



Επεξεργασία Εικόνας και Βίντεο

5^η Εργαστηριακή Άσκηση

Ιστόγραμμα και Κατωφλίωση Ιστογράμματος

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή στην ιστοστάθμιση ιστογράμματος και την κατωφλίωση ιστογράμματος
2. Ασκήσεις
3. Λύσεις Ασκήσεων

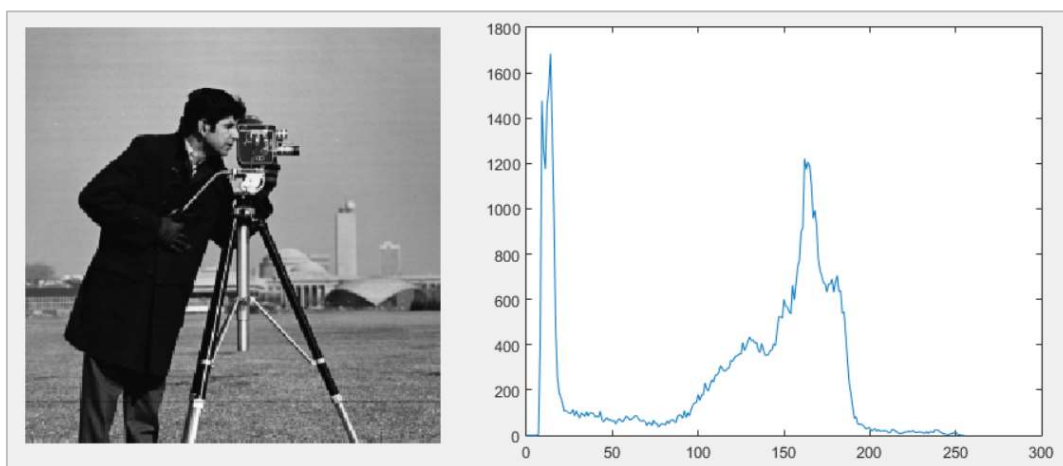
Νικόλαος Γιαννακέας



1. Εισαγωγή

Το ιστόγραμμα μιας εικόνας, αποτελεί μια λίστα (διάνυσμα) που περιέχει ένα δείγμα για κάθε επίπεδο κβαντισμού. Κάθε δείγμα περιέχει έναν αριθμό εικονοστοιχείων, των οποίων η τιμή του γκρι αντιστοιχεί σε ένα δείκτη του δείγματος αυτού.

Ο υπολογισμός του ιστογράμματος μπορεί να επιτευχθεί εύκολα για δεδομένα οποιασδήποτε διάστασης. Πρώτα, γίνεται αρχικοποίηση ολόκληρου του διανυσματικού ιστογράμματος στο σημείο μηδέν και η διαδικασία ξεκινά σαρώνοντας διαδοχικά κάθε εικονοστοιχείο. Ακολουθώντας, μια τιμή του γκρι αντιστοιχεί σε ένα δείκτη του διανύσματος και αυξάνει στο αντίστοιχο στοιχείο της λίστας κατά μία θέση.



Σχήμα 1: Παράδειγμα Ιστογράμματος

Επεξεργάζοντας την εικόνα με βάση το ιστόγραμμα μπορούμε αφενός να βελτιώσουμε την εικόνα, αφετέρου να κατατμήσουμε την εικόνα σε περιοχές οι οποίες περιέχουν εικονοστοιχεία με παρόμοια χαρακτηριστικά.

1.1 Βελτίωση της εικόνας με βάση το Ιστόγραμμα

Η πιο βασική μέθοδος για την βελτίωση με βάση το ιστόγραμμα ονομάζεται ισοστάθμιση ιστογράμματος (histogram equalization). Η ισοστάθμιση ιστογράμματος είναι και αυτή ένας μετασχηματισμός πάνω στις φωτεινότητες της εικόνας. Η μέθοδος αυτή έχει αποτέλεσμα στις περιπτώσεις των εικόνων που παρουσιάζουν χαμηλή αντίθεση. Δηλαδή στις εικόνες όπου το ιστόγραμμα τους είναι συγκεντρωμένου σε ένα περιορισμένο εύρος φωτεινότητων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ισοστάθμιση ιστογράμματος επιτυγχάνει να «απλώσει» τις φωτεινότητες σε όλα τα διαθέσιμα επίπεδα του γκρι (π.χ. σε μια 8-bit εικόνα σε 256 φωτεινότητες). Η μέθοδος αξιοποιεί το μαθηματικό υπόβαθρο των πιθανοτήτων και των κατανομών, με σκοπό να εξασφαλίσει δύο βασικές προϋποθέσεις του μετασχηματισμού.

- 1) Να είναι ένας μετασχηματισμός γνησίως αύξων, ώστε να μην υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα της αρχικής εικόνας, τα οποία να αντιστοιχίζονται με ένα μόνο επίπεδο στην μετασχηματισμένη.
- 2) Οι νέες φωτεινότητες που θα προκύψουν για την μετασχηματισμένη εικόνα να ξεπερνούν τα όρια των διαθέσιμων επιπέδων του γκρι.



1.2 Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

Η κατωφλίωση ιστογράμματος είναι μια σημαντική τεχνική κατάτμησης της εικόνας, με τους περισσότερους ερευνητές να επικεντρώνουν ιδιαίτερα την προσοχή τους σε μεθόδους με λογικά βήματα επιλογής των ορίων κατωφλίου. Λόγω του γεγονότος ότι τα επίπεδα του γκρι χαρακτηρίζουν την φύση των αντικειμένων σε μια εικόνα, πολλές μέθοδοι κατωφλίωσης εξάγουν αντικείμενα από το φόντο τους, βάσει των στατιστικών του μονοδιάστατου και του δισδιάστατου ιστογράμματος. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται σε μεθόδους οι οποίες επιχειρούν την αυτόματη εύρεση κατωφλίου των επιπέδων του γκρι από το ιστόγραμμα της εικόνας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των τεχνικών είναι η μέθοδος του Otsu.

Η μέθοδος του N. Otsu αποτελεί μία από τις πιο επιτυχημένες τεχνικές στην κατωφλίωση εικόνας. Είναι ένας εξαντλητικός αλγόριθμος αναζήτησης του καθολικού βέλτιστου ορίου, μεγιστοποιώντας τη διακύμανση μεταξύ των διάφορων επιπέδων - κλάσεων. Για παράδειγμα, σε ένα όριο κατωφλίου δύο επιπέδων, το εικονοστοιχείο, του οποίου το επίπεδο του γκρι είναι μικρότερο από το όριο αυτό θα εκχωρηθεί στο φόντο, διαφορετικά στο προσκήνιο. Αν υποθέτουμε ότι τα εικονοστοιχεία μιας εικόνας αναπαρίστανται σε L επίπεδα του γκρι με $[0, 1, \dots, L-1]$. Ο αριθμός των εικονοστοιχείων σε ένα επίπεδο i υποδηλώνεται από το n_i και ο συνολικός τους αριθμός συμβολίζεται με $(N = n_1 + n_2 + \dots + n_L)$. Προκειμένου να απλοποιηθεί η εξής διατύπωση, η πιθανότητα i ενός επιπέδου του γκρι υποδηλώνεται από το:

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad \text{Εξ.(1)}$$

Ακολουθώντας τα εικονοστοιχεία διχοτομούνται σε δύο κλάσεις C_1 και C_2 (φόντο και αντικείμενα). Η C_1 περιλαμβάνει εικονοστοιχεία με επίπεδα $[0, 1, \dots, t]$, ενώ η C_2 με επίπεδα $[t + 1, \dots, L-1]$ και με όριο κατωφλίου t .

Στη συνέχεια, η κατανομή πιθανότητας του επιπέδου του γκρι για τις δύο κλάσεις, δίνεται από το:

$$w_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=0}^t p_i \quad \text{και} \quad w_2 = \Pr(C_2) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i \quad \text{Εξ.(2)}$$

όπου τα μέσα των κλάσεων C_1 και C_2 ισούνται με:

$$u_1 = \sum_{i=0}^t i p_i / w_1 \quad \text{και} \quad u_2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / w_2 \quad \text{Εξ.(3)}$$

και ο συνολικός μέσος όρος των επιπέδων του γκρι με:

$$u_T = w_1 u_1 + w_2 u_2 \quad \text{Εξ.(4)}$$

Οι διακυμάνσεις στις κλάσεις εκφράζονται ως:

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t (i - u_1)^2 p_i / w_1 \quad \text{και} \quad \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - u_2)^2 p_i / w_2 \quad \text{Εξ.(5)}$$

όπου η διακύμανση εντός της κάθε κλάσης είναι ίση με:



$$\sigma_w^2 = \sum_{k=1}^M w_k \sigma_k^2 \quad \text{Εξ.(6)}$$

Έτσι η διακύμανση μεταξύ αυτών των κλάσεων θα προκύψει από το:

$$\sigma_B^2 = w_1(u_1 - u_T)^2 + w_2(u_2 - u_T)^2 \quad \text{Εξ.(7)}$$

και η συνολική διακύμανση των επιπέδων του γκρι θα υπολογιστεί με:

$$\sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_B^2 \quad \text{Εξ.(8)}$$

Ως αποτέλεσμα, η μέθοδος *Otsu* επιλέγει το βέλτιστο όριο κατωφλίου t , μεγιστοποιώντας τη διακύμανση μεταξύ των κλάσεων, η οποία είναι ισοδύναμη με την ελαχιστοποίηση της διακύμανσης εντός της κάθε κλάσης. Παράλληλα με το ίδιο όριο, η συνολική διακύμανση (το άθροισμα της διακύμανσης εντός της κάθε κλάσης και της διακύμανσης μεταξύ των κλάσεων) καθίσταται σταθερή για τις διάφορες διχοτομήσεις των τμημάτων μιας εικόνας.



2. Πειραματική Διαδικασία

Άσκηση 1

Εισάγεται στο workspace της MATLAB την εικόνα «lenna2.png» (κρατήστε μόνο το πρώτο κανάλι) και εντοπίστε την αλλοίωση που έχει υποστεί. Υπολογίστε το ιστόγραμμα και υλοποιήστε την μέθοδο ισοστάθμισης ιστογράμματος:

- 1) υπολογίστε το συσσωρευτικό ιστόγραμμα
- 2) υπολογίστε το κανονικοποιημένο ιστόγραμμα διαιρώντας με των συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων της εικόνας
- 3) Πολλαπλασιάστε με τον αριθμό των επιπέδων του γκρι
- 4) Αντικαταστήστε σε όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας την νέα φωτεινότητα

Εμφανίστε την αρχική εικόνα και στην συνέχεια την μετασχηματισμένη εικόνα. Επαληθεύστε με τις έτοιμες λειτουργίες (functions) της MATLAB, για το ιστόγραμμα (`imhist()`), και την κατωφλίωση ιστογράμματος (`histeq()`)

Άσκηση 2

Δημιουργείστε ένα νέο script, το οποίο να εισάγει την εικόνα του ‘cameraman’ από τον φάκελο datasets στο workspace του λογισμικού MATLAB και να υπολογίζει και να εμφανίζει το Ιστόγραμμα της εικόνας. Παρατηρείστε το Ιστόγραμμα και αποφασίστε μόνοι σας μια τιμή ως κατώφλι (threshold) στις τιμές των επιπέδων του γκρι. Κρατήστε μόνο τις τιμές της εικόνας οι οποίες είναι πάνω από την τιμή κατωφλίου που αποφασίσατε και δημιουργήστε μια δυαδική (Binary) εικόνα με λευκά εικονοστοιχεία στο φόντο και μαύρα στον cameraman.

Υπόδειξη: i) Για να αποφασίσετε την τιμή κατωφλίου βρείτε το **τοπικό ελάχιστο** του ιστογράμματος μεταξύ των δύο κορυφών χαμηλής και υψηλής φωτεινότητας.

ii) Για την εξαγωγή του ιστογράμματος χρησιμοποιήστε την εντολή ***imhist()***, ενώ για τον x-άξονα του ιστογράμματος δημιουργήστε ένα διάνυσμα $x = [0, 1, 2, \dots, 255]$

iii) Για την εμφάνιση του ιστογράμματος χρησιμοποιήστε την εντολή ***plot(x, histogram)***.

iv) Για κρατήσετε μόνο τα εικονοστοιχεία πάνω από μια τιμή $I_bin = (I > threshold)$

Άσκηση 3

Δημιουργείστε ένα νέο script το οποίο να εισάγει ξανά την εικόνα του ‘cameraman’ από τον φάκελο datasets στο workspace του λογισμικού MATLAB και να εκτελεί την μέθοδο του Otsu με την εντολή `graythresh`. Δείτε το κατώφλι το οποίο υπολόγισε η μέθοδος στο Workspace. Μετατρέψτε την εικόνα σε δυαδική με βάση το κατώφλι αυτό με την εντολή `im2bw`, και εμφανίστε την δυαδική εικόνα.



3. Λύσεις Ασκήσεων

ΑΣΚΗΣΗ 1

```
clc, clear, close all

I = imread('lenna2.png');
I = I(:,:,1);
horizontia_diastash = size(I,2);
katakoryfh_diastash = size(I,1);

I_equal = zeros(size(I,1),size(1,2)); % Ορίζω την νέα εικόνα με μηδενικά
histogram = zeros(size(1,256));
for level = 0:255
    I_level = (I == level); % Παραγει μια δυαδικη εικόνα με άσσος στα pixels που
    % είναι ίσα με level
    histogram(level+1) = sum(sum(I_level)); % Αθροίζει όλους του άσσους
end

% Cumulative density function
for level = 0:255
    cum_hist(level+1) = sum(histogram(1:(level+1))); % Σωρευτικό άθροισμα από την αρχή
    % του histogram έως το τρέχον level
    norm_cum_hist(level+1) =
    floor(cum_hist(level+1)/(horizontia_diastash*katakoryfh_diastash)*255);
end

for i = 1:size(I,1)
    for j = 1:size(I,2)
        I_equal(i,j) = norm_cum_hist(I(i,j)+1); % Αντικαθιστώ την παλια φωτεινότητα
        % με την νέα
    end
end

figure, imshow(I)
figure, imshow(uint8(I_equal))

% ΕΠΑΛΗΘΕΥΩ με function τις MATLAB
hist = imhist(I,256); % Υλοποιήsh MATLAB για ιστόγραμμα
J = histeq(I,256);
figure, imshow(J)
```

ΑΣΚΗΣΗ 2

```
% Ιστογράμματα Εικόνων - Μέθοδοι κατωφλίωσης
clc, clear, close all

cd('datasets'); % Μπαίνω στον φάκελο που υπάρχουν οι εικόνες

I = imread('cameraman.tif'); % Εισάγει την εικόνα στο Workspace

hist = imhist(I,256); %Εξάγει σε διάνισμα το Ιστόγραμμα της εικόνας
```



```
% Οπτικοποίηση Ιστογράμματος
x = 0:1:255; % φτιάχνω ένα διάνυσμα με τις τιμές των επιπέδων του γκρι
figure, plot(x,hist); % Κάνω Plot το ιστόγραμμα: Στον άξονα x τα επίπεδα
                        % του Γκρι, στον y άξονα το πλήθος των
                        % εικονοστοιχείων που αυτή την φωτεινότητα

% Παρατηρώ το ιστόγραμμα και ορίσω το κατώφλι (Treshold) το οποίο
% διαχωρίζει τα "σκοτεινά" από τα "φωτεινά" εικονοστοιχεία. Είναι το τοπικό
% ελάχιστο ανάμεσα στις 2 κορυφές.

threshold = 50;

I_segmented = (I > 50); %los Tropos

figure, imshow(I)
figure, imshow(I_segmented)

%BW = im2bw(I,threshold) % 2os Tropos

cd('..')
```

ΑΣΚΗΣΗ 3

```
% Κατωφλίωση Ιστογράμματος με χρήση της μεθόδου του Otsu
clc, clear, close all

cd('datasets'); % Μπαίνω στον φάκελο που υπάρχουν οι εικόνες

I = imread('cameraman.tif'); % Εισάγει την εικόνα στο Workspace

level = graythresh(I); % Otsu method: Αυτόματη εξαγωγή κατωφλιού
BW = im2bw(I,level);   % Μετατροπή εικόνας από επιπέδων του Γκρι σε δυαδική
                        % Binary με βάση το κατώφλι που υπολογίστηκε

imshow(BW)
```