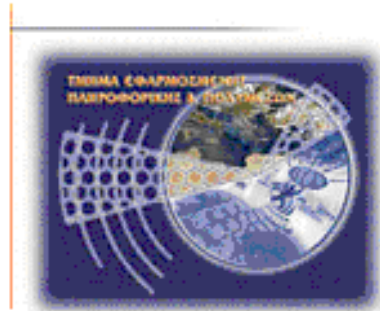




Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων**



Πτυχιακή εργασία

**Εφαρμογή τεχνικών επαυξημένης
πραγματικότητας στην πολεοδομία και
αρχιτεκτονική**

Μαρινάκης Σταύρος (ΑΜ: 2005)

Ηράκλειο – Ημερομηνία

Επόπτης Καθηγητής: Παπαδουράκης Γεώργιος

Ευχαριστίες

Θέλω αρχικά να ευχαριστήσω τον κ. Δεμίρη Αθανάσιο για την στήριξη του στην παρούσα πτυχιακή. Τον ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια του, τη διαρκή καθοδήγηση που προσέφερε σε όλα τα στάδια της προσπάθειας αυτής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Παπαδουράκη Γεώργιο για τις συμβουλές και παρατηρήσεις του στο σχεδιασμό και την οργάνωση όπως επίσης και για την συνεργασία μας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την στήριξη και την υπομονή τους όχι μόνο στην πτυχιακή αλλά και σε ολόκληρη την φοιτητική μου πορεία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	i
1 Πρόλογος	4
2 Επαυξημένη Πραγματικότητα	1
2.1 Τι είναι επαυξημένη πραγματικότητα	1
2.2 Ιστορική αναδρομή	2
2.3 Προβληματισμοί.....	3
2.4 Εφαρμογές.....	5
2.5 Η τεχνολογία.....	11
2.6 Στόχοι	17
2.7 Συγγενικές τεχνολογίες.....	18
3 Τεχνικές Τεχνητής Όρασης.....	20
3.1 Ιχνηλάτηση - Tracking.....	20
3.1.1 Μέθοδος βασισμένη στην χρήση ιχνών - <i>marker</i> (MC).....	20
3.1.2 Μέθοδος βασισμένη στην χρήση χαρακτηριστικών σημείων (FPC).....	21
3.1.3 Η συνένωση δεδομένων.....	22
3.1.4 Η εκτίμηση των πινάκων μετασχηματισμού.....	24
3.1.5 Μια επέκταση για τον εικονικό κοινό λευκό πίνακα (<i>whiteboard</i>)	26
3.1.6 Η ανίχνευση στυλό.....	27
3.2 Βαθμονόμηση (Calibration) του συστήματος τεχνητής όρασης	28
3.2.1 Το μοντέλο της κάμερας.....	28
3.2.2 Ανασκόπηση μεθόδων βαθμονόμησης.....	31
3.2.3 Τεχνικές που χρησιμοποιούν γραμμικά μοντέλα.....	31
3.2.4 Μη γραμμικές τεχνικές.....	32
3.2.5 Τεχνικές διαδοχικών βημάτων.....	33
3.2.6 Μη αναλυτικές (<i>implicit</i>) τεχνικές βαθμονόμησης.....	33
3.2.7 Άλλες τεχνικές βαθμονόμησης.....	35
3.2.8 Μια απλή μέθοδος βαθμονόμησης με χρήση παραλλήλου επιπέδου.....	36
3.2.9 Διαδικασία παραλληλισμού επιπέδων βαθμονόμησης και κάμερας.....	36
3.2.10 Βαθμονόμηση της κάμερας με διαδοχικά βήματα.....	40
4 Ο χώρος της αρχιτεκτονικής	44
4.1 Με τι ασχολείται.....	44
4.2 Ποιες ανάγκες παρουσιάζει.....	44
4.3 Πρώτες σκέψεις για την πτυχιακή	47
5 Το θέμα της εργασίας.....	48
5.1 Ο σκοπός & τι θα εξυπηρετήσει.....	48
5.2 Υλικό Συστήματος & Περιβάλλον	51
5.3 Μικρή εισαγωγή στα χρησιμοποιημένα εργαλεία	52
6 Μεθοδολογία και εργαλεία.....	53
6.1 ARToolkit	53
6.1.1 Τι είναι.....	53
6.1.2 Εφαρμογές.....	56
6.1.3 Ο ρόλος στην εφαρμογή.....	57
6.2 DXF format.....	58
6.2.1 Τι είναι το <i>dxf</i> αρχείο.....	58
6.2.2 Γνωριμία με το συγκεκριμένο τύπο αρχείου	58
6.2.3 Ο ρόλος του στην εφαρμογή.....	61

6.2.4	Η βιβλιοθήκη <i>dxflib</i>	62
6.3	Το OpenGL.....	63
6.3.1	Τι είναι το <i>OpenGL</i>	63
6.3.2	Γιατί επιλέχτηκε (<i>rendering</i>).....	66
6.3.3	Η απόρριψη του <i>VRML</i> και η υιοθέτηση του <i>dxflib</i>	66
7	Θέματα υλοποίησης.....	67
7.1	Η εκμάθηση των ιχνών (<i>marker training</i>).....	68
7.2	Η λήψη των <i>frames</i> από την κάμερα.....	69
7.2.1	Αναζήτηση των <i>markers</i>	70
7.2.2	Εύρεση θέσης <i>markers</i> -κάμερα.....	70
7.2.3	Προσδιορισμός του αναγνωριστικού <i>marker</i>	70
7.3	Εξαγωγή <i>.dxf</i> αρχείου.....	74
7.3.1	Φόρτωση μοντέλου από την <i>dxflib</i>	76
7.3.2	Η εύρεση πολυγώνων.....	77
7.3.3	Η αναγνώριση των αντικειμένων.....	77
7.4	Διεπαφή χρήστη-εφαρμογής.....	81
7.5	Το <i>rendering</i>	93
8	Παράρτημα.....	97
9	Πηγές και πληροφορίες.....	101

1 Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί μία προσπάθεια, αρχικά, κατανόησης των πλεονεκτημάτων και των χαρακτηριστικών της Επαυξημένης Πραγματικότητας. Ενώ αναπτύχθηκε και μία εφαρμογή για την έρευνα και την υλοποίηση αυτών σε πρακτικό επίπεδο. Το θέμα της εργασίας αυτής («Εφαρμογή Τεχνικών Επαυξημένης Πραγματικότητας στην Πολεοδομία και Αρχιτεκτονική») εξηγεί κατ' αρχήν την έννοια της Επαυξημένης Πραγματικότητας και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων τα οποία την συνθέτουν και στην συνέχεια ερευνά κάποιες ανάγκες στην Αρχιτεκτονική.

Προχωρώντας στην περιγραφή του στησίματος της εφαρμογής, στον αναγνώστη του παρουσιάζονται τα εργαλεία ανάπτυξης με το οποία δημιουργήθηκε η εφαρμογή καθώς και διάφορες τεχνικές που υλοποιήθηκαν για την εφαρμογή. Σκοπός είναι η υλοποίηση ενός Demo εργαλείου που θα εξυπηρετεί όσο το δυνατόν τις αρχιτεκτονικές ανάγκες που θίγει μέσω τεχνικών Επαυξημένης Πραγματικότητας.

2 Επαυξημένη Πραγματικότητα

2.1 Τι είναι επαυξημένη πραγματικότητα.

Ως επαυξημένη πραγματικότητα (augmented reality) χαρακτηρίζεται η τεχνολογία με τη βοήθεια της οποίας μπορούν να προβληθούν συνθετικά αντικείμενα (είτε οπτικά είτε ηχητικά) στο φυσικό περιβάλλον του χρήστη. Η επαύξηση της πραγματικής πληροφορίας με τη συνθετική μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικών συσκευών προβολής που παρουσιάζουν εκτός από το φυσικό περιβάλλον του χρήστη και τη συμπληρωματική πληροφορία πλήρως εναρμονισμένη με το χώρο αυτό. Η επαυξημένη πραγματικότητα αποτελεί ειδική υποκατηγορία της λεγόμενης διαμεσολαβημένης πραγματικότητας (mediated reality) στην οποία η προβολή της πραγματικότητας είναι τροποποιημένη από έναν υπολογιστή είτε με την προσθήκη συνθετικών αντικειμένων είτε με την αφαίρεση πραγματικών αντικειμένων (φιλτράρισμα ήχων και εικόνων), με αποτέλεσμα, να αλλάζει την αντίληψη του ανθρώπου για το εκάστοτε εικονιζόμενο περιβάλλον. Στην περίπτωση της επαυξημένης πραγματικότητας, η αύξηση επιτυγχάνεται σε πραγματικό χρόνο με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει μία φυσική σύνδεση της με τα στοιχεία του αληθινού κόσμου και την απεικόνισή τους. Με την βοήθεια της ανεπτυγμένης τεχνολογίας της επαυξημένης πραγματικότητας, όπως είναι η μηχανική ή αλλιώς τεχνητή όραση και της αναγνώρισης προτύπων, η πληροφορία που συλλέγεται για τον πραγματικό κόσμο του χρήστη μπορεί μετά από επεξεργασία να γίνει ψηφιακά επεξεργάσιμη και τελικά διαδραστική. Η τεχνητή πληροφορία γύρω από το περιβάλλον και τα αντικείμενα σε αυτόν μπορεί να αποθηκευτεί και να τοποθετηθεί ως ένα στρώμα πληροφορίας πάνω από την προβολή του πραγματικού κόσμου. Μία λοιπόν διαπίστωση είναι το ότι στο χρήστη δίνεται η δυνατότητα να μπορεί να βλέπει τον πραγματικό χώρο ή στοιχεία αυτού στην επαυξημένη πραγματικότητα. Ο όρος επαυξημένη πραγματικότητα πιστεύεται πως επινοήθηκε το 1990 από τον Thomas Caudell, ενός υπαλλήλου της Boeing. [1]

Η επαυξημένη πραγματικότητα είναι μια σχετικά νέα μορφή της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή (HCI). Αναφέρεται γενικά στην real-time επικάλυψη των ανθρώπινων αισθήσεων με τα παραγόμενα από υπολογιστή συνθετικά πρότυπα. Ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας μπορεί αναλόγως να επικαλύψει και να δώσει τις οπτικές, ακουστικές και απτικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο. Ο Azuma [12] περιγράφει τα ακόλουθα τρία χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός AR συστήματος:

- Συνδυασμός πραγματικής και εικονικής πραγματικότητας
- Ικανότητα αλληλεπίδρασης και σε πραγματικό χρόνο
- Εγγραφή σε τρεις διαστάσεις

Ενώ η εικονική πραγματικότητα (VR) μιμείται μόνο την πραγματικότητα, ο στόχος της επαυξημένης πραγματικότητας (AR) είναι να ενσωματωθεί εντελώς και να συγχωνευθεί η πραγματική και εικονική πραγματικότητα.

Συστατικά, μέθοδοι και συστήματα ιχνηλάτησης (tracking)

Ο σκοπός ενός συστήματος AR είναι να τροφοδοτήσει το πραγματικό περιβάλλον με τις παραγόμενες από υπολογιστή πληροφορίες και να επεκτείνει την ανθρώπινη αντίληψη. [13]
Ένα σύστημα AR αποτελείται από πέντε κύρια τμήματα υλικού:

- (Α) η μονάδα υπολογιστών με τον mixer και το renderer,
- (Β) το σύστημα προβολής με την οθόνη ή την επικεφαλής-τοποθετημένη συσκευή [14]
- (Γ) το tracking σύστημα,
- (Δ) οι αισθητήρες καταγραφής (κάμερα) και
- (Ε) πρόσθετες συσκευές εισαγωγής (joystick, πληκτρολόγιο, κ.λπ.)

[4]Αναφέρθηκε πιο πάνω ο όρος της τεχνητής ή μηχανικής όρασης. Πώς όμως η τεχνολογία αυτή βοηθάει την επαυξημένη πραγματικότητα; Η απάντηση βρίσκεται στο λεγόμενο tracking (εντοπισμός).

Σκοπός είναι να υπολογιστούν τα σωστά χαρακτηριστικά για ένα συνθετικό αντικείμενο ώστε να προσαρμοστεί στη προβολή του πραγματικού περιβάλλοντος και να φαίνεται όσο το δυνατόν πιο αληθοφανή.

Το πρώτο βήμα είναι να προσδιοριστούν και να ακολουθηθούν κάποια χαρακτηριστικά. Ένα χαρακτηριστικό στην περίπτωση του tracking είναι ένα συγκεκριμένο σημείο της εικόνας που μπορεί ένας tracking αλγόριθμος να κλειδώσει και να το ακολουθεί σε πολλαπλά frames. Συνήθως τα χαρακτηριστικά επιλέγονται επειδή είναι περιοχές, ακμές ή γωνίες με έντονη αντίθεση (άσπρο σε μαύρο) ανάλογα με τον εκάστοτε tracking αλγόριθμο. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι κάθε χαρακτηριστικό αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο σημείο στην επιφάνεια ενός αληθινού αντικειμένου. Δεδομένου ότι ακολουθείται ένα τέτοιο χαρακτηριστικό γίνεται μία σειρά από δύο διαστάσεων συντεταγμένες οι οποίες αντιπροσωπεύουν την θέση του σε μία σειρά από frames. Αυτή η σειρά αναφέρεται ως διαδρομή (track) και σε πολλές περιπτώσεις περιγράφει και την κίνηση ενός αντικειμένου. Ωστόσο αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να τονιστεί είναι ότι δίνεται η δυνατότητα και κάποιων τρισδιάστατων πληροφοριών για το αντικείμενο.

Στο σημείο αυτό ξεκινάει το δεύτερο βήμα που λέγεται βαθμονόμηση (calibration). Η διαδικασία αυτή προσπαθεί να αναπαράγει την κίνηση της κάμερας επιλύοντας την αντίστροφη-προβολή (inverse-projection) των δισδιάστατων διαδρομών για να βρεθεί η θέση της κάμερας. Όταν δηλαδή για ένα σημείο στην επιφάνεια ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, φωτογραφίζεται η θέση του σε μία δισδιάστατη εικόνα (ή καρέ ενός βίντεο - frame), μπορεί να υπολογιστεί η τρισδιάστατη θέση του μέσω μιας συνάρτησης προβολής. Μαθηματικά μπορούμε να παρουσιάσουμε μία κάμερα ως ένα διάνυμα, το οποίο κρατάει τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της κάμερας, όπως την θέση της κάμερας, τον προσανατολισμό της, την εστιακή απόστασή της και άλλες πιθανές παραμέτρους που καθορίζουν το πώς το φως συλλαμβάνεται από την κάμερα.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Το 1965, ο Sutherland περιέγραψε το όραμα του για την απόλυτη εμπειρία παρουσίασης, με στόχο την ανάπτυξη συστημάτων που μπορούν να δημιουργήσουν τεχνητά ερεθίσματα και να δώσει σε έναν άνθρωπο την εντύπωση ότι η εμπειρία που ζει-αντιλαμβάνεται είναι πραγματικά αληθινή. Το αξιοσημείωτο είναι ότι η εικονική πραγματικότητα (VR) αναπτύχθηκε μετέπειτα από την επαυξημένη πραγματικότητα

φτιάχνοντας όμως ένα εξολοκλήρου τεχνητό περιβάλλον χωρίς ίχνος αληθινού κόσμου. Ο Fisher ήταν αυτός που έφτιαξε ένα από τα πρώτα ολοκληρωμένα εικονικά περιβάλλοντα τα οποία απαρτίζονταν από ένα σύστημα παρακολούθησης για το κεφάλι (κράνος) και ειδικά γάντια ως μέσα εισαγωγής πληροφορίας.

Υπάρχουν και άλλες συσκευές – πηγές όπου ο χρήστης μπορεί να έχει περισσότερη επαφή με το κάθε περιβάλλον, όπως για παράδειγμα, ήχο ή αφή ώστε να του διεγείρει όσο το δυνατόν περισσότερες αισθήσεις. Ένα τέτοιο σύστημα επινοήθηκε το 1957-62 από τον Morton Heilig έναν κινηματογραφικό παραγωγό ο οποίος δημιούργησε και πατεντάρησε έναν εξομοιωτή στον οποίο υπήρχαν εκτός από οπτική και ακουστική αναπαράσταση, δονήσεις και μυρωδιά με το όνομα Sensorama.

Ο Ivan Sutherland ήταν ουσιαστικά ο πρώτος που εισήγαγε ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας το οποίο μοιάζει περισσότερο με τα σημερινά με την έννοια ότι, χρησιμοποιείτε ένας υπολογιστής για την επεξεργασία. Αποτελούνταν από ένα επί κεφαλής προσαρτώμενο κράνος το οποίο χαρακτηρίστηκε ως ένα παράθυρο σε έναν εικονικό κόσμο. Το 1975 δημιουργήθηκε το πρώτο σύστημα βασισμένο σε βίντεο όπου ο χρήστης μπορούσε να αλληλεπιδράσει με εικονικά αντικείμενα από τον Myron Krueger. Στην συνέχεια, το πρώτο διαφημιστικό για επιχείρηση έκανε την εμφάνισή του το 1989 με δημιουργό τον Janor Lianor καθώς και η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε η φράση “Εικονική Πραγματικότητα”. Όπως ειπώθηκε νωρίτερα, ο όρος “Augmented reality” (Επαυξημένη πραγματικότητα) πρωτοειπώθηκε από τον Thomas Caudell, ενός υπαλλήλου της Boeing. Ο L.B. Rosenberg το 1992 ανέπτυξε το πρώτο σύστημα όπου υπήρξε λειτουργικό πλέον αποτέλεσμα με την ονομασία VIRTUAL FIXTURES. Έπειτα, το 1994 ο Julie Martin δημιούργησε την πρώτη θεατρική παραγωγή Dancing In Cyberspace στην οποία τα άτομα ακροβάτες και χορευτές χειρίζονταν εικονικά αντικείμενα μέσα σε τεχνητό περιβάλλον.

Στην πιο σύγχρονη ιστορία της επαυξημένης πραγματικότητας, ο Hirocazu Kato δημιουργεί το ARToolkit το 1999 στο HitLab όπου το AR αργότερα αναπτύσσεται περαιτέρω από άλλους επιστήμονες και καταδεικνύεται στη SIGGRAPH εκείνο το έτος (κάτι το οποίο θα εξηγηθεί περαιτέρω σε επόμενη ενότητα). Το έτος 2000 το πρώτο παιχνίδι εξωτερικού χώρου αναπτύσσεται με το όνομα ARQuake. Το 2008 το φορητό λειτουργικό σύστημα Android φιλοξενεί μία εφαρμογή τη Wikitude AR Travel guide. Όπως και το Wikitude Drive ένα σύστημα πλοήγησης βοηθούμενο από την επαυξημένη πραγματικότητα. Τέλος στο κοντινό 2009 η Adobe κάνει την κίνηση να ενσωματώσει στο Adobe Flash το FLARToolkit ένα Add-on με το οποίο το Flash μπαίνει και στο χώρο της επαυξημένης πραγματικότητας.[2]

2.3 Προβληματισμοί

Σε όλο αυτό το διάστημα από σχεδόν την σύλληψη της ιδέας μέχρι και σήμερα υπάρχουν κάποια θέματα που απασχολούν τους δημιουργούς τέτοιων εφαρμογών και ο λόγος είναι βέβαια η λειτουργικότητα, η ρεαλιστικότητα όπως και η χρηστικότητα. Κατά τη διάρκεια λοιπόν της εξέλιξης των τεχνολογιών, όπως η εικονική πραγματικότητα και η επαυξημένη πραγματικότητα αναπτύχθηκαν αρκετές εφαρμογές οι οποίες εξυπηρετούσαν την χρήση αυτών των τεχνολογιών. Στον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας η ανάπτυξη των διεπαφών σε εφαρμογές φορητές εξωτερικού χώρου παραμένουν με πολλά άλυτα ακόμα θέματα. Όταν η τεχνολογία θα είναι διαθέσιμη στο μέλλον, έχοντας πλέον αρκετά δυνατές και λειτουργικές εφαρμογές θα αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πεδίο. Ο Ronald Azuma ερευνητής στον τομέα αυτό είχε πει «χρειάζεται να καταλάβουμε καλύτερα πώς να παρουσιάζουμε στον χρήστη την πληροφορία και πώς αυτός να αλληλεπιδρά με αυτήν». Ενώ η εικονική πραγματικότητα είναι ένας τομέας όπου ο χρήστης είναι πλήρως βυθισμένος στον

εικονικό χώρο δίχως ίχνος από πραγματικό, είναι αρκετά περιορισμένος σε κινήσεις, τα 3D προβλήματα που προκύπτουν είναι τα ίδια με την επαυξημένη πραγματικότητα. Δουλεύοντας σε ένα εξωτερικό περιβάλλον υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί και αυξάνουν τον αριθμό των προβλημάτων που θα έρθουν.

Στους επιτραπέζιους υπολογιστές το υπάρχον σύστημα WIMP (windows, icons, menus, και Pointer) είναι ένα de facto πρότυπο το οποίο εδώ και χρόνια υπάρχει στους υπολογιστές παγκοσμίως. Από τότε που η επαυξημένη πραγματικότητα είναι ένα ξεχωριστό λειτουργικό περιβάλλον, παρουσιάζονται προβλήματα όσο αφορά κυρίως την εισροή πληροφορίας, αφού την καθιστά μη διαθέσιμη και ακατάλληλη για χρήση. Το ποντίκι αποτελεί ένα τέτοιο παράδειγμα - πρόβλημα αφού αυτό κινείται σε δύο διαστάσεις ενώ μιλάμε για τρεις και είναι αρκετά δύσκολο στον χρήστη να κατανοήσει εύκολα τον χειρισμό του εκεί. Όπως και ένα ακόμη πρόβλημα, το ότι το ποντίκι χρειάζεται συνεχώς μία επιφάνεια κατάλληλη για να κινηθεί, κάτι το οποίο σημαίνει δύσκολη πλοήγηση σε εξωτερικό περιβάλλον. Γίνεται λοιπόν αναγκαίο το να αναπτύσσονται νέες διεπαφές για την καλύτερη και πιο λειτουργική κυρίως χρήση της τεχνολογίας, εγκαταλείποντας τα καθιερωμένα περιβάλλοντα των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ένα πλεονέκτημα μπορεί να χαρακτηριστεί το ίδιο το σώμα του χρήστη και η γωνία θέασης αυτού ώστε να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο διάφορων λειτουργιών στην κάθε εφαρμογή. Ενώ η έρευνα έχει παρουσιαστεί στην εικονική πραγματικότητα για να διευθετήσει αυτά τα θέματα, πολλές τεχνικές ωστόσο χρησιμοποιούνται και για προβλήματα στην επαυξημένη πραγματικότητα σε περιβάλλοντα δηλαδή που υπάρχει επικάλυψη με στοιχεία πραγματικού περιβάλλοντος.[2]

Η πρώτη και μεγαλύτερη πρόκληση πάντα ήταν η ρεαλιστικότητα. Το πώς δηλαδή το κάθε εικονικό αντικείμενο, συνήθως τρισδιάστατο, θα προσαρμοστεί μέσω υπολογιστή στην απεικόνιση του πραγματικού κόσμου με τέτοιο τρόπο που να δίνει την εντύπωση, όσο μπορεί περισσότερο, ότι ανήκει σε αυτόν. Τέτοια θέματα συνήθως είναι η θέση του αντικειμένου, ο προσανατολισμός του και το μέγεθός του. Το tracking λοιπόν όπως λέγεται βασίζεται σε υπολογισμούς και διεργασίες τεχνητής όρασης και επεξεργασίας εικόνας ώστε να υπολογιστεί η σωστή παρουσίαση ενός εικονικού αντικειμένου. Ένα ενδιαφέρον πρόβλημα προς διερεύνηση είναι τί είδους μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν ή να αιχμαλωτιστούν ενώ κινούμαστε σε ένα εξωτερικό χώρο. Με την ενσωμάτωση της διαδικασίας μοντελοποίησης και διεπαφής χρήστη, ο χρήστης είναι σε θέση να ελέγξει τη διαδικασία αυτή άμεσα και να επωφεληθεί από την παρουσίαση του περιβάλλοντος.

Παρακάτω θέτονται μερικοί προβληματισμοί που απασχολούν κατά κύριο λόγο τους ερευνητές για την καλύτερευση ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας:

- Πώς μπορεί ένας χρήστης να έχει μία τέτοια εμπειρία χωρίς να επιβαρύνει τα χέρια του και να περιορίζει τις κινήσεις του.
- Πώς μπορεί ένας χρήστης να εκτελέσει κάποιες εργασίες όπως είναι η περιστροφή ή τοποθέτηση και η κλίμακα ενός ή περισσοτέρων αντικειμένων που σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να φθάσει να είναι μεγαλύτερη και από το σώμα του χρήστη.
- Ποιά είναι η κατάλληλη αρχιτεκτονική λογισμικού που θα πρέπει να ακολουθηθεί ώστε να διευκολύνει, όσο μπορεί, την ανάπτυξη μίας εφαρμογής και να έχει την δυνατότητα παράλληλα να μπορεί να προσαρμοστεί με το ισχύον hardware και software.
- Τί σύστημα hardware θα πρέπει να υλοποιηθεί ώστε να μπορεί να γίνει εύκολα φορητό για υπαίθριες κυρίως προβολές.[2]

2.4 Εφαρμογές

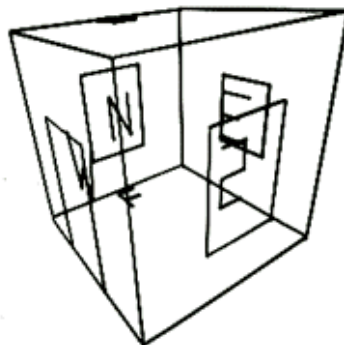
Στο πεδίο αυτό της επαυξημένης πραγματικότητας υπάρχουν δύο κατηγορίες εφαρμογών. Αυτές είναι εσωτερικού χώρου (indoor) και εξωτερικού χώρου (outdoor). Υπάρχουν προφανώς διαφορές ανάμεσα στις δύο αυτές κατηγορίες αφού η φύση τους είναι τέτοια. Στις εφαρμογές εσωτερικού χώρου τις περισσότερες φορές υπάρχει ένας υπολογιστής ο οποίος είναι σταθερός και μερικές φορές αρκετά μεγάλος ενώ οι επιδόσεις του είναι συνήθως υψηλές χωρίς προβλήματα τροφοδοσίας. Σε αντίθεση οι εξωτερικές εφαρμογές δεν έχουν σε ικανοποιητικό βαθμό με τα παραπάνω θετικά στοιχεία αλλά μπορούν να δώσουν περισσότερη ελευθερία στον χρήστη, λειτουργικότητα και άνεση.

Εφαρμογές εσωτερικού χώρου υπάρχουν πολλές που εξυπηρετούν διάφορους τομείς όπως την συντήρηση, την κατασκευαστική, την ιατρική. Για την προβολή τους στον χρήστη, η πληροφορία παρουσιάζεται στο περιβάλλον δίνοντας στον χρήστη να καταλάβει περισσότερο την σχέση της με το περιβάλλον. Το πρώτο σύστημα τέτοιου είδους ήταν διαφανές γυαλιά CRT τα οποία αυτό που έκαναν ήταν απλά να προσθέτουν την εικονική πληροφορία στο πραγματικό κόσμο που έτσι και αλλιώς έβλεπε ο χρήστης εκείνη την στιγμή. Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.1: See-through CRT γυαλιά

Έτσι ενώ ο στόχος ήταν η απόλυτη προβολή στον χρήστη, ο Sutherland βασικά ανακάλυψε το πρώτο σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας με αυτόν τον εξοπλισμό. Ο Sutherland με αυτό το project πρόβαλε ένα εικονικό κύβο ο οποίος κάλυπτε όλη την εικόνα του χρήστη με χαρακτήρες ζωγραφισμένους από γραμμές που στην ουσία αντιπροσώπευαν τις κατευθύνσεις προς τους τοίχους ως είδος πυξίδας.



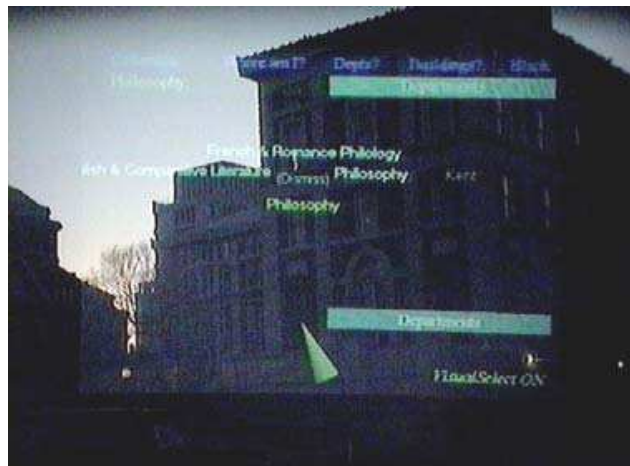
Σχήμα 2.1: Εικονικός κύβος με τη χρήση του πρώτου συστήματος Ε.Π.

Σκοπός ήταν η επαυξημένη πραγματικότητα να βγει έξω από το εργαστήριο και να δημιουργηθούν πλατφόρμες οι οποίες θα το υποστήριζαν αυτό με απώτερο σκοπό την μέγιστη προβολή. Δηλαδή την ικανοποίηση του χρήστη μέσω της ελευθερίας και της φορητότητας σε οποιοδήποτε περιβάλλον. Η πρώτη εφαρμογή τέτοιας επίδειξης επιτεύχθηκε από τον Feiner στο πανεπιστήμιο της Columbia, όπου κατασκευάστηκε υπολογιστικό σύστημα το οποίο έφερε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό επαυξημένης πραγματικότητας. Έλαβε χώρα στο χώρο του πανεπιστημίου, όπου μπορούσε κάποιος με αυτό το σύστημα να βρει πληροφορίες για τα διάφορα κτήρια. Επίσης με ένα σύστημα βασισμένο σε browser ο χρήστης μπορούσε να διαχειριστεί αυτές τις πληροφορίες.

Το σύστημα αυτό εικονίζεται στην συνέχεια[2]:



Εικόνα 2.2: Εξοπλισμός Ε.Π. σε Πανεπιστήμιο



Εικόνα 2.3: Πληροφορίες της κάμερας

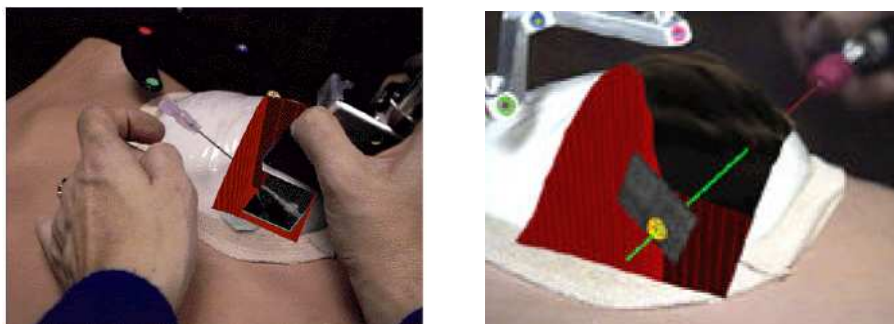
Εφαρμογές όπου βρίσκουν ανταπόκριση σήμερα αναλύονται παρακάτω:

- Διαφήμιση: Έμποροι για να προωθήσουν προϊόντα ή υπηρεσίες εκμεταλλεύτηκαν την επαυξημένη πραγματικότητα για το σκοπό αυτό. Ένα παράδειγμα ήταν το 2008 όταν σε μία έκθεση αυτοκινήτου η Nissan μέσω ενός φυλλαδίου που μπορούσε να κρατήσει ένας επισκέπτης μπροστά από μία κάμερα να δει διάφορες εκδόσεις ενός συγκεκριμένου μοντέλου. Το 2010, η Walt Disney χρησιμοποίησε ένα σύστημα κινητής επαυξημένης πραγματικότητας για μια κινηματογραφική εμπειρία στην ύπαιθρο
- Υποστήριξη σε σύνθετες εργασίες: Σε σύνθετες εργασίες, όπως η συναρμολόγηση, η συντήρηση, και η χειρουργική επέμβαση μπορεί να απλοποιηθούν με την εισαγωγή πρόσθετων πληροφοριών στο οπτικό πεδίο. Για παράδειγμα, μπορούν να αναπαρασταθούν διάφορες πληροφορίες ως ετικέτες για την συναρμολόγηση ή την συντήρηση ενός συστήματος. Σε ιατρική διάγνωση μπορούν να αναπαρασταθούν διάφορα κρυμμένα μέρη τα οποία όμως έχουν καταγραφεί μέσω ακτινών X ή υπερήχων και να αυξήσουν την παραγωγικότητα ενός γιατρού ή χειρουργού. Ένας γιατρός θα μπορούσε να παρατηρήσει το έμβρυο μέσα στη κοιλιά της μητέρας του.



Εικόνα 2.4: Πρότυπο για την παρατήρηση του εμβρύου μέσα στη κοιλιά

Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα πρότυπο βιοψίας στήθους, όπου τα εικονικά αντικείμενα προσδιορίζουν την ακριβή θέση του όγκου και καθοδηγούν τη βελόνα στο στόχο της [51].

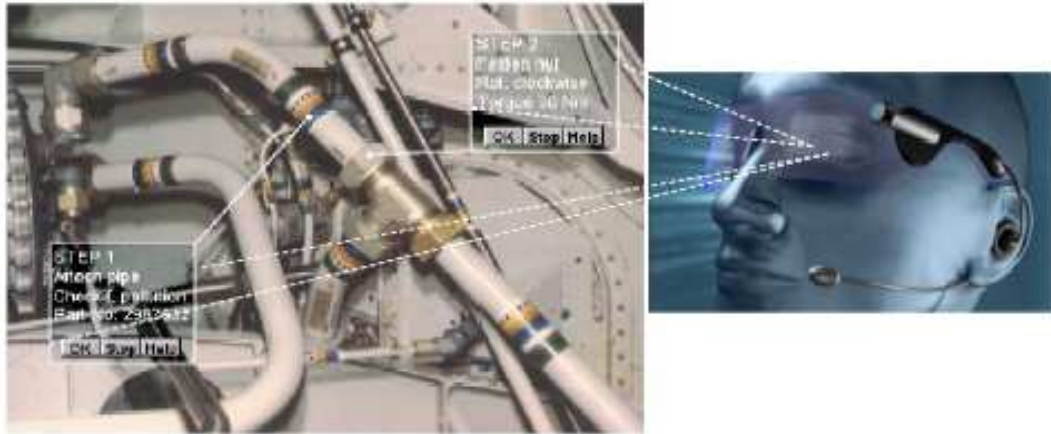


Εικόνα 2.5: Κατά τη διάρκεια μιας βιοψίας στήθους τα 3D γραφικά καθοδηγούν για την εισαγωγή της βελόνας.

- Συσκευές πλοήγησης: Μέσω ειδικών γυαλιών μπορεί κάποιος οδηγός να λαμβάνει πληροφορίες είτε για την κυκλοφορία στο δρόμο είτε για την διαδρομή που θα πρέπει να ακολουθήσει για να φτάσει στον προορισμό του. Από μία ομάδα του στρατού επίσης για πληροφορίες θέσης. Από τους πιλότους μαχητικών αεροσκαφών για ποικίλες πληροφορίες όπως εντοπισμό και κατεύθυνση εχθρικού αεροσκάφους.
- Ψυχαγωγία και εκπαίδευση: Η ΕΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους τομείς της ψυχαγωγίας και της εκπαίδευσης για τη δημιουργία εικονικών αντικειμένων σε μουσεία και εκθέσεις, αξιοθέατα, παιχνίδια (όπως ARQuake) και βιβλία για μία αλλιώτικη προσέγγιση.
- Μουσική: Το συγκρότημα Lost Valentinos από την Αυστραλία επινόησε το πρώτο παγκόσμιο αλληλεπιδραστικό βίντεο κλιπ με στοιχεία επαυξημένης πραγματικότητας αφού οι θαυμαστές του συγκροτήματος μπορούσαν μέσω κάποιων εκτυπώσιμων συμβόλων να γυρίσουν το δικό τους βίντεο κλιπ με τα άτομα του συγκροτήματος μέσω της webcam τους και να το ανεβάσουν στο Youtube. [1]
- Τέχνη: Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να ενσωματωθεί σε καλλιτεχνικές εφαρμογές που επιτρέπουν στους καλλιτέχνες να δημιουργήσουν έργα τέχνης σε

πραγματικό χρόνο πάνω από το πραγματικό έργο τους, όπως τη ζωγραφική, σχέδιο, μοντελοποίηση, κλπ. Ένα τέτοιο παράδειγμα του φαινομένου αυτού ονομάζεται Eyewriter που αναπτύχθηκε το 2009 από τον Zachary Λίμπερμαν και μια ομάδα που σχηματίστηκε από τα μέλη της Free Art και Τεχνολογίας (FAT), OpenFrameworks και το Graffiti Research Lab για να βοηθήσει ένα graffiti καλλιτέχνη, ο οποίος έμεινε παράλυτος, να σχεδιάσει και πάλι.

- Αρχιτεκτονική: Η επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση προγραμματισμένης κατασκευής έργων το οποίο είναι και το αντικείμενο της εργασίας αυτής. Τέτοιο Project είναι το **ARIS**, μία ελληνική προσπάθεια όπου ένα αλληλεπιδραστικό υπολογιστικό σύστημα δίνει την δυνατότητα στον τελικό χρήστη να μπορεί εύκολα να ενσωματώσει τα τρισδιάστατα πρότυπα προϊόντων (π.χ. έπιπλα) σε ένα σύνολο από εικόνες του πραγματικού του περιβάλλοντος ενώ υπολογίζεται και ο φωτισμός των μοντέλων σύμφωνα με τον πραγματικό. Ακόμη μπορεί με μία φορητή μονάδα επαυξημένης πραγματικότητας να απεικονίσει σε έναν πραγματικό χώρο εικονικά μοντέλα για τα οποία θα μπορούν απομακρυσμένα διάφοροι συμμετέχοντες να σχολιάζουν πάνω σε αυτό. <http://aris-ist.intranet.gr/index.htm> [5]
- Αξιοθέατα: Τα μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν για να συμπεριλάβουν ετικέτες ή κείμενο που σχετίζεται με τα αντικείμενα ή/και τόπους επίσκεψης. Με την επαυξημένη πραγματικότητα, οι χρήστες μπορούν να ξανά κτίσουν τα ερείπια, τα κτίρια ή ακόμα και τα τοπία, δεδομένου του πως ήταν στο παρελθόν.
- Αθλητισμός: Χαρακτηριστικό project αναπτύχθηκε για τους Ολυμπιακούς Αγώνες της Αθήνας του 2004 με το όνομα PISTE όπου χτίστηκε ένα σύστημα και συνοδευτικές υπηρεσίες για μία ενισχυμένη εμπειρία τηλεόρασης κατά τη διάρκεια των αθλητικών εκδηλώσεων. Παρείχε τα εργαλεία εκείνα που χρειάζονταν για να επιτρέψει στους broadcasters μέσω ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας και τρισδιάστατης απεικόνισης να δημιουργούν 3D μοντέλα σκηνών από τη ζωντανή εκπομπή των γεγονότων. Ένα οριοθετημένο σύστημα από διάφορες κάμερες οι οποίες συνδυάζουν αληθινά με συνθετικά αντικείμενα και συνδυαστικά αντικείμενα από την πληροφορία που χρησιμοποιήθηκε για να παραχθεί αλληλεπιδραστικό περιεχόμενο. <http://piste.intranet.gr/overview.htm> [6]
- Βιομηχανία Επισκευών και Συντήρησης [51]: Οι οδηγίες για την κατασκευή ή επισκευή θα είναι ευκολότερο να κατανοηθούν αν είναι διαθέσιμες, όχι σε κάποιο εγχειρίδιο με κείμενο και εικόνα, αλλά σαν τρισδιάστατες εικόνες πάνω από το πραγματικό αντικείμενο, όπου θα δείχνουν τα βήματα που πρέπει να γίνουν και τον τρόπο . Έτσι, κάποιος που έχει να αντιμετωπίσει ένα πλήθος χρωματιστών εξαρτημάτων θα έβρισκε πολύ εξυπηρετικό να έχει σχηματικά διαγράμματα με το όνομα και τη λειτουργία κάθε εξαρτήματος, τα οποία θα παρουσιάζονται μπροστά του τη στιγμή της επισκευής.

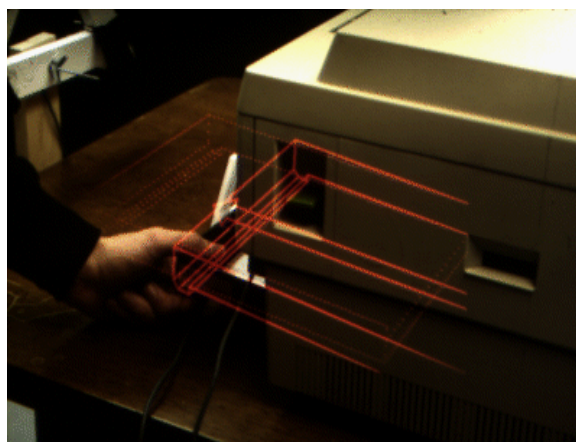


Εικόνα 2.6 : Τα 3D γραφικά δείχνουν ποια βήματα απαιτούνται να ακολουθηθούν προκειμένου να επισκευαστεί κάποιο πιθανό λάθος.

Στο πανεπιστήμιο Columbia δημιουργήθηκε το KARMA (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance), ένα πρωτότυπο σύστημα που αφορά στη συντήρηση ενός εκτυπωτή laser. [15] Η εικόνα παρουσιάζει αυτήν την εφαρμογή ενώ η εικόνα δείχνει τι βλέπει ένας χρήστης, όταν πρέπει να μετακινήσει τη θήκη του χαρτιού σε αυτόν τον εκτυπωτή.



Εικόνα 2.7: Εκτυπωτής laser στον οποίο όλα τα αντικείμενα έχουν εντοπιστεί προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για τη συντήρηση του.



Εικόνα 2.8 : Ο χρήστης βλέπει μέσα από της συσκευή Ε.Π. για το πώς πρέπει να μετακινήσει η θήκη χαρτιού

Παράλληλα, ένας συντηρητής θα μπορεί να βλέπει το ελαττωματικό εξάρτημα μιας μηχανής με έντονο χρώμα, σε σχέση με τα υπόλοιπα, ενώ δίπλα θα εμφανίζονται οι τεχνικές προδιαγραφές του. Ακόμα, η επαυξημένη πραγματικότητα θα μπορούσε να διευκολύνει ηλεκτρικές ή υδραυλικές εργασίες σε ένα κτίριο, καθώς θα παρέχει τη δυνατότητα να μπορούμε να δούμε τι υπάρχει κρυμμένο πίσω από ένα συγκεκριμένο τμήμα του τοίχου.

Αυτοκινητοβιομηχανία [51]: Η εικόνα δείχνει ένα άλλο σενάριο εφαρμογής της επαυξημένης πραγματικότητας με το οποίο έχουν ασχοληθεί πολλά ερευνητικά προγράμματα. Το πρόγραμμα αυτό ονομάζεται ARVIKA [16] και στοχεύει στη χρησιμοποίηση τεχνολογιών επαυξημένης πραγματικότητας στον τομέα της ανάπτυξης, της παραγωγής και των υπηρεσιών αυτοκινήτων. Μετά από ένα crash test ο μηχανικός μπορεί να δει την παραμόρφωση του οχήματος που έχει συμβεί εκείνη τη στιγμή εξαιτίας της σύγκρουσης και συγχρόνως, με τη βοήθεια ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας να φαίνεται η αναμενόμενη παραμόρφωση που περίμεναν οι ερευνητές ότι θα είχε το όχημα μετά τη σύγκρουση. Οι δύο παραμορφώσεις συγκρίνονται και αναλύονται προκειμένου να βελτιωθούν οι προδιαγραφές του οχήματος.



Εικόνα 2.9: Επαυξημένη πραγματικότητα σε crash test

Αρκετά σημαντικές είναι και οι έρευνες που έχουν γίνει από το ερευνητικό πρόγραμμα ARTESAS [17], το οποίο μελετά τεχνολογίες επαυξημένης πραγματικότητας για εφαρμογές στις βιομηχανικές υπηρεσίες.

2.5 Η τεχνολογία

Στην συνέχεια θα αναλυθεί η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας για ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Χωρίζεται σε πέντε κύρια μέρη τα οποία είναι τα εξής: το σύστημα προβολής του περιβάλλοντος (display), το σύστημα εντοπισμού (tracking), συσκευές εισροής δεδομένων (input-devices) η τεχνολογία γραφικών και rendering και ένα υπολογιστικό σύστημα.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, η επαυξημένη πραγματικότητα έχει τη δυνατότητα να βελτιώνει τις ανθρώπινες επιδόσεις προσθέτοντας τις κατάλληλες πληροφορίες στο κατάλληλο μέρος και τη κατάλληλη χρονική στιγμή που χρειάζονται. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να προστεθούν με τρεις κυρίαρχους τρόπους [18]:

- Ο πρώτος τρόπος ορίζει την υπέρθεση πληροφοριών οι οποίες δεν αποτελούν ένα ολοκληρωτικό κομμάτι του φυσικού περιβάλλοντος, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τα head-up displays (HUDs) στα στρατιωτικά αεροσκάφη. Σε αυτές τις περιπτώσεις η υπερτιθέμενη πληροφορία ξεχωρίζει από το πραγματικό σκηνικό και ο καθένας αντιλαμβάνεται την ύπαρξη της.
- Η δεύτερη μέθοδος προσθέτει τις πληροφορίες με τέτοιο τρόπο ώστε να μην ξεχωρίζουν από τον υπόλοιπο φυσικό κόσμο, όπως για παράδειγμα σε μια εφαρμογή στην οποία τοποθετούμε ένα εικονικό κτίριο μέσα σε ένα αστικό τοπίο. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο χρήστης επιδιώκει η προστιθέμενη πληροφορία να εκλαμβάνεται ως αντικείμενο του πραγματικού κόσμου, ότι ανήκει δηλαδή σε αυτόν.
- Η τρίτη μέθοδος συνιστάται στην απεικόνιση της πληροφορίας, η οποία βρίσκεται ήδη στο φυσικό περιβάλλον, αλλά δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμη χωρίς τη βοήθεια της επαυξημένης πραγματικότητας. Κάτι τέτοιο συμβαίνει για παράδειγμα σε διάφορες στρατιωτικές εφαρμογές όπου οι στρατιώτες φορώντας τις ειδικές συσκευές απεικόνισης μπορούν να δουν τι βρίσκεται στο εσωτερικό ή στο πίσω μέρος ενός κτιρίου.

Ανάλογα με την εφαρμογή και τον στόχο που θέλουμε να πετύχουμε, χρησιμοποιούμε και την αντίστοιχη προσέγγιση της επαυξημένης πραγματικότητας [51].

Σύστημα προβολής. Υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές προβολής στην επαυξημένη πραγματικότητα:

1. Προσαρτημένο επί κεφαλής σύστημα παρουσίασης
2. Φορητό σύστημα παρουσίασης
3. Χωρικό σύστημα παρουσίασης

Προσαρτημένο επί κεφαλής σύστημα παρουσίασης

Αυτό το σύστημα τοποθετεί εικόνες και από το φυσικό κόσμο αλλά και από τον ψηφιακό κόσμο στην οπτική του χρήστη ως ένα στρώμα. Τέτοιου είδους συστήματα είναι είτε οπτικά αντιλήψιμα είτε μέσω βίντεο. Ένα οπτικά αντιλήψιμο μπορεί μέσω διαφανούς γυαλιού να προβάλλει την εικόνα που λαμβάνει από το περιβάλλον αλλά και από τον υπολογιστή αντανακλώντας την πάνω στην επιφάνεια του ματιού του χρήστη. Το σύστημα βασισμένο στην βίντεο παρουσίαση είναι ένα σύστημα το οποίο μέσω μικρών οθονών παρουσιάζει στον χρήστη το αποτέλεσμα της επεξεργασμένης εικόνας.

Φορητό σύστημα παρουσίασης

Τέτοιου είδους συστήματα απασχολούν μία μικρή συνήθως φορητή υπολογιστική συσκευή η οποία έχει οθόνη και κρατείται στο χέρι του χρήστη. Όλες οι φορητές αυτές συσκευές που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα δουλεύουν με το σύστημα βίντεο παρουσίασης και εκεί παρουσιάζουν την επεξεργασμένη πληροφορία του φυσικού κόσμου με τα εικονικά στοιχεία. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε αυτά είναι συνήθως πυξίδες GPS με έξι βαθμούς ελευθερίας tracking. Υπόσχονται δε ότι θα είναι τα πρώτα που θα εξυπηρετήσουν κυρίως διαφημιστικούς σκοπούς αφού σχετικά άνετα ακόμα και ένα κινητό μπορεί να μετατραπεί σε ένα τέτοιο σύστημα.

Χωρικό σύστημα παρουσίασης

Σε αυτή την τεχνική ο χρήστης παύει πλέον να μεταφέρει κάποιο εξοπλισμό και αυτό που γίνεται είναι να δανείζεται την τεχνολογία των ψηφιακών προβολέων ώστε να προβάλλει την πληροφορία πάνω σε αληθινά αντικείμενα. Το κλειδί μίας τέτοιας τεχνικής είναι ότι πλέον το σύστημα αποχωρίζεται από το χρήστη χωρίς προφανώς να τον επιβαρύνει, δίνοντας του περισσότερη ελευθερία κινήσεων. Ένα τέτοιο σύστημα είναι μία καλή λύση όταν θελήσουμε να κάνουμε παρουσίαση σε περισσότερους του ενός ατόμων. Μία ομάδα λοιπόν μπορεί να συμμετάσχει σε μία τέτοια εμπειρία χωρίς ιδιαίτερο εξοπλισμό.

Άλλες συσκευές απεικόνισης στην επαυξημένη πραγματικότητα

Και στις δύο μεθόδους κατασκευής συστημάτων επαυξημένης πραγματικότητας που αναλύσαμε παραπάνω (οπτικές συσκευές απεικόνισης και βιντεοσυσκευές) χρησιμοποιήθηκαν φορητές συσκευές απεικόνισης. Αυτές οι συσκευές υπήρξαν ο παραδοσιακός τρόπος απεικόνισης της επαυξημένης πραγματικότητας εδώ και 40 χρόνια. Παρόλα αυτά, πάσχουν από διάφορα τεχνολογικά και εργονομικά μειονεκτήματα, τα οποία εμποδίζουν την αποτελεσματική τους χρήση σε πολλούς τομείς εφαρμογών. Εκτός λοιπόν από τις δύο αυτές συσκευές έχουν αναπτυχθεί και άλλες, τις οποίες αξίζει να αναφέρουμε[51].

Φορητές συσκευές χειρός

Ο Rekimoto από το 1997 έδειξε πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία see-through συσκευή χειρός για να φαίνεται ο κόσμος μέσω ενός φορητού επαυξημένου παραθύρου. Ο Rekimoto οραματίστηκε ότι η συσκευή θα χρησιμοποιείται ως ένας υπολογιστής χειρός, χωρίς την ανάγκη των δυσκίνητων φορητών συσκευών που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά

Πράγματι, οι φορητές συσκευές απεικόνισης που περιγράψαμε μέχρι τώρα, είναι ακόμα μέχρι σήμερα μεγάλες σε μέγεθος, βαριές και δύσχρηστες. Είναι δύσκολο να φανταστούμε ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε καθημερινή βάση εκτός εργαστηρίου ή σε ειδικούς χώρους εργασίας. Αντίθετα οι συσκευές χειρός φαίνονται να είναι οι πιο κατάλληλες για συγκεκριμένες εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας. Με την ταχύτατη ανάπτυξη μικρών προσωπικών ψηφιακών συσκευών, εξελιγμένα έξυπνα κινητά τηλέφωνα όπως το Nokia Communicator και υπολογιστές χειρός ή παλάμης έχουν αρχίσει να καταλαμβάνουν την αγορά. Με όλη αυτή τη ποικιλία των κινητών τερματικών, οι συσκευές χειρός που είναι και εξοπλισμένες με κάμερα κερδίζουν όλο και μεγαλύτερο έδαφος ως πλατφόρμα για τις εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας [19]. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται μια τυπική φορητή συσκευή σε σύγκριση με μια συσκευή χειρός [20]



Εικόνα 2.10: Μία τυπική φορητή συσκευή απεικόνισης (αριστερά) και μία πολύ ελαφριά συσκευή χειρός (δεξιά).

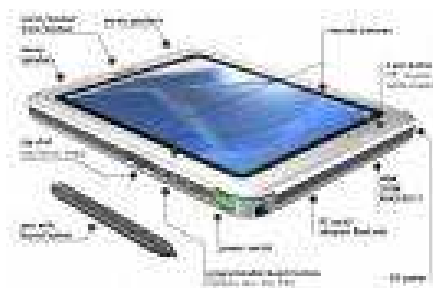
Οι φορητές αυτές συσκευές με την ενσωματωμένη κάμερα μπορούν να παρέχουν επαύξηση του περιβάλλοντος με τον εξής τρόπο: ο πραγματικός κόσμος προβάλλεται μέσω της κάμερας στην οθόνη, η οποία παρουσιάζει και τα εικονικά αντικείμενα επικαλύπτοντας τα πραγματικά. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης δεν «βυθίζεται» σε ένα επαυξημένο περιβάλλον, αλλά παρατηρεί τη σύνθεση εικονικού-πραγματικού μέσα από την οθόνη του συστήματος.

Στην εργασία του ο Wagner διέκρινε τρεις εμπορικά διαθέσιμες συσκευές, οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν ξεχωριστές πλατφόρμες χειρός επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτές είναι τα κινητά τηλέφωνα, τα PDAs, και τα Tablet PCs. Η κάθε μία από αυτές τις συσκευές έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

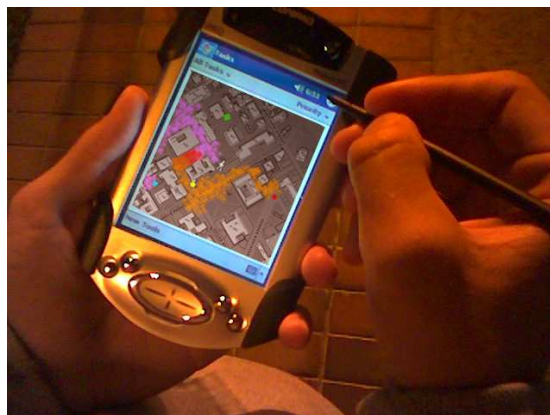
- Τα κινητά είναι βολικά γιατί είναι φορητά και ευρέως διαδεδομένα. Έχουν ελλείψεις όμως όσον αφορά την επαρκή ενέργεια επεξεργασίας και τη συνδεσιμότητα τοπικού δικτύου, ενώ το μικρό μέγεθος οθόνης που διαθέτουν και οι περιορισμένες ικανότητες του σχετικά με τα δεδομένα εισόδου, το καθιστούν όχι και τόσο κατάλληλο για τρισδιάστατες και περίπλοκες εφαρμογές χρήστη.
- Τα Tablet PCs δεν διαθέτουν τα μειονεκτήματα των κινητών τηλεφώνων που προαναφέραμε αλλά είναι αρκετά ακριβότερα και πολύ βαριά για να μπορούν να κρατηθούν με το ένα ή και με τα δύο χέρια για πολλή ώρα.
- Τα PDAs τέλος, παρέχουν ένα καλό συμβιβασμό μεταξύ ενέργειας επεξεργασίας, μεγέθους και βάρους. Είναι και αυτά αρκετά διαδεδομένα και ο touch-screen μηχανισμός εισόδου που διαθέτουν είναι γνώριμος κάτι το οποίο παίζει μεγάλο ρόλο σε εφαρμογές όπου παίρνουν μέρος ανεκπαιδευτοι χρήστες.



Εικόνα 2.11: Κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιεί επαυξημένη πραγματικότητα



Εικόνα 2.12: Tablet PC



Εικόνα 2.13: PDA και επαυξημένη πραγματικότητα

Συσκευές που βασίζονται σε οθόνη

Η επόμενη εικόνα δείχνει ακόμα ένα τρόπο να φτιαχτεί ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας, βασισμένο σε μία οθόνη. Σε αυτή τη περίπτωση μία ή δύο βίντεο-κάμερες τραβούν τον περιβάλλοντα χώρο. Οι κάμερες μπορεί να είναι στατικές ή κινούμενες. Το βίντεο του πραγματικού κόσμου και οι εικόνες που έχουν παραχθεί από μία γεννήτρια εικόνων απεικονίζονται σε μια οθόνη η οποία βρίσκεται μπροστά από το χρήστη, χωρίς αυτός να χρειάζεται να φοράει κάποια συσκευή απεικόνισης. Προαιρετικά οι εικόνες μπορούν να εκτεθούν στερεοσκοπικά πάνω στην οθόνη, όμως τότε ο χρήστης θα πρέπει να φορέσει ένα ζευγάρι στερεοσκοπικών γυαλιών. Η εικόνα 2.14 δείχνει ένα παράδειγμα του συστήματος ενώ η εικόνα 2.15 μια προβολική συσκευή.



Εικόνα 2.14: Εξωτερική όψη του συστήματος Argos, ένα σύστημα Ε.Π. βασισμένο σε οθόνη (Courtesy David Drascic and Paul Milgram, U. Toronto.)



Εικόνα 2.15: Προβολική συσκευή

Προβολικές συσκευές

Τέλος, εκτός από τις φορητές συσκευές χειρός και τις συσκευές που βασίζονται σε οθόνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και προβολικές συσκευές, οι οποίες προβάλλουν απευθείας την εικονική πληροφορία πάνω στα φυσικά αντικείμενα. Στην απλούστερη περίπτωση, η πληροφορία προβάλλεται πάνω στο αντικείμενο από ένα συνηθισμένο προβολικό μηχάνημα (projector). Για παράδειγμα, μπορεί σε μία ορατή επιφάνεια ενός κύβου να προβάλλεται μια εικόνα ενός μαύρου κύκλου, δίνοντάς μας την εντύπωση της ύπαρξης μιας μαύρης τρύπας. Στο άλλο άκρο της κατηγορίας βρίσκονται συστήματα, όπως το Cave, στο οποίο σε ένα ειδικό δωμάτιο υπάρχουν πολλαπλά προβολικά που μπορούν να καλύψουν τις μεγάλες επιφάνειες των τοίχων, χρησιμοποιώντας αυτόματους προβολικούς μηχανισμούς ώστε να μεταβάλλεται η κάλυψη, η εστίαση, και τα λοιπά. Καταγράφοντας με κάμερες το πραγματικό περιβάλλον και προβάλλοντας τον συνδυασμό πραγματικού-εικονικού που παράγεται από υπολογιστές στις επιφάνειες των τοίχων μέσω των προβολικών, ο χρήστης μπορεί να έχει μια πολύ ρεαλιστική επαύξηση της πραγματικότητας, η οποία τον περικλείει [21].

Εντοπισμός (tracking)

Στα σύγχρονα φορητά συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας χρησιμοποιείται μία ή και περισσότερες από τις ακόλουθες τεχνολογίες tracking: κάμερες ή/και άλλοι οπτικοί αισθητήρες, επιταχυνσιόμετρα, συστήματα παγκόσμιας θέσης (GPS) γυροσκόπια, πυξίδες, ασύρματοι αισθητήρες. Κάθε μία από τις τεχνολογίες αυτές έχει διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας. Το πιο σημαντικό είναι ο σωστός υπολογισμός της θέσης των αυξημένων μερών του χώρου που επεξεργαζόμαστε με αυτής του χρήστη και ο λόγος είναι κυρίως η ρεαλιστικότητα.

Συσκευές εισροής δεδομένων

Συσκευές εισόδου δεδομένων μπορούμε να έχουμε με διάφορους τρόπους όπως είναι ένα απλό πληκτρολόγιο, ειδικά γάντια με ενσωματωμένους αισθητήρες ή ακόμη και joysticks. Στη περίπτωση των κινητών τηλεφώνων έχουμε ήδη κάποιο έτοιμο σύστημα κατάδειξης από τη μία και ένα έτοιμο σύστημα παρουσίασης και μάλιστα φορητό από την άλλη.

Τεχνολογία γραφικών και rendering

Σημαντικό στοιχείο για την συνολική υλοποίηση της εφαρμογής είναι η τεχνολογία που θα χρησιμοποιηθεί για να την απεικόνιση των εικονικών μοντέλων αφού διαβαστεί και φορτωθεί η περιγραφή τους. Το rendering όπως ονομάζεται η διαδικασία αυτή αναλαμβάνει την προβολή μίας τρισδιάστατης σκηνής σε δύο διαστάσεων εικόνα προσθέτοντας την γεωμετρία των διάφορων αντικειμένων τη θέση θέασης ενώ αρκετές φορές τη σκίαση, το φωτισμό και τις υφές. Όπως γίνεται αντιληπτό, ο συνδυασμός αυτών των δύο διεργασιών, αυτής του tracking και αυτής του rendering, αναλαμβάνει τον ρεαλισμό της σκηνής με γνώμονα βέβαια και την ομαλή λειτουργία της εφαρμογής αφού εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο ακριβώς όπως ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης.

Υπολογιστικό σύστημα

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν κάμερες είναι αρκετά ενεργοβόρα αφού εκτελούν, πολλές φορές, αρκετές διεργασίες επεξεργασίας εικόνας. Αυτό απαιτεί έναν καλό επεξεργαστή με μία RAM συνήθως μεγάλης χωρητικότητας. Σε αυτό το σημείο προκύπτει ένα πρόβλημα στα φορητά συστήματα αφού αρκετές φορές θα πρέπει να φοράει ο χρήστης ένα αρκετά μεγάλο εξοπλισμό αλλά και βαρύ. Για τα σταθερά συστήματα ένας σταθμός εργασίας με μία καλή κάρτα γραφικών είναι αρκετά για ένα περισσότερο από ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Ο ήχος είναι ένα άλλο στοιχείο που αποτελεί επιπρόσθετο μέρος ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας.

Το λογισμικό

Όπως είναι αυτονόητο το λογισμικό είναι από τα πιο σημαντικά μέρη ενός συστήματος ΕΠ για τον απλό λόγο ότι όσο δυνατό και να είναι το hardware χρειάζεται ένα λογισμικό που να τρέχει καθ' όλη την διάρκεια και να εκτελεί τους σωστούς υπολογισμούς. Αυτό καθιστά αναγκαίο ένα παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων όπου, θα είναι ανεξάρτητο από την κάμερα, το οποίο θα επαναφέρεται από τις εικόνες της κάμερας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται εγγραφή εικόνας και αποτελεί μέρος του ορισμού Azuma της επαυξημένης πραγματικότητας. Η εγγραφή εικόνας στην επαυξημένη πραγματικότητα μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές της τεχνητής όρασης που αφορά κυρίως το tracking σε βίντεο. Πολλές μέθοδοι της μηχανικής όρασης οι οποίες χρησιμοποιούνται στην επαυξημένη πραγματικότητα έχουν κληρονομηθεί από παρόμοιες οπτικές μεθόδους οδομετρίας όπως σε robot για τον υπολογισμό του προσανατολισμού τους και της θέσης τους. Το ίδιο συμβαίνει λοιπόν και στην περίπτωση της επαυξημένης πραγματικότητας αφού επιβάλλεται να υπάρχει κάποιο σημείο αναφοράς για την σωστή προβολή των εικονικών αντικειμένων. Αφού λοιπόν εντοπιστεί με κάποια μέθοδο το παραπάνω σημείο θα πρέπει έπειτα να προσαρμοστεί το παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία που θα έχουν συγκεντρωθεί. [1]

2.6 Στόχοι

Όπως είδαμε και παραπάνω υπάρχουν κάποια θέματα, τα οποία προβληματίζουν τους ερευνητές για την εξέλιξη της επαυξημένης πραγματικότητας, εμποδίζοντάς την σε μία ευρύτερη χρήση. Αυτοί οι προβληματισμοί δίνουν και τα κίνητρα ώστε να οριστούν οι στόχοι που θα οδηγήσουν ένα βήμα πιο πέρα τον τομέα της επαυξημένης πραγματικότητας. Από τους μεγαλύτερους στόχους οι οποίοι πάντα θα απασχολούν ένα άτομο που ασχολείται με τον τομέα αυτό είναι το κομμάτι της παρουσίασης στον χρήστη το οποίο όμως αποτελείται από διάφορα άλλα κομμάτια. Το να βιώσει ο χρήστης την μέγιστη δυνατή εμπειρία κάνει το σύστημα επιτυχημένο και λειτουργικό.

Η αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον αυξάνει κατά πολύ την αντίληψη του παρατηρητή επειδή από την εμπειρία του και μόνο με τον πραγματικό κόσμο γνωρίζει τι ελευθερίες έχει, τι περιορισμούς και τι συμπεριφορά διαμορφώνει, με αποτέλεσμα υποσυνείδητα να κάνει αυτή την σύγκριση. Όσο περισσότερο, λοιπόν, τα εικονικά αντικείμενα συμπεριφέρονται σε αυτό το μοτίβο τόσο πιο αληθοφανή τα αντιλαμβάνεται ο χρήστης.

Παραδείγματος χάριν, τρεις βασικές λειτουργίες που μπορούν να δώσουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα είναι η περιστροφή (Rotate) η μετατόπιση (Translate) και η κλίμακα (Scale). Γίνεται αντιληπτό ότι αυτές οι δυνατότητες είναι αρκετές για να μπορέσει κάποιος να διαμορφώσει το εικονικό περιβάλλον όπως ακριβώς θελήσει αλληλεπιδρώντας με αυτό. Ξεφεύγει δηλαδή ο παρατηρητής από μία γραμμική οργάνωση και παρουσίαση του περιβάλλοντος, επεμβαίνοντας σε αυτό και αλλάζοντας το, σύμφωνα με τις ανάγκες του. Βέβαια, αυτά ούτε υποχρεωτικά είναι ούτε αναγκαία να γίνουν ώστε ένα σύστημα να θεωρείται καλά σχεδιασμένο και λειτουργικό. Αναλόγως το σύστημα και την εφαρμογή που θα αναπτυχθεί έχουμε και το ανάλογο στήσιμο των δεδομένων.

Ο επόμενος στόχος στον οποίο δίνεται ιδιαίτερη σημασία είναι το λογισμικό με το οποίο θα αναπτυχθεί η εκάστοτε εφαρμογή. Αλληλεπίδραση δεν μπορεί να υπάρξει αν δεν υπάρξει πρώτα ένα εργαλείο ή μία πλατφόρμα στην οποία θα γίνουν οι σκέψεις, πράξεις. Το λογισμικό, λοιπόν, αναλαμβάνει αυτό το ρόλο να μας διευκολύνει στην ανάπτυξη κάτι το οποίο το καθιστά κύριο παράγοντα. Η μελέτη για την καλύτερευση ενός τέτοιου λογισμικού αποτελεί μία διαρκή αναζήτηση για τα μέγιστα δυνατά αποτελέσματα με την υπάρχουσα τεχνολογία.

Το hardware το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας είναι εξίσου σημαντικό και γι' αυτό το λόγο γίνεται αναγκαία η αναζήτηση και στην συνέχεια η αξιοποίηση του. Το υλικό μπορεί να αποτελείται από το υπολογιστικό σύστημα την κάμερα τα ηχεία αλλά και από πιο εξειδικευμένες συσκευές για τον συγκεκριμένο σκοπό όπως είναι ειδικά γυαλιά και αρκετές φορές και γάντια. Η εμπειρία ενός τέτοιου συστήματος αυξάνεται όσο αυξάνονται οι δυνατότητες του υλικού που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό πάντα με το λογισμικό. Όπως και προηγουμένως ο σκοπός για δυνατότερο υλικό (hardware) με υποστήριξη περισσότερων τεχνολογιών δίνει ακόμη ένα κίνητρο να εξελιχθεί ο τομέας αυτός της επαυξημένης πραγματικότητας. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη αν πρόκειται για φορητό σύστημα, εσωτερικό σύστημα ή εξωτερικό σύστημα.

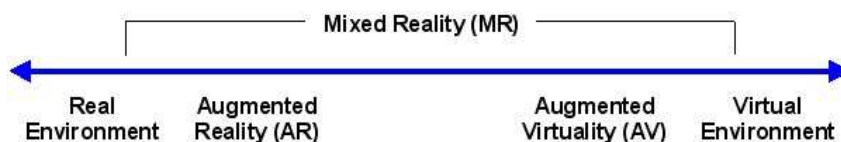
Στις μεγαλύτερες προκλήσεις συγκαταλέγεται αυτή της ευχρηστίας και της ελευθερίας του χρήστη. Ένα σύστημα δεν θα πρέπει να επικεντρώνεται μόνο στο να λειτουργεί χωρίς σφάλματα και να εξυπηρετεί ένα σκοπό αλλά θα πρέπει παράλληλα να κατανοεί τον χρήστη και τις ανάγκες του και να του προσφέρει φιλικές συνθήκες.

Η έρευνα γι' αυτό το κομμάτι στοχεύει κυρίως στο να δίνει μία ελευθερία κινήσεων χωρίς να επιβαρύνει, ενώ να κάνει το σύστημα περισσότερο λειτουργικό και εύχρηστο. Παλιότερα τα συστήματα ήταν κυρίως εσωτερικού χώρου με τους σταθμούς εργασίας να είναι σταθεροί ενώ ο εξοπλισμός να κάνει ακόμα τα πρώτα του βήματα στον τομέα αυτό. Στις μέρες μας έχει γίνει μεγάλη πρόοδος με τα έξυπνα κινητά τηλέφωνα να έχουν και αυτά τον δικό τους ρόλο κυρίως στην φορητότητα. Αν και τα κινητά τηλέφωνα δεν προτείνονται για τέτοιου είδους εγχειρήματα, δεν παύουν όμως να αποδεικνύουν ότι τέτοια συστήματα θα πρέπει, για να γίνουν κοινώς αποδεκτά, να διευκολύνουν τον χρήστη και όχι να τον επιβαρύνουν.

2.7 Συγγενικές τεχνολογίες

Εκτός την επαυξημένη πραγματικότητα υπάρχουν και κάποιες άλλες συγγενικές τεχνολογίες, οι οποίες θα αναφερθούν παρακάτω. Ονομαστικά είναι οι ακόλουθες: εικονική πραγματικότητα, επαυξημένη εικονικότητα, μεσολαβημένη πραγματικότητα και μεσολαβημένη εικονικότητα. Τα επόμενα σχήματα βοηθούν στην κατανόηση των σχέσεων ανάμεσα σε αυτές τις τεχνολογίες [3]:

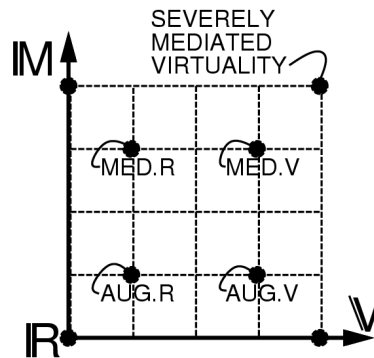
Η πρώτη εικόνα μας δείχνει το **Πραγματικό-Εικονικό Συνεχές** και πως μπορούμε να οδηγηθούμε από την πραγματικότητα, όπως την αντιλαμβανόμαστε χωρίς κανένα σύστημα να την αλλοιώνει, μέχρι και την εικονική πραγματικότητα στην οποία είμαστε πλήρως βυθισμένοι σε ένα εικονικό περιβάλλον όπου κανένα στοιχείο του δεν προέρχεται από την πραγματικότητα. Επομένως καλύπτει όλες τις πιθανές παραλλαγές και τις συνθέσεις των πραγματικών και εικονικών αντικειμένων. Η περιοχή στη μέση αυτού του άξονα, ανάμεσα από την πραγματικότητα και την εικονικότητα ονομάζεται Μικτή πραγματικότητα (Mixed Reality) και περιλαμβάνει στην ουσία τις μίξεις του αληθινού με το πραγματικό.



Εικόνα 2.16: Πραγματικό-Εικονικό Συνεχές

Ο Milgram το 94 όρισε αυτό το πραγματικό-εικονικό συνεχές ξεκινώντας το από το πραγματικό περιβάλλον μέχρι ένα περιβάλλον πλήρως εικονικό. Ανάμεσα στα δύο αυτά άκρα σύμφωνα με τον Milgram, υπάρχει η μικτή πραγματικότητα (mixed reality), η οποία αποτελείται από την επαυξημένη πραγματικότητα και την επαυξημένη εικονικότητα. Η πρώτη, βρίσκεται κοντά στο άκρο της πραγματικότητας καθώς η κυρίαρχη αντίληψη που μεταφέρεται προς τον χρήστη είναι αυτή του πραγματικού κόσμου, επαυξημένη με δεδομένα από έναν υπολογιστή. Η δεύτερη, η επαυξημένη εικονικότητα (augmented virtuality, ένας όρος που δημιουργήθηκε από τον Milgram) βρίσκεται πλησιέστερα στην εικονική πραγματικότητα και περιγράφει συστήματα τα οποία παρουσιάζουν κυρίως συνθετικές εικόνες με προσθήκη κάποιων στοιχείων από το πραγματικό περιβάλλον, για μεγαλύτερη πιστότητα και ρεαλισμό. Η επαυξημένη εικονικότητα δεν έχει ουσιαστικές εφαρμογές και ενδέχεται να εκλείψει ως κατηγορία, όσο η τεχνολογία βελτιώνεται και οι εικονικές σκηνές δεν θα διακρίνονται από τις πραγματικές.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το σύστημα αξόνων δύο εννοιών, της μεσολάβησης (M) και της εικονικότητας (V) στον κάθετο και τον οριζόντιο άξονα αντίστοιχα, ενώ έχουν σημείο τομής την πραγματικότητα (R). Κατά μήκος του άξονα της εικονικότητας συναντάμε αρχικά από αριστερά προς τα δεξιά την επαυξημένη πραγματικότητα (AR) όπου είναι η πραγματικότητα επαυξημένη με εικονικά γραφικά και στην συνέχεια την επαυξημένη εικονικότητα όπου είναι το εικονικό περιβάλλον επαυξημένο με αληθινά στοιχεία. Ωστόσο το σύστημα αξόνων περιλαμβάνει είτε παραλλαγές της πραγματικότητας είτε της εικονικότητας είτε συνδυασμών και των δύο.



Εικόνα 2.17: Οι σχέσεις ανάμεσα στις διάφορες Πραγματικότητες

Οι παραλλαγές σημειώνονται αν μετακινηθούμε προς τα πάνω κατά μήκος του άξονα της μεσολάβησης. Περαιτέρω πάνω στον άξονα αυτό συναντάμε την διαμεσολαβημένη πραγματικότητα και την διαμεσολαβημένη εικονικότητα και τους συνδυασμούς τους. Ακόμη πιο δεξιά και πάνω βρίσκουμε τους εικονικούς κόσμους οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για μία αυστηρά τροποποιημένη εκδοχή της πραγματικότητας. Η διαμεσολαβημένη πραγματικότητα γενικεύει τα σενάρια της μικτής πραγματικότητας αφού περιλαμβάνει το **Πραγματικό-Εικονικό Συνεχές** αλλά ωστόσο εκτός από τα εφέ που προστίθενται μπορούν να υπάρξουν και εφέ τα οποία αφαιρούν ένα μέρος ή ένα αντικείμενο της πραγματικότητας, προφανώς σκόπιμα.. Επιπλέον, εξετάζει, γενικότερα, το ότι η πραγματικότητα μπορεί να τροποποιηθεί με διάφορους τρόπους. Το πλαίσιο της διαμεσολαβημένης πραγματικότητας περιγράφει τις συσκευές που τροποποιούν σκόπιμα την πραγματικότητα, καθώς επίσης και τις συσκευές που το τροποποιούν τυχαία.

Το σημαντικό στοιχείο στην ταξινόμηση του Milgram είναι το γεγονός ότι οι κατηγορίες της μικτής πραγματικότητας δεν αντιμετωπίζονται ως διακριτά σημεία, αλλά όλος ο χώρος θεωρείται ένα συνεχές. Αυτό σημαίνει ότι τα όρια δεν είναι απολύτως σαφή και ότι οι διακρίσεις γίνονται δυσδιάκριτες για το τι ακριβώς αντιλαμβανόμαστε ως πραγματικό και ως εικονικό. Η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος θα κάνει τη διάκριση αυτή ακόμα πιο δύσκολη ή αδύνατη, κάτι που σε κάποιες περιπτώσεις είναι επιθυμητό, όπως για παράδειγμα όταν ένας γιατρός θα πρέπει να βλέπει τις εικονικές αναπαραστάσεις με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και ταύτιση, ενώ σε κάποιες άλλες θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή του, όπως για παράδειγμα όταν ένας στρατιώτης θα πρέπει να ξεχωρίζει έναν εικονικό από έναν πραγματικό στόχο.

Ενώ ο όρος επαυξημένη εικονικότητα χρησιμοποιείται σπάνια στις μέρες μας πολλές φορές μπορεί να συναντήσουμε την επαυξημένη πραγματικότητα και την επαυξημένη εικονικότητα ως συνώνυμες έννοιες.

3 Τεχνικές Τεχνητής Όρασης

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται κάποιες κύριες και σημαντικές μέθοδοι οι οποίες αποτελούν την καρδιά της ομαλής λειτουργίας ενός συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας. Αυτές είναι του tracking (ιχνηλάτηση, εντοπισμός) και του calibration (βαθμονόμηση) της κάμερας.

3.1 Ιχνηλάτηση - Tracking

Η περιγραφή συστημάτων

Ο στόχος του συστήματος μπορεί να βασιστεί σε δύο μεθόδους για να ακολουθήσει την κλίση της κάμερας που χρησιμοποιεί έναν καθοδηγητικό marker και να επιτευχθεί το σωστό tracking παρά τις επικαλύψεις και τις παραλλαγές φωτισμού μέσα από μία συνένωση των δύο μεθόδων. Η συνένωση χρησιμοποιεί δύο τύπους, την μέθοδο βασισμένη στην χρήση με marker (MC) και στην μέθοδο βασισμένη στην χρήση χαρακτηριστικών σημείων (FPC), που συγχωνεύεται σε ένα φίλτρο. Αυτό το τμήμα περιγράφει πώς η μέθοδος βασισμένη στην χρήση marker και η μέθοδος βασισμένη στην χρήση χαρακτηριστικών σημείων λαμβάνονται καθώς επίσης και η διαδικασία που χρησιμοποιείται για να τις ενώσει μέσα σε ένα φίλτρο.

3.1.1 Μέθοδος βασισμένη στην χρήση ιχνών - marker (MC)

Γεωμετρικά σχέδια όπως μια ομάδα κύκλων (με ελάχιστο σετ των τριών) ή ενός τετραγώνου, παρέχουν αρκετές πληροφορίες για να ανακτήσουν την θέση της κάμερας που τα συλλαμβάνει. Μεταξύ των διάφορων υπάρχουσών τεχνικών για ανίχνευση, γνωστό και ως tracking με markers, επιλέχτηκε το ARToolkit [7] λόγω του υψηλού ρυθμού ανίχνευσης και υψηλού ποσοστού εκτίμησης ανίχνευσης. Αυτός ο ανιχνευτής με βάση marker και μερικές από τις παραλλαγές του, συναντάται στον πυρήνα πολλών εφαρμογών. [43]

$$T = [t_x; t_y; t_z; \text{rot}_w; \text{rot}_x; \text{rot}_y; \text{rot}_z]; \quad (1)$$

όπου το t είναι οι μετατοπίσεις (τρισεδιάστατη θέση) και η rot είναι συντομία για rotation δηλαδή την περιστροφή (τρισεδιάστατος προσανατολισμός), μεταξύ του παγκόσμιου συστήματος συντεταγμένων (ορισμένο στον ακολουθούμενο marker) και αυτού της κάμερας. Ενώ η συνάρτηση (T) (1) αναφέρεται στη 6D θέση του marker. Αυτό ορίζεται ως πλαίσιο των παγκόσμιων συντεταγμένων. Αυτός ο μετασχηματισμός προωθείται στο φίλτρο για την ανανέωση της θέσης. Το MC λαμβάνεται όπως περιγράφεται στην συνέχεια. Σε κάθε πλαίσιο, ο αλγόριθμος αναζητά τους τετράγωνους marker μέσα στο πεδίο όρασης, γνωστό και ως field- of -view (FoV). Εάν ανιχνευτεί ένας marker, ο μετασχηματισμός μπορεί να υπολογιστεί. Η διαδικασία ανίχνευσης περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.

Κατ' αρχάς, το πλαίσιο μετατρέπεται σε μια δυαδική εικόνα (χρησιμοποιώντας ένα ορισμένο κατώφλι - threshold) και αναγνωρίζεται το μαύρο περίγραμμα των marker i . Εάν η αναγνώριση βγει θετική, υπολογίζεται η 6D θέση του marker σε σχέση με την κάμερα (T) . Αυτός ο υπολογισμός χρησιμοποιεί τη γεωμετρική σχέση των τεσσάρων προβαλλόμενων γραμμών που περιγράφουν το marker λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον την αναγνώριση ενός μη συμμετρικού σχεδίου μέσα στο marker [44].

Όταν αυτές οι πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες, καμία μέτρηση δεν μπορεί να υπολογιστεί. Αυτό εμφανίζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- οι markers είναι μερικώς, ή εντελώς, κρυμμένοι από ένα αντικείμενο
- οι markers είναι μερικώς, ή εντελώς, έξω από το οπτικό πεδίο
- δεν μπορούν να ανιχνευθούν όλες οι γραμμές (π.χ., λόγω της χαμηλής αντίθεσης). [45]

3.1.2 Μέθοδος βασισμένη στην χρήση χαρακτηριστικών σημείων (FPC)

Οι πραγματικές γωνίες του marker που μας ενδιαφέρει μπορούν να θεωρηθούν ως χαρακτηριστικά σημεία. Αυτά τα χαρακτηριστικά σημεία είναι δισδιάστατες προβολές των τρισδιάστατων γωνιών επάνω στο επίπεδο εικόνας της κάμερας. Συνεπώς, περιορίζουν τον τρισδιάστατο προσανατολισμό και ειδικά την τρισδιάστατη θέση της κάμερας. Ο ανιχνευτής στην προκειμένη περίπτωση παράγει μια εκτίμηση της θέσης των χαρακτηριστικών σημείων. Αυτή η εκτίμηση είναι ένα από τα ορίσματα που δίνονται στο πλαίσιο της σύνδεσης (γνωστό ως FPC) και είναι βασισμένη στην ανίχνευση χαρακτηριστικών σημείων, τεχνική που παρουσιάζεται από τον Davison [46].

Προκειμένου να επικυρωθούν οι πιθανοί υποψήφιοι του χαρακτηριστικού σημείου, ορίζεται ένα πρότυπο για το κάθε τρισδιάστατο P^i σημείο ως ένα γκρίζο επίπεδο γύρω από μία δισδιάστατη προβολή των γωνιών του marker. Αυτό το πρότυπο αρχικοποιείται μία φορά, κατά την έναρξη. Τα χαρακτηριστικά σημεία αναζητούνται στο βίντεο frame. Χρησιμοποιώντας την εκτίμηση της θέσης της κάμερας είναι δυνατόν να εντοπίσει προσεγγιστικά μια περιοχή όπου βρίσκονται αυτά τα χαρακτηριστικά σημεία. Ορίζουμε ως r^i την περιοχή όπου μπορεί να βρίσκεται η δισδιάστατη προβολή του P^i στο πλάνο της εικόνας, λαμβάνοντας υπόψη το δοθέν φίλτρο, του κατ' εκτίμηση μετασχηματισμού της T . Υποθέστε, προς το παρόν, ότι αυτή η περιοχή είναι γνωστή. Κατά το χρόνο εκτέλεσης, μια αναζήτηση εκτελείται: η r^i είναι η συσχετιζόμενη με το πρότυπο της γωνίας. Αυτό δίνει ένα σύνολο συσχετισμένων χαρτών $corr_map^i$, ένα για κάθε γωνία. Ένα σύνολο S^i των συντεταγμένων ορίζεται από το $threshold$ (κατώφλι) του κάθε χάρτη συσχέτισης.

$$S^i = \{ [x; y] \mid corr_map^i(x, y) > th \} \quad (2)$$

όπου το i δείχνει τις γωνίες του marker. Αυτά τα σύνολα τροφοδοτούν το φίλτρο για την αναπροσαρμογή. Κάθε γωνία της οποίας τα χαρακτηριστικά σημεία ανιχνεύονται θετικά κάνει το φίλτρο να συγκλίνει σε μια σταθερότερη εκτίμηση. Τρία σημεία είναι απαραίτητα για να περιορίσουν εντελώς μια 6D θέση. Εντούτοις, το φίλτρο μπορεί να ενημερωθεί ακόμη και με μόνο ένα σημείο. Μια αξιόπιστη μέτρηση (FPC) δεν μπορεί να είναι διαθέσιμη στις ακόλουθες καταστάσεις:

- Το p^i είναι καλυμμένο από ένα αντικείμενο
- Το p^i είναι έξω από το οπτικό πεδίο
- Η περιοχή δεν περιέχει πραγματική προβολή (λόγω μιας κακής εκτίμησης περιοχών), ή
- Το p^i είναι μέσα στην περιοχή αλλά κανένα σημείο στο χάρτη συσχέτισης δεν περνάει το $threshold$ (παραδείγματος χάριν, επειδή το viewpoint αλλάζει δραστικά)

3.1.3 Η συνένωση δεδομένων

Ο στόχος της συνένωσης είναι να ληφθεί μια σύμπραξη με το συνδυασμό και των δύο μεθόδων. Οι μεμονωμένες αδυναμίες που περιγράφονται στα προηγούμενα τμήματα λύνονται από αυτόν τον συνδυασμό. Ειδική προσοχή δίνεται στις επικαλύψεις και στα προβλήματα φωτισμού (αντίθεση) στην ανίχνευση του marker (αδυναμίες του MC) και την αναγνώριση των χαρακτηριστικών σημείων από τις αλλαγές του viewpoint (αδυναμία του FPC). Αφ' ενός, οι επικαλύψεις και τα προβλήματα φωτισμού λύνονται από τη αλλαγή στην μέθοδο χαρακτηριστικών σημείων που είναι ανεξάρτητη από την αναγνώριση του marker. Από την άλλη όμως όταν θα αλλάξει δραστικά το αντικείμενο μέσα στην σκηνή δεν θα είναι σε θέση η συσχέτιση των προτύπων να μπορεί να εντοπίσει τα χαρακτηριστικά σημεία και, συνεπώς, το φίλτρο αρχίζει και χάνει. Μόλις ο marker αναγνωριστεί πάλι, το φίλτρο μεταπηδά στην τεχνική με την χρήση marker και επανέρχεται από την λανθασμένη εκτίμηση. Οι λεπτομέρειες αυτού του συνδυασμού περιγράφονται στην συνέχεια.

Προσεγγίζοντας το tracking, με βάση τα φίλτρα, παρέχεται μια συνεχής εκτίμηση του μετασχηματισμού T . Το φίλτρο παρέχει μια πρόβλεψη του T ακόμα και όταν καμία μέτρηση δεν είναι διαθέσιμη. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν η κίνηση είναι γρήγορη (και η εικόνα γίνεται θολή) ή όταν οι αναφορές δεν είναι ορατές. Στοχεύουμε εφαρμογές όπου η κάμερα είναι φορητή ή συνδεδεμένη με το κεφάλι του χρήστη. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι προσεγγίσεις Kalman με βάση τα φίλτρα αν και χρησιμοποιούνται εκτενώς για την ego-tracking, επιτυγχάνουν τη χειρότερη απόδοση επειδή η κίνηση δεν είναι άσπρη ούτε έχει στατιστικά Gauss [47][48] Για την αποφυγή της γκαουσιανής υπόθεσης, έχει επιλεγεί ένας αλγόριθμος tracking κάμερας που χρησιμοποιεί ένα φίλτρο .i. Για περισσότερες λεπτομέρειες στα φίλτρα, ο αναγνώστης μπορεί να τρέξει στο [49].

Κάθε στοιχείο \mathbf{n} στο φίλτρο αντιπροσωπεύει έναν πιθανό μετασχηματισμό T_n . Στην έναρξη, η αξία όλων των στοιχείων ορίζεται στο μετασχηματισμό που παρέχεται από το MC. Οι τρισδιάστατες συντεταγμένες των γωνιών δίνονται από τη γεωμετρική περιγραφή του marker. Σε κάθε frame, το πρότυπο διάδοσης που χρησιμοποιείται είναι μία τυχαία διαδρομή (ομοιόμορφη διανομή). Η αναπροσαρμογή του βάρους κάθε στοιχείου \mathbf{n} υπολογίζεται χρησιμοποιώντας το μετρούμενο θόρυβο της (πιθανότητα).

$$w_n = p(Y | T_n) \quad (3)$$

όπου:

- W_n είναι το βάρος του στοιχείου \mathbf{n} ,
- Y είναι η μέτρηση, και
- $p (: | :)$ είναι η υπό όρους πιθανότητα.

Ο βασικός ρόλος του φίλτρου συνένωσης είναι να αλλάζει μεταξύ δύο πιθανοτήτων ή προτύπων παρατήρησης ανάλογα με τον τύπο μέτρησης: MC ή FPC. Αρκεί να ανιχνευτεί ο marker, το σύστημα χρησιμοποιεί τη μέτρηση MC ($Y = T_{MC}$) για να ενημερώσει το φίλτρο. Στο βήμα αναπροσαρμογών, το βάρος κάθε στοιχείου \mathbf{n} υπολογίζεται από την ομαλοποιημένη Ευκλείδεια απόσταση

$$\Sigma(a_j - b_j)^2 / \sigma_j^2$$

μεταξύ T_{MC} και της T_n , όπου το j συντάσσει τα στοιχεία του διανύσματος T . Οι παράγοντες κανονικοποίησης σ_j συντάσσονται σε μη πραγματικό χρόνο έπειτα από πειραματισμό. Τα πρότυπα που συνδέονται στις γωνίες του marker ενημερώνονται επίσης όσο ο marker ανιχνεύεται. Από την άλλη μεριά, όταν το MC αποτυγχάνει να ανιχνεύσει το marker, το σύστημα στηρίζεται στο FPC ($Y = U_i S^i$). Κατ' αρχάς, υπολογίζονται οι περιοχές όπου τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά σημεία έχουν την πιθανότητα να βρίσκονται.

Για κάθε ένα στοιχείο, η δισδιάστατη προβολή $[p_{n,x}, p_{n,y}]$ ενός τρισδιάστατου σημείου $[P_X, P_Y, P_Z]$ μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό T_n και τη βαθμονόμηση της κάμερας:

$$p_n = \begin{bmatrix} p_{n,x} \\ p_{n,y} \end{bmatrix} = K \cdot [R_n | t_n] \cdot P = K \cdot [R_n | t_n] \begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \end{bmatrix},$$

όπου :

- το K είναι το matrix βαθμονόμησης (υπολογισμένη σε μη πραγματικό χρόνο),
- το R είναι ένα matrix περιστροφής rot_X , rot_Y και rot_Z , και
- το $t = [t_X, t_Y, t_Z]^T$ είναι το translation του διανύσματος.

Για κάθε τρισδιάστατο σημείο P^i , υπολογίζεται ένα οριοθετημένο πλαίσιο περιέχοντας όλες τις προβολές του P^i δοθέντων όλων των μετασχηματισμών T_n του στοιχείου. Αυτό το οριοθετημένο πλαίσιο είναι η περιοχή r_i .

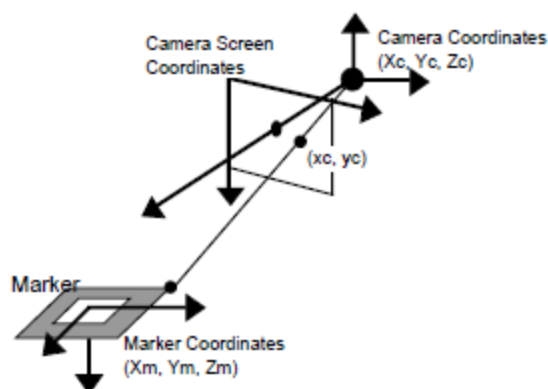
Κατόπιν, λαμβάνονται οι χάρτες συσχετισμού. Την πρώτη φορά που ορίζεται το σύνολο του S^i , τα βάρη μπορούν να υπολογιστούν. Για κάθε στοιχείο n , η προβολή του P^i δίνει ένα σημείο εικόνας (P^i_n). Το βάρος του στοιχείου n είναι ανάλογο προς τις Ευκλείδειες αποστάσεις από το P^i_n σε οποιοδήποτε στοιχείο στο S^i . Μόλις ολοκληρωθεί η αναπροσαρμογή είτε χρησιμοποιώντας το MC είτε το FPC, το T λαμβάνεται από ένα σταθμισμένο άθροισμα της T_n .

3.1.4 Η εκτίμηση των πινάκων μετασχηματισμού

Η εκτίμηση της μετατόπισης

Χρησιμοποιούνται τετράγωνοι markers με γνωστά μεγέθη ως βάση του πλαισίου συντεταγμένων στο οποίο αναπαριστούνται εικονικές οθόνες (σχήμα 3.1). Οι πίνακες μετασχηματισμού από τις συντεταγμένες των του marker στις συντεταγμένες των καμερών (T_{cm}) αντιπροσωπεύονται στην *συνάρτηση 1* και υπολογίζονται μέσω της ανάλυσης της εικόνας. [50]

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & W_x \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & W_y \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & W_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{3 \times 3} & W_{3 \times 1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} = T_{cm} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



Σχήμα 3.1: Η σχέση ανάμεσα στις συντεταγμένες του marker και αυτών της κάμερας υπολογίζονται από ανάλυση εικόνας.

Μετά από το thresholding της εισαγόμενης εικόνας, οι περιοχές των οποίων το εξωτερικό περίγραμμα αποτελείται από τέσσερα τμήματα γραμμών αναγνωρίζονται και εξάγονται. Οι παράμετροι αυτών των τεσσάρων τμημάτων γραμμών και οι συντεταγμένες των τεσσάρων διανυσμάτων των περιοχών, ανιχνεύονται από τις διασταύρωση των τομών των τμημάτων των γραμμών και αποθηκεύονται για τις παρακάτω διαδικασίες.

Οι περιοχές είναι κανονικοποιημένες και η υπο-εικόνα μέσα στην περιοχή συγκρίνεται μέσω της αναγνώρισης προτύπων με σχέδια που δόθηκαν στο σύστημα πρωτύτερα για την αναγνώριση συγκεκριμένων marker ID. Τα ονόματα χρηστών ή οι φωτογραφίες χρηστών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναγνωριστικά σχέδια. Για αυτήν την διαδικασία κανονικοποίησης χρησιμοποιείται η *συνάρτηση 2* που αντιπροσωπεύει έναν μετασχηματισμό προοπτικής.

Όλες οι μεταβλητές στο πίνακα μετασχηματισμού καθορίζονται με το να αντικαταστήσουν τις συντεταγμένες οθόνης και τις συντεταγμένες των τεσσάρων πινάκων του κάθε ανιχνευμένου marker για (x_c, y_c) και (X_m, Y_m) αντίστοιχα. Μετά από αυτό, η

διαδικασία κανονικοποίησης μπορεί να γίνει με τη χρησιμοποίηση αυτού του πίνακα μετασχηματισμού.

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} & N_{13} \\ N_{21} & N_{22} & N_{23} \\ N_{31} & N_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Όταν δύο παράλληλες πλευρές ενός τετραγωνικού marker προβάλλονται στην εικόνα, οι εξισώσεις εκείνων των τμημάτων των γραμμών, στις συντεταγμένες της κάμερας είναι οι ακόλουθες:

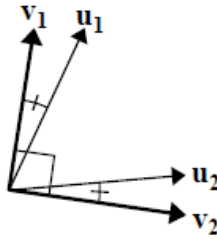
$$a_1x + b_1y + c_1 = 0, \quad a_2x + b_2y + c_2 = 0 \quad (3)$$

Για κάθε έναν από τους markers, η τιμή αυτών των παραμέτρων έχει ληφθεί ήδη στη διαδικασία ταιριάσματος των γραμμών (in the line-fitting process.). Λαμβάνοντας υπόψη την προβολή προοπτικής του πίνακα P που λαμβάνεται από τη βαθμονόμηση της κάμερας (συνάρτηση 4), οι εξισώσεις των πλάνων που περιλαμβάνουν αυτές τις δύο πλευρές μπορούν αντίστοιχα να αντιπροσωπευθούν ως συνάρτηση 5 στο πλαίσιο συντεταγμένων της κάμερας με την αντικατάσταση x_c και y_c στην συνάρτηση 4 για το x και το y (στην συνάρτηση 3.)

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & 0 \\ 0 & P_{22} & P_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} a_1P_{11}X_c + (a_1P_{12} + b_1P_{22})Y_c + (a_1P_{13} + b_1P_{23} + c_1)Z_c &= 0 \\ a_2P_{11}X_c + (a_2P_{12} + b_2P_{22})Y_c + (a_2P_{13} + b_2P_{23} + c_2)Z_c &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Δεδομένου ότι τα κανονικά διανύσματα αυτών των επιπέδων (planes) είναι n_1 και n_2 αντίστοιχα, το διάνυσμα κατεύθυνσης δύο παράλληλων πλευρών του τετράγωνου δίνεται από το εξωτερικό γινόμενο $n_1 \times n_2$. Δεδομένου ότι τα διανύσματα κατεύθυνσης δύο μονάδων που λαμβάνονται από δύο σύνολα δύο παράλληλων πλευρών του τετραγώνου είναι u_1 και u_2 , αυτά τα διανύσματα πρέπει να είναι κάθετα. Εντούτοις, τα λάθη επεξεργασίας εικόνας σημαίνουν ότι τα διανύσματα δεν θα είναι ακριβώς κάθετα. Για να το διορθώσει αυτό, ορίζονται δύο διανύσματα κατεύθυνσης κάθετα μεταξύ τους v_1 και v_2 , στο επίπεδο που περιλαμβάνει τα u_1 και u_2 όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Δεδομένου ότι το διάνυσμα κατεύθυνσης που είναι κάθετο και στα δύο (v_1 και v_2) είναι το v_3 , το τμήμα περιστροφής $V_{3 \times 3}$ στο \mathbf{T}_{cm} πίνακα μετασχηματισμού από τις συντεταγμένες του marker στις συντεταγμένες της κάμερας, ορίζεται στην συνάρτηση 1 και είναι $[V_1^t \ V_2^t \ V_3^t]$. [50]



Δεδομένου ότι τα στοιχεία περιστροφής $V_{3 \times 3}$ στο πίνακα μετασχηματισμού δόθηκαν, με τη χρήση της συνάρτησης 1 και συνάρτησης 4, τα τέσσερα vertices των συντεταγμένων του marker στο πλαίσιο συντεταγμένων του marker και οι συντεταγμένες στο πλαίσιο της κάμερας, προκύπτουν οκτώ εξισώσεις συμπεριλαμβανομένου τον μετασχηματισμό των στοιχείων $W_x W_y W_z$ και η τιμή των στοιχείων μετασχηματισμού $W_x W_y W_z$ μπορεί να ληφθεί από αυτές τις εξισώσεις.

Ο πίνακας μετασχηματισμού που βρίσκεται από την προαναφερθείσα μέθοδο μπορεί να περιλαμβάνει λάθη. Εντούτοις αυτά μπορούν να μειωθούν μέσω της ακόλουθης διαδικασίας. Οι συντεταγμένες των σημείων των marker στο marker πλαίσιο συντεταγμένων μπορούν να μετασχηματιστούν σε συντεταγμένες στο πλαίσιο συντεταγμένων του frame της κάμερας χρησιμοποιώντας τον πίνακα μετασχηματισμού που αποκτήθηκε. Κατόπιν ο πίνακας μετασχηματισμού βελτιστοποιείται ως το άθροισμα της διαφοράς μεταξύ αυτών των μετασχηματισμένων συντεταγμένων και των συντεταγμένων που μετρήθηκαν από την εικόνα πηγαίνοντας σε ένα ελάχιστο. Αν και υπάρχουν έξι ανεξάρτητες μεταβλητές στο n πίνακα μετασχηματισμού, μόνο τα τμήματα περιστροφής βελτιστοποιούνται και έπειτα τα στοιχεία translation επανεκτιμούνται με τη χρήση της μεθόδου που προαναφέρθηκε. Από την επανάληψη αυτής της διαδικασίας αρκετές φορές προκύπτει ένας πίνακας μετασχηματισμού που είναι πιο ακριβέστερος. Είναι δυνατό να εξεταστούν και οι έξι ανεξάρτητες μεταβλητές στη διαδικασία βελτιστοποίησης όμως θα πρέπει να εξεταστεί και το υπολογιστικό κόστος.

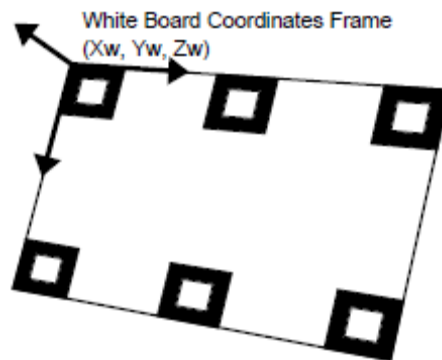
3.1.5 Μια επέκταση για τον εικονικό κοινό λευκό πίνακα (whiteboard)

Η μέθοδος που περιγράφηκε για το tracking των καρτών ID των χρηστών επεκτείνεται και για το tracking της κάρτας του Whiteboard. Υπάρχουν έξι markers στον Whiteboard ευθυγραμμίζονται γύρω από το εξωτερικό όριο του πίνακα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Ο προσανατολισμός αυτού του πίνακα βρίσκεται με την σύγκριση των γραμμών γύρω από τους ακολουθούμενους markers και χρησιμοποιώντας μια επέκταση της τεχνικής που περιγράφεται για tracking των καρτών ID των χρηστών.

Η χρησιμοποίηση και των έξι marker για να βρεθεί ο προσανατολισμός του πίνακα και να ευθυγραμμίσει τις εικονικές εικόνες στο εσωτερικό παράγει πολύ καλά αποτελέσματα συγχρονισμού (registration). Εντούτοις, όταν σύρει ένας χρήστης έναν εικονικό σχολιασμό, μερικοί marker μπορούν να επικαλυφθούν από τα χέρια του χρήστη, ή μπορεί να κινήσει το κεφάλι του τόσο που μόνο ένα υποσύνολο των marker να είναι εμφανή. Ο πίνακας μετασχηματισμού για τον Whiteboard πρέπει να υπολογιστεί από τους ορατούς markers με αποτέλεσμα λάθη να εισάγονται όταν λιγότεροι marker είναι διαθέσιμοι. Για να μειώσουν τα λάθη οι εξισώσεις συγκρίσεων γραμμών (line fitting) βρίσκονται από δύο παράγοντες, από το να μελετηθούν μεμονωμένοι markers και από το σύνολο των ευθυγραμμισμένων markers.

Κάθε marker έχει ένα μοναδικό γράμμα στο εσωτερικό του που επιτρέπει στο σύστημα να αναγνωρίζει τους marker που πρέπει να είναι οριζόντια ή κάθετα ευθυγραμμισμένοι και να υπολογίζει την περιστροφή του πίνακα. Αν και οι εξισώσεις γραμμών στις συντεταγμένες του frame της κάμερας παράγονται ανεξάρτητα για κάθε έναν από τους marker, η ευθυγράμμιση των έξι marker στον Whiteboard σημαίνει ότι μερικές εξισώσεις γραμμών είναι ίδιες.

Επομένως με την εξαγωγή όλων των ευθυγραμμισμένων πλευρών από τους ορατούς marker, κάθε εξίσωση γραμμών υπολογίζεται με τη χρησιμοποίηση όλων των πληροφοριών περιγράμματος που είναι στις εξαγόμενες πλευρές. Επιπλέον με τη χρησιμοποίηση όλων των εξισώσεων των ανιχνευμένων παράλληλων γραμμών, τα διανύσματα κατεύθυνσης υπολογίζονται, και βρίσκεται ο προσανατολισμός πινάκων. [50]



Σχήμα 3.2: Τοποθέτηση των Marker στο κοινό whiteboard

3.1.6 Η ανίχνευση στυλό

Το φωτισμένο στυλό είναι σε λειτουργία όσο ακουμπά το Whiteboard. Η εκτίμηση της θέσης της άκρης του στυλό βρίσκεται με τον ακόλουθο τρόπο. Κατ' αρχάς, η φωτεινότερη περιοχή στην εικόνα εξάγεται και το κέντρο βαρύτητας της ανιχνεύεται. Εάν η φωτεινότητα και η περιοχή των περιοχών δεν ικανοποιούν με τους ευρετικούς κανόνες, του φωτισμένου στυλού η κατάσταση θεωρείται κλειστή. [50]

Εφόσον η θέση του στυλού (X_w, Y_w, Z_w) εκφράζεται σχετικά με το εικονικό Whiteboard που ανιχνεύεται στο πλαίσιο συντεταγμένων του Whiteboard. Η σχέση μεταξύ των συντεταγμένων της οθόνης και των συντεταγμένων του Whiteboard δίνεται από την συνάρτηση 6. (x_c, y_c) είναι η θέση του κέντρου βάρους που ανιχνεύεται από την επεξεργασία εικόνας. Επίσης η Z_w είναι ίση με μηδέν δεδομένου ότι ο στυλος είναι στον πίνακα. Με τη χρησιμοποίηση αυτών των τιμών στην συνάρτηση 6, δύο εξισώσεις συμπεριλαμβανομένων των X_w και Y_w ως μεταβλητές, παράγονται, και οι τιμές τους υπολογίζονται εύκολα με την επίλυση αυτών των εξισώσεων.

$$\begin{bmatrix} hx_c \\ hy_c \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & V_{13} & W_x \\ V_{21} & V_{22} & V_{23} & W_y \\ V_{31} & V_{32} & V_{33} & W_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

3.2 Βαθμονόμηση (Calibration) του συστήματος τεχνητής όρασης

Ο τελικός σκοπός κάθε συστήματος τεχνητής όρασης είναι η πρόσληψη πληροφορίας από το περιβάλλον με την βοήθεια μιας ή περισσότερων καμερών. Συνηθέστατα η ζητούμενη πληροφορία είναι γεωμετρική. Ζητείται δηλαδή να προσδιορισθεί η θέση, ο προσανατολισμός ή το μέγεθος σωμάτων στον χώρο, με ανάλυση της δισδιάστατης ψηφιακής εικόνας τους, που προσλαμβάνει ο υπολογιστής μέσω της κάμερας. Σε κάθε σημείο της εικόνας αυτής αντιστοιχεί μια ακτίνα φωτός στο χώρο. Βαθμονόμηση κάμερας ονομάζεται η διαδικασία προσδιορισμού της αντιστοίχισης αυτής. Ποιο συγκεκριμένα :

- Το πρόβλημα της προβολής δηλαδή δοθέντος σημείου στο χώρο να προσδιορισθεί η προβολή του στην εικόνα.
- Το πρόβλημα της αντίστροφης προβολής δηλαδή δοθέντος σημείου στην εικόνα να προσδιορισθεί η ακτίνα φωτός που το δημιουργεί.

Η αντιστοίχιση εξαρτάται τόσο από την θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας στον χώρο, όσο και από εσωτερικά χαρακτηριστικά της όπως η ενεργή εστιακή απόσταση, οι παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί κλπ. Το πρόβλημα του προσδιορισμού της θέσης και του προσανατολισμού της κάμερας ως προς σταθερό σύστημα συντεταγμένων στον χώρο ονομάζεται συνήθως πρόβλημα εξωτερικής βαθμονόμησης ενώ το πρόβλημα του προσδιορισμού των εσωτερικών παραμέτρων της κάμερας, πρόβλημα εσωτερικής βαθμονόμησης.

Ακολουθεί περιγραφή μεθόδων βαθμονόμησης της κάμερας, όπως αυτές παρουσιάζονται από τον Καβουσσάνο [52].

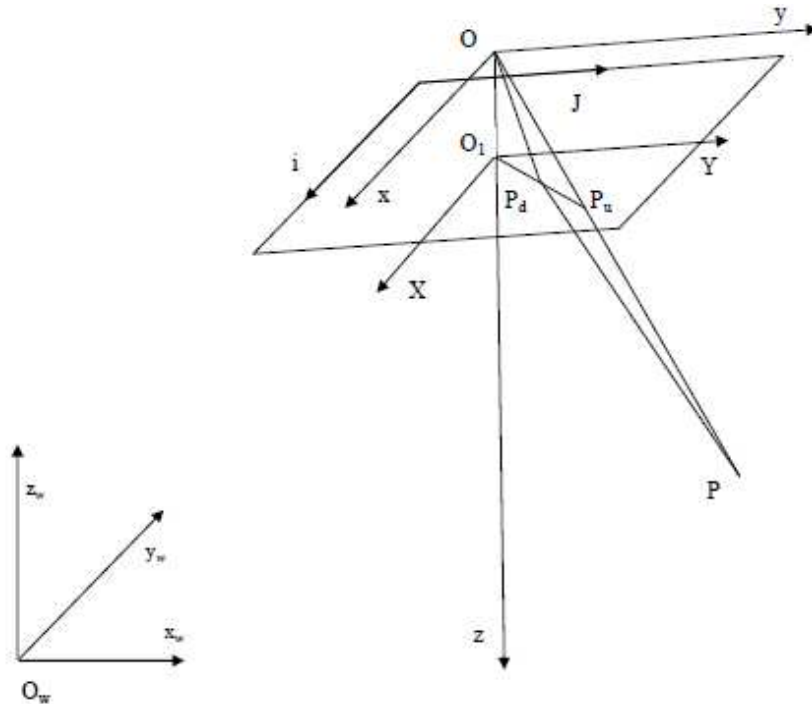
3.2.1 Το μοντέλο της κάμερας

Η συνήθης υπόθεση για την κάμερα, είναι ότι αυτή μοντελοποιείται σαν μια pinhole κάμερα . Η απεικόνιση δηλαδή αντικειμένου του χώρου στην εικόνα, είναι μια προοπτική απεικόνιση με εστιακή απόσταση την εκάστοτε ενεργή εστιακή απόσταση f της κάμερας. Στο Σχήμα 4, φαίνονται τρία συστήματα συντεταγμένων : Αυτό του χώρου (O_w, x_w, y_w, z_w), το σύστημα συντεταγμένων της κάμερας (O, x, y, z) με αρχή το εστιακό κέντρο και άξονα z τον οπτικό άξονα και το σύστημα συντεταγμένων της εικόνας (O_1, X, Y, Z) με αρχή το σημείο τομής του εστιακού άξονα με το επίπεδο της εικόνας (οπτικό κέντρο) και άξονα Z τον οπτικό άξονα.

Η προβολή τυχόντος σημείου P του χώρου στην εικόνα, μπορεί να προσδιορισθεί αν ακολουθηθούν τέσσερα διακριτά βήματα και επιβληθούν οι αντίστοιχοι μετασχηματισμοί :

1. Μετασχηματισμός στερεού σώματος, για να προσδιορισθούν οι συντεταγμένες του σημείου P στο σύστημα αναφοράς της κάμερας, από εκείνες στο σύστημα του χώρου :

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{R} \cdot \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \mathbf{T} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$



Σχήμα 3.3: Συστήματα συντεταγμένων σχετιζόμενα με την κάμερα

Όπου

\mathbf{R} : Πίνακας στροφής

\mathbf{T} : Το διάνυσμα παράλληλης μεταφοράς \mathbf{OO}_w .

2. Προοπτικός μετασχηματισμός για τον προσδιορισμό της προβολής του σημείου P στο επίπεδο της εικόνας :

$$X_u = f \frac{x}{z} \qquad Y_u = f \frac{y}{z}$$

3. Μετασχηματισμός προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί. Εξαιτίας τους, το σημείο P δεν προβάλλεται στο σημείο P_u που υποδεικνύει η προοπτική απεικόνιση, αλλά στο σημείο P_d του επιπέδου της εικόνας, για το οποίο ισχύει :

$$X_d = X_u (1 - kR^2) \qquad Y_d = Y_u (1 - kR^2)$$

Το παραπάνω μοντέλο λαμβάνει υπόψη μόνον ακτινικές παραμορφώσεις, τις οποίες μοντελοποιεί με έναν όρο δευτέρου βαθμού. Κάτι τέτοιο θεωρείται επαρκές [23] ακόμη και για εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων.

4. Μετασχηματισμός των συντεταγμένων του σημείου Pd σε συντεταγμένες της ψηφιακής εικόνας (i,j).

$$X_m = s_x X_d + C_x \qquad Y_m = s_y Y_d + C_y$$

Όπου

X_m, Y_m : Παρατηρούμενες τιμές (pixels)

S_x, S_y : συντελεστές μετατροπής (μεγέθυνσης)

C_x, C_y : οι συντεταγμένες του οπτικού κέντρου O_1 στο σύστημα συντεταγμένων (i,j).

Η ακτίνα R που χρησιμοποιείται στο μοντέλο της ακτινικής παραμόρφωσης δίδεται από [24]:

$$R^2 = \mu^2 (X_m - C_x)^2 + (Y_m - C_y)^2 \qquad \mu = \frac{s_y}{s_x}$$

Ισχύει δε :

$$R^2 = s_y^2 \left(\frac{(X_m - C_x)^2}{s_x^2} + \frac{(Y_m - C_y)^2}{s_y^2} \right) = s_y^2 (X_d^2 + Y_d^2) = s_y^2 R_d^2$$

Θα πρέπει ίσως εδώ να σημειωθεί, ότι στο κλασσικό μοντέλο [23], η ακτινική παραμόρφωση μοντελοποιείται ελαφρώς διαφορετικά:

$$X_d = X_u (1 + kR^2)^{-1} \qquad Y_d = Y_u (1 + kR^2)^{-1}$$

Με

$$R^2 = X_u^2 + Y_u^2$$

Και στις δυο περιπτώσεις, η παραμόρφωση εξαρτάται από το τετράγωνο αποστάσεως από το οπτικό κέντρο. Στην πρώτη όμως εξ αυτών προκύπτει άμεσα από μετρούμενες τιμές και γνώση των συντελεστών k και μ, ενώ στην δεύτερη δεν ισχύει κάτι τέτοιο.

Οι συντελεστές S_x, S_y εξαρτώνται τόσο από την απόσταση μεταξύ διαδοχικών pixels στον οπτικό αισθητήρα, όσο και από ιδιαιτερότητες του συστήματος ψηφιοποίησης της εικόνας. Το οπτικό κέντρο δεν βρίσκεται απαραίτητα στο γεωμετρικό μέσο της ψηφιακής εικόνας. Από τις παραπάνω εξισώσεις, προκύπτει τελικά το μοντέλο της κάμερας που συσχετίζει τυχόν σημείο του χώρου με το ίχνος του στην ψηφιακή εικόνα :

$$\frac{(X_m - C_x)}{(1 - kR^2)} = fS_x \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + t_x}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z} \quad 1(\alpha)$$

$$\frac{(Y_m - C_y)}{(1 - kR^2)} = fS_y \frac{r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + t_y}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z} \quad 1(\beta)$$

3.2.2 Ανασκόπηση μεθόδων βαθμονόμησης

Το θέμα της βαθμονόμησης της κάμερας έχει απασχολήσει τα τελευταία 25 χρόνια ερευνητές τόσο από τον χώρο της φωτογραμμετρίας όσο και από τον χώρο της τεχνητής όρασης και ρομποτικής. Η έρευνα στην συγκεκριμένη περιοχή έχει δώσει αρκετές μεθόδους και τεχνικές που φαίνεται ότι ικανοποιούν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις των συστημάτων τεχνητής όρασης. Έτσι, τα τελευταία χρόνια, εργασίες στην περιοχή της βαθμονόμησης της κάμερας, εμφανίζονται με φθίνουσα συχνότητα. Το θέμα φαίνεται πως έχει ερευνηθεί εκτεταμένα. Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες τεχνικές για βαθμονόμηση κάμερας, μπορούν να ταξινομηθούν όπως παρακάτω.

3.2.3 Τεχνικές που χρησιμοποιούν γραμμικά μοντέλα

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων της κάμερας προκύπτει από επίλυση γραμμικών συστημάτων με αγνώστους συνήθως ενδιάμεσες παραμέτρους. Οι ζητούμενες παράμετροι προκύπτουν στην συνέχεια από τις ενδιάμεσες. Η μέθοδος του ευθύ γραμμικού μετασχηματισμού (Direct Linear Transformation) αναφέρεται σαν η απλούστερη και η πλέον γνωστή της κατηγορίας.

Οι γραμμικές μέθοδοι είναι γενικά απλές, αλλά μειονεκτούν κατά το ότι αδυνατούν να συμπεριλάβουν τις παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί. Αν αγνοηθούν οι ακτινικές παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί, τότε οι εξισώσεις 1(α,β) γίνονται :

$$(X_m - C_x)(r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z) = fS_x (r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + t_x)$$

$$(Y_m - C_y)(r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z) = fS_y (r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + t_y)$$

Με "αναδιάταξη" των παραπάνω εξισώσεων μπορούν να προκύψουν γραμμικές εξισώσεις με αγνώστους τους r_7, r_8, r_9, t_z και γραμμικούς συνδυασμούς των υπολοίπων συντελεστών του πίνακα στροφής με τα C_x, C_y . Κάθε σημείο παρατήρησης, δίδει δύο εξισώσεις. Προκειμένου να προσδιορισθούν οι άγνωστοι, απαιτούνται τουλάχιστον 6 τέτοια σημεία, 12 δηλαδή εξισώσεις. Στην πράξη χρησιμοποιούνται περισσότερα σημεία προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ο πίνακας στροφής είναι ως γνωστόν ορθοκανονικός. Τα στοιχεία r_1 όπως προσδιορίστηκαν με την παραπάνω γραμμική μέθοδο, δεν υπόκεινται στον περιορισμό της ορθοκανονικότητας. Κάτι τέτοιο μπορεί να οδηγήσει σε κακή εκτίμηση των παραμέτρων της κάμερας [25]. Οι συγκεκριμένοι ερευνητές προτείνουν μέθοδο λύσης του γραμμικού προβλήματος υπό τον περιορισμό της ορθοκανονικότητας του πίνακα στροφής.

Η γραμμική μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και να περιλάβει σφάλματα της κάμερας, που μοντελοποιούνται με γραμμικό τρόπο. Αν υποτεθεί ότι για τις συντεταγμένες του σημείου Pd (Σχήμα 9.1) ισχύει :

$$X_d = a_{xx}X_u + a_{xy}Y_u$$

$$Y_d = a_{yx}X_u + a_{yy}Y_u$$

Όπου a_{ij} προσδιοριστέοι συντελεστές, τότε μπορεί να δειχθεί εύκολα ότι το μοντέλο της κάμερας μπορεί και πάλι να αναχθεί σε μορφή ανάλογη της προαναφερθείσης [26]:

$$(X_m - C_x)(s_7x_w + s_8y_w + s_9z_w + p_z) = fs_x(s_1x_w + s_2y_w + s_3z_w + p_x)$$

$$(Y_m - C_y)(s_7x_w + s_8y_w + s_9z_w + p_z) = fs_y(s_4x_w + s_5y_w + s_6z_w + p_y)$$

Όπου τόσο οι συντελεστές του πίνακα στροφής όσο και οι συντεταγμένες της αρχής των αξόνων του χώρου, έχουν αντικατασταθεί από τα s_{ij} , p_i που είναι γραμμικοί συνδυασμοί τους με τους συντελεστές a_{ij} .

Οι Grosky W. και Tamburino L. [27], χρησιμοποιούν ένα τέτοιο (affine) μετασχηματισμό. Στην γραμμική τους μέθοδο, εκφράζουν εξ αρχής τους συντελεστές του r_{ij} με την βοήθεια των γωνιών στροφής Euler, εξασφαλίζοντας έτσι την ορθοκανονικότητα του πίνακα στροφής.

Γραμμική επίσης μέθοδο, χρησιμοποιούν οι Puskorius και Feldkamp στην τεχνική που προτείνουν για βαθμονόμηση [28]. Εδώ λαμβάνονται υπόψη οι ακτινικές παραμορφώσεις των φακών. Το γραμμικό μοντέλο σφάλματος που χρησιμοποιούν, εκφράζει τις διαφορές μεταξύ μετρούμενων και υπολογιζόμενων τιμών συντεταγμένων σημείων στην εικόνα, με την βοήθεια των πρώτων μερικών παραγώγων ως προς τις παραμέτρους της κάμερας.

Η μέθοδος επίσης των Bishop και Sprong [29], ανήκει στην κατηγορία των γραμμικών μεθόδων και αναφέρεται στην απλή περίπτωση που το επίπεδο εργασίας είναι παράλληλο στο επίπεδο της κάμερας. Κανενός είδους σφάλματα της κάμερας δεν λαμβάνονται υπόψη.

3.2.4 Μη γραμμικές τεχνικές

Η εκτίμηση τόσο των εσωτερικών όσο και των εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας πραγματοποιείται με την βοήθεια επαναληπτικών μεθόδων που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση κάποιου μέτρου σφάλματος. Σαν τέτοιες μέθοδοι αναφέρονται αυτές των Sobel [30], Paquette [31], Faig [32]. Ένα από τα πλεονεκτήματα των μεθόδων, αποτελεί το γεγονός ότι το μοντέλο της κάμερας μπορεί να είναι πολύ γενικό, να περιλαμβάνει δηλαδή πολλούς τύπους παραμορφώσεων. Μπορούν επίσης να δώσουν εξαιρετικά ακριβή εκτίμηση

των παραμέτρων. Μειονεκτήματά τους αποτελούν η δυσκολία υλοποίησης και το γεγονός ότι μπορεί να μην συγκλίνουν, αν δεν υπάρχει καλή εκτίμηση για αρχικές τιμές εκκίνησης της επαναληπτικής διαδικασίας.

3.2.5 Τεχνικές διαδοχικών βημάτων

Η γνωστότερη από τις μεθόδους αυτές είναι η μέθοδος Tsai [23]. Ο εν λόγω ερευνητής επιλύει το πρόβλημα της βαθμονόμησης με δύο βήματα, υπό την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά τα μεγέθη :

$$S_x, S_y, C_x, C_y$$

και υπό την προϋπόθεση ότι οι παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί είναι μόνο ακτινικές. Για τον ξεχωριστό υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων, προτείνει επίσης μια σειρά μεθόδους [23].

Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον περιορισμό της ακτινικής παραμόρφωσης, προκειμένου να υπολογίσει κατ' αρχήν, με την βοήθεια περισσότερων των πέντε σημείων παρατήρησης, τον προσανατολισμό της κάμερας καθώς και τα t_x , t_y . Οι εξωτερικές αυτές παράμετροι προκύπτουν από την λύση γραμμικού συστήματος εξισώσεων. Στην συνέχεια με μη γραμμική μέθοδο προσδιορίζεται ο συντελεστής k της ακτινικής παραμόρφωσης καθώς και τα f και t_z .

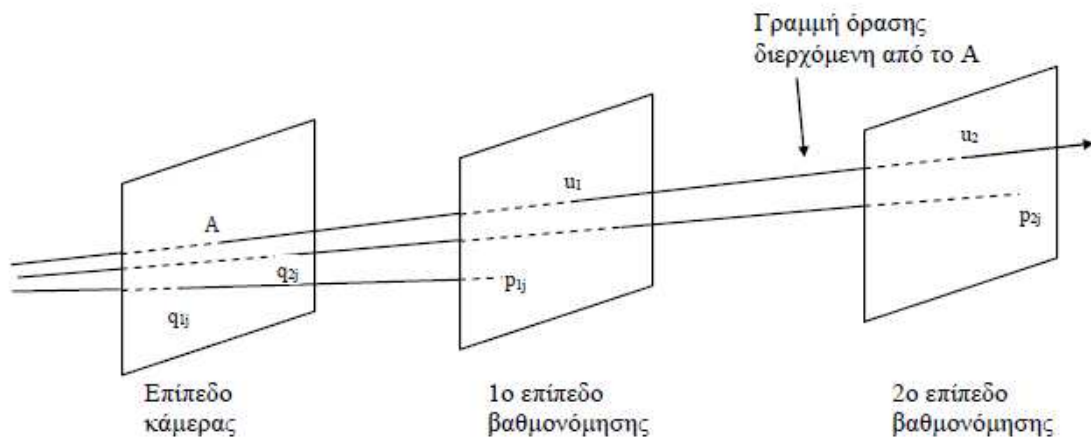
Οι Weng, Cohen και Herniou [33], προτείνουν μέθοδο βαθμονόμησης δύο βημάτων με την βοήθεια της οποίας μπορεί να προσδιορισθεί πρακτικά κάθε είδος παραμόρφωσης που εισάγουν οι φακοί πέραν της ακτινικής που χρησιμοποιεί η μέθοδος Tsai. Το πρώτο βήμα είναι στην ουσία μια γραμμική μέθοδος για την εκτίμηση των εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη κανενός είδους παραμόρφωση των φακών. Στο δεύτερο βήμα οι εκτιμηθείσες παράμετροι «βελτιώνονται» με την βοήθεια επαναληπτικής μη γραμμικής μεθόδου βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί. Το μοντέλο παραμόρφωσης που χρησιμοποιούν λαμβάνει υπόψη τόσο ακτινικές όσο και περιφερειακές καθώς και παραμορφώσεις 'λεπτού πρίσματος'.

Οι Bacakoglu και Kamel [34], ακολουθούν κατ' ουσία την προαναφερθείσα μέθοδο δύο βημάτων. Η δική τους συνεισφορά έγκειται στο ότι το πρώτο βήμα, ακολουθείται από ένα ενδιάμεσο, στο οποίο ο υπολογισθείς πίνακας στροφής 'βελτιστοποιείται' ακόμη περισσότερο. Για μια τέτοια βελτιστοποίηση λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί της ορθοκανονικότητας. Στην συνέχεια με τις εκτιμηθείσες τιμές των παραμέτρων, εκκινεί μη γραμμική επαναληπτική μέθοδος βελτιστοποίησης που λαμβάνει υπόψη τις παραμορφώσεις των φακών.

3.2.6 Μη αναλυτικές (implicit) τεχνικές βαθμονόμησης

Οι μέθοδοι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα είναι αναλυτικές με την έννοια ότι επιδιώκουν τον προσδιορισμό των παραμέτρων κάποιου μοντέλου της κάμερας. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται στην συνέχεια τόσο στο πρόβλημα της προβολής όσο και στο αντίστροφό του.

Οι Martins, Birk και Kelly [35], δημοσίευσαν πρώτοι εργασία για μια μη αναλυτική μέθοδο βαθμονόμησης κάμερας. Η μεθόδός τους είναι γνωστή και σαν μέθοδος των δύο επιπέδων.



Σχήμα 3.4: Πλέγματα σημείων για μη αναλυτική βαθμονόμηση κάμερας

Έστω ότι υπάρχουν διαθέσιμα ένα πλέγμα σημείων \mathbf{p}_{1j} επί επιπέδου 1 και ένα άλλο πλέγμα σημείων \mathbf{p}_{2j} επί επιπέδου 2 (Σχήμα 1.2). Έστω \mathbf{q}_{1j} , \mathbf{q}_{2j} οι προβολές των δύο πλεγμάτων βαθμονόμησης στην εικόνα (επίπεδο της κάμερας). Έστω τυχόν σημείο \mathbf{A} της εικόνας του οποίου είναι επιθυμητό να προσδιορισθεί η αντιστοιχούσα γραμμή όρασης (πρόβλημα της αντίστροφης προβολής). Είναι δυνατόν να προσδιορισθεί με παρεμβολή στην απεικόνιση $\mathbf{q}_{1j} \rightarrow \mathbf{p}_{1j}$, το σημείο \mathbf{u}_1 του επιπέδου 1 που αντιστοιχίζεται στο \mathbf{A} . Με ανάλογο τρόπο μπορεί να προσδιορισθεί το σημείο \mathbf{u}_2 του επιπέδου 2, με παρεμβολή στην απεικόνιση $\mathbf{q}_{2j} \rightarrow \mathbf{p}_{2j}$. Το διάνυσμα τότε της γραμμής όρασης δια του \mathbf{A} έχει διεύθυνση $\mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2$ και διέρχεται από το \mathbf{u}_1 . Οι ερευνητές προτείνουν δυο μεθόδους για σφαιρική παρεμβολή (σύνολο των σημείων) και μια για τοπική. Η πλέον απλή συνολική παρεμβολή είναι η γραμμική. Αν είναι $\mathbf{p}_{1j} = [x \ y \ z]^T$ τυχόν σημείο του επιπέδου 1 και $\mathbf{q}_{1j} = [\rho \ \gamma \ 1]^T$ η προβολή του στην εικόνα, τότε μια γραμμική απεικόνιση μεταξύ του χώρου των δύο σημείων δίδεται από :

$$\mathbf{p}_{1j} = A_1 \mathbf{q}_{1j}$$

Όπου A_1 πίνακας 3×3 .

Αν υπάρχουν διαθέσιμα n σημεία βαθμονόμησης στο επίπεδο και οι αντίστοιχες προβολές στους στην εικόνα, τότε μπορεί να καταστρωθεί το γραμμικό σύστημα :

$$[\mathbf{p}_{11} \ \mathbf{p}_{12} \ \dots \ \mathbf{p}_{1n}] = A_1 [\mathbf{q}_{11} \ \mathbf{q}_{12} \ \dots \ \mathbf{q}_{1n}]$$

Από το οποίο μπορεί να προκύψει ο πίνακας A_1 με κάποια μέθοδο επίλυσης, π.χ. με την βοήθεια του ψευδοαντιστρόφου πίνακα. Με αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να προκύψει ο A_2 . Αν για τις προβολές των σημείων στην εικόνα χρησιμοποιηθεί το διάνυσμα :

$$[\rho \ \gamma \ \rho^2 \ \gamma^2 \ \rho\gamma \ 1]^T$$

τότε έχουμε τετραγωνική παρεμβολή που μπορεί όπως αναφέρεται από τους ερευνητές να οδηγήσει σε ακριβέστερα αποτελέσματα. Για ακόμη καλύτερη ακρίβεια προτείνουν και μέθοδο για τοπική παρεμβολή. Το πλέγμα των σημείων σε κάθε επίπεδο χωρίζεται σε

τρίγωνα και για κάθε τρίγωνο γίνεται χωριστή γραμμική παρεμβολή. Τα σημεία του πλέγματος αποτελούν τις κορυφές των τριγώνων.

Οι Gremban, Thorpe και Kanade [36], χρησιμοποιούν την ίδια κατ' ουσία μέθοδο με την προαναφερθείσα. Για τοπική παρεμβολή το πλέγμα δεν χωρίζεται εξ αρχής σε τρίγωνα, αλλά για κάθε σημείο στην εικόνα, τα δυο πλέγματα σημείων ερευνούνται και προσδιορίζονται τα τρία πλησιέστερα σημεία. Οι τοπικοί τότε πίνακες A_i προσδιορίζονται με την βοήθεια των τριών αυτών σημείων.

Οι Wei και De Ma, χρησιμοποιούν την μέθοδο των δύο επιπέδων, αλλά λαμβάνουν υπόψη προκαταβολικά ένα πλήρες μοντέλο για τις παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί : Ακτινική, περιφερειακή και παραμόρφωση λεπτού πρίσματος.

Με ένα τέτοιο περιορισμό, η απεικόνιση μεταξύ σημείου $[X,Y,Z]^T$ του επιπέδου βαθμονόμησης και της προβολής του στην εικόνα $[\rho,\gamma]^T$, μπορεί να γραφτεί σαν :

$$\rho X_w = Aq$$

$$\text{Όπου} \quad X_w = [X \ Y \ 1]^T \quad q = [\rho^3 \ \rho^2\gamma \ \rho\gamma^2 \ \gamma^3 \ \rho^2 \ \rho\gamma \ \gamma^2 \ \rho \ \gamma \ 1]^T$$

Με ένα σύνολο σημείων βαθμονόμησης και πάλι είναι δυνατόν να προσδιορισθεί ο πίνακας A. Πλεονέκτημα της μεθόδου, θεωρείται το γεγονός ότι μπορούν να προσδιορισθούν αναλυτικά πλέον οι συντελεστές των παραμορφώσεων, οπότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μια οποιαδήποτε γραμμική μέθοδος, αν είναι επιθυμητό να εξαχθεί αναλυτικό μοντέλο της κάμερας.

3.2.7 Άλλες τεχνικές βαθμονόμησης

Οι Maybank και Faugeras [37], έδειξαν την δυνατότητα βαθμονόμησης της κάμερας με την βοήθεια ανάλυσης εικόνων ίδιας σκηνής, 'παρμένων' από διαφορετικές θέσεις της κάμερας. Η τεχνική στηρίζεται στον εντοπισμό κατ' αρχήν των προβολών ενός σημείου στις διαφορετικές εικόνες. Ακολουθεί ανάλυση της γεωμετρίας των προβολών, από την οποία προκύπτουν οι παράμετροι της κάμερας.

Ο Hartley [38], προτείνει μέθοδο βαθμονόμησης της κάμερας, ανάλογη της προηγούμενης. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι οι διαφορετικές εικόνες προκύπτουν από απλή περιστροφή της κάμερας. Όπως αναφέρεται, στην περίπτωση αυτή η ανάλυση διευκολύνεται, καθόσον ο προσδιορισμός των αντιστοιχούντων σημείων είναι ευκολότερος.

Μια αρκετά διαφορετική μέθοδο βαθμονόμησης προτείνει ο L. Robert [39]. Χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό ένα τρισδιάστατο αντικείμενο του οποίου η γεωμετρία πρέπει να είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια. Το όλο πρόβλημα της βαθμονόμησης τίθεται σαν πρόβλημα ελαχιστοποίησης μιας συνάρτησης 'ενέργειας'. Ενδιαφέρον στην μέθοδο είναι το γεγονός ότι δεν απαιτείται εξαγωγή χαρακτηριστικών από την εικόνα. Χρησιμοποιείται μόνο πληροφορία φωτεινότητας.

Οι Zhou, Uzi, Feng και Yuan [40], προτείνουν μέθοδο βαθμονόμησης με ανάλυση εικόνων από το περιβάλλον. Από την εικόνα ενός κτηρίου για παράδειγμα, στην οποία υπάρχουν αρκετά ζεύγη παραλλήλων ευθυγράμμων τμημάτων. Η βαθμονόμηση βασίζεται ακριβώς στην ανάλυση των προβολών τέτοιων ζευγών ευθυγράμμων τμημάτων.

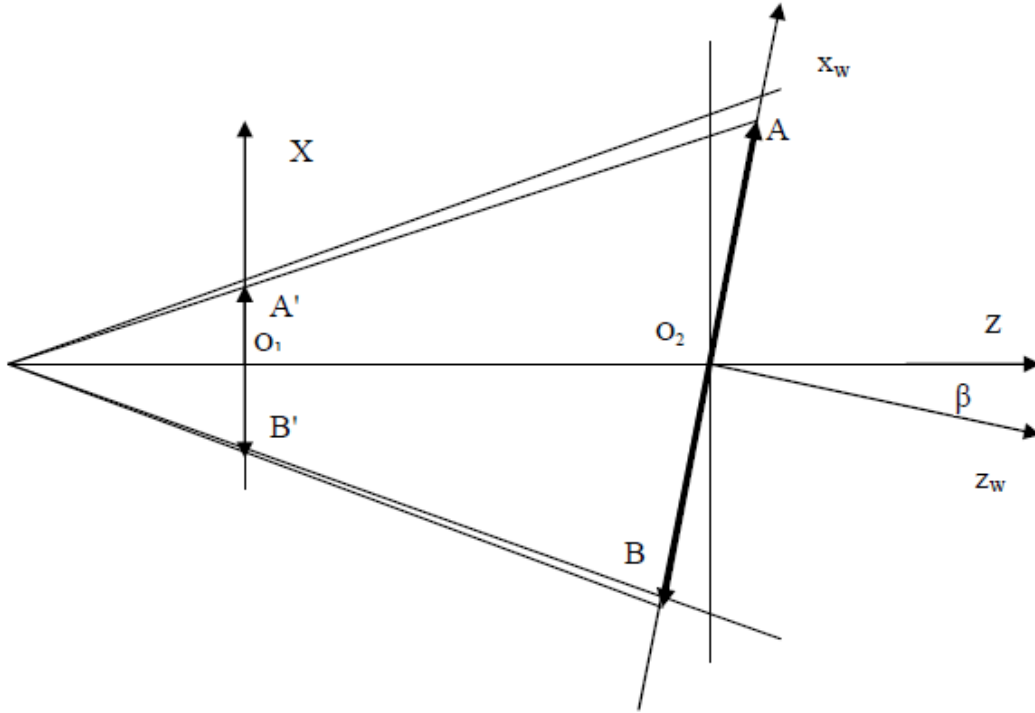
3.2.8 Μια απλή μέθοδος βαθμονόμησης με χρήση παραλλήλου επιπέδου

Οι περισσότερες από τις μεθόδους επιχειρούν να επιλύσουν το πρόβλημα της βαθμονόμησης της κάμερας στην γενική του περίπτωση που η κάμερα έχει δηλαδή τυχόντα προσανατολισμό και τυχούσα θέση στον χώρο. Υπάρχει παρ' όλα αυτά μια αρκετά ευρεία κλάση προβλημάτων στα οποία ο οπτικός άξονας της κάμερας είναι "σχεδόν" παράλληλος με τον άξονα Z του συστήματος αναφοράς του χώρου. Η κλάση αυτή περιλαμβάνει όλα τα ρομποτικά συστήματα που διαθέτουν τεχνητή όραση στα οποία τα αντικείμενα που χειρίζεται το ρομπότ βρίσκονται σε επίπεδα κάθετα στον παραπάνω άξονα. Χαρακτηριστικά τέτοια συστήματα είναι αυτά που αφορούν χειρισμό αντικειμένων που βρίσκονται σε τραπέζι συναρμολόγησης και πιάσιμο αντικειμένων από ταινιόδρομο. Για τις περιπτώσεις αυτές, θα ενδιέφερε να ερευνηθεί υπό ποιες προϋποθέσεις ο οπτικός άξονας της κάμερας μπορεί να θεωρηθεί παράλληλος με τον άξονα Z . Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα της αντίστροφης προβολής επιλύεται πολύ εύκολα.

Ένας επιπλέον λόγος για μια τέτοια διερεύνηση είναι το ότι, το πρόβλημα της συνολικής βαθμονόμησης επιλύεται επίσης πολύ ευκολότερα, όπως αναλύεται σε επόμενη παράγραφο. Ας σημειωθεί επίσης ότι υπάρχουν αναφορές για βαθμονόμηση κάμερας, στις οποίες η παραλληλία των επιπέδων κάμερας και εργασίας θεωρείται δεδομένη. Βλέπε π.χ. μη γραμμική μέθοδο βαθμονόμησης των εσωτερικών παραμέτρων σε [26] καθώς και εργασία για βαθμονόμηση κάμερας - ρομπότ [29].

3.2.9 Διαδικασία παραλληλισμού επιπέδων βαθμονόμησης και κάμερας

Σε μια περίπτωση σαν και αυτή που περιγράφεται παραπάνω, η κάμερα τοποθετείται πάνω από τον χώρο εργασίας του ρομπότ, στοχεύοντας προς το μέσο του και έχοντας προσανατολισμό σχεδόν παράλληλο προς τον άξονα Z . Ο προσανατολισμός αυτός επιτυγχάνεται με μικρορύθμιση δύο γωνιών στροφής : Μιας περί άξονα παράλληλο στον άξονα X και μιας περί άξονα παράλληλο στον άξονα Y του συστήματος συντεταγμένων της κάμερας. Η ερώτηση που μπορεί να τεθεί είναι : Πόσο καλά μπορεί να παραλληλισθεί ο οπτικό άξονα της κάμερας με τον άξονα z του χώρου με την βοήθεια των μικρο-ρυθμίσεων αυτών;



Σχήμα 3.5: Προοπτική απεικόνιση ευθυγράμμων τμημάτων στην εικόνα

Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η προοπτική απεικόνιση στο επίπεδο της κάμερας ίσου μήκους (L) ευθυγράμμων τμημάτων O_2A , O_2B που βρίσκεται επί του άξονα x_w συστήματος αναφοράς του χώρου. (Έχουμε υποθέσει ότι η κάμερα μοντελοποιείται σαν pinhole κάμερα) Μπορεί κανείς να παρατηρήσει, ότι λόγω ακριβώς της γωνίας β του άξονα Z με τον άξονα z_w , τα ίσα μήκη θα έχουν μη ίσες προβολές O_1A' , O_1B' . Η διαφορά ΔX των προβολών, εξαρτάται από την γωνία β . Στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί πόσο μικρές γωνίες β μπορούν να ανιχνευθούν με την βοήθεια της διαφοράς αυτής.

Αν ο πίνακα στροφής στο μοντέλο της κάμερας, αναπτυχθεί με την βοήθεια γωνιών Euler - roll (α), pitch (β), yaw (γ) - τότε [24]:

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} cac\beta & cas\beta s\gamma - sac\gamma & cas\beta c\gamma + sas\gamma \\ sac\beta & sas\beta s\gamma + cac\gamma & sas\beta c\gamma - cas\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix}$$

Όπου έχει χρησιμοποιηθεί η συντόμευση : c για το \cos και s για το \sin .

Για την περίπτωση πολύ μικρών γωνιών pitch και yaw (επίπεδο εργασίας σχεδόν παράλληλο με τον επίπεδο της κάμερας), μπορούν να θεωρηθούν : $\cos\beta = 1, \sin\beta = \beta, \cos\gamma = 1, \sin\gamma = \gamma$, οπότε :

$$\begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ca & -sa & ca\beta + sa\gamma \\ sa & ca & sa\beta - ca\gamma \\ -\beta & \gamma & 1 \end{bmatrix}$$

και η εξίσωση 1(α) γίνεται :

$$\frac{(X_m - C_x)}{(1 - kR^2)} = fs_x \frac{cax_w - say_w + t_x}{-\beta x_w + \gamma y_w + t_z}$$

Για την περίπτωση του Σχήματος 9.3,

$$y_w \cong 0 \quad t_x \cong 0 \quad ca \cong 1 \quad O_2A = L \quad O_2B = L$$

οπότε για τις προβολές των τμημάτων στο επίπεδο της κάμερας, ισχύει :

$$\frac{(O_1A' - C_x)}{(1 - kR_1^2)} = fs_x \frac{L}{-\beta L + t_z} \quad 2(\alpha)$$

$$\frac{(O_1B' - C_x)}{(1 - kR_2^2)} = fs_x \frac{L}{+\beta L + t_z} \quad 2(\beta)$$

Αν η γωνία β ήταν 0°, τότε το μήκος L θα είχε προβολή στο επίπεδο της κάμερας X₀:

$$\frac{(X_0 - C_x)}{(1 - kR_0^2)} = fs_x \frac{L}{t_z} \quad 2(\gamma)$$

Επειδή :

$$R_0 \cong R_1 \quad R_0 \cong R_2$$

Μετά από διαίρεση των 2(α,β) από την 2(γ) κατά μέλη, προκύπτει :

$$(O_1A' - C_x) = (X_0 - C_x) \frac{t_z}{-\beta L + t_z} \quad 3(\alpha)$$

$$(O_1B' - C_x) = (X_0 - C_x) \frac{t_z}{+\beta L + t_z} \quad 3(\beta)$$

Μετά από αφαίρεση κατά μέλη των 3(α) και 3(β), προκύπτει :

$$\begin{aligned} |\Delta X| &= |O_1B' - O_1A'| = |X_0 - C_x| t_z \left| \frac{1}{+\beta L + t_z} - \frac{1}{-\beta L + t_z} \right| = |X_0 - C_x| t_z \left| \frac{-2\beta L}{t_z^2 - \beta^2 L^2} \right| \cong \\ &\cong |X_0 - C_x| t_z \left| \frac{-2\beta L}{t_z^2} \right| = 2|\beta(X_0 - C_x)| \frac{L}{t_z} \end{aligned}$$

δεδομένου ότι : $t_z^2 \gg \beta^2 L$

Με την παραπάνω ανάλυση, εκτιμήθηκε η σχέση της γωνίας των επιπέδων εργασίας και κάμερας με την διαφορά μετρουμένων μηκών . Για να διευκολυνθεί η ανάλυση, έγινε η υπόθεση ότι τα ευθύγραμμα τμήματα έχουν αρχή την αρχή των αξόνων του συστήματος συντεταγμένων του χώρου. Όμως τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται σημαντικά αν τα ευθύγραμμα τμήματα είναι 'ελαφρώς' μετατοπισμένα από την αρχή.

Στο σύστημα τεχνητής όρασης που χρησιμοποιείται για την αποπαλετοποίηση, το μήκος L είναι περίπου 0.5 μέτρα, η απόσταση t_z της κάμερας από το επίπεδο βαθμονόμησης - εργασίας περίπου 1.5 μέτρα, το δε μέγεθος Xo-Cx περίπου 350 pixels (δεδομένης της δυνατότητας ανάλυσης της εικόνας 736x560). Με τα δεδομένα αυτά

$$\Delta X \cong 233\beta$$

Pixels

Συνεπώς οι 'ανιχνεύσιμες' γωνίες β , είναι μικρότερες από $1/233$ ακτίνια = 0.24° .Η ανάλυση που προηγήθηκε υποδεικνύει την ακόλουθη μέθοδο για τον παραλληλισμό των επιπέδων εργασίας και κάμερας :

1. Η κάμερα τοποθετείται έτσι που να στοχεύει προς στο γεωμετρικό κέντρο του επιπέδου εργασίας, με το επίπεδό της να είναι σχεδόν παράλληλο στο ως άνω επίπεδο.
2. Σε ευθύγραμμο μεταλλικό κανόνα μήκους λίγο μικρότερου από το μέγιστο μήκος που μπορεί να 'δει' η κάμερα κατά μήκος ενός των αξόνων της, δεξιά και αριστερά του μέσου, προσκολλούνται μαύρες ταινίες ίσου μήκους.



3. Ο κανόνας τοποθετείται παράλληλα (ή σχεδόν παράλληλα) με ένα των αξόνων του επιπέδου της κάμερας, με το κέντρο του κοντά στο γεωμετρικό μέσο της ψηφιακής εικόνας. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί αν γίνει ψηφιακό ζουμ στο γεωμετρικό κέντρο της ψηφιακής εικόνας. Η οθόνη δηλαδή δείχνει την περιοχή του κέντρου σε μεγέθυνση, οπότε το σημάδι του κέντρου του χάρακα μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στο κέντρο της εικόνας με αρκετή ακρίβεια.
4. Στην εικόνα που προκύπτει, μετρούνται τα μήκη (pixels) των δύο διακριτών ευθυγράμμων τμημάτων. Αρκεί για κάτι τέτοιο η επιβολή καταφλίου και απλή απαρίθμηση κατά μήκος του σχετικού άξονα. Σχηματίζεται η διαφορά τους.
5. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη του μηδενός, η κάμερα περιστρέφεται κατάλληλα.
6. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, μέχρι η διαφορά των μετρουμένων pixels να είναι μηδέν.
7. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται για τον άλλο άξονα στροφής της κάμερας.

3.2.10 Βαθμονόμηση της κάμερας με διαδοχικά βήματα

A. Προσδιορισμός του οπτικού κέντρου

Ο προσδιορισμός του οπτικού κέντρου, αποτελεί για τις μη γραμμικές μεθόδους βαθμονόμησης, μέρος του συνολικού προβλήματος. Οι συντεταγμένες του οπτικού κέντρου συμπεριλαμβάνονται στο σύνολο των ζητούμενων παραμέτρων. Το ίδιο ισχύει και για τις γραμμικές μεθόδους - οι οποίες βέβαια αδυνατούν να εκτιμήσουν όπως έχει προαναφερθεί τις παραμορφώσεις που εισάγουν οι φακοί.

Για διδιάστατα προβλήματα τεχνητής όρασης, σαν οπτικό κέντρο αρκεί να θεωρηθεί το 'κέντρο' του πίνακα της ψηφιακής εικόνας. Κάτι τέτοιο σαφώς αναφέρεται από τους R. Lentz και Tsai [23], συνάγεται δε εύκολα στην εργασία [24]. Στην πρώτη από τις προαναφερθείσες εργασίες, αναφέρονται δύο επιπλέον μέθοδοι για τον προσδιορισμό του οπτικού κέντρου.

Στην πρώτη εξ' αυτών, την άμεση οπτική μέθοδο όπως αποκαλείται, χρησιμοποιείται δέσμη laser χαμηλής ισχύος. Η δέσμη κατευθύνεται προς την κάμερα και μικρο - μετακινείται από έμπειρο χειριστή, μέχρις ότου η ανακλώμενη από τους φακούς δέσμη να ευθυγραμμισθεί με την προσπίπτουσα. Τότε η δέσμη, κινείται κατά μήκος του πρωτεύοντος άξονα της κάμερας. Στην συνέχεια, αφού πρώτα τοποθετηθεί απορροφητικό φίλτρο μπροστά από την δέσμη, η κάμερα ενεργοποιείται. Οπτικό κέντρο είναι το ίχνος της δέσμης στη ψηφιακή εικόνα.

Η δεύτερη εξ' αυτών χρησιμοποιεί την τεχνική της μεταβολής της ενεργούς εστιακής απόστασης. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει είτε με μικρο-μετακίνηση του φακού της κάμερας είτε με αλλαγή του συντελεστή zoom, αν η κάμερα έχει τέτοια δυνατότητα [41]. Σε κάθε περίπτωση, αρκεί να παρατηρηθεί ένα και το αυτό στοιχείο με δύο διαφορετικές ενεργές εστιακές αποστάσεις. Έστω σημείο (x_w, y_w, z_w) που προβάλλεται στα σημεία (X_m, Y_m) και (X'_m, Y'_m) όταν οι

ενεργές εστιακές αποστάσεις είναι f και f' αντίστοιχα. Ισχύει τότε :

$$\frac{(X_m - C_x)}{(1 - kR^2)} = fs_x \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + t_x}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z} \quad \frac{(Y_m - C_y)}{(1 - kR^2)} = fs_y \frac{r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + t_y}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z}$$

$$\frac{(X'_m - C_x)}{(1 - kR'^2)} = f's_x \frac{r_1 x_w + r_2 y_w + r_3 z_w + t_x}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z} \quad \frac{(Y'_m - C_y)}{(1 - kR'^2)} = f's_y \frac{r_4 x_w + r_5 y_w + r_6 z_w + t_y}{r_7 x_w + r_8 y_w + r_9 z_w + t_z}$$

Μετά από διαίρεση κατά μέλη, προκύπτει :

$$\frac{(X_m - C_x)}{(X'_m - C_x)} = \frac{f(1 - kR'^2)}{f'(1 - kR^2)} = \frac{(Y_m - C_y)}{(Y'_m - C_y)} \Rightarrow C_x(Y_m - Y'_m) + C_y(X'_m - X_m) = X'_m Y_m - X_m Y'_m$$

Οπότε το οπτικό κέντρο (C_x, C_y) , μπορεί να υπολογισθεί αν χρησιμοποιηθούν δύο ή περισσότερα σημεία παρατήρησης. Στην υπό εξέταση περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω τεχνική, δεδομένου και του ότι υπήρχε δυνατότητα zooming. Το οπτικό κέντρο βρέθηκε να είναι στο γεωμετρικό μέσο της εικόνας.

B. Προσδιορισμός του λόγου $\mu = s_y / s_x$

Οι συντελεστές s_x , s_y αποτελούν κατ' αρχήν δύο εκ των ζητούμενων παραμέτρων όταν το πρόβλημα της βαθμονόμησης επιχειρεί συνολική εκτίμηση των παραμέτρων με γραμμικές ή μη γραμμικές μεθόδους. Για μεθόδους που επιχειρούν να λύσουν το πρόβλημα της βαθμονόμησης βήμα - βήμα, ο προσδιορισμός των ανωτέρω παραμέτρων έχει αποτελέσει αντικείμενο ιδιαίτερης διερεύνησης. Τούτο διότι, αν οι εν λόγω παράμετροι και το οπτικό κέντρο είναι γνωστά, ο προσδιορισμός των υπολοίπων παραμέτρων (συμπεριλαμβανομένων των συντελεστών παραμόρφωσης των φακών) μπορεί πλέον να γίνει με γραμμικές μεθόδους. Για τους εν λόγω συντελεστές ισχύει :

$$s_x = \tau \frac{1}{d_x} \qquad s_y = \frac{1}{d_y}$$

Όπου dx , dy αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών pixels κατά τις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα. Τα μεγέθη αυτά είναι χαρακτηριστικά του CCD αισθητήρα και θα μπορούσαν ίσως να ληφθούν από τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή. Ο συντελεστής τ αντιθέτως, που είναι ο λόγος της συχνότητας του αισθητήρα προς την συχνότητα δειγματοληψίας του κυκλώματος ψηφιοποίησης της εικόνας, πρέπει να υπολογισθεί.

Ο Tsai είναι ο πρώτος που αντιμετώπισε το θέμα του προσδιορισμού των συντελεστών μεγέθυνσης σαν ιδιαίτερο πρόβλημα. Ασχολήθηκε ιδιαίτερα με τον προσδιορισμό του συντελεστή τ . Έχει προτείνει δε δύο τεχνικές για τον σκοπό αυτό.

1. Την τεχνική των "δύο βημάτων" που χρησιμοποιεί τον περιορισμό ότι τα διανύσματα O1Pu και O1Pd είναι συγγραμμικά. Η τεχνική έχει αναφερθεί στην ανασκόπηση σαν η πλέον κλασική μέθοδος βαθμονόμησης με δύο βήματα. Για τον προσδιορισμό του συντελεστή τ απαιτείται να υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς μετακίνησης κατά τον άξονα z ενός επιπέδου με σημεία βαθμονόμησης.
2. Δεδομένου ότι μια τέτοια δυνατότητα δεν είναι πάντα αυτονόητη, ο ίδιος ερευνητής προτείνει μια εντελώς διαφορετική τεχνική προσδιορισμού του συντελεστή τ [23]. Μεταξύ του αναλογικού σήματος της κάμερας και του μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό που βρίσκεται στην πλακέτα ψηφιοποίησης, υπάρχει συνήθως βαθυπερατό φίλτρο, που αποκόπτει μικρής έντασης spikes που έχουν συχνότητα ίση με την συχνότητα σάρωσης της κάμερας. Η απομάκρυνση του φίλτρου αυτού δημιουργεί μια συγκεκριμένη εικόνα, από την ανάλυση της οποίας μπορεί να προκύψει ο ζητούμενος συντελεστής τ .

Οι προϋποθέσεις των προηγούμενων τεχνικών, η δυνατότητα δηλαδή ακριβούς μετακίνησης ενός επιπέδου βαθμονόμησης κατά τον άξονα z ή η επέμβαση στα κυκλώματα ψηφιοποίησης, δεν είναι αυτονόητες. Ο Penna [42], υποδεικνύει μια άλλη τεχνική. Η τεχνική χρησιμοποιεί μια σφαίρα σαν γεωμετρικό στοιχείο για τον προσδιορισμό του συντελεστή τ . Η βασική ιδέα έγκειται στο να προβληθεί στο επίπεδο της κάμερας ένας κύκλος. Στην ψηφιακή εικόνα, λόγω των - εν γένει διαφορετικών - συντελεστών μεγέθυνσης s_x και s_y , η αντίστοιχη καμπύλη είναι μια καμπύλη τετάρτου βαθμού, από την ανάλυση της οποίας μπορεί με κάποιες παραδοχές να προκύψει ο ζητούμενος συντελεστής τ . Μειονέκτημα της μεθόδου θεωρείται το γεγονός ότι απαιτεί την ύπαρξη σφαίρας με άριστη ποιότητα κατασκευής.

Για τον ανεξάρτητο προσδιορισμό των υπό συζήτηση συντελεστών, οι H. Zhuang και W.C. Wu [23] χρησιμοποιούν επίπεδο βαθμονόμησης υπό κλίση ως προς τον άξονα z.

Οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν, είτε είναι μη γραμμικές, είτε απαιτούν δυνατότητα ακριβούς μετακίνησης επιπέδου βαθμονόμησης, είτε απαιτούν ύπαρξη γεωμετρικών στερεών κατασκευασμένων με μεγάλη ακρίβεια, είτε τέλος απαιτούν επεμβάσεις στα κυκλώματα ψηφιοποίησης.

Το δεδομένο της παραλληλίας των επιπέδων κάμερας και εργασίας χρησιμοποιείται εδώ προκειμένου να προταθεί μια απλή καθώς και αρκετά ακριβή μέθοδο για τον προσδιορισμό κατ' αρχήν του λόγου $\mu = sy/sx$, και στην συνέχεια των υπολοίπων εσωτερικών και εξωτερικών παραμέτρων της κάμερας.

Αν ληφθεί υπόψη η παραλληλία των επιπέδων κάμερας και εργασίας και αντικατασταθούν οι όροι του πίνακα στροφής με όρους γωνιών Euler, τότε οι εξισώσεις 1(α,β) γίνονται :

$$\frac{(X_m - C_x)}{(1 - kR^2)} = fs_x \frac{cax_w - say_w + t_x}{t_z} = Sc_x (cax_w - say_w + t_x) \quad 4(\alpha)$$

$$\frac{(Y_m - C_y)}{(1 - kR^2)} = fs_y \frac{sax_w + cay_w + t_y}{t_z} = Sc_y (sax_w + cay_w + t_y) \quad 4(\beta)$$

Όπου Sc_x , Sc_y συνολικοί συντελεστές μεγέθυνσης κατά τους άξονες X, Y που λαμβάνουν υπόψη τόσο την ενεργή εστιακή απόσταση, όσο και την απόσταση του αντικειμένου από την κάμερα.

Μετά από διαίρεση κατά μέλη προκύπτει :

$$\frac{(Y_m - C_y)}{(X_m - C_x)} = \mu \frac{sax_w + cay_w + t_y}{cax_w - say_w + t_x}$$

Αν υπάρχουν σημεία παρατήρησης στο επίπεδο εργασίας, των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια, οι δε άξονες x_w , y_w είναι σχεδόν παράλληλοι με τους άξονες του συστήματος της εικόνας, τότε η γωνία α (roll) είναι πολύ μικρή, οπότε ισχύει : $ca = 1$, $\sin\alpha = \alpha$.

Η προηγούμενη ισότητα γίνεται τότε :

$$\frac{(Y_m - C_y)}{(X_m - C_x)} = \mu \frac{ax_w + y_w + t_y}{x_w - ay_w + t_x} \Rightarrow y_w \mu + \mu t_y + x_w \mu \alpha + Ky_w \alpha - Kt_x = Kx_w$$

Όπου

$$K = \frac{(Y_m - C_y)}{(X_m - C_x)}$$

Στην παραπάνω ισότητα, οι ποσότητες :

$$\mu, \mu t_y, \mu \alpha, \alpha, t_x$$

μπορούν να θεωρηθούν άγνωστα μεγέθη, οπότε πρόκειται για μια γραμμική εξίσωση με πέντε αγνώστους. Με περισσότερα από πέντε σημεία παρατήρησης, το γραμμικό σύστημα που προκύπτει μπορεί να επιλυθεί και να προσδιορισθούν οι άγνωστοι. (Το οπτικό κέντρο (C_x , C_y) έχει προσδιορισθεί στο πρώτο βήμα).

Προκειμένου η βαθμονόμηση του συντελεστή μ να είναι όσο γίνεται ακριβέστερη, χρησιμοποιείται πλέγμα σημείων (μη συνευθειακών) τυπωμένο σε χαρτί με την βοήθεια εκτυπωτή laser . Στο ίδιο χαρτί, έχει τυπωθεί και ευθύγραμμο τμήμα παράλληλο με τον άξονα x_w του πλέγματος των σημείων. Το συγκεκριμένο ευθύγραμμο τμήμα χρησιμεύει σαν αναφορά για να παραλληλισθεί κατά προσέγγιση το σύστημα συντεταγμένων των σημείων βαθμονόμησης με τους άξονες της ψηφιακής εικόνας. Τα σημεία είναι στην ουσία μικροί κύκλοι. Στην εικόνα ανιχνεύονται στην συνέχεια τα κέντρα βάρους των περιοχών που αντιστοιχούν στους κύκλους.

Γ. Προσδιορισμός των συντελεστών μεγέθυνσης Sc_x , Sc_y και της σταθεράς ακτινικής παραμόρφωσης k

Η ισότητα 4(α) γράφεται :

$$(X_m - C_x) \frac{1}{Sc_x} - (cax_w - say_w + t_x) R^2 k = (cax_w - say_w + t_x) \Rightarrow$$

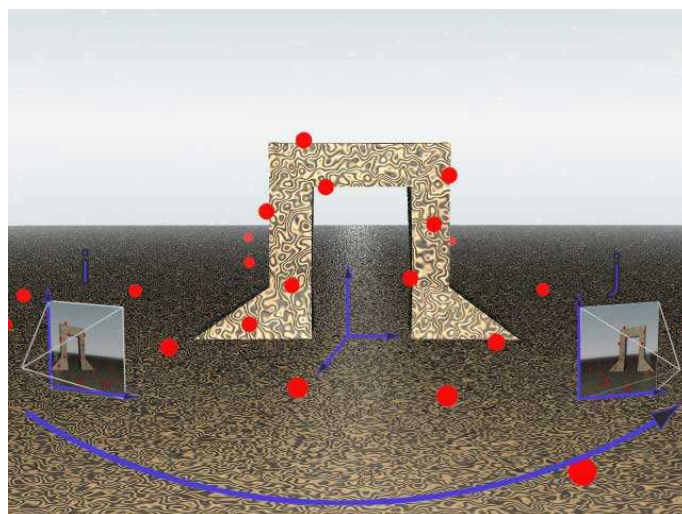
$$\Rightarrow A_1 \frac{1}{Sc_x} + A_2 k = A_3$$

Τα a , t_x έχουν προσδιορισθεί στο προηγούμενο βήμα. Η ακτίνα R εξ ορισμού είναι :

$$R^2 = \mu^2 (X_m - C_x)^2 + (Y_m - C_y)^2$$

άρα με γνωστό το μ μπορεί να υπολογισθεί.

Για κάθε σημείο παρατήρησης μπορούν συνεπώς να υπολογισθούν οι συντελεστές A_1 , A_2 , A_3 . Η παραπάνω ισότητα θεωρείται εξίσωση με αγνώστους τις ποσότητες : $1/Sc_x$ και k . Με τουλάχιστον δύο σημεία παρατήρησης, σχηματίζεται γραμμικό σύστημα εξισώσεων, από το οποίο προκύπτει τόσο ο συντελεστής μεγέθυνσης Sc_x όσο και η σταθερά ακτινικής παραμόρφωσης k . Με αντίστοιχη διαδικασία, από την 4(β) προκύπτει ο συντελεστής μεγέθυνσης Sc_y . Το πλέγμα των σημείων που χρησιμοποιείται είναι φυσικά το ίδιο.



Εικόνα 3.1: Στερεοσκοπικό σύστημα λήψης με περισσότερες κάμερες

4 Ο χώρος της αρχιτεκτονικής

4.1 Με τι ασχολείται

Αρχιτεκτονική είναι τόσο η τέχνη όσο και η επιστήμη του σχεδιασμού (με την έννοια της μελέτης, όχι μόνο του γραφικού σχεδίου) και της υλοποίησης κτιρίων. Το σχέδιο και η έκφραση του, που είναι ο σχεδιασμός, πραγματώνουν ένα αντικείμενο, ένα σύστημα μία αντικειμενική υλική διάσταση. Ένας πιο γενικός ορισμός θα περιελάμβανε το σχεδιασμό όλων των κτιστών υποδομών στο περιβάλλον, από το μακροσκοπικό επίπεδο του σχεδιασμού πόλεων ως το μικροσκοπικό του σχεδιασμού επίπλων και προϊόντων καθημερινής χρήσης. Η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει όχι μόνο το σχεδιασμό αλλά και το προϊόν της υλοποίησης. Ετυμολογικά, ο όρος προέρχεται από το ελληνικό αρχή και τέχνη-τεκτονική (κατασκευή και δημιουργία).

Σύμφωνα με την πιο πρόιμη μελέτη γύρω από το αντικείμενο, ο Βιτρούβιος στο έργο του περί Αρχιτεκτονικής βασίζει την καλή αρχιτεκτονική σε τρεις αρχές: Ομορφιά (*Venustas*), Σταθερότης (*Firmitas*) και Ευχρηστία (*Utilitas*). Λέγεται ότι η αρχιτεκτονική οφείλει να εξισορροπεί και να συντονίζει με βάση αυτά τα τρία στοιχεία, χωρίς κανένα να υπερβαίνει τα άλλα. Ένας πιο σύγχρονος ορισμός, από μία διαφορετική οπτική γωνία θα διέκρινε στη λειτουργικότητα όλα τα υπόλοιπα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένης της καλαισθησίας και λοιπών ψυχολογικών παραγόντων.

4.2 Ποιες ανάγκες παρουσιάζει

Αρχιτεκτονικές ανάγκες όπως είναι αναμενόμενο υπάρχουν οι οποίες θα πρέπει να καλύπτονται. Τέτοιες ανάγκες μπορούν να συναντώνται στο κομμάτι του σχεδιασμού ή της λειτουργικότητας ώστε ένα έργο που έχει αναλάβει ένας αρχιτέκτονας να ολοκληρωθεί έχοντας πετύχει το στόχο του. Όμως στην παρούσα πτυχιακή δεν θα αναλυθούν περαιτέρω τέτοιες ανάγκες εφόσον δεν αποτελούν και το αντικείμενο της. Αυτό που θα εξεταστεί και θα αναλυθεί εκτενώς είναι το κομμάτι εκείνο της επικοινωνίας του πελάτη με τον αρχιτέκτονα.

Μόλις ο σχεδιασμός του έργου είναι έτοιμος ή ο αρχιτέκτονας έχει τα πρώτα αποτελέσματα, είναι λογικό να γίνει μία παρουσίαση στον πελάτη ώστε να λάβει μία πρώτη άποψη για το πώς θα είναι όταν τελειώσει η κατασκευή του αλλά και για να γίνει μία συζήτηση πάνω σε κάποια θέματα που μπορεί να προκύψουν. Αυτά ίσως να έχουν να κάνουν με τις ανάγκες του πελάτη αλλά και με προβλήματα που μπορεί να εμφανιστούν απρόοπτως τα οποία δεν είχαν προβλεφθεί για την λειτουργικότητα, παραδείγματος χάρι. Επομένως σε αυτήν την επικοινωνία θα πρέπει να μην υπάρχουν θέματα ασάφειας για την επίτευξη του άριστου αποτελέσματος. Η παρουσίαση λοιπόν της άποψης του κτιρίου γίνεται είτε με την παρουσίαση εκτυπωμένων σχεδίων είτε κάποια απεικόνιση ενός τρισδιάστατου μοντέλου κατ' ευθείαν από τον υπολογιστή είτε με την κατασκευή μίας μακέτας η οποία είναι μία μινιατούρα του.

Παρακάτω επιδεικνύεται ένα σύστημα που χρησιμοποιεί μια τέτοια μέθοδο. Αρχικά παρουσιάζεται ο χώρος καθ' αυτός με την τοποθέτηση των marker στις κατάλληλες θέσεις. Έπειτα το Επαυξημένο περιεχόμενο και τελικός η εφαρμογή ενός συστήματος Επαυξημένης Πραγματικότητας που βλέπουμε το τελικό συγχωνευμένο επαυξημένο περιβάλλον.



Εικόνα 4.1: Πραγματικό περιβάλλον



Εικόνα 4.2: Επαυξημένο περιεχόμενο



Εικόνα 4.3: Τελική Επαυξημένη Πραγματικότητα

Ποιες απαιτήσεις πρέπει ένα σύστημα AR να καλύψει;

- **Οικονομική αποδοτικότητα, φορητότητα και ικανότητα ολοκλήρωσης**

Υπάρχουν συστηματικές και τεχνολογικές απαιτήσεις. Ο συστηματικός στόχος χρήσης ενός λειτουργικού συστήματος AR είναι να παρασχεθεί η οικονομικά αποδοτική και περιεκτική υποστήριξη κατά μήκος όλων των σταδίων του προγραμματισμού (αρχιτεκτονικό σχέδιο και κύριος προγραμματισμός, προετοιμασία των εγγράφων κατασκευής, κατασκευή, συντήρηση και υπηρεσία. Αυτές οι φάσεις προγραμματισμού περιλαμβάνουν διάφορους συνεργάτες: στα αρχικά στάδια, από την ανάπτυξη σχεδίου στην προετοιμασία της κατασκευής που αφορούν τον πελάτη, οι δομικές αρχές και οι μηχανικοί, ενώ η κατασκευή πραγματοποιείται από τους μηχανικούς και τον υπεύθυνο για την ανάπτυξη. Η εποπτεία του έργου εκτελείται από τον πελάτη ή τον ιδιοκτήτη, καθώς επίσης και από άλλες επιχειρήσεις παροχής τέτοιων υπηρεσιών. Όλοι αυτοί οι συνεργάτες χρησιμοποιούν πιθανότατα διαφορετικό υλικό και λογισμικό. Ένα μεθοδικά επιτυχές σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας πρέπει επομένως να είναι ένα συμβατό σύστημα με όσο το δυνατόν περισσότερες τροποποιήσεις και τυποποιημένο λογισμικό χρήσης ή τουλάχιστον τυποποιημένες διεπαφές.

Οι τρεις σημαντικότερες τεχνικές απαιτήσεις περιλαμβάνουν [22]:

- Ελαστικό, παραμετροποιήσιμο και κινητό υλικό
- Καλή συμπεριφορά χρόνου εκτέλεσης και εμφάνιση του συστήματος
- Καλή τεχνολογική ένταξη σε άλλα εργαλεία προγραμματισμού

Η φορητότητα και η ευελιξία του συστήματος είναι σημαντικές για τα εσωτερικά/υπαίθρια μικτά πρότυπα για τους οικοδόμους, τις κατασκευαστικές αρχές και για το διαχειριστή των εγκαταστάσεων. Η ποιότητα των αρχιτεκτονικών απεικονίσεων εξαρτάται γενικά από την καλή εκτέλεση υπολογισμού και την ικανότητα ένταξης προς άλλα εργαλεία προγραμματισμού. Αυτό το σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς στο εσωτερικό design, στο design οικοδόμησης και στον πολεοδομικό προγραμματισμό.

4.3 Πρώτες σκέψεις για την πτυχιακή

Το θέμα το οποίο θα θίξει η παρούσα πτυχιακή συνδέει όλα όσα έχουν ειπωθεί μέχρι στιγμής, οπότε από τη μία έχουμε τον χώρο της επαυξημένης πραγματικότητας και από την άλλη κάποιες ανάγκες της αρχιτεκτονικής και πιο συγκεκριμένα την επικοινωνία αρχιτέκτονα-πελάτη. Πέραν της τρισδιάστατης απεικόνισης στον υπολογιστή την μακέτα και τα σχέδια στο χαρτί, μέσω της μελέτης αυτής προτείνεται μία διαφορετική λύση για την παρουσίαση ενός αρχιτεκτονικού έργου, με εργαλείο την επαυξημένη πραγματικότητα.

Το σενάριο περιγράφει ένα χρήστη-πελάτη στον οποίο δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθήσει την πορεία ενός κατασκευαστικού έργου, μέσω ενός συστήματος όπου θα έχει μία αληθοφανή προσέγγιση του. Το μοντέλο του κτιρίου, για παράδειγμα, θα παρουσιάζεται στον χρήστη με όσο το δυνατόν περισσότερη ομοιότητα στο πραγματικό κτίριο και ως εμφάνιση και ως συμπεριφορά αλλά και ως χρήση. Όταν λέμε «συμπεριφορά» εννοούμε ότι από τη μία θα είναι πλήρως προσαρμοσμένο στο περιβάλλον του και από την άλλη με τον όρο «χρήση» εννοούμε την αλληλεπιδραστικότητα με τον χρήστη.

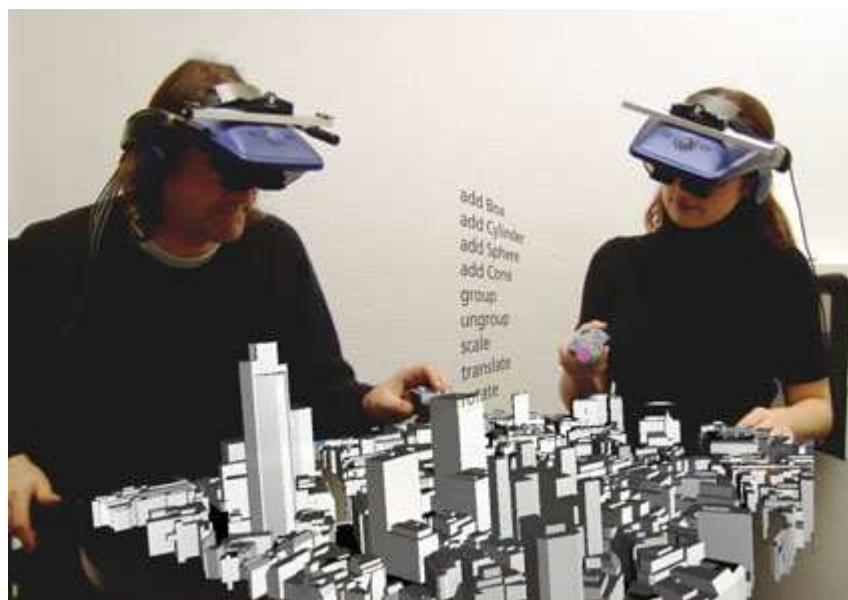
Με πιο απλά λόγια, θα δίνεται η ψευδαίσθηση στον παρατηρητή ότι το κτίριο είναι ήδη έτοιμο, άμεσα επισκέψιμο εξωτερικά αλλά και εσωτερικά, στις πραγματικές του διαστάσεις και στον πραγματικό χώρο στον οποίο και θα κατασκευαστεί.

Όπως γίνεται αντιληπτό, και έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, η πραγματοποίηση ενός τέτοιου εγχειρήματος επαυξημένης πραγματικότητας καθιστά αναγκαία την κατανόηση κυρίως των στόχων οι οποίοι θα πρέπει επιτευχθούν για να θεωρηθεί λειτουργικό και εύχρηστο. Ορθή επιλογή υλικού (hardware), εργαλείων ανάπτυξης (software), αλληλεπίδρασης και ελευθερία κινήσεων όπως και ευκολίας χειρισμού στον χρήστη. Μία εκτενή περιγραφή θα ακολουθήσει στις επόμενες ενότητες όπου θα περιγραφούν τεχνικές για τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Κάποιοι επιπρόσθετοι προβληματισμοί δημιουργούνται για τέτοιου είδους εφαρμογές στην αρχιτεκτονική. Η απεικόνιση της αρχιτεκτονικής αντιμετωπίζει πέντε κύρια προβλήματα για τις εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Τα κύρια προβλήματα της χρήσης εφαρμογών AR για την αρχιτεκτονική απεικόνιση περιλαμβάνουν [22]:

- **Δυνατότητα χρησιμοποίησης χωρίς προγραμματιστικές ικανότητες.** Να δίνει δηλαδή την άνεση στο χρήστη να μπορεί να χειριστεί το σύστημα χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις προγραμματισμού
- **Επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων από δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.** Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα μοντέλα με αρκετά πολύγωνα για τα οποία θα πρέπει να πραγματοποιείται εντοπισμός αλλά και το rendering σε κάθε frame.
- **Κατάλληλα tracking συστήματα για τις επιτόπιες απεικονίσεις**
- **Αποδοχή HMDs** (προσαρτώμενα επί κεφαλής συστήματα) από τους χρήστες του συστήματος AR
- **Σκίαση σε πραγματικό χρόνο**

Να σημειωθεί πως το σενάριο αυτό δεν έχει ως σκοπό να αντικαταστήσει τους προϋπάρχοντες τρόπους παρουσίασης ενός έργου ως η καλύτερη μέθοδος. Σκοπός του είναι να προτείνει απλώς έναν ακόμη τρόπο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις και να διευκολύνει μία πιο επικοινωνιακή συζήτηση και συγχρόνως επικοινωνία ανάμεσα σε αρχιτέκτονα ή κατασκευαστική και τον πελάτη.



Εικόνα 4.4: Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας

5 Το θέμα της εργασίας

5.1 Ο σκοπός & τι θα εξυπηρετήσει

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί περισσότερο το θέμα της πτυχιακής και τι έχει ως σκοπό να επιτύχει. Αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα ένα σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας στο οποίο ένας παρατηρητής-χρήστης θα μπορεί να έχει την δυνατότητα να επισκεφθεί ένα αρχιτεκτονικό μοντέλο ενός κτιρίου όπου θα μπορεί να εκτελέσει κάποιες ενέργειες σαν να ήταν στο πραγματικό κτίριο που πρόκειται να κτιστεί. Μάλιστα στο κτίριο θα μπορεί να αλλάζει την διαρρύθμιση μέχρι και την εσωτερική διακόσμηση ενώ παράλληλα το κτίριο θα μπορεί να παρουσιαστεί αν χρειαστεί και στις αληθινές του διαστάσεις στον πραγματικό χώρο. Η επικοινωνία του πελάτη με τον αρχιτέκτονα είναι από τους κύριους λόγους ύπαρξης του συστήματος αυτού αφού θα μπορούν να έχουν μία πιο άμεση αντίληψη και άποψη για την πορεία του έργου.

Το σύστημα αυτό θα πρέπει να ακολουθήσει κάποιες μεθόδους ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα λειτουργικό, εύχρηστο και χρήσιμο εργαλείο. Οι δύο έννοιες, αυτή της επαυξημένης πραγματικότητας και αυτή των αναγκών στην επικοινωνία αρχιτέκτονα-πελάτη, θα πρέπει να συνυπάρξουν χωρίς την παραμέληση κάποιας από τις δυο.

Για το λόγο αυτό η εφαρμογή έχει μία συγκεκριμένη μορφή και ροή στην παρουσίαση και την επεξεργασία των δεδομένων, η οποία και θα αναλυθεί παρακάτω, όπως για παράδειγμα την δυνατότητα καταγραφής σχολίων και παρατηρήσεων που θα αφορούν το μοντέλο αλλά και την δυνατότητα εικονικής επίσκεψης του εσωτερικού του κτιρίου.

Ξεκινώντας, λοιπόν, την περιγραφή των χαρακτηριστικών από τα πρώτα πράγματα που αξίζει να αναφερθεί είναι η επιλογή του φορμάτ των τρισδιάστατων μοντέλων το οποίο θα χρησιμοποιηθεί. Αυτό το φορμάτ είναι το “.dxf” όπου αποθηκεύεται η περιγραφή των μοντέλων για την μετέπειτα επεξεργασία τους. Γιατί όμως επιλέχθηκε αυτό και όχι κάποιο άλλο; Ο λόγος είναι ότι πρόκειται για ένα φορμάτ διαδεδομένο στην αρχιτεκτονική και μπορούμε να το συναντήσουμε σε μεγάλα επαγγελματικά σχεδιαστικά προγράμματα όπως το AutoCad της Autodesk, όπου μπορεί να γίνει εξαγωγή του μοντέλου του έργου σε αυτή τη μορφή. Ένας επαγγελματίας δεν χρειάζεται δηλαδή να ψάξει να μάθει και να ασχοληθεί γενικότερα με κάποιο άλλο περιβάλλον εργασίας πέραν του σχεδιαστικού προγράμματος όπου και θα υλοποιήσει το μοντέλο εξοικονομώντας πρώτα απ’ όλα χρόνο. Προσφέρει δηλαδή ευκολία ώστε να γίνεται πιο άμεση και κατανοητή η διαδικασία αυτή της παρουσίασης του έργου.

Στην συνέχεια, οριοθετείται η σημειολογία ξεχωριστών αυτόνομων τμημάτων ή μερών για τα οποία υπάρχει μεν εξαρχής ένα σενάριο, που όμως δεν είναι δεσμευμένο, με απώτερο σκοπό να προσαρμοστεί στις επιθυμίες των χρηστών. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στο να μπορούν τα διάφορα αντικείμενα όπως πόρτες, παράθυρα, τραπέζια, καρέκλες κτλ να ξεχωρίσουν και να μπορεί ο χρήστης με αυτό τον τρόπο να ελέγξει αυτά και τα χαρακτηριστικά τους όπως θεωρεί καλύτερα. Ένα αντικείμενο θα μπορεί να μετακινηθεί να αλλάξει προσανατολισμό και μέγεθος ενώ θα μπορεί να αλλάξει και την υφή του. Το αποτέλεσμα είναι να δοθεί η ελευθερία στο χρήστη να αλλάξει για παράδειγμα την εσωτερική διακόσμηση, τις ταπετσαρίες στους τοίχους και αν θέλει να μπορεί να δοκιμάσει από μία εικονική γκαλερί με έπιπλα για το σαλόνι ή την κρεβατοκάμαρα.

Επόμενο χαρακτηριστικό το οποίο θα διαθέτει η εφαρμογή είναι αυτό της εικονικής «βύθισης» του κτιρίου κάθετα και την επανατοποθέτηση του στην αρχική του θέση. Το σύστημα σκοπό έχει να διαχειρίζεται το μοντέλο και να το κάνει όσο πιο αληθοφανή γίνεται αλλά όμως δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός πως δεν πρόκειται τίποτε άλλο, όλη αυτή η διαδικασία, πέρα από μία **ψευδαίσθηση** την οποία προσθέτουμε στο οπτικό μας πεδίο. Εάν το μοντέλο του κτιρίου αντιπροσωπεύει κτίσμα περισσότερο του ενός ορόφου, που είναι σε πολλές περιπτώσεις και το πιο αναμενόμενο για ένα τέτοιο σχέδιο, ο χρήστης δεν θα μπορεί χωρίς αυτή την δυνατότητα να περιηγηθεί σε άλλους ορόφους πέραν του ισογείου κάτι το οποίο έρχεται σε αντίθεση με το στόχο της συγκεκριμένης εφαρμογής και την λειτουργικότητα που θα πρέπει να προσφέρει στον χρήστη. Η επιλογή ορόφου λύνει αυτό το θέμα ώστε να κάνει όλους τους ορόφους επισκέψιμους φέρνοντας τον εκάστοτε όροφο που επιθυμεί ο χρήστης στο επίπεδό του.

Όταν αναφέρθηκε πιο πάνω περί της σημειολογίας των αντικειμένων ώστε να ανεξαρτητοποιηθούν το καθένα ξεχωριστά από το υπόλοιπο μοντέλο, έγινε λόγος για την δυνατότητα αλλαγής της εσωτερικής διακόσμησης. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό συμβάλει και σε μία ακόμα δυνατότητα με την οποία ο χρήστης θα μπορεί να αφαιρέσει ένα προϋπάρχων αντικείμενο να προσθέσει κάποιο άλλο ή να αλλάξει το χρώμα και την υφή του. Ακόμη και ένας τοίχος ή ένας ολόκληρος όροφος θα μπορεί να αλλάξει και να διαμορφωθεί σύμφωνα με ένα απρόοπτο σενάριο.

Για να γίνει η τοποθέτηση του μοντέλου στις πραγματικές του διαστάσεις στον αληθινό χώρο όπου και θα κτιστεί θα πρέπει να υπάρξει και η ανάλογη υποδομή. Ένα σύστημα marker εξυπηρετεί το σκοπό αυτό και μάλιστα μπορεί να γίνει και η προβολή του δοκιμαστικά ή για κάποιον άλλο λόγο σε κάποιο άλλο μέρος ή επιφάνεια όπως ένα τραπέζι με το ανάλογο αποτέλεσμα. Οι markers είναι κάποια σύμβολα αναγνωρίσιμα από την πλατφόρμα τα οποία τοποθετούνται (πχ εκτυπώνονται σε χαρτί) στο χώρο και τα οποία βοηθούν το tracking ως σημεία αναφοράς για την μετέπειτα εικονική τοποθέτηση των αντικειμένων στο χώρο με το σωστό τρόπο. Η πλατφόρμα εκτελεί την αναγνώριση βάσει την τεχνητή ή μηχανική όραση αναγνωρίζοντας στην ουσία αυτά τα πρότυπα, ενώ μία κάμερα ή κάποια άλλη συσκευή αιχμαλώτισης frames, τα λαμβάνει και τα παραχωρεί σε αυτήν. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν είναι δεσμευτικό αυτό το σύστημα, των markers, και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδικός εξοπλισμός για την ενέργεια αυτή. Τέτοιος εξοπλισμός μπορεί να είναι μία ψηφιακή πυξίδα, ένα GPS, ένα γυροσκόπιο ή συνδυασμός όλων αυτών. Στην παρούσα εργασία θα ακολουθηθεί το σύστημα των markers.

Τελευταίο και αρκετά σημαντικό χαρακτηριστικό θα είναι η δυνατότητα πρόσθεσης κειμένου στο ίδιο το μοντέλο σε πραγματικό χρόνο (real time). Το κείμενο θα τοποθετείται σε οποιαδήποτε θέση θελήσει ο χρήστης μέσα στο μοντέλο με το οποίο θα μπορεί να αφήνει σχόλια, ίσως για κάποια αλλαγή που πρόκειται να γίνει ή κάποια επισήμανση για τον επόμενο χρήστη που στη συγκεκριμένη περίπτωση μας θα είναι ο πελάτης. Αυτό θα τον βοηθάει ως πληροφορία για το έργο ή ως διευκρίνιση.

Με τη σειρά του θα μπορεί και αυτός να αφήσει σχόλια και παρατηρήσεις ώστε να υπάρξει μία αμφίδρομη επικοινωνία και ίσως κάποιου είδους feedback (ανατροφοδότηση). Έτσι, δίπλα από αντικείμενο της επιλογής μας θα μπορεί να αφηθεί σχόλιο ίσως για το μέγεθος του ή για την υφή και το χρώμα του.

Η σχεδίαση ενός αρχιτεκτονικού μοντέλου θα δώσει την γενική μορφή της μέλλουσας κατασκευής. Δηλαδή τους τοίχους τα παράθυρα τις πόρτες ίσως κάποιους εξωτερικούς χώρους αλλά πολύ πιθανόν να μην συγκαταλέγονται σε αυτά η εσωτερική διακόσμηση ή κάποιες εγκαταστάσεις όπως τις ηλεκτρικές και τις υδραυλικές. Σε πρώτο πλάνο είναι λογικό αυτό, αν σκεφτούμε ότι δεν είναι από τα σημαντικά σημεία τουλάχιστον στο πρώτο στάδιο σχεδίασης. Ωστόσο η ανάγκη αυτή δεν χάνεται αλλά εμφανίζεται στην συνέχεια. Αν το δούμε πιο ρεαλιστικά είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι δεν είναι απαραίτητο από ένα άτομο ή εταιρία να πραγματοποιηθεί ολόκληρο το έργο. Τα έπιπλα, τα κουφώματα, οι ταπετσαρίες και τα χρώματα, οι ηλεκτρικές συσκευές και τόσα άλλα δίνονται από εταιρίες επίπλων ελαιοχρωματισμού ηλεκτρικών συσκευών κτλ.

Το σενάριο της εργασίας αυτής μπορεί αρκετά άνετα να γενικοποιηθεί ώστε να δώσει λύσεις γι' αυτές τις περιπτώσεις. Ας φανταστούμε μία μεγάλη εμπορία επίπλων να διαθέτει εκτός των πραγματικών επίπλων και εικονικές εκδόσεις αυτών. Θα μπορεί καταρχήν ο διακοσμητής εσωτερικών χώρων να δοκιμάσει τα έπιπλα αυτά αλλά και γιατί όχι και ο ίδιος ο τελικός πελάτης από το σπίτι του μέσω διαδικτύου να τα κατεβάζει και να τα δοκιμάζει στον πραγματικό χώρο.

Μία ευκολία λοιπόν που προσφέρει είναι η άμεση εικονική τοποθέτηση των αντικειμένων από μία ίσως διαδικτυακή γκαλερί. Δίνει λοιπόν την δυνατότητα μίας άποψης για το πώς θα φαίνεται αν τελικά προχωρήσει κανείς στην αγορά του προϊόντος μετά την δοκιμή του.

Το ίδιο το τρισδιάστατο μοντέλο το οποίο κατασκευάζεται θα μπορεί σιγά, σιγά να εξελίσσεται περνώντας από πολλά στάδια όπως αρχικά από τον πολιτικό μηχανικό τον αρχιτέκτονα τον διακοσμητή τον ελαιοχρωματιστή τον υδραυλικό και τον ηλεκτρολόγο ή να δημιουργηθούν περισσότερες εκδόσεις αυτού του μοντέλου για τον καθένα επαγγελματία ξεχωριστά.

Εάν για παράδειγμα θέλουμε να δούμε που θα τοποθετηθούν οι υδραυλικές εγκαταστάσεις θα μπορούμε μέσω του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας να τις δούμε όχι μόνο στο εικονικό μοντέλο αλλά και στο πραγματικό κτίριο αλλά προφανώς με κάποιες αλλαγές στο μοντέλο όπου θα αποκρύπτονται οι τοίχοι και διάφορα αντικείμενα αφού δεν θα ενδιαφέρει εκείνη την στιγμή. Ενώ αν το δούμε και ως μία πιο μελλοντική χρήση θα μπορεί σε περίπτωση βλάβης-διαρροής να έχουμε αυτή την έκδοση του μοντέλου που αντιπροσωπεύει τα υδραυλικά του σπιτιού και να βρούμε ακριβώς που πρέπει να γίνει επισκευή με εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος.

5.2 Υλικό Συστήματος & Περιβάλλον

Σε αυτήν την καινούργια ενότητα θα παρουσιασθεί το περιβάλλον στο οποίο αναπτύχθηκε η εφαρμογή, το υλικό το οποίο την υποστήριξε και κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά. Κάνοντας μία ανακεφαλαίωση, αναφέρθηκαν δύο είδη υλικού για εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας αυτό της εσωτερικής και αυτό της εξωτερικής εφαρμογής. Το υλικό για εσωτερική χρήση υστερεί τις περισσότερες φορές σε ελευθερία κινήσεων και σε φορητότητα αλλά όχι σε αυτονομία και επιδόσεις ενώ στο υλικό για εξωτερική παρουσίαση συμβαίνει το αντίθετο. Γενικά θα πρέπει να βρίσκεται σε κάθε εφαρμογή μία ισορροπία ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο εύχρηστο και αποδοτικό, σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες που υπάρχουν, το σύστημα.

Στην παρούσα πτυχιακή το σύστημα αποτελείται από έναν βασικό εξοπλισμό για τον σκοπό που εξυπηρετεί. Ο εξοπλισμός αυτός είναι απλός αφού περιλαμβάνει ένα υπολογιστικό σύστημα και μία διαδικτυακή κάμερα. Για να γίνει πιο σαφές ο ρόλος του, ας θυμηθούμε ότι η βασική διεργασία είναι η αναγνώριση κάποιων marker για την σωστή τοποθέτηση των εικονικών αντικειμένων. Η χρήση μίας κάμερας είναι αναγκαία χωρίς να απορρίπτει άλλους τρόπους σύλληψης frames όπως είναι ειδικά γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας τα οποία είναι καταλληλότερα αλλά και αρκετά ακριβότερα.

Το υπολογιστικό σύστημα δεν είναι τίποτα άλλο από έναν φορητό υπολογιστή ο οποίος αναλαμβάνει τους υπολογισμούς για τις διάφορες διεργασίες που πρόκειται να γίνουν. Διαθέτει μία κάρτα γραφικών αρκετά δυνατή για το rendering του επεξεργασμένου μοντέλου με υποστήριξη OpenGL όπως και οι περισσότερες στις μέρες μας. Διπύρηνο επεξεργαστή με αρκετή επεξεργαστική ισχύ και τέσσερα GB RAM κάτι το οποίο είναι αρκετά σημαντικό αν φορτωθεί πολύ μεγάλο αρχείο με πολλά πολύγωνα και πολλά αντικείμενα. Επιλέχθηκε φορητός υπολογιστής για να αυξηθεί όσο περισσότερο γίνεται, στα πλαίσια που μας επιτρέπει η εργασία, η ελευθερία κινήσεων του χρήστη. Τέλος, στην οθόνη που προφανώς παρέχει θα εμφανίζεται το αποτέλεσμα της όλης προσπάθειας.

5.3 Μικρή εισαγωγή στα χρησιμοποιημένα εργαλεία

Τα εργαλεία ανάπτυξης τα οποία συνιστούν το λογισμικό της εφαρμογής είναι στην ουσία βιβλιοθήκες για την γλώσσα προγραμματισμού C++. Αυτά τα εργαλεία συνθέτουν ένα κατάλληλο περιβάλλον για να δοκιμαστούν και να τελειοποιηθούν διάφορες τεχνικές με στόχο το σκοπό της εφαρμογής. Ονομαστικά είναι τα παρακάτω:

- ARToolkit
- dxflib
- OpenGL

Στο **ARToolkit** πραγματοποιείται όλη η επεξεργασία εκείνη η οποία είναι απαραίτητη για να δώσει τις σωστές βάσεις ώστε να δουλέψει το σύστημα με επιτυχία. Αναγνωρίζει τους markers, την θέση της κάμερας με αυτούς και δίνει τις πληροφορίες που χρειάζεται η εφαρμογή για την διεργασία του rendering. Γενικότερα είναι αυτή η βιβλιοθήκη που μας παρέχει την δυνατότητα υλοποίησης μίας εμπειρίας επαυξημένης πραγματικότητας (AR).

Η επόμενη βιβλιοθήκη που θα χρησιμοποιηθεί είναι η **dxflib** για το διάβασμα των περιγραφών των αρχείων **dxfl**. Σε αυτό τον τύπο αρχείου έχει αποθηκευτεί η πληροφορία για τα τρισδιάστατα μοντέλα που θα επεξεργαστούν από το σύστημα στην συνέχεια. Αναγνωρίζει τα σημεία τα ονόματα και ό,τι πληροφορία χρειάζεται για την κατασκευή των μοντέλων αυτών.

Τέλος, η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιεί τις πληροφορίες από το διάβασμα των αρχείων dxfl είναι η **OpenGL**. Η OpenGL αναλαμβάνει την παρουσίαση των μοντέλων καθώς και την επεξεργασία τους με αποτέλεσμα να δίνει στον χρήστη την τελική εμπειρία. Αυτό που την κάνει σημαντική είναι το ότι εκτός από την προβολή των μοντέλων πραγματοποιεί και το κομμάτι της αλληλεπίδρασης με το χρήστη.



Εικόνα 5.1 Προβολή του χαρακτήρα με την χρήση marker

6 Μεθοδολογία και εργαλεία

6.1 ARToolkit

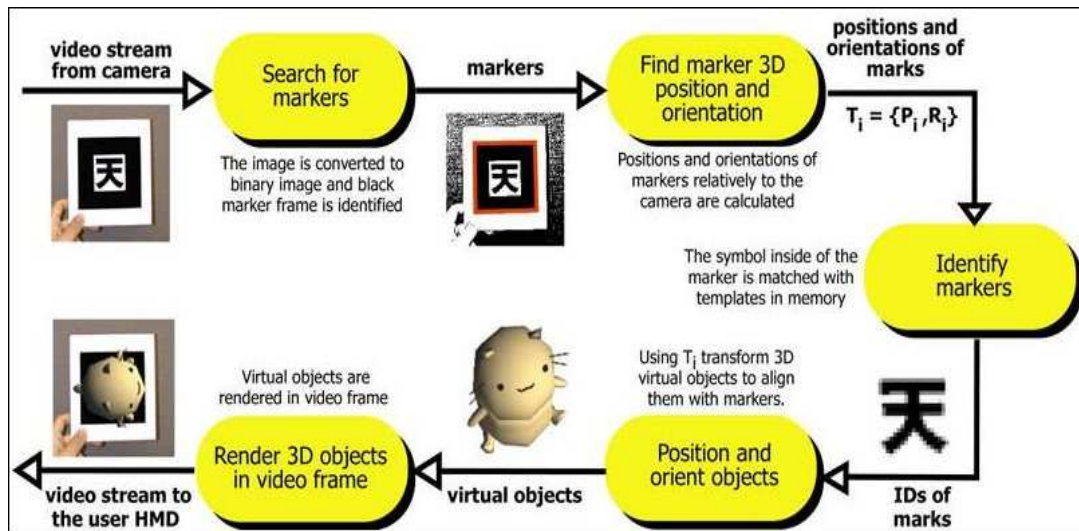
6.1.1 Τι είναι

Το ARToolkit είναι μία βιβλιοθήκη για την γλώσσα προγραμματισμού C/C++ η οποία επιτρέπει στους προγραμματιστές να αναπτύσσουν εφαρμογές επαυξημένης πραγματικότητας. Για τον ρόλο της αυτόν, χρησιμοποιείται πολύ συχνά για βιομηχανικές και εκπαιδευτικές έρευνες.[7]

Ένα από τα δυσκολότερα μέρη στην ανάπτυξη τέτοιων εφαρμογών είναι ο ακριβής υπολογισμός του οπτικού πεδίου του χρήστη σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε τα εικονικά αντικείμενα να είναι πλήρως ευθυγραμμισμένα με τον πραγματικό κόσμο. Το γρήγορο και ακριβές tracking που παρέχει το ARToolkit το καθιστά ικανό για την γρήγορη ανάπτυξη ενδιαφερουσών εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας. Περιλαμβάνει τις βιβλιοθήκες για το tracking και τον πλήρη πηγαίο κώδικα, επιτρέποντας τον προγραμματισμό σε ποικίλες πλατφόρμες αλλά και την παραμετροποίηση για συγκεκριμένες πλατφόρμες ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε προγραμματιστή. Μπορεί να λειτουργήσει σε διάφορες πλατφόρμες όπως Mac OS, Windows, Linux και Irix ενώ οι τελευταίες εκδόσεις του είναι πλήρως cross-platform. Λογικό είναι η απόδοση να ποικίλει ανάλογα με τις διαφορετικές διαμορφώσεις υλικού.

Η βιβλιοθήκη αυτή χρησιμοποιεί ένα σύστημα με markers για την επίτευξη του σωστού tracking. Η βασική ροή λειτουργίας του ARToolkit ξεκινάει πρώτα απ' όλα από την συσκευή σύλληψης frames η οποία αιχμαλωτίζει και στέλνει στην πλατφόρμα εικόνες από το πραγματικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό ψάχνει κάθε frame για περιοχές οι οποίες είναι μαύρες και τετραγωνικές ώστε να χαρακτηριστούν ως πιθανοί markers. Στην συνέχεια αφού αναγνωριστεί κάποιο μαύρο τετράγωνο υπολογίζεται η θέση του σε σχέση με τη θέση της κάμερας ώστε να κατασκευαστεί ο εικονικός κόσμος αργότερα. Μόλις γίνει γνωστή η θέση της κάμερας αναγνωρίζεται σε αυτό το τετράγωνο η ταυτότητα του ώστε να ξέρουμε ακριβώς ποιο γραφικό (τρειςδιάστατο μοντέλο) θα επιλεγεί να σχεδιαστεί στη θέση εκείνη. Πάνω από την εικόνα του πραγματικού κόσμου σχεδιάζεται το γραφικό ώστε να φαίνεται σαν κολλημένο με το marker κάτι το οποίο εξυπηρετεί την ρεαλιστικότητα της σκηνής. Έτσι όταν ο χρήστης κοιτάει προς το μέρος ενός marker του εμφανίζεται στην συσκευή παρουσίασης του, είτε σε ένα επί κεφαλής σύστημα απεικόνισης είτε στη οθόνη του υπολογιστή, μία εικονική παράσταση να επιστρέφει το πραγματικό κόσμο.

Η εικόνα παρακάτω συνοψίζει αυτά τα βήματα:



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα διεργασιών ARToolkit ανά frame

Προκύπτουν κάποιοι περιορισμοί που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την ανάπτυξη μίας εφαρμογής οι οποίοι περιγράφονται στην συνέχεια. Όπως είναι φυσικό τα εικονικά στοιχεία εμφανίζονται μόνο εάν είναι ο marker στη θέα της κάμερας και περιλαμβάνοντάς τον με αυτόν τον τρόπο στα frame που δέχεται η εφαρμογή. Αυτό σημαίνει ότι εάν ο χρήστης καλύψει τον marker ή ένα μέρος αυτού το περιεχόμενο της εικονικής σκηνής θα εξαφανιστεί.

Υπάρχουν επίσης θέματα με την ακτίνα θέασης του κάθε marker. Όσο μεγαλύτερο είναι το φυσικό σχέδιο του marker τόσο πιο εύκολα ανιχνεύσιμος γίνεται. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικές χαρακτηριστικές εμβέλεις για τους markers σε σχέση με το μέγεθος τους. Αυτά τα στοιχεία συλλέχθηκαν με το να δοκιμαστούν διαφορετικά μεγέθη markers και αποστάσεών τους από την συσκευή λήψης frames. Οι markers με τα διαφορετικά μήκη πλευρών τοποθετήθηκαν κάθετα μπροστά από μια κάμερα και απομακρύνοντας την κάμερα από αυτούς σημειώθηκαν κάποια αποτελέσματα μέχρι το σημείο που τα αντικείμενα εξαφανίστηκαν.

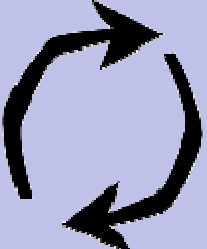
Μέγεθος marker (inches)	Εμβέλεια χρήσης (inches)
2.75	16
3.50	25
4.25	34
7.37	50

Πίνακας 6.1: Εμβέλεια tracking με διαφορετικά μήκη πλευρών markers

Αυτή η σειρά επηρεάζεται επίσης και από την πολυπλοκότητα των σχεδίων. Συγκεκριμένα όσο απλούστερο είναι το σχέδιο τόσο καλύτερα αναγνωρίσιμο γίνεται επειδή η λεπτομέρεια μπορεί να μπερδέψει και αν πρόκειται και για μεγάλη απόσταση τότε μπορεί να του δοθεί μικρή πιθανότητα να είναι marker με αποτέλεσμα να απορριφθεί ως θόρυβος. Τα σχέδια με τις μεγάλες ασπρόμαυρες περιοχές (δηλ. χαμηλής συχνότητας σχέδια) είναι τα αποτελεσματικότερα. Επίσης το tracking μπορεί να επηρεαστεί και από την γωνία θέασης σε σχέση με την κάμερα. Δεδομένου ότι οι markers μπορούν να γίνουν γερμένοι και σχεδόν οριζόντιοι όλο και περισσότερο το κέντρο τους γίνεται δύσκολα ορατό με αποτέλεσμα η αναγνώριση να γίνεται πιο αναξιόπιστη. Τέλος, τα αποτελέσματα από το tracking μπορεί να επηρεαστούν και από τις συνθήκες φωτισμού. Αρκετά έντονος φωτισμός μπορεί να δημιουργήσει αντανάκλασεις αλλά και να αλλοιώσει και το χρώμα με το μαύρο τετράγωνο να φαίνεται ως γκριζο και έτσι να καθιστά δύσκολη την αναγνώριση του marker. Παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο οι markers να τυπωθούν σε μη γυαλιστερή επιφάνεια για την αποφυγή του φαινομένου της αντανάκλασης.

Υπάρχουν δύο μέρη για την ανάπτυξη εφαρμογών που χρησιμοποιούν το ARToolkit, γράφοντας την εφαρμογή και εκπαιδύοντας τις ρουτίνες της επεξεργασίας εικόνας που είναι υπεύθυνες για τον εντοπισμό για τους markers του πραγματικού κόσμου που θα χρησιμοποιηθούν.

Μία εφαρμογή με το ARToolkit θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Αρχικοποίηση	1. Αρχικοποίηση του βίντεο και διάβασμα των αρχείων με την περιγραφή των markers και των ρυθμίσεων της κάμερας.
Κύρια Επανάληψη 	2. Αιχμαλώτιση ενός εισερχόμενου frame.
	3. Εντοπισμός των markers και αναγνώριση των ταυτοτήτων τους στο εισερχόμενο frame.
	4. Υπολογισμός του μετασχηματισμού της κάμερας σχετικά με τους εντοπισμένους markers.
	5. Σχεδιασμός των εικονικών αντικειμένων πάνω στους εντοπισμένους markers.
Κλείσιμο	6. Κλείσιμο της σύλληψης του βίντεο και τερματισμό της εφαρμογής.

Πίνακας 6.2: Χαρακτηριστικά εφαρμογής ARToolkit

Τα βήματα 2 έως 5 επαναλαμβάνονται συνεχώς σε κάθε frame (επανάληψη) και είναι από τα πιο σημαντικά μέρη μίας τέτοιας εφαρμογής ενώ σταματούν όταν τερματιστεί η εφαρμογή. Ενώ τα βήματα 1 και 6 εκτελούνται ακριβώς στην έναρξη και το κλείσιμο της εφαρμογής αντίστοιχα και μόνο μία φορά. Εκτός βέβαια από τα παραπάνω μία εφαρμογή ίσως να υποστηρίζει και οποιοδήποτε γεγονός (event) όπως είναι το πληκτρολόγιο και το ποντίκι.

Κάποιες χαρακτηριστικές συναρτήσεις που αντιστοιχούν στα παραπάνω:

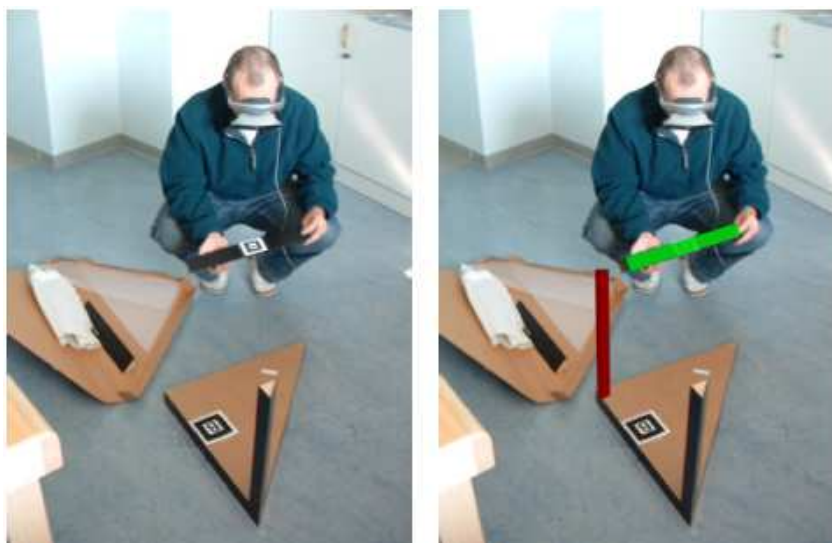
ARToolkit Step	Functions
1. Αρχικοποίηση της εφαρμογής	Init
2. Σύλληψη ενός frame	arVideoGetImage (called in mainLoop)
3. Αναγνώριση των markers	arDetectMarker (called in mainLoop)
4. Υπολογισμός του μετασχηματισμού της κάμερας	arGetTransMat (called in mainLoop)
5. Σχεδίαση των εικονικών αντικειμένων	draw (called in mainLoop)
6. Κλείσιμο του βίντεο και τερματισμός	Cleanup

Πίνακας 6.3 : Κλήσεις συναρτήσεων που αντιπροσωπεύουν τα βήματα μίας εφαρμογής με το ARToolkit

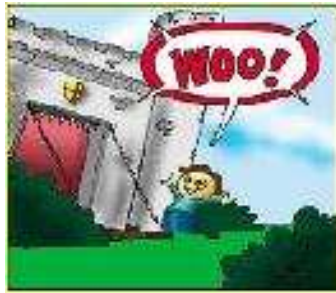
6.1.2 Εφαρμογές

Έχουν κάνει την εμφάνισή τους κάποια project τα οποία χρησιμοποιούν το ARToolkit για διαφορετικό σκοπό το καθένα. Αυτά τα projects αναφέρονται σε διάφορους τομείς όπως αυτός του βιβλίου, της μουσικής, της βιοτεχνίας ακόμα και της αρχαιολογίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ARToolkit χρησιμοποιείται περισσότερο για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Ενδεικτικά κάποια είναι τα παρακάτω:

FaiMR (Furniture Assembly Instructor in MR) : Η ιδέα αυτής της δουλειάς είναι να ενώσει άμεσα το εγχειρίδιο οδηγιών με τα μέρη των συναρμολογούμενων επίπλων. Η μικτή πραγματικότητα χρησιμοποιείται για να συνδυάσει την πραγματικότητα (μέσω μίας webcam) με την επιπρόσθετη πληροφορία χρησιμοποιώντας επικαλυπτόμενα γραφικά.



Εικόνα 6.1: Συναρμολόγηση επίπλων με MR



The MagicBook: Μία εξερεύνηση στο πως ένα φυσιολογικό ιστορικό βιβλίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει τους ανθρώπους αδιάλειπτα από την πραγματικότητα στην εικονική πραγματικότητα. Το MagicBook κέρδισε το 2001 Discover Award ως η καλύτερη εφαρμογή διασκέδασης.

Εικόνα 6.2 - The MagicBook,



AR Groove: Μία χειροπιαστή διεπαφή χρήστη υπολογιστή στην οποία η κίνηση αληθινών δίσκων μουσικής χρησιμοποιείται για να συνθέσει ηλεκτρονική μουσική. Το AR Groove παρουσιάστηκε το 2000 από τη Siggraph

Εικόνα 6.3 - AR Groove,



ARCO: Είναι ένα ευρωπαϊκό project το οποίο χρησιμοποιεί την επαυξημένη πραγματικότητα για την παρουσίαση των θεμάτων του μουσείου

Εικόνα 6.4 - ARCO

6.1.3 Ο ρόλος στην εφαρμογή

Η εφαρμογή στηρίζεται στο tracking αφού ο σκοπός της είναι να δείξει όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά τα τρισδιάστατα εικονικά μοντέλα. Το ARToolkit αναλαμβάνει αυτή τη διαδικασία ώστε να εντοπίσει τους markers και να επιστρέψει πληροφορίες για τον εικονικό κόσμο και για το πώς θα πρέπει να στηθεί. Μπορεί ακόμη να ρυθμίσει την κάμερα και να εκπαιδεύσει την εφαρμογή στην αναγνώριση των markers. Ενώ περιλαμβάνει και διάφορες συναρτήσεις για τους παραπάνω στόχους που μπορούν χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη μιας εφαρμογής.

6.2 DXF format

6.2.1 Τι είναι το dxf αρχείο

Drawing Interchange Format	
Επέκταση Αρχείου	.dxf
Αναπτύχθηκε από	Autodesk
Εισήχθη	Δεκέμβριος 1982
Τύπος format	CAD data exchange

Πίνακας 6.4 : Σύνοψη στοιχείων DXF format

Το Autodesk DXF (Drawing Interchange Format, ή Drawing Exchange Format) είναι ένα format για αποθήκευση CAD πληροφορίας το οποίο αναπτύχθηκε από την Autodesk για να καταστεί δυνατή η διαλειτουργικότητα μεταξύ του AutoCAD και άλλων προγραμμάτων [8]. Ο τύπος αυτού του αρχείου επίσημα εισήχθη τον Δεκέμβριο του 1982 ως μέρος της πρώτης έκδοσης του AutoCAD (AutoCAD 1.0) και είχε ως στόχο να παρέχει μια ακριβή αναπαράσταση των δεδομένων του ενσωματωμένου AutoCAD format DWG (Drawing), για το οποίο η Autodesk για πολλά χρόνια δεν είχε δημοσιεύσει τα χαρακτηριστικά του. Εξαιτίας αυτού, το φόρτωμα του DXF format είχε γίνει πολύ δύσκολο. Σήμερα η Autodesk δημοσιεύει στην ιστοσελίδα της τα χαρακτηριστικά του για τις DXF εκδόσεις οι οποίες χρονολογούνται από το AutoCAD Release 13 μέχρι και το AutoCAD 2010. Εν το μεταξύ, από την έκδοση του AutoCAD 10 (Οκτώβριος 2010) και μετά υποστηρίζεται και η binary αλλά και η ASCII έκδοση του DXF ενώ οι παλαιότερες μόνο την ASCII.

6.2.2 Γνωριμία με το συγκεκριμένο τύπο αρχείου

Οι ASCII εκδόσεις αυτού του τύπου αρχείου μπορούν να διαβαστούν από έναν αναγνώστη κειμένου. Η βασική οργάνωση ενός DXF αρχείου είναι όπως παρακάτω [8]:

- **HEADER** section – Γενικές πληροφορίες γύρω από το σχέδιο. Κάθε παράμετρος έχει ένα όνομα μεταβλητής και μία σχετική τιμή.

- **CLASSES** section – Κρατούνται οι πληροφορίες για τις σταθερές κλάσεις της εφαρμογής οι οποίες εμφανίζονται στα κομμάτια των BLOCKS, των ENTITIES και των OBJECTS.
- **TABLES** section – Σε αυτό το κομμάτι περιλαμβάνονται αναφορές σε ονομαζόμενα αντικείμενα:
Application ID (APPID) table
Block Record (BLOCK_RECORD) table
Dimension Style (DIMSTYLE) table
Layer (LAYER) table
Linetype (LTYPE) table
Text style (STYLE) table
User Coordinate System (UCS) table
View (VIEW) table
Viewport configuration (VPOR) table
- **BLOCKS** section – Στην ενότητα αυτήν περιέχονται οι οντότητες των ορισμών των μπλοκ περιγράφοντας τις οντότητες που απαρτίζουν κάθε μπλοκ στο σχέδιο.
- **ENTITIES** section – Οι οντότητες για το σχέδιο περιέχονται σε αυτό το τμήμα συμπεριλαμβάνοντας και οποιαδήποτε αναφορά σε μπλοκ.
- **OBJECTS** section – εδώ περιλαμβάνονται οι πληροφορίες οι οποίες ισχύουν για τα μη γραφικά αντικείμενα.
- **THUMBNAILIMAGE** section – Περιλαμβάνει μία προεπισκόπηση για το DXF αρχείο.
- **END OF FILE** – Τέλος του αρχείου.

Ακόμη αξίζει να αναφερθεί ότι ο συγκεκριμένος τύπος αρχείου καλείται και ως «tagged data» που σημαίνει ότι κάθε στοιχείο από την αποθηκευμένη πληροφορία αντιπροσωπεύεται από έναν ακέραιο αριθμό ο οποίος καλείται αριθμός ομάδας (group code). Η τιμή ενός αριθμού ομάδας υποδεικνύει τι είδους στοιχείο πληροφορίας ακολουθεί. Αυτή η τιμή επίσης υποδεικνύει το νόημα ενός στοιχείου για ένα δοσμένο τύπο αντικειμένου. Σχεδόν όλες οι πληροφορίες οι οποίες έχουν οριστεί από έναν άνθρωπο μπορούν να παραστούν μέσω του DXF format.

Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου αρχείου είναι το παρακάτω:

0	30	20	70
SECTION	0.0	0.0	1
2	9	30	0
HEADER	\$EXTMIN	0.0	VPOR
9	10	0	2
\$ACADVER	0.0	ENDSEC	*ACTIVE
1	20	0	70
AC1009	0.0	SECTION	0
9	30	2	10
\$INSBASE	0.0	TABLES	0.0
10	9	0	20
0.0	\$EXTMAX	TABLE	0.0
20	10	2	11
0.0	0.0	VPOR	1.0

21	8	49	---
1.0	0	0.5	72
12	LTYPE	49	65
-5.0	2	-0.25	73
22	CONTINUOUS	49	2
1.0	70	0.0	40
13	0	49	0.4
0.0	3	-0.25	49
23	Solid line	0	0.25
0.0	72	LTYPE	49
14	65	2	-0.25
0.1	73	DIVIDE	0
24	0	70	LTYPE
0.1	40	0	2
15	0.0	3	CENTER
0.1	0	---	70
25	LTYPE	.	0
0.1	2	72	3
16	DOT	65	---
0.0	70	73	72
26	0	6	65
0.0	3	40	73
36	72	1.25	4
1.0	65	49	40
17	73	0.5	2.0
0.0	2	49	49
27		-0.25	1.25
0.0		49	49
37	40	0.0	-0.25
0.0		49	49
40	0.25	-0.25	0
10.0	49	49	ENDTAB
41	0.0	0.0	0
1.0	49	49	TABLE
42	-0.25	-0.25	2
50.0	0	0	LAYER
43	LTYPE	LTYPE	70
0.0	2	2	2
44	DASHED	BORDER	0
0.0	70	70	LAYER
50	0	0	2
0.0	3	3	PYDXF
51	---	---	70
0.0	72	72	64
71	65	65	62
0	73	73	7
72	2	6	6
100	40	40	continuous
73	0.8	1.75	0
1	49	49	BF_0
74	0.5	0.5	70
1	49	49	64
75	-0.3	-0.25	62
0	0	49	7
76	LTYPE	0.5	6
0	2	49	continuous
77	DASHDOT	-0.25	0
0	70	49	ENDTAB
78	0	0.0	0
0	3	49	TABLE
0	---	-0.25	2
ENDTAB	72	0	STYLE
0	65	LTYPE	70
TABLE	73	2	1
2	4	HIDDEN	0
LTYPE	40	70	STYLE
70	1.0	3	2
			STANDARD
			70
			0
			40

0	0	0.0	2.18970131874
41	40	50	30
1.0	120.0	0.0	0.0
50	10	71	11
0.0	0.0	0	1.02949106693
71	20	0	21
0	0.0	ENDTAB	2.18970179558
42	41	0	31
1	200.0	ENDSEC	0.0
3	11	0	12
ARIAL.TTF	0.0	SECTION	1.0294905901
4	21	2	22
	0.0	BLOCKS	0.189701616764
0	31	0	32
ENDTAB	1.0	ENDSEC	0.0
0	12	0	13
TABLE	0.0	SECTION	3.0294907093
2	22	2	23
VIEW	0.0	ENTITIES	0.18970143795
70	32	0	33
1	0.0	3DFACE	0.0
0	42	8	0
VIEW	50.0	BF_0	ENDSEC
2	43	10	0
BF_TOPVIEW	0.0	3.0294907093	EOF
70	44	20	

Όπως διακρίνεται στο παραπάνω στιγμιότυπο φαίνονται τα διάφορα τμήματα με τους κωδικούς στο group που ανήκουν.

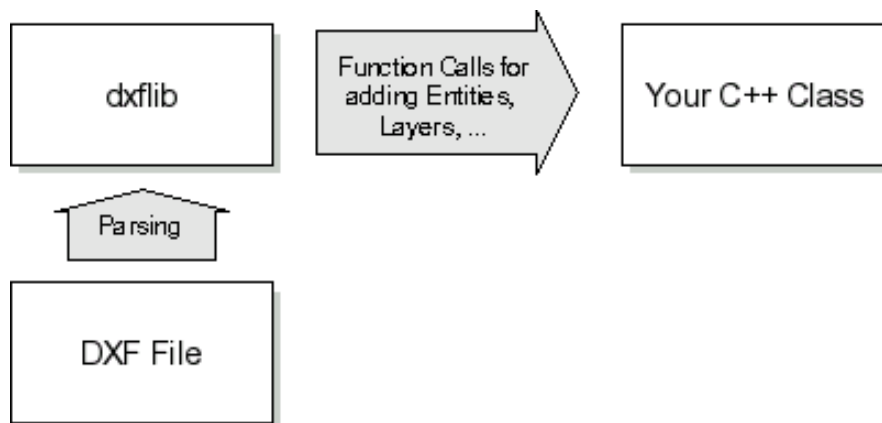
6.2.3 Ο ρόλος του στην εφαρμογή

Ο ρόλος του dxf format στην εφαρμογή είναι να αποθηκεύει τις πληροφορίες εκείνες οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου. Η περιγραφή ενός αντικειμένου αναφέρθηκε παραπάνω επισημαίνοντας την βασική δομή με τα διάφορα entities και sections. Όμως δεν εξυπηρετεί μόνο αυτό το σκοπό καθώς όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα δεν επιλέχτηκε τυχαία. Πρόκειται για φορμάτ το οποίο υποστηρίζεται από μεγάλα προγράμματα στο χώρο του 3D modeling με αποτέλεσμα να είναι ευρέως διαδεδομένο. Με αυτόν τον τρόπο αυτό που επιτυγχάνεται είναι η οικονομία χρόνου και γενικότερα η ευκολότερη διαδικασία στη δουλειά του επαγγελματία αφού δεν χρειάζεται κάποιο επιπρόσθετο λογισμικό ή γνώσεις για να σχεδιάσει το μοντέλο που επιθυμεί.

Το διάβασμα πραγματοποιείται από την εφαρμογή, κατά το οποίο διαβάζονται τα 3DFaces η αλλιώς τα πολύγωνα. Το κάθε πολύγωνο αποτελείται από τέσσερα 3D σημεία με xyz συντεταγμένες. Έτσι μπορούν να σχηματιστούν οι διάφορες κλειστές επιφάνειες από πολλά πολύγωνα για να δημιουργήσουν με τη σειρά τους τα αντικείμενα. Στο πως μπορούν να διαχωριστούν τα διάφορα πολύγωνα του ενός αντικειμένου από του άλλου συνδράμει μία επιπρόσθετη πληροφορία στην οποία αποθηκεύεται για κάθε πολύγωνο η ονομασία του αντικειμένου στο οποίο ανήκει. Αρκετά εύκολα, με μόνο αυτό το χαρακτηριστικό μπορούμε ομαδοποιώντας τα πολύγωνα με βάση το όνομά τους να ξεχωρίσουμε τα αντικείμενα που συνθέτουν. Το αποτέλεσμα είναι να μπορούν να προγραμματιστούν τα αντικείμενα αυτά κάνοντας την εφαρμογή αλληλεπιδραστική με το χρήστη κάτι το οποίο ανοίγει πολλούς δρόμους για νέα χαρακτηριστικά.

6.2.4 Η βιβλιοθήκη dxflib

Το δεύτερο εργαλείο μετά το ARToolkit που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη της εφαρμογής είναι η βιβλιοθήκη dxflib. Επίσης, πρόκειται για μία C++ βιβλιοθήκη η οποία μπορεί να επεξεργαστεί και να διαχειριστεί το dxf format όπως υποδεικνύει και το όνομα της. Η βιβλιοθήκη αυτή μπορεί να διαβάσει το δοθέν σε αυτήν dxf αρχείο και να αναγνωρίσει και να απομονώσει τα διάφορα μέρη του όπως είναι τα entities και τα layers. Στην συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτά τα προωθεί σε μία δική μας κλάση όπου και τελειώνει ο ρόλος της. Ωστόσο μπορεί να γράψει και σε ένα dxf κάτι που απαιτεί αρκετά καλή γνώση του συγκεκριμένου format ώστε να γραφεί και να αποθηκευτεί σωστά. Στην συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκαν τα 3DFaces για την αποθήκευση της πληροφορίας κάτι το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από την στιγμή εξαγωγής του από το πρόγραμμα μοντελοποίησης. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι μέθοδοι όπως είναι τα LINE, POLYLINE και τα DIMENSION. Μία οπτική αναπαράσταση του πως πραγματοποιείται αυτή η διαδικασία εικονίζεται ακριβώς στη συνέχεια [9]:



Σχήμα 6.2: Η διαδικασία διαβάσματος ενός dxf αρχείου από την dxflib.

Το κάθε 3DFace περιέχει την περιγραφή των τεσσάρων σημείων που το απαρτίζουν. Στα dxf αρχεία τα πολύγωνα αποθηκεύονται ως το σύνολο τεσσάρων σημείων. Αυτά με τη σειρά τους έχουν ακόμη μία αρκετά σημαντική πληροφορία η οποία περιλαμβάνει το όνομα του αντικειμένου (object) στο οποίο ανήκουν. Αν εκμεταλλευτεί σωστά αυτή η πληροφορία τότε μπορούν να ομαδοποιηθούν αυτά τα πολύγωνα σύμφωνα με το όνομα του αντικειμένου τους και έτσι να διαχωρίσουν και να ανεξαρτητοποιήσουν ένα αντικείμενο. Όπως ήδη αναφέρθηκε στην 5.2.3 αυτό βοηθάει στο να δημιουργηθούν αλληλεπιδραστικά στοιχεία κάνοντας την εφαρμογή πιο λειτουργική. Η dxflib γενικά αυτό που κάνει είναι να περνάει σε έναν επιλεγμένο κώδικα την πληροφορία με τα διάφορα στοιχεία από ένα dxf αρχείο για την περαιτέρω επεξεργασία τους.

6.3 To OpenGL

6.3.1 Τι είναι το OpenGL

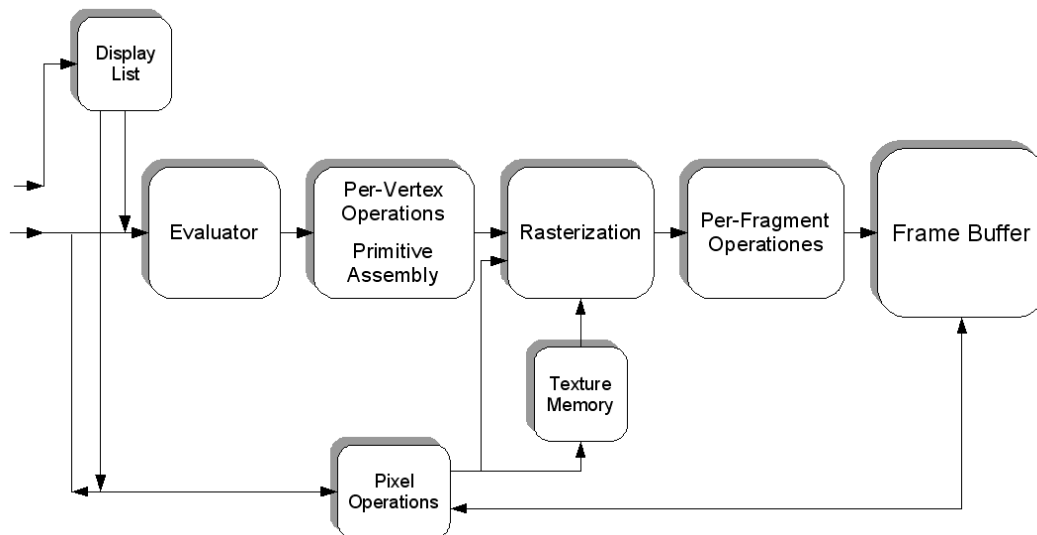
Το OpenGL είναι βασικό πρότυπο που καθορίζει την cross-platform και την cross-language ανάπτυξη εφαρμογών για την παραγωγή γραφικών δύο και τριών διαστάσεων στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. [10] Η διεπαφή αποτελείται πάνω από 250 κλήσεις συναρτήσεων με τις οποίες μπορούν να σχεδιαστούν περίπλοκες και σύνθετες τρισδιάστατες σκηνές από απλά αρχέτυπα. Το OpenGL αναπτύχθηκε από την Silicon Graphics Inc το 1992 και χρησιμοποιείται ευρέως σε CAD εφαρμογές, εικονική πραγματικότητα, επιστημονική απεικόνιση, απεικόνιση πληροφοριών και την προσομοίωση πτήσεων. Χρησιμοποιείται επίσης από video games, όπου και ανταγωνίζεται το Direct3D της Microsoft. Το OpenGL είναι υπό την διαχείριση της μη-κερδοσκοπικής κοινοπραξίας Khronos Group.

Το OpenGL εξυπηρετεί δύο βασικούς σκοπούς. Ο πρώτος είναι η απόκρυψη της πολυπλοκότητας των διασυνδέσεων μεταξύ διαφορετικών τρισδιάστατων επιταχυντών με την παρουσίαση ενός και μοναδικού interface. Ο δεύτερος λόγος είναι η απόκρυψη των διαφορετικών δυνατοτήτων υλικού απαιτώντας την πλήρη υποστήριξη των χαρακτηριστικών OpenGL για όλες τις εφαρμογές. Η βασική αρχή του OpenGL είναι να λαμβάνει τα αρχέτυπα όπως είναι σημεία γραμμές ή πολύγωνα και να τα μετατρέπει σε pixel. Αυτό πραγματοποιείτε με ένα pipeline γραφικών. Οι περισσότερες OpenGL εντολές είτε διοχετεύουν αρχέτυπα στο pipeline των γραφικών είτε ρυθμίζουν το πώς θα επεξεργάζονται τα αρχέτυπα αυτά από το pipeline.

Πριν από την εισαγωγή του OpenGL 2.0 κάθε στάδιο στην επεξεργασία των γραφικών γινόταν κάτω από στενά όρια. Με την προσφορά του OpenGL 2.0 και μετά, η επεξεργασία περνάει από πολλά τα οποία είναι πλήρως προγραμματιζόμενα χρησιμοποιώντας GLSL. Η GLSL (OpenGL γλώσσα σκίασης), επίσης γνωστή ως GLslang, είναι μία γλώσσα υψηλού επιπέδου σκίασης η οποία βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού C.

Το OpenGL είναι ένα χαμηλού επιπέδου, διαδικαστικό API, το οποίο απαιτεί από τον προγραμματιστή να υπαγορεύσει τα ακριβή βήματα που απαιτούνται για να κατασκευαστεί μια σκηνή. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα περιγραφικά APIs όπου ο προγραμματιστής αρκεί να περιγράψει την σκηνή και από εκεί και πέρα αναλαμβάνει η βιβλιοθήκη να χειριστεί τις λεπτομέρειες. Ο χαμηλός σχεδιασμός του OpenGL απαιτεί από τους προγραμματιστές να αποκτήσουν καλή γνώση του pipeline του, το οποίο από τη μία καθίσταται δύσκολο από την άλλη όμως δίνει την ελευθερία να αναπτυχθούν αξιόλογες εφαρμογές συν το γεγονός ότι ο εκάστοτε προγραμματιστής μπορεί να ξέρει ακριβώς πως δουλεύει η εφαρμογή του με σχετικά εύκολο μελλοντικό debugging.

Μία σύντομη περιγραφή του pipeline στο OpenGL θα μπορούσε να είναι η παρακάτω:



Σχήμα 6.3: Περιγραφή του pipeline στο OpenGL

1. Η αξιολόγηση (Evaluator), εάν είναι απαραίτητο, των πολυωνυμικών συναρτήσεων που καθορίζουν κάποιες εισροές δεδομένων όπως είναι οι NURBS επιφάνειες, οι καμπύλες κατά προσέγγιση και η γεωμετρία των επιφανειών.
2. Οι λειτουργίες που σχετίζονται με τα vertices (Per-vertex operations) την μετατροπή τους και το φωτισμό τους ανάλογα με το υλικό τους. Επίσης ψαλίδισμα των μερών της σκηνής οι οποίες δεν φαίνονται κατά την διαδικασία προβολής της.
3. Η μετατροπή (Rasterisation) των προηγούμενων πληροφοριών σε pixels. Τα πολύγωνα εκπροσωπούνται από το κατάλληλο χρώμα μέσω των αλγορίθμων παρεμβολής.
4. Η Per-fragment λειτουργία, στην οποία ενημερώνονται τιμές εξαρτώμενες από εισερχόμενες και προηγούμενα αποθηκευμένες τιμές ή συνδυασμούς χρωμάτων.
5. Τέλος, τα fragments εισέρχονται στο frame buffer.

Πολλοί σύγχρονοι 3D επιταχυντές παρέχουν λειτουργικότητα πολύ πάνω από το σενάριο αυτό, αλλά αυτά τα νέα χαρακτηριστικά είναι γενικά βελτιώσεις αυτού του βασικού αγωγού και όχι ριζικές αναθεωρήσεις του.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Στο παρακάτω παράδειγμα φαίνεται μία βασική ροή δεδομένων πως επεξεργάζεται και πως παρουσιάζεται στο χρήστη. Αυτό που γίνεται παρακάτω είναι να σχεδιάζεται ένα πράσινο τετράγωνο.

```
glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT );
```

Η δήλωση αυτή καθαρίζει τον color buffer, έτσι ώστε η σκηνή να εμφανιστεί άδεια. Παίρνει ένα όρισμα το οποίο ορίζει ποιος buffer θα καθαριστεί, που σε αυτήν την περίπτωση είναι ο color buffer.

```
glMatrixMode( GL_PROJECTION ); /* Subsequent matrix commands will affect the projection matrix */
```

```
glLoadIdentity(); /* Initialise the projection matrix to identity */
```

```
glFrustum( -1, 1, -1, 1, 1, 1000 ); /* Apply a perspective-projection matrix */
```

Οι κλήσεις αυτές προετοιμάζουν τον projection matrix ο οποίος αντιπροσωπεύει την ορατή περιοχή προς την κάμερα. Μετατρέπει τα αντικείμενα σε σχέση με το χώρο της κάμερας σε χώρο του OpenGL.

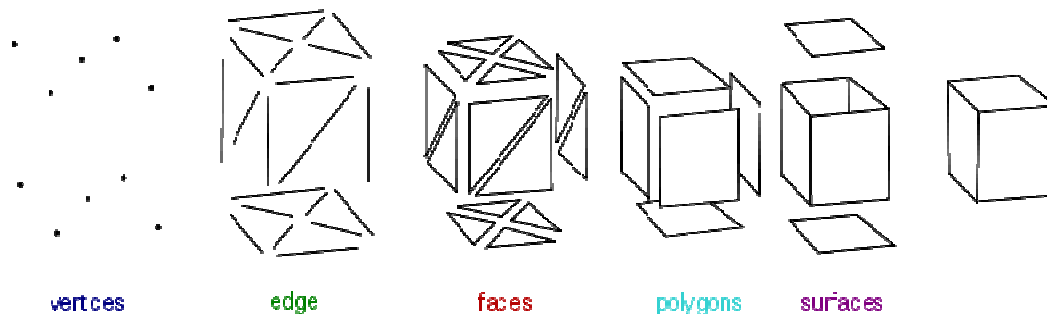
```
glMatrixMode( GL_MODELVIEW );    /* Subsequent matrix commands will affect the modelview
matrix */
glLoadIdentity();                /* Initialise the modelview to identity */
glTranslatef( 0, 0, -3 );        /* Translate the modelview 3 units along the Z axis */
```

Αυτές οι δηλώσεις εκκινούν τον modelview matrix όπου ορίζει ένα μετασχηματισμό από τις συντεταγμένες σχετικά με το αντικείμενο στο χώρο της κάμερας.

```
glBegin( GL_POLYGON );          /* Begin issuing a polygon */
glColor3f( 0, 1, 0 );          /* Set the current color to green */
glVertex3f( -1, -1, 0 );        /* Issue a vertex */
glVertex3f( -1, 1, 0 );        /* Issue a vertex */
glVertex3f( 1, 1, 0 );         /* Issue a vertex */
glVertex3f( 1, -1, 0 );        /* Issue a vertex */
glEnd();                        /* Finish issuing the polygon */
```

Οι εντολές αυτές σχεδιάζουν ένα πράσινο τετράγωνο πάτωμα στο επίπεδο που ορίζεται από τους XY άξονες. Το τετράγωνο αυτό μπορεί να αποτυπωθεί ακόμη, καλώντας την `glDrawArrays()` όπου της έχει δοθεί ένας πίνακας πιο πριν.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία απεικόνιση των διαφόρων οντοτήτων:



Σχήμα 6.4: Απεικόνιση των διάφορων οντοτήτων

Σχετικές βιβλιοθήκες

Πολλές βιβλιοθήκες κτίστηκαν πάνω ή παράλληλα με το OpenGL. Βιβλιοθήκες όπως η GLU μπορούν να βρεθούν με τις περισσότερες υλοποιήσεις και άλλες όπως την GLUT και την SDL έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου και παρέχουν στοιχειώδη cross-platform παράθυρα, και λειτουργικότητα ποντικίου ενώ αν αυτές δεν είναι από την αρχή εγκατεστημένες είναι αρκετά εύκολα να ενσωματωθούν. Απλή διεπαφή χρήστη υπολογιστή μπορεί να βρεθεί στις βιβλιοθήκες GLUT ή Fltk. Εκτός από τις προαναφερθείσες απλές βιβλιοθήκες, άλλες υψηλότερου επιπέδου αντικειμενοστραφής γραφήματος σκηνης βιβλιοθήκες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί όπως είναι η PLIB, OpenSG, OpenSceneGraph, και η OpenGL Performer. Αυτές είναι διαθέσιμες ως cross-platform δωρεάν και ανοικτού κώδικα ή αποκλειστικά προγραμματιστικά interfaces για τα οποία η ανάπτυξη

τους έχει στηριχτεί πάνω στο OpenGL και σε βιβλιοθήκες συστήματος για προσομοιώσεις πραγματικού χρόνου. Άλλες λύσεις υποστηρίζουν παράλληλα προγράμματα εικονικής πραγματικότητας είτε με διαφάνεια όπως το Chromium ή μέσω ενός προγραμματιστικού interface όπως το Equalizer.

6.3.2 Γιατί επιλέχτηκε (rendering)

Το OpenGL επιλέχτηκε για την σχεδίαση της σκηνής των αντικειμένων στο χώρο που αντιστοιχεί στο οπτικό πεδίο της κάμερας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το OpenGL δέχεται αρχέτυπα όπως είναι τα σημεία και οι γραμμές και βάσει αυτών συνθέτει τα διάφορα αντικείμενα της σκηνής. Το rendering, όπως ονομάζεται αυτή η διαδικασία, είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια σε μια εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας αφού προκύπτει σε αυτό όλο το αποτέλεσμα. Επιδιώκει να είναι όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικό και λειτουργικό. Αυτό επιτυγχάνεται με την τροφοδότηση πληροφορίας από το dxf αρχείο προς την εφαρμογή.

Επίσης, η πλατφόρμα του OpenGL χρησιμοποιείται από πολλά λειτουργικά συστήματα όπως και από πολλά προγράμματα επεξεργασίας γραφικών. Επίσης η βιομηχανία των ηλεκτρονικών παιχνιδιών δεν θα πρέπει να παραληφθεί να αναφερθεί αφού πρόκειται για το πλέον περιβάλλον δοκιμής της πλατφόρμας αφού η τεχνολογίες είναι πολλές και ο ανταγωνισμός μεγάλος. Αυτή η ωριμότητα επηρέασε σαφώς την επιλογή του στην παρούσα εργασία.

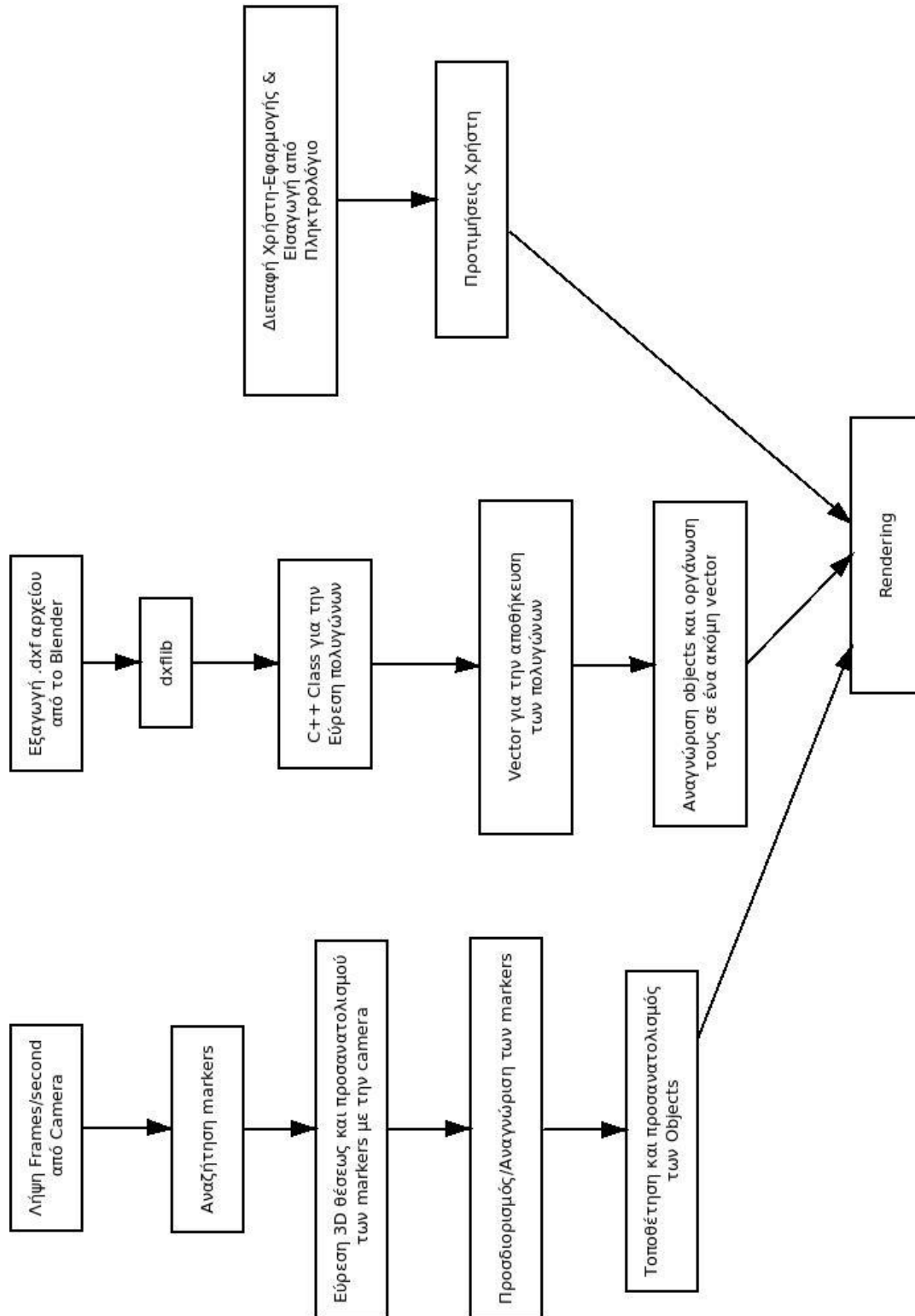
6.3.3 Η απόρριψη του VRML και η υιοθέτηση του dxf

Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν οι λόγοι που οδήγησαν στην εγκατάλειψη του VRML ως format και την υιοθέτηση του dxf. Το VRML είναι ο προεπιλεγμένος τύπος αρχείου ο οποίος είναι ενσωματωμένος κατά την εγκατάσταση του ARToolkit. Όμως δεν είναι ο μόνος τρόπος και δεν είναι υποχρεωτικός. Το VRML έχει κάποια αρνητικά στοιχεία τα οποία δεν το καθιστούν το κατάλληλο εργαλείο για την ανάπτυξη μίας εφαρμογής επαυξημένης πραγματικότητας.[11]:

1. Το πρώτο αρνητικό στοιχείο της VRML είναι το γεγονός ότι δεν μπορεί να υποστηρίξει μεγάλα και πολύπλοκα αντικείμενα και σκηνές χωρίς να εξελιχθεί σε μία “ βαριά ” διαδικασία. Έτσι η προβολή του εικονικού κόσμου μπορεί να γίνει αργή και να μην δίνει το κατάλληλο αποτέλεσμα.
2. Το παραπάνω αρνητικό επηρεάζει και τη μνήμη του υπολογιστικού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι καταλαμβάνει αρκετή μνήμη για το φόρτωμα μίας εικονικής σκηνής. Ακόμη και η πληροφορία για την αλληλεπίδραση των αρχέτυπων στοιχείων μπορούν να καταλάβουν αρκετή μνήμη.
3. Εάν το VRML χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές προσομοίωσης δεν δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Υστερεί στο να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα και δεν προτείνεται για εκπαιδευτικού τύπου εφαρμογών.
4. Ένας ακόμη λόγος ο οποίος το εμποδίζει στο να αποδώσει είναι το γεγονός ότι δεν παρέχει ικανοποιητικό περιβάλλον επεκτασιμότητας.
5. Ενώ, τέλος πρόκειται για ένα παλιό format το οποίο έχει αρχίσει σημαντικά η εγκατάλειψη του, διακόπτοντας με αυτόν τον τρόπο η οποιαδήποτε υποστήριξη του.

7 Θέματα υλοποίησης

Στο κεφάλαιο 7 θα αναλυθεί το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας και θα επισημανθούν τα κυριότερα και πιο αξιόλογα κομμάτια της λειτουργίας της. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται για ένα frame που λαμβάνεται από την κάμερα καθώς και κάποιες διεργασίες λήψης των δεδομένων.

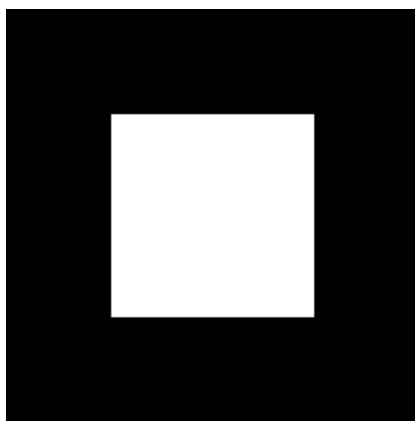


Σχήμα 7.1: Ροές Δεδομένων

Όπως διακρίνεται από το σχεδιάγραμμα, υπάρχουν 3 κεντρικές ροές δεδομένων όπου τα δεδομένα λαμβάνονται από διάφορες πηγές και επεξεργάζονται. Το πρώτο επίπεδο κάθε ροής αντιστοιχεί σε μία τέτοια πηγή. Ίσως η πιο κύρια ροή, χωρίς να υποβιβάζει την προσφορά των άλλων δύο στην εφαρμογή, είναι αυτή του tracking από το training των marker μέχρι τον προσανατολισμό και την τοποθέτηση των αντικειμένων αφού αναγνωριστεί ο χώρος. Η δεύτερη ροή δεδομένων είναι αυτή των πληροφοριών γύρω από την περιγραφή του εικονικού κόσμου που θα σχεδιαστεί, περιλαμβάνοντας την διαδικασία αποθήκευσης αυτή της περιγραφής μέχρι και τη λεπτομερή αναγνώριση οργάνωση και ανεξαρτητοποίηση του κάθε αντικειμένου. Στην τρίτη και τελευταία ροή ο σημαντικός παράγοντας είναι ο χρήστης. Διάφορες λειτουργίες μέσω του πληκτρολογίου όπου ο χρήστης μπορεί να επέμβει και να ρυθμίσει την εφαρμογή σύμφωνα με τις ανάγκες του σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο user interface για αυτήν την επικοινωνία. Ενώ, όπως κάποιος μπορεί να παρατηρήσει όλες καταλήγουν στο rendering. Σε αυτό το σημείο φτάνουν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες αφού έχουν πρώτα διαχειριστεί κατάλληλα για την ορθή και λειτουργική παρουσίαση του αποτελέσματος στην οθόνη του υπολογιστή, πίσω στον χρήστη.

7.1 Η εκμάθηση των ιχνών (marker training)

Η κάθε εφαρμογή που χρησιμοποιεί το ARToolkit για το tracking κυρίως είναι μία διαδικασία που αναλαμβάνει να αναγνωρίσει κάποια πρότυπα στην εικόνα που λαμβάνεται από την κάμερα. Πραγματοποιείται έρευνα για να βρεθούν τετράγωνα μαύρες περιοχές οι οποίες είναι υποψήφιες για πιθανούς markers. Το πώς αναγνωρίζεται κάποιος marker περιγράφεται σε ένα αρχείο ξεχωριστό το οποίο δημιουργείται κατά το λεγόμενο marker training. Αυτό το κομμάτι είναι μία ξεχωριστή διαδικασία την οποία ακολουθεί κάποιος αν θέλει να βάλει περισσότερους του ενός marker ή κάποιους δικούς του. Το πρόγραμμα που δημιουργεί αυτές τις περιγραφές βρίσκεται στον κατάλογο bin. Για να δημιουργηθεί ένα καινούργιο πρότυπο πρώτα θα πρέπει να τυπωθεί από ένα pdf, ένα μαύρο τετράγωνο το οποίο έχει ένα μικρότερο άσπρο στο κέντρο του, με το όνομα blankPatt.gif. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει την σχεδίαση ενός ασπρόμαυρου σχεδίου στο εσωτερικό του μαύρου τετραγώνου στη θέση της άσπρης περιοχής. Τα καλύτερα σχέδια είναι αυτά που δεν είναι συμμετρικά και δεν έχουν αρκετή λεπτομέρεια. Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται από τη μία ο κενός marker και δίπλα του ένα δείγμα.

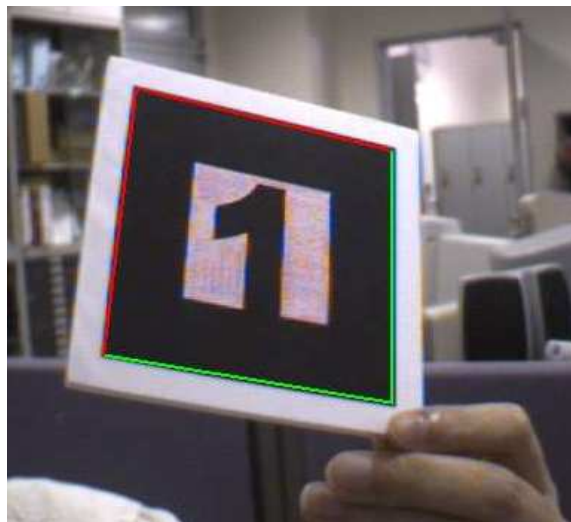


Εικόνα 7.1.α - Marker



Εικόνα 7.1.β - Marker

Στην συνέχεια το ARToolkit διαθέτει ένα πρόγραμμα με το όνομα mk_patt το οποίο τρέχει μέσω κονσόλας και αυτό που κάνει είναι να δημιουργεί το αρχείο με την περιγραφή που θα χρειαστεί στην συνέχεια. Τρέχοντας το πρόγραμμα αυτό σε συνδυασμό με έναν καλό φωτισμό ανάλογο αυτού που θα γίνει η αναγνώριση του στη συνέχεια. Έπειτα, κρατώντας τον marker μπροστά από τη κάμερα θα τονιστεί το περίγραμμά του ενώ όταν έχει πλέον γίνει η πάνω αριστερή γωνία του κόκκινη και η κάτω δεξιά γωνία του πράσινη είναι έτοιμη η περιγραφή του. Το αρχείο που θα δημιουργηθεί μπορεί να εισαχθεί στην εφαρμογή ώστε να αναγνωριστεί ο αντίστοιχος marker. Ένα στιγμιότυπο αυτής της διαδικασίας παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 7.2 - Ανίχνευση ορίων marker

7.2 Η λήψη των frames από την κάμερα

Όταν εκτελείται η εφαρμογή όπως είναι αναμενόμενο ξεκινάει η σύλληψη των frames από την κάμερα και η διοχέτευση τους στην εφαρμογή. Το ARToolkit υποστηρίζει ένα δικό του σύστημα το οποίο ενεργοποιεί την συσκευή αιχμαλώτισης frames την οποία και αναγνωρίζει το λειτουργικό. Μέσω κάποιων εντολών μέσα από το κώδικα ανοίγει το κατάλληλο παράθυρο για την απεικόνιση στην συνέχεια του αποτελέσματος. Οι παρακάτω εντολές είναι αυτές που είναι υπεύθυνες γι' αυτό το σκοπό.

```
/* Ενεργοποιεί τη συσκευή αιχμαλώτισης frames*/  
arVideoOpen( vconf ) < 0 ;  
/*Ρυθμίσεις για την κάμερα*/  
arParamLoad(cparam_name, 1, &wparam);
```

η παράμετρος vconf επιλέγει την ανάλυση πχ 1024x768

```
/* βρίσκει το μέγεθος του παραθύρου */  
arVideoInqSize(&xsize, &ysize) < 0 ;
```

ενώ με την επόμενη εντολή ενεργοποιεί το προαναφερθέν παράθυρο

```
/* ανοίγει το παράθυρο γραφικών */  
argInit( &cparam, 1.0, 0, 0, 0, 0 );
```

Όπως φαίνεται υπάρχουν διάφορες παράμετροι οι οποίες εισάγονται ως ορίσματα στις συναρτήσεις και ρυθμίζουν είτε το video frame όσο αφορά για παράδειγμα την ανάλυση ή το zoom, είτε τις ρυθμίσεις της κάμερας.

7.2.1 Αναζήτηση των markers

Αφού φορτωθούν στη μνήμη οι περιγραφές των markers, το επόμενο βήμα είναι να αναγνωριστούν στο κάθε frame. Η αναγνώριση πραγματοποιείται όπως στο παρακάτω .

```
if( patt_id == marker_info[j].id ) {  
    if( k == -1 ) k = j;  
    else if( marker_info[k].cf < marker_info[j].cf ) k = j;  
}
```

Η μεταβλητή patt_id είναι αυτή που κρατάει την πληροφορία για τους markers που έχουν εκπαιδευτεί και συνδεθεί στην εφαρμογή. Στην συνέχεια συγκρίνεται με τις τιμές που υπάρχουν στον πίνακα που έχουν αποθηκευτεί τα id των markers και ελέγχεται η πιθανότητα να είναι marker. Η πιθανότητα υπολογίζεται στο $\text{marker_info}[k].\text{cf} < \text{marker_info}[j].\text{cf}$ και αυτό που έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα αυτός ορίζεται ως ο αναγνωρισμένος marker. Με τις επόμενες γραμμές αρχικοποιείται και ένας προσωρινός marker ο οποίος είναι αυτός που εντοπίζεται εκείνη την στιγμή:

```
tempmarker.id=markerray[i].id; //Η ταυτότητα του marker  
tempmarker.rx=markerray[i].rx; // Η συντεταγμένη “x” του marker  
tempmarker.ry=markerray[i].ry; // Η συντεταγμένη “y” του marker  
tempmarker.angle=markerray[i].angle; // Η γωνία θέασης του marker  
tempmarker.tz=markerray[i].tz; // Η συντεταγμένη “z” του marker
```

Το συγκεκριμένο κομμάτι βοηθάει στην προσπάθεια της εφαρμογής να κατανοήσει το εσωτερικό του αντικειμένου αφού αναλόγως από πια οπτική γωνία το κοιτάει προχωράει στο αντίστοιχο rendering δίνοντας την ψευδαίσθηση του εσωτερικού του κτηρίου κάτι το οποίο έχει προαναφερθεί.

7.2.2 Εύρεση θέσης markers-κάμερα

Όταν ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη συλλογή των πληροφοριών επόμενο βήμα είναι να εντοπισθεί η θέση της κάμερας με αυτή του marker. Αυτό γίνεται με την παρακάτω εντολή:

```
arGetTransMat(&marker_info[k], patt_center, patt_width, patt_trans);
```

Οι μεταβλητές patt_center, patt_width και patt_trans που φαίνονται στην παραπάνω συνάρτηση ως ορίσματα, είναι αυτές που δίνουν τις κατάλληλες παραμέτρους για τον τρέχων εντοπισμένο marker. Η patt_center αναφέρεται στις συντεταγμένες του κέντρου του marker η patt_width στο πλάτος του marker (Σημείωση: Είναι αρκετή η πληροφορία αυτή αφού οι markers είναι τετράγωνοι και δεν χρειάζεται η πληροφορία μιας δεύτερης συντεταγμένης) και η patt_trans αναφέρεται στον μετασχηματισμό γι' αυτόν τον marker. Το όρισμα markerinfo[k] περιλαμβάνει την περιγραφή του marker όπως αυτός εκπαιδεύεται. Τέλος, η πληροφορία αποθηκεύεται στην patt_trans με την βοήθεια της οποίας κατασκευάζεται ο εικονικός χώρος αφού πλέον είναι γνωστή η θέση της κάμερας με του marker.

7.2.3 Προσδιορισμός του αναγνωριστικού marker

Παρακάτω θα εξηγηθεί πως μπορεί η εφαρμογή να αναγνωρίσει τον κάθε marker ξεχωριστά με βάση το id του. Ο κάθε marker χρειάζεται ένα id για να ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους και έτσι να υπάρχει η δυνατότητα διάφορων ενεργειών όπως την αλληλεπίδραση με το χρήστη ή την εναλλαγή μοντέλων.

Το patt_id όπως και το πεδίο id της δομής ARMarkerInfo κρατάει την περιγραφή για το id του marker.

Ένα παράδειγμα για το πως φαίνεται αυτή η περιγραφή ακολουθεί στη συνέχεια και αποθηκεύεται σε ένα ξεχωριστό αρχείο (τύπου κειμένου) με την παρακάτω μορφή:

```
234 235 240 233 240 234 240 235 240 237 240 238 240 240 240 232
229 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 228
227 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 239
240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
236 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
234 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
236 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
231 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
229 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
225 149 240 240 186 216 225 174 240 240 240 237 238 240 240 240
150 107 238 231 75 208 115 147 238 228 223 226 237 180 226 240
150 62 181 213 62 187 113 169 197 72 29 237 120 50 53 207
149 63 47 78 53 184 113 101 142 5 150 150 45 217 186 83
121 84 220 222 58 180 121 92 128 109 237 124 155 232 161 64
149 71 240 240 76 210 98 109 122 108 240 129 51 119 161 155
149 186 240 240 98 219 135 152 207 191 236 227 152 77 175 209
235 235 240 233 240 234 240 235 240 236 240 238 240 240 240 240
```

Εικόνα 7.3 - Νοητή Απεικόνιση του marker με αριθμούς

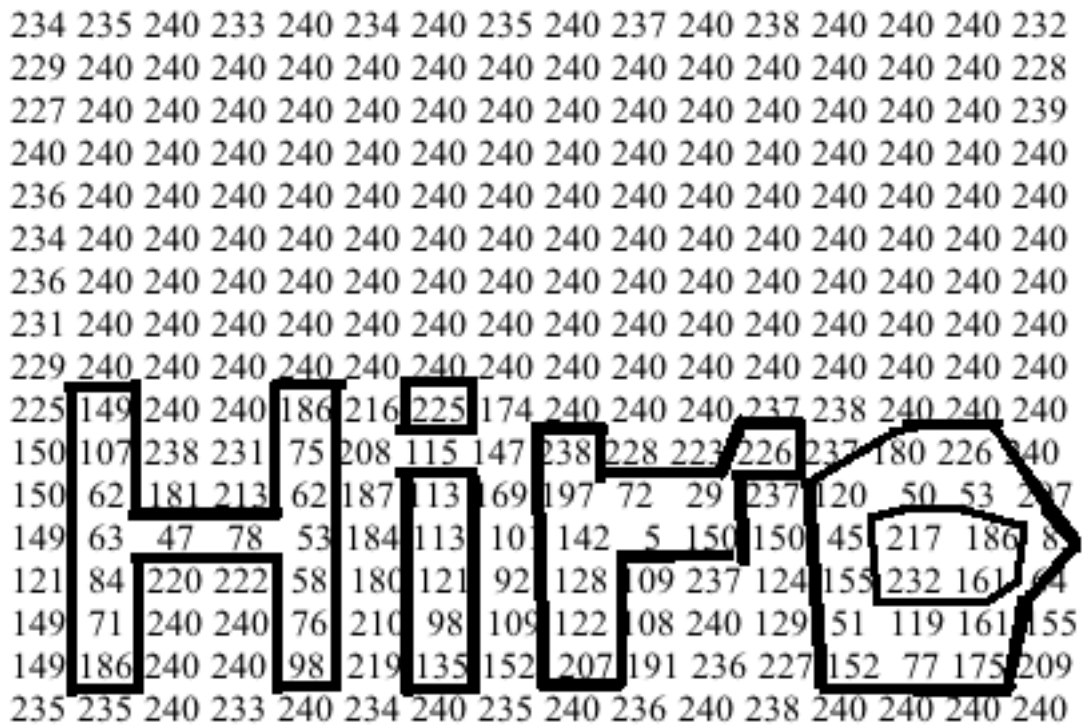
Η οποία αντιστοιχεί στον παρακάτω marker:



Εικόνα 7.4 - Ο πραγματικός marker

Εκ πρώτης όψεως, φαίνεται απλώς ένας πίνακας ο οποίος περιέχει στήλες και γραμμές με τιμές για στοιχεία του. Όμως, στην ουσία πρόκειται για μία νοητή απεικόνιση της άσπρης περιοχής κάθε marker με τις τιμές να αντιπροσωπεύουν διάφορες περιοχές φωτεινότητας όπου οι υψηλότερες τιμές αναφέρονται σε υψηλές τιμές φωτεινότητας (στην ουσία πρόκειται για τις άσπρες περιοχές όπου δεν περιγράφουν το id των markers) και τις χαμηλές τιμές που αναφέρονται σε χαμηλές τιμές φωτεινότητας (δηλαδή τις σκοτεινές-μαύρες περιοχές όπου περιγράφεται το id των markers).

Με τον τρόπο αυτό κατανοείται, από το ARToolkit συγκεκριμένα, ποιος marker περιγράφεται εκείνη την στιγμή συγκρίνοντας σε κάθε frame τις τιμές αυτές. Μία οπτική απεικόνιση για το πως αναγνωρίζονται οι περιγραφές αυτές φαίνεται στο παρακάτω γραφικό το οποίο αποτελεί μία γρήγορη-πρόχειρη αναφορά, για τον παραπάνω marker:



Εικόνα 7.5: Αναγνώριση φωτεινών σημείων

Για λόγους απορρόφησης σφαλμάτων, η περιγραφή περιέχει και ένα ακόμη χαρακτηριστικό αφού αποθηκεύει τον ίδιο πίνακα με τις φωτεινότητες, με τέτοιον τρόπο ώστε η κάθε περιοχή ενδιαφέροντος να αντιστοιχεί σε ένα εύρος τιμών φτιάχνοντας έτσι διαφορετικές εκδοχές του ίδιου πίνακα. Προλαμβάνονται έτσι οι μικρές διακυμάνσεις του φωτισμού ή της ποιότητας των frames τα οποία εισέρχονται στην εφαρμογή από την κάμερα. Αυτό το χαρακτηριστικό φαίνεται στις επόμενες εικόνες:

229 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 239
 227 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 234 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 232 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 235 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 232 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 228 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 225 156 240 240 182 212 225 180 240 240 240 240 240 240 240 240
 150 116 238 228 66 205 115 151 238 236 225 240 240 180 226 240
 156 84 186 211 47 184 109 170 200 92 30 240 120 50 53 216
 147 83 51 73 50 184 106 110 148 17 151 150 45 217 186 85
 127 98 219 219 58 179 109 101 128 107 237 125 155 240 163 72
 155 86 240 240 76 201 85 108 121 95 232 137 51 118 153 155
 149 189 240 240 98 220 141 154 206 178 235 230 152 77 175 209

229 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 227 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 236 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 234 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 236 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 232 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 229 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240 240
 225 156 240 240 186 216 225 186 240 240 240 240 240 240 240 240
 150 117 240 231 72 206 115 162 240 232 223 237 240 180 226 240
 150 74 187 213 51 184 103 168 197 78 29 237 120 50 53 216
 144 77 51 74 61 184 106 101 142 5 150 152 52 217 186 85
 117 89 219 219 65 184 121 92 128 100 236 125 156 240 170 73
 148 71 240 240 76 210 109 109 121 99 240 137 51 120 166 164
 140 186 240 240 98 220 150 156 207 192 236 230 152 77 176 212

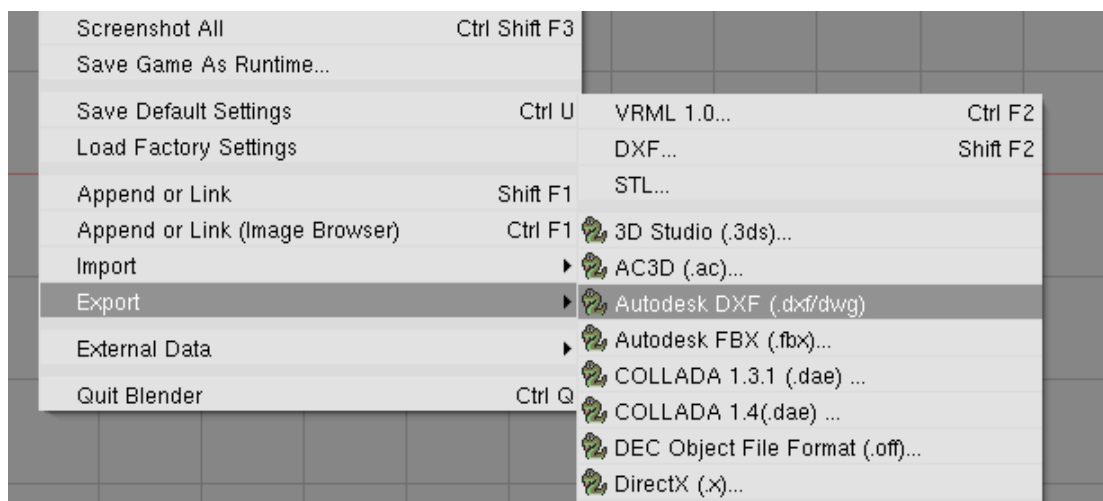
Εικόνα 7.6 Αλλαγές ακόμα και σε ίδιες περιοχές

Όπως παρατηρείται στις προηγούμενες εικόνες, ίδιες περιοχές μπορεί να έχουν διαφορετικές τιμές. Αποτελεί μία ασφάλεια της ομαλής παρουσίασης του μοντέλου αφού γίνεται πιο ελαστικό και επιεικής σε αλλαγές της έντασης του φωτός ή την ποιότητα λήψης της κάμερας.

7.3 Εξαγωγή .dxf αρχείου

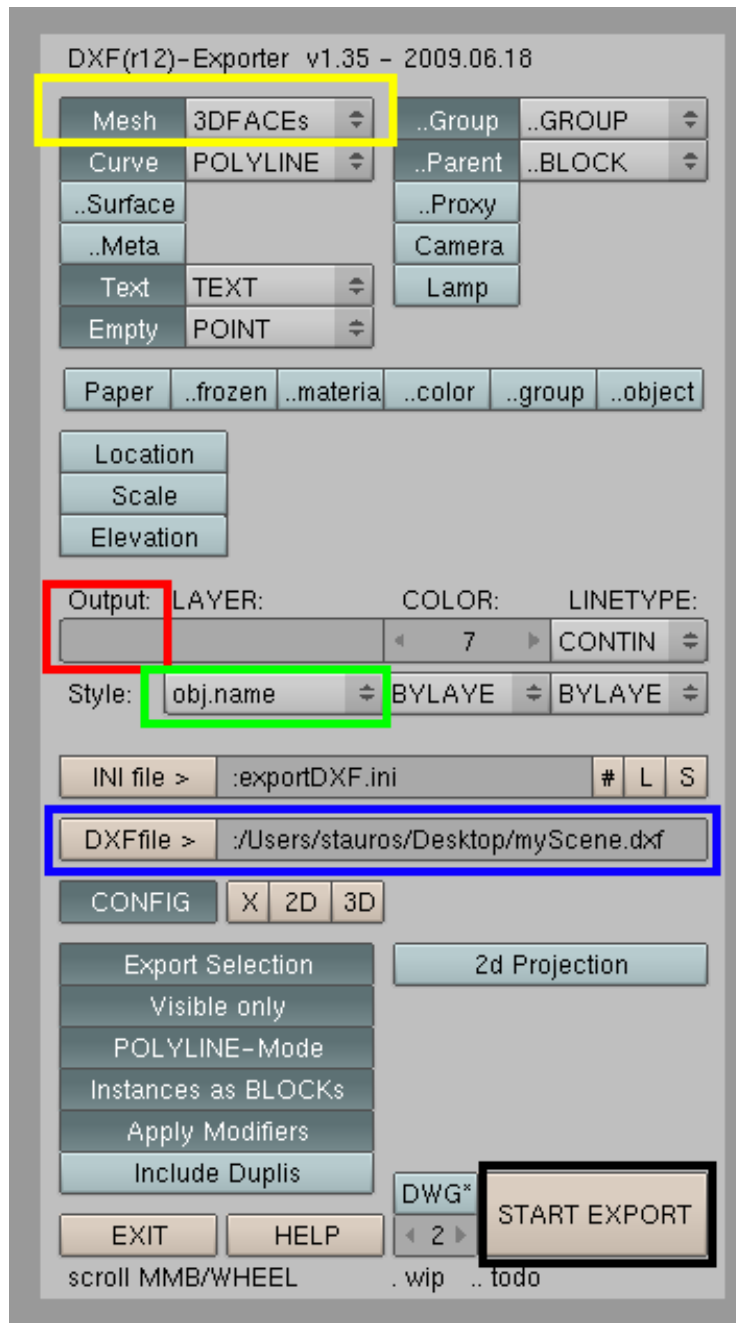
Όπως έχει ήδη αναφερθεί για την εφαρμογή έχει επιλεγεί ένας συγκεκριμένος τύπος αρχείου ο οποίος κρατάει την περιγραφή της τρισδιάστατης σκηνής με όνομα format “DXF”. Σε αυτή την ενότητα θα περιγραφούν κάποια χαρακτηριστικά του dxf τα οποία αναγνωρίζονται από την εφαρμογή ενώ θα παρουσιαστεί και το σύστημα όπου δημιουργούνται και εξάγονται αυτά τα αρχεία.

Δύο χαρακτηριστικά τα οποία διαβάζονται από την εφαρμογή είναι τα 3DFACES καθώς και το όνομα του. Τα 3dfaces στην ουσία είναι τα πολύγωνα που συνθέτουν τα εικονικά αντικείμενα. Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των .dxf αρχείων είναι το Blender 2.49b. πρόκειται για ένα open source και δωρεάν πρόγραμμα μοντελοποίησης στο οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε τα τρισδιάστατα αντικείμενα στην σκηνή μας και στη συνέχεια να τα εξάγουμε στη μορφή που είναι αναγνωρίσιμη από την πλατφόρμα. Όταν, λοιπόν, έχει έρθει η στιγμή του κλεισίματος σε DXF format το Blender διαθέτει έναν exporter ο οποίος αναλαμβάνει την δουλειά αυτή. Στο επόμενο screenshot φαίνεται η διαδικασία όπως και το interface αυτού του exporter. Αρχικά στο μενού File → Export → Autodesk DXF (.dxf/dwg):



Εικόνα 7.7: Εξαγωγή αρχείου σε dxf

Στο παρακάτω interface το οποίο αποτελεί ένα στιγμιότυπο από το παράθυρο του exporter φαίνονται οι διάφορες επιλογές που έχει ο χρήστης για να εξάγει, αναλόγως των προτιμήσεων του, το αρχείο με την περιγραφή της σκηνής. Οι ρυθμίσεις που μας ενδιαφέρουν είναι κυρίως αυτές του τρόπου αποθήκευσης που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το 3DFACES και η σωστή εισαγωγή του ονόματος των αντικειμένων. Λίγο πριν την εξαγωγή ορίζεται και μία διαδρομή σε κάποιο τοπικό κατάλογο όπου θα αποθηκευτεί το αρχείο. Παρακάτω έχουν επισημανθεί αυτές οι ρυθμίσεις:



Εικόνα 7.8: Dxf exporter

(1 κίτρινη σημείωση) Ο τρόπος αποθήκευσης των meshes. Στην περίπτωση της παρούσας εφαρμογής ρυθμίζεται στα 3DFACES.

(2 κόκκινη σημείωση) Ένα default όνομα το οποίο δεν εξυπηρετεί οπότε παραμένει κενό.

(3 πράσινη σημείωση) Με αυτή την ρύθμιση στο κάθε πολύγωνο αποθηκεύεται το όνομα του αντικειμένου στο οποίο ανήκει.

(4 μπλε σημείωση) Η διαδρομή στην οποία θα αποθηκευτεί το αρχείο που θα δημιουργηθεί.

(5 μαύρη σημείωση) Τελευταία κίνηση κατά την οποία εξάγεται το αρχείο όπως έχει ρυθμιστεί.

Ενώ τις υπόλοιπες ρυθμίσεις τις αφήνουμε ως έχουν.

7.3.1 Φόρτωση μοντέλου από την dxflib

Το δεύτερο στάδιο στο οποίο προχωράει η εφαρμογή είναι αυτό του διαβάσματος της περιγραφής του dxf αρχείου που έχει αποθηκευτεί από το Blender. Το εργαλείο που αναλαμβάνει αυτή την διαδικασία είναι η βιβλιοθήκη dxflib. Αυτή η βιβλιοθήκη όπως έχει ήδη αναφερθεί μπορεί να διαβάσει και να φορτώσει στην εφαρμογή την περιγραφή των dxf αρχείων. Μέσω μίας κλάσης της επιλογής μας μπορούν να περαστούν τα δεδομένα στο κώδικά μας. Μία τέτοια διαδικασία περιγράφεται παρακάτω:

Το όνομα της κλάσης είναι Test_CreationClass η οποία έχει συγκεκριμένες μεθόδους και μία από αυτές που μας επιτρέπει να διαχειριστούμε τα δεδομένα είναι η add3dFace που παρουσιάζεται παρακάτω.

```
void Test_CreationClass::add3dFace(const DL_3dFaceData& data) {  
  
    curdata.temp=data;  
    curdata.name=attributes.getLayer().c_str();  
    vector3df.push_back(curdata);  
  
}
```

Η curdata είναι μία δομή τύπου data3df με την οποία αποθηκεύεται η πληροφορία για τα 3dFaces στο πεδίο της με το όνομα temp και το όνομα του εκάστοτε 3DFACE στο πεδίο με το όνομα name. Ο τύπος του πεδίου temp είναι DL_3dFaceData ο οποίος ορίζεται από τον τύπο της δομής DL_TraceData όπως φαίνεται παρακάτω:

```
struct DL_TraceData {  
    DL_TraceData() {  
        thickness = 0.0;  
        for (int i=0; i<4; i++) {  
            x[i] = 0.0;  
            y[i] = 0.0;  
            z[i] = 0.0;  
        }  
    }  
}
```

Αποτελείται από ένα for το οποίο εκτελείται 4 φορές αποθηκεύοντας σε τρεις πίνακες τις συντεταγμένες x,y,z. Σημείωση: Το κάθε 3dFace περιέχει τις συντεταγμένες 4 σημείων που το συνθέτουν.

7.3.2 Η εύρεση πολυγώνων

Επιστρέφοντας στην μέθοδο `add3dFace` της κλάσης `Test_CreationClass` και αφού έχει αποθηκευτεί η περιγραφή ενός πολυγώνου (3DFACE) και του ονόματος του αντικειμένου όπου ανήκει, προστίθεται στο τέλος ενός `vector` με το όνομα `vector3df` το οποίο δεν κάνει τίποτα άλλο από το να κρατάει αυτές τις περιγραφές. Γίνεται κατανοητό ότι σε αυτό το `vector` κάθε στοιχείο του είναι και ένα 3DFACE με την πληροφορία του.

Το στάδιο αυτό τελειώνει όταν τελειώσει το διάβασμα όλων των πολυγώνων και πλέον υπάρχει ένα `vector` το οποίο μας κρατάει τα πρώτα αποτελέσματα. Αυτά τα δεδομένα είναι η πρώτη ύλη για μία σειρά από διεργασίες όπου μπορούν να χωριστούν τα διάφορα αντικείμενα της σκηνής, να εκτελεστούν διαδικασίες μετασχηματισμού όπως το `scale` το `translate` και το `rotate` ή και να αλλάξουν υφή. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει αυτό πιο κατανοητό μέσα από παράδειγμα.

7.3.3 Η αναγνώριση των αντικειμένων

Ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια της εφαρμογής είναι αυτό της οργάνωσης της πληροφορίας πέρα από τα «κομματιασμένα» πολύγωνα σε συγκροτημένα και με «προσωπικότητα» αντικείμενα. Δηλαδή κάποια αυτόνομα σύνολα πολυγώνων που το καθένα θα έχει δικές του ιδιότητες και μορφή. Μέσω της συνάρτησης `init()` στον κώδικα της εφαρμογής καλείται η μέθοδος `getvector()` μέσω της οποίας λαμβάνεται το `vector` με όνομα `vector3df` με τα πολύγωνα. Γενικά στην `init()` αρχικοποιούνται διάφορα χρήσιμα σημεία όπως είναι και το `vector` των αντικειμένων. Με βάση το όνομα των πολυγώνων μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα πολύγωνα και να οριοθετήσουμε νοητά ένα αντικείμενο στη σκηνή.

```
string searchstring = tempv.at(0).name;
```

Αρχικοποιείται ένα `string` με το όνομα του πρώτου πολυγώνου που στη συνέχεια βάσει αυτού θα γίνει αναζήτηση για να βρεθούν όλα τα πολύγωνα με το ίδιο όνομα τρέχοντας όλο το `vector` που είναι αποθηκευμένα τα πολύγωνα από την `dxflib`.

```
for(i=0; i<tempv.size(); i++){
```

```
    if(searchstring!=tempv.at(i).name){
```

Ο ρόλος του `if` είναι να εκτελεί όλα τα παρακάτω τα οποία και αρχικοποιούν ένα αντικείμενο αν το όνομα του καινούργιου πολυγώνου είναι διαφορετικό. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ο μετρητής `i` του `for` να μας δώσει, μόλις βρούμε ένα πολύγωνο με διαφορετικό όνομα, τα βήματα που έχουμε κάνει μέχρι στιγμής στο `vector` και γνωρίζοντας ότι έχουν μπει με τη σειρά και όχι ανακατεμένα τα πολύγωνα, άνετα γίνεται αντιληπτό ότι τα βήματα μέχρι το σημείο αυτό αναφέρονται στο ίδιο αντικείμενο. Στην συνέχεια αφού γνωρίζουμε τα βήματα άρα και τα πολύγωνα αρχικοποιούμε το αντικείμενο σύμφωνα με την παρακάτω δομή:

```
struct objects {  
    string name,perigrabi,texture;  
    int rx,ry,rz,tx,ty,tz,angle,begin,end;  
    float cx,cy,cz,sx,sy,sz;  
    int view;  
}
```

Αυτή η δομή με το όνομα `objects` αποθηκεύει για κάθε αντικείμενο πλέον τα χαρακτηριστικά που το αντιπροσωπεύουν.

Πρώτα απ' όλα το πεδίο με το όνομα του αντικειμένου που επεξεργαζόμαστε εκείνη την στιγμή (name). Η περιγραφή (perigrafi) η οποία χρησιμεύει στην αποθήκευση των σχολίων που μπορεί να θέλει να κρατήσει ο χρήστης κάτι που θα αναλυθεί αργότερα. Η υφή (texture) όπου αποθηκεύεται το όνομα και η διαδρομή που είναι αποθηκευμένη η υφή στο δίσκο.

Στην συνέχεια, τα rx,ry,rz αναφέρονται στο rotation όπου μπορεί να περιστραφεί ένα object και συγκεκριμένα σε ποιον άξονα θα περιστραφεί rx για το x άξονα ry για το y άξονα rz για τον z άξονα. Παρόμοια διαδικασία γίνεται και για τα tx,ty,tz, η μετατόπιση (translation) δηλαδή στους άξονες x, y, z. Επόμενη μεταβλητή είναι η angle όπου αποθηκεύονται οι μοίρες σύμφωνα με τις οποίες θα περιστραφεί το αντικείμενο. Ενώ δύο πολύ σημαντικά πεδία είναι το begin και το end. Αυτές οι μεταβλητές αναφέρονται στο πρώτο και στο τελευταίο πολύγωνο του αντικειμένου που επεξεργαζόμαστε εκείνη την στιγμή. Η αποθήκευση αυτής της πληροφορίας βοηθάει μετέπειτα τη διαδικασία του rendering αφού για το κάθε αντικείμενο τρέχει μόνο το κομμάτι του vector που μας ενδιαφέρει εκείνη την στιγμή για την απεικόνιση του αντικειμένου και όχι όλο το vector των πολυγώνων. Αυτό το χαρακτηριστικό εξοικονομεί υπολογιστική ισχύ.

Τα cx, cy, cz κρατάνε τις συντεταγμένες του κέντρου κάθε αντικειμένου για κάποιες διαδικασίες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Ενώ τα sx, sy, sz κρατάνε το scale των αντικειμένων στους τρεις άξονες. Ο λόγος που έχουν οριστεί ως float είναι καθαρά για την ομαλή αλλαγή μεγέθους, αποφεύγοντας έτσι την απότομη αλλαγή στο μέγεθος του αντικείμενου παίρνοντας περισσότερες τιμές.

Τέλος, η μεταβλητή view η οποία ορίζεται ως ένα ή ως μηδέν αναλόγως αν θέλουμε το τρέχων αντικείμενων να περάσει από την διαδικασία του rendering ή όχι. Παρακάτω θα εξηγηθεί η περίπτωση που θέλουμε να μην γίνει το rendering για κάποιο αντικείμενο της σκηνής.

Επιστρέφοντας πίσω στην συνάρτηση init() και στο for που αναφέρθηκε πιο πάνω και το οποίο αναλύεται, παρατηρούμε κάποιες αρχικοποιήσεις σε όλα τα πεδία για κάθε αντικείμενο. Πρόκειται για κάποιες αρχικές τιμές οι οποίες ορίζονται για τα αντικείμενα και οι οποίες βοηθούν την απεικόνιση της default σκηνή πριν από οποιαδήποτε αλλαγή θελήσει ο χρήστης να κάνει, ακριβώς δηλαδή όπως έγινε export από το Blender. Αυτές όμως οι τιμές μπορούν να αλλαχθούν ανά πάσα στιγμή από τον χρήστη μέσω του interface της εφαρμογής με αποτέλεσμα οι καινούργιες τιμές να αντικαταστήσουν τις παλιές αλληλεπιδρώντας με αυτό τον τρόπο ο χρήστης με την εφαρμογή.

```
curobj.name=tempv.at(i-1).name
```

Δίνεται το όνομα του αντικειμένου που έχει αναγνωριστεί μέχρι στιγμής σύμφωνα με το όνομα των πολυγώνων από το vector με το όνομα tempv.

```
curobj.angle=0;
```

Φυσικό είναι να μην πειραχτούν οι μοίρες του αντικειμένου σε πρώτη φάση κατά το φόρτωμα της εφαρμογής οπότε ορίζονται ως μηδέν.

```
curobj.rx=0;  
curobj.ry=0;  
curobj.rz=0;  
curobj.sx=1;  
curobj.sy=1;  
curobj.sz=1;  
curobj.tx=0;  
curobj.ty=0;  
curobj.tz=0;
```

Ούτε στο rotation ούτε στο translation ούτε στο scale αλλάζουμε τις τιμές οπότε ορίζονται ως μηδέν για το translate και το rotate ενώ για το scale ορίζονται ως ένα επειδή αν οριστούν ως μηδέν το αντικείμενο θα έχει μηδενικό μέγεθος και άρα δεν θα εμφανιστεί.

```
curobj.begin=j+1;  
curobj.end=i;
```

Τα πεδία begin και end ορίζονται ως εξής. Λόγω του for έχουμε τον μετρητή i που εκτός από τα βήματα αντιπροσωπεύει και τον άξοντα αριθμό ενός πολυγώνου. Όταν λοιπόν ξεκινάμε να διαβάζονται πολύγωνα από ένα άλλο αντικείμενο τότε το i δίνει τη τιμή του στο πεδίο end και έτσι ξέρουμε τον αριθμό των πολυγώνων μέχρι στιγμής. Ενώ μία διαφορετική μεταβλητή με το όνομα j κρατάει την αρχή των πολυγώνων του αντικειμένου.

```
curobj.view=1;
```

Το πεδίο view ορίζεται ως ένα αρχικά για να περνάει από τη διαδικασία του rendering.

```
tempv2.push_back(curobj);
```

Επειδή όλες οι παραπάνω διαδικασίες γίνονται προσωρινά σε μία δομή τύπου objects με το όνομα curobj, στη συνέχεια προσθέτονται στο τέλος ενός vector με το όνομα tempv2.

```
searchstring=tempv.at(i).name;
```

Το επόμενο βήμα είναι το string το οποίο κρατάει την όνομα του αντικειμένου που συγκρίνουμε κάθε φορά να αλλάξει και να γίνει όσο το όνομα του τρέχοντος πολυγώνου. Έτσι, στην συνέχεια ξεκινάει μία καινούργια αναζήτηση συγκρίνοντας σε κάθε επανάληψη το όνομα του αντικειμένου του τρέχοντος πολυγώνου με αυτό του προηγούμενου μέχρι να ξανά γίνουν διαφορετικά οπότε και θα επαναληφθεί η διαδικασία μέχρι το τέλος του vector των πολυγώνων.

```
j=i;
```

Για το λόγο που περιγράφεται και παραπάνω η j μεταβλητή γίνεται ίση με το βήμα i ώστε να ξεκινήσει από εκεί η μέτρηση για τα πολύγωνα του νέου αντικειμένου που θα εντοπιστεί και θα την δώσει αυτή τη τιμή στο πεδίο begin αργότερα.

```
}  
}
```

Στη συνέχεια ένα αρκετά σημαντικό κομμάτι είναι αυτό της εύρεσης του κέντρου του κάθε αντικειμένου. Το να βρεθεί αυτό το χαρακτηριστικό για κάθε αντικείμενο βοηθάει στη περιστροφή κυρίως των objects από τον χρήστη κάτι το οποίο αν δεν ξέρουμε ένα σημείο αναφοράς για το αντικείμενο, με την εντολή της περιστροφής του αντικειμένου το αντικείμενο περιστρέφεται γύρω από την αρχή των αξόνων. Επίσης, στην περίπτωση που θελήσει ο χρήστης να περιηγηθεί και σε άλλον όροφο αυτό που γίνεται είναι να «βυθίζεται» το κτίριο ώστε να έρθει στο επίπεδο του χρήστη και σιγά, σιγά όλα τα αντικείμενα των οποίων το κέντρο τους φτάνει κάτω του 0 να εξαφανίζονται. Έτσι μένουν μόνο τα αντικείμενα του ορόφου που μας ενδιαφέρει και πάνω. Παρακάτω βρίσκεται αυτό το κέντρο κάθε αντικειμένου και αποθηκεύεται στα πεδία cx, cy, cz κάθε στοιχείου του vector.

```
for(i=0; i<tempv2.size(); i++){
```

Όπως είναι αναμενόμενο προσπελαύνονται όλα τα στοιχεία του vector που στην ουσία είναι τα αντικείμενα που έχουν αναγνωρισθεί.

```
polminx=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.x[0];
polmaxx=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.x[0];
polminy=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.y[0];
polmaxy=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.y[0];
polminz=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.z[0];
polmaxz=tempv.at(tempv2.at(i).begin).temp.z[0];
```

Στο παραπάνω κομμάτι αρχικοποιούνται κάποια μέγιστα και κάποια ελάχιστα. Γιατί όμως ορίζονται αυτά τα min και τα max. Το σκεπτικό είναι ότι οποιοδήποτε αντικείμενο στη σκηνή μας έχει ένα τουλάχιστον σημείο (vertex) σε κάποιο πολύγωνό του κατά μήκος του άξονα x του οποίου το x είναι το μέγιστο και επίσης έχει και κάποιο άλλο x σε κάποιο πολύγωνό του το οποίο είναι το ελάχιστο. Επίσης αυτό ισχύει και για τους y και z άξονες. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα να βρεθεί το κέντρο των αποστάσεων που ορίζουν αντίστοιχα τα $\max_x - \min_x$, $\max_y - \min_y$, $\max_z - \min_z$ και κατ' επέκταση και το νοητό κέντρο του αντικειμένου.

```
for(j=tempv2.at(i).begin; j<tempv2.at(i).end;j++){
```

Για κάθε αντικείμενο προσπελαύνονται τα 3DFACEs του και

```
for(k=0;k<4;k++){
```

για κάθε πολύγωνο 3DFACE τα σημεία (vertex) του

```
if(polminx>=tempv.at(j).temp.x[k])
    polminx=tempv.at(j).temp.x[k];
if(polmaxx<=tempv.at(j).temp.x[k])
    polmaxx=tempv.at(j).temp.x[k];
if(polminy>=tempv.at(j).temp.y[k])
    polminy=tempv.at(j).temp.y[k];
if(polmaxy<=tempv.at(j).temp.y[k])
    polmaxy=tempv.at(j).temp.y[k];
if(polminz>=tempv.at(j).temp.z[k])
    polminz=tempv.at(j).temp.z[k];
if(polmaxz<=tempv.at(j).temp.z[k])
    polmaxz=tempv.at(j).temp.z[k];
    }
}
```

βρίσκονται όλα τα μέγιστα και τα ελάχιστα και αποθηκεύονται ώστε στη συνέχεια να βρεθεί το κέντρο.

```
tempv2.at(i).cx=(polmaxx+polminx)/2;
tempv2.at(i).cy=(polmaxy+polminy)/2;
tempv2.at(i).cz=(polmaxz+polminz)/2;
}
```

Προσθέτοντας το μέγιστο (max) και το ελάχιστο (min) κάθε άξονα και διαιρώντας το με το 2 εντοπίζεται το κέντρο που μας ενδιαφέρει.

7.4 Διεπαφή χρήστη-εφαρμογής

Σε προηγούμενη ενότητα είχαν αναφερθεί κάποια χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να έχει μία εφαρμογή επαυξημένης πραγματικότητας για να θεωρηθεί ότι προσφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μέσα σε αυτά τα χαρακτηριστικά ήταν και η λειτουργική ως προς το χρήστη αποτύπωση του interface κάνοντας την εφαρμογή πιο φιλική δίνοντας ελευθερία στο χρήστη και στις κινήσεις του. Με βάση αυτή την ιδέα έχει σχεδιαστεί και έχει αναπτυχθεί η διεπαφή της παρούσας εφαρμογής.

Πρόκειται για ένα μενού εμπνευσμένο από τα συνηθισμένα μενού που συναντάει κανείς σε παιχνίδια υπολογιστών με τις διάφορες επιλογές που δίδονται στο χρήστη να είναι αριθμημένες η μία κάτω από την άλλη. Όμως αυτό που το κατατάσσει ως λειτουργικό είναι η παρουσίαση του μέσα στην εφαρμογή. Στην αρχή δοκιμάστηκαν τρόποι όπως για παράδειγμα την απεικόνιση του μενού στο παράθυρο της εφαρμογής στο γραφικό περιβάλλον του λειτουργικού όπου αναπτύχθηκε, με το ποντίκι να έχει τον πρώτο ρόλο στον χειρισμό της εφαρμογής. Γρήγορα έγινε κατανοητό ότι ένα τέτοιο εγχείρημα δεν ήταν το πλέον λειτουργικό και απορρίφθηκε. Ο δεύτερος τρόπος ο οποίος δοκιμάστηκε ήταν το μενού να αποτελεί μέρος της σκηνής ως αντικείμενο. Ένας marker ήταν προγραμματισμένος μόνο γι' αυτόν το σκοπό, να εμφανίζει δηλαδή το μενού με τις επιλογές κάτι το οποίο τον έκανε εν μέρει λειτουργικό αφού ο χρήστης μέσα στην σκηνή θα μπορούσε να χειριστεί και το μενού. Γρήγορα όμως αποδείχτηκε κουραστικό γιατί ο χρήστης έπρεπε συνέχεια να σηκώνει τον marker και να τον βάζει στο οπτικό πεδίο της κάμερας ώστε με αυτόν τον τρόπο να διαχειριστεί το μενού. Επίσης ένα άλλο μειονέκτημα ήταν το γεγονός ότι τις περισσότερες φορές για να δει ο χρήστης το marker για το μενού καθώς έφερνε το marker του μενού σε πρώτο πλάνο έκρυβε τους markers οι οποίοι ήταν υπεύθυνοι για την παρουσίαση του τρισδιάστατου μοντέλου και έτσι αυτό εξαφανιζόταν κάτι που δεν έδινε την δυνατότητα στο χρήστη την στιγμή που κάνει τις αλλαγές από το μενού να βλέπει το αποτέλεσμα κατευθείαν στο μοντέλο.

Τελικά αυτό που υιοθετήθηκε ήταν το μενού να μένει σταθερό σε πρώτο πλάνο στην πάνω αριστερή γωνία του παραθύρου της εφαρμογής. Το μενού σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να μην χρησιμοποιεί κλασικά μέσα χειρισμού όπως είναι το ποντίκι και να μπορεί να δίνει την δυνατότητα στο χρήστη την στιγμή που πραγματοποιεί μία αλλαγή να βλέπει κατ' ευθείαν το αποτέλεσμα στην σκηνή παρουσιάζοντας του παράλληλα και διάφορες πληροφορίες από αυτή. Στην ουσία πρόκειται για ένα νοητό διαφανή layer το οποίο καλύπτει το παράθυρο και την σκηνή μας με τα μόνα αντικείμενα του να είναι οι επιλογές του μενού, επίσης εμπνευσμένο από παιχνίδια υπολογιστών. Αυτό έχει νόημα σε κάποια μελλοντική χρήση ίσως όπου θα χρησιμοποιούνται γυαλιά επαυξημένης πραγματικότητας όπου θα μπορεί ο χρήστης να βλέπει σε πρώτο πλάνο τις επιλογές που του δίνονται.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα στιγμιότυπο από το μενού της εφαρμογής.



Εικόνα 7.9: Στιγμιότυπο του μενού της εφαρμογής

Το μενού φαίνεται στο πάνω αριστερό μέρος του παραθύρου της εφαρμογής και το οποίο παραμένει εκεί καθ' όλη την διάρκεια εκτέλεσης της εφαρμογής χωρίς να καλύπτεται με κάποιο από τα αντικείμενα της σκηνής. Στο ίδιο παράθυρο φαίνεται επίσης και ένας marker που σε αυτό το στιγμιότυπο η μόνη λειτουργία του είναι να εμφανίζει το μενού. Το μενού λειτουργεί όπως θα λειτουργούσε και ένα οποιοδήποτε μενού για παράδειγμα σε ένα κινητό τηλέφωνο. Δηλαδή, το επιλεγμένο στοιχείο του μενού να σημειώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, ενώ το χρώμα που κυριαρχεί στα στοιχεία του μενού είναι το μπλε, ένα στοιχείο και μόνο παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα κάτι το οποίο υποδηλώνει ότι είναι το ενεργό. Τα εικονιζόμενα στοιχεία αντιστοιχούν στο κεντρικό μενού της εφαρμογής όπως φαίνεται όταν ξεκινάει η εφαρμογή. Τα στοιχεία αυτά του μενού είναι τα ακόλουθα:

1. Select an object
2. Select a level
3. Edit an object
4. Comments
5. File info
6. Exit

Ο χειρισμός του μενού είναι ο εξής:

W,S → Πάνω-κάτω για περιήγηση στις επιλογές

Z → Για OK και είσοδος σε υπομενού ή επιβεβαίωση για κάποια λειτουργία

X → Για επιστροφή ή ακύρωση

1. Select an object:

Με αυτήν την επιλογή ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τις ιδιότητες και την συμπεριφορά των αντικειμένων στην σκηνή. Με την επιβεβαίωση και την είσοδο του στο υπομενού του δίνονται 3 καινούργιες επιλογές:

1. Rotate
2. Translate
3. Scale

Οι οποίες φαίνονται στην επόμενη εικόνα:

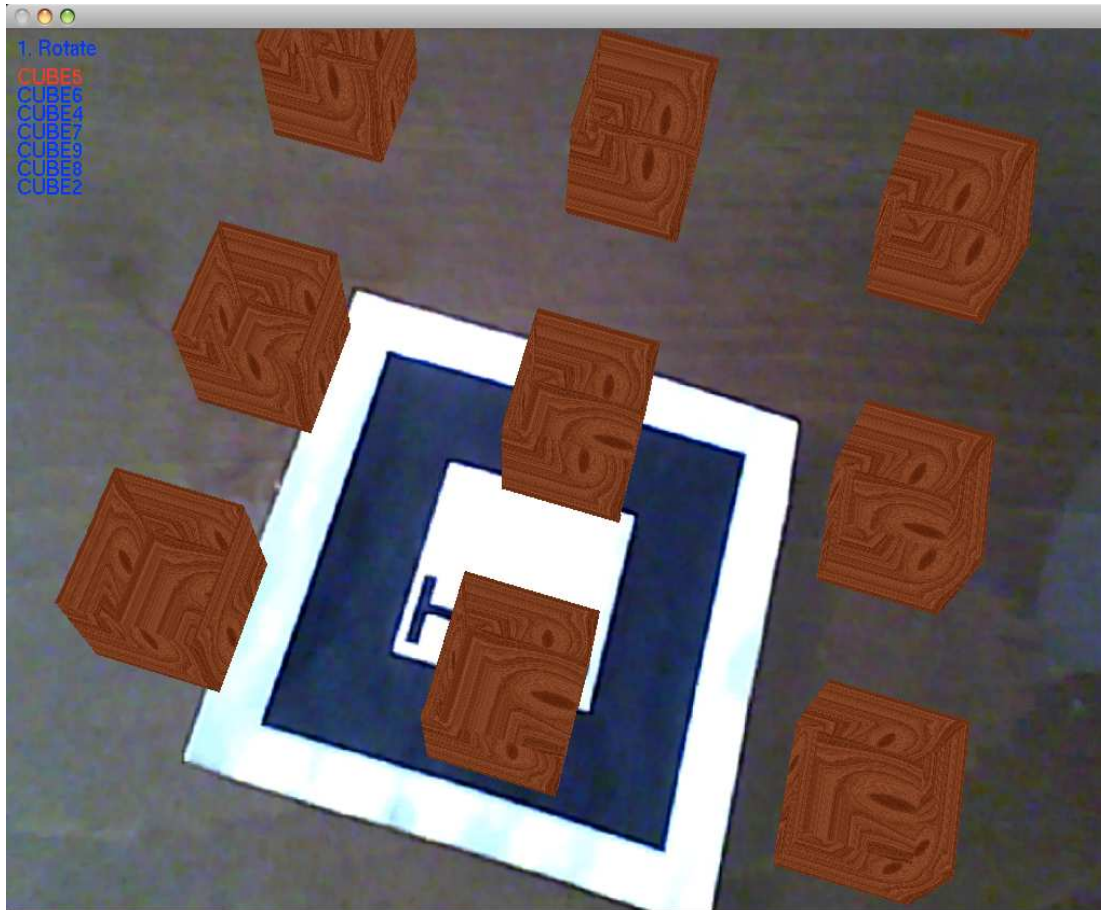


*Εικόνα 7.10: Οι επιλογές στην κατηγορία **Select an Object***

- Rotate για την περιστροφή,
- Translate για την μετατόπιση και
- Scale για την κλίμακα ενός αντικειμένου.

Επιλέγοντας μία από αυτές τις επιλογές εμφανίζεται στο χρήστη η λίστα με τα ονόματα πλέον των αντικειμένων τα οποία έχουν διαβαστεί και έχουν φορτωθεί στην μνήμη.

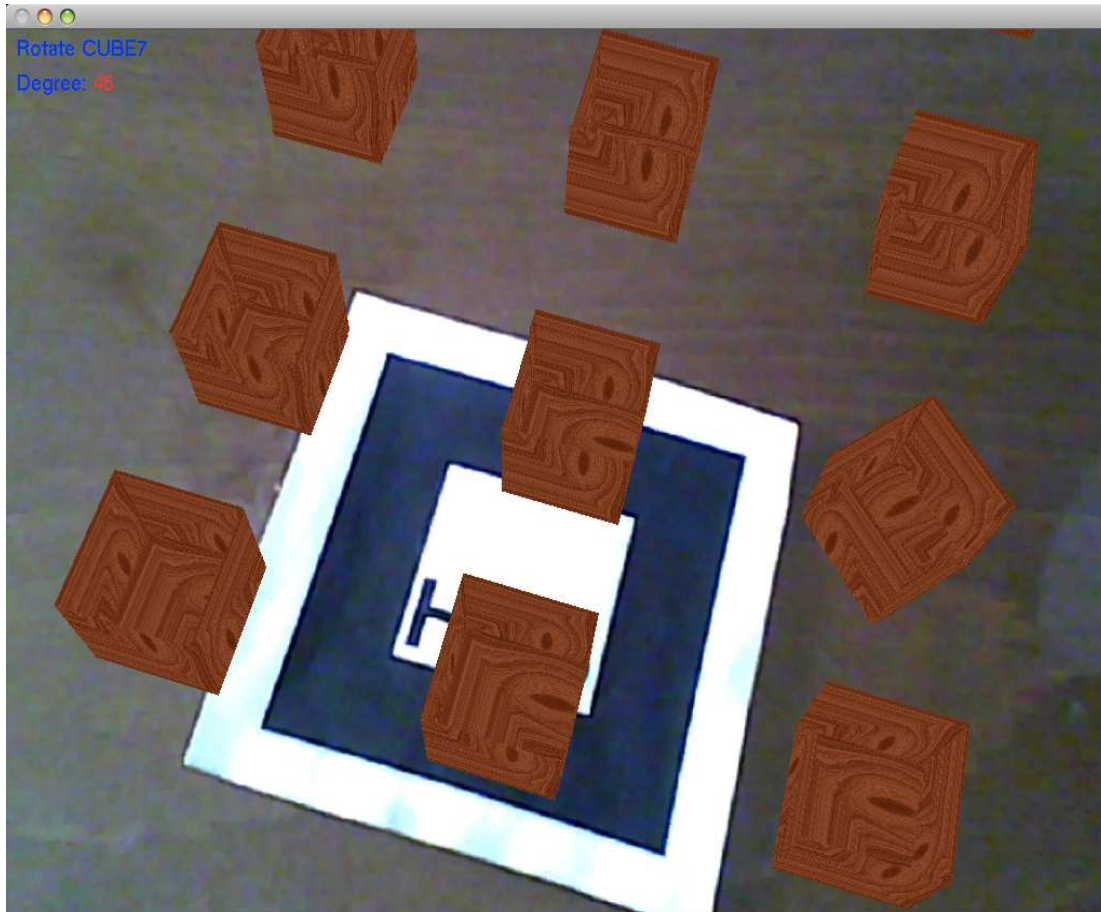
Στη συνέχεια φαίνεται μία τέτοια λίστα από ένα δοκιμαστικό μοντέλο που φτιάχτηκε γι' αυτό το σκοπό:



Εικόνα 7.11 : Η λίστα στο interface για τα εικονικά αντικείμενα

Όπως φαίνεται από τη παραπάνω εικόνα, εικονίζονται κάποιοι κύβοι των οποίων τα ονόματα εμφανίζονται στην αριστερή στήλη στη θέση του μενού. Ο χρήστης με τα W και S μπορεί να διαλέξει όποιον κύβο θέλει και στην συγκεκριμένη περίπτωση να τον περιστρέψει. Να σημειωθεί εδώ, ότι ενώ σε αυτό το μοντέλο για λόγους κατανόησης τα αντικείμενα της σκηνής είναι απλοί κύβοι, ωστόσο αντικείμενο μπορεί να είναι οτιδήποτε που μπορεί να αποθηκευτεί ως πολύγωνα. Δηλαδή, στη θέση του κάθε κύβου θα μπορούσαν να είναι κάποιες πόρτες και παράθυρα ή καρέκλες και τραπέζια ή οι τοίχοι. Η στήλη κρατάει αυτά τα ονόματα των κύβων με τον εξής τρόπο που αποτελεί και ένα πλεονέκτημα της στήλης. Η στήλη όσο μεγάλος και αν είναι ο αριθμός των αντικειμένων άρα τόσο μεγάλη και η λίστα με τα ονόματα που θα εμφανίσει, αυτή εμφανίζει στο χρήστη μόνο 7. Στην αρχή δείχνει τα πρώτα 7 ονόματα αλλά στην συνέχεια όσο ο χρήστης προχωράει προς τα κάτω στη λίστα προσθέτει το επόμενο που πρέπει να εμφανιστεί και αφαιρεί το πρώτο κρατώντας έτσι το πλήθος των στοιχείων σταθερό και ίσο με 7, ενώ αν προχωράει προς τα πάνω ο χρήστης πραγματοποιεί την αντίθετη διαδικασία. Αυτό βοηθάει ώστε να μην τοποθετηθούν ονόματα αντικειμένων εκτός των ορίων του παραθύρου ενώ γίνεται και πιο λειτουργική.

Προχωρώντας στη παρουσίαση του interface επόμενο βήμα είναι να παρουσιαστούν κάποιες βασικές λειτουργίες για την αλληλεπίδραση με το αντικείμενο. Αυτές οι διαδικασίες είναι η περιστροφή (Rotate) η μετατόπιση(Translate) η κλίμακα(Scale). Στην συνέχεια παρουσιάζεται η περιστροφή:



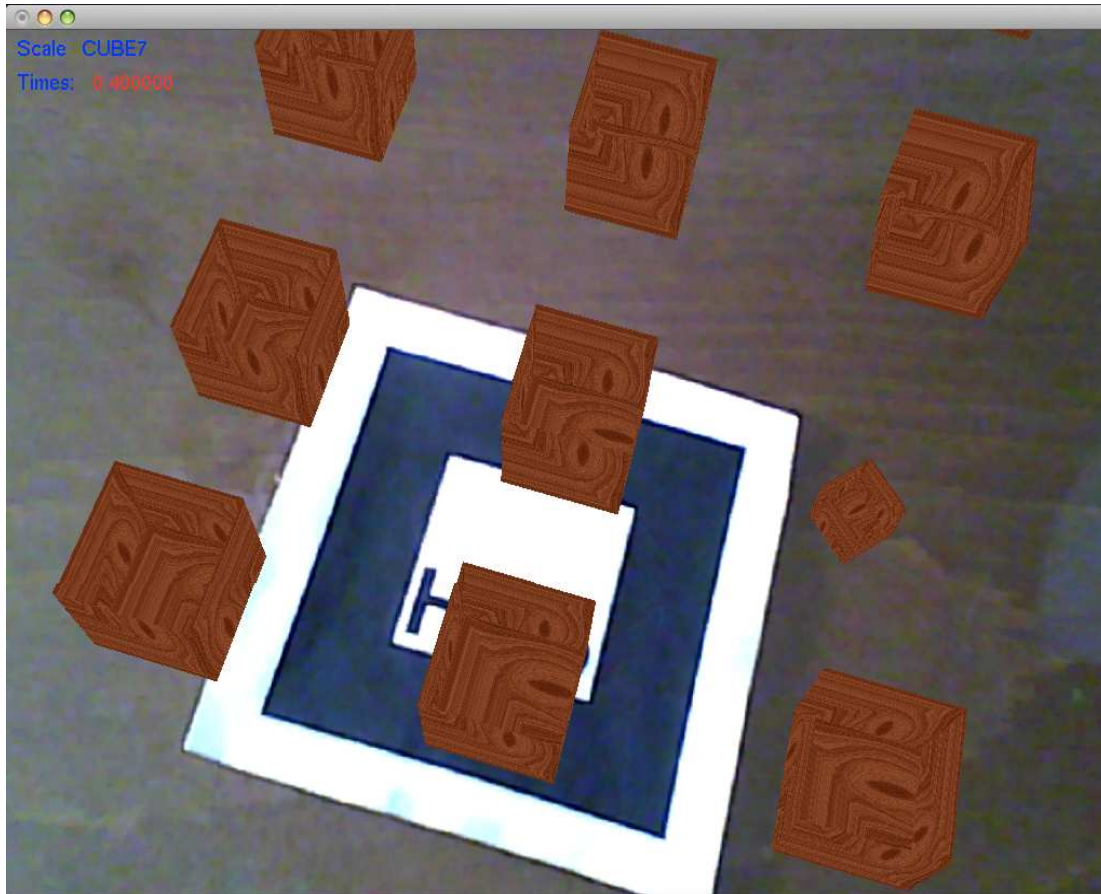
Εικόνα 7.12: Η περιστροφή κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της

Αφού έχει επιλεγθεί η λειτουργία της περιστροφής (Rotate) και το όνομα του αντικειμένου (CUBE7) με τα πλήκτρα Q και E δίνεται η δυνατότητα να περιστραφεί ενώ η πληροφορία για τις σχετικές μοίρες του αντικειμένου εμφανίζονται στο πεδίο Degree, πάντα, στο πάνω αριστερό χώρο του παραθύρου. Όσο κρατείται πατημένο ένα από τα Q ή E προστίθεται μία μοίρα ή αντίστοιχα αφαιρείται και με το τρόπο αυτό το αντικείμενο, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο CUBE7, να περνάει σε κάθε frame από rendering με την καινούργια τιμή για το rotate. Η λειτουργία αυτή απεικονίζεται στην προηγούμενη εικόνα με τον κύβο να είναι κατά 45 μοίρες περιστρεμμένος καθώς και η πληροφορία για την διαδικασία αυτή να παρουσιάζεται στο χρήστη. Επιπλέον, μπορεί να πάρει και αρνητική τιμή ως μοίρες περιστροφής.

Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τις υπόλοιπες λειτουργίες, αυτή της μετατόπισης και αυτή της κλίμακας, οι οποίες φαίνονται στις επόμενες δύο εικόνες.



Εικόνα 7.13 : Η μετατόπιση κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της



Εικόνα 7.14 : Η κλιμάκωση κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της

Στις δύο προηγούμενες εικόνες οι λειτουργίες εφαρμόζονται πάνω στον ίδιο κύβο (αντικείμενο) ενώ οι αλλαγές που συμβαίνουν γίνονται αντιληπτές κατ' ευθείαν κάτι το οποίο είναι το μεγάλο πλεονέκτημα που αναφέρθηκε πρωτίτερα του interface αυτού αφού χειρισμός και επιλογές συνυπάρχουν στην σκηνή.

2. Select a level:

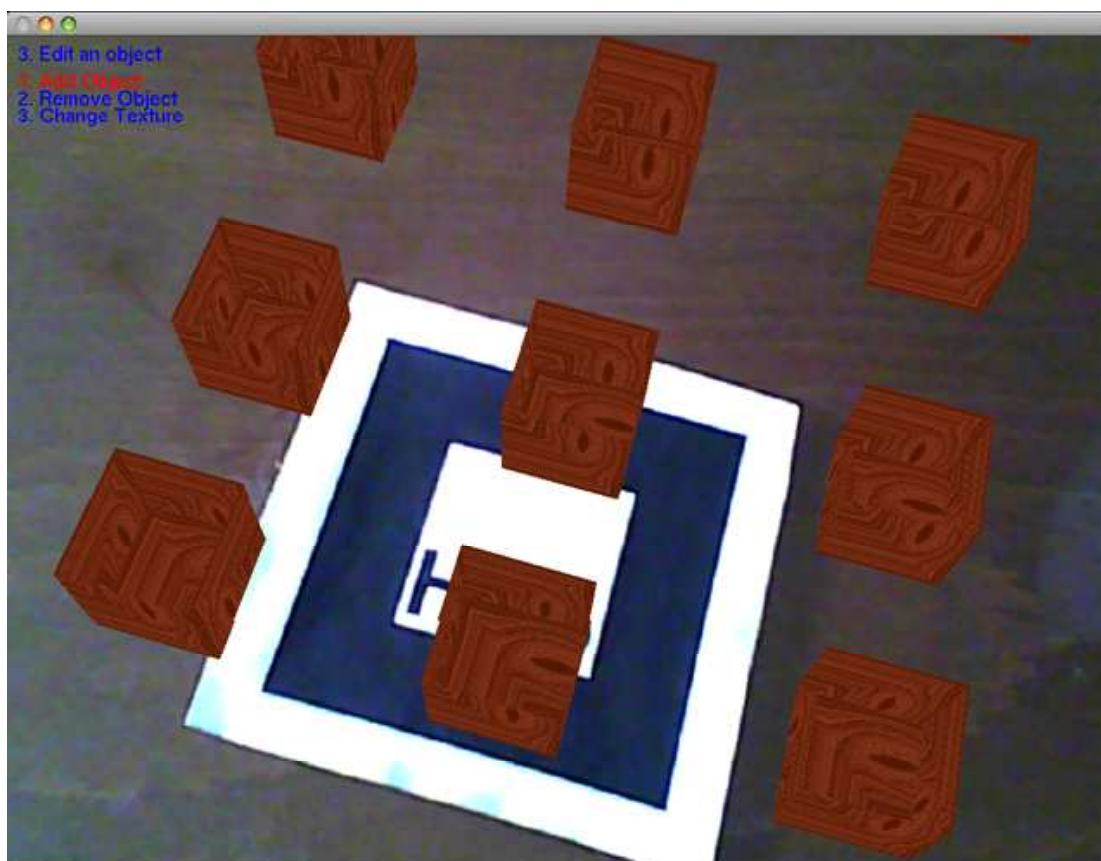


Εικόνα 7.15: Select a level

Στο κεντρικό μενού στην επιλογή **Select a level** (προηγούμενη εικόνα) μπορεί να επιλεγεί επίπεδο προβολής για το μοντέλο. Δηλαδή, ποιο ύψος του μοντέλου επιθυμούμε να βλέπουμε εκείνη την στιγμή. Όταν πρόκειται για ένα μοντέλο ενός κτηρίου όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα και το οποίο κατά πάσα πιθανότητα να διαθέτει περισσότερους του ενός ορόφου οι υπόλοιποι όροφοι είναι αδύνατο να επισκεφθούν πέραν του ισογείου. Με την επιλογή όμως αυτή μπορούμε να μετακινήσουμε κατακόρυφα όλο το μοντέλο μέχρι το επίπεδο που μας ενδιαφέρει να έρθει στο δικό μας φυσικό επίπεδο. Ωστόσο, τα υπόλοιπα αντικείμενα που θα έχουν «βυθιστεί» απλά αποκρύπτονται. Όπως και στην παραπάνω εικόνα οι κύβοι που δεν φαίνονται στο στιγμιότυπο έχουν προχωρήσει κάτω από το δικό μας επίπεδο και έτσι δεν περνούν από τη διαδικασία του rendering. Ενώ οι κύβοι που φαίνονται είναι από το επίπεδο μας και πάνω.

3. Edit an object:

Πίσω στο κεντρικό μενού στην τρίτη επιλογή (**Edit an object**) είναι το υπομενού εκείνο στο οποίο δίνεται η δυνατότητα να προστεθεί να αφαιρεθεί και να αλλαχτεί η υφή ενός αντικειμένου. Στην επόμενη εικόνα διακρίνονται αυτές οι επιλογές:



Εικόνα 7.16: Edit an object

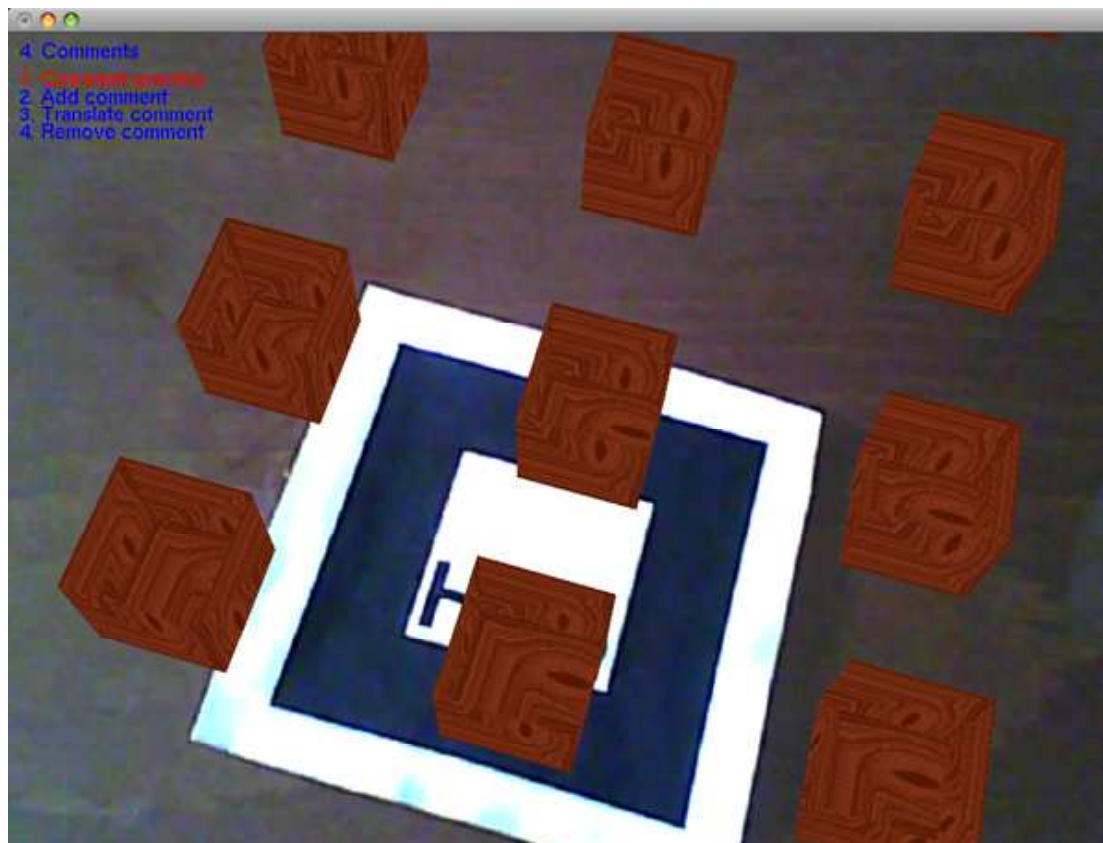
Πρώτη επιλογή είναι αυτή στην οποία ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ένα καινούργιο δικό του αντικείμενο. Ο λόγος που μπορεί να θελήσει κάτι τέτοιο είναι ίσως η αλλαγή της εσωτερικής διακόσμησης προσθέτοντας νέα αντικείμενα ή η δοκιμή κάποιων επιπλέον επίπλων. Η διαδικασία πραγματοποιείται ως εξής. Επιλέγοντας την επιλογή στην συνέχεια ένα μήνυμα τον ενημερώνει ότι μπορεί να δώσει την διαδρομή (path), όπου βρίσκεται αποθηκευμένη η περιγραφή του αντικειμένου, στη κονσόλα. Όταν θα προστεθεί το αντικείμενο, η εφαρμογή του συμπεριφέρεται όπως όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα και προστίθεται και στην λίστα των ονομάτων των αντικειμένων.

Επόμενη επιλογή είναι η δυνατότητα αφαίρεσης ενός αντικειμένου είτε κάποιου προϋπάρχον είτε κάποιου που προστέθηκε αργότερα από το χρήστη. Επιλέγοντας την, στον χρήστη παραχωρείται για μία ακόμη φορά η λίστα με τα ονόματα των αντικειμένων. Όταν διαλέξει ποιο αντικείμενο θέλει να σβήσει, η εφαρμογή κοιτάει τα πολύγωνα τα οποία αντιστοιχούν στο αντικείμενο αυτό και τα αφαιρεί μαζί με τα χαρακτηριστικά του.

Τρίτη και τελευταία επιλογή είναι η «Change Texture» όπου μπορεί να αλλαχθεί η υφή ενός αντικειμένου. Αυτή η επιλογή λειτουργεί παρόμοια με τις προηγούμενες αφού ζητάει και αυτή με τη σειρά της το path της υφής από την κονσόλα ενώ στην αρχή διαλέγει ο χρήστης ποιου αντικειμένου η υφή να αλλάξει από την λίστα με τα αντικείμενα.

4. Comments:

Από το υπομενού «Comments» δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μπορεί να αφήσει σχόλια μέσα στη σκηνή δίπλα από ένα αντικείμενο της επιλογής του.



Εικόνα 7.17: Comments

Η πρώτη επιλογή «Comment preview» δείχνει μία λίστα με τα ονόματα των σχολίων που υπάρχουν ενώ παράλληλα τα εμφανίζει στην σκηνή. Αν δεν υπάρχουν σχόλια ενημερώνει τον χρήστη με σχετικό μήνυμα.

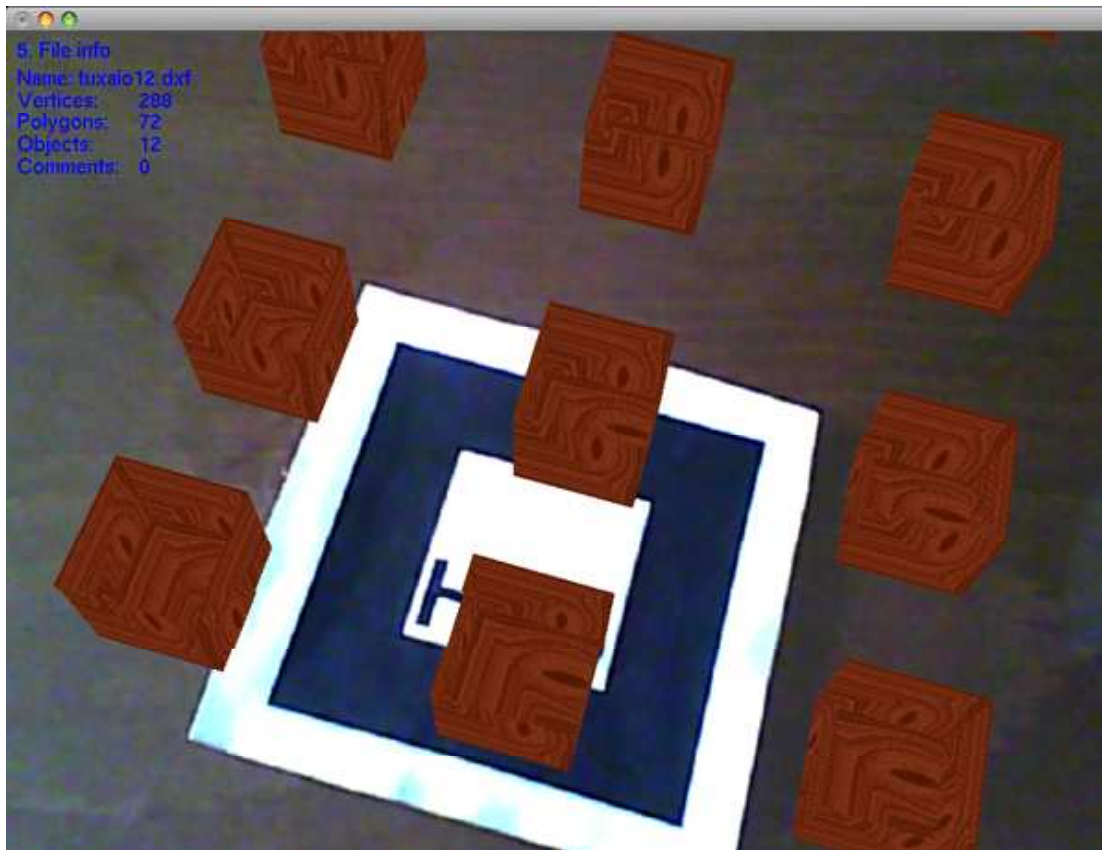
Δεύτερη επιλογή είναι η «Add comment» όπου ζητάει από το χρήστη να δώσει ένα όνομα και μια περιγραφή για το σχόλιο από την κονσόλα.

Η τρίτη επιλογή είναι η «Translate comment» με την οποία μπορεί να μετακινηθεί ένα σχόλιο όπου αποφασίσει ο χρήστης. Ο λόγος είναι ότι στην αρχή δημιουργείται στην αρχή των αξόνων το σχόλιο και θα πρέπει να μετακινηθεί εκεί που ανήκει.

Ενώ η τέταρτη «Remove comment» από τη λίστα των σχολίων αφαιρεί το σχόλιο που θα επιλεγθεί.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα σχόλια αν και συμπεριφέρονται ως αντικείμενα δεν χρειάζονται καμία άλλη λειτουργία πέρα από τη μετατόπιση όπως φαίνεται και από το υπομενού. Δυνατό χαρακτηριστικό τους είναι το γεγονός ότι φαίνονται από όλες τις οπτικές γωνίες χωρίς να χρειάζεται ο χρήστης να τα περιστρέφει για να τα δει από παντού αφού «ακολουθούν» την κάμερα χωρίς όμως να απομακρύνονται καθόλου από το σημείο στο οποίο τα τοποθέτησε ο χρήστης.

5. File info:



Εικόνα 7.18 : File info

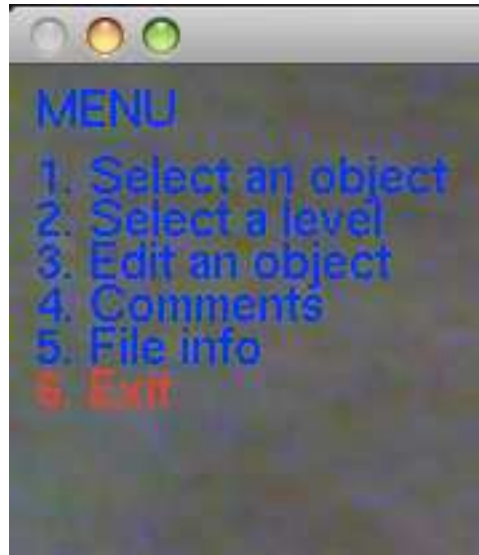
Η πέμπτη επιλογή του κεντρικού μενού παρέχει διάφορες πληροφορίες για το αρχείο που έχει φορτωθεί εκείνη την στιγμή. Αυτές είναι:

- Name (Όνομα)
- Vertices (Κορυφές)
- Polygons (Πολύγωνα)
- Objects (Αντικείμενα)
- Comments (Σχόλια)

Σημείωση: Τα αντικείμενα είναι όντως 12 όσο γράφει απλά ο marker στην παραπάνω εικόνα είναι αρκετά κοντά στην κάμερα με αποτέλεσμα να μην φαίνονται όλα τα αντικείμενα.

6. Exit:

Τέλος, η τελευταία επιλογή στο κεντρικό μενού είναι η «Exit».



Εικόνα 7.19: Exit

Όπως γράφει και η ίδια η επιλογή πρόκειται για τον τερματισμό της εφαρμογής.

Συγκεκριμένα:

1. Διαγράφονται όλα τα δεδομένα,
2. Απελευθερώνεται η μνήμη
3. Σταματάει η αιχμαλώτιση των frames από την κάμερα και
4. Κλείνει η εφαρμογή.

7.5 To rendering

Η ενότητα που ξεκινάει έχει ως σκοπό την γνωριμία με τη διαδικασία του rendering. Το rendering είναι το αποτέλεσμα της προσπάθειας και της οργάνωσης της εφαρμογής για να πετύχει τον στόχο της. Υπάρχει μία συνάρτηση με το όνομα draw() η οποία αναλαμβάνει αυτό το ρόλο με τα πιο αξιοσημείωτα μέρη της να αναλύονται στην συνέχεια.

```
argDrawMode3D();  
argDraw3dCamera( 0, 0 );
```

Ορίζεται ο τρισδιάστατος κόσμος και ακριβώς στη συνέχεια μία τρισδιάστατη κάμερα.

```
argConvG1para(patt_trans, gl_para);  
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);  
glLoadMatrixd( gl_para );
```

Με την εντολή argConvG1para() ο μετασχηματισμός για τον συγκεκριμένο marker ο οποίος έχει εντοπισθεί περνιέται ως όρισμα και στη συνέχεια μετατρέπεται σε μορφή η οποία διαβάζεται από το OpenGL για να δημιουργηθεί έπειτα ο τρισδιάστατος κόσμος. Το αποτέλεσμα είναι η gl_para. Αμέσως μετά ορίζεται ο τρέχων matrix ο οποίος θα εφαρμόζει τις επόμενες διαδικασίες στο μοντέλο. Με την glLoadMatrixd() δημιουργείται ο τρισδιάστατος κόσμος με βάση την gl_para.

```
for(i=0; i<tempv2.size(); i++){  
    if(tempv2.at(i).view==1){
```

Εξετάζοντας όλο το vector που είναι αποθηκευμένα τα αντικείμενα μαζί με τις ρυθμίσεις τους μέσω του for ελέγχετε πρώτα απ' όλα αν κάποιου αντικειμένου το view είναι ρυθμισμένο να μην σχεδιαστεί το αντικείμενο.

```
glPushMatrix();
```

Η εντολή glPushMatrix() μαζί με την εντολή glPopMatrix() η οποία θα φανεί παρακάτω, αποτελούν ένα σύστημα το οποίο διαχειρίζεται τις εντολές οι οποίες είναι ανάμεσα τους, αντιστοιχώντας τις στον ενεργό εκείνη την στιγμή matrix που στην περίπτωση αυτή είναι ο MODELVIEW από προηγουμένως. Οι εντολές μπορούν ενδιάμεσα να κάνουν οτιδήποτε αλλά με την αντίθετη φορά από αυτή που διαβάζεται στον κώδικα. Ξεκινάει δηλαδή η εκτέλεση των εντολών από την glPopMatrix() και συνεχίζει προς τα πάνω μέχρι να συναντήσει την glPushMatrix. Προς το παρόν μόνο η

```
glTranslatef(0, 0, tempmarker.tz);  
glRotated(tempmarker.angle, tempmarker.rx, tempmarker.ry, 0);
```

Οι δύο αυτές εντολές χρησιμοποιούνται για να δείξουν το εσωτερικό του κτηρίου μέσω τεσσάρων markers οι οποίοι βρίσκονται γύρω από την κάμερα και αναλόγως που γυρίσει η κάμερα, η εφαρμογή φορτώνει κάποιες πληροφορίες για τον τρέχων marker. Οι πληροφορίες αυτές είναι το translate ως προς τον z άξονα και το rotate ως προς τον x ή τον y. Όλο λοιπόν το μοντέλο αναλόγως τον marker που εμφανίζεται εκείνη την στιγμή αποκτά την κατάλληλη οπτική γωνία για να φαίνεται φυσικό στο

view της κάμερας. Στην ουσία πρόκειται για το ίδιο αντικείμενο απλά είναι εξαρτημένο από τις επιλογές για τον κάθε Marker πραγματοποιώντας το κατάλληλο rendering.

```
glTranslatef( tempv2.at(i).cx, tempv2.at(i).cy, 0 );
```

Παρατηρώντας την ακριβώς προηγούμενη εντολή (glTranslatef) φαίνεται το τρέχων αντικείμενο να μετατοπίζεται όσο υποδεικνύουν το x και το y του κέντρου του. Αυτό όμως που γίνεται στην πραγματικότητα είναι ένας συνδυασμός αυτής της εντολής με την ίδια εντολή που φαίνεται παρακάτω και που αυτή μετατοπίζει όσο υποδεικνύει το κέντρο άλλα αρνητικά αυτή τη φορά. Αυτό γίνεται για τον λόγο ότι όλες οι ενέργειες για ένα αντικείμενο εξαρτώνται από την αρχή των αξόνων και για να επιτευχθεί κάτι σε κάποιο διαφορετικό σημείο θα πρέπει κατ' αρχήν να μετατοπίσουμε το αντικείμενο στην αρχή των αξόνων. Οπότε στην συνέχεια θα πρέπει να ξανά επιστρέψει στη θέση που ήταν. Σε αυτό, βοηθάει η γνώση για το κέντρο του αντικειμένου.

```
glRotated(tempv2.at(i).angle, tempv2.at(i).rx, tempv2.at(i).ry, tempv2.at(i).rz);  
glScalef(tempv2.at(i).sx, tempv2.at(i).sy, tempv2.at(i).sz);  
glTranslated(tempv2.at(i).tx, tempv2.at(i).ty, tempv2.at(i).tz);
```

Στις παραπάνω εντολές διαβάζονται όλες οι ρυθμίσεις από το κάθε αντικείμενο το οποίο στην ουσία είναι μία δομή με πεδία όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα. Αυτός είναι και ο λόγος, κάθε αλλαγή που κάνει ο χρήστης, κρατιέται και έτσι μέχρι να ξανά αλλάξει κάτι το rendering σε κάθε frame πραγματοποιείται με αυτές τις ρυθμίσεις.

```
glTranslatef( -tempv2.at(i).cx, -tempv2.at(i).cy, 0);
```

Όπως εξηγήθηκε και πιο πάνω το αντικείμενο επιστρέφει στην αρχική του θέση.

```
for(j=tempv2.at(i).begin; j<tempv2.at(i).end; j++){
```

Όπως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει το σημαντικό χαρακτηριστικό της εφαρμογής να κρατάει τους αύξοντες αριθμούς των πολυγώνων στο vector των πολυγώνων για το κάθε αντικείμενο ξεχωριστά φαίνεται ακριβώς στην προηγούμενη εντολή. Προσπελαύνεται το vector των πολυγώνων στο σημείο για το οποίο είναι αποθηκευμένα τα πολύγωνα για το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει και μόνο αυτά (begin και end).

```
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
```

Η διαδικασία του rendering συνεχίζεται με την εντολή glEnable(GL_TEXTURE_2D). Γενικά η glEnable() αναλόγως τι όρισμα δεχθεί ενεργοποιεί και διαφορετικές ιδιότητες. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ενεργοποιεί ένα αντικείμενο τύπου texture δύο διαστάσεων.

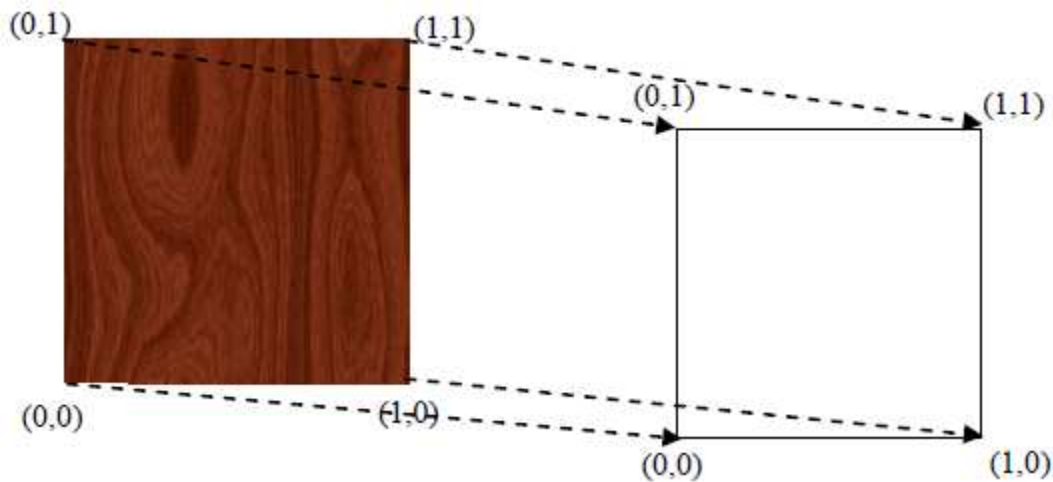
```
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, _textureId);  
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR);  
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
```

Όλες οι παραπάνω εντολές αναφέρονται στην υφή που θα δεχτεί το τρέχων αντικείμενο. Με την glBindTexture() ενεργοποιείται η υφή με το αναγνωριστικό _textureId ώστε οτιδήποτε συμβαίνει στην συνέχεια να εφαρμόζεται στην συγκεκριμένη υφή. Η εντολή glTexParameteri() με το όρισμα

GL_TEXTURE_MIN_FILTER στην πρώτη περίπτωση ελέγχει τις περιπτώσεις όπου ένα pixel είναι μεγαλύτερο από ένα στοιχείο της υφής ενώ με την GL_TEXTURE_MAG_FILTER ελέγχει τις περιπτώσεις που το pixel είναι ίσο ή μικρότερο ενός στοιχείου της υφής.

```
glBegin(GL_QUADS);  
glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);  
glVertex3f(tempv.at(j).temp.x[0],tempv.at(j).temp.y[0], tempv.at(j).temp.z[0]);  
glTexCoord2f(0.0f, 1.0f);  
glVertex3f(tempv.at(j).temp.x[1],tempv.at(j).temp.y[1], tempv.at(j).temp.z[1]);  
glTexCoord2f(1.0f, 1.0f);  
glVertex3f(tempv.at(j).temp.x[2],tempv.at(j).temp.y[2], tempv.at(j).temp.z[2]);  
glTexCoord2f(0.0f, 0.0f);  
glVertex3f(tempv.at(j).temp.x[3],tempv.at(j).temp.y[3], tempv.at(j).temp.z[3]);  
glEnd();  
glDisable(GL_TEXTURE_2D);
```

Στο παραπάνω κομμάτι με την glBegin(GL_QUADS) η οποία κλείνει με την glEnd() ορίζει ένα σύστημα όπου 4 vertex θα ορίζουν ένα πολύγωνο. Την πληροφορία την λαμβάνει από το vector με τα αποθηκευμένα πολύγωνα. Συγκεκριμένα η εντολή glVertex3f() παίρνει τις τρεις συντεταγμένες του κάθε vertex φορτώνοντας τες, επαναλαμβάνοντας την διαδικασία άλλες τρεις φορές για να δημιουργηθεί εν τέλει το πολύγωνο. Μπορεί να παρατηρήσει κάποιος ότι μαζί με την glVertex3f() υπάρχει και μια άλλη συνάρτηση η glTexCoord2f() πριν από αυτήν. Η glTexCoord2f() είναι υπεύθυνη για μία ανάλογη διαδικασία η οποία αυτή τη φορά αντιστοιχεί στοιχεία της υφής με αυτά του αντικειμένου. Τα στοιχεία μίας υφής ονομάζονται texels. Αυτή η αντιστοιχία περιγράφεται οπτικά στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 7.20: Αντιστοίχιση texels με vertices

Σκέψεις για το μέλλον

1. Οι χρήστες ίσως δεν επιθυμούν να βασίζονται στα κινητά τους τηλέφωνα με τις μικρές οθόνες για υπέρθεση πληροφοριών. Για αυτό το λόγο φορητές συσκευές θα παρέχουν πιο βολικές, επεκτάσιμες λύσεις όπως φακούς επαφής και ειδικά γυαλιά. Στο μέλλον ίσως να μπορείς να παίξεις ένα παιχνίδι στρατηγικής πραγματικού χρόνου με κάποιον φίλο σου φορώντας γυαλιά στο tablet μπροστά σου.
2. Υπάρχει πάντα το θέμα με την υπερβολική πληροφορία. Σε περιπτώσεις όπου οι χρήστες βασίζονται στις συσκευές τους περισσότερο από όσο χρειάζεται. Ίσως χάνουν αυτό που υπάρχει στον πραγματικό κόσμο προτιμώντας τον εικονικό. Υπάρχουν και θέματα ιδιωτικότητας. Το θέμα με την καταγραφή εικόνων που σε λίγο θα είναι τόσο οικείο (προσπαθώντας να αναζητήσουμε πληροφορίες θα κατευθύνουμε το κινητό μας σε άλλους ανθρώπους) πρέπει να εξετασθεί σε νέα βάση.
3. Πέρα από αυτούς τους περιορισμούς οι δυνατότητες για απόκτηση πληροφοριών σε μία πόλη απλά κατευθύνοντας το κινητό σε πλησίον κτίριο ή πάρκο είναι απεριόριστες.
4. Στις κατασκευές η τεχνολογία αυτή μπορεί να βοηθήσει να υποδείξει που τοποθετείται κάποιος στύλος, ένας μηχανικός μπορεί να εντοπίσει βλάβες ή σχέδιο λειτουργίας, ένας γιατρός να αναζητήσει πληροφορίες για τον ασθενή και ο κατάλογος των δυνατοτήτων είναι ατελείωτος.

Με άλλα λόγια η επαυξημένη πραγματικότητα αναμένεται να γνωρίσει πληθώρα νέων εφαρμογών, πολλές βελτιώσεις, αλλά και ευρεία διάδοση μέσα στα επόμενα χρόνια.

8 Παράρτημα

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 2.1	- See-through CRT γυαλιά.....	5
Εικόνα 2.2	- Εξοπλισμός Επαυξημένης Πραγματικότητας σε Πανεπιστήμιο.....	6
Εικόνα 2.3	- Πληροφορίες της κάμερας.....	6
Εικόνα 2.4	- Πρότυπο για την παρατήρηση του εμβρύου μέσα στη κοιλιά.....	7
Εικόνα 2.5	- Κατά τη διάρκεια μιας βιοψίας στήθους τα τρισδιάστατα γραφικά καθοδηγούν για την εισαγωγή της βελόνας.....	7
Εικόνα 2.6	- Τα 3D γραφικά δείχνουν ποια βήματα απαιτούνται να ακολουθηθούν προκειμένου να επισκευαστεί κάποιο πιθανό λάθος.....	9
Εικόνα 2.7	- Εκτυπωτής laser στον οποίο όλα τα αντικείμενα έχουν εντοπιστεί προκειμένου να λειτουργήσει το σύστημα επαυξημένης πραγματικότητας για τη συντήρηση του.....	9
Εικόνα 2.8	- Εικόνα που βλέπει ο χρήστης μέσα από της συσκευή Ε.Π. και του δείχνει πως πρέπει να μετακινήσει τη θήκη χαρτιού.....	9
Εικόνα 2.9	- Επαυξημένη πραγματικότητα σε crash test.....	10
Εικόνα 2.10	- Τυπική φορητή συσκευή σε σύγκριση με μια συσκευή χειρός.....	13
Εικόνα 2.11	- Κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιεί επαυξημένη πραγματικότητα.....	14
Εικόνα 2.12	- Tablet PC.....	14
Εικόνα 2.13	- PDA και επαυξημένη πραγματικότητα.....	14
Εικόνα 2.14	- Εξωτερική όψη του συστήματος Argos.....	15
Εικόνα 2.15	- Προβολική συσκευή.....	15
Εικόνα 2.16	- Πραγματικό-Εικονικό Συνεχές.....	18
Εικόνα 2.17	- Οι σχέσεις ανάμεσα στις διάφορες Πραγματικότητες.....	19
Εικόνα 3.1	- Στερεοσκοπικό σύστημα λήψης με περισσότερες κάμερες.....	43
Εικόνα 4.1	- Πραγματικό περιβάλλον.....	45
Εικόνα 4.2	- Επαυξημένο περιεχόμενο.....	45
Εικόνα 4.3	- Τελική Επαυξημένη Πραγματικότητα.....	46
Εικόνα 4.4	- Εφαρμογή Επαυξημένης Πραγματικότητας.....	48
Εικόνα 5.1	- Προβολή του χαρακτήρα με τη χρήση marker.....	52
Εικόνα 6.1	- FaiMR (Furniture Assembly Instructor in MR).....	56
Εικόνα 6.2	- The MagicBook.....	57
Εικόνα 6.3	- AR Groove.....	57
Εικόνα 6.4	- ARCO.....	57
Εικόνα 7.1.α	- Marker.....	68
Εικόνα 7.1 β	- Marker.....	68
Εικόνα 7.2	- Ανίχνευση ορίων marker.....	69
Εικόνα 7.3	- Νοητή Απεικόνιση του marker με αριθμούς.....	71
Εικόνα 7.4	- Ο πραγματικός marker.....	71
Εικόνα 7.5	- Αναγνώριση φωτεινών σημείων.....	72
Εικόνα 7.6	- Αλλαγές ακόμα και σε ίδιες περιοχές.....	73
Εικόνα 7.7	- Εξαγωγή αρχείου σε dxf.....	74
Εικόνα 7.8	- Dxf exporter.....	75
Εικόνα 7.9	- Στιγμιότυπο του μενού της εφαρμογής.....	82
Εικόνα 7.10	- Οι επιλογές στην κατηγορία <i>Select an Object</i>	83

Εικόνα 7.11 - Η λίστα στο interface για τα εικονικά αντικείμενα.....	84
Εικόνα 7.12 - Η περιστροφή κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της.....	85
Εικόνα 7.13 - Η μετατόπιση κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της.....	86
Εικόνα 7.14 - Η κλιμάκωση κάποιου αντικειμένου και οι πληροφορίες που σχετίζονται μαζί της.....	87
Εικόνα 7.15 - Select a level.....	88
Εικόνα 7.16 - Edit an object.....	89
Εικόνα 7.17 - Comments.....	90
Εικόνα 7.18 - File info.....	91
Εικόνα 7.19 - Exit.....	92
Εικόνα 7.20 - Αντιστοίχιση texels με verticies.....	95

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 6.1 - Εμβέλεια tracking με διαφορετικά μήκη πλευρών markers.....	54
Πίνακας 6.2 - Διαδικασίες λειτουργίας ARToolkit.....	55
Πίνακας 6.3 - Κλήσεις συναρτήσεων που αντιπροσωπεύουν τα βήματα μίας εφαρμογής με το ARToolkit.....	56
Πίνακας 6.4 - Σύνοψη στοιχείων DXF format.....	58

Πίνακας Σχημάτων

Σχήμα 2.1 - Εικονικός κύβος με τη χρήση του πρώτου συστήματος Ε.Π.	5
Σχήμα 3.1 - Η σχέση ανάμεσα στις συντεταγμένες του marker και αυτών της κάμερας υπολογίζονται από ανάλυση εικόνας.....	24
Σχήμα 3.2 - Τοποθέτηση των Marker στο κοινό whiteboard.....	27
Σχήμα 3.3 - Συστήματα συντεταγμένων σχετιζόμενα με την κάμερα.....	29
Σχήμα 3.4 - Πλέγματα σημείων για μη αναλυτική βαθμονόμηση κάμερας.....	34
Σχήμα 3.5 - Προοπτική απεικόνιση ευθυγράμμων τμημάτων στην εικόνα.....	37
Σχήμα 6.1 - Διάγραμμα διεργασιών ARToolkit ανά frame.....	54
Σχήμα 6.2 - Η διαδικασία διαβάσματος ενός dxf αρχείου από την dxflib.....	62
Σχήμα 6.3 - Περιγραφή του pipeline στο OpenGL.....	64
Σχήμα 6.4 - Απεικόνιση των διάφορων οντοτήτων	65
Σχήμα 7.1 - Ροές Δεδομένων.....	67

9 Πηγές και πληροφορίες

- [1] “Augmented reality” http://en.wikipedia.org/wiki/Augmented_reality, (January 2011) [9 February 2011].
- [2] Wayne Piekarski. “Interactive 3d modelling in outdoor augmented reality worlds.” Research Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Wearable Computer Lab School of Computer and Information Science Division of Information Technology, Engineering, and the Environment The University of South Australia, Adelaide, South Australia, 2004. <http://www.tinmith.net/wayne/thesis/> & <http://www.tinmith.net/wayne/thesis/piekarski-thesis.htm>
- [3] “Reality-Virtuality Continuum” http://en.wikipedia.org/wiki/Reality%E2%80%93virtuality_continuum (8 January 2011) [28 January 2011]
- [4] “Match moving”, http://en.wikipedia.org/wiki/Match_moving (7 February 2011) [11 February 2011]
- [5] “Augmented Reality Image Synthesis”, <http://aris-ist.intranet.gr/> () [11 February 2011]
- [6] “PISTE” “ <http://piste.intranet.gr/overview.htm>” (2002) [2011]
- [7] University of Washington HIT Lab, “ARToolkit” “<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>” (18 May 2007) [20 February 2011]
- [8] “Wikipedia”, “AutoCAD DXF”, http://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD_DXF (4 February 2011) [20 February 2011]
- [9] “RibbonSoft”, “dxflib”, <http://www.qcad.org/dxflib.html> (2010) [20 February 2011]
- [10] “Wikipedia”, “OpenGL”, <http://en.wikipedia.org/wiki/OpenGL> (21 February 2011) [25 February 2011]
- [11] “Benjamin Pugliese, Mahesh Saptharishi”, “VRML for Kinematic and Physical Modeling and Simulations” <http://www.ece.cmu.edu/> & <http://www.ece.cmu.edu/~ece796/seminar>
- [12] Azuma, R.: A Survey of Augmented Reality, Teleoperators and Virtual Environments, Hughes Research Laboratories, Malibou 1997.

-
- [13] The AVRIKA Pilot Project, Augmented Reality for Development, Production and Service, Publishing Erlangen 2004 p.13
- [14] Sutherland, A Head-Mounted Three Dimensional Display, Fall Joint Computer Conference Proceeding: 1968 p. 757-764
- [15] KARMA, “ <http://graphics.cs.columbia.edu/projects/karma/karma.html> ”
- [16] AVRIKA, “<http://www.arvika.de/www/e/topic1/anwendungen.htm>”
- [17] ARTESAS, “<http://www.artesas.de/site.php?lng=en>“
- [18] Brian F. Goldiez, B.S.A.E. University of Kansas, 1973, M.S. University of Central Florida, 1979. “Techniques for assessing and improving performance in navigation and way finding using mobile augmented reality”. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Modeling and Simulation in the College of Arts and Sciences at the University of Central Florida Orlando, FL, 2004.
- [19] Michael Rohs, “Marker-Based Embodied Interaction for Handheld Augmented Reality Games”, Journal of Virtual Reality and Broadcasting, Volume 4, 2007, no. 5, Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin, Ernst-Reuter-Platz 7, 10587 Berlin, Germany.
- [20] Daniel Wagner, Thomas Pintaric, Florian Ledermann and Dieter Schmalstieg, Graz University of Technology, Vienna University of Technology. Towards Massively Multi-User Augmented Reality on Handheld Devices.
- [21] Oliver Bimber, Bauhaus University, Weimar, Germany, Ramesh Raskar, MERL - Mitsubishi Electric Research Lab, Cambridge, USA. Alternative Augmented Reality Approaches: Concepts, Techniques, and Applications. Eurographics, 2003.
- [22] Wolfgang Hohl, “Interactive Environments with Open-Source Software”, SpringerWien NewYork, 2009
- [23] Lentz R.K., Tsai R.Y. : Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3D machine vision metrology., 1987
- [24] Zhuang, Hanqi; Wu, Wen-Chiang : Camera calibration with a near-parallel (ill-Conditioned) calibration board configuration. IEEE Transactions on Robotics and Automation, Volume 12, Issue 6, December 1996, Pages 918-921
- [25] Ito, M.;Ishii, A. : A non-iterative procedure for rapid and precise camera calibration. Pattern recognition. Vol. 27, Number 2. pp. 301, 1994

-
- [26] Jain R, R Kasturi, B.G. Schunk, "MACHINE VISION", McGraw-Hill 1995.
- [27] Grosky, W. I.;Tamburino, L.A. : A Unified Approach to the Linear Camera Calibration Problem. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. Vol. 12, Number 7 pp : 663, 1990.
- [28] Puskorius G.V., Feldkamp L.A. :Camera calibration methodology based on a linear perspective transformation error model., 1988
- [29] Bishop B. E.; Spong M.W. Adaptive calibration and control od 2D monocular visual servo systems. Control Engineering Practice 7, pp. 423-430, 1999
- [30] Sobel, I. : On calibrating computer controlled cameras for perceiving 3-D scenes. Artificial Intelligence. Vol. 5, pp. 185, 1974
- [31] Paquette, L. et al : A new camera calibration method for robotic vision. Proc. SPIE, Int. Soc. Optical Eng., pp. 656, 1990
- [32] Faig, W. : Calibration of close-range photogrammetry systems : Mathematical formulation. Photogrammetry Eng. Anh remote sensing. Vol. 41, No. 12, pp.1479, 1975
- [33] Weng J., Cohen P., Herniou M. : Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. IEEE Transactions on pattern analysis and Machine Intelligence, Vol 14, pp. 965-980, Oct. 1992
- [34] Bacakoglu, Hakan; Kamel, Mohamed S. : Three-step camera calibration method. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 46, No 5, pp. 1165 ,1997
- [35] H. A. Martins, J. R. Birk and R. B. Kelley, University of Rhode Island, Kingston, Rhode Island 02881, USA, Received 17 November 1980, Revised 4 February 1981
- [36] Gremban K.D., Thrope C.E., Kanade T. : Geometric camera calibration using systems of linear equations. 1988
- [37] Maybank, S.J., Faugeras, O.D. : A theory of self-calibration of a moving camera. International Journal of Computer Vision. Vol. 8, No 2, pp. 123, 1992.
- [38] Hartley, Richard I. Self-calibration of stationary cameras. International Journal of Computer Vision, Volume 22, Issue 1, February -March 1997, Pages 5-23
- [39] Robert, L.: Camera Calibration without Feature Extraction. Computer vision and image understanding. Vol. 63, Number 2, pp. 314, 1996

-
- [40] Zhou,G.;Uzi,E.;Feng,W.;Yuan,B.: CCD camera calibration based on natural Landmarks. *Pattern recognition*. Vol. 31, Number 1, pp. 1715, 1998
- [41] Li,M; Lavest, J-M.: Some Aspects of Zoom Lens Camera Calibration. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. Volume 18, (11), pp. 1105, 1996
- [42] Penna, M.A. : Camera Calibration: A Quick and Easy Way to Determine the Scale Factor. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. Vol. 13, Number 12 pp : 1240-1244, 1991
- [43] D. Wagner and D. Schmalstieg, "First steps towards handheld augmented reality," in *Proc. Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 127-135, Oct 2003.
- [44] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," in *Intl. Workshop on Augmented Reality (IWAR)*, pp. 85-94, 1999.
- [45] J. Oliensis, "A critique of structure-from-motion algorithms," *Computer Vision and Image Understanding: CVIU* 80(2), pp. 172-214, 2000.
- [46] A. Davison, "Real-time simultaneous localisation and mapping with a single camera," in *Intl. Conf. on Computer Vision (ICCV)*, 2003.
- [47] L. Chai, K. Nguyen, B. Ho, and T. Vincent, "An adaptive estimator for registration in augmented reality," in *Intl. Workshop on Augmented Reality (IWAR)*, pp. 23-32, 1999.
- [48] F. Ababsa, M. Mallem, and D. Roussel, "Comparison between particle filter approach And kalman filter-based technique for head tracking in augmented reality systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA '04)*, 1, pp. 1021-1026, April-May 2004.
- [49] M. Arulampalam, S. Maskell, N. Gordon, and T. Clapp, "A tutorial on particle filters for online nonlinear/non-gaussian bayesian tracking," *IEEE Trans. on Signal Processing* 50, pp. 174-188, Feb. 2002.
- [50] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system," in *Proceedings of the 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR)*, pp. 85-94, October 20-21, 1999.

[51] Ερασμία Γ. Αναστασάκη, Ουρανία Α. Πρεβεζάνου, Διπλωματική εργασία “Εφαρμογές της επαυξημένης πραγματικότητας με τη χρήση κινητών συσκευών”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Οκτώβριος 2008

[52] Ε Μ. Καββουσανός, “Ανάπτυξη ρομποτικού συστήματος για την αποπαλετοποίηση και το άδειασμα σάκων πολυαιθυλενίου”, Πολυτεχνείου Κρήτης τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Χανιά 2001