

Μια Έρευνα Τεχνικών Αλληλεπίδρασης για Διαδραστικό 3D

Περιβάλλον

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τεχνικές αλληλεπίδρασης σε ένα διαδραστικό 3D περιβάλλον. Οι τεχνικές αλληλεπίδρασης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: Πλοήγηση (wayfinding), Επιλογή και Έλεγχος, Σύστημα Ελέγχου. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι κανόνες σχεδιασμού και χρηστικότητας ενός τρισδιάστατου κόσμου. Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης με τη βοήθεια του προτύπου X3Dom, παρουσιάζονται διάφορα 3D παραδείγματα που σχετίζονται με τις παραπάνω κατηγορίες αλληλεπίδρασης.

Abstract

The present dissertation presents a literature review of interaction techniques in an interactive 3D environment. Interaction techniques are classified into three categories: wayfinding, selection and control, control system. In addition, the main features and rules of design and usability of a 3D world are presented. After completing the analysis with the help of the X3Dom template, various 3D examples related to the above interaction categories are presented.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract.....	3
Κεφάλαιο 1	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Σημαντικότητα του Προβλήματος.....	10
1.3 Δομή Πτυχιακής	11
Κεφάλαιο 2	12
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	12
2.2 Τι είναι τα γραφικά υπολογιστών.....	14
2.2.1 Περιοχές Γραφικών Υπολογιστών.....	15
2.3 2D vs 3D	21
2.4 Εισαγωγή στα γραφικά 3D.....	23
2.4.1 Απεικόνιση 3D.....	24
2.4.2 3D μοντελοποίηση με πολύγωνα.....	26
2.5 Υφές & Φωτισμός.....	28
2.5.1 Γέμισμα με υφές	28
2.5.2 Σκιές και σκιάσεις.....	30
2.5.3 Μέθοδος Radiosity.....	31
2.5.4. Μέθοδος Ray Tracing	32
Κεφάλαιο 3 Interaction Techniques	34
3.1 Πλοήγηση (Navigation)	34
3.1.1 Εισαγωγή.....	34
3.1.2 Γενική Κίνηση (General movement)	36
3.1.3 Περπάτημα / Οδήγηση / Πετώντας.....	37
3.2 Στοχευόμενη Κίνηση (Targeted movement).....	38
3.2.1 Εισαγωγή.....	38

3.2.2 Κίνηση σημείων ενδιαφέροντος (Go-To / Fly-To).....	38
3.2.3 Σχέδιο διαδρομής.....	38
3.2.4 Specified coordinate movement	39
3.2.5 Specified trajectory movement	39
3.2.6 Καθοδηγούμενη / Περιορισμένη πλοήγηση.....	40
3.3 Επιλογή & Τροποποίηση (Selection & Manipulation).....	40
3.3.1 Εισαγωγή.....	40
3.3.2 Επιλογή Αντικειμένου.....	40
3.3.3 Τροποποίηση Αντικειμένου	41
3.4 Οδηγίες σχεδίασης 3D Web.....	43
Κεφάλαιο 4 Τεχνολογίες 3D.....	45
4.1 3D Virtual Learning Environments	45
4.1.1 Εισαγωγή.....	45
4.1.2 Ιστορική Αναδρομή	46
4.1.3 Χαρακτηριστικά 3D VLE	48
4.2 X3D.....	49
4.3 X3dom.....	51
4.3.1 X3Dom & HTML	51
4.3.2 Τρέχουσα αρχιτεκτονική και υλοποίηση συστήματος.....	52
4.3.3 X3DOM Framework by example	54
4.4 Τεχνικές Αλληλεπίδρασης & X3Dom.....	56
4.4.1 Πλοήγηση & Κίνηση	56
Function Non-interactive camera movement	59
4.4.2 Επιλογή & Τροποποίηση.....	59
4.4.3 Κινούμενα αντικείμενα με διαδρομές	62
4.4.4 Διαδραστικοί τρισδιάστατοι μετασχηματισμοί	64
4.4.5 Custom Shaders	67

Κεφάλαιο 5	69
5.1 Συμπεράσματα.....	69
5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	70
Βιβλιογραφία	71

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Frame buffer - Display Controller Monitor	18
Εικόνα 2 Αναπαράσταση Οθόνης.....	19
Εικόνα 3 Μηχανισμός σάρωσης raster.....	20
Εικόνα 4 2D vs 3D	21
Εικόνα 5 Τρισδιάστατα εικονίδια	23
Εικόνα 6 Φυσικά αντικείμενα που εμφανίζονται στον χώρο.	24
Εικόνα 7 Τρισδιάστατα σχήματα που έχουν δημιουργηθεί σε υπολογιστή.	25
Εικόνα 8 Απλό τρισδιάστατο αντικείμενο.....	26
Εικόνα 9 Πολύγωνο όπου διακρίνονται τα βασικά στοιχεία του.	27
Εικόνα 10 Σφαίρα όπου διακρίνονται τα πολύγωνα από τα οποία αποτελείται.....	27
Εικόνα 11 Απλές υφές πάνω σε τρισδιάστατα αντικείμενα.	28
Εικόνα 12 detail textures	29
Εικόνα 13 reflectance mapping.....	29
Εικόνα 14 bump mapping.....	29
Εικόνα 15 displacement mapping	30
Εικόνα 16 procedural texturing.....	30
Εικόνα 17 Μπάλες με διαφορετικό φωτισμό.....	31
Εικόνα 18 τεχνική Radiosity.....	32
Εικόνα 19 τεχνική Ray Tracing	33
Εικόνα 20 Περιστροφή (Rotate) / Μετακίνηση (Pan) / Μεγέθυνση(Zoom)	36
Εικόνα 21 Οι ίδιες λειτουργίες παρουσιάζονται με εργαλεία και με ένα παράθυρο διαλόγου (αριστερά)), και με έναν χειριστή (εδώ ελέγχεται η πράσινη πυραμίδα)....	43
Εικόνα 22 Εικονικός Κόσμος	48
Εικόνα 23 Code Snippet for 3D code.....	52
Εικόνα 24 Τρισδιάστατος Κύβος.....	52
Εικόνα 25 Προτεινόμενη αρχιτεκτονική συστήματος X3DOM που βασίζεται σε τρία μπλοκ.....	54
Εικόνα 26 3D Data Catalogue example based on the X3DOM – 3D COFORM project	55
Εικόνα 27 Πλήρεις ή Μερικές τρισδιάστατες ψηφιακές αντιγραφές αντικειμένων πραγματικού κόσμου – Τμήμα Πολυμέσων Αθήνα.....	55
Εικόνα 28 Πλοήγηση& Κίνηση	56

Εικόνα 29 Παράδειγμα Object Picking	59
Εικόνα 30 Διαφορετικές πηγές φωτισμού	61
Εικόνα 31 Σφαίρα με επιλογές σκίασης	62
Εικόνα 32 Κυβος ο οποίος ακολουθεί την διαδρομή πάνω-κάτω	63
Εικόνα 33 Interactive 3D Transformations	64
Εικόνα 34 Custom shader	68

Κεφάλαιο 1

1.1 Εισαγωγή

Παρά το γεγονός ότι τα διαδραστικά συστήματα γραφικών υπολογιστών είναι πλέον σε θέση να αποδώσουν υψηλής ποιότητας σκιασμένα μοντέλα 3D σε πραγματικό χρόνο, παραμένει πρόβλημα η αλληλεπίδραση με εικονικά περιβάλλοντα με ένα φυσικό και χωρίς σφάλματα τρόπο. Στην διπλωματική εργασία παρουσιάζεται μια έρευνα σχετικά με τις τεχνικές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση 3D εργασιών, όπως ο χειρισμός αντικειμένων και η πλοήγηση.

Τα εικονικά περιβάλλοντα μπορούν να παρουσιαστούν στους χρήστες μέσω πολλών διαφορετικών ρυθμίσεων του συστήματος υπολογιστή. Ακόμη και η απλούστερη ρύθμιση επιφάνειας εργασίας, με ένα πρότυπο οθόνης και ποντίκι, είναι σε θέση να παρουσιάσει διαδραστικά 3D γραφικά σε κάποιο βαθμό. Στην οπτικοποίηση συνήθως το επιτραπέζιο σύστημα επεκτείνεται μέσω της χρήσης τρισδιάστατων χειριστηρίων ή μερικές φορές στερεοσκοπικών οθονών, χρησιμοποιώντας γυαλιά κλείστρου. Τα πιο παραδοσιακά συστήματα εικονικής πραγματικότητας μπορούν να χρησιμοποιούν έξι βαθμούς ελευθερίας (6-DOF), συσκευές παρακολούθησης για τη μέτρηση της θέσης και του προσανατολισμού μιας συσκευής κατάδειξης, και μιας οθόνης με κεφαλή (HMD), το οποίο επιτρέπει την αλλαγή της οπτικής του χρήστη διαδραστικά, καθώς κινείται το κεφάλι.

Η αλληλεπίδραση σε ένα διαδραστικό περιβάλλον 3D μπορεί να χαρακτηριστεί με όρους τριών καθολικών εργασιών αλληλεπίδρασης.

Πλοήγηση - αναφέρεται στην κινητική εργασία της μετακίνησης της οπτικής του χρήστη μέσω ενός περιβάλλοντος. Περιλαμβάνει μια γνωστική συνιστώσα – ανίχνευση.

Επιλογή και χειρισμός - αναφέρεται σε τεχνικές επιλογής ενός αντικειμένου και προσδιορισμού της θέσης, του προσανατολισμού και της κλίμακάς του.

System Control - αναφέρεται στην επικοινωνία μεταξύ χρήστη και συστήματος. Το πρόβλημα της παροχής ενός χρήστη με μια διεπαφή για την εξερεύνηση τρισδιάστατων περιβαλλόντων σχετίζεται στενά με όλα τα παραπάνω προβλήματα.

1.2 Σημαντικότητα του Προβλήματος

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης σε ένα διαδραστικό περιβάλλον 3D. Οι τεχνικές αλληλεπίδρασης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: **Πλοήγηση** (wayfinding), **Επιλογή και Χειρισμός**, **Σύστημα Έλεγχος**. Επιπλέον, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά και οι κανόνες σχεδίασης και ευχρηστίας ενός 3D κόσμου εκπαίδευσης. Αφού ολοκληρωθεί η ανάλυση, παρουσιάζονται τεχνικές αλληλεπίδρασης σε X3D (απόγονος του VRML). Κύριος στόχος των παραδειγμάτων που παρουσιάζονται είναι η εκπαίδευση και εξοικείωση των χρηστών με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης 3D.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στις τεχνικές αλληλεπίδρασης σε τρισδιάστατα περιβάλλοντα προβολής. Οι βασικοί στόχοι συνοψίζονται ως εξής

- Καταγραφή των τριών κατηγοριών τεχνικών αλληλεπίδρασης.
- Ανάλυση των τεχνικών αλληλεπίδρασης της κάθε κατηγορίας.
- Καταγραφή των μέσων αλληλεπίδρασης.
- Καταγραφή των βασικών στοιχείων και των σχεδιαστικών οδηγιών των 3D εκπαιδευτικών κόσμων.
- Ανάπτυξη μιας σειράς από παραδείγματα 3D τα οποία παρουσιάζουν κάποιες από τις βασικές τεχνικές αλληλεπίδρασης.

Δεν δίνεται έμφαση τόσο πολύ σε ζητήματα τεχνικής φύσης, όσο στην καλύτερη εξοικείωση των χρηστών με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης.

Αρχικά, πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική έρευνα η οποία συγκεντρώνει τις τεχνικές αλληλεπίδρασης, τις αναλύει και καταγράφει τα κυριότερα μέσα. Στη συνέχεια, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά των 3D κόσμων και τους βασικούς κανόνες σχεδίασης και ευχρηστίας.

Στο τέλος, με τη χρήση της x3dom δημιουργείται ένα περιβάλλον εκπαίδευσης 3D στο οποίο εφαρμόζονται τα σημαντικότερα σημεία της βιβλιογραφικής έρευνας.

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής δημιουργείται ένα 3D περιβάλλον εκπαίδευσης το οποίο παρουσιάζει τις τεχνικές αλληλεπίδρασης με έναν πρωτότυπο και καινοτόμο τρόπο.

1.3 Δομή Πτυχιακής

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μία σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα δισδιάστατα (2D) και τρισδιάστατα(3D) γραφικά υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, εν συντομία, πραγματοποιείται μία σύντομη ιστορική αναδρομή, γίνεται εισαγωγή στα γραφικά υπολογιστών, πραγματοποιείται μία σύντομη σύγκριση μεταξύ 2D και 3D και στο τέλος γίνεται εισαγωγή στα 3D γραφικά υπολογιστών.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνικές αλληλεπίδρασης σε τρισδιάστατα γραφικά. Αρχικά, πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική έρευνα η οποία συγκεντρώνει τις τεχνικές αλληλεπίδρασης, τις αναλύει και καταγράφει τα κυριότερα μέσα. Στη συνέχεια, μέσω της βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των 3D κόσμων και οι βασικοί κανόνες σχεδίασης και ευχρηστίας.

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος της εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζονται τα 3D περιβάλλοντα και στη συνέχεια το πρότυπο X3Dom. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παραδείγματα των τεχνικών αλληλεπίδρασης οι οποίες παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3.

Κεφάλαιο 2

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μία σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα δισδιάστατα (2D) και τρισδιάστατα (3D) γραφικά υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται μία σύντομη ιστορική αναδρομή και εισαγωγή στα γραφικά υπολογιστών, γίνεται εισαγωγή στα γραφικά υπολογιστών, πραγματοποιείται μία σύντομη σύγκριση μεταξύ 2D και 3D και στο τέλος γίνεται εισαγωγή στα 3D γραφικά υπολογιστών.

2.1 Ιστορική αναδρομή

Τα γραφικά υπολογιστών αναφέρονται στη χρήση διαδικασιών υπολογιστών για τη δημιουργία εικόνων, για υπολογισμούς και σχέδια, καθώς και την παραγωγή τεχνών για απεικόνιση¹. Για τον σχεδιασμό μιας τρισδιάστατης κίνησης σε μια οθόνη υπολογιστή, πρέπει να οριοθετηθούν οι επιφάνειες οι οποίες βρίσκονται πίσω από το αντικείμενο από διάφορες οπτικές γωνίες.

1960

Ο σχεδιασμός γραφικών υπολογιστών ήταν μια ιδέα που απεικονίζεται κυρίως από φοιτητές μηχανικής. Το 1960 ένας μαθητής του MIT, ο Ιβάν Σάντερλαντ, ανακάλυψε ένα σκίτσο με το οποίο θα σχεδίαζε αντικείμενα μονού σχήματος σε οθόνες υπολογιστών, και θα το έσωζε για μελλοντική χρήση. Ο πρώτος σχεδιασμός γραφικών υπολογιστών βασίστηκε σε φωτοηλεκτρικό εφέ, όπου τα ηλεκτρόνια που απελευθερώθηκαν μπορούσαν να σχηματίσουν εικόνες στην οθόνη. Σε αυτήν την περίοδο η IBM παρουσίασε τα πρώτα βιντεοπαιχνίδια².

1970

Αυτήν την περίοδο έλαβε χώρα η ανάπτυξη λογισμικού για την ανάπτυξη γραφικών υπολογιστών, όπως: ANIMAC, SCANIMATE και CAESAR. Τα προαναφερθέντα

¹ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

² The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

δούλεψαν σαρώνοντας τα υπάρχοντα δεδομένα είτε με τη χρήση της περιστροφής είτε της πτήσης γύρω από την οθόνη είτε του τεντώματος κ.α.. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου αναπτύχθηκε μικροεπεξεργαστής που θα μπορούσε να σχεδιάσει καμπύλες, εικόνες καθώς και να δημιουργήσει ταινίες³.

1980

Αυτή η περίοδος παρουσίασε μεγάλη βελτίωση στα 3D γραφικά υπολογιστών. Παρουσιάστηκε ένα τρισδιάστατο λογισμικό «Vol Libre» που θα μπορούσε να χρησιμοποιεί τρισδιάστατες λειτουργίες για την προσομοίωση πτήσεων. Αρκετές εταιρείες παρείχαν ενσωματωμένα 3D γραφικά τα οποία εμφανίζονταν στις έγχρωμες οθόνες της εποχής. Οι υπολογιστές Macintosh αναπτύχθηκαν από την Apple Inc. και διέθεταν γραφική διεπαφή. Το 1986 το λογισμικό TOPAS έδινε την δυνατότητα σχεδίασης υψηλής ποιότητας animation σε υπολογιστή⁴.

1990

Την δεκαετία του 90 το πεδίο γραφικών υπολογιστών τράβηξε ολοένα και περισσότερο την προσοχή και το ενδιαφέρον της IT κοινότητας. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου παρουσιάστηκαν τα φωτο-ρεαλιστικά κινούμενα σχέδια στα οποία βασίστηκαν οι ταινίες πλήρους μήκους με κινούμενα σχέδια υπολογιστή. Επιπλέον, πρωτοπαρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά της στάσης και της κίνησης. Το 1994 παρουσιάστηκαν λειτουργίες όπως κινούμενες εικόνες (animated images), η θόλωση των εικόνων (blurring) και η ανάπτυξη κύκλων περιπάτου για την μίμηση της κίνησης των ζώων⁵.

Αρχές του 2000

Η κύρια πρόοδος αυτής της περιόδου ήταν ότι οι εικόνες ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα. Δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση στην παραγωγή έγχρωμων εικόνων. Τα τρισδιάστατα γραφικά υπολογιστών είχαν εξελιχθεί και εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο και πολλές εταιρείες είχαν επενδύσει σε αυτόν τον

³ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

⁴ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

⁵ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

τομέα. Υπήρξε μαζική παραγωγή ταινιών με χαρακτήρες που χειρίζονται τα γραφικά του υπολογιστή⁶.

2005 έως σήμερα

Στη σύγχρονη κοινωνία όλα τα σχέδια προσαρμόζονται σε τρισδιάστατη μορφή με τη χρήση ψηφιακών εφέ. Τα σχέδια χρειάζονται λιγότερο χρόνο για να δημιουργηθούν, και τα πλάσματα που χρησιμοποιούνται στα γραφικά είναι τόσο πραγματικά όσο και πιστευτά. Παράλληλα, αναπτύσσονται συμπληρωματικά προϊόντα όπως τα τρισδιάστατα γυαλιά, τα οποία εφευρέθηκαν για να τονίσουν τον φωτογραφικό ρεαλισμό⁷.

2.2 Τι είναι τα γραφικά υπολογιστών

Τα γραφικά υπολογιστών σύμφωνα με τον Hearn (1994), είναι μια τέχνη σχεδίασης εικόνων, γραμμών, διαγραμμάτων κ.λπ., χρησιμοποιώντας υπολογιστές με τη βοήθεια προγραμματισμού. Τα γραφικά υπολογιστών αποτελούνται από αριθμό pixel. Το Pixel είναι η μικρότερη γραφική εικόνα ή μονάδα που αντιπροσωπεύεται στην οθόνη του υπολογιστή. Υπάρχουν δύο τύποι γραφικών υπολογιστών. Πιο συγκεκριμένα:

Διαδραστικά γραφικά υπολογιστών

Είναι τα γραφικά υπολογιστών στα οποία ο χρήστης μπορεί να αλληλεπιδράσει με την εικόνα στην οθόνη του υπολογιστή. Εδώ υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του χρήστη και της εικόνας. Η εικόνα τελεί υπό τον έλεγχο του χρήστη. Για παράδειγμα, παίζοντας το παιχνίδι στον υπολογιστή ο χρήστης ελέγχει πλήρως την εικόνα. Η εικόνα κινείται στην οθόνη σύμφωνα με την επιθυμία του χρήστη⁸.

Μη Διαδραστικά γραφικά υπολογιστών

⁶ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

⁷ The Computer Graphics Book Of Knowledge, 2021

⁸ Hearn, 1994

Μη διαδραστικά γραφικά υπολογιστών είναι τα γραφικά υπολογιστών στα οποία ο χρήστης δεν έχει κανένα είδος ελέγχου της εικόνας. Η εικόνα είναι απλώς το προϊόν του στατικού αποθηκευμένου προγράμματος και λειτουργεί σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στο πρόγραμμα γραμμικά. Η εικόνα τελεί υπό τον έλεγχο των οδηγιών του προγράμματος και όχι από το χρήστη, όπως παραδείγματος χάρη, η προφύλαξη οθόνης⁹.

2.2.1 Περιοχές Γραφικών Υπολογιστών

Σύμφωνα με την αρχαία φράση «ένα pixel αξίζει χιλιάδες λέξεις», τα γραφικά είναι απαραίτητα παντού για να κατανοήσουν εύκολα τα πράγματα, τις έννοιες κ.λπ. Τα γραφικά υπολογιστών είναι χρήσιμα σχεδόν σε όλες της πτυχές της ζωής¹⁰. Στις παρακάτω ενότητες παρουσιάζονται μερικοί από τους πιο δημοφιλείς τομείς των γραφικών υπολογιστών.

Σχεδιασμός και σχέδιο

Σε όλους σχεδόν τους τομείς της μηχανικής, είτε πρόκειται για αστικό, μηχανολογικό, είτε ηλεκτρονικό κ.λπ., τα σχέδια είναι πρωταρχικής σημασίας. Στην πραγματικότητα, το σχέδιο θεωρείται ως η γλώσσα των μηχανικών. Η ικανότητα των υπολογιστών να αποθηκεύουν πολύπλοκα σχέδια και να τα εμφανίζουν κατά παραγγελία ήταν ένα από τα σημαντικότερα αξιοθέατα για τη χρήση υπολογιστών σε λειτουργία γραφικών. Λίγα δείγματα σε αυτήν την περιοχή δίνονται παρακάτω.

- α) Ένας μηχανικός μπορεί να κάνει χρήση γραφικών υπολογιστών για να σχεδιάσει παξιμάδια, μπουλόνια, γρανάζια κ.λπ.
- β) Ο πολιτικός μηχανικός μπορεί να κατασκευάσει τα κτίρια, τις γέφυρες, τις σιδηροδρομικές γραμμές, τους δρόμους κ.λπ. στον υπολογιστή παρουσιάζοντας φωτορεαλιστικά σχέδια των δομών αυτών.
- γ) Ένας σχεδιαστής πλακιδίων κειμένου σχεδιάζει διαφορετικές ποικιλίες σχεδίων μέσω γραφικών υπολογιστών.

⁹ Hearn, 1994

¹⁰ Newman & Sproull, 1981.

δ) Οι Ηλεκτρονικοί και οι ηλεκτρολόγοι μηχανικοί σχεδιάζουν τα κυκλώματά τους, τα PCB μέσω γραφικών υπολογιστών.

Κινούμενο Σχέδιο (Animation)

Σύμφωνα με τον Newman and Sproull (1981)¹¹, η κλήση των εικόνων για μετακίνηση στην οθόνη γραφικών καλείται κινούμενο σχέδιο. Η κινούμενη εικόνα κάνει πραγματικά τη χρήση υπολογιστών και γραφικών υπολογιστών ενδιαφέρουσα. Το Animation έφερε τους υπολογιστές πολύ κοντά στους μέσους ανθρώπους. Σύμφωνα με τη γνωστή αρχή της μετακίνησης εικόνων, μια διαδοχή σχετικών εικόνων, όταν αναβοσβήνουν με επαρκή ταχύτητα θα κάνει τη διαδοχή των εικόνων να φαίνεται να κινείται. Σε ταινίες, μια ακολουθία τέτοιων εικόνων προβάλλεται και εμφανίζεται με επαρκή ταχύτητα ώστε να τις κάνει να φαίνονται κινούμενες. Οι υπολογιστές μπορούν να το κάνουν την ίδια ενέργεια με άλλο τρόπο. Οι ιδιότητες της εικόνας μπορούν να τροποποιηθούν με αρκετά γρήγορο ρυθμό, ώστε να εκείνη να φαίνεται κινούμενη.

Για παράδειγμα, εάν ένα χέρι πρόκειται να μετακινηθεί, οι διαδοχικές θέσεις του χεριού σε διαφορετικές χρονικές περιόδους μπορούν να υπολογιστούν. Οι εικόνες που δείχνουν τη θέση του χεριού σε αυτές τις θέσεις μπορούν να αναβοσβήνουν στην οθόνη. Αυτό οδήγησε στην έννοια της «κινούμενης εικόνας» ή των κινούμενων εικόνων. Στα αρχικά στάδια, η κινούμενη εικόνα χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε παιχνίδια στον υπολογιστή.

Ωστόσο, αυτό οδήγησε σε πολλές άλλες δυνατότητες. Όπως φαίνεται και αργότερα σε αυτό το μάθημα, οι υπολογιστές όχι μόνο επιτρέπουν την προβολή εικόνων, αλλά και προσφέρουν εγκαταστάσεις για να τις χειριστεί κανείς με διάφορους τρόπους. Παραδείγματος χάρη, μπορεί κάποιος να μεγεθύνει, να μειώσει, να περιστρέψει, να στρίψει, να μεταμορφώσει (να κάνει μια εικόνα σταδιακά να αλλάξει σε άλλη - όπως μια διαφήμιση όπου το τσιτάχ μετατρέπεται σε μοτοσικλέτα). Έτσι, πολλές ταινίες χρησιμοποίησαν υπολογιστές για να δημιουργήσουν κόλπα. Στην πραγματικότητα, έχουν δημιουργηθεί πολλές ταινίες διαφήμισης και ταινίες χαρτοκιβωτίων χωρίς καθόλου ηθοποιούς, παρά μόνο με εικόνες που δημιουργούνται από υπολογιστή.

¹¹ Newman & Sproull, 1981

Εφαρμογές πολυμέσων

Η χρήση καρτών ήχου για να την αναπαραγωγή ηχητικών εφέ από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές οδήγησε σε μια σειρά από νέες χρήσεις των γραφικών. Η έννοια της εικονικής πραγματικότητας, όπου μπορεί κανείς να βιώσει μια μη πραγματική εμπειρία, όπως η μετάβαση από σε ένα μη χτισμένο σπίτι είναι δυνατή με τη χρήση τεχνολογίας γραφικών υπολογιστών¹². Στην πραγματικότητα, η ικανότητα των υπολογιστών να μετατρέπουν ηλεκτρονικά σήματα (0 & 1) σε δεδομένα και, στη συνέχεια, σε σχήματα και εικόνες, επέτρεψε τη λήψη φωτογραφιών απομακρυσμένων πλανητών, όπως τα mars που αναπαράγονται εδώ στη γη σε σχεδόν πραγματικό χρόνο.

Προσομοίωση

Σύμφωνα με τον Hearn, (1994)¹³, η άλλη επαναστατική αλλαγή που προσέφεραν τα γραφικά ήταν στον τομέα της προσομοίωσης. Η προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας μιας πραγματικής διαδικασίας ή ενός συστήματος. Οι προσομοιώσεις απαιτούν τη χρήση μοντέλων. Το μοντέλο αντιπροσωπεύει τα βασικά χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές του επιλεγμένου συστήματος ή διαδικασίας, ενώ η προσομοίωση αντιπροσωπεύει την εξέλιξη του μοντέλου με την πάροδο του χρόνου. Συχνά, οι υπολογιστές χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση της προσομοίωσης.

Η διαθεσιμότητα και το χαμηλό κόστος των διαδραστικών συσκευών κατέστησαν δυνατή την κατασκευή προσομοιωτών. Ένα παράδειγμα είναι οι προσομοιωτές πτήσης, όπου ο εκπαιδευόμενος, που κάθεται μπροστά από έναν υπολογιστή, μπορεί να λειτουργεί σαν να βρισκόταν στο πιλοτήριο ενός αεροπλάνου.

Επιπλέον, οι γραφικές δυνατότητες των υπολογιστών εφαρμόζονται σε μια σειρά από επιστημονικά πεδία όπως η εγκληματολογία (για την αναδημιουργία προσώπων θυμάτων, επιτιθέμενων κ.λπ.), η ιατρική (αναδημιουργία εικόνων εσωτερικών κοιλότητων, χρήση σημάτων που αποστέλλονται από μικροσκοπικές κάμερες), και η αρχαιολογία (επεξεργασία εικόνων αέρος τεχνική LIDAR) κ.λπ.

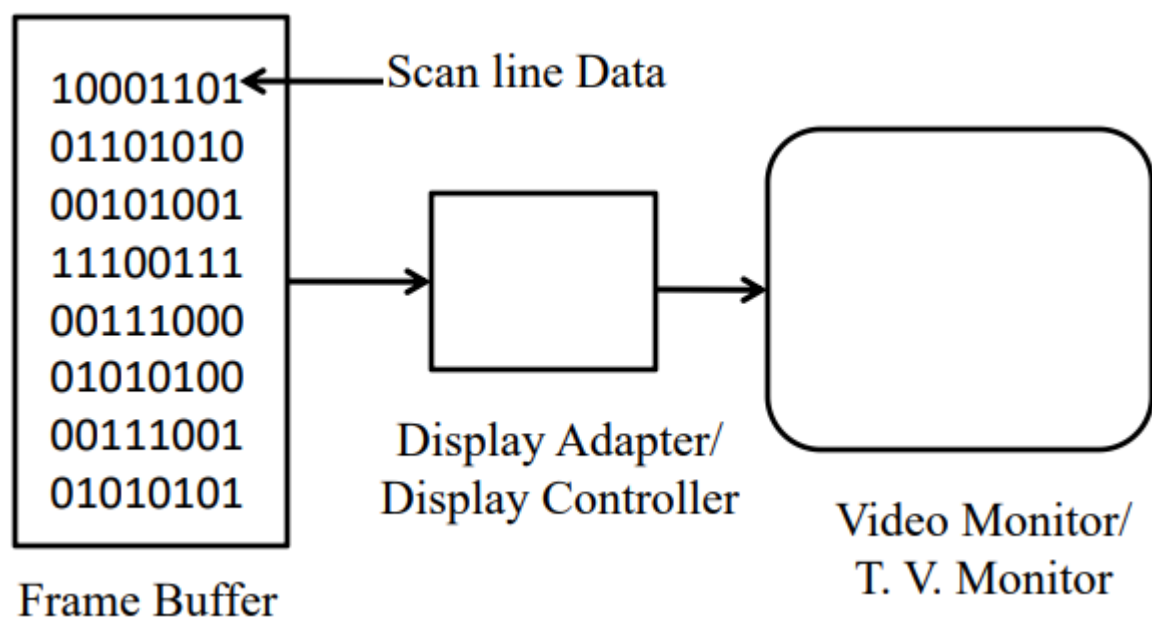
¹² Xiang et al., 2011

¹³ Hearn, 1994

Αποθήκευση & Προβολή Εικόνων

Όλες οι λειτουργίες σε υπολογιστές έχουν όρους 0 και 1, και επομένως οι αριθμοί πρέπει επίσης να αποθηκεύονται σε όρους 0 και 1. Έτσι, ένα αρχείο εικόνας, όταν προβάλλεται μέσα στη μνήμη, δεν μπορεί να διαφέρει από άλλα αρχεία, όπως μια σειρά 0s και 1s.

Οι εικόνες διαμορφώνονται στην πραγματικότητα με τη βοήθεια του πλαισίου buffer display ως εξής. Η οθόνη του buffer πλαισίου περιέχει ένα buffer πλαισίου, το οποίο είναι μια συσκευή αποθήκευσης και αποθηκεύει την εικόνα με όρους 0 και 1. Περιέχει τα 0 και 1 σε 8, ή πολλαπλάσια των 8 στη σειρά. Τα 0 και 1 διαβάζονται από τον ελεγκτή οθόνης με μία γραμμή κάθε φορά και αποστέλλονται στην οθόνη μετά τη μετατροπή τους από ψηφιακή σε αναλογική μορφή. Ο ελεγκτής οθόνης διαβάζει τα περιεχόμενα του buffer καρέ μία γραμμή κάθε φορά ή ολόκληρα ψηφία κάθε φορά. Αυτές οι ψηφιακές εικόνες μετά τη μετατροπή στο αναλογικό θα εμφανιστούν στην οθόνη. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει τη διαδικασία.



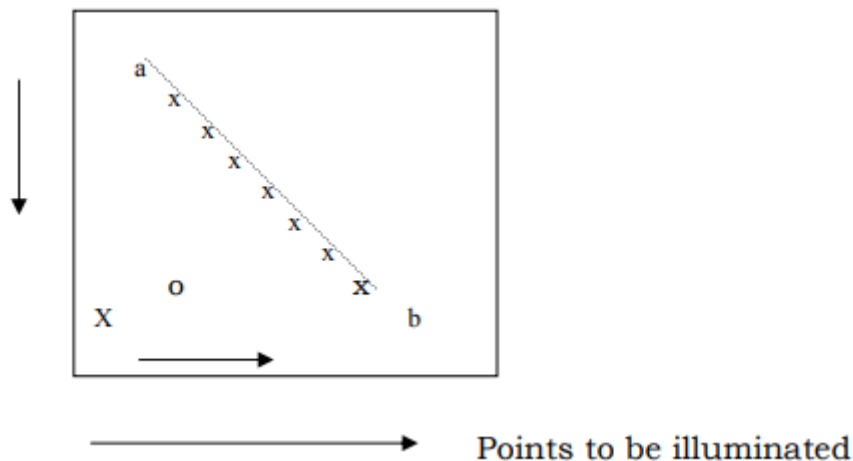
Εικόνα 1 Frame buffer - Display Controller Monitor¹⁴

Πηγή: Yadav, 2021

¹⁴ Yadav, 2021

Οι εικόνες μπορούν να αποθηκευτούν και να σχεδιαστούν με δύο τρόπους - είτε με γραμμικό σχέδιο, είτε με μεθόδους γραφικών Raster¹⁵. Στο σχήμα γραμμικής σχεδίασης, οι αριθμοί αντιπροσωπεύονται από εξισώσεις. Για παράδειγμα, μια ευθεία γραμμή μπορεί να αντιπροσωπευτεί από την εξίσωση $y = mx + c$, ένας κύκλος με $x^2 + y^2 = r^2$ κ.λπ.

Εάν (x, y) είναι αντιπροσωπευτικά σημεία, τότε όλα αυτά τα ζεύγη τιμών (x, y) που ικανοποιούν τις εξισώσεις αποτελούν μέρος του σχήματος, ενώ αυτά που δεν συμβαίνουν, βρίσκονται έξω από το σχήμα. Έτσι, για να δημιουργηθεί οποιοδήποτε σχήμα, είναι προφανές ότι πρέπει να είναι γνωστή η εξίσωση του σχήματος. Στη συνέχεια, αξιολογούνται όλα τα σημεία που ικανοποιούν την εξίσωση. Αυτά είναι τα σημεία που πρέπει να φωτιστούν στην οθόνη.



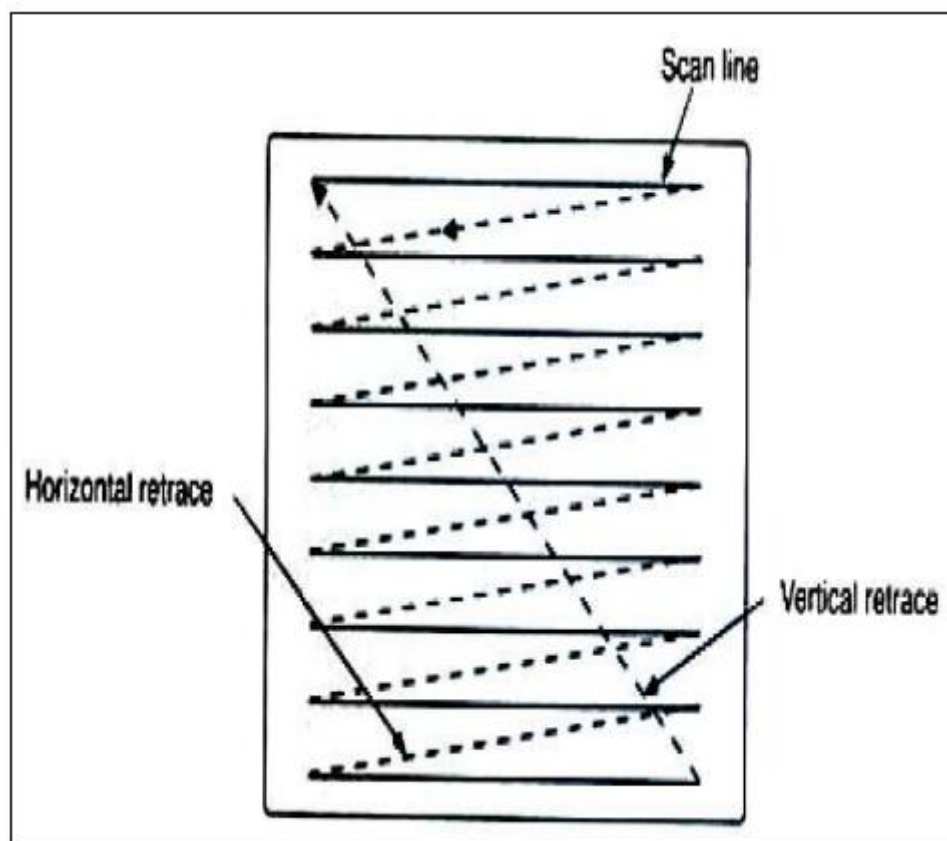
Εικόνα 2 Αναπαράσταση Οθόνης

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Μια κινούμενη ηλεκτρονική δέσμη φωτίζει την οθόνη. Όταν ανάβει η δέσμη, τα ηλεκτρόνια φωτίζουν ένα σημείο στην οθόνη. Στα σχήματα γραμμικών σχεδίων, αυτή η δέσμη κατασκευάζεται για να διασχίσει τη διαδρομή του σχήματος που πρέπει να εντοπιστεί και σχετίζεται η μορφή που είναι αναγκαία. Για παράδειγμα, στην παραπάνω εικόνα εάν η δέσμη ηλεκτρονίων κινείται από το α έως το β σχηματίζεται μία γραμμή.

¹⁵ Newman & Sproull, 1981

Ο μηχανισμός σάρωσης raster¹⁶ χρησιμοποιεί μια διαφορετική τεχνική και συχνά θεωρείται πιο βολικός για χειρισμό και λειτουργία. Σε αυτήν την περίπτωση, δημιουργείται ένα "buffer καρέ" (ένα κομμάτι μνήμης) για την αποθήκευση των τιμών των pixel όπου κάθε pixel αντιπροσωπεύει ένα σημείο στην εικόνα. Στην πραγματικότητα, ο αριθμός αυτών των οριζόντιων και κατακόρυφων σημείων δείχνει υψηλότερες αναλύσεις και επομένως καλύτερες φωτογραφίες. Οι τυπικές αναλύσεις είναι 640 X 480, 860 X 640, 1024 x 860 κ.λπ., όπου τα νούμερα δείχνουν τον αριθμό των σειρών και τον αριθμό των pixel σε κάθε σειρά αντίστοιχα σε μια οθόνη υπολογιστή (σε αντίθεση με τα τυπικά μαθηματικά). Το πάνω αριστερό σημείο δείχνει την προέλευση ή το σημείο (0,0) και οι αποστάσεις μετρούνται οριζόντια και κάθετα, όπως φαίνεται.



Εικόνα 3 Μηχανισμός σάρωσης raster¹⁷

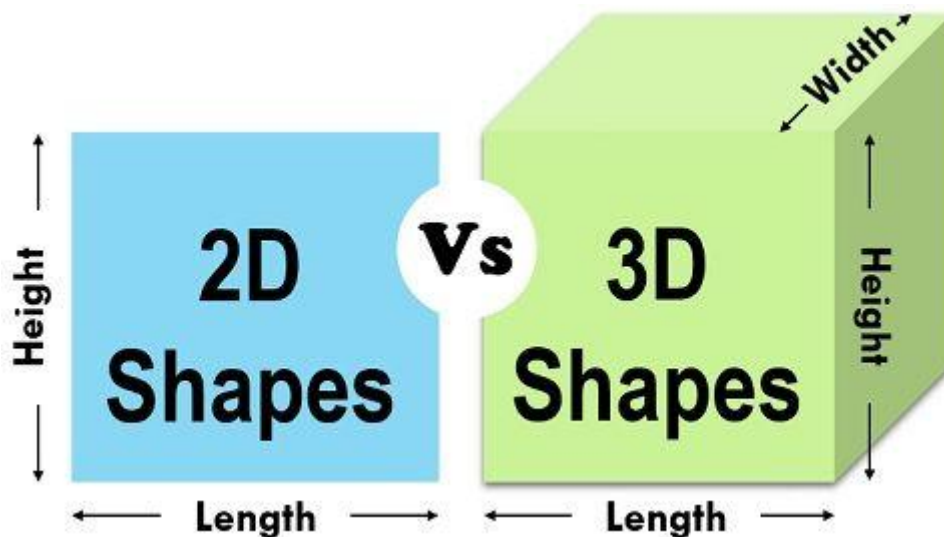
Πηγή: Yadav, 2021

¹⁶ Newman & Sproull, 1981

¹⁷ Yadav, 2021

Για παράδειγμα, σε μία οθόνη 1024 x 1024 σημείων (βλ. παραπάνω εικόνα) το "buffer καρέ" αποθηκεύει την "κατάσταση" καθενός από αυτά τα εικονοστοιχεία. Η τιμή 0 υποδηλώνει ότι το εικονοστοιχείο είναι απενεργοποιημένο και ως εκ τούτου δεν είναι μέρος της εικόνας. Η τιμή 1 υποδεικνύει ότι είναι μέρος της εικόνας και πρόκειται να εμφανιστεί. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση των εικόνων¹⁸.

2.3 2D vs 3D



Εικόνα 4 2D vs 3D¹⁹

Πηγή: Difference between 2D and 3D Shapes (with Comparison Chart and Example) - Tech Differences, 2021

Σε 2D και 3D, το "D" καθορίζει τις διαστάσεις που εμπλέκονται στο σχήμα. Έτσι, η κύρια διαφορά μεταξύ 2D και 3D σχήματα είναι ότι ένα 2D σχήμα αποτελείται από δύο διαστάσεις που είναι μήκος και πλάτος. Αντίθετα, ένα τρισδιάστατο σχήμα ενσωματώνει τρεις διαστάσεις που είναι μήκος, πλάτος και ύψος, όπως παρουσιάζεται και στην παραπάνω εικόνα.

Πίνακας 1 Σύγκριση 2D vs 3D

¹⁸ Hearn, 1994; Newman & Sproull, 1981.

¹⁹ Difference between 2D and 3D Shapes (with Comparison Chart and Example) - Tech Differences, 2021

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	2D SHAPES	3D SHAPES
Διαστάσεις	Διαθέτει δύο διαστάσεις X, Y και Z.	Διαθέτει τρεις διαστάσεις X, Y και Z.
Σχήματα	Τετράγωνο, κύκλο, τρίγωνο, ορθογώνιο, εξάγωνο κ.λπ.	Κύβος, σφαίρα, κώνος, κυβοειδές, κλπ.
Αναπαριστά	Κάτοψη, πλάγια όψη, κάτω όψη, εμπρόσθια όψη κατά τη δημιουργία τεχνικών σχεδίων.	Ισομετρικά και ορθογώνια σχήματα.
Σχετίζεται με	Μήκος & Πλάτος	Μήκος, πλάτος και ύψος
Δυσκολία	Εύκολο	Σχετικά σύνθετο
Ακμές	Are completely visible in the drawings.	Not visible or hidden due to overlapping.

Πηγή: Difference between 2D and 3D Shapes (with Comparison Chart and Example) - Tech Differences, 2021

2.4 Εισαγωγή στα γραφικά 3D

Τα τρισδιάστατα γραφικά (3D graphics ή γραφικά 3Δ) είναι το κύριο τμήμα της πλειοψηφίας των πολυμεσικών εφαρμογών. Σύμφωνα με το Λαζαρίνη (2015)²⁰, κάποιες εφαρμογές εμφανίζονται με απλά τρισδιάστατα γραφικά για μενού πλοήγησης και άλλα με εικονίδια (βλ. εικόνα παρακάτω). Τα γραφικά της παρακάτω εικόνας δημιουργούνται με την επιλογή ενός φίλτρου μετατροπής σε 3D ή φωτισμού. Ακόμη και εφαρμογές γραφείου όπως το MS Word, διαθέτουν λειτουργία ανάπτυξης απλών τρισδιάστατων γραφικών.



Εικόνα 5 Τρισδιάστατα εικονίδια²¹

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

Σε πιο σύνθετες εφαρμογές όπως παιχνίδια, εικονικής πραγματικότητας (virtual reality) και εργαλεία σχεδιασμού, οι αναπαραστάσεις είναι αρκετά πιο σύνθετες (βλ. εικόνες παραπάνω). Σε αυτήν την κατηγορία των γραφικών είναι απαραίτητη ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου γραφικού, η εφαρμογή υφών πάνω στο αντικείμενο και η κατάλληλη χρήση φωτισμού και σκίασης.

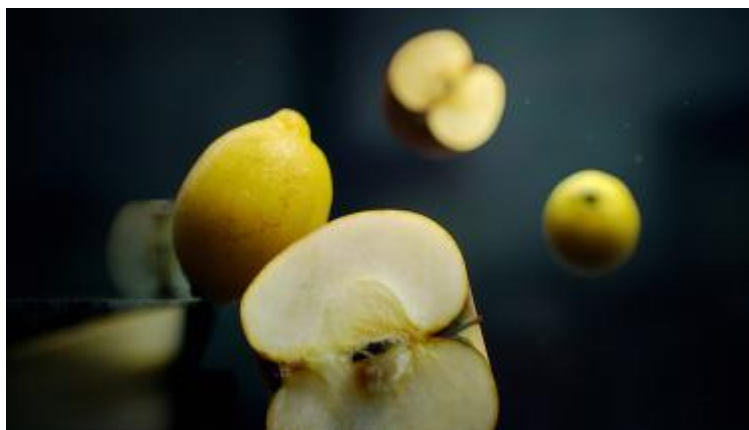
²⁰ Λαζαρίνης, 2015

²¹ Λαζαρίνης, 2015

2.4.1 Απεικόνιση 3D

Το βάθος πεδίου (depth of field) και η εστίαση σε κάποιο σημείο (focal point) είναι γνωρίσματα ενός αντικειμένου, τα οποία προσδίδουν βάθος (τρίτη διάσταση) σε ένα αντικείμενο²². Ο ορισμός των γνωρισμάτων όπως το βάθος πεδίου και γενικά, η τρισδιάστατη απεικόνιση ενός αντικειμένου είναι προϊόν συνδυασμού διαφόρων μεθόδων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται η τεχνική περιστροφής του αντικειμένου, η τεχνική αλλαγή μεγέθους, η τεχνική εφέ σκίασης, η αλλαγή του σημείου του φωτισμού καθώς και την γωνία θέασης.

Στην παρακάτω εικόνα τα φυσικά αντικείμενα ορίζονται στο χώρο με τέτοιο τρόπο, ώστε με την εφαρμογή τη σκίασης και της θόλωσης τα αντικείμενα να αναπαριστώνται ως αιωρούμενα στον χώρο.



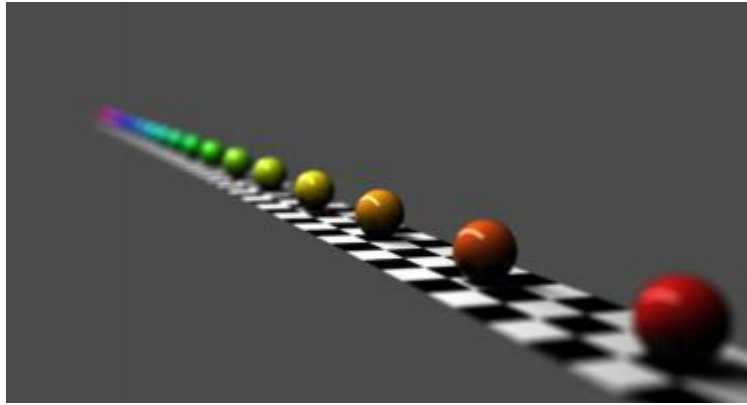
Εικόνα 6 Φυσικά αντικείμενα που εμφανίζονται στον χώρο²³.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται γραφικά (μπάλες 3D) στα οποία η τρισδιάστατη απεικόνιση επιτυγχάνεται από την κλιμακωτή μεταβολή του μεγέθους και την εφαρμογή φίλτρου θόλωσης.

²² Λαζαρίνης, 2015

²³ Λαζαρίνης, 2015



Εικόνα 7 Τρισδιάστατα σχήματα που έχουν δημιουργηθεί σε υπολογιστή²⁴.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

Γενικά για το τον προσδιορισμό του βάθους ενός γραφικού, είναι απαραίτητα τα παρακάτω γενικά βήματα:

- **Ανάπτυξη του σχήματος**, ως ένα μέρος άλλων σχημάτων είτε ως αυτόνομο σχήμα. Η ανάπτυξη του σχήματος ορίζεται ως μοντελοποίηση 3D (3d modeling) και είναι το πιο κρίσιμο βήμα της διαδικασίας.
- **Ορισμός χρώματος ή υφής** του σχήματος με στόχο την επιθυμητή μορφοποίηση, και όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα.
- **Εφαρμογή φίλτρου σκίασης (shading)** στο αντικείμενο. Η σκίαση αφορά την σχεδίαση σκουρόχρωμων και ανοιχτόχρωμων περιοχών στην επιφάνεια του αντικειμένου. Η σκίαση δίνει την αίσθηση στον χρήστη ότι το αντικείμενο έχει βάθος. Ειδικότερα, οι ανοιχτόχρωμες επιφάνειες αφορούν κυρίως την επιφάνεια του αντικειμένου που είναι κοντά στην/στις πηγές του φωτός. Οι σκοτεινές επιφάνειες είναι συνήθως πιο μακριά από τις πηγές φωτός.
- **Εφαρμογή σκιών (shadows)**. Αφορά την δημιουργία σκιών σε μία επιφάνεια από ένα ή περισσότερα αντικείμενα. Οι σκιές συνδέονται με την κατεύθυνση της πηγής φωτός πάνω στο αντικείμενο.
- **Προσθήκη εικόνων φόντου**, οι οποίες τονίζουν το ρεαλισμό στην τρισδιάστατη απεικόνιση

²⁴ Λαζαρίνης, 2015

2.4.2 3D μοντελοποίηση με πολύγωνα

Η πλειοψηφία των εργαλείων σχεδίασης, διαθέτει έτοιμα απλά αντικείμενα, όπως κύβους, κώνους και σφαίρες (βλ. παρακάτω εικόνα) για την αναπαράσταση 3D γραφικών²⁵. Όμως, για τη σχεδίαση πιο πολύπλοκων αντικειμένων, συνήθως πραγματοποιείται συνδυασμός πολυγώνων. Ως πολύγωνο ορίζεται οποιοδήποτε σχήμα έχει ακμές και γωνίες.



Εικόνα 8 Απλό τρισδιάστατο αντικείμενο²⁶.

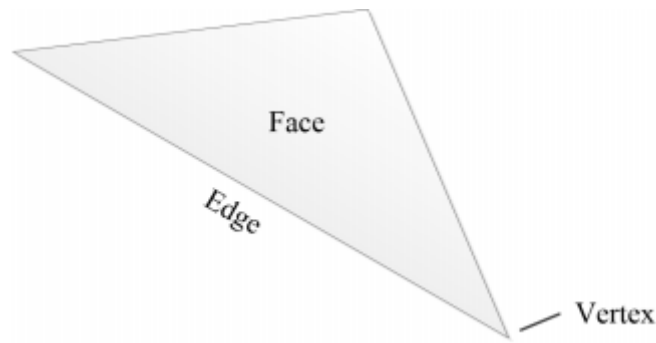
Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα κυριότερα στοιχεία ενός πολυγώνου:

- **Vertex** (κορυφή): Είναι το κυριότερο τμήμα ενός πολυγώνου, γιατί έχει συντεταγμένες στον χώρο. Ένα τετράγωνο διαθέτει 4 κορυφές. Η ένωση των 4 κορυφών έχει ως αποτέλεσμα το τετράγωνο.
- **Edge** (ακμή): Είναι η γραμμή που συνδέει δύο κορυφές. Για παράδειγμα στο τετράγωνο έχουμε 4 ακμές.
- **Face** (πρόσοψη ή έδρα): Είναι η επιφάνεια η οποία περικλείεται μεταξύ των ενωμένων κορυφών. Δηλαδή, είναι το τμήμα που έχει μετατραπεί σε pixels και εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή μας.

²⁵ Γεωργόπουλος, 2011

²⁶ Λαζαρίνης, 2015

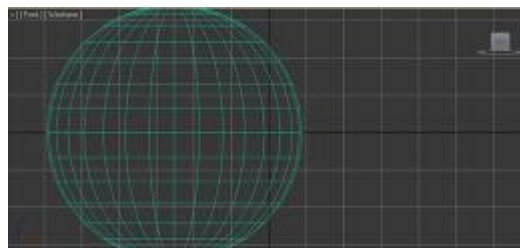


Εικόνα 9 Πολύγωνο όπου διακρίνονται τα βασικά στοιχεία του²⁷.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

Τα παραπάνω δομικά στοιχεία απαρτίζουν οποιοδήποτε πολύγωνο. Η τροποποίηση (μεταβολή, περιστροφή, αλλαγή θέσης) ενός πολύγωνου συνεπάγεται την μετακίνηση των κορυφών. Τα υπόλοιπα στοιχεία ακολουθούν τις κορυφές. Ο σχεδιαστής των τρισδιάστατων μοντέλων εστιάζει, συνήθως, σε επίπεδο σημείων, ώστε να αναπτύξει ένα πιο πολύπλοκο μοντέλο.

Τα πολύγωνα είναι το κύριο στοιχείο στη σχεδίαση 3D μοντέλων. Το αντικείμενο της εικόνας 9 απαρτίζεται από 3 μικρότερα πολύγωνα, με στόχο την ανάπτυξη ενός κύβου. Τις πιο πολλές φορές τα αντικείμενα 3D αποτελούνται από τρίγωνα. Για παράδειγμα στην εικόνα 10 απεικονίζεται μία τρισδιάστατη σφαίρα η οποία αποτελείται από πολύγωνα. Οι ομάδες πολυγώνων που σχηματίζουν ένα μοντέλο, ονομάζονται polygon mesh (πλέγμα πολυγώνων).



Εικόνα 10 Σφαίρα όπου διακρίνονται τα πολύγωνα από τα οποία αποτελείται²⁸.

²⁷ Λαζαρίνης, 2015

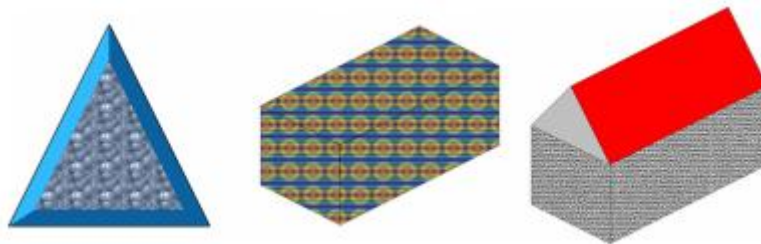
²⁸ Λαζαρίνης, 2015

2.5 Υφές & Φωτισμός

Το επόμενο βήμα, μετά τη σχεδίαση του 3D μοντέλου, είναι το rendering. Το rendering σχετίζεται Το rendering αφορά την ρεαλιστική απόδοση, δηλαδή το μετασχηματισμό του τρισδιάστατου σχεδίου με χρώματα, υφές και φωτισμό ώστε να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Γενικά, το στάδιο του rendering αφορά όλες τις ενέργειες για την δημιουργία μιας εικόνας 3D από ένα τρισδιάστατο σχέδιο. Η διαδικασία αυτή είναι επίπονη, λόγω του ότι το 3D σχέδιο αποτελείται αρχικά μόνο από γραμμές και κορυφές. Οι επιφάνειες του σχεδίου πρέπει να καλυφθούν με χρώμα ή υφές με γνώμονα τη γωνία θέασης και το φωτισμό.

2.5.1 Γέμισμα με υφές

Το σύνολο των ενεργειών εισαγωγής μιας εικόνας ή ενός σχεδίου στην επιφάνεια του αντικειμένου αναφέρεται ως χαρτογράφηση υφής (texture mapping) (Weinhaus & Devarajan, 1997) (βλ. παρακάτω εικόνα). Η υφή συνήθως συνδέεται με το υλικό κατασκευής κάποιου αντικειμένου, όπως τούβλα ή ξύλο, ή να είναι παραγόμενη από υπολογιστή.



Εικόνα 11 Απλές υφές πάνω σε τρισδιάστατα αντικείμενα²⁹.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

²⁹ Λαζαρίνης, 2015

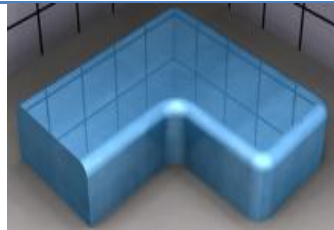
Οι διαφορετικές υφές και τεχνικές είναι οι παρακάτω

- Detail textures
- Environmental mapping ή reflectance mapping
- Bump mapping
- Displacement mapping
- Procedural texturing



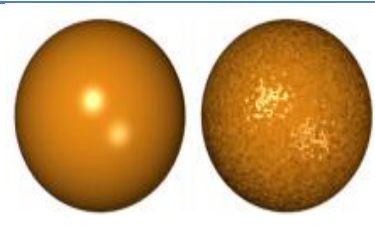
Εικόνα 12 detail textures³⁰

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015



Εικόνα 13 reflectance mapping³¹.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015



Εικόνα 14 bump mapping³².

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

³⁰ Λαζαρίνης, 2015

³¹ Λαζαρίνης, 2015

³² Λαζαρίνης, 2015



Εικόνα 15 displacement mapping

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015



Εικόνα 16 procedural texturing³³

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

2.5.2 Σκιές και σκιάσεις

Το φως, που προσπίπτει σε ένα αντικείμενο έχει ως αποτέλεσμα τις διαβαθμίσεις του χρώματος, οι οποίες αναπτύσσονται στην επιφάνεια του αντικειμένου και ονομάζονται σκιές (shadows) και σκίαση (shading) (Lai et al., 2018). Οπότε, ο όρος σκίαση αναφέρεται στην χρωματική διαβάθμιση που δημιουργείται στην επιφάνεια του αντικειμένου, λόγω του φωτός που προσπίπτει σε αυτό, ενώ οι σκιές δημιουργούνται στα περιβάλλοντα αντικείμενα από το 3D σχήμα. Επιπλέον, με τη χρήση του φωτισμού είναι δυνατή η απόδοση χαρακτηριστικών κίνησης στα αντικείμενα.

Η σκίαση που δημιουργείται από πηγή φωτός πάνω στο αντικείμενο, δίνει την αίσθηση του όγκου. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται δύο απλοί 2D κύκλοι. Με την χρήση τεχνικών γεμίσματος με χρώμα και φωτισμό, παρουσιάζονται ως τρισδιάστατες σφαίρες, ως αποτέλεσμα της χρωματικής διαβάθμισης στην επιφάνεια του αντικειμένου. Αντίστοιχα, οι σκιές που δημιουργούνται στα περιβάλλοντα αντικείμενα προσδιορίζουν τη θέση του αντικειμένου στον χώρο.

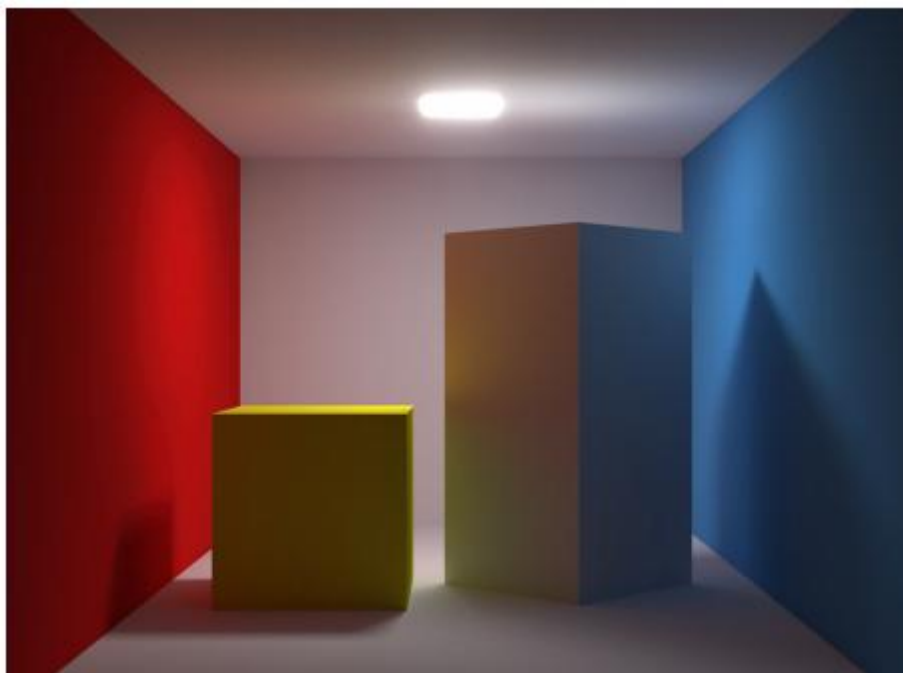


³³ Λαζαρίνης, 2015

2.5.3 Μέθοδος Radiosity

Η τεχνική radiosity³⁴ βασίζεται στη θεωρία μεταφοράς της θερμικής ενέργειας για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ρεαλιστικών σκιών και σκιάσεων στα σχήματα μιας σκηνής. Σύμφωνα με τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας, η ακτινοβολία (radiation) θεωρείται ως μεταφορά ενέργειας από μία επιφάνεια, όταν αυτή διεγερθεί θερμικά. Για παράδειγμα τέτοιου είδους αντικείμενα είναι αυτά που αποτελούν πηγές φωτός και έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν και να μεταδίδουν ενέργεια. Η θεωρία μεταφοράς θερμικής ενέργειας χρησιμοποιείται στην τρισδιάστατη μοντελοποίηση για την περιγραφή μεταφοράς φωτός μεταξύ των επιφανειών των αντικειμένων που συνθέτουν μια σκηνή. Η μέθοδος σχετίζεται με την υπόθεση ότι οι επιφάνειες των αντικειμένων εκλύουν ομοιόμορφα το φως στις επιφάνειες των γειτονικών τους αντικειμένων και ότι υπάρχει ισοζύγιο ενέργειας, που εκλύεται και απορροφάται στα αντικείμενα μιας σκηνής. Το αποτέλεσμα δεν επηρεάζεται από τη θέση του θεατή. Τα αντικείμενα, τα οποία έχουν επεξεργασθεί με τη συγκεκριμένη τεχνική, εμφανίζονται με απαλές, διαβαθμιζόμενες σκιές. Η παρούσα μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για τη φωτορεαλιστική απεικόνιση εικόνων στο εσωτερικό κτιρίων και παράγει πολύ υψηλά αισθητικά αποτελέσματα.

³⁴ Cohen & Greenberg, 1985



Εικόνα 18 τεχνική Radiosity³⁵.

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

2.5.4. Μέθοδος Ray Tracing

Σύμφωνα με τους Tsangrassoulis and Bourdakis, (2003)³⁶, η μέθοδος ray tracing (ανίχνευση ακτίνας) βασίζεται σε σύνθετους υπολογισμούς για τις επιδράσεις του φωτός στο αντικείμενο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό αντικειμένων, που περιέχουν στην επιφάνειά τους τμήματα, τα οποία είναι παρόμοια με καθρέφτη, διαφανή τμήματα και σκιές (βλ παρακάτω εικόνα). Η μέθοδος ray tracing έχει ως στόχο να ακολουθεί (trace) τις ακτίνες φωτός, καθώς αυτές εξακτινώνονται, όταν προσπίπτουν στα αντικείμενα της σκηνής. Παράλληλα, καθορίζεται το χρώμα κάθε αντανάκλασης του ανθρώπινου ματιού. Οι ακτίνες ξεκινούν από μια πηγή φωτός και, όταν προσπίπτουν σε κάποιο αντικείμενο, ανακλώνται και διασκορπίζονται (βλ. εικόνα παρακάτω). Η πορεία των ακτινών φωτός ακολουθείται σε αντίθετη κατεύθυνση. Δηλαδή, αρχίζει από το μάτι ή την κάμερα και ακολουθεί την ακτίνα μέχρι κάποιο pixel στη σκηνή. Στη συνέχεια, το χρώμα του pixel τίθεται ίσο με την τιμή που επιστρέφεται από την ακτίνα. Παρόμοιες τεχνικές είναι η cone tracing και η beam tracing.

³⁵ Λαζαρίνης, 2015

³⁶ Tsangrassoulis and Bourdakis, 2003



Εικόνα 19 τεχνική Ray Tracing³⁷

Πηγή: Λαζαρίνης, 2015

³⁷ Tsangrassoulis & Bourdakis, (2003)

Κεφάλαιο 3 Interaction Techniques

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνικές αλληλεπίδρασης σε τρισδιάστατα γραφικά. Αρχικά, πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική έρευνα η οποία συγκεντρώνει τις τεχνικές αλληλεπίδρασης, τις αναλύει και καταγράφει τα κυριότερα μέσα. Στη συνέχεια, μέσω βιβλιογραφικής ανασκόπησης περιγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά των 3D κόσμων και οι βασικοί κανόνες σχεδίασης και ευχρηστίας.

3.1 Πλοήγηση (Navigation)

3.1.1 Εισαγωγή

Τα διαδραστικά περιβάλλοντα 3D καταλαμβάνουν συνήθως περισσότερο χώρο από ό,τι μπορεί να προβληθεί από ένα σημείο³⁸. Οι χρήστες πρέπει να είναι σε θέση να μετακινηθούν μέσα στο περιβάλλον για να αποκτήσουν διαφορετικές απόψεις της σκηνής. Αυτή η διαδικασία περιήγησης σε ένα εικονικό περιβάλλον, παρακολουθώντας παράλληλα τον τόπο και τους στόχους εργασιών, αποτελεί αντικείμενο πολλών τεχνικών που αναφέρονται συχνά με όρους, όπως η διέλευση, η κίνηση, η πλοήγηση και ο έλεγχος κάμερας / οπτικών σημείων.

Η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής τεχνικής πλοήγησης για διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα είναι δύσκολη. Πρώτα απ' όλα, ο έλεγχος απόψεων περιλαμβάνει έξι βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom): τρεις διαστάσεις για τοποθέτηση θέσης (μετάφραση) και τρεις για γωνιακή τοποθέτηση (περιστροφή). Το πρόβλημα είναι ο αριθμός των παραμέτρων που πρέπει να ελεγχθούν από τον χρήστη. Ο κύριος περιορισμός που υπάρχει στη χρήση συσκευών 2D είναι ότι τουλάχιστον μία αλλαγή της κατάστασης απαιτείται για την κάλυψη όλων των μεταβάσεων και περιστροφών. Ένας ακόμα περιορισμός σχετικά με τη χρήση των 2D συσκευών είναι ότι δεν μπορεί να υπάρξει γενίκευση στη χρήση τους λόγω ότι δεν υπάρχει ομοιογένεια στην πολυπλοκότητα και τον βαθμό δυσκολίας κάποιων εργασιών. Για παράδειγμα είναι διαφορετική η απλή εξερεύνηση περιβάλλοντος 3D μεγάλης κλίμακας και η μελέτη υψηλής ακρίβειας κάποιου αντικειμένου 3D.

³⁸ Jankowski & Hachet, 2014.

Εκτός από τις δυσκολίες του ελέγχου της άποψης, υπάρχει και το πρόβλημα της ανίχνευσης, ειδικά σε μεγάλους εικονικούς κόσμους. Ειδικότερα, σχετίζεται με τον τρόπο που οι άνθρωποι δημιουργούν μια κατανόηση (διανοητικό μοντέλο) ενός εικονικού περιβάλλοντος και επηρεάζονται σημαντικά από τεχνολογικούς περιορισμούς, μεταξύ των οποίων είναι το μικρό οπτικό πεδίο και η έλλειψη αιθουσών πληροφοριών. Επίσης, οι αποτελεσματικές τεχνικές για την πλοήγηση 3D θα πρέπει να ικανοποιούν τις γενικές απαιτήσεις διεπαφής (όπως το να είναι εύχρηστες, αποτρέπει τον αποπροσανατολισμό του χρήστη κ.λπ.)

Οι Mackinlay et al., (1990), διακρίνουν τέσσερις τύπους κινήσεων απόψεων για διαδραστικούς τρισδιάστατους χώρους εργασίας³⁹.

Γενική κίνηση. Εξερευνητική κίνηση, όπως το περπάτημα μέσω προσομοίωσης αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Αντιστοιχεί στον στόχο της εξερεύνησης των Bowman et al, (2001), και Tan, Robertson and Czerwinski, (2001).⁴⁰

Στοχευόμενη κίνηση. Κίνηση σε σχέση με έναν συγκεκριμένο στόχο, όπως μετακίνηση προς εξέταση μιας λεπτομέρειας ενός μοντέλου μηχανικής. Αντιστοιχεί στον στόχο της εξερεύνησης των Bowman et al, (2001), και Tan, Robertson and Czerwinski, (2001)⁴¹.

Καθορισμένη κίνηση συντεταγμένων. Μετακίνηση σε μια ακριβή θέση και προσανατολισμό, όπως σε μια συγκεκριμένη θέση προβολής σε σχέση με ένα μοντέλο CAD: ο χρήστης πρέπει να παρέχει την ακριβή θέση και τον προσανατολισμό του προορισμού του.

Καθορισμένη κίνηση τροχιάς. Κίνηση κατά μήκος μιας πορείας θέσης και προσανατολισμού, όπως μια κίνηση κινηματογραφικής κάμερας. Αντιστοιχεί στον στόχο της εξερεύνησης των Bowman et al, (2001), και Tan, Robertson and Czerwinski, (2001)⁴². Τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμοστεί ή προταθεί πολλοί τύποι τεχνικών κίνησης απόψεων για διαδραστικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα. Στη συνέχεια, θα ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες που προτείνονται από τους Mackinlay, Card and Robertson, (1990)⁴³.

³⁹ Mackinlay et al., 1990

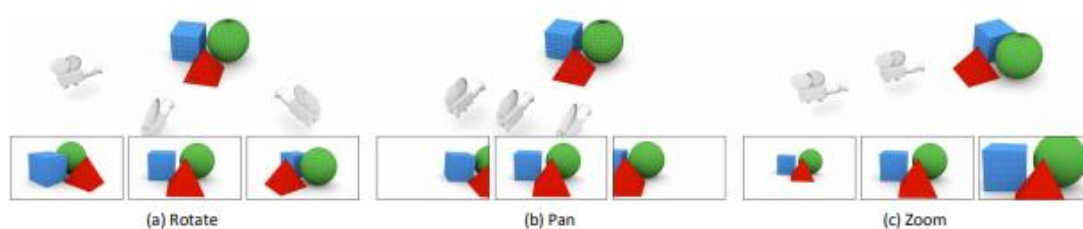
⁴⁰ Bowman et al, (2001), Tan, Robertson and Czerwinski, 2001

⁴¹ Bowman et al, (2001), Tan, Robertson and Czerwinski, 2001

⁴² Bowman et al, (2001), Tan, Robertson and Czerwinski, 2001

⁴³ Mackinlay, Card & Robertson, 1990

3.1.2 Γενική Κίνηση (General movement)



Εικόνα 20 Περιστροφή (Rotate) / Μετακίνηση (Pan) / Μεγέθυνση(Zoom)⁴⁴

Πηγή: Jankowski & Hachet, 2014

Η **περιστροφή**, η **μετακίνηση** και η **μεγέθυνση (Rotate-Pan-Zoom)** είναι οι κύριες κινήσεις της κάμερας που χρησιμοποιούνται σε σχεδόν κάθε περιβάλλον 3D μοντελοποίησης (από το Jack έως το 3ds Max, Maya ή Blender της Autodesk). Πρόκειται για τυπικούς τρόπους επιθεώρησης αντικειμένων και λειτουργούν ορθώς με μια συσκευή κατάδειξης, όπως το ποντίκι, καθώς όλα έχουν το πολύ 2-διαστάσεων λειτουργίες.

- **Περιστροφή** (αναφέρεται επίσης ως Tumble ή Sweep) - αναφέρεται σε τροχιά γύρω από την κάμερα. Με την λειτουργία της σάρωσης, η κάμερα περιστρέφεται οριζόντια και κατακόρυφα σε ένα εικονικό σφαιρικό κομμάτι, παράλληλα διατηρώντας την εστιασμένη στο ίδιο σημείο αναφοράς (βλ. Εικόνα 1 α).
- **Pan** - στο πλαίσιο της τρισδιάστατης αλληλεπίδρασης, το Pan αναφέρεται στη μετάφραση της κάμερας κατά μήκος των αξόνων x και y (βλ. Εικόνα 1 β).
- **Zoom** (αναφέρεται επίσης ως Dolly) - αναφέρεται στη μετάφραση της κάμερας κατά μήκος της οπτικής της όψης (βλ. Εικόνα 1 γ).

Η τεχνική Rotate-Pan-Zoom απαιτεί από τον χρήστη να πραγματοποιήσει μια κίνηση μετατοπίζοντας αντικείμενα εμπρός και πίσω ανάμεσα σε απλές λειτουργίες πλοήγησης (εκχώρηση του ποντικιού σε λειτουργίες "Rotate", "Pan" ή "Zoom"). Ένα τέτοιο μοντέλο αλληλεπίδρασης δεν μπορεί να είναι βέλτιστο, εάν το μενού χρησιμοποιείται συχνά. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, οι Zeleznik and

⁴⁴ Jankowski & Hachet, 2014

Forsberg, (1999) πρότειναν χειρονομία αλληλεπίδρασης για επίκληση της λειτουργικότητας της κάμερας. Η προσέγγισή τους, που ονομάζεται UniCam, και απαιτεί μόνο ένα ποντίκι, με ένα μόνο κουμπί για άμεση επίκληση συγκεκριμένων λειτουργιών κάμερας σε μία μόνο τρισδιάστατη προβολή. Τα υπόλοιπα κουμπιά του ποντικιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άλλες λειτουργίες της εφαρμογής.

Οι Zeleznik, Fordsberg and Strauss, 1997⁴⁵ διερεύνησαν μια σειρά τεχνικών αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιούν δύο χέρια για τον έλεγχο δύο ανεξάρτητων δρομέων για την εκτέλεση λειτουργιών σε εφαρμογές 3D για επιτραπέζιους υπολογιστές.

Οι συγγραφείς παρουσίασαν τόσο τον τρόπο πλοήγησης (Rotate-PanZoom και τεχνικές πτήσης) όσο και τον χειρισμό (Rotate-ScaleTranslate) 3D αντικειμένων χρησιμοποιώντας είσοδο δύο δεικτών. Οι (Grossman et al., 2001) διερεύνησαν επίσης τον διμηνιαίο έλεγχο της κάμερας. διερεύνησαν τη χρήση του μη κυρίαρχου χεριού για τον έλεγχο μιας εικονικής κάμερας, ενώ το κυρίαρχο χέρι εκτελεί άλλες εργασίες σε μια εικονική σκηνή 3D.

3.1.3 Περπάτημα / Οδήγηση / Πετώντας

Ένας ακόμα τρόπος⁴⁶ μέσω του οποίου οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να πλοηγούνται σε περιβάλλον 3D είναι απλά να τους αφήνουν να περπατούν κατά μήκος του εδάφους, να οδηγούν όχημα ή να πετούν ένα αεροπλάνο. Αυτή η τεχνική απαιτεί από τον χρήστη να τροποποιεί συνεχώς τη θέση της κάμερας χρησιμοποιώντας π.χ. πλήκτρα βέλους ή χειριστήρια (widget κουμπιά) που τοποθετούνται στην οθόνη και ελέγχονται από το ποντίκι.

Στον κόσμο του βιντεοπαιχνιδιού, αυτή η τεχνική αντιστοιχεί στην πλοήγηση παιχνιδιού με την πρώτη άποψη (FPP), όπου μια γραφική προοπτική αποδίδεται από την άποψη του χαρακτήρα του παίκτη (αυτό μπορεί επίσης να είναι η οπτική γωνία από το πιλοτήριο ενός οχήματος). Πολλά διαφορετικά είδη έχουν κάνει χρήση της πλοήγησης FPP, από παιχνίδια περιπέτειας έως προσομοιωτές πτήσεων.

⁴⁵ Zeleznik, Fordsberg and Strauss, 1997

⁴⁶ Jankowski & Hachet, 2014

3.2 Στοχευόμενη Κίνηση (Targeted movement)

3.2.1 Εισαγωγή

Μια στοχευόμενη κίνηση είναι μια κίνηση σε σχέση με έναν συγκεκριμένο στόχο όπως η μετάβαση, για να εξετάσει μια λεπτομέρεια ενός μοντέλου μηχανικής. Σκοπός της είναι η απόκτηση γνώσεων που καθορίζονται από το τμήμα χρήστη του περιβάλλοντος. Κατηγοριοποιείται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

3.2.2 Κίνηση σημείων ενδιαφέροντος (Go-To / Fly-To)

Σύμφωνα με τους Mackinlay et al., (1990) η κίνηση μεταξύ των σημείων ενδιαφέροντος (POI), είναι μία τεχνική η οποία υποστηρίζει ταχεία ελεγχόμενη κίνηση μέσω ενός εικονικού χώρου εργασίας 3D⁴⁷. Η κίνηση του POI απαιτεί από τον χρήστη να επιλέξει απλώς ένα «σημείο ενδιαφέροντος» στόχου (POI) σε ένα αντικείμενο στη σκηνή χρησιμοποιώντας το ποντίκι και η εικονική κάμερα κινείται λογαριθμικά προς αυτόν τον στόχο (η κάμερα μεταβαίνει στη θέση στόχου που είχε ο χρήστης καθορισμένο). Η οπτική γωνία προσανατολίζεται αυτόματα κατά τη διάρκεια της πτήσης για να αντιμετωπίζει την επιφάνεια που προσεγγίζεται χρησιμοποιώντας την κανονική επιφάνεια στο POI.

Λόγω της λογαριθμικής φύσης αυτής της τεχνικής πλοήγησης, η γρήγορη κίνηση επιτυγχάνεται όταν η απόσταση από το αντικείμενο στόχο είναι μεγάλη και η ελεγχόμενη κίνηση επιτυγχάνεται καθώς αυτή η απόσταση γίνεται μικρότερη. Το UniCam έχει εφαρμόσει επίσης μια τεχνική που ονομάζεται κλικ για εστίαση που στοχεύει στην αυτόματη επιλογή του τελικού σημείου της τροχιάς της κάμερας σύμφωνα με την εγγύτητα των άκρων κάποιου αντικειμένου.

3.2.3 Σχέδιο διαδρομής

Οι Igarashi et al. (1998) πρότειναν μία τεχνική σχεδίασης διαδρομής για περιήγηση σε περιβάλλοντα 3D, η οποία αποτελεί επέκταση της τεχνικής POI⁴⁸. Η τεχνική χρησιμοποιεί user-drawn σχέδια για τον έλεγχο της εικονικής κάμερας. Ένα χτύπημα προβάλλεται στην επιφάνεια περπατήματος και χρησιμοποιείται ως διαδρομή για την

⁴⁷ Mackinlay et al., 1990

⁴⁸ Igarashi et al. 1998

κάμερα. Η διαδρομή μπορεί να ενημερωθεί ανά πάσα στιγμή σχεδιάζοντας μια νέα διαδρομή. Η αξιολόγηση έδειξε ότι η τεχνική ήταν ελαφρώς πιο αργή κατά μέσο όρο από τις τεχνικές πεζοπορίας / οδήγησης και POI. Ωστόσο, η τεχνική σχεδίασης προτιμήθηκε από τους περισσότερους χρήστες. Οι συγγραφείς επισημαίνουν επίσης ότι η τεχνική είναι πιο κατάλληλη για συστήματα με βάση το στυλό ή τα πάνελ αφής.

3.2.4 Specified coordinate movement

Η καθορισμένη κίνηση συντεταγμένων είναι μια κίνηση σε μια ακριβή θέση και με συγκεκριμένο προσανατολισμό, όπως σε μια συγκεκριμένη θέση θέασης σε σχέση με ένα μοντέλο αυτοκινήτου ο χρήστης πρέπει να παρέχει την ακριβή θέση και τον προσανατολισμό του προορισμού του⁴⁹. Αυτός ο τύπος τοποθέτησης κάμερας χρησιμοποιείται σε λογισμικό επεξεργασίας όπως το CAD. Οι χρήστες μπορούν απλά να εισαγάγουν ένα ζεύγος συντεταγμένων x, y, z (για θέση και προσανατολισμό) χρησιμοποιώντας ένα πληκτρολόγιο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αυτή η τεχνική μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά μόνο από τους σχεδιαστές που είναι εξοικειωμένοι με το τρισδιάστατο μοντέλο / περιβάλλον που είναι υπό ανάπτυξη.

3.2.5 Specified trajectory movement

Η καθορισμένη κίνηση τροχιάς είναι μια κίνηση κατά μήκος μιας τροχιάς θέσης και προσανατολισμού, όπως μια κίνηση κινηματογραφικής κάμερας. Σε σύγκριση με προηγούμενες τεχνικές, όπου οι χρήστες είναι ελεύθεροι να περιπλανηθούν και να εξερευνήσουν, αυτός ο έλεγχος απόψεων περιορίζει την ελευθερία του χρήστη ενώ ταξιδεύει σε έναν εικονικό κόσμο. Αυτή η τεχνική:

- παρουσιάζει σχετικές, ενδιαφέρουσες και συναρπαστικές τοποθεσίες ή αντικείμενα
- παρέχει την καλύτερη επισκόπηση της σκηνής.
- δημιουργεί μονοπάτια που είναι εύκολο στον χρήστη και αποφεύγει τον αποπροσανατολισμό του χρήστη.
- αποφεύγει το πρόβλημα των χρηστών να είναι "lost-in-cyberspace".

⁴⁹ Igarashi et al.,1998

3.2.6 Καθοδηγούμενη / Περιορισμένη πλοήγηση

Η καθοδηγούμενη πλοήγηση παρουσιάστηκε από τον Galyean, (1995), ο οποίος πρότεινε μια νέα μέθοδο πλοήγησης σε εικονικά περιβάλλοντα που ονομάζεται "The River Analogy"⁵⁰. Ο Galyean οραματίστηκε τα μονοπάτια πλοήγησης, καθώς τα ποτάμια ρέουν μέσα από ένα τοπίο και ο χρήστης ως μια μεταφορική βάρκα που επιπλέει κάτω από τον ποταμό με κάποιο έλεγχο, ενώ ωθείται και τραβιέται από το προκαθορισμένο ρεύμα του νερού. Δεδομένου ότι το σκάφος ρέει συνεχώς κάτω από τον ποταμό, ανεξάρτητα από το εάν υπάρχει ή όχι είσοδος, η μεταφορά του ποταμού εγγυάται μια αδιάκοπη ροή. Οι Elmqvist (2008), παρουσίασαν μια παρόμοια μέθοδο που χρησιμοποιεί περιορισμούς κίνησης για να καθοδηγήσει τον χρήστη σε μια προκαθορισμένη περιήγηση το περιβάλλον, ενώ επιτρέπει στους χρήστες να ελέγχουν την ταχύτητά τους, καθώς και να αποκλίνουν τοπικά από την περιοδεία⁵¹.

3.3 Επιλογή & Τροποποίηση (Selection & Manipulation)

3.3.1 Εισαγωγή

Μια άλλη τυπική εργασία που εκτελείται σε ένα εικονικό περιβάλλον 3D είναι η επιλογή αντικειμένων και ο άμεσος χειρισμός του. Οι τεχνικές αλληλεπίδρασης για τον τρισδιάστατο χειρισμό περιλαμβάνουν τρεις θεμελιώδεις εργασίες: μετάφραση αντικειμένων (τοποθέτηση), περιστροφή αντικειμένων και κλιμάκωση αντικειμένων.

3.3.2 Επιλογή Αντικειμένου

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος επιλογής αντικειμένων σε Desktop Ves είναι να τοποθετηθεί ένας δείκτης του ποντικιού πάνω από ένα δεδομένο αντικείμενο και να γίνει κλικ σε ένα κουμπί του ποντικιού. Η τεχνική βασίζεται στην ακτινοβολία⁵². Χρησιμοποιεί την ακτίνα από το σημείο του ματιού μέσω του εικονοστοιχείου που επιλέγεται επί του παρόντος από το δείκτη του ποντικιού για να βρει το πρώτο σημείο τομής με τη σκηνή (την επιφάνεια του στόχου ή την κατά προσέγγιση επιφάνεια του, π.χ., πλαίσιο οριοθέτησης). Εάν η εικονική ακτίνα τέμνει ένα αντικείμενο, μπορεί να επιλεγεί για περαιτέρω χειρισμό. Οι Looser et al. (2005), εξέτασαν την απόκτηση

⁵⁰ Galyean, 1995,

⁵¹ Elmqvist, 2008

⁵² Jankowski & Hachet, 2014

στόχου σε 3D παιχνίδια υπολογιστή πρώτου προσώπου. Επιβεβαίωσαν ότι ο νόμος του Fitts, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως για τη μοντελοποίηση της ανθρώπινης απόδοσης για να δείχνει σε διεπαφές χρήστη 2D, μοντελοποιεί με ακρίβεια αυτόν τον τύπο επιλογής στόχου⁵³. Με παρόμοιο στόχο, οι Teather and Stürzlinger, (2011) διερεύνησαν τρόπους σύγκρισης τεχνικών κατάδειξης 2D και 3D. Ο Balakrishnan, (2004) επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη, ανάλυση και αξιολόγηση νέων τεχνικών για τεχνητή βελτίωση της απόκτησης στόχων σε 2D, αλλά η έρευνά του εφαρμόζεται στο τρισδιάστατο πλαίσιο⁵⁴.

Οι Elmqvist and Fekete, 2008 προσαρμόζουν την έννοια του σημασιολογικού δείγματος σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον για τη βελτίωση της απόδοσης συλλογής αντικειμένων⁵⁵. Η προσαρμογή λειτουργεί με τη συρρίκνωση του κενού χώρου και την επέκταση των μεγεθών στόχου στον χώρο του κινητήρα. Οι συγγραφείς παρουσιάζουν επίσης μια μελέτη χρήστη που συγκρίνει την απόδοση της επιλογής αντικειμένων σε δύο διαφορετικά τρισδιάστατα περιβάλλοντα παιχνιδιών με αλλά και χωρίς σημασιολογική τρισδιάστατη υπόδειξη. Η αναφερόμενη μελέτη δείχνει ότι η ακρίβεια βελτιώνεται με σημασιολογική τρισδιάστατη υπόδειξη, αλλά όχι με το χρόνο ολοκλήρωσης εργασιών.

Το Silk Cursor είναι μια άλλη ενδιαφέρουσα τεχνική επιλογής, όπου σε αντίθεση με τη συνήθη πρακτική, το σύμβολο παρακολούθησης είναι ένας τόμος και όχι ένα σημείο. Επιπλέον, η επιφάνεια αυτού του όγκου είναι ημιδιαφανής, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ενδείξεις απόφραξης κατά την απόκτηση στόχου. Το πείραμα που παρουσίασαν οι συγγραφείς δείχνει ότι οι ενδείξεις απόφραξης όγκου ήταν αποτελεσματικές τόσο σε μονοφθαλμικές, όσο και σε στερεοσκοπικές συνθήκες. Μια άλλη τεχνική, που χρησιμοποιείται συχνά σε λογισμικό επεξεργασίας CAD και 3D, είναι η έμμεση επιλογή αντικειμένων από μια λίστα.

3.3.3 Τροποποίηση Αντικειμένου

Ο χειρισμός αντικειμένων είναι μια άλλη βασική εργασία που εκτελείται σε ένα εικονικό περιβάλλον 3D, ειδικά κατά την κατασκευή σκηνών. Κατά το σχεδιασμό μιας σκηνής με πολλά αντικείμενα, οι χρήστες πρέπει να επαναπροσδιορίσουν

⁵³ Looser et al., 2005

⁵⁴ Teather and Stürzlinger, (2011)

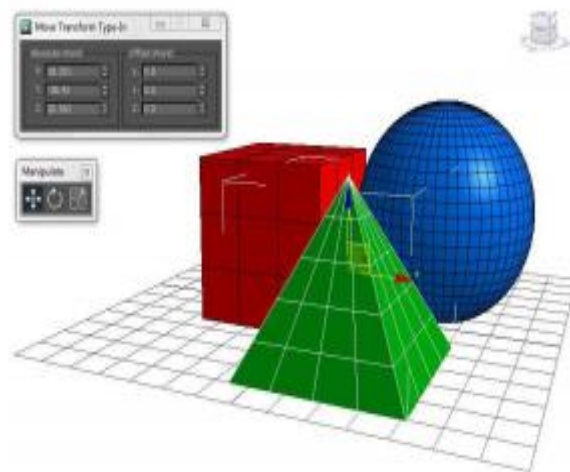
⁵⁵ Elmqvist and Fekete, 2008

επανειλημμένα και να προσαρμόσουν διαφορετικά μέρη. Είναι σημαντικό να παρέχεται μια αποτελεσματική τεχνική χειρισμού αντικειμένων.

Το ποντίκι, μια εξαιρετική συσκευή εισόδου για διεπαφές χρήστη 2D, χρησιμοποιείται συνήθως για την τοποθέτηση αντικειμένων σε περιβάλλοντα 3D. Αυτό προκαλεί το πρόβλημα του τρόπου χαρτογράφησης μιας βασικής 2D συσκευής εισόδου σε διαφορετικές λειτουργίες με διαφορετικό βαθμό ελευθερίας. Μία λύση στο πρόβλημα ήταν να παρέχεται στους χρήστες ένα σύνολο εργαλείων, παραθύρων διαλόγου, στοιχείων μενού ή άλλων ειδών στοιχείων 2D UI για αλλαγή μεταξύ των τρόπων χειρισμού, όπου η λειτουργία είναι αντιστοίχιση μιας εισόδου σε μια πιθανή έξοδο (βλ. Εικόνα 21, αριστερά). Απλούστερη και πιο αποτελεσματική λύση θα ήταν να παρέχονται χειριστές στους χρήστες (βλ. Εικόνα 21, η πυραμίδα) για σαφή και πιο άμεσο χειρισμό.

Χειριστές (Manipulators)

Σύμφωνα με τους Zeleznik, Fordsberg και Strauss (1997), οι χειριστές είναι οι ορατές γραφικές αναπαραστάσεις μιας λειτουργίας σε μία κατάσταση (state) ή σε ένα αντικείμενο (object), που εμφανίζεται μαζί με αυτό το αντικείμενο⁵⁶. Αυτή η κατάσταση ή λειτουργία μπορεί να ελεγχθεί κάνοντας κλικ και σύροντας τα γραφικά στοιχεία (χειρολαβές) του χειριστή.



⁵⁶ Zeleznik, Fordsberg & Strauss, 1997

Εικόνα 21 Οι ίδιες λειτουργίες παρουσιάζονται με εργαλεία και με ένα παράθυρο διαλόγου (αριστερά), και με έναν χειριστή (εδώ ελέγχεται η πράσινη πυραμίδα).⁵⁷

Πηγή: Jankowski & Hachet, 2014

Οι χειριστές βρίσκονται στη σκηνή με τα αντικείμενα που ελέγχουν. Όταν οι χρήστες επεξεργάζονται αυτά τα αντικείμενα, ο τρόπος της προσοχής τους παραμένει με το αντικείμενο και όχι στο πλάι με τα εργαλεία. Αυτό μειώνει την ποσότητα της κίνησης του ποντικιού και μειώνει το σφάλμα λειτουργίας.

- Οι χρήστες διαθέτουν έναν αριθμό διαφορετικών στοιχείων ελέγχου ταυτόχρονα, ώστε να μπορούν να εκτελούν οποιαδήποτε από τις πολλές σχετικές λειτουργίες ανά πάσα στιγμή χωρίς επιπλέον κλικ για να αλλάξουν εργαλεία. Αυτό μειώνει σημαντικά τον αριθμό των κλικ και μειώνει το φορτίο μνήμης, καθώς εμφανίζονται όλα τα πιθανά στοιχεία ελέγχου όπου χρειάζονται.
- Αυτή η λύση επιτρέπει στους χρήστες να διαχωρίσουν την επιθυμητή τρισδιάστατη κίνηση σε απλούστερα 1D ή 2D στοιχεία.
- Οι χειριστές μπορούν να δείξουν γραφικά σε τι λειτουργούν και πώς θα λειτουργήσουν. Δείχνουν επίσης ποιες λειτουργίες είναι δυνατές, σε ένα δεδομένο πλαίσιο, και μπορούν να δώσουν στους χρήστες πρόσθετα σχόλια σχετικά με τις ενδιάμεσες καταστάσεις.
- Οι χειριστές προσκαλούν πειραματισμό. Κάνουν τη χρήση του λογισμικού πιο ευχάριστη.

3.4 Οδηγίες σχεδίασης 3D Web

Βάσει του Nielsen, (2021) κάποιες από τις πιο βασικές οδηγίες σχεδιασμού τρισδιάστατου Ιστού είναι οι εξής⁵⁸:

- Οι **τρειςδιάστατοι ιστότοποι** πρέπει να εξηγούνται: Οι τρισδιάστατες ιστοσελίδες πρέπει να είναι κατανοητές. Οι χρήστες πρέπει να είναι σε θέση να μάθουν τι είναι και πώς να τους χρησιμοποιούν, χωρίς να καταβάλλουν ιδιαίτερη προσπάθεια.

⁵⁷ Jankowski & Hachet, 2014

⁵⁸ Nielsen, 2021

Μεγάλο μέρος της χρήσης του Διαδικτύου οφείλεται στην επιθυμία εξοικονόμησης χρόνου.

- **Κείμενο** Ο πρωταρχικός στόχος της σχεδίασης Ιστού είναι η μεταφορά πληροφοριών. Οι σχεδιαστές πρέπει να επιλέξουν τυπογραφία η οποία είναι ελκυστική στο χρήστη. Το κείμενο πρέπει να είναι ευανάγνωστο, να υπάρχει διαθέσιμο επεξηγηματικό κείμενο και οι χρήστες να έχουν την επιλογή για λεπτομέρειες κατά παραγγελία (on demand).

- **Πλοήγηση:** Ελαχιστοποίηση του αριθμού των βημάτων πλοήγησης για την ολοκλήρωση των εργασιών από τους χρήστες. Προτείνεται η κίνηση των χρηστών να είναι επίπεδη, να υπάρχει ανίχνευση σύγκρουσης και να επιτρέπεται η τηλεμεταφορά.

- **Wayfinding:** Η επισκόπηση είναι απαραίτητη, ώστε οι χρήστες να μπορούν να δουν μια μεγάλη εικόνα (όπως χάρτες), και να υπάρχει η δυνατότητα αναδρομής στο ιστορικό. Οι άνθρωποι είναι πιο άνετοι όταν γνωρίζουν ότι μπορούν να αναιρέσουν ή να αλλάξουν τις ενέργειές τους. Δίνονται δυνατότητες όπως επιστροφή στο σπίτι, επισήμανση της τρέχουσας τοποθεσίας, τοπική αναζήτηση κ.α..

- **Χειρισμός:** Ο χειρισμός πρέπει να είναι σχετικός με τον πραγματικό κόσμο (π.χ. βαρύτητα) και τη φυσική συμπεριφορά των αντικειμένων (π.χ. σταθερότητα).

- **Βοήθεια:** Η βοήθεια πρέπει να ενσωματωθεί σε ολόκληρη τη διεπαφή. Θα πρέπει να επιτρέπει στους χρήστες να κάνουν κλικ σε οποιοδήποτε νέο στοιχείο διεπαφής χρήστη για μια εξήγηση.

- **Συνήθεια:** Οι χρήστες εκτελούν ενέργειες μηχανικά και συνήθως βάσει συνήθειας: Οι σχεδιαστές θα πρέπει να χρησιμοποιούν τις υπάρχουσες συμβάσεις Ιστού. Τα τρισδιάστατα γραφικά υπολογιστών και τα εικονικά περιβάλλοντα είναι συμβατά με τις διεπαφές χρήστη Ιστού. Ωστόσο, αυτό το δυναμικό απαιτεί διερεύνηση της τρισδιάστατης φύσης της αλληλεπίδρασης σε εικονικά περιβάλλοντα που είναι κατάλληλη για τους χρήστες του Διαδικτύου.

Κεφάλαιο 4 Τεχνολογίες 3D

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το πρακτικό μέρος της εργασίας. Αρχικά παρουσιάζονται τα 3D περιβάλλοντα και στη συνέχεια το πρότυπο X3Dom. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται παραδείγματα των τεχνικών αλληλεπίδρασης οι οποίες παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

4.1 3D Virtual Learning Environments

4.1.1 Εισαγωγή

Το εικονικό περιβάλλον έχει γίνει πολύ δημοφιλές σε διάφορους τομείς. Είναι αυτονόητο ότι πολλά σύγχρονα παιχνίδια χρησιμοποιούν αυτήν την τεχνολογία, αλλά στην πραγματικότητα, το εικονικό περιβάλλον είναι επίσης πολύ χρήσιμο στο μάρκετινγκ, στις επιχειρήσεις ακινήτων και ακόμη και στην εκπαίδευση.

Το τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον μάθησης βασίζεται επίσης σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον⁵⁹. Το τελευταίο αποτελείται από τη βάση δεδομένων του υπολογιστή που αποτελείται από μοντέλα αντικειμένων λογισμικού που συμπεριφέρονται σύμφωνα με την αλληλεπίδραση του χρήστη μαζί τους. Ένας χρήστης φαίνεται να βυθίζεται σε 3D χώρο και είναι σε θέση να ενεργεί εκεί με διάφορους τρόπους. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των αντικειμένων και ενός χρήστη πραγματοποιείται μέσω συσκευών εισόδου όπως το ποντίκι και το πληκτρολόγιο.

Όταν ένα εικονικό περιβάλλον 3D χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση της μάθησης ή τη βοήθεια, είναι γνωστό ως εκμάθηση. Αυτό το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε οι μαθητές να βυθίζονται σε εργασίες που το χρησιμοποιούν. Κάθε πρόγραμμα έχει ένα σενάριο σύμφωνα με το οποίο οι μαθητές πρέπει να περάσουν από μια αναζήτηση, αποστολή ή πρόκληση. Όταν προχωρούν μπροστά από το περιβάλλον, πρέπει να επιλύσουν κάποιες εργασίες, να αλληλεπιδράσουν με ψηφιακά αντικείμενα και να εκπροσωπούνται με είδωλα να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω συνομιλίας ή email στην έκδοση πολλών χρηστών. Οι μαθητές μπορούν να βυθίσουν, να εξερευνήσουν και να χειριστούν αυτά τα τρισδιάστατα περιβάλλοντα σε πραγματικό χρόνο.

⁵⁹ Dickey, 2003

4.1.2 Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτοι εικονικοί κόσμοι που ήταν διαθέσιμοι στο Διαδίκτυο ήταν απλώς βασισμένοι σε κείμενο με περιορισμένη γραφική διεπαφή, συχνά σε μορφή chat room ή διαδικτυακών κοινοτήτων⁶⁰. Ένα από τα πρώτα παιχνίδια στον υπολογιστή που έφερε όλα τα χαρακτηριστικά ενός εικονικού κόσμου ήταν το Maze War, το οποίο κυκλοφόρησε το 1974. Μεταξύ άλλων, το Maze War ήταν το πρώτο δικτυακό παιχνίδι 3D multi-user first person shooter που χρησιμοποίησε είδωλα και που περιλάμβανε μια συνομιλία στο παιχνίδι που διευκόλυνε τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις "στον κόσμο".

Η κυκλοφορία του παιχνιδιού Multi-User Dungeon (MUD) το 1978 είχε μεγάλο αντίκτυπο σε πολλές μελλοντικές εξελίξεις και ήταν επώνυμο στα παιχνίδια περιπέτειας. Τα MUD είναι απλώς διαδικτυακό παιχνίδι πολλαπλών παικτών με κείμενο που συνδυάζει χαρακτηριστικά παιχνιδιών ρόλων και συζητήσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα MUDs είναι «φανταστικοί κόσμοι σε βάσεις δεδομένων υπολογιστών όπου οι άνθρωποι χρησιμοποιούν λέξεις και γλώσσες προγραμματισμού για να αυτοσχεδιάσουν μελοδράματα, να οικοδομήσουν κόσμους και όλα τα αντικείμενα μέσα τους, να λύσουν παζλ, να εφεύρουν διασκέδαση και εργαλεία, να ανταγωνιστούν για κύρος και δύναμη, να κερδίσουν σοφία, επιδίωξη εκδίκησης, επιδίωξη απληστίας και λαγνείας και βίαιες παρορμήσεις.

Ενώ τα MUD συνήθως κινούνται με κείμενο, η επόμενη γενιά εικονικών κόσμων, τα μαζικά διαδικτυακά παιχνίδια για πολλούς παίκτες (MMOG ή MMO), βασίζονται σε γραφικά. Τα MMOG συνδέονται ταυτόχρονα χιλιάδες με εκατοντάδες χιλιάδες παίκτες μέσω του Διαδικτύου. Τα MMOG στοχεύουν συνήθως στο να κάνουν τους παίκτες να συνεργάζονται και να ανταγωνίζονται μεταξύ τους σε ένα επίμονο διαδικτυακό σύμπαν. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τύπων MMOG που περιλαμβάνουν για παράδειγμα παιχνίδια στρατηγικής σε πραγματικό χρόνο, παιχνίδια shooter πρώτου προσώπου, κοινωνικά παιχνίδια, παιχνίδια αγώνων, προσομοιώσεις πραγματικού κόσμου ή παιχνίδια ρόλων MMO (MMORPG).

Τα περισσότερα από τα πιο δημοφιλή διαδικτυακά παιχνίδια όπως το World of Warcraft, το EverQuest, το The Sims Online ή το Habbo Hotel είναι καλά

⁶⁰ Jäger et al., 2013.

παραδείγματα MMOGs, μερικά από τα οποία ενώνουν εκατομμύρια χρήστες του Διαδικτύου.

Τα τελευταία χρόνια η εμφάνιση του λεγόμενου Web 2.0 είχε επίσης σαφή επίδραση στην εξέλιξη των σύγχρονων εικονικών κόσμων. Ο όρος Web 2.0 με κάποιους τρόπους είναι παραπλανητικός, καθώς προτείνει μια νέα έκδοση του WWW. Ωστόσο, δεν έχουν αλλάξει ούτε οι γενικές τεχνικές προδιαγραφές ούτε οι βασικές δραστηριότητες των χρηστών του Διαδικτύου. Είναι μάλλον οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται που διευκολύνουν τη δημοσίευση περιεχομένου που δημιουργείται από χρήστες, τη διαδικτυακή συνεργασία και την κοινή χρήση μεταξύ χρηστών, όπως π.χ. ιστολόγια, wiki, ιστότοπους κοινωνικής δικτύωσης ή podcast. Αυτές οι εφαρμογές έχουν αλλάξει δραματικά τα τελευταία χρόνια και κατέστησαν δυνατή μια νέα γενιά ιστότοπων όπως η Wikipedia, το YouTube, το Flickr ή το Facebook. Ανοίγουν το δρόμο για έναν Ιστό που είναι λιγότερο στατικός, αλλά αντίθετα είναι δυναμικός και δημιουργείται από ανθρώπους, μια εξέλιξη που ξεκίνησε μόλις πρόσφατα και που ανοίγει ένα πλήθος δυνατοτήτων στο μέλλον. Οι σύγχρονοι εικονικοί κόσμοι όπως η Second Life ή ο Active World αναφέρονται συχνά ως Metaverses. Ο όρος Metaverses βασίζεται στο μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας του Neal Stephenson "Snow Crash" που οραματίστηκε έναν εικονικό τρισδιάστατο κόσμο που κατοικείται από είδωλα.

Όπως επισημαίνεται στο Metaverse Roadmap (Smart et. al., 2007) ο Metaverse έχει εξελιχθεί πέρα από το αρχικό όραμα του Stephenson για έναν εντυπωσιακό τρισδιάστατο εικονικό κόσμο το 1992, καθώς περιλαμβάνει πτυχές των αντικειμένων του φυσικού κόσμου, των ηθοποιών, των διεπαφών και των δικτύων που κατασκευάζουν και αλληλεπιδρούν με εικονικά περιβάλλοντα

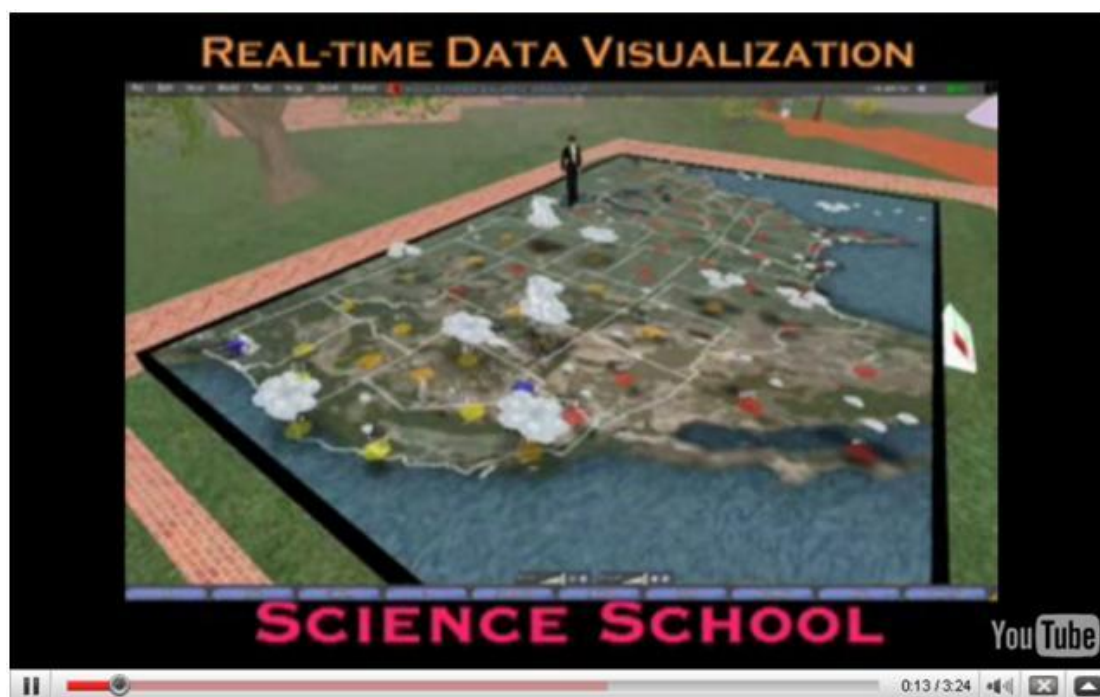
Το Metaverse είναι η σύγκλιση

- ουσιαστικά βελτιωμένης φυσικής πραγματικότητας και
- φυσικά ανθεκτικού εικονικού χώρου.

Οι μελλοντικές εξελίξεις υποδηλώνουν ότι οι εικονικοί κόσμοι όπως η Second Life και άλλες εφαρμογές αργά ή γρήγορα μπορούν να συγχωνευτούν σε ένα Metaverse και ότι τα όρια μεταξύ του πραγματικού και του εικονικού κόσμου θα διευρύνονται όλο και περισσότερο. Το Second Life στην τρέχουσα μορφή του μπορεί να μην είναι

το μέλλον του Διαδικτύου. Ωστόσο, στο δρόμο που οδηγεί στο 3D Metaverse μπορεί να είναι ένα σημαντικό ορόσημο για την περαιτέρω εξέλιξη.

4.1.3 Χαρακτηριστικά 3D VLE



Εικόνα 22 Εικονικός Κόσμος

Πηγή: Darvasi, 2008

Υπό το πρίσμα της βελτίωσης της τεχνολογίας και της αυξημένης πρόσβασης στην τεχνολογία, οι εκπαιδευτικοί, οι ακαδημαϊκοί, οι ακαδημαϊκοί και οι εκπαιδευτικές κοινότητες στρέφονται σε τρισδιάστατα εικονικά περιβάλλοντα μάθησης (3D VLE) ως ισχυροί και παραγωγικοί εκπαιδευτικοί χώροι σχεδιασμού. Ο Nonis (2005) εξηγεί ότι «όπου μια εικονική τεχνολογία 3D χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός συναρπαστικού και διαδραστικού περιβάλλοντος για τη διευκόλυνση ή την ενίσχυση της μάθησης, αυτό είναι γνωστό ως 3D εικονικό περιβάλλον μάθησης»⁶¹.

Ο Dickey (2003), ορίζει τα 3D VLE ως δικτυακή εικονική πραγματικότητα επιτραπέζιου υπολογιστή που παρέχει τρία βασικά στοιχεία⁶²:

- Την ψευδαίσθηση του 3D χώρου,

⁶¹ Nonis, 2005

⁶² Dickey, 2003

- Τα είδωλα που χρησιμεύουν ως οπτικές αναπαραστάσεις του χρήστη και
- Το διαδραστικό περιβάλλον συνομιλίας το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Επιπλέον, ορισμένα αντικείμενα στο περιβάλλον πρέπει να ανταποκρίνονται στη δράση του χρήστη και ο τρισδιάστατος ήχος ενισχύει την αίσθηση της βύθισης (Dalgarno, 2002). Αυτοί οι εικονικοί χώροι μπορούν να είναι MUVE (εικονικά περιβάλλοντα πολλαπλών χρηστών) ή ένας μεμονωμένος χρήστης⁶³.

Σύμφωνα με τον Dickey (2003), τα 3D VLE περιγράφονται ως "επιτραπέζιοι υπολογιστές", για να τους ξεχωρίσουν από αυτό που ο Bryson, (1992) αποκαλεί "συναρπαστικά εικονικά περιβάλλοντα". Τα συναρπαστικά εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν στους χρήστες να αλληλεπιδρούν απευθείας με αντικείμενα που δημιουργούνται από τον υπολογιστή τους χωρίς τη διαμεσολάβηση ποντικών, πληκτρολογίων και / ή κουμπιών. Παρόλο που τα συναρπαστικά εικονικά περιβάλλοντα ενδέχεται να έχουν ακόμη μεγαλύτερο εκπαιδευτικό δυναμικό, επιτρέπουν περιορισμένη προσβασιμότητα λόγω της προηγμένης τεχνολογίας που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξή τους. Ωστόσο, απορροφητικό και ρεαλιστικό, το 3D VLE δεν βυθίζει κυριολεκτικά τους χρήστες, αλλά παρέχει μόνο την ψευδαίσθηση της εμβάπτισης, καθώς είναι απλώς τρισδιάστατες αναπαραστάσεις που απεικονίζονται σε οθόνες και οθόνες.

4.2 X3D

Το Extensible 3D (X3D) Graphics είναι το ανοικτό πρότυπο χωρίς δικαιώματα για δημοσίευση, προβολή, εκτύπωση και αρχειοθέτηση διαδραστικών τρισδιάστατων μοντέλων στον Ιστό⁶⁴. Τα πρότυπα X3D και HANIM αναπτύσσονται και συντηρούνται από την Κοινοπραξία Web3D.

Γιατί το X3D είναι ανταγωνιστικό

⁶³ Nonis, 2005.

⁶⁴ "What is X3D? | Web3D Consortium", 2021

- Το X3D είναι μια επικυρωμένη με ISO, μορφή αρχείου και αρχιτεκτονική χρόνου εκτέλεσης για την αναπαραγωγή και επικοινωνία τρισδιάστατων σκηνών και αντικειμένων.
- Το X3D αντιπροσωπεύει πλήρως τα τρισδιάστατα δεδομένα.
- Το X3D αναπτύσσεται και συντηρείται από την Κοινοπραξία Web3D.
- Το X3D έχει εξελιχθεί από την αρχή του ως Virtual Reality Modeling Language (VRML) στο πολύ πιο ώριμο και εκλεπτυσμένο πρότυπο ISO X3D.
- Το X3D παρέχει ένα σύστημα για την αποθήκευση, την ανάκτηση και την αναπαραγωγή σκηνών 3D σε πραγματικό χρόνο σε πολλές εφαρμογές, όλα σε μια ανοιχτή αρχιτεκτονική για την υποστήριξη ενός ευρέος φάσματος τομέων και σεναρίων χρηστών.
- Το X3D διαθέτει ένα πλούσιο σύνολο συστατικών στοιχείων που μπορούν να προσαρμοστούν για χρήση σε μηχανική και επιστημονική οπτικοποίηση, CAD και αρχιτεκτονική, Geospatial, Human animation, 3D printing και 3D Scanning, AR / MR / VR. Σήμερα το X3D έχει πολλές εφαρμογές στην ιατρική απεικόνιση, εκπαίδευση και προσομοίωση, πολυμέσα, ψυχαγωγία, εκπαίδευση και πολλά άλλα.

Ως ανοιχτό πρότυπο, το X3D μπορεί να εκτελεστεί σε πολλές πλατφόρμες, αλλά το πιο σημαντικό μπορεί να αποδώσει μοντέλα 3D στα περισσότερα προγράμματα περιήγησης ιστού, χωρίς την απαίτηση για πρόσθετες ή ιδιόκτητες εφαρμογές. Επιπλέον, μόλις αναπτυχθούν μοντέλα χρησιμοποιώντας το X3D, αυτά μεταφέρονται εύκολα σε εναλλακτικές πλατφόρμες, όπως ολογραφικές, τοποθετημένες στο κεφάλι ή άλλες συσκευές προβολής.

Το X3D είναι VRML 3ης γενιάς. Το X3D είναι ένα άμεσο υπερσύνολο του VRML με τέσσερις κωδικοποιήσεις: κωδικοποίηση XML .x3d, κλασική κωδικοποίηση VRML .x3dv, κωδικοποίηση VRML97 .wrl και σημείωση αντικειμένου JavaScript (JSON). Οι δεσμεύσεις γλώσσας προγραμματισμού είναι διαθέσιμες για JavaScript και Java, με εργασίες σε εξέλιξη σε C ++ / C # και Python⁶⁵.

⁶⁵ What is X3D? | Web3D Consortium, 2021

4.3 X3dom

Το X3DOM (προφέρεται X-Freedom)⁶⁶ είναι ένα πλαίσιο ανοιχτού κώδικα για την επεξεργασία και παρουσίαση τρισδιάστατων γραφικών στον Ιστό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα για μη εμπορικούς και εμπορικούς σκοπούς και έχει διπλή άδεια MIT και GPL. Το X3DOM προσπαθεί να υποστηρίξει τη συνεχιζόμενη συζήτηση στις κοινότητες Web3D και W3C πώς θα μπορούσε να μοιάζει η ενσωμάτωση HTML5 και δηλωτικού περιεχομένου 3D, και στοχεύει στην εκπλήρωση της τρέχουσας προδιαγραφής HTML5 για δηλωτικό περιεχόμενο 3D και επιτρέπει τη συμπερίληψη στοιχείων X3D ως μέρος οποιουδήποτε HTML5 DOM δέντρο.

Η χρήση του X3DOM αντί για άλλες βιβλιοθήκες 3D που βασίζονται σε πρόγραμμα περιήγησης ή συσκευές αναπαραγωγής X3D έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- Δεν απαιτείται προσθήκη για την προβολή σκηνών X3DOM - Το X3DOM βασίζεται αποκλειστικά σε τυπική τεχνολογία προγράμματος περιήγησης, όπως HTML5 και WebGL.
- Με βάση ένα νέο προφίλ HTML του ISO Standard X3D, μεγάλα μέρη του X3DOM είναι συμβατά με το πρότυπο. Αυτό διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο την εκμάθηση του X3DOM, αλλά και την ανταλλαγή περιεχομένου X3DOM.
- Από τότε που ξεκίνησε η ανάπτυξη το 2009, οι χρήστες και προγραμματιστές του X3DOM έχουν γίνει μια μεγάλη και ζωντανή κοινότητα.
- Η πρότερη γνώση για ανάπτυξη και δημιουργία απλών ιστοσελίδων χρησιμοποιείται σχετικά με το HTML και το DOM, αντί την εκμάθηση ενός νέου API προγραμματισμού.

4.3.1 X3Dom & HTML

Παρακάτω παρουσιάζεται η δημιουργία ενός 3D αντικειμένου σε μία ιστοσελίδα HTML. Για την εισαγωγή ενός τρισδιάστατου κόκκινου κύβου είναι απαραίτητος ο παρακάτω κώδικας⁶⁷.

⁶⁶ X3DOM Documentation: Getting Started", 2021

⁶⁷ <https://doc.x3dom.org/tutorials/basics/hello/index.html>

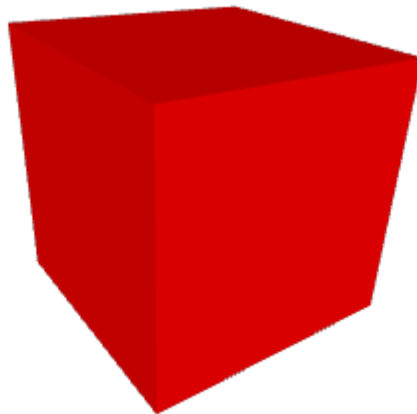
```

<x3d width='500px' height='400px'>
  <scene>
    <shape>
      <appearance>
        <material diffuseColor='1 0 0'></material>
      </appearance>
    <box></box>
  </shape>
</scene>
</x3d>

```

Εικόνα 23 Code Snippet for 3D code⁶⁸

Πηγή : ("X3DOM Documentation: Tutorials", 2021)



Εικόνα 24 Τρισδιάστατος Κύβος

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

4.3.2 Τρέχουσα αρχιτεκτονική και υλοποίηση συστήματος

Ο Koutsoudis (2014), περιγράφει την αρχιτεκτονική του συστήματος που οργανώνεται σε τρία δομικά στοιχεία⁶⁹.

- Το User Agent (UA) δηλαδή το πρόγραμμα περιήγησης στο Web,
- Το χρόνο εκτέλεση X3D (X3DR) και

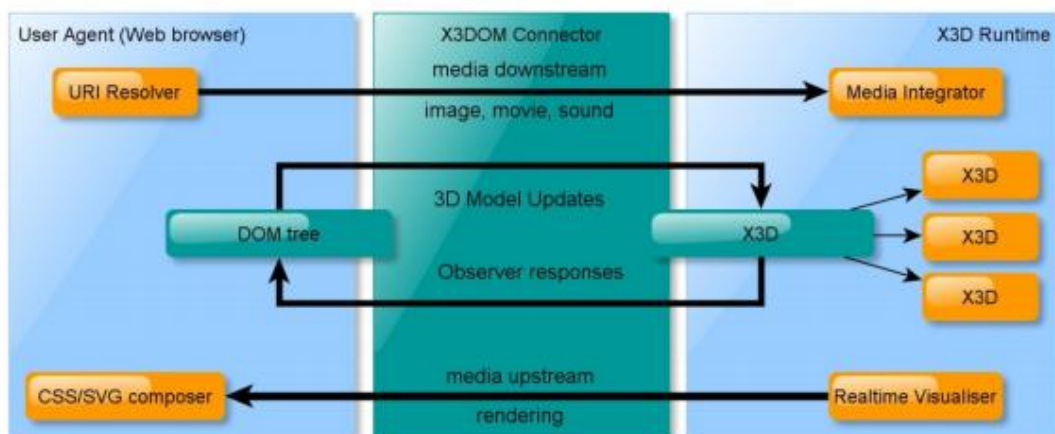
⁶⁸ X3DOM Documentation: Tutorials", 2021

⁶⁹ Koutsoudis, 2014

- Το σύνδεσμο (CON).

Το UA είναι υπεύθυνο για την κατοχή του δέντρου DOM. Ενσωματώνει και συνθέτει την τελική απόδοση της σκηνής. Είναι εξοπλισμένο με ένα URI-resolver που χρησιμοποιείται για τη λήψη εικόνων, αρχείων βίντεο, ήχων και άλλων τύπων δεδομένων που συνθέτουν το περιεχόμενο της σκηνής. Από την άλλη πλευρά, το μπλοκ X3DR προσφέρει τις υπηρεσίες για την κατασκευή και ενημέρωση της σκηνής X3D και χειρίζεται τις εισόδους του χρήστη που σχετίζονται με το σημείο κλικ και την πλοήγηση στον τρισδιάστατο χώρο. Το μπλοκ CON παίζει τον ρόλο του εσωτερικού πυρήνα της αρχιτεκτονικής των συστημάτων συνδέοντας το DOM-δέντρο που κρατά το UA με το X3DR. Διανέμει τις σχετικές αλλαγές και στις δύο κατευθύνσεις. Έτσι, τυχόν ενημερώσεις DOM-δέντρου όπως προσθήκη, αφαίρεση ή αλλαγή χαρακτηριστικού σε ένα αντικείμενο προωθούνται και στις δύο κατευθύνσεις. Το μπλοκ CON είναι επίσης υπεύθυνο για το χειρισμό των μέσων πάνω και κάτω.

Η τρέχουσα εφαρμογή του συστήματος παρέχει ένα επίπεδο JavaScript που παρακολουθεί αυτόματα τυχόν αλλαγές στο DOM και ενημερώνει το X3DR και το σύστημα απόδοσης στο παρασκήνιο. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί το γεγονός ότι τα σύγχρονα UA (προγράμματα περιήγησης στο Web) αναλύουν και προσαρτούν ετικέτες από μια ροή HTML στο DOM, παρόλο που δεν αποτελούν μέρος του τρέχοντος προτύπου. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, αυτό το ενδιαμέσο πλαίσιο υποστηρίζει μια ομαλή μετάβαση από την τρέχουσα προσωρινή κατάσταση σε μια κατάσταση όπου όλα τα προγράμματα περιήγησης στο Web θα υποστηρίζουν εγγενώς το X3D.



4.3.3 X3DOM Framework by example

Έχουν δημιουργηθεί αρκετοί ιστότοποι διαθέσιμοι στο κοινό που εκμεταλλεύονται το πλαίσιο X3DOM προκειμένου να φέρουν την εμπειρία περιεχομένου 3D στους επισκέπτες τους. Μερικά από αυτά παρουσιάζουν περιεχόμενο που προέρχεται από τον τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς, της εκπαίδευση κ.α.

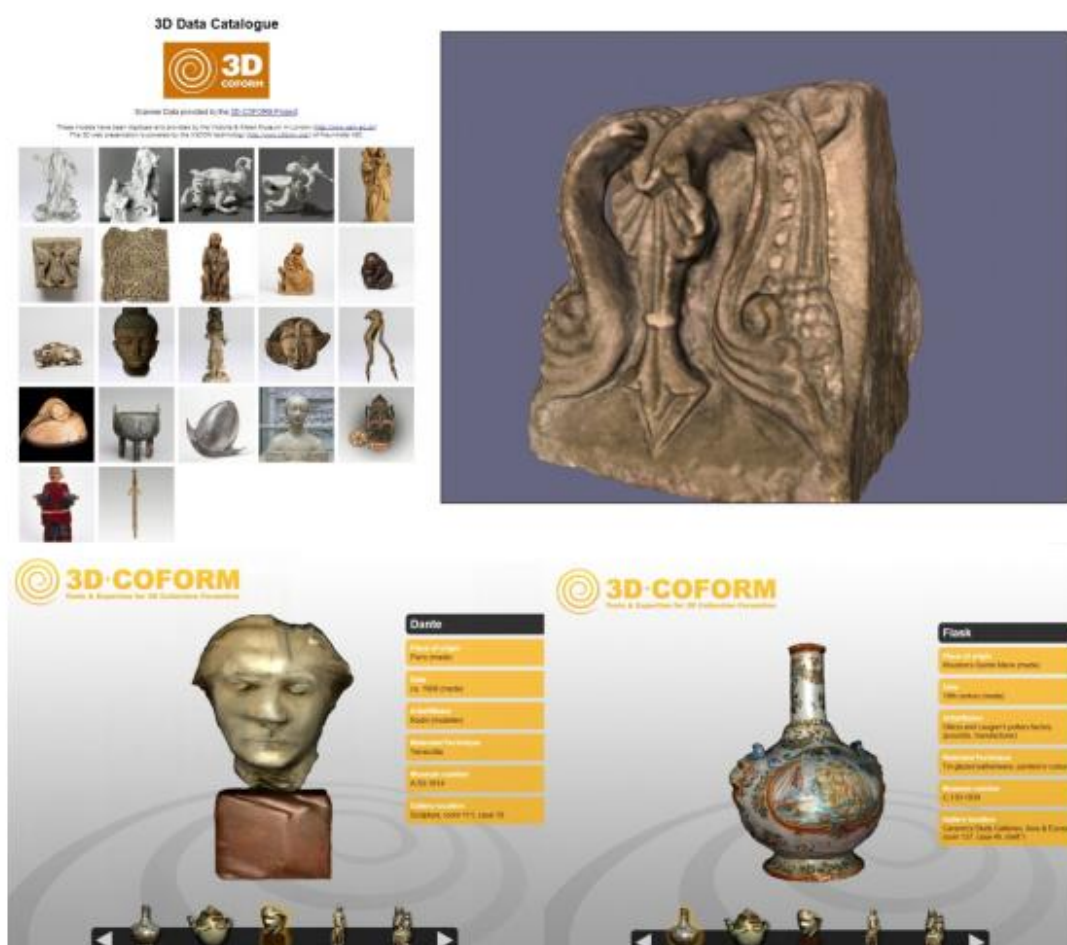
Το έργο 3D-COFORM που ιδρύθηκε από την ΕΕ χρησιμοποιεί τη μέθοδο δυαδικής συμπίεσης που διατίθεται στο X3DOM για να απεικονίσει μοντέλα χαμηλού πολυγώνου που έχουν ληφθεί με τεχνική σχήματος από τη σκιαγραφία καθώς και μεγάλα σύνολα δεδομένων 3D (έως 4 εκατομμύρια πολύγωνα) σε πραγματικό χρόνο. Τα μοντέλα έχουν ψηφιοποιηθεί από το μουσείο Victoria & Albert στο Λονδίνο⁷¹ (Koutsoudis, 2014).

Το Κέντρο Έρευνας της Αθηνάς μέσω του Τμήματος Πολυμέσων του έχει υλοποιήσει μια βιτρίνα όπου παρουσιάζονται διάφορα αντικείμενα που σχετίζονται με την πολιτιστική κληρονομιά ως 3D γκαλερί. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα μοντέλα 3D μέσω διεπαφής χρήστη 2D και να εξερευνήσει ένα τεχνούργημα σε 3D χρησιμοποιώντας τα χειριστήρια πλοήγησης που προσφέρει το πλαίσιο X3DOM. Η εφαρμογή εκμεταλλεύεται το ενσωματωμένο στοιχείο που διατίθεται στο πλαίσιο X3DOM το για να δημιουργήσετε δυναμικά μια σκηνή X3D και να τη μεταδώσετε στο πρόγραμμα περιήγησης στο Web⁷².

⁷⁰ Koutsoudis, 2014

⁷¹ Koutsoudis, 2014

⁷² Koutsoudis, 2014



Εικόνα 26 3D Data Catalogue example based on the X3DOM – 3D COFORM project⁷³

Πηγή: Koutsoudis, 2014



Εικόνα 27 Πλήρεις ή Μερικές τρισδιάστατες ψηφιακές αντιγραφές αντικειμένων πραγματικού κόσμου – Τμήμα Πολυμέσων Αθήνα⁷⁴

Πηγή: Koutsoudis, 2014

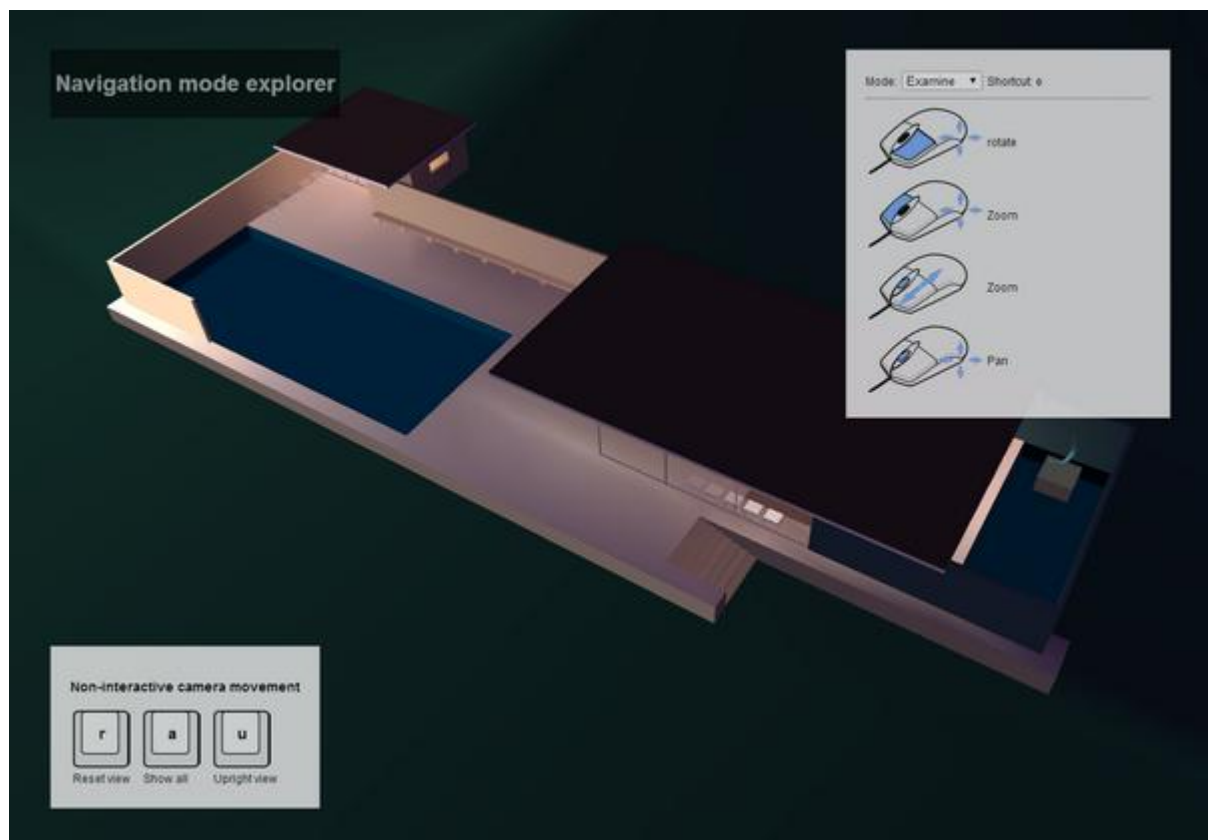
⁷³ Koutsoudis, 2014

⁷⁴ Koutsoudis, 2014

4.4 Τεχνικές Αλληλεπίδρασης & X3Dom

4.4.1 Πλοήγηση & Κίνηση

Το X3DOM παρέχει ορισμένες γενικές μεθόδους αλληλεπίδρασης και πλοήγησης. Η διαχείριση των διαδραστικών αντικειμένων πραγματοποιείται από γεγονότα τύπου HTML. Η πλοήγηση μπορεί να οριστεί από τον χρήστη ή να ελεγχθεί από συγκεκριμένες προκαθορισμένες λειτουργίες. Προς το παρόν, το X3DOM υποστηρίζει τους ακόλουθους διαδραστικούς τρόπους πλοήγησης:



Εικόνα 28 Πλοήγηση & Κίνηση

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Αλλαγή λειτουργίας πλοήγησης με Javascript

Η μη διαδραστική κίνηση περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα: Επαναφορά προβολής, προβολή όλων ή όρθιας προβολής (Resetting a view, showing all or upright the view). Η αλλαγή λειτουργιών είναι δυνατή όχι μόνο πατώντας τις συντομεύσεις / πλήκτρα

πρόσβασης, αλλά και με Javascript. Η τρέχουσα λειτουργία ορίζεται ως τύπος παραμέτρου στον κόμβο NavigationInfo⁷⁵.

```
<x3d width='500px' height='400px'>
  <scene>
    <navigationInfo type='"walk" "any"' id="navType"></navigationInfo>
  </scene>
</x3d>

document.getElementById('navType').setAttribute("type", currentMode);
```

Αναλυτικά, η λειτουργία παραδείγματος που επισυνάπτεται παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα

Function	Examine (επιλογή «e»)	Mouse Button
----------	-----------------------	--------------

Rotate	Left / Left + Shift
--------	---------------------

Pan	Mid / Left + Ctrl
-----	-------------------

Zoom	Right / Wheel / Left + Alt
------	----------------------------

Set center of rotation	Double-click left
------------------------	-------------------

Function	Walk (επιλογή «w»)	Mouse Button
----------	--------------------	--------------

Move forward	Left
--------------	------

Move backward	Right
---------------	-------

⁷⁵ <https://doc.x3dom.org/tutorials/animationInteraction/navigation/index.html>

Function Fly (επιλογή «f»)**Mouse Button**

Move forward	Left
Move backward	Right

Function Helicopter (επιλογή «h»)**Mouse Button**

Move forward	Left
--------------	------

Function Look At (επιλογή «I»)**Mouse Button**

Move in	Left
Move out	Right

Function Game (επιλογή «g»)**Key**

Move forward	Cursor up
Move backwards	Cursor down
Strafe left	Cursor left
Strafe right	Cursor right

Function **Non-interactive**
camera movement

Key

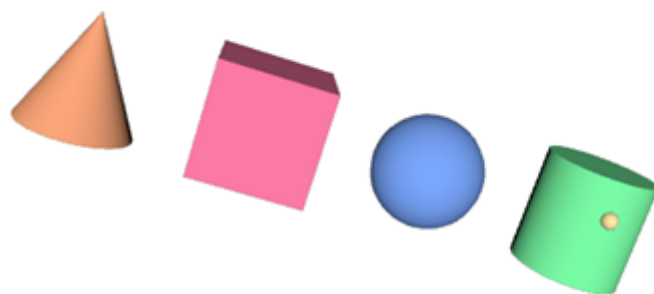
Reset view	r
Show all	a
Upright	u

("X3DOM Documentation: Tutorials")

4.4.2 Επιλογή & Τροποποίηση

4.4.2.1 Επιλογή

Σε αυτό το παράδειγμα θα παρουσιαστεί η επιλογή ενός αντικειμένου στο X3DOM ή η ενεργοποίηση συμβάντος επιλέγοντας κλικ σε αντικείμενα ("X3DOM Documentation: Tutorials"). Κάθε κόμβος X3DOM μπορεί να έχει ένα χαρακτηριστικό onclick, που παρέχει μια λειτουργία επανάκλησης. Δηλαδή όταν ο χρήστης με το ποντίκι κλικάρει πάνω στην περιοχή της σκηνής, γίνονται δοκιμές διασταύρωσης χρησιμοποιώντας ακτίνες και ειδικό buffer. Εάν εντοπιστεί μια διασταύρωση, καλούνται οι χειριστές συμβάντων αυτού του κόμβου⁷⁶.



Last clicked object:

cylinderShape

Click coordinates:

X: 4.5

Y: 0.32

Z: 1.01

Εικόνα 29 Παράδειγμα Object Picking

⁷⁶ <https://doc.x3dom.org/tutorials/animationInteraction/picking/index.html>

```
//Handle click on any group member

function handleGroupClick(event)
{

    //Mark hitting point

    $('#marker').attr('translation', event.hitPnt);

    //Display coordinates of hitting point (rounded)
    var coordinates = event.hitPnt;

    $('#coordX').html(coordinates[0]);

    $('#coordY').html(coordinates[1]);

    $('#coordZ').html(coordinates[2]);

}
```

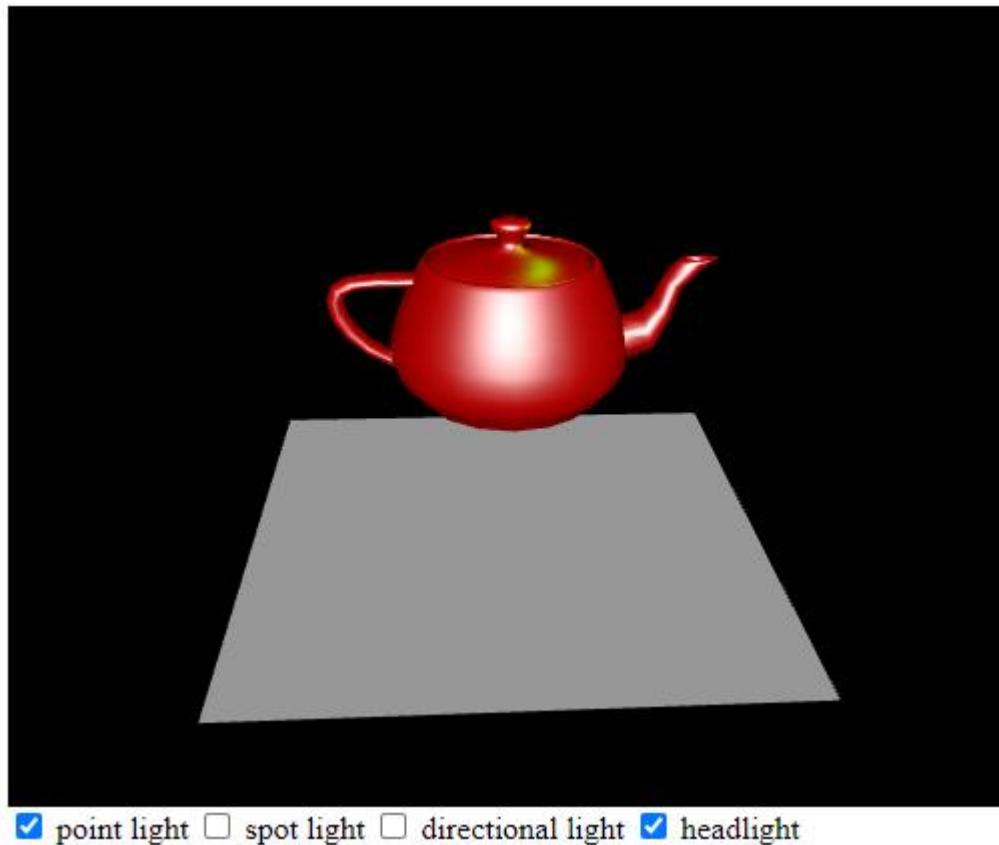
Πηγή : ("X3DOM Documentation: Tutorials")

4.4.2.2 Τροποποίηση

Αλλαγή φωτισμού

Σε αυτό το παράδειγμα παρουσιάζεται η τροποποίηση του φωτισμού ενός αντικειμένου⁷⁷.

⁷⁷ <https://doc.x3dom.org/tutorials/lighting/lights/index.html>



Εικόνα 30 Διαφορετικές πηγές φωτισμού

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Σημαντικά κομμάτια κώδικα

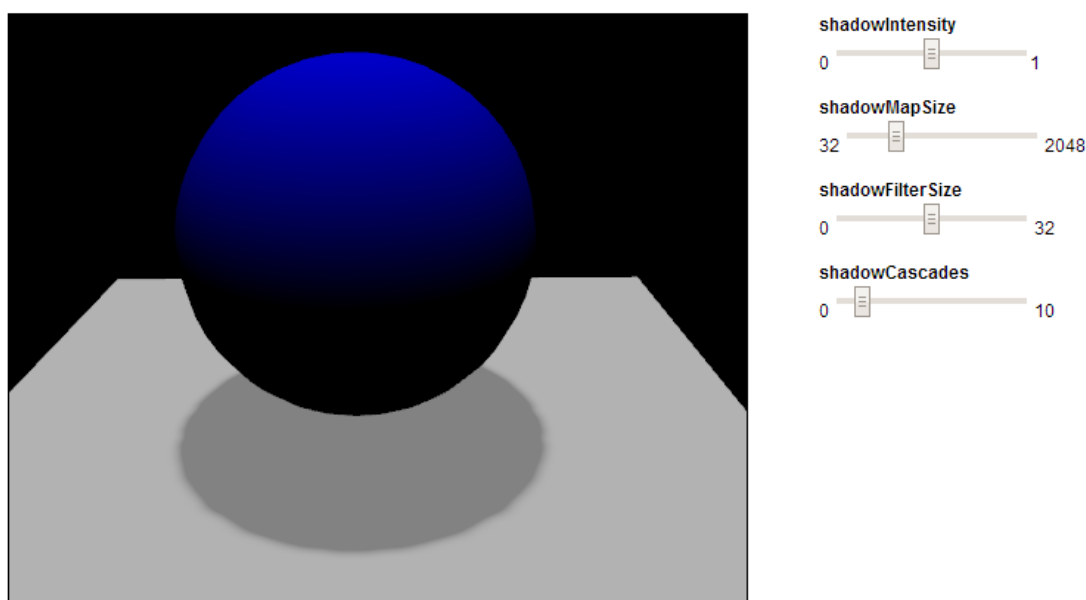
Directional Light	<pre><DirectionalLight id="directional" direction='0 0 1' on ="TRUE" intensity='1.0' shadowIntensity='0.0'> </DirectionalLight></pre>
Point Light	<pre><PointLight id='point' on="TRUE" intensity='0.9000' color='0.0 0.6 0.0' location='0 10 0.5 ' radius='5.0000' > </PointLight></pre>
Head Light	<pre><NavigationInfo id="head" headlight='true' type="EXAMINE"> </NavigationInfo></pre>
Spot Light	<pre><SpotLight id='spot' on ="TRUE" beamWidth='0.9' color='0 0 1' cutOffAngle='0.78' location='0 0 12'</pre>

```
radius='22' > </SpotLight>
```

Πηγή : ("X3DOM Documentation: Tutorials")

Σκιά Εφέ

Στο παράδειγμα παρακάτω εφαρμόζονται εφέ σκίασης ("X3DOM Documentation: Tutorials"). Για τη χρήση σκιών, είναι απαραίτητη μια πηγή φωτός. Το είδος της πηγής φωτός δεν παίζει σημαντικό ρόλο. Οι σκιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με κατευθυντικά φώτα και σποτ, καθώς και με σημειακά φώτα. Για την ενεργοποίηση της σκιάς, η ιδιότητα `shadowIntensity` ενός κόμβου φωτός ορίζεται σε τιμή μεγαλύτερη από το μηδέν. Η ένταση της σκιάς επηρεάζεται αναλογικά από την τιμή του `shadowIntensity`. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του `shadowIntensity` τόσο πιο σκοτεινή είναι η σκιά⁷⁸.



Εικόνα 31 Σφαίρα με επιλογές σκίασης

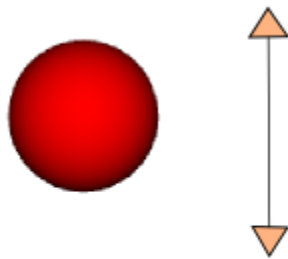
Πηγή: Ίδια επεξεργασία

4.4.3 Κινούμενα αντικείμενα με διαδρομές

Για την κίνηση ενός αντικειμένου ("X3DOM Documentation: Tutorials") είναι απαραίτητο να υπάρχουν πρώτα μια σκηνή και ένα σχήμα. Αρχικά, ορίζεται το σχήμα με μια ετικέτα μετασχηματισμού.

⁷⁸ <https://doc.x3dom.org/tutorials/lighting/shadows/index.html>

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός TimeSensor, το οποίο θα ξεκινήσει και θα βγει στο κινούμενο σχέδιο. Το χαρακτηριστικό "cycleInterval" καθορίζει τη διάρκεια της κινούμενης εικόνας σε δευτερόλεπτα. Το βρόχο αποδίδει την προεπιλεγμένη τιμή είναι "true", αλλά μερικές φορές οδηγεί σε λάθη, οπότε πρέπει να το ορίσει ούτως ή άλλως. Τα κινούμενα σχέδια στο X3DOM βασίζονται στην κίνηση των βασικών καρτέ. Ένα βασικό πλαίσιο καθορίζει τα σημεία έναρξης και λήξης οποιασδήποτε ομαλής μετάβασης και ο ενδιάμεσος τρόπος θα παρεμβληθεί. Τα βασικά καρτέ στο X3DOM ορίζονται στον κόμβο position Interpolator. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένας κύβος ο οποίος ακολουθεί την διαδρομή πάνω κάτω.



Εικόνα 32 Κύβος ο οποίος ακολουθεί την διαδρομή πάνω-κάτω

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Σημαντικά κομμάτια κώδικα timeSensor & keyFrame⁷⁹.

```
<timeSensor DEF="time" cycleInterval="2" loop="true"> </timeSensor>
```

```
<PositionInterpolator DEF="move" key="0 0.5 1" keyValue="0 0 0 0 3 0 0 0 0"> </PositionInterpolator>
```

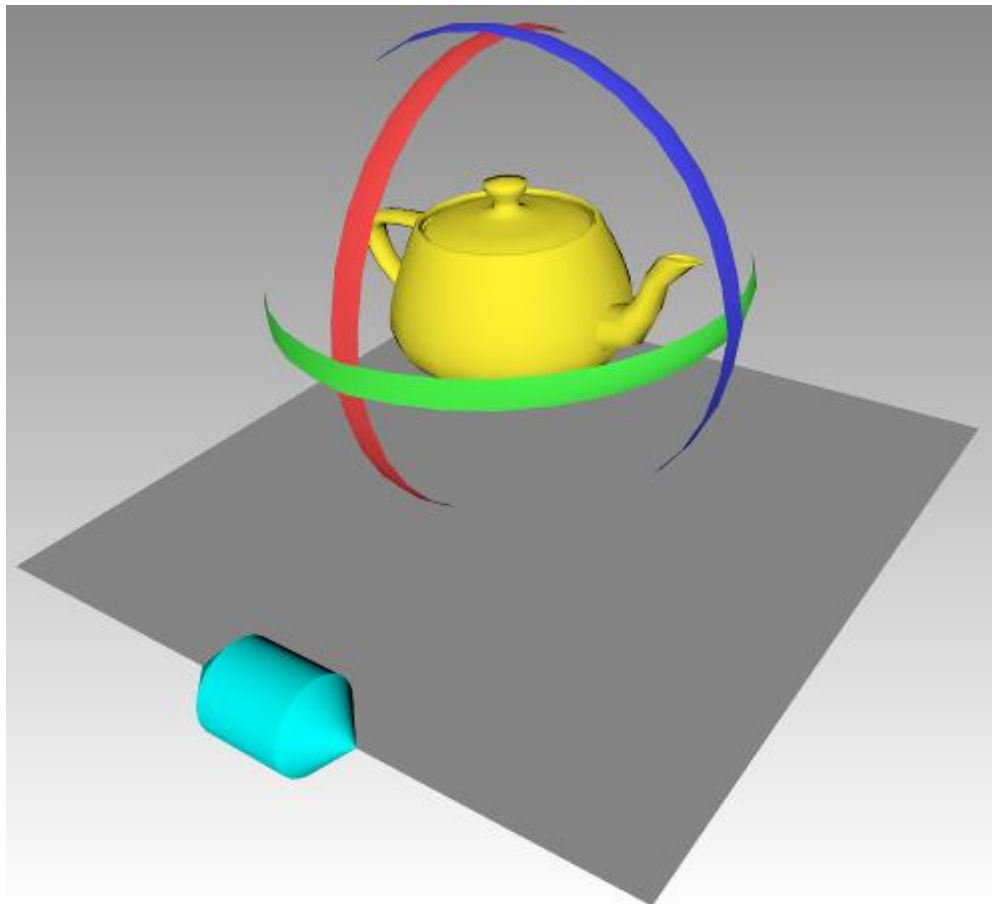
Πηγή: ("X3DOM Documentation: Tutorials", 2021)

⁷⁹ <https://doc.x3dom.org/tutorials/animationInteraction/animate/index.html>

4.4.4 Διαδραστικοί τρισδιάστατοι μετασχηματισμοί

Σε αυτό το παράδειγμα παρουσιάζονται οι 3D χειριστές (μερικές φορές ονομάζονται Gizmos) στο X3DOM. Τέτοιοι χειριστές δίνουν τη δυνατότητα δυναμικής αλλαγής του 3D μετασχηματισμού ενός αντικειμένου, αλληλεπιδρώντας με το δείκτη του ποντικιού ή το δάχτυλό σε κάποια τρισδιάστατη γεωμετρία.

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται μια τσαγιέρα και δύο διαφορετικά είδη χειριστών. Η κυανή λαβή στο κάτω αριστερό μέρος της εικόνας είναι ένας χειριστής. Μπορεί να σύρεται προς τα αριστερά ή προς τα δεξιά, ακολουθώντας πάντα την άκρη του επιπέδου γείωσης. Στη συνέχεια, η τσαγιέρα θα μεταφραστεί με το ίδιο ακριβώς τρόπο με τη λαβή. Οι τρεις χρωματιστές ταινίες γύρω από το τσαγιέρα είναι λαβές περιστροφής. Σύροντας αυτά, ο χρήστης μπορεί να περιστρέψει το αντικείμενο τσαγιέρας γύρω από τους τρεις κύριους άξονες του συστήματος συντεταγμένων, X, Y και Z.



Εικόνα 33 Interactive 3D Transformations

Πηγή : Ίδια επεξεργασία

Τα σημαντικότερα κομμάτια κώδικα παρουσιάζονται παρακάτω.

Ο κόμβος CylinderSensor ("X3DOM Documentation: Tutorials", 2021) χαρτογραφεί την κίνηση ποντικιού σε συμβάντα περιστροφής. Η περιγραφή X3D των κόμβων του αισθητήρα κυλίνδρου και των αντίστοιχων γεωμετριών τους μέσα στο παράδειγμα της σελίδας HTML μοιάζει πολύ με τον αισθητήρα επιπέδου ⁸⁰:

```
<group>
  <cylinderSensor autoOffset='false' axisRotation='0 0 1 -1.57'
onoutputchange='processRotationGizmoEvent(event);'>
    </cylinderSensor>
    <transform>
      ...
    </transform>
  </group>
```

Σε αυτό το παράδειγμα, η γεωμετρία του αισθητήρα είναι η κόκκινη ταινία γύρω από την τσαγιέρα και ο αισθητήρας χρησιμοποιείται για την περιστροφή της τσαγιέρας γύρω από τον άξονα x. Φυσικά, οι περιγραφές των άλλων δύο ζωνών, που χρησιμοποιούνται για περιστροφή γύρω από τον άξονα y και z, μοιάζουν πολύ παρόμοιες. Αν και υπάρχουν άλλες πιθανές διαμορφώσεις, η προεπιλεγμένη συμπεριφορά ενός αισθητήρα κυλίνδρου είναι ότι χαρτογραφεί την κίνηση του ποντικιού σε έναν κύλινδρο άπειρου ύψους.

Παρόμοια με το επίπεδο που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κίνησης του ποντικιού για τον κόμβο του αισθητήρα επιπέδου, ο κύλινδρος έχει έναν προεπιλεγμένο προσανατολισμό, ο οποίος μπορεί να αλλάξει μέσω του πεδίου περιστροφής άξονα. Από προεπιλογή, ο άπειρος κύλινδρος τυλίγει γύρω από τον τοπικό άξονα του αισθητήρα κυλίνδρου. Σε αυτήν τη συγκεκριμένη περίπτωση της περιστροφής του αισθητήρα κυλίνδρου γύρω από τον άξονα x, το πεδίο άξονας περιστροφής χρησιμοποιείται για να περιστρέψει τον άπειρο κύλινδρο για να τυλίξει γύρω από τον τοπικό άξονα x. Η ακτίνα του άπειρου κυλίνδρου καθορίζεται δυναμικά

⁸⁰ <https://doc.x3dom.org/tutorials/animationInteraction/transformations/index.html>

για κάθε λειτουργία μεταφοράς, μόλις ο χρήστης κάνει κλικ στη γεωμετρία του αισθητήρα.

Η μεταφορά του ποντικιού οδηγεί στη συνέχεια στον αισθητήρα κυλίνδρου που παράγει έξοδο με τη μορφή τιμών περιστροφής. Για την επεξεργασία αυτής της εξόδου, χρησιμοποιείται ξανά μια συνάρτηση επανάκλησης, η οποία είναι εγκατεστημένη για την ενεργοποίηση του συμβάντος `onoutputchange`. Η ίδια λειτουργία επανάκλησης χρησιμοποιείται και για τους τρεις κυλίνδρους αισθητήρες (για περιστροφή γύρω από x, y και z) και μοιάζει με το ακόλουθο⁸¹:

```
function processRotationGizmoEvent(event)
{
    var sensorToWorldMatrix, rotationMatrixWorld;

    if (event.fieldName === 'rotation_changed')
    {
        //convert the sensor's output from sensor coordinates to world
        coordinates (i.e., include its 'axisRotation')

        sensorToWorldMatrix =
        x3dom.fields.SFMatrix4f.parseRotation(event.target.getAttribute("axisRotati
        on"));

        rotationMatrixWorld =
        sensorToWorldMatrix.mult(event.value.toMatrix());

        //create an offset that applies the current rotation in world
        coordinates,

        //but doesn't change the orientation of the coordinate system

        currentGizmoRotationOffset =
        rotationMatrixWorld.mult(sensorToWorldMatrix.inverse());

        applyRotationGizmoTransformations();
    }

    if (event.fieldName === 'isActive' && event.value === false)
```

⁸¹ <https://doc.x3dom.org/tutorials/animationInteraction/transformations/index.html>

```

    {
        //incorporate the current rotation offset, interpreted
        globally, into the stored rotation value

        currentGizmoRotation                                =
        currentGizmoRotationOffset.mult(currentGizmoRotation);

        //reset current rotation offset to zero rotation

        currentGizmoRotationOffset = new x3dom.fields.SFMatrix4f();

        applyRotationGizmoTransformations();
    }
}

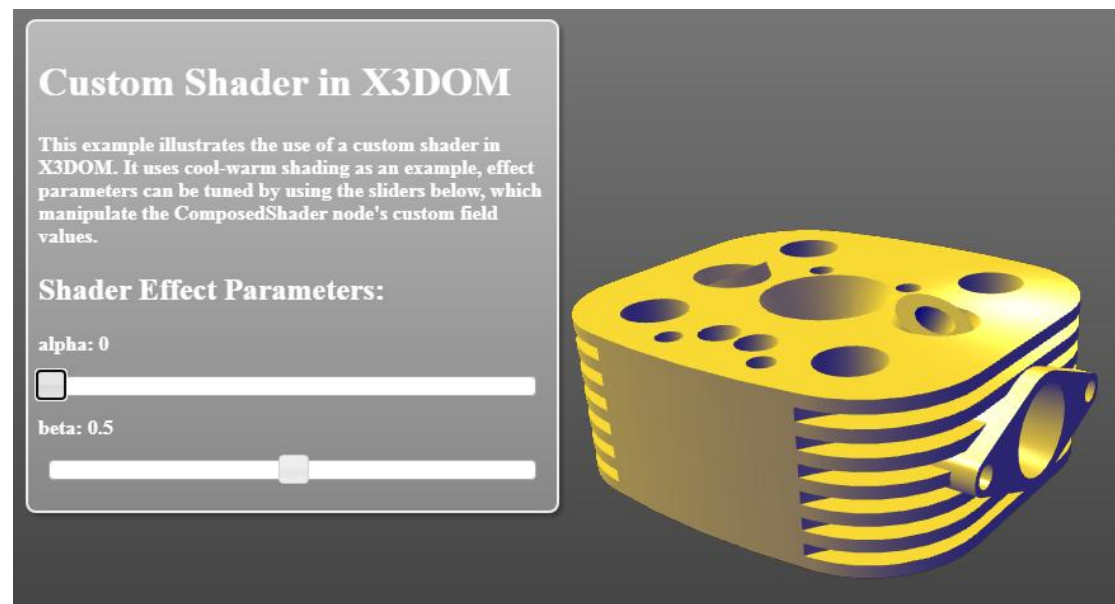
```

Πηγή: ("X3DOM Documentation: Tutorials", 2021)

4.4.5 Custom Shaders

Σε αυτό το παράδειγμα παρουσιάζεται η χρήση custom shader ("X3DOM Documentation: Tutorials", 2021) σε μια σκηνή X3DOM. Ο τυπικός τρόπος X3D για την ενσωμάτωση προγραμμάτων shader σε σκηνές X3D, είναι ο κόμβος `ComposedShader`. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται τον shader κορυφών και θραυσμάτων, ο οποίος πραγματοποιεί μια απλή σκιά δροσερής-θερμής (γνωστή και ως σκίαση gooch). Σε αυτό το παράδειγμα, έγινε χρήση ενός κόμβου `DirectionalLight` για τον φωτισμό της σκηνής και η κατεύθυνση του φωτισμού μέσα στο shader ορίζεται με τη μεταβλητή `light0_Direction`.

Επιπλέον, δύο στοιχεία slider επιτρέπουν την αλλαγή δύο παραμέτρων για το shader κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εισαγωγή ενός κόμβου πεδίου μέσα στον κόμβο `ComposedShader` και με χειρισμό του χαρακτηριστικού της τιμής.



Εικόνα 34 Custom shader

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Κεφάλαιο 5

5.1 Συμπεράσματα

Με το πέρας της πτυχιακής εργασίας, ολοκληρώθηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης σε ένα διαδραστικό περιβάλλον 3D. Πιο συγκεκριμένα, η ανασκόπηση εστίασε σε τεχνικές αλληλεπίδρασης οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες: **Πλοήγηση** (wayfinding), **Επιλογή και Χειρισμός**, **Σύστημα Έλεγχος**. Επιπλέον, παρουσιάστηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά και οι κανόνες σχεδίασης & ευχρηστίας ενός 3D κόσμου.

Στη συνέχεια, με τη χρήση του προτύπου X3Dom παρουσιάζονται οι κυριότερες τεχνικές αλληλεπίδρασης ενσωματωμένες σε σελίδες html. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται παραδείγματα όπως 3D διαδραστικοί μετασχηματισμοί, κινούμενο αντικείμενο σε διαδρομή, επιλογή και τροποποίηση 3D αντικειμένου και πλοήγηση σε 3D κόσμο. Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας εξοικειώθηκα με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης σε 3D περιβάλλον και το πρότυπο X3DOM.

Τα πιο σημαντικά ίσως συμπεράσματα της έρευνας είναι ότι απαιτείται ενοποίηση όλων των πληροφοριών σχετικά με τις τεχνικές αλληλεπίδρασης 3D και το ότι υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης σε μια ποικιλία διαφορετικών συστημάτων. Η διάδοση των περιγραφών και εφαρμογών των τεχνικών αλληλεπίδρασης επηρεάζεται θετικά από την ύπαρξη ανοικτών προτύπων όπως το X3D. Αξίζει να σημειωθεί, ότι μια μεγάλη πρόκληση στο σχεδιασμό και την εφαρμογή τεχνικών αλληλεπίδρασης είναι η βελτίωση του επιπέδου αλληλεπίδρασης, περιορίζοντας ταυτόχρονα το επίπεδο ελέγχου που απαιτείται. Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητο να τονισθεί ότι στην αλληλεπίδραση 3D είναι απαραίτητη η παροχή προσαρμοστικών τεχνικών (adaptive technique). Ένας αρχάριος χρήστης θα αποκτήσει εμπειρία όταν πολλαπλασιάζει την ολοκλήρωση μιας δεδομένης εργασίας αλληλεπίδρασης. Τέλος, για μεγάλο χρονικό διάστημα, ο σχεδιασμός των τεχνικών αλληλεπίδρασης 3D καθοδηγείται κυρίως από κριτήρια όπως η ταχύτητα, η αποδοτικότητα ή ακρίβεια. Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη και άλλα κριτήρια όπως η προσφυγή και η απόλαυση που προκύπτει από τη διεπαφή.

Σχετικά με το πρακτικό κομμάτι είναι σημαντικό να τονισθεί ότι όλα τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν διατίθενται ελεύθερα στο διαδίκτυο και δεν απαιτείται

κάποια εμπορική άδεια χρήσης. Με λίγες γνώσεις προγραμματισμού και με τη χρήση έτοιμων Bootstrap προτύπων ήταν εφικτή η παρουσίαση όλων των παραδειγμάτων αλληλεπίδρασης σε ένα διαδικτυακό τόπο. Ως εκ τούτου, ένας αρχάριος χρήστης με βασικές γνώσεις προγραμματισμού έχει πρόσβαση σε μια πληθώρα βιβλιοθηκών και πηγών για την ανάπτυξη 3D διαδραστικών κόσμων.

5.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Στο μέλλον θα μπορούσε να γίνει κάποια επέκταση της πτυχιακής εργασίας. Για παράδειγμα τα ανωτέρω παραδείγματα και κομμάτια κώδικα μπορούν να ενσωματωθούν σε έναν ενιαίο 3D κόσμο. Ο τελικός κώδικας που θα προκύψει, να παρουσιάζει ένα εικονικό περιβάλλον μάθησης το οποίο θα παρουσιάζει όσο το δυνατόν περισσότερες τεχνικές αλληλεπίδρασης. Επιπλέον, οι δημιουργίες οι οποίες θα αναπτυχθούν, θα μπορούσαν να έχουν και ένα πιο καλλιτεχνικό χαρακτήρα.

Βιβλιογραφία

- Nielsen, J. (2021). Nielsen Norman Group. (2021). *113 Design Guidelines for Homepage Usability*. Ανακτήθηκε στις 4 Μαρτίου 2021, από <https://www.nngroup.com/articles/113-design-guidelines-homepage-usability/>.
- Darvasi, P. (2008). 3D Virtual Learning Environments - ETEC 510. Etec.cltl.ubc.ca. Ανακτήθηκε στις 4 Μαρτίου 2021, από http://etec.cltl.ubc.ca/510wiki/3D_Virtual_Learning_Environments.
- Balakrishnan, R. (2004). Beating" Fitts' Law: Virtual Enhancements For Pointing Facilitation. *International Journal of Human- Computer Studies*, 61, 857-847
- Bowman, D., A., Kruikff, E., Laviola J. J. & Poupyrev, I. (2001). An introduction to 3-d user interface design. *Teleoperators and Virtual Enviroments*, 10(1), 96-108
- Bryson, S. (1992). *Survey on the virtual environment technologies & techniques*. Ανακτήθηκε στις 1 Μαρτίου 2021, από <http://www.compgraf.ufu.br/alexandre/cg/vr.survey.pdf>
- Cohen, M. F. & Greenberg, D. P. (1985). The Hemi-Cube: A Radiosity Solution for Complex Environments. *Computer Graphics*, 19(3), 31-40.
- Dalgarno, B. (2002). The potential of 3D virtual learning environments: A constructivist analysis. *Electronic Journal of Instructional Science and Technology*, 5(2). Ανακτήθηκε στις 8 Φεβρουαρίου 2021 από: http://www.usq.edu.au/electpub/e-jist/docs/Vol5_No2/Vol5_No2_full_papers.html
- Dickey, M.D. (2003). Teaching IN 3D: Affordances and constraints of 3D virtual worlds for synchronous distance learning. *Distance Education* 24(1), 105-121. Ανακτήθηκε στις 15 Φεβρουαρίου 2008 από: http://mchel.com/papers/DE_24_1_2003.pdf
- Difference between 2D and 3D Shapes (with Comparison Chart and Example) - Tech Differences. (2021). Ανακτήθηκε στις 3 Μαρτίου 2021 από : <https://techdifferences.com/difference-between-2d-and-3d-shapes.html>.

- Elmqvist, N. (2008). Evaluating motion constraints for 3d wayfinding in immersive and desktop virtual environments. Laboratory for Computer Science. *The 26th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* University of Paris.
- Elmqvist, N. & Fekete J. (2008). Semantic pointing for object picking in complex 3d environments. *Proceedings of the Graphics Interface 2008 Conference*, May 28-30, 2008, Windsor, Ontario, Canada. May 2008 Proceedings - Graphics Interface. DOI:10.1145/1375714.1375755
- Galyean, T. A. (1995). Guided navigation of virtual environments. *Proceedings of the 1995 symposium on Interactive 3D graphics*. doi: <https://doi.org/10.1145/199404.199421>
- Grossman, T., Balakrishnan, R., Kurtenbach, G., Fitzmaurice, G., Khan, A., & Buxton, B. (2001). Interaction techniques for 3D modeling on large displays. *Proceedings Of The 2001 Symposium On Interactive 3D Graphics - SI3D '01*. <https://doi.org/10.1145/364338.364341>
- Hand, C. (1997). A Survey of 3D Interaction Techniques. *Computer Graphics Forum*, 16(5), 269-281. <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00194>
- Hearn, D. (1994). *Computer graphics*. US: Prentice Hall.
- Igarashi T., Kadobayashi R., Mase K. & Tanaka H., (1998). Path drawing for 3d walkthrough. *Computer Science*. DOI:10.1145/288392.288599
- Jäger T., Stelter C., Stoyanov T., Beraducci A., Fiumana F., Laplaca M., Barbieri M., Heiman T., Olenik-Shemesh D., Rabin E., Plichta P., Sabicka E., Pyżalski J., Samnøen Ø, Rasmussen R. & Hickson A. (2013). *3D Virtual Learning Environments for working with young people. A handbook for Teen Educators*. Education and Culture, Lifelong Learning Programm Comenius.
- Jankowski, J. & Hachet, M. (2013). *A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments*. *Eurographics – STAR*. Girona, Spain. Hal Archives- Ouvertes.
- Jankowski, J. & Hachet, M. (2014). Advances in Interaction with 3D Environments. *Computer Graphics Forum*, 34(1), 152-190. Doi: <https://doi.org/10.1111/cgf.12466>

- Jankowski, J. & Hachet, M. (2014). A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments. *Eurographics 2013 - STAR*. Ανακτήθηκε στις 4 Μαρτίου 2021, από: <https://diglib.eg.org/handle/10.2312/conf.EG2013.stars.065-093>
- Koutsoudis, A. (2014). Bring Cultural Heritage 3D Content on the Web Using the X3DOM Framework. *Multimedia Department – ILSP/Athena Research and Innovation Centre*. Ανακτήθηκε στις 4 Μαρτίου 2021, από: http://www.ceti.gr/~akoutsou/docs/X3DOM_platform.pdf.
- Lai, J., Wu, T., Phothong, W., Wang, D., Liao, C., & Lee, J. (2018). A High-Resolution Texture Mapping Technique for 3D Textured Model. *Applied Sciences*, 8(11), 2228. Doi: <https://doi.org/10.3390/app8112228>
- Looser, J., Cockburn & Savage J. (2005). On the validity of using first-person shooters for fitts' law studies. *Human-Computer Interaction Lab*. University of Canterbury Christchurch, New Zealand
- Mackinlay, J. D., Card S. K. & Robertson G. G. (1990). Rapid controlled movement through a virtual 3d workspace. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. April 1991, p. 455–456 doi: <https://doi.org/10.1145/108844.109000>
- Introduction To Computer Graphics and Animation. (2021). *National Open University Of Nigeria*. Ανακτήθηκε στις 19 Μάϊου 2021, από : <https://nou.edu.ng/sites/default/files/2017-03/CIT371.pdf>.
- Newman, W., Sproull, R. & Robert, F. (1979). *Principles of interactive computer graphics*. NY: McGraw-Hill Book Co.
- Nonis, D. (2005). 3D virtual learning environments (3D VLE). *Ministry of Education, Singapore*. pp1-2 Ανακτήθηκε στις 15 Φεβρουαρίου 2021 από: https://www.academia.edu/1282252/3D_virtual_learning_environments_3D_VLE_
- Tan, D. S., Robertson, G. G. & Czerwinski M. (2001) Exploring 3d navigation: combining speed-coupled flying with orbiting. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. March 2001 p. 418–425 doi: <https://doi.org/10.1145/365024.365307>

- Teather, R. J. & Stürzlinger, W. (2011). Pointing at 3D targets in a stereo head-tracked virtual environment. *Computer Science. IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*87-94 DOI:10.1109/3DUI.2011.5759222
- The Computer Graphics Book Of Knowledge. *History of Computer Graphics (CG)*. (2021). Ανακτήθηκε στις 11 Ιουνίου 2021, από <https://www.cs.cmu.edu/~ph/nyit/masson/history.htm>.
- Tsangrassoulis, A., & Bourdakis, V. (2003). Comparison of radiosity and ray-tracing techniques with a practical design procedure for the prediction of daylight levels in atria. *Renewable Energy*, 28(13), 2157-2162. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0960-1481\(03\)00078-8](https://doi.org/10.1016/s0960-1481(03)00078-8)
- Yadav, A. (2021). Introduction To Computer Graphics. Udrclakouniv.ac.in. Ανακτήθηκε στις 18 Ιουνίου 2021, από https://udrc.lakouniv.ac.in/Content/DepartmentContent/SM_e088f60a-b2cb-4f95-b71c-8ca2a9747286_58.pdf.
- Zelevnik R. C., Fordsberg A. S. & Strauss P. S. (1997). Two pointer input for 3d interaction. *Brown University site of the NSF Science and Technology Center for Computer Graphics and Scientific Visualization Providence*. Ανακτήθηκε στις 11 Ιουνίου 2021, από <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.39.8493&rep=rep1&type=pdf>
- Zelevnik R. & Forsberg A., (1999). *Unicam—2d gestural camera controls for 3d environments*. Brown University. Ανακτήθηκε στις 11 Ιουνίου 2021, από <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.30.8811&rep=rep1&type=pdf>
- Weinhaus, F., & Devarajan, V. (1997). Texture mapping 3D models of real-world scenes. *ACM Computing Surveys*, 29(4), 325-365. <https://doi.org/10.1145/267580.267583>
- Xiang, Z., Plastock, R., & Plastock, R. (2011). Schaum's outline of theory and problems of computer graphics. *Schaums Outline Series*. Ανακτήθηκε στις 11 Ιουνίου 2021, από <https://archive.org/details/SchaumsOutlineSeriesPlastockRoyA.XiangZhigangSchaumsOutlineOfTheoryAndProblemsOf>

Γεωργόπουλος, Α. (2011). *Αναπτύγματα Επιφανειών – 3D Μοντέλα*. Διάλεξη Μαθήματος: Αποτυπώσεις Μνημείων, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Λαζαρίνης, Φ., (2015). Θεωρία Ψηφιακών Γραφικών 3D & Σχεδιοκίνησης. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Φ. Λαζαρίνης, 2015. *Πολυμέσα*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 4. Ανακτήθηκε στις 11 Ιουνίου 2021, από <http://hdl.handle.net/11419/2050>

Smart, J.M., Cascio, J. and Paffendorf, J. (2007) *Metaverse Roadmap Overview*, Ανακτήθηκε στις 18 Ιουνίου 2021, από : <http://www.metaverseroadmap.org/overview/>

X3DOM Documentation: Tutorials. Doc.x3dom.org. (2021). Retrieved 28 June 2021, from <https://doc.x3dom.org/tutorials/lighting/customShader/index.html>.

What is X3D? | Web3D Consortium. Web3d.org. (2021). Retrieved 28 June 2021, from <https://www.web3d.org/x3d/what-x3d>.