

Επεξεργασία Εικόνας & Βίντεο

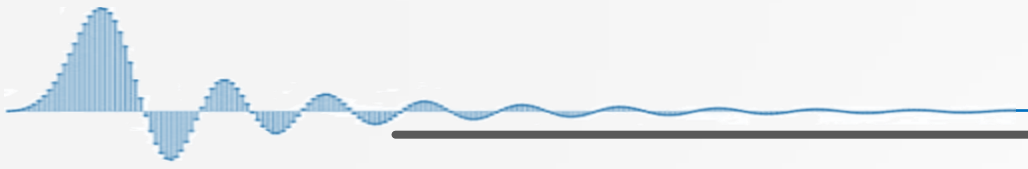


05. Ιστόγραμμα και
Κατωφλίωση Ιστογράμματος

Εισηγητής: Νικόλαος Γιαννακέας

Επίκουρος Καθηγητής, Σημάτων & Συστημάτων



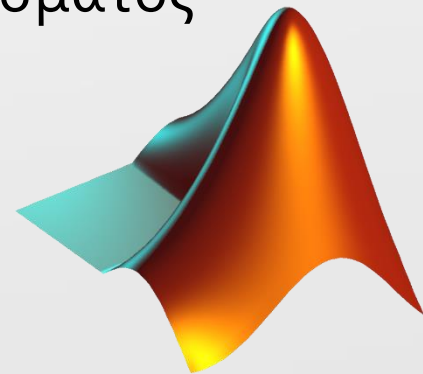


Εισαγωγή

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**.

Ακολουθώς, μια τιμή του γκρι αντιστοιχεί σε ένα δείκτη του διανύσματος και αυξάνει στο αντίστοιχο στοιχείο της λίστας κατά μία θέση.

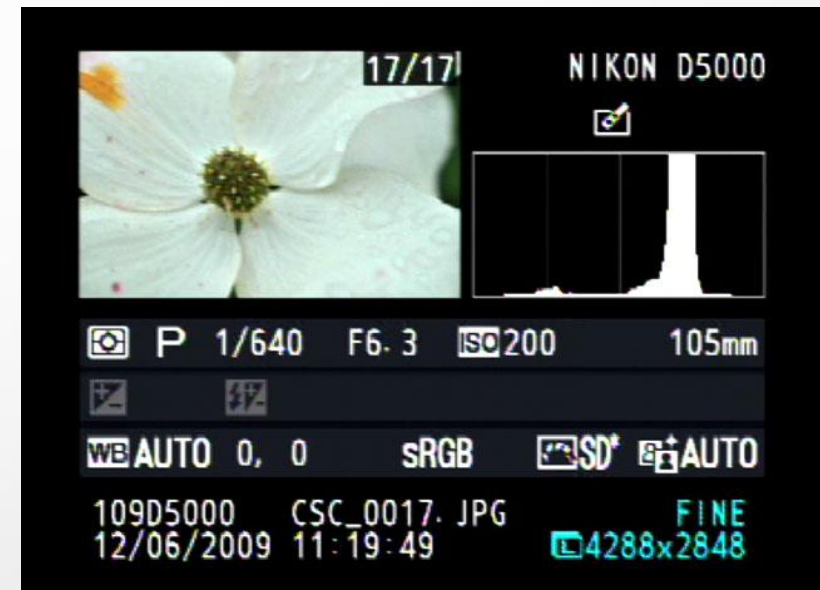


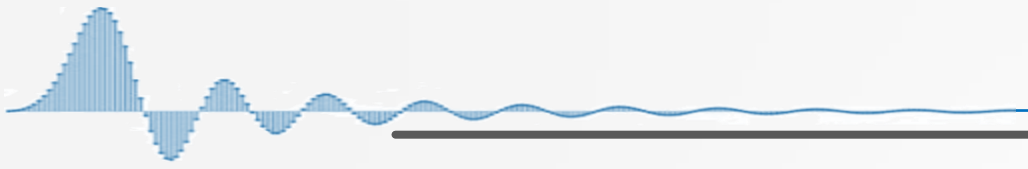


Ιστόγραμμα Εικόνας

Ορισμός

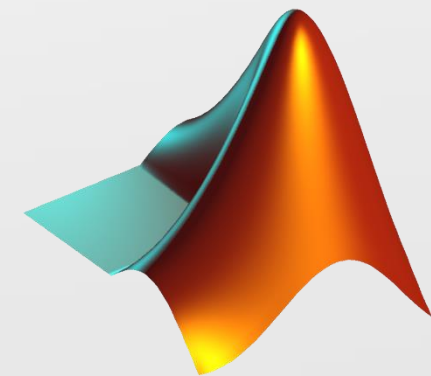
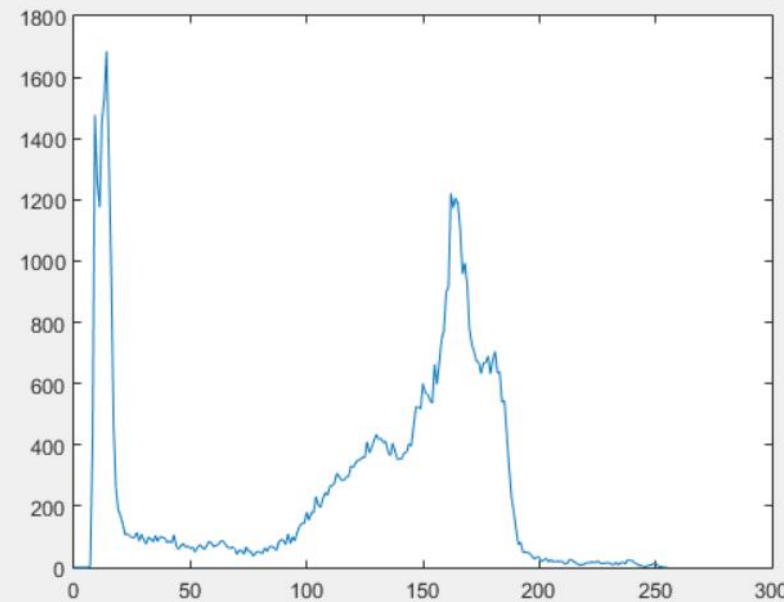
- Έστω μονοχρωματική εικόνα $f(x, y)$ με βάθος χρώματος 8 bits.
- Το ιστόγραμμα h της $f(x, y)$ είναι ένα διάνυσμα 256 στοιχείων.
- Τα στοιχεία $h(r)$ για $r = 0, 1, \dots, 255$ είναι ακέραιοι αριθμοί.
- Το $h(r)$ αναπαριστά το πλήθος των pixels της εικόνας που έχουν τιμή γκρίζου ίση με r

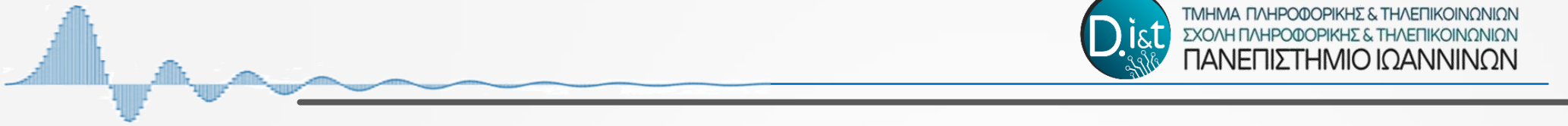




Εισαγωγή

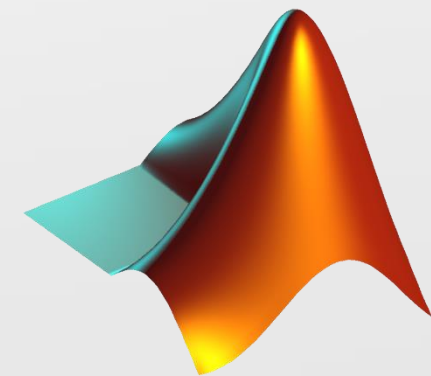
Επεξεργάζοντας την εικόνα με βάση το **ιστόγραμμα** μπορούμε αφενός να **βελτιώσουμε** την εικόνα, αφετέρου να **καταμήσουμε** την εικόνα σε περιοχές οι οποίες περιέχουν εικονοστοιχεία με **παρόμοια χαρακτηριστικά**.





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 ιστόγραμμά τους είναι συγκεντρωμένου σε ένα **περιορισμένο εύρος φωτεινοτήτων**. 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).

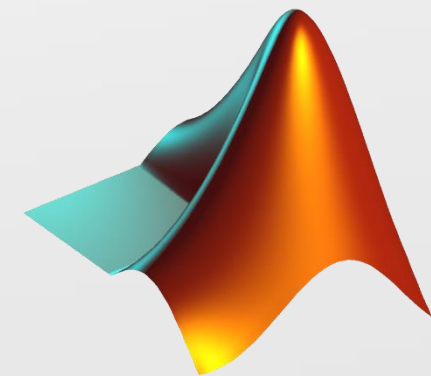




Βελτίωση της εικόνας με βάση το Ιστόγραμμα

Η μέθοδος αξιοποιεί το μαθηματικό υπόβαθρο των πιθανοτήτων και των κατανομών, με σκοπό να εξασφαλίσει δύο βασικές προϋποθέσεις του μετασχηματισμού.

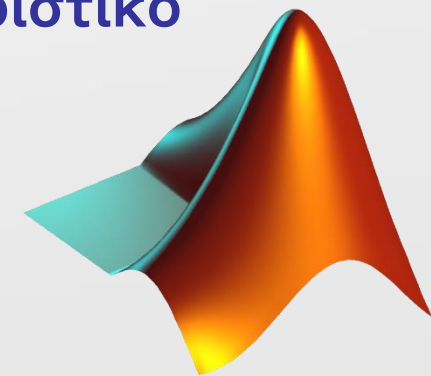
- 1) Να είναι ένας μετασχηματισμός γνησίως αύξων, ώστε να μην υπάρχουν πολλαπλά επίπεδα της αρχικής εικόνα, τα οποία να αντιστοιχίζονται με ένα μόνο επίπεδο στην μετασχηματισμένη.
- 2) Οι νέες φωτεινότητες που θα προκύψουν για την μετασχηματισμένη εικόνα να ξεπερνούν τα όρια των διαθέσιμων επιπέδων του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





Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

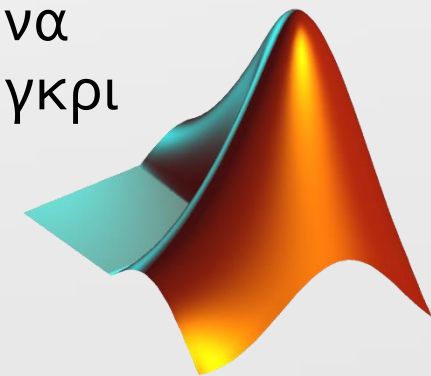
Η κατωφλίωση ιστογράμματος **είναι μια σημαντική τεχνική κατάτμησης της εικόνας**, με τους περισσότερους ερευνητές να επικεντρώνουν ιδιαίτερα την προσοχή τους σε μεθόδους με λογικά βήματα επιλογής των ορίων κατωφλίου. Λόγω του γεγονότος ότι τα επίπεδα του γκρι χαρακτηρίζουν την φύση των αντικειμένων 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 κατωφλιού των επιπέδων του γκρι από το ιστόγραμμα της εικόνας. **Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτών των τεχνικών είναι η μέθοδος του Otsu.**





Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

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:



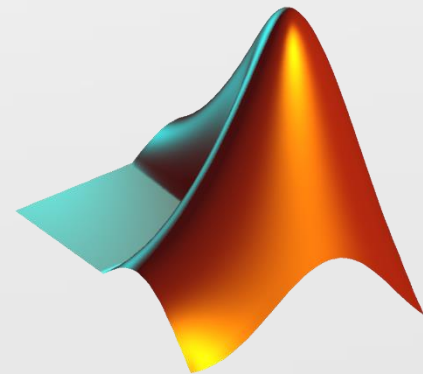


Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_0^{L-1} p_i = 1$$

Εξ.(1)

Ακολουθως 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 .





Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

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

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

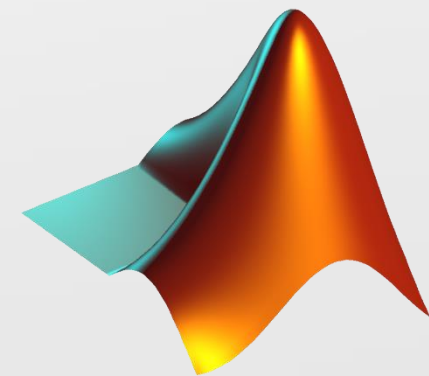
όπου τα μέσα των κλάσεων C_1 και C_2 ισούνται με:

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

και ο συνολικός μέσος όρος των επιπέδων του γκρι με:

$$u_T = w_1 u_1 + w_2 u_2$$

Εξ. (4)





Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

Οι διακυμάνσεις στις κλάσεις εκφράζονται ως:

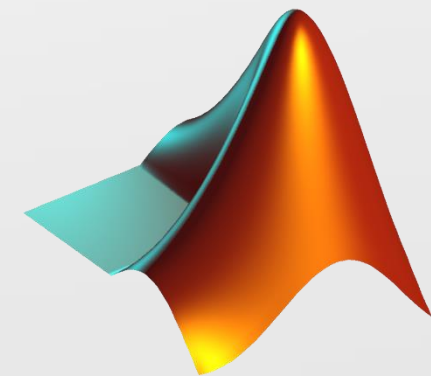
$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t (i - u_1)^2 p_i / w_1 \quad \text{και} \quad \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - u_2)^2 p_i / w_2 \quad \text{Εξ. (5)}$$

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:

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



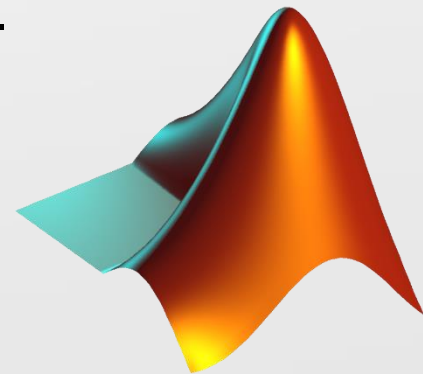
Κατωφλίωση Ιστογράμματος και Μέθοδος Otsu (Otsu method)

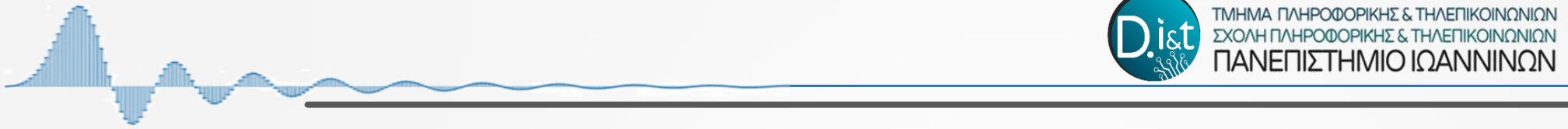
και η συνολική διακύμανση των επιπέδων του γκρι θα υπολογιστεί με:

$$\sigma_T^2 = \sigma_w^2 + \sigma_B^2$$

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.





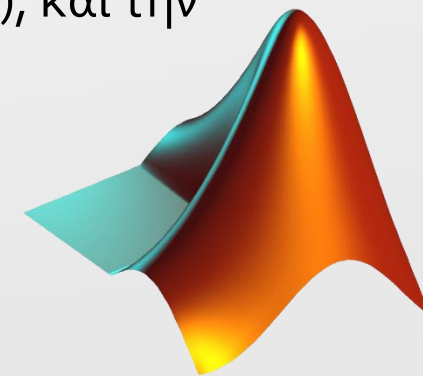
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

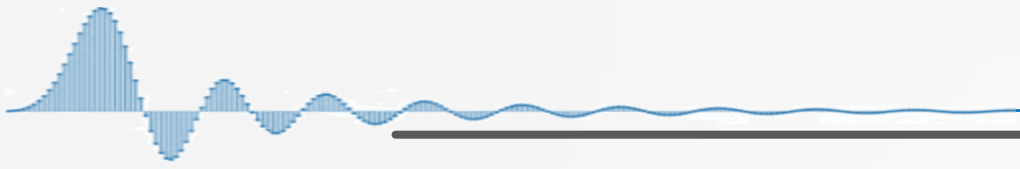
Άσκηση 1

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 τον 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 ισοστάθμιση ιστογράμματος (`histeq()`)





ΛΥΣΗ

```
I = imread('lenna2.png');
```

```
I = I(:,:,1);
```

```
horizontia_diastash = size(I,2);
```

```
katakoryfh_diastash = size(I,1);
```

```
I_equal = zeros(size(I,1),size(I,2));
```

```
histogram = zeros(size(1,256));
```

→ Διάβασμα εικόνας

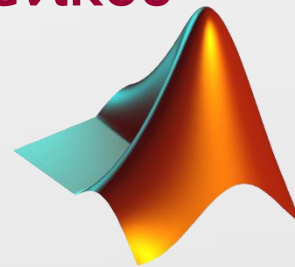
→ Μετατροπή εικόνας σε μια διάσταση

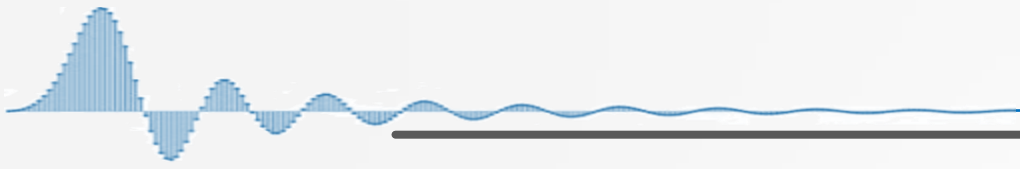
→ Μέγεθος στηλών πίνακα

→ Μέγεθος γραμμών πίνακα

→ Αρχικοποίηση μηδενικού πίνακα

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).





ΛΥΣΗ

```
for level = 0:255
```

```
    I_level = (I == level);
```

```
    histogram(level+1) =
```

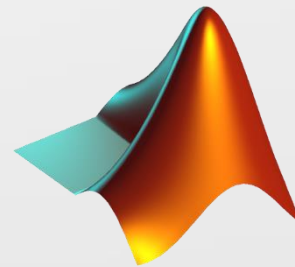
```
        sum(sum(I_level));
```

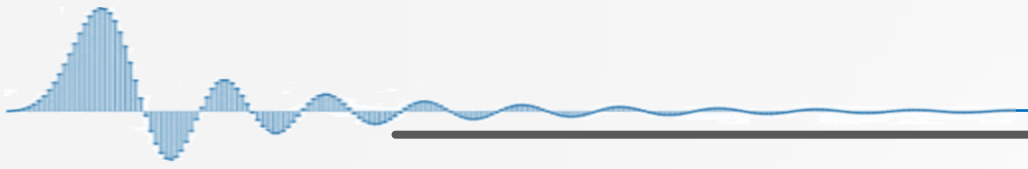
```
end
```

Επαναληπτικός βρόγχος έως 255

Παράγει μια δυαδική εικόνα με άσους στα pixels που είναι ίσα με level

Αθροίζει όλους του άσους





ΛΥΣΗ

Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας

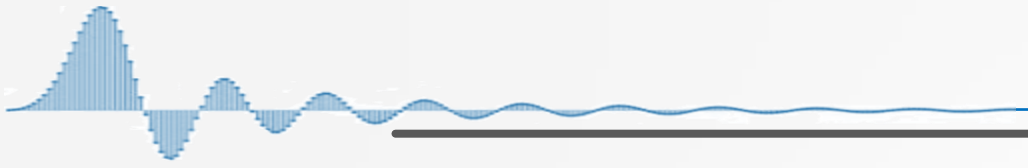
```
for level = 0:255  
    cum_hist(level+1) =  
        sum(histogram(1:(level+1)));  
    norm_cum_hist(level+1) =  
        floor(cum_hist(level+1)/(orizontia_  
            diastash*katakoryfh_diastash)*255);  
end
```

Επαναληπτικός βρόγχος έως 255

Σωρευτικό άθροισμα από την αρχή του histogram έως το τρέχον level

Παράγει μια δυαδική εικόνα με άσσους στα pixels που είναι ίσα με level

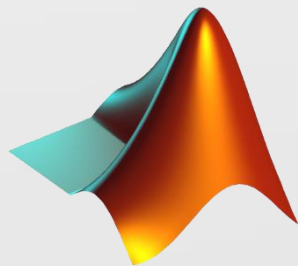
end

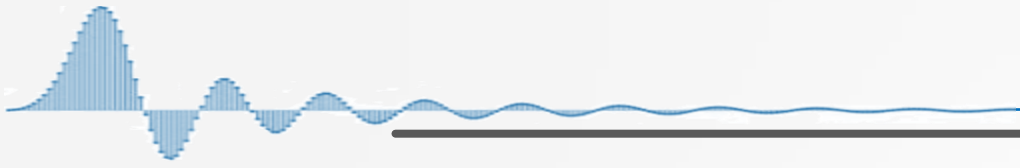


ΛΥΣΗ

```
for i = 1:size(I,1) → Πλήθος γραμμών πίνακα
    for j = 1:size(I,2) → Πλήθος στηλών πίνακα
        I_equal(i,j) = norm_cum_hist(I(i,j)+1);
    end
end
figure, imshow(I)
figure, imshow(uint8(I_equal))
```

Αντικαθιστώ την παλιά φωτεινότητα με την νέα





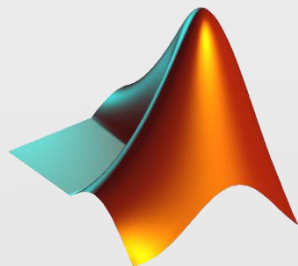
Επαλήθευση με τις συναρτήσεις της Matlab

ΛΥΣΗ

`hist = imhist(I,256);` → **Ιστόγραμμα δεδομένων εικόνας**

`J = histeq(I,256);` → **Βελτιώστε την αντίθεση χρησιμοποιώντας την εξίσωση ιστογράμματος**

`figure, imshow(J)`





```

I = imread('lenna2.png');
I = I(:,:,1);
orizontia_diastash = size(I,2);
katakoryfh_diastash = size(I,1);
I_equal = zeros(size(I,1),size(1,2));
histogram = zeros(size(1,256));
for level = 0:255
    I_level = (I == level);
    histogram(level+1) =
        sum(sum(I_level));
End

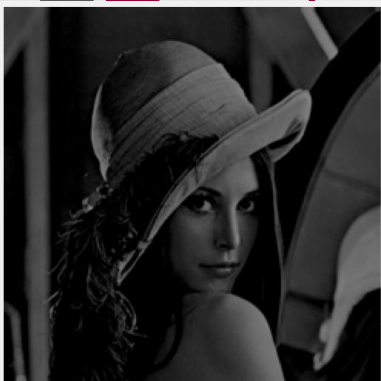
```

Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας

```

for level = 0:255
    cum_hist(level+1) =
        sum(histogram(1:(level+1)));
    norm_cum_hist(level+1) =
        floor(cum_hist(level+1)/(orizontia_
            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);
    end
end
figure, imshow(I)
figure, imshow(uint8(I_equal))

```

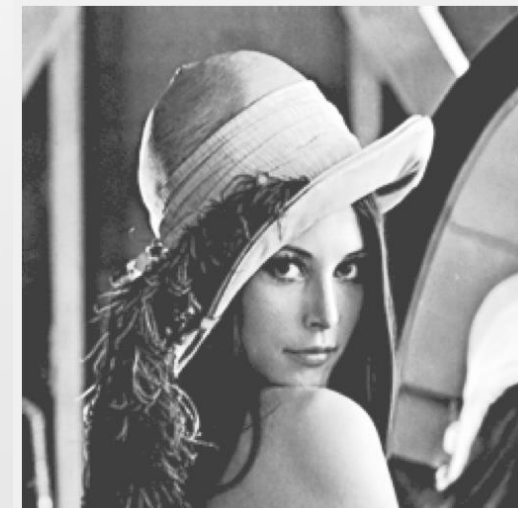
ΛΥΣΗ

Επαλήθευση με τις συναρτήσεις της Matlab

```

hist = imhist(I,256);
J = histeq(I,256);
figure, imshow(J)

```

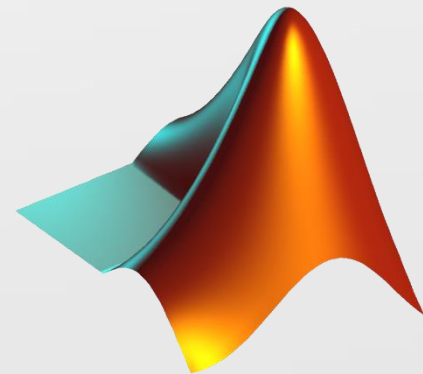


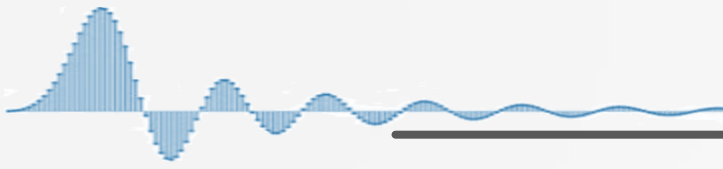


ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

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.



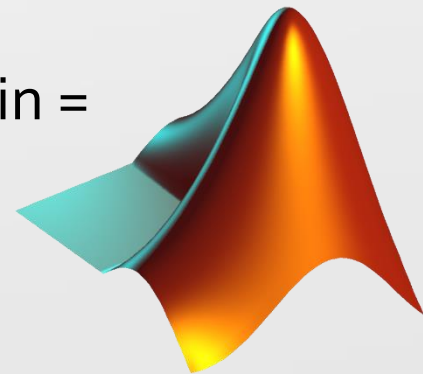


ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Άσκηση 2

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 $I_{bin} = (I > threshold)$





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).

ΛΥΣΗ

```
I = imread('cameraman.tif');
```

```
hist = imhist(I,256);
```

Οπτικοποίηση Ιστογράμματος

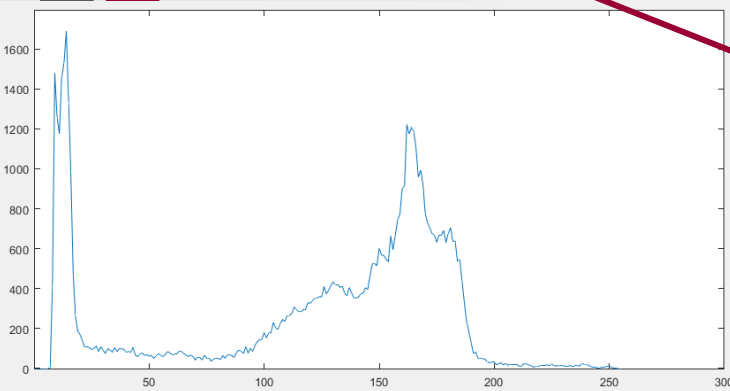
```
x = 0:1:255;
```

```
figure, plot(x,hist);
```

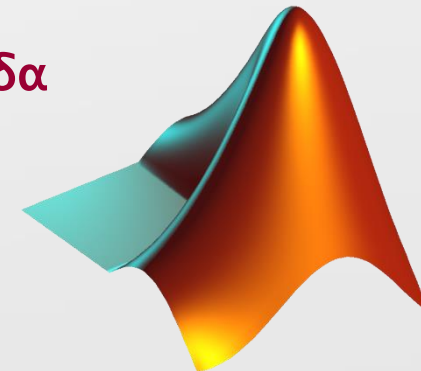
→ Διάβασμα εικόνας

→ Εξάγει σε διάνυσμα το Ιστόγραμμα της εικόνας

→ Φτιάχνω ένα διάνυσμα με τις τιμές των επιπέδων του γκρι



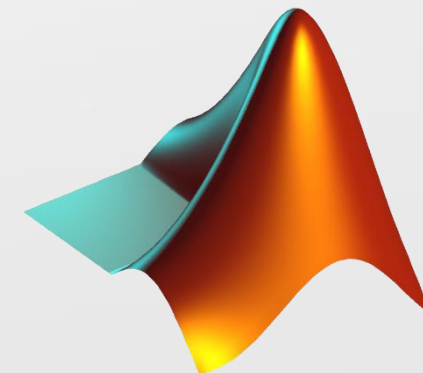
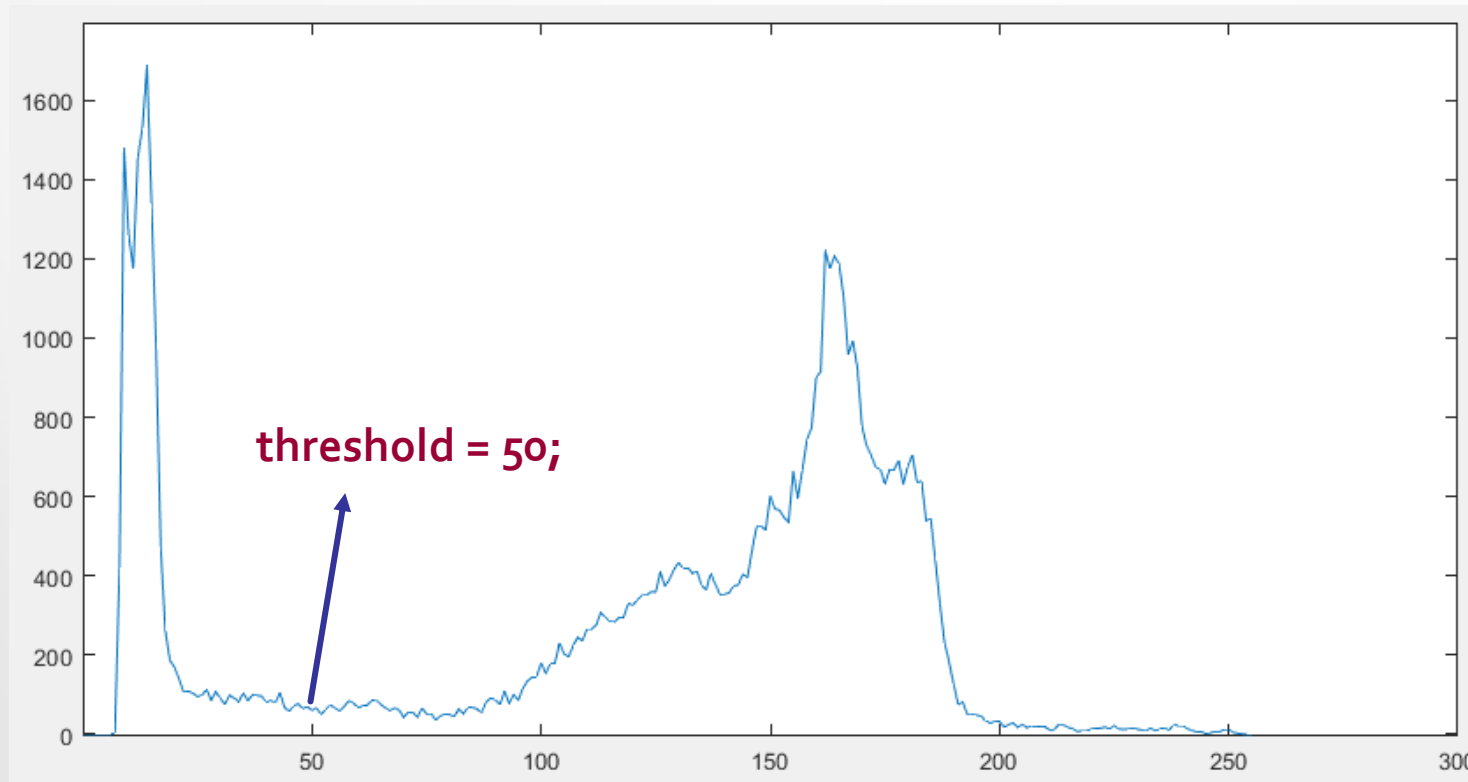
→ Κάνω Plot το ιστογράμματος: Στον άξονα x τα επίπεδα του Γκρι, στον y άξονα το πλήθος των εικονοστοιχείων από αυτή την φωτεινότητα





ΛΥΣΗ

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.





ΛΥΣΗ

```
threshold = 50;
```

```
I_segmented =(I > 50);
```

```
figure, imshow(I)
```

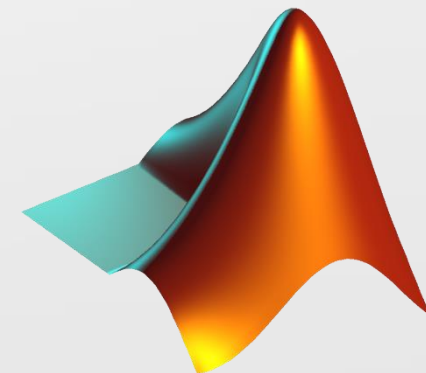
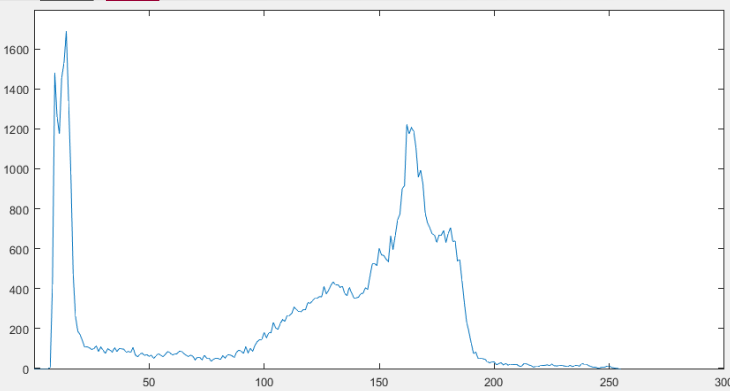
```
figure, imshow(I_segmented)
```

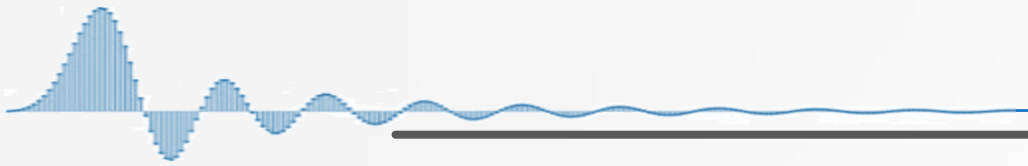
Ορισμός threshold

Ελέγχουμε αν η τιμή του pixel της εικόνας μας είναι > 50 , αν είναι δίνουμε τιμή 1 αλλιώς 0

Εμφάνιση αρχικής εικόνας

Εμφάνιση τελικής εικόνας





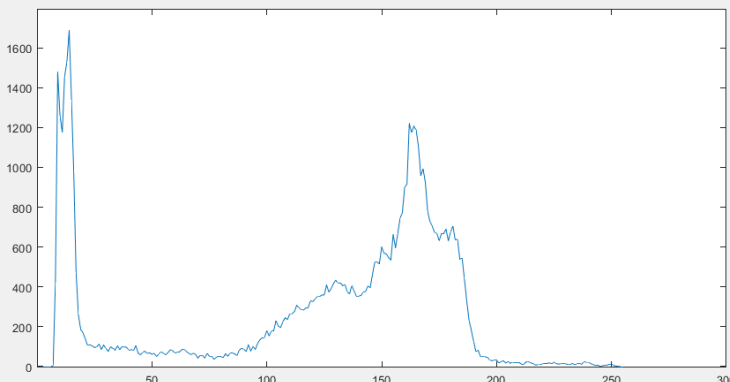
```
I = imread('cameraman.tif');  
hist = imhist(I,256);
```

```
x = 0:1:255;  
figure, plot(x,hist);
```

```
threshold = 50;  
I_segmented =(I > 50);
```

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

ΛΥΣΗ

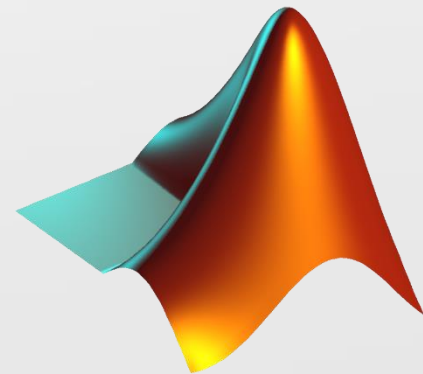




ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

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.





ΛΥΣΗ

```
I = imread('cameraman.tif');
```

```
level = graythresh(I);
```

```
BW = im2bw(I,level);
```

```
imshow(BW)
```

Διάβασμα εικόνας

Otsu method: Αυτόματη
εξαγωγή κατώφλιού

Μετατροπή εικόνας από επιπέδων του Γκρι
σε δυαδική (binary) με βάση το κατώφλι
που υπολογίστηκε

Εμφάνιση τελικής εικόνας

