



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

Εργασία 1 - Εξισορρόπηση και αντιστοίχιση ιστογράμματος

Λώλος Ιωάννης 10674

29 Απριλίου 2025

Περιεχόμενα

1	Σκοπός της εργασίας	2
2	Υλοποίηση των συναρτήσεων	3
2.1	Η συνάρτηση <code>calculate_hist_of_img</code>	3
2.2	Η συνάρτηση <code>apply_hist_modification_ transform</code>	3
2.3	Η συνάρτηση <code>perform_hist_modification</code>	3
2.3.1	post-disturbance	4
2.3.2	greedy	4
2.3.3	non-greedy	5
2.4	Η συνάρτηση <code>perform_hist_eq</code>	5
2.5	Η συνάρτηση <code>perform_hist_matching</code>	6
3	Αποτελέσματα	7
3.1	Εξισορροπημένα Ιστογράμματα	7
3.2	Αντιστοιχισμένα Ιστογράμματα	9
4	Συμπεράσματα	12
4.1	Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων	12
4.2	Προβλήματα - Προτεινόμενες Βελτιώσεις	12

Σκοπός της εργασίας

Στόχο της εργασίας αποτελεί η υλοποίηση αλγορίθμων που στοχεύουν στην εξισορρόπηση και αντιστοίχιση ιστογράμματος κάποιας δεδομένης εικόνας. Για την υλοποίηση του ζητουμένου αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις:

- `calculate_hist_of_img`
- `apply_hist_modification_transform`
- `perform_hist_modification`
- `perform_hist_eq`
- `perform_hist_matching`

και με την βοήθεια του script `demo`, έγινε επίδειξη τους, ώστε να διαπιστωθεί η ορθότητα τους. Συγκεκριμένα η υλοποίηση της συνάρτησης `perform_hist_modification` ζητήθηκε να γίνει με τρεις αλγορίθμους:

- `greedy`
- `non-greedy`
- `post-disturbance`

ώστε να μελετηθούν διαφορές ως προς τα αποτελέσματα τους.

Υλοποίηση των συναρτήσεων

2.1 Η συνάρτηση `calculate_hist_of_img`

Ο αλγόριθμος `calculate_hist_of_img` έχει ως στόχο τον υπολογισμό του ιστογράμματος μιας grayscale εικόνας με τιμές κινητής υποδιαστολής στο διάστημα $[0, 1]$. Η είσοδος είναι ένας διδιάστατος πίνακας, όπου κάθε στοιχείο αντιπροσωπεύει την τιμή έντασης ενός pixel. Ο αλγόριθμος καταμετρά τις μοναδικές τιμές των pixel και αποδίδει σε καθεμία τη συχνότητα εμφάνισής της στην εικόνα. Προαιρετικά, το ιστόγραμμα μπορεί να κανονικοποιηθεί ώστε να αναπαριστά εκτίμηση της κατανομής πιθανότητας της εικόνας. Η έξοδος είναι ένα dictionary που αντιστοιχίζει κάθε μοναδική τιμή pixel με τη συχνότητά της ή την αντίστοιχη πιθανότητα. Η υλοποίηση έγινε με τη χρήση της συνάρτησης `unique` από την βιβλιοθήκη `numpy` για λόγους ευκολίας και ταχύτητας.

2.2 Η συνάρτηση `apply_hist_modification_transform`

Η συνάρτηση `apply_hist_modification_transform` εφαρμόζει έναν προκαθορισμένο μετασχηματισμό τιμών σε μια grayscale εικόνα, με βάση ένα dictionary που αντιστοιχίζει αρχικές τιμές pixel σε νέες τροποποιημένες τιμές. Αρχικά, γίνεται έλεγχος εγκυρότητας των δεδομένων εισόδου, και στη συνέχεια εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός σε ολόκληρη την εικόνα με διανυσματοποιημένο τρόπο (μέσω της `numpy`) για μέγιστη αποδοτικότητα.

2.3 Η συνάρτηση `perform_hist_modification`

Η συνάρτηση `perform_hist_modification` τροποποιεί το ιστόγραμμα μιας εικόνας ώστε να προσεγγίσει μια καθορισμένη κατανομή-στόχο, χρησιμοποιώντας μία από τρεις στρατηγικές: `greedy`, `non-greedy` ή `post-disturbance`. Η είσοδος είναι μια διδιάστατη εικόνα με τιμές στο διάστημα $[0,1]$, το επιθυμητό ιστόγραμμα και η επιθυμητή μέθοδος λειτουργίας. Πριν εφαρμοστεί οποιοσδήποτε

αλγόριθμος πραγματοποιούνται έλεγχοι για να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της συνάρτησης. Οι έλεγχοι περιλαμβάνουν:

- Έλεγχος ότι η εικόνα είναι διδιάστατη
- Έλεγχος ότι η εικόνα είναι grayscale στο $[0, 1]$
- Ελέγχους ότι το ιστόγραμμα περιέχει ορθά ορισμένα ζευγάρια key-value
- Έλεγχος ότι η μέθοδος λειτουργίας που δόθηκε είναι μία από τις παρακάτω

2.3.1 post-disturbance

Στη λειτουργία post-disturbance, προστίθεται ομοιόμορφος θόρυβος στην εικόνα, ώστε να αποφευχθούν μεγάλες συγκεντρώσεις τιμών σε μία στάθμη, και κατόπιν εφαρμόζεται η greedy μέθοδος, η οποία περιγράφεται παρακάτω. Ο θόρυβος που προστίθεται προέρχεται από ομοιόμορφη κατανομή στο $[-\frac{d}{2}, \frac{d}{2}]$, όπου d η διαφορά ανάμεσα στις τιμές δύο γειτονικών σταθμών (με την παραδοχή ότι οι στάθμες είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα). Για την ευκολότερη γενίκευση της μεθόδου σε εικόνες με διαφορετικό χρωματικό βάθος από 8 bit, για τον υπολογισμό του d ταξινομούνται όλες οι στάθμες που βρίσκονται στο ιστόγραμμα και λαμβάνεται η διαφορά ανάμεσα στις δύο μικρότερες.

2.3.2 greedy

Στη λειτουργία greedy, οι τιμές της εισόδου ταξινομούνται και αντιστοιχίζονται σε τιμές εξόδου έτσι ώστε να ταιριάζουν με τις συχνότητες της κατανομής-στόχου.

1. Τα επίπεδα φωτεινότητας της εικόνας και του στόχου ταξινομούνται σε αύξουσα σειρά, ώστε να εξασφαλιστεί μονοτονική αντιστοίχιση.
2. Από το κανονικοποιημένο target ιστόγραμμα (με τιμές πιθανότητας), υπολογίζεται το πλήθος των δειγμάτων που πρέπει να αντιστοιχηθούν σε κάθε επίπεδο:
$$\text{desired_counts}[g] = \text{round}(\text{freq} \cdot N),$$
$$\text{desired_counts}[g] = \text{round}(\text{freq} \cdot N)$$
3. Δημιουργείται μια λίστα `input_samples` που περιλαμβάνει όλες τις τιμές των pixels με επανάληψη, ώστε να αναπαριστούν πλήρως την πραγματική κατανομή της εικόνας
4. Δημιουργείται μια λίστα `output_samples`, που περιλαμβάνει τόσα δείγματα από κάθε επίπεδο του στόχου όσα υπολογίστηκαν στο βήμα 2

5. Αν το πλήθος των εισόδων και εξόδων δεν συμφωνεί, γίνεται προσαρμογή:
 - Αν το `output_samples` είναι μικρότερο, επεκτείνεται με την πιο φωτεινή τιμή.
 - Αν είναι μεγαλύτερο, κόβεται ώστε να ταιριάζει ακριβώς
6. Τέλος, για κάθε τιμή από τη λίστα εισόδου, αντιστοιχίζεται στην αντίστοιχη τιμή στόχου, αλλά μόνο αν η τιμή εισόδου δεν έχει ήδη αντιστοιχιστεί (είναι δηλαδή η πρώτη εμφάνιση της εμφάνιση)

2.3.3 non-greedy

Η non-greedy μέθοδος εφαρμόζει μια πιο ελεγχόμενη στρατηγική αντιστοίχισης, σε αντίθεση με τη greedy μέθοδο, εστιάζοντας στο να κατανέμει τα επίπεδα φωτεινότητας εισόδου στα επίπεδα εξόδου με γνώμονα την επίτευξη μεγαλύτερης ομαλότητας κατά τη μετάβαση μεταξύ δύο σταθμών. Για κάθε επίπεδο φωτεινότητας του στόχου:

1. Καθορίζεται το πλήθος δειγμάτων που απαιτούνται (`target_count`).
2. Για κάθε επίπεδο εισόδου f , ελέγχεται αν η χωρητικότητα της στάθμης εξόδου g (`deficiency`) είναι επαρκής ώστε να απορροφήσει το πλήθος των pixels του f .
3. Αν το `deficiency` είναι μικρότερο από το μισό του πλήθους του f , ο βρόχος διακόπτεται, ώστε να μη διασπαστούν σημαντικά οι συχνότητες.
4. Διαφορετικά, αντιστοιχίζεται όλο το επίπεδο f στο g , και ο αλγόριθμος προχωρά στο επόμενο επίπεδο εισόδου

Στο τέλος κάθε αλγορίθμου χρησιμοποιείται η συνάρτηση `apply_hist_modification_transform` για την εφαρμογή των αλλαγών πάνω στην εικόνα

2.4 Η συνάρτηση `perform_hist_eq`

Η συνάρτηση `perform_hist_eq` αποτελεί ειδική περίπτωση της `perform_hist_modification`, κατά την οποία το επιθυμητό ιστόγραμμα είναι ομοιόμορφο με 256 επίπεδα, ώστε να υλοποιεί ισοστάθμιση ιστογράμματος. Καλεί την `perform_hist_modification` με προκαθορισμένο ιστόγραμμα αναφοράς και με λειτουργία που καθορίζεται από τον χρήστη.

2.5 Η συνάρτηση `perform_hist_matching`

Αντίστοιχα με την `perform_hist_eq` η συγκεκριμένη συνάρτηση επίσης αποτελεί ειδική περίπτωση της `perform_hist_modification`. Σε αυτή την περίπτωση το επιθυμητό ιστόγραμμα υπολογίζεται μέσω της `calculate_hist_of_img` για την εικόνα αναφοράς και στη συνέχεια δίνεται ως όρισμα στην `perform_hist_modification`

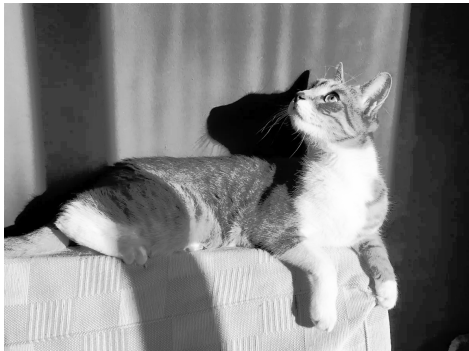
Αποτελέσματα

3.1 Εξισορροπημένα Ιστογράμματα

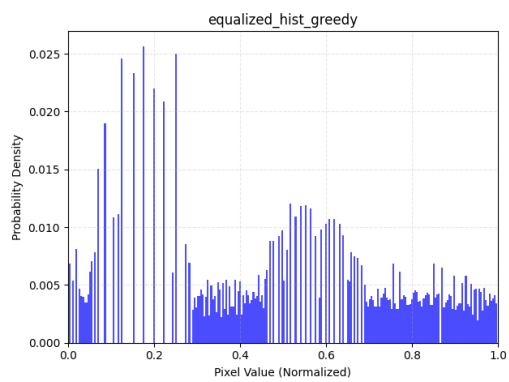
Οι αλγόριθμοι εξισορρόπησης εφαρμόστηκαν στο fig. 3.1. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω



Σχήμα 3.1: Η εικόνα προς επεξεργασία



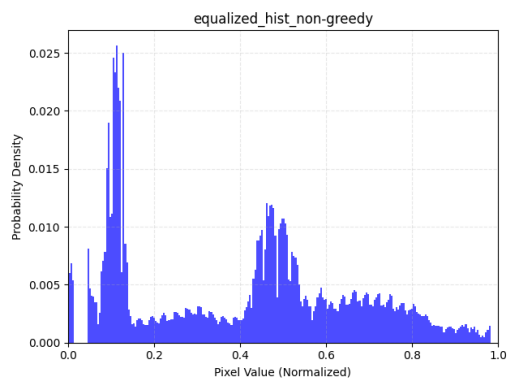
(α') Εξισορροπημένη εικόνα με greedy αλγόριθμο



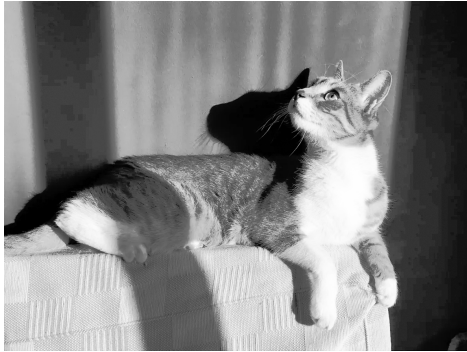
(β') Εξισορροπημένο ιστόγραμμα με greedy αλγόριθμο



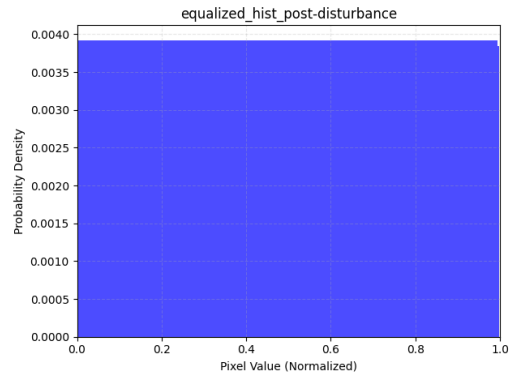
(γ') Εξισορροπημένη εικόνα με non-greedy αλγόριθμο



(δ') Εξισορροπημένο ιστόγραμμα με non-greedy αλγόριθμο



(ε') Εξισορροπημένη εικόνα με post-disturbance αλγόριθμο



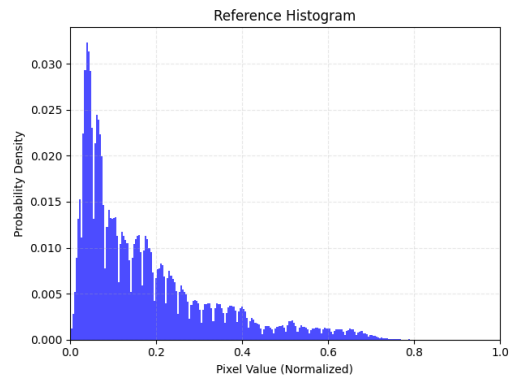
(στ') Εξισορροπημένο ιστόγραμμα με post-disturbance αλγόριθμο

3.2 Αντιστοιχισμένα Ιστογράμματα

Αντίστοιχα το fig. 3.1 επεξεργάστηκε μέσω των αλγορίθμων ώστε να αντιστοιχηθεί το ιστόγραμμα του με αυτο της παρακάτω εικόνας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.



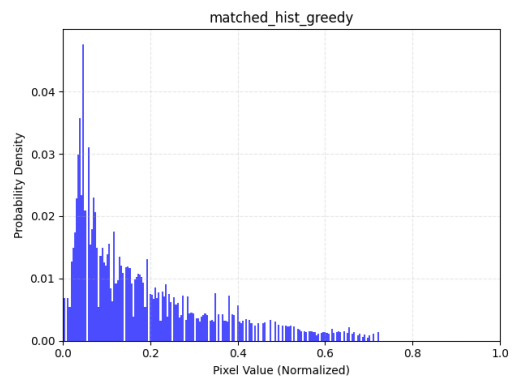
(ζ') Η reference εικόνα



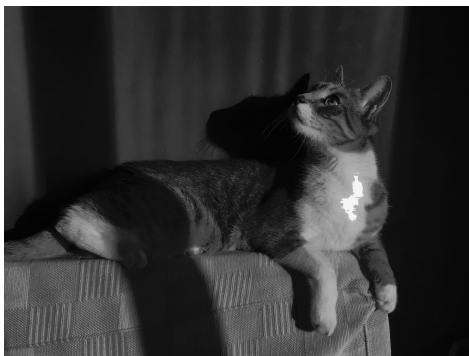
(η') Το reference ιστόγραμμα



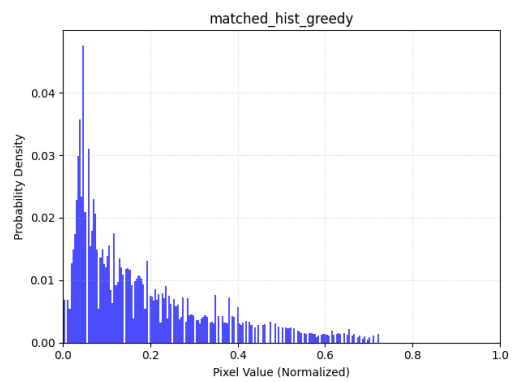
(θ') Αντιστοιχισμένη εικόνα με greedy αλγόριθμο



(ι') Αντιστοιχισμένο ιστόγραμμα με greedy αλγόριθμο



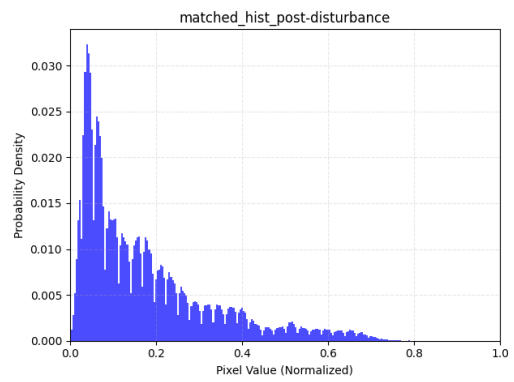
(ια') Αντιστοιχισμένη εικόνα με non-greedy αλγόριθμο



(ιβ') Αντιστοιχισμένο ιστόγραμμα με non-greedy αλγόριθμο



(ιγ') Αντιστοιχισμένη εικόνα με post-disturbance αλγόριθμο



(ιδ') Αντιστοιχισμένο ιστόγραμμα με post-disturbance αλγόριθμο

Συμπεράσματα

4.1 Σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή των αλγορίθμων για αντιστοίχιση ιστογράμματος οδήγησε σε σημαντικά ποιοτικότερες εικόνες σε σχέση με την απλή ισοστάθμιση. Το φαινόμενο αυτό πιθανώς οφείλεται στη μορφή των ιστογραμμάτων των αρχικών και αναφοράς εικόνων. Συγκρίνοντας τις επιδόσεις των αλγορίθμων, ο non-greedy αλγόριθμος παρουσίασε τη χαμηλότερη ποιότητα αποτελεσμάτων σε όλες τις περιπτώσεις, ενώ ο αλγόριθμος post-disturbance υπερείχε εμφανώς. Ιδιαίτερα στην περίπτωση αντιστοίχισης ιστογράμματος, ο post-disturbance αλγόριθμος παρήγαγε αποτελέσματα εξαιρετικής ποιότητας.

4.2 Προβλήματα - Προτεινόμενες Βελτιώσεις

Παρατηρήθηκε ότι ο greedy αλγόριθμος οδηγεί σε δημιουργία κενών σταθμών έντασης στο ιστόγραμμα, προκαλώντας χρωματικές ασυνέχειες που είναι ορατές στο ανθρώπινο μάτι. Η εφαρμογή τεχνικών παρεμβολής, όπως η γραμμική παρεμβολή, προτείνεται ως λύση για την εξομάλυνση αυτών των φαινομένων. Επιπλέον, αναδείχθηκε η δυσκολία ορθής αντιστοίχισης εισερχόμενων σταθμών σε στοχευόμενες στάθμες, όταν οι δύο κατανομές διαφέρουν στον αριθμό των επιπέδων γκρι που περιέχουν. Τέλος, διαπιστώθηκε ότι ο non-greedy αλγόριθμος απέτυχε να μεταβάλει την κατανομή των επιπέδων έντασης κατά τη διαδικασία ισοστάθμισης, επιστρέφοντας ιστόγραμμα όμοιο με το αρχικό, ζήτημα το οποίο δεν κατέστη δυνατό να αντιμετωπιστεί εντός της παρούσας εργασίας.

Συνολικά, παρότι τα αποτελέσματα δεν είναι ιδανικά, κρίνεται ότι είναι ικανοποιητικά για μία αρχική εφαρμογή και αξιολόγηση των αλγορίθμων τροποποίησης ιστογράμματος.