



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

**Πλατφόρμα Εικονικής Πραγματικότητας για την Υποβοήθηση
Αποκατάστασης Μυϊκών Τραυματισμών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήστος Ι. Πανώριος

Επιβλέπων: Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΛΙΚΩΝ

**Πλατφόρμα Εικονικής Πραγματικότητας για την Υποβοήθηση
Αποκατάστασης Μυϊκών Τραυματισμών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Χρήστος Ι. Πανώριος

Επιβλέπων: Νικόλαος Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 21η Ιουλίου 2011

.....
Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Κ. Νικήτα
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Α. Αμδίτης
Ερευνητής Α' ΕΠΙΣΕΥ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

.....
Χρήστος Ι. Πανώριος
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός
Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Χρήστος Ι. Πανώριος, 2011
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση μίας πλατφόρμας για την υποβοήθηση της αποκατάστασης των άνω άκρων από μυϊκούς τραυματισμούς. Η πλατφόρμα αποτελείται από μία συσκευή ανίχνευσης (tracking device), δύο ειδικά βεράκια φυσιοθεραπείας και μία εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας. Η συσκευή ανίχνευσης εκπαιδεύτηκε για να αναγνωρίζει τη θέση στην οποία βρίσκονται κάθε στιγμή τα δύο βεράκια ώστε να ανιχνεύει την κίνηση του ασθενούς. Τα δεδομένα που παράγονται από τη συσκευή ανίχνευσης μεταφέρονται στον υπολογιστή μέσω σύνδεσης με το πρωτόκολλο IP και επηρεάζουν σε πραγματικό χρόνο το εικονικό περιβάλλον. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε έχει τη μορφή παιχνιδιού ώστε να κεντρίσει το ενδιαφέρον του ασθενούς. Στο παιχνίδι αυτό, ορίζεται μία τροχιά για κάθε χέρι την οποία ο ασθενής προσπαθεί να εκτελέσει με την κίνηση των χεριών του. Η τροχιά ορίζεται με τη βοήθεια του γιατρού πριν την έναρξη της προσπάθειας και μπορεί να αποτελέσει οποιαδήποτε καμπύλη του χώρου. Έτσι, ουσιαστικά προσαρμόζουμε την άσκηση στον εκάστοτε ασθενή και τη σωματοδομή του. Η άσκηση μπορεί να εκτελεστεί με ένα ή και με τα δύο χέρια. Επίσης, η ταχύτητα εκτέλεσης της άσκησης είναι προσαρμόσιμη στις δυνατότητες και τις ανάγκες του κάθε ασθενούς. Μετά την εκτέλεση της άσκησης ο ασθενής μπορεί να δει στην οθόνη της εφαρμογής τα αποτελέσματα της προσπάθειάς του, αλλά και κατά τη διάρκεια της άσκησης έχει άμεση πληροφόρηση για το αν την εκτελεί σωστά.

Λέξεις Κλειδιά

Εικονική Πραγματικότητα, Εικονικό Περιβάλλον, Μυϊκή Αποκατάσταση, Φυσιοθεραπεία, Ιχνηλάτης Κίνησης, Λογισμικό Ανάπτυξης 3D εφαρμογών, Μηχανή Προσομοίωσης Φυσικής

Abstract

The goal of this thesis is the development of a platform intended to help the process of trauma rehabilitation of upper limbs. The platform contains a tracking device, two dumbbells specially designed for physical therapy and a virtual reality computer application. The tracking device is trained to detect the momentary position of the two dumbbells in order to trace the patient's moves. The data generated by the tracking device are passed to the computer through an Internet Protocol (IP) connection and affect in real time the virtual environment. The application is developed as a game in order to draw the patient's interest. In this game, the patient tries to follow a curve by moving each of his/her hands around space. The curve of each hand is defined at the beginning of the application using the doctor's assistance. The curve of every hand can be any curve in space that the patient's hand can follow. Therefore, the exercise is adjustable on every patient and his/her body structure. The rehabilitation exercise can be performed with either one or both hands. The speed of exercise execution is also adjustable on every patient's abilities and needs. By the end of the exercise, patient is given feedback of his/her performance on the application screen and he/she is also provided with real time performance feedback during the exercise.

Key Words

Virtual Reality, Virtual Environment, Muscle Rehabilitation, Physical Therapy, Motion Tracker, 3D Engine, Physics Engine

Πρόλογος

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση μίας πλατφόρμας για την υποβοήθηση της αποκατάστασης των άνω άκρων από μυϊκούς τραυματισμούς. Κατά τη χρήση της πλατφόρμας, ο χρήστης κρατάει στα χέρια του δύο βαράκια και βλέπει στην οθόνη ένα εικονικό περιβάλλον. Οι κινήσεις του χρήστη ανιχνεύονται από έναν ιχνηλάτη κίνησης (motion tracker). Ο tracker στέλνει τις στιγμιαίες συντεταγμένες θέσης των χεριών του χρήστη στην εφαρμογή, η οποία δημιουργεί μία εικονική διάδραση με την κίνηση του χρήστη. Έτσι, ο χρήστης εκτελεί τις ασκήσεις φυσιοθεραπείας παίζοντας ένα παιχνίδι.

Στο πρώτο κεφάλαιο εισάγονται οι έννοιες της Εικονικής Πραγματικότητας και της Μυϊκής Αποκατάστασης. Αναλύεται η δομή των συστημάτων Εικονικής Πραγματικότητας, το σύστημα επεξεργασίας, τα συστήματα εισόδου – εξόδου και δίνονται παραδείγματα εφαρμογών στα οποία χρησιμοποιούνται τα συστήματα αυτά. Αναλύεται επίσης η χρησιμότητα της Εικονικής Πραγματικότητας στα συστήματα αποκατάστασης μυϊκών δυσλειτουργιών και περιγράφονται σύντομα κάποιες ενδεικτικές επιστημονικές εργασίες που υλοποιούν συστήματα φυσιοθεραπείας βασισμένα στην Εικονική Πραγματικότητα. Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται η πλατφόρμα την οποία υλοποιήσαμε, οι προδιαγραφές της, ο τρόπος λειτουργίας και η χρήση της. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα εργαλεία υλοποίησης που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής. Περιγράφονται τα βασικά στοιχεία ενός εικονικού κόσμου: τα 3D μοντέλα, οι πηγές φωτός, οι κάμερες και οι μηχανές προσομοίωσης φυσικής. Επίσης, περιγράφεται το λογισμικό Virtools με τις βασικές βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, ο Personal Space Tracker και το σύστημα λειτουργίας και διαχείρισής του. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος υλοποίησης της κάθε λειτουργίας της εφαρμογής. Για τις κύριες λειτουργίες της εφαρμογής παρατίθεται ο κώδικας με τη μορφή εικόνων. Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, καθώς και ιδέες για την περαιτέρω ανάπτυξη και τη διεύρυνση της λειτουργικότητας της πλατφόρμας.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο *Εργαστήριο Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών* υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Ν. Ουζούνογλου και του Ερευνητή Α' ΕΠΙΣΕΥ Δρ. Α. Αμδίτη. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ουζούνογλου, τον κ. Αμδίτη και την ερευνητική του ομάδα Εικονικής Πραγματικότητας, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Π. Ψώνη για την πολύτιμη βοήθειά του κατά την ανάπτυξη της εφαρμογής.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Πρόλογος.....	7
Περιεχόμενα.....	8
Πίνακας Εικόνων.....	10
1. Εισαγωγή.....	13
1.1. Εικονική Πραγματικότητα.....	13
1.1.1. Πώς λειτουργεί ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας.....	14
1.1.2. Εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας.....	20
1.2. Μυική αποκατάσταση.....	23
1.2.1. Σχετικό Ερευνητικό Έργο.....	25
2. Περιγραφή της εφαρμογής.....	30
3. Παρουσίαση των Εργαλείων Υλοποίησης.....	33
3.1. Το περιβάλλον Virtools.....	33
3.1.1. Περιγραφή των στοιχείων ενός εικονικού κόσμου.....	34
3.1.1.1. Τα 3-D μοντέλα.....	34
3.1.1.2. Οι πηγές φωτός (lights).....	38
3.1.1.3. Οι κάμερες.....	39
3.1.1.4. Οι Μηχανές Προσομοίωσης Φυσικής (Physics Engines).....	39
3.1.2. Περιγραφή του συστήματος προγραμματισμού του Virtools.....	43
3.1.2.1. 3D transformations.....	45
3.1.2.2. Controllers (Επικοινωνία με το χρήστη).....	45

3.1.2.3. Physics.....	46
3.1.2.4. Virtual Reality (VR Library).....	47
3.2. Ανίχνευση κίνησης.....	47
3.2.1. Personal Space Tracker (PST).....	48
3.2.1.1. Απ' ευθείας προβολή της εικόνας που λαμβάνουν οι κάμερες....	50
3.2.1.2. Ανίχνευση κίνησης.....	50
3.2.1.3. Εκπαίδευση του PST.....	52
3.2.1.4. Επεξεργασία μοντέλου αντικειμένου.....	53
3.2.1.5. Το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς.....	53
4. Περιγραφή Υλοποίησης.....	55
4.1. Σχεδιασμός και ρύθμιση των παραμέτρων της άσκησης.....	55
4.2. Εκτέλεση της άσκησης.....	55
4.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων.....	57
4.4. Υλοποίηση των επιμέρους λειτουργιών.....	57
4.4.1. Περιγραφή του εικονικού 3-D κόσμου.....	57
4.4.2. Έλεγχος της κίνησης των ασπίδων.....	58
4.4.3. Επικοινωνία με το χρήστη κατά τη διάρκεια του Setup και της αναφοράς.....	61
4.4.4. Δημιουργία καμπύλων κίνησης.....	61
4.4.5. Αντίστροφη Μέτρηση.....	62
4.4.6. Κίνηση των δύο σπαθιών.....	66
4.4.7. Σύγκρουση σπαθιού και ασπίδας.....	66
4.4.8. Ανίχνευση κίνησης ασθενούς εκτός τροχιάς.....	68
4.4.9. Προβολή αποτελεσμάτων άσκησης.....	69
5. Συμπεράσματα.....	70
Παράρτημα: Οδηγίες χρήσης της εφαρμογής.....	72
Βιβλιογραφία.....	79

Πίνακας Εικόνων

Κεφάλαιο 1

Εικόνα 1: Η γενική δομή ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας.....	14
Εικόνα 2: Τα μηχανολογικά εξαρτήματα του απτικού γαντιού.....	16
Εικόνα 3: Γραμμικός πολωτής.....	17
Εικόνα 4: Παράδειγμα autostereoscopic οθόνης.....	18
Εικόνα 5: Το σύστημα CAVE.....	18
Εικόνα 6: Παράδειγμα στρατιωτικής εφαρμογής του HMD.....	19
Εικόνα 7: Εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας για την καταπολέμηση της υψοφοβίας.....	22
Εικόνα 8: Παράδειγμα εφαρμογής εικονικής πραγματικότητας για μουσική αποκατάσταση.....	24
Εικόνα 9: Στιγμιότυπο εφαρμογών που αναπτύχθηκαν σε σχετικό ερευνητικό έργο.....	26
Εικόνα 10: Απεικόνιση του εξοπλισμού της πλατφόρμας που αναπτύχθηκε για τη μουσική αποκατάσταση από απόσταση.....	28
Εικόνα 11: Στιγμιότυπο της εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας του Γεωργίου Καραφωτιά.....	29

Κεφάλαιο 2

Εικόνα 12: Στιγμιότυπο της εφαρμογής της εργασίας.....	32
---	----

Κεφάλαιο 3

Εικόνα 13: Το περιβάλλον του λογισμικού Virtools.....	34
Εικόνα 14: 3-D μοντέλα σχεδιασμένα με ειδικό λογισμικό computer-aided design (CAD).....	34
Εικόνα 15: Η ανάλυση της γεωμετρίας ενός παραλληλεπιπέδου.....	35
Εικόνα 16: Παράδειγμα εφαρμογής υψής σε τρισδιάστατο μοντέλο (A).....	37
Εικόνα 17: Παράδειγμα εφαρμογής υψής σε τρισδιάστατο μοντέλο (B).....	37
Εικόνα 18: Παράδειγμα εφαρμογής των εφέ σκιάς και αντανάκλασης.....	38
Εικόνα 19: Παράδειγμα εφαρμογής μηχανής φυσικής.....	40
Εικόνα 20: Η αναπαράσταση των αντικειμένων της μηχανής προσομοίωσης φυσικής σε ιεραρχική δομή.....	42
Εικόνα 21: Προσομοίωση μηχανικής ρευστών από τη Μονάδα Επεξεργασίας Φυσικής PhysX.....	43
Εικόνα 22: Διάφοροι τύποι Building Blocks.....	44
Εικόνα 23: Το Construct Wall του VSL Script Manager, όπου γίνεται η συγγραφή κώδικα.....	44

Εικόνα 24: Μετακίνηση εικονικού ανθρώπου σε κόμβο που επιλέγει ο χρήστης ακολουθώντας τη συντομότερη διαδρομή.....	45
Εικόνα 25: Εφαρμογή όπου ο χρήστης πατάει γράμματα και αριθμούς στο πληκτρολόγιο για να προσομοιώσει τα βέλη και τα πλήκτρα με αριθμούς στην οθόνη.....	46
Εικόνα 26: Προσομοίωση κίνησης αντικειμένων σε κεκλιμένο επίπεδο.....	47
Εικόνα 27: Εφαρμογή όπου ο χορευτής φοράει μία στολή με markers για την ανίχνευση και την ψηφιακή αναπαράσταση των χορευτικών του κινήσεων.....	48
Εικόνα 28: Ο Personal Space Tracker τοποθετημένος πάνω σε ειδικό τρίποδα.....	49
Εικόνα 29: Το πεδίο αναγνώρισης του PST λεπτομερειακά.....	49
Εικόνα 30: Προβολή στην οθόνη του υπολογιστή της εικόνας που λαμβάνουν οι δύο κάμερες του PST.....	50
Εικόνα 31: Λίστα αντικειμένων στα οποία ο PST έχει εκπαιδευτεί.....	51
Εικόνα 32: Απεικόνιση της κίνησης δύο παρακολουθούμενων αντικειμένων στο λογισμικό του PST.....	51
Εικόνα 33: Αντικείμενο με τοποθετημένους δείκτες (markers) στην επιφάνειά του.....	52
Εικόνα 34: Μοντέλο με το οποίο απεικονίζεται το προηγούμενο αντικείμενο από τον tracker.....	52
Εικόνα 35: Το περιβάλλον επεξεργασίας των μοντέλων στο λογισμικό του PST.....	53
Εικόνα 36: Το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς του PST.....	54

Κεφάλαιο 4

Εικόνα 37: Στιγμιότυπο της άσκησης. Τα 2 σπαθιά ξεκινάνε την τροχιά τους προς ένα συγκεκριμένο σημείο των 2 καμπυλών κίνησης του χρήστη.....	56
Εικόνα 38: Στιγμιότυπο της άσκησης. Οι ασπίδες έχουν χτυπήσει τα 2 σπαθιά, τα οποία έχουν εκτροχιαστεί.....	57
Εικόνα 39: Η βιβλιοθήκη 3-D μοντέλων του Virtools.....	58
Εικόνα 40: Ο κώδικας που ελέγχει την κίνηση της αριστερής ασπίδας μέσω των δεδομένων κίνησης του αριστερού χεριού του χρήστη.....	59
Εικόνα 41: Κώδικας εισαγωγής του αντικειμένου της ασπίδας στην προσομοίωση φυσικής.....	60
Εικόνα 42: Παράμετροι εισόδου του Physicalize.....	60
Εικόνα 43: Παράμετροι εισόδου του Motion Controller.....	61

Εικόνα 44: Το script δημιουργίας των καμπυλών κίνησης.....	63
Εικόνα 45: Η υλοποίηση της αυξομείωσης των επαναλήψεων (number_of_repeats) και της διάρκειας επανάληψης (repeat_time).....	64
Εικόνα 46: Το script που υλοποιεί την αντίστροφη μέτρηση.....	65
Εικόνα 47: Το script που ελέγχει την κίνηση των σπαθιών και τον εντοπισμό και το χειρισμό των συγκρούσεών τους με τις ασπίδες.....	67
Εικόνα 48: Το script της δυναμικής εκχώρησης 2D material στο αντικείμενο του φαναριού.....	69
Εικόνα 49: Το script που κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς για τα στατιστικά στοιχεία από την εκτέλεση της άσκησης και τα παρουσιάζει στην οθόνη.....	69

Παράρτημα

Εικόνα 50: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία της εισαγωγής των σημείων των καμπυλών της άσκησης.....	73
Εικόνα 51: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων.....	74
Εικόνα 52: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία της επιλογής του χεριού - χεριών που θα εκτελέσουν την άσκηση.....	75
Εικόνα 53: Στιγμιότυπο της άσκησης κατά την εκτέλεσή της μόνο με το δεξί χέρι.....	76
Εικόνα 54: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διάρκεια της αντίστροφης μέτρησης.....	77
Εικόνα 55: Στατιστικά από την εκτέλεση της άσκησης με δύο χέρια.....	78
Εικόνα 56: Στατιστικά από την εκτέλεση της άσκησης με ένα χέρι.....	78

1. Εισαγωγή

1.1. Εικονική Πραγματικότητα

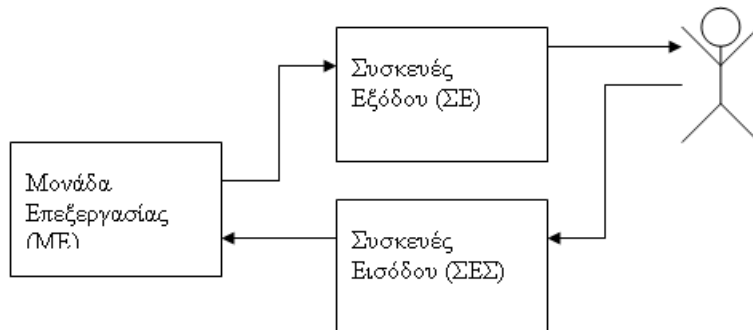
Η εικονική πραγματικότητα είναι ένα τρισδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης σε υπολογιστή του οποίου η απεικόνιση γίνεται σε πραγματικό χρόνο και η συμπεριφορά των αντικειμένων που απεικονίζονται σε αυτό εξαρτώνται από τη συμπεριφορά του χρήστη. Σε ένα εικονικό περιβάλλον απεικονίζονται αντικείμενα και δράστες (actors). Η απεικόνισή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο χρήστης να έχει την αίσθηση ότι βρίσκεται μέσα στη δράση που απεικονίζει το περιβάλλον και ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε αυτή. Έτσι οι αισθήσεις του χρήστη διεγείρονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό και η εμπειρία του γίνεται όσο το δυνατόν πιο συναρπαστική. Η εικονική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από την ψευδαίσθηση της συμμετοχής σε ένα σύνθετο περιβάλλον και όχι απλώς από την εξωτερική παρατήρηση ενός τέτοιου περιβάλλοντος.

Τελευταία, στην επιστημονική κοινότητα, αποφεύγεται η χρήση του όρου Εικονική Πραγματικότητα και χρησιμοποιείται ο όρος Εικονικό Περιβάλλον, Virtual Environment στα αγγλικά, (αγγλική συντομογραφία VE).

Όραση, ακοή, αφή, γεύση, όσφρηση αλλά και η αίσθηση του προσανατολισμού διεγείρονται από τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας με εξειδικευμένα εξαρτήματα, ειδικά σχεδιασμένα για κάθε αίσθηση και με συγκεκριμένες προδιαγραφές, ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Ο χρήστης ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας αντιδρά στα ερεθίσματα που δέχονται οι αισθήσεις του χρησιμοποιώντας το μυϊκό σύστημα. Οι μυϊκές κινήσεις του χρήστη διεγείρουν με την σειρά τους διάφορα αισθητήρια όργανα, τα οποία παράγουν πληροφορίες για την προσαρμογή του εικονικού περιβάλλοντος με βάση τις αντιδράσεις του χρήστη. Ο σκοπός της ύπαρξης ενός τέτοιου συστήματος είναι η συμμετοχή του χρήστη σ' ένα περιβάλλον όπου θα ήταν αδύνατο ή πάρα πολύ δύσκολο ή ακόμα και πολύ επικίνδυνο να βρεθεί κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Το σύστημα αυτό στηρίζεται στην αλληλεπίδραση των αισθήσεων και του μυϊκού συστήματος με ένα υπολογιστικό σύστημα μέσω ειδικών εξαρτημάτων. Η αλληλεπίδραση αυτή διευκολύνεται με τη δημιουργία ενός εικονικού περιβάλλοντος το οποίο προσομοιώνει όσο γίνεται πιο ρεαλιστικά τις συνθήκες που συναντώνται στην πραγματικότητα. Ο χρήστης, μέσα από την εμπειρία της εικονικής πραγματικότητας, μπορεί να βελτιώσει τις ικανότητές του στο χειρισμό μηχανημάτων (αεροπλάνα, διαστημόπλοια κ.α.) , να ξεπεράσει κάποιες συγκεκριμένες φοβίες όπως υψοφοβία, κλειστοφοβία ή τη φοβία για τα έντομα, να ξεπεράσει μυϊκές δυσλειτουργίες ή και να ψυχαγωγηθεί.

1.1.1. Πώς λειτουργεί ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας

Η γενική δομή ενός Συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα 1: Η γενική δομή ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας

Η **Μονάδα Επεξεργασίας** είναι η καρδιά ενός συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας. Είναι το συστατικό αυτό που δέχεται την αντίδραση του ανθρώπου (φωνή, κίνηση) μέσω των Συσκευών Εισόδου και αφού την επεξεργαστεί, παράγει τα εικονικά ερεθίσματα (ήχος, εικόνα, αφή) που πρέπει να δεχτεί ο άνθρωπος, ώστε να νομίσει ότι βρίσκεται στον Εικονικό κόσμο. Οι **Συσκευές Εξόδου** είναι αυτές, οι οποίες αναλαμβάνουν τη μεταφορά των εικονικών ερεθισμάτων στον άνθρωπο ενώ οι **Συσκευές Εισόδου** είναι αυτές που μεταφέρουν τις αντιδράσεις του ανθρώπου στη Μονάδα Επεξεργασίας. Παρακάτω αναλύονται οι τρεις αυτές μονάδες και δίνονται πραγματικά στοιχεία για αυτές.

Μονάδα Επεξεργασίας

Η μονάδα αυτή στην πράξη είναι ένα υπολογιστικό σύστημα με εισόδους και εξόδους, οι οποίες συνήθως είναι ψηφιακές. Θα μπορούσε να είναι ένας απλός υπολογιστής, εφοδιασμένος με ειδικό λογισμικό, το οποίο είναι υπεύθυνο δεδομένου ότι έλαβε τις αντιδράσεις του ανθρώπου (στις εισόδους του), να δημιουργήσει τα ερεθίσματα του Εικονικού κόσμου (στις εξόδους του), ώστε ο άνθρωπος να νοιώσει «εμβυθισμένος» στον κόσμο αυτό. Σε κάποιες περιπτώσεις ο εικονικός κόσμος είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος και το πλήθος των συσκευών εισόδου και εξόδου μεγάλο. Σε αυτές τις περιπτώσεις η επεξεργαστική ισχύς ενός μοναδικού υπολογιστή δεν είναι αρκετή και το υπολογιστικό σύστημα αποτελείται από περισσότερους συνδεδεμένους υπολογιστές οι οποίοι μοιράζονται το υπολογιστικό φορτίο της εφαρμογής (computer cluster). Σε αυτή την περίπτωση, εκτός του λογισμικού που απαιτείται για την εφαρμογή,

απαιτείται και επιπλέον λογισμικό το οποίο συγχρονίζει τους υπολογιστές και οργανώνει τον καταμερισμό των εργασιών μεταξύ τους. Επίσης, απαιτείται η σύνδεσή τους με δίκτυο υψηλής ταχύτητας για την αποδοτική ανταλλαγή εντολών και δεδομένων. Συνήθως, οι υπολογιστές συνδέονται με δίκτυο Local Area Network (LAN).

Συσκευές Εισόδου

Οι συσκευές αυτές είναι ουσιαστικά οι αισθητήρες, οι οποίοι μετατρέπουν δεδομένα που έχουν να κάνουν με την αντίδραση του ανθρώπου σε ψηφιακή πληροφορία, κατάλληλη για να την επεξεργασίας της από τη Μονάδα Επεξεργασίας. Για παράδειγμα η φωνή είναι κάτι που παράγεται από τον άνθρωπο και αποτελεί ένα φυσικό σήμα και πρέπει απαραίτητως να μετατραπεί σε πληροφορία που μπορεί να γίνει αντιληπτή από έναν υπολογιστή, δηλαδή πρέπει να μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα.

Συνήθως αυτή η συσκευή είναι ένας **Ιχνηλάτης Κίνησης** (Motion Tracker), ο οποίος είναι τοποθετημένος είτε στο κεφάλι του ανθρώπου και λέγεται **Ιχνηλάτης Κεφαλής** (Head Tracker), είτε στο σώμα του οπότε λέγεται **Ιχνηλάτης Σώματος** (Body Tracker). Οι trackers, ανάλογα με τις πληροφορίες που παράγουν για την κίνηση των αντικειμένων, κατηγοριοποιούνται ως προς τους βαθμούς ελευθερίας που προσφέρουν. Εάν ένας tracker επιστρέφει μόνο τη θέση των αντικειμένων στο χώρο τότε έχει 3 βαθμούς ελευθερίας, ενώ εάν επιστρέφει και τον προσανατολισμό τους έχει 6 βαθμούς ελευθερίας.

Συσκευή εισόδου που μεταφέρει την πληροφορία της αφής αποτελεί το λεγόμενο **Γάντι Αίσθησης** (απτικό γάντι - haptic glove). Τα απτικά γάντια είναι ένας μηχανισμός που έχει το σχήμα του ανθρώπινου χεριού. Όπως όλα τα γάντια, επιτρέπουν την εύκολη είσοδο του χεριού και την κίνηση των δακτύλων. Ωστόσο, τα απτικά γάντια, έχουν ηλεκτρονικά καλώδια και μηχανισμούς που συνεισφέρουν στην αίσθηση προσομοίωσης και επιτρέπουν την αλληλεπίδραση με ηλεκτρονικές εικόνες. Η λειτουργία τους βασίζεται σε δύο κύριες εφαρμογές. Από τη μία, τα γάντια επιτρέπουν σε αυτόν που τα φοράει να λαμβάνει κάποια διέγερση (δύναμη ή δόνηση) στα δάχτυλά του που μιμείται την πραγματική φυσική επαφή με ένα αντικείμενο ή πρόσωπο. Έτσι, η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στο άτομο, όχι μόνο να βλέπει την εικονική προσομοίωση αλλά και να αλληλεπιδρά φυσικά με αυτή. Στη λειτουργία αυτή τα απτικά γάντια συμπεριφέρονται ως συσκευές εξόδου. Από την άλλη, μπορεί να κουνά τα δάχτυλα επιδρώντας στην προσομοίωση. Δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιήσει τα γάντια για να κινηθεί ο ίδιος εντός της εικονικής πραγματικότητας και να αλληλεπιδράσει στα στοιχεία της. Αυτή η αίσθηση κίνησης και αφής φαίνεται απόλυτα φυσική στο άτομο που φορά τα γάντια.

Συσκευές εισόδου για τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας αποτελούν και οι συνήθεις συσκευές εισόδου του υπολογιστή, το πληκτρολόγιο και το ποντίκι.

Επίσης, η είσοδος μπορεί να λαμβάνεται από ένα σύστημα διεπαφής εγκεφάλου – υπολογιστή (**Brain – Computer Interface, BCI**). Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην τεχνολογία του ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος ή του ηλεκτρομυογραφήματος και ανιχνεύουν τα σήματα που μεταδίδονται από συγκεκριμένα νεύρα ή από ομάδες νεύρων στις διάφορες περιοχές του εγκεφάλου ή των μυών αντίστοιχα. Έτσι, το

σύστημα διεπαφής μπορεί να καταλάβει τις ενέργειες ή τις προθέσεις του χρήστη αποκωδικοποιώντας τα σήματα που λαμβάνει από τα εγκεφαλικά του νεύρα και να τα μεταφέρει ως είσοδο στο περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας. Έτσι, ο χρήστης αλληλεπιδρά με το εικονικό περιβάλλον μέσω της σκέψης του.



Εικόνα 2: Τα μηχανολογικά εξαρτήματα του απτικού γαντιού χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της κίνησης του χεριού του χρήστη αλλά και για την απόδοση feedback με τη μορφή δυνάμεων ή δονήσεων.

Συσκευές Εξόδου

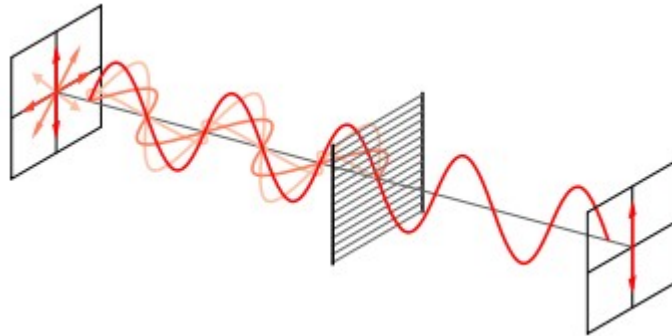
Οι Συσκευές εξόδου είναι υπεύθυνες για να μεταφέρουν στον άνθρωπο τα χαρακτηριστικά του Εικονικού Περιβάλλοντος. Οι βασικές συσκευές εξόδου στην εικονική πραγματικότητα είναι οι εξής:

Οθόνες σε συνδυασμό με στερεοσκοπικά γυαλιά:

Για να δημιουργηθεί η ψευδαίσθηση της τρισδιάστατης εικόνας, προβάλλονται στην οθόνη δύο εικόνες, μία για κάθε μάτι. Οι δύο αυτές εικόνες συντίθενται στον εγκέφαλο όπως ακριβώς οι δύο εικόνες που λαμβάνουν τα δύο μάτια από τον πραγματικό κόσμο και δημιουργούν την αντίληψη της προοπτικής του τρισδιάστατου χώρου. Τα γυαλιά που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε 2 κατηγορίες, τα ενεργά και τα παθητικά.

Τα ενεργά στερεοσκοπικά γυαλιά χρησιμοποιούν ασύρματη επικοινωνία μέσω υπερύθρων ακτίνων, ραδιοσυχνοτήτων ή Bluetooth για να συγχρονίσουν τη διέλευση του φωτός προς το κάθε μάτι με τις αντίστοιχες εικόνες που παρουσιάζονται στην οθόνη. Η διέλευση ή μη διέλευση μέσα από τα γυαλιά επιτυγχάνεται με ένα στρώμα υγρών κρυστάλλων στο φακό των γυαλιών το οποίο έχει την ιδιότητα να είναι αδιαφανές όταν δέχεται ηλεκτρική τάση και διαφανές όταν δεν δέχεται τάση.

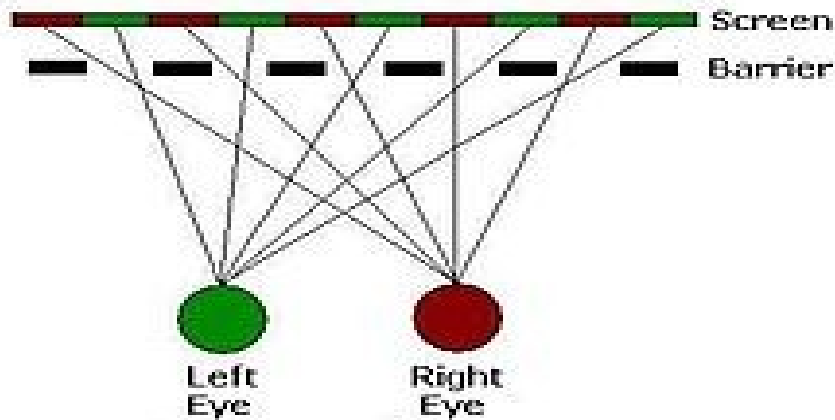
Τα παθητικά γυαλιά χρησιμοποιούν την πόλωση του φωτός για να ξεχωρίσουν το φως που θα διέλθει σε κάθε μάτι. Οι δύο εικόνες παρουσιάζονται στην οθόνη μέσω διαφορετικών φίλτρων πόλωσης. Αντίστοιχα, ο φακός των γυαλιών έχει τα αντίστοιχα διαφορετικά φίλτρα πόλωσης για κάθε μάτι με αποτέλεσμα αυτά τα φίλτρα να επιτρέπουν τη διέλευση μόνο μίας εικόνας από κάθε φακό.



Εικόνα 3: Ένας γραμμικός πολωτής μετατρέπει μία μη πολωμένη δέσμη σε πολωμένο φως. Οι κάθετες συνιστώσες από όλα τα κύματα διέρχονται από το φίλτρο, ενώ οι οριζόντιες απορροφώνται ή ανακλώνται

Autostereoscopic οθόνες:

Οι autostereoscopic οθόνες είναι οθόνες οι οποίες δε χρειάζονται γυαλιά για να δημιουργήσουν την ψευδαίσθηση της τρισδιάστατης εικόνας. Η τεχνολογία των οθονών αυτών χρησιμοποιεί 2 προσεγγίσεις για τη λύση του προβλήματος της εξάρτησης από τη θέση του χρήστη. Η πρώτη προσέγγιση είναι οι οθόνες που παρακολουθούν τη θέση των ματιών για να χρησιμοποιήσουν κατάλληλη κατεύθυνση για κάθε εικόνα (eye tracking) και η δεύτερη είναι οι οθόνες που χρησιμοποιούν πολλές κατευθύνσεις ταυτόχρονα ώστε να γίνεται σωστά αντιληπτή η κάθε εικόνα ανεξάρτητα από τη θέση των ματιών του χρήστη.



Εικόνα 4: Παράδειγμα autostereoscopic οθόνης. Μπροστά από την οθόνη τοποθετείται ένα φράγμα σχεδιασμένο έτσι ώστε το κάθε μάτι να βλέπει συγκεκριμένα κομμάτια της οθόνης. Σε αυτή την περίπτωση η θέση του χρήστη είναι προκαθορισμένη.

Τα συστήματα CAVE:

Τα συστήματα Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) είναι δωμάτια σε σχήμα κύβου όπου οι τοίχοι τους παρουσιάζουν εικόνες μέσω προβολών. Ο χρήστης μπαίνει μέσα στα δωμάτια αυτά και φορώντας ενεργά ή παθητικά στερεοσκοπικά γυαλιά βλέπει γύρω του ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Σε αυτά τα συστήματα, ο χρήστης μπορεί να δει αντικείμενα να αιωρούνται γύρω του, καθώς και να περιηγηθεί στον εικονικό τρισδιάστατο χώρο και γύρω από αυτά τα αντικείμενα βλέποντας τα από όλες τις οπτικές γωνίες. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω αισθητήρων που παρακολουθούν την κίνηση του χρήστη καθώς αυτός περπατάει και προσαρμόζουν ανάλογα τις προβαλλόμενες εικόνες.



Εικόνα 5: Το σύστημα CAVE. Το δωμάτιο έχει κυβικό σχήμα και προβολείς δείχνουν εικόνες στους τοίχους του.

Head-Mounted Displays (HMDs):

Τα συστήματα HMD είναι εξαρτήματα τα οποία εφαρμόζονται σε ειδικά κράνη, τοποθετούνται στο κεφάλι του χρήστη και προσαρμόζουν μία μικρή οθόνη μπροστά από το ένα μάτι (monocular HMD) ή από το καθένα από τα δύο μάτια (binocular HMD). Οι εικόνες που εμφανίζονται στις οθόνες μπορεί να είναι αποκλειστικά παραγόμενες από το υπολογιστικό σύστημα ή μπορεί να είναι και συνδυασμός του εικονικού περιβάλλοντος με το πραγματικό περιβάλλον γύρω από το χρήστη.

Η απεικόνιση του πραγματικού περιβάλλοντος επιτυγχάνεται με 2 τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η προβολή της ψηφιακής εικόνας μέσω μερικής ανακλαστικών καθρεφτών. Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης έχει άμεση φυσική εικόνα του περιβάλλοντός του (Optical See-Through). Ο δεύτερος τρόπος είναι η χρησιμοποίηση κάμερας η οποία λαμβάνει την εικόνα του περιβάλλοντος, η οποία ακολούθως αναμιγνύεται ηλεκτρονικά με την ψηφιακή εικόνα (Video See-Through).

Τα συστήματα HMD χρησιμοποιούν αισθητήρες θέσης και προσανατολισμού του κεφαλιού του χρήστη (head tracking), έτσι ώστε να προσαρμόζουν την εικόνα σύμφωνα με τις κινήσεις του. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να δει προς όλες τις κατευθύνσεις του τρισδιάστατου εικονικού περιβάλλοντος γυρνώντας το κεφάλι του προς διάφορες κατευθύνσεις.

Επίσης, παρακολουθείται η κατεύθυνση προς την οποία κοιτάει ο χρήστης (eye tracking). Γνωρίζοντας το ακριβές σημείο στο οποίο κοιτάει ο χρήστης, το σύστημα μπορεί να προσθέσει διάφορες λειτουργίες, όπως για παράδειγμα την υποστήριξη μενού μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Ανάλογα με το εικονικό αντικείμενο το οποίο κοιτάει ο χρήστης το σύστημα προσαρμόζεται προβάλλοντας επιπλέον λεπτομέρειες σχετικά με αυτό.



*Εικόνα 6: Παράδειγμα στρατιωτικής εφαρμογής:
Αλεξιπτωτιστής εκπαιδεύεται με το σύστημα HMD.*

Τρισδιάστατη αναπαραγωγή ήχου:

Η τρισδιάστατη αναπαραγωγή ήχου χρησιμοποιείται σε διάφορα συστήματα εικονικής πραγματικότητας, μεταξύ των οποίων είναι και τα συστήματα CAVE. Στο χώρο γύρω από το χρήστη τοποθετούνται πολλά ηχεία τα οποία, ελεγχόμενα μέσω του λογισμικού, δίνουν την ηχητική ψευδαίσθηση του τρισδιάστατου περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται αναπαράγοντας έναν ήχο από τα κατάλληλα τοποθετημένα ηχεία σε σχέση με τη θέση και τον προσανατολισμό του χρήστη και στην κατάλληλη ένταση (μία πηγή ήχου στο εικονικό περιβάλλον τοποθετημένη “κοντά” στο χρήστη παράγει ήχο με μεγαλύτερη ένταση).

1.1.2. Εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας

Η Εικονική Πραγματικότητα έχει μία πληθώρα εφαρμογών, των οποίων ο αριθμός ολοένα και αυξάνεται. Θα αναφέρουμε τις κυριότερες από αυτές.

Εκπαίδευση: Μία από τις βασικότερες εφαρμογές, η οποία όταν γίνεται σε περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας, δίνει καταρχήν στον εκπαιδευόμενο τη δυνατότητα της εμπειρίας, δηλαδή να μάθει υπό την μορφή της ενεργής συμμετοχής του σε αντίθεση με το διάβασμα που είναι μία διεργασία οπτική και νοητική. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι έτσι προσφέρεται η δυνατότητα της εκμάθησης μέσω περιήγησης σε περιβάλλοντα, στα οποία δεν είναι δυνατόν να γίνει εκπαίδευση, είτε λόγω απόστασης, είτε λόγω ότι αυτά είναι παρελθοντικά είτε ακόμα διότι είναι άκρως επικίνδυνα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα συστήματα προσομοίωσης πτήσης, με βάση τα οποία εκπαιδεύονται οι πιλότοι πριν βρεθούν σε πραγματικές συνθήκες. Η βιομηχανία της άμυνας είναι ίσως ο μεγαλύτερος χρηματοδότης στην έρευνα που γίνεται για την εικονική πραγματικότητα, αφού μπορούν να εκπαιδεύσουν τους ανθρώπους ακόμα και σε πραγματικές συνθήκες μάχης, έχοντας ανθρώπινο εχθρό (έναν άλλο εκπαιδευόμενο που συμμετέχει) και όχι τον υπολογιστή που σκέφτεται τυποποιημένα.

Ερευνητικό έργο:

1. [Construct3D: A Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education](#),

[Hannes Kaufmann](#), [Dieter Schmalstieg](#), [Michael Wagner](#)

2. [Virtual reality in surgical education](#),

David Ota, Bowen Loftin, Tim Saito, Robert Lea, James Keller.

3. Applying virtual reality in education: A prototypical virtual physics laboratory,
Loflin, R.B; Engleberg, M.; Benedetti, R.; Houston Univ., TX, USA.

Κατασκευές: Πάλι βασιζόμαστε στην οπτικοποίηση και φτιάχνουμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής. Ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει το μοντέλο εσωτερικά ή να περιηγηθεί (spatial navigation) στο εσωτερικό του βλέποντας ακόμα πιο πολλές λεπτομέρειες. Χρησιμοποιείται κυρίως στη ναυπηγική, αρχιτεκτονική, γλυπτική, αρχαιολογία, αυτοκινητοβιομηχανία και στο εμπόριο, όπου παρουσιάζεται το μοντέλο του προϊόντος στο μελλοντικό αγοραστή. Για παράδειγμα, ένα σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας που έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει το υπό σχεδιασμό κτίριο ή αυτοκίνητο σε τρεις διαστάσεις, μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή σφαλμάτων, που αλλιώς δε θα ήταν ορατά πριν την κατασκευή του πραγματικού προϊόντος.

Ερευνητικό έργο:

1. Virtual assembly using virtual reality techniques,
Sankar Jayaram, Hugh I Connacher, Kevin W Lyons

2. From CAD to virtual reality: modelling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools ,
J. Whyte, N. Bouchlaghem, A. Thorpe, R. McCaffer

Ιατρική: Η ραγδαία εξέλιξη της τηλεϊατρικής και της ρομποτικής καθιστά πλέον δυνατή την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ιατρών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους και στην εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων εξ αποστάσεως μέσω ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας όπου ο απομακρυσμένος ιατρός θα βλέπει τον ασθενή και θα χειρίζεται το χειρουργικό ρομπότ στο εικονικό περιβάλλον. Επιπλέον, η τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας έχει να προσφέρει πολλά στους ανθρώπους με ειδικές ανάγκες, αφού μπορεί να προσφέρει εναλλακτικές «πραγματικότητες» μέσω οπτικών, ηχητικών και απτικών συσκευών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το Γάντι Αίσθησης, το οποίο χρησιμοποιείται ως συσκευή εισόδου από έναν βαρύκοο, ο οποίος επικοινωνεί μέσω χειρονομιών και οι οποίες μετατρέπονται μέσω ειδικού συστήματος σε κείμενο, όταν πρόκειται για απομακρυσμένο βαρύκοο συνομιλητή ή ομιλία όταν πρόκειται για τυφλό συνομιλητή. Ακόμα, χρησιμοποιείται στην ψυχιατρική με τον υπεύθυνο γιατρό να τοποθετεί τον ασθενή στο κατάλληλο εικονικό περιβάλλον ώστε να μπορέσει να ξεπεράσει ορισμένες φοβίες ή να συμμετάσχει σε ένα ψυχολογικό πείραμα το οποίο ο ασθενής μπορεί εύκολα να διακόψει όταν αρχίσει να μην αισθάνεται άνετα. Τέλος, ένας ασθενής με κινητικά προβλήματα, μπορεί να «εισέλθει» σε έναν εικονικό κόσμο όπου θα πρέπει να κάνει κάποιες κινήσεις στον πραγματικό κόσμο για να πετύχει τους στόχους της εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας, αλλά

ταυτόχρονα οι κινήσεις αυτές θα βοηθούν τη σωματική αποκατάστασή του.



Εικόνα 7: Εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας για την καταπολέμηση της υσφοβίας

Ερευνητικό έργο:

1. Current and future applications of virtual reality for medicine, Satava,R.M.; Jones,S.B.; Dept. of Surg., Yale Univ. Sch. of Med., New Haven, CT
2. Surgical simulation and virtual reality: the coming revolution, T M Krummel.
3. Virtual reality in medicine-computer graphics and interaction techniques, Haubner, M.; Krapichler, C.; Losch, A.; Englmeier, K.-H.; Van Eimeren, W.; Inst. of Med. Inf. & Health Services Res., GSF-Nat. Res. Center for Environ. & Health, Neuherberg, Germany

Μοριακή μοντελοποίηση: Αποτελεί άλλη μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή, κατά την οποία μπορεί κανείς να δει τρισδιάστατα μοντέλα μοριακών ενώσεων, κάτι που όχι μόνο βοηθά στην αντίληψή τους αλλά και στην ανίχνευση νέων ενώσεων.

Ερευνητικό έργο:

1. Application of a stochastic name-passing calculus to representation and simulation of molecular processes, Corrado Priami, Aviv Regev, Ehud Shapiro, William Silverman
2. The molecular modeling toolkit: A new approach to molecular simulations, Konrad Hinszen

3. VMD: Visual molecular dynamics,
William Humphrey, Andrew Dalke, Klaus Schulten

Ψυχαγωγία: Ήδη έχουν αναπτυχθεί τα πρώτα βιντεοπαιχνίδια στα οποία χρησιμοποιείται περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας και ο παίκτης έχει την αίσθηση ότι βρίσκεται μέσα στον τόπο που διαδραματίζεται το σενάριο του παιχνιδιού. Συνήθως, ο χρήστης απεικονίζεται ως μια οντότητα μέσα στον εικονικό κόσμο της οποίας ελέγχει τις κινήσεις και ενέργειες με τη βοήθεια του συστήματος ανίχνευσης (tracking) του εικονικού συστήματος.

Ερευνητικό έργο:

1. From visual simulation to virtual reality to games,
Zyda, M.; Inf. Sci. Inst., Univ. of Southern California, Marina del Rey, CA, USA

2. Game engine virtual reality with CaveUT,
Jacobson, J.; Lewis, M.; Pittsburgh Univ., PA, USA

3. Applying mixed reality to entertainment,
Stapleton, C.; Hughes, C.; Moshell, M.; Micikevicius, P.; Altman, M.;
Entertainment Res., Univ. of Central Florida, Orlando, FL

1.2. Μυϊκή αποκατάσταση

Η αποκατάσταση της κίνησης μετά από κάποιο ατύχημα απαιτεί στις πιο πολλές περιπτώσεις ειδικούς οι οποίοι υποδεικνύουν στον ασθενή τις ασκήσεις που πρέπει να κάνει και οι οποίοι τον παρακολουθούν τον πιο πολύ χρόνο. Ασθενείς με τραυματισμό στον εγκέφαλο υποφέρουν από διαταραχές της ισορροπίας που προκαλούνται από πολλούς παράγοντες, όπως μεταβολές σε μηχανικά στοιχεία (πχ δύναμη, ένταση), καθώς και διαταραχές στην αντίληψη και στο συγχρονισμό της κίνησης. Οι στρατηγικές που αποκαθιστούν τη διατήρηση της ισορροπίας και τον έλεγχο της στάσης του σώματος έχουν μεγάλη σημασία, για να γίνει ο ασθενής αυτόνομος στις καθημερινές του δραστηριότητες.

Στην εικονική πραγματικότητα, προχωρημένες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν προσομοιωμένα, διαδραστικά και πολυδιάστατα περιβάλλοντα. Οπτικές διεπαφές, όπως οθόνες και κράνη εμβύθισης, απτικές διεπαφές, καθώς και συσκευές ανίχνευσης κίνησης χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν περιβάλλοντα που επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με εικόνες και εικονικά αντικείμενα σε

πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια αισθητήρων πολλαπλών μορφών. Υπάρχουν τρεις κύριοι παράγοντες στην αποκατάσταση κίνησης: πρώιμη παρέμβαση (early intervention), προπόνηση με σκοπό την εκτέλεση εργασιών (task-oriented training) και εντατικές επαναλήψεις (repetition intensity).

Ένα χαρακτηριστικό - κλειδί που διακρίνει την εικονική πραγματικότητα από το βίντεο και την τηλεόραση είναι η αλληλεπίδραση. Σε κάποια συστήματα, η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω ενός δείκτη (pointer) που τον χειρίζεται ο χρήστης με το ποντίκι ή το joystick. Σε άλλα συστήματα, η αναπαράσταση του χεριού του χρήστη (ή άλλου μέρους του σώματος) μπορεί να γίνει εντός του περιβάλλοντος καθώς η κίνηση του εικονικού χεριού εξαρτάται αποκλειστικά από το χέρι του χρήστη επιτρέποντας μια πιο φυσική αλληλεπίδραση με τα αντικείμενα. Αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί σε ασθενείς με παράλυση, χωρίς διαφορές στα χαρακτηριστικά της κίνησης μεταξύ της πραγματικής και της εικονικής άσκησης. Επομένως, η εικονική πραγματικότητα προσομοιώνει την πραγματικότητα σε βαθμό ικανοποιητικό, ώστε να παρέχει ένα αποτελεσματικό περιβάλλον εξάσκησης για μυϊκή αποκατάσταση. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι εάν οι δεξιότητες που αποκτά ο ασθενής στο εικονικό περιβάλλον παρουσιάζονται έπειτα και στο πραγματικό, πράγμα που εξαρτάται από το αν η προπόνηση έχει την ίδια διάρκεια με την πραγματική κίνηση και από το αν η προσομοίωση είναι ποιοτικά αξιόπιστη.



Εικόνα 8: Σύστημα εικονικής πραγματικότητας στο οποίο άτομα με ειδικές ανάγκες μπαίνουν σε ένα εικονικό παιχνίδι, όπου αναγκάζονται να χρησιμοποιήσουν τους ατροφημένους μυς τους και διδάσκονται δεξιότητες ώστε να ανακάμψουν μετά από σοβαρούς τραυματισμούς.

Η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιείται για παράδειγμα για τη μυϊκή αποκατάσταση σε ασθενείς που βρίσκονται σε ακινησία διότι πάσχουν είτε από τη νόσο

του Parkinson, είτε από ημιπληγία, είτε από τραυματισμούς στο νωτιαίο μυελό. Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στη φυσιοθεραπεία και για τη μείωση του πόνου μετά από εγχείρηση.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε κάποια παραδείγματα εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας, όπως για μυϊκή αποκατάσταση ενός ατόμου που υπέστη τραυματισμό στο νωτιαίο μυελό και χρησιμοποιούσε αναπηρικό καροτσάκι για όλες τις κινήσεις του. Αρχικός στόχος ήταν να βελτιώσει την ισορροπία του ενώ κάθεται, για να μπορεί να κάνει κάποιες δραστηριότητες, όπως να πιάσει ένα βιβλίο από ένα ράφι. Ανάλυση βιντεοσκοπήσεων της διαδικασίας έδειξε ότι χρησιμοποιούσε μόνο ένα χέρι κάθε φορά για να αλληλεπιδράσει με τα εικονικά αντικείμενα, ενώ άφηνε το άλλο χέρι πάνω στα πόδια του ή στο χέρι της αναπηρικής καρέκλας για να κρατά ισορροπία. Καθώς προχωρούσαν οι συνεδρίες εικονικής πραγματικότητας, άρχισε να χρησιμοποιεί και τα δύο χέρια στηριζόμενος στους ασθενείς μύες του κορμού του για να κρατά ισορροπία. Ένα δεύτερο άτομο είχε υποστεί εγκεφαλικό επεισόδιο και μετακινούνταν με τη βοήθεια ενός ξύλινου στηρίγματος λόγω αδυναμίας να ελέγξει τα πόδια του και αδυναμίας να ισορροπήσει. Μπορούσε να κάνει βασικές κινήσεις στα άνω άκρα, υπέφερε όμως από ελαφρά διάσπαση της προσοχής και αντιμετώπιζε πρόβλημα στις βασικές κινήσεις των κάτω άκρων. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε μπάλες που εμφανίζονταν στην εικονική πραγματικότητα από όλες τις πλευρές, έτσι ώστε να πρέπει να επιστήσει την προσοχή του σε όλο τον εικονικό χώρο. Μετά από 3 λεπτά αλληλεπίδρασης, ζήτησε να σηκωθεί όρθιος και να συνεχίσει τη θεραπεία σε όρθια θέση. Και στις δύο περιπτώσεις, οι ασθενείς έδειξαν ενθουσιασμό, ήθελαν να επαναλάβουν την εμπειρία αυτή και αναγνώρισαν την συνεισφορά της στη διαδικασία αποκατάστασής τους.

1.2.1. Σχετικό Ερευνητικό Έργο

A Virtual Reality Based Exercise System for Hand Rehabilitation Post-Stroke

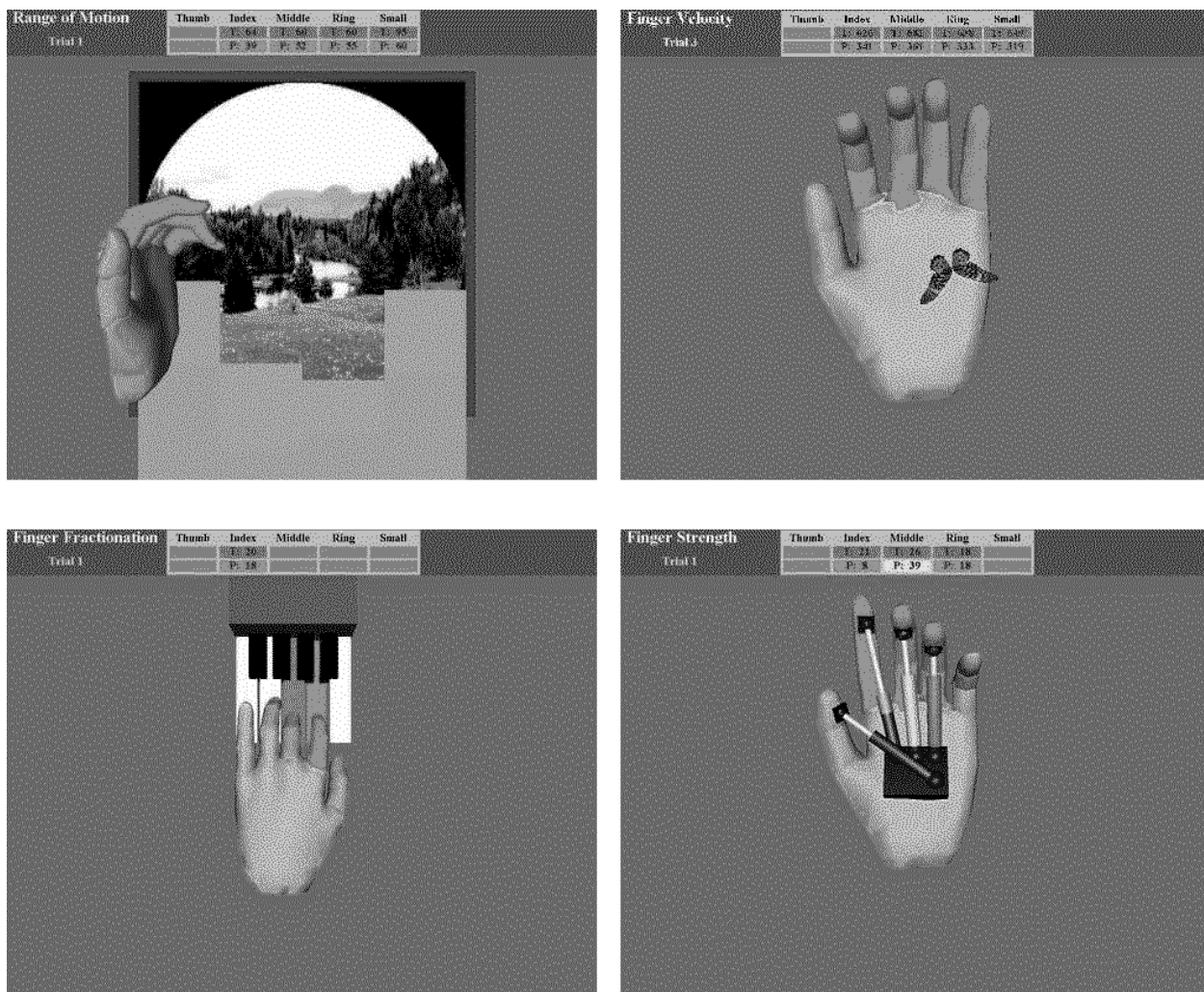
Sergei V. ADAMOVICH, Alma S. MERIANS, Rares BOIAN, Marylin TREMAINE, Grigore S. BURDEA, Michael RECCE Howard POIZNER

Στη μελέτη αυτή, αναπτύχθηκαν εφαρμογές για την αποκατάσταση των μυών των χεριών, ασθενών που είχαν υποστεί στο παρελθόν εγκεφαλικό επεισόδιο και είχαν αποκτήσει χρόνια κινητικά προβλήματα. Η είσοδος των συστημάτων της εφαρμογής ήταν η συσκευή CyberGlove της εταιρίας Immersion Corporation και η συσκευή Rutgers Master II-ND. Οι εφαρμογές είχαν τη μορφή παιχνιδιών, κατά τα οποία οι ασθενείς λάμβαναν τακτικά feedback ως ήχους, εικόνες και αριθμητικά δεδομένα. Επίσης, οι ασθενείς έβλεπαν ταυτόχρονα τα χέρια τους και την ψηφιακή απεικόνιση των χεριών τους που έκαναν την κίνηση. Με τον τρόπο αυτό, οι ασθενείς ενθαρρυνόταν να

συγκεντρωθούν και να προσπαθήσουν να πετύχουν το στόχο τους όλο και περισσότερο.

Το κάθε παιχνίδι είχε σκοπό να εξασκήσει μία μόνο παράμετρο της κίνησης του χεριού των ασθενών. Οι παράμετροι αυτές ήταν το εύρος της κίνησης, η ταχύτητα της κίνησης, η συστολή και η διάταση των δακτύλων.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης, οι ασκήσεις εφαρμόστηκαν σε 8 ασθενείς ηλικίας από 50 μέχρι 81 σε διάρκεια 3 εβδομάδων, με άσκηση 2-2.5 ώρες τη μέρα, 5 μέρες τη βδομάδα. Οι 6 από τους συμμετέχοντες παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στο εύρος της κίνησης και στην ικανότητα να κουνούν τα δάχτυλά τους ανεξάρτητα και οι 4 από αυτούς έκαναν πρόοδο στην ταχύτητα της κίνησης των δακτύλων τους.



Εικόνα 9: Στιγμιότυπα των τεσσάρων εφαρμογών που αναπτύχθηκαν για τη μελέτη. Α) Εύρος κίνησης δακτύλων, Β) Ταχύτητα κίνησης δακτύλων, Γ) Συστολή δακτύλων και Δ) Διάταση δακτύλων. © Rutgers University 2001.

Virtual Reality-Based Orthopedic Telerehabilitation

Grigore Burdea, Viorel Popescu, Vincent Hentz, Kerri Colbert

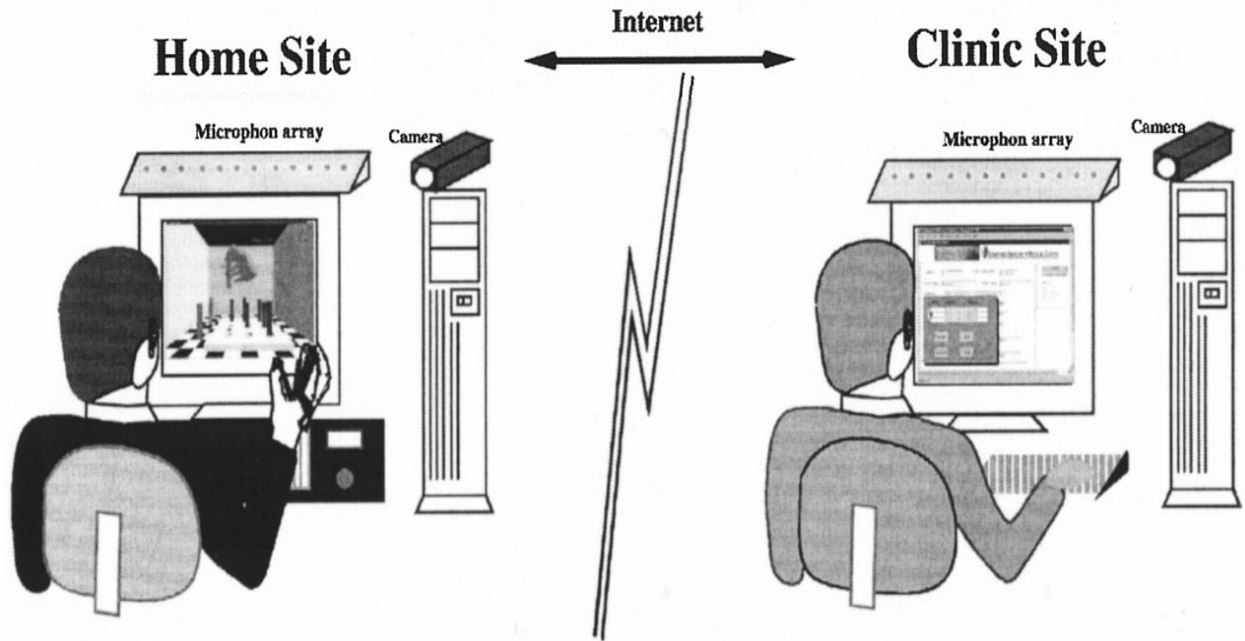
Στη μελέτη αυτή αναπτύχθηκε ένα σύστημα εξάσκησης ασθενών με μυϊκή δυσλειτουργία από απόσταση. Συγκεκριμένα, το υλικό της πλατφόρμας χωρίζεται σε 2 μέρη, τον εξοπλισμό που έχει ο ασθενής στο σπίτι του από όπου εκτελεί τις ασκήσεις και τον εξοπλισμό που διατηρείται στην κλινική.

Ο εξοπλισμός που βρίσκεται στο σπίτι του ασθενούς περιλαμβάνει έναν υπολογιστή με απαραίτητη σύνδεση στο internet, ένα απτικό γάντι με δυνατότητα απόδοσης δυνάμεων ως feedback, μία συσκευή οδήγησης του γαντιού συνδεδεμένη με τον υπολογιστή για τον έλεγχο μέσω πνευματικών κυκλωμάτων των κινήσεων του χρήστη αλλά και την απόδοση του feedback, μία σειρά μικροφώνων και μία web κάμερα. Ο εξοπλισμός της κλινικής αποτελείται από έναν όμοιο υπολογιστή, μία σειρά μικροφώνων και μία web κάμερα αντίστοιχα. Οι δύο υπολογιστές επικοινωνούν κατά τη διάρκεια της άσκησης και ο υπολογιστής της κλινικής λειτουργεί ως server που λαμβάνει τα αποτελέσματα από κάθε εκτέλεση της άσκησης και τα αποθηκεύει σε μία βάση δεδομένων ώστε να μπορεί να τα παρουσιάσει σε μορφή στατιστικών στο γιατρό μέσω γραφικού user interface.

Επίσης, μέσω των 2 υπολογιστών μπορούν να επικοινωνούν και άμεσα ο γιατρός και ο ασθενής ώστε να αναπροσαρμόζεται το πρόγραμμα των ασκήσεων από απόσταση ανάλογα με την πρόοδο του ασθενούς.

Το τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον αναπτύχθηκε με τη βιβλιοθήκη λογισμικού WorldToolKit και αποτελείται από ασκήσεις που αποσκοπούν η καθεμία σε διαφορετικό στόχο. Στόχοι των εφαρμογών είναι η ενδυνάμωση των μυών των δακτύλων και η βελτίωση της ικανότητας ελέγχου της κίνησης με λεπτομέρεια. Η κάθε άσκηση μπορεί να εκτελεστεί σε διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε ασθενούς.

Η δυνατότητα εξάσκησης από το σπίτι του ασθενούς έχει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως την αποφυγή της μετακίνησης και η ελεύθερη επιλογή της ώρας στην οποία ο ασθενής θα εκτελέσει την άσκηση. Επιπλέον πλεονεκτήματα προσφέρει η παρακολούθηση της εξάσκησης και της προόδου του ασθενούς από το γιατρό μέσω της σύνδεσης και ανταλλαγής δεδομένων του εξοπλισμού του ασθενούς με τον εξοπλισμό της κλινικής. Με αυτό τον τρόπο, ο ασθενής έχει περισσότερο κίνητρο να εκτελέσει τις ασκήσεις και ο γιατρός έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί την πρόοδο του ασθενούς μέρα με τη μέρα και να προσαρμόζει ανά πάσα στιγμή το πρόγραμμα της εξάσκησης.



Εικόνα 10: Απεικόνιση του εξοπλισμού της πλατφόρμας που αναπτύχθηκε για τη μυϊκή αποκατάσταση από απόσταση.

Εντοπισμός Θέσης Χρήστη σε Περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας με Χρήση του Wii Remote

Διπλωματική Εργασία Γεωργίου Καραφωτιά, Οκτώβριος 2009, Ε.Μ.Π., Αθήνα

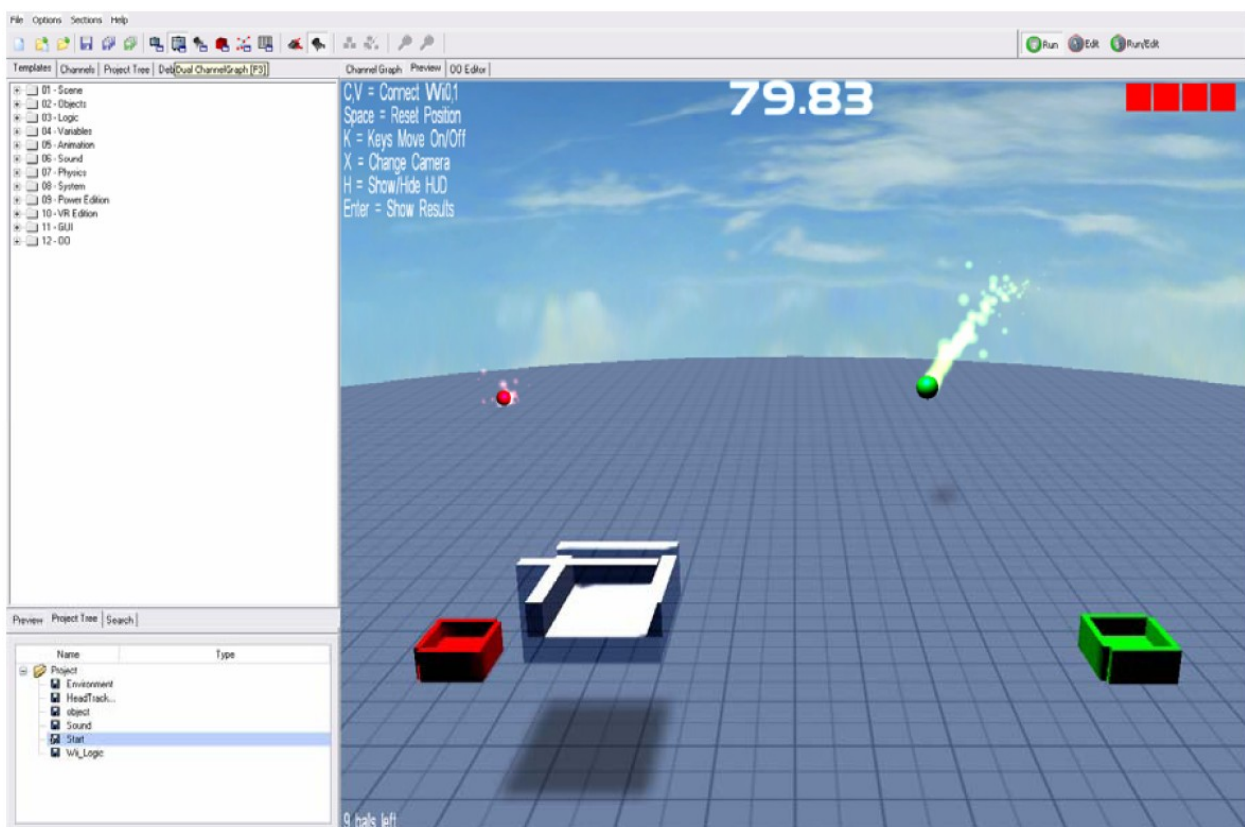
Στην εργασία αυτή, δημιουργήθηκε μία εφαρμογή σε μορφή παιχνιδιού στην οποία χρησιμοποιήθηκαν κάμερες του Wii Remote για την παρακολούθηση (tracking) μίας ράβδου με την οποία ο χρήστης έπαιζε το παιχνίδι. Η ράβδος που χειριζόταν ο χρήστης είχε εφαρμοσμένη μία πλακέτα η οποία οδηγούσε διόδους υπερύθρου φωτός του ίδιου μήκους κύματος με τις κάμερες του Wii remote ώστε με χρήση των δεδομένων 2 καμερών να μπορεί η εφαρμογή να υπολογίσει τη θέση της ράβδου και να ελέγχει τη θέση ενός εικονικού αντικειμένου το οποίο θα ακολουθεί την κίνηση της αληθινής ράβδου που ελέγχει ο χρήστης.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της εφαρμογής είναι τα πακέτα λογισμικού Quest3D και 3D Studio Max. Με το λογισμικό Quest3D αναπτύχθηκαν οι υπολογισμοί θέσεως της ράβδου, το εικονικό περιβάλλον, η λογική του παιχνιδιού (διαδράσεις των εικονικών αντικειμένων) και η ανατροφοδότηση (feedback) του χρήστη ανάλογα με τις επιδόσεις του. Με το λογισμικό 3D Studio Max δημιουργήθηκαν τα μοντέλα των εικονικών αντικειμένων τα οποία εισήχθησαν στο περιβάλλον του Quest3D.

Εκτελώντας την εφαρμογή, ο χρήστης βλέπει στην οθόνη το τρισδιάστατο περιβάλλον που αποτελείται από τον εικονικό ουρανό (ημισφαίριο στο πάνω μέρος της

οθόνης στο οποίο έχει εφαρμοστεί μία εικόνα ή υφή ουρανού), το έδαφος (ένα επίπεδο στο κάτω μέρος της οθόνης), δύο μπάλες διαφορετικών χρωμάτων, δύο στόχους των αντίστοιχων χρωμάτων με τις μπάλες και ένα αντικείμενο το οποίο χειρίζεται ο χρήστης με την κίνηση της ράβδου. Οι μπάλες εκτοξεύονται μία – μία προς το χρήστη και στόχος του χρήστη είναι να κινήσει το αντικείμενο που ελέγχει ώστε να εγκλωβίσει τις μπάλες και ακολούθως να τις τοποθετήσει στους στόχους με το ίδιο χρώμα με την κάθε μπάλα. Στην αρχή της εφαρμογής, ο χρήστης επιλέγει πόσες μπάλες θα έχει την ευκαιρία να εγκλωβίσει και πόσο χρόνο θα έχει για να εγκλωβίσει και να τοποθετήσει στον αντίστοιχο στόχο την κάθε μπάλα (επίπεδο δυσκολίας).

Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ο χρήστης δέχεται ακουστικό feedback ανάλογα με την επιτυχία της προσπάθειάς του με κάθε μπάλα και στο τέλος εμφανίζονται στην οθόνη τα αποτελέσματα της συνολικής προσπάθειας.



Εικόνα 11: Στιγμιότυπο της εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας. Φαίνονται οι 2 μπάλες, οι δύο στόχοι και το αντικείμενο που ελέγχεται από το χρήστη. Επίσης φαίνεται το περιβάλλον του λογισμικού Quest3D στο οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή.

Η παρούσα εργασία είναι συνέχεια της διπλωματικής εργασίας που παρουσιάστηκε παραπάνω. Στην παρούσα εργασία δίνεται περισσότερη έμφαση στην υλοποίηση της εφαρμογής και αναπτύσσεται μία εξειδικευμένη εφαρμογή με αντικείμενο την αποκατάσταση μυϊκών τραυματισμών, χρησιμοποιώντας άλλο περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών και καλύτερο εξοπλισμό εντοπισμού (tracking) των κινήσεων του χρήστη.

2. Περιγραφή της εφαρμογής

Ο στόχος της πτυχιακής είναι η ανάπτυξη μιας πλατφόρμας που θα επιτρέπει στον ασθενή να εκτελεί διάφορες ασκήσεις φυσιοθεραπείας υπό την εποπτεία του συστήματος. Θα το επιτυγχάνει με ένα ψυχαγωγικό τρόπο ενώ ταυτόχρονα θα δίνει και άμεσο feedback στον ασθενή σχετικά με το πόσο καλά κάνει την άσκηση. Για το σκοπό αυτό εμείς στήσαμε ένα σύστημα που επιτρέπει το tracking των χεριών (αλλά κατ' επέκταση και άλλων μερών) του χρήστη και αναπτύξαμε ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί αυτά τα δεδομένα στα πλαίσια ενός απλού παιχνιδιού.

Σε αυτό το παιχνίδι ο χρήστης καλείται να εκτελέσει τις απαραίτητες κινήσεις με συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως η σταθερή ταχύτητα και η παραμονή εντός της προκαθορισμένης τροχιάς της άσκησης. Ο χρήστης δέχεται οπτικό feedback σχετικά με την εκπλήρωση αυτών των προδιαγραφών κάθε στιγμή, ώστε να προσπαθεί να διορθώσει πιθανές αποκλίσεις όσο περισσότερο μπορεί. Έτσι, μέσω του παιχνιδιού, έχουμε την υποστήριξη της τεχνολογίας στην προσπάθεια του χρήστη, διεγείροντας ταυτόχρονα το ενδιαφέρον του.

Κατά τη χρησιμοποίηση της εφαρμογής, ο ασθενής θα κρατάει στα χέρια του αλτήρες με τους οποίους θα εκτελεί τις απαραίτητες κινήσεις. Μέσω ενός ανιχνευτή κίνησης (tracker), η εφαρμογή θα εντοπίζει τη θέση των δύο αλτήρων στο χώρο και έτσι θα καταλαβαίνει την ακριβή κίνηση που εκτελεί ο χρήστης. Αφού οριστεί η κίνηση που θα πρέπει ο χρήστης να εκτελέσει (η διαδικασία ορισμού της κίνησης περιγράφεται παρακάτω), η τροχιά της κίνησης εμφανίζεται στον 3-διάστατο εικονικό χώρο που απεικονίζει η εφαρμογή (εμφανίζεται μία καμπύλη για την τροχιά της κίνησης κάθε χεριού). Επίσης, ο χρήστης βλέπει στην οθόνη 2 εικονικά αντικείμενα τα οποία κινούνται στον εικονικό χώρο όπως ακριβώς κινεί αυτός τους αλτήρες με τα χέρια του. Στόχος είναι να γίνεται η κίνηση πάνω στην ορισμένη καμπύλη του κάθε χεριού με σταθερή ταχύτητα. Έτσι, η διαδραστικότητα του παιχνιδιού δημιουργείται ως εξής:

Υπολογίζεται ο συνολικός χρόνος για μία ολοκληρωμένη κίνηση και χωρίζεται σε 8 ίσα χρονικά διαστήματα. Επίσης, υπολογίζεται το μήκος της τροχιάς της κίνησης και χωρίζεται σε 4 τμήματα με το ίδιο μεταξύ τους μήκος. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης της άσκησης, ο χρήστης βλέπει στην οθόνη σπαθιά να διαγράφουν διαδοχικές τροχιές οι οποίες περνάνε σε κάθε ένα από τα χρονικά διαστήματα που υπολογίστηκαν από ένα από τα διαδοχικά σημεία της καμπύλης που επίσης υπολογίστηκαν παραπάνω. Τα σπαθιά περνάνε από 4 διαδοχικά σημεία προς τη μία κατεύθυνση της τροχιάς και από 4 διαδοχικά σημεία προς την αντίθετη κατεύθυνση δημιουργώντας έτσι μία διακριτή διαδοχή που περιγράφει μία ολοκληρωμένη κίνηση που καλείται να κάνει ο χρήστης. Στόχος του χρήστη είναι να ακολουθήσει τις καμπύλες με τη σωστή ταχύτητα ώστε να αποκρούσει τα σπαθιά. Κάθε φορά που ο χρήστης πετυχαίνει ένα σπαθί, αυτό εκτροχιάζεται σύμφωνα με υπολογισμούς φυσικών δυνάμεων που εξαρτώνται από τη στιγμιαία διανυσματική ταχύτητα με την οποία ο χρήστης κινεί τον αντίστοιχο αλτήρα. Σε περίπτωση που ο χρήστης πετύχει όλα τα σπαθιά, τότε έχει εκτελέσει μία πλήρη κίνηση σωστά.

Πριν ξεκινήσει ο κύκλος της εκτέλεσης των κινήσεων από το χρήστη, πρέπει να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά της κίνησης. Αυτή η διαδικασία γίνεται με τη βοήθεια του γιατρού και είναι σε μεγάλο βαθμό προσαρμόσιμη στις ανάγκες του κάθε ασθενή. Το πρώτο που πρέπει να καθοριστεί είναι η τροχιά της κίνησης. Αυτή καθορίζεται τοποθετώντας τους αλτήρες σε συγκεκριμένες διαδοχικές θέσεις οι οποίες δίνονται σαν είσοδος στην εφαρμογή, η οποία ακολούθως δημιουργεί την καμπύλη της άσκησης με βάση αυτά τα σημεία (περισσότερες λεπτομέρειες σε σχέση με τον ακριβή καθορισμό της καμπύλης θα δοθούν σε επόμενο κεφάλαιο). Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός ως προς τον αριθμό, τη θέση ή τη γεωμετρική αλληλεξάρτηση των θέσεων των σημείων που θα καθοριστούν, οπότε μπορεί να δημιουργηθεί οποιαδήποτε καμπύλη βοηθάει κατά την κρίση του γιατρού καλύτερα τον κάθε έναν ασθενή.

Ακολούθως, καθορίζεται η ταχύτητα με την οποία θα εκτελείται η κίνηση, καθώς και ο συνολικός αριθμός των επαναλήψεων που θα εκτελεστούν κατά τη διάρκεια της άσκησης, ανάλογα με το στάδιο της αποκατάστασης και με τις δυνατότητες του κάθε χρήστη.

Κατά τη διάρκεια της άσκησης, ο χρήστης μπορεί να δει στην οθόνη 2 φωτεινές ενδείξεις που τον ενημερώνουν εάν η κίνηση των 2 χεριών του ξεχωριστά είναι εντός ή εκτός της επιθυμητής τροχιάς, ενώ μετά το τέλος των επαναλήψεων της κίνησης, εμφανίζονται στην οθόνη της εφαρμογής στατιστικά στοιχεία από την εκτέλεση της άσκησης, όπως π.χ. πόσα σπασίδια κατάφερε να “αποκρούσει” το κάθε χέρι.



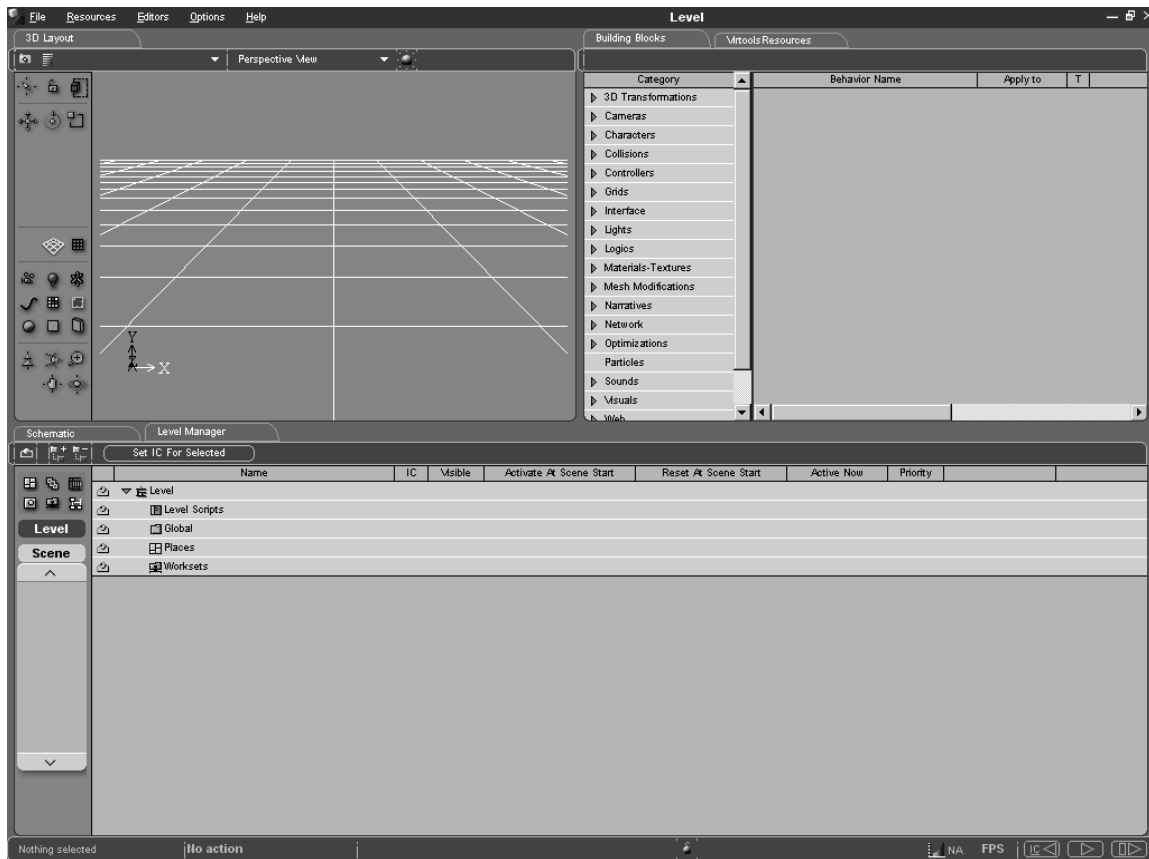
Εικόνα 12: Στιγμιότυπο της εφαρμογής. Διακρίνονται οι τροχιές της άσκησης για τα 2 χέρια, καθώς και τα σημεία από τα οποία θα περάσουν τα 2 σπαθιά εκτελώντας τη δική τους τροχιά. Επίσης, βλέπουμε στις 2 φωτεινές ενδείξεις ότι το αριστερό χέρι είναι εντός τροχιάς (πράσινη ένδειξη) ενώ το δεξί είναι εκτός τροχιάς (κόκκινη ένδειξη).

3. Παρουσίαση των Εργαλείων Υλοποίησης

3.1. Το περιβάλλον Virtools

Το Virtools είναι μια εκτενής συλλογή τεχνολογιών για τρισδιάστατη απεικόνιση με ενσωματωμένο σύστημα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Είναι μια εφαρμογή η οποία επιτρέπει εύκολα και γρήγορα τη δημιουργία συνθέσεων (compositions - CMOs) με πλούσιο διαδραστικό τρισδιάστατο περιεχόμενο. Μέσω αυτής της τεχνολογίας μπορεί κανείς να παρουσιάσει με παραστατικό τρόπο εικόνες, ήχους και μοντέλα. Το Virtools δεν αποτελεί εφαρμογή δημιουργίας μοντέλων, ωστόσο απλά στοιχεία όπως κάμερες, φώτα, καμπύλες, τρισδιάστατα πλαίσια μπορούν να δημιουργηθούν με το πάτημα ενός εικονιδίου. Είναι επιπλέον μια μηχανή που αναπαριστά συμπεριφορές (behaviors), δηλαδή περιγράφει πώς ένα συγκεκριμένο στοιχείο λειτουργεί σε κάποιο περιβάλλον. Αυτό γίνεται μέσω έτοιμων δομών που λέγονται Behavioral Building Blocks (BBs) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλές φορές το καθένα με απλό τρόπο, ώστε να μην απαιτείται από το χρήστη η γραφή κώδικα. Έτσι, ο χρήστης “περιγράφει” έναν κόσμο με τρισδιάστατα αντικείμενα (μοντέλα), προγραμματίζει τη συμπεριφορά και τις διαδράσεις μεταξύ τους και τοποθετεί εικονικές κάμερες από τη θέση και την οπτική γωνία των οποίων παρουσιάζεται αυτός ο εικονικός κόσμος κάθε στιγμή στην οθόνη.

Η παρακάτω εικόνα δείχνει το περιβάλλον του Virtools στην εκκίνησή του.



Εικόνα 13: Το περιβάλλον του λογισμικού Virtools

3.1.1. Περιγραφή των στοιχείων ενός εικονικού κόσμου

3.1.1.1. Τα 3-D μοντέλα



Εικόνα 14: 3-D μοντέλα σχεδιασμένα με ειδικό λογισμικό computer-aided design (CAD)

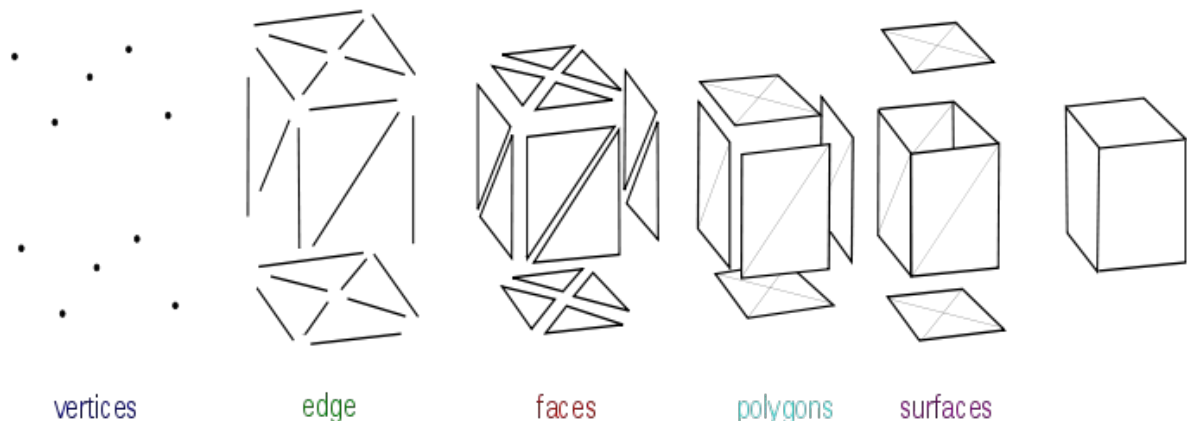
Τα 3-D μοντέλα είναι απεικονίσεις αντικειμένων στον εικονικό κόσμο στις τρεις διαστάσεις. Είναι ουσιαστικά μαθηματικές απεικονίσεις τρισδιάστατων αντικειμένων και περιγράφουν τη διαδικασία της δημιουργίας του σχήματος ενός πιο σύνθετου αντικειμένου. Οι δύο πιο συνηθισμένες πηγές των τρισδιάστατων μοντέλων είναι εκείνα που δημιουργήθηκαν στον υπολογιστή από κάποιο καλλιτέχνη ή μηχανικό με κάποιο είδους εργαλείο για 3-D μοντέλα και εκείνα που μεταφέρθηκαν στον υπολογιστή με σκανάρισμα αληθινών αντικειμένων. Επιπλέον, τα αντικείμενα πριν ολοκληρωθούν τοποθετούνται σε κάποιο σκηνικό το οποίο προσδιορίζει και τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων, συμπεριλαμβανομένης της θέσης και του μεγέθους. Τέλος, περιγράφεται ο τρόπος που τα αντικείμενα κινούνται ή αλλάζουν σχήμα στο χρόνο.

Τα 3-D μοντέλα στο Virtools αποτελούνται από ένα σύνολο σημείων που ενώνονται μεταξύ τους με ευθείες γραμμές ή πολύγωνα και έτσι δημιουργούν ένα πλέγμα (mesh) το οποίο παριστάνει το σχήμα του εικονικού αντικειμένου. Στο πλέγμα του μοντέλου μπορούν να εφαρμοστούν χρώματα ή και εικόνες για να ολοκληρώσουν την απεικόνιση ενός τρισδιάστατου εικονικού αντικειμένου.

Τα στοιχεία ενός 3-D μοντέλου:

1. Γεωμετρία

Αρχικά, για την περιγραφή ενός μοντέλου πρέπει να δοθούν στοιχεία για το σχήμα του αντικειμένου που περιγράφει. Τα στοιχεία αυτά είναι μία σειρά από σημεία του τρισδιάστατου χώρου (3-D vertices). Τα στοιχεία αυτά σχηματίζουν τριάδες μεταξύ τους και συνεπώς τρίγωνα στο χώρο (3-D triangles/faces). Πολλές ενώσεις τριγώνων σχηματίζουν τις επιφάνειες ενός μοντέλου (3-D surfaces) και τέλος οι ενώσεις των πλευρών σχηματίζουν την ολοκληρωμένη επιφάνεια του μοντέλου (3-D model mesh).



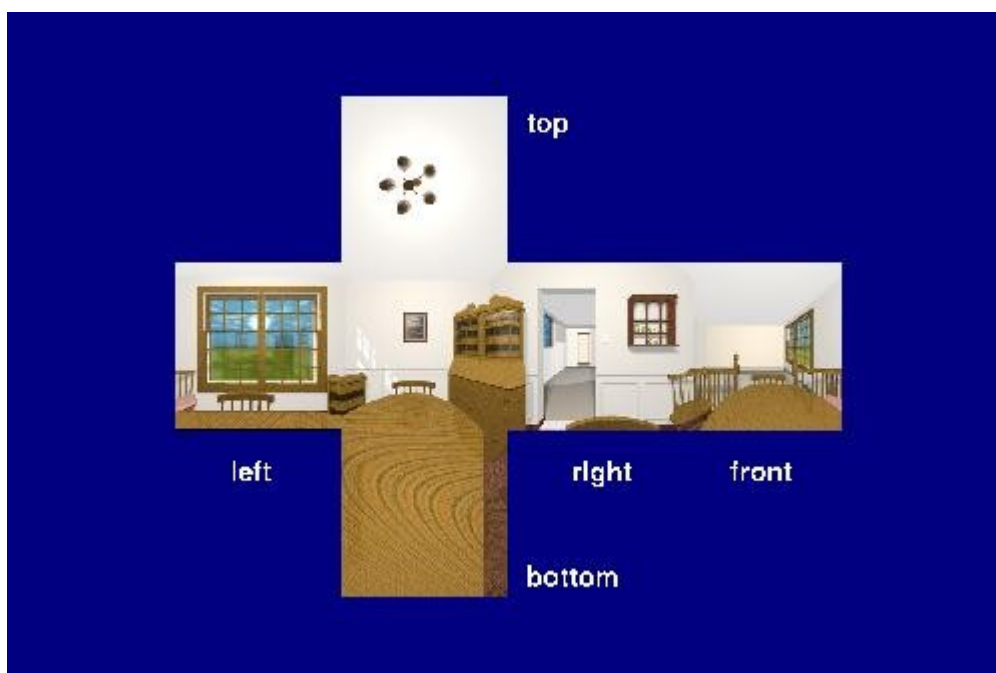
Εικόνα 15: Η ανάλυση της γεωμετρίας ενός παραλληλεπιπέδου

2. Χαρακτηριστικά φωτεινότητας (materials)

Η επόμενη ομάδα δεδομένων που χρειάζεται για την απεικόνιση των μοντέλων είναι τα χαρακτηριστικά της φωτεινότητάς τους, ώστε να υπολογίζεται το χρώμα που θα αντιστοιχεί σε κάθε σημείο (vertex) του πλέγματος (mesh) που θα εμφανίζεται στην οθόνη. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν το χρώμα που εκπέμπει το ίδιο το αντικείμενο αλλά και τη συμπεριφορά της επιφάνειας του αντικειμένου στην αντανάκλαση του φωτός που προέρχεται από άλλες πηγές φωτός. Η διαδικασία υπολογισμού του τελικού χρώματος που εκπέμπει ένα μοντέλο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά φωτεινότητας προς την επιφάνεια προβολής θα αναλυθεί εκτενέστερα σε επόμενη παράγραφο.

3. Εφαρμογή υφής (Texture Mapping)

Η εφαρμογή υφής σε ένα μοντέλο είναι η διαδικασία κατά την οποία τα σημεία του μοντέλου που ορίσαμε στη γεωμετρία του αντιστοιχίζονται με ένα ζεύγος συντεταγμένων μιας δισδιάστατης εικόνας (texture). Έτσι, η εικόνα εφαρμόζεται πάνω σε μία τρισδιάστατη επιφάνεια. Επιλέγουμε κάποια σημεία της δισδιάστατης εικόνας και δηλώνουμε το ακριβές σημείο του πλέγματος του μοντέλου στο οποίο επιθυμούμε να εφαρμοστεί. Έχοντας αντιστοιχίσει σε κάθε σημείο της γεωμετρίας ένα σημείο της εικόνας, ο υπολογιστής εφαρμόζει σε όλα τα ενδιάμεσα σημεία των τριγώνων του πλέγματος που έχουμε ορίσει τα αντίστοιχα ενδιάμεσα σημεία της εικόνας που υπολογίζονται με τη διαδικασία της γραμμικής παρεμβολής.



Εικόνα 16: Παράδειγμα εφαρμογής υφής σε τρισδιάστατο μοντέλο (Α). Βλέπουμε μία δισδιάστατη εικόνα η οποία δείχνει ένα γραφικό ανεπτυγμένο σε σχήμα σταυρού. Αυτό το γραφικό θα το εφαρμόσουμε σε ένα πλέγμα γεωμετρίας ενός αντικειμένου και θα δούμε το αποτέλεσμα στην επόμενη εικόνα



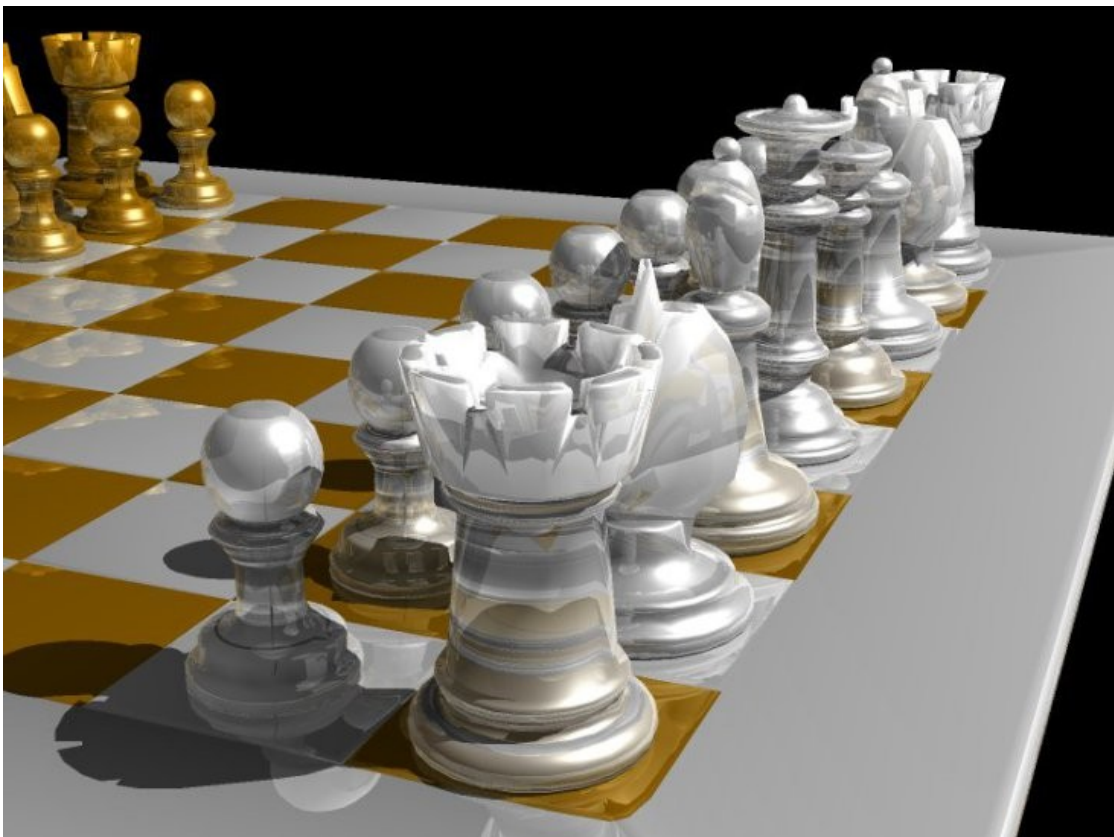
Εικόνα 17: Παράδειγμα εφαρμογής υφής σε τρισδιάστατο μοντέλο (Β). Η παραπάνω εικόνα που δείχνει ένα σπίτι έχει περιγραφεί γύρω από μία γεωμετρία που απεικονίζει ένα οικιακό σκεύος. Από αυτή την οπτική γωνία βλέπουμε τη δεξιά και την πάνω πλευρά του σκεύους.

3.1.1.2. Οι πηγές φωτός (lights)

Οι πηγές φωτός είναι οντότητες με θέση και προσανατολισμό στον τρισδιάστατο χώρο, που φωτίζουν τον εικονικό κόσμο. Καθορίζουν τον τύπο, το χρώμα και την ένταση του φωτός που παράγεται. Ο χρήστης μπορεί ακόμη να ρυθμίσει διάφορες παραμέτρους όπως:

- τον τύπο της πηγής φωτός που θα χρησιμοποιηθεί (εσωτερική και εξωτερική διάμετρος του φωτεινού κώνου)
- την 'υφή' του φωτός
- την απόσταση που φωτίζει η πηγή
- την εξασθένιση του φωτός στο χώρο καθώς και
- να ορίσει κάποιο στοιχείο ως στόχο της φωτεινής πηγής.

Βάσει της θέσης των αντικειμένων και των πηγών φωτός δημιουργούνται διάφορα εφέ, όπως σκιές και αντανάκλαση που προσδίδουν στην απεικόνιση του εικονικού κόσμου μεγάλο ρεαλισμό.



Εικόνα 18: Τα μοντέλα της σκακιέρας και των πιονιών που εμφανίζονται στην οθόνη φωτίζονται από μία πηγή φωτός που βρίσκεται στα δεξιά της οθόνης και πάνω από το επίπεδο της σκακιέρας. Είναι εμφανή τα εφέ της σκιάς και της αντανάκλασης που έχουν εφαρμοστεί.

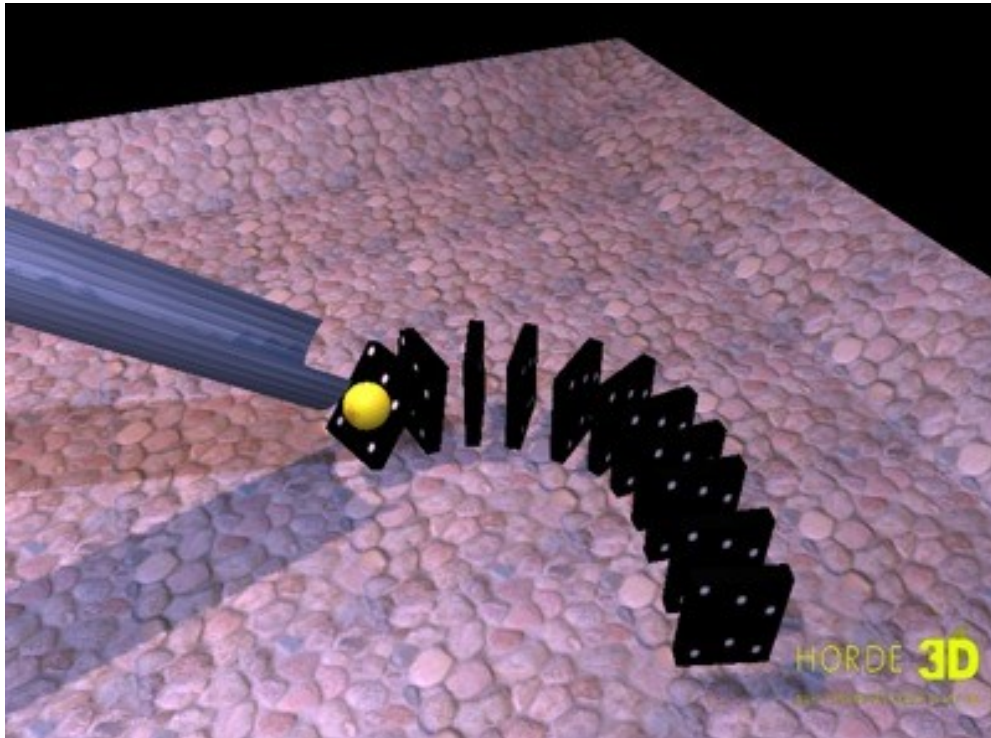
3.1.1.3. Οι κάμερες

Οι κάμερες είναι αντικείμενα με θέση και προσανατολισμό στον εικονικό κόσμο. Όταν μία κάμερα είναι ενεργή, παρουσιάζεται στην οθόνη ο τρισδιάστατος κόσμος όπως φαίνεται από έναν παρατηρητή που βρίσκεται στη θέση της κάμερας και έχει τον προσανατολισμό της. Συνήθως χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κάμερες και κάθε στιγμή είναι ενεργή η κάμερα που απεικονίζει καλύτερα την περιοχή στην οποία υπάρχει η κύρια δράση. Ο χρήστης έχει διάφορες δυνατότητες, όπως:

- Να ορίσει το κοντινό και το μακρινό πλάνο, καθώς και το πεδίο της κάμερας
- Να κάνει ζουμ
- Να βάλει ένα χρωματικό φίλτρο ή να δημιουργήσει εφέ στην κάμερα
- Να θέσει την κάμερα σε τροχιά γύρω από ένα αντικείμενο

3.1.1.4. Οι Μηχανές Προσομοίωσης Φυσικής (Physics Engines)

Στις σύγχρονες πλατφόρμες εικονικής πραγματικότητας υπάρχει ανάγκη για μεγάλη αίσθηση του ρεαλισμού. Επιπρόσθετα από το ρεαλισμό που δίνει η προσομοίωση των φαινομένων του φωτός που αναλύθηκε παραπάνω υπάρχει και η ανάγκη ρεαλισμού στις συμπεριφορές των αντικειμένων που απεικονίζονται στον τρισδιάστατο εικονικό κόσμο, καθώς και οι διαδράσεις μεταξύ τους. Τις ανάγκες αυτές καλύπτει μία ειδική κατηγορία λογισμικού, οι μηχανές προσομοίωσης φυσικής. Οι μηχανές αυτές δέχονται ως είσοδο μία σειρά από σχηματικές αναπαραστάσεις αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο και μία σειρά από στατικές ή δυναμικά μεταβαλλόμενες δυνάμεις που εφαρμόζονται σε αυτά και υπολογίζουν τη φυσική συμπεριφορά τους (κίνηση, συγκρούσεις κ.α.) με βάση τις εξισώσεις της μηχανικής. Παρακάτω θα αναλυθούν τα βασικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται μία σύγχρονη μηχανή φυσικής.



Εικόνα 19: Παράδειγμα εφαρμογής μηχανής φυσικής. Οι πλάκες του ντόμινο, η σφαίρα, ο καθοδικός σωλήνας και το οριζόντιο επίπεδο περιγράφονται σε μία μηχανή φυσικής. Αφού δοθεί η αρχική κατάσταση με τις πλάκες όρθιες πάνω στο επίπεδο και τη μπάλα μέσα στον καθοδικό σωλήνα, η μηχανή φυσικής προσομοιώνει τη διαδικασία κατάρρευσης των πλακών του ντόμινο.

Αναπαράσταση αντικειμένου:

Η βασική αναπαράσταση αντικειμένου περιέχει το σχήμα του, τη θέση και τον προσανατολισμό του στο χώρο, τις ταχύτητες μετατόπισης και περιστροφής, τη μάζα του και το σύνολο των δυνάμεων που επιδρούν πάνω του. Γνωρίζοντας τις δυνάμεις που επιδρούν πάνω σε αυτό, το αντικείμενο μπορεί να προβλέψει τη θέση, τον προσανατολισμό και τη διανυσματική ταχύτητά του μετά από ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προϋποθέτοντας ότι δε θα αλληλεπιδράσει με κάποιο άλλο αντικείμενο της προσομοίωσης.

Γεννήτριες Δυνάμεων:

Οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στα αντικείμενα της προσομοίωσης είναι είτε στατικές είτε δυναμικές. Οι στατικές (π.χ. βαρύτητα) υπολογίζονται στην αρχή της προσομοίωσης και διατηρούνται αναλλοίωτες μέχρι το τέλος της. Οι δυναμικά μεταβαλλόμενες δυνάμεις, αντίθετα, επηρεάζουν τα αντικείμενα μόνο σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και έχουν συνεχώς μεταβαλλόμενες τιμές. Για παράδειγμα, η

δύναμη που εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο από την προσομοίωση του ανέμου μεταβάλλεται στιγμιαία από διάφορους παράγοντες όπως η στιγμιαία ένταση του ανέμου, η επιφάνεια του αντικειμένου η οποία εκτίθεται σε αυτόν και η γωνία που δημιουργεί η κατεύθυνση του ανέμου με την επιφάνεια. Στην περίπτωση των δυναμικά μεταβαλλόμενων δυνάμεων, το αντικείμενο ενημερώνεται για τα χαρακτηριστικά τους σε κάθε βήμα της προσομοίωσης.

Εντοπισμός Συγκρούσεων (Collision Detection):

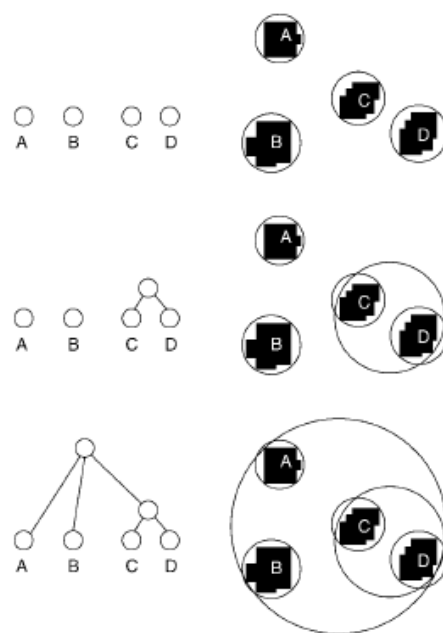
Μία από τις πιο σημαντικές λειτουργίες μιας μηχανής φυσικής είναι ο εντοπισμός συγκρούσεων μεταξύ των αντικειμένων. Όταν η μηχανή φυσικής εντοπίσει ότι δύο αντικείμενα καταλαμβάνουν κοινό χώρο στις 3 διαστάσεις, υπολογίζει τις θέσεις και τις ταχύτητες των αντικειμένων τη στιγμή της επαφής τους και έπειτα υπολογίζει τις κατάλληλες παλμικές αλλαγές ταχύτητας (impulses) που πρέπει να εφαρμόσει στο καθένα για να προσομοιωθεί η σύγκρουσή τους.

Ο εντοπισμός συγκρούσεων είναι μία ιδιαίτερα πολύπλοκη και δαπανηρή σε υπολογιστική ισχύ διαδικασία. Ο λόγος είναι ότι τα αντικείμενα που παρουσιάζονται σε ένα περιβάλλον εικονικής πραγματικότητας είναι συνήθως ιδιαίτερα πολύπλοκα σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά (όπως αναφέρθηκε πιο πάνω η γεωμετρία τους αναπαρίσταται από σημεία στον τρισδιάστατο χώρο και πολλές φορές αντιστοιχούν εκατοντάδες σημεία σε κάθε αντικείμενο) και πρέπει αυτές οι πολύπλοκες γεωμετρίες να ελεγχθούν ανά ζευγάρι σε κάθε βήμα προσομοίωσης για να εντοπισθούν πιθανές κοινές περιοχές του χώρου μεταξύ τους. Έτσι, οι μηχανές φυσικής χρησιμοποιούν τις παρακάτω τεχνικές για να επιτύχουν πολύ πιο αποδοτικούς αλγορίθμους εντοπισμού συγκρούσεων:

1. Συνήθως τα αντικείμενα διατηρούν μία δευτερεύουσα, πολύ πιο απλή γεωμετρία η οποία χρησιμοποιείται αποκλειστικά στη διαδικασία εντοπισμού συγκρούσεων.
2. Τα αντικείμενα διατηρούν μία επιπλέον γεωμετρία που αναπαριστά ένα στοιχειώδες γεωμετρικό χώρο, συνήθως μία σφαίρα ή ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο. Ο χώρος αυτός περικλείει ολόκληρη τη γεωμετρία του αντικειμένου και έτσι είναι δυνατή μία πρώτη εκτίμηση για πιθανή σύγκρουση δύο αντικειμένων βάσει αυτών των απλών γεωμετριών. Η αρχική αυτή εκτίμηση είναι υποπολλαπλάσια δαπανηρή σε υπολογιστική ισχύ και μπορεί να αποκλείσει την περίπτωση σύγκρουσης για πολλά ζεύγη αντικειμένων με σχετικά λίγες απαιτούμενες πράξεις. Τα ζεύγη αντικειμένων θα εξεταστούν αναλυτικά για την περίπτωση σύγκρουσης μόνο στην περίπτωση που οι περιβάλλοντες χώροι τους έχουν κοινά σημεία.
3. Τα αντικείμενα της προσομοίωσης οργανώνονται σε μία ιεραρχική δομή ή δομή δέντρου, στην οποία ο κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μία περιοχή του χώρου η οποία περιέχει όλα τα αντικείμενα που βρίσκονται κάτω από αυτό τον κόμβο στην ιεραρχία.

Έτσι, αντί να ελέγχουμε κάθε ζεύγος αντικειμένων, ελέγχουμε κάθε ζεύγος κόμβων στην ίδια βαθμίδα ιεραρχίας. Εάν ένας κόμβος δεν έχει κοινά σημεία με τους υπόλοιπους, τότε οι κόμβοι – παιδιά αυτού του κόμβου αποκλείεται να συγκρούονται με κόμβους – παιδιά των υπόλοιπων κόμβων. Για λόγους επίδοσης, η ιεραρχία αυτή είναι συνήθως ιεραρχία δυαδικού δέντρου όπου κάθε κόμβος έχει το πολύ 2 κόμβους – παιδιά και τα αντικείμενα της προσομοίωσης βρίσκονται μόνο στους τελικούς κόμβους (φύλλα) του δέντρου.

Καθεμία από τις παραπάνω τεχνικές συμβάλει καθοριστικά στη μείωση της πολυπλοκότητας των αλγορίθμων εντοπισμού συγκρούσεων, οι οποίοι παρ' όλα αυτά παραμένουν δαπανηροί για το υπολογιστικό σύστημα.

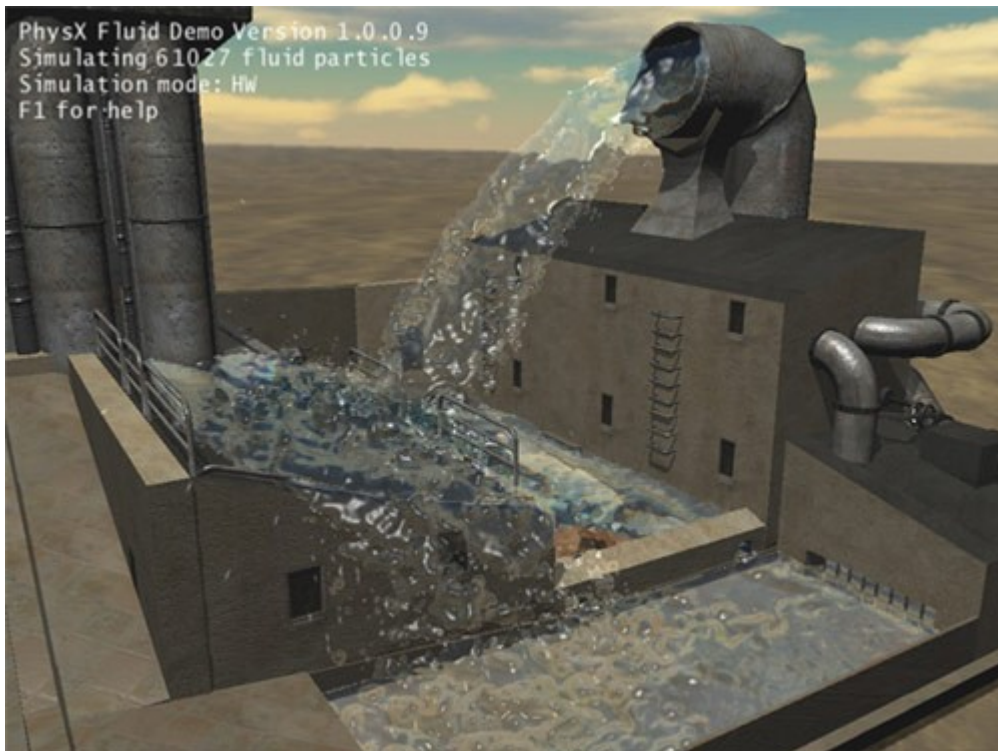


Εικόνα 20: Η αναπαράσταση των αντικειμένων σε ιεραρχική δομή και ο χώρος που αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο του δέντρου

Μονάδες Επεξεργασίας Φυσικής (Physics Processing Units, PPU):

Οι Μονάδες Επεξεργασίας Φυσικής είναι ειδικοί τύποι μικροεπεξεργαστών που υλοποιούν στο επίπεδο του υλικού τους αλγόριθμους της μηχανής φυσικής. Η χρησιμοποίησή τους έχει ως αποτέλεσμα την εκτέλεση των αλγορίθμων με τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα και έτσι η μηχανή φυσικής είναι πολύ πιο αποδοτική. Επίσης, με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η συμφόρηση που προκαλούν οι αλγόριθμοι της φυσικής στην Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU). Η λειτουργία αυτή μπορεί να υλοποιηθεί εναλλακτικά εκτελώντας τους αλγόριθμους στη Μονάδα Επεξεργασίας Γραφικών (Graphics Processing Unit, GPU), χρησιμοποιώντας την υπολογιστική ισχύ αυτής της

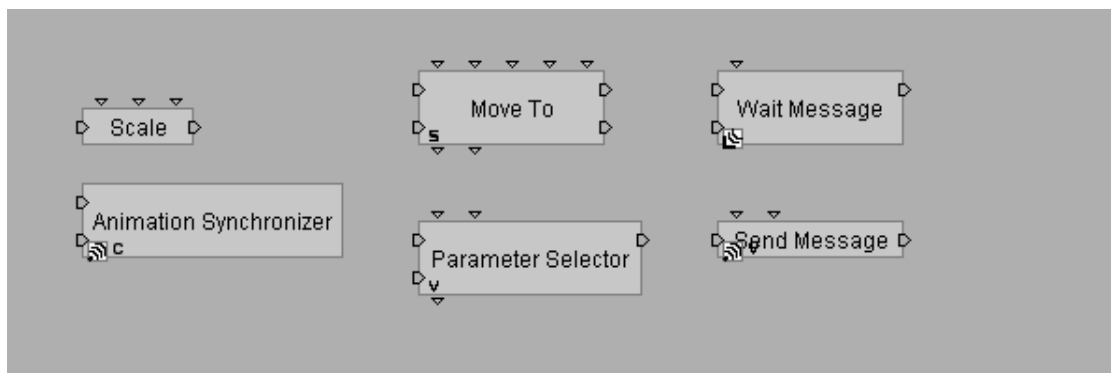
μονάδας με την τεχνολογία υπολογισμών γενικού σκοπού (General - Purpose computing on Graphics Processing Units , GPGPU).



Εικόνα 21: Προσομοίωση μηχανικής ρευστών από τη Μονάδα Επεξεργασίας Φυσικής PhysX. Οι σύγχρονες μηχανές φυσικής υποστηρίζουν προσομοίωση μηχανικής ρευστών και προσομοίωση παραμορφώσιμων στερεών σωμάτων.

3.1.2. Περιγραφή του συστήματος προγραμματισμού του Virtools

Το Virtools παρέχει στο χρήστη βιβλιοθήκες με έτοιμα scripts που λέγονται Building Blocks (BBs), τα οποία εισάγονται στον κώδικα του κατάλληλου αντικειμένου με τη διαδικασία drag and drop. Τα Building Blocks είναι μια οπτική αναπαράσταση λογισμικού, δηλαδή συναρτήσεις έτοιμες για χρήση. Ένα Building Block έχει συνήθως τουλάχιστον μία είσοδο (Behavior Input - bIn) που βρίσκεται στο αριστερό μέρος του BB και τουλάχιστον μία έξοδο (Behavior Output - bOut) που βρίσκεται στο δεξί μέρος του BB. Ένα BB αρχίζει να λειτουργεί όταν λαμβάνει παλμό ενεργοποίησης στην είσοδο. Τα Building Blocks συνδέονται γραφικά μεταξύ τους με γραμμές (Behavior Links - bLink) δημιουργώντας έτσι τη ροή του προγράμματος. Οι βιβλιοθήκες περιέχουν scripts για πολλών ειδών λειτουργικότητες.



Εικόνα 22: Διάφοροι τύποι Building Blocks

Επιπλέον, εκτός από τα έτοιμα scripts υπάρχει η δυνατότητα να εκτελεστεί και κώδικας γραμμένος από το χρήστη. Ο κώδικας γράφεται στη γλώσσα VSL και η εντολή που χρησιμοποιείται για να εκτελεστεί είναι η Run VSL. Η VSL (Virtools Scripting Language) είναι μια δυνατή και ευφυής γλώσσα προγραμματισμού με ευδιάκριτη παρουσίαση των ορισμάτων των συναρτήσεων και ένα πολύ καλό σύστημα διόρθωσης των λαθών βήμα προς βήμα.

Ο VSL Script Manager επιτρέπει τη γραφή και τη διόρθωση VSL κώδικα και είναι το μόνο μέρος στο Virtools που μπορεί να γίνει αυτό.

```

Construct Wall
void main()
{
    // if the player is not active, do nothing
    if(!g_Players[playerIndex].m_Active)
        return;

    // the first time we create the wall
    if(Create) {
        Created = TRUE;
        //
        CreateWall(g_Players[playerIndex]);
        return;
    }

    // we extend the wall
    if(LoopIn) {
        LoopOut = TRUE;
        ExtendWall(g_Players[playerIndex]);
        return;
    }
}
  
```

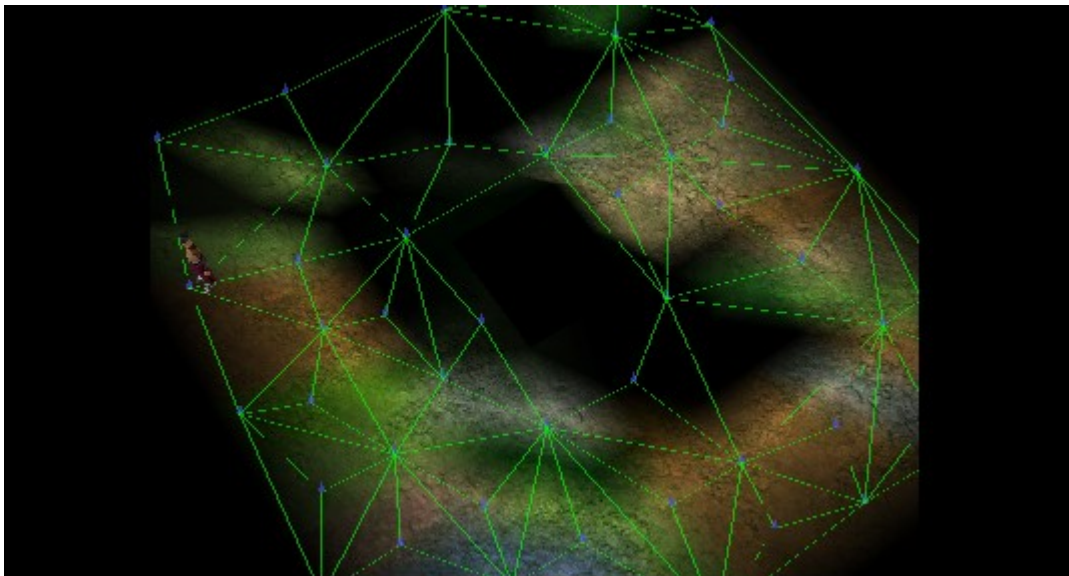
Εικόνα 23: Το Construct Wall του VSL Script Manager, όπου γίνεται η συγγραφή κώδικα

Σε κάποιες περιπτώσεις που χρειάζεται κάτι παραπάνω από τη χρησιμοποίηση BBs ή τη συγγραφή κώδικα σε VSL, όπως στην περίπτωση που θέλουμε να παραστήσουμε ένα φυσικό σύστημα ή κάποιο σύνθετο σύστημα με ζωντανούς χαρακτήρες που είναι αρκετά πολύπλοκο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η C++ για τη δημιουργία BBs.

Βασικές βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της εφαρμογής:

3.1.2.1. 3D transformations

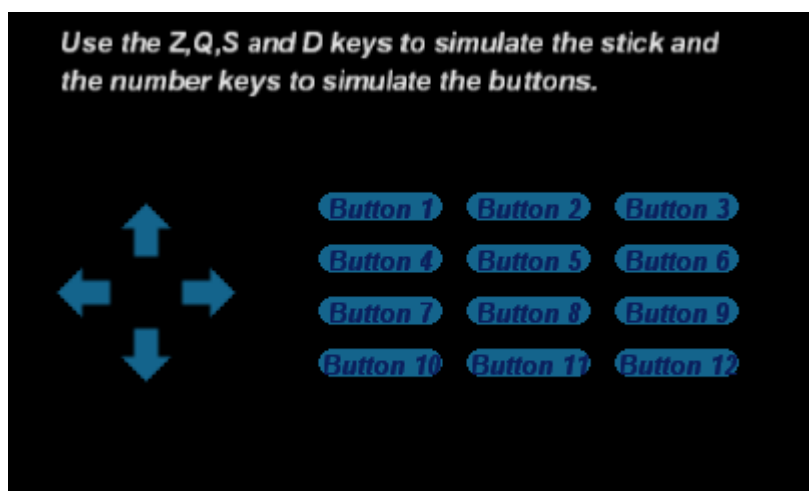
Η βιβλιοθήκη αυτή παρέχει εργαλεία με τα οποία καθορίζονται και ελέγχονται οι κινήσεις των αντικειμένων στο χώρο. Με τα Building Blocks της βιβλιοθήκης μπορούμε να θέσουμε απ' ευθείας τη θέση και τον προσανατολισμό ενός αντικειμένου στο χώρο ή να μεταβούμε από μία κατάσταση θέσης – προσανατολισμού σε μία άλλη σταδιακά με προγραμματιζόμενο χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών ενδιάμεσων καταστάσεων. Επίσης, μπορούμε να ελέγξουμε τη θέση των σημείων των καμπύλων γραμμών (Curves), καθώς και να προσθέσουμε ή να αφαιρέσουμε σημεία από αυτές. Μπορούμε να δημιουργήσουμε στο χώρο κόμβους από τους οποίους επιτρέπουμε τη διέλευση ή μη ενός αντικειμένου. Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα Building Blocks μας δίνονται και άλλες δυνατότητες, όπως για παράδειγμα η μετακίνηση ενός αντικειμένου από ένα σημείο σε ένα άλλο ακολουθώντας τη συντομότερη διαδρομή, ή η περιστροφή ενός αντικειμένου γύρω από άξονες.



Εικόνα 24: Μετακίνηση εικονικού ανθρώπου σε κόμβο που επιλέγει ο χρήστης ακολουθώντας τη συντομότερη διαδρομή

3.1.2.2. Controllers (Επικοινωνία με το χρήστη)

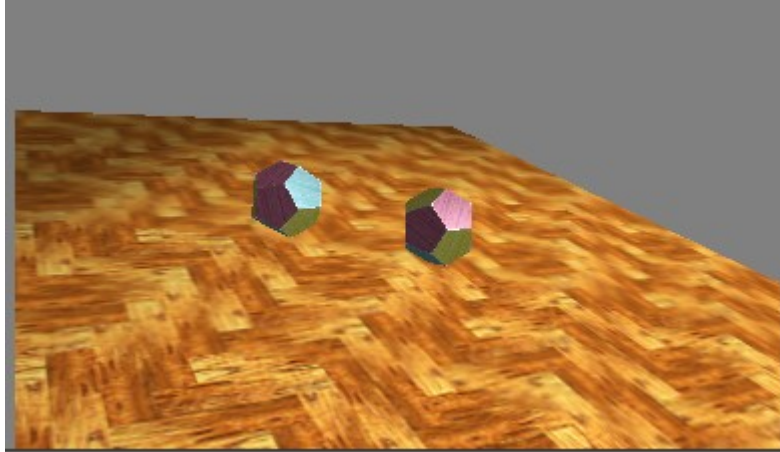
Με τη βιβλιοθήκη αυτή προγραμματίζουμε την απόκριση της εφαρμογής σε δράσεις του χρήστη όπως πάτημα διάφορων κουμπιών στο πληκτρολόγιο ή κίνηση του ποντικιού και δεξί ή αριστερό κλικ. Για παράδειγμα, μπορούμε όταν πατάμε ένα πλήκτρο να βλέπουμε στο Virtools το πάτημα ενός εικονικού κουμπιού και αντίστοιχα όταν κινούμε το ποντίκι να βλέπουμε την κίνηση ενός εικονικού ποντικιού ή κάποιου άλλου εικονικού αντικειμένου.



Εικόνα 25: Εφαρμογή όπου ο χρήστης πατάει γράμματα και αριθμούς στο πληκτρολόγιο για να προσομοιώσει τα βέλη και τα πλήκτρα με αριθμούς στην οθόνη

3.1.2.3. Physics

Το περιβάλλον Virtools παρέχει στον χρήστη μία μηχανή προσομοίωσης φυσικής (Physics Engine). Για να χρησιμοποιήσουμε τη μηχανή αυτή για κάποια εικονικά αντικείμενα του χώρου που αναπτύσσουμε, ενημερώνουμε τη μηχανή για το σχήμα και τις διαστάσεις των αντικειμένων, την αρχική τους θέση, τη μάζα τους, το συντελεστή τριβής και ελαστικότητάς τους και τα σημεία των κέντρων βάρους τους. Όπως αναπτύχθηκε παραπάνω, έχοντας αυτά τα δεδομένα, η μηχανή προσομοιώνει εξισώσεις της μηχανικής και καθορίζει την κίνηση και την περιστροφή των αντικειμένων που προκύπτουν από την επίδραση του βαρυτικού πεδίου και τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια συγκρούσεων (Collisions). Η μηχανή φυσικής και η βιβλιοθήκη Physics του Virtools έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην υλοποίηση της εφαρμογής και θα αναλυθούν λεπτομερώς ως προς τη λειτουργικότητά τους και την υλοποίησή τους μέσα στην εφαρμογή στο κεφάλαιο 4.



Εικόνα 26: Προσομοίωση κίνησης αντικειμένων σε κεκλιμένο επίπεδο

3.1.2.4. Virtual Reality (VR Library)

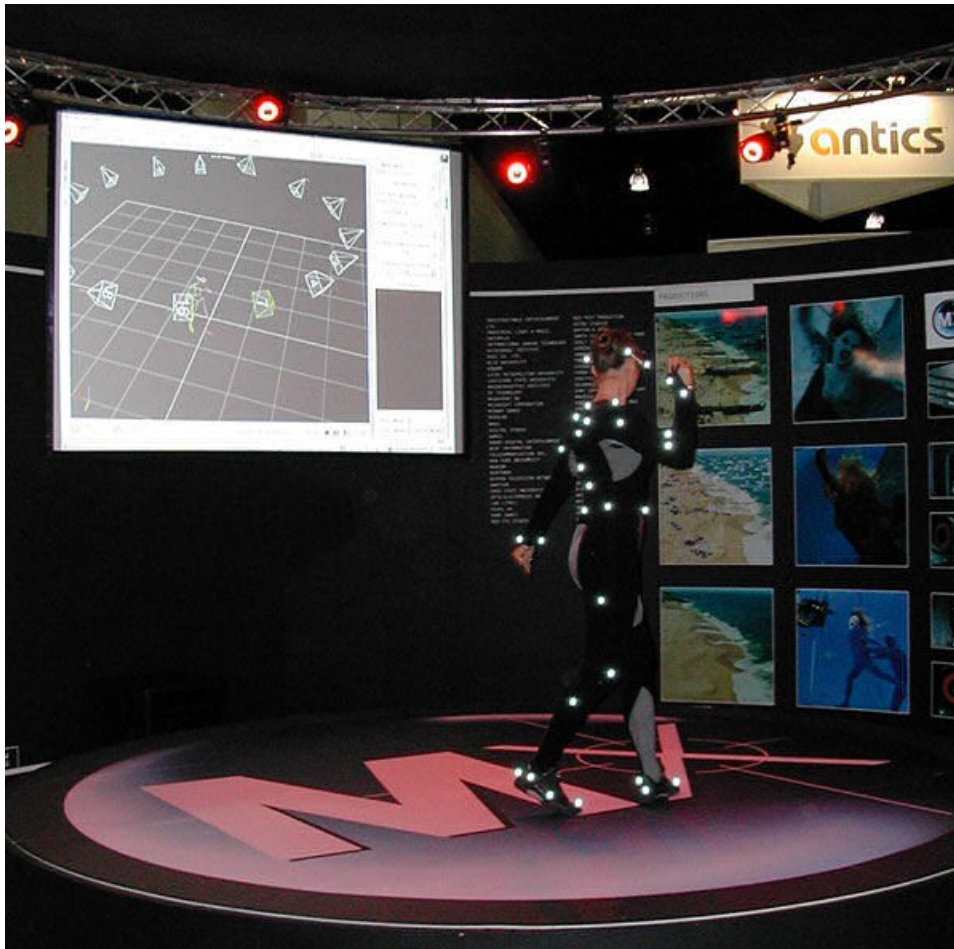
Η βιβλιοθήκη VR είναι μια προσθήκη για το Virtools που επιτρέπει στους κατασκευαστές εφαρμογών να δημιουργήσουν ένα πλήρως εμβυθισμένο εικονικό κόσμο χρησιμοποιώντας περιφερειακές συσκευές εικονικής πραγματικότητας. Χρησιμοποιώντας ένα VRPN (Virtual Reality Peripheral Network - Δίκτυο περιφερειακών συσκευών εικονικής πραγματικότητας) και με την εγκατάσταση ενός VRPN server στον υπολογιστή επιτυγχάνεται η διαχείριση των συσκευών εισόδου. Οι πληροφορίες κατάστασης των συσκευών διευκρινίζονται σε ένα αρχείο (configuration file) που περιλαμβάνει πληροφορίες για τους άξονες, τις κεραίες και τους trackers οι οποίες ανακτώνται στο σκηνικό του Virtools με τη βοήθεια των Building Blocks.

Η βιβλιοθήκη VR χρησιμοποιήθηκε στην εργασία για τη διασύνδεση με τον tracker και την μεταφορά δεδομένων από αυτόν.

3.2. Ανίχνευση κίνησης

Η ανίχνευση κίνησης ξεκίνησε ως ένα εργαλείο ανάλυσης στην έρευνα της εμβιομηχανικής, τις δεκαετίες 1970 και 1980. Σταδιακά όμως επεκτάθηκε και σε άλλους τομείς όπως η εκπαίδευση, τα σπορ και πρόσφατα στην τηλεόραση, τον κινηματογράφο, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια και στον τομέα του computer animation. Η κίνηση ανιχνεύεται μέσω δεικτών (markers) οι οποίοι τοποθετούνται κοντά σε κλειδώσεις και σε άλλα καίρια σημεία του κινούμενου ανθρώπου ή αντικειμένου για την σύλληψη της κίνησής του. Στην περίπτωση ανίχνευσης κίνησης προσώπου, οι δείκτες τοποθετούνται σε όλα τα καίρια σημεία που χρειάζονται για την ανασύνθεση της έκφρασης που έχει κάθε στιγμή ο άνθρωπος. Αυτή η εφαρμογή έχει ευρεία χρησιμοποίηση στον κινηματογράφο, όπου ο ηθοποιός υποδύεται ένα ρόλο αποκλειστικά για να ανιχνευτεί η κίνησή του και οι εκφράσεις του προσώπου του, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην αναπαράσταση της

κίνησης ενός εικονικού και πολλές φορές μη ανθρώπινου χαρακτήρα.



Εικόνα 27: Εφαρμογή όπου ο χορευτής φοράει μία στολή με markers για την ανίχνευση και την ψηφιακή αναπαράσταση των χορευτικών του κινήσεων.

3.2.1. Personal Space Tracker (PST)

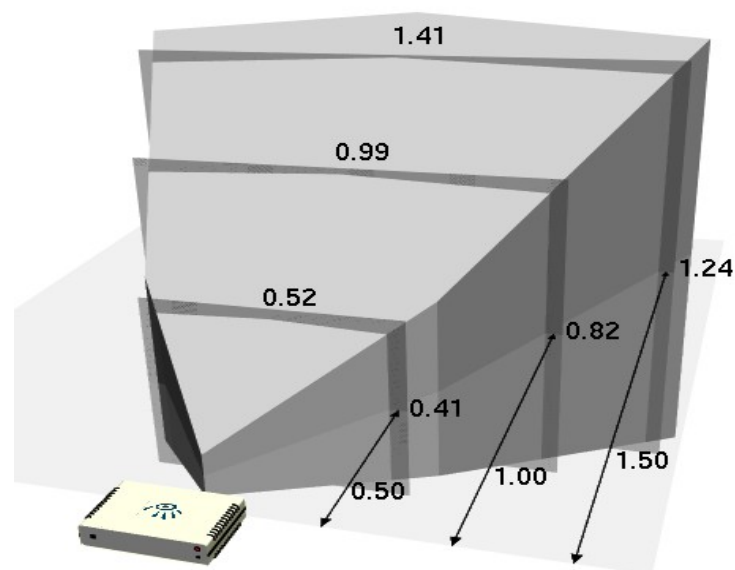
Ο Personal Space Tracker είναι ένας ανιχνευτής κίνησης ο οποίος υποστηρίζει κινήσεις με 6 βαθμούς ελευθερίας (Degrees Of Freedom). Αυτό σημαίνει ότι κάθε αντικείμενο το οποίο παρακολουθείται μπορεί να κινείται ελεύθερα στο χώρο. Ο Personal Space Tracker είναι ολοκληρωμένο σύστημα ανίχνευσης κίνησης, δηλαδή εμπεριέχει λογισμικό επεξεργασίας εικόνας και εκπαίδευσης σε νέα μοντέλα προς ανίχνευση και δεν απαιτεί κατανάλωση εξωτερικής επεξεργαστικής ισχύος ή μνήμης. Επίσης, συνοδεύεται από λογισμικό διαχείρισής του μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα αντικείμενα αναγνωρίζονται μέσω ειδικών ρετρο-αντανακλαστικών δεικτών που τοποθετούνται πάνω τους. Οι κάμερες, χρησιμοποιώντας τεχνολογία υπέρυθρων ακτίνων, αναγνωρίζουν τις θέσεις των δεικτών και υπολογίζουν από αυτές τη θέση και τον προσανατολισμό του αντικειμένου. Η συσκευή ανίχνευσης συνδέεται με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με το πρωτόκολλο IP και μέσω ενός VRPN (Virtual Reality

Peripheral Network) server που εγκαθίσταται στον υπολογιστή και στέλνει για κάθε παρακολουθούμενο αντικείμενο τη θέση και τον προσανατολισμό του με ακρίβεια χιλιοστού 55 φορές το δευτερόλεπτο.



Εικόνα 28: Ο Personal Space Tracker τοποθετημένος πάνω σε ειδικό τρίποδα

Το πεδίο αναγνώρισης του PST φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η ιδανική απόσταση αναγνώρισης είναι 0,4 – 1,5 μέτρα.

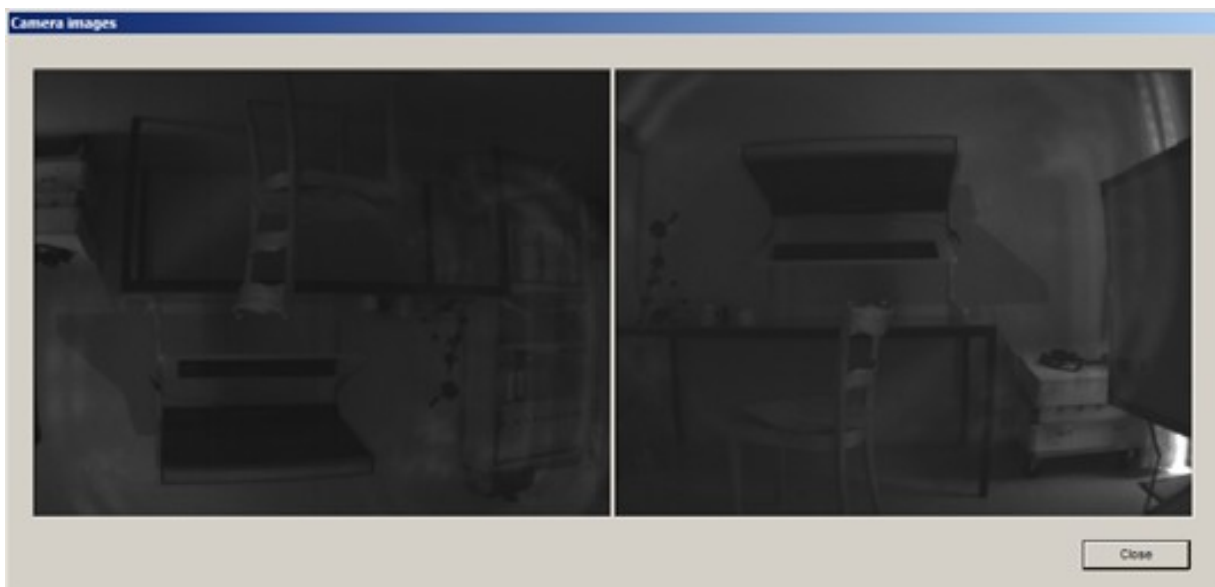


Εικόνα 29: Το πεδίο αναγνώρισης του PST λεπτομερειακά. Οι αποστάσεις που παρουσιάζονται μετρούνται σε μέτρα.

Υπάρχει η δυνατότητα, συνδέοντας μεγαλύτερο αριθμό από PST trackers να ανιχνευτεί μεγαλύτερη περιοχή του χώρου για τις κινήσεις αντικειμένων, καθώς και οποιοδήποτε σχήματος περιοχή θέλουμε, τοποθετώντας τους trackers στις κατάλληλες θέσεις. Τέτοιες διατάξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απαιτητικές εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη περιοχή του χώρου και ταυτόχρονα μεγάλη ακρίβεια στην ανίχνευση της κίνησης των αντικειμένων μέσα σε αυτή.

3.2.1.1. Απ' ευθείας προβολή της εικόνας που λαμβάνουν οι κάμερες

Ο PST μας δίνει τη δυνατότητα να προβάσουμε στην οθόνη του υπολογιστή τις εικόνες που λαμβάνουν οι κάμερες. Αυτό το χαρακτηριστικό, αν και καταναλώνει σχεδόν ολόκληρο το εύρος ζώνης της σύνδεσης με τον υπολογιστή και κατά συνέπεια είναι απαγορευτικό κατά την εκτέλεση της λειτουργίας της ανίχνευσης, είναι ιδιαίτερα βοηθητικό για τη διάγνωση και την αντιμετώπιση προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την ανάπτυξη ενός προγράμματος που χρησιμοποιεί την ανίχνευση κίνησης. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η προβολή των εικόνων από τις δύο κάμερες του PST.



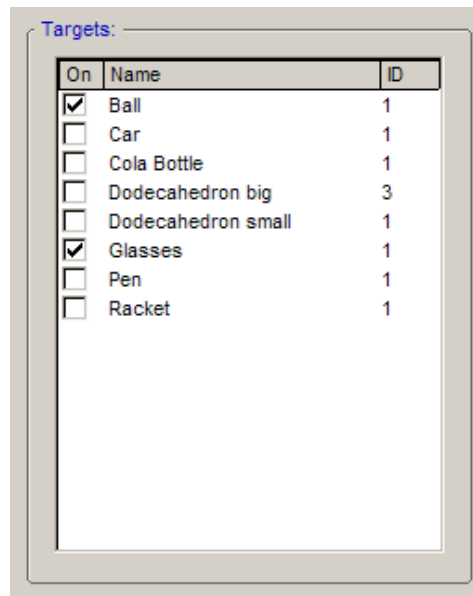
Εικόνα 30: Προβολή στην οθόνη του υπολογιστή της εικόνας που λαμβάνουν οι δύο κάμερες του PST

3.2.1.2. Ανίχνευση κίνησης

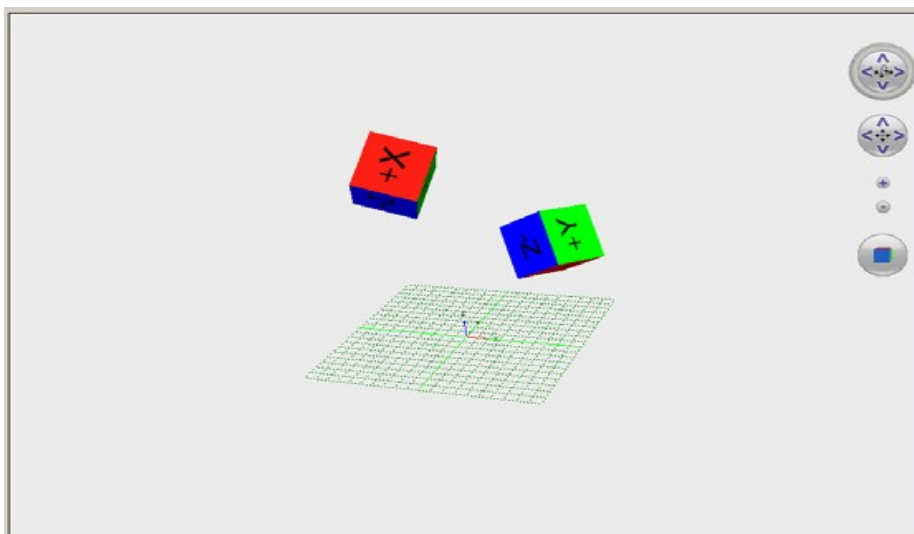
Κατά την ανίχνευση της κίνησης αντικειμένων, το ειδικό λογισμικό που συνοδεύει τον PST παρουσιάζει στο χρήστη την κίνηση των αντικειμένων που επιλέγει και του παρέχει ένα περιβάλλον διεπαφής (User Interface) με το οποίο μπορεί να χειριστεί τη

λειτουργία της συσκευής. Για παράδειγμα, μπορεί να επιλέξει ποιο ή ποια αντικείμενα θέλει να ανιχνευτούν, επιλέγοντας από μία λίστα από αντικείμενα για τα οποία ο PST έχει προηγουμένως εκπαιδευτεί, όπως η λίστα στην παρακάτω εικόνα.

Η κίνηση των αντικειμένων αναπαρίσταται μέσω του λογισμικού διεπαφής σε μορφή τρισδιάστατης απεικόνισης με χρησιμοποίηση της βιβλιοθήκης γραφικών OpenGL. Τα αντικείμενα που παρακολουθούνται αναπαριστώνται από κύβους σε μία πλήρως προσαρμόσιμη από το χρήστη άποψη (view) του τρισδιάστατου χώρου. Η αναπαράσταση (για δύο παρακολουθούμενα αντικείμενα) φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, όπου δεξιά βλέπουμε τα εργαλεία με τα οποία ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει περιστροφή, μετατόπιση και ζουμ στην άποψη (view) του τρισδιάστατου χώρου.



Εικόνα 31: Λίστα αντικειμένων στα οποία ο PST έχει εκπαιδευτεί.



Εικόνα 32: Απεικόνιση της κίνησης δύο παρακολουθούμενων αντικειμένων στο λογισμικό του PST

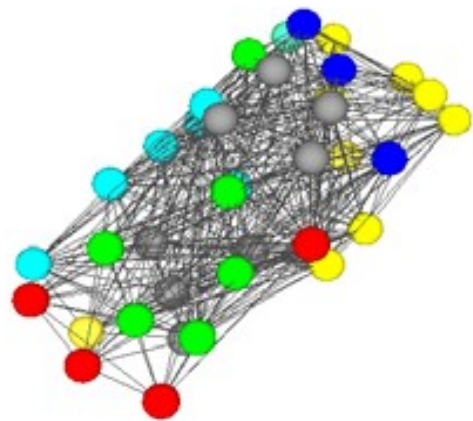
3.2.1.3. Εκπαίδευση του PST

Πριν τη διαδικασία ανίχνευσης της κίνησης, ο tracker πρέπει να εκπαιδευτεί για το αντικείμενο το οποίο θα παρακολουθήσει. Η διαδικασία γίνεται με τα ακόλουθα βήματα:

1. Τοποθέτηση ρετρο-αντανακλαστικών δεικτών (markers) πάνω στο αντικείμενο. Οι δείκτες πρέπει να έχουν ιδανικά κυκλικό σχήμα, διάμετρο μεγαλύτερη των 7 χιλιοστών, μεταξύ τους απόσταση το λιγότερο 5 χιλιοστά και πρέπει να είναι τυχαία καταμερισμένοι στην επιφάνεια του αντικειμένου. Επίσης, από κάθε πιθανή οπτική γωνία προς το αντικείμενο πρέπει να εμφανίζονται τουλάχιστον 3 δείκτες.
2. Τοποθέτηση του αντικειμένου μπροστά από τον tracker σε μικρή απόσταση.
3. Εντολή έναρξης του προγράμματος εκπαίδευσης του PST.
4. Αργή περιστροφή του αντικειμένου για να αναγνωρίσει ο tracker όλους τους δείκτες από όλες τις πλευρές του αντικειμένου.
5. Όταν ο μετρητής δεικτών που αναγνωρίστηκαν φτάσει τον αριθμό των δεικτών που τοποθετήθηκαν στο αντικείμενο, δίνουμε εντολή ολοκλήρωσης της διαδικασίας αναγνώρισης.
6. Απόδοση ονόματος και αναγνωριστικού (id) του αντικειμένου.



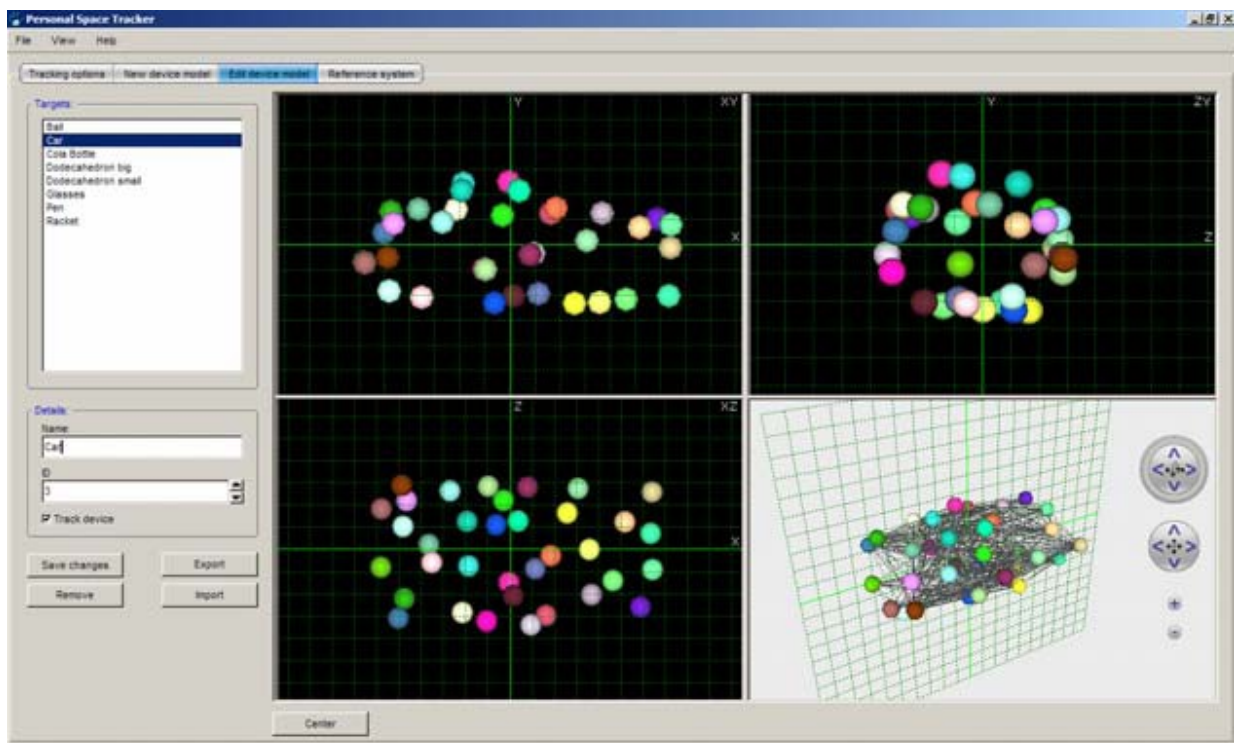
Εικόνα 33: Αντικείμενο με τοποθετημένους δείκτες (markers) στην επιφάνειά του.



Εικόνα 34: Μοντέλο με το οποίο απεικονίζεται το αντικείμενο αριστερά από τον tracker μετά την εκπαίδευσή του σε αυτό. Κάθε κύκλος που απεικονίζεται στο μοντέλο αντιστοιχεί σε έναν δείκτη του αντικειμένου.

3.2.1.4. Επεξεργασία μοντέλου αντικειμένου

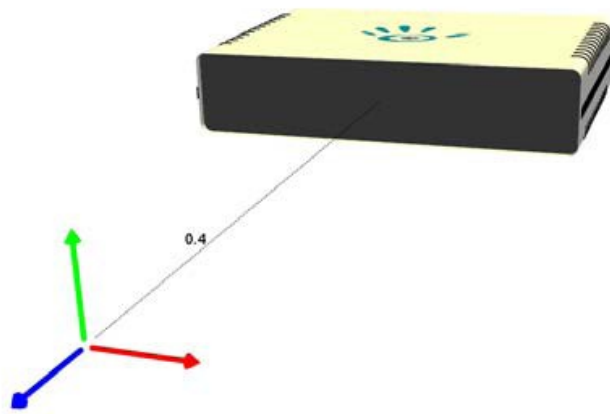
Το λογισμικό του PST δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επεξεργαστεί το μοντέλο του κάθε αντικειμένου οποιαδήποτε στιγμή, αφού γίνει η εκπαίδευση του tracker σε αυτό. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να αλλάξει το όνομα του μοντέλου ή το σημείο αναφοράς και τον προσανατολισμό του συστήματος συντεταγμένων αναφοράς του. Στο παράθυρο του λογισμικού, φαίνονται τα σημεία των δεικτών του αντικειμένου στα επίπεδα X-Y, Y-Z και X-Z αλλά και σε προοπτική τρισδιάστατη προβολή.



Εικόνα 35: Το περιβάλλον επεξεργασίας των μοντέλων στο λογισμικό του PST

3.2.1.5. Το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς

Ο PST αναφέρει τη θέση και τον προσανατολισμό των αντικειμένων βάσει ενός καρτεσιανού συστήματος αναφοράς που υπακούει στον κανόνα του δεξιού χεριού (right-handed Cartesian reference coordinate system). Το σημείο αναφοράς του συστήματος βρίσκεται 40 εκατοστά μπροστά από το κέντρο της πρόσοψης του PST. Κοιτάζοντας από το σημείο στο οποίο βρίσκονται οι κάμερες προς την περιοχή ανίχνευσης, ο άξονας X έχει θετικές τιμές προς τα αριστερά, ο άξονας Y προς τα πάνω και ο άξονας Z προς τα μπροστά.



Εικόνα 36: Το σύστημα συντεταγμένων αναφοράς του PST

4. Περιγραφή Υλοποίησης

4.1. Σχεδιασμός και ρύθμιση των παραμέτρων της άσκησης

Στην έναρξη της εφαρμογής γίνεται ο καθορισμός της άσκησης με τα εξής βήματα:

Βήμα 1.

Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός της τροχιάς της άσκησης που θα εκτελούν τα 2 χέρια. Κατά τη διαδικασία αυτή, ο ασθενής κρατάει τους αλτήρες σε διάφορα σημεία την επιθυμητής τροχιάς της άσκησης. Σε κάθε σημείο από αυτά, ο γιατρός, πατώντας ένα πλήκτρο, περνάει το επιθυμητό σημείο σαν δεδομένο στην εφαρμογή. Το σύνολο των σημείων που δέχεται η εφαρμογή καθορίζουν την τροχιά της άσκησης δημιουργώντας μία καμπύλη γραμμή στον εικονικό χώρο που απεικονίζει την αληθινή τροχιά την οποία θα εκτελεί ο χρήστης.

Βήμα 2.

Μετά τη διαδικασία του καθορισμού της τροχιάς, ακολουθεί ο καθορισμός μέσω του πληκτρολογίου της ταχύτητας με την οποία είναι επιθυμητό να γίνεται η άσκηση, καθώς και του αριθμού επαναλήψεων που πρέπει η κίνηση να επαναληφθεί.

Βήμα 3.

Ακόλουθα, επιλέγεται εάν η άσκηση θα εκτελεστεί και με τα δύο χέρια, μόνο με το αριστερό ή μόνο με το δεξί χέρι.

Τέλος, αφού το τρίτο βήμα ολοκληρωθεί, ακολουθεί αντίστροφη μέτρηση 5 δευτερολέπτων για την προετοιμασία του χρήστη πριν από την έναρξη της άσκησης.

4.2. Εκτέλεση της άσκησης

Κατά τη διάρκεια της άσκησης, οι κινήσεις του χρήστη αποτυπώνονται με την ταυτόσημη κίνηση 2 εικονικών ασπίδων. Παράλληλα, 2 εικονικά σπαθιά περνάνε συνεχώς από τα σημεία των 2 καμπυλών που ο χρήστης καλείται να διαγράψει με τα χέρια του. Το σημείο από το οποίο περνάει κάθε φορά το σπαθί, είναι το υπολογισμένο χρονικά σημείο στο οποίο θα πρέπει να είναι στιγμιαία η κίνηση του χρήστη. Το σημείο αυτό αποτυπώνεται στην οθόνη ως μία μικρή σφαίρα η οποία βρίσκεται στο σημείο τομής της τροχιάς του σπαθιού και της τροχιάς της άσκησης. Εάν ο χρήστης έχει τον

αλτήρα πράγματι σε αυτή τη θέση (με μία μικρή ανοχή σφάλματος) τότε τα 2 εικονικά αντικείμενα (σπαθί και ασπίδα) θα “συγκρουστούν”, με το γραφικό αποτέλεσμα η ασπίδα να δώσει μία κρουστική δύναμη στο σπαθί και να το απομακρύνει από την τροχιά της. Έτσι, ο χρήστης, προσπαθώντας να πετύχει τα σπαθιά με την κίνησή του, θα εκτελεί την απαιτούμενη κίνηση με τον απαιτούμενο σταθερό ρυθμό. Επιπλέον, υπάρχει στην οθόνη μία γραφική ένδειξη για κάθε χέρι που δείχνει κάθε στιγμή αν το χέρι του χρήστη βρίσκεται αρκετά κοντά στην προκαθορισμένη απαιτούμενη τροχιά.



Εικόνα 37: Στιγμιότυπο της άσκησης. Τα 2 σπαθιά ξεκινάνε την τροχιά τους προς ένα συγκεκριμένο σημείο των 2 καμπυλών κίνησης του χρήστη. Οι τροχιές που θα ακολουθήσουν τα 2 σπαθιά είναι προκαθορισμένες και θα ακολουθηθούν εάν τα σπαθιά δε συγκρουστούν με τις ασπίδες στα σημεία τομής των τροχιών των σπαθιών και των ασπίδων που φαίνονται στο σχήμα.



Εικόνα 38: Στιγμιότυπο της άσκησης. Οι ασπίδες έχουν χτυπήσει τα 2 σπαθιά, τα οποία έχουν εκτροχιαστεί.

4.3. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

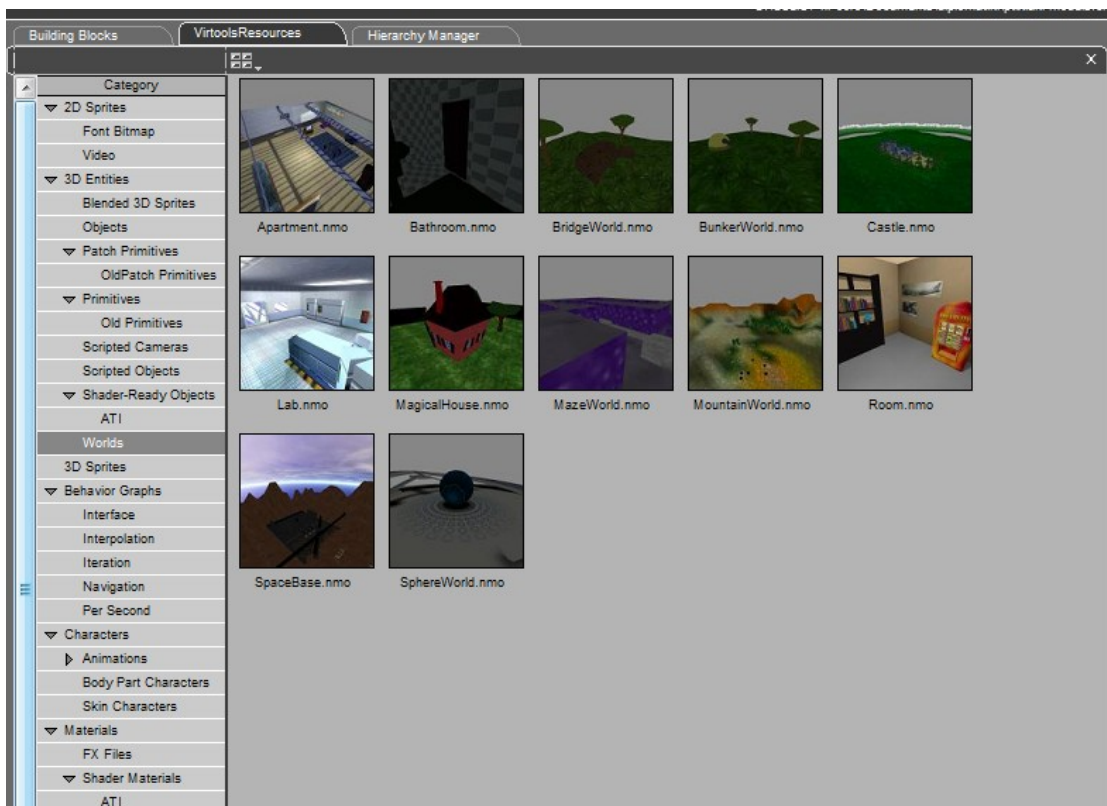
Όταν η άσκηση ολοκληρωθεί, παρουσιάζεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα. Στον πίνακα φαίνονται ο συνολικός αριθμός των σπαθιών που πέρασαν από την κάθε τροχιά, ο αριθμός των συγκρούσεων που κατάφερε να πετύχει ο χρήστης με κάθε χέρι και το ποσοστό επιτυχίας που προκύπτει για κάθε χέρι.

4.4. Υλοποίηση των επιμέρους λειτουργιών

4.4.1. Περιγραφή του εικονικού 3-D κόσμου

Τα 3-D μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή προέρχονται από τη βιβλιοθήκη 3-D μοντέλων του Virtools, από ανοιχτές βιβλιοθήκες 3-D μοντέλων στο

Internet και από 3-D μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί στο εργαστήριο Εικονικής Πραγματικότητας του ΕΜΠ.



Εικόνα 39: Η βιβλιοθήκη 3-D μοντέλων του Virtools. Τα 3-D μοντέλα επιλέγονται από τη βιβλιοθήκη ή εισάγονται στη σκηνή του Virtools έτοιμα, για να δημιουργηθεί ένας εικονικός κόσμος και να προγραμματιστούν οι "συμπεριφορές" των εικονικών αντικειμένων, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, καθώς και η αλληλεπιδράσεις τους με την είσοδο του χρήστη.

4.4.2. Έλεγχος της κίνησης των ασπίδων

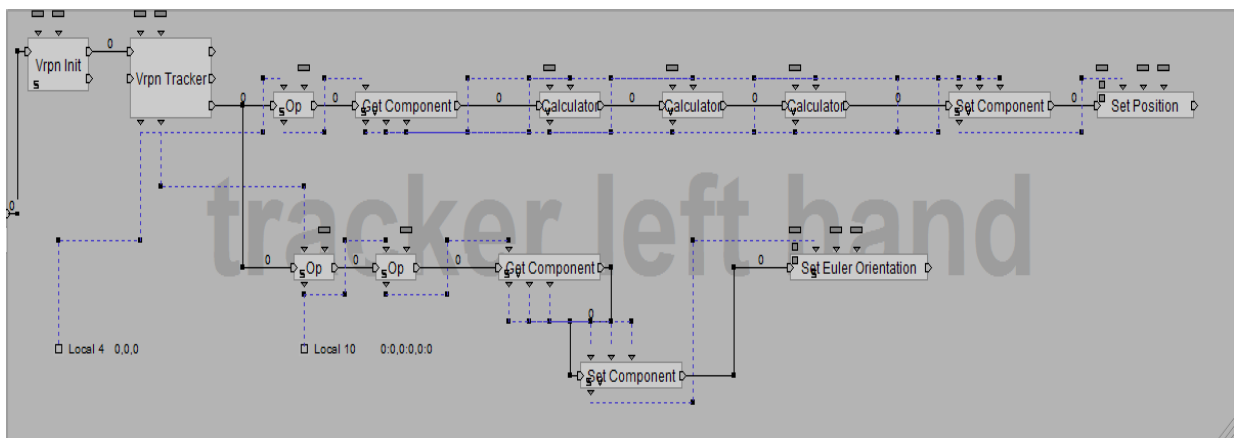
Οι 2 ασπίδες κινούνται ταυτόσημα με την κίνηση των αλτήρων που κρατάει ο χρήστης και ταυτόχρονα συμμετέχουν στην προσομοίωση φυσικής για την αλληλεπίδραση με τα 2 σπαθιά.

Επειδή η συμμετοχή στη μηχανή φυσικής αφήνει τον έλεγχο της κίνησης πλήρως σε αυτή, δεν είναι δυνατόν να ελέγχουμε απ ευθείας την κίνηση των 2 ασπίδων με τα δεδομένα της κίνησης του χρήστη που λαμβάνουμε από τον tracker. Το πρόβλημα αυτό, καθώς και η λύση του, προβλέπεται από τη μηχανή φυσικής του Virtools. Η λύση του προβλήματος αναπτύσσεται ως εξής:

Εισάγουμε στη σκηνή του Virtools ένα "αόρατο" αντικείμενο, που ονομάζεται 3D frame. Το 3D frame δεν έχει μορφή, ούτε καταλαμβάνει χώρο στο τρισδιάστατο εικονικό

περιβάλλον, αλλά έχει συγκεκριμένη στιγμιαία θέση και στιγμιαίο προσανατολισμό μέσα σε αυτό. Το αντικείμενο δε συμμετέχει στην προσομοίωση της φυσικής, οπότε μπορεί να ακολουθήσει την ανεξάρτητη κίνηση του χρήστη. Η μηχανή φυσικής, δέχεται το 3D frame ως οδηγό για ένα άλλο αντικείμενο που συμμετέχει στην προσομοίωση φυσικής – σε αυτή την περίπτωση την κάθε ασπίδα. Έτσι, ανεξάρτητα από τις οποιοσδήποτε δυνάμεις δέχεται το αντικείμενο της ασπίδας στην προσομοίωση της μηχανικής, η μηχανή φυσικής εφαρμόζει πάνω σε αυτό επιπλέον δυνάμεις οι οποίες τείνουν να του δώσουν τη θέση και τον προσανατολισμό του οδηγού - 3D frame στο χώρο. Έτσι, πρακτικά το αντικείμενο της ασπίδας ακολουθεί την κίνηση του χρήστη. Έτσι, ελέγχουμε με τα δεδομένα του tracker δύο 3D frames και τα θέτουμε ως οδηγούς των 2 ασπίδων.

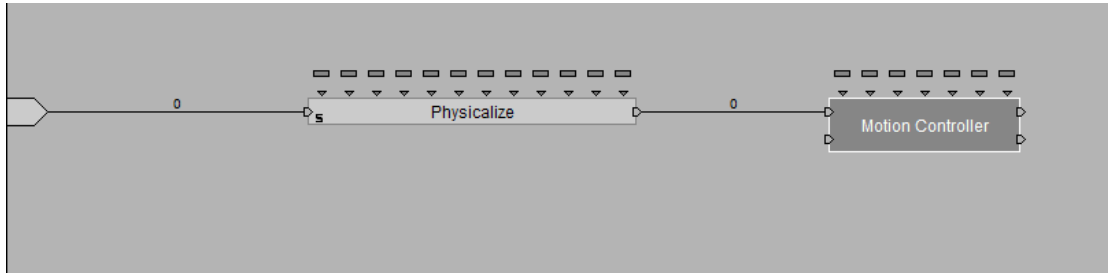
Παρακάτω φαίνεται το script που ελέγχει την κίνηση της μίας ασπίδας σύμφωνα με την κίνηση του αριστερού χεριού του χρήστη.



Εικόνα 40: Ο κώδικας που ελέγχει την κίνηση της αριστερής ασπίδας μέσω των δεδομένων κίνησης του αριστερού χεριού του χρήστη

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η είσοδος του script στα αριστερά που εκτελείται κατά την εκκίνηση του προγράμματος, ενεργοποιεί κατά σειρά τα Building Blocks “Vrpn Init” και “Vrpn Tracker”. Τα δύο αυτά Building Blocks (BBs) ανήκουν στη βιβλιοθήκη της εικονικής πραγματικότητας (VR) του Virtools. Το πρώτο αρχικοποιεί τη λειτουργία του tracker εγκαθιστώντας μία δικτυακή σύνδεση με αυτόν. Το δεύτερο BB παράγει ένα σήμα στην τρίτη έξοδο του κάθε φορά που ο tracker στέλνει δεδομένα. Όπως φαίνεται στο σχήμα, όταν αυτό το σήμα ενεργοποιείται, τα δεδομένα του tracker λαμβάνονται, επεξεργάζονται και αφού δημιουργηθούν τα κατάλληλα διανύσματα θέσης, εφαρμόζονται στο αντίστοιχο 3D frame με το BB “Set Position”. Αντίστοιχα, το δεύτερο 3D frame με τον ίδιο τρόπο ακολουθεί την κίνηση του δεξιού χεριού του χρήστη. Έτσι, τα δύο 3D frames έχουν κάθε στιγμή τη θέση των δύο αλτήρων που κινεί ο χρήστης.

Η ανάθεση των 3D frames ως “οδηγούς” των ασπίδων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

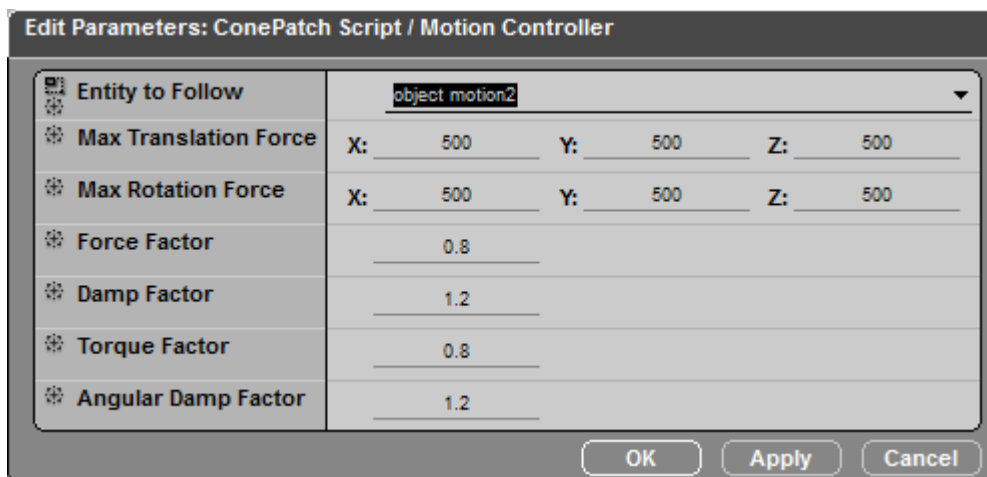


Εικόνα 41: Κώδικας εισαγωγής του αντικείμενου της ασπίδας στην προσομοίωση φυσικής. Το BB *Physicalize* εισάγει την ασπίδα στο σύστημα της προσομοίωσης και το BB *Motion Controller* θέτει ως "οδηγό" της ασπίδας ένα 3D frame

Το script ανήκει στο αντικείμενο της μίας ασπίδας. Όταν το πρόγραμμα ξεκινάει, δηλώνουμε το αντικείμενο στη μηχανή φυσικής για να μπει στη διαδικασία προσομοίωσης με το BB "Physicalize" και αμέσως μετά δηλώνουμε ότι το αντικείμενο θα κινείται σύμφωνα με ένα 3D frame, με τη χρήση του BB "Motion Controller". Παρακάτω φαίνονται τα δεδομένα που εισάγονται στα δύο BBs.

Edit Parameters: ConePatch Script / Physicalize	
Fixed	<input type="checkbox"/>
Friction	0.7
Elasticity	0.4
Mass	1
Collision Group	
Start Frozen	<input type="checkbox"/>
Enable Collision	<input checked="" type="checkbox"/>
Shift Mass Center	X: 0 Y: 0 Z: 0
Linear Speed Dampening	0.1
Rot Speed Dampening	0.1
Surface Name	Cylinder01 Mesh_Surface
Convex	Cylinder01 Mesh

Εικόνα 42: Παράμετροι εισόδου του *Physicalize*



Εικόνα 43: Παράμετροι εισόδου του Motion Controller. Το 3D frame - οδηγός που θα ανατεθεί στο αντικείμενο είναι το "object motion2". Στο σχήμα φαίνονται οι μέγιστες δυνάμεις που μπορεί να εφαρμόσει η μηχανή φυσικής για τη μετατόπιση και την περιστροφή του αντικειμένου σε κάθε άξονα με στόχο να ακολουθήσει το 3D frame

4.4.3. Επικοινωνία με το χρήστη κατά τη διάρκεια του Setup και της αναφοράς

Κατά τη διάρκεια των 2 αυτών καταστάσεων, παρουσιάζεται στην οθόνη κείμενο με οδηγίες και πληροφορίες. Η απεικόνιση κειμένου γίνεται εκτός του 3-D περιβάλλοντος, δημιουργώντας δυναμικά δισδιάστατες απεικονίσεις (2D frames) οι οποίες εμφανίζουν το κείμενο. Αυτό υλοποιείται με το BB "Text Display". Τα κείμενα αυτά εμφανίζονται μόνο κατά τη διάρκεια των 2 αυτών καταστάσεων και για να σταματήσει η απεικόνισή τους δίνεται παλμός στην είσοδο "Off" του BB. Τα περισσότερα κείμενα εμφανίζονται μέσα σε ένα γραφικό που απεικονίζει έναν αρχαίο πάπυρο.

Για την μετάβαση από το κάθε βήμα του setup στο επόμενο, το σύστημα περιμένει το πάτημα ενός συγκεκριμένου πλήκτρου από το χρήστη με το BB "Key Waiter". Όταν το πλήκτρο πατηθεί, το BB στέλνει παλμούς απενεργοποίησης των κειμένων του τρέχοντος βήματος και παλμούς ενεργοποίησης των κειμένων και των λειτουργιών του επόμενου βήματος.

4.4.4. Δημιουργία καμπύλων κίνησης

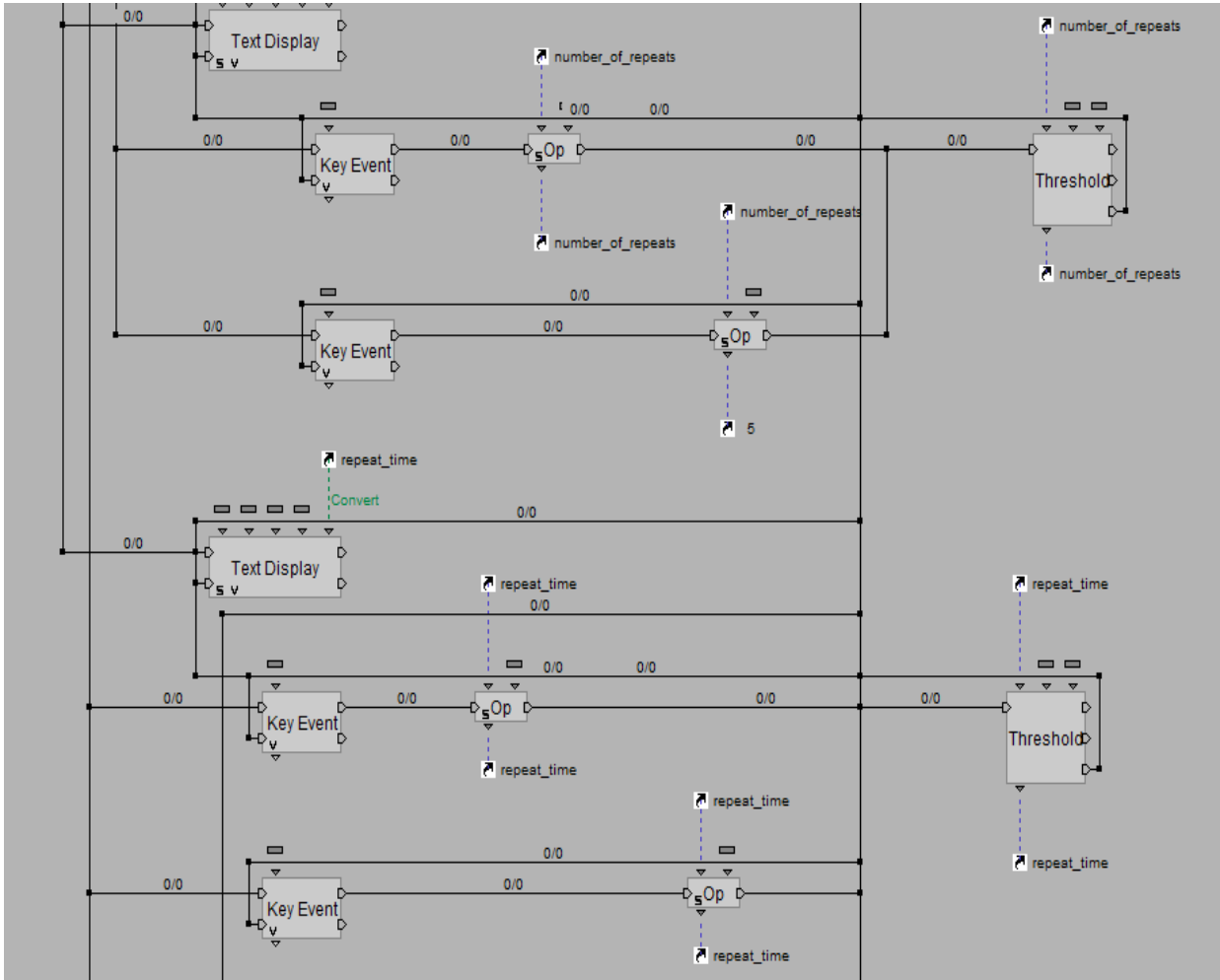
Οι τροχιές που περιγράφουν την κίνηση της άσκησης αποθηκεύονται στην εφαρμογή ως αντικείμενα Curves, δηλαδή καμπύλες γραμμές στον 3-D εικονικό χώρο. Κατά τη διάρκεια δημιουργίας των καμπυλών, το σύστημα περιμένει το πάτημα πλήκτρων από το χρήστη για να εκτελεστεί η λειτουργία εισαγωγής σημείου στις καμπύλες της άσκησης ή η λειτουργία διαγραφής όλων των σημείων των καμπυλών και

ο επαναπροσδιορισμός τους από την αρχή. Όταν εισαχθεί ένα καινούριο σημείο σε ένα αντικείμενο Curve, το σύστημα επαναπροσδιορίζει αυτόματα ολόκληρη την καμπύλη υπολογίζοντας το κάθε ενδιάμεσο σημείο της με τη μαθηματική θεωρία των καμπύλων Splines, βασιζόμενο στα σταθερά σημεία τα οποία έχει εισάγει ο γιατρός.

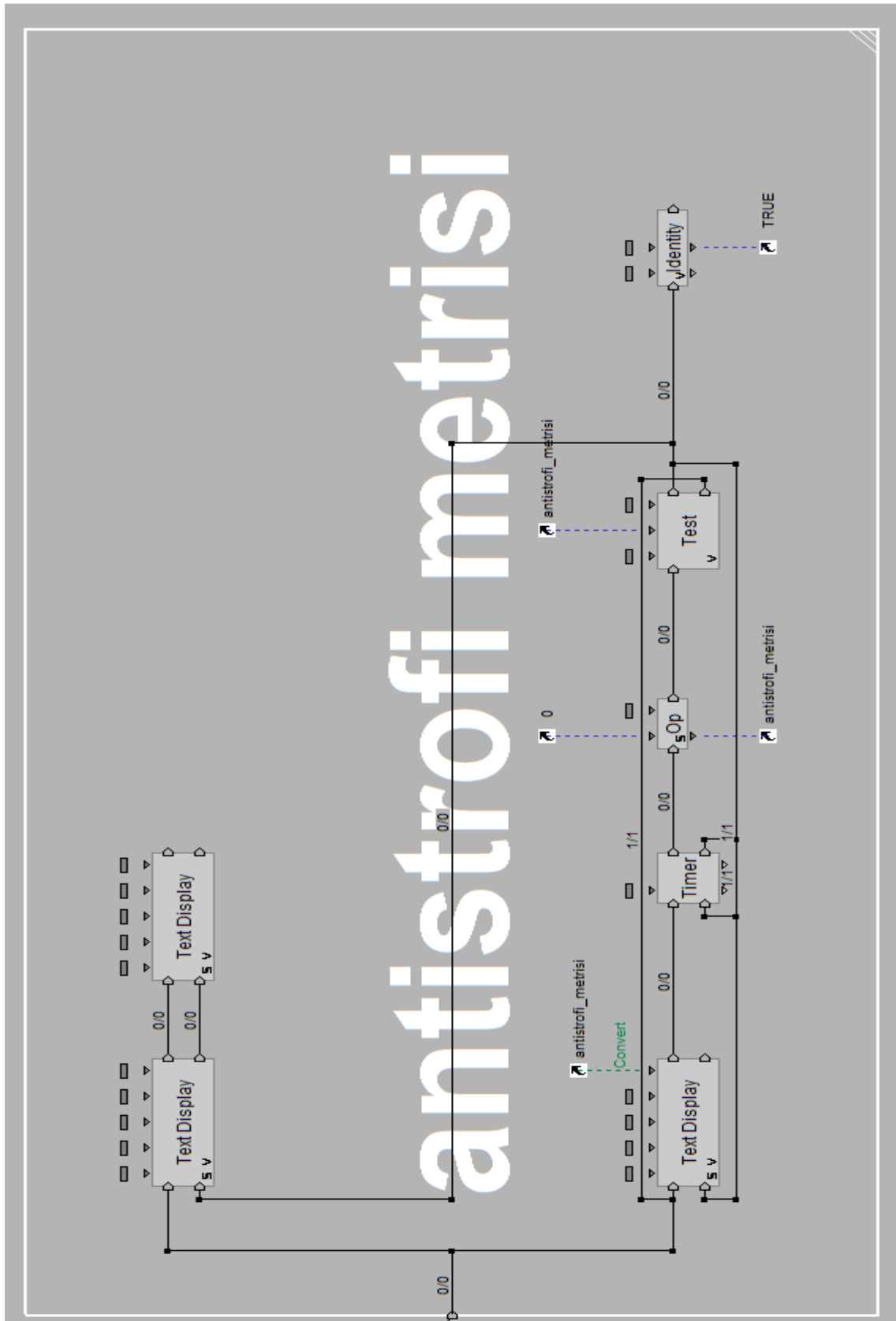
Για την εισαγωγή ενός σημείου, χρησιμοποιείται το BB “Add Control Point” το οποίο εφαρμόζεται σε αντικείμενα Curves και εισάγει σε αυτά ένα σταθερό σημείο. Για τη διαγραφή όλων των σημείων που έχουν εισαχθεί, εκτελείται ένα loop σε όλα τα σημεία των καμπυλών, για τα οποία εκτελείται το BB “Remove Control Point”. Έτσι, μετά την εκτέλεση του loop, τα αντικείμενα Curves είναι κενά και μπορούν να κατασκευαστούν από την αρχή με καινούρια σημεία.

4.4.5. Αντίστροφη Μέτρηση

Για την υλοποίηση της αντίστροφης μέτρησης, εκτελείται ένα loop στο οποίο εφαρμόζεται καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου σε κάθε κύκλο μέσω του BB “Timer”. Μετά την καθυστέρηση, η μεταβλητή που μετράει τα δευτερόλεπτα που απομένουν για την εκκίνηση της άσκησης μειώνεται κατά 1 και το κείμενο που εμφανίζεται στην οθόνη ενημερώνεται σύμφωνα με την τιμή αυτής της μεταβλητής για να εμφανίσει στην οθόνη τα δευτερόλεπτα που απομένουν. Παρακάτω εμφανίζονται τα scripts που υλοποιούν τις διαδικασίες του Setup που περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 45: Η υλοποίηση της αυξομείωσης των επαναλήψεων (*number_of_repeats*) και της διάρκειας επανάληψης (*repeat_time*). Τα BBs "Key Event" πυροδοτούν την αύξηση ή τη μείωση αντίστοιχα της κάθε μεταβλητής, ανάλογα με το πλήκτρο που πατήθηκε από το χρήστη. Η αύξηση και η μείωση περνάνε από φίλτρο ανώτατης και κατώτατης επιτρεπόμενης τιμής με το BB "Threshold"



Εικόνα 46: Το script που υλοποιεί την αντίστροφη μέτρηση. Βλέπουμε το loop που καλεί το Timer και ακολούθως μειώνει τη μεταβλητή "antistrofi_metrisi" και τέλος τη συγκρίνει με το 0 για να ελέγξει εάν η αντίστροφη μέτρηση έχει τελειώσει (BB Test).

4.4.6. Κίνηση των δύο σπαθιών

Για την κίνηση των 2 σπαθιών χρησιμοποιούνται 2 Curves. Το κάθε Curve έχει 3 σημεία: 2 σταθερά που είναι η αρχή και το τέλος της κίνησης του σπαθιού και 1 μεταβλητό που είναι το σημείο της τροχιάς της άσκησης από το οποίο θα περάσει το σπαθί. Κάθε φορά που η κίνηση του σπαθιού ολοκληρώνεται, το αντικείμενο Curve ενημερώνεται σύμφωνα με το επόμενο σημείο της κίνησης. Τα σπαθιά διανύουν τις τροχιές των Curves με σταθερή ταχύτητα και ολοκληρώνουν την κάθε κίνηση σε χρονικό διάστημα του ενός ογδού του χρόνου της κίνησης της άσκησης. Έτσι, σε κάθε επανάληψη της κίνησης, το κάθε σπαθί περνάει από την τροχιά της κίνησης 8 φορές, 4 κατά τη μία φορά της κίνησης και 4 κατά την αντίθετη. Τα σημεία της κίνησης από τα οποία περνάει το σπαθί είναι η αρχή της τροχιάς της άσκησης, το τέλος της και 3 ενδιάμεσα ισαπέχοντα σημεία. Όταν ένα σπαθί ολοκληρώσει την κίνησή του, περιμένει και το άλλο για να ξεκινήσουν συγχρονισμένα την επόμενη κίνησή τους.

Επειδή τα σπαθιά συμμετέχουν στην προσομοίωση φυσικής, χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική για τον έλεγχο της κίνησής τους όπως και στις ασπίδες. Εισάγουμε δύο 3D frames τα οποία δηλώνουμε ως οδηγούς των δύο σπαθιών στη μηχανή φυσικής. Το κάθε 3D frame διαγράφει την τροχιά που θέλουμε να ακολουθήσει το κάθε σπαθί με σταθερή ταχύτητα μέσω του BB “Curve Follow” της βιβλιοθήκης 3D transformations → Curve. Επίσης, τα δύο 3D frames περιστρέφονται γύρω από τον οριζόντιο άξονά τους με αποτέλεσμα να δημιουργείται το οπτικό εφέ της περιστροφής των σπαθιών κατά τη διάρκεια της κίνησής τους. Η περιστροφή του κάθε 3D frame γίνεται με το BB “Rotate” της βιβλιοθήκης 3D transformations → Basic.

4.4.7. Σύγκρουση σπαθιού και ασπίδας

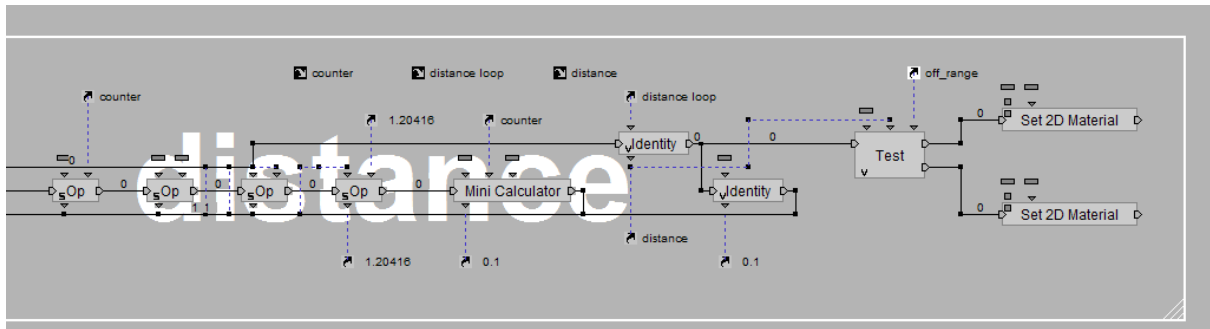
Η ανίχνευση της σύγκρουσης των δύο εικονικών αντικειμένων γίνεται από τη μηχανή φυσικής, καθώς και τα δύο αντικείμενα, όπως έχουμε αναλύσει παραπάνω, συμμετέχουν σε αυτήν. Έτσι, το κάθε αντικείμενο κινείται ανεξάρτητα από το άλλο και όταν η μηχανή φυσικής ανιχνεύσει τη σύγκρουση (collision), τότε εφαρμόζεται μία κρουστική δύναμη μέσω της μηχανής φυσικής στο σπαθί, ανάλογη της διανυσματικής ταχύτητας της ασπίδας. Έτσι, δίνεται η αίσθηση ότι ο ασθενής με την κίνησή του αποκρούει τα σπαθιά.

Παρακάτω παρουσιάζεται το script που υλοποιεί την κίνηση των σπαθιών και τη διαδικασία ανίχνευσης και χειρισμού της σύγκρουσης μεταξύ των 2 αντικειμένων. Συγκεκριμένα, το script παρουσιάζει το loop που εκτελείται για καθεμία ολοκληρωμένη κίνηση του σπαθιού.

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα, ενεργοποιείται η “οδήγηση” του σπαθιού από το 3D frame μέσω του Motion Controller, το αντικείμενο Curve ενημερώνεται για το νέο κοινό του σημείο με την καμπύλη της άσκησης μέσω του δικτύου “update curve”. Καθώς το σπαθί ακολουθεί την τροχιά του, η μηχανή φυσικής ελέγχει κάθε στιγμή αν έχει προκύψει σύγκρουση μεταξύ του σπαθιού και της ασπίδας (Physics Collision Event). Στην περίπτωση που η σύγκρουση έχει συμβεί, το σπαθί σταματάει να ακολουθεί την προκαθορισμένη τροχιά, η μηχανή φυσικής υπολογίζει τη διανυσματική ταχύτητα της ασπίδας τη στιγμή της σύγκρουσης (Get Physics Speed) και εφαρμόζει μία κρουστική δύναμη στο σπαθί, ανάλογη αυτής της ταχύτητας (Physics Impulse). Βλέπουμε επίσης τη μεταβλητή “left_hits” η οποία είναι μετρητής των χτυπημάτων που πέτυχε το αριστερό χέρι. Η μεταβλητή αυξάνεται κατά μία μονάδα όταν εντοπιστεί μία σύγκρουση. Μία όμοια μεταβλητή κρατάει το πλήθος των συγκρούσεων που πετυχαίνει ο χρήστης με το δεξί χέρι. Οι δύο αυτές μεταβλητές θα χρησιμοποιηθούν στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων μετά την ολοκλήρωση της άσκησης.

4.4.8. Ανίχνευση κίνησης ασθενούς εκτός τροχιάς

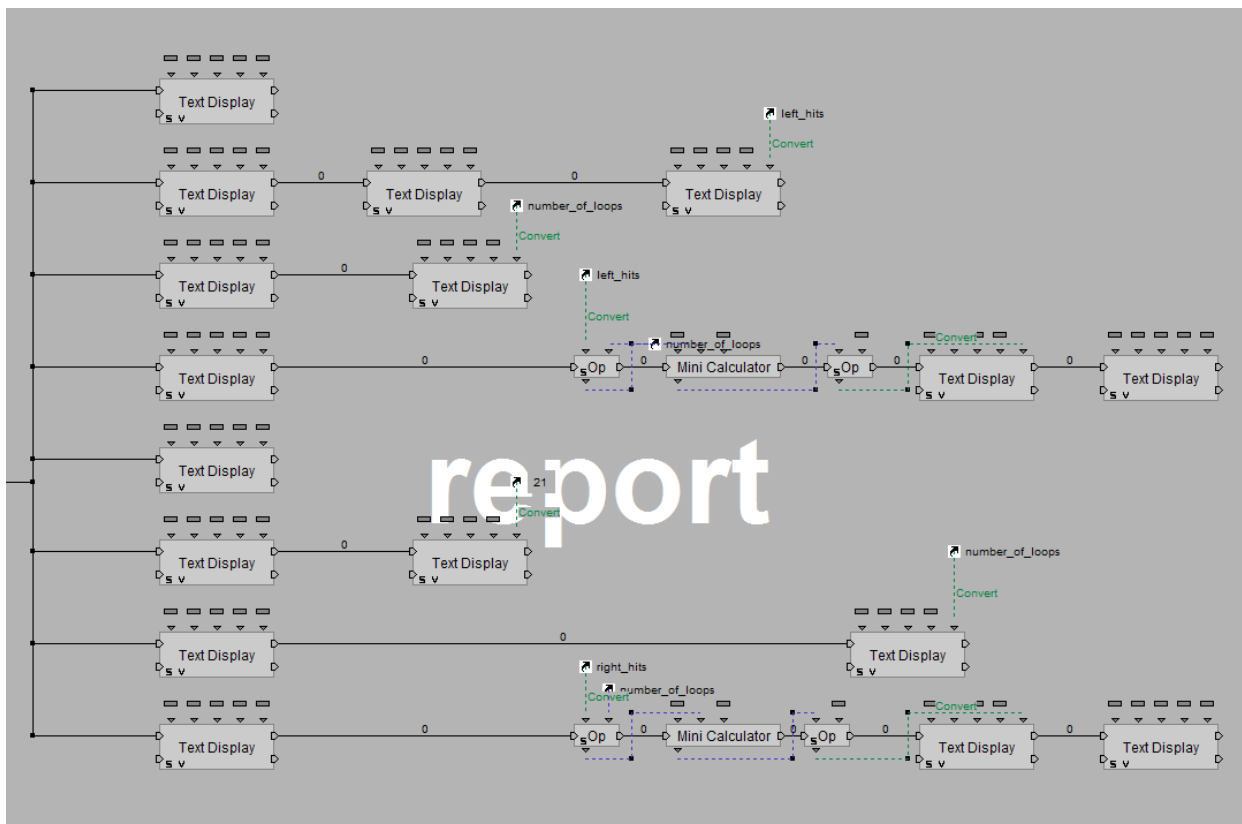
Για να ανιχνευτεί αν η κίνηση του ασθενούς είναι εντός τροχιάς, πρέπει να ελεγχθεί η απόσταση των ασπίδων από τις τροχιές της κίνησης. Για να υπολογιστεί αυτή η απόσταση, εκτελούμε συνεχώς ένα βρόχο ο οποίος λαμβάνει διαδοχικά σημεία της καμπύλης που απέχουν πολύ λίγο μεταξύ τους και υπολογίζει την απόσταση της ασπίδας από αυτά. Λαμβάνοντας την ελάχιστη από αυτές τις τιμές, προσεγγίζουμε ικανοποιητικά τη ζητούμενη απόσταση. Θέτοντας ένα μικρό περιθώριο ανοχής, υπολογίζουμε εάν αυτή η στιγμιαία απόσταση είναι εντός ή εκτός τροχιάς και το απεικονίζουμε χρωματίζοντας ανάλογα δύο 2-D αντικείμενα που απεικονίζουν φανάρια του κυκλοφοριακού συστήματος στο πάνω μέρος της οθόνης, ένα για κάθε χέρι. Ο χρωματισμός των φαναριών γίνεται με τη δυναμική εκχώρηση σε αυτά ενός αντικειμένου 2D material, ανάλογα με το στιγμιαίο χαρακτηρισμό εντός ή εκτός τροχιάς που υπολογίζεται από το πρόγραμμα. Έχουν δημιουργηθεί δύο 2D materials, ένα πράσινου και ένα κόκκινου χρώματος, τα οποία εφαρμόζονται στην περίπτωση εντός και εκτός τροχιάς αντίστοιχα. Η δυναμική εκχώρηση 2D material σε 2-D αντικείμενο γίνεται με χρήση του BB “Set 2D material”, όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 48: Το script της δυναμικής εκχώρησης 2D material στο αντικείμενο του φαναριού

4.4.9. Προβολή αποτελεσμάτων άσκησης

Όπως αναλύσαμε παραπάνω, κατά τη διάρκεια της άσκησης χρησιμοποιούμε μετρητές για το πλήθος των συγκρούσεων που πέτυχε ο ασθενής με το κάθε χέρι. Κατά την ολοκλήρωση της άσκησης, εμφανίζονται το πλήθος των συγκρούσεων για κάθε χέρι και το ποσοστό επιτυχίας σχετικά με τα συνολικά σπαθιά που εμφανίστηκαν. Το script που εκτελεί αυτούς τους υπολογισμούς και παρουσιάζει τα αποτελέσματα στην οθόνη φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 49: Το script που κάνει τους απαραίτητους υπολογισμούς για τα στατιστικά στοιχεία από την εκτέλεση της άσκησης και τα παρουσιάζει στην οθόνη

5. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας δημιουργήσαμε ένα παιχνίδι για την αποκατάσταση ασθενών με μυϊκούς τραυματισμούς. Οι κινήσεις του ασθενούς ανιχνεύονται από ένα σύστημα tracking και οι πληροφορίες μεταβιβάζονται στην εφαρμογή. Η εφαρμογή είναι υπεύθυνη για την απεικόνιση του τρισδιάστατου εικονικού κόσμου και για την επικοινωνία με το χρήστη.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης της εφαρμογής συναντήσαμε προβλήματα που αφορούν κυρίως το σύστημα tracking. Το πρώτο πρόβλημα ήταν η δυσκολία της εκπαίδευσης του tracker για τα αντικείμενα που θέλαμε να χρησιμοποιήσουμε. Τα αντικείμενα αυτά ήταν δύο βαράκια φυσιοθεραπείας του ενός κιλού. Τα βαράκια είχαν πολύ μικρή επιφάνεια εκτός της λαβής τους η οποία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το tracking επειδή η επιφάνεια αυτή καλύπτεται από τα χέρια του χρήστη. Λόγω της μικρής επιφάνειας και της απαραίτητης ελάχιστης απόστασης μεταξύ των markers, η εκπαίδευση αλλά και το tracking δεν είχαν μεγάλη ευστάθεια. Επίσης, η λεία επιφάνεια και το ανοιχτό χρώμα που είχαν τα βαράκια δυσκόλευαν επιπλέον τη διαδικασία της εκπαίδευσης του tracker λόγω της αντανάκλασης του φωτός στην επιφάνειά τους την οποία ο tracker αντιλαμβανόταν ως επιπλέον markers στα σημεία της αντανάκλασης. Για να λύσουμε αυτό το πρόβλημα, τρίψαμε τα βαράκια με γυαλόχαρτο για να δημιουργήσουμε πιο τραχεία επιφάνεια χωρίς όμως ιδιαίτερη βελτίωση στο αποτέλεσμα λόγω του ανοιχτού χρώματος. Έπειτα, βάψαμε τα βαράκια με μαύρο σπρέϊ αλλά η αντανάκλαση συνέχισε λόγω της εκ νέου λείας επιφάνειας μετά το βάψιμο. Τέλος, τυλίξαμε τα βαράκια με ταινία κατάλληλης επιφάνειας και σκούρου χρώματος και καταφέραμε να εκπαιδεύσουμε τον tracker.

Το δεύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν ο περιορισμένος χώρος ανίχνευσης του tracker. Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε στο περιβάλλον Virtools προσαρμόζεται σε ασκήσεις με ένα ή με δύο χέρια και με οποιαδήποτε κίνηση στο καθένα. Το σύστημα tracking, όμως, δε μπορεί να παρακολουθήσει με ευστάθεια και τις 2 κινήσεις λόγω του περιορισμένου χώρου ανίχνευσης και δεν ανταποκρίνεται τέλεια ακόμα και σε κάποιες κινήσεις μεγάλου εύρους με το ένα χέρι.

Για να βελτιωθεί η πλατφόρμα και να μπορέσει να αναπτυχθεί σε ένα πλήρως λειτουργικό προϊόν, θα μπορούσαν να γίνουν τα ακόλουθα:

- Χρησιμοποίηση αντικειμένων προς ανίχνευση με μεγαλύτερη ενεργή επιφάνεια ανίχνευσης
- Χρησιμοποίηση περισσότερων του ενός trackers για κάλυψη αρκετά μεγαλύτερου όγκου ανίχνευσης
- Χρησιμοποίηση άλλης τεχνολογίας για τη λειτουργία του tracking. Σε περίπτωση που η πλατφόρμα θα προορίζεται για ατομική χρήση στο σπίτι του ασθενούς θα πρέπει να βρεθεί μία λύση μικρότερου κόστους για το σύστημα του tracking

Η εφαρμογή την οποία αναπτύξαμε θα μπορούσε να αναπτυχθεί περαιτέρω

ανάλογα με τις ανάγκες που μπορεί να προκύψουν από διάφορες πιθανές χρήσεις της. Εάν η εφαρμογή προοριζόταν για ατομική χρήση, θα έπρεπε να αντιμετωπιστεί η απαίτηση της ύπαρξης δεύτερου ατόμου στη δημιουργία της τροχιάς της άσκησης. Όπως αναπτύχθηκε στην αναλυτική περιγραφή της εφαρμογής, στη διάρκεια της δημιουργίας της καμπύλης της άσκησης, χρειάζεται ένα δεύτερο άτομο να εισάγει τα σημεία της επιθυμητής καμπύλης στην εφαρμογή μέσω του πληκτρολογίου. Η λειτουργία αυτή θα μπορούσε εναλλακτικά να εκτελείται από τον ίδιο το χρήστη με το πάτημα ενός πεντάλ ή με φωνητική εντολή που θα αναγνωριζόταν από λογισμικό αναγνώρισης φωνής.

Στην περίπτωση της χρήσης της εφαρμογής σε κλινική, θα μπορούσε να αναπτυχθεί μία βάση δεδομένων για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων και της προόδου του κάθε ασθενή σε έναν server, καθώς και ένα περιβάλλον User Interface με το οποίο ο γιατρός θα μπορούσε να δει στατιστικά για τον κάθε ασθενή και για την πρόδό του με την πάροδο του χρόνου σε γραφική μορφή.

Επίσης, θα μπορούσε να γίνει εκπαίδευση στο σύστημα του tracking για νέα αντικείμενα, κατάλληλα για χρήση της εφαρμογής από άλλα μέλη του σώματος του ασθενή (πόδια, κεφάλι).

Παράρτημα: Οδηγίες χρήσης της εφαρμογής

Πριν την εκκίνηση της κάθε άσκησης, το πρόγραμμα μπαίνει στη διαδικασία της ρύθμισης της άσκησης, κατά την οποία θα καθοριστούν οι κινήσεις που θα εκτελεστούν κατά τη διάρκειά της, ο ρυθμός των κινήσεων και ο αριθμός των επαναλήψεων που θα εκτελεστεί η άσκηση. Επίσης, θα καθοριστεί αν θα εκτελεστεί η άσκηση και με τα 2 χέρια ή μόνο με το ένα και στη δεύτερη περίπτωση με ποιο από τα 2 χέρια. Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί αναλυτικά ο τρόπος ρύθμισης των παραμέτρων βήμα προς βήμα.

Εισαγωγή των σημείων της τροχιάς

Ξεκινώντας την εφαρμογή, ο χρήστης καλείται, με τη βοήθεια του γιατρού, να ορίσει την τροχιά με την οποία θα εκτελεστεί η άσκηση σε κάθε χέρι. Σε αυτό το σημείο, ο χρήστης πρέπει να κρατάει τον έναν ή και τους δύο αλτήρες (αν η άσκηση εκτελεστεί και με τα 2 χέρια) στα χέρια του. Με την εκκίνηση της εφαρμογής, θα πρέπει οι δύο εικονικές ασπίδες στην οθόνη να κινούνται σε απόλυτη ταύτιση με τις κινήσεις των χεριών του χρήστη. Πρέπει να δοθεί προσοχή στη θέση του χρήστη σχετικά με τον tracker. Η απόσταση του χρήστη από τον tracker πρέπει να είναι προσεγγιστικά 1,5 μέτρο και ο προσανατολισμός του χρήστη τέτοιος ώστε ο tracker να αντικρίζει το χρήστη στο κέντρο του σώματός του και στο ύψος των ώμων του.

Αφού ο χρήστης βεβαιωθεί ότι η κίνησή του γίνεται πλήρως αντιληπτή από την εφαρμογή, μπορεί να ξεκινήσει τη διαδικασία ορισμού της τροχιάς των 2 χεριών. Για να περιγραφεί η καθεμία τροχιά, εισάγονται στο σύστημα το αρχικό και το τελικό σημείο της τροχιάς, καθώς και ενδιάμεσα σημεία πάνω στην τροχιά. Ο αριθμός των σημείων που μπορούν να εισαχθούν είναι απεριόριστος και όσα περισσότερα είναι τα σημεία τόσο πιο ακριβής είναι η περιγραφή της επιθυμητής τροχιάς στο σύστημα. Πρακτικά, με την είσοδο τουλάχιστον 4 σημείων για κάθε τροχιά, το σύστημα θα διαθέτει μία πολύ ικανοποιητική περιγραφή.

Για την εισαγωγή ενός σημείου της τροχιάς, ο χρήστης κρατάει τους αλτήρες σταθερούς στο επιθυμητό σημείο και ο γιατρός (ή οποιοσδήποτε βοηθάει το χρήστη στην εκτέλεση της άσκησης) πατάει το πλήκτρο **<Space>**. Πατώντας το πλήκτρο, εισάγονται στο σύστημα ταυτόχρονα 2 σημεία, ένα για την τροχιά του κάθε χεριού. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα επόμενα σημεία της επιθυμητής τροχιάς πατώντας διαδοχικά το πλήκτρο **<Space>**. Η τροχιά που δημιουργείται εμφανίζεται στην οθόνη με τη μορφή λευκής γραμμής και παραμένει ορατή μέχρι το τέλος της άσκησης.

Οποιαδήποτε στιγμή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εισαγωγής των σημείων, ο χρήστης μπορεί να σβήσει τις τροχιές και να ξεκινήσει τη δημιουργία τους ξανά από την αρχή πατώντας το πλήκτρο **<Esc>**.

Η διαδικασία του ορισμού των τροχιών της κίνησης τελειώνει με το πάτημα του

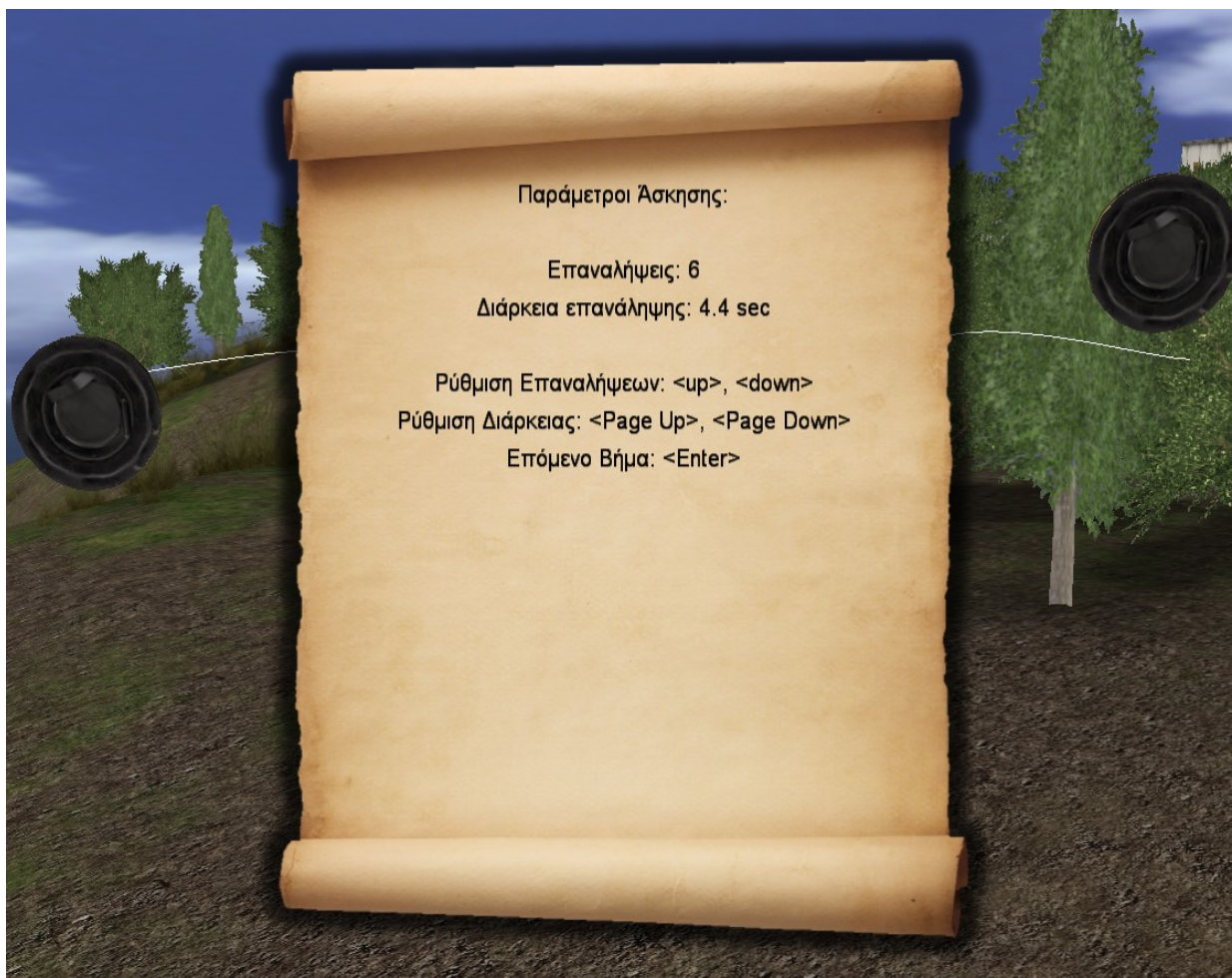
πλήκτρου **<Enter>**. Με το πάτημα του πλήκτρου οι τροχιές που φαίνονται στην οθόνη αποθηκεύονται στο σύστημα και η διαδικασία της ρύθμισης προχωράει στο επόμενο βήμα.



Εικόνα 50: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία της εισαγωγής των σημείων των καμπυλών της άσκησης

Καθορισμός της ταχύτητας και των επαναλήψεων

Το επόμενο βήμα της ρύθμισης είναι ο καθορισμός της ταχύτητας της κίνησης και ο αριθμός των επαναλήψεών της. Με τα πλήκτρα **<Up>** και **<Down>** του πληκτρολογίου καθορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων που θα εκτελεστεί η κίνηση πριν τελειώσει η άσκηση. Με τα πλήκτρα **<Page Up>** και **<Page Down>** καθορίζεται ο χρόνος σε δευτερόλεπτα που θα διαρκεί η κάθε πλήρης επανάληψη της κίνησης (από την έναρξη της κίνησης από το αρχικό σημείο μέχρι την επιστροφή της σε αυτό). Η καταχώρηση των τιμών που επιλέχθηκαν γίνεται με το πάτημα του πλήκτρου **<Enter>**.

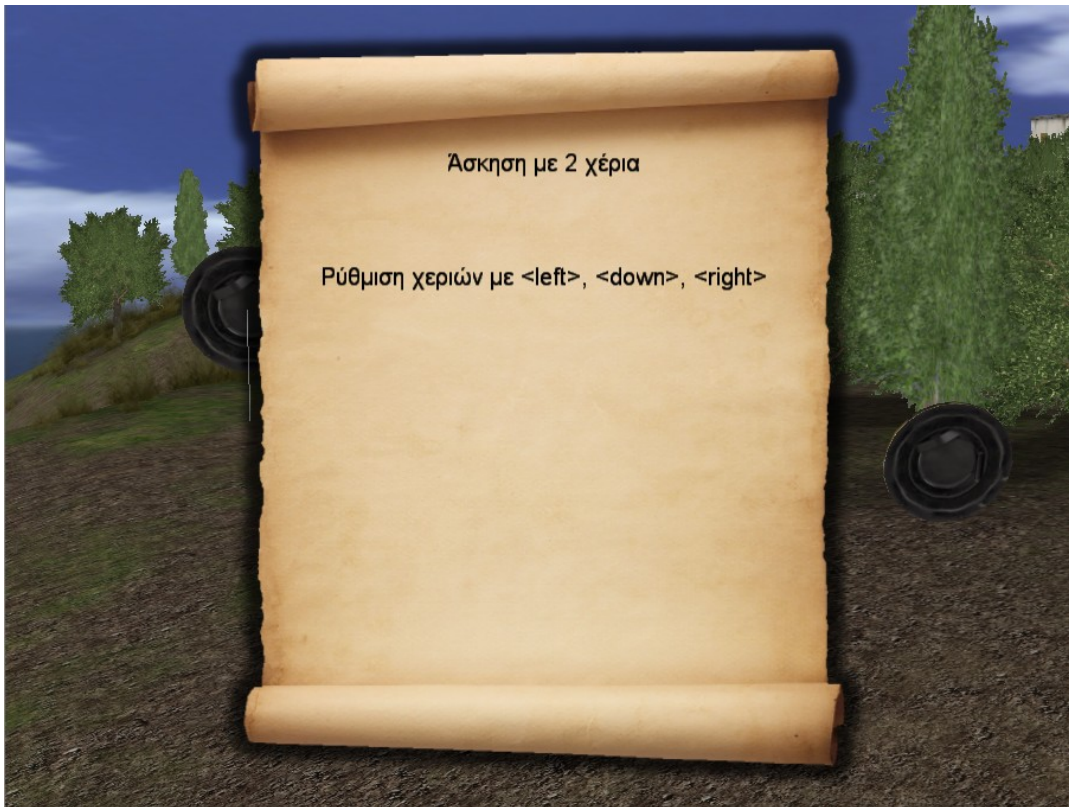


Εικόνα 51: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων

Επιλογή εκτέλεσης της άσκησης με 1 ή με 2 χέρια

Η τελευταία ρύθμιση αφορά την επιλογή αν θα εκτελεστεί η άσκηση με ένα ή με δύο χέρια. Η ρύθμιση γίνεται με τα εξής κουμπιά του πληκτρολογίου:

- <Down>:** Η άσκηση θα εκτελεστεί και με τα 2 χέρια.
- <Left>:** Η άσκηση θα εκτελεστεί με το αριστερό χέρι.
- <Right>:** Η άσκηση θα εκτελεστεί με το δεξί χέρι.



Εικόνα 52: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διαδικασία της επιλογής του χεριού - χεριών που θα εκτελέσουν την άσκηση.



Εικόνα 53: Στιγμιότυπο της άσκησης κατά την εκτέλεσή της μόνο με το δεξί χέρι. Τα γραφικά που αντιστοιχούν στο αριστερό χέρι (σπαθί, ασπίδα, καμπύλη της άσκησης και φανάρι) δεν είναι ορατά.

Αντίστροφη μέτρηση για την έναρξη της άσκησης

Στο σημείο αυτό, οι ρυθμίσεις έχουν ολοκληρωθεί και η άσκηση είναι έτοιμη να ξεκινήσει. Για να δοθεί το χρονικό περιθώριο στο χρήστη να προετοιμαστεί και να τοποθετήσει τα χέρια του στην αρχή της τροχιάς, το πρόγραμμα εκτελεί μία αντίστροφη μέτρηση 5 δευτερολέπτων πριν την εκκίνηση της άσκησης.

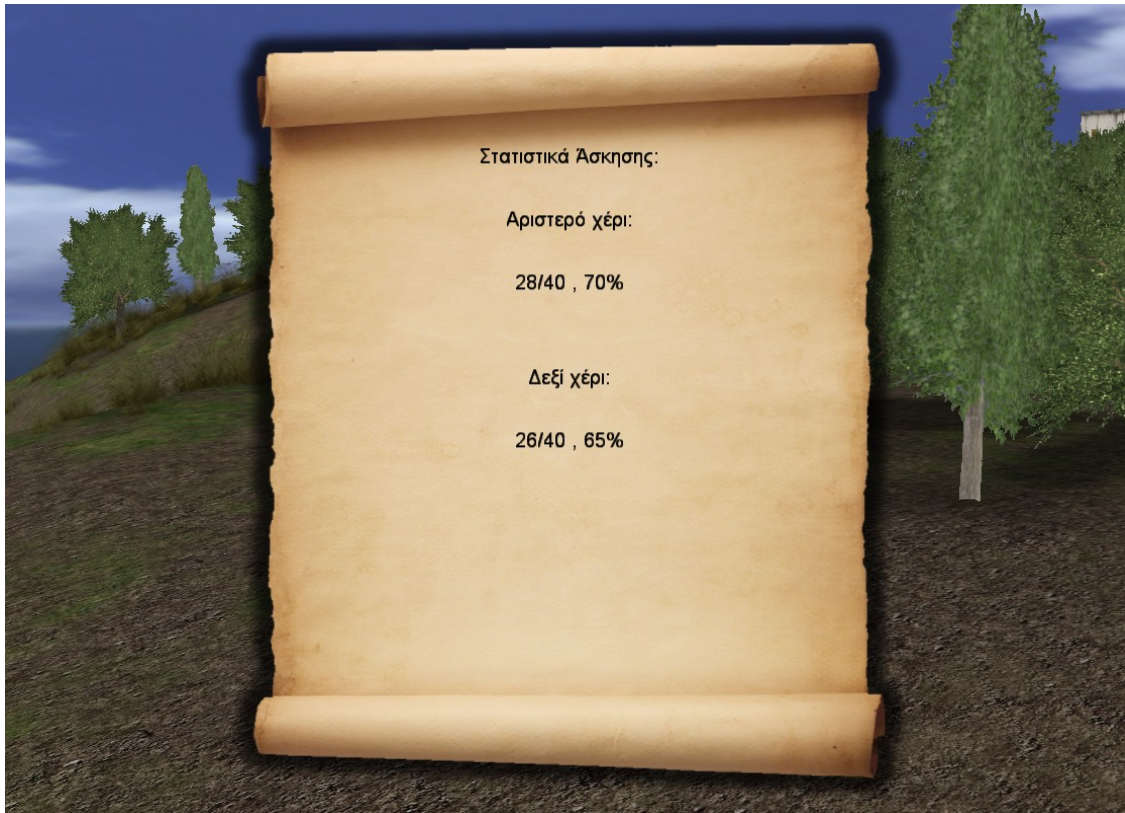
Η άσκηση θα ξεκινήσει
σε 3 δευτερόλεπτα



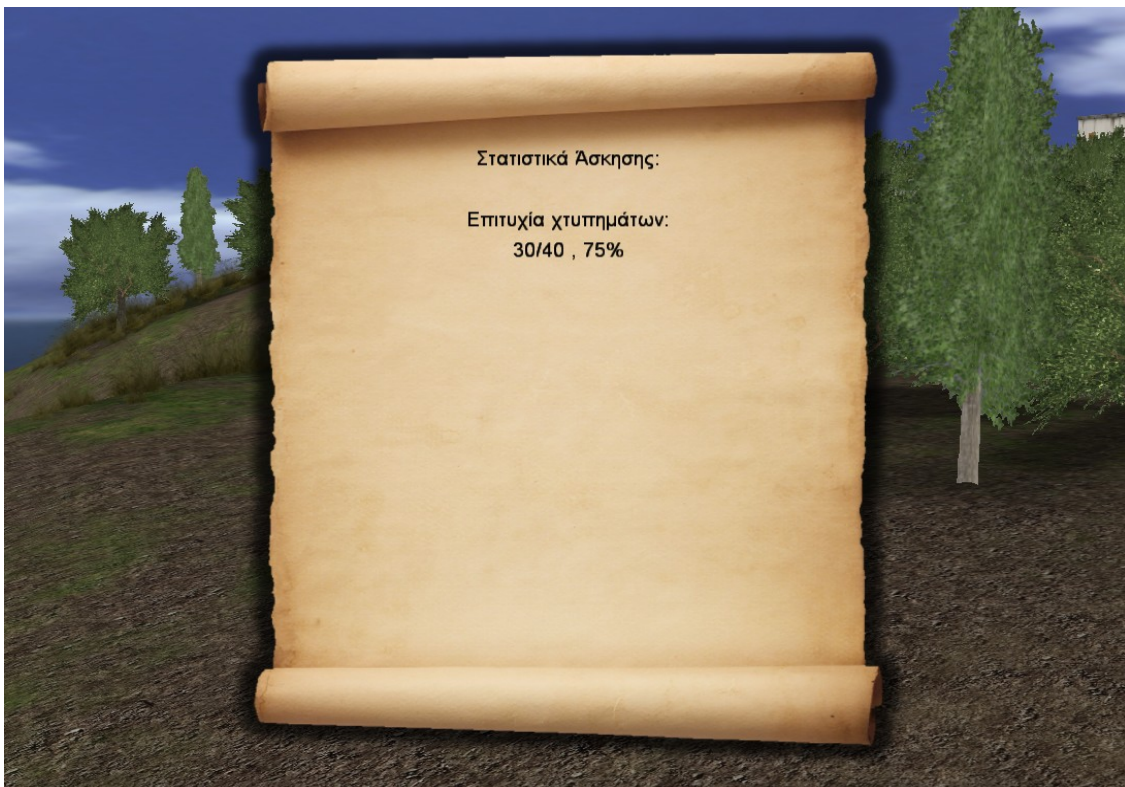
Εικόνα 54: Στιγμιότυπο της εφαρμογής κατά τη διάρκεια της αντίστροφης μέτρησης

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Μετά το τέλος της άσκησης, παρουσιάζεται στην οθόνη ένας πίνακας με τα αποτελέσματα της εκτέλεσής της. Τα αποτελέσματα που περιλαμβάνονται είναι ο αριθμός των επιτυχημένων χτυπημάτων που έγιναν από το κάθε χέρι και το ποσοστό επιτυχίας του κάθε χεριού σχετικά με τις συνολικές προσπάθειες κατά τη διάρκεια της άσκησης. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο πίνακας των στατιστικών μετά από την εκτέλεση μιας άσκησης με 5 επαναλήψεις, με 2 χέρια και με ένα μόνο χέρι αντίστοιχα.



Εικόνα 55: Στατιστικά από την εκτέλεση της άσκησης με δύο χέρια.



Εικόνα 56: Στατιστικά από την εκτέλεση της άσκησης με ένα χέρι.

Βιβλιογραφία

1. Διπλωματική Εργασία Γεωργίου Καραφωτιά, Οκτώβριος 2009
2. www.scienceline.gr/VirtualReality.doc
3. <http://www.wisegeek.com/what-are-haptic-gloves.htm>
4. http://www.it.uom.gr/project/MultimediaTechnologyNotes/extra/append9_2.htm
5. Low-cost virtual motor rehabilitation for neurophysical disability improvements in impaired patients, Mariano Alcaniz, Jose A. Gil, Javier Chirivella, Enrique Noe, Carolina Colomer and Joan Ferri, Journal of Cyber Therapy & Rehabilitation Summer 2008
6. Review: Motor Rehabilitation using virtual reality, Heidi Sveistrup, Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_mapping
9. <http://www.virtools.com/products/virtools-vr-library.asp>
10. <http://bulletphysics.org/wordpress/?paged=3>
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Physics_engine
12. Game Physics Engine Development – Ian Millington
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Physics_processing_unit
14. <http://www.engadget.com>
15. <http://www.ps-tech.com/product/pst/specification>
16. Construct3D: A Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education, Hannes Kaufmann, Dieter Schmalstieg, Michael Wagner

17. Virtual reality in surgical education, David Ota, Bowen Loftin, Tim Saito, Robert Lea, James Keller.
18. Applying virtual reality in education: A prototypical virtual physics laboratory, Loftin, R.B; Engleberg, M.; Benedetti, R.; Houston Univ., TX, USA.
19. Virtual assembly using virtual reality techniques, Sankar Jayaram, Hugh I Connacher, Kevin W Lyons
20. From CAD to virtual reality: modelling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools , J. Whyte, N. Bouchlaghem, A. Thorpe, R. McCaffer
21. Current and future applications of virtual reality for medicine, Satava,R.M.; Jones,S.B.; Dept. of Surg., Yale Univ. Sch. of Med., New Haven, CT
22. Surgical simulation and virtual reality: the coming revolution, T M Krummel.
23. Virtual reality in medicine-computer graphics and interaction techniques, Haubner, M.; Krapichler, C.; Losch, A.; Englmeier, K.-H.; Van Eimeren, W.; Inst. of Med. Inf. & Health Services Res., GSF-Nat. Res. Center for Environ. & Health, Neuherberg, Germany
24. Application of a stochastic name-passing calculus to representation and simulation of molecular processes, Corrado Priami, Aviv Regev, Ehud Shapiro, William Silverman
25. The molecular modeling toolkit: A new approach to molecular simulations, Konrad Hinsén
26. VMD: Visual molecular dynamics, William Humphrey, Andrew Dalke, Klaus Schulten
27. From visual simulation to virtual reality to games, Zyda, M.; Inf. Sci. Inst., Univ. of Southern California, Marina del Rey, CA, USA
28. Game engine virtual reality with CaveUT, Jacobson, J.; Lewis, M.; Pittsburgh Univ., PA, USA
29. Applying mixed reality to entertainment, Stapleton, C.; Hughes, C.; Moshell, M.; Micikevicius, P.; Altman, M.; Entertainment Res., Univ. of Central Florida, Orlando, FL