

Πανεπιστήμιο Πατρών  
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής

Θέματα  
Ώρασης Υπολογιστών & Γραφικής

Image Alignment

Αναφορά Άσκησης 4

Όνομα: Βασιλική  
Επώνυμο: Στάμου  
Α.Μ.: 1059543

Πάτρα Αύγουστος 2022

## Μέρος Α

### Αλγόριθμοι Ευθυγράμμισης Εικόνων (Image Alignment)

1. **Μελετήστε προσεκτικά τα ορίσματα εισόδου/εξόδου της συνάρτησης. Καλέστε την συνάρτηση, αφού εκχωρήσετε τιμές της αρεσκείας σας ορίσματα εισόδου. Παρατηρήστε τις γραφικές παραστάσεις και τα GUI.**

Τα ορίσματα εισόδου της `ecc_ik_alignment.m` είναι:

- **IMAGE:** Η εικόνα που χρειάζεται να υποστεί γεωμετρική παραμόρφωση τέτοια ώστε να είναι παρόμοια με την εικόνα `TEMPLATE`.
- **TEMPLATE:** Το προφίλ εικόνας.
- **NOI:** Αριθμός επαναλήψεων ανά επίπεδο. Ο αλγόριθμος για επίπεδο εκτελείται `NOI-1` φορές.
- **LEVELS:** Ο αριθμός των επιπέδων της πυραμίδας. Αν `LEVELS = 1` δεν θα δημιουργηθεί πυραμίδα. Το επίπεδο 1 αντιστοιχεί στο επίπεδο του οποίου η εικόνα έχει τις μεγαλύτερες διαστάσεις.
- **TRANSFORM:** Τύπος γεωμετρικών μετασχηματισμών. Επιτρεπόμενες τιμές 'affine' και 'homography'.
- **DELTA\_P\_INT:** Το αρχικό μητρώο γεωμετρικής παραμόρφωσης των αρχικών εικόνων κάθε επιπέδου (προαιρετικό). Προεπιλογή είναι το ταυτοτικό μητρώο. Αν έχουμε affine transform το μητρώο `DELTA_P_INT` πρέπει να είναι 2x3, ενώ στην homography περίπτωση πρέπει να είναι μητρώο διαστάσεων 3x3.

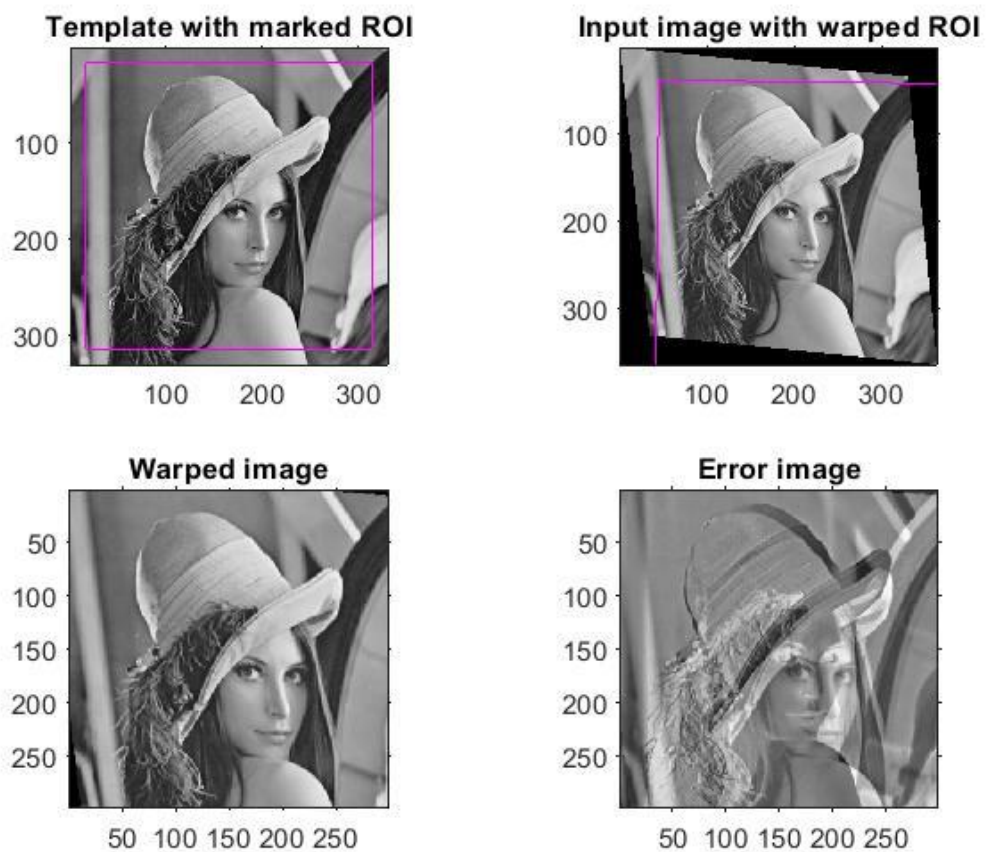
Ενώ τα ορίσματα εξόδου είναι:

- **RESULTS:** Μία δομή struct διαστάσεων `LEVELSxNOI` με τα παρακάτω πεδία:
  - **RESULTS().warp:** Η γεωμετρική παραμόρφωση που χρειάζεται να εφαρμοστεί στην εικόνα σε κάθε επίπεδο και επανάληψη.
  - **RESULTS().rho:** Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης σε κάθε επίπεδο και επανάληψη.
  - **RESULTS(LEVEL,NOI).image:** Η τελική warped image που είναι όμοια με το `TEMPLATE`.

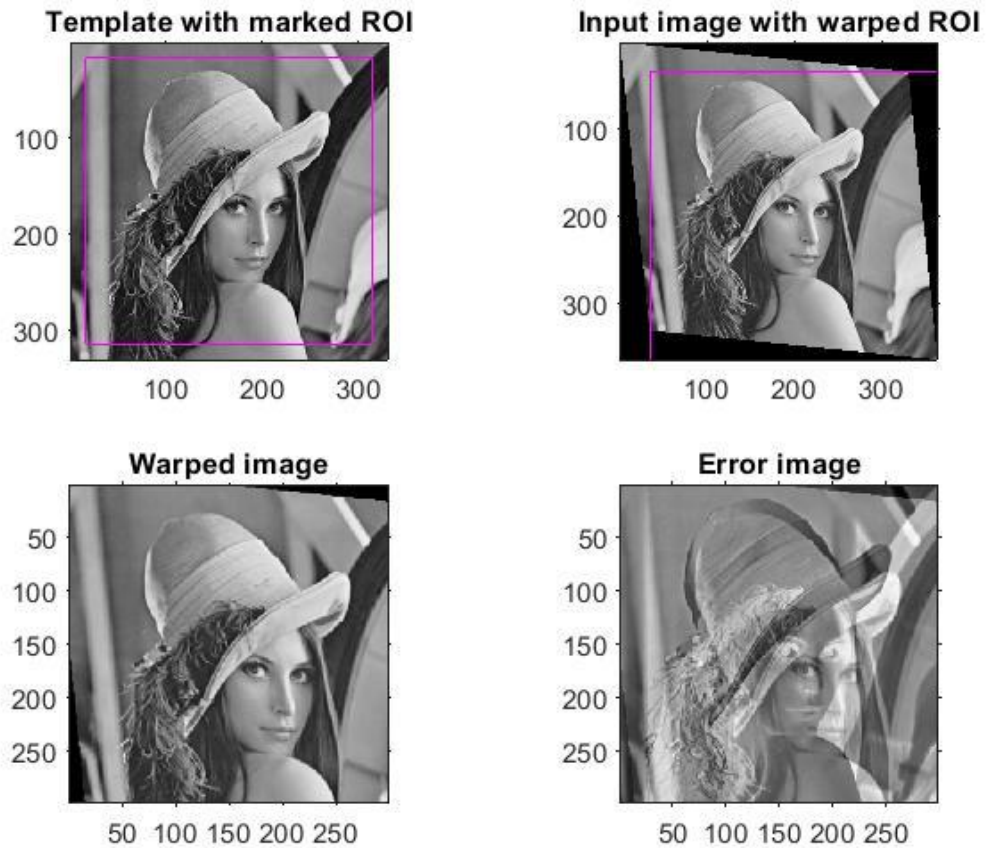
Για την κλήση της συνάρτησης χρησιμοποιήθηκε η εικόνα 'Lenna.png' ως template και στην συνέχεια, της εφαρμόστηκε ο γεωμετρικός μετασχηματισμός στρέβλωσης κατά παράγοντα 0.1 στον άξονα των  $x$  και στον άξονα των  $y$ . Τα επίπεδα της πυραμίδας επιλέχθηκαν ίσα με 2 και ο αριθμός επαναλήψεων ανά επίπεδο ίσος με 2. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της συνάρτησης.

**Error image = template with marked roi – warped image**

**Figure 1: ECC**



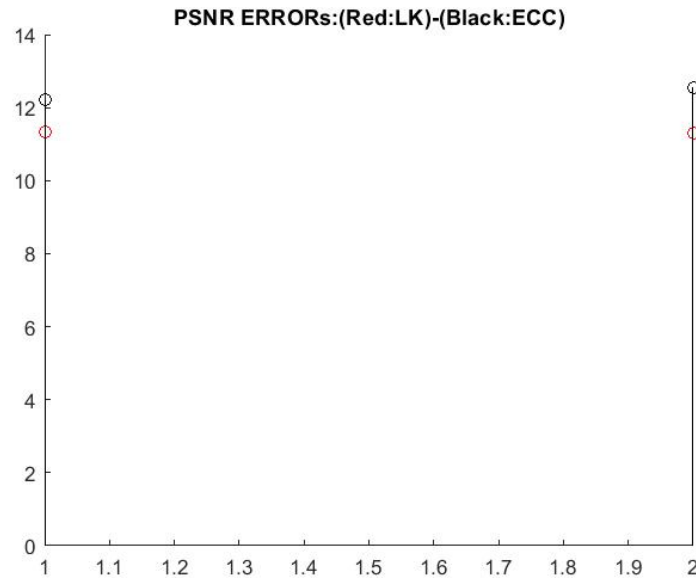
**Figure 2: LK**



Παρατηρούμε ότι και οι δυο αλγόριθμοι κατάφεραν να βρουν την γεωμετρική παραμόρφωση που εφαρμόστηκε, ωστόσο ο ECC έφερε καλύτερα αποτελέσματα από τον Lucas – Kanade, καθώς βλέπουμε την warped image να είναι σχεδόν ολότητα με την αρχική.

**Figure 3:**

PSNR που προκύπτει σε κάθε επίπεδο και σε κάθε επανάληψη.  
Βλέπουμε ότι ο ECC έχει λίγο καλύτερο PSNR.



Παρατηρείται ότι η μέθοδος ECC έχει μεγαλύτερη τιμή PSNR σε όλες τις επαναλήψεις.

Όπως εξηγείται και στην εκφώνηση το PSNR (Peak Signal to Noise Ration), είναι μετρική που ορίζεται από την σχέση:

$$PSNR = 10 \log_{10} N^2 / MSE$$

Δεδομένου ότι ο αριθμός N είναι ίσος και για τους δύο αλγορίθμους, γιατί χρησιμοποιείται η ίδια εικόνα, συμπεραίνουμε ότι ο παρονομαστής για τον ECC είναι μικρότερος και συνεπώς το μέσο τετραγωνικό σφάλμα είναι πολύ μικρότερο.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο ότι ο ECC είναι πιο αποτελεσματικός από τον LK, καθώς ο LK υστερεί κατά 3db  $\Rightarrow 10\log_{10}a = 3\text{db} \Rightarrow a=10^{3/10} \approx 2$  που σημαίνει ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του LK είναι περίπου διπλάσιο από του ECC.

## 2. Εξετάστε διεξοδικά τις συναρτήσεις:

- `spatial interp.m`
- `image jacobian.m`
- `warp jacobian.m` και
- `param update.m`

που καλούνται από τη βασική συνάρτηση και καταγράψτε την χρησιμότητά τους στην επίλυση του προβλήματος της ευθυγράμμισης.

### **spatial\_interp.m**

```
out = spatial_interp(in,warp,str,transform,nx,ny)
```

Η συνάρτηση αυτή υλοποιεί την δισδιάστατη χωρική παρεμβολή της εικόνας IN. Τα συστήματα συντεταγμένων NX και NY προβάλλονται μέσω της WARP και παράγεται το νέο σύστημα συντεταγμένων των subpixel. Οι τιμές των subpixel αυτών υπολογίζονται μέσω διγραμμικής παρεμβολής της εικόνας IN.

Τα ορίσματα εισόδου της συνάρτησης είναι:

- **IN:** Η εισαγόμενη εικόνα που πρέπει να υποστεί γεωμετρικό μετασχηματισμό.
- **WARP:** Ο γεωμετρικός μετασχηματισμός.
- **STR:** Αλφαριθμητικό που προσδιορίζει τον τύπο της παρεμβολής. Οι διαθέσιμοι τύποι είναι:
  - 'nearest' – παρεμβολή κοντινότερου γείτονα,
  - 'linear' – διγραμμική παρεμβολή,
  - 'spline' – παρεμβολή με spline και
  - 'cubic' – bicubic παρεμβολή για δεδομένα ομοιόμορφα κατανεμημένα, αλλιώς έχουμε παρεμβολή με spline.
- **TRANSFORM:** Ο τύπος του γεωμετρικού μετασχηματισμού. Επιτρεπτές τιμές:
  - 'translation'
  - 'euclidean'
  - 'affine' και
  - 'homography'
- **NX:** οι συντεταγμένες κατά τον άξονα του x στην περιοχή ενδιαφέροντος ([xmin:xmax])
- **NY:** οι συντεταγμένες κατά τον άξονα του y στην περιοχή ενδιαφέροντος ([ymin:ymax])

Ενώ τα ορίσματα εξόδου είναι:

- **OUT:** Η warped εικόνα.

### **image\_jacobian.m**

`function G = image_jacobian(gx,gy,jac,nop)`

Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει το Ιακωβιανό μητρώο G της warped εικόνας σύμφωνα με τις παραμέτρους wrt.

Τα ορίσματα εισόδου της συνάρτησης είναι:

- **GX:** Το gradient της warped εικόνας κατά τον οριζόντιο άξονα.
- **GY:** Το gradient της warped εικόνας κατά τον κάθετο άξονα.
- **JAC:** Το Ιακωβιανό μητρώο J του γεωμετρικού μετασχηματισμού warp με τις παραμέτρους wrt.
- **NOP:** Ο αριθμός των παραμέτρων.

Ενώ τα ορίσματα εξόδου είναι:

- **G:** Το Ιακωβιανό μητρώο G.

### **warp\_jacobian.m**

`J = warp_jacobian(nx,ny,warp,transform)`

Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει την Ιακωβιανή J ως προς τις παραμέτρους της γεωμετρικής παραμόρφωσης warp. Αν η γεωμετρική παραμόρφωση είναι homography ή euclidean, η Ιακωβιανή J εξαρτάται από τις παραμέτρους, ενώ αν γεωμετρική παραμόρφωση είναι affine ή translation δεν έχουμε εξάρτηση.

Τα ορίσματα εισόδου της συνάρτησης είναι:

- **NX:** οι συντεταγμένες κατά τον άξονα του x στην περιοχή ενδιαφέροντος ([xmin:xmax])
- **NY:** οι συντεταγμένες κατά τον άξονα του y στην περιοχή ενδιαφέροντος ([ymin:ymax])
- **WARP:** Ο γεωμετρικός μετασχηματισμός (χρησιμοποιείται μόνο όταν έχουμε homography περίπτωση ή euclidean περίπτωση).
- **TRANSFORM:** Ο τύπος του γεωμετρικού μετασχηματισμού. Επιτρεπτές τιμές:
  - 'translation'
  - 'euclidean'
  - 'affine' και
  - 'homography'

Ενώ τα ορίσματα εξόδου είναι:

- **J:** Το Ιακωβιανό μητρώο J.

### **param\_update.m**

```
warp_out = param_update(warp_in,delta_p,transform)
```

Η συνάρτηση αυτή ενημερώνει τις παραμέτρους προσθέτοντας τους διορθωτικούς όρους του DELTA\_P στο συγκεκριμένο WARP\_IN.

Τα ορίσματα εισόδου της συνάρτησης είναι:

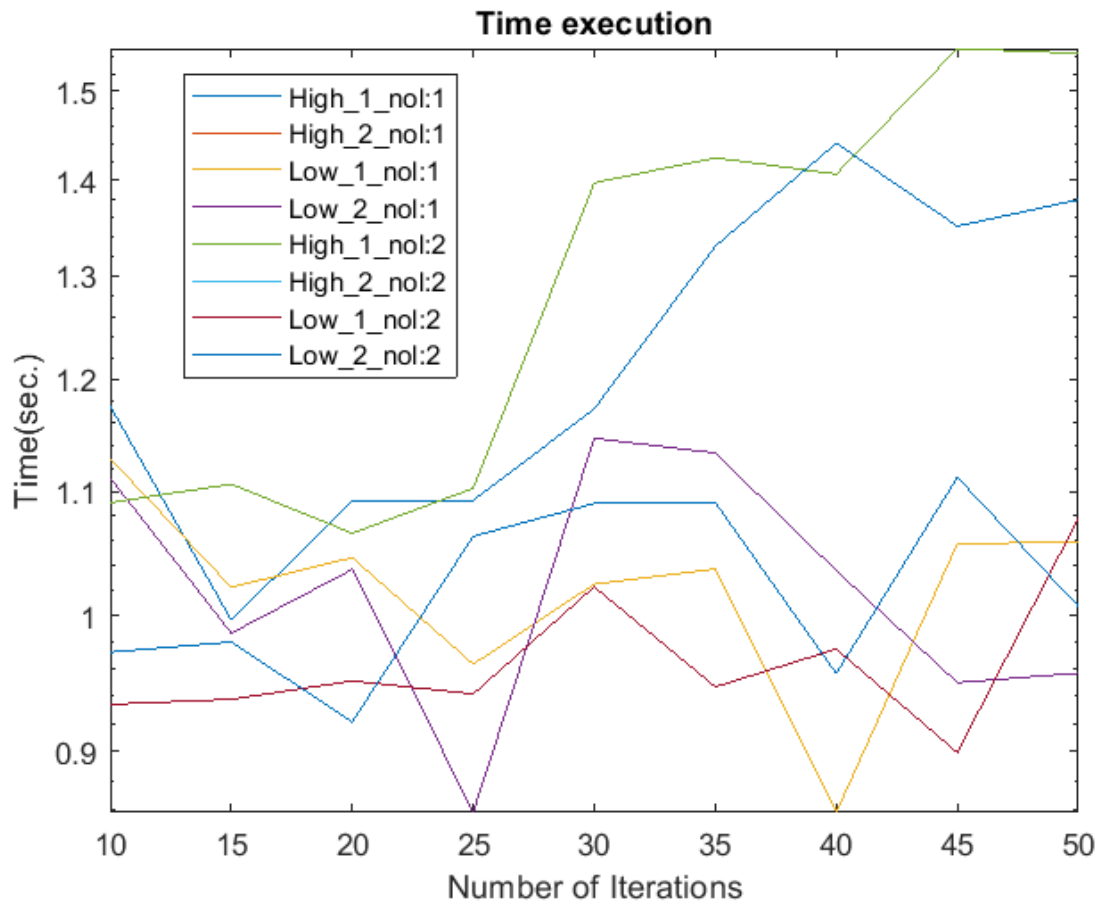
- **WARP\_IN:** Ο εισαγόμενος γεωμετρικός μετασχηματισμός.
- **DELTA\_P:** Οι διορθωτικοί όροι του παραμετρικού διανύσματος.
- **TRANSFORM:** Ο τύπος του γεωμετρικού μετασχηματισμού. Επιτρεπτές τιμές:
  - 'translation'
  - 'euclidean'
  - 'affine' και
  - 'homography'

Ενώ τα ορίσματα εξόδου είναι:

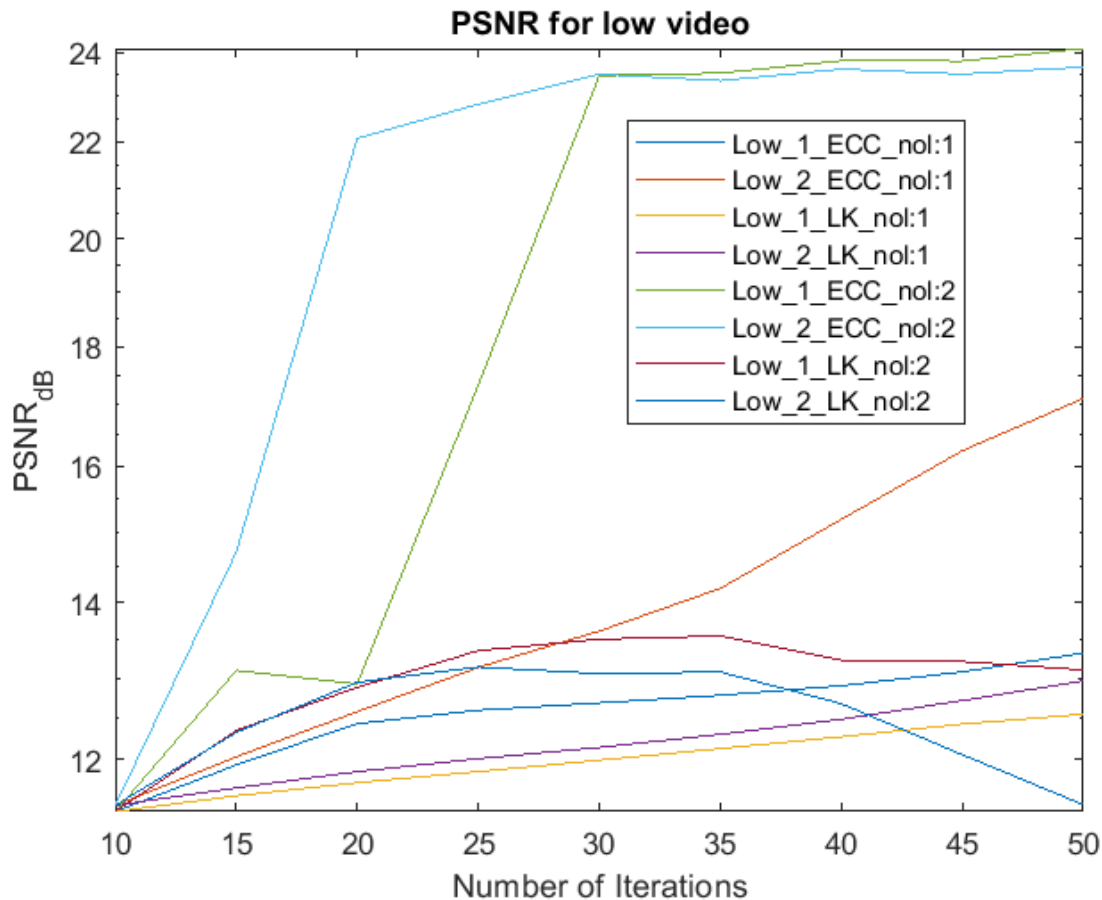
- **WARP:** Ο ενημερωμένος γεωμετρικός μετασχηματισμός.



3. Εξετάστε την απόδοση των αλγορίθμων στις ακολουθίες υψηλής και χαμηλής ανάλυσης.

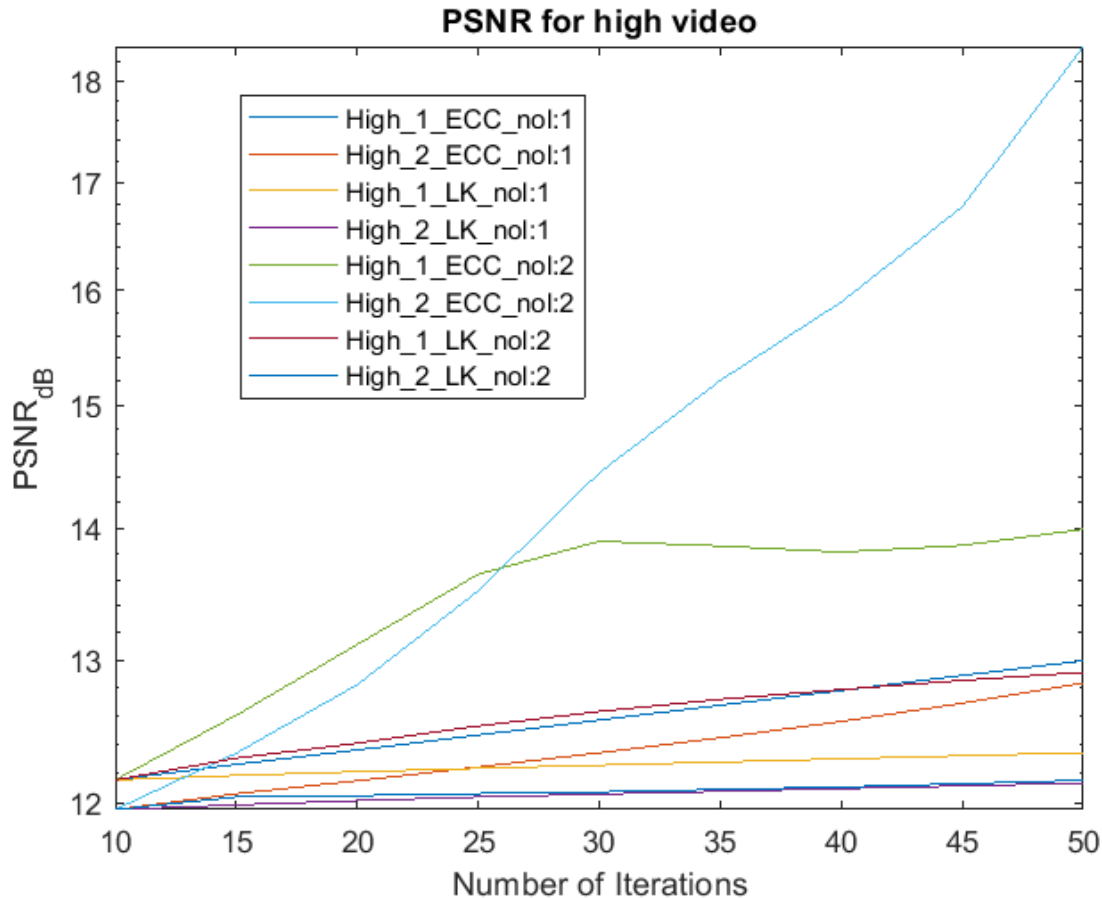


Οι πάνω καμπύλες αναφέρονται στα βίντεο υψηλής ευκρίνειας και όπως είναι λογικό για υψηλότερη ευκρίνεια λόγω του ότι οι εικόνες στα βίντεο υψηλής ευκρίνειας είναι 256x256 ενώ στα βίντεο χαμηλής ευκρίνειας είναι 64x64 όπως είναι λογικό χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να εκτελεστεί η συνάρτηση σε μεγαλύτερη εικόνα.



Βλέπουμε, για τα βίντεο χαμηλής ευκρίνειας 1 και 2 και αριθμό επιπέδων 2 στον ECC, πως όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων αυξάνεται πολύ και το PSNR το οποίο σημαίνει ότι μειώνεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, δηλαδή έχει πολύ καλύτερη απόδοση από τον LK.

Ο ECC για ένα αριθμό επιπέδων έχει χαμηλότερη απόδοση από ότι ο LK αλλά έτσι κι αλλιώς συνήθως όταν ψάχνουμε για ευθυγράμμιση συνήθως χρησιμοποιούμε Gaussian πυραμίδα από δύο επίπεδα και πάνω.



Όπως είδαμε και στο προηγούμενο figure, για τον ECC με δύο επίπεδα, όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων αυξάνεται και το PSNR, βέβαια οι τιμές που παίρνει το PSNR είναι μικρότερες από ότι στο low.

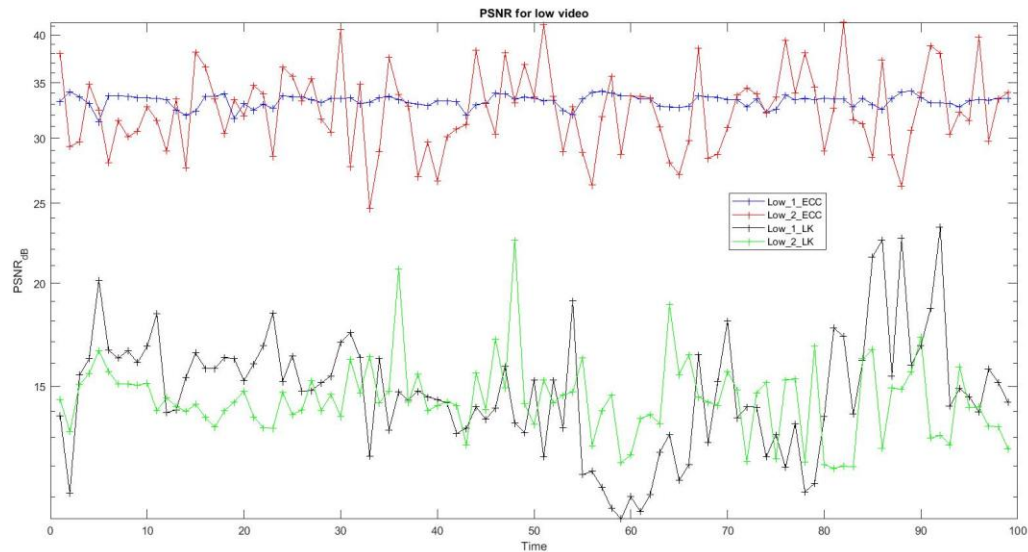
Για αριθμό επιπέδων 1 ο ECC και ο LK έχουν ίδια συμπεριφορά.

#### Σημείωση:

Η εικόνα template επιλέγεται ως το 1<sup>ο</sup> frame του εκάστοτε βίντεο, ενώ για την παραμορφωμένη επιλέγεται το 70<sup>ο</sup> frame του εκάστοτε βίντεο (Θεωρούμε ότι όσο μεταγενέστερο το frame, τόσο μεγαλύτερη η παραμόρφωση).

Για την ταχύτητα σύγκλισης χρησιμοποιήθηκε η τιμή που υπολογίζεται με την χρήση των tic toc.

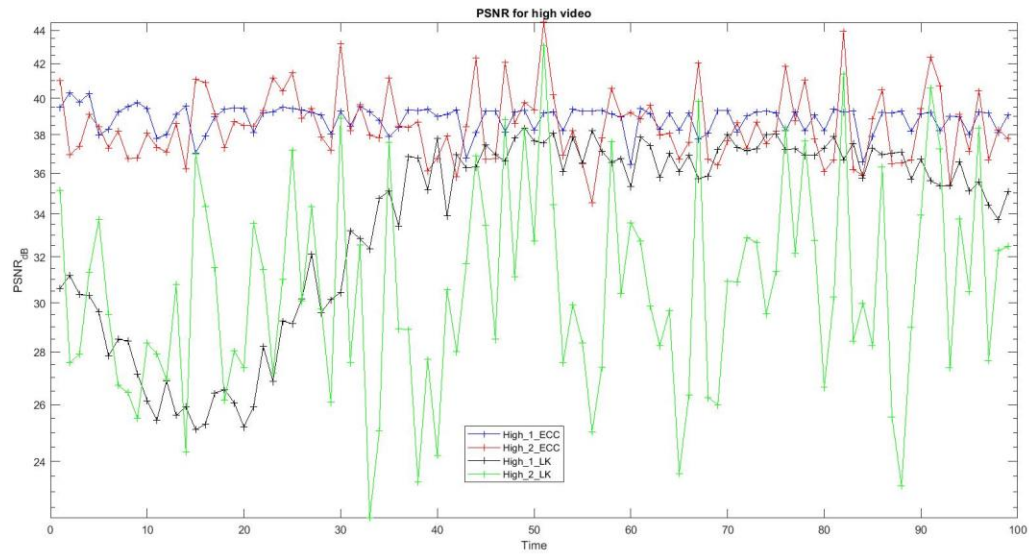
4. Εξετάστε την απόδοση των αλγορίθμων ευθυγράμμισης στην ακρίβεια της εκτίμησης των τιμών των παραμέτρων των γεωμετρικών μετασχηματισμών καλώντας ακολουθιακά την συνάρτηση με διαδοχικά πλαίσια της ακολουθίας εικόνων, και κάνοντας γραφικές παραστάσεις του PSNR που επιτυγχάνουμε οι αλγόριθμοι για κάθε ζεύγος εικόνων της ακολουθίας. Επαναλάβετε για όλες τις ακολουθίες που σας δίνονται και καταγράψτε τα συμπεράσματά σας.



Όσο πιο υψηλό το PSNR τόσο μικρότερο το μέσο τετραγωνικό σφάλμα και άρα τόσο πιο επιτυχής είναι η ευθυγράμμιση.

Βλέπουμε ότι η διαφορά των τάξεων του ECC με τον LK είναι μεγάλη.

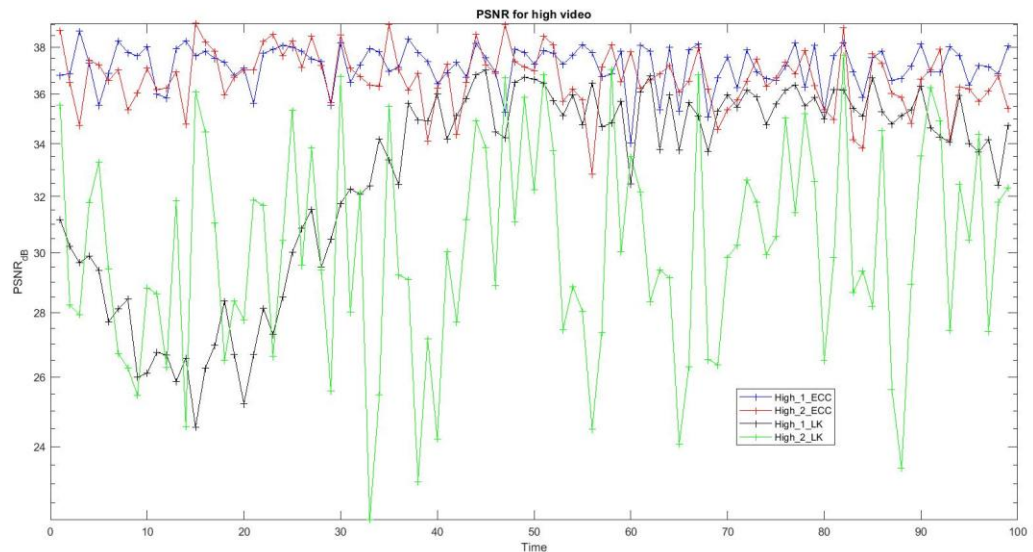
Για το πρώτο βίντεο χαμηλής ευκρίνειας ο ECC έχει πολύ μικρές διακυμάνσεις μεταξύ των PSNR ενώ ο LK έχει πολύ μεγάλες.



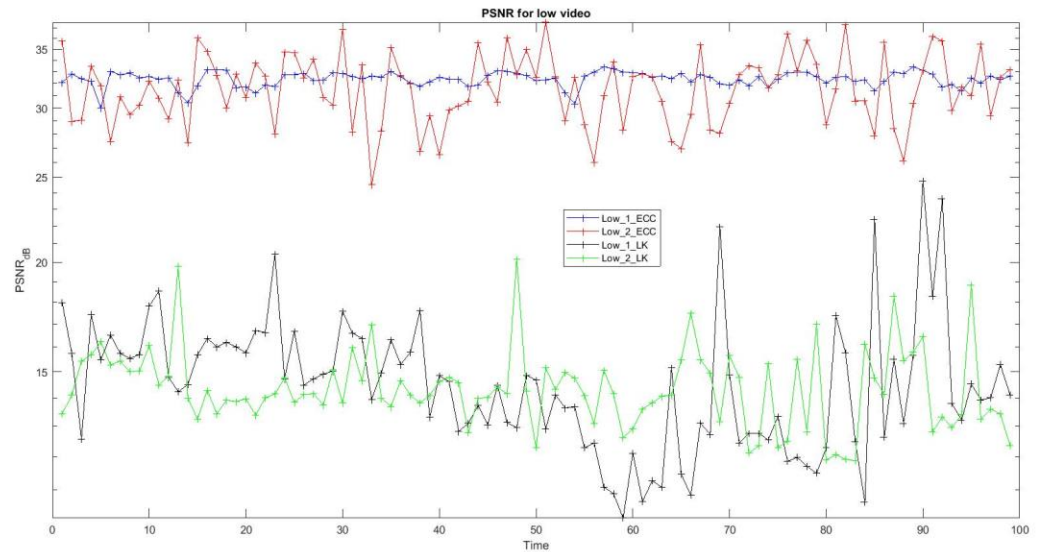
Και πάλι ο ECC είναι καλύτερος από τον LK παρότι ο LK σε μερικά frames προσεγγίζει τον ECC στα υπόλοιπα σημεία έχει πολύ μεγάλες διακυμάνσεις το PSNR του.

5. Εξετάστε την ρωμαλεότητα των αλγορίθμων ευθυγράμμισης στην παρουσία φωτομετρικών παραμορφώσεων. Για το σκοπό αυτό πριν καλέσετε την συνάρτηση ευθυγράμμισης παραμορφώστε το όρισμα εισόδου `template`, εισόδου `image`, και το `template` και το `image`. Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και τα συμπεράσματά σας για ένα σύνολο τιμών του `contrast` και της `brightness` της αρεσκείας σας.

Θόρυβος στο `image`.

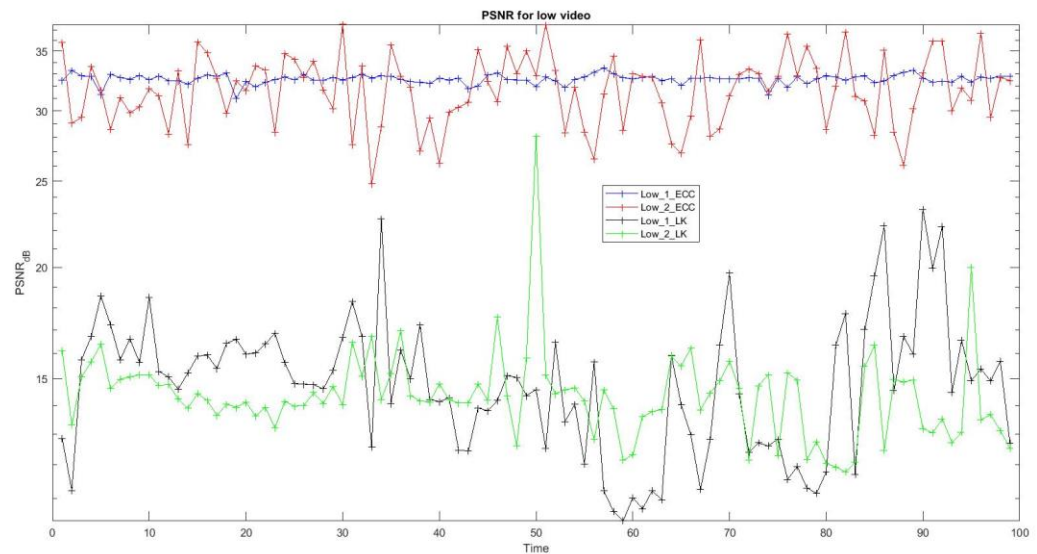


Το PSNR για τα διαδοχικά frame του ECC είναι πάντα ανώτερο από τον LK, άρα το μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τον ECC είναι μικρότερο.

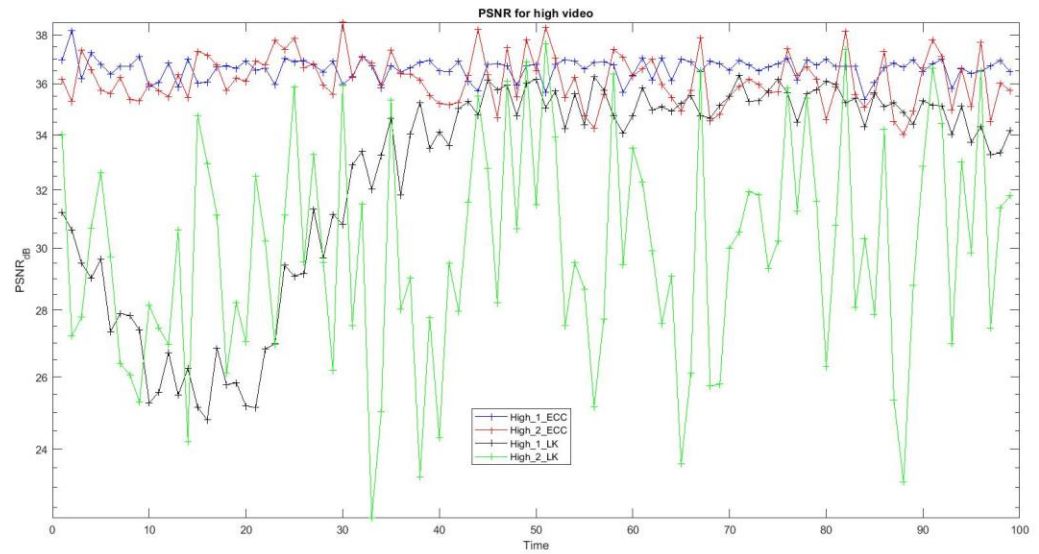


Στο προηγούμενο figure ο LK ήταν κοντά στο ECC σε σχέση με το PSNR εδώ είναι πολύ κατώτερος (20dB κάτω που σημαίνει ότι είναι 100 φορές μεγαλύτερο το μέσο τετραγωνικό σφάλμα για τον LK σε σχέση με τον ECC )

### Θόρυβος στο template.

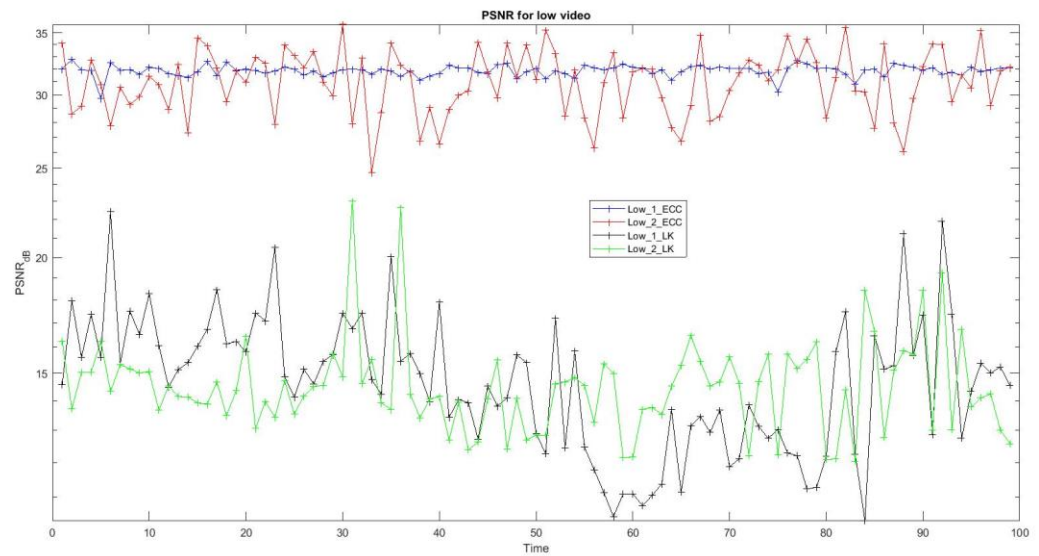


Το PSNR είναι 20 τάξεις περίπου μεγαλύτερο σε σχέση με το LK.



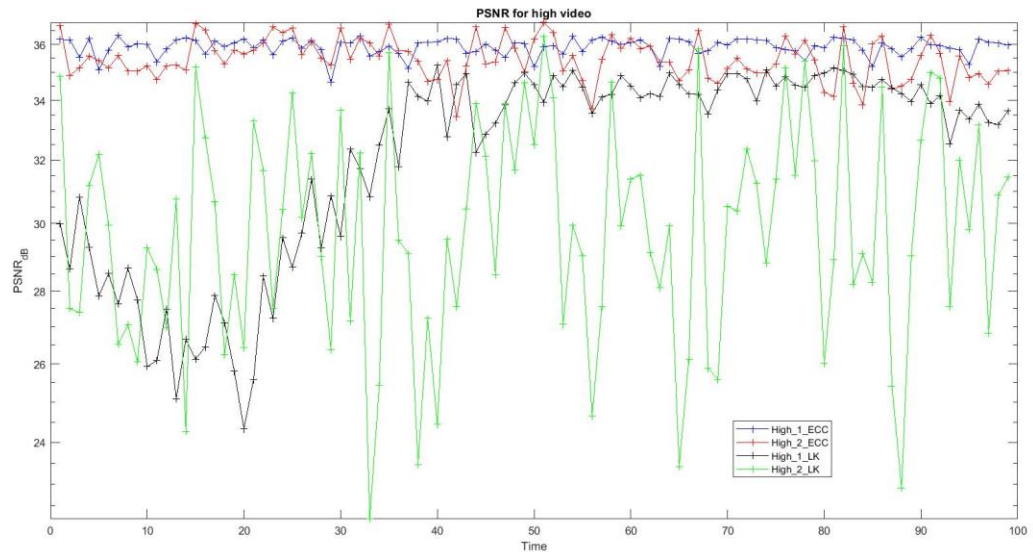
Ο LK είναι κοντά στον ECC σε σχέση με το PSNR αλλά δεν τον ξεπερνάει.

**Θόρυβος στο image και στο template.**



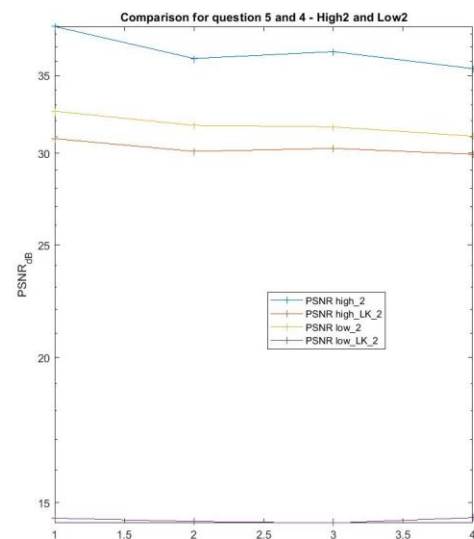
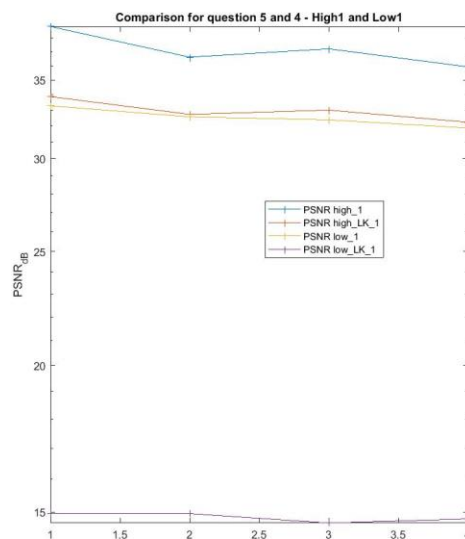


Βλέπουμε ότι και πάλι ο ECC έχει μεγαλύτερο PSNR σε σχέση με τον LK. Επίσης για το low1 βίντεο στον LK βλέπουμε ότι έχει αρχίσει σε μερικά ζευγάρια να συμπεριφέρεται ακόμα χειρότερα και σε κάποια άλλα καλύτερα σε σχέση με τους άλλους δύο συνδυασμούς παραμόρφωσης.



Βλέπουμε ότι για το high1 ο LK είναι σχετικά κοντά με τον ECC.

**Γενικά παρατηρούμε ότι αν εφαρμόσουμε ομοιόμορφο θόρυβο είτε στο image είτε στο template είτε και στα δύο ο ECC συμπεριφέρεται καλύτερα.**



- 6. Εξετάστε την απόδοση των αλγορίθμων στην παρουσία προσθετικού θορύβου, προσθέτοντας Γκαουσιανό Θόρυβο και Ομοιόμορφο Θόρυβο στις προς ευθυγράμμιση εικόνες, πριν καλέσετε την συνάρτηση ευθυγράμμισης. Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις επαναλάβετε τα πειράματά σας τουλάχιστον για 100 φορές και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας και τα συμπεράσματά σας.**

Για το ερώτημα αυτό υπάρχει ο αντίστοιχος κώδικας στα αρχεία που παραδόθηκαν ωστόσο δεν ήταν εφικτό να τρέξει ο κώδικας αυτός λόγω χρονικής πολυπλοκότητας.

Παρόλα αυτά, αναμένουμε τα εξής αποτελέσματα:

PSNR for low video: Ο ECC δεν επηρεάζεται πολύ, είτε για το πρώτο βίντεο είτε για το δεύτερο, από τους θορύβους.

PSNR for high video: Και εδώ ο ECC αναμένεται να είναι καλύτερος.

## Μέρος Β

### 2.Απεικόνιση Εικόνας και Ακολουθίας Εικόνων (Video and Image Processing)

Πριν γίνει η εκτέλεση του μοντέλου στο αρχείο empty.mdl έχουμε ορίσει να γίνει εκτέλεση του αρχείου partB\_1.m

### 3.Μετασχηματισμοί και Γεωμετρικές Παραμορφώσεις

#### 3.2 Γεωμετρικοί Μετασχηματισμοί

Φορτώνεται το αρχείο “shear.mdl” στο Simulink και τροποποιούνται κατάλληλα οι παράμετροι του μοντέλου ώστε να επιτευχθεί οριζόντια και κατακόρυφη στρέβλωση κατά 20 pixels και κατά 40 pixels αντίστοιχα.

Το μοντέλο shear έχει τις παρακάτω παραμέτρους:

- Shear direction, ορίζει την κατεύθυνση της στρέβλωσης. Δυνατές τιμές
  - “horizontal” ή “vertical”
- Είσοδος S που είναι οι τιμές στρέβλωσης γραμμής/στήλης [first last]. Όταν χρησιμοποιείται η είσοδος S, μπορούμε να ορίσουμε την μέγιστη στρέβλωση στο πεδίο Maximum shear.
  - Η τιμή first αντιστοιχεί στον αριθμό των pixels της πρώτης γραμμής/στήλης που επιθυμούμε να κάνουμε ολίσθηση.
  - Η τιμή last αντιστοιχεί στον αριθμό των pixels της τελευταίας γραμμής/στήλης που επιθυμούμε να κάνουμε ολίσθηση.
- Τιμή Output size που αντιστοιχεί στο μέγεθος της εικόνας που παράγεται
  - Εάν επιλεγθεί η τιμή Full, θα επιστραφεί όλη η εικόνα μαζί με το μαύρο background.
  - Εάν επιλεγθεί η τιμή Same as input image, θα επιστραφεί η εικόνα με τις αρχικές διαστάσεις.

Για να επιτευχθεί η επιθυμητή στρέβλωση θέτονται οι παρακάτω τιμές

- horizontal:  
 $S = [-20 \ 20]$ , Maximum shear = 40, Output size = Full, Shear direction = horizontal, Shear values source = input port , background fill = 0.

- vertical:  
 $S = [-10 \ 10]$ , Maximum shear = 20, Output size = Full, Shear direction = vertical,  
 Shear values source = input port , background fill = 0.

### 3.3 Εφαρμογή Μετασχηματισμών Συγγένειας

To block 'Geometric Transformations/Apply Geometric Transformation' χρησιμεύει για να εφαρμόζει γεωμετρικούς μετασχηματισμούς τύπου affine ή projective σε ολόκληρη την εικόνα ή σε ROI της εικόνας. Το ROI μπορεί να οριστεί είτε ως ορθογώνιο , είτε ως πολύγωνο. Αν έχουμε affine μετασχηματισμό, το μητρώο γεωμετρικού μετασχηματισμού TForm, έχει διάσταση 3x2 και έχει

μορφή  $\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \end{bmatrix}^T$  ενώ αν έχουμε projective  $\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{bmatrix}^T$

Καθορίζονται κατάλληλα οι παράμετροι του συστήματος έτσι ώστε να έχουμε τον παρακάτω μετασχηματισμό:

$$x' = 0.8x + 0.1y + 10$$

$$y' = 0.2x + 0.9y + 5$$

Για την παραμόρφωση αυτή έχουμε:  $TForm = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.1 & 10 \\ 0.2 & 0.9 & 5 \end{bmatrix}^T$

### 4.Ανίχνευση και Απεικόνιση Γωνιών σε Εικόνα

Φορτώνεται το αρχείο 'corner detection.mdl' στο περιβάλλον του Simulink.

Επειδή μερικά blocks του μοντέλου αυτού έχουν προβλήματα συμβατότητας με την έκδοση matlab, δημιουργείται το αρχείο 'cornen\_detection\_modified.slx' το οποίο έχει τα αντίστοιχα blocks.

Ανάλυση παραμέτρων και χρησιμότητας των ζητούμενων blocks:

- Analysis & Enhancement/Corner Detection
  - Λειτουργία: Εύρεση γωνιών στην εικόνα
  - Έξοδος:
    - Συντεταγμένες [x,y] των γωνιών σε μητρώο διαστάσεων Mx2, όπου M το πλήθος των γωνιών που βρέθηκαν
    - Τιμές γωνιών
  - Είσοδος:
    - Εικόνα

- Παράμετροι:
  - Method – Επιλογή Αλγορίθμου:
    - Harris & Stephens,
    - Rosten & Drummond,
    - Shi & Tomasi.
  - Παράγοντας  $k$  ( $0 < k < 0.25$ ) (για Harris),
  - Μέγιστη γωνία (σε μοίρες) απόφασης ως πιθανό corner (για Rosen & Drummond),
  - Συντελεστές για smoothing filter,
  - Καθορισμός εξόδου:
    - Συντεταγμένες γωνιών
    - Μετρικές τιμές γωνιών
    - Συντεταγμένες γωνιών και Μετρικές τιμές γωνιών
  - Μέγιστο πλήθος γωνιών,
  - Κατώφλι απόφασης για γωνία,
  - Μέγεθος γειτονιάς (suppress region around detected corners)
- Text & Graphics/Draw Markers
  - Λειτουργία: Εκτύπωση marker πάνω σε γωνίες
  - Έξοδος:
    - Συντεταγμένες  $[x,y]$  των γωνιών σε μητρώο διαστάσεων  $M \times 2$ , όπου  $M$  το πλήθος των γωνιών που βρέθηκαν
    - Τιμές γωνιών
  - Είσοδος
    - Συντεταγμένες γωνιών
  - Παράμετροι:
    - Σχήμα marker
    - Μέγεθος marker
    - Border Χρώμα
    - Έκταση των markers:
      - Σε ολόκληρη την εικόνα
      - Σε περιοχή ROI
- Conversions/Color space Conversion
  - Λειτουργία: Μετατροπή χρωμάτων μεταξύ color spaces
  - Παράμετροι:
    - Είδος μετατροπής

**Corner Detection:** Οι γωνίες είναι τοποθεσίες στις εικόνες όπου μια μικρή μετατόπιση στη θέση θα οδηγήσει σε μεγάλη αλλαγή στην ένταση τόσο στον οριζόντιο (X) όσο και στον κατακόρυφο (Y) άξονα.

### **Harris Corner Detector:**

Αποτελείται συνοπτικά από τα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1° : Καθορίζει ποια παράθυρα παράγουν πολύ μεγάλες διακυμάνσεις στην ένταση όταν μετακινούνται και στις δύο κατευθύνσεις X και Y (δηλαδή gradients).

Βήμα 2° : Με κάθε τέτοιο παράθυρο που εντοπίζεται, υπολογίζεται ένα score R.

Βήμα 3° : Μετά την εφαρμογή ενός κατωφλίου σε αυτό το score, επιλέγονται και σημειώνονται σημαντικές γωνίες.

Μειονέκτημα: Δεν είναι scale – invariant.

Μειονέκτημα: Χρησιμοποιεί περισσότερους πόρους υλικού από τον αλγόριθμο FAST.

Πλεονέκτημα: Μπορεί να εντοπίζει γωνίες που μπορεί να μην βρει ο αλγόριθμος FAST.

### **Shi-Tomasi Corner Detection:**

Είναι σχεδόν παρόμοιος με τον ανιχνευτή Harris Corner, εκτός από τον τρόπο υπολογισμού του score (R). Αυτό δίνει καλύτερο αποτέλεσμα.

Επιπλέον, σε αυτήν τη μέθοδο, μπορούμε να βρούμε τις κορυφαίες N γωνίες, οι οποίες μπορεί να είναι χρήσιμες σε περίπτωση που δεν θέλουμε να εντοπίσουμε κάθε γωνία.

### **Rosen & Drummond Corner Detection:**

Ο αλγόριθμος FAST ελέγχει μια κυκλική περιοχή γύρω από το πιθανό κέντρο της γωνίας. Ο έλεγχος αυτός ανιχνεύει μια γωνία εάν ένα συνεχόμενο τμήμα από pixel είναι είτε φωτεινότερο από το κέντρο συν ένα κατώφλι είτε πιο σκούρο από το κέντρο μείον ένα κατώφλι.

Πλεονέκτημα: Χρησιμοποιεί πολύ λίγους πόρους υλικού.