

# Μηχανική Όραση

**Σταύρος Νιάφας**

**2η Εργασία**

**CAMERA CALIBRATION**

12 Ιανουαρίου 2016

# Βαθμονόμηση Κάμερας

Βαθμονόμηση κάμερας είναι μια διαδικασία ώστε να υπολογιστούν όλες οι παράμετροι που απαιτούνται για τη λήψη μετρήσεων με μία κάμερα. Οι παράμετροι βαθμονόμησης αναφέρονται σε συστήματα εσωτερικού και εξωτερικού προσανατολισμού.

## Εσωτερικός προσανατολισμός

Ο εσωτερικός προσανατολισμός είναι απαραίτητος ώστε να οριστεί μία κεντρική προβολή, κάθε pixel να δίνει μία οπτική ακτίνα. Ο προσδιορισμός των παρακάτω παραμέτρων λέγεται βαθμονόμηση κάμερας.

1. Απόσταση κέντρου προβολής (εστιακή απόσταση)  $c$ .
2. Θέση των πρωτεύοντων σημείων  $\chi_0, \psi_0$  του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας.
3. Ακτινική διαστροφή του φακού  $\Delta\tau$ , που αναφέρεται στη γεωμετρική παραμόρφωση των ακτινών λόγω της στρογγυλότητας του φακού.

## Εξωτερικός προσανατολισμός

Οι παράμετροι που καθορίζουν τη θέση και τον προσανατολισμό της κάμερας σε σχέση με το σύστημα συντεταγμένων. (3 συντεταγμένες θέσης  $x,y,z$  - 3 γωνίες προσανατολισμού)

# Μεθοδολογία και εφαρμογή

Για τη βαθμονόμηση της κάμερας χρησιμοποιήθηκε ένας τετραγωνικός κάναβος τύπου “σκακίερας”  $9 \times 9$  καθώς και το λογισμικό FAUCCAL σε περιβάλλον Matlab. Για τη λήψη των φωτογραφιών που θα βαθμονομηθούν χρησιμοποιήθηκε μια Nikon Coolpix P80. Για τα πειράματα βαθμονόμησης έγιναν 15 διαφορετικές λήψεις από ίδιες αποστάσεις, από ισάριθμες διαφορετικές θέσεις. Τα συνολικά αποτελέσματα για τα αντίστοιχα ερωτήματα Α,Β,Γ,Δ παρουσιάζονται στους πίνακες 1-4. Τα γραφήματα 1-8 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα για το υποερώτημα Β.

## Αποτελέσματα

Εικόνες	Μεταβλητές		
	c	x0	y0
3	2372.881 ± 39.175	-14.862 ± 7.658	57.507 ± 12.252
5	2607.916 ± 17.381	-25.748 ± 6.789	3.848 ± 5.507
7	2716.827 ± 10.369	-26.753 ± 4.933	-14.501 ± 4.678
9	2765.194 ± 8.317	-44.400 ± 4.578	-17.618 ± 4.099
11	2761.670 ± 7.265	-48.192 ± 3.839	-19.853 ± 3.636
13	2753.648 ± 6.698	-50.956 ± 3.440	-17.151 ± 3.243
15	2765.936 ± 6.270	-52.721 ± 3.312	-14.708 ± 3.036

Πίνακας 1: Αποτελέσματα των βασικών παραμέτρων c, x0, y0 του εσωτερικού προσανατολισμού.

Εικόνες	Μεταβλητές				
	c	x0	y0	k1	k2
3	2873.658 ± 38.004	-19.200 ± 7.823	-49.146 ± 14.984	-1.428e-08 ± 1.42e-09	1.312e-16 ± 1.16e-15
5	2880.166 ± 19.915	-40.416 ± 7.206	-53.412 ± 7.270	-1.739e-08 ± 1.18e-09	4.265e-15 ± 9.01e-16
7	2858.323 ± 10.517	-11.726 ± 5.483	-49.481 ± 5.188	-1.623e-08 ± 1.05e-09	3.112e-15 ± 7.80e-16
9	2869.164 ± 8.047	-8.625 ± 5.376	-41.279 ± 4.709	-1.651e-08 ± 9.86e-10	3.233e-15 ± 7.73e-16
11	2867.531 ± 7.371	-18.765 ± 4.548	-38.044 ± 4.244	-1.606e-08 ± 9.12e-10	3.233e-15 ± 7.37e-16
13	2862.223 ± 6.946	-19.825 ± 4.113	-35.881 ± 3.825	-1.524e-08 ± 8.43e-10	2.688e-15 ± 6.89e-16
15	2866.205 ± 6.307	-16.473 ± 4.034	-34.361 ± 3.612	-1.571e-08 ± 7.90e-10	2.878e-15 ± 6.56e-16

Πίνακας 2: Αποτελέσματα των βασικών παραμέτρων c, x0, y0 συμπεραλαμβανομένων των συντελεστών ακτινικής διαστρώσης k1,k2 του φακού.

Εικόνας	Μεταβλητές									
	3	5	7	9	11	13	15			
c	2793.671 ± 36.182	2907.499 ± 18.679	2867.174 ± 10.413	2871.240 ± 8.132	2870.694 ± 7.439	2865.016 ± 7.022	2866.162 ± 6.402			
x0	-80.496 ± 8.259	-111.560 ± 8.921	-55.045 ± 7.456	-18.508 ± 7.316	-35.711 ± 6.626	-33.587 ± 5.953	-19.217 ± 5.742			
y0	-8.388 ± 14.107	-70.188 ± 8.817	-46.416 ± 7.438	-31.416 ± 7.676	-29.648 ± 6.898	-27.962 ± 6.259	-22.646 ± 6.043			
k1	-1.553e-08 ± 1.33e-09	-1.792e-08 ± 1.18e-09	-1.692e-08 ± 1.14e-09	-1.678e-08 ± 1.03e-09	-1.633e-08 ± 9.52e-10	-1.541e-08 ± 8.72e-10	-1.580e-08 ± 8.08e-10			
k2	1.301e-15 ± 1.12e-15	4.269e-15 ± 9.77e-16	3.387e-15 ± 9.11e-16	3.297e-15 ± 8.24e-16	3.293e-15 ± 7.98e-16	2.650e-15 ± 7.36e-16	2.862e-15 ± 6.77e-16			
p1	-3.518e-06 ± 2.77e-07	-3.329e-06 ± 2.17e-07	-2.152e-06 ± 2.53e-07	-4.928e-07 ± 2.65e-07	-8.171e-07 ± 2.40e-07	-6.844e-07 ± 2.22e-07	-1.041e-07 ± 2.15e-07			
p2	-1.641e-07 ± 2.40e-07	-4.202e-07 ± 2.35e-07	2.246e-07 ± 2.70e-07	4.719e-07 ± 2.72e-07	4.047e-07 ± 2.45e-07	3.958e-07 ± 2.26e-07	5.251e-07 ± 2.16e-07			

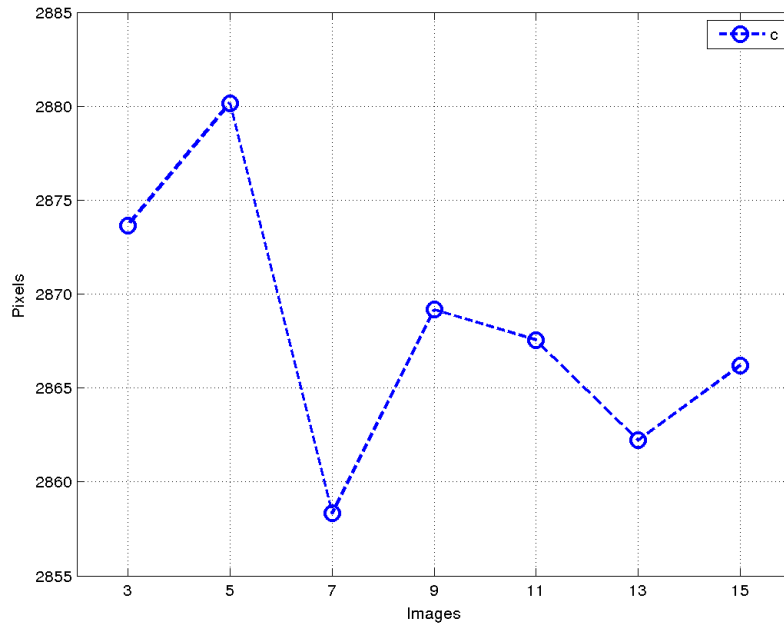
Πίνακας 3: Αποτελέσματα των συντελεστών εσωτερικού προσανατολισμού, ακτινικής διαστροφής και εφαπτομενικής διαστροφής p1,p2 του φακού.

Εικόνας	Μεταβλητές									
	3	5	7	9	11	13	15			
cx	2632.993 ± 40.035	2930.133 ± 19.553	2865.420 ± 10.422	2863.471 ± 8.341	2864.391 ± 7.622	2859.424 ± 7.234	2860.061 ± 6.680			
x0	-55.491 ± 8.193	-128.297 ± 9.983	-55.707 ± 7.473	-21.279 ± 7.298	-37.183 ± 6.643	-35.375 ± 5.966	-21.657 ± 5.775			
y0	58.107 ± 15.513	-73.631 ± 8.965	-45.084 ± 7.406	-29.732 ± 7.620	-27.165 ± 6.891	-26.381 ± 6.262	-20.970 ± 6.063			
k1	-1.753e-08 ± 8.75e-10	-1.695e-08 ± 1.18e-09	-1.720e-08 ± 1.15e-09	-1.665e-08 ± 1.04e-09	-1.619e-08 ± 9.59e-10	-1.540e-08 ± 8.76e-10	-1.569e-08 ± 8.15e-10			
k2	3.983e-15 ± 6.61e-16	3.888e-15 ± 9.95e-16	3.737e-15 ± 9.32e-16	3.471e-15 ± 8.42e-16	3.409e-15 ± 8.11e-16	2.811e-15 ± 7.48e-16	2.916e-15 ± 6.92e-16			
p1	-1.330e-06 ± 2.60e-07	-2.336e-06 ± 3.10e-07	-1.858e-06 ± 2.81e-07	-2.436e-07 ± 2.76e-07	-5.900e-07 ± 2.50e-07	-5.185e-07 ± 2.30e-07	-1.063e-08 ± 2.20e-07			
p2	-4.047e-07 ± 2.85e-07	5.698e-08 ± 3.01e-07	3.121e-07 ± 2.97e-07	3.717e-07 ± 2.78e-07	3.357e-07 ± 2.50e-07	3.251e-07 ± 2.30e-07	4.468e-07 ± 2.19e-07			
ar	1.003698 ± 0.000373	1.000624 ± 0.000445	1.000458 ± 0.000370	1.001088 ± 0.000359	1.001025 ± 0.000347	1.000847 ± 0.000320	1.000909 ± 0.000310			
sk	-0.002013 ± 0.000371	-0.002498 ± 0.000491	1.000458 ± 0.000370	-0.000903 ± 0.000364	-0.000748 ± 0.000350	-0.000590 ± 0.000321	-0.000467 ± 0.000311			

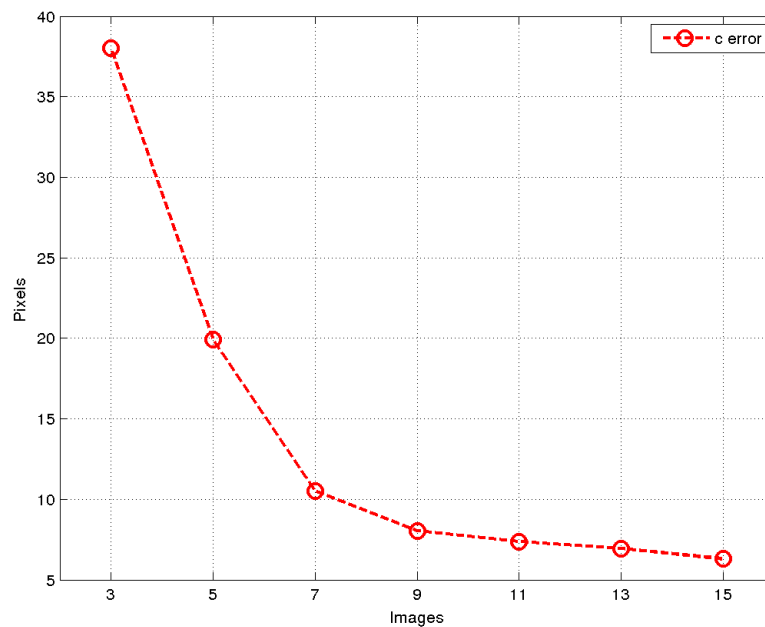
Πίνακας 4: Αποτελέσματα των συντελεστών εσωτερικού προσανατολισμού, ακτινικής και εφαπτομενικής διαστροφής με τις παραμέτρους skewness και aspect ratio του φακού.

## Διαγράμματα

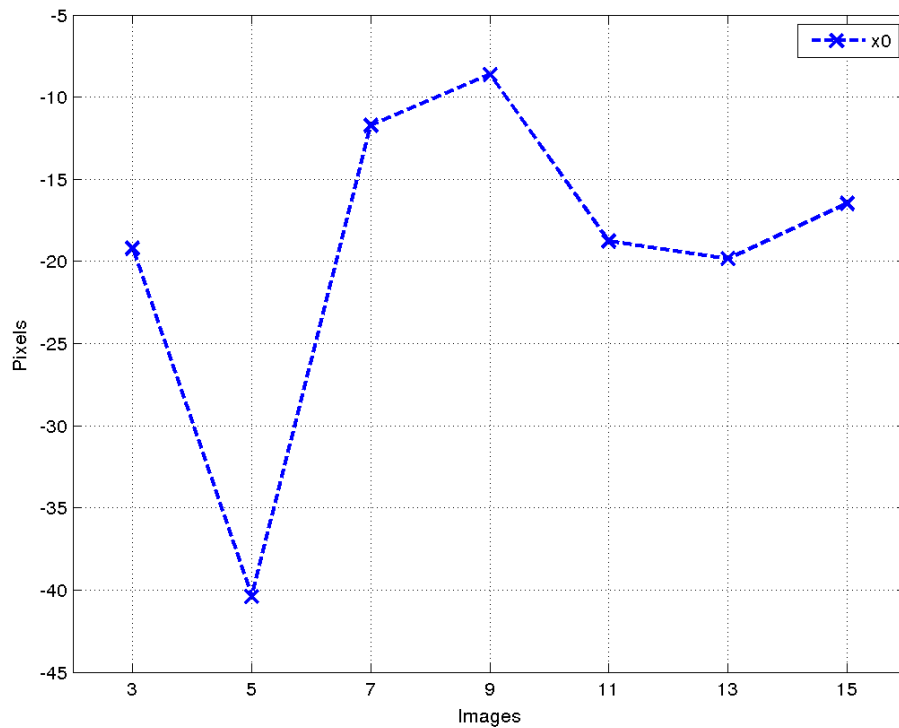
Παρακάτω παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των παραμέτρων του εσωτερικού προσανατολισμού και της ακτινικής διαστρόφης.



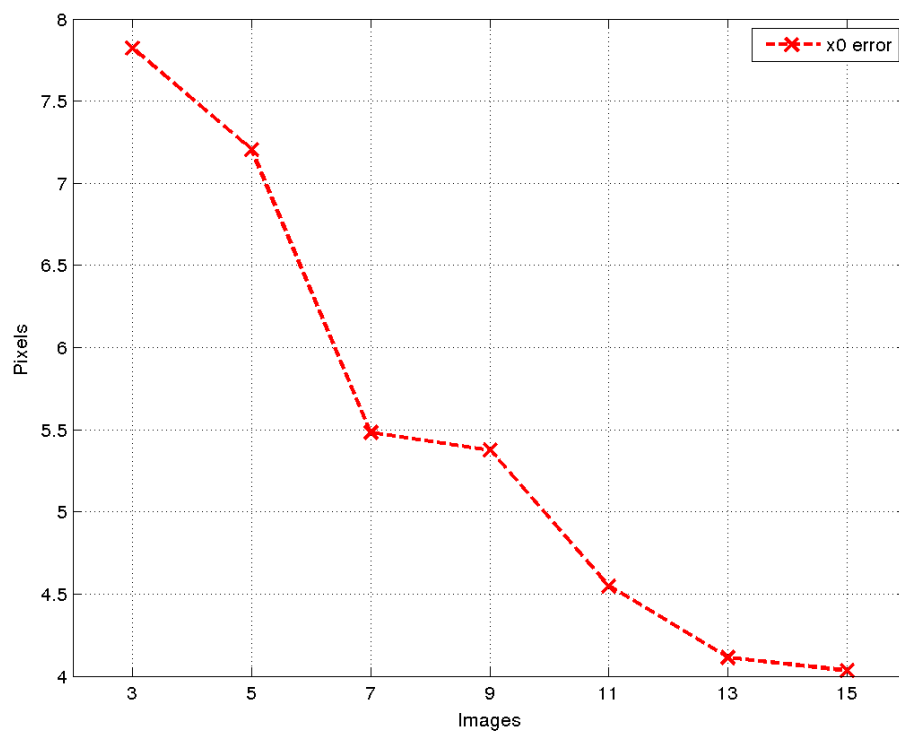
Σχήμα 1: Απόσταση του προβολικού κέντρου της εικόνας από το κέντρο του φακού



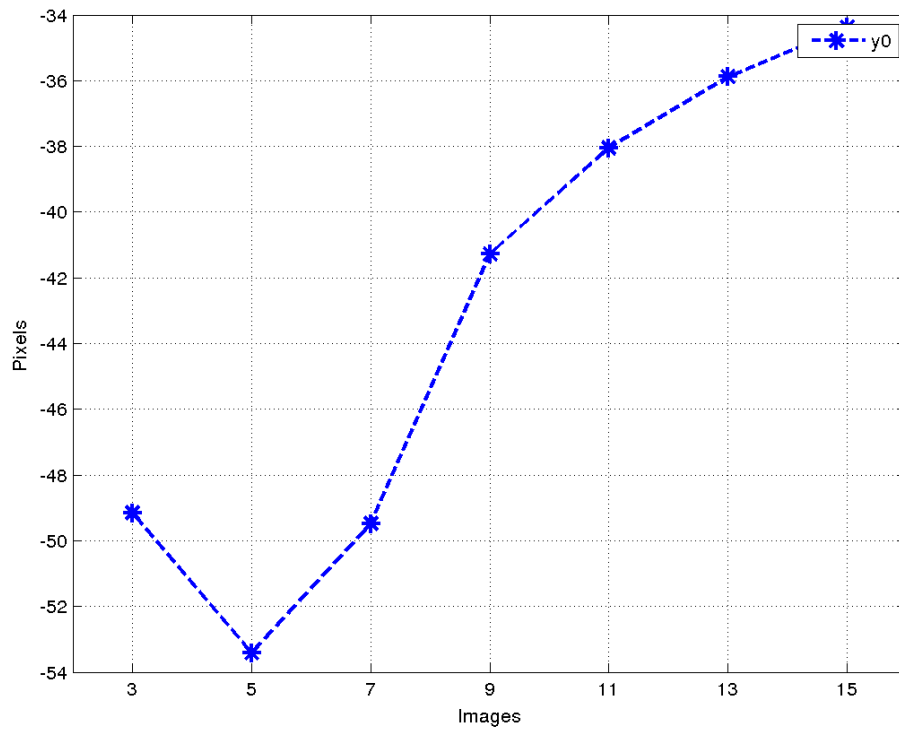
Σχήμα 2: Τυπικό σφάλμα απόστασης του προβολικού κέντρου της εικόνας από το κέντρο του φακού



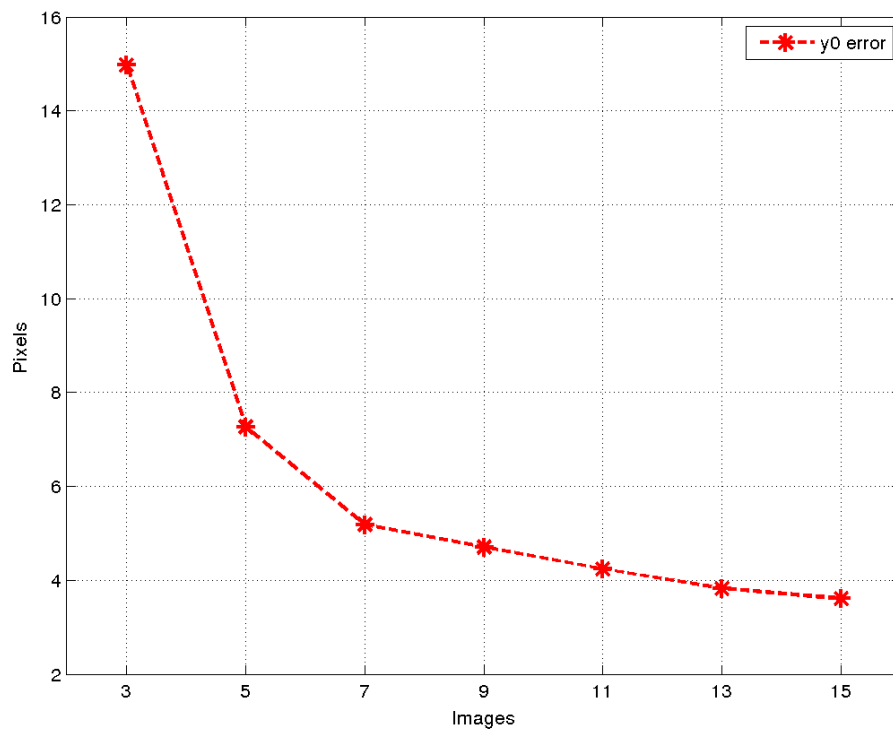
Σχήμα 3: Απόκλιση της οπτικής ακτίνας του προβολικού κέντρου ως προς το κέντρο του φακού στον x του πρωτεύοντος σημείου



Σχήμα 4: Σφάλμα απόκλισης της οπτικής ακτίνας του προβολικού κέντρου ως προς το κέντρο του φακού στον άξονα x του πρωτεύοντος σημείου

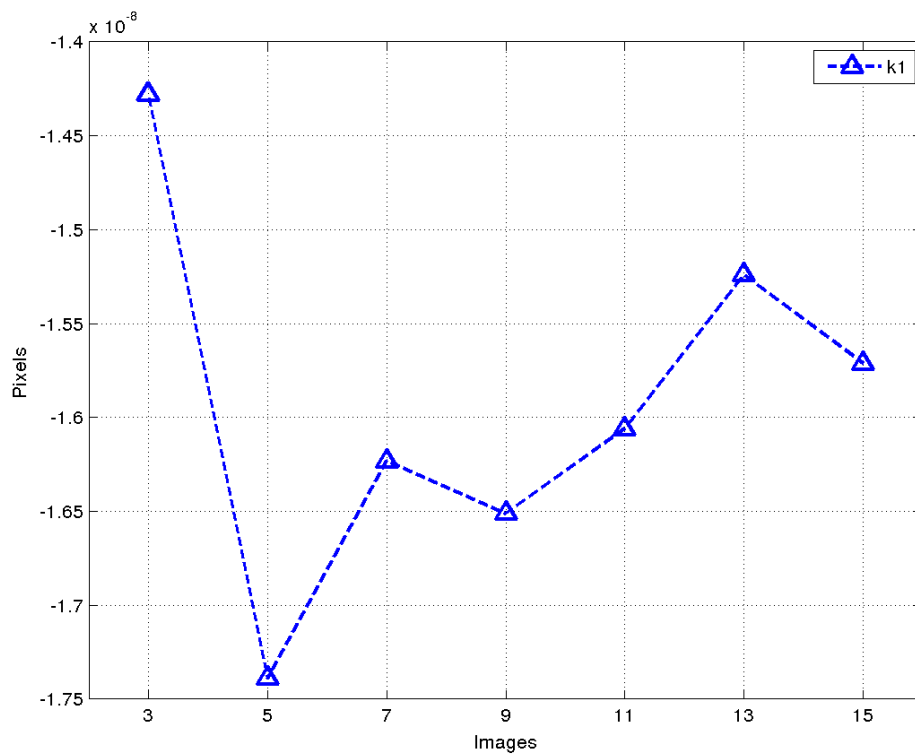


Σχήμα 5: Απόκλιση της οπτικής ακτίνας του προβολικού κέντρου ως προς το κέντρο του φακού στον άξονα y του πρωτεύοντος σημείου

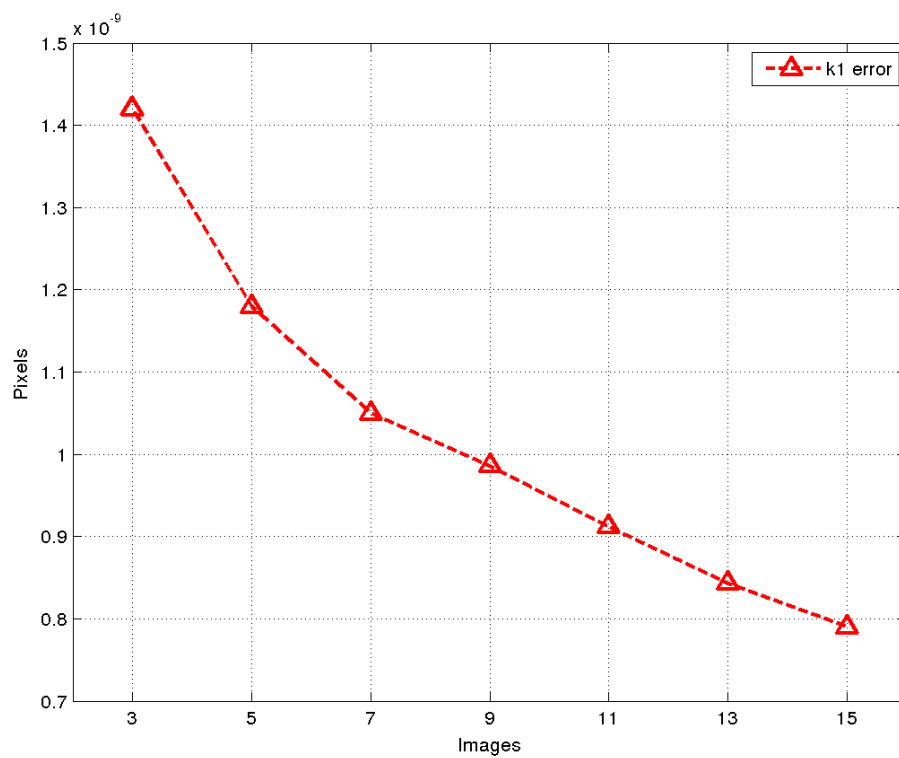


Σχήμα 6: Σφάλμα απόκλισης της οπτικής ακτίνας του προβολικού κέντρου ως προς το κέντρο του φακού στον άξονα y του πρωτεύοντος σημείου

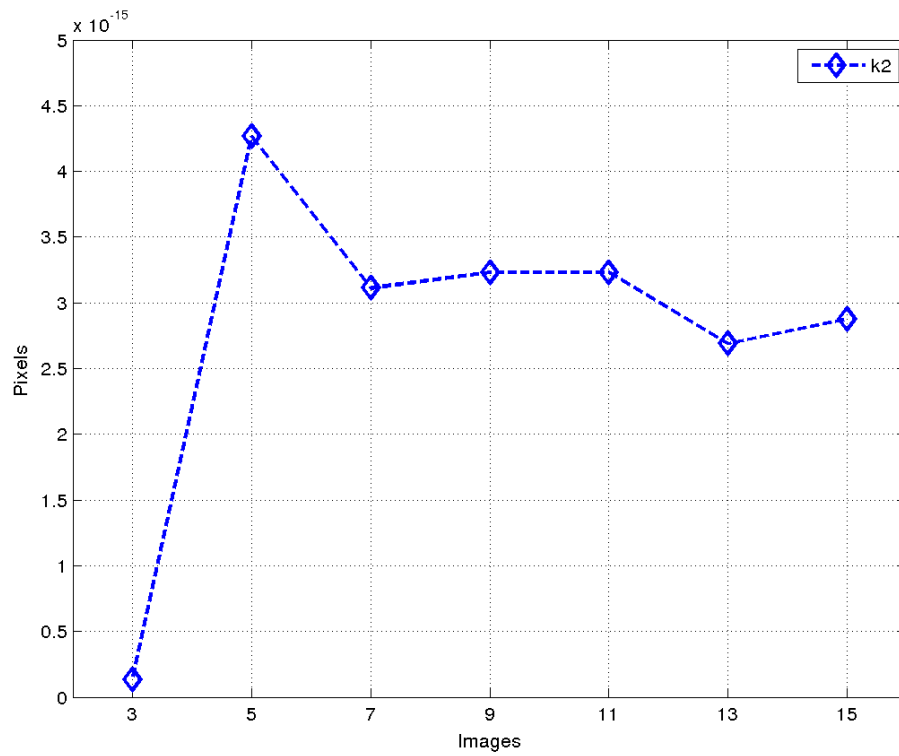




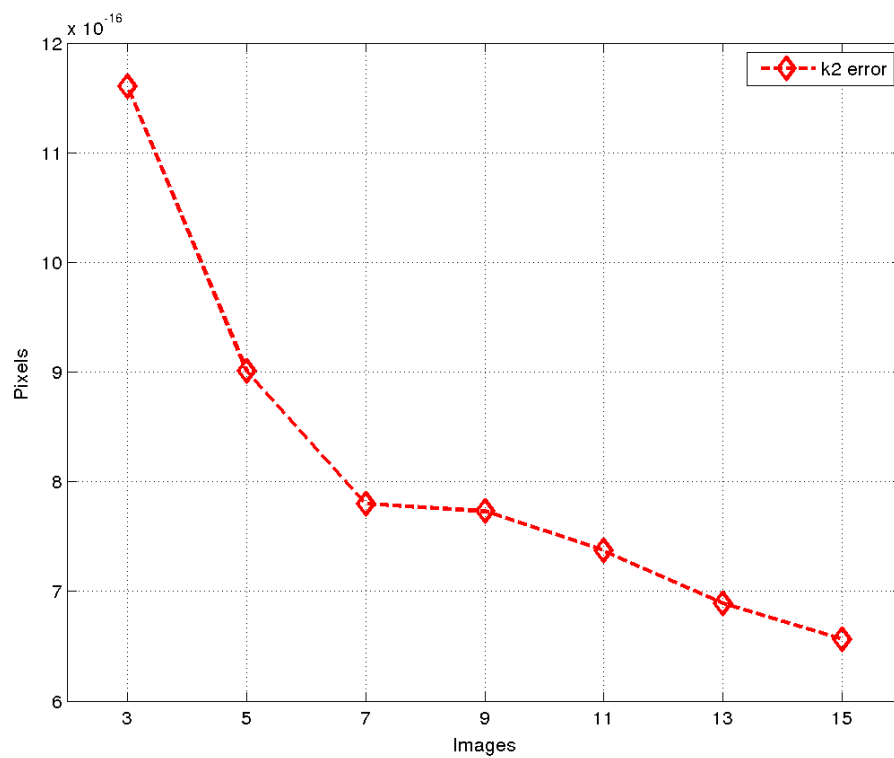
Σχήμα 7: Συντελεστής ακτινικής διαστοφής  $k_1$



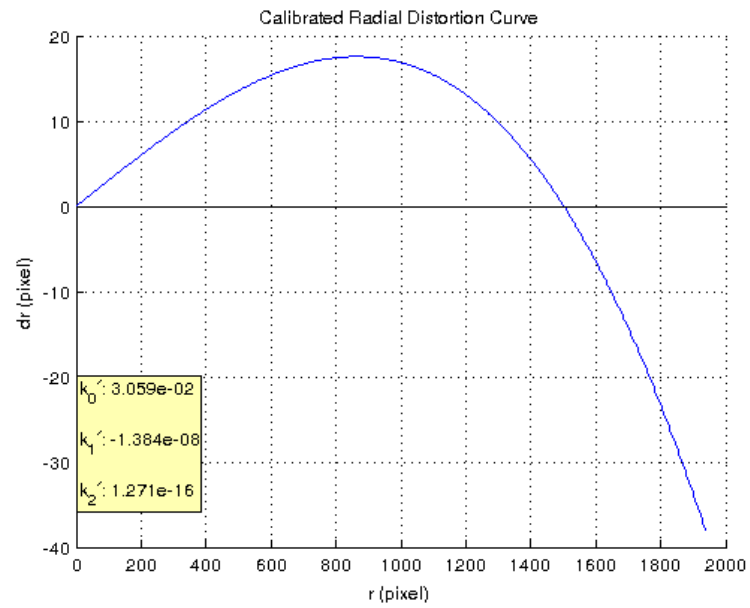
Σχήμα 8: Απόκλιση συντελεστή ακτινικής διαστοφής  $k_1$



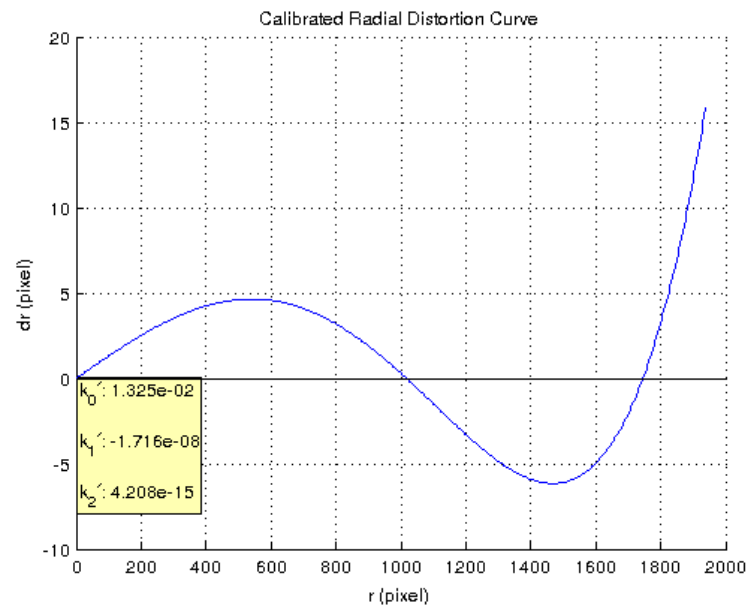
Σχήμα 9: Συντελεστής ακτινικής διαστροφής  $k_2$



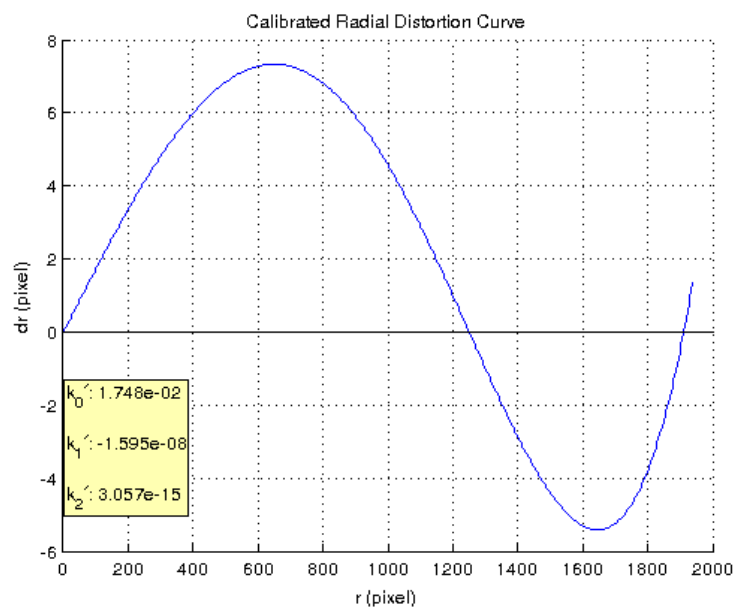
Σχήμα 10: Απόκλιση συντελεστή ακτινικής διαστροφής  $k_2$



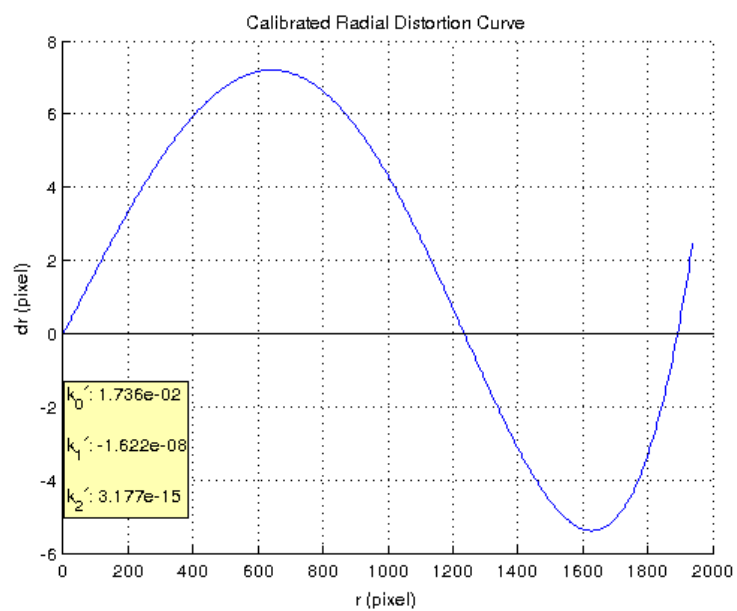
Σχήμα 11: Διάγραμμα ακτινικής διαστρώσης για 3 εικόνες.



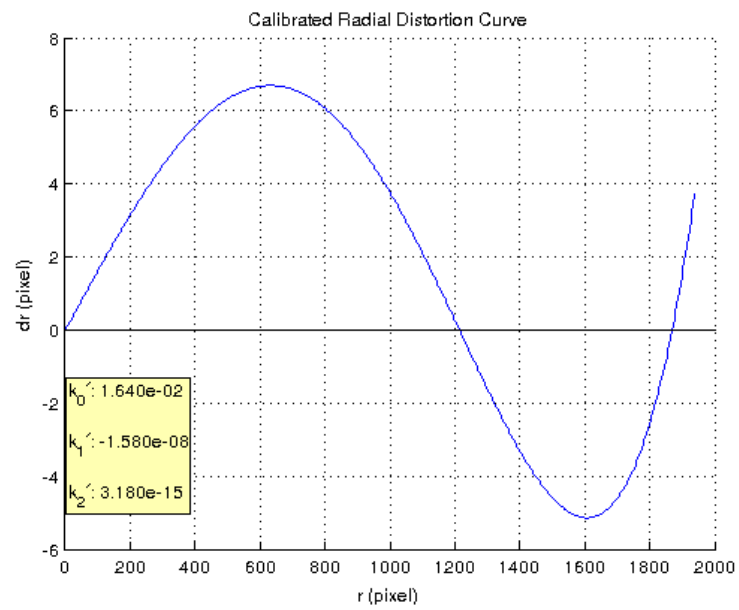
Σχήμα 12: Διάγραμμα ακτινικής διαστρώσης για 5 εικόνες.



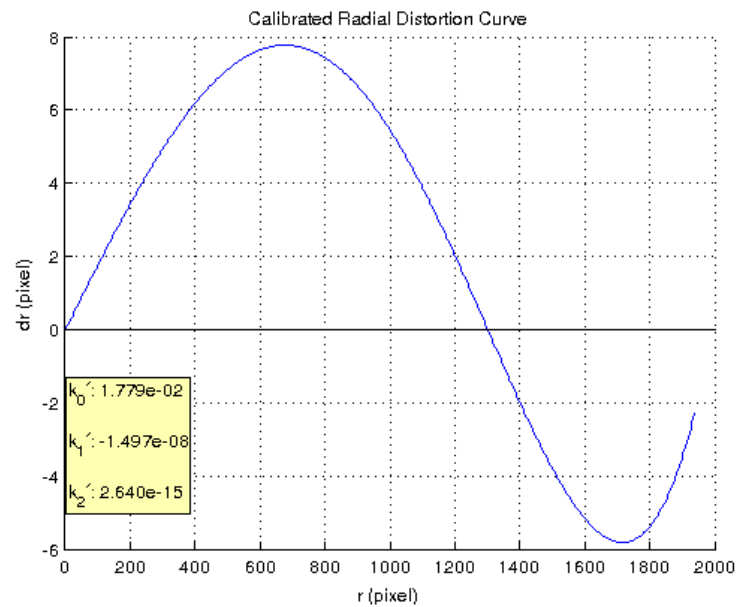
Σχήμα 13: Διάγραμμα ακτινικής διαστρώσης για 7 εικόνες.



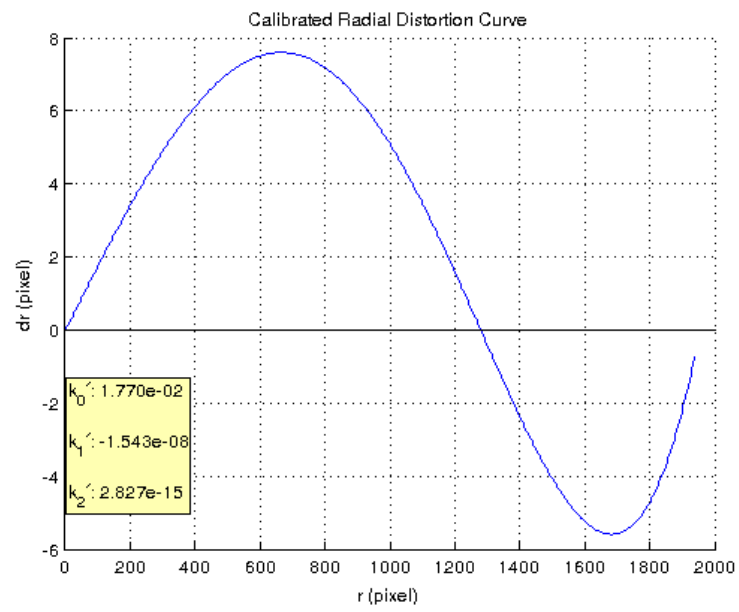
Σχήμα 14: Διάγραμμα ακτινικής διαστρώσης για 9 εικόνες.



Σχήμα 15: Διάγραμμα ακτινικής διαστροφής για 11 εικόνες.



Σχήμα 16: Διάγραμμα ακτινικής διαστροφής για 13 εικόνες.



Σχήμα 17: Διάγραμμα ακτινικής διαστροφής για 15 εικόνες.

## Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα για την κάμερα:

- Η σταθερά C παρουσιάζει γενικά μικρή αστάθεια για λίγες εικόνες ενώ παρατηρείται εξομάλυνση όταν το πλήθος των εικόνων είναι πάνω από 5, πράγμα που σημαίνει ότι διατηρείται η ίδια απόσταση εστίασης της κάμερας.
- Οι συντεταγμένες των πρωτεύοντος σημείου  $x_0, y_0$  είναι πολύ ασταθής σε όλες τις διαφορετικές επιλύσεις αλλά σε γενικές γραμμές παρατηρείται επίσης μικρή εξομάλυνση σε μεγάλο πλήθος εικόνων.
- Παρόμοια σχεδόν συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι συντελεστές της ακτινικής διαστρώφης.
- Σε όλο το εύρος των δεδομένων είναι αξιοσημείωτο πως το σφάλμα ελαχιστοποιείται με εκθετικό ρυθμό.
- Επίσης παρατηρείται μία τάση απότομης εναλλαγής στην περίπτωση των 5 εικόνων, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις στην περίπτωση των 3 εικόνων παρατηρείται η βέλτιστη τιμή αλλά με το μεγαλύτερο σφάλμα.
- Η ακτινική διαστρώφη παρουσιάζει αρκετά υψηλές τιμές για 3 και 5 εικόνες στην ακτίνα 1900 pixels ενώ για περισσότερες δείχνει να παρουσιάζει ημιτονοειδή απόκλιση 6-7 pixels σε ακτίνα 1700 pixel ενώ σχεδόν μηδενίζεται στα 1900 pixels.