



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

**ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΑ ΕΙΚΟΝΙΚΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΓΙΑ ΙΑΤΡΙΚΕΣ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

Κοτσιλίτη Ευαγγελία

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπεύθυνος

Μαγκλογιάννης Ηλίας

Επίκουρος Καθηγητής

Λαμία, Φεβρουάριος 2010

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗ

ΠΑΠΑΣΙΟΠΟΥΛΟΥ 2-4, ΓΑΛΑΝΕΪΚΑ, ΛΑΜΙΑ 35100, ΕΛΛΑΣ



ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΑ ΕΙΚΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΓΙΑ ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Κοτσιλίτη Ευαγγελία

Πτυχιακή εργασία

Επιβλέπων καθηγητής : Μαγκλογιάννης Ηλίας

Επίκουρος καθηγητής

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25^η Φεβρουαρίου 2010.

.....
Πλαγιανάκος Βασίλειος

Επίκουρος καθηγητής

.....
Μπάγκος Παντελής

Επίκουρος καθηγητής

.....
Μαγκλογιάννης Ηλίας

Επίκουρος καθηγητής

Λαμία, Φεβρουάριος 2010

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων.....	7
Κατάλογος Σχημάτων.....	9
Κατάλογος πινάκων.....	10
Περίληψη.....	11
Abstract.....	13
Ευχαριστίες.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	16
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
1.1 Γενικά.....	17
1.2 Στόχος της εργασίας.....	20
1.3 Δομή της εργασίας.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	23
ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	23
2.1 Ορισμός.....	24
2.2 Ιστορική αναδρομή.....	26
2.3 Συστατικά στοιχεία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας.....	27
2.3.1 Γενικά λόγια για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος.....	27
2.3.2 Εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας.....	28
2.3.3 Διεπαφή χρήστη.....	28
2.4 Κατηγορίες συστημάτων εικονικής πραγματικότητας.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	43
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ.....	43
3.1 Εισαγωγή.....	44
3.2 Διάγνωση.....	44
3.3 Θεραπεία.....	46
3.4 Χειρουργική.....	51

3.4.1 Εκπαίδευση και Κατάρτιση των χειρουργών.....	52
3.4.2 Δημιουργία Προεγχειρητικού Πλάνου/ Προεγχειρητικός σχεδιασμός.....	58
3.4.3 Καθοδηγούμενη από Εικόνες Χειρουργική / Image-guided Surgery	62
3.5 Εκπαίδευση.....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	70
ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ	70
4.1 Εισαγωγή	71
4.2 Αρχές λειτουργίας διαδικτυακών εικονικών περιβαλλόντων.....	71
4.3 Χαρακτηριστικά δικτύων	73
4.4 Τοπολογίες Δικτύων.....	74
4.5.1 Τοπολογίες Peer-to-Peer.....	75
4.5.2 Τοπολογίες Πελάτη – Εξυπηρετητή (Client – Server).....	77
4.5.3 Υβριδικές Τοπολογίες.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	83
Τεχνολογίες Διαδικτύου για τρισδιάστατες απεικονίσεις.....	83
5.1 Εισαγωγή	84
5.2 VRML.....	85
5.2.1 Εισαγωγή	85
5.2.2 Ιστορία της VRML	87
5.2.3 VRML διαφυλλιστές (VRML browsers).....	91
5.2.4 Δομή της VRML	103
5.2.3 Βασικά στοιχεία της γλώσσας.....	104
5.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της VRML.....	123
5.3 X3D	123
5.3.1 Εισαγωγή	123
5.3.2 Δυνατότητες του X3D	124
5.3.3 Αρχιτεκτονική του X3D	125

5.3.4 Δομή του X3D.....	129
5.3.5 X3D browsers.....	131
5.3.6 Σύγκριση VRML με X3D.....	135
5.4 Δημιουργία και δημοσίευση τρισδιάστατων αντικειμένων στο Διαδίκτυο.....	137
5.5 Εφαρμογές βασισμένες στο διαδίκτυο (Web-based Applications).....	139
5.5.1 Εφαρμογές που βρίσκονται στον πελάτη (client-based applications).....	140
5.5.2 Εφαρμογές που βρίσκονται στον εξυπηρέτη (server-based application)	141
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	143
ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	
ΠΑΡΑΚΕΝΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ VRML.....	143
6.1 Γενικά.....	144
6.2 Σύστημα εκπαίδευσης παρακέντησης της καρδιάς.....	145
6.2.1 Σχεδιασμός του συστήματος.....	145
6.2.2 Λειτουργία του συστήματος εκπαίδευσης.....	146
6.3 Σύστημα καθοδήγησης του γιατρού κατά τη διαδικασία παρακέντησης της δεξιάς	
κοιλίας της καρδιάς.....	168
6.3.3 Λειτουργία του συστήματος καθοδήγησης.....	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	177
ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	177
7.1 Γενικά Σχόλια	178
7.2 Μελλοντικές προοπτικές	179
7.3 Συμπέρασμα.....	180
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	181

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 : Ιχνηλάτης Κεφαλής και Ιχνηλάτης Σώματος.	30
Εικόνα 2 : Γάντι Αίσθησης (Data Glove).	31
Εικόνα 3 : Τρισδιάστατο ποντίκι - spacemouse (αριστερά & κέντρο) και τρισδιάστατη μπίλια - spaceball (δεξιά).	31
Εικόνα 4 : Εξοπλισμός για τηλεπαρουσίαση.	32
Εικόνα 5 : Κινήσεις της "έξυπνης" ράβδου.	33
Εικόνα 6 : Κράνη εικονικής πραγματικότητας - HMD.	34
Εικόνα 7 : Συσκευές Boom.	35
Εικόνα 8 : Η αρχή λειτουργίας του CAVE.	35
Εικόνα 9 : Δωμάτιο CAVE.	36
Εικόνα 10 : Δωμάτιο CAVE, προβολή σε πολλές επιφάνειες.	36
Εικόνα 11 : Τρισδιάστατα γυαλιά.	36
Εικόνα 12 : Εφαρμογή επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας.	38
Εικόνα 13 : See-through γυαλιά με κάμερες.	39
Εικόνα 14 : Παράδειγμα πολυχρηστικής εικονικής πραγματικότητας.	42
Εικόνα 15 : Ο ασθενής προσπαθεί να αυξήσει τη ροή του αίματος στα δάχτυλά του. ...	47
Εικόνα 16 : Εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας για την καταπολέμηση της υψοφοβίας.	49
Εικόνα 17 : Χρήση του Γαντιού Δεδομένων για τη μέτρηση των κινήσεων του αθλητή.	50
Εικόνα 18 : Γάντι δράσης – ανάδρασης.	51
Εικόνα 19 : Προσομοιωτής ενδοσκοπικής χειρουργικής.	54
Εικόνα 20 : Ο προσομοιωτής χειρουργικής ενδοσκόπησης της Georgia Tech.	55
Εικόνα 21 : Ο προσομοιωτής εγχείρησης οφθαλμού της Georgia Tech.	55
Εικόνα 22 : Ο προσομοιωτής βρογχοσκόπησης του Penn State University στο Hershey.	55
Εικόνα 23 : Ο προσομοιωτής οφθαλμού "EVL eye" του Electronic Visualisation Lab από το Πανεπιστήμιο του Illinois στο Chicago.	56
Εικόνα 24 : EVL eye χρησιμοποιείται από μία ομάδα που μέσω της προσομοίωσης CAVE, βλέπουν την εικόνα που απεικονίζεται στην δεξιά φωτογραφία.	56
Εικόνα 25 : Ο προσομοιωτής Responsive Workbench του GMD στη Γερμανία.	57
Εικόνα 26 : Ο προσομοιωτής JHU/KDRL για χειρουργική εγκεφάλου.	57

Εικόνα 27 : Το Stereoplan της Radionics – ένα αμιγές σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού.	59
Εικόνα 28 : Το σύστημα KRDL Brainbench για νευροχειρουργικό προσχεδιασμό.	60
Εικόνα 29 : Συνδυασμός νευροχειρουργικού προσχεδιασμού με «επαυξημένο ρεαλισμό» από την Ιατρική Σχολή του Harvard.	60
Εικόνα 30 : Η χρήση της διαπροσωπείας “Props” του Πανεπιστημίου της Virginia στον προεγχειρητικό σχεδιασμό.	61
Εικόνα 31 : KRDL VIVIAN - Το Εικονικό Εργαστήριο(Virtual Workbench) που χρησιμοποιείται στη δημιουργία πλάνου νευροχειρουργικής επέμβασης στερεών όγκων. ...	61
Εικόνα 32 : Εγχείρηση όγκου του εγκεφάλου καθοδηγούμενη από εικόνες.	63
Εικόνα 33 : Υλοποίησης χειρουργείου καθοδηγούμενου από εικόνες σε μορφή «Επαυξημένης Πραγματικότητας» στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καρολίνα.	64
Εικόνα 34 : Σύστημα καθοδηγούμενης από εικόνες εγχείρησης μύτης, λαιμού και αυτιών κατασκευασμένο από την ομάδα ARTMA του Πανεπιστημίου της Βιέννης.	64
Εικόνα 35 : Εξ’ αποστάσεως χειρουργική στο Πανεπιστήμιο της Virginia.	67
Εικόνα 36 : Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός ανθρώπινου κεφαλιού με τη βοήθεια του Cosmo Player.	95
Εικόνα 37 : Πρώτη μορφή του ταμπλό κουμπιών του Cosmo Player.	96
Εικόνα 38 : Δεύτερη μορφή του ταμπλό κουμπιών του Cosmo Player.	96
Εικόνα 39 : Κουμπί εναλλαγής των δύο διαφορετικών ταμπλό του Cosmo Player.	97
Εικόνα 40 : Περιγραφή λοιπών κουμπιών των ταμπλό του Cosmo Player.	97
Εικόνα 41 : Εικονικός κόσμος που έχει δημιουργηθεί με το Community Place της Sony.	99
Εικόνα 42 : Παράθυρο ενός chat που έχει δημιουργηθεί με το Community Place.	100
Εικόνα 43 : Οπτικοποίηση με WorldView.	101
Εικόνα 44 : Οπτικοποίηση με Cortona 3D Viewer.	102
Εικόνα 45 : Οπτικοποίηση ενός κίτρινου κύβου μέσω του WorldView.	116
Εικόνα 46 : Ένα ανθρώπινο σώμα με μερικά ζωτικά όργανά του, οπτικοποιημένα με το Octaga Player.	133
Εικόνα 47 : Δύο γεωμετρικά σχήματα οπτικοποιημένα με το Swirl3D.	133
Εικόνα 48 : Παράθυρο και κουμπιά ελέγχου του Flux Player.	134
Εικόνα 49 : Περιβάλλον εργασίας του Flux Studio.	134
Εικόνα 50 : Αρχικό περιβάλλον εφαρμογής εκπαίδευσης.	146

Εικόνα 51 : Μεταβολή της διαφάνειας του σώματος του ασθενή μετά από μετακίνηση του μοχλού της μπάρας κύλισης.....	154
Εικόνα 52 : Μετακίνηση της βελόνας στο επίπεδο XZ μετά την επιλογή του αντίστοιχου button.....	160
Εικόνα 53 : Μετακίνηση της βελόνας στον κατακόρυφο άξονα μετά το πάτημα του κουμπιού με την ένδειξη ‘Y’.....	161
Εικόνα 54 : Περιστροφή της βελόνας στο χώρο με τη βοήθεια του σφαιρικού κουμπιού.....	162
Εικόνα 55 : Αποτίμηση της προσπάθειας του χρήστη.....	163
Εικόνα 56 : Εστίαση στο σημείο παρακέντησης.....	164
Εικόνα 57 : Εμφάνιση διευκρινιστικού μηνύματος στην οθόνη του χρήστη.....	165
Εικόνα 58 : Αρχική οθόνη με το άνοιγμα της εφαρμογής ‘simulation.wrl’.....	168
Εικόνα 59 : Ενδείξεις που εμφανίζονται στην οθόνη μετά την μετακίνηση της βελόνας.....	172
Εικόνα 60 : Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	173
Εικόνα 61 : Εστίαση στο σημείο παρακέντησης με το πέρας της παρακέντησης.....	174

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 : Τα τρία “I” της εικονικής πραγματικότητας : Immersion – Interaction – Imagination (Burdea & Coiffet).....	25
Σχήμα 2 : Συστατικά στοιχεία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας.....	27
Σχήμα 3 : Οι εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της Ιατρικής.....	44
Σχήμα 4 : Peer-to-peer τοπολογία με unicast δίκτυο.....	75
Σχήμα 5 : Peer-to-peer τοπολογία με multicast δίκτυο.....	76
Σχήμα 6 : Διαχωρισμός των πελατών σε πολλούς εξυπηρετητές.....	78
Σχήμα 7 : Διαχωρισμός των πελατών σε πολλούς εξυπηρετητές.....	80
Σχήμα 8 : Ιεραρχίες εξυπηρετητών.....	81
Σχήμα 9 : External Authoring Interface – EAI.....	90
Σχήμα 10 : Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται στη VRML.....	103
Σχήμα 11 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από μετατόπιση των αξόνων.....	113
Σχήμα 12 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από περιστροφή των αξόνων.....	114

Σχήμα 13 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από κλιμάκωση των αξόνων.....	114
Σχήμα 14 : Μετακίνηση αντικειμένου ως προς το αρχικό σύστημα συντεταγμένων ύστερα από εφαρμογή των μετασχηματισμών μετατόπιση, περιστροφή και κλιμάκωση...	115
Σχήμα 15 : Διαχείριση ενεργειών του χρήστη από τη VRML με χρήση routes.	119
Σχήμα 16 : Αρχιτεκτονική του συστήματος του X3D για μία εφαρμογή οπτικοποίησης.	125
Σχήμα 17 : X3D γράφος σκηνικού.	127
Σχήμα 18 : Τα θεμελιώδη X3D profiles.....	131
Σχήμα 19 : Δημιουργία VRML & X3D αντικειμένων.	138
Σχήμα 20 : Ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας βασισμένο στο διαδίκτυο.	139

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 : Βασικά χαρακτηριστικά ορισμένων σημαντικών VRML browsers.....	94
Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικά του Cosmo Player 2.1 για τα Windows.....	96
Πίνακας 3 : Χαρακτηριστικά του Community Place.....	98
Πίνακας 4 : Χαρακτηριστικά του WorldView.....	101
Πίνακας 5 : Κόμβοι της VRML.....	106
Πίνακας 6 : Βασικά χαρακτηριστικά ορισμένων X3D browsers.	132

Περίληψη

Αδιαμφισβήτητα, ζούμε σε μία εποχή όπου οι εξελίξεις στον τομέα της Πληροφορικής πραγματοποιούνται με γοργούς ρυθμούς. Η εικονική πραγματικότητα, αποτελεί μία καινοτομία του τομέα αυτού η οποία είναι ιδιαίτερα δημοφιλής τις τελευταίες δεκαετίες και αναφέρεται σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα παραγόμενα από τον υπολογιστή με τα οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει σε πραγματικό χρόνο. Οι δυνατότητες που παρέχουν στο χρήστη τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας πολλαπλασιάζονται συνεχώς και η εφαρμογή τους γίνεται σε πολλούς τομείς μεταξύ των οποίων είναι η αρχιτεκτονική, η ψυχαγωγία και η ιατρική.

Στην παρούσα εργασία, γίνεται μία διεξοδική παρουσίαση των συστημάτων αυτών και μελετάται η προσφορά τους στον τομέα της Ιατρικής σαν προηγμένα εργαλεία διάγνωσης, θεραπείας, χειρουργικής και εκπαίδευσης που έρχονται να δώσουν λύση στα προβλήματα που ανακύπτουν από τις προσεγγίσεις της παραδοσιακής ιατρικής.

Ακόμη, τα συστήματα αυτά, αξιοποιώντας τις σύγχρονες τεχνολογίες του Διαδικτύου, επιτρέπουν την αλληλεπίδραση μεταξύ πολλών απομακρυσμένων χρηστών στα διαδικτυακά εικονικά περιβάλλοντα σε πραγματικό χρόνο. Έτσι, ένα σημαντικό τμήμα της εργασίας αναλώνεται στην περιγραφή των γλωσσών και προτύπων που συμβάλλουν στην αναπαράσταση των τρισδιάστατων εικονικών περιβαλλόντων στο Διαδίκτυο, καθώς και στις διάφορες αρχιτεκτονικές Δικτύων που βρίσκονται στο προσκήνιο υποστηρίζοντας τις πολυχρηστικές αλληλεπιδράσεις.

Ωστόσο, το κυριότερο κομμάτι της εργασίας αφορά τη σχεδίαση ενός προγράμματος εικονικής πραγματικότητας που αποτελεί τον συγκερασμό των προτύπων τρισδιάστατης απεικόνισης και εφαρμογής τους στον τομέα της ιατρικής. Το πρόγραμμα αποτελείται από δύο υποσυστήματα. Και στα δύο, το εικονικό σκηνικό που εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη-γιατρού απαρτίζεται από το τρισδιάστατο μοντέλο του σώματος του ασθενή εντός του οποίου βρίσκεται το όργανο της καρδιάς, καθώς και από μία βελόνα και τα κατάλληλα κουμπιά προκειμένου ο χρήστης να υλοποιήσει τις απαραίτητες ενέργειες με σκοπό την παρακέντηση της καρδιάς. Το πρώτο υποσύστημα είναι ένα σύστημα εκπαίδευσης κατά το οποίο ο χρήστης πειραματίζεται τρυπώντας τα διακριτά τμήματα της καρδιάς. Κατά αυτό τον τρόπο μαθαίνει το πώς πρέπει να χειρίζεται τη βελόνα προκειμένου να την κατευθύνει στο επιθυμητό τμήμα-στόχο. Το δεύτερο υποσύστημα είναι ένα σύστημα που καθοδηγεί τον χρήστη ώστε να υλοποιήσει μία επιτυχή παρακέντηση στη δεξιά κοιλία της καρδιάς του

ασθενή. Στόχος του είναι να υποβοηθήσει τον γιατρό στο εγχείρημα του για μία επιτυχή επέμβαση χωρίς να προκαλέσει ζημιά σε κάποιο από τα γειτονικά τμήματα της καρδιάς. Και τα δύο συστήματα έχουν συνταχθεί σε VRML.

Στο τελευταίο τμήμα της εργασίας γίνεται μία σύνοψη των όσων παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης, γίνεται αναφορά στο κατά πόσο τα συστήματα ιατρικής προσομοίωσης χρησιμοποιούνται στον τομέα της ιατρικής, ποια είναι η χρησιμότητά τους σε αληθινές συνθήκες, κατά πόσο τα πρότυπα τρισδιάστατης προσομοίωσης εξελίσσονται και προωθούνται καθώς και ποια προβλήματα πρέπει να ξεπεραστούν ούτως ώστε τα συστήματα αυτά να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο των σύγχρονων γιατρών.

Abstract

There is no doubt that in the present world, the field of Informatics is addressed by rapid changes. Virtual Reality(VR) constitutes an innovative technology of this field which has become very popular during the last decades. The term “Virtual Reality” is referred to computer-generated 3D environments offering users the opportunity of real time interaction with them. The VR system potentials are constantly propagating and the VR applications include a variety of fields such as architecture, entertainment and medicine.

The first part of this thesis, is dealing with the main features of VR systems as well as their contribution in medicine as diagnosis, therapy, surgery and education advanced tools aiming at the solution of problems that immerge from the traditional medical approaches.

Moreover, VR systems, in conjunction with the current Internet technologies, allow the interaction amongst many remote users of networked virtual environments (NVEs) in real time. Thus, an essential part of this thesis introduces the programming languages and standards that enable the visualization of 3D NVEs and also, the various network topologies which support multiuser interactions.

However, the fundamental part of this thesis is devoted to the design and development of a 3D application which combines the 3D simulation tools and their contribution in medicine. This application is comprised by 2 subsystems. In both of them, the virtual scenery that appears on the user’s computer screen is the same. It includes the patient’s body as well as their heart, a needle and the appropriate tools that enable the user perform the necessary actions in order to puncture the patient’s heart. The first subsystem deals with the training of surgeons in puncturing the different parts of the patient’s heart. In this way, the surgeon gains experience by guiding the needle towards the desirable part-target of the heart. The second subsystem guides the surgeon to penetrate the needle in the right ventricle of the patient’s heart. In this way, it assists the surgeons in their task to achieve a successful puncture without invoking any damage at the adjacent parts of the heart. Both of the them have been constructed with the use of the VRML language.

The last part of this thesis includes a brief discussion on what has been presented in the former chapters. It also includes a reference on the current use of the virtual systems in medicine, their contribution to surgeons under real circumstances, the state of development of the 3D simulation technologies, as well as the problems that need to be surmounted in order to make these technologies useful tools at the hands of the modern doctors.

Ευχαριστίες

Έχοντας ολοκληρώσει την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μαγκλογιάννη Ηλία, Επίκουρο καθηγητή, για την υπομονή του, το χρόνο του και την ενθάρρυνσή του καθόλη τη διάρκεια περάτωσης της εργασίας.

Τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, κ. Πλαγιανάκο Βασίλειο και κ. Μπάγκο Παντελή, οι οποίοι δέχτηκαν να συμμετέχουν στην Εξεταστική επιτροπή και θα καταβληθεί η κάθε δυνατή προσπάθεια προκειμένου οι παρατηρήσεις τους να ενσωματωθούν στο τελικό κείμενο.

Τον κ. Δελημπαση που με βοήθησε σημαντικά με τις συμβουλές του και μου παραχώρησε τα τρισδιάστατα ιατρικά μοντέλα που συμπεριέβαλα στην εφαρμογή που κατασκεύασα.

Το Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική του Πανεπιστημίου Στερεάς Ελλάδας για το θετικό ακαδημαϊκό κλίμα και ιδιαίτερα τους διδάσκοντες και συμφοιτητές μου για την εν γένει συνεργασία τους.

Τέλος, οφείλω ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την πολύτιμη στήριξή τους σε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η αλματώδης εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες, τόσο στο υλικό όσο και στο λογισμικό, έδωσαν την ευχέρεια στον άνθρωπο να αλληλεπιδρά με αυτούς με έναν ολότελα διαφορετικό τρόπο. Το πρώιμο στάδιο αλληλεπίδρασης όπου ο υπολογιστής εξυπηρετούσε απλά σαν μία μηχανή υπολογισμών, διαδέχτηκε η τεχνολογία των GUI (Graphical User Interfaces – Διαπροσωπεία Γραφικών του Χρήστη), όπου οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπου και υπολογιστή πραγματοποιούνται σε ένα τεχνητό απεικονιστικό περιβάλλον. Η σύγχρονη γενιά των συστημάτων επικοινωνίας, που διαδέχθηκε τα GUI, περιλαμβάνει τις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας που συμβάλλουν στην ανάπτυξη εφαρμογών όπου πλέον ο χρήστης ξεπερνά το νοητό όριο της οθόνης και βιώνει τη ψευδαίσθηση ότι αλληλεπιδρά με τον υπολογιστή μέσω ενός τρισδιάστατου απεικονιστικού περιβάλλοντος.

Οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η βιομηχανία της άμυνας, η βιομηχανία ηλεκτρονικών παιχνιδιών, η βιομηχανία της διασκέδασης, η διαστημική τεχνολογία, η αξιολόγηση αρχιτεκτονικού και βιομηχανικού σχεδιασμού, η προσομοίωση πτήσης και χειρισμού ειδικών μηχανημάτων, η τέχνη και πολλοί άλλοι. Το ενδιαφέρον μας στην παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στις εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της Ιατρικής.

Η ιατρική απεικόνιση είναι ένας από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της εικονικής πραγματικότητας. Η εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική υποκινήθηκε αρχικά από την ανάγκη του ιατρικού προσωπικού να απεικονίσει με ρεαλιστικό τρόπο πολύπλοκα ιατρικά δεδομένα που απαιτούνται σε διάφορους τομείς, όπως π.χ. ο σχεδιασμός χειρουργικών επεμβάσεων, η ιατρική εκπαίδευση κλπ.

Η ιατρική εκπαίδευση ήταν η πρώτη περιοχή όπου η εικονική πραγματικότητα συνέβαλε σημαντικά για τρεις κυρίως λόγους: Κατά πρώτον, οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας ήταν ήδη αναπτυγμένες σε άλλους τομείς εκπαίδευσης (εκπαίδευση στρατιωτών και πιλότων), με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η προώθησή της στην ιατρική (Technology push). Κατά δεύτερον, η εκπαίδευση είναι λιγότερο κρίσιμη, από την άποψη της επιβίωσης και των κινδύνων που ελλοχεύουν για τον

ασθενή, συγκριτικά με την πραγματική χειρουργική επέμβαση. Ο τρίτος λόγος είναι η αυξανόμενη δυσκολία απόκτησης σημαντικών δεξιοτήτων που απαιτούνται από γιατρούς ορισμένων ειδικοτήτων με τους συμβατικούς τρόπους διδασκαλίας (π.χ. για τη διενέργεια μίας επέμβασης).

Οι τεχνικές πλοήγησης με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας στο ανθρώπινο σώμα έχουν επωφεληθεί από τις αντίστοιχες τεχνικές που έχουν ήδη αναπτυχθεί για την εκπαίδευση των πιλότων στα σύγχρονα εμπορικά και στρατιωτικά αεροσκάφη. Υπάρχουν αρκετά ισχυρές ομοιότητες μεταξύ αυτών των δύο πεδίων εφαρμογών δεδομένου ότι και τα δύο συνδυάζουν την ανάγκη για μεγάλη επιδεξιότητα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον με πρόσβαση σε πληροφορίες και λήψεις αποφάσεων, κρίσιμες για την επιβίωση ανθρώπων. Βεβαίως, οι ιατρικοί "προσομοιωτές πτήσης" δεν είναι ακόμα τόσο αναπτυγμένοι όσο εκείνοι που χρησιμοποιούνται στην αεροπορική εκπαίδευση, ωστόσο το κενό μεταξύ τους καθημερινά μικραίνει. Με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής μπορεί να θεωρηθεί πιθανό ότι στο μέλλον ένα εικονικό περιβάλλον θα είναι δύσκολο να διαχωριστεί από τον πραγματικό κόσμο.

Ένας άλλος τομέας της ιατρικής εκπαίδευσης στην οποία η εικονική πραγματικότητα εφαρμόζεται είναι αυτός της αντιμετώπισης καταστροφικών εκτάκτων αναγκών που βλάπτουν ή απειλούν να βλάψουν την υγεία μεγάλου αριθμού ανθρώπων: Σεισμοί, συντριβές αεροπλάνων, μεγάλες πυρκαγιές, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα και άλλα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται γενικές τεχνικές εικονικής πραγματικότητας για να μιμηθούν μια σκηνή καταστροφής. Το εκπαιδευόμενο ιατρικό και παραϊατρικό προσωπικό χρησιμοποιεί τέτοια περιβάλλοντα για να μάθει πώς να εντοπίζει διαθέσιμους πόρους, να ιεραρχεί τα περιστατικά για περίθαλψη κτλ. Η σκηνή της εικονικής καταστροφής μπορεί να αναπαρασταθεί άμεσα, να εντοπιστούν τα προβλήματα και να ληφθούν άμεσες αποφάσεις.

Επίσης, τα νέα αυτά εργαλεία προσφέρονται για την εκπαίδευση των χειρουργών. Οι τρέχουσες μέθοδοι εκπαίδευσης χειρουργών περιλαμβάνουν τη παρακολούθηση σε βίντεο μιας επέμβασης, την πρακτική εξάσκηση πάνω σε ένα μοντέλο όπως είναι μια κούκλα, ένα ζώο ή ένα πτώμα και την πραγματοποίηση μιας αληθινής επέμβασης σε έναν ασθενή υπό την επίβλεψη ενός έμπειρου χειρουργού, με σκοπό την απόκτηση των απαιτούμενων ικανοτήτων. Αυτή η διαδικασία αναδεικνύει

τα προβλήματα κόστους, τις απαιτήσεις σε πόρους και τον κίνδυνο για τους ασθενείς. Επιπλέον, υπάρχει μια αυξανόμενη πολυπλοκότητα των νέων επεμβάσεων που απαιτούν την απόκτηση νέων ικανοτήτων για την πραγματοποίησή τους. Οι παραδοσιακές μέθοδοι εκπαίδευσης δεν μπορούν να ανταποκριθούν στις ανάγκες των νέων αναδυόμενων τεχνικών. Για παράδειγμα, οι επεμβάσεις ελάχιστης παρεμβατικότητας (Minimum Invasive Surgery, MIS) αναπτύσσονται προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν τα τραύματα στους ιστούς. Σε αυτού του είδους τις επεμβάσεις απαιτείται ικανότητα συντονισμού ματιών-χεριού κάτι το οποίο καθίσταται δύσκολο με τις παραδοσιακές μεθόδους εκπαίδευσης.

Ακόμη, οι μέθοδοι αποτίμησης της επίδοσης των εκπαιδευόμενων είναι κυρίως υποκειμενικές και μερικές φορές είναι δύσκολο να διαχωριστεί η ποιότητα της επίδοσης μεταξύ χειρουργών διαφορετικών επιπέδων. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η ανάπτυξη εναλλακτικών ή βελτιωμένων μεθόδων εκπαίδευσης και εργαλείων αποτίμησης. Πειραματικές αποδείξεις δείχνουν ότι τα εργαλεία εκπαίδευσης που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα είναι ικανά να παρέχουν επαρκή και χαμηλού κόστους περιβάλλοντα εκπαίδευσης, επιτρέποντας στους εκπαιδευόμενους να αναπτύξουν τις ικανότητές τους, καθώς και να διευκολύνουν την αντικειμενική και ακριβή μέτρηση της επίδοσης.

Πιο πρόσφατα, το πεδίο των εφαρμογών εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική έχει διευρυνθεί ώστε να περιλαμβάνει τη φυσική και ψυχιατρική αποκατάσταση και, σε μικρότερη έκταση, τη διάγνωση. Η εικονική πραγματικότητα αποδεικνύεται, προς μεγάλη έκπληξη, ως ισχυρό θεραπευτικό εργαλείο τόσο για τις διανοητικές όσο και για τις σωματικές δυσλειτουργίες.

Παρόλο που ορισμένα από τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας προορίζονται για προσωπικούς υπολογιστές, πολλά από αυτά απαιτούν εξειδικευμένο εξοπλισμό όπως είναι μια συσκευή δύναμης ανάδρασης (feedback device). Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι η προσομοίωση πραγματικού χρόνου απαιτεί όχι μόνο απεικόνιση πραγματικού χρόνου αλλά και αλληλεπίδραση πραγματικού χρόνου (π.χ. ανίχνευση συγκρούσεων). Τα ρεαλιστικά αποτελέσματα χρειάζονται τόσο ακριβή ιατρικά μοντέλα, όσο και ρεαλιστική συμπεριφορά που προκαλείται από την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα ιατρικά μοντέλα και στα ιατρικά όργανα. Επιπροσθέτως, οι ιατρικές εικόνες που δημιουργούνται από πραγματικούς ασθενείς ή υγιείς ανθρώπους έχουν πολύπλοκη δομή και μεγάλο μέγεθος. Με σκοπό την

επίτευξη υψηλής ακρίβειας στην αλληλεπίδραση με τα ιατρικά δεδομένα απαιτείται απλοποίηση της πολύπλοκης δομής για την μείωση του μεγέθους σε ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο σε εφαρμογές όπου ο ρεαλισμός της αλληλεπίδρασης είναι κρίσιμος (π.χ. προσχεδιασμός εγχειρήσεων) ή η ψυχοκινητική ικανότητα απαραίτητη.

Ωστόσο, ένα ρεαλιστικό μοντέλο είναι πολύ χρήσιμο για την εκπαίδευση χειρουργών, ιδίως για την εκπαίδευση αρχάριων φοιτητών ιατρικής για την απόκτηση γνώσης της τρισδιάστατης ανατομικής δομής και των τρισδιάστατων σχέσεων ανάμεσα στα ιατρικά όργανα και τα μοντέλα.

Η ανάδυση του παγκοσμίου ιστού ως ένα ισχυρό περιβάλλον κατανεμημένης υπολογιστικής, ανοίγει νέες δυνατότητες για την εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στην Ιατρική. Ένας προσωπικός υπολογιστής με έναν διαφυλλιστή (browser), είναι ικανός να παρέχει εκπαίδευση σε πληθώρα χρηστών, οποιαδήποτε στιγμή και σε οποιοδήποτε μέρος. Ένα σημαντικό εργαλείο του παγκοσμίου ιστού είναι η VRML (Virtual Reality Modeling Language) και τα τελευταία χρόνια και το X3D (eXtensible 3D) που προσφέρουν τη δυνατότητα μεταφοράς τρισδιάστατων κόσμων μέσω του διαδικτύου.

Σήμερα, αναπτύσσεται μια σημαντική βιομηχανία γύρω από τις ιατρικές εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας. Η ιατρική θεωρείται ως ιδιαίτερα κερδοφόρα περιοχή από τους κατασκευαστές τεχνολογίας λόγω των υψηλών τεχνικών απαιτήσεων που συνδυάζονται με τη διαθεσιμότητα κεφαλαίων για την αγορά ιατρικού εξοπλισμού στις αναπτυγμένες κοινωνίες. Υπάρχει πλέον εμπορικά διαθέσιμος, ένας μεγάλος αριθμός εμπορικών εφαρμογών και δεδομένων καθώς επίσης δωρεάν λογισμικό που είναι σχετικό με την ιατρική εικονικής πραγματικότητας.

1.2 Στόχος της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι διττός. Αφενός, στοχεύει στο να παρουσιάσει στον αναγνώστη τους τομείς της Ιατρικής που επωφελούνται από τις σύγχρονες τεχνολογίες της Πληροφορικής καθώς και να τονίσει τα οφέλη που προκύπτουν από τον συγκερασμό των γνώσεων των δύο αυτών τομέων. Αφετέρου, στοχεύει στη δημιουργία μίας εφαρμογής που αποτελεί απτή υλοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών της πληροφορικής, και συγκεκριμένα των μεθοδολογιών της

εικονικής πραγματικότητας, σε ένα ιατρικό ζήτημα. Αναλυτικότερα, στόχος είναι να παρουσιαστεί ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας για την εκπαίδευση των γιατρών στη διαδικασία παρακέντησης της καρδιάς των ασθενών. Το σύστημα αυτό αποσκοπεί στο να καλύψει ορισμένα προβλήματα που σχετίζονται με την εκπαίδευση των γιατρών σύμφωνα με τις κλασικές μεθόδους της ιατρικής και τα οποία κυρίως είναι ο διαθέσιμος χρόνος των χειρουργών-εκπαιδευτών, οι πόροι που απαιτούνται για την εκπαίδευση, όπως επίσης η αποτίμηση της επίδοσης των εκπαιδευόμενων προτού προχωρήσουν στην πραγματοποίηση μιας αληθινής επέμβασης. Το σύστημα θα λύνει αυτά τα προβλήματα επιτρέποντας την πολλαπλή εξάσκηση των χειρουργών πάνω σε μία τρισδιάστατη καρδιά και την μετέπειτα αποτίμηση της επίδοσής τους.

1.3 Δομή της εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται λεπτομερώς η έννοια της εικονικής πραγματικότητας. Δίνεται ο ορισμός της έννοιας αυτής, αναλύονται τα δομικά μέρη ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας, γίνεται μία κατηγοριοποίηση των συστημάτων αυτών και επίσης αναφέρονται ορισμένες συσκευές εισόδου και εξόδου που εφαρμόζονται σε ορισμένα από αυτά τα συστήματα.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται όλοι οι τομείς της Ιατρικής στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας. Για καθέναν από αυτούς, αναλύονται τα οφέλη που προσδίδουν τα σύγχρονα ιατρικά συστήματα εικονικής πραγματικότητας σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές και παρατίθενται ορισμένα σχετικά παραδείγματα.

Στο κεφάλαιο 4 αναλύονται οι αρχιτεκτονικές στις οποίες στηρίζονται τα διαδικτυακά εικονικά περιβάλλοντα. Αυτές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες : τις peer-to-peer τοπολογίες, τις client-server τοπολογίες και τις υβριδικές, καθεμία από τις οποίες αναλύεται διεξοδικά.

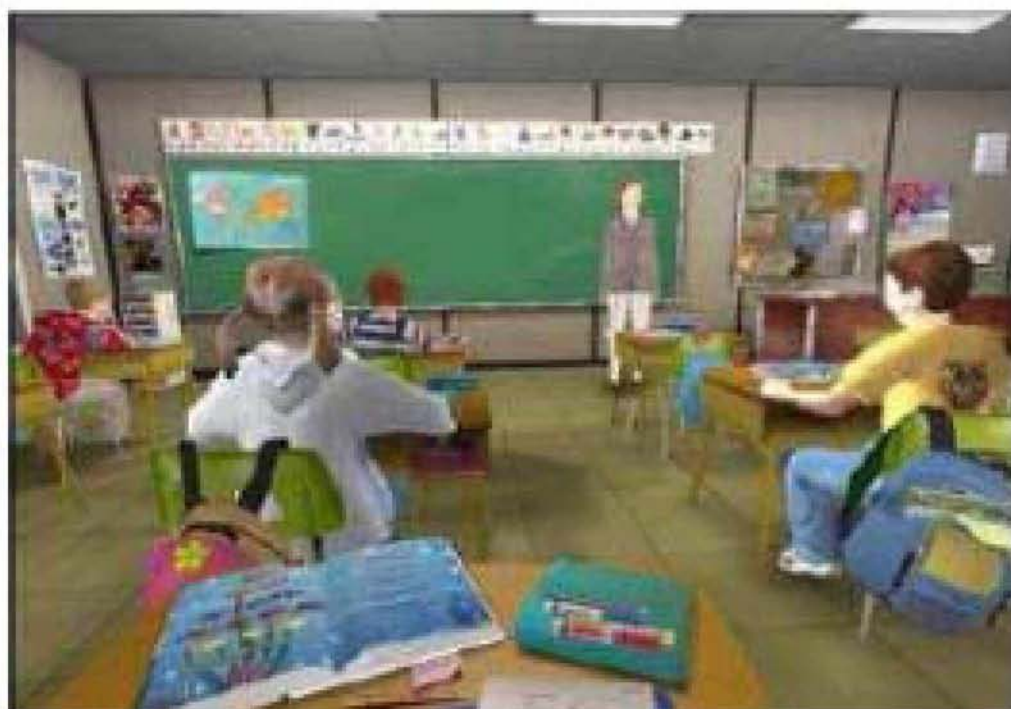
Στο κεφάλαιο 5 γίνεται αναφορά σε τεχνολογίες και πρωτόκολλα που συμβάλλουν στη δημιουργία τρισδιάστατων περιβαλλόντων στο Διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα, περιγράφονται οι γλώσσες VRML και X3D. Δίνονται πληροφορίες για τη δομή τους, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους καθώς και οι λόγοι που οδήγησαν στη μετάβαση από τη VRML στο X3D. Επίσης, περιγράφονται τα βασικά βήματα που απαιτούνται για τη δημιουργία και την παρουσίαση μιας τρισδιάστατης εφαρμογής στο διαδίκτυο.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος της εργασίας όπου γίνεται εφαρμογή των όσων προαναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της όλης εργασίας, ενώ γίνεται και μία αναφορά στο μέλλον της ενοποίησης των τεχνολογιών τρισδιάστατης απεικόνισης και της ιατρικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΙΚΟΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ



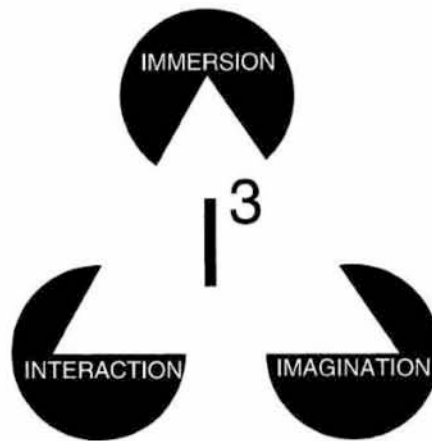
2.1 Ορισμός

Έχουν αποδοθεί κατά καιρούς πολλοί ορισμοί του όρου «Εικονική Πραγματικότητα». Ο Jaron Lanier, ένας από τους πρωτοπόρους της εικονικής πραγματικότητας, την όρισε για πρώτη φορά το 1989 ως «*Ένα αλληλεπιδραστικό, τρισδιάστατο περιβάλλον, φτιαγμένο από υπολογιστή, στο οποίο μπορεί κανείς να εμβυθιστεί*».

Ένας δεύτερος ορισμός, παρουσιάζει την Εικονική Πραγματικότητα ως την «εξομοίωση ενός πραγματικού ή φανταστικού περιβάλλοντος, μέσα στο οποίο δίνεται η δυνατότητα οπτικής, ηχητικής και απτικής αλληλεπίδρασης με τον χρήστη». Με άλλα λόγια, ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας, δημιουργεί την ψευδαίσθηση ενός εικονικού κόσμου, στον οποίο «βιώνοντας» κανείς, μπορεί να αισθανθεί αλλά και να δράσει, προκαλώντας τις αντιδράσεις του εικονικού αυτού κόσμου, όπως θα γίνονταν και στην περίπτωση που ο κόσμος ήταν πραγματικός.

Μία ακόμα εύστοχη περιγραφή της εικονικής πραγματικότητας, είναι αυτή που δόθηκε από τους Burdea και Coiffet , σύμφωνα με την οποία «*η εικονική πραγματικότητα χαρακτηρίζεται από τρεις λέξεις, Immersion–Interaction–Imagination (εμβύθιση–αλληλεπίδραση–φαντασία)*». Οι έννοιες της αλληλεπίδρασης και της εμβύθισης της εικονικής πραγματικότητας είναι πιο οικείες στους περισσότερους χρήστες, σε αντίθεση με την έννοια της φαντασίας. Η ανθρώπινη φαντασία είναι αυτή που συλλαμβάνει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να δημιουργηθεί μία εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας για να δώσει την καλύτερη λύση σε ένα πρόβλημα. Η εικονική πραγματικότητα δεν αποτελεί απλά ένα μέσο ή μία διεπαφή υψηλής τεχνολογίας καθώς οι εφαρμογές της καλύπτουν πραγματικά προβλήματα σε διάφορους τομείς, όπως στη μηχανική, την ιατρική, σε στρατιωτικές εφαρμογές. Η έκταση που χρειάζεται να πάρει η εφαρμογή για να λύσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα, εξαρτάται από την ανθρώπινη φαντασία.

VIRTUAL REALITY TRIANGLE



Σχήμα 1 : Τα τρία “I” της εικονικής πραγματικότητας : Immersion – Interaction – Imagination (Burdea & Coiffet).

Συνοπτικά, δίνοντας τη δική μας απόδοση του όρου, θα περιγράψαμε την Εικονική Πραγματικότητα σαν ένα πολυδιάστατο περιβάλλον δημιουργημένο από τον υπολογιστή, και από εργαλεία της διαπροσωπείας τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να:

- Εμβυθίζονται (immerse) στο περιβάλλον
- Να κάνουν πλοήγηση (navigate) σε αυτό, και
- Να αλληλεπιδρούν (interact) με τα αντικείμενα του περιβάλλοντος

Προκειμένου να επιτευχθεί μία επιτυχημένη εμβύθιση του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον, είναι σημαντικό να απομονωθεί ο χρήστης και οι αισθήσεις του από τον πραγματικό κόσμο, επικαλύπτοντας τα ερεθίσματα του πραγματικού κόσμου με αντίστοιχα εικονικά, φτιαγμένα από το σύστημα του εικονικού περιβάλλοντος.

Έτσι, οι τρεις σημαντικότερες αισθήσεις του ανθρώπου, δηλαδή όραση, ακοή και αφή, πρέπει να παρέχονται από ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας. Για την όραση, αρκεί να παρέχονται στον χρήστη δύο εικόνες από διαφορετική οπτική γωνία, μία για κάθε μάτι του χρήστη, τις οποίες συνολικά βλέπει ως μία τρισδιάστατη (στερεοσκοπική). Για την ακοή, η ύπαρξη στερεοσκοπικού ήχου βοηθά τον χρήστη να προσαρμόζεται στο εικονικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται αλλά και να απομονώνεται από ήχους του πραγματικού κόσμου, που θα μπορούσαν να του αποβάλλουν την εικονική του εμπειρία. Τέλος, για την αφή πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλες συσκευές που να δίνουν στο χρήστη τη δυνατότητα

όταν ακουμπά αντικείμενα του εικονικού κόσμου, να νοιώθει αντίσταση, όπως και στην πραγματικότητα.

Αν όλα τα παραπάνω συνδυαστούν και με την ανίχνευση των κινήσεων του χρήστη με κατάλληλες συσκευές ανίχνευσης έτσι ώστε το εικονικό περιβάλλον να συμπεριφέρεται όπως και το πραγματικό, τότε η όλη εμπειρία που θα αποκτήσει ο χρήστης μπορεί να είναι άκρως ρεαλιστική.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Η εικονική πραγματικότητα έχει τις ρίζες της στις τεχνολογίες προσομοίωσης πτήσης (flight simulation). Πρωτεργάτης της θεωρείται ο Ivan Sutherland ο οποίος, το 1968, κατασκεύασε το πρώτο σύστημα το οποίο μπορούσε να απεικονίζει ένα απλό σύνολο τρισδιάστατων γραφικών, σε αληθινό χρόνο και να δίνει στο χρήστη τη ψευδαίσθηση ενός εικονικού κόσμου μέσω ενός κράνους εμπύθισης (HMD).

Οι πρώτες γεννήτριες εικόνας (Image Generators) που λειτουργούν με γραφικά υπολογιστών, άρχισαν να χρησιμοποιούνται στις αρχές της δεκαετίας του 70. Το επόμενο σημαντικό βήμα για την εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας, ήταν ένα σύστημα προσομοίωσης πτήσης που αναπτύχθηκε στην αεροπορική βάση Wright Patterson στην Αμερική κάτω από την επίβλεψη του Thomas Furness το 1986. Το εικονικό περιβάλλον το οποίο αναπαριστούσε το σύστημα αυτό, παρείχε οπτικά, ακουστικά και απτικά ερεθίσματα και ελεγχόταν αλληλεπιδραστικά από τον εκπαιδευόμενο πιλότο και δεχόταν είσοδο (input) μέσω κινήσεων του κεφαλιού, των οφθαλμών, των χεριών αλλά και μέσω ομιλίας.

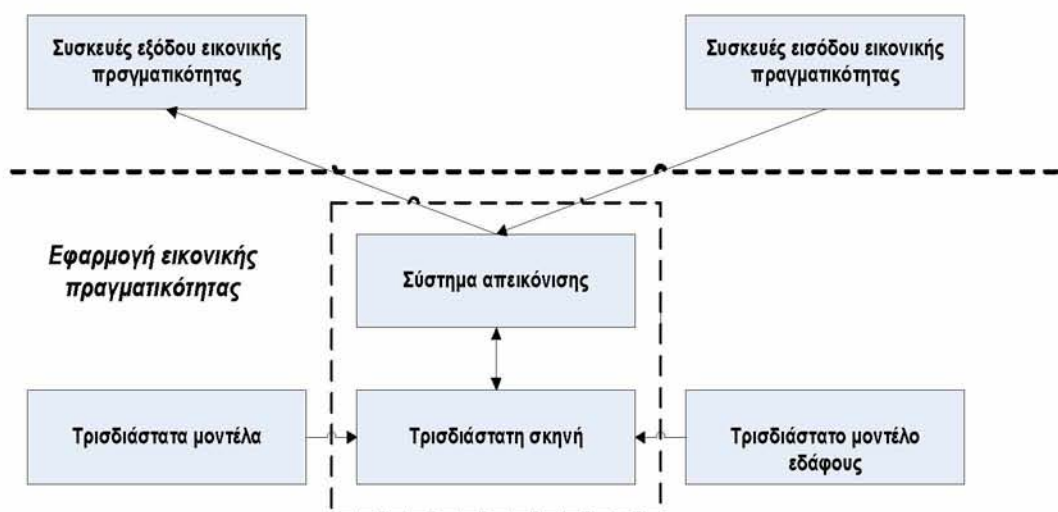
Όπως και τότε, έτσι και σήμερα, η ανάγκη για τη μεγαλύτερη δυνατή αληθοφάνεια και ανάλυση στο μικρότερο δυνατό χρόνο, ωθεί τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για προσομοίωση πτήσης στα όρια των δυνατοτήτων τους. Έτσι, τα σημερινά συστήματα χρησιμοποιούν περίπλοκες τεχνικές όπως π.χ. smooth shading, texture mapping, transparency, anti-aliasing κλπ. Ο χειριστής περιβάλλεται συνήθως από 3-5 οθόνες προβολής, που αντιστοιχούν στα παράθυρα της καμπίνας του πιλοτηρίου. Κάθε οθόνη τροφοδοτείται από μία γεννήτρια εικόνων που έχει πρόσβαση στην ίδια βάση δεδομένων με όλες τις υπόλοιπες. Η βάση δεδομένων περιγράφει γεωμετρικά ολόκληρο το περιβάλλον και κάθε επιμέρους οθόνη προβάλλει την άποψη (Point of View) του περιβάλλοντος που θα έπρεπε να βλέπει ο χειριστής από το αντίστοιχο παράθυρο της καμπίνας.

Παρότι η εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών συνεχίστηκε με ακόμα γρηγορότερο ρυθμό, από το 1990 και έπειτα, οι υπερβολικές προσδοκίες και οι παράλογες απαιτήσεις από την τεχνολογία αυτή που ακολούθησαν, οδήγησαν στη δυσπιστία του κόσμου και, το κυριότερο, των επενδυτών για τις δυνατότητες της εικονικής πραγματικότητας. Τελευταία όμως, αυτή η τάση δείχνει να μεταβάλλεται, αφού η πληθώρα πρακτικών εφαρμογών που κάνουν χρήση εικονικής πραγματικότητας και τα άμεσα οικονομικά οφέλη από αυτές, έχουν αρχίσει να πείθουν για τη χρησιμότητα της τεχνολογίας αυτής.

2.3 Συστατικά στοιχεία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας

Η γενική δομή ενός Συστήματος Εικονικής Πραγματικότητας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα και αποτελείται από τα συστατικά εκείνα, τα οποία μπορούν να υλοποιήσουν τις προδιαγραφές που δόθηκαν στην εισαγωγή.

Διεπαφή χρήστη



Σχήμα 2 : Συστατικά στοιχεία ενός συστήματος εικονικής πραγματικότητας.

2.3.1 Γενικά λόγια για τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος

Οι χρήστες βλέπουν έναν τρισδιάστατο εικονικό κόσμο στις συσκευές εξόδου εικονικής πραγματικότητας και μπορούν να αλληλεπιδράσουν με αυτόν μέσω συσκευών εισόδου εικονικής πραγματικότητας. Ένα σύστημα απεικόνισης (viewer) περιέχει μια τρισδιάστατη σκηνή η οποία αποτελείται από τρισδιάστατα μοντέλα και

(πιθανώς) από ένα μοντέλο του περιβάλλοντος που καθοδηγεί τις συσκευές εισόδου και εξόδου. Η τρισδιάστατη σκηνή είναι μια δυναμική δομή δεδομένων η οποία περιέχει όλη την πληροφορία που η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας πρόκειται να δείξει στο χρήστη. Τα τρισδιάστατα μοντέλα περιγράφουν τις κλάσεις των ορατών αντικειμένων της τρισδιάστατης σκηνής. Το μοντέλο του περιβάλλοντος περιγράφει το τοπίο σε τρισδιάστατη μορφή και η μηχανή απεικόνισης το απεικονίζει.

2.3.2 Εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας

Η εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας αποτελεί την καρδιά του συστήματος εικονικής πραγματικότητας. Η μονάδα αυτή είναι ένα υπολογιστικό σύστημα με εισόδους και εξόδους, συνήθως ψηφιακές, το οποίο αναλαμβάνει να αναπαραστήσει τα αντικείμενα του τρισδιάστατου κόσμου και συνάμα να επεξεργαστεί τις αντιδράσεις του χρήστη προκειμένου να παράγει τα ανάλογα εικονικά ερεθίσματα. Τα αντικείμενα του εικονικού περιβάλλοντος καθορίζονται από την τρισδιάστατη σκηνή η οποία αποτελείται από ένα τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, δηλαδή από δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε μία τρισδιάστατη βάση δεδομένων, και από τρισδιάστατα μοντέλα του πραγματικού κόσμου. Η τρισδιάστατη σκηνή οπτικοποιείται μέσα από το σύστημα απεικόνισης. Αυτό επίσης, δέχεται την αντίδραση του ανθρώπου (φωνή, αφή, όραση) μέσω των Συσκευών Εισόδου και αφού την επεξεργαστεί, παράγει τα εικονικά ερεθίσματα (ήχος, εικόνα, αφή) που πρέπει να δεχτεί ο άνθρωπος, μέσω των Συσκευών Εξόδου, ώστε να νομίσει ότι βρίσκεται στον Εικονικό κόσμο. Το σύστημα απεικόνισης και η τρισδιάστατη σκηνή συναποτελούν την τρισδιάστατη μηχανή απεικόνισης (3D player engine).

2.3.3 Διεπαφή χρήστη

Μέσα από αυτή τη μονάδα, ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδρά με το τρισδιάστατο περιβάλλον. Η μονάδα αυτή συντίθεται από τις Συσκευές Εισόδου και τις Συσκευές Εξόδου.

2.3.3.1 Συσκευές Εισόδου

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει ένα αλληλεπιδραστικό σύστημα, όπως τα εικονικά περιβάλλοντα που μελετώνται, είναι και η είσοδος δεδομένων από το χρήστη του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από ειδικές 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 την τρισδιάστατη μηχανή απεικόνισης. 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.

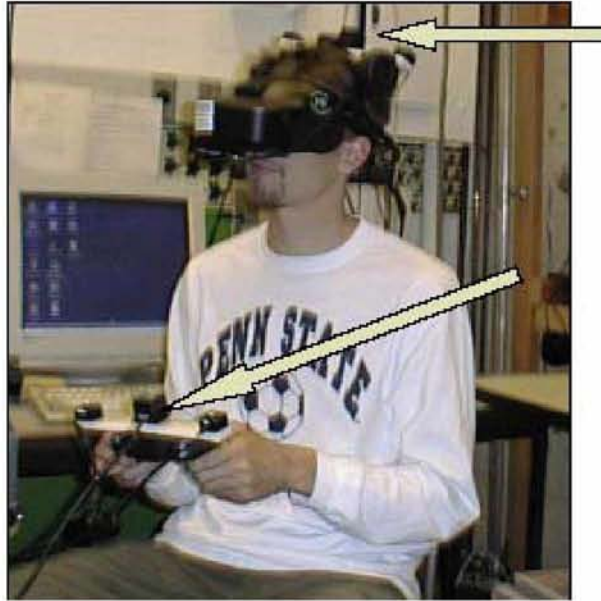
Οι μόνες συσκευές που θεωρούνται απαραίτητες και απαντώνται σχεδόν σε κάθε υπολογιστή είναι το πληκτρολόγιο και μια συσκευή κατάδειξης τουλάχιστον δυο βαθμών ελευθερίας¹, όπως είναι το ποντίκι, το touch-pad των φορητών υπολογιστών ή το joystick (μοχλός κίνησης δυο αξόνων, συνηθισμένος σε παιχνίδια). Παραταύτα, έχει κατασκευαστεί πλήθος τέτοιων εξειδικευμένων συσκευών, οι οποίες πλεονεκτούν σε ευκολία χειρισμού, φυσικότητα και ταχύτητα αλληλεπίδρασης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες από αυτές τις συσκευές και ο σκοπός που εξυπηρετούν:

➤ Ιχνηλάτης Κίνησης (Motion Tracker)

Η συσκευή αυτή τοποθετείται είτε στο κεφάλι του ανθρώπου, οπότε και ονομάζεται Ιχνηλάτης Κεφαλής (Head Tracker) είτε στο σώμα του οπότε και ονομάζεται Ιχνηλάτης Σώματος (Body Tracker). Και στις δύο περιπτώσεις, όπως μαρτυρεί και η ονομασία του, μεταφέρει πληροφορία για τη θέση του ανθρώπου στο χώρο, δηλαδή τις συντεταγμένες (x,y,z) καθώς και τον προσανατολισμό του στο χώρο. Οι δύο ιχνηλάτες φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:

¹ Οι βαθμοί ελευθερίας (*Dof – Degree of Freedom*) είναι ο ελάχιστος αριθμός των ανεξάρτητων διαστάσεων που χρειάζονται για να περιγράψουν πλήρως την κίνηση ενός αντικειμένου.



Εικόνα 1 : Ιχνηλάτης Κεφαλής και Ιχνηλάτης Σώματος.

➤ Γάντι Αίσθησης (Data Glove)

Το λεγόμενο Γάντι Αίσθησης, το οποίο φαίνεται στην ακόλουθη πάνω αριστερή εικόνα, ουσιαστικά μετατρέπει τη δύναμη που ασκεί ο άνθρωπος κατά την επίδρασή του σε αντικείμενα του Εικονικού Περιβάλλοντος υπό τη μορφή ψηφιακής πληροφορίας στην τρισδιάστατη μηχανή απεικόνισης. Το Εικονικό Περιβάλλον «αισθάνεται» κατά αυτόν τον τρόπο τις κινήσεις των δαχτύλων του χρήστη. Στην κάτω εικόνα, βλέπουμε ένα πραγματικό Γάντι Αίσθησης, στο οποίο είναι διάφορα καλώδια συνδεδεμένα με σκοπό την μεταφορά της ψηφιακής πληροφορίας (μέσω ηλεκτρικών σημάτων) στην τρισδιάστατη μηχανή απεικόνισης. Όταν δεν υπάρχει σημαντική καθυστέρηση μεταξύ της πραγματικής και εικονικής κίνησης του χεριού, ενισχύεται τότε η αίσθηση της παρουσίας από τον χρήστη. Εκεί έγκειται το γεγονός ότι το σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας πρέπει να είναι πραγματικού χρόνου.



Εικόνα 2 : Γάντι Αίσθησης (Data Glove).

➤ Συσκευές πλοήγησης και επιλογής

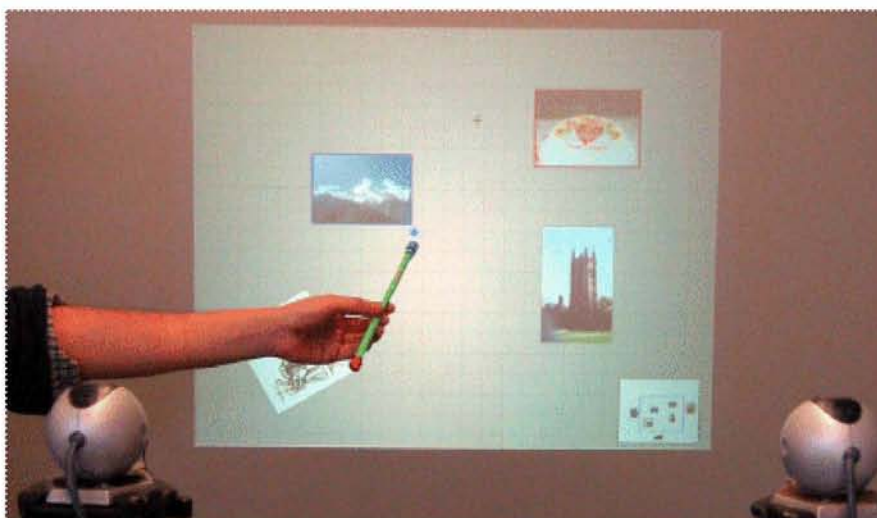
Οι συσκευές αυτές συμβάλλουν στην πλοήγηση στον τρισδιάστατο χώρο και στην επιλογή τρισδιάστατων αντικειμένων. Σε αυτές περιλαμβάνονται το τρισδιάστατο ποντίκι (spacemouse), το ραβδί, το χειριστήριο (joystick) και η τρισδιάστατη μπίλια (spaceball).



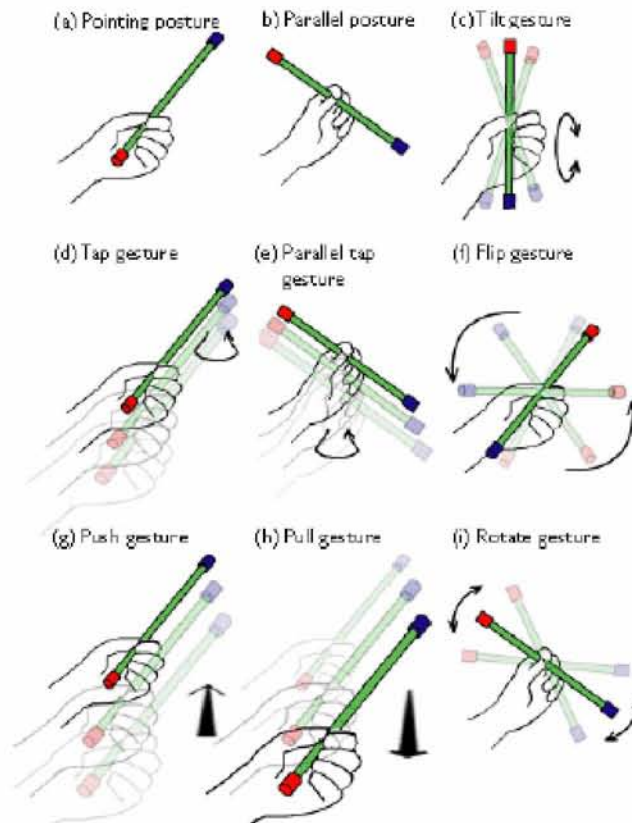
Εικόνα 3 : Τρισδιάστατο ποντίκι - spacemouse (αριστερά & κέντρο) και τρισδιάστατη μπίλια - spaceball (δεξιά).

➤ Συσκευές τηλεπαρουσίασης και τηλεδιάσκεψης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν συσκευές που χρησιμοποιούνται για πολύ ειδικευμένα πεδία εφαρμογών και συμβάλλουν στην υποστήριξη συνεργατικών εικονικών περιβαλλόντων. Ένα παράδειγμα είναι ο εξοπλισμός που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Δυο βιντεοκάμερες υπό γωνία αναγνωρίζουν τις κινήσεις μιας ράβδου που χρησιμοποιείται για τηλεπαρουσίαση. Η στερεοσκοπική αντίληψη που προσφέρουν οι δυο κάμερες, αλλά και η χρωματική κωδικοποίηση της ράβδου μειώνουν κατά πολύ τον επεξεργαστικό φόρτο της εφαρμογής και αυξάνουν την αξιοπιστία στην αναγνώριση των κινήσεων. Οι ακολουθίες των κινήσεων που αντιλαμβάνεται το σύστημα φαίνονται στην εικόνα 2.6. Από τη στιγμή που οι κινήσεις αναγνωρίζονται υπάρχει απόλυτη ελευθερία στη χρήση τους από το σύστημα (π.χ. η τρίτη κίνηση μπορεί να συνεπάγεται οπτική ή/και ηχητική ένδειξη, η οποία εφιστά την προσοχή των συμμετεχόντων που παρακολουθούν την παρουσίαση).



Εικόνα 4 : Εξοπλισμός για τηλεπαρουσίαση.



Εικόνα 5 : Κινήσεις της "έξυπνης" ράβδου.

2.3.3.2 Συσκευές Εξόδου Εικονικής Πραγματικότητας

Οι Συσκευές Εξόδου είναι υπεύθυνες για να μεταφέρουν στον άνθρωπο τα χαρακτηριστικά του Εικονικού Περιβάλλοντος, τα οποία παραλαμβάνουν από την Τρισδιάστατη μηχανή απεικόνισης. Ακολουθώς, παρουσιάζουμε μερικές από αυτές:

➤ Κράνος εικονικής πραγματικότητας (Head Mounted Display-HMD)

Το Head Mounted Display αποτελεί την πρώτη συσκευή που έχει την ικανότητα να προμηθεύει τον χρήστη της με μια καταλυτική εμπειρία εμπύθισης. Αποτελείται από δυο μικροσκοπικές στερεοσκοπικές οθόνες (μια για κάθε μάτι), που προβάλλουν τις κινούμενες εικόνες του εικονικού περιβάλλοντος. Οι οθόνες περιλαμβάνουν τεχνολογίες CRT, LCD, υγρό κρύσταλλο από πυρίτιο (LCos) ή OLED. Επίσης, υπάρχει ένας ανιχνευτής κίνησης ο οποίος συνεχώς μετράει την τοποθεσία και τον προσανατολισμό του κεφαλιού του χρήστη και επιτρέπει να προσαρμόσει την εικόνα που αναπαράγεται από τον υπολογιστή ανάλογα με το

σημείο επισκόπησης του χρήστη. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα ο χρήστης να μπορεί να περιφέρεται μέσα στο καθορισμένο περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 6 : Κράνη εικονικής πραγματικότητας - HMD.

Προκειμένου να ξεπεραστεί το εμπόδιο του όχι και τόσο βολικού HMD, κυρίως λόγω της επιβάρυνσης που προκαλεί στο κεφάλι, κατασκευάστηκαν παράλληλα projects όπως είναι το Cave και το Boom.

- Η πανκατευθυντική διοπτρική οθόνη - Boom (Binocular Omni-Orientalional Monitor)

Το Boom από τον Fakespace είναι ένα HMD όπου οι οθόνες και το οπτικό του σύστημα τοποθετούνται σε ένα κουτί που είναι συνδεδεμένο με ένα βραχίονα πολλαπλών συνδέσμων. Ο χρήστης κοιτώντας μέσα από το κουτί βλέπει τον εικονικό κόσμο και μπορεί να καθοδηγήσει το κουτί σε οποιαδήποτε θέση μέσα στον όγκο λειτουργίας της συσκευής. Ο εντοπισμός της θέσης του κεφαλιού γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων αισθητήρων που βρίσκονται σε διάφορα καίρια σημεία στο χέρι που κρατάει το κουτί.

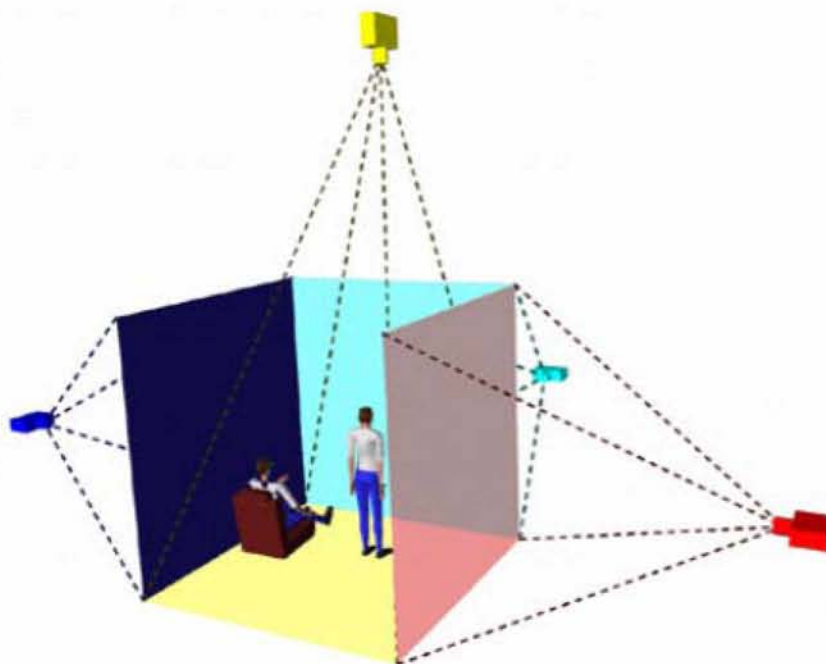




Εικόνα 7 : Συσκευές Boom.

- Το Σύστημα Αυτόματου Εικονικού Περιβάλλοντος Σπηλαίου – CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)

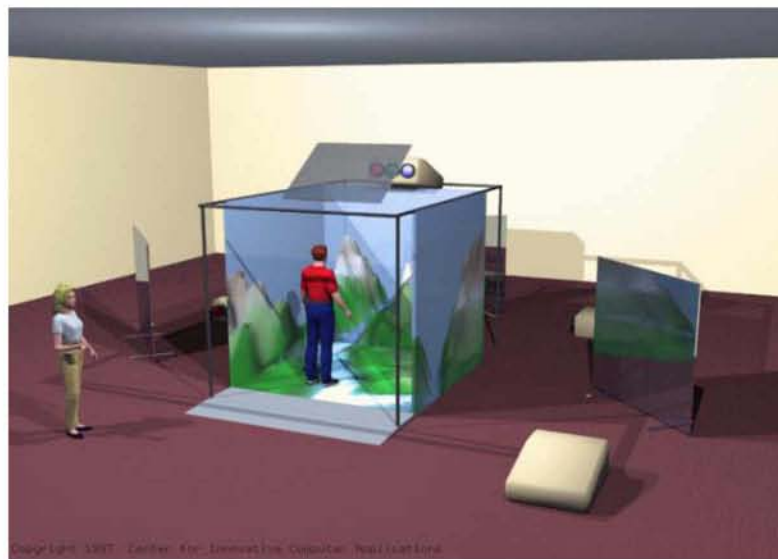
Το CAVE έχει δημιουργηθεί και αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο του Ιλινόις στο Σικάγο και παρέχει την ψευδαίσθηση της εμπύθισης προβάλλοντας στερεοσκοπικές εικόνες στους τείχους και το δάπεδο ενός κυβικού δωματίου. Οι χρήστες αφότου φορέσουν κατάλληλα στερεοσκοπικά γυαλιά (stereoscopic glasses) μπορούν να μετακινηθούν ελεύθερα στο CAVE. Παράλληλα, αισθητήρες κίνησης συνεχώς αναπροσαρμόζουν τη στερεοσκοπική προβολή του διευθύνοντος ατόμου.



Εικόνα 8 : Η αρχή λειτουργίας του CAVE.



Εικόνα 9 : Δωμάτιο CAVE.



Εικόνα 10 : Δωμάτιο CAVE, προβολή σε πολλές επιφάνειες.

➤ Τρισδιάστατα γυαλιά (LCD shutter glasses)

Χρησιμοποιούνται συνήθως με μονοσκοπικές αλλά και στερεοσκοπικές οθόνες και παρέχουν την αίσθηση του βάθους στις δισδιάστατες οθόνες.



Εικόνα 11 : Τρισδιάστατα γυαλιά.

2.4 Κατηγορίες συστημάτων εικονικής πραγματικότητας

Θεωρείται απαραίτητη η ταξινόμηση των συστημάτων εικονικής πραγματικότητας για τη σωστή μελέτη του θέματος. Έτσι λοιπόν, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο χρήστης αντιλαμβάνεται το εικονικό περιβάλλον, δηλαδή ανάλογα με το βαθμό εμπύθισης του στο τεχνητό περιβάλλον, και τις συσκευές οπτικής απεικόνισης που χρησιμοποιούνται, μπορούμε να ταξινομήσουμε τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Επιτραπέζια ή αλλιώς μη-εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα (Non-Immersive/ Desktop Virtual Reality)

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι εφαρμογές που παρουσιάζουν τον τρισδιάστατο κόσμο στην οθόνη ενός υπολογιστή. Δεν απαιτείται η χρήση επιπρόσθετου υλικού πέραν από ένα επιτραπέζιο (desktop) σύστημα που να καλύπτει τις υπολογιστικές ανάγκες και σε αυτό οφείλεται και η αποδοχή αυτού του είδους εικονικής πραγματικότητας σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών. Προαιρετικό εξοπλισμό αποτελεί μια στερεοσκοπική οθόνη με κατάλληλα γυαλιά και ειδικές συσκευές εισόδου, ανάλογα με τη χρήση του συστήματος. Εκτός από επιτραπέζιους υπολογιστές χρησιμοποιούνται, τελευταία, και υπολογιστικές συσκευές χειρός, όπως κινητά τηλέφωνα, εφόσον η επεξεργαστική τους ισχύς συνεχώς αυξάνεται.

- Εμβυθιστική Εικονική Πραγματικότητα (Immersive Virtual Reality)

Με την εμβυθιστική εικονική πραγματικότητα ο χρήστης απομονώνεται πλήρως από το πραγματικό περιβάλλον και έχει την εντύπωση ότι ο πραγματικός χώρος είναι ο τρισδιάστατος κόσμος που προβάλλεται. Συνήθως υπολογίζεται η κατεύθυνση που βλέπει ο χρήστης, παράγεται η εικόνα που θα έπρεπε να βλέπει και εν συνεχεία η εικόνα αυτή προβάλλεται μπροστά στα μάτια του χρήστη μέσω ενός HMD. Κύριο μειονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι το μεγάλο βάρος της, επί της κεφαλής, συσκευής. Βέβαια, με την πρόοδο των εργοστασιακών τεχνικών ο όγκος μειώνεται, εις βάρος του κόστους, πολλές φορές. Εξάλλου αναπτύσσονται νέες τεχνικές, οι οποίες στηρίζονται στις οπτικές ίνες ή σε laser. Μια άλλη λύση είναι η προβολή εικόνων στον περιβάλλοντα χώρο του χρήστη (τεχνική CAVE), ώστε να μη χρειάζεται να προσαρτηθούν βαριά και ογκώδη μηχανήματα στο σώμα του χρήστη.

- Τηλεπαρουσία

Κύριο χαρακτηριστικό της τηλεπαρουσίας είναι η συσχέτιση μεταξύ εικονικού και πραγματικού κόσμου. Αισθητήρες που υπάρχουν στο πραγματικό περιβάλλον στέλνουν πληροφορίες στη μονάδα επεξεργασίας του εικονικού περιβάλλοντος. Αυτές οι πληροφορίες είτε οπτικοποιούνται απευθείας στο χρήστη, είτε επηρεάζουν με δυναμικό τρόπο την αντίδραση των στοιχείων του εικονικού κόσμου, έτσι ώστε να υπάρχει εποπτική αντίληψη της κατάστασης από τον πραγματικό κόσμο.

- Επαυξημένη Εικονική Πραγματικότητα (Augmented Virtual Reality)

Στην περίπτωση αυτή η εμπειρία του πραγματικού κόσμου προσαυξάνεται με πληροφορία που παράγει ο υπολογιστής. Ο χρήστης αντιλαμβάνεται το συνδυασμό πραγματικής και εικονικής σκηνής. Ένα στιγμιότυπο τέτοιου συστήματος φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Εικόνα 12 : Εφαρμογή επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας.

Στην παραπάνω εικόνα, οι χρήστες του συστήματος επαυξημένης εικονικής πραγματικότητας βρίσκονται σε ένα πραγματικό δωμάτιο και φορώντας ειδικό εξοπλισμό, τα *see-through* προβολικά γυαλιά της εικόνας 13, βλέπουν δύο σπίτια τα οποία αποτελούν μέρος του εικονικού περιβάλλοντος. Στο κεφάλι του χρήστη, μαζί

με τα προβολικά γυαλιά, έχουν προσαρμοστεί κάμερες για να γνωρίζει το σύστημα την όψη του πραγματικού κόσμου και να προβάλλει την επιπρόσθετη πληροφορία του εικονικού.



Εικόνα 13 : See-through γυαλιά με κάμερες.

- **Μονοχρηστική Εικονική Πραγματικότητα**

Τα συστήματα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία προσφέρονται για χρήση από ένα μόνο άτομο τη φορά. Ο μοναδικός αυτός χρήστης έχει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τον εικονικό κόσμο, ο οποίος βέβαια μπορεί να είναι εφοδιασμένος με δυναμικές συμπεριφορές, ίσως και ευφυείς πράκτορες (πιθανόν ανθρωπόμορφους), αλλά όλα αυτά τα στοιχεία λειτουργούν χωρίς καμία πρόβλεψη για πολλαπλούς χρήστες.

- **Πολυχρηστική Εικονική Πραγματικότητα**

Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας απευθύνονται σε πολλούς χρήστες οι οποίοι είναι απομακρυσμένοι μεταξύ τους. Οι χρήστες αυτοί αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και κάθε φορά που ένας χρήστης επιτελέσει κάποιες αλλαγές, αυτές γίνονται ορατές και στους υπόλοιπους. Ο κάθε χρήστης αντιπροσωπεύεται στον εικονικό κόσμο με μία ξεχωριστή αναπαράσταση, τα λεγόμενα avatars.

Οι πολυχρηστικές εφαρμογές διακρίνονται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Διαμοίραση του χώρου:** οι συμμετέχοντες έχουν την αίσθηση ότι βρίσκονται στον ίδιο χώρο και μπορούν να προσεγγίσουν ο ένας τον άλλο. Βασική,

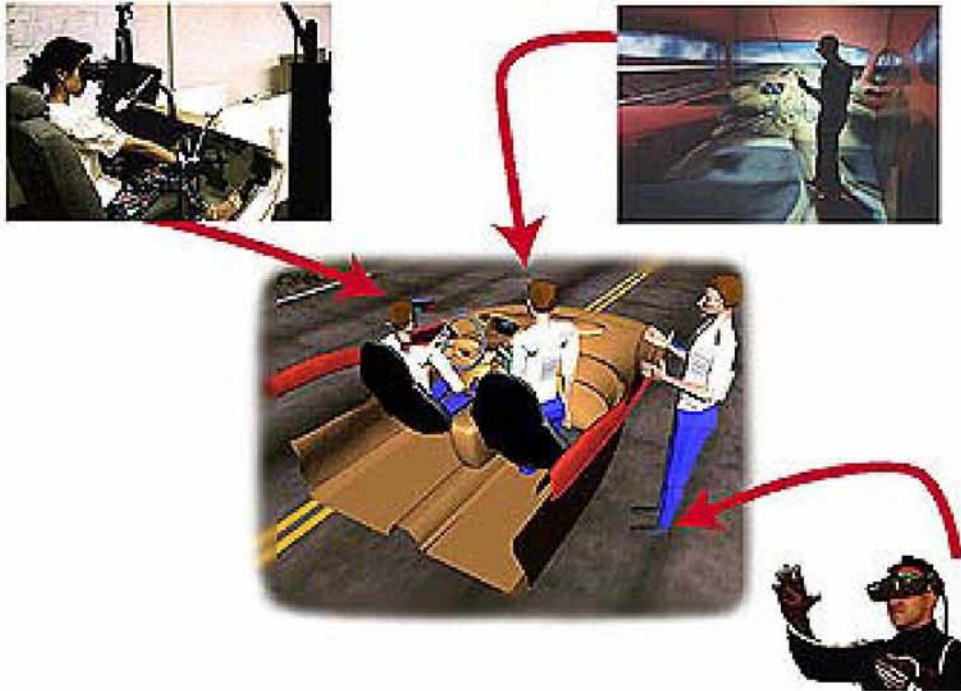
λοιπόν, προϋπόθεση είναι όλοι οι χρήστες να μπορούν να αναφέρονται στον ίδιο ιδεατό κόσμο. Ο εικονικός χώρος μπορεί να αντιπροσωπεύει μια πραγματική ή φανταστική τοποθεσία.

- **Διαμοίραση της παρουσίας:** κάθε συμμετέχων αντιπροσωπεύεται από ένα αντικείμενο του κόσμου (το *avatar* του), το οποίο είναι συνήθως ένα σύνθετο ανθρωπόμορφο μοντέλο, χωρίς, όμως αυτό να είναι υποχρεωτικό. Μπορεί, για παράδειγμα, ένας χρήστης να αντιπροσωπεύεται από ένα ομοίωμα εξωγήινου όντος. Άλλα και το αντίθετο είναι πιθανό· ένα ανθρωποειδές να μην αντιπροσωπεύει ένα φυσικό πρόσωπο, παρά ένα πρόγραμμα πράκτορα. Παράλληλα η τοποθέτηση και ο προσανατολισμός του *avatar* κάθε χρήστη πρέπει να συμφωνεί με την ιδεατή θέση αυτού του χρήστη στον εικονικό κόσμο. Οι υπόλοιποι χρήστες, δηλαδή, πρέπει να βλέπουν το *avatar* εκεί που θεωρεί ο ίδιος ότι βρίσκεται. Ταυτόχρονα, είναι επιθυμητό η στάση του εικονικού χρήστη, αλλά και όποια στοιχεία καθορίζουν την γραφική του αναπαράσταση, να συμφωνούν με τις ενέργειες του. Αν, για παράδειγμα, κάποιος από τους συμμετέχοντες μιλάει σε ένα μικρόφωνο, θα μπορούσε το *avatar* του να ανοιγοκλείνει το εικονικό του στόμα.
- **Διαμοίραση του χρόνου:** όλοι οι συμμετέχοντες σε μια εικονική συνεδρία πρέπει να έχουν τη ψευδαίσθηση ότι η επίδραση των άλλων συμμετεχόντων, αλλά και των ιδίων, στο περιβάλλον είναι άμεση συνέπεια των ενεργειών τους. Η επίδραση οποιουδήποτε στο περιβάλλον γίνεται φανερή σε όλους, αμέσως όταν αυτός ενεργεί. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ των χρηστών σε πραγματικό χρόνο.
- **Διαμοιραζόμενη αλληλεπίδραση με το χώρο:** ο κάθε χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με τον εικονικό χώρο. Το περιβάλλον αλλάζει δυναμικά εξαιτίας των ενεργειών κάποιου χρήστη (ή προγραμματιστικού πράκτορα) και αυτή η αλλαγή έχει αντίκρισμα στα περιβάλλοντα όλων των χρηστών. Παράλληλα οι ενέργειες αυτές μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα αλλαγές στην κατάσταση άλλων πληροφοριακών συστημάτων, εκτός του εικονικού περιβάλλοντος. Κάθε τέτοια αλλαγή, έστω και αν θεωρείται παρενέργεια, πρέπει να είναι αισθητή σε όλους τους συμμετέχοντες. Είναι πιθανό, ο τρόπος αλληλεπίδρασης και ο βαθμός, στον οποίο αυτή είναι εφικτή, να εξαρτάται από το ρόλο και τις αρμοδιότητες του χρήστη στον κόσμο που διαμοιράζεται.

- **Τρόπους αλληλεπίδρασης μεταξύ χρηστών:** οι συμμετέχοντες μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με ποικίλους τρόπους. Τέτοιοι τρόποι είναι τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά της διαμοίρασης του χώρου και της παρουσίας, της διαμοιραζόμενης αλληλεπίδρασης με το χώρο, αλλά και πιο κλασσικά μέσα αμφίδρομης επικοινωνίας, όπως *streaming* ήχος και βίντεο, ή και απλό *chating*. Προφανώς η επιλογή των διαθέσιμων τρόπων αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τη χρήση, για την οποία προορίζεται κάθε εικονικό περιβάλλον, αλλά και από τις τεχνικές δυνατότητες του συστήματος, καθώς και από το βαθμό ρεαλισμού που επιθυμούμε να επιτύχουμε. Π.χ. αν θεωρήσουμε την περίπτωση ενός *immersive* εικονικού περιβάλλοντος και ενός δικτύου με αρκετό εύρος ζώνης, τότε ο ήχος μπορεί να αποτελεί μια πολύ καλή λύση, ενώ στην περίπτωση μιας *desktop* εφαρμογής και ενός δικτύου περιορισμένου εύρους ζώνης, η επικοινωνία με *chating* θα είναι, ίσως, η καλύτερα εφαρμόσιμη τεχνική λύση.

Συνοψίζοντας τα χαρακτηριστικά των πολυχρηστικών εικονικών περιβαλλόντων, μπορεί να ειπωθεί ότι παρέχουν σε πολλούς χρήστες την ικανότητα να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο και σε ένα ενιαίο εικονικό χώρο, να διαμοιράζονται πληροφορία και να διαχειρίζονται εικονικά αντικείμενα. Η αλληλεπίδραση με το σύστημα είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ορισμένα μονοχρηστικά εικονικά περιβάλλοντα που χρησιμοποιούν πολλαπλούς, εξελεγμένους, αυτόνομους, ευφυείς πράκτορες, οι οποίοι συγχρονίζονται μεταξύ τους, αλλά και σε σχέση με το χρήστη, αποτελούν, ουσιαστικά, πολυχρηστικά περιβάλλοντα. Ειδικά, όταν οι πράκτορες είναι κατανεμημένοι είναι εύκολο να συμπεράνουμε ότι το σύστημα πρέπει να διακρίνεται από τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά. Τεχνικά είναι εύκολη η μετατροπή του συστήματος σε πολυχρηστικό, ασχέτως του αν λόγοι, ίσως, ασφαλείας, δεν επιτρέπουν αυτή την μετατροπή.



Εικόνα 14 : Παράδειγμα πολυχρηστικής εικονικής πραγματικότητας.

Στην Εικόνα 14, τρεις δικτυωμένοι χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες συναντιόνται στον εικονικό κόσμο χρησιμοποιώντας μια συσκευή BOOM, ένα σύστημα CAVE και ένα HMD. Και οι τρεις χρήστες βλέπουν τον ίδιο εικονικό κόσμο από τη δική τους οπτική γωνία. Κάθε χρήστης αναπαρίσταται στους άλλους συμμετέχοντες ως ένας εικονικός άνθρωπος (ενσάρκωση – avatar). Όλοι οι χρήστες μπορούν να δουν και να αλληλεπιδράσουν με τους άλλους χρήστες και με τον εικονικό κόσμο σαν ομάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ



3.1 Εισαγωγή

Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι η τεχνολογία της εικονικής πραγματικότητας μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα εύρος πεδίων της ιατρικής, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός σημαντικού αριθμού εφαρμογών. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει μια περίληψη των εφαρμογών αυτών.

Οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας εφαρμόζονται κυρίως σε τέσσερις τομείς της ιατρικής: τη διάγνωση, τη θεραπεία, τη χειρουργική και την εκπαίδευση των ιατρών όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα και περιγράφεται στις ενότητες που ακολουθούν.



Σχήμα 3 : Οι εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της Ιατρικής.

3.2 Διάγνωση

Η εικονική πραγματικότητα προσφέρει νέους εντυπωσιακούς τρόπους για την υποστήριξη της διαδικασίας της διάγνωσης στην ιατρική. Η αυξανόμενη ισχύς των υπολογιστών διευκολύνει τη χρήση τεχνικών οπτικοποίησης που συμβάλλουν στην τρισδιάστατη ανακατασκευή ανατομικών δομών των ασθενών από αξονικές και μαγνητικές τομογραφίες (CT, MRI). Αυτά τα ανατομικά μοντέλα σε συνδυασμό με τις προσεγγίσεις της συμβατικής ιατρικής, παρέχουν αποτελεσματικούς τρόπους διάγνωσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εικονική ενδοσκόπηση.

Η ενδοσκόπηση αποτελεί έναν ελάχιστα παρεμβατικό τρόπο χειρουργικής που πραγματοποιείται είτε μέσω φυσικών ανοιγμάτων του σώματος είτε μέσω μικρών τομών σε κοίλα όργανα με τη βοήθεια μακρικών, λεπτών εργαλείων (keyhole surgery). Ένα οπτικό σύστημα είναι προσαρμοσμένο στην άκρη του εργαλείου για να δίνει την εικόνα των εσωτερικών επιφανειών του κοίλου οργάνου. Η διεκπεραίωση της επέμβασης με μεγάλη δεξιότητα προσφέρει σημαντικές ωφέλειες στον ασθενή, όπως μειωμένο πόνο και χρόνο ανάρρωσης, αποτελώντας έτσι μία πολύ σημαντική διαδικασία για τη διάγνωση και θεραπεία ποικίλων παθολογικών καταστάσεων.

Παρ' όλα αυτά όμως, η διαδικασία ενδοσκόπησης αδυνατεί να παρέχει πληροφόρηση για την ανατομία εντός και εκτός ενός συγκεκριμένου οργάνου. Στο σημείο αυτό καλούνται να συνδυαστούν οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας με τη διαδικασία ενδοσκόπησης προκειμένου να υπερσκελιστεί αυτό το εμπόδιο. Έτσι, με τη βοήθεια της εικονικής ενδοσκόπησης ανακατασκευάζεται το τρισδιάστατο ανατομικό μοντέλο του ασθενή από δεδομένα προερχόμενα από αξονικό ή μαγνητικό τομογράφο, με σκοπό να παρέχει μία καλύτερη εικόνα των εσωτερικών δομών τις οποίες οι χειρουργοί μπορούν να επεξεργαστούν για να εντοπίσουν αλλοιώσεις ή ασθένειες. Στον Nain et al. 2001, αναπτύχθηκε ένα σύστημα που επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με το τρισδιάστατο ανατομικό μοντέλο ώστε να εξερευνήσει την εσωτερική του επιφάνεια και να δημιουργήσει ή να ενισχύσει μία πορεία διαμέσου του μοντέλου που να προσομοιώνει τη διαδικασία ενδοσκόπησης. Προσδοκάται ότι στο προσεχές μέλλον, οι διαδικασίες εικονικής ενδοσκόπησης θα μπορούν να αντικαταστήσουν τις αντίστοιχες πραγματικές σε κάποιους διαγνωστικούς τομείς.

Έχοντας ως βασική επιδίωξη τη βελτίωση της ποιότητας της διάγνωσης, ο Zeng et al 1998, ανέπτυξε ένα πρωτόκολλο για τη βελόνα στη βιοψία του προστάτη χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρονικό τρισδιάστατο σύστημα απεικόνισης και προσομοίωσης. Τα μοντέλα του προστάτη που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα κατασκευάστηκαν από ψηφιοποιημένα δείγματα προστάτη με καρκίνο. Ένας τρισδιάστατος χάρτης κατανομής πιθανότητας του καρκίνου του προστάτη κατασκευάστηκε ύστερα από τη συγχώνευση ενός μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων ψηφιοποιημένων δειγμάτων για να απεικονίσει τρισδιάστατα την κατανομή του καρκίνου του προστάτη. Στον χάρτη αυτό απεικονίζεται η πιθανότητα εντοπισμού του καρκίνου σε κάθε περιοχή αυτού. Με βάση αυτό το χάρτη, δημιουργείται ένα

στατιστικά καθορισμένο πρωτόκολλο για τη βελόνα στη βιοψία του προστάτη ύστερα από την ενσωμάτωση όλων εκείνων των τοποθεσιών της βελόνας με τη μεγαλύτερη πιθανότητα να ανιχνευτεί σε αυτές τις περιοχές κάποιος όγκος. Το σύστημα διαθέτει δύο τρόπους προσομοίωσης: την αυτόματη προσομοίωση και την προσομοίωση μέσω αλληλεπίδρασης. Στην αυτόματη προσομοίωση, η διαδικασία βιοψίας του προστάτη με βελόνα μπορεί να ελεγχθεί αυτόματα από τον υπολογιστή. Από την άλλη μεριά, στην προσομοίωση μέσω αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιείται μία συσκευή ανίχνευσης με έξι βαθμούς ελευθερίας για την προσομοίωση του ανιχνευτή υπερήχων που χρησιμοποιείται στην πραγματική διαδικασία βιοψίας του προστάτη. Ο ουρολόγος αποφασίζει για τη θέση στην οποία θα γίνει η ένθεση της βελόνας βασιζόμενος σε ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο κάτω από την καθοδήγηση της συντεθειμένης εικόνας υπερήχου.

Έτσι, παράλληλα με τη διάγνωση, αυτό το σύστημα προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών μοντέλων βιοψίας. Μπορεί ακόμη να είναι χρήσιμο σαν ένα σύστημα κατάρτισης ή ελέγχου των δεξιοτήτων των εκπαιδευόμενων στη βιοψία ή ακόμα και να συμβάλλει στη διενέργεια προεγχειρητικού πλάνου από τους ουρολόγους προτού να υλοποιήσουν μία περίπλοκη διαδικασία στην πραγματικότητα.

Η υψηλή ποιότητα των τρισδιάστατων ανατομικών εικόνων συμβάλλει σημαντικά στην διάγνωση έτσι ώστε οι χειρουργοί να έχουν μια καλύτερη αντίληψη και γνώση των οργάνων που περιεργάζονται από ότι στην πραγματικότητα. Η τεχνολογία αυτή σε συνδυασμό με την υπηρεσία τηλεδιάσκεψης δίνουν τη δυνατότητα στους γιατρούς να κάνουν μια διάγνωση παίρνοντας και τη γνώμη ενός συναδέλφου τους που βρίσκεται σε απόσταση και ο οποίος επεξεργάζεται τις ίδιες τρισδιάστατες εικόνες. Παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι αυτό που παρουσιάζεται στον Berlage 1997 το οποίο ενσωματώνει τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις από τις εικόνες υπερήχων του ασθενή σε έναν οπτικοποιημένο μοντέλο τον επιφανειών της καρδιάς προκειμένου να παρέχει ένα σαφές και ισχυρό κανάλι επικοινωνίας στην τηλεσυμβούλευση.

3.3 Θεραπεία

Η εικονική πραγματικότητα προσφέρει πολλές νέες εναλλακτικές προτάσεις θεραπείας στους ασθενείς. Ορισμένες από τις περιπτώσεις αυτές κάνουν χρήση της εικονικής πραγματικότητας για την εκπαίδευση και ενίσχυση των δεξιοτήτων των

ατόμων με αναπηρίες, για την αποκατάσταση προβλημάτων των αθλητών, για την αντιμετώπιση των διατροφικών ανωμαλιών και φοβιών καθώς και για να δοθούν λύσεις και σε άλλα σωματικά και ψυχολογικά προβλήματα.

Στην περίπτωση των ατόμων με αναπηρίες, οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας χρησιμεύουν σαν προσαρμοστικές συσκευές για να διευκολύνουν τα άτομα αυτά στην εκμάθηση και εξάσκηση δεξιοτήτων τις οποίες συνήθως στερούνται, όπως είναι η εξερεύνηση, η πλοήγηση, η ανακάλυψη και η μετακίνηση εμποδίων, καθώς και ιδιαίτερες δεξιότητες όπως η διάσχιση δρόμων με αναπηρικό καροτσάκι. Κάποιες από τις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν προσαρμοστικές συσκευές είναι οι προσαρμοσμένες στο κεφάλι απεικονιστικές συσκευές (HMDs), συσκευές που προσφέρουν μία αίσθηση της τοποθεσίας και οριοθέτησης, η ανάδραση αφής, ο εντοπισμός μέσω των οφθαλμών, τρισδιάστατα συστήματα ήχου, συσκευές εισόδου δεδομένων και διάφορες τεχνικές οπτικοποίησης.



Εικόνα 15 : Ο ασθενής προσπαθεί να αυξήσει τη ροή του αίματος στα δάχτυλά του.

Οι προσαρμοστικές συσκευές μπορούν επίσης να σχεδιαστούν με στόχο να εκπαιδεύσουν τους ασθενείς σε συγκεκριμένες δραστηριότητες. Η έρευνα που διεξήγαγε ο Boian et al., 2002, δίνει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα για ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αποκατάσταση ασθενών που είχαν υποστεί εγκεφαλικό σε χρόνια φάση. Οι σημαντικότερες ασκήσεις αποκατάστασης επικεντρώνονται στην αρμονική κίνηση των δαχτύλων, στην διενέργεια ποικίλων κινήσεων των δαχτύλων και στην αύξηση της ταχύτητας και της δύναμης για τη μείωση των βλαβών μέσω εξοπλισμού όπως το

CyberGlove ή το RMI γάντι αφής ώστε να αλληλεπιδρούν με διάφορα εικονικά αντικείμενα στα πλαίσια συγκεκριμένων ασκήσεων.

Η εικονική πραγματικότητα μελετήθηκε επίσης και στον τομέα της ψυχολογίας ώστε να αποτελέσει ένα εργαλείο για τη θεραπεία αρκετών ψυχολογικών προβλημάτων όπως τις διατροφικές διαταραχές και φοβίες όπως για παράδειγμα του φόβου της ομιλίας δημοσίως. Η έρευνα του Lozano et al., 2000 οδήγησε στη δημιουργία ενός συστήματος εικονικών περιβαλλόντων για τη θεραπεία των διατροφικών διαταραχών. Στο σύστημα αυτό παρουσιάζεται μία εικονική κουζίνα με μοντελοποιημένη μία πληθώρα εικονικών τροφίμων και μίας εικονικής ζυγαριάς. Οι ασθενείς μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τα εικονικά αντικείμενα ώστε να προσομοιώσουν τις καταναλωτικές τους συνήθειες και να συγκρίνουν τα δικά τους βάρη με εκείνα που κανονικά θα τους αναλογούσαν.

Κατά τη θεραπεία φοβιών, ένα τμήμα της θεραπευτικής διαδικασίας περιλαμβάνει την έκθεση των ασθενών στο ερέθισμα που προκαλεί τη φοβία τους μέσα σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον μέχρις ότου ο φόβος τους να εξασθενήσει. Για το σκοπό αυτό, η εικονική πραγματικότητα χρησιμοποιείται για να «εμβυθίσει» τους ασθενείς σε ένα εικονικό περιβάλλον που δε θα τους προκαλέσει κανέναν κίνδυνο. Κατά την εμβύθιση των ασθενών στο εικονικό περιβάλλον, χρησιμοποιείται μία συσκευή απεικόνισης προσαρτημένη στο κεφάλι τους έτσι ώστε να μπορούν ελέγξουν τα εικονικά αντικείμενα που βρίσκονται στο περιβάλλον που δημιουργεί τη φοβία τους. Σε ένα πείραμα που πραγματοποιήθηκε από τον Pertaub et al., 2001, τοποθετήθηκαν 40 υποκείμενα, π.χ. ασθενείς, σε ένα εικονικό σεμινάριο με τρία διαφορετικά θεάματα: ένα που τους προκαλούσε αρνητικά συναισθήματα, ένα που τους προκαλούσε θετικά και ένα που τους ήταν αδιάφορο. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι άνθρωποι αντέδρασαν στα εικονικά θεάματα του σεμιναρίου με τον ίδιο τρόπο που θα αντιδρούσαν στο αντίστοιχο θέαμα στην πραγματικότητα. Άλλες πρόσφατες μελέτες απέδειξαν τη σημαντική συμβολή της θεραπείας μέσω εικονικής πραγματικότητας στις παραδοσιακές θεραπευτικές μεθόδους για τη φοβία της ομιλίας δημοσίως όπως και άλλων φοβιών.



Εικόνα 16 : Εφαρμογή Εικονικής Πραγματικότητας για την καταπολέμηση της υσοφοβίας.

Η εικονική πραγματικότητα στον τομέα του αθλητισμού εφαρμόζεται για τη διάγνωση και θεραπεία προβλημάτων των αθλητών, στη φυσικοθεραπεία, στην ορθοπαιδική, τη νευρολογία καθώς και σε συγκεκριμένες εκφυλιστικές παθήσεις, όπως είναι η νόσος του Parkinson και πολλαπλές περιπτώσεις σκλήρωσης. Η εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της αποκατάστασης δίνει το πλεονέκτημα της εξέτασης των ασθενών σε ένα ελεγχόμενο περιβάλλον. Η εξέταση των ασθενών γίνεται δυναμικά επιτρέποντας τον έλεγχο σεναρίων που είναι δύσκολο να παρουσιαστούν με άλλα μέσα. Τα περιβάλλοντα και τα προγράμματα μπορούν να προσαρμοστούν ανάλογα με το βαθμό βλάβης του κάθε αθλητή και τους στόχους της θεραπείας. Αποτέλεσμα αυτής της προσέγγισης είναι η ελάττωση του χρόνου αποκατάστασης των νευρομυϊκών και σκελετικών βλαβών στο 50%.

Ορισμένα εικονικά συστήματα αποκατάστασης κάνουν χρήση ορισμένων τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας όπως είναι το Γάντι Δεδομένων και η Στολή Δεδομένων (Data Glove – Data Suit). Και οι δύο τεχνικές αποτελούν τη βάση για τη δυναμική συγκέντρωση δεδομένων στις τρεις διαστάσεις και επιτρέπουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις των ανθρώπινων κινήσεων σαν βάση για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τη θεραπεία τους.

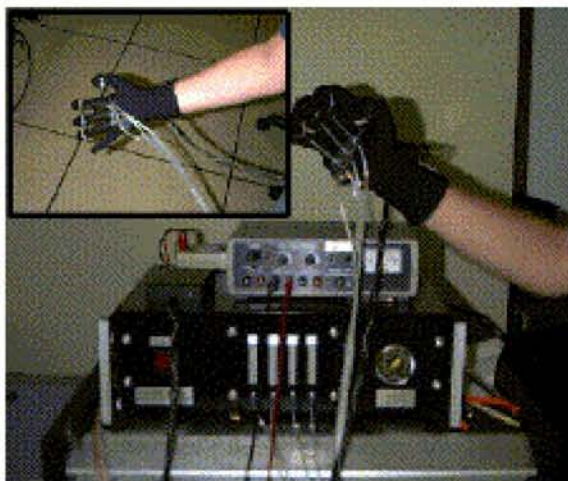


Εικόνα 17 : Χρήση του Γαντιού Δεδομένων για τη μέτρηση των κινήσεων του αθλητή.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση των εταιρειών που εισέρχονται σε αυτό τον τομέα. Ορισμένες από τις μεγαλύτερες εταιρείες που προσφέρουν υπηρεσίες αποκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου και του στρατού, δείχνουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη συστημάτων αποκατάστασης βασισμένων στις τεχνικές της εικονικής πραγματικότητας προκειμένου να εξαπλωθούν γεωγραφικά περισσότερο και να αυξήσουν την παραγωγικότητα του προσωπικού τους. Επίσης, οι μεγάλες αλυσίδες προπόνησης αθλητών αναπτύσσουν τέτοια συστήματα για να διαφοροποιηθούν έναντι των ανταγωνιστών τους.

Παράδειγμα τέτοιου προϊόντος που βρίσκεται υπό ανάπτυξη αποτελεί ένα σύστημα που διαθέτει δύναμη ανάδρασης, όπως ένα γάντι, που συμβάλει στην προσομοίωση εικονικών εύκαμπτων αντικειμένων. Πριν την αποκατάσταση, ο ασθενής φορά στο χέρι του ένα γάντι με αισθητήρα το οποίο υπολογίζει τη δύναμη που ασκούν τα δάχτυλα του. Οι πληροφορίες που καταγράφει το γάντι, συλλέγονται από μία διαπροσωπεία και αποστέλλονται σε έναν υπολογιστή ο οποίος κάνει διάγνωση για τις δυνατότητες του χεριού του ασθενή και δημιουργεί σήματα ελέγχου της αποκατάστασης για ένα γάντι δράσης-ανάδρασης. Ο ασθενής αφού φορέσει τα γάντια, προσπαθεί στη συνέχεια να ενώσει τα δάχτυλά του σαν να προσπαθεί να πιάσει το εικονικό αντικείμενο. Το γάντι δράσης-ανάδρασης αντιστέκεται στην κίνηση που κάνει ο ασθενής να συνθλίψει το αντικείμενο σε τέτοιο βαθμό ώστε να προσομοιώνει την αίσθηση αφής του αντικειμένου. Η δύναμη που εξωθείται από τα δάχτυλα του ασθενή ανατροφοδοτείται στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, όπου και μπορεί να καταγραφεί ή να χρησιμοποιηθεί στην μετατροπή μελλοντικών σημάτων ελέγχου της αποκατάστασης. Η βασική ιδέα αυτής της εφαρμογής μπορεί επίσης να

εφαρμοσθεί στους βραχίονες, το λαιμό, τα γόνατα, τους αγκώνες καθώς και σε άλλους αρθρωτούς συνδέσμους.



Εικόνα 18 : Γάντι δράσης – ανάδρασης.

3.4 Χειρουργική

Η εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της Χειρουργικής παρέχει τη δυνατότητα στους χειρουργούς να αλληλεπιδράσουν με τεχνολογίες του ηλεκτρονικού υπολογιστή με στόχο την πραγματοποίηση, τον προσχεδιασμό και τη προσομοίωση των χειρουργικών διαδικασιών. Κατά τη φάση πραγματοποίησης μίας χειρουργικής επέμβασης, η εικονική πραγματικότητα υποβοηθά το έργο του χειρουργού. Αυτό, μπορεί να περιλαμβάνει την ύπαρξη ενός ρομπότ το οποίο να εκτελεί τη διαδικασία κάτω από τον έλεγχο του χειρουργού έτσι ώστε, για παράδειγμα, να αφαιρεθεί ο παράγοντας «τρέμουλο των χεριών» κατά το χειρισμό των εργαλείων ενδοσκόπησης στην key-hole χειρουργική. Με την εικονική πραγματικότητα ο χειρουργός έχει επίσης τη δυνατότητα να βλέπει σε τρισδιάστατη μορφή διάφορες περιοχές του σώματος του ασθενή. Η προσομοίωση, επίσης, χρησιμοποιείται κατά κόρον στην εκπαίδευση και κατάρτιση των χειρουργών. Εδώ, συνήθως γίνεται χρήση δεδομένων ασθενών από άτλες στους οποίους έχουν καταχωρηθεί οι ανατομικές πληροφορίες. Σκοπός της προσομοίωσης, εκτός από εκπαίδευση ρουτίνας, είναι και η εστίαση σε ιδιαίτερα δύσκολες περιπτώσεις αλλά και η εξάσκηση νέων χειρουργικών τεχνικών. Επιπλέον, με την εικονική πραγματικότητα ο χειρουργός μπορεί να δημιουργήσει ένα προεγχειρητικό πλάνο με

σκοπό να βρει την καλύτερη προσέγγιση στη διαδικασία της επέμβασης, δηλαδή εκείνης που να ενέχει τους λιγότερους κινδύνους για τον ασθενή.

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, οι τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας χρησιμοποιούνται στον τομέα της χειρουργικής με σκοπό τα ακόλουθα:

- ✓ Την εκπαίδευση και κατάρτιση των χειρουργών.
- ✓ Τον προεγχειρητικό σχεδιασμό.
- ✓ Την καθοδηγούμενη από εικόνες Χειρουργική – Image-guided surgery.

3.4.1 Εκπαίδευση και Κατάρτιση των χειρουργών

Οι χειρουργοί χρειάζονται εκτεταμένη εκπαίδευση ούτως ώστε να αποκτήσουν σύνθετες δεξιότητες προτού να είναι πλήρως καταρτισμένοι. Η κατάσταση ωστόσο η οποία επικρατεί σήμερα στον τομέα της χειρουργικής εκπαίδευσης είναι χαοτική. Όσο το πλήθος των χειρουργικών διαδικασιών αυξάνεται και ο βαθμός δυσκολίας τους εντείνεται, τόσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα απαιτείται για την εκπαίδευση των χειρουργών, αλλά παράλληλα τόσο λιγότερες ευκαιρίες εκπαίδευσης προσφέρονται.

Οι παραδοσιακοί τρόποι χειρουργικής εκπαίδευσης έχουν πολλά μειονεκτήματα. Κατά πρώτον, η εκπαίδευση κατά τη διάρκεια διεξαγωγής μίας επέμβαση επιφέρει αυξημένο κίνδυνο στον ασθενή και παρατείνει τη χρονική διάρκεια της επέμβασης. Νέες τεχνικές στον τομέα της χειρουργικής απαιτούν την εκπαίδευση από άλλους γιατρούς, οι οποίοι όμως είναι συνήθως απασχολημένοι με το δικό τους φόρτο εργασίας. Ακόμη, είναι αρκετά δύσκολη η εκπαίδευση των γιατρών στις αγροτικές περιοχές και τέλος, τα πειράματα σε ζώα κοστίζουν ακριβά και σαφώς η ανατομία τους διαφέρει από αυτή του ανθρώπου.

Με την εικονική πραγματικότητα, η ανάπτυξη των προσομοιωτών εκπαίδευσης, φαίνεται να αποτελεί τη λύση στα παραπάνω προβλήματα. Χάρη στους προσομοιωτές εκπαίδευσης, οι χειρουργοί είναι σε θέση να εκτελούν δύσκολες διαδικασίες μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μία ανάλογη εφαρμογή αποτελούν οι προσομοιωτές πτήσης με τους οποίους οι εκπαιδευόμενοι πιλότοι αποκτούν πολλές ώρες εμπειρίας, προτού εξασκηθούν σε πραγματικό πιλοτήριο.

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι προσομοιωτές εκπαίδευσης είναι προφανή. Έτσι, η εκπαίδευση μπορεί να πραγματοποιηθεί ανά πάσα στιγμή και οπουδήποτε ο εξοπλισμός είναι διαθέσιμος και επίσης μειώνουν τους εγχειρητικούς

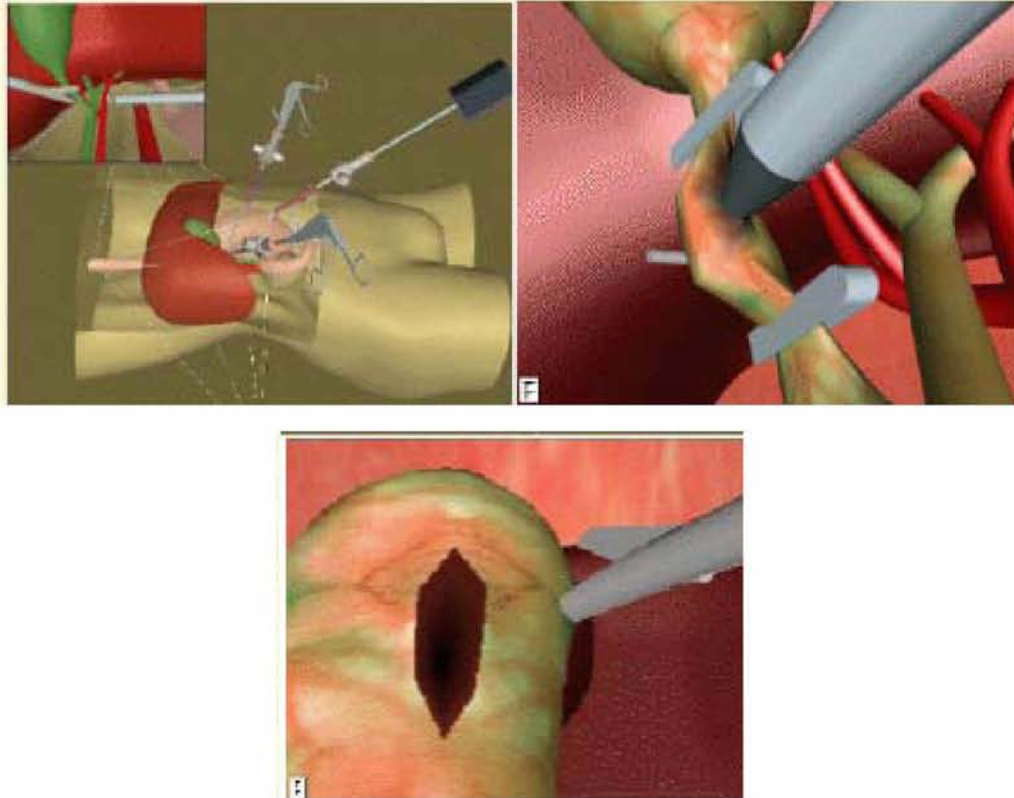
κινδύνους που σχετίζονται με τις νέες τεχνικές καθώς και τον βαθμό χειρουργικής ανθυγιεινής και θνησιμότητας.

Ωστόσο, η μεγαλύτερη πρόκληση έγκειται στην απόδοση επαρκούς πιστότητας προκειμένου οι δεξιότητες που αποκτούν οι χειρουργοί μέσω της προσομοίωσης να επαρκούν για τη διενέργεια εγχείρησης απευθείας σε ασθενείς. Όμως η πιστότητα είναι δύσκολο να επιτευχθεί και συνάμα απαιτείται καλύτερη αξιολόγηση των διαφορετικών προσεγγίσεων που αφορούν στην κατάρτιση μέσω προσομοίωσης. Πολλοί έμπειροι χειρουργοί προσδοκούν ότι με το χρόνο, η εμπειρία που αποκτάται μέσω των προσομοιώσεων θα αντικαταστήσει ένα τμήμα της ιατρικής εκπαίδευσης.

Σημαντικές παράμετροι για την απόδοση πιστότητας είναι η χρήση της δύναμης ανάδρασης, η αυξημένη ακρίβεια στη μοντελοποίηση των ελαστικών ιστών και ο ρόλος της ηχητικής ανάδρασης.

Στην περίπτωση απλών επεμβάσεων όπως είναι η τοποθέτηση της βελόνας κατά τις διαδικασίες συρραφής ή βιοψίας, η εικονική πραγματικότητα είναι αποτελεσματική, αλλά ενδεχομένως να αποτελεί υπερβολική διαδικασία για την απόκτηση δεξιοτήτων οι οποίες θα μπορούσαν να αποκτηθούν εύκολα και οικονομικά με άλλους τρόπους.

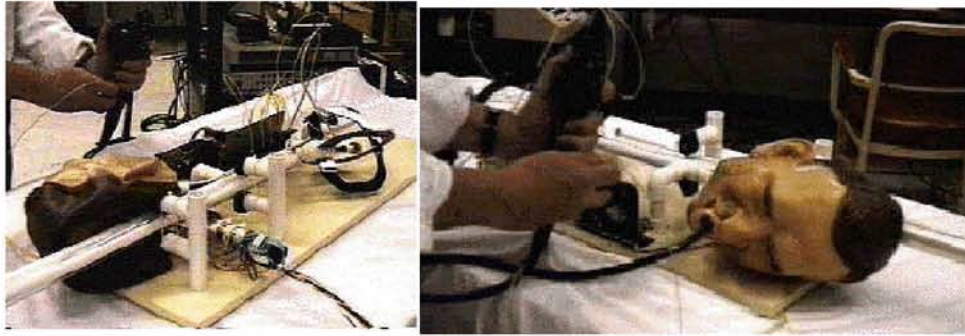
Ο τομέας που προσφέρεται περισσότερο για την ανάπτυξη των προσομοιωτών εκπαίδευσης είναι αυτός της ενδοσκοπικής χειρουργικής η οποία εφαρμόζεται κατά κόρον στις μέρες μας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι σχετικά εύκολο να αναπαρασταθούν με τη βοήθεια της εικονικής πραγματικότητας το περιορισμένο οπτικό πεδίο και η απτική ανάδραση της ενδοσκοπικής χειρουργικής, σε αντίθεση με τη δυσκολία ρεαλιστικής αναπαράστασης των τεχνικών της ανοιχτής χειρουργικής.



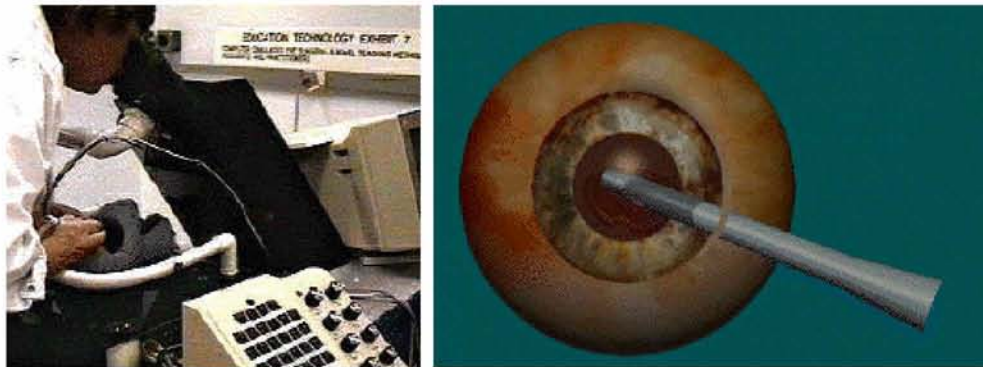
Εικόνα 19 : Προσομοιωτής ενδοσκοπικής χειρουργικής.

Οι παραπάνω εικόνες υποδηλώνουν τόσο την αξία των προσομοιώσεων στις διαδικασίες κατάρτισης, όσο και την παρούσα αδυναμία τους στα πλαίσια του ρεαλισμού. Προκειμένου να προσομοιωθεί ρεαλιστικά μία εγχείρηση, πρέπει οι διαδικασίες αλληλεπίδρασης να είναι ίδιες όπως και στην πραγματική κατάσταση. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, τότε η εικονική πραγματικότητα προσφέρεται περισσότερο σαν ένα σύστημα εκμάθησης ανατομίας παρά σαν ένα σύστημα κατάρτισης μέσω προσομοιώσεων.

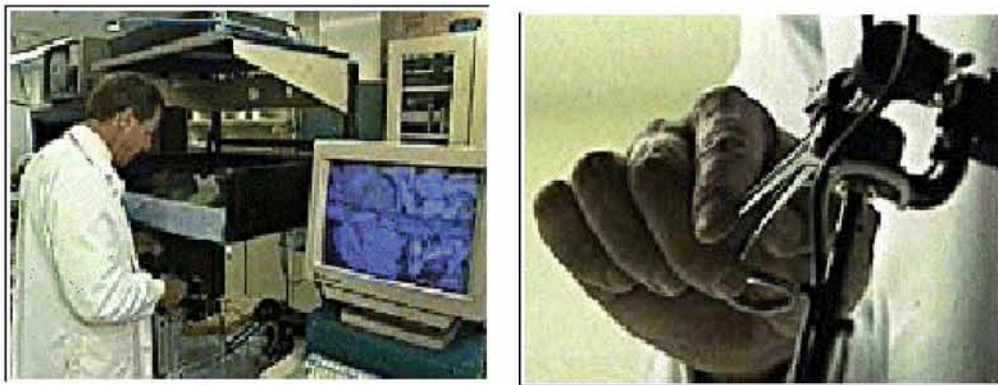
Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα προσομοιωτών κατάρτισης αποτελούν ο προσομοιωτής της Georgia Tech για ενδοσκόπηση και εγχείρηση οφθαλμού καθώς και ο προσομοιωτής βρογχοσκόπησης του Penn State University που παρατίθενται ακολούθως. Οι προσομοιωτές αυτοί προκειμένου να αυξήσουν το βαθμό αλληλεπίδρασης, συνδυάζουν την εικονική πραγματικότητα με υλικά, απτά μοντέλα. Σκοπός τους είναι η κατάρτιση των χειρουργών ως προς το χειρισμό συγκεκριμένων ιατρικών συσκευών, παρά η απόκτηση καλύτερης επίγνωσης της γενικότερης ή πιο συγκεκριμένης ανατομίας των ασθενών.



Εικόνα 20 : Ο προσομοιωτής χειρουργικής ενδοσκόπησης της Georgia Tech.

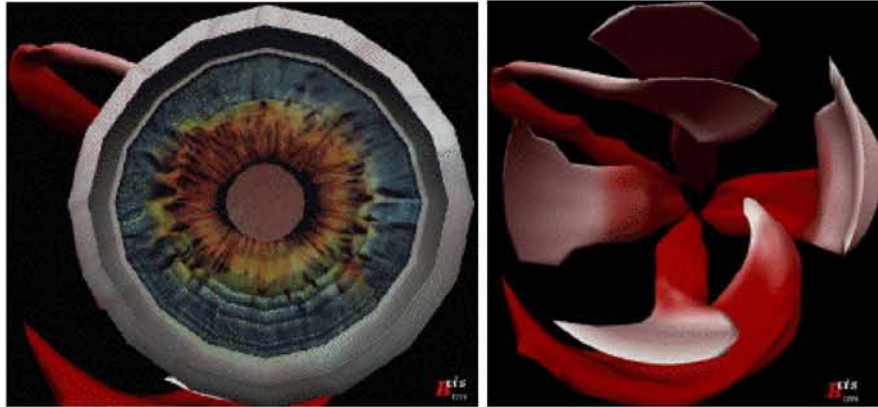


Εικόνα 21 : Ο προσομοιωτής εγχείρησης οφθαλμού της Georgia Tech.

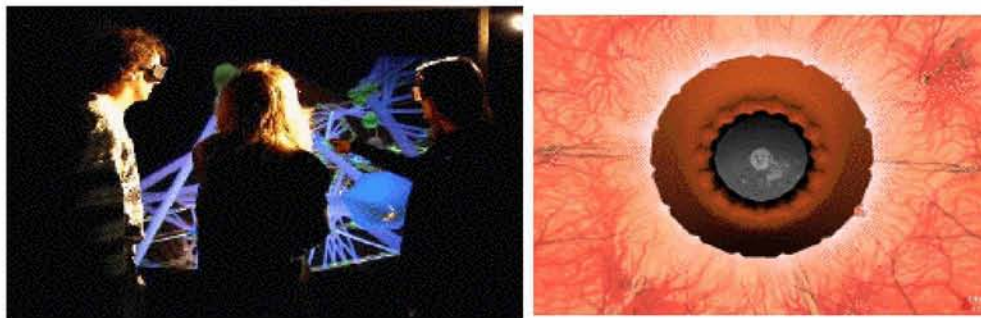


Εικόνα 22 : Ο προσομοιωτής βρογχοσκόπησης του Penn State University στο Hershey.

Στη συνέχεια απεικονίζονται τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας EVL eye και Responsive Workbench για εκμάθηση ανατομίας.



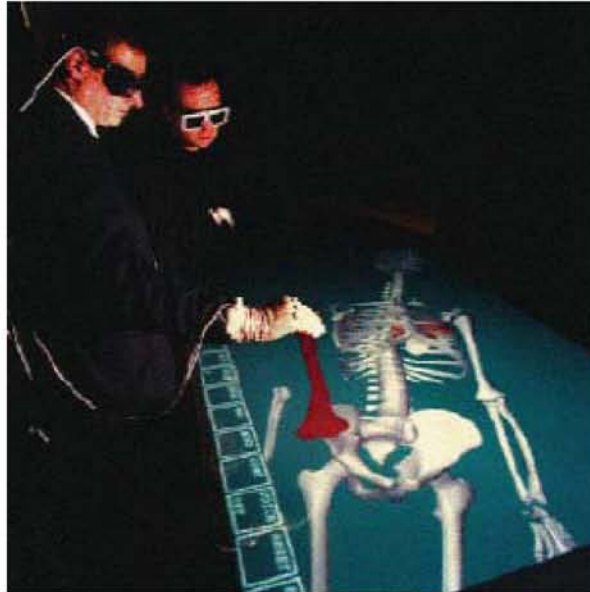
Εικόνα 23 : Ο προσομοιωτής οφθαλμού “EVL eye” του Electronic Visualisation Lab από το Πανεπιστήμιο του Illinois στο Chicago.



Εικόνα 24 : EVL eye χρησιμοποιείται από μία ομάδα που μέσω της προσομοίωσης CAVE, βλέπουν την εικόνα που απεικονίζεται στην δεξιά φωτογραφία.

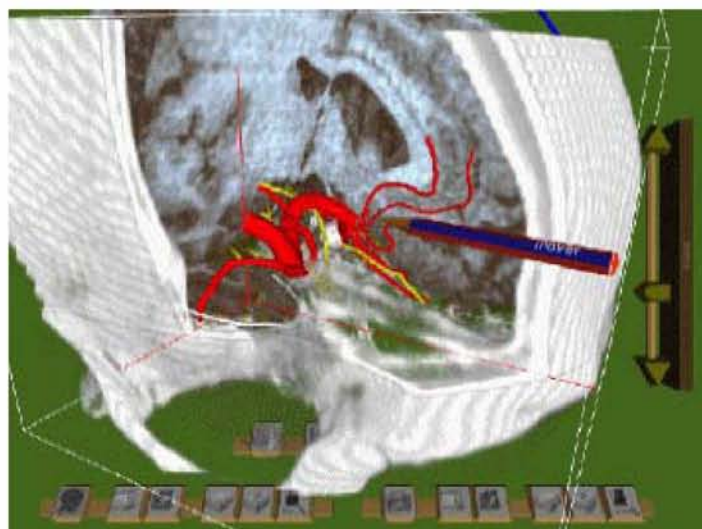
Ο προσομοιωτής EVL eye παρέχει τη δυνατότητα «εμβύθισης» στο εικονικό σκηνικό του ματιού και δεν αναπαράγει τις μεθόδους αλληλεπίδρασης μιας πραγματικής εγχείρησης οφθαλμού καθώς οι χειρουργοί δεν μπορούν στην πραγματικότητα να εισέλθουν στο εσωτερικό του ματιού. Για αυτό το λόγο αποτελεί έναν προσομοιωτή εκμάθησης ανατομίας και όχι προσομοιωτή εκπαίδευσης σαν αυτόν της Georgia Tech που παρουσιάστηκε προηγουμένως.

Ακόμα πιο ρεαλιστικό, στα πλαίσια της αλληλεπίδρασης με το εικονικό περιβάλλον, το Responsive Workbench αποτελεί έναν ακόμα προσομοιωτή για εκμάθηση της ανατομίας. Όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, έτσι και εδώ, ένα διαμοιραζόμενο σύστημα εικονικής πραγματικότητας ενισχύει τις δυνατότητες μάθησης μέσω συνεργασίας.



Εικόνα 25 : Ο προσομοιωτής Responsive Workbench του GMD στη Γερμανία.

Ο τομέας με τις μεγαλύτερες τεχνολογικές προκλήσεις για κατάρτιση μέσω προσομοίωσης είναι αυτός που ασχολείται με την απόκτηση υψηλής εξειδίκευσης σε επεμβάσεις που είναι ζωτικής σημασίας για τη ζωή, όπως για παράδειγμα επεμβάσεις στον εγκέφαλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας προσομοίωσης είναι ο προσομοιωτής του John Hopkins/KDRL για εγχειρήσεις στο κρανίο με τον οποίο γίνεται προσομοίωση της τομής της περιοχής του ανευρύσματος. Η αλληλεπίδραση γίνεται εξ' ολοκλήρου με το περιβάλλον της εικονικής πραγματικότητας.



Εικόνα 26 : Ο προσομοιωτής JHU/KDRL για χειρουργική εγκεφάλου.

3.4.2 Δημιουργία Προεγχειρητικού Πλάνου/ Προεγχειρητικός

σχεδιασμός

Ένας από τους σκοπούς του προεγχειρητικού σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός της καλύτερης προσέγγισης για την εγχείρηση πριν από τη διεξαγωγή της ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι κίνδυνοι για τον ασθενή. Τα συστήματα προεγχειρητικού σχεδιασμού έχουν τις ίδιες βασικές αρχές λειτουργίας με τα συστήματα κατάρτισης με μία όμως ουσιαστική διαφορά: οι συσκευές προεγχειρητικού σχεδιασμού χρησιμοποιούν τα πραγματικά ανατομικά δεδομένα των ασθενών.

Κατά τον προεγχειρητικό σχεδιασμό πρέπει:

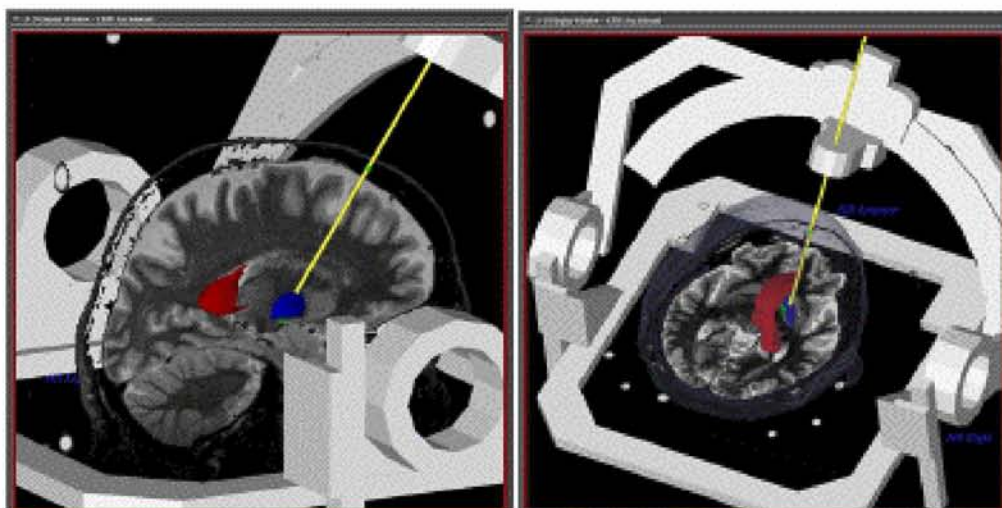
- Να χρησιμοποιούνται τα ακριβή δεδομένα των ασθενών που πρόκειται να εγχειριστούν
- Να μην χρησιμοποιούνται εξιδανικευμένα μοντέλα ή άτλαντες ή κάποια βάση ιατρικών δεδομένων
- Η διαδικασία να ολοκληρωθεί γρήγορα και με ακρίβεια
- Να αξιοποιούνται διαφορετικές πηγές δεδομένων προκειμένου να αναπαρίστανται τα αιμοφόρα αγγεία, οι ελαστικοί ιστοί, τα οστά...
- Να αξιοποιείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών

Στα συστήματα προεγχειρητικού σχεδιασμού τα δεδομένα των ασθενών συνδυάζονται με ηλεκτρονικά παραγόμενα δεδομένα προκειμένου να σχηματιστούν ακριβή τρισδιάστατα ηλεκτρονικά γραφικά που προσομοιώνουν την ανατομία του εκάστοτε ασθενούς. Οι χειρουργοί κάνοντας χρήση αυτών των τρισδιάστατων ανατομικών μοντέλων και έχοντας τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με αυτά σε πραγματικό χρόνο, είναι σε θέση να λάβουν κάποιες αποφάσεις.

Λόγου χάρη, σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού που αφορά την νευροχειρουργική εγκεφάλου, το τρισδιάστατο μοντέλο ανακατασκευάζεται μέσω εικόνων μαγνητικού τομογράφου και στη συνέχεια οι χειρουργοί έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν τον κατάλληλο τρόπο παρέμβασης, να αποτιμήσουν τους κινδύνους της εγχείρησης, να προσδιορίσουν τις φυσιολογικές και παθολογικές εξαρτήσεις, να επιλέξουν μία εγχειρητική προσέγγιση και να εντοπίσουν τυχόν αλλοιώσεις.

Η ακρίβεια είναι ζωτικής σημασίας στον προεγχειρητικό σχεδιασμό. Για παράδειγμα, κατά την προσομοίωση επέμβασης προσώπου και προκειμένου οι χειρουργοί να έχουν ένα ακριβές τρισδιάστατο μοντέλο της μετεγχειρητικής μορφολογίας και εμφάνισης του προτού πραγματοποιηθεί η εγχείρηση στην πραγματικότητα, εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι των πεπερασμένων στοιχείων σε αληθινά ογκομετρικά μοντέλα ελαστικών ιστών σε συνδυασμό με γεωμετρικά μοντέλα επιφανειών του προσώπου και κρανίων με σκοπό τη δημιουργία ρεαλιστικών μοντέλων.

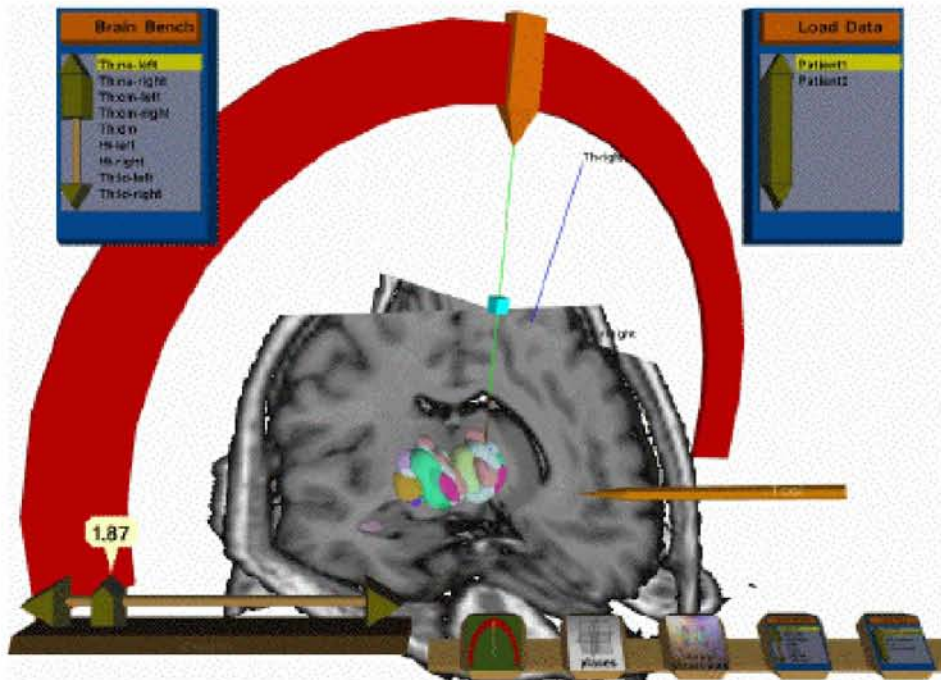
Πλέον, πολυάριθμες εταιρείες επενδύουν στην ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού και συσκευών προεγχειρητικού σχεδιασμού. Πολλές μάλιστα έχουν αναπτύξει επιτυχημένα συστήματα που διατίθενται στο εμπόριο, θέτοντας έτσι τα πρότυπα σε αυτόν τον τομέα. Ορισμένα από αυτά τα συστήματα αναφέρονται στη συνέχεια.



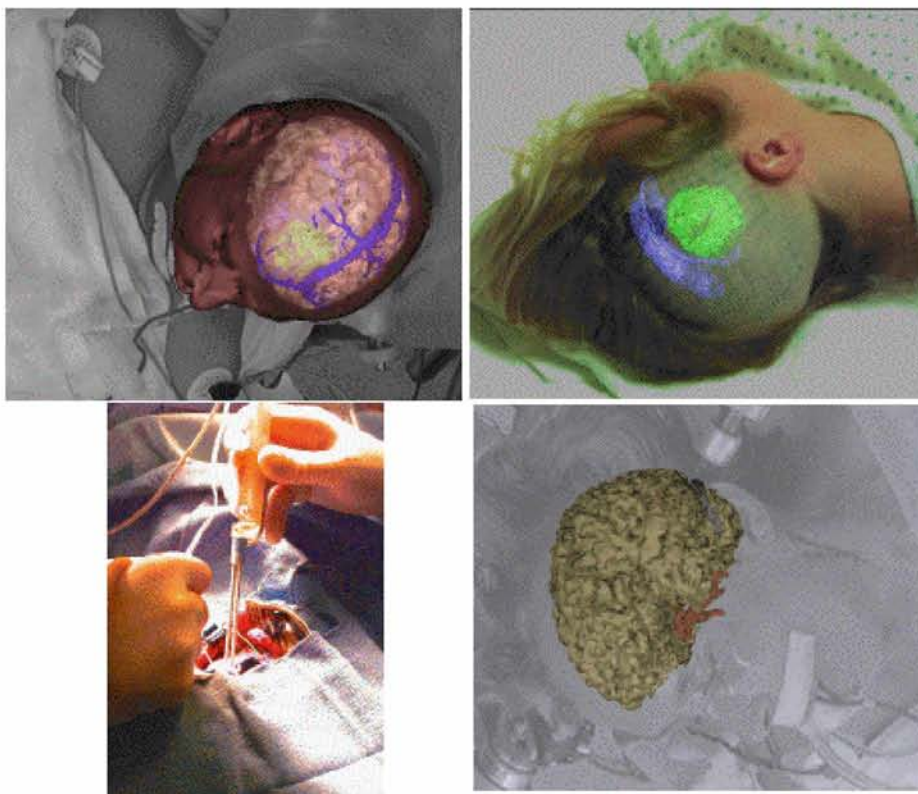
Εικόνα 27 : Το Stereoplan της Radionics – ένα αμιγές σύστημα προεγχειρητικού σχεδιασμού.

Το Stereoplan επιτρέπει στους χειρουργούς να επεξεργαστούν τα δεδομένα των ασθενών όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένα καθώς και να αξιολογήσουν τους πιθανούς τρόπους παρέμβασης.

Ομοίως με το Stereoplan και το KRDL Brainbench στοχεύει στο να διευκολύνει στον προσχεδιασμό διαδικασιών της νευροχειρουργικής.

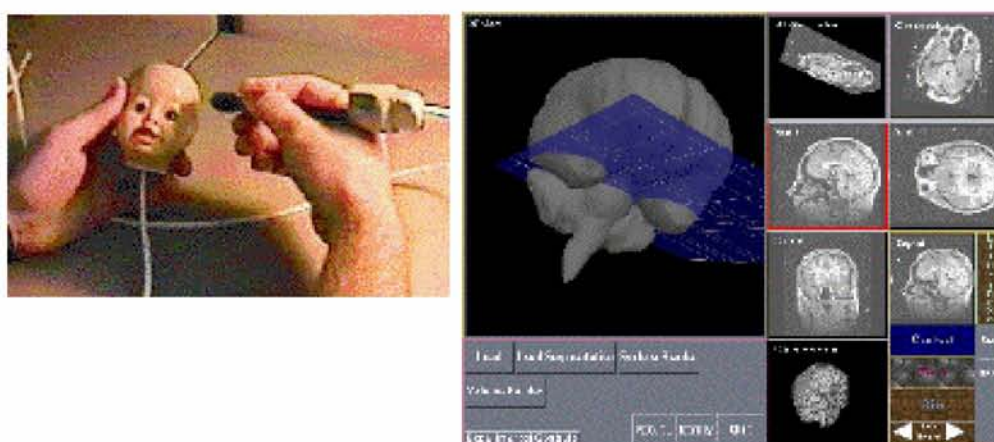


Εικόνα 28 : Το σύστημα KRDL Brainbench για νευροχειρουργικό προσχεδιασμό.

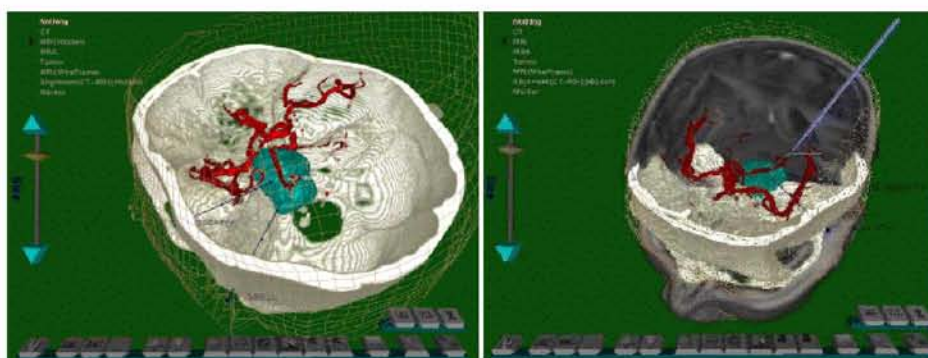


Εικόνα 29 : Συνδυασμός νευροχειρουργικού προσχεδιασμού με «επαυξημένο ρεαλισμό» από την Ιατρική Σχολή του Harvard.

Κατά τη διεξαγωγή του προεγχειρητικού πλάνου η μέθοδος αλληλεπίδρασης δεν είναι απαραίτητο να είναι ρεαλιστική. Πρωταρχικό μέλημα είναι η διεξοδική επεξεργασία των δεδομένων του ασθενή και η αποτίμηση των πιθανών παρεμβατικών διαδικασιών σε αυτά και όχι η αναπαραγωγή της πραγματικής εγχείρησης. Αυτό φαίνεται και παρακάτω στην διαπροσωπεία “Props” του Πανεπιστημίου της Virginia όπου χρησιμοποιείται ένα κεφάλι κούκλας για αλληλεπίδραση με το σύνολο δεδομένων, χωρίς βέβαια αυτό να συνεπάγεται ανάλογο τρόπο αλληλεπίδρασης του χειρουργού με το κεφάλι του ασθενή.



Εικόνα 30 : Η χρήση της διαπροσωπείας “Props” του Πανεπιστημίου της Virginia στον προεγχειρητικό σχεδιασμό.



Εικόνα 31 : KRDL VIVIAN - Το Εικονικό Εργαστήριο(Virtual Workbench) που χρησιμοποιείται στη δημιουργία πλάνου νευροχειρουργικής επέμβασης στερεών όγκων.

Βέβαια, οι προσομοιώσεις πρέπει να είναι ακριβείς. Έτσι κάποιες από τις τεχνικές που αναπτύσσονται για την διεξαγωγή πλάνων εγχειρήσεων μπορούν να

εφαρμοσθούν και για την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων των παρεμβατικών διαδικασιών, όπως στις περιπτώσεις αντικαταστάσεων οστών και πλαστικής χειρουργικής. Αυτές οι προσομοιώσεις μπορούν επίσης να διευκολύνουν τις διαδικασίες κατάρτισης και την επικοινωνία μεταξύ γιατρών και ασθενών.

3.4.3 Καθοδηγούμενη από Εικόνες Χειρουργική / Image-guided Surgery

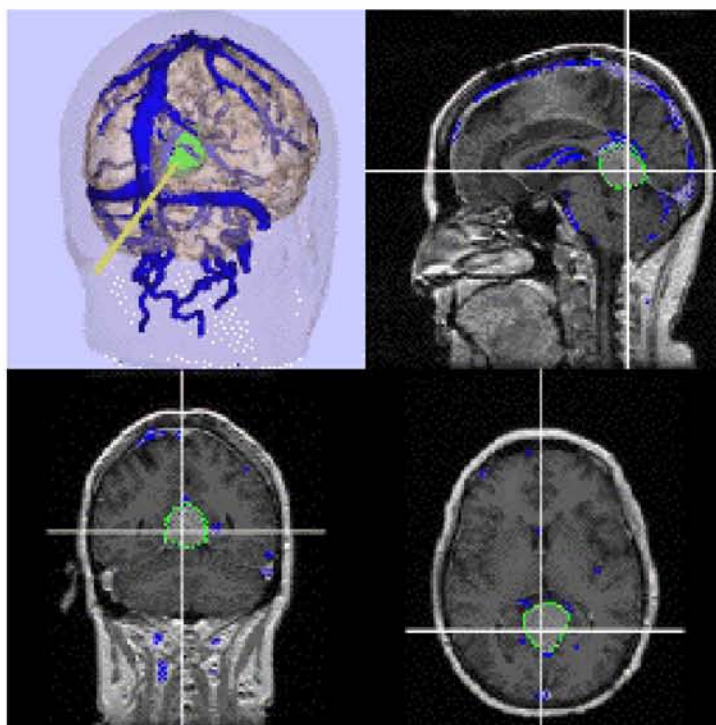
Η καθοδηγούμενη μέσω εικόνων χειρουργική στηρίζεται σε τρισδιάστατα μοντέλα τα οποία έχουν δημιουργηθεί προεγχειρητικά και έχει ως σκοπό να καθοδηγήσει τις ενέργειες του χειρουργού κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της εγχείρησης. Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης ανακατασκευής προσφέρουν πολλές δυνατότητες όπως είναι η ενίσχυση των γνώσεων ανατομίας και η οριοθέτηση της περιοχής δράσης των χειρουργών.

Στις μέρες μας, η καθοδηγούμενη μέσω εικόνων χειρουργική εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται η νευροχειρουργική, η ελάχιστα παρεμβατική θεραπεία του προστάτη, η βιοψία του στήθους, η ορθοπεδική χειρουργική και η χειρουργική της καρδιάς. Για την ακρίβεια, η τεχνική αυτή εφαρμόζεται στον τομέα της νευροχειρουργικής από τα μέσα της δεκαετίας του 90. Βασίζεται σε ένα πανίσχυρο υπολογιστικό σύστημα που υποβοηθά το έργο του χειρουργού στον ακριβή εντοπισμό μίας αλλοίωσης, στον προσχεδιασμό κάθε βήματος της διαδικασίας μέσω ηλεκτρονικού τρισδιάστατου μοντέλου και στον καθορισμό του ιδανικού τρόπου παρέμβασης στον όγκο προεγχειρητικά.

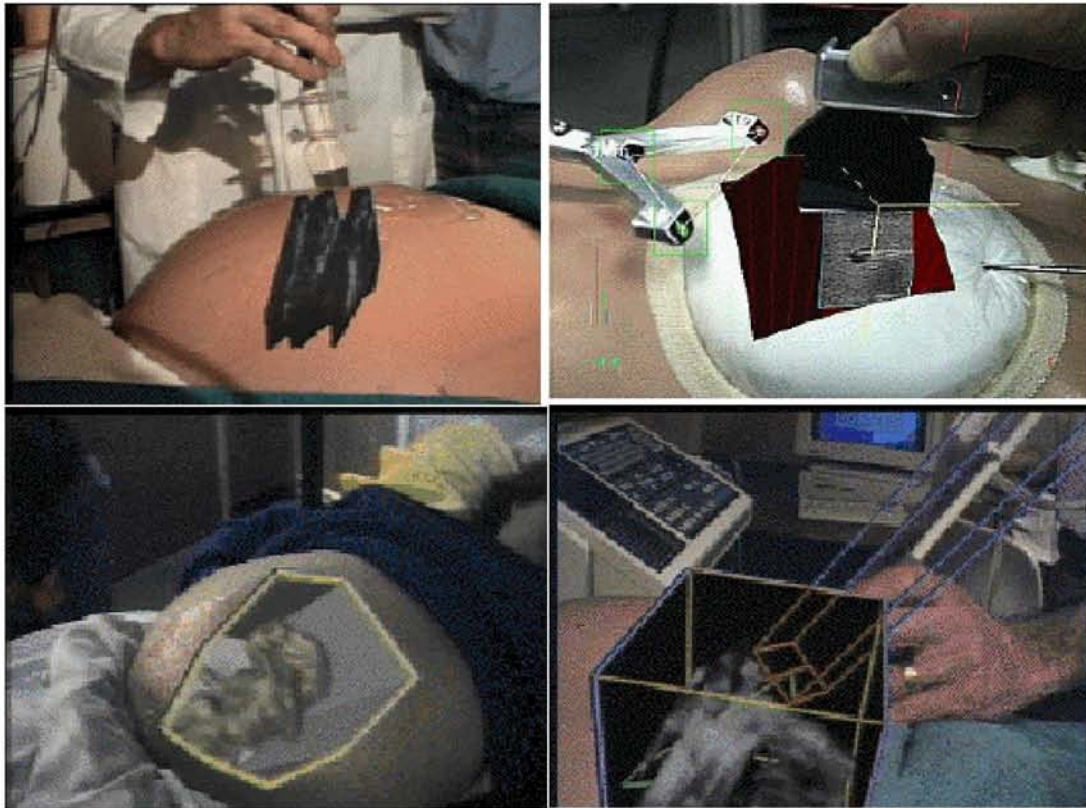
Πιο συγκεκριμένα, για την όσο το δυνατόν μικρότερη παρέμβαση σε έναν όγκο του εγκεφάλου, αρχικά κατασκευάζεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο του όγκου που αφορά τον συγκεκριμένο ασθενή στο οποίο εκτός από αυτόν αναπαρίστανται και όλα τα στοιχεία που τον περιβάλλουν καθώς και σημαντικές δομές όπως το οπτικό νεύρο και το στέλεχος του εγκεφάλου. Όλα αυτά είναι προσαρμοσμένα στις συντεταγμένες του σώματος του ασθενή. Επίσης, υπάρχει ένα σύστημα πλοήγησης των χειρουργικών εργαλείων ενδοσκόπησης το οποίο δίνει κατευθυντήριες οδηγίες στον χειρουργό για τον χειρισμό των εργαλείων του στο εσωτερικό του εγκεφάλου καταγράφοντας την κίνηση τους σε μία οθόνη με ακρίβεια 1-2 χιλιοστών. Αυτός ο υψηλός βαθμός ακρίβειας συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της καταστροφής υγιών ιστών ή κρίσιμων περιοχών. Κατά τη διάρκεια του χειρουργείου, το τρισδιάστατο

μοντέλο εμφανίζεται στην οθόνη και πάνω σε αυτό γίνεται ένθεση των εικόνων που προέρχονται εκείνη τη στιγμή από το εργαλείο ενδοσκόπησης με σκοπό να δοθούν πληροφορίες πλοήγησης.

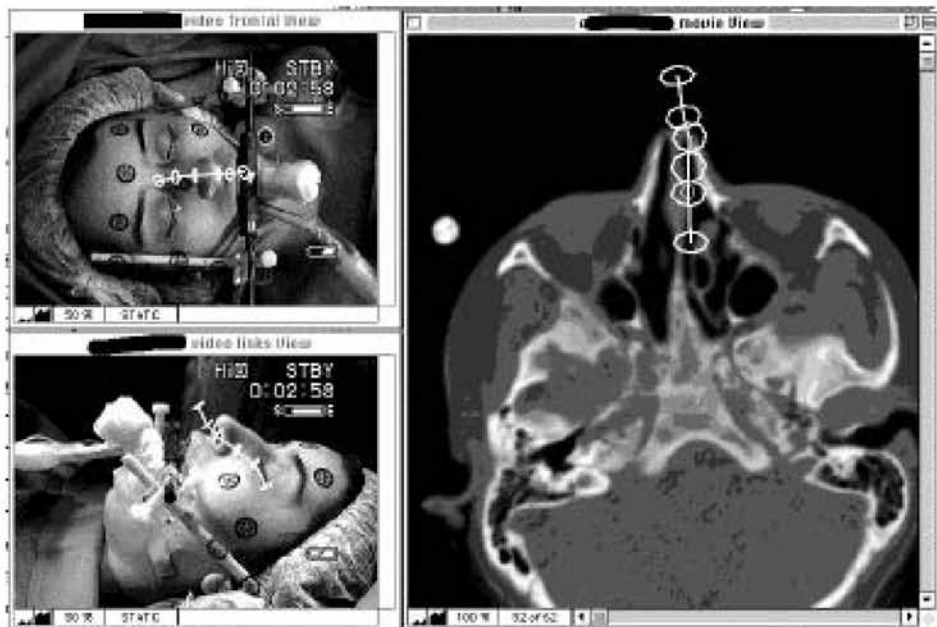
Οι εγχειρητικές τεχνικές που καθοδηγούνται από εικόνες τυγχάνουν ολοένα και μεγαλύτερης αποδοχής επειδή μειώνουν το μέγεθος της παρέμβασης και το πλήθος των επηρεασμένων περιοχών του ασθενή οδηγώντας παράλληλα σε μικρότερους χρόνους εγχείρησης και ανάρρωσης. Το κλειδί σε αυτό το επαναστατικό εγχείρημα αποτέλεσε η εξέλιξη των δυνατοτήτων των υπολογιστών και των τεχνολογιών επεξεργασίας εικόνων. Επιπλέον, τα συστήματα ανάδρασης πραγματικού χρόνου, η φασματοσκοπία, οι τεχνικές οπτικοποίησης και η τηλεμετρία συντέλεσαν σημαντικά στη διεύρυνση των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στους χειρουργούς. Επίσης, οι τεχνικές οπτικοποίησης μέσω ενδοσκοπικών συσκευών παρέχουν στους χειρουργούς μία νέα, εμπλουτισμένη όψη της πραγματικότητας, της «Επαυξημένης Πραγματικότητας – Augmented Reality» όπως συχνά αναφέρεται, με εικόνες που λαμβάνονται άμεσα κατά τη διάρκεια του χειρουργείου. Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες εφαρμογές αυτής της τεχνικής:



Εικόνα 32 : Εγχείρηση όγκου του εγκεφάλου καθοδηγούμενη από εικόνες.



Εικόνα 33 : Υλοποίησης χειρουργείου καθοδηγούμενου από εικόνες σε μορφή «Επαυξημένης Πραγματικότητας» στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καρολίνα.



Εικόνα 34 : Σύστημα καθοδηγούμενης από εικόνες εγχείρησης μύτης, λαιμού και αυτιών κατασκευασμένο από την ομάδα ARTMA του Πανεπιστημίου της Βιέννης.

Η ομάδα ARTMA του Πανεπιστημίου της Βιέννης υπήρξε πρωτοπόρος σε αυτό τον τομέα. Αναφέρουν την προσέγγισή τους, η οποία βρίσκεται εφαρμογή και στον τομέα της τηλεϊατρικής, ως Interventional Video Tomography (IVT).

Οι καθοδηγούμενες από εικόνες εγχειρήσεις είναι επίσης απαραίτητες για εγχειρήσεις υποβοηθούμενες από ρομπότ και για τη διεξαγωγή εγχειρήσεων από απόσταση-Τηλεχειρουργική.

Ένα πρόβλημα που προκύπτει στον τομέα της Τηλεχειρουργικής είναι η καθυστέρηση δικτύου μιας και η άμεση αλληλεπίδραση είναι ζωτικής σημασίας. Ακόμα και η μικρή καθυστέρηση που υπάρχει στη δορυφορική επικοινωνία είναι ανεπίτρεπτη στην εξ' αποστάσεως χειρουργική.

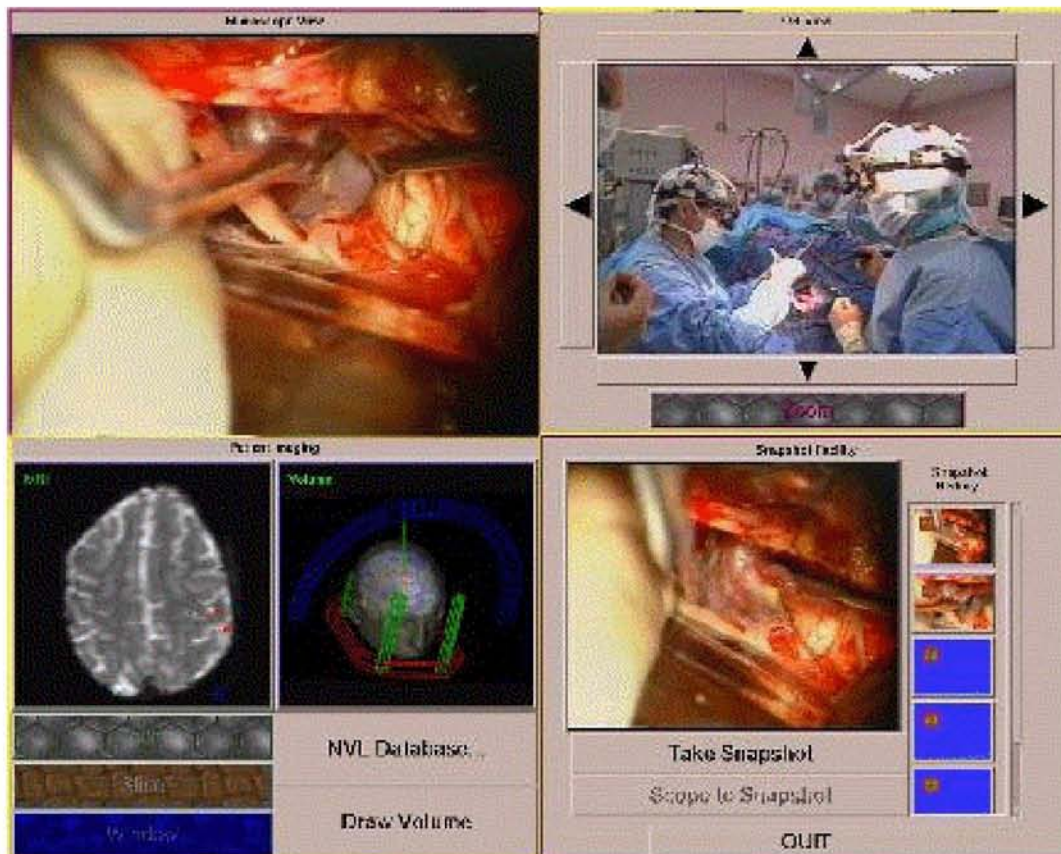
Ολοένα και περισσότεροι χειρουργοί ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν ρομπότ για τη διεξαγωγή συγκεκριμένων διαδικασιών, όπως για παράδειγμα σε εγχειρήσεις καρδιάς, αφαίρεσης ουροδόχου κύστης, εξάλειψης του προστάτη και αποκατάστασης γοφού. Η χρήση τους, εκτός από αυξημένη ακρίβεια, μπορεί να προσφέρει και σημαντική μείωση του κόστους.

Η τηλεχειρουργική ποτέ δεν πρόκειται να εξαλείψει την ανάγκη ύπαρξης ενός καταρτισμένου χειρουργού στο ίδιο δωμάτιο με τον ασθενή. Ωστόσο, επιτρέπει στους γιατρούς να επωφεληθούν από την εμπειρία χειρουργών που βρίσκονται πολύ μακριά τους. Με τη χρήση οπτικών ινών για τη μετάδοση σημάτων μέσα από ωκεανούς και συστημάτων μεγάλης ταχύτητας αποσυμπίεσης για την μετάφρασή τους στην άλλη άκρη, οι ερευνητές έχουν μειώσει το διάστημα μετάδοσης στα τρία εικοστά του δευτερολέπτου καθιστώντας έτσι μία απειροελάχιστη καθυστέρηση.

Στο βιβλίο του (Phillips et al., 2000), ένα ρομποτικό σύστημα, το KneeCAS-1, σχεδιάστηκε για να βοηθήσει στη δημιουργία ενός ακριβούς προεγχειρητικού πλάνου και να βελτιώσει την υλοποίηση και το αποτέλεσμα των διαδικασιών οστεοτομής γύρω από το γόνατο κάνοντας χρήση ορισμένων τεχνολογιών. Σε αυτές συγκαταλέγονται η προσαρμογή ενός γενικευμένου τρισδιάστατου μοντέλου του οστού στα διαθέσιμα δεδομένα και ο υπολογισμός με τη βοήθεια του μοντέλου, της διατομής στα επίπεδα που θα υποστούν τομή προκειμένου να δημιουργηθεί το δισδιάστατο περίγραμμα του οστού στο κάθε επίπεδο. Τα πλεονεκτήματα της χειρουργικής από απόσταση είναι ο ελαττωμένος αριθμός των παρόντων χειρουργών και ο μικρότερος κίνδυνος έκθεσης σε μολύνσεις και ασθένειες. Αν, για παράδειγμα, ο ασθενής βρίσκεται σε κρίσιμη κατάσταση και πρέπει να χειρουργηθεί άμεσα, τότε

αυτό θα γίνει ακόμα και αν ο ιθύνων γιατρός βρίσκεται πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον ασθενή. Επιπρόσθετα, οι ασθενείς με μολυσματικές ασθένειες μπορούν να υποβληθούν σε εγχειρήσεις χωρίς την παρουσία χειρουργών, μειώνοντας κατά αυτό τον τρόπο τους κινδύνους για τους χειρουργούς.

Πολλοί ερευνητές είναι αισιόδοξοι ότι θα υπάρξουν και άλλες εξίσου θεαματικές εξελίξεις στη ρομποτική χειρουργική μέσα στα επόμενα 10 με 20 χρόνια. Το κλειδί για αυτές τις εξελίξεις θα αποτελέσει η «συγχώνευση πληροφοριών – data fusion» χάρη στην οποία θα συγχωνευτούν τα ρομποτικά συστήματα χειρουργικής με τις τεχνολογίες διάγνωσης, όπως με τον αξονικό και μαγνητικό τομογράφο. Προσδοκείται ότι οι «τηλε-χειρουργοί» θα είναι σε θέση να υλοποιούν την εγχείρηση ενώ παρακολουθούν τις διαγνωστικές εικόνες της ανατομίας του ασθενή σε πραγματικό χρόνο, και επίσης τα εργαλεία τους θα διαθέτουν τη δυνατότητα ανάδρασης στην αφή, ουσιαστικά μία υπολογιστική αίσθηση της αφής, έτσι ώστε οι χειρουργοί να μπορούν να έχουν «αίσθηση» του ιστού τον οποίο χειρουργούν. Ίσως αυτή η συγχώνευση πληροφοριών να οδηγήσει τελικά σε ρομποτικά συστήματα τα οποία να μπορούν να κάνουν προεγχειρητική διάγνωση και σχεδιασμό.



Εικόνα 35 : Εξ' αποστάσεως χειρουργική στο Πανεπιστήμιο της Virginia.

Οι επάνω δύο εικόνες είναι ζωντανό βίντεο προερχόμενο από έναν ATM σύνδεσμο και παρουσιάζουν την εικόνα που προέρχεται μέσω ενός χειρουργικού μικροσκοπίου και μία όψη του δωματίου. Ο απομακρυσμένος χειρουργός μπορεί να μετατοπίσει ή να εστιάσει με την κάμερα δωματίου και μπορεί να μετακινήσει την εικόνα που δίνει το μικροσκόπιο κατά 6 βαθμούς ελευθερίας. Στις κάτω εικόνες παρουσιάζονται αντίστοιχα οι εικόνες που αποκτήθηκαν προεγχειρητικά μαζί με στρωματώσεις που υποδεικνύουν λειτουργικές περιοχές, ο ογκομετρικός προσδιορισμός του εγχειρητικού πλάνου και τέλος, ένα αρχείο φωτογραφιών οι οποίες λήφθηκαν κατά τη διάρκεια της εγχείρησης.

3.5 Εκπαίδευση

Η εικονική πραγματικότητα αποτελεί εξαιρετική πηγή εκμάθησης των ανατομικών δομών. Είναι γνωστό ότι ένα από τα κυριότερα προβλήματα που προκύπτει κατά την εκπαίδευση των γιατρών είναι το να τους αποδοθεί ρεαλιστικά το σύνολο των συσχετίσεων μεταξύ των ανατομικών δομών στις τρεις διαστάσεις. Με την αρωγή της εικονικής πραγματικότητας, ο εκπαιδευόμενος μπορεί επανειλημμένα να εξερευνήσει τις περιοχές ενδιαφέροντος, να τις απομονώσει, να τις συνενώσει, ακόμα και να τις δει από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Κάτι τέτοιο είναι προφανώς ανέφικτο να γίνει σε έναν εν ζωή ασθενή και οικονομικά ασύμφορο να γίνει σε πτώματα, τα οποία ούτως ή άλλως έχουν ήδη χάσει αρκετά σημαντικά χαρακτηριστικά των ζωντανών ιστών.

Μία ακόμη συμβολή της εικονικής πραγματικότητας στην ιατρική εκπαίδευση αφορά στην ευκολία με την οποία μπορούν να συνδυαστούν παρουσιάσεις, εργασίες και εξερευνήσεις. Λόγου χάρη, μία ηχογραφημένη παρουσίαση μιας συγκεκριμένης δομής, ενδεχομένως συνοδευόμενη και από τα σχόλια ενός ειδήμονα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει τη γενική εικόνα αυτής. Στη συνέχεια, ο μαθητευόμενος μπορεί να εξερευνήσει τη δομή αυτή ελεύθερα, και ίσως μετέπειτα να του ανατεθεί σχετική εργασία για τον εντοπισμό συγκεκριμένων περιοχών σε αυτή.

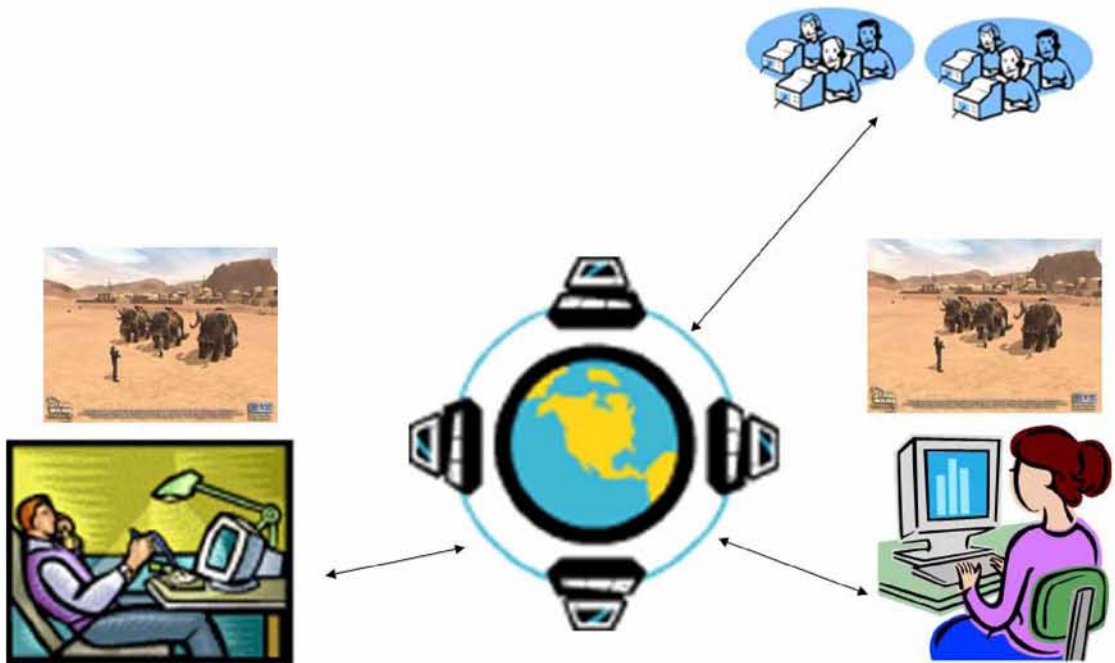
Ένα εικονικό εκπαιδευσης είναι το Anatomic VisualizeR (Rigamonti et al., 2000), με το οποίο σχεδιάζεται ένα εικονικό δωμάτιο ανατομίας που περιέχει ένα μεγάλο εύρος εικονικών αλληλεπιδραστικών εργαλείων που επιτρέπουν στους χρήστες να εκτελούν έναν αριθμό εργασιών όπως είναι η αναπαράσταση, η τροποποίηση, ο υπολογισμός μεγεθών και αποστάσεων, η ταυτοποίηση δομών καθώς και ο σχεδιασμός γραμμών και απλών αντικειμένων. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μια υπηρεσία αναζήτησης για να αποκτήσουν πρόσβαση σε επιπρόσθετες πηγές πληροφόρησης. Ακόμη, τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται από το σύστημα ανταποκρίνονται σε πραγματικά ανατομικά δεδομένα, δίνοντας έτσι περισσότερο ακριβή ανατομικά μοντέλα σε σχέση με τα συμβατικά ανατομικά εργαλεία όπως είναι τα πλαστικά μοντέλα.

Παρόμοια εικονικά εργαλεία εκπαίδευσης μπορούν να σχεδιαστούν για να συνδυάσουν τη γνώση της ανατομίας με αποτελεσματικές δραστηριότητες μάθησης. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ένα παιχνίδι για τον έλεγχο γνώσεων

γύρω από τις σχετιζόμενες ανατομικές δομές (Dev, 1999). Σε αυτό, οι φοιτητές καλούνται να τοποθετήσουν μια τομή του εικονικού σώματος στην κατάλληλη θέση και να προσδιορίσουν καθώς και επονομάσουν τις βασικές δομές που είναι εμφανίσιμες σε αυτό το τμήμα. Επιπρόσθετα, δημιουργείται το περίγραμμα μίας διατομής του σώματος χωρίς να εμφανίζονται οι εσωτερικές του δομές προκειμένου οι φοιτητές να τις τοποθετήσουν. Στην περίπτωση που οι φοιτητές δεν είναι απόλυτα σίγουροι για τη σωστή τοποθέτηση των τομών, μπορούν να ζητήσουν από το σύστημα επιπρόσθετα στοιχεία μέχρι να σιγουρευτούν. Το παιχνίδι αυτό αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην διάκριση των ατόμων με διαφορετικά επίπεδα επίγνωσης της ανατομίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ



4.1 Εισαγωγή

Οι πρόσφατες βελτιώσεις στο εύρος ζώνης δικτύων και τα γραφικά στους επιτραπέζιους υπολογιστές, διέγειραν το ενδιαφέρον για τα κατανεμημένα εικονικά περιβάλλοντα προσομοίωσης τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ πολλαπλών χρηστών.

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά κατανεμημένα συστήματα, τα δικτυακά εικονικά περιβάλλοντα απαιτούν επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ πολλαπλών μορφών μέσων, τα οποία πρέπει να συγχρονιστούν πριν παρουσιαστούν στο χρήστη. Η λειτουργία των δικτυακών εικονικών περιβαλλόντων σε πραγματικό χρόνο σημαίνει ότι είναι ευαίσθητα σε αλλαγές στα επίπεδα της ποιότητας υπηρεσίας (*QoS - Quality of Service*) που παρέχεται από το υποκείμενο δίκτυο υπολογιστών. Επίσης, αντίθετα από τις streaming multimedia εφαρμογές, κάθε agent σε ένα δικτυακό εικονικό περιβάλλον διατηρεί ένα σημαντικό ποσό πληροφοριών για την κατάσταση των οντοτήτων μέσα στο περιβάλλον. Συγκεκριμένες αλλαγές σε αυτή την κατάσταση, όπως η εισαγωγή ή η απομάκρυνση οντοτήτων, απαιτούν αξιόπιστες μεταδόσεις δεδομένων, ενώ άλλες, όπως η περιοδική ενημέρωση της κατάστασης μιας οντότητας, μπορούν να αντιμετωπιστούν περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως ένα πλαίσιο (frame) ήχου ή βίντεο.

4.2 Αρχές λειτουργίας διαδικτυακών εικονικών περιβαλλόντων

Οι χρήστες στους σταθμούς εργασίας, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με ένα δίκτυο ευρείας περιοχής, χρησιμοποιούν ένα πρόγραμμα δημιουργίας διαπροσωπείας τρισδιάστατων αλληλεπιδραστικών γραφικών. Η διαπροσωπεία αυτή προσομοιώνει την εμπειρία εμπύθισης σε ένα εικονικό περιβάλλον μέσα από το σχηματισμό εικόνων του περιβάλλοντος τις οποίες αντιλαμβάνεται ο χρήστης από τη δική του προσομοιωμένη οπτική γωνία. Κάθε χρήστης αντιπροσωπεύεται στο διαμοιραζόμενο εικονικό περιβάλλον από μία οντότητα (avatar). Η κατάσταση αυτής της οντότητας ελέγχεται από τα δεδομένα εισόδου του χρήστη και διατηρείται ενημερωμένη από τους συμμετέχοντες σταθμούς εργασίας μέσω μηνυμάτων. Με αυτό τον τρόπο, τα συστήματα αυτά υποστηρίζουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ πολλαπλών χρηστών σε ένα διαμοιραζόμενο τρισδιάστατο διαδικτυακό εικονικό περιβάλλον. Οι εφαρμογές για αυτή την τεχνολογία περιλαμβάνουν κατανεμημένες προσομοιώσεις εκπαίδευσης,

σχεδίαση μέσω συνεργασίας, εικονικές συναντήσεις και παιχνίδια πολλαπλών παικτών.

Μια σημαντική πρόκληση στην προσομοίωση πολλαπλών χρηστών, είναι η διατήρηση της συνοχής της κατάστασής τους ανάμεσα σε ένα μεγάλο πλήθος σταθμών εργασίας που είναι διανεμημένοι σε ένα δίκτυο ευρείας περιοχής. Κάθε φορά που μία οντότητα αλλάζει κατάσταση (π.χ. κινείται) ή προκαλεί μία τροποποίηση στο διαμοιραζόμενο περιβάλλον, η κατάλληλη ενημέρωση πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε σταθμό εργασίας που συμμετέχει στο διαμοιραζόμενο εικονικό περιβάλλον. Για ένα δεδομένο σύνολο χαρακτηριστικών δικτύου, η σχεδίαση του πολυχρηστικού εικονικού περιβάλλοντος, μπορεί να έχει δραματική επίδραση στη λειτουργία μετάδοσης των μηνυμάτων και στις δυνατότητες του δικτύου. Ορισμένοι σχεδιασμοί συστημάτων μπορούν να περιλαμβάνουν πολλούς χρήστες παράλληλα, ενώ άλλοι μπορεί να οδηγούν σε έναν κορεσμένο αριθμό σταθμών εργασίας ή σύνδεσης δικτύου με σχετικά λίγους χρήστες. Επιπλέον, ο σχεδιασμός ενός συστήματος που είναι κατάλληλος για ένα σύνολο χαρακτηριστικών δικτύου, μπορεί να είναι ακατάλληλος για ένα άλλο.

Πολλά συστήματα έχουν αναπτυχθεί για πολυχρηστική αλληλεπίδραση σε κατανεμημένα εικονικά περιβάλλοντα. Γενικά, αυτά τα συστήματα αντιπροσωπεύουν ένα εικονικό περιβάλλον σαν ένα σύνολο ανεξάρτητων οντοτήτων καθεμία από τις οποίες χαρακτηρίζεται από μία γεωμετρική περιγραφή και μία συμπεριφορά. Κάποιες οντότητες είναι στατικές (π.χ. κτίρια), ενώ άλλες έχουν δυναμική συμπεριφορά η οποία μπορεί είτε να είναι αυτόνομη (π.χ. ρομπότ) ή ελεγχόμενη από το χρήστη μέσω συσκευών εισόδου (π.χ. οχήματα). Η κατανεμημένη αλληλεπίδραση πραγματοποιείται όταν πολλές οντότητες αλληλεπιδρούν σε ένα διαμοιραζόμενο εικονικό περιβάλλον μέσα από τη μεταξύ τους αποστολή μηνυμάτων με σκοπό να γνωστοποιήσουν τις αλλαγές στη δική τους γεωμετρία ή συμπεριφορά, τις μετατροπές στο διαμοιραζόμενο περιβάλλον και τις επιδράσεις στις δικές τους οντότητες.

Την κάθε οντότητα διαχειρίζεται ένας σταθμός εργασίας που συμμετέχει στο κατανεμημένο σύστημα. Ο σταθμός εργασίας μπορεί να δημιουργεί αντιστοιχίες στις εισόδους του χρήστη για να ελέγξει συγκεκριμένες οντότητες και μπορεί να περιλαμβάνει δυνατότητες οπτικοποίησης μέσω των οποίων το εικονικό περιβάλλον αναπαριστάται στην οθόνη του χρήστη υπό την οπτική γωνία ενός ή περισσότερων

οντοτήτων. Παράλληλα με τη διαχείριση των δικών του οντοτήτων (τοπικές οντότητες), ο κάθε σταθμός εργασίας διατηρεί αντίγραφα για μερικές οντότητες τις οποίες διαχειρίζονται άλλοι σταθμοί εργασίας (απομακρυσμένες οντότητες). Τα αντίγραφα περιλαμβάνουν (συχνά απλοποιημένες) αναπαραστάσεις για τη γεωμετρία και τη συμπεριφορά των οντοτήτων. Κάθε φορά που ένας σταθμός εργασίας δέχεται ένα μήνυμα ενημέρωσης από μία απομακρυσμένη οντότητα, τότε ενημερώνει τα μοντέλα γεωμετρίας και συμπεριφοράς για το τοπικό αντίγραφο της οντότητας. Κατά το χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ των ενημερώσεων, η συμπεριφορά των αντιγράφων προσομοιώνεται από κάθε σταθμό εργασίας.

4.3 Χαρακτηριστικά δικτύων

Η επικοινωνία μεταξύ των διάφορων σταθμών εργασίας (workstations) που συμμετέχουν σε ένα πολυχρηστικό εικονικό περιβάλλον, μπορεί να πραγματοποιηθεί κάνοντας χρήση ποικίλων δικτύων τα οποία διακρίνονται από διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Τα χαρακτηριστικά αυτά σύμφωνα με τα οποία γίνεται η κατηγοριοποίηση των δικτύων είναι τα ακόλουθα:

- Ο τρόπος μεταγωγής των δεδομένων : μπορεί να είναι προσανατολισμένος στη σύνδεση ή όχι (connection-oriented ή connectionless),
- Ο τύπος μετάδοσης των δεδομένων: μπορεί να είναι unicast ή multicast,
- Την καθυστέρηση μετάδοσης των μηνυμάτων (message latency), και
- Το εύρος ζώνης των δεδομένων (data bandwidth).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με δίκτυα ευρείας περιοχής των ακόλουθων τύπων:

- 1) Σύνδεση ένα-προς-ένα : Δύο σταθμοί εργασίας μπορούν να στείλουν και να λάβουν δεδομένα μέσω μίας connection-oriented σύνδεσης. Ένα πρωτογενές παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι ένα modem το οποίο χρησιμοποιεί μία απλή τηλεφωνική γραμμή. Μία σύνδεση μέσω modem υποστηρίζει τη μετάδοση δεδομένων διπλής κατεύθυνσης, προσανατολισμένης στη σύνδεση και unicast, με σχετικά μικρή καθυστέρηση και μικρό εύρος ζώνης (14.4 Kb/s ή 28.8 Kb/s).
- 2) Unicast : Ένας τυχαίος αριθμός σταθμών εργασίας είναι λογικά συνδεδεμένοι σε ένα δίκτυο το οποίο υποστηρίζει τη μετάδοση connectionless, unicast

μηνυμάτων. Το Διαδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα unicast δίκτυο ευρείας ζώνης.

- 3) Multicast : Ένας τυχαίος αριθμός σταθμών εργασίας επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω connectionless, multicast μηνυμάτων, καθώς και μέσω connectionless, unicast μηνυμάτων.

Οι διάφοροι τύποι δικτύων μπορούν να συνδυαστούν προκειμένου να δημιουργηθούν ετερογενή δίκτυα. Για παράδειγμα, είναι δυνατή η χρήση των modems για συνδέσεις μεταξύ πελατών και εξυπηρετητών, ενόσω οι εξυπηρετητές επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Ο κάθε συνδυασμός δικτύων χαρακτηρίζεται από ένα μοναδικό σύνολο τρόπων μετάδοσης και χαρακτηριστικά λειτουργίας τα οποία μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στη σχεδίαση των συστημάτων για πολυχρηστικά εικονικά περιβάλλοντα.

4.4 Τοπολογίες Δικτύων

Οι αρχιτεκτονικές στις οποίες στηρίζονται τα διαδικτυακά εικονικά περιβάλλοντα ακολουθούν δύο βασικές προσεγγίσεις: την αρχιτεκτονική client-server (πελάτη-εξυπηρετητή) και την αρχιτεκτονική peer-to-peer (μεταξύ ομηλίκων). Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα συνδυασμού των δύο παραπάνω αρχιτεκτονικών με στόχο τη δημιουργία υβριδικών τοπολογιών.

Στην client-server αρχιτεκτονική υπάρχει ένας κεντρικός υπολογιστής, ο server, και ένα σύνολο από άλλους υπολογιστές που είναι συνδεδεμένοι σε αυτόν, οι clients. Σε κάθε κίνηση των clients, ο server αποθηκεύει τις αλλαγές που πραγματοποιούνται σε διάφορες δομές δεδομένων στην κεντρική βάση δεδομένων και αναλαμβάνει να στείλει το ανάλογο αποτέλεσμα που προκάλεσε η εκάστοτε κίνηση πίσω στον κάθε client. Από τη μεριά τους οι clients είναι επιφορτισμένοι με το να οπτικοποιήσουν το περιβάλλον και να διαχειριστούν τα δεδομένα εισόδου. Το μοντέλο αυτό είναι κεντρικοποιημένο ως προς τον server γιατί από αυτόν τον υπολογιστή εκτελείται η όλη διαδικασία ερμηνείας των δεδομένων που προέρχονται από τα διάφορα περιβάλλοντα των clients.

Σε αντίθεση με τον τρόπο λειτουργίας αυτού του μοντέλου, στο peer-to-peer μοντέλο, το οποίο είναι καταναμημένο, ο καθένας από τους διασυνδεδεμένους υπολογιστές διατηρεί το δικό του πλήρες αντίγραφο της απαραίτητης βάσης δεδομένων. Κάθε φορά που πραγματοποιούνται αλλαγές από τη πλευρά του καθενός

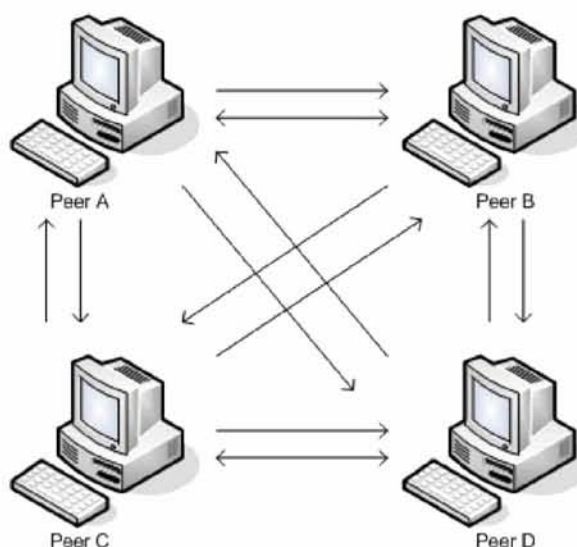
υπολογιστή, αποστέλλονται προς όλους τους υπόλοιπους συμμετέχοντες υπολογιστές δεδομένα ενημέρωσης, προκειμένου να ενημερώσουν τις δικές τους βάσεις δεδομένων.

4.5.1 Τοπολογίες Peer-to-Peer

Κατά τη σχεδίαση ενός peer-to-peer συστήματος, ένα πλήθος σταθμών εργασίας επικοινωνεί στο δίκτυο στο οποίο κάθε peer μπορεί να στείλει μηνύματα σε οποιονδήποτε άλλο peer.

Υπάρχουν δύο τύποι μοντέλων επικοινωνίας με την χρήση peer-to-peer τοπολογιών, ανάλογα με τον τύπο σύνδεσης:

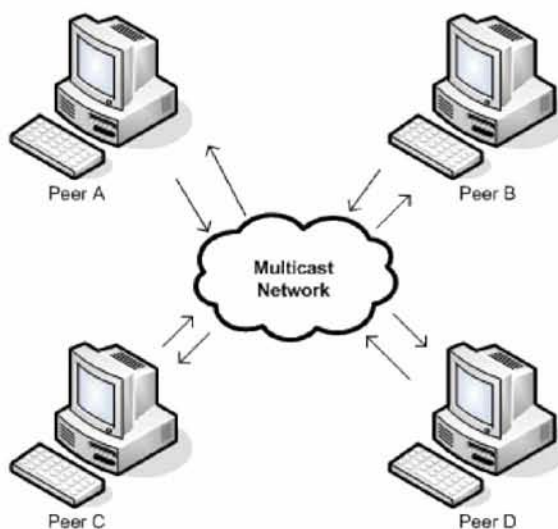
Εάν το διαθέσιμο δίκτυο υποστηρίζει μόνο τη μετάδοση unicast μηνυμάτων, τότε ο κάθε peer στέλνει ένα unicast μήνυμα προς όλους τους άλλους peers όταν η εκάστοτε οντότητα αναθεωρείται. Σε αυτό το είδος τοπολογίας, το πλήθος των μηνυμάτων που αποστέλλονται αυξάνεται με ρυθμό $O(N^2)$, καθώς ένας peer πρέπει να στείλει μήνυμα ενημέρωσης προς όλους τους υπόλοιπους. Ωστόσο, στην περίπτωση εκείνη όπου ορισμένοι peers δεν απαιτούν να ενημερώνονται για τις όποιες αναθεωρήσεις, τότε ο ρυθμός μετάδοσης των μηνυμάτων μεταβάλλεται σε $O(N*P)$ για N μηνύματα και P peers. Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται φίλτρα με τα οποία τα μηνύματα ενημέρωσης και συγχρονισμού δεν αποστέλλονται σε όλους τους peers για κάθε ενημέρωση της κατάστασης των εικονικών περιβαλλόντων.



Σχήμα 4 : Peer-to-peer τοπολογία με unicast δίκτυο.

Εάν το διαθέσιμο δίκτυο υποστηρίζει τη μετάδοση multicast μηνυμάτων, οι peers μπορούν να αποστείλουν με μία μόνο μετάδοση ένα multicast μήνυμα σε ένα υποσύνολο των peers (Σχήμα 5). Η ιδέα πάνω στην οποία στηρίζεται η παραπάνω υλοποίηση είναι η εξής: οι οντότητες που έχουν παρόμοιες ιδιότητες ομαδοποιούνται στο ίδιο κελί, και ένα σύνολο κελιών αντιπροσωπεύεται από ένα multicast group. Για κάθε αλλαγή (update) που συμβαίνει, ο peer αποστέλλει ένα μήνυμα στο multicast group που αντιπροσωπεύει το κελί στο οποίο πραγματοποιήθηκε η αλλαγή. Παράλληλα, όλοι οι peers «ακούνε» τα multicast group που αντιπροσωπεύουν κελιά εντός συγκεκριμένου οπτικού πεδίου από τα κελιά που περιέχουν τις δικές τους οντότητες. Με αυτή την προσέγγιση, οι peers δεν διατηρούν εκτενείς λίστες των οντοτήτων που βρίσκονται στα διάφορα κελιά, αλλά αντιθέτως συμμετέχουν και εγκαταλείπουν τα multicast group καθώς οι οντότητές τους μετακινούνται μεταξύ των διάφορων κελιών.

Το φιλτράρισμα των μηνυμάτων γίνεται από το δίκτυο και όχι από τους peers. Παρότι οι peers δεν ανταλλάσσουν περιοδικά μηνύματα για να γνωστοποιήσουν την μετακίνηση των οντοτήτων τους μεταξύ των κελιών, ωστόσο η συμμετοχή και απομάκρυνσή τους από τα διάφορα multicast group, προκαλεί τη δημιουργία μηνυμάτων από το multicast δίκτυο για την ενημέρωση των πινάκων δρομολόγησης. Από τη στιγμή που ο αριθμός των multicast μελών είναι μεταβαλλόμενος, αυτό συνεπάγεται ένα ρυθμό αύξησης της μετάδοσης των μηνυμάτων σε $O(N)$, κάτι που αποτελεί σημαντική βελτίωση σε σχέση με την προηγούμενη τοπολογία.



Σχήμα 5 : Peer-to-peer τοπολογία με multicast δίκτυο.

Το βασικό πλεονέκτημα ενός peer-to-peer μοντέλου είναι ότι δεν υπάρχει κεντρικό σημείο αστοχίας (central point of failure). Ωστόσο, η επεκτασιμότητα ενός peer-to-peer συστήματος είναι μάλλον περιορισμένη, αφού όταν, για παράδειγμα, γίνει μια αλλαγή στην κατάσταση ενός αντικειμένου, ο υπεύθυνος κόμβος θα πρέπει να στείλει ένα μήνυμα για τον συγχρονισμό της κατάστασης του αντικειμένου σε όλους τους άλλους κόμβους (peers). Το μειονέκτημα εδώ είναι ότι η λύση αυτή απαιτεί από τους χρήστες αρκετή υπολογιστική ισχύ.

4.5.2 Τοπολογίες Πελάτη – Εξυπηρετητή (Client – Server)

Ένα client-server μοντέλο βασίζεται σε ένα σύνολο από κόμβους (clients) που μπορούν να επικοινωνήσουν, πάνω από ένα δίκτυο, μεταξύ τους μέσω ενός (ή περισσότερων) κόμβων (servers). Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό οι clients δεν ανταλλάσσουν απευθείας μηνύματα μεταξύ τους, αλλά στέλνουν τα μηνύματα αυτά στους servers, οι οποίοι τα προωθούν στους υπόλοιπους clients (και servers, αν υπάρχουν) που συμμετέχουν στο ίδιο δικτυακό εικονικό περιβάλλον.

Το βασικό πλεονέκτημα του client-server μοντέλου είναι το ότι οι clients δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σχετικά με την υπολογιστική ισχύ του υπολογιστικού συστήματος, επειδή ο server (ή οι servers) είναι υπεύθυνοι για την εκτέλεση κάποιων λειτουργιών, που στην περίπτωση ενός peer-to-peer μοντέλου τις εκτελούσε κάθε peer. Επιπλέον η χρήση των servers διευκολύνει την διαχείριση των χρηστών και την εφαρμογή μιας πολιτικής για authentication control. Επίσης η χρήση των servers κάνει εύκολη την παροχή νέων τρισδιάστατων κόσμων στους χρήστες.

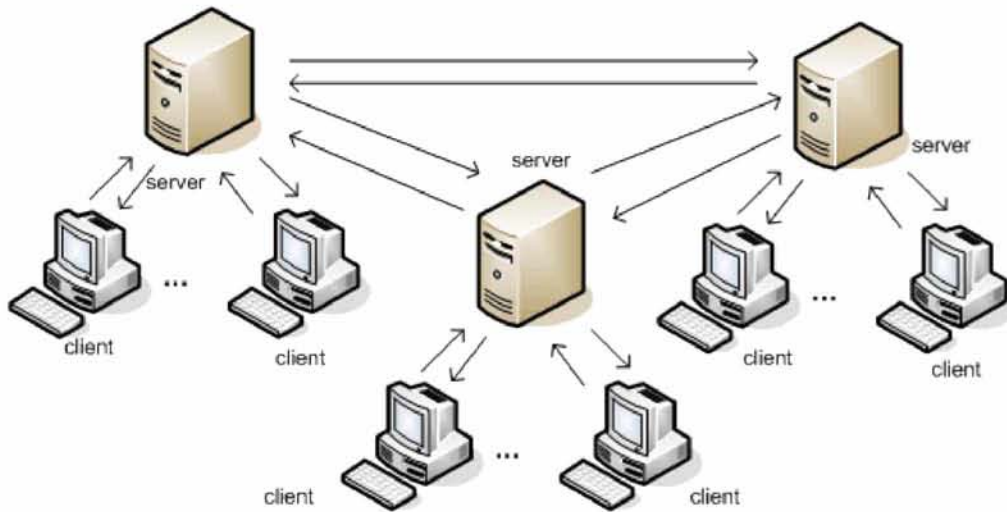
Τα βασικά μειονεκτήματα του client-server μοντέλου είναι το γεγονός ότι η επεκτασιμότητα του συστήματος εξαρτάται άμεσα από την ισχύ του server και το ότι υπάρχει ένα κεντρικό σημείο αστοχίας του συστήματος (central point of failure) στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένας μόνο server.

4.5.3 Υβριδικές Τοπολογίες

Είναι συνήθης ο συνδυασμός των παραπάνω αρχιτεκτονικών με στόχο την αναβάθμιση των τοπολογιών των διαδικτυακών εικονικών περιβαλλόντων. Οι σημαντικότερες από αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια:

4.5.3.1 Διαχωρισμός των πελατών σε πολλούς εξυπηρετητές

Πολυχρηστικά εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να υλοποιηθούν με μία ιεραρχική τοπολογία στην οποία οι servers διαχειρίζονται την επικοινωνία για τους πελάτες τους (Σχήμα 6). Για κάθε αλλαγή σε μία οντότητα, ο πελάτης στέλνει ένα μήνυμα ενημέρωσης σε έναν server και ο server προωθεί το μήνυμα αυτό σε άλλους servers και πελάτες που περιλαμβάνουν οντότητες μέσα σε κάποιο κελί που είναι ορατό από εκείνο που περιλαμβάνει την αναθεωρημένη οντότητα.



Σχήμα 6 : Διαχωρισμός των πελατών σε πολλούς εξυπηρετητές.

Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η προσέγγιση, πρέπει οι servers να διατηρούν αντιστοιχίσεις για το ποιες οντότητες βρίσκονται σε ποια κελιά και να ανταλλάσσουν περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης κάθε φορά που μία οντότητα μετακινείται σε άλλα κελιά. Ωστόσο, η διαδικασία φιλτραρίσματος των μηνυμάτων είναι σε αυτή την τοπολογία λιγότερο χρονοβόρα σε σχέση με την unicast peer-to-peer τοπολογία καθώς :

- 1] οι servers είναι συνολικά λιγότεροι σε σχέση με τους peers (λιγότερα unicast μηνύματα απαιτούνται για την ενημέρωση όλων),
- 2] οι servers ενδέχεται να έχουν περισσότερη διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ (δεν σχηματίζουν εικόνες ούτε προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των οντοτήτων),
- 3] οι servers είναι πιθανόν να έχουν περισσότερη διαθέσιμη μνήμη (δεν αποθηκεύουν απεικονιστικά δεδομένα για πολύγωνα ή υφές), και
- 4] οι servers μπορεί να είναι συνδεδεμένοι με ταχύτερα δίκτυα.

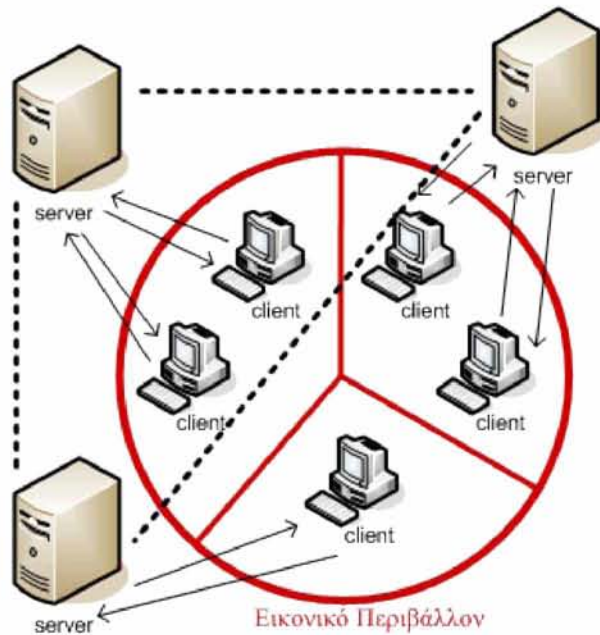
Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι το φορτίο για τη διανομή του μηνύματος απαλλάσσει τους πελάτες και διαμοιράζεται μεταξύ των διάφορων servers. Εφόσον οι clients απλώς στέλνουν ένα μήνυμα σε έναν server για κάθε τοπική αλλαγή και λαμβάνουν μηνύματα από έναν server για αλλαγές που πραγματοποιούνται σε σχετιζόμενες απομακρυσμένες οντότητες, δεν απαιτείται από αυτούς μεγάλη επεξεργασία, αποθήκευση ή μετάδοση μηνυμάτων προκειμένου να γνωστοποιήσουν την κατάστασή τους στις διάφορες οντότητες του εκτενούς εικονικού περιβάλλοντος.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι δημιουργούνται λιγότερα server-to-server μηνύματα καθώς οι περισσότερες οπτικές αλληλεπιδράσεις οντότητας-με-οντότητα θα πραγματοποιηθούν μεταξύ οντοτήτων που τις διαχειρίζεται ο ίδιος server. Σαν αποτέλεσμα, πολύ λιγότερα μηνύματα πρέπει να μεταδοθούν μεταξύ των servers σε πραγματικό χρόνο. Ομοίως, ο κάθε server χρειάζεται να διατηρεί τις αντιστοιχίσεις μεταξύ οντοτήτων και κελιών, μόνο για τα κελιά που ανήκουν στο οπτικό του πεδίο και έτσι, τα περιοδικά μηνύματα ενημέρωσης θα πρέπει να αποστέλλονται μόνο μεταξύ εκείνων των servers των οποίων οι περιοχές δύναται να είναι ορατές για τον άλλο.

Το μειονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η εισαγωγή πολλών ταυτόχρονων εξυπηρετητών αυξάνει το κόστος του συστήματος αφενός εξαιτίας του επιπρόσθετου χρόνου καθυστέρησης προκειμένου κάθε μήνυμα ενημέρωσης να μεταδοθεί μεταξύ των εξυπηρετητών, και αφετέρου λόγω της αύξησης του απαιτούμενου bandwidth και της επεξεργαστικής ισχύος.

4.5.3.2 Διαχωρισμός του Εικονικού Περιβάλλοντος σε πολλούς εξυπηρετητές

Αντί να διαμοιραστούν οι clients στους διαθέσιμους εξυπηρετητές μπορεί να διαμοιραστεί το δικτυακό εικονικό περιβάλλον μεταξύ των εξυπηρετητών:



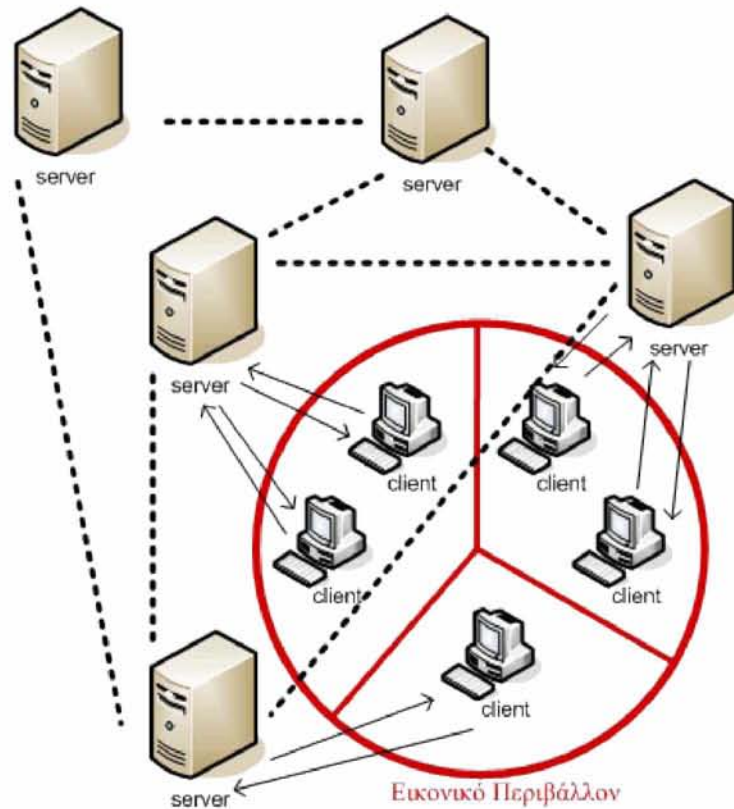
Σχήμα 7 : Διαχωρισμός των πελατών σε πολλούς εξυπηρετητές.

Με την τεχνική αυτή κάθε εξυπηρετητής είναι υπεύθυνος για clients που οι χρήστες τους βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εικονικού περιβάλλοντος και κάθε client επικοινωνεί με διαφορετικούς εξυπηρετητές κατά την μετακίνησή του μέσα στο εικονικό περιβάλλον. Οι εξυπηρετητές παίζουν τον ίδιο ρόλο όπως σε κάθε client-server σύστημα.

Η διάσπαση του εικονικού περιβάλλοντος μειώνει κατά 95% την πληροφορία που απαιτείται να ανταλλάσσεται μεταξύ των εξυπηρετητών, λόγω της τοπικότητας της πληροφορίας. Όμως, η τεχνική αυτή απαιτεί προσεκτική σχεδίαση του διαδικτυακού περιβάλλοντος, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η σωστή μεταφορά πληροφορίας μεταξύ των εξυπηρετητών.

4.5.3.3 Ιεραρχίες εξυπηρετητών

Οι δύο παραπάνω τεχνικές μπορούν να προχωρήσουν ένα επίπεδο παραπέρα, εισάγοντας διάφορα σύνολα από ιεραρχίες εξυπηρετητών. Σε σύνολα από εξυπηρετητές εισάγονται εξυπηρετητές υψηλότερου επιπέδου οι οποίοι θα είναι υπεύθυνοι για μεγαλύτερες περιοχές του εικονικού περιβάλλοντος. Η ίδια τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί για να μειωθεί ο φόρτος της peer-to-peer επικοινωνίας μεταξύ των εξυπηρετητών σε ένα μεγάλο σύνολο από εξυπηρετητές.



Σχήμα 8 : Ιεραρχίες εξυπηρετητών.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω τεχνική οι εξυπηρετητές μπορούν να ενεργούν σαν clients σε μια client-server ιεραρχία με τους εξυπηρετητές υψηλότερου επιπέδου. Κάθε εξυπηρετητής υψηλότερου επιπέδου είναι υπεύθυνος για τον συντονισμό της πληροφορίας εκ μέρους των περιοχών του εικονικού περιβάλλοντος που εξυπηρετούνται από τους client-servers του. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται μια ιεραρχία εξυπηρετητών και μια διαδικασία για την ανταλλαγή των μηνυμάτων.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν σχετικά με την μείωση της πληροφορίας σε ένα σύστημα που εφαρμόζει διαχωρισμό του εικονικού περιβάλλοντος σε πολλούς εξυπηρετητές, ισχύουν και για την συγκεκριμένη τεχνική. Το μειονέκτημα για τον σχεδιαστή του εικονικού περιβάλλοντος είναι ότι σε κάθε επίπεδο της ιεραρχίας των εξυπηρετητών θα πρέπει να εξασφαλίσει ότι οι εξυπηρετητές ανώτερου επιπέδου αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης, αν δεν εξασφαλιστεί η τοπικότητα της πληροφορίας, ο εξυπηρετητής υψηλότερου επιπέδου μπορεί να αποτελέσει bottleneck για το σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ



5.1 Εισαγωγή

Συνήθως, η διαδικασία δημιουργίας εικονικών περιβαλλόντων με τις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, ιδίως εξαιτίας της χρήσης ειδικού εξοπλισμού εικονικής πραγματικότητας, τις γνωστές συσκευές εμβύθισης, που κοστίζουν ακριβά. Επίσης, οι λύσεις που τελικά αναπτύσσονται δεν είναι προσβάσιμες από μεγάλο αριθμό χρηστών.

Αποτελεσματική λύση στις ανωτέρω αδυναμίες των τεχνολογιών της εικονικής πραγματικότητας, προσφέρουν τα ανοιχτά πρότυπα των τρισδιάστατων τεχνολογιών Διαδικτύου τα οποία επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μόνο το υλικό μέρος των κοινών, χαμηλού κόστους προσωπικών ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σε αυτά τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να έχουν πρόσβαση πολλοί χρήστες ανά τον κόσμο, ανά πάσα χρονική στιγμή και είναι ανεξάρτητα υπολογιστικής πλατφόρμας.

Ο όρος «Τεχνολογίες Διαδικτύου για Τρισδιάστατες Απεικονίσεις» αναφέρεται στις γλώσσες, τα πρωτόκολλα και τα εργαλεία λογισμικού που καθιστούν εφικτή τη δημιουργία τρισδιάστατων κόσμων στο Διαδίκτυο. Οι τεχνολογίες αυτές στηρίζονται στις ίδιες βασικές αρχές τις οποίες εφαρμόζουν και άλλες τεχνολογίες Διαδικτύου: τα περιεχόμενα, τα οποία είναι συντεταγμένα σε κατάλληλη μορφή, αποθηκεύονται σε έναν εξυπηρετητή (server), και όταν ζητηθούν από τον πελάτη (client), για παράδειγμα μέσω του HTTP πρωτοκόλλου, αναπαριστώνται στην οθόνη από τον browser, ή για να είμαστε πιο ακριβείς, από μία πρόσθετη εφαρμογή που είναι εγκατεστημένη στον browser (plug-in).

Στις μέρες μας, η αύξηση του εύρους ζώνης δικτύου και της υπολογιστικής ισχύος στις τρισδιάστατες απεικονίσεις, δίνουν τη δυνατότητα σε απλούς χρήστες να δημιουργούν εικονικά περιβάλλοντα με χρήση των τρισδιάστατων τεχνολογιών Διαδικτύου, ανάλογης πολυπλοκότητας με αυτούς που κατασκευάζονταν από τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας μερικά χρόνια νωρίτερα. Η ειδοποιός διαφορά ανάμεσα στις τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας και στις τεχνολογίες τρισδιάστατων τεχνολογιών Διαδικτύου είναι ότι οι μεν πρώτες εστιάζουν στις διαδικασίες εμβύθισης, ενώ οι δεύτερες αναπτύσσονται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ούτε να εστιάζουν σε αυτές αλλά ούτε και να τις αποκλείουν.

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα των προτύπων αυτών είναι ότι επιτρέπουν την ενσωμάτωση ήδη υπάρχοντων διαδικτυακών πηγών στους εικονικούς κόσμους, είτε πρόκειται για αρχεία είτε για εφαρμογές. Για παράδειγμα, μπορούν να εμπλουτίσουν μία διαδικτυακή τοποθεσία με τρισδιάστατο αλληλεπιδραστικό περιεχόμενο και την αναπαραγωγή άλλων περιεχομένων που είναι διαθέσιμα στο Διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα εικόνες και ήχο. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο συνδυασμός εικονικών περιβαλλόντων με τα περιεχόμενα HTML αρχείου σε μία Ιστοσελίδα.

Από αυτά τα ανοιχτά πρότυπα, τα πιο γνωστά είναι η γλώσσα VRML και το X3D το οποίο είναι διάδοχος της VRML και χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας. Και τα δύο αυτά πρότυπα αναλύονται στη συνέχεια.

Βέβαια, σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι εκτός από τα ανοιχτά πρότυπα, υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες για τρισδιάστατη απεικόνιση στο Διαδίκτυο, με πιο γνωστές από αυτές τη Java3D που αποτελεί προέκταση της Java για τη δημιουργία τρισδιάστατων εφαρμογών, και το Shockwave 3D της Macromedia.

5.2 VRML

5.2.1 Εισαγωγή

Η VRML, ακρωνύμιο του Virtual Reality Modeling Language – Γλώσσα μοντελοποίησης Εικονικής Πραγματικότητας, αποτελεί μία μεταφέρσιμη γλώσσα περιγραφής τρισδιάστατων αντικειμένων και αλληλεπιδραστικών σκηνών τα οποία μπορούν να αναπαρασταθούν και να εξερευνηθούν στο Διαδίκτυο (WWW). Πρόκειται για ένα δυναμικό εργαλείο με τη βοήθεια του οποίου οι χρήστες μπορούν να σχεδιάσουν μία πληθώρα τρισδιάστατων περιβαλλόντων, γεννήματα της φαντασίας τους, με τα οποία μπορούν να αλληλεπιδράσουν ποικιλόμορφα και όχι απλά με το κλικ του ποντικιού ή με το ανεβοκατέβασμα της σελίδας. Αναλυτικότερα, οι χρήστες μπορούν να περπατήσουν ή να πετάξουν μέσα στα εικονικά αυτά περιβάλλοντα, να κοιτάξουν τα αντικείμενα υπό διάφορες οπτικές γωνίες, να εξετάσουν τα πράγματα μέχρι την τελευταία λεπτομέρεια και σε ορισμένες ακόμα περιπτώσεις να στριφογυρίσουν ή να πετάξουν τα αντικείμενα.

Κάθε VRML αρχείο εμπεριέχει ένα κείμενο το οποίο ο χρήστης μπορεί να έχει γράψει σε οποιονδήποτε text editor ή επεξεργαστή κειμένου και το οποίο αποτελεί την περιγραφή του VRML κόσμου. Οι επιτρεπόμενοι χαρακτήρες καθορίζονται από

το UTF 8 format, του οποίου το σύνολο είναι ASCII χαρακτήρες. Στην έκδοση 2.0 της VRML τα αρχεία αυτά έχουν κατάληξη .wrl, από τη λέξη world (κόσμος). Τα επίσημα τεχνικά χαρακτηριστικά της καταγράφονται στο specification ISO/IEC 14772.

Ορισμένα χαρακτηριστικά της VRML την καθιστούν το τρισδιάστατο ανάλογο της HTML, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εγγράφων υπερκειμένου για το Διαδίκτυο. Και οι δύο γλώσσες διέπονται από τα ακόλουθα κοινά χαρακτηριστικά στοιχεία:

- ✓ Συντάσσονται σαν ένα απλό αρχείο κειμένου. Ένα αρχείο VRML ή HTML μπορεί να δημιουργηθεί και να επεξεργαστεί από έναν κοινό επεξεργαστή κειμένου.
- ✓ Είναι ανεξάρτητες υπολογιστικής πλατφόρμας. Καμία από τις δύο γλώσσες δεν εξαρτάται από κάποιο συγκεκριμένο λογισμικό ή υλικό μέρος υπολογιστικού συστήματος.
- ✓ Υποστηρίζουν υπερσυνδέσεις. Τόσο τα HTML αρχεία όσο και οι VRML κόσμοι ενδέχεται να περιλαμβάνουν συνδέσμους σε άλλα έγγραφα, κόσμους ή τοποθεσίες τα οποία μπορεί να βρίσκονται οπουδήποτε στο Διαδίκτυο και προσδιορίζονται από μία διεύθυνση URL (Uniform Resource Locator).
- ✓ Ενσωματώνουν στοιχεία πολυμεσικών εφαρμογών. Εκτός από κείμενο, ένα HTML έγγραφο μπορεί να περιλαμβάνει ενσωματωμένες εικόνες καθώς και άλλα στοιχεία πολυμέσων όπως βίντεο, ήχο και Java applets, καθένα από τα οποία χαρακτηρίζεται από ένα URL. Με παρόμοιο τρόπο, η VRML μπορεί να διαχειρίζεται εικόνες, βίντεο και ήχο σε έναν κόσμο. Ένας VRML κόσμος μπορεί επίσης να περιέχει άλλα VRML αρχεία.
- ✓ Αποτελούν ανοιχτά πρότυπα. Η προδιαγραφή HTML ελέγχεται από το World Wide Web Consortium, ενώ η VRML είναι ένα ISO παγκόσμιο πρότυπο.

Παρά τις ομοιότητες τους όμως, η σύνταξη και η δομή των δύο αυτών γλωσσών διαφέρουν ολοσχερώς, κάτι το οποίο είναι βέβαια αναμενόμενο καθώς η κάθε γλώσσα έχει οριστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιγράφει εντελώς διαφορετικά πράγματα. Έτσι, η HTML χρειάζεται για την περιγραφή του περιεχομένου, της δομής και της διάταξης ενός δισδιάστατου εγγράφου. Για το σκοπό αυτό, κάνει χρήση ετικετών περιγραφής-μαρκαρίσματος (markup tags). Η VRML, από την άλλη, είναι μία γλώσσα μοντελοποίησης η οποία περιγράφει τη γεωμετρία και τη θέση που

καταλαμβάνουν τα αντικείμενα σε ένα τρισδιάστατο κόσμο, κάνοντας χρήση τρισδιάστατων συντεταγμένων. Ακόμη, καθορίζει τη εμφάνιση των αντικειμένων αυτών καθώς και άλλες ιδιότητες τους όπως ο φωτισμός και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις.

5.2.2 Ιστορία της VRML

➤ VRML 1.0

Η πρώτη έκδοση της VRML αναπτύχθηκε μεταξύ του 1994 και 1995. Η ανάγκη ύπαρξης ενός τρισδιάστατου προτύπου ανάλογου της HTML διατυπώθηκε για πρώτη φορά στο Πρώτο Παγκόσμιο Συνέδριο για το Διαδίκτυο την άνοιξη του 1994, όπου και προτάθηκε το όνομα της VRML.

Μετά το συνέδριο, σχηματίστηκε στο Διαδίκτυο μία λίστα που θα συγκέντρωνε τα e-mails όλων των ενδιαφερομένων με σκοπό να περιγράψουν και να προσδιορίσουν τις απαιτήσεις αυτής της νέας γλώσσας. Μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα οι συμμετέχοντες ομόφωνα συμφώνησαν στην ιδέα ότι προκειμένου να αναπτυχτεί το νέο αυτό πρότυπο γρήγορα, η πρώτη έκδοση της VRML θα έπρεπε να βασίζεται σε κάποια από τις ήδη προϋπάρχουσες γλώσσες τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Για τον ίδιο λόγο, αρχικά απέρριψαν την ιδέα να ασχοληθούν με πιο σύνθετα προβλήματα, όπως ο προσδιορισμός μεθόδων για την κίνηση των αντικειμένων ή η αλληλεπίδραση πολλών συμμετεχόντων. Έτσι, η πρώτη έκδοση της VRML είχε σκοπό την περιγραφή μόνο στατικών κόσμων.

Αφού διατυπώθηκαν πολλές προτάσεις για το προσχέδιο που θα αποτελούσε τη βάση της προδιαγραφής VRML 1.0, ύστερα από αρκετές αντιπαραθέσεις, τα μέλη της λίστας αποφάσισαν ότι το καταλληλότερο προσχέδιο που ικανοποιούσε τις συμφωνημένες απαιτήσεις της γλώσσας, ήταν ένα υποσύνολο του 3-D μοντέλου της Silicon's Graphics με την ονομασία Ανοιχτός Εφευρέτης (Open Inventor), το οποίο είχε την έγκριση του SGI.

Με προεκτάσεις για υπερσυνδέσεις, ανεξαρτησία υπολογιστικής πλατφόρμας και άλλες επαυξήσεις, τελικά το πρώτο προσχέδιο της προδιαγραφής VRML 1.0 παρουσιάστηκε στο επόμενο παγκόσμιο συνέδριο δικτύου τον Οκτώβριο του 1994. Μέχρι την επόμενη άνοιξη, ο πρώτος Διαφυλλιστής Διαδικτύου (web browser) ο οποίος ήταν συμβατός με τη VRML, ο Web Space της Silicon Graphic's, ήταν δωρεάν διαθέσιμος. Στη συνέχεια εμφανίστηκαν και άλλοι VRML διαφυλλιστές για

τις περισσότερες υπολογιστικές πλατφόρμες. Διαδοχικά και το πλήθος των Ιστοτόπων που περιελάμβαναν VRML κόσμους, άρχισε να αυξάνεται.

Η προδιαγραφή VRML 1.0 επέτρεπε τα ακόλουθα:

- Τη δημιουργία τρισδιάστατων κόσμων από πρωταρχικά σχήματα, όπως κύβους, κώνους, σφαίρες ακόμα και κείμενο ή με τη βοήθεια προκαθορισμένων σχημάτων.
- Την ύπαρξη μίας αρχικής οπτικής γωνίας και τη δυνατότητα στο χρήστη να διερευνά ή και να κινείται ελεύθερα μέσα στο σκηνικό.
- Την ενεργοποίηση υπερσυνδέσμου με ένα απλό κλικ πάνω σε ένα αντικείμενο ο οποίος οδηγούσε σε έναν άλλο VRML κόσμο ή έγγραφο.
- Την ύπαρξη πολλαπλών πηγών φωτισμού
- Τη δημιουργία αντικειμένων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας
- Τον προσδιορισμό νέων αντικειμένων με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης τους
- Την εφαρμογή συγκεκριμένων ιδιοτήτων των υλικών στα σχήματα, όπως για παράδειγμα η υφή ενός χάρτη.
- Την περιγραφή αντικειμένων από άλλα VRML αρχεία.

➤ VRML 2.0

Η VRML έχει πλέον γνωρίσει την ευρεία υποστήριξη μεγάλων εταιρειών και οργανισμών ηλεκτρονικών υπολογιστών, με αποτέλεσμα να αποτελεί επιτακτική ανάγκη η εξέλιξη της σε ένα πιο επίσημα οργανωμένο πρότυπο. Για το σκοπό αυτό, το 1995, οι ηγέτες της VRML κοινότητας θέσπισαν την ομάδα αρχιτεκτονικής της VRML - VRML Architecture Group (VAG) για την επίβλεψη της εξέλιξής της.

Οι περιορισμοί των στατικών κόσμων που προέκυπταν από την προδιαγραφή VRML 1.0 δεν άργησαν να γίνουν εμφανείς και έτσι προέκυψε η απαίτηση για νέα χαρακτηριστικά που να προσδίδουν κυρίως περισσότερη διαδραστικότητα. Μέχρι το τέλος του 1995, ένας αριθμός εταιρειών, μεταξύ των οποίων και η Silicon Graphics και η Microsoft, είχαν ήδη αρχίσει να αναπτύσσουν νέα πρότυπα για την αντικατάσταση της VRML 1.0. Ωστόσο, η VAG, προκειμένου να αποφύγει την καταστροφή του ήδη υπάρχοντος προτύπου, πρόβαλε μία αίτηση για προτάσεις και έδωσε τη δυνατότητα στην VRML κοινότητα να επιλέξει τον καλύτερο υποψήφιο για

τη VRML 2.0 με μία διαδικασία ανάλογη εκείνης που ακολουθήθηκε για την ανάπτυξη της VRML 1.0. Ουσιαστικά, ο ρόλος της VAG δεν ήταν ο προσδιορισμός της νέας προδιαγραφής, αλλά η σύνταξη της λίστας των απαιτήσεων και η διαχείριση της διαδικασίας επιλογής.

Από τις συνολικά έξι προτάσεις που ακούστηκαν, η πρόταση «Κινούμενοι κόσμοι» της Silicon Graphics σε συνεργασία με τις Sony και Mitra αναδείχθηκε ως η καταλληλότερη. Ύστερα από μερικές αναθεωρήσεις και τροποποιήσεις, τον Αύγουστο του 1996 η προδιαγραφή VRML 2.0 τελειοποιήθηκε.

Τα νέα χαρακτηριστικά μπορούν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

❖ Βελτίωση στατικών κόσμων

Μπορούν να προστεθούν στις σκηνές στοιχεία πολυμέσων όπως ήχος, εικόνα και βίντεο. Επίσης μπορεί να προστεθεί πανοραμικό φόντο για την σκηνή όπως βουνά, πεδιάδες ή κάποια άλλα μακρινά τοπία καθώς επίσης και χρωματικές διαβαθμίσεις για τον ουρανό και το έδαφος. Επιτρέπεται ακόμα η προσθήκη ομίχλης με στόχο τη δημιουργία ομιχλωδών ατμοσφαιρών και παρέχονται εργαλεία μοντελοποίησης που επιτρέπουν τη δημιουργία διαμορφώσεων, κυκλικών επιφανειών και σχημάτων αποτελούμενα από τεντώματα και περιστροφές διαφορετικού τύπου καμπυλών. Τέλος, απλοποιείται η δημιουργία του σκηνικού καθώς πλέον οι ιδιότητες της εμφάνισης δεν κληρονομούνται μέσω του αρχείου.

❖ Αλληλεπίδραση και Κίνηση

Οι κόσμοι της προδιαγραφής VRML 1.0 ήταν στατικοί. Η VRML 2.0 επιτρέπει στα αντικείμενα της σκηνής να κινούνται και να αντιδρούν τόσο σε γεγονότα που βασίζονται στο χρόνο (time-based events), όσο και σε γεγονότα αρχικοποιημένα από τον χρήστη (user-initiated events). Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια αισθητήρων (sensors) οι οποίοι αναγνωρίζουν ή δημιουργούν τέτοια γεγονότα, παρεμβολών (interpolators) οι οποίοι περιγράφουν την απόκριση σε ένα γεγονός και διαδρομών (routes) που ομαδοποιούν ένα σύνολο γεγονότων. Οι πολύπλοκες κινήσεις και συμπεριφορές μπορούν να προγραμματιστούν σε έναν VRML κόσμο της προδιαγραφής VRML 2.0 με τη βοήθεια της JavaScript της Netscape και της Java της Sun Microsystems. Επίσης, η ανίχνευση σύγκρουσης (collision detection) και η πλοήγηση (navigation) συμβάλλουν στη βελτίωση της διαδικασίας αλληλεπίδρασης.

Για παράδειγμα οι χρήστες δεν μπορούν πλέον να περνάνε μέσα από τους τοίχους στη σκηνή.

- ❖ Προτυποποίηση νέων VRML αντικειμένων.

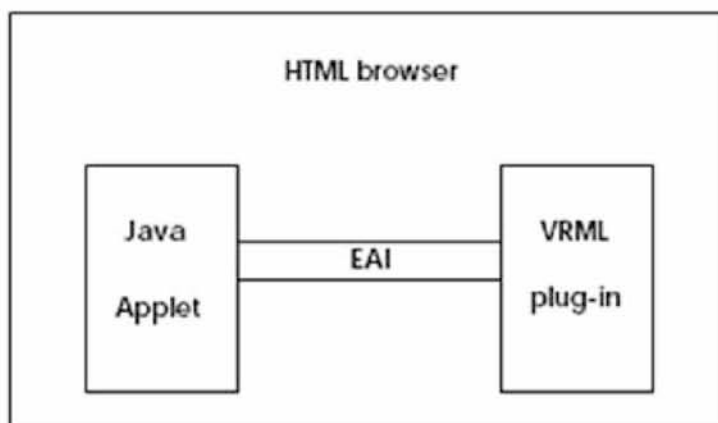
Παρέχεται ένας μηχανισμός προτυποποίησης μέσω του οποίου μπορούν να προσδιοριστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν νέα VRML αντικείμενα και ιδιότητες. Επίσης είναι δυνατή η αλλαγή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών όποτε αυτό είναι επιθυμητό.

- ❖ Πληροφορίες αρχείου της VRML.

Είναι δυνατή η περιγραφή των default χαρακτηριστικών για τον browser: τύπος περιήγησης, ταχύτητα περιήγησης.

➤ VRML97

Η επόμενη έκδοση της VRML ήταν η **VRML97**, η οποία είναι διεθνές πρότυπο (ISO/IEC 14772:1997). Η βασική διαφορά από την προηγούμενη έκδοση είναι η εισαγωγή ενός API, του EAI (**E**xternal **A**uthoring **I**nterface), το οποίο επιτρέπει σε εξωτερικές εφαρμογές προγραμματιστική πρόσβαση στα στοιχεία του εικονικού κόσμου. Το API περιγράφεται στα πλαίσια της γλώσσας IDL, οπότε η σύνδεση κόσμου με εφαρμογή είναι ανεξάρτητη γλώσσας. Όμως, οι πλήρως σύμφωνες με το πρότυπο υλοποιήσεις πρέπει να παρέχουν υλοποίηση του μηχανισμού σε γλώσσα Java. Ο ορισμός του API σε Java δίνεται από το ίδιο το πρότυπο, πράγμα που συνεπάγεται μικρότερη πιθανότητα ασυμβατοτήτων.



Σχήμα 9 : External Authoring Interface – EAI.

Για τον σχεδιασμό και τη δημιουργία κόσμων με τη VRML αρκετοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ορισμένοι από αυτούς είναι αισθητικοί, ενώ άλλοι είναι τεχνικοί. Παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των ιστοσελίδων σε HTML, εφαρμόζονται επίσης και στη δημιουργία υψηλής ποιότητας κόσμων της VRML. Τέτοιοι κυρίως είναι η ταχύτητα των συστημάτων του εξυπηρέτη και του πελάτη, το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου και η συμβατότητα του browser με τη VRML. Οι ακόλουθες οδηγίες έχουν ως στόχο τη κατασκευή κόσμων οι οποίοι θα μπορούν να φορτωθούν και να συντηρηθούν εύκολα.

5.2.3 VRML διαφυλλιστές (VRML browsers)

5.2.3.1 Γενικές Πληροφορίες

Ένας Web browser (διαφυλλιστής δικτύου), όπως για παράδειγμα ο Netscape Navigator, ο Microsoft internet Explorer και ο Mozilla Firefox, μπορούν φυσιολογικά να αναπαραστήσουν μόνο HTML κείμενο και εικόνες. Προκειμένου να επιτευχθεί η οπτικοποίηση και αλληλεπίδραση με έναν VRML κόσμο, απαιτείται η εγκατάσταση ενός ειδικού προγράμματος που ονομάζεται VRML browser (VRML διαφυλλιστής). Κάθε φορά που επιχειρούμε να ανοίξουμε ένα αρχείο με κατάληξη “.wrl” μέσω του Web browser, τότε αυτόματα ενεργοποιείται ένας εγκατεστημένος VRML browser για τη διαχείριση αυτού του αρχείου.

Πλέον είναι διαθέσιμοι στο Διαδίκτυο αρκετοί VRML browsers για διάφορες υπολογιστικές πλατφόρμες όπως τα Windows, Macintosh και Unix. Οι VRML browsers είναι η είσοδος στον κυβερνοχώρο για την επιθεώρηση VRML κόσμων. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι παρόμοιος με αυτόν των Web browsers, αλλά η πλοήγηση είναι λίγο πιο περίπλοκη από την παρακολούθηση εικόνων και κειμένων ή το κλικάρισμα σε διάφορα σημεία. Οι VRML browsers καθορίζουν το πόσο καλά θα εμφανιστούν τα αντικείμενα στην οθόνη. Τα αντικείμενα φαίνονται διαφορετικά σε διαφορετικούς browsers και ορισμένοι browsers είναι πιο γρήγοροι από ότι άλλοι.

- Plug-ins και βοηθητικές εφαρμογές

Η πλειονότητα των VRML browsers λειτουργούν σαν plug-ins (πρόσθετα), με την βοήθεια των οποίων το τρισδιάστατο σκηνικό και τα εργαλεία της διαπροσωπείας του χρήστη εμφανίζονται ουσιαστικά μέσα από το κεντρικό παράθυρο του Web browser. Έτσι, το VRML σκηνικό ενσωματώνεται σε ένα HTML έγγραφο. Ωστόσο,

άλλοι VRML browsers αναπαριστούν τους κόσμους ανεξάρτητα από τον εκάστοτε Web browser. Στην περίπτωση αυτή, οι VRML browsers πρέπει να εγκατασταθούν σαν βοηθητικές εφαρμογές προκειμένου να λειτουργήσουν σε συνεργασία με τον υπάρχων Web browser.

- Πλοήγηση και Αλληλεπίδραση

Οι VRML browsers/plug-ins συνήθως προσφέρουν στο χρήστη περισσότερους από έναν τρόπους πλοήγησης και επεξεργασίας των αντικειμένων που απαρτίζουν το VRML σκηνικό. Παρότι οι διαδικασίες αλληλεπίδρασης διαφέρουν μεταξύ των browsers, κατά κόρον βασίζονται στις ακόλουθες λειτουργίες: εξερεύνηση (examine), πτήση (fly), βάδισμα (walk), κλικ-και-αναζήτηση (click-and-see). Στην κατάσταση «εξερεύνησης», ο χρήστης μπορεί να περιστρέψει ένα αντικείμενο ή να το μετακινήσει σε σχέση με το αρχικό του σημείο αναφοράς. Η κατάσταση «πτήσης» προσομοιώνει την κίνηση διαμέσου του σκηνικού και ο χρήστης μπορεί μέσω του πληκτρολογίου ή του ποντικιού να ελέγξει την ταχύτητα και την κατεύθυνση. Η κατάσταση «βάδισματος» μοιάζει αρκετά με την κατάσταση πτήσης μόνο που εδώ η πορεία του χρήστη ακολουθεί το ανάγλυφο του σκηνικού. Τέλος, ορισμένοι browsers διαθέτουν την κατάσταση «αναζήτησης», όπου ο χρήστης κάνοντας κλικ σε ένα αντικείμενο μπορεί να μεταφέρει την οπτική γωνία προς αυτό. Ακόμη, οι περισσότεροι browsers επιτρέπουν στο χρήστη την εναλλαγή μεταξύ των οπτικών γωνιών που καθορίζονται στο VRML αρχείο.

Άλλα δύο χαρακτηριστικά που συναντώνται στους VRML browsers/plug-ins, είναι μία προαιρετική πηγή φωτισμού για το φωτισμό του σκηνικού κατά μήκος της οπτικής γωνίας και η δυνατότητα ενεργοποίησης υπερσυνδέσμων και αισθητήρων αφότου ο χρήστης έχει κάνει κλικ πάνω σε ένα αντικείμενο.

Πολλά VRML plug-ins είναι διαθέσιμα στο Διαδίκτυο. Μερικά κριτήρια που είναι χρήσιμα να τα συμβουλευτεί ο χρήστης πριν από την επιλογή εκείνου του plug-in που θα χρησιμοποιήσει στο δικό του μηχάνημα είναι τα εξής:

- ο **Κόστος**: Οι περισσότεροι VRML browsers/plug-ins δεν προσφέρονται δωρεάν. Ωστόσο, οι επί πληρωμή browsers διέπονται από επιπρόσθετη λειτουργικότητα η οποία μπορεί να αποδειχτεί απαραίτητη στη δημιουργία των VRML κόσμων του χρήστη.

- **Λειτουργικότητα:** Εδώ ο χρήστης καλείται να διερευνήσει δύο βασικά ερωτήματα. «Πόσοι από τους πιο σημαντικούς κόμβους υποστηρίζει η εφαρμογή;» και «Πόσοι κόμβοι λειτουργούν σωστά;»
- **Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά:** Είναι γεγονός ότι οι νεότερες εκδόσεις browsers έχουν ολοένα και περισσότερες επεκτάσεις, όπως για παράδειγμα βελτιστοποιημένες υφές, χρωματισμούς και πηγές φωτισμού. Ωστόσο, μπορεί εύκολα να αναλογιστεί κανείς την πληθώρα των VRML κόσμων που δεν επωφελούνται από αυτά τα νέα χαρακτηριστικά.
- **Επιτάχυνση υλικού μέρους:** Ορισμένες πλακέτες γραφικών βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα δημιουργίας των κόσμων και συνάμα πολλοί VRML browsers επωφελούνται από αυτή την επιτάχυνση του υλικού μέρους. Δεδομένου ότι οι χρήστες που δημιουργούν τους VRML κόσμους δεν είναι εξοικειωμένοι με τη συγγραφή των κόσμων τους ώστε να είναι μικρού μεγέθους και γρήγοροι, αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο.
- **Συγγραφή/Scripting:** Οι περισσότεροι VRML browsers υποστηρίζουν είτε Java είτε JavaScript (είτε μία παραλλαγή της JavaScript, την VRMLScript ή πιο σωστά την ECMAScript) σαν γλώσσες συγγραφής. Ορισμένοι υποστηρίζουν και τις δύο.
- **Αναπαραστάσεις:** Η έννοια αυτή αφορά την ταχύτητα δημιουργίας του κόσμου και την ταχύτητα αλληλεπίδρασής του στις ενέργειες του χρήστη καθώς και στον τρόπο οπτικοποίησής του. Βέβαια, δε είναι εφικτή η πλήρης ενημέρωση σε αυτό τον τομέα προτού ο χρήστης πειραματιστεί με τον κάθε browser.

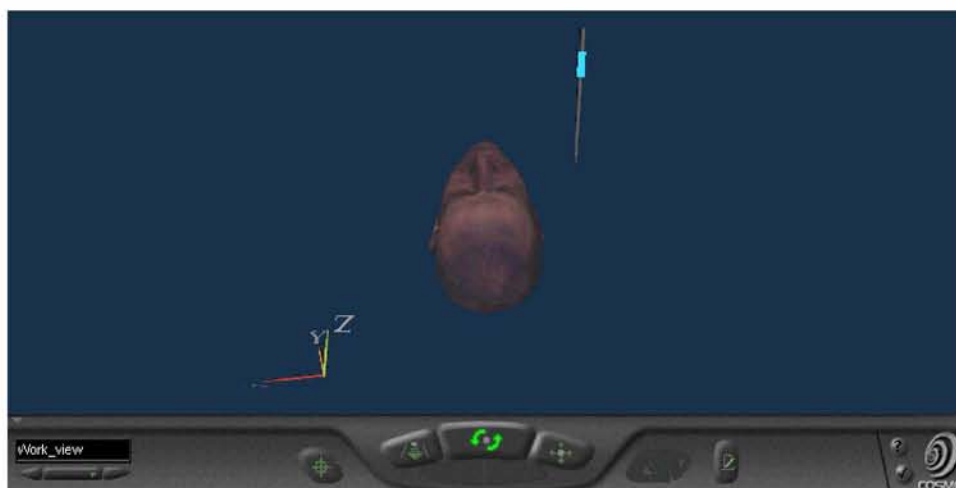
Στο Διαδίκτυο μπορεί κανείς να βρει μεγάλος πλήθος VRML browsers. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζουμε ορισμένους από αυτούς που δε συνιστάται στον αναγνώστη να τους παραβλέψει.

VRML browser	Χαρακτηριστικά
3D Object Viewer by Intel	Πολύ πρόσφατος browser που αν και δεν υποστηρίζει την προδιαγραφή πλήρως, έχει ωστόσο τη δυνατότητα να ενυπάρχει μαζί με άλλους browsers.
3Space Assistant by TGS	Αυτός ο browser δεν διατίθεται δωρεάν. Παρέχει όμως πολλές δυνατότητες όπως είναι η ανάγνωση αρχείων VRML 1.0, VRML 97, AutoCAD, DXF και Open Inventor καθώς και η επεξεργασία των ιδιοτήτων των αντικειμένων.
Community Place by Sony	Η συγκεκριμένη πλατφόρμα χρησιμοποιεί VRML 2.0 για την αναπαράσταση των εικονικών κόσμων, ενώ observer έχει αναπτυχθεί σε Java. Επίσης, υποστηρίζει περιβάλλοντα πολλών χρηστών.
Contact by Blaxxun	Υποστηρίζει VRML περιβάλλοντα πολλών χρηστών και περιλαμβάνει το πολύ γνωστό Colony City/Cybertown. Κατά την εγκατάστασή του ακόμα και αν ο χρήστης δεν επιλέξει τον browser αυτόν σαν τον βασικό VRML browser, μπορεί ακόμη να επισκεφτεί τα προαναφερθέντα περιβάλλοντα χρησιμοποιώντας άλλον VRML browser για τους VRML κόσμους. Η χρησιμοποίηση του υψηλής απόδοσης μηχανισμού αναπαράστασης των σκηνικών, σε συνδυασμό με το DirectX και το OpenGL, επιτρέπουν στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με το τρισδιάστατο περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο.
Cortona by Parallel Graphics	Πρόκειται για έναν γρήγορο browser που ενσωματώνει πολλά χαρακτηριστικά. Το ισχυρό API επιτρέπει την ενσωμάτωση του Cortona σε άλλες εφαρμογές που διαθέτουν τεχνολογία Active X. Με τη βοήθεια του μπορούν να αναπτυχθούν πολλές τρισδιάστατες εφαρμογές, όπως η οπτικοποίηση επιστημονικών δεδομένων και οι προηγμένες τρισδιάστατες υπηρεσίες Διαδικτύου.
Cosmo Player by Silicon Graphics	Υποστηρίζει πλήρως την VRML 2.0 προδιαγραφή. Επίσης, με τη βοήθεια των OpenGL και Direct3D επωφελείται από τις όποιες δυνατότητες παρέχει το υλικό για επιτάχυνση γραφικών. Ακόμη, δίνει τη δυνατότητα χειρισμού του κόσμου με κατάλληλο προγραμματισμό σε Java, διαμέσου του EAI.
GLView by Holger Grahn	Είναι μία εφαρμογή που ενυπάρχει ομαλά και με άλλους VRML browsers. Παρέχει και ορισμένες δυνατότητες τροποποίησης του VRML αρχείου. Είναι σχετικά συμβατό με το Contact.
WorldView by InterVista	Είναι πλούσιος σε χαρακτηριστικά και προσφέρει στον χρήστη πολλαπλές δυνατότητες πλοήγησης και κουμπιά ελέγχου.

Πίνακας 1 : Βασικά χαρακτηριστικά ορισμένων σημαντικών VRML browsers.

Όπως προαναφέρθηκε, αν και υπάρχει μεγάλο πλήθος VRML browsers στο Διαδίκτυο, ωστόσο δεν προσφέρονται όλοι δωρεάν. Για το λόγο αυτό, στη συνέχεια παρουσιάζουμε αναλυτικότερα τις βασικές λειτουργίες που παρέχουν ορισμένοι VRML browsers οι οποίοι διατίθενται δωρεάν :

❖ Cosmo Player



Εικόνα 36 : Τρισδιάστατη απεικόνιση ενός ανθρώπινου κεφαλιού με τη βοήθεια του Cosmo Player.

Με το Cosmo Player οι χρήστες μπορούν να πλοηγηθούν και να επεξεργαστούν τρισδιάστατα σκηνικά τα οποία έχουν δημιουργηθεί με τη έκδοση VRML 2.0 ή VRML 1.0. Το Cosmo Player είναι το συνιστάμενο προϊόν από δύο άλλα: το Cosmo Media Co-browser και το Cosmo Media Engine.

Το Cosmo Media Engine καθορίζει ένα σύνολο από διαπροσωπικές εφαρμογών του χρήστη που συμβάλλουν στη δημιουργία και διαχείριση ήχου, ρών βίντεο και αναπαραστάσεων δισδιάστατων αντικειμένων και κειμένου που είναι ενσωματωμένα στον τρισδιάστατο εικονικό κόσμο. Αποτελείται από τμήματα Java και ένα σύνολο βιβλιοθηκών οι οποίες μπορούν να φορτωθούν δυναμικά σε κάθε υποστηριζόμενη πλατφόρμα.

Το Cosmo Media Co-browser μεταφράζει τα VRML αρχεία και υποστηρίζει το Cosmo Media Engine στη διαδικασία πλοήγησης και σχηματισμού των τρισδιάστατων σκηνικών σε πραγματικό χρόνο.

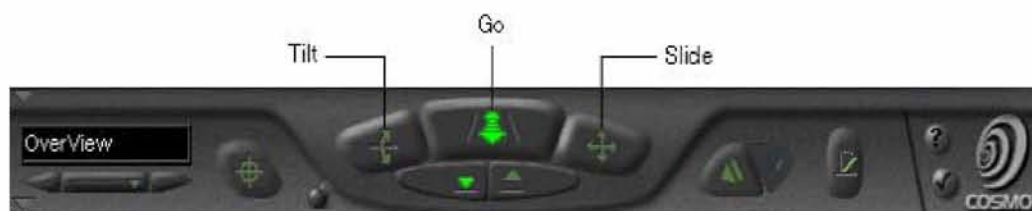
Η έκδοση 2.1 υποστηρίζει αναπαραστάσεις που προσδιορίζονται μέσω JavaScript. Επίσης, επιτρέπει τη διαχείριση των VRML κόσμων εξωτερικά μέσω Java applets σε HTML αρχεία με τη βοήθεια του EAI. Ακόμη, μετατρέπει αυτόματα τα αρχεία που είναι γραμμένα σε VRML 1.0 και αποσυμπίεζει τους gzipped κόσμους.

Υποστηριζόμενοι τύποι εικόνων	BMP, GIF, JPEG, PNG, RGB (SGI)
Υποστηριζόμενοι τύποι βίντεο	Animated GIF, plus ActiveMovie formats
Υποστηριζόμενοι τύποι ήχου	MIDI, WAV, plus ActiveMovie formats
Υποστηριζόμενα Scripts/ Γλώσσες γραφής	Java, JavaScript, VRMLScript

Πίνακας 2 : Χαρακτηριστικά του Cosmo Player 2.1 για τα Windows.

Με το Cosmo Player ο χρήστης μπορεί να κάνει δύο βασικές ενέργειες: να μετακινηθεί μέσα στο τρισδιάστατο σκηνικό και να επεξεργαστεί τα αντικείμενα που το αποτελούν. Αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός συνόλου κουμπιών που παρέχονται στη διαπροσωπεία του.

Το ταμπλό κουμπιών μπορεί να έχει δύο διαφορετικές μορφές:



Εικόνα 37 : Πρώτη μορφή του ταμπλό κουμπιών του Cosmo Player.



Εικόνα 38 : Δεύτερη μορφή του ταμπλό κουμπιών του Cosmo Player.

Ορισμένοι κόσμοι επιτρέπουν μόνο τη χρήση των κουμπιών του πρώτου ταμπλό (Go, Slide, Titl) για μετακίνηση μέσα στο κόσμο. Άλλοι πάλι, επιτρέπουν τη χρήση μόνο των κουμπιών του δεύτερου ταμπλό (Rotate, Pan, Zoom) για την επεξεργασία των αντικειμένων. Υπάρχουν όμως και κόσμοι που επιτρέπουν τη χρήση και των δύο ταμπλό ταυτόχρονα κάτι το οποίο δε συνιστάται γιατί είναι πολύ εύκολο να αποπροσανατολιστεί ο χρήστης μέσα από την τυχαία εναλλαγή των κουμπιών μεταξύ του ενός ταμπλό και του άλλου. Το καλύτερο είναι να χρησιμοποιήσει ο χρήστης το ταμπλό που του εμφανίζεται όταν για πρώτη φορά «μπει» στο περιβάλλον.

Προκειμένου να κάνει εναλλαγή ανάμεσα στα δύο ταμπλό, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το ακόλουθο κουμπί:



Εικόνα 39 : Κουμπί εναλλαγής των δύο διαφορετικών ταμπλό του Cosmo Player.

Τα υπόλοιπα κουμπιά, που είναι κοινά στα δύο ταμπλό, έχουν τις ακόλουθες λειτουργίες:



Εικόνα 40 : Περιγραφή λοιπών κουμπιών των ταμπλό του Cosmo Player.

❖ Community Place

Εκτός από την αναπαράσταση οποιουδήποτε VRML 2.0 αρχείου, το Community Place επίσης υποστηρίζει τη βελτιωμένη VRML έκδοση της Sony η οποία ενσωματώνει στην προδιαγραφή VRML 2.0 τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης μεταξύ πολλαπλών χρηστών, όπως για παράδειγμα η διενέργεια μίας συζήτησης.

Προκειμένου ο browser να αξιοποιήσει αυτό το νέο χαρακτηριστικό, πρέπει να συνδεθεί μέσω του Διαδικτύου στον εξυπηρετητή Community Place Bureau (CRB) της Sony για να γίνει εφικτή η διαχείριση των πολλαπλών χρηστών. Επίσης η Sony παρέχει εργαλεία για την υποστήριξη ατμοσφαιρικού ήχου και ήχου συνομιλίας. Επιπρόσθετες απαιτήσεις για τη λειτουργία του είναι το Java Runtime Environment (JRE).

Υποστηριζόμενοι τύποι εικόνων	BMP, GIF, JPEG
Υποστηριζόμενοι τύποι βίντεο	BMP, GIF
Υποστηριζόμενοι τύποι ήχου	WAV, MOD
Υποστηριζόμενα Scripts/ Γλώσσες γραφής	Java

Πίνακας 3 : : Χαρακτηριστικά του Community Place.



Εικόνα 41 : Εικονικός κόσμος που έχει δημιουργηθεί με το Community Place της Sony.

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζονται μέσω του Community Place avatars οι οποίοι επικοινωνούν μέσα σε ένα εικονικό chatroom. Το Text chat φαίνεται πάνω από τα κεφάλια των avatar σε μια ημιδιαφανή μπάρα, Ακόμη μπορεί κάποιος να μπει στο Chat κάποιου άλλου και να δει μια άλλη συζήτηση.

Το Community Place παρέχει ως κουμπιά ελέγχου απλά και ξεκάθαρης λειτουργίας βέλη στο κάτω μέρος του απεικονιζόμενου παραθύρου για κίνηση προς τα επάνω, προς τα κάτω, προς τα δεξιά, προς τα αριστερά, προς τα εμπρός και προς τα πίσω, καθώς και μία διαπροσωπεία γραφικών στη δεξιά πλευρά του παραθύρου που αντιπροσωπεύουν τις λειτουργίες walk, turn και float. Επίσης προσφέρει και ένα κουμπί επανεκκίνησης, home button, για την επαναφορά της αναπαράστασης στην πρωταρχική της θέση.



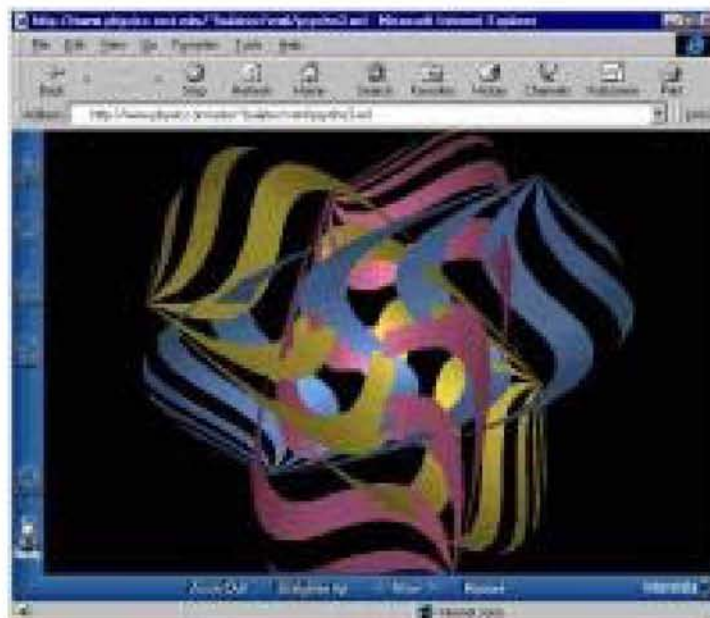
Εικόνα 42 : Παράθυρο ενός chat που έχει δημιουργηθεί με το Community Place.

Όταν κάνουμε κλικ πάνω σε ένα emoticon (smiley faces) τότε ο CPBrowser θα στείλει αστείους ήχους στον εικονικό κόσμο και το avatar κάνει χειρονομίες ορατές από όλους στον κόσμο. Ακόμη, στο chat τα ονόματα των χρηστών είναι χρωματισμένα ώστε να είναι άμεσα αντιληπτό ποιος συμμετέχει στη συζήτηση. Επίσης, μπορεί κάποιος με ένα απλό κλικ μεταξύ του chat window και του browser να εναλλάσσει μεταξύ της ομιλίας και της κίνησης.

❖ WorldView

Το WorldView είναι ένα ακόμη διάσημο VRML plug-in. Υποστηρίζει αναπαραστάσεις σε Java και JavaScript, ήχο και μπορεί επίσης να φορτώνει VRML 1.0 αρχεία. Το WorldView προσφέρει στο χρήστη πολλές δυνατότητες πλοήγησης

και κουμπιά ελέγχου. Η οπτικοποίηση γίνεται με τη βοήθεια του Direct3D της Microsoft ή του QuickDraw3D της Apple.



Εικόνα 43 : Οπτικοποίηση με WorldView.

Υποστηριζόμενοι τύποι εικόνων	Win: BMP, GIF, JPEG, PNG, PPM, RAS Mac: GIF, JPEG
Υποστηριζόμενοι τύποι βίντεο	ActiveMovie formats
Υποστηριζόμενοι τύποι ήχου	WAV, plus ActiveMovie formats
Υποστηριζόμενα Scripts/ Γλώσσες γραφής	Java, JavaScript

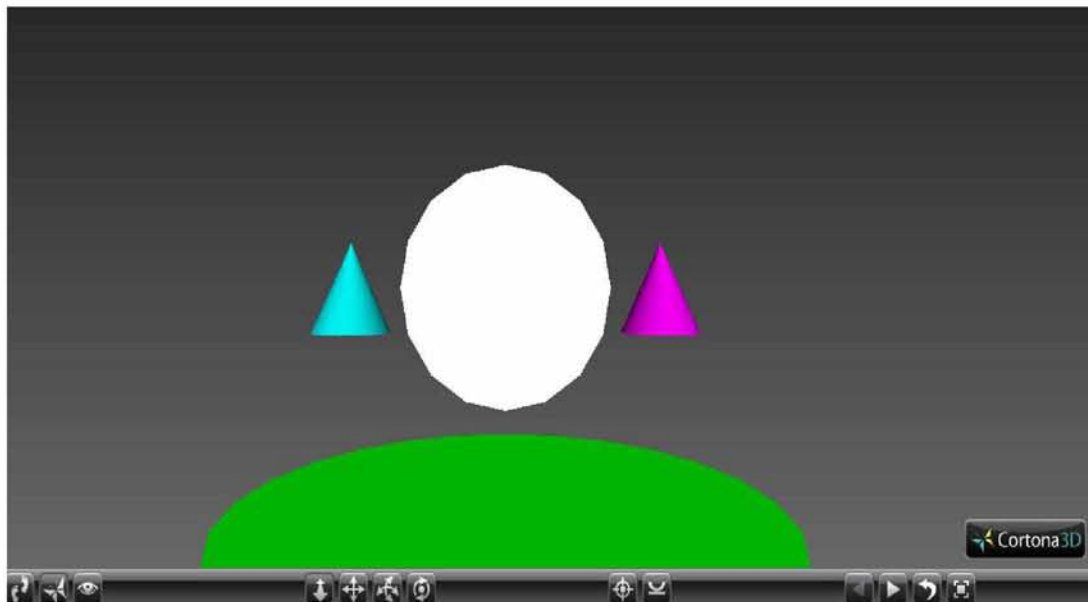
Πίνακας 4 : Χαρακτηριστικά του WorldView.

❖ Cortona

Το Cortona 3D Viewer είναι ένας γρήγορος και υψηλής αλληλεπιδραστικότητας VRML browser ο οποίος στην έκδοσή του 6.0 προσφέρει νέες βελτιωμένες δυνατότητες. Συγκεκριμένα, υποστηρίζει Unicode, λειτουργεί σε Mozilla Firefox έκδοσης 3.0 και άνω, διαθέτει DirectX για βελτιωμένες αναπαραστάσεις, απλοποιεί τη διαδικασία εγκατάστασης του και διαθέτει νέες VRML προεκτάσεις.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Πλήρης υποστήριξη της προδιαγραφής VRML 97.
- Υποστήριξη των σύγχρονων τρισδιάστατων επιταχυντών διαμέσου των DirectX και OpenGL.
- Αναβαθμισμένες αναπαραστάσεις.
- Επέκταση της VRML προδιαγραφής μέσα από την ενσωμάτωση επιπρόσθετων κόμβων και δυνατοτήτων.
- Υποστήριξη του Macromedia Flash.
- Ισχυρό API που βασίζεται στην τεχνολογία ActiveX.
- Διαπροσωπεία χρήστη με δυνατότητες τροποποίησης.

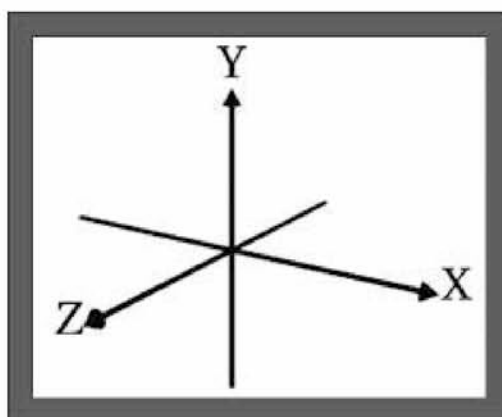


Εικόνα 44 : Οπτικοποίηση με Cortona 3D Viewer.

5.2.4 Δομή της VRML

5.2.4.1 Σύστημα συντεταγμένων

Η VRML χρησιμοποιεί ένα καρτεσιανό, δεξιόστροφο, τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Γενικά, τα αντικείμενα προβάλλονται πάνω σε μία δισδιάστατη συσκευή προς την κατεύθυνση του θετικού άξονα Z, με τον θετικό άξονα X στα δεξιά και τον θετικό άξονα Y επάνω. Ένας μετασχηματισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να μεταβάλλουμε αυτή την ελλiptή προβολή. Η μονάδα μέτρησης που έχει καθοριστεί για τα μήκη και τις αποστάσεις είναι τα μέτρα. Η μονάδα μέτρησης για τις γωνίες είναι τα ακτίνια.



Σχήμα 10 : Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται στη VRML.

Κατά την κατασκευή ενός κόσμου, ο browser παρουσιάζει τα διάφορα αντικείμενα στις θέσεις εκείνες οι οποίες προορίζονται από το σύστημα συντεταγμένων του καθενός. Στη VRML μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα πλήθος από συστήματα συντεταγμένων. Όταν κάποιο σύστημα έχει παραχθεί από κάποιο άλλο, τότε το παραγόμενο ονομάζεται child coordinate system, ενώ το πρώτο parent coordinate system. Το parent coordinate system μπορεί να είναι child coordinate system σε κάποιο άλλο σύστημα συντεταγμένων. Ο πρόγονος όλων των συστημάτων συντεταγμένων ονομάζεται root coordinate system. Τα νέα συστήματα συντεταγμένων μπορούν να δημιουργηθούν με χρήση του κόμβου Transform, ο οποίος περιγράφεται αργότερα.

5.2.3 Βασικά στοιχεία της γλώσσας

Τα VRML αρχεία αποτελούνται από την επικεφαλίδα (header), σχόλια (comments) του προγραμματιστή, ορισμούς κόμβων (nodes) και πρωτοτύπων (prototypes) και φυσικά από ονόματα, πεδία και τις αντίστοιχες τιμές τους. Με μια άλλη πιο αφαιρετική ματιά, τα VRML αρχεία αποτελούνται από σύνολα κόμβων που είναι ενταγμένα σε ιεραρχίες υποσυνόλων και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Τα σύνολα αυτά αποτελούν τον κόσμο (world).

5.2.3.1 Επικεφαλίδα και Σχόλια

Η πρώτη γραμμή κάθε VRML αρχείου ξεκινάει πάντα με την επικεφαλίδα που έχει την ακόλουθη μορφή: #VRML V2.0 utf. Αυτή καθορίζει ότι το αρχείο είναι γραμμένο σύμφωνα με την VRML 2.0 προδιαγραφή και όχι για παράδειγμα με την VRML 1.0. Η λέξη-κλειδί utf αναφέρεται στο παγκόσμιο σύνολο χαρακτήρων UTF-8 το οποίο χρησιμοποιείται στο αρχείο.

Η δεύτερη γραμμή ξεκινάει με το σύμβολο της δίεσης «#». Αυτό υποδηλώνει ότι το όλο το κείμενο που έπεται του συμβόλου αυτού και φτάνει έως το τέλος της γραμμής, αποτελεί σχόλια τα οποία θα αγνοηθούν από το VRML λογισμικό. Τα σχόλια μπορούν για παράδειγμα να περιγράψουν τα περιεχόμενα του σκηνικού.

5.2.3.2 Ορισμός & Ομαδοποίηση Κόμβων

Το υπόλοιπο μέρος του VRML αρχείου αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τμήμα της πληροφορίας που περιγράφει το όλο σκηνικό. Λόγου χάρη, μπορεί ένας κόμβος να καθορίζει το σχήμα ή την πηγή φωτισμού ή συγκεκριμένες ιδιότητες ενός αντικειμένου, όπως το χρώμα και τις συντεταγμένες του.

Κατά τον ορισμό των κόμβων καθορίζεται το όνομά τους το οποίο προσδιορίζει τον τύπο τους και ακολουθείται από ένα ζεύγος αγκίστρων εντός των οποίων ορίζεται ένας αριθμός προαιρετικών πεδίων με τις αντίστοιχες τιμές τους. Τα πεδία προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά του κόμβου και μπορούν να γράφονται με οποιαδήποτε σειρά. Τα ονόματα των κόμβων ξεκινούν με κεφαλαίο γράμμα, ενώ τα ονόματα των πεδίων ξεκινούν με μικρά.

Ως τιμές των πεδίων μπορεί να είναι μεταξύ άλλων και κάποιος άλλος κόμβος. Ο αρχικός, στην περίπτωση αυτή, ονομάζεται πατέρας (father) ενώ όλοι οι άλλοι κόμβοι

που περιέχονται σε αυτόν αποκαλούνται παιδιά (children) του. Προφανώς ο πατέρας κόμβος ή αλλιώς πρόγονος των υπολοίπων μπορεί να είναι παιδί σε κάποιον άλλο πατέρα. Κατά αυτό τον τρόπο φτάνουμε σε ένα κόμβο αρχικό από τον οποίο, τελικά, προκύπτουν όλοι οι υπόλοιποι: τον κόμβο ρίζα (root node). Αυτή η ιεραρχική δόμηση των κόμβων όπου κάποιοι εμπεριέχονται σε άλλους, ονομάζεται γράφος σκηνικού (scene graph). Οι γράφοι σκηνικών εκφράζουν την εξής αντίληψη: οι κόμβοι που είναι νωρίτερα στο γράφημα, μπορούν να επηρεάσουν τους κόμβους που εμφανίζονται αργότερα σε αυτό. Για παράδειγμα, η περιστροφή ή η αλλαγή του υλικού ενός κόμβου που βρίσκεται πιο ψηλά στην ιεραρχία, θα επηρεάσει και τους κόμβους εκείνους που είναι έπονται αυτού στον γράφο.

Ένας κόμβος μπορεί να οριστεί μια φορά και να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον επανειλημμένα χωρίς φυσικά να πρέπει να οριστεί ξανά. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε τις λέξεις DEF και USE ως εξής:

DEF όνομα αντικειμένου τύπος αντικειμένου {πεδία, παιδιά}

Μόνο ο τύπος του αντικειμένου και τα άγκιστρα είναι απαραίτητα. Οι κόμβοι μπορούν να έχουν ή να μην έχουν παιδιά, πεδία και όνομα. Τα ονόματα των κόμβων δεν πρέπει να ξεκινάνε με ψηφίο, δεν πρέπει να περιέχουν κενά διαστήματα ή χαρακτήρες ελέγχου, μονούς ή διπλούς χαρακτήρες αναφοράς, κάθετους, άγκιστρα, τον χαρακτήρα συν ή τον χαρακτήρα περιόδου.

Από τη στιγμή που θα δηλωθεί το όνομα για κάποιον κόμβο, υπάρχει η δυνατότητα αυτός να χρησιμοποιηθεί ξανά χωρίς να οριστούν πάλι τα χαρακτηριστικά του. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της εντολής:

USE όνομα αντικειμένου

Η VRML περιλαμβάνει 54 διαφορετικούς τύπους κόμβων οι οποίοι μεταξύ άλλων προσδίδουν ιδιότητες γεωμετρίας, εμφάνισης, ήχου, βίντεο, ζωντανών αναπαραστάσεων και δυνατότητες αλληλεπίδρασης. Ακολουθώς παρατίθεται το σύνολο των κόμβων ανά τύπο:

ΚΟΜΒΟΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ	Cone, Box, Cylinder, Sphere, Text, ElevationGrid, Extrusion, IndexedFaceSet, IndexedLineSet, PointSet, LOD (Level Of Details), Background, Coordinate, FontStyle
ΚΟΜΒΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	Appearance, Material, Color, Normal, TextureTransform, TextureCoordinate, ImageTexture, PixelTexture, MovieTexture, Fog
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΙΣ	PositionInterpolator, OrientationInterpolator, ScalarInterpolator, CoordinateInterpolator, NormalInterpolator, ColorInterpolator
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	TouchSensor, TimeSensor, PlaneSensor, SphereSensor, CylinderSensor, VisibilitySensor, ProximitySensor, Collision
ΚΟΜΒΟΙ ΗΧΟΥ	AudioClip, Sound
ΚΟΜΒΟΙ ΦΩΤΙΣΜΟΥ	DirectionalLight, PointLight, SpotLight, Viewpoint
ΚΟΜΒΟΙ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	Group, Shape, Switch, Transform, Billboard
ΚΟΜΒΟΙ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΩΝ	Inline, Anchor, NavigationInfo, WorldInfo, Script

Πίνακας 5 : Κόμβοι της VRML.

Επισημαίνεται και η ύπαρξη του κόμβου PROTO που επιτρέπει την κατασκευή νέων κόμβων από το χρήστη.

Ορισμένοι από τους κόμβους αντιστοιχούν σε αντικείμενα (π.χ. Cylinder, SpotLight κ.λ.π.) και καθορίζουν τη γεωμετρία τους μέσα στη σκηνή. Εκτός από τους κόμβους αυτούς που έχουν οπτικό ανάλογο σε έναν εικονικό κόσμο, υπάρχει και μία

σειρά από άλλους κόμβους που επιτρέπουν τη σύνδεση πολλών αρχείων μεταξύ τους, την ανίχνευση συγκρούσεων μεταξύ των αντικειμένων ή την ενσωμάτωση συνδέσεων σε διάφορες διευθύνσεις στο Διαδίκτυο (WWW). Επίσης, άλλοι κόμβοι επηρεάζουν τον τρόπο που σχεδιάζονται τα σχήματα προσδίδοντάς τους διαφορετικές ιδιότητες, και τέλος, υπάρχουν και οι κόμβοι ομαδοποίησης (π.χ. Group, Transform) οι οποίοι συγκεντρώνουν πολλούς κόμβους μαζί, επιτρέποντας στις συλλογές των κόμβων να συμπεριφέρονται σαν ένα ενιαίο αντικείμενο. Μερικοί κόμβοι Ομαδοποίησης επίσης ελέγχουν αν σχεδιάζονται ή όχι τα παιδιά τους. Οι κόμβοι που ομαδοποιούνται περιγράφονται στο πεδίο children των κόμβων αυτών.

5.2.3.3 Πεδία

Κάθε κόμβος από αυτούς που αναφέρθηκαν παραπάνω περιέχουν στη σύνταξή τους πεδία για την περιγραφή των ιδιοτήτων τους. Τα πεδία είναι οι τιμές των ιδιοτήτων των κόμβων. Στην γλώσσα αυτή υπάρχουν 20 διαφορετικοί τύποι πεδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση διαφορετικών τύπων δεδομένων, από απλούς ακεραίους έως πίνακες περιστροφής τρισδιάστατων αντικειμένων. Υπάρχουν δύο γενικές τάξεις πεδίων: πεδία που περιέχουν μία μόνο τιμή (όπου η τιμή μπορεί να είναι ένας αριθμός, ένα διάνυσμα ή ακόμα και μία εικόνα) και πεδία που περιέχουν πολλαπλές τιμές. Τα πεδία που έχουν μία τιμή, έχουν ονόματα που αρχίζουν με το SF, ενώ τα πεδία πολλαπλών τιμών έχουν πεδία που αρχίζουν με το MF. Κάθε τύπος πεδίου καθορίζει τη διάταξη των τιμών που δίνει. Η προκαθορισμένη τιμή για το πεδίο χρησιμοποιείται, όταν η τιμή για το πεδίο δεν καθορίζεται μέσα στο αρχείο VRML. Η σειρά με την οποία διαβάζονται τα πεδία ενός κόμβου δεν έχει σημασία. Για παράδειγμα, το “Box {πλάτος 2 ύψος 4 βάθος 6}” και το “Box {ύψος 4 βάθος 6 πλάτος 2}” είναι ίδια.

Τα πεδία που ορίζουν σταθερές ιδιότητες του κόμβου, δηλαδή ιδιότητες που τίθενται κατά την ανάγνωση της περιγραφής του κόσμου και δεν αλλάζουν έκτοτε, δηλώνονται ως “**field**”. Τα πεδία που λειτουργούν ως είσοδοι και αυτά που λειτουργούν ως έξοδοι πληροφοριών δηλώνονται αντίστοιχα ως “**eventIn**” και “**eventOut**”. Υπάρχουν και πεδία τα οποία συνδυάζουν τις τρεις προηγούμενες δυνατότητες και δηλώνονται ως “**exposedField**”. Οι διαφορές θα τονιστούν με την εξήγηση για τα routes στη συνέχεια. Στο πρότυπο X3D τα ονόματα για τις δηλώσεις είναι αντίστοιχα “**initializeOnly**”, “**inputOnly**”, “**outputOnly**” και “**inputOutput**”.

5.2.3.4 Λειτουργία ορισμένων βασικών κόμβων

Group

Για να ομαδοποιήσουμε ένα σύνολο κόμβων χρησιμοποιούμε την λέξη Group. Η σύνταξή τους γίνεται ως εξής:

```
Group {  
    children[...]  
}
```

Shape

Τα σχήματα προσδιορίζονται από τη γεωμετρία τους και την εμφάνισή τους. Η πρώτη καθορίζει αυτό που στην καθημερινή γλώσσα αποτελεί την απάντηση στο ερώτημα « Τι σχήμα είναι αυτό; », ενώ η δεύτερη καθορίζει παράγοντες όπως είναι το χρώμα και η υφή, στο βαθμό που αυτές μπορούν να παρουσιαστούν μέσω της εικόνας. Οι δυο αυτές έννοιες καθορίζονται στον κόμβο Shape. Ειδικότερα, η εμφάνιση προσδιορίζεται από τους κόμβους Appearance και Material, οι οποίοι είναι μέσα στον Shape. Η προεπιλεγμένη θέση κάθε σχήματος είναι στο κέντρο του κόσμου (world), ή με άλλα λόγια στο κέντρο της οθόνης μας. Η λειτουργία Transform μας επιτρέπει να τοποθετούμε τα αντικείμενα οπουδήποτε μέσα στον κόσμο, να τα περιστρέφουμε κατά οποιοδήποτε τρόπο, καθώς επίσης και να δίνουμε την ψευδαίσθηση του βάθους όπου εμείς επιθυμούμε.

Ο κόμβος Shape αποτελείται από τους κόμβους Appearance και Geometry.

Ο κόμβος Appearance αποτελείται από τα ακόλουθα τρία πεδία: material (υλικό), texture(υφή) και textureTransform (μετασχηματισμός υφής). Τα τελευταία δύο πεδία χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που θέλουμε τα αντικείμενα να έχουν συγκεκριμένη υφή. Το πεδίο material παίρνει τιμές από τον κόμβο Material.

Ο κόμβος Material έχει έξι πεδία τα οποία καθορίζουν το χρώμα και τις ανακλαστικές ιδιότητες των αντικειμένων:

- ο Το πεδίο diffuseColor καθορίζει το κυρίαρχο χρώμα του αντικειμένου που ακτινοβολεί προς όλες τις κατευθύνσεις όταν αυτό φωτίζεται. Το χρώμα

καθορίζεται από τρεις δεκαδικούς αριθμούς που κυμαίνονται μεταξύ 0.0 και 1.0 και αντιπροσωπεύουν τις ποσότητες του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε. Η προκαθορισμένη τιμή είναι η 0.8 0.8 0.8, που αντιστοιχεί στο γκρι χρώμα.

- Το πεδίο specularColor καθορίζει το χρώμα των πιο φωτεινών σημείων του αντικειμένου. Η προκαθορισμένη τιμή αυτού του πεδίου είναι η 0.0 0.0 0.0 και αντιστοιχεί στο μαύρο χρώμα.
- Το πεδίο emissiveColor καθορίζει το χρώμα του αντικειμένου, ανεξαρτήτου ύπαρξης οποιασδήποτε φωτεινής πηγής. Η προκαθορισμένη τιμή του είναι η 0.0 0.0 0.0 (μαύρο).
- Η τιμή shininess χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την οξύτητα του φωτός που αντανακλάται. Η αύξηση της τιμής αυτής κάνει το αντικείμενο να φαίνεται πιο φωτεινό. Η προκαθορισμένη τιμή είναι η 0.2.
- Το πεδίο transparency καθορίζει τη διαύγεια του αντικειμένου. Η τιμή 0.0, που είναι και η προκαθορισμένη, αντιπροσωπεύει ένα αδιάφανο αντικείμενο, με την τιμή 1.0 το αντικείμενο είναι πλήρως διάφανο.
- Η τιμή ambientIntensity χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει τον περιβάλλον φωτισμό του αντικειμένου. Η προκαθορισμένη τιμή είναι το 0.2.

Τα πεδία των κόμβων Shape, Appearance και Material είναι προαιρετικά και οι προεπιλεγμένες τιμές τους φαίνονται ακολούθως:

```
Shape {  
    appearance NULL  
    geometry  NULL  
}
```

```
Appearance {  
    material      NULL  
    texture       NULL  
    textureTranform  NULL  
}
```

```

Material {
    ambientIntensity    0.2
    diffuseColor        0.8 0.8 0.8
    emissiveColor        0.0 0.0 0.0
    shininess            0.2
    specularColor        0.0 0.0 0.0
    transparency         0.0
}

```

Box, Cone, Cylinder και Sphere

Η VRML παρέχει ως βασικά σχήματα για την κατασκευή των υπόλοιπων πιο περίπλοκων σχημάτων, τον κύβο (box), τον κώνο (cone), τον κύλινδρο (cylinder) και τη σφαίρα (sphere).

Ο κόμβος Box έχει ένα και μόνο πεδίο, το size, το οποίο ορίζει τις διαστάσεις του σχήματος του κουτιού που θα σχεδιαστεί. Έτσι, το όνομα του πεδίου ακολουθούν τρεις τιμές που προσδιορίζουν τα μήκη των ακμών του κουτιού ως προς τους άξονες X, Y, Z αντίστοιχα. Για παράδειγμα, ο ακόλουθος κόμβος ορίζει την κατασκευή ενός κουτιού (κύβου) με τρεις μονάδες πλάτος, 2 μονάδες ύψος και 5 μονάδες βάθος.

```

Box {
    size 3.0 2.0 5.0
}

```

Τονίζουμε, σε αυτό το σημείο, ότι μονάδα μέτρησης μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Επίσης, οι προεπιλεγμένες τιμές για τα πεδία του σχήματος Box είναι 2.0 2.0 2.0.

Ο κόμβος Cone αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία και έχει τις εξής προκαθορισμένες τιμές:

Cone {	
bottomRadius	1.0
height	2.0
side	TRUE
bottom	TRUE
}	

Οι λειτουργίες των δυο πρώτων πεδίων ορίζουν την ακτίνα της βάσης του κόμβου και το ύψος του αντίστοιχα. Το πεδίο side εκφράζει το αν θα έχει ή όχι πλευρές ο κόμβος, ενώ το πεδίο bottom εκφράζει το αν θα έχει βάση ο κύλινδρος.

Ο κόμβος Cylinder ορίζεται ως ακολούθως και οι λειτουργίες των πεδίων του είναι προφανείς.

Cylinder {	
radius	1.0
height	2.0
side	TRUE
top	TRUE
bottom	TRUE
}	

Ομοίως και ο κόμβος Sphere ορίζεται παρακάτω:

```
Sphere {  
    radius 1.0  
}
```

Transform

Ένας μετασχηματισμός δημιουργεί ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο είναι τοποθετημένο, στραμμένο και κλιμακωμένο (positioned, rotated, scaled) με βάση το πατρικό σύστημα συντεταγμένων. Τα σχήματα που ανήκουν σε αυτό συμπεριφέρονται ανάλογα. Για να κατασκευάσουμε το νέο σύστημα πρέπει να ορίσουμε ένα κόμβο Transform.

```
Transform {  
    Translation ...  
    rotation ...  
    scale ...  
    children [ ... ]  
}
```

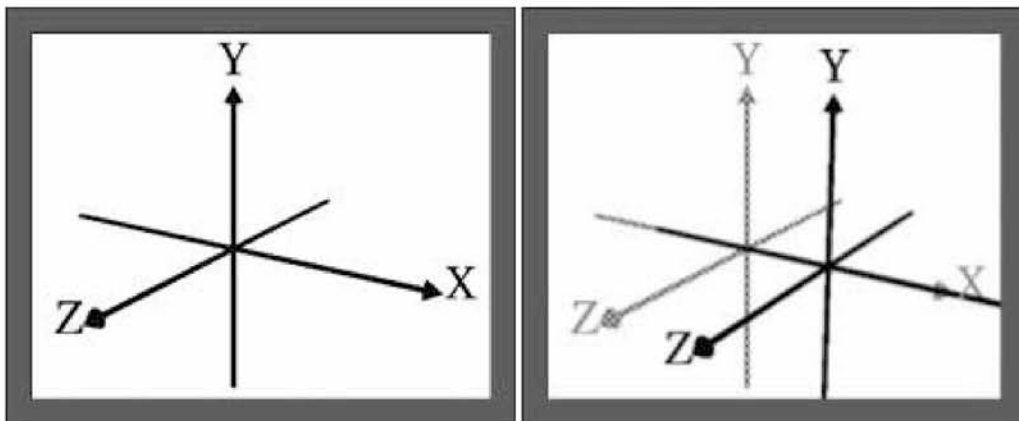
Οι τιμές του πεδίου translation καθορίζουν την απόσταση από τον άξονα X, Y, Z αντίστοιχα του parent από το child σύστημα συντεταγμένων. Οι τιμές του πεδίου rotation καθορίζουν ως προς ποιούς άξονες γίνεται η περιστροφή καθώς και την γωνία περιστροφής. Το πεδίο scale καθορίζει την κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιούμε σε κάθε άξονα. Το πεδίο children καθορίζει τα παιδιά κόμβους, τα οποία είναι ενταγμένα στο σύστημα αυτό. Πέραν τούτων, υπάρχουν και άλλα πεδία τα οποία μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει για να καθορίσει ακόμα περισσότερες λεπτομέρειες. Όταν αυτά δεν αναφέρονται θεωρείται ότι έχουν τις προεπιλεγμένες τιμές. Πιο συγκεκριμένα έστω ότι καταγράφουμε στο αρχείο μας τα ακόλουθα:


```

Transform {
    translation 2.0 0.0 0.0
    children    [ . . ]
}

```

Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα σύστημα συντεταγμένων μετατοπισμένο κατά δύο μονάδες ως προς τον άξονα X.



Σχήμα 11 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από μετατόπιση των αξόνων.

Αντίστοιχα, έχουμε και για το πεδίο rotation:

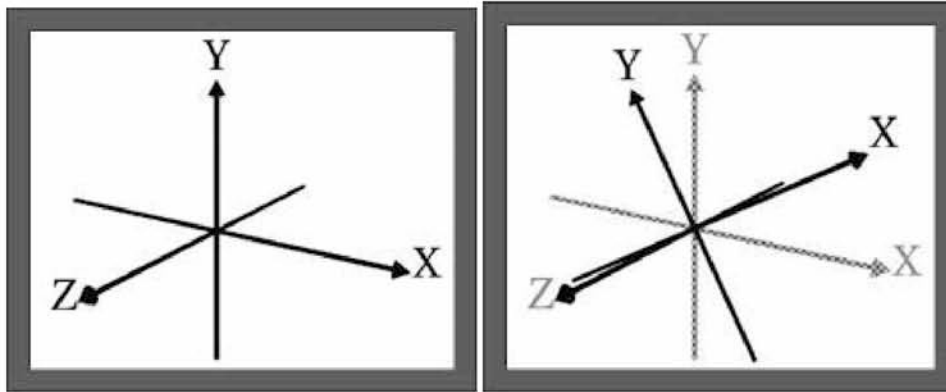
```

Transform {
    rotation 0.0 0.0 1.0 0.52
    children [ . . ]
}

```

Οι τρεις πρώτες τιμές καθορίζουν σε ποιόν άξονα θα γίνει η περιστροφή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα γίνει στον Z άξονα, κατά 0.52 ακτίνια.

Οπότε το παλιό και το νέο σύστημα συντεταγμένων θα είναι ως εξής:



Σχήμα 12 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από περιστροφή των αξόνων.

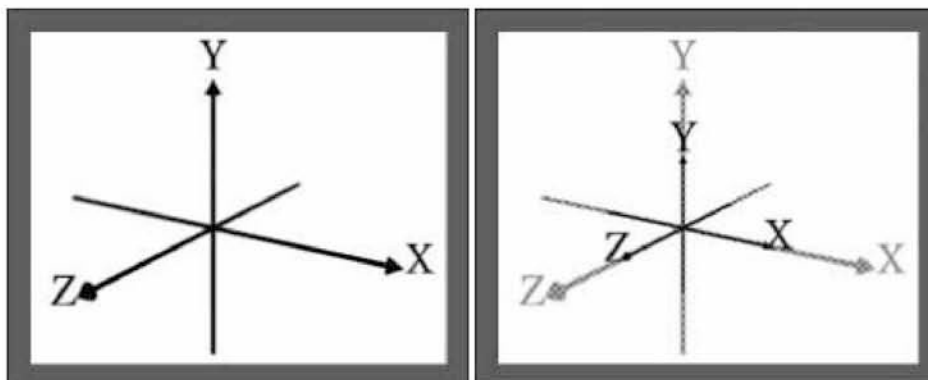
Η κλιμάκωση των αξόνων γίνεται με βάση τις τιμές του (προαιρετικού) πεδίου scale. Το πεδίο αυτό μεγαλώνει ή μικραίνει την κλίμακα. Για παράδειγμα:

Οπότε έχουμε:

```

Transform {
    scale    0.5 0.5 0.5
    children [ . . . ]
}

```



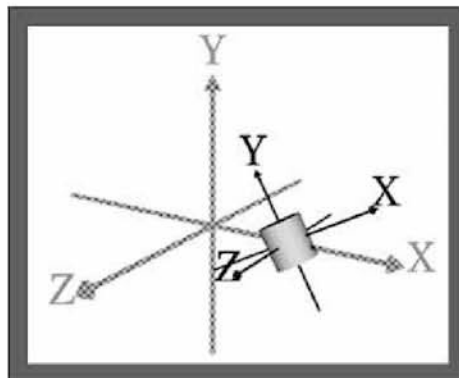
Σχήμα 13 : Αριστερά βλέπουμε το αρχικό σύστημα συντεταγμένων, ενώ δεξιά το νέο το οποίο δημιουργήθηκε με βάση το πρώτο ύστερα από κλιμάκωση των αξόνων.

Αν συνδυάσουμε όλους τους παραπάνω μετασχηματισμούς θα έχουμε το εξής παράδειγμα με ένα υποθετικό αντικείμενο:

```

Transform {
  translation 2.0 0.0 0.0
  rotation    0.0 0.0 1.0 0.52
  scale      0.5 0.5 0.5
  children [ ... ]
}

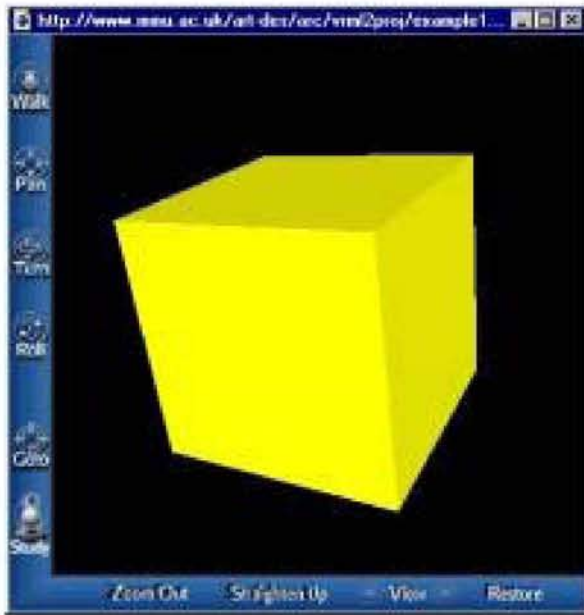
```



Σχήμα 14 : Μετακίνηση αντικειμένου ως προς το αρχικό σύστημα συντεταγμένων ύστερα από εφαρμογή των μετασχηματισμών μετατόπιση, περιστροφή και κλιμάκωση.

Αξίζει να τονίσουμε ότι ο κόμβος Transform επιτελεί ουσιαστικά μια ομαδοποίηση κόμβων με βάση το σύστημα συντεταγμένων που ορίζει.

Συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω μπορούμε να φτιάξουμε τον ακόλουθο VRML κόσμο:



Εικόνα 45 : Οπτικοποίηση ενός κίτρινου κύβου μέσω του WorldView.

Στη διπλανή εικόνα, απεικονίζεται ένας απλός VRML κόσμος, ο οποίος αποτελείται από έναν απλό κίτρινο κύβο. Το VRML αρχείο που περιγράφει αυτό το σκηνικό φαίνεται παρακάτω. Επειδή τα VRML αρχεία είναι γραμμένα σε μορφή απλού κειμένου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε text editor για τη συγγραφή τους. Απλά, γίνεται αποθήκευση του αρχείου με κατάληξη .wrl και στη συνέχεια άνοιγμά του με κάποιον VRML browser προκειμένου να

οπτικοποιηθεί το μοντέλο στις τρεις διαστάσεις.

```
#VRML V2.0 utf8
# example1.wrl - a yellow box
Shape {
  geometry Box { }
  appearance Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 1.0 1.0 0.0 # red, green, blue
    }
  }
}
```

Inline

Ένα πρόγραμμα σε VRML μπορεί να είναι ιδιαίτερα μακροσκελές. Συχνή πρακτική είναι να μην ορίζονται όλα τα στοιχεία του σε ένα αρχείο. Ο κόμβος inline ουσιαστικά περιγράφει που είναι τοποθετημένα τα διάφορα στοιχεία. Π.χ.:

```
Inline {  
  url "jet.wrl"  
}
```

Anchor

Anchor μπορεί να είναι οποιοδήποτε σχήμα ή ομάδα σχημάτων, τα οποία όταν επιλεγούν, μεταφερόμαστε σε ένα άλλο προκαθορισμένο αρχείο VRML που προβάλλεται. Λειτουργούν με τρόπο αντίστοιχο των links στην Html.

```
Anchor {  
  url "stairway.wrl"  
  description "Floating Stairs"  
  children [ . . . ]  
}
```

Το πεδίο description παίρνει ως τιμές συμβολοσειρές και λειτουργεί βοηθητικά επεξηγώντας τον κόσμο.

ImageTexture

Με τον όρο texture στην VRML εννοούμε την οπτική λεπτομέρεια που εμφανίζεται ανάλογα με την απόσταση από την οποία παρακολουθούμε ένα αντικείμενο. Στον πραγματικό κόσμο οι λεπτομέρειες που υπάρχουν σε ένα αντικείμενο δεν διακρίνονται όταν αυτό είναι πάρα πολύ μακριά μας. Καθώς μας προσεγγίζει τις εντοπίζουμε εκεί που πριν δεν τις βλέπαμε. Δεδομένου ότι αυτό είναι ιδιαίτερα δύσκολο για να γίνει η VRML δίνει τη δυνατότητα να τοποθετούμε μια

φωτογραφία του αντικειμένου πάνω στο σχήμα το οποίο το μοντελοποιεί, λειτουργία γνωστή ως texture mapping.

```
ImageTexture {  
    url "cantop.jpg"  
}
```

Με τον παραπάνω τρόπο ζητάμε να εντοπιστεί η φωτογραφία cantop.jpg

Είναι αυτονόητο ότι στην περίπτωση του texture mapping το χρώμα του texture τοποθετείται πάνω από το προηγούμενο. Ο κόμβος Appearance είναι αυτός ο οποίος αναλαμβάνει να τυλίξει την φωτογραφία γύρω από το σχήμα. Ο κόμβος ImageTexture υποστηρίζει τα format .jpeg, .png, .gif.

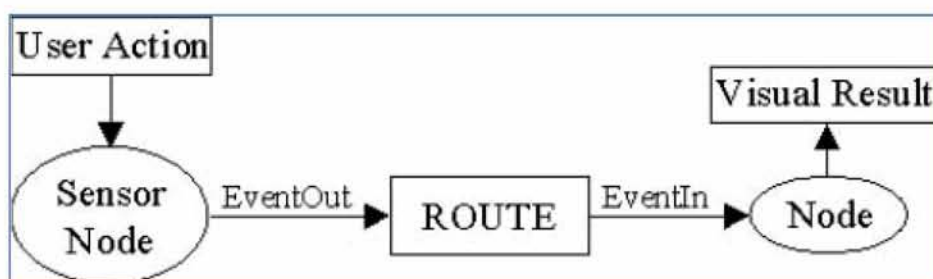
5.2.3.5 Αισθητήρες και Παρεμβολείς

Η τελευταία έκδοση της VRML παρέχει ένα μηχανισμό μεταβίβασης μηνυμάτων μέσω του οποίου οι κόμβοι στον γράφο σκηνικού μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσα από την αποστολή γεγονότων. Ο μηχανισμός αυτός, σε συνδυασμό με ειδικούς τύπους κόμβων που καλούνται αισθητήρες (sensors) και παρεμβολείς (interpolators), δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη για αλληλεπίδραση και για δημιουργία ζωντανών αναπαραστάσεων. Συγκεκριμένα, ο κόμβος TimeSensor προκαλεί γεγονότα προσωρινής διάρκειας με το πέρασμα του χρόνου και αποτελεί το θεμέλιο λίθο για όλες τις ζωντανές αναπαραστάσεις. Έπειτα, ένα σύνολο κόμβων που ονομάζονται Interpolators, έχουν τη δυνατότητα συνεχούς μετάφρασης των προσωρινών γεγονότων σε δεδομένα που απαιτούνται για τη δημιουργία των ζωντανών αναπαραστάσεων. Για παράδειγμα, ο κόμβος PositionInterpolator έχει τη δυνατότητα να μεταφράζει τα προσωρινά γεγονότα σε συντεταγμένες στις τρεις διαστάσεις του χώρου. Με το σωστό συνδυασμό αυτών των κόμβων στα τρισδιάστατα αντικείμενα, ο χρήστης μπορεί να προσδώσει ζωντανή κίνηση σε αυτά όπως για παράδειγμα τη δυνατότητα να μετακινούνται. Άλλοι αισθητήρες είναι χρήσιμοι για τη διαχείριση των αλληλεπιδράσεων του χρήστη μέσα από τη δημιουργία γεγονότων κατά την κίνηση του διαμέσου του κόσμου ή κατά τη στιγμή αλληλεπίδρασης του με κάποιες συσκευές εισόδου (π.χ. στο κλικ του ποντικιού).

Περισσότερο σύνθετες συμπεριφορές (όπως είναι η ρεαλιστική προσομοίωση φυσικών φαινομένων) μπορούν να πραγματοποιηθούν με τη χρήση του κόμβου Script, ο οποίος επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει τυχαίες συμπεριφορές, μέσα από υποστηριζόμενες γλώσσες προγραμματισμού (η προδιαγραφή VRML97 υποστηρίζει συνδέσμους του κόμβου Script με τις γλώσσες Java και JavaScript). Επίσης, όταν αυτό είναι απαραίτητο, κάποιος μπορεί να διαχειριστεί το εικονικό περιβάλλον μέσα από ένα εξωτερικό πρόγραμμα, π.χ. μέσα από ένα Java applet στον Web browser, διαμέσου μίας εξωτερικής διαπροσωπείας συγγραφής (External Authoring Interface-EAI), η οποία επιτρέπει στο εξωτερικό πρόγραμμα να διαχειριστεί τον VRML browser.

5.2.3.6 Επεξεργασία συμβάντων

Ένας άλλος μηχανισμός δυναμικού χειρισμού της κατάστασης του εικονικού κόσμου δίνεται με τη χρήση των events (γεγονότα) και routes (διαδρομές). Η λογική είναι η ακόλουθη: Για έναν κόμβο υπάρχουν υποδοχές εισόδου και εξόδου (eventIn και eventOut). Οι υποδοχές εξόδου παράγουν events τα οποία πυροδοτούνται από ενέργειες του χρήστη (που αντιλαμβάνονται ειδικοί κόμβοι αισθητήρες), από το πέρασμα του χρόνου (κόμβοι με συμπεριφορά βασισμένη στο χρόνο), από εξωτερικά ερεθίσματα κ.α. Τα eventIn δέχονται τα γεγονότα και με βάση αυτά αλλάζουν ένα πεδίο του κόμβου. Ένα route δημιουργείται για να συνδέσει ένα eventIn με ένα eventOut, λειτουργεί δηλαδή σαν ιδεατός αγωγός μεταφοράς συμβάντων από πεδία εξόδου κόμβων προς πεδία εισόδου άλλων κόμβων. Έτσι μία ενέργεια, όπως για παράδειγμα το κλικ επάνω στο φως σε ένα δωμάτιο προκαλεί την ενεργοποίησή του, την αλλαγή του χρώματος του ή το άνοιγμα μιας πόρτας στο δωμάτιο ανάλογα με τα routes που δημιουργήσαμε. Παρακάτω φαίνεται η τυπική σύνταξη μιας διαδρομής/route: *ROUTE Node1.collideTime TO Node2.startTime*



Σχήμα 15 : Διαχείριση ενεργειών του χρήστη από τη VRML με χρήση routes.

Πέρα από τα events που αναφέραμε για κάθε κόμβο ξεχωριστά υπάρχουν πολλά ακόμα, συγκεκριμένα για κάθε πεδίο τύπου #exposedField υπάρχουν δυο events: ένα eventIn και ένα eventOut που λέγονται set_XXXX και XXXX_changed αντίστοιχα όπου XXXX είναι το όνομα του πεδίου, το set_XXXX αλλάζει την τιμή του πεδίου αν δεχτεί ένα γεγονός ενώ το XXXX_changed παράγει ένα γεγονός όποτε αλλάζει το πεδίο.

ROUTE Timer.fraction_changed TO RedCI.set_fraction

Τα routes πρέπει να διευκρινιστεί ότι δεν είναι κόμβοι. Επίσης πρέπει ο τύπος της εξόδου να είναι ακριβώς ο ίδιος με τον τύπο της εισόδου (ο τύπος του κάθε πεδίου φαίνεται στην τελευταία στήλη της παρουσίασης κάθε κόμβου). Είναι δυνατόν να συνδεθεί μια έξοδος σε πολλές εισόδους ή πολλές έξοδοι σε μια είσοδο. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε έναν κόμβο σε route πρέπει να τον ονομάσουμε με χρήση της DEF.

5.2.3.7 Χρήση *scripts* (κόμβος *Script*)

Οι ενσωματωμένοι sensors, interpolators, shapes, κτλ. δεν τα καταφέρνουν καλά με περίπλοκες δραστηριότητες όπως για παράδειγμα την τροχιά ενός βλήματος σε βαρυτικό πεδίο. Για αυτόν τον σκοπό υπάρχει η δυνατότητα της χρήσης scripts μέσω του Script κόμβου:

```
Script {  
  url "circle.class"  
  ή ...  
  url "circle.js"  
  ή ...  
  url "javascript: ..."  
}
```


Δηλαδή, ο κόμβος περιέχει την διεύθυνση προς ένα java αρχείο. Επίσης στον Script κόμβο ορίζονται πεδία και events ως εξής:

```
Script {  
  field      SFFloat cycles      1.0  
  eventIn    SFFloat  set_fraction  
  eventOut   SFVec3f  position_changed  
}
```

5.2.3.8 Δημιουργία καινούργιων τύπων κόμβων (PROTO, IS και EXTERNPROTO)

Είναι δυνατόν να δημιουργήσουμε νέους τύπους κόμβων, αυτό γίνεται όπως φαίνεται παρακάτω:

```
PROTO MyNode [  
  ...  
  field          fieldType      fieldName  defaultValue  
  exposedField   fieldType      fieldName  defaultValue  
  eventIn        eventInType    eventInName  
  eventOut       eventOutType    eventOutName  
  ...  
] {  
  nodeBody  
}
```

Στο *nodeBody* επιτρέπεται να γράψουμε κανονικά οτιδήποτε θα γράφαμε σε ένα VRML πρόγραμμα. Συνδέουμε τα *field*, *exposedField*, *eventIn* και *eventOut* της επικεφαλίδας με την λέξη *IS* ως εξής :

```

PROTO Cube [
  Field SFVec3f cubeSize 0.0 0.0 0.0]
{
  Shape {
    appearance Appearance {
      Material Material { }
    }
    geometry Box {
      size IS cubeSize
    }
  }
}

```

Ο τύπος του νέου κόμβου είναι ίδιος με τον τύπο του πρώτου κόμβου στο *nodeBody* και ο PROTO κόμβος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εκεί όπου του το επιτρέπει ο τύπος του, π.χ. ο Cube χρησιμοποιείται όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Shape κόμβος.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αρχεία αντί να γράψουμε όλους τους κόμβους στο *nodeBody* με την EXTERNPROTO:

```

PROTO MyNode [
  ...
  field      fieldType      fieldName  defaultValue
  exposedField  fieldType      fieldName  defaultValue
  eventIn    eventInType    eventInName
  eventOut   eventOutType   eventOutName
  ...
] {
  url ή [ urlList]
}

```

5.2.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της VRML

Η VRML είναι μια δυναμική και επεκτάσιμη γλώσσα. Οι δημιουργοί της την σχεδίασαν σε αρθρωτή μορφή (modular format). Κάθε αντικείμενο δημιουργείται στον δικό του κόσμο. Για παράδειγμα εάν ένα βάζο σχεδιαζόταν σε VRML, αρχικά θα κατασκευαζόταν στις συντεταγμένες του δικού του κόσμου. Εάν ο σχεδιαστής ήθελε να το τοποθετήσει σε ένα σπίτι που κατασκεύαζε, θα μπορούσε απλά να το μεταφέρει, να το περιστρέψει και να αλλάξει το μέγεθός του έτσι ώστε να ταιριάζει ακριβώς στο χώρο που αυτός θέλει. Δίνοντας τις προδιαγραφές συστατικών όπως το βάζο σε ένα γενικό σύστημα συντεταγμένων, μεγάλες βιβλιοθήκες συστατικών της VRML μπορούν να δημιουργηθούν στις οποίες οι δημιουργοί μπορούν να αναφέρονται. Χρησιμοποιώντας την ίδια αρθρωτή δομή, οι σχεδιαστές έχουν τη δυνατότητα να ενώνουν πολλαπλούς κόσμους της VRML.

Δυστυχώς η VRML είναι αρκετά αργή. Από τη στιγμή που διερμηνεύεται (interpreted), χρειάζεται μια γρήγορη CPU για να αναπαριστά τις σκηνές στα 25 fps ή και παραπάνω. Ακόμη και σε ένα μέσο PC με επεξεργαστή Pentium, η VRML είναι σπασμωδική και αργή. Δεδομένης της αρχιτεκτονικής της VRML, θα έχει πάντα πρόβλημα να συναγωνιστεί τρισδιάστατες υλοποιήσεις και υλικό γραφικών που χρειάζονται μέχρι και το τελευταίο bit του επεξεργαστή. Επίσης επειδή η VRML είναι αφηρημένη, θα είναι πάντα ένα βήμα πίσω από εφαρμογές οι οποίες είναι βελτιστοποιημένες για μια συγκεκριμένη αρχιτεκτονική.

5.3 X3D

5.3.1 Εισαγωγή

Η γλώσσα X3D (eXtensible 3D) η οποία υποστηρίζει τη δημιουργία τρισδιάστατων περιβαλλόντων στο Διαδίκτυο, αποτελεί τον διάδοχο της VRML και εγκρίθηκε το 2004 σαν πρότυπο ISO (X3D, 2004).

Η γλώσσα αυτή διαθέτει τις περισσότερες από τις σχεδιαστικές επιλογές και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της VRML με αποτέλεσμα να είναι σε μεγάλο βαθμό συμβατή με αυτή. Έτσι, αρκετά VRML αρχεία απαιτούν μόνο ελάχιστες τροποποιήσεις για να μετατραπούν σε αρχεία X3D.

Η X3D προσφέρει νέες βελτιωμένες δυνατότητες συγκριτικά με τη VRML κυρίως σε τρεις τομείς. Κατά πρώτον, παρέχει νέους κόμβους και δυνατότητες, που

υποστηρίζουν κυρίως τις τελευταίες εξελίξεις στους αλγορίθμους και το υλικό μέρος για τρισδιάστατα γραφικά, όπως είναι οι προγραμματιζόμενοι κόμβοι σκίασης και πολλαπλής υφής. Δεύτερον, υιοθετεί επιπρόσθετες μορφές κωδικοποίησης των δεδομένων. Συγκεκριμένα, είναι εφικτή η αναπαράσταση, η αποθήκευση και μετάδοση X3D περιεχομένου χρησιμοποιώντας VRML κωδικοποίηση, ή βασισμένη σε XML κωδικοποίηση ή δυαδική κωδικοποίηση η οποία μάλιστα επιτρέπει καλύτερη συμπίεση των δεδομένων και επομένως ταχύτερα downloads (λήψεις). Τρίτον, διαιρεί τη γλώσσα σε λειτουργικές περιοχές που ονομάζονται συνεκτικά στοιχεία (components), τα οποία μπορούν να συνδυαστούν προς σχηματισμό διαφορετικών profiles, όπως π.χ. υποσύνολα της γλώσσας, για συγκεκριμένες κλάσεις ή εφαρμογές ή συσκευές. Λόγου χάρη, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει ένα συγκεκριμένο profile λαμβάνοντας υπόψη τις περιορισμένες δυνατότητες των φορητών συσκευών. Παράλληλα, Ενισχύει τη προγραμματιστική πρόσβαση στους κόσμους με το API SAI (Scene Access Interface).

Γενικά, το πρότυπο ορίζει αυστηρότερα τις προδιαγραφές, αφήνοντας μικρό περιθώριο αμφισβητήσεων.

5.3.2 Δυνατότητες του X3D

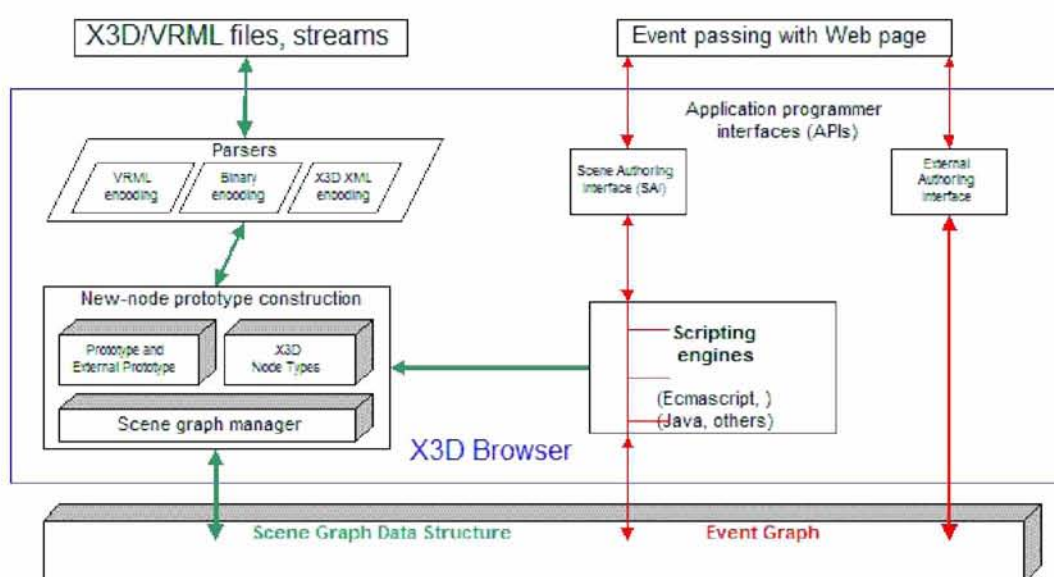
Φιλοδοξία του WEb3D Consortium είναι το X3D να αποτελέσει ένα κοινά αποδεκτό πρότυπο στον τομέα των τρισδιάστατων γραφικών και των πολυμέσων. Έτσι ο σχεδιασμός των στοιχείων που αποτελούν το πρότυπο έγινε σεβόμενος ορισμένες, πολλές φορές αντίθετες μεταξύ τους, αρχές, όπως την επεκτασιμότητα, τη συνδεσιμότητα, τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης κώδικα, την ευκολία συγγραφής κώδικα, την ικανότητα κλιμάκωσης, το διαχωρισμό των δεδομένων από την αρχιτεκτονική του συστήματος χρόνου εκτέλεσης, την απόδοση, την υποστήριξη ποικίλων κωδικοποιήσεων και εναλλακτικών προγραμματιστικών διασυνδέσεων, καθώς και την τμηματική οργάνωση των δυνατοτήτων της γλώσσας (profile).

Συνοψίζουμε τις βασικές δυνατότητες:

- ❖ Αναπαράσταση τρισδιάστατων μοντέλων με πολύγωνα, παραμετρική γεωμετρία, καθορισμένο φωτισμό και texture mapping.
- ❖ Απόδοση δυσδιάστατων γραφικών και κειμένου σε επίπεδα του τρισδιάστατου κόσμου.

- ❖ Δυνατότητα animation μέσω στοιχείων παρεμβολής (interpolators) και υπολογισμού χρόνου (timers).
- ❖ Ενσωμάτωση στοιχείων ήχου και κινούμενης εικόνας στο τρισδιάστατο χώρο.
- ❖ Αλληλεπίδραση με το χρήστη, τουλάχιστον, μέσω πληκτρολογίου και ποντικιού, με δυνατότητα επιλογής και μετακίνησης αντικειμένων.
- ❖ Ικανότητα πλοήγησης του χρήστη με βασική προσομοίωση βαρύτητας και ανίχνευση συγκρούσεων με αντικείμενα, εγγύτητας σε αυτά ή οπτικής επαφής μαζί τους.
- ❖ Καθορισμός νέων αντικειμένων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και συμπεριφορές (μηχανισμός protos και externprotos).
- ❖ Δυναμική συμπεριφορά του κόσμου, η οποία καθορίζεται μέσω προγραμματισμού.
- ❖ Διαφάνεια δικτύου. Τα τμήματα ενός κόσμου βρίσκονται σε διάφορους δικτυακούς τόπους και οι κόσμοι συνδέονται με άλλους που βρίσκονται, επίσης, στο δίκτυο.
- ❖ Δυνατότητα φυσικών προσομοιώσεων.

5.3.3 Αρχιτεκτονική του X3D



Σχήμα 16 : Αρχιτεκτονική του συστήματος του X3D για μία εφαρμογή οπτικοποίησης.

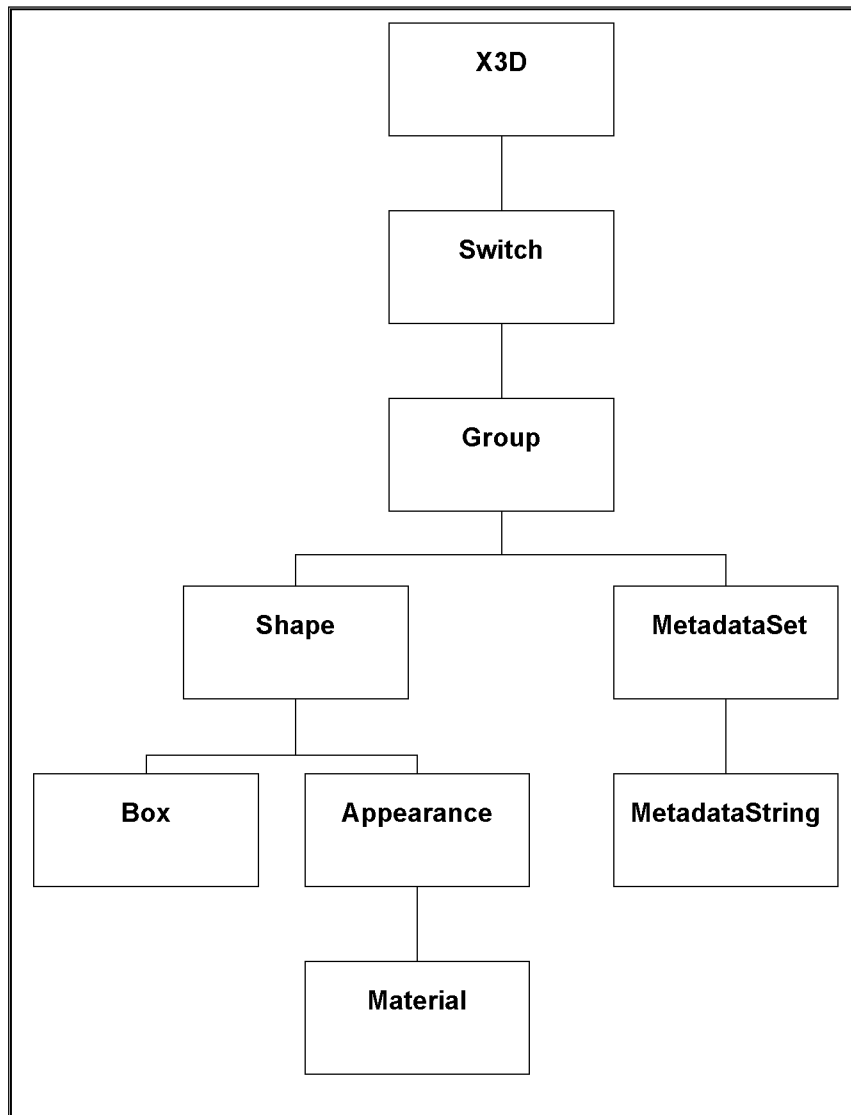
Πρωταρχικό βήμα είναι η ανάγνωση των X3D/VRML αρχείων και ροών δεδομένων (*X3D/VRML files, streams*) που περιγράφουν τον εικονικό κόσμο. Να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι το X3D κατά την πορεία ανάπτυξής του, διατήρησε τη συμβατότητα με την προγενέστερή του VRML, με αποτέλεσμα οι X3D browsers να μπορούν να διαχειριστούν τα VRML αρχεία. Η μορφή των αρχείων μπορεί να ποικίλλει (*VRML/binary/ X3D XML encoding*). Από τη στιγμή ανάγνωσης των αρχείων και καθώς προχωράει η ανάλυση των δεδομένων εισόδου (*X3D node types, Scene graph manager, Prototype and External Prototype*), κατασκευάζεται διαδοχικά ο γράφος σκηνικού (*scene graph*). Ο X3D γράφος σκηνικού αποτελεί τη θεμελιώδη μονάδα του περιβάλλοντος εκτέλεσης του X3D (*X3D runtime environment*). Ο γράφος σκηνικού είναι ευθύγραμμοι, ακυκλικοί γράφοι που περιέχουν τα αντικείμενα του τρισδιάστατου κόσμου και τις μεταξύ τους σχέσεις. Οι σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων χαρακτηρίζονται από (1) την ιεραρχία των μετασχηματισμών που περιγράφει τις χωρικές σχέσεις και (2) την ιεραρχία συμπεριφορών που περιγράφει τις συσχετίσεις μεταξύ των πεδίων και των ροών γεγονότων κατά την ώρα της εκτέλεσης.

Οι κόμβοι μέσα στον γράφο σκηνικού περιέχουν περιγραφικά πεδία και μπορούν να περιέχουν έναν ή περισσότερους κόμβους παιδιά, καθένα από τα οποία μπορεί να περιέχει κόμβους ή στιγμιότυπα κόμβων για την παραγωγή της επιθυμητής ιεραρχίας των αντικειμένων στη σκηνή.

Το περιβάλλον εκτέλεσης του X3D αναλαμβάνει ακόμη την αναθεώρηση του γράφου σκηνικού μέσα από την ενημέρωση των πεδίων των παιδιών του, ως απόκριση στις συμπεριφορές του γράφου γεγονότων (*event graph*). Οι συμπεριφορές αυτές περιλαμβάνουν τη δυνατότητα τροποποίησης ενός τμήματος του γράφου σκηνικού με την πάροδο του χρόνου και πυροδοτούνται είτε από τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη είτε από άλλες αποδεκτές αλλαγές στη σύνταξη.

Επίσης, είναι υπεύθυνο για την μεταφορά αρχείων, την πραγματοποίηση υπερσυνδέσεων και την εξωτερική προγραμματιστική πρόσβαση μέσα από την διαπροσωπεία της πατρικής εφαρμογής. Μάλιστα, όπως φαίνεται και στο σχήμα, η προγραμματιστική πρόσβαση στη δομή για τη συμπεριφορά του εικονικού κόσμου, επιτυγχάνεται μέσω δυο APIs, του SAI (*Scene Authoring Interface*) και του EAI (*External Authoring Interface*) και οι μηχανές συγγραφής (*Scripting engines*) μπορεί να είναι η Java, η ECMAScript κ.

X3D Scene Graph (Γράφος σκηνικού)



Σχήμα 17 : X3D γράφος σκηνικού.

Ενδεικτικό παράδειγμα σύνταξης ενός σκηνικού που περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω συνεκτικά στοιχεία, είναι το ακόλουθο:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<X3D profile='Immersive'>
<Scene>
  <Switch DEF='buildingElement' whichChoice='-1'>
    <Group DEF='Foundation'>
      .
      .
    </Group>
    <Group DEF='FloorSlab'>
      <MetadataSet>
        <MetadataString
          value='The type of concrete...'
          name='Specification' />
      </MetadataSet>
      <Transform translation='0 0 -1.65'>
        <Shape DEF='Floor'>
          <Appearance>
            <Material
              DEF='Concrete2_mat'
              diffuseColor='0.5 0.5 0.5' />
          </Appearance>
          <Box size='3.8 0.2 3.0' />
        </Shape>
      </Transform>
    </Group>
    <Group DEF='BelowGroundWalls'>
      .
      .
    </Group>
  </Switch>
</Scene>
</X3D>

```


5.3.4 Δομή του X3D

Το X3D συντάσσεται με ανάλογο τρόπο με τη VRML. Έτσι, οι ορισμοί και οι λειτουργίες των κόμβων και οι διαδικασίες prototyping, routes και Scripting που παρουσιάστηκαν προηγουμένως ισχύουν και εδώ. Υπάρχουν μόνο ορισμένες διαφοροποιήσεις ως προς τη σύνταξη, όπως για παράδειγμα τα πεδία που αναφέρονται στη VRML σαν 'field', 'eventIn', 'eventOut' και 'exposedField', αντίστοιχα αναφέρονται στο X3D σαν 'initializeOnly', 'inputOnly', 'outputOnly' και 'inputOutput'.

Ακόμη, στο X3D συναντώνται και τύποι Μεταδεδομένων - Metadata types:

Metadata types

- 1) <Metadata Set name = " " value = " " reference = " " >
 - 2) <MetadataString name = " " value = " " reference = " " />
 - 3) <MetadataDouble name = " " value = " " reference = " " />
 - 4) <MetadataFloat name = " " value = " " reference = " " />
 - 5) <MetadataInteger name = " " value = " " reference = " " />
- </MetadataSet>

Η πρώτη γραμμή σηματοδοτεί την έναρξη του συνόλου Μεταδεδομένων. Η δεύτερη γραμμή ορίζει ότι μέσα στο πεδίο 'name' θα αναγραφεί μία συμβολοσειρά. Η τρίτη γραμμή ορίζει ότι μέσα στο πεδίο 'name' θα αναγραφεί ένας δεκαδικός με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων. Η τέταρτη γραμμή ορίζει ότι μέσα στο πεδίο 'name' θα αναγραφεί ένας δεκαδικός με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου. Τέλος, η πέμπτη γραμμή ορίζει ότι μέσα στο πεδίο 'name' θα αναγραφεί ένας ακέραιος.

Στη συνέχεια ακολουθεί ένα απλό παράδειγμα σύνταξης με Μεταδεδομένα:

Metadata example

```
<MetadataSet>  
<MetadataString name="Specification" value=" Type of concrete" />  
<MetadataString name="Supplier" value=" Bloggs and Co" />  
</MetadataSet>
```

Επίσης, το πρότυπο X3D χαρακτηρίζεται από καλύτερη δόμηση και οργάνωση από τη VRML και αυτό γιατί είναι οργανωμένο σε components και profiles:

❖ X3D Components

Όπως προαναφέρθηκε η γλώσσα X3D είναι οργανωμένη σε components , όπου το καθένα από αυτά χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη λειτουργικότητα και συντίθεται από πολλαπλά αντικείμενα και/ ή συσκευές. Στην αρχική X3D προδιαγραφή, τα προσδιορισμένα components είναι απλώς συσχετιστικές συλλογές ποικίλων X3D κόμβων. Σταδιακά όμως ενσωματώνουν διαφορετικές μορφές κωδικοποίησης, υπηρεσίες API(Application Program Interface) κ.α. Ο τρόπος με τον οποίο έχει σχεδιαστεί η γλώσσα αυτή επιτρέπει την παροχή πολλών επιπέδων υπηρεσιών, προσφέροντας κατά αυτόν τον τρόπο στο χρήστη μεγαλύτερη ελαστικότητα στην κατασκευή τρισδιάστατων γραφικών σε διάφορες υπολογιστικές πλατφόρμες. Έτσι, παρατηρώντας τον ακόλουθο πίνακα, βλέπουμε ένα σύνολο από components τα οποία παρέχουν ευρεία, συμπληρωματική λειτουργικότητα.

❖ X3D Profiles

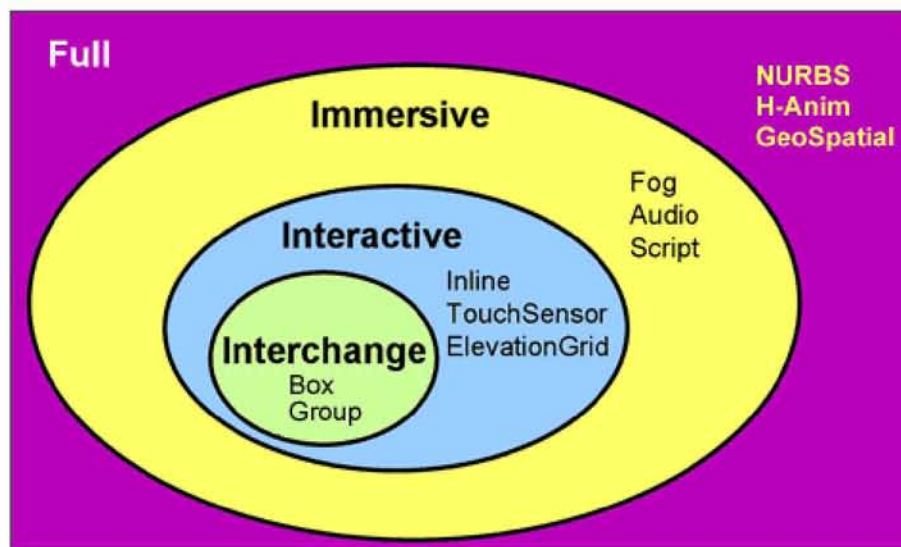
Τα profiles σχηματίζονται από components : « ένα profile είναι μία καθορισμένη συλλογή λειτουργικότητας και απαιτήσεων που πρέπει να υποστηρίζονται ούτως ώστε μία εφαρμογή να είναι προσαρμοσμένη σε αυτό το profile». Τα profiles προσφέρουν διαστρωμάτωση της λειτουργικότητας και οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν το επιθυμητό επίπεδο με σκοπό να επιτύχουν την πιο αποτελεσματική εφαρμογή των επιθυμητών δυνατοτήτων στο υλικό μέρος. Η X3D προδιαγραφή υποστηρίζει έξι profiles, τέσσερα θεμελιώδη και δύο επιπρόσθετα.

Τα θεμελιώδη X3D profiles είναι:

- **Interchange**: Είναι το βασικό profile για την επικοινωνία μεταξύ των εφαρμογών. Υποστηρίζει γεωμετρία, υφή, βασικό φωτισμό και ζωντανές αναπαραστάσεις. Δεν υπάρχει κάποιο χρονικό μοντέλο που να το περιορίζει κατά την αναπαράσταση, κάτι το οποίο καθιστά εύκολη την διαδικασία ενσωμάτωσής του σε άλλες εφαρμογές .
- **Interactive**: Αυτό το profile επιτρέπει τη στοιχειώδη αλληλεπίδραση με το τρισδιάστατο περιβάλλον μέσα από την προσθήκη κόμβων αισθητήρων για την πλοήγηση και αλληλεπίδραση του χρήστη (π.χ. TouchSensor) όπως

επίσης και μέσα από την ενίσχυση χρονοισμού και επιπρόσθετων δυνατοτήτων φωτισμού (π.χ. SpotLight, PointLight).

- **Immersive**: Προσφέρει πλήρη τρισδιάστατα γραφικά και αλληλεπίδραση, συμπεριλαμβανομένων της υποστήριξης ήχου, ανίχνευσης σύγκρουσης, εφέ ομίχλης και δυνατότητα scripting.
- **Full**: Περιλαμβάνει όλους τους καθορισμένους κόμβους καθώς και τα συνεκτικά στοιχεία NURBS, H-Anim και GeoSpatial.



Σχήμα 18 : Τα θεμελιώδη X3D profiles.

Τα επιπρόσθετα X3D profiles είναι:

- **MPEG-4 Interactive**: Αποτελεί μία μικρότερη έκδοση του Interactive profile σχεδιασμένη για συσκευές χειρός και κινητά τηλέφωνα.
- **CDF (CAD Distillation Format)**: Αυτό το profile είναι υπό ανάπτυξη με σκοπό να καθιστά δυνατή τη μετάφραση των CAD δεδομένων σε ένα ανοιχτό πρότυπο για δημοσίευση και αλληλεπιδραστικές εφαρμογές.

5.3.5 X3D browsers

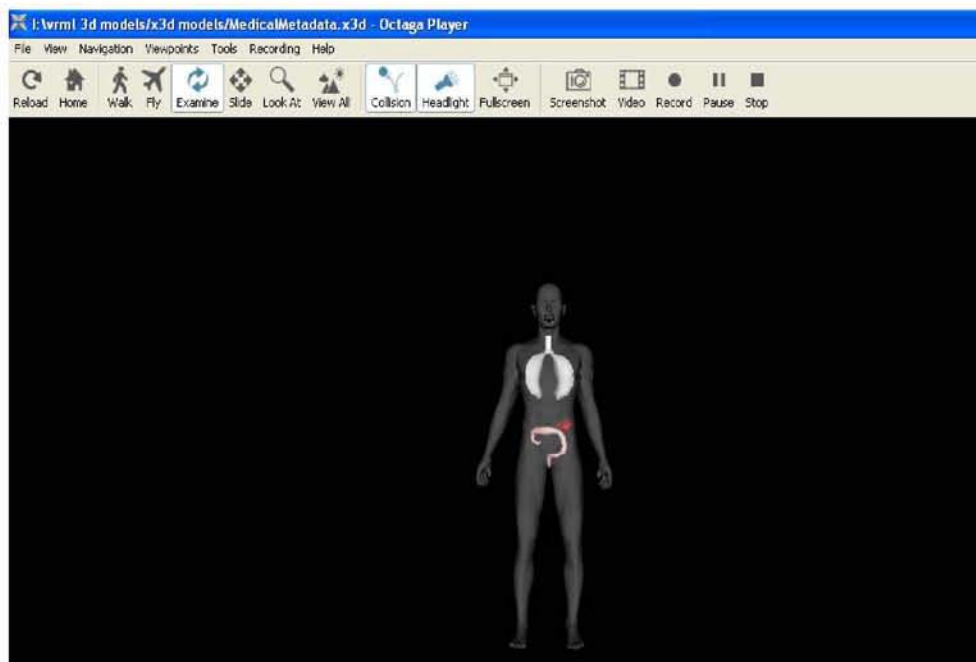
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά έξι σημαντικών X3D browsers:

X3D browser	Χαρακτηριστικά
BS Contact by BitManagement	Είναι πολύ σταθερός για την οπτικοποίηση τρισδιάστατων περιβαλλόντων σε πραγματικό χρόνο εμπλουτισμένων με ήχο, εικόνες και βίντεο. Ανάμεσα στα εργαλεία συγγραφής που υποστηρίζει συγκαταλέγονται τα 3ds max και Blender.
Octaga Player by Octaga	Θεωρείται ένας από τους καλύτερους browsers. Κυρίαρχα χαρακτηριστικά του είναι η υψηλή λειτουργικότητα και η πλήρης συμμόρφωση του με το πρότυπο. Υποστηρίζει όλα τα profile του X3D προσφέροντας έτσι στον χρήστη μία πληθώρα οπτικών εφέ όπως σκίαση και πολλαπλές υφές.
Xj3D by Yumetech	Αποτελεί έναν open source browser του Web3D Consortium Source Working Group και στοχεύει στην ανάπτυξη εργαλείων έτσι ώστε τα περιεχόμενα των X3D και VRML 97 να είναι εξολοκλήρου γραμμένα σε Java. Ο ρόλος του είναι διπλός, καθώς από τη μία προσφέρεται σαν η βάση για τον πειραματισμό του κώδικα σε νέες περιοχές της X3D προδιαγραφής και από την άλλη προσφέρεται σαν βιβλιοθήκη που μπορούν να αξιοποιήσουν οι χρήστες στη δική τους εφαρμογή για να υποστηρίξουν την X3D τεχνολογία.
FreeWRL by Communications Research Centre in Canada	Είναι έναν open source browser για τα Unix/Linux/OS X. Βασίζεται σε Perl/C. Δεν είναι πλήρως εφοδιασμένος με όλα τα χαρακτηριστικά, αλλά οδεύει προς αυτή την κατεύθυνση.
Flux Player by Media Machines	Πρόκειται για έναν υψηλών επιδόσεων browser που διανέμεται δωρεάν για προσωπική χρήση. Υποστηρίζει όλα τα 3D formats όπως WRL, XEDV και X3D.
SwirlX3D by Pine Coast Software	Παρέχεται δωρεάν. Περιλαμβάνει πληθώρα γεωμετρικών κόμβων και στις πρόσφατες βελτιώσεις του περιλαμβάνονται η σύγκρουση και η βαρύτητα, εντολές Undo (Αναίρεσης) και Redo (Επανάληψης), επιλογές clipboard για τη μετακίνηση τμημάτων του δέντρου κόμβων και ευκολία εισαγωγής κόμβων για τροποποίηση.

Πίνακας 6 : Βασικά χαρακτηριστικά ορισμένων X3D browsers.

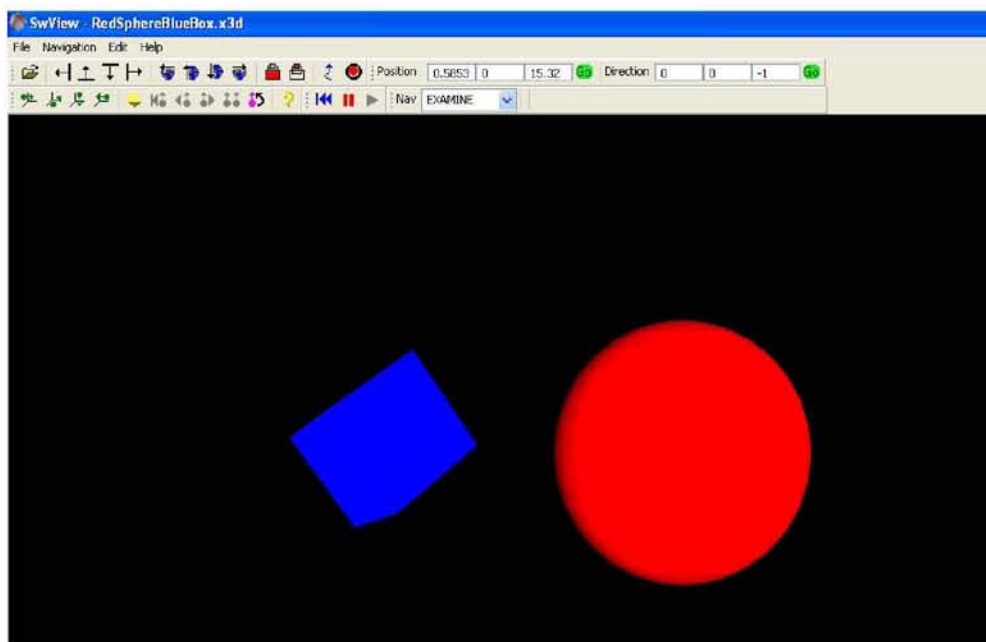
Ακολούθως, παρουσιάζουμε το παράθυρο με τη μπάρα των κουπιών ελέγχου ορισμένων από τους παραπάνω X3D browsers:

❖ Octaga Player

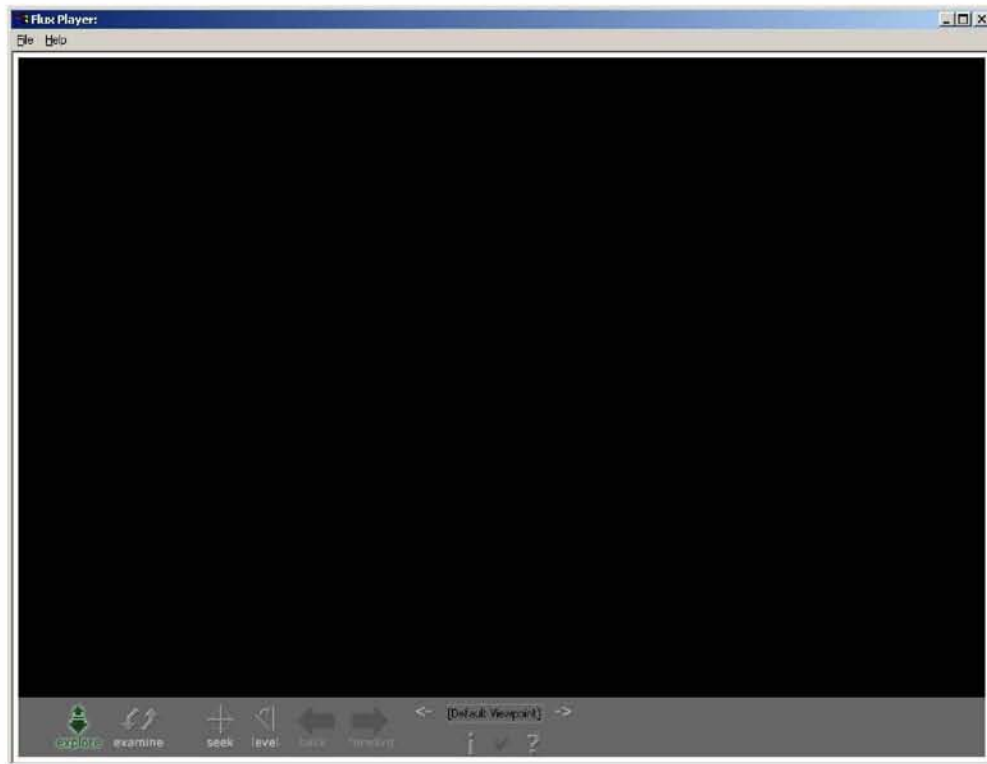


Εικόνα 46 : Ένα ανθρώπινο σώμα με μερικά ζωτικά όργανά του, οπτικοποιημένα με το Octaga Player.

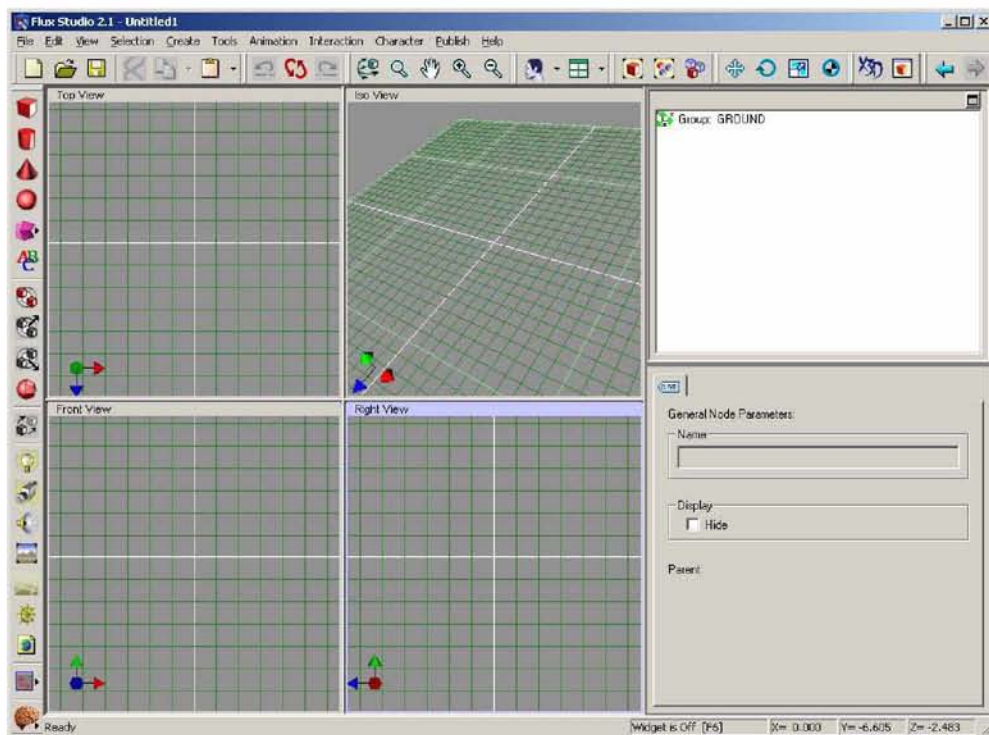
❖ Swirl3D



Εικόνα 47 : Δύο γεωμετρικά σχήματα οπτικοποιημένα με το Swirl3D.



Εικόνα 48 : Παράθυρο και κουμπιά ελέγχου του Flux Player.



Εικόνα 49 : Περιβάλλον εργασίας του Flux Studio.

5.3.6 Σύγκριση VRML με X3D

Το X3D είναι ένα πιο ώριμο πρότυπο από τη VRML καθώς συμβάλει στη δημιουργία τρισδιάστατων περιβαλλόντων που έχουν προσδοκώμενη συμπεριφορά σε διαφορετικούς browsers. Εκτός αυτού, μία πληθώρα άλλων παραγόντων το καθιστούν πιο ολοκληρωμένο σαν πρότυπο από τη VRML. Αυτοί είναι:

- ✓ Είναι συμβατό με τη VRML.

Κανένα στοιχείο της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας δεν χάθηκε. Αντιθέτως, εξελίχθηκε στο X3D. Μάλιστα, κατά την πορεία εξέλιξης στο X3D καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια ώστε από τη μία να διατηρηθεί η όσο το δυνατόν περισσότερη συμβατότητα με τη VRML και από την άλλη να επιλυθούν προβλήματα ασυμβατότητας που οδηγούσαν σε μη διαλειτουργικά περιβάλλοντα μεταξύ διαφορετικών plug-ins.

- ✓ Επιτρέπει την κωδικοποίηση σε XML ώστε να ενσωματώνεται ομαλά σε άλλες εφαρμογές.

Η XML γίνεται με γοργούς ρυθμούς προαπαιτούμενη απαίτηση για τη ενσωμάτωση πληροφοριών σε κυβερνητικές βάσεις δεδομένων και μεγάλων εταιρειών. Η κωδικοποίηση σε XML διευκολύνει τη διαχείριση, τον έλεγχο, την αξιολόγηση και την ανταλλαγή των πληροφοριών. Έτσι, είναι προφανές ότι η XML κωδικοποίηση του X3D συμβάλλει σημαντικά προς αυτή την κατεύθυνση.

- ✓ Τα X3D σκηνικά και περιβάλλοντα λειτουργούν με προσδοκώμενο τρόπο σε διαφορετικά plug-ins.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που συναντάται στη VRML είναι η δυσκολία ανάπτυξης VRML περιβαλλόντων που να οπτικοποιούνται από όλους τους σχετικούς browsers/players. Αυτό οφείλεται στην ελλιπή περιγραφή της συμπεριφοράς της VRML στο VRML πρότυπο. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, έγινε λεπτομερής περιγραφή για τη συμπεριφορά του X3D στην αντίστοιχη προδιαγραφή έτσι ώστε τα διάφορα περιβάλλοντα να διαλειτουργούν μεταξύ διαφορετικών browsers.

- ✓ Το X3D αποτελείται από συνεκτικά στοιχεία-components.

Τα συνεκτικά στοιχεία επιτρέπουν στην προδιαγραφή των profiles να σχεδιάζονται αποκλειστικά για ένα συγκεκριμένο ευρύ τμήμα της αγοράς (π.χ.

CAD, Ιατρική, Οπτικοποίηση). Επίσης, επιτρέπουν την καλύτερη απορρόφηση της νέας τεχνολογίας καθώς ο τομέας των επιχειρήσεων διευρύνεται.

✓ Η σύνταξη του X3D για κάθε plug-in είναι συνεκτική και πιο απλοποιημένη.

Η διεπαφή δημιουργίας σκηνών του X3D (X3D Scene Access Interface, SAI) δίνει τη δυνατότητα συνεκτικής λειτουργικότητας για όλες τις γλώσσες προγραμματισμού τόσο στις εσωτερικές όσο και στις εξωτερικές κάτι το οποίο δεν αληθεύει για τη VRML όπου η Java και η ECMAScript ακολουθούν εντελώς διαφορετικά προγραμματιστικά μοντέλα. Το SAI του X3D αποτελεί λύση στα παραπάνω, μέσα από τον προσδιορισμό ενός συνόλου αφηρημένων υπηρεσιών που μπορούν να αντιστοιχηθούν σε οποιαδήποτε προγραμματιστική γλώσσα. Τα περιβάλλοντα λειτουργούν με συνοχή ανεξαρτήτως της εκάστοτε γλώσσας προγραμματισμού. Επίσης προσφέρονται συνδέσεις μεταξύ γλωσσών όπως για παράδειγμα μεταξύ της Java και της ECMAScript. Αυτό καθιστά την συγγραφή του X3D πολύ ευκολότερη.

✓ Το X3D προσφέρει περισσότερα χαρακτηριστικά.

Ένα μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών που απαιτούνται στη VRML, προσφέρονται στο X3D με έναν τέτοιο τρόπο ώστε να είναι απόλυτα ενσωματωμένα στην αρχιτεκτονική του και προτυποποιημένα.

✓ Το X3D συνεχώς ενισχύεται και αναβαθμίζεται.

Το X3D αυξάνει τη λειτουργικότητά του. Στην πρώτη αναδιάταξη της προδιαγραφής προστέθηκαν στοιχεία όπως γλώσσες σκίασης και τρισδιάστατες υφές. Έτσι, διορθώθηκαν και κάποιες αναγνωρισμένες ελλείψεις της αρχικής προδιαγραφής του X3D. Γενικά όμως, η δομή του X3D βοηθάει στην ανανέωσή του σε τακτική βάση. Είναι επίσης εύκολο να προστεθούν νέα χαρακτηριστικά τα οποία το προσαρμόζουν στις αλλαγές που συντελούνται στα γραφικά και στις εμπορικές αγορές.

✓ Οι X3D εφαρμογές μπορούν να πιστοποιηθούν σαν αξιόπιστες και προσδοκώμενης συμπεριφοράς.

Το Web3D Consortium αναπτύσσει ένα πρόγραμμα συμμόρφωσης με το X3D προκειμένου να παρέχει στο εμπόριο λογισμικό συμμορφωμένο με το X3D. Αυτό σημαίνει ότι οι εφαρμογές δημιουργίας και οπτικοποίησης των περιβαλλόντων (browsers/players) θα είναι αξιόπιστες και προβλεπόμενης συμπεριφοράς.

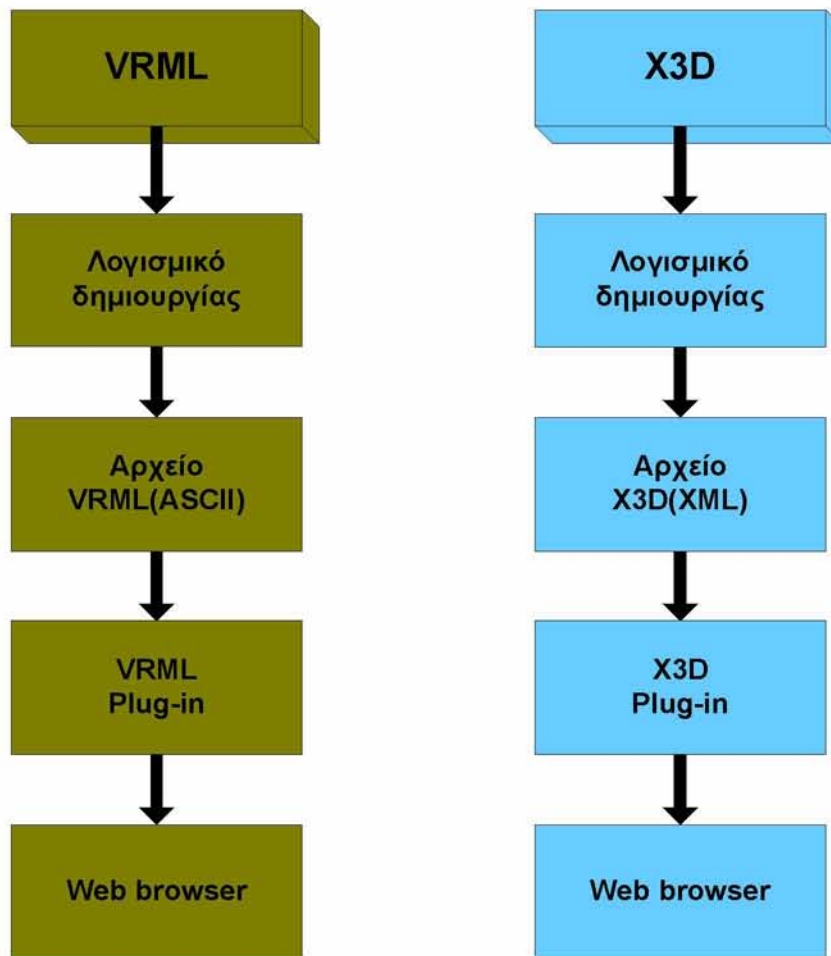
- ✓ Μία open source X3D εφαρμογή είναι διαθέσιμη σαν πηγή ανάπτυξης.
- Μία open source εφαρμογή που αφορά σχεδόν όλο το X3D, η Xj3D, διατίθεται καθώς και συναφείς browsers, όπως ο Flux για περαιτέρω ανάπτυξη τους.
- ✓ Σε αντίθεση με τα VRML σκηνικά, τα X3D σκηνικά αναπαράγονται με την ίδια συνοχή σε οποιονδήποτε σχετικό πιστοποιημένο browser.
 - ✓ Το δυαδικό X3D πρότυπο προσφέρει κρυπτογράφηση (για θέματα ασφάλειας) και συμπίεση (για μεγαλύτερη ταχύτητα).

Μία Συμπιεσμένη Δυαδική κωδικοποίηση είναι σε φάση ανάπτυξης ώστε να επιτρέπει την κρυπτογράφηση για λόγους ασφάλειας και πολύ υψηλού βαθμού συμπίεση, σημαντικά περισσότερη συμπίεση από τη gzip της VRML, στα X3D περιβάλλοντα. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι όλοι οι browsers μπορούν να υποστηρίξουν όλες τις κωδικοποιήσεις αρκεί να διαθέτουν τους κατάλληλους parsers (αναλυτές σκηνής). Έτσι, οι διάφορες κωδικοποιήσεις μπορούν να περιπλεχθούν σε έναν κόσμο δεδομένου ότι ο browser υποστηρίζει όλες τις χρησιμοποιούμενες κωδικοποιήσεις. Οι σημερινοί δημιουργοί των X3D browsers στοχεύουν ώστε αυτοί να υποστηρίζουν όλες τις κωδικοποιήσεις.

5.4 Δημιουργία και δημοσίευση τρισδιάστατων αντικειμένων στο Διαδίκτυο

Ο σχεδιασμός μίας τρισδιάστατης (VRML/X3D) εφαρμογής απαιτεί αρκετή φαντασία και δημιουργικότητα. Όπως ένας σκηνοθέτης, έτσι και ο προγραμματιστής χρειάζεται να σκεφτεί πως θα δημιουργήσει τα αντικείμενα, το οπτικό αποτέλεσμα τους, που και πως θα τοποθετήσει τις κάμερες, πόσους και ποιους ήχους θα χρησιμοποιήσει, τι είδους φωτισμό θα τοποθετήσει και γενικά πως θα πετύχει μία ρεαλιστική ατμόσφαιρα.

Τα στάδια για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων για το διαδίκτυο με τη χρήση των προτύπων VRML/X3D φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 19). Συμπερασματικά οι δύο αυτές τεχνολογίες είναι σχεδόν παρόμοιες και η βασική τους διαφορά είναι ότι ενώ τα αρχεία VRML είναι της μορφής ASCII, τα αρχεία X3D είναι ουσιαστικά αρχεία XML και αυτό το γεγονός τα καθιστά πιο “ανοιχτά” για ενοποίηση (integration) με άλλες τεχνολογίες.



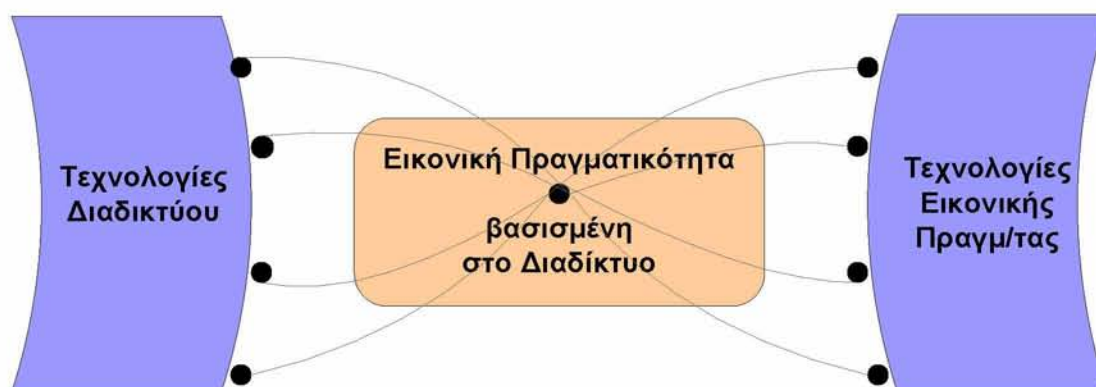
Σχήμα 19 : Δημιουργία VRML & X3D αντικειμένων.

Για να δημοσιευτεί ένας τρισδιάστατος κόσμος που έχει δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας VRML/X3D ο προγραμματιστής πρέπει πρώτα να οργανώσει όλα τα αρχεία που σχετίζονται με το VRML/X3D κόσμο (φωτογραφίες, ήχους κ.α.).

Συνήθως το μέγεθος ενός VRML/X3D αρχείου είναι αρκετά μεγάλο για την υποστήριξη ρεαλιστικών προσομοιώσεων στο διαδίκτυο. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί εύκολα καθώς και η VRML και το X3D επιτρέπουν τη συμπίεση των αρχικών αρχείων σε πολύ μεγάλο βαθμό, και το κατέβασμα του αρχείου από το διαδίκτυο σε συμπιεσμένη μορφή. Όλοι οι VRML/X3D browsers επιτρέπουν τη χρήση συμπιεσμένων VRML/X3D αρχείων, χωρίς τη μείωση της ποιότητας του οπτικού αποτελέσματος. Έτσι ένα VRML/X3D αρχείο που στην αρχική του μορφή έχει μέγεθος 1MB, μετά τη συμπίεση θα έχει μέγεθος περίπου 40 KB και με αυτό τον τρόπο το αρχείο θα φορτώνεται από το διαδίκτυο σε ικανοποιητικό χρόνο. Ο χρήστης δεν χρειάζεται να αποσυμπιέσει το αρχείο για να το δει. Αυτό γίνεται αυτόματα και

γρήγορα. Αυτή η δυνατότητα που προσφέρουν η VRML και το X3D τα έχουν καθιερώσει σαν δυο πολύ δυναμικά εργαλεία, όσον αφορά την κατασκευή τρισδιάστατων γραφικών στο διαδίκτυο με χαμηλό κόστος.

5.5 Εφαρμογές βασισμένες στο διαδίκτυο (Web-based Applications)



Σχήμα 20 : Ένα σύστημα εικονικής πραγματικότητας βασισμένο στο διαδίκτυο.

Η μεγάλη επιτυχία του παγκοσμίου ιστού (World Wide Web), έχει οδηγήσει στη δημιουργία εφαρμογών για διάφορους τομείς της ζωής και για ανθρώπους που ανήκουν σε διαφορετικές ομάδες πληθυσμού. Σαν αποτέλεσμα αυτών, η επίδραση στην ιατρική είναι τεράστια. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν την οπτικοποίηση ιατρικών δεδομένων που παράγονται από υπολογιστικούς τομογράφους στο διαδίκτυο (Marovic et al., 1997), την εκπαίδευση των γιατρών μέσω διαδικτύου, τη συνεργασία μεταξύ ιατρικών προσωπικών για το διαμοιρασμό ενός χώρου εργασίας (workspace) μέσω ενός web browser (Chronaki et al., 1997), καθώς και τη προσομοίωση χειρουργικών επεμβάσεων (El-Khalili et al., 2000).

Μια τυπική εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας βασισμένης στο διαδίκτυο μπορεί να αποσυντεθεί στις διαδικασίες της προσομοίωσης και της παρουσίασης. Το κομμάτι της παρουσίασης, που διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση με τον χρήστη, βρίσκεται απαραίτητα στην πλευρά του πελάτη (client-side), ενώ το κομμάτι της προσομοίωσης μπορεί να τοποθετηθεί είτε στην πλευρά του πελάτη είτε στην πλευρά του εξυπηρετητή (server-side). Έτσι καθώς το διαδίκτυο αποτελεί την κύρια κινητήρια δύναμη, οι εφαρμογές μπορούν να ταξινομηθούν σε δυο κατηγορίες ανάλογα με την αρχιτεκτονική πελάτη/εξυπηρετή.

5.5.1 Εφαρμογές που βρίσκονται στον πελάτη (*client-based applications*)

Στην αρχιτεκτονική *client-based*, η προσομοίωση πραγματοποιείται εξ' ολοκλήρου στην πλευρά του πελάτη. Μόλις η εφαρμογή και τα δεδομένα αποκτηθούν από τον εξυπηρετητή, τεχνολογίες όπως η VRML και το X3D που βρίσκονται ενσωματωμένες στον browser, χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση των τρισδιάστατων μοντέλων και την παροχή αλληλεπίδρασης.

Παρόλα αυτά, η VRML έχει πολύ περιορισμένα χαρακτηριστικά. Πολλές εφαρμογές χρειάζονται μια επέκταση στον VRML browser, για ένα μεγαλύτερο εύρος χρήσεων. Για παράδειγμα ένα από τα χαρακτηριστικά που δεν υποστηρίζεται είναι η ανίχνευση συγκρούσεων μεταξύ αντικειμένων. Οι John και Riding ασχολήθηκαν με το πρόβλημα, χρησιμοποιώντας μια απλή τεχνική ανίχνευσης συγκρούσεων σε ένα σύστημα οσφυϊκής παρακέντησης (John & Riding, 1999). Σ' αυτό το σύστημα η διαδρομή που θα ακολουθήσει το ιατρικό εργαλείο είναι γνωστή εκ των προτέρων και το αντικείμενο το οποίο θα κτυπηθεί μοναδικό και έτσι μια πρόβλεψη για το πότε μια σύγκρουση μπορεί να συμβεί είναι εφικτή. Για την επίτευξη αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο πρέπει να γίνουν ορισμένες προεργασίες όπως ο υπολογισμός των εξισώσεων επιπέδου όλων των πολυγώνων πάνω στο μοντέλο. Η μέθοδος αυτή όμως είναι εφαρμόσιμη σε αντικείμενα με κυρτά πολύγωνα και υποστηρίζει μόνο σύγκρουση μεταξύ δύο αντικειμένων και όχι μεταξύ περισσοτέρων. Οι πρώτοι browser της VRML είχαν πρόβλημα στην παρουσίαση δεδομένων υψηλής ανάλυσης. Οι Warrick et al., (1998) επέκτειναν έναν browser της VRML για την υποστήριξη της διαφανούς φωτοσκίασης των επιφανειών. Εικόνες τομέων μπορούν να υπερθετηθούν (*superimposed*) στο μοντέλο, επιτρέποντας στους φοιτητές να δουν ένα τομέα μέσα στο τρισδιάστατο περιβάλλον του. Επιτρέπει στους χρήστες να διαλέξουν τις δομές του μοντέλου, τις εικόνες του τομέα και σχετικές παραμέτρους εμφάνισης για να δημιουργήσουν τη δικιά τους επιθυμητή τρισδιάστατη σκηνή. Οι νεότεροι browser της VRML υποστηρίζουν τη διαφάνεια

Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής *client-based* είναι, ότι μόλις κατεβούνε τα μοντέλα και οι εφαρμογές στην πλευρά του πελάτη, οι χρήστες μπορούν να εκτελούνε προσομοιώσεις εγχειρήσεων χωρίς να ανησυχούνε για το εύρος ζώνης του δικτύου. Παρόλα αυτά έχει περιορισμένη ευελιξία στην υποστήριξη

κάποιων λειτουργιών για ορισμένες εφαρμογές. Μια εναλλακτική προσέγγιση για την κάλυψη των απαιτήσεων αυτών των εφαρμογών περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

5.5.2 Εφαρμογές που βρίσκονται στον εξυπηρέτη (server-based application)

Ένα τυπικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής server-based είναι το WebSTer, ένας προσομοιωτής επεμβάσεων ελάχιστης εισβολής για την θεραπεία του ανευρύσματος της κοιλιακής αορτής (El-Khalili et al., 2000). Το σύστημα περιλαμβάνει τρεις κόσμους VRML και ένα παράθυρο Java applet. Περιέχει ένα ολικό εικονοσκόπιο, ένα τοπικό εικονοσκόπιο, εικονικά εργαλεία και ένα παράθυρο Java applet, για την εμφάνιση δυσδιάστατων κομματιών μέσω της αορτής. Ένα δυσδιάστατο ποντίκι χρησιμοποιείται για το χειρισμό των εικονικών εργαλείων όπως και για την εισαγωγή ή την περιστροφή του εικονικού καθετήρα. Αυτό είναι ένα σύστημα server-based, στο οποίο οι λειτουργίες κατανέμονται ανάμεσα στον εξυπηρετητή και στον πελάτη. Οι κύριες εργασίες όπως η δυναμική μοντελοποίηση και η ανίχνευση συγκρούσεων πραγματοποιούνται στην πλευρά του εξυπηρετητή. Άλλες εργασίες όπως η απεικόνιση εκτελούνται στην πλευρά του πελάτη. Αυτές οι δυο λειτουργίες επικοινωνούν μέσω μιας σύνδεσης socket. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης αρχιτεκτονικής server-based, είναι το γεγονός ότι η πολυπλοκότητα και το βάρος της λειτουργίας κρατιούνται μακριά από την πλευρά του πελάτη. Πολύπλοκοι υπολογισμοί, οι οποίοι απαιτούν μεγάλη επεξεργαστική ισχύ μπορούν να εκτελεστούν στην πλευρά του εξυπηρετητή και έτσι να μειωθούν οι απαιτήσεις από το μηχάνημα του πελάτη. Το σύστημα είναι ικανό να προσομοιώνει πολύπλοκες συμπεριφορές κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης όπως η δυναμική μοντελοποίηση και η ανίχνευση συγκρούσεων. Παρόλα αυτά η λειτουργία σε πραγματικό χρόνο εξαρτάται τόσο από το υπολογιστικό κόστος όσο και από την ταχύτητα του δικτύου.

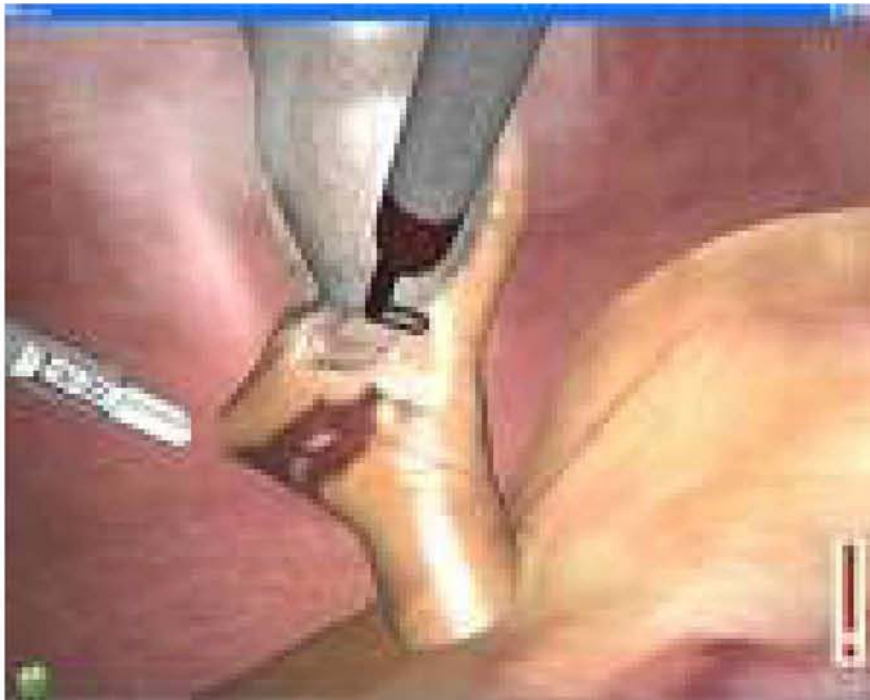
Ένα χαρακτηριστικό που παρέχει η αρχιτεκτονική web-based, είναι η συνεργασία πολλαπλών χρηστών. Στα συστήματα των John et al. (2001) και Mason (2001), το λογισμικό Deep Matrix που είναι φτιαγμένο σε Java χρησιμοποιείται σαν πλατφόρμα βάσης, τοποθετημένο στην πλευρά του εξυπηρετή για την επικοινωνία μεταξύ των πελατών.

Κόσμοι της VRML χρησιμοποιούνται για την παροχή αλληλεπίδρασης και οπτικοποίησης. Αν ένας πελάτης από το γκρουπ των πολλαπλών χρηστών αλλάξει τον κόσμο της VRML, οι αλλαγές θα είναι άμεσα διαθέσιμες και στους υπόλοιπους χρήστες. Αυτό θα επιτρέψει στους χειρούργους να παρακολουθούν τις επιδόσεις των φοιτητών και να τους συμβουλεύουν από απόσταση. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν τα web-based εργαλεία εκπαίδευσης χρησιμοποιούνται για ατομική εκπαίδευση. Οι φοιτητές χρειάζονται ανάδραση από τους ειδικούς για να καθοδηγήσουν και να διορθώσουν την επίδοσή τους, με απώτερο σκοπό την επίτευξη καλύτερης επίδοσης.

Το project WebSET (John et al., 2001), του κέντρου οπτικοποίησης του Manchester, παρέχει ένα σύνολο εργαλείων εκπαίδευσης για ένα εύρος χειρουργικών διαδικασιών. Πέρα από το περιβάλλον συνεργασίας, το project προχωρά στην ολοκλήρωση των τεχνολογιών πολυμέσων για την υποστήριξη παραδοσιακών μέσων όπως το κείμενο και τα γραφικά. Επιπροσθέτως, οι ερευνητές προσπαθούν να παράσχουν πρόσθετη αξία στο σύστημα, με την ενσωμάτωση ενός ποντικιού δύναμης ανάδρασης για την δημιουργία απτικών αποτελεσμάτων. Το ποντίκι δύναμης ανάδρασης είναι μια συσκευή με δύο βαθμούς ελευθερίας. Δεν είναι ξεκάθαρο αν αυτή η συσκευή μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευόμενους να μεταφέρουν τις ικανότητές τους in vivo. Επιπλέον, αυτή η πρόσθετη συσκευή δημιουργεί επιπλέον κόστος. Το ερώτημα είναι αν αυτό το επιπλέον κόστος προσδίδει επιπλέον αξία στο σύστημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΠΑΡΑΚΕΝΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ VRML



6.1 Γενικά

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας υλοποιήθηκε ένα σύστημα τρισδιάστατης προσομοίωσης με σκοπό την εκπαίδευση των γιατρών κατά τη διαδικασία παρακέντησης της καρδιάς. Ο κλασικός τρόπος της ιατρικής για τη διενέργεια της διαδικασίας της παρακέντησης είναι ο εξής : ο γιατρός στέκεται πάνω από το σώμα του ασθενή και βασιζόμενος στην εμπειρία του, τοποθετεί τη βελόνα στην κατάλληλη θέση και το κατάλληλο βάθος. Προκειμένου να ενισχύσουμε το έργο των γιατρών στην προσπάθειά τους αυτή και κυρίως τους νέους γιατρούς που δεν έχουν αποκτήσει ακόμα την κατάλληλη εμπειρία ούτως ώστε να αποφευχθούν λάθη προς τους ασθενείς, δημιουργήσαμε μία εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας κατά την οποία ο γιατρός βλέπει στην οθόνη του υπολογιστή του το σώμα του ασθενούς με την καρδιά, και με τα εργαλεία που του παρέχονται μπορεί πειραματιστεί σε αυτό χωρίς να προκαλέσει κάποια επιβλαβή επίπτωση στον ασθενή.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε έχει δύο προεκτάσεις. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε κατασκευάσει μία εφαρμογή εκπαίδευσης κατά την οποία εμφανίζεται ένα εικονικό περιβάλλον μέσα από το οποίο ο γιατρός έχει τη δυνατότητα να μετακινεί και να περιστρέφει τη βελόνα στο χώρο καθώς επίσης και να αυξομειώνει τη διαφάνεια του σώματος του ασθενή προκειμένου να παρακολουθεί το αποτέλεσμα των ενεργειών του. Κατά αυτό τον τρόπο μπορεί να πειραματίζεται τοποθετώντας τη βελόνα στα διακριτά τμήματα που αποτελούν την καρδιά, προτού εφαρμόσει τις διαδικασίες αυτές σε πραγματικές συνθήκες. Στη δεύτερη περίπτωση, έχουμε κατασκευάσει ένα σύστημα το οποίο καθοδηγεί το γιατρό ώστε να πραγματοποιήσει μία επιτυχή παρακέντηση στη δεξιά κοιλία της καρδιάς του ασθενή. Και εδώ εμφανίζεται το ίδιο εικονικό περιβάλλον όπως και στην προηγούμενη περίπτωση δίνοντας όμως και την ακριβή θέση της βελόνας στο χώρο κάθε φορά που τη μετακινεί ο χρήστης, καθώς και ενημερώνοντας τον γιατρό για το κατά πόσο αυτές ανήκουν στο αποδεκτό σύνολο συντεταγμένων. Με το πέρας της διαδικασίας, και εφόσον όλες οι συντεταγμένες που αντιπροσωπεύουν τη θέση της βελόνας είναι αποδεκτές, εμφανίζεται ένα μήνυμα «συγχαρητηρίων» στην οθόνη του χρήστη. Και τα δύο συστήματα συμβάλλουν στην εκπαίδευση των γιατρών και έχουν δημιουργηθεί με τη βοήθεια της γλώσσας VRML. Τα τρισδιάστατα μοντέλα του σώματος και της βελόνας έχουν κατασκευαστεί με τη βοήθεια του εργαλείου 3d

studio, ενώ το τρισδιάστατο μοντέλο της καρδιάς κατασκευάστηκε και διατέθηκε από τον κύριο Δελήμπαση.

6.2 Σύστημα εκπαίδευσης παρακέντησης της καρδιάς

Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε το σύστημα που συμβάλλει στην εκπαίδευση του γιατρού κατά τη διαδικασία παρακέντησης των διαφόρων τμημάτων που συνθέτουν την καρδιά του ασθενή. Αρχικά, θα αναλύσουμε τον σχεδιασμό του και μετέπειτα θα εξηγήσουμε αναλυτικά τον τρόπο λειτουργίας του.

6.2.1 Σχεδιασμός του συστήματος

Πρωταρχικό βήμα πριν από τη δημιουργία ενός σωστού και παράλληλα εύχρηστου συστήματος προσομοίωσης, είναι ο άρτιος σχεδιασμός του. Για αυτό το λόγο, και προτού αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος, θα περιγράψουμε το σύνολο των στοιχείων εκείνων που συνθέτουν το εικονικό περιβάλλον εκπαίδευσης καθώς και τα μέσα με τα οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με αυτό.

Έτσι λοιπόν, το εικονικό περιβάλλον αποτελείται από τα εξής :

- Το σώμα του ασθενούς με το ζωτικό όργανο στο οποίο ο χρήστης-γιατρός θα επέμβει, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η καρδιά
- Τα εργαλεία με τα οποία ο χρήστης θα κάνει την παρακέντηση, δηλαδή η βελόνα και τα κουμπιά με τα οποία θα μπορεί να την μετακινήσει και να την περιστρέψει στο χώρο
- Και τέλος, η μπάρα κύλισης η οποία επιτρέπει την αυξομείωση της διαφάνειας του σώματος προκειμένου ο γιατρός να ελέγχει σε ποιο τμήμα της καρδιάς τοποθέτησε τη βελόνα

Η αλληλουχία των ενεργειών που θα πραγματοποιείται κατά τη λειτουργία του συστήματος είναι η ακόλουθη :

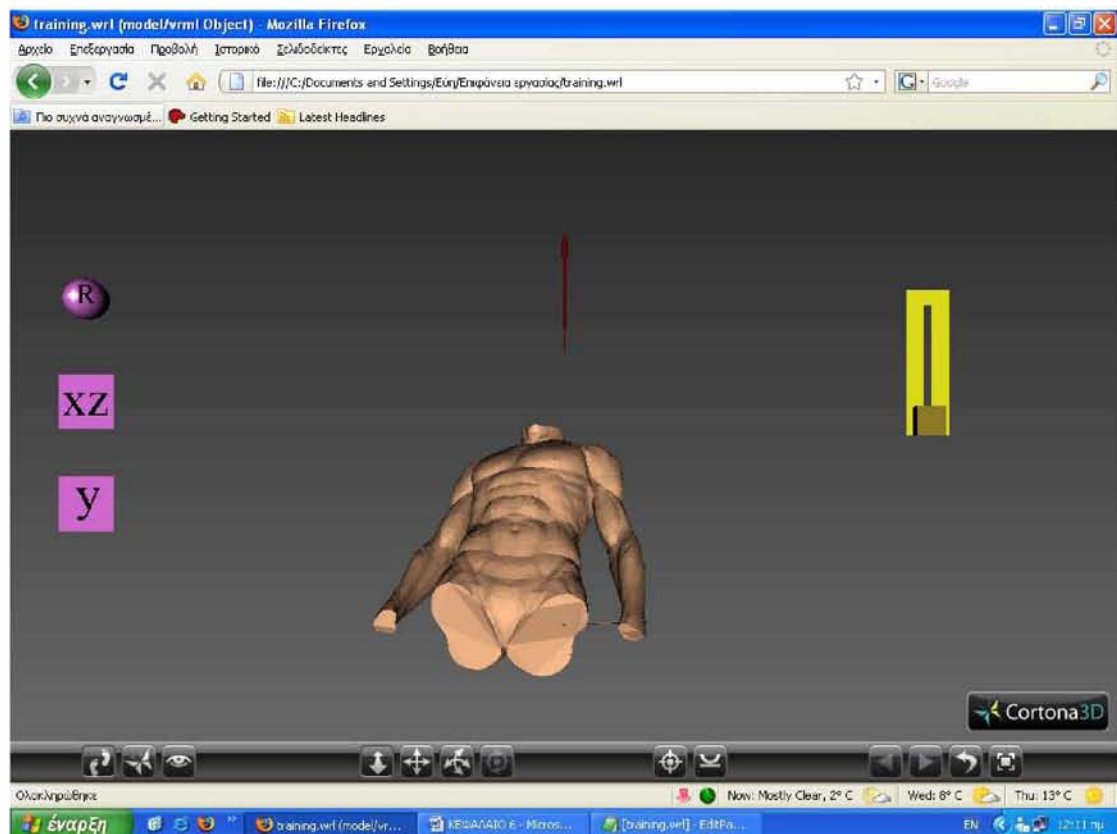
- Ο χρήστης αρχικά ανοίγοντας την εφαρμογή βλέπει στην οθόνη του υπολογιστή του με τη βοήθεια του διαφυλλιστή που διαθέτει, το εικονικό περιβάλλον της εγχείρησης
- Στην συνέχεια, ο χρήστης καθοδηγεί την βελόνα και κάνει όλες τις αναγκαίες κινήσεις στο περιβάλλον την εικονικής επέμβασης

- Το μοντέλο ανταποκρίνεται κατάλληλα στις κινήσεις του χρήστη (μετακινεί την βελόνα, ρυθμίζει τα φώτα κ.α.)

Τέλος, ο χρήστης με τη βοήθεια της μπάρας κύλισης μπορεί να αυξομειώσει τη διαφάνεια του σώματος για να δει το αποτέλεσμα των ενεργειών του

6.2.2 Λειτουργία του συστήματος εκπαίδευσης

Αρχικά ο χρήστης ανοίγει το αρχείο “training.wrl” μέσα από τον web browser του υπολογιστή του και οδηγείται στο κύριο πρόγραμμα προσομοίωσης, όπως απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα :



Εικόνα 50 : Αρχικό περιβάλλον εφαρμογής εκπαίδευσης.

Το εικονικό περιβάλλον της επέμβασης που εμφανίζεται μπροστά στην οθόνη του χρήστη αποτελείται από τα εξής : πρώτα από όλα από το σώμα του ασθενή μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένη η καρδιά. Πάνω από αυτό υπάρχει η βελόνα με την

οποία ο χρήστης θα υλοποιήσει τις διαδικασίες παρακέντησης στην καρδιά. Επίσης, στο αριστερό μέρος της οθόνης υπάρχουν τα κουμπιά με τα οποία ο χρήστης μπορεί να μετακινεί τη βελόνα. Το πρώτο κουμπί με την ένδειξη «R» επιτρέπει την περιστροφή της βελόνας στο χώρο. Το δεύτερο κουμπί με την ένδειξη «XZ» δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να μετακινεί τη βελόνα κατά μήκος του άξονα X και σε βάθος στην οθόνη, δηλαδή και κατά τον άξονα Z. Το τρίτο κουμπί που φέρει την ένδειξη «Y» επιτρέπει στον χρήστη να μετακινήσει τη βελόνα κατακόρυφα καρφώνοντάς την κατά αυτό τον τρόπο στο επιθυμητό σημείο του σώματος. Τέλος, στο δεξί μέρος της οθόνης υπάρχει μία μπάρα κύλισης με την οποία ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει τη διαφάνεια του σώματος προκειμένου να δει στο εσωτερικό του. Να δει δηλαδή ποιο μέρος της καρδιάς κατάφερε να τρυπήσει.

Θα αναλύσουμε αρχικά τον τρόπο δημιουργίας των τρισδιάστατων αντικειμένων που συνθέτουν το σκηνικό μας :

Η βελόνα και η καρδιά είναι τρισδιάστατα αντικείμενα που έχουν δημιουργηθεί σε ξεχωριστά και ανεξάρτητα vml αρχεία και τα έχουμε εισάγει στο τελικό κομμάτι κώδικα με τη βοήθεια της εντολής “*inline*”.

Συγκεκριμένα, ο κώδικας που αφορά τον ορισμό της βελόνας παρατίθεται ακολούθως :

```

DEF needle Group
{
  children [

    DEF shank_of_needle Transform
    {
      translation 0 4 -10
      scale 0.2 0.4 0.2

      children [

        Inline
        {
          url
          [
            "needle.wrl"
          ]
        }
      ]
    }

    DEF move_xz_sensor PlaneSensor
    {
      enabled FALSE
      minPosition 1 1
    }

    DEF move_y_sensor PlaneSensor
    {
      enabled FALSE
      maxPosition 0 -1
      minPosition 0 1
    }

  ]
}

```

Όπως διαπιστώνουμε στο παραπάνω τμήμα κώδικα, η βελόνα ορίζεται ως ένας κόμβος ομαδοποίησης Group, τα children του οποίου είναι το σώμα της βελόνας και δύο αισθητήρες κίνησης τύπου PlaneSensor για την επίτευξη της κίνησής της στο επίπεδο XZ και στον άξονα Y αντίστοιχα. Το σώμα της βελόνας (shank_of_needle) έχει συγκεκριμένη μετατόπιση και κλίμακα στο σκηνικό και η γεωμετρία του καθορίζεται από τα περιεχόμενα το αρχείου “needle.wrl” το οποίο έχει εισαχθεί όπως προαναφέραμε με την εντολή “inline”.

Αναλυτικότερα, η βελόνα είναι ένα τρισδιάστατο αντικείμενο που έχει σχηματιστεί μέσα από ένα μεγάλο πλήθος τριγωνικών επιφανειών. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, δίνεται αρχικά το σύνολο των συντεταγμένων x y z των σημείων εκείνων που θα συμβάλλουν στον σχηματισμό μικρών τριγώνων, και στη συνέχεια προσδιορίζεται ανά τριάδες ο τρόπος ένωσής τους προς σχηματισμό των τριγώνων. Το πλήθος όλων αυτών των τριγώνων που συντίθενται, οδηγούν τον τελικό σχηματισμό του τρισδιάστατου αντικειμένου της βελόνας. Ο κώδικας για τον σχηματισμό της βελόνας περιλαμβάνεται στο αρχείο “needle.wrl” το οποίο παρουσιάζεται ακολούθως :

```
#VRML V2.0 utf8

DEF needle Transform {
  translation 0 -4 -10
  scale 1 2 1

  children [

    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          diffuseColor 0.4157 0.02745 0.02745
        }
      }
      geometry DEF needle-FACES IndexedFaceSet {

        coord DEF needle-COORD Coordinate { point [
          0.03453 0.1362 0, 0.03245 0.1362 -0.01181, 0.02645 0.1362 -0.02219,
          ..... πλήθος συντεταγμένων xyz.....
        ] }

        coordIndex [
          0, 1, 19, -1, 19, 18, 0, -1, 1, 2, 20, -1, 20, 19, 1, -1,.....]

      }
    }
  ]
}
```

Στο παραπάνω τμήμα κώδικα αξίζει να σταθούμε στο σημείο όπου προσδιορίζεται η γεωμετρία του αντικειμένου της βελόνας. Παρατηρούμε λοιπόν ότι το πεδίο geometry είναι ένας κόμβος της μορφής IndexedFaceSet, δηλαδή ένας

κόμβος που προσδιορίζει ένα σύνολο επιφανειών στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων, ο οποίος συντάσσεται ως εξής : στο κομμάτι του coord DEF needle-COORD Coordinate {point [...] } παρατίθενται οι συντεταγμένες των σημείων που θα συμμετάσχουν στον σχηματισμό τριγώνων, και στο κομμάτι του coordIndex [...] προσδιορίζονται οι τριάδες των σημείων που θα ενωθούν προς σχηματισμό των τριγωνικών επιφανειών. Οι τριάδες αυτές σηματοδοτούνται με το -1 στο τέλος τους.

Και το αντικείμενο της καρδιάς έχει κατασκευαστεί και εισαχθεί στο τελικό τμήμα κώδικα τοιουτοτρόπως. Συγκεκριμένα :

```
DEF heart Transform
{
  children
  [
    Inline
    {
      url
      [
        "VHEART.wrl"
      ]
    }
  ]
  scale 0.07 0.07 0.07
  translation -1 -1.8 -13.5
}
```

Το αντικείμενο του σώματος έχει κατασκευαστεί με το ίδιο σκεπτικό όπως η καρδιά και η βελόνα. Ωστόσο, ενώ τα δύο προηγούμενα αντικείμενα τα εισάγαμε στον κώδικα με την εντολή “inline”, επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο λιγότερο μακροσκελή και πιο ευανάγνωστο κώδικα, στην περίπτωση του σώματος δεν ακολουθούμε την ίδια τακτική για τον εξής απλό λόγο : στην περίπτωση της καρδιάς και της βελόνας δε θέλαμε να τροποποιήσουμε τα αντικείμενα, σε αντίθεση με την περίπτωση του σώματος όπου θέλουμε να επέμβουμε στη σύστασή του, να αλλάξουμε δηλαδή τον βαθμό διαφάνειάς του. Για το λόγο αυτό, στην περίπτωση του σώματος αναγράφουμε αυτούσιο όλο το τμήμα του κώδικα που αφορά την κατασκευή του, μέσα στο τελικό αρχείο.

```
DEF body Transform {
  translation -2.621 -12 0
  rotation 0.5 0.1 0 -0.985
  scale 0.3 0.3 0.3

  children [
    Shape {
      .
      .
      .
      Συντεταγμένες
      .
      .
      .
    }
  ]
}
```

Προκειμένου λοιπόν να καταφέρουμε να επέμβουμε στο βαθμό διαφάνειας του σώματος, δημιουργήσαμε στο εικονικό σκηνικό μας μία μπάρα κύλισης. Η μπάρα κύλισης αποτελείται από δύο μέρη : από ένα πλαίσιο το οποίο κατασκευάσαμε πολύ απλά μέσα από σημεία και την ένωσή τους με τον ίδιο τρόπο που αναφέραμε προηγουμένως, και από έναν μοχλό (handle) με σχήμα κύβου (box) προσαρμοσμένο πάνω στο πλαίσιο προκειμένου η κίνησή του να ρυθμίζει και το βαθμό διαφάνειας του σώματος.

Στο τμήμα κώδικα που αφορά τον ορισμό της μπάρας κύλισης και το οποίο παρατίθεται στη συνέχεια, θα παρατηρήσουμε ότι ο μοχλός της μπάρας διαθέτει δύο αισθητήρες. Ο πρώτος, ο T3 PlaneSensor, επιτρέπει την κίνηση του μοχλού κατά μήκος της μπάρας κύλισης, δηλαδή κατά τον άξονα Y και εντός των επιτρεπόμενων ορίων αυτής. Για το λόγο αυτό και ορίζουμε ως μέγιστη θέση κίνησής του την 0 4 και σαν ελάχιστη τη 0 -4, δεδομένου ότι το μήκος της μπάρας κύλισης εκτείνεται από το -5 έως το 5. Ο δεύτερος αισθητήρας, ο ts4 TouchSensor, χρησιμεύει στην περίπτωση που ο χρήστης μετακινεί τον κέρσορα του ποντικού πάνω από τον μοχλό ούτως ώστε να του εμφανιστεί στην οθόνη ένα διευκρινιστικό μήνυμα ως προς τη λειτουργία του συγκεκριμένου εργαλείου.

```

DEF slider Transform
{
  translation 5 1 -0.15
  scale 0.2 0.2 0.2

  children[

    Shape
    {
      ....
      geometry IndexedFaceSet
      {... }
    }

    DEF handle Transform
    {
      translation 0 -4 0
      children[

        DEF T3 PlaneSensor
        {
          maxPosition 0 4
          minPosition 0 -4
        }

        Shape
        {
          ....
        }

      ]
    }

  ]

  DEF ts4 TouchSensor {}

}
}

```

Είναι προφανές ότι οι αισθητήρες υπάρχουν για να πυροδοτήσουν συγκεκριμένα γεγονότα. Από μόνοι τους όμως δεν επαρκούν για να επιτευχθεί αυτό. Αυτό υλοποιείται μέσα από σύνολα εντολών που ονομάζονται ROUTES και scripts. Στην περίπτωση του αισθητήρα αφής ts4 θα περιγράψουμε αναλυτικά σε μεταγενέστερο σημείο της επεξήγησης που κάνουμε, το πώς γίνεται η εμφάνιση του μηνύματος στην οθόνη. Όσον αφορά τον αισθητήρα κίνησης T3, οι εντολές που χρησιμοποιήσαμε για να πετύχουμε την επίδραση του αισθητήρα στη διαφάνεια του σώματος είναι οι εξής:


```

DEF slider_script Script
{
  eventIn SFVec3f position_slider
  eventOut SFFloat out

  url
  [
    "javascript:

    function position_slider(value,timestamp)
    {
      out=value[1]
    }
    "
  ]
}

ROUTE T3.translation_changed TO handle.set_translation
ROUTE T3.translation_changed TO
slider_script.position_slider
ROUTE slider_script.out TO body_material.set_transparency

```

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω τμήμα κώδικα, έχουμε συντάξει ένα script το οποίο ονομάσαμε `slider_script` και το οποίο αποτελείται από τη μεταβλητή ***position_slider*** τύπου `SFVec3f` (πρόκειται για διάνυσμα 3 float αριθμών) που δέχεται δεδομένα από τον εξωτερικό κόσμο (`eventIn`) και από τη μεταβλητή ***out*** η οποία είναι τύπου `SFFloat` (float μεταβλητή) που η τιμή της μπορεί να μεταφερθεί στον εξωτερικό κόσμο. Τα τρία ROUTES που υπάρχουν κάτω από το `slider_script` συμβάλλουν διαδοχικά στην επίτευξη των ακόλουθων ενεργειών :

- Κάθε φορά που μετατοπίζεται ο αισθητήρας T3, ο μοχλός μετακινείται κατά αντιστοιχία με τη μετατόπιση του T3
- Κάθε φορά που μετατοπίζεται ο T3, οι συντεταγμένες της μετατόπισής του αποτελούν δεδομένο εισόδου στη συνάρτηση `position_slider` του `slider_script`

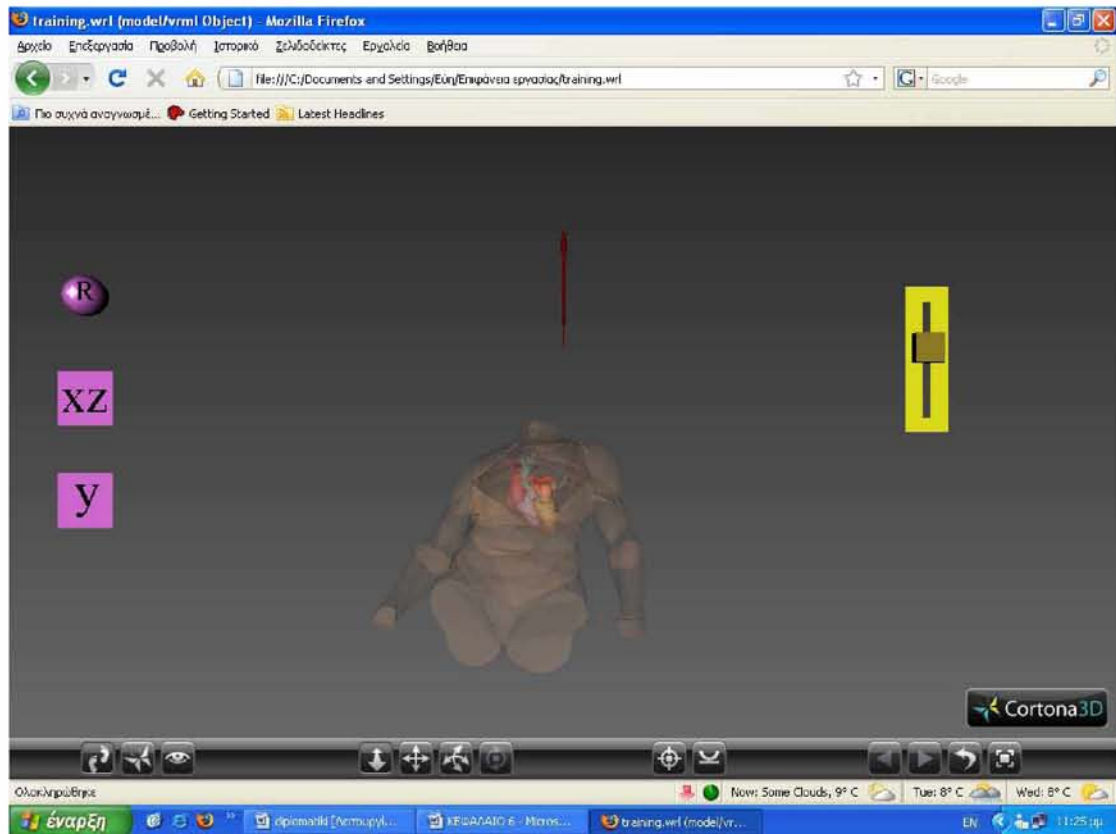
Σε αυτό το σημείο, και προτού δούμε τι επιτυγχάνεται με το τρίτο ROUTE, είναι ζωτικό να αναφερθούμε στο κομμάτι που είναι γραμμένο σε javascript εντός του `slider_script`. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό, η συνάρτηση `position_slider` δέχεται τιμές από το εξωτερικό περιβάλλον οι οποίες αποθηκεύονται στο διάνυσμα `value[]`, και

στη συνέχεια αποδίδεται η τιμή value[1] στην μεταβλητή out. Με πιο απλά λόγια, η μετατόπιση του μοχλού που είναι ανάλογη της κίνησης του αισθητήρα T3, περνάει σαν όρισμα στη συνάρτηση position_slider και αυτή αποδίδει την τρέχουσα τιμή του Y του μοχλού(value[1]) στη μεταβλητή out.

Τέλος, η ενέργεια που πραγματοποιείται με το τρίτο ROUTE είναι η εξής:

- Η τιμή της μεταβλητής out του slider_script καθορίζει τον βαθμό διαφάνειας του σώματος.

Ενδεικτικά, ύστερα από μετακίνηση του μοχλού, ο χρήστης βλέπει στην οθόνη του το ακόλουθο αποτέλεσμα:



Εικόνα 51 : Μεταβολή της διαφάνειας του σώματος του ασθενή μετά από μετακίνηση του μοχλού της μπάρας κύλισης.

Εκτός όμως από τα τρισδιάστατα αντικείμενα, το περιβάλλον της εικονικής επέμβασης αποτελείται και από τρία κουμπιά που επιτρέπουν στο χρήστη να υλοποιήσει τις απαραίτητες ενέργειες για τη διαδικασία της παρακέντησης.

Όσον αφορά λοιπόν την κατασκευή των κουμπιών, χρησιμοποιήσαμε έναν κόμβο ομαδοποίησης τύπου «Transform» με όνομα «*buttons*» μέσα στον οποίο ορίσαμε διαδοχικά και τα τρία κουμπιά (button1, button2 και button3). Ο αντίστοιχος κώδικας φαίνεται ακολούθως :

<pre> DEF buttons Transform { children [DEF button1 Transform { translation -7 0.5 -0.78211612 children [Shape { ... } DEF ts1 TouchSensor {} DEF light1 DirectionalLight { ambientIntensity 1 on FALSE } DEF label_xz Transform { translation -0.35 -0.2 0 scale 0.8 0.8 0.8 children [Shape { appearance Appearance { material Material { diffuseColor 0 0 0 } } geometry Text { string ["xz"] ... } }] }] }] } </pre>	<pre> DEF button2 Transform { translation -7 -1 -0.78211612 ... //παρόμοια σύνταξη με button1 } DEF button3 Transform { translation -7 2 -0.78211612 scale 0.3 0.3 0.3 children [DEF ball Transform { children [Shape { ... } DEF ss SphereSensor {} DEF ts3 TouchSensor {} DEF label_r Transform { translation 0.2 -0.4 1 scale 1.5 1.5 1.5 children [Shape { ... //όμοια σύνταξη με "label_xz" }] }] }] //κλείνει ο κόμβος "buttons" } </pre>
---	---

Τα κουμπιά `button1` και `button2` μέσα από τα οποία ενεργοποιείται η κίνηση της βελόνας στα επίπεδα `XZ` και `Y` αντίστοιχα, έχουν παρόμοια σύνταξη. Πρόκειται για κόμβους τύπου “*Transform*” μέσα στους οποίους ορίζουμε τη θέση του κάθε κουμπιού στο τρισδιάστατο σκηνικό, καθώς επίσης και τα βασικά τους χαρακτηριστικά : το σχήμα τους (`Shape`), τον αισθητήρα αφής (`TouchSensor`), μία πηγή φωτός (`DirectionalLight`) και την ετικέτα τους. Και τα δύο κουμπιά έχουν σχήμα κύβου (*geometry Box*), διαστάσεως `0.8 0.8 0` (*size 0.8000000 0.8000000 0*) και χρώματος μοβ (*diffuseColor 0.8 0.4 0.8*). Επίσης, καθένα από τα δύο κουμπιά διαθέτει έναν αισθητήρα αφής : `DEF ts1 TouchSensor {}` και `DEF ts2 TouchSensor {}` αντίστοιχα, καθώς και μία πηγή φωτός `DEF light1 DirectionalLight {...}` και `DEF light2 DirectionalLight {...}` αντίστοιχα, όπου όλα εξ’ ορισμού είναι αρχικά ανενεργά. Μόλις ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί με την ένδειξη “`XZ`”, ο αισθητήρας αφής `ts1` γίνεται ενεργός και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ενεργοποιείται ο αισθητήρας κίνησης “`move_xz_sensor`” της βελόνας με σκοπό την κίνησή της στο επίπεδο `XZ`. Επίσης, ενεργοποιείται η πηγή φωτός που διαθέτει το κουμπί αυτό (`light1`) φωτίζοντάς το, ενώ παράλληλα απενεργοποιείται ο αισθητήρας κίνησης “`move_y_sensor`” της βελόνας καθώς και η πηγή φωτισμού του άλλου πλήκτρου. Ο λόγος για τον οποίο η βελόνα έχει δύο αισθητήρες κίνησης στο επίπεδο οι οποίοι δεν μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, είναι διότι η κίνηση του ποντικιού γίνεται πάντα στους δύο άξονες και έτσι η μετατόπισή του πρέπει να αποδίδεται σαν ανάλογη κίνηση της βελόνας στις δύο διαστάσεις. Ακόμη, η τεχνική με τα φώτα εξυπηρετεί τον χρήστη ώστε να θυμάται ποιόν κύβο έχει πατήσει κάθε φορά.

Όταν ο χρήστης κάνει κλικ στον κύβο με την ένδειξη “`Y`”, προφανώς ενεργοποιείται ο αντίστοιχος αισθητήρας κίνησης της βελόνας στον άξονα `Y` και η πηγή φωτός αυτού του πλήκτρου, και απενεργοποιείται ο αισθητήρας κίνησης της βελόνας στο επίπεδο `XZ` καθώς και η πηγή φωτός του άλλου πλήκτρου.

Προκειμένου να συμβούν όλες οι ενέργειες που περιγράφηκαν παραπάνω, χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές που παραθέτουμε στη συνέχεια και που αφορούν το πρώτο `button`, μιας και εκείνες που αφορούν το δεύτερο είναι ανάλογες :

```

DEF script1 Script
{
  eventIn SFBool event_handler
  eventOut SFBool out1
  eventOut SFBool out2

  url
  [
    "javascript:
      function event_handler(value,timestamp)
      {
        if(value)
          out1=TRUE
          out2=FALSE
      }
    "
  ]
}

ROUTE ts1.isActive TO script1.event_handler
ROUTE script1.out1 TO move_xz_sensor.set_enabled
ROUTE script1.out1 TO light1.set_on
ROUTE script1.out2 TO move_y_sensor.set_enabled
ROUTE script1.out2 TO light2.set_on

```

Όπως παρατηρούμε, όταν ο αισθητήρας αφής ts1 είναι ενεργός, η συνάρτηση event_handler αποδίδει την τιμή TRUE στη μεταβλητή out1 και την τιμή FALSE στη μεταβλητή out2. Οι τιμές αυτές μεταφέρονται στο πεδίο enabled του εκάστοτε αισθητήρα και στο πεδίο on της εκάστοτε πηγής φωτός είτε προς ενεργοποίηση είτε προς απενεργοποίησή τους.

Ακόμη, προκειμένου η κίνηση του εκάστοτε αισθητήρα να μεταφέρεται κατά αντιστοιχία στην κίνηση της βελόνας, γράψαμε το ακόλουθο script(αφορά την κίνηση της βελόνας στον άξονα XZ):

```

DEF script3 Script
{
  eventIn SFVec3f setPosition
  field SFNode position USE shank_of_needle

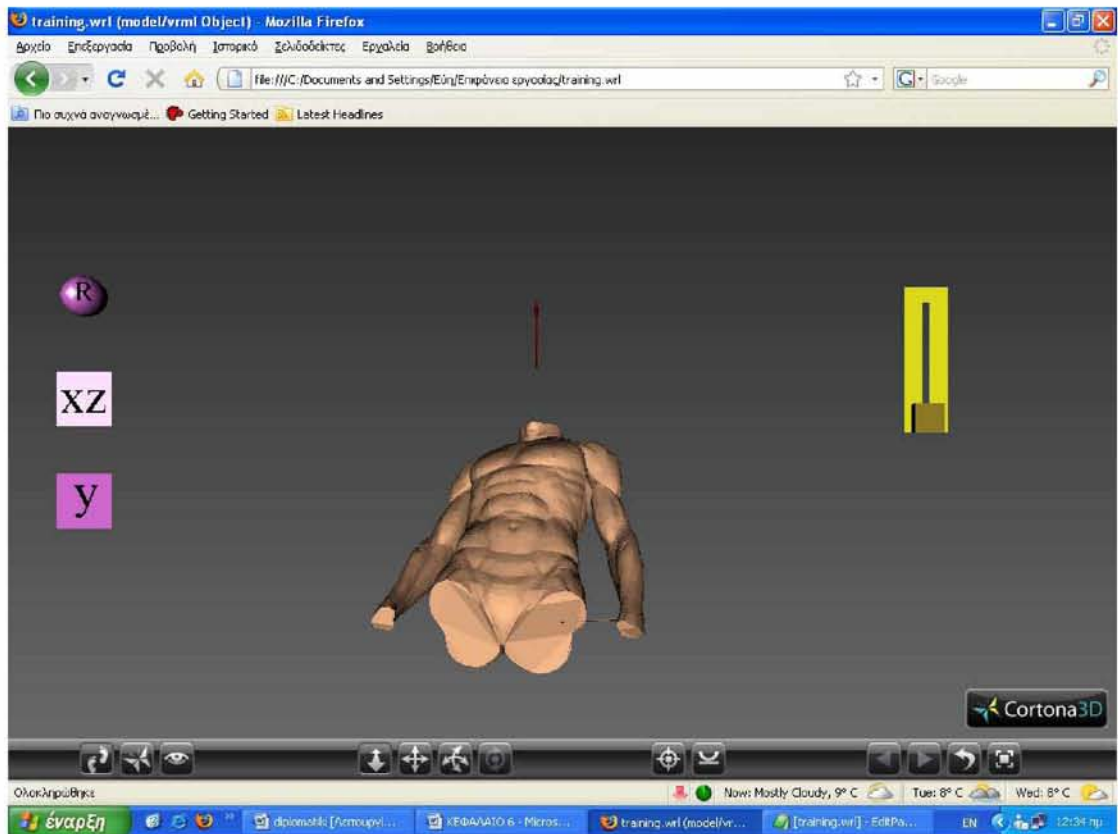
  url
  [
    "javascript:
      function setPosition(value,timestamp)
      {
        position.translation[0]=value[0]
        position.translation[1]=position.translation[1]
        position.translation[2]=-value[1]
      }
    "
  ]
}

ROUTE move_xz_sensor.translation_changed TO script3.setPosition

```

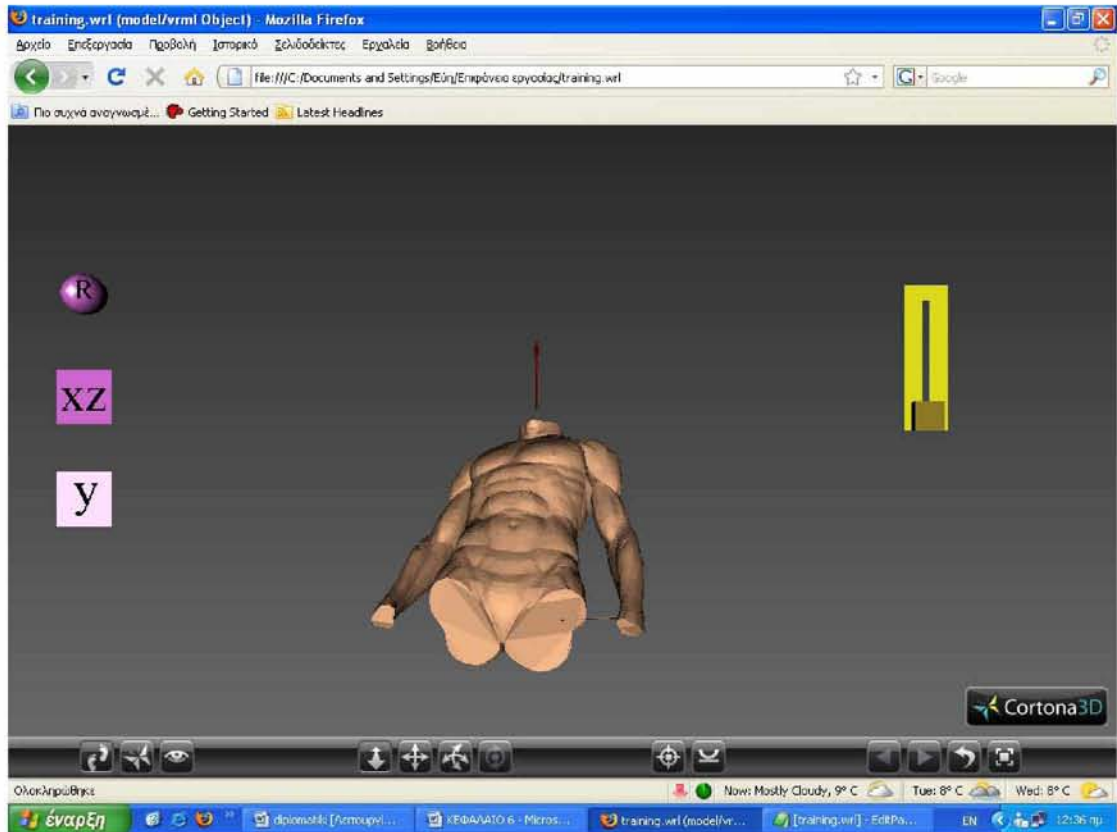
Όπως βλέπουμε στο παραπάνω script, οι συντεταγμένες της μετατόπισης του move_xz_sensor μπαίνουν σαν όρισμα στη συνάρτηση setPosition και μέσα από αυτή αποδίδονται στη μετατόπιση της βελόνας.

Ενδεικτικά, το αποτέλεσμα που απεικονίζεται στο εικονικό σκηνικό μετά από το πάτημα του κουμπιού και “XZ” και κατά την μετακίνηση της βελόνας είναι το εξής :



Εικόνα 52 : Μετακίνηση της βελόνας στο επίπεδο XZ μετά την επιλογή του αντίστοιχου button.

Από το σημείο στο οποίο βρισκόμαστε τώρα, αν πατήσουμε στο κουμπί Y και κατόπιν μετακινήσουμε τη βελόνα, παίρνουμε την εξής εικόνα:



Εικόνα 53 : Μετακίνηση της βελόνας στον κατακόρυφο άξονα μετά το πάτημα του κουμπιού με την ένδειξη ‘Y’.

Όσον αφορά το τρίτο button με την ένδειξη “R” που επιτρέπει την περιστροφή της βελόνας, έχει οριστεί να έχει σχήμα σφαίρας και πάνω σε αυτό είναι προσαρμοσμένα ένας αισθητήρας κίνησης τύπου SphereSensor (ss), ένας αισθητήρας αφής (ts3 TouchSensor) και η ετικέτα του (label_r).

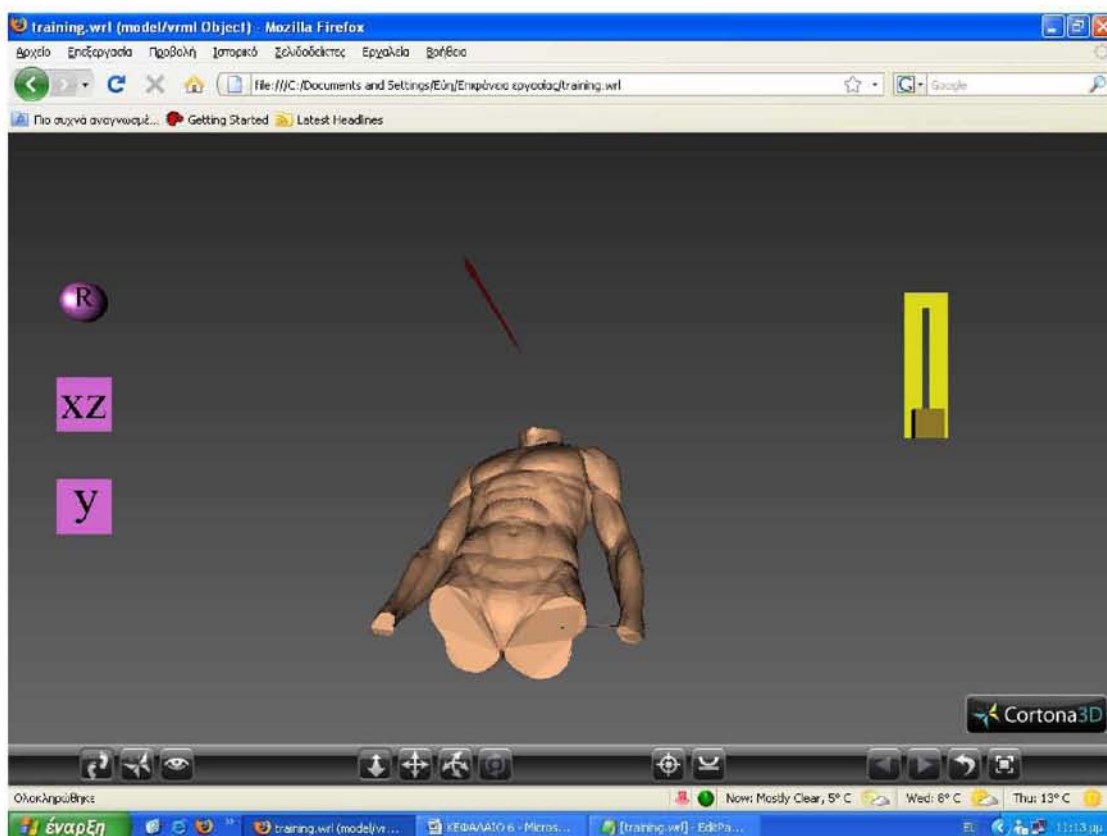
Κάθε φορά που ο χρήστης θέλει να περιστρέψει τη βελόνα, περιστρέφει το σφαιρικό αυτό κουμπί και η όποια περιστροφή του προκαλεί την αντίστοιχη περιστροφή της βελόνας.

Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τα ακόλουθα ROUTES:

```
ROUTE ss.rotation_changed TO ball.set_rotation
ROUTE ss.rotation_changed TO shank_of_needle.set_rotation
```

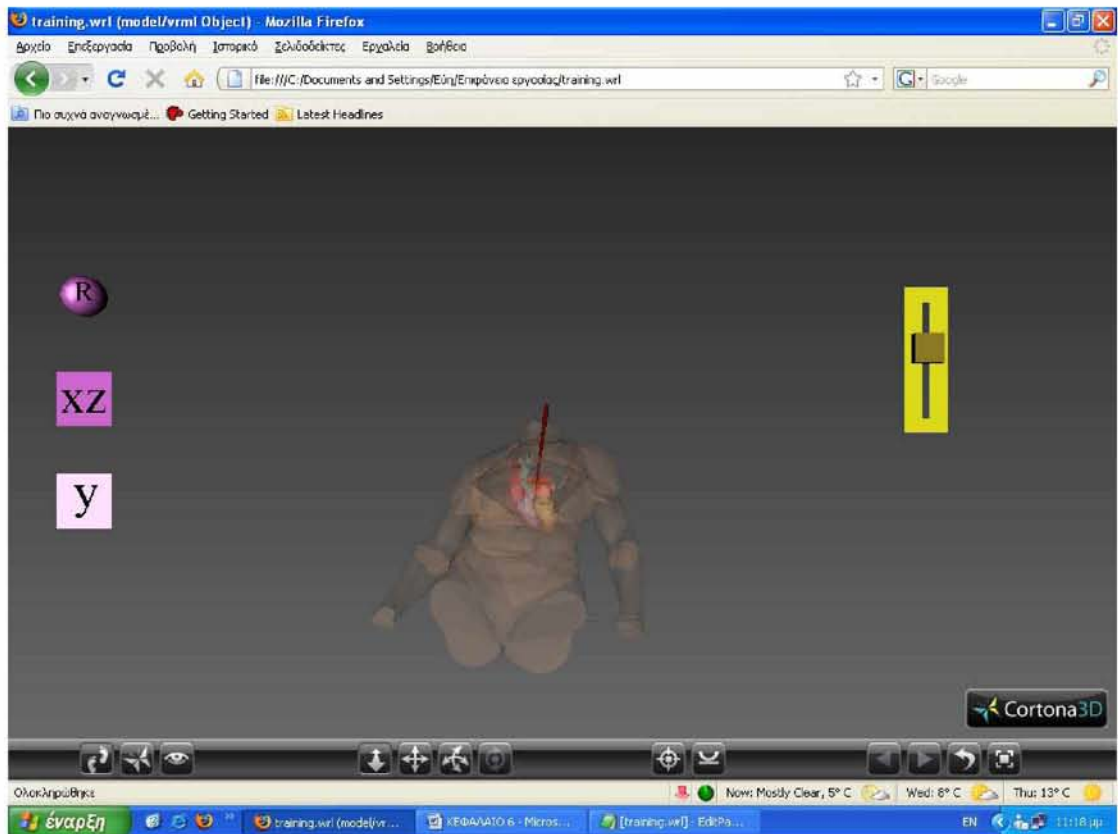
Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω ROUTES, κάθε φορά που περιστρέφεται ο αισθητήρας ss, ο βαθμός περιστροφής του μεταφέρεται στο κουμπί με την ένδειξη “R” (πρώτο ROUTE) και στη βελόνα (δεύτερο ROUTE).

Μετά από τη χρήση αυτού του button, το αποτέλεσμα που προκύπτει στο περιβάλλον της εικονικής εγχείρησης είναι:



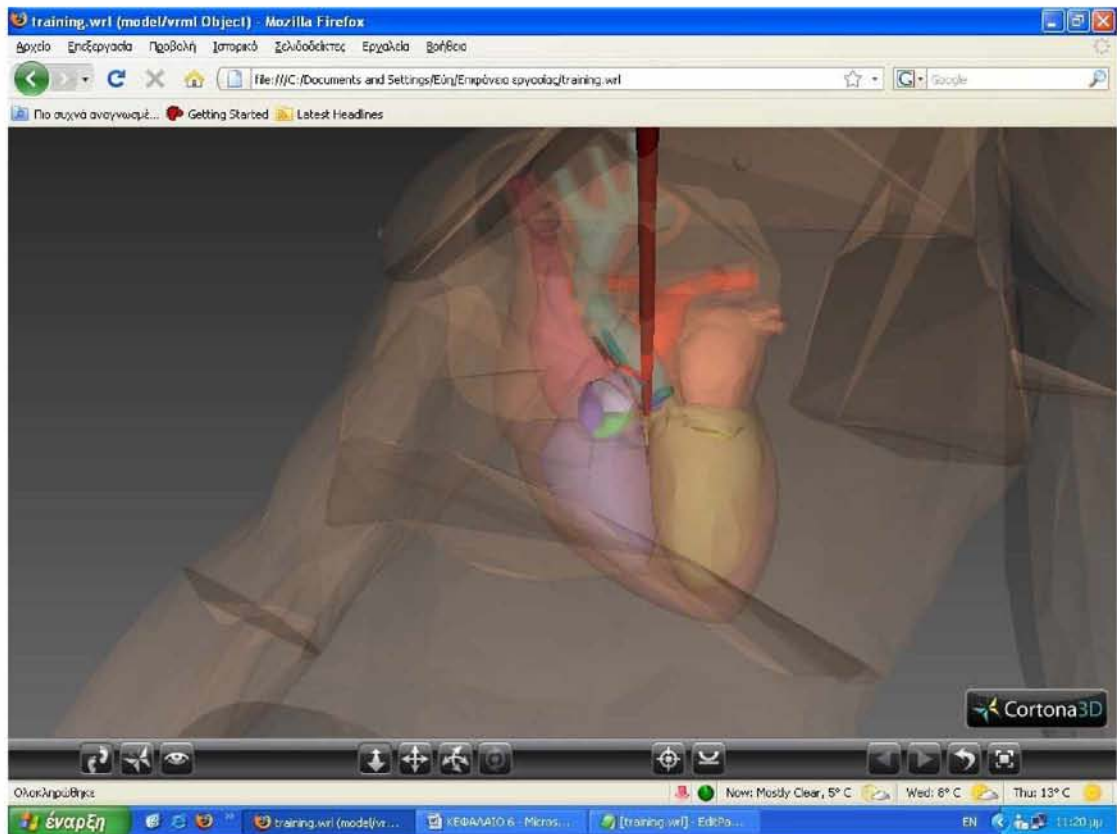
Εικόνα 54 : Περιστροφή της βελόνας στο χώρο με τη βοήθεια του σφαιρικού κουμπιού.

Ο χρήστης κάνοντας ένα σύνολο ενεργειών, δηλαδή μετακινώντας και περιστρέφοντας τη βελόνα με σκοπό να κάνει μία επιτυχή παρακέντηση στην καρδιά και τέλος, αυξομειώνοντας την διαφάνεια του σώματος με τη βοήθεια της μπάρας κύλισης, βλέπει το ακόλουθο σκηνικό:



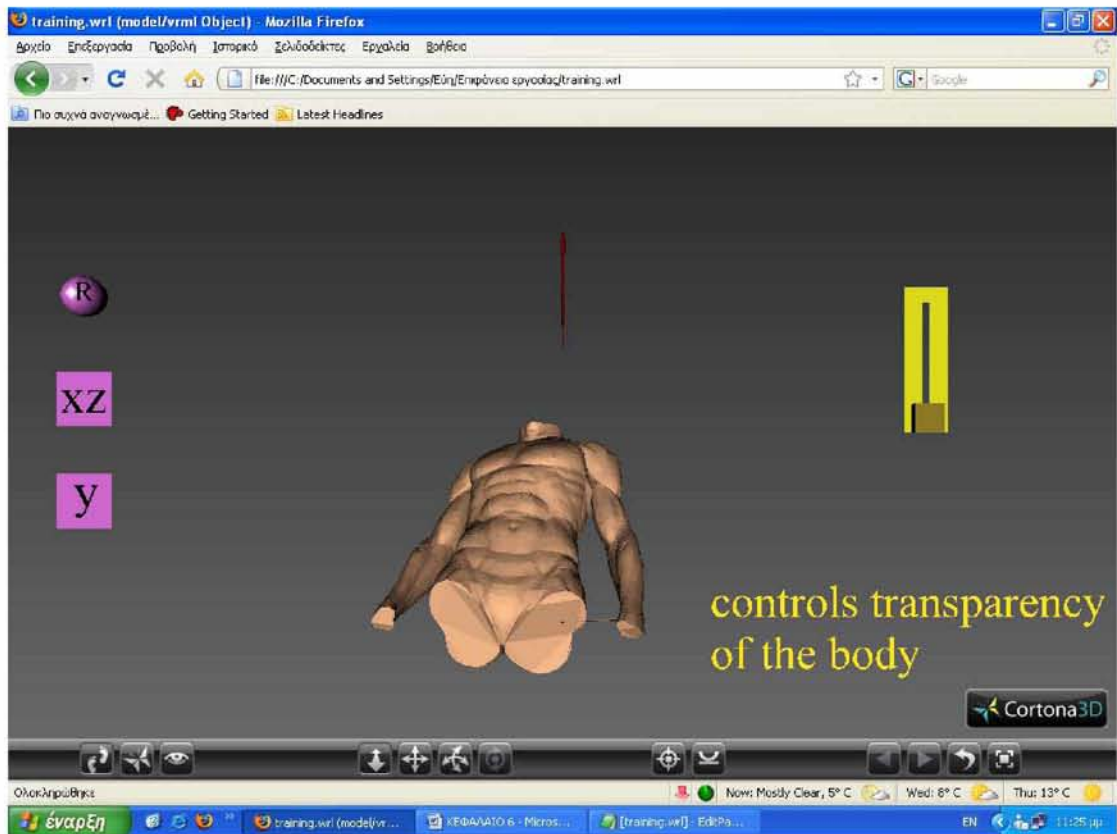
Εικόνα 55 : Αποτίμηση της προσπάθειας του χρήστη.

Επιλέγοντας και το εργαλείο εστίασης του cortona μπορεί να δει και που ακριβώς έχει τοποθετήσει τη βελόνα :



Εικόνα 56 : Εστίαση στο σημείο παρακέντησης.

Ακόμα, προκειμένου το πρόγραμμα να είναι σαφές προς το χρήστη, κάθε φορά που εκείνος έχει τον κέρσορα του ποντικιού πάνω από τα εργαλεία του σκητικού, εμφανίζεται στο κάτω μέρος της οθόνης ένα διευκρινιστικό μήνυμα ως προς τη λειτουργία του κάθε εργαλείου. Έτσι, αν για παράδειγμα ο χρήστης φέρει τον κέρσορα του ποντικιού πάνω από την μπάρα κύλισης, τότε το μήνυμα που θα εμφανιστεί στην οθόνη του είναι το εξής:



Εικόνα 57 : Εμφάνιση διευκρινιστικού μηνύματος στην οθόνη του χρήστη.

Ανάλογα μηνύματα εμφανίζονται και για τα υπόλοιπα εργαλεία που συνθέτουν το σκηνικό.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό ορίσαμε ένα κόμβο τύπου Transform εντός του οποίου υπάρχει ένας κόμβος τύπου Shape η γεωμετρία του οποίου είναι ένα κείμενο το οποίο το έχουμε ορίσει αρχικά να είναι κενό. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω τμήμα κώδικα :

```

DEF help Transform
{
  translation 2 -2.5 0
  scale 0.7 0.7 0.7

  children
  [
    Shape
    {
      appearance Appearance
      {
        material Material { diffuseColor 1 0.9 0.1 }
      }

      geometry DEF Text1 Text
      {
        string [""]
      }
    }
  ]
}

```

Το περιεχόμενο του Text1 αλλάζει κάθε φορά που ο χρήστης μετακινεί τον κέρσορα πάνω από τα εργαλεία του σκηνικού. Για το λόγο αυτό έχουμε συντάξει script που να ανταποκρίνεται σε καθένα από αυτά. Ενδεικτικά παραθέτουμε τον κώδικα από το script που καθορίζει το μήνυμα που εμφανίζεται στην οθόνη όταν ο χρήστης κινήσει τον κέρσορα πάνω από την μπάρα κύλισης :

```

DEF script8 Script
{
  eventIn SFBool over
  eventOut MFString text

  url
  [
    "javascript:
      function over(value, timestamp)
      {
        if (value)
          { text[0]='controls transparency'
            text[1]='of the body'
          }
        else
          {
            text[0]="
            text[1]="
          }
      }
    "
  ]
}

ROUTE ts4.isOver TO script8.over
ROUTE script8.text TO Text1.set_string

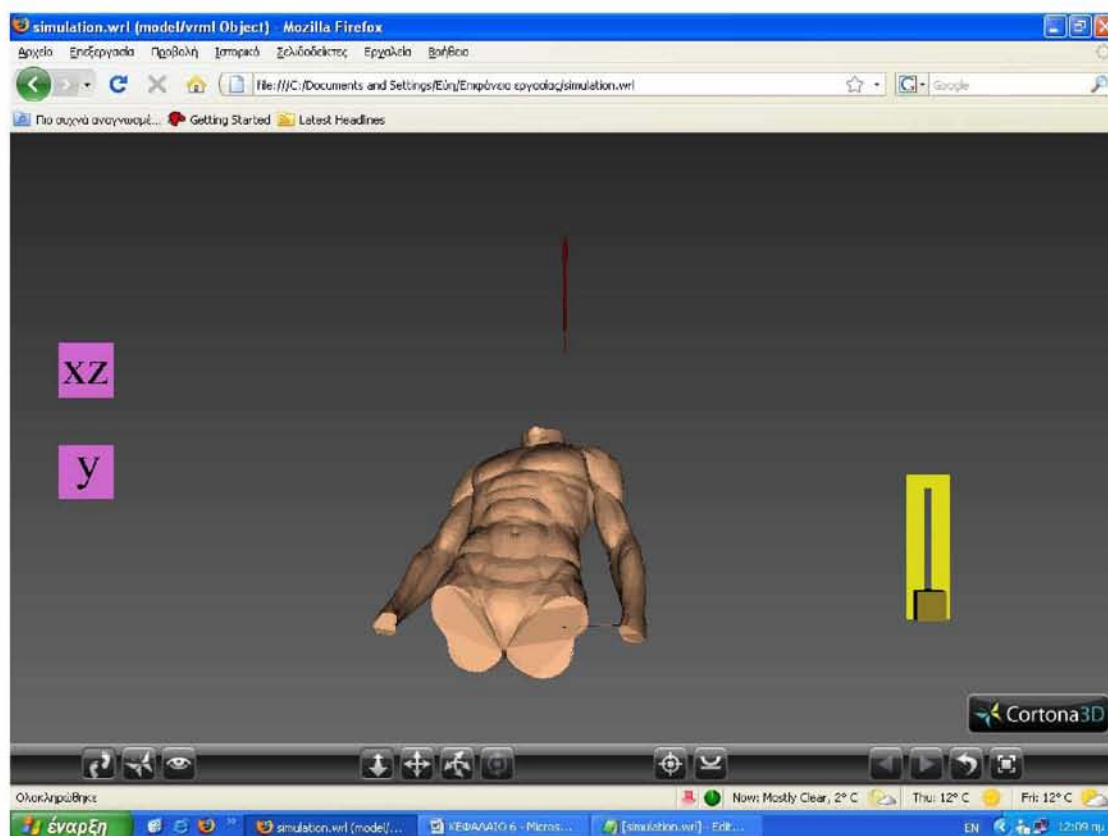
```

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω τμήμα κώδικα, υπάρχει η συνάρτηση `over` η οποία δέχεται σαν όρισμα την τιμή του αισθητήρα `ts4` που είναι προσαρμοσμένος στην μπάρα κύλισης. Αυτό καθορίζεται από το πρώτο ROUTE. Όταν λοιπόν η τιμή του αισθητήρα είναι TRUE (αυτό συμβαίνει όταν ο κέρσορας του ποντικού είναι πάνω από αυτόν αισθητήρα), η μεταβλητή `text` παίρνει τις τιμές 'controls transparency' και 'of the body'. Έπειτα, όπως ορίζεται από το δεύτερο ROUTE, οι

τιμές αυτές αποδίδονται στο Text1 και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μήνυμα αυτό να εμφανίζεται στην οθόνη.

6.3 Σύστημα καθοδήγησης του γιατρού κατά τη διαδικασία παρακέντησης της δεξιάς κοιλίας της καρδιάς.

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάσουμε ένα σύστημα που καθοδηγεί τον χρήστη-γιατρό να υλοποιήσει μία επιτυχή παρακέντηση στη δεξιά κοιλία της καρδιάς του ασθενή. Ο σχεδιασμός του συστήματος δε διαφέρει σημαντικά από αυτό που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Για την ακρίβεια, η μόνη διαφορά που υπάρχει στο σχεδιασμό του υπάρχοντος συστήματος είναι η έλλειψη του κουμπιού για την περιστροφή της βελόνας. Έτσι λοιπόν ο χρήστης ανοίγοντας την εφαρμογή, βλέπει το εξής εικονικό σκηνικό στην οθόνη του :



Εικόνα 58 : Αρχική οθόνη με το άνοιγμα της εφαρμογής 'simulation.wrl'.

6.3.3 Λειτουργία του συστήματος καθοδήγησης

Αρχικά ο χρήστης ανοίγει το αρχείο με ονομασία “simulation.wrl” μέσα από τον web browser του και βλέπει το εικονικό περιβάλλον της επέμβασης που απεικονίζεται στην πιο πάνω εικόνα.

Σκοπός του χρήστη είναι κάνοντας τις απαραίτητες ενέργειες με τη βελόνα, να καταφέρει να τρυπήσει τη δεξιά κοιλία της καρδιάς. Το σύστημα ενημερώνει τον χρήστη για την ακριβή θέση της βελόνας στο εικονικό σκηνικό κάθε φορά που αυτός τη μετακινεί. Ο κώδικας που γράφηκε για να επιτευχθεί το, είναι ο ακόλουθος :

```
DEF SCRIPT Script {
  eventIn SFVec3f position
  eventOut MFString debugText
  url "vrmlscript:

  function position(value) {
    x = Math.round(value[0] * 10) / 10;
    y = Math.round(value[1] * 10) / 10;
    z = Math.round(value[2] * 10) / 10;
    debugText[0] = 'pos: (' + x + ', ' + y + ', ' + z + ')';
  }"
}

DEF TT Transform {
  children Transform {
    translation -3 3 -.3
    scale 0.7 0.7 0.7
    children Shape {
      geometry DEF DEBUG Text { }
    }
  }
}
```

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω τμήμα κώδικα, έχουμε ορίσει έναν κόμβο με ονομασία TT που έχει γεωμετρία κειμένου (με ονομασία DEBUG). Επίσης, σύμφωνα με το πρώτο ROUTE, κάθε φορά που αλλάζει η μετατόπιση της βελόνας, οι τρέχουσες συντεταγμένες θέσης της αποτελούν όρισμα στη συνάρτηση position του SCRIPT. Στο σώμα της συνάρτησης αυτής γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί ούτως ώστε να υπολογιστούν οι συντεταγμένες της βελόνας με ακρίβεια δεύτερου δεκαδικού ψηφίου, και στη συνέχεια αποθηκεύονται οι τιμές αυτές στη μεταβλητή debugText. Τέλος, με το δεύτερο ROUTE, η τιμή της μεταβλητής debugText αποδίδεται στον κόμβο DEBUG και έτσι εμφανίζονται στην οθόνη οι συντεταγμένες της βελόνας.

Παράλληλα όμως με την ενημέρωση του χρήστη για την ακριβή θέση της βελόνας στο χώρο, το σύστημα τον ενημερώνει και για το κατά πόσο σωστά κατευθύνει τη βελόνα εντός του αποδεκτού συνόλου συντεταγμένων που αντιπροσωπεύει τη δεξιά κοιλία της καρδιάς, μέσα από τις ενδείξεις των X, Y, Z που απεικονίζονται στην οθόνη του. Έτσι, όταν για παράδειγμα μετακινήσει τη βελόνα κατά τον άξονα των X και εντός του αποδεκτού εύρους τιμών, η τιμή X φέρει την ένδειξη “correct”. Αυτό ισχύει αναλογικά και για τα Y, Z.

Ο κώδικας που καθορίζει τις ενδείξεις των X, Y, Z ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία για καθένα από αυτά. Έτσι, στη συνέχεια παραθέτουμε το κομμάτι του κώδικα που αφορά την ένδειξη X :

```
DEF results Transform
```

```
{  
  ...  
  geometry DEF text2 Text { }  
}  
...
```

```
DEF script8 Script
```

```
{  
  eventIn SFVec3f result  
  eventOut MFString message
```

```
  url
```

```
  [
```

```
    "javascript:
```

```
    function result(value,timestamp)
```

```
    {  
      if ( (value[0] >= -1.5) && (value[0]<= -1) )
```

```
        {  
          message[0]='x correct'  
        }  
      }
```

```
    else
```

```
    {  
      message[0]='x wrong'  
    }  
  }
```

```
  ]
```

```
  "
```

```
  ]
```

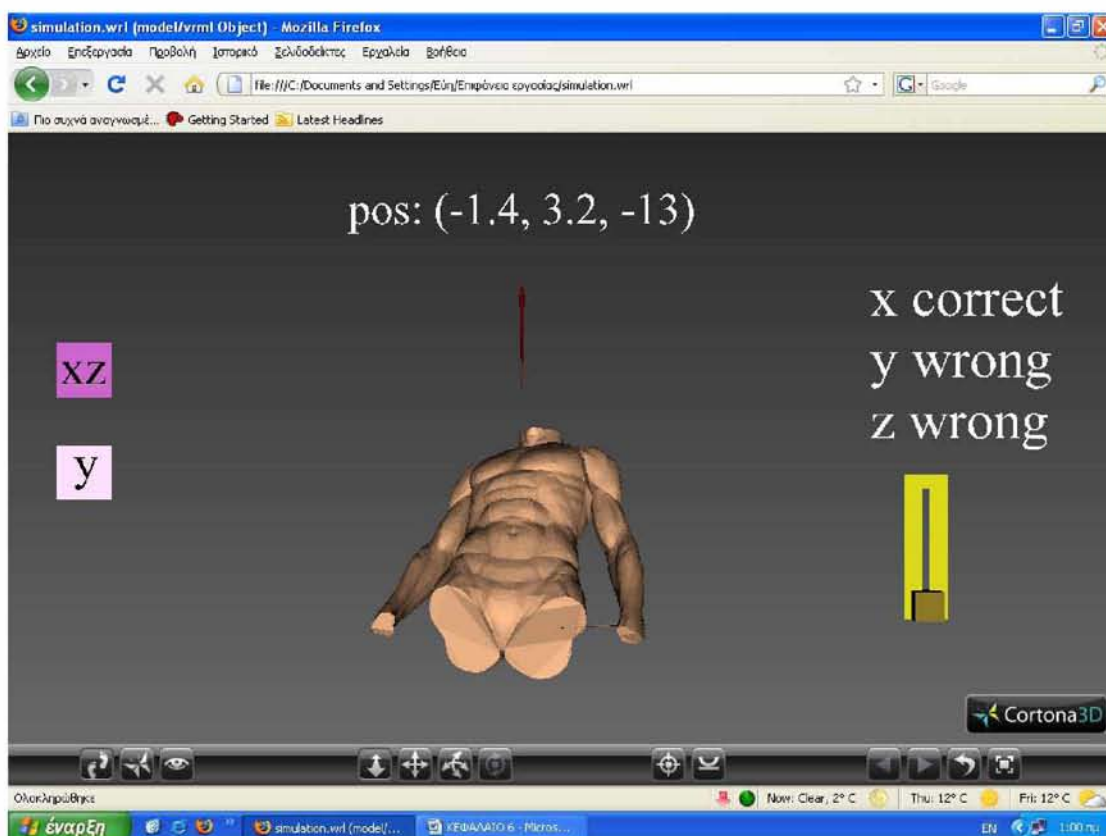
```
}
```

```
ROUTE shank_of_needle.translation_changed TO script8.result
```

```
ROUTE script8.message TO text2.set_string
```

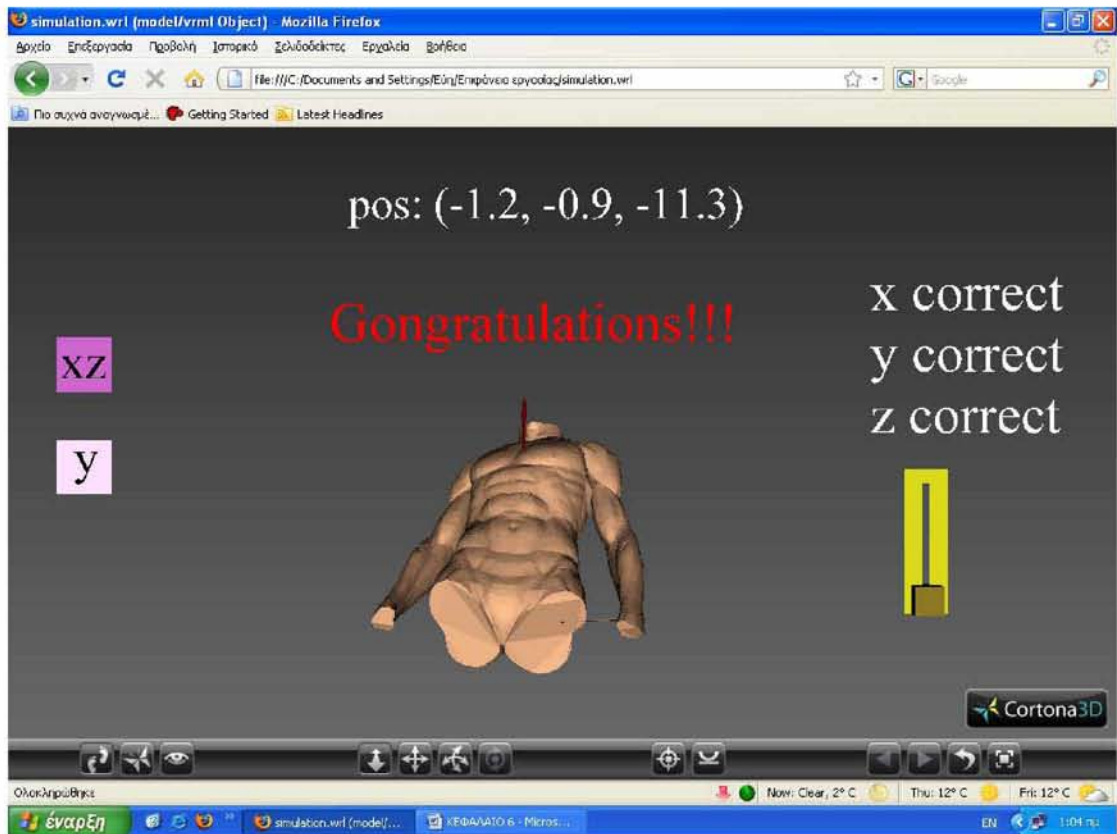
Όπως παρατηρούμε λοιπόν στο παραπάνω τμήμα κώδικα, κάθε φορά που μετακινείται η βελόνα, η συνάρτηση result του script8 ελέγχει αν η τρέχουσα τιμή του X της βελόνας είναι εντός ενός συγκεκριμένου εύρους τιμών, και ανάλογα με το αποτέλεσμα του ελέγχου, καθορίζει την τιμή της μεταβλητής message ως “x correct” ή “x wrong”. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια το δεύτερου ROUTE, η τιμή της μεταβλητής message καθορίζει το περιεχόμενο του text2, δηλαδή του μηνύματος που θα εμφανιστεί στην οθόνη του χρήστη.

Αυτό λοιπόν που βλέπει ο χρήστης στην οθόνη του μετά από μετακίνηση της βελόνας είναι το ακόλουθο :



Εικόνα 59 : Ενδείξεις που εμφανίζονται στην οθόνη μετά την μετακίνηση της βελόνας.

Όταν τελικά όλες οι συντεταγμένες X, Y, Z φέρουν την ένδειξη “correct”, ο χρήστης έχει καταφέρει να τρυπήσει τον επιθυμητό στόχο και το μήνυμα “Congratulations!” εμφανίζεται στο εικονικό σκηνικό της επέμβασης :



Εικόνα 60 : Αποτελέσματα προσομοίωσης.

Ο χρήστης αυξομειώνοντας τη διαφάνεια του σώματος και στη συνέχεια εστιάζοντας στο σημείο παρακέντησης, μπορεί να δει το ακριβές σημείο που κατάφερε να τρυπήσει :



Εικόνα 61 : Εστίαση στο σημείο παρακέντησης με το πέρας της παρακέντησης.

Το τμήμα του κώδικα που αφορά την εμφάνιση του τελικού μηνύματος στην οθόνη, είναι το ακόλουθο :

```

DEF script11 Script
{
  eventIn SFVec3f result
  eventOut MFString message

  url
  [
    "javascript:

  function result(value,timestamp)
  {
    if ( ( (value[0] >= -1.5) && (value[0]<= -1)) && ( (value[1] >= -1.2) &&
(value[1]<= -0.6) ) && ( (value[2] >= -11.5) && (value[2]<= -10.7)) )
    {
      message[0]='Gongratulations!!!'
    }

    else
    {
      message[0]="
    }
  }
  "
  ]
}

ROUTE shank_of_needle.translation_changed TO script11.result
ROUTE script11.message TO text5.set_string

```

Όπως παρατηρούμε, γίνεται ένας ολικός έλεγχος των συντεταγμένων της βελόνας και εφόσον και οι τρεις ανήκουν στο αποδεκτό εύρος τιμών, αποτυπώνεται στην οθόνη το μήνυμα συγχαρητηρίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την εργασία αναπτύχθηκε μία διαδικτυακή εφαρμογή εικονικής επέμβασης με στόχο την εκπαίδευση των γιατρών στη διαδικασία παρακείμεσης της καρδιάς. Βασικά χαρακτηριστικά της εφαρμογής αποτελούν το φιλικό περιβάλλον της, η ευκολία χειρισμού της, καθώς και η γρήγορη απόκρισή της στις ενέργειες του χρήστη. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με τις σχετικά περιορισμένες υπολογιστικά απαιτήσεις επιτρέπουν τη χρήση της τόσο σε ερευνητικό επίπεδο όσο και στην κλινική πράξη.

7.1 Γενικά Σχόλια

Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης έχουν σημαντική εφαρμογή σε πολλούς τομείς της ιατρικής. Εφαρμογές που έχουν κατασκευαστεί με τη βοήθεια των γλωσσών VRML και X3D αποτελούν χρήσιμα διαγνωστικά εργαλεία, εργαλεία θεραπείας και προγραμματισμού εγχειρήσεων και κυρίως σημαντικά εργαλεία υποβοήθησης και εκπαίδευσης των γιατρών στα εγχειρήματά τους.

Παράλληλα, οι διαδικτυακές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας αποτελούν έναν καινοτόμο τρόπο μάθησης και εκπαίδευσης από απόσταση τόσο σε ατομικό όσο και σε ομαδικό επίπεδο. Οι απαιτήσεις τους σε εξοπλισμό είναι μηδαμινές καθώς περιλαμβάνουν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή συνδεδεμένο στο διαδίκτυο και έναν web browser με ενσωματωμένο το κατάλληλο plug-in.

Ακόμη, χάρη στις εφαρμογές αυτές, τα προβλήματα κόστους και πόρων που παρατηρούνται στην κλασική ιατρική καθώς και τα ενδεχόμενα σφάλματα που μπορεί να προκύψουν στους ασθενείς ελαχιστοποιούνται.

Το διαδικτυακό σύστημα εικονικής πραγματικότητας που υλοποιήσαμε στην παρούσα εργασία έγινε με τη βοήθεια της γλώσσας VRML. Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη γλώσσα είναι επειδή υπήρχε αρκετό υλικό διαθέσιμο τόσο στο διαδίκτυο όσο και στη βιβλιογραφία που βοήθησε σημαντικά στην κατανόηση της σύνταξης και λειτουργίας της γλώσσας. Πολλά tutorials και κομμάτια κώδικα που υπήρχαν στο διαδίκτυο, όπως για παράδειγμα στο website 'www.lighthouse3d.com', συνέβαλαν σημαντικά στη σύνταξη του τελικού κώδικα της εργασίας. Ακόμη, αρκετές open source εφαρμογές, όπως το White Dune, διευκόλυναν ακόμα περισσότερο το προγραμματιστικό έργο.

Πλέον όμως, τη VRML έχει διαδεχτεί η τεχνολογία X3D και έτσι έχει σταματήσει να αναπτύσσεται. Ωστόσο, ο όγκος δεδομένων για το X3D στο διαδίκτυο

είναι αρκετά περιορισμένος και η μοναδική γραφική εφαρμογή που διατίθεται δωρεάν για αυτό είναι το Flux Studio το οποίο όμως δεν είναι τόσο εύχρηστο και κατανοητό για πρωτόπειρους χρήστες. Ενδεχομένως αυτή η περιορισμένη διακίνηση ελεύθερης πληροφόρησης να μην έχει οδηγήσει στην τόσο θεαματική ανάπτυξη του X3D που αναμενόταν όταν αρχικά πρωτοεμφανίστηκε.

Επίσης, αν και στο διαδίκτυο προσφέρεται ελεύθερα μία πληθώρα τρισδιάστατων μοντέλων, αυτή αφορά κυρίως τους τομείς της αρχιτεκτονικής και της ψυχαγωγίας ενώ τα ιατρικά μοντέλα είναι κατά κόρον επί πληρωμή. Επιπλέον, ορισμένες συσκευές που μπορούν να συνδυαστούν με τις τρισδιάστατες εφαρμογές προσομοίωσης για να παρέχουν πιο ρεαλιστικά τα αποτελέσματα των ενεργειών στον κόσμο, όπως για παράδειγμα οι συσκευές δύναμης ανάδρασης, έχουν υψηλό κόστος αποτελώντας κατά αυτό τον τρόπο ανασταλτικό παράγοντα για της εφαρμογή τους. Αν ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, οι τεχνολογίες τρισδιάστατης απεικόνισης θα βοηθήσουν πιο αποτελεσματικά την ιατρική.

Παράλληλα, απαιτείται εκπαίδευση των γιατρών στις νέες τεχνολογίες και ενημέρωσή τους για τις δυνατότητες που αυτές παρέχουν. Δεν πρέπει να τις αντιμετωπίζουν με αρνητικότητα γιατί αυτές αποτελούν υποστηρικτικές εφαρμογές που έρχονται να ενισχύσουν το έργο τους και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να το αντικαταστήσουν. Τελικός σκοπός είναι η παροχή καλύτερων υπηρεσιών υγείας στους ασθενείς, κάτι που συνεπάγεται λιγότερα έξοδα, λιγότερο πόνο και μικρότερο χρόνο νοσηλείας.

7.2 Μελλοντικές προοπτικές

Το σύστημα που κατασκευάσαμε έχει εκπαιδευτικό χαρακτήρα και απευθύνεται σε γιατρούς χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένη γνώση από υπολογιστές και νέες τεχνολογίες για τη χρήση του. Μία μελλοντική επέκτασή του θα μπορούσε να είναι η δημιουργία των τρισδιάστατων μοντέλων που αφορούν τον ασθενή, δηλαδή του σώματος και της καρδιάς, από πραγματικά δεδομένα. Με άλλα λόγια, τα τρισδιάστατα μοντέλα που συνθέτουν το εικονικό σκηνικό να μπορούν να ανταποκρίνονται στο πραγματικό σώμα και την καρδιά του εκάστοτε ασθενή. Προκειμένου λοιπόν να επιτευχθεί η δημιουργία ενός πιστού μοντέλου του σώματος και της καρδιάς του ασθενή, ο ασθενής αρχικά ακινητοποιείται για να πραγματοποιηθεί μία αμαγνητική τομογραφία. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα της

τομογραφίας αυτής εισάγονται σε ένα εργαλείο, όπως για παράδειγμα το 3d doctor(<http://www.3ddoctor.com>) μέσα από το οποίο γίνεται η ανακατασκευή των τρισδιάστατων μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά, πέρα από τη φυσική περιγραφή των αντικειμένων, εκφράζουν και τη θέση τους στον τρισδιάστατο χώρο σε σχέση με το αρχικό σημείο της τομογραφίας, επιτρέποντας κατά αυτό τον τρόπο τη σωστή τοποθέτηση των μοντέλων μας στο εικονικό σκηνικό.

Έχοντας πλέον δημιουργήσει το τρισδιάστατο σκηνικό μας από πραγματικά δεδομένα, μπορούμε να επεκτείνουμε περαιτέρω το σύστημά μας ούτως ώστε οι όποιες κινήσεις της βελόνας που πραγματοποιούνται από το χρήστη να μεταφέρονται κατά αντιστοιχία στον εξωτερικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει σε αυτή την περίπτωση το λογισμικό μέρος ενός ρομποτικού συστήματος όπου οι κινήσεις του ποντικιού θα μεταφράζονται σε αντίστοιχη μετατόπιση της βελόνας και στη συνέχεια θα ορίζουν κατά αντιστοιχία την κίνηση ενός ρομποτικού βραχίονα για την υλοποίηση της παρακέντησης στο πραγματικό σώμα του ασθενή.

Μία ακόμα επέκταση του συστήματος θα ήταν η λειτουργία του σαν ένα σύστημα τηλεϊατρικής/τηλε-εγχείρησης. Σε αυτή την περίπτωση, ένας γιατρός αρχικά θα εισάγει το μοντέλο του ασθενή μαζί με τις ανατομικές του δομές στις οποίες επιθυμεί να επέμβει και εν συνεχεία θα αποστέλει στο εικονικό σκηνικό μέσω του Διαδικτύου σε έναν δεύτερο εξειδικευμένο γιατρό. Ο εξειδικευμένος γιατρός με τη σειρά του, βασιζόμενος στην πείρα του, θα υλοποιεί τις απαραίτητες ενέργειες παρακέντησης στο σώμα που έλαβε και με το πέρας της διαδικασίας θα αποστέλλει τα αποτελέσματα της εγχείρησης πίσω στον πρώτο γιατρό προκειμένου να τις υλοποιήσει στον πραγματικό ασθενή.

7.3 Συμπέρασμα

Η διαδικτυακή εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αποτελεί ένα αξιόπιστο και φιλικό προς το χρήστη εργαλείο ιατρικής εκπαίδευσης. Η εφαρμογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα και παράλληλα μέσα από τις όποιες ενδεχόμενες επεκτάσεις της, να αποτελέσει ένα ακόμα πιο ισχυρό εργαλείο υποβοήθησης των γιατρών στη φάση εκπαίδευσης και κατάρτισής τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Don Brutzman and Leonard Daly. *Extensible 3D Graphics for Web Authors*. Morgan Kaufmann Publishers. April 2007.
- [2] Robina Hetherington. *Engineering Virtual Environments with X3D, A case study of the application of X3D*. Liverpool Hope University College, Web3D Consortium, 2005.
- [3] Thomas A. Funkhouser (Bell Laboratories). *Network Topologies for Scalable Multi-User Virtual Environments*. 1996.
- [4] Ioannis Kompatsiaris, Dimitrios Simitopoulos and Michael G. Strintzis. *A VRML-Java Framework for 3D Objects Streaming over the Internet*. 2008.
- [5] Andrea L. Ames, David R. Nadeua and John L. Moreland. *VRML 2.0 sourcebook, 2nd edition*. John Wiley & Sons Inc., 1997.
- [6] Luca Chittaro and Roberto Ranon. *Web3D Technologies in Learning, Education and Training : Motivations, Issues, Opportunities*. HCI Laboratory, Department of Math and Computer Science, University of Udine, Italy. August 2007.
- [7] Walter J. Greenleaf. *Medical Applications of Virtual Reality*. 2004.
- [8] Daniel K. Schneider and Sylvere Martin-Michiellot. *VRML Primer and Tutorial : Faculte de Phycologie et des Sciences de l' Education*. University of Geneva, 1998.
- [9] Felix G. Hamza-Lup, Ivan Sopin and Dan Lipsa. *X3D in Radiation Therapy Procedure Planning*. Proceedings of the International Conference on Web Information Systems and Technologies. Barcelona 2007.
- [10] Ying Li. *Web-based Modelling with Applications to Surgical Training*. University of Leeds, School of Computing. 2002.
- [11] Vladimir Geroimenko and Chaomei Chen. *Visualizing Information Using SVG and X3D*. Springer, 2005.
- [12] Shun-Yun Hu. *Scalable Peer-to-Peer Networked Virtual Environment*. Department of CSIE, Tamkang University, 2005.
- [13] Marc Erich Latoschik. *Realtime 3D Computer Graphics Virtual Reality*. Artificial Intelligence Group, University of Bielefeld. 2006.
- [14] Dean Vucinic, Marina Pesut, Andrey Aksenov, Zoran Mravak and Chris Lacor. *Towards Interopable X3D Models and Web-based Environments for Engineering Optimization Problems*. International Conference on Engineering Optimization, Rio de Janeiro, June 2008.
- [15] Grigore Burdea and Philippe Coiffet. *Virtual Reality Technology(2nd edition)*. December 2003.
- [16] Paul J. Gorman, Md Andreas , H. Meier, Md Thomas, M. Krummel. *Simulation and Virtual Reality in Surgical Education:real or unreal?* 1999.
- [17] G. Székely and R. M Satava, *Where are we going? Virtual Reality in Medicine*. BMJ 1999, 319(1305), <http://bmj.com/>, 1999.
- [18] *Interactive Retrieval of 3D Shape Models using Physical Objects*. Ichida Hiroyasu, Itoh Yuichi, Kitamura Yoshifumi, και Kishino Fumio. 2004. ACM.

- [19] Ιωάννα Κεφαλά (ΕΜΠ) και Παπαδόπουλος Βασίλειος (ΕΜΠ). Απτική Αλληλεπίδραση σε Περιβάλλον Εικονικής Προσομοίωσης Ψηλαφητικών Πράξεων με Εφαρμογή Μεθόδου Πεπερασμένων Στοιχείων. 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φοιτητών Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ. Θεσσαλονίκη, Απρίλιος 2009.
- [20] *Non-Immersive Virtual Reality*. G G. Robertson, S. K. Card, και J. D. Mackinlay. 1993. IEEE Computer Magazine.
- [21] *The Future of Software: Visualization+Computation Tools*. Ed H. Chi. Xerox Palo Alto Research Center.
- [22] *User Performance in Relation to 3D Input Device Design*. Shumin Zhai. 1998. IBM Almaden Research Center.
- [23] D. Nain, S. Haker, R. Kikinis, and W. E. L. Grimson. *An Interactive Virtual Endoscopy Tool*. Satellite Workshop at the Fourth International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI'2001), Utrecht, The Netherlands, pages 55-60, 2001.
- [24] J. Zeng, C. Kaplan, J. Xuan, I. A. Sesterhenn, J. H. Lynch, and S. K. Mun, *Optimizing Prostate Needle Biopsy through 3-D Simulation*, SPIE Medical Imaging, San Diego, 1998. Available at: <http://www.simulation.georgetown.edu/miccai98.html>.
- [25] R. Boian, A.Sharma, C. Han, A. Merians, G. Burdea, S. Adamovich, M. Recce, M. Tremaine, and H. Poizner. *Virtual Reality-Based Post-Stroke Hand Rehabilitation*. In Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 02/10, pages 64-70. ISO Press, 2002.
- [26] J. A. Lozano, M. Alcaniz, J. A. Gil, C. Moserrat, M. C. Juan, V. Grau, and H. Varvaro. *Virtual Food in Virtual Environments for the Treatment of Eating Disorders*. . In Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 02/10, pages 268-273. ISO Press, 2002.
- [27] D. P. Pertaub, M. Slater, and C. Barker. *An Experiment on Fear of Public Speaking in Virtual Reality*, Medicine Meets Virtual Reality 2001, pages 372-378. IOS Press, 2001.
- [28] R. Phillips, M. Hafez, A. Mohsen, K. Sherman, J. Hewitt, I. Browbank, and K. Bouazza-Marouf. *Computer and Robotic Assisted Osteotomy Aroun the Knee*. In Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 2000, pages 265-271. ISO Press, 2000.
- [29] D. Rigamonti, H. Bryant, and O. Buston. *Implementing Anatomic VisualizeR Learning Modules in Anatomy Education*. In the Proceedings of The Third Visible Human Project Conference, 2000. Available at: <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/vhpconf2000/MAIN.HTM>.
- [30] P. Dev. *Imaging and Visualization in Medical Education*. IEEE Computer Graphics and Applications, pages 21-31, 1999.
- [31] B. Marovic. *Visualization of 3D Fields and Medical Data using VRML*. Belgrade University Computing Center, University of Belgrade, Yugoslavia, July 16, 1997.
- [32] C. Chronaki, X. Zabulis, N. Stathiakis, E. Leisch, D. Katehakis, M. Tsiknakis, and S.C. Orphanoudakis. *A Web-Based Environment for Medical Collaboration in a Regional Health Care Network*. Proceedings of CAR'97, pages 656-661, Berlin, Germany, 1997.

- [33] N. El-Khalili, K. Brodlie, and D. Kessel, *WebSTer: A Web-based Surgical Training System*. In Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 2000, pages 69-75. IOS Press, 2000.
- [34] N. W. John and M. Riding. *Surgical Simulators on the World Wide Web – This Must Be The Way Forward?* In Proceedings of UKVRSIG, Salford, UK, pages 25-34, 1999.
- [35] N. W. John, M. Riding, N. Phillips, S. Mackay, and L. Steineke et al.. *Web-based Surgical Educational Tools*. In Proceedings of Medicine Meets Virtual Reality 2001, pages 212-217. IOS Press, 2001.
- [36] P. A. Warrick and W. R. J. Funnell. *A VRML-Based Anatomical Visualization Tool for Medical Education*. IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine, 2(2), pages 55-61, 1998.
- [37] S. Mason. *Web-based Virtual Reality for Surgical Training*. MSc thesis, University of Leeds, 2001.
- [38] Tom Berlage. *Information Technology in Medicine*. April 1997.
- [39] <http://www.lighthouse3d.com>
- [40] <http://www.web3d.org/>
- [41] <http://en.wikipedia.org/wiki/VRML>
- [42] <http://en.wikipedia.org/wiki/X3D>
- [43] [http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_\(software\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Flux_(software))
- [44] <http://www.vrml.org>
- [45] <http://tecta.unige.ch/guides/vrml/sig-graph-tutorial/slides/mt000.htm>
- [46] <http://bach.ncsa.edu/VRML/examples.html>
- [47] <http://accad.osu.edu/~mlewis/VRML/Class/vrmlscript.html>
- [48] <http://docs.rinet.ru/WebPub/ch41.htm>
- [49] http://vrmlworks.crispen.org/eai_faq/scripts.htm
- [50] <http://cic.hist.gov/vrml/vbddetect.html>
- [51] <http://x3dgraphics.com/tools/browsers.php>
- [52] http://fhw.gr/vr/en/docs/in_intro.html
- [53] www.agocg.ac.ucl/train/vrml2rep/part1/

