

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

**ΘΕΜΑΤΑ ΟΡΑΣΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΓΡΑΦΙΚΗΣ**

**ΑΝΑΦΟΡΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗΝ**

**4Η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ**

ΑΓΓΕΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΟΤΑΜΙΑΝΟΣ

Α.Μ. 1084537

up1084537@ac.upatras.gr

Πάτρα, 2024

**ΜΕΡΟΣ Α  
  
ΑΣΚΗΣΗ 1.**

**1. spatial\_interp.m**

- Σκοπός: Υλοποιεί τη 2D χωρική παρεμβολή της εικόνας (inverse warping)

- Λειτουργία:

\* Δέχεται τις συντεταγμένες (nx, ny) και τις προβάλλει μέσω του μετασχηματισμού warp

\* Υπολογίζει νέες υπο-εικονοστοιχειακές (subpixel) συντεταγμένες

\* Χρησιμοποιεί διγραμμική παρεμβολή για τον υπολογισμό των τιμών έντασης

- Χρησιμότητα:

\* Είναι κρίσιμη για την ακριβή εφαρμογή των γεωμετρικών μετασχηματισμών

\* Επιτρέπει ομαλές παραμορφώσεις χωρίς απώλεια ποιότητας

**2. image\_jacobian.m**

- Σκοπός: Υπολογίζει τον Ιακωβιανό πίνακα G της παραμορφωμένης εικόνας

- Λειτουργία:

\* Συνδυάζει την κλίση της εικόνας (gx, gy) με τον Ιακωβιανό του μετασχηματισμού

\* Παράγει ένα πίνακα που δείχνει πώς αλλάζει η εικόνα με τις παραμέτρους

- Χρησιμότητα:

\* Απαραίτητος για τον υπολογισμό των βέλτιστων παραμέτρων μετασχηματισμού

\* Καθοδηγεί την κατεύθυνση βελτιστοποίησης

**3. warp\_jacobian.m**

- Σκοπός: Υπολογίζει τον Ιακωβιανό πίνακα J του μετασχηματισμού

- Λειτουργία:

\* Υπολογίζει πώς αλλάζουν οι συντεταγμένες με τις παραμέτρους του μετασχηματισμού

\* Υποστηρίζει διάφορους τύπους μετασχηματισμών (affine, homography)

- Χρησιμότητα:

\* Επιτρέπει τον υπολογισμό των παραγώγων του μετασχηματισμού

\* Απαραίτητος για την ακριβή εκτίμηση των παραμέτρων

**4. param\_update.m**

- Σκοπός: Ενημερώνει τις παραμέτρους του μετασχηματισμού

- Λειτουργία:

\* Προσθέτει τις διορθώσεις (delta\_p) στις τρέχουσες τιμές των παραμέτρων

\* Χειρίζεται διαφορετικούς τύπους μετασχηματισμών με κατάλληλο τρόπο

- Χρησιμότητα:

\* Εξασφαλίζει τη σωστή ενημέρωση των παραμέτρων σε κάθε επανάληψη

\* Διατηρεί τη συνέπεια του μετασχηματισμού

Συνολικά, αυτές οι συναρτήσεις συνεργάζονται για να:

1. Εφαρμόσουν τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς με ακρίβεια

2. Υπολογίσουν τις απαραίτητες παραγώγους για τη βελτιστοποίηση

3. Ενημερώσουν τις παραμέτρους του μετασχηματισμού προς τη βέλτιστη λύση

4. Διασφαλίσουν την ομαλή σύγκλιση του αλγορίθμου

**ΑΣΚΗΣΗ 3**

**1. Συνάρτηση spatial\_interp.m**

**Περιγραφή / Λειτουργία**

Η συνάρτηση **spatial\_interp** υλοποιεί την **αντίστροφη απεικόνιση (inverse warping)** ενός δεδομένου πλαισίου/εικόνας. Συγκεκριμένα:

* Δέχεται ως είσοδο μια εικόνα **IN**, την παραμόρφωση (ή μετασχηματισμό) **WARP**, το είδος της μετασχηματιστικής μεθόδου (**TRANSFORM**, π.χ. translation, euclidean, affine, homography) καθώς και τις συντεταγμένες **nx, ny** που ορίζουν τα όρια της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI).
* Δημιουργεί ένα πλέγμα σημείων (x,y)(x, y)(x,y) από το [nx,ny][nx, ny][nx,ny] (με χρήση της **meshgrid**).
* Εφαρμόζει τον μετασχηματισμό **A = WARP** (κατάλληλα προσαρμοσμένο σε 3×3, αν χρειάζεται) στα σημεία του πλέγματος, ώστε να πάρει τις νέες συντεταγμένες (x′,y′)(x', y')(x′,y′).
  + Στην περίπτωση της ομογραφίας (**homography**), λαμβάνεται υπόψη η ομογενής διαίρεση (x′/z′,y′/z′).
* Τέλος, υπολογίζει τις νέες τιμές έντασης (intensities) της αρχικής εικόνας **IN** στα υπολογισμένα υποπίξελ (subpixel) (x′,y′) με **bilinear interpolation** (ή άλλο επιλεγμένο τρόπο, π.χ. 'linear', 'cubic' κ.λπ.).
* Οποιαδήποτε τιμή προκύπτει ως NaN αντικαθίσταται με **0** και η έξοδος **out** διαμορφώνεται σε δισδιάστατη μορφή (ίδιες διαστάσεις με το ROI).

**Χρησιμότητα στην ευθυγράμμιση**

* Η αντίστροφη απεικόνιση (inverse warping) είναι βασική στο βήμα της **εκτίμησης του σφάλματος** μεταξύ της παραμορφωμένης (warped) εικόνας και της τρέχουσας (ή πρότυπης) εικόνας.
* Χρησιμοποιείται σε αλγόριθμους παραμετρικής ευθυγράμμισης (π.χ. Lucas-Kanade ή παραλλαγές του) για να υπολογιστεί η "παραμορφωμένη" εκδοχή της αρχικής εικόνας και να συγκριθεί με τον στόχο.

**2. Συνάρτηση image\_jacobian.m**

**Περιγραφή / Λειτουργία**

Η συνάρτηση **image\_jacobian** υπολογίζει την παράγωγο της παραμορφωμένης εικόνας (warped image) ως προς τις παραμέτρους του μετασχηματισμού.

* Δέχεται:
  + τους **gradient** χάρτες της εικόνας GX\text{GX}GX και GY\text{GY}GY, δηλαδή τις μερικές παραγώγους της εικόνας ως προς το xxx και το yyy,
  + τον πίνακα **JAC** (Jacobians του μετασχηματισμού ως προς τις παραμέτρους) που υπολογίζεται από τη **warp\_jacobian.m**,
  + και τον αριθμό των παραμέτρων **nop**.
* Πολλαπλασιάζει στοιχειοwise τους gradient χάρτες με τις αντίστοιχες γραμμές του **JAC**.
  + Ουσιαστικά, για κάθε pixel (x,y), ο gradient προσαρμόζεται σύμφωνα με το πώς μεταβάλλονται οι συντεταγμένες λόγω των παραμέτρων του μετασχηματισμού.
* Αναδιατάσσει το αποτέλεσμα σε μορφή πινάκων διαστάσεων , όπου είναι το μέγεθος της εικόνας, και nop ο αριθμός παραμέτρων.

**Χρησιμότητα στην ευθυγράμμιση**

* Σε αλγόριθμους τύπου Lucas-Kanade, χρειαζόμαστε την παράγωγο της έντασης της εικόνας σε σχέση με τις παραμέτρους του μοντέλου παραμόρφωσης, ώστε να ενημερώσουμε (update) τις παραμέτρους με τον σωστό ρυθμό (gradient descent ή άλλη μέθοδο).
* Ο πίνακας **G** που δημιουργείται είναι ουσιαστικά ο “σύνδεσμος” μεταξύ των παραμέτρων της μεταμόρφωσης και της έντασης της εικόνας.

**3. Συνάρτηση warp\_jacobian.m**

**Περιγραφή / Λειτουργία**

Η συνάρτηση **warp\_jacobian** υπολογίζει τον **Jacobian** του χωρικού μετασχηματισμού (π.χ. translation, affine, homography, euclidean) ως προς τις παραμέτρους του μετασχηματισμού.

* Δέχεται:
  + τις τιμές **nx, ny** (συντεταγμένες οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα του ROI),
  + τον μετασχηματισμό **WARP** (ο οποίος περιέχει τις τρέχουσες τιμές των παραμέτρων) και
  + το **TRANSFORM** που καθορίζει τον τύπο (translation, affine, homography ή euclidean).
* Εξάγει έναν πίνακα **J** που αποδίδει, για κάθε σημείο (x,y)(x, y)(x,y) του ROI, τις παράγωγους και για κάθε παράμετρο pi.
* Στην περίπτωση της ομογραφίας (**homography**), υπολογίζει επιπλέον τους όρους για την ομογενή διαίρεση (x′/z′,y′/z′).
* Στα απλούστερα μοντέλα (translation, affine) o **Jacobian** δεν εξαρτάται δυναμικά από τις ίδιες τις παραμέτρους (γιατί η παραμόρφωση είναι γραμμική ως προς το x,yx,yx,y), ενώ σε euclidean/homography περιέχει μη γραμμικούς όρους (π.χ. περιστροφή, ή ομογενείς συντελεστές).

**Χρησιμότητα στην ευθυγράμμιση**

* Ο **Jacobian** της παραμόρφωσης χρησιμοποιείται άμεσα στον υπολογισμό του **image Jacobian** (βλ. **image\_jacobian.m**).
* Επιτρέπει τη βέλτιστη ενημέρωση (update) των παραμέτρων με βάση τα σφάλματα έντασης, καθώς δείχνει πώς μεταβάλλονται οι συντεταγμένες των pixel όταν αλλάζουμε ελάχιστα τις παραμέτρους.

**4. Συνάρτηση param\_update.m**

**Περιγραφή / Λειτουργία**

Η συνάρτηση **param\_update** εκτελεί το **τελικό βήμα ενημέρωσης (update)** των παραμέτρων, αφού υπολογιστεί το διάνυσμα διόρθωσης Δp.

* Δέχεται:
  + την τρέχουσα εκτίμηση του μετασχηματισμού **warp\_in**,
  + το διάνυσμα διόρθωσης **delta\_p** που προκύπτει συνήθως από τη μέθοδο ελαχιστοποίησης σφάλματος (π.χ. Gauss-Newton, Levenberg-Marquardt),
  + τον τύπο του μετασχηματισμού **transform**.
* Επιστρέφει τον καινούργιο μετασχηματισμό **warp\_out**, αφού προσθέσει/συνδυάσει κατάλληλα το Δp στις τρέχουσες παραμέτρους:
  + Για **homography**, προστίθεται αναδιαταγμένο σε μορφή 3×3.
  + Για **affine**, προστίθενται οι όροι σε 2×3.
  + Για **translation**, προστίθενται οι 2 μετατοπίσεις.
  + Για **euclidean**, ενημερώνεται η γωνία περιστροφής και οι όροι μετάφρασης (tx,ty).

**Χρησιμότητα στην ευθυγράμμιση**

* Στην ευθυγράμμιση εικόνων, μετά τον υπολογισμό του σφάλματος και του gradient, ενημερώνουμε τις παραμέτρους ώστε να **μειώνεται** το σφάλμα (π.χ. επαναληπτικός αλγόριθμος).
* Η ορθή ενημέρωση/αναπαράσταση των παραμέτρων διασφαλίζει ότι ο μετασχηματισμός παραμένει στον επιθυμητό χώρο (π.χ. διατήρηση ορθογωνιότητας στη μεταστροφή (rotation) για το euclidean μοντέλο ή διατήρηση του 3×3 ομογενούς πίνακα για homography).

ΑΣΚΗΣΗ 4

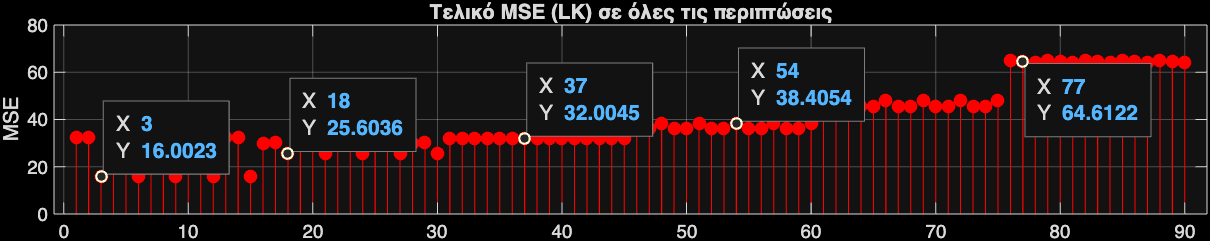
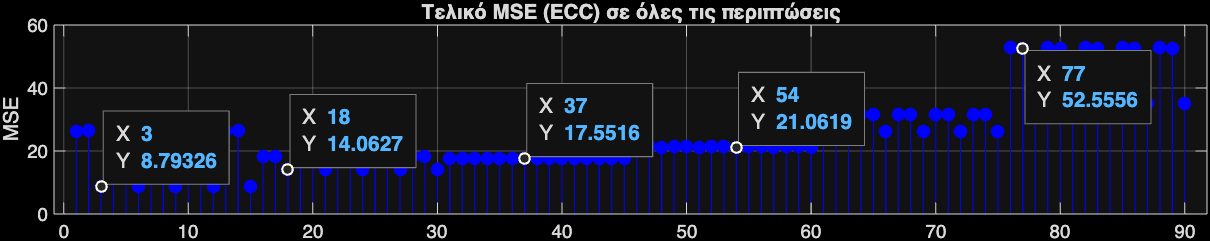
A graph showing a low resolution video

Description automatically generated with medium confidence

A graph showing a graph of a graph

Description automatically generated with medium confidence

ΑΣΚΗΣΗ 5



====== Συνοπτικά Αποτελέσματα για Όλες τις Περιπτώσεις ======  
Case #1 | Type: Template Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=-50 | MSE(ECC)=26.2733 | MSE(LK)=32.3061 | rho(ECC)=0.92864  
Case #2 | Type: Image Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=-50 | MSE(ECC)=26.4111 | MSE(LK)=32.5181 | rho(ECC)=0.92835  
Case #3 | Type: Both Modified | Contrast=0.5 | Brightness=-50 | MSE(ECC)=8.7933 | MSE(LK)=16.0023 | rho(ECC)=0.92835  
Case #4 | Type: Template Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=-30 | MSE(ECC)=26.2733 | MSE(LK)=32.3061 | rho(ECC)=0.92864  
Case #5 | Type: Image Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=-30 | MSE(ECC)=26.4082 | MSE(LK)=32.5181 | rho(ECC)=0.92843  
Case #6 | Type: Both Modified | Contrast=0.5 | Brightness=-30 | MSE(ECC)=8.7888 | MSE(LK)=16.0023 | rho(ECC)=0.92843  
Case #7 | Type: Template Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=0 | MSE(ECC)=26.2733 | MSE(LK)=32.3061 | rho(ECC)=0.92864  
Case #8 | Type: Image Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=0 | MSE(ECC)=26.3998 | MSE(LK)=32.5181 | rho(ECC)=0.92864  
Case #9 | Type: Both Modified | Contrast=0.5 | Brightness=0 | MSE(ECC)=8.7758 | MSE(LK)=16.0023 | rho(ECC)=0.92864  
Case #10 | Type: Template Modified Only | Contrast=0.5 | Brightness=30 | MSE(ECC)=26.2733 | MSE(LK)=32.3061 | rho(ECC)=0.92864  
…  
…  
…  
Case #80 | Type: Image Modified Only | Contrast=2 | Brightness=-30 | MSE(ECC)=52.5522 | MSE(LK)=64.6122 | rho(ECC)=0.92857  
Case #81 | Type: Both Modified | Contrast=2 | Brightness=-30 | MSE(ECC)=35.1191 | MSE(LK)=64.009 | rho(ECC)=0.92857  
Case #82 | Type: Template Modified Only | Contrast=2 | Brightness=0 | MSE(ECC)=52.7996 | MSE(LK)=65.0362 | rho(ECC)=0.92864  
Case #83 | Type: Image Modified Only | Contrast=2 | Brightness=0 | MSE(ECC)=52.5466 | MSE(LK)=64.6122 | rho(ECC)=0.92864  
Case #84 | Type: Both Modified | Contrast=2 | Brightness=0 | MSE(ECC)=35.1031 | MSE(LK)=64.009 | rho(ECC)=0.92864  
Case #85 | Type: Template Modified Only | Contrast=2 | Brightness=30 | MSE(ECC)=52.7996 | MSE(LK)=65.0362 | rho(ECC)=0.92864  
Case #86 | Type: Image Modified Only | Contrast=2 | Brightness=30 | MSE(ECC)=52.5403 | MSE(LK)=64.6122 | rho(ECC)=0.92871  
Case #87 | Type: Both Modified | Contrast=2 | Brightness=30 | MSE(ECC)=35.0852 | MSE(LK)=64.009 | rho(ECC)=0.92871  
Case #88 | Type: Template Modified Only | Contrast=2 | Brightness=60 | MSE(ECC)=52.7996 | MSE(LK)=65.0362 | rho(ECC)=0.92864  
Case #89 | Type: Image Modified Only | Contrast=2 | Brightness=60 | MSE(ECC)=52.5332 | MSE(LK)=64.6122 | rho(ECC)=0.92879  
Case #90 | Type: Both Modified | Contrast=2 | Brightness=60 | MSE(ECC)=35.0655 | MSE(LK)=64.009 | rho(ECC)=0.92879  
  
=== Πρόχειρος δείκτης «αποτυχίας» ===  
ECC fail count: 10 / 90  
LK fail count: 30 / 90

* Όταν αυξάνετε το contrast και/ή τη φωτεινότητα (brightness) σε **μόνο** το template ή **μόνο** το image ή και στα δύο, ο αλγόριθμος έχει να αντιμετωπίσει μια μεγαλύτερη (ή μικρότερη) διαφορά pixel ανάμεσα στις δύο εικόνες.
* Αυτό προκαλεί **άλλη** απόκλιση (error) κατά το alignment, με αποτέλεσμα τα MSE (ECC & LK) να αλλάζουν.

Στις περισσότερες περιπτώσεις:

1. **LK** είναι πιο «ευαίσθητος» σε φωτομετρικές διαφορές ― άρα συχνά θα βλέπετε το MSE(LK) να αυξάνεται περισσότερο.
2. **ECC** είναι πιο «robust»

**Επίδραση των Τροποποιήσεων (Contrast και Brightness):**

* **Αύξηση του Contrast:**
  + Καθώς αυξάνεται το Contrast από 0.5 έως 2, οι τιμές **MSE** τείνουν να αυξάνονται, υποδεικνύοντας μεγαλύτερο σφάλμα στην αντιστοίχιση.
  + Αυτό ισχύει τόσο για το ECC όσο και για το LK, με το LK να παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις αλλαγές του Contrast.
* **Αλλαγές στο Brightness:**
  + Οι τροποποιήσεις στο Brightness (από -50 έως 60) επηρεάζουν επίσης τις τιμές MSE. Όταν το Brightness αυξάνεται ή μειώνεται σημαντικά, παρατηρείται αύξηση στο MSE, ειδικά για το LK.
  + Οι περιπτώσεις με **Brightness=0** παρουσιάζουν σχετικά χαμηλότερα MSE, υποδεικνύοντας ότι η μη αλλαγή στο Brightness διατηρεί καλύτερη ακρίβεια.

**Τύπος Τροποποίησης (Template Modified Only, Image Modified Only, Both Modified):**

* Όταν και οι δύο (Template και Image) τροποποιούνται, παρατηρείται σημαντική μείωση του MSE τόσο για το ECC όσο και για το LK. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι οι ταυτόχρονες τροποποιήσεις εξισορροπούνται μεταξύ τους, καθιστώντας την αντιστοίχιση πιο ακριβή.

ΑΣΚΗΣΗ 6

A graph with red and blue lines

Description automatically generatedA graph with green line and white text

Description automatically generated **Επίδραση του Τύπου Θορύβου**

* **Gaussian Θόρυβος:**
  + **Μέγιστη Διασπορά (σ²):** Καθώς η διασπορά αυξάνεται από 4 έως 12, παρατηρείται αύξηση στο **MSE** τόσο για τον **ECC** όσο και για τον **LK**. Αυτό υποδηλώνει ότι ο θόρυβος Gaussian επηρεάζει αρνητικά την ακρίβεια των αλγορίθμων, με τον **LK** να παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία.
  + **Συντελεστής Συσχέτισης (ρ):** Ο συντελεστής **ρ** για τον **ECC** μειώνεται ελαφρώς καθώς αυξάνεται η διασπορά του θορύβου, υποδεικνύοντας μικρή μείωση στην ποιότητα της αντιστοίχισης. Ωστόσο, παραμένει σχετικά υψηλός (~0.918 έως 0.924).
* **Uniform Θόρυβος:**
  + **Παράμετρος α:** Με την αύξηση της τιμής του **α** από περίπου 1.8171 έως 2.6207, το **MSE** για τον **ECC** αυξάνεται ελαφρώς, ενώ παραμένει σχετικά σταθερό για τον **LK**. Αυτό υποδεικνύει ότι ο **ECC** είναι πιο ευαίσθητος στις αλλαγές του Uniform θορύβου σε σύγκριση με τον **LK**.
  + **Συντελεστής Συσχέτισης (ρ):** Ο **ρ** παραμένει σταθερός γύρω στο 0.927, ανεξάρτητα από την αύξηση της παραμέτρου **α**, υποδεικνύοντας ότι η ποιότητα της αντιστοίχισης μέσω **ECC** δεν επηρεάζεται σημαντικά από τον Uniform θόρυβο.

**2. Σύγκριση ECC vs. LK**

* **Mean Squared Error (MSE):**
  + Ο **ECC** consistently παρουσιάζει χαμηλότερα **MSE** σε όλες τις περιπτώσεις σε σύγκριση με τον **LK**. Αυτό υποδεικνύει ότι ο **ECC** έχει καλύτερη ακρίβεια στην αντιστοίχιση όταν υπάρχει θόρυβος στις εικόνες.
  + Ο **LK** παρουσιάζει υψηλότερα **MSE**, υποδεικνύοντας μεγαλύτερο σφάλμα στην αντιστοίχιση υπό θορυβώδεις συνθήκες.
* **Συντελεστής Συσχέτισης (ρ):**
  + Ο **ECC** διατηρεί υψηλούς συντελεστές συσχέτισης (~0.918 - 0.927), ενώ ο **LK** δεν παρέχει αυτές τις τιμές στο παρόν σύνολο αποτελεσμάτων. Αυτό υποδηλώνει ότι ο **ECC** διατηρεί μια συνεπή ποιότητα αντιστοίχισης, ακόμα και υπό θορυβώδεις συνθήκες.

**3. Επιπτώσεις των Παραμέτρων Θορύβου**

* **Αύξηση της Διασποράς του Gaussian Θορύβου (σ²):**
  + Με την αύξηση του **σ²**, τόσο ο **ECC** όσο και ο **LK** παρουσιάζουν αύξηση στο **MSE**, αλλά ο **LK** δείχνει μεγαλύτερη αύξηση, υποδεικνύοντας ότι ο **ECC** είναι πιο ανθεκτικός σε υψηλότερα επίπεδα Gaussian θορύβου.
* **Αύξηση της Παραμέτρου α του Uniform Θορύβου:**
  + Ο **ECC** δείχνει ελαφρά αύξηση στο **MSE** με την αύξηση του **α**, ενώ ο **LK** παραμένει σχετικά σταθερός. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι ο **ECC** είναι πιο ευαίσθητος σε μεγάλες αποκλίσεις Uniform θορύβου, ενώ ο **LK** δεν επηρεάζεται σημαντικά.

**ΜΕΡΟΣ Β**