

Θεμελιώδεις Αρχές

Διάλεξη 2 – Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

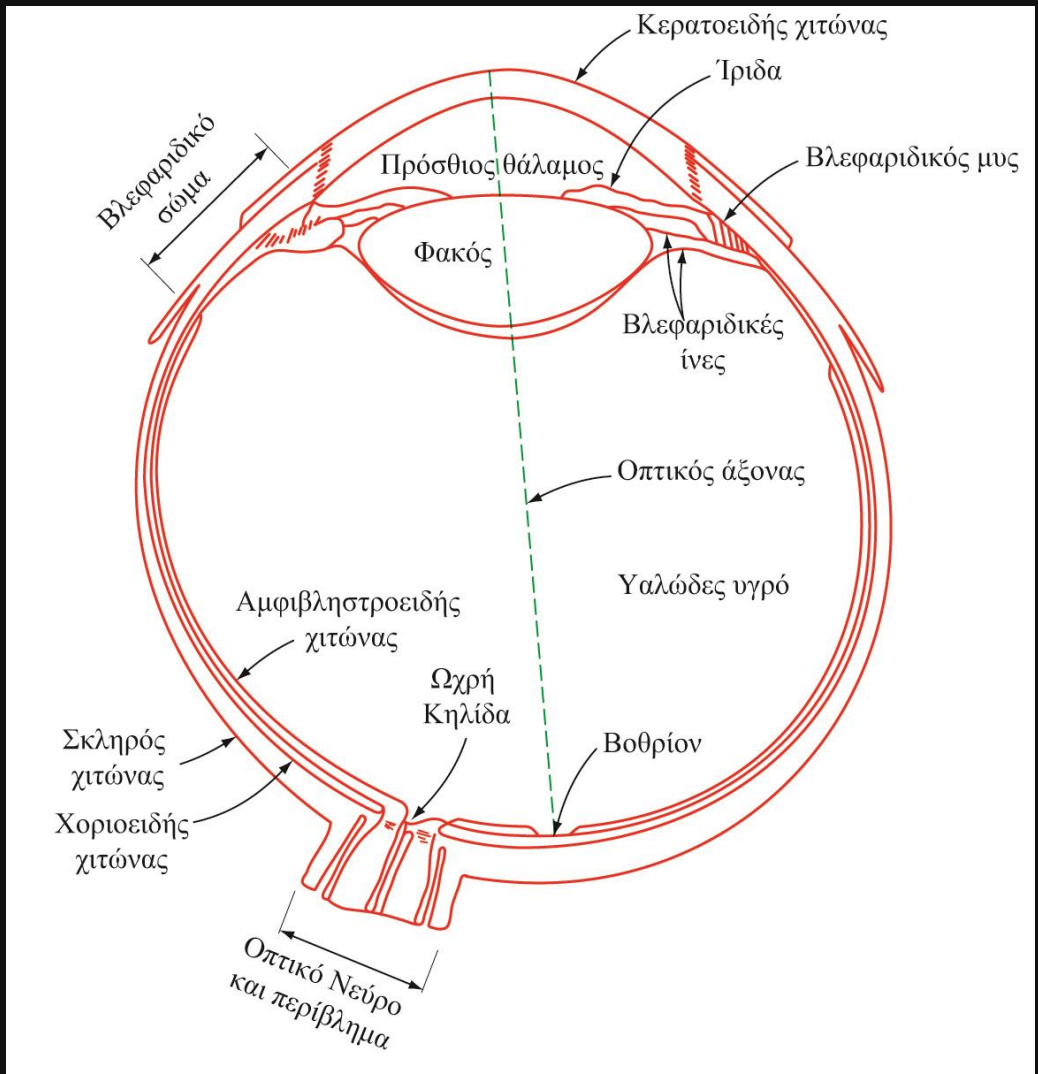
TEL750 – ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

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

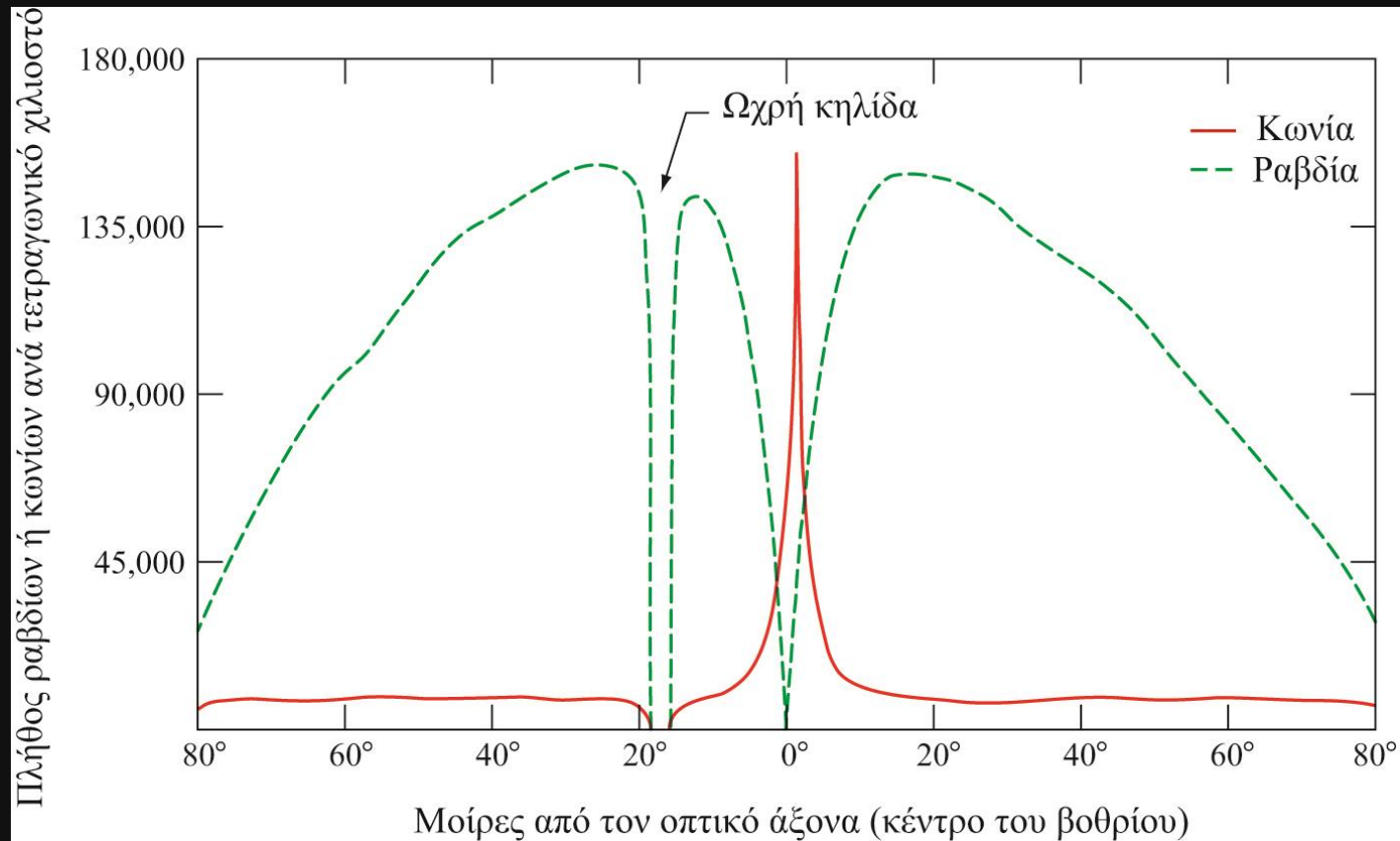
Περιεχόμενα

- Βασικά στοιχεία οπτικής
- Φαινόμενα οπτικής
- Καταγραφή εικόνας – αισθητήρες
- Χωρική διακριτική ανάλυση και ανάλυση έντασης εικόνας
- Συσχετίσεις ανάμεσα σε εικονοστοιχεία
- Διαδρομή, συνιστώσα, σύνολα,
- Αποστάσεις
- Πράξεις εικόνων (λογικές, χωρικές)
- Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί
- Μετασχηματισμοί εικόνας
- Πιθανότητες

Στοιχεία Οπτικής Αντίληψης



Κατανομή Κωνίων και Ραβδίων στον αμφιβληστροειδή



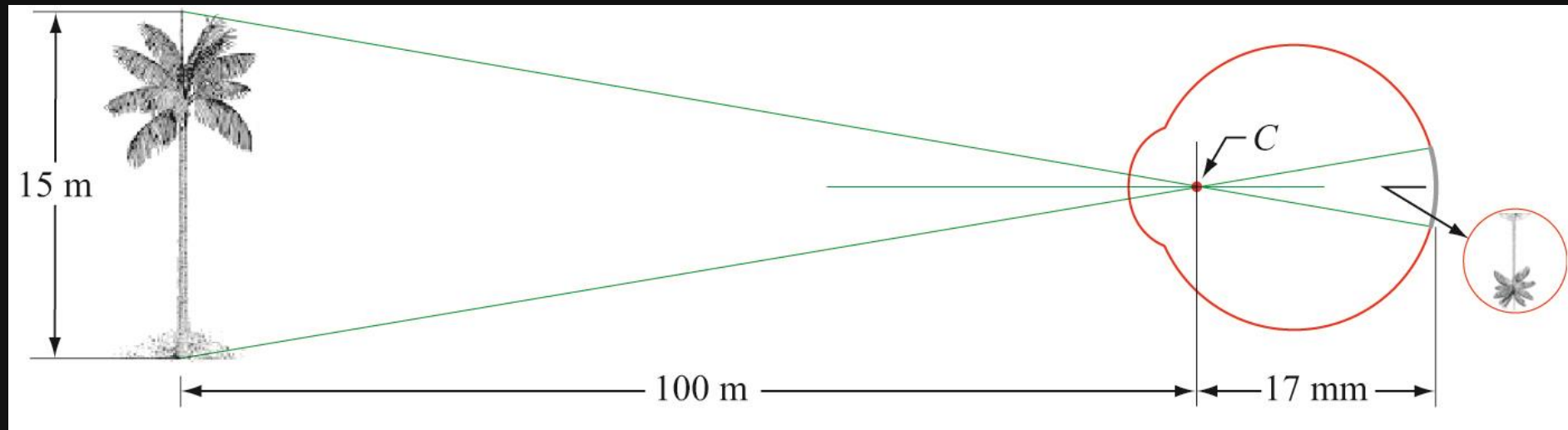
Κωνία

- **Κωνία:** 6-7 εκ. (φωτοϋποδοχείς) στο κεντρικό τμήμα του αμφιβληστροειδούς
- Ευαίσθητα στο χρώμα
- Χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μικρών λεπτομερειών
- Το κάθε ένα από αυτά έχει την δική του απόληξη οπτικού νεύρου
- Οι μύες περιστρέφουν τον βολβό μέχρι η εικόνα του αντικειμένου που μας ενδιαφέρει να προσεγγίσει το βοθρίον.
- Η όραση αυτού του τύπου ονομάζεται φωτοπική όραση ή όραση λαμπρού φωτός.

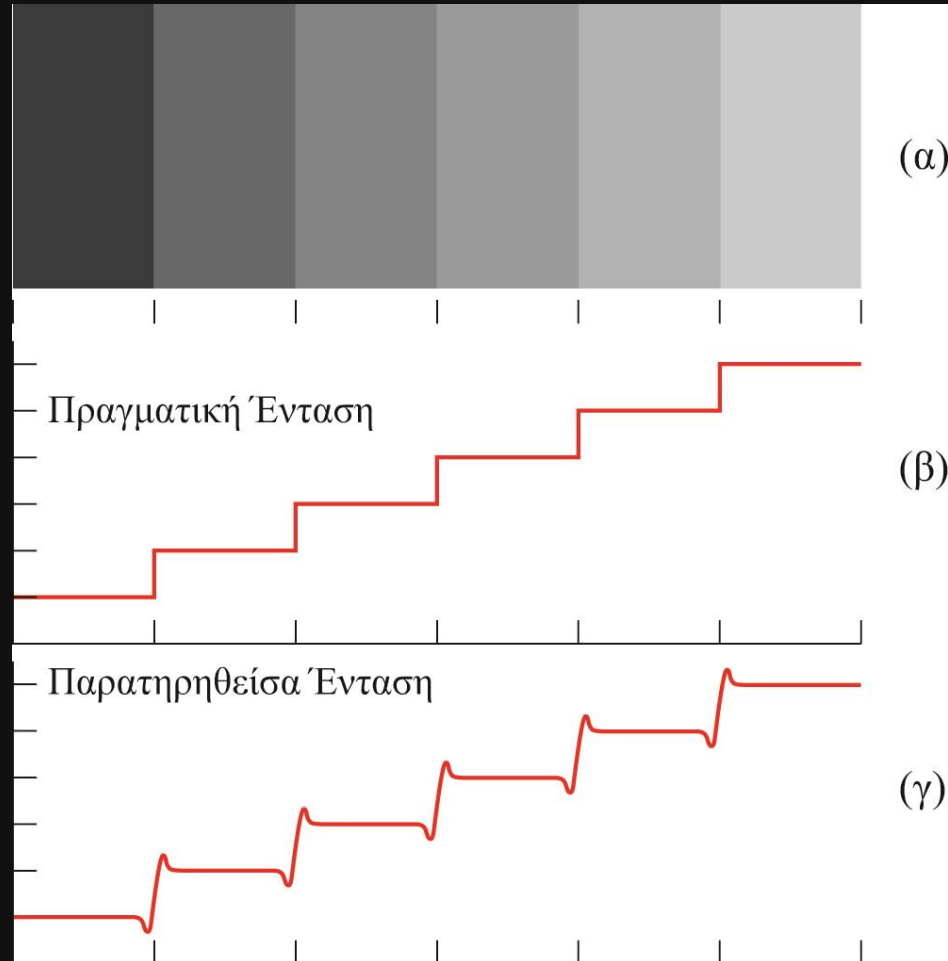
Ραβδία

- **Ραβδία:** 75-150 εκ κατανεμημένα στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδούς
- Πολλά συνδέονται με την ίδια απόληξη οπτικού νεύρου.
- Δεν διακρίνουν λεπτομέρειες.
- Δίνουν γενική / συνολική εικόνα του πεδίου όψης.
- Δεν εμπλέκονται στην όραση χρώματος
- Ευαίσθητα σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού
- Βλέπουμε στο σκοτάδι (όραση αμυδρού φωτός)

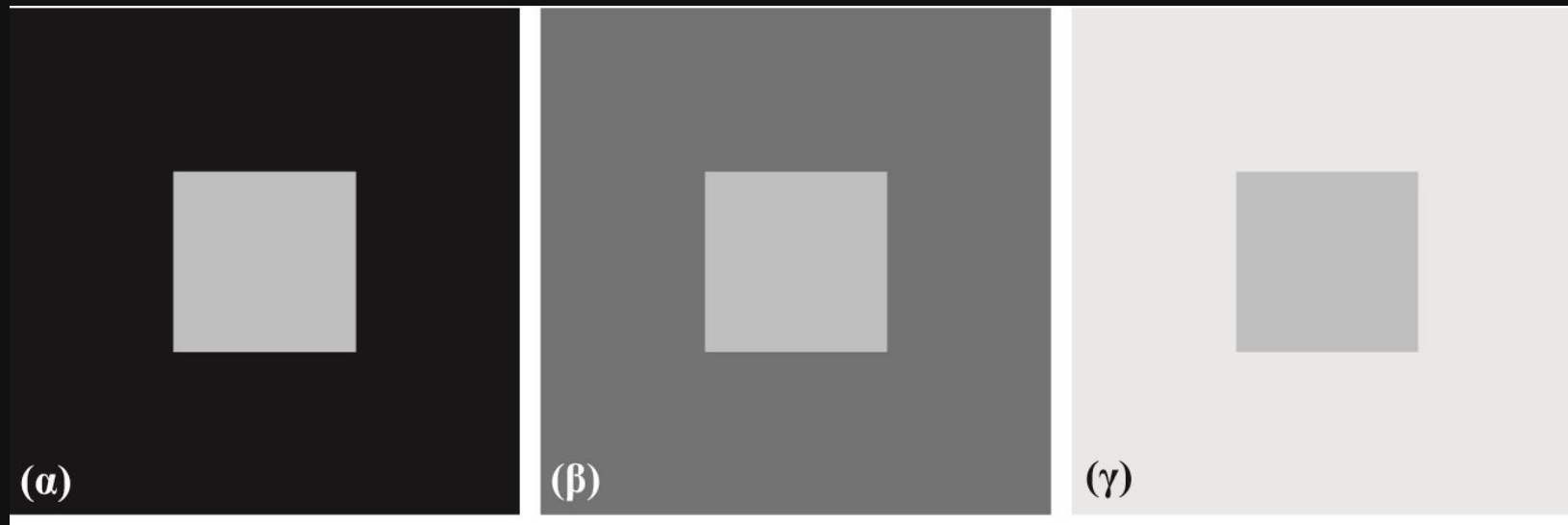
Δημιουργία εικόνας στο μάτι



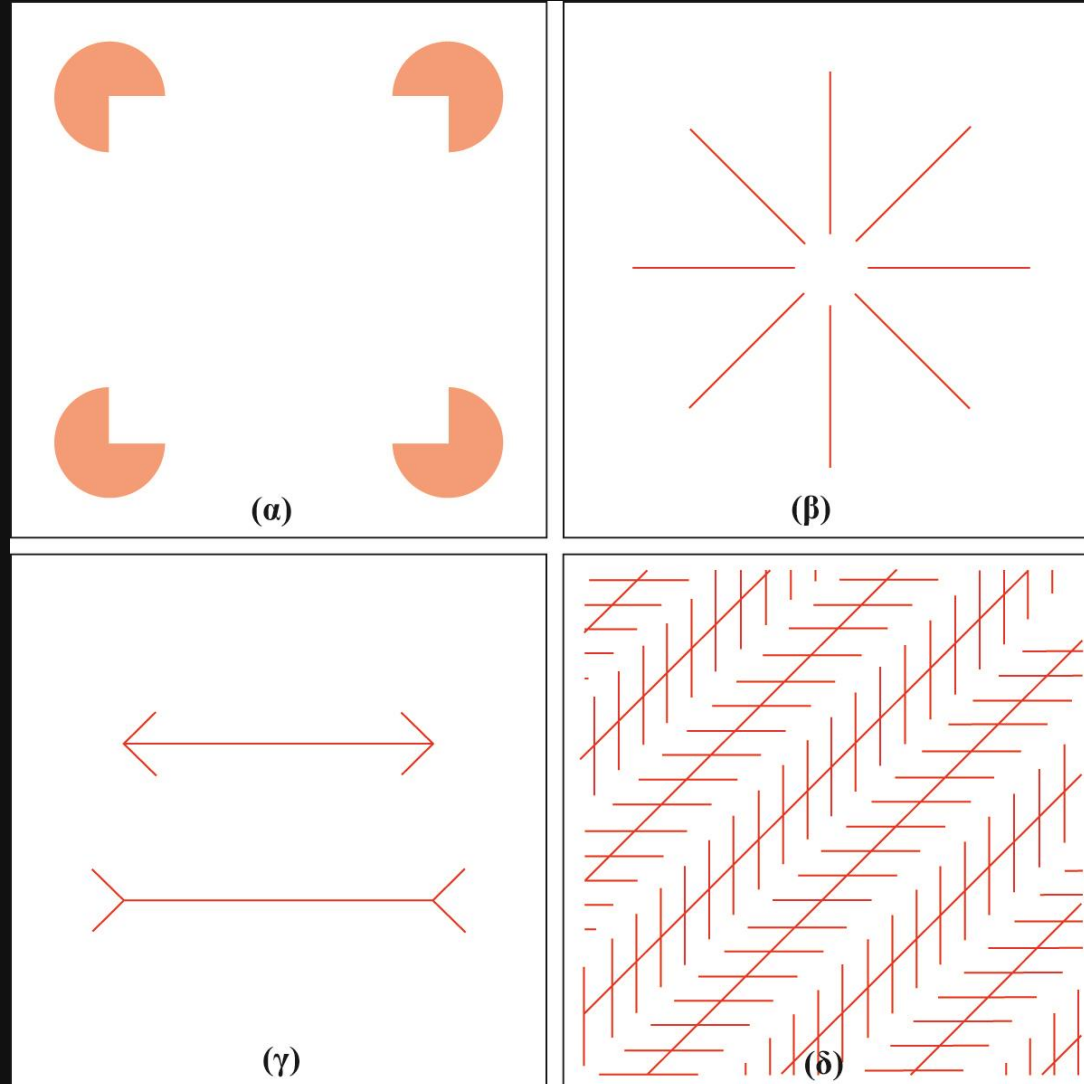
Φαινόμενο Mach



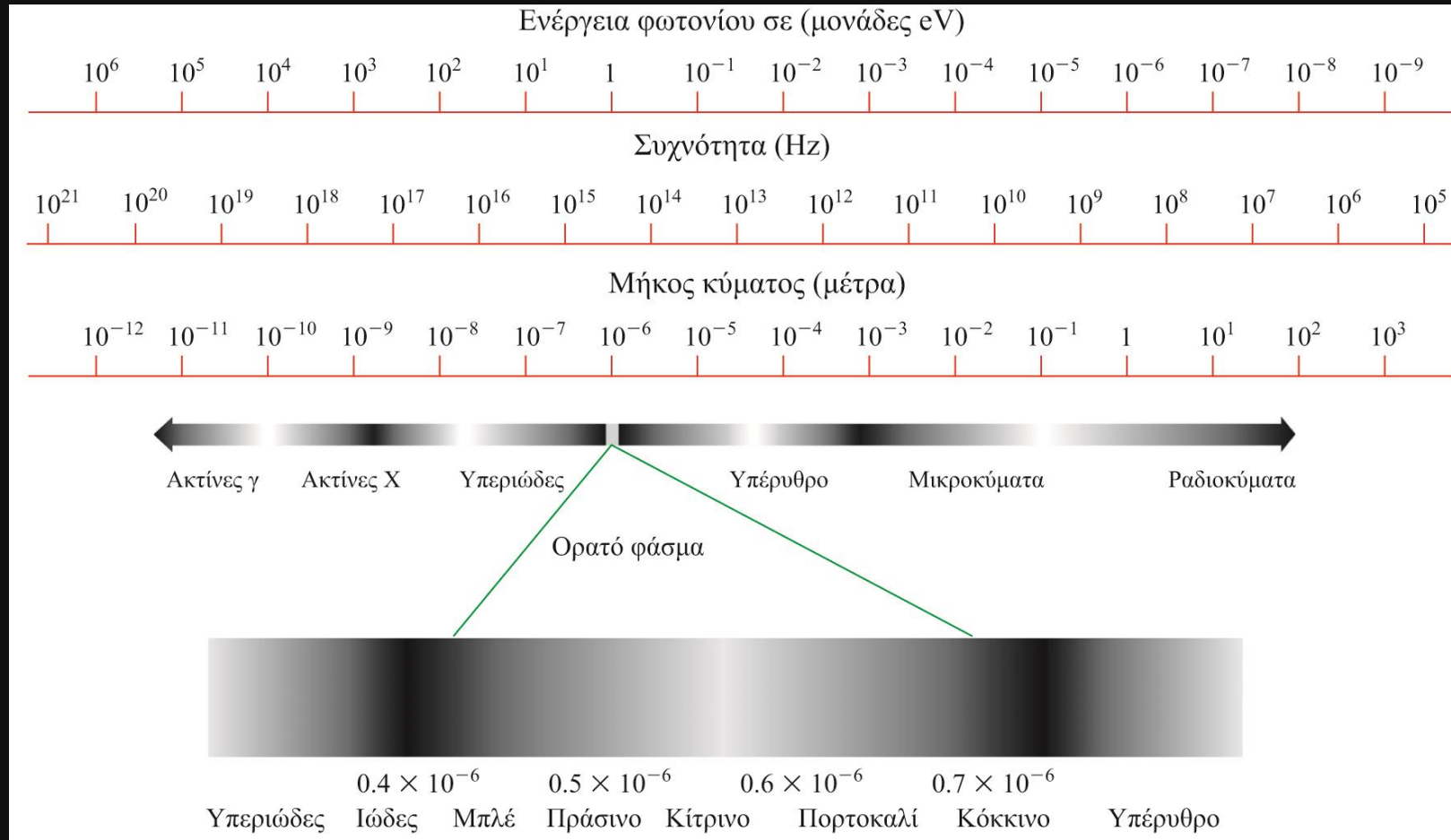
Φαινόμενο ταυτόχρονης αντίθεσης



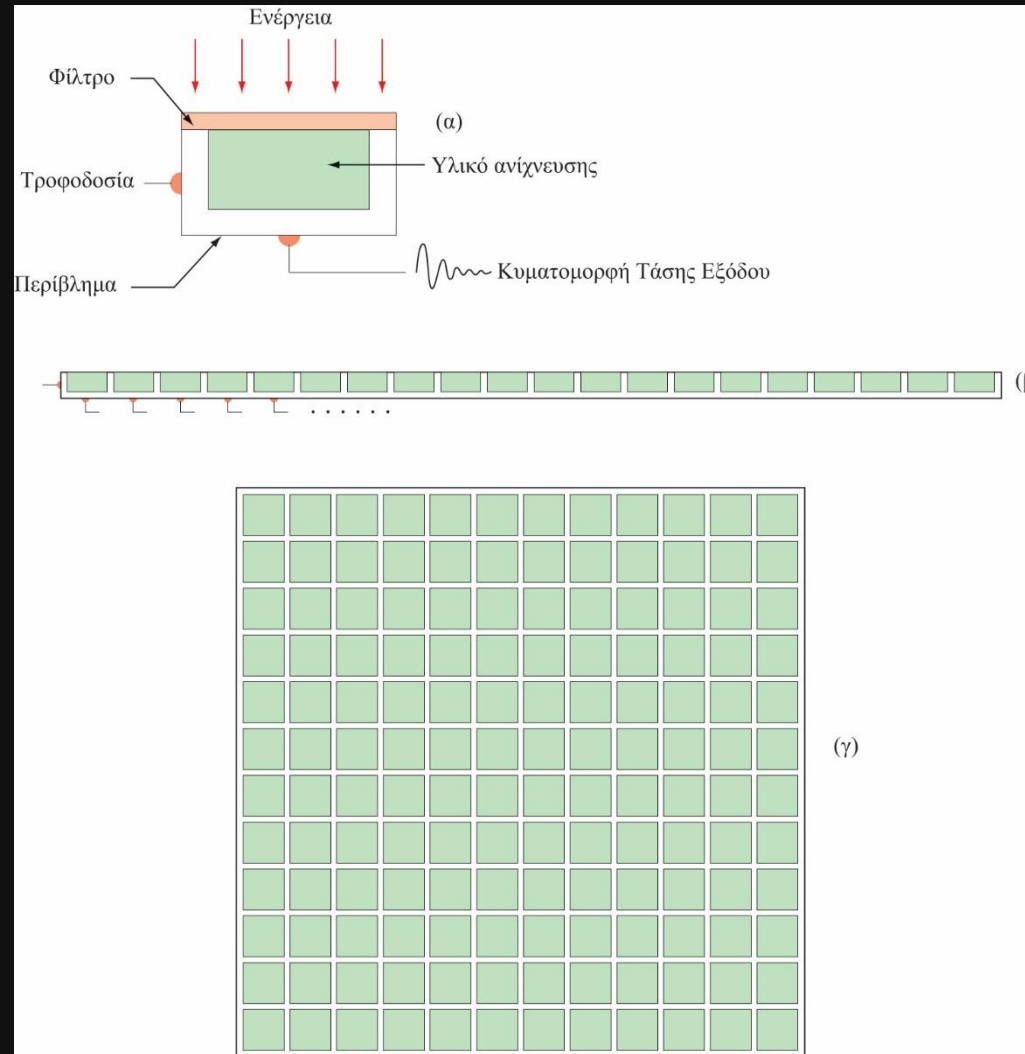
Οπτικές ψευδαισθήσεις



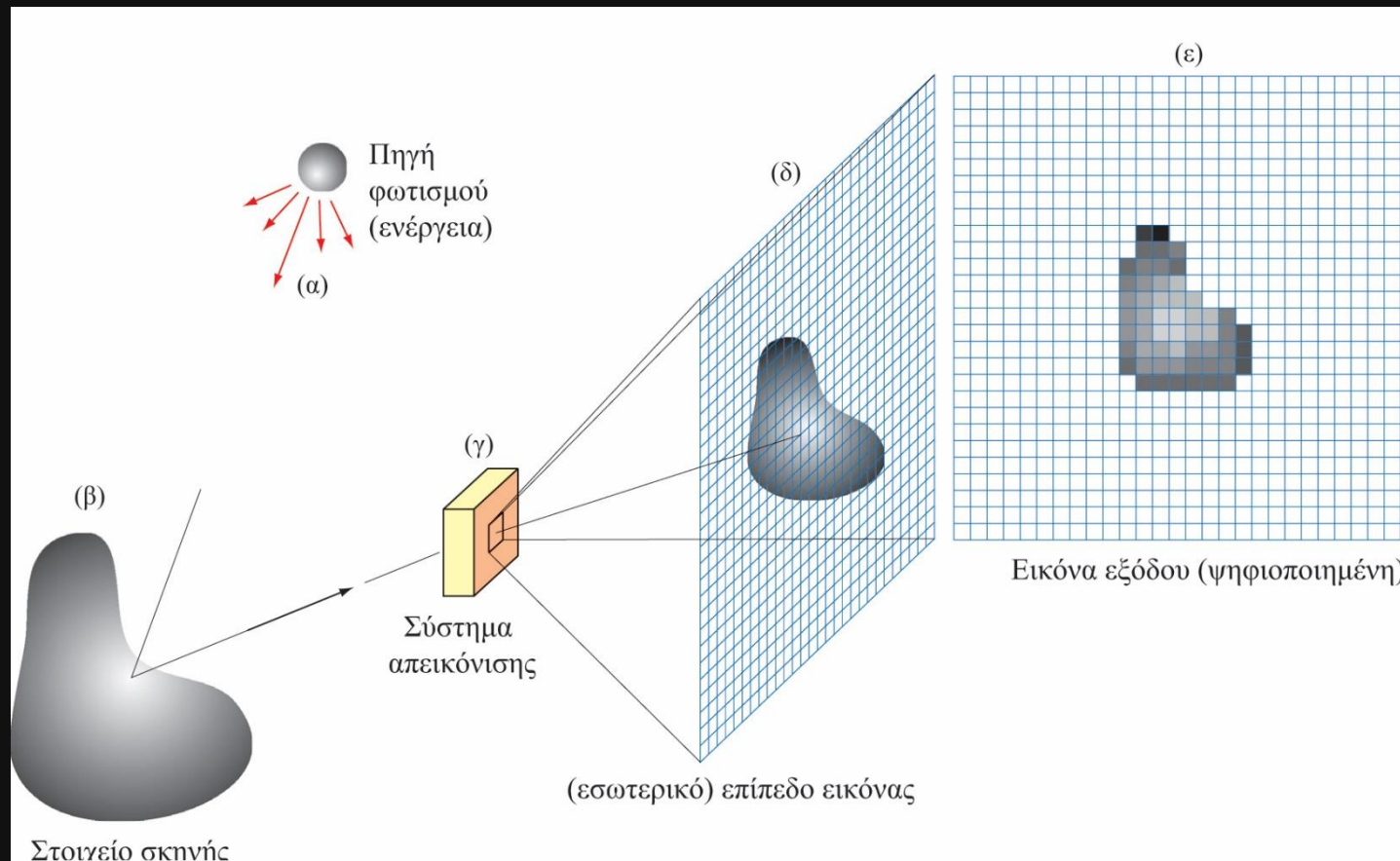
το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



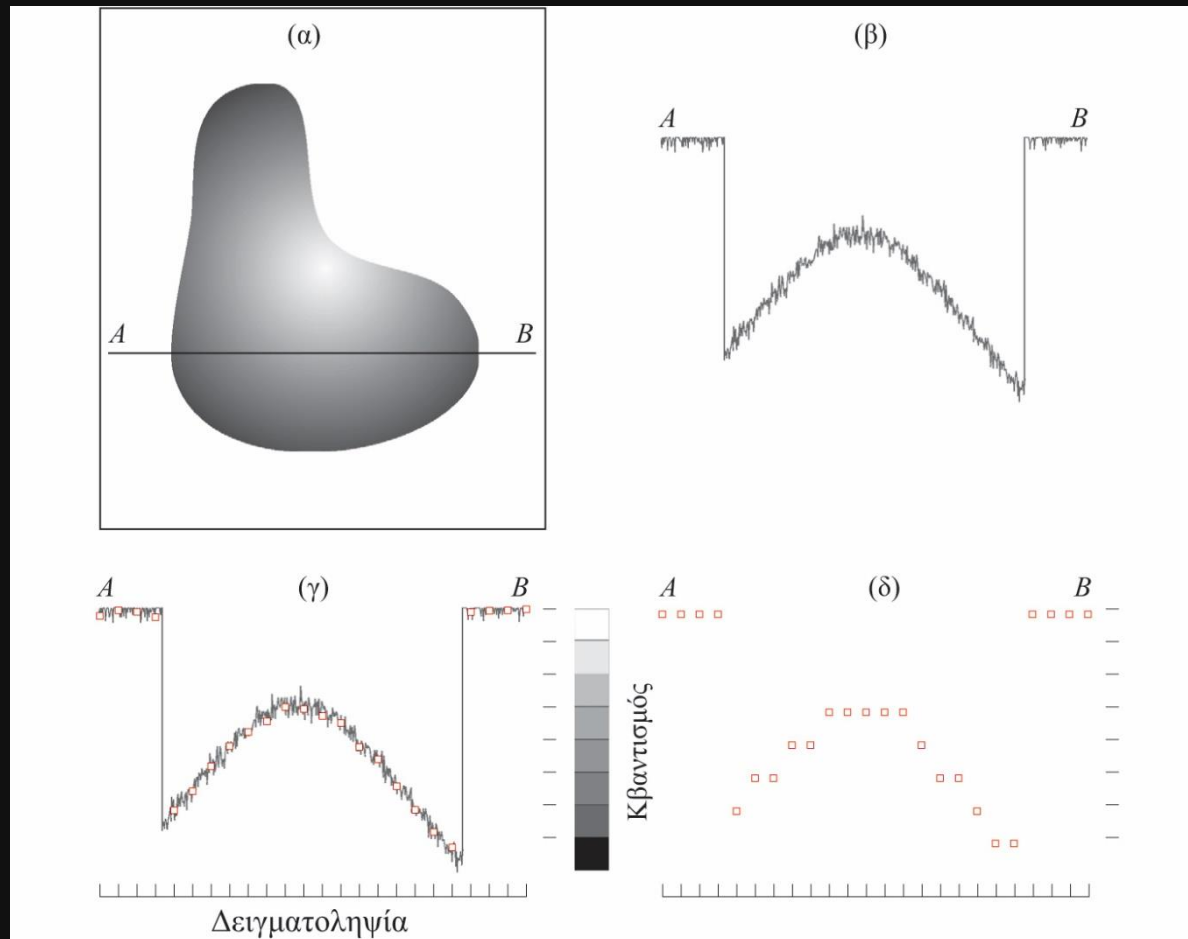
Καταγραφή εικόνας με αισθητήρες



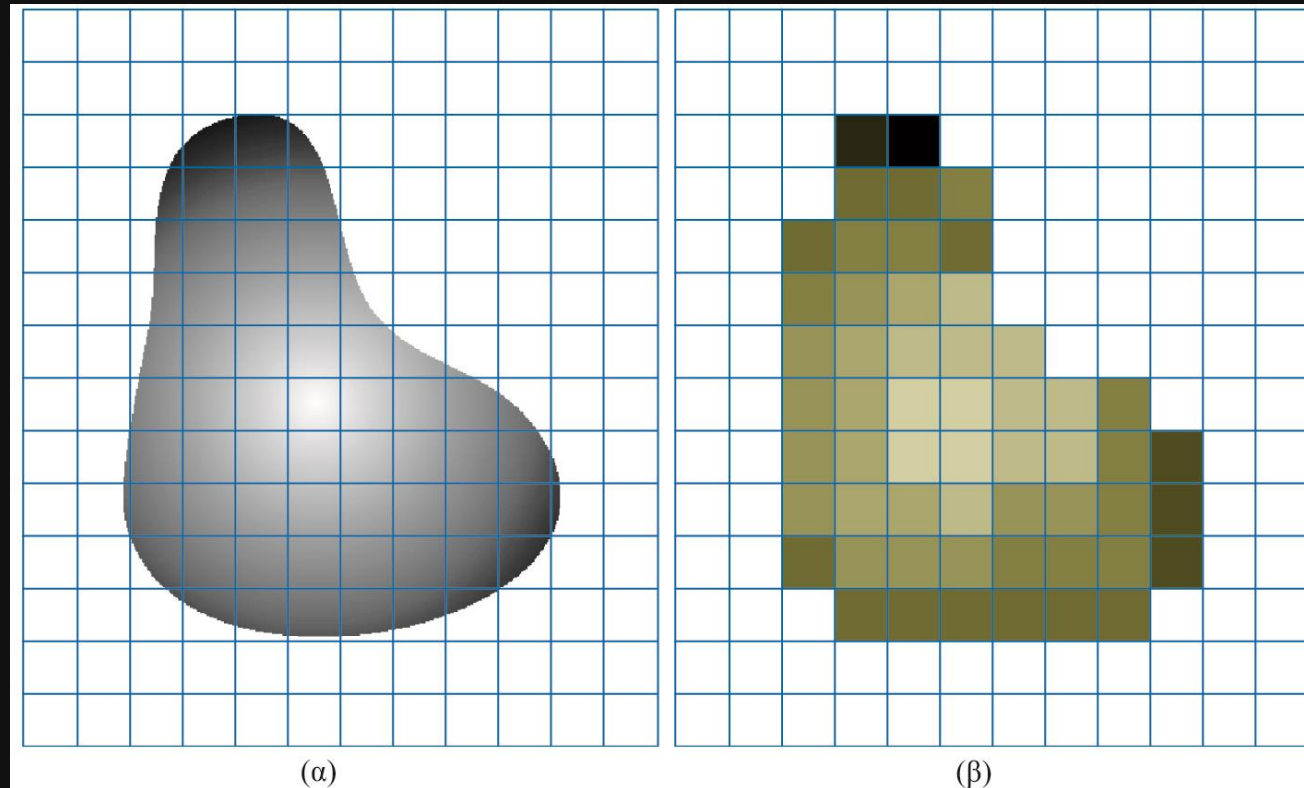
Καταγραφή εικόνας με συστοιχία αισθητήρων



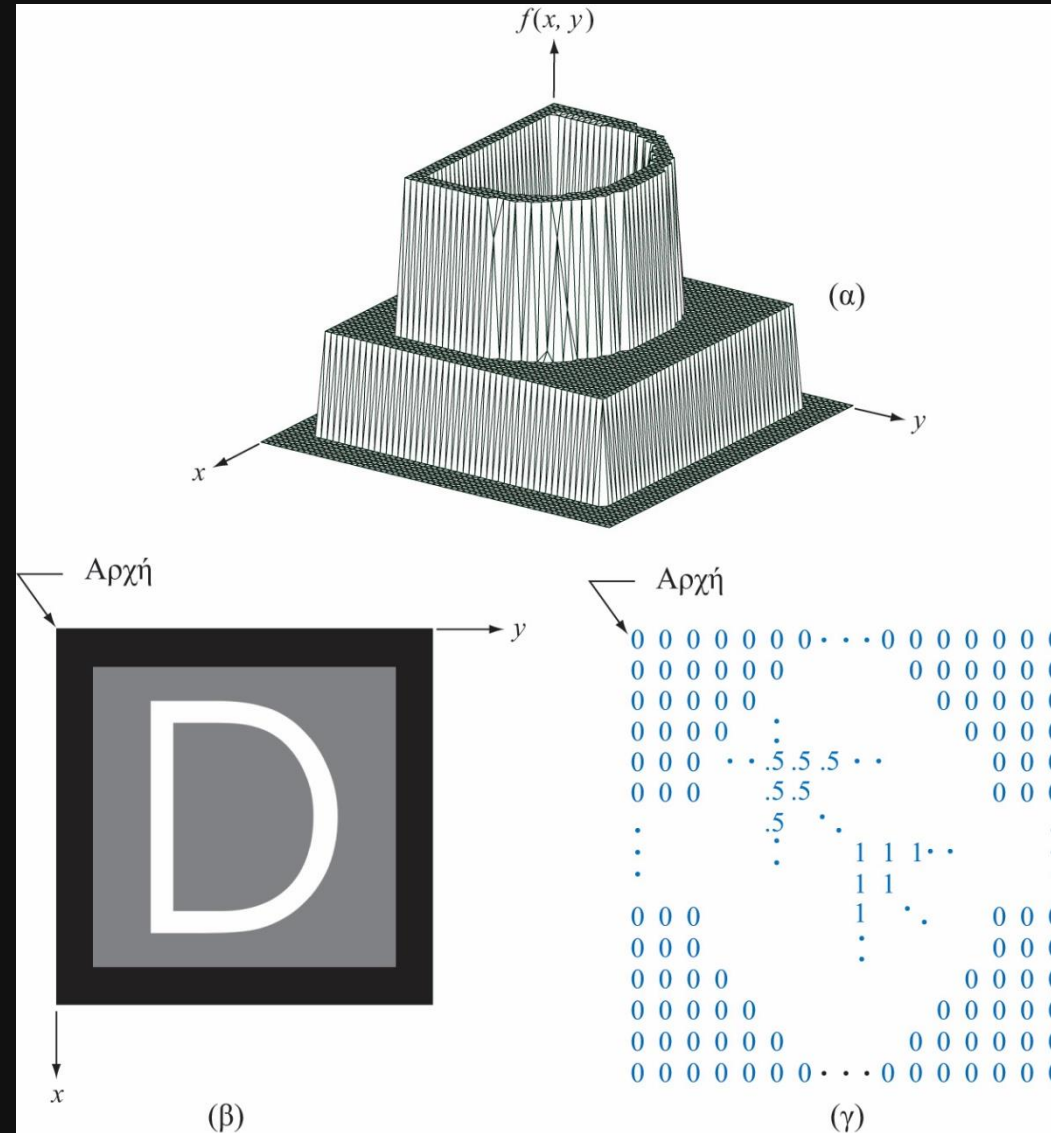
Δειγματοληψία και κβαντισμός εικόνων



Η ψηφιακή εικόνα



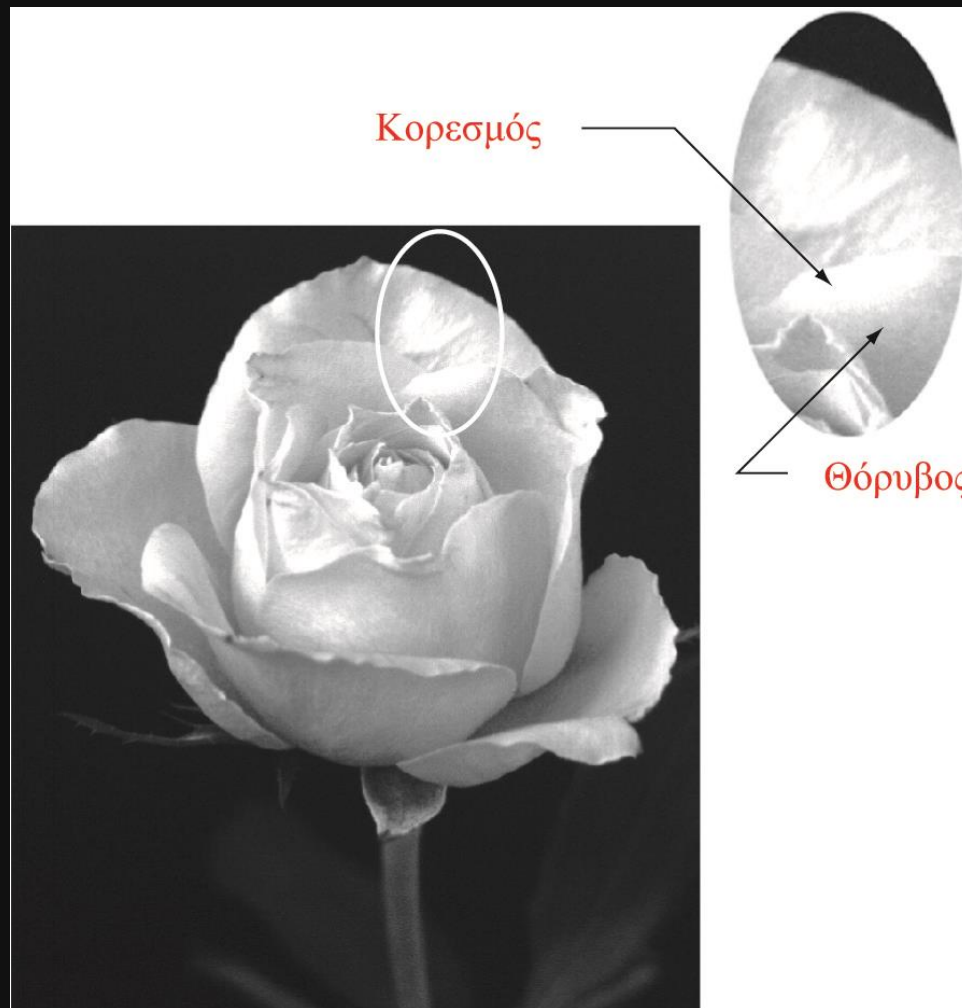
διαφορετικές απεικονίσεις ψηφιακής εικόνας



δυναμική περιοχή εικόνας

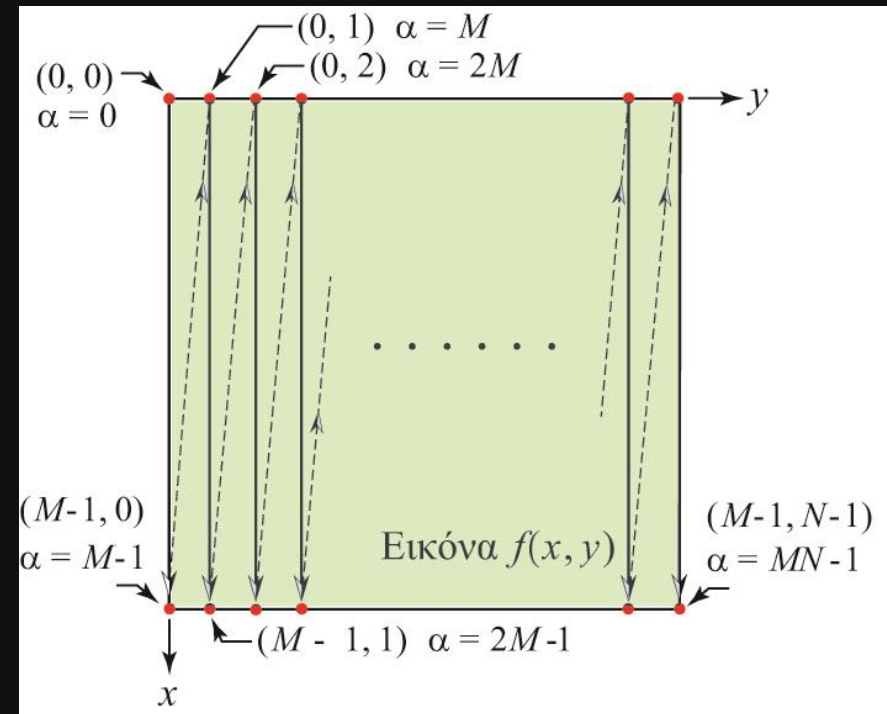
- το εύρος των τιμών φωτεινότητας που υπάρχουν σε μια εικόνα ονομάζεται δυναμική περιοχή της εικόνας.
- ένας διαφορετικός τρόπος για τον υπολογισμό της είναι μέσω του υπολογισμού του λόγου της μέγιστης τιμής φωτεινότητας προς την ελάχιστη αντιληπτή τιμή.
- το άνω όριο της δυναμικής περιοχής μιας εικόνας καθορίζεται από τον κορεσμό της (saturation)
- το κάτω όριο της δυναμικής περιοχής μιας εικόνας καθορίζεται από τον θόρυβο.
- η δυναμική περιοχή μιας εικόνας καθορίζει την αντίθεση της εικόνας (contrast)

δυναμική περιοχή εικόνας



τρόποι αναφοράς των στοιχείων εικόνας

- μπορούμε να αναφερθούμε στη θέση ενός εικονοστοιχείου μιας εικόνας μέσω δύο δεικτών (2D array)
- μπορούμε να αναφερθούμε και μέσω ενός μονοδιάστατου πίνακα
- ξεκινάμε από επάνω αριστερά και κατεβαίνουμε προς τα κάτω στην στήλη, επιστρέφοντας επάνω στην επόμενη στήλη.



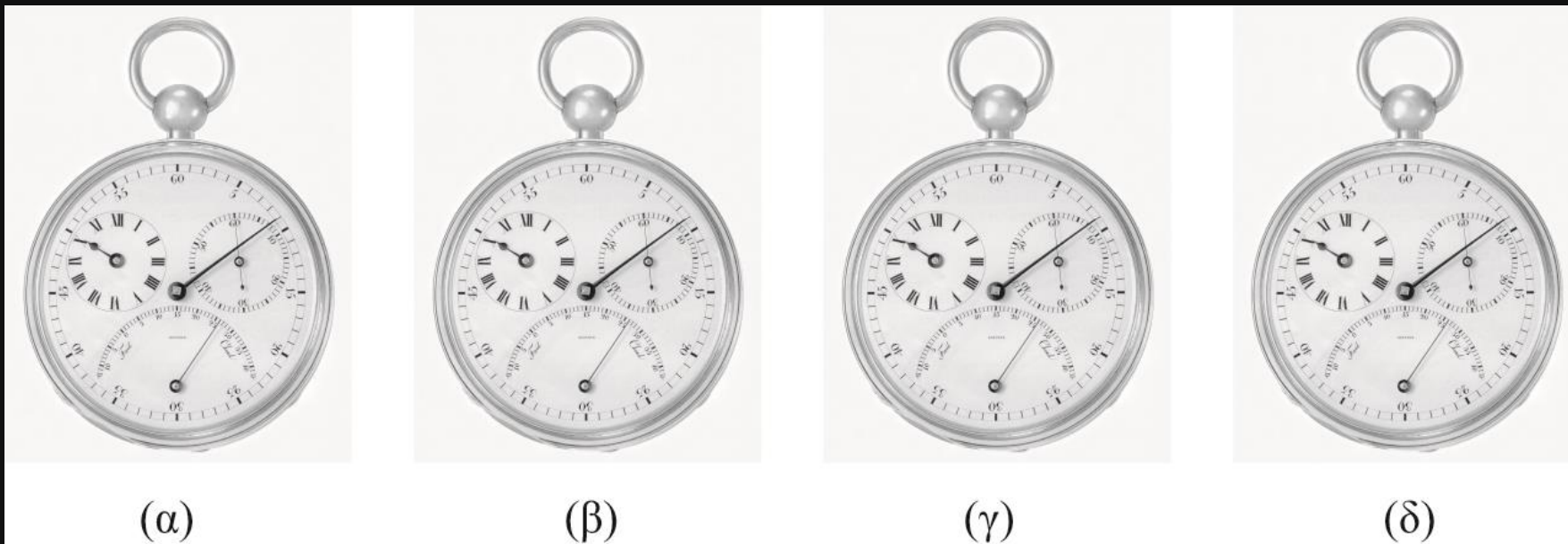
χωρική ανάλυση εικόνας (spatial resolution)

- εκφράζει την μικρότερη δυνατή λεπτομέρεια που μπορεί να γίνει αντιληπτή σε μια εικόνα.
- μετράται σε γραμμές ανά μονάδα μέτρησης μήκους, dots (pixels) ανά ίντσα (dpi)
- δεν πρέπει να το μπερδεύουμε με το μέγεθος της εικόνας (π.χ. 1024X1024)

ανάλυση φωτεινότητας εικόνας

- ορίζεται ως η μικρότερη αλλαγή η οποία μπορεί να διακριθεί στα επίπεδα της φωτεινότητας της εικόνας.
- συνήθως τα επίπεδα αυτά είναι δυνάμεις του 2 και μετρώνται σε bits
- τυπικές τιμές επιπέδων φωτεινότητας προκύπτουν χρησιμοποιώντας 8, 16, 24 bits ενώ 32 bits εμφανίζονται πιο σπάνια

το αποτέλεσμα μείωσης της διακριτικής ανάλυσης εικόνας



εικόνα ανάλυσης (α) 930 dpi (β) 300 dpi (γ) 150 dpi (δ) 72 dpi

το αποτέλεσμα μείωσης της διακριτικής ανάλυσης εικόνας

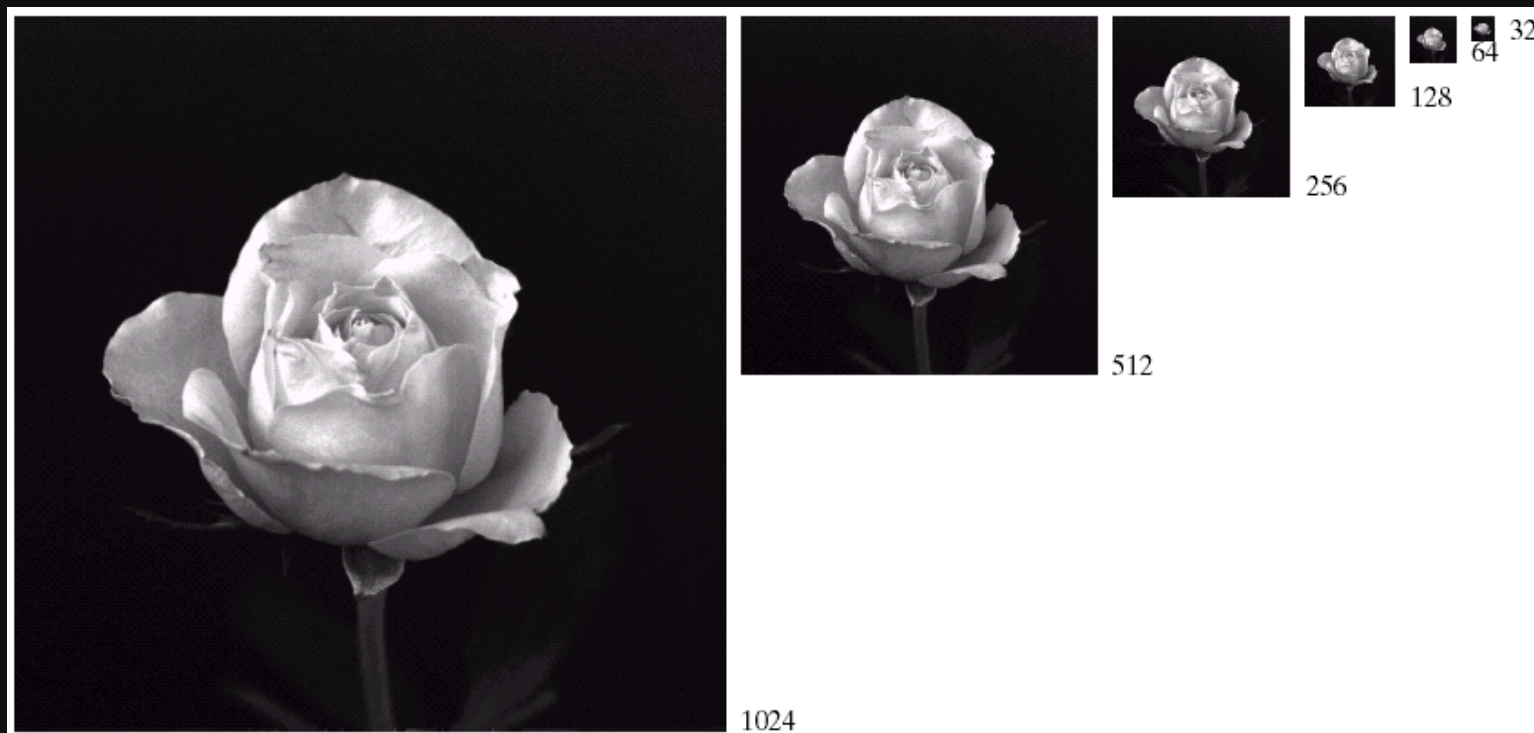


FIGURE 2.19 A 1024×1024 , 8-bit image subsampled down to size 32×32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

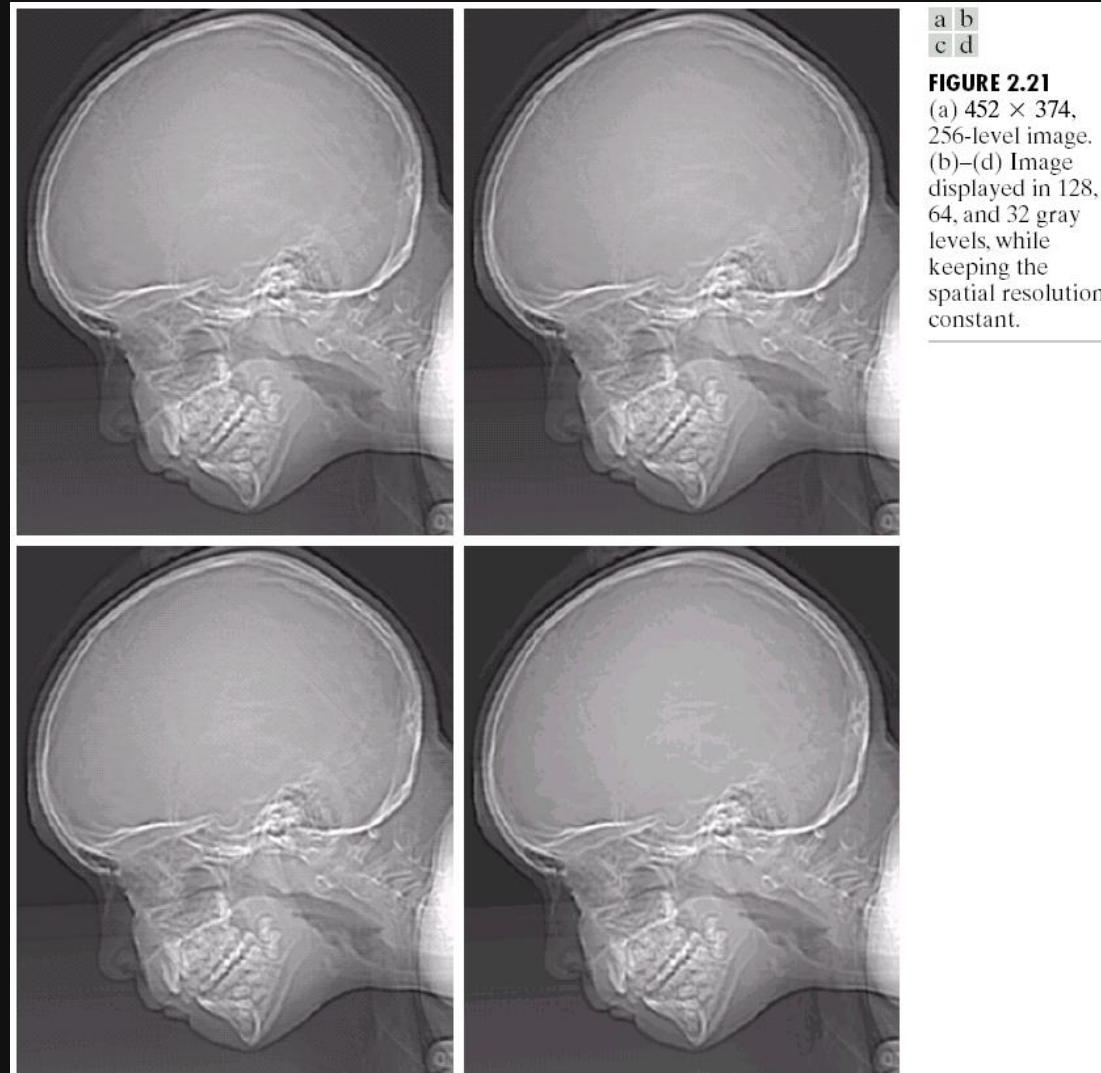
το αποτέλεσμα μείωσης της διακριτικής ανάλυσης εικόνας



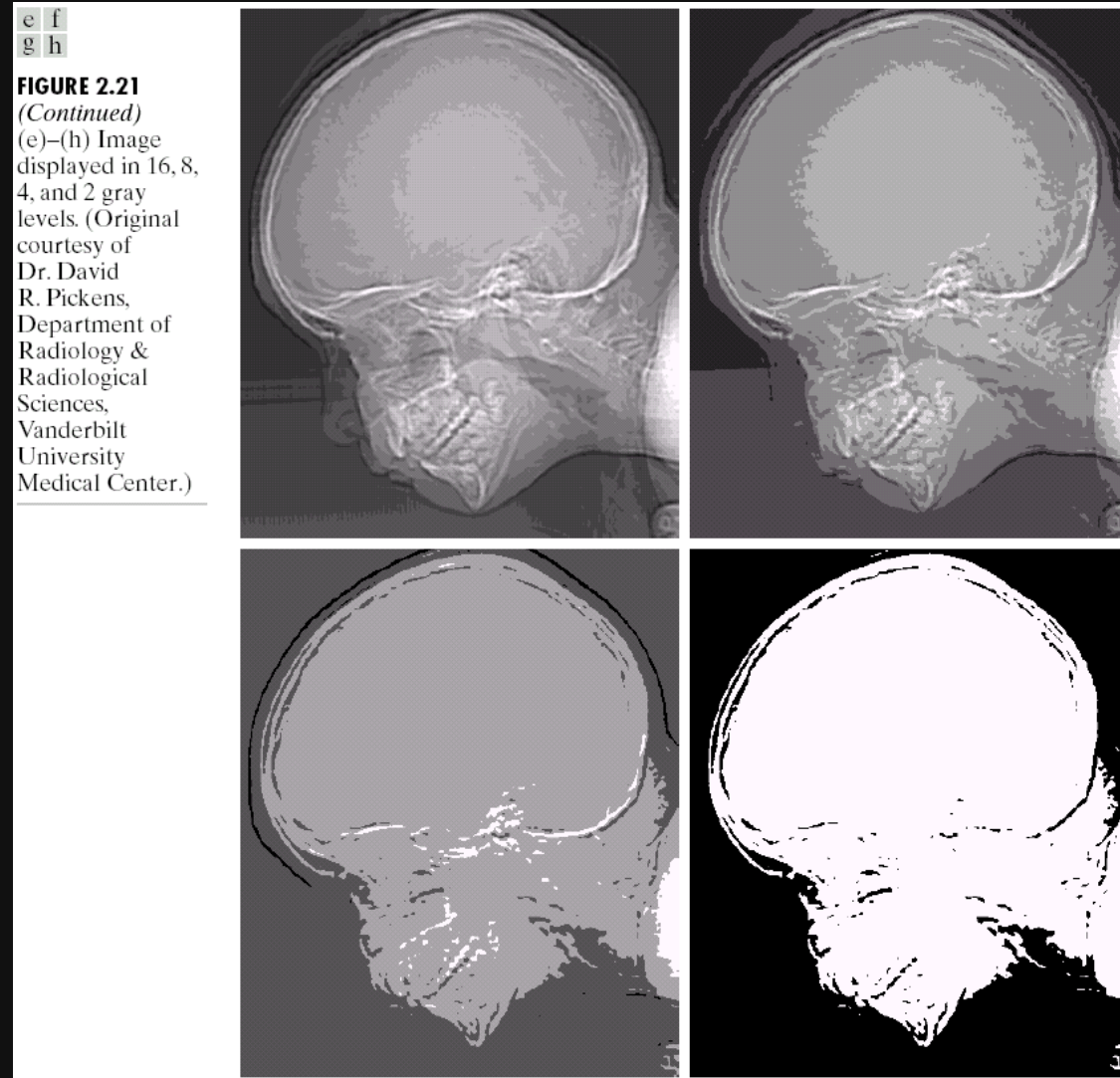
a b c
d e f

FIGURE 2.20 (a) 1024×1024 , 8-bit image. (b) 512×512 image resampled into 1024×1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256×256 , 128×128 , 64×64 , and 32×32 images resampled into 1024×1024 pixels.

το αποτέλεσμα μείωσης της χρωματικής ανάλυσης εικόνας



Χωρική διακριτική ανάλυση και ανάλυση έντασης εικόνας



Λεπτομέρεια εικόνας



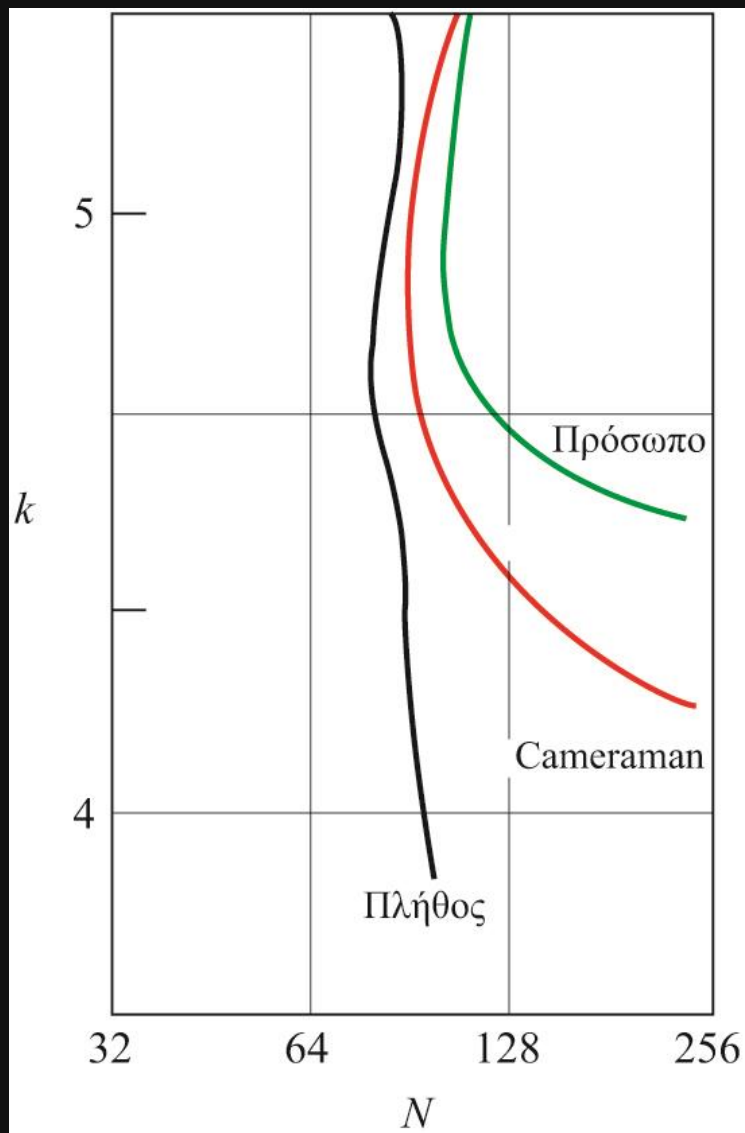
(α)

(β)

(γ)

εικόνες με (α) μικρή λεπτομέρεια (β) μεσαία λεπτομέρεια (γ) μεγάλη λεπτομέρεια

Καμπύλες ίσης προτίμησης



τεχνικές παρεμβολής

- οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για την μεγέθυνση, σμίκρυνση, περιστροφή και γεωμετρική βελτίωση εικόνων
- είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιεί τις γνωστές τιμές μιας εικόνας σε συγκεκριμένες θέσεις, για να υπολογίσει τις τιμές της εικόνας σε νέες θέσεις.
- χρησιμοποιούνται τρεις τεχνικές:
 - ▣ φωτεινότητα του πλησιέστερου γείτονα (εικονοστοιχείο)
 - ▣ φωτεινότητα των τεσσάρων γειτόνων (bilinear)
 - ▣ φωτεινότητα των 16 γειτονικών εικονοστοιχείων (cubic)

σύγκριση τεχνικών παρεμβολής

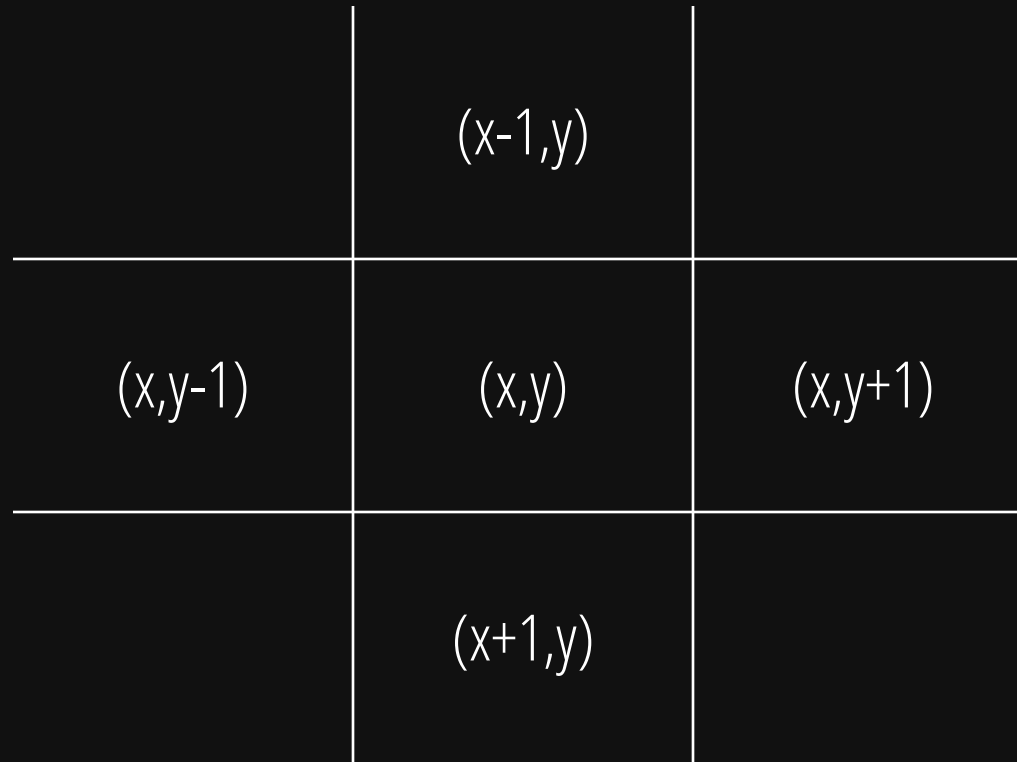


εικόνες οι οποίες έχουν προκύψει μετά από παρεμβολή τύπου (α) πλησιέστερου γείτονα (β) bilinear (γ) cubic

Βασικές συσχετίσεις ανάμεσα σε εικονοστοιχεία

- Εικόνα είναι μια συνάρτηση δύο διαστάσεων $f(x,y)$.
- Όταν αναφερόμαστε σε κάποιο εικονοστοιχείο χρησιμοποιούμε τους δείκτες p και q

Τετραπλή γειτονιά (4-neighbourhood)



Οκταπλή γειτονιά (8-neighbourhood)

$(x-1,y-1)$	$(x-1,y)$	$(x-1,y+1)$
$(x,y-1)$	(x,y)	$(x,y+1)$
$(x+1,y-1)$	$(x+1,y)$	$(x+1,y+1)$

Γειτονία εικονοστοιχείων

- **4-γειτονία:** δύο εικονοστοιχεία p και q με τιμές από το σύνολο V έχουν 4-γειτονία αν το q ανήκει στο $N_4(p)$.
- **8-γειτονία:** δύο εικονοστοιχεία p και q με τιμές από το σύνολο V έχουν 8-γειτονία αν το q ανήκει στο $N_8(p)$.
- **m -γειτονία (μεικτή):**
 - (α) το q ανήκει στο σύνολο $N_4(p)$ ή
 - (β) το q ανήκει στο σύνολο $N_D(p)$ και ταυτόχρονα το σύνολο που ορίζεται ως η τομή $N_4(p) \cap N_4(q)$ δεν περιέχει εικονοστοιχεία που οι τιμές τους προέρχονται από το σύνολο V

Διαδρομή στην εικόνα

Μια ψηφιακή διαδρομή ή καμπύλη από το εικονοστοιχείο $p(x,y)$ προς το $q(s,t)$ είναι μια ακολουθία διακριτών εικονοστοιχείων με συντεταγμένες

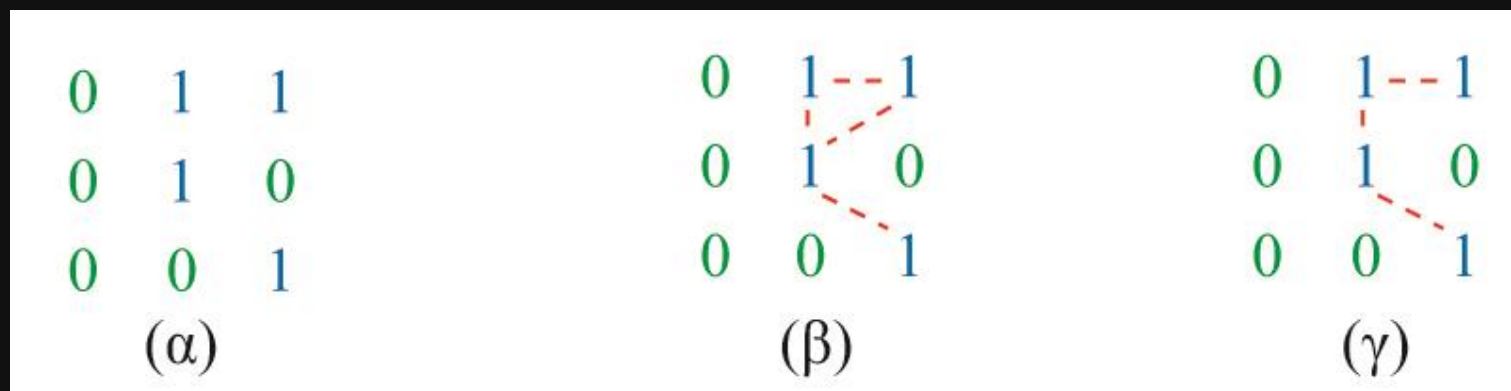
$$(x_0, y_0), (x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$$

όπου τα εικονοστοιχεία (x_i, y_i) και (x_{i-1}, y_{i-1}) είναι γειτονικά για τις τιμές $1 \leq i \leq n$

Το n είναι το μήκος της διαδρομής

Κλειστή διαδρομή

Αν η αρχή είναι ίδια με το τέλος μιας διαδρομής, αυτή ονομάζεται κλειστή διαδρομή.



(α) αρχική εικόνα

(β) τα pixels που παρουσιάζουν 8-γειτονία

(γ) τα pixels που παρουσιάζουν m-γειτονία

Συνδεδεμένα εικονοστοιχεία

- Έστω ένα υποσύνολο μιας εικόνας S .
- Δύο εικονοστοιχεία q και p ονομάζονται **συνδεδεμένα** στο S αν υπάρχει μια διαδρομή από το ένα στο άλλο που να αποτελείται **εξ' ολοκλήρου** από εικονοστοιχεία του συνόλου S .

Συνδεδεμένη συνιστώσα

- Για κάθε εικονοστοιχείο p αυτού του συνόλου, το σύνολο των εικονοστοιχείων που συνδέονται με αυτό στο S ονομάζεται συνδεδεμένη συνιστώσα του S .
- Αν το S έχει μόνο μια συνδεδεμένη συνιστώσα, ονομάζεται **συνδεδεμένο σύνολο**.

Συνδεδεμένα σύνολα

- Έστω μια περιοχή R . Αν είναι ένα συνδεδεμένο σύνολο, τότε το σύνολο R καλείται περιοχή (region).
- Δύο περιοχές R_i, R_j είναι παρακείμενες ή διαδοχικές αν η ένωσή τους δημιουργεί συνδεδεμένο σύνολο.
- Οι άλλες περιοχές ονομάζονται ξένες μεταξύ τους.

Παράδειγμα

1	1	1	}	R_i
1	0	1		
0	1	0	}	R_j
0	0	1		
1	1	1	}	R_j
1	1	1		

Δύο περιοχές με τιμή ίση με 1 που θεωρούνται συνεχόμενες αν χρησιμοποιηθεί η 8-γειτονία

Προσκήνιο – Υπόβαθρο εικόνας

- Αν μια εικόνα περιέχει K ξένες περιοχές R_k που καμιά δεν τέμνει το περίγραμμα της εικόνας, τότε:
 - η ένωση όλων των περιοχών ονομάζεται προσκήνιο
 - το συμπλήρωμα υπόβαθρο ή παρασκήνιο

Όριο περιοχής

- Το όριο μιας περιοχής R είναι το σύνολο των σημείων που είναι γειτονικά σημείων που ανήκουν στο συμπλήρωμα του R .
- ή το όριο μιας περιοχής είναι το σύνολο των εικονοστοιχείων που έχουν έναν τουλάχιστον γείτονα που ανήκει στο υπόβαθρο.

Παράδειγμα

0	0	0	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	0

δεν ανήκει στο όριο της περιοχής των εικονοστοιχείων με 1 αν χρησιμοποιήσουμε συνδετικότητα-4

Μέτρα απόστασης

- Ευκλείδεια απόσταση

$$D_e : d_{\text{euclidian}}([i_1, j_1], [i_2, j_2]) = \sqrt{(i_1 - i_2)^2 + (j_1 - j_2)^2}$$

- Οικοδομική απόσταση (Minkowski)

$$D_4 : d_{\text{Minkowski}}([i_1, j_1], [i_2, j_2]) = |i_1 - i_2| + |j_1 - j_2|$$

- Σκακιστική απόσταση (Chebysev)

$$D_8 : d_{\text{Chebysev}}([i_1, j_1], [i_2, j_2]) = \max(|i_1 - i_2|, |j_1 - j_2|)$$

Αποστάσεις σημείων - Ευκλείδεια

- Τα εικονοστοιχεία που έχουν απόσταση από το (x,y) μικρότερη ή ίση από κάποια τιμή r , αποτελούν σημεία ενός δίσκου με ακτίνα r

Αποστάσεις σημείων – Τετραγώνων Minkowski

- Τα εικονοστοιχεία με απόσταση μικρότερη ή ίση με μια τιμή r , σχηματίζουν δομή διαμαντιού με κέντρο το (x,y) .
- Τα εικονοστοιχεία με απόσταση 1 είναι οι 4-γείτονες του (x,y)



Αποστάσεις σημείων – Σκακιέρα Chebysen

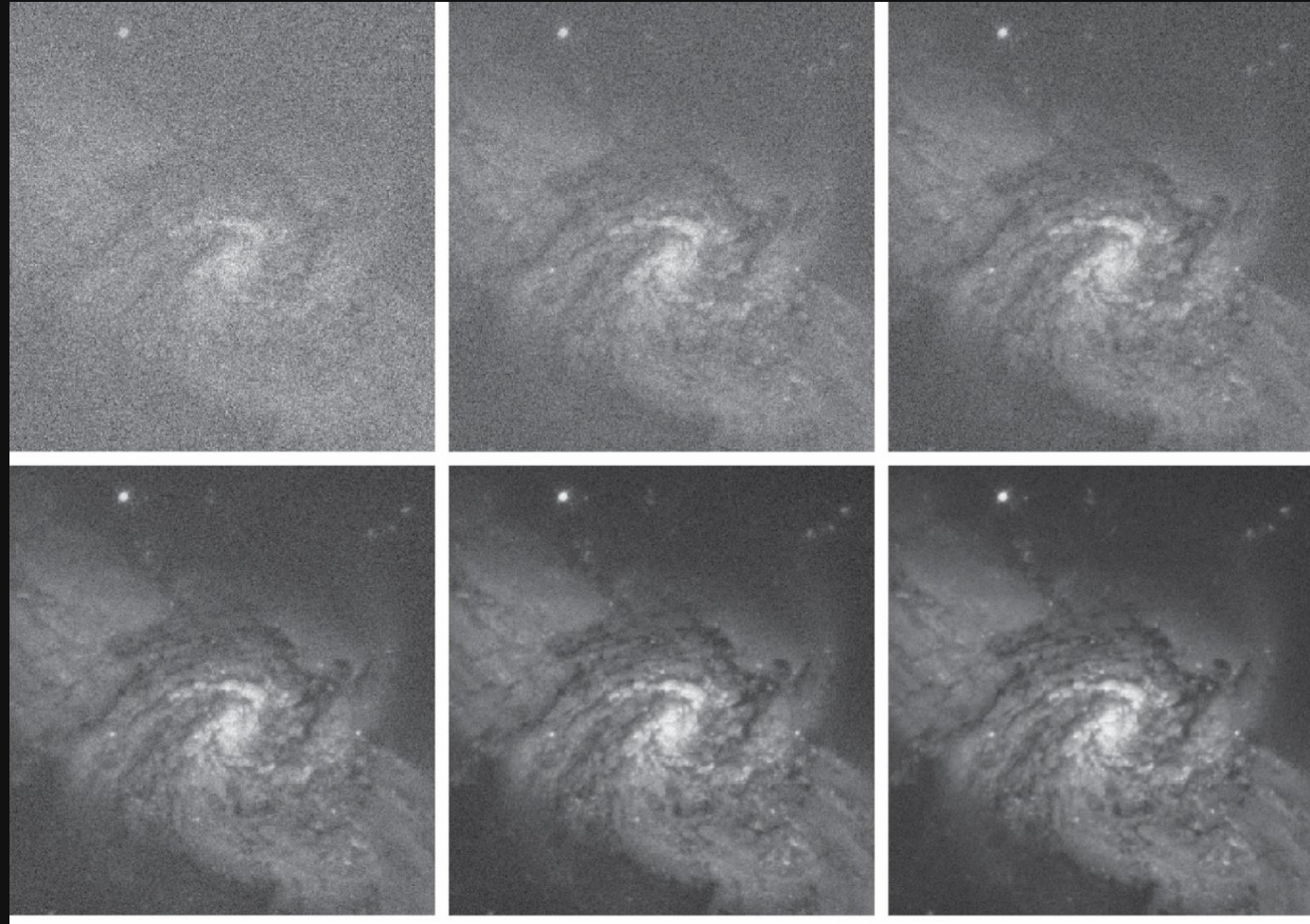
- Τα εικονοστοιχεία με απόσταση μικρότερη ή ίση με μια τιμή r , σχηματίζουν τετράγωνο με κέντρο το (x,y) .
- Τα εικονοστοιχεία με απόσταση ίση με 1 αποτελούν τους 8-γείτονες.

2	2	2	2	2
2	1	1	1	2
2	1	0	1	2
2	1	1	1	2
2	2	2	2	2

Μαθηματικά εργαλεία στην ΨΕΕ

- οι υπολογισμοί στις εικόνες εφαρμόζονται σε κάθε εικονοστοιχείο ξεχωριστά (element-wise operations)
- **Πρόσθεση:**
 - ▣ Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που θέλουμε να αφαιρέσουμε τυχαίο προσθετικό θόρυβο με την μορφή του μέσου όρου
- **Αφαίρεση:**
 - ▣ Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που θέλουμε να τονίσουμε τις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ δύο εικόνων.

παράδειγμα αριθμητικών υπολογισμών σε εικόνες



(α) αρχική εικόνα του γαλαξία NGC 3314 με προσθετικό θόρυβο (β)-(στ) αποτέλεσμα μεσοποίησης 5, 10, 20, 50, 100 εικόνων. Όλες οι εικόνες είναι μεγέθους 566x598

παραδείγματα υπολογισμού διαφοράς εικόνων



(α) υπέρυθρη εικόνα της Washington DC (β) εικόνα που έχει προκύψει θέτοντας το λιγότερο σημαντικό bit φωτεινότητας ίσο με μηδέν (γ) διαφορά των δύο εικόνων

παραδείγματα υπολογισμού διαφοράς εικόνων



αποτελέσματα που προκύπτουν από τον υπολογισμό της διαφοράς των εικόνων μεταξύ (α) 930 και 72 dpi
(β) 930 και 150 dpi (γ) 930 και 300 dpi

Πράξεις εικόνων

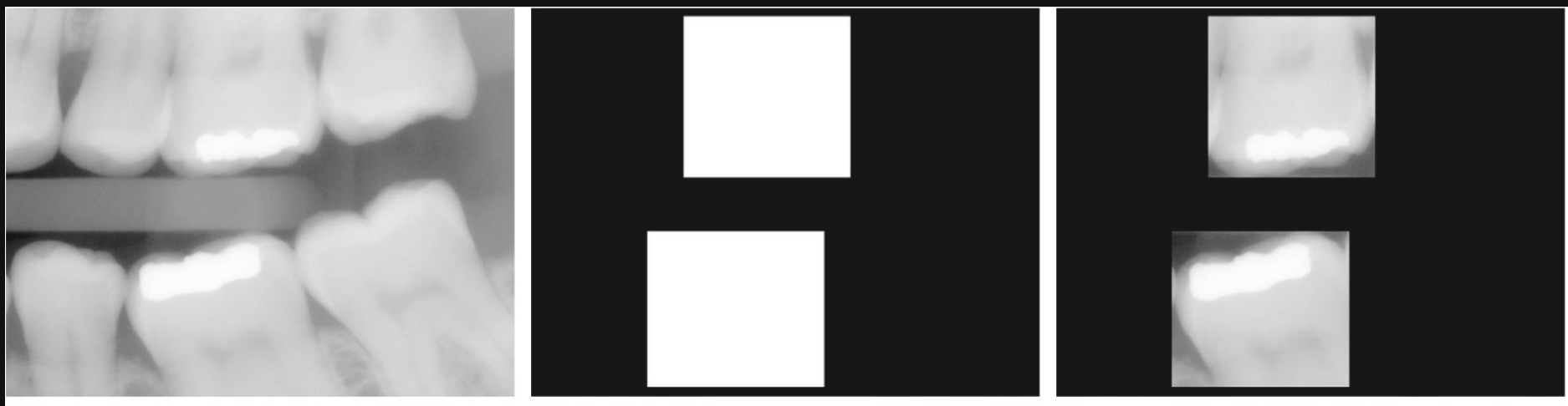
- Πολλαπλασιασμός
 - ▣ Χρησιμοποιείται ως εφαρμογή για την διόρθωση της σκίασης μιας εικόνας πολλαπλασιάζοντας την εικόνα (με την σκίαση) και το μοντέλο της σκίασης.
 - ▣ Χρησιμοποιείται για την εξαγωγή περιοχών ενδιαφέροντος ROI.
- ΠΡΟΣΟΧΗ! Μετά από κάθε μετασχηματισμό θα πρέπει το εύρος των φωτεινοτήτων να τροποποιείται ώστε να βρίσκεται στην ίδια δυναμική περιοχή με αυτό της αρχικής εικόνας.

παράδειγμα πολλαπλασιασμού εικόνων



Παράδειγμα διόρθωσης σκίασης εικόνας (α) εικόνα η οποία παρουσιάζει σκίαση (β) το μοτίβο της σκιάς (γ) αποτέλεσμα που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό των δύο πρώτων εικόνων

παράδειγμα πολλαπλασιασμού εικόνων



(α) Παράδειγμα εικόνας (X-ray) οδοντοστοιχίας (β) δοκιμαστική εικόνα (Region of Interest – ROI) μάσκα η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την απομόνωση των δοντιών με σφραγίσματα (γ) αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού των δύο εικόνων.

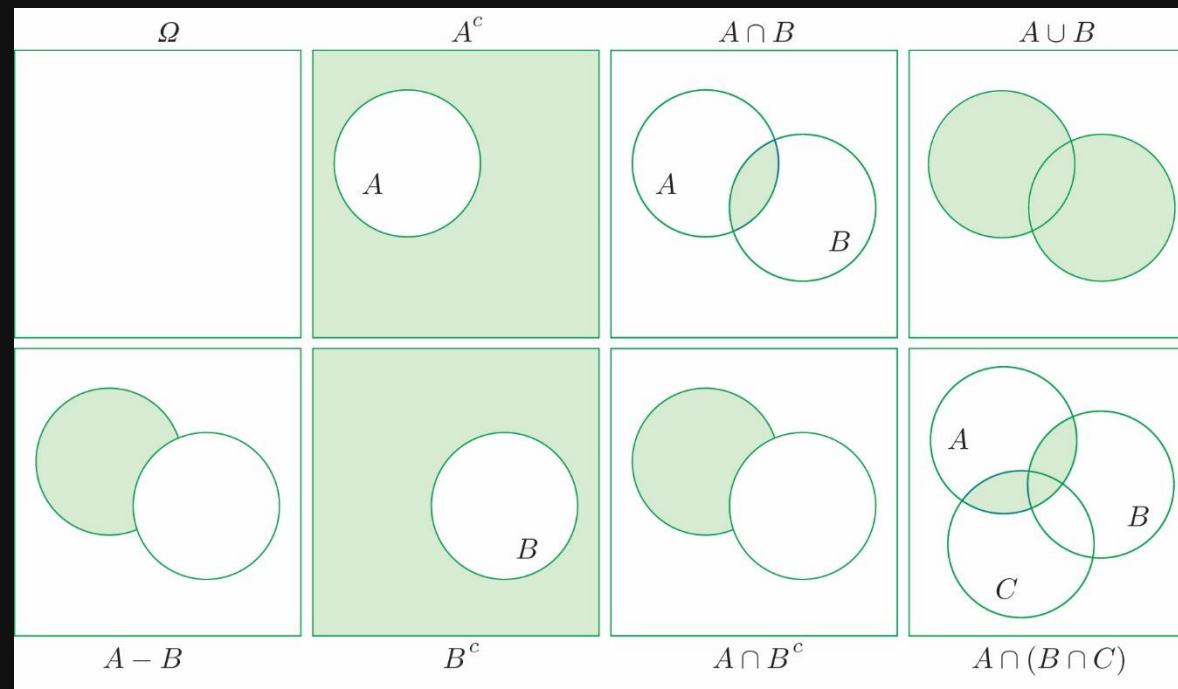
Πρόβλημα αριθμητικών πράξεων

- Η εικόνα που θα προκύψει θα πρέπει να βρίσκεται στο εύρος που αντιστοιχεί στα bit κωδικοποίησης.
- Για να γίνει αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί:

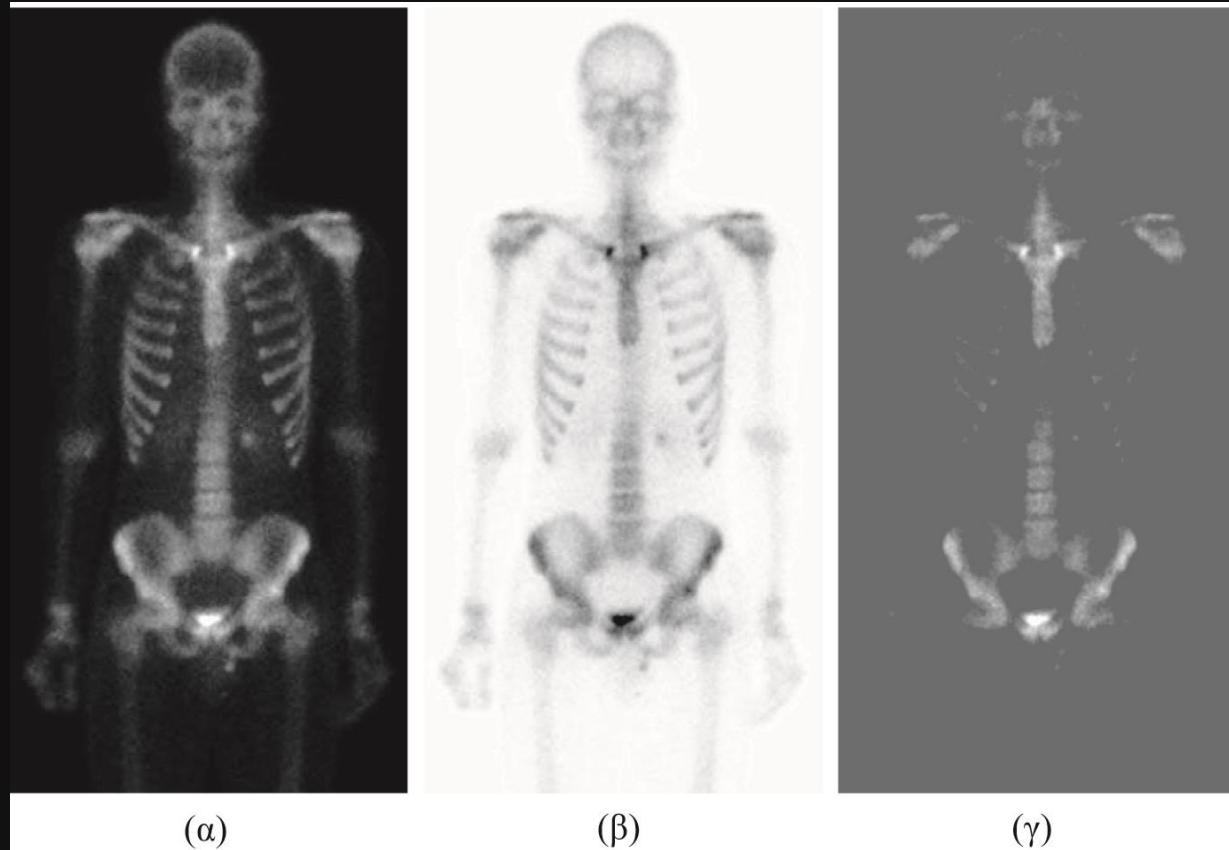
$$f_m = f - \min(f)$$
$$f_s = K \left[\frac{f_m}{\max(f_m)} \right]$$

Λογικές πράξεις

- Οι λογικές πράξεις γίνονται στην περίπτωση που έχουμε μονόχρωμες εικόνες (binary).
- Οι έννοιες των συνόλων (ένωση, τομή, αφαίρεση, συμπλήρωμα) γίνονται λογικές πράξεις OR, AND, NOT

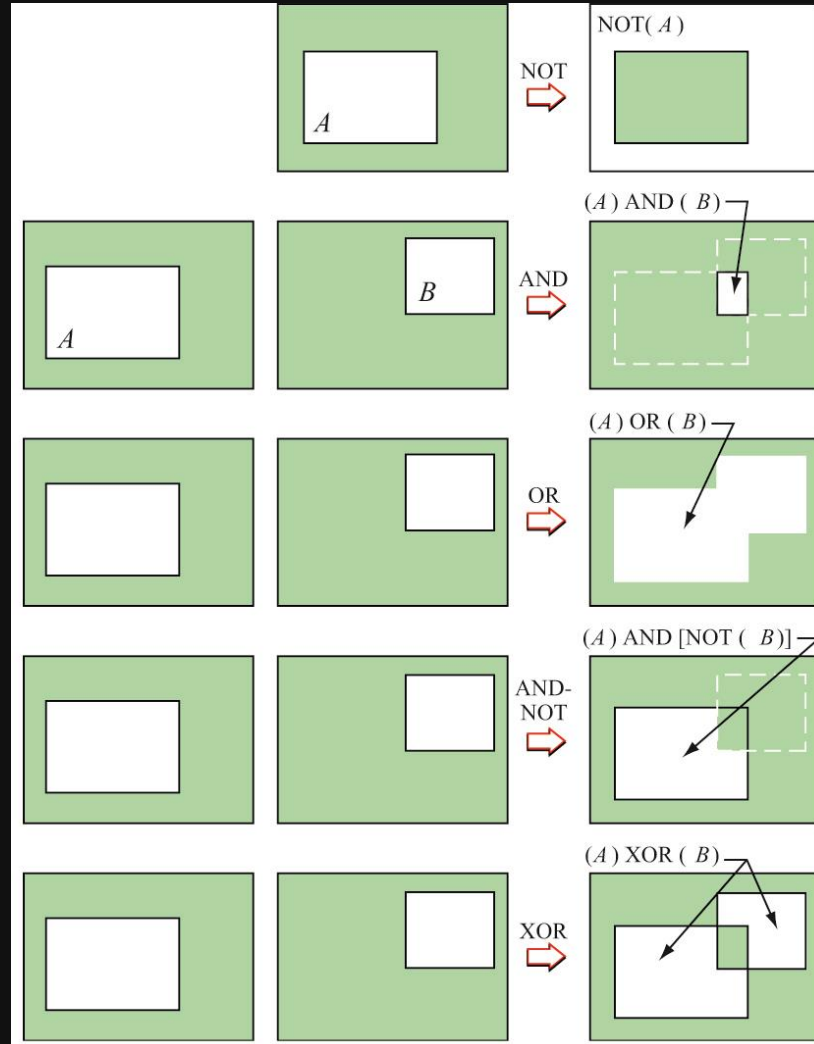


παραδείγματα εφαρμογής τελεστών συνόλων



(α) αρχική εικόνα (β) εικόνα που προκύπτει από την αντιστροφή του συνόλου των φωτεινότητων της αρχικής (αντίθετη εικόνα) (γ) εικόνα που προκύπτει από την ένωση της αρχικής με μια εικόνα σταθερής φωτεινότητας

εφαρμογή λογικών τελεστών στα εικονοστοιχεία εικόνας



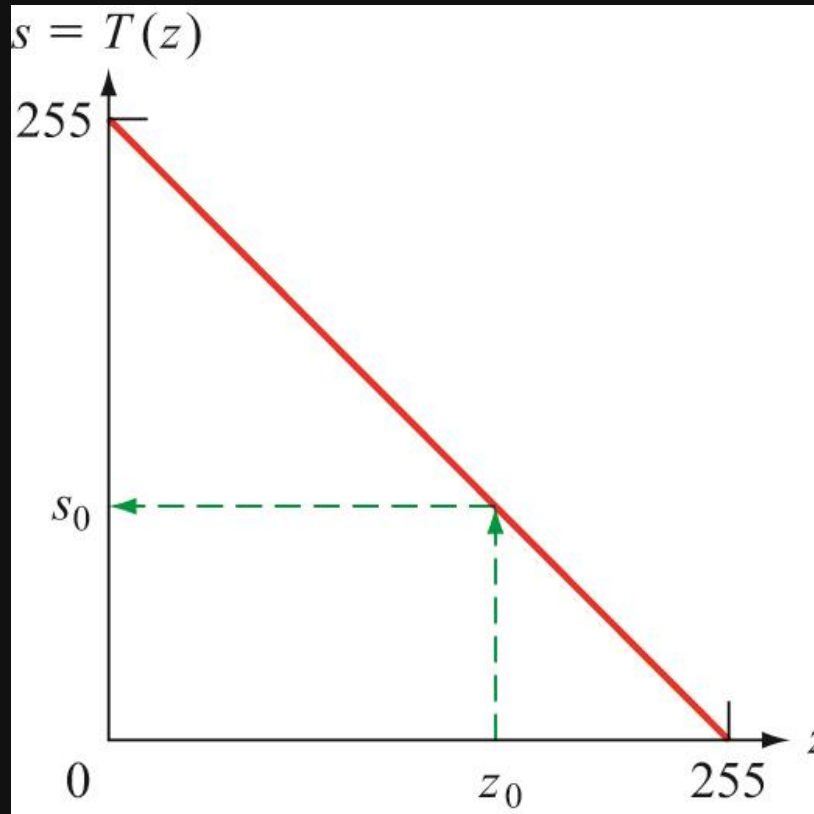
Χωρικοί τελεστές

- Οι χωρικές πράξεις εφαρμόζονται πάνω στα εικονοστοιχεία μιας δεδομένης εικόνας και ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες:
 - πράξεις που εφαρμόζονται σε εικονοστοιχείο
 - πράξεις που εφαρμόζονται σε γειτονιές εικονοστοιχείων
 - γεωμετρικοί χωρικοί μετασχηματισμοί

Πράξεις με απλά εικονοστοιχεία

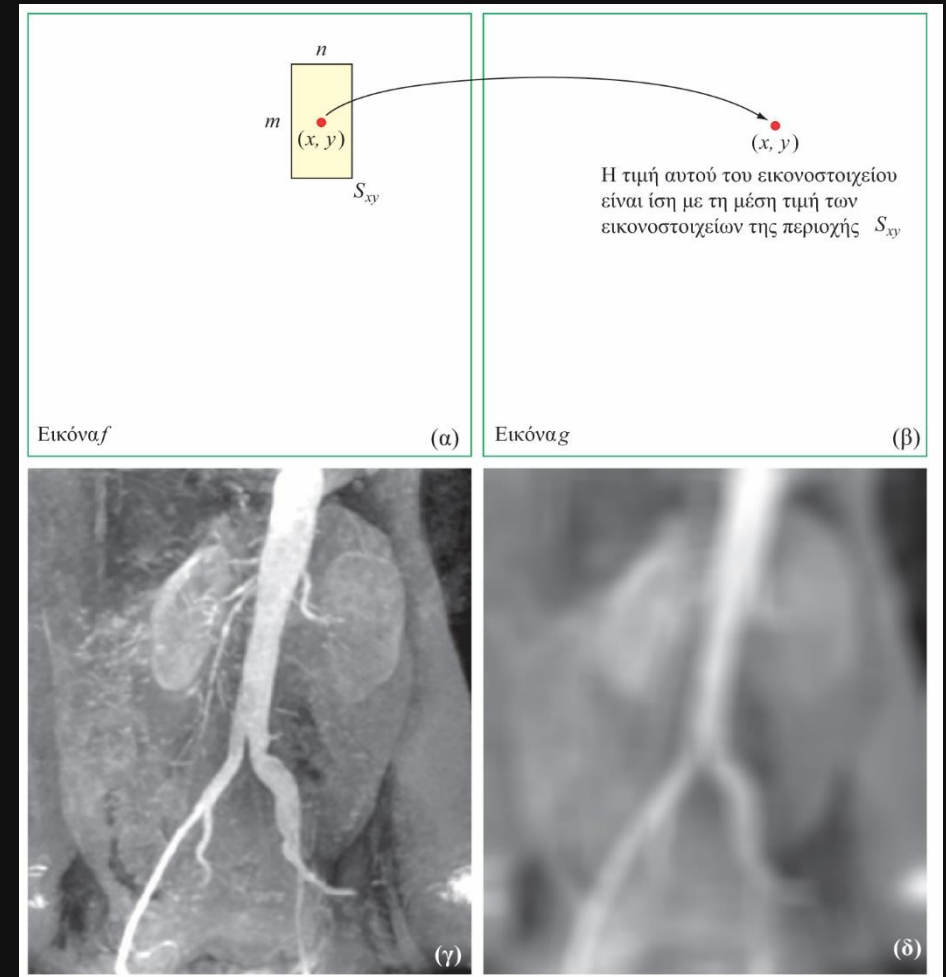
- Συναρτήσεις μετασχηματισμού έντασης εικονοστοιχείων

$$s = T(z)$$



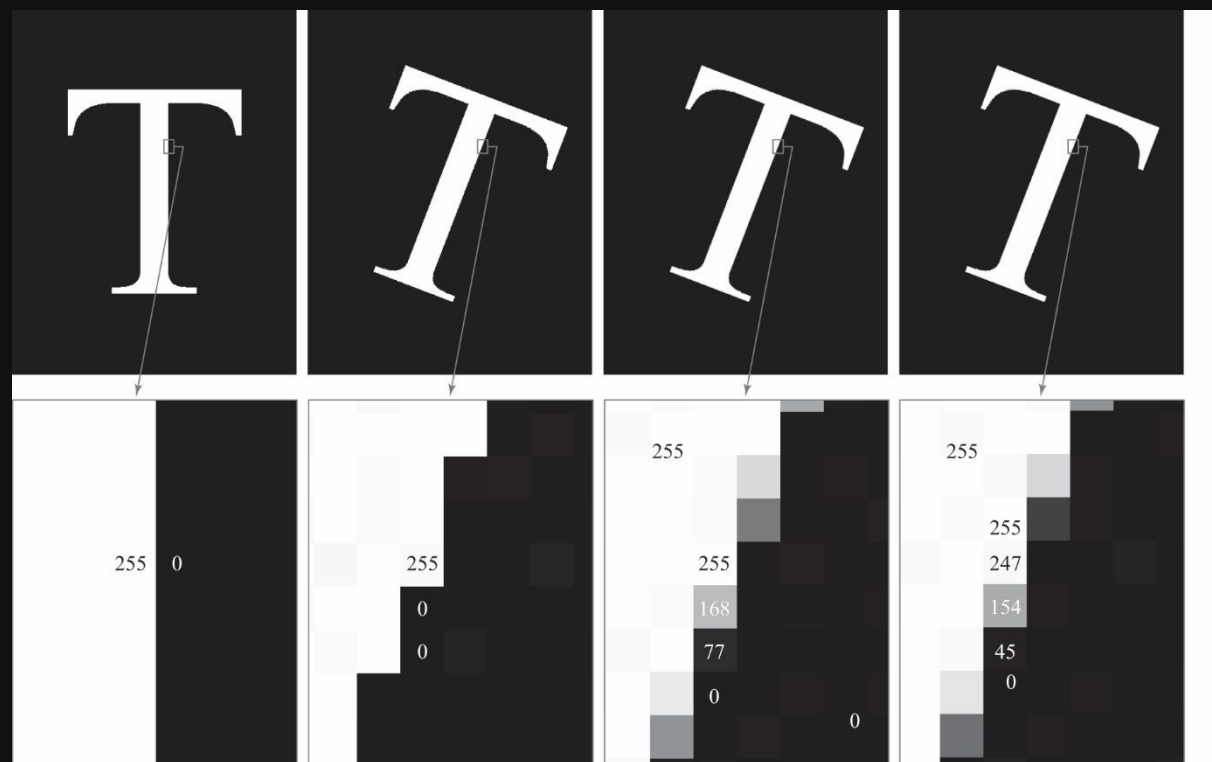
Πράξεις με γειτονιές εικονοστοιχείων

- Επεξεργασία γειτονιάς εικονοστοιχείων η οποία δημιουργεί ένα εικονοστοιχείο ως αποτέλεσμα.
- Παράδειγμα είναι η εύρεση μέσης φωτεινότητας μιας περιοχής εικόνας



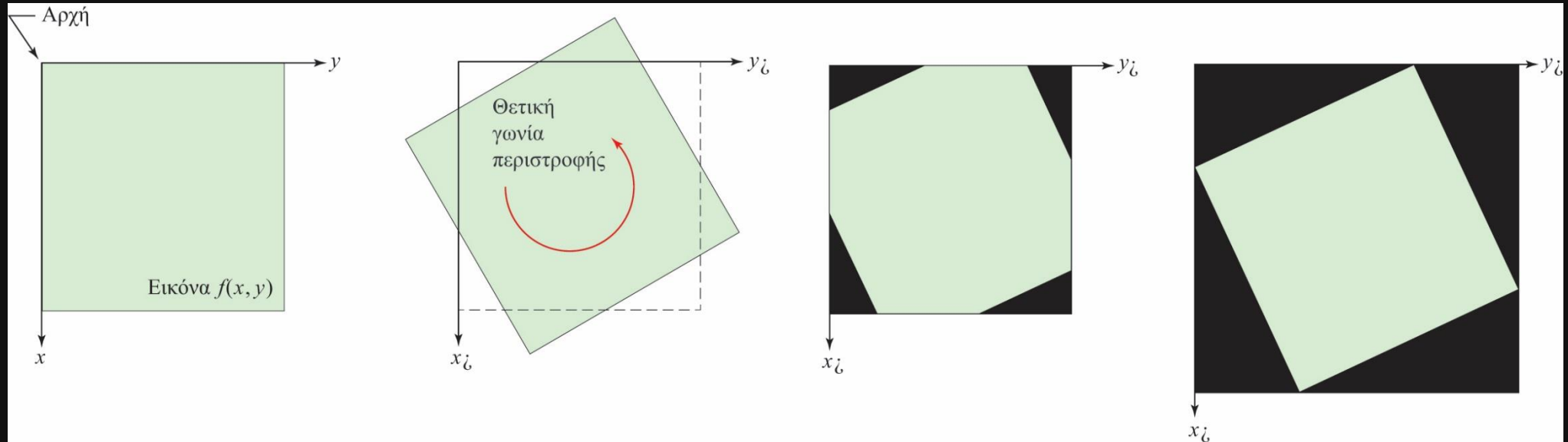
Γεωμετρικοί χωρικοί μετασχηματισμοί

- Όλοι οι γνωστοί (???) μετασχηματισμοί από το μάθημα Γραφικά Υπολογιστή:
 - κλιμάκωση
 - περιστροφή
 - μετατόπιση
 - κύρτωση (κατακόρυφα)
 - κύρτωση (οριζόντια)

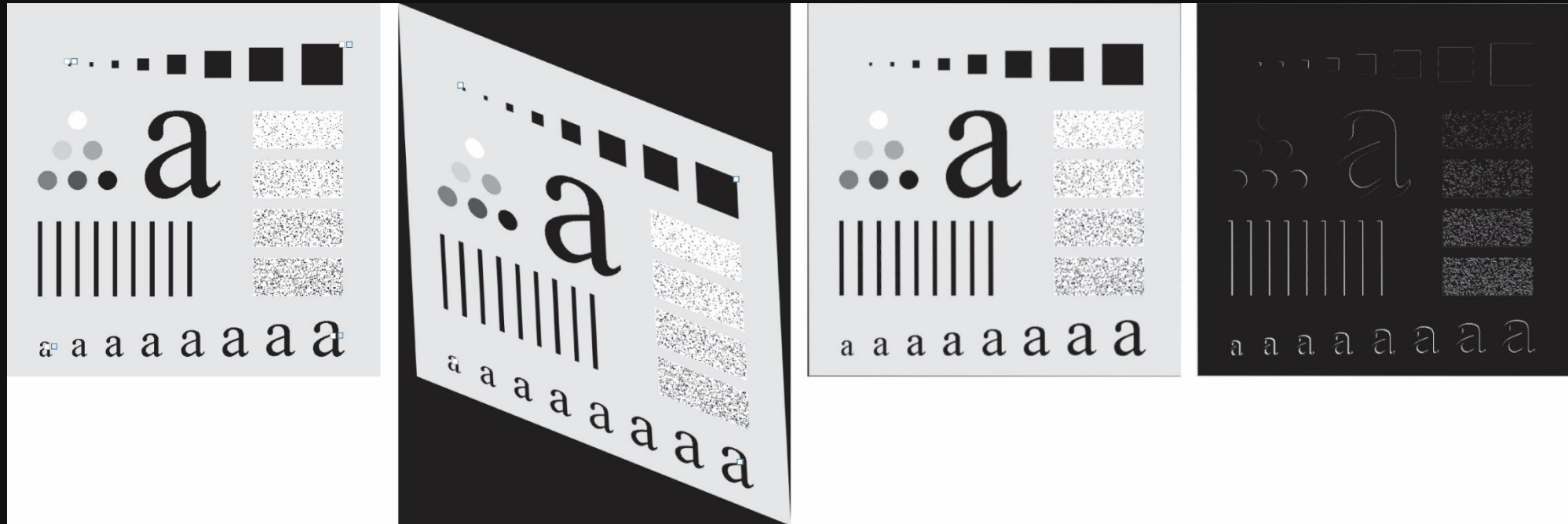


(α) αρχική εικόνα (β) εικόνα στραμμένη -21° (πλησιέστερος γείτονας) (γ) εικόνα στραμμένη -21° (bilinear) (δ) εικόνα στραμμένη -21° (bicubic)

περιστροφή εικόνας



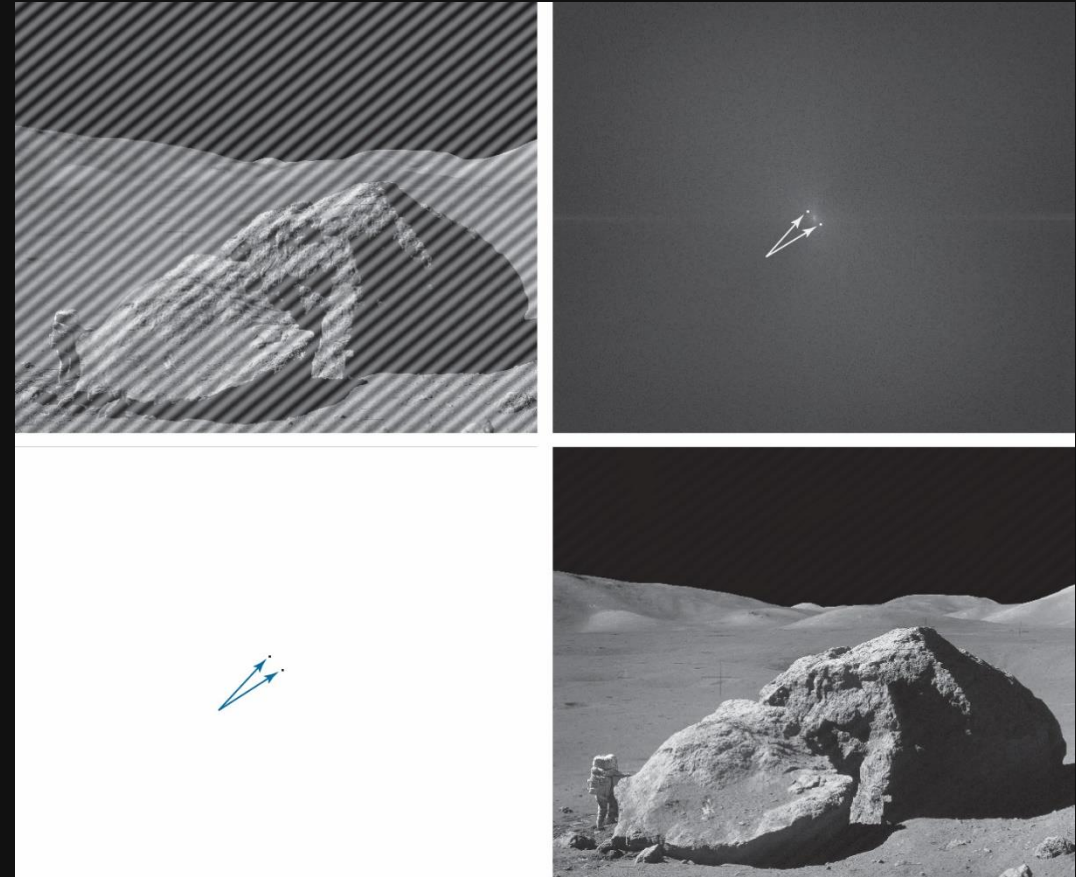
ευθυγράμμιση εικόνας (image registration)



(α) αρχική εικόνα αναφοράς (β) εικόνα γεωμετρικά χαλασμένη (γ) αποτέλεσμα της ευθυγράμμισης (registration) (δ) διαφορά του αποτελέσματος με την αρχική εικόνα.

Μετασχηματισμοί εικόνας

$$T(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) r(x, y, u, v)$$
$$f(x, y) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} T(u, v) s(x, y, u, v)$$



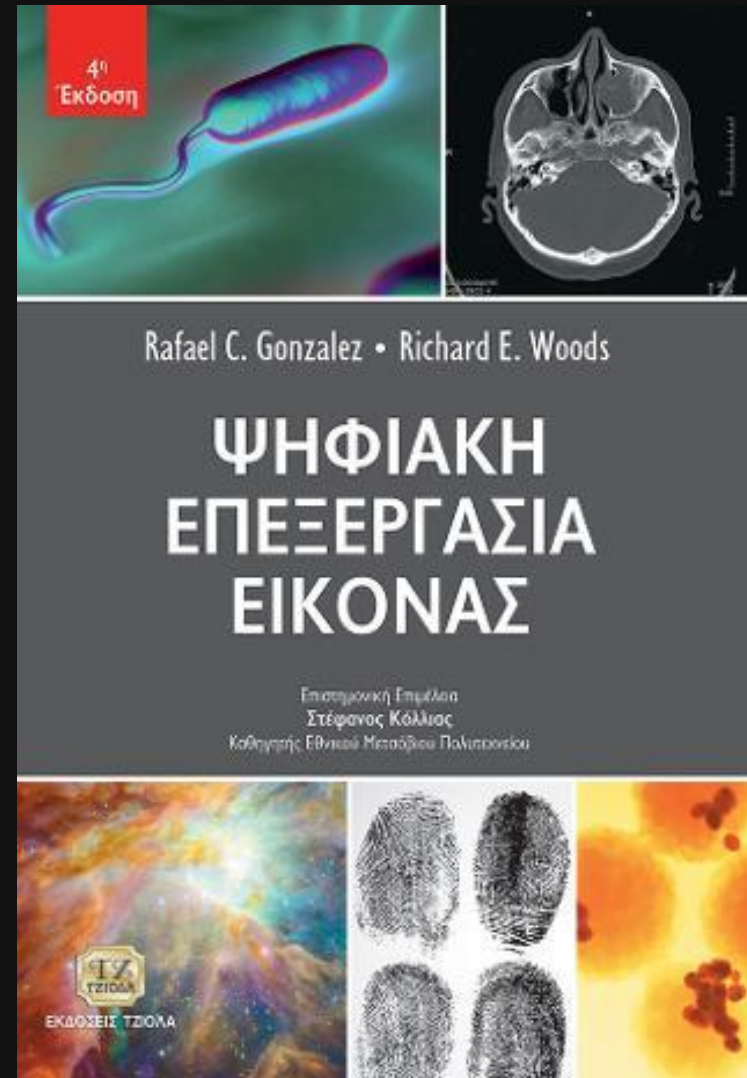
(α) εικόνα με περιοδικό θόρυβο (β) μέτρο του μετασχηματισμού Fourier που δείχνει την ενέργεια της παρεμβολής (γ) Μάσκα για την αφαίρεση της (δ) αντίστροφος μετασχηματισμός τελικής εικόνας

Πιθανοτικές μέθοδοι

- Αν θεωρήσουμε τις τιμές έντασης φωτεινοτήτων ως τυχαίες μεταβλητές, η πιθανότητα $p(z_k)$ να εμφανιστεί το επίπεδο έντασης z_k σε μια εικόνα υπολογίζεται ως:

$$p(z_k) = \frac{n_k}{MN}$$

Rafael Gonzalez, Richard
Woods, Ψηφιακή Επεξεργασία
Εικόνας, 4η έκδοση, σελ 27-79





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