



# Επεξεργασία Εικόνας & Βίντεο



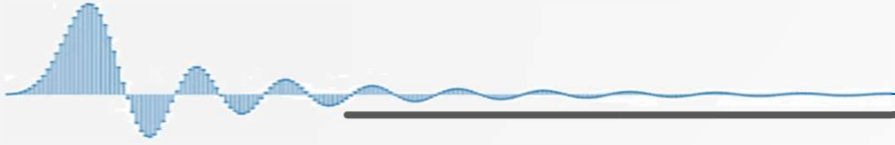
04. Ιστόγραμμα -  
Κατάτμηση

Εισηγητής: Νικόλαος Γιαννακέας  
Επίκουρος Καθηγητής, Σημάτων & Συστημάτων



- Ορισμός Ιστογράμματος
- Εξαγωγή Ιστογράμματος
- Τεχνικές Βελτίωσης βασισμένες στο Ιστόγραμμα
- Κατάτμηση Ιστογράμματος
- Μέθοδος Otsu

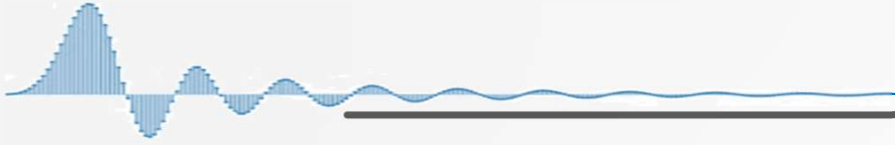
Περιεχόμενα  
Παρουσίασης



# Επεξεργασία Εικόνας με Βάση το Ιστόγραμμα

Το ιστόγραμμα είναι ένα **βασικό εξαγωγίμο σήμα** από την εικόνα το οποίο αξιοποιείται:

1. Για την βελτίωση (Enhancement) της εικόνας
  - Μετασχηματισμοί φωτεινότητας
  - Ισοστάθμισης Φωτεινότητας
2. Για την κατάτμηση (Segmentation) της εικόνας
  - Κατωφλίωση στο μέσο σημείο (midpoint)
  - Ευρεστική Μέθοδος καθολικού κατωφλίου
  - Μέθοδος κατωφλίωσης Otsu

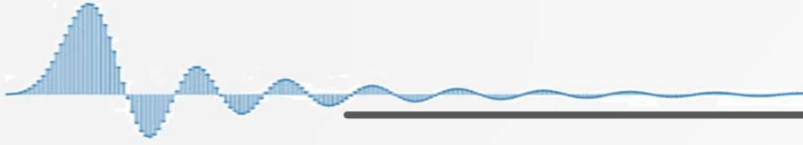


# Ιστόγραμμα Εικόνας

## 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 γκριζου ίση με  $r$





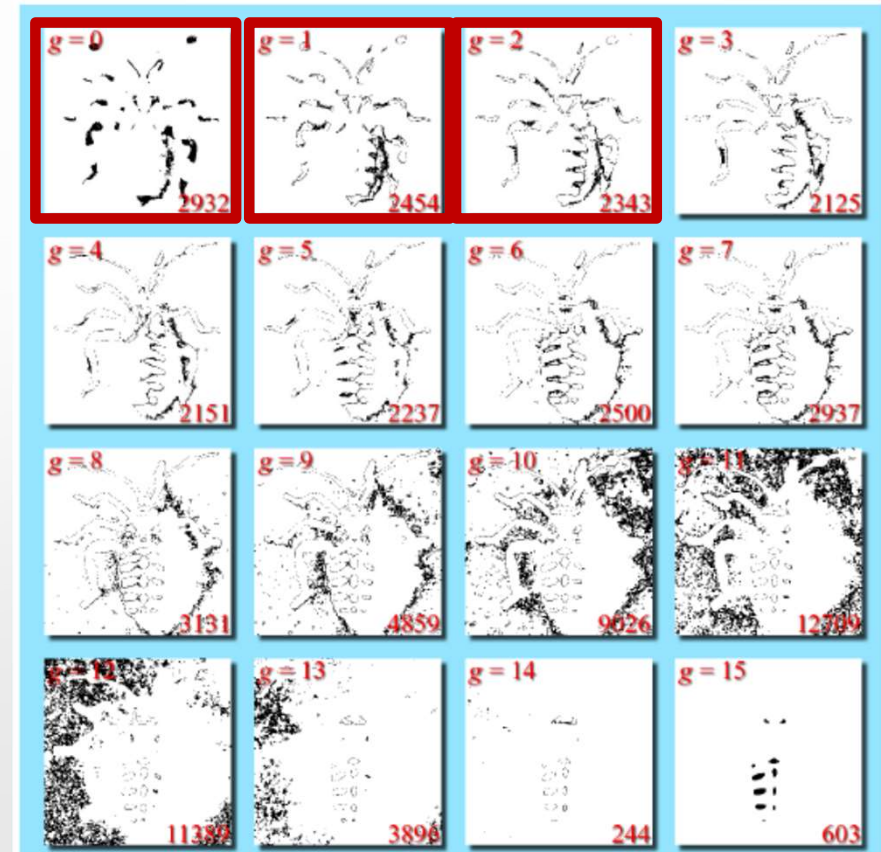
# Ιστόγραμμα Εικόνας Εξαγωγή

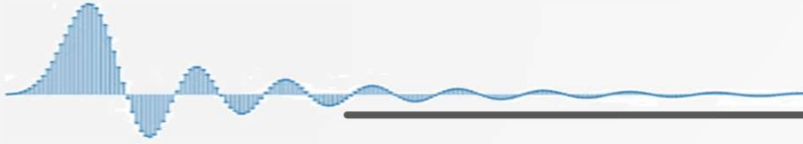


Εικόνα 4-bit  
16 επίπεδα φωτεινότητας

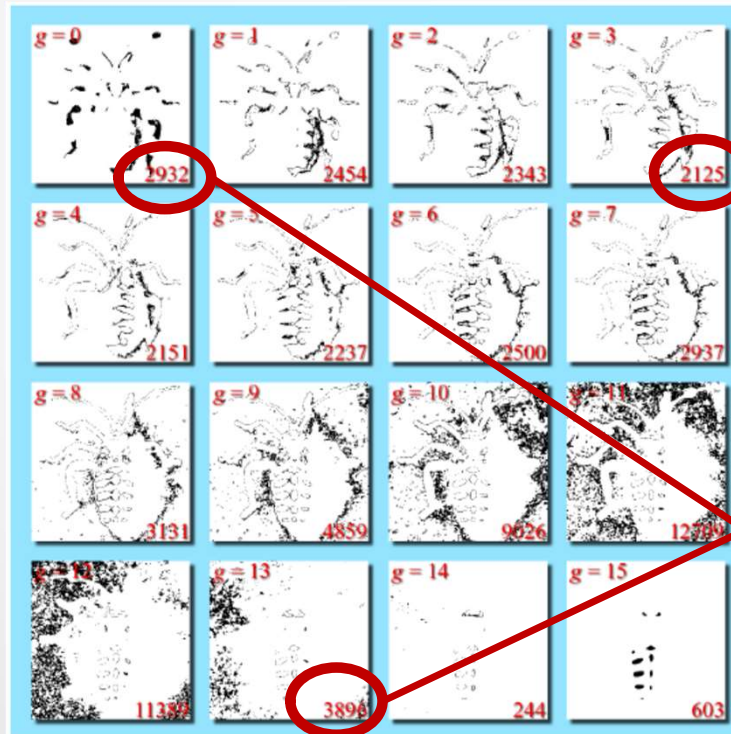
- Θέτουμε επαναληπτικά την τιμή της φωτεινότητας από 0 (μηδέν) έως 16
- Μετράμε πόσα εικονοστοιχεία έχουν αυτήν την τιμή

Υπάρχουν 2343 pixels  
φωτεινότητας 2 (μηδέν)

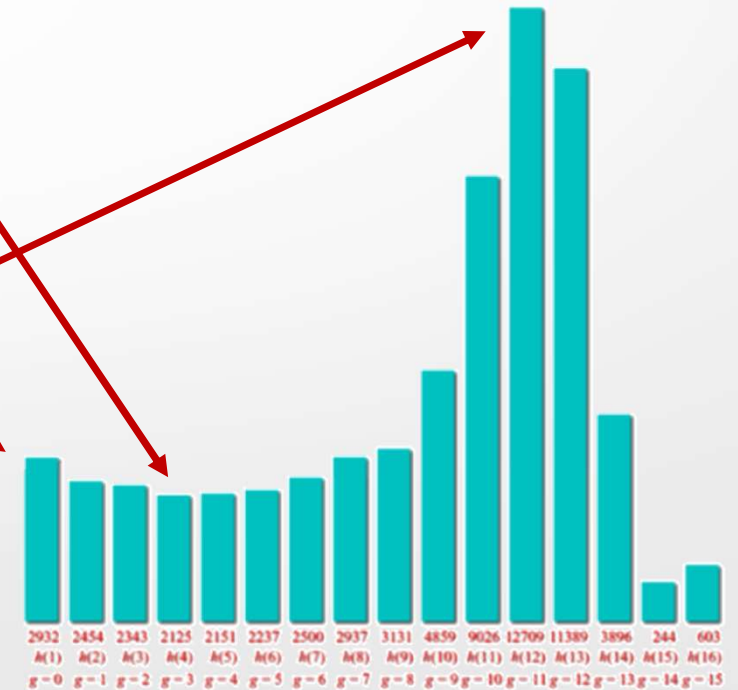




# Ιστόγραμμα Εικόνας Εξαγωγή



- Οπτικοποιούμε σε διάγραμμα τις τιμές της κάθε φωτεινότητας



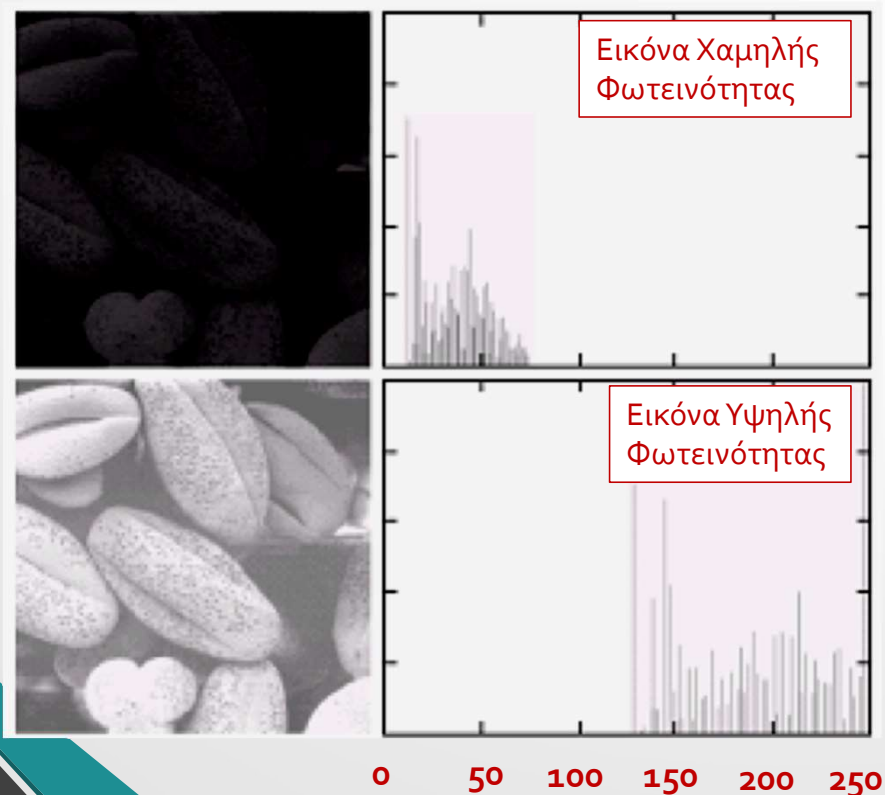
Άξονας x: Τα επίπεδα του Γκρι = Φωτεινότητες

Άξονας y: Η συχνότητα εμφάνισης της φωτεινότητας αυτής = Πόσα pixels έχουν αυτή την φωτεινότητα



# Ιστόγραμμα Εικόνας

## Παραδείγματα

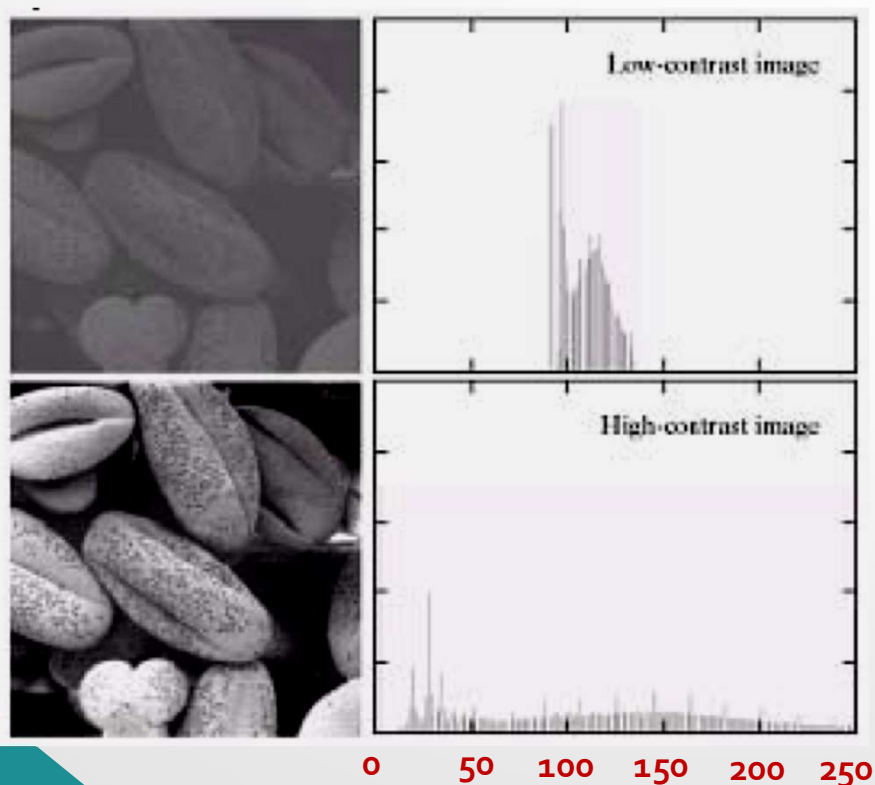


- **Σκοτεινή εικόνα (Dark Image):** Το ιστόγραμμα είναι συγκεντρωμένο στην αριστερή πλευρά του διαγράμματος, κοντά στην τιμή του μηδενός
- **Φωτεινή εικόνα (Bright image):** Το ιστόγραμμα είναι συγκεντρωμένο στην δεξιά πλευρά του διαγράμματος κοντά στην τιμή 255



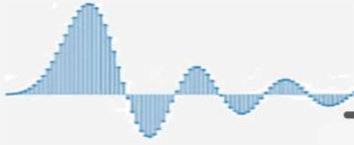
# Ιστόγραμμα Εικόνας

## Παραδείγματα



- **Εικόνα χαμηλής αντίθεσης (Low Contrast image):** Το ιστόγραμμα είναι περιορισμένο σε μια «στενή» περιοχή του διαγράμματος
- **Εικόνα υψηλής αντίθεσης (High Contrast image):** Το ιστόγραμμα «απλώνεται» σε όλο το εύρος του διαγράμματος

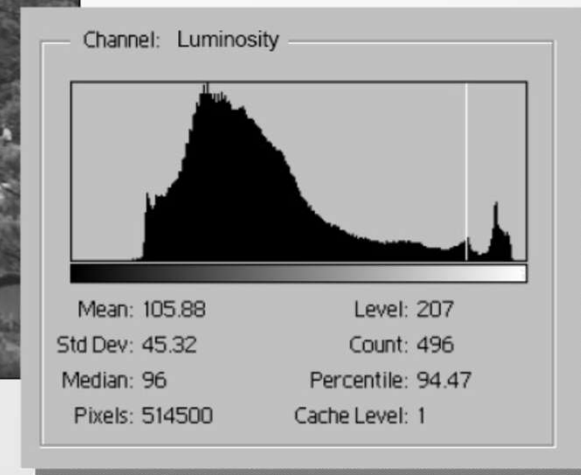


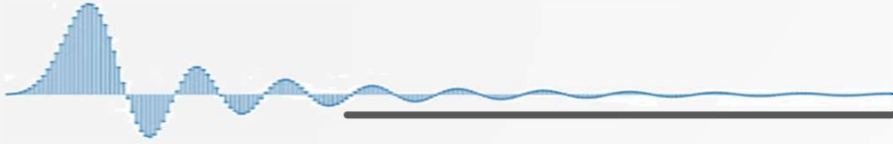


# Ιστόγραμμα Εικόνας Grayscale vs RGB



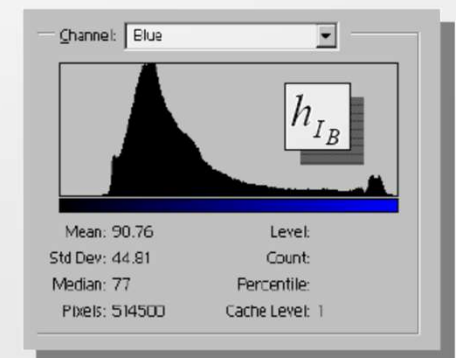
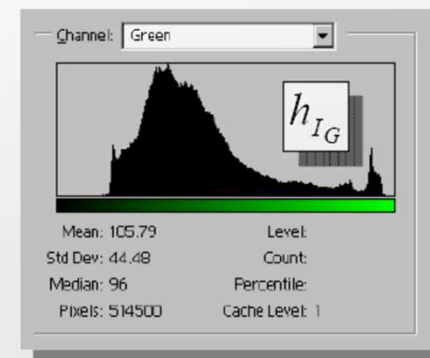
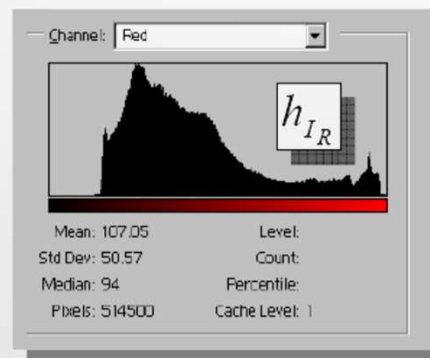
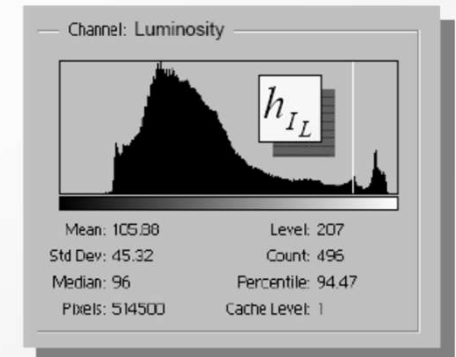
$h_l(g+1)$  = ο αριθμός των  
εικονοστοιχείων με τιμή  
επιπέδου γκρι (φωτεινότητα  $l$ )  
ίση με  $g$

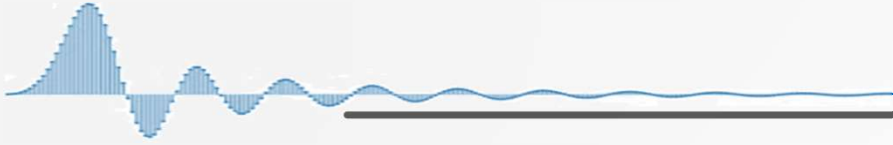




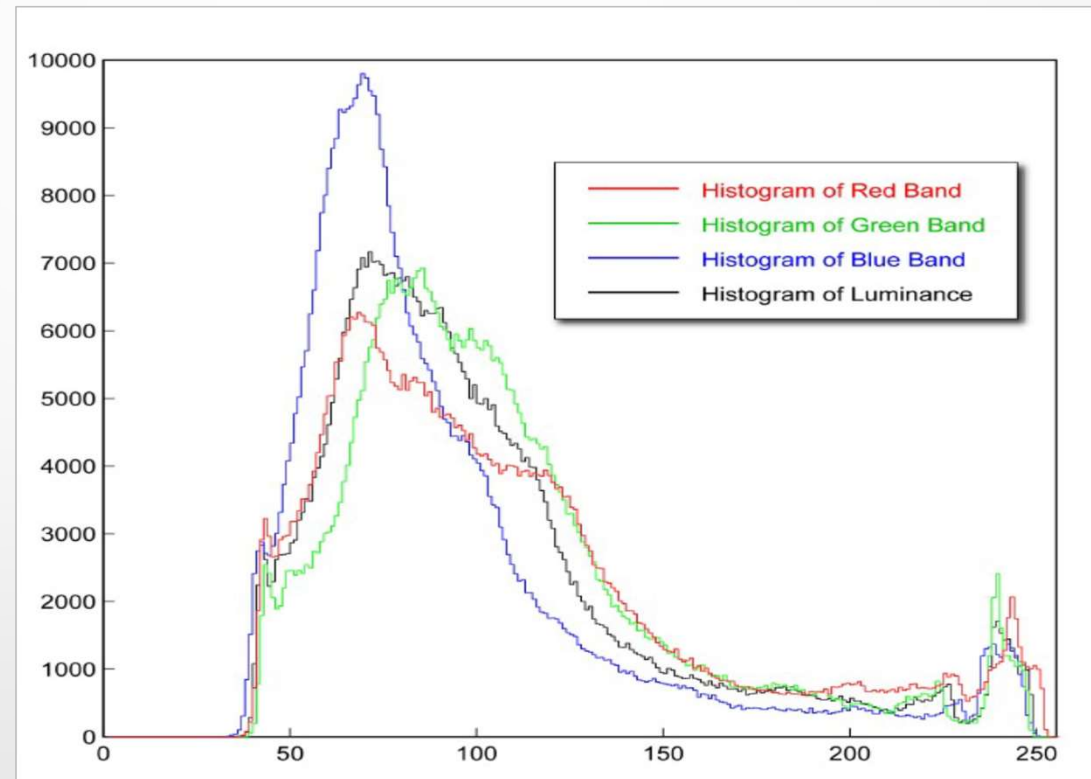
# Ιστόγραμμα Εικόνας Grayscale vs RGB

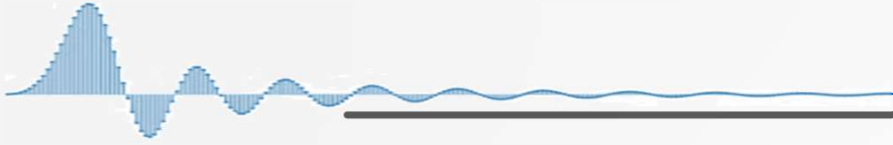
Υπάρχει ένα ιστόγραμμα ανά κανάλι R, G και B. Υπάρχει ωστόσο και διάγραμμα ιστογράμματος το οποίο παράγεται από τον μέσο όρο των τριών καναλιών =  $(R+G+B)/3$





# Ιστόγραμμα Εικόνας Grayscale vs RGB

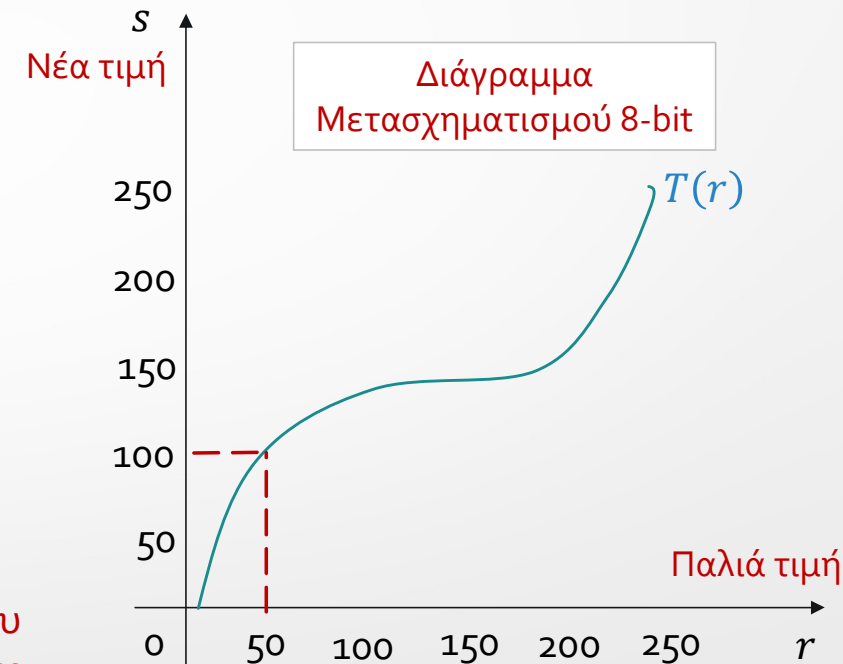
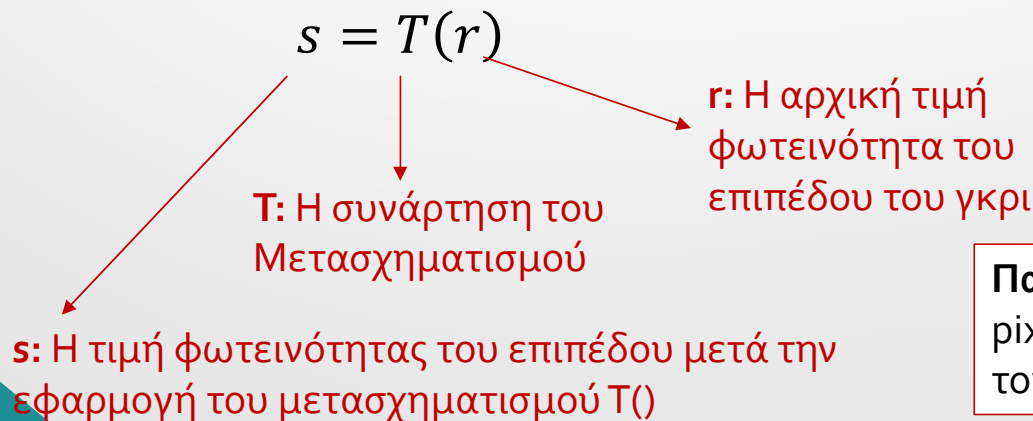




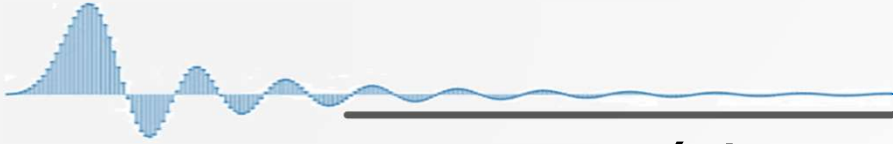
# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

- Οι μετασχηματισμοί Φωτεινότητας είναι ανήκουν στην κατηγορία της **σημειακής επεξεργασίας** (point processing) εικόνας
- Απεικονίζουν (μετασχηματίζουν) την τιμή ενός επιπέδου του γκρι σε μία νέα τιμή
- Γενικός Τύπος μετασχηματισμού:

$$s = T(r)$$



**Παράδειγμα:** Η τιμή 50 γίνεται 100 = Όσα pixels της αρχικής εικόνας έχουν τιμή 50 μετά τον μετασχηματισμό  $T()$  παίρνουν τιμή 100



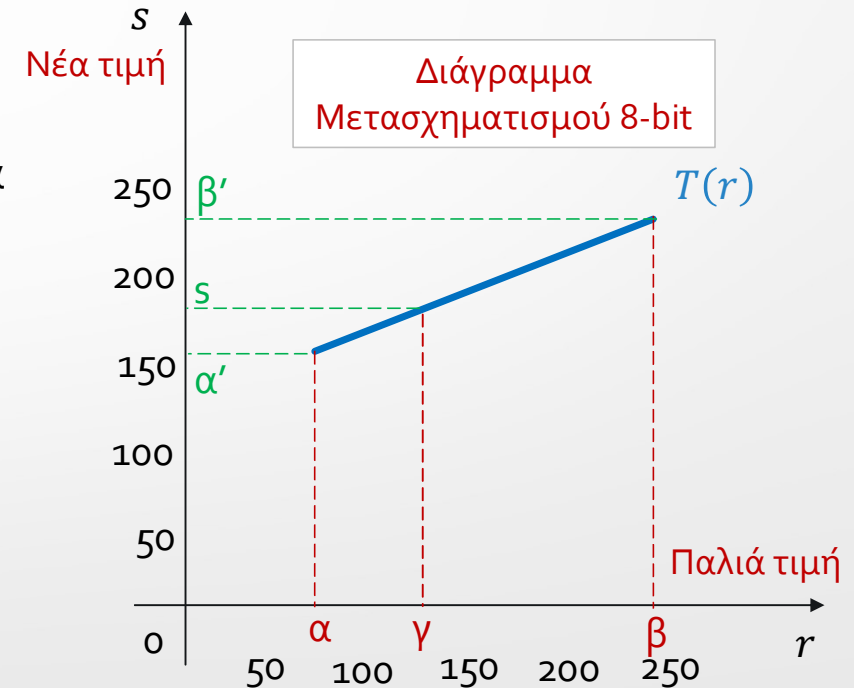
# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα Γραμμική μεταβολή

## Γραμμική Μεταβολή

- Είναι ο μετασχηματισμός, ο οποίος έχει γραμμική συμπεριφορά (είναι ευθεία γραμμή) στο διάγραμμα μετασχηματισμού
- Γενικός τύπος μετασχηματισμού

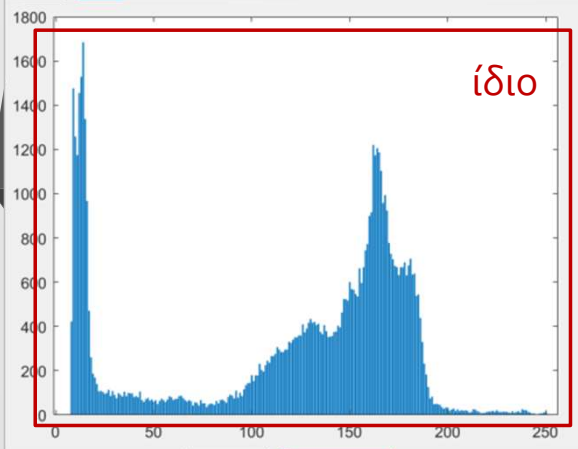
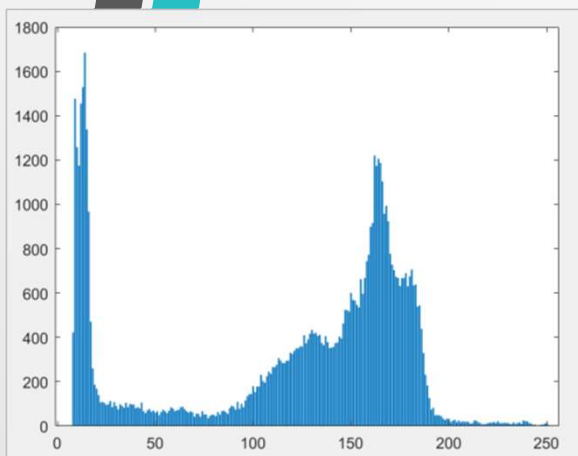
$$s = \frac{\beta' - \alpha'}{\beta - \alpha} (\gamma - \alpha) + \alpha'$$

- Δηλαδή από το διάστημα  $[\alpha, \beta]$  το ιστόγραμμα μεταφέρεται στο διάστημα  $[\alpha', \beta']$





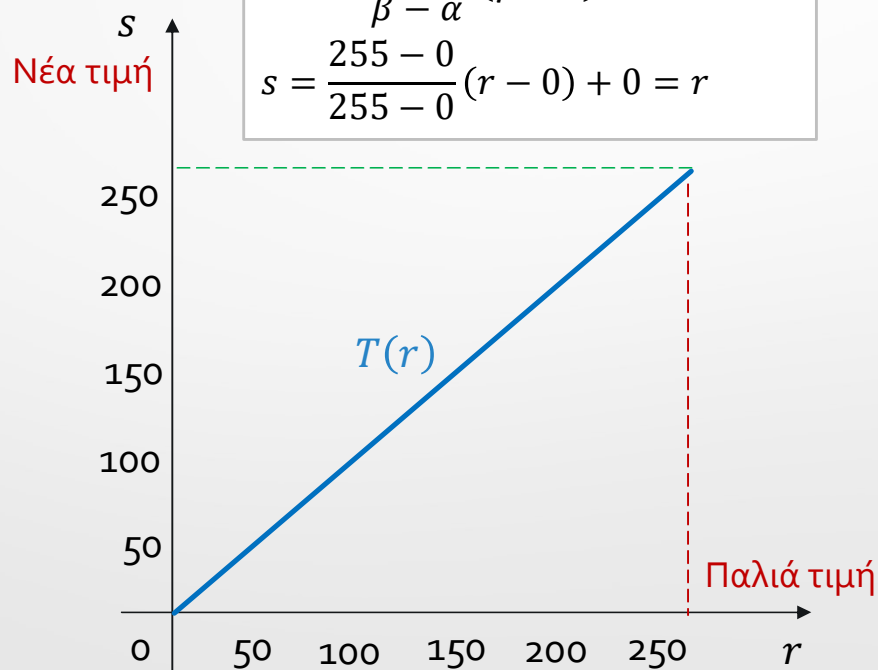
# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα Γραμματική μεταβολή - Παραδείγματα



## Μετασχηματισμός Ταυτότητας (παραμένει ίδια η εικόνα)

$$s = \frac{\beta' - \alpha'}{\beta - \alpha} (\gamma - \alpha) + \alpha'$$

$$s = \frac{255 - 0}{255 - 0} (r - 0) + 0 = r$$



Αποτέλεσμα Μετασχηματισμού

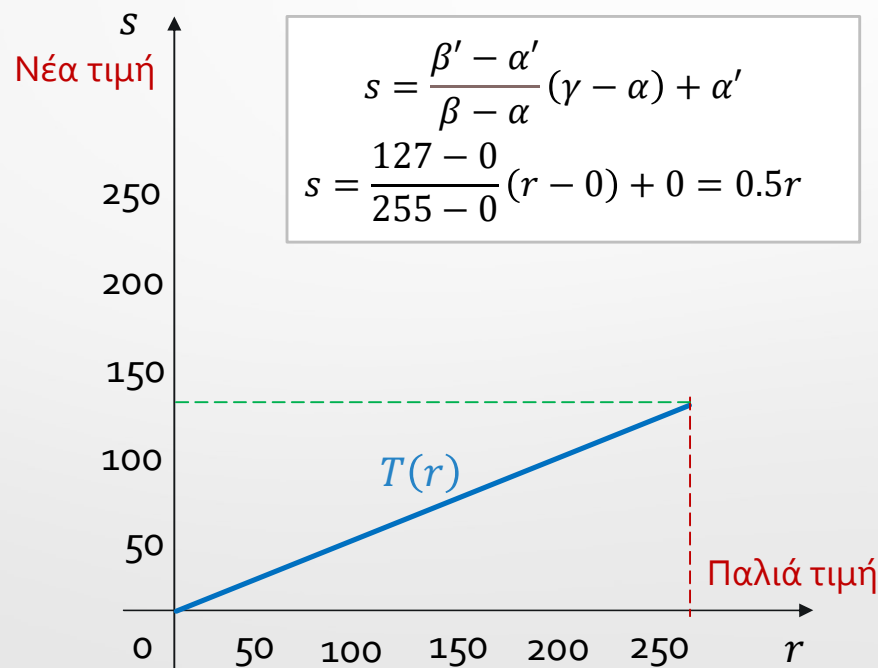
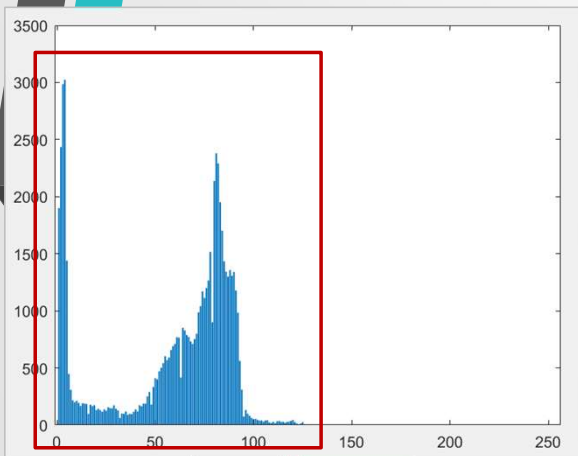
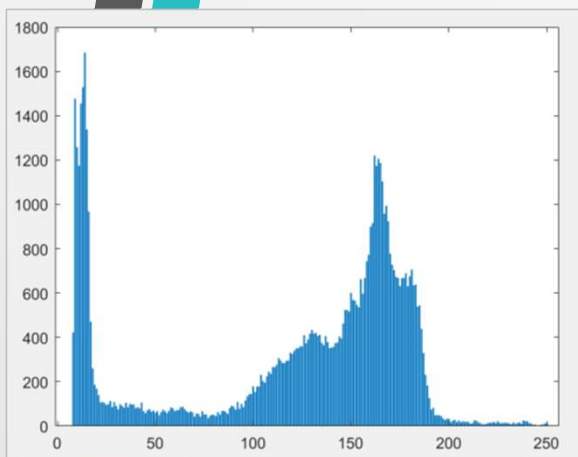




# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

## Γραμματική μεταβολή - Παραδείγματα

### Συμπίεση φωτεινότητων στο διάστημα [0,127]

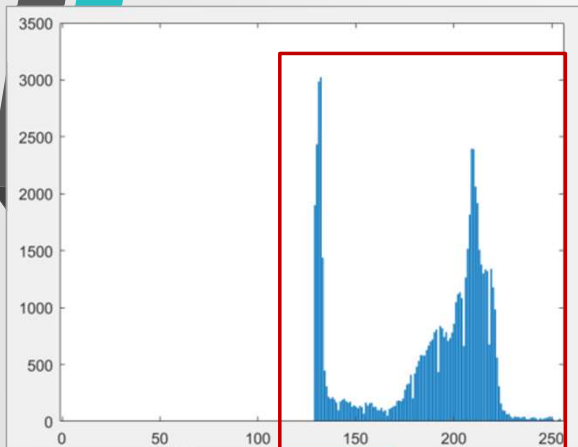
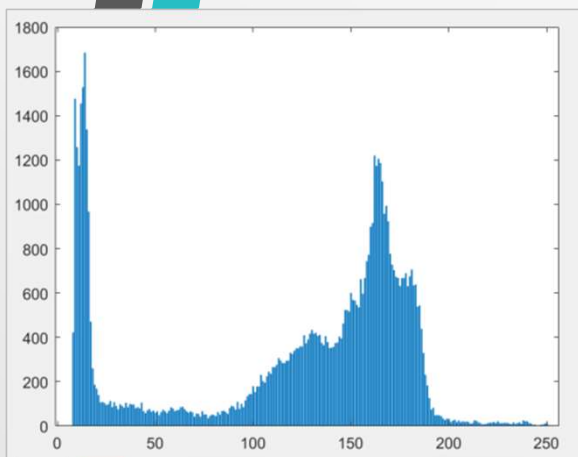


Αποτέλεσμα Μετασχηματισμού





# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα Γραμματική μεταβολή - Παραδείγματα

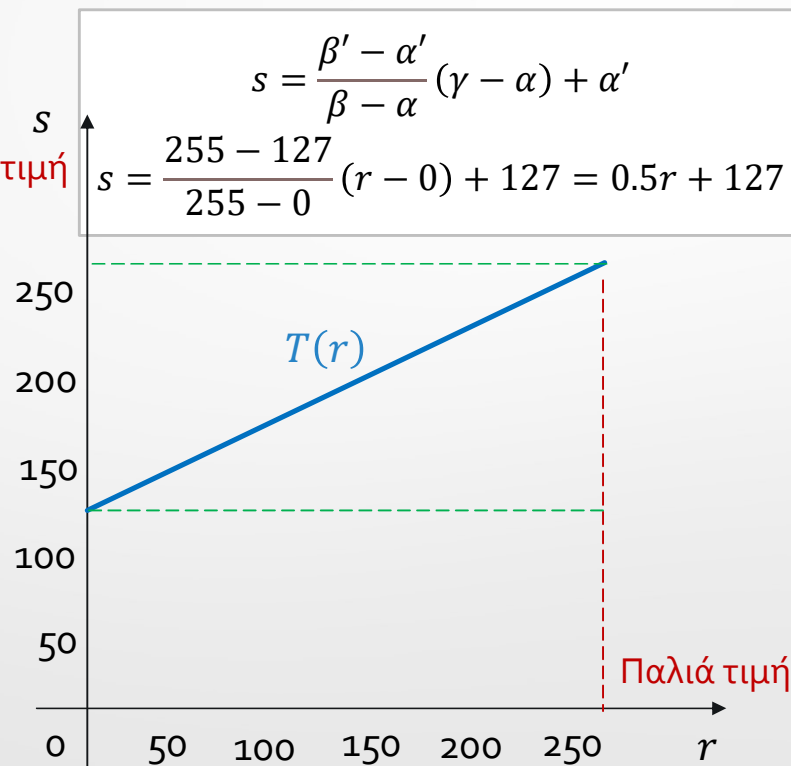


## Συμπίεση φωτεινότητων στο διάστημα [128,256]

$$s = \frac{\beta' - \alpha'}{\beta - \alpha} (\gamma - \alpha) + \alpha'$$

$$s = \frac{255 - 127}{255 - 0} (r - 0) + 127 = 0.5r + 127$$

Νέα τιμή



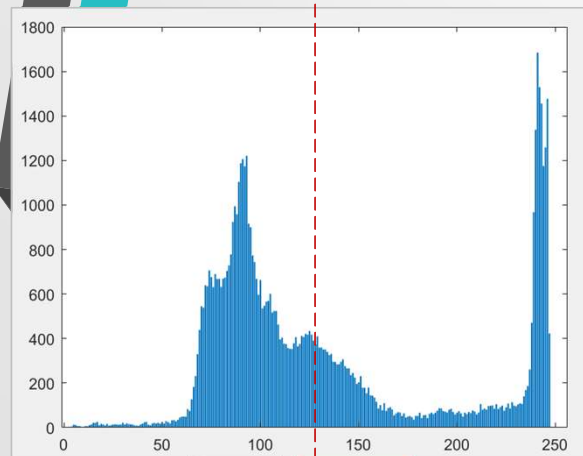
## Αποτέλεσμα Μετασχηματισμού



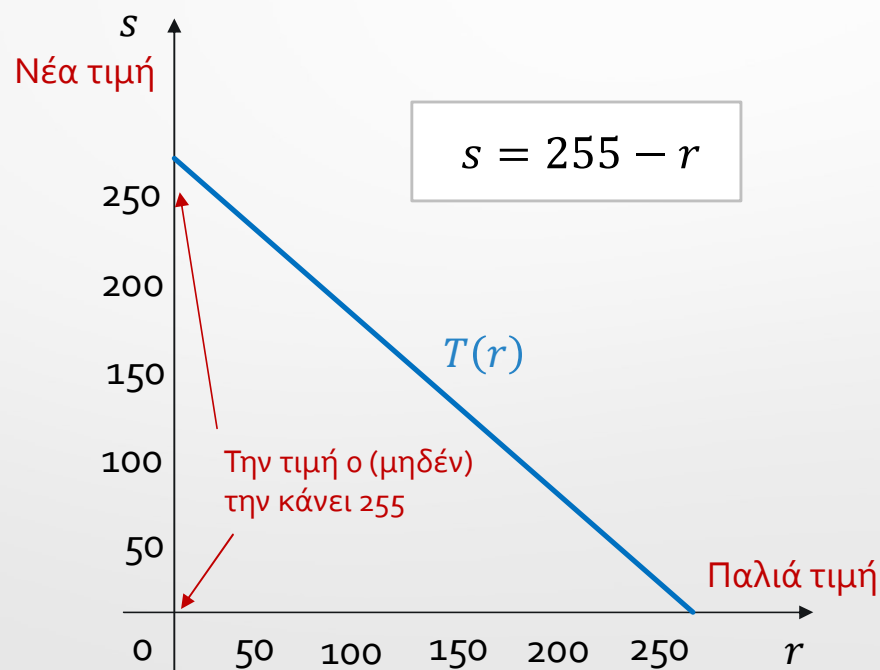




# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα Γραμματική μεταβολή - Παραδείγματα

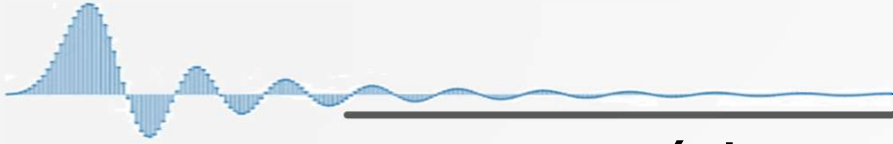


## Αρνητικό Εικόνας



## Αποτέλεσμα Μετασχηματισμού



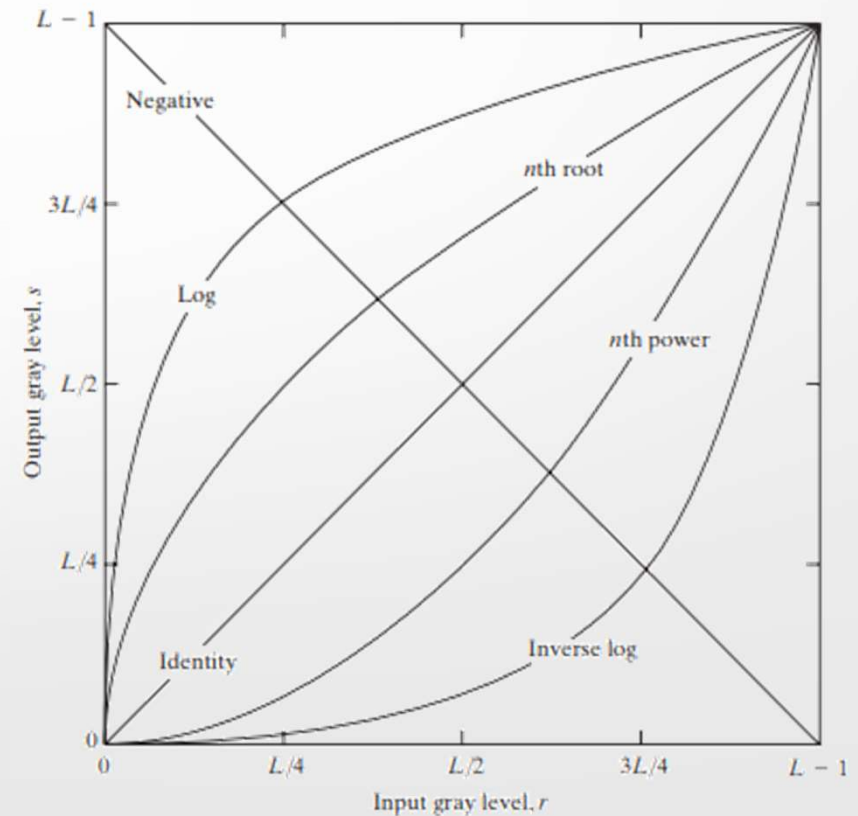


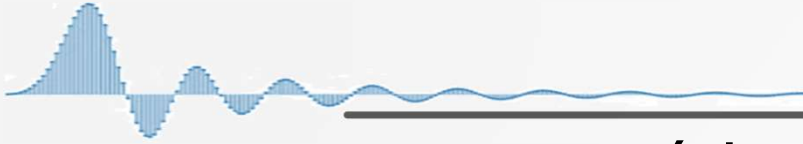
# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

## Γενικοί μετασχηματισμοί

Γενικά υπάρχουν τρεις βασικοί μετασχηματισμοί

- Γραμμικοί
- Λογαριθμικοί
- Ύψωση σε δύναμη



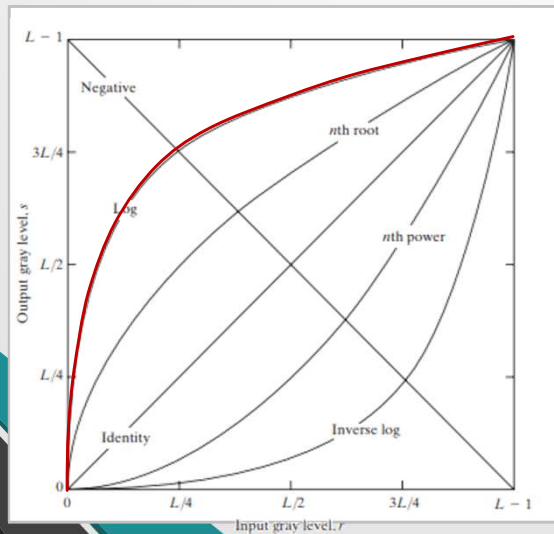


# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

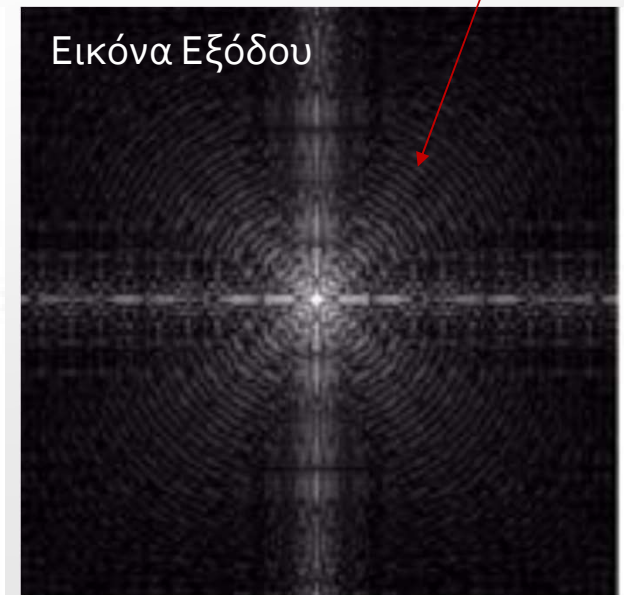
## Γενικοί μετασχηματισμοί

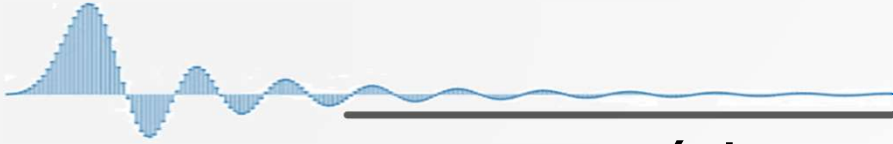
### Λογαριθμικός μετασχηματισμός

$$s = \log(1 + r)$$



Τονίζονται οι υψηλές φωτεινότητες





# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

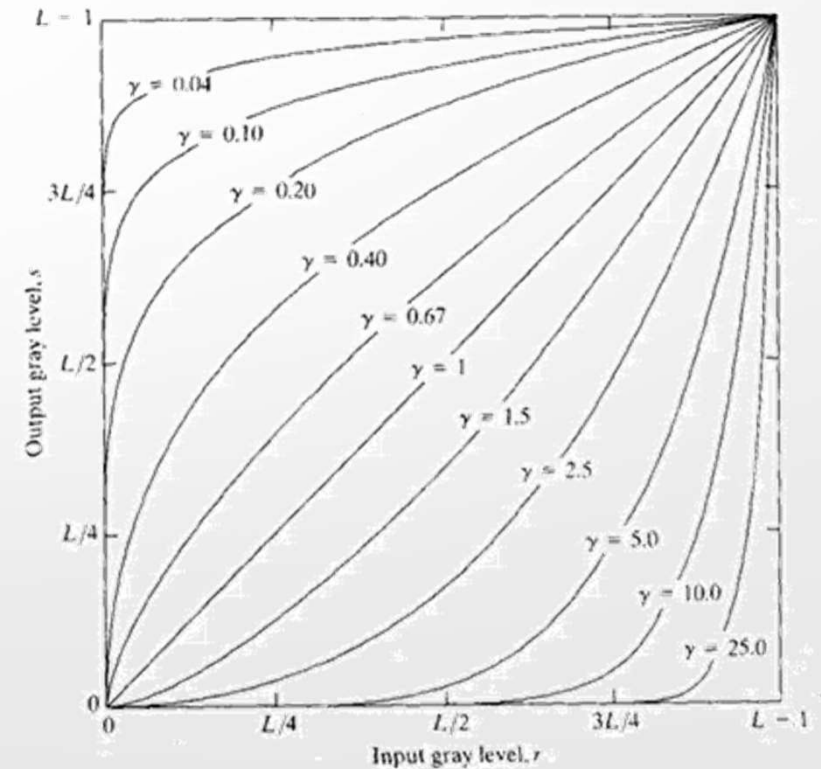
## Γενικοί μετασχηματισμοί

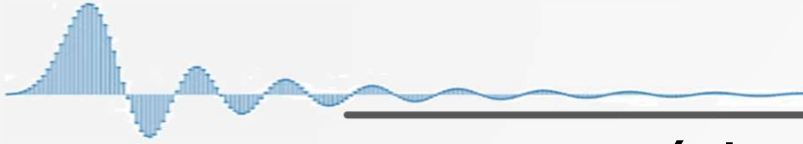
### Μετασχηματισμός Δύναμης

Η γενική του μορφή είναι της μορφής:

- Για  $\gamma < 1$  απεικονίζουν μια στενή περιοχή σκοτεινών τιμών σε ευρύτερη περιοχή εξόδου
- Για  $\gamma > 1$  το ακριβώς αντίθετο.

$$s = c \cdot r^\gamma$$





# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

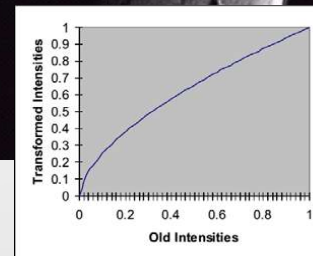
## Γενικοί μετασχηματισμοί

$$s = 1 \cdot r^1$$

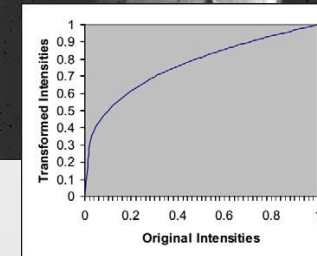


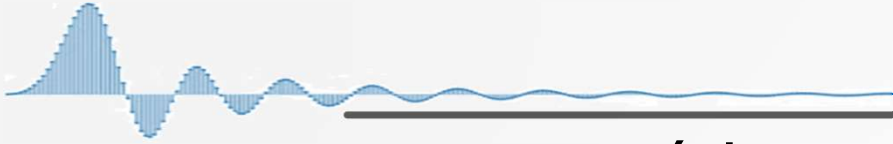
Αρχική Εικόνα

$$s = r^{0.6}$$



$$s = r^{0.3}$$





# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

## Γενικοί μετασχηματισμοί

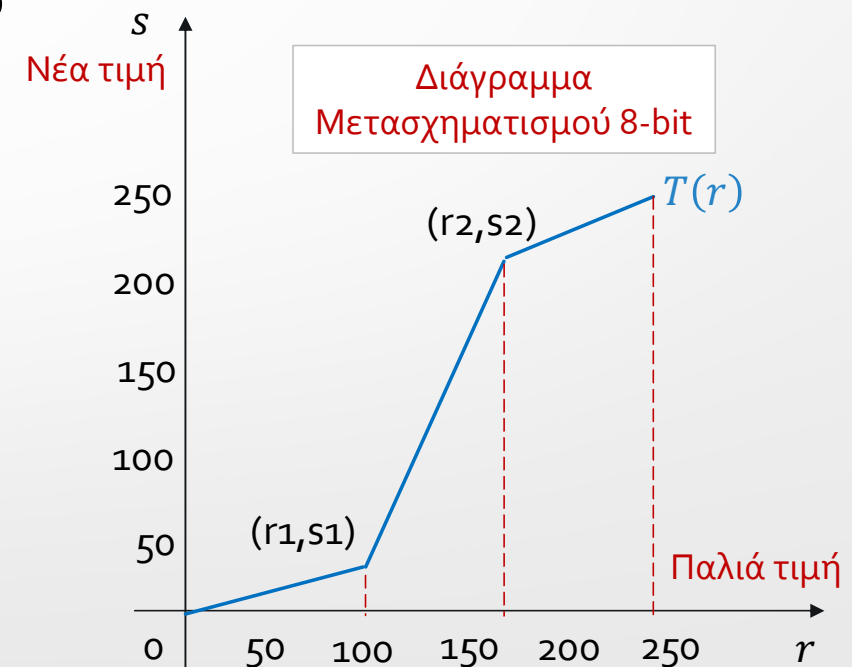
### Τμηματικές Συναρτήσεις μετασχηματισμού

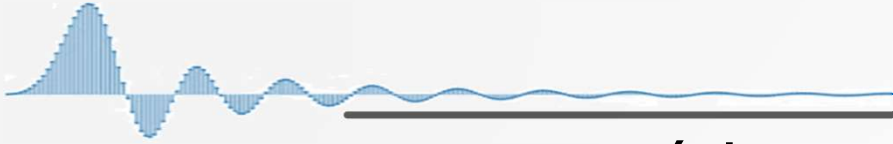
#### Πλεονεκτήματα

- Μπορούμε να κατασκευάσουμε όσο πολύπλοκη τμηματική συνάρτηση θέλουμε

#### Μειονεκτήματα

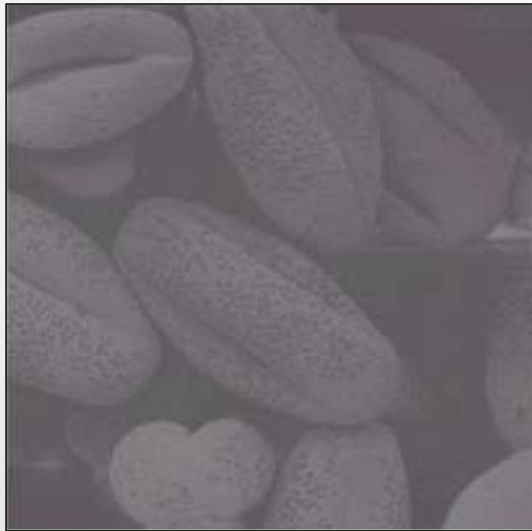
- Απαιτείται πληροφορία.
- Σε κάθε εικόνα διαφορετική τμηματική συνάρτηση



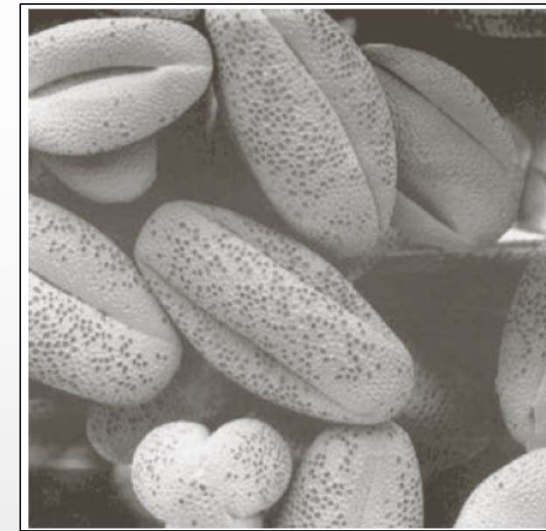


# Μετασχηματισμοί Φωτεινότητας και Ιστόγραμμα

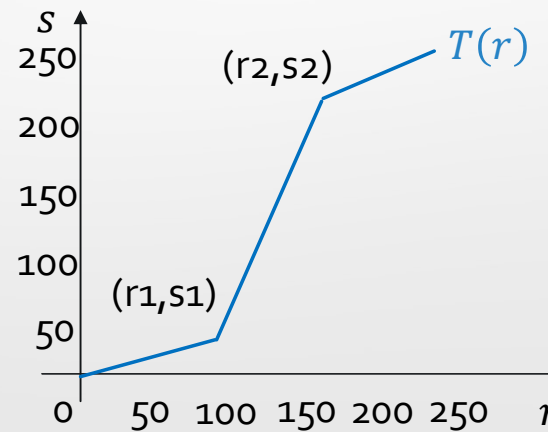
## Γενικοί μετασχηματισμοί

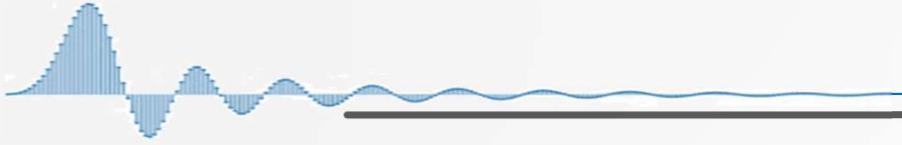


Εικόνα ιδιαίτερα  
χαμηλής  
αντίθεσης



Βελτιωμένη  
Εικόνα





# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

- Η **Ισοστάθμιση Ιστογράμματος** είναι μία μέθοδος μετασχηματισμού που εφαρμόζεται με σκοπό να **αξιοποιείται όλο το εύρος τιμών της φωτεινότητας** (για 8-bit εικόνες και οι 256 τιμές)

## Παράδειγμα:

- Η ποιότητα μιας εικόνας **χαμηλής αντίθεσης** (π.χ. με ιστογράμμα συγκεντρωμένο κοντά στο κέντρο της κλίμακας του γκριζου) **βελτιώνεται με ανακατανομή του ιστογράμματος** σε μια ευρύτερη περιοχή αποχρώσεων γκριζου.
- Η ρύθμιση του αρχικού ιστογράμματος πραγματοποιείται ώστε η πιθανότητα να κατανέμεται όσο **γίνεται πιο ομοιόμορφα** στην κλίμακα του γκριζου





# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

- Η επάνω εικόνα **δεν χρησιμοποιούνται** όλες τις διαθέσιμες τιμές γκρι
- Στην κάτω εικόνα θα πρέπει να τροποποιούνται οι τιμές γκρι, **έτσι ώστε να αξιοποιείται όλη η διαθέσιμη δυναμική περιοχή** προσεγγίζοντας όσο είναι δυνατόν την ομοιόμορφη κατανομή
- Επομένως θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας μετασχηματισμός, ο οποίος **να είναι ευέλικτος** σε όλες τις περιπτώσεις «στενού» εύρους τιμών των φωτεινοτήτων

$$s = T(r)$$





# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος Θεωρητικό Υπόβαθρο - Επινόηση

Οι δύο βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να έχει ένας τέτοιος μετασχηματισμός

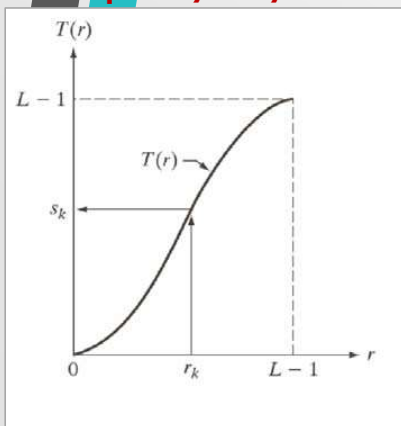
1. Η συνάρτηση  $T$  είναι **αυστηρώς γνησίως αύξουσα** ώστε οι φωτεινότητες εξόδου να ακολουθούν την διάταξη που υπάρχει στην αρχική εικόνα

$$\forall r_1 < r_2 \Rightarrow T(r_1) < T(r_2) \Rightarrow s_1 < s_2$$

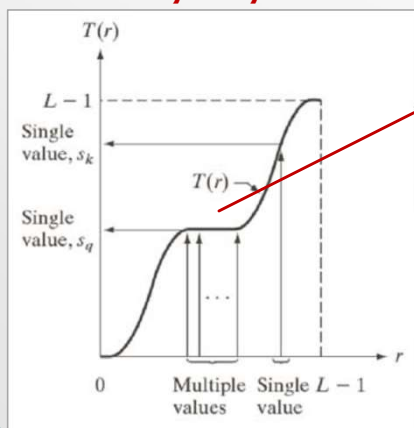
2. Οι τελικές φωτεινότητες **δεν πρέπει** είναι **εκτός ορίων**

$$0 \leq T(r) \leq L-1, \text{ για } 0 \leq r \leq L-1$$

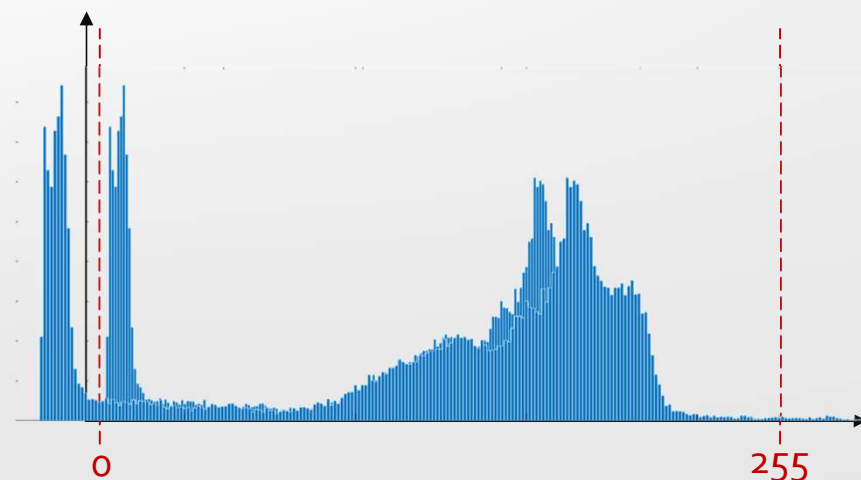
**Γνησίως αύξουσα**

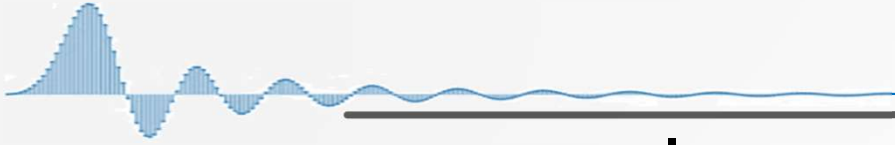


**Απλώς αύξουσα**



άρα θα υπάρχουν πολλές φωτεινότητες της αρχική εικόνα οι οποίες θα αντιστοιχιστούν με μια τιμή





# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

## Θεωρητικό Υπόβαθρο - Επινόηση

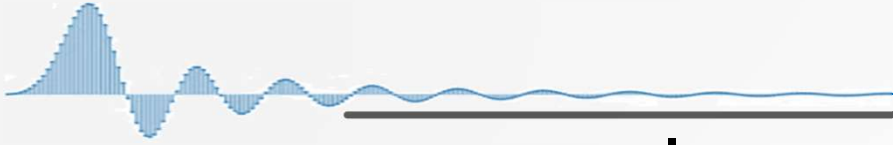
- Η Ισοστάθμιση Ιστογράμματος **εμπνεύστηκε από το πεδίο της στατιστικής** και των πιθανοτήτων, καταφέροντας με αυτό τον τρόπο να **ικανοποιεί της δύο παραπάνω προϋποθέσεις**
- Τα **επίπεδα του γκρι** της αρχικής και της μετασχηματισμένης εικόνας θεωρήθηκαν **τυχαίες μεταβλητές**

$r$ : Τυχαία μεταβλητή

$s$ : Τυχαία μεταβλητή

$p_r(r)$ : Ορίζεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (Probability Density Function – PDF)

$p_s(s)$ : Ορίζεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας



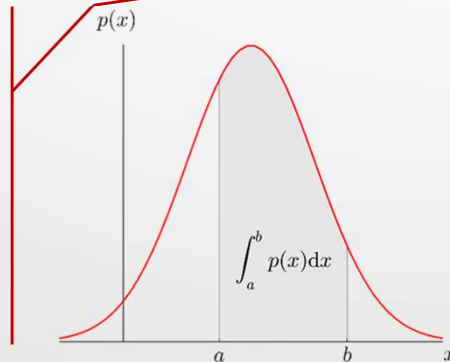
# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

## Θεωρητικό Υπόβαθρο - Επινόηση

- Τελικά χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός:

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{L - 1}{M \cdot N} \sum_{j=0}^k n_j$$

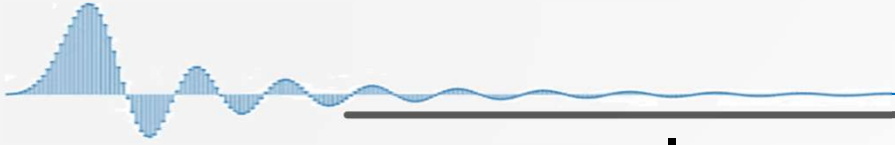
Ονομάζεται  
συσσωρευμένη  
συνάρτηση κατανομής  
και είναι στην ουσία το  
εμβαδόν της  
συνάρτησης pdf



Cumulative Distribution Function - CDF

Αθροίζει  
σωρευτικά τα  
εικονοστοιχεία που  
έχουν την τιμή  
φωτεινότητας από  
μηδέν έως j

Κανονικοποιούν και ως  
προς τον συνολικό αριθμό  
των εικονοστοιχείων και  
ως προς τα επίπεδα του  
γκρι



# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

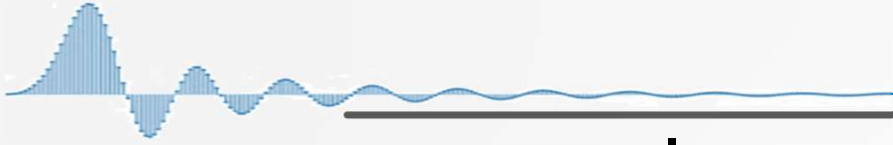
## Θεωρητικό Υπόβαθρο - Επινόηση

- Τελικά χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός:

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \frac{L - 1}{M \cdot N} \sum_{j=0}^k n_j$$

Η χρήση της συσσωρευμένης συνάρτησης κατανομής (Cumulative Distribution Function) της μεταβλητής  $r$ :

- Ικανοποιείται η α) συνθήκη γιατί **το εμβαδόν** που περικλείεται κάτω από την συνάρτηση **αυξάνεται όσο αυξάνεται το  $r$**  (άρα γνησίως αύξουσα)
- Ικανοποιείται η β) συνθήκη γιατί το άνω όριο του μετασχηματισμού είναι ίσο με 1 (αφού είναι πιθανότητα), γιατί όταν  $r=L-1$  το εμβαδόν της κατανομής είναι 1

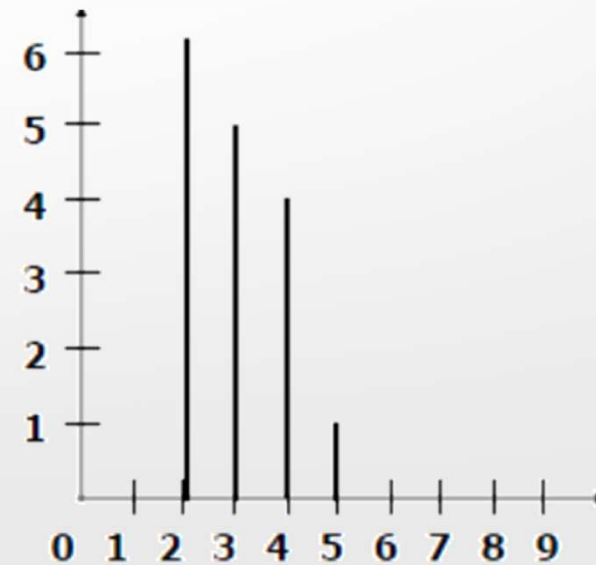


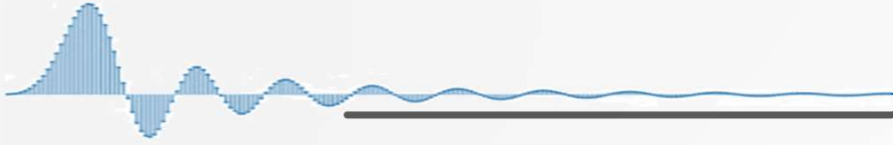
# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος Υλοποίηση

Παράδειγμα με εικόνα 4x4 (16 εικονοστοιχεία) και 10 επίπεδα του γκρι  
(χάριν ευκολίας γιατί γνωρίζουμε ότι τα επίπεδα γκρι είναι πάντα δύναμη του 2)

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 3 | 2 |
| 4 | 2 | 4 | 3 |
| 3 | 2 | 3 | 5 |
| 2 | 4 | 2 | 4 |

Εικόνα εξόδου  
Εικόνα 10  
επιπέδων γκρι [0-9]





# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

Παράδειγμα με εικόνα 4x4 (16 εικονοστοιχεία) και 10 επίπεδα του γκρι  
(χάριν ευκολίας γιατί γνωρίζουμε ότι τα επίπεδα γκρι είναι πάντα δύναμη του 2)

Επίπεδα του Γκρι

Αριθμός εικονοστοιχείων σε κάθε επίπεδο

Σωρευμένο άθροισμα εικονοστοιχείων

Κανονικοποίηση ως προς το σύνολο των εικονοστοιχείων της εικόνας

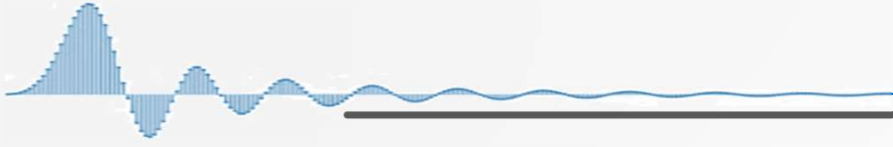
Κανονικοποίηση ως προς το σύνολο επιπέδων του γκρι

$$\sum_{j=0}^k n_j$$

$$s = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}$$

$$s \times 9$$

|   |   |           |           |           |          |          |          |          |          |
|---|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0 | 1 | 2         | 3         | 4         | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        |
| 0 | 0 | 6         | 5         | 4         | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| 0 | 0 | 6         | 11        | 15        | 16       | 16       | 16       | 16       | 16       |
| 0 | 0 | 6<br>16   | 11<br>16  | 15<br>16  | 16<br>16 | 16<br>16 | 16<br>16 | 16<br>16 | 16<br>16 |
| 0 | 0 | 3.3<br>≈3 | 6.1<br>≈6 | 8.4<br>≈8 | 9        | 9        | 9        | 9        | 9        |

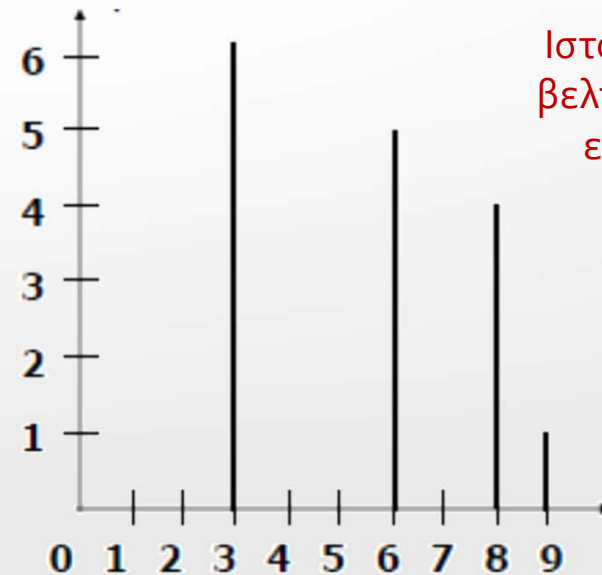


# Ισοστάθμιση Ιστογράμματος

Παράδειγμα με εικόνα 4x4 (16 εικονοστοιχεία) και 10 επίπεδα του γκρι  
(χάριν ευκολίας γιατί γνωρίζουμε ότι τα επίπεδα γκρι είναι πάντα δύναμη του 2)

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 3 | 6 | 6 | 3 |
| 8 | 3 | 8 | 6 |
| 6 | 3 | 6 | 9 |
| 3 | 8 | 3 | 8 |

Εικόνα εξόδου  
Εικόνα 10  
επιπέδων γκρι [0..9]



Ιστόγραμμα  
βελτιωμένης  
εικόνας





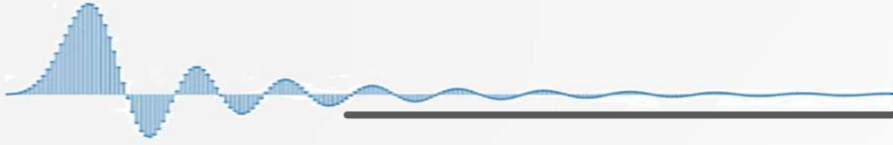
# Κατάτμηση Κατωφλίωση Ιστογράμματος



*image segmentation is the process of partitioning a digital image into multiple segments, in order to simplify and/or change the representation of an image into something that is more meaningful and easier to analyze*

**Ορισμός:** «**Κατάτμηση Εικόνας** είναι η διαδικασία κατά την οποία η ψηφιακή εικόνα τεμαχίζεται σε πολλαπλές περιοχές, με σκοπό να απλοποιηθεί και/ή να τροποποιηθεί η αναπαράστασή της, σε κάτι, το οποίο είναι περισσότερο ερμηνεύσιμο και εύκολο να αναλυθεί»

**Ορισμός 2:** «**Κατάτμηση Εικόνας** η ομαδοποίηση εικονοστοιχείων με παρόμοια χαρακτηριστικά σε περιοχές της εικόνας



# Κατάτμηση

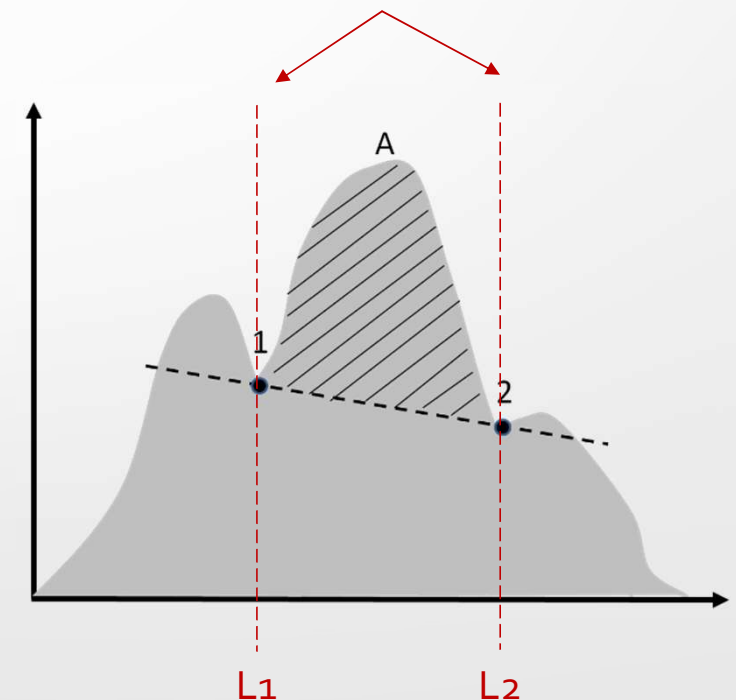
## Κατωφλίωση Ιστογράμματος

- Η **κατωφλίωση ιστογράμματος** αξιοποιεί το γεγονός ότι μια εικόνα συνήθως **περιέχει πεπερασμένο αριθμό αντικειμένων** και υποβάθρου όποτε και το ιστόγραμμα παρουσιάζει **κορυφές και κοιλάδες** (τοπικά ελάχιστα και μέγιστα)
- Εντοπίζοντας τα τοπικά μέγιστα και ελάχιστα είναι δυνατός ο **καθορισμός τμημάτων (περιοχών) της εικόνας** τα οποία περιέχουν εικονοστοιχεία με παρόμοια φωτεινότητα

### Παράδειγμα:

- Οι φωτεινότητες μεταξύ των επιπέδων γκρι L1 και L2 του ιστογράμματος συντελούν πιθανότατα έναν αντικείμενο στην εικόνα

Κατώφλια (Thresholds) Φωτεινότητας





# Κατάτμηση Κατωφλίωση Ιστογράμματος

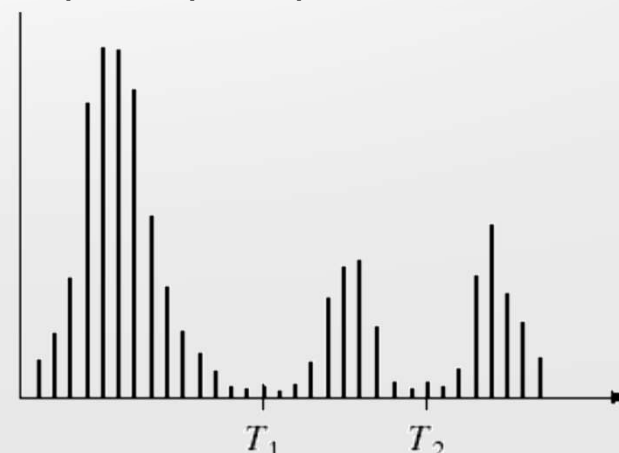
## Παράδειγμα 1

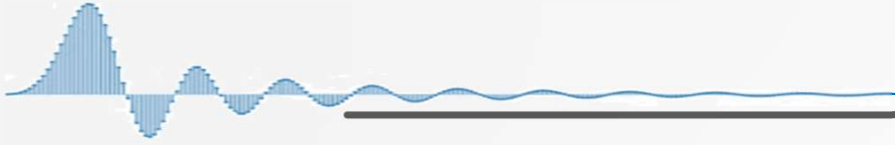
- Πιθανότατα πρόκειται για μια εικόνα με σκοτεινό υπόβαθρο (background) και ένα φωτεινό αντικείμενο προσκηνίου (foreground)
- Αρκεί ένα κατώφλι φωτεινότητας για να διαχωριστεί το υπόβαθρο από το προσκηνίο



## Παράδειγμα 2

- Πιθανότατα πρόκειται για μια εικόνα με σκοτεινό υπόβαθρο και δύο φωτεινά αντικείμενα προσκηνίου
- Απαιτούνται δύο κατώφλια φωτεινότητας για να διαχωριστούν το υπόβαθρο και τα δύο αντικείμενα προσκηνίου

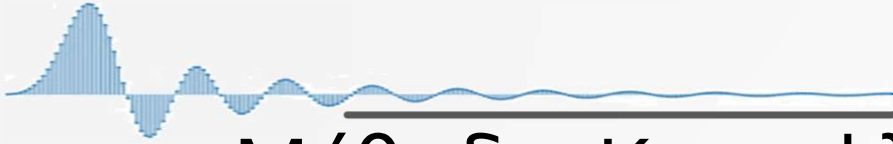




# Κατάτμηση Κατωφλίωση Ιστογράμματος

## Παρατηρήσεις

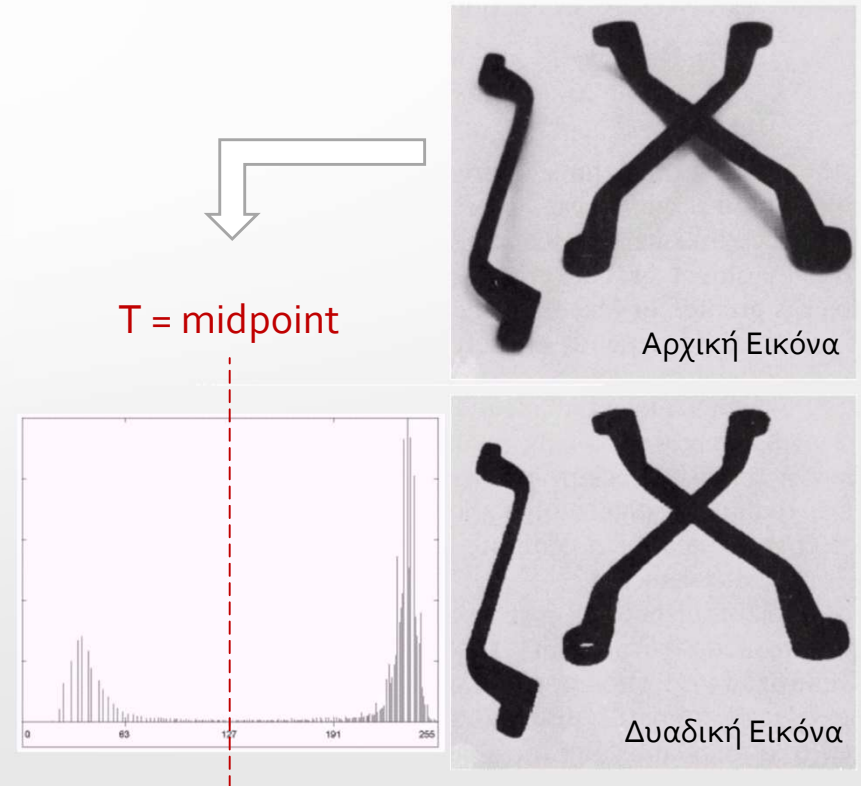
- Όλες οι τεχνικές κατωφλίωσης **λειτουργούν βέλτιστα**, όταν το ιστόγραμμα του επιπέδου του γκρι μιας εικόνας είναι **διατροπικό (bimodal) ή σχεδόν διατροπικό**
- Πολλές εικόνες είναι συνήθως **αλλοιωμένες από θόρυβο** ή ακανόνιστα φωτισμένες, οι οποίες οδηγούν σε ένα **πολυτροπικό (multimodal) ιστόγραμμα**
- Στα πολυτροπικά ιστογράμματα **δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός** μεταξύ των εικονοστοιχείων των αντικειμένων από του φόντου.

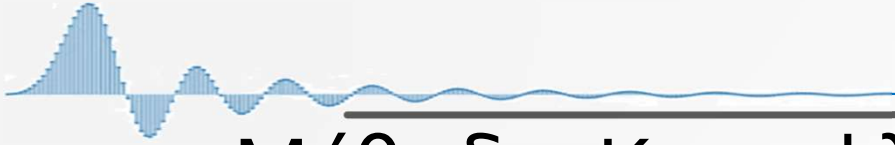


# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Κατωφλίωση στο μέσο σημείο

- Η πιο απλή μέθοδος κατωφλίωσης είναι η εφαρμογή κατωφλιού ίσο με το μέσο του εύρους του ιστογράμματος
- Αν η αρχική εικόνα αξιοποιεί όλα τα επίπεδα γκρι τότε  $T = 127$  (μέσο σημείο από τα επίπεδα  $0 - 255$ )
- Η απλή αυτή μέθοδος έχει **πολλές πιθανότητες επιτυχίας** όταν πρόκειται για εικόνα ισοσταθμισμένου ιστογράμματος και **ενός αντικειμένου**





# Μέθοδοι Κατωφλίσωσης Ιστογράμματος

## Ευρεστική Μέθοδος Καθολικού Κατωφλίου

### Αλγόριθμός Ευρεστικής Μεθόδου Ολικού Κατωφλίου (Heuristic Global Thresholding)

1. Επιλογή ενός τυχαίου κατωφλίου  $T$
2. Πραγματοποιείται κατάτμηση με βάση το  $T$ . Η εικόνα χωρίζεται σε δύο ομάδες (Groups) εικονοστοιχείων
  - $G_1$ : Τα εικονοστοιχεία με φωτεινότητα μικρότερη του  $T$
  - $G_2$ : Τα εικονοστοιχεία με φωτεινότητα μεγαλύτερη ή ίση του  $T$
3. Υπολογίζεται η μέση τιμή φωτεινότητας των δύο ομάδων  $\mu_1$  και  $\mu_2$
4. Υπολογίζεται νέο κατώφλι  $T = 0.5 (\mu_1 + \mu_2)$
5. Επανάληψη των βημάτων 2 έως 4 μέχρι η διαφορά του  $T$  μεταξύ συνεχόμενων επαναλήψεων να είναι μη σημαντική



# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

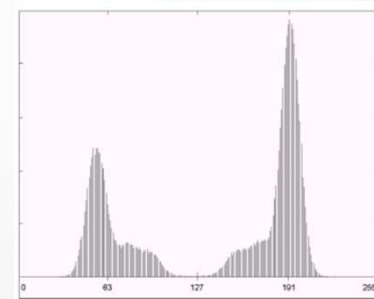
## Ευρεστική Μέθοδος Καθολικού Κατωφλίου

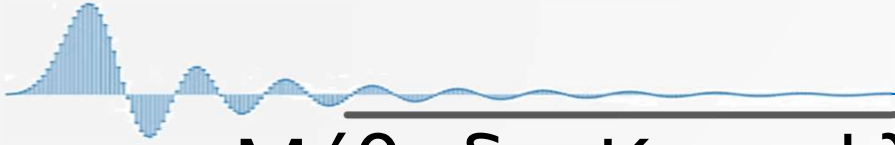
Εφαρμογή της ευρεστικής μεθόδου ολικού κατωφλιού με:

- Αρχικό κατώφλι  $T_0 = 0$
- Εκτελέστηκε για 3 επαναλήψεις
- Τελικό Αποτέλεσμα with  $T = 125$

Παρατηρήσεις

1. Παρά το γεγονός ότι ο αλγόριθμος εκκίνησε με τιμή κατωφλιού 0 (μηδέν) κατάφερε να βρει σωστό κατώφλι
2. Από το ιστόγραμμα καταλαβαίνουμε ότι το αντικείμενο με το υπόβαθρο είναι αρκετά διακριτά
3. Παρατηρείστε ότι το φόντο (παρασκήνιο) είναι φωτεινό και πιο μεγάλο σε πλήθος εικονοστοιχείων





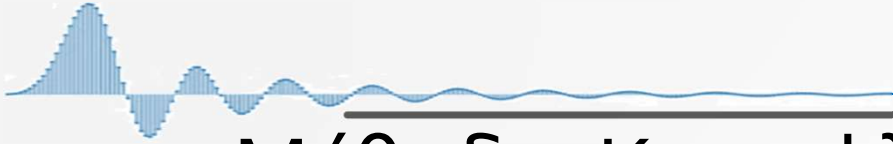
# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu [1]

- Αποτελεί μία από τις πιο επιτυχημένες τεχνικές στην κατωφλίωση εικόνας
- Είναι ένας **εξαντλητικός αλγόριθμος** αναζήτησης του καθολικού βέλτιστου ορίου, **μεγιστοποιώντας** με τον τρόπο αυτό τη **διακύμανση μεταξύ των διάφορων επιπέδων** - κλάσεων.
- 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.

[1]. Otsu, N. (1979) A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 9, 62-66.





# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu

### Υλοποίηση

- Τα εικονοστοιχεία διχοτομούνται σε δύο ομάδες  $C_1$  και  $C_2$ . Με βάση την στατιστική και τις πιθανότητες εμφάνισης στο ιστόγραμμα

Επίπεδα του Γκρι ανά ομάδα

Κατανομή πιθανότητας ανά ομάδα

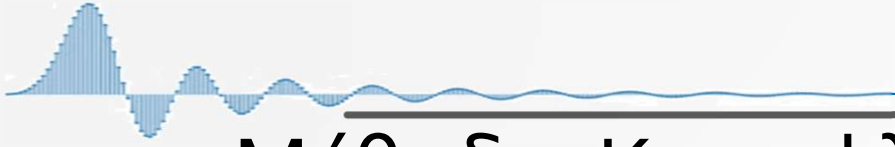
Τα μέσα των δύο κλάσεων

Διακύμανση (variance) ανά ομάδα

Πιθανότητα  $i$  ενός επιπέδου

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

| Ομάδα 1 ( $C_1$ )                                       | Ομάδα 2 ( $C_2$ )   |
|---|---|
| $i = [1, 2, \dots, t]$                                  | $i = [t, \dots, L - 1]$                                       |
| $w_1 = \Pr(C_1) = \sum_{i=0}^t p_i$                     | $w_2 = \Pr(C_2) = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i$                     |
| $u_1 = \sum_{i=0}^t i p_i / w_1$                        | $u_2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i p_i / w_2$                        |
| $V_1 = \sigma_1^2 = \sum_{i=0}^t (i - u_1)^2 p_i / w_1$ | $V_2 = \sigma_2^2 = \sum_{i=t+1}^{L-1} (i - u_2)^2 p_i / w_2$ |



# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu

### Υλοποίηση

- Τα εικονοστοιχεία διχοτομούνται σε δύο ομάδες  $C_1$  και  $C_2$ . Με βάση την στατιστική και τις πιθανότητες εμφάνισης στο ιστόγραμμα

Επίπεδα του Γκρι

Συνολικός μέσος όρος

Διακύμανση εντός της κάθε ομάδας (intra-class variance)

Διακύμανση (inter-class variance) μεταξύ των ομάδων

Συνολική διακύμανση (πάντα σταθερή)

Πιθανότητα  $i$  ενός επιπέδου

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

Συνολικά και για τις δύο ομάδες

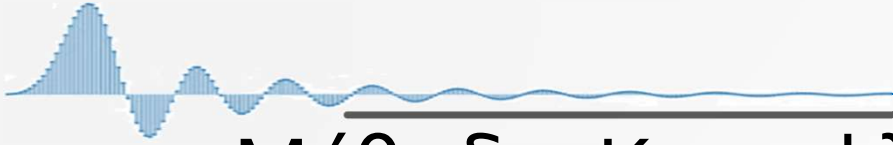
$$i = [1, 2, \dots, L - 1]$$

$$u_T = w_1 u_1 + w_2 u_2$$

$$\sigma_w^2 = \sum_{k=1}^M w_k \sigma_k^2$$

$$\sigma_B^2 = w_1 (u_1 - u_T)^2 + w_2 (u_2 - u_T)^2$$

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

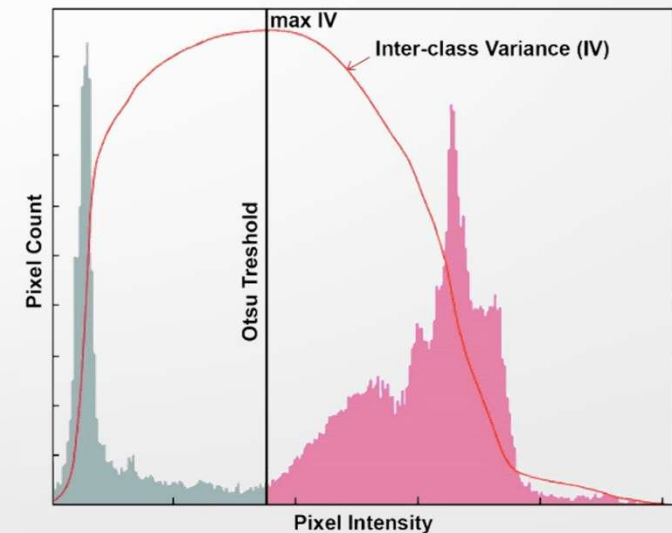


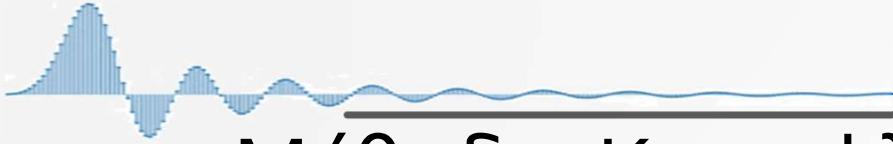
# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu

- Η μέθοδος Otsu επιλέγει το **βέλτιστο όριο κατωφλίου  $t$** , μεγιστοποιώντας τη διακύμανση μεταξύ των κλάσεων (interclass variance)
- Ταυτόχρονα ελαχιστοποιείται το άθροισμα των διακυμάνσεων εντός των κλάσεων
- Επομένως το κατώφλι ορίζεται από τον τύπο:

$$t = \arg \left\{ \max_{0 \leq t \leq L-1} \left\{ \sigma_B^2(t) \right\} \right\} = \arg \left\{ \min_{0 \leq t \leq L-1} \left\{ \sigma_w^2(t) \right\} \right\}$$

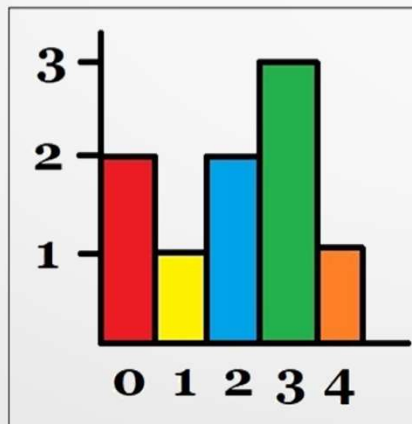




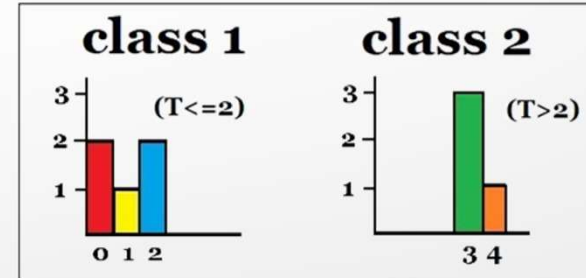
# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu

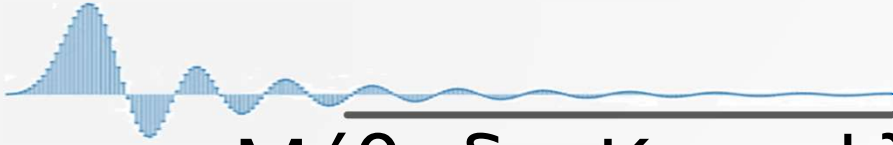
Παράδειγμα για απλό ιστογράμμο 5 επιπέδων γκρι



if  $T = 2$



|       | T=0      | T=1     | T=2     | T=3      | T=4      |
|-------|----------|---------|---------|----------|----------|
| $V_b$ | 1.142857 | 1.38888 | 1.25    | 0.5      | 0        |
| $V_w$ | 0.63492  | 0.38888 | 0.52777 | 1.277777 | 1.777777 |



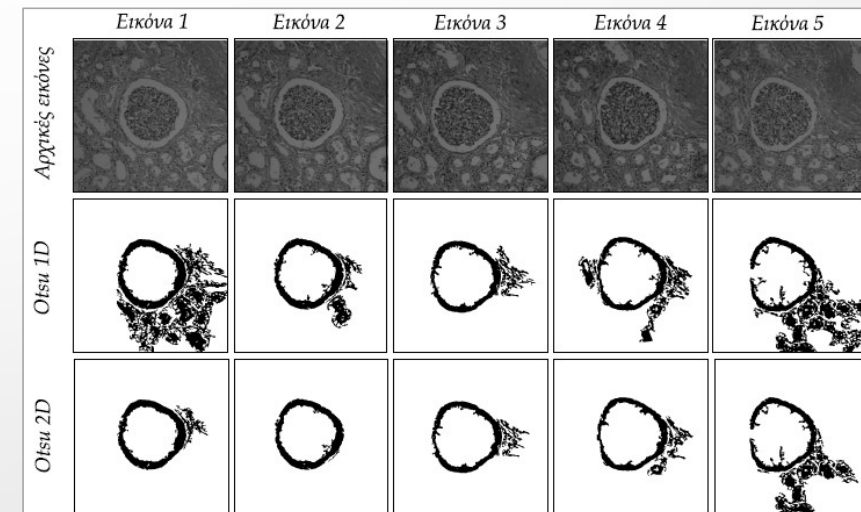
# Μέθοδοι Κατωφλίωσης Ιστογράμματος

## Μέθοδος Otsu

Η μέθοδος Otsu μπορεί να παράξει και παραπάνω από ένα κατώφλια (multithresholding)

### Παράδειγμα

- Στην εικόνα δεξιά δεν προτιμάται η αναζήτηση ενός μόνο κατωφλίου ως το βέλτιστο
- Μέθοδοι κατωφλίωσης πολλαπλών επιπέδων λειτουργούν πιο αποδοτικά, ειδικά όταν μια εικόνα εμπεριέχει περίπλοκα αντικείμενα ή φόντο.



- Οι διαφάνειες βασίζονται στο υλικό του Καθηγητή κ. Ν. Βασιλά για το μάθημα «Επεξεργασία Εικόνας», ακαδημ. έτος 2017-2018, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Βιβλίο Αναγνωστόπουλος

## Βιβλιογραφία