

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ**

**Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας**

Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024

**Εργαστηριακή Άσκηση - Μέρος Α**

### **1.1 Περιγραφή σχήματος**

Το σχήμα είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά στην ανίχνευση αντικειμένων ή την ανάκτηση εικόνας βάσει περιεχομένου. Από την περιγραφή σχήματος προκύπτουν διάφορα χαρακτηριστικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση ενός σχήματος, όπως η μεταβλητότητα του περιγράμματος, η θέση του κέντρου μάζας του σχήματος, και λοιπά. Στο πλαίσιο του συγκεκριμένου θέματος επικεντρωνόμαστε στη μέθοδο περιγραφής σχήματος με χρήση των Τελεστών Fourier (Fourier Descriptors). Συγκεκριμένα, θεωρείστε την εικόνα **leaf.jpg**, και εφαρμόστε τα παρακάτω:

1. Μετατρέψτε την εικόνα σε grayscale και κατωφλιώστε την χρησιμοποιώντας τιμή κατωφλίου  $\tau = 220$ . Δείξτε τις εικόνες (grayscale και δυαδική) που προκύπτουν.
2. Εξάγετε το περίγραμμα του σχήματος (φύλλου) από τη δυαδική εικόνα χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Moore (*Moore boundary tracing algorithm*). Αποτυπώστε το περίγραμμα που ανιχνεύσατε στην αρχική εικόνα με χρώμα της επιλογής σας.
3. Υπολογίστε τους περιγραφείς Fourier του περιγράμματος.
4. Ανακατασκευάστε το περίγραμμα από τους περιγραφείς Fourier, χρησιμοποιώντας το  $x\%$  των (σημαντικότερων) συντελεστών, με  $x \in [100, 50, 10, 1]$ .
5. Επαναλάβετε τα παραπάνω για μια μετασχηματισμένη εκδοχή της αρχικής εικόνας που περιλαμβάνει στροφή κατά  $60^\circ$  και ολίσθηση κατά (100, 60) pixels.

Σε κάθε περίπτωση, **α)** περιγράψτε αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήσατε, **β)** αποτυπώστε το ανακατασκευασμένο περίγραμμα στην αρχική εικόνα, και **γ)** σχολιάστε την ποιότητα της ανακατασκευής.

### **1.2 Συμπίεση Εικόνας**

Θεωρήστε την εικόνα **lenna.jpg** και εκτελέστε τις παρακάτω επεξεργασίες:

1. Συμπίεση με τη χρήση του μετασχηματισμού 2D-DCT. Για να συμπίεσετε την εικόνα, αρχικά τεμαχίστε την σε μη επικαλυπτόμενες περιοχές διαστάσεων  $32 \times 32$ , και εφαρμόστε το μετασχηματισμό 2D-DCT σε κάθε μια περιοχή. Στη συνέχεια να επιλέξετε κατάλληλο υποσύνολο των συντελεστών του 2D-DCT της κάθε υποεικόνας,

- κρατώντας πληροφορία ενός ποσοστού  $p$ . Η επιλογή για το υποσύνολο συντελεστών να γίνει με δυο μεθόδους : **a)** Με τη μέθοδο ζώνης, **b** Με τη μέθοδο κατωφλίου
2. Αποτυπώστε την καμπύλη του μέσου τετραγωνικού σφάλματος ανάμεσα στην αρχική και την ανακατασκευασμένη εικόνα για τιμές του  $p$  στο διάστημα  $[5\%, 50\%]$ .

### 1.3 Βελτίωση εικόνας - Φιλτράρισμα Θορύβου

1. Στην εικόνα **board.png** προσθέστε λευκό Gaussian θόρυβο μηδενικής μέσης τιμής και τέτοιας διασποράς ώστε η τελική εικόνα να έχει λόγο σήματος προς θόρυβο ίσο με 15dB. Χρησιμοποιείτε το φίλτρο κινουμένου μέσου (moving average filter) και το φίλτρο μεσαίου (median filter) για να αφαιρέσετε το θόρυβο από την εικόνα.
2. Στην εικόνα **board.png** προσθέστε κρουστικό θόρυβο με πυκνότητα (πιθανότητα) 30% και χρησιμοποιείτε τα ίδια φίλτρα για την αφαίρεση του θορύβου.

Πειραματιστείτε με διαστάσεις φίλτρων από  $3 \times 3$  έως  $9 \times 9$  και επιλέξτε το (οπτικά) καλύτερο αποτέλεσμα. Σε κάθε περίπτωση σχολιάστε τα αποτελέσματα ως προς τη καταλληλότητα των φίλτρων για κάθε είδος θορύβου.

### 1.4 Βελτίωση Εικόνας – Εξίσωση Ιστογράμματος

Η ορατότητα των οδικών σημάτων, των λωρίδων κυκλοφορίας και των εμποδίων στους δρόμους είναι σημαντικά μειωμένη κατά την διάρκεια της νύχτας. Για να βοηθήσουμε τους οδηγούς σε σκοτεινές συνθήκες, μπορούμε να εφαρμόσουμε βελτίωση στις εικόνες που λαμβάνονται από την μπροστινή κάμερα των οχημάτων και να απεικονίσουμε την βελτιωμένη εικόνα στον οδηγό.

Οι εικόνες **dark\_road\_1.jpg**, **dark\_road\_2.jpg**, **dark\_road\_3.jpg** απεικονίζουν διαφορετικές περιοχές σε διαφορετικές χρονικές στιγμές κάτω από σκοτεινές συνθήκες λήψης.

1. Υπολογίστε και εμφανίστε το ιστόγραμμα των grayscale τιμών των αρχικών εικόνων. Σχολιάστε τα ιστογράμματα που λαμβάνετε σε σχέση με τα οπτικά χαρακτηριστικά των εικόνων.
2. Εφαρμόστε ολική εξίσωση ιστογράμματος στις αρχικές εικόνες και απεικονίστε τις τροποποιημένες εικόνες με το νέο ιστόγραμμά τους. Σχολιάστε τα αποτελέσματα καθώς και την απόδοση της τεχνικής που εφαρμόσατε.
3. Εφαρμόστε τοπική εξίσωση ιστογράμματος στις αρχικές εικόνες και απεικονίστε τις τροποποιημένες εικόνες με το νέο ιστόγραμμά τους. Επιλέξτε και αναφέρετε το μέγεθος του παραθύρου που δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, επιτυγχάνοντας υψηλότερη αντίθεση και αποφεύγοντας ταυτόχρονα την δημιουργία θορυβωδών περιοχών.

### 1.5 Αποκατάσταση Εικόνας (Wiener deconvolution)

- Υποβαθμίστε την εικόνα **new\_york.png** χρησιμοποιώντας το γραμμικό μοντέλο υποβάθμισης, ως εξής:
  1. Φιλτράρετε την εικόνα με 2D πυρήνα εξομάλυνσης Gauss με τυπική απόκλιση της επιλογής σας (προτείνεται μια τιμή στο διάστημα  $[1.5, 2.0]$ ).
  2. Προσθέστε στη φιλτραρισμένη εικόνα λευκό θόρυβο Gauss με λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) 7 dB.
- Απεικονίστε την κρουστική απόκριση και την απόκριση συχνότητας του φίλτρου υποβάθμισης, καθώς και την εικόνα στην αρχική και στη υποβαθμισμένη της μορφή.

- Χρησιμοποιώντας τη γνώση που έχουμε για το φίλτρο υποβάθμισης και την ισχύ του θορύβου, αποκαταστήστε την εικόνα εφαρμόζοντας Wiener deconvolution.
- Επαναλάβετε τη διαδικασία αποκατάστασης για την περίπτωση που η ισχύς του θορύβου θεωρείται άγνωστη και πρέπει να εκτιμηθεί από την ενθόρυβη εικόνα.
- Συγκρίνετε και σχολιάστε τα αποτελέσματά σας.

## 1.6 Ανίχνευση Ακμών

Θεωρήστε την εικόνα **hallway.png** και πραγματοποιήστε τα παρακάτω :

1. Εκτιμήστε τις συνιστώσες  $x$  και  $y$  του gradient της εικόνας χρησιμοποιώντας τις μάσκες Sobel. Παρουσιάστε σε ξεχωριστές εικόνες την απόλυτη τιμή κάθε συνιστώσας, καθώς και το πλάτος του gradient (αν το κρίνετε απαραίτητο, εφαρμόστε κατάλληλο μετασχηματισμό φωτεινότητας, όπως για παράδειγμα gamma correction, ώστε οι τιμές της παραγώγου να είναι πιο ευδιάκριτες).
2. Πραγματοποιήστε ολική κατωφλίωση στην εικόνα πλάτους του gradient για την ανίχνευση των ακμών της εικόνας. Σχεδιάστε το ιστόγραμμα της εικόνας πλάτους, καθώς και το κατώφλι που επιλέξατε. Δείξτε τα αποτελέσματα της κατωφλίωσης
3. Να εφαρμοστεί ο μετασχηματισμός Hough για την ανίχνευση των ευθύγραμμων τμημάτων στην εικόνα. Αποτυπώστε τα ευθύγραμμα τμήματα που ανιχνεύσατε στην αρχική εικόνα (χρησιμοποιώντας κάποιο χρώμα της επιλογής σας).

## 1.7 Κατάτμηση Εικόνας

1. Πραγματοποιήστε την κατάτμηση της εικόνας **coins.png** με τη βοήθεια ολικής κατωφλίωσης. Συγκεκριμένα:
  - a) υπολογίστε το ιστόγραμμα της εικόνας και το βέλτιστο κατώφλι με χρήση της μεθόδου Otsu. Σχεδιάστε το ιστόγραμμα και αποτυπώστε το κατώφλι στην ίδια εικόνα.
  - b) Αποτυπώστε τα αποτελέσματα της κατάτμησης σε μια εικόνα όπου θα εμφανίζονται τα κέρματα από την αρχική εικόνα σε μαύρο φόντο (*hint*: χρησιμοποιήστε το αποτέλεσμα της δυαδικής κατωφλίωσης ως μάσκα που υποδεικνύει τα pixels που ανήκουν σε κάθε περιοχή, δηλαδή *φόντο* ή *κέρμα*).
  - c) Εξάγετε το σχήμα (περιοχή) κάθε κέρματος στην εικόνα. Δείξτε τα αποτελέσματα της εξαγωγής σε μια νέα εικόνα, αποτυπώνοντας κάθε κέρμα με διαφορετικό χρώμα (ή επίπεδο φωτεινότητας), σε λευκό φόντο.
  - d) (*bonus*) Υπολογίστε το κέντρο και τη διάμετρο κάθε κέρματος, και σχεδιάστε τα στην παραπάνω εικόνα.
2. Πραγματοποιήστε κατάτμηση της εικόνας **football.jpg** με χρήση του αλγορίθμου  $k$ -means για  $k = [2, 3, 4]$ . Για κάθε  $k$ , εμφανίστε τα αποτελέσματα της κατάτμησης αποτυπώνοντας κάθε ανιχνευμένη περιοχή (συστάδα) σε διαφορετική εικόνα, σε μαύρο φόντο. Σχολιάστε τις περιοχές που ανιχνεύονται.

Εργαστείτε ως εξής:

- a) Μετασχηματίστε την αρχική εικόνα  $I$  μεγέθους  $[m, n, 3]$  σε ένα μητρώο  $X$  διάστασης  $mn \times 3$ , όπου δηλαδή κάθε pixel της εικόνας αποτυπώνεται ως μια διαφορετική «παρατήρηση».
- b) Εφαρμόστε αλγόριθμο  $k$ -means ώστε να ομαδοποιήσετε τις «παρατηρήσεις» σε  $k$  διαφορετικές συστάδες (χρωματικές περιοχές στην εικόνα).
- c) Για κάθε περιοχή  $j = 1, \dots, k$  κατασκευάστε μια εικόνα  $I_j$ , (μεγέθους  $[m, n, 3]$ ) ως εξής:

$$I_j(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & \text{το pixel στη θέση } (x, y) \text{ ανήκει στην περιοχή } j \\ [0, 0, 0], & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

### **Διαδικαστικά**

1. Η παράδοση της άσκησης θα γίνει ηλεκτρονικά στο eclass μέσω της ενότητας Εργασίες μέχρι την **7/6/2024**.
2. Συμπεριλάβετε τον κώδικα που γράψατε για την υλοποίηση των ερωτημάτων σε ένα παράρτημα στο τέλος της αναφοράς.
3. Για ερωτήσεις και διευκρινίσεις απευθυνθείτε μέσω email στο [pikoulis@ceid...](mailto:pikoulis@ceid...)