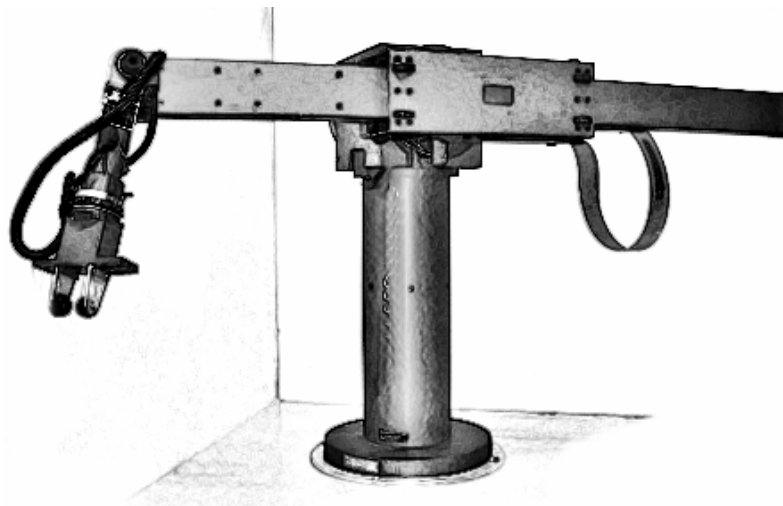




**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**



ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

**Επίβλεψη εργασίας:
Επικ. Καθηγητής Ε. Δοϊτσίδης**

**υπό
Αγογλωσσάκη Ασπασία
2012**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
1.1 Εισαγωγή	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	5
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	5
2.1 Εισαγωγή	5
2.2 Εκπαιδευτικά Λογισμικά Ρομποτικής	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	13
ΓΛΩΣΣΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (VRML – VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE)	13
3.1 Εισαγωγή.....	13
3.2 Γενικά για την VRML	13
3.3 Ιστορικά στοιχεία για την VRML	13
3.4 Εργαλείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης V- Realm Builder.....	14
3.5 Παράδειγμα Σχεδιασμού εικονικού κόσμου με χρήση του V-Realm Builder	15
3.6 Έλεγχος εικονικών κόσμων μέσω Simulink.....	21
3.7 Εναλλακτικά Εργαλεία μοντελοποίησης τρισδιάστατων αντικειμένων.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	27
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ STANFORD.....	27
4.1 Εισαγωγή.....	27
4.2 Ιστορικά στοιχεία για τον ρομποτικό βραχίονα Stanford.....	27
4.3 Ανάπτυξη τρισδιάστατου Μοντέλου	27
4.3.1 Σχεδιασμός βάσης του βραχίονα	28
4.3.2 Σχεδιασμός αρθρώσεων του βραχίονα	29
4.3.3 Σχεδιασμός άκρου εργασίας του βραχίονα	32
4.3.4 Ορισμός φόντου και δαπέδου του βραχίονα	33
4.3.5 Ορισμός Viewpoint του βραχίονα	33
4.4 Σύνδεση του εικονικού κόσμου με το Simulink	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	36
Έλεγχος Βραχίονα από Υπολογιστή.....	36
5.1 Εισαγωγή	36
5.2 Ο αλγόριθμος Denavit – Hartenberg.....	36
5.3 Ευθύ Κινηματικό Πρόβλημα	38
5.4 Αντίστροφο Κινηματικό Πρόβλημα	43
5.5 Προσομοίωση και Έλεγχος Βραχίονα από Υπολογιστή	45
5.5.1 Κεντρικό Μενού Επιλογής σε Γραφικό Περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη	45
5.5.2 Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής για την μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης.....	46
5.5.3 Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής για την μελέτη του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης.....	48
5.6 Παραδείγματα	49
5.6.1 Πείραμα 1: Μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης	49
5.6.2 Πείραμα 2: Μελέτη του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης	51
5.6.3 Στοιχείο κατανόησης θεωρίας	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Η Ρομποτική είναι εκείνος ο κλάδος της επιστήμης του μηχανικού που ασχολείται με τη σύλληψη, το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία ενός ρομπότ. Τα ρομπότ είναι μηχανές, η χρήση των οποίων αποσκοπεί στην αντικατάσταση του ανθρώπου κατά την εκτέλεση ενός έργου. Η αντικατάσταση αυτή αφορά τόσο στο φυσικό επίπεδο του έργου όσο και στο επίπεδο λήψης απόφασης.¹

Στην παρακάτω πτυχιακή εργασία στόχος είναι η τρισδιάστατη μοντελοποίηση αλλά και η προσομοίωση λειτουργίας ενός ρομποτικού βραχίονα τύπου Stanford Arm. Ο ρομποτικός βραχίονας Stanford έχει έξι βαθμούς ελευθερίας (6 Degrees Of Freedom – DOF). Ήταν ένα από τα πρώτα “ρομπότ” και σχεδιάστηκε αποκλειστικά για έλεγχο από υπολογιστή.

Η δομή της διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη:

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση των συστημάτων – εργαλείων για τη προσομοίωση ρομποτικών συστημάτων που έχουν αποτελέσει αντικείμενο εκπαιδευτικών εφαρμογών.

Στο 3^ο κεφάλαιο δίνεται μια σύντομη περιγραφή της γλώσσας VRML και του τρόπου διασύνδεσης των αντικειμένων που δημιουργούνται με τη βοήθεια αυτής με το λογισμικό MATLAB. Παρουσιάζεται ένα παράδειγμα του τρόπου δημιουργίας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου και ο τρόπος ελέγχου του από το λογισμικό MATLAB.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή του τρόπου σχεδιασμού του τρισδιάστατου μοντέλου του ρομποτικού βραχίονα σε εικονικό περιβάλλον καθώς και δίδονται οι εξισώσεις που περιγράφουν την κινηματική του.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής, που επιλύοντας το ευθύ και το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα κινεί τον μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα. Τέλος παρουσιάζονται απλά παραδείγματα που επιβαιβεώνουν την ορθή λειτουργία του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Η ρομποτική, αποτελεί ιδανικό αντικείμενο εκπαίδευσης νέων μηχανικών καθώς τους βοηθά να κατανοήσουν βασικές αρχές ανάλυσης συστημάτων, να διαχειρίζονται έργα δουλεύοντας σε ομάδες και να μπορούν να σχεδιάζουν, να υλοποιούν και να προγραμματίζουν. Οι προγραμματιζόμενες ρομποτικές κατασκευές προσφέρουν δυναμική στην εκπαίδευση καθώς δίνουν την δυνατότητα στους εκπαιδευόμενους να συνθέσουν μια μηχανική οντότητα την οποία θα κατευθύνουν με τη βοήθεια λογισμικού (software) κερδίζοντας έτσι εμπειρία σε διαχείριση έργων.²

2.2 Εκπαιδευτικά Λογισμικά Ρομποτικής

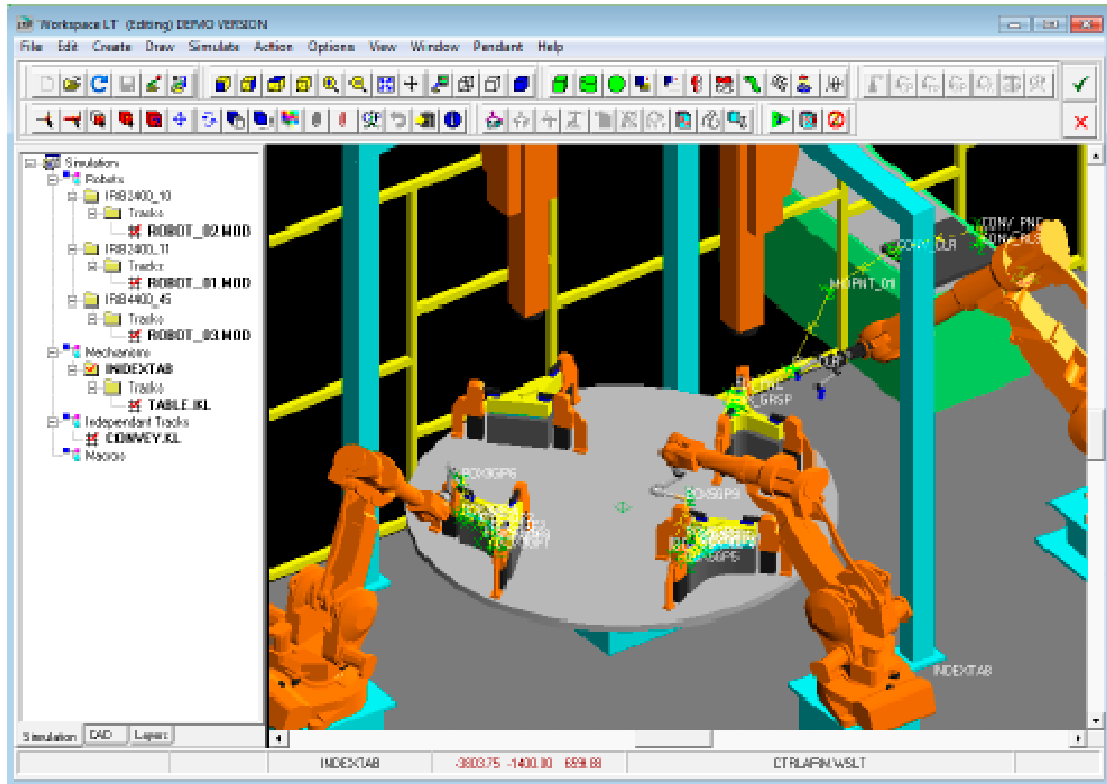
Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης της ρομποτικής, διατίθενται διάφοροι τύποι λογισμικών που συνεισφέρουν στη εκπαιδευτική δραστηριότητα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά παραδείγματα:

Workspace LT

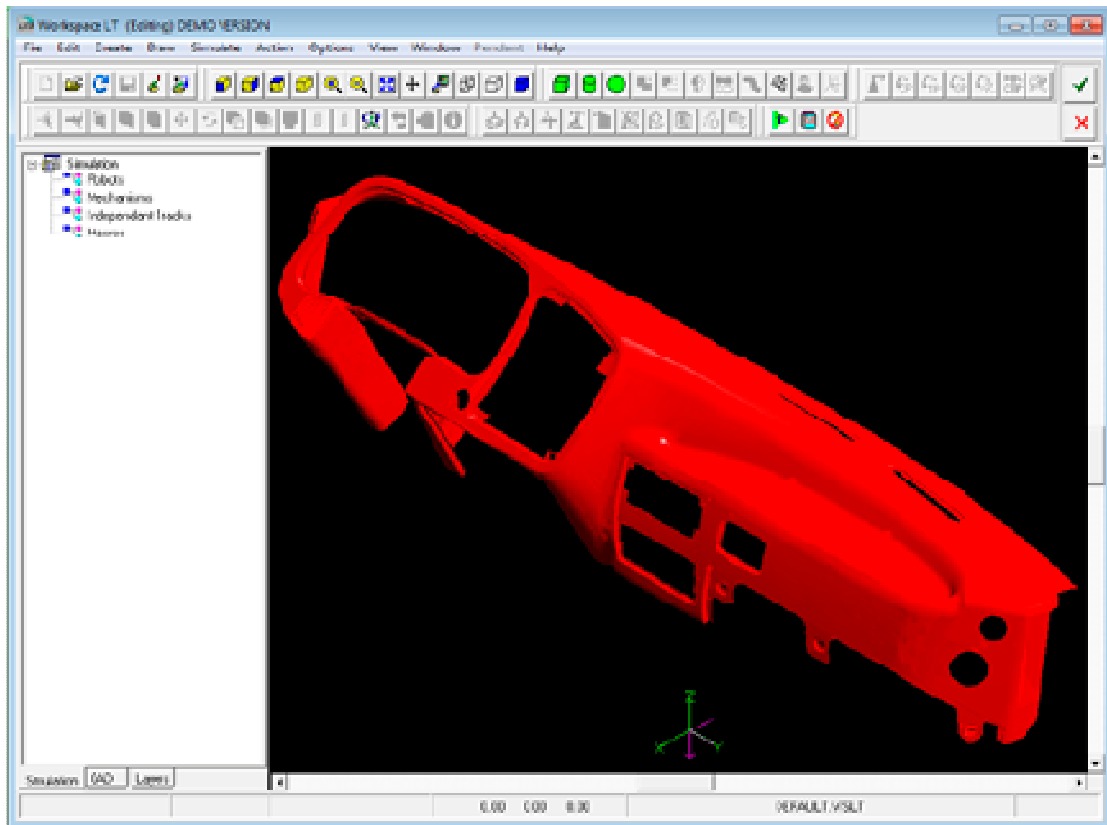
Το Workspace χρησιμοποιείται για την προσομοίωση βιομηχανικού τύπου ρομπότ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Παρέχει μια προσιτή λύση για την διδασκαλία των εννοιών, τον προγραμματισμό των ρομπότ αλλά και των αυτοματισμών. Επιτρέπει τη μέγιστη χρήση ενός περιορισμένων πόρων εργαστηρίου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

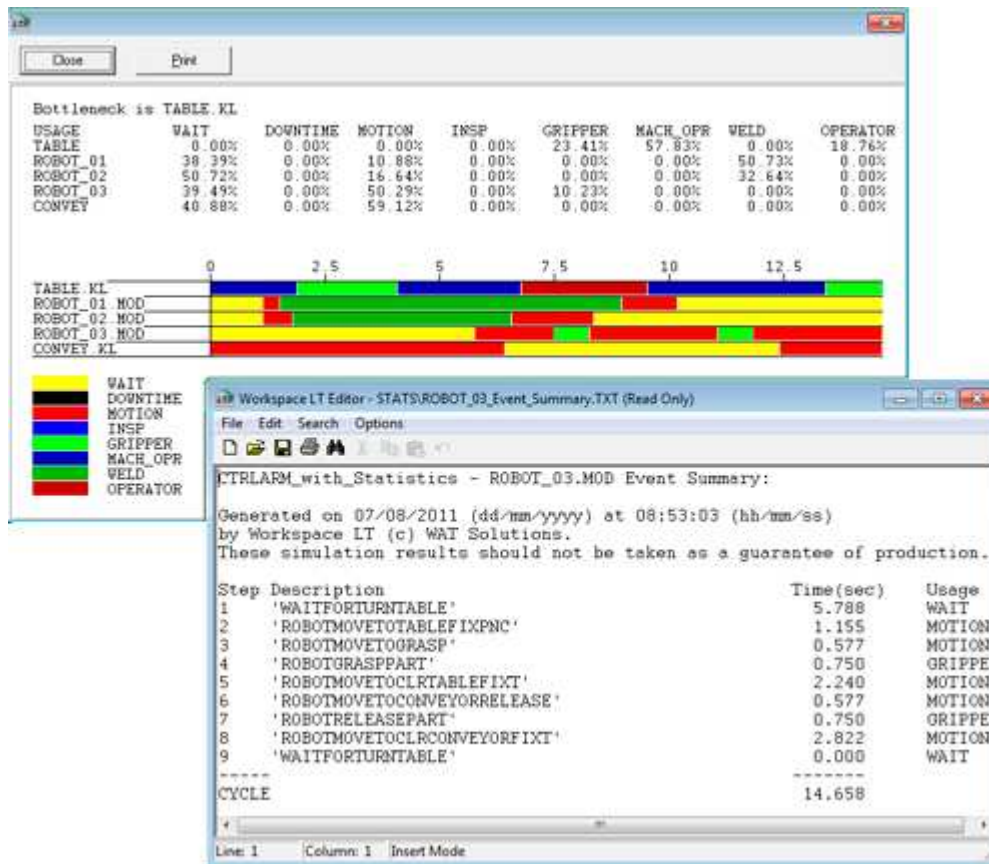
- 3D CAD σχεδιασμός (έτσι εξαιρείται η ανάγκη για επιπλέον λογισμικό CAD)
- Ακριβής κινηματική μοντελοποίηση των ρομπότ και των μηχανισμών.
- Ανίχνευση και προσδιορισμό συγκρούσεων
- Παροχή εγγραφής βίντεο και δημιουργίας αναφορών για εκπαιδευτικούς σκοπούς³



Σχήμα 2.1 Workspace, γραφικό περιβάλλον χρήστη



Σχήμα 2.2 Workspace, 3D CAD

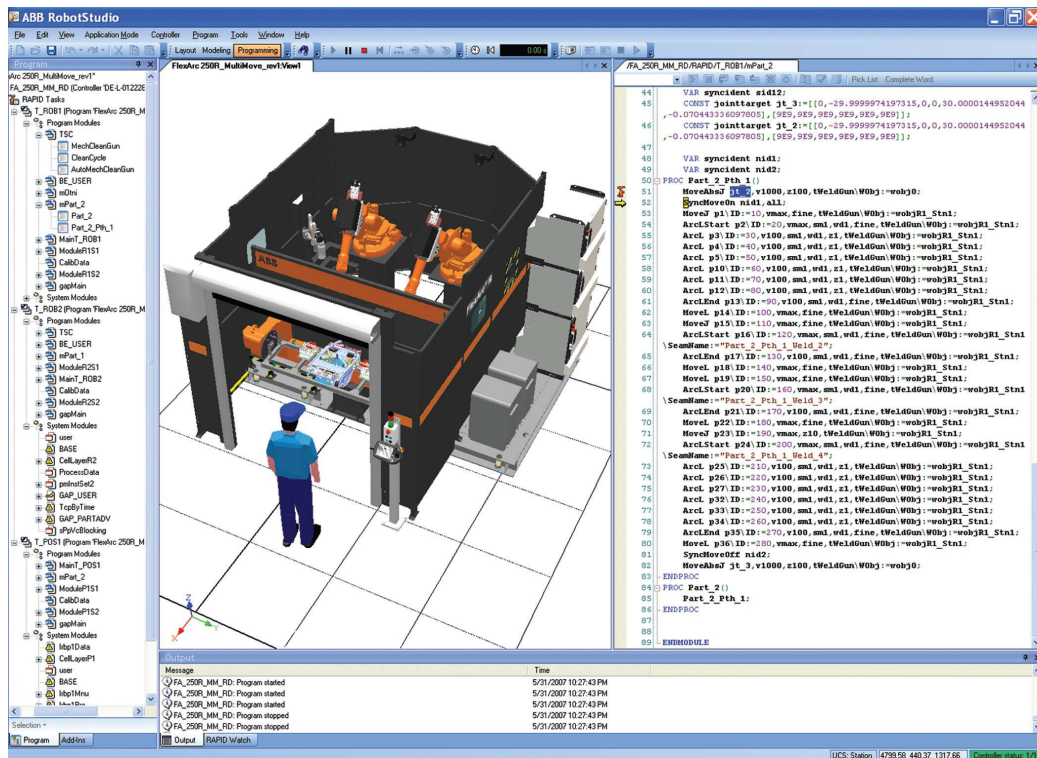


Σχήμα 2.3 Workspace, Δημιουργία αναφορών του έργου

Robot Studio

Το Robot Studio είναι προϊόν που επιτρέπει την προσομοίωση πραγματικών ρομποτικών συστημάτων πριν αυτά εγκατασταθούν στην πραγματικότητα σε ένα χώρο εργασίας. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του Robot Studio είναι τα εξής:

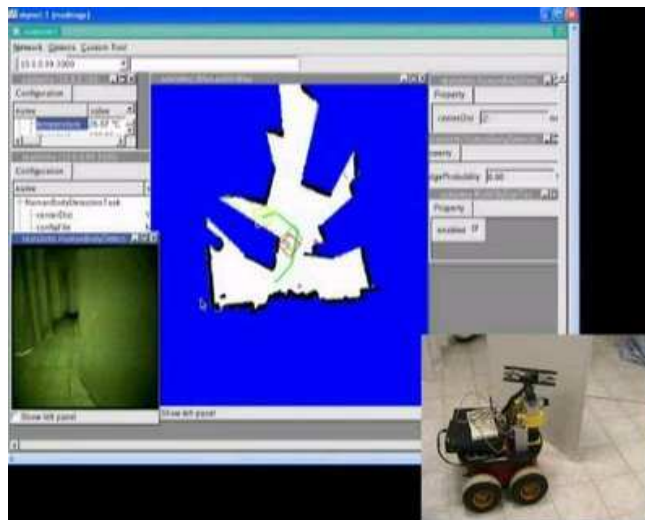
- Προσομοίωση monitor το οποίο είναι ένα οπτικό εργαλείο για την βελτιστοποίηση της κίνησης του ρομπότ.
- Επιλογή ανίχνευσης σφαλμάτων (debugging)
- Οι χρήστες μπορούν να διαμορφώσουν τα δικά τους κομμάτια, εργαλεία ή αρπαγές για χρήση σε προσομοιώσεις.
- Δίνει την δυνατότητα στον χρήστη μέσω του Screen Recorder να κάνει καταγραφή του έργου του το οποίο είναι χρήσιμο για εκπαιδευτικούς σκοπούς.⁴



Σχήμα 2.4 Γραφικό περιβάλλον λογισμικού Robot Studio

OpenRDK

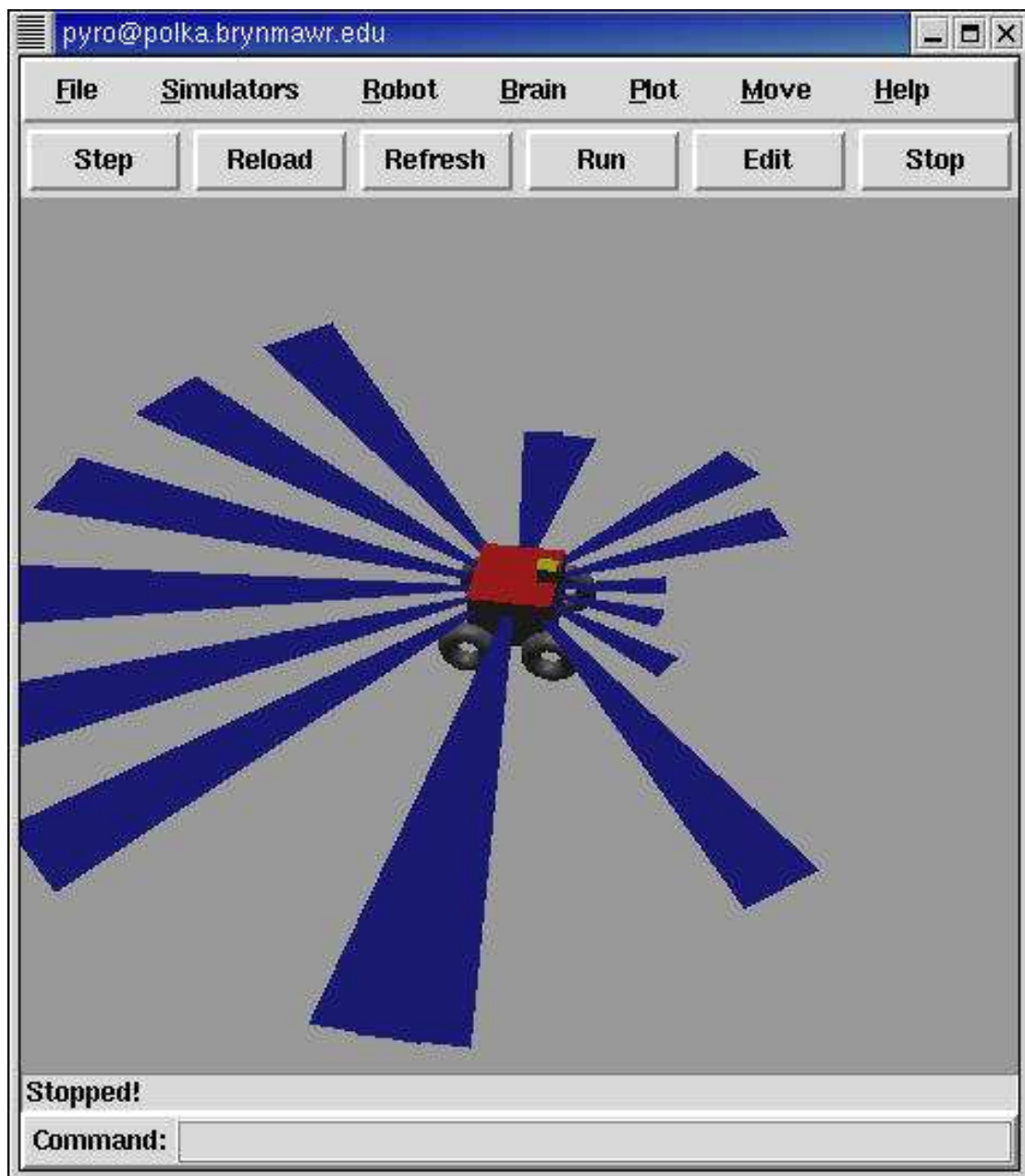
Το OpenRDK είναι λογισμικό ανοικτού κώδικα, σχεδιασμένο για ρομποτικές εφαρμογές. Έχει κατασκευαστεί ακολουθώντας τις συμβουλές των χρηστών. Η κονσόλα του OpenRDK επιτρέπει χειρισμό εξ αποστάσεως, επιθεώρηση, ενημέρωση παραμέτρων κτλ. Το OpenRDK έχει χρησιμοποιηθεί από πανεπιστήμια αλλά και εργαστήρια.



Σχήμα 2.5 Κονσόλα του OpenRDK

Pyro Software

Είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού για προχωρημένα θέματα τεχνητής νοημοσύνης και ρομποτικής. Χρησιμοποιείται για ερευνητικούς και διδακτικούς σκοπούς στο αντικείμενο της ρομποτικής. Το Pyro επιτρέπει στους σπουδαστές να πειραματιστούν με διαφορετικά ρομπότ με την εκμάθηση μονάχα μιας γλώσσας προγραμματισμού. Μερικά από τα ρομπότ που υποστηρίζονται είναι: Pioneer, Pioneer 2, PeopleBot Robots, Khepera, Khepera 2, Hemisson Robots και από τα AIBO το Intellibrain-bot , Roomba.



Σχήμα 2.6 Γραφικό περιβάλλον Pyro

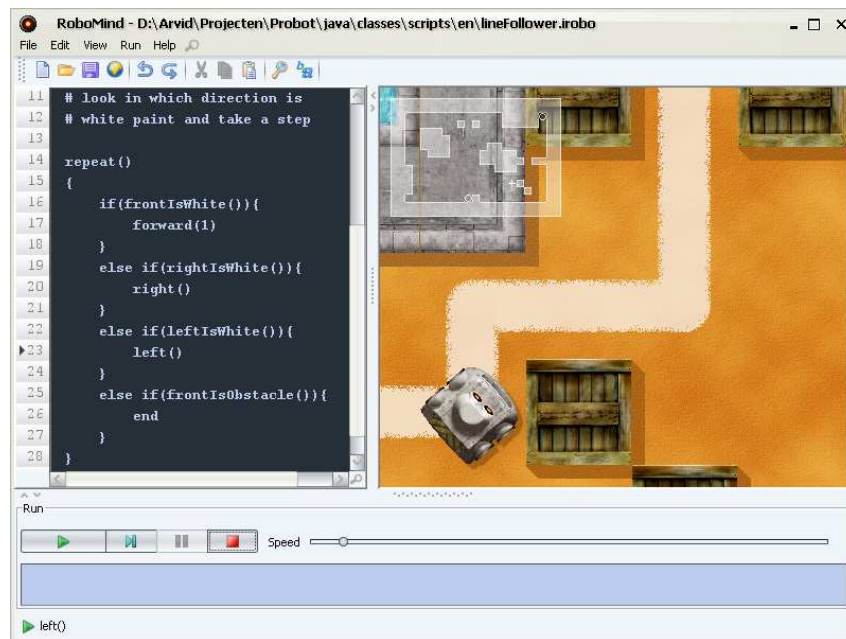
Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

- Λογισμικό ανοιχτού κώδικα για μελέτη ή αλλαγή
- Σχεδιασμένο κατάλληλα για φοιτητές, διδάσκοντες και ερευνητές

➤ Δυνατότητα λειτουργίας σε πολλές πραγματικές πλατφόρμες ρομποτικής και εξομοιωτές.⁵

Robomind Software

Είναι λογισμικό που αναπτύχθηκε για να υποστηρίζει την τεχνολογική εκπαίδευση. Με το προγραμματισμό ενός ρομπότ οι μαθητές μαθαίνουν για την λογική, την επιστήμη των υπολογιστών και της ρομποτικής. Έχει την δικιά του απλή γλώσσα προγραμματισμού “Robo”. Είναι κατάλληλο για την πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Τέλος υποστηρίζει LEGO Mindstorms NXT.⁶



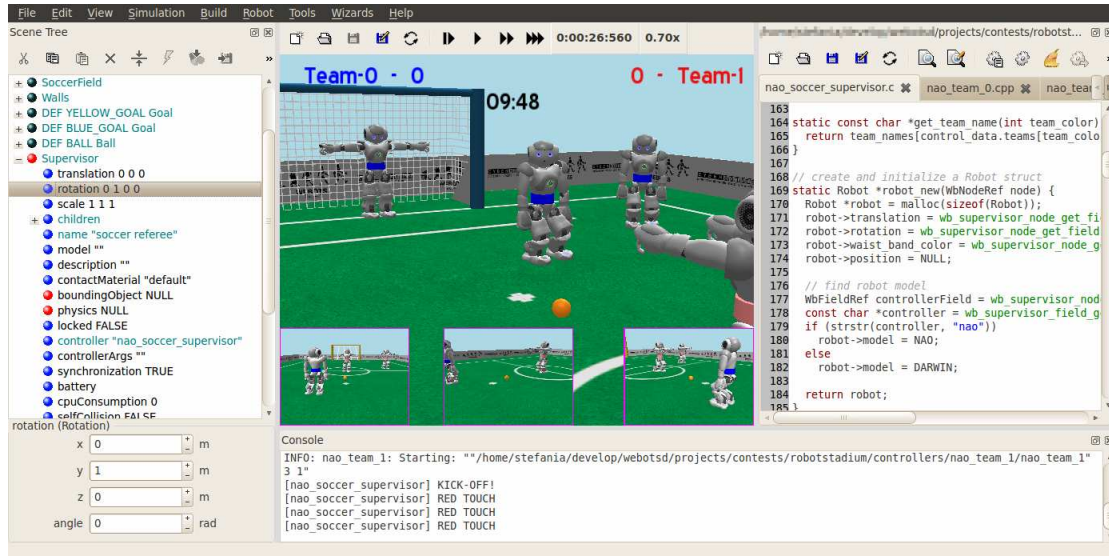
Σχήμα 2.7 Λογισμικό Robomind



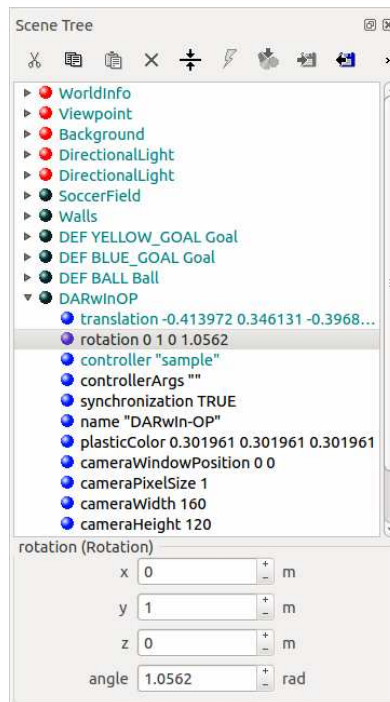
Σχήμα 2.8 Παράδειγμα κώδικα Robomind

Webots Software

Είναι λογισμικό ανάπτυξης και προσομοίωσης μοντέλων κινούμενων ρομπότ. Ο χρήστης είναι σε θέση να σχεδιάσει πολύπλοκες ρομποτικές εφαρμογές. Οι ιδιότητες κάθε αντικειμένου επιλέγονται από τον χρήστη όπου του δίνεται η δυνατότητα να προσομοιώσει με ακρίβεια τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων όπως ταχύτητα, αδράνεια και τριβή. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία Open Dynamics Engine με την οποία καθιστάτε δυνατή η ανίχνευση συγκρούσεων. Τέλος παρέχει την επιλογή να καταγράφει τις προσομοιώσεις και να λαμβάνει στιγμιότυπα Έχει χρησιμοποιηθεί σε πάνω από 750 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. ^{7,8}



Σχήμα 2.9 Περιβάλλον εργασίας χρήση του λογισμικού Webots



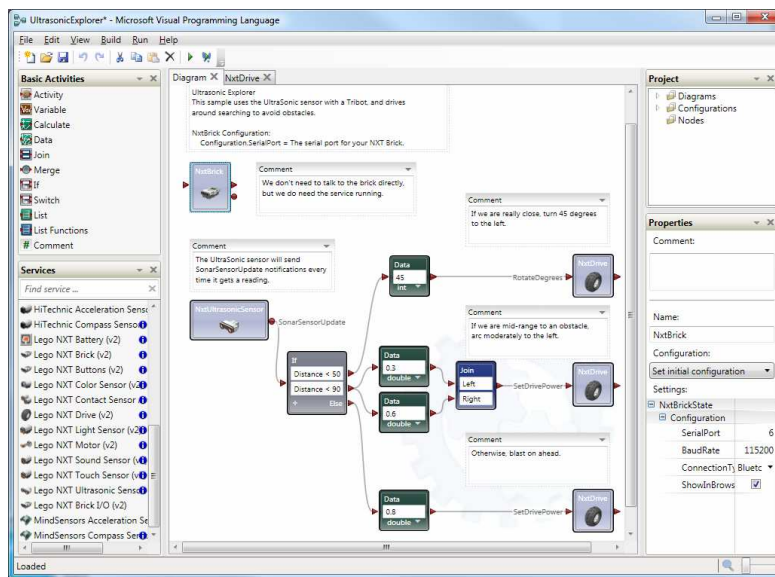
Σχήμα 2.10 Παράδειγμα δημιουργίας δέντρου στο Webots

Microsoft Robotics Developer Studio

Το Microsoft RDS βασίζεται στο περιβάλλον Microsoft Windows και απευθύνεται σε σπουδαστές, ακαδημαϊκούς αλλά και χομπίστες καθώς δίνει τη δυνατότητα ανάπτυξης ενός πλήθους ρομποτικών εφαρμογών με ταυτόχρονη χρήση ενός ευρέως φάσματος υλικού. Είναι εξοπλισμένο από μια σειρά οπτικών εργαλείων προσομοίωσης καθώς και πρότυπα (tutorials) που βοηθούν το χρήστη να ξεκινήσει. Παρέχει επίσης υποστήριξη για απομακρυσμένη παρακολούθηση και έλεγχο ενός ρομπότ με τη χρήση HTML και JavaScript.⁹



Σχήμα 2.11 Γραφικό περιβάλλον σχεδιασμού του Microsoft RDS



Σχήμα 2.12 Γραφικό περιβάλλον πακέτου ελέγχου και προσομοίωσης ρομπότ του Microsoft RDS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

VRML - ΓΛΩΣΣΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η VRML (Virtual Reality Modeling Language – Γλώσσα Μοντελοποίησης Εικονικής Πραγματικότητας) καθώς και ένα παράδειγμα με τις βασικές λειτουργίες και τη επεξεργασία αντικειμένων στο V-Realm Builder.

3.2 Γενικά για την VRML

Η VRML είναι μια γλώσσα προγραμματισμού που μας επιτρέπει να σχεδιάζουμε και να χειριζόμαστε τρισδιάστατα αντικείμενα. Η κατάληξη των αρχείων που δημιουργεί είναι .wrl, τα αρχεία αυτά μπορούν να συγγραφούν από ένα οποιονδήποτε κειμενογράφο (text editor) ή μπορούν υποστηριχθούν από μια εφαρμογή τρισδιάστατης μοντελοποίησης όπως 3D Studio Max, V-Realm Builder, FormZ, κλπ.

Η VRML χρησιμοποιείται με τον ίδιο τρόπο για να σχηματίζει και τρισδιάστατους κόσμους στο παγκόσμιο δίκτυο όπως και η HTML, η οποία χρησιμοποιείται για να σχηματίσει συγκεκριμένες σελίδες δικτύου. Η φιλοσοφία του σχεδιασμού ενός τρισδιάστατου χώρου με αντικείμενα είναι η ίδια με όλα τα συνηθισμένα προγράμματα τρισδιάστατων γραφικών. Το πλεονέκτημα της είναι ότι δεν χρειάζεται χρόνο επεξεργασίας από πριν (redering) του εικονικού χώρου αλλά τον υπολογίζει σε αμελητέο χρονικό διάστημα. Φυσικά τα γραφικά στοιχεία υστερούν αφού δεν εμφανίζει σκιές, κάποια είδη ανακλάσεων και άλλες ιδιότητες του φωτός.

Όμως ο προγραμματισμός με την VRML είναι πολύ απλός και ένα από τα πλεονεκτήματα της είναι ότι το αρχείο με τον εικονικό κόσμο που θα δημιουργηθεί είναι πολύ μικρού μεγέθους και η αποστολή του μέσω διαδικτύου είναι πολύ εύκολη. Επίσης χαρακτηριστικό της είναι ότι μπορεί να επικοινωνήσει με άλλα προγράμματα, κείμενα HTML ή άλλους παρόμοιους τύπους που είναι αποτελεσματικοί.

Η πρώτη έκδοση VRML επέτρεπε την δημιουργία εικονικών κόσμων με περιορισμένη αλληλεπίδραση στην συμπεριφορά τους. Οι μεταγενέστερες εκδόσεις VRML επιτρέπουν την αποτελεσματικότερη συμπεριφορά, δυναμικής κίνησης, διανοητικής κλίσης, φυσικής και αλληλεπίδραση πολλών χρηστών σε αληθινό χρόνο.

10 11

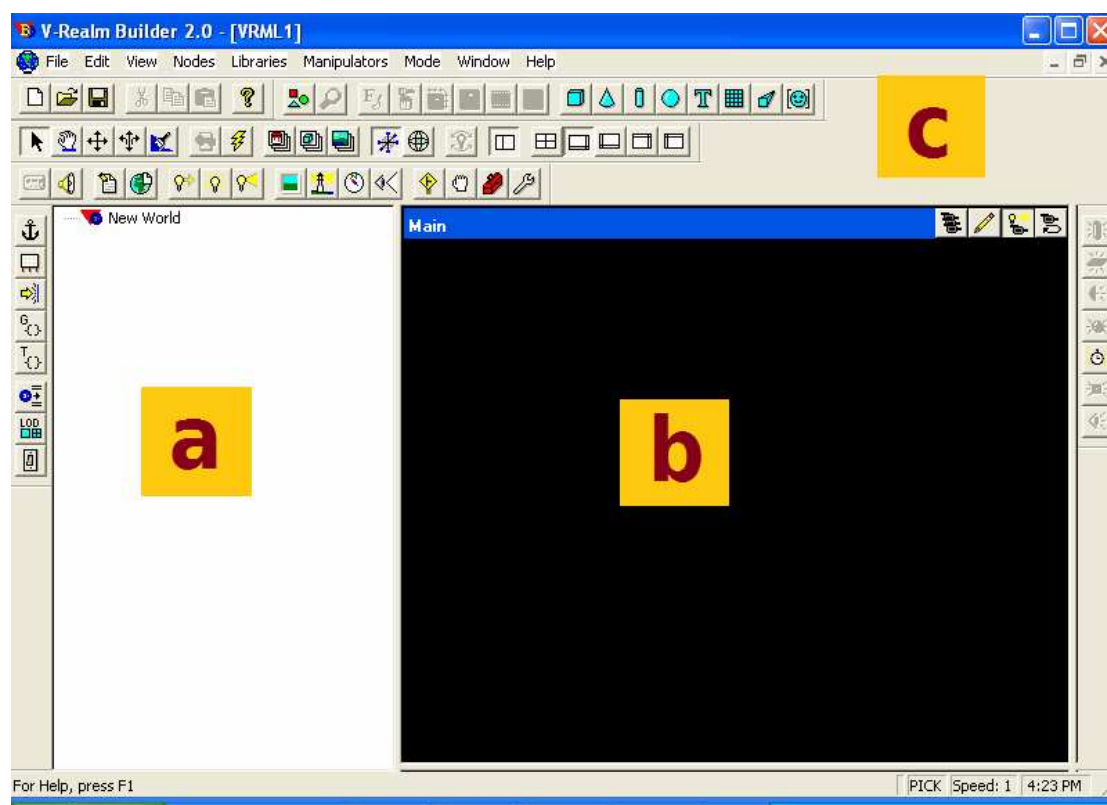
3.3 Ιστορικά στοιχεία για την VRML

Η VRML συνελήφθη σαν ιδέα το 1994 στο πρώτο παγκόσμιο συνέδριο για τον παγκόσμιο ιστό στη Γενεύη της Ελβετίας. Οι παρευρισκόμενοι συμμερίστηκαν την ανάγκη για τρισδιάστατα εργαλεία οπτικοποίησης που να συμβαδίζουν με το δίκτυο και να έχουν μια κοινή γλώσσα για την περιγραφή των τρισδιάστατων εικόνων και του WWW. Έπειτα από το συνέδριο άρχισε η ανάπτυξη και ο καθορισμός της πρώτης έκδοσης VRML. Ο πυρήνας της VRML ήταν ένα υποσύνολο του συντάκτη αρχείων

ASCII με επεκτάσεις που υποστήριζαν δικτυακές υπηρεσίες. Όμως, μέσα στην βιασύνη τους να δώσουν στη VRML πιο προηγμένα χαρακτηριστικά, αυτοί που μετείχαν προχώρησαν για το VRML 2.0 και έτσι το VRML 1.1 παρέμεινε ένα προσχέδιο και δεν τελειοποιήθηκε ποτέ. Από τότε η έκδοση 2.0 της VRML τροποποιήθηκε και με ελάχιστες διαφορές από την έκδοση 2.0 ονομάστηκε VRML 97.¹²

3.4 Εργαλείο τρισδιάστατης μοντελοποίησης V- Realm Builder

Το λογισμικό V- Realm Builder είναι ένα πακέτο τρισδιάστατης συγγραφής αντικειμένων και “κόσμων” χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού VRML. Πρόκειται για ένα περιβάλλον με εργαλεία, τα οποία βοηθούν τον χρήστη να “ζωγραφίσει” τον εικονικό του κόσμο και να δώσει ονόματα στα εργαλεία που θα χρησιμοποιήσει, έτσι ώστε να μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτά μέσω άλλων λογισμικών. Το V-Realm Builder είναι το εργαλείο που επιτρέπει στους προγραμματιστές την ευκολία της άμεσης επεξεργασίας των VRML κόμβων. Δεν απαιτείται η γραφή κώδικα στο χέρι και παρέχει προηγμένες λειτουργίες όπου επιταχύνουν τη διαδικασία δημιουργίας εικονικού κόσμου. Επιπλέον διαθέτει αντικείμενα, διάφορους χρωματισμούς, υφές, βιβλιοθήκες υλικών και τέσσερις ρυθμιζόμενες επιλογές σημείων παρατήρησης (viewpoints).¹³ Η επιφάνεια εργασίας του λογισμικού V-Realm Builder παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1 Περιβάλλον εργασίας V-Realm Builder

Στο σημείο a είναι ο χώρος που περιγράφεται το χαρακτηριστικό δέντρο του εικονικού κόσμου ενώ στο b είναι η εικόνα του δέντρου. Στο σημείο c της εικόνας βλέπουμε την μπάρα εργαλείων. Το δέντρο ιεραρχίας αποτελείται από κόμβους και υπόδεντρα. Κάθε κόμβος στο δέντρο του αντιπροσωπεύει και μια λειτουργικότητα. Οι κόμβοι μπορούν να τεθούν στη κορυφή ενός δέντρου ή ως παιδιά άλλων κόμβων στην ιεραρχία του δέντρου.

Στη συνέχεια δίνονται οι σημαντικότεροι κόμβοι:

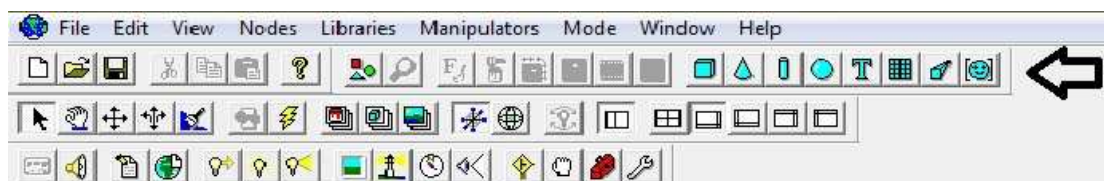
- Box node: Εισάγει ένα αντικείμενο σε σχήμα παραλληλεπίπεδου στον εικονικό κόσμο.
- Transform node: Ορίζει τη θέση, την κλιμάκωση των αξόνων που ορίζουν τη γεωμετρία του αντικειμένου, την περιστροφή, τους κόμβους-παιδιά του υπόδεντρου του.
- Material node: Αντιστοιχεί στο υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για το εκάστοτε αντικείμενο (υφή).
- Directional Light node: το οποίο προσδιορίζει τη φωτεινότητα μιας σκηνής.
- Fog node: Επιτρέπει την επεξεργασία των οπτικών ιδιοτήτων ενός περιβάλλοντος.

14

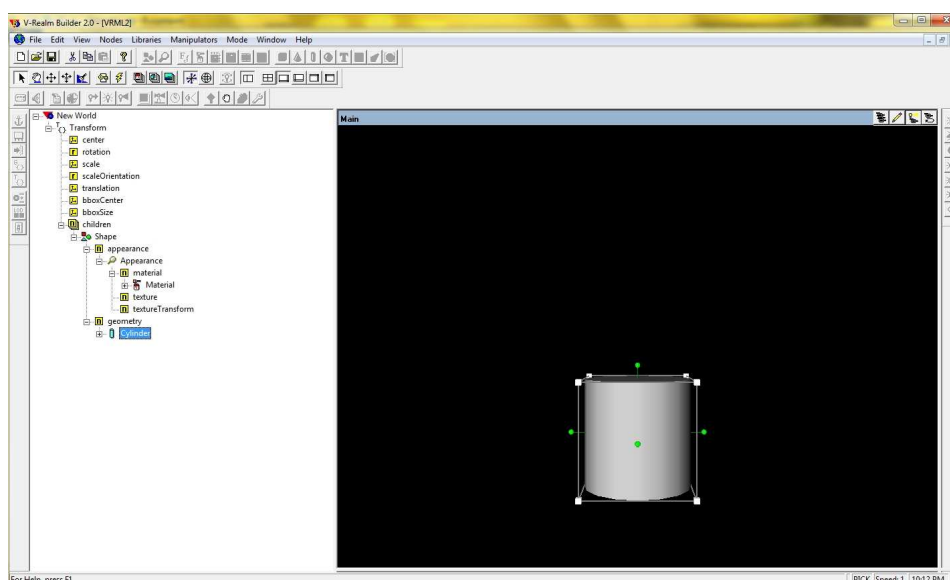
3.5 Παράδειγμα Σχεδιασμού εικονικού κόσμου με χρήση του V-Realm Builder

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε πως είναι δυνατή η δημιουργία και ο σχεδιασμός ενός αντικειμένου με τη χρήση του λογισμικού V-Realm Builder.

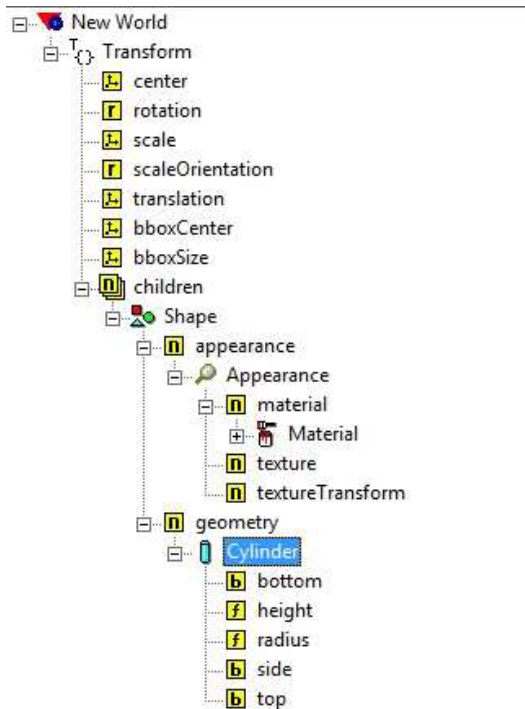
Ανοίγοντας το παράθυρο της εφαρμογής επιλέγουμε File→New και βρισκόμαστε στο αρχικό περιβάλλον εργασίας όπως αυτό εμφανίζεται στο Σχήμα 3.1. Για την εισαγωγή ενός αντικείμενου επιλέγουμε στην μπάρα εργαλείων την επιλογή “Geometry” και στη συνέχεια επιλέγουμε το αντικείμενο που επιθυμούμε. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται έχουμε επιλέξει ένα κύλινδρο.



Σχήμα 3.2 Μπάρα εργαλείων “Geometry” του V-Realm Builder

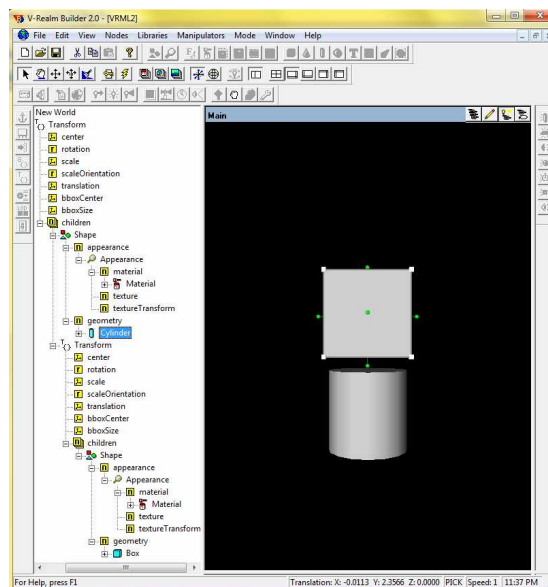


Σχήμα 3.3 Εισαγωγή κυλίνδρου



Σχήμα 3.4 Δέντρο κυλίνδρου

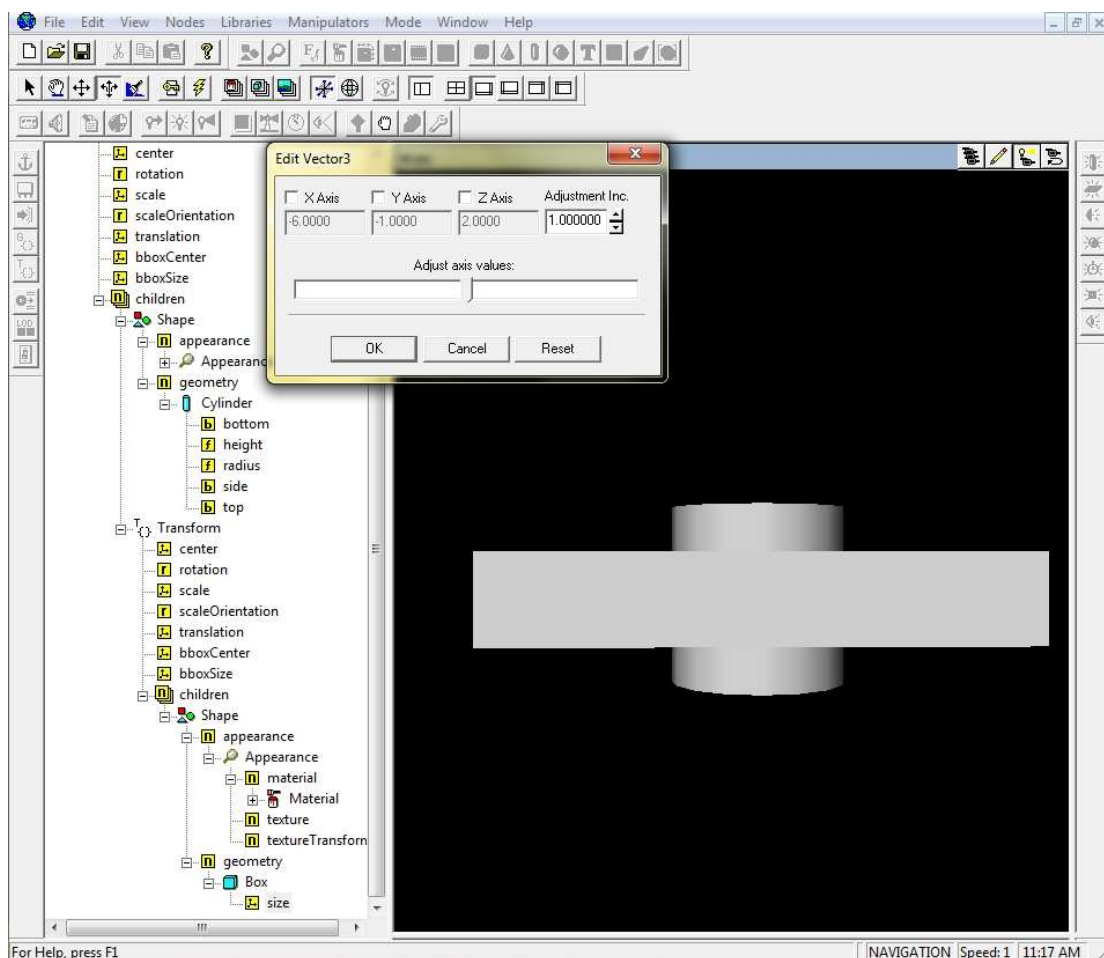
Στο Σχήμα 3.4 παρουσιάζεται το δέντρο που αναπτύχθηκε και αντιστοιχεί στο σχήμα. Περιέχει όλα τα χαρακτηριστικά του κυλίνδρου που επιλέξαμε ,τη θέση του στον χώρο, το μέγεθος του και το σχήμα του, την υφή και το χρώμα του (Transform, Shape, Appearance, Material, Geometry). Προκειμένου να ενωθεί ο κύλινδρος με ένα άλλο αντικείμενο όπως ένας κύβος επιλέγεται το πεδίο “children” (παιδιά) από το δέντρο του κυλίνδρου και όπως στο προηγούμενο βήμα εισάγεται από την μπάρα “Geometry” το δεύτερο αντικείμενο, δηλαδή ο κύβος.



Σχήμα 3.5 Εισαγωγή δεύτερου αντικειμένου

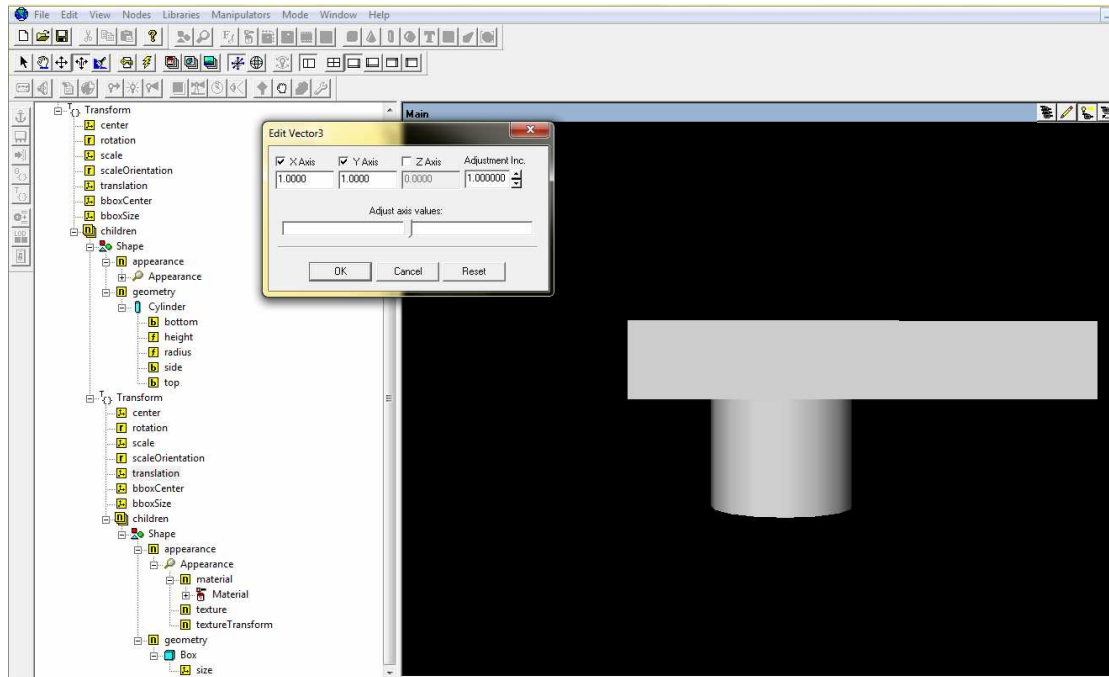
Έτσι εμφανίζεται στο δέντρο και συγκεκριμένα ως “children” του κυλίνδρου τα χαρακτηριστικά του κύβου. Προκειμένου να αλλάξουμε κάποια χαρακτηριστικά του κύβου θα πρέπει να ανοίξουμε τον κόμβο “children”, που έχει τα χαρακτηριστικά του σχήματος του αντικειμένου. Τον κόμβο “Shape”, που έχει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά του υλικού, τον κόμβο “geometry” που έχει το γεωμετρικό του σχήμα, τον κόμβο “Box” (που είναι το σχήμα που είχε επιλεγεί παραπάνω) και τέλος το “size” που ορίζει το μέγεθος του γεωμετρικού σχήματος του αντικειμένου.

Με την επιλογή “size” εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο που ονομάζεται “Edit Vector 3” το οποίο έχει τις x, y, z διαστάσεις τις οποίες μεταβάλλουμε ανάλογα με τις επιθυμητές διαστάσεις και έτσι ο κύβος μας γίνεται βλ. [Σχήμα 3.6]:



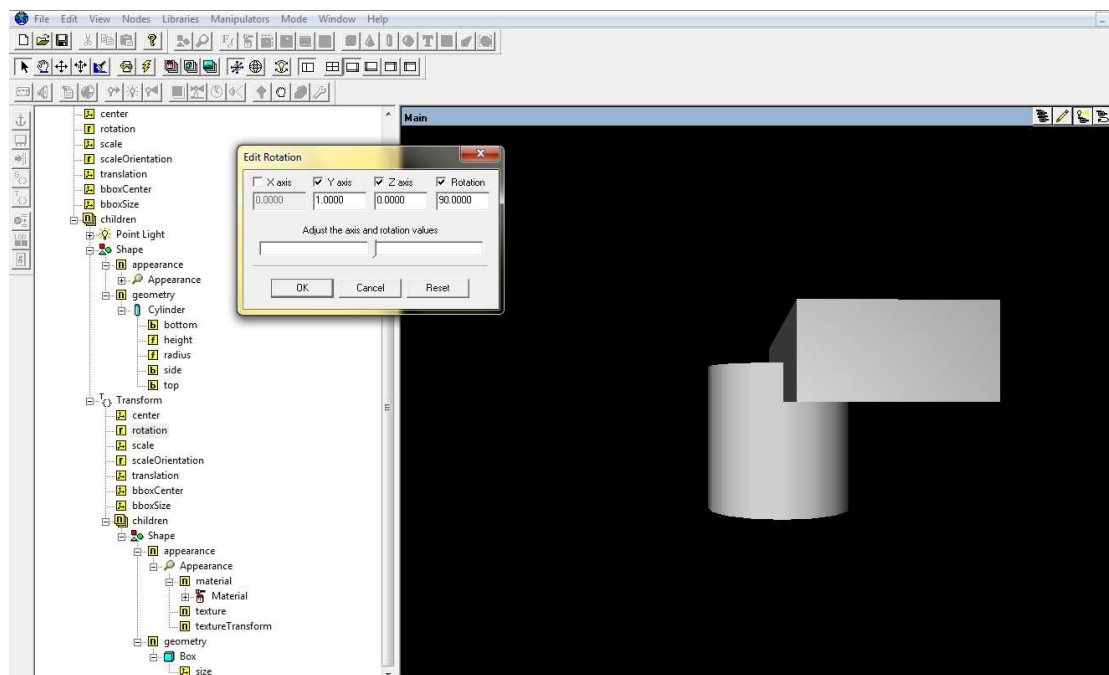
Σχήμα 3.6 Αλλαγή διαστάσεων αντικειμένου

Για την θέση του ορθογωνίου παραλληλογράμμου σε σχέση με τον κύλινδρο θα επιλεγεί το πεδίο “Transform” του δεύτερου αντικειμένου και στη συνέχεια το πεδίο “translation”. Στο παράθυρο που θα εμφανιστεί θα πρέπει να αλλάξουμε ξανά τα X,Y,Z ώστε να φέρουμε το αντικείμενο στη θέση που επιθυμούμε.



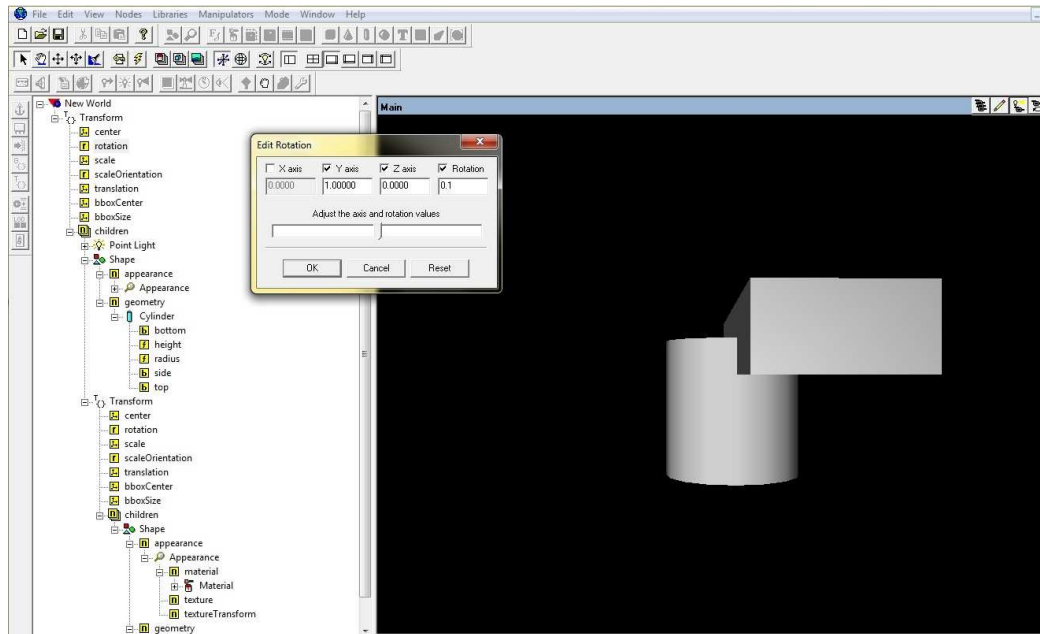
Σχήμα 3.7 Μετακίνηση αντικειμένου

Για την επεξεργασία της γωνίας και του άξονα περιστροφής των αντικειμένων, συγκεκριμένα του δεύτερου αντικειμένου σε σχέση με το πρώτο, θα πρέπει στο Transform του δέντρου, του ορθογώνιου παραλληλογράμμου, να επιλεγεί το rotation που ορίζει τις γωνίες και τον άξονα περιστροφής. Εμφανίζεται λοιπόν το παράθυρο του “rotation” όπου ξανά μεταβάλλοντας τις τιμές για τα x,y,z αλλά και το “rotation” η γωνία και ο άξονας περιστροφής του αντικειμένου έχει περιστρέφονται ως προς άλλο άξονα. Συγκεκριμένα, ο διαμορφωμένος κύβος έχει περιστραφεί 90° ως προς τον Y άξονα



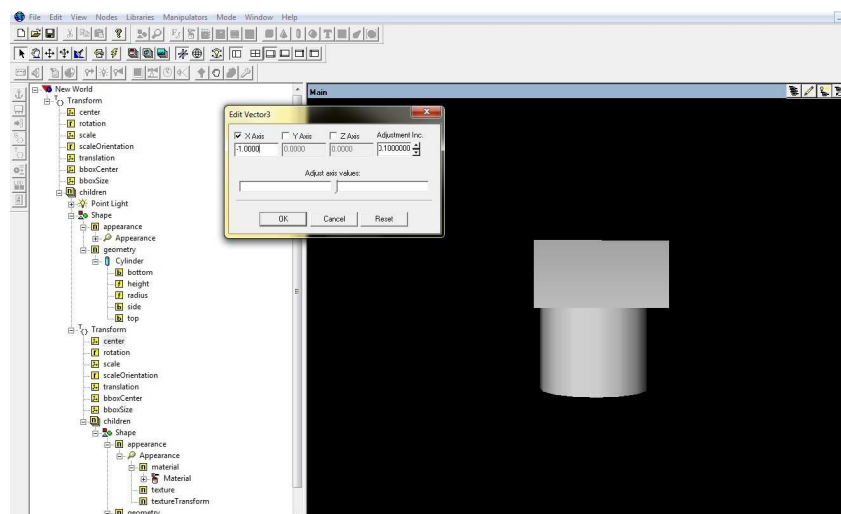
Σχήμα 3.8 Επιλογή γωνίας και άξονα περιστροφής με το Rotation

Για να επιλέξουμε τον ίδιο άξονα περιστροφής και για τα δυο αντικείμενα, θα πρέπει στο Transform του δέντρου, του κυλίνδρου, να επιλεγεί το rotation που ορίζει τις γωνίες και τον άξονα περιστροφής και στο παράθυρο που θα εμφανιστεί με όνομα “Edit Rotation” να επιλεγεί ο επιθυμητός άξονας (Y άξονας). Αν δεν επιλεγεί κοινός άξονας περιστροφής, το αντικείμενο θα περιστρέφεται ως προς δύο άξονες και η κίνηση δεν θα είναι ομαλή.



Σχήμα 3.9 Επιλογή ίδιου άξονα περιστροφής και στα δύο αντικείμενα

Επιπλέον για να επιλέξουμε το ίδιο κέντρο στα δύο αντικείμενα πρέπει στο Transform του δέντρου, του ορθογώνιου παραλληλογράμμου, να επιλεγεί το “center”, που ορίζει το κέντρο ενός αντικειμένου και στο παράθυρο που εμφανίζεται ,να μεταβληθούν οι τιμές του κέντρου κατά τους άξονες X, Y και Z. Όπως φαίνεται, το κέντρο του αντικειμένου έχει μετατοπιστεί.



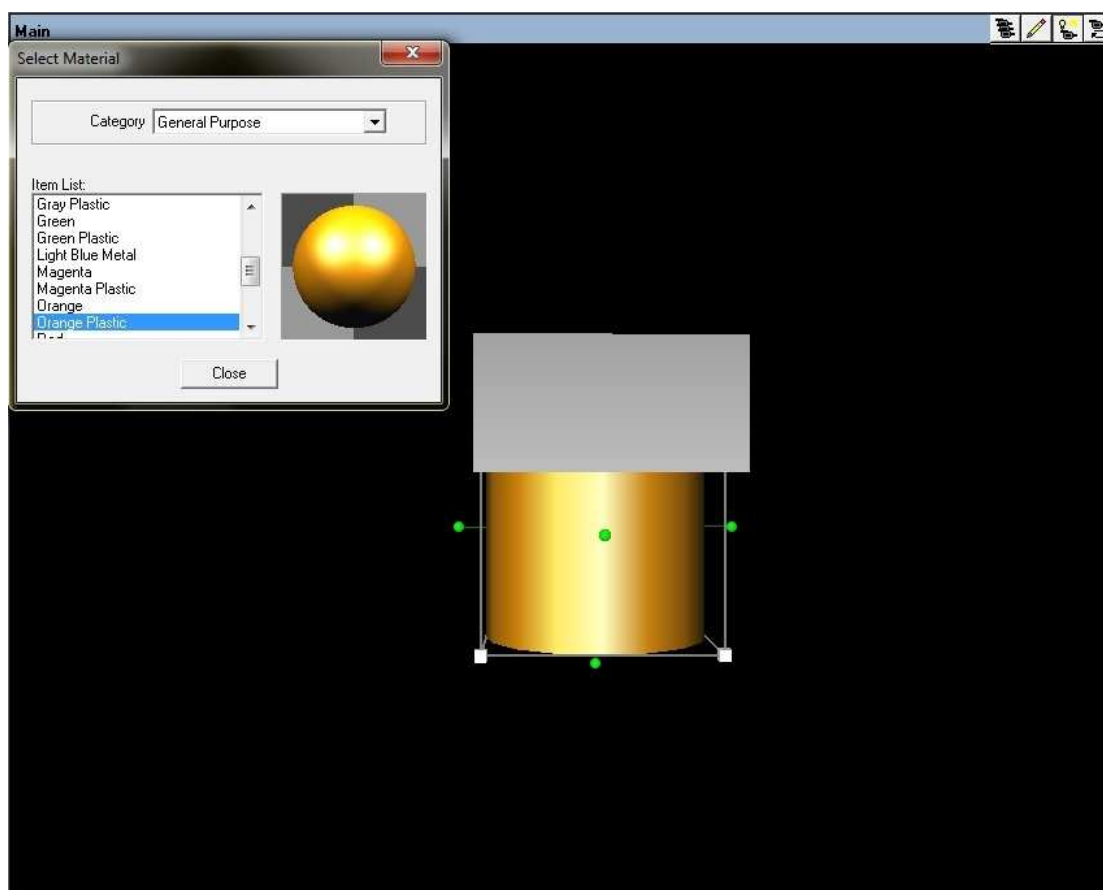
Σχήμα 3.10 Επιλογή ίδιου κέντρου των δύο αντικειμένων

Για να διαμορφώσουμε εμφανισιακά τα αντικείμενά μας αρκεί να πάμε ξανά στην μπάρα των εργαλείων και συγκεκριμένα στην “Mode View ToolBar” και να επιλέξουμε το πρώτο εικονίδιο της βιβλιοθήκης των υλικών (Material Library) αλλά και στο τρίτο εικονίδιο για να διαλέξουμε την υφή του αντικειμένου (Texture Library).



Σχήμα 3.11 Επιλογές εμφάνισης αντικειμένου

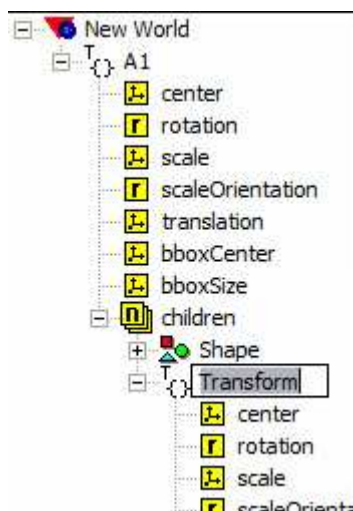
ο παράθυρο που θα ανοίξει έχουμε την δυνατότητα να διαλέξουμε το χρώμα το οποίο επιθυμούμε από το “Item List”. Έπειτα το τοποθετούμε τραβώντας το επάνω στο αντικείμενο το οποίο θέλουμε να χρωματίσουμε (drag and drop).



Σχήμα 3.12 Χρωματισμός αντικειμένου

Για να μπορούμε να ελέγχουμε καλύτερα τα αντικείμενα μας από το δέντρο θα πρέπει να τα μετονομάσουμε. Η μετονομασία γίνεται πατώντας στο “Transform” του κάθε

αντικείμενου δύο φορές αλλά όχι συνεχόμενες. Έτσι στην συγκεκριμένη περίπτωση θέτουμε A1 και A2 τα αντικείμενα μας.

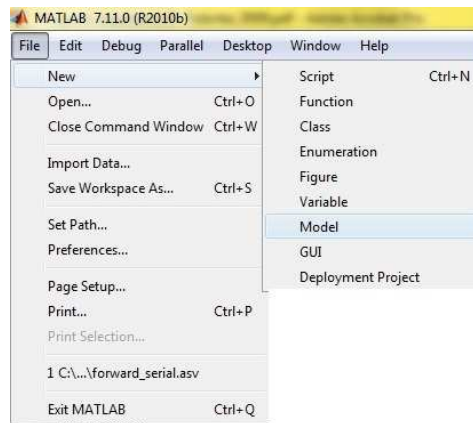


Σχήμα 3.13 Μετονομασία δέντρου ενός αντικείμενο

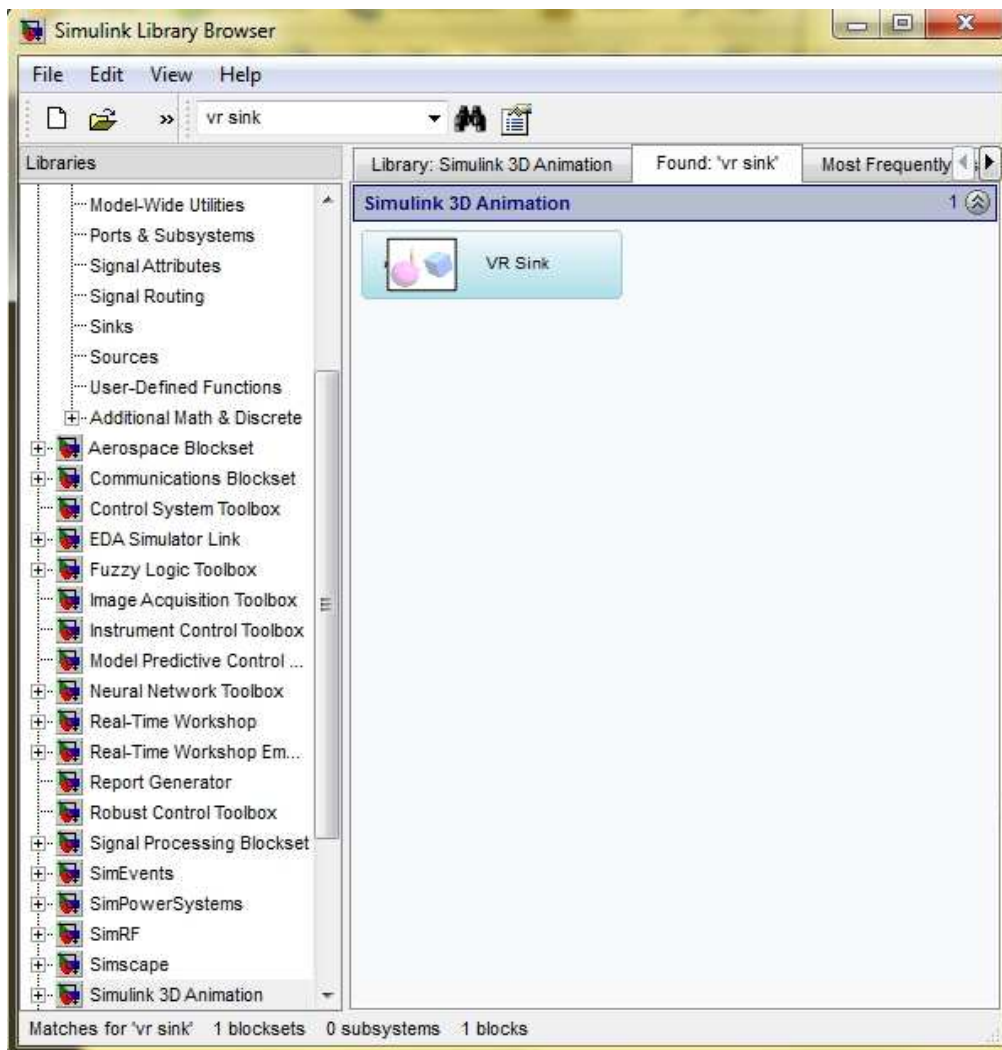
Τέλος για να αποθηκεύσουμε την εργασία μας πηγαίνουμε στο FILE→ SAVE AS ή από το εικονίδιο στην μπάρα “Standard”.

3.6 Έλεγχος εικονικών κόσμων μέσω Simulink

Το Simulink αποτελεί τμήμα του λογισμικού Matlab και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση συστημάτων προερχόμενων από πληθώρα επιστημονικών περιοχών. Παρ’ όλο που η χρήση του δεν προϋποθέτει γνώση του Matlab, η γνώση αυτή αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα καθώς παρέχει δυνατότητα αποδοτικότερης χρήσης του. Το πρόγραμμα V-Realm Builder σχετίζεται με το Simulink διότι από αυτή τη σύνδεση οι εικονικοί κόσμοι που δημιουργούνται μέσω του V-Realm Builder μπορούν να ελεγχθούν. Για την αλληλεπίδραση του με τον εικονικό κόσμο χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality Toolbox Library) του Simulink. Αυτή παρέχει λογικά διαγράμματα (block) την απευθείας σύνδεση των σημάτων του λογισμικού προσομοιώσεις με τον εικονικό κόσμο. Για να δημιουργήσουμε ένα “Simulink Model” με κατάληξη .mdl θα πρέπει να πάμε στο FILE→NEW→MODEL να ονομάσουμε και να αποθηκεύσουμε το αρχείο μας π.χ. “demo1.mdl”. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το διάγραμμα VR Sink όπου με αυτό είναι δυνατή η εγγραφή δεδομένων από το μοντέλο προσομοίωσης, στον εικονικό κόσμο. Για να εντοπιστεί το διάγραμμα αυτό, τοποθετείται στο φυλλομετρητή της Βιβλιοθήκης του λογισμικού Simulink (Simulink Library Browser), η λέξη κλειδί “Vr Sink”.

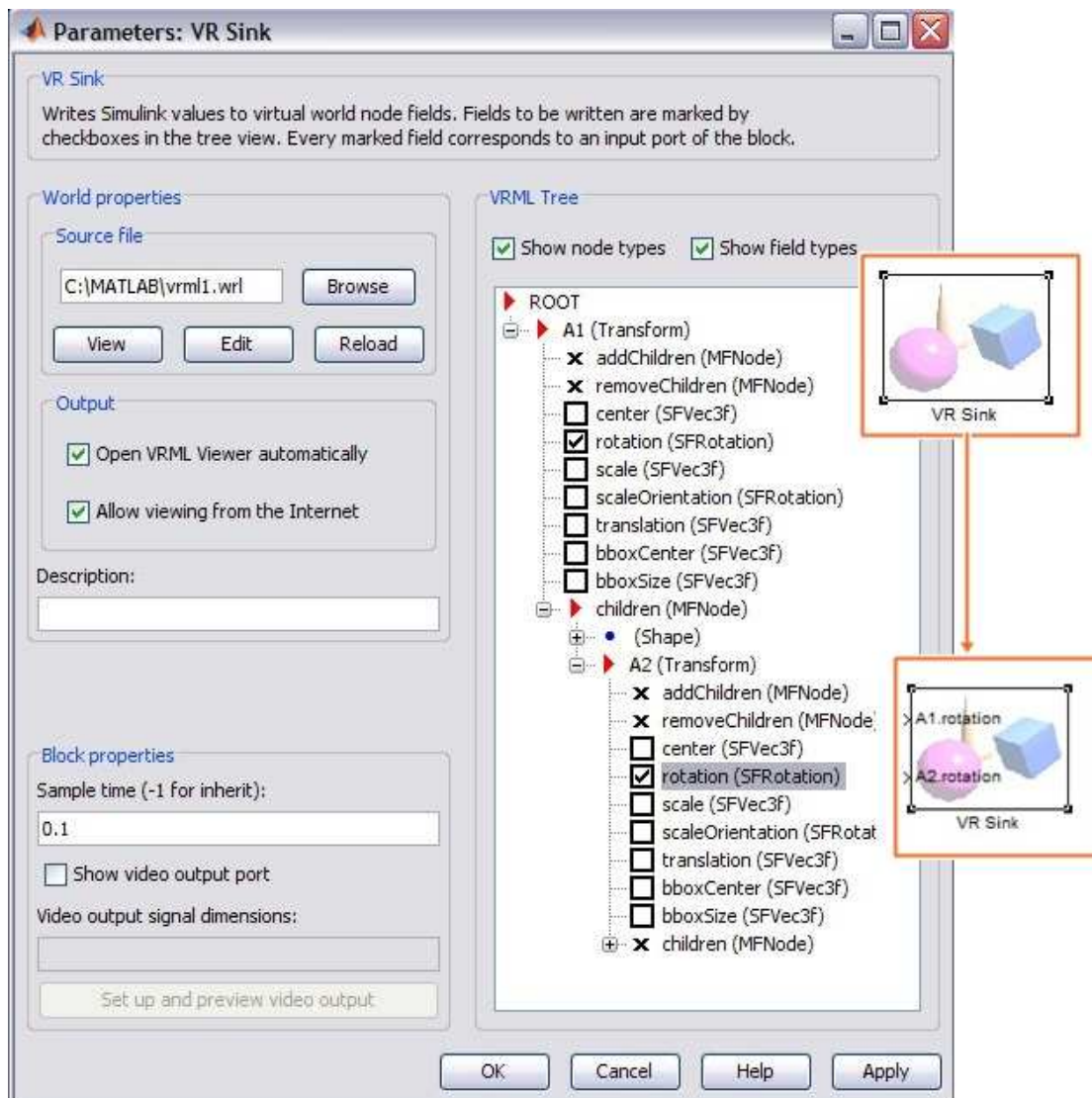


Σχήμα 3.14 Άνοιγμα εργαλείου Simulink



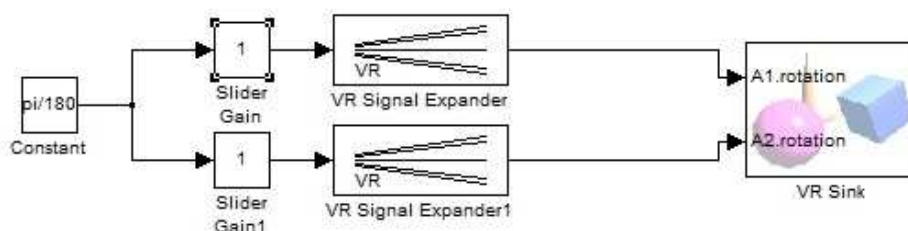
Σχήμα 3.15 Εύρεση διαγράμματος VR Sink

Προκειμένου να επεξεργαστούμε τις ιδιότητες του VR Sink, εμφανίζουμε το παράθυρο ιδιοτήτων “Parameters: VR Sink” και σε αυτό επιλέγουμε ο VR Sink. Στα αριστερά του παραθύρου “Parameters: VR Sink”, υπάρχει ένα πλαίσιο (panel) με το όνομα “World properties”. Μέσα σε αυτό, υπάρχει άλλο ένα, με το όνομα “Source file”. Στο Source file, πρέπει να επιλεγεί το “Browse”, για να αναζητηθεί και να βρεθεί, το αρχείο του εικονικού κόσμου που θα χρησιμοποιηθεί (vrml1.wrl). . Όλες οι ιδιότητες των VRML κόμβων, παρατίθενται ιεραρχικά σε μορφή δέντρου στα δεξιά του παραθύρου στο “VRML Tree” (Σχήμα 3.16). Για να επιλεγούν οι παράμετροι ελέγχου του κόσμου, θα πρέπει να επεκταθούν (expand) τα Transform επιλέγοντας τα εικονίδια με το “+” και από εκεί να επιλεχθούν οι εισοδοί, συγκεκριμένα, τα “rotation (SFRotation)”.



Σχήμα 3.16 Επιλογή εισόδων VR Sink

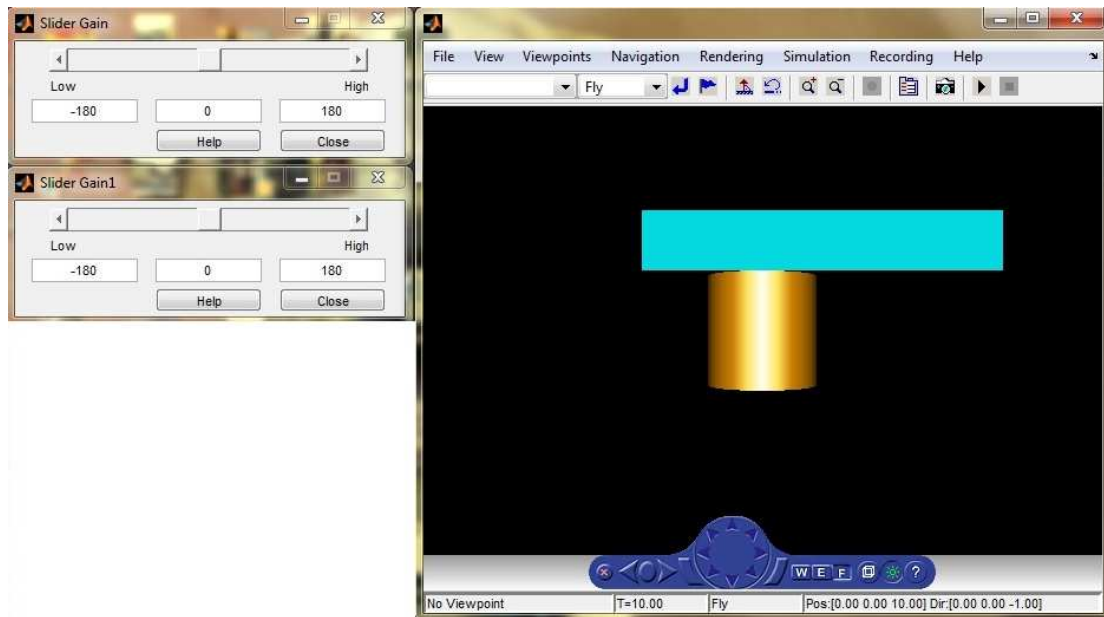
Προκειμένου να επιτευχθεί η κίνηση των αντικειμένων, πρέπει να τοποθετηθούν δομικά τμήματα (Σχήμα 3.17), που να συνδέονται με τις εισόδους του VR Sink και δίνουν τις τιμές για την κίνηση των αντικειμένων.



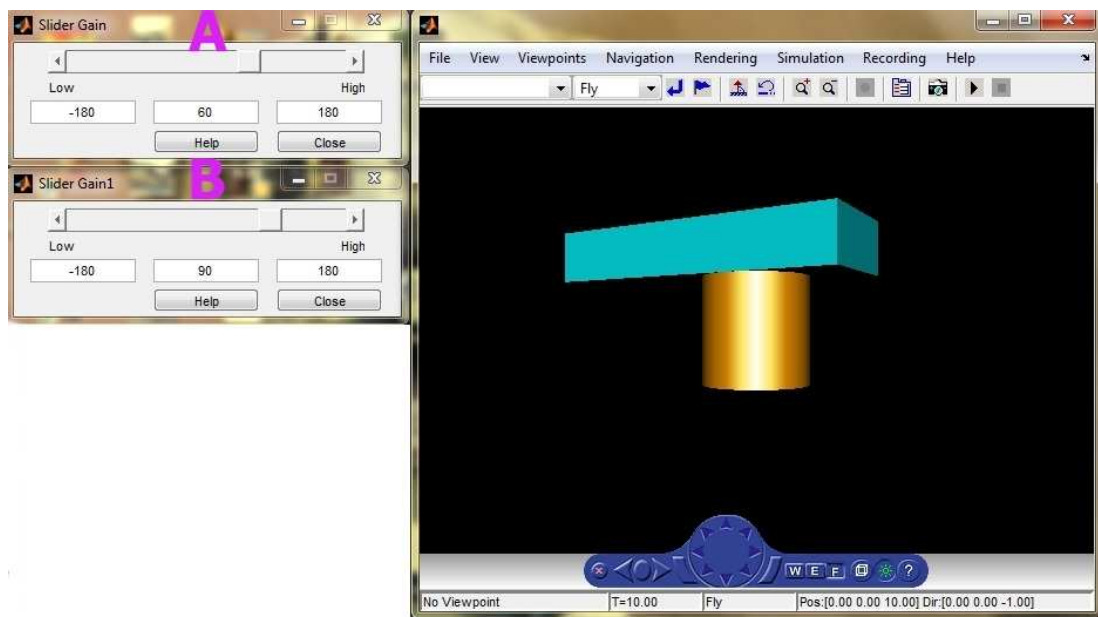
Σχήμα 3.17 Μοντέλο προσομοίωσης

Για περιστροφική κίνηση ολόκληρου του αντικειμένου ή μόνο του ορθογωνίου παραλληλογράμμου, δίνουμε τιμές από δύο “Slider Gain” διαγράμματα ένα για την κάθε περιστροφική κίνηση, που έχουν τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζουν το σήμα εισόδου, ανάλογα με την θέση που βρίσκεται η μπάρα ολίσθησης (Slider). Για τον έλεγχο της πλήρους περιστροφής (360°) του κάθε αντικειμένου, τα Slider Gain ρυθμίζονται με όριο από -180 έως 180. Οι τιμές των Slider Gain είναι σε ακτίνια. Για την μετατροπή των ακτινίων σε μοίρες, τοποθετείται στην είσοδο των Slider Gain διαγραμμάτων, ένα “Constant” διάγραμμα ίσο με $\pi/180$, το οποίο έχει την ιδιότητα, να δίνει ένα σήμα εξόδου. Αυτό στην συνέχεια πολλαπλασιάζεται με το αποτέλεσμα των Slider Gain διαγραμμάτων και οδηγείται στην έξοδό τους. Πριν οδηγηθεί το σήμα στο VR Sink, τοποθετείται ανάμεσα στην έξοδο των Slider Gain διαγραμμάτων και την είσοδο του VR Sink διαγράμματος, ένα “VR Signal Expander” για την επέκταση του σήματος

Για την έναρξη της προσομοίωσης, πρέπει στο μενού του Simulink Model (μοντέλου προσομοίωσης) του λογισμικού MATLAB, να επιλεγεί το Simulation και μετά το Start ή Ctrl+T ή να επιλεγεί το εικονίδιο Start simulation. Για να εμφανιστεί ο εικονικός κόσμος (Σχήμα 3.18), πρέπει να επιλεγθεί το VR Sink. Για τον έλεγχο του εικονικού κόσμου υπάρχουν τα Slider Gain, που ανοίγοντάς τα εμφανίζονται οι μπάρες ολίσθησης. Η περιστροφή του κάθε αντικειμένου στον εικονικό κόσμο, είναι ανάλογη των τιμών της μπάρας ολίσθησης. Με την μπάρα ολίσθησης του παραθύρου που ονομάζεται “Slider Gain”, μπορεί να ελεγχθεί η περιστροφή ολόκληρου του αντικειμένου (Σχήμα 3.19, A). Με την μπάρα ολίσθησής του παραθύρου που ονομάζεται “Slider Gain 1”, μπορεί να ελεγχθεί η περιστροφή μόνο του ορθογώνιου παραλληλογράμμου, του αντικειμένου (Σχήμα 3.19, B).



Σχήμα 3.18 Slider Gains και εικονικός κόσμος – Έναρξη προσομοίωσης



Σχήμα 3.19 Περιστροφή αντικειμένου

3.7 Εναλλακτικά εργαλεία μοντελοποίησης 3D αντικειμένων

Εκτός από το V – Realm Builder υπάρχουν και άλλα προγράμματα μοντελοποίησης 3D αντικειμένων και σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται τα παρακάτω:

3D Max

Λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης που επικεντρώνεται περισσότερο στη δημιουργική πλευρά του σχεδιασμού παρά στις τεχνικές προκλήσεις. Παρέχει εξειδικευμένα εργαλεία για τους σχεδιαστές παιχνιδιών, εικαστικούς καλλιτέχνες¹⁵

Blender

Είναι ένα ανοιχτού κώδικα, τρισδιάστατων γραφικών λογισμικό για δημιουργία κινούμενων σχεδίων(animation) , οπτικά εφέ, διαδραστικές 3D εφαρμογές και βιντεοπαιχνίδια. Περιλαμβάνει ειδικά εφέ όπως προσομοίωση καπνού, σωματιδίων καθώς σύνθεση και επεξεργασία βίντεο.¹⁶

SolidWorks

Πρόκειται για ένα τρισδιάστατο CAD λογισμικό, που χρησιμοποιείται κυρίως από μηχανικούς. Με το προσομοιωτή Solidworks είναι δυνατή η παρατήρηση των ιδίων καταστάσεων με τον πραγματικό κόσμο . Ο χρήστης χρησιμοποιεί το ποντίκι περισσότερο για να γίνει πιο εύκολη η σχεδίαση ενώ είναι πολύ δημοφιλές για μηχανολογικές και βιομηχανικές εφαρμογές λόγω της ευκολίας στη χρήση και του αξιόλογου αποτελέσματος.¹⁷

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ STANFORD

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη επισκόπηση της ιστορίας του ρομποτικού βραχίονα τύπου Stanford και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί μια αναλυτική περιγραφή του σχεδιασμού του ρομποτικού βραχίονα “Stanford Arm” στο λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης V – Realm Builder καθώς επίσης και του τρόπου σύνδεσης του βραχίονα που αναπτύχθηκε με το Matlab και ειδικότερα με το Simulink.

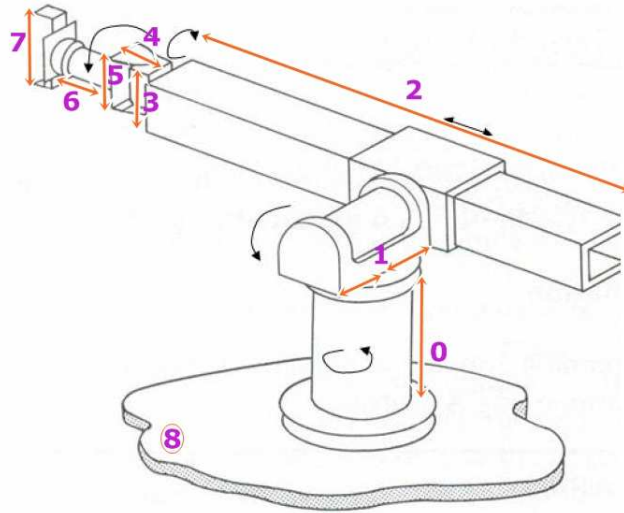
4.2 Ιστορικά στοιχεία για τον ρομποτικό βραχίονα Stanford

Ο βραχίονας Stanford σχεδιάστηκε το 1969 από τον Victor Scheinman, Μηχανολόγο Μηχανικό, φοιτητής του εργαστηρίου Τεχνητής Νοημοσύνης του πανεπιστημίου Stanford. Ο συγκεκριμένος βραχίονας αποτέλεσε μια από τις πρώτες πλήρως λειτουργικές ρομποτικές κατασκευές. Σχεδιάστηκε ώστε να είναι εύκολο να ελεγχθεί και να είναι συμβατό με τα υπάρχοντα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών (PDP-6) και δημιουργήθηκε εξ ολοκλήρου στην πανεπιστημιούπολη, κυρίως με τη χρήση εγκαταστάσεων στο Τμήμα Χημείας.

Η κινηματική διάταξη του βραχίονα είναι μη-ανθρωπόμορφη (not humanoid) με 6 αρθρώσεις (5 Περιστροφικές, 1 πρισματική). Χρησιμοποιήθηκε από τους φοιτητές και τους ερευνητές για πάνω από 20 χρόνια για εφαρμογές και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ο βραχίονας του Stanford βοήθησε στην ανάπτυξη της γνωστικής βάσης που έχει εφαρμοστεί σε ουσιαστικά όλα τα βιομηχανικά ρομπότ του σήμερα.¹⁸

4.3 Ανάπτυξη τρισδιάστατου Μοντέλου

Για την ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό V-Realm Builder. Έγινε προσπάθεια για την καλύτερη απόδοση του τρισδιάστατου μοντέλου σε σχέση με την εικόνα του σχεδιαγράμματος του βραχίονα Stanford που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1.

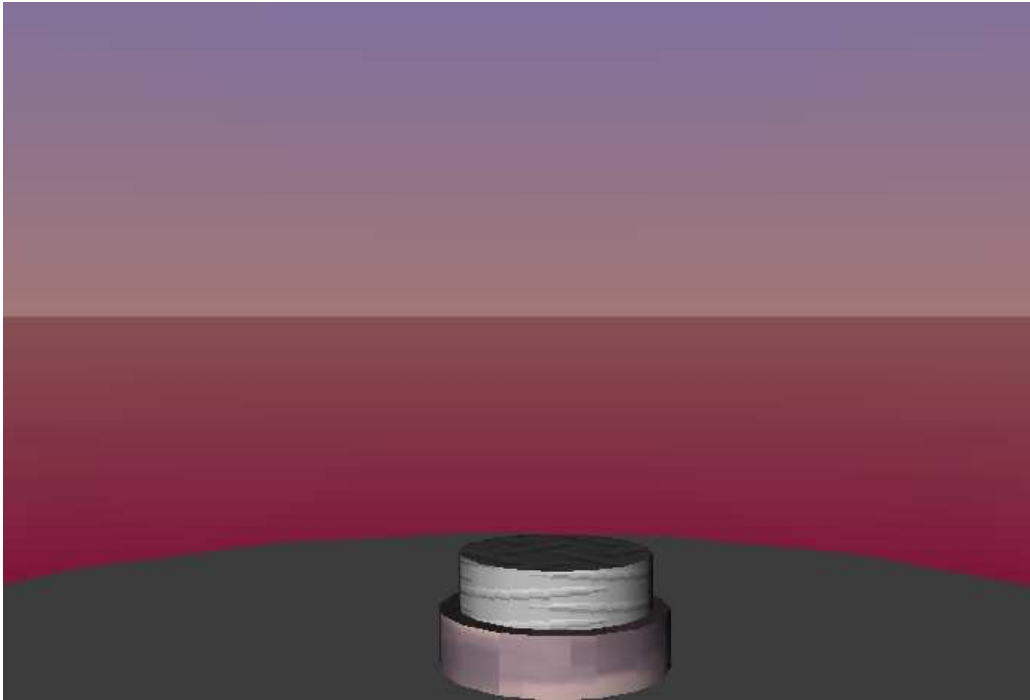


Σχήμα 4.1 Σχεδιάγραμμα Stanford Arm

Αριθμός	L(cm)
0	30
1	20
2	81
3	9.7
4	6.5
5	10
6	8
7	24.2
8	60 (ακτίνα)

4.3.1 Σχεδιασμός βάσης του βραχίονα

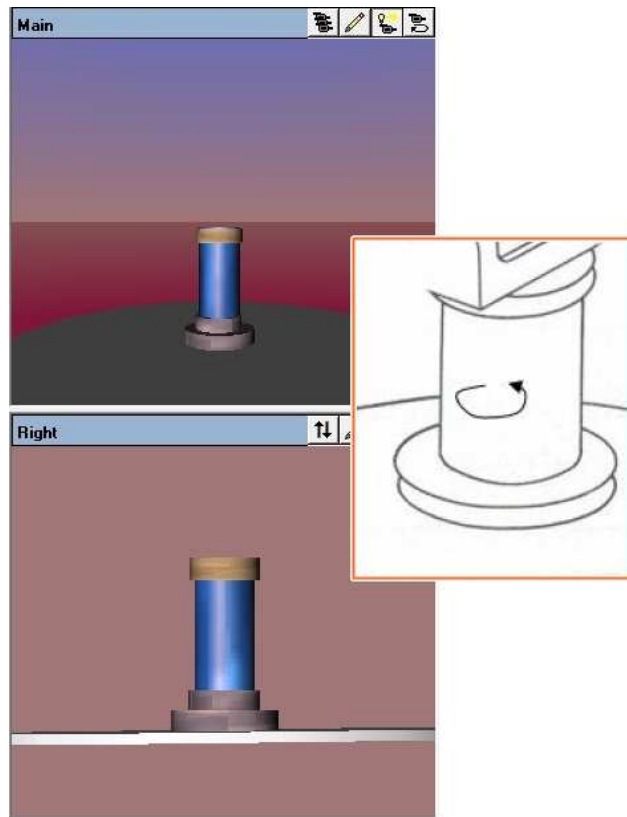
Για τη δημιουργία της βάσης χρησιμοποιήθηκαν από την μπάρα των εργαλείων και συγκεκριμένα από την “Geometry Node ToolBar” δύο κύλινδροι (cylinder) ο ένας επάνω στον άλλο. Τα αντικείμενα αυτά διαμορφώνονται με τις ανάλογες διαστάσεις.



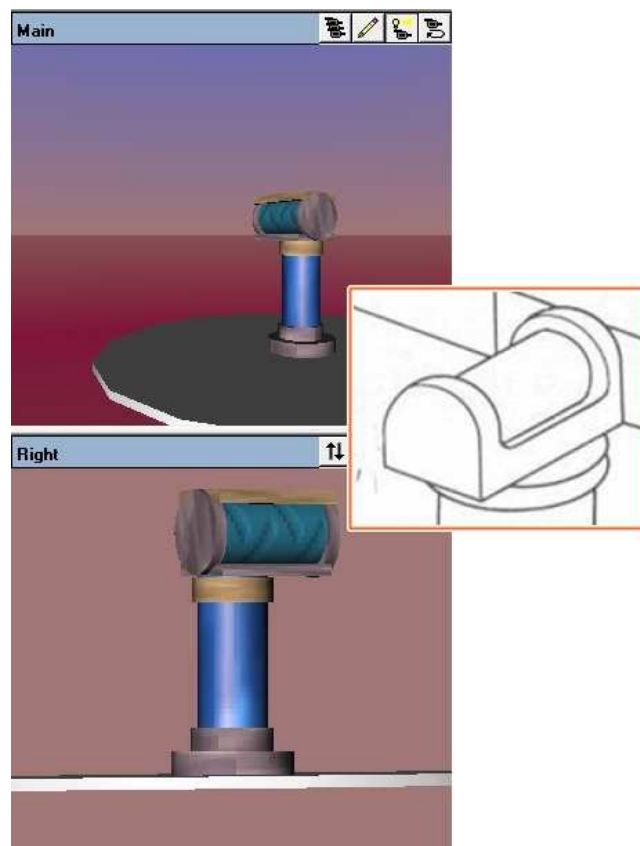
Σχήμα 4.2 Σχεδιασμός βάσης βραχίονα στο V - Realm Builder

4.3.2 Σχεδιασμός αρθρώσεων του βραχίονα

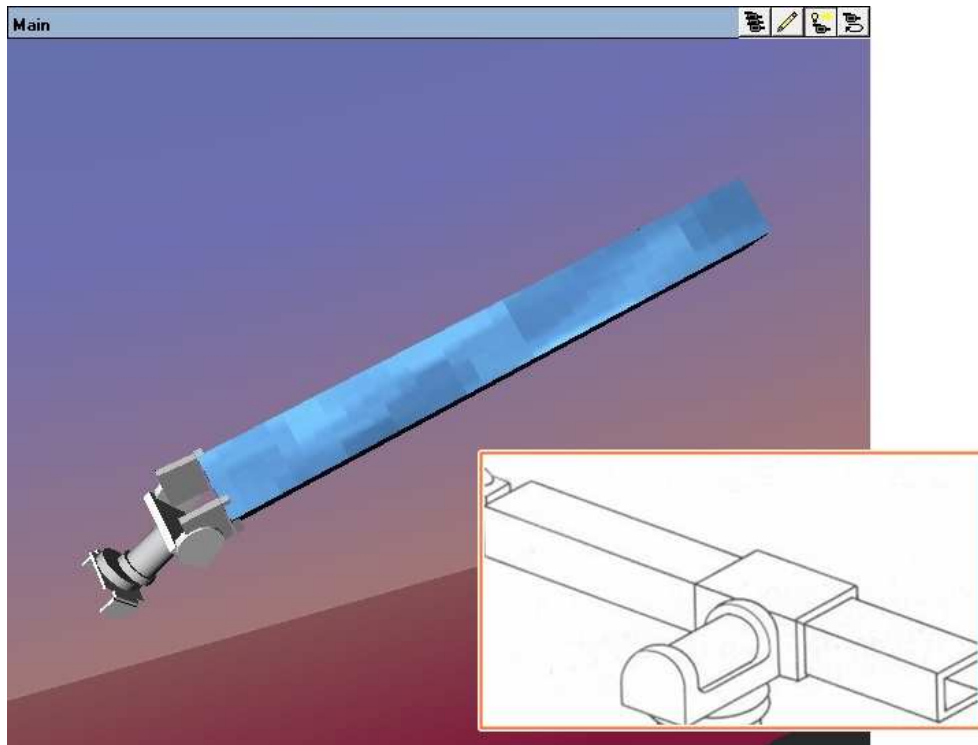
Για το σχεδιασμό της πρώτης άρθρωσης του βραχίονα (περιστροφική) χρησιμοποιήθηκε ένας κύλινδρος με τις ανάλογες διαστάσεις και τοποθετήθηκε ακριβώς επάνω στη βάση. Έπειτα τοποθετήθηκε επάνω του ένας άλλος κύλινδρος ώστε να στηριχθεί η επόμενη άρθρωση (Σχήμα 4.3). Για τη δεύτερη άρθρωση (περιστροφική) τα αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό της αποτελούνται από ένα σύνολο μικρότερων γεωμετρικών σχημάτων. Ως κύριο εργαλείο (της τρίτης άρθρωσης) για το βραχίονα αποτελεί ο κύλινδρος που υπάρχει εσωτερικά, και εμφανίζεται με μπλε χρώμα, ο οποίος εκτελεί την περιστροφική κίνηση (Σχήμα 4.4). Για την πρισματική άρθρωση χρησιμοποιήθηκε ένα γεωμετρικό σχήμα κύβου (box) όπου με τις ανάλογες διαστάσεις πήρε το σχήμα που θέλαμε. (Σχήμα 4.5). Τέλος οι επόμενες αρθρώσεις αποτελούν τμήμα του άκρου εργασίας και είναι οι εξής πρώτα μια περιστροφική φτιαγμένη από τρεις κύβους, έπειτα ένας κύλινδρος ο οποίος εκτελεί επίσης περιστροφική κίνηση και τελευταία άρθρωση, ή αρπαγή η οποία είναι κατασκευασμένη από κύβους επίσης (Σχήμα 4.6).



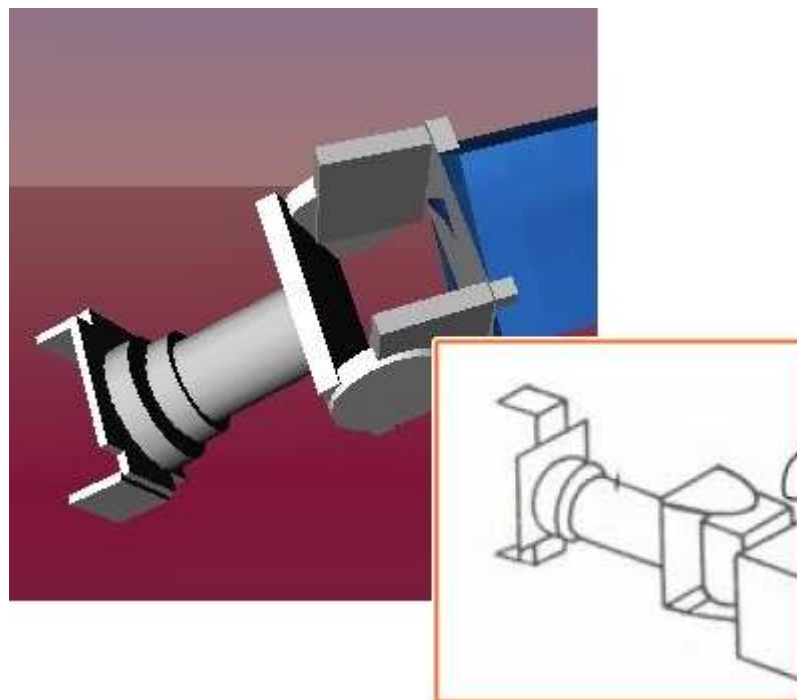
Σχήμα 4.3 Πρώτη άρθρωση ρομποτικού βραχίονα στο V-Realm Builder



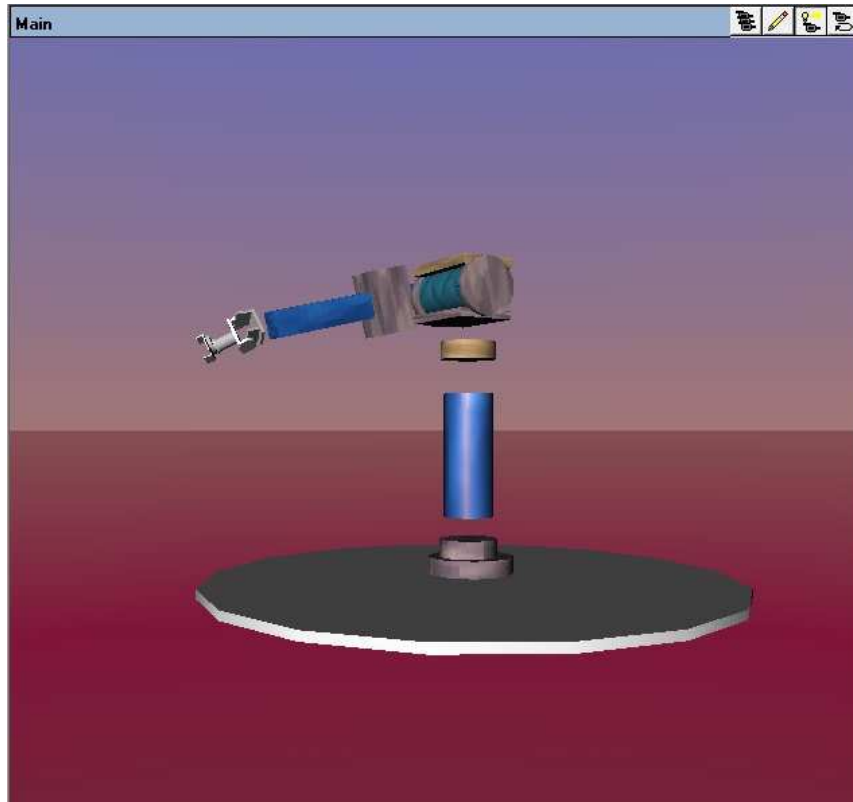
Σχήμα 4.4 Κατασκευή δεύτερης άρθρωσης του βραχίονα



Σχήμα 4.5 Πρισματική άρθρωση του βραχίονα



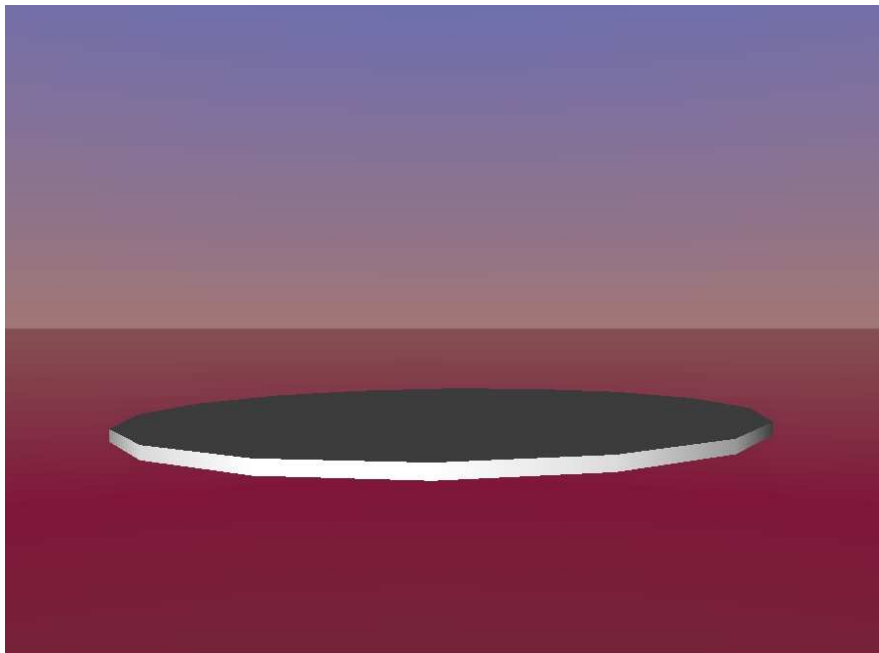
Σχήμα 4.6 Άκρο εργασίας στο V- Realm Builder



Σχήμα 4.7 Τα επιμέρους κομμάτια στη συνολική κατασκευή του βραχίονα.

4.3.3 Σχεδιασμός δαπέδου και ορισμός φόντου του βραχίονα

Για το σχεδιασμό του δαπέδου χρησιμοποιήθηκε ένας κύλινδρος ο οποίος κατασκευάστηκε με πολύ μικρό ύψος ώστε να φαίνεται “λεπτός” καθώς και με μεγάλη ακτίνα.

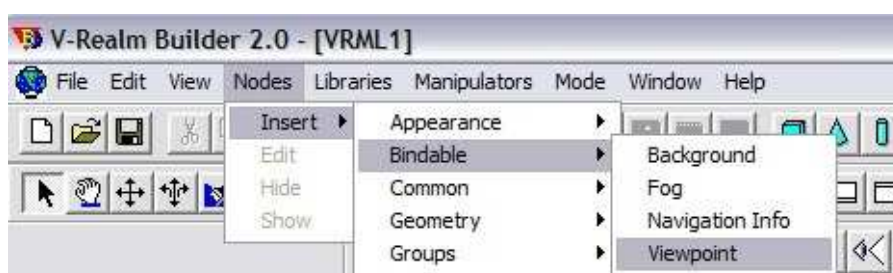


Σχήμα 4.8 Δάπεδο ρομποτικού βραχίονα

Τέλος για να ορίσουμε το φόντο του βραχίονα, επιλέγεται από την μπάρα με τα εργαλεία (Common Node Toolbar) το εικονίδιο “Insert Background” και αυτόματα εισάγεται φόντο με αποχρώσεις ουρανού και Γης (μπλε – πράσινο) που όμως μπορούμε να αλλάξουμε με χρώματα της επιλογής μας. Αυτό γίνεται με τη επεξεργασία του “Background” στο δέντρο του εικονικού κόσμου, ανοίγοντας τα “ground Color” και “sky Color”.

4.3.4 Ορισμός Viewpoint του βραχίονα με το V-Realm Builder

Για την καλύτερη παρακολούθηση του εικονικού βραχίονα, ορίζονται στον εικονικό κόσμο, διαφορετικά σημεία παρατήρησης (Viewpoints). Για τον ορισμό τους, επιλέγεται από την εργαλειομπάρα (Common Node Toolbar) το εικονίδιο “Access/ Edit Viewpoint” ή διαφορετικά όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.9).



Σχήμα 4.9 Ορισμός Viewpoint

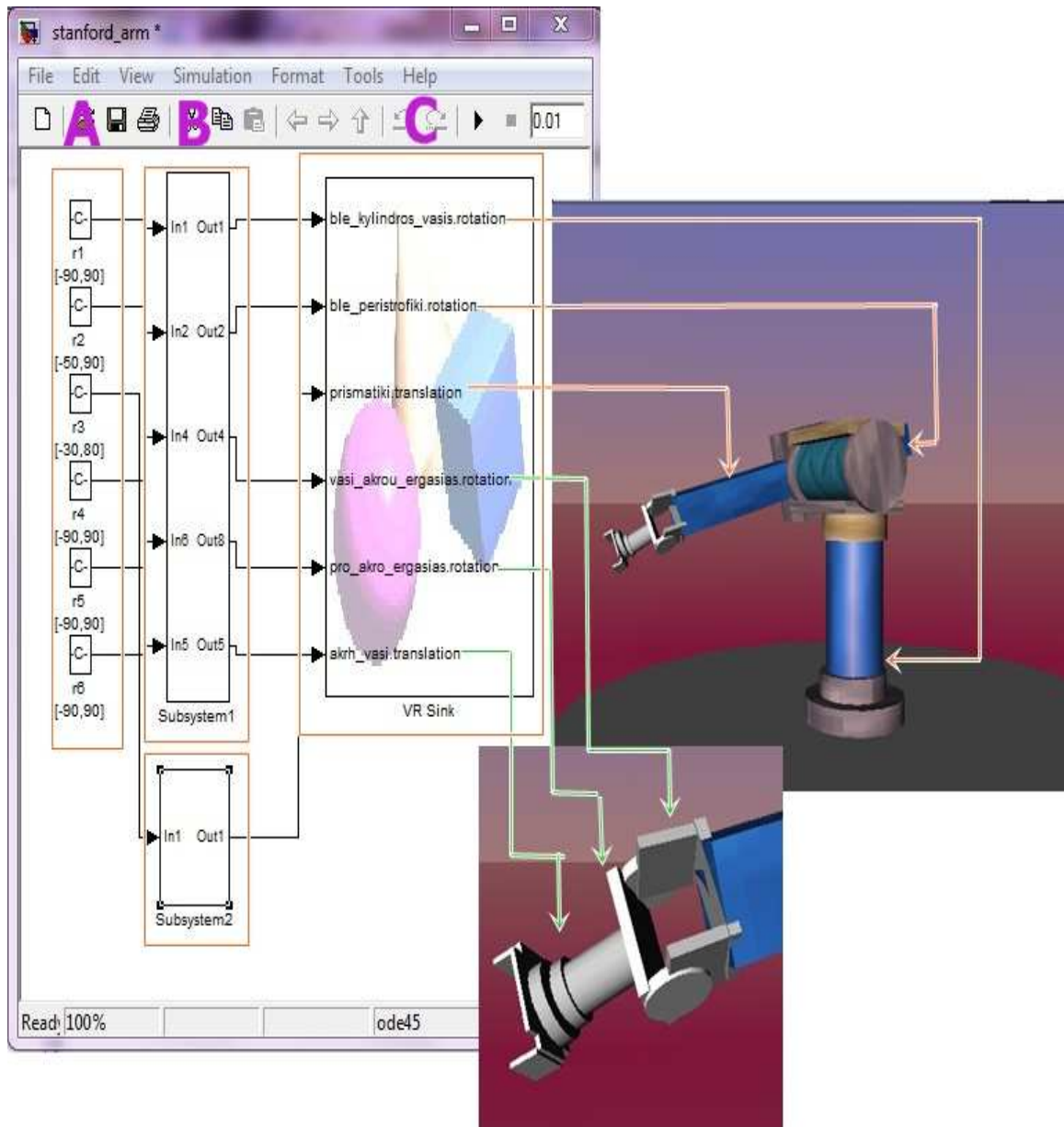
4.4 Σύνδεση του τρισδιάστατου μοντέλου του εικονικού κόσμου με το Simulink

Η σύνδεση του τρισδιάστατου μοντέλου που σχεδιάστηκε με το Simulink είναι απαραίτητη για να προσομοιώσουμε την κίνηση του βραχίονα, με αντίστοιχο τρόπο όπου θα κινούνταν και στη πραγματικότητα. Ακολουθώντας τα βήματα που περιγράψαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο δημιουργήσαμε το παρακάτω μοντέλο προσομοίωσης τοποθετώντας ένα VR Sink όπου έχουμε ορίσει τις παραμέτρους του από το V – Realm Builder. Το μοντέλο προσομοίωσης που δημιουργήθηκε, έχει τη δυνατότητα να κινεί ρεαλιστικά, όλα τα τμήματα του εικονικού βραχίονα (βάση, αρθρώσεις). Για να συνδεθεί ο βραχίονας του εικονικού κόσμου με το μοντέλο προσομοίωσης, χρησιμοποιείται ένα VR Sink διάγραμμα (Σχήμα 4.10, A), που έχει τη δυνατότητα εγγραφής δεδομένων, από το μοντέλο προσομοίωσης στον εικονικό κόσμο.

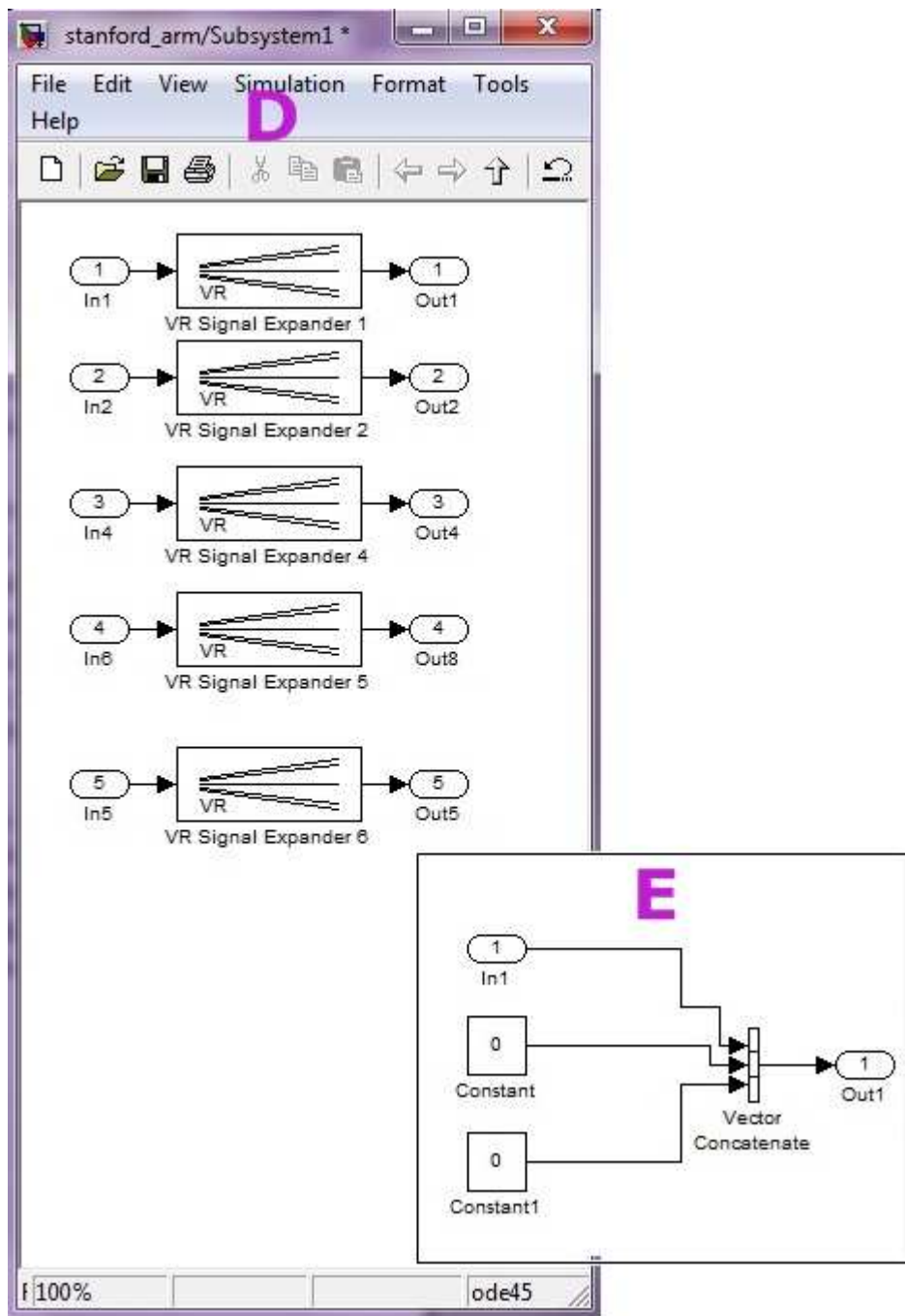
Ο έλεγχος των τμημάτων του εικονικού βραχίονα, γίνεται μέσω των Slider Gain διαγραμμάτων, που έχουν την ιδιότητα να πολλαπλασιάζουν το σήμα εισόδου τους, ανάλογα με την θέση που βρίσκεται η μπάρα ολίσθησής (Slider) τους και να το οδηγούν στην έξοδό τους (Σχήμα 4.10, B).

Οι έξοδοι των Slider Gain οδηγούνται στις εισόδους του υποσυστήματος και οι έξοδοι του υποσυστήματος στις εισόδους του VR Sink. Οι έξι εισοδοί του υποσυστήματος είναι συνδεδεμένες με ένα VR Signal Expander (Σχήμα 4.11, D), που έχει την ιδιότητα να επεκτείνει το σήμα εισόδου και να οδηγεί το επεκταμένο σήμα στην έξοδο, δηλαδή στις τέσσερις αντίστοιχες εξόδους του υποσυστήματος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η τιμή του σήματος για την περιστροφή ενός αντικειμένου, πρέπει να είναι σε μοίρες και να επεκταθεί, πριν οδηγηθεί στο VR Sink.

Χρησιμοποιήθηκε άλλο ένα υποσύστημα για τον έλεγχο της πρισματικής άρθρωσης [Σχήμα 4.11, E] το οποίο στέλνει ως είσοδο για το VR Sink την τιμή ενός διανύσματος (X,0,0) όπου X η είσοδος από το Slider Gain.



Σχήμα 4.10 Το Μοντέλο προσομοίωσης



Σχήμα 4.11 Τα υποσυστήματα του μοντέλου προσομοίωσης μέσω του Simulink.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΓΡΑΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΕΠΑΦΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Στο 5^ο κεφάλαιο αρχικά θα παρουσιαστεί η κινηματική ανάλυση του ρομποτικού βραχίονα. Θα περιγραφούν τα δύο κινηματικά προβλήματα που σχετίζονται με τους ρομποτικούς βραχίονες. Το ευθύ κινηματικό όπου με δεδομένες τις μεταβλητές των αρθρώσεων προσδιορίζονται η θέση και ο προσανατολισμός του άκρου εργασίας και το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα όπου με δεδομένη τη θέση και τον προσανατολισμό του εργαλείου τελικής δράσης προσδιορίζονται οι μεταβλητές των αρθρώσεων του. Στη συνέχεια θα ακολουθήσει πλήρης περιγραφή του αλγόριθμου Denavit – Hartenberg και η μαθηματική μοντελοποίηση του βραχίονα τύπου Stanford. Τέλος θα γίνει παρουσίαση του περιβάλλοντος διεπαφής με τη βοήθεια του οποίου θα γίνει έλεγχος για τη σωστή λειτουργία του μοντέλου.

5.2 Ο αλγόριθμος Denavit – Hartenberg

Ένας ρομποτικός βραχίονας αποτελείται από άκαμπτα σώματα που αποκαλούνται σύνδεσμοι, συνδεδεμένοι μεταξύ τους με αρθρώσεις. Η συνδεσμολογία αυτή συνιστά μια κινηματική αλυσίδα. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες αρθρώσεις είναι οι περιστροφικές (1 βαθμός ελευθερίας), οι πρισματικές (1 βαθμός ελευθερίας) και οι σφαιρικές (3 βαθμοί ελευθερίας). Ο αλγόριθμος των Denavit – Hartenberg, είναι μια διαδικασία σύμφωνα με την οποία τοποθετούνται ορθοκανονικά και δεξιόστροφα Συστήματα Συντεταγμένων (Σ.Σ) στους συνδέσμους του βραχίονα (στη βάση, στους συνδέσμους και στο άκρο εργασίας), με σκοπό την κατάστρωση και επίλυση του ευθέους και αντίστροφου κινηματικού προβλήματος. Τα βήματα που του αλγόριθμου Denavit – Hartenberg (D-H) είναι τα εξής:

Βήμα 1

- Οι σύνδεσμοι και οι αρθρώσεις αριθμούνται διαδοχικά από τη βάση προς το άκρο εργασίας.
- Η βάση είναι ο σύνδεσμος 0 και το άκρο εργασίας είναι ο σύνδεσμος N.
- Η άρθρωση 1 συνδέει τη βάση (σύνδεσμος 0) με το σύνδεσμο 1 (ο σύνδεσμος που έπεται της άρθρωσης 1, είναι ο σύνδεσμος 1).
- Δεν υφίστανται σύνδεσμοι πέραν του οριακού σημείου του άκρου εργασίας.
- Το τελευταίο Σ.Σ. {N} τοποθετείται στο άκρο εργασίας αυθαίρετα. Ο άξονας xN πρέπει να είναι κάθετος στον άξονα $zN-1$. Ο άξονας zN τοποθετείται συνήθως παράλληλος με τον $zN-1$.

Βήμα 2

Τοποθέτηση των αξόνων z_i ($i = 0, 1, 2, \dots, N$):

- Ο άξονας $\mathbf{z0}$ τοποθετείται (οπουδήποτε) στη βάση, πρέπει όμως να βρίσκεται στη διεύθυνση κίνησης της άρθρωσης 1.
- Ο άξονας $\mathbf{zi-1}$ τοποθετείται στη διεύθυνση κίνησης της άρθρωσης \mathbf{i} .
- Αν η άρθρωση είναι περιστροφική, τότε η διεύθυνση του άξονα \mathbf{z} είναι η διεύθυνση στροφής (η θετική φορά επιλέγεται αυθαίρετα). Αν είναι πρισματική, τότε η διεύθυνση του άξονα \mathbf{z} , είναι η διεύθυνση της γραμμικής κίνησης (η θετική φορά είναι η φορά με την οποία γίνεται η επιμήκυνση).

Βήμα 3

Τοποθέτηση των αξόνων \mathbf{xi}, \mathbf{yi} ($\mathbf{i} = 0, 1, 2, \dots, \mathbf{N}$)

- Ο άξονας \mathbf{xi} τοποθετείται κάθετα στον $\mathbf{zi-1}$ και στον \mathbf{zi} με φορά από τον $\mathbf{zi-1}$ προς τον \mathbf{zi} . Βρίσκεται δηλαδή στην κοινή κάθετο των $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$.
- Αν οι άξονες $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$ τέμνονται (όταν προεκταθούν), τότε η αρχή του Σ.Σ. $\{\mathbf{i}\}$ είναι το σημείο τομής των αξόνων \mathbf{xi}, \mathbf{zi} .
- Αν οι άξονες $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$ τέμνονται (όταν προεκταθούν), τότε η αρχή του Σ.Σ. $\{\mathbf{i}\}$ είναι το σημείο τομής των αξόνων $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$. Η φορά του άξονα \mathbf{xi} , επιλέγεται (από τις δύο πιθανές) αυθαίρετα. Στην περίπτωση αυτή, η παράμετρος \mathbf{di} (βλέπε βήμα 4) είναι 0.
- Αν οι άξονες $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$ είναι παράλληλοι, τότε δεν υπάρχει μονοσήμαντα ορισμένη κάθετο σε αυτούς. Στην περίπτωση αυτή, ο άξονας \mathbf{xi} τοποθετείται αυθαίρετα, αρκεί να είναι κάθετος στον \mathbf{zi} (με φορά από τον $\mathbf{zi-1}$ προς τον \mathbf{zi} εφόσον είναι εφικτό).
- Αν οι άξονες $\mathbf{zi-1}, \mathbf{zi}$ είναι συγγραμμικοί, τότε αρκεί ο άξονας \mathbf{xi} να είναι κάθετος στον \mathbf{zi} . Η αρχή του Σ.Σ. $\{\mathbf{i}\}$ μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε πάνω στον άξονα \mathbf{zi} .
- Ο άξονας \mathbf{xi} πρέπει πάντα να τέμνει τον άξονα $\mathbf{zi-1}$ όταν $\mathbf{i} < \mathbf{N}$.
- Ο άξονας \mathbf{yi} απλά συμπληρώνει το δεξιόστροφο Σ.Σ.

Βήμα 4

Υπολογισμός των παραμέτρων $\theta\mathbf{i}, \mathbf{r}\mathbf{i}, \mathbf{d}\mathbf{i}, \mathbf{a}\mathbf{i}$ και η συμπλήρωση του πίνακα παραμέτρων Denavit – Hartenberg.

Με τη διαδικασία αυτή, το Σ.Σ. $\{\mathbf{i} - 1\}$ (κινούμενο), ταυτίζεται με το Σ.Σ. $\{\mathbf{i}\}$ (στιγμαιαία ακίνητο).

- $\theta\mathbf{i}$: Είναι η γωνία στροφής ως προς τον άξονα $\mathbf{zi-1}$ έτσι ώστε ο άξονας $\mathbf{xi-1}$ να γίνει παράλληλος (και με την ίδια φορά) με τον άξονα \mathbf{xi} . Η στροφή γίνεται σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού (αν η στροφή είναι δεξιόστροφη, τότε λαμβάνεται ως θετική, αν είναι αριστερόστροφη, τότε λαμβάνεται ως αρνητική). Αν η άρθρωση \mathbf{i} είναι περιστροφική, η γωνία $\theta\mathbf{i}$ είναι παράμετρος της άρθρωσης. Αν είναι πρισματική, είναι μια σταθερά ή 0.
- $\mathbf{r}\mathbf{i}$: Είναι η ελάχιστη (κάθετη) απόσταση των αξόνων $\mathbf{xi-1}$ και \mathbf{xi} κατά τον άξονα $\mathbf{zi-1}$. Αν η άρθρωση \mathbf{i} είναι πρισματική, η απόσταση $\mathbf{r}\mathbf{i}$ είναι η παράμετρος της άρθρωσης. Αν είναι περιστροφική, είναι μια σταθερά, όχι απαραίτητα 0.

➤ **di**: Είναι η ελάχιστη (κάθετη) απόσταση των αξόνων **zi-1** και **zi** κατά μήκος του άξονα xi. Υπολογίζεται επίσης ως η απόσταση μεταξύ των σημείων:

(α) τομής των αξόνων **zi-1**, **xi**

(β) της αρχής του Σ.Σ. {i}

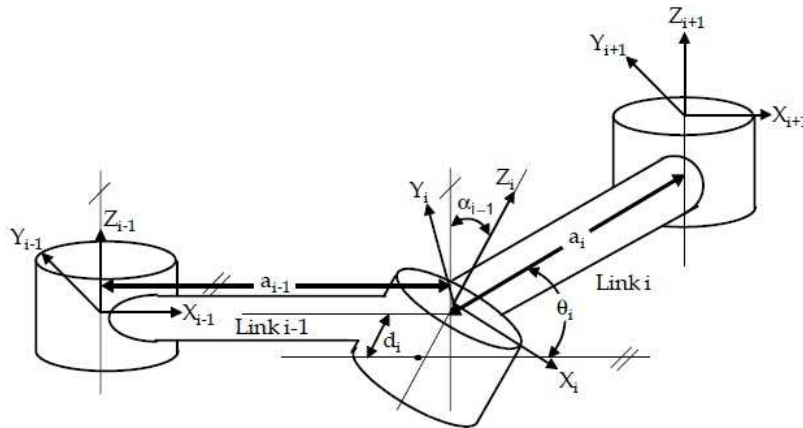
Για τεμνόμενους άξονες **zi-1**, **zi** ή για πρισματική άρθρωση, **di** = 0

➤ **ai**: Είναι η γωνία στροφής ως προς τον άξονα xi, έτσι ώστε ο άξονας **zi-1** να γίνει παράλληλος (και με την ίδια φορά) με τον άξονα **zi**. Η στροφή γίνεται σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού (αν η στροφή είναι δεξιόστροφη, τότε λαμβάνεται ως θετική, αν είναι αριστερόστροφη, τότε λαμβάνεται ως αρνητική).¹⁹

5.3 Ευθύ κινηματικό πρόβλημα

Ένας βραχίονας αποτελείται από σειριακούς συνδέσμους οι οποίοι τοποθετούνται σε κάθε άρθρωση από τη βάση μέχρι το εργαλείο τελικής δράσης. Για να εφαρμοστεί το ευθύ κινηματικό σε ένα ρομπότ θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα κατάλληλο κινηματικό μοντέλο. Η μεθοδολογία Denavit - Hartenberg που χρησιμοποιεί τέσσερις παραμέτρους είναι η πιο κοινή μέθοδος για την περιγραφή του κινηματικού προβλήματος ενός ρομπότ. Ένα σύστημα συντεταγμένων επισυνάπτεται σε κάθε άρθρωση και καθορίζει τις DH παραμέτρους. Βάσει της μεθόδου αυτής επιλέγονται με συγκεκριμένο τρόπο τα συστήματα συντεταγμένων που είναι προσαρμοσμένα σε κάθε σύνδεσμο του ρομποτικού βραχίονα εκτελώντας τα βήματα του αλγορίθμου όπως είδαμε στην παράγραφο 5.1. Έτσι προσδιορίζεται η θέση και ο προσανατολισμός του άκρου εργασίας ως προς το ακίνητο σύστημα συντεταγμένων.²⁰

Στο παρακάτω σχέδιο παρουσιάζεται ένας γενικού τύπου βραχίονας με τις συντεταγμένες του (Σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1 Συντεταγμένες σε γενικού τύπου βραχίονα

Όπως φαίνεται η απόσταση από το Zi-1 στο Zi μετριέται κατά μήκος του Xi-1 και έχει ονομαστεί ως ai-1, η γωνία μεταξύ του Zi-1 και του Zi μετριούνται κατά μήκος του Xi και έχει ονομαστεί ai-1, η απόσταση από το Xi-1 στο Xi μετριέται κατά μήκος του Zi και ονομάζεται ως di και η γωνία μεταξύ του Xi-1 και του Xi μετριέται κατά μήκος του Zi και ονομάζεται θi. Η γενική μορφή του πίνακα μετασχηματισμού για μία απλή σύνδεση μπορεί να υπολογιστεί όπως παρακάτω:

$$\begin{aligned}
 {}^{i-1}T_i &= R_x(\alpha_{i-1})D_x(a_{i-1})R_z(\theta_i)Q_i(d_i) \\
 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}
 \end{aligned}$$

όπου Rx και Rz αντιπροσωπεύουν την περιστροφή, Dx και Qi αντιπροσωπεύουν μετατόπιση, και cθi και sθi είναι η εν συντομία ονομασία των cosθi and sinθi, αντίστοιχα. Το ευθύ κινηματικό για το άκρο εργασίας σε σχέση με τη βάση προσδιορίζεται πολλαπλασιάζοντας όλους τους πίνακες του ${}^{i-1}T_i$.

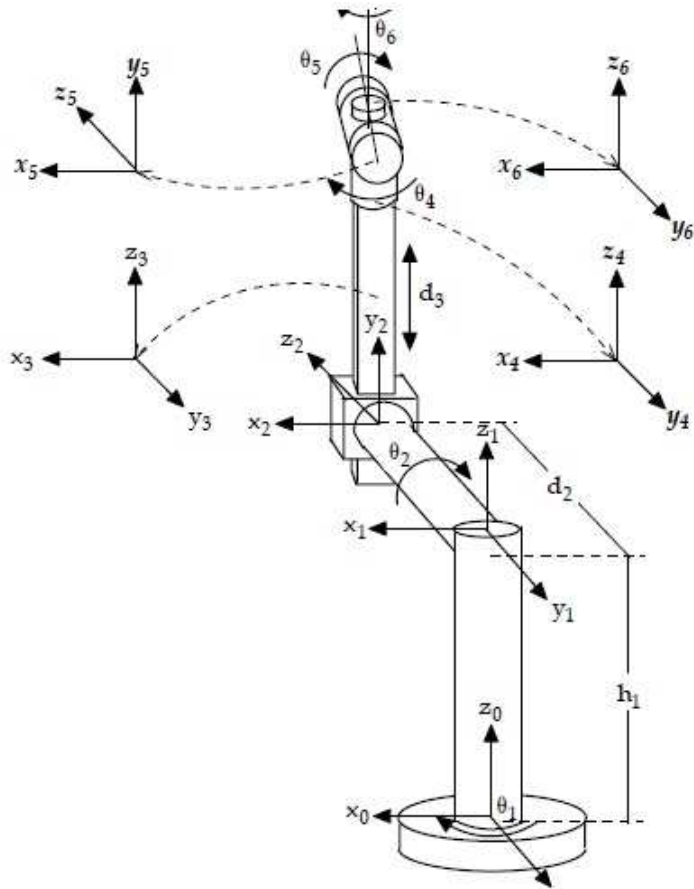
$$\begin{aligned}
 {}_{\text{end_effector}}^{\text{base}}T &= {}^0T_1 {}^1T_2 \dots {}^{n-1}T_n \\
 {}_{\text{end-effector}}^{\text{base}}T &= \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} & p_x \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \Gamma_{23} & p_y \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

όπου τα Γ_{kj} περιγράφουν τα στοιχεία περιστροφής του πίνακα μετασχηματισμού (k=j=1,2,3). Τα px, py, pz είναι τα στοιχεία του διανύσματα θέσεως. Για έξι βαθμών ελευθερίας ρομποτικό βραχίονα, η θέση και ο προσανατολισμός του άκρου εργασίας σε σχέση με τη βάση δίνεται από τη σχέση:

$${}^0T_6 = {}^0T_1(q_1) {}^1T_2(q_2) {}^2T_3(q_3) {}^3T_4(q_4) {}^4T_5(q_5) {}^5T_6(q_6)$$

,τα qi είναι η αρθρώσεις.

Ο ρομποτικός βραχίονας τύπου Stanford μαζί με τα αντίστοιχα συστήματα συντεταγμένων παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Σχεδιάγραμμα ρομποτικού βραχίονα Stanford με τα συστήματα συντεταγμένων.

i	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	θ_1	0	0	h_1
2	θ_2	90	0	d_2
3	0	-90	0	d_3
4	θ_4	0	0	0
5	θ_5	90	0	0
6	θ_6	-90	0	0

Σχήμα 5.3 Πίνακας παραμέτρων DH για τον βραχίονα Stanford

Είναι απλό να υπολογίσουμε τους πίνακες μετασχηματισμού αν λάβουμε υπόψη την εξίσωση (1) οπότε και έχουμε:

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$${}^1_2T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -d_2 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & 0 \\ s\theta_4 & c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$${}^4_5T = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$${}^5_6T = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Το ευθύ κινηματικό πρόβλημα για το Stanford βραχίονα μπορεί να υπολογιστεί από την μορφή της εξίσωσης (3) πολλαπλασιάζοντας το σύνολο των στοιχείων του ${}^{i-1}_iT$ όπου το $i=1,2,\dots,6$. Στην περίπτωση αυτή 0_6T δίνεται από:

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} & P_x \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \Gamma_{23} & P_y \\ \Gamma_{31} & \Gamma_{32} & \Gamma_{33} & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

όπου,

$$r_{11} = -s\theta_6 (c\theta_4 s\theta_1 + c\theta_1 c\theta_2 s\theta_4) - c\theta_6 (c\theta_5 (s\theta_1 s\theta_4 - c\theta_1 c\theta_2 c\theta_4) + c\theta_1 s\theta_2 s\theta_5)$$

$$r_{12} = s\theta_6 (c\theta_5 (s\theta_1 s\theta_4 - c\theta_1 c\theta_2 c\theta_4) + c\theta_1 s\theta_2 s\theta_5) - c\theta_6 (c\theta_4 s\theta_1 + c\theta_1 c\theta_2 s\theta_4)$$

$$r_{13} = s\theta_5 (s\theta_1 s\theta_4 - c\theta_1 c\theta_2 c\theta_4) - c\theta_1 c\theta_5 s\theta_2$$

$$r_{21} = s\theta_6 (c\theta_1 c\theta_4 - c\theta_2 s\theta_1 s\theta_4) + c\theta_6 (c\theta_5 (c\theta_1 s\theta_4 + c\theta_2 c\theta_4 s\theta_1) - s\theta_1 s\theta_2 s\theta_5)$$

$$r_{22} = c\theta_6 (c\theta_1 c\theta_4 - c\theta_2 s\theta_1 s\theta_4) - s\theta_6 (c\theta_5 (c\theta_1 s\theta_4 + c\theta_2 c\theta_4 s\theta_1) - s\theta_1 s\theta_2 s\theta_5)$$

$$r_{23} = -s\theta_5 (c\theta_1 s\theta_4 + c\theta_2 c\theta_4 s\theta_1) - c\theta_5 s\theta_1 s\theta_2$$

$$r_{31} = c\theta_6 (c\theta_2 s\theta_5 + c\theta_4 c\theta_5 s\theta_2) - s\theta_2 s\theta_4 s\theta_6$$

$$r_{32} = -s\theta_6 (c\theta_2 s\theta_5 + c\theta_4 c\theta_5 s\theta_2) - c\theta_6 s\theta_2 s\theta_4$$

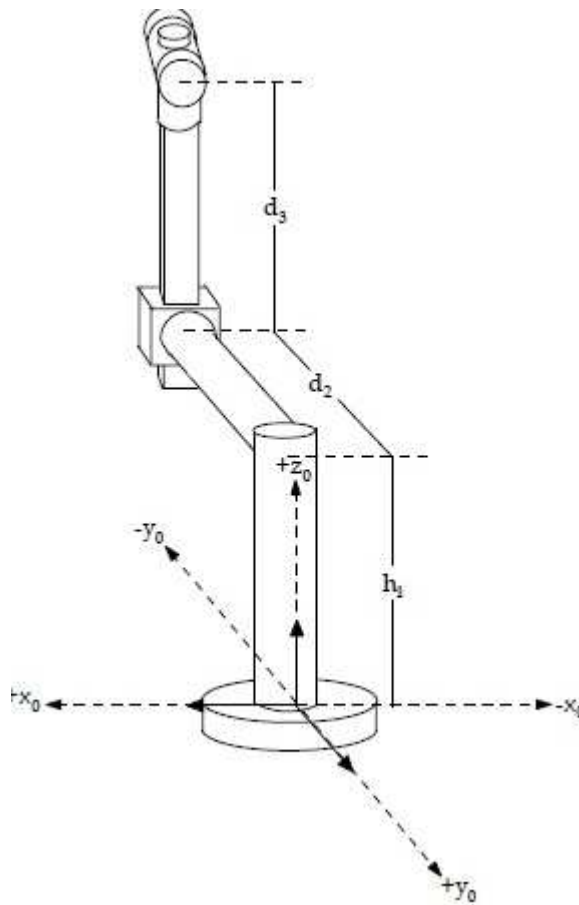
$$r_{33} = c\theta_2 c\theta_5 - c\theta_4 s\theta_2 s\theta_5$$

$$p_x = d_2 s\theta_1 - d_3 c\theta_1 s\theta_2$$

$$p_y = -d_2 c\theta_1 - d_3 s\theta_1 s\theta_2$$

$$p_z = h_1 + d_3 c\theta_2$$

Για την επαλήθευση του μαθηματικού μοντέλου παρατηρούμε το επόμενο σχήμα [Σχήμα 5.4] και τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Το γενικό διάνυσμα θέσης στην εξίσωση 11 θα πρέπει να συγκριθεί με το μηδενικό διάνυσμα θέσης στο [Σχήμα 5.4].



Σχήμα 5.4 Μηδενική θέση του βραχίονα Stanford

Το γενικό διάνυσμα θέσης του βραχίονα Stanford δίνεται από:

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_2 s\theta_1 - d_3 c\theta_1 s\theta_2 \\ -d_2 c\theta_1 - d_3 s\theta_1 s\theta_2 \\ h_1 + d_3 c\theta_2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Προκειμένου να επιτευχθεί μηδενική θέση, θέτουμε $\theta_1 = \theta_2 = 0^\circ$ στην εξίσωση (12)

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_2 s(0^\circ) - d_3 c(0^\circ) s(0^\circ) \\ -d_2 c(0^\circ) - d_3 s(0^\circ) s(0^\circ) \\ h_1 + d_3 c(0^\circ) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -d_2 \\ h_1 + d_3 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Όλα τα συστήματα συντεταγμένων στο (Σχήμα 5.2) αφαιρούνται εκτός από την βάση που είναι το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων των συνδέσμων σε θέση μηδέν (Σχήμα 5.4). Δεδομένου ότι δεν παρατηρήθηκαν σύνδεσμοι κατά την διεύθυνση των $+x_0$ και $-x_0$ στο (Σχήμα 5.4), $p_x = 0$. Υπάρχει μόνο η παράμετρος d_2 σε $-y_0$ κατεύθυνση έτσι το $p_y = -d_2$. Οι παράμετροι h_1 και d_3 είναι οι $+z_0$ κατεύθυνση, έτσι $p_z = h_1 + d_3$. Σε αυτή την περίπτωση το μηδενικό διάνυσμα θέσης του βραχίονα Stanford λαμβάνεται ως ακολούθως

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -d_2 \\ h_1 + d_3 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Εξηγήθηκε παραπάνω ότι τα αποτελέσματα του διανύσματος θέσεως στην εξίσωση (13) είναι πανομοιότυπα με εκείνα που λαμβάνονται στην εξίσωση (14). Ως εκ τούτου μπορούμε να πούμε ότι το μαθηματικό μοντέλο του βραχίονα Stanford οδηγείται σωστά.

5.4 Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

Το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα αναφέρεται στον προσδιορισμό των μεταβλητών των αρθρώσεων του ρομπότ ενώ μας δίνεται η θέση και ο προσανατολισμός του εργαλείου της τελικής δράσης. Την επίλυση αυτού του προβλήματος αποτελεί η λύση μη γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων. Για την αριθμητική επίλυση μη γραμμικών συστημάτων εξισώσεων υπάρχουν πολλές αριθμητικές μέθοδοι που συγκλίνουν προς την λύση. Στο αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα οι τρεις πρώτες αρθρώσεις μπορούν να επιλυθούν χρησιμοποιώντας τα διανύσματα θέσης και των δύο πλευρών τις εξισώσεις (15)

$$\begin{bmatrix} {}^0_1T & {}^1_2T \end{bmatrix}^{-1} {}^0_6T = {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & c\theta_2(c\theta_1p_x + s\theta_1p_y) + s\theta_2(p_z - h_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & -s\theta_2(c\theta_1p_x + s\theta_1p_y) + c\theta_2(p_z - h_1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & s\theta_1p_x - c\theta_1p_y - d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & d_3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Οι μεταβλητές των περιστροφικών αρθρώσεων θ_1 και θ_2 λαμβάνονται τα (3,4) και (1,4) στοιχεία της κάθε πλευράς της εξίσωσης (15) και χρησιμοποιώντας την πρώτη και δεύτερη τριγωνομετρική εξίσωση.

Equations	Solutions
1 $a \sin \theta + b \cos \theta = c$	$\theta = A \tan 2(a, b) \mp A \tan 2(\sqrt{a^2 + b^2 - c^2}, c)$
2 $a \sin \theta + b \cos \theta = 0$	$\theta = A \tan 2(-b, a)$ or $\theta = A \tan 2(b, -a)$
3 $\cos \theta = a$ and $\sin \theta = b$	$\theta = A \tan 2(b, a)$
4 $\cos \theta = a$	$\theta = A \tan 2(\mp \sqrt{1 - a^2}, a)$
5 $\sin \theta = a$	$\theta = A \tan 2(a, \mp \sqrt{1 - a^2})$

Αντιστοίχως,

$$\theta_1 = A \tan 2(p_x, -p_y) \pm A \tan 2(\sqrt{p_x^2 + p_y^2 - d_2^2}, d_2) \quad (16)$$

$$\theta_2 = \pm A \tan 2(c\theta_1p_x + s\theta_1p_y, -p_z + h_1) \quad (17)$$

Η μεταβλητή της πρισματικής άρθρωσης d_3 βγαίνει από τα (2,4) στοιχεία της κάθε πλευράς της εξίσωσης (15) όπως ακολουθεί.

$$d_3 = -s\theta_2(c\theta_1p_x + s\theta_1p_y) + c\theta_2(p_z - h_1) \quad (18)$$

Οι μεταβλητές των τριών τελευταίων αρθρώσεων οι μεταβλητές μπορούν να βρεθούν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία περιστροφής από κάθε πλευρά στην εξίσωση (15). Οι πίνακες για την περιστροφή είναι:

$$\begin{bmatrix} \cdot & \cdot & r_{33}s\theta_2 + r_{13}c\theta_1c\theta_2 + r_{23}c\theta_2s\theta_1 & \cdot \\ d & e & r_{33}c\theta_2 - r_{13}c\theta_1s\theta_2 - r_{23}s\theta_1s\theta_2 & \cdot \\ \cdot & \cdot & r_{13}s\theta_1 - r_{23}c\theta_1 & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdot & \cdot & -c\theta_4s\theta_5 & \cdot \\ c\theta_6s\theta_5 & -s\theta_5s\theta_6 & c\theta_5 & \cdot \\ \cdot & \cdot & s\theta_4s\theta_5 & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

όπου $e = r_{32}c\theta_2 - r_{12}c\theta_1s\theta_2 - r_{22}s\theta_1s\theta_2$ και $d = r_{31}c\theta_2 - r_{11}c\theta_1s\theta_2 - r_{21}s\theta_1s\theta_2$.

Οι μεταβλητές της περιστροφικής άρθρωσης θ_5 καθορίζονται από την εξίσωση των (2,3) στοιχείων και των δυο πλευρών στην εξίσωση (19) και χρησιμοποιώντας την τέταρτη τριγωνομετρική εξίσωση όπως ακολουθεί.

$$\theta_5 = A \tan 2 \left(\pm \sqrt{1 - (r_{33}c\theta_2 - r_{13}c\theta_1s\theta_2 - r_{23}s\theta_1s\theta_2)^2}, r_{33}c\theta_2 - r_{13}c\theta_1s\theta_2 - r_{23}s\theta_1s\theta_2 \right) \quad (20)$$

Βγάζοντας $\cos \theta_4$ και $\sin \theta_4$, από (1,3) και (3,3), $\cos \theta_6$ και $\sin \theta_6$ από (2,1) και (2,2) στοιχεία κάθε πλευράς της εξίσωσης (19) και χρησιμοποιώντας τη τρίτη τριγωνομετρική εξίσωση θ_4 και θ_6 από της μεταβλητές των περιστροφικών αρθρώσεων, μπορούν να υπολογιστούν αντίστοιχα.

$$\theta_4 = A \tan 2 \left(\frac{r_{13}s\theta_1 - r_{23}c\theta_1}{s\theta_5}, -\frac{r_{33}s\theta_2 + r_{13}c\theta_1c\theta_2 + r_{23}c\theta_2s\theta_1}{s\theta_5} \right) \quad (21)$$

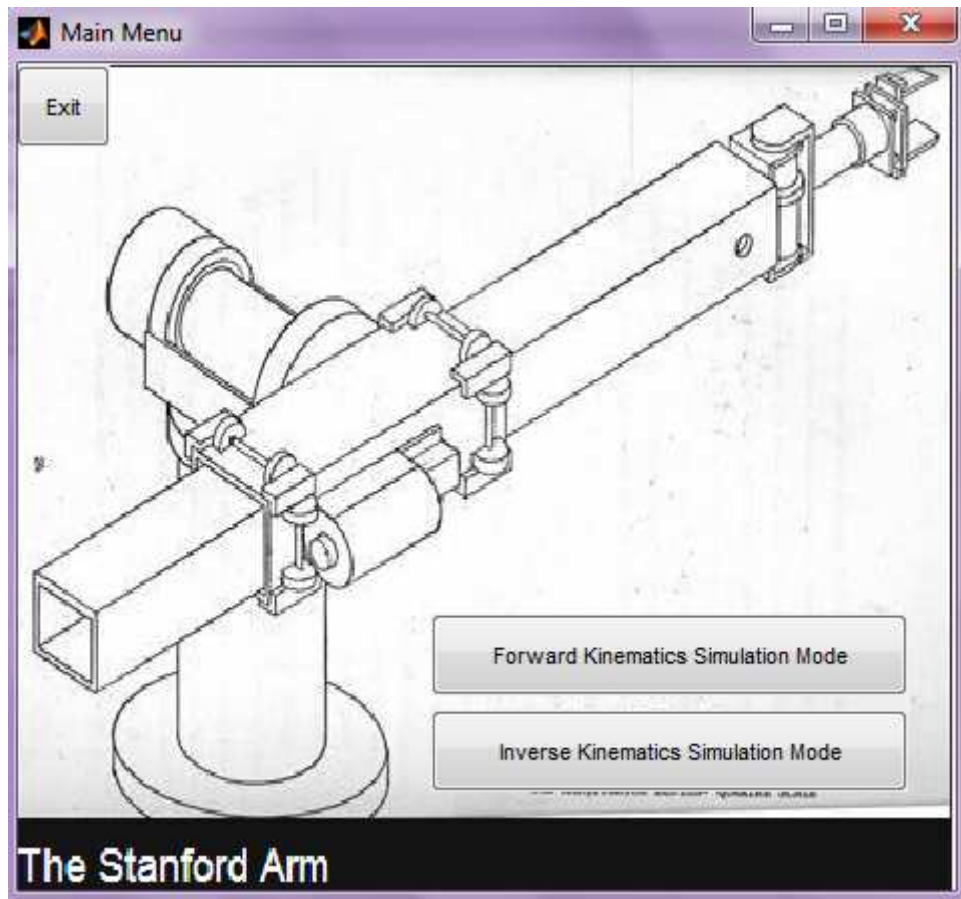
$$\theta_6 = A \tan 2 \left(-\frac{r_{32}c\theta_2 - r_{12}c\theta_1s\theta_2 - r_{22}s\theta_1s\theta_2}{s\theta_5}, \frac{r_{31}c\theta_2 - r_{11}c\theta_1s\theta_2 - r_{21}s\theta_1s\theta_2}{s\theta_5} \right) \quad (22)$$

5.5 Προσομοίωση και Έλεγχος Βραχίονα από Υπολογιστή

Για να μελετήσουμε τον τρόπο λειτουργίας του βραχίονα αναπτύσσουμε γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη (Graphical User Interface – GUI) χρησιμοποιώντας το λογισμικό MATLAB που επιτρέπει στο χρήστη να ελέγχει το βραχίονα σε περιβάλλον προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το ευθύ ή το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα.

5.5.1 Κεντρικό Μενού Επιλογής σε Γραφικό Περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη

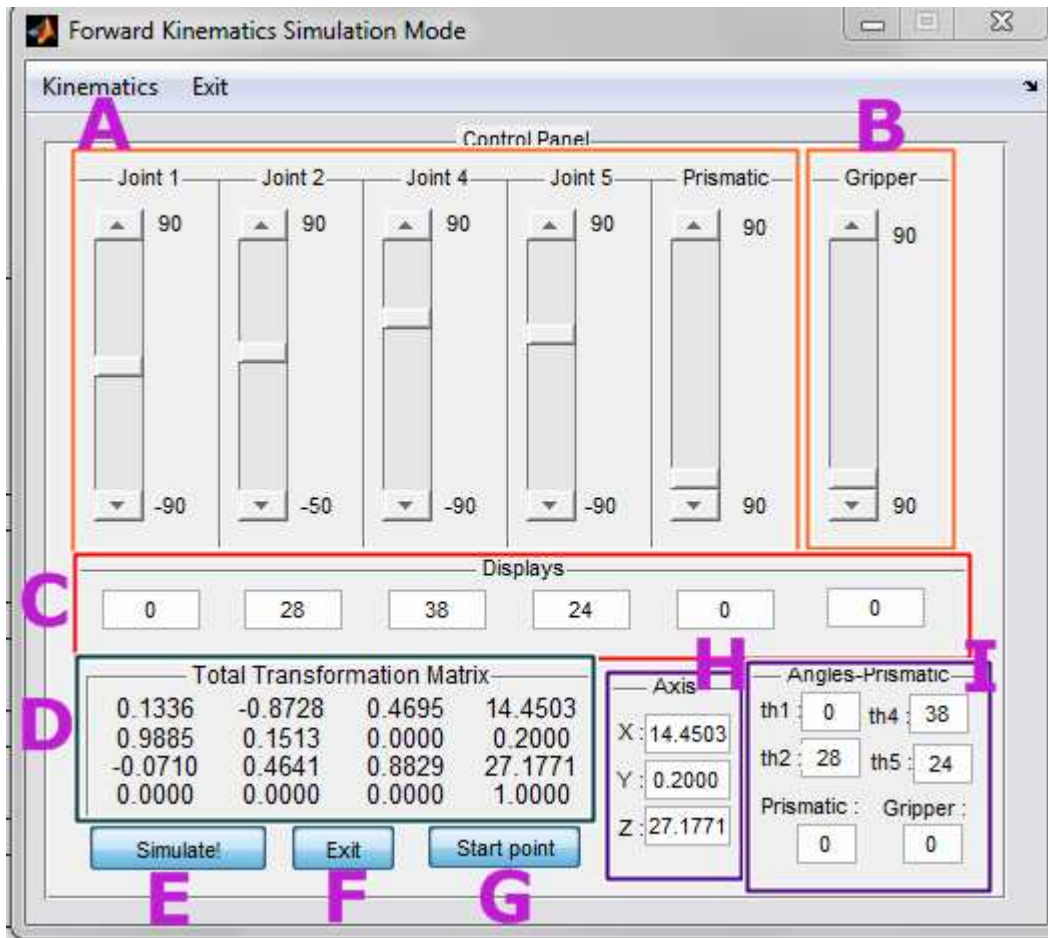
Για την επιλογή προσομοίωσης αναπτύχθηκε ένα γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη (Graphical User Interface – GUI) όπου για την επιλογή προσομοίωσης του ευθέως κινηματικού προβλήματος, επιλέγεται το “Forward Kinematics Simulation Mode” και για το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα επιλέγεται το “Inverse Kinematics Simulation Mode” ενώ υπάρχει και η επιλογή “Exit” για έξοδο από το κεντρικό μενού.



Σχήμα 5.5 Γραφικό περιβάλλον διεπαφής - GUI

5.5.2 Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής για την μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης

Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη για την μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης. Με τη χρήση του γραφικού περιβάλλοντος δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τις τιμές των αρθρώσεων και με αυτές να υπολογίσει τις συντεταγμένες του εργαλείου τελικής δράσης. Ακόμα υπολογίζεται ο συνολικός πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού. Όλες οι λειτουργίες του περιβάλλοντος προσομοίωσης περιγράφονται αναλυτικά.



Σχήμα 5.6 Γραφική διεπαφής χρήστη σε περιβάλλον προσομοίωσης ευθέως κινηματικού προβλήματος

A: Στην περιοχή [A], δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να κινεί τις μπάρες ολίσθησης(sliders) και να δίνει τις επιθυμητές τιμές των γωνιών

B: Στην περιοχή [B], ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ελέγξει το άνοιγμα ή το κλείσιμο της αρπάγης του άκρου εργασίας του εικονικού βραχίονα κινώντας την μπάρα ολίσθησης.

C: Στην περιοχή [C], δίνεται η επιλογή (εκτός της δυνατότητας εμφάνισης της θέσης της κάθε μπάρας ολίσθησης) αντί να κινήσουμε τις μπάρες ολίσθησης να πληκτρολογήσουμε τις επιθυμητές τιμές.

D: Στην περιοχή [D], εμφανίζονται οι τιμές των συνταγμένων του εικονικού βραχίονα.

E: Στην περιοχή [E], δίνεται η επιλογή στον χρήστη μέσω του κουμπιού “Simulate!” να δώσει εντολή για την προσομοίωση του εικονικού βραχίονα.

F: Στην περιοχή [F], υπάρχει η επιλογή του κουμπιού “Exit” ώστε ο χρήστης να

εξέλθει από το περιβάλλον διεπαφής.

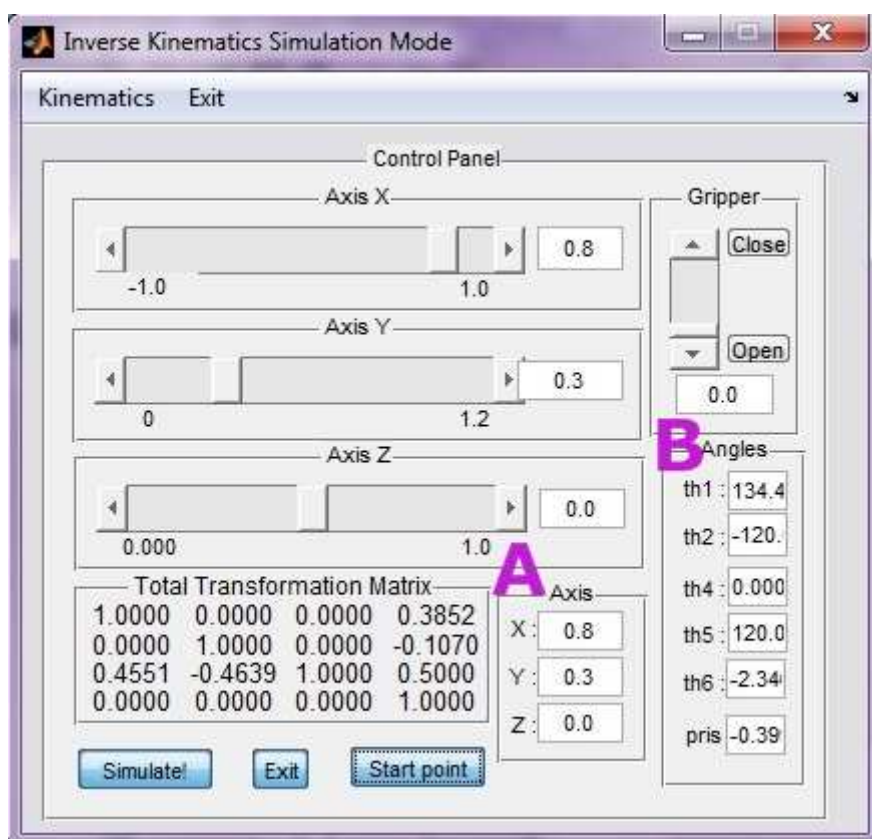
G: Στην περιοχή [G], υπάρχει η δυνατότητα επιστροφής στο αρχικό σημείο τιμών που ξεκίνησε η εφαρμογή (Home position).

H: Στην περιοχή [H], εμφανίζονται οι τιμές των συντεταγμένων του εικονικού βραχίονα.

I: Στην περιοχή [I], εμφανίζονται οι τιμές των γωνιών του εικονικού βραχίονα.

5.5.3 Ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής για την μελέτη του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης.

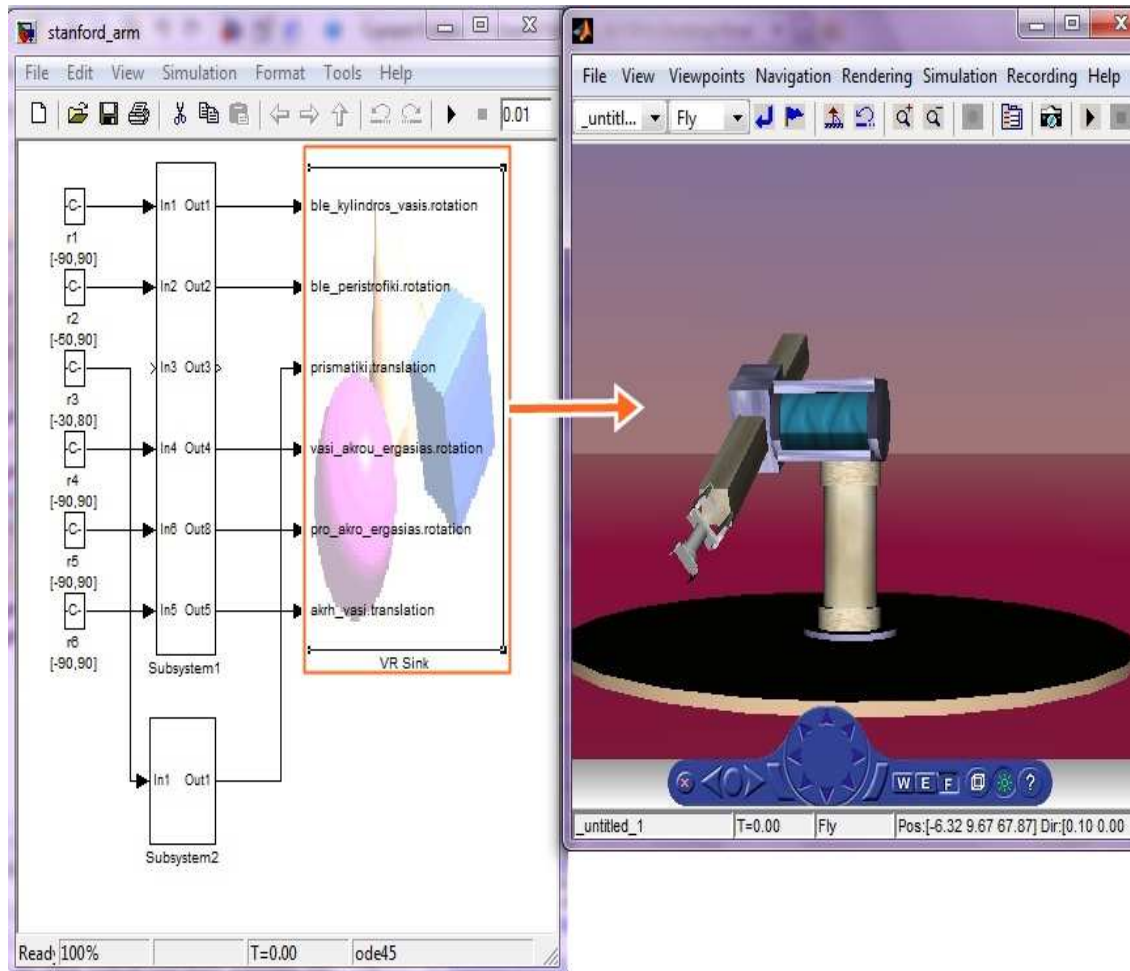
Για την μελέτη του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος αναπτύχθηκε ένα γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης χρήστη σε περιβάλλον προσομοίωσης, που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7. Με την χρήση του υπάρχει η δυνατότητα ο χρήστης να εισάγει τις τιμές των συντεταγμένων του εργαλείου τελικής δράσης. Για κάθε τιμή συντεταγμένων (X,Y,Z) υπολογίζονται οι τιμές των αρθρώσεων του εικονικού βραχίονα καθώς και ο συνολικός πίνακας ομογενούς μετασχηματισμού.



Σχήμα 5.7 Γραφική διεπαφή χρήστη, προσομοίωση αντίστροφου κινηματικού

5.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Για να επιβεβαιωθεί η σωστή λειτουργία του λογισμικού που αναπτύχθηκε, εκτελέστηκαν τα παρακάτω πειράματα. Θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα σωστής λειτουργίας για τη μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος καθώς επίσης και του αντιστρόφου κινηματικού.

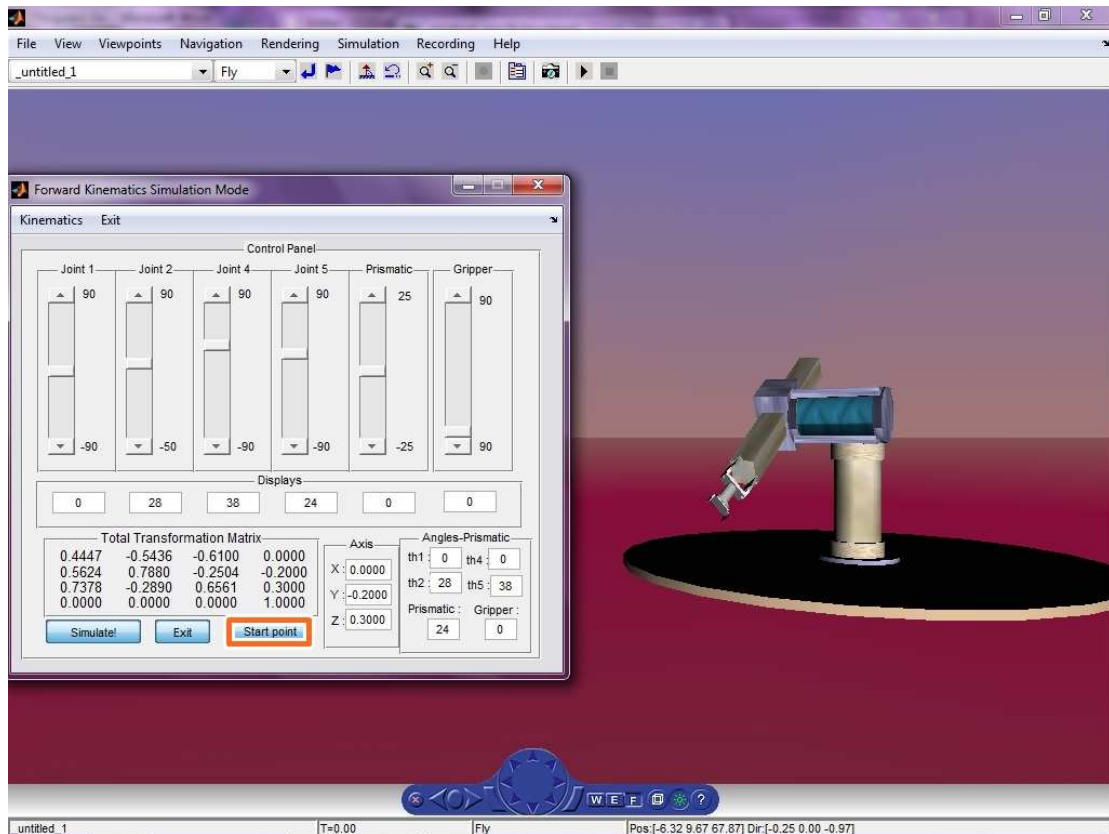


Σχήμα 5.8 Το Simulink Model και ο εικονικός κόσμος

5.6.1 Πείραμα 1: Μελέτη του ευθέως κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης.

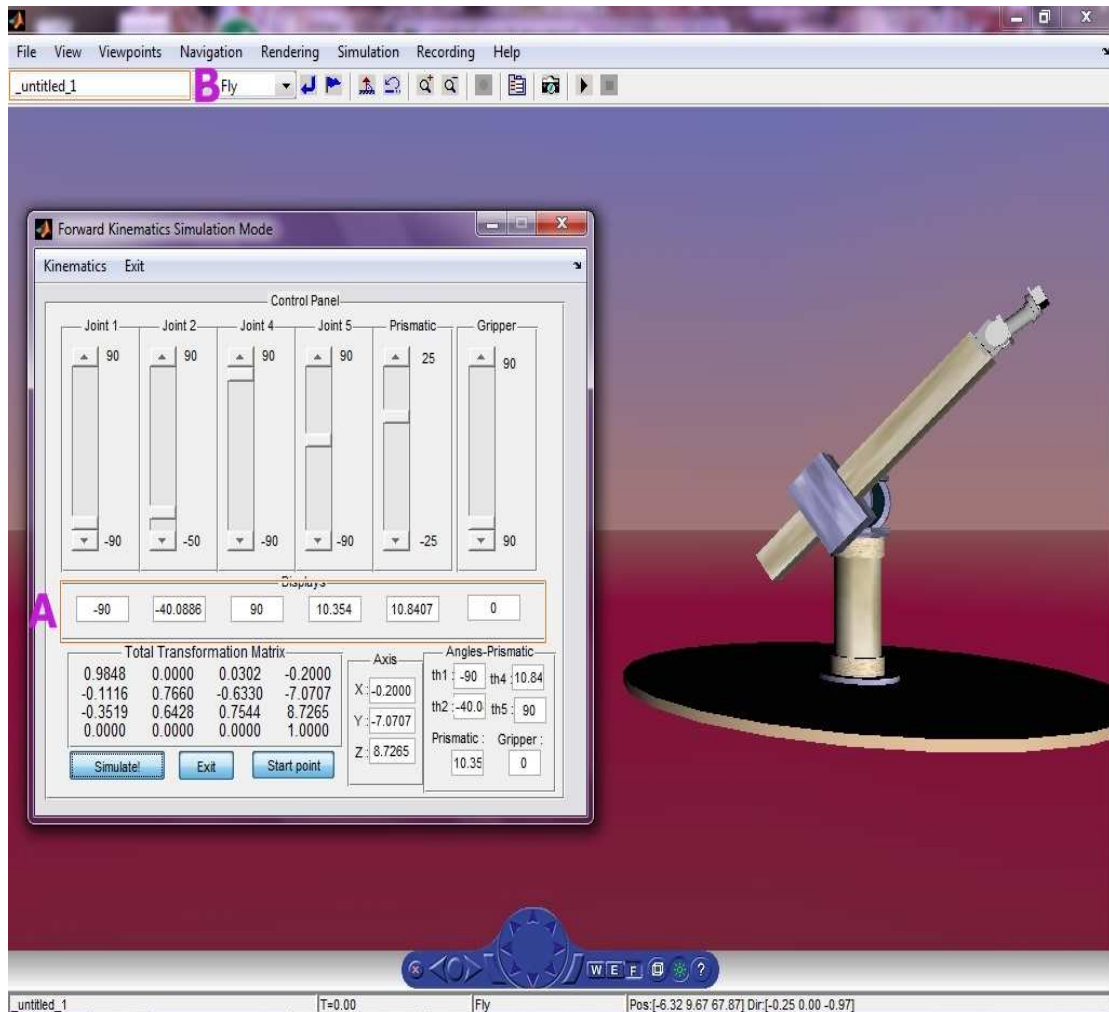
Για την προσομοίωση του ευθέως κινηματικού προβλήματος, πρέπει να επιλεγεί το “Forward Kinematics Simulation Mode” είτε από την κεντρική διεπαφή (Main Menu) είτε από το Kinematics→Simulation Mode→Forward Kinematics Simulation Mode του μενού της ήδη υπάρχουσας διεπαφής (Σχήμα 5.6).

Επιλέγοντας το Start point, ο εικονικός βραχίονας πηγαίνει στη θέση εκκίνησης που του έχει οριστεί.



Σχήμα 5.9 Προσομοίωση του ευθέως κινηματικού με τον εικονικό βραχίονα στην αρχική του θέση

Αλλάζοντας τις τιμές των αρθρώσεων Joint1, Joint2, , Joint4, Joint5 και Prismatic σε -90,-40,90,10 και 10 αντίστοιχα (Σχήμα 5.10,A), ο εικονικός βραχίονας οδηγείται σε μια άλλη θέση. Για να αλλάξει το σημείο παρατήρησης του εικονικού βραχίονα πρέπει να επιλεγεί διαφορετικό Viewpoint (Σχήμα 5.10, B). Στο πείραμα αυτό επιλέχθηκε το πρώτο Viewpoint.

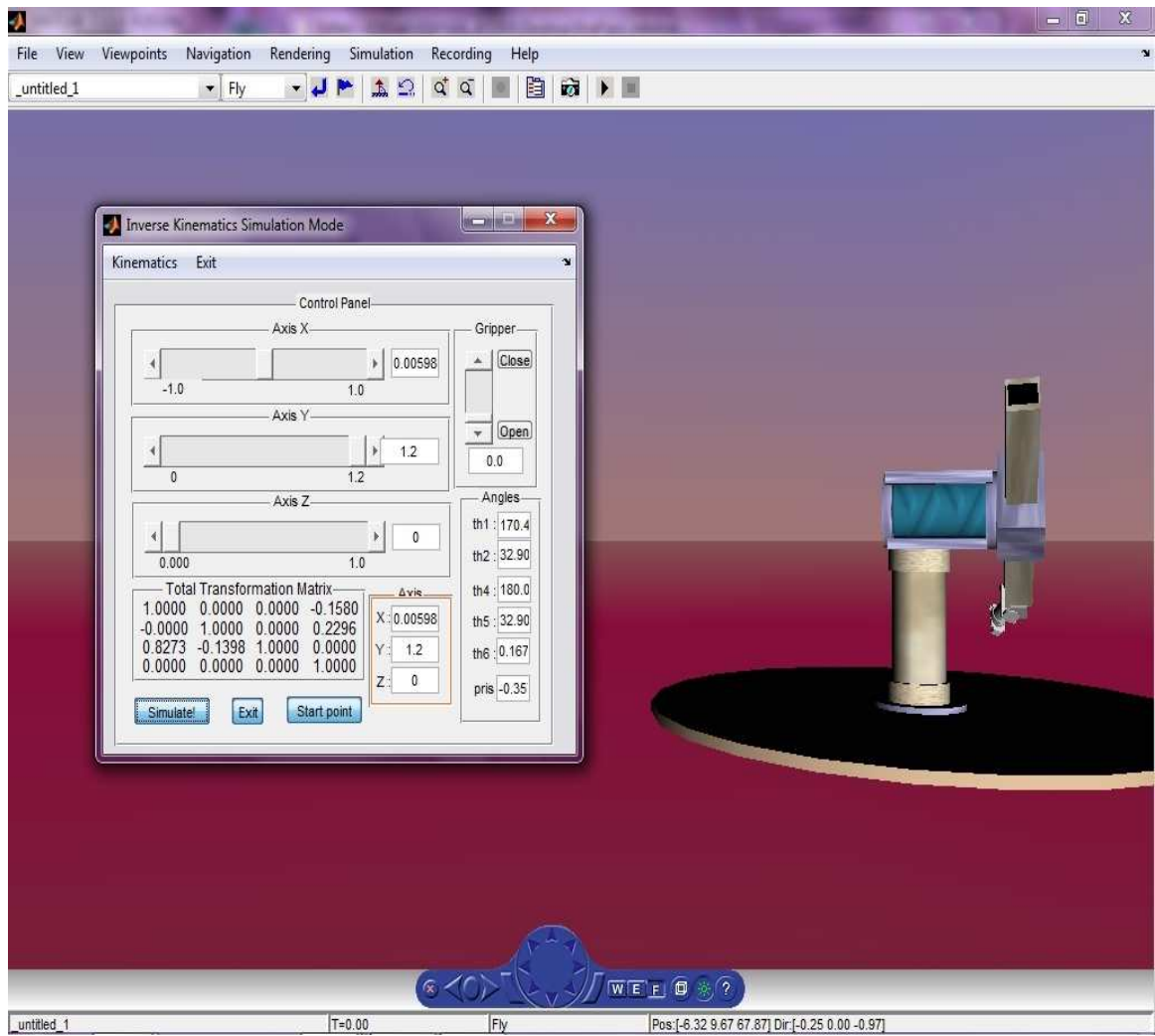


Σχήμα 5.10 Προσομοίωση του ευθέως κινηματικού με διαφορετικό σημείο παρατήρησης

5.6.2 Πείραμα 2: Μελέτη του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος σε περιβάλλον προσομοίωσης

Για την προσομοίωση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος πρέπει να επιλεγεί το “Inverse Kinematics Simulation Mode” είτε από την κεντρική διεπαφή (Main Menu) είτε από το Kinematics→Simulation Mode→Inverse Kinematics Simulation Mode του μενού της ήδη υπάρχουσας διεπαφής.

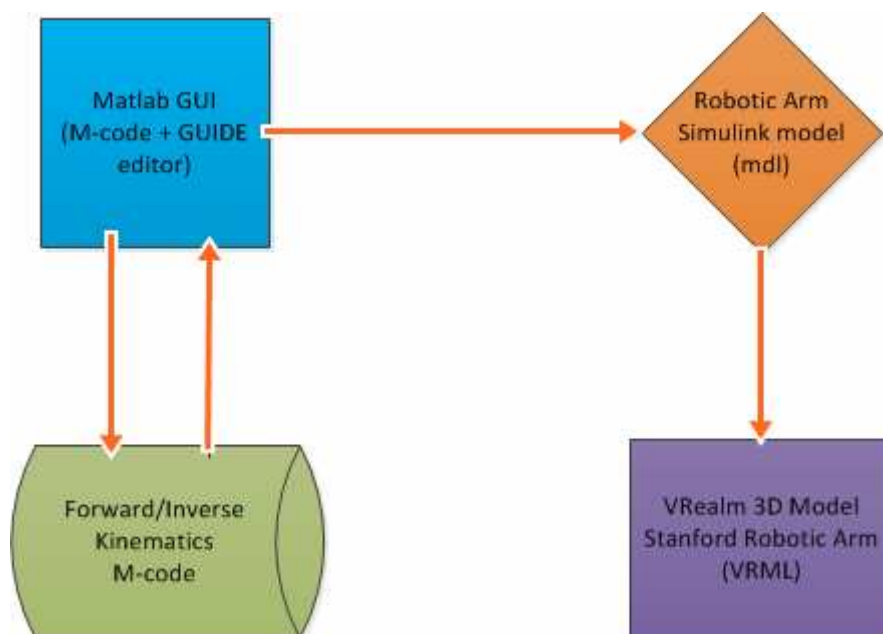
Αλλάζοντας τις τιμές των συντεταγμένων κατά άξονα X, Y και Z σε 0.05, 1.2 και 0 αντίστοιχα [Σχήμα 5.11], ο εικονικός βραχίονας όπως βλέπουμε οδηγείται σε μια άλλη θέση.



Σχήμα 5.11 Προσομοίωση του αντίστροφου κινηματικού προβλήματος

5.6.3 Στοιχείο κατανόησης θεωρίας

Στο Σχήμα 5.12 παρουσιάζονται τα διάφορα δομικά στοιχεία που μελετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία προκειμένου να αναπτυχθεί το πλήρως λειτουργικό μοντέλο.



Σχήμα 5.12

Περιγράφονται οι διαδικασίες μέχρι τον έλεγχο της κίνησης του βραχίονα από τον υπολογιστή. Αναλόγως το τι θα ζητήσει ο χρήστης από το κεντρικό μενού του γραφικού περιβάλλοντος GUI (M-code, Guide Editor) στο MATLAB επιλύονται το ευθύ και το αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα και επιστρέφονται τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνει το μοντέλο του Simulink (mdl) που έχουμε δημιουργήσει.

Τέλος από το μοντέλο του βραχίονα στο Simulink δίνονται οι εντολές και προσομοιώνεται ο τρισδιάστατος ρομποτικός βραχίονας που σχεδιάστηκε στο V-Realm Builder (VRML).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 Εισαγωγικές Σημειώσεις Ρομποτικής
url: (http://courseware.mech.ntua.gr/ml23419/robotics_pdf/intro.pdf)
- 2 Παναγιώτα Νίκα , Πτυχιακή εργασία «Εισαγωγή στον προγραμματισμό με δραστηριότητες εκπαιδευτικής ρομποτικής: χρήση του NXT Software.», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 2010
- 3 WorkSpace LT
url: (<http://www.workspace.lt.com/WorkspaceLT/Features.htm>)
- 4 RobotStudio
url: ([http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/04d4880ceaed532fc125733800436b5/\\$file/rs_5_datasheet_en_print.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/04d4880ceaed532fc125733800436b5/$file/rs_5_datasheet_en_print.pdf))
- 5 Pyro Python Robotics
url: (<http://pyrorobotics.org/>)
- 6 RoboMind
url: (<http://www.robomind.net/en/index.html>)
- 7 Webots User Guide
url: (<http://www.cyberbotics.com/guide.pdf>)
- 8 Webots
url: (<http://en.wikipedia.org/wiki/Webots>)
- 9 Microsoft Robotics Developer Studio
url: (<http://www.microsoft.com/robotics/>)
- 10 Virtual Reality Modeling Language
url: (<http://meteora.csd.auth.gr/~dpolitistcltk/vrml/Project.html>)
- 11 Virtual Reality Modeling Language
url: (<http://en.wikipedia.org/wiki/VRML>)
- 12 The VRML tutor
url: (<http://www.it.uom.gr/project/vrml/vrml02/index.html#istoria>)

13 V-Realm Builder

url: (http://www.elisoftware.org/index.php?title=V-Realm_Builder_%28PC,_CD-ROM%29_Integrated_Data_Systems_-_1996_USA,_Canada_Release)

14 Στυλιανός Αστεριάδης, Διπλωματική εργασία «Μελέτη ευστάθειας ασαφών ελεγκτών με τη μέθοδο των γραμμικών ανισοτήτων πινάκων: Εφαρμογή στο Ρομποτικό Βραχίονα», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης 2004

15 3D Max

url: (<http://usa.autodesk.com/3ds-max/>)

16 Blender

url: (<http://www.blender.org/>)

17 SolidWorks

url : (<http://www.capinc.com/support/faq/basic-faq#q1>)

18 Stanford Arm

url : (<http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/1-Robot.htm>)

19 Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, «Ρομποτική και Εφαρμογές» , Σημειώσεις Μαθήματος, Εργαστηριακή Άσκηση 6^η & 7^η

20 Φώτης Ν. Κουμπουλής, Βασίλης Γ. Μέρτζιος, «Εισαγωγή στη Ρομποτική», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2002

21 Ευθύ και αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

url:(http://www.intechopen.com/books/industrial_robotics_theory_modelling_and_control/robot_kinematics_forward_and_inverse_kinematics)