



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Προγραμματισμός Ρομπότ σε Περιβάλλον Εικονικής  
Πραγματικότητας με τη βοήθεια Μαγνητικού Αισθητήρα  
Έξι Βαθμών Ελευθερίας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΥΓΕΝΙΑ ΜΑΝΟΥ**

Επιβλέπων: **Γ.Χ. Βοσνιάκος**  
**Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Αθήνα, Οκτώβριος 2015



*Στις αδερφές μου,  
Κωνσταντίνα, Κατερίνα,  
Νικολέτα και Νεφέλη.*



## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία, εκπονήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Τώρα που έχει έρθει το τέλος αυτού του κεφαλαίου της ζωής μου, ο απολογισμός περιλαμβάνει αναρίθμητες όμορφες στιγμές που πέρασα μέσα στο εργαστήριο, καινούργιους φίλους και νέες γνώσεις, αλλά και αρκετό διάβασμα και προσπάθεια, φυσικά. Γι αυτό το λόγο νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όλα εκείνα τα άτομα με τα οποία οι δρόμοι μας συναντήθηκαν.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, Γεώργιο Χριστόφορο Βοσνιακό, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, αναθέτοντάς μου αυτό το θέμα. Η πόρτα του ήταν πάντα ανοιχτή για απορίες και διευκρινίσεις και οι πάντα εύστοχες παρατηρήσεις του και η παρότρυνση του για συστηματική και στοχευμένη δουλειά με έκαναν καλύτερη.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον τεχνικό-μηχανουργό του Εργαστηρίου κ. Νίκο Μελισσά για τις κατασκευές εργαλείων του ρομπότ.

Ακόμα, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους Υποψήφιους Διδάκτορες Ηλία Μάτσα και Γιώργο Παπαζέτη, για την απλόχερη υποστήριξη που μου προσέφεραν όταν τη χρειαζόμουν, αλλά και για τη συμβολή τους στην εργασία μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνάδελφο, Εμμανουήλ Λεβαδιανό, που παρόλο που χιλιομετρικά ήταν μακριά, η παρουσία του και οι συμβουλές του ήταν πολύτιμες και απαραίτητες για την υλοποίηση αυτής της εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω όλα τα υπόλοιπα παιδιά του εργαστηρίου, που χωρίς αυτά δε θα υπήρχε αυτό το όμορφο κλίμα και συγκεκριμένα: τη Margaux Beaubet με την οποία συνεργαστήκαμε, τη Ισαβέλλα Κούστα, το Μάκη Μίχα, το Βαγγέλη Τζήμα και το Φωτεινό Ρογάρη.

Τέλος, νιώθω ευγνωμοσύνη και ευχαριστώ την οικογένειά και τους φίλους μου, όλα τα άτομα δηλαδή που αυτό το διάστημα ήταν δίπλα μου, όλους εκείνους, που ο καθένας τους, από τη δική του πλευρά, με υποστήριξε και μου έδειξε υπομονή. Η παρουσία τους, μου έδινε δύναμη για να συνεχίσω και με ανακούφιζε όταν το χρειαζόμουν.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, αφορά τον προγραμματισμό ρομπότ σε περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας με τη βοήθεια μαγνητικού αισθητήρα 6 βαθμών ελευθερίας.

Πρωταρχικός σκοπός ήταν η μοντελοποίηση του ρομποτικού βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας Stäubli RX90L στο λογισμικό ανάπτυξης διαδραστικών εικονικών εφαρμογών 3DVIA Virtools. Το πρόγραμμα που γράφτηκε δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να «ελέγχει» τη κίνηση της κάθε άρθρωσης του βραχίονα μεμονωμένα (ορθή κινηματική), καθώς και του αποληκτρίου επενεργητή (αντίστροφη κινηματική). Ο έλεγχος της κίνησης του βραχίονα πραγματοποιείται με δύο τρόπους, με το πληκτρολόγιο και με τον αισθητήρα (tracker) “Flock of Birds” της Ascention Technology.

Με βάση τη μοντελοποίηση που έγινε αναπτύχθηκαν τρεις εφαρμογές. Η πρώτη εφαρμογή αφορά ένα σενάριο κατά το οποίο κατά την κίνηση του βραχίονα στο εικονικό περιβάλλον είναι εφικτή η αποθήκευση και η εξαγωγή επιθυμητών σημείων της τροχιάς του, υπό τη μορφή γωνιών των αρθρώσεων. Στη συνέχεια τα σημεία αυτά υποβάλλονται σε επεξεργασία από ένα πρόγραμμα γραμμένο στο λογισμικό Matlab με σκοπό τη «μετάφραση» των δεδομένων αυτών στη γλώσσα V+ για να μπορούν να διαβαστούν από τον ελεγκτή του βραχίονα με απώτερος σκοπό το πραγματικό ρομπότ να εκτελέσει την ίδια τροχιά με το εικονικό. Στα πλαίσια αυτού του σεναρίου, σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν σε 3D Printer μία βάση για τον αισθητήρα και μία για το εργαλείο του ρομπότ. Τέλος, συγκρίθηκαν με τη μέθοδο της Φωτογραμμετρίας τα αποτελέσματα του εικονικού και του πραγματικού βραχίονα.

Η δεύτερη εφαρμογή που αναπτύχθηκε ήταν εκπαιδευτική και αφορά σενάριο πρόσδεσης και απόθεσης τεμαχίων (pick and place). Ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να πιάνει τεμάχια με την αρπάγη που έχει προσαρτημένη στο άκρο του και στη συνέχεια να τα εναποθέτει στο τσόκ τόννου. Η κίνηση του βραχίονα από την παραλαβή μέχρι την τοποθέτηση ορίζεται από το χρήστη και η εφαρμογή στοχεύει στη διευκόλυνση του χρήστη σε αυτό το καθήκον. Για αυτό το λόγο είναι αυτόνομη και εκτελείται σε περιβάλλον Player του 3DVIA Virtools. Στα πλαίσια της αποτίμησης της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής δημιουργήθηκε ερωτηματολόγιο, το οποίο κλήθηκαν να απαντήσουν οι φοιτητές.

Το τελευταίο σενάριο που αναπτύχθηκε αφορά τη βαφή. Δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον με δύο ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίοι βάφουν το πλαίσιο ενός αυτοκινήτου. Ο χρήστης δύναται να ελέγχει την κίνηση των βραχιόνων είτε χειροκίνητα μέσω του πληκτρολογίου, είτε αποθηκεύοντας την επιθυμητή τροχιά σε πίνακα μέσα στο περιβάλλον 3DVIA Virtools.

# Πίνακας Περιεχομένων

<b>1</b>	<b><i>Εισαγωγή</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	Διάρθρωση της εργασίας.....	1
1.2	Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality) .....	2
1.2.1	Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.2.2	Βασικά Στοιχεία της Εμπειρίας της ΕΠ .....	3
1.2.3	Η Τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας.....	5
1.2.3.1	Συσκευές Εισόδου .....	6
1.2.3.2	Συσκευές Εξόδου.....	6
1.3	Ολοκληρωμένη Παραγωγή σε Υπολογιστή (Computer Integrated Manufacturing). 8	
1.3.1	Ιστορική Αναδρομή.....	9
1.3.2	Βήματα Υλοποίησης.....	10
1.3.3	Από το CIM στο VM.....	13
1.4	Εικονική Παραγωγή (Virtual Manufacturing).....	14
1.4.1	Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Εικονικής Παραγωγής.....	16
1.4.2	Η τεχνολογία του Virtual Manufacturing .....	16
<b>2</b>	<b><i>Βιομηχανικοί Ρομποτικοί Βραχίονες</i></b> .....	<b>18</b>
2.1	Εισαγωγή.....	18
2.2	Ιστορική Αναδρομή.....	19
2.3	Χαρακτηριστικά Αρθρωτών Βιομηχανικών Βραχιόνων [7]. .....	22
2.3.1	Χώρος Εργασίας.....	22
2.3.2	Ακρίβεια Κίνησης.....	22
2.3.3	Ανυψωτική Ικανότητα.....	23
2.3.4	Σύστημα Κίνησης.....	23
2.4	Προγραμματισμός Βιομηχανικών Ρομπότ .....	23
2.4.1	Online programming .....	24
2.4.2	Offline Προγραμματισμός (OLP).....	24
2.4.3	Προγραμματισμός με Επαυξημένη Πραγματικότητα.....	25
2.5	Τηλεπαρουσία και Τηλεχειρισμός (Telepresence & Teleoperating).....	27
2.6	Stäubli RX90L Paint Robot.....	27
2.7	Denavit Hartenberg .....	28
2.8	V+ User's Language.....	30
2.8.1	Βασικές Εντολές Τερματικού.....	31
2.8.2	Εντολές που Αφορούν τον Κώδικα που Αναπτύχθηκε .....	32
<b>3</b>	<b><i>Flock of Birds</i></b> .....	<b>34</b>

3.1	Εισαγωγή στον Εξοπλισμό Εισόδου 3D Περιβαλλόντων .....	34
3.1.1	Χαρακτηριστικά Συσκευών Εισόδου (Input Devices) .....	34
3.2	Κατηγορίες Συσκευών Εισόδου .....	35
3.3	Συσκευές Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων (Desktop Input Devices).....	35
3.3.1	Πληκτρολόγιο (Keyboard) .....	36
3.3.2	Ποντίκι (2D Mice).....	36
3.4	Συσκευές Παρακολούθησης (Tracking Devices) .....	37
3.4.1	Μαγνητική Παρακολούθηση (Magnetic Tracking).....	37
3.5	Flock of Birds .....	38
3.5.1	Αρχή Λειτουργίας.....	40
3.5.2	Χαρακτηριστικά .....	43
3.5.3	Χωροθέτηση - Συνδεσμολογία.....	45
3.5.4	RS 232 .....	45
3.5.5	Δεδομένα Επιστροφής.....	46
3.5.6	Ημισφαίρια (Hemisphere) .....	47
3.5.7	Ακρίβεια Συσκευής .....	49
<b>4</b>	<b>3DVIA Virtools .....</b>	<b>51</b>
4.1	3DVIA Virtools .....	51
4.2	Ταξική Ιεραρχία, Σχεδιαστικά Στοιχεία, Αντικειμενοστραφής Σχεδιασμός .....	53
4.2.1	Κληρονομικότητα (Inheritance) και Εξειδίκευση .....	54
4.2.2	Ομαδοποίηση κατά την Εκτέλεση, Ιεραρχία Σκηνής και Συσχετισμός .....	54
4.3	Τα Στοιχεία μιας Σύνθεσης (Composition) .....	55
4.3.1	Συμπεριφοριστικό αντικείμενο (BeObject) .....	57
4.3.2	Επίπεδο (Level) .....	57
4.3.3	Σκηνές (Scenes).....	57
4.3.4	Μέρη (Places) και Πύλες (Portals).....	58
4.3.5	Αφηρημένα στοιχεία: Ομάδες (Groups) και Πίνακες (Arrays) .....	58
4.4	Γραφική διεπιφάνεια χρήστη - Graphical User Interface (GUI) .....	59
4.4.1	Menu Bar .....	60
4.4.2	Το παράθυρο Τρισδιάστατης Διάταξης - 3D Layout Window.....	60
4.4.2.1	Top Toolbar .....	61
4.4.2.2	Left Toolbar .....	61
4.4.3	Στοιχεία Δόμησης (Building Blocks), Πόροι δεδομένων (Data Resources) ...	62
4.4.4	Level Manager.....	63
4.4.4.1	Top Toolbar .....	64
4.4.4.2	Left Toolbar .....	64



4.4.5	Schematic .....	64
4.4.6	Status Bar.....	65
4.5	Συμπεριφορές και Σενάρια - Behaviors and Scripts.....	66
4.5.1	Στοιχεία Δόμησης Συμπεριφοράς BBs (Behaviour Building Blocks).....	67
4.5.2	Εισαγωγή Συμπεριφοράς, Behavior Input, bIn.....	67
4.5.3	Εξαγωγή Συμπεριφοράς, Behaviour Output, bOut.....	67
4.5.4	Σύνδεσμος Συμπεριφοράς, Behaviour Link, bLink.....	67
4.5.5	Παράμετροι Εισόδου, Parameter Input, pIn .....	68
4.5.6	Παράμετροι Εξόδου, Parameter Output, pOut .....	68
4.5.7	Παράμετρος Στόχος (Target Parameter).....	68
4.5.8	Παραμετρικές Λειτουργίες, Parameter Operations, paramOp.....	69
4.5.9	Σύμβολα C, S και V.....	69
4.5.10	Μηνύματα (Messages).....	71
4.5.11	Γραφήματα Συμπεριφοράς, Behavior Graphs, BG.....	71
4.5.12	Χαρακτηριστικά (Attributes).....	72
4.6	VR Library .....	72
4.6.1	VR Συσκευές που Υποστηρίζονται .....	73
4.6.2	Σύνδεση FOB .....	74
4.6.3	Ενεργοποίηση FOB .....	76
<b>5</b>	<b>Σχεδιασμός Τροχιάς Ρομπότ σε Εικονικό Περιβάλλον .....</b>	<b>77</b>
5.1	Πρωταρχική φάση μοντελοποίησης.....	77
5.1.1	Επανασχεδιασμός Συστημάτων Συντεταγμένων Αρθρώσεων .....	77
5.1.2	Συναρμολόγηση Ρομποτικού Βραχίονα και Δημιουργία 3D Πλαισίων.....	78
5.1.3	Συνθήκες Ιεραρχίας.....	80
5.1.4	Ανάπτυξη περιβάλλοντα χώρου .....	80
5.1.5	Αρχικές Συνθήκες, Initial Conditions.....	85
5.2	Μοντελοποίηση Δομικών Διαγραμμάτων Συμπεριφορών .....	85
5.2.1	Ορθή Κινηματική .....	86
5.2.1.1	Περιστροφή Αρθρώσεων.....	86
5.2.1.2	Σήμα Φοράς Περιστροφής.....	87
5.2.2	Αντίστροφη Κινηματική.....	88
5.2.2.1	Κίνηση ανά Άξονα .....	88
5.2.2.2	Περιστροφή ανά Άξονα.....	89
5.2.2.3	Αλγόριθμος Υπολογισμού Αντίστροφης Κινηματικής Βραχίονα 6R .....	90
5.2.2.4	Μετακίνηση σε Σημείο στο Χώρο.....	92
5.2.2.5	Περιστροφή Οντότητας με γωνίες Euler .....	93

5.2.2.6	Στροφή Αρθρώσεων στη λύση του Συστήματος.....	93
5.2.2.7	Αποθήκευση Δεδομένων.....	94
5.2.3	Συγκρούσεις.....	95
5.2.3.1	Ανίχνευση Συγκρούσεων.....	95
5.2.3.2	Σήματα Συγκρούσεων.....	96
5.3	Σενάρια.....	97
5.3.1	Ανίχνευση Συγκρούσεων.....	98
5.3.2	Πρόσδεση και Απόθεση Τεμαχίων.....	100
5.3.3	Βαφή.....	102
5.4	Εφαρμογή εκπαίδευσης στον Προγραμματισμό Ρομπότ.....	104
5.4.1	Virtools Player.....	105
5.4.2	GUI Εφαρμογής.....	106
5.4.3	Αποτελέσματα χρήσης.....	107
5.4.3.1	Εκπαιδευτική αξία.....	107
5.4.3.2	Λειτουργικότητα εφαρμογής.....	107
5.4.3.3	Χειρισμός Εφαρμογής.....	108
5.4.3.4	Αξία Εικονικής Πραγματικότητας.....	108
5.4.3.5	Συμπεράσματα.....	109
<b>6</b>	<b><i>Μεταφορά τροχιάς από το Εικονικό στο Πραγματικό Περιβάλλον.....</i></b>	<b>110</b>
6.1	Φωτογραμμετρία.....	110
6.1.1	Αρχή λειτουργίας.....	110
6.1.2	Η Τεχνολογία.....	111
6.2	Γένεση δεδομένων προγράμματος ρομπότ.....	113
6.3	Κατασκευές.....	114
6.3.1	Βάση Αισθητήρα.....	114
6.3.2	Βάση Εργαλείου.....	116
6.4	Έλεγχος Ακρίβειας με Φωτογραμμετρία.....	117
6.4.1	Βαθμονόμηση Flock of Birds.....	117
6.4.2	Τροχιά Συγκόλλησης με το Εικονικού Ρομπότ.....	118
6.4.3	Τροχιά συγκόλλησης με το Πραγματικό Ρομπότ.....	120
6.4.4	Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	122
<b>7</b>	<b><i>Συμπεράσματα.....</i></b>	<b>123</b>
7.1	Ευρήματα.....	123
7.2	Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	124
<b>8</b>	<b><i>Βιβλιογραφία.....</i></b>	<b>125</b>
<b>9</b>	<b><i>Παραρτήματα.....</i></b>	<b>128</b>

9.1	Κώδικες .....	128
9.1.1	Κώδικας Matlab για FOB .....	128
9.1.2	Κώδικας Matlab για Keyboard .....	129
9.1.3	Κώδικας V+ .....	129
9.2	Σχέδια .....	130
9.2.1	Βάση Εργαλείου .....	130
9.2.2	Βάση Αισθητήρα .....	130
9.2.3	Κατασκευαστικό Σχέδιο Αισθητήρα .....	131
9.3	Δευτερεύοντα αποτελέσματα ερωτηματολογίου .....	132

## Εικόνες

Εικόνα 1.1: Βασικά σημεία εφαρμογής εμπύθισης Εικονικής Πραγματικότητας .....	5
Εικόνα 1.2: Ανάδραση δύναμης: Master Manipulator και δομή ανάδρασης γαντιού [3] .....	7
Εικόνα 1.3: Το όραμα της Εικονικής Παραγωγής [9].....	14
Εικόνα 2.1: 'Προγραμματιζόμενη μεταφορά αντικειμένων' κατά George Devol .....	19
Εικόνα 2.2: Μηχανικοί Τύποι Κίνησης με Διαφορετική Κινηματική [12] .....	21
Εικόνα 2.3: Βήματα Κλειδιά του Offline Προγραμματισμού [14].....	25
Εικόνα 2.4:Εικονικό ρομπότ πλύσης μινιατούρας αεροπλάνου σε πραγματικό περιβάλλον..	26
Εικόνα 2.5: The idea of teleoperating [3].....	26
Εικόνα 2.6: Stäubli RX90L .....	27
Εικόνα 2.7: Θέση πλαισίων {i-1} και {i} σε έναν αρθρωτό μηχανισμό .....	29
Εικόνα 3.1: Magnetic Tracker .....	37
Εικόνα 3.2: Flock of Birds .....	38
Εικόνα 3.3: Αριστερά ο Πομπός, Δεξιά ο Αισθητήρας.....	38
Εικόνα 3.4: Technical Data of Magnetic Tracker [3] .....	39
Εικόνα 3.5: FOBs With Single RS232 Interface To Host Computer .....	39
Εικόνα 3.6: Διάγραμμα λειτουργίας.....	41
Εικόνα 3.7: Οδηγός πομπού .....	41
Εικόνα 3.8: Επεξεργασία σήματος αισθητήρα .....	42
Εικόνα 3.9: Χρονισμός σήματος .....	43
Εικόνα 3.10: Συνδεσμολογία Flock of Birds.....	45
Εικόνα 3.11: Μέγιστος ρυθμός καταγραφής δεδομένων εξόδου μέσω RS232.....	46
Εικόνα 3.12: Sensor Reference Frame .....	46
Εικόνα 3.13: Πλαίσιο αναφοράς μετρήσεων.....	47
Εικόνα 3.14: Πρώτο παράδειγμα Ημισφαιρίου.....	48
Εικόνα 3.15: Δεύτερο παράδειγμα Ημισφαιρίου .....	48
Εικόνα 4.1: 3DVIA Virtools - Ταξική Ιεραρχία.....	53
Εικόνα 4.2: Ομαδοποίηση πλεγμάτων σχεδιαστικού στοιχείου.....	55
Εικόνα 4.3: Στοιχεία Σύνθεσης (Composition), αναφορικά με το τύπο και διατεταγμένα αλφαβητικά.....	56
Εικόνα 4.4: GUI Virtools .....	59
Εικόνα 4.5: Menu Bar .....	60
Εικόνα 4.6: Παράθυρο τρισδιάστατης διάταξης - 3D Layout Window .....	60
Εικόνα 4.7: Building Blocks και Data Resources .....	63
Εικόνα 4.8: Level Manager .....	63
Εικόνα 4.9: Schematic.....	64
Εικόνα 4.10: Status Bar .....	65
Εικόνα 4.11: Διάφοροι Τύποι Διαγραμμάτων Συμπεριφορών (BBs).....	66
Εικόνα 4.12: bIn .....	67
Εικόνα 4.13: bOut .....	67
Εικόνα 4.14: pIn και pOut.....	67
Εικόνα 4.15: bLinks .....	68
Εικόνα 4.16: Target Parameter .....	68
Εικόνα 4.17: paramOp.....	69
Εικόνα 4.18: C Symbol - Animation Synchronizer.....	70
Εικόνα 4.19: S Symbol.....	70
Εικόνα 4.20: V Symbol .....	70

Εικόνα 4.21: Αποστολή και λήψη Μηνυμάτων .....	71
Εικόνα 4.22: Attributes Manager .....	72
Εικόνα 4.23: VR Library .....	73
Εικόνα 4.24: Επιτυχής Σύνδεση FOB .....	76
Εικόνα 5.1: Αριστερά σ.σ. Solidworks, δεξιά σ.σ. Vrtools.....	78
Εικόνα 5.2: 3D Πλαίσια Αναφοράς Ρομποτικού Βραχίονα .....	78
Εικόνα 5.3: Συναρμολόγηση Ρομποτικού Βραχίονα.....	79
Εικόνα 5.4: Ιεραρχική Σχέση μελών Ρομποτικού Βραχίονα.....	80
Εικόνα 5.5: Ρομποτικός βραχίονας πριν και μετά το φωτισμό .....	81
Εικόνα 5.6: Εισαγωγή καμερών και φώτων .....	81
Εικόνα 5.7: Εικονικό Περιβάλλον.....	81
Εικόνα 5.8: Δευτερεύουσες κάμερες.....	82
Εικόνα 5.9 Δημιουργία Πλέγματος .....	82
Εικόνα 5.10: Εικονικό περιβάλλον (i) χωρίς υφές και υλικά (ii) ολοκληρωμένο.....	83
Εικόνα 5.11: Σκιά (i) ρομποτικού βραχίονα (ii) και ταινιόδρομου.....	84
Εικόνα 5.12: Αριστερά: τυχαία θέση κάμερας, δεξιά: θέση αρχικών συνθηκών κάμερας .....	85
Εικόνα 5.13: Περιστροφή αρθρώσεων κατά τη λειτουργία πληκτρολογίου.....	86
Εικόνα 5.14: Περιστροφή αρθρώσεων κατά τη λειτουργία του FOB.....	87
Εικόνα 5.15: Σήμα Φοράς Περιστροφής.....	88
Εικόνα 5.16: Κίνηση ανά Άξονα.....	89
Εικόνα 5.17: Περιστροφή ανά Άξονα .....	90
Εικόνα 5.18: Αντίστροφη Κινηματική Βραχίονα 6R .....	90
Εικόνα 5.19: Angle Limits Array .....	91
Εικόνα 5.20: Stäubli RX90L Array .....	91
Εικόνα 5.21: Μετακίνηση σε Σημείο στο Χώρο .....	92
Εικόνα 5.22: Περιστροφή Οντότητας με γωνίες Euler.....	93
Εικόνα 5.23: Στροφή Αρθρώσεων στη λύση του Συστήματος .....	94
Εικόνα 5.24: Αποθήκευση Δεδομένων.....	94
Εικόνα 5.25: Ανίχνευση Συγκρούσεων .....	95
Εικόνα 5.26: Σήματα Συγκρούσεων.....	96
Εικόνα 5.27: Collision Sound.....	97
Εικόνα 5.28: Ανίχνευση Σύγκρουσης Εργαλείου με τοίχο .....	98
Εικόνα 5.29: Ανίχνευση Σύγκρουσης με βάση βραχίονα και Προειδοποιητικά Μηνύματα... ..	99
Εικόνα 5.30: Ανίχνευση Σύγκρουσης Επαφής με χώρο του τόννου.....	100
Εικόνα 5.31: Περιβάλλον Όγκος Αρπάγης Ρομπότ .....	100
Εικόνα 5.32: Περιβάλλοντας Όγκος Τσόκ Τόννου.....	101
Εικόνα 5.33: Πρόσδεση και Απόθεση Τεμαχίων με Μηνύματα Ολοκλήρωσης Ενεργειών. ....	101
Εικόνα 5.34: Κατοπτρική κίνηση.....	102
Εικόνα 5.35: 3D Frame Εκτροπέα κατά την παύση και την εκτέλεση της εφαρμογής αντίστοιχα.....	103
Εικόνα 5.36: Πάνω: κύρια και δευτερεύουσα κάμερα, Κάτω: δευτερεύουσες κάμερες.....	104
Εικόνα 5.37: GUI και Push Button Εφαρμογής .....	106
Εικόνα 5.38: Info Menu Εφαρμογής .....	106
Εικόνα 6.1: Τριγωνισμός.....	111
Εικόνα 6.2: Ράβδος Κλίμακας.....	111
Εικόνα 6.3: Αριστερά: Κωδικοποιημένος Στόχος, Δεξιά: Σημειακός Στόχος .....	112
Εικόνα 6.4: Camera Nikon D90 and flash SIGMA EM6140DG .....	112
Εικόνα 6.5: Βάση Αισθητήρα.....	115

Εικόνα 6.6: Κέντρο Καρπού και η αντιστοιχία του με τη Βάση του Αισθητήρα.....	115
Εικόνα 6.7: Βάση Εργαλείου.....	116
Εικόνα 6.8: Συναρμολόγημα βάσης αισθητήρα-εργαλείου-βάσης εργαλείου .....	117
Εικόνα 6.9: Βαθμονόμηση Flock of Birds .....	118
Εικόνα 6.10: Σημεία τροχιάς Συγκόλλησης .....	118
Εικόνα 6.11: Ορισμός τροχιάς συγκόλλησης.....	119
Εικόνα 6.12: Επεξεργασία μετρήσεων στόχων στο λογισμικό ImetricS .....	119
Εικόνα 6.13:Επεξεργασία των διαδοχικών σημείων στο Solidworks .....	120
Εικόνα 6.14: Εκτέλεσης τροχιάς συγκόλλησης στο Πραγματικό Ρομπότ .....	121

## Πίνακες

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Stäubli RX90L Robot.....	28
Πίνακας 2.2: Παράμετροι Denavit-Hartenberg.....	30
Πίνακας 4.1: Στοιχεία Σύνθεσης (Composition), αναφορικά με το τύπο.....	56
Πίνακας 4.2: Top Toolbar .....	61
Πίνακας 4.3: Left Toolbar – Selection Tools .....	61
Πίνακας 4.4: Left Toolbar – Transformation Tools .....	61
Πίνακας 4.5: Left Toolbar – Reference and Screen Guides .....	62
Πίνακας 4.6: Left Toolbar – Creation Tools .....	62
Πίνακας 4.7: Left Toolbar – Camera Navigation Tools.....	62
Πίνακας 4.8:Level Manager –Top Toolbar .....	64
Πίνακας 4.9:Level Manager –Left Toolbar.....	64
Πίνακας 4.10: Schematic –Top Toolbar.....	65
Πίνακας 4.11: Status Bar .....	66
Πίνακας 5.1: Behavior Graph ‘Keyboard Interactive Rotation’ .....	87
Πίνακας 5.2: Behavior Graph ‘FOB Interactive Rotation’ .....	88
Πίνακας 5.3: Behavior Graph ‘Keyboard Interactive Translation’ .....	89
Πίνακας 5.4: Behavior Graph ‘Orientate 3DEntity in Space with Keyboard Keys’ .....	90
Πίνακας 5.5: Behavior Graph ‘IK – 6R Robotic Manipulator’ .....	91
Πίνακας 5.6: Behavior Graph ‘Move 3D Entity’ .....	92
Πίνακας 5.7: Behavior Graph ‘Orientation Progression’ .....	93
Πίνακας 5.8: Behavior Graph ‘Joint Rotation to destination Angle $J\{n\}$ ’ .....	94
Πίνακας 5.9: Behavior Graph ‘Save the desired Points’ .....	95
Πίνακας 5.10: Behavioral Graph ‘Collision Detection’ .....	96
Πίνακας 5.11: Behavioral Graph ‘Collision Signals’ .....	97
Πίνακας 6.1: Παράδειγμα αρχείου txt από Virtools.....	113
Πίνακας 6.2: Παράδειγμα αρχείου txt από Matlab.....	114
Πίνακας 6.3: Σύγκριση τροχιών Συγκόλλησης Εικονικού και Πραγματικού Ρομπότ .....	122

## Διαγράμματα

Διάγραμμα 5.1: Ορθή κινηματική του βραχίονα.....	107
Διάγραμμα 5.2: Αντίστροφη κινηματική του βραχίονα. ....	107
Διάγραμμα 5.3: Χώρος εργασίας του βραχίονα .....	107
Διάγραμμα 5.4: Περιορισμοί της κίνησης του βραχίονα. ....	107
Διάγραμμα 5.5: Αλληλουχία και η θέση των κουμπιών στο πληκτρολόγιο. ....	107
Διάγραμμα 5.6: Μετακίνηση κύριας κάμερας αναλογικά με το ποντίκι.....	107
Διάγραμμα 5.7: Δευτερεύουσας κάμερας για αντίληψη θέσης αρπάγης. ....	107
Διάγραμμα 5.8: Αντίληψη θέσης και προσανατολισμού της αρπάγης.....	107
Διάγραμμα 5.9: Αντίληψη ιδανικής θέσης τεμαχίων στην αρπάγη και στο τσοκ.....	108
Διάγραμμα 5.10: Αχρείαστη πολυπλοκότητα. ....	108
Διάγραμμα 5.11: Δυσκολία εκμάθησης χειρισμού.....	108
Διάγραμμα 5.12:Χρόνος για ικανοποιητική εκμάθηση της εφαρμογής.....	108
Διάγραμμα 5.13:Χρόνος λήψης των απαιτούμενων θέσεων του βραχίονα .....	108
Διάγραμμα 5.14: Πραγματοποίηση εργασίας σε πραγματικό περιβάλλον. ....	108
Διάγραμμα 5.15: Αντίστοιχα βοηθήματα για άλλα εργαστήρια της Σχολής. ....	108
Διάγραμμα 5.16: Αξία αντίστοιχων εφαρμογών στην εκπαίδευση.....	108



# 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Διάρθρωση της εργασίας

Στο *πρώτο κεφάλαιο* επιχειρείται μια ανασκόπηση των τμημάτων της ερευνητικής περιοχής, με έμφαση στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας και της ολοκληρωμένης παραγωγής σε υπολογιστή. Περιγράφονται οι τομείς δράσεις τους, τα βασικά τους στοιχεία, καθώς και η τεχνολογία τους.

Στο *δεύτερο κεφάλαιο* γίνεται μια ανάλυση των βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων και αναφέρεται η ιστορική αναδρομή και τα χαρακτηριστικά τους. Στη συνέχεια παρουσιάζεται λεπτομερώς το Staubli RX90L Paint Robot, τονίζοντας τα πεδία δράσης του. Κλείνοντας το συγκεκριμένο κεφάλαιο, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στον προγραμματισμό των βιομηχανικών βραχιόνων με τη γλώσσα V+.

Στο *τρίτο κεφάλαιο* γίνεται μια εισαγωγή στον εξοπλισμό εισόδου των 3D περιβαλλόντων. Στη συνέχεια, γίνεται μια εκτενής ανάλυση των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν και ιδιαίτερα του tracker Flock of Birds.

Στο *τέταρτο κεφάλαιο* παρουσιάζεται το λογισμικό ανάπτυξης διαδραστικών εικονικών εφαρμογών 3DVIA Virtools. Δίνεται έμφαση στα επιμέρους στοιχεία του, όπως επίσης και στον προγραμματισμό του μέσω συμπεριφορών. Επιπλέον, στο τέλος αυτού του κεφαλαίου αναλύεται η VR Library, ένα πρόσθετο εργαλείο το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών εισόδου στο λογισμικό και μέσω ενός παραδείγματος παρουσιάζεται η σύνδεση του Flock of Birds με το Virtools.

Στο *πέμπτο κεφάλαιο* περιγράφονται αρχικά τα πρακτικά βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση των εφαρμογών στην πλατφόρμα του Virtools. Αναλύεται η δομή, τα κυριότερα χαρακτηριστικά, και ο τρόπος λειτουργίας τους. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα Γραφήματα Συμπεριφορών που χρησιμοποιήθηκαν και στο τέλος, παρατίθενται κάποια στατιστικά αποτελέσματα, απόρροια ενός ερωτηματολογίου.

Στο *έκτο κεφάλαιο* γίνεται αρχικά μια εισαγωγή στο λογισμικό πακέτο του Matlab και στη Μέθοδο της Φωτογραμμετρίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κώδικες που αναπτύχθηκαν σε Matlab και V+, τα εξαρτήματα που απαιτήθηκε να σχεδιαστούν και να εκτυπωθούν στο 3D Printer, CubeX και τέλος αναλύονται εκτενώς τα τεστ που πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της Φωτογραμμετρίας στο Εικονικό και στο Πραγματικό Μοντέλο του βραχίονα.

Στο *έβδομο κεφάλαιο* παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, με μία συνολική αποτίμηση τόσο της μεθοδολογίας όσο και της υλοποίησης των επιμέρους στοιχείων.

## 1.2 Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality)

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality) μπορεί να περιγραφεί, ως η ψευδαίσθηση της συμμετοχής σε ένα συνθετικό περιβάλλον, παρά ως η εξωτερική παρατήρηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος. Στηρίζεται στην τρισδιάστατη, στερεοσκοπική και με προβολικό σύστημα επιπροσωπίδας, παρακολούθηση σώματος και χεριών, καθώς και στον αμφιωτικό ήχο (binaural sound). Αποτελεί μια πολυαισθητηριακή εμπειρία εμπύθισης [1].

Ένας δεύτερος ορισμός, την περιγράφει ως ένα μέσο αποτελούμενο από προσομοιώσεις σε υπολογιστή, που ανιχνεύουν τη θέση και τις κινήσεις του συμμετέχοντα και τις αντικαθιστούν ή τις αυξάνουν (augment), ανατροφοδοτώντας τις σε μία ή περισσότερες αισθήσεις, δίνοντάς του την αίσθηση ότι είναι ψυχικά βυθισμένος ή παρών στην προσομοίωση [2].

### 1.2.1 Ιστορική Αναδρομή

Η πρώτη ιδέα παρουσιάστηκε από τον Ivan Sutherland το 1965: ‘make that (virtual) world in the window look real, sound real, feel real, and respond realistically to the viewer’s actions’.

Παρακάτω παρατίθενται κάποια σημαντικά σημεία για την εξέλιξη της Εικονικής Πραγματικότητας:

- **Sensorama** – το διάστημα 1960-1962 ο Morton Heilig ανέπτυξε έναν πολυαισθητηριακό προσομοιωτή. Ένα προεγγεγραμμένο έγχρωμο και με ήχο βίντεο, επαυξήθηκε με αμφιωτικό ήχο, μυρωδιές, άνεμο και δονήσεις. Αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια για τη δημιουργία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας και είχε πράγματι όλα τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου περιβάλλοντος, εκτός από τη διαδραστικότητα.
- **The Ultimate Display** – το 1965 ο Ivan Sutherland πρότεινε τη λύση για την Εικονική Πραγματικότητα: τη δημιουργία ενός τεχνητού κόσμου ο οποίος θα περιελάμβανε διαδραστικά γραφικά, ανατροφοδότηση, ήχο, μυρωδιές και γεύση.
- **‘The Sword of Damocles’** – ήταν το πρώτο σύστημα ΕΠ. Ο Ivan Sutherland κατασκεύασε το πρώτο Προβολικό Σύστημα Επιπροσωπίδας (Head Mounted Display - HMD), με δυνατότητα παρακολούθησης κεφαλιού. Υποστήριζε μία stereo view, η οποία μπορούσε να ενημερώνετε ανάλογα με τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη.
- **GROPE** – το πρώτο πρωτότυπο σύστημα ανάδρασης αναπτύχθηκε το 1971 από το University of North Carolina (UNC).
- **VIDEOPLACE** – το 1975 ο Myron Kueger δημιούργησε την Τεχνητή Πραγματικότητα – ‘ένα εννοιολογικό περιβάλλον, χωρίς ύπαρξη’. Σε αυτό το σύστημα οι σιλουέτες των συμμετεχόντων ‘πιάνονταν’ από κάμερες και στη συνέχεια προβάλλονταν σε μία μεγάλη οθόνη. Οι χρήστες μπορούσαν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, λόγω τεχνικών επεξεργασίας εικόνας που καθόριζαν τη θέση τους στο δισδιάστατο χώρο της οθόνης.

- **VCASS** – το 1982 ο Thomas Furness στο US Air Force Armstrong Medical Research Laboratories ανέπτυξε το Visually Coupled Airborne Systems Simulator, έναν εξελιγμένο προσομοιωτή πτήσεων. Ο πιλότος φορούσε ένα Προβολικό Σύστημα Επιπροσωπίδας (HMD), το οποίο επαύξανε τη θέα έξω από το πιλοτήριο μέσω των γραφικών, με σκοπό την διευκόλυνση των στόχων, καθώς και παρείχε πληροφορίες για τη βέλτιστη διαδρομή πτήσης.
- **VIVED** – κατασκευάστηκε το Virtual Visual Environment Display από τη NASA Ames το 1984 με τεχνολογία off-the-shelf, μια στερεοσκοπική μονόχρωμη HMD.
- **VPL** – η εταιρία VLP κατασκευάζει τα DataGlove (1985) και Eyephone HMD (1988), τις πρώτες εμπορικά διαθέσιμες συσκευές Εικονικής Πραγματικότητας.
- **BOOM** – εμπορευματοποιήθηκε το 1989 από την Fake Space Labs. Το BOOM είναι ένα μικρό κουτί, το οποίο περιέχει δύο οθόνες CRT που μπορούν να προβληθούν από τις τρύπες των ματιών. Ο χρήστης μπορεί να αρπάξει το κουτί και να περιηγηθεί στον εικονικό κόσμο, καθώς ένας μηχανικός βραχίονας μετρά τη θέση και τον προσανατολισμό του κουτιού.
- **UNC Walkthrough project** – το δεύτερο μισό του 1980 το University of North Carolina ανέπτυξε μία αρχιτεκτονική εφαρμογή walkthrough. Για την αναβάθμιση αυτής της εφαρμογής, αρκετές συσκευές ΕΠ κατασκευάστηκαν, όπως: HMDs, optical trackers, καθώς και η μηχανή γραφικών Pixel-Plane.
- **Virtual Wind Tunnel** – στις αρχές του 1990 η NASA Ames ανέπτυξε μία εφαρμογή, η οποία επέτρεπε την παρατήρηση και εξερεύνηση πεδίων ροών με τη βοήθεια του BOOM και του DataGlove.
- **CAVE** – παρουσιάστηκε το 1992 το CAVE (CAVE Automatic Virtual Environment). Είναι ένα εικονικό και επιστημονικό σύστημα οπτικοποίησης. Αντί να χρησιμοποιεί ένα HMD, προβάλλει εικόνες στερεοσκοπίας στους τοίχους του δωματίου (ο χρήστης πρέπει να φοράει στερεοσκοπικά γυαλιά LCD). Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε καλύτερη ποιότητα και ανάλυση των προβληθέντων εικόνων, καθώς και μεγαλύτερο πεδίο οπτικής σε σχέση με συστήματα βασισμένα σε HMD.
- **Augmented Reality (AR)** – μία τεχνολογία που ‘παρουσιάζει έναν εικονικό κόσμο ο οποίος εμπλουτίζει, αντί να αντικαθιστά τον πραγματικό κόσμο. Αυτό έχει επιτευχθεί με see-through HMD που υπερθέτουν εικονικά τρισδιάστατα αντικείμενα πάνω σε πραγματικά. Παλαιότερα, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιούταν στον εμπλουτισμό της οπτικής των πιλότων, παρέχοντας και πρόσθετες πληροφορίες για την πτήση (VCASS). Από το 1990 έχει γίνει το επίκεντρο πολλών ερευνητών. [3]

## 1.2.2 Βασικά Στοιχεία της Εμπειρίας της ΕΠ

### Εικονικός Κόσμος (Virtual World)

Ως Εικονικός Κόσμος χαρακτηρίζεται το περιεχόμενο του δοσμένου μέσου. Μπορεί να υπάρχει μόνο στο μυαλό του δημιουργού του ή να είναι εφικτό να μεταδοθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να μπορεί να μοιραστεί και σε άλλους. Ένας Εικονικός Κόσμος μπορεί να υπάρχει χωρίς να αναπαρίσταται σε ένα σύστημα ΕΠ όπως για παράδειγμα ένα σενάριο ταινίας, το οποίο υπάρχει ανεξάρτητα. Όταν η περιγραφή αυτού του σεναρίου έρχεται στη ζωή μέσω των ηθοποιών, της

σκηνής και της μουσικής, βιώνουμε τον εικονικό κόσμο αυτού του θεατρικού. Παρομοίως, ένας εικονικός κόσμος βασισμένος σε υπολογιστή αποτελεί την περιγραφή κάποιων αντικειμένων μέσα στην προσομοίωση. Όταν αντιμετωπίζουμε αυτόν τον κόσμο μέσω ενός συστήματος, το οποίο φέρνει αυτά τα αντικείμενα και τις αλληλεπιδράσεις τους με ένα τρόπο εμπύθισης και διαδραστικής παρουσίας, βιώνουμε την ΕΠ.

Κάποιο ορισμοί που μπορούν να δοθούν για τους Εικονικούς Κόσμους, είναι οι ακόλουθοι:

- Ορίζεται ως ένας φανταστικός χώρος, συχνά κυριαρχούμενος από το μέσο.
- Ορίζεται ως μία περιγραφή μιας συλλογής αντικειμένων στο χώρο, καθώς και από τους κανόνες και τις σχέσεις που τα διέπουν.

### **Εμβύθιση (Immersion)**

Θεωρώντας ότι ο χρήστης πρέπει να βυθιστεί σε μια άλλη, διαφορετική πραγματικότητα, ένας απλουστευμένος ορισμός που μπορεί να δοθεί στην ΕΠ είναι: Η εμβύθιση μέσα σε μια διαφορετική πραγματικότητα ή άποψη.

Ένα μέσο πληροί τις προϋποθέσεις όταν οι συμμετέχοντες είναι σε θέση να αντιληφθούν κάτι άλλο, συγκριτικά με αυτό που θα αντιλαμβάνονταν χωρίς κάποια εξωτερική επιρροή. Ο παραπάνω ορισμός αναγνωρίζει την πιθανότητα της αντίληψης με δύο τρόπους: μπορεί κάποιος να αντιληφθεί ένα εναλλακτικό κόσμο (alternate world) ή τον κανονικό κόσμο από μία άλλη οπτική. Ένας Εναλλακτικός Κόσμος ορίζεται ως μια αναπαράσταση του πραγματικού χώρου που υπάρχει κάπου, ή θα μπορούσε να είναι ένα εντελώς φανταστικό περιβάλλον.

Ο όρος Εμβύθιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους: μέσω της **Φυσικής ή Αισθητηριακής (Physical ή Sensory)** και της **Πνευματικής (Mental) Εμβύθισης**. Για το μέσο σε ένα περιβάλλον ΕΠ, η Φυσική Εμβύθιση χαρακτηρίζεται ως η ιδιότητα ενός συστήματος ΕΠ, να αντικαθιστά ή να επαυξάνει τα κίνητρα στις αισθήσεις του χρήστη. Ο όρος Πνευματική Εμβύθιση συχνά παρουσιάζεται ως η αίσθηση της παρουσίας μέσα σε ένα περιβάλλον.

Μπορούν να δοθούν οι παρακάτω ορισμοί:

- **Η Αισθητηριακή Εμβύθιση (Immersion Sensation)** δύναται να είναι μία κατάσταση πνευματικής εμβύθισης ή μπορεί να επιτευχθεί μέσω φυσικών μέσων. Η Φυσική Εμβύθιση είναι ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό της ΕΠ, ενώ η Πνευματική Εμβύθιση αποτελεί το στόχο των περισσότερων δημιουργιών.
- **Η Πνευματική Εμβύθιση (Mental Immersion)** είναι μία κατάσταση βαθιάς δέσμευσης, αναστολής κάθε δυσπιστίας και συμμετοχής.
- **Η Φυσική Εμβύθιση (Physical Immersion)** είναι η σωματική εισχώρηση σε ένα μέσο. Αποτελεί τα συνθετικά κίνητρα των αισθήσεων του σώματος μέσω της χρήσης της τεχνολογίας. Αυτό όμως δε συνεπάγεται να βυθίζονται όλες οι αισθήσεις ή ολόκληρο το σώμα.

Ένας ταυτόσημος όρος με την Πνευματική Εμβύθιση είναι αυτός της **Παρουσίας (Presence)** (παλαιότερα ως **Telepresence**).

### **Αισθητηριακή Ανατροφοδότηση (Sensory Feedback)**

Η Αισθητηριακή Ανατροφοδότηση είναι ένα πολύ σημαντικό συστατικό για την Εικονική Πραγματικότητα. Το σύστημα της ΕΠ παρέχει απευθείας αισθητηριακή ανατροφοδότηση στους συμμετέχοντες με βάση τη φυσική τους θέση. Σε γενικές γραμμές η οπτική αίσθηση είναι εκείνη

που ανατροφοδοτείτε. Υπάρχουν βέβαια περιβάλλοντα τα οποία βασίζονται απόλυτα στην αίσθηση της αφής. Η επίτευξη της απευθείας διαδραστικής ανατροφοδότησης απαιτεί τη χρήση υπολογιστών μεγάλης ταχύτητας ως διαμεσολαβητή.

Προκειμένου το σύστημα της ΕΠ να δίνει ως έξοδο τη θέση του συμμετέχοντα, πρέπει το σύστημα να μπορεί να παρακολουθεί την κίνηση του. Ένα τυπικό σύστημα ΕΠ μπορεί να παρακολουθεί το κεφάλι του χρήστη, καθώς και ένα τουλάχιστον χέρι ή το αντικείμενο που κρατάει το χέρι. Πιο εξελιγμένα συστήματα μπορούν και παρακολουθούν τους περισσότερους από τους βασικούς συνδέσμους του σώματος.

### Διαδραστικότητα (Interactivity)

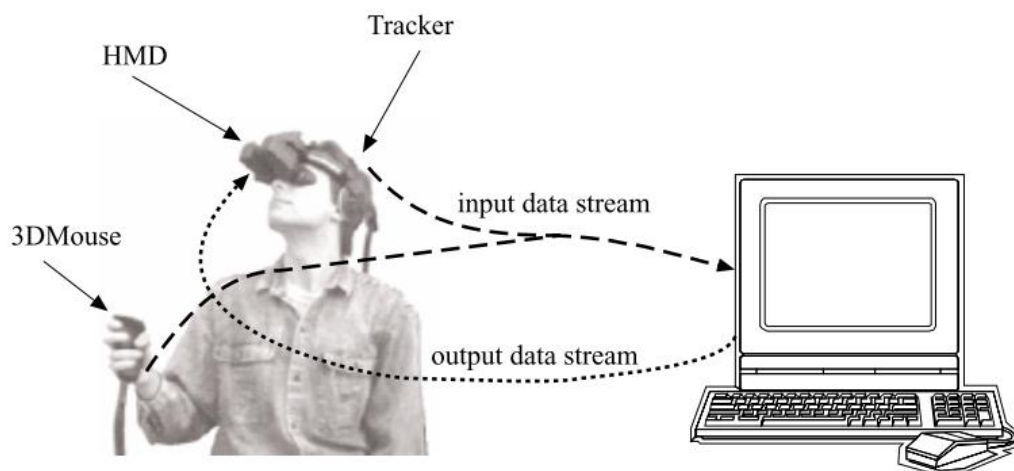
Προκειμένου η Εικονική Πραγματικότητα να μοιάζει αυθεντική πρέπει να μπορεί να ανταποκρίνεται στις πράξεις των χρηστών της, δηλαδή να είναι Διαδραστική. Η επίτευξη της διαδραστικότητας είναι πολύ πιο εύκολη με τη χρήση υπολογιστών.

Μία μορφή διαδραστικότητας περιγράφεται από την δυνατότητα επηρεασμού των κόσμων βασισμένων σε υπολογιστή. Μία άλλη μορφή, είναι η ικανότητα να αλλάζει η οπτική κάποιου μέσα στο κόσμο. [2]

### 1.2.3 Η Τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας

Η ΕΠ απαιτεί περισσότερους πόρους από ότι ένα τυπικό επιτραπέζιο σύστημα. Πρόσθετες συσκευές εισόδου και εξόδου είναι απαραίτητες προκειμένου να αυξηθεί η αλληλεπίδραση με το χρήστη.

Η Εικόνα 1.1 παρουσιάζει τα πιο σημαντικά στοιχεία αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή-ανθρώπου για οποιοδήποτε σύστημα εμπύθισης. Ο χρήστης είναι εξοπλισμένος με ένα Προβολικό Σύστημα Επιπροσωπίδας (Head Mounted Display – HMD), έναν Ανιχνευτή (Tracker) και πρόσθετα με μια συσκευή χειραγώγησης όπως ένα three-dimensional mouse, ένα data glove κ.α. Καθώς ο άνθρωπος κάνει κινήσεις όπως το περπάτημα και η περιστροφή του κεφαλιού, δεδομένα που περιγράφουν αυτές του τις συμπεριφορές καταγράφονται στον υπολογιστή από τις συσκευές εισόδου. Στη συνέχεια ο υπολογιστής επεξεργάζεται αυτή την πληροφορία σε πραγματικό χρόνο και παράγει την κατάλληλη ανατροφοδότηση η οποία πάει πίσω στο χρήστη μέσω των οθονών εξόδου.



Εικόνα 1.1: Βασικά σημεία εφαρμογής εμπύθισης Εικονικής Πραγματικότητας.

Γενικά, οι συσκευές εισόδου είναι υπεύθυνες για τη διάδραση, οι συσκευές εξόδου για το αίσθημα της εμπύθισης και το λογισμικό για τον κατάλληλη έλεγχο και το συγχρονισμό ολόκληρου του περιβάλλοντος.

### 1.2.3.1 Συσκευές Εισόδου

Οι Συσκευές Εισόδου καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο ο χρήστης επικοινωνεί με τον υπολογιστή. Ιδανικά, όλες αυτές οι συσκευές μαζί, πρέπει να μεταμορφώνουν το περιβάλλον του χρήστη, σε όσο πιο φυσικό και πραγματικό γίνεται – πρακτικά, πρέπει να είναι αόρατες.

Εκτενέστερη ανάλυση των συσκευών εισόδου γίνεται στην παράγραφο 3.2.

### 1.2.3.2 Συσκευές Εξόδου

Οι Συσκευές Εξόδου είναι υπεύθυνες για την παρουσίαση του εικονικού περιβάλλοντος και των φαινομένων του στο χρήστη συμμετέχοντας στη δημιουργία του αισθήματος εμπύθισης.

Οι Συσκευές Εξόδου κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Οπτικές Οθόνες (Visual displays)**
- **Απτικές Οθόνες (Haptic displays)**
- **Οθόνες Ήχου (Audio displays)**

#### Οπτικές Οθόνες (Visual displays)

Διαφορετικοί τύποι συστημάτων ΕΠ – από επιτραπέζιο μέχρι πλήρους εμπύθισης – χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους οθονών εξόδου. Οι πιο ευρέως χρησιμοποιημένες είναι οι παρακάτω:

- **3D Glasses: Τα Γυαλιά Στερεοσκοπίας (LCD shutter glasses)** παρέχουν την αίσθηση του βάθους σε δισδιάστατες οθόνες. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην προβολή εικόνων του εικονικού περιβάλλοντος εναλλάξ στο δεξί και αριστερό μάτι με άνοιγμα και κλείσιμο του αντίστοιχου φακού σε υψηλές συχνότητες έτσι ώστε να μην γίνονται αντιληπτές.
- **Surround Displays:** Μία εναλλακτική στα τυπικά επιτραπέζια μόνιτορ, είναι οι μεγάλες οθόνες προβολών. Μπορούν και παρέχουν καλύτερη ποιότητα εικόνας, καθώς και ένα πολύ μεγαλύτερο πεδίο οπτικής. Η απαίτηση της πλήρους εμπύθισης, μπορεί να ικανοποιηθεί με ένα σύστημα **CAVE**, όπου ο χρήστης είναι περιτριγυρισμένος από αρκετές επίπεδες οθόνες ή από μία θολωτή.
- **Binocular Omni Oriented Monitors (BOOM):** οι **Πανκατευθυντικές Διοπτρικές Οθόνες** είναι σύνθετες συσκευές, οι οποίες υποστηρίζουν τόσο τη μηχανολογική παρακολούθηση, αλλά και την τεχνολογία στερεοσκοπικής προβολής. Δύο οπτικές οθόνες είναι τοποθετημένες σε ένα κουτί, το οποίο με τη σειρά του είναι τοποθετημένο σε ένα βραχίονα. Το κουτί μπορεί να μετακινηθεί από το χρήστη και οι οθόνες μπορούν να παρακολουθηθούν μέσω δύο οπών.
- **Head Mounted Display (HMD):** Το **Προβολικό Σύστημα Επιπροσωπιδας** ουσιαστικά είναι ένα κράνος με δύο μικρές οθόνες LCD ή CRT τοποθετημένες μπροστά στα μάτια του χρήστη. Οι εικόνες που του προβάλλονται, βασίζονται στη θέση και τον προσανατολισμό του. Τα HMD μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: στα αδιαφανή και στα διάφανα. Τα αδιαφανή αντικαθιστούν πλήρως την οπτική του χρήστη,

προβάλλοντας εικόνες του εικονικού κόσμου. Τα διαφανή, υπεραυξάνουν εικόνες δημιουργημένες από υπολογιστή πάνω σε πραγματικά αντικείμενα, επαυξάνοντας τον πραγματικό κόσμο με επιπρόσθετες πληροφορίες.

### Απτικές Οθόνες (Haptic displays)

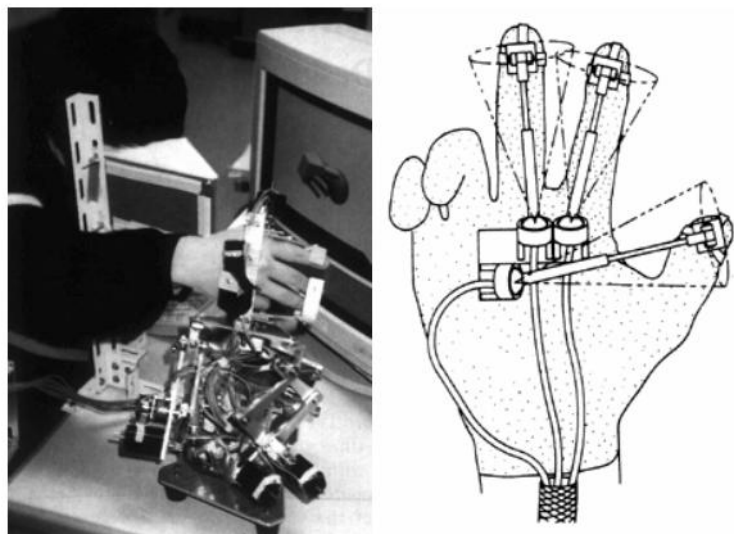
Οι απτικές αισθήσεις που γίνονται αντιληπτές από τους ανθρώπους μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες ομάδες:

- **Κιναισθητική Ανατροφοδότηση (kinesthetic (force) feedback):** δυνάμεις που ανιχνεύονται από τους μυς, τις αρθρώσεις και τους τένοντες
- **Ανάδραση Αφής (tactile feedback):** αποτελείται από τις αισθήσεις ανάδρασης μέσω του δέρματος, όπως η αφή, η θερμοκρασία, η υφή ή η πίεση στην επιφάνειά του

Το συγκεκριμένο ζήτημα είναι πολύ σημαντικό, όταν επιβάλλονται επιδέξιοι χειρισμοί. Η χειραγώγηση κάποιου αντικειμένου στον πραγματικό κόσμο, πάντα προκαλεί μία σύγκρουση ανάμεσα στο χέρι και το αντικείμενο, που επιστρέφεται ως απτική ανατροφοδότηση. Έτσι, για παράδειγμα μία απομακρυσμένη διάδραση με εύθραυστα αντικείμενα δε θα ήταν δυνατό να ολοκληρωθεί με ακρίβεια χωρίς τα κατάλληλα απτικά ερεθίσματα.

Η τοποθέτηση και χειραγώγηση αντικειμένων απαιτεί την κατάλληλη δύναμη κάθε φορά, κάτι το οποίο είναι φυσικό για τους ανθρώπους. Για να αυξηθεί η ρεαλιστικότητα σε ένα εικονικό περιβάλλον, αρκετές συσκευές είναι εξοπλισμένες με **Ανατροφοδότηση Δύναμης (Force Feedback)**. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι η παρουσία Ανατροφοδότησης Δύναμης αυξάνει την αποδοτικότητα εργασιών τοποθέτησης και χειραγώγησης. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές συσκευές όπως: joysticks και desktop mice.

**Η Ανάδραση Αφής (tactile feedback)** είναι πολύ πιο ευφείς συγκριτικά με την ανατροφοδότηση δύναμης και γι αυτό είναι πιο δύσκολο να αναπαραχθεί τεχνητά. Η προσομοίωσή της μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια δονήσεων, φουσκωτών φουσαλίδων ή ηλεκτρορεολογικών ρευμάτων (υγρά των οποίων το ιξώδες αυξάνει με την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου) τοποθετημένων κάτω από την επιφάνεια ενός γαντιού. Όμως όλη αυτή η τεχνολογία, δε μπορεί να αναπαραγάγει τα αισθητηριακά δεδομένα που λαμβάνουμε από το δέρμα.



Εικόνα 1.2: Ανάδραση δύναμης: Master Manipulator και δομή ανάδρασης γαντιού [3]

μας. Μπορούν μόνο να δημιουργήσουν την αίσθηση της αφής με μία επιφάνεια, αλλά δεν επιτρέπουν στο χρήστη να αναγνωρίσει τη δομή της.

### **Οθόνες Ήχου (Audio displays)**

Στην απλούστερη περίπτωση, ο ήχος μπορεί να υποδείξει την ολοκλήρωση κάποιων ενεργειών ή να δώσει σήμα ολοκλήρωσης κάποιων συνθηκών (όπως η σύγκρουση αντικειμένων). Στη ΕΠ απαιτούνται πειστικοί τρισδιάστατοι ήχοι που να προσομοιώνουν την απόσταση, τη διεύθυνση, το υλικό και πληροφορίες για το περιβάλλον.

Η τεχνητή σύνθεση του ήχου, που να ταιριάζει στην ικανότητα της αντίληψης ενός ανθρώπου είναι ένα σύνθετο και υπολογιστικά ακριβό έργο. Επιπροσθέτως, ο κατάλληλος συγχρονισμός των ηχητικών και οπτικών γεγονότων είναι εξαιρετικής σημασίας, καθώς αντικρουόμενα στοιχεία μπορούν να αποπροσανατολίσουν το χρήστη. Τρία βασικά βήματα απαιτούνται για την επιτυχή προσομοίωση ενός εικονικού ηχητικού περιβάλλοντος:

- **Αναπαραγωγή ήχου (sound generation):** οποιαδήποτε πράξη στον πραγματικό κόσμο οδηγεί στην παραγωγή ήχων. Για την ακουστική προσομοίωση ο ήχος μπορεί είτε να αναπαραχθεί είτε να τον συνθέσουν.
- **Διάδοση στο χώρο (spatial propagation):** περιλαμβάνει τον υπολογισμό της διάδοσης των ηχητικών κυμάτων στο χώρο. Ιδανικά και οι αντανακλάσεις (ηχώ) διαφορετικών αντικειμένων πρέπει να ληφθούν υπόψη.
- **Αντιστοίχιση παραμέτρων (mapping parameters):** τέλος οι υπολογισμένες παράμετροι πρέπει να αντιστοιχηθούν με τους κατάλληλους ήχους που τελικά θα ακούσει ο χρήστης. Για να γίνει αυτό, πρέπει όλα τα κομμάτια να συνδεθούν από κοινού, με τη χρήση ειδικών φίλτρων για την παραγωγή ενός ήχου. [3]

## **1.3 Ολοκληρωμένη Παραγωγή σε Υπολογιστή (Computer Integrated Manufacturing)**

Ο όρος ‘Ολοκληρωμένη’ είναι ο πιο σημαντικός για το CIM. Χαρακτηρίζει τη συνέργεια και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της φιλοσοφίας της Ολοκληρωμένης Παραγωγής σε Υπολογιστή. Εκφράζει όλες εκείνες τις ενέργειες, τις δραστηριότητες, τις αποφάσεις και τις ερωτήσεις που πρέπει να παρθούν για την ολότητα. Το CIM χαρακτηρίζεται από τη χρήση των υπολογιστών, με σκοπό να βοηθήσουν στη επιλογή μιας απόφασης, με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνει αντιληπτό τι μπορεί να σημαίνει αυτή η απόφαση για την εταιρία, καθώς και τι σημαίνει για το υποσύνολο. Αυτό απαιτεί Ολοκλήρωση, που σημαίνει ότι έκαστο άτομο μέσα στον οργανισμό θα πρέπει να σκέφτεται σφαιρικά και όχι μόνο μέσα υπό το πρίσμα της ειδικότητάς του.

Η Ολοκλήρωση απαιτεί μια επιτυχημένη δίοδο επικοινωνίας, η οποία είναι ακριβής, γρήγορη και τρέχουσα. Ορόσημο των υπολογιστών στη θεωρία του CIM είναι η κοινή βάση, το μοίρασμα της ίδιας πληροφορίας μέσα στον οργανισμό για διαφορετικούς σκοπούς και από διαφορετικά σύνολα. Αυτή είναι η διαφορά του CIM από την κοινή χρήση των υπολογιστών.

Το περιεχόμενο της κοινής βάσης είναι μοναδικό, εξαρτάται κάθε φορά από τη φύση της εταιρίας ή από τις δραστηριότητες του οργανισμού που εμπλέκεται και έτσι δεν μπορεί να περιγραφεί γενικευμένα, αλλά μόνο το περιεχόμενό της μέσα από την τριάδα CAD/CAM/CIM.



Η τριάδα CAD/CAM/CIM περιγράφει τις ολοκληρωμένες δραστηριότητες, που είναι είτε ελεγχόμενες από υπολογιστή, είτε υποβοηθούμενες, με σκοπό τη δημιουργία των προϊόντων μιας εταιρίας ή την εξέλιξη των υπηρεσιών που προσφέρει. Υπάρχουν τρεις εξίσου σημαντικές φάσεις σε μια δομή η οποία κυριαρχείται από υπολογιστή:

- i. Έλεγχος μηχανών/διαδικασίας
- ii. Έλεγχος στο σχεδιασμό και τον προγραμματισμό
- iii. Έλεγχος στην παραγωγή και τις μετρήσεις

Στην τριάδα CAD/CAM/CIM παρουσιάζονται όλα τα σενάρια διοικητικών ελέγχων και λήψης αποφάσεων. Για παράδειγμα στον 'Έλεγχο μηχανών/διαδικασίας' περιέχονται όλες εκείνες οι στρατηγικές και ο σχεδιασμός που αφορούν τα εργαλεία των μηχανών ή τη διαδικασία Αριθμητικού Ελέγχου (Numerical Control), για παράδειγμα: NC, CNC, FMS, ρομποτική ή κομμάτια προγραμματισμού. Ο 'Έλεγχος στο σχεδιασμό και τον προγραμματισμό' αναφέρεται σε συστήματα συλλογής δεδομένων, προγραμματισμού διαδικασιών, αυτόματου σχεδιασμού και συστημάτων εκπαίδευσης, μεθόδων και πρότυπων χρονικών συστημάτων και άλλες παρεμφερείς δραστηριότητες. Τέλος, ο 'Έλεγχος στην παραγωγή και τις μετρήσεις', κυριαρχείται από τους Πόρους Παραγωγής του Σχεδιασμού (Manufacturing Resources Planning- MRP II), Just In Time (JIT), συστήματα χειρισμού υλικών και από μία μεγάλη ποικιλία επιχειρησιακών πληροφοριών και οικονομικών συστημάτων. Όλες οι φάσεις της τριάδας CAD/CAM/CIM είναι αλληλοεξαρτώμενες. [4]

### 1.3.1 Ιστορική Αναδρομή

Το CIM εξελίσσεται από τα μέσα του 1970, αν και μέχρι το 1980 αποτελούσε μόνο ένα σενάριο. Στο δεύτερο μισό του 1980 μετουσιώθηκε σε τεχνολογία.

Οι πρωταρχικοί λόγοι και οι σχετικές τεχνολογίες που οδήγησαν στην εξέλιξη του CIM, είναι οι παρακάτω:

- Η εξέλιξη του Αριθμητικού Ελέγχου (Numerical Control)
- Η διάδοση και η σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των υπολογιστών
- Οι προκλήσεις στην παραγωγή
- Η διάδοση των μικροϋπολογιστών

#### Η εξέλιξη του Αριθμητικού Ελέγχου (Numerical Control)

Ο Αριθμητικός Έλεγχος είναι μία τεχνική για τον έλεγχο των εργαλείων των μηχανών και άλλου εξοπλισμού, χρησιμοποιώντας σύμβολα που περιλαμβάνουν και αριθμούς. Το 1947 η US Air Force αντιμετώπισε ένα πρόβλημα, το οποίο κλήθηκε να επιλύσει η Parsons Corp. Ανέπτυξε μία μέθοδο για τη μετακίνηση του κοπτικού εργαλείου σε μια εργαλειομηχανή, χρησιμοποιώντας αριθμούς, για να πετύχει την επιθυμητή ακρίβεια. Σε συνεργασία με το MIT, δημιούργησαν την πρώτη μηχανή NC το 1954. Έκτοτε, ο Αριθμητικός Έλεγχος έχει εξελιχθεί, παράλληλα με τη μικροηλεκτρονική και τους υπολογιστές, δημιουργώντας μοντέρνα κέντρα κατεργασιών, Flexible Machining Cells Flexible και Manufacturing Systems.

### **Computer Aided Design (CAD)**

Ένα προϊόν πρέπει να σχεδιαστεί πριν βγει στην παραγωγή. Ο σχεδιασμός περιλαμβάνει τόσο δημιουργικά, όσο και επαναλαμβανόμενα έργα. Τα επαναλαμβανόμενα έργα μέσα στο σχεδιασμό είναι κατάλληλα για τον υπολογιστή. Στις αρχές του 1970, αποδείχθηκε ότι η χρησιμοποίηση των υπολογιστών για εργασίες σχεδιασμού και εγγράφων, συμφέρει αποτελεσματικά. Έκτοτε, υπάρχει μία ανάπτυξη στο Computer Aided Design (CAD), ειδικά με την ανάπτυξη των γραφικών. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι η δραστηριότητα του σχεδιασμού και του drafting, συχνά εμφανίζεται με τον όρο CADD (Computer Aided Design and Drafting). [5]

Τα συστήματα CAD έχουν γίνει απαραίτητα στις κατασκευάστριες εταιρείες του σήμερα, λόγω της ισχυρής τους ενσωμάτωσής με προηγμένες τεχνικές παραγωγής. Τα μοντέλα CAD συχνά θεωρούνται επαρκή για την παραγωγή των εξαρτημάτων, δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του κώδικα που απαιτείται για την παραγωγή του κομματιού. [6]

### **Computer Aided Manufacturing (CAM)**

Σταδιακά η τεχνολογία NC εξελίχθηκε, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείτε ευρέως στην παραγωγή. Ένα σημαντικό κομμάτι του NC είναι το part programming. Κομμάτι ενός προγράμματος, είναι ένα σετ από μεταβλητές, οι οποίες έχουν σκοπό να ελέγχουν εργασίες όπως η κίνηση του εργαλείου κ.α. Η εκτεταμένη χρήση των υπολογιστών σε εφαρμογές NC, νωρίτερα είχε ονομαστεί ως Computer Aided Machining (CAM) και η σχετική τεχνολογία Computer Numerical Control (CNC). Σήμερα το CAM είναι συνυφασμένο, με οποιαδήποτε εργασία μη σχεδιασμού, η οποία είναι υποβοηθούμενη από τον υπολογιστή. [5]

Το μεγάλο βήμα προς την υλοποίηση των συστημάτων CAM ήταν η εισαγωγή των CNC. Εκτός από το γεγονός ότι αυτή η νέα τεχνολογία έχει επιφέρει μια επανάσταση στα συστήματα παραγωγής, επιτρέποντας τη μαζική παραγωγή και μεγαλύτερη ευελιξία, έχει επίσης καταστήσει δυνατή την άμεση σχέση μεταξύ των τρισδιάστατων μοντέλων CAD και της παραγωγής τους. [6]

### **1.3.2 Βήματα Υλοποίησης**

Όλες οι επιχειρήσεις που προσφέρουν προϊόντα ή υπηρεσίες ακολουθούν τα παρακάτω βήματα συνειδητά ή ασυνειδήτα. Αναφέροντας τη δυναμική λειτουργία, υπεισέρχεται η έννοια των υπολογιστών, ενώ με τη στατική οι παλαιωμένες μεν αλλά βελτιστοποιημένες μέθοδοι.

#### **Βήμα 1: Λήψη Προδιαγραφών Προϊόντων**

Αυτό το βήμα αφορά το σχεδιασμό, ο οποίος γίνεται είτε από την εταιρία, είτε από τον ίδιο τον πελάτη. Ορίζονται διεξοδικά οι ενδείξεις αναφορικά με το τι θα γίνει και καθορίζεται το περιεχόμενο του προϊόντος. Σε αυτό το βήμα καθορίζεται όλος ο σχεδιασμός. Υλικά και γεωμετρίες δημιουργούνται και γίνονται όλες οι απαιτούμενες αναλύσεις προκειμένου το προϊόν να είναι αυτό που πρέπει.

Κατά τη στατική λειτουργία εφαρμόζεται η μηχανική θεωρία στο σχεδιασμό, όπως η εκτέλεση των υπολογισμών και η δημιουργία των εγγράφων. Κατά τη δυναμική λειτουργία, υπάρχει μια σύνδεση με τον αποδέκτη των πληροφοριών. Οι δημιουργοί αυτού του οποίου η επιχείρηση θα παράγει, συνδέονται άμεσα με τις διαχειριστικές λειτουργίες που αφορούν την παραγωγή του προϊόντος.

## **Βήμα 2: Σχεδιασμός μιας Μεθόδου για την Παραγωγή του Προϊόντος**

Σε αυτό το βήμα, οι μηχανικοί μετουσιώνουν αυτά που αποκόμισαν κατά το σχεδιασμό σε σχέδια, μεθόδους και διαδικασίες προς κατασκευή. Πολλές αποφάσεις πρέπει να παρθούν, όπως για παράδειγμα αν ο τρέχων εξοπλισμός είναι κατάλληλος και αν όχι προχωρούν και στο σχεδιασμό νέων εργαλείων και εξοπλισμού.

Κατά τη στατική λειτουργία, οι κατασκευαστές μηχανικοί λειτουργούν πολλές φορές χωρίς να συμβουλευτούν κάποιο μηχανικό σχεδιασμού, γεγονός που μπορεί να αποβεί μοιραίο. Κατά τη δυναμική λειτουργία, τα αρχεία των μηχανικών και οι εκτιμήσεις τους μπορούν να ενοποιηθούν, εξαλείφοντας έτσι πολλά λάθη.

## **Βήμα 3: Πρόγραμμα Διαδικασιών**

Το συγκεκριμένο βήμα, αποτελεί ένα βήμα τακτικής, κατά το οποίο προετοιμάζονται τόσο τα μεγάλης, αλλά και τα μικρής εμβέλειας και εύρους φορτία των σταθμών εργασίας ανάμεσα στην εταιρία, τους προμηθευτές και κάποιες φορές και τους πελάτες. Σε αυτό το στάδιο οι μηχανικοί χρησιμοποιούν υπολογισμούς χωρητικότητας, κύκλους εργασίας και απαιτήσεις διαδικασιών προκειμένου να αναπτύξουν τα χρονοδιαγράμματα για το εργοστάσιο.

Στη στατική λειτουργία επικρατεί ένα χάος με διαγράμματα και γραφειοκρατία. Δεν υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ αυτών που δημιουργήσαν τα χρονοδιαγράμματα και εκείνων που τα ελέγχουν. Επίσης, ενδέχεται να γίνει χρήση των υπολογιστών για την αποθήκευση των δεδομένων. Κατά την επιθυμητή δυναμική λειτουργία, δεν υπάρχει τέτοιο χάος. Γίνεται χρήση των υπολογιστών για να βγουν τα χρονοδιαγράμματα, για να υπάρχει πρόσβαση σε δεδομένα όπως αυτά από τους κατασκευαστές μηχανικούς, για να προστεθούν καταληκτικές ημερομηνίες για τους πελάτες, για να ελεγχθεί η βάση σχεδιασμού για τυχόν ιδιαιτερότητες και για να εντοπιστούν τα χρονοδιαγράμματα των διάφορων σταθμών εργασίας. Με λίγα λόγια, η διαδικασία δημιουργίας των χρονοδιαγραμμάτων βασίζεται σε ένα σύστημα ακρίβειας στην επικοινωνία, το οποίο επιδρά σε ολόκληρη την εταιρία.

## **Βήμα 4: Αγορά Πρώτων Υλών Σύμφωνα με το Χρονοδιάγραμμα**

Εδώ βρίσκεται ο πυρήνας, της παραδοσιακής λειτουργίας των υλικών. Σε αυτό το βήμα υπεύθυνοι προμηθειών, βρίσκουν τις Πρώτες Ύλες στην καλύτερη πιθανή τιμή και στην απαιτούμενη ποιότητα, ανάλογα με τις ανάγκες του εργοστασίου. Ως πρώτες ύλες αναφέρονται εκείνα τα στοιχεία που απαιτούνται για την παραγωγή των προϊόντων της εταιρίας, όπως για παράδειγμα ένα πλήρως συναρμολογημένο κομμάτι μέχρι κάποιο μέταλλευμα που μόλις έχει εξαχθεί από το ορυχείο.

Στη στατική λειτουργία, οι υπεύθυνοι προμηθειών δουλεύουν κυρίως πάνω στα καταληκτικά χρονοδιαγράμματα και τις απαιτήσεις ποιότητας. Πρέπει να βρουν τους συμφέρουσες οικονομικά όρους και να διασφαλίσουν ότι το απόθεμα έχει παραδοθεί στην ώρα του. Στη δυναμική λειτουργία, οι προμήθειες πάνε με το χρονοδιάγραμμα. Αυτό είναι ο πυρήνας του MRP (Materials Requirements Planning). Επίσης, έχουν πρόσβαση στις βάσεις σχεδιασμού για να καταγράφουν τις αλλαγές. Μπορούν να κάνουν ηλεκτρονικά τις αλλαγές ανάλογα με τις πληροφορίες του προμηθευτή. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα υλικά φθάνουν όταν υπάρχει ζήτηση. Αυτή είναι η φιλοσοφία του just in time.

## **Βήμα 5: Παραγωγή στο Εργοστάσιο**

Εδώ βρίσκεται η παραδοσιακή λειτουργία της παραγωγής. Το υλικό αποστέλλεται, ορίζονται οι σταθμοί εργασίας και ξεκινά η εργασία για την παραγωγή του προϊόντος. Ουσιαστικά ξεκινά η εποπτεία και το ωρομίσθιο εργατικό δυναμικό.

Στη στατική λειτουργία οι υπεύθυνοι ορίζουν την εργασία ανάλογα με τα καθημερινά χρονοδιαγράμματα και την πρόοδο της προηγούμενης ημέρας. Λογικό είναι να υπάρχουν ασυνέπειες. Στο περιβάλλον της δυναμικής λειτουργίας, το χρονοδιάγραμμα είναι ο πραγματικός χρόνος. Το χρονοδιάγραμμα υλοποιείτε μέσω υπολογιστή από τους μεμονωμένους σταθμούς εργασίας. Η επόμενη εργασία πραγματοποιείτε όταν ολοκληρωθεί η προηγούμενη. Παίρνονται δράσεις όταν απατούνται και όχι όταν έχει ολοκληρωθεί η ενέργεια. Τέλος, το εργατικό δυναμικό συνδέεται άμεσα με τη λήψη αποφάσεων.

## **Βήμα 6: Παρακολούθηση Αποτελεσμάτων για την Τεχνική Συμμόρφωση και τον Έλεγχο Κόστους**

Αυτή είναι η φάση ελέγχου ποιότητας και του λογιστικού κόστους της παραγωγής του προϊόντος. Συγκρίνεται η πραγματική επίδοση με αυτή που είχε στα πλάνα της η εταιρία. Οι πληροφορίες που αποκτήθηκαν εφαρμόζονται σε σχέδια διορθωτικών μέτρων. Παρόλο που τα τμήματα χρηματοδότησης και κατασκευής έχουν διαφορετικούς στόχους για τις πληροφορίες, εξαρτώνται από τα ίδια δεδομένα. Το τμήμα ποιοτικού ελέγχου μετρά τις διαφορές, προκειμένου να κατανοήσει τι μπορεί να σημαίνουν για τη λειτουργικότητα του προϊόντος. Την ίδια στιγμή, η υπηρεσία κοστολόγησης μετρά τις ίδιες διαφορές, για τις επιπτώσεις που έχουν στο κόστος του προϊόντος.

Στη στατική λειτουργία, ο έλεγχος ποιότητας και η υπηρεσία κοστολόγησης λειτουργούν ανεξάρτητα. Ο ποιοτικός έλεγχος δημιουργεί σχέδια επιθεώρησης για τις κρίσιμες λειτουργίες και συγκεντρώνει δεδομένα από αυτά. Επίσης, συλλέγει δεδομένα σε τυχαία βάση από τις αναφερόμενες διαφορές όταν συμβαίνουν. Συνήθως, η κοστολόγηση δε βασίζεται στον έλεγχο ποιότητας των δεδομένων κόστους. Παραδοσιακά, συλλέγουν φύλλα χρονοχρεώσεων για τις εργασίες που έχουν εκτελεσθεί, υπολογίζουν τα κόστη εργασίας ανά ώρα και συγκρίνουν την πραγματική εργασία με αυτή που είχε προγραμματιστεί από τους κατασκευαστές μηχανικούς. Το κόστος των υλικών προστίθεται στη βάση αναλήψεων των αποθεμάτων. Μέρος αυτής της δραστηριότητας γίνεται από υπολογιστή, συνήθως αυτό που αφορά τις αριθμητικές δραστηριότητες. Τυπικά, δεν υπάρχει κάποια διασταύρωση των βάσεων δεδομένων. Στην πραγματικότητα, η συλλογή δεδομένων γίνεται ανεξάρτητα, ο έλεγχος ποιότητας από φύλλα καταμέτρησης από τους σταθμούς εργασίας και τα δεδομένα κόστους κατά κύριο λόγο προέρχονται από τα φύλλα του χρόνου μισθοδοσίας. Σε ένα στατικό περιβάλλον, οι λειτουργίες αυτές υπάρχουν σε ξεχωριστά σύμπαντα, χωρίς να μπορούν να καταλάβουν ότι έχουν κοινές ανάγκες.

Με τη μοντέρνα τεχνολογία στους υπολογιστές, τα συστήματα συλλογής δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να μαζεύουν δεδομένα μόνο μία φορά και μόνο σε ένα τύπο, ο οποίος ικανοποιεί τις ανάγκες πολλών χρηστών. Αυτή η διαδικασία γλιτώνει χρόνο, καθώς και ενισχύει την ποιότητα και την ακρίβεια των πληροφοριών. Ένα επίσης θετικό στοιχείο της δυναμικής λειτουργίας, είναι αυτό του πραγματικού χρόνου. Παραδοσιακά η καταγραφή των δεδομένων γίνεται σε ημερήσια και εβδομαδιαία βάση, με αποτέλεσμα η διαχείριση να μη λειτουργεί όπως θα έπρεπε όταν προκύψει κάποιο πρόβλημα. Η κοστολόγηση επιβαρύνεται

ακόμα περισσότερο. Με τη συλλογή δεδομένων όμως, οι περιορισμοί αυτοί καταργούνται. Τα δεδομένα συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο και είναι διαθέσιμα στους χρήστες σχεδόν ακαριαία. Η δυναμική λειτουργία υπαινίσσεται κοινές βάσεις δεδομένων. Τα δεδομένα μπορούν να τεθούν υπό επεξεργασία από διάφορες λειτουργίες και είναι διαθέσιμα σε όλους. Ολόκληρο το σύστημα με τις απαιτούμενες λειτουργίες που απαιτούνται για τη λειτουργία μιας επιχείρησης είναι εφικτό να λειτουργήσει ως μία ολοκληρωμένη ομάδα, αντί ως πολλές ανεξάρτητες και κάποιες φορές αντικρουόμενες ομάδες.

### **Βήμα 7: Αποστολή Τελικού Προϊόντος στον Πελάτη**

Αφορά τις λειτουργίες σχετικά με τα υλικά και αυτό το βήμα. Σε αυτό το στάδιο η εταιρία παραλαμβάνει το ολοκληρωμένο πλέον προϊόν, το συσκευάζει και το αποστέλλει στους πελάτες. Οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα, έχουν ως επίκεντρο τη μεταφορά και την ανανέωση του βασικού χρονοδιαγράμματος, προκειμένη να φανεί όλη η εργασία. Επίσης, οι πληροφορίες της μεταφοράς, δίνονται στο τμήμα των οικονομικών έτσι ώστε να πληρωθούν οι πελάτες.

Στο στατικό περιβάλλον, το τμήμα αποστολής δουλεύει με φύλλα καταμέτρησης και με το πρόγραμμα μεταφοράς του διαχειριστικού τμήματος. Τα φύλλα καταμέτρησης καταγράφουν με ακρίβεια την παραλαβή των συναρμολογημένων μερών, καθώς και τι αποστέλλεται σε κάθε περίοδο. Το διαχειριστικό σχέδιο αναφέρει τις προβλέψεις ή τις επιθυμίες του βασικού χρονοδιαγράμματος για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Τα παραπάνω δύο, σπάνια συμπίπτουν. Αποτέλεσμα αυτών είναι, τελικά, υψηλό κόστος λόγω υπερωριών που πρέπει να γίνουν, αταξία στο χρονοδιάγραμμα, λιγότερο ικανοποιημένοι πελάτες και κουρασμένοι υπάλληλοι.

Στη δυναμική λειτουργία, τίποτα από τα παραπάνω σε συμβαίνει. Με τη συλλογή των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όλα τα χρονοδιαγράμματα, συμπεριλαμβανομένου και του διαχειριστικού, μπορούν να ανταποκριθούν στην πραγματικότητα. Το στοιχείο του αιφνιδιασμού μπορεί να μικρύνει, μέχρι και στο σημείο της εξάλειψής του. Η μεταφορά γίνεται ολοκληρωμένη, χωρίς ελλείψεις στα προϊόντα που πρέπει να μεταφερθούν. Είναι γεγονός, ότι η σωστή χρονικά αποστολή πληροφοριών, μπορεί να λειτουργήσει διορθωτικά για τις τυχόν αποκλίσεις. Με ακριβείς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο συλλογής, το διαχειριστικό τμήμα μπορεί να ενημερώσει τους πελάτες του για τυχόν προβλήματα πολύ νωρίτερα, με αποτέλεσμα να μπορούν και οι πελάτες να κινηθούν ανάλογα. Γενικά η κοινή διαθέσιμη πληροφορία σε όλους κάνει πιο αποτελεσματική και αποδοτική μια εταιρία. [4]

### **1.3.3 Από το CIM στο VM**

Η CIM έκανε την εμφάνισή της στα τέλη της δεκαετία του 80, αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης της επιστήμης της πληροφορικής στην βιομηχανία της παραγωγής και σήμανε την αρχή της ‘ψηφιακής εποχής’ στον τομέα των συστημάτων κατεργασιών (Digital Manufacturing). Ο Dalton-Taggart (2005) ορίζει την ψηφιακή παραγωγή (digital manufacturing) ως ‘την δυνατότητα περιγραφής κάθε πτυχής των διαδικασιών σχεδιασμού και παραγωγής ψηφιακά – χρησιμοποιώντας εργαλεία που περιλαμβάνουν σχεδίαση με χρήση υπολογιστών CAD, συστήματα PLM (Product Lifecycle Management), λογισμικό ανάλυσης, προσομοίωσης, λογισμικό CAM, κλπ’. Η ιδέα είναι ότι το πέρασμα των δεδομένων από ένα τμήμα ή υποσύστημα διαχείρισης σε κάποιο άλλο θα πρέπει να είναι ομαλό, έτσι ώστε τα δεδομένα που δημιουργούνται να είναι άμεσα επαναχρησιμοποιήσιμα. Από τότε πολλά διαφορετικά

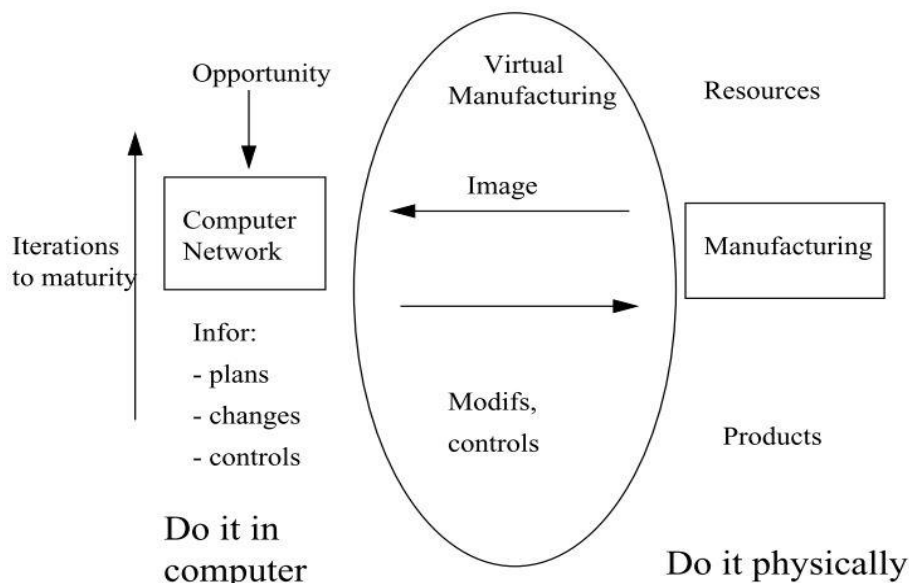
ενοιολογικά πλαίσια, εργαλεία και τεχνικές, έχουν εισαχθεί για την επιδίωξη της ιδέας της CIM. Πολλά από αυτά άλλαξαν ολοσχερώς την εικόνα των συστημάτων κατεργασιών και συνεχίζουν να εξελίσσονται ταυτόχρονα με την τεχνολογική ανάπτυξη των επιμέρους κλάδων. Η δημιουργία ολοένα και περισσότερων εργαλείων που προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες και η προσπάθεια ενσωμάτωσης των νέων αυτών τεχνολογιών στην παραγωγή, έχει σαν αποτέλεσμα τον διαρκή επαναπροσδιορισμό του περιεχομένου του όρου. Οι σημαντικές εξελίξεις και στον τομέα της εικονικής πραγματικότητας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών οδήγησαν στην μελέτη των τρόπων ενσωμάτωσης των ΕΠΕ στα συστήματα κατεργασιών, κάτι που περιγράφεται με τον όρο Virtual Manufacturing και πλέον συμπεριλαμβάνεται στην CIM. [7]

## 1.4 Εικονική Παραγωγή (Virtual Manufacturing)

Ο όρος Εικονική Παραγωγή (Virtual Manufacturing) αναδείχθηκε στις αρχές του 1990 από το U.S. Department of Defense Virtual Manufacturing Initiative. Το πρώτο μισό αυτής της δεκαετίας εξελίχθηκε κυρίως από οργανισμούς σε πεδία όπως η αεροδιαστημική, χωματοουργικών μηχανημάτων, αυτοκινητοβιομηχανίες και κάποια ακαδημαϊκά ερευνητικά γκρουπ.

Χρησιμοποιείται γενικά σε ένα μεγάλο αριθμό πεδίων. Αναφέρεται ευρέως στη μοντελοποίηση συστημάτων παραγωγής με αποτελεσματική χρήση οπτικοακουστικών μέσων και/ή άλλων αισθητηριακών χαρακτηριστικών για την προσομοίωση ή το σχεδιασμό εναλλακτικών, για ένα πραγματικό περιβάλλον παραγωγής, κυρίως μέσω από την αποτελεσματική χρήση υπολογιστών. Το κίνητρό της είναι να ενισχύσει την ικανότητά μας να προβλέπουμε πιθανά προβλήματα και αναποτελεσματικότητα στην λειτουργία των προϊόντων και την παραγωγή, πριν ξεκινήσει η πραγματική παραγωγή. [8]

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των υπολογιστών, τα συστήματα Εικονικής Πραγματικότητας συνεισφέρουν αποδοτικά σε πολλές εφαρμογές. Η Εικονική Παραγωγή (Virtual Manufacturing), είναι μία από τις εφαρμογές της Εικονικής Πραγματικότητας σε διαδικασίες παραγωγής. Ερευνητές στο University of Maryland έκαναν γνωστή την ιδέα της Εικονικής Παραγωγής το



Εικόνα 1.3: Το όραμα της Εικονικής Παραγωγής [9]

1993. Το Virtual Manufacturing ορίζεται ως ένα σύστημα σε υπολογιστή, το οποίο είναι ικανό να παρέχει πληροφορίες για τη δομή, την κατάσταση και τη συμπεριφορά ενός συστήματος παραγωγής, όπως θα μπορούσε να παρατηρηθεί σε ένα πραγματικό περιβάλλον παραγωγής. [10]

Ένας ακόμη ορισμός το χαρακτηρίζει ως ένα ολοκληρωμένο, συνθετικό περιβάλλον παραγωγής, που έχει σκοπό να ενισχύσει όλα τα επίπεδα λήψης αποφάσεων και ελέγχου. Το όραμα του VM είναι να παρέχει τη δυνατότητα “Παραγωγής σε Υπολογιστή”. Αυτό σημαίνει ότι το VM θα παρέχει ένα πλήρες περιβάλλον μοντελοποίησης και προσομοίωσης, έτσι ώστε οι διαδικασίες συναρμολόγησης/κατασκευής κάθε προϊόντος, συμπεριλαμβανομένων και των σχετικών διαδικασιών παραγωγής, να μπορούν να προσομοιωθούν σε υπολογιστή (Εικόνα 1.3).

Τα κύρια σημεία αυτού του ορισμού είναι:

- Ο συνθετικός ή εικονικός χώρος εργασίας: μίξη πραγματικών και προσομοιωμένων αντικειμένων, δραστηριότητες και περιβάλλοντα που υποστηρίζουν την κατασκευή και τη χρήση κατανεμημένων προσομοιώσεων παραγωγής σε συνέργεια, που παρέχουν μία πληθώρα εργαλείων ανάλυσης, προσομοίωσης, εκτέλεσης, ελέγχου, μοντέλα (προϊόντα, διαδικασίες και πόροι), τον εξοπλισμό, τη μεθοδολογία και τις αρχές οργάνωσης, την κουλτούρα δηλαδή που αφορά την κατασκευή και την εκτέλεση ειδικών προσομοιώσεων παραγωγής στο περιβάλλον
- Η ενίσχυση: αύξηση της τιμής, της ακρίβειας και τον επιπέδων ισχύος. Για παράδειγμα, από την ιδέα μέχρι την απόρριψή της, από το υλικό του μετασχηματισμού, στη γνωσιακή μετατροπή σε απόφαση. Την κατανόηση δηλαδή της αλλαγής (παρατήρηση, οργάνωση, καθορισμός εναλλακτικών λύσεων)
- Ο έλεγχος: οι προβλέψεις επηρεάζουν την πραγματικότητα. [9]

Το Virtual Manufacturing στοχεύει στη παροχή ενός ολοκληρωμένου περιβάλλοντος για μια σειρά μεμονωμένων τεχνολογιών παραγωγής, όπως τα: Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing, και Computer Aided Process Planning, επιτρέποντας έτσι σε πολλούς χρήστες να πραγματοποιούν ταυτόχρονα όλες ή κάποιες από αυτές τις λειτουργίες, χωρίς να βρίσκονται φυσικά κοντά ο ένας στον άλλο. [11]

Κάποια πεδία, τα οποία μπορούν να ωφεληθούν από την ανάπτυξη της Εικονικής Παραγωγής περιλαμβάνουν:

- Σχεδιασμό Προϊόντων
- Μοντελοποίηση Επικίνδυνων Εργασιών
- Μοντελοποίηση Προϊόντων
- Εξάσκηση
- Εκπαίδευση
- Οπτικοποίηση Πληροφοριών
- Τηλεπικοινωνίες και Τηλεταξίδια (Teletravel)

Ένας ακόμη όρος σχετικός με την Εικονική Παραγωγή, είναι αυτός της Ευέλικτης Παραγωγής (Agile Manufacturing), που ορίζεται ως εκείνη η δομή, στην οποία πετυχαίνεται η ταχύτητα δια μέσω της ολοκλήρωσης τριών πρωταρχικών παραμέτρων: της οργάνωσης, των ανθρώπων και

της τεχνολογίας. Η ταχύτητα επικεντρώνεται στην ικανότητα να γίνονται γρήγορες αλλαγές στα προϊόντα και τις διαδικασίες ανάλογα με τις επιθυμίες του εκάστοτε πελάτη. [8]

#### 1.4.1 Κατηγοριοποίηση Συστημάτων Εικονικής Παραγωγής

Το όνομα Virtual Manufacturing έχει δοθεί σε ένα συνεχώς εξελισσόμενο τομέα της έρευνας που στοχεύει στην ενσωμάτωση ποικίλων τεχνολογιών παραγωγής, κάτω από κοινή ομπρέλα, με τη χρήση της Εικονικής Πραγματικότητας. Το πεδίο εφαρμογής μπορεί να κυμαίνεται από την ολοκλήρωση του σχεδιασμού των επιμέρους λειτουργιών, όπως η διεκπεραίωση, η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων και η προτυποποίηση, στην ενσωμάτωση όλων των λειτουργιών μέσα σε μια επιχείρηση παραγωγής όπως ο σχεδιασμός, η λειτουργία και ο έλεγχος.

Επίσης, ορίζεται ως ένα προσομοιωμένο μοντέλο μιας πραγματικής εγκατάστασης παραγωγής που μπορεί ή και δε μπορεί να υπάρχει. Διαθέτει όλες τις πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία, τον έλεγχό της και τα δεδομένα των προϊόντων. Το Virtual Manufacturing αποτελεί τη χρήση των μοντέλων των υπολογιστών και των προσομοιώσεων των διαδικασιών παραγωγής, που έχει σκοπό να βοηθήσει στο σχεδιασμό και την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων.

Μπορεί να γίνει μία κατηγοριοποίηση όσον αφορά τους τύπους VM που χρησιμοποιούν την τεχνολογία της ΕΠ προκειμένου να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον :

- i. **Επικεντρωμένες στο Σχεδιασμό:** παρέχουν στους σχεδιαστές τα εργαλεία προκειμένου να σχεδιάζουν προϊόντα που πληρούν σχεδιαστικά κριτήρια
- ii. **Επικεντρωμένες στην Παραγωγή:** παρέχουν τα μέσα για να αναπτυχθούν και να αναλυθούν εναλλακτικά σχέδια παραγωγής και διαδικασίες.
- iii. **Επικεντρωμένες στον Έλεγχο:** επιτρέπουν την αξιολόγηση του σχεδιασμού των προϊόντων, τα σχέδια παραγωγής, καθώς και τη στρατηγική ελέγχου και τα μέσα για την επαναληπτική βελτίωση των παραπάνω μέσω της προσομοίωσης της διαδικασίας ελέγχου [11]

#### 1.4.2 Η τεχνολογία του Virtual Manufacturing

Η τεχνολογία του VM περιλαμβάνει το hardware για τις συσκευές εισόδου, εξόδου και υπολογισμών, καθώς και τα ηλεκτρονικά για την ενσωμάτωση των συστημάτων υλικού και λογισμικού. Κάποιες σχετικές τεχνολογίες είναι:

1. **Οπτικοποίηση:** παρουσίαση ποικίλων πληροφοριών στους χρήστες με ένα διαισθητικό τρόπο.
2. **Κατασκευή περιβάλλοντος:** ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος εργασίας, σαν ένα λειτουργικό σύστημα σε υπολογιστή, για να διευκολυνθεί η οπτικοποίηση και άλλες λειτουργίες του VM.
3. **Αναπαράσταση Πληροφοριών:** αναπαράσταση διαφόρων πληροφοριών με σεβασμό στις μεθόδους και τη σημασιολογία.
4. **Meta Μοντελοποίηση:** κατασκευή, καθορισμό και ανάπτυξη μοντέλων που μπορούν να φιλοξενήσουν την αλληλεπίδραση.



5. **Ολοκλήρωση Υποδομών και Αρχιτεκτονική:** η αρχιτεκτονική του υλικού και του λογισμικού υποδομής.
6. **Προσομοίωση:** η διαδικασία σχεδιασμού ενός πραγματικού μοντέλου σε υπολογιστή.
7. **Μεθοδολογία:** οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη και τη χρήση συστημάτων VM.
8. **Χαρακτηριστικά Παραγωγής:** σύλληψη, μέτρηση και ανάλυση των μεταβλητών που επηρεάζουν τα στοιχεία μετασχηματισμού κατά την παραγωγή μέσω του VM.
9. **Επαλήθευση, επικύρωση και μέτρηση** του συστήματος VM.

Μία από τις σημαντικότερες συνεισφορές του VM αφορά τη βελτίωση της επικοινωνίας σε μια επιχείρηση. Αυτό φέρνει στο προσκήνιο κάποιες περιοχές που απαιτούν έρευνα: (1) τις μεθόδους για την αξιολόγηση αυτού του νέου μέσου. (2) τη μέτρηση και τη βελτιστοποίηση των εργονομικών πτυχών διασυνδέσεων ανθρώπου-μηχανής και ανθρώπου-ανθρώπου μέσω του εξοπλισμού και του περιβάλλοντος VM.

Το Hardware περιλαμβάνει τις ακόλουθες τεχνολογίες:

- Συσκευές Εισόδου/Εξόδου όπως οθόνες CRT, LCD, Προβολικά Συστήματα Επιπροσωπίδας (HMD), συστήματα προβολής, γυαλιά (goggles) και γυαλιά οπτικοποίησης (glasses for visualization), γυαλιά με οπτικές ίνες και ήχο, κουστούμια, χειριστήρια, πληκτρολόγια αφής, forceballs για απτική διεπαφή και πλοήγηση, μικρόφωνα, συνθεσάιζερ, ακουστικά και ηχοσυστήματα.
- Τα όργανα για την αποθήκευση/ανάκτηση πληροφοριών που σχετίζονται με τις συσκευές εισόδου/εξόδου, καθώς και τη διασύνδεσή τους με το υπολογιστικό σύστημα.
- Το Υπολογιστικό Σύστημα για την υποστήριξη όλων των οργάνων, την αποθήκευση δεδομένων και τις υψηλές ταχύτητες τρεξίματος.
- Την Αρχιτεκτονική του δικτύου(star, bus, ring), τα συστήματα του υλικού σε διαφορετικές τοποθεσίες (workstations, PCs) και το υλικό επικοινωνίας (οπτικές ίνες, καλώδια χαλκού). [11]

# 2

## Βιομηχανικοί Ρομποτικοί Βραχίονες

### 2.1 Εισαγωγή

Τα βιομηχανικά ρομπότ αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο της ανταγωνιστικής παραγωγής, η οποία έχει στόχο να συνδυάσει την υψηλή παραγωγικότητα, την ποιότητα και την προσαρμοστικότητα με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Υψηλής ανάπτυξης βιομηχανίες (όπως βιοεπιστήμες, ηλεκτρονική, λογιστική) και αναδυόμενες διαδικασίες παραγωγής (όπως συγκόλληση, επικάλυψη, διαδικασίες με λέιζερ, συναρμολόγηση με ακρίβεια) εξαρτώνται από την προηγμένη τεχνολογία των ρομπότ. Το μερίδιο των εν λόγω βιομηχανιών στην εγκατάσταση βραχιόνων αυξάνεται σταθερά.

Η παραγωγή βιομηχανικών ρομπότ, αφενός, και ο σχεδιασμός, η ολοκλήρωση και τα ρομποτικά κύτταρα εργασίας από την άλλη, είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητες εργασίες, μηχανικών. Προκειμένου να παράγονται σε επαρκώς μεγάλες ποσότητες, ρομποτικά είδη, θα πρέπει να πληρούν όλες τις πιθανές απαιτήσεις των εφαρμογών τους. Δεδομένου ότι κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, διάφορες κατηγορίες έχουν αναπτυχθεί σχετικά με τη χωρητικότητα του ωφέλιμου φορτίου, με τον αριθμό των αξόνων των ρομπότ και με το χώρο εργασίας για εφαρμογές όπως η συναρμολόγηση, η παλετοποίηση, η βαφή, η συγκόλληση, καθώς και άλλες γενικές εργασίες.

Σε γενικές γραμμές, ένα ρομποτικό κύτταρο αποτελείται από ένα ή περισσότερα ρομπότ με τους ελεγκτές τους και τα περιφερειακά των ρομπότ: αρπάγες ή εργαλεία, συστήματα ασφαλείας, αισθητήρες και εξαρτήματα για τη μεταφορά και την παρουσίαση υλικών. Τυπικά, το κόστος ενός ολοκληρωμένου ρομποτικού κυττάρου είναι τέσσερις φορές το κόστος ενός ρομπότ.

Ένα ρομποτικό κύτταρο είναι συνήθως αποτέλεσμα ενός εξατομικευμένου σχεδιασμού, ολοκλήρωσης, προγραμματισμού και διαμόρφωσης και απαιτεί σημαντική μηχανική τεχνογνωσία. Τυποποιημένες μέθοδοι μηχανικής και εργαλεία διατίθενται προκειμένου να μειωθούν οι δαπάνες και να γίνει η απόδοση πιο προβλέψιμη.

Η σημερινή βιομηχανία ρομπότ είναι αποτέλεσμα των απαιτήσεων, των έντονων καπιταλιστικών μεγάλου όγκου παραγωγής βιομηχανιών, όπου κυρίαρχες είναι οι αυτοκινητοβιομηχανίες και οι βιομηχανίες ηλεκτρικών ειδών. Τα μελλοντικά βιομηχανικά ρομπότ, δεν θα είναι μια απλή προβολή των σημερινών εφαρμογών και δεδομένων απόδοσης, αλλά θα ακολουθήσουν μάλλον εκείνες τις αρχές σχεδιασμού, οι οποίες θα τους επιτρέψουν να καλύψουν ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών και βιομηχανιών. Ταυτόχρονα, νέες τεχνολογίες,

ιδιαίτερα από τον τομέα της Πληροφορικής (Information Technology – IT), θα έχουν ολοένα και μεγαλύτερο ρόλο στο σχεδιασμό, την απόδοση και το κόστος των μελλοντικών βιομηχανικών ρομπότ.

Εθνικά και διεθνή πρότυπα, βοηθούν στην ποσοτικοποίηση των επιδόσεων των ρομπότ και ορίζουν τις προφυλάξεις ασφαλείας, τη γεωμετρία και τις διασυνδέσεις των μέσων. Τα περισσότερα ρομπότ λειτουργούν πίσω από ασφαλή εμπόδια, προκειμένου να κρατήσουν τους ανθρώπους σε απόσταση ασφαλείας. Πρόσφατα, βελτιωμένα πρότυπα ασφαλείας προσπαθούν να επιτρέψουν δυνατότητα άμεσης συνεργασίας ανθρώπου-ρομπότ, επιτρέποντας εργοστάσια με ρομπότ και ανθρώπους να μοιράζονται τον ίδιο χώρο εργασίας.

Οι κυριότερες εφαρμογές τους είναι οι εξής:

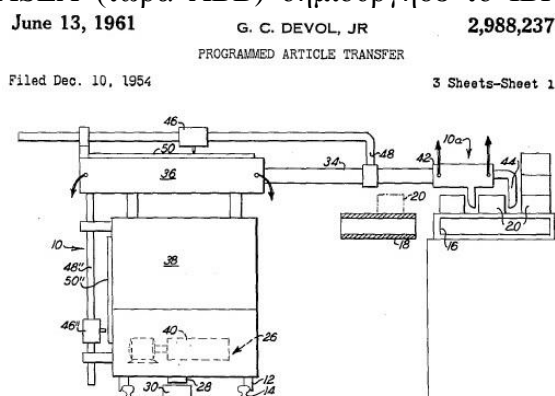
- Συγκόλληση
- Βαφή Σωμάτων Αυτοκινήτων
- Βαφή
- Αυτόματη Μεταφορά Υλικών
- Κατεργασίες
- Συνεργασία Ανθρώπου-Ρομπότ [12]

## 2.2 Ιστορική Αναδρομή

Η εφεύρεση των βιομηχανικών ρομπότ χρονολογείται το 1954 όταν ο George Devol κατέθεσε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας. Μετά τη συνεργασία του με τον Joseph Engelberger, ιδρύθηκε η πρώτη εταιρία ρομπότ, η Unimation. Η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία το πρώτο ρομπότ το 1961 σε ένα εργοστάσιο της General Motors για να εξάγει κομμάτια από ένα μηχάνημα χύτευσης. Τα επόμενα χρόνια πωλήθηκαν αρκετοί υδραυλικοί επενεργητές Unimates για τον χειρισμό των τεμαχίων, καθώς και για εργασίες σημειακής συγκόλλησης των σωμάτων των αυτοκινήτων. Αμφότερες οι εργασίες ήταν επιτυχείς, που σημαίνει ότι τα ρομπότ λειτούργησαν αξιόπιστα και εξασφάλισαν ομοιόμορφη ποιότητα.

Σύντομα πολλές άλλες εταιρείες άρχισαν να αναπτύσσουν και να κατασκευάζουν βιομηχανικά ρομπότ, δίνοντας ζωή σε μια καινοτομία με γνώμονα τη βιομηχανία. Χρειάστηκαν πολλά όμως χρόνια μέχρι αυτός ο κλάδος να γίνει επικερδής. Η ανακάλυψη του Stanford Arm το 1969 από τον Victor Scheinman, ένα φοιτητή μηχανολόγο μηχανικό του Stanford Artificial Intelligence Laboratory (SAIL).

Το 1973, η εταιρεία ASEA (τόρα ABB) δημιούργησε το IBR-6, το οποίο επέτρεψε τη



Εικόνα 2.1: 'Προγραμματιζόμενη μεταφορά αντικειμένων' κατά George Devol

συνεχόμενη κίνηση, πρόδρομο της συγκόλλησης τόξου ή κατεργασιών. Τη δεκαετία του 1970 υπήρξε μια έντονη διάχυση των ρομπότ στην κατασκευή αυτοκινήτων, περισσότερο σε εφαρμογές σημειακής συγκόλλησης.

Το 1978 ο Hiroshi Makino από το Yamashita University, Japan επινόησε το Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA).

Απαιτήσεις που αφορούν την ταχύτητα και το βάρος ενός ρομπότ έχουν οδηγήσει σε νέα είδη κινηματικής και μετάδοσης. Από πολύ νωρίς, η μείωση της μάζας και της αδράνειας της δομής των ρομπότ ήταν πρωταρχικός στόχος της έρευνας. Το 2006 η εταιρεία KUKA δημιούργησε ένα ελαφρύ συμπαγή βραχίονα 7 βαθμών ελευθερίας με προηγμένη ικανότητα δύναμης-ελέγχου. Μια άλλη προσέγγιση για τις ελαφριές και άκαμπτες δομές είχε εμφανιστεί από το 1980, μέσω των παράλληλων κινηματικών μηχανών, οι οποίες ενώνουν τη βάση της μηχανής με τον αποληκτήριο επενεργητή με τρεις ως έξι παράλληλες δοκούς. Τα λεγόμενα παράλληλα ρομπότ (parallel robots), είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την επίτευξη υψηλών ταχυτήτων (π.χ. μεταφορά και απόθεση), ακρίβειας (π.χ. κατεργασίες) και στο να χειρίζονται μεγάλα φορτία εργασίας. Ωστόσο, ο όγκος του χώρου εργασίας τείνει να είναι μικρότερος συγκριτικά με εκείνον της σειριακής ή ανοιχτής κινηματικής αλυσίδας.

Τα Καρτεσιανά ρομπότ είναι ιδανικά για την κάλυψη μεγάλων χώρων εργασίας. Εκτός από τον παραδοσιακό σχεδιασμό με τους τρεις ορθογώνιους άξονες μεταφοράς, η εταιρεία Güdel το 1998 δημιούργησε κάτι διαφορετικό. Το σενάριο επιτρέπει ένα ή περισσότερους ρομποτικούς βραχίονες να παρακολουθούν τροχιές και να κυκλοφορούν σε ένα κλειστό σύστημα μεταφοράς.

Τα δύο βραχιόνων επιδέξια ρομπότ είναι κομβικής σημασίας σε εφαρμογές σύνθετης συναρμολόγησης, ταυτόχρονου χειρισμού και επεξεργασίας τεμαχίων ή για το χειρισμό μεγάλων αντικειμένων. Το πρώτο συγχρονισμένο τέτοιου είδους ρομπότ, παρουσιάστηκε από τη Motoman το 2005. Όπως ένα ρομπότ διπλού βραχίονα μπορεί και μιμείται την εμβέλεια και την επιδεξιότητα των ανθρώπινων χεριών, έτσι μπορεί να αντικαταστήσει την ανθρώπινη εργασία, με συνέπεια οι κεφαλαιουχικές δαπάνες να μειώνονται. Διαθέτει 13 άξονες κίνησης: έξι άξονες ανά σκέλος, καθώς και έναν μονό άξονα για την περιστροφή της βάσης.

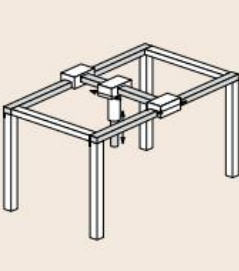
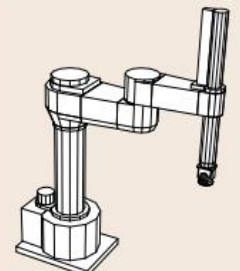
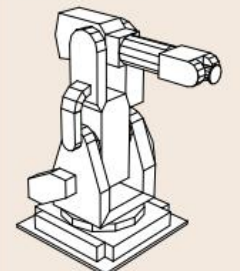
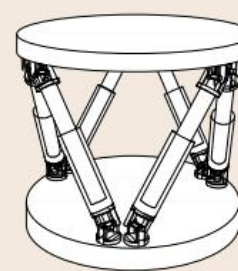
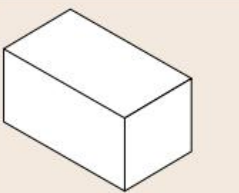
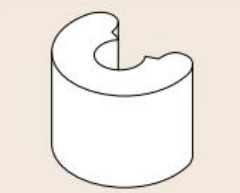






Παράλληλα με τα βιομηχανικά ρομπότ, έχουν αναδυθεί Automated Guided Vehicles (AGVs). Αυτά τα κινητά ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη μετακίνηση των προς επεξεργασία τεμαχίων ή για τη φόρτωση του εξοπλισμού από σημείο σε σημείο. Μέσα στο σενάριο των Αυτοματοποιημένων Ευέλικτων Συστημάτων Παραγωγής (Automated Flexible Manufacturing Systems – FMS), τα AGVs έχουν σημαντικό ρόλο λόγω της ευελιξίας στη δρομολόγησή τους.

Μέχρι το 2007, η εξέλιξη των βιομηχανικών ρομπότ σημαδεύτηκε από τις ακόλουθες κύριες τάσεις:

- Η μέση τιμή της μονάδας ρομπότ, μειώθηκε περίπου στο ένα τρίτο της ισοδύναμης τιμής της του 1990, που πρακτικά σημαίνει ότι η αυτοματοποίηση γίνεται ολοένα και πιο προσιτή. Την ίδια στιγμή, παράμετροι απόδοσης των ρομπότ, όπως η ταχύτητα, η χωρητικότητα φορτίου, και ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών (Mean Time Between Failures - MTBF) έχουν βελτιωθεί δραματικά.
- Στοιχεία της τεχνολογίας των υπολογιστών, λογισμικά καταναλωτών και η βιομηχανία της Πληροφορικής (IT), έχουν συμβάλει στη βελτίωση της αναλογίας απόδοσης/κόστους. Σήμερα, οι περισσότεροι κατασκευαστές ενσωματώνουν

επεξεργαστές βασισμένους σε PC, στους ελεγκτές τους, καθώς και λογισμικό για τον προγραμματισμό, την επικοινωνία, την προσομοίωση και τη συντήρηση από το μεγάλο όγκο των αγορών της Πληροφορικής (IT).

- Πολλαπλά ρομπότ μπορούν να προγραμματιστούν και να συγχρονιστούν σε πραγματικό χρόνο από έναν ελεγκτή, ο οποίος επιτρέπει στα ρομπότ να συνεργάζονται με ακρίβεια σε ένα ενιαίο κομμάτι.
- Ολοένα και περισσότερο, συστήματα όρασης για την αναγνώριση αντικειμένων, τον εντοπισμό και τον έλεγχο της ποιότητας, έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος του ελεγκτή των ρομπότ.
- Τα Ρομπότ δικτυώνονται με fieldbuses ή Ethernet για τον έλεγχο, τη διαμόρφωση και τη συντήρηση.
- Νέες ρυθμίσεις χρηματοδότησης επιτρέπουν στους χρήστες να νοικιάζουν ένα ρομπότ ή και ακόμα, να έχουν ένα ρομποτικό κύτταρο που να λειτουργεί από μία εξειδικευμένη εταιρεία ή ακόμα και τον προμηθευτή του ρομπότ, προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι.
- Η κατάρτιση και η εκπαίδευση, έχουν γίνει σημαντικές υπηρεσίες για τους τελικούς χρήστες, προκειμένου να αυξηθεί η τεχνολογία των ρομπότ. Ειδικό υλικό πολυμέσων και μαθήματα, στοχεύουν στην εκπαίδευση των μηχανικών της βιομηχανίας και του ανθρώπινου δυναμικού, για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό, προγραμματισμό, τη λειτουργία και τη συντήρηση των βιομηχανικών ρομποτικών κυττάρων εργασίας. [12]

Gantry	SCARA	Serial articulated	Parallel
			
<b>Form of workspace</b>			
			
<b>Product example</b>			
			

Εικόνα 2.2: Μηχανικοί Τύποι Κίνησης με Διαφορετική Κινηματική [12]

## 2.3 Χαρακτηριστικά Αρθρωτών Βιομηχανικών Βραχιόνων [7].

Εκτός από την φυσική διαμόρφωση του ρομπότ και των βασικών δεξιοτήτων κίνησης, υπάρχουν κάποιες επιπλέον τεχνικές προδιαγραφές που περιγράφουν συγκεκριμένες ικανότητες και λειτουργίες, από τις οποίες εξαρτάται η αποδοτικότητα του ρομποτικού βραχίονα στο πλήθος των εργασιών που μπορεί να εκτελέσει. Ορισμένες από αυτές τις προδιαγραφές είναι οι παρακάτω:

- Όγκος εργασίας ή χώρος εργασίας – Work volume, Work area ή Work envelope
- Ακρίβεια κίνησης – Movement accuracy
- Ταχύτητα κίνησης – Velocity
- Ανυψωτική ικανότητα – Power lifting
- Τύπος συστήματος κίνησης – Drive system

### 2.3.1 Χώρος Εργασίας

Ο όγκος εργασίας ενός βιομηχανικού ρομπότ είναι ο χώρος όπου το ρομπότ είναι σε θέση να λειτουργεί. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται και σαν «χώρος εργασίας – work area» ή και «φάκελος εργασίας – work envelope». Τεχνικώς μπορεί να ειπωθεί ότι είναι το χωρικό πεδίο μέσα στο οποίο μπορεί να κινηθεί και να λειτουργήσει το άκρο του καρπού ενός βιομηχανικού ρομπότ. Για τον υπολογισμό του, είναι αναγκαίο να θεωρηθούν μερικά από τα φυσικά χαρακτηριστικά ενός ρομποτικού βραχίονα, όπως:

- Η Φυσική διαμόρφωση – ανατομία του
- Το μέγεθος των διαφόρων μερών του
- Τα όρια μετακίνησης – περιστροφής των αρθρώσεων

Η γνώση του χώρου εργασίας ενός ρομπότ είναι ιδιαίτερης σημασίας. Ανάλογα με την εργασία που θα εκτελεί ο βραχίονας από τον χώρο εργασίας εξαρτιούνται άμεσα:

- Η διάταξη των κύριων και βοηθητικών μηχανών (Lay Out, συμπεριλαμβανομένου του ρομπότ)
- Ο χρόνος παραγωγής
- Η περιοχή ασφαλούς εργασίας
- Το πρόγραμμα παραγωγής

### 2.3.2 Ακρίβεια Κίνησης

Υπάρχουν τρεις τυπικές κατηγορίες σχετικά με την ακρίβεια της κίνησης του άκρου του ρομπότ σε μια εφαρμογή, δηλαδή:

- Χωρική Ανάλυση: μπορεί να οριστεί ως η μικρότερη κίνηση που μπορεί ακόμα να ελέγχεται από τους προγραμματιστές, οπότε η χωρική ανάλυση είναι ο αριθμός του ελέγχου ανάλυσης με μηχανικές ανακρίβειες.

- Ακρίβεια: είναι η ικανότητα του ρομπότ να φθάσει στο τελικό σημείο του προορισμού. Με άλλα λόγια, η χωρική ανάλυση εμπεριέχει κατά το ήμισυ αυτού του είδους την ακρίβεια.
- Επαναληψιμότητα: είναι η ικανότητα του ρομπότ να προσεγγίσει το τελικό σημείο μίας προηγούμενα ελεγχόμενης θέσης. Η επαναληψιμότητα είναι εν γένει μικρότερη από την ακρίβεια.

### 2.3.3 Ανυψωτική Ικανότητα

Είναι η ικανότητα του ρομπότ να κινεί φορτία. Σημαντικός παράγοντας ανάλογα με το είδος της προς εκτέλεσης δραστηριότητας και τον σκοπό που αυτή επιτελεί, ήτοι:

- Το είδος της εργασίας
- Το είδος εμπορευμάτων
- Ο επιδιωκόμενος ρυθμός παραγωγικότητας

### 2.3.4 Σύστημα Κίνησης

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι της οδήγησης ρομπότ, και συγκεκριμένα:

- Υδραυλικά συστήματα κίνησης: Κάνουν χρήση υδραυλικών ενεργοποιητών που μετατρέπουν υδραυλική πίεση και ροή σε μηχανική κίνηση. Χρησιμοποιούνται σε περιστροφικούς αλλά και γραμμικούς μηχανισμούς κίνησης. Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές αποτελούν μία ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή για την μετακίνηση μέτριων και υψηλών φορτίων με λογικές ταχύτητες και μέτρια επίπεδα θορύβου. Χαρακτηρίζονται από την ανυψωτική τους ικανότητα και την επίτευξη υψηλών ενεργειακών αποδόσεων, αλλά είναι ακριβοί και γενικά λιγότερο ακριβής από τους σερβοκινητήρες.
- Πνευματικά συστήματα κίνησης: Χρησιμοποιούν πνευματικούς κινητήρες για την κίνηση, οι οποίοι γενικά μετατρέπουν πεπιεσμένο αέρα σε μηχανική κίνηση. Αυτά τα συστήματα αποτελούν την πιο φθηνή λύση. Συναντούνται κυρίως σε χαμηλού κόστους ρομποτικούς βραχίονες με μικρή ανυψωτική ικανότητα, ενώ χρησιμοποιούνται πολλά χρόνια για την τροφοδοσία απλών stop-to-stop κινήσεων.
- Ηλεκτρικά συστήματα κίνησης: Οι ενεργοποιητές είναι οδηγούμενοι από ηλεκτρικούς κινητήρες. Συνήθως χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες ή εναλλακτικά, για πιο υψηλή απόδοση, σερβοκινητήρες. Επειδή τα ηλεκτρικά οδηγούμενα ρομπότ δεν απαιτούν μια υδραυλική μονάδα ισχύος, εξοικονομούν χώρο στο δάπεδο και μειώνουν τα επίπεδα του θορύβου.

## 2.4 Προγραμματισμός Βιομηχανικών Ρομπότ

Στην εποχή της παγκοσμιοποίησης, οι βιομηχανίες έχουν να αντιμετωπίσουν την αυξανόμενη δυναμική των καινοτομιών, τους μικρότερους κύκλους ζωής των προϊόντων, καθώς και μια συνεχόμενη διαφοροποίηση του εύρους των προϊόντων. Ταυτόχρονα, βρίσκονται υπό πίεση λόγω ελλείψεων και υψηλού κόστους ειδικευμένων εργατών. Τα βιομηχανικά ρομπότ,

αποτελούν την καλύτερη λύση τόσο για την παραγωγικότητα, αλλά και για την ευελιξία που μπορούν να παρέχουν. Παρόλα αυτά, ο προγραμματισμός ενός βιομηχανικού ρομποτικού συστήματος για μία συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ακόμη μία δύσκολη, χρονοβόρα και δαπανηρή εργασία.

Για παράδειγμα, ο χειροκίνητος προγραμματισμός ενός ρομποτικού συστήματος για τη συγκόλληση τόξου ενός μεγάλου κελύφους παίρνει παραπάνω από οχτώ μήνες, ενώ ο κύκλος εργασίας της συγκόλλησής του είναι μόνο 16 ώρες. Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος προγραμματισμού είναι περίπου 360 φορές ο χρόνος εκτέλεσης. Έχει ως αποτέλεσμα, οι μικρομεσαίες επιχειρήσεις (Small to Median Sized Enterprises – SMEs) να μην επωφελούνται από ρομποτικούς αυτοματισμούς.

Σε πρακτικές βιομηχανικές εφαρμογές σήμερα, υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες προγραμματισμού των ρομπότ:

- Online Προγραμματισμός (συμπεριλαμβανομένων των lead-through και walk-through)
- Offline Προγραμματισμός (OLP)

#### **2.4.1 Online programming**

Ο Online Προγραμματισμός, πραγματοποιείτε συνήθως από έμπειρους χειριστές ρομπότ. Μέσω του χειριστηρίου (teach pendant) του καθοδηγούν το ρομπότ να ακολουθήσει μια επιθυμητή πορεία. Η παραπάνω μέθοδος ονομάζεται Lead-through. Περιλαμβάνει τη μετακίνηση του βραχίονα στο επιθυμητό σημείο, καθώς και την αποθήκευση αυτής της θέσης στη μνήμη, με σκοπό την ανάκλησή της κατά την επανεκτέλεση. Ο χειριστής είναι υπεύθυνος για την καθοδήγηση του ρομπότ και για τη διατήρηση της επιθυμητής θέσης και προσανατολισμού. Στη φάση της εκπαίδευσης, ο χρήστης καθοδηγεί το ρομπότ είτε χειρωνακτικά, είτε χρησιμοποιώντας το χειριστήριό του, γεγονός που επιτρέπει την αλληλεπίδραση βραχίονα – χειριστή. Τα εξαρτήματα εκπαίδευσης είναι χειριστήρια με πληκτρολόγιο, που επιτρέπουν τον έλεγχο των αρθρώσεων ή των Καρτεσιανών βαθμών ελευθερίας αντίστοιχα. Πολλοί από αυτούς τους ελεγκτές παρέχουν δυνατότητες διακλάδωσης και ελέγχου των προγραμμάτων. Έτσι είναι δυνατή η ενσωμάτωση απλών προγραμμάτων που περιέχουν λογικές μεταβλητές προτάσεις. [13], [14]

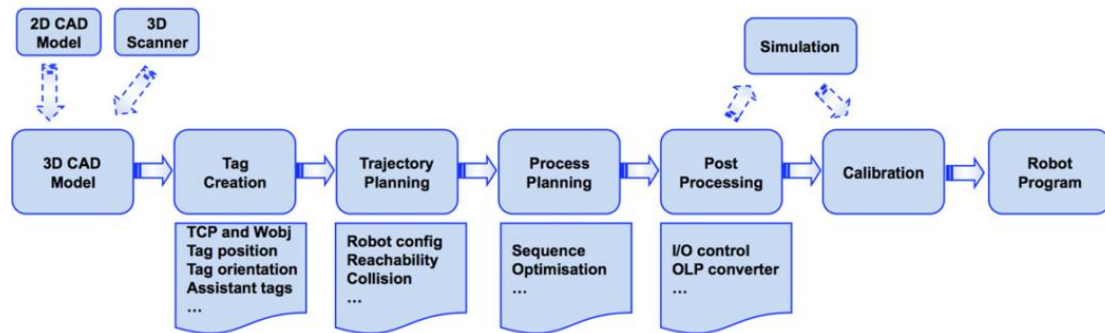
Οι Pan et al. [14] χωρίζουν τον online προγραμματισμό σε δύο κατηγορίες:

- Υποβοηθούμενο από το Χειριστή
- Οδηγούμενο από Αισθητήρες

#### **2.4.2 Offline Προγραμματισμός (OLP)**

Η εφαρμογή της ρομποτικής στην παραγωγή, έχει οδηγήσει στη μείωση του χρόνου παραγωγής και στη βελτίωση της ποιότητας των προς επεξεργασία τεμαχίων. Μικρομεσαίες επιχειρήσεις, που παράγουν μια ευρεία ποικιλία προϊόντων, απαιτούν μία μέθοδο που να παράγει αυτόματα ένα κώδικα NC. Ο Offline προγραμματισμός των ρομπότ, χρησιμοποιώντας CAD μοντέλα, έχει τη δυνατότητα να παρέχει μια οπτική παρουσίαση του ρομπότ κατά την εκτέλεση των εργασιών, καθώς και να εξαλείφει τα προβλήματα κατά τη φάση του σχεδιασμού, όπως αυτό της πρόσβασης, της σύγκρουσης, του χρόνου κλπ. [15]





Εικόνα 2.3: Βήματα Κλειδιά του Offline Προγραμματισμού [14]

Ως Μη Διασυνδεδεμένο Προγραμματισμό (OLP), ορίζουμε το είδος αυτό του προγραμματισμού που πραγματοποιείτε χωρίς τη σύνδεση του υπολογιστή με το ρομπότ. Υλοποιείται μέσω γλωσσών που διαθέτουν ανάλογες επεκτάσεις και είναι εφοδιασμένες με περιβάλλον γραφικών. Το ρομποτικό κύτταρο μοντελοποιείτε τρισδιάστατα. [13]

Στην offline διδασκαλία, ένας χειριστής χειρίζεται ένα εικονικό ρομπότ, όσον αφορά μια ακολουθία θέσεων του τελικού επενεργητή, μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον. Στη συνέχεια, ο εικονικός ελεγκτής, ο οποίος ταυτίζεται με τον πραγματικό, παρεμβάλλει αυτές τις θέσεις και οδηγεί το ρομπότ ώστε να κινηθεί κατά μήκος της διαδρομής. Ταυτόχρονα, οι συγκρούσεις μεταξύ του ρομπότ και του περιβάλλοντος ανιχνεύονται αυτόματα. Σύμφωνα με τις πληροφορίες σύγκρουσης, η διαδρομή μπορεί να τροποποιηθεί χειροκίνητα ή ημιαυτόματα, παράγοντας έτσι μιας διαδρομή χωρίς συγκρούσεις. Σε αυτό το σύστημα, βαθμονόμηση (calibration), πρέπει να γίνει πριν φορτωθεί το πρόγραμμα στο σύστημα ελέγχου του ρομπότ για εκτέλεση. [16]

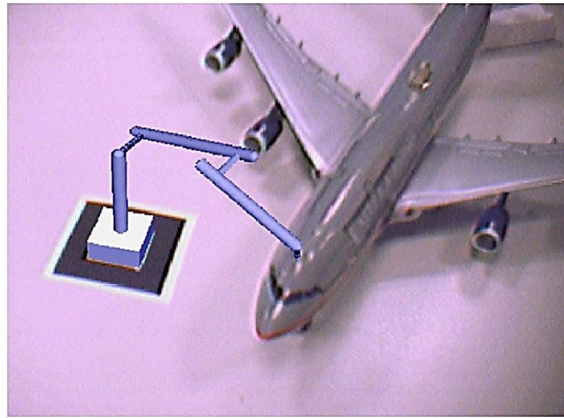
Ο Offline προγραμματισμός έχει αρκετά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τον Online. Αρχικά η διαδικασία προγραμματισμού δεν απαιτεί την παρουσία του ρομπότ, κάτι το οποίο θα ελαχιστοποιούσε την παραγωγή του. Τα προγράμματα μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη φάση σχεδιασμού/κύκλου παραγωγής και ο προγραμματισμός μπορεί να γίνει παράλληλα με την παραγωγή. Επίσης, τα προγράμματα είναι πιο ευέλικτα, με την έννοια ότι τυχόν τροποποιήσεις, μπορούν να ενσωματωθούν άμεσα.

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο είναι η προσομοίωση. Μέσω της προσομοίωσης τα προγράμματα μπορούν να ελεγχθούν, επιβεβαιώνοντας τις κινήσεις των ρομπότ, με αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείτε η πιθανότητα σφάλματος και έτσι να βελτιώνεται η παραγωγικότητα και η ασφάλεια. [14]

### 2.4.3 Προγραμματισμός με Επαυξημένη Πραγματικότητα

Πλέον, η συνέργεια μεταξύ της Ρομποτικής και της Εικονικής Πραγματικότητας είναι δεδομένη. Η Επαυξημένη Πραγματικότητα (Augmented Reality – AR), είναι μια τεχνολογία η οποία προέρχεται από την Εικονική Πραγματικότητα. Η AR είναι ένα περιβάλλον, όπου αντικείμενα δημιουργημένα από υπολογιστή, μπλέκονται σε μια σκηνή του πραγματικού κόσμου, προκειμένου να ενισχύσουν τη διαδραστικότητα του χρήστη με τον πραγματικό κόσμο.

Η Επαυξημένη Πραγματικότητα, δηλαδή, επικαλύπτει διαδραστικά το πραγματικό περιβάλλον με εικονικές χωρικές πληροφορίες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει άμεσα διαθέσιμα στο πραγματικό περιβάλλον, τα πλεονεκτήματα της γραφικής διαδραστικής προσομοίωσης και

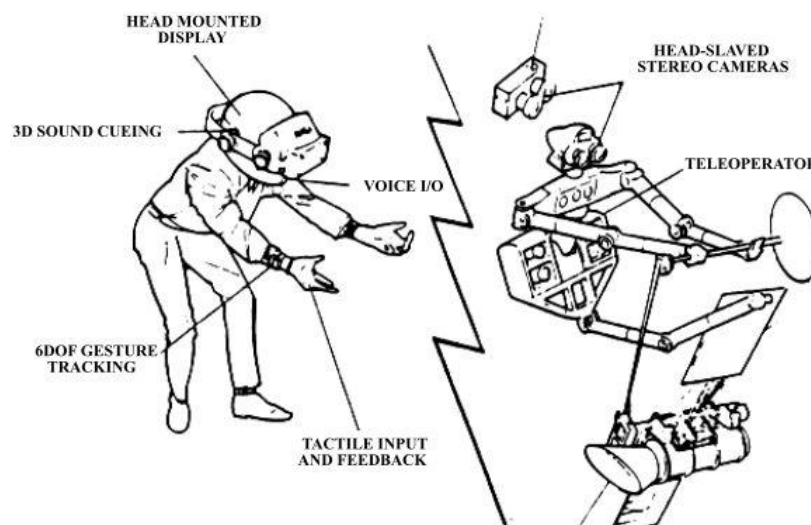


Εικόνα 2.4: Εικονικό ρομπότ πλύσης μινιατούρας αεροπλάνου σε πραγματικό περιβάλλον

να παρέχει ένα αποτελεσματικό και διαισθητικό κανάλι επικοινωνίας, για τις χωρικές πληροφορίες. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4, ένα εικονικό μοντέλο ενός ρομπότ πλυσίματος αεροπλάνου μπορεί να υπερτεθεί σε ένα μοντέλο αεροπλάνου σε κλίμακα. Το εικονικό μοντέλο του ρομπότ μπορεί να κινηθεί αναφορικά με το μοντέλο του αεροπλάνου, για να δημιουργήσει μια ακολουθία ρομπότ, η οποία μπορεί αργότερα να βαθμονομηθεί και να προγραμματιστεί για ένα πραγματικό ρομπότ πλυσίματος αεροπλάνων.

Αυτά τα ρομπότ προγραμματισμού χρησιμοποιώντας τεχνικές AR (Robot Programming using Augmented Reality - PRAR), επιτρέπουν μια μορφή offline προγραμματισμού, χωρίς να χρειάζεται να μοντελοποιηθεί το τεμάχιο εργασίας στο εικονικό περιβάλλον. Η PRAR, είναι επίσης χρήσιμη όταν απαιτείται μια επί τόπου προσέγγιση, όπως το εικονικό ρομπότ μπορεί να επαυξηθεί στο κύτταρο εργασίας του πραγματικού κόσμου. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εξαλείψει πολλές τεχνικές δυσκολίες, οι οποίες σχετίζονται με θέματα βαθμονόμησης ανάμεσα στον εικονικό και τον πραγματικό κόσμο.

Η PRAR έχει κάποια εγγενή οφέλη με τον OLP, όπως ότι δε χρειάζεται να βγει το πραγματικό ρομπότ από την παραγωγή, καθώς και τα λειτουργικά οφέλη και την ασφάλεια. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του περιβάλλοντος PRAR, είναι ο προγραμματισμός των μεγάλων ρομπότ, όπου εκεί ο online προγραμματισμός είναι ανέφικτος (όπως τα ρομπότ πλυσίματος αεροπλάνων). [14]



Εικόνα 2.5: The idea of teleoperating [3]

## 2.5 Τηλεπαρουσία και Τηλεχειρισμός (Telepresence & Teleoperating)

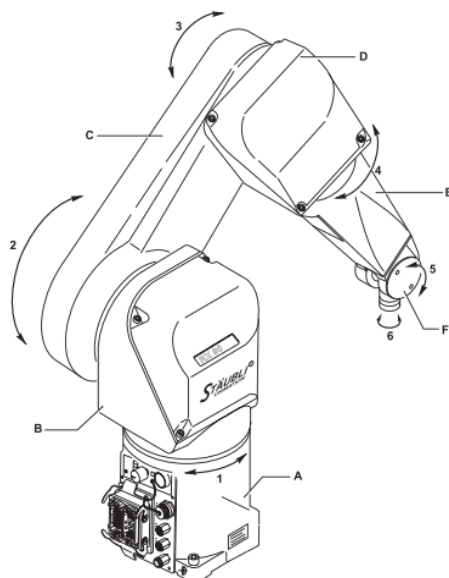
Αν και ο στόχος της Τηλερομποτικής (Telerobotics) είναι μια εργασία αυτόνομη, τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός επιβλέποντα ανθρώπου. Η Τηλεπαρουσία, είναι μία τεχνολογία όπου επιτρέπει στους ανθρώπους να λειτουργούν σε απομακρυσμένα περιβάλλοντα μέσω διεπιφανειών Εικονικής Πραγματικότητας. Σε αρκετές περιπτώσεις, αυτή η μορφή απομακρυσμένου ελέγχου είναι η μόνη λύση. Για παράδειγμα αυτά τα περιβάλλοντα ενδέχεται να είναι επιβλαβή για την υγεία των ανθρώπων και καμία άλλη τεχνολογία να μην υποστηρίζει ένα τόσο υψηλό επίπεδο επιδεξιότητας στην εργασία. Η Εικόνα 2.5 παρουσιάζει ένα παράδειγμα Αφέντη και Σκλάβου (Master and Slave) ενός συστήματος Τηλεπαρουσίας. [3]

## 2.6 Stäubli RX90L Paint Robot

Ο βραχίονας αποτελείται από τμήματα ή μέλη διασυνδεδεμένα με αρθρώσεις. Κάθε σύνδεσμος περιλαμβάνει έναν άξονα γύρω από τον οποίο περιστρέφονται δύο μέλη. Η κίνηση των αρθρώσεων του ρομπότ, παράγεται από κινητήρες χωρίς ψήκτρες (brushless motors) συζευγμένους με γωνιοαναλυτές (resolvers).

Αυτή η εύρωστη και αξιόπιστη συναρμολόγηση, σε συνδυασμό με ένα σύστημα καταμέτρησης, του επιτρέπει τη γνώση της απόλυτης θέσης του ρομπότ οποιαδήποτε στιγμή. Είναι αρκετά ευέλικτος και είναι σε θέση να εκτελέσει μια ποικιλία εφαρμογών. Για παράδειγμα εφαρμογές όπως: χειρισμού φορτίων (handling of loads), συναρμολόγησης (assembly), διαδικασιών (process), κόλλησης σφαιριδίων (application of adhesive beads), ελέγχου/επιβεβαίωσης (control/check), καθώς και εφαρμογές χώρων εκκένωσης (clean room applications).

Όπως αναφέρθηκε ο βραχίονας αυτός μπορεί να καλύψει μια ποικιλία εφαρμογών. Από τις παραδοσιακές εφαρμογές ηλεκτροστατικών μεθόδων τα ρομπότ βαφής της Stäubli, μπορούν να καλύψουν όλες τις απαιτήσεις φινιρίσματος σε ένα πολύ ευρύ φάσμα βιομηχανιών: όπως πλαστικών και μεταλλικών κομματιών για κινητήρες μηχανών, κατασκευής ποδηλάτων, ξυλείας, αγροτικού εξοπλισμού, αεροδιαστημικής κ.α. Τα διάφορα μέλη του βραχίονα είναι: base (A), the shoulder (B), the arm (C), the elbow (D), the forearm (E) and the wrist (F) και είναι εμφανή στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6: Stäubli RX90L

<b>Χαρακτηριστικά</b>						
<b>Βαθμοί Ελευθερίας</b>	6					
<b>Εγκατάσταση</b>	Πάτωμα/Οροφή					
<b>Μάζα</b>	112 kg					
<b>Μέγιστη Ταχύτητα Εργασίας</b>	11 m/s					
<b>Χαμηλή Ταχύτητα για Χειροκίνητη λειτουργία με το Χειριστήριο</b>	Καρτεσιανή Λειτουργία: 250 mm/s Περιτροφική Λειτουργία: 10% της ονομαστικής ταχύτητας					
<b>Max Καρτεσιανή Ταχύτητα</b>	1,5 m/s					
<b>Ελεγκτής</b>	CS7					
<b>Ωφέλιμο Φορτίο</b>						
<b>Στην Ονομαστική Ταχύτητα</b>	6 kg					
<b>Σε Μειωμένη Ταχύτητα</b>	9 kg					
<b>Περιβάλλον Εργασίας</b>						
<b>Θερμοκρασία Λειτουργίας</b>	+5°C έως +40°C					
<b>Υγρασία</b>	30% έως 95% max. χωρίς συμπύκνωση (σύμφωνα με το πρότυπο NF EN 60 204-1)					
<b>Υψόμετρο</b>	2000m max					
<b>Αρθρωση</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Εύρος (°)</b>	320	275	285	540	225	540
<b>Εύρος εργασίας (°)</b>	A±160	B±137.5	C±142.5	D±270	E+120-105	F±270
<b>Ονομαστική Ταχύτητα (°/s)</b>	236	200	286	401	320	580
<b>Μέγιστη Ταχύτητα (°/s)</b>	356	356	296	409	480	1125
<b>Γωνιακή Ανάλυση (°·10<sup>-3</sup>)</b>	0,87	0,87	0,72	1	1,17	2,75

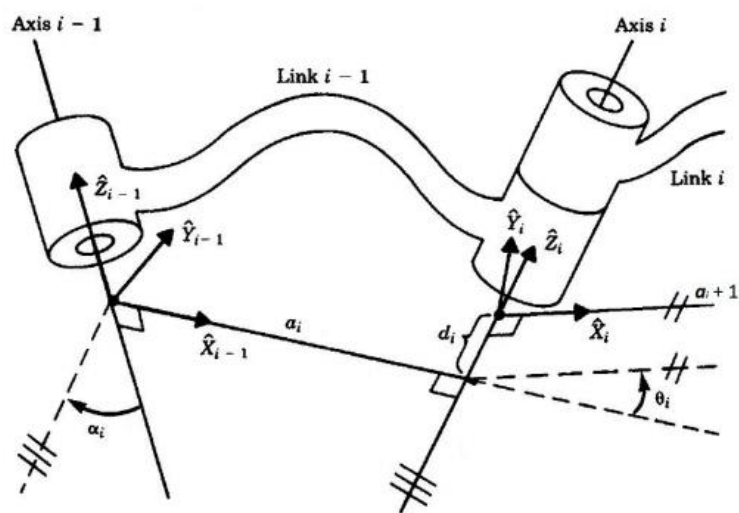
Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά Stäubli RX90L Robot

Το συναρμολόγημα του βραχίονα περιέχει τη μηχανοκίνηση, τα φρένα, τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης, δεσμίδες καλωδίων, το πνευματικό και ηλεκτρικό κύκλωμα για το χρήστη, καθώς και το σύστημα αντιστάθμισης.

Το απλής κατασκευής, συναρμολόγημα του βραχίονα PX90 αποτελείται από σταθερή και εγκιβωτισμένη δομή (προστασία IP με το πρότυπο NF EN 60529), για να το προστατεύει από εξωτερικές επιθέσεις. Ο σχεδιασμός του βασίζεται σε μονάδες μετάδοσης: JCS (Stäubli Combined Joint) χρησιμοποιούμενος στις αρθρώσεις 1, 2, 3 και 4. Ο καρπός (wrist) αποτελείται από τις αρθρώσεις 5 και 6. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι ο βραχίονας έχει ενσωματωμένο σύστημα αντιστάθμισης ελατηρίου, το οποίο του προσδίδει ένα ελκυστικό σύστημα χαμηλού βάρους.

## 2.7 Denavit Hartenberg

Η γεωμετρία ενός ρομποτικού μηχανισμού μπορεί να οριστεί σχετικά εύκολα, τοποθετώντας πλαίσια συστημάτων συντεταγμένων – 3D Frames σε κάθε έναν από τους συνδέσμους του. Ενώ τα frames αυτά μπορούν να τοποθετηθούν αυθαίρετα, είναι πολύ πιο χρήσιμο τόσο για να είναι συνεπές το σύστημα, αλλά και για μαθηματική ευκολία, να χρησιμοποιηθεί μία σύμβαση για την τοποθέτηση των frames στους συνδέσμους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Denavit Hartenberg. Οι Denavit-Hartenberg πρότειναν έναν συστηματικό τρόπο τοποθέτησης των καρτεσιανών συστημάτων σε μία κινηματική αλυσίδα, με στόχο την τυποποίηση και



Εικόνα 2.7: Θέση πλαισίων  $\{i-1\}$  και  $\{i\}$  σε έναν αρθρωτό μηχανισμό

απλοποίηση των αναγκαίων μετασχηματισμών. Πράγματι, σύμφωνα με την μέθοδο D-H χρησιμοποιείται η εξής τυποποιημένη μετάβαση από ένα καρτεσιανό σύστημα. Η αρίθμηση των φορέων/συνδέσμων (links) και των αρθρώσεων ακολουθεί τη σύμβαση:

- Οι  $i$  κινούμενοι φορείς (links) του ρομποτικού μηχανισμού αριθμούνται από το 1 έως το  $i$ . Ο αριθμός της βάσης είναι 0.
- Οι  $i$  αρθρώσεις του ρομποτικού μηχανισμού αριθμούνται από το 1 στο  $i$ , με την άρθρωση  $i$  να τοποθετείται μεταξύ των φορέων  $i-1$  και  $i$ .

Συνοπτικά, η διαδικασία τοποθέτησης πλαισίων περιγράφεται με τα εξής βήματα:

1. Αναγνώριση των αξόνων περιστροφής και σχεδιασμός γραμμών κατά μήκος τους. Για τα βήματα 2 έως 5 θεωρούμε δυο διαδοχικές τέτοιες γραμμές (που διέρχονται από τους άξονες  $i$  και  $i+1$ )
2. Αναγνώριση της κοινής καθέτου που σχηματίζεται ανάμεσα στους άξονες ή το σημείο τομής τους. Στο σημείο τομής ή στο σημείο όπου η κοινή κάθετος συναντιέται με τον άξονα  $i$ , τοποθετείται ένα πλαίσιο συστήματος συντεταγμένων - frame.
3. Ο άξονας  $Z^i$  τοποθετείται παράλληλα με τον άξονα  $i$ .
4. Ο άξονας  $X^i$  δείχνει προς το κανονικό πολύγωνο ή στην περίπτωση που οι άξονες τέμνονται, ο άξονας  $X^i$  πρέπει να είναι κάθετος στο επίπεδο που ορίζουν οι δύο άξονες.
5. Τέλος, ο άξονας  $Y^i$  τοποθετείται σύμφωνα με τον κανόνα του δεξιού χεριού.
6. Το frame  $\{0\}$  τοποθετείται να συμπίπτει με το frame  $\{1\}$  όταν η μεταβλητή της πρώτης άρθρωσης είναι μηδέν. Για το  $\{i\}$  επιλέγεται μια αρχική θέση και η κατεύθυνση του  $X^i$  ελεύθερα αλλά γενικά με τρόπο ώστε όσο το δυνατόν περισσότερες παράμετροι του συνδέσμου να γίνουν μηδέν.

Αν τα πλαίσια των αρθρώσεων τοποθετηθούν στις αρθρώσεις σύμφωνα με την παραπάνω σύμβαση, ορίζονται οι παρακάτω σχέσεις για τις παραμέτρους των συνδέσμων:

- $a_n$  = η απόσταση μεταξύ των αξόνων  $Z^i$  και  $Z^{i-1}$  μετρημένη κατά μήκος του  $X^{i-1}$
- $\alpha_n$  = η γωνία μεταξύ των  $Z^i$  και  $Z^{i-1}$  ως προς τον άξονα  $X^{i-1}$
- $d_n$  = η απόσταση μεταξύ των αξόνων  $X^{i-1}$  και  $X^i$  μετρημένη κατά μήκος του  $Z^i$  και

- $\theta_n = \eta$  γωνία μεταξύ του  $\hat{X}_{i-1}$  και  $\hat{X}_i$  μετρούμενη ως προς τον  $Z^i$

Συνήθως επιλέγεται το  $a_i > 0$  επειδή αντιστοιχεί σε μια απόσταση ενώ τα  $a_i$ ,  $d_i$ ,  $\theta_i$  είναι προσημασμένες ποσότητες. Η σύμβαση που περιγράφηκε δεν οδηγεί σε μια μοναδική τοποθέτηση των πλαισίων στους συνδέσμους. Σε πρώτη φάση, όταν ο άξονας  $Z^i$  τοποθετείται ώστε να είναι παράλληλος με τον άξονα της άρθρωσης  $n$ , υπάρχουν δύο κατευθύνσεις προς τις οποίες μπορεί να δείχνει. Επιπλέον, στην περίπτωση που οι άξονες δύο αρθρώσεων τέμνονται, (πχ  $a_i = 0$ ), τότε υπάρχουν δύο επιλογές για την κατεύθυνση του  $X^i$ , που αντιστοιχεί στην επιλογή προσήμων στο κάθετο επίπεδο που περιέχει τα  $Z^i$  και  $Z^{i+1}$ . Όταν οι άξονες  $i$  και  $i+1$  είναι παράλληλοι. Η επιλογή της αρχικής θέσης του  $\{i\}$  επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε το  $d_i$  να είναι μηδέν.

Επίσης για την κινηματική του βραχίονα, ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει και στα: [7], [12], [13], [17]

Για το βραχίονα της παρούσας εργασίας, οι παράμετροι Denavit – Hartenberg έχουν την εξής μορφή:

	$\alpha$ (°)	$a$ (m)	$d$ (m)	$\theta$ (°)
<b>1</b>	0	0	0	$q_1$
<b>2</b>	-90	0	0	$q_2$
<b>3</b>	0	0,45	0	$q_3$
<b>4</b>	-90	0	0,65	$q_4$
<b>5</b>	90	0	0	$q_5$
<b>6</b>	-90	0	0,085	$q_6$

Πίνακας 2.2: Παράμετροι Denavit-Hartenberg

Η επίλυση των εξισώσεων της Ορθής και της Αντίστροφης Κινηματικής, βασίστηκε πάνω στην εργασία του Λεβαδιανού Εμμανουήλ [7] και γι αυτό κρίθηκε σκόπιμο, να μην επαναληφθεί.

## 2.8 V+ User's Language

Το V+, είναι ένα βασισμένο σε υπολογιστή σύστημα ελέγχου και μία γλώσσα προγραμματισμού ειδικά σχεδιασμένη για να χρησιμοποιείται στα βιομηχανικά ρομπότ της Adept Technology, σε συστήματα όρασης, καθώς και σε συστήματα ελέγχου κίνησης.

Ως ένα σύστημα πραγματικού χρόνου, ο συνεχής υπολογισμός της τροχιάς από το V+, επιτρέπει σύνθετες κινήσεις να εκτελούνται άμεσα, με αποδοτική χρήση της μνήμης του συστήματος, καθώς και με μείωση της πολυπλοκότητας του συστήματος συνολικά. Το σύστημα V+, δημιουργεί συνέχεια εντολές ρομπότ-ελέγχου και μπορεί ταυτόχρονα να αλληλεπιδρά με ένα χειριστή, επιτρέποντας έτσι την online δημιουργία και τροποποίηση προγραμμάτων.

Το V+ παρέχει όλη τη λειτουργικότητα των μοντέρνων υψηλού επιπέδου γλωσσών προγραμματισμού, όπως:

- Την κλήση υπορουτινών
- Δομές ελέγχου

- Περιβάλλον πολλαπλών εργασιών
- Εκτέλεση προγραμμάτων αναδρομικά και με επανείσοδο

## 2.8.1 Βασικές Εντολές Τερματικού

### Προετοιμασία Παραθύρου

- Setup → Window → Scroll Buffer → κάνουμε τικ στην επιλογή και πληκτρολογούμε ένα μεγάλο αριθμό γραμμών, όπως π.χ. 10.000 lines για να μπορούμε να βλέπουμε όσο το δυνατόν περισσότερες γραμμές στο τερματικό (έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη εποπτεία και γνώση των προηγούμενων εντολών)
- Setup → Serial Port → Transmit Delay=1msec/char. Στην πορεία της παρούσας διπλωματικής θα γίνει ξεκάθαρο ότι είναι απαραίτητο να φορτωθούν δεδομένα από ένα txt που ήταν αποθηκευμένο σε ένα usb. Βάζουμε λοιπόν, αυτήν την καθυστέρηση για να μπορούν να φορτωθούν άρτια όλα τα δεδομένα.

### Φόρτωση Αρχείου txt

- File → Send File → αρχείο txt, μέσα από το παράθυρο διαλόγου που ανοίγει, το καθοδηγούμε στη θέση του αρχείου που επιθυμούμε να φορτώσουμε.

Παρακάτω, μέσω ενός παραδείγματος γίνεται κατανοητή η εκτέλεση ή η επεξεργασία ενός αρχείου κώδικα. Αρχικά όλη η διαδρομή του αρχείου που μας ενδιαφέρει είναι η εξής: C:\MAIN\FAKELOS.PG\PROGRAMMA

Στην οθόνη του τερματικού πληκτρολογούμε τις παρακάτω εντολές:

- **FDIR:** (προαιρετική εντολή) εμφανίζει τα ονόματα των φακέλων του δίσκου (δεδομένου ότι βρισκόμαστε στον C αυτή τη στιγμή)
- **CD MAIN:** μετακίνηση στο φάκελο MAIN
- **FDIR MAIN:** (προαιρετική εντολή) εμφανίζει τα ονόματα των στοιχείων του φακέλου στον οποίο βρισκόμαστε (στη συγκεκριμένη περίπτωση βρισκόμαστε στο φάκελο MAIN, οπότε πλέον μπορούμε να δούμε τα αρχεία του)
- **LOAD FAKELOS.PG:** φόρτωση φακέλου στη μνήμη

i. Αν επιθυμώ να επεξεργαστώ/δημιουργήσω κάποιο κώδικα μέσα στο FAKELOS.PG:

- **SEE PROGRAMMA:** αυτή η εντολή αφορά τη δημιουργία προγραμμάτων. Αν το πρόγραμμα υπάρχει τότε θα ανοίξει, αλλιώς αν δεν υπάρχει θα δημιουργηθεί.

- Πατάω το πλήκτρο “i” για να μπω στην **Insert Mode** και να το επεξεργαστώ

Μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία πατάω τα πλήκτρα:

- **ESCAPE**

- **F4**

Αν επιθυμώ να αποθηκεύσω το νέο κώδικα με διαφορετικό όνομα, στη συνέχεια πληκτρολογώ:

- **STOREP NEW\_NAME** και έτσι τον αποθηκεύει μέσα στο νέο φάκελο NEW\_NAME.PG

ii. Αν υπάρχει κώδικας και επιθυμώ να τον εκτελέσω τότε πληκτρολογώ:

- **EXECUTE PROGRAMMA**

Υπάρχει μια βασική διαφορά μεταξύ των εντολών **STORE** και **STOREP**, όπου και οι δύο αφορούν την αποθήκευση προγραμμάτων μέσα σε φακέλους. Αν πληκτρολογήσουμε **STORE FAKELOS**, τότε το πρόγραμμα αποθηκεύεται στη θέση **FAKELOS.V2**, που σημαίνει ότι πέρα από τον κώδικα αποθηκεύει και τα: Locations, Reals, Doubles και Strings. Στην περίπτωση του **STOREP FAKELOS**, αποθηκεύεται μόνο ο κώδικας. Υπάρχουν και άλλες μορφές της συγκεκριμένης εντολής, οι οποίες αποθηκεύουν και δημιουργούν άλλες επεκτάσεις, αλλά ξεφεύγουν από τα όρια της παρούσας διπλωματικής.

Μία άλλη αξιοσημείωτη εντολή είναι η **FDELETE**. Συντάσσεται ως **FDELETE FAKELOS.V2** ή **FDELETE FAKELOS.PG**. Με αυτή την εντολή διαγράφουμε κάποιο φάκελο όταν βρισκόμαστε στο directory, που είναι αποθηκευμένος.

Μία άλλη εντολή διαγραφής είναι η **ZERO**, η οποία διαγράφει τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη μνήμη κατά την τρέχουσα περίοδο λειτουργίας του τερματικού, όπως παράδειγμα οι μεταβλητές.

Κάποιες σημαντικές εντολές, επίσης, είναι και οι παρακάτω:

- **SPEED:** θέτει την ονομαστική ταχύτητα κίνησης του ρομπότ
- **TRACE:** συντάσσεται ως ENABLE/DISABLE TRACE. Στο μόνιτορ εμφανίζεται ή όχι (ενεργοποιεί/ απενεργοποιεί την παρακολούθηση) η ροή του προγράμματος που εκτελείται
- **READY:** μετακίνηση του ρομπότ στη θέση READY, δηλαδή στη θέση του βασικού σχηματισμού του (standard configuration)
- **DISABLE POWER:** σβήσιμο

Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί, ότι όταν βρισκόμαστε στην οθόνη του τερματικού και όχι μέσα σε λειτουργία συγγραφής κάποιου προγράμματος, για να εκτελεστούν οι εντολές είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα **DO**, πριν από την κάθε εντολή. Έτσι για παράδειγμα οι παραπάνω εντολές στην οθόνη του τερματικού συντάσσονται ως εξής: **DO SPEED number, DO ENABLE TRACE** και **DO READY**.

## 2.8.2 Εντολές που Αφορούν τον Κώδικα που Αναπτύχθηκε

Μία θέση μπορεί να περιγραφεί από έξι στοιχεία, με δύο τρόπους: είτε από τις έξι αρθρώσεις της, είτε από τις τρεις συνιστώσες της θέσης (X,Y,Z) και τις τρεις συνιστώσες του προσανατολισμού (yaw, pitch, roll). Για αυτές τις δύο περιγραφές υπάρχουν κατάλληλες εντολές στη V+.

Οι **Θέσεις Ακριβείας (Precision Points)**, καταγράφουν τις τιμές όλων των αρθρώσεων στη συσκευή. Είναι ακριβείς και είναι ο μόνος τρόπος εξαγωγής πληροφορίας για την κάθε άρθρωση, σε περίπτωση για παράδειγμα όπου είναι επιθυμητή η κίνηση μιας μόνο άρθρωσης. Οι Precision Points, συντάσσονται με ένα σύμβολο δίσωσης (#). Για παράδειγμα η εντολή **HERE** (η



οποία χρησιμεύει για την αποθήκευση της τρέχουσας θέσης του ρομπότ), αν συνταχθεί ως `HERE #pick`, θα δημιουργήσει μια θέση ακριβείας, την `#pick` αντίστοιχη των τρεχόντων τιμών των αρθρώσεων του ρομπότ. Η σύνταξη είναι: `#PPOINT (j1_value, j2_value, j3_value, j4_value, j5_value, j6_value, j7_value, j8_value, j9_value, j10_value, j11_value, j12_value)`, όπου αν δοθούν περισσότερες μεταβλητές από τις αρθρώσεις του ρομπότ, παραλείπονται.

Ο δεύτερος τρόπος απεικόνισης μιας θέσης είναι μέσω τις εντολής **Μετασχηματισμού (Transformations)**. Είναι πιο ευέλικτες και αποδοτικές μεταβλητές τοποθεσίας (location variables). Η σύνταξη είναι η εξής: `TRANS (X_value, Y_value, Z_value, y_value, p_value, r_value)`

- **MOVE THESI** : κάνει το ρομπότ να κινηθεί στη θέση , THESI μέσω παρεμβολής των αρθρώσεων του
- **MOVES THESI** : κάνει το ρομπότ να κινηθεί στη θέση , THESI μέσω κίνησης ευθείας γραμμής
- **BREAK** : διακόπτει την εκτέλεση του προγράμματος μέχρι να ολοκληρωθεί η τρέχουσα κίνηση
- **DELAY** : προκαλεί τη διακοπή της κίνησης του ρομπότ για μια καθορισμένη περίοδο χρόνου
- **DECOMPOSE**: στον κώδικα χρησιμοποιήθηκε για να αποθηκευτούν οι τιμές του δεξιού μέλους, στο array που βρισκόταν στο αριστερό μέλος
- **\$ENCODE**: συντάσσεται ως `$ENCODE (output_specification, output_specification, ...)` και επιστρέφει ένα string ανάλογο με το `output_specification`. Στον κώδικα επιστρέφει το τρέχων σημείο που έχει πλησιάσει ο βραχίονας, ή με άλλα λόγια το τρέχων ολοκληρωμένο σετ των αρθρώσεων

Η `V+` υποστηρίζει τη `for loop` και έτσι χρησιμοποιήθηκε για να εκτελούνται αυτόματα όλα τα σετ των αρθρώσεων μόλις ξεκινήσει η εκτέλεση του προγράμματος, χωρίς να απαιτείται από το χρήστη να καθορίσει το πλήθος των σημείων που θα πρέπει να πάει ο βραχίονας.

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε η απεικόνιση με Precision Points, δηλαδή αποφασίστηκε να δίνονται στο ρομπότ οι τιμές των αρθρώσεων.

Όπως αναφέρεται παραπάνω χρησιμοποιήθηκε η εντολή `DECOMPOSE`, για να γεμίσει ένα πίνακα (array), ο οποίος αποτελείται από `N` γραμμές, όπου `N` είναι το πλήθος των σημείων που αποθηκεύτηκαν και από 6 στήλες, όπου περιέχουν τις τιμές των αρθρώσεων που θα λάβει το ρομπότ.

Στην αρχή του προγράμματος, προαιρετικά μπορούν να καθοριστούν τα είδη των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Έτσι και έγινε, περισσότερο για να καθοριστεί ότι ο πίνακας αυτός αποτελείται από 6 στήλες.

Για το συγκεκριμένο κεφάλαιο, οι πληροφορίες συντέθηκαν από τα manual της Adept Technology Inc και συγκεκριμένα από τα [18]–[21], καθώς και από τον ιστότοπο [22]. Για περισσότερες διευκρινήσεις και πληροφορίες μπορεί ο αναγνώστης να ανατρέξει στα συγκεκριμένα.

# 3

## Flock of Birds

### 3.1 Εισαγωγή στον Εξοπλισμό Εισόδου 3D Περιβαλλόντων

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού εισόδου, είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι κατά τη χρήση μιας 3D εφαρμογής, καθώς αποτελεί το πρωταρχικό μέσο με το οποίο ο χρήστης επικοινωνεί με την εφαρμογή. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευών εισόδου που μπορεί να επιλέξει κάποιος, κάποιες όμως είναι πιο κατάλληλες από άλλες για συγκεκριμένες εργασίες [23].

#### 3.1.1 Χαρακτηριστικά Συσκευών Εισόδου (Input Devices)

Πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγραφεί μια συσκευή εισόδου (input device). Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι οι βαθμοί ελευθερίας (Degrees Of Freedom – DOF) που μπορεί να παρέχει μια συσκευή. Για παράδειγμα ένας tracker γενικά μπορεί να συλλαμβάνει τρεις τιμές θέσης και τρεις προσανατολισμού, με σύνολο έξι βαθμών ελευθερίας. Ως επί το πλείστον, οι βαθμοί ελευθερίας μιας συσκευής δίνουν μια ένδειξη για το πόσο περίπλοκη είναι η συσκευή και κατά πόσο αποτελεί ικανοποιητική επιλογή για διάφορες τεχνικές διάδρασης (interaction techniques).

Ένας άλλος τρόπος χαρακτηρισμού των συσκευών εισόδου είναι βασισμένος στον τύπο δεδομένων εισόδου και από τη ‘συχνότητα’ των δεδομένων που δημιουργούν. Τα δεδομένα που παράγονται μπορούν να είναι μεμονωμένα (πχ Boolean) , συνεχή (πχ συντεταγμένες pixel, real valued numbers), είτε και κάποιος συνδυασμός των παραπάνω δύο.

Οι συσκευές εισόδου, επίσης, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάση του κατά πόσο απαιτούν φυσική αλληλεπίδραση (physical interaction) για να χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα οι πλήρως ενεργητικές (purely active) συσκευές εισόδου απαιτούν ο χρήστης να εκτελέσει πρώτα κάποιες φυσικές ενέργειες πριν δημιουργηθούν δεδομένα. Αντίθετα οι πλήρως παθητικές (purely passive) συσκευές εισόδου δεν απαιτούν οποιαδήποτε φυσική ενέργεια για να λειτουργήσουν. Μπορούν να παράγουν δεδομένα χωρίς την απαίτηση να τις κρατάει ο χρήστης. Μία τέτοια συσκευή, είναι για παράδειγμα ένας tracker. Είναι μία συσκευή η οποία θα εξάγει δεδομένα θέσης και προσανατολισμού συνεχώς, ακόμα και αν είναι τοποθετημένη στο ίδιο σημείο.

Τέλος, οι συσκευές εισόδου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει της χρήσης για την οποία προορίζονται. Για παράδειγμα κάποιες συσκευές προορίζονται για να καθορίζουν τη θέση και/ή τον προσανατολισμό, ενώ άλλες είναι σχεδιασμένες για να εξάγουν πραγματικές τιμές αριθμών

(real number value) ή για να υποδεικνύουν ένα συγκεκριμένο στοιχείο ενός συνόλου (επιλογή – choice). Άλλα χαρακτηριστικά συσκευών εισόδου περιλαμβάνουν το αν υπάρχει συγγένεια στις μετρήσεις της συσκευής (για παράδειγμα τη διαφορά μεταξύ τωρινών και παλαιών μετρήσεων) ή αν υπάρχει το απόλυτο στις τιμές (για παράδειγμα μετρήσεις βασισμένες σε ένα σταθερό σημείο ή σημείο αναφοράς) [23].

## 3.2 Κατηγορίες Συσκευών Εισόδου

Μπορεί να γίνει μια γενική κατηγοριοποίηση των συσκευών εισόδου:

- Συσκευές Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων (Desktop Input Devices)
- Συσκευές Παρακολούθησης (Tracking Devices)
- 3D Ποντίκια (3D Mice)
- Συσκευές Εισόδου Ειδικών Σκοπών (Special-Purpose Input Devices)
- Απευθείας Συσκευές Εισόδου μέσω Ανθρώπου (Direct Human Input)

Οι Συσκευές Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων παραδοσιακά χρησιμοποιούνταν σε εφαρμογές 2D, αλλά δουλεύουν επαρκώς και σε 3D περιβάλλοντα. Επίσης αφορούν συσκευές 6 βαθμών ελευθερίας που είναι σχεδιασμένες αλληλεπίδραση με 3D περιβάλλοντα. Οι Συσκευές Παρακολούθησης έχουν κομβική σημασία σε εφαρμογές όπου το ενδιαφέρον κυμαίνεται στην χωροθέτηση του χρήστη ή κάποιου αντικειμένου στο χώρο. Τα 3D Ποντίκια πρακτικά είναι συσκευές οι οποίες συνδυάζουν trackers μαζί με πλήκτρα και άλλα διακριτά στοιχεία ανάλογα με την κατασκευή τους. Στις Συσκευές Εισόδου Ειδικών Σκοπών ανήκει το hodgepodge. Τέλος οι Απευθείας Συσκευές Εισόδου μέσω Ανθρώπου περιλαμβάνουν μεθόδους λόγου (speech), βιοηλεκτρικές (bioelectric), καθώς και εγκεφάλου (brain) [23].

Όπως γίνεται αντιληπτό, η εκτενείς ανάλυση του συγκεκριμένου πεδίου, περιλαμβάνει από μόνο του ένα μεγάλο φάσμα πληροφοριών, το οποίο ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής. Γι αυτό το λόγο, επιλέχθηκαν να αναλυθούν περεταίρω, εκείνες οι συσκευές εισόδου οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, όπως το **πληκτρολόγιο** και το **ποντίκι**, δίνοντας έμφαση στον tracker της Ascention Technology, **‘Flock Of Birds’** πάνω στον οποίο βασίστηκε ένα μεγάλο μέρος της τρέχουσας εργασίας.

Το **Virtools** περιέχει μια πληθώρα BBs, κάποια από τα οποία αφορούν controllers όπως το πληκτρολόγιο και το ποντίκι. Με την προσθήκη του VR Pack, γίνεται δυνατή η χρήση BBs που αφορούν το χειρισμό και την διαχείριση συσκευών όπως το Flock of Birds.

## 3.3 Συσκευές Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων (Desktop Input Devices)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσκευών που χρησιμοποιούνται σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα υπολογιστή. Αρκετοί τύποι τέτοιων συσκευών είχαν αναπτυχθεί με σκοπό να ικανοποιήσουν ανάγκες 2D περιβαλλόντων, όπως η επεξεργασία, τα υπολογιστικά φύλλα και η ζωγραφική. Με την κατάλληλη αντιστοίχιση αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά σε εφαρμογές μοντελοποίησης και παιχνιδιών. Κατά γενική ομολογία, αυτές οι συσκευές είναι πλήρως ενεργητικές (purely active), καθώς ο χρήστης πρέπει να τις χρησιμοποιήσει χειροκίνητα, έτσι ώστε να δώσει την πληροφορία στην εκάστοτε τρισδιάστατη εφαρμογή [23].

### 3.3.1 Πληκτρολόγιο (Keyboard)

Το πληκτρολόγιο είναι ένα κλασσικό παράδειγμα Συσκευής Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων, που περιλαμβάνει διακριτά στοιχεία, δηλαδή τα πλήκτρα. Κατά κόρον, χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν μοντελοποίηση, καθώς και σε παιχνίδια υπολογιστή. Για παράδειγμα, τα πλήκτρα βέλους (arrow keys) χρησιμοποιούνται συχνά ως είσοδοι σε παιχνίδια σκόπευσης πρώτου προσώπου (first person shooter computer games). Όμως, δεν είναι πάντα βολικό σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα, όπως όταν για παράδειγμα ο χρήστης φοράει κάποιο Προβολικό Σύστημα Επιπροσωπίδας (HMD) και είναι όρθιος στο χώρο. Παρόλα αυτά, σε εφαρμογές που απαιτούν λιγότερη εμβύθιση χρησιμοποιούνται εκτενώς [23]. Στην παρούσα εργασία, το πληκτρολόγιο χρησιμοποιήθηκε ως συσκευή εισόδου στα περισσότερα σενάρια. Δεσμεύθηκαν αρκετά από τα πλήκτρα του και το πάτημα ή η απελευθέρωση του εκάστοτε πλήκτρου πυροδοτούσε μια συγκεκριμένη ενέργεια. Για παράδειγμα κατά την αντίστροφη κινηματική του ρομποτικού βραχίονα, τα πλήκτρα βέλους, καθώς και τα Num - , Num + πατώντας τα συνεχόμενα, έδιναν κίνηση στο βραχίονα. Στα ΔΓΣ που αφορούσαν την αποθήκευση δεδομένων (παράγραφος 5.2.2.7) όπως και στις βοηθητικές κάμερες (Εικόνα 5.36) το πάτημα κάποιου συγκεκριμένου πλήκτρου σε κάθε περίπτωση αποθήκευε τα δεδομένα σε txt και άλλαζε την κάμερα αντίστοιχα.

### 3.3.2 Ποντίκι (2D Mice)

Το πληκτρολόγιο είναι επίσης ένα κλασσικό παράδειγμα Συσκευής Εισόδου Επιτραπέζιων Συστημάτων που έγινε ευρέως γνωστό από τη χρήση του από το μεταφραστή διεπιφάνειας στα: Windows, Icons, Menus και Pointers (WIMP). Το ποντίκι είναι μία συσκευή που χρησιμοποιείτε εκτενώς σε εργασίες δισδιάστατων εισόδων. Αποτελείται από δύο βασικά συστατικά. Το πρώτο είναι ότι αυτόματα συνεχώς χωροθετεί δισδιάστατα ένα κέρσορα και δημιουργεί δισδιάστατες συντεταγμένες pixel. Το δεύτερο είναι ότι αποτελείται από ένα σετ διακριτών στοιχείων (συνήθως από ένα έως τρία κουμπιά).

Όπως και τα πληκτρολόγια χρησιμοποιούνται ευρέως σε τρισδιάστατες εφαρμογές. Για παράδειγμα σε συνδυασμό με το πληκτρολόγιο παρέχουν περισσότερες δυνατότητες σε παιχνίδια υπολογιστή· το πληκτρολόγιο χρησιμοποιείται για να δώσει κίνηση σε κάποιο χαρακτήρα και το ποντίκι για να δώσει προσανατολισμό. Όμως αντίστοιχα με το πληκτρολόγιο, δημιουργήθηκε για να εξυπηρετεί δισδιάστατες ανάγκες, με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλο σε εφαρμογές με αυξημένη εμβύθιση [23].

Στην παρούσα εργασία, το ποντίκι χρησιμοποιήθηκε ως συσκευή εισόδου για τον χειρισμό των καμερών του εικονικού κόσμου. Στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε για το Εργαστήριο του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών για τη διευκόλυνση των φοιτητών, εργασία όπως η εστίαση (zoom in/zoom out) στο εικονικό περιβάλλον γίνεται μέσω της ροδέλας του ποντικιού. Επίσης το ποντίκι δεσμεύτηκε να δίνει και τον προσανατολισμό στην κύρια κάμερα. Ανάλογα με την κίνηση του ποντικιού πάνω/κάτω, αριστερά/δεξιά παίρνει και τον αντίστοιχο προσανατολισμό η κάμερα.

### 3.4 Συσκευές Παρακολούθησης (Tracking Devices)

Μία από τις πιο σημαντικές πτυχές της τρισδιάστατης αλληλεπίδρασης σε ένα εικονικό περιβάλλον είναι να μπορεί να παρέχει μια αντιστοιχία ανάμεσα στο ίδιο και το πραγματικό. Ως αποτέλεσμα, η αποτελεσματική παρακολούθηση είναι ένα κομβικό κομμάτι στις τεχνικές αλληλεπίδρασης (interaction techniques) σε εφαρμογές εικονικών περιβαλλόντων.

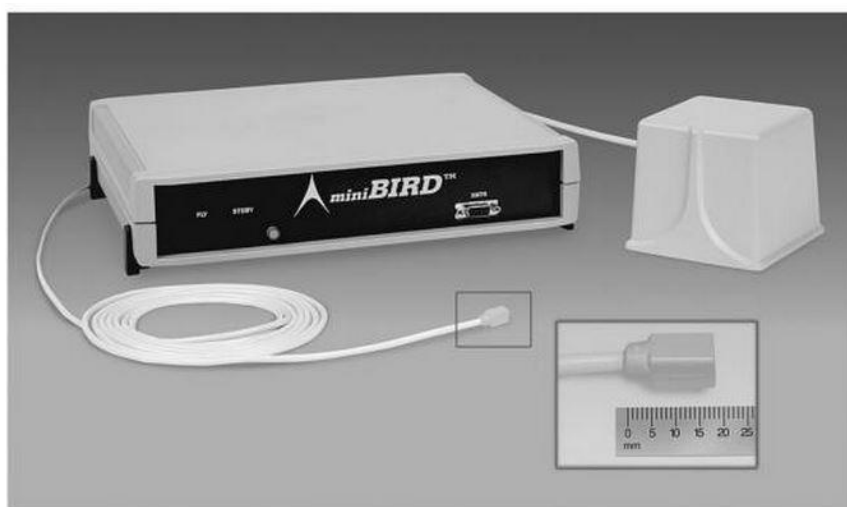
Χαρακτηριστικά όπως το εύρος, ο λανθάνων χρόνος (latency, ο χρόνος δηλαδή ανάμεσα στη χρονική στιγμή που έγινε η κίνηση και το πότε αναφέρεται), το τρεμούλιασμα (θόρυβος ή αστάθεια) και η ακρίβεια είναι μεγάλης σημασίας για συσκευές παρακολούθησης κίνησης (motion tracking). Υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες για τις εν λόγω συσκευές, όπως:

- Μαγνητικής Παράκολούθησης (Magnetic Tracking)
- Μηχανικής Παράκολούθησης (Mechanical Tracking)
- Ακουστικής Παράκολούθησης (Acoustic Tracking)
- Αδρανειακής Παράκολούθησης (Inertial Tracking)
- Οπτικής Παράκολούθησης (Optical Tracking)
- Υβριδικής Παράκολούθησης (Hybrid Tracking)

#### 3.4.1 Μαγνητική Παρακολούθηση (Magnetic Tracking)

Οι Συσκευές Μαγνητικής Παρακολούθησης χρησιμοποιούν μια συσκευή μετάδοσης (transmitting device), η οποία παράγει μαγνητικό πεδίο χαμηλής συχνότητας. Ένας μικρός αισθητήρας (sensor), ο αποδέκτης (receiver), μπορεί να καθορίζει τη θέση και τον προσανατολισμό όταν βρίσκεται κοντά σε αυτή τη μαγνητική πηγή. Το εύρος λειτουργίας αυτών των συσκευών ποικίλει, αλλά γενικά λειτουργούν μέσα σε μια ακτίνα 4 έως 30 ποδίων (~122 έως 915cm).

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται μία τέτοιου είδους συσκευή. Χρησιμοποιεί ένα μικρό πομπό και αισθητήρες. Η εμβέλειά της περιορίζεται στα 4 πόδια (~32cm), με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλη για μεγάλους χώρους διαμορφωμένους με θόνες, ακόμα και για εφαρμογές με



Εικόνα 3.1: Magnetic Tracker

προβολικό σύστημα επιπροσωπίδας (hmd), όπου πολλές φορές είναι αναγκαίο ο χρήστης να κινείται στο χώρο [23].

Κατά γενική ομολογία, αυτού του είδους οι συσκευές έχουν ακρίβεια της τάξης της 0.1in (~0.25cm) σε θέση και 0.1in (~0.25cm) σε προσανατολισμό. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους είναι ότι σιδηρομαγνητικά ή αγώγιμα αντικείμενα στο χώρο του πομπού, παρεμβάλλουν το μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια.

Παρακάτω θα αναλυθεί εκτενώς το Flock of Birds το οποίο ανήκει στην κατηγορία των συσκευών Magnetic Tracking και αποτέλεσε κομβικό σημείο στην παρούσα διπλωματική.

### 3.5 Flock of Birds

Το Flock of Birds (FOB) είναι μία έξι βαθμών ελευθερίας συσκευή όπου με κατάλληλη ρύθμιση μπορεί να παρακολουθεί ταυτόχρονα τη θέση και τον προσανατολισμό μέχρι και τριάντα αισθητήρων (sensors) από τον πομπό (transmitter). Ο κάθε αισθητήρας μπορεί να λάβει από 20 έως 144 μετρήσεις ανά δευτερόλεπτο της θέσης και του προσανατολισμού, όταν βρίσκεται εντός  $\pm 4$  ποδιών (~1.2m) του πομπού του. Ο εκτεταμένου φάσματος πομπός (Extended Range Transmitter) αυξάνει αυτό το εύρος στα  $\pm 8$  πόδια (~2.5m).

Το FOB καθορίζει τη θέση και τον προσανατολισμό μεταδίδοντας ένα παλμικό DC μαγνητικό πεδίο, το οποίο μετράται ταυτόχρονα από όλους τους αισθητήρες του Flock. Από τα μετρούμενα χαρακτηριστικά του μαγνητικού πεδίου ο κάθε αισθητήρας, μπορεί ανεξάρτητα να υπολογίζει θέση και προσανατολισμό και στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές γίνονται εμφανείς στον υπολογιστή του χρήστη.



Εικόνα 3.2: Flock of Birds



Εικόνα 3.3: Αριστερά ο Πομπός, Δεξιά ο Αισθητήρας

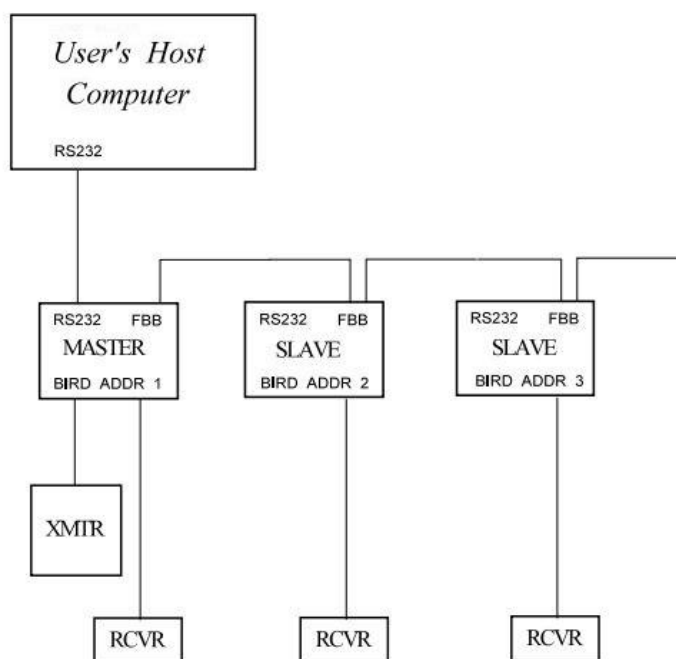
Tracker	Max. # of sensors	Max. range (m)	Lag (ms)	Max. update rate (Hz)	Accuracy (RMS)	Resolution at distance
Ascension Flock of Birds	30	1	< 10	144	2.54 mm 0.5°	0.5mm at 30cm 0.1° at 30cm

Εικόνα 3.4: Technical Data of Magnetic Tracker [3]

Το FOB μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες πολλών διαφορετικών εφαρμογών: από μια αυτόνομη μονάδα (standalone unit) που αποτελείται από έναν πομπό και έναν αισθητήρα, σε πιο σύνθετους συνδυασμούς που μπορεί να αποτελούνται από περισσότερους πομπούς και αισθητήρες.

Στην Εικόνα 3.5 απεικονίζεται μια διάταξη ενός πομπού με πολλούς αισθητήρες, όπου ο υπολογιστής του χρήστη χρησιμοποιεί τη θύρα RS-232C. Η συσκευή που κατέχει το Εργαστήριο του Τομέα Κατεργασιών είναι μία Standalone Unit και συνδέεται μέσω της θύρας RS-232C. Στη συγκεκριμένη εικόνα λοιπόν, το Master Bird είναι το Flock Bird, το οποίο ελέγχει και συντονίζει τη λειτουργία όλων των άλλων Slave Birds. Επονομάζονται έτσι, γιατί μπορούν να 'μιλήσουν' μόνο όταν 'μιλήσει' το Master ή ο ξενιστής υπολογιστής. Πιο συγκεκριμένα, ο υπολογιστής του χρήστη επικοινωνεί με το Master έτσι ώστε να ξεκινήσει και να σταματήσει το Flock, καθώς και για να εκτελέσει άλλες σημαντικές λειτουργίες. Το Master Bird δύναται να έχει το δικό του πομπό, αλλά δεν είναι απαραίτητο. Το Flock μπορεί να λειτουργεί έχοντας προσαρτημένο το πομπό σε ένα Slave. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπολογιστής μπορεί να πει στο Master να ενεργοποιήσει το πομπό ενός συγκεκριμένου Slave. [24]

Το FOB καταγράφει τη θέση και τον προσανατολισμό ενός ή περισσότερων αισθητήρων κεραίας λήψης (receiving antenna sensors), σε σχέση με μια κεραία εκπομπής (transmitting antenna) που είναι σταθερή στο χώρο. Ο αισθητήρας δύναται να είναι χωροθετημένος στο κεφάλι του χρήστη, στο χέρι ή στο σώμα του, με σεβασμό πάντα στην κεραία εκπομπής. Η



Εικόνα 3.5: FOBs With Single RS232 Interface To Host Computer

κεραία εκπομπής οδηγείται από ένα παλμικό σήμα συνεχούς ρεύματος (DC). Η κεραία λήψης καταγράφει όχι μόνο το μεταδιδόμενο παλμό του μαγνητικού πεδίου, αλλά και το μαγνητικό πεδίο της γης. Χρησιμοποιείται ένας μικροεπεξεργαστής για να ελέγχει τα στοιχεία εκπομπής και λήψης, καθώς και για να μετατρέπει τα ληφθέντα σήματα σε εξόδους θέσης και προσανατολισμού [25].

Εμπορικά το FOB χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές οι οποίες περιλαμβάνουν την αλληλεπίδραση ανθρώπου και υπολογιστή. Κάποιες από τις οποίες είναι [25]:

- παρακολούθηση κεφαλιού (head tracking) σε εξομοιωτές πτήσης/εκπαίδευσης
- παρακολούθηση κεφαλιού, χεριού και σώματος σε παιχνίδια εικονικής πραγματικότητας
- πλήρη παρακολούθηση του σώματος για εικονική προτυποποίηση (virtual prototyping), οπτικοποίηση (visualization) και εικονικά περιηγήσεις
- έλεγχο σε πραγματικό χρόνο τρισδιάστατων εικόνων σε σταθμούς εργασίας γραφικών υπολογιστή (computer graphics workstations)
- μέτρηση ιατρικών εργαλείων και εμβιομηχανική μέτρηση ανατομικών μερών
- εργασίες τηλερομποτικής (Telerobotic)
- αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο με εικονικές εικόνες
- καταμέτρηση της γραμμή ορατότητας πιλότων με στόχο οπλικά συστήματα και αλληλεπίδραση με προβολικό σύστημα κράνους (Helmet Mounted Displays)

### 3.5.1 Αρχή Λειτουργίας

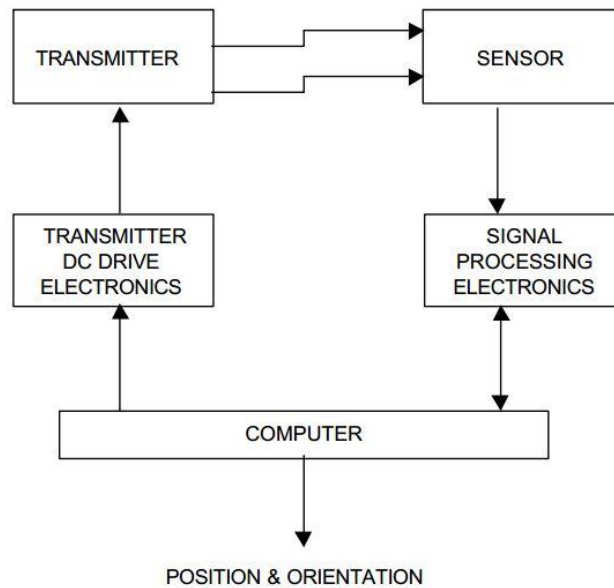
Τα βασικά στοιχεία του Flock απεικονίζονται στην Εικόνα 3.6. αποτελείται από έναν πομπό (transmitter), το κύκλωμα του πομπού, τουλάχιστον έναν αισθητήρα (sensor) και τα ηλεκτρονικά, όπου επεξεργάζονται τα σήματα.

Ο **πομπός** βρίσκεται συνήθως σε ένα έως οχτώ πόδια (~2,5m) από τον αισθητήρα(ες). Περιλαμβάνει τρεις επιμέρους κεραίες διατεταγμένες ομόκεντρα, οι οποίες δημιουργούν μία πολλαπλότητα DC μαγνητικών πεδίων, τα οποία συλλέγονται από τον αισθητήρα.

Ο **αισθητήρας** καταγράφει τη θέση και τον προσανατολισμό του αντικειμένου στο οποίο είναι προσαρτημένος. Αποτελείται από τρεις άξονες της κεραίας που είναι ευαίσθητοι σε DC μαγνητικά πεδία.

Ο **οδηγός πομπός** (transmitter driver) παρέχει μία ελεγχόμενη ποσότητα DC ρεύματος σε κάθε άξονά του πομπού. Ο υπολογιστής ελέγχει την ποσότητα του DC ρεύματος που παρέχεται από τον οδηγό στους άξονες του πομπού. Το σήμα εξόδου του αισθητήρα μεταφέρεται στα ηλεκτρονικά για επεξεργασία. Έτσι, ελέγχεται και μετατρέπονται τα αναλογικά σήματα του αισθητήρα σε ψηφιακά έτσι ώστε να μπορούν να διαβαστούν από τον υπολογιστή. Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος του Flock υπολογίζει τη θέση και τον προσανατολισμό του αισθητήρα με σεβασμό στον πομπό και εξάγει αυτήν την πληροφορία στον υπολογιστή του χρήστη [25].

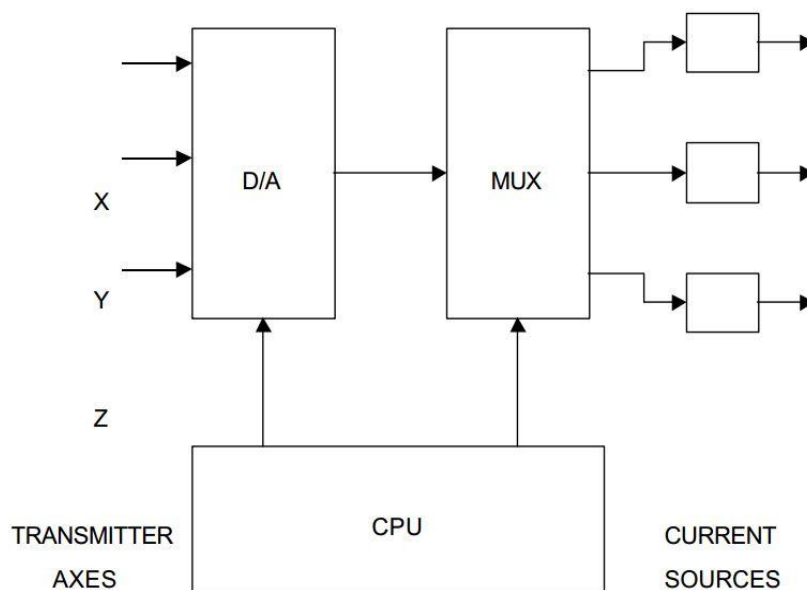




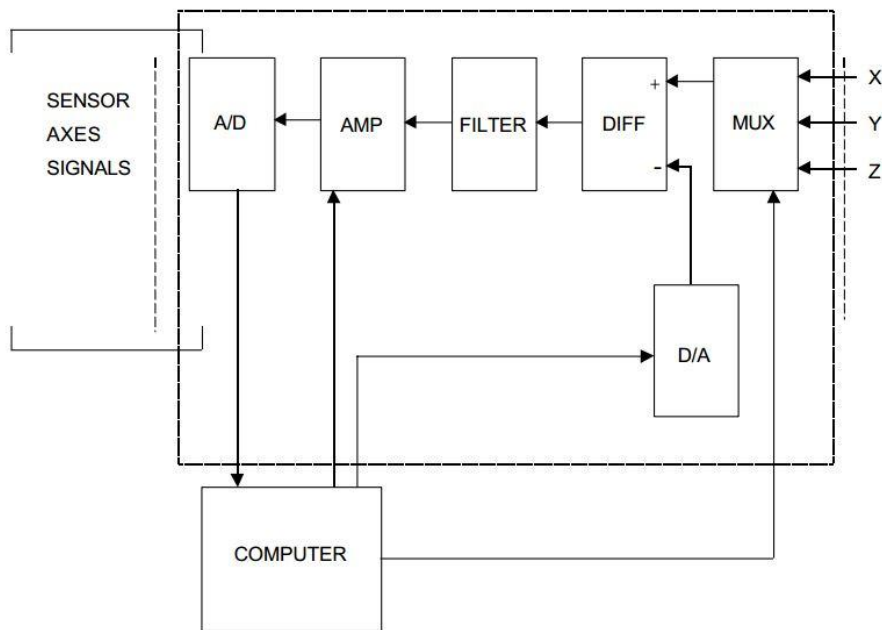
Εικόνα 3.6: Διάγραμμα λειτουργίας

Στην Εικόνα 3.7 παρουσιάζονται τα στοιχεία των ηλεκτρονικών του **οδηγού πομπού** (transmitter drive electronics). Σκοπός του είναι να παρέχει συνεχείς DC παλμούς σε κάθε κεραία του πομπού – σε μία κεραία κάθε φορά. Ο πομπός αποτελείται από έναν πυρήνα στον οποίο η X, Y, και Z κεραίες είναι τυλιγμένες. Για όσο παρέχεται ρεύμα σε μια δεδομένη κεραία του πομπού, οι μετρήσεις λαμβάνονται από τις κεραίες του αισθητήρα.

Αρχικά, ο πομπός απενεργοποιείται έτσι ώστε ο αισθητήρας να μπορεί να μετρήσει τις x, y και z συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου της Γης. Κατά τη λειτουργία ο υπολογιστής στέλνει στον ψηφιακό/αναλογικό (D / A) μετατροπέα ένα ψηφιακό αριθμό που αντιπροσωπεύει το εύρος του παλμού ρεύματος που πρέπει να σταλθεί στην επιλεγμένη κεραία του πομπού. Ο ψηφιακός/αναλογικός μετατροπέας μετατρέπει αυτό το εύρος σε αναλογική τάση ελέγχου. Αυτή η τάση ελέγχου πηγαίνει στον πολυπλέκτη (MUX) ο οποίος τη συνδέει είτε με τη X, Y, ή Z πηγή ρεύματος του πομπού [25].



Εικόνα 3.7: Οδηγός πομπού



Εικόνα 3.8: Επεξεργασία σήματος αισθητήρα

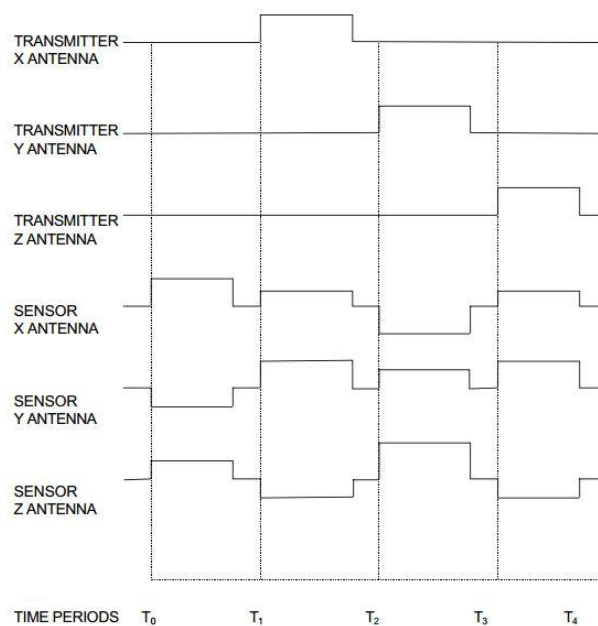
Ο **αισθητήρας** αποτελείται από τρεις ορθογώνιες κεραίες ευαίσθητες σε μαγνητικά πεδία DC. Διάφορες τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση του DC του αισθητήρα. Το Flock χρησιμοποιεί ένα τριαξονικό μαγνητόμετρο πύλης ροής (three-axis fluxgate magnetometer).

Η υπό επεξεργασία έξοδος του αισθητήρα οδηγείτε προς τα **ηλεκτρονικά**. Όπως περιγράφεται λεπτομερώς στην Εικόνα 3.8, τα ηλεκτρονικά που επεξεργάζονται το σήμα του αισθητήρα αποτελούνται από έναν πολυπλέκτη (MUX), ο οποίος καθοδηγεί το X, Y ή Z σήμα του – ένα κάθε φορά –, στον διαφορικό ενισχυτή (Differential Amplifier – DIFF).

Ο **διαφορικός ενισχυτής** αφαιρεί από το σήμα της κεραίας το προηγουμένως μετρημένο μαγνητικό πεδίο της γης. Πρακτικά εξάγει μόνο εκείνο το τμήμα του λαμβανόμενου σήματος που οφείλεται στο μεταδιδόμενο πεδίο. Στη συνέχεια, η έξοδος από το διαφορικό ενισχυτή φιλτράρεται με σκοπό να ενισχυθεί, καθώς επίσης και να αφαιρεθεί ο θόρυβος. Ο αναλογοψηφιακός μετατροπέας, τέλος, μετατρέπει το σήμα DC σε ψηφιακή μορφή για να μπορεί να διαβαστεί από τον υπολογιστή [25].

Στην Εικόνα 3.9 απεικονίζεται η χρονική σχέση μεταξύ των παλμών ρεύματος που παρέχονται από τον οδηγό προς τον πομπό, καθώς και τα σήματα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα. Η ακολουθία μετάδοσης και λήψης ξεκινά τη χρονική στιγμή  $T_0$  έχοντας όλες τις κεραίες του πομπού σβηστές. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη χρονική διάρκεια  $T_0$ - $T_1$  οι X, Y και Z συνιστώσες του μαγνητικού πεδίου της γης μετρώνται από τον αισθητήρα και διαβάζονται από τον υπολογιστή. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής εξάγει αυτές τις τιμές του πεδίου της γης στα ηλεκτρονικά για να υποστούν επεξεργασία. Εκεί, αφαιρούνται από τις εννέα μετρημένες τιμές που έχουν δημιουργηθεί όταν οι X, Y και Z κεραίες του πομπού είναι ενεργοποιημένες.

Ακολούθως, κατά τη χρονική στιγμή  $T_1$  ένας παλμός ρεύματος τροφοδοτεί μόνο την X κεραία του πομπού. Τότε, η ακμή ανόδου (rising edge) του παλμού προκαλεί ένα ξέσπασμα δινορευμάτων στο πλησιέστερο αγώγιμο υλικό. Κατόπιν, ο παλμός φτάνει σε μια σταθερή κατάσταση και σταματά η δημιουργία νέων δινορευμάτων. Τα υπάρχοντα δινορεύματα τότε ‘σβήνουν’ σε εκθετικό βαθμό ανάλογο με την αγωγιμότητα, το μέγεθος και την εγγύτητα του



Εικόνα 3.9: Χρονισμός σήματος

μετάλλου. Μια δειγματοληψία του μεταδιδόμενου σήματος κοντά στην ακμή ανόδου του, θα οδηγούσε σε ένα ληφθέν σήμα πλούσιο σε στοιχεία δινορευμάτων. Αντίθετα μια δειγματοληψία πολύ πιο μακριά από τις οδηγείς ακμές θα οδηγούσε σε μειωμένα δινορεύματα [25].

Όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 3.9, κατά τη χρονική περίοδο T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>, οι X, Y και Z κεραίες του αισθητήρα μετρούν τις X, Y και Z συνιστώσες του μεταδιδόμενου μαγνητικού πεδίου, καθώς και το μαγνητικό πεδίο της γης. Το εύρος των μετρούμενων αυτών σημάτων είναι μία συνάρτηση της θέσης και του προσανατολισμού της κεραίας του αισθητήρα, με σεβασμό στην X κεραία του πομπού, καθώς και στη θέση και τον προσανατολισμό του αισθητήρα αναφορικά με την επιφάνεια της γης. Κατά τη χρονική περίοδο T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>, το πεδίο της γης αφαιρείται από τα X, Y και Z σήματα του αισθητήρα και στη συνέχεια το αποτέλεσμα (σήμα) που προκύπτει διαβάζεται από τον υπολογιστή. Κατόπιν, η X κεραία του πομπού απενεργοποιείται. Τη χρονική στιγμή T<sub>2</sub>, ένας παλμός ρεύματος εφαρμόζεται στην Y κεραία του πομπού και ακολούθως οι X, Y και Z τιμές της κεραίας του αισθητήρα διαβάζονται από τον υπολογιστή.

Αντίστοιχα, κατά τη χρονική στιγμή T<sub>3</sub>, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για την Z κεραία του πομπού. Στο τέλος αυτής της περιόδου δώδεκα τιμές του αισθητήρα έχουν διαβαστεί από τον υπολογιστή. Τρεις από αυτές οφείλονται στο πεδίο της γης και οι υπολειπόμενες εννιά τιμές προέρχονται από τις τρεις κεραίες του πομπού, οι οποίες καθεμιά τους εξάγει τρεις τιμές. Τέλος, η διαδικασία ενεργοποίησης των X, Y και Z κεραίων επαναλαμβάνεται μόνη της, όπως περιγράφηκε παραπάνω, για όσο απαιτούνται μετρήσεις [25].

### 3.5.2 Χαρακτηριστικά

#### Φυσικά ( Physical )

**Πομπός:** κύβος 3,75in (~9.52cm) (τοποθετημένος εσωτερικά στο περίβλημα ή εξωτερικά) με 10' (~305cm) καλώδιο

**Αισθητήρας:** κύβος 10''x10''x0.8'' (~25.4x25.4x24.4 [cm]) ('η προαιρετικά ποντίκι 3 κουμπιών) με καλώδιο 10' (~305cm) ή προαιρετικά 25' (~762cm)

**Εσωτερικό (enclosure):** 9.5''x11.5''x2.6'' (~24x29x6 cm)

### **Τεχνικά ( Technical )**

**Θεσιακό Εύρος (Positional Range):** ±48'' (~122cm) προς οποιαδήποτε κατεύθυνση

**Γωνιακό Εύρος (Angular Range):** ±180° Azimuth και Roll , ±90° Elevation

**Στατική Θεσιακή Ακρίβεια (Static Positional Accuracy):** 0,1'' RMS κατά μέσο όρο, κατά το εύρος μετατόπισης (translational range)

**Θεσιακή Ανάλυση (Positional Resolution):** 0,03'' @ 12''

**Στατική Γωνιακή Ακρίβεια (Static Angular Accuracy):** 0,5° RMS κατά μέσο όρο, κατά το εύρος μετατόπισης (translational range)

**Γωνιακή Ανάλυση (Angular Resolution):** 0,1° RMS @ 12''

**Ρυθμός Ενημέρωσης (Update Rate):** 100 μετρήσεις/δευτερόλεπτο

**Έξοδοι (Outputs):** X, Y, Z συντεταγμένες θέσης και γωνίες προσανατολισμού, μήτρα περιστροφής, ή κβατέρνια

**Διεπαφή (Interface):** RS232: 2400 έως 1152200 baud

RS485: 57600 έως 500000 baud

**Τύπος (Format):** Δυαδικός (Binary)

**Λειτουργίες (Modes):** Σημειακή (Point) ή Ρεύματος (Stream) (μόνο για RS232)

### **Ηλεκτρικά ( Electrical )**

**Απαιτήσεις Ισχύος:** +5 VDC @ 2.45 amps avg., 3.85 amps peak

+12 VDC @ 0.53 amps avg., 0.63 amps peak

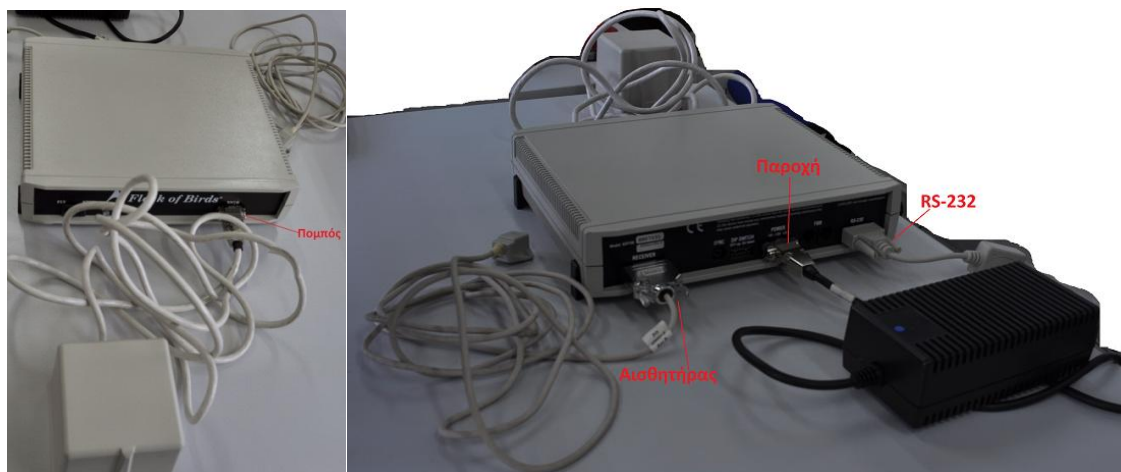
-12 VDC @ 0.34 amps avg., 0.46 amps peak

### **Περιβάλλον ( Environment )**

Όλες οι προδιαγραφές είναι έγκυρες στους 30 βαθμούς C ±10 βαθμούς, σε περιβάλλον χωρίς μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα και ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες εκτός από τη γραμμή τροφοδοσίας (power line).

Ο διακόπτης στην πρόσοψη του Bird, **FLY/STDBY** δεν είναι διακόπτης on/off. Όταν αυτός ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση FLY, τότε το Bird θα εκτελέσει τις ρυθμιστικές λειτουργίες κύκλου ενεργοποίησης (power up cycle). Το Bird διαβάζει το διακόπτη, καθώς και τα εσωτερικά jumpers και καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας του. Όταν το Bird είναι ρυθμισμένο να λειτουργεί ως Standalone Unit τότε το μπροστινό φωτάκι θα αναβοσβήσει πέντε φορές. Εκείνη τη στιγμή, ο πομπός και αισθητήρας τίθενται σε λειτουργία και η συσκευή είναι έτοιμη να δεχτεί εντολές. Αν όμως κατά τη διάρκεια του κύκλου των ρυθμιστικών λειτουργιών ενεργοποίησης δεν ανιχνευθούν είτε ο πομπός, είτε ο αισθητήρας, τότε το μπροστινό φωτάκι θα αναβοσβήσει με διαφορετικό τρόπο. Ο τρόπος με τον οποίο θα αναβοσβήσει θα υποδείξει ένα συγκεκριμένο σφάλμα, το οποίο μπορεί να αναζητήσει ο χρήστης στο manual [24].

### 3.5.3 Χωροθέτηση - Συνδεσμολογία



Εικόνα 3.10: Συνδεσμολογία Flock of Birds

Ο **πομπός** πρέπει να είναι τοποθετημένος σε μη μεταλλική επιφάνεια όπως ξύλο ή πλαστικό, χρησιμοποιώντας βίδες μη μεταλλικές ή της σειράς 300 από ανοξείδωτο χάλυβα. Δεν πρέπει να τοποθετηθεί στο πάτωμα, την οροφή ή τους τοίχους λόγω του σκυροδέματος και των μεταλλικών αντικειμένων.

Επειδή ο πομπός παράγει μαγνητικά πεδία, ενδέχεται να αλληλεπιδράσει με τον υπολογιστή προκαλώντας παραμόρφωση, τρεμούλιασμα ή χρωματική αλλοίωση της εικόνας. Με μία αθωράκιστη οθόνη τύπου CRT, πρέπει να είναι περίπου 12in (~31cm) μακριά. Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να βρίσκεται πλησιέστερα.

Αντίστοιχα, ο **αισθητήρας** πρέπει να είναι τοποθετημένος σε μη μεταλλική επιφάνεια όπως ξύλο ή πλαστικό, χρησιμοποιώντας βίδες μη μεταλλικές ή της σειράς 300 από ανοξείδωτο χάλυβα. Δεν θα πρέπει να βρίσκεται κοντά σε καλώδια, τροφοδοτικά ή άλλες συσκευές χαμηλής συχνότητας ρεύματος, καθώς οι απόρροιες τους θα συλληχθούν από τον αισθητήρα, ο οποίος θα τις μετατρέψει σε θόρυβο μέσα στις μετρήσεις θέσης και προσανατολισμού. Επίσης θόρυβο θα συλλέξει όταν βρεθεί κοντά σε οθόνη CRT.

Η **παροχή** δεν θα πρέπει να βρίσκεται, επίσης, εντός δύο ποδιών από τον αισθητήρα. Επιπροσθέτως θα πρέπει να είναι τοποθετημένη τουλάχιστον ένα πόδι (~31cm) μακριά από την μονάδα ηλεκτρονικών. [24]

### 3.5.4 RS 232

Χρησιμοποιώντας μια **θύρα RS232** για να επικοινωνήσει με όλα τα Birds έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτείται λιγότερο hardware, αλλά έχει το μειονέκτημα του περιορισμού του αριθμού των μετρήσεων ανά δευτερόλεπτο που ο υπολογιστής μπορεί να διαβάσει από το κάθε Bird. Ενδεικτικά για τη συγκεκριμένη διάταξη του εργαστηρίου παρουσιάζονται οι μετρήσεις ανά συχνότητα στην Εικόνα 3.11 . Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί, ότι οι τιμές που είναι μεγαλύτερες από 100 – το οποίο αποτελεί το προεπιλεγμένο πλήθος μετρήσεων του Bird - , δε σημαίνει ότι κάθε Bird κάνει τόσες μετρήσεις. Πρακτικά σημαίνει ότι ο χρήστης μπορεί να ζητήσει και να λάβει δεδομένα μέσω της θύρας RS232 σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο από τις μετρήσεις του Bird. Το ζήτημα που προκύπτει όμως είναι ότι όταν ο χρήστης ζητήσει δεδομένα με μεγαλύτερο ρυθμό, τότε θα υπάρξουν διπλά δεδομένα εγγραφών. Όσον αφορά για τιμές μικρότερες από 100, δε σημαίνει ότι το Bird παίρνει τις μετρήσεις βραδύτερα. Το Bird παίρνει

πάντα 100 μετρήσεις το δευτερόλεπτο ανά αισθητήρα, ανεξάρτητα από το πλήθος των αισθητήρων στο Flock. [24]

DATA OUTPUT FORMAT (Records Output / Sec / Bird)				
Number of Sensors	Baud Rate	Position	Position/Angles	Position/Matrix
1	19.2K	203	113	66
1 Master	38.4K	309	206	120
or 1 Slave	115.2K	515	412	219

Εικόνα 3.11: Μέγιστος ρυθμός καταγραφής δεδομένων εξόδου μέσω RS232

### 3.5.5 Δεδομένα Επιστροφής

Δύο τύποι **δυναμικών δεδομένων** επιστρέφονται από το Bird:

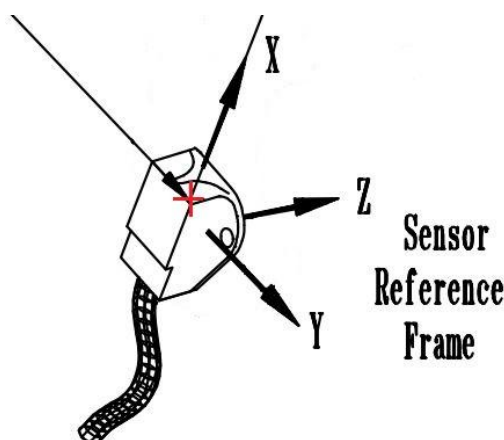
- Θέση/Προσανατολισμός (Position/Orientation)
- Αλλαγή/Εξέταση (Change/Examine)

Τα δεδομένα Θέσης/Προσανατολισμού επιστρέφονται από το Bird στις ακόλουθες μορφές: Γωνιών (Angles), Θέσης (Position), Πίνακα (Matrix), Θέσης/Γωνιών (Position/Angles), Θέσης/Πίνακα (Position/Matrix), Θέσης/Κβατερνίων (Position/Quaternion) και Κβατερνίων (Quaternion). Τα υπόλοιπα είδη δεδομένων που επιστρέφει το Bird είναι της μορφής Αλλαγής/Εξέτασης (Change/Examine).

Όσον αφορά τις γωνίες Euler, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού της εφαρμογής πρέπει να αναφερθούν τα παρακάτω. Το Zang (Azimuth) παίρνει τιμές μεταξύ  $\pm 180^\circ$ , το Yang (Elevation) μεταξύ  $\pm 90^\circ$  και το Xang (Roll) μεταξύ  $\pm 180^\circ$ . Όταν το Yang προσεγγίζει τις  $\pm 90^\circ$ , τότε τα Zang και Xang γίνονται αρκετά θορυβώδεις (noisy) με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μεγάλα σφάλματα

Στις  $90^\circ$  τα Zang και Xang γίνονται απροσδιόριστα. Αυτή η συμπεριφορά είναι αποτέλεσμα των γωνιών Euler (Euler Angles) και δεν αποτελεί περιορισμό του Bird. [24].

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις θέσης του Bird αντιπροσωπεύουν τα x, y και z της θέσης του αισθητήρα (Εικόνα 3.12) με σεβασμό στο κέντρο του πομπού (Εικόνα 3.13). Το κατασκευαστικό σχέδιο του αισθητήρα επισυνάπτεται στο παράρτημα.



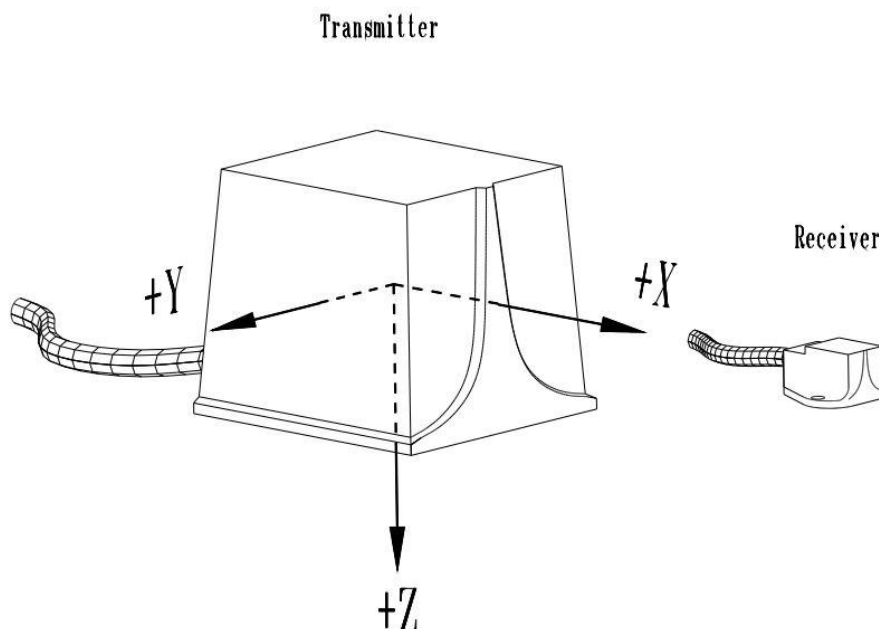
Εικόνα 3.12: Sensor Reference Frame

### 3.5.6 Ημισφαίρια (Hemisphere)

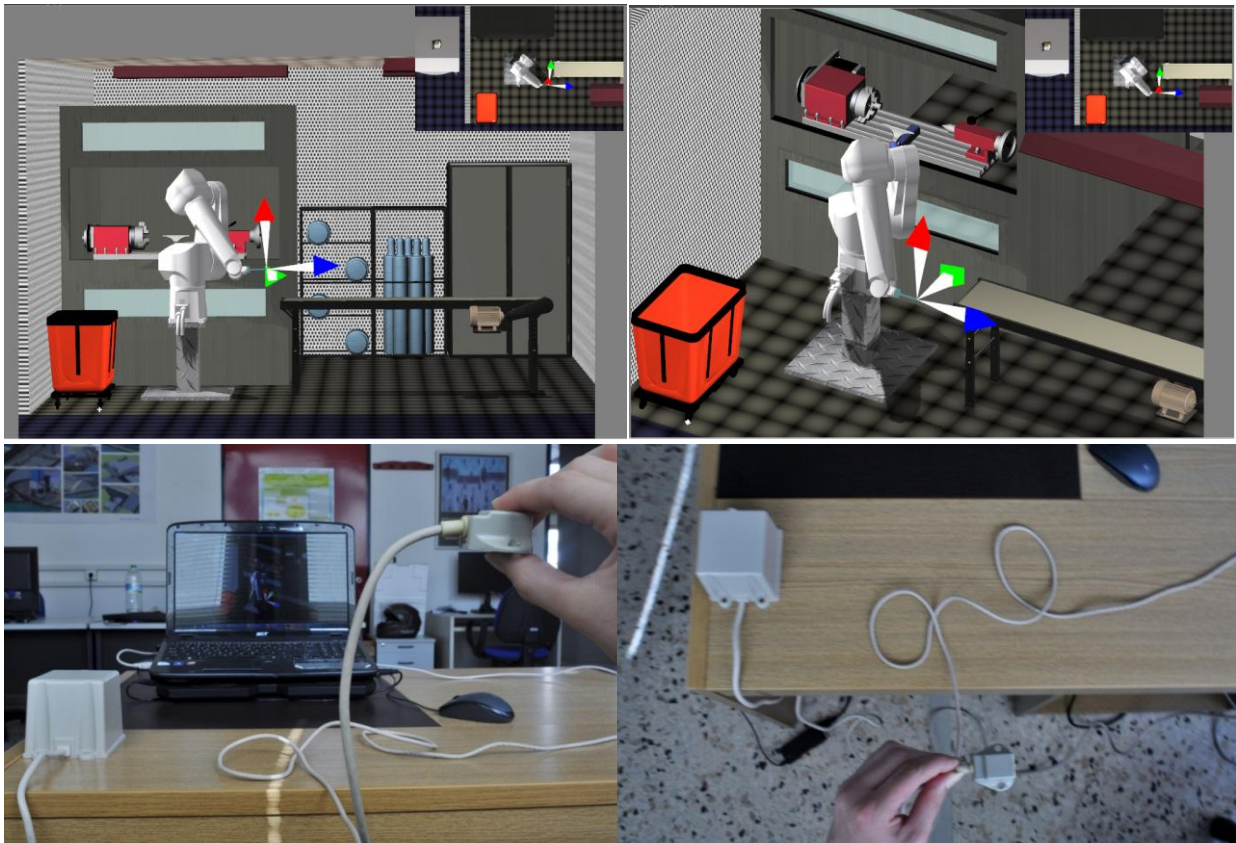
Το σχήμα του μαγνητικού πεδίου που μεταδίδεται από το Bird είναι συμμετρικό όσον αφορά τον κάθε άξονα του πομπού. Αυτή η συμμετρία οδηγεί σε αμφισημία του προσδιορισμού της θέσης X, Y και Z του αισθητήρα. Πρακτικά, το εύρος θα είναι πάντα σωστό, αλλά τα πρόσημα  $\pm$  των συντεταγμένων ενδέχεται να είναι λάθος, ανάλογα με το **Ημισφαίριο (Hemisphere) της λειτουργίας**. Συνέπεια αυτής της συμπεριφοράς είναι ο εξ αρχής καθορισμός ενός επιλεγμένου ημισφαιρίου, έτσι ώστε οι μετρήσεις να λαμβάνονται με τα σωστά πρόσημα. Υπάρχουν έξι ημισφαίρια: το μπροστά (forward), το πίσω (aft(rear)), το πάνω (upper), το κάτω (lower), το αριστερό (left) και το δεξιό (right). Από προεπιλογή, οι μετρήσεις λαμβάνονται από το μπροστά (forward), αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει με την κατάλληλη εντολή (HEMISPHERE). Ένας δεύτερος τρόπος για να μειωθεί αυτή η αμφισημία γίνεται μέσω μιας μόνιμης παρακολούθησης της θέσης του αισθητήρα. Ο χρήστης πρέπει να κατανοήσει τα πρόσημα  $\pm$  των συντεταγμένων X, Y και Z όταν ο αισθητήρας 'περνά' τα σύνορα κάποιου ημισφαιρίου.

Για παράδειγμα (Εικόνα 3.13) στο μπροστά ημισφαίριο (forward hemisphere) – το οποίο είναι και το προεπιλεγμένο– η X συνιστώσα της θέσης θα είναι πάντα θετική. Τα πρόσημα όμως των Y και Z συνιστωσών θα ποικίλουν μεταξύ θετικών και αρνητικών, ανάλογα με τη θέση του αισθητήρα μέσα στο ημισφαίριο. [24]

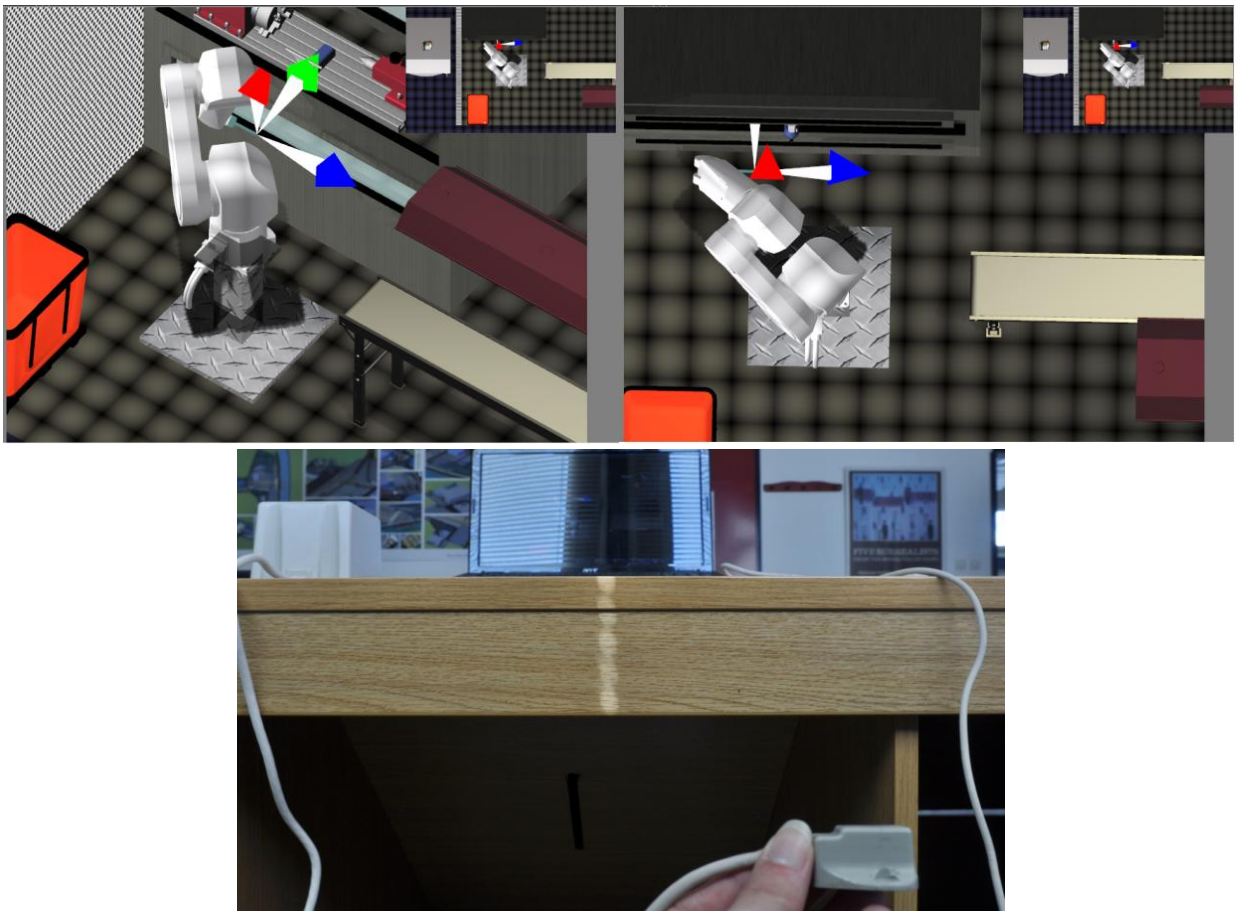
Για παράδειγμα στην Εικόνα 3.14, παρουσιάζεται η σύνδεση του tracker με το εικονικό μοντέλο. Ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος πάνω δεξιά από τον πομπό. Θεωρώντας, λοιπόν ένα αριστερόστροφο σύστημα συντεταγμένων, όπου η X συνιστώσα έχει θετική φορά προς τα πάνω της σελίδας, η Y προς τα μέσα και η Z προς τα δεξιά, τότε παρατηρούμε ότι στη συγκεκριμένη διάταξη έχουμε  $-Y$  και  $+Z$  (το μηδέν όλων των συστημάτων βρίσκεται στο κάτω μέρος της βάσης του ρομπότ).



Εικόνα 3.13: Πλαίσιο αναφοράς μετρήσεων



Εικόνα 3.14: Πρώτο παράδειγμα Ημισφαιρίου



Εικόνα 3.15: Δεύτερο παράδειγμα Ημισφαιρίου



Σε αντιστοιχία, στην Εικόνα 3.15, παρουσιάζεται μια διάταξη, όπου ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος κάτω και δεξιά από τον πομπό. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρούμε ότι ενώ θα αναμέναμε μια πιθανή αλλαγή μόνο στη  $X$  συνιστώσα, στην πραγματικότητα αλλάζουν τα πρόσημα των  $Y$  και  $Z$  και γίνονται  $+Y$ ,  $-Z$ . Αυτού του είδους η ‘ανωμαλία’ οφείλεται στην αλλαγή ημισφαιρίου και, όπως υπογραμμίζει και το manual, αφορά μόνο μετρήσεις θέσης και όχι προσανατολισμού.

### 3.5.7 Ακρίβεια Συσκευής

Ένα πολύ σημαντικό ζήτημα που πρέπει να αναφερθεί είναι το κατά πόσο ακριβείς είναι η συσκευή. Πρακτικά διαπιστώθηκε ότι είναι ευαίσθητη στην παρουσία μεταλλικών αντικειμένων. Αυτό μεταφράστηκε ως μεγάλες διαβαθμίσεις στα δεδομένα εισόδου καθώς και ως παραμόρφωση στο τρισδιάστατο πλαίσιο που είχε προσαρτηθεί στο Flock of Birds μέσα στο περιβάλλον του Virtools.

Το manual [24] αναφέρει ότι όταν ο πομπός και ο αισθητήρας βρίσκονται κοντά σε **μεταλλικά αντικείμενα** υπάρχουν σφάλματα στις μετρήσεις. Μη αποδεκτά μέταλλα θεωρούνται αυτά με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως το αλουμίνιο ή με υψηλή μαγνητική διαπερατότητα όπως ο χάλυβας. Αποδεκτά μέταλλα θεωρούνται όσα έχουν χαμηλή αγωγιμότητα και χαμηλή διαπερατότητα, όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας σειράς 300 ή το τιτάνιο.

Το συγκεκριμένο σφάλμα οφείλεται στη δημιουργία δινορευμάτων στα κοντινά μέταλλα, τα οποία δύναται να δημιουργήσουν δευτερεύοντα μαγνητικά πεδία, τα οποία στη συνέχεια παρεμβαίνουν στο πεδίο που εκπέμπει ο πομπός. Παρόλα αυτά οι παλμικές DC συσκευές είναι λιγότερο επιρρεπείς σε αυτό το σφάλμα σε σχέση με τις AC, καθώς οι μετρήσεις μπορούν να ληφθούν όταν το DC πεδίο έχει φτάσει σε μία σταθερή κατάσταση μαγνητισμού, κατά την οποία τα αρχικά αναπτυχθέντα δινορεύματα σβήνουν και σταματούν να δημιουργούνται νέα [26].

Πιο συγκεκριμένα, πολλές φορές μία μαγνητική διάταξη (συσκευή) πρέπει να λειτουργήσει μέσα σε ένα περιβάλλον το οποίο δημιουργεί διασκορπισμό (παραμορφώσεις) στο μαγνητικό διπολικό του πεδίο, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικά σφάλματα στις μετρήσεις που λαμβάνονται. Φερομαγνητικά υλικά μπορούν να μεταλλάξουν τη μορφή οποιουδήποτε μαγνητικού πεδίου. Ιδιαίτερα, όπως προαναφέρθηκε, αυτό συμβαίνει σε συσκευές AC.

Σε γενικές γραμμές, η πολυπλοκότητα των μεταλλικών κατασκευών αποκλείει την αναλυτική πρόβλεψη των διασκορπιζόμενων αυτών πεδίων, κάνοντας δύσκολες τις μαθηματικές προβλέψεις. Ένα χρήσιμο όριο μπορεί να ληφθεί με την παραδοχή ότι ένα άπειρο αγωγίμο επίπεδο παράγει την ίδια ή μεγαλύτερη παραμόρφωση στο πεδίο, όπως ένα οποιοδήποτε αντικείμενο στην ίδια απόσταση από την πηγή και τον αισθητήρα. Με τη χρήση της Image Theory, το αγωγίμο επίπεδο μπορεί να αντικατασταθεί με μια πηγή εικόνας. Τότε η αναλογία του ελεύθερου χώρου και των διασκορπισμένων πεδίων μπορεί να εκτιμηθεί ίση με την αναλογία των αντίστροφων κύβων των αποστάσεων από τον αισθητήρα στην πηγή και την εικόνα της. Έτσι δημιουργείτε ένας κανόνας ο οποίος αναφέρει ότι όταν η απόσταση ενός αντικειμένου από την πηγή είναι τουλάχιστον δύο φορές η απόσταση που χωρίζει την πηγή και τον αισθητήρα, παράγεται ένα διασκορπισμένο πεδίο, του οποίου το μέγεθος είναι κατά 1 τις εκατό ή μικρότερο του μεγέθους του επιθυμητού πεδίου.

Οι μεταλλικές δομές που είναι σταθερές όσον αφορά τη θέση και τον προσανατολισμό με σεβασμό στην πηγή, παράγουν μια παραμόρφωση πεδίου η οποία είναι συνεχής σε οποιαδήποτε

θέση. Σε αυτήν την περίπτωση, η αντιστάθμιση της παραμόρφωσης του πεδίου είναι δυνατή, όσο τα πεδία στις επιτρεπτές θέσεις είναι μοναδικά και βαθμονομούνται ως διανύσματα του τρισδιάστατου χώρου [27].

Οι LaScalza et al. [26] αναφέρουν ότι μία λύση για το παραπάνω ζήτημα είναι η επιλογή της κατάλληλης συχνότητας. Η αλλαγή της συχνότητας δειγματοληψίας μπορεί να επηρεάσει περαιτέρω την ακρίβεια των DC συσκευών ηλεκτρομαγνητικής παρακολούθησης. Στη θεωρία, η δειγματοληψία σε υψηλότερες συχνότητες δίνει λιγότερο χρόνο στην επίτευξη της σταθερής κατάστασης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα σφάλματα. Επίσης αναφέρουν, ότι η συσκευή βρέθηκε να είναι περισσότερο ακριβείς σε χαμηλότερες συχνότητες σε περιβάλλον αλουμινίου, ενώ με χάλυβα μεγαλύτερη ακρίβεια βρέθηκε σε λειτουργία με μικρότερες συχνότητες.

Οι Mcquade et al.[28] αναφέρουν στο δικό τους πείραμα, ότι τα σφάλματα θέσης και προσανατολισμού είναι εξαρτώμενα από την ταχύτητα. Επικαλούνται την αναφορά του κατασκευαστή – Ascension – που υποστηρίζει ακρίβεια της τάξης των  $0,4^\circ$  και  $0,18\text{cm}$  σε εύρος 4 ποδιών ( $\sim 122\text{cm}$ ) τονίζοντας ότι ισχύει για στατική κατάσταση. Επισημαίνουν ότι το Flock of Birds εμφανίζει μεγαλύτερη ακρίβεια σε κινήσεις μικρότερες των  $250^\circ/\text{sec}$ .

Τέλος οι Milne et al.[29] βρήκαν ότι το βέλτιστο εύρος λειτουργίας μπορεί να επιτευχθεί όταν ο πομπός απέχει από τον αισθητήρα μεταξύ  $22,5\text{cm}$  και  $64,0\text{cm}$ . Σε αυτό το εύρος το μέσο σφάλμα θέσης βρέθηκε να είναι το  $1,8\%$  του βήματος. Το μέσο σφάλμα περιστροφής σε εύρος  $1-20^\circ$  βρέθηκε να είναι το  $1,6\%$  της αύξησης περιστροφής.

# 4

## 3DVIA Virtools

Για τη υλοποίηση των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον του Virtools. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα πιο βασικά στοιχεία του Virtools, στον προγραμματισμό του και τέλος στη VR Library, ένα πρόσθετο εργαλείο το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση συσκευών εισόδου στο λογισμικό.

### 4.1 3DVIA Virtools

Το 3DVIA Virtools είναι ένα λογισμικό πακέτο ανάπτυξης διαδραστικών εφαρμογών τρισδιάστατου περιεχομένου που χρησιμοποιεί ένα ευρύ σύνολο τεχνολογιών. Οι βασικές χρήσεις του Virtools ομαδοποιούνται σε πέντε βασικές κατηγορίες.

- Εφαρμογή δημιουργίας συνθέσεων 3D Περιεχομένου (Authoring application)
- Μηχανή Διαχείρισης Συμπεριφορών (Behavioural Engine)
- Μηχανή Απεικόνισης Τρισδιάστατου Περιεχομένου (Rendering Engine)
- Διαδικτυακό Εργαλείο Αναπαραγωγής Πολυμέσων (Web Player)
- Εργαλείο ανάπτυξης λογισμικού (Software Development Kit - SDK)

Μέσα στο Virtools ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει συνθέσεις - compositions (cno) εμπλουτισμένες με διαδραστικό τρισδιάστατο περιεχόμενο. Τα βασικά πρότυπα της βιομηχανίας των πολυμέσων όπως 3D μοντέλα, animations, εικόνες και ήχοι παίρνουν ζωή προσδίδοντάς τους «συμπεριφορές».

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι το Virtools δεν αποτελεί πακέτο ανάπτυξης 3D μοντέλων. Παρόλα αυτά, στοιχεία όπως Κάμερες, Φώτα, Καμπύλες, στοιχεία διεπιφάνειας και 3D frames ( όπου ονομάζονται dummies ή helpers στις περισσότερες 3D εφαρμογές) μπορούν να αναπτυχθούν πολύ εύκολα.

Σαν συμπεριφορά χαρακτηρίζεται μία περιγραφή του πώς ένα συγκεκριμένο αντικείμενο δρα μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, υπάρχει μια εκτενής βιβλιοθήκη επαναχρησιμοποιούμενων στοιχείων δόμησης συμπεριφοράς (Behaviour Building blocks - BBs), διαθέσιμα μέσα στο Virtools, τα οποία επιτρέπουν στο χρήστη να δημιουργήσει σχεδόν οποιοδήποτε τύπου περιεχόμενο, μέσω ενός απλού γραφικού περιβάλλοντος, χωρίς να γράψει ούτε μία γραμμή κώδικα. Αυτά αποτελούν μέρος του **Behavioural Engine** το οποίο είναι και η κύρια δύναμη πάνω στην οποία βασίζεται η σωστή λειτουργία του διαδραστικού τρισδιάστατου

περιεχομένου που δημιουργείται, ενώ συχνά αναφέρεται και ως CK2, που είναι το όνομα του πυρήνα του λογισμικού. Το CK2 εκτελεί και επεξεργάζεται τις συνθέσεις (cmo), καθώς και διαχειρίζεται όλες τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του χρήστη και των στοιχείων της σύνθεσης, τα οποία έχουν εμπλουτιστεί με συμπεριφορές (Behavioural Objects). Από την στιγμή που όλες οι συμπεριφορές έχουν υποστεί επεξεργασία για ένα δεδομένο πλαίσιο, το CK2 παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες στο Render Engine (CK2\_3D), έτσι ώστε τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης να εμφανίζονται στον χρήστη.

Μέρος του Behavioural Engine είναι και ο **VSL Editor** (VSL - Virtools Scripting Language), ένα εργαλείο σύνταξης προγραμματιστικού κώδικα, το οποίο δίνει πρόσβαση στις τάξεις/κλάσεις (Classes) του Virtools SDK μέσω των γλωσσών προγραμματισμού JavaScript και LUA. Το VSL Editor παρέχει ένα σύστημα επισήμανσης κειμένου και μία ολοκληρωμένη και αυτοματοποιημένη προβολή των λειτουργικών μεταβλητών. Πέραν όμως αυτού, υπάρχει μία σειρά από στελέχη που βοηθούν το Behavioural Engine να εκτελεί τα καθήκοντά του. Ορισμένα από αυτά τα στελέχη (όπως το Time Manager) είναι ενσωματωμένα στο Behavioural Engine, ενώ άλλα (όπως το Sound Manager) αποτελούν ξεχωριστά μέρη.

Το Virtools είναι μια **Render Engine**, όπου απεικονίζει τα στοιχεία που είναι ορατά στο 3D παράθυρο. Η Μηχανή Απεικόνισης του Virtools μπορεί να αντικατασταθεί με μια άλλη του χρήστη, καθώς και μπορεί να αναπροσαρμοστεί μέσω του Εργαλείου Ανάπτυξης Λογισμικού (**Software Development Kit – SDK**) με σκοπό να ικανοποιεί τις ανάγκες του.

Το **Render Engine** στοχεύει στην απεικόνιση γραφικών, εικόνων και του animation σε πραγματικό χρόνο. Επιπροσθέτως, το Virtools SDK είναι μια σειρά από εργαλεία ανάπτυξης, τα οποία επιτρέπουν στους προγραμματιστές την πρόσβαση σε όλη τη χαμηλού επιπέδου λειτουργία που άγεται από την πλατφόρμα Virtools. Με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++ οι προγραμματιστές μπορούν μέσω του SDK να συνθέσουν προσαρμοσμένα στοιχεία δόμησης (custom Building Blocks) καθώς και Media Importers, Managers και Render Engines της αρεσκείας τους, με σκοπό την αντικατάσταση ή εμπλουτισμό των ήδη υπάρχοντων.

Το Virtools προσφέρει ένα **Web Player** για την αναπαραγωγή συνθέσεων (cmo) μέσω της 32-bit εκδοχής του Internet explorer. Ο 3D Life Player περιέχει ένα μόνο Playback της Μηχανής Διαχείρισης Συμπεριφορών, καθώς και μια πλήρη εκδοχή της Μηχανής Απεικόνισης Τρισδιάστατου Περιεχομένου (Render Engine).[7]

Επιπλέον πλεονεκτήματα του είναι ότι προσφέρει μία σειρά από βιβλιοθήκες που ενσωματώνονται στη σειρά 3DVIA Virtools. Μερικές από αυτές είναι :

- Physics Library – Βιβλιοθήκη Συμπεριφορών σχετικών με του νόμους της Φυσικής
- AI Library – Βιβλιοθήκη Συμπεριφορών Τεχνητής Νοημοσύνης
- Multiuser Server – Δίκτυο Πολλών Χρηστών
- VR Library – Βιβλιοθήκη Συμπεριφορών Εικονικής Πραγματικότητας

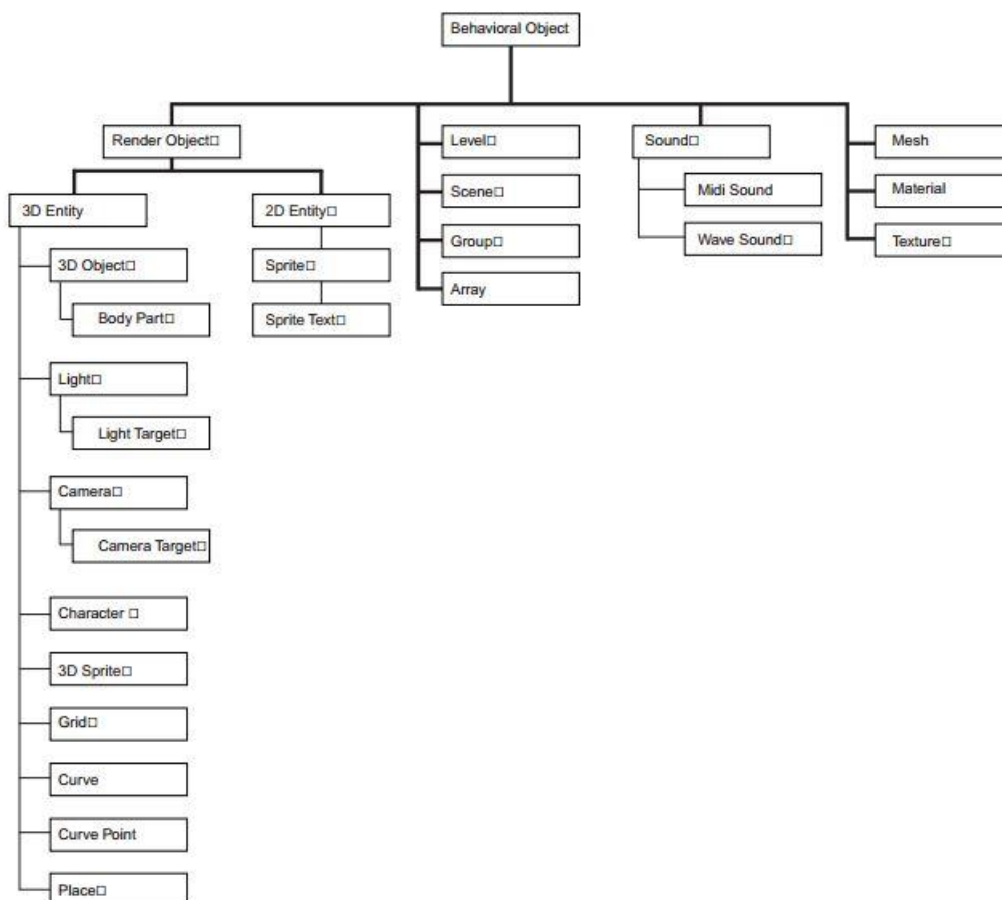
## 4.2 Ταξική Ιεραρχία, Σχεδιαστικά Στοιχεία, Αντικειμενοστραφής Σχεδιασμός

Η προσέγγιση του Virtools για να αναπαραγάγει συνθέσεις (compositions – cmo files) είναι αντικειμενοστραφής. Πιο συγκεκριμένα, χωρίζει τα σχεδιαστικά στοιχεία σε κλάσεις (classes). Οι οντότητες αυτές, περιλαμβάνουν είτε τα πολυμέσα που φορτώνει ο χρήστης (όπως μοντέλα, ήχοι και κινούμενες εικόνες -animations) , αλλά και στοιχεία που δημιουργεί μέσα στο περιβάλλον του (όπως καμπύλες και σκηνές).

Η προαναφερθείσα κλάση είναι μοναδική και περιγράφεται από ένα μοναδικό ταξικό ορισμό. Ο όρος "Ck Class" είναι αντιπροσωπευτικός για κάθε τάξη ή ταξικό ορισμό που χρησιμοποιείται από τον εικονικό κόσμο του Virtools πχ. CKCharacter, CKLight.

Η ταξική ιεραρχία του Virtools, με την οποία αποσαφηνίζεται ο συσχετισμός των διαφορετικών τάξεων παριστάνεται στο διάγραμμα της Εικόνα 4.1. Οι μέθοδοι ελέγχου των σχεδιαστικών στοιχείων βασίζονται σε συμπεριφορές (behaviors) και παραμετρικές λειτουργίες (parameter operations). Για παράδειγμα, υπάρχει μία CKClass που ονομάζεται CKCharacter για την οποία μόνο CKCharacters δύναται να χρησιμοποιήσουν συμπεριφορές ειδικά σχεδιασμένες για χαρακτήρες ( όπως για παράδειγμα η Character Controller).

Η αντικειμενοστραφής φύση του Virtools πρακτικά σημαίνει ότι, ότι σχεδιαστικό στοιχείο εισάγεται (όπως μοντέλα, ήχοι κλπ) ανήκει αυτόματα σε μια CKClass. Όπως επίσης, ότι δημιουργεί ο χρήστης μέσα στο Virtools (από μία κάμερα μέχρι ένα πίνακα) ανήκει αυτόματα σε μία CKClass. [30]



Εικόνα 4.1: Σφάλμα! Δεν υπάρχει κείμενο καθορισμένου στυλ στο έγγραφο.

### 4.2.1 Κληρονομικότητα (Inheritance) και Εξειδίκευση

Ένα πλεονέκτημα αυτής της ταξικής ιεραρχίας είναι η κληρονομικότητα (inheritance). Κάθε σχεδιαστικό στοιχείο έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά, τα οποία τα έχει κληρονομήσει από προγονικές κλάσεις.

Για παράδειγμα ένα CKLight προέρχεται από μία CK3DEntity, η οποία προέρχεται από ένα CKRenderObject, το οποίο προέρχεται από ένα CKBeObject. Συνεπώς, ένα φως (light) έχει ειδικά χαρακτηριστικά, τα οποία εφαρμόζονται μόνο σε στοιχεία κλάσης CKLight. Χαρακτηριστικά όπως ο τύπος του φωτός (σημειακό, κατεύθυνσης κλπ), το χρώμα του φωτός (λευκό, κόκκινο κλπ) και η εμβέλεια στη οποία είναι ορατό. Επίσης ένα φως είναι μια 3D οντότητα (3D Entity), που σημαίνει ότι έχει κληρονομήσει τα χαρακτηριστικά μιας 3D οντότητας – όπως η θέση και ο προσανατολισμός στο τρισδιάστατο χώρο. Συνεπώς αφού το φως είναι μια 3D οντότητα, οποιαδήποτε συμπεριφορά που μπορεί να εφαρμοστεί σε μια 3D οντότητα, μπορεί να εφαρμοστεί και στο φως. Επιπροσθέτως, ένα φως είναι ένα αντικείμενο που απεικονίζεται τρισδιάστατα (Render Object), αλλά και ένα αντικείμενο συμπεριφορών (behavioral object), μπορεί να έχει αντίστοιχα συμπεριφορές που εφαρμόζονται σε Render Objects και Behavioral Objects.

Το Virtools υποστηρίζει την εξειδίκευση των προαναφερθέντων κληρονομημένων συμπεριφορών έτσι ώστε αυτές οι συμπεριφορές να μπορέσουν να βελτιστοποιηθούν για ένα συγκεκριμένο σκοπό (γνωστό και ως πολυμορφισμός). Για παράδειγμα, η μετακίνηση ενός 3D πλαισίου (3D Frame) είναι πολύ πιο απλή από τη μετακίνηση ενός χαρακτήρα (character), συνεπώς η συμπεριφορά για τη μετακίνηση ενός 3D πλαισίου μπορεί να βελτιστοποιηθεί για την απλούστερη αυτή εργασία.

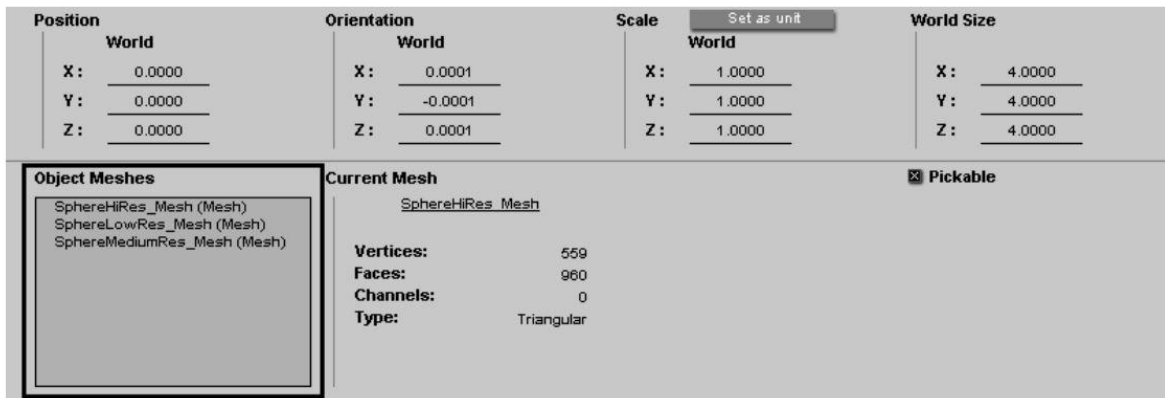
Βελτιστοποιημένες συμπεριφορές μειώνουν τον υπολογιστικό χρόνο για ένα συγκεκριμένο σκοπό, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας σύνθεσης (composition) που είναι μικρότερη, πιο δεκτική στα δεδομένα του χρήστη και η οποία μπορεί να αποδοθεί σε ένα αποδεκτό ρυθμό καρέ (frame rate). [7], [30]

### 4.2.2 Ομαδοποίηση κατά την Εκτέλεση, Ιεραρχία Σκηνής και Συσχετισμός

Το Virtools υποστηρίζει την ομαδοποίηση, τη λογική σχέση δηλαδή μεταξύ των σχεδιαστικών στοιχείων, όπου το πρώτο στοιχείο είναι κομμάτι ενός δεύτερου στοιχείου και παρόλα αυτά, τα δύο αυτά στοιχεία είναι διακριτά. Για παράδειγμα ένα σχεδιαστικό στοιχείο μπορεί να αποτελείται από πολλά διαφορετικά πλέγματα (object meshes) όπως είναι εμφανές στην Εικόνα 4.2, όμως μόνο ένα από αυτά τα πλέγματα μπορεί να είναι ενεργοποιημένο κάθε φορά.

Συνεπώς τα στοιχεία που απαρτίζουν μία τρισδιάστατη οντότητα (είτε είναι κάποιο αντικείμενο, είτε κάποιος χαρακτήρας κλπ) είναι συνδεδεμένα, αλλά το κάθε στοιχείο παραμένει ανεξάρτητο από τα υπόλοιπα.

Μια σκηνή (Scene) είναι ένα σετ από σχεδιαστικά στοιχεία τα οποία είναι ενεργά κατά την εκτέλεσή της. Μέσα σε μια σκηνή τα στοιχεία αυτά είναι οργανωμένα στην Ιεραρχία της Σκηνής.



Εικόνα 4.2: Ομαδοποίηση πλεγμάτων σχεδιαστικού στοιχείου

Το Virtools για την Ιεραρχία της Σκηνης έχει μια ειδική μορφή ομαδοποίησης. Κατά την εκτέλεση (runtime) μιας σύνθεσης, οι σχέσεις μεταξύ των σχεδιαστικών στοιχείων μπορούν να καθιερωθούν μέσω της συμπεριφοράς Γονιός (Set Parent) και παιδί (Add Child). Η ομαδοποίηση κατά την εκτέλεση επιτρέπει στο χρήστη, να δημιουργήσει σχέσεις μεταξύ αυθαίρετων τρισδιάστατων οντοτήτων (3D Entities) με απώτερο σκοπό την απλούστευση της εφαρμογής.

Για παράδειγμα αν ο χρήστης θέλει να συνθέσει ένα αυτοκίνητο, μπορεί να το συνθέσει ως μια Ιεραρχία από Τρισδιάστατες Οντότητες: ένα αυτοκίνητο έχει πόρτες, σώμα και τροχούς. Μόλις λοιπόν τεθεί η Ιεραρχική Σχέση αυτόματα μετασηματίζονται τα παιδιά του αυτοκινήτου: οι πόρτες, το σώμα και οι τροχοί.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι οι Συμπεριφορές Γονιού και Παιδιού αναπτύσσουν σχέσεις μέσα στη Ιεραρχία της Σκηνης και όχι κατά την Ιεραρχία CKClass. Ο Συσχετισμός (Association) επιτρέπει στο Virtools την ανάπτυξη μια λογικής συσχέτισης μεταξύ των σχεδιαστικών στοιχείων, τα οποία δεν συνδέονται μέσω μια κληρονομημένης σχέσης γονιού-παιδιού στην Ιεραρχία CKClass. Τα συσχετιζόμενα στοιχεία επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά παραμένουν διακριτά κατά τα άλλα. Για παράδειγμα, ένας χαρακτήρας συχνά μπορεί να συσχετιστεί με ένα γκρουπ τρισδιάστατων οντοτήτων για το σκοπό του εντοπισμού κάποιας σύγκρουσης, της διαχείρισής της και της πρόληψής της. [7], [30]

### 4.3 Τα Στοιχεία μιας Σύνθεσης (Composition)

Παρακάτω παρατίθεται μια διαφορετική Ιεραρχική Τάξη (Εικόνα 4.3). Η συγκεκριμένη διάταξη με τις εσοχές υποδεικνύει ότι η κάθε επόμενη εσοχή είναι παιδί της ακριβώς προηγούμενης. Για παράδειγμα μία 2D Entity και μια 3D Entity είναι παιδιά ενός RenderObject. Το Sprite Text δεν είναι παιδί ενός RenderObject, αλλά απόγονός του.

- **BeObject**
  - **RenderObject**
    - **2D Entity**
      - **Sprite Text**
    - **3D Entity**
      - **Character**
  - **Objects that may be visible but usually are not**
    - **Camera**
    - **Curve**
    - **Grid**
    - **Light**
  - **Objects that are not visible (abstract, data sets, associations)**
    - **Array**
    - **Group**
    - **Level**
    - **Material**
    - **Mesh**
    - **Place**
    - **Scene**
    - **Sound**
    - **Texture**

Εικόνα 4.3: Στοιχεία Σύνθεσης (Composition), αναφορικά με το τύπο και διατεταγμένα αλφαβητικά

Στοιχείο Σύνθεσης	Ορισμός
<b>BeObject:</b>	αντικείμενο στο οποίο εφαρμόζεται μια συμπεριφορά
<b>RenderObject</b>	αντικείμενο το οποίο απεικονίζεται/είναι ορατό στο Play Mode
<b>2D Entity</b>	αντικείμενο το οποίο έχει μήκος και πλάτος αλλά όχι βάθος
<b>Sprite Text</b>	δισδιάστατη οντότητα που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση κειμένου μέσα σε ένα παράθυρο απεικόνισης
<b>3D Entity</b>	αντικείμενο το οποίο έχει μήκος, πλάτος και βάθος
<b>Character</b>	ένας τύπος τρισδιάστατης οντότητας που δρα σαν έξυπνη οντότητα, οδηγούμενη από το χρήστη του λογισμικού
<b>Camera</b>	αντικείμενο που ορίζει μια οπτική γωνία
<b>Curve</b>	ένα σύνολο από τρισδιάστατες οντότητες που ορίζουν μια καμπύλη στον τρισδιάστατο χώρο
<b>Grid</b>	σύνολο 2Δ δεδομένων των οποίων η τιμή βασίζεται σε 3Δ συντεταγμένες
<b>Light</b>	αντικείμενο που παρέχει φωτισμό
<b>Array</b>	ένα σύνολο δεδομένων εκφρασμένων σε μορφή πίνακα
<b>Group</b>	αυθαίρετη συλλογή στοιχείων χωρίς περιορισμούς ως προς τον τύπο τους
<b>Level</b>	το γονικό αντικείμενο - parent object (ύψιστης ιεραρχίας) ολόκληρης της σύνθεσης
<b>Material</b>	τα επιφανειακά χαρακτηριστικά ενός πλέγματος (mesh)
<b>Mesh</b>	το σετ των επιφανειών που ορίζουν το σχήμα ενός αντικειμένου
<b>Place</b>	μία συλλογή από γεωγραφικά συσχετιζόμενα αντικείμενα
<b>Scene</b>	μία συλλογή από προσωρινά συσχετιζόμενα αντικείμενα
<b>Sound</b>	ήχος αποθηκευμένος σε ψηφιακή μορφή
<b>Texture</b>	μία εικόνα που χρησιμοποιείται για να παρέχει υψηλή λεπτομέρεια στην επιφάνεια ενός αντικειμένου

Πίνακας 4.1: Στοιχεία Σύνθεσης (Composition), αναφορικά με το τύπο



Αναλυτικότερα τα προαναφερθέντα στοιχεία μιας σύνθεσης παρατίθενται στον παραπάνω πίνακα.

#### 4.3.1 Συμπεριφοριστικό αντικείμενο (BeObject)

Οι συμπεριφορές (behaviors) είναι η κεντρική ιδέα του Virtools, όμως δεν έχουν καμία αξία αν δεν είναι προσαρτημένες σε σχεδιαστικά στοιχεία. Όλες οι είσοδοι στην απλουστευμένη Ιεραρχική Κλάση είναι απόγονοι της κλάσης Behavioral Object (CKBeObject). Στοιχεία προερχόμενα από αυτή τη κλάση (απόγονοι της CKBeObject), είναι στοιχεία στα οποία μπορούν να προσαρτηθούν συμπεριφορές, αλλά δεν είναι απαραίτητο.

Όταν ένα BeObject έχει κάποια συμπεριφορά, τότε λέμε ότι αυτό το BeObject είναι ο ιδιοκτήτης (owner) αυτής της συμπεριφοράς. Πρέπει να σημειωθεί ο ιδιοκτήτης της συμπεριφοράς δεν είναι απαραίτητα και ο στόχος (target) της συμπεριφοράς. Οι προσαρτημένες συμπεριφορές σε ένα BeObject μπορούν να επηρεάζουν όχι μόνο τον ιδιοκτήτη, αλλά και άλλα σχεδιαστικά στοιχεία. [30]

#### 4.3.2 Επίπεδο (Level)

Το επίπεδο περιγράφεται ως:

- ένας παγκόσμιος αποδέκτης για όλα τα σχεδιαστικά στοιχεία μιας σύνθεσης
- η ρίζα όλων των σχεδιαστικών στοιχείων μιας σύνθεσης
- ο πρόγονος ή γονιός όλων των σχεδιαστικών στοιχείων μιας σύνθεσης

Υπάρχει μόνο ένα επίπεδο σε μια σύνθεση. Το επίπεδο μπορεί να περιέχει μία ή περισσότερες σκηνές και μηδενικά ή πολλά μέρη για να οργανώσει ο χρήστης τη σύνθεσή του.

Το επίπεδο είναι ένα BeObject. Συνεπώς, συμπεριφορές και χαρακτηριστικά (attributes) μπορούν να προσαρτηθούν σε αυτό. Τα σενάρια (Scripts) του επιπέδου χρησιμοποιούνται για να ελέγχονται Σκηνές (Scenes), Μέρη (Places) και άλλα σχεδιαστικά στοιχεία που χρειάζεται να είναι ενεργά σε διαφορετικές σκηνές (όπως πίνακες – arrays). Αυτά τα σενάρια του επιπέδου προσαρτούνται αυτόματα σε όλες τις Σκηνές. [30]

#### 4.3.3 Σκηνές (Scenes)

Μια σκηνή (Scene) στο Virtools μπορεί να παρομοιαστεί σαν μια σκηνή σε ταινία:

- μόνο μία σκηνή μπορεί να κινηματογραφηθεί (είναι ενεργή) κάθε φορά – ο σκηνοθέτης μπορεί να είναι σε ένα σημείο κάθε φορά
- μόνο οι ηθοποιοί (τα σχεδιαστικά στοιχεία στο Virtools) σε αυτή τη συγκεκριμένη σκηνή είναι ενεργοί – οποιοσδήποτε άλλος πρέπει να περιμένει τη σειρά του
- μόνο όσους έχουν κάποιο ρόλο σε αυτή τη σκηνή, τους τραβάει η κάμερα (στο Virtools μόνο τα ενεργά σχεδιαστικά στοιχεία μπορούν να απεικονιστούν και να υποστούν επεξεργασία από τη Μηχανή Διαχείρισης Συμπεριφορών (Behavioral Engine)

Εκείνα τα σχεδιαστικά στοιχεία που δεν είναι μέλη μιας ενεργούς σκηνής, είναι εξ ορισμού ανενεργά με συνέπεια να μην απεικονίζονται και τα σενάρια στα οποία ανήκουν να μην είναι επεξεργάσιμα.

Μια σκηνή είναι ένα BeObject, συνεπώς μπορούν να προσαρτηθούν σε αυτή συμπεριφορές και χαρακτηριστικά. Τέλος, σε μια σκηνή περιέχονται αναφορές σε σχεδιαστικά στοιχεία και όχι αντιγραφές των στοιχείων αυτών. [30]

#### 4.3.4 Μέρη (Places) και Πύλες (Portals)

Όπως ακριβώς οι σκηνές δρουν ως ένα μέσο οργάνωσης του τμηματοποιημένου χρόνου μέσα σε ένα επίπεδο, έτσι και τα μέρη (Places) είναι ένα μέσο οργάνωσης του τμηματοποιημένου χώρου μέσα σε ένα επίπεδο (Level) ή μία σκηνή (Scene). Μέσα σε ένα επίπεδο δύναται να υπάρχουν είτε μηδενικά είτε πολλά μέρη, καθώς και δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη σύνδεση ανάμεσα σε μια σκηνή και ένα μέρος.

Τα μέρη είναι κομμάτι της Τρισδιάστατης Ιεραρχίας και μπορούν να περιέχουν από καμία μέχρι πολλές τρισδιάστατες οντότητες. Κάθε μέρος θεωρείται ο Γονιός των τρισδιάστατων Οντοτήτων που ανήκουν σε αυτό.

Τα μέρη και οι Πύλες (Portals) χρησιμοποιούνται για τη βελτιστοποίηση της φάσης απεικόνισης. Τα μέρη είναι πολύ χρήσιμα, επίσης, όταν ο χρήστης δουλεύει σε συνεργασία με άλλους χρήστες, όπου ο καθένας μπορεί να δουλεύει πάνω σε ένα συγκεκριμένο μέρος, το οποίο μπορεί να αποθηκευτεί ως Virtools Object File (NMO) και να προστεθεί αργότερα στο CMO.

Ένας μέρος είναι ένα BeObject, συνεπώς μπορούν να προσαρτηθούν σε αυτό συμπεριφορές και χαρακτηριστικά. [30]

#### 4.3.5 Αφηρημένα στοιχεία: Ομάδες (Groups) και Πίνακες (Arrays)

Τα Αφηρημένα Στοιχεία (Abstract Elements) είναι δομές δεδομένων που χρησιμοποιεί το Virtools για να αποθηκεύει πληροφορίες και για να περιγράφει τις σχέσεις μεταξύ των σχεδιαστικών στοιχείων.

Οι ομάδες (Groups) είναι η απλούστερη μεν, αλλά πιο δυνατή οντότητα οργάνωσης μέσα στο Virtools. Αποτελούν διατεταγμένες λίστες Σχεδιαστικών Στοιχείων Συμπεριφοράς, τα οποία μπορούν να υλοποιήσουν οποιαδήποτε λογική σύνδεση η οποία ενδεχομένως να απαιτείται, καθώς και δεν υπόκεινται σε κάποιο περιορισμό τόσο με τον τύπο στοιχείων που περιέχουν, όσο και με τη CKClass.

Οι Ομάδες μπορούν να δημιουργηθούν κατά την Author λειτουργία, αλλά και μέσω δομικών διαγραμμάτων συμπεριφορών (BBs).

Μια Ομάδα είναι ένα BeObject, συνεπώς μπορούν να προσαρτηθούν σε αυτό συμπεριφορές και χαρακτηριστικά. Επίσης, οι Ομάδες μπορούν να είναι κομμάτι άλλων Ομάδων.

Οι Πίνακες (Arrays) είναι απλά κελιά οργανωμένα σε σειρές και στήλες. Η βασική διάταξη που ακολουθούν είναι οι στήλες – δηλαδή όλα τα στοιχεία μια στήλης πρέπει να είναι του ίδιου τύπου. Οι πίνακες υποστηρίζουν τους εξής τύπους δεδομένων:

- Ακέραιους

- Δεκαδικά Σημεία
- Συμβολοσειρές
- CKObject
- Παραμέτρους

Οι Πίνακες, μπορούν να δημιουργηθούν είτε στην λειτουργία Author, είτε μέσω BBs κατά το τρέξιμο της εφαρμογής. Μπορούν να ταξινομηθούν, να φιλτραρηθούν, να επαναληφθούν κλπ.

Τέλος ένας Πίνακας είναι ένα BeObject, συνεπώς μπορούν να προσαρτηθούν σε αυτό συμπεριφορές και χαρακτηριστικά. [30]

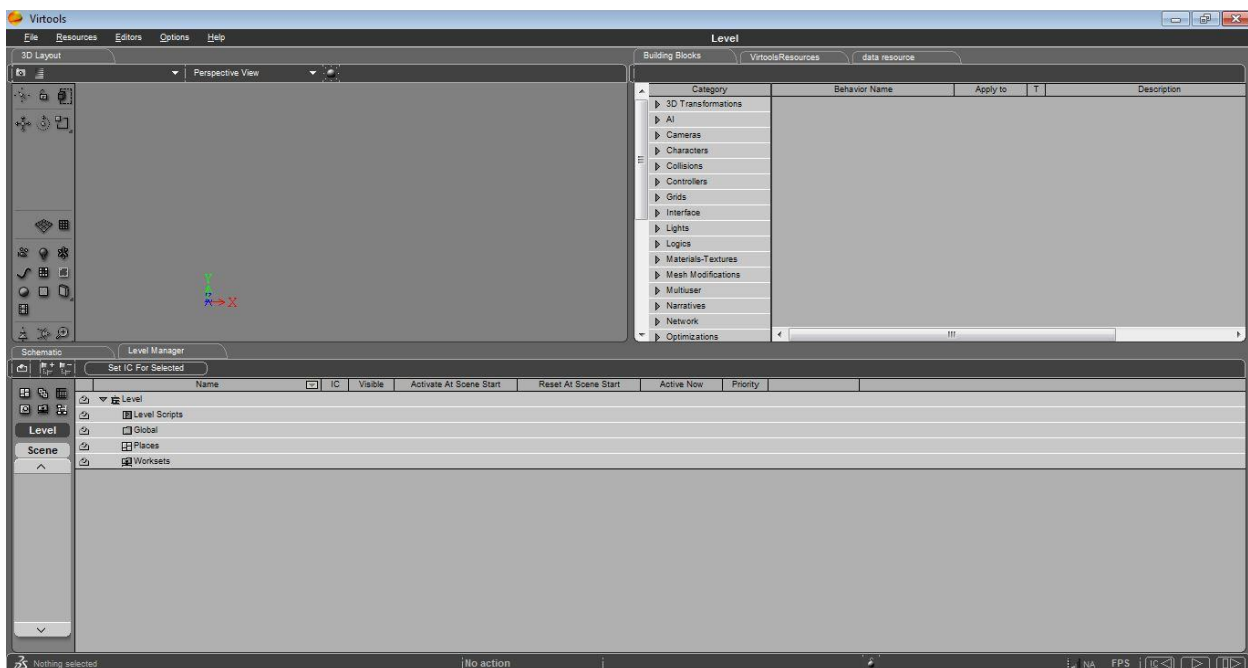
#### 4.4 Γραφική διεπιφάνεια χρήστη - Graphical User Interface (GUI)

Το Graphical User Interface χρησιμοποιείται σαν κύριος χώρος εργασίας κατά τη διάρκεια πολλαπλών φάσεων προγραμματισμού και VE ανάπτυξης. Η Εικόνα 4.4 δείχνει το GUI του Virtools κατά την εκκίνηση. Χρησιμοποιείται ένα σύστημα με καρτέλες και παράθυρα που μπορούν να μετακινηθούν, να αλλάξει το μέγεθος τους ή να εμφανίζονται σαν ξεχωριστά παράθυρα. Το ενεργό παράθυρο εμφανίζεται με μία μαύρη καρτέλα, ενώ όλα τα ανενεργά παράθυρα έχουν γκρι καρτέλες.

Το GUI του Virtools χωρίζεται αποτελεσματικά σε τρεις βασικές περιοχές, με μια γραμμή μενού στο πάνω μέρος και με μια γραμμή κατάστασης στο κάτω μέρος.

Η επάνω αριστερή περιοχή περιέχει το παράθυρο τρισδιάστατης διάταξης (3D layout window), η πάνω δεξιά περιοχή περιέχει τις καρτέλες δεδομένων πόρων και συμπεριφορών.

Ενώ το κάτω μισό της οθόνης, το Διαχειριστή Επιπέδου - Level Manager και το παράθυρο Παραστατικής Σύνθεσης - Schematic, που χρησιμοποιούνται για την οργάνωση των συνθέσεων και τη δημιουργία δεσμών ενεργειών, αντίστοιχα. [30]

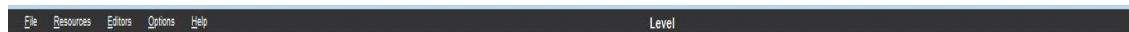


Εικόνα 4.4: GUI Virtools

Παρακάτω αναλύονται οι εν λόγω περιοχές.

#### 4.4.1 Menu Bar

Η μπάρα των μενού (Menu Bar)- Εικόνα 4.5- βρίσκεται στη κορυφή του παραθύρου του Virtools. Υπάρχουν 5 μενού εκεί: **File**, **Resources**, **Editors**, **Options** και **Help**.



Εικόνα 4.5: Menu Bar

Δεξιά του μενού της βοήθειας (Help Menu), η μπάρα των μενού περιέχει το όνομα της τρέχουσας σκηνης, καθώς και όνομα του φακέλου και τη διαδρομή της τρέχουσας σύνθεσης (CMO).

Αναλυτικότερα τα μενού παρουσιάζονται παρακάτω:

**File Menu:** διαχείριση αρχείων, άνοιγμα, αποθήκευση και εξαγωγή αρχείων

**Resources:** διαχείριση πόρων, δημιουργία νέων πηγών δεδομένων (data resources), εισαγωγή μέσων.

**Editors:** πρόσθετοι managers και debuggers

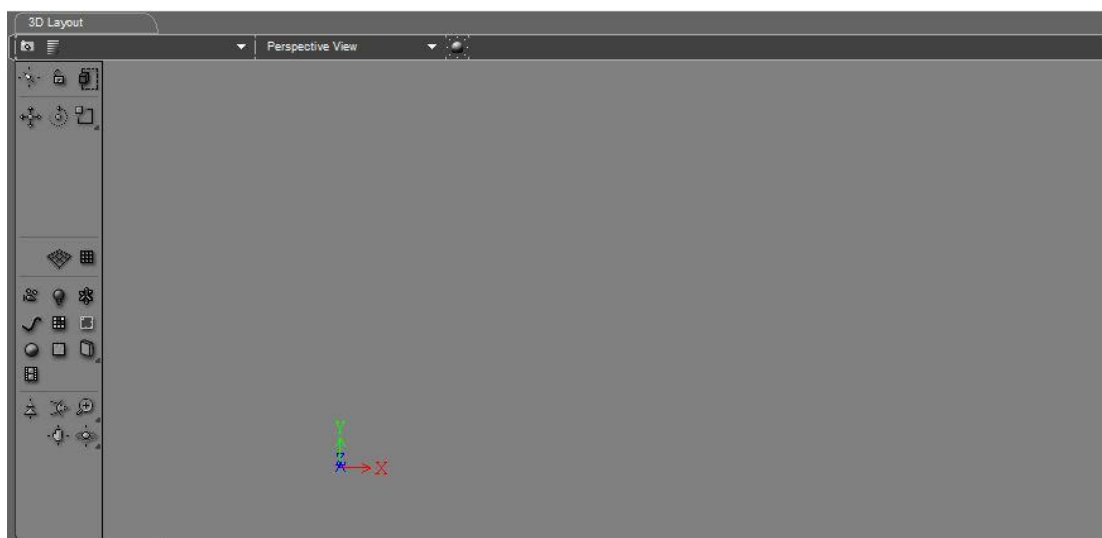
**Options:** γενικές προτιμήσεις και διάφορα χρήσιμα εργαλεία για τη διαχείριση της διεπαφής.

**Help:** η βοήθεια

#### 4.4.2 Το παράθυρο Τρισδιάστατης Διάταξης - 3D Layout Window

Η αρχική χωροθέτηση του Παραθύρου Τρισδιάστατης Διάταξης (3D Layout Window) –Εικόνα 4.6- είναι η περιοχή πάνω αριστερά. Αποτελείται από δύο γραμμές εργαλείων – μια πάνω και μία αριστερά- καθώς και από ένα παράθυρο απεικόνισης.


Ο τύπος των στοιχείων και το πώς εκείνα θα είναι εμφανή στο παράθυρο απεικόνισης βασίζεται στο πως ο χρήστης έχει διαρθρώσει τις Γενικές Προτιμήσεις (Interface/Menu Bar/Options Menu/General Preferences). [30]



Εικόνα 4.6: Παράθυρο τρισδιάστατης διάταξης - 3D Layout Window




Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά τα εικονίδια του παραθύρου.

#### 4.4.2.1 Top Toolbar






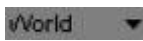



Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Snapshot:</b> φωτογραφίζει το παράθυρο απεικόνισης
	<b>3D Layout Explorer:</b> εργαλείο για την επιθεώρηση των στοιχείων του παραθύρου απεικόνισης
	<b>Selection Group:</b> επιλέξτε ένα υπάρχων γκρουπ ή δημιουργήστε ένα καινούργιο
	<b>Select Camera:</b> δείχνει την ενεργή κάμερα, καθώς και μια λίστα με όλες τις υπάρχουσες
	<b>General Preferences:</b> ανοίγει το διαλογικό παράθυρο των γενικών προτιμήσεων

Πίνακας 4.2: Top Toolbar



#### 4.4.2.2 Left Toolbar

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Select:</b> επιλογή στοιχείου
	<b>Lock Selection:</b> 'κλειδώνει' το επιλεγμένο στοιχείο
	<b>Selection Mode:</b> Εναλλαγή μεταξύ της κανονικής και της αυστηρής επιλογής λειτουργίας










Πίνακας 4.3: Left Toolbar – Selection Tools

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Select and Translate:</b> μετακίνηση στοιχείου
	<b>Select and Rotate:</b> περιστροφή στοιχείου
	<b>Select and Scale:</b> αλλαγή μεγέθους του στοιχείου
	<b>Constrain X, Y or Z Axis:</b> μεταφορά κατά τον επιλεγμένο άξονα
	<b>Constrain Plane:</b> μεταφορά κατά το επιλεγμένο επίπεδο
	<b>Referential Axis:</b> επιλογή συστήματος αναφοράς για μεταφορά ή περιστροφή
	<b>Toggle Snap:</b> Επιλέγει τη λειτουργία συγκράτηση για το κίνηση
	<b>Toggle Hierarchy:</b> καθορίζει αν η κίνηση μπορεί να εφαρμοστεί και στα παιδιά της οντότητας
	<b>Pivot Axis:</b> καθορίζει το σημείο περιστροφής για τη περιστροφή ή την αλλαγή μεγέθους







Πίνακας 4.4: Left Toolbar – Transformation Tools

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Toggle Reference Guides:</b> εμφάνιση/απόκρυψη του τρισδιάστατου επιπέδου αναφοράς
	<b>Toggle Screen Guides:</b> εμφάνιση/απόκρυψη των οδηγών του παραθύρου

Πίνακας 4.5: Left Toolbar – Reference and Screen Guides

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Create Camera:</b> δημιουργία κάμερας
	<b>Create Light:</b> δημιουργία φωτός
	<b>Create 3D Frame:</b> δημιουργία τρισδιάστατου πλαισίου
	<b>Create Curve:</b> δημιουργία καμπύλης
	<b>Create Grid:</b> δημιουργία πλέγματος
	<b>Create 2D Frame:</b> δημιουργία δισδιάστατου πλαισίου
	<b>Create Material:</b> δημιουργία υλικού
	<b>Create Texture:</b> δημιουργία υφής
	<b>Create Portal:</b> δημιουργία πύλης

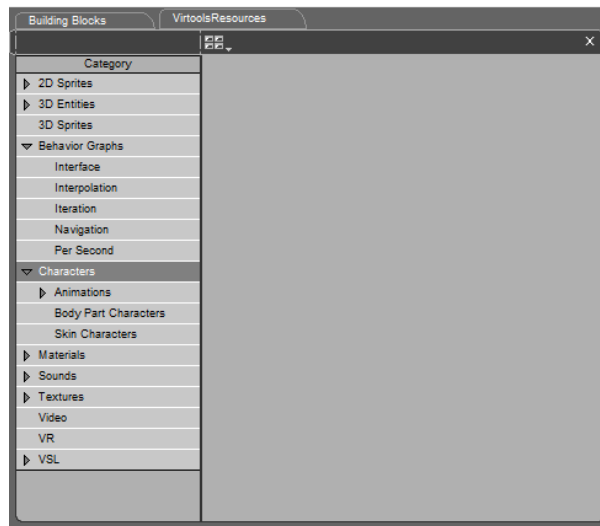
Πίνακας 4.6: Left Toolbar – Creation Tools

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Camera Dolly:</b> μεταφορά της κάμερας και του στόχου της (αν υπάρχει) κατά το Z άξονα της κάμερας
	<b>Camera Field of View:</b> αλλαγή του οπτικού εύρους της κάμερας
	<b>Camera Zoom:</b> μεταφορά της κάμερας προς και από το στόχο της
	<b>Roll Camera:</b> περιστροφή της κάμερας κατά τον Z άξονα της
	<b>Camera Pan:</b> μεταφορά της κάμερας και του στόχου της (αν υπάρχει) κατά το XY επίπεδο της κάμερας
	<b>Orbit Target/Orbit Around:</b> περιστροφή αναφορικά με το στοιχείο ή αναφορικά με την αρχή της κάμερας

Πίνακας 4.7: Left Toolbar – Camera Navigation Tools

#### 4.4.3 Στοιχεία Δόμησης (Building Blocks), Πόροι δεδομένων (Data Resources)

Το παράθυρο αυτό περιλαμβάνει δύο βασικές καρτέλες (Εικόνα 4.7) που λειτουργούν σαν βιβλιοθήκες δεδομένων. Η αρχική του χωροθέτηση είναι πάνω δεξιά. Στην καρτέλα Building Blocks διατίθενται έτοιμα δομικά διαγράμματα συμπεριφορών (BBs), ενώ στην Data Resources διατίθενται αναγνωρίσιμα δεδομένα από το σύστημα, που λειτουργούν σαν «πόροι» για την τροφοδοσία των συνθέσεων (όπως ένα 3D μοντέλο, μία εικόνα, ένας ήχος), αποθηκευμένα στη



Εικόνα 4.7: Building Blocks και Data Resources

μορφή αρχείου (.nmo). Η καρτέλα Virtools Resources είναι η αντίστοιχη της Data Resource, η οποία παρέχεται από το Virtools.

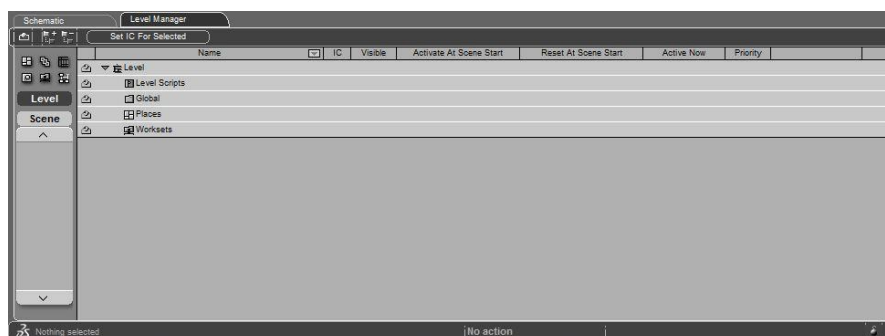
Η καρτέλα των δομικών διαγραμμάτων συμπεριφορών ουσιαστικά είναι μια βιβλιοθήκη συμπεριφορών (behaviors), οργανωμένες ανάλογα με/ή τον τύπο των σχεδιαστικών στοιχείων, στα οποία αυτή η συμπεριφορά θα προσδεθεί.

Όλα τα δεδομένα οργανώνονται σε μία δομή δένδρου. Κάνοντας κλικ σε έναν από τους δείκτες στο αριστερό τμήμα του παραθύρου αναπτύσσεται κάθε μία ενότητα με τα περιεχόμενά της στο δεξί τμήμα. Είναι δυνατή η αναπροσαρμογή του τρόπου παρουσίασης των δεδομένων σε καινούργιες κατηγορίες, όπως και ο εμπλουτισμός τους με καινούργια.

Για να συμπεριληφθεί κάποιος από τους έτοιμους πόρους και συμπεριφορές σε μία σύνθεση αρκούν απλές ενέργειες μεταφοράς και απόθεσης (drag and drop) από την πηγή τους μέσα στο παράθυρο τρισδιάστατης διάταξης ή και στο παράθυρο Schematic (στην περίπτωση των συμπεριφορών). [30]




#### 4.4.4 Level Manager

Η αρχική χωροθέτηση του παραθύρου Level Manager (Εικόνα 4.8) είναι στο κάτω μισό του παραθύρου. Περιλαμβάνει δύο γραμμές εργαλείων – μια πάνω και μία αριστερά -, καθώς και ένα κεντρικό παράθυρο, το οποίο περιέχει σε μορφή λίστας όλα τα σχεδιαστικά στοιχεία του Επιπέδου ή της Σκηνής ανάλογα με την CKClass τους.










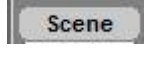

Εικόνα 4.8: Level Manager

#### 4.4.4.1 Top Toolbar

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Show/Hide Layer:</b> εμφάνιση/απόκρυψη στοιχείων του επιπέδου
	<b>Expand/Collapse Selected:</b> επέκταση/συρρίκνωση της επιλεγμένης διακλάδωσης
	<b>IC for Selected:</b> θέτει αρχικές συνθήκες στο επιλεγμένο αντικείμενο

Πίνακας 4.8:Level Manager –Top Toolbar

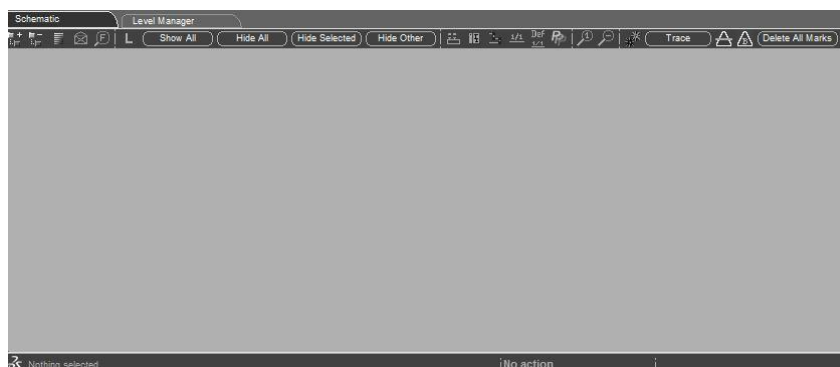
#### 4.4.4.2 Left Toolbar

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Create Place:</b> δημιουργία μέρους
	<b>Create Group:</b> δημιουργία γκρουπ
	<b>Create Array:</b> δημιουργία πίνακα
	<b>Create Scene:</b> δημιουργία σκηνής
	<b>Create Workset:</b> δημιουργία ενός νέου workset ή sub-workset
	<b>Create Script:</b> δημιουργία σεναρίου
	<b>Level:</b> ορισμός περιεχομένου συμπεριφοράς σε λειτουργία επιπέδου
	<b>Scene:</b> ορισμός περιεχομένου συμπεριφοράς σε λειτουργία σκηνής
	<b>Up/ Down:</b> προηγούμενη/επόμενη σκηνή

Πίνακας 4.9:Level Manager –Left Toolbar

#### 4.4.5 Schematic














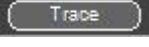


Η αρχική χωροθέτηση του παραθύρου Schematic (Εικόνα 4.9) είναι στο κάτω μισό του παραθύρου. Αποτελείται από μία γραμμή εργαλείων και αν έχει ξεκινήσει η διαδραστικότητα, περιλαμβάνει και τα σενάρια. Εδώ γίνεται η επεξεργασία των σεναρίων.



Εικόνα 4.9: Schematic



Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα εικονίδια του παραθύρου:

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Expand/Collapse Selected Scripts</b>
	<b>Άνοιγμα Schematic Explorer</b>
	<b>Άνοιγμα Message Explorer</b>
	<b>Find Text:</b> εύρεση του στοιχείου με το πληκτρολογημένο όνομα
	<b>Level/Scene Filter:</b> L(εμφάνιση όλων των σεναρίων) , S(εμφάνιση μόνο των ενεργών)
	<b>Show/Hide All:</b> εμφάνιση/απόκρυψη σεναρίων
	<b>Hide Selected/Other:</b> εμφάνιση/ απόκρυψη επιλεγμένων σεναρίων
	<b>Show/Hide Local Parameters:</b> εναλλαγή απεικόνισης τοπικών παραμέτρων
	<b>Show/Hide Script Header:</b> εναλλαγή απεικόνισης τίτλων σεναρίων
	<b>Show/Hide Control Points:</b> εναλλαγή απεικόνισης σημείων ελέγχου των link
	<b>Show/Hide Link Delays:</b> εναλλαγή απεικόνισης της καθυστέρησης μεταξύ των link
	<b>Show/Hide Priorities:</b> εναλλαγή απεικόνισης προτεραιοτήτων
	<b>Reset Schematic Zoom and Position / Zoom mode:</b> μεταβολή zoom factor
	<b>Ενεργοποίηση Trace Mode</b>
	<b>Άνοιγμα Link with Errors explorer</b>
	<b>Άνοιγμα Obsolete BBs explorer</b>

Πίνακας 4.10: Schematic –Top Toolbar

#### 4.4.6 Status Bar

Τέλος, η Γραμμή Κατάστασης (εικόνα 4.10: Status Bar) είναι χωροθετημένη στο κάτω μέρος της οθόνης του Virtools.



Εικόνα 4.10: Status Bar

Η Γραμμή Κατάστασης περιέχει χρήσιμες πληροφορίες εξαρτώμενες από τη λειτουργία του Virtools. Περιέχει, επίσης, πέντε εικονίδια, τα οποία αναλύονται στον Πίνακα 4.11:

Εικονίδιο	Ορισμός
	<b>Selection:</b> εμφάνιση επιλεγμένου στοιχείου
	<b>Action:</b> εμφάνιση τρέχουσας δράσης
	<b>Coordinates:</b> εμφάνιση XYZ συντεταγμένων επιλεγμένου στοιχείου
	<b>Ανοιγμα Event Log</b>
	<b>Ανοιγμα Profiler</b>
	<b>FPS (Frames Per Second):</b> εμφάνιση τρέχοντος πλήθους καρτέ ανά δευτερόλεπτο
	<b>Reset IC (Initial Conditions):</b> επαναφορά αρχικών συνθηκών
	<b>Play/Pause</b>
	<b>Advance One Step:</b> ένα καρτέ μόνο

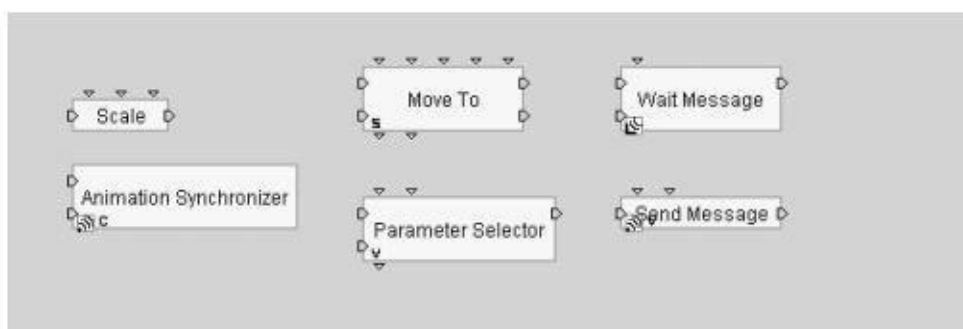
Πίνακας 4.11: Status Bar

## 4.5 Συμπεριφορές και Σενάρια - Behaviors and Scripts

Μια συμπεριφορά ορίζεται σαν μια περιγραφή του πώς ένα σχεδιαστικό στοιχείο ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένη μορφή εισαγόμενων ερεθισμάτων. Αναθέτοντας μια συμπεριφορά σε ένα σχεδιαστικό στοιχείο, καθίσταται το στοιχείο διαδραστικό είτε με το χρήστη είτε με άλλα στοιχεία σε ένα εικονικό περιβάλλον. Με τις συμπεριφορές να είναι οι κύριες συλλήψεις στο περιβάλλον του Virtools, τα σχεδιαστικά στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν εξολοκλήρου προερχόμενα από το Αντικείμενο Συμπεριφοράς (Behavioural Object - BeObject).

Μια συμπεριφορά μπορεί να εκφραστεί ως ένα στοιχείο δόμησης συμπεριφοράς - BB ή και ως ένα Σενάριο - Script το οποίο αποτελεί την οπτική παρουσίαση της συμπεριφοράς και εφαρμόζονται σε ένα σχεδιαστικό στοιχείο μέσα από το Schematic View. Ένα σενάριο συνήθως είναι σε μορφή κειμένου. Παρόλα αυτά, το σενάριο που περιγράφεται είναι στην πραγματικότητα ένα σχηματικό διάγραμμα συμπεριφορών.

Υπάρχουν δύο μέρη που συνθέτουν ένα σενάριο κι αυτά είναι η επικεφαλίδα και το κυρίως σενάριο. Η επικεφαλίδα του σεναρίου επιδεικνύει τον ιδιοκτήτη και το όνομα του σεναρίου. Το κυρίως σενάριο συνήθως συντελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία δόμησης συμπεριφοράς, Γραφικά Συμπεριφοράς, Παραμέτρους, bLinks, pLinks και ούτω καθεξής. Η συνολική



Εικόνα 4.11: Διάφοροι Τύποι Διαγραμμάτων Συμπεριφορών (BBs)

διαδικασία του προγραμματισμού συμπεριφοράς κανονικά αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα και χαρακτηριστικά, τα οποία θα επεξηγούνται στις επόμενες παραγράφους. [7], [30]

#### 4.5.1 Στοιχεία Δόμησης Συμπεριφοράς BBs (Behaviour Building Blocks)

Είναι ο πρωταρχικός μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να ενσωματώσει μια συγκεκριμένη εργασία και να εκπληρώσει συμπεριφορές. Ουσιαστικά είναι η έτοιμη οπτική αναπαράσταση συναρτήσεων λογισμικού. Υπάρχουν διάφοροι τύποι BBs, μερικοί από αυτούς παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.11.

Ένα τυπικό Στοιχείο Δόμησης μπορεί να χωριστεί στα βασικά συστατικά στοιχεία:

- Εισαγωγή Συμπεριφοράς bIn (Behaviour Input)
- Εξαγωγή Συμπεριφοράς bOut (Behaviour Output)
- Σύνδεσμος Συμπεριφοράς bLink (Behaviour Link)
- Παράμετροι Εισόδου pIn (Parameter Input)
- Παράμετροι Εξόδου pOut (Parameter Output)
- Παράμετρος - Στόχος (Target Parameter)

#### 4.5.2 Εισαγωγή Συμπεριφοράς, Behavior Input, bIn

Ένα τυπικό διάγραμμα συμπεριφοράς έχει τουλάχιστον μία Behavior Input. Οι bIns είναι τοποθετημένες στην αριστερή πλευρά ενός διαγράμματος συμπεριφοράς, το οποίο τίθεται σε λειτουργία μόλις ενεργοποιηθεί η bIn (Εικόνα 4.12).



Εικόνα 4.12: bIn



Εικόνα 4.13: bOut



Εικόνα 4.14: pIn και pOut

#### 4.5.3 Εξαγωγή Συμπεριφοράς, Behaviour Output, bOut

Ένα διάγραμμα συμπεριφοράς έχεις τουλάχιστον μια Behavior Output (εικόνα 4.13). Αυτή βρίσκεται στη δεξιά πλευρά του και ενεργοποιείται κατά το πέρας του τρέχοντος καρέ. Αφού ενεργοποιηθεί η ροή ενεργοποίησης (activation flow) ακολουθεί οποιοδήποτε σύνδεσμο υπάρχει.

#### 4.5.4 Σύνδεσμος Συμπεριφοράς, Behaviour Link, bLink

Τα δομικά διαγράμματα είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους μέσω συνδέσμων συμπεριφοράς, όπου καθορίζουν την σειρά με την οποία θα ενεργοποιηθεί το κάθε επόμενο διάγραμμα συμπεριφοράς. Όπως προαναφέρθηκε η σειρά με την οποία περατώνονται τα διαγράμματα συμπεριφοράς ονομάζεται ροή ενεργοποίησης και η οποία είναι υπεύθυνη για τη μετάδοση εκείνου του σήματος που θα ενεργοποιήσει τα επόμενα διαγράμματα συμπεριφορών.

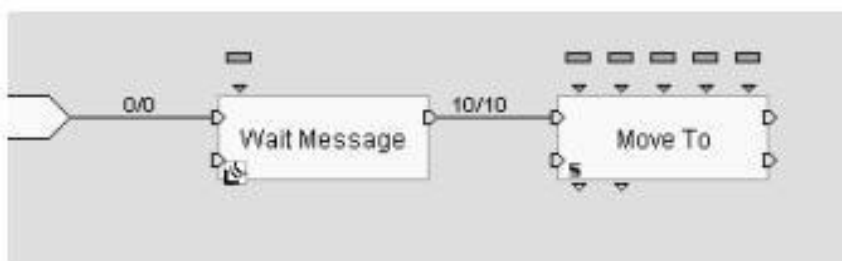
Η παραπάνω διαδικασία καθορίζεται από τη καθυστέρηση που έχει ο κάθε σύνδεσμος (Link Delay) και η οποία προσδιορίζει πότε η CK2 θα δώσει το επόμενο σήμα (εικόνα 4.14).

#### 4.5.5 Παράμετροι Εισόδου, Parameter Input, pIn

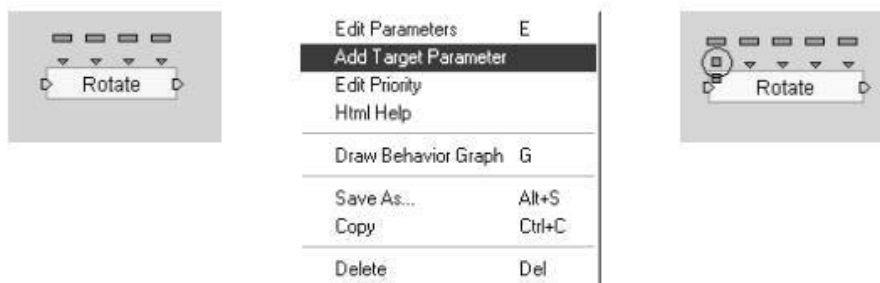
Οι παράμετροι εισόδου (Εικόνα 4.15) είναι οι εκφράσεις που μπαίνουν ως είσοδοι σε ένα διάγραμμα συμπεριφοράς και ελέγχουν πως εκείνο θα λειτουργήσει. Είναι τοποθετημένες στο πάνω μέρος ενός διαγράμματος συμπεριφοράς και απεικονίζονται με ένα μικρό τρίγωνο.

#### 4.5.6 Παράμετροι Εξόδου, Parameter Output, pOut

Όταν έχει επέλθει το τέλος της επεξεργασίας ενός διαγράμματος συμπεριφοράς, αυτό παράγει αυτόματα παραμέτρους εξόδου (Εικόνα 4.15). Αυτές απεικονίζονται από ένα μικρό τρίγωνο, το οποίο είναι τοποθετημένο στο κάτω μέρος ενός διαγράμματος συμπεριφοράς. Δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη να μεταφέρει το αποτέλεσμά τους



Εικόνα 4.15: bLinks



Εικόνα 4.16: Target Parameter

μέσω των συνδέσμων παραμέτρων (pLinks) όχι μόνο σε έναν προορισμό και η τιμή τους ενημερώνεται αυτόματα.

#### 4.5.7 Παράμετρος Στόχος (Target Parameter)

Μια Παράμετρος – Στόχος (Εικόνα 4.16) είναι ένας συγκεκριμένος τύπος pIn που εφαρμόζεται για να ορίσει το στοιχείο που επηρεάζεται από το αντίστοιχο BB. Ουσιαστικά όταν ένα BB βρίσκεται σε ένα Σενάριο – Script απευθύνεται έμμεσα στον ιδιοκτήτη του συγκεκριμένου Script. Αλλά αν για παράδειγμα θέλουμε αυτό το BB να επηρεάσει ένα στοιχείο διαφορετικό από τον ιδιοκτήτη του script, τότε εφαρμόζουμε την παράμετρο – στόχο. Αν μία Παράμετρος – Στόχος δεν υπάρχει ήδη σε ένα BB (που μπορεί να την έχει – δεν δέχονται όλα τα BB αυτή την παράμετρο) τότε μπορεί να προστεθεί σε αυτό με δεξί κλικ και επιλογή “Add Target

Parameter”. Αυτή συμβολίζεται με ένα τετράγωνο αντί του κλασσικού τριγωνικού συμβόλου για τις κανονικές παραμέτρους εισόδου - pIn. [30]

#### 4.5.8 Παραμετρικές Λειτουργίες, Parameter Operations, paramOp

Οι Παραμετρικές Λειτουργίες (Εικόνα 4.17) ορίζονται ως απλές λειτουργίες που διεξάγονται πάνω σε μία Παράμετρο ή μεταξύ δύο Παραμέτρων. Μια paramOp μπορεί να εφαρμοστεί μόνο εφόσον το αποτέλεσμα απαιτείται από ένα BB ή από μια άλλη paramOp.

Οι paramOps κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους σε σχέση με τις απαιτήσεις των διαφόρων εφαρμογών. Αυτοί είναι οι :

1. Ανάκτησης δεδομένων

Ανακτούν πολύτιμες πληροφορίες από το Behavioral Engine, όπως για παράδειγμα τη θέση ενός αντικειμένου στο χώρο (Get Position) ή τον προσανατολισμό του (Get Euler Orientation).

2. Μαθηματικών Λειτουργιών

Εφαρμόζονται ώστε να εκτελέσουν δυαδικές εξισώσεις πχ.  $C=A*B$ ,  $C=\sin(A)$ ,  $V3=Angle(V1, V2)$ ,  $V2=f*V1$  κτλ.

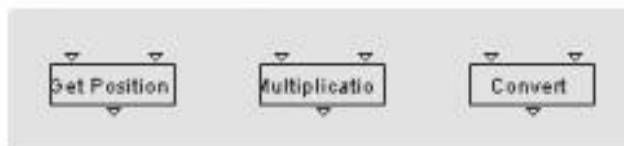
3. Μετατροπής τύπου

Μετατρέπουν έναν τύπο παραμέτρου σε έναν άλλο τύπο έτσι ώστε τα δεδομένα είναι στην επιθυμητή μορφή. Για παράδειγμα, μία γωνία μπορεί να μετατραπεί από μοίρες σε radians ή ακόμα και σε text string για την παρουσίασή της στο παράθυρο τρισδιάστατης διάταξης.

Οι paramOps μπορεί να είναι εξίσου χρήσιμες ως δομικά στοιχεία κατά τη δημιουργία σεναρίων. Ορισμένες λειτουργίες, ειδικά μερικά αιτήματα, μπορεί να γίνουν μόνο με την εκτέλεση μιας paramOp.

Οι paramOps δεν ενεργοποιούνται με τον τρόπο που ενεργοποιούνται τα BBs, δεν υποστηρίζουν την μορφή με τα bLink. Αντίθετα, δίνουν αποτέλεσμα μόνον όταν αυτό απαιτείται, όταν κάποιο BB ή κάποια άλλη paramOp απαιτεί το αποτέλεσμα της paramOp.

Επίσης άλλη μία διαφορά που έχουν με τα BB, είναι ότι δεν έχουν ρυθμίσεις. Τέλος δεν υπόκεινται σε κάποιο περιορισμό αναφορικά με τα στοιχεία εισόδου τους, σε αντίθεση με τα BB που δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε όλα τα σχεδιαστικά στοιχεία ( λόγω πχ του τύπου του στοιχείου). [7]



Εικόνα 4.17: paramOp

#### 4.5.9 Σύμβολα C, S και V

Μερικά BBs επισημαίνονται με έναν από τους χαρακτήρες C, S ή V στην κάτω αριστερή γωνία.

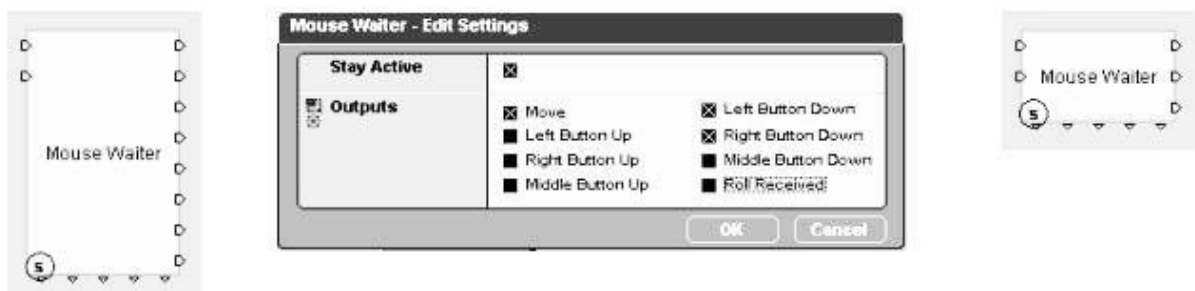
Ένα "C" στην κάτω αριστερή γωνία σημαίνει ότι το BB διαθέτει ένα προσαρμοσμένο παράθυρο διαλόγου για την διαμόρφωση πολύπλοκων παραμέτρων του. (πχ. Animation Synchronizer (Characters / Animation)) (Εικόνα 4.18).

Ένα "S" στην κάτω αριστερή γωνία σημαίνει ότι το BB έχει Ρυθμίσεις. Οι Ρυθμίσεις συνήθως ελέγχουν τις παραμέτρους που υποβάλλονται σε επεξεργασία από το BB ή το πώς οι παράμετροι επεξεργάζονται από το BB (Εικόνα 4.19).

Για παράδειγμα το BB – Mouse Waiter (Controllers/Mouse) το οποίο υπολογίζει κανονικά 8 bOuts. Μπορεί κάποιος να χρειάζεται μόνο τις 3 από αυτές. Θέτοντας από τις ρυθμίσεις – Settings του BB να υπολογιστούν μόνο οι 3 αυτοί έξοδοι μπορεί κανείς να εξοικονομήσει πολύτιμο χρόνο. [7], [30]



Εικόνα 4.18: C Symbol - Animation Synchronizer



Εικόνα 4.19: S Symbol



Εικόνα 4.20: V Symbol

Ο χαρακτήρας "V" σημαίνει ότι αυτό έχει μεταβλητή διαμόρφωση (Εικόνα 4.20). Δηλαδή, μπορεί κανείς να κάνει ένα ή περισσότερα από τα ακόλουθα:

- να προσθέσει bIns
- να προσθέσει bOuts
- να προσθέσει pIns
- να προσθέσει pOuts
- να αλλάξει κάποιους ή και όλους τους τύπους των pIns ή και των pOuts

#### 4.5.10 Μηνύματα (Messages)

Τα Μηνύματα (Messages), είναι ένα μέσο μετάδοσης πληροφοριών μεταξύ σχεδιαστικών στοιχείων ή μεταξύ σεναρίων συμπεριφοράς, που χρησιμοποιείται για να σηματοδοτήσει μια μεταβολή κατάστασης, να ενεργοποιήσει τις καταναμημένες εργασίες, καθώς και να σηματοδοτήσει το πέρας των προτεινόμενων λειτουργιών.

Ένα σχετικό BB περιέχει ένα αντίστοιχο εικονικό σύμβολο στο κάτω αριστερό μέρος, το οποίο αναπαριστά την ικανότητα του BB να αποστέλλει και να παραλαμβάνει μηνύματα μέσα στο εικονικό περιβάλλον.

Η μετάδοση των μηνυμάτων (Εικόνα 4.21) έχει πάντα ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση ενός περάσματος μέσω της επαναληπτικής διαδικασίας, το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει καθυστέρηση ενός καρέ κατά το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την αποστολή μέχρι την παραλαβή του μηνύματος.



Εικόνα 4.21: Αποστολή και λήψη Μηνυμάτων

#### 4.5.11 Γραφήματα Συμπεριφοράς, Behavior Graphs, BG

Ένα Γράφημα Συμπεριφοράς BG, αναγνωρίζεται ως μία οριζόμενη από το συγγραφέα συμπεριφορά, η οποία αποτελείται από ένα ή περισσότερα BBs, Παραμετρικές Διαδικασίες, Παραμέτρους, Συνδέσμους Παραμέτρων, Συνδέσμους Συμπεριφορών, Συντομεύσεις, Σχόλια και πιθανώς συσχετισμένα Γραφήματα Συμπεριφοράς κτλ.

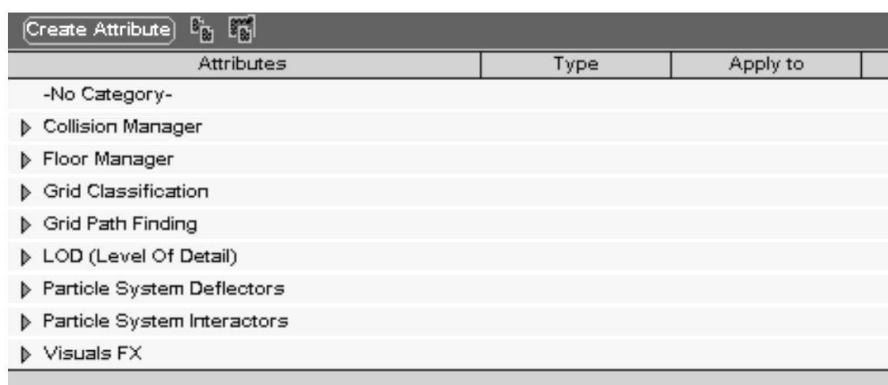
Ένα Γράφημα Συμπεριφοράς έχει μεγάλη ομοιότητα με ένα σενάριο - script συμπεριφοράς γιατί οι προγραμματιστές VE ενσωματώνουν μία συμπεριφορά σε ένα BG, μέσα στο οποίο η καθιερωμένη διαδραστικότητα και εφαρμογή αποθηκεύονται σε επαναχρησιμοποιήσιμη μορφή. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την παραγωγικότητα του προγραμματισμού VE σε μελλοντικές εργασίες.

Ένα Γράφημα Συμπεριφοράς επίσης περιέχει pIns, pOuts, bIns και bOuts. Αποτελεί κομμάτι ενός σεναρίου συμπεριφοράς ή και πλήρες σενάριο συμπεριφοράς, εφόσον επιτυγχάνεται η προβλεπόμενη λειτουργία. Γενικά ένα BG μπορεί να θεωρηθεί ως ένα προηγμένο BB κατασκευασμένο για να εκτελεί μία συγκεκριμένη εργασία πέρα από το πεδίο εφαρμογής των BBs παρέχονται από το Virtools. Επιπλέον, ένα BG μπορεί να «επεκταθεί» έτσι ώστε να

απεικονίζει τα στοιχεία προγραμματισμού, καθώς και να «συμπίεστεί» έτσι ώστε να μην είναι φανερά τα στοιχεία προγραμματισμού, διευκολύνοντας έτσι τη ίδια τη διαδικασία προγραμματισμού. [30]

#### 4.5.12 Χαρακτηριστικά (Attributes)

Τα Χαρακτηριστικά (attributes) είναι ένα μέσο πρόσδεσης πληροφορίας στα σχεδιαστικά στοιχεία, στα οποία και ανήκουν. Μόνο τα BeObject μπορούν να έχουν χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα το επίπεδο (Level) είναι ένα BeObject και συνεπώς μπορεί να έχει χαρακτηριστικά.



Εικόνα 4.22: Attributes Manager

Ένα χαρακτηριστικό έχει όνομα και ανήκει συνήθως και σε μία κατηγορία. Γενικά, αποτελείται από παραπάνω από μία παραμέτρους που ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί.

Προστίθενται κατά τη λειτουργία συγγραφής (Author Mode) μέσω του μενού Level Manager, είτε μέσω του Setup του σχεδιαστικού στοιχείου, είτε μέσω του Attribute Manager (εικόνα 4.22). Ο Διαχειριστής Χαρακτηριστικών (Attribute Manager) δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιθεωρεί και να διαχειρίζεται ποια σχεδιαστικά στοιχεία θα έχουν χαρακτηριστικά και ποια θα είναι αυτά. [30]

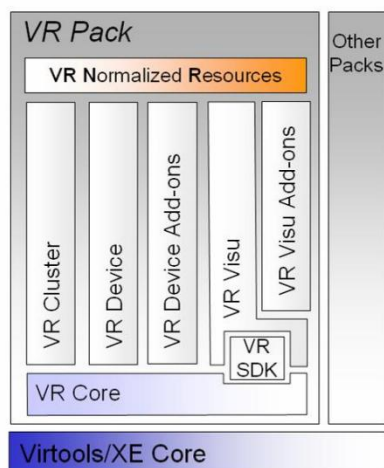
Κατά τη λειτουργία που τρέχει η εφαρμογή (run-time), τα χαρακτηριστικά μπορούν:

- να προστεθούν μέσω του Set Attribute BB
- να αφαιρεθούν μέσω του Remove Attribute BB
- να ανακληθούν μέσω του Has Attribute BB, αν το σχεδιαστικό στοιχείο έχει χαρακτηριστικό.

## 4.6 VR Library

Η VR Library παρέχει ένα απλό, αλλά αποτελεσματικό τρόπο για να δημιουργούνται συνθέσεις αρχείων Virtools (vmo/cmo) για πιο σύνθετα συστήματα VR, τα οποία πιθανόν να τρέχουν σε PC clusters χρησιμοποιώντας στερεοσκοπία και/ή παρακολούθηση (stereovision and/or tracking). Η VR Library είναι ένα πρόσθετο (add-on) για το Virtools και περιλαμβάνει νέα Στοιχεία Δόμησης (Building Blocks), εργαλεία, παραδείγματα, καθώς και ένα διακομιστή συσκευών (device server). Έχει ως στόχο τη δημιουργία εντυπωσιακών εφαρμογών σχεδιασμένων και για PC Clusters. Παρέχει υποστήριξη για αρκετά VR περιφερειακά και μπορεί να εμφανίζει και να απευθύνεται σε οποιαδήποτε VR εφαρμογή, από HMD μέχρι CAVES.





Εικόνα 4.23: VR Library

Αποτελείται από τέσσερα στοιχεία: τον Πυρήνα (Core), την Οπτικοποίηση (Visualization), τις Συσκευές (Devices) και τον Cluster.

- Ο Πυρήνας δίνει πρόσβαση στις βασικές λειτουργίες που θα χρειαστούν για την ανάπτυξη μιας VR εφαρμογής: τη διαχείριση της διαμόρφωσης, της άδειας και του VR SDK.
- Η Οπτικοποίηση χειρίζεται περισσότερο στερεοφωνικούς τύπους (quad buffer, passive), επιτρέπει τη χρήση μη συμμετρικών frustum καμερών που απαιτούνται σε VR εφαρμογές, όπου παρακολουθείται το κεφάλι, σε πολλές στερεοφωνικές εφαρμογές και σε tiled displays.
- Το στοιχείο Συσκευές επιτρέπει τη χρήση VR περιφερειακών με ενιαίο τρόπο.
- Το στοιχείο Cluster πλεονεκτεί πάνω σε PC Clusters, συγχρονίζοντας γκρουπ από υπολογιστές που τρέχουν την ίδια σύνθεση, δίνοντας οδηγία σε πολλαπλές οθόνες, στερεοφωνικά dual-PC, συσκευές κ.α. Επίσης, επιτρέπει τη μεγιστοποίηση της επίδοσης ενός υπολογιστή με πολυεπεξεργαστές /πυρήνες.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, είναι προσβάσιμα μέσα στο Virtools στο τμήμα των VR Building Blocks.

Ένας ειδικός VRPlayer παίζει τις συνθέσεις και πλεονεκτεί πάνω στην ευελιξία του διαμορφωμένου VR συστήματος, που επιτρέπει σε μια σύνθεση να τρέχει σε διαφορετικές οθόνες και sites, χωρίς να χρειάζεται να αλλάζει η cmo. [31]

#### 4.6.1 VR Συσκευές που Υποστηρίζονται

##### Trackers

Ascension Flock of Bird (Serial with or without extended range transmitter),  
 Polhemus Fastrak Tracker (Serial, sensors and/or stylus receivers),  
 Polhemus 3Space Tracker (Serial),  
 Polhemus Patriot Trackers (Serial),  
 Intersense IS600 (Serial or single USB, sensors and/or stylus receivers),  
 Intersense IS900 (Serial or single USB, sensors, stylus and/or wand receivers),  
 Other Intersense Trackers (Serial or single USB),

Origin Instruments Dynasight Tracker (Serial),  
3dTech HiBall-3000 Wide Area Tracker,  
Advanced Realtime Tracking GmbH DTrack Client (Network, bodies and/or flystick),  
World Viz Precision Position Tracker PPT 1.2,  
Logitech 3D mouse,  
Crossbow RGA300 accelerometer using a serial interface,  
Immersion Microscribe,  
ART Flystick2,  
Natural Point Optitrack Rigid Body Toolkit,  
Phasespace optical tracking OWL,  
GLI Interactive Motion Node  
NDI Polaris

### **Gloves**

FakeSpace Pinch Glove (Serial),  
5dt Data Glove 5 (Serial), version 16 and Ultra are not supported.

### **Miscellaneous**

Logitech Magellan and Spaceball (Serial, native drivers must not be running),  
The Fraunhofer IMK ADBox and Fakespace Cubic Mouse,  
Global Haptics GeOrb (buttons and analogs).

Radamec Position Interface (Serial),  
B&G systems CerealBox button/dial/slider/joystick controllers,  
NRL ImmersionBox serial driver (support for buttons only),  
Wanda analog/button device,  
Zaber Linear Positioning Products (Serial),  
Win32 joystick (no force feedback),  
Serial Mindtel Tng3, Totally Neat Gadget (Serial),

National Instruments A/D Cards,  
UNC Python hand-held controller,  
Virtual Presence 3D Flight Stick

Συσκευές που δεν υποστηρίζονται από το VRPN, μπορούν να υποστηριχθούν από το μηχανισμό VR Addons, ο οποίος περιέχει τις εξής:

- CyberGlove,
- Vicon,
- WinBird,
- eMagin Z800 HMD integrated tracker,
- XSens MT series,
- Motion Analysis,
- 3DConnexion Spacemouse (e.g Space Navigator, previous logicaid 6Dof devices)

### **4.6.2 Σύνδεση FOB**

Η συγκεκριμένη παράγραφος παρουσιάζει μια γρήγορη μεθοδολογία για τη σύνδεση του tracker, Flock of Birds με το Virtools. Δεν αποτελεί οδηγό ή μπορεί να αντικαταστήσει το manual [31], έχει ως σκοπό μόνο την παρουσίαση κάποιων δύσκολων σημείων στην εγκατάσταση. Ο αναγνώστης για περισσότερες λεπτομέρειες μπορεί να ανατρέξει στο [31].

Αρχικά αναφερόμαστε στην έκδοση του Virtools που έχει το Εργαστήριο του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Ο χρήστης θα πρέπει να έχει εγκαταστήσει το Virtools και τα υπόλοιπα στοιχεία που υπάρχουν στο μενού της εγκατάστασής του.

Για να συνδεθεί λοιπόν το FOB, πρέπει να γίνει επεξεργασία κάποιων configuration files (cfg). Τα αρχεία αυτά μπορούν και ανοίγουν με ένα απλό Notepad. Επίσης αξιοσημείωτο, είναι το γεγονός ότι γραμμές οι οποίες ξεκινάνε με δίεση (#) δεν διαβάζονται.

Το πρώτο αρχείο που απαιτεί επεξεργασία είναι το VRPackMaster. Βρίσκεται μέσα στο φάκελο εγκατάστασης του Virtools και μια πιθανή διαδρομή είναι η εξής: Virtools>Virtools 4.0>VRPack>SystemConfig. Οι τιμές των tokens που πρέπει να δοθούν είναι:

```
Hosts –  
VRPackLicense hostSettings  
LicenseConfig –
```

Στη συνέχεια, κατά το δεύτερο βήμα προχωράμε στο φάκελο με διαδρομή: Virtools>Virtools 4.0>VRPack>DeviceServer>ReferenceSamples. Από αυτό το φάκελο αντιγράφουμε τα αρχεία startVrpnServerFob.bat και vrpnFOB.cfg και τα επικολλούμε στο φάκελο Virtools>Virtools 4.0>VRPack>DeviceServer. Αν ανοίξουμε το αρχείο vrpnFOB.cfg θα δούμε ότι αποτελείται μόνο από μία γραμμή, η οποία είναι η παρακάτω:

```
vrpn_Tracker_Flock Tracker0 1 COM1 38400 1 N
```

Το στοιχείο Tracker0 είναι η ονομασία που δίνουμε στο Tracker μας. Παρατηρούμε ότι το στοιχείο COM έχει από τα δεξιά του έναν αριθμό, ο οποίος στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ο 1. Αυτός ο αριθμός αντιπροσωπεύει τον αριθμό της Communication Port, όπου έχει συνδεθεί το FOB με τον υπολογιστή. Σε Windows 7, για να δούμε τον αριθμό της σειριακής θύρας πρέπει να πάμε: Control Panel>Hardware and Sound>Device Manager>Ports>Prolific USB-to-Serial Comm Port (COMx). Η συσκευή μας έχει συνδεθεί ως Prolific USB-to-Serial Comm Port και ο αριθμός της θύρας αντιπροσωπεύεται από το 'x' του '(COMx)'. Αφού λοιπόν γνωρίζουμε τη σωστή θύρα, ανοίγουμε το αρχείο vrpnFOB.cfg και τον γράφουμε.

Για το τελευταίο βήμα της επεξεργασίας θα πρέπει να γνωρίζουμε το hostname του υπολογιστή μας. Σε Windows για να το βρει κάποιος, πρέπει να ανοίξει την Command Prompt και να πληκτρολογήσει hostname. Έστω ότι στο παράδειγμά μας το hostname του υπολογιστή είναι MaSys. Πάμε στο φάκελο με διαδρομή:

```
Virtools>Virtools 4.0>VRPack>SystemConfig.
```

Εκεί αφού ανοίξουμε το αρχείο VRDevice.cfg, δίνουμε τιμή στο token:

```
vrpnTracker Tracker0@MaSys
```

Παρατηρούμε ξανά την ονομασία Tracker0 στο παραπάνω. Αυτή η ονομασία πρέπει να είναι η ίδια με αυτή που είχαμε σώσει στο δεύτερο βήμα. Αφού λοιπόν ολοκληρώσουμε αυτές τις ενέργειες, έχουμε πλέον, έναν "vrpn Tracker" που ονομάζεται "Tracker0" στο ξενιστή με όνομα "MaSys".

Όλα τα παραπάνω στοιχεία, περιγράφονται από το manual [31]. Καλό θα είναι ο αναγνώστης να ανατρέξει και σε αυτό, όπως και για το επόμενο βήμα το οποίο αφορά το καλιμπράρισμα του FOB.

Αφού έχει ολοκληρωθεί μια σύνθεση που απαιτεί μια VR συσκευή (εδώ το FOB) και έχουν γίνει όλα τα παραπάνω, απαιτείται η ύπαρξη ενός τελευταίου αρχείου, το οποίο διαβάζεται μόλις αρχίσει και τρέχει η σύνθεση. Αυτό το αρχείο είναι ένα cfg, το οποίο πρέπει να βρίσκεται στο φάκελο όπου είναι τοποθετημένη και η εφαρμογή η οποία επιθυμούμε να τρέξουμε. Μια πιθανή μορφή του αρχείου είναι η παρακάτω:

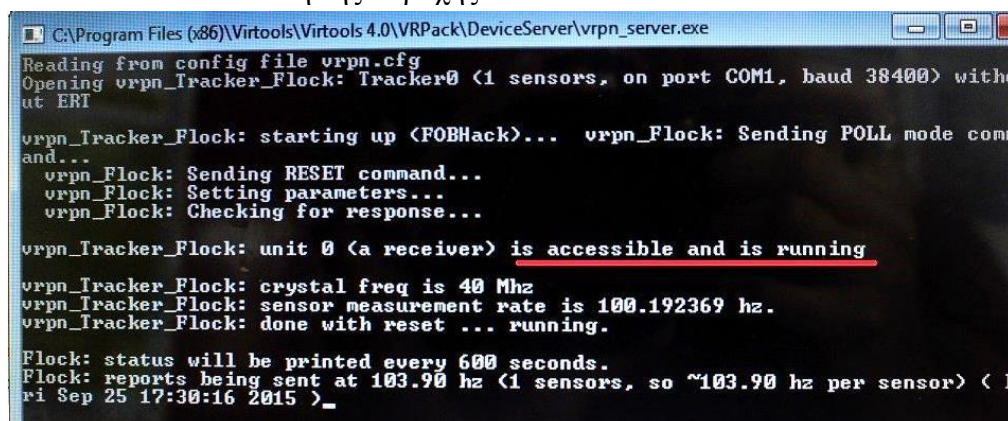
```
$include \\MaSys\VRPackMaster.cfg
```

```
RemoteCompoDir C:\Users\User1\Fakelos\Yprofakelos...
```

Με την πρώτη γραμμή, ουσιαστικά συμπεριλαμβάνουμε (με την εντολή \$include) το VRPackMaster.cfg. Η δεύτερη γραμμή, ουσιαστικά καθορίζει τον φάκελο στον οποίο βρίσκεται η σύνθεση η οποία επιθυμούμε να τρέξουμε. Για τις παραπάνω διαδρομές, όπως περιγράφεται στο manual, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απόλυτα (absolute) ή συγγενικά (relative) μονοπάτια (paths).

### 4.6.3 Ενεργοποίηση FOB

Όταν γίνουν όλα τα παραπάνω, πριν αρχίσουμε να τρέχουμε τη σύνθεσή μας, πρέπει πρώτα να ενεργοποιήσουμε το FOB. Αρχικά γυρνάμε το διακόπτη της τροφοδοσίας από το 0 στο 1. Στη συνέχεια, γυρνάμε το διακόπτη που βρίσκεται πάνω στο Bird από το **STDBY** στο **FLY**. Σημείωση: κάθε φορά που θέλουμε να κλείσουμε το FOB, θέτουμε το διακόπτη του Bird από FLY σε STDBY και το διακόπτη της παροχής από 1 σε 0.



```
C:\Program Files (x86)\Virtools\Virtools 4.0\VRPack\DeviceServer\vrpn_server.exe
Reading from config file vrpn.cfg
Opening vrpn_Tracker_Flock: Tracker0 <1 sensors, on port COM1, baud 38400> without ERT
vrpn_Tracker_Flock: starting up (FOBHack)... vrpn_Flock: Sending POLL mode command...
vrpn_Flock: Sending RESET command...
vrpn_Flock: Setting parameters...
vrpn_Flock: Checking for response...
vrpn_Tracker_Flock: unit 0 <a receiver> is accessible and is running
vrpn_Tracker_Flock: crystal freq is 40 Mhz
vrpn_Tracker_Flock: sensor measurement rate is 100.192369 hz.
vrpn_Tracker_Flock: done with reset ... running.
Flock: status will be printed every 600 seconds.
Flock: reports being sent at 103.90 hz <1 sensors, so ~103.90 hz per sensor> < Fri Sep 25 17:30:16 2015 >_
```

Εικόνα 4.24: Επιτυχής Σύνδεση FOB

Το επόμενο βήμα είναι να ενεργοποιήσουμε τον Vrn Server, ο οποίος θα δώσει εντολή στο FOB. Πάμε λοιπόν, στο φάκελο με διαδρομή Virtools>Virtools 4.0>VRPack>DeviceServer και τρέχουμε το αρχείο startVrnServerFob.bat . Αν έχουμε συνδέσει σωστά το FOB, τότε θα εμφανιστεί ένα μήνυμα όπως αυτό της Εικόνα 4.24.

# 5

## Σχεδιασμός Τροχιάς Ρομπότ σε Εικονικό Περιβάλλον

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αρχικά τα πρακτικά βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής. Για την ανάπτυξη της εφαρμογής επιλέχθηκε η πλατφόρμα του Virtools, η οποία με τις δυνατότητές της στάθηκε αντάξια του προβλήματος. Ως προς μοντελοποίηση, επιλέχθηκε ο ρομποτικός βραχίονας Stäubli RX90L. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα Γραφήματα Συμπεριφορών που χρησιμοποιήθηκαν και τέλος, αναλύονται οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν με το Virtools και παρατίθενται κάποια στατιστικά αποτελέσματα.

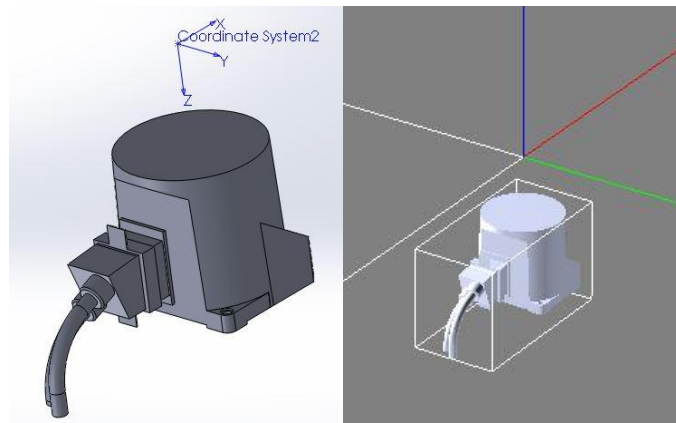
### 5.1 Πρωταρχική φάση μοντελοποίησης

Σε αυτό το στάδιο περιγράφονται όλα εκείνα τα βήματα, τα οποία είναι αναγκαία για την ορθή χωροθέτηση των αρθρώσεων του βραχίονα, καθώς και για τις ιεραρχικές σχέσεις μεταξύ τους. Πρωταρχικό στάδιο για την υλοποίηση της εφαρμογής στάθηκε η ορθή χωροθέτηση των CAD μοντέλων του βραχίονα Stäubli RX90L. Για το σκοπό αυτό αρχικά έγινε η γεωμετρική ανάλυση της κάθε άρθρωσης του βραχίονα και στη συνέχεια τα CAD μοντέλα του βραχίονα υπέστησαν επεξεργασία μέσω του λογισμικού Solidworks.

#### 5.1.1 Επανασχεδιασμός Συστημάτων Συντεταγμένων Αρθρώσεων

Ένα πρόβλημα που παρατηρήθηκε κατά την εισαγωγή των κομματιών στο εικονικό περιβάλλον ήταν το λανθασμένο σύστημα συντεταγμένων και συνεπώς και η θέση και ο προσανατολισμός τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το κάθε κομμάτι κρατά τα παραπάνω στοιχεία από το πρόγραμμα στο οποίο αναπτύχθηκε.

Προκειμένου να αποφευχθεί το παραπάνω ζήτημα, η κάθε άρθρωση υπέστη επεξεργασία, όσον αφορά το σύστημα συντεταγμένων της. Συγκεκριμένα έγινε εισαγωγή του κάθε σχεδιαστικού κομματιού στο Solidworks και στη συνέχεια έγινε η τοποθέτηση του νέου-ορθρού συστήματος συντεταγμένων. Η επιλογή της θέσης του συστήματος συντεταγμένων έγινε έτσι ώστε να ταυτίζεται με τη θέση των 3D Πλαισίων των παραμέτρων D-H που έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ένα άλλο ζήτημα το οποίο λήφθηκε υπόψη ήταν ότι το Virtools χρησιμοποιεί αριστερόστροφο σύστημα συντεταγμένων, ενώ το Solidworks δεξιόστροφο. Συνέπεια αυτής της αλλαγής συστήματος είναι η αντιστροφή του άξονα Z ανάμεσα στα δύο συστήματα (Εικόνα 5.1) κατά τη μεταφορά αντικειμένων από το Solidworks στο Virtools, με αποτέλεσμα να πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή της φοράς των αξόνων.



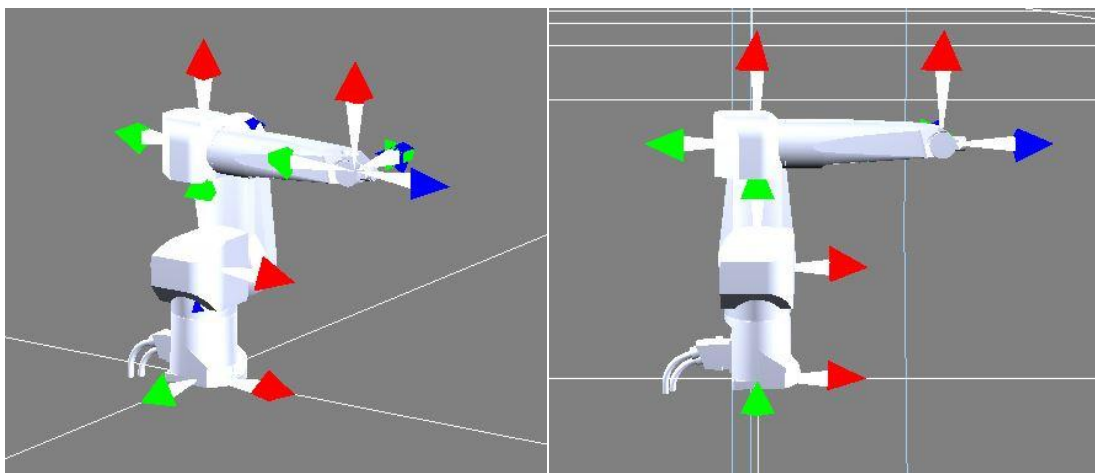
Εικόνα 5.1: Αριστερά σ.σ. Solidworks, δεξιά σ.σ. Virtools

Η εξαγωγή των αρχείων από το Solidworks έγινε ως επέκταση VRML 97 (wrl αρχεία) με μονάδα μέτρησης το μέτρο και η εισαγωγή τους στο Virtools μέσω μεταφοράς και απόθεσης (drag and drop).

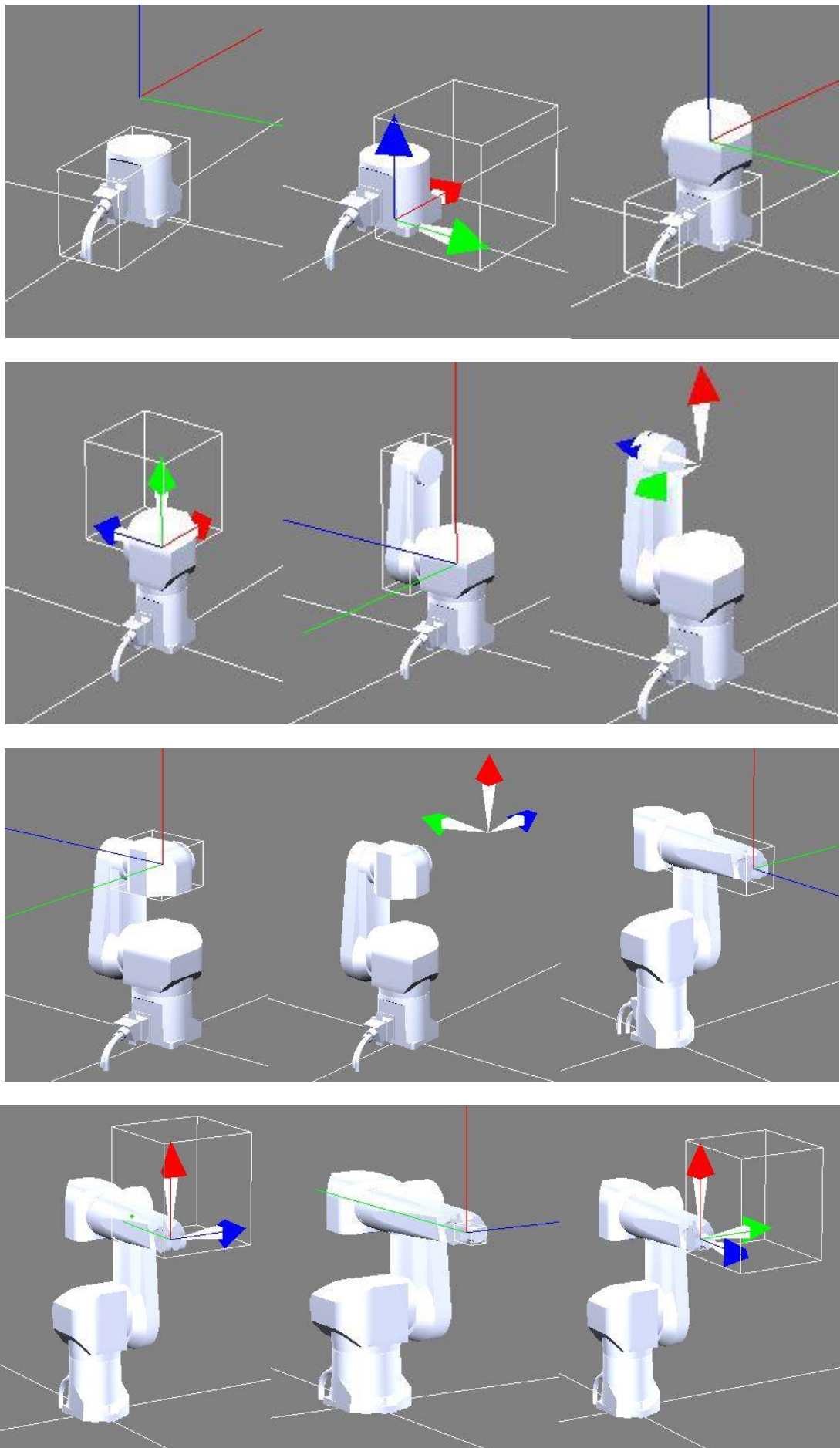
### 5.1.2 Συναρμολόγηση Ρομποτικού Βραχίονα και Δημιουργία 3D Πλαισίων

Στο Virtools εισήχθηκε κάθε μία άρθρωση ξεχωριστά. Αφού γίνει η εισαγωγή ο χρήστης αν το επιθυμεί μπορεί να τοποθετήσει οπουδήποτε στο χώρο το αντικείμενο του, καθώς και να ορίσει και το προσανατολισμό του μέσω του 3D Object Setup menu του. Κάθε άρθρωση τοποθετήθηκε σε συγκεκριμένη θέση, με συγκεκριμένο προσανατολισμό αναλογικά με το κατασκευαστικό σχέδιο του βραχίονα.

Αντίστοιχα προσαρτήθηκαν 3D Πλαίσια στα σημεία εκείνα που ήταν απαραίτητα για τις παραμέτρους Denavit-Hartenberg με κατάλληλη θέση και προσανατολισμό. Το κάθε 3D Πλαίσιο έχει το δικό του σύστημα συντεταγμένων και μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα μέσα στο Virtools. Μια βασική ιδιότητά του είναι ότι μπορεί να ορίσει συστήματα συντεταγμένων τα οποία χρησιμοποιούνται για τον σχετικό, ως προς αυτά έλεγχο της θέσης, προσανατολισμού και στροφής των οντοτήτων. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή τα 3D Πλαίσια χρησιμοποιούνται για την εύρεση της παραμέτρου «α» των D-H [7].



Εικόνα 5.2: 3D Πλαίσια Αναφοράς Ρομποτικού Βραχίονα



Εικόνα 5.3: Συναρμολόγηση Ρομποτικού Βραχίονα

Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζεται η σταδιακή τοποθέτηση κάθε άρθρωσης και η προσάρτηση του αντίστοιχου 3D Πλαισίου και στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζονται τα 3D Πλαίσια που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της περιστροφής των αρθρώσεων του βραχίονα.

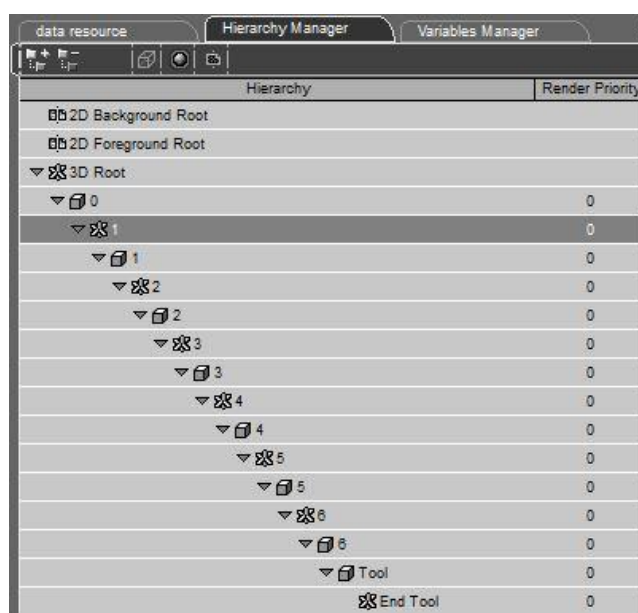
### 5.1.3 Συνθήκες Ιεραρχίας

Αφού έγινε η εισαγωγή των στοιχείων στο Virtools και η ορθή χωροθέτησή τους, σειρά είχε ο προσδιορισμός των Ιεραρχικών Σχέσεων των σχεδιαστικών στοιχείων, η οποία έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επί της ουσίας δηλαδή η σχέση που έχουν μεταξύ τους τα 3D Πλαίσια και τα οι αρθρώσεις του ρομποτικού βραχίονα.

Ειδικά την περίπτωση ενός ρομποτικού βραχίονα, όπου μπορεί να θεωρηθεί ως μια διάταξη με μορφή αλυσίδα, σωμάτων που συνδέονται μεταξύ τους με αρθρώσεις. Για να αντιμετωπιστεί η πολυπλοκότητα της γεωμετρικής δομής ενός βραχίονα είναι αναγκαίο να περιγραφεί η σχέση των προσαρτημένων πλαισίων του μηχανισμού και των μελών του. Τα μέλη ενός βραχίονα αριθμούνται. Στην ακίνητη βάση του, αντιστοιχεί ο αριθμός 0. Το πρώτο κινούμενο μέλος έχει τον αριθμό 1. Με την παραπάνω λογική συνεχίζεται η αρίθμηση μέχρι το ελεύθερο άκρο του βραχίονα, που φέρει τον αριθμό n [13].

Η γενική ιδέα μιας ιεραρχικής σχέσης είναι ότι, ότι συμπεριφορά ασκείτε στο γονιό, να ασκείτε και στα παιδιά του. Με αυτόν τον τρόπο αποδίδοντας τις ανάλογες σχέσεις, μπορούμε να περιγράψουμε τη μεταβολή τόσο της θέσης των πλαισίων, αλλά και τον ίδιον των μελών του βραχίονα, η οποία οφείλεται στη σύνθετη κίνηση των συνδεδεμένων με αρθρώσεις μελών του.

Τα CAD μοντέλα του υπό μελέτη βραχίονα, πέραν του αποληκτῆριου επενεργητή, αντιστοιχούν στο πλήθος  $n=6$  και οι αντίστοιχες σχέσεις των μελών παρουσιάζονται στην Εικόνα 5.4.



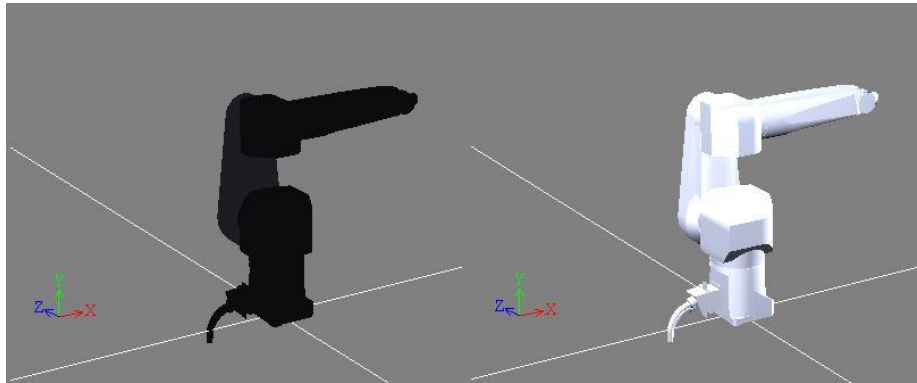
Εικόνα 5.4: Ιεραρχική Σχέση μελών Ρομποτικού Βραχίονα

### 5.1.4 Ανάπτυξη περιβάλλοντα χώρου

Το κλειδί για τον προσδιορισμό της εικονικής πραγματικότητας από την οπτική της ανθρώπινης εμπειρίας, πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό είναι η έννοια της Παρουσίας. Ως Παρουσία μπορεί να θεωρηθεί η εμπειρία ενός ατόμου μέσα σε ένα φυσικό περιβάλλον, αναφερόμενη

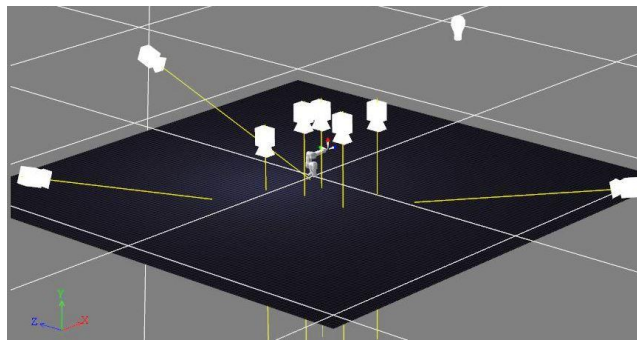


όμως όχι στο φυσικό κόσμο του ατόμου, αλλά στην αντίληψη αυτού του περιβάλλοντος, όπως εκείνη παράγεται μέσα από μία αυτόματη και ελεγχόμενη νοητική διεργασία. [32].



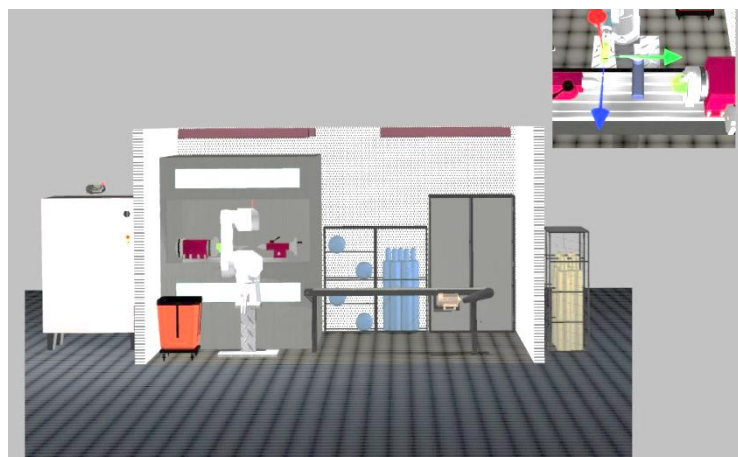
Εικόνα 5.5: Ρομποτικός βραχίονας πριν και μετά το φωτισμό

Έτσι λοιπόν, μετά την εισαγωγή και τη σύνδεση των μελών του βραχίονα, σειρά είχε η διαμόρφωση του εικονικού περιβάλλοντος. Αρχικά, δημιουργήθηκαν κάμερες και φώτα στο χώρο - Εικόνα 5.6 - για την πιο ολοκληρωμένη και ευκρινή εποπτεία του τρισδιάστατου περιβάλλοντος. Στο συγκεκριμένο σχεδιαστικό πακέτο είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρκετών φώτων, καθώς έχει αρκετά 'σκοτεινό' περιβάλλον.



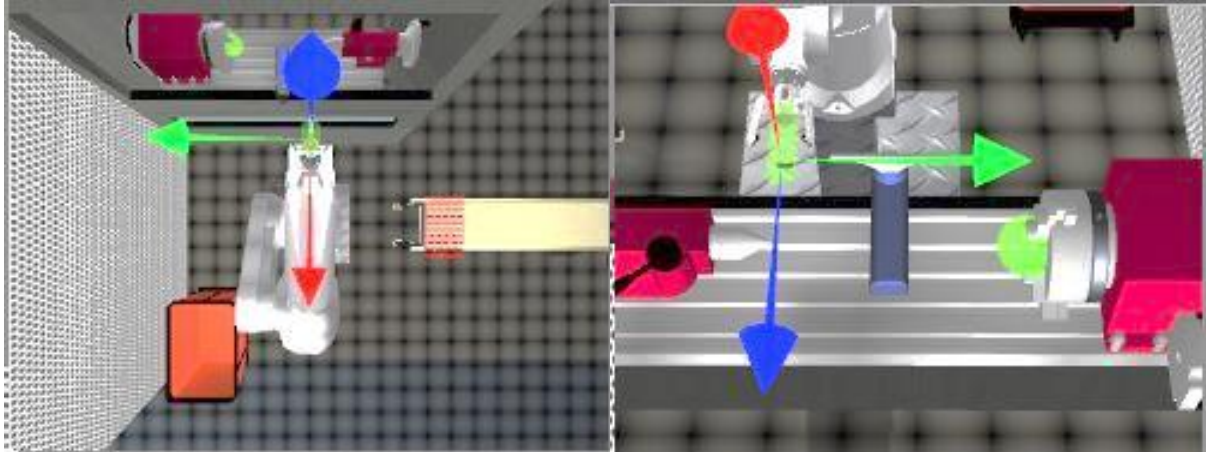
Εικόνα 5.6: Εισαγωγή καμερών και φώτων

Για την ανάπτυξη μιας αίσθησης ρεαλισμού του εικονικού περιβάλλοντος λοιπόν, αναπαραστάθηκε ο χώρος του ρομποτικού βραχίονα όπως είναι στο διαμορφωμένο στο εργαστήριο του Τομέα Κατεργασιών. Για το σκοπό αυτό, με τη βοήθεια του διδάκτορα Μάτσα Ηλία, πρωταρχικά μοντελοποιήθηκαν μέσα στο πρόγραμμα «Rhino» ο περιβάλλοντας χώρος και ο τόρνος. Στην συνέχεια, προστέθηκαν CAD μοντέλα όπως ο controller του ρομπότ, ντουλάπες, μπουκάλες κ.α. για να δημιουργηθεί μια πιο κοντινή οπτική με την πραγματικότητα.



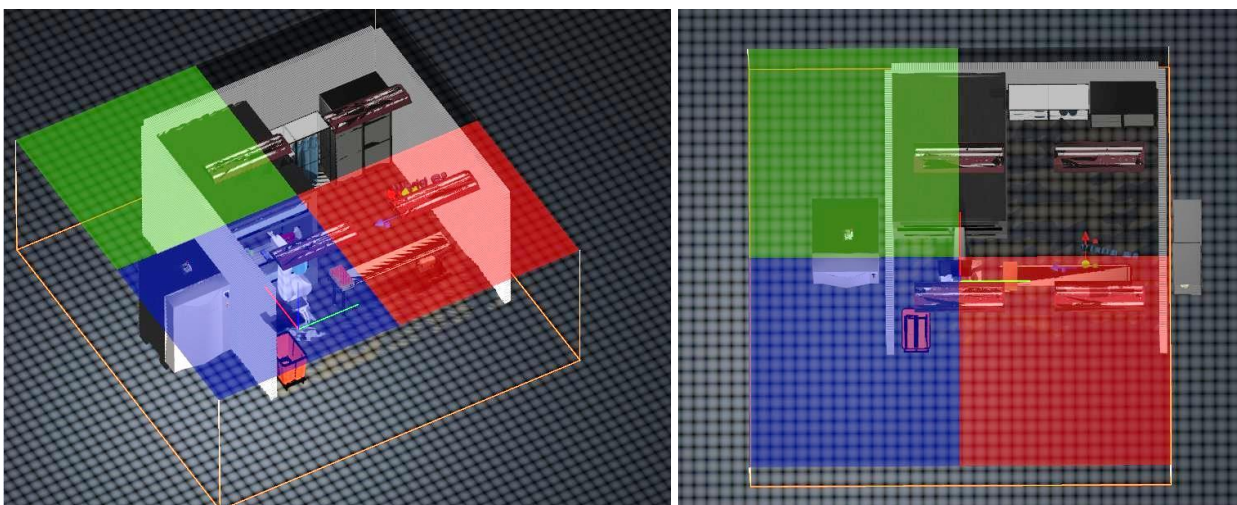
Εικόνα 5.7: Εικονικό Περιβάλλον

Στην παραπάνω εικόνα είναι εμφανές ένα δευτερεύων βοηθητικό παράθυρο στο άνω δεξιά μέρος της οθόνης. Το συγκεκριμένο παράθυρο εξυπηρετεί την οπτικοποίηση δευτερευουσών καμερών, όπου αναπτύχθηκαν για την καλύτερη και πιο ολοκληρωμένη εποπτεία του εργαλείου του βραχίονα. Για παράδειγμα, στην παρακάτω εικόνα φαίνονται δύο δευτερεύουσες κάμερες, στην αριστερή είναι εμφανείς η κάτωψη του βραχίονα και στη δεξιά ο χώρος του τόννου.



Εικόνα 5.8: Δευτερεύουσες κάμερες

Αντίστοιχα με τα 3D Πλαίσια, το εκάστοτε σχεδιαστικό στοιχείο έχει το δικό του τοπικό σύστημα συντεταγμένων και χωροθετήθηκε με σεβασμό ως προς το φυσικό χώρο. Για την εισαγωγή των CAD μοντέλων χρησιμοποιήθηκε η τεχνική drag 'n drop (μεταφοράς και απόθεσης).



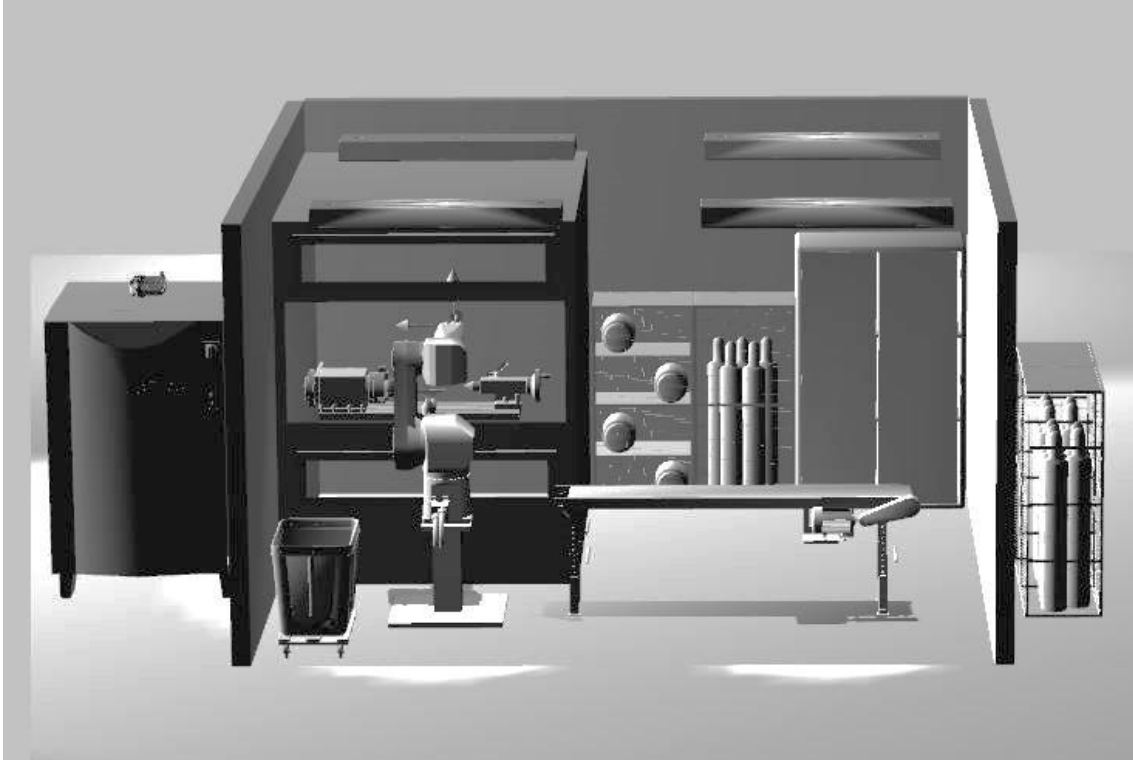
Εικόνα 5.9 Δημιουργία Πλέγματος

Μέσα στην πληθώρα δομικών διαγραμμάτων συμπεριφορών που παρέχει το Virtools, για την προαναφερθείσα εναλλαγή καμερών χρησιμοποιήθηκε το Additional View σε συνδυασμό με την Δημιουργία Πλέγματος (Grid). Το πλέγμα ουσιαστικά είναι η δημιουργία τρισδιάστατων τετραγώνων που έχουν ως απώτερο σκοπό το διαχωρισμό του περιβάλλοντος σε συγκεκριμένο πλήθος περιοχών. Έτσι, χωρίζεται το περιβάλλον σε περιοχές, ανάλογα με την εφαρμογή μας και όποτε το εργαλείο εισέρχεται σε κάποια από αυτές, τίθεται σε λειτουργία και η αντίστοιχη κάμερα.

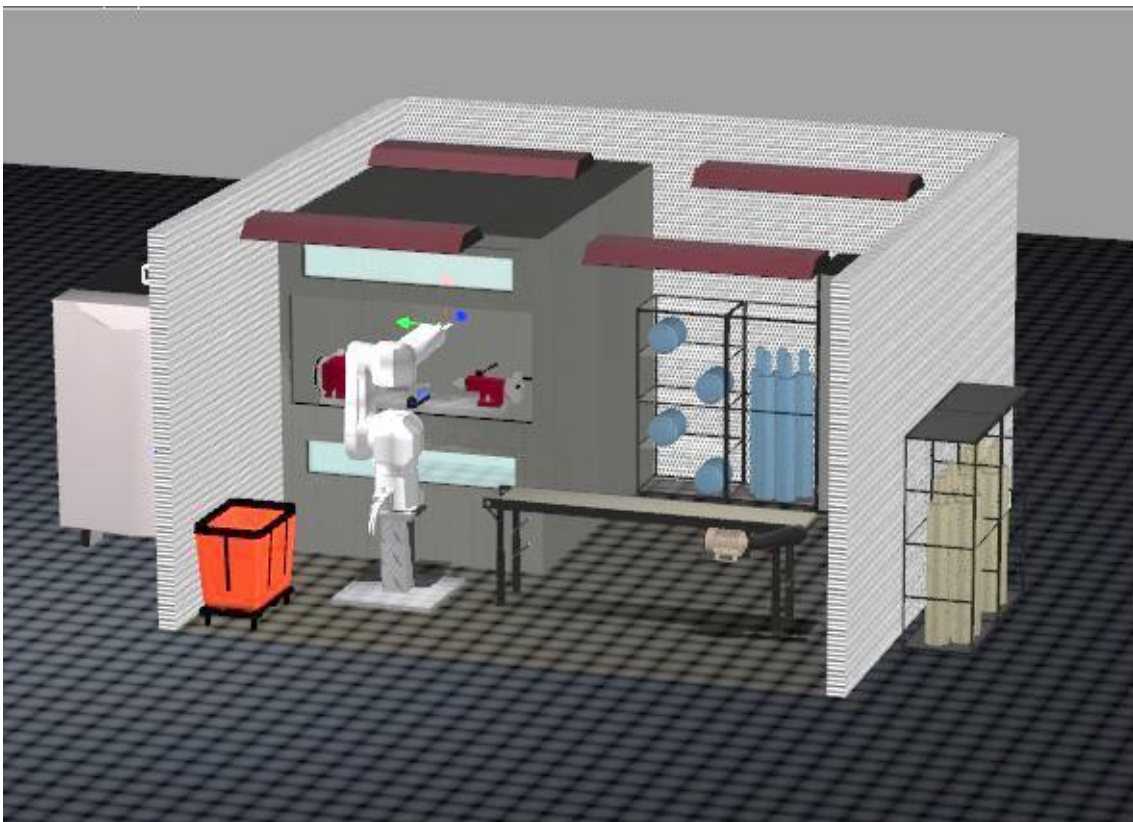
Στη συνέχεια, προστέθηκαν υφές (textures) και υλικά (materials) στο εικονικό περιβάλλον. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο το Virtools δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες

του να δημιουργούν υφές και υλικά στο πακέτο του. Για τη μεγιστοποίηση και την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, είναι απαραίτητο ο χρήστης να εισάγει υφές (οι οποίες αργότερα συνδέονται με τα υλικά) τις οποίες έχει αποκτήσει από την αναζήτησή του στο διαδίκτυο.

Αναλυτικότερα, ο χρήστης μπορεί να εισάγει εικόνες με κατάληξη jpeg στη σύνθεσή του και να τις 'συνδέσει' μέσω υλικών με τα σχεδιαστικά του στοιχεία.

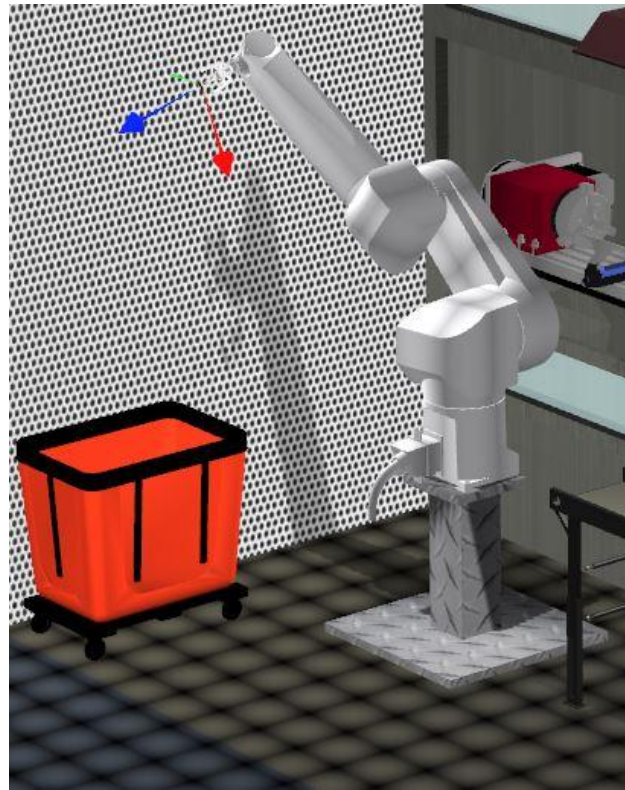


(i)

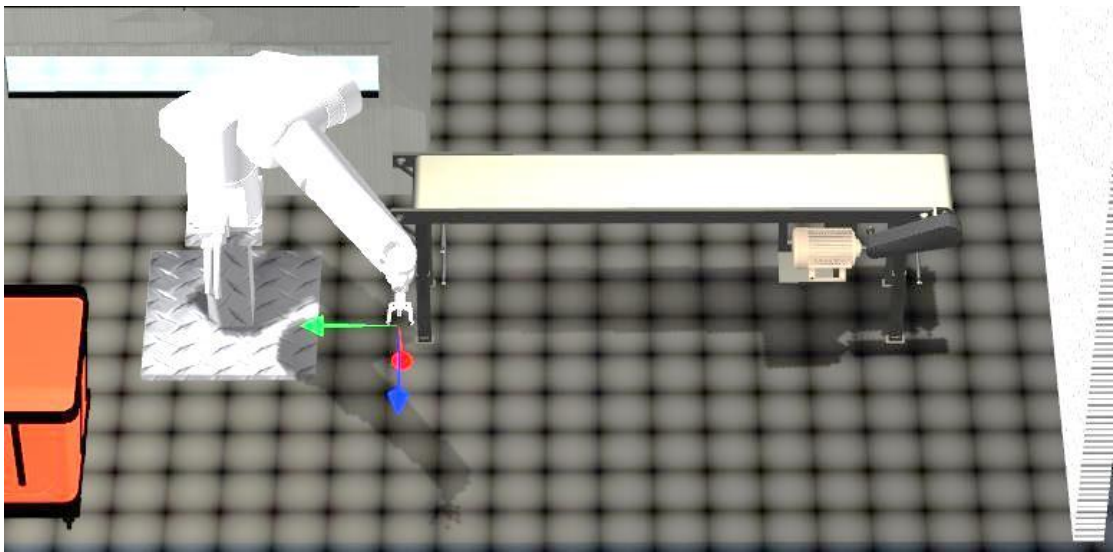


(ii)

Εικόνα 5.10: Εικονικό περιβάλλον (i) χωρίς υφές και υλικά (ii) ολοκληρωμένο



(i)



(ii)

Εικόνα 5.11:Σκιά (i) ρομποτικού βραχίονα (ii) και ταινιόδρομου

Τελευταίο, αλλά κατά τα άλλα κομβικό βήμα για την επίτευξη, καθώς και εφαρμογή της επιθυμητής ρεαλιστικότητας είναι η πρόσδοση σκιών στα σχεδιαστικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, τη συμπεριφορά παραγωγής σκιάς έχουν στο εν λόγω εικονικό περιβάλλον, ο ρομποτικός βραχίονας και ο ταινιόδρομος.

Τα σχεδιαστικά στοιχεία που έχουν σκιές απαιτούν και κάποιον αποδέκτη πάνω στον οποίο μπορεί να αποτυπωθεί και να φανεί η σκιά. Για το σκοπό αυτό αποδόθηκε το χαρακτηριστικό (attribute) του αποδέκτη σκιών στο πάτωμα, τους τοίχους, καθώς και στη βάση την οποία είναι τοποθετημένος ο βραχίονας. Οι σκιές στο Virtools δημιουργούνται όπως ακριβώς και στο φυσικό περιβάλλον. Ανάλογα με τη θέση και το προσανατολισμό της πηγής φωτός και του αντικειμένου που βρίσκεται στην περιοχή τους, αποτυπώνουν τη σκιά στον αποδέκτη.

### 5.1.5 Αρχικές Συνθήκες, Initial Conditions

Τελευταίο βήμα σε αυτή την πρώτη φάση είναι ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών (initial conditions) των οντοτήτων του εικονικού κόσμου. Αυτές ορίζονται για κάθε οντότητα όπως προκύπτει από το διάγραμμα κλάσεων οντοτήτων. Αρχικές συνθήκες ουσιαστικά πρέπει να έχει κάθε οντότητα της οποίας οποιοδήποτε χαρακτηριστικό (πχ. θέση, προσανατολισμός, ιεραρχία, mesh, material, Array κτλ) υπόκειται σε πιθανές αλλαγές κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης [7].

Η εφαρμογή αρχικών συνθηκών εξυπηρετεί την ανάκτησή τους, σε οποιοδήποτε σημείο της προσομοίωσης. Όπως και με τις ιεραρχικές σχέσεις, οι αρχικές συνθήκες μπορούν να αλλάξουν για μία οντότητα κατά την διάρκεια εκτέλεσης της εφαρμογής, με την εφαρμογή τους όμως, είναι δυνατό να γίνει ανάκτηση διαφόρων συνθηκών που εκτελέστηκαν σε μία προσομοίωση.

Για παράδειγμα, για την εφαρμογή που αναπτύχθηκε για το Εργαστήριο του Τομέα Κατεργασιών στην κεντρική κάμερα τέθηκαν αρχικές συνθήκες. Η συγκεκριμένη κάμερα κινούταν αναλογικά με την κίνηση του ποντικιού, καθώς και μπορούσε να περιστραφεί. Σκοπός των αρχικών συνθηκών σε αυτήν την περίπτωση ήταν με το πάτημα ενός πλήκτρου, η κάμερα να επανέρχεται στη θέση όπου είχαν τεθεί οι αρχικές συνθήκες και ως βρισκόταν οπουδήποτε στο χώρο και με οποιοδήποτε προσανατολισμό.



Εικόνα 5.12: Αριστερά: τυχαία θέση κάμερας, δεξιά: θέση αρχικών συνθηκών κάμερας

## 5.2 Μοντελοποίηση Δομικών Διαγραμμάτων Συμπεριφορών

Σε αυτήν την ενότητα αναλύονται τα Δομικά Διαγράμματα Συμπεριφορών (ΔΓΣ) που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν. Ουσιαστικά, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, τα ΔΓΣ αποτελούν 'ομάδες' εντολών δομικών διαγραμμάτων οι οποίες έχουν αναπτυχθεί και αποσκοπούν στην εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας.

Αρκετά από τα ΔΓΣ που χρησιμοποιήθηκαν, αναπτύχθηκαν σε προηγούμενη εργασία του Ε. Λεβεδιανού [7]. Πέρα από τα ΔΓΣ του Λεβεδιανού, στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής, αναπτύχθηκαν και άλλα τα οποία θα αναλυθούν εκτενώς παρακάτω. Κατά τη δημιουργία και προγραμματισμό των ΔΓΣ, ήταν απαραίτητη η αποθήκευση, ανάκτηση και προσδιορισμός των παραμέτρων και δεδομένων του συστήματος. Το συγκεκριμένο πρόβλημα επιλύθηκε με την δημιουργία πινάκων (Arrays) μέσα στο Virtools – Εικόνα 5.19. Οι πίνακες αυτοί,

λειτουργούν σαν Βάσεις Δεδομένων και οι οποίοι συνδέθηκαν με τα ΔΓΣ στα οποία ήταν απαραίτητο.

## 5.2.1 Ορθή Κινηματική

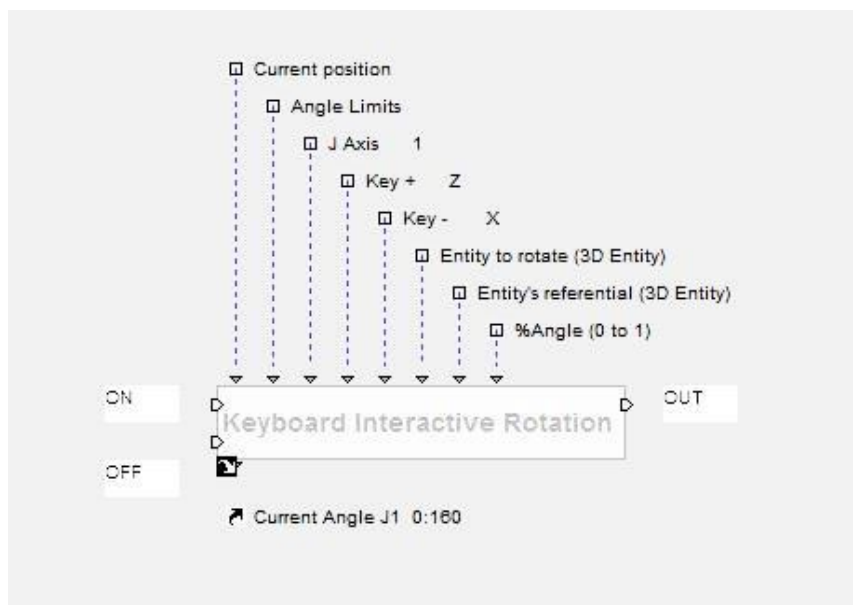
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα ΔΓΣ που χρησιμοποιήθηκαν στο σενάριο της Ορθής Κινηματικής του ρομποτικού βραχίονα, τόσο κατά τη λειτουργία εισόδου του πληκτρολογίου, όσο και κατά τη χρησιμοποίηση του tracker Flock of Birds.

### 5.2.1.1 Περιστροφή Αρθρώσεων

Το συγκεκριμένο γράφημα αποσκοπεί στην περιστροφή κάθε άρθρωσης μέσα στα επιτρεπτά όρια των γωνιών των αρθρώσεων και με συγκεκριμένη φορά. Βρίσκεται και στα δύο σενάρια εισόδων, δηλαδή τόσο κατά τη λειτουργία εισόδου με το πληκτρολόγιο, όσο και κατά την λειτουργία εισόδου με τον tracker.

Η μοναδική τροποποίηση που υπάρχει μεταξύ αυτών των δύο σεναρίων είναι ότι κατά την είσοδο με το πληκτρολόγιο για το εν λόγω ΔΓΣ δύο από τις εισόδους που παίρνει είναι δύο πλήκτρα από το πληκτρολόγιο. Τα συγκεκριμένα πλήκτρα αποσκοπούν στο να τροφοδοτούν με σήμα το γράφημα – καθώς απαιτεί συνεχές σήμα για να λειτουργήσει - , καθώς και να καθορίζουν τη φορά περιστροφής.

Αντίστοιχα, κατά τη λειτουργία εισόδου με τον tracker, αντικαταστάθηκαν τα παραπάνω δύο πλήκτρα με μεταβλητές Boolean (αληθείς ή ψευδείς), οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

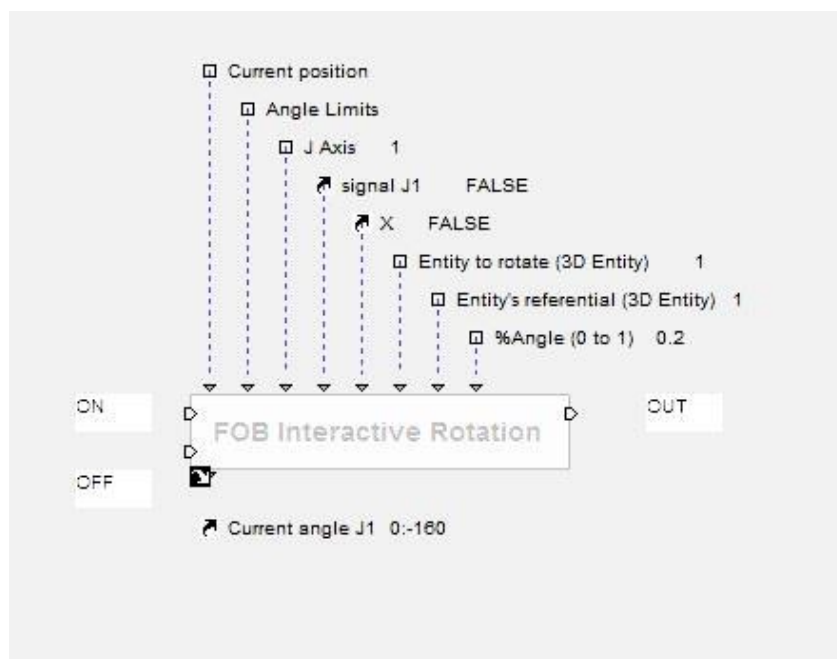


Εικόνα 5.13: Περιστροφή αρθρώσεων κατά τη λειτουργία πληκτρολογίου

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>On</b>	Για να ενεργοποιηθεί πρέπει να επιλεγθεί η άρθρωση την οποία αντιπροσωπεύει το ΔΓΣ. Η επιλογή της άρθρωσης γίνεται με τα πλήκτρα 1-6 του πληκτρολογίου.
<b>Off</b>	Σήμα απενεργοποίησης περιστροφής της άρθρωσης. Ενεργοποιείται με το πλήκτρο Escape, είτε με οποιοδήποτε άλλο αριθμό από τους 1-6, εκτός από εκείνον που αντιπροσωπεύει το ΔΓΣ.

<b>Out</b>	Παραμένει ενεργό όσο είναι ενεργό το On.
<b>Current Position</b>	Πίνακας που περιέχει τις τρέχουσες τιμές των αρθρώσεων .
<b>Angle Limits</b>	Πίνακας που περιέχει τα επιτρεπτά όρια των γωνιών των αρθρώσεων
<b>J Axis</b>	Προσδιορίζει τον άξονα της άρθρωσης.
<b>Key +</b>	Πλήκτρο από το πληκτρολόγιο το οποίο τροφοδοτεί την ωρολογιακή περιστροφή της επιλεγμένης άρθρωσης.
<b>Key -</b>	Πλήκτρο από το πληκτρολόγιο το οποίο τροφοδοτεί την αντιωρολογιακή περιστροφή της επιλεγμένης άρθρωσης.
<b>Entity to Rotate</b>	Η 3D οντότητα της οποίας επιδιώκεται η περιστροφή.
<b>Entity's Referential</b>	Η 3D οντότητα ως προς την οποία θα επιτευχθεί η περιστροφή.
<b>% Angle</b>	Παράμετρος για τον επιπλέον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής. Παίρνει τιμές από 0 έως 1, με το 1 να αντιστοιχεί στο 100% της ταχύτητας.
<b>Current Angle J{n}</b>	Τρέχουσα τιμή γωνίας επιλεγθείσας άρθρωσης.

Πίνακας 5.1: Behavior Graph 'Keyboard Interactive Rotation'



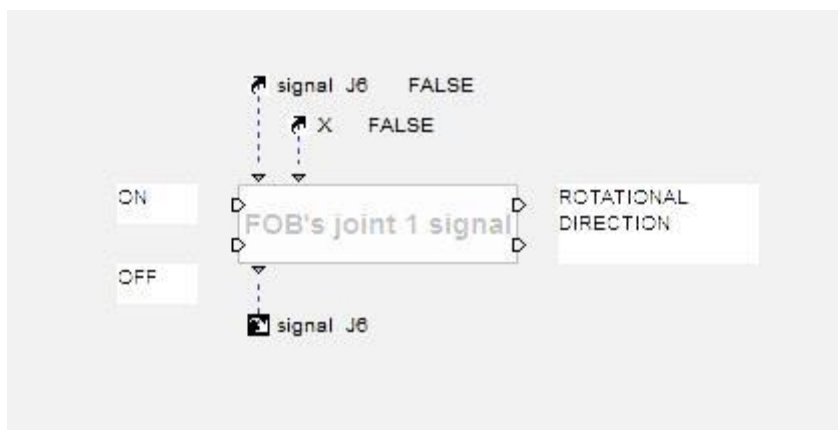
Εικόνα 5.14: Περιστροφή αρθρώσεων κατά τη λειτουργία του FOB

Όπως είναι εμφανές από την παραπάνω εικόνα, έχουν αντικατασταθεί οι είσοδοι από το πληκτρολόγιο που αφορούν τη φορά περιστροφής της επιλεγμένης άρθρωσης.

### 5.2.1.2 Σήμα Φοράς Περιστροφής

Το συγκεκριμένο ΔΓΣ είναι πρόσθετο ΔΓΣ μέσα στο FOB Interactive Rotation. Όπως είναι εμφανές οι δύο παράμετροι εισόδου του πρώτου βρίσκονται και στο δεύτερο. Καθορίζει τη φορά περιστροφής της επιλεγμένης άρθρωσης. Ανάλογα με την τιμή της θέσης του x άξονα δίνει σήμα στην κατάλληλη έξοδο. Έτσι λοιπόν, όταν η παράμετρος x έχει Αληθή τιμή η οντότητα περιστρέφεται αντιωρολογιακά, ενώ στην αντίθετη περίπτωση περιστρέφεται ωρολογιακά. Για πληρότητα και ακρίβεια, η παράμετρος X έχει Αληθή τιμή όταν  $x > 0$  και Ψευδή όταν  $x < 0$ .

Η συγκεκριμένη σύμβαση έγινε με σκοπό να διευκολυνθεί ο χρήστης. Για συντομία και ευχρηστία όλα τα ΔΓΣ τα οποία αφορούν την κίνηση κάποιας άρθρωσης με τον tracker όταν ενεργοποιηθούν παίρνουν ως είσοδο τη λογική τιμή του x άξονα.



Εικόνα 5.15: Σήμα Φοράς Περιστροφής

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>On</b>	Για να ενεργοποιηθεί πρέπει να επιλεγθεί η άρθρωση την οποία αντιπροσωπεύει το ΔΓΣ. Η επιλογή της άρθρωσης γίνεται με τα πλήκτρα 1-6 του πληκτρολογίου.
<b>Off</b>	Σήμα απενεργοποίησης περιστροφής της άρθρωσης. Ενεργοποιείται με το πλήκτρο Escape, είτε με οποιοδήποτε άλλο αριθμό από τους 1-6, εκτός από εκείνον που αντιπροσωπεύει το ΔΓΣ.
<b>Rotational Direction</b>	Φορά περιστροφής. Ο πάνω κλάδος στέλνει σήμα στην αντιαρολογιακή, ενώ ο κάτω στην ωρολογιακή.
<b>signal J{n}</b>	Παράμετρος που καθορίζει αν η άρθρωση την οποία αφορά το ΔΓΣ είναι ενεργή. Μόλις επιλεγθεί μία άρθρωση, αυτόματα το On στέλνει σήμα το οποίο κάνει την παράμετρο True, σε αντιστοιχία με την ενεργοποίηση του Off, όπου και παίρνει την τιμή False.
<b>X</b>	Λογική τιμή που αφορά την συντεταγμένη του x άξονα της θέσης του αισθητήρα.

Πίνακας 5.2: Behavior Graph 'FOB Interactive Rotation'

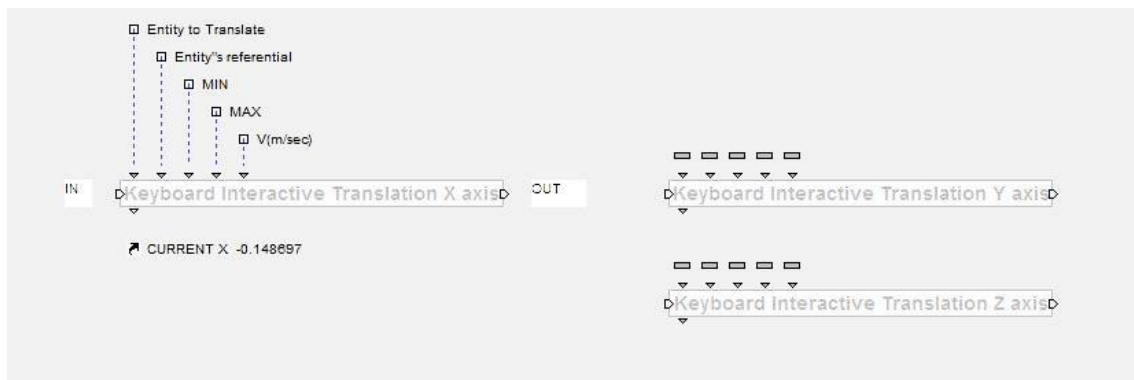
## 5.2.2 Αντίστροφη Κινηματική

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά τα ΔΓΣ που χρησιμοποιήθηκαν στο σενάριο της Αντίστροφης Κινηματικής του ρομποτικού βραχίονα, τόσο κατά τη λειτουργία εισόδου του πληκτρολογίου, όσο και κατά τη χρησιμοποίηση του tracker Flock of Birds.

### 5.2.2.1 Κίνηση ανά Άξονα

Το συγκεκριμένο γράφημα δίνει τη δυνατότητα κίνησης μιας τρισδιάστατης οντότητας κατά μήκος των αξόνων x, y ή z με προκαθορισμένη ταχύτητα, καθώς και μέσα στα επιθυμητά επιτρεπτά όρια.





Εικόνα 5.16:Κίνηση ανά Άξονα

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Ενεργοποιεί τη διαδικασία μετατόπισης.
<b>Out</b>	Ενεργοποιείται όταν περατωθεί η διαδικασία.
<b>Entity to Translate</b>	Η 3D οντότητα της οποίας επιδιώκεται η περιστροφή.
<b>Entity's Referential</b>	Η 3D οντότητα ως προς την οποία θα επιτευχθεί η περιστροφή.
<b>Min</b>	Κατώτατο επιτρεπτό όριο.
<b>Max</b>	Ανώτατο επιτρεπτό όριο.
<b>V(m/s)</b>	Ταχύτητα μετατόπισης σε m/s.
<b>Current</b>	Τρέχουσα τιμή οντότητας στον άξονα που γίνεται η μετατόπιση.

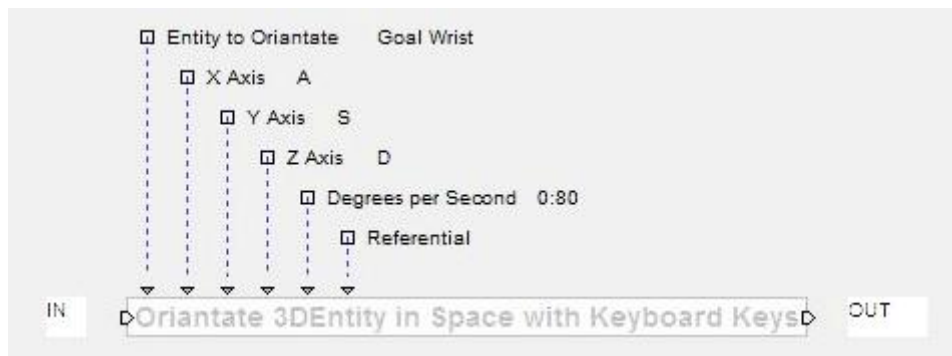
Πίνακας 5.3: Behavior Graph 'Keyboard Interactive Translation'

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ΔΓΣ χρησιμοποιήθηκε για να δοθεί κίνηση στο τρισδιάστατο πλαίσιο του καρπού του βραχίονα, το οποίο στη συνέχεια λόγω των ιεραρχικών σχέσεων των μελών, καθώς και του αλγορίθμου υπολογισμού των γωνιών των αρθρώσεων της αντίστροφης κινηματικής δίνει με τη σειρά του κίνηση σε όλα τα μέλη της κινηματικής αλυσίδας. Επίσης, το γράφημα απαιτεί συνεχές σήμα για να λειτουργήσει και δίνει τη δυνατότητα περιστροφής αναφορικά με οποιοδήποτε σύστημα είναι επιθυμητό μέσω πρόσδοσης τιμής στην παράμετρο αναφοράς.

### 5.2.2.2 Περιστροφή ανά Άξονα

Σε αντιστοιχία με το προηγούμενο γράφημα, το συγκεκριμένο δίνει τη δυνατότητα περιστροφής μιας τρισδιάστατης οντότητας κατά μήκος των αξόνων x, y ή z με προκαθορισμένη ταχύτητα.

Σε αντιστοιχία με το προηγούμενο γράφημα και το συγκεκριμένο ΔΓΣ χρησιμοποιήθηκε για να δοθεί περιστροφή στο τρισδιάστατο πλαίσιο του καρπού του βραχίονα, το οποίο δίνει με τη σειρά του κίνηση σε όλα τα μέλη της κινηματικής αλυσίδας. Επίσης, το γράφημα απαιτεί συνεχές σήμα για να λειτουργήσει και δίνει τη δυνατότητα περιστροφής αναφορικά με οποιοδήποτε σύστημα είναι επιθυμητό μέσω πρόσδοσης τιμής στην παράμετρο αναφοράς.



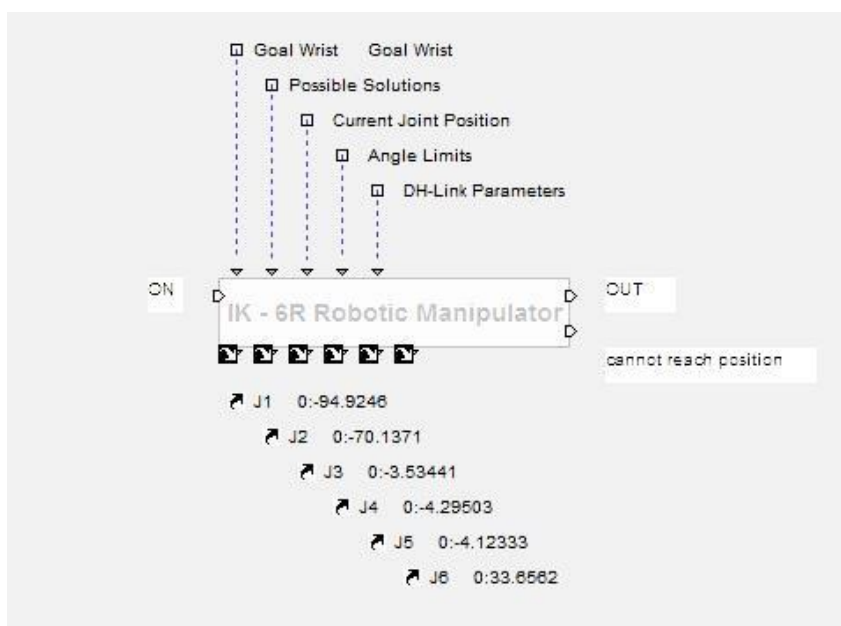
Εικόνα 5.17: Περιστροφή ανά Άξονα

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Ενεργοποιεί τη διαδικασία μετατόπισης.
<b>Out</b>	Ενεργοποιείται όταν περατωθεί η διαδικασία.
<b>Entity to Orientate</b>	Η 3D οντότητα της οποίας επιδιώκεται η περιστροφή.
<b>X Axis</b>	Πλήκτρο εισόδου από πληκτρολόγιο για το x άξονα.
<b>Y Axis</b>	Πλήκτρο εισόδου από πληκτρολόγιο για το y άξονα.
<b>Z Axis</b>	Πλήκτρο εισόδου από πληκτρολόγιο για το z άξονα.
<b>Degrees per Second</b>	Ταχύτητα περιστροφής.
<b>Referential</b>	Η 3D οντότητα ως προς την οποία θα επιτευχθεί η περιστροφή.

Πίνακας 5.4: Behavior Graph 'Orientate 3D Entity in Space with Keyboard Keys'

### 5.2.2.3 Αλγόριθμος Υπολογισμού Αντίστροφης Κινηματικής Βραχίονα 6R

Με την εφαρμογή του αλγορίθμου επίλυσης της αντίστροφης κινηματικής του ρομποτικού βραχίονα δημιουργήθηκε το παρακάτω ΔΓΣ το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε ρομποτικό βραχίονα 6R, με μόνη απαίτηση την τοποθέτηση των συστημάτων συντεταγμένων των αρθρώσεων (CAD μοντέλου και 3D Frame) [7].



Εικόνα 5.18: Αντίστροφη Κινηματική Βραχίονα 6R

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>On</b>	Για να ενεργοποιηθεί πρέπει να επιλεγθεί η άρθρωση την οποία αντιπροσωπεύει το ΔΓΣ. Η επιλογή της άρθρωσης γίνεται με τα πλήκτρα 1-6 του πληκτρολογίου.
<b>Out</b>	Παραμένει ενεργό όσο είναι ενεργό το On.
<b>Goal Wrist</b>	Η οντότητα για την οποία θα γίνει ο υπολογισμός της αντίστροφης κινηματικής.
<b>Possible Solutions</b>	Πίνακας στον οποίο βρίσκονται όλες οι πιθανές λύσεις με τα ζεύγη γωνιών των αρθρώσεων.
<b>Current Joint Position</b>	Πίνακας ο οποίος περιέχει την τρέχουσα τιμή όλων των γωνιών των αρθρώσεων του βραχίονα.
<b>Angle Limits</b>	Πίνακας ο οποίος περιέχει τα επιτρεπτά όρια γωνιών των αρθρώσεων, καθώς και τη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής τους.
<b>DH – Link Parameters</b>	Πίνακας ο οποίος περιέχει τις τιμές των παραμέτρων Denavit Hartenberg.
<b>J{n}</b>	Τρέχων ζεύγος γωνιών αρθρώσεων που αποτελεί λύση του συστήματος.

Πίνακας 5.5: Behavior Graph ‘IK – 6R Robotic Manipulator’

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας (Array) ‘Angle Limits’, ο οποίος περιέχει τα επιτρεπτά όρια γωνιών των αρθρώσεων, καθώς και τη μέγιστη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της κάθε άρθρωσης, τα οποία λήφθηκαν από το manual του ρομπότ [33].

	0 : J	1 : MIN	2 : MAX	3 : Angle per Second
0	1	0:-160	0:160	0:236
1	2	0:-227.5	0:47.5	0:200
2	3	0:-232.5	0:52.5	0:286
3	4	0:-270	0:270	1:41
4	5	0:-105	0:120	0:320
5	6	0:-270	0:270	1:220

Εικόνα 5.19: Angle Limits Array

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια των γωνιών υπέστησαν μεταβολή προκειμένου να ταιριάζουν με το σύστημα συντεταγμένων του βραχίονα. Δεν υπήρξε μεταβολή των ορίων, παρά μόνο μορφοποίηση με σκοπό να τεθεί το ορθό σύστημα συντεταγμένων σε κάθε περίπτωση. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται τα όρια των γωνιών των αρθρώσεων όπως είναι στο manual του βραχίονα [33].

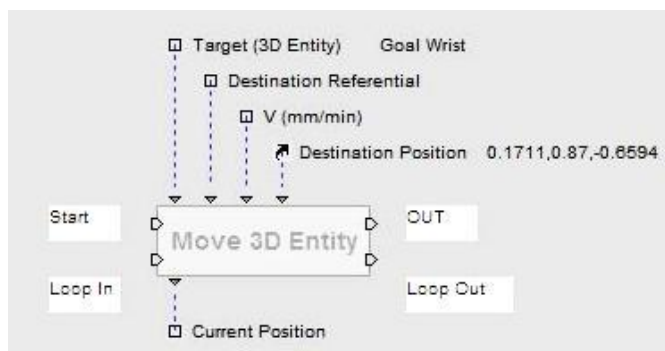
Joint	1	2	3	4 <sup>(1)</sup>	5	6
Amplitude (°)	320	275	285	540	225	540 <sup>(2)</sup>
Working range distribution (°)	A ± 160	B ± 137.5	C ± 142.5	D ± 270	E +120 -105	F ± 270
Nominal speed (°/s)	236	200	286	401	320	580

Εικόνα 5.20: Stäubli RX90L Array

### 5.2.2.4 Μετακίνηση σε Σημείο στο Χώρο

Το συγκεκριμένο Δομικό Γράφημα Συμπεριφοράς υλοποιεί τη μετατόπιση μιας τρισδιάστατης οντότητας σε ένα οποιοδήποτε σημείο στο χώρο. Επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει σύστημα συντεταγμένων αναφορικά με το οποίο θα επιτευχθεί η μετατόπιση, καθώς και να ορίσει και την ταχύτητα της οντότητας που θα υποβληθεί σε αυτήν.

Η οντότητα που τέθηκε σε μετατόπιση ήταν το τρισδιάστατο πλαίσιο του καρπού και συνεπώς το ΔΓΣ σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο υπολογισμού των γωνιών των αρθρώσεων της αντίστροφης κινηματικής δίνει με τη σειρά του κίνηση σε όλα τα μέλη της κινηματικής αλυσίδας



Εικόνα 5.21: Μετακίνηση σε Σημείο στο Χώρο

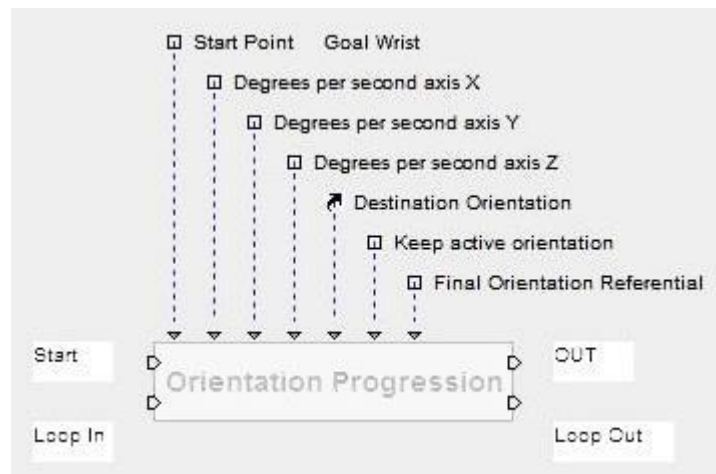
Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>Start</b>	Σήμα ενεργοποίησης μετατόπισης.
<b>Loop In</b>	Σήμα διακοπής διαδικασίας.
<b>Out</b>	Ενεργοποιείται με το πέρας της διαδικασίας.
<b>Loop Out</b>	Παραμένει ενεργή για όσο διάστημα απαιτείται για την ολοκλήρωση της μετατόπισης της οντότητας.
<b>Target (3D Entity)</b>	Η οντότητα στόχος η οποία θα υποβληθεί σε μετατόπιση.
<b>Destination Referential</b>	Προαιρετική οντότητα για ορισμό συστήματος ο οποίος αφορά τη μετατόπιση της οντότητας στόχου.
<b>V (mm/min)</b>	Ταχύτητα μετατόπισης.
<b>Destination Position</b>	Σημείο προορισμού στον χώρο.
<b>Current Position</b>	Τρέχουσα θέση στο χώρο οντότητας στόχου αναφορικά με το σύστημα αναφοράς.

Πίνακας 5.6: Behavior Graph 'Move 3D Entity'

Στο σενάριο της αντίστροφης κινηματικής με το FOB, ως σημείο προορισμού τέθηκαν τα σημεία στο χώρο που εξάγονταν από τον αισθητήρα. Προκειμένου να υπάρχει συνεχείς ροή δεδομένων, το συγκεκριμένο ΔΓΣ τοποθετήθηκε σε επανάληψη σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο υπολογισμού των γωνιών της αντίστροφης, καθώς και με τον αλγόριθμο περιστροφής των αρθρώσεων στη λύσης του συστήματος.

### 5.2.2.5 Περιστροφή Οντότητας με γωνίες Euler

Το συγκεκριμένο γράφημα υλοποιεί την περιστροφή μιας τριδιάστατης οντότητας αναφορικά με τις γωνίες Euler που θα του δοθούν. Επιτρέπει στο χρήστη να ορίσει σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με το οποίο θα επιτευχθεί η περιστροφή, καθώς και να ορίσει την ταχύτητα του κάθε άξονα της οντότητας που θα υποβληθεί σε αυτήν.



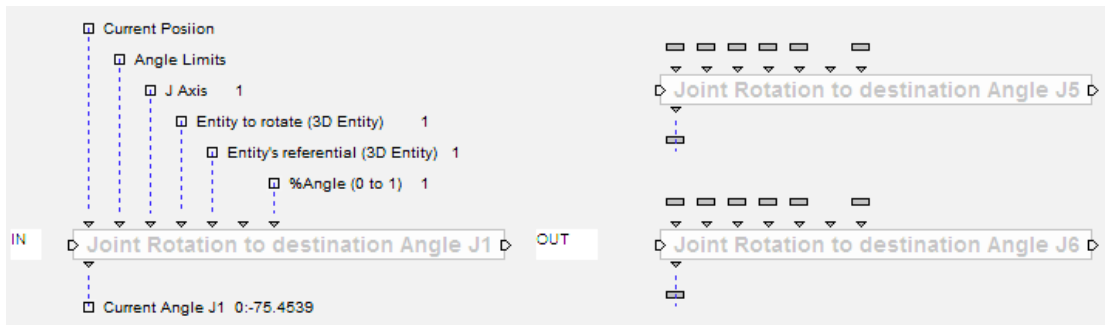
Εικόνα 5.22: Περιστροφή Οντότητας με γωνίες Euler

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>Start</b>	Σήμα ενεργοποίησης μετατόπισης.
<b>Loop In</b>	Σήμα διακοπής διαδικασίας.
<b>Out</b>	Ενεργοποιείται με το πέρας της διαδικασίας.
<b>Loop Out</b>	Παραμένει ενεργή για όσο διάστημα απαιτείται για την ολοκλήρωση της περιστροφής της οντότητας.
<b>Start Point</b>	Η οντότητα στόχος η οποία θα υποβληθεί σε περιστροφή.
<b>Degrees per Second axis{n}</b>	Παράμετρος που αφορά την ταχύτητα περιστροφής.
<b>Destination Orientation</b>	Ο επιθυμητός προσανατολισμός.
<b>Keep Active Orientation</b>	Λογική παράμετρος που αφορά τον προσδιορισμό των γωνιών Euler.
<b>Final Orientation Referential</b>	Προαιρετική οντότητα η οποία ορίζει ένα νέο σύστημα αναφορικά με το οποίο θα επιτευχθεί η περιστροφή.

Πίνακας 5.7: Behavior Graph 'Orientation Progression'

### 5.2.2.6 Στροφή Αρθρώσεων στη λύση του Συστήματος

Το γράφημα αυτό υλοποιεί τη μετατόπιση και περιστροφή των αρθρώσεων του βραχίονα στις γωνίες, οι οποίες αποτελούν λύση του αλγορίθμου της αντίστροφης κινηματικής. Ένα τέτοιο γράφημα χρησιμοποιείται για κάθε άρθρωση ξεχωριστά.



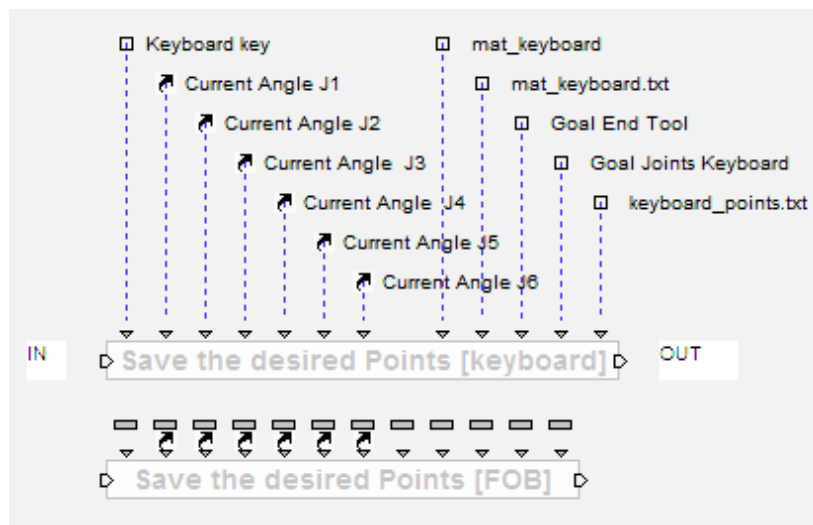
Εικόνα 5.23: Στροφή Αρθρώσεων στη λύση του Συστήματος

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Σήμα ενεργοποίησης .
<b>Out</b>	Σήμα διακοπής διαδικασίας.
<b>Current Position</b>	Τρέχουσες γωνίες αρθρώσεων.
<b>J Axis</b>	Προσδιορίζει τον άξονα της άρθρωσης.
<b>Entity to Rotate (3D Entity)</b>	Αριθμός επιλεγμένης άρθρωσης.
<b>Entity's Referential</b>	Τρισδιάστατο πλαίσιο επιλεγμένης άρθρωσης.
<b>% Angle (0 to 1)</b>	Παράμετρος για τον επιπλέον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής. Παίρνει τιμές από 0 έως 1, με το 1 να αντιστοιχεί στο 100% της ταχύτητας
<b>Current Angle J{n}</b>	Τρέχουσα τιμή γωνίας επιλεχθείσας άρθρωσης

Πίνακας 5.8: Behavior Graph 'Joint Rotation to destination Angle J{n}'

### 5.2.2.7 Αποθήκευση Δεδομένων

Τελευταίο γράφημα της παρούσας ενότητας αποτελεί αυτό που δημιουργήθηκε για την αποθήκευση των λύσεων του συστήματος τα οποία υποβλήθηκαν αργότερα σε επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα το παρόν διάγραμμα αποθηκεύει τα σετ λύσεων των γωνιών σε πίνακες μέσα στο Virtools, αλλά χρησιμεύει και για την εξαγωγή αυτών των δεδομένων ως αρχεία txt.



Εικόνα 5.24: Αποθήκευση Δεδομένων

Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Σήμα ενεργοποίησης .
<b>Out</b>	Σήμα ολοκλήρωσης διαδικασίας.
<b>Keyboard key</b>	Πλήκτρο από το πληκτρολόγιο που πυροδοτεί τη διαδικασία.
<b>Current Angle J{n}</b>	Τρέχουσα γωνία που έχει προκύψει ως λύση του αλγόριθμου της αντίστροφης κινηματικής και πρόκειται να αποθηκευτεί.
<b>mat_keyboard</b>	Πίνακας που περιέχει την εκάστοτε αποθηκευμένη τρέχουσα γωνία
<b>mat_keyboard.txt</b>	Τxt αρχείο που δημιουργείτε αυτόματα κάθε φορά που αποθηκεύεται κάποιος σεντ γωνιών και περιέχει τα στοιχεία του πίνακα mat_keyboard.
<b>Goal End Tool</b>	Τρισδιάστατο πλαίσιο εργαλείου.
<b>Goal Joints Keyboard</b>	Πίνακας ο οποίος περιέχει την εκάστοτε τρέχουσα γωνία σε μοίρες, καθώς και τις συντεταγμένες της θέσης του τρισδιάστατου πλαισίου του εργαλείου.
<b>Keyboard_points.txt</b>	Τxt αρχείο που δημιουργείτε αυτόματα κάθε φορά που ολοκληρώνεται η αποθήκευση και περιέχει τα στοιχεία του πίνακα Goal Joints Keyboard.

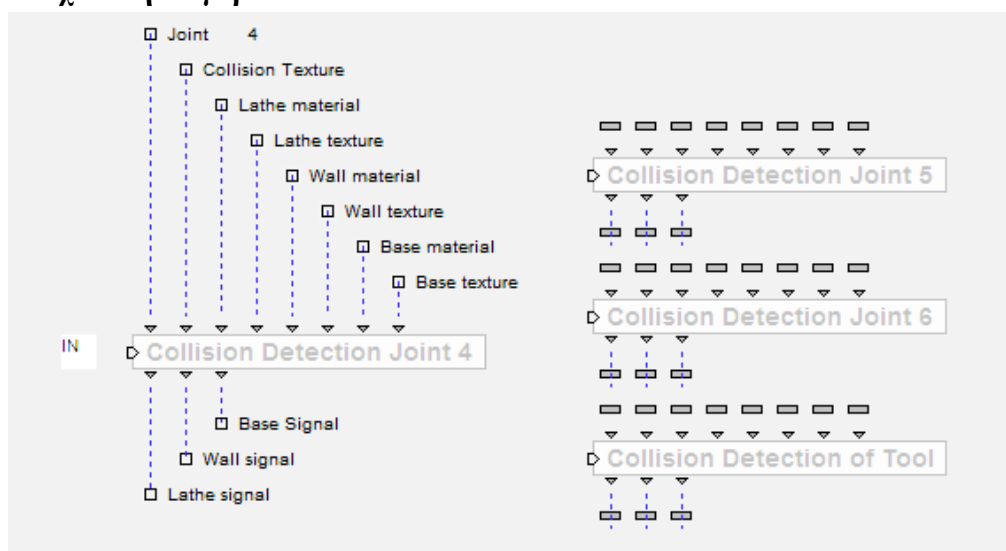
Πίνακας 5.9: Behavior Graph ‘Save the desired Points’

Πρέπει να σημειωθεί ότι το ΔΓΣ απαιτεί το πάτημα κάποιου ορισμένου πλήκτρου από το πληκτρολόγιο κάθε φορά που επιθυμούμε να αποθηκεύσουμε τη θέση του βραχίονα εκείνη τη δεδομένη στιγμή.

### 5.2.3 Συγκρούσεις

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα Δομικά Διαγράμματα Συμπεριφορών που χρησιμοποιήθηκαν στο σενάριο (Script) που αφορά τον εντοπισμό κάποιας σύγκρουσης ανάμεσα στις τρεις τελευταίες αρθρώσεις του ρομποτικού βραχίονα και τη βάση του, το χώρο του τόννου καθώς και τους τοίχους.

#### 5.2.3.1 Ανίχνευση Συγκρούσεων



Εικόνα 5.25: Ανίχνευση Συγκρούσεων

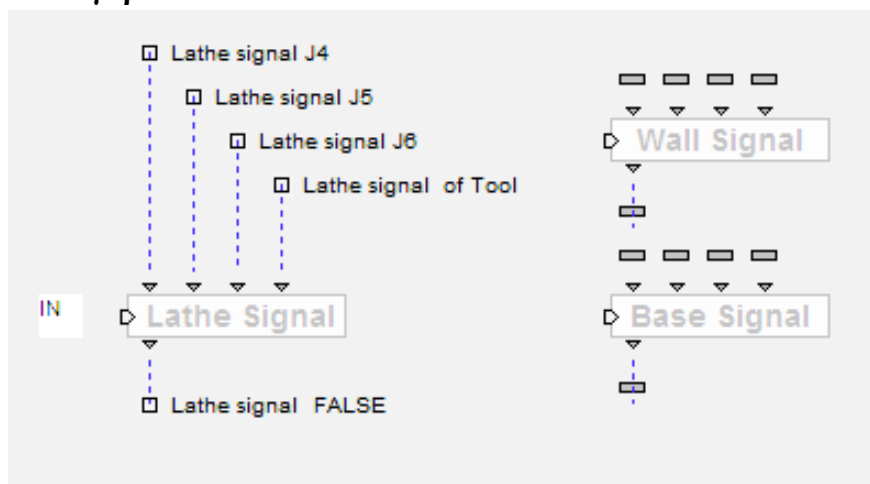
Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Σήμα ενεργοποίησης .
<b>Joint {n}</b>	Τρισδιάστατη οντότητα στόχος όπου μας ενδιαφέρει αν θα συγκρουστεί.
<b>Collision Texture</b>	Υφή όπου λαμβάνουν οι οντότητες κατά τη σύγκρουση.
<b>Lathe Material</b>	Υλικό τόρνου.
<b>Lathe Texture</b>	Υφή τόρνου.
<b>Wall Material</b>	Υλικό τοίχου.
<b>Wall Texture</b>	Υφή τοίχου.
<b>Base Material</b>	Υλικό βάσης.
<b>Base Texture</b>	Υφή βάσης.
<b>Lathe Signal</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της οντότητας στόχου με τον τόρνο.
<b>Wall Signal</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της οντότητας στόχου με τον τοίχο.
<b>Base Signal</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της οντότητας στόχου με τη βάση.

Πίνακας 5.10: Behavioral Graph 'Collision Detection'

Οι βασικές μεταβλητές του συγκεκριμένου ΔΓΣ ουσιαστικά, είναι καταρχήν η οντότητα η οποία ενδέχεται να υποβληθεί σε κάποια σύγκρουση (στην συγκεκριμένη περίπτωση οι αρθρώσεις τέσσερα, πέντε και έξι, καθώς και το εργαλείο του βραχίονα) , καθώς και οι οντότητες όπου θα συμμετέχουν στη σύγκρουση (τόρνος, τοίχος, βάση βραχίονα).

Το γράφημα αυτό, συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι εξετάζει αν η οντότητα στόχος συγκρούεται με άλλη οντότητα. Αν υπάρξει κάποια σύγκρουση τότε το ΔΓΣ 'αλλάζει' την υφή της οντότητας που συγκρούεται με το βραχίονα, καθώς και δίνει ως έξοδο μια Αληθή λογική μεταβλητή, η οποία αποτελεί είσοδο για το ΔΓΣ που αφορά τα 'Σήματα Συγκρούσεων' και παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα. Τα δύο αυτά γραφήματα είναι απαραίτητο να είναι συνδεδεμένα για να ολοκληρωθεί με επιτυχία το σενάριο.

### 5.2.3.2 Σήματα Συγκρούσεων



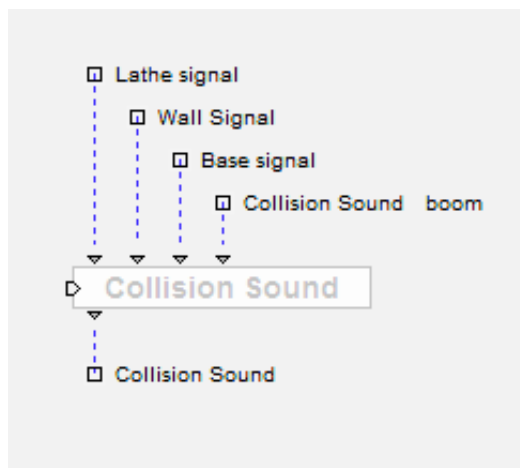
Εικόνα 5.26: Σήματα Συγκρούσεων



Στοιχείο	Ερμηνεία
<b>In</b>	Σήμα ενεργοποίησης .
<b>Lathe Signal J4</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της τέταρτης άρθρωσης με τον τόρνο.
<b>Lathe Signal J5</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της πέμπτης άρθρωσης με τον τόρνο.
<b>Lathe Signal J6</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση της έκτης άρθρωσης με τον τόρνο.
<b>Lathe Signal of Tool</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει τη σύγκρουση του εργαλείου με τον τόρνο.
<b>Lathe Signal</b>	Λογική μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την ύπαρξη ή όχι, μιας σύγκρουσης ανάμεσα στην οντότητα στόχο και τον τόρνο.

Πίνακας 5.11: Behavioral Graph ‘Collision Signals’

Το γράφημα αυτό παίρνει ως εισόδους τις λογικές μεταβλητές που προέρχονται ως έξοδοι από τα γραφήματα Ανίχνευσης Συγκρούσεων και τις επεξεργάζεται. Ουσιαστικά πρόκειται για να ένα γράφημα λογικών πράξεων το οποίο δίνει ως



Εικόνα 5.27: Collision Sound

αποτέλεσμα μια λογική μεταβλητή η οποία εκφράζει το αν έχει υπάρξει ή όχι, κάποια σύγκρουση μεταξύ του βραχίονα και της εξεταζόμενης οντότητας.

Συμπληρωματικά και για μεγαλύτερη ρεαλιστικότητα δημιουργήθηκε ένα γράφημα το οποίο παίρνει ως εισόδους τις λογικές μεταβλητές των γραφημάτων των σημάτων συγκρούσεων και στην περίπτωση που υπάρχει κάποια σύγκρουση ενεργοποιεί ένα player που παίζει κάποιο ήχο σύγκρουσης.

### 5.3 Σενάρια

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα το Virtools επιτρέπει στο χρήστη τη δημιουργία σεναρίων. Τα σενάρια αποτελούν ουσιαστικά ένα σχηματικό διάγραμμα συμπεριφορών. Το Virtools περιλαμβάνει μια πληθώρα συμπεριφορών, οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν τόσο μεταξύ τους, αλλά και με ΔΓΣ. Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν αποτελούν ένα συνονθύλευμα από αυτές τις συμπεριφορές και τα ΔΓΣ που δημιουργήθηκαν.

### 5.3.1 Ανίχνευση Συγκρούσεων

Το ζήτημα του εντοπισμού συγκρούσεων μεταξύ δύο οντοτήτων είναι κομβικό σε προσομοιώσεις περιβαλλόντων σε υπολογιστή, στη μοντελοποίηση φυσικών μοντέλων, μοριακών μοντέλων και στον καθορισμό της κίνησης ρομποτικών βραχιόνων. Ειδικά στη ρομποτική, ένα βασικό συστατικό του σχεδιασμού κίνησης του ρομπότ και αποφυγής συγκρούσεων είναι ένα γεωμετρικό σύστημα που μπορεί να εντοπίσει πιθανές επαφές και να καθορίσει τα ακριβή σημεία σύγκρουσης μεταξύ του βραχίονα και των εμποδίων στο χώρο εργασίας.

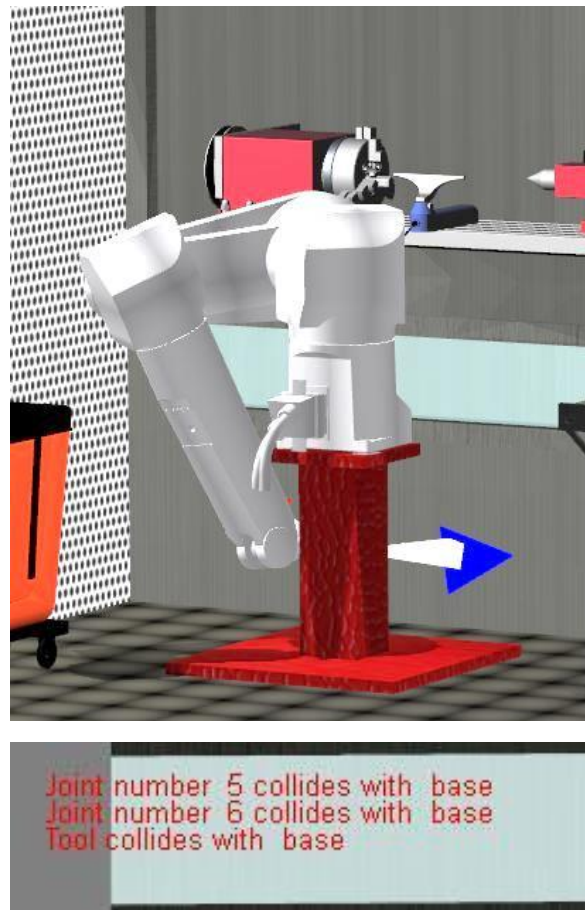
Ο αντικειμενικός σκοπός της ανίχνευσης συγκρούσεων είναι η αναφορά των γεωμετρικών επαφών όταν πιθανολογείτε να συμβούν ή όταν έχουν ήδη συμβεί. Τυπικά χρησιμοποιείτε για να μοντελοποιηθεί η φυσική κινούμενων αντικειμένων ή για να παρέχει πληροφορίες πάνω στη γεωμετρία σε περιπτώσεις προγραμματισμού της κίνησης (path planning) σε ρομπότ. [34].

Στην παρούσα εργασία ο μηχανισμός ανίχνευσης συγκρούσεων χρησιμοποιήθηκε σε συγκεκριμένα αντικείμενα τα οποία βρίσκονταν μέσα στο χώρο εργασίας του ρομπότ. Το ενδιαφέρον προσανατολίστηκε στις τρεις τελευταίες αρθρώσεις (τέσσερα, πέντε και έξι), καθώς και στο εργαλείο του βραχίονα, καθώς οι παραπάνω οντότητες είχαν τις περισσότερες πιθανότητες να 'χτυπήσουν' πάνω σε κάποια άλλη οντότητα. Ο αλγόριθμος εξετάζει αν οι παραπάνω οντότητες έρχονται σε επαφή με τις Οντότητες Σύγκρουσης οι οποίες είναι ο χώρος του τόννου, οι τοίχοι και η βάση του ρομπότ. Επίσης, επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες οντότητες καθώς βρίσκονται αυτούσιες στο φυσικό περιβάλλον. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, σύγκρουση ανιχνεύεται στις περιπτώσεις όπου έρχονται σε επαφή επιφάνειες και όχι για παράδειγμα ιδεατοί περιβάλλοντες όγκοι στις οντότητες.

Για να επιτευχθεί η παραπάνω διαδικασία συμπεριφορών έγινε χρήση των ΔΓΣ που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Όσον αφορά τις Οντότητες Σύγκρουσης έπρεπε να γίνει ένας καθορισμός ως προς τα χαρακτηριστικά τους. Προσδέθηκε λοιπόν σε αυτές το χαρακτηριστικό των 'Fixed Obstacles' προκειμένου να αποτελούν εμπόδια μέσα στο ΕΠΕ. Επιπροσθέτως πήραν και τις αντίστοιχες συμπεριφορές μέσα στο ίδιο το σενάριο.



Εικόνα 5.28: Ανίχνευση Σύγκρουσης Εργαλείου με τοίχο



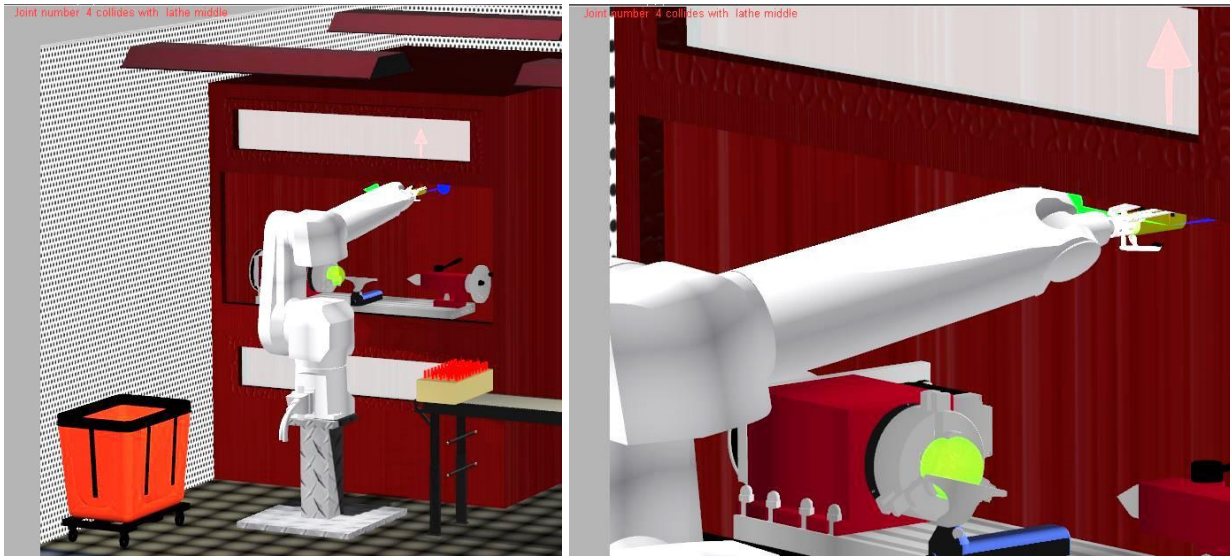
Εικόνα 5.29: Ανίχνευση Σύγκρουσης με βάση βραχίονα και Προειδοποιητικά Μηνύματα

Οι συγκρούσεις αποτελούν ένα κομβικό στοιχείο μέσα σε μια προσομοίωση, της οποίας ένας από τους σκοπούς της είναι η πρόληψη μιας διεργασίας πριν την υλοποίησή της στο φυσικό περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό προκειμένου να γίνει αντιληπτή η ύπαρξη σύγκρουσης από το χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον αποφασίστηκε να υπάρχει εμφάνιση προειδοποιητικών μηνυμάτων, ηχητικών μηνυμάτων και τέλος να αλλάζει το υλικό και η υφή των Οντοτήτων οι οποίες υφίστανται Σύγκρουση, βλ. εικόνες 5.28 - 5.30.

Όταν υπάρχει σύγκρουση ενεργοποιείται η εμφάνιση προειδοποιητικών μηνυμάτων με κόκκινη γραμματοσειρά στην πάνω αριστερή γωνία του παραθύρου τρισδιάστατης διάταξης. Τα μηνύματα αυτά αναφέρουν κάθε φορά το μέλος του βραχίονα και την οντότητα με την οποία συγκρούεται. Το συγκεκριμένο μήνυμα στοχεύει στην πιο ολοκληρωμένη και ξεκάθαρη παρουσίαση της κατάστασης που συμβαίνει εκείνη τη στιγμή μέσα στο ΕΠΕ.

Αντίστοιχα με τα προειδοποιητικά μηνύματα, κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης ενεργοποιείται ένας player, ο οποίος 'παίζει' ένα ηχητικό κομμάτι σύγκρουσης. Ο player έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να παραμένει ενεργός καθ'όλη τη διάρκεια της σύγκρουσης και σταματά όταν πλέον δεν υπάρχει μία.

Επίσης, λόγω του ΔΓΣ που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα αλλάζουν οι ιδιότητες των Οντοτήτων Σύγκρουσης. Για την ακρίβεια, αλλάζει κάθε φορά η υφή των Οντοτήτων Σύγκρουσης, η οποία παίρνει ένα κόκκινο χρώμα. Για την ακρίβεια έχει προγραμματιστεί έτσι ώστε το υλικό των Οντοτήτων Σύγκρουσης να λαμβάνει την υφή σύγκρουσης κάθε φορά που ανιχνεύεται μία σύγκρουση. Μετά το πέρας της, δηλαδή όταν δεν υπάρχει πλέον κάποια επαφή, οι Οντότητες Σύγκρουσης επανέρχονται στην αρχική τους υφή.



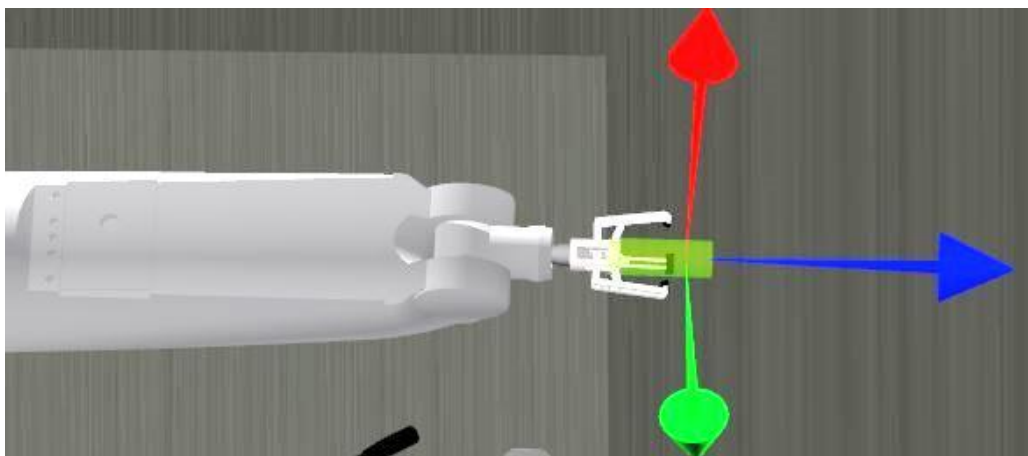
Εικόνα 5.30: Ανίχνευση Σύγκρουσης Επαφής με χώρο του τόνου

### 5.3.2 Πρόσδεση και Απόθεση Τεμαχίων

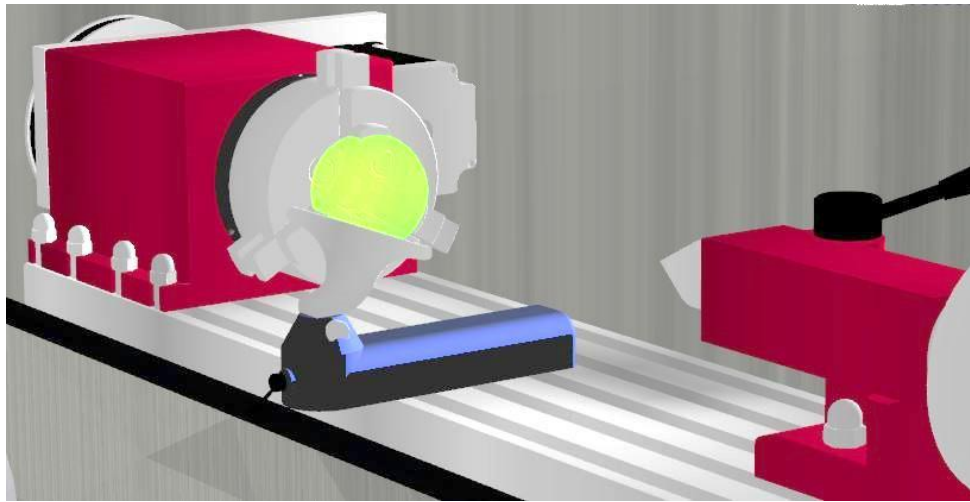
Για τις ανάγκες της εφαρμογής που υλοποιήθηκε για το Εργαστήριο του Τομέα αναπτύχθηκε ένα σενάριο κατά το οποίο ο ρομποτικός βραχίονας μπορεί να πιάνει τεμάχια με την αρπάγη που έχει προσαρτημένη στο άκρο του και στη συνέχεια να τα εναποθέτει στο τσόκ του τόνου. Η κίνηση που ακολουθεί, από την παραλαβή μέχρι την τοποθέτηση είναι χειροκίνητη. Ο χρήστης δύναται να ακολουθήσει οποιαδήποτε τροχιά επιθυμεί.

Για μεγαλύτερη ρεαλιστικότητα και εξυπηρέτηση του χρήστη τοποθετήθηκαν στο χώρο της αρπάγης και του τσόκ του τόνου κίτρινοι διαφανείς περιβάλλοντες όγκοι. Οι συγκεκριμένοι όγκοι βοηθούν αρχικά, στην καλύτερη οπτικοποίηση του χώρου τοποθέτησης των τεμαχίων. Κάνουν αισθητό το που πρέπει να χωροθετηθούν τα τεμάχια τόσο για να τα πιάσει η αρπάγη, όσο και για να τα αφήσει.

Ο όγκος που βρίσκεται στο χώρο της αρπάγης, χρησιμεύει και ως οντότητα υπό εξέταση ως προς σύγκρουση. Η υλοποίηση της πρόσδεσης των τεμαχίων γίνεται μέσω ανίχνευσης κάποιας επαφής (σύγκρουσης) ανάμεσα σε αυτό τον όγκο της αρπάγης και των τεμαχίων. Έτσι, καθίσταται αναγκαίο ότι κάποιο τεμάχιο θα προσδεθεί μόνο όταν το πιάσει η αρπάγη.



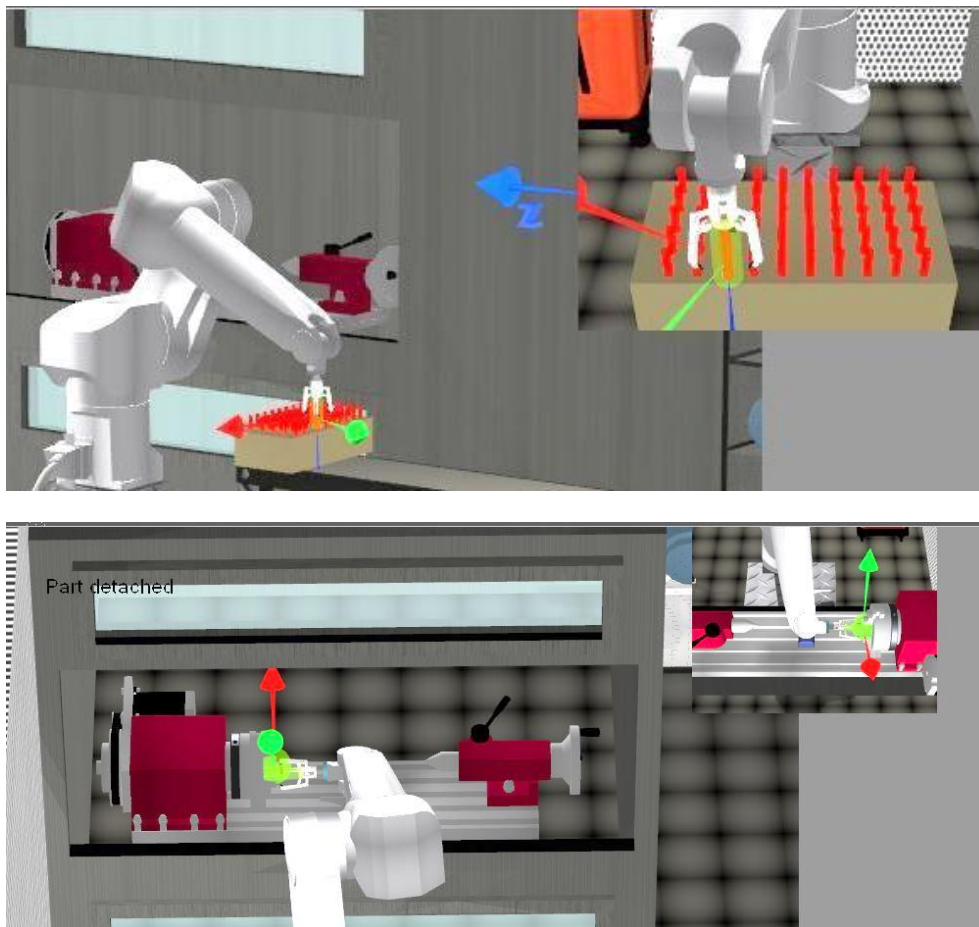
Εικόνα 5.31: Περιβάλλον Όγκος Αρπάγης Ρομπότ



Εικόνα 5.32: Περιβάλλοντας Όγκος Τσόκ Τόρνου

Ο όγκος του τσόκ λειτουργεί κυρίως για την καλύτερη εποπτεία του χώρου εναπόθεσης των τεμαχίων. Δευτερευόντως, χρησιμοποιείται ως οντότητα όπου το ενδιαφέρον της προγραμματιστικά προσανατολίζεται στη θέση της στο χώρο. Αυτό συμβαίνει, διότι η εναπόθεση ολοκληρώνεται μόνο όταν ο όγκος της αρπάγης προσεγγίσει σε συγκεκριμένη απόσταση τον όγκο του τσόκ.

Για καλύτερη εποπτεία των λειτουργιών πρόσδεσης και εναπόθεσης εμφανίζονται μηνύματα ολοκλήρωσης των εργασιών αντίστοιχα. Τα μηνύματα αυτά βρίσκονται στο πάνω αριστερά μέρος της οθόνης και είναι με μαύρη γραμματοσειρά.



Εικόνα 5.33: Πρόσδεση και Απόθεση Τεμαχίων με Μηνύματα Ολοκλήρωσης Ενεργειών

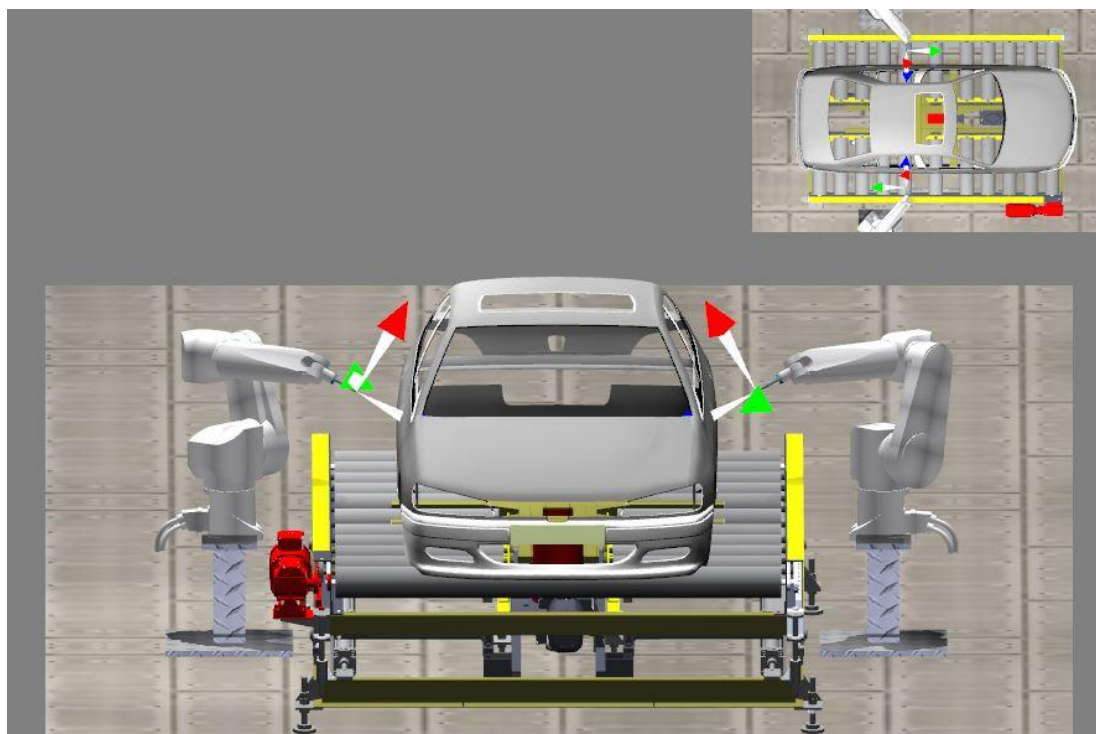
Τέλος, όπως είναι εμφανές από την Εικόνα 5.33, στα πλαίσια της εφαρμογής αναπτύχθηκε μία Τρίτη βοηθητική κάμερα. Η συγκεκριμένη κάμερα έχει σκοπό την καλύτερη παρακολούθηση του εργαλείου του βραχίονα. Είναι τοποθετημένη λίγο πάνω από το χώρο των τεμαχίων και ενεργοποιείται όταν η αρπάγη εισχωρήσει στο οπτικό της πεδίο, το οποίο αποτελείται από την παλέτα με τα τεμάχια.

### 5.3.3 Βαφή

Μία από τις εφαρμογές των βιομηχανικών ρομποτικών βραχιόνων είναι η βαφή. Βαφή απαιτούν βιομηχανίες όπως πλαστικών και μεταλλικών κομματιών για κινητήρες μηχανών, κατασκευής ποδηλάτων, ξυλείας, αγροτικού εξοπλισμού, αεροδιαστημικής κ.α. [35]. Η ομαλή, επαναλαμβανόμενη και υψηλή ακρίβεια της κίνησης των ρομπότ επιτρέπει την ομοιόμορφη κάλυψη όλων των βαμμένων επιφανειών του προϊόντος σε υψηλό ποσοστό ταχύτητας. Οι κίνδυνοι για την υγεία των εργαζομένων μειώνονται, λόγω της αντικατάστασής τους με βραχίονες. Ο κατασκευαστής μπορεί να πετύχει υψηλότερη ποιότητα, λιγότερα ‘σκάρτα’ κομμάτια, καθώς και δυνητικά μεγαλύτερη παραγωγή [36].

Ένα ακόμη σενάριο που αναπτύχθηκε, είναι αυτό της βαφής. Δημιουργήθηκε ένα περιβάλλον με δύο ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίοι βάφουν το πλαίσιο ενός αυτοκινήτου.

Ο χρήστης δύναται να ελέγχει την κίνηση των βραχιόνων είτε χειροκίνητα μέσω του πληκτρολογίου, είτε αποθηκεύοντας την επιθυμητή τροχιά σε κάποιο πίνακα (array) μέσα στο Virtools. Το πλεονέκτημα αυτής της εφαρμογής είναι ότι κατά τη χειροκίνητη λειτουργία οι δύο βραχίονες είναι προγραμματισμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να ακολουθούν την ίδια κίνηση. Αν θεωρήσουμε ένα νοητό επίπεδο το οποίο τέμνει κάθετα το αυτοκίνητο κατά μήκος, τότε μπορούμε να καταλάβουμε ότι η κίνηση των βραχιόνων κατοπτρίζεται με αναφορά αυτό το επίπεδο.



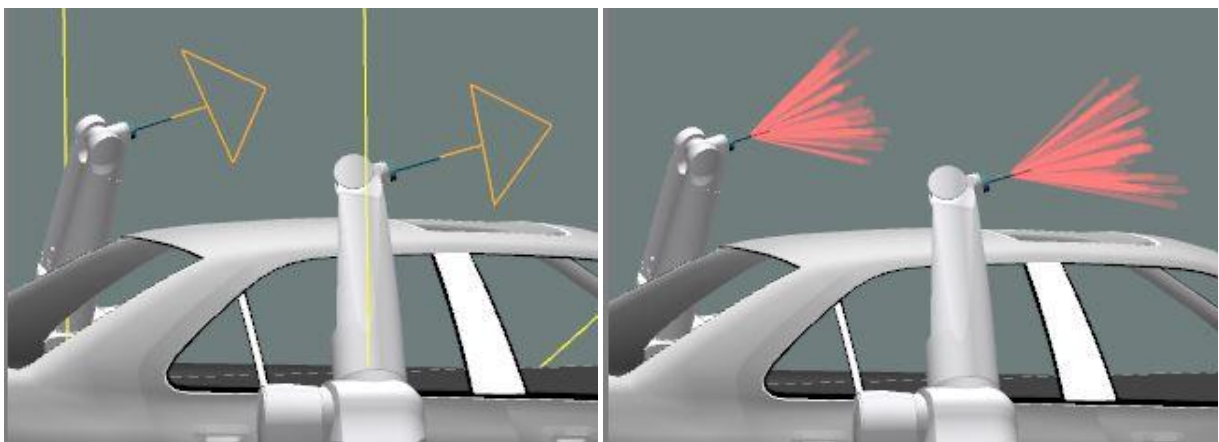
Εικόνα 5.34: Κατοπτρική κίνηση

Όπως έχει αναφερθεί το Virtools περιέχει αρκετά έτοιμα στοιχεία δόμησης. Η κύρια ομάδα συμπεριφορών που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση αυτού του σεναρίου, είναι τα Σωματίδια (Particles).

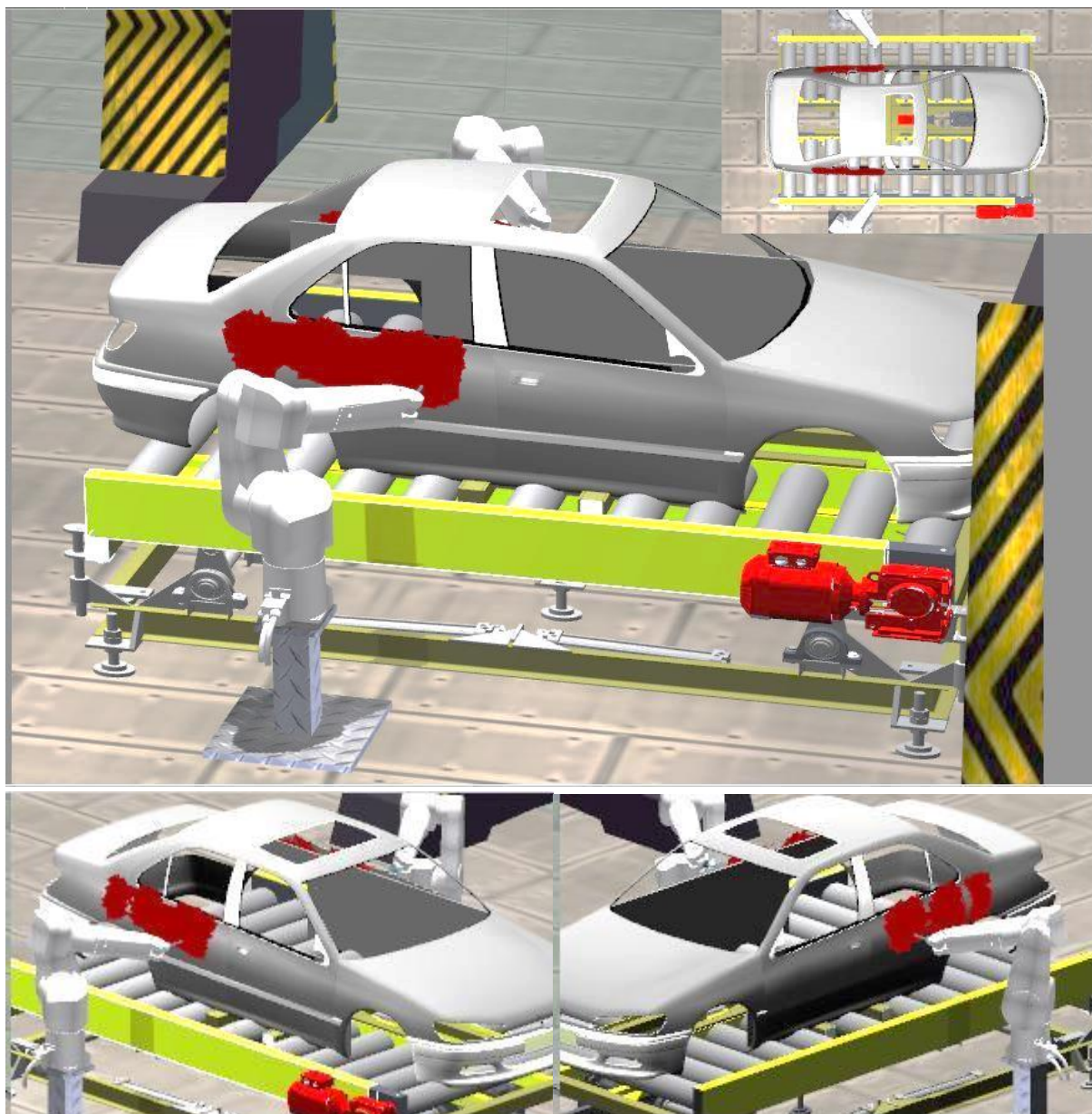
Τα σωματίδια του Virtools δίνουν τη δυνατότητα στο συγγραφέα να δημιουργήσει πολύπλοκα οπτικά εφέ, όπως σπινθηρισμοί, καπνοί, χιόνι και σύννεφα σκόνης. Διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Εκπομπούς (Emitters), οι οποίοι είναι οι πηγές των σωματιδίων.
- Σωματίδια (Particles), των οποίων το σύστημα ουσιαστικά ελέγχει τον τρόπο που συμπεριφέρονται, όπως για παράδειγμα το χρώμα, το βάρος, την ταχύτητα και τη διάρκεια ζωής τους.
- Εκτροπείς (Deflectors). Οι Εκτροπείς είναι τύποι εμποδίων όπου τροποποιούν/μεταβάλλουν την πορεία των σωματιδίων.
- Αλληλεπιδραστικά (Interactors) και σκοπό έχουν να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά, την πορεία και την εμφάνιση των σωματιδίων. Για παράδειγμα, στη συγκεκριμένη κατηγορία ανήκει ο άνεμος, η βαρύτητα, καθώς και το μαγνητικό πεδίο [30].

Προκειμένου να οπτικοποιηθεί ο ψεκασμός τοποθετήθηκε ένα τρισδιάστατο πλαίσιο στην ακμή του εργαλείου, στο οποίο αποδόθηκε το χαρακτηριστικό του εκπομπού. Σε συνδυασμό με το αντίστοιχο στοιχείο δόμησης των σωματιδίων είναι εφικτός ο έλεγχος των σωματιδίων όσον αφορά στοιχεία όπως το μέγεθός τους, το χρώμα, καθώς και η ένταση και η τροχιά με την οποία θα διανέμονται. Αντίστοιχα για να είναι εμφανές το spray στο σκελετό του αυτοκινήτου, αποδόθηκε σε αυτόν το χαρακτηριστικό του εκτροπέα σε συνδυασμό με το στοιχείο δόμησης του μαρκαρίσματος. Όπως αναφέρθηκε το χαρακτηριστικό του εκτροπέα προσδίδει στην οντότητα στην οποία αποδίδεται την έννοια του εμποδίου. Έτσι, σε συνδυασμό με το στοιχείο του μαρκαρίσματος, αυτό που συμβαίνει είναι ότι πρακτικά τα σωματίδια πλέον μπορούν και προσκρούουν πάνω στο σκελετό και όταν συγκρουστούν μαρκάρουν την επιφάνεια του σκελετού. Στην Εικόνα 5.35 είναι εμφανή η μορφή του τρισδιάστατου πλαισίου τόσο κατά την παύση όσο και κατά την εκτέλεση της εφαρμογής. Γίνεται αντιληπτό ότι κατά την παύση της εφαρμογής το χαρακτηριστικό του εκτροπέα, το οποίο απεικονίζεται ως βέλος, δείχνει την κατεύθυνση της κατανομής των σωματιδίων.



Εικόνα 5.35: 3D Frame Εκτροπέα κατά την παύση και την εκτέλεση της εφαρμογής αντίστοιχα



Εικόνα 5.36: Πάνω: κύρια και δευτερεύουσα κάμερα, Κάτω: δευτερεύουσες κάμερες

Τέλος, για την καλύτερη εποπτεία τόσο της κίνησης των βραχιόνων, όσο και της κατανομής του spray στο σκελετό δημιουργήθηκαν τρεις βοηθητικές κάμερες, οι οποίες είναι χωροθετημένες στην πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου.

#### 5.4 Εφαρμογή εκπαίδευσης στον Προγραμματισμό Ρομπότ

Ο σκοπός και η λογική της εφαρμογής περιγράφεται αναλυτικά στην Παράγραφο 5.3.2 και αφορά ένα σενάριο Πρόσδεσης και Απόθεσης Τεμαχίων.

Στη παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν επιπρόσθετα το GUI της, καθώς και αποτελέσματα από τη χρήση της με βάση σχετικό ερωτηματολόγιο.

Η εφαρμογή, συνοπτικά, αποτελείται από:

- Σενάριο Πρόσδεσης-Απόθεσης Τεμαχίων.



- Κίτρινους περιβάλλοντες Όγκους στο χώρο της αρπάγης και του τσοκ του τόνου, ως ένδειξη του χώρου πρόσδεσης και απόθεσης των τεμαχίων αντίστοιχα. Ο χρήστης ενημερώνεται μόλις ολοκληρωθεί μια από αυτές τις ενέργειες.
- Ανίχνευση συγκρούσεων με τους τοίχους και το χώρο του τόνου. Η ένδειξη των οποίων πραγματοποιείται με κόκκινο χρωματισμό, καθώς και προειδοποιητικά μηνύματα.
- Μία κύρια κάμερα. Η κίνησή της ρυθμίζεται από τη θέση του ποντικιού, δηλαδή κινείται πάνω/κάτω, αριστερά /δεξιά αναλογικά με το ποντίκι. Επίσης είναι δεσμευμένα κάποια κουμπιά από το πληκτρολόγιο για την περιστροφή της στο χώρο, καθώς και για την επαναφορά των αρχικών συνθηκών.
- Τρεις βοηθητικές κάμερες, οι οποίες είναι αυτόνομες και εναλλάσσονται ανάλογα με τη θέση της αρπάγης στο χώρο, έτσι ώστε ο χρήστης να έχει καλύτερη εποπτεία.

### 5.4.1 Virtools Player

Για να εκτελεσθεί η εφαρμογή, χωρίς να απαιτείται το πρόγραμμα Virtools, υπάρχει ο Player του Virtools. Παρακάτω θα γίνει η περιγραφή της εγκατάστασής του, καθώς και της εξαγωγής αρχείων που να μπορούν να τρέξουν σε αυτόν.

#### Εγκατάσταση

Η εγκατάστασή του γίνεται στη σελίδα [ <http://www.3dvia.com/products/3dvia-player/install/> ] [37]. Οι προτεινόμενες ρυθμίσεις είναι οι εξής για λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows:

Microsoft Windows 32 or 64 bits (2000, XP, Vista or Seven SP1) with 32 bits browser

Pentium II (or equivalent)

256 MB of RAM

DirectX 9.0c (SDK redistributable of August 2007 will be installed if needed).

Internet Explorer 32-bit (8.0, 9.0)

Η εφαρμογή έτρεχε άρτια σε internet Explorer 32 bit. Αρκετοί φοιτητές βέβαια ανέφεραν ότι για να τρέξει η εφαρμογή θα πρέπει να είναι μόνιμα ανοιχτά τα settings του IE.

#### Αρχία vmo

Τα αρχία επέκτασης vmo είναι αυτά που τρέχουν στον Player. Όταν ολοκληρωθεί η δημιουργία μιας σύνθεσης (η οποία αποθηκεύεται ως cmo), ο συγγραφέας της μπορεί να την αποθηκεύσει ως επέκταση vmo με της εξής διαδικασία. Στο παράθυρο του Virtools πάει: File>Export to Virtools Player και έτσι δημιουργείτε το κατάλληλο αρχείο.

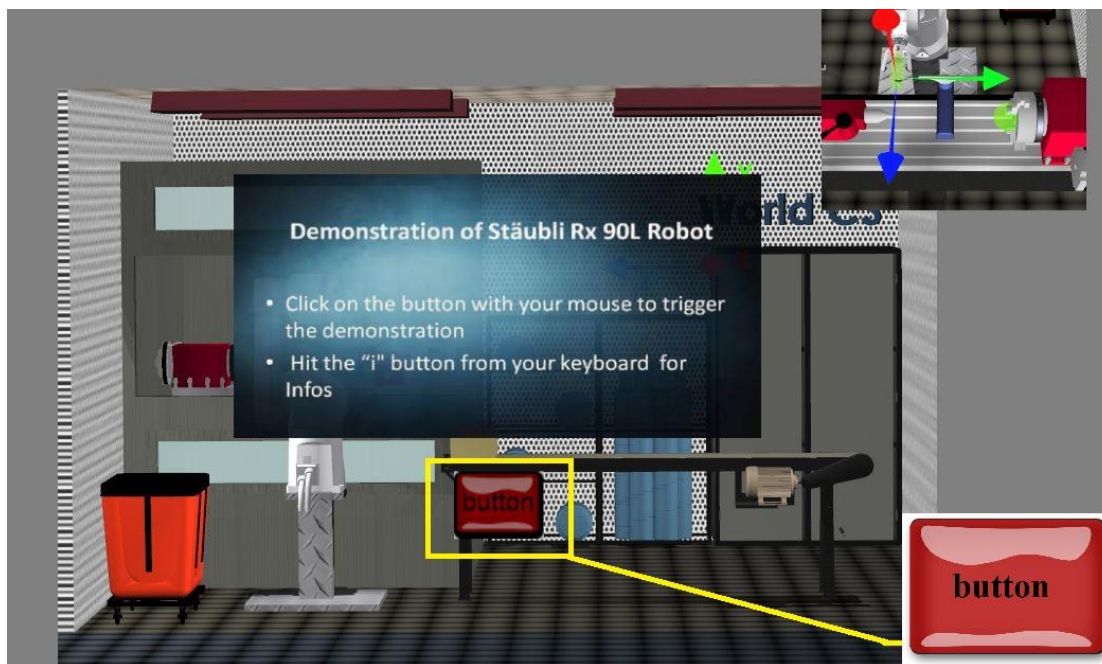
#### Εκτέλεση Αρχείων vmo

- Άνοιγμα Internet Explorer
- Μεταφορά και απόθεση (drag 'n drop) αρχείου vmo στον IE

Ενδεχομένως να υπάρξει κάποιο μήνυμα 'αποδοχής αποκλεισμένου παραθύρου' από τον explorer, τότε ο χρήστης πατάει αποδοχή και ξεκινά η εφαρμογή.

## 5.4.2 GUI Εφαρμογής

Η εφαρμογή εκτυλίσσεται στο χώρο του εργαστηρίου και υποκαθιστά τον χειρισμό με teaching pendant πραγματικού ρομπότ για λήψη θέσης και προσανατολισμού σημείων του τελικού σημείου δράσης στο χώρο. Η ειδοποιός διαφορά της με τις προηγούμενες, είναι ότι αποτελείται από ένα **Push Button**, το οποίο πρέπει να πατηθεί, προκειμένου να ξεκινήσει η εφαρμογή. Το Virtools έχει έτοιμο BB για Push Buttons, το οποίο δεσμεύεται με ένα δισδιάστατο πλαίσιο και στη συγκεκριμένη περίπτωση μόλις πατηθεί ενεργοποιεί τα υπόλοιπα στοιχεία της εφαρμογής.



Εικόνα 5.37: GUI και Push Button Εφαρμογής

### Program information

- Orientate in the application by pressing the "N/M" keyboard keys continuously ("clock/counter" clockwise).
- Scroll the wheel of the mouse "in/out" to "zoom in/zoom out".
- Move the mouse "up/down", "left/right" to change the view of the cam respectively.
- Hit the "B" keyboard key to restore the initial condition of the main camera.



### Forward Kinematics

- Pressing one of the buttons 1-6 will activate the appropriate Joint. Then with "0" or "." the corresponding Link will rotate clock/counter clockwise.
- Hit the "H" keyboard key to show/hide the angles of the joints.

### Inverse Kinematics

- Press the arrow keys to translate the Tool along the World Coordinate System (up/down for Yaxis, left/right for Xaxis, +/- for Zaxis).
- Press a combination of the keys "A,S,D" and "Q,W" to rotate the Tool along the World Coordinate System. The "A" key is for the Xaxis, the "S" key is for the Yaxis and the "D" key is for the Zaxis. The "A,S,D" keys should be pressed continuously.
- Hit the "J" keyboard key to show/hide the angles of the joints.



Εικόνα 5.38: Info Menu Εφαρμογής

Σε ένα ακόμη δισδιάστατο πλαίσιο έχουν δεσμευτεί οι πληροφορίες της εφαρμογής. Εμφανίζονται όταν πατηθεί το κατάλληλο πλήκτρο και περιέχουν συνοπτικές πληροφορίες για το πώς να χειριστεί κάποιος την εφαρμογή. Έχουν εισαχθεί ως εικόνα (texture) στο Virtools και έχουν συνδεθεί με το συγκεκριμένο πλαίσιο μέσω του υλικού (material) του.

### 5.4.3 Αποτελέσματα χρήσης

Τα παρακάτω διαγράμματα προέκυψαν από ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσε δείγμα 37 φοιτητών που χρησιμοποίησαν την εφαρμογή, εκ των οποίων 26 ανήκαν στο Προπτυχιακό επίπεδο των Μηχανολόγων Μηχανικών και 11 στο ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού. Οι περισσότερες ερωτήσεις ήταν επιλογής σε μια κλίμακα από 1-5, όπου σήμαιναν: 1:Διαφωνώ Εντελώς, 2:Σχεδόν Διαφωνώ, 3:Ουδέτερο, 4:Σχεδόν Συμφωνώ και 5:Συμφωνώ Πλήρως. Όσα διαγράμματα κρίθηκαν δευτερεύουσας σημασίας παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

#### 5.4.3.1 Εκπαιδευτική αξία



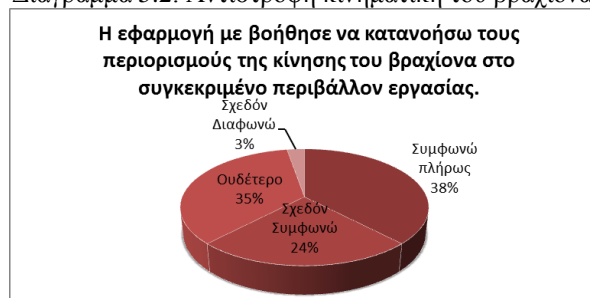
Διάγραμμα 5.1: Ορθή κινηματική του βραχίονα.



Διάγραμμα 5.2: Αντίστροφη κινηματική του βραχίονα.

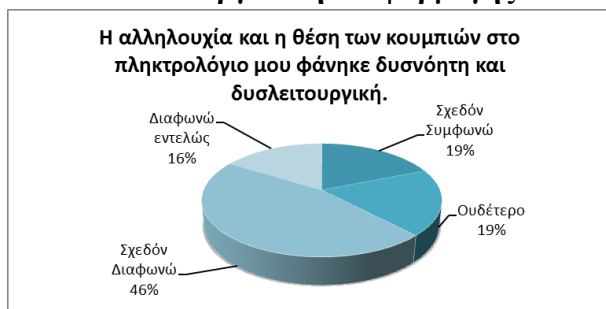


Διάγραμμα 5.3: Χώρος εργασίας του βραχίονα

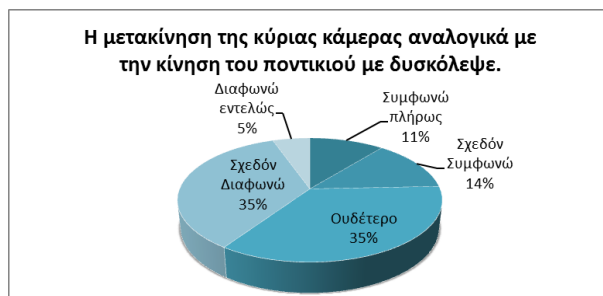


Διάγραμμα 5.4: Περιορισμοί της κίνησης του βραχίονα.

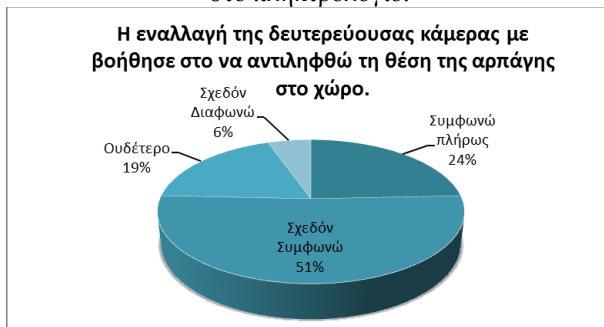
#### 5.4.3.2 Λειτουργικότητα εφαρμογής



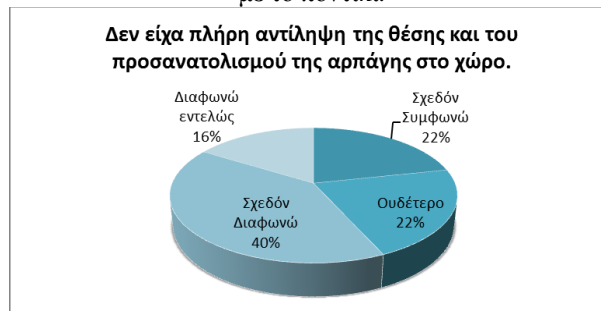
Διάγραμμα 5.5: Αλληλουχία και η θέση των κουμπιών στο πληκτρολόγιο.



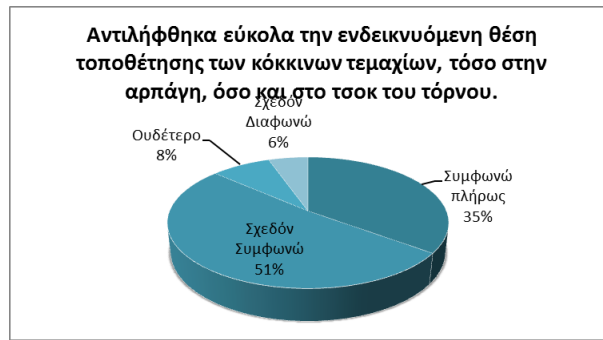
Διάγραμμα 5.6: Μετακίνηση κύριας κάμερας αναλογικά με το ποντίκι.



Διάγραμμα 5.7: Δευτερεύουσας κάμερας για αντίληψη θέσης αρπάγης.

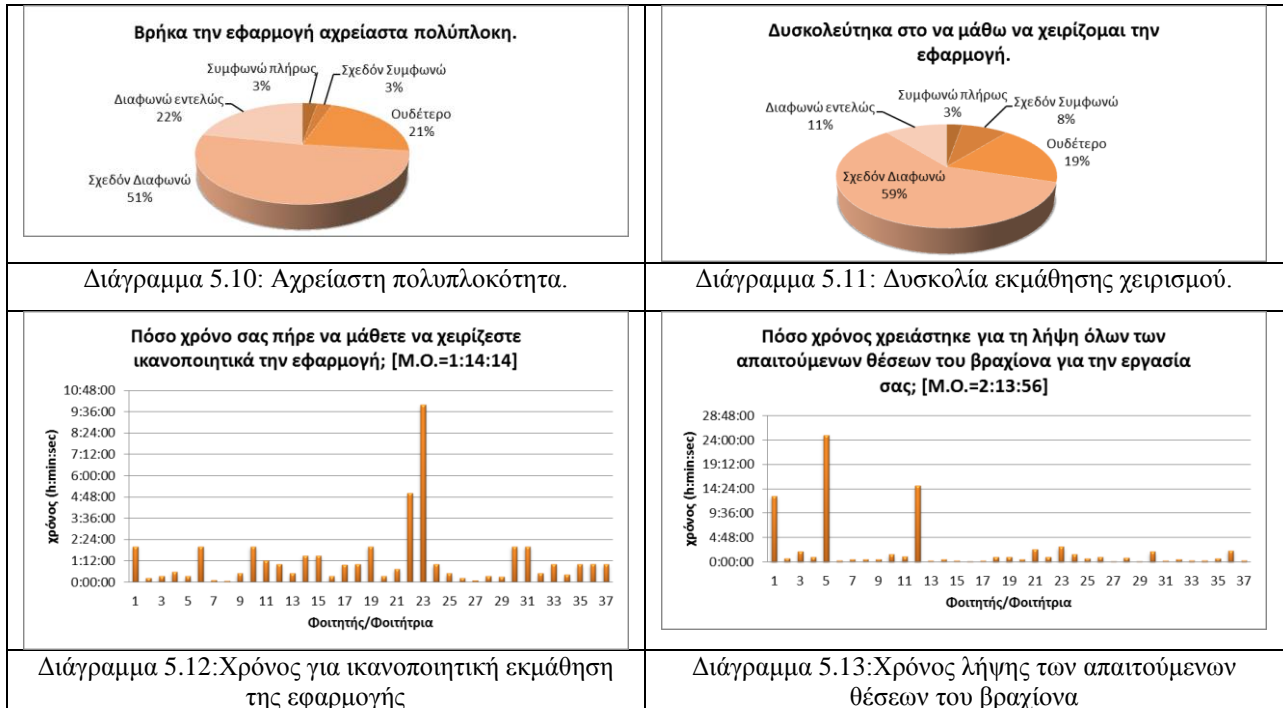


Διάγραμμα 5.8: Αντίληψη θέσης και προσανατολισμού της αρπάγης

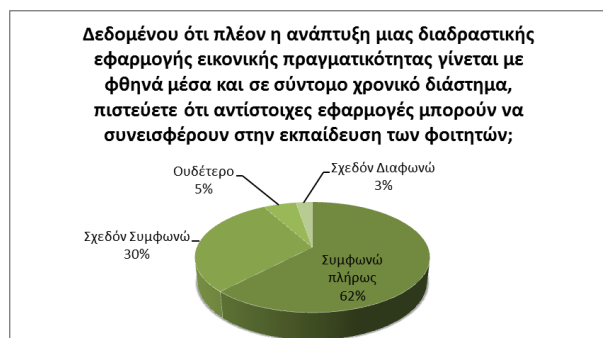
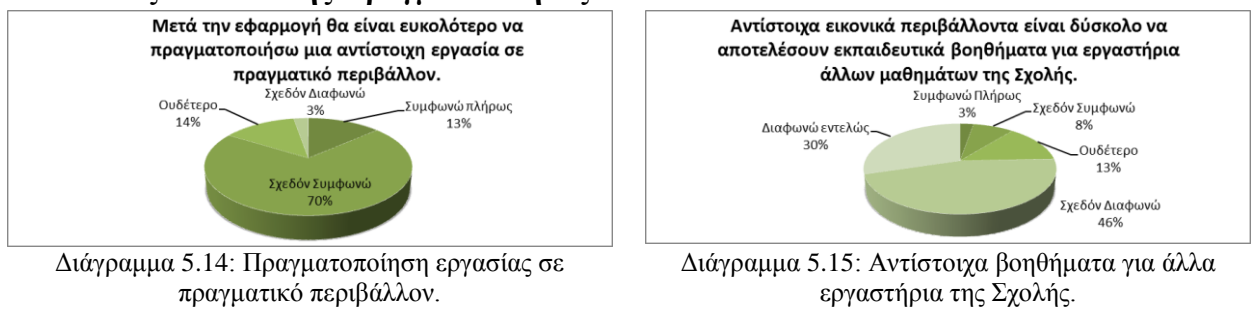


Διάγραμμα 5.9: Αντίληψη ιδανικής θέσης τεμαχίων στην αρπάγη και στο τσοκ.

### 5.4.3.3 Χειρισμός Εφαρμογής



### 5.4.3.4 Αξία Εικονικής Πραγματικότητας



Διάγραμμα 5.16: Αξία αντίστοιχων εφαρμογών στην εκπαίδευση

#### 5.4.3.5 Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα από την επεξεργασία των ερωτηματολογίων είναι τα εξής:

- Πάνω από τα 3/4 των συμμετασχόντων βοηθήθηκε από την εφαρμογή στην κατανόηση της ορθής και της ανάστροφης κινηματικής του ρομποτικού βραχίονα. Αντίστοιχα μεγάλα ποσοστά δήλωσαν ότι βοηθήθηκαν στην κατανόηση του χώρου εργασίας και των περιορισμών του βραχίονα εντός αυτού.
- Ως προς την λειτουργικότητα της εφαρμογής, πάνω από τα 2/3-4/5 των συμμετασχόντων είχαν θετική άποψη, με εξαίρεση την κίνηση της κύριας κάμερας σε σύνδεση με το ποντίκι, όπου η ικανοποίηση ήταν κάτω του 50%.
- Πάνω από τα 3/4 των συμμετασχόντων έχουν θετική άποψη για τη συνεισφορά τέτοιου είδους εφαρμογών στην εκπαίδευση γενικά και ειδικότερα στον προγραμματισμό ρομπότ. Παρόλα αυτά κατά μέσο όρο χρειάστηκαν πάνω από 1 hr για να μάθουν να χειρίζονται την συγκεκριμένη εφαρμογή ικανοποιητικά και το διπλάσιο περίπου για να πάρουν δεδομένα για όλα τα σημεία της εργασίας τους.

Οι κυριότερες προτάσεις βελτίωσης είναι οι εξής:

- Μετατροπή των κινήσεων σε κώδικα V+ και προσομοίωση.
- Δυνατότητα αποθήκευσης σημείων και προσομοίωσή τους.
- Βελτίωση κύριας κάμερας για καλύτερη αίσθηση βάθους και δυνατότητα αυξομείωσης παραθύρου δευτερεύουσας κάμερας.
- Καλύτερη συμβατότητα εφαρμογής με πιο σύγχρονους browsers.
- Δυνατότητα τοποθέτησης της αρπάγης κατακόρυφα και οριζόντια συγκριτικά με το έδαφος, π.χ. μέσω δεσμευμένων πλήκτρων.
- Πρόσθετα Push Buttons για παύση, restart, undo και screenshot εφαρμογής.
- Καλύτερη ενημέρωση για ολοκλήρωση ενεργειών (π.χ. περισσότεροι χρωματισμοί, καλύτερη οπτικοποίηση μηνυμάτων και ανάκλησή τους).
- Πρόσδοση τιμών γωνιών χειροκίνητα από το χρήστη.
- Αυξομείωση ταχύτητας βραχίονα.

# 6

## Μεταφορά τροχιάς από το Εικονικό στο Πραγματικό Περιβάλλον

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μεταφορά της τροχιάς από το εικονικό στο πραγματικό περιβάλλον, συνοπτικά, είναι η εξής:

- Μοντελοποίηση Ρομποτικού Βραχίονα στο Εικονικό Περιβάλλον
- Σύνδεση FOB με Εικονικό Περιβάλλον
- Κίνηση Εικονικού ρομπότ με τον tracker και αποθήκευση και εξαγωγή επιθυμητών σημείων
- Ανάπτυξη κώδικα σε Matlab για την επεξεργασία σημείων, έτσι ώστε να μπορούν να διαβαστούν από το τερματικό του βραχίονα.
- Ανάπτυξη κώδικα στη V+ για να διαβάζονται αυτόματα τα εξαγόμενα, επεξεργασμένα πλέον σημεία (τα οποία εισάγονται ως γωνίες στον πραγματικό βραχίονα).
- 3D Printing βάσης εργαλείου και βάσης αισθητήρα
- Τεστ που αφορά το εικονικό μοντέλο
- Τεστ που αφορά το πραγματικό μοντέλο
- Σύγκριση αποτελεσμάτων

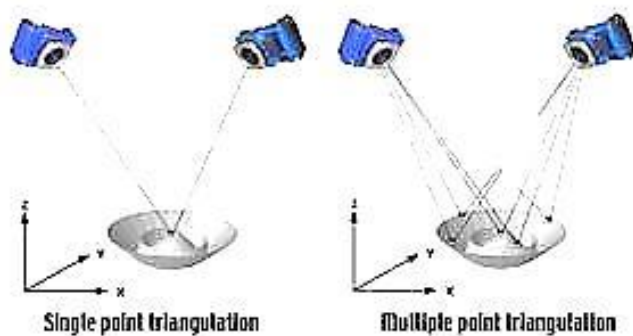
Παρακάτω παρουσιάζεται η τελική διαδικασία και συλλογιστική που ακολουθήθηκε και αφορά το τμήμα που δεν έχει παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Βασικό ρόλο στον έλεγχο της ορθότητας των συντεταγμένων της τροχιάς έπαιξε η τεχνική της φωτογραμμετρίας η οποία παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω.

### 6.1 Φωτογραμμετρία

#### 6.1.1 Αρχή λειτουργίας

Η Φωτογραμμετρία (Photogrammetry) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στον τομέα της Μετρολογίας. Σκοπός της είναι να εκτελεί μετρήσεις συντεταγμένων σε αντικείμενα τριών διαστάσεων, από φωτογραφίες που λαμβάνονται από διαφορετικές όψεις, δείχνοντας την προοπτική αυτών των αντικειμένων, έτσι ώστε να λαμβάνονται τρισδιάστατες πληροφορίες από δισδιάστατες εικόνες. Ο κύριος σκοπός είναι να καθοριστεί ο σχετικός προσανατολισμός των

εικόνων από τα αντίστοιχα σημεία στις δύο εικόνες. Προκειμένου να επιτευχθεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η βασική αρχή του τριγωνισμού (triangulation):



Εικόνα 6.1: Τριγωνισμός

Θεωρώντας ένα σημείο στο αντικείμενο, φωτογραφημένο από δύο διαφορετικές θέσεις, η γραμμή που ενώνει το σημείο με την κάμερα ονομάζεται «γραμμή θέασης» (line of sight). Η τομή των «γραμμών θέασης» (ή τριγωνισμού – triangulation), επιτρέπει το προσδιορισμό της θέσης στο (τρισεδιάστατο) χώρο του φωτογραφημένου σημείου. (Εικόνα 6.1: Τριγωνισμός). Στην πραγματικότητα παίρνουμε φωτογραφίες από περισσότερα από δύο διαφορετικές θέσεις για να αποκτήσουμε έτσι περισσότερες πληροφορίες και για να είμαστε περισσότερο ακριβείς. Αυτή η αρχή χρησιμοποιείται επίσης από τα μάτια μας, όταν για παράδειγμα εργάζονται από κοινού για τη μέτρηση μιας απόστασης (αντίληψη βάθους).

## 6.1.2 Η Τεχνολογία

### Ράβδος κλίμακας

Για να διαβαθμιστεί μία μέτρηση φωτογραμμετρίας, πρέπει να είναι τουλάχιστον γνωστή μία απόσταση. Οι Ράβδοι Κλίμακας (Scale Bars) δίνουν την ακριβή κλίμακα αναφοράς του αντικειμένου. Αν η κλίμακα του συστήματος δεν είναι γνωστή, δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε το πραγματικό μέγεθος του αντικειμένου. (Εικόνα 6.2)

### Κωδικοποιημένοι στόχοι και σημειακοί στόχοι

Οι Κωδικοποιημένοι Στόχοι (Coded targets) είναι ένα ειδικός τύπος στόχου, που τους αναγνωρίζει και τους αποκωδικοποιεί αυτόματα το λογισμικό της Φωτογραμμετρίας (εδώ: ImetricS). Ο κάθε κωδικός αποτελείται από ένα μοναδικό μοτίβο ατελούς κύκλου και από μία κεντρική τελεία.

Οι Κωδικοποιημένοι Στόχοι είναι απαραίτητοι για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας μέτρησης, διότι εντοπίζονται αυτόματα και χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσανατολιστούν οι εικόνες. Το ελάχιστο των τεσσάρων κωδικοποιημένων στόχων, είναι απαραίτητο προκειμένου να μπορεί να προσανατολιστεί μία εικόνα. Για την αυτόματη επεξεργασία εικόνων (auto- Processing), απαιτείται η ύπαρξη τεσσάρων αναγνωρίσιμων κωδικοποιημένων στόχων (που έχουν τρισεδιάστατες συντεταγμένες) σε κάθε εικόνα.



Εικόνα 6.2: Ράβδος Κλίμακας



Εικόνα 6.3: Αριστερά: Κωδικοποιημένος Στόχος, Δεξιά: Σημειακός Στόχος

Οι Σημειακοί Στόχοι θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αυξηθεί η πυκνότητα του δικτύου, που αρχικά καλυπτόταν από κωδικοποιημένους στόχους.

Ο κάθε σημειακός στόχος θα πρέπει να εμφανίζεται σε τουλάχιστον πέντε έως δέκα φωτογραφίες, αλλά -κατά προτίμηση- σε περισσότερες από είκοσι προκειμένου να έχουμε ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα.



Εικόνα 6.4: Camera Nikon D90 and flash SIGMA EM6140DG

### **Κάμερα και φλάς**

Χρησιμοποιήθηκε η κάμερα Nikon D90 και το φλάς SIGMA EM-140 DG. Κατά τη Beaubet Margaux, οι συγκεκριμένες συσκευές ήταν υψηλής ακριβείας. Επίσης αναφέρει ότι, ύστερα από κάποια πειράματα, ο βέλτιστος συνδυασμός για να επιτευχθεί φωτεινότητα, είναι: aperture 16, ταχύτητα κλείστρου 200, ευαισθησία κατά ISO 200 και ασπρόμαυρη εκτύπωση. Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις μπορούν να ρυθμιστούν, ανάλογα με τη φωτεινότητα του χώρου όπου λαμβάνει χώρα η φωτογραμμετρία.

Οι φωτογραφίες πρέπει να λαμβάνονται από διαφορετικές γωνίες και με διαφορετικό ύψος. Οι φωτογραφίες θα πρέπει να καλύπτουν ολόκληρο το υπό μέτρηση αντικείμενο, εξασφαλίζοντας αρκετές επικαλύψεις και διαφορετικές προοπτικές της ίδιας περιοχής.

### **Το Λογισμικό ImetricS**

Το πρόγραμμα ImetricS κάνει τον υπολογισμό των συντεταγμένων των στόχων, καθώς και επιτρέπει και τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ σημείων. Από τις λειτουργίες του ImetricS, οι πιο σημαντικές είναι οι εξής:

- Auto-processing: επιτρέπει την εύρεση και τον εντοπισμό κωδικοποιημένων στόχων, όπως επίσης και μπαρών κλίμακας, έτσι ώστε να έχουν ένα πρωταρχικό προσανατολισμό οι εικόνες



- Bundle adjustment: χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες όλων των εικόνων, όλων των μετρημένων σημείων, από όλες τις προσανατολισμένες εικόνες, είτε από εκτομή, είτε από τριγωνοποίηση, με σκοπό να υπολογίσει ταυτόχρονα τις βέλτιστες εκτιμήσεις για: τις τρισδιάστατες συντεταγμένες όλων αυτών των σημείων, τη θέση και τον προσανατολισμό αυτών των εικόνων, καθώς και τις παραμέτρους βαθμονόμησης της κάμερας

## 6.2 Γένεση δεδομένων προγράμματος ρομπότ

Στη Παράγραφο 5.2.2.7 παρουσιάστηκε ένα Δομικό Γράφημα Συμπεριφορών, που αφορούσε το εικονικό περιβάλλον και το οποίο με την ενεργοποίησή του μπορεί και αποθηκεύει τα τρέχοντα επιθυμητά σετ λύσεων των γωνιών των αρθρώσεων σε πίνακες μέσα στο Virtools, αλλά και χρησιμεύει και για την εξαγωγή αυτών των δεδομένων ως αρχεία txt.

Πρακτικά, αφού τρέχει πλέον το εικονικό μοντέλο του βραχίονα και έχει συνδεθεί με το FOB, ξεκινά η κίνηση του βραχίονα είτε με το FOB, είτε με το πληκτρολόγιο. Κατά τη διάρκεια της πραγματοποίησης της επιθυμητής τροχιάς, ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει / εξάγει σε μορφή αρχείου .txt όποιο σημείο επιθυμεί. Τα σημεία αυτά αποθηκεύονται σε μορφή γωνιών σε ακτίνια (rad) που έχουν προκύψει αυτόματα από τη λύση της αντίστροφης κινηματικής του βραχίονα. Η μορφή των αρχείων txt, παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.1.

Στη συνέχεια, γράφτηκε κώδικας σε Matlab ο οποίος επεξεργάζεται το αρχείο txt, κατ' αρχάς για τη μετατροπή των γωνιών σε μοίρες. Το δεύτερο κομμάτι της επεξεργασίας ήταν η καταγραφή αυτών των σετ λύσεων (με ομαδοποίηση για τις 6 αρθρώσεις σε κάθε χρονική στιγμή), σε μορφή αποδεκτή από τη γλώσσα V+ του τερματικού του βραχίονα. Τα σετ πλαισιώθηκαν από τις κατάλληλες εντολές της γλώσσας V+, σε, πλέον, νέο txt. Επεξήγηση κάποιων εντολών της γλώσσας γίνεται στην Ενότητα 2.8.2. Ο Πίνακας 6.2 παρουσιάζει παράδειγμα του νέου txt. Η πρώτη σειρά, αφορά την ονομασία που δόθηκε στις μεταβλητές μέσα στο πρόγραμμα Matlab και δεν επηρεάζει καθόλου τη V+. Στην πραγματικότητα αυτή η σειρά δε διαβάζεται από τον ελεγκτή. Διαβάζονται μόνο οι υπόλοιπες σειρές, και για την ορθή σύνταξη τους πρέπει να ακολουθηθούν τα βήματα της παραγράφου 2.8.2, που αφορούν τις υποενότητες: **Προετοιμασία Παραθύρου** και **Φόρτωση Αρχείου txt**.

Ο κώδικας τόσο σε Matlab, όσο και στη γλώσσα V+ παρατίθενται στο Παράρτημα.

Αρθρώσεις / Σετ Γωνιών	J1	J2	J3	J4	J5	J6
1	-0,0235146	-0,0217607	0,0676314	-0,0336986	-0,0148322	0,0131462
2	...					...

Πίνακας 6.1: Παράδειγμα αρχείου txt από Virtools

Τα σετ των γωνιών, ο Πίνακας 6.2, εισήχθησαν με χρήση μνήμης usb βλ. Ενότητα 2.8.1 και αφού φορτωθεί το πρόγραμμα στη V+ (όπως περιγράφεται στο παράδειγμα της παραγράφου 2.8.1), μπορεί να ξεκινήσει η εκτέλεση του. Αυτός ο κώδικας δημιουργήθηκε για να παίρνει αυτόματα τα σετ γωνιών, έτσι ώστε ο ρομποτικός βραχίονας να περνά αυτόματα από όλα αυτά τα σχετικά σημεία.

### Σειρές txt

```
1 output_1,Var2_1,Var2_2,Var2_3,Var2_4,output_2
2 DO DECOMPOSE J_V[0]=#PPOINT(-77.19,-71.44,222.02,-110.63,-48.69,43.16)
3 DO DECOMPOSE J_V[6]=#PPOINT(...)
4 DO DECOMPOSE J_V[12]=#PPOINT(...)
```

Πίνακας 6.2: Παράδειγμα αρχείου txt από Matlab

Σε αυτό το σημείο, προτείνεται ο χρήστης να δίνει χειροκίνητα (π.χ. μέσω του teach pendant), ένα σημείο κοντινό στο πρώτο σετ αρθρώσεων, πριν προχωρήσει στην εκτέλεση του προγράμματος. Αυτό προτείνεται δεδομένου ότι το ρομπότ εκτελεί δική του παρεμβολή μεταξύ διαδοχικών σημείων (σετ γωνιών) κατά τη διάρκεια της οποίας έτσι είναι πιθανό να υπάρξει σύγκρουση με κάποιο στοιχείο του περιβάλλοντος. Σε άλλη περίπτωση όπου το ρομπότ θα είχε περισσότερο χώρο, θα μπορούσε να ξεκινήσει κατευθείαν η εκτέλεση του προγράμματος.

## 6.3 Κατασκευές

Η συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζει κάποιες κατασκευές που χρειάστηκε να δημιουργηθούν για τη βέλτιση λήψη αποτελεσμάτων και τη διενέργεια των τεστ που πραγματοποιήθηκαν αργότερα.

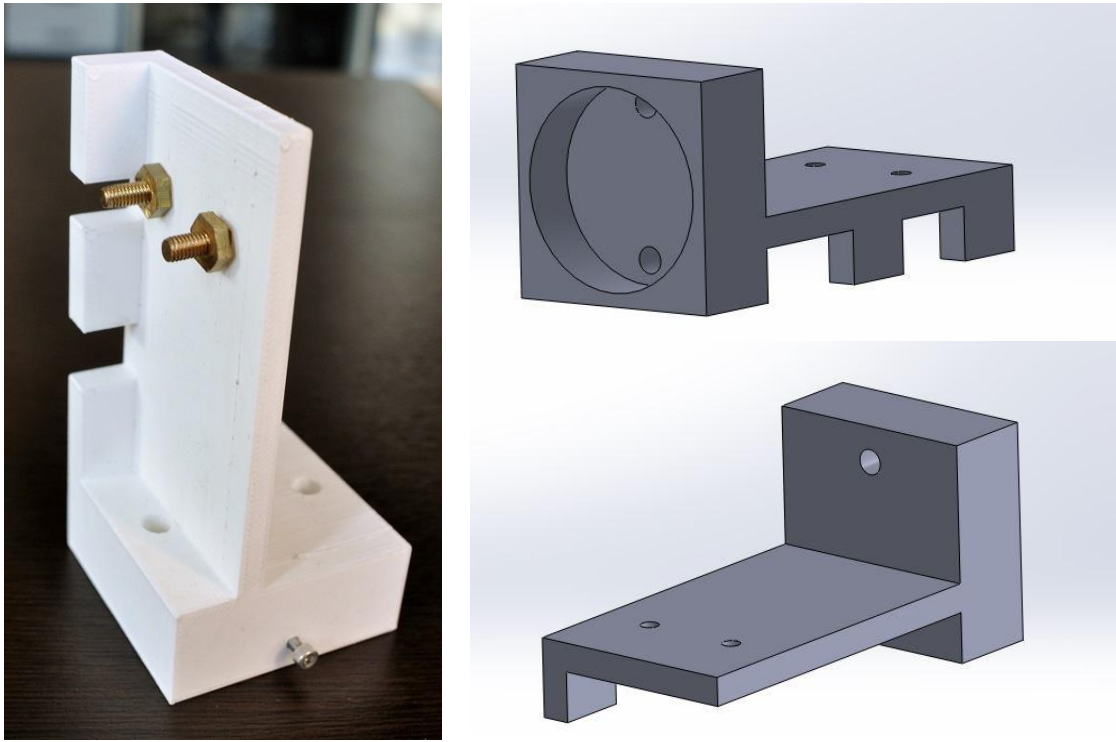
### 6.3.1 Βάση Αισθητήρα

Κατά την πρόμνη πραγματοποίηση κάποιων τεστ, τα οποία παρουσιάζονται στην τελική τους εκδοχή σε επόμενες παραγράφους (6.4.2 και 6.4.3) και τα οποία αφορούν την Προσομοίωση Συγκόλλησης, τόσο του Εικονικού, όσο και του Πραγματικού Ρομπότ, διαπιστώθηκε μία αναντιστοιχία στη κίνηση του βραχίονα στις δύο περιπτώσεις.

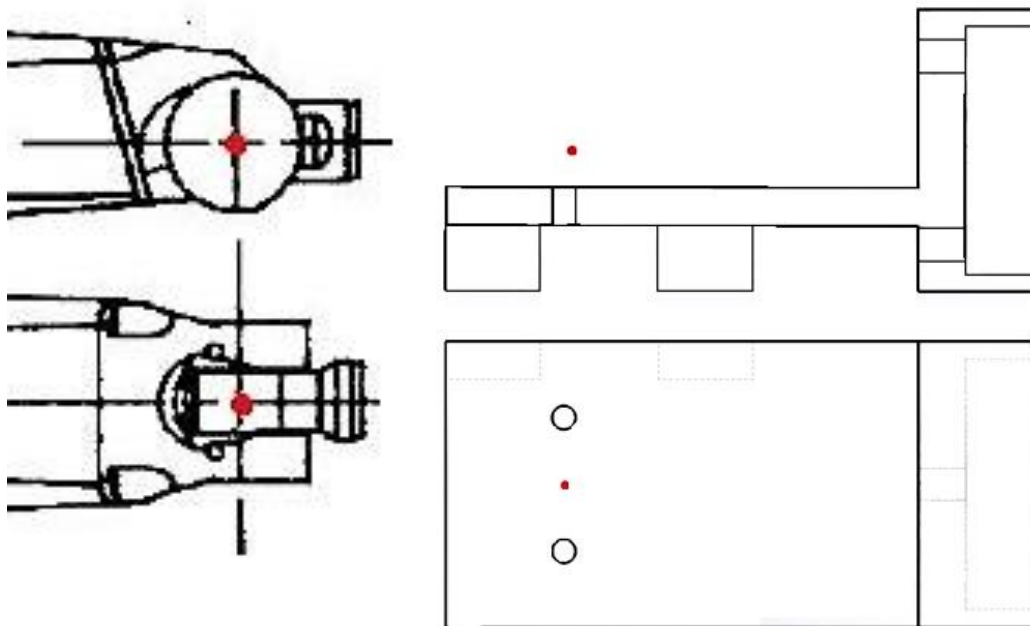
Η συγκεκριμένη αναντιστοιχία αφορούσε στη μεγαλύτερη τροχιά του πραγματικού βραχίονα, συγκριτικά με αυτή που είχε δοθεί από τον εικονικό. Διαπιστώθηκε λοιπόν, ότι αυτή η αναντιστοιχία οφείλεται στο γεγονός ότι στο εικονικό μοντέλο ο tracker και το πληκτρολόγιο δίνουν τα σημεία (θέση και προσανατολισμό για την ακρίβεια) στο Κέντρο του Καρπού (Wrist) του εικονικού βραχίονα. Συνεπώς, και οι λύσεις του αλγόριθμου αντίστροφης κινηματικής αφορούν αυτό το σημείο και αυτές στη συνέχεια λαμβάνει το πραγματικό μοντέλο. Προκειμένου λοιπόν να απορροφηθεί αυτή η διαφορά απόστασης κρίθηκε αναγκαίο να δημιουργηθεί μια βάση για τον αισθητήρα. Η συγκεκριμένη βάση σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε όταν είναι τοποθετημένος ο μαγνητικός αισθητήρας πάνω της, το κέντρο του να αντιστοιχεί στο κέντρο του καρπού.

Για το σκοπό αυτό ζητήθηκε το κατασκευαστικό σχέδιο του αισθητήρα από την εταιρία, Ascension Technology, το οποίο και παρατίθεται στο Παράρτημα. Μετά από διαστασιακούς υπολογισμούς σχεδιάστηκε μια βάση στην οποία θα μπορούσε να βιδωθεί πάνω ο αισθητήρας και παράλληλα διαθέτει μια μεγάλη οπή στο κάτω μέρος της, στην οποία μπορεί να προσδεθεί το εργαλείο του ρομπότ. Η κατασκευή της βάσης έγινε με τρισδιάστατη εκτύπωση πλαστικού PLA στον εκτυπωτή CubeX του Εργαστηρίου Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Όπως είναι εμφανές στην Εικόνα 6.5, στο εκτυπωμένο μοντέλο, πέραν των δύο μεγάλων περαστών κοχλιών υπάρχει πρόσθετος μικρός κοχλίας, που είναι αποσπώμενος ώστε να κεντράρει το εργαλείο με

σωστό προσανατολισμό. Όπως περιγράφεται παρακάτω δημιουργήθηκε ένα εργαλείο κατάλληλο για την τελική συναρμολόγηση (βάση αισθητήρα-κωνικού εργαλείου-βάση εργαλείου), το οποίο έχει και εκείνο αντίστοιχη οπή. Στην Εικόνα 6.6, είναι εμφανές το κέντρο του καρπού. Σε αντιστοιχία στα δεξιά, είναι τα σχέδια της βάσης και με κόκκινο χρώμα φαίνεται και εδώ που είναι ακριβώς το κέντρο του καρπού και συνεπώς και το κέντρο του αισθητήρα.



Εικόνα 6.5: Βάση Αισθητήρα



Εικόνα 6.6: Κέντρο Καρπού και η αντιστοιχία του με τη Βάση του Αισθητήρα

Επίσης, η συγκεκριμένη βάση είναι διαστασιολογημένη με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προσομοιώνεται η κοχλίωση του εργαλείου στη μεγάλη οπή, σαν να κοχλιωνόταν στη φλάντζα

(6<sup>η</sup> άρθρωση) του βραχίονα. Οι οπές της φλάντζας του καρπού υπήρχαν από το σχέδιο της βάσης και δε χρειάστηκε καμία περαιτέρω επεξεργασία.

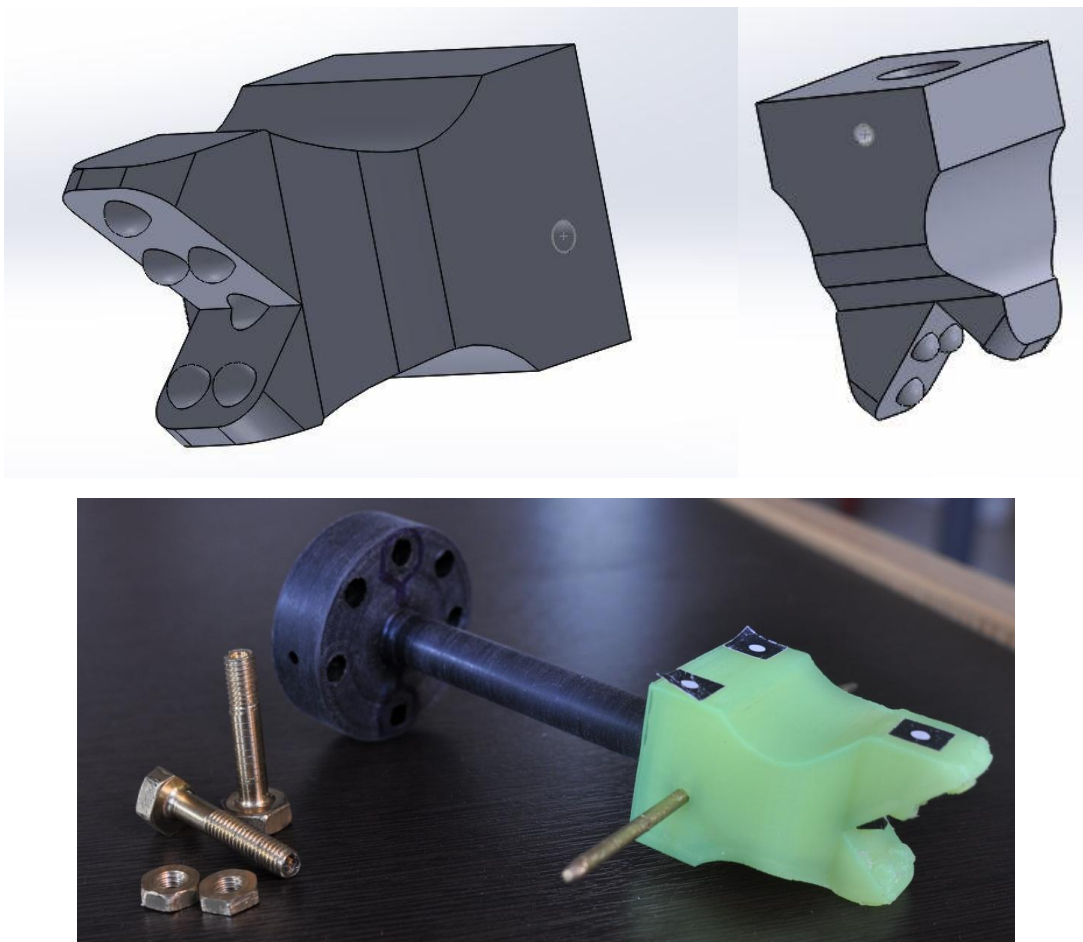
Οι κοχλίες και περικόχλια στερέωσης κατασκευάστηκαν εκ του μηδενός από ορείχαλκο λόγω των χαμηλών μαγνητικών ιδιοτήτων, προκειμένου να αποφευχθεί η οποιαδήποτε τυχόν αλληλεπίδραση με το πεδίο του FOB (Ενότητα 3.5.7)

### 6.3.2 Βάση Εργαλείου

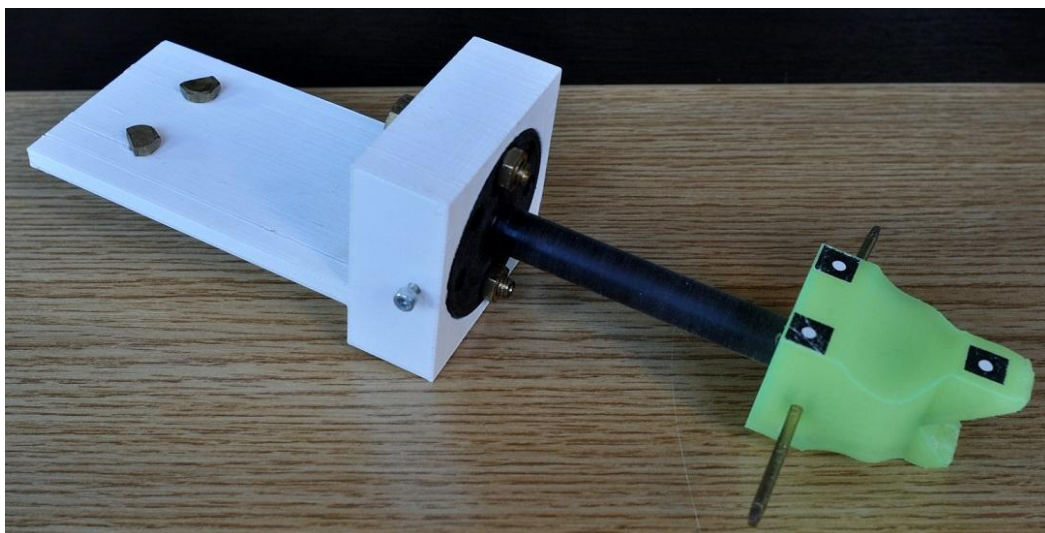
Όπως περιγράφεται παρακάτω, έγινε ένα τεστ που αφορούσε την Προσομοίωση Συγκόλλησης του εικονικού ρομπότ και στο οποίο χρησιμοποιήθηκε ένα ξύλινο καλούπι. Λόγω αυτού του τεστ κρίθηκε σημαντικό να δημιουργηθεί μια βάση για το εργαλείο συγκόλλησης.

Ο σημαντικότερος παράγοντας ήταν η απαίτηση να μπορεί το εργαλείο να διατηρεί ένα σταθερό προσανατολισμό κατά μήκος της τροχιάς που ακολουθεί, να κινείται δηλαδή υπό μία σταθερή γωνία στο επίπεδο και όχι να παίζει. Όπως γίνεται αντιληπτό, το ανθρώπινο χέρι δε μπορεί να διατηρήσει σταθερό ένα τέτοιο προσανατολισμό, με τη συγκεκριμένη όμως βάση αυτό πετυχαίνεται. Η εκτύπωση της βάσης έγινε στο 3D Printer CubeX, επίσης.

Για αυτή τη βάση δημιουργήθηκε ένα ‘εργαλείο’ στον τόρνο, με κωνική απόληξη, ώστε όπως το εργαλείο διαπερνά τη βάση, η κορυφή του κώνου διαγράφει την τροχιά με ελαχιστοποιημένη την απόσταση από την επιφάνεια του αντικείμενου. Το εργαλείο συγκρατείται στη βάση με ορειχάλκινο πείρο.



Εικόνα 6.7: Βάση Εργαλείου



Εικόνα 6.8: Συναρμολόγηση βάσης αισθητήρα-εργαλείου-βάσης εργαλείου

## 6.4 Έλεγχος Ακρίβειας με Φωτογραμμετρία

Αφού έγινε η εξαγωγή των απαραίτητων δεδομένων (Ενότητα 5.2.2.7), καθώς και η ανάπτυξη των κατάλληλων κωδίκων για την απαραίτητη επεξεργασία αυτών των δεδομένων (Ενότητα 6.2) και η κατασκευή των απαραίτητων βάσεων για τον αισθητήρα και το εργαλείο (Ενότητα 6.3) σειρά είχε η εξέταση του πόσο ακριβής ήταν η κίνηση του πραγματικού βραχίονα. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε η μέθοδος της Φωτογραμμετρίας [38].

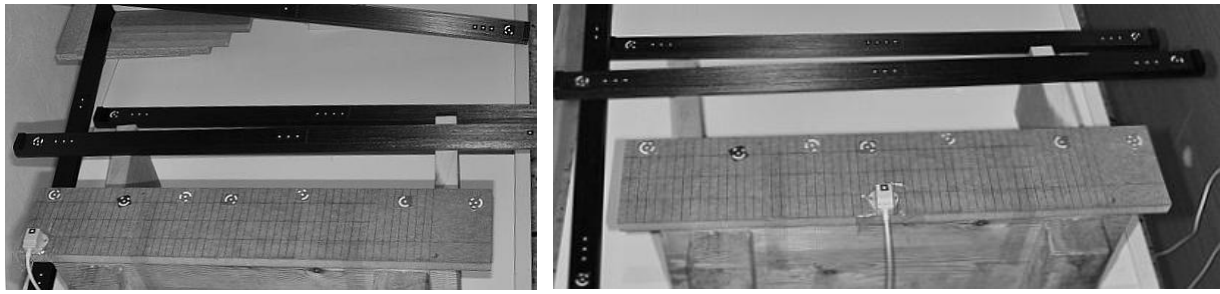
### 6.4.1 Βαθμονόμηση Flock of Birds

Ένα ίσως από τα πιο σημαντικά βήματα είναι αυτό της ορθής βαθμονόμησης του αισθητήρα, της εύρεσης δηλαδή της σωστής αναλογίας ανάμεσα στα αποτελέσματα που δίνει και στις διατάξεις του πραγματικού χώρου. Πρέπει να τονιστεί ότι, αυτή η κλίμακα αφορά τις μετρήσεις θέσης και όχι του προσανατολισμού.

Όπως γίνεται αντιληπτό, ένας τέτοιος λάθος συντελεστής αναλογίας κλίμακας, έχει ως αποτέλεσμα την μετέπειτα λανθασμένη τροχιά του ρομπότ. Το εικονικό ρομπότ θα λάβει τις θέσεις που δίνουν οι συντεταγμένες του αισθητήρα του tracker, στη συνέχεια όμως αυτές οι θέσεις θα μεταφραστούν σε λύσεις αρθρώσεων και θα εισαχθούν στον πραγματικό βραχίονα, ο οποίος θα εκτελέσει την τροχιά που του έχει δοθεί. Αν όμως η κλίμακα δεν είναι η σωστή, τότε όλη η τελική τροχιά δε θα είναι η επιθυμητή.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις μπάρες κλίμακας φωτογραμμετρίας, ένα βαθμονομημένο κομμάτι ξύλου (η βαθμονόμηση ήταν ανά cm), κωδικοποιημένοι στόχοι, καθώς και ένας σημειακός στόχος πάνω στον αισθητήρα.

Ο αισθητήρας μετακινήθηκε αρχικά στις δύο ακραίες θέσεις του βαθμονομημένου ξύλου, βλ. Εικόνα 6.9, για να εξαχθεί ο συντελεστής με βάση τη μεγαλύτερη διάσταση. Στη συνέχεια, ο αισθητήρας μετακινήθηκε σε άλλο σημείο ανάμεσα στις ακραίες θέσεις για λόγους επαλήθευσης. Η διαδικασία βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο ψηλά από το πάτωμα και όσο το δυνατόν πιο μακριά από τους τοίχους, για ελαχιστοποίηση του σφάλματος μετρήσεων (Ενότητα 3.5.7). Έτσι, προέκυψε συντελεστής κλίμακας ίσος με 0,254, ο οποίος αντιστοιχεί και στην αναλογία μετατροπής ιντσών σε δεκατόμετρα.



Εικόνα 6.9: Βαθμονόμηση Flock of Birds

#### 6.4.2 Τροχιά Συγκόλλησης με το Εικονικού Ρομπότ

Για μεγαλύτερο ρεαλισμό, αποφασίστηκε να ακολουθήσει ο αισθητήρας μία πραγματική τροχιά κατά μήκος της ακμής ξύλινου μοντέλου χύτευσης η οποία είναι καμπύλη και εμπεριέχει αλλαγές επιπέδου.

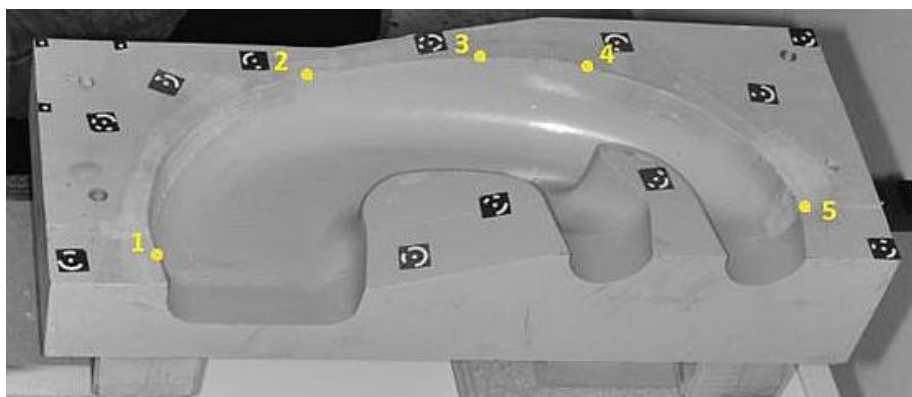
Πάνω στο καλούπι τοποθετήθηκαν κωδικοποιημένοι στόχοι, έτσι ώστε να υπάρχει μια σταθερά για τη φωτογραμμετρία, δεδομένου ότι ο αισθητήρας θα κινείται μαζί με το εργαλείο.

Τρεις σημειακοί στόχοι τοποθετήθηκαν πάνω στην εκτυπωμένη βάση του εργαλείου, έτσι ώστε με βάση τις συντεταγμένες τους, έτσι όπως μετρώνται φωτογραμμετρικά, αυτούς να ορίζεται πάντα ένα επίπεδο και με βάση αυτό οι διαδοχικές θέσεις και προσανατολισμοί του εργαλείου σε περιβάλλον CAD (Solidworks).

Οι μπάρες κλίμακας τοποθετήθηκαν σε τέτοιες θέσεις, ώστε να είναι εμφανείς σε όλες τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν. Το τεστ πραγματοποιήθηκε μακριά από το πάτωμα και όσο το δυνατόν πιο μακριά από τους τοίχους, έτσι ώστε να επιτευχθεί το λιγότερο δυνατό σφάλμα στις μετρήσεις (Ενότητα 3.5.7).

Αφού τέθηκαν σε λειτουργία το πρόγραμμα με το εικονικό ρομπότ και ο tracker, όποτε ήταν επιθυμητό αποθηκεύονταν συγκεκριμένες θέσεις. Κατά την τροχιά που ακολουθήθηκε αποθηκεύτηκαν συνολικά πέντε σημεία (ως γωνίες), βλ. Εικόνα 6.10. Ξεκινώντας από το σημείο 1, το σύστημα του αισθητήρα ακολούθησε την τροχιά του καλουπιού μέχρι το σημείο 5.

Τα συγκεκριμένα σημεία δεν επιλέχθηκαν τυχαία. Τα σημεία 1 και 5 σηματοδοτούν τη μεγαλύτερη απόσταση στη τροχιά του καλουπιού. Τα σημεία 2 και 4 αντιστοιχούν στη μέγιστη διαφορά ύψους του καλουπιού, καθώς και σηματοδοτούν ακραίες αλλαγές της τροχιάς. Τέλος το σημείο 3 επιλέχθηκε, διότι ανήκει σε ένα επίπεδο ανάμεσα σε αυτά των σημείων 2 και 4.

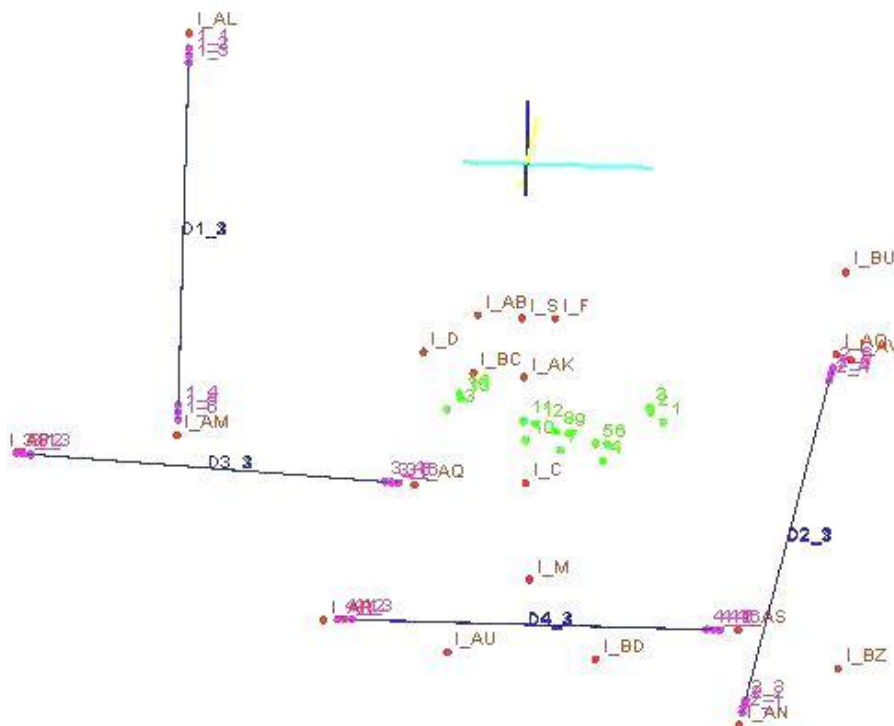


Εικόνα 6.10: Σημεία τροχιάς Συγκόλλησης

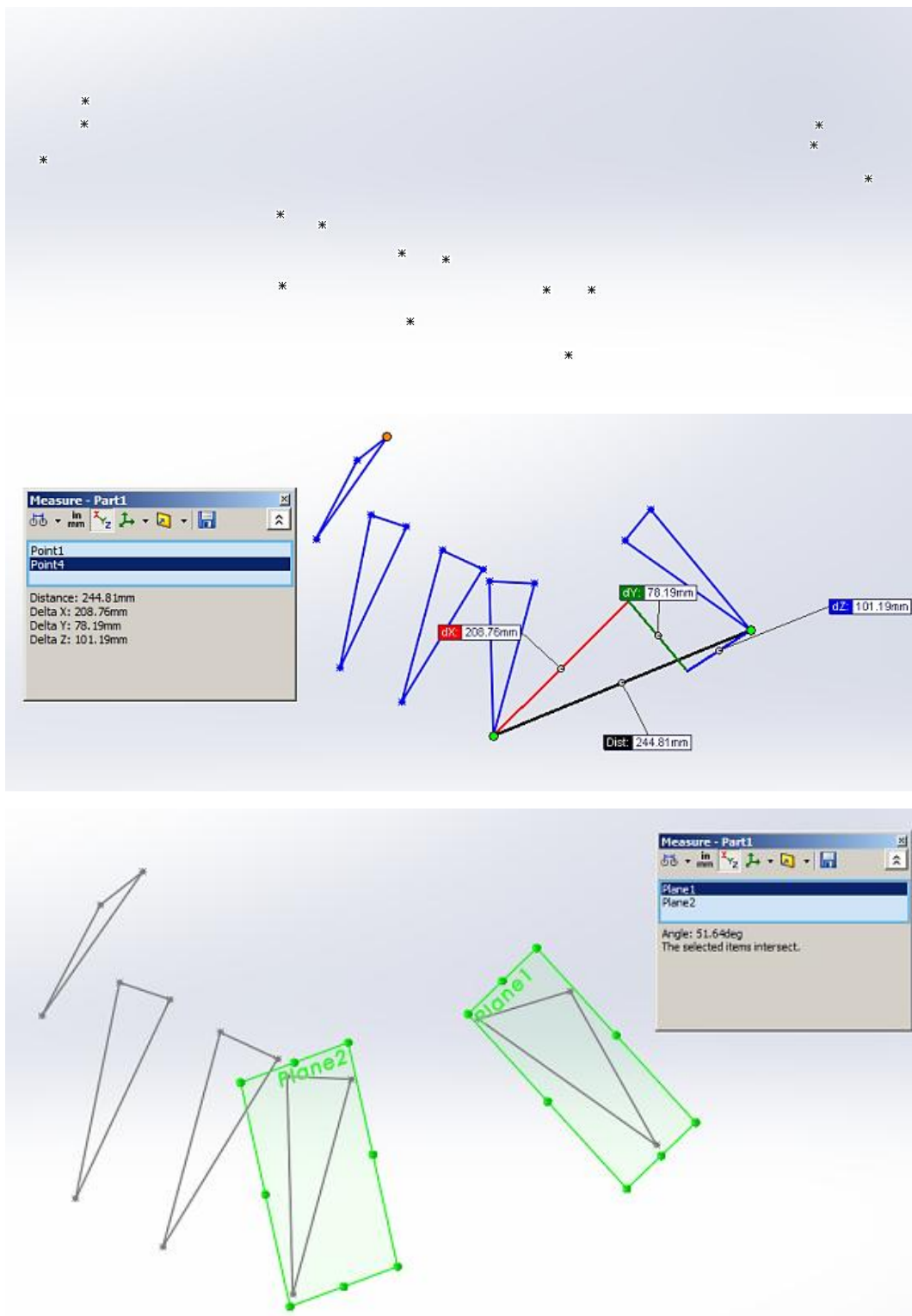


Εικόνα 6.11: Ορισμός τροχιάς συγκόλλησης

Όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της τροχιάς, λαμβάνονταν φωτογραφίες των σημείων 1-5, οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάστηκαν στο λογισμικό ImetricS. Στο κάθε ένα από αυτά τα σημεία, έπρεπε να ληφθούν 5-10 φωτογραφίες, από διαφορετικές γωνίες, με προσοχή όμως πάντα να φαίνονταν οι μπάρες κλίμακας. Οι συντεταγμένες των σημείων από το λογισμικό IMetricS εισάγονταν στο Solidworks, όπου σταδιακά δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα επίπεδα (planes) . Αυτή η διαδικασία παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.12. Οι κίτρινες γραμμές δημιουργούνται αυτόματα και αντιστοιχούν στις αποστάσεις ανάμεσα των σημείων των ράβδων κλίμακας και στην Εικόνα 6.13. Μέσω των σημείων και των επιπέδων αυτών, τελικά, εξάγονται οι διαφορές μεταξύ των αποστάσεων και των προσανατολισμών των διαδοχικών σημείων.



Εικόνα 6.12: Επεξεργασία μετρήσεων στόχων στο λογισμικό ImetricS



Εικόνα 6.13:Επεξεργασία των διαδοχικών σημείων στο Solidworks

### 6.4.3 Τροχιά συγκόλλησης με το Πραγματικό Ρομπότ

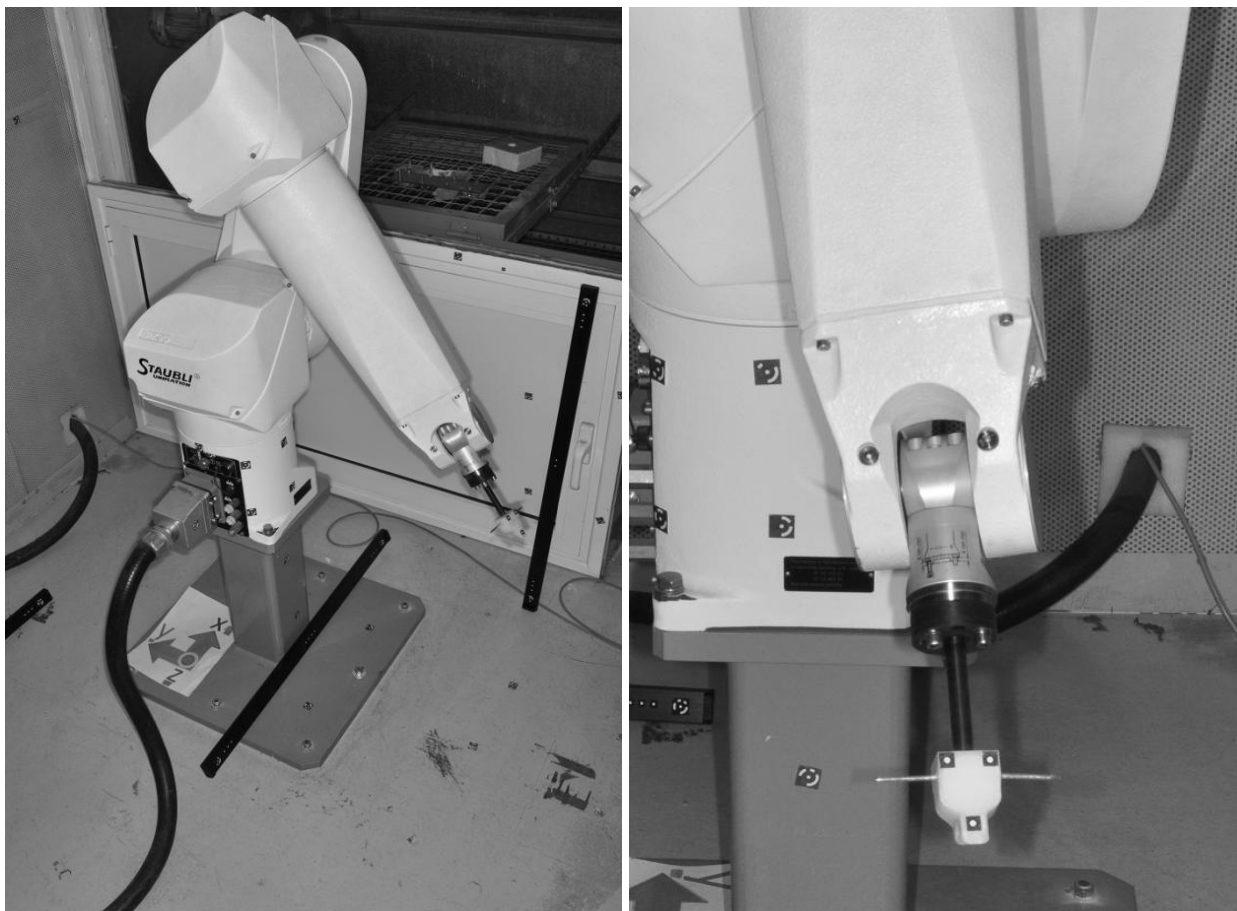
Αρχικά, πρέπει να σημειωθεί ότι στα τεστ χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις ράβδοι κλίμακας, έτσι ώστε να καλύπτουν όλο τον όγκο του τμήματος σε περισσότερες από μία κατεύθυνση. Οι ράβδοι κλίμακας τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να είναι εμφανείς στις φωτογραφίες, παρόλο που το ρομπότ κινείται. Επίσης, η χρησιμοποίηση τεσσάρων ράβδων κλίμακας ενισχύει την ακρίβεια, καθώς και επιτρέπει την εύρεση σφαλμάτων κλίμακας.



Η διαδικασία ελέγχου με φωτογραμμετρία περιλαμβάνει μία σειρά βημάτων. Αρχικά, έπρεπε να προετοιμαστεί ο χώρος κατάλληλα. Για το σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν κωδικοποιημένοι στόχοι τόσο στους τοίχους, όσο και στη βάση του ρομπότ έτσι ώστε ακόμα και όταν κινείται το ρομπότ, να παραμένουν σταθερά στην ίδια θέση [40].

Στη συνέχεια προσαρτήθηκε στο ρομπότ το σύστημα βάσης-εργαλείου, το οποίο είχε χρησιμοποιηθεί στη δημιουργία της τροχιάς με το Εικονικό Ρομπότ και είχε τρεις σημειακούς στόχους. Αυτό έγινε πρώτα και κύρια για να έχουμε άμεσα συγκρίσιμες μεθόδους, συνθήκες και εργαλεία.

Το σκεπτικό του συγκεκριμένου τεστ, είναι να περάσει το πραγματικό ρομπότ από όλα τα σημεία που είχαν αποθηκευτεί στο εικονικό ρομπότ, δηλαδή στα 5 σημεία. Γενικά, το ρομπότ από το ένα σημείο στο επόμενο, εκτελεί παρεμβολή σε αντιστοιχία και με τις εντολές που του έχουν δοθεί, (βλ. Ενότητα 2.8 ). Αν είναι επιθυμητή μια τροχιά όσο πιο κοντινή γίνεται προς αυτή το εικονικού μοντέλου, θα πρέπει να ληφθούν πολλά σημεία. Κάτι τέτοιο όμως στη συγκεκριμένη περίπτωση δε επηρεάζει, καθώς ενδιαφέρουν, για λόγους σύγκρισης, μόνο τα 5 συγκεκριμένα σημεία, που αποθηκεύτηκαν στο εικονικό μοντέλο. Αυτά υπέστησαν την κατάλληλη επεξεργασία από τους κώδικες που έχουν αναλυθεί και τέλος εισάχθηκαν στο πραγματικό ρομπότ. Εν προκειμένω δεν ακολουθήθηκε συνεχής τροχιά (ενότητα 6.2**Σφάλμα! ο αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**), αλλά σημείο προς σημείο, ώστε το ρομπότ να είναι στατικό σε κάθε σημείο και να γίνει η φωτογράφιση πιο εύκολα. Η προετοιμασία της κάμερας, θέτοντας τις κατάλληλες ρυθμίσεις, περιγράφεται αναλυτικά στην αναφορά [40]. Η διαδικασία και η επεξεργασία είναι αντίστοιχη με αυτά της ενότητας 6.4.2.



Εικόνα 6.14: Εκτέλεσης τροχιάς συγκόλλησης στο Πραγματικό Ρομπότ

#### 6.4.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Ο Πίνακας 6.3 κάνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τροχιών. Τα σημεία του παραπάνω πίνακα είναι εμφανή στην Εικόνα 6.10.

Σημεία	Φωτογραμμετρία Εικονικού Ρομπότ		Φωτογραμμετρία Πραγματικού Ρομπότ		Διαφορές	
	Distance (mm)	Angle (deg)	Distance (mm)	Angle (deg)	Distance (mm)	Angle (deg)
1-2	245,714	54,94	241,528	53,410	4,186	1,530
2-3	86,470	2,50	87,339	5,760	0,869	3,260
3-4	72,771	9,95	72,285	6,530	0,486	3,420
4-5	203,937	54,45	199,910	53,310	4,027	1,140
1-5	442,816	85,96	436,022	86,700	6,794	0,740
1-4	349,666	67,37	343,661	65,420	6,005	1,950
1-3	301,136	57,43	297,0659	59,140	4,070	1,710
2-4	158,642	12,45	158,767	12,240	0,125	0,210
2-5	340,796	60,62	338,106	60,960	2,690	0,340
3-5	266,905	59,28	264,000	57,660	3,282	1,620

Πίνακας 6.3: Σύγκριση τροχιών Συγκόλλησης Εικονικού και Πραγματικού Ρομπότ

Παρατηρείται από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, ότι οι διαφορές είναι μικρές, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη ότι το πραγματικό ρομπότ δεν έχει καλιμπραριστεί, και οι παράμετροι DH είναι οι θεωρητικά προσδιορισμένες από τον κατασκευαστή. Συνοπτικά:

- Η μέση διαφορά σφάλμα θέσης είναι 3,253 mm και η μέση διαφορά προσανατολισμού  $2,422^{\circ}$ .
- Η μέγιστη διαφορά θέσης είναι περίπου 6,8 mm και βρίσκεται μεταξύ των σημείων 1-5, που και στο καλούπι αντιστοιχούν σε μέγιστη απόσταση.
- Η μέγιστη διαφορά προσανατολισμού παρατηρείται μεταξύ των σημείων 3-4 και είναι  $3,42^{\circ}$ .

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιελάμβανε εν δυνάμει αρκετά σφάλματα (errors), τα οποία οφείλονται σε επιμέρους στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα λοιπόν, υπαίτια σφάλματα μπορεί να οφείλονται στα παρακάτω:

- ακρίβεια του Flock of Birds
- σφάλματα πραγματικού βραχίονα
- σφάλματα στις εκτυπώσεις από το 3D Printer
- σφάλματα τοποθέτησης του συστήματος βάσης -εργαλείου στον πραγματικό βραχίονα
- σφάλματα αντίστροφης κινηματικής λόγω του μοντέλου DH στο εικονικό περιβάλλον

# 7

## Συμπεράσματα

### 7.1 Ευρήματα

Ξεκινώντας από τη βάση της εργασίας αυτής, η ανάπτυξη ενός εικονικού περιβάλλοντος είναι μια διαδικασία πολύπλευρη. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να θεωρηθεί εύκολη και η υλοποίησή της μπορεί να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα, διότι:

- από τη μία πλευρά, πληθώρα CAD μοντέλων είναι ευρέως διαθέσιμα [39] και προσβάσιμα, έτοιμα να συνθέσουν μια εφαρμογή. Πέρα από τα μοντέλα που συλλέχθηκαν για αναπτυχθεί το περιβάλλον, ακόμα και ο βραχίονας ήταν διαθέσιμος. Η κατασκευάστρια εταιρία διαθέτει έτοιμο το CAD μοντέλο του βραχίονα, του controller και του χειριστηρίου του.
- εφόσον έχουν δημιουργηθεί τυποποιημένες 'συμπεριφορές' καθώς και η ευθεία και αντίστροφη κινηματική για ρομπότ της συγκεκριμένης κλάσης, αυτά επαναχρησιμοποιούνται άμεσα σε ένα κατά τεκμήριο αντικειμενοστραφές περιβάλλον ανάπτυξης όπως το Virtools.

Παρόλα αυτά, εφόσον εισάγονται νέες εφαρμογές πρέπει να αναπτυχθούν και νέες συμπεριφορές.

Η ανάπτυξη ενός εικονικού περιβάλλοντος, πόσο μάλλον για εφαρμογή που αφορά πραγματικά αντικείμενα βιομηχανικής κλίμακας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση ενός συστήματος, αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, όπως συνέβη και εδώ. Σε συνδυασμό μάλιστα με διαδραστικό εξοπλισμό, εξασφαλίζεται υψηλό επίπεδο αλληλεπίδρασης και ρεαλιστικότητας.

Ο έλεγχος του ρομποτικού βραχίονα στο Εικονικό Περιβάλλον, μπορεί να χαρακτηριστεί εφικτός. Αυτό αποδείχτηκε και από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου, στις αντίστοιχες ερωτήσεις στους φοιτητές, παρόλο που ήταν η πρώτη φορά που αντιμετώπιζαν το συγκεκριμένο περιβάλλον. Ο εκάστοτε χρήστης μπορεί να αντιληφθεί τις δυνατότητες του βραχίονα, χωρίς να είναι αναγκαίο να έρθει σε επαφή με το πραγματικό ρομπότ. Του δίνεται η δυνατότητα να τον χειριστεί, βλέποντας σε πραγματικό χρόνο το κατά πόσο μπορεί να αντεπεξέλθει στις απαιτήσεις μιας πιθανής εφαρμογής, καθώς και πως συμπεριφέρεται χωροταξικά. Ο χειρισμός πραγματοποιείται με δύο τρόπους, μέσω του πληκτρολογίου και μέσω του μαγνητικού αισθητήρα (tracker) Flock of Birds. Ανατρέχοντας ξανά στο ερωτηματολόγιο αποδεικνύεται ότι η θέση και η αλληλουχία των πλήκτρων του πληκτρολογίου ήταν ικανοποιητική για τους

φοιτητές και δε δυσκολεύτηκαν στο χειρισμό του. Αντίστοιχα και το Flock of Birds, αφού συνδεθεί όπως περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι εύκολο στο χειρισμό, δίνοντας την ευκαιρία και στους ίδιους τους εργαζόμενους να αξιολογήσουν το επίπεδο δυσκολίας με αναφορά σε πραγματική διεργασία.

Καίριο αποτέλεσμα είναι η σύνδεση του εικονικού περιβάλλοντος με το πραγματικό. Έγινε ένα βήμα για τον offline προγραμματισμό ενός πραγματικού ρομποτικού βραχίονα, χρησιμοποιώντας Εικονικό Περιβάλλον και διαδραστικά μέσα. Ένα τέτοιο σύστημα προγραμματισμού μπορεί, μετά από σχετική βελτίωση της ακρίβειας του κυρίως μέσω της τυπικής διαδικασίας καλιμπραρίσματος, να ενταχθεί την παραγωγή, προσφέροντας άμεσα και γρήγορα αποτελέσματα, αξιοποιήσιμα από τα πραγματικά συστήματα, που για να επιτευχθούν με παραδοσιακούς τρόπους (teach pendant, CAD-based programming κλπ) μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.

## 7.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Ένα ζήτημα, το οποίο θα μπορούσε να ερευνηθεί, είναι αυτό της ακρίβειας των αποτελεσμάτων ανάμεσα στα τεστ συγκόλλησης του πραγματικού και του εικονικού μοντέλου. Η επίτευξη της μέγιστης ακρίβειας του συστήματος που αναπτύχθηκε, θα μπορούσε να οδηγήσει στον ολοκληρωμένο προγραμματισμό ενός βιομηχανικού ρομποτικού βραχίονα. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί μόνο επικερδές για μία βιομηχανία, καθώς ο προγραμματισμός γίνεται γρήγορα και αποτελεσματικά.

Επιπροσθέτως, αναφερόμενοι στον βραχίονα του εργαστηρίου, εκμεταλλευόμενοι το γεγονός ότι το FOB και το εικονικό περιβάλλον μπορούν να διδάξουν στο ρομπότ να προσεγγίζει οποιοδήποτε σημείο είναι επιθυμητό, θα μπορούσε να επιδιωχθεί να γίνει μια σύνδεση με τον πραγματικό βραχίονα, έτσι ώστε η διδασκαλία να γίνεται σε πραγματικό χρόνο με βάση το εικονικό μοντέλο.

Τέλος, προτείνεται η προσθήκη και άλλου διαδραστικού εξοπλισμού, όπως μάσκες HMD ή άλλων τύπων αισθητήρες, που θα είχαν ανθρωποκεντρικό σκοπό. Λεπτομερέστερα, η ύπαρξη HMD θα ενίσχυε σε μεγάλο βαθμό την οπτικοποίηση και την εμπύθιση και αντίστοιχα αισθητήρες, όπως ο Kinect, όπου θα αναγνώριζαν την κίνηση του χρήστη και θα την μετέδιδαν στο εικονικό περιβάλλον. Μια τέτοια επένδυση, θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός περισσότερο ρεαλιστικού περιβάλλοντος, έχοντας ως συνέπεια την ενίσχυση του αισθήματος της εμπύθισης.

# 8

## Βιβλιογραφία

- [1] R. A. Earnshaw, *Virtual Reality Systems*. Academic Press, 2014.
- [2] W. R. Sherman and A. B. Craig, *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Elsevier, 2002.
- [3] T. Mazuryk and M. Gervautz, “Virtual Reality - History, Applications, Technology and Future,” p. 72, 1996.
- [4] D. Koenig, *Computer-Integrated Manufacturing: Theory and Practice*. 1990.
- [5] A. ALAVUDEEN and N. VENKATESHWARAN, *COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING*. 2008.
- [6] G. Chryssolouris, D. Mavrikios, N. Papakostas, D. Mourtzis, G. Michalos, and K. Georgoulas, “Digital manufacturing: History, perspectives, and outlook,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 223, no. 5, pp. 451–462, 2009.
- [7] Ε. Λεβαδιανός, “Διερεύνηση Μεθοδολογίας και Εργαλείων Κατασκευής Μοντέλων Εικονικής Πραγματικότητας για Ρομποτικά Κύτταρα Κατεργασιών,” 2013.
- [8] P. Banerjee and D. Zetu, *Virtual Manufacturing*. 2001.
- [9] M. Saadoun and V. Sandoval, “Virtual Manufacturing and its implication,” *Virtual Real. Prototyp.*, no. June 1999, 1999.
- [10] T. S. Mujber, T. Szecsi, and M. S. J. Hashmi, “Virtual reality applications in manufacturing process simulation,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 155–156, no. 1–3, pp. 1834–1838, 2004.
- [11] C. Shukla, M. Vazquez, and F. Frank Chen, “Virtual manufacturing: An overview,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 31, no. 1–2, pp. 79–82, Oct. 1996.
- [12] K. O. Siciliano Bruno, *Springer Handbook of Robotics*. Springer, 2008.
- [13] J. J. Craig, “Introduction to Robotics,” *IEEE Expert*, vol. 1, no. 2, 1986.

- [14] Z. Pan, J. Polden, N. Larkin, S. Van Duin, and J. Norrish, “Recent progress on programming methods for industrial robots,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 28, no. 2, pp. 87–94, 2012.
- [15] S. Mitsi, K. D. Bouzakis, G. Mansour, D. Sagris, and G. Maliaris, “Off-line programming of an industrial robot for manufacturing,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 26, no. 3, pp. 262–267, 2005.
- [16] X. He and Y. Chen, “Haptic-aided robot path planning based on virtual tele-operation,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 25, no. 4–5, pp. 792–803, 2009.
- [17] Spong, Hutchinson, and Vidyasagar, “Robot Modeling and Control 1st ed,” vol. 9, 2013.
- [18] Adept Technology Inc, “V + Operating System User ’ s Guide,” 1997.
- [19] Adept Technology Inc, “V + Language,” 1997.
- [20] Adept Technology Inc, “Instructions for Adept Utility Programs,” 1997.
- [21] Adept Technology Inc, “V + Language User ’ s Guide,” 1997.
- [22] Adept Technology Inc, “eV+/V+ Language Reference Guide.” [Online]. Available: <http://www1.adept.com/main/KE/DATA/V Plus/V Language Reference/vlangTOC.html>.
- [23] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. L. Jr., and I. Poupyrev, *3D User Interfaces: Theory and Practice*. 2004.
- [24] Ascension Technology Corporation, “The Flock of Birds ® Installation and operation guide,” 2004.
- [25] Motion Tracking, “Flock of Birds ® TECHNICAL DESCRIPTION OF DC MAGNETIC TRACKERS.”
- [26] S. LaScalza, J. Arico, and R. Hughes, “Effect of metal and sampling rate on accuracy of Flock of Birds electromagnetic tracking system,” *J. Biomech.*, vol. 36, no. 1, pp. 141–144, 2003.
- [27] F. H. Raab, E. B. Blood, T. O. Steiner, and H. R. Jones, “Magnetic Position and Orientation Tracking System,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-15, no. 5. 1979.
- [28] K. J. Mcquade, M. a Finley, M. Harris-love, and S. Mccombe-waller, “Dynamic Error Analysis of Ascension ’ s Flock of Birds TM Electromagnetic Tracking Device Using a Pendulum Model,” *J. Appl. Biomech.*, pp. 171–179, 2002.
- [29] A. D. Milne, D. G. Chess, J. A. Johnson, and G. J. W. King, “Accuracy of an Electromagnetic Tracking Device: A Study of the Optimal Operating Range and Metal Interference,” *J. Biomech.*, vol. 29, no. 6, pp. 791–793, 1996.
- [30] C. McCarthy and D. Callele, “Virtools User Guide,” 2006.

- [31] 3DVIA Virtools, “Behavior Libraries - VR Library/VR Publisher 2.6 (Virtools 5.0.0.8 - 5.0) User Guide,” 2009.
- [32] J. Steuer, “Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence,” *J. Commun.*, vol. 42, no. 4, pp. 73–93, 1992.
- [33] Stäubli, “Arm - RX series 90B family Characteristics,” 2004.
- [34] M. C. Lin, “Efficient Collision Detection for Animation and Robotics,” *Electr. Eng.*, p. 159, 1993.
- [35] Stäubli, “Stäubli Robotics: Painting brochure.” .
- [36] S. Baldwin, “Robotic paint automation: The pros and cons of using robots in your paint finishing system,” *Met. Finish.*, vol. 108, no. 11–12, pp. 126–129, 2000.
- [37] “3DVIA Player Install.” [Online]. Available: <http://www.3dvia.com/products/3dvia-player/install/>. [Accessed: 07-Oct-2015].
- [38] M. Beaubet, “Photogrammetry applications in engineering object digitizing,” 2015.
- [39] “CAD collaboration solution that accelerates product development - GrabCAD.” [Online]. Available: <https://grabcad.com/>. [Accessed: 07-Oct-2015].

# 9

## Παραρτήματα

### 9.1 Κώδικες

#### 9.1.1 Κώδικας Matlab για FOB

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%                                                                 %  
%                               MAIN PROGRAM                       %  
%                                                                 %  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
%Virtools to V+:This program transforms the exporting solutions of the joints  
%from Virtools to readable data for the V+ language %  
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%  
  
clear all  
clc  
  
%data input  
[counter,J1,J2,J3,J4,J5,J6]=textread('mat_fob.txt','%u %f %f %f %f %f %f');  
  
count=length(counter);  
num=counter(count);  
Joints=zeros;  
output_1 = cell(num,1);  
output_2 = cell(num,1);  
j=0;  
  
for i=1:num;  
    Joints(i,1)=round(J1(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    Joints(i,2)=round(J2(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    Joints(i,3)=round(J3(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    Joints(i,4)=round(J4(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    Joints(i,5)=round(J5(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    Joints(i,6)=round(J6(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);  
    output_1{i} = ['DO DECOMPOSE J_V['  
num2str(j),']=#PPOINT(',num2str(Joints(i,1))];  
    output_2{i} = [num2str(Joints(i,6)),']'];  
    j=j+6;  
end  
  
%data export  
data=table(output_1,Joints(:,2:5),output_2);  
writetable(data,'Vplus_Fob.txt');  
  
disp (data);
```



## 9.1.2 Κώδικας Matlab για Keyboard

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%                               MAIN PROGRAM                               %
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%Virtools to V+:This program transforms the exporting solutions of the joints
%from Virtools to readable data for the V+ language                       %
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
clc

%data input
[counter,J1,J2,J3,J4,J5,J6]=textread('mat_keyboard.txt','%u %f %f %f %f %f
%f');

count=length(counter);
num=counter(count);
Joints=zeros;
output_1 = cell(num,1);
output_2 = cell(num,1);
j=0;

for i=1:num;
    Joints(i,1)=round(J1(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    Joints(i,2)=round(J2(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    Joints(i,3)=round(J3(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    Joints(i,4)=round(J4(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    Joints(i,5)=round(J5(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    Joints(i,6)=round(J6(count+i-num,1)*(180/pi)^2,2);
    output_1{i} = ['DO DECOMPOSE J_V['
num2str(j),']=#PPOINT(',num2str(Joints(i,1))]);
    output_2{i} = [num2str(Joints(i,6)),']'];
    j=j+6;
end

%data export
data=table(output_1,Joints(:,2:5),output_2);
writetable(data,'Vplus_Keyboard.txt');

disp (data);
```

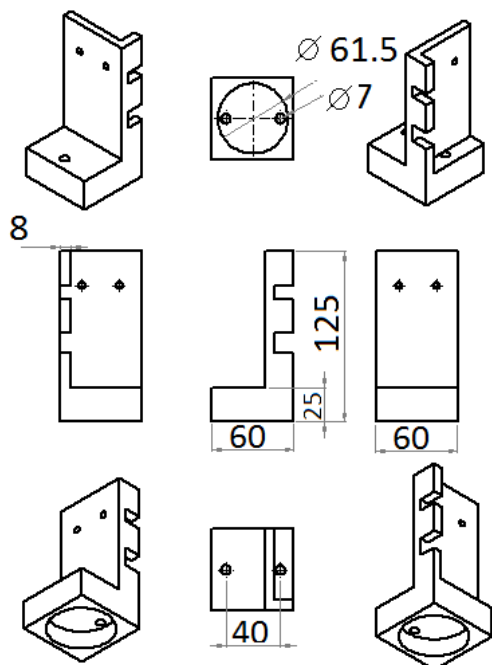
## 9.1.3 Κώδικας V+

```
        AUTO #j_v[6]
AUTO REAL j

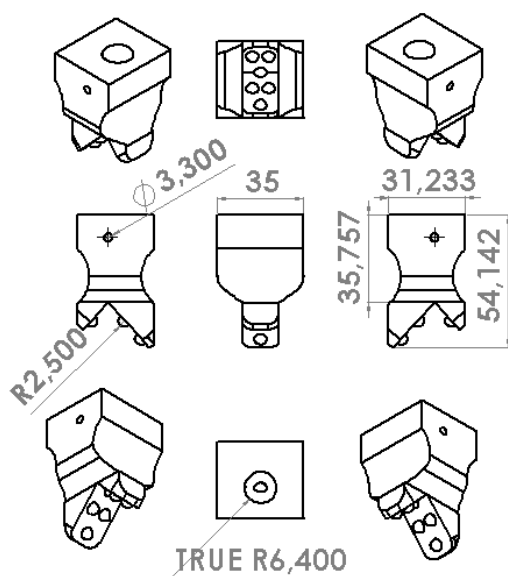
j = 1
FOR i = 0 TO LAST(j_v[]) STEP 6
    MOVE #PPOINT(j_v[i],j_v[i+1],j_v[i+2],j_v[i+3],j_v[i+4],j_v[i+5])
    BREAK
    DELAY 0
    TYPE "COMPLETED SET OF JOINTS NUMBER", $ENCODE(j)
    j = j+1
END
```

## 9.2 Σχέδια

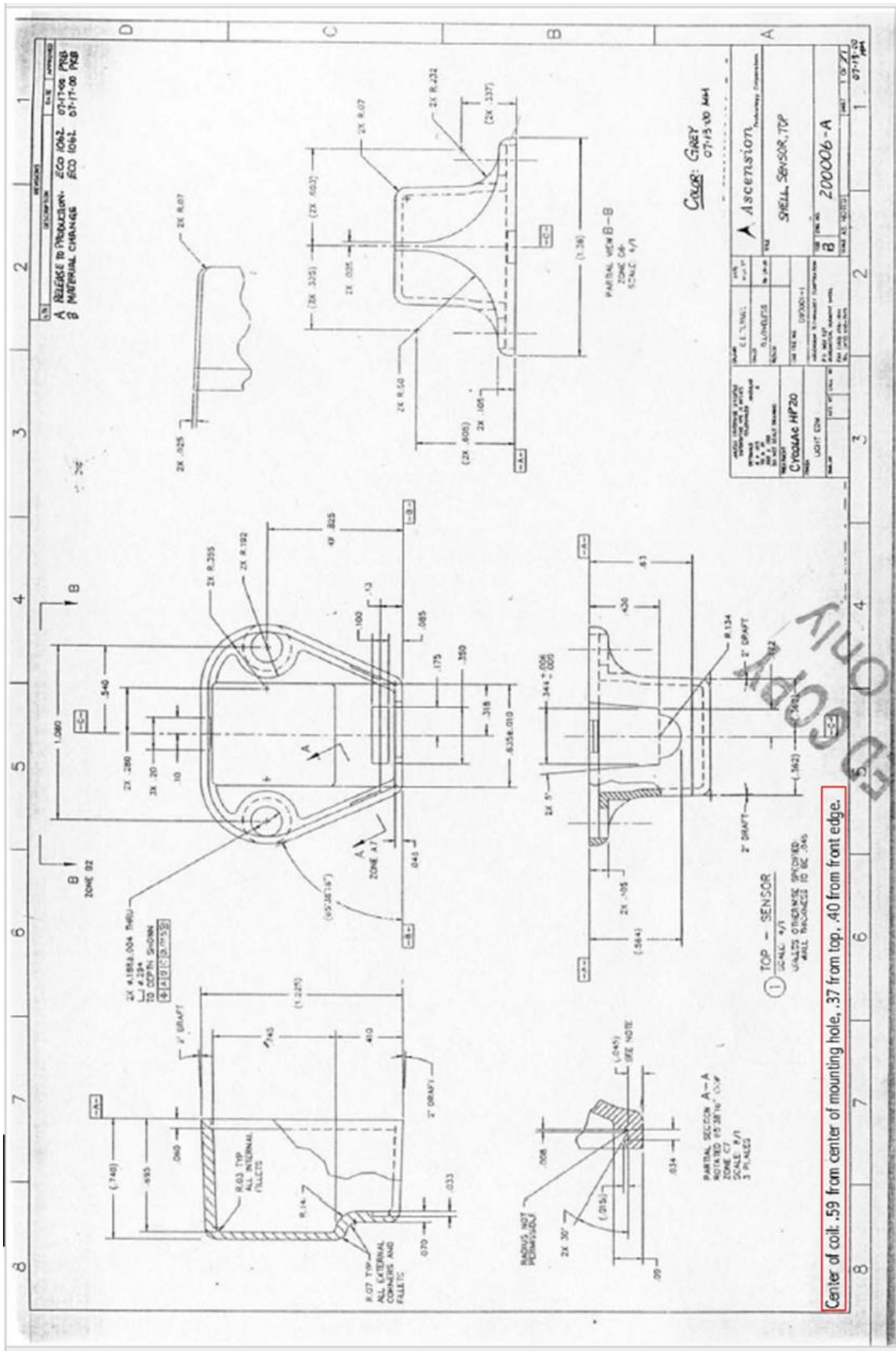
### 9.2.1 Βάση Εργαλείου



### 9.2.2 Βάση Αισθητήρα



### 9.2.3 Κατασκευαστικό Σχέδιο Αισθητήρα



### 9.3 Δευτερεύοντα αποτελέσματα ερωτηματολογίου

