

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ

ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

**ΘΕΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ ΟΡΑΣΗΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΗΣ**

Διδάσκων Εμμανουήλ Ψαράκης  
Επικουρικό Έργο Λαμπρινού Νεφέλη, Βασιλείου Πέτρος  
Πάτρα, Δεκέμβριος 2012

## 1. Εισαγωγή

Για την υλοποίηση της άσκησης δίνονται οι εικόνες butterfly.jpg, simple.jpg, sunflowerBabe.jpg, sunflowers.jpg και η ακολουθία εικόνων Road.mp4. Κάθε πλαίσιο (frame) στην ακολουθία εικόνων έχει ανάλυση  $768 \times 576$  εικονοστοιχείων. Επίσης για όποιες απορίες έχετε σχετικά με την υλοποίηση της εργασίας, μπορείτε να απευθύνεστε στον κ. Βασιλείου Πέτρο (κατά προτίμηση Δευτέρα και Παρασκευή).

## 2. Αλγόριθμοι Ανίχνευσης Σταγόνων (Blob Detection)

Σκοπός του πρώτου μέρους της άσκησης είναι η υλοποίηση (ή η άμεση χρήση) ενός αριθμού γνωστών αλγορίθμων ανίχνευσης σταγόνων (Blobs) και η αποτίμηση της απόδοσής των από την εφαρμογή τους σε ένα αριθμό εικόνων. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση

- *regionprops(.)* της Matlab

και θα πρέπει να υλοποιηθούν:

- μία τεχνική ανίχνευσης η οποία βασίζεται σε διαφορές εξομαλυμένων εικόνων με χρήση Γκαουσιανού (Gaussian) πυρήνα υπολογισμένων σε διαφορετικές κλίμακες (γνωστή και ως Τεχνική Difference of Gaussian (DOG) ).
- μία τεχνική ανίχνευσης η οποία βασίζεται σε ακολουθία εικόνων που προκύπτει από τη χρήση των Λαπλασιανών (Laplacian) τελεστών σε διαφορετικές κλίμακες (γνωστή και ως Determinant of Hessian ( DOH)).

### 2.1. Ανίχνευση Σταγόνων με χρήση της Συνάρτησης *regionprops(.)* της Matlab

Χρησιμοποιήστε τη συνάρτηση *regionprops(.)* της Matlab και εντοπίστε τις Σταγόνες που υπάρχουν στις εικόνες butterfly.jpg, simple.jpg, sunflowerBabe.jpg, sunflowers.jpg.

Όπως θα διαπιστώσετε, για την εφαρμογή της συνάρτησης *regionprops(.)* πρέπει να ορίσουμε ‘κατάλληλο’ κατώφλι στην εικόνα εισόδου ώστε να δημιουργηθεί μια δυαδική αναπαράσταση των περιοχών ενδιαφέροντος.

Στην συνέχεια χρησιμοποιήστε τις συναρτήσεις *find(.)* και *ismember(.)* για την επιλογή Σταγόνων με βάση το μέγεθος της επιφάνειας που καλύπτουν αυτές.

Σχολιάστε όλες τις επιλογές σας, όπως και την απόδοση της τεχνικής.

### 2.2. Τεχνική Ανίχνευσης Σταγόνων DoG

Για την υλοποίηση της τεχνικής ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

1. Δημιουργήστε εξομαλυμένες (χρησιμοποιώντας Γκαουσιανό Πυρήνα) αναπαραστάσεις τής(ων) εικόνας(ων) εισόδου σε διαφορετικές κλίμακες (scale). Για την δειγματοληψία του άξονα της κλίμακας χρησιμοποιήστε τρία (3) επίπεδα ανά οκτάβα<sup>1</sup> και συνολικά επτά (7) οκτάδες, αρχίζοντας από την κλίμακα  $\sigma_0 = 1.6$ . Δηλαδή δημιουργήστε την παρακάτω ακολουθία εξομαλυμένων εικόνων:

<sup>1</sup>Για την αλλαγή οκτάδας απαιτείται ο διπλασιασμός της διασποράς.

$$I_i(x, y) = I_0(x, y) * G(x, y, \sigma_i^2 \mathbf{I}_{2 \times 2}), i = 0, 1, 3, \dots, 20$$

όπου με "\*" συμβολίζεται η διδιάστατη συνέλιξη. Όπως είναι φανερό τα στοιχεία της ακολουθίας προκύπτουν από τη συνέλιξη της εικόνας εισόδου  $I_0(x, y)$  και του Γκαουσιανού πυρήνα  $G(x, y, \sigma_i^2 \mathbf{I}_{2 \times 2})$ <sup>2</sup> όπου  $\sigma_i^2 \mathbf{I}_{2 \times 2}$  το μητρώο συνδιασπορών και  $\mathbf{I}_{2 \times 2}$  το μοναδιαίο  $2 \times 2$  μητρώο. Αν

$$\sigma_i = k^i \sigma_0, i = 0, 1, 3, \dots, 20,$$

αναθέστε κατάλληλη τιμή στην παράμετρο  $k$  ώστε να πετύχετε αυτό που θέλετε.

2. Στην συνέχεια ορίστε την επιθυμητή ακολουθία διαφορών από την ακόλουθη σχέση:

$$D_{i+1}(x, y) = I_{i+1}(x, y) - I_i(x, y), i = 0, 1, 3, \dots, 19.$$

Με αυτό το τρόπο παράγουμε μία ακολουθία από εικόνες η οποία θα μπορούσε να παραχθεί από την συνέλιξη των διαφορών διαδοχικών Γκαουσιανών και της αρχικής εικόνας (επιβεβαιώστε).

3. Έστω  $(x_0, y_0), x_0 > 3, y_0 > 3$  ένα εικονοστοιχείο του  $i$ -οστού στοιχείου της ακολουθίας  $D_{i+1}(x, y), i = 1, \dots, 18$  που ορίσαμε παραπάνω. Ορίστε τώρα ως γειτονιά του εικονοστοιχείου  $(x_0, y_0)$ , ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με κέντρο το εικονοστοιχείο και μήκη χωρικών πλευρών 2 και κλίμακας  $k^{i-1}(k^2 - 1)\sigma_0$  αντίστοιχα. Όπως είναι φανερό η γειτονιά του εικονοστοιχείου απαρτίζεται από 26 εικονοστοιχεία, εκ των οποίων 8 ανήκουν στην ίδια κλίμακα με το εικονοστοιχείο  $(x_0, y_0)$ , 9 στην προηγούμενη κλίμακα και 9 στην επόμενη κλίμακα αντίστοιχα.

Έχοντας ορίσει την γειτονιά ενός εικονοστοιχείου, μπορούμε τώρα εύκολα να εντοπίσουμε τα τοπικά ακρότατα (local extrema) της ιεραρχίας και από αυτά να αναδείξουμε τα κέντρα των σταγόνων που είναι και ο τελικός σκόπος μας. Συγκεκριμένα, το εικονοστοιχείο  $(x_0, y_0)$  χαρακτηρίζεται ως τοπικό ακρότατο της ακολουθίας αν και μόνο αν η τιμή της ακολουθίας διαφορών στο συγκεκριμένο σημείο είναι η μεγαλύτερη ή η μικρότερη (ισοδύναμα η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή) στη γειτονιά του.

Εντοπίστε τα κέντρα των Σταγόνων με την ανίχνευση των τοπικών ακρότατων της ακολουθίας διαφορών<sup>3</sup>

Απεικονίστε τα κέντρα των Σταγόνων στην ίδια εικόνα με την εικόνα εισόδου. Στο ίδιο γράφημα απεικονίστε το μέγεθος της με κύκλο, ακτίνας ίσης με το διπλάσιο της διασποράς του επιπέδου που εντοπίσατε το ακρότατο.

---


$$^2G(x, y, \sigma_i^2 \mathbf{I}_{2 \times 2}) = \frac{1}{2\pi\sigma_i^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma_i^2}}$$

<sup>3</sup>Προσοχή στα τοπικά ακρότατα που έχουν χαμηλή εντάση (μικρότερη του 0.05) καθώς είναι πολύ πιθανόν να έχουν προέλθει από το θόρυβο της εικόνας.

4. Αναπτύξτε κατάλληλη τεχνική για τον ακριβέστερο εντοπισμό των τοπικών ακρότατων στο χώρο χώρου-κλίμακας. Σχολιάστε τα αποτελέσματα σας.
5. Σχολιάστε όλες τις επιλογές σας, όπως και την απόδοση της τεχνικής.

### 2.3. Τεχνική Ανίχνευσης Σταγόνων DoH

Για την υλοποίηση της τεχνικής ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα:

1. Ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία με αυτή του Βήματος 2.2.1 της προηγούμενης τεχνικής, δημιουργήστε τις ακόλουθες Λαπλασιανές ακολουθίες "εικόνων":

$$L_{xx}^i(x, y), L_{yy}^i(x, y), L_{xy}^i(x, y), i = 1, \dots, 20.$$

και για κάθε εικονοστοιχείο κάθε κλίμακας ορίστε το μητρώο της Hessian

$$\mathbf{H}_i(x, y) = \begin{bmatrix} L_{xx}^i(x, y) & L_{xy}^i(x, y) \\ L_{xy}^i(x, y) & L_{yy}^i(x, y) \end{bmatrix}$$

2. Υπολογίστε την ορίζουσα της παραπάνω ακολουθίας μητρών που ορίσατε,

$$\text{Det}\{\mathbf{H}_i(x, y)\} = L_{xx}^i(x, y)L_{yy}^i(x, y) - (L_{xy}^i(x, y))^2$$

και δημιουργήστε τις ακολουθίες

$$\sigma_i^2 \text{Det}\{\mathbf{H}_i(x, y)\}.$$

3. Εντοπίστε τα κέντρα των Σταγονιδίων με τον εντοπισμό των τοπικών ακρότατων της ιεραρχίας των ακολουθιών που δημιουργήσατε στο προηγούμενο βήμα, ακολουθώντας την διαδικασία που ακολουθήσατε στο Βήμα 2.2.3 της προηγούμενης τεχνικής.

Απεικονίστε τα κέντρα των Σταγόνων στην ίδια εικόνα με την εικόνα εισόδου. Στο ίδιο γράφημα απεικονίστε το μέγεθος της με κύκλο ακτίνας ίσης με το διπλάσιο της διασποράς του επιπέδου που εντοπίσατε το ακρότατο.

4. Αναπτύξτε κατάλληλη τεχνική για τον ακριβέστερο εντοπισμό των τοπικών ακρότατων στο χώρο χώρου-κλίμακας. Σχολιάστε τα αποτελέσματα σας.
5. Σχολιάστε όλες τις επιλογές σας, όπως και την απόδοση της τεχνικής.

### 2.4. Συγκρίσεις-Τροποποιήσεις

1. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα που πήρατε από την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών στις εικόνες που σας εδόθησαν.

2. Προτείνετε και εφαρμόστε τροποποιήσεις της επιλογής σας, ώστε από τις Σταγόνες που σας επιστρέφουν οι αλγόριθμοι να επιλέγονται οι "εύρωστες".<sup>4</sup>

### 3. Οπτική Ροή

Σκοπός μας στην ενότητα αυτή είναι ο υπολογισμός της οπτικής ροής της ακολουθίας εικόνων (Road.mp4). Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος των Lucas-Kanade. Ας υποθέσουμε ότι η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων μιας περιοχής του πλαισίου  $I(x, y, t_0)$  μίας ακολουθίας εικόνων, κινείται με ταχύτητα  $\vec{V} = [v_x \ v_y]^t$ , δηλαδή:

$$I(\mathbf{q}) = I(\mathbf{q} + \Delta\mathbf{q}), \forall \mathbf{q} = [x, y, t_0]^t \in \mathcal{A}$$

με  $\Delta\mathbf{q} = [\Delta x \ \Delta y \ \Delta t]^t$ , ή ισοδύναμα:

$$\nabla I^t(\mathbf{q})\vec{V} = -I_t(\mathbf{q}), \forall \mathbf{q} \in \mathcal{A}$$

όπου  $I_t(\mathbf{q})$  είναι η μερική παράγωγος της  $I(x, y, t)$  ως προς τον χρόνο,  $\nabla I^t(\mathbf{q})$  το διάνυσμα (διάστασης  $2 \times 1$ ) των χωρικών μερικών παραγώγων και  $\vec{V} = [v_x \ v_y]^t = [\Delta x/\Delta t \ \Delta y/\Delta t]^t$  οι χωρικές ταχύτητες της οπτικής ροής. Ορίζοντας την ακόλουθη συνάρτηση κόστους:

$$\mathcal{C}(\vec{V}) = \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} \|\nabla I^t(\mathbf{q})\vec{V} + I_t(\mathbf{q})\|_2^2,$$

και λύνοντας το ακόλουθο πρόβλημα βελτιστοποίησης:

$$\min_{\vec{V}} \mathcal{C}(\vec{V}),$$

καταλήγουμε στην ακόλουθη βέλτιστη λύση:

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_x^2(\mathbf{q}) & \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_x(\mathbf{q})I_y(\mathbf{q}) \\ \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_x(\mathbf{q})I_y(\mathbf{q}) & \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_y^2(\mathbf{q}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_x(\mathbf{q})I_t(\mathbf{q}) \\ \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{A}} I_y(\mathbf{q})I_t(\mathbf{q}) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

#### 3.1. Υπολογισμός Οπτικής Ροής με τον Αλγόριθμο των Lucas-Kanade

1. Επιβεβαιώστε την ορθότητα της βέλτιστης λύσης της Σχέσης (1), λύνοντας το παραπάνω πρόβλημα βελτιστοποίησης.
2. Υλοποιήστε τον παραπάνω αλγόριθμο των Lucas-Kanade και υπολογίστε τις ταχύτητες  $v_x$ ,  $v_y$  της ακολουθίας εικόνων που σας έχουν δοθεί.
3. Απεικονίστε με χρήση της δοθείσας συνάρτησης  $showVectors(u, v, im)$  στην ίδια γραφική τις ταχύτητες και το πλαίσιο (εικόνα) στο οποίο αντιστοιχούν. Τα ορίσματα εισόδου της παραπάνω συνάρτησης είναι οι ταχύτητες  $v_x(u)$ ,  $v_y(v)$  και το πλαίσιο ( $im$ ) που θα απεικονίζεται κάτω από το γράφημα της οπτικής ροής. Η απεικόνιση να γίνει για το 10-ο, 30-οστό, 50-οστό και 100-οστό στιγμιότυπο της ακολουθίας που σας δίδεται.

<sup>4</sup> Αυτό το ερώτημα αφορά μόνο τους μεταπτυχιακούς φοιτητές.

### 3.2. Υπολογισμός Οπτικής Ροής με τον Τροποποιημένο Αλγόριθμο των Lucas-Kanade<sup>5</sup>

Υποθέστε τώρα ότι για κάθε  $\mathbf{q} = [x, y, t_0]^t \in \mathcal{A}$  ισχύει το ακόλουθο μοντέλο:

$$\alpha I(\mathbf{q}) + \beta = I(\mathbf{q} + \Delta\mathbf{q}),$$

όπου οι παράμετροι  $\alpha, \beta$  χρησιμοποιούνται για την αντιστάθμιση φωτομετρικών παραμορφώσεων.

1. Ορίστε την συνάρτηση κόστους και υπολογίστε την βέλτιστη λύση του προβλήματος. Σχολιάστε τις διαφορές της από τη Σχέση (1).
2. Επαναλάβετε τα Βήματα 3.1 και 3.2 της προηγούμενης παραγράφου.
3. Υποθέστε τώρα το ακόλουθο μοντέλο:

$$\bar{I}_o(\mathbf{q}) = \bar{I}_o(\mathbf{q} + \Delta\mathbf{q}),$$

όπου με  $\bar{a}_o$  συμβολίζουμε το κανονικοποιημένο και μηδενικής μέσης τιμής αντίστοιχο διάνυσμα του  $\mathbf{a}$ .

4. Ορίστε την αντίστοιχη συνάρτηση κόστους και υπολογίστε την βέλτιστη λύση του προβλήματος. Σχολιάστε τις διαφορές της από τη Σχέση (1).
5. Επαναλάβετε τα Βήματα 3.1 και 3.2 της προηγούμενης παραγράφου.
6. Συγκρίνετε και αναλύστε τα αποτελέσματα που πήρατε από την εφαρμογή των παραπάνω τεχνικών.

### 4. Τεχνικές Ιχνηλάτισης

Σκοπός μας στην ενότητα αυτή είναι να αξιοποιήσουμε τους αλγόριθμους των προηγούμενων ενότητων στην ιχνηλάτη (Tracking) των ανθρώπων που κινούνται στην ακολουθία εικόνων που σας έχει δοθεί.

1. Εντοπίστε τα άτομα που υπάρχουν στην σκηνή στο στιγμιότυπο 30 με την χρήση των τεχνικών ανίχνευσης σταγόνων της Ενότητας 2 και την διαφορά από ένα προηγούμενο στιγμιότυπο. Πόσο μεγάλη πρέπει να είναι η χρονική μετατόπιση ώστε να παίρνετε καλά αποτελέσματα; Ποία από τις δύο τεχνικές σας δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα;
2. Χρησιμοποιώντας τις μεθόδους της Ενότητας 3, υπολογίστε την οπτική ροή από το 30-οστό μέχρι και το 100-οστό στιγμιότυπο της ακολουθίας. Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας. Συγκρίνετε την απόδοση των διαφορετικών προσεγγίσεων που χρησιμοποιήσατε.<sup>4</sup>

<sup>5</sup>Αυτό το ερώτημα αφορά μόνο τους μεταπτυχιακούς φοιτητές.

3. Χρησιμοποιώντας τις Σταγόνες που εντοπίσατε στο Ερώτημα 1 και την οπτική ροή, υπολογίστε την κίνησή των κατά την διάρκεια του στιγμιότυπου 30 και του στιγμιότυπου 100.
4. Συγκρίνετε το αποτέλεσμα αυτό με αυτό που προκύπτει αν υπολογίζετε τις σταγόνες σε κάθε πλαίσιο.

Ως ημερονία παράδοσης της εργασίας, η οποία θα γίνει ηλεκτρονικά με αποστολή στο [psarakis@ceid.upatras.gr](mailto:psarakis@ceid.upatras.gr), ορίζεται η 21-01-2013.