

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΣΧΕΔΙΟ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ

ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μάιος 2014

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΗΣ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΒΟΛΗΣ ΓΙΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΡΑΤΙΩΤΩΝ**

Μαρία Παρασκευά

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2014

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Προσομοιωτής Εικονικού Πεδίου Βολής για Εκπαίδευση Στρατιωτών

Μαρία Παρασκευά

Επιβλέπων Καθηγητής

Γιώργος Χρυσάνθου

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2014

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Γιώργο Χρυσάνθου αλλά και τον καθηγητή Δρ. Πάρη Καϊμάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν καθώς και για τις καθοριστικές συμβουλές τους χωρίς τις οποίες δεν θα μπορούσε να ολοκληρωθεί η διπλωματική μου εργασία.

Περίληψη

Το θέμα της Ατομικής Διπλωματικής μου Εργασίας είναι η δημιουργία ενός προσομοιωτή εικονικού πεδίου βολής με σκοπό την εκπαίδευση στρατιωτών. Η εργασία αυτή αποτελείται από δύο μέρη, την ανίχνευση της θέσης του λέιζερ από το όπλο του εκπαιδευόμενου και τη δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος του προσομοιωτή.

Το πρώτο μέρος αποτελείται από την ανίχνευση της θέσης του λέιζερ με την χρήση της υπολογιστικής όρασης. Συγκεκριμένα μία κάμερα συλλαμβάνει μια εικόνα από την οθόνη προβολής της προσομοίωσης και υπολογίζονται οι συντεταγμένες του σημείου λέιζερ. Έτσι έχει αναπτυχθεί αλγόριθμος ο οποίος ανιχνεύει αποτελεσματικά την θέση(x,y) ενός κόκκινου λέιζερ σε πραγματικό χρόνο αφού προηγηθεί κάποια επεξεργασία της εικόνας που λαμβάνεται και στη συνέχεια στέλνονται αυτές οι συντεταγμένες στο 2^ο κομμάτι της εφαρμογής.

Το δεύτερο μέρος αποτελείται από το δημιουργία του γραφικού περιβάλλοντος του πεδίου βολής. Συγκεκριμένα ο εκπαιδευόμενος έχει την δυνατότητα επιλογής διαφορετικών πυρομαχικών και την ποσότητα τους. Επίσης κατά τη διάρκεια του session ο εκπαιδευόμενος μπορεί να βλέπει κάποια στατιστικά στοιχεία των βολών, δίνοντας έτσι συνεχής αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των βολών κατά τη διάρκεια του session. Η εκτέλεση των βολών ακολουθούν φυσικά τους νόμους της φυσικής οι οποίοι δύναται να επηρεάζονται από τον περιβάλλον, το είδος των πυρομαχικών κτλ. Τέλος μετά από κάθε session ο εκπαιδευτής θα μπορεί να δει τα αποτελέσματα των βολών των στρατιωτών του. Το δεύτερος μέρος έχει υλοποιηθεί από άλλον συμφοιτητή μου τον Παναγιώτη Κυριάκου ως θέμα Ατομικής Διπλωματικής Εργασίας.

Για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας χρειάστηκε η μελέτη της βιβλιοθήκης OpenCV καθώς και διάφορων ορολογιών της Υπολογιστικής Όρασης, έχει γραφτεί σε γλώσσα C/C++ και έχει χρησιμοποιηθεί το εργαλείο Microsoft Visual Studio.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	7
1.1 Υπολογιστική Όραση	7
1.1.1. Τι είναι η Υπολογιστική Όραση?	7
1.1.2. Εφαρμογές Υπολογιστικής Όρασης	10
1.1.3. Βασικά βήματα για μια τυπική εφαρμογή υπολογιστικής όρασης	11
1.2 Σκοπός και Κίνητρο Διπλωματικής Εργασίας	13
1.3 Περίληψη Κεφαλαίων	13
 Κεφάλαιο 2 Σχετικές Εργασίες.....	15
2.1 Εισαγωγή	15
2.2 Η εκπαίδευση των στρατιωτών σήμερα	15
2.3 Εμπορικά Συστήματα	16
2.3.1. VirTra Military Systems	16
2.3.2 Organic Motion – L.I.V.E. for Military	18
 Κεφάλαιο 3 Σχεδίαση Συστήματος.....	22
3.1 Εισαγωγή	22
3.2. Εργαλεία	22
3.3 Βιβλιοθήκες	23
3.4 Απαιτήσεις Συστήματος	24
3.4.1. Απαιτήσεις Λογισμικού	24
3.4.2 Απαιτήσεις Υλικού	24
3.5 Αρχιτεκτονική Συστήματος	25
 Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση Συστήματος.....	28
4.1 Εισαγωγή	28
4.2 Βαθμονόμηση Κάμερας	28
4.2.1 Σχεδιασμός μιας Σκακιέρας	31
4.2.2 Εύρεση κορυφών της Σκακιέρας	32
4.2.3 Πίνακας Ομογραφίας	33
4.3 Ανίχνευση Λείζερ	35
4.3.1 Ρύθμιση των παραμέτρων της Κάμερας	35
4.3.2 HSV model	37

4.3.3 Μορφολογικά Φίλτρα	39
4.3.4 Εύρεση θέσης λείζερ	40
Κεφάλαιο 5 Αποτελέσματα.....	42
5.1 Αποτελέσματα	42
5.2 Μελλοντική Εργασία	44
Βιβλιογραφία	45

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

1.1 Υπολογιστική Όραση

1.1.1. Τι είναι η Υπολογιστική Όραση?

1.1.2. Εφαρμογές Υπολογιστικής Όρασης

1.1.3. Βασικά βήματα για μια τυπική εφαρμογή υπολογιστικής όρασης

1.3 Σκοπός και Κίνητρο Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Περίληψη Κεφαλαίων

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μια σύντομη εισαγωγή για το τι είναι η υπολογιστική όραση και τις εφαρμογές της καθώς και τα βασικά στάδια της ανάπτυξης μιας εφαρμογής υπολογιστικής όρασης. Στη συνέχεια αναφέρεται ο σκοπός και το κίνητρο της Διπλωματικής Εργασίας και τελειώνει με μία περίληψη για τα επόμενα κεφάλαια.

1.2 Υπολογιστική Όραση[1]

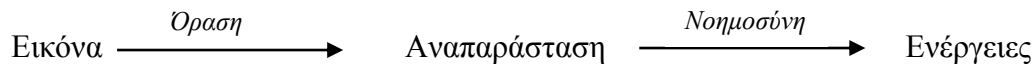
1.2.1 Τι είναι η Υπολογιστική Όραση?

Η Υπολογιστική Όραση είναι ένα πεδίο της Επιστήμης της Πληροφορικής. Θεωρείται ένας ραγδαία αναπτυσσόμενος κλάδος, και αυτό οφείλεται στο ότι πλέον παράγονται φθηνότερες και ικανότερες κάμερες, υπάρχει πιο προσιτή επεξεργαστική ισχύ και οι αλγόριθμοι της έχουν αρχίσει και ωριμάζουν.

Ασχολείται με την απόκτηση σχετικών πληροφοριών από εικόνες και την λήψη αποφάσεων που βασίζονται σε αυτές τις πληροφορίες. Με άλλα λόγια, η υπολογιστική όραση κάνει τον υπολογιστή να δει όπως βλέπουν οι άνθρωποι.

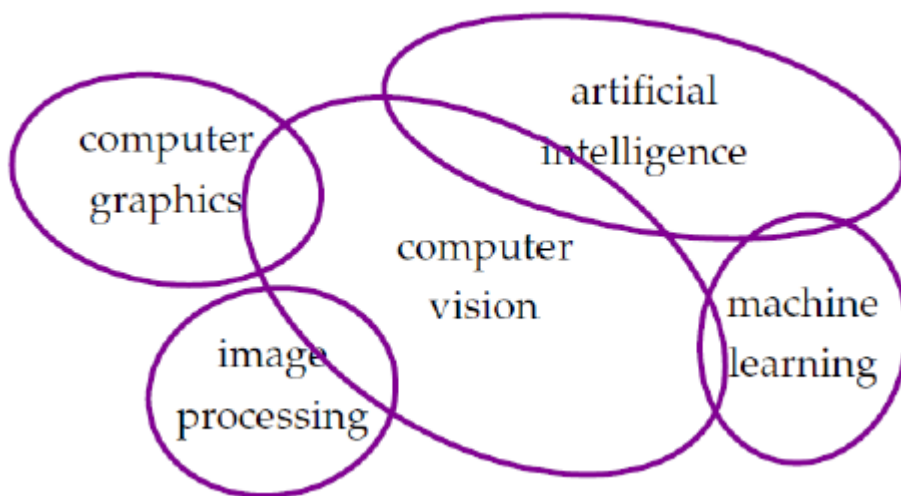
Η ανθρώπινη όραση μας επιτρέπει να αντιλαμβανόμαστε το περιβάλλον μας με βάση πληροφοριών από 2D εικόνες. Αλλά η οπτική μας αντίληψη είναι σε 3D, αντιλαμβανόμενοι τη σκηνή, μας επιτρέπει να προβαίνουμε σε αποφάσεις και να εκτελούμε κάποιες ενέργειες.

Στην υπολογιστική όραση, μια ή περισσότερες κάμερες είναι συνδεδεμένες σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο υπολογιστής επεξεργάζεται τις 2D εικόνες που λαμβάνει από την κάμερα και εξάγει πληροφορίες για τον τρισδιάστατο κόσμο. Αυτές οι πληροφορίες επιτρέπουν στον υπολογιστή να εκτελέσει συγκεκριμένες ενέργειες.



Η υπολογιστική όραση δεν είναι:

- Επεξεργασία Εικόνας
- Τεχνητή Νοημοσύνη
- Μηχανική Μάθηση
- Γραφικά Υπολογιστών



Η επεξεργασία εικόνας είναι η διαδικασία χειρισμού των δεδομένων μιας εικόνας, ώστε να καταστεί κατάλληλη για εφαρμογές της υπολογιστικής όρασης αλλά και γίνεται κατανοητό το περιεχόμενο της και από την ανθρώπινη όραση. Για παράδειγμα, αλλάζοντας την φωτεινότητα ή την αντίθεση μιας εικόνας είναι ενέργειες επεξεργασίας εικόνας, που κάνει την εικόνα οπτικά ευχάριστη για τον άνθρωπο ή κατάλληλη για περαιτέρω επεξεργασία από κάποια εφαρμογή υπολογιστικής όρασης.

Περιοχές της τεχνητής νοημοσύνης έχουν να κάνουν με αυτόματο σχεδιασμό ή συνεργασία ρομποτικών συστημάτων για να περιηγηθούν σε ένα περιβάλλον. Μια λεπτομερής

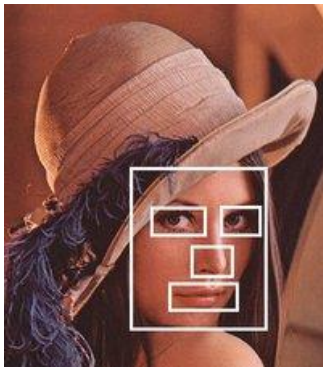
κατανόηση του περιβάλλοντος θα μπορούσε να παρέχεται από ένα σύστημα υπολογιστικής όρασης ενεργώντας ως οπτικός αισθητήρας, παρέχοντας έτσι πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον και το ρομπότ.

Η υπολογιστική όραση έχει μια ιδιαίτερη σχέση με τα γραφικά υπολογιστών, κατά κάποιο τρόπο η υπολογιστική όραση κάνει το αντίστροφο από τα γραφικά υπολογιστών. Ενώ τα γραφικά υπολογιστών παράγουν δεδομένα εικόνας από 3D μοντέλα, η υπολογιστική όραση συχνά παράγει 3D μοντέλα από δεδομένα εικόνας.

1.2.2. Εφαρμογές Υπολογιστικής Όρασης[4]

Η Υπολογιστική Όραση είναι ένα προκλητικό και δυναμικό πεδίο έρευνας και γι' αυτό θα έχουν υλοποιηθεί αρκετές ενδιαφέρον και καινοτόμες εφαρμογές.

Face Recognition



Ένα σύστημα αναγνώρισης προσώπου είναι μια εφαρμογή για την αυτόματη αναγνώριση ή την επαλήθευση ενός προσώπου. Τέτοια συστήματα συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα ασφαλείας των αεροδρομίων, της αστυνομίας και του στρατού. Τέτοιες εφαρμογές αποδεικνύονται πολύ χρήσιμες για την μείωση της εγκληματικότητας αλλά και για τυχόν αποφυγή πράξεων τρομοκρατίας.

Remote Sensing

Η τηλεπισκόπηση είναι η απόκτηση πληροφοριών σχετικά με ένα αντικείμενο ή ένα φαινόμενο. Τα επιτεύγματα της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται για την καθημερινή πρόγνωση του καιρού από δεδομένα που συλλέγονται από μετεωρολογικούς δορυφόρους, αλλά και για την παρακολούθηση και την πρόβλεψη τυφώνων, σεισμών και πλημμυρών. Τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών των φυσικών καταστροφών και έτσι να δημιουργηθούν έγκαιρα στρατηγικές ετοιμότητας που πρέπει θα εφαρμοστούν πριν και μετά από ένα τέτοιο επικίνδυνο συμβάν.



Amy E. Conn / AP

Augmented Reality (AR)



Επαυξημένη πραγματικότητα είναι η ενσωμάτωση και η ανάμειξη του εικονικού κόσμου με τον πραγματικό. Στοιχεία και αντικείμενα συλλέγονται από τον ρεαλιστική σκηνή όπως ήχος, βίντεο, γραφικά ή δεδομένα GPS, και αναγνωρίζονται μέσω της χρήσης αλγορίθμων της υπολογιστικής όρασης. Η ωρίμανση τέτοιων αλγορίθμων αναγνώρισης

διάφορων αντικειμένων επέτρεψε στο πεδίο της Επαυξημένης Πραγματικότητας να γνωρίσει γρήγορη ανάπτυξη σε αρκετούς τομείς όπως στην εκπαίδευση, την αρχαιολογία, τα ηλεκτρονικά παιχνίδια, την ιατρική.

Motion Capture

Motion Capture είναι η διαδικασία καταγραφής της κίνησης των αντικειμένων ή ανθρώπων. Το Motion Capture χρησιμοποιείται συνήθως με τη χρήση ειδικών αισθητήρων για την ανίχνευση των κινήσεων των αντικειμένων. Όμως η εξέλιξη της υπολογιστικής όρασης, και συγκεκριμένα η ανάπτυξη ειδικών αλγορίθμων επέτρεψαν σε διάφορα συστήματα να μην χρησιμοποιούν πλέον ειδικό εξοπλισμό για ανίχνευση κινήσεων. Ως επακόλουθο την ανάπτυξη αρκετών εμπορικών εφαρμογών για markerless motion capture για κινηματογραφικούς σκοπούς (Xsens θυγατρική της Warner Bros Pictures) αλλά και για εκπαιδευτικούς σκοπούς (Organic Motion Company).



Optical Character Recognition (OCR)

Η αυτόματη Αναγνώριση Χαρακτήρων Κειμένου είναι η διαδικασία μετατροπής χειρόγραφων εικόνων ή έντυπων κειμένων σε ευανάγνωστο κείμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η εξαγωγή χαρακτηριστικών όπως γραμμές, κλειστούς βρόχους κτλ., επιτυγχάνονται με τεχνικές ανίχνευσης χαρακτηριστικών στην υπολογιστική όραση, όπου χαρακτηρίζονται ως «έξυπνη» αναγνώριση χειρόγραφου αλλά και ως η πιο μοντέρνα και σύγχρονη προσέγγιση.

1.2.3. Βασικά βήματα για μια τυπική εφαρμογή υπολογιστικής όρασης[4]

Σε πολλά συστήματα υπολογιστικής όρασης μπορεί κανείς να εντοπίσει βασικά βήματα που ακολουθούνται καθώς και βασικές λειτουργίες που πραγματοποιούνται.

Ανάκτηση Εικόνας - Image Acquisition

Μια ψηφιακή εικόνα παράγεται από ένα ή περισσότερους αισθητήρες φωτός, όπως για παράδειγμα μια webcam. Ανάλογα με το είδος του αισθητήρα, τα δεδομένα εικόνας που προκύπτουν μπορεί να είναι μια συνηθισμένη 2D εικόνα ή μια ακολουθία από εικόνες (video frames).

Προ-επεξεργασία – Pre-processing

Πριν μία μέθοδος υπολογιστικής όρασης εφαρμοστεί στα δεδομένα εικόνας, προκειμένου να εξαχθούν συγκεκριμένες πληροφορίες, είναι συνήθως απαραίτητο να «προ-επεξεργαστούν» τα δεδομένα ούτως ώστε να ικανοποιούνται ορισμένες υποθέσεις που υπονοεί η μέθοδος. Για παράδειγμα η μείωση θορύβου, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι δεν εισήχθησαν λανθασμένες πληροφορίες. Άλλο παράδειγμα είναι η βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας για διασφαλιστεί ότι οι σχετικές πληροφορίες μπορούν να ανιχνευθούν.

Εξαγωγή Χαρακτηριστικών – Feature Extraction

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών της εικόνας έχει ως στόχο την μείωση δεδομένων εικόνας, διατηρώντας παράλληλα τις χρήσιμες πληροφορίες. Παραδείγματα τέτοιων χαρακτηριστικών είναι οι γραμμές, οι ακμές, οι κορυφές, σημεία ενδιαφέροντος (interest points), τα blobs. Εξαγωγή πιο πολύπλοκων χαρακτηριστικών σχετίζονται με την υφή(texture), το σχήμα(shape) ή την κίνηση(motion) των αντικειμένων.

Ανίχνευση/Τμηματοποίηση - Detection/Segmentation

Σε κάποιο σημείο κατά την επεξεργασία της εικόνας λαμβάνεται απόφαση σχετικά με το ποια σημεία ή περιοχές της εικόνας είναι σημαντικές για περαιτέρω επεξεργασία. Παραδείγματα αποτελούν η επιλογή ενός συγκεκριμένου συνόλου σημείων ενδιαφέροντος(interest points) ή κατάτμηση ενός ή πολλών περιοχών της εικόνας που περιέχουν ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ενδιαφέροντος.

Επεξεργασία υψηλού Επιπέδου - High-Level processing

Σε αυτό το βήμα από ένα μικρό σύνολο δεδομένων, για παράδειγμα ένα σύνολο σημείων ή μια περιοχή της εικόνας η οποία υποτίθεται ότι περιέχει ένα συγκεκριμένο αντικείμενο ακολουθείται ακόμη μία διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων. Αυτή η τελευταία διαδικασία επεξεργασίας μπορεί για παράδειγμα να ασχολείται με την εκτίμηση της στάσης ή του μεγέθους του αντικειμένου, την επαλήθευση ότι τα δεδομένα ικανοποιούν κάποιες συγκεκριμένες υποθέσεις, ή την ταξινόμηση ενός αντικειμένου που εντοπίστηκε σε διαφορετικές κατηγορίες.

Λήψη Απόφασης - Decision Making

Παίρνοντας την τελική απόφαση που απαιτείται για το σύστημα για παράδειγμα:

- Επιτυχία/Αποτυχία για συστήματα αυτόματης επιθεώρησης.
- Αντιστοιχία/Μη-αντιστοιχία σε συστήματα αναγνώρισης
- Αναφορά για περαιτέρω αξιολόγηση από τον ανθρώπινο παράγοντα σε συστήματα ιατρικής, στρατού, ασφαλείας και αναγνώρισης.

1.3 Σκοπός και Κίνητρο Διπλωματικής Εργασίας

Ο βασικός σκοπός αυτής της Διπλωματικής Εργασίας είναι η δημιουργία ενός προσομοιωτή εικονικού πεδίου βολής για την εκπαίδευση των στρατιωτών. Η ανάπτυξη αυτού του προσομοιωτή χωρίζεται σε 2 μέρη, την ανίχνευση της θέσης του λέιζερ και τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος του πεδίου βολής.

Σε αυτή τη Διπλωματική Εργασία περιγράφεται η ανάπτυξη του 1^ο μέρους του προσομοιωτή, δηλαδή την ανίχνευση του σημείου λέιζερ και την εύρεση της ακριβούς θέσης του με τη χρήση της υπολογιστικής όρασης.

Συγκεκριμένα θα προβάλλεται από ένα projector ένα εικονικό πεδίο βολής με διάφορους στόχους σε ένα πανό, ο στρατιώτης κρατώντας ένα τροποποιημένο όπλο, θα πυροβολεί «λέιζερ» στο πανό. Μόλις ο στρατιώτης πατήσει την σκανδάλη και σταλεί το λέιζερ στο πανό τότε μια κάμερα θα πάρει την εικόνα με την κουκκίδα του λέιζερ και θα τρέξει την εικόνα σαν είσοδο στον αλγόριθμο για να βρει την ακριβή θέση του σημείου λέιζερ που αντιστοιχεί στην οθόνη του υπολογιστή που τρέχει το εικονικό περιβάλλον. Μόλις υπολογιστεί η θέση του σημείου λέιζερ, οι συντεταγμένες του στέλνονται στην 2^η εφαρμογή που προβάλλει το εικονικό πεδίο βολής για να σχεδιαστεί ο στόχος της βολής. Η επικοινωνία

των 2 εφαρμογών επιτυγχάνεται με την χρήση ενός client/server προγράμματος βασισμένο στο πρωτόκολλο TCP/IP.

Συνοψίζοντας το κίνητρο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας είναι η επιτυχής και ρεαλιστική εκπαίδευση των στρατιωτών σε ένα ρεαλιστικό εικονικό περιβάλλον. Η δημιουργία ενός προσομοιωτή εικονικού πεδίου βολής προσφέρει απεριόριστη εκπαίδευση, λόγω της μείωση των δαπανών σε πυρομαχικά. Θα δώσει την δυνατότητα στους στρατιώτες να εκπαιδεύονται πιο συχνά με ένα προσομοιωτή που δεν περιορίζει το χρόνο εκπαίδευσης ανάλογα με τις προμήθειες πυρομαχικών. Επίσης να εκπαιδευτούν σε ένα χώρο που δεν θα επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες ή την ώρα της ημέρας. Σε ένα χώρο ελεγχόμενο και ασφαλές που δεν κινδυνεύει η σωματική ακεραιότητα των στρατιωτών. Τέλος οι σημερινοί στρατιώτες έχουν μεγαλώσει σε ένα κόσμο που κυριαρχούν τα ηλεκτρονικά παιχνίδια ως μέσο ψυχαγωγίας και έτσι θα τους είναι πιο οικείο η πρώτη επαφή με πραγματικά όπλα να είναι μέσω ενός τέτοιου προσομοιωτή. Παράλληλα οι εκπαιδευτές θα έχουν την δυνατότητα καλύτερης αξιολόγησης και βελτίωσης της προσέγγισης της εκπαίδευσης των στρατιωτών τους.

1.4 Περίληψη Κεφαλαίων

Η παρούσα Ατομική Διπλωματική Εργασία περιγράφει με λεπτομέρεια τη διαδικασία της έρευνας και της ανάπτυξης του προσομοιωτή για το Στρατό. Το υπόλοιπο της αναφοράς θα ακολουθήσει την εξής δομή:

Στο 2^ο Κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο πως γίνεται η εκπαίδευση των στρατιωτών σήμερα στην Κύπρο, αλλά θα παρουσιαστούν και διάφορα παρόμοια συστήματα που κυκλοφορούν στην αγορά τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των στρατιωτών ανά το παγκόσμιο.

Στο 3^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι απαιτήσεις του λογισμικού και του υλικού, την επικοινωνία των 2 εφαρμογών και την αρχιτεκτονική της εφαρμογής.

Στο 4^ο Κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά στον τρόπο υλοποίησης της εφαρμογής, εξηγώντας και αναλύοντας βασικά σημεία του αλγορίθμου, όπως η ομογραφία, η βαθμονόμηση της κάμερας, η ανίχνευση του λέιζερ κτλ.

Στο 5^ο Κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα του προσομοιωτή καθώς και τι μπορεί να γίνει σαν μελλοντική εργασία στο ίδιο θέμα.

Κεφάλαιο 2

Σχετικές Εργασίες

2.1 Εισαγωγή

2.2 Η Εκπαίδευση των Στρατιωτών στην Κύπρο

2.3 Εμπορικά Συστήματα

2.3.1 VirTra Military Systems

2.3.2 Organic Motion – L.I.V.E. for Military

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στο πως γίνεται η εκπαίδευση των στρατιωτών σήμερα στην Κύπρο, και στη συνέχεια θα παρουσιαστούν συστήματα που κυκλοφορούν στην αγορά και χρησιμοποιούνται από τον στρατό άλλων χωρών.

2.2 Η Εκπαίδευση των Στρατιωτών Σήμερα

Η εκπαίδευση των στρατιωτών σήμερα γίνεται σε διάφορα πεδία βολής που υπάρχουν σε όλη την Κύπρο. Συγκεκριμένα προγραμματίζονται βολές για συγκεκριμένες μέρες και ώρες κάθε μήνα. Αν οι καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν τότε η εκπαίδευση μερικές φορές ακυρώνεται. Παρόλα αυτά οι νεοσύλλεκτοι στρατιώτες σαν άπειροι στη χρήση του όπλου, μερικές φορές γίνονται ατυχήματα με αποτέλεσμα τον τραυματισμό τους.

2.3 Εμπορικά Συστήματα

Η προσομοίωση είναι η αναπαράσταση μίας πραγματικής κατάστασης ή διαδικασίας. Μια προσομοίωση αναπαριστά τα βασικά χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές και λειτουργίες αφηρημένων ή πραγματικών συστημάτων. Μερικά παραδείγματα χρήσης της προσομοίωσης είναι στην επιστήμη της τεχνολογίας για σκοπούς βελτίωσης της απόδοσης, της ασφάλειας, του ελέγχου, της κατάρτισης, της εκπαίδευσης αλλά και των ηλεκτρονικών παιχνιδιών. Επίσης η προσομοίωση χρησιμοποιείται και για την μοντελοποίηση φυσικών ή ανθρώπινων συστημάτων με σκοπό τη συλλογή πληροφοριών για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας τους.

Επιπρόσθετα η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει τις πραγματικές ενδεχόμενες επιπτώσεις δύσκολων συνθηκών ή καταστάσεων δράσης όπως συμβαίνει στις αποστολές του στρατού και της αστυνομίας. Η εκπαίδευση των στρατιωτών και αστυνομικών θα πρέπει να τους προετοιμάζει για δύσκολες και επικίνδυνες αποστολές. Μία προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποβάλει τους εκπαιδευόμενους σε δύσκολες καταστάσεις υπό πίεση χωρίς βέβαια να κινδυνεύει ή ακεραιότητα τους. Ας δούμε μερικούς προσομοιωτές με ρεαλιστική αναπαράσταση εκπαίδευσης στρατιωτών.

2.3.1 VirTra Compact Simulators[6]

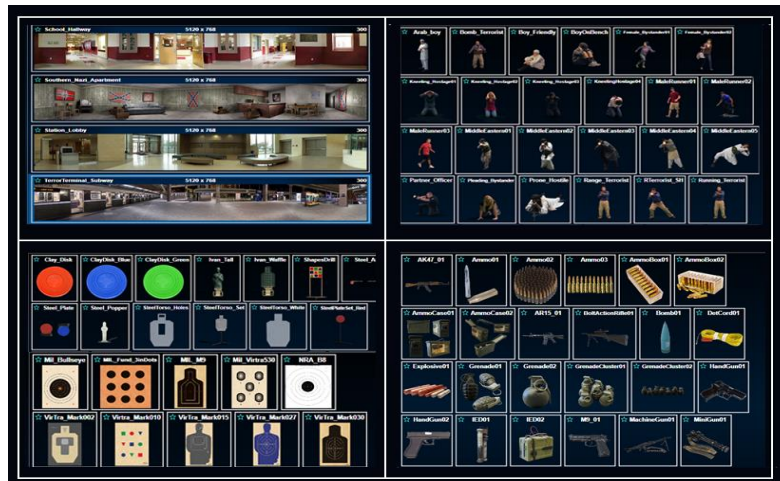
Η VirTra είναι μία από τις πρωτοπόρες εταιρίες στην κατασκευή προσομοιωτών για στρατιωτική και αστυνομική εκπαίδευση. Ο πιο προηγμένος προσομοιωτής μάχης στον κόσμο (V-300™) έχει κατασκευαστεί από αυτή την εταιρία προσφέροντας την πιο ρεαλιστική εμπειρία στους εκπαιδευόμενους φέρνοντας τους αντιμέτωπους με πολύ δύσκολες καταστάσεις. Φυσικά η VirTra προσφέρει μία πλήρη σειρά προσομοιωτών μάχης καθώς και κατάλληλο εξοπλισμό.



Σχ.2.1: Οι προσομοιωτές της VirTra V-100™, V-180™, V-300™

Το περιεχόμενο της εκπαίδευσης περιλαμβάνει βίντεο και ρεαλιστικά σενάρια με απίστευτη ποιότητα ήχου, προσφέροντας την δυνατότητα επίγνωσης της κατάστασης, την επαφή και την κάλυψη από την απειλή καθώς και την αξιολόγηση της.

Επιπρόσθετα στους εκπαιδευτές προσφέρεται ένα λογισμικό(V-AuthoTM) με μία γκάμα από εργαλεία για να μπορεί να μεταβάλλει το επίπεδο δυσκολίας της εκπαίδευσης ανάλογα με τον κάθε εκπαιδευόμενο. Συγκεκριμένα τους δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας και επεξεργασίας σεναρίων παρέχοντας τους διάφορα μοντέλα(όπλα, στόχους, πολίτες κτλ.) και περιβάλλοντα.



Σχ.2.2 Το Λογισμικό V-AuthoTM με δυνατότητα δημιουργίας νέων σεναρίων αλλά και επεξεργασία υφιστάμενων

Μια άλλη επεκτατική δυνατότητα των προσομοιωτών της VirTra είναι για ασκήσεις CQB(Close Quarters Battle) και room-clearing. Με την προσθήκη της δυνατότητας της παραβίασης πόρτας(breach-able door), ο εκπαιδευτής μπορεί να διδάξει τις βασικές έννοιες σε τεχνικές αναζήτησης κτηρίου. Συγκεκριμένα ένας εκπαιδευτής μπορεί να καλύψει περιπτώσεις όπως η προσέγγιση, η αναζήτηση σε χαμηλό φωτισμό, η ατομική και η ομαδική είσοδο και τον έλεγχο υπόπτου.

Επιπλέον η VirTra προσφέρει τροποποιημένα όπλα με τον γεμιστήρα να περιέχει αδρανές CO₂ προσφέροντας ασφάλεια, ρεαλιστική ανάκρουση και εξοικονόμηση πυρομαχικών, μειώνοντας έτσι δραματικά το κόστος της εκπαίδευσης. Παράλληλα η VirTra προσφέρει μια γρήγορη και μη-μόνιμη μετατροπή σε laser recoil kits αφαιρώντας μερικά μέρη του αληθινού όπλου, μετατρέποντας το σε ένα εκπαιδευτικό όπλο εμποδίζοντας μία πραγματική βολή!

Αναμφίβολα Η VirTra κατάφερε να εντάξει και τις «συνέπειες» στην προσομοίωση κάτι που οι εκπαιδευόμενοι δεν βίωναν σε παρόμοιες προσομοιώσεις εκπαίδευσης. Η προαιρετική συσκευή Threat-Fire™ προσομοιώνει με ασφάλεια την επιστροφή των εχθρικών πυρών με ένα ακίνδυνο ηλεκτρικό παλμό, η οποία είναι αρκετή για να προσθέσει το στρες των πραγματικών συνεπειών κατά την διάρκεια μιας αποστολής βελτιώνοντας έτσι σημαντικά την αποτελεσματικότητα της εκπαίδευσης. Ουσιαστικά ενισχύονται οι επιδόσεις υπό πίεση και αυξάνονται οι πιθανότητες επιτυχίας των πραγματικών αποστολών πετυχαίνοντας υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης.



Σχ.2.3 Η συσκευή Threat-Fire™ τοποθετημένη στη ζώνη του εκπαιδευόμενου

2.3.1 Organic Motion – LIVE for Military[7]

Η Organic Motion είναι η μοναδική εταιρία στον κόσμο των επιχειρήσεων της πληροφορικής, η οποία ανέπτυξε markerless motion capture συστήματα για κινούμενα σχέδια, διάφορες επιστήμες αλλά και για στρατιωτική εκπαίδευση. Συστήματα που απαιτούν ειδικές στολές και markers έχουν αντικατασταθεί από την προηγμένη τεχνολογία markerless, η οποία μπορεί να συλλάβει φυσικά και χωρίς περιορισμούς την κίνηση.

Οι στρατιωτικές και αστυνομικές υπηρεσίες αξιοποιούν την LIVE motion capture τεχνολογία για να ξαναδημιουργήσουν αυθεντικά σενάρια για εκπαίδευση. Το σύστημα LIVE επιτρέπει την αλληλεπίδραση με ψηφιακούς κινούμενους χαρακτήρες σε σενάρια για εκπαίδευση με ένα φυσικό και διαισθητικό τρόπο.

Η Organic Motion LIVE (Live Interactive Virtual Environment) προσφέρει μια μοναδική role-play εκπαίδευση σε πολύ χαμηλό κόστος. Το σύστημα επιτρέπει σε ηθοποιούς να

οδηγούν ρεαλιστικά, ψηφιακά κινούμενους χαρακτήρες εξ 'αποστάσεως. Πρακτικά το σύστημα λειτουργεί με τη χρήσης προηγμένης τεχνολογίας καταγραφής κίνησης για να μετατρέψει την ερμηνεία του ηθοποιού σε ένα ψηφιακό προβαλλόμενο χαρακτήρα μέσα σε ένα εικονικό περιβάλλον εκπαίδευσης.

Το LIVE επιτρέπει στους στρατιώτες να συμμετέχουν σε μια προσομοιωμένη αποστολή, η οποία μπορεί εύκολα και γρήγορα να τροποποιηθεί από μια απεριόριστη λίστα ρυθμίσεων εκπαίδευσης.

Φυσικού μεγέθους χαρακτήρες μπορούν να προβληθούν σε οποιοδήποτε τοίχο, οι οποίοι μπορεί να δημιουργήθηκαν μερικές στιγμές πριν αρχίσει η εκπαίδευση με μόνο μερικά κλικ του ποντικιού. Οι διαχειριστές της εκπαίδευσης ή αλλιώς οι ίδιοι οι εκπαιδευτές μπορούν να αλλάξουν τα στοιχεία του σεναρίου σε πραγματικό χρόνο για να ανταποκριθούν σε νέες ενέργειες οι εκπαιδευόμενοι. Αυτό μπορεί να γίνει από οποιοδήποτε χώρο χρησιμοποιώντας έναν υπολογιστή ή ένα touch screen tablet.



Σχ.2.4 Οι χαρακτήρες προβάλλονται σε πραγματικό μέγεθος από τον ξεχωριστό LIVE Projector Unit.

Όλοι οι εικονικοί χαρακτήρες μπορούν να ελέγχονται από ένα ηθοποιό ο οποίος βρίσκεται σε ένα markerless motion capture θάλαμο. Ο ηθοποιός δεν χρειάζεται να φέρει κάποια ειδική στολή, το μόνο χρειάζεται να κάνει είναι να πατήσει ένα κουμπί για ρυθμιστεί το σύστημα σύμφωνα με το πρόσωπο και το σώμα τους. Αυτή η διαδικασία ολοκληρώνεται εντός δευτερολέπτων και μετά ο ηθοποιός έχει τον έλεγχο του σώματος και τις εκφράσεις του προσώπου (όπως το ανοιγοκλείσιμο των ματιών ακόμα και την κίνηση των κόρων του ματιού!) οποιοδήποτε εικονικού χαρακτήρα υποδύονται. Ακόμη το σύστημα περιέχει λογισμικό τροποποίησης φωνής, το οποίο ανταποκρίνεται αυτόματα καθώς ο ηθοποιός μετακινείται από χαρακτήρα σε χαρακτήρα, επιτρέποντας στον ηθοποιό να ελέγχει χαρακτήρες κάθε ηλικίας ή φύλου.

Ψηφιακοί χαρακτήρες που δεν υποδύονται από ηθοποιούς, εναπόκειται στον διαχειριστή της εκπαίδευσης να ελέγξει την συναισθηματική τους κατάσταση ή να χρησιμοποιήσει έτοιμα μοντέλα από μία προσαρμόσιμη βιβλιοθήκη που διατίθεται. Ο διαχειριστής μπορεί ακόμη να αλλάξει ή και να δώσει αντικείμενα στους εικονικούς χαρακτήρες κατά την διάρκεια του σεναρίου, όπως όπλα, κινητό τηλέφωνο ή και παιχνίδια και διάφορα άλλα αντικείμενα. Μετά την επιλογή αντικειμένου από τον εκπαιδευτή-διαχειριστή μπορεί να ενεργοποιηθεί από τον ηθοποιό.

Αν ένας χαρακτήρας μετατραπεί σε απειλή, οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν είτε εικονικά είτε πραγματικά όπλα για να εξουδετερώσουν την απειλή. Το σύστημα στόχευσης για εικονικά όπλα του LIVE ανταποκρίνεται σε διάφορες συχνότητες λέιζερ. Συνάμα για την στόχευση από πραγματικά πυροβόλα χρησιμοποιείται κάμερα ανίχνευσης θερμότητας.

Το LIVE μπορεί να αναπαραστήσει ακόμα και τον τραυματισμό ή τον θάνατο των εικονικών χαρακτήρων από πυρά. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει ανατομική αναπαράσταση της βλάβης ή της καταστροφής εσωτερικών οργάνων και οστών με αποτέλεσμα τον τραυματισμό ή τον θάνατο του ψηφιακού χαρακτήρα. Έτσι ένας τραυματισμένος ή ετοιμοθάνατος χαρακτήρας τίθεται σε μία ορισμένη συμπεριφορά(default behavior mode) και ανταποκρίνεται αυτόματα και ανάλογα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι κινήσεις του ηθοποιού.



Σχ.2.5 Δυνατότητα προβολής της ζημιάς του τραυματισμού του χαρακτήρα από την σφαίρα

Άλλα στοιχεία και περιβάλλοντα που παρέχει το σύστημα LIVE είναι εικονικά πεδία βολής με διάφορες λειτουργίες σκοποβολής, όπως για παράδειγμα κινούμενους στόχους. Καθώς και εικονική βολή ελεύθερου σκοπευτή με δυνατότητες μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, την κατεύθυνση και την πτώση της σφαίρας. Ακόμη παρέχεται και η δυνατότητα αλλαγής των μεταβλητών της βαλλιστικής για να ταιριάζουν με αυτές του όπλου που χρησιμοποιεί ο εκπαιδευόμενος κατά τη διάρκεια της βολής.

Τέλος ένα σημαντικό συστατικό οποιουδήποτε συστήματος εκπαίδευσης είναι η προβολή ολοκληρωμένης επανεξέτασης της δράσης, δηλαδή ο εκπαιδευτής μπορεί να δει ξανά όλη την εκτέλεση του σεναρίου και να αξιολογήσει τις δυνατότητες του/ων εκπαιδευόμενου/ων. Όλες οι ενότητες του σεναρίου καταγράφονται από ένα σύστημα με IP κάμερες και προβάλλονται με το τέλος του σεναρίου.

Γενικότερα το σύστημα LIVE αυτά που προσφέρει επιπλέον από οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο σύστημα είναι:

- Ένα υψηλό επίπεδο ρεαλισμό για εκπαίδευση σε περιπτώσεις μάχης σε μια πόλη ή ειδικών αποστολών.
- Μείωση των εξόδων για την καταγραφή σεναρίων με πολλούς ηθοποιούς.
- Προβολή ψηφιακών κινούμενων χαρακτήρων στο διπλανό δωμάτιο ή οπουδήποτε αλλού στο κόσμο.

Κεφάλαιο 3

Σχεδίαση Συστήματος

3.1 Εισαγωγή

3.2. Εργαλεία

3.3 Βιβλιοθήκες

3.4 Απαιτήσεις Συστήματος

3.4.1. Απαιτήσεις Λογισμικού

3.4.2 Απαιτήσεις Υλικού

3.5 Αρχιτεκτονική Συστήματος

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα εργαλεία και οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτού του συστήματος. Επίσης θα οριστούν οι απαιτήσεις λογισμικού και υλικού για την ομαλή και ολοκληρωμένη ανάπτυξη του συστήματος. Τέλος θα παρουσιαστεί η αρχιτεκτονική του συστήματος και πως αυτό θα συνδεθεί με το γραφικό περιβάλλον.

3.2 Εργαλεία

Για την ανάπτυξη του συστήματος χρειάστηκαν μερικά εργαλεία τόσο για την σύνδεση του υλικού εξοπλισμού όσο και για την ανάπτυξη του κώδικα.

Visual Studio Ultimate 2013

Το Visual Studio Ultimate 2013 είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον σχεδιασμού, ανάπτυξης και εκσυγχρονισμού εφαρμογών. Με τη χρήση αυτού του εργαλείου θα αναπτυχθεί ο κώδικας του συστήματος. Το σύστημα θα γραφεί σε γλώσσα C/C++ αλλά για να μπορεί το Visual Studio να αναγνωρίζει τις διάφορες συναρτήσεις και τους τύπους των μεταβλητών της Υπολογιστικής Όρασης πρέπει να γίνει η ενσωμάτωση κατάλληλης βιβλιοθήκης, η OpenCV.

Unity[10]

Το Unity είναι ένα σύστημα ανάπτυξης παιχνιδιών. Μια ισχυρή και ιδανική μηχανή για rendering, πλήρως εξοπλισμένη με ένα πλήρες σύνολο εύχρηστων εργαλείων για τη δημιουργία τρισδιάστατου και δισδιάστατου διαδραστικού περιεχομένου. Στο Unity Asset Store μπορεί κανείς να βρει εκατοντάδες asset packages από textures μέχρι διάφορα υλικά και αντικείμενα, από ηχητικά εφέ μέχρι 3D μοντέλα, animations, ακόμη και tutorials αλλά και έτοιμα projects. Στο Unity αναπτύχθηκε ο κώδικας για το γραφικό περιβάλλον του συστήματος.

3.3 Βιβλιοθήκες

OpenCV[11]

Η OpenCV είναι μια ανοικτού κώδικα υπολογιστικής όρασης βιβλιοθήκη. Η βιβλιοθήκη αυτή είναι γραμμένη σε C και C++ και μπορεί να τρέξει στις πλατφόρμες Linux, Windows και Mac OS X. Το πιο σημαντικό κομμάτι της OpenCV είναι η αρχιτεκτονική της και δυνατότητα της διαχείρισης μνήμης, έχει σχεδιαστεί για υπολογιστική αποδοτικότητα και με ιδιαίτερη έμφαση για real-time εφαρμογές. Η OpenCV παρέχει ένα πλαίσιο στο οποίο μπορεί κανείς εύκολα και γρήγορα να χτίσει εξειδικευμένες εφαρμογές. Η βιβλιοθήκη περιέχει πάνω από 500 συναρτήσεις οι οποίες καλύπτουν τομείς της όρασης, τον εργοστασιακό έλεγχο προϊόντων, τις ιατρικές εικόνες, την ασφάλεια, την διεπαφή χρήστη, την βαθμονόμηση κάμερας, την στερεοσκοπική όραση και την ρομποτική.

Τα built-in modules της OpenCV είναι αρκετά ισχυρά και ευέλικτα για να λύσουν τα περισσότερα προβλήματα της υπολογιστικής όρασης, για τα οποία καθιερωμένες λύσεις είναι διαθέσιμες. Με αυτή την βιβλιοθήκη θα χρησιμοποιηθούν συναρτήσεις για την υλοποίηση των πιο βασικών λειτουργιών του συστήματος, όπως την βαθμονόμηση της κάμερας, την ανίχνευση της θέσης του λέιζερ, την εφαρμογή μορφολογικών φίλτρων και χρωματικών διορθώσεων των καρτέ.

Windows Sockets 2[7]

Τα Windows Sockets 2 παρέχουν μερικές βιβλιοθήκες οι οποίες επιτρέπουν στους προγραμματιστές την δημιουργία προηγμένων εφαρμογών δικτύου για την μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε πρωτόκολλο. Είναι ιδανικά για εφαρμογές γραμμένες σε C/C++ και εφόσον το σύστημα θα τρέχει σε πλατφόρμα Windows τότε καθιστά εφικτή τη χρήση αυτού του είδους δικτύωσης των Windows. Και γι' αυτό το λόγο η

επικοινωνία από την μεριά του εξυπηρετητή(server) έχει υλοποιηθεί με τις βιβλιοθήκες Winsock2.h & w2tcpip.h.

3.4 Απαιτήσεις Συστήματος

3.4.1 Απαιτήσεις Λογισμικού

Κατά την δημιουργία του συστήματος λήφθηκε υπόψη ότι θα τρέχει παράλληλα με την εφαρμογή του γραφικού περιβάλλοντος. Επειδή η εφαρμογή του γραφικού περιβάλλοντος έχει αναπτυχθεί στην πλατφόρμα Unity η οποία τρέχει σε Windows για το λόγο αυτό το σύστημα έχει αναπτυχθεί για Windows 7 και άνω με την δυνατότητα χρήσης περισσότερων υπηρεσιών και βιβλιοθηκών που προσφέρουν το λειτουργικό σύστημα Windows.

3.4.2 Απαιτήσεις Υλικού

Για την σωστή και καλή λειτουργία του συστήματος λήφθηκαν υπόψη κάποιες σημαντικές απαιτήσεις υλικού που πρέπει να ικανοποιούνται. Αυτές οι απαιτήσεις σχετίζονται με τη κάμερα, το μηχάνημα προβολής (projector), το λέιζερ και τον H/Y.

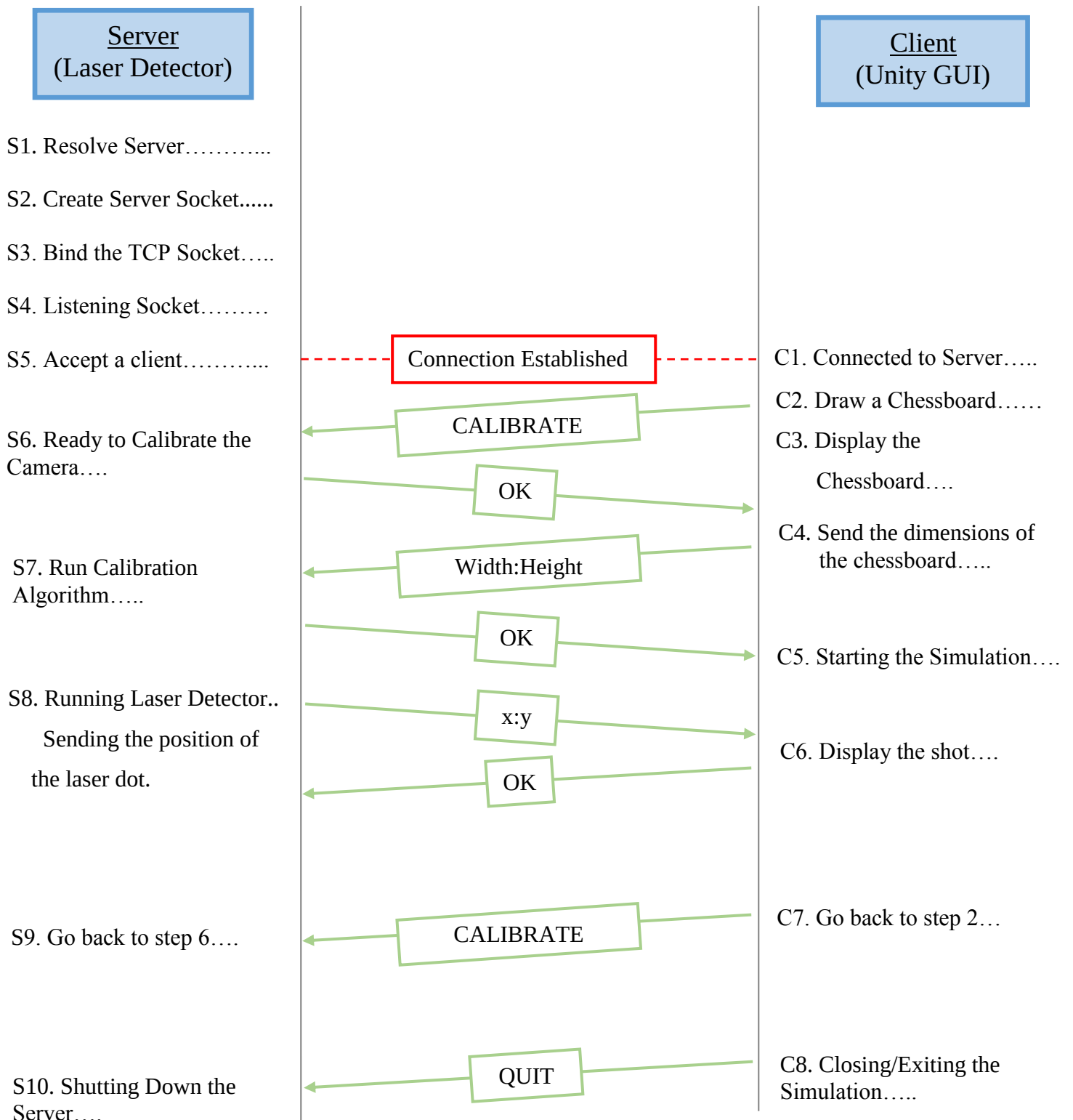
Καταρχάς απαιτείται μια καλής ποιότητας κάμερα, στην οποία να μπορεί κανείς εύκολα να ρυθμίσει προγραμματιστικά κάποιες βασικές ρυθμίσεις της, όπως για παράδειγμα το exposure, zoom, gain, focus, contrast κτλ. Αλλά απαιτείται επίσης και να έχει καλή ανάλυση εικόνας για την ακριβή ανίχνευση της θέσης του λέιζερ. Μια ιδανική ανάλυση εικόνας είναι τουλάχιστον 1920x1080 και 5Megapixel και άνω.

Για το μηχάνημα προβολής απαιτείται να έχει ανάλυση από 1024x768 και άνω, φωτεινότητα από 3000 lumens και άνω, και αντίθεση 10000:1 και άνω.

Για το λέιζερ απαιτείται να είναι εμφανές και αρκετά φωτεινό σε χρώμα κόκκινο. Συγκεκριμένα η ισχύς του λέιζερ να είναι 1mW και η διάμετρος της δέσμης φωτός να είναι τουλάχιστον 5mm.

Τέλος για τον H/Y απαιτείται να έχει γρήγορο επεξεργαστή και την κατάλληλη RAM ούτως ώστε να μπορούν να τρέξουν 2 προγράμματα παράλληλα αλλά και για την ομαλή και γρήγορη λήψη εικόνων από την κάμερα.

3.5 Αρχιτεκτονική Συστήματος



Σχ.3.1 Διάγραμμα Επικοινωνίας μεταξύ των 2 εφαρμογών

Στη πιο πάνω εικόνα 3.1 φαίνεται η επικοινωνία μεταξύ των 2 εφαρμογών με TCP/IP πρωτόκολλο.

Αρχικά ξεκινά η εφαρμογή Laser Detector/Server και από το βήμα S1 μέχρι το S4 δημιουργείται ένα socket και περιμένει να ενωθεί ένας client. Όταν ξεκινήσει και η δεύτερη εφαρμογή εγκαθιδρύεται μία TCP σύνδεση μεταξύ του GUI/client και του Laser Detector/Server(βήμα S5 & αντίστοιχα C1). Έπειτα ο client στέλνει μήνυμα «CALIBRATE» υποδεικνύοντας ότι πρόκειται να φτιάξει μια σκακιέρα σύμφωνα με τις διαστάσεις του monitor της οθόνης του υπολογιστή του. Όταν ο Server λάβει αυτό το μήνυμα ετοιμάζεται για την βαθμονόμηση της κάμερας και απαντά «OK» στον client (βήμα S6). Εντωμεταξύ ο client σχεδιάζει την σκακιέρα και την προβάλλει στην οθόνη προβολής του projector(βήμα C2 & C3). Μετά την λήψη της θετικής απάντησης «OK» από τον Server ο client αποστέλλει σε ένα άλλο πακέτο τις διαστάσεις της σκακιέρας στο Server, έχοντας το μήνυμα αυτή την μορφή «width:height»(βήμα C4). Αφού ληφθεί με επιτυχία το πακέτο που περιέχει τις διαστάσεις της σκακιέρας, ξεκινάει το βήμα S7, τίθεται δηλαδή σε λειτουργία ο αλγόριθμος της βαθμονόμησης της κάμερας.

Ο αλγόριθμος βαθμονόμησης της κάμερας έχει ως στόχο την εύρεση της σχέσης μεταξύ των μετρήσεων της κάμερας με τις μετρήσεις του πραγματικού κόσμου. Συγκεκριμένα θα πρέπει να μετατρέψουμε τις συντεταγμένες από την επιφάνεια της οθόνης προβολής από την εικόνα που έχει τραβήξει η κάμερα σε συντεταγμένες της οθόνης του υπολογιστή. Ως εκ τούτου, πρέπει να υπολογιστεί ένας πίνακας μετασχηματισμού. Χρησιμοποιώντας μια σκακιέρα της οποίας είναι γνωστά τα σημεία κορυφής των τετραγώνων που την αποτελούν μπορούμε να υπολογίσουμε αυτόν το πίνακα. Αυτός ο πίνακας μετασχηματισμού ονομάζεται πίνακας ομογραφίας, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί από τον αλγόριθμό Laser Detector για να μετατρέψει την θέση του λείζερ που ανιχνεύεται από το καρέ(frame) της κάμερας στην αντίστοιχη θέση της οθόνης του υπολογιστή. Έτσι όταν υπολογιστεί επιτυχώς η ομογραφία της σκηνής ο Sever στέλνει μήνυμα «OK» στο client υποδεικνύοντας ότι ολοκληρώθηκε με επιτυχία ο αλγόριθμος βαθμονόμησης της κάμερας. Στη συνέχεια ο client μπορεί πλέον να ξεκινήσει ένα σενάριο εκπαίδευσης(βήμα C5) και την ίδια στιγμή τίθεται σε λειτουργία ο αλγόριθμος ανίχνευσης του σημείου λείζερ από τον Server (βήμα S8).

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης έχει ως στόχο την εύρεση της θέσης του σημείου λείζερ. Συγκεκριμένα για κάθε εικόνα που παίρνουμε από την κάμερα την μετατρέπουμε από BRG σε HSV. Έπειτα εφαρμόζουμε ένα threshold στην νέα εικόνα σε κάθε κανάλι του HSV φάσματος. Μια HSV εικόνα αποτελείται από 3 κανάλια(H,S & V), όπου για το κάθε κανάλι

μπορούμε να ορίσουμε μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή. Το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στα H & V κανάλια, τα οποία αντιστοιχούν στην αναγνώριση χρώματος και στην μεταβολή της φωτεινότητας της εικόνας. Αφού επιλεγούν οι κατάλληλες τιμές για το κάθε κανάλι με την βοήθεια ενός υπό-προγράμματος, εντοπίζοντας στην εικόνα το πιο φωτεινό αντικείμενο, το οποίο αντικείμενο αντιστοιχεί στην κουκκίδα του λέιζερ. Έτσι μπορούμε να προχωρήσουμε στην εύρεση της θέσης του σημείου λέιζερ. Αλλά πρώτα θέλοντας να κάνουμε πιο εμφανές και πιο εύκολο τον υπολογισμό της θέσης του σημείου λέιζερ εφαρμόζουμε κάποια μορφολογικά φίλτρα στην εικόνα. Έπειτα βρίσκοντας τις συντεταγμένες του σημείου λέιζερ, ετοιμάζεται μήνυμα το οποίο περιέχει τις 2 τιμές και αποστέλλεται στον client. Ο client παίρνοντας αυτές τις 2 τιμές σχεδιάζει την βολή και στέλνει ένα ανάλογο μήνυμα. Αν η ανταπόκριση του client είναι «OK» τότε προχωράμε στον εντοπισμό καινούριου σημείου λέιζερ. Αλλιώς αν είναι «CALIBRATE» τότε σημαίνει ότι το σενάριο εκπαίδευσης έλαβε τέλος, έτσι ο server ετοιμάζεται ξανά για βαθμονόμηση της κάμερας. Αλλιώς αν η απάντηση είναι «QUIT» τότε ο προσομοιωτής πρόκειται να τερματίσσει έτσι ο server πρέπει να διακόψει την σύνδεση, κλείνοντας το socket και τερματίζοντας την λειτουργία του.

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση Συστήματος

4.1 Εισαγωγή

4.2 Βαθμονόμηση Κάμερας

4.2.1 Σχεδιασμός της Σκακιέρας

4.2.2 Εύρεση συντεταγμένων κορυφών της Σκακιέρας

4.2.3 Υπολογισμός Πίνακα Ομογραφίας

4.3 Ανίχνευση Λείζερ

4.3.1 Ρύθμιση των παραμέτρων της Κάμερας

4.3.1 HSV model

4.3.2 Μορφολογικά Φίλτρα

4.3.3 Εύρεση θέσης λείζερ

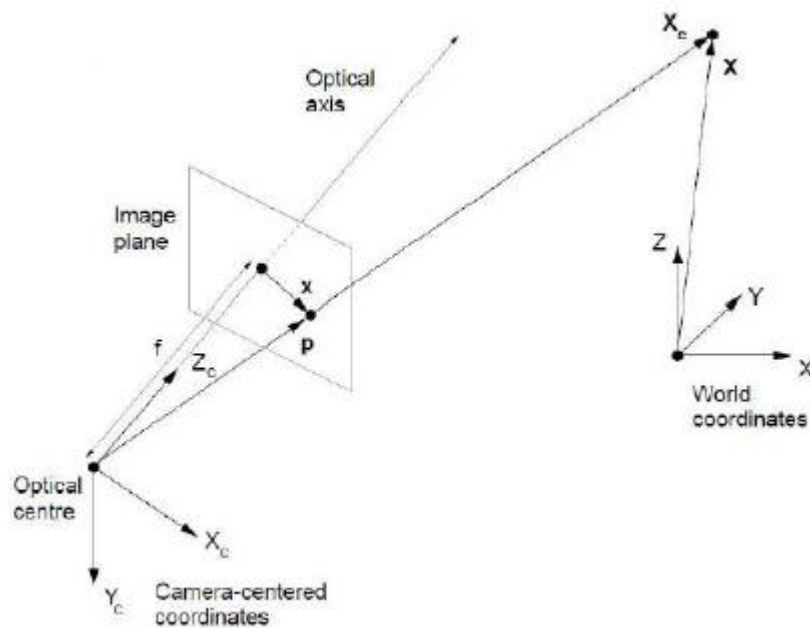
4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα καταγραφούν οι διεργασίες που έγιναν για την υλοποίηση του προσομοιωτή. Θα γίνει εκτενής αναφορά στην διαδικασία βαθμονόμησης της κάμερας, δηλαδή γιατί η επιλογή σκακιέρας για τη βαθμονόμηση, τι είναι η ομογραφία και πως υπολογίζεται. Στη συνέχεια θα αναλυθεί ο αλγόριθμός της ανίχνευσης της θέσης του λείζερ. Συγκεκριμένα θα καταγραφούν ποιες είναι οι προϋποθέσεις της κάμερας, δηλαδή πως πρέπει να ρυθμιστεί για να καταστεί δυνατή η ανίχνευση του σημείου λείζερ σε μία εικόνα. Ακόμη τι είναι τα μορφολογικά φίλτρα, ποια εφαρμόστηκαν και γιατί εφαρμόστηκαν. Τελευταίο και σημαντικότερο κομμάτι του αλγόριθμου ανίχνευσης είναι πως η εύρεση της θέσης του σημείου λείζερ από την οθόνη προβολής και την μετατροπή σε συντεταγμένες της οθόνης του υπολογιστή.

4.2 Βαθμονόμηση Κάμερας

Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι απαραίτητη για κάθε αισθητήρα. Με απλά λόγια, η βαθμονόμηση είναι η διαδικασία συσχέτισης των μετρήσεων του αισθητήρα με τις πραγματικές μετρήσεις. Μία κάμερα που είναι ένας αισθητήρας, πρέπει επίσης να

βαθμονομηθεί για να μας δώσει πληροφορίες σε φυσικές μονάδες. Χωρίς βαθμονόμηση μπορούμε να γνωρίζουμε μόνο τις συντεταγμένες της εικόνας που πήραμε από την κάμερα για τα αντικείμενα μας. Κάτι το οποίο δεν είναι τόσο χρήσιμο, ειδικά όταν κάποιος φτιάχνει ένα σύστημα υπολογιστικής όρασης για ένα ρομπότ, το οποίο αλληλεπιδρά με τον πραγματικό κόσμο. Αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας εικόνας από μία ελεγχόμενη σκηνή, μια σκηνή της οποίας γνωρίζουμε το περιέχει ένα κανονικό μοτίβο. Για τη βαθμονόμηση της κάμερας, είναι απαραίτητο πρώτα να κατανοήσουμε το μαθηματικό μοντέλο της κάμερας.



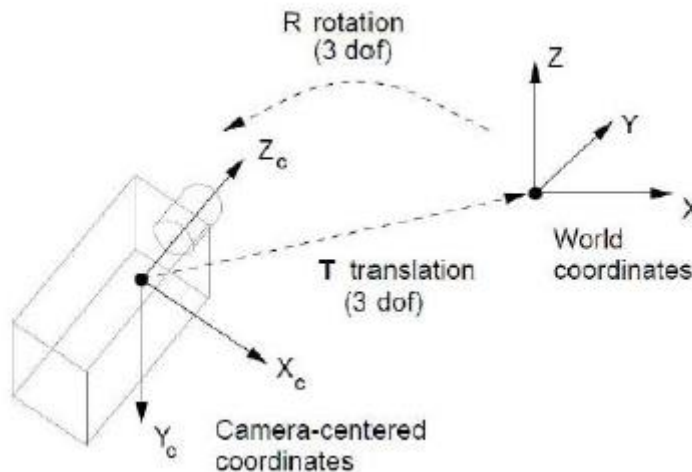
Σχ.4.1 Ένα απλό μοντέλο κάμερας περιγράφει την χαρτογράφηση των πραγματικών συντεταγμένων σε pixels

Το πιο πάνω σχήμα αναπαριστά ένα απλό μοντέλο κάμερας περιγράφοντας την χαρτογράφηση των πραγματικών συντεταγμένων του αντικειμένου σε συντεταγμένες της κάμερας, οι οποίες μετριοούνται σε pixel. Η διαδικασία μετατροπής από τις φυσικές συντεταγμένες-επίπεδο αντικειμένου σε pixels-επίπεδο εικόνας πρέπει να περάσει από 3 βασικούς μετασχηματισμούς.

Ο πρώτος μετασχηματισμός αφορά την περιστροφή και την μεταφορά μεταξύ της κάμερας και της σκηνής. Αποδίδουμε ένα σύστημα συντεταγμένων για τον κόσμο $\mathbf{X} = (X, Y, Z)$ και ένα άλλο για την κάμερα $\mathbf{X}_c = (X_c, Y_c, Z_c)$. Ο μετασχηματισμός μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$\mathbf{X}_c = \mathbf{R}\mathbf{X} + \mathbf{T}$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

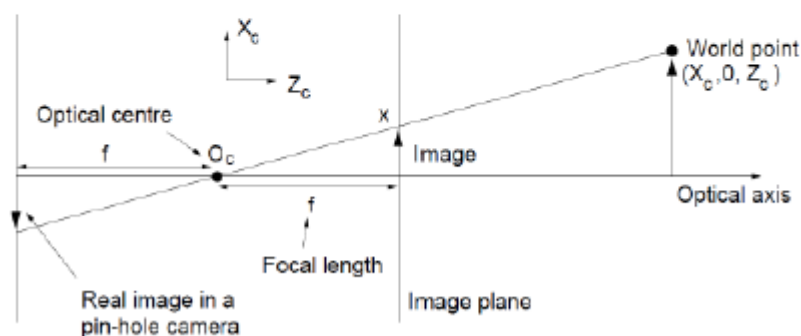


Σχ.4.2 Αυτός ο μετασχηματισμός ονομάζεται **Rigid Body Motion** μεταξύ της κάμερας και της σκηνής

Ο δεύτερος μετασχηματισμός αφορά την προοπτική προβολή πάνω στο επίπεδο της εικόνας που παίρνουμε από την κάμερα. Χρησιμοποιώντας τον κανόνα των όμοιων τριγώνων είναι εύκολο κανείς να δει τη σχέση μεταξύ των 2 συστημάτων συντεταγμένων του αντικειμένου .

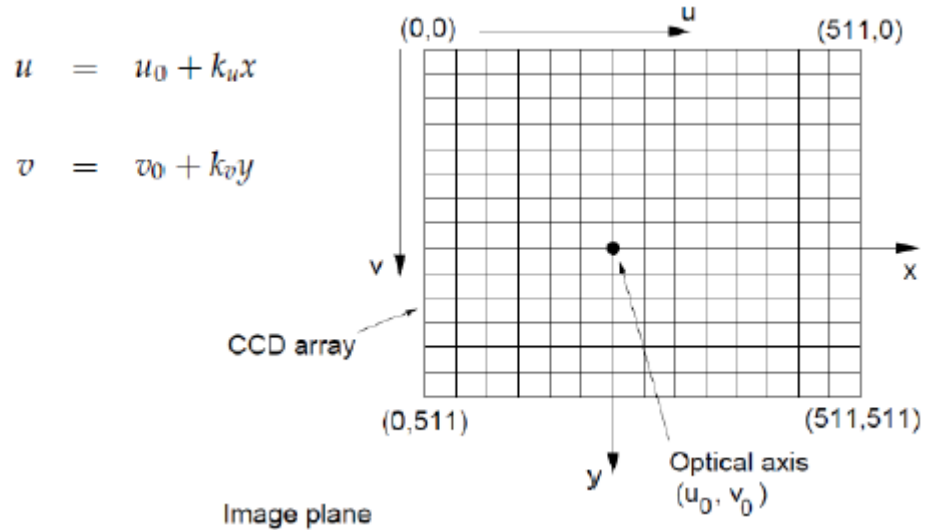
$$x = \frac{f}{Z_c} X_c$$

$$y = \frac{f}{Z_c} Y_c$$



Σχ.4.3 Η προοπτική προβολή στο επίπεδο της εικόνας

Και ο τρίτος παράγοντας αφορά την μετατροπή των συντεταγμένων της εικόνας σε pixel. Σε όλα τα λογισμικά απεικόνισης η αρχή των αξόνων της εικόνας είναι τοποθετημένη στην επάνω αριστερή γωνία. Επίσης ορίζουμε τις συντεταγμένες pixel ως $\mathbf{w} = (u,v)$ και τις συντεταγμένες του επιπέδου της εικόνας ως $\mathbf{x} = (x,y)$. Λαμβάνοντας αυτά τα 2 υπόψη, ισχύει η ακόλουθη σχέση:



Σχ. 4.4 Ο μετασχηματισμός CCD imaging, η γεωμετρία του CCD πίνακα και η θέση του σε σχέση με τον οπτικό άξονα.

Συνδυάζοντας τις 3 εξισώσεις έχουμε το πλήρες μοντέλο μιας κάμερας:

$$\left. \begin{aligned} u &= u_0 + k_u x \\ v &= v_0 + k_v y \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} u &= u_0 + k_u \frac{f}{Z_c} X_c \\ v &= v_0 + k_v \frac{f}{Z_c} Y_c \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} u &= u_0 + k_u f \frac{r_{11}X + r_{12}Y + r_{13}Z + T_x}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + T_z} \\ v &= v_0 + k_v f \frac{r_{21}X + r_{22}Y + r_{23}Z + T_y}{r_{31}X + r_{32}Y + r_{33}Z + T_z} \end{aligned}$$

Όμως σε αυτό σύστημα το ζητούμενο είναι η εύρεση μόνο των X και Y συντεταγμένων έτσι θεωρούμε το $Z = 0$ και χρησιμοποιώντας ομογενής συντεταγμένες η πιο πάνω σχέση απλοποιείται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} su \\ sv \\ s \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} k_u & 0 & u_0 \\ 0 & k_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}}_K \left[\begin{array}{ccc|c} & & & \\ & \mathbf{R} & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

Αυτή η εξίσωση περιέχει τις εσωτερικές (K) και εξωτερικές ([R|T]) παραμέτρους της κάμερας. Οι εσωτερικές παραμέτρους αποτελούν το focal length και το (k_u, k_v) και το (u_0, v_0) και τις εξωτερικές τις αποτελούν οι πίνακες περιστροφής(R) και μεταφοράς (T).

4.2.1 Σχεδίαση της Σκακιέρας

Όπως προαναφέρθηκε πιο πάνω η βαθμονόμηση επιτυγχάνεται όταν στην σκηνή βρίσκεται αντικείμενο με κανονικό μοτίβο. Η πιο πρακτική και εύκολη επιλογή είναι ένα κανονικό μοτίβο, όπως μία σκακιέρα. Η σκακιέρα στην προκειμένη περίπτωση δεν συμβάλει μόνο στην βαθμονόμηση της κάμερας αλλά και στην οριοθέτηση της οθόνης προβολής πάνω στο επίπεδο της εικόνας που παίρνουμε από την κάμερα. Άρα απαιτείται η δημιουργία σκακιέρας η οποία να προβάλλεται πλήρες στην οθόνη προβολής. Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκε ένα μικρός αλγόριθμος, ο οποίος με είσοδο τις διαστάσεις της οθόνης του υπολογιστή μπορεί να δημιουργήσει μια σκακιέρα. Η λογική αυτού του αλγορίθμου είναι η δημιουργία μιας λευκής εικόνας και στη συνέχεια την σχεδίαση εναλλάξ μαύρων τετραγώνων με μήκος πλευράς 100pixel. Η έξοδος αυτού του αλγορίθμου είναι η εικόνα με την σκακιέρα αλλά και 2 μετρητές των εσωτερικών κορυφών σε μία γραμμή και μία στήλη.

Ο ψευδοκώδικας του αλγορίθμου έχει ως εξής:

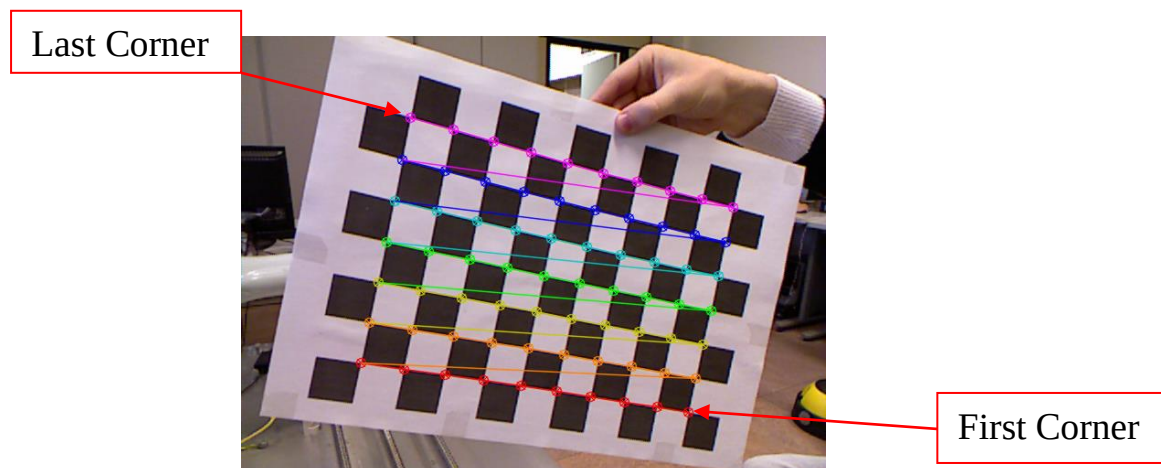
1. Δημιούργησε μια λευκή εικόνα με τις διαστάσεις(μήκος, πλάτος) που στάλθηκαν.
2. Όρισε το πλαίσιο της σκακιέρας. (Το πλαίσιο της σκακιέρας πιθανόν να μην έχει το ίδιο μήκος για τα 2 απέναντι ζεύγη πλευρών, πάνω-κάτω και αριστερά-δεξιά.)
 - 2.1. Διαίρεσε το μήκος με το 100, πάρε το υπόλοιπο και διαίρεσε το με 2. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει το μήκος του πλαισίου δεξιά και αριστερά και ως την ονομάσουμε paddingLeftRight. Αν αυτή η τιμή είναι ίση με μηδέν τότε το μήκος του πλαισίου δεξιά και αριστερά θα είναι 50pixel.

- 2.2. Διαίρεσε το πλάτος με το 100, πάρε το υπόλοιπο και διαίρεσε το με 2. Αυτή η τιμή αντιπροσωπεύει το μήκος του πλαισίου πάνω και κάτω και ας την ονομάσουμε `paddingTopBottom`. Αν αυτή η τιμή είναι ίση με μηδέν τότε το μήκος του πλαισίου πάνω και κάτω θα είναι 50pixel.
- 2.3. Όρισε το καινούριο πλάτος αφαιρώντας το διπλάσιο της τιμής της μεταβλητής `paddingTopBottom`.
- 2.4. Όρισε το καινούριο μήκος αφαιρώντας το διπλάσιο της τιμής της μεταβλητής `paddingLeftRight`.
3. Σε αυτό το σημείο αρχίζει ο σχεδιασμός μαύρων τετραγώνων σε εναλλάξ μοτίβο και ο υπολογισμός των μετρητών των εσωτερικών κορυφών ανά γραμμή και ανά στήλη.

4.2.2 Εύρεση συντεταγμένων κορυφών της Σκακιέρας[3]

Η εύρεση των εσωτερικών κορυφών της σκακιέρας αποτελεί σημαντικό βήμα για τον υπολογισμό του πίνακα ομογραφίας. Η OpenCV παρέχει συνάρτηση που κάνει ακριβώς αυτό. Με δεδομένο μια εικόνα σκακιέρας η συνάρτηση `cvFindChessboardCorners()` μπορεί να βρει τις κορυφές της σκακιέρας. Αυτή η συνάρτηση παίρνει ως είσοδο μια εικόνα που περιέχει μια σκακιέρα, τους 2 μετρητές των εσωτερικών κορυφών ανά γραμμή και ανά στήλη. Η έξοδος είναι ένας πίνακας ο οποίος περιέχει τις συντεταγμένες των εσωτερικών κορυφών της σκακιέρας. Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται σε 2 περιπτώσεις, η μία είναι για την εύρεση των τιμών των πραγματικών συντεταγμένων κορυφών της σκακιέρας και άλλη για την εύρεση των τιμών των συντεταγμένων στο επίπεδο της εικόνας από την κάμερα(Σχ.4.5.).

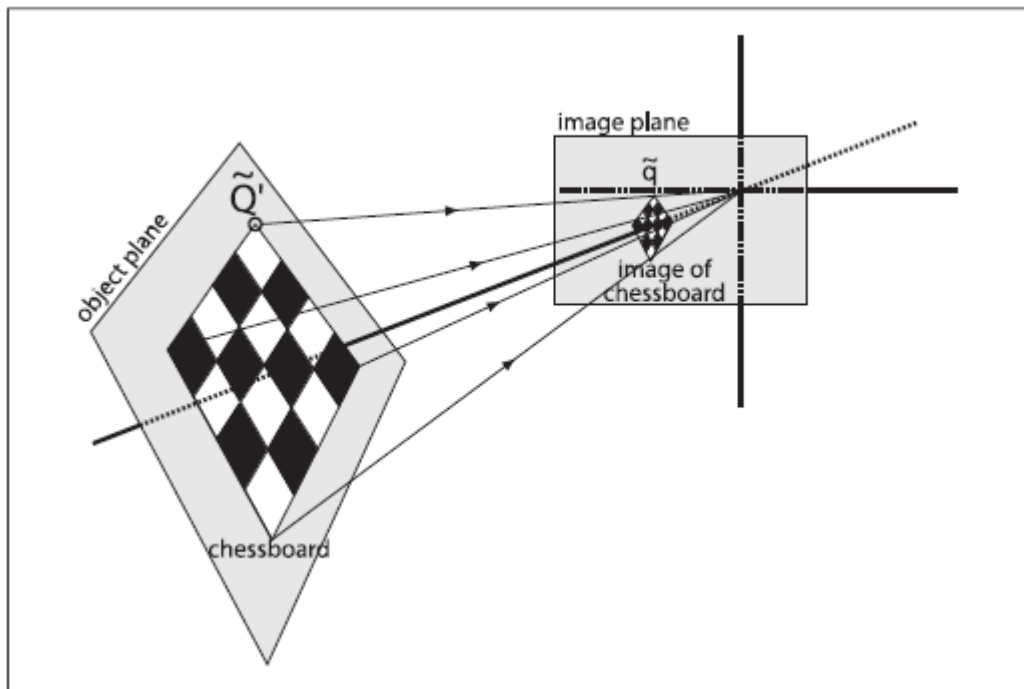
Οι γωνιές που επιστέφονται από την συνάρτηση είναι κατά προσέγγιση. Αυτό σημαίνει ότι θέσεις είναι ακριβής κατά ένα pixel. Άρα έχουμε 2 πίνακες με τις θέσεις των γωνιών της σκακιέρας, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του πίνακα της ομογραφίας.



Σχ.4.5 Επιτυχής ανίχνευση των εσωτερικών κορυφών μίας σκακιέρας

4.2.3 Υπολογισμός Πίνακα Ομογραφίας[2]

Στην Υπολογιστική Όραση, η ομογραφία είναι μία σχέση ενός 2D σημείου w με 2D σημείο w' . Η επίπεδη ομογραφία ορίζεται ως η προβολική απεικόνιση από ένα επίπεδο(object plane) σε ένα άλλο(image plane).



Σχ.4.6 Η όψη ενός επίπεδου αντικειμένου και εικόνας όπως περιγράφεται από την ομογραφία. Μια απεικόνιση από το επίπεδο αντικειμένου προς το επίπεδο εικόνας που κατανοεί ταυτόχρονα τις σχετικές θέσεις των δύο αυτών αντικειμένων, καθώς και τον πίνακα προβολής της κάμερας.

Η σχέση μεταξύ των επιπέδων χρησιμοποιώντας ομογενείς συντεταγμένες μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\tilde{w}' = H \tilde{w}$$

$$\begin{bmatrix} su' \\ sv' \\ s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}$$

- Όπου s είναι ένας αυθαίρετος παράγοντας, και συνήθως παίρνει τιμή ίση με 1.
- u' και v' είναι pixels του επιπέδου της εικόνας.
- u και v είναι φυσικά σημείου του επιπέδου αντικειμένου.
- Και ο πίνακας H περικλείει τις εσωτερικές και εξωτερικές παραμέτρους της κάμερας. Ο πίνακας H είναι σε κανονικοποιημένη μορφή, δηλαδή έχει διαιρεθεί ολόκληρος ο

πίνακας με ένα scale factor για να κάνει το $p_{33} = 1$. Έτσι τώρα έχει οκτώ βαθμούς ελευθερίας (8 dof) αντί 9.

Εφόσον η ομογραφία έχει 8 βαθμούς ελευθερίας ο υπολογισμός του πίνακα χρειάζεται τουλάχιστον 4 ζεύγη αντίστοιχων σημείων (point correspondences), δηλαδή 4 ζεύγη σημείων από το επίπεδο εικόνας και τα 4 αντίστοιχα ζεύγη από το επίπεδο αντικειμένου.

Η OpenCV παρέχει συνάρτηση η οποία υπολογίζει τον πίνακα ομογραφίας, `cvFindHomography()`. Αυτή η συνάρτηση παίρνει σαν είσοδο 2 πίνακες $N \times 2$ ή $N \times 3$ με $N \geq 4$ και επιστρέφει ένα 3×3 πίνακα. Στο παρόν σύστημα η είσοδος για αυτή την συνάρτηση ήταν ο πίνακας των πραγματικών τιμών των κορυφών της σκακιάρας και ο πίνακας των κορυφών της σκακιάρας από το επίπεδο εικόνας, όπως αναφέρθηκαν πιο πάνω.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω ο ρόλος της σκακιάρας δεν είναι μόνο η εύρεση του πίνακα ομογραφίας αλλά και η οριοθέτηση της οθόνης πάνω στο επίπεδο εικόνας. Άρα πρέπει να βρούμε τις 4 εξωτερικές κορυφές της σκακιάρας. Εφόσον έχει υπολογιστεί ο πίνακας ομογραφίας και γνωρίζοντας τις τιμές των κορυφών της σκακιάρας στο επίπεδο του αντικειμένου μπορεί κανείς πολύ εύκολα να υπολογίσει τις εξωτερικές κορυφές στο επίπεδο εικόνας. Οι τιμές των 4 εξωτερικών κορυφών στο επίπεδο αντικειμένου είναι γνωστές εφόσον γνωρίζουμε τις διαστάσεις της οθόνης του υπολογιστή, άρα το σύνολο έχει ως εξής: $\{(0,0), (\text{μήκος}, 0), (\text{μήκος}, \text{πλάτος}), (0, \text{πλάτος})\}$. Η OpenCV και πάλι παρέχει συνάρτηση η οποία με είσοδο ένα πίνακα 3×3 και ένα πίνακα $N \times 2$, $N \geq 4$ επιστρέφει ένα πίνακα $N \times 2$. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται `cvPerspectiveTransform()` και δίνοντας σαν είσοδο το πιο πάνω σύνολο συντεταγμένων και τον πίνακα ομογραφίας παίρνουμε τον πίνακα που περιέχει τις τιμές των 4 εξωτερικών κορυφών της σκακιάρας στο επίπεδο εικόνας.

4.3 Ανίχνευση Λείζερ

Ο αλγόριθμος ανίχνευσης προϋποθέτει κάποιες ρυθμίσεις πριν την ανίχνευση του σημείου λέιζερ. Συγκεκριμένα οι παραμέτροι της κάμερας πρέπει να ρυθμιστούν στις κατάλληλες τιμές αλλά και η προσαρμογή της εικόνας ανάλογα με το χρώμα του λέιζερ.

4.3.1 Ρύθμιση των παραμέτρων της Κάμερας[4]

Μια από τις προϋποθέσεις για την σωστή ανίχνευση του σημείου λέιζερ είναι η ρύθμιση των παραμέτρων της κάμερας ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος, και την δύναμη του λέιζερ. Για αυτό το λόγο ήταν απαραίτητο η χρήση μιας καλής ποιότητας κάμερα, η οποία να προσφέρει και την δυνατότητα ρύθμισης της μέσω της OpenCV. Η

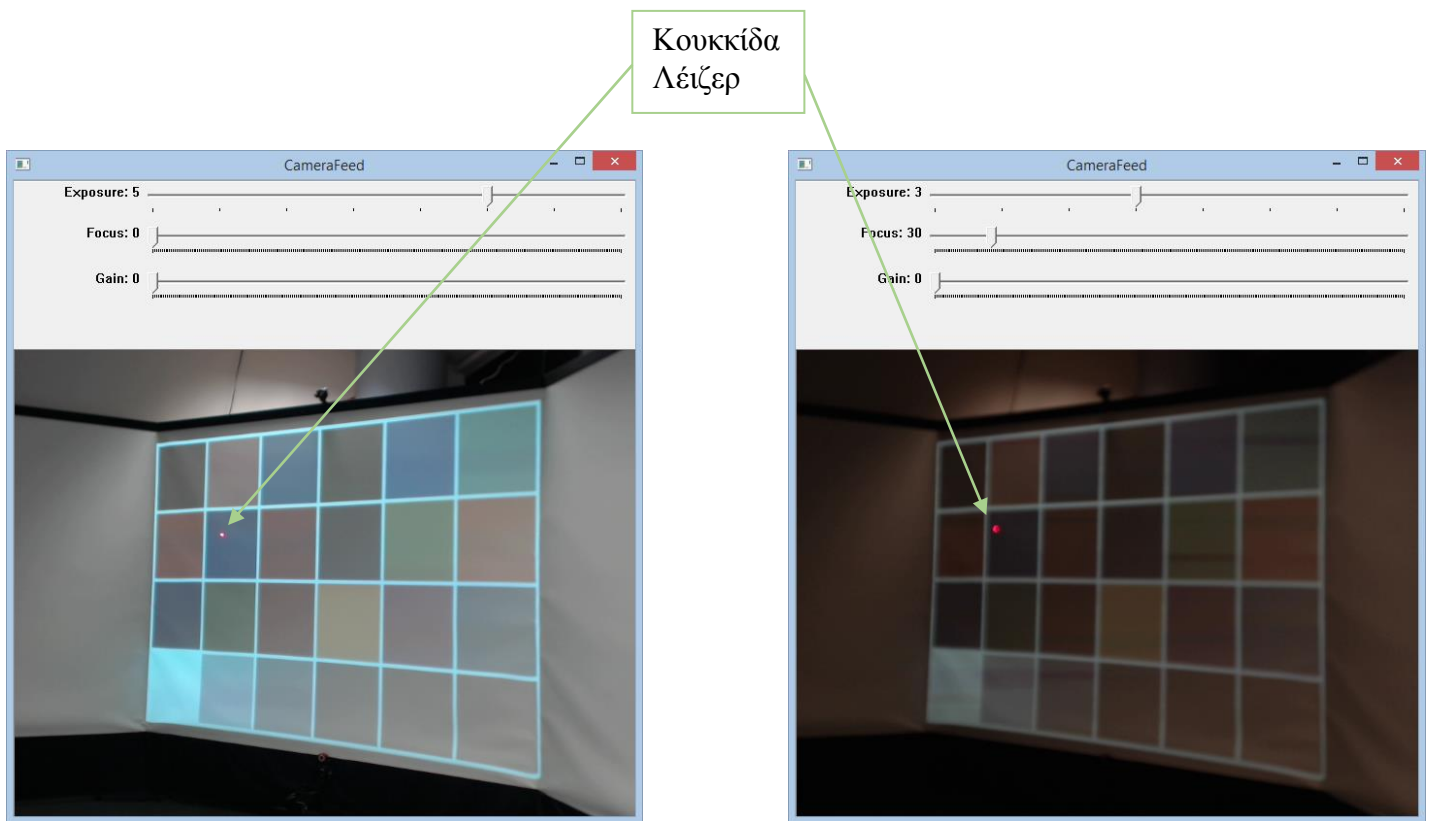
OpenCV προσφέρει πλούσιο έλεγχο μίας κάμερας, ωστόσο πόσες ρυθμίσεις μπορούν να διαμορφωθούν εξαρτάται από την ποιότητα της κάμερας.

Έτσι δοκιμάστηκαν 4 διαφορετικά είδη καμερών οι 2 ήταν webcams , η μία DSLR και η άλλη ήταν η PS Eye(η προαιρετική κάμερα της κονσόλας PlayStation). Η PS Eye και η μια εκ των 2 webcams αν και έδιναν πολύ γρήγορα δεδομένα εικόνας και η σύνδεση με το σύστημα ήταν απλά Plug&Play δεν μπορούσαν να ανιχνεύσουν επιτυχώς το σημείο λέιζερ σε οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος. Αλλά ούτε ήταν δυνατό ο έλεγχος των παραμέτρων τους μέσω της OpenCV. Αυτό συνέβαινε γιατί και 2 δεν είχαν καλή ανάλυση εικόνας ούτε την δυνατότητα ρύθμισης από 3rd party applications, έτσι απορρίφθηκαν. Προχωρώντας με την DSLR κάμερα, την Canon 7D παρατηρήθηκε ότι είναι ικανή να ανιχνεύσει το λέιζερ σε οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Παρόλο που δεν ήταν δυνατό ο έλεγχος των ρυθμίσεων της μέσω της OpenCV καταφέραμε μέσω 2 βοηθητικών προγραμμάτων να ενωθεί με το σύστημα, όμως αυτό πρόσθεσε κόστος στην μεταφορά δεδομένων της εικόνας στο σύστημα. Κάτι που έκανε την εφαρμογή να μην ανταποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο, ένα από τις βασικότερους στόχους της εφαρμογής, έτσι και αυτή απορρίφθηκε. Έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η Logitech HD Pro Webcam C920, η οποία είναι απόλυτα ευέλικτη και ρυθμιζόμενη από 3rd party applications, επιτρέποντας τον έλεγχο των περισσότερων βασικών ρυθμίσεων της.

Οι παραμέτροι της κάμερας που ρυθμίστηκαν είναι το exposure και το focus. Το exposure είναι η ποσότητα φωτός που περνά από τον φωτογραφικό φακό, καθορίζεται από την ταχύτητα του κλείστρου(shutter speed), το άνοιγμα του φακού(lens aperture) και την φωτεινότητα της σκηνής (scene luminance). Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε το φωτεινό projector και το λέιζερ. Το ζητούμενο είναι να μην βλέπουμε τον φωτεινό projector αλλά μόνο το λέιζερ, έτσι χαμηλώνοντας το exposure έχουμε το σκοτεινιάσμα της εικόνας. Με αυτό επιτεύχθηκε να μην φαίνονται τα φωτεινά χρώματα που προβάλλει ο projector και να φαίνεται αμυδρά μόνο το λέιζερ. Όμως το λέιζερ τώρα φαίνεται αμυδρά έτσι αλλάζοντας λίγο το focus της κάμερας με σκοπό το θόλωμα της εικόνας πετυχαίνουμε το μέγιστο του σημείου λέιζερ.

Οι πιο πάνω ρυθμίσεις των παραμέτρων της κάμερας έγιναν μία φορά μέσω ενός προγράμματος που δεν ανήκει στο σύστημα που αναπτύχθηκε ειδικά για την ρύθμιση των παραμέτρων της κάμερας και των χαρακτηριστικών της εικόνας. Οι τιμές που πάρθηκαν για αυτές τις παραμέτροι είναι οι εξής:

- Exposure: - 3
- Focus: 30



Σχ.4.7 Η προβολή του σημείου λείζερ με τις default τιμές της κάμερας(αριστερή εικόνα) και τις ρυθμιζόμενες(δεξιά εικόνα).

4.3.1 HSV model[9]

Η πιο συχνή χρήση χρωματικού μοντέλου στους υπολογιστές είναι το RGB. Σε αυτό το μοντέλο κάθε χρώμα παρουσιάζεται από τις τιμές των 3 βασικών χρωμάτων: κόκκινο, πράσινο και μπλε. Στην επεξεργασία εικόνας ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται το HSV χρωματικό μοντέλο, δεδομένου ότι είναι πιο εύκολο να ξεχωρίσεις τα χρώματα σε σχέση το RGB. Το HSV μοντέλο αποτελείται από 3 κανάλια, hue, saturation και value. Στην OpenCV το εύρος τιμών για αυτά τα 3 κανάλια είναι αντίστοιχα 0-179, 0-255, 0-255. Το Hue αντιπροσωπεύει το χρώμα, το Saturation αντιπροσωπεύει το πόσο αυτό το χρώμα έχει αναμιχθεί με το λευκό και το Value αντιπροσωπεύει το πόσο το χρώμα έχει αναμιχθεί με το μαύρο.

Οι προσεγγιστικές τιμές του Hue στα βασικά χρώματα είναι η εξής:

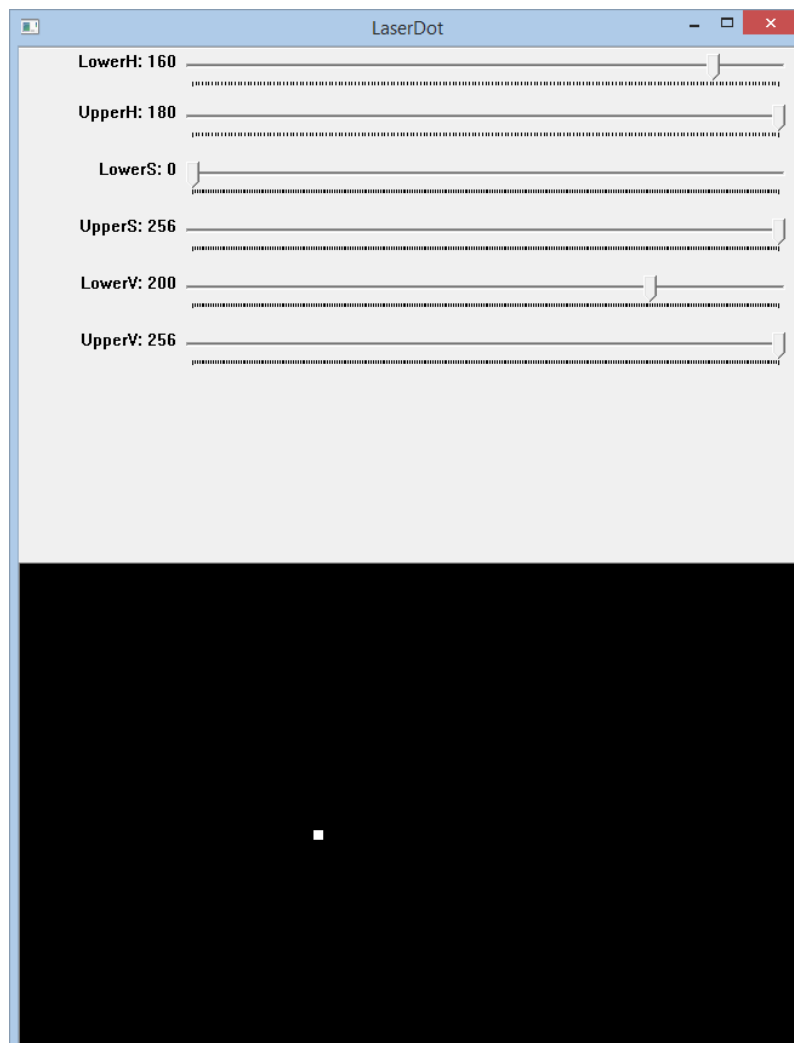
- Πορτοκαλί 0 - 22
- Κίτρινο 22 - 38
- Πράσινο 38 - 75
- Μπλε 75 - 130
- Βιολετί 130 - 160
- Κόκκινο 160 - 179



Ο ορισμός των τιμών για το Saturation και το Value εξαρτώνται από τις συνθήκες φωτισμού του περιβάλλοντος, καθώς και από την επιφάνεια του αντικειμένου.

Ο ορισμός των τιμών για τα 3 κανάλια έγινε από το ίδιο πρόγραμμα που ορίστηκαν οι ρυθμίσεις της κάμερας. Στην προκειμένη περίπτωση το εύρος τιμών που πάρθηκαν είναι τα εξής:

- Hue: 160-179
- Saturation: 0 - 255
- Value: 200 - 255

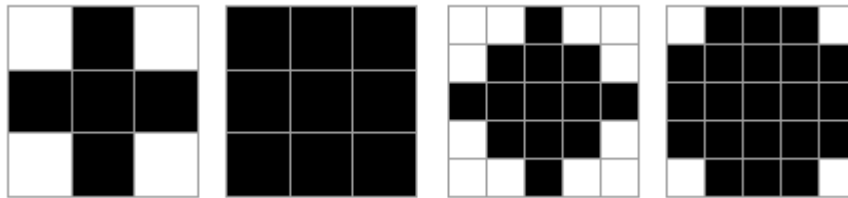


Σχ.4.8 Η κατωφλίωση των 3 καναλιών του HSV μοντέλου

4.3.2 Μορφολογικά Φίλτρα[9]

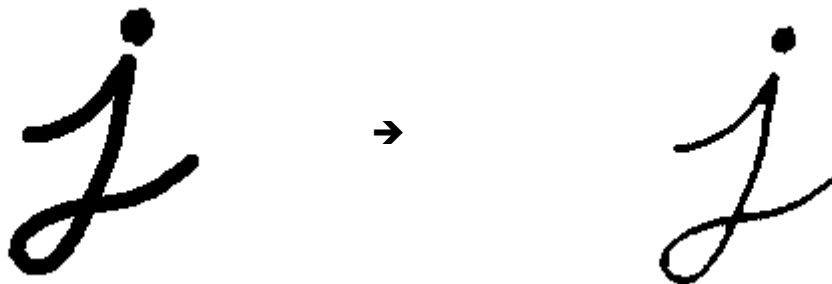
Οι μορφολογικές λειτουργίες επηρεάζουν το σχήμα των αντικειμένων και των περιοχών στις δυαδικές εικόνες. Δυαδικές εικόνες ονομάζονται οι μαυρόασπρες. Αυτά τα φίλτρα εφαρμόζουν ένα δομικό στοιχείο/παράθυρο σε μια εικόνα εισόδου και δημιουργείται μια νέα εικόνα εξόδου. Τα πιο βασικά μορφολογικά φίλτρα είναι η Συστολή και η Διαστολή. Τα Μορφολογικά Φίλτρα είναι χρήσιμα για την αφαίρεση θορύβου, την απομόνωση ή την ένωση στοιχείων σε μια εικόνα, το γέμισμα ή το μεγάλωμα των οπών σε μια εικόνα.

Το δομικό στοιχείο είναι μια γεωμετρική συσχέτιση μεταξύ των pixels. Οι μορφολογικές λειτουργίες ορίζονται από την μετακίνηση ενός παραθύρου πάνω στην εικόνα εισόδου, με τέτοιο τρόπο ώστε το παράθυρο να κεντράρεται πάνω σε κάθε ένα από τα pixels της. Αυτή η διαδικασία γίνεται συνήθως γραμμή προς γραμμή, στήλη προς στήλη. Το δομικό στοιχείο συχνά αναφέρεται και ως κινητό παράθυρο.

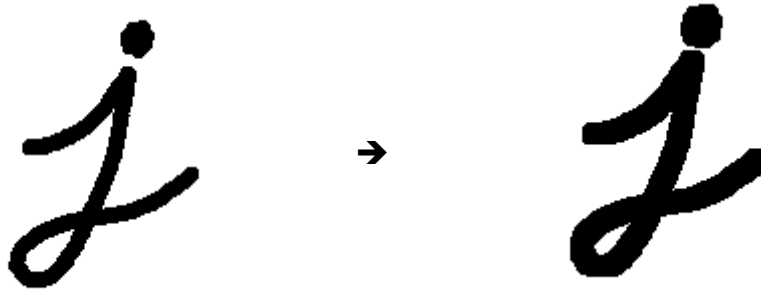


Σχ.4.9. Μερικά τυπικά δυσδιάστατα παράθυρα Cross(5), Square(9), Circle(13), Custom Shape(21).

Διαστολή(Dilation) είναι η λειτουργία που μεγαλώνει το μέγεθος των λευκών αντικειμένων σε μια δυαδική εικόνα και μικραίνει το μέγεθος των μαύρων.



Συστολή(Erosion) είναι η λειτουργία που μεγαλώνει το μέγεθος των μαύρων αντικειμένων στην δυαδική εικόνα και μικραίνει των λευκών.



Η συστολή και η διαστολή είναι στην πραγματικότητα ή ίδια λειτουργία, απλά η μία είναι συμπληρωματική της άλλης. Όμως είναι μόνο αντίστροφες κατά προσέγγιση η μια της άλλης. Η διαστολή μιας ήδη υπό συστολή εικόνας, πολύ σπάνια οδηγεί στην αρχική εικόνα. Κατ' ακρίβεια η διαστολή δεν μπορεί να ξαναδημιουργήσει τα μικρά αντικείμενα ή τις μικρές περιοχές που αφαίρεσε η συστολή.

Στο σύστημα μετά την κατωφλίωση της εικόνας σύμφωνα με το HSV μοντέλο και την ρύθμιση των παραμέτρων της κάμερας πιθανόν να υπάρχει θόρυβος. Ο θόρυβος μπορεί να είναι μικρά λευκά αντικείμενα εδώ και εκεί αλλά και μικρές οπές στο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Τα λευκά αντικείμενα μπορεί να οφείλονται από το φως του χώρου και οι μικρές οπές στο σημείο του λείζερ οφείλονται στο λευκό χρώμα του κέντρου του λείζερ. Έτσι εφαρμόστηκε μια φορά συστολή στην εικόνα και 3 φορές διαστολή με το ίδιο δομικό παράθυρο. Το δομικό παράθυρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το Square(9) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9.

4.3.3 Εύρεση θέσης Λείζερ[8]

Μετά την επιτυχή ανίχνευση του σημείου λείζερ σειρά έχει η εύρεση της θέσης του στο επίπεδο εικόνας. Ουσιαστικά θα υπολογίσουμε το κέντρο της θέσης του σημείου λείζερ, και αυτό γίνεται μέσω της χρήσης μαθηματικών υπολογισμών. Αυτή η διαδικασία στην OpenCV ονομάζεται Image Moments. Image Moment είναι ένας αριθμός που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη φόρμουλα.

Καταρχάς υπολογίζεται το εμβαδόν της δυαδικής εικόνας, το οποίο ονομάζεται zeroth moment. Σε μια δυαδική εικόνα η τιμή του pixel μπορεί να είναι 0 ή 1. Το μηδέν αναπαρίσταται με μαύρο χρώμα και το 1 με λευκό. Άρα είναι το εμβαδόν είναι το άθροισμα όλων των pixels της δυαδικής εικόνας.

$$\mu_{0,0} = \sum_{x=0}^w \sum_{y=0}^h f(x, y)$$

Τώρα για τον υπολογισμό του κέντρου της εικόνας πρέπει να υπολογιστούν οι 2 συντεταγμένες του:

$$centroid = (\mu_{1,0}, \mu_{0,1})$$

Υπολογίζονται 2 αθροίσματα ένα για τις x συντεταγμένες και ένα για τις y. Το άθροισμα των x συντεταγμένων για όλα τα pixel με τιμή ίση με 1 και αντίστοιχα για τις y. Άρα έχουμε:

$$sum_y = \sum \sum y f(x, y) \quad sum_x = \sum \sum x f(x, y)$$

Έχοντας υπολογίσει τα αθροίσματα για πολλά pixels x και y συντεταγμένων, μπορούμε να βρούμε το μέσο όρο για το κάθε άθροισμα το οποίο αντιστοιχεί στις συντεταγμένες του κέντρου.

$$\mu_{1,0} = \frac{sum_x}{\mu_{0,0}} \quad \mu_{0,1} = \frac{sum_y}{\mu_{0,0}}$$

Με αυτή την τεχνική καταφέραμε να βρούμε τις συντεταγμένες του κέντρου του λέιζερ στο επίπεδο εικόνας. Το πραγματικό ζητούμενο είναι ο υπολογισμός των συντεταγμένων του λέιζερ στο επίπεδο του αντικειμένου. Για να επιτευχθεί αυτό χρειαζόμαστε τον αντίστροφο του πίνακα της ομογραφίας.

$$p_{dst} = H p_{src}, \quad p_{src} = H^{-1} p_{dst}$$

P_{dst} είναι οι συντεταγμένες του επιπέδου της εικόνας, P_{src} είναι οι συντεταγμένες του επιπέδου του αντικειμένου, H ο πίνακας ομογραφίας και H^{-1} ο αντίστροφος της.

Πιο πάνω αναλύθηκε η σχέση της ομογραφίας από το επίπεδο αντικειμένου στο επίπεδο εικόνας. Όμως το σύστημα βρίσκει τις συντεταγμένες του σημείου λέιζερ στο επίπεδο εικόνας. Έτσι πολλαπλασιάζοντας και στις 2 πλευρές τον αντίστροφο του H παίρνουμε μία νέα σχέση όπως φαίνεται πιο πάνω.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα

5.2 Μελλοντική Εργασία

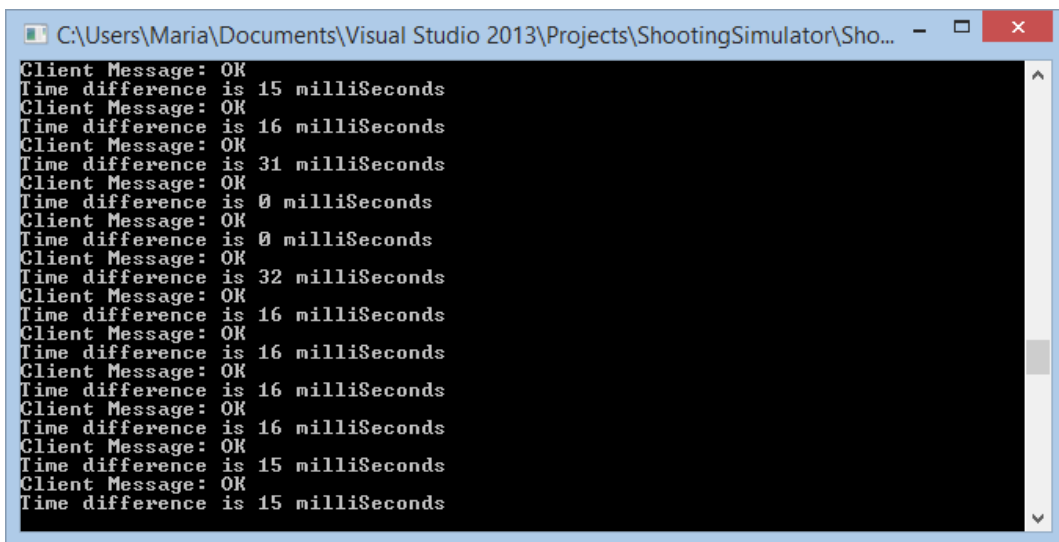
5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα του συστήματος. Τα αποτελέσματα αφορούν την χρονική πολυπλοκότητα, την ακρίβεια και την ευρωστία του συστήματος. Στην συνέχεια θα αναφερθούν εισηγήσεις για την περαιτέρω ανάπτυξη του συστήματος.

5.1 Αποτελέσματα

5.1.1 Χρονική Πολυπλοκότητα

Ο μέσος χρόνος επεξεργασίας ανά καρέ του βίντεο για την εύρεση του σημείου λείζερ είναι περίπου στα 16milliseconds. Είναι ο χρόνος που χρειάζεται από την στιγμή που παίρνει το καρέ από την κάμερα μέχρι την στιγμή που ανιχνεύει τη θέση του λείζερ. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα ανταποκρίνεται σε πραγματικό χρόνο.

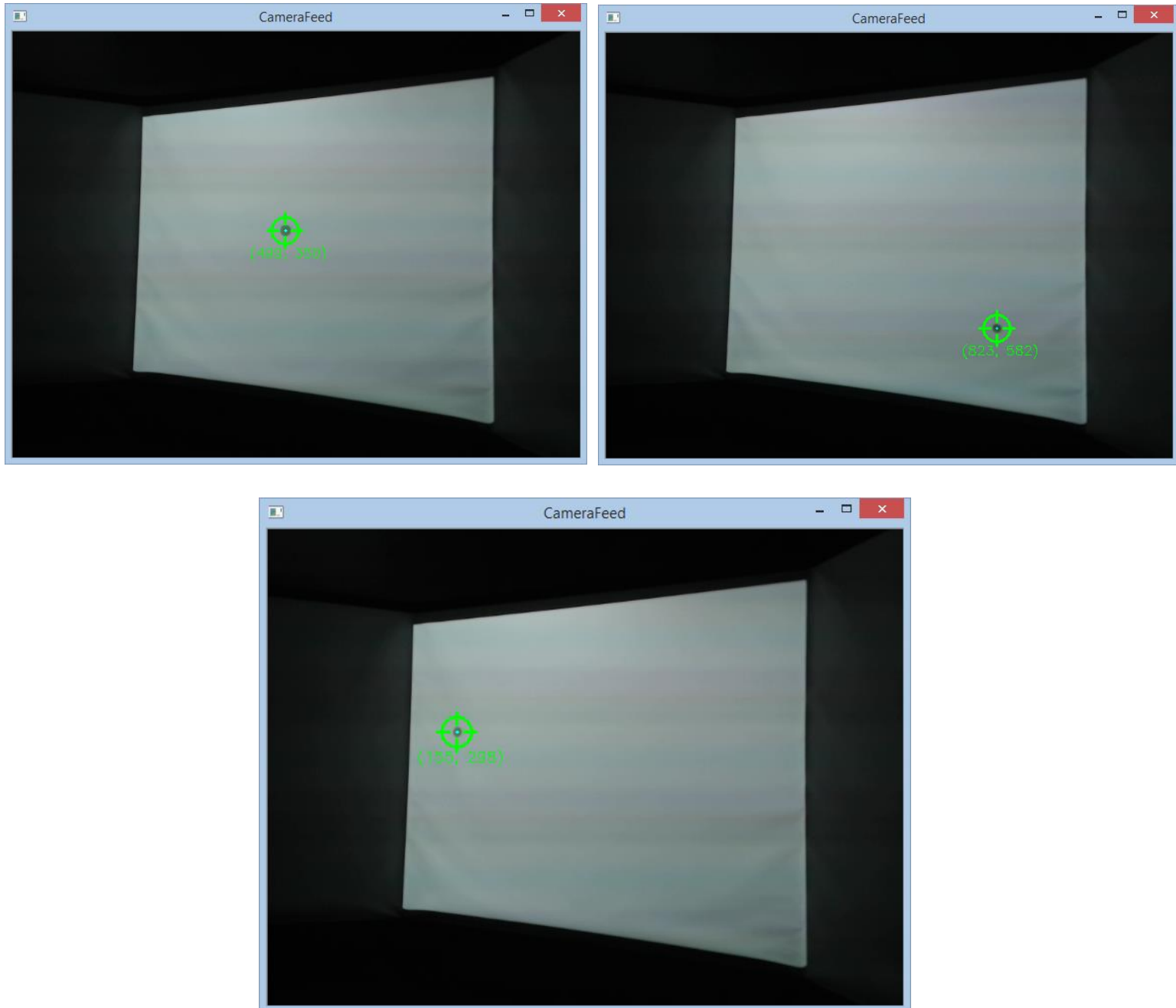


```
C:\Users\Maria\Documents\Visual Studio 2013\Projects\ShootingSimulator\Sho...
Client Message: OK
Time difference is 15 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 16 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 31 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 0 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 0 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 32 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 16 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 16 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 16 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 16 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 15 milliseconds
Client Message: OK
Time difference is 15 milliseconds
```

Σχ.5.1 Εδώ φαίνεται ο χρόνος που χρειάστηκε ο αλγόριθμος να υπολογίσει τη θέση του λείζερ για τουλάχιστον 10 στιγμιότυπα.

5.1.2 Ακρίβεια Εύρεσης Σημείου Λείζερ

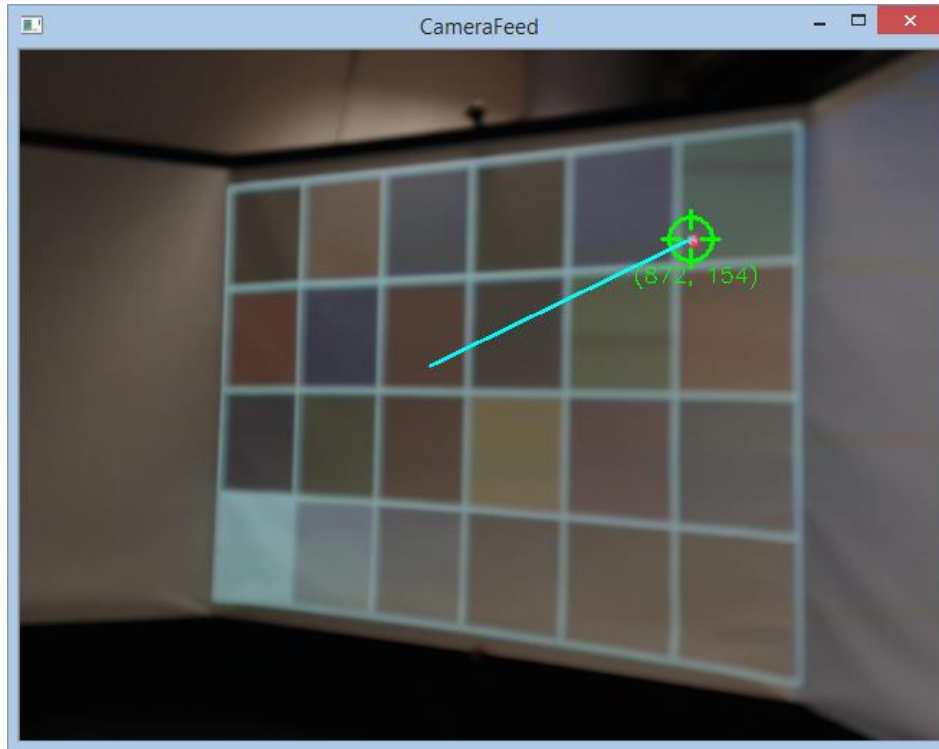
Η ακρίβεια της θέσης του Λείζερ έχει σφάλμα ± 2 pixel. Η διαδικασία της μέτρησης της ακρίβειας έγινε με τον σχεδιασμό γνωστών κύκλων. Συγκεκριμένα σχεδιάστηκαν 3 κύκλοι πάνω σε λευκού χρώματος εικόνα με συντεταγμένες κέντρου (500,350) , (823,581) , (157,299) και ακτίνες 15,10,13 αντίστοιχα. Αρχικά τρέξαμε το εξωτερικό πρόγραμμα για τον υπολογισμό του κατωφλιού του HSV μοντέλου, οι παράμετροι της κάμερας ρυθμίστηκαν στις προεπιλεγμένες τιμές τους. Στη συνέχεια τρέξαμε την εφαρμογή μας Laser Detector και πήραμε αυτές τις τιμές που φαίνονται στις πιο κάτω εικόνες.



Σχ.5.2 Ο υπολογισμός της θέσης των 3 γνωστών κύκλων για τον έλεγχο της ακρίβειας του αλγορίθμου.

5.1.3 Ευρωστία αλγορίθμου

Η ευρωστία του αλγορίθμου είναι ουσιαστικά η ικανότητα του να μην χάνει στιγμιότυπο του σημείου λέιζερ. Έτσι η ευρωστία του αλγορίθμου μπορεί να μετρηθεί διαγράφοντας την πορεία του λέιζερ κρατώντας συνεχώς αναμμένο.



Σχ.5.3 Παρακολούθηση της πορείας του σημείου λέιζερ

5.2 Μελλοντική Εργασία

Παρατηρώντας τα χαρακτηριστικά παρόμοιων εφαρμογών και τα αποτελέσματα που πάρθηκαν θα μπορούσαμε να πούμε σαν μελλοντικές εργασίες και βελτιστοποιήσεις μπορούν να γίνουν τα εξής:

- Αυτοματοποίηση Ρύθμισης των Παραμέτρων της Κάμερας αλλά και την εύρεση του κατωφλίου του HSV μοντέλου.
- Χρήση της βιβλιοθήκης EmguCV. Είναι ένα περιτύλιγμα της βιβλιοθήκης OpenCV γραμμένη σε C/C++, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορες .NET γλώσσες προγραμματισμού. Έτσι δεν θα χρειάζεται να τρέχουν 2 προγράμματα και να χρειάζεται να επικοινωνούν με TCP sockets
- Χρήση Στερεοσκοπικής Όρασης για την εύρεση και της Z συντεταγμένης. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο εκπαιδευόμενο να κινείται στο χώρο αντί να μένει ξαπλωμένος.

- Χρήση περισσότερων οθονών προβολής έτσι ώστε να δίνεται μια καλύτερη εμπειρία στον εκπαιδευόμενο.
- Δυνατότητα εισαγωγής περισσότερων εκπαιδευόμενων κατά τη διάρκεια μίας βολής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικού χρώματος λέιζερ για τον κάθε εκπαιδευόμενο.
- Αν σε ένα σενάριο υπάρχουν εχθρικοί στόχοι οι οποίοι επιστρέφουν πυρά, οι εκπαιδευόμενοι να υποστούν τις «συνέπειες» με κάποιο τρόπο φορώντας τη συσκευή Threat-Fire (η οποία αναφέρεται στο 2^ο κεφάλαιο) .
- Δυνατότητα κάλυψης από εχθρικά πυρά πίσω από αντικείμενα. Με κάποιο τρόπο οι εκπαιδευόμενοι που κρύβουν εν μέρει το σώμα τους να μην «τιμωρούνται» από τα εχθρικά πυρά.

Βιβλιογραφία

- [1] Computer Vision: A Modern Approach 2nd Edition by David A. Forsyth, Jean Ponce
- [2] Learning OpenCV by Gary Bradski and Adrain Kaehler 2008 1st Edition O'Reilly
- [3] Practical OpenCV by Samarth Brahmbhatt
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
- [5] <http://www.organicmotion.com/>
- [6] <http://www.virtra.com/>
- [7] [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms740673\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ms740673(v=vs.85).aspx)
- [8] <http://www.aishack.in/topics/tutorials/vision/>
- [9] <http://opencv-srf.blogspot.com/2011/11/opencv-matlab-or-aforge.html>
- [10] <http://unity3d.com/company>
- [11] <http://opencv.org/>