

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του Φοιτητή της Σχολής Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του  
Πολυτεχνείου Κρήτης

**Κουτλή Βασίλη**

**Αριθμός Μητρώου: 2008030068**

**Θέμα:**

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΕΣ  
ΚΑΜΕΡΕΣ

DEVELOPMENT OF AN AUTOFOCUSING SYSTEM FOR DIGITAL CAMERAS

**Επιβλέπων:**

Αναπληρωτής καθηγητής Μπάλας Κωνσταντίνος

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014



### **Ευχαριστίες:**

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους, χωρίς την πολύτιμη βοήθειά τους, δεν θα ήταν εφικτή η αποπεράτωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή κ. Μπάλα Κωνσταντίνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστούμε όλο αυτό το διάστημα. Οι πολύτιμες συμβουλές του και η καθοδήγησή του ήταν βασικοί παράγοντες για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης διπλωματικής.

Σημαντική υπήρξε και η συμβολή των διδακτορικών φοιτητών του εργαστηρίου Τσάπρα Αθανάσιου, Επιτρόπου Γεωργίου και Καββαδία Βασιλείου, οι οποίοι ανταποκρινόντουσαν με προθυμία κάθε φορά που παρουσιαζόταν πρόβλημα στη διάταξη ή όταν χρειαζόμουν κάποιο υλικό. Δεν θα μπορούσα να εξαιρέσω τους φίλους μου για την υποστήριξη και υπομονή τους για όλη τη διάρκεια της διπλωματικής αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πλήρη ηθική και υλική συμπαράστασή τους καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

### **Περίληψη:**

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελετάει την ανάπτυξη ενός συστήματος αυτόματης εστίασης, δηλαδή ενός συστήματος που θα εστιάζει πλήρως σε ένα αντικείμενο και θα έχει την βέλτιστη απόκριση. Πριν την ενασχόλησή μας με το θεωρητικό και λογισμικό σκέλος καθορίσαμε τα στοιχεία αυτά που μας είναι απαραίτητα για τη δημιουργία της πειραματικής διάταξης. Όσο αφορά το λογισμικό, για να επιτύχουμε την ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος εξετάσαμε διαφορετικούς αλγορίθμους και συναρτήσεις. Για να επιτύχουμε τη βέλτιστη εικόνα βασιστήκαμε στην τιμή-εστίασης (focus value), η οποία είναι μία μεταβλητή που υπολογίζει το πόσο καλά εστιασμένη είναι η εικόνα. Για να μετρηθεί αυτή η μεταβλητή χρησιμοποιήσαμε τέσσερις διαφορετικές συναρτήσεις, οι οποίες και αναλύονται με τη χρήση γραφημάτων στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής. Αναπόφευκτα, στη μέτρηση αυτής της τιμής εισάγεται σφάλμα, το οποίο ελαχιστοποιούμε με τη χρήση φίλτρων κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας, και μέσω ελέγχου της φωτεινότητας. Η εφαρμογή του συστήματος έγινε κάτω από ποικίλες περιπτώσεις έντασης του φωτός με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## **Βασική Δομή της Διπλωματικής Εργασίας:**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στο Σύστημα Αυτόματης Εστίασης**

Στο χωρίο αυτό αναλύεται σε γενικές γραμμές το σύστημα αυτόματης εστίασης. Επίσης, γίνεται εκτενής αναφορά στις ποικίλες εφαρμογές που έχει ένα τέτοιο σύστημα από καθημερινή χρήση μέχρι τις πλέον εξειδικευμένες.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Παρουσίαση των διαφορετικών αλγορίθμων**

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται διαφορετικοί αλγόριθμοι που βρίσκονται σε εφαρμογή σε διάφορες τεχνολογίες σήμερα.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Παρουσίαση των απαραίτητων εξαρτημάτων**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρονται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παρουσίαση αλγορίθμου και συναρτήσεων τιμής εστίασης**

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται η επιλογή του αλγορίθμου που εφαρμόζεται. Επίσης, γίνεται αναφορά στις τέσσερις συναρτήσεις (absolute gradient, laplacian, normalized variance και vollath Formula 5).

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σύγκριση αποτελεσμάτων**

Στο κεφάλαιο 5 συγκρίνονται τα αποτελέσματα όλων των συναρτήσεων υπό τη μορφή γραφημάτων και επιλέγεται η συνάρτηση που επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Μελλονική Έρευνα**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη αυτής της έρευνας.

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

Ευχαριστίες: .....	3
Περίληψη:.....	4
Βασική Δομή της Διπλωματικής Εργασίας: .....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ.....	9
1.1 Εισαγωγή .....	9
1.2 Ενεργητικό Σύστημα Αυτόματης Εστίασης .....	10
1.3 Παθητικό Σύστημα αυτόματης Εστίασης.....	10
1.3.1 Ανίχνευση Φάσης .....	11
1.3.2 Μέτρηση Αντίθεσης .....	11
1.4 Υβριδικό Σύστημα Αυτόματης Εστίασης .....	12
1.5 Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Αυτόματης Εστίασης .....	13
1.5.1 Μονοσχηματικότητα .....	13
1.5.2 Ακρίβεια .....	13
1.5.3 Επαναληψιμότητα .....	13
1.5.4 Εύρος .....	13
1.5.5 Γενικότητα .....	14
1.5.6 Συμβατότητα με βίντεο .....	14
1.5.7 Εφαρμογή .....	14
1.6 Εφαρμογές.....	14
1.7 Επίλογος .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ .....	17
2.1 Εισαγωγή .....	17
2.2 CMSL-CMAN (CONTRAST MEASURE ON SQUARED LAPLACIAN-CONTRAST MEASURE ADAPTIVE TO NOISE).....	17
2.2.1 Επιλογή Χώρου .....	17
2.2.2 Μέτρηση Τιμής Εστίασης .....	18
2.2.3 Εύρεση Μέγιστης Τιμής .....	19
2.2.4 Συμπεράσματα .....	20
2.3 CURVE PREDICTION MODEL .....	20
2.3.1 Οπτικό σύστημα .....	20
2.3.2 Υπολογισμός Συνάρτησης .....	21
2.3.3 Μείωση Θορύβου-Έλεγχος Μοτέρ.....	21

2.3.4 Συμπεράσματα .....	21
2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ RGB ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ .....	22
2.4.1 Εισαγωγή .....	22
2.4.2 Γραφήματα .....	23
2.4.3 Συμπεράσματα .....	25
2.5 State Transition Model .....	26
2.5.1 Εισαγωγή .....	26
2.5.2 Είσοδος Δεδομένων(Data Input) .....	26
2.5.3 Καθορισμός Κατάστασης(State Determination) .....	26
2.5.4 Απόφαση Επανεστίασης(Refocus Decision).....	27
2.5.5 Διάγραμμα.....	28
2.5.6 Συμπεράσματα .....	29
2.6 Minimum Entropy-Adaptive Order Polynomial Model .....	29
2.6.1 Εισαγωγή .....	29
2.6.2 Εκτίμηση Φάσης.....	30
2.6.3 Γράφημα.....	31
2.6.4 Συμπεράσματα .....	32
2.7 Generalized Autofocus .....	32
2.7.1 Εισαγωγή .....	32
2.7.2 Depth of Field Limits.....	32
2.7.3 Scene measurement.....	33
2.7.4 Sharpness Analysis.....	34
2.7.5 Συμπεράσματα .....	35
2.8 Adaptive Step Size Search .....	36
2.8.1 Εισαγωγή .....	36
2.8.2 Βασικά Στάδια .....	36
2.8.3 Κριτήρια Απόφασης .....	37
2.8.4 Συμπεράσματα .....	38
2.9 Επίλογος .....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ .....	40
3.1 Εισαγωγή .....	40
3.2 Οπτικό Σύστημα .....	40
3.3 Σύστημα Κίνησης.....	42
3.4 Arduino .....	43

3.5 Τελική Διάταξη .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΤΙΜΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ .....	45
4.1 Εισαγωγή .....	45
4.2 Υλοποίηση Αλγορίθμου .....	45
4.3 Absolute Gradient .....	47
4.4 Laplacian .....	49
4.5 Normalized variance .....	51
4.6 Vollath Formula 5 .....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο:ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	55
5.1 Υπό Χαμηλό Φωτισμό .....	55
5.2 Υπό Υψηλό Φωτισμό .....	58
5.3 Υπό Φωτισμό Οπτικής Ίνας .....	61
5.4 Επίλογος-Επιλογή Συνάρτησης .....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: .....	66



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ**

### **1.1 Εισαγωγή**

Ένα σύστημα αυτόματης εστίασης είναι ουσιαστικά ένα οπτικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί, έναν αισθητήρα, ένα σύστημα ελέγχου και ένα μοτέρ ώστε να επιτύχει πλήρη εστίαση σε ένα επιλεγμένο σημείο ή όπως ορίζεται διαφορετικά αντικείμενο εστίασης. Πιο συγκεκριμένα, ένα σύστημα αυτόματης εστίασης βασίζεται από έναν μέχρι μία μεγάλη λίστα από αισθητήρες. Οι πιο σύγχρονες κάμερες χρησιμοποιούν τον φακό που έχουν ενσωματωμένο ώστε να ελέγχουν την έκθεση στο φως. Η μέθοδος αυτή αποφέρει πιο γρήγορα και με ακρίβεια αποτελέσματα σε σχέση με μία χειροκίνητη αναζήτηση. Επίσης, ενδέχεται το τελικό αποτέλεσμα να εντοπίζεται ανάμεσα στο 1/3 της επιθυμητής απόστασης (depth of the field)



Όπου επιθυμητή απόσταση ορίζεται η απόσταση από την κοντινότερη και μακρινότερη θέση του αντικειμένου όπου αυτό διαφαίνεται καθαρά.

Τα περισσότερα συστήματα αυτόματης εστίασης που χρησιμοποιούν πολλούς αισθητήρες επιτρέπουν τη χειροκίνητη αναζήτηση ενώ πολλά είναι τα συστήματα αυτά που επιτρέπουν την αυτόματη αναζήτηση μέσω αλγορίθμων που σκοπό έχουν να ξεχωρίσουν την επιθυμητή εικόνα. Επιπλέον, κάποια συστήματα είναι ικανά να αναγνωρίσουν αν το αντικείμενο εστίασης κινείται προς ή μακριά από την κάμερα, όπως επίσης και την ταχύτητα ή την επιτάχυνση με την οποία συμβαίνει αυτό. Όλη η πληροφορία που συσσωρεύεται από τους αισθητήρες χρησιμοποιείται για τον έλεγχο ενός ηλεκτρομηχανικού συστήματος που προσαρμόζει την εστίαση του οπτικού μέρους.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί πλήρης εστίαση διακρίνονται σύμφωνα με τον τύπο τους σε ενεργητικούς, παθητικούς ή υβριδικούς (δηλαδή ένας συσχετισμός των δύο παραπάνω)

## **1.2 Ενεργητικό Σύστημα Αυτόματης Εστίασης**

Ένα ενεργητικό σύστημα αυτόματης εστίασης ορίζεται ως αυτό που υπολογίζει την απόσταση ανάμεσα στον αισθητήρα και στο αντικείμενο εστίασης μέσω μεθόδου ανεξάρτητης του οπτικού συστήματος. Στη συνέχεια, το οπτικό σύστημα προσαρμόζεται στην κατάλληλη θέση ώστε να υπάρξει επιτυχής εστίαση. Για να υπολογιστεί η απόσταση υπάρχουν ποικίλοι τρόποι, δύο εκ των οποίων είναι με τη χρήση υπερήχων ή της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Στην πρώτη περίπτωση, υπερηχητικά κύματα εκπέμπονται από την κάμερα και μέσω του υπολογισμού της διαφοράς χρόνου εκπομπής-λήψης, η απόσταση των δύο αντικειμένων μετريέται με υψηλή ακρίβεια. Στη δεύτερη περίπτωση, η απόσταση υπολογίζεται μέσω της τριγωνοποίησης.

Ένα πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας είναι ότι έχουν την ικανότητα να εστιάζουν σε αντικείμενα ακόμα και σε καταστάσεις χαμηλού φωτισμού. Ωστόσο, εξαιτίας του γεγονότος ότι χρησιμοποιούν ανεξάρτητο από το οπτικό σύστημα σήμα, παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στην εστίαση μέσω παραθύρου ή γυαλιού γενικότερα. Επιπλέον, είναι σχετικά υψηλότερου κόστους η διαδικασία υπολογισμού της απόστασης σε σχέση με τα παθητικά συστήματα.

## **1.3 Παθητικό Σύστημα αυτόματης Εστίασης**

Ένα παθητικό σύστημα αυτόματης εστίασης υπολογίζει την σωστή θέση του αισθητήρα μέσω επεξεργασίας της εικόνας, η οποία λαμβάνεται από το οπτικό μέρος του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα παθητικά συστήματα δεν χρησιμοποιούν καμία άλλη μορφή ενέργειας όπως τα ενεργητικά συστήματα εναντίον του αντικειμένου εστίασης.

Σε γενικές γραμμές, η μεθοδολογία των παθητικών συστημάτων διαιρείται σε τρεις υποκατηγορίες: την επιλογή του χώρου όπου θέλουμε να εστιάσουμε, την μέτρηση της τιμής εστίασης τη δεδομένη στιγμή και τέλος την εύρεση του σημείου που παρουσιάζει την μέγιστη τιμή εστίασης.

Δυστυχώς, τα περισσότερα παθητικά συστήματα δεν έχουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα υπό καταστάσεις χαμηλού φωτισμού. Αυτό συμβαίνει διότι ο υπολογισμός βασίζεται αποκλειστικά στο οπτικό σύστημα και όχι σε κάποιο εξωτερικό σήμα. Επίσης, γνωρίζουμε πως η λήψη μίας θαμπής εικόνας περιέχει λιγοστή πληροφορία σε σχέση με μία σχετικά εστιασμένη εικόνα. Η πληροφόρία αυτή μειώνεται περισσότερο όταν η εικόνα λαμβάνεται σε χαμηλό φωτισμό καθώς λιγότερα φωτόνια ενεργοποιούν τον αισθητήρα.

Οι δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η ανίχνευση φάσης και ο υπολογισμός της αντίθεσης.

### **1.3.1 Ανίχνευση Φάσης**

Η ανίχνευση φάσης επιτυγχάνεται μέσω της διαίρεσης του προσπίπτοντος φωτός σε ζεύγη εικόνων, οι οποίες στη συνέχεια συγκρίνονται μεταξύ τους. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί έναν οπτικό διαμορφωτή (ειδικός κρύσταλλος που διασπά το φως σε δύο συνιστώσες) και κατευθύνει τη μία συνιστώσα του φωτός σε έναν αισθητήρα αυτόματης εστίασης που βρίσκεται στην κάμερα. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τη δεύτερη συνιστώσα του φωτός. Με αυτό τον τρόπο παράγονται δύο εικόνες, οι οποίες αναλύονται για τον εντοπισμό παρόμοιων εκπομπών φωτός, ενώ σύμφωνα με τη διαφορά που παρατηρείται, το σύστημα είναι ικανό να αναγνωρίσει προς τα που πρέπει να κινηθεί η κάμερα.

### **1.3.2 Μέτρηση Αντίθεσης**

Η μέτρηση της αντίθεσης σε ένα σύστημα αυτόματης εστίασης επιτυγχάνεται μετρώντας την αντίθεση με τη χρήση ειδικού αισθητήρα. Η διαφορά της έντασης μεταξύ γειτονικών pixels μίας εικόνας αυξάνεται ανάλογα με το πόσο εστιασμένη είναι η εικόνα. Επομένως, το οπτικό σύστημα προσαρμόζεται ανάλογα με την τιμή αυτή έως ότου επιτευχθεί η υψηλότερη τιμή. Στη συγκεκριμένη μέθοδο, δεν περιλαμβάνεται πραγματική μέτρηση απόστασης. Σε περίπτωση κίνησης του αντικειμένου θα υπάρξει αλλαγή στην αντίθεση γεγονός που δεν μπορεί να οδηγήσει άμεσα σε προσδιορισμό της κατεύθυνσης της κίνησης. Ανεξάρτητα αυτού του μειονεκτήματος, με αυτή τη μέθοδο εξοπλίζονται συνεχώς περισσότερες σύγχρονες κάμερες επειδή προσφέρει ευελιξία και περισσότερη ακρίβεια στην μέτρηση.

Επίσης, εντοπίζονται διαφορετικές προδιαγραφές όσο αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κάμερας ανάλογα αν προτιμάται ανίχνευση φάσης ή μέτρηση αντίθεσης. Στην πρώτη περίπτωση η κάμερα πρέπει να κινεί το σημείο εστίασης με αρκετά μεγάλη ταχύτητα στην καινούργια θέση, ενώ στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να γίνεται μία ολική αναζήτηση και να σταματάει η κάμερα ακριβώς στο σημείο όπου η μέγιστη αντίθεση ανιχνεύεται. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που οι κάμερες που χρησιμοποιούν ανίχνευση φάσης υστερούν σε ακρίβεια.

## **1.4 Υβριδικό Σύστημα Αυτόματης Εστίασης**

Με τον όρο υβριδικό εννοείται η χρήση ενός συστήματος αυτόματης εστίασης το οποίο συνδυάζει δύο ή περισσότερες μεθόδους, όπως:

- Ενεργητικοί και παθητικοί μέθοδοι
- Ανίχνευσης φάσης και μέτρησης αντίθεσης

Αυτός ο συσχετισμός χρησιμοποιείται ώστε να γίνει μερική απάλλοιψη των μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου ξεχωριστά και για να αυξήσει την αξιοπιστία και την ακρίβεια ενός τέτοιου συστήματος.

Ένα σπάνιο παράδειγμα υβριδικού συστήματος είναι ο συνδυασμός υπέρυθρης ακτινοβολίας ή υπερήχων και ενός παθητικού συστήματος που χρησιμοποιεί ανίχνευση φάσης. Ένα τέτοιο σύστημα, λειτουργεί ανεξάρτητα από τις συνθήκες φωτισμού αλλά θα υπάρξουν σοβαρά σφάλματα αν ανάμεσα στην κάμερα και στο αντικείμενο εστίασης παρεμβληθούν μικρότερα αντικείμενα ενώ η ακρίβεια δεν επιτυγχάνεται πάντα.

Ένα πιο κοινό παράδειγμα είναι η χρήση ανίχνευσης φάσης σε συνδυασμό μερικής μέτρησης αντίθεσης. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αδυναμία λειτουργίας κάτω από χαμηλό φωτισμό και σε λείες επιφάνειες.

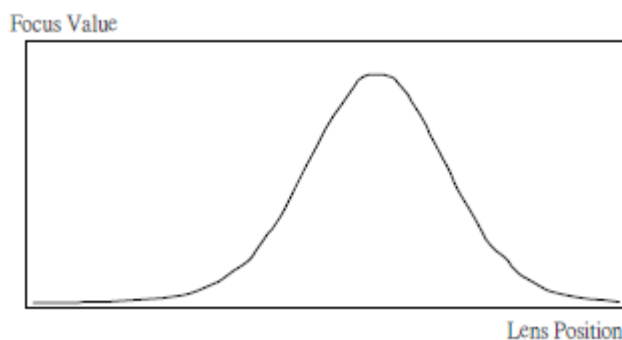
Μία αρκετά σύγχρονη εφαρμογή υβριδικού συστήματος βασίζεται στον συνδυασμό ενεργητικής και παθητικής μεθόδου. Ανίχνευση φάσης, μέτρηση αντίθεσης και υπολογισμός απόστασης είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζει υψηλή πολυπλοκότητα, επειδή διαφορετικοί τρόποι εφαρμόζονται παράλληλα και επίσης είναι πιο επιρρεπής σε εισαγωγή θορύβου στις μετρήσεις, καθώς πολλαπλές μετρήσεις λαμβάνονται ταυτόχρονα.

## **1.5 Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Αυτόματης Εστίασης**

Ένα σύστημα αυτόματης εστίασης παρουσιάζει μερικά βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι ίδια σε όλες τις εφαρμογές και τονίζονται σε αυτό το χωρίο.

### **1.5.1 Μονοσηματικότητα**

Η συνάρτηση εστίασης που αποτυπώνει τον βαθμό εστίασης ανάλογα με τη θέση της κάμερας πρέπει να είναι μονοσηματική. Με τον όρο μονοσηματική εννοούμε ότι πρέπει να υπάρχει υποχρεωτικά μόνο ένα σημείο όπου σημειώνεται η υψηλότερη τιμή. Αυτό αποτρέπει την εύρεση πιθανού λάθους σημείου στο τελικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα:



### **1.5.2 Ακρίβεια**

Το τελικό αποτέλεσμα του συστήματος αυτόματης εστίασης πρέπει να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις με ακρίβεια.

### **1.5.3 Επαναληψιμότητα**

Το τελικό αποτέλεσμα θα πρέπει να παραμένει ίδιο για όλες τις φορές που επαναλαμβάνεται η διαδικασία όταν όλες οι συνθήκες παραμένουν σταθερές.

### **1.5.4 Εύρος**

Το αντικείμενο εστίασης θα πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο εύρος απόστασης, στο οποίο λειτουργεί το σύστημα. Στην περίπτωση που το αντικείμενο βρίσκεται εκτός των περιθωρίων δεν θα είναι δυνατή η εστίασή του από το σύστημα.

### 1.5.5 Γενικότητα

Η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τιμής εστίασης θα πρέπει να παράγει τιμή ανεξάρτητα από το αντικείμενο εστίασης.

### 1.5.6 Συμβατότητα με βίντεο

Είναι σύνηθες ο αλγόριθμος αυτόματης εστίασης να λειτουργεί παράλληλα με εφαρμογή βίντεο. Ο αλγόριθμος αυτός επεξεργάζεται εικόνες, επομένως είναι πολύ χρήσιμο να συνδέεται απευθείας σε λειτουργία βίντεο. Με τον τρόπο αυτό, κάποιο λάθος του συστήματος γενικότερα όσο αφορά τον σωστό εντοπισμό θέσης της κάμερας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

### 1.5.7 Εφαρμογή

Το σύστημα αυτόματης εστίασης που θα αναπτυχθεί όσο αφορά το λογισμικό και την πειραματική διάταξη πρέπει να είναι εύκολα διαχειρίσιμο από τον χρήστη για τον οποίο προορίζεται το σύστημα αυτό.

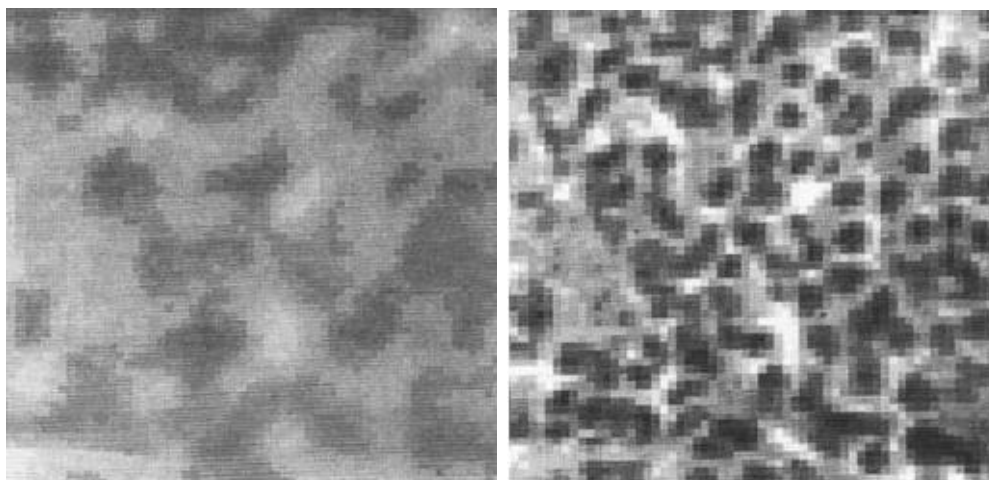
## 1.6 Εφαρμογές

Ο κύριος παράγοντας της αυτόματης εστίασης είναι η επίδραση στην εντονότητα των ακμών μιας εικόνας. Επίσης, βασίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται σε εστίαση παρατηρείται εντονότητα στις ακμές. Σε αντίθετη περίπτωση, η εικόνα είναι θαμπή και άρα εκτός εστίασης. Επομένως, η λήψη υψηλής ποιότητας εικόνων είναι σημαντικός παράγοντας για τη σωστή λειτουργία του συστήματος.

Με την ταχεία εξέλιξη της τεχνολογίας στην επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, ο σχεδιασμός εμπορικά αξιοποιήσιμων καμερών τείνει να εισάγει φιλικές προς το χρήστη κάμερες που στόχο έχουν να προσφέρουν έναν εύκολο τρόπο λήψης υψηλής ποιότητας εικόνες με την ελάχιστη επέμβαση του χρήστη. Σε αυτό το γεγονός αποσκοπεί και το σύστημα αυτόματης εστίασης. Η κεντρική ιδέα του οποίου είναι να αντικαταστήσει την χρονοβόρα διαδικασία της χειροκίνητης εστίασης με μία αυτόματη προσαρμογή που θα κινεί την κάμερα στην κατάλληλη θέση με τελικό σκοπό τη λήψη μίας άριστης από πλευράς εστίασης εικόνα.

Επιπροσθέτως, στον κλάδο της ιατρικής, οι ερευνητές και οι γιατροί όταν χρειάζεται να μελετήσουν κάποιο γράφημα, εικόνα ιστού ή γενικότερα ένα μέρος ζωντανού οργανισμού απαιτείται να έχουν ένα αψευγάδιαστο στιγμιότυπο αυτού. Με άλλα λόγια, η χρήση ενός συστήματος αυτόματης εστίασης υψηλών προδιαγραφών που αποδίδει υψηλής ευκρίνειας και ποιότητας εικόνες είναι απολύτως απαραίτητο για τη στοχευμένη

διάγνωση του προβλήματος ή της δυσλειτουργίας του οργανισμού. Πρέπει να τονιστεί επίσης, ότι μέσω της αυτόματης εστίασης οι ερευνητές κερδίζουν χρόνο, ο οποίος σε πολλές περιπτώσεις είναι κρίσιμος για την έγκαιρη επέμβαση.



Στις δύο παραπάνω εικόνες είναι εμφανής η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός συστήματος αυτόματης εστίασης. Και στις δύο εικόνες απεικονίζεται ο ίδιος ιστός. Στην αριστερή, η πληροφορία είναι ελάχιστη καθώς η εικόνα είναι θαμπή, ενώ στη δεξιά, αρχίζουν και σκιαγράφονται με πολύ καλύτερη λεπτομέρεια τα χαρακτηριστικά του ιστού.

Τέλος, σπουδαία είναι η εφαρμογή στον στρατιωτικό και αστρονομικό τομέα. Όσο αφορά τον πρώτο, είναι ευρέως γνωστή η χρήση των UAV (unmanned aerial vehicle). Αυτά χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση του εδάφους κατά τη διάρκεια κοινωνικών ταραχών ή για τη χειρουργική στρατιωτική επέμβαση κατά σταθερών ή κινητών στόχων. Γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι η χρήση εξελιγμένου συστήματος αυτόματης εστίασης είναι απαραίτητη για την απεικόνιση του εδάφους σε βέλτιστη ποιότητα και επομένως λεπτομέρεια. Επίσης, λόγω της ανομοιομορφίας της επιφάνειας του εδάφους αλλά και λόγω της ύπαρξης πολλαπλών κινητών στόχων οι απαιτήσεις τέτοιων συστημάτων είναι αυξημένες. Τα περιθώρια λάθους εστίασης τείνουν στο ελάχιστο δυνατό. Ακόμη, τα συστήματα αυτά θα πρέπει να μπορούν να βρίσκονται σε λειτουργία ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και με τάχιστη χρονική απόκριση.

Στην επιστήμη της αστρονομίας, οι εξελίξεις είναι ενδελεχείς και βασίζονται κυρίως στην παρατήρηση του ηλιακού συστήματος αλλά και του σύμπαντος γενικότερα. Τα τελευταία χρόνια, η εξερεύνηση του διαστήματος έχει ανθίσει με περισσότερες αποστολές και εκτοξεύσεις δορυφόρων με ποικίλα οπτικά συστήματα. Λόγο των αχανών αποστάσεων μεταξύ των σωμάτων (αστέρες και πλανήτες) η ενέργεια της ακτινοβολίας αποσβένεται.

Πολλές φορές η ποσότητα ακτινοβολίας που δεσμεύεται είναι έως και μηδαμινή, άρα είναι σημαντικό το σύστημα αυτόματης εστίασης να διαθέτει τον βέλτιστο σχεδιασμό από άποψης διάταξης και εξελιγμένους αλγορίθμους επεξεργασίας των δεδομένων. Με αυτό τον τρόπο, οι επιστήμονες προβαίνουν σε ασφαλή παρατηρήσεις-συμπεράσματα για τον προσδιορισμό αποστάσεων μεταξύ σωμάτων, της ηλικίας του διαστήματος ακόμα και για την ύπαρξη εξωγήινης μορφής ζωής. Οι συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα είναι ακραίες, επομένως απαιτείται επαρκής απομόνωση των συστημάτων από το εξωτερικό περιβάλλον.

## **1.7 Επίλογος**

Όπως αναφέρεται στο παραπάνω κεφάλαιο, η σπουδαιότητα της χρήσης ενός συστήματος αυτόματης εστίασης είναι μεγάλη. Οι εφαρμογές στις οποίες υλοποιείται ένα τέτοιο σύστημα είναι ποικίλες και σε πολύ μεγάλη έκταση. Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, αναπτύξαμε ένα παθητικό σύστημα το οποίο έχει την ικανότητα να εστιάζει σε ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε απόσταση από 15 έως 36 εκατοστά στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Προτού ασχοληθούμε με την ανάπτυξη της πειραματικής διάταξης θα πρέπει να γνωρίζουμε τον τρόπο με τον οποίο θα χειριστούμε τα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να επιλέξουμε τον αλγόριθμο που θα υλοποιήσουμε ώστε να ελαχιστοποιήσουμε τον απαιτούμενο χρόνο και το συνολικό μέγεθος των δεδομένων που θα πρέπει να επεξεργαστούμε. Η εξαγωγή αξιόπιστου αποτελέσματος με μηδαμινό περιθώριο σφάλματος είναι ένας επιπλέον παράγοντας για την ανάπτυξη του συστήματος αυτού.

Όπως για κάθε τεχνολογικό σύστημα, έτσι και για την επίτευξη αυτόματης εστίασης, τα χαρακτηριστικά που το διέπουν εναρμονίζονται με τις προδιαγραφές της εφαρμογής για την οποία αναπτύσσονται. Στη συνέχεια, παρατίθενται 7 (εφτά) διαφορετικοί αλγόριθμοι που διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται η επιλογή του αλγορίθμου που ικανοποιεί τις προδιαγραφές του συστήματος που θέλουμε να αναπτύξουμε.

### **2.2 CMSL-CMAN (CONTRAST MEASURE ON SQUARED LAPLACIAN-CONTRAST MEASURE ADAPTIVE TO NOISE)**

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ανήκει στην κατηγορία των παθητικών και η μεθοδολογία που αναπτύσσεται χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, την επιλογή του χώρου που θα εφαρμοστεί η εστίαση, τον υπολογισμό της δεδομένης τιμής εστίασης και την εύρεση την μέγιστης τιμής της. Πιο αναλυτικά:

#### **2.2.1 Επιλογή Χώρου**

Στο συγκεκριμένο στάδιο, επιλέγεται συνήθως όλη η εικόνα που λαμβάνεται από την κάμερα. Επίσης, ένα καίριο σημείο είναι η απομάκρυνση του θορύβου που ενδέχεται να έχει υπάρξει κατά τη λήψη της εικόνας. Στον αλγόριθμο αυτό γίνεται εφαρμογή του φίλτρου Wiener το οποίο είναι το βέλτιστο γραμμικό φίλτρο για την αφαίρεση του προσθετικού θορύβου. Ωστόσο, η εφαρμογή του φίλτρου αυτού είναι αρκετά πολύπλοκη επειδή χρειάζεται αρκετό χώρο μνήμης. Μία εναλλακτική λύση που προτείνεται είναι η εφαρμογή ενός διμερούς (bilateral) φίλτρου.

Η κεντρική ιδέα της εφαρμογής αυτού του φίλτρου είναι η αντικατάσταση του pixel πάνω στο οποίο εφαρμόζεται το φίλτρο με το μέσο όρο της τιμής των γειτονικών pixel.

Ενδέχεται κατά τη λήψη της εικόνας να μην υπάρξει μόνο προσθετικός θόρυβος αλλά και πολλαπλασιαστικός. Ο τελευταίος δεν δύναται να αφαιρεθεί αποκλειστικά και μόνο με τη χρήση του διμερούς φίλτρου αλλά με τη χρήση ενός τροποποιημένου διμερούς φίλτρου. Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση:

$$\bar{J}(X) = \frac{1}{C} \sum_{Y \in N(X)} e^{\frac{-\|Y-X\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{\frac{-\|J(Y)-J(X)\|^2}{2\sigma_r^2 \|J(X)\|^2}} J(Y)$$

Όπου  $J(X)$  είναι η νέα τιμή του pixel,  $J(Y)$  η παλιά τιμή του pixel,  $N(X)$  είναι το σύνολο των γειτονικών pixels του  $X$ ,  $\sigma_d^2$  και  $\sigma_r^2$  είναι οι παράμετροι βάρους της χωρικής και της ενεργειακής κατάστασης. Η μεταβλητή  $C$  χρησιμοποιείται για την κανονικοποίηση και ορίζεται ως:

$$C = \sum_{Y \in N(X)} e^{\frac{-\|Y-X\|^2}{2\sigma_d^2}} e^{\frac{-\|J(Y)-J(X)\|^2}{2\sigma_r^2}}$$

## 2.2.2 Μέτρηση Τιμής Εστίασης

Η μέτρηση της τιμής εστίασης βασίζεται στη μέτρηση της αντίθεσης σύμφωνα με τον τύπο της Squared Laplacian. Η μέθοδος αυτή αποδίδει καλά αποτελέσματα και δίδεται από την εξίσωση:

$$L(x, y) = \frac{1}{J * K} \sum_{x=1}^J \sum_{y=1}^K G(x, y)^2$$

Όπου η μεταβλητή  $G(x, y)$  υπολογίζεται ξεχωριστά από την εξής εξίσωση:

$$G(x, y) = \sum_{i=x-1}^{x+1} |I(x, y) - I(i, y)| + \sum_{j=y-1}^{y+1} |I(x, y) - I(x, j)|$$

Όπου η μεταβλητή  $I(x, y)$  είναι η τιμή της έντασης στο pixel στη θέση  $(x, y)$  και οι μεταβλητές  $J$  και  $K$  αντιπροσωπεύουν το ύψος και το πλάτος ολόκληρης της περιοχής όπου έχει επιλεγθεί από το προηγούμενο βήμα.

Με την εφαρμογή αυτής της συνάρτησης είναι πολύ πιθανόν η τελική κυματομορφή να εντοπίζει πολλά διαφορετικά σημεία με υψηλές τιμές και αυτό να οφείλεται στην ύπαρξη του θορύβου. Αν και στο πρώτο βήμα γίνεται προσπάθεια εξάλειψης αυτού του θορύβου, η συγκεκριμένη συνάρτηση επειδή υψώνεται στο τετράγωνο επηρεάζεται αρκετά από το θόρυβο που έχει απομείνει στην εικόνα. Για αυτό τον λόγο, στην επεξεργασμένη εικόνα, στο σημείο αυτό εφαρμόζεται άλλο ένα φίλτρο το οποίο

έχει ως σκοπό την απαλοιφή των εσφαλμένων υψηλών τιμών (CMAN). Το φίλτρο αυτό δίνεται από την εξίσωση:

$$F(x, y) = \frac{1}{J * K} \sum_{x=1}^J \sum_{y=1}^K G(x, y) (\sqrt[n]{G(x, y) + 1} - 1)$$

Όπου η μεταβλητή  $n$  υπολογίζεται ως εξής:

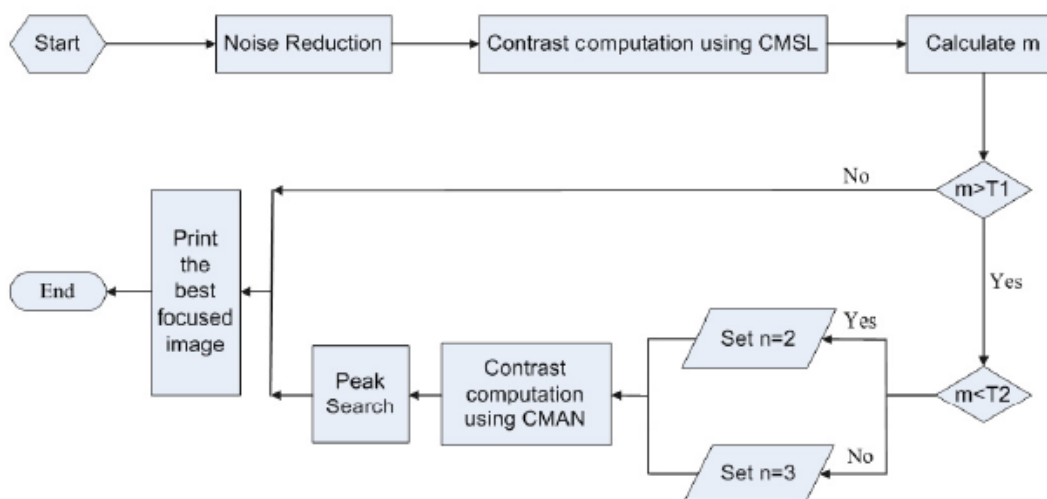
$$n = \begin{cases} 1 & m \leq T_1 \\ 2 & T_1 < m < T_2 \\ 3 & m \geq T_2 \end{cases}$$

Με τη μεταβλητή  $m$  ορίζεται ο συνολικός αριθμός των τοπικών μεγίστων με τιμή μεγαλύτερη του κατωφλίου  $T$ . Όσο μικρότερη τιμή έχει η μεταβλητή  $n$  τόσο λιγότερο επηρεασμένη είναι η εικόνα από το θόρυβο.

### 2.2.3 Εύρεση Μέγιστης Τιμής

Μόλις γίνει επεξεργασία της εικόνας με τη χρήση των απαραίτητων φίλτρων, τότε το τελικό στάδιο που απομένει σηματοδοτεί την αναζήτηση της μέγιστης τιμής και συνεπώς της βέλτιστης θέσης της κάμερας που προσδίδει την πλήρως εστιασμένη εικόνα. Οι μεθοδολογία που προτείνεται βασίζεται στην ολική αναζήτηση αλλά εφαρμόζοντας μεγάλο βήμα αντί ενός μικρότερου, ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος αναζήτησης.

Το τελικό διάγραμμα λειτουργίας αυτού του αλγορίθμου δίνεται παρακάτω:



## 2.2.4 Συμπεράσματα

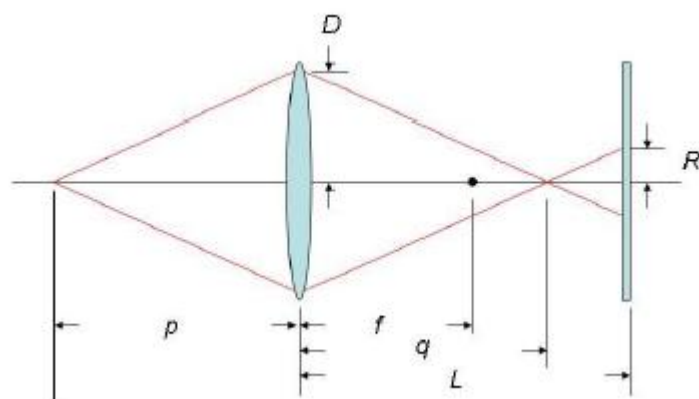
Ο αλγόριθμος αυτός ενδείκνυται για εικόνες που λαμβάνονται κάτω από κανονικές συνθήκες φωτισμού και όχι υπό χαμηλό φως. Επίσης, η υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για τον ορθό υπολογισμό όλων των παραμέτρων είναι αρκετά μεγάλη που συντελεί σε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, ενώ λόγω της λιγότερης πληροφορίας που λαμβάνεται υπό χαμηλό φωτισμό και της επίδρασης του θορύβου είναι πιθανό ο αλγόριθμος αυτός να μην καταλήγει σε βέλτιστο αποτέλεσμα.

## 2.3 CURVE PREDICTION MODEL

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος βασίζεται στο οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται και όπως αναφέρεται στον τίτλο της, έχει ως σκοπό την πρόβλεψη της συνάρτησης που απορρέει από την τιμή εστίασης για τις διαφορετικές τιμές που βρίσκεται η κάμερα. Τα μέρη στα οποία διαιρείται ο αλγόριθμος είναι: το οπτικό σύστημα, ο υπολογισμός της συνάρτησης και η μείωση θορύβου-έλεγχος μοτέρ.

### 2.3.1 Οπτικό σύστημα

Ο αλγόριθμος αυτός αποσκοπεί στη μελέτη του οπτικού συστήματος που χρησιμοποιείται, διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο πρώτο σκέλος αυτής της μεθοδολογίας. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο υπολογισμός του βήματος με πολύ υψηλή ακρίβεια, με το οποίο θα κινηθεί το μοτέρ και συνεπώς η κάμερα. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι για ορισμένη μικρή κίνηση της κάμερας δεν εντοπίζεται ουσιαστική διαφορά στην τιμή εστίασης, επομένως είναι δυνατόν να παραλειφθούν ορισμένα βήματα με αποτέλεσμα τη βελτίωση της χρονικής διάρκειας. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται κάποια βασικά χαρακτηριστικά του φακού.



Όπου ισχύει η εξίσωση:

$$R = \frac{D}{q} * |L - q|$$

### 2.3.2 Υπολογισμός Συνάρτησης

Στα πλαίσια αυτού του αλγορίθμου γίνεται ο υπολογισμός της τιμής εστίασης που θα αποδώσει τη συνάρτηση από την οποία θα προκύψει στη συνέχεια η βέλτιστη θέση που θα πρέπει να οδηγηθεί η κάμερα. Σύμφωνα με τον αλγόριθμο αυτό, η τιμή εστίασης σε μία δεδομένη θέση δίνεται από την εξίσωση:

$$\begin{aligned} FV &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{4x^2}{\pi R^6} e^{-\frac{2(x^2+y^2)}{R^2}} dx dy + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{4y^2}{\pi R^6} e^{-\frac{2(x^2+y^2)}{R^2}} dy dx \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi} R^3} \left( \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{2y^2}{R^2}} dy + \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{2x^2}{R^2}} dx \right) \end{aligned}$$

### 2.3.3 Μείωση Θορύβου-Έλεγχος Μοτέρ

Στο τελευταίο στάδιο εφαρμόζεται ένα φίλτρο για την απαλοιφή του θορύβου που ενδεχομένως να έχει επηρεάσει την τιμή εστίασης που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα έτσι ώστε να μην υπάρξουν εσφαλμένες τιμές στη συνάρτηση. Τέλος, γίνεται αναζήτηση της μέγιστης τιμής που αντιστοιχίζεται στη θέση με τη βέλτιστη εστίαση.

### 2.3.4 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός αν και παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα, είναι προσαρμοσμένος απόλυτα στο οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται. Το γεγονός αυτό αποτελεί μειονέκτημα διότι γίνεται αρκετά δύσκολος για την εφαρμογή του σε διαφορετικό οπτικό σύστημα.

## **2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ RGB ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ**

### **2.4.1 Εισαγωγή**

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, βασίζεται στην επεξεργασία των τιμών των RGB συνιστωσών, όπου R είναι το κόκκινο, G το πράσινο και B το μπλέ χρώμα. Στην αρχή, λαμβάνεται μία εικόνα από τη θέση στην οποία βρίσκεται η κάμερα. Η εικόνα αυτή είναι πολύ πιθανό να είναι αρκετά θαμπή. Οι στόχοι αυτού του αλγορίθμου χωρίζονται στους παρακάτω:

- Την ανάπτυξη ενός ικανοποιητικού συστήματος κίνησης της κάμερας. Ο αλγόριθμος θα πρέπει να παράγει ένα σήμα που θα λαμβάνει είτε αρνητική είτε θετική τιμή για τον ακριβή προσδιορισμό της κατεύθυνσης κίνησης του μοτέρ και συνεπώς της κάμερας. Αυτό το σήμα, θα εισάγεται στο σύστημα κίνησης, το οποίο θα πρέπει να λειτουργεί συγκεκριμένα και χωρίς περιθώρια λάθους.
- Επόμενος στόχος της μεθοδολογίας, είναι η ανάπτυξη ενός βελτιωμένου αλγορίθμου που θα επεξεργάζεται κατάλληλα την εικόνα και θα εξάγει ασφαλή συμπεράσματα προς το σύστημα κίνησης. Αυτό με τη σειρά του θα ενεργοποιείται για την εκτέλεση των ενεργειών που αναφέρθηκαν στην παραπάνω παράγραφο.
- Επιπλέον σκοπός του αλγορίθμου είναι η παροχή πληροφορίας που θα σχετίζεται με την κατεύθυνση και την απόσταση που θα πρέπει να κινηθεί και να καλύψει αντίστοιχα το σύστημα κίνησης.

Όλοι οι παραπάνω στόχοι, υλοποιούνται με την προϋπόθεση η κάμερα να λαμβάνει έγχρωμη εικόνα. Επίσης, κάθε οπτικό σύστημα προσδιορίζεται από συγκεκριμένο αριθμό διαμήκη χρωματικών εκτροπών. Η μεταβλητή αυτή υποδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο το βάθος εστίασης αλλάζει με το μήκος κύματος του φωτός που συλλαμβάνεται από την κάμερα. Ύστερα, παράγεται ένας πίνακας που αποθηκεύει τις τιμές των τριών κυρίων χρωμάτων (κόκκινο, πράσινο, μπλε). Στη συνέχεια, γίνεται ανάλυση των τιμών αυτών ώστε να διευκρινιστεί η φθίνουσα σειρά των τιμών. Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα, μπορεί να αποσαφηνιστούν οι εντολές που θα δωθούν στο σύστημα κίνησης.

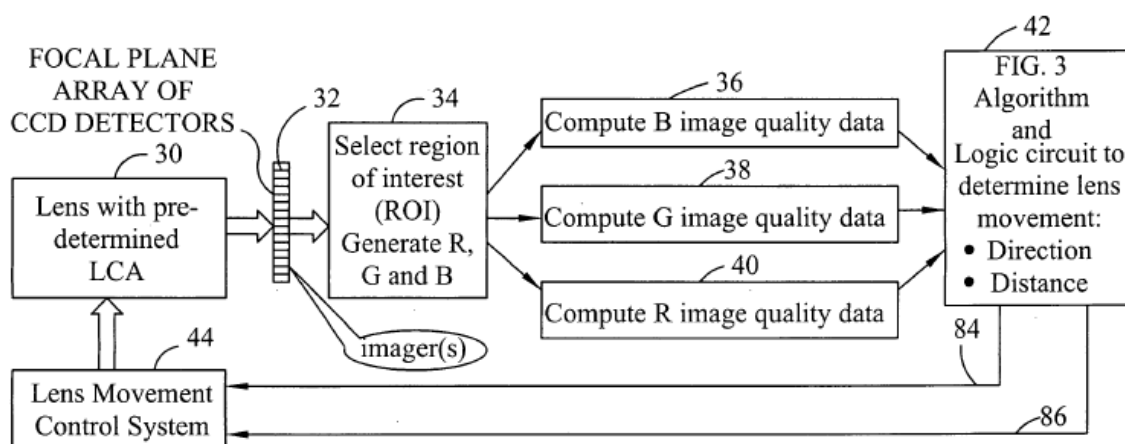
Για παράδειγμα, το σήμα μετατρέπεται σε θετικό αν η συνιστώσα του μπλε είναι υψηλότερη από τη συνιστώσα του κόκκινου. Στην αντίθετη περίπτωση, το σήμα

μετατρέπεται σε αρνητικό αν η συνιστώσα του κόκκινου είναι υψηλότερη από τη συνιστώσα του μπλε.

Τέλος, δεσμεύεται μνήμη για την αποθήκευση των τιμών βάθους εστίασης του συστήματος κίνησης όπως επίσης αποθηκεύονται και οι τιμές των συνιστωσών του οπτικού συστήματος. Αφού επεξεργαστούν τα δεδομένα του δεύτερου πίνακα παράγεται ένας αριθμός που αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένη θέση του πρώτου πίνακα και επομένως το σύστημα κίνησης γνωρίζει την ακριβή θέση στην οποία πρέπει να κινηθεί. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τον εντοπισμό της βέλτιστης θέσης εστίασης.

## 2.4.2 Γραφήματα

Παρακάτω παρουσιάζεται το γενικευμένο διάγραμμα του αλγορίθμου:



Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή των συνιστωσών του οπτικού συστήματος ανάλογα με το βάθος εστίασης:

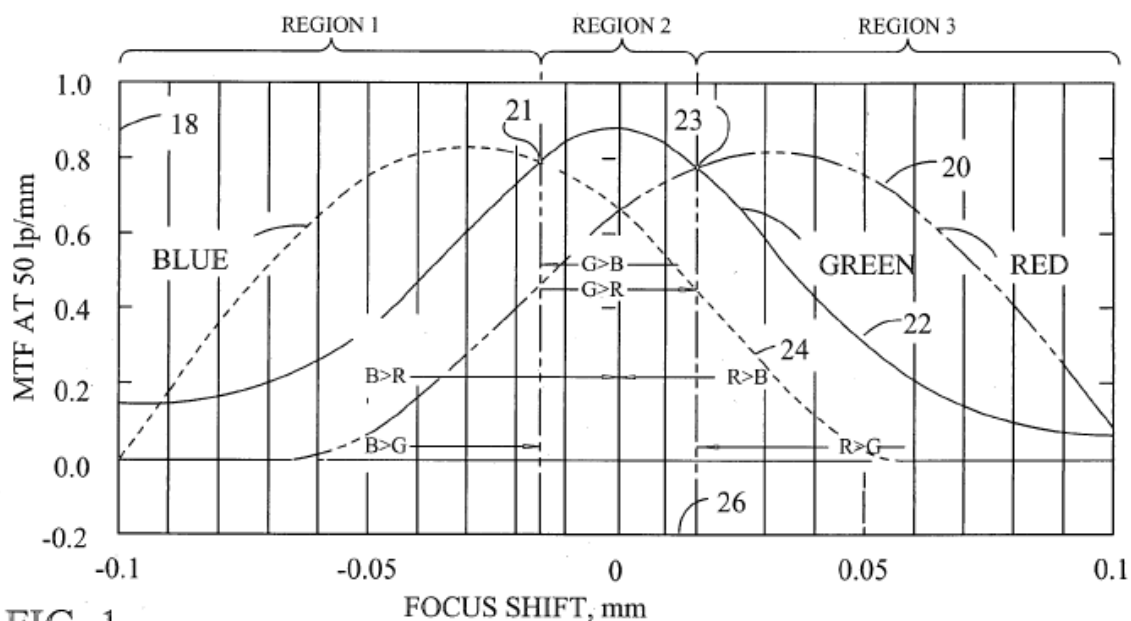


FIG. 1

Στα παρακάτω δύο διαγράμματα παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία πάνω στην οποία βασίζεται η απόφαση για τις εντολές του συστήματος κίνησης:

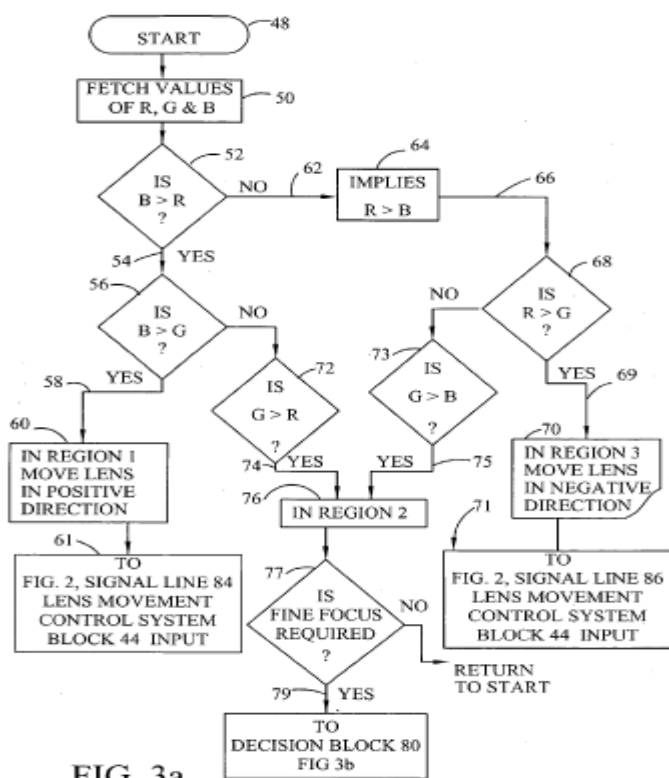
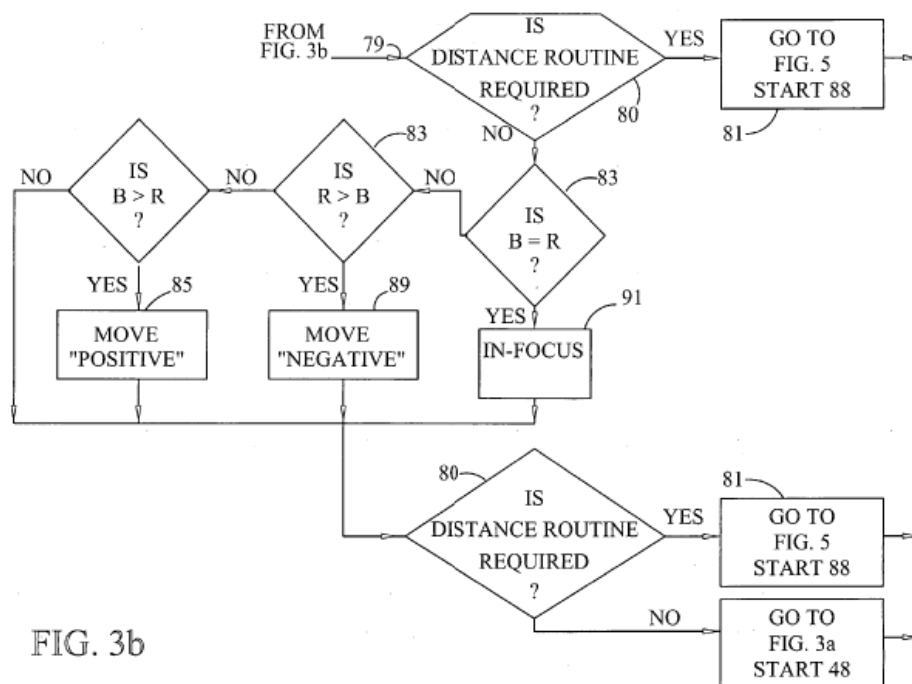


FIG. 3a





### 2.4.3 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός όπως αναλύθηκε προηγουμένως είναι αποτελεσματικός όταν λαμβάνεται έγχρωμη εικόνα. Ως συνέπεια αυτού, η εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου σε διατάξεις, οι οποίες δεν είναι συμβατές με έγχρωμες κάμερες θεωρείται πως θα επιφέρει πάρα πολύ κακά αποτελέσματα χωρίς να απορρίπτεται η επιλογή της μη εκτέλεσης του αλγορίθμου γενικότερα.

## **2.5 State Transition Model**

### **2.5.1 Εισαγωγή**

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος, στοχεύει στην ανάλυση των δεδομένων καθώς η εικόνα πάνω στην οποία επιθυμούμε εστίαση συνεχώς αλλάζει. Επομένως, εξειδικεύεται στην κατάσταση που απαιτείται από το σύστημα αυτόματης εστίασης να επαναλάβει τη διαδικασία εστίασης. Το πρόβλημα που εισάγεται κατά τη διάρκεια της συνεχούς αυτόματης εστίασης είναι ο εντοπισμός του ολικού μέγιστου κάθε στιγμή με τη χρήση της συνάρτησης της τιμής εστίασης. Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά στα οποία βασίζεται ο αλγόριθμος αυτός είναι:

- Τη στιγμή που θα υπάρξει αλλαγή στην εικόνα πάνω στην οποία επιθυμούμε να εστιάσουμε, ανεξάρτητα αν η αλλαγή αυτή είναι μικρή ή μεγάλη θα πρέπει να παρατηρήσουμε ανάλογη μεταβολή της τιμής εστίασης,
- Όταν γίνει αισθητή η μεταβολή αυτή, θα πρέπει το σύστημα κίνησης να ανταποκριθεί με τον σωστό τρόπο, δηλαδή να προσδιορίσει την κίνηση της κάμερας προς την κατεύθυνση που θα επιτύχει πλήρη εστίαση αλλά και τη διάρκεια αυτής.

Τα βασικά στάδια στα οποία διαιρείται η εκτέλεση του αλγορίθμου αυτού είναι η είσοδος δεδομένων (data input), ο καθορισμός της κατάστασης (state determination) και η απόφαση επανεστίασης (refocus decision), τα οποία αναλύονται παρακάτω:

### **2.5.2 Είσοδος Δεδομένων(Data Input)**

Στο στάδιο αυτό αρχικοποιούνται τρεις μεταβλητές, οι οποίες χρησιμοποιούνται στα επόμενα στάδια και χρειάζονται για τη λήψη απόφασης όσο αφορά την αναγκαιότητα για επανεστίαση ή όχι. Για να είναι ακριβείς οι υπολογισμοί, η απόφαση αυτή λαμβάνεται κάθε 5 φορές που λαμβάνεται εικόνα. Κατά τη διάρκεια των πέντε αυτών λήψεων υπολογίζεται ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση των τιμών εστίασης που έχουν ληφθεί. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η επιλογή της κατάστασης στην οποία βρίσκεται ο αλγόριθμος σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αναλύονται στο επόμενο στάδιο.

### **2.5.3 Καθορισμός Κατάστασης(State Determination)**

Για να εξακριβωθεί σε ποιά κατάσταση βρίσκεται η εκτέλεση του αλγορίθμου λαμβάνεται υπόψη το κλάσμα με αριθμητή την τωρινή τιμή εστίασης και παρανομαστή την προηγούμενη τιμή εστίασης. Αν η αναλογία αυτή είναι μικρή τότε αυτό το νούμερο μεταφράζεται ως μείωση της τιμής εστίασης, ενώ διαφορετικά μεταφράζεται ως αύξηση. Σε δεδομένη στιγμή  $t$  το κλάσμα υπολογίζεται από την εξής εξίσωση:

$$F_t^{ratio} = \left( \frac{\bar{f}_{t-4}}{\bar{f}_{t-5}}, \frac{\bar{f}_{t-3}}{\bar{f}_{t-4}}, \frac{\bar{f}_{t-2}}{\bar{f}_{t-3}}, \frac{\bar{f}_{t-1}}{\bar{f}_{t-2}}, \frac{\bar{f}_t}{\bar{f}_{t-1}} \right)$$

Και στη συνέχεια, η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της κατάστασης σύμφωνα με την εξής εξίσωση:

$$S_t = \begin{cases} 1, & \bar{f}_t^{ratio} > T_U \\ 0, & T_L < \bar{f}_t^{ratio} < T_U \\ -1, & \bar{f}_t^{ratio} < T_L \end{cases}$$

Όπου 1 νοείται η κατάσταση στην οποία παρατηρείται αύξηση, 0 η κατάσταση στην οποία παρατηρείται σταθερότητα και τέλος -1 η κατάσταση στην οποία παρατηρείται μείωση στην τιμή εστίασης.

Πρέπει να τονιστεί ότι όπως φαίνεται στην πρώτη εξίσωση, για καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται και συγκρίνονται πέντε αναλογίες της τιμής εστίασης.

#### 2.5.4 Απόφαση Επανεστίασης(Refocus Decision)

Στο στάδιο αυτό η ανάπτυξη του αλγορίθμου βασίζεται σε τρία επιμέρους κριτήρια, τα οποία αναλύονται προσεκτικά.

Πρωτίστως, όταν παρατηρείται σταδιακή μείωση της τιμής εστίασης, εκτελείται επανεστίαση. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει ότι η πρώτη κατάσταση εστίασης έχει αλλάξει, δηλαδή το αντικείμενο εστίασης δεν βρίσκεται πλέον σε πλήρη εστίαση. Ειδικότερα, επιθυμούμε τη βέλτιστη συμπεριφορά του συστήματος εστίασης κάθε φορά που παρατηρείται μεταβολή. Επομένως, το οπτικό σύστημα αντιλαμβάνεται μεγάλη μείωση σύμφωνα με τον εξής κανόνα:

$$\frac{\Delta_t^D}{\bar{f}_t} > T_D$$

Όπου  $\Delta_t^D = f_{tD} - f_t$  και  $t_D$  νοείται ο χρόνος από τη πρώτη στιγμή που παρατηρήθηκε η μείωση στην τιμή εστίασης. Η μεταβλητή  $T_D$  θεωρείται σταθερά ίση με 1.

Δεύτερων, εκτελείται επανεστίαση όταν ενώ παρατηρείται αύξηση στην τιμή εστίασης, το χρονικό διάστημα πάνω στο οποίο συμβαίνει δεν θεωρείται επαρκές. Το συμβάν αυτό συμβαίνει όταν το οπτικό σύστημα κινείται πολύ αργά προς τη σωστή θέση για πλήρη εστίαση. Ο κανόνας που χρησιμοποιείται είναι ο εξής:

$$\frac{\Delta_t^I}{\bar{f}_t} < T_I \text{ or } \bar{f}_t < M_t + K S_t$$

Όπου  $T_I$  νοείται σταθερά τιμή ίσης με 0.3 και  $M_t, S_t$  είναι ολικός μέσος όρος και η ολική τυπική απόκλιση αντίστοιχα, που υπολογίζονται ως εξής:

$$M_t = (1 - \eta) M_{t-1} + \eta \bar{f}_t$$

$$S_t^2 = (1 - \eta) S_{t-1}^2 + \eta s_t^2$$

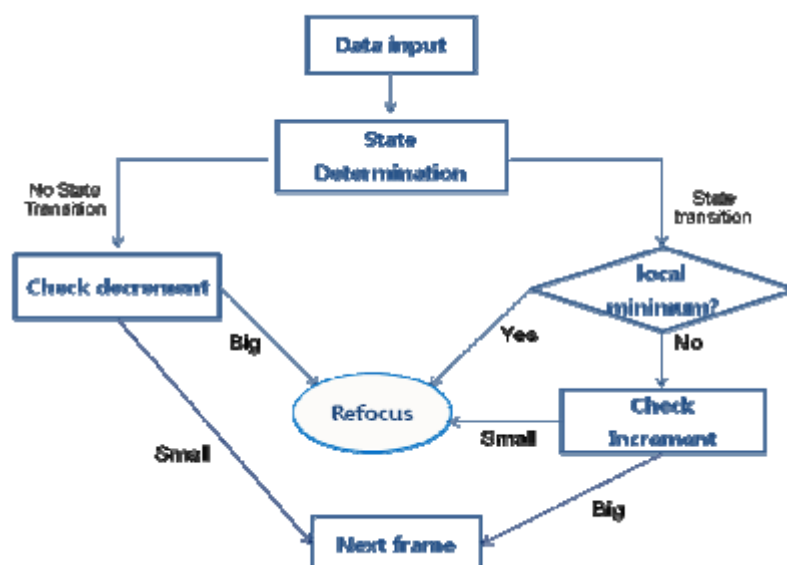
Όπου οι μεταβλητές  $\eta$  και  $k$  είναι σταθερές που ορίζονται σύμφωνα με την εκάστοτε εφαρμογή.

Τέλος, το τρίτο και τελευταίο κριτήριο όταν παρατηρείται τοπικό ελάχιστο. Τοπικό ελάχιστο θεωρείται το σημείο στο οποίο η μονοτονία της συνάρτησης της τιμής εστίασης αλλάζει από φθίνουσα σε αύξουσα. Δύναται η προσωρινή μείωση να συμβεί εξαιτίας του θορύβου. Ένα τοπικό ελάχιστο προσδιορίζεται όταν μία αύξηση παρατηρείται κάθε  $n$  μετρήσεις. Όπου  $n$  σταθερά που έχει λάβει τιμή στο πρώτο στάδιο. Επίσης, όταν παρατηρείται μείωση σύμφωνα με τις πρώτες μετρήσεις με χρήση της εξίσωσης:

$\bar{f}_{t-1} > 1.3 \bar{f}_t$  τότε το οπτικό σύστημα ανταποκρίνεται δίχως τη μέτρηση των επόμενων τιμών για τη βελτιστοποίηση του χρόνου αντίδρασης.

### 2.5.5 Διάγραμμα

Το διάγραμμα που συνοψίζει την ακολουθία του αλγορίθμου αυτού είναι:



### 2.5.6 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του συστήματος αυτόματης εστίασης που επιθυμούμε να υλοποιήσουμε με μοναδικό μειονέκτημα την εισαγωγή πολλαπλών μεταβλητών για τον έλεγχο της διαδικασίας σε κάθε χρονική στιγμή. Το γεγονός αυτό, τον καθιστά αρκετά πολύπλοκο σε σχέση με τον τελικό επιλαχόντα αλγόριθμο.

## 2.6 Minimum Entropy-Adaptive Order Polynomial Model

### 2.6.1 Εισαγωγή

Έχει αποδειχθεί ότι υπολογίζοντας την εντροπία μίας εικόνας είναι δυνατός ο καθορισμός του βαθμού εστίασης. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο χαμηλή τιμή λαμβάνει η εντροπία τόσο περισσότερο εστιασμένη είναι η εικόνα. Για τον υπολογισμό της εντροπίας είναι απαραίτητη η ανίχνευση φάσης. Πιο αναλυτικά, στην αρχή εκτιμάται η επεξεργασμένη εικόνα μέσω της εξίσωσης:

$$g(m, n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(k, n) \exp[j\varphi(k)] \exp\left(j \frac{2\pi}{M} km\right)$$

Όπου  $F(k, n)$  είναι η αρχική εικόνα και  $\varphi(k)$  η φάση. Στη συνέχεια, με δεδομένο την επεξεργασμένη εικόνα  $g(m, n)$  υπολογίζεται η εντροπία από την εξίσωση:

$$\varepsilon \left[ |g(m, n)|^2 \right] = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \frac{|g(m, n)|^2}{S} \ln \frac{S}{|g(m, n)|^2}$$

Όπου  $S$  η τιμή του ολικού αθροίσματος:

$$S = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |g(m, n)|^2$$

Έχοντας υπολογίσει την εντροπία, ως δεύτερο βήμα, γίνεται ελαχιστοποίηση αυτής της συνάρτησης για την παραγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων:

$$\varepsilon \left[ |g(m, n)|^2 \right] = \ln S - \frac{1}{S} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |g(m, n)|^2 \ln |g(m, n)|^2$$

Η οποία στη συνέχεια, γράφεται:

$$\varepsilon' \left[ |g(m, n)|^2 \right] = - \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |g(m, n)|^2 \ln |g(m, n)|^2$$

Εξίσωση, η οποία παράγει και το τελικό αποτέλεσμα σύμφωνα με το οποίο πραγματοποιείται αναζήτηση της μικρότερης τιμής που αντιπροσωπεύει και τη θέση πλήρης εστίασης.

### 2.6.2 Εκτίμηση Φάσης

Ο αλγόριθμος αυτός, εκτός του ότι βασίζεται στην εντροπία για την εύρεση της βέλτιστης θέσης της κάμερας, αναφέρεται και στον τρόπο με τον οποίο υπολογίζεται η φάση, χρησιμοποιώντας πολυωνυμική συνάρτηση. Πιο συγκεκριμένα, η φάση δίνεται από την εξίσωση:

$$\phi(\omega) = - \sum_{i=2}^I \pi \frac{\beta_i}{i} \left( \frac{\omega - \omega_0}{\pi} \right)^i \quad \omega_0 - \pi \leq \omega < \omega_0 + \pi$$

Όπου  $\omega_i$  το κέντρο βάρους της εικόνας μετρημένο σε ακτίνια και  $\beta_i$  άγνωστη μεταβλήτη που πρέπει να υπολογιστεί σε περαιτέρω βήματα. Επομένως, γνωρίζουμε ότι:

$$\Delta_i(\omega) = \beta_i \left( \frac{\omega - \omega_0}{\pi} \right)^{i-1} \quad \omega_0 - \pi < \omega < \omega_0 + \pi$$

Καταλήγουμε στον υπολογισμό του ορίου:

$$\beta_i = \lim_{\omega \rightarrow (\omega_0 + \pi)^-} \Delta_i(\omega)$$

Το οποίο παράγει το  $\beta_i$  και άρα ενσωματώνοντας την τιμή αυτή στην αρχική εξίσωση λαμβάνουμε το τελικό αποτέλεσμα της φάσης μέσω των εξισώσεων:

$$\varphi(k) = - \sum_{i=2}^I \pi \frac{\beta_i}{i} \left[ \frac{2}{M} (k - k_0) \right]^i \quad k_0 - \frac{M}{2} \leq k < k_0 + \frac{M}{2}$$

Όπου  $k_0$  το κέντρο βάρους που δίδεται από:

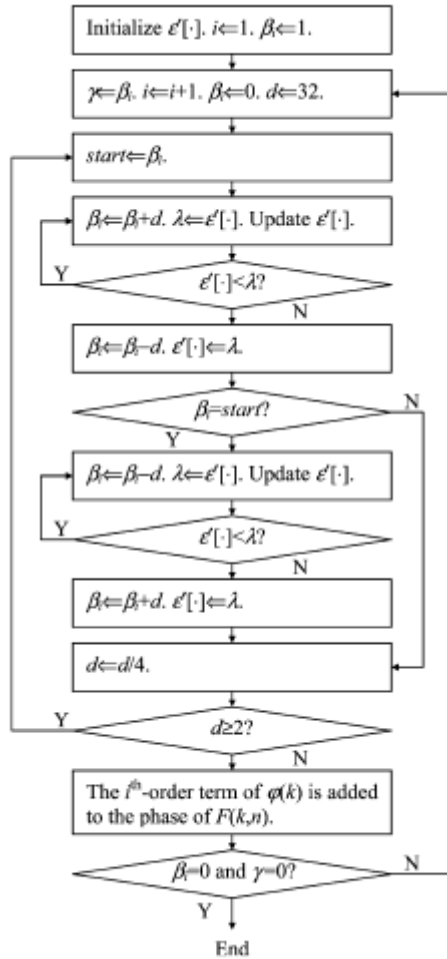
$$k_0 = \frac{M}{2\pi} \omega_0.$$

Με λίγες πράξεις, καταλήγουμε στη τελική μορφή της εξίσωσης:

$$\varphi(k) = \begin{cases} -\sum_{i=2}^I \pi \frac{\beta_i}{i} \left[ \frac{2}{M} (k - k_0) \right]^i, & 0 \leq k < k_0 + \frac{M}{2} \\ -\sum_{i=2}^I \pi \frac{\beta_i}{i} \left[ \frac{2}{M} (k - k_0 - M) \right]^i, & k_0 + \frac{M}{2} \leq k < M \end{cases}$$

### 2.6.3 Γράφημα

Όλοι οι υπολογισμοί και η διαδικασία που αναπτύσσεται στην ενότητα 2.6.2 παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα:



## 2.6.4 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός παρουσιάζει απλή δομή όσο αφορά την ανάπτυξη των υποενοτήτων. Παρόλα αυτά, οι ενδιάμεσες πράξεις που απαιτούνται για τον ορθό υπολογισμό των κρίσιμων μεταβλητών σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις διακρίνονται σε αρκετά πολύπλοκες με υψηλές απαιτήσεις σε μαθηματικά. Τέλος, τα αποτελέσματα του αλγορίθμου κατηγοριοποιούνται ικανοποιητικά.

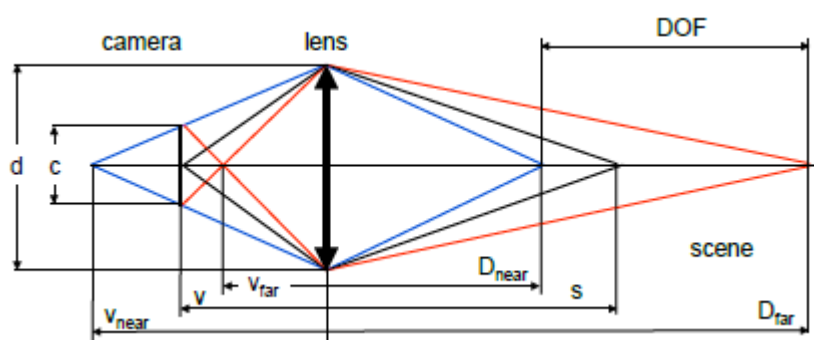
## 2.7 Generalized Autofocus

### 2.7.1 Εισαγωγή

Ο αλγόριθμος αυτός αποσκοπεί στην εύρεση του κατάλληλου σημείου για την κάμερα μέσω του ελάχιστου αριθμού από εικόνες προς επεξεργασία. Η βασική ιδέα έγκειται στη σύλληψη ενός αρχικού αριθμού εικόνων, από τις οποίες γίνεται διαλογή για την εξακρίβωση του μικρότερου δυνατού αριθμού από εικόνες. Οι εικόνες αυτές προσδίδουν τις θέσεις στις οποίες τραβήχτηκαν και σε τελικό στάδιο, επανασυλλαμβάνονται ώστε ο αλγόριθμος να καταλήξει στην εικόνα και άρα στη θέση της κάμερας που προσφέρει πλήρη εστίαση. Η διαδικασία διαιρείται σε τέσσερα βασικά στάδια.

### 2.7.2 Depth of Field Limits

Η συσχέτιση ανάμεσα στο βάθος εστίασης και στη συγκεκριμένη απόσταση του αντικειμένου εστίασης είναι αρκετά σημαντική για αυτή τη μέθοδο. Στην επόμενη εικόνα διακρίνονται καθαρά όλα τα απαραίτητα μέρη:



Όπου  $s$  συμβολίζεται η απόσταση του αντικειμένου εστίασης,  $d$  η διάμετρος του φακού της κάμερας,  $D_{far}$  και  $D_{near}$  αποστάσεις στις οποίες το αντικείμενο φαίνεται θαμπό και θα βρισκόταν σε πλήρη εστίαση στις αποστάσεις  $V_{far}$  και  $V_{near}$  αντίστοιχα. Τέλος ως  $c$  θεωρείται το κέντρο εστίασης του φακού από το οποίο μετρείται η νοητή απόσταση από το αντικείμενο εστίασης.



Θέτοντας ως  $N=f/d$  όπου  $F$  η εστιακή απόσταση, μπορούμε να υπολογίσουμε τις αποστάσεις  $D_{near}$  και  $D_{far}$  μέσω των εξισώσεων:

$$D_{near} = \frac{sf^2}{f^2 + Nc(s - f)} \quad D_{far} = \frac{sf^2}{f^2 - Nc(s - f)}$$

### 2.7.3 Scene measurement

Το πρώτο σκέλος του αλγορίθμου είναι η επιλογή των εικόνων. Το μέγεθος του φακού της κάμερας θεωρείται σταθερό και δεν αλλάζει. Στην περίπτωση που θα άλλαζαν οι αποστάσεις που αναφέρθηκαν στην παραπάνω ενότητα θα είχε συνέπεια την εσφαλμένη εκτέλεση του αλγορίθμου. Η επιλογή των εικόνων γίνεται με βάση τρία κριτήρια, τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

1. Κάθε αντικείμενο ανάμεσα στο  $D_{near}$  και  $D_{far}$  πρέπει να βρίσκεται σε εστίαση σε τουλάχιστον μία από το σύνολο των εικόνων,
2. Ο συνολικός χρόνος σύλληψης των εικόνων θα πρέπει να είναι ο λιγότερος δυνατός και
3. Ο αριθμός των εικόνων που συλλαμβάνονται θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός.

Ο μοναδικός τρόπος να επιτευχθεί το πρώτο κριτήριο είναι να αποθηκευτούν όλες οι φωτογραφίες, οι οποίες κατά την διαδικασία σύλληψης τους να παρουσίαζαν τοπικό μέγιστο στη συνάρτηση εστίασης. Επομένως:

Θέτουμε DOF όπου ορίζεται το Depth Of the Field (ή διαφορετικά το βάθος εστίασης),

$DOF_n = (D_{near}^n, D_{far}^n)$ , ως  $H$  η απόσταση του αντικειμένου εστίασης και  $D_{far}$  το άπειρο. Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση μπορούμε να υπολογίσουμε το  $H$  ως:

$(D_{near}^n, D_{far}^n) = (H/2, \text{άπειρο})$  ενώ το επόμενο τοπικό μέγιστο βρίσκεται στη θέση:

$$DOF_{n-1} = (D_{near}^{n-1}, D_{far}^{n-1}) = (D_{near}^{n-1}, D_{far}^n)$$

Με τη χρήση αυτών των εξισώσεων επιτυγχάνουμε τη διχοτόμηση όλου του βάθους εστίασης και ως ακολούθως την κάλυψη όλου του μήκους, καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο το πρώτο κριτήριο.

Παρόλα αυτά με την εφαρμογή μόνο των παραπάνω εξισώσεων δεν επιτυγχάνονται οι υπόλοιποι δύο στόχοι του αλγορίθμου. Η λύση δίνεται κουνώντας την κάμερα από τη μικρότερη στη μεγαλύτερη απόσταση με αρκετά αργό ρυθμό ώστε να προλαβαίνει αυτή να λαμβάνει όλες τις απαραίτητες εικόνες, οι οποίες αποθηκεύονται για μεταγενέστερη επεξεργασία. Με τον τρόπο αυτό, καταφέρνεται να βρίσκεται σε ακινησία η κάμερα μόλις δύο φορές, πριν να ξεκινήσει να κινείται και όταν έχει εστιάσει πλήρως.

Οπότε, θέτοντας ως  $S_n$  τη συνολική διάρκεια που η κάμερα βρίσκεται σε εστίαση σε ένα συγκεκριμένο σημείο, ενώ  $S_{n+1}$  η συνολική διάρκεια στην οποία η κάμερα βρίσκεται στο χείλος της αλλαγής εστίασης μπορούμε να υπολογίσουμε τη συγκεκριμένη ταχύτητα της κάμερας μέσω της εξίσωσης:

$$S = \frac{s_{n+1} - s_n}{e}$$

Όπου  $e$  θεωρείται ο χρόνος από τη στιγμή που ξεκίνησε η διαδικασία. Με κατάλληλες τροποποιήσεις και περαιτέρω πράξεις καταλήγουμε στην εξίσωση:

$$S = \frac{s_n N c (s_n - f)}{e (f^2 - s_n N c)}$$

## 2.7.4 Sharpness Analysis

Αφού η λίστα με τις απαραίτητες εικόνες έχει πλέον δημιουργηθεί, απομένει η επεξεργασία αυτών, ώστε να επιλεχθεί η τελική εικόνα. Με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων, είναι δυνατός ο εντοπισμός των αντικειμένων στην εικόνα. Η εκτέλεση χωρίζεται σε δύο βασικά στάδια:

- Καθορισμός εστίασης των αντικειμένων. Ενδέχεται σε πολλές περιπτώσεις η εστίαση να αφορά σε περισσότερα του ενός αντικειμένων, επομένως είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός των εικόνων. Στη μία κατηγορία βρίσκονται τα αντικείμενα που είναι σε εστίαση στο μπροστινό μέρος της εικόνας και στη δεύτερη τα αντικείμενα που βρίσκονται σε εστίαση στο πίσω μέρος (φόντο) της εικόνας.
- Στην κάθε κατηγορία, οι εικόνες υφίστανται δεύτερη επεξεργασία για τον εντοπισμό της μίας συγκεκριμένης που θα παρουσιάζει το αντικείμενο σε πλήρη εστίαση και όχι σε μερική εστίαση.

Ο παρακάτω αλγόριθμος, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βαθμού εστίασης και αφορά κυρίως τη δεύτερη διαδικασία:

Θέτοντας  $M$  την εικόνα που μεγιστοποιεί την εστίαση και  $i$  το συγκεκριμένο pixel πάνω στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί, ένα pixel φαίνεται καθαρά ή είναι θαμπό ανάλογα:

- $(i)$  is sharp if  $i = M$ ;
- $(i)$  is sharp if  $i < M$ ,  $Sp(M) - Sp(i) < t_2$ , and  $(i+1)$  is sharp;
- $(i)$  is sharp if  $i > M$ ,  $Sp(M) - Sp(i) < t_2$ , and  $(i-1)$  is sharp;
- $(i)$  is blurry otherwise.

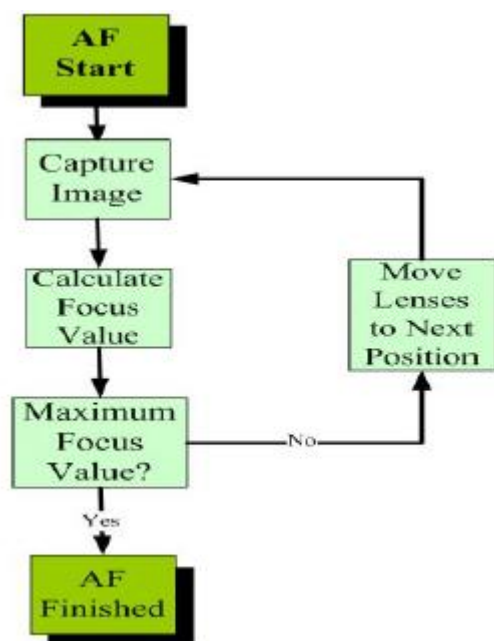
### 2.7.5 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός σχετίζεται με τον αλγόριθμο Curve Prediction Model που έχει αναλυθεί στην ενότητα 2.3 στο γεγονός ότι και οι δύο αλγόριθμοι χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κάμερας που χρησιμοποιείται. Η διαφορά αυτών είναι ότι ο πρώτος χρησιμοποιεί περισσότερα δεδομένα όπως επίσης έχει ληφθεί στις μετρήσεις όλο το βάθος εστίασης πάνω στο οποίο λειτουργεί η κάμερα. Ο δεύτερος αλγόριθμος, βασίζεται σε ένα μοντέλο πρόβλεψης της επόμενης θέσης και τελικώς της καλύτερης θέσης για εστίαση, ενέργεια που περιέχει υψηλότερο περιθώριο λάθους σε σχέση τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Και στις δύο περιπτώσεις, οι αλγόριθμοι αυτοί είναι σχεδιασμένοι για ειδικές εφαρμογές και αφού έχουν παρατηρηθεί τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των καμερών. Το γεγονός αυτό, τους καθιστά ως ένα βαθμό προβληματικούς όσο αφορά το θέμα συμβατότητας, επειδή μετατρέπονται σε δύσχρηστους και πολύπλοκους για την ευρεία εφαρμογή τους.

## **2.8 Adaptive Step Size Search**

### **2.8.1 Εισαγωγή**

Ο αλγόριθμος αυτός, όπως και οι προηγούμενοι χαρακτηρίζεται παθητικός και έχει σκοπό την ελαχιστοποίηση των ενεργειών που απαιτούνται για την παραμονή της κάμερας συνεχώς σε εστίαση ανεξάρτητα αν παρατηρείται αλλαγή στη θέση του αντικειμένου ή της έντασης του φωτισμού. Η μέθοδος που ακολουθείται παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



### **2.8.2 Βασικά Στάδια**

Πιο αναλυτικά, η συνολική μεθοδολογία χωρίζεται σε τέσσερα απλά στάδια:

#### **1. Την αρχική κατάσταση**

Στο στάδιο αυτό γίνεται η αρχικοποίηση του αλγορίθμου, όπου λαμβάνονται οι αρχικές εικόνες και άρα οι αρχικές τιμές της τιμής εστίασης. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται ως αρχικό κριτήριο προς σύγκριση όσο αφορά τις μελλοντικές ληφθείσες τιμές.

#### **2. Την πρώτη κατάσταση**

Στο χωρίο αυτό, θεωρείται πως η συνάρτηση της τιμής εστίασης παραμένει σταθερή και σε χαμηλά επίπεδα. Η πιθανότητα ύπαρξης ολικού μεγίστου τείνει στο μηδέν. Επομένως, η ταχύτητα προσπέλασης των θέσεων της κάμερας είναι ελάχιστα αυξημένη μέχρις ότου το σύστημα αντιληφθεί σημαντική μεταβολή της τιμής εστίασης όπου και επιστρέφει στην αρχική ταχύτητα.

### 3. Την μεσαία κατάσταση

Στο επίπεδο αυτό, το οπτικό σύστημα αρχίζει και αντιλαμβάνεται ουσιαστική μεταβολή της τιμής εστίασης. Η ταχύτητα με την οποία κινούνται στο προηγούμενο βήμα το σύστημα κίνησης ελαττώνεται προς αποφυγή απόρριψης κάποιας θέσης της κάμερας. Η ύπαρξη τοπικού μεγίστου που μπορεί να μετατραπεί σε ολικό είναι πιθανή. Παρόλα αυτά, είναι περισσότερο πιθανό το ολικό μέγιστο να παρατηρηθεί σε μελλοντικές μετρήσεις.

### 4. Την τελική κατάσταση

Η τελική κατάσταση αντιπροσωπεύει, το σημείο της εκτέλεσης όπου είναι εξαιρετικά πιθανό να βρεθεί το ολικό μέγιστο της συνάρτησης της τιμής εστίασης. Η μεταβολή της τιμής αυτής είναι βίαιη ακόμα και για δύο γειτονικές θέσεις της κάμερας. Η αποφυγή κάποιας θέσης της κάμερας ίσως αποβεί καθοριστική στη διαμόρφωση της τελικής απόφασης για αυτό η προσπέλαση των θέσεων είναι αυστηρά ενδεδεχής.

Αφού έχουν αναλυθεί οι τέσσερις κύριες κατηγορίες θα πρέπει να αναλυθεί και ο τρόπος με χρήση πραγματικών τιμών πάνω στις οποίες το οπτικό σύστημα αντιλαμβάνεται σε ποια απο όλες τις κατηγορίες βρίσκεται κάθε στιγμή. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

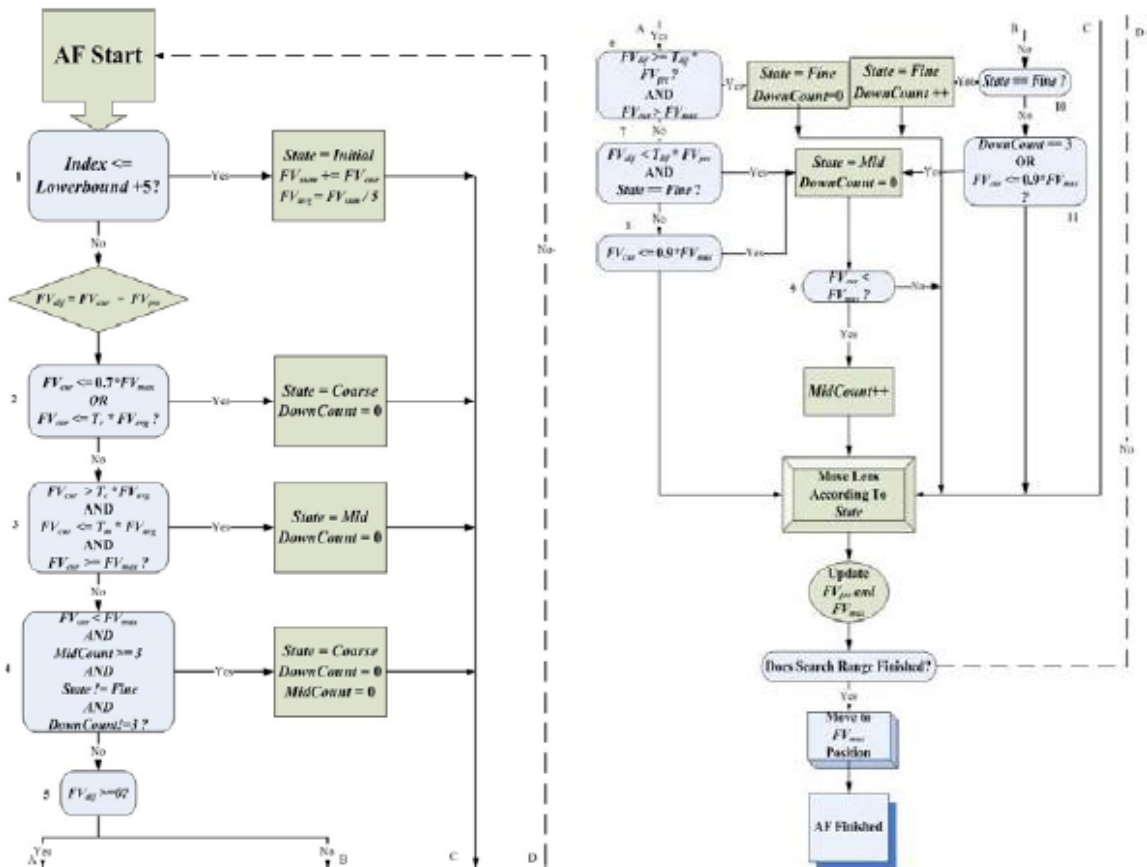
## 2.8.3 Κριτήρια Απόφασης

Όπως αναλύθηκε προηγουμένως η εκτέλεση του αλγορίθμου ξεκινάει από την αρχική κατάσταση. Στην κατάσταση αυτή υπολογίζεται η τιμή εστίασης για κάθε βήμα της κάμερας χωριστά καθώς και ο μέσος όρος όλων των δειγμάτων. Οι συνολικές διαφορετικές τιμές δεν είναι πολλές αφού ο συνολικός χρόνος που το σύστημα παραμένει σε αυτή τη φάση είναι μικρός. Ο κύριος λόγος που υπάρχει αυτή η κατηγορία είναι η αρχικοποίηση του συστήματος.

Αφού ολοκληρωθεί ο υπολογισμός των πρώτων θέσεων, ο αλγόριθμος εισάγεται στη δεύτερη κατηγορία όπου ξεκινά ο υπολογισμός της διαφοράς των τιμών εστίασης ανάμεσα στην αμέσως προηγούμενη και τη τωρινή τιμή. Παράλληλα κάθε φορά που λαμβάνουμε μέγιστη τιμή, αυτή αποθηκεύεται.

Στην μεσαία κατάσταση, εισάγονται δύο ακόμα μεταβλητές (downcount και midcount). Κάθε φορά που η διαφορά των τιμών εστίασης είναι αρνητική, αυξάνεται κατά ένα η μεταβλητή downcount. Κάθε φορά που η τωρινή τιμή εστίασης είναι μικρότερη της μέγιστης τιμής, αυξάνεται κατά ένα η δεύτερη μεταβλητή. Και οι δύο μεταβλητές αρχικοποιούνται στο μηδέν στην πρώτη κατάσταση.

Τελική παράμετρος που πρέπει να αναφερθεί είναι η χρήση ενός αυθαίρετου κατωφλίου  $T_c$  που χρησιμοποιείται ως ποσοτικό μέτρο για τη διαλογή των καταστάσεων. Η αναλυτική περιγραφή του αλγορίθμου παρουσιάζεται στα δύο παρακάτω διαγράμματα:



## 2.8.4 Συμπεράσματα

Ο αλγόριθμος αυτός παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα σε μικρό χρόνο. Επίσης, βάση των χαρακτηριστικών του είναι δυνατή η εφαρμογή του σε ευρεία ποικιλία προβλημάτων καθώς δεν απαιτεί χαρακτηριστικά του οπτικού συστήματος. Σε μειονέκτημα του μετατρέπεται η ολική αναζήτηση, αφού εξετάζει όλες τις θέσεις του συστήματος κίνησης αυξάνοντας ελάχιστα τον χρόνο εκτέλεσης αλλά με αυτό τον τρόπο μειώνεται αισθητά το περιθώριο λάθους.

## **2.9 Επίλογος**

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάσαμε και αναλύσαμε εις βάθος, οκτώ αλγόριθμους με όμοια αλλά και διαφορετικά χαρακτηριστικά που εφαρμόζονται σε ποικίλες εφαρμογές. Η χρήση κάποιων απορρίφθηκε λόγω τεχνικών χαρακτηριστικών ενώ άλλων λόγω χαρακτηριστικών λειτουργίας. Ο αλγόριθμος που επιλέχτηκε είναι ο **Adaptive Step Size Search** εξαιτίας των καλών αποτελεσμάτων που εξάγει αλλά και της μικρότερης πολυπλοκότητάς του έναντι των υπολοίπων. Παρόλα αυτά ο τελικός αλγόριθμος που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής παρουσιάζει μερικές διαφορές στο σχεδιασμό που θα αναπτυχθούν σε παρακάτω κεφάλαιο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Όπως αναλύθηκε στο πρώτο κεφάλαιο όλα τα συστήματα αυτόματης εστίασης συνδυάζουν δύο επιμέρους συστήματα. Το οπτικό σύστημα και το σύστημα κίνησης. Το πρώτο, αφορά τον αισθητήρα δηλαδή την κάμερα που λαμβάνει την εικόνα, η οποία έπειτα από κατάλληλη υπολογιστική επεξεργασία καταλήγουμε στην πλήρη εστιασμένη εικόνα. Το δεύτερο αποτελεί το σύστημα κίνησης της διάταξης. Σε αυτό περιλαμβάνεται το μοτέρ που μοναδικό σκοπό έχει την σταθερή και βηματική κίνηση της κάμερας ώστε να λαμβάνονται όλες οι απαραίτητες εικόνες χωρίς περιθώριο λάθους ώστε να μην παραλειφθεί καμία κρίσιμη θέση κατά το μήκος εστίασης.

### **3.2 Οπτικό Σύστημα**

Για να επιτευχθεί εστίαση ενδείκνυνται δύο τρόποι. Ο πρώτος είναι να παραμένει σταθερή η κάμερα και να κινείται σε δύο κατευθύνσεις ο φακός, δηλαδή μπροστά και πίσω ενώ ο δεύτερος τρόπος είναι να παραμείνει σταθερός ο φακός και να κινείται η κάμερα. Η διάταξη που υλοποιήθηκε ακολουθεί τον δεύτερο τρόπο. Η επιλογή του τρόπου βασίστηκε αποκλειστικά σε λόγους απλότητας καθώς είναι περισσότερο πολύπλοκο να κινείται ο φακός αντί της κάμερας. Στη συνέχεια, η κάμερα που επιλέχθηκε να χρησιμοποιήσουμε είναι της εταιρίας pointgrey και μοντέλο κάμερας dragonfly. Τα ειδικά χαρακτηριστικά της κάμερας αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

A/D converter	12-bit
Image Data Output	8, 16 and 24 bit digital data
Image Data Formats	Y16
Partial Image Models	Pixel binning and region of interest (ROI) modes
Image Processing	Gamma, lookup table, white balance
Gain	Automatic/Manual/One-push
Gamma	0.50 to 4.00, programmable lookup table
White Balance	Automatic/manual
Color Processing	On-camera in YUV or RGB format
Digital interface	6-pin IEEE 1394a for camera control and video data transmission
Transfer Rates	400 Mb/s
GPIO	8-pin phoenix connector for power, trigger strobe, PWM and I/O
External Trigger Modes	IIDC Trigger Modes 0, 1, 3, 4, 5 and 14
Synchronization	Via external trigger or software trigger



Shutter	Automatic/manual
Memory Channels	2 memory channels for custom camera setting
Flash Memory	512 KB
Dimensions	64mm x 51mm/ 44mm x 34mmx24mm
Mass	45g
Power Consumption	8 to 30V, max 2W at 12V
Camera Specification	IIDC v1.31
Camera Control	Via FlyCapture SDK
Camera Updates	In field firmware updates
Lens Mount	C-mount/M12 microlens
Temperature	Operating: 0° to 45°C Storage: -30° to 60°C
Emissions Compliance	CE, FCC, RoHS
Operating System	Windows XP Service Pack 1
Warranty	One year



Ο φακός που χρησιμοποιήσαμε είναι της εταιρίας edmund optics με χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα: 19.8°

Focal Length	25mm
Maximum camera sensor format	2/3"
Field of view, 2/3" sensor	35mm-19.8°
Field of view, 1/2" sensor	25.4mm-14.5°
Field of view, 1/3" sensor	19mm-10.9°
Working Distance	100mm-unlimited
Aperture	f/1.4
Coating	425-675nm BBAR
Diameter	Front 22mm/rear 26mm
Length	29.9mm
Weight	30g



### **3.3 Σύστημα Κίνησης**

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει το μοτέρ και τα επιμέρους μεταλλικά αντικείμενα που χρησιμοποιήθηκαν για να επιτύχουμε κίνηση της κάμερας. Αφού έγινε η σταθεροποίηση της κάμερας πάνω στην πειραματική διάταξη, επιλέξαμε το κατάλληλο μοτέρ ώστε να καταφέρουμε τη βηματική κίνηση της κάμερας. Τα ειδικά χαρακτηριστικά του μοτέρ αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Captive	28M4(X)-V
Wiring	Bipolar
Operating Voltage	12 VDC
Current/phase	350mA
Resistance/phase	34.8Ω
Inductance/phase	35.6mH
Power Consumption	7.5W
Temperature rise	75°C
Weight	180g
Insulation Resistance	20MΩ
Step angle	0.18"/4.76mm

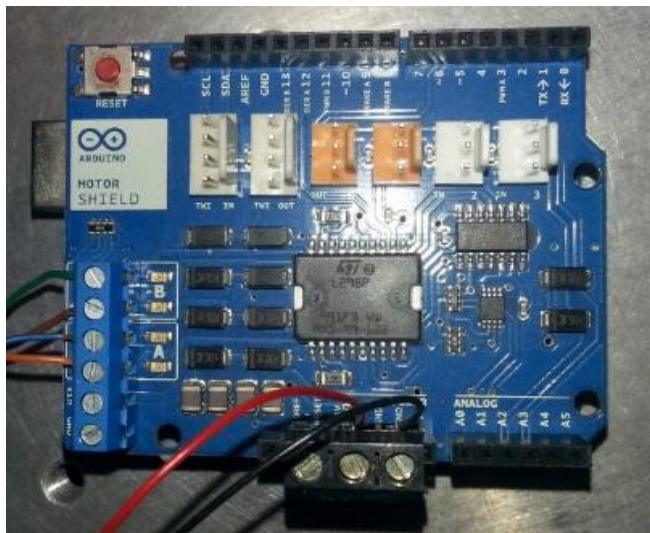
Παρατηρούμε ότι το βήμα του μοτέρ ανέρχεται στα 4.76 χιλιοστά, απόσταση, η οποία είναι ικανοποιητική για την εξαγωγή ασφαλούς αποτελέσματος.



### **3.4 Arduino**

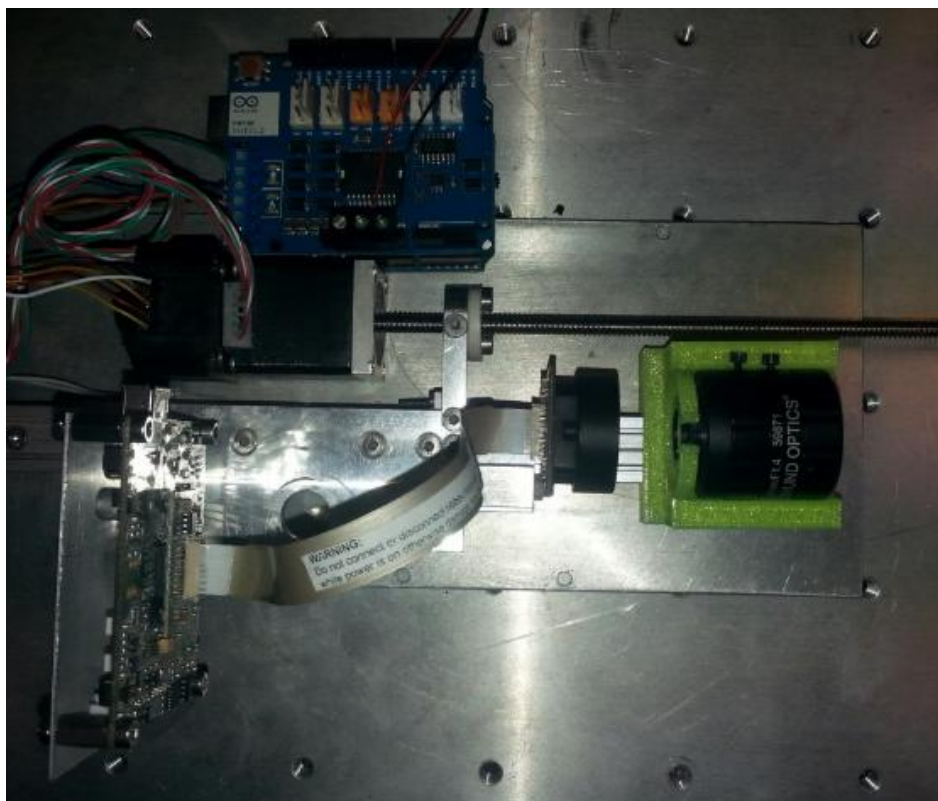
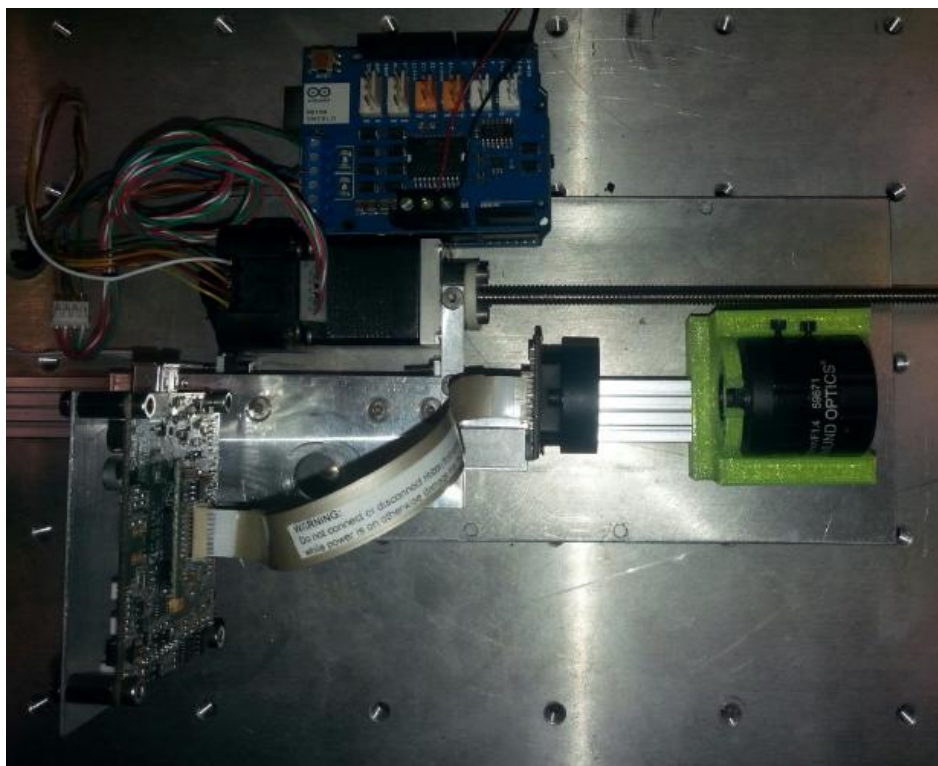
Για την επικοινωνία ανάμεσα στα δύο επιμέρους συστήματα (οπτικό και κίνησης) είναι αναγκαία η χρήση του arduino. Το arduino είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει τον καλύτερο χειρισμό περισσότερων σημάτων σε σύγκριση με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Είναι μία ηλεκτρονική πλακέτα που διαθέτει εύχρηστο λογισμικό για τον προγραμματισμό της. Μία από της πολλές εφαρμογές της είναι και ο χειρισμός μοτέρ για τη κίνησή του.

Πιο αναλυτικά, η οπτική επεξεργασία της εικόνας, όσο αφορά την εφαρμογή του αλγορίθμου και της συνάρτησης της τιμής εστίασης που χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων γίνεται στον υπολογιστή, ο οποίος με τη σειρά του, δίνει εντολή στο arduino για την κατεύθυνση της κίνησης και τη διάρκεια αυτής. Τέλος, το arduino ακολουθώντας την κατάλληλη αλληλουχία εντολών ενεργοποιεί το μοτέρ για την εκτέλεση της κίνησης. Η διαδικασία αυτή εκτελείται μέχρι η κάμερα να καταλήξει στη βέλτιστη θέση εστίασης.



### 3.5 Τελική Διάταξη

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο στιγμιότυπα της πλήρους διάταξης ώστε να απεικονιστεί η κίνηση της κάμερας.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο:ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΤΙΜΗΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό εισάγεται η λογισμική υλοποίηση αυτής της διπλωματικής. Αρχικά, αναφέρεται ο αλγόριθμος που αναπτύσσεται και στη συνέχεια η θεωρητική ανάλυση των τεσσάρων διαφορετικών συναρτήσεων που μετράνε τη τιμή εστίασης σε κάθε βήμα της κάμερας. Η επιλογή των τεσσάρων αυτών συναρτήσεων έγινε με βάση την ευρεία χρήση τους σε διάφορα συστήματα αυτόματης εστίασης.

### **4.2 Υλοποίηση Αλγορίθμου**

Ο αλγόριθμος που επιλέχτηκε βασίζεται αρκετά στον Adaptive Step Size Search που αναλύθηκε στην ενότητα 2.8 αλλά διαθέτει μερικές ομοιότητες με τον αλγόριθμο Generalized Autofocus που αναλύθηκε στην ενότητα 2.7. Πιο συγκεκριμένα, η εκτέλεση διαιρείται σε τρία βασικά μέρη.

- Στο πρώτο μέρος, η κάμερα τίθεται στη κατώτερη θέση που μπορεί να βρεθεί και όλες οι απαραίτητες μεταβλητές αρχικοποιούνται. Αφού μετατοπιστεί στη θέση αυτή, η κάμερα κινείται βηματικά με κατάλληλη ταχύτητα προσπελαύνοντας όλες τις θέσεις. Στην κάθε θέση της κάμερας λαμβάνεται η τωρινή τιμή εστίασης, η οποία αποθηκεύεται και συγκρίνεται με τη μέγιστη τιμή εστίασης του συστήματος μέχρι τη θέση αυτή.

Επειδή η κάμερα βρίσκεται σε οριακό σημείο, το βήμα κίνησης της κάμερας είναι σχετικά υψηλό. Σε επόμενο στάδιο, εξακριβώνεται η διατήρηση ή μείωση του βήματος.

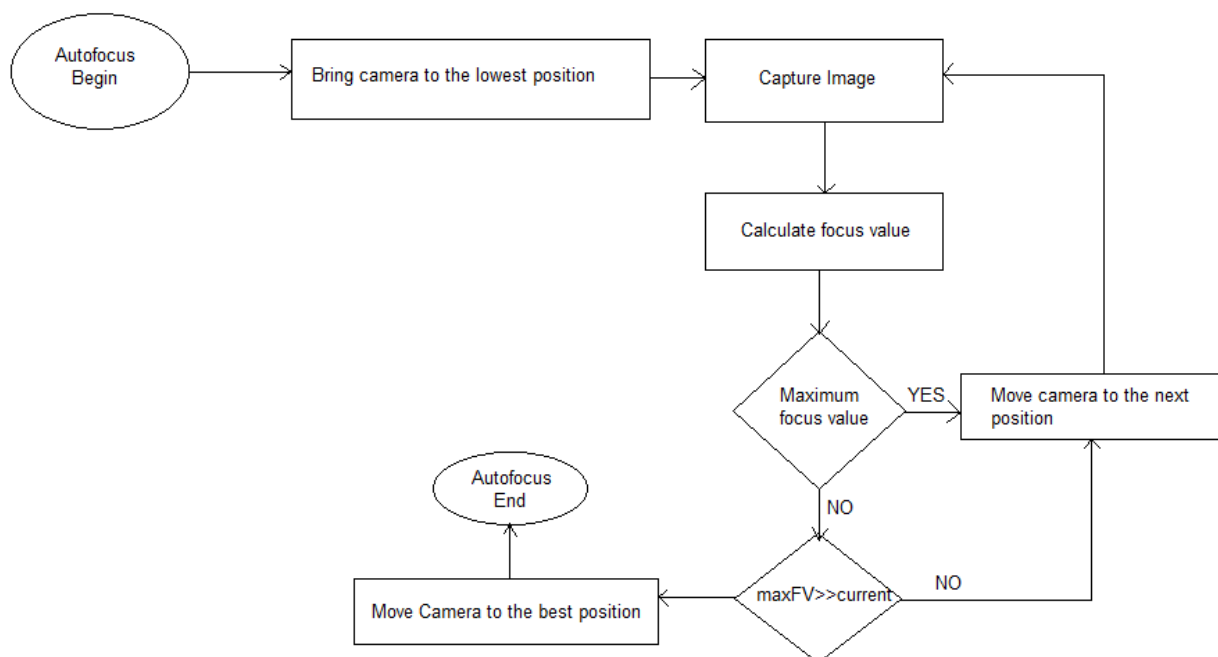
Όπως έχει αναφερθεί, η υψηλότερη τιμή εστίασης αντιστοιχεί στη θέση πλήρης εστίασης. Επομένως, η εκτέλεση ακολουθεί σειριακή μορφή έως ότου εντοπιστεί, η υψηλότερη τιμή.

- Μόλις ο αλγόριθμος διαπιστώσει ότι έχει ληφθεί η υψηλότερη τιμή εστίασης εισάγεται στο δεύτερο μέρος. Στο σημείο αυτό εκμεταλλευόμαστε το χαρακτηριστικό της μονοσηματικότητας. Επίσης, εισάγεται μία νέα μεταβλητή που αποθηκεύει τη διαφορά μεταξύ της τωρινής και της μέγιστης τιμής εστίασης. Όταν διαπιστωθεί ότι η διαφορά αυτή συνεχώς αυξάνεται ο

αλγόριθμος καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη θέση της κάμερας έχει προσπελαστεί οπότε εισάγεται στο τρίτο στάδιο.

- Στο τρίτο και τελικό στάδιο του αλγορίθμου, έχει εντοπιστεί η βέλτιστη θέση αλλά η τωρινή θέση της κάμερας απέχει ελάχιστα από αυτή. Έχει διαπιστωθεί ότι όταν η κάμερα βρίσκεται μακριά από τη βέλτιστη θέση η μεταβολή της τιμής εστίασης, άρα της υπολογισθείσας διαφοράς είναι σταθερή, ενώ όσο πλησιάζουμε σε αυτή, η μεταβολή γίνεται βίαιη. Οπότε, δίνεται η εντολή στο σύστημα κίνησης να επιστρέψει με μικρότερο βήμα κίνησης στη θέση αυτή. Επιλέγεται η μείωση του βήματος διότι η απόσταση της τωρινής θέσης της κάμερας από τη βέλτιστη είναι μικρή, επομένως με τον τρόπο αυτό οδηγούμαστε σε ασφαλές αποτέλεσμα.

Το παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζει την διαδικασία που αναλύθηκε:





Οι συναρτήσεις που περιγράφονται παρακάτω (absolute gradient, laplacian, normalized variance και vollath F5) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών συνάρτησης και επιλέχτηκαν βάσει της βιβλιογραφίας.

### 4.3 Absolute Gradient

Η συνάρτηση αυτή βασίζεται στην εκδοχή του Tenegrad δίνεται από την εξίσωση:

$$F(z) = \sum_x \sum_y (S_x(x,y,z)^2 + S_y(x,y,z)^2)$$

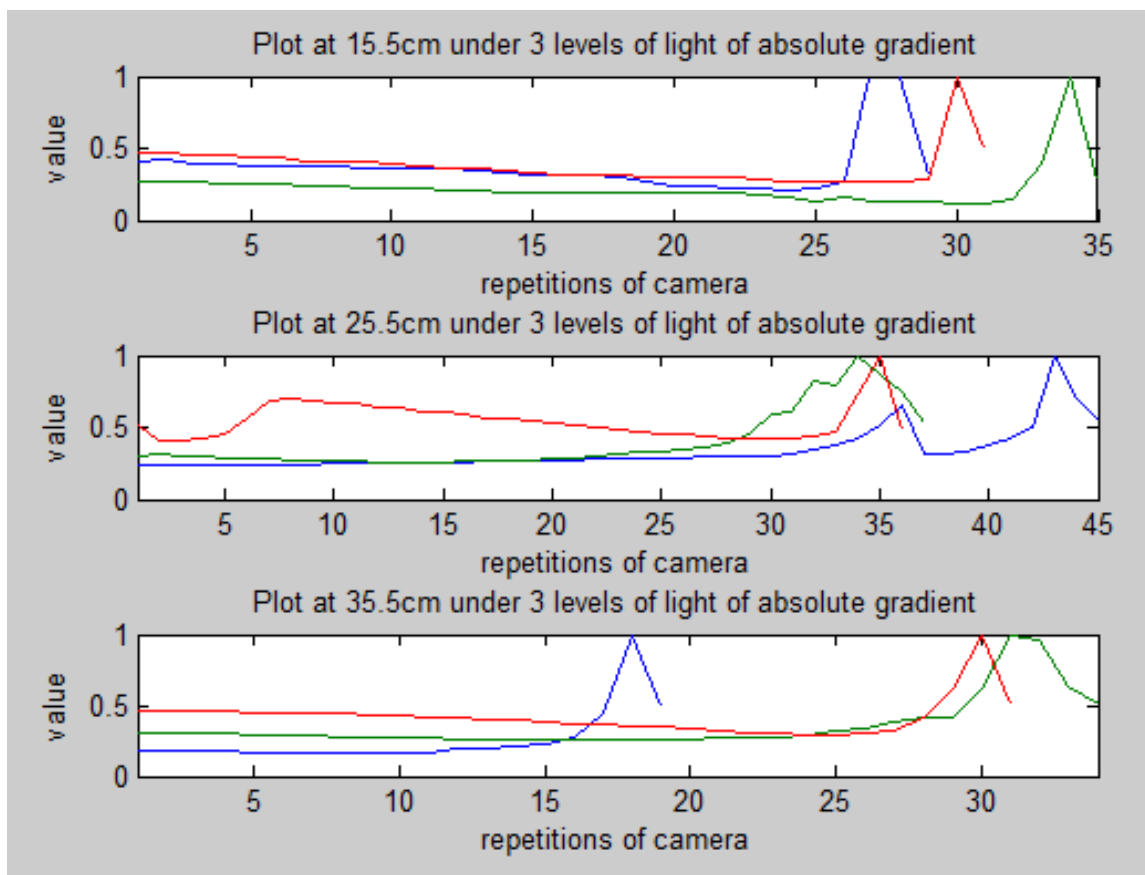
Για να εξηγηθεί καλύτερα η εξίσωση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μεταβλητές:

$x, y$  αντιπροσωπεύουν το πλάτος και ύψος της εικόνας

$I(z)$  ο μέσος όρος της έντασης ενός pixel της εικόνας στη θέση  $z$

$$S_x(z) = I(z) * \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad S_y(z) = I(z) * \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Στη συνέχεια, παραθέτουμε τα πειραματικά δεδομένα. Το σύστημα το τρέξαμε κάτω από χαμηλό φωτισμό (κόκκινο χρώμα), υψηλό φωτισμό (πράσινο χρώμα) και φως οπτικής ίνας (μπλε χρώμα).



Στον κάθετο άξονα αναφέρεται η τιμή εστίασης ενώ στον οριζόντιο οι επαναλήψεις που λαμβάνουμε τιμή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε μία επανάληψη της κάμερας αντιστοιχίζεται σε ξεχωριστή θέση αυτής και επομένως σε διαφορετικό βάθος εστίασης.

Παρατηρούμε ότι σε όλες τις περιπτώσεις (όταν το αντικείμενο βρίσκεται στα 15.5cm ή στα 25.5cm ή στα 35.5cm) διαφαίνεται καθαρά το σημείο όπου η εικόνα είναι πλήρη εστιασμένη. Το τέλος του γραφήματος σηματοδοτεί και τον τερματισμό του υπολογισμού. Παρατηρούμε επίσης, ότι υπό το φως της οπτικής ίνας το σύστημα τερματίζει πιο γρήγορα στα 15cm και 35cm. Επίσης, ενδεικτικά οι 40 επαναλήψεις διαρκούν 6 δευτερόλεπτα, επομένως η απόδοση του συστήματος θεωρείται ικανοποιητική.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται ο χρόνος εκτέλεσης για όλες τις περιπτώσεις:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	4.35sec	4.65sec	5.25sec
25.5cm	5.4sec	5.55sec	6.75sec
35.5cm	4.65sec	5.1sec	2.85sec

Παρατηρούμε μία αμορφία στους χρόνους εκτέλεσης αφού η καλύτερη και η χειρότερη σημειώνονται υπό το φως οπτικής ίνας. Στην αντίθετη περίπτωση, υπό χαμηλό και υψηλό φως παρατηρείται μία σταθερότητα στην εξαγωγή του τελικού χρόνου εκτέλεσης. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά πάρθηκαν κάτω από διαφορετικές τιμές του shutter, μεταβλητή που ρυθμίζει την ένταση του φωτός. Η μεταβλητή αυτή είναι αναγκαία αφού αλλάζοντας το μήκος εστίασης αλλάζει και η ένταση του φωτός σε κάθε ένα εικονοστοιχείο. Πιο συγκεκριμένα:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	825	632	110
25.5cm	746	825	143
35.5cm	952	708	114



## 4.4 Laplacian

Η συνάρτηση αυτή δίνεται από την εξίσωση:

$$f = \iint |\nabla^2 i(x,y)| dx dy; \quad |\nabla^2| = \left| \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right|$$

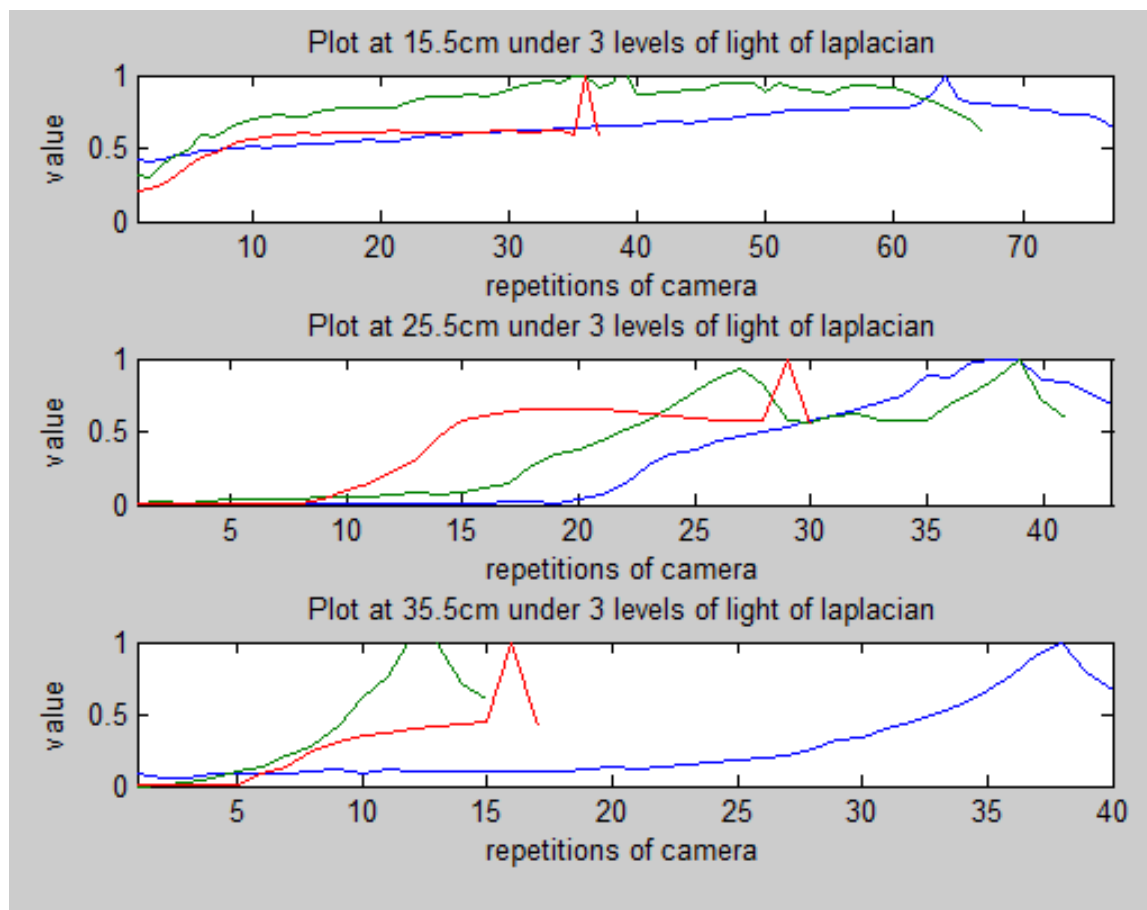
Για να εξηγηθεί καλύτερα η εξίσωση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μεταβλητές:

$x, y$  αντιπροσωπεύουν το πλάτος και ύψος της εικόνας

$i(x,y)$  την τιμή έντασης του γκρι στη θέση  $x,y$

Η διαφορά είναι ότι η Laplacian ενισχύει εντονότερα τις υψηλότερες συχνότητες σε μια εικόνα σε σύγκριση με την εφαρμογή της Absolute Gradient.

Στη συνέχεια, παραθέτουμε τα πειραματικά δεδομένα. Το σύστημα το τρέξαμε κάτω από χαμηλό φωτισμό (κόκκινο χρώμα), υψηλό φωτισμό (πράσινο χρώμα) και φως οπτικής ίνας (μπλε χρώμα).



Στον κάθετο άξονα αναφέρεται η τιμή εστίασης ενώ στον οριζόντιο οι επαναλήψεις που λαμβάνουμε τιμή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε μία επανάληψη της κάμερας αντιστοιχίζεται σε ξεχωριστή θέση αυτής και επομένως σε διαφορετικό βάθος εστίασης.

Παρατηρούμε ότι όχι σε όλες τις περιπτώσεις (όταν το αντικείμενο βρίσκεται στα 15.5cm ή στα 25.5cm ή στα 35.5cm) δεν διαφαίνεται καθαρά το σημείο όπου η εικόνα είναι πλήρη εστιασμένη. Συγκεκριμένα στα 15.5cm κάτω από όλες τις περιπτώσεις φωτός η γραφική παράσταση δεν λαμβάνει καθαρή μορφή. Παρατηρούμε επίσης, ότι υπό χαμηλό φως το σύστημα τερματίζει πιο γρήγορα στις 2 απο τις 3 περιπτώσεις γεγονός που οφείλεται στη μικρότερη υπολογιστική ισχύ που απαιτείται. Το τέλος του γραφήματος σηματοδοτεί και τον τερματισμό του υπολογισμού. Επίσης, ενδεικτικά οι 40 επαναλήψεις διαρκούν 5 δευτερόλεπτα, επομένως η απόδοση του συστήματος δεν θεωρείται ικανοποιητική.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται ο χρόνος εκτέλεσης για όλες τις περιπτώσεις:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	5.7sec	10.2sec	11.1sec
25.5cm	4.5sec	6.15sec	6.45sec
35.5cm	2.25sec	2.55sec	6sec

Παρατηρούμε έντονη αύξηση στους χρόνους εκτέλεσης υπό το φως της οπτικής ίνας γεγονός που δεν είναι ικανοποιητικό. Επίσης, μόνο όταν το αντικείμενο εστίασης βρίσκεται στο υψηλότερο όριο παρατηρούμε ικανοποιητικούς χρόνους ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις το σύστημα καθυστερεί να εξάγει αποτέλεσμα. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά πάρθηκαν κάτω από διαφορετικές τιμές του shutter, μεταβλητή που ρυθμίζει την ένταση του φωτός. Η μεταβλητή αυτή είναι αναγκαία αφού αλλάζοντας το μήκος εστίασης αλλάζει και η ένταση του φωτός σε κάθε ένα εικονοστοιχείο. Πιο συγκεκριμένα:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	1270	889	127
25.5cm	1270	889	127
35.5cm	1370	889	127

## 4.5 Normalized variance

Η συνάρτηση αυτή δίνεται από την εξίσωση:

$$F_{\text{normed\_variance}} = \frac{1}{H \cdot W \cdot \mu} \sum_{\text{Height}} \sum_{\text{Width}} (i(x, y) - \mu)^2$$

Για να εξηγηθεί καλύτερα η εξίσωση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μεταβλητές:

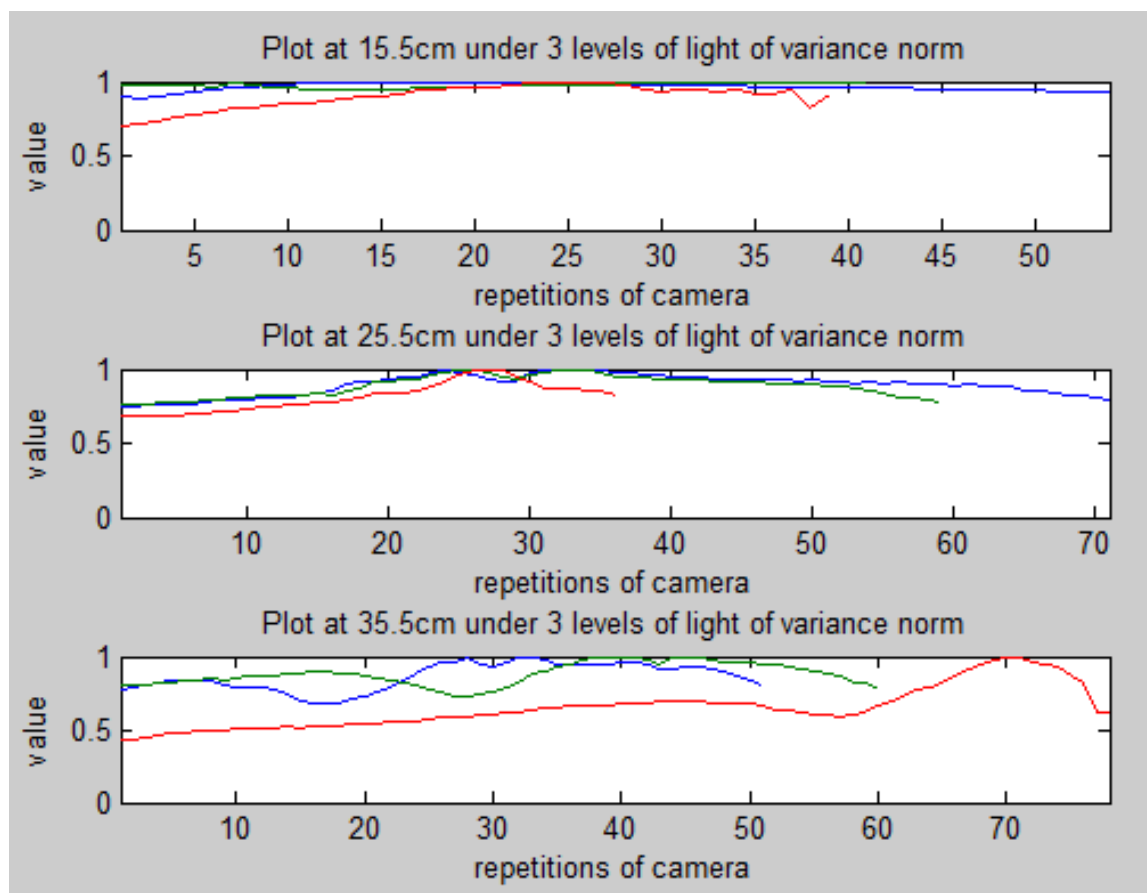
$x, y$  αντιπροσωπεύουν το συγκεκριμένο πλάτος και συγκεκριμένο ύψος της εικόνας

$i(x, y)$  την τιμή έντασης του γκρι στη θέση  $x, y$

$H, W$  το ύψος και πλάτος της εικόνας και  $\mu$  τη τυπική απόκλιση

Στην εξίσωση αυτή είναι εμφανής η αντιστάθμιση που επιτυγχάνει η εισαγωγή της τυπικής απόκλισης, κάτι που επιτυγχάνει ομαλότερη εξέλιξη της συνάρτησης. Περιμένουμε πιο ομαλές γραφικές παραστάσεις με καλύτερα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, παραθέτουμε τα πειραματικά δεδομένα. Το σύστημα το τρέξαμε κάτω από χαμηλό φωτισμό (κόκκινο χρώμα), υψηλό φωτισμό (πράσινο χρώμα) και φως οπτικής ίνας (μπλε χρώμα).



Στον κάθετο άξονα αναφέρεται η τιμή εστίασης ενώ στον οριζόντιο οι επαναλήψεις που λαμβάνουμε τιμή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε μία επανάληψη της κάμερας αντιστοιχίζεται σε ξεχωριστή θέση αυτής και επομένως σε διαφορετικό βάθος εστίασης.

Επίσης, παρατηρούμε ότι με χρήση αυτής της συνάρτησης λάβαμε τις πιο ομαλές γραφικές παραστάσεις σε όλες τις περιπτώσεις (όταν το αντικείμενο βρίσκεται στα 15.5cm ή στα 25.5cm ή στα 35.5cm). Η κυματομορφή δεν διαφαίνεται καθαρά και το σημείο όπου η εικόνα είναι πλήρη εστιασμένη δεν απέχει σε μεγάλο βαθμό από τις υπόλοιπες θέσεις λόγω της εισαγωγής της τυπικής απόκλισης. Ειδικότερα στα 15.5cm κάτω από όλες τις περιπτώσεις φωτός η γραφική παράσταση τείνει στην ευθεία, αποτέλεσμα το οποίο σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι ικανοποιητικό με γυμνό μάτι αλλά σε υπολογιστικές πράξεις η διαφορές είναι διακριτές. Τέλος, σε όλες τις περιπτώσεις ο υπολογισμός της πλήρως εστιασμένης εικόνας διαρκεί κατά μέσο όρο περισσότερο σε σχέση με τις δύο προηγούμενες συναρτήσεις. Το τέλος του γραφήματος σηματοδοτεί και τον τερματισμό του υπολογισμού. Επίσης, ενδεικτικά οι 40 επαναλήψεις διαρκούν 6 δευτερόλεπτα, επομένως η απόδοση του συστήματος δεν θεωρείται ικανοποιητική.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται ο χρόνος εκτέλεσης για όλες τις περιπτώσεις:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	5.85sec	6.15sec	7.95sec
25.5cm	5.55sec	8.85sec	10.65sec
35.5cm	11.25sec	9.0sec	7.65sec

Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά πάρθηκαν κάτω από διαφορετικές τιμές του shutter, μεταβλητή που ρυθμίζει την ένταση του φωτός. Η μεταβλητή αυτή είναι αναγκαία αφού αλλάζοντας το μήκος εστίασης αλλάζει και η ένταση του φωτός σε κάθε ένα εικονοστοιχείο. Πιο συγκεκριμένα:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	1333	889	127
25.5cm	1016	952	127
35.5cm	1016	700	104

## 4.6 Vollath Formula 5

Η συνάρτηση αυτή δίνεται από την εξίσωση:

$$\Sigma_x \Sigma_y ( f(x,y) * f(x+1,y) - MN\mu^2 )$$

Για να εξηγηθεί καλύτερα η εξίσωση αυτή χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μεταβλητές:

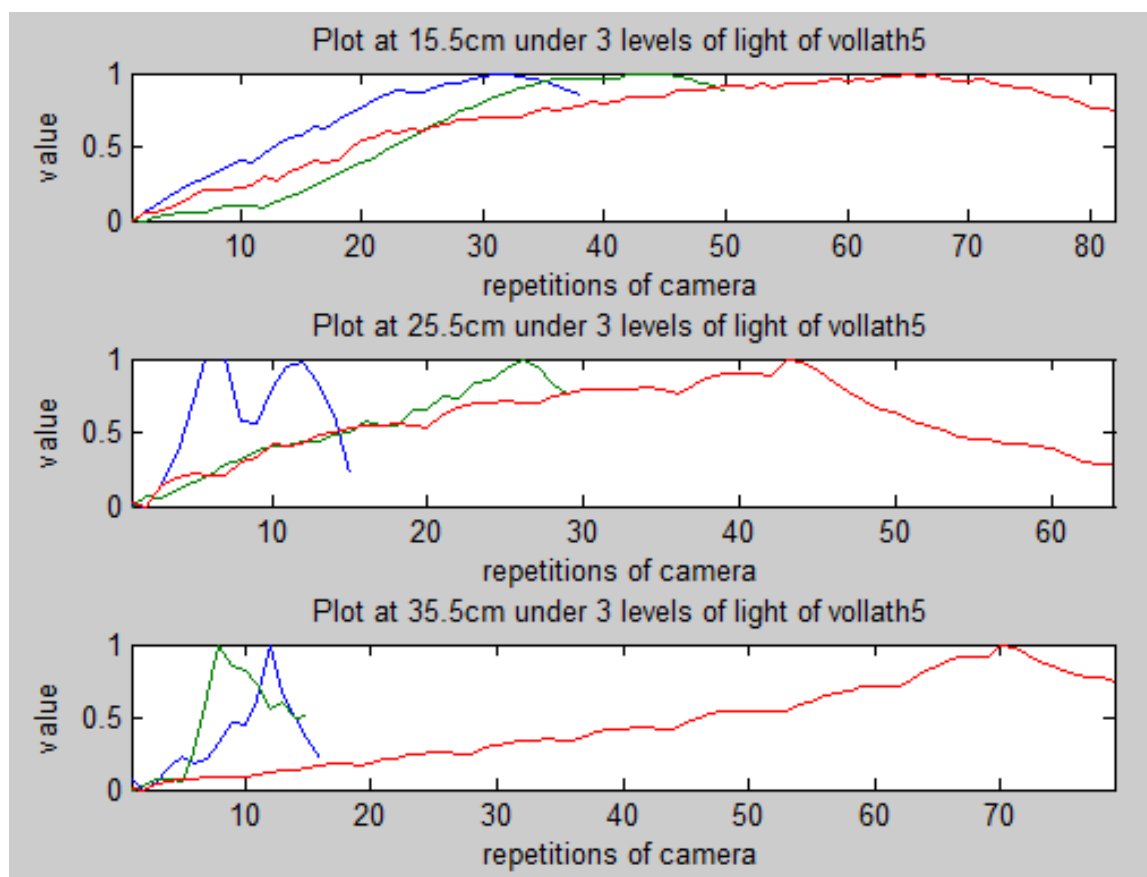
$x, y$  αντιπροσωπεύουν το συγκεκριμένο πλάτος και συγκεκριμένο ύψος της εικόνας

$f(x,y)$  την τιμή έντασης του γκρι στη θέση  $x, y$

$M, N$  το ύψος και πλάτος της εικόνας και  $\mu$  τη τυπική απόκλιση

Παρατηρούμε ότι στην εξίσωση αυτή, σημαντικό ρόλο λαμβάνουν γειτονικά pixels της εικόνας, ενώ υπάρχει αντιστάθμιση μέσω της τυπικής απόκλισης, η οποία είναι μικρότερη σε σχέση με την προηγούμενη συνάρτηση (normalized variance).

Στη συνέχεια, παραθέτουμε τα πειραματικά δεδομένα. Το σύστημα το τρέξαμε κάτω από χαμηλό φωτισμό (κόκκινο χρώμα), υψηλό φωτισμό (πράσινο χρώμα) και φως οπτικής ίνας (μπλε χρώμα).



Στον κάθετο άξονα αναφέρεται η τιμή εστίασης ενώ στον οριζόντιο οι επαναλήψεις που λαμβάνουμε τιμή. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε μία επανάληψη της κάμερας αντιστοιχίζεται σε ξεχωριστή θέση αυτής και επομένως σε διαφορετικό βάθος εστίασης.

Παρατηρούμε ότι με χρήση αυτής της συνάρτησης λάβαμε καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις (όταν το αντικείμενο βρίσκεται στα 15.5cm ή στα 25.5cm ή στα 35.5cm). Οι κυματομορφές διαφαίνονται καθαρά και το σημείο όπου η εικόνα είναι πλήρη εστιασμένη είναι εμφανές από τις υπόλοιπες θέσεις. Επίσης, σε όλες τις αποστάσεις ο υπολογισμός είναι πιο γρήγορος υπό το φως της οπτικής ίνας, συγκεκριμένα στα 15.5cm και 25.5cm ο υπολογισμός είναι τάχυστος. Το μοναδικό μειονέκτημα είναι η συμπεριφορά του συστήματος υπό χαμηλό φως όπου η διαδικασία λαμβάνει περισσότερο χρόνο. Το τέλος του γραφήματος σηματοδοτεί και τον τερματισμό του υπολογισμού. Επίσης, ενδεικτικά οι 40 επαναλήψεις διαρκούν 6 δευτερόλεπτα, επομένως η απόδοση του συστήματος θεωρείται ικανοποιητική.

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται ο χρόνος εκτέλεσης για όλες τις περιπτώσεις:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	12.15 sec	7.35sec	5.85sec
25.5cm	9.45sec	4.35sec	2.25sec
35.5cm	11.25sec	2.55sec	2.25sec

Παρατηρούμε ότι σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού η συνάρτηση αποδίδει τα χειρότερα αποτελέσματα αλλά με μικρή διαφορά από τις υπόλοιπες. Στις άλλες δύο περιπτώσεις, η vollathF5 είναι πολύ ικανοποιητική. Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά πάρθηκαν κάτω από διαφορετικές τιμές του shutter, μεταβλητή που ρυθμίζει την ένταση του φωτός. Η μεταβλητή αυτή είναι αναγκαία αφού αλλάζοντας το μήκος εστίασης αλλάζει και η ένταση του φωτός σε κάθε ένα εικονοστοιχείο. Πιο συγκεκριμένα:

Απόσταση/Φωτισμός	Χαμηλός	Υψηλός	Οπτική Ίνα
15.5cm	1333	889	127
25.5cm	1016	952	127
35.5cm	1016	700	104

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο:ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων γίνεται με γνώμονα δύο βασικά κριτήρια. Την ποιότητα των αποτελεσμάτων, δηλαδή αν όντως η εικόνα που λάβαμε ως τελική από το σύστημα είναι πλήρως εστιασμένη και την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στη σύγκριση αυτή χρησιμοποιούνται δεδομένα και από τις τρεις πιθανές αποστάσεις του αντικειμένου εστίασης από την κάμερα.

### **5.1 Υπό Χαμηλό Φωτισμό**

#### Χρονική Σύγκριση:

Στη χρονική σύγκριση, συγκρίναμε το χρόνο που απαιτείται από το σύστημα για να ολοκληρωθεί η αναζήτηση της βέλτιστης θέσης. Στο χρόνο αυτό δεν προστίθεται η συνολική διάρκεια που χρειάζεται για να βρεθεί η κάμερα στη μικρότερη θέση.

Συνάρτηση/Απόσταση	15.5cm	25.5cm	35.5cm
Absolute Gradient	4.35sec	5.4sec	4.65sec
Laplacian	5.7sec	4.5sec	2.25sec
Normalized Variance	5.85sec	5.55sec	11.25sec
Vollath F5	12.15 sec	9.45 sec	11.25 sec

Παρατηρούμε πως σε αυτή την περίπτωση, η συνάρτηση vollathF5 παρουσιάζει τους χειρότερους χρόνους ενώ η Absolute Gradient τους καλύτερους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα όσο αφορά την ποιοτική σύγκριση των τελικών εικόνων που λάβαμε από την κάθε συνάρτηση.

### Ποιοτική Σύγκριση:

Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο του fft (Fast Fourier Transform) για να επεξεργαστούμε τις εικόνες που λάβαμε και να διαπιστώσουμε αν βρίσκονται όντως σε πλήρη εστίαση ή όχι. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό από υψηλές συχνότητες παρατηρούμε τόσο σε καλύτερη εστίαση βρίσκεται η εικόνα.

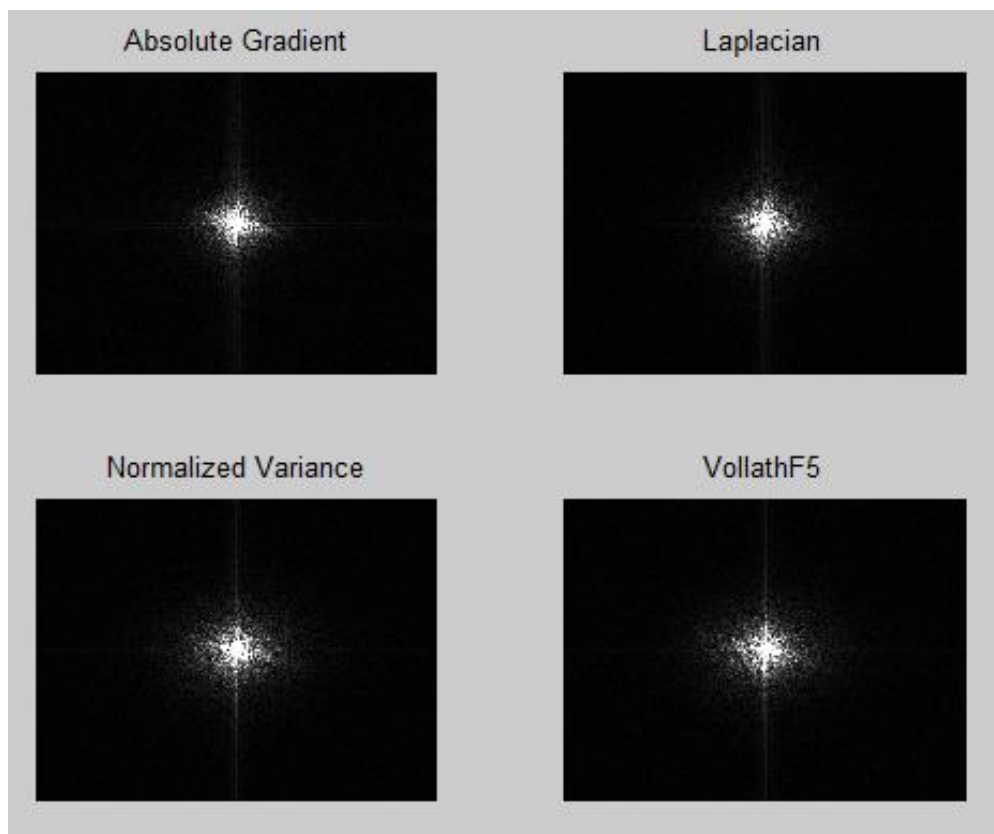
Σε απόσταση 15.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



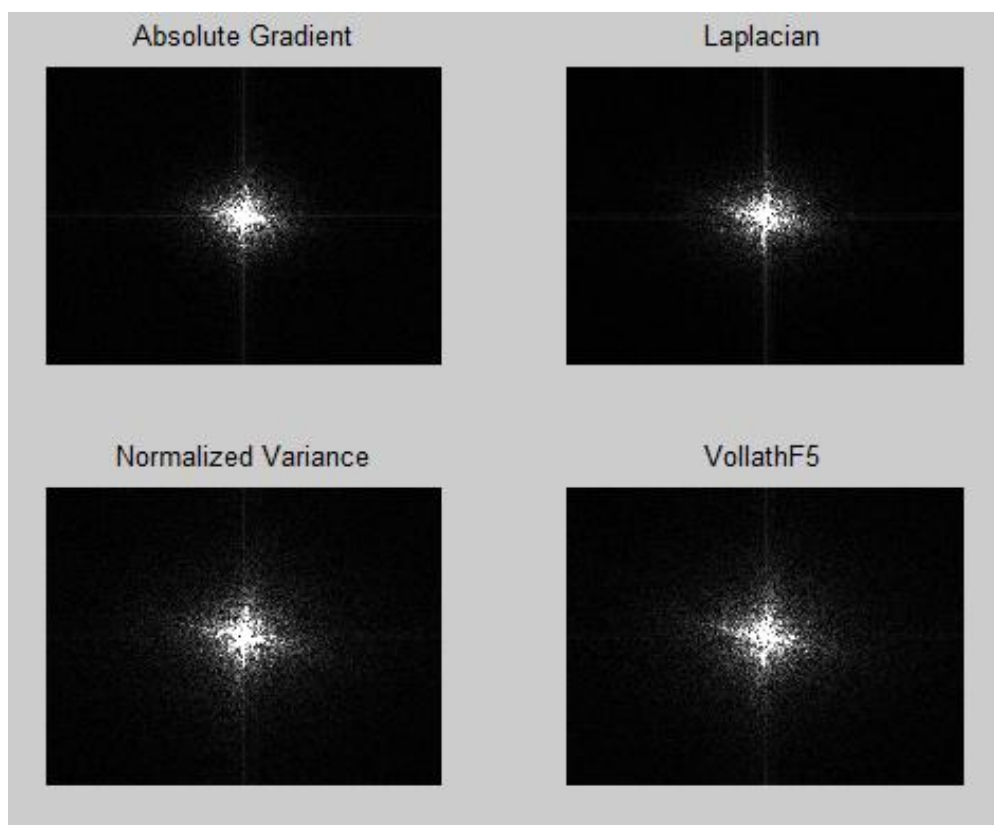
Παρατηρούμε ότι στις συναρτήσεις Normalized Variance και VollathF5 λαμβάνουμε παρόμοια αποτελέσματα ενώ τα χειρότερα παρατηρούνται με τη χρήση της Absolute Variance.



Σε απόσταση 25.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Σε απόσταση 35.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Παρατηρώντας, όλα τα γραφήματα διαπιστώνουμε ότι οι συναρτήσεις Normalized Variance και VollathF5 εξάγουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο συναρτήσεις. Σε κατάσταση χαμηλού φωτισμού, οι δύο προαναφερθέντες συναρτήσεις υστερούν σε διάρκεια εκτέλεσης, με την vollathF5 να σημειώνει αρκετή καθυστέρηση. Επομένως, υπό αυτή την κατάσταση, η normalized variance καταγράφει τις καλύτερες επιδόσεις.

## **5.2 Υπό Υψηλό Φωτισμό**

### Χρονική Σύγκριση:

Στην χρονική σύγκριση συγκρίναμε τον χρόνο που απαιτείται από το σύστημα για να ολοκληρωθεί η αναζήτηση της βέλτιστης θέσης. Στον χρόνο αυτό δεν προστίθεται η συνολική διάρκεια που χρειάζεται για να βρεθεί η κάμερα στην μικρότερη θέση.

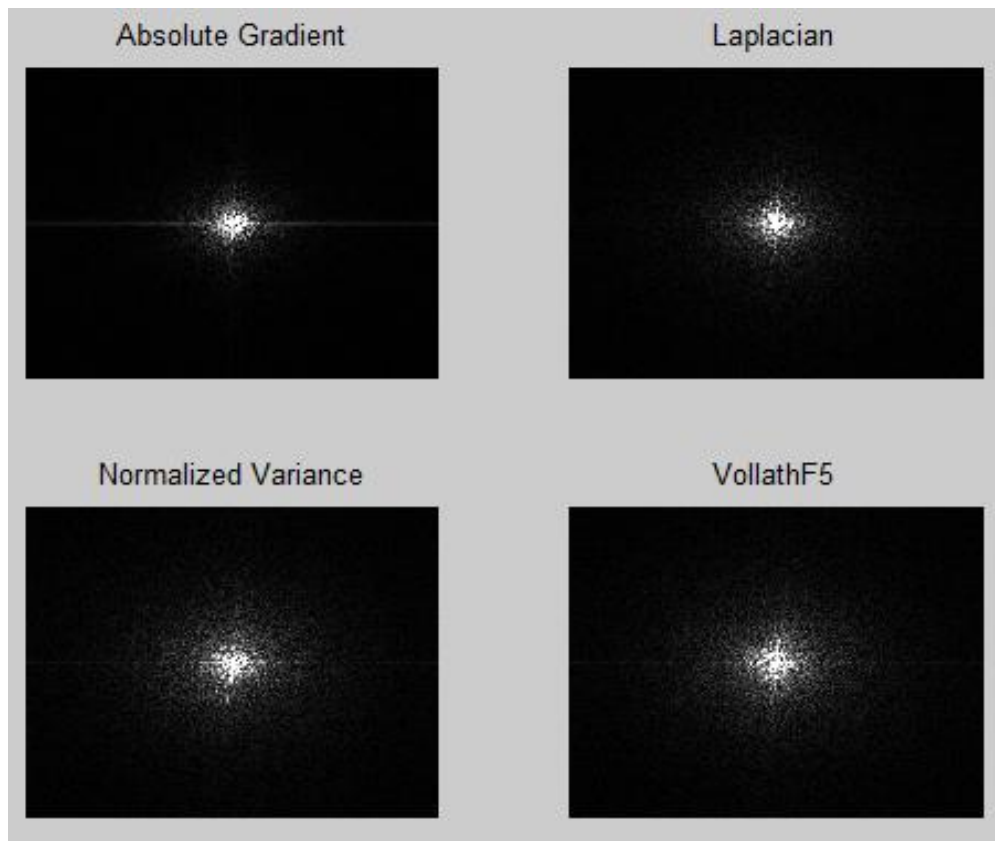
Συνάρτηση/Απόσταση	15.5cm	25.5cm	35.5cm
Absolute Gradient	4.65sec	5.55sec	5.1sec
Laplacian	10.2sec	6.15sec	2.55sec
Normalized Variance	6.15sec	8.85sec	9.0sec
Vollath F5	7.35sec	4.35sec	2.55sec

Παρατηρούμε πως σε αυτή την περίπτωση, η συνάρτηση Normalized Variance παρουσιάζει τους χειρότερους χρόνους ενώ η VollathF5 τους καλύτερους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα όσο αφορά την ποιοτική σύγκριση των τελικών εικόνων που λάβαμε από την κάθε συνάρτηση.

### Ποιοτική Σύγκριση:

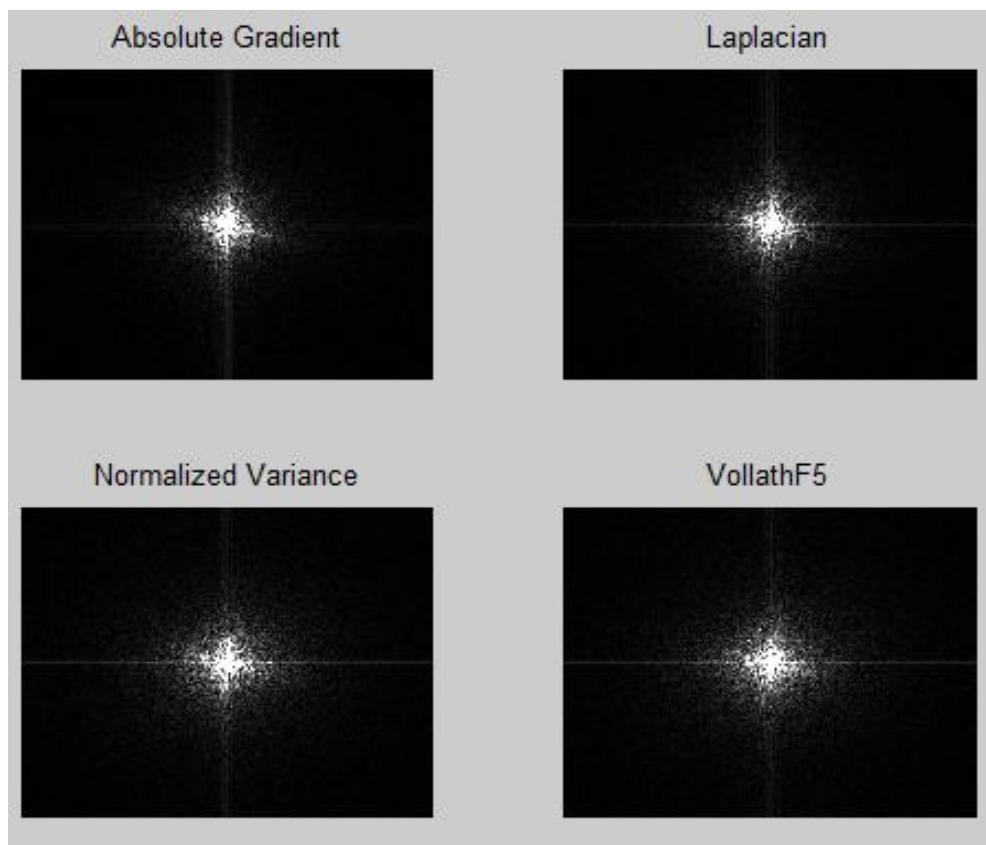
Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο του fft (Fast Fourier Transform) για να επεξεργαστούμε τις εικόνες που λάβαμε και να διαπιστώσουμε αν βρίσκονται όντως σε πλήρη εστίαση ή όχι. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό από υψηλές συχνότητες παρατηρούμε τόσο σε καλύτερη εστίαση βρίσκεται η εικόνα.

Σε απόσταση 15.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:

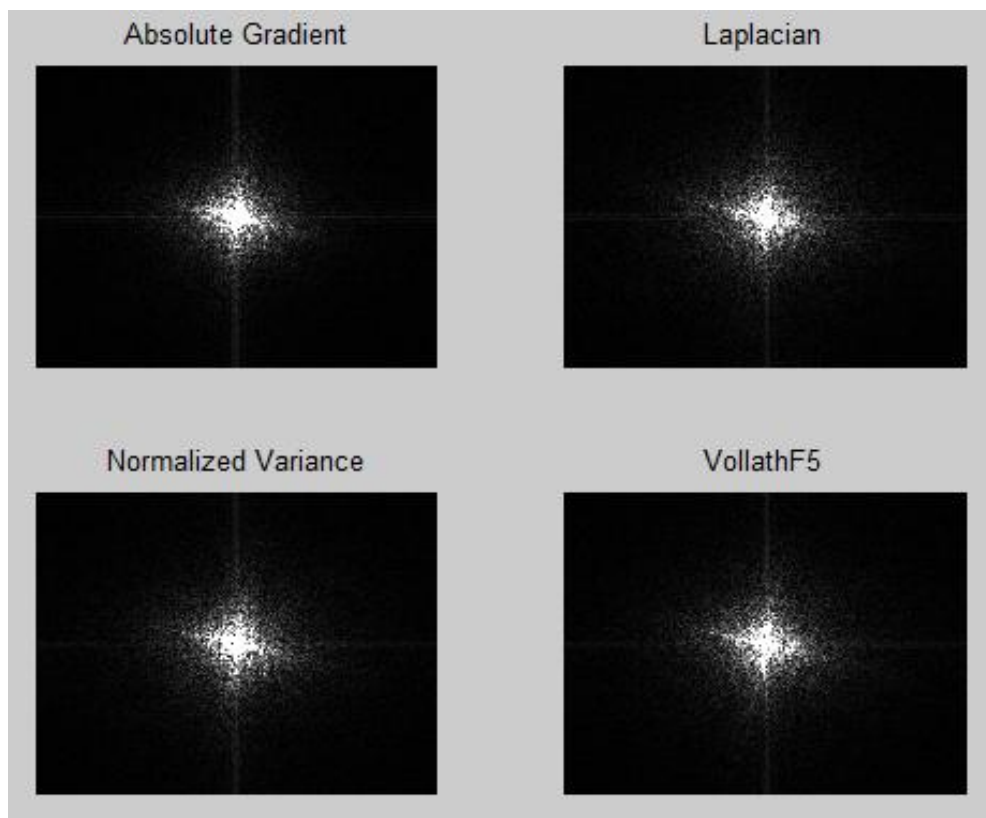


Παρατηρούμε ότι και σε αυτή την περίπτωση καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνουμε με χρήση των normalized variance και vollathF5, με τη δεύτερη να εξάγει τη βέλτιστα εστιασμένη εικόνα.

Σε απόσταση 25.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Σε απόσταση 35.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Παρατηρώντας, όλα τα γραφήματα διαπιστώνουμε ότι οι συναρτήσεις Normalized Variance και VollathF5 εξάγουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο συναρτήσεις. Με τη normalized variance να σημειώνει τις χειρότερες επιδόσεις όσο αφορά την χρονική εκτέλεση, ενώ η vollathF5 καταγράφει τις καλύτερα εστιασμένες εικόνες στους μικρότερους χρόνους. Επομένως, σε αυτές τις συνθήκες, επιλέγεται η vollathF5.

### **5.3 Υπό Φωτισμό Οπτικής Ίνας**

#### Χρονική Σύγκριση:

Στην χρονική σύγκριση συγκρίναμε τον χρόνο που απαιτείται από το σύστημα για να ολοκληρωθεί η αναζήτηση της βέλτιστης θέσης. Στον χρόνο αυτό δεν προστίθεται η συνολική διάρκεια που χρειάζεται για να βρεθεί η κάμερα στη μικρότερη θέση.

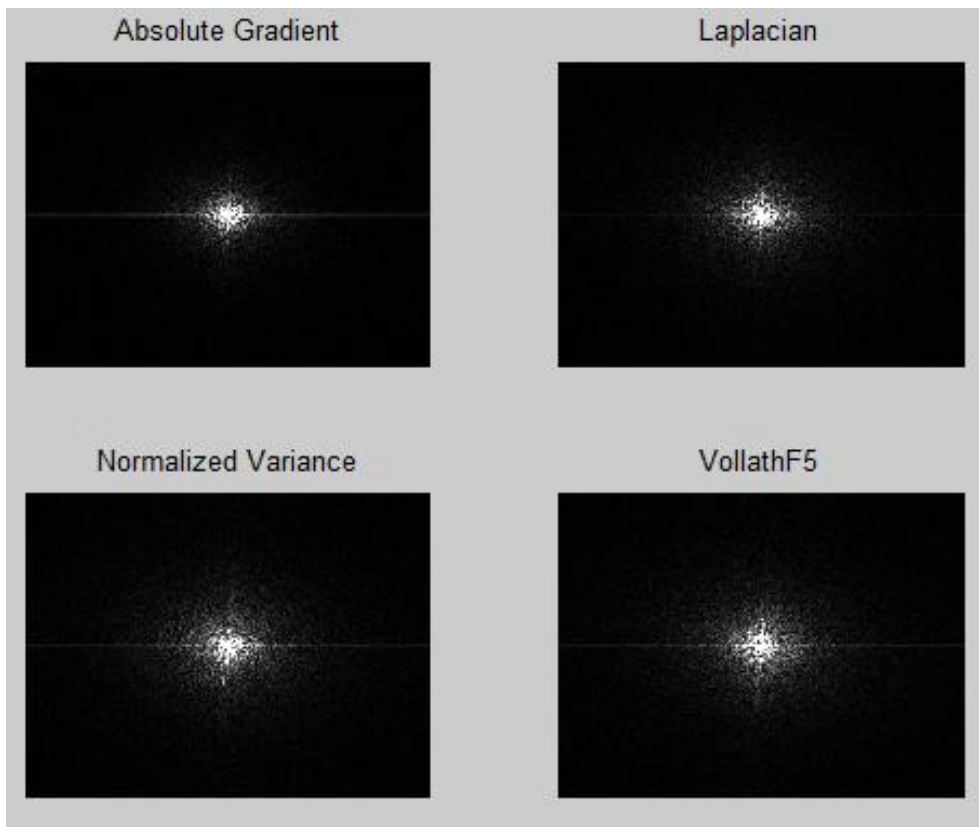
Συνάρτηση/Απόσταση	15.5cm	25.5cm	35.5cm
Absolute Gradient	5.25sec	6.75sec	2.85sec
Laplacian	11.1sec	6.45sec	6.0sec
Normalized Variance	7.95sec	10.65sec	7.65sec
Vollath F5	5.85sec	2.25sec	2.25sec

Παρατηρούμε πως σε αυτή την περίπτωση, η συνάρτηση Normalized Variance παρουσιάζει τους χειρότερους χρόνους ενώ η VollathF5 τους καλύτερους. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα όσο αφορά την ποιοτική σύγκριση των τελικών εικόνων που λάβαμε από την κάθε συνάρτηση.

### Ποιοτική Σύγκριση:

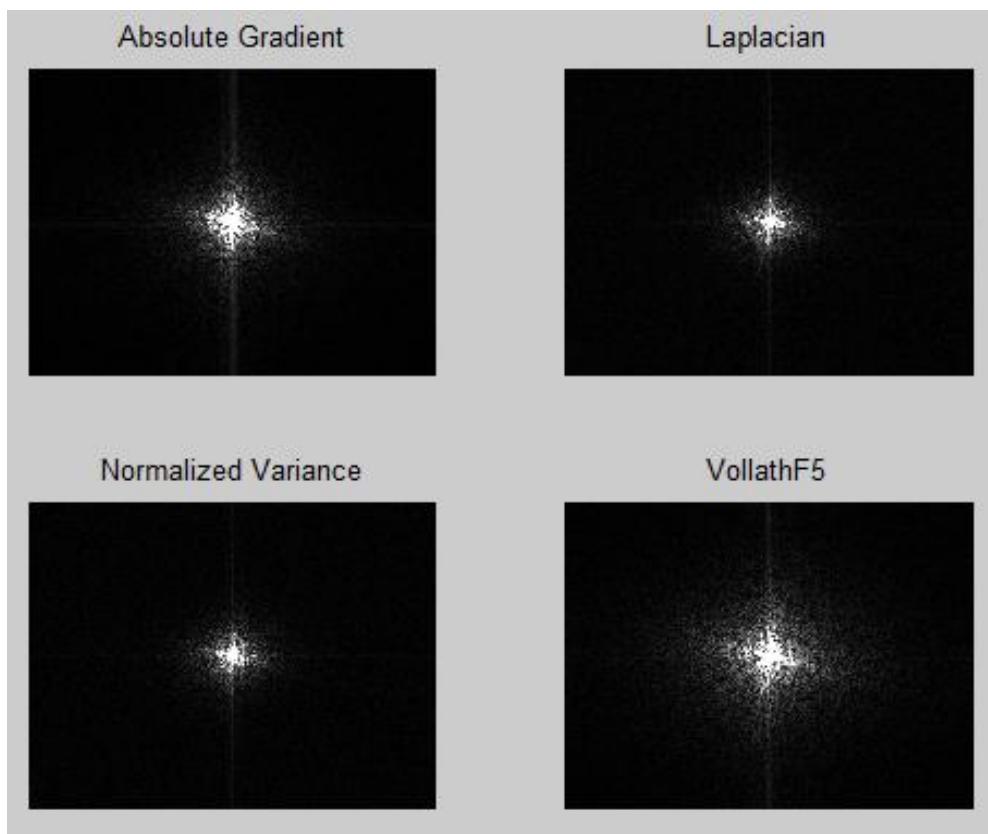
Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο του fft (Fast Fourier Transform) για να επεξεργαστούμε τις εικόνες που λάβαμε και να διαπιστώσουμε αν βρίσκονται όντως σε πλήρη εστίαση ή όχι. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό από υψηλές συχνότητες παρατηρούμε τόσο σε καλύτερη εστίαση βρίσκεται η εικόνα.

Σε απόσταση 15.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:

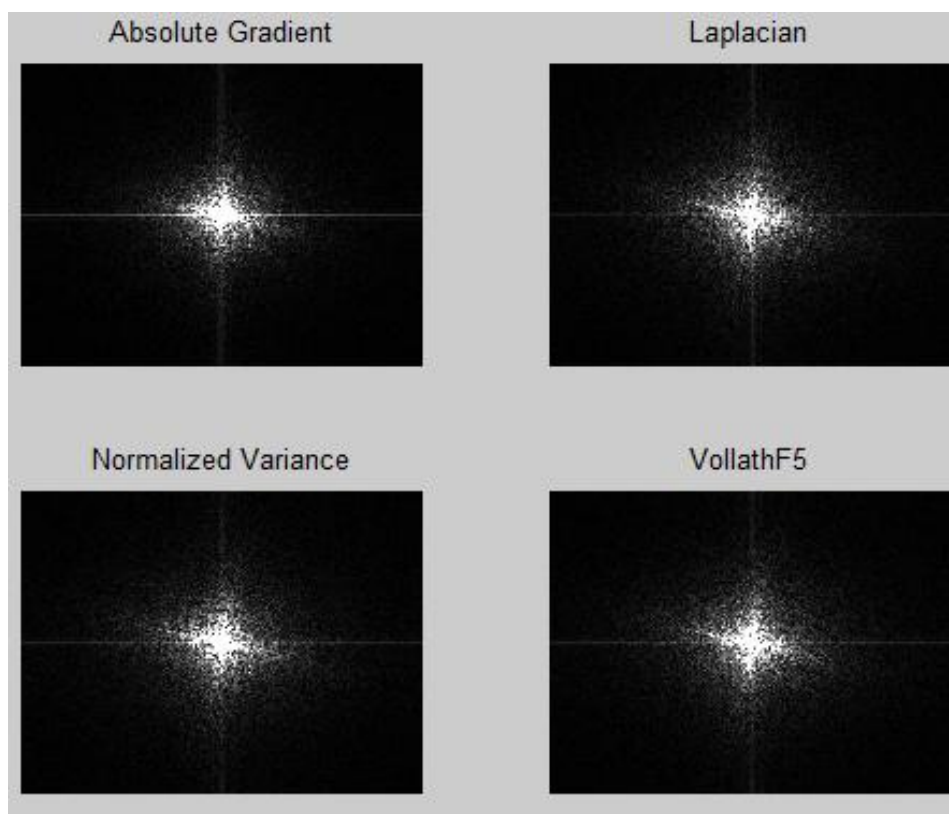


Παρόμοια αποτελέσματα με τις προηγούμενες φορές λαμβάνουμε και σε αυτή την περίπτωση με τις normalized variance και vollathF5 να αποδίδουν καλύτερα αποτελέσματα.

Σε απόσταση 25.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Σε απόσταση 35.5cm λάβαμε τα εξής αποτελέσματα:



Παρατηρώντας, όλα τα γραφήματα διαπιστώνουμε ότι οι συναρτήσεις Normalized Variance και VollathF5 εξάγουν τα καλύτερα αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο συναρτήσεις. Λαμβάνοντας υπόψη και τα χρονικά δεδομένα, καταλήγουμε να επιλέγουμε την vollathF5 ως την συνάρτηση που αποδίδει τις πλήρως εστιασμένες εικόνες στον μικρότερο δυνατό χρόνο.

#### **5.4 Επίλογος-Επιλογή Συνάρτησης**

Σύμφωνα με τη χρονική και ποιοτική σύγκριση των παραπάνω δεδομένων και εικόνων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η συνάρτηση που ικανοποιεί πλήρως τις απαιτήσεις αυτής της διπλωματικής είναι η vollathF5. Όπως, αποδείχθηκε το σύστημά μας προσφέρει την πλήρως εστιασμένη εικόνα σε τάχυστο χρόνο ειδικά υπό υψηλό φως και το φως της οπτικής ίνας. Επίσης, η τελική εικόνα σε χαμηλό φως καθυστερεί σε σχέση με τη χρήση άλλων συναρτήσεων. Παρόλα αυτά οι τελικές εικόνες που λαμβάνουμε με τη χρήση των υπόλοιπων συναρτήσεων δεν είναι πλήρως εστιασμένες αλλά μερικώς εστιασμένες, ενώ θεωρείται σχετικά απίθανη η εφαρμογή του συστήματος αυτόματης εστίασης σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Η επιλογή της συνθήκης αυτής έγινε για να βεβαιωθούμε ότι το σύστημα μας εκτελείται επιτυχώς κάτω από όλες τις περιπτώσεις φωτισμού.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο:ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε την μελλοντική έρευνα που μπορεί να πραγματοποιηθεί ως συνέχεια αυτής της διπλωματικής. Ανάπτυξη είναι δυνατόν να υπάρξει σε δύο βασικούς τομείς, στην πειραματική διάταξη και στο λογισμικό.

- Όσο αφορά τη πειραματική διάταξη, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται σε σταθερό υπολογιστή καθιστώντας τη διάταξη μη φορητή. Προσπάθεια ενσωμάτωσης του μέρους όπου είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία εικόνων μέσα στο σύστημα που έχει δημιουργηθεί όπως επίσης και την απομόνωση του συστήματος από σταθερές πηγές ρεύματος (π.χ μπρίζες), θα καθιστούσε αυτόματα τη διάταξη φορητή και περισσότερο εύχρηστη ως προς τον χρήστη.
- Όσο αφορά την εξέλιξη του λογισμικού, αυτή θα μπορούσε να επιτευχθεί σε πολλαπλά επίπεδα. Το σύστημα αυτόματης εστίασης που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική επιτυγχάνει τον εντοπισμό της πλήρης εστιασμένης εικόνας. Ως μελλοντική ανάπτυξη, μπορούμε να εφαρμόσουμε λογισμικό ανίχνευσης αντικειμένων ή προσώπων (face recognition) όπως και τεχνικές απεικόνισης, όπου θα μπορούσαμε να αποτυπώσουμε την τελική εικόνα πάνω σε πλακέτα με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή. Τέλος, η τεχνολογία της ενισχυμένης πραγματικότητας (augmented reality) θα μπορούσε να εφαρμοστεί με την προϋπόθεση της φορητότητας της συσκευής.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

1. **Li-Cheng Chiu and Chiou-Shann Fuh.** An Efficient Auto Focus Method for Digital Still Camera Based on Focus Value Curve Prediction Model. Department of Computer Science and Information Engineering. National Taiwan University. 2010
2. **Xiu Xu, Yinglin Wang, Jinshan Tang, Xiaolong Zhang and Xiaoming Liu.** Robust Automatic Focus Algorithm for Low Contrast Images Using a New Contrast Measure. Department of Computer Science and Engineering. 2011
3. **Ali F. Yegulalp.** Minimum Entropy Autofocus. MIT Lincoln Laboratory. March 1999
4. **Lawrence Firestone, Kitty Cook, Kevin Culp, Neil Taslania and Kendall Preston.** Comparison of Autofocus Methods for Automated Microscopy. Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University. November 1990
5. **Rafael C. Gonzales and Richard E. Woods.** Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας. 2008
6. **Νικόλαος Η. Παπαμάρκος.** Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης. 2010
7. **Alex Ning.** Autofocus (AF) Lens and Process. United States. August 2004
8. **V. C. Koo, T. S. Lim and H. T. Chuah.** A Comparison of Autofocus Algorithms for SAR Imagery. Multimedia University, Malaysia. August 2005
9. **Jung-Ho Ahn, Jaepil Ko, Il Young Lee and Seung-Hyun Kim.** A Fast Continuous Auto Focus Algorithm using the State Transition Model. Kangman University Korea
10. **Junfeng Wang and Xingzhao Liu.** SAR Minimum-Entropy Autofocus Using an Adaptive-Order Polynomial Model. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. October 2006
11. **T. S. Lim, V. C. Koo, H. T. Ewe and H. T. Chuah.** A SAR Autofocus Algorithm Based on Particle Swarm optimization. Multimedia University. 2008
12. **Thomas J. Kragh.** Monotonic iterative Algorithm for Minimum-Entropy Autofocus. Lincoln laboratory, Massachusetts Institute of Technology
13. **Daniel Vaquero, Natasha Gelfand, Marius Tico, Kari Pulli and Matthew Turk.** Generalized Autofocus. University of California

14. **Robert L. Morrison and Minh N. Do.** Multichannel Autofocus Algorithm for Synthetic Aperture Radar. University of Illinois
15. **J. R. Fienup.** Detecting Moving Targets in SAR Imagery by Focusing. IEEE Veridian Systems
16. **Chia-Hao Chang and Chiou-Shann Fuh.** Auto Focus Using Adaptive Step Size Search and Zoom Tracking Algorithm. National Taiwan University
17. **Frans C.A. Groen, Ian T. Young and Guido Ligthart.** A Comparison of Different Focus Functions for Use in Autofocus Algorithms. Delft University of Technology. October 1984
18. **Yu Sun, Stefan Duthaler and Bradley J. Nelson.** Autofocusing Algorithm Selection in Computer Microscopy. University of Toronto. 2005
19. **[www.haydonkerk.com/LinearActuatorProducts/StepperMotorLinearActuators/LinearActuatorsHybrid/Size11LinearActuator/tabid/75/Default.aspx](http://www.haydonkerk.com/LinearActuatorProducts/StepperMotorLinearActuators/LinearActuatorsHybrid/Size11LinearActuator/tabid/75/Default.aspx)** [ηλεκτρονικό]
20. **[www.ptgrey.com/products/dragonfly2/dragonfly2.pdf](http://www.ptgrey.com/products/dragonfly2/dragonfly2.pdf)** [ηλεκτρονικό]
21. **[www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)** [ηλεκτρονικό]
22. **[www.kenrockwell.com/tech](http://www.kenrockwell.com/tech)** [ηλεκτρονικό]
23. **[www.dpreview.com/reviews/olympus-om-d-e-m1/8](http://www.dpreview.com/reviews/olympus-om-d-e-m1/8)** [ηλεκτρονικό]
24. **[www.nikon.com/about/technology/rd/core/software/caf/index.htm](http://www.nikon.com/about/technology/rd/core/software/caf/index.htm)** [ηλεκτρονικό]
25. **[www.the-digital-picture.com/Photography-Tips/Canon-EOS-DSLR-Autofocus-Explained.aspx](http://www.the-digital-picture.com/Photography-Tips/Canon-EOS-DSLR-Autofocus-Explained.aspx)** [ηλεκτρονικό]
26. **[graphics.stanford.edu/courses/cs178/applets/autofocusPD.html](http://graphics.stanford.edu/courses/cs178/applets/autofocusPD.html)** [ηλεκτρονικό]
27. **[graphics.stanford.edu/courses/cs178/applets/autofocusCD.html](http://graphics.stanford.edu/courses/cs178/applets/autofocusCD.html)** [ηλεκτρονικό]

