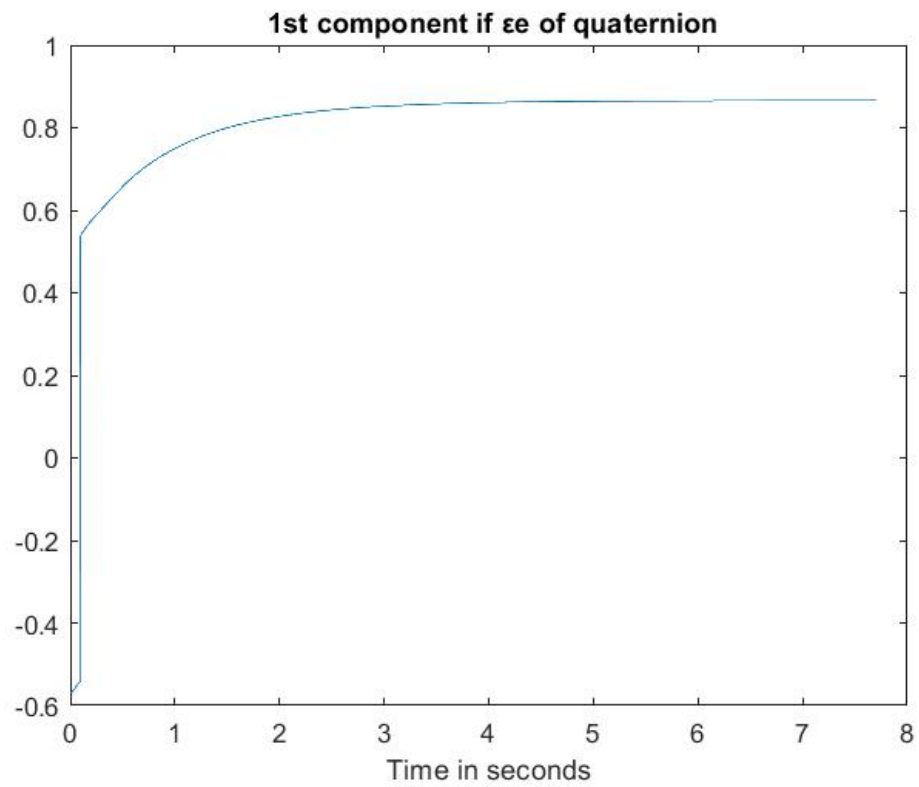
Θεση ακρου στο αδρανειακό

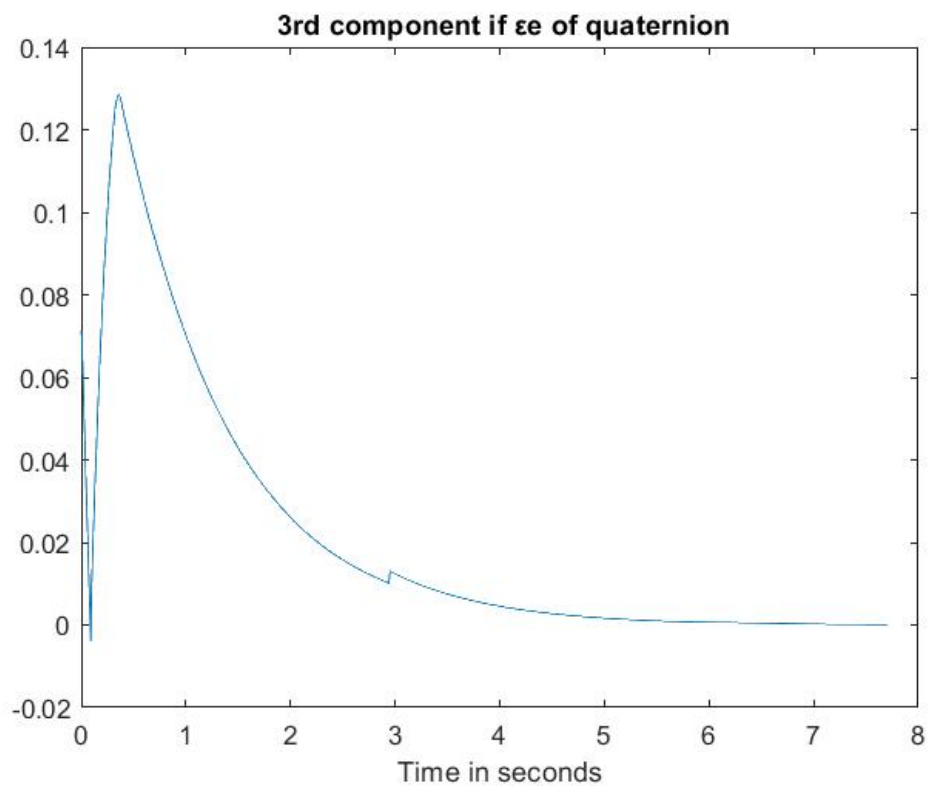




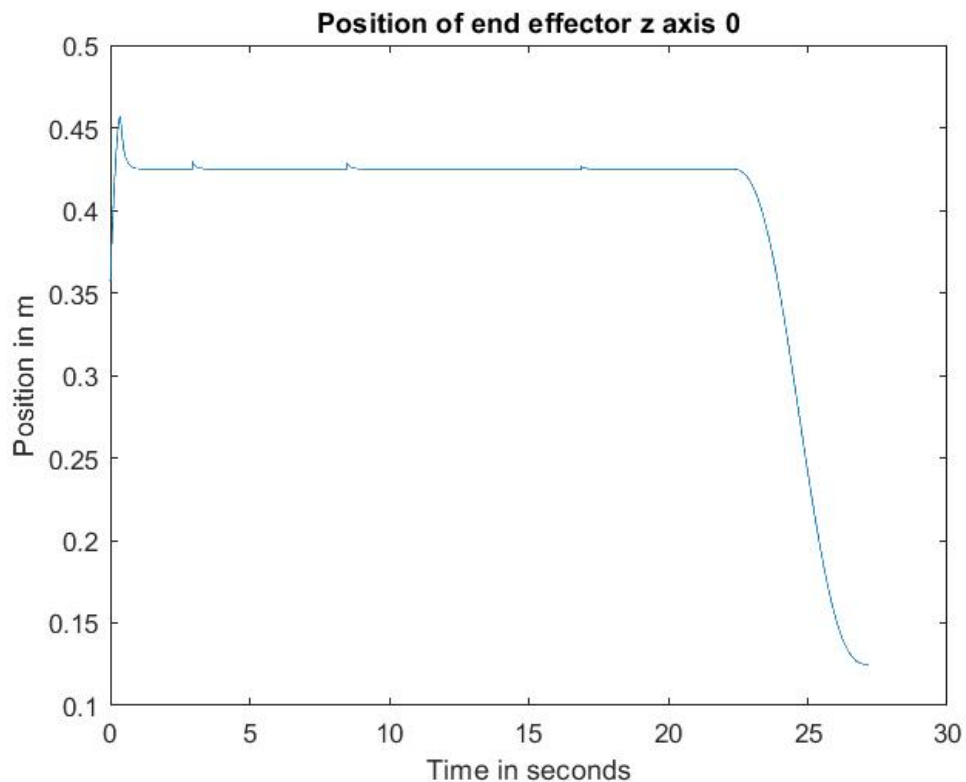




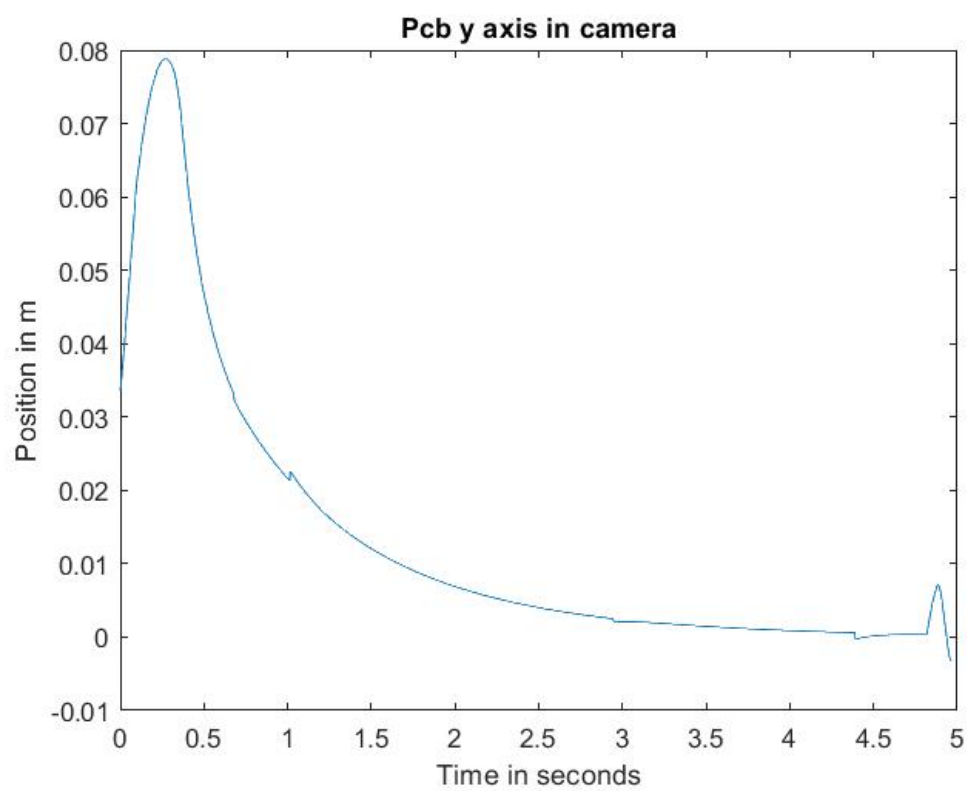
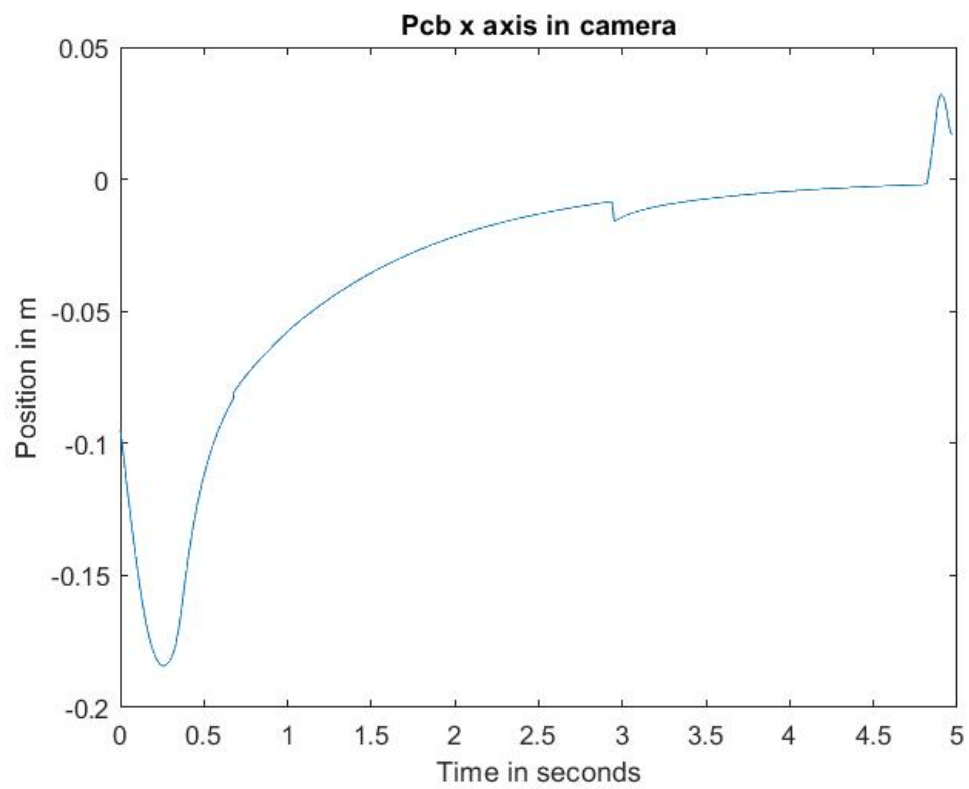


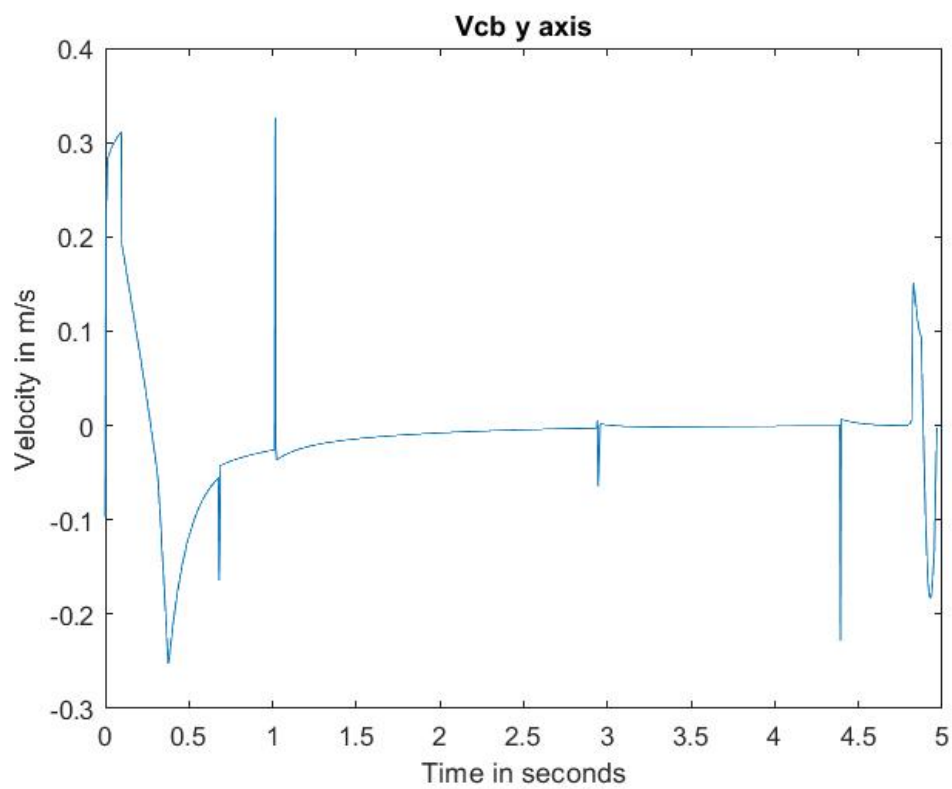
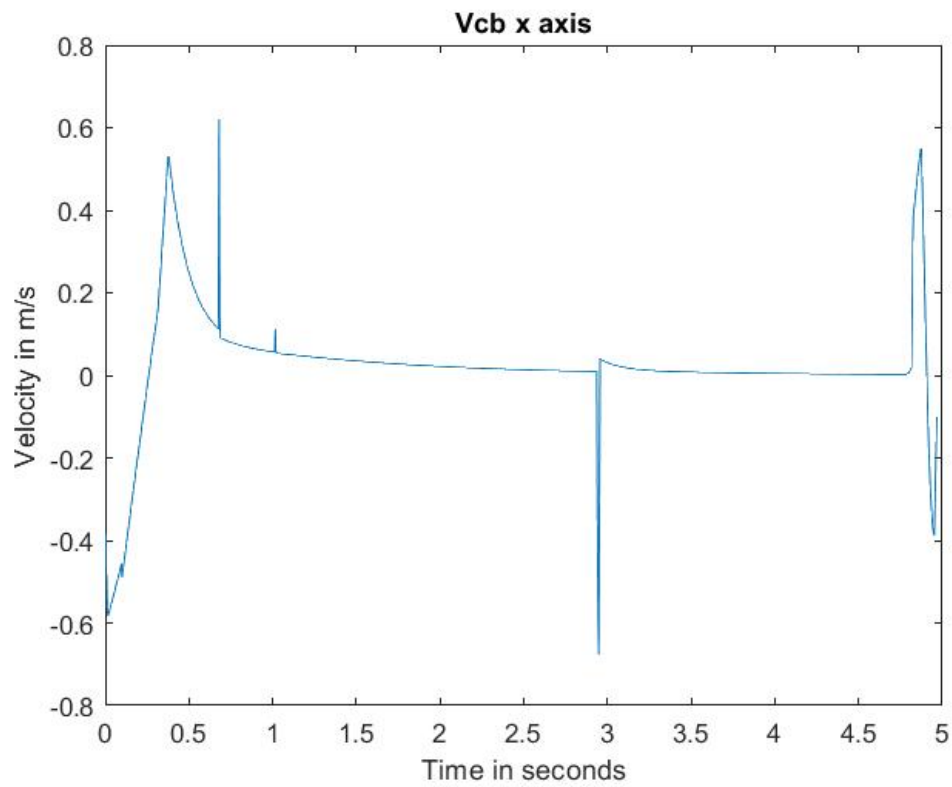


Τέλος παρουσιάζεται και το διαγράμμα της θέσης κατά τον άξονα z για επιθυμητό χρόνο κίνησης 5 sec.(τα υπολοιπα διαγράμματα δεν παρουσιάζονται για λόγους συντομίας της αναφοράς,ενώ έχει επισυναπτεί και εδώ η θέση αντιστοιχη οπτικοποίηση).



Για να γίνει φανερό ότι επιλογή του χρόνου για την κάθοδο του άκρου δεν μπορεί να είναι εντελώς αυθαίρετη παρουσιάζεται μια περίπτωση όπου αυτός ορίστηκε πολύ μικρός (0.2 sec) από το οποίο προκύπτει ότι λόγω περιορισμών στις ταχύτητες και στις επιταχύνσεις των αρθρώσεων δεν είναι εφικτή ο βραγχίονας να ακολουθήσει την ζητούμενη τροχιά και επομένως το άκρο δεν βρίσκεται ακριβώς πάνω από την μπάλα καθώς την προσεγγίζει.





Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα κατά την κάθοδο του άκρου προς την μπάλα υπάρχει σχετική κίνηση στους αξόνες x και y με το αντικείμενο, κάτι που είναι ανεπιθύμητο.

Από τα παραπάνω διαγράμματα και τις αντιστοιχες οπτικοποιήσεις φαίνεται ότι ο τρόπος και η θέση με τον οποίο προσεγγίζεται το αντικείμενο διαφοροποιείται ανάλογα με την επιλογή του επιθυμητού προσανατολισμού προσέγγισης και του επιθυμητού χρόνου για την κάθοδο του άκρου.Σαν μια τροποποίηση και βελτίωση της όλης διαδικασίας θα μπορούσε να προταθεί να επιλέγεται απο τον αλγόριθμο ελέγχου ο επιθυμητός προσανατολισμός για προσέγγιση του άκρου(με την προϋποθεση οτι πάντα το z της κάμερας θα είναι καθετο στο xy επιπεδο,όπως στις περιπτώσεις που παρουσιάστηκαν και ορίζεται από την εκφώνηση της εργασίας),καθώς και να επιλέγεται ο αντίστοιχος βέλτιστος χρόνος απο τον αλγόριθμο για την κάθοδο του άκρου (μέσω των περιορισμών και της ιακωβιανής του βραγχίονα για κάθε θέση).Ωστόσο κάτι τετοιο δεν υλοποιείται στα πλαίσια αυτής της εργασίας(λόγω και περιορισμένου χρόνου).Για περαιτέρω δοκιμές διαφορετικών προσανατολισμών και επιθυμητων χρόνων για την δοκιμή του 2^{ου} μέρους της εργασίας αρκει η κατάλληλη τροποποίηση των γραμμων 50 και 52 στο αρχείο robotics2 της εργασίας.