

Βελτιστοποίηση Εικόνας (Α μέρος)

Διάλεξη 4 - Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

TEL750 – ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Δρ. Α. Κούτρας, Αναπληρωτής Καθηγητής
koutras@uop.gr

Περίγραμμα διάλεξης

- Βασικές συναρτήσεις μετασχηματισμού έντασης
- Ιστόγραμμα εικόνας – επεξεργασία ιστογράμματος
- Εξίσωση ιστογράμματος
- Ταίριασμα ιστογράμματος
- Τοπική επεξεργασία ιστογράμματος
- Στατιστική ιστογράμματος για βελτίωση ποιότητας εικόνας

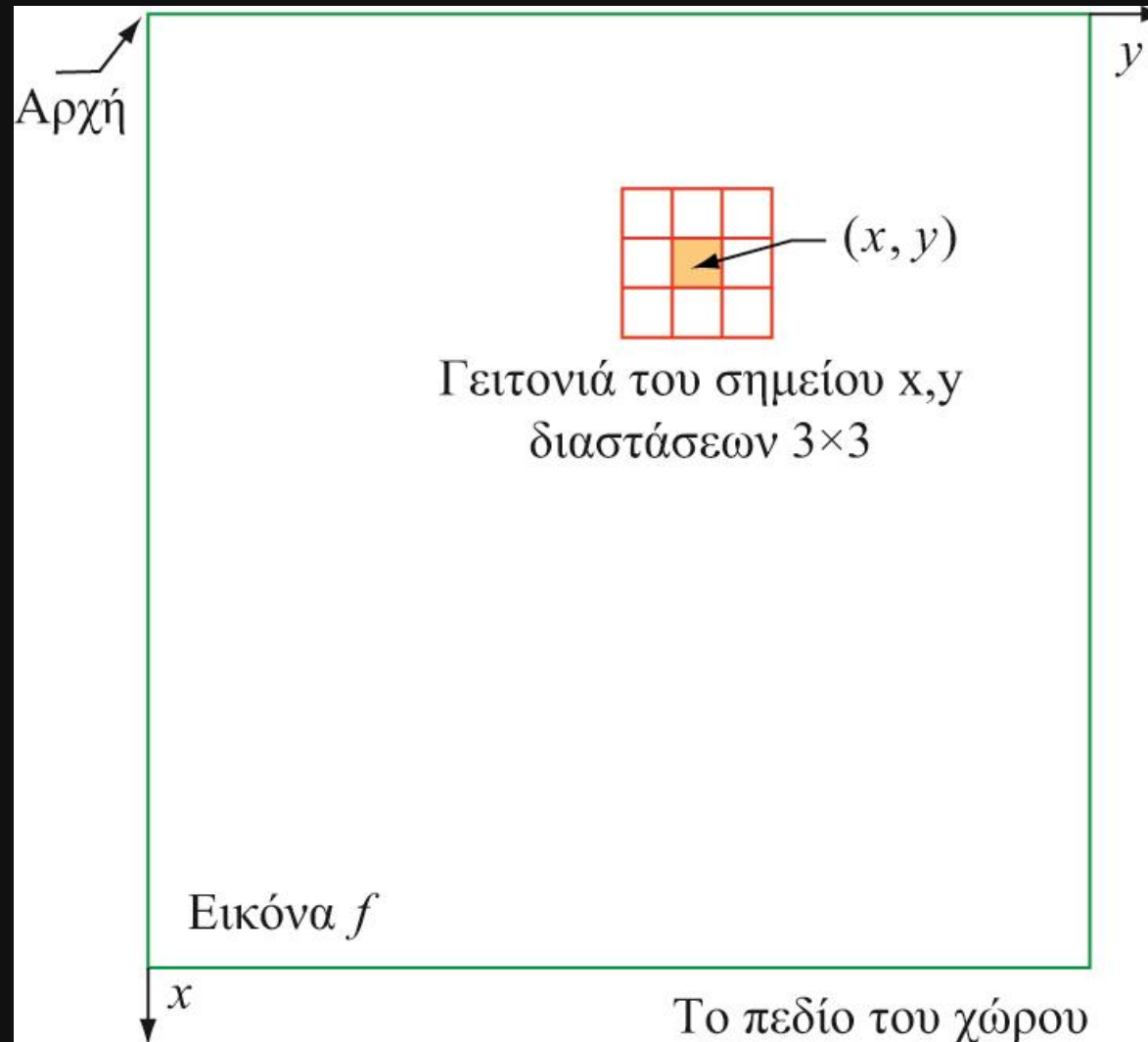
Βασικές συναρτήσεις μετασχηματισμού έντασης

- Οι μετασχηματισμοί έντασης είναι οι πιο απλές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας.

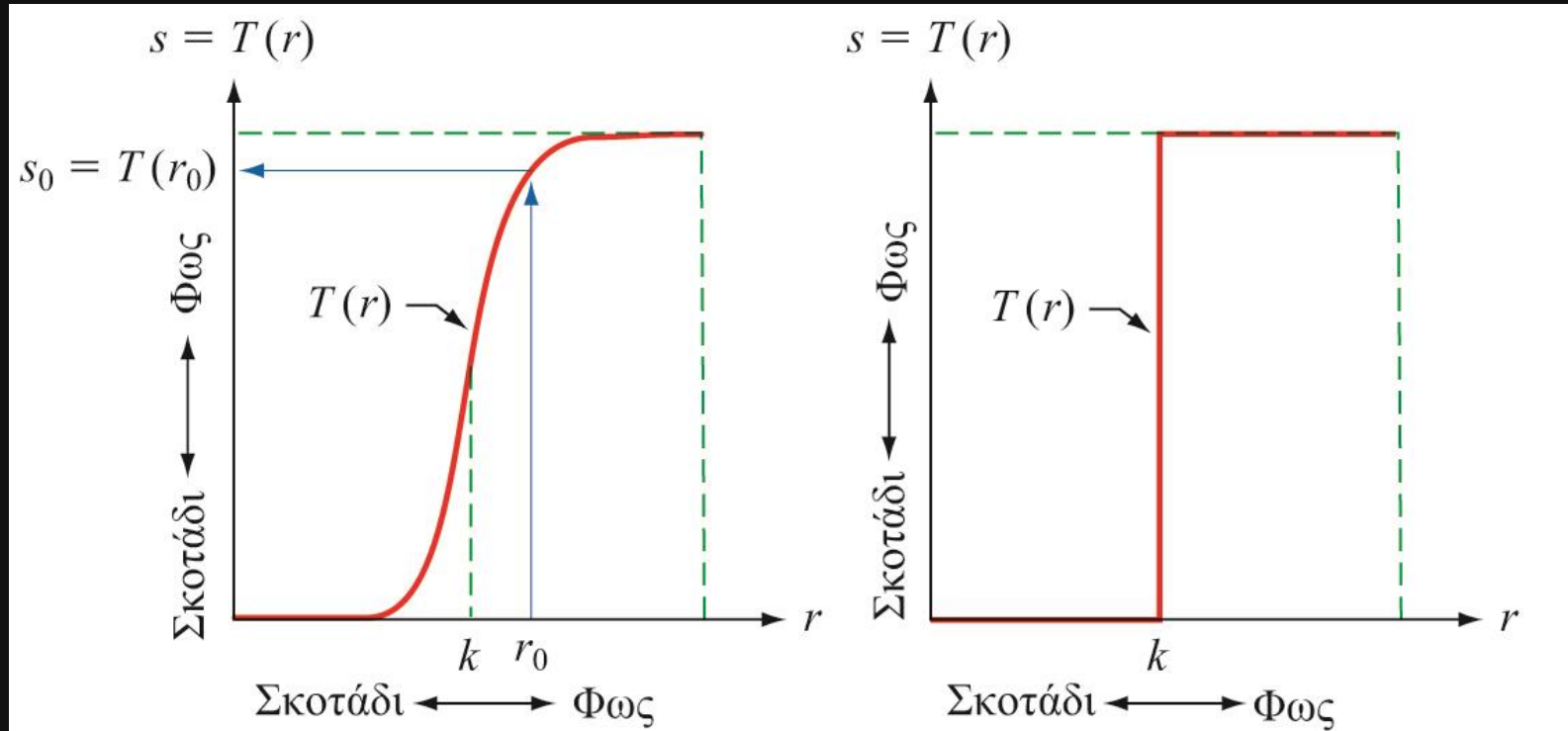
$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

- $s=T(r)$, όπου T είναι ένας μετασχηματισμός που απεικονίζει την τιμή του εικονοστοιχείου r στο s .

Χωρικό φιλτράρισμα εικόνας



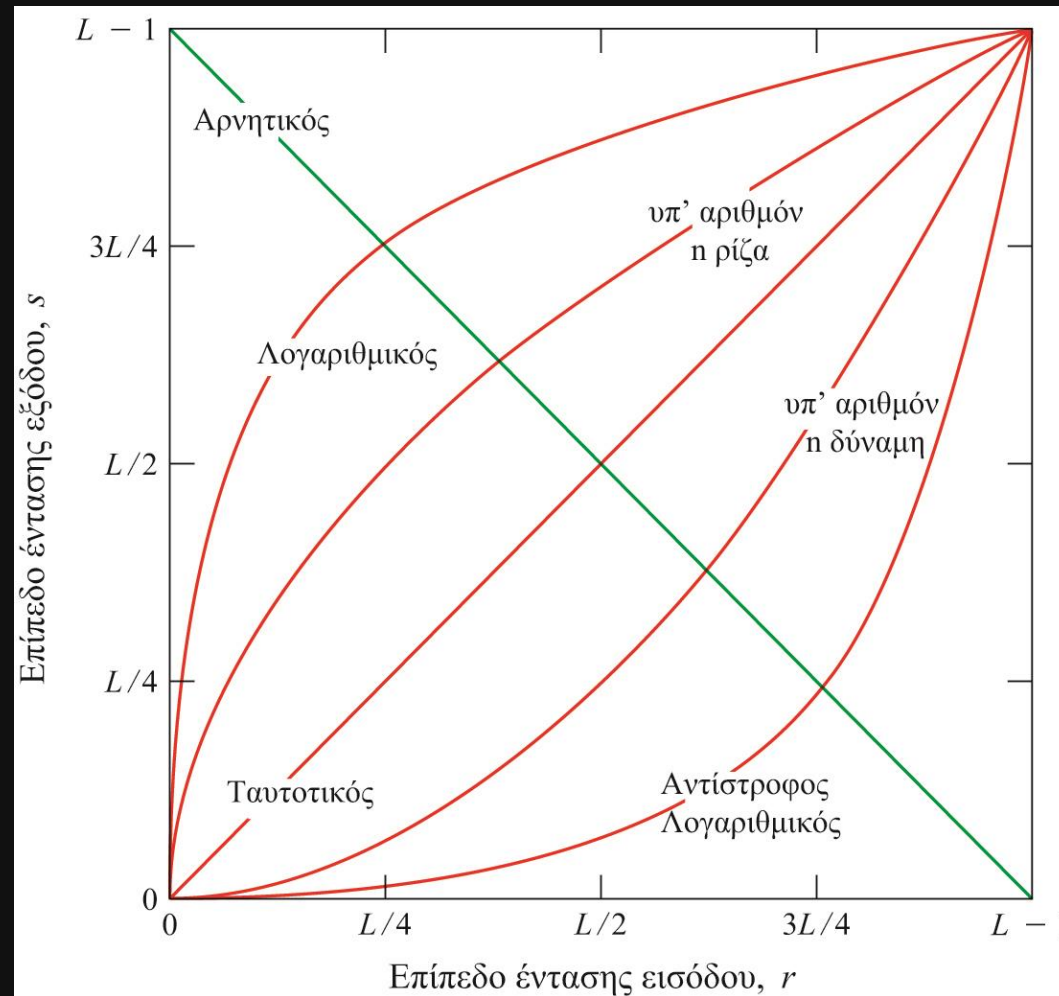
Βασικές συναρτήσεις μετασχηματισμού έντασης



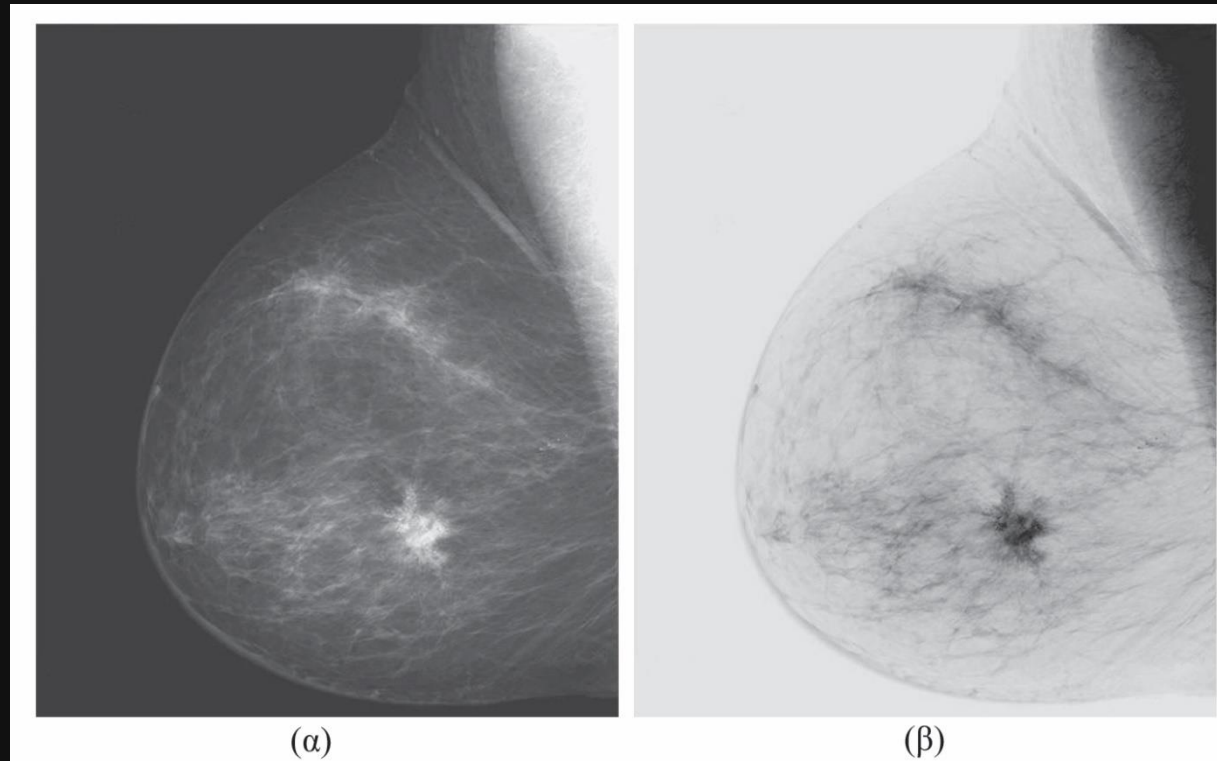
Συνάρτηση ενίσχυσης αντίθεσης

Συνάρτηση εφαρμογής κατωφλίου

Βασικές συναρτήσεις μετασχηματισμών έντασης



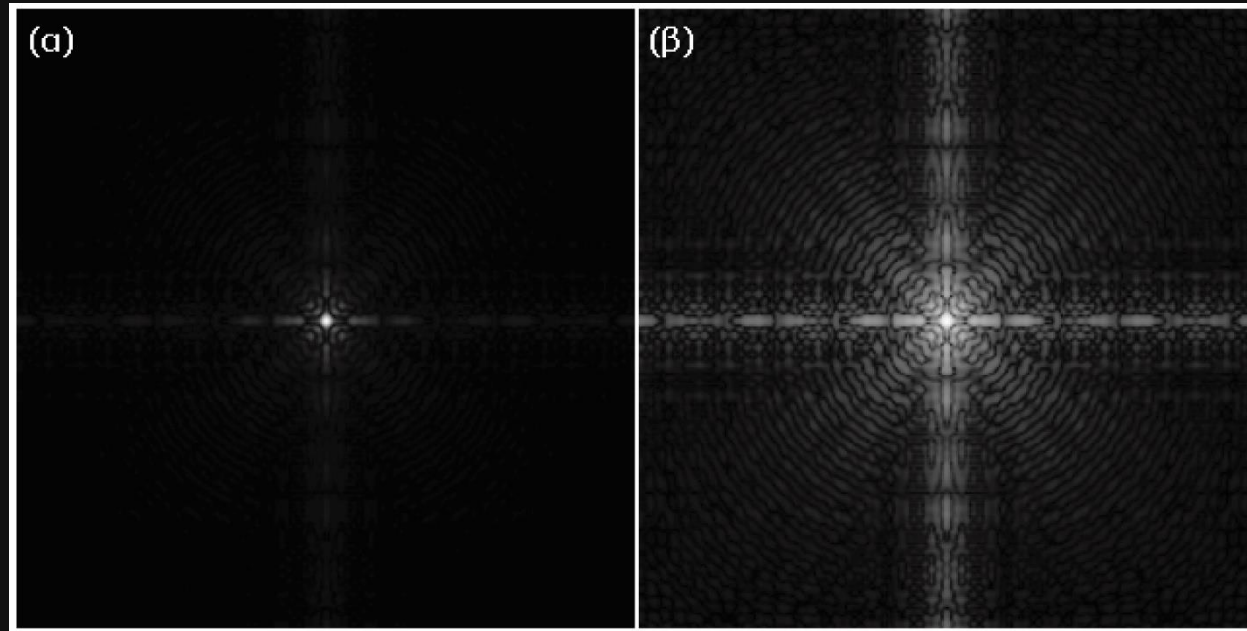
Αρνητική εικόνα - Παράδειγμα



Ο μετασχηματισμός αρνητικού μιας εικόνας που έχει φωτεινότητες $[0, L - 1]$ έχει την μορφή: $s = L - 1 - r$

Μετασχηματισμός λογαρίθμου

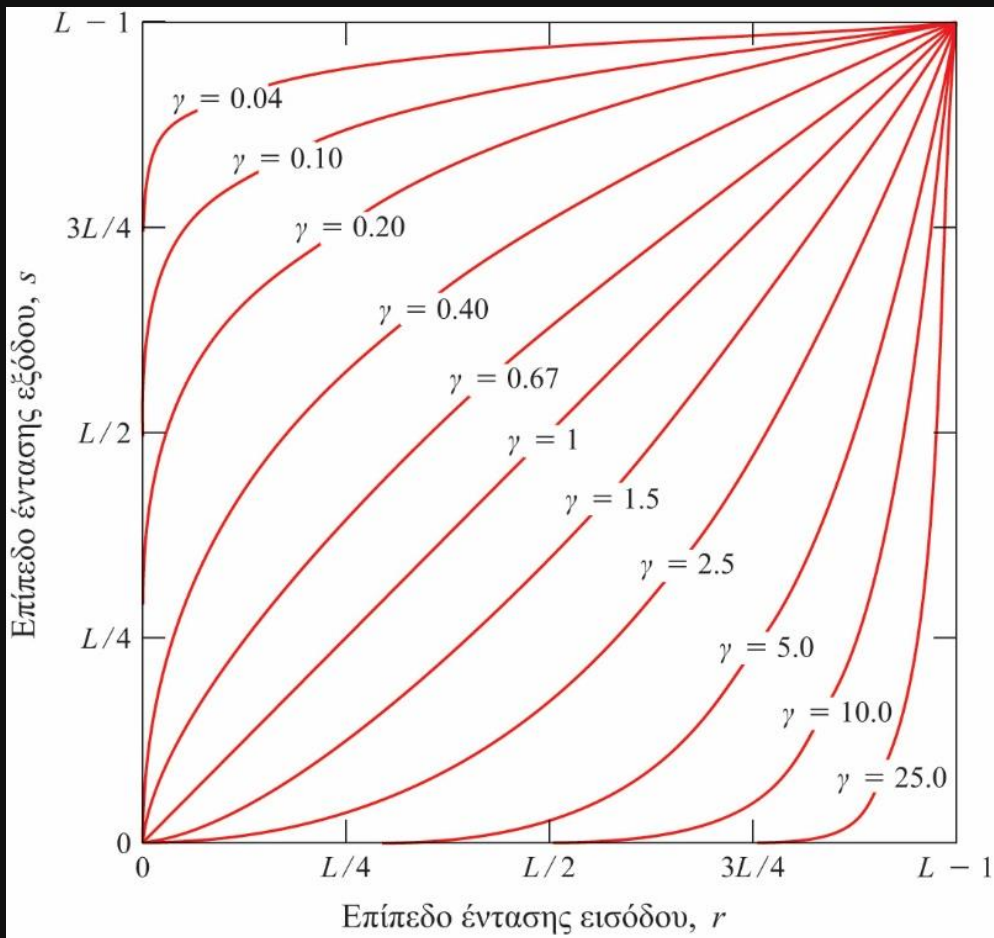
$$s = c \log(1 + r)$$



Φάσμα εικόνας μετά από
μετασχηματισμό Fourier

Μετασχηματισμός λογαρίθμου

Μετασχηματισμοί με βάση την ύψωση σε δύναμη (μετασχηματισμοί $-\gamma$)

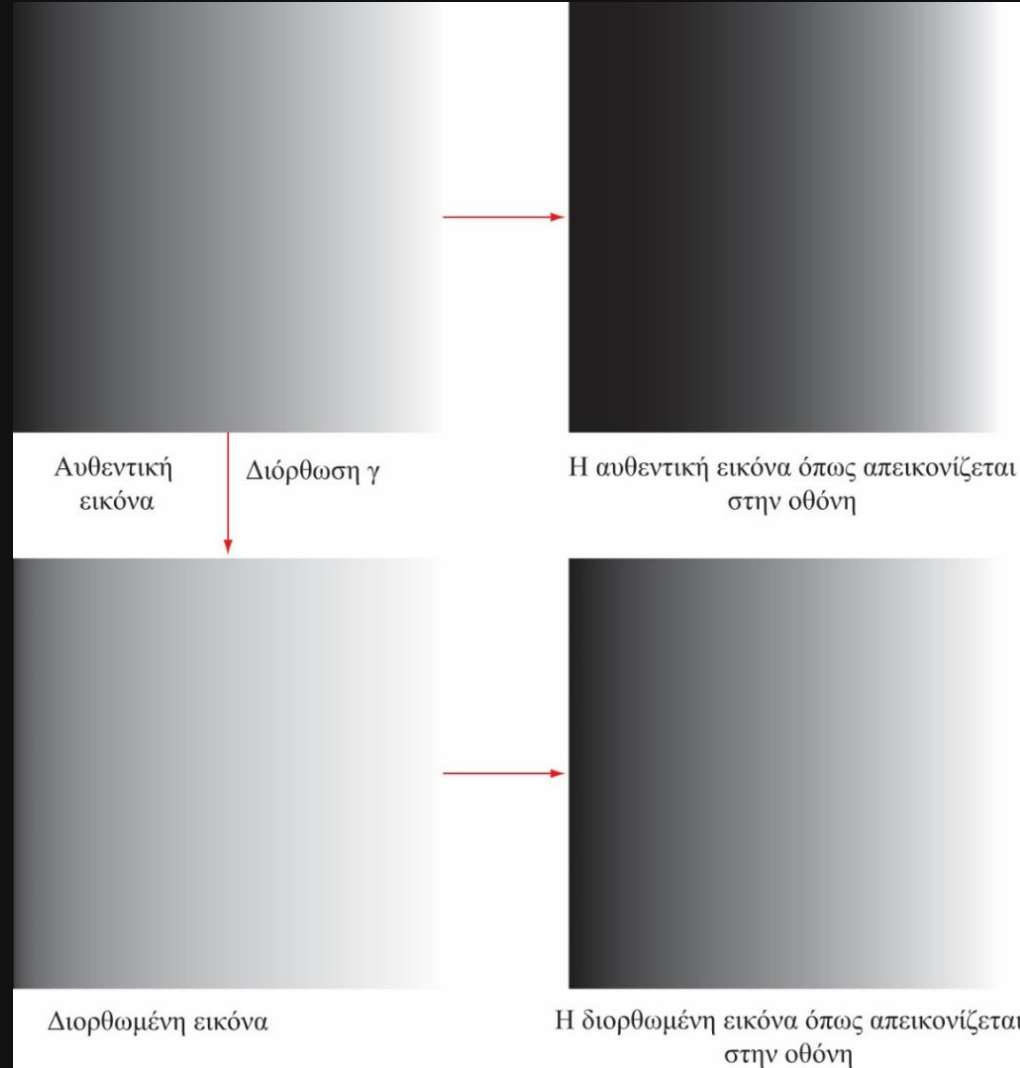


$$s = c(r + e)^\gamma$$

Βελτίωση Γάμα (γ)

- Ο εκθέτης της προηγούμενης σχέσης ονομάζεται γάμα.
- Πολλές συσκευές λειτουργούν με εκθετικό τρόπο: οθόνες, εκτυπωτές, σαρωτές κλπ
- Η βελτίωση της εκθετικής σχέσης ονομάζεται βελτίωση γάμμα.
- Οι CRT οθόνες έχουν εκθετική σχέση φωτεινότητας-τάσης με $\gamma=1.8-2.5$

Βελτίωση γάμα



Βελτίωση ποιότητας σκοτεινής εικόνας



Εικόνα μαγνητικού
συντονισμού ενός
κατάγματος
ανθρώπινης
σπονδυλικής στήλης

$\gamma=0.6$

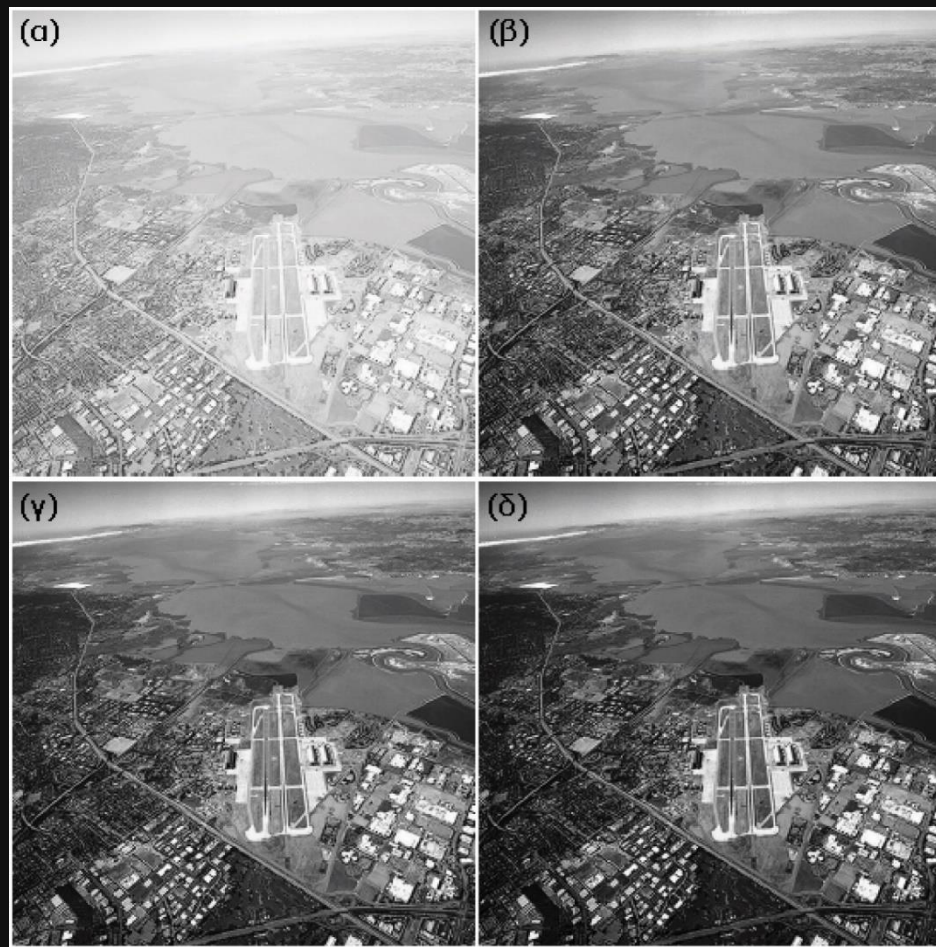
$\gamma=0.4$

$\gamma=0.3$

Βελτίωση λεπτομέρειας στο υπόβαθρο της εικόνας
Μείωση της έντασης -> ξεπλυμένη εικόνα

Βελτίωση ποιότητας φωτεινής εικόνας

αεροφωτογραφία



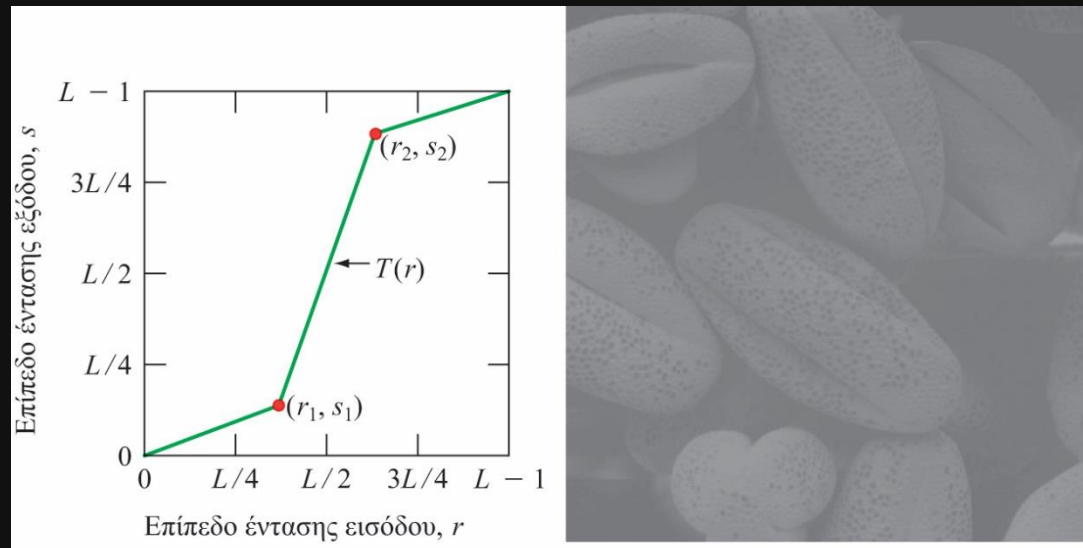
$\gamma=3.0$

$\gamma=4.0$

$\gamma=5.0$

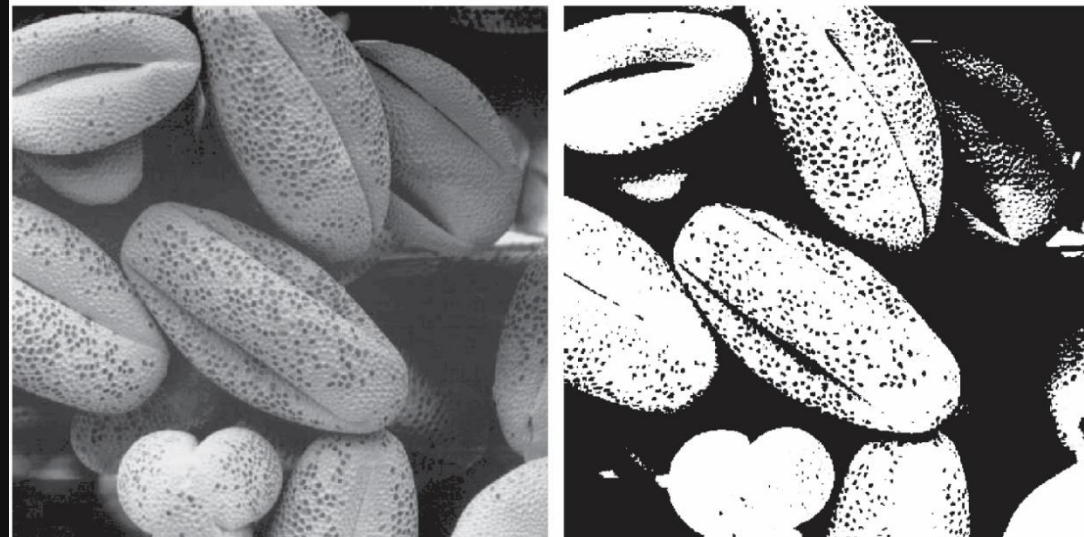
Τμηματικά συνεχείς συναρτήσεις μετασχηματισμού – Βελτίωση της αντίθεσης της εικόνας

Τμηματικά συνεχής συνάρτηση μετασχηματισμού



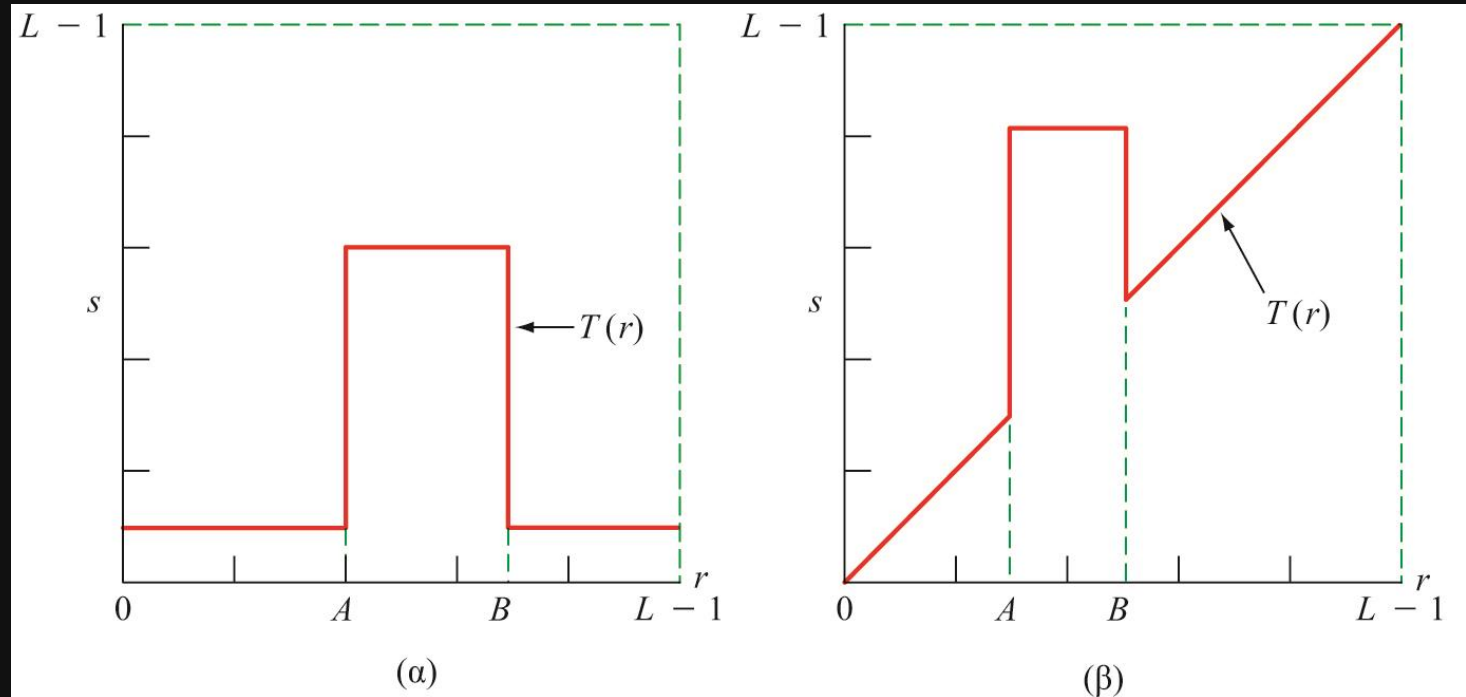
Εικόνα μικροσκοπίου χαμηλής αντίθεσης

Αποτέλεσμα της βελτίωσης της αντίθεσης



Αποτέλεσμα εφαρμογής συνάρτησης κατωφλίου

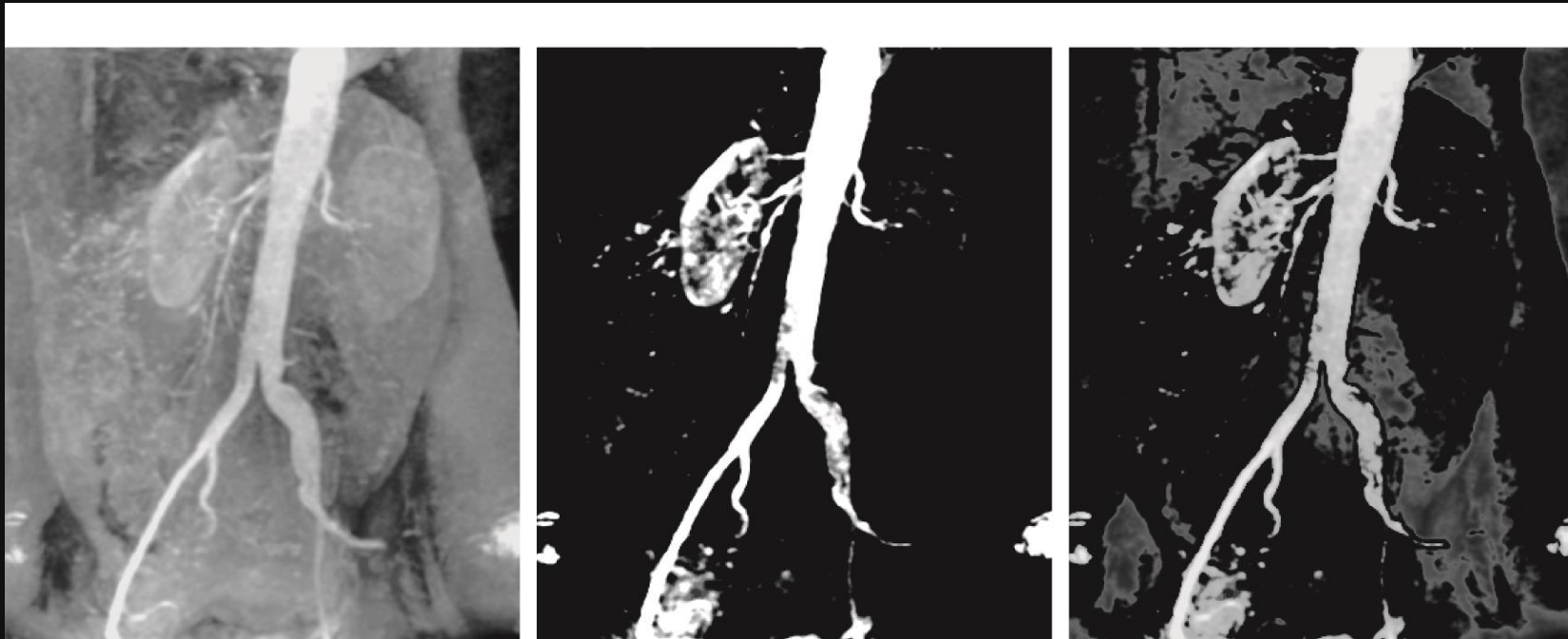
Τεμαχισμός επιπέδων έντασης



Αναδεικνύει την περιοχή τιμών έντασης $[A, B]$ και απεικονίζει τις υπόλοιπες τιμές έντασης χαμηλότερα

Αναδεικνύει την περιοχή τιμών έντασης $[A, B]$, αφήνει αμετάβλητες τις υπόλοιπες τιμές έντασης

Τεμαχισμός επιπέδων έντασης (παράδειγμα)

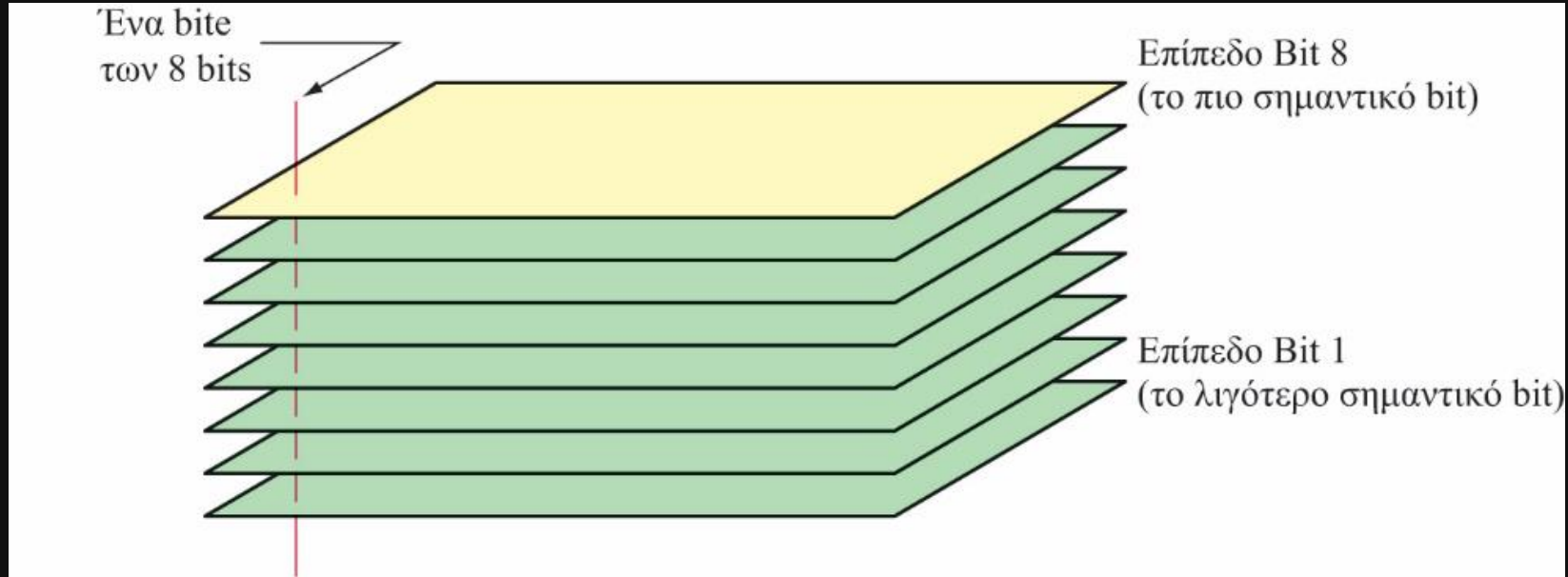


Αγγειόγραμμα αορτής κοντά
στην περιοχή των νεφρών

Αποτέλεσμα μετασχηματισμού
τεμαχίσματος (α) για την
περιοχή του άνω ορίου
κλίμακας γκρι

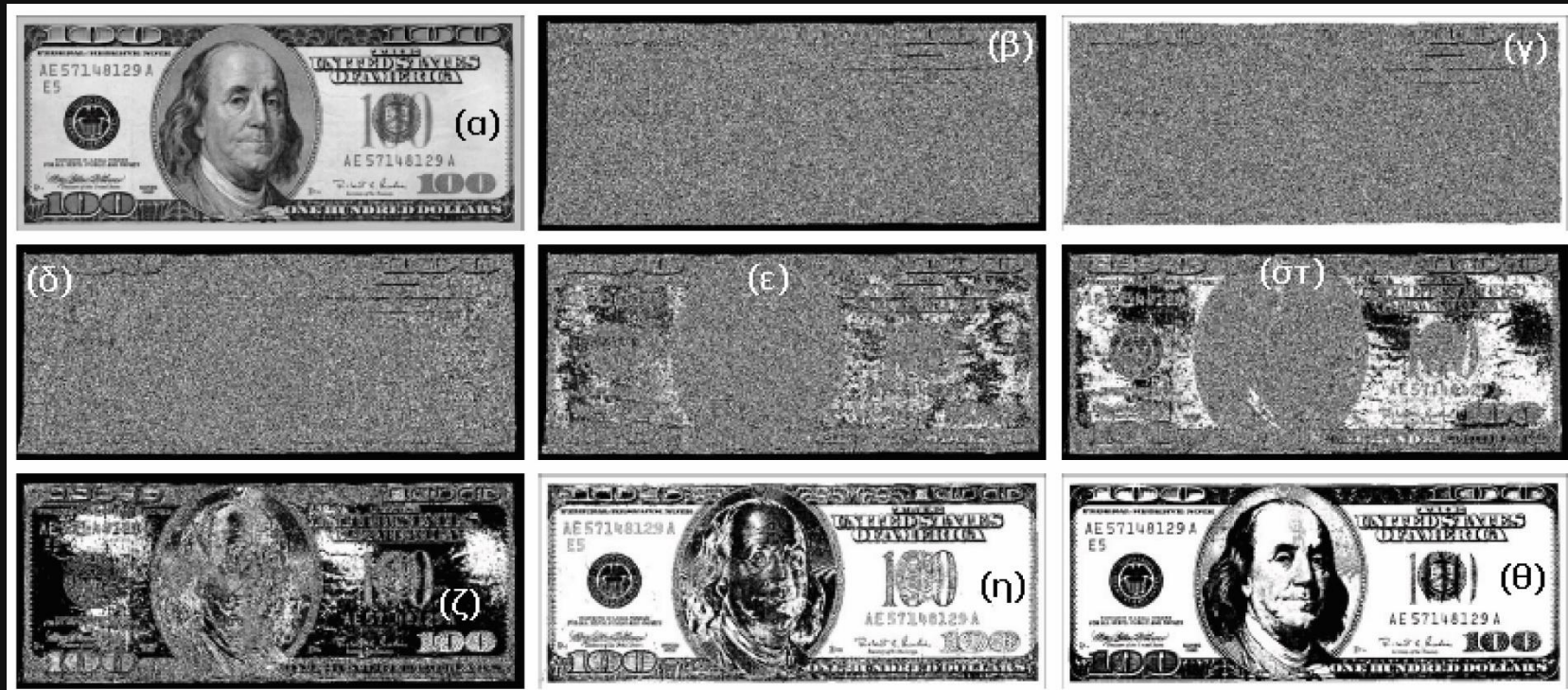
Αποτέλεσμα μετασχηματισμού
τεμαχίσματος (β). Η επιλεγμένη
περιοχή έχει τεθεί στο μαύρο
χρώμα για να διατηρηθούν τα
γκρι στα αιμοφόρα αγγεία και
τους νεφρούς

Τεμαχισμός του επιπέδου των bits



Τα επίπεδα bits σε μια εικόνα 8 bits

Αποτέλεσμα τεμαχισμού του επιπέδου bits



(α) μια μονοχρωματική εικόνα 500X1192 (β)-(θ) τα επίπεδα των bits από το 1 μέχρι το 8 με το επίπεδο 1 να αντιστοιχεί στο λιγότερο σημαντικό bit. Το κάθε ένα από αυτά αντιστοιχεί σε μια δυαδική εικόνα.

Ανακατασκευή εικόνας από επίπεδα bits



Χρήση των επιπέδων 8 και 7

Χρήση των επιπέδων 8,7 και 6

Χρήση των επιπέδων 8,7,6 και 5

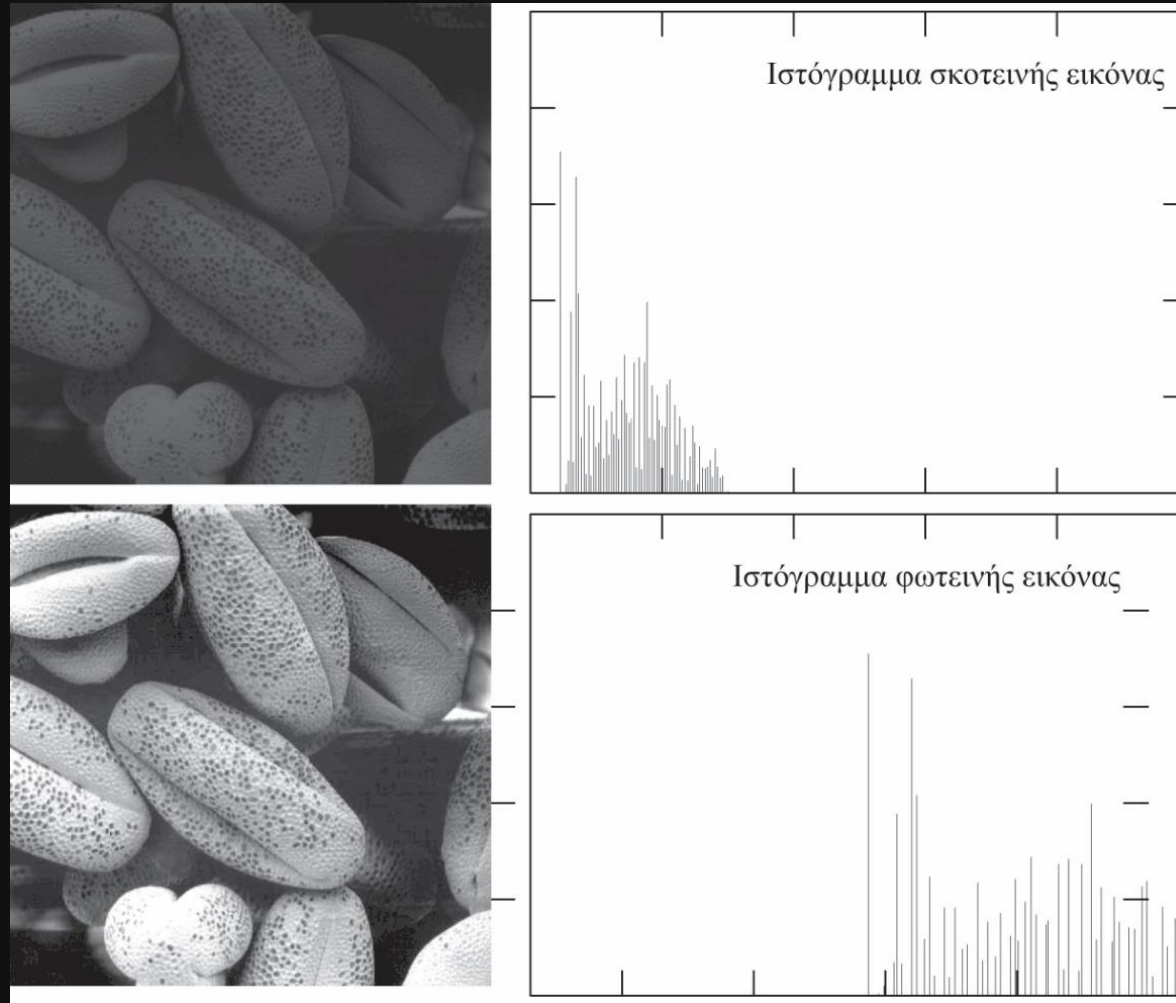
Ιστόγραμμα ψηφιακής εικόνας

- Η φωτεινότητα $f(i,j)$ σε κάθε σημείο της εικόνας μπορεί να θεωρηθεί σαν τυχαία μεταβλητή με pdf ίση με $p_f(f)$.
- Επειδή δεν είναι διαθέσιμη πρέπει να εκτιμηθεί από την ίδια εικόνα εμπειρικά.
- Η εμπειρική πυκνότητα πιθανότητας της εικόνας ονομάζεται ιστόγραμμα.

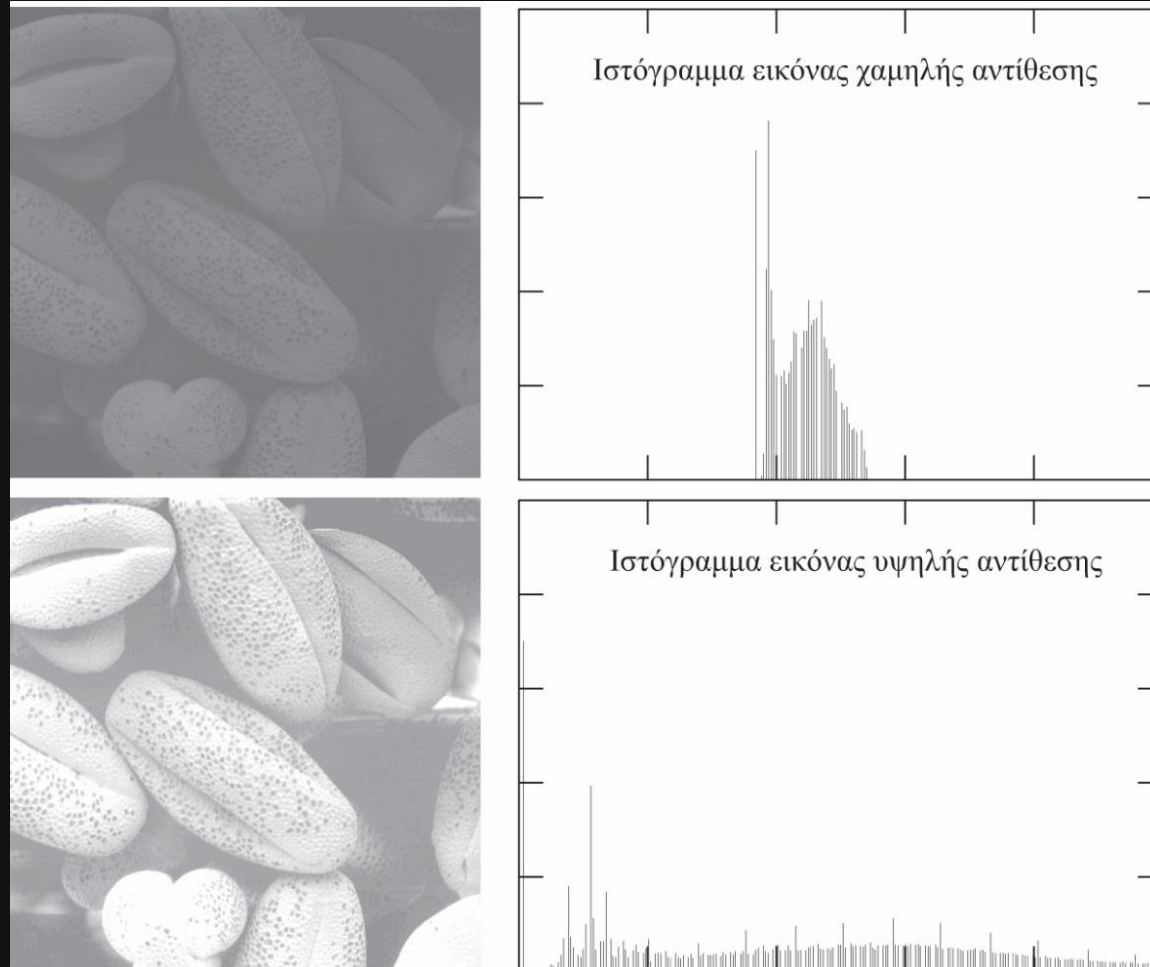
$$\hat{p}_f(f) = \frac{n_k}{n}$$

Για εικόνα με L διακριτά επίπεδα του γκρι (0-255)
 n_k ο αριθμός των pixel με φωτεινότητα k

Ιστογράμματα εικόνας στους 4 βασικούς τύπους εικόνων



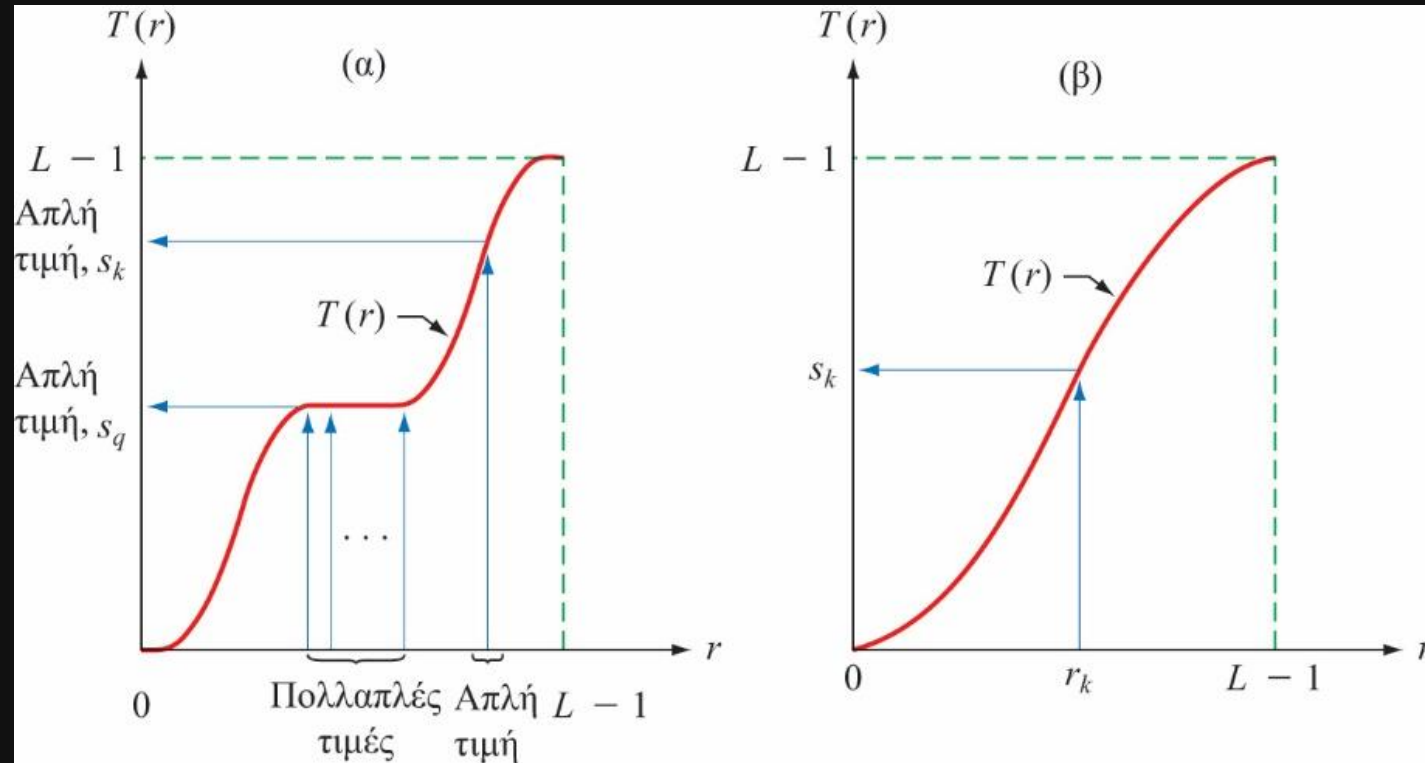
Ιστογράμματα εικόνας στους 4 βασικούς τύπους εικόνων



Εξίσωση ιστογράμματος (histogram equalization)

- Θεωρούμε ότι έστω οι τιμές έντασης δεν είναι διακριτές, αλλά συνεχείς και συμβολίζονται με s
- Υποθέτουμε ότι η μεταβλητή r ανήκει στην περιοχή $[0, L-1]$ με $r=0$ το λευκό και $r=L-1$ το μαύρο.
- Μας ενδιαφέρουν να μελετήσουμε τους μετασχηματισμούς $s = T(r)$ με:
 - ▣ Η συνάρτηση $T()$ είναι μια μονότονα αύξουσα συνάρτηση στο $[0, L-1]$
 - ▣ Ισχύει ότι $0 \leq T(r) \leq L - 1$

Παραδείγματα συναρτήσεων μετασχηματισμού



Ιστόγραμμα εικόνας μετά από την εξίσωση ιστογράμματος

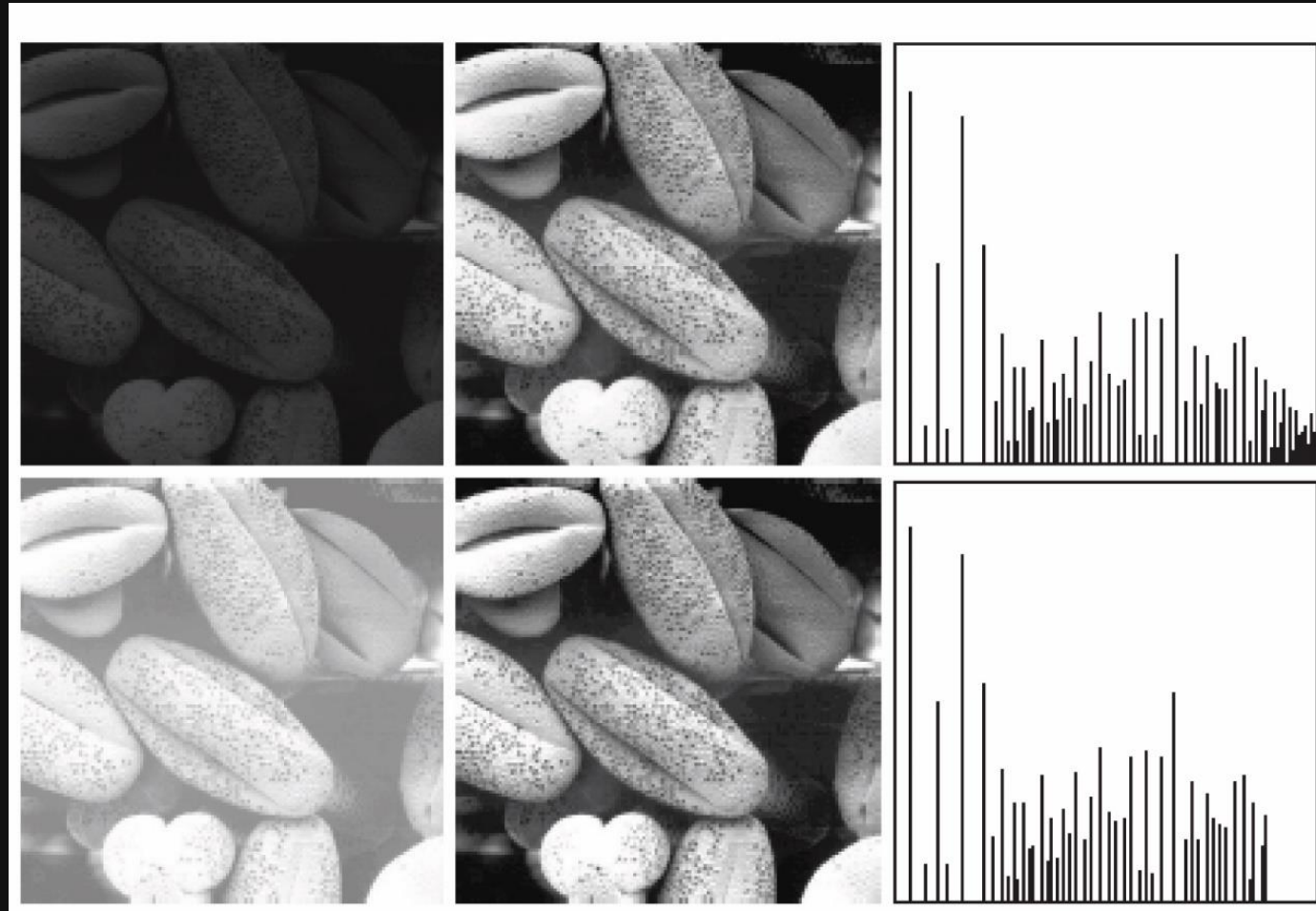
- Αν οι συναρτήσεις $p_r(r)$ και $T(r)$ είναι γνωστές και επιπλέον το $T(r)$ είναι συνεχής και διαφορίσιμη σε όλο το εύρος της περιοχής τιμών που μας ενδιαφέρει, τότε ισχύει

$$p_s(s) = p_r(r) \left| \frac{dr}{ds} \right|$$

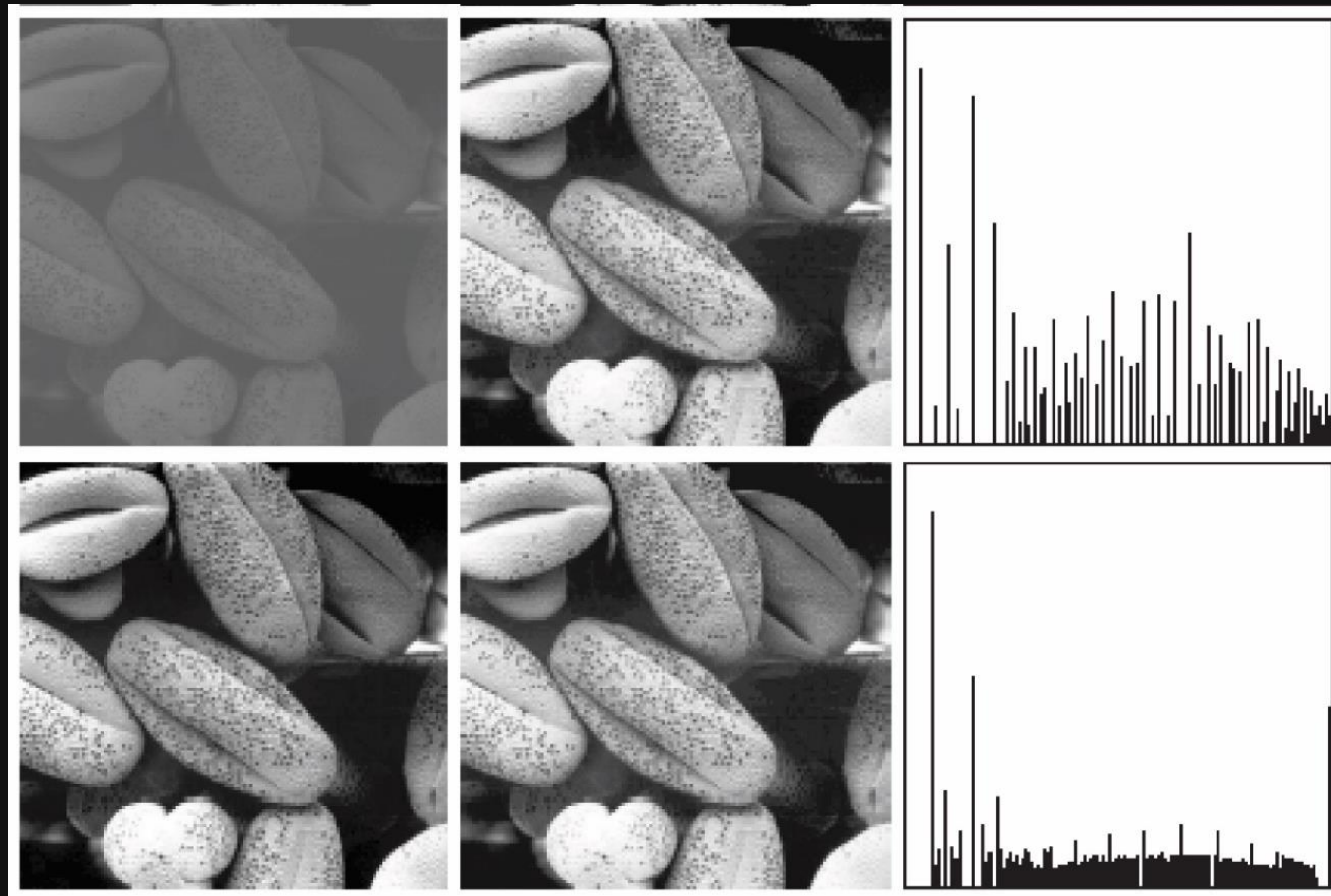
$$s = T(r) = (L - 1) \int_0^r p_r(w) dw$$

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{\{j=1\}}^k p_r(r_j), k = 1, 2, \dots, L - 1$$

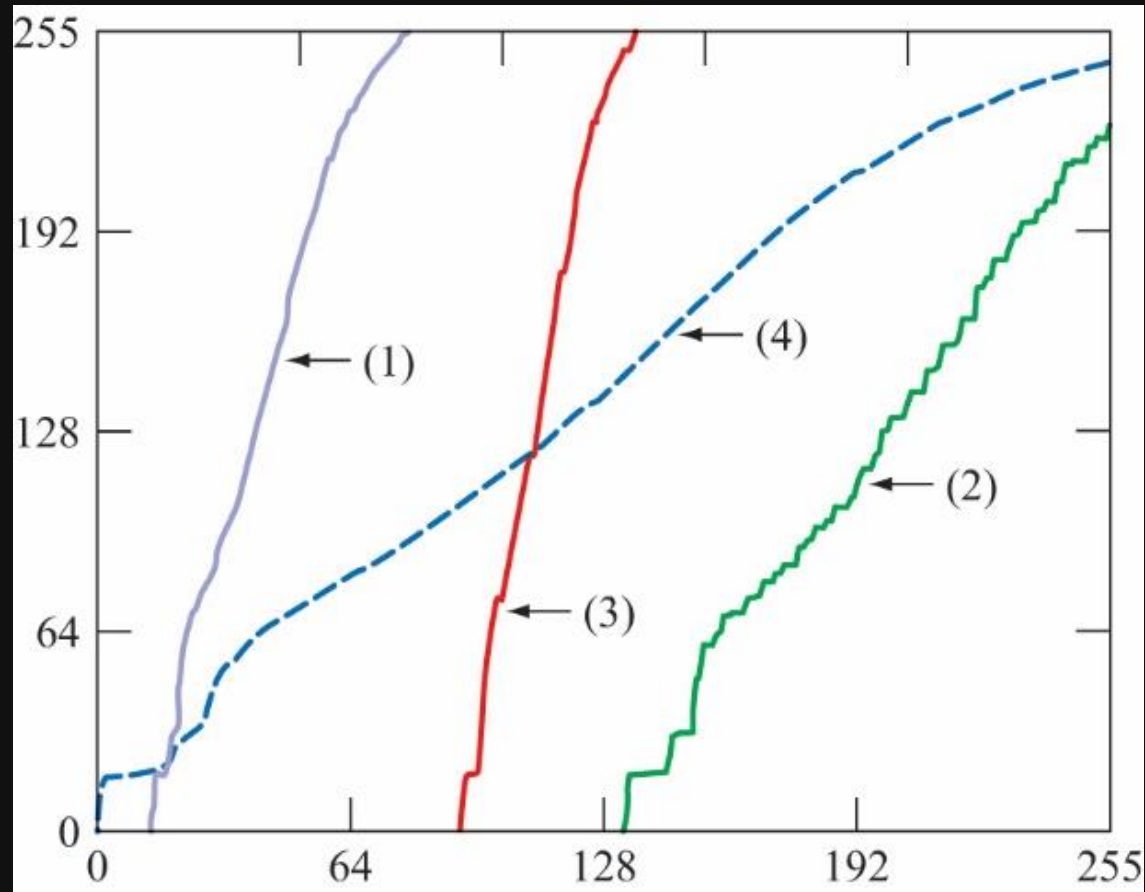
Εξίσωση ιστογράμματος - Παραδείγματα



Εξίσωση ιστογράμματος - Παραδείγματα



Συναρτήσεις μετασχηματισμού εξίσωσης ιστογράμματος



Ταίριασμα ιστογράμματος (histogram matching)

- Η εξίσωση ιστογράμματος δημιουργεί μια εικόνα που χαρακτηρίζεται από ένα εξισορροπημένο ιστόγραμμα.
- Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό είναι επιθυμητό, σε άλλες θέλουμε να καθορίσουμε εμείς την μορφή του ιστογράμματος.
- Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε ονομάζεται ταίριασμα ιστογράμματος.

Ταίριασμα ιστογράμματος (histogram matching)

- Υπολογίζουμε την $p_r(r)$ από την αρχική εικόνα

$$s = T(r) = (L - 1) \int_0^r p_r(w) dw$$

- Χρησιμοποιούμε την pdf που θέλουμε $p_z(u)$ για να υπολογίσουμε την $G(z)$

$$G(z) = (L - 1) \int_0^z p_z(u) du = s$$

- Υπολογίζουμε τον αντίστροφο μετασχηματισμό $z=G^{-1}(s)$

$$z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)]$$

- Υπολογίζουμε την τελική εικόνα:

- ▣ πρώτα εφαρμόζουμε ισοστάθμιση ιστογράμματος της αρχικής εικόνας (μετατρέποντας τα pixel της σε τιμές s)
 - ▣ για κάθε ένα pixel με τιμή s , εφαρμόζουμε τον αντίστροφο μετασχηματισμό $z=G^{-1}(s)$ και παίρνουμε τις φωτεινότητες των τελικών pixels
- η pdf της τελικής εικόνας θα είναι ίδια με το ιστόγραμμα που θέσαμε στην αρχή.

Ταίριασμα ιστογράμματος (histogram matching)

- Υπολογίζουμε το ιστόγραμμα της αρχικής εικόνας και χρησιμοποιούμε την εξίσωση ισοστάθμισης για να αντιστοιχίσουμε τις φωτεινότητες σε νέες τιμές (με προσέγγιση σε L επίπεδα φωτεινότητας)

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

- Υπολογίζουμε όλες τις τιμές $G(z_q)$ χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση και το τελικό ιστόγραμμα ($p_z(z)$) και τις στρογγυλοποιούμε σε L επίπεδα φωτεινότητων

$$G(z_q) = (L - 1) \sum_{i=0}^q p_z(z_i)$$

- Για κάθε τιμή s_k , χρησιμοποιούμε τις τιμές από το παραπάνω βήμα για να βρούμε τις z_q ώστε το $G(z_q)$ να βρίσκεται πιο κοντά στο s_k
- αν υπάρχουν περισσότερες από μία τιμές, διαλέγουμε την μικρότερη τιμή
- Υπολογίζουμε την τελική εικόνα με αντιστοίχιση κάθε pixel με τιμή s_k στο pixel με τιμή z_q χρησιμοποιώντας την αντιστοίχιση του βήματος 3
- η pdf της τελικής εικόνας θα είναι ίδια με το ιστόγραμμα που θέσαμε στην αρχή.

Παράδειγμα ταιριάσματος ιστογράμματος

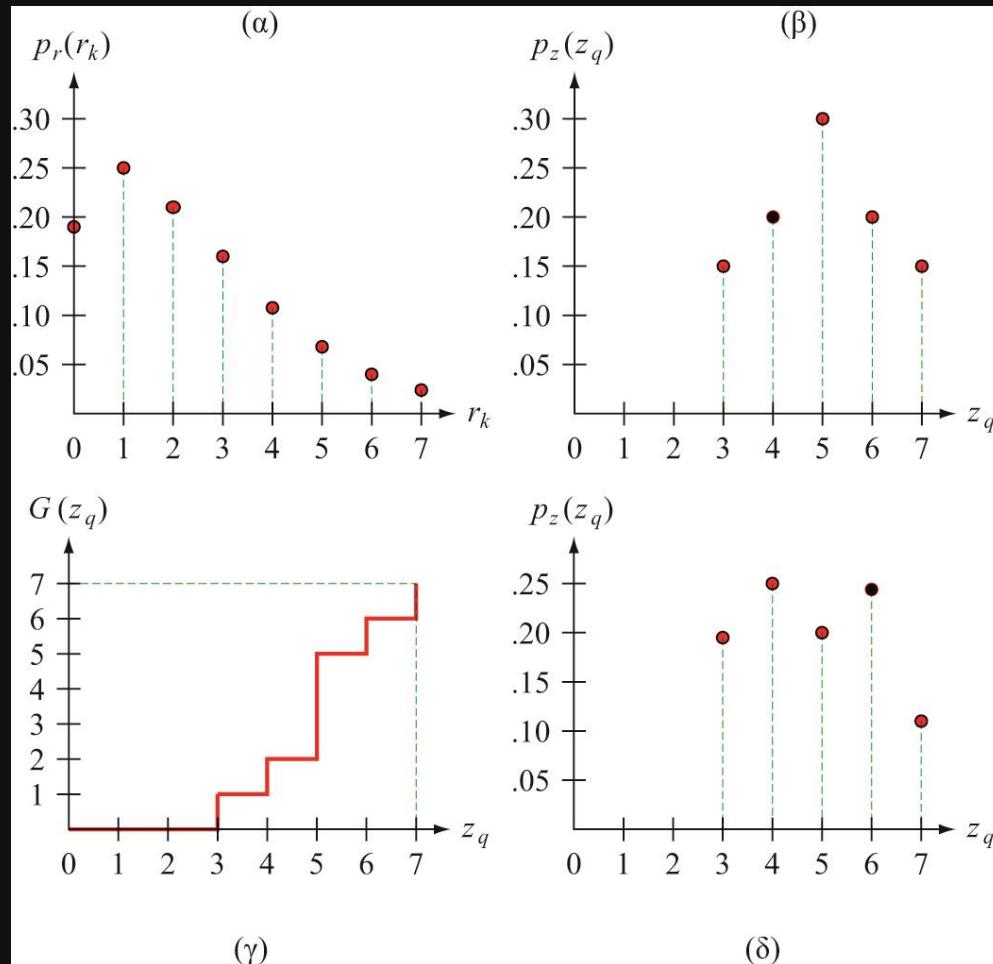
r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k / MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02

z_q	Επιθυμητό $p_z(z_q)$
$z_0 = 0$	0.00
$z_1 = 1$	0.00
$z_2 = 2$	0.00
$z_3 = 3$	0.15
$z_4 = 4$	0.20
$z_5 = 5$	0.30
$z_6 = 6$	0.20
$z_7 = 7$	0.15

z_q	$G(z_q)$
$z_0 = 0$	0
$z_1 = 1$	0
$z_2 = 2$	0
$z_3 = 3$	1
$z_4 = 4$	2
$z_5 = 5$	5
$z_6 = 6$	6
$z_7 = 7$	7

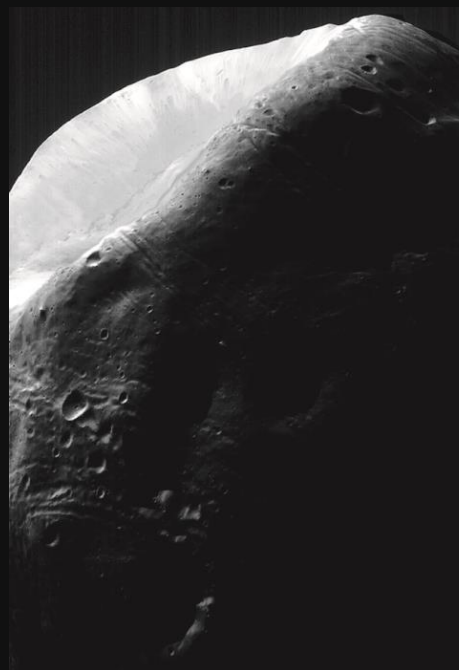
s_k	\rightarrow	z_q
1	\rightarrow	3
3	\rightarrow	4
5	\rightarrow	5
6	\rightarrow	6
7	\rightarrow	7

Ταίριασμα ιστογράμματος (histogram matching)

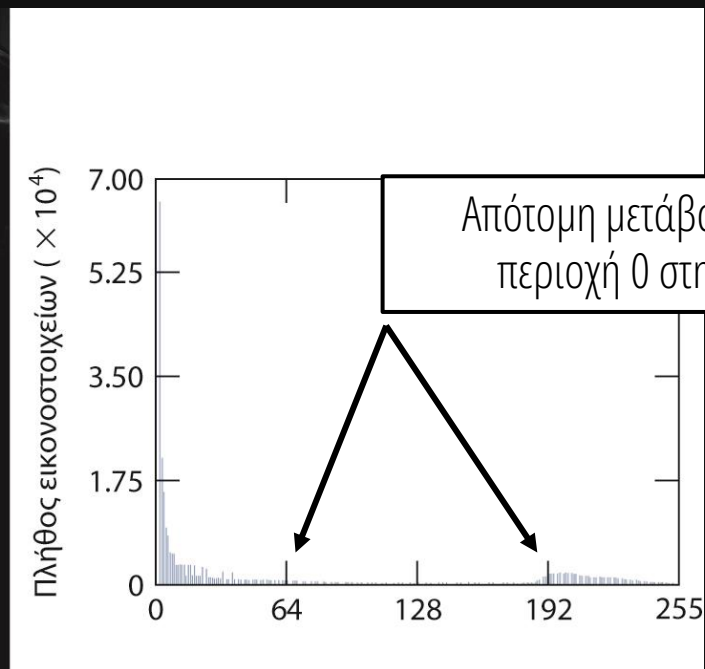


z_q	Επιθυμητό $p_z(z_q)$	Πραγματικό $p_z(z_k)$
$z_0 = 0$	0.00	0.00
$z_1 = 1$	0.00	0.00
$z_2 = 2$	0.00	0.00
$z_3 = 3$	0.15	0.19
$z_4 = 4$	0.20	0.25
$z_5 = 5$	0.30	0.21
$z_6 = 6$	0.20	0.24
$z_7 = 7$	0.15	0.11

Παράδειγμα ταιριάσματος ιστογράμματος



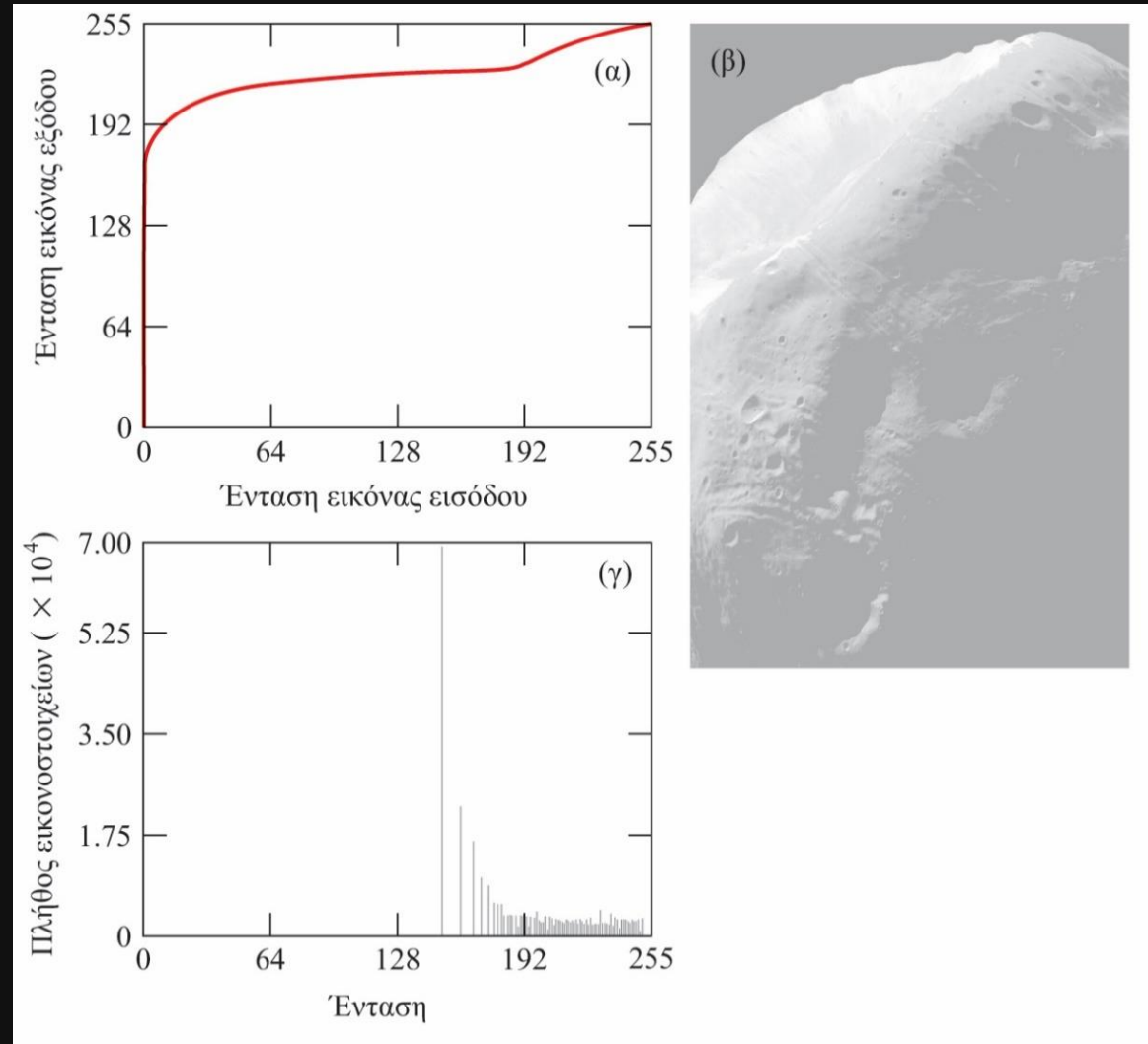
Εικόνα του Φόβου, ένα από τα φεγγάρια του Άρη



Ιστόγραμμα της εικόνας

Παράδειγμα καθορισμού ιστογράμματος

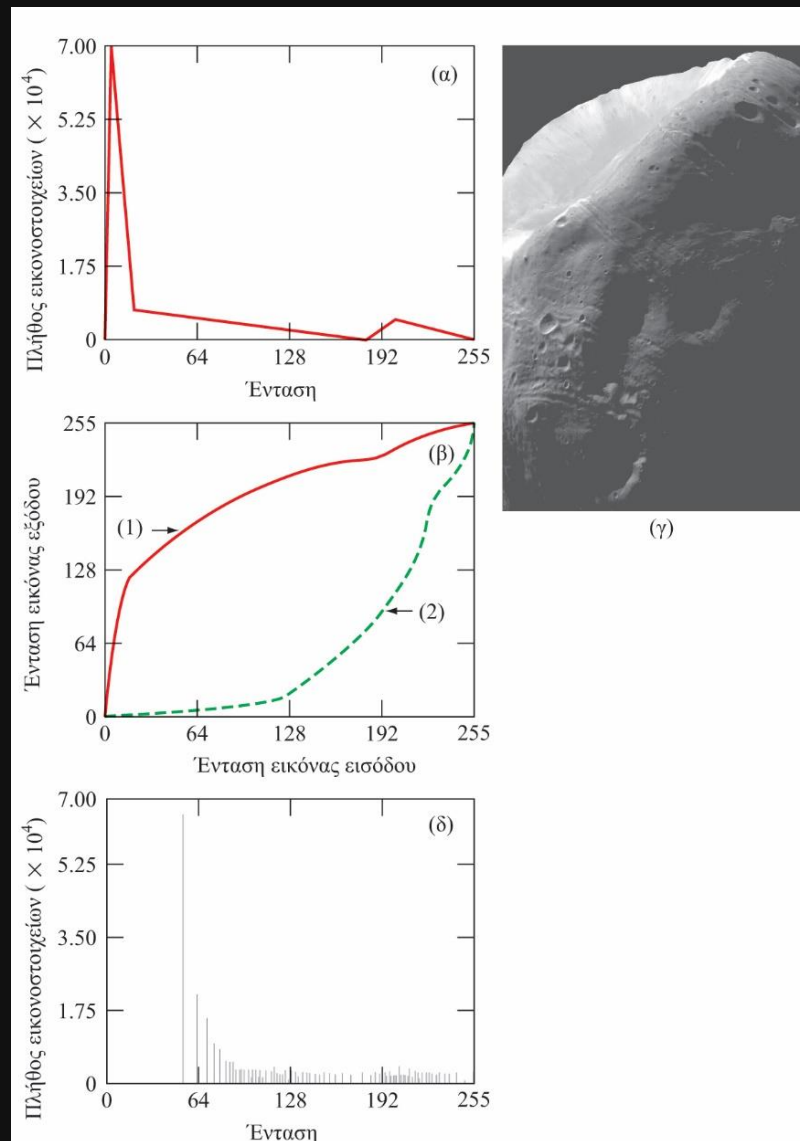
Αποτέλεσμα του μετασχηματισμού της
εξίσωσης του ιστογράμματος της εικόνας



Παράδειγμα καθορισμού ιστογράμματος

Καθορισμός ιστογράμματος

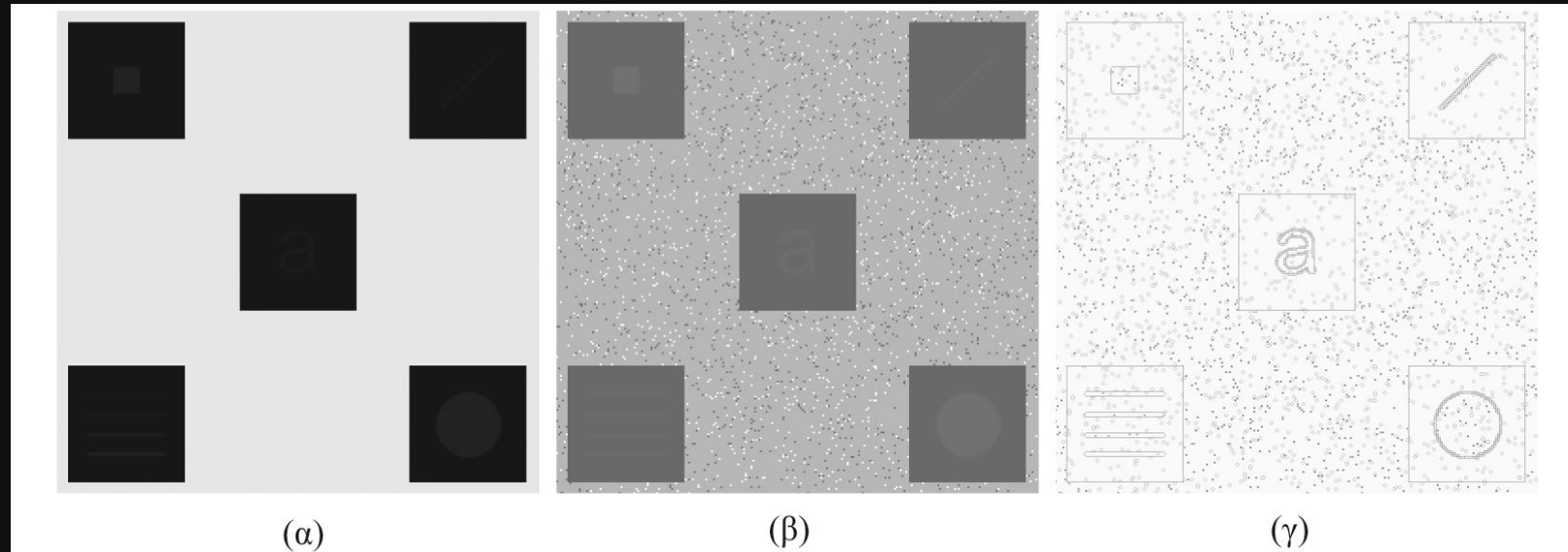
- (α) το επιθυμητό ιστόγραμμα
- (β) ο μετασχηματισμός $G(s_k)$ και $G^{-1}(s_k)$
- γ) αποτέλεσμα του καθορισμού ιστογράμματος
- δ) το ιστόγραμμα της εικόνας που προκύπτει.



Τοπική επεξεργασία ιστογράμματος

- Οι προηγούμενες τεχνικές είναι καθολικές, δηλαδή εφαρμόζονται σε ολόκληρη την εικόνα και τροποποιούν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας.
- Αν έχουμε στόχο την ενίσχυση λεπτομερειών σε μικρές περιοχές της εικόνας, οι πιο πάνω τεχνικές δεν λειτουργούν αποδοτικά.
- Το πλήθος των εικονοστοιχείων της μικρής περιοχής είναι μικρό και δεν μπορούν να επιδράσει στον υπολογισμό των καθολικών μετασχηματισμών.
- Η λύση είναι να δημιουργήσουμε συναρτήσεις μετασχηματισμών που βασίζονται σε κατανομή έντασης σε γειτονιές εικονοστοιχείων.

Τοπική επεξεργασία ιστογράμματος



Αρχική Εικόνα

Ολική ισοστάθμιση

Τοπική ισοστάθμιση

Χρήση στατιστικής ιστογράμματος για βελτίωση ποιότητας εικόνας

- Αντί της χρήσης ιστογράμματος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στατιστικά χαρακτηριστικά του.
- Μηδενική ροπή $\mu_0=1$
- Ροπή πρώτης τάξης $\mu_1=0$
- Ροπή δεύτερης τάξης μ_2

Ροπή ιστογράμματος

$$\mu_n(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^n p(r_i)$$

$$m = \sum_{i=0}^{L-1} r_i p(r_i).$$

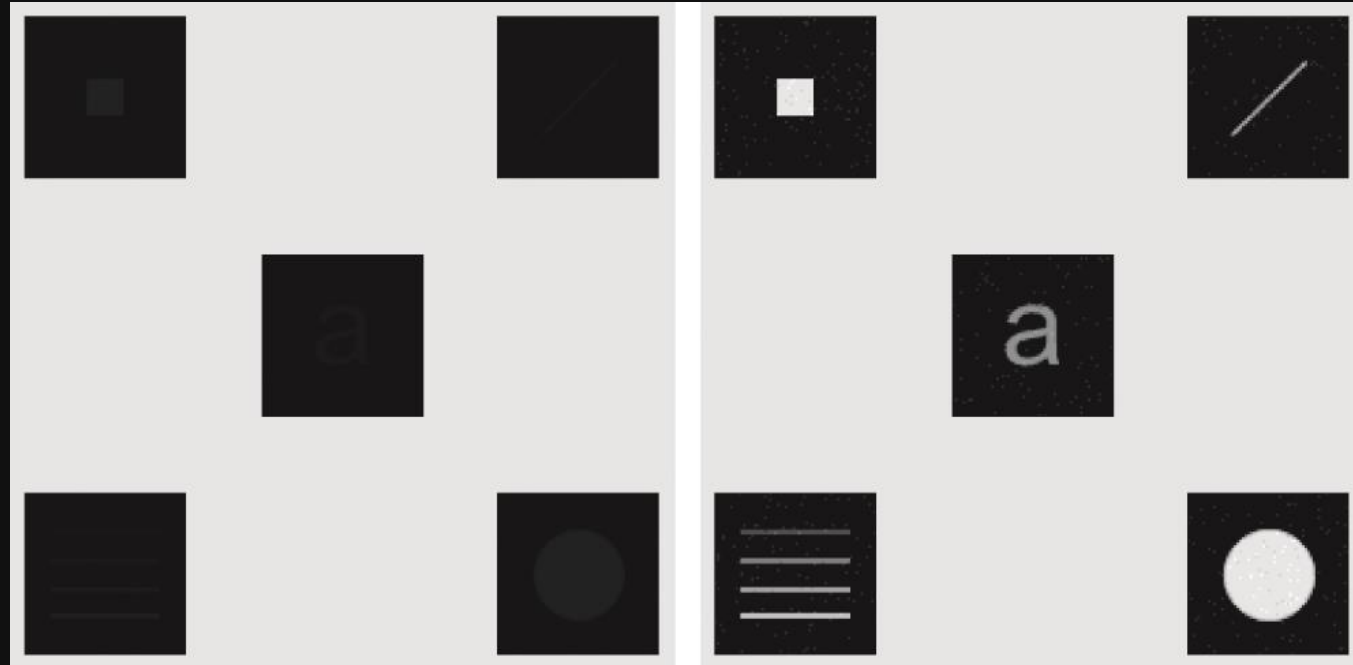
$$\mu_2(r) = \sum_{i=0}^{L-1} (r_i - m)^2 p(r_i).$$

Τοπική βελτίωση χρησιμοποιώντας στατιστικά ιστογράμματος

- υπολογίζουμε την τοπική μέση τιμή φωτεινότητας και την ολική μέση φωτεινότητα της εικόνας
- υπολογίζουμε την τοπική αντίθεση και την ολική αντίθεση της εικόνας.
- οι τοπικοί υπολογισμοί γίνονται σε γειτονιά εικονοστοιχείων (3X3)
- η αλλαγή φωτεινότητας ενός εικονοστοιχείου προκύπτει από:

$$g(x, y) = \begin{cases} Cf(x, y), & k_0 m_G \leq m_{s_{xy}} \leq k_1 m_G, & k_2 \sigma_G \leq \sigma_{s_{xy}} \leq k_3 \sigma_G \\ f(x, y), & \text{αλλιού} \end{cases}$$

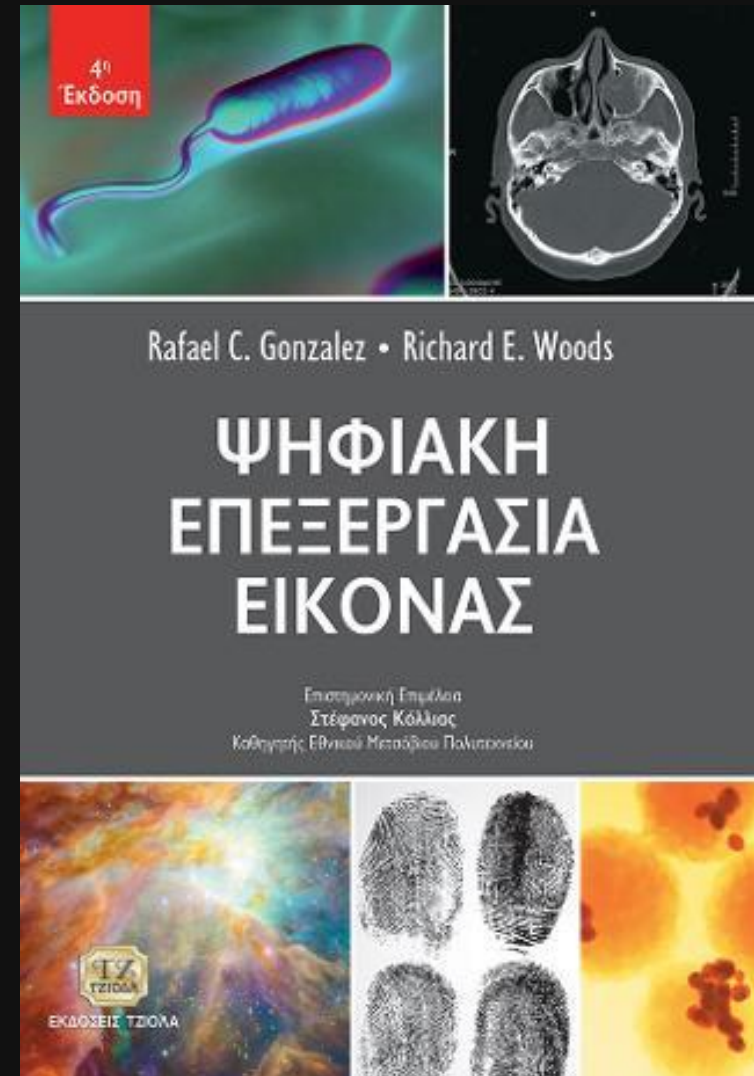
Παράδειγμα τοπικής βελτίωσης



Αρχική Εικόνα
 $m_G=161, \sigma_G=103$

Αποτέλεσμα τοπικής βελτίωσης με βάση
στατιστική ιστογράμματος.
Οι τιμές των παραμέτρων που
χρησιμοποιήθηκαν:
 $k_0=0, k_1=0.1, k_2=0, k_3=0.1, C=22.8$

- Rafael Gonzalez, Richard Woods,
Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, 4η
έκδοση, σελ 87-117





<http://www.sippre-group.com>