

Αναφορά 1^{ης} εργασίας του μαθήματος «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας»

Χρυσολόγου Γεώργιος (ΑΕΜ: 10782)

Στα πλαίσια της εργασίας, κλήθηκα να υλοποιήσω ένα σύνολο συναρτήσεων σε Python, με στόχο την εξισορρόπηση του ιστογράμματος μιας δοσμένης εικόνας εισόδου καθώς και την αντιστοίχιση του ιστογράμματος της εικόνας εισόδου με το ιστόγραμμα μίας δοσμένης εικόνας αναφοράς.

Περιγραφή λειτουργίας συναρτήσεων

Η εικόνα εισόδου και η εικόνα αναφοράς αναπαρίστανται σε μορφή πίνακα, σύμφωνα με τις οδηγίες που δίνονται στην αντίστοιχη ενότητα της εκφώνησης. Οι τιμές των στοιχείων των πινάκων αυτών είναι διακριτές.

Αρχείο hist_utils.py

calculate_hist_of_img: Δέχεται ως εισόδους τον πίνακα "img_array" που αναπαριστά την εικόνα εισόδου και μία boolean τιμή "return_normalized" η οποία καθορίζει αν το ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου που πρόκειται να υπολογιστεί θα είναι κανονικοποιημένο ως προς το συνολικό πλήθος samples της εικόνας ή όχι. Κατά την κλήση της συνάρτησης, αρχικοποιείται ένα κενό dictionary "hist". Κατόπιν, διατρέχονται όλα τα στοιχεία του πίνακα img_array μέσω μίας διπλής for. Όταν σε μία επανάληψη η διακριτή τιμή του στοιχείου συναντάται για πρώτη φορά, δημιουργείται ένα νέο κλειδί 'value' στο hist, όπου value η τιμή του στοιχείου, και αντιστοιχίζεται με την τιμή 1 (αν return_normalized == True) ή 1 / N (αν return_normalized == False), όπου N ο συνολικός αριθμός στοιχείων του πίνακα img_array. Αντιθέτως, όταν σε μία επανάληψη συναντάται διακριτή τιμή στοιχείου που έχει εμφανιστεί σε προηγούμενη επανάληψη, η τιμή του ήδη υπάρχοντος κλειδιού 'value', όπου value η τιμή του στοιχείου, αυξάνεται κατά 1 ή 1 / N (ανάλογα με την τιμή return_normalized). Τέλος, το hist ταξινομείται με βάση τα κλειδιά του κατά αύξουσα σειρά (ώστε όταν διατρέχονται τα κλειδιά του, αυτό να πραγματοποιείται με αύξουσα σειρά) και επιστρέφεται.

apply_hist_modification_transform: Δέχεται ως εισόδους τον πίνακα "img_array" που αναπαριστά την εικόνα εισόδου και ένα dictionary "modification_transform" που περιγράφει τον μετασχηματισμό που ζητείται να πραγματοποιηθεί (δηλαδή το κάθε key, το οποίο παριστάνει τις στάθμες εισόδου, αντιστοιχίζεται με μία τιμή, η οποία παριστάνει την σταθμή εξόδου στην οποία θα πρέπει η στάθμη εισόδου να απεικονιστεί). Κατά την κλήση της συνάρτησης, αρχικοποιείται ένας πίνακας εξόδου ίδιων διαστάσεων με τον πίνακα img_array. Κατόπιν, μέσω μίας διπλής for, διατρέχονται όλα τα στοιχεία του πίνακα img_array. Σε μία τυχαία επανάληψη i και j (για την εξωτερική και εσωτερική for αντίστοιχα), για το στοιχείο θέσης (i, j) του πίνακα img_array (αποτελεί κλειδί του dictionary modification_transform), αναζητείται η τιμή του στο dictionary modification_transform και καταχωρείται στη θέση (i, j) του πίνακα εξόδου. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός ιστογράμματος, στάθμη προς στάθμη, και, τελικά, επιστρέφεται ο πίνακας εξόδου.

Αρχείο hist_modif.py

perform_hist_modification: Δέχεται ως εισόδους τον πίνακα "img_array" που αναπαριστά την εικόνα εισόδου, ένα dictionary "hist_ref" που αναπαριστά το ιστόγραμμα αναφοράς και μία string τιμή "mode" που καθορίζει την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για τον μετασχηματισμό του ιστογράμματος της

εικόνας εισόδου. Κατά την κλήση της συνάρτησης, αρχικοποιείται ένα dictionary "modified_hist" με κλειδιά ίδια με τα αντίστοιχα του hist_ref και τιμές μηδεν (το οποίο σταδιακά θα διαμορφωθεί ως το dictionary που αναπαριστά το ιστόγραμμα της τελικής εικόνας), ένα κενό dictionary "modification_transform" και ένα κενό set "used_keys". Κατόπιν, ανάλογα με την τιμή της mode, εφαρμόζεται ένας εκ των τριών αλγορίθμων greedy, non-greedy και post-disturbance.

Περίπτωση mode == greedy: Αρχικά, υπολογίζεται το dictionary "hist" που αναπαριστά το ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου μέσω της συνάρτησης calculate_hist_of_img. Μέσω μίας διπλής for, διατρέχονται (στην εξωτερική for) τα κλειδιά των hist_ref/modified_hist (είναι ίδια) και (στην εσωτερική for) τα κλειδιά του hist. Σε κάθε επανάληψη της διπλής for, για το συγκεκριμένο κλειδί των hist_ref / modified_hist, γίνεται έλεγχος που αφορά αν η τιμή που αντιστοιχίζεται στο κλειδί αυτό είναι μικρότερη για το dictionary modified_hist σε σύγκριση με το dictionary hist_ref. Αν είναι μικρότερη και το κλειδί του dictionary hist (της εσωτερικής for) δεν υπάρχει στο set used_keys (δηλαδή η συγκεκριμένη στάθμη φωτεινότητας της εικόνας εισόδου δεν έχει ήδη αντιστοιχηθεί σε κάποια στάθμη φωτεινότητας της εικόνας εξόδου), τότε η στάθμη φωτεινότητας της εικόνας εισόδου αντιστοιχίζεται στην στάθμη φωτεινότητας της εικόνας εξόδου. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή που αντιστοιχίζεται στην στάθμη-κλειδί του dictionary hist προστίθεται στην τιμή που αντιστοιχίζεται στην στάθμη-κλειδί του dictionary modified_hist για την συγκεκριμένη επανάληψη, δηλαδή το πλήθος δειγμάτων της στάθμης φωτεινότητας της εικόνας εισόδου προστίθεται στο πλήθος δειγμάτων της στάθμης φωτεινότητας της εικόνας εξόδου. Επιπλέον, προστίθεται η στάθμη-κλειδί του dictionary hist ως κλειδί στο dictionary modification_transform και αντιστοιχίζεται στην τιμή της στάθμης-κλειδί του dictionary modified_hist, ορίζοντας έτσι ότι στον τελικό μετασχηματισμό τα εικονοστοιχεία της εικόνας εισόδου που ανήκουν στην συγκεκριμένη στάθμη φωτεινότητας θα μεταβούν στην αντίστοιχη στάθμη φωτεινότητας της εικόνας αναφοράς κατά την διαμόρφωση της τελικής εικόνας. Τέλος, η στάθμη-κλειδί του dictionary hist, δεδομένου ότι έχει αντιστοιχηθεί σε μία στάθμη φωτεινότητας της εικόνας αναφοράς, προστίθεται στο set used_keys ώστε να αποτραπεί η επαναχρησιμοποίηση της. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις στάθμες-κλειδιά του dictionary hist έως ότου η τιμή που αντιστοιχίζεται στην στάθμη-κλειδί της εξωτερικής for είναι μεγαλύτερη (ή ίση) για το dictionary modified_hist σε σύγκριση με το dictionary hist_ref, οπότε το πλήθος δειγμάτων που ανήκουν στη συγκεκριμένη στάθμη φωτεινότητας είναι μεγαλύτερο ή ίσο για την τελική εικόνα σε σχέση με την εικόνα αναφοράς. Ολοκληρώνοντας, καλείται η συνάρτηση apply_hist_modification_transform με ορίσματα τον πίνακα img_array και το dictionary modification_transform, ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες αλλαγές στην εικόνα εισόδου, και επιστρέφεται ο πίνακας που αναπαριστά την τελική εικόνα.

Περίπτωση mode == non-greedy: Πραγματοποιείται η ίδια διαδικασία με την αντίστοιχη της περίπτωσης mode == greedy, με μία σημαντική διαφορά. Αν σε μία επανάληψη, η τιμή που αντιστοιχίζεται στο κλειδί της εξωτερικής for είναι μικρότερη για το dictionary modified_hist σε σύγκριση με το dictionary hist_ref και το κλειδί της εσωτερικής for, δηλαδή του dictionary hist, δεν υπάρχει στο set used_keys, ελέγχεται αν η διαφορά του πλήθους των δειγμάτων της στάθμης φωτεινότητας της εικόνας αναφοράς μείον το πλήθος των δειγμάτων της ίδιας στάθμης για την τελική εικόνα (δηλαδή η τιμή που αντιστοιχίζεται στο κλειδί της εξωτερικής for για το dictionary hist_ref μείον την τιμή που αντιστοιχίζεται στο ίδιο κλειδί για το dictionary modified_hist) είναι μικρότερη από το μισό του συνολικού πλήθους δειγμάτων της στάθμης-κλειδί της εσωτερικής for για την εικόνα εισόδου. Αν αυτό ισχύει και η συγκεκριμένη στάθμη φωτεινότητας της τελικής εικόνας δεν είναι κενή, δηλαδή έχει ήδη αντιστοιχηθεί κάποια στάθμη της εικόνας εισόδου σε αυτήν την στάθμη αναφοράς, τότε η διαδικασία ολοκληρώνεται για αυτήν την στάθμη-κλειδί της εξωτερικής for. Σε αντίθετη περίπτωση, ακολουθούνται τα βήματα που περιγράφηκαν στην μέθοδο greedy.

Περίπτωση mode == post-disturbance: Σε αυτήν την περίπτωση, πραγματοποιείται επεξεργασία του πίνακα img_array που αναπαριστά την εικόνα εισόδου. Συγκεκριμένα, δημιουργείται ένας πίνακας ίδιων διαστάσεων με τον img_array, οι τιμές των στοιχείων του οποίου έχουν προέλθει από ομοιόμορφη

κατανομή μεταξών των τιμών $-d/2$ και $d/2$, όπου d η διαφορά μεταξύ δύο στάθμεων φωτεινότητας της εικόνας εισόδου (θεωρείται ίση μεταξύ όλων των στάθμεων). Κατόπιν, ο πίνακας αυτός προστίθεται στον πίνακα `img_array` και σχηματίζεται ο πίνακας `disturbed_img_array`, του οποίου το ιστόγραμμα "hist" υπολογίζεται μεσώ κλήσης της συνάρτησης `calculate_hist_of_img`. Στον πίνακα αυτόν, κάθε στοιχείο (που αναπαριστά ένα εικονοστοιχείο της εικόνας) έχει, λόγω της τυχαιότητας των τιμών που προήλθαν από ομοιόμορφη κατανομή, διαφορετική τιμή από τα υπόλοιπα, οπότε υπάρχουν τόσες σε πλήθος στάθμες φωτεινότητες όσα και τα ίδια τα εικονοστοιχεία. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος `greedy`, όπως αναλύθηκε παραπάνω, με εικόνα είσοδου να θεωρείται η εικόνα που αναπαριστά ο πίνακας `disturbed_img_array`.

perform_hist_eq: Δέχεται ως ορίσματα τον πίνακα "img_array" που αναπαριστά την εικόνα εισόδου και μία string τιμή "mode" που καθορίζει την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την εξισορρόπηση του ιστογράμματος της εικόνας εισόδου. Κατά την κλήση της συνάρτησης, δημιουργείται ένα dictionary με κλειδιά όλες τις διαφορετικές στάθμες φωτεινότητας που εμφανίζονται στην εικόνα εισόδου και όλες τις τιμές που αντιστοιχίζονται με τα κλειδιά αυτά ίσες με $1 / \text{πλήθος των διαφορετικών στάθμεων αυτών}$. Κατόπιν, καλείται η συνάρτηση `perform_hist_modification` με ορίσματα τον πίνακα `img_array`, το dictionary που περιγράφηκε παραπάνω και την string τιμή `mode`. Με αυτόν τον τρόπο, ο πίνακας που θα επιστραφεί από την `perform_hist_modification` θα είναι ένας πίνακας που αναπαριστά μία εικόνα της οποίας το ιστόγραμμα προσεγγίζει το ιστόγραμμα που αναπαρίσταται από το παραπάνω dictionary, το οποίο είναι πλήρως εξισορροπημένο αφού σε κάθε στάθμη φωτεινότητας ανήκει το ίδιο πλήθος δειγμάτων. Τέλος, επιστρέφεται ο πίνακας που αποτελεί έξοδο της `perform_hist_modification`.

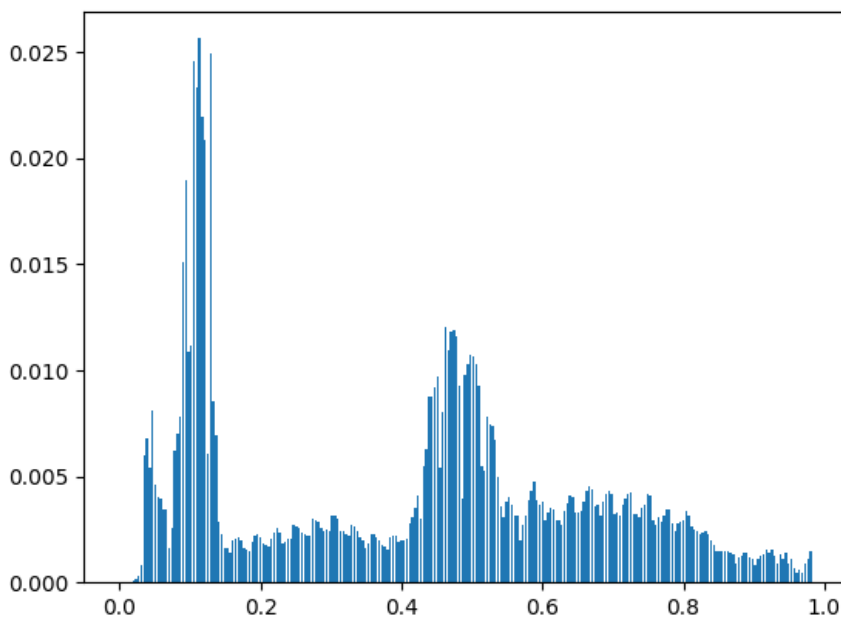
perform_hist_matching: Δέχεται ως ορίσματα τον πίνακα "img_array" που αναπαριστά την εικόνα εισόδου, τον πίνακα "img_array_ref" που αναπαριστά την εικόνα αναφοράς και μία string τιμή "mode" που καθορίζει την μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για την εξισορρόπηση του ιστογράμματος της εικόνας εισόδου. Κατά την κλήση της συνάρτησης, υπολογίζεται το dictionary που αναπαριστά το ιστόγραμμα της εικόνας αναφοράς μέσω της συνάρτησης `calculate_hist_of_img`. Στην συνέχεια, καλείται η συνάρτηση `perform_hist_modification` με ορίσματα τον πίνακα `img_array`, το dictionary που επιστρέφει η `calculate_hist_of_img` και την string τιμή `mode`. Έξοδο της συνάρτησης αποτελεί ο πίνακας που επιστρέφει η `perform_hist_modification`.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

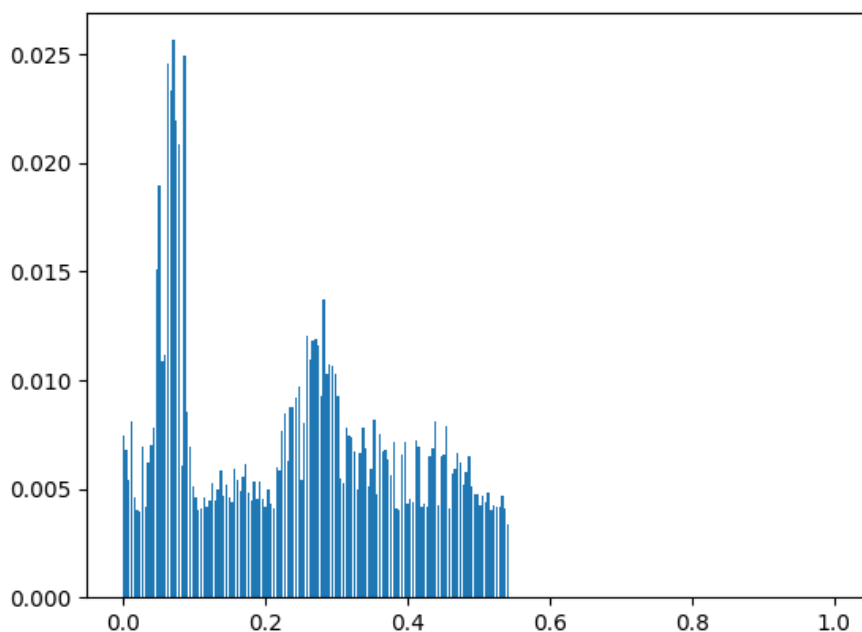
Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται οι εικόνες εισόδου (σε ασπρόμαυρη μορφή), αναφοράς καθώς και οι εικόνες που προκύπτουν με βάση τα ζητούμενα της εργασίας, μαζί με τα ιστογράμματα τους. Σε κάθε ιστογράμμο, ο άξονας x αφορά την τιμή της στάθμης και ο άξονας y αφορά την σχετική συχνότητα εμφάνισης της στάθμης.

Εξισορρόπηση ιστογράμματος

Εικόνα εισόδου:



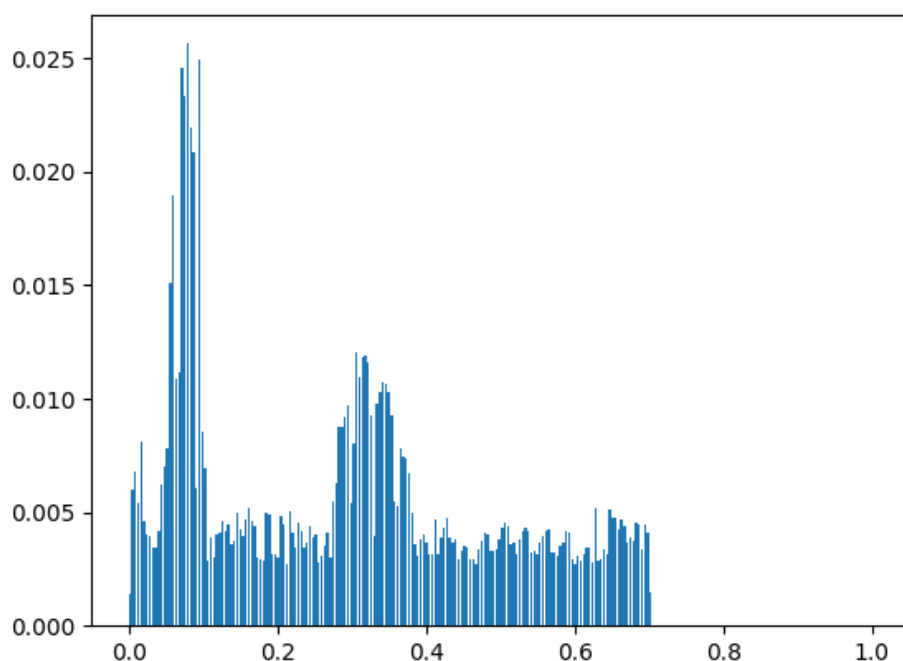
Μέθοδος Greedy:



Συγκριτικά με το ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου, το ιστόγραμμα της εικόνας που προκύπτει μετά την εξισορρόπηση με την μέθοδο greedy παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιογένεια όσον αφορά την συχνότητα εμφάνισης της κάθε στάθμης. Ωστόσο, κανένα εικονοστοιχείο της τελικής εξισορροπημένης εικόνας δεν εμφανίζει τιμή φωτεινότητας μεγαλύτερη από την στάθμη 0.54 περίπου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προσέγγιση αυτή ξεκινά να αντιστοιχίζει στάθμες φωτεινότητας από τις μικρότερες προς τις μεγαλύτερες σε τιμή, με στόχο την επίτευξη σχετικής συχνότητας εμφάνισης με τιμή πλήθος στάθμεων προς πλήθος εικονοστοιχείων. Ωστόσο, με την μέθοδο greedy, συχνά η συχνότητα εμφάνισης μίας στάθμης στην τελική εικόνα υπερβαίνει σημαντικά την επιθυμητή συχνότητα εμφάνισης, με συνέπεια να μην υπάρχουν διαθέσιμα δείγματα για να αντιστοιχηθούν στις μεγαλύτερες, σε τιμή, στάθμες φωτεινότητας. Επομένως, η τελική εικόνα αναμένεται να είναι σκοτεινότερη σε σχέση με την εικόνα εισόδου.

Συγκρίνοντας τις δύο εικόνες, το παραπάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται. Η εικόνα που προκύπτει μετά την εξισορρόπηση είναι σημαντικά λιγότερο φωτεινή. Παράλληλα, εντοπίζεται μικρότερη διακύμανση στην φωτεινότητα της, σε σχέση με αυτήν της εικόνας εισόδου, φαινόμενο που αποτελεί λογικό αποτέλεσμα της εξισορρόπησης ιστογράμματος. Η μείωση στη συνολική φωτεινότητα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια λεπτομερειών, ιδίως σε περιοχές με πλούσια υφή, όπως το τρίχωμα της γάτας, όπου οι διαφορές στη φωτεινότητα γίνονται λιγότερο διακριτές.

Μέθοδος Non-greedy:

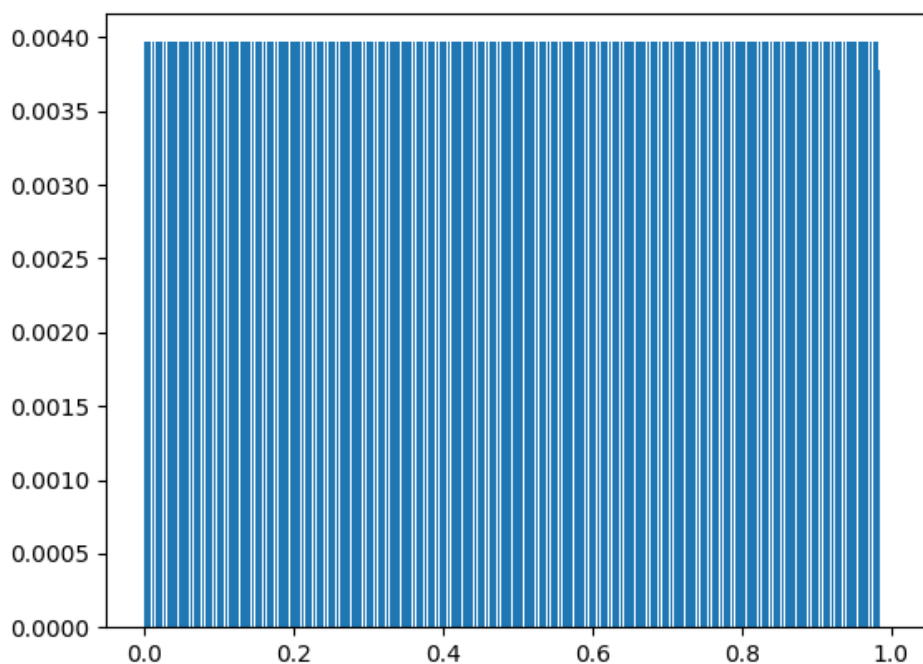


Παρόμοια αποτελέσματα σημειώνονται στην περίπτωση της εξισορρόπησης ιστογράμματος με την μέθοδο non-greedy. Οι τιμές συχνότητας εμφάνισης των στάθμεων της τελικής εικόνας παρουσιάζουν

μεγαλύτερη ομοιογένεια σε σχέση με τις αντίστοιχες της εικόνας εισόδου. Ακόμη, η τελική εικόνα είναι σκοτεινότερη από την εικόνα εισόδου, γεγονός που συμφωνεί με την μορφή του ιστογράμματος στο οποίο οι στάθμες φωτεινότητας πέρα από την τιμή 0.7 περίπου έχουν μηδενική συχνότητα εμφάνισης.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι με τις δύο παραπάνω μεθόδους, μεγάλο πλήθος από τις μεγαλύτερες σε τιμή στάθμες φωτεινότητας δεν εμφανίζονται καθόλου στην τελική εικόνα. Ωστόσο, με την μέθοδο non-greedy το φαινόμενο αυτό είναι λιγότερο έντονο, καθώς μέγιστη τιμή φωτεινότητας με την μέθοδο αυτή αποτελεί η στάθμη 0.7 που είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μέγιστη τιμή με την μέθοδο greedy που αποτελεί η στάθμη 0.54.

Μέθοδος Post-disturbance:



Με την μέθοδο post-disturbance, όπως είναι εμφανές από το ιστόγραμμα της τελικής εικόνας, επιτυγχάνεται τέλεια εξισορρόπηση ιστογράμματος. Όλες οι στάθμες φωτεινότητας έχουν την ίδια συχνότητα εμφάνισης. Το αποτέλεσμα αυτό ευθύνεται στο γεγονός ότι η προσθήκη τυχαίου θορύβου στην τιμή φωτεινότητας κάθε εικονοστοιχείου οδηγεί στην τελική ύπαρξη διαφορετικών στάθμεων φωτεινότητας ίσων σε πλήθος με τον αριθμό των ίδιων των εικονοστοιχείων (δηλαδή κάθε εικονοστοιχείο έχει την δική του στάθμη φωτεινότητας, λόγω της τυχαιότητας του θορύβου).

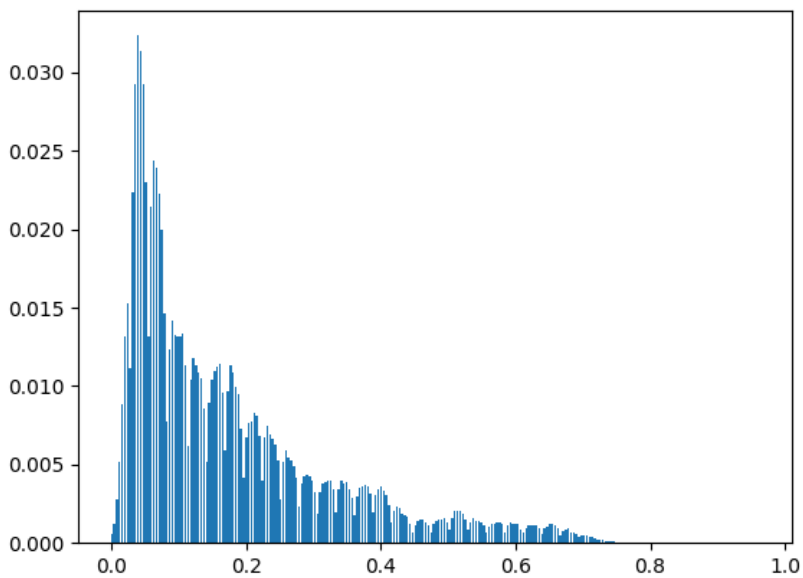
Η ίση συχνότητα εμφάνισης όλων των στάθμεων φωτεινότητας, σε συνδυασμό με την παρατήρηση ότι στο ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου η συχνότητα εμφάνισης μεγάλων, σε τιμή, σταθμών φωτεινότητας είναι μικρή, εξηγούν την αισθητά φωτεινότερη τελική εικόνα σε σύγκριση με την εικόνα εισόδου.

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί η έλλειψη ομαλότητας σε περιοχές της τελικής εικόνας που, στην αρχική εικόνα, εμφάνιζαν ομοιογενή φωτεινότητα, όπως είναι ο τοίχος πίσω από την γάτα. Στην εικόνα εισόδου, τα εικονοστοιχεία του τοίχου είχαν παρόμοια τιμή, με αποτέλεσμα μια ομαλή εμφάνιση. Μετά την εξισορρόπηση, όμως, αυτά τα σημεία κατανέμονται σε διαφορετικές φωτεινότητες ώστε να επιτευχθεί ισοκατανομή, γεγονός που "σπάει τη συνέχεια" και δημιουργεί ένα λιγότερο ομοιόμορφο αποτέλεσμα.

Παρά την αποτελεσματικότητα της μεθόδου, υστερεί όσον αφορά την ταχύτητα ολοκλήρωσης της καθώς είναι αρκετά πιο αργή σε σύγκριση με τις μεθόδους greedy και non-greedy.

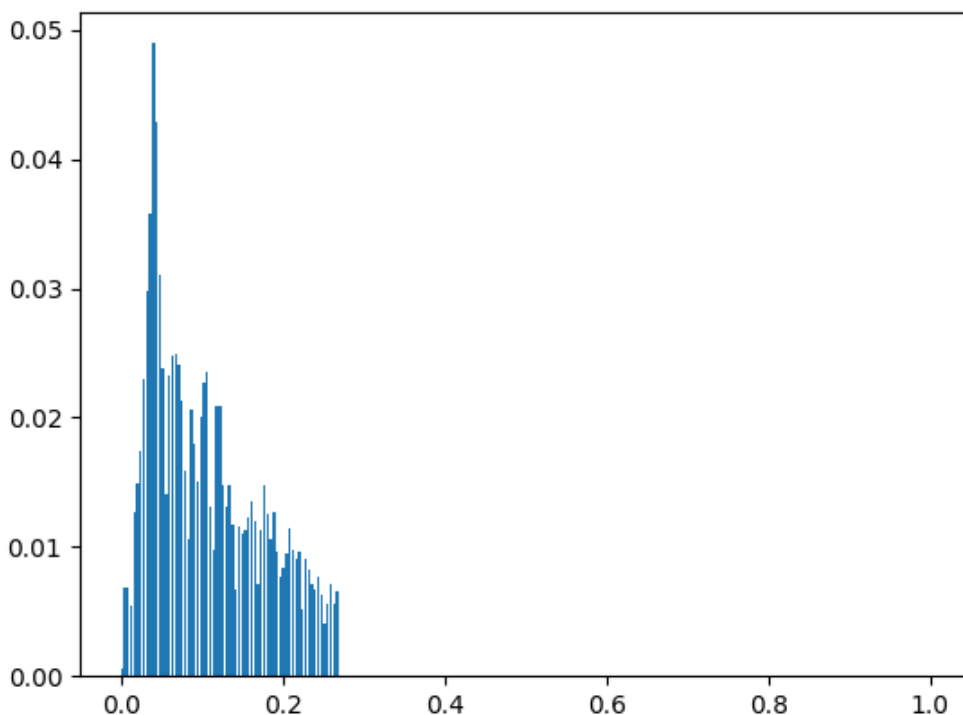
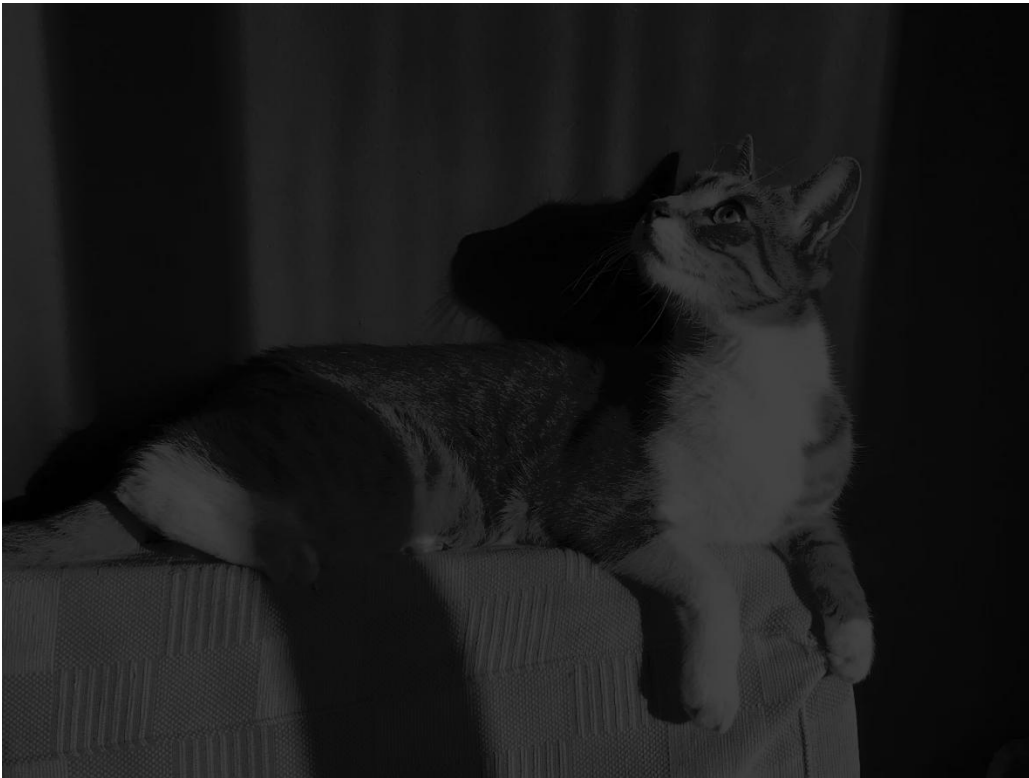
Αντιστοίχιση ιστογράμματος

Εικόνα αναφοράς:



Στόχο της αντιστοίχισης ιστογράμματος αποτελεί ο μετασχηματισμός του ιστογράμματος της εικόνας εισόδου, ώστε να προσεγγίζει με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια το ιστόγραμμα της εικόνας αναφοράς. Για την επίτευξη της, χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι greedy, non-greedy και post-disturbance. Παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα της κάθε μεθόδου.

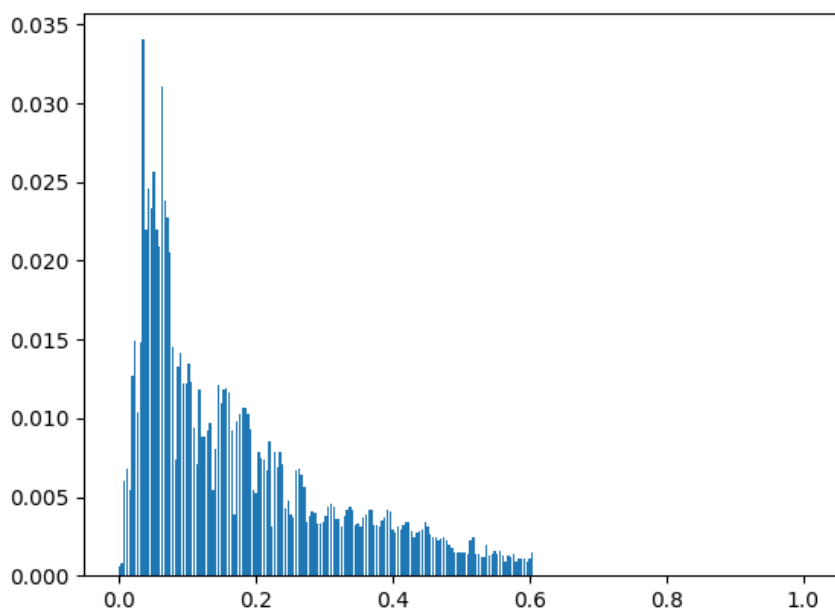
Μέθοδος Greedy:



Συγκρίνοντας το ιστόγραμμα της τελικής εικόνας με τα αντίστοιχα ιστογράμματα της εικόνας εισόδου και της εικόνας αναφοράς, είναι εμφανές ότι η μορφή του έχει μετασχηματιστεί σημαντικά. Εμφανίζει ομοιότητα με το ιστόγραμμα της εικόνας αναφοράς, έχοντας διαφοροποιηθεί σημαντικά από το ιστόγραμμα της εικόνας εισόδου. Ωστόσο, με την μέθοδο greedy παρατηρείται, όπως και στην περίπτωση της εξισορρόπησης ιστογράμματος, το φαινόμενο της μηδενικής συχνότητας εμφάνισης των μεγάλων, σε τιμή, στάθμεων φωτεινότητας. Η μεγαλύτερη στάθμη φωτεινότητας που εμφανίζεται στην τελική εικόνα έχει τιμή 0.27 περίπου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι παρατηρείται σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στις χαμηλές στάθμες φωτεινότητας του ιστογράμματος της τελικής εικόνας σε σχέση με την εικόνα εισόδου αλλά και την εικόνα αναφοράς. Ως αποτέλεσμα, με την μέθοδο greedy, η τελική εικόνα είναι σκοτεινότερη και από τις δύο.

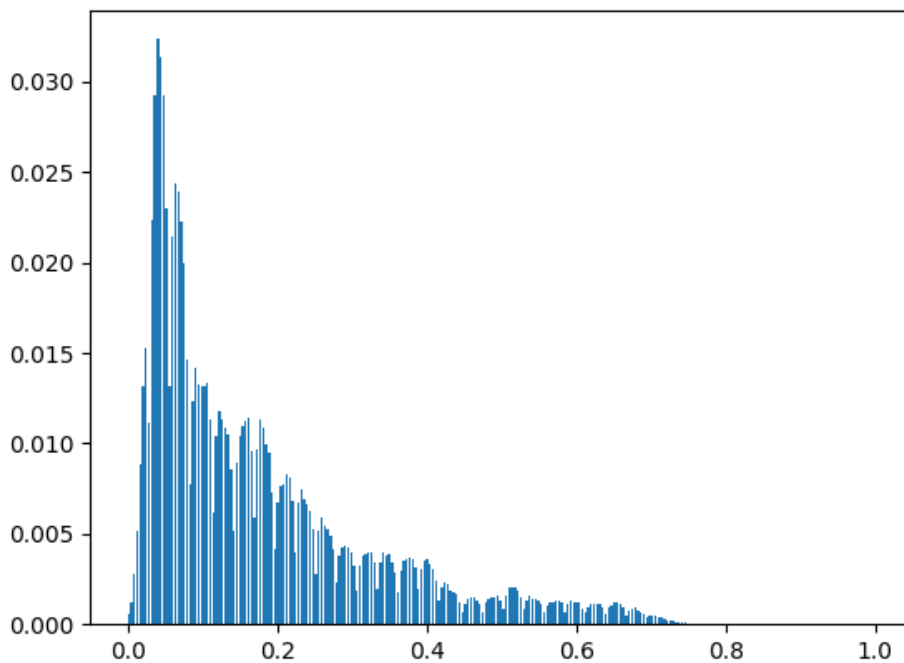
Μέθοδος Non-greedy:



Ανάλογα με την μέθοδο greedy, η μέθοδος non-greedy έχει ως αποτέλεσμα το ιστόγραμμα της τελικής εικόνας να προσεγγίζει το ιστόγραμμα της εικόνας αναφοράς. Το φαινόμενο της μηδενικής συχνότητας εμφάνισης στις υψηλές στάθμες φωτεινότητας είναι λιγότερο έντονο σε σχέση με την μέθοδο greedy, καθώς αποφεύγεται σε πολλές περιπτώσεις το ενδεχόμενο η συχνότητα εμφάνισης μίας στάθμης στην τελική εικόνα να υπερβεί σημαντικά την συχνότητα εμφάνισης της αντίστοιχης στάθμης στην εικόνα αναφοράς. Η μεγαλύτερη στάθμη φωτεινότητας που εμφανίζεται στην τελική εικόνα έχει τιμή 0.6

περίπου. Παρά ταύτα, η τελική εικόνα εξακολουθεί να εμφανίζεται αρκετά πιο σκοτεινή από την εικόνα εισόδου.

Μέθοδος Post-disturbance:



Όπως είναι εμφανές, το ιστόγραμμα της τελικής εικόνας που προκύπτει με την μέθοδο post-disturbance αποτελεί ακριβή αντιγραφή του ιστογράμματος της εικόνας αναφοράς. Συγκρίνοντας την τελική εικόνα με την εικόνα αναφοράς, είναι εμφανές ότι παρουσιάζουν τα ίδια χρώματα. Ως συνέπεια, η τελική εικόνα είναι σημαντικά σκοτεινότερη από την εικόνα εισόδου.

Συμπερασματικά, όπως και για την εξισορρόπηση ιστογράμματος, η μέθοδος post disturbance αποτελεί την αποτελεσματικότερη επιλογή για την επίτευξη απόλυτης αντιστοίχισης ιστογράμματος, με μοναδικό μειονέκτημα την ανάγκη περισσότερου χρόνου για την ολοκλήρωση του κώδικα συγκριτικά με τις υπόλοιπες δύο μεθόδους.