



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Γεωχωρικές Τεχνολογίες»

**Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας**

Εισηγητής  
Αναστάσιος Κεσίδης



# Εισαγωγή

# Τι είναι η εικόνα;



Μια οπτική αναπαράσταση με την μορφή μιας συνάρτησης  $f(x, y)$  όπου η συνάρτηση  $f$  εξαρτάται από την φωτεινότητα (ή το χρώμα) στην θέση  $(x, y)$ .

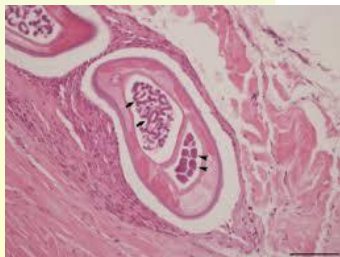
# Τι είναι η εικόνα;



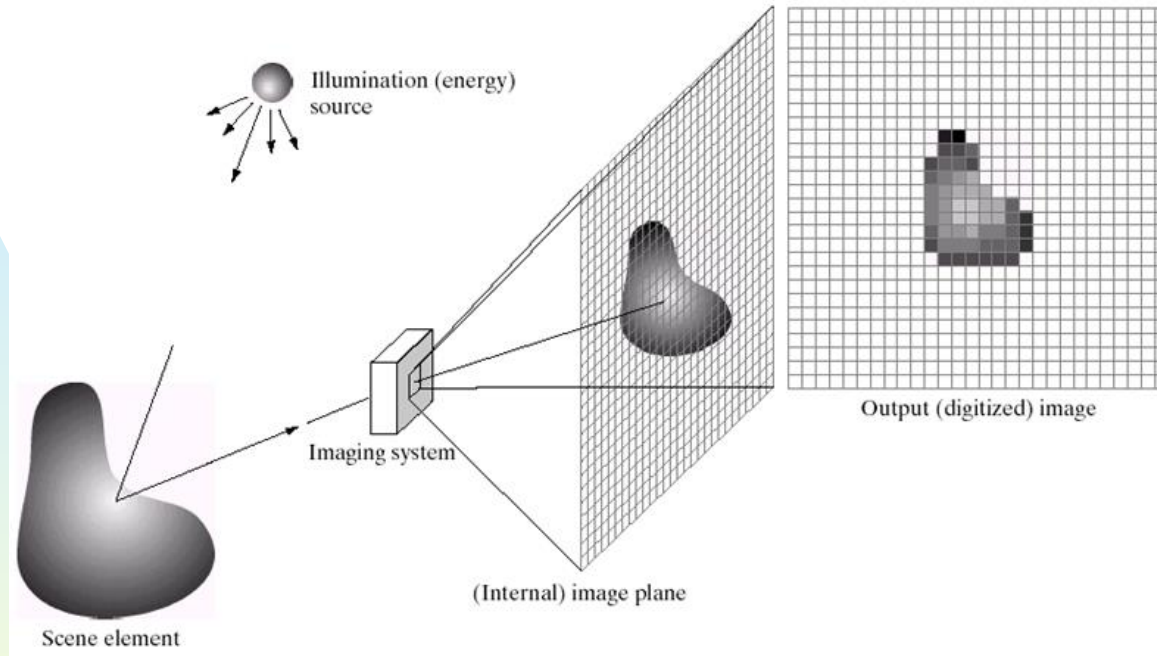
Συνήθως αναπαρίσταται με την μορφή μιας **ορθογώνιας** περιοχής.

Η συνάρτηση  $f$  είναι **συνεχής** τόσο ως προς τις τιμές της όσο και ως προς το πεδίο ορισμού της.

# Παραδείγματα εικόνων



# Ψηφιακή εικόνα



Μια **ψηφιακή εικόνα** είναι η αναπαράσταση μιας δυσδιάστατης εικόνας  $f(x, y)$  μέσω ενός πεπερασμένου συνόλου διακριτών τιμών  $f[x, y]$ .

Κάθε δείγμα της εικόνας  $f[x, y]$  ονομάζεται **pixel** (συνδυασμός των λέξεων picture element).

# Ψηφιακή εικόνα

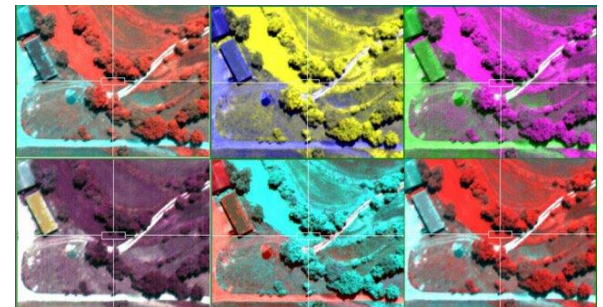
Μια τιμή ανά pixel (B&W, Grayscale)



Τρεις τιμές ανά pixel (Red, Green, Blue)



Περισσότερες τιμές ανά pixel (Hyperspectral)



# Τομείς ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας

- Προετοιμασία παρουσίασης και εκτύπωσης
  - Τροποποίηση μεγέθους εικόνας, γεωμετρικοί μετασχηματισμοί
  - Χρωματική αντιστοίχιση, χρωματικές μετατροπές
- Βελτίωση και διόρθωση
  - Αύξηση ευκρίνειας, απαλοιφή θορύβου, αποκατάσταση εικόνας
- Αποθήκευση και μετάδοση
  - Συμπίεση και κωδικοποίηση εικόνας
- Εξαγωγή χαρακτηριστικών
  - Εξαγωγή ακμών, γεωμετρικών σχημάτων, χαρακτηριστικών σημείων
- Αναγνώριση, τμηματοποίηση, κατηγοριοποίηση, ...

# Ιστορική αναδρομή

## ➤ Δεκαετία 1920

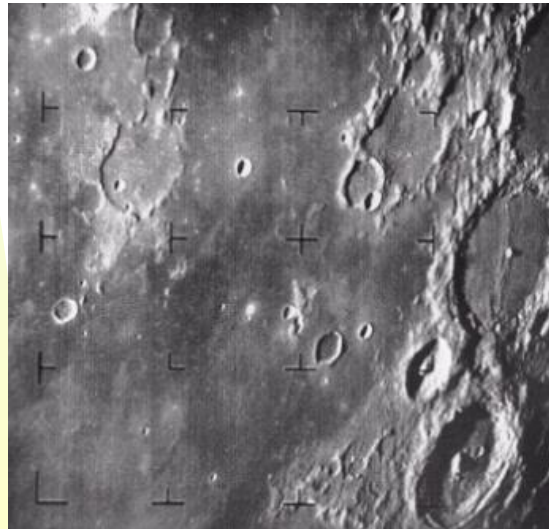
- Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για τη βελτίωση των εικόνων εφημερίδων που αποστέλλονταν μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου μεταξύ Λονδίνου και Νέας Υόρκης.
- Χρειαζόταν περίπου 3 ώρες για την αποστολή μιας κωδικοποιημένης εικόνας μέσω τηλέγραφου.
- Το αρχικό σύστημα υποστήριζε 5 επίπεδα του γκρι.



# Ιστορική αναδρομή

## ➤ Δεκαετία 1960

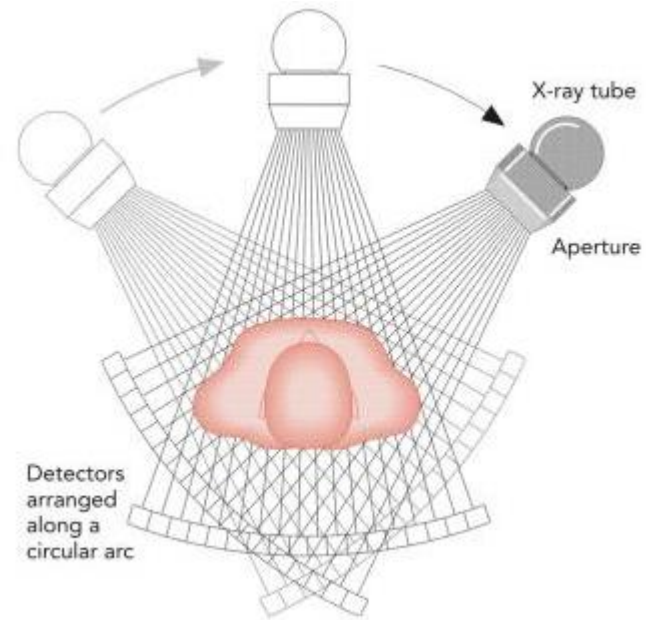
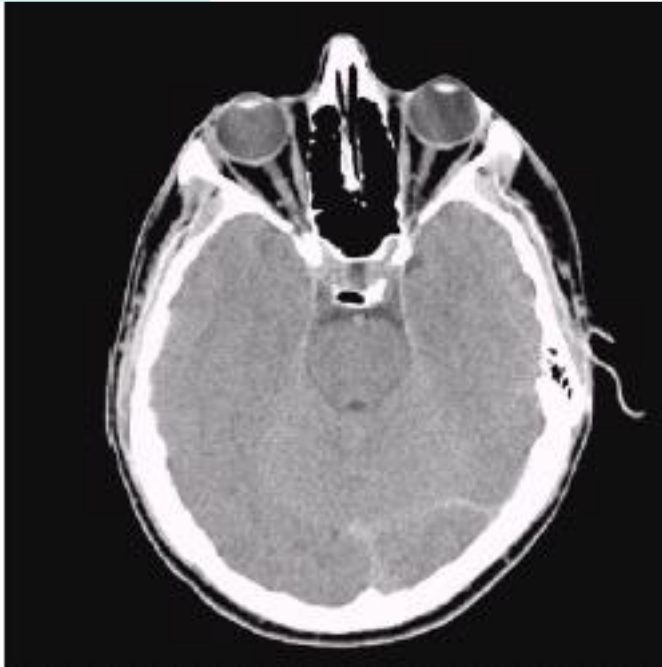
- Χρήση υπολογιστών από την NASA για την διόρθωση εικόνων από την επιφάνεια της Σελήνης.
- Τα σφάλματα αφορούσαν την διαδικασία λήψης των εικόνων από την κάμερα που βρισκόταν στο διαστημικό όχημα.
- Παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν και στις αποστολές Απόλλων.



# Ιστορική αναδρομή

## ➤ Δεκαετία 1970

- Χρήση ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας σε ιατρικές εφαρμογές.
- Το 1979 οι Hounsfield και Cormack μοιράζονται το βραβείο Nobel Ιατρικής για την ανακάλυψη της X-Ray υπολογιστικής τομογραφίας.

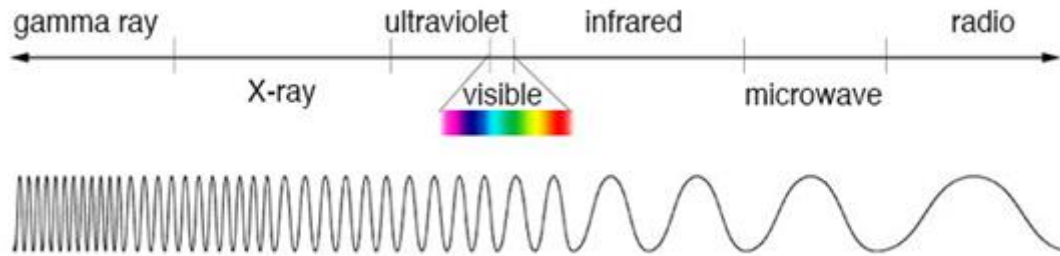


## ➤ Δεκαετία 1980-σήμερα

- Ανάπτυξη πλήθους τεχνικών ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών:
  - ✓ Βελτίωση/ανάκτηση εικόνων
  - ✓ Ψηφιακά εφέ
  - ✓ Οπτικοποίηση ιατρικών δεδομένων
  - ✓ Βιομηχανικός έλεγχος
  - ✓ Γραφικά υπολογιστών
  - ✓ Διασύνδεση ανθρώπου – μηχανής
  - ✓ κ.α.

# Χρήση/εφαρμογή ψηφιακών εικόνων

## ➤ Δεδομένα από όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



- **Ακτίνες γάμα**
  - ✓ Πυρηνική ιατρική, αστρονομικές παρατηρήσεις
- **Ακτίνες Χ**
  - ✓ Ιατρική διαγνωστική, βιομηχανικός έλεγχος, αστρονομία
- **Υπεριώδεις συχνότητες**
  - ✓ Λιθογραφία, μικροσκοπία, λέιζερ, βιολογική απεικόνιση
- **Ορατό και υπέρυθρο φως**
  - ✓ Μικροσκοπία, αστρονομία, τηλεπισκόπηση, ασφάλεια
- **Μικροκύματα**
  - ✓ Ραντάρ
- **Ραδιοφωνικές συχνότητες**
  - ✓ Ιατρική (MRI), αστρονομία

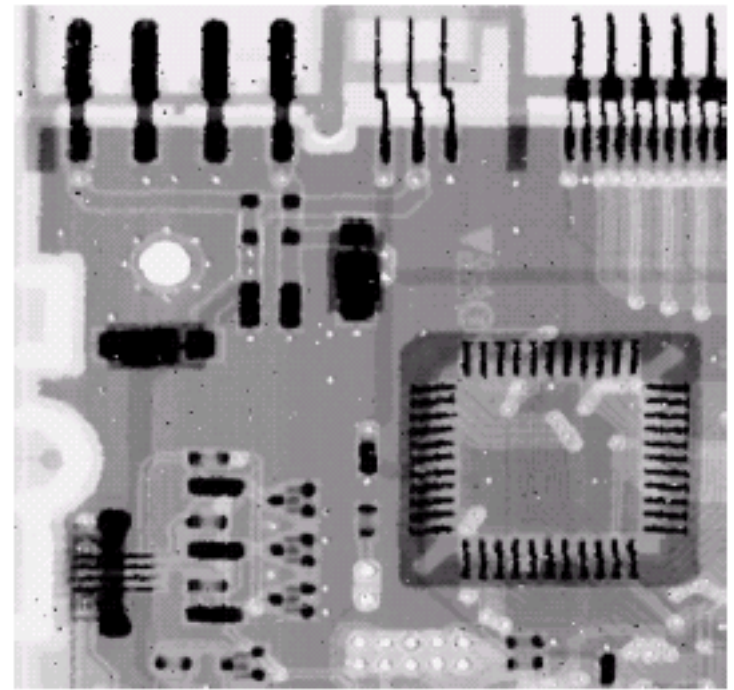
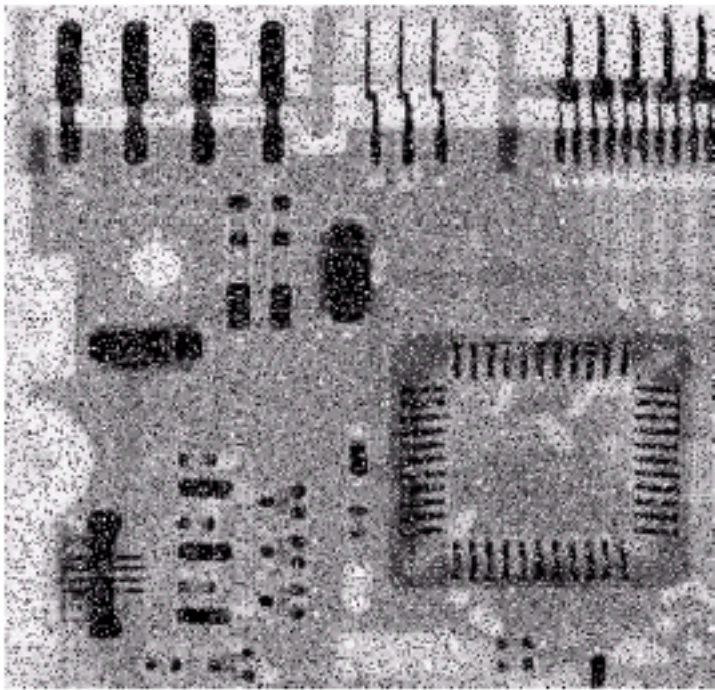
# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Βελτίωση αντίθεσης



# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Αφαίρεση θορύβου



# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Ανίχνευση ακμών



# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Αποκατάσταση εικόνας



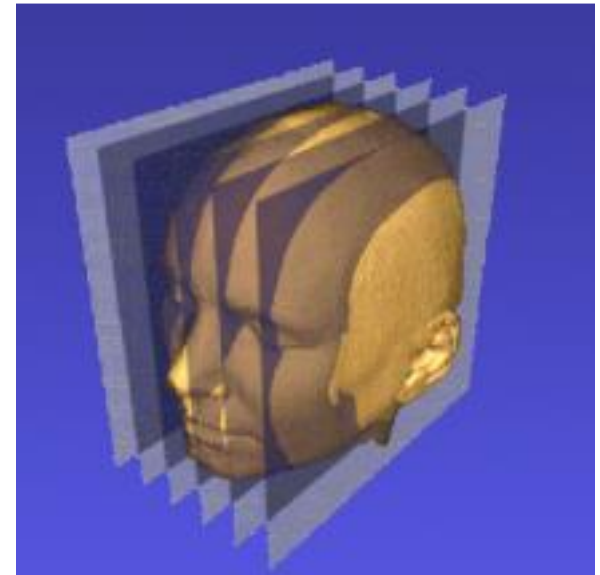
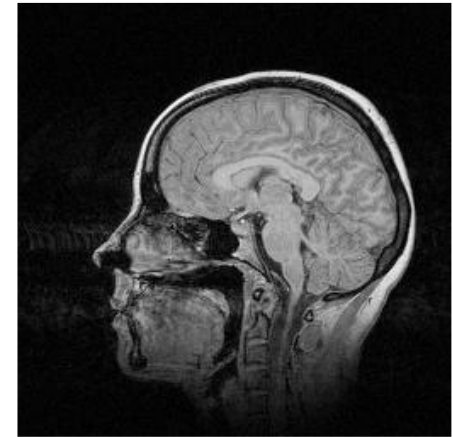
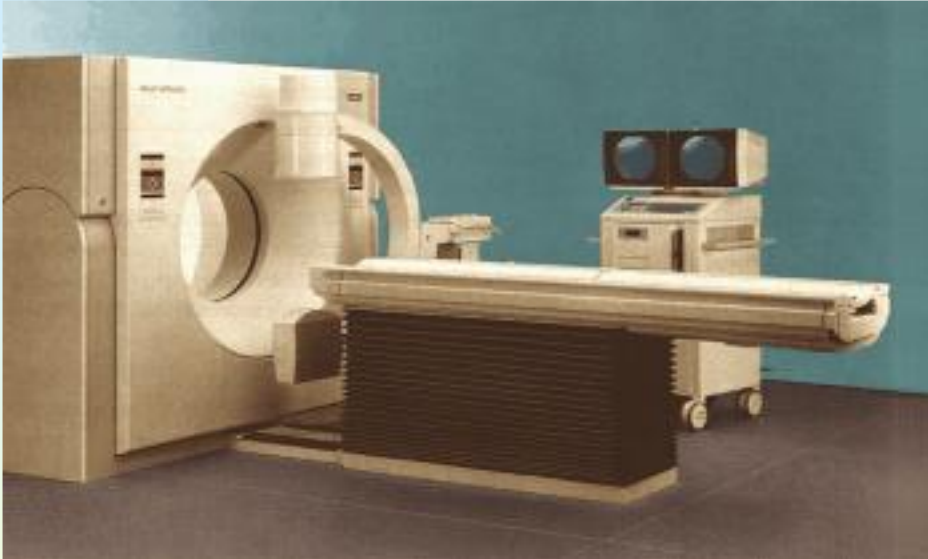
# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Οπτικά εφέ



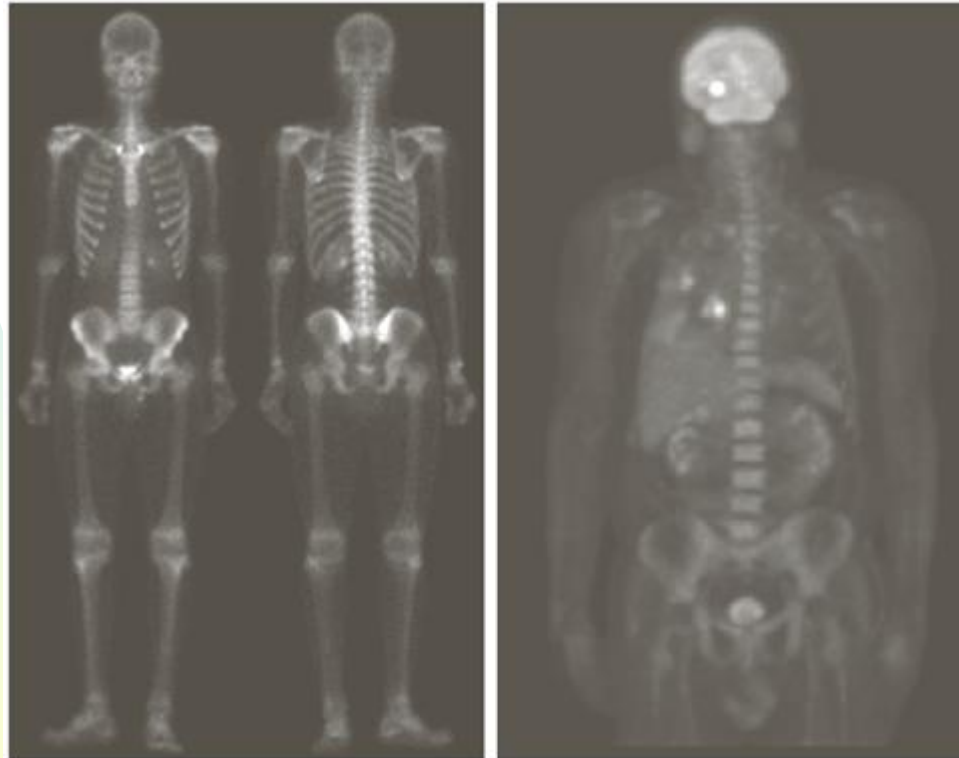
# Παραδείγματα - εφαρμογές

- Απεικόνιση τομογραφικών δεδομένων



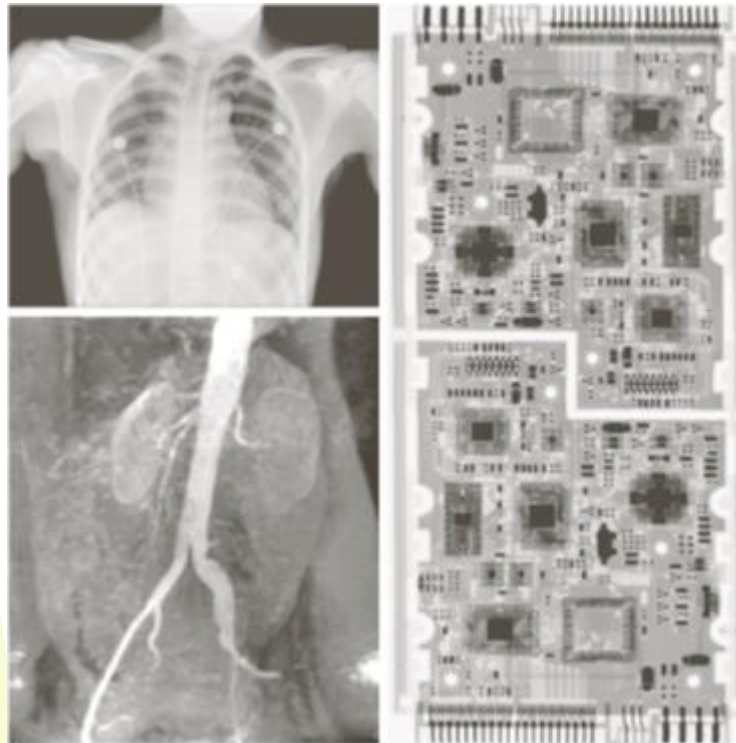
# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Απεικόνιση ακτίνων γάμα



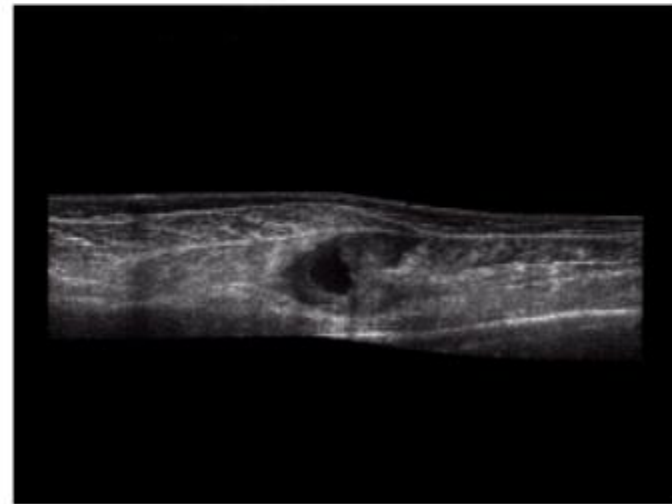
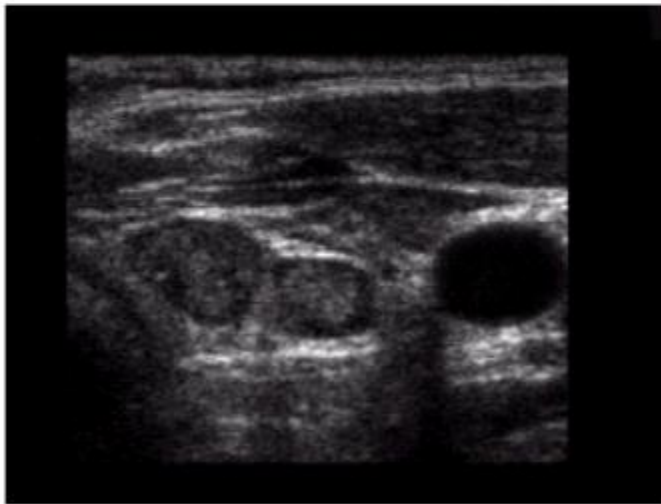
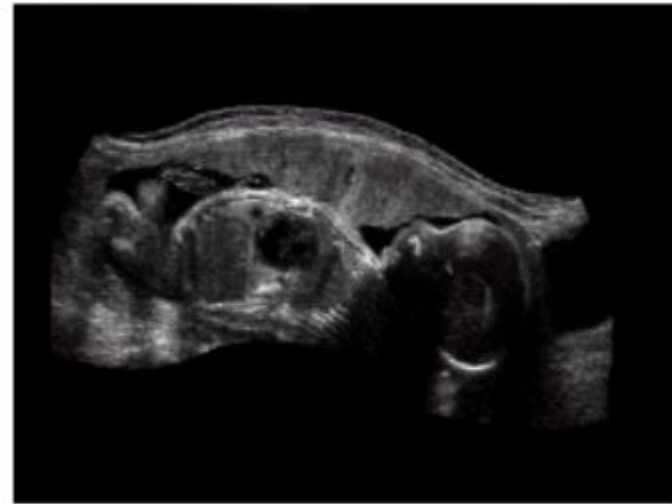
# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Απεικόνιση ακτίνων Χ



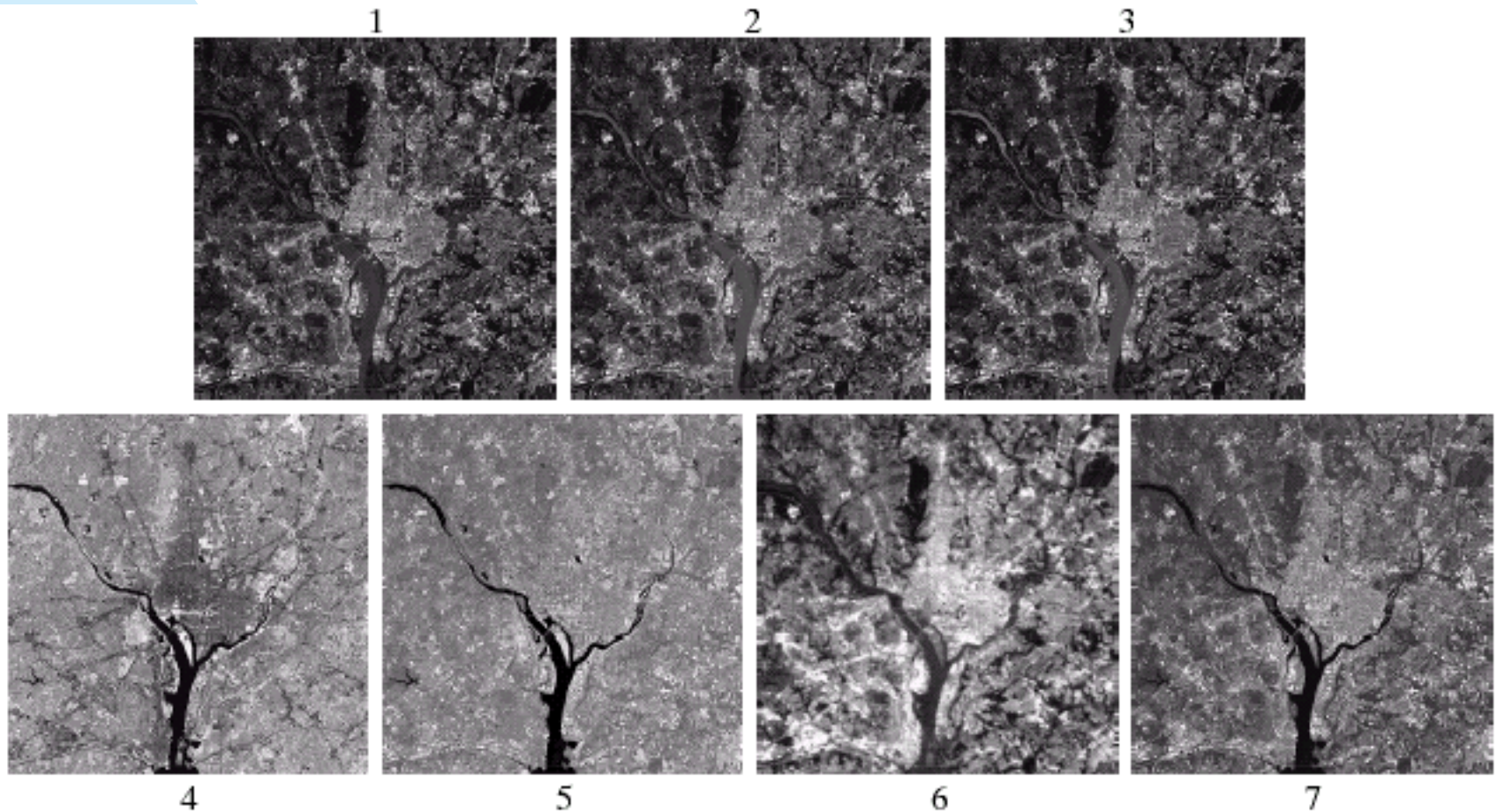
# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Υπέρηχοι



# Παραδείγματα - εφαρμογές

## ➤ Τηλεπισκόπηση και ταξινόμηση γης



# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

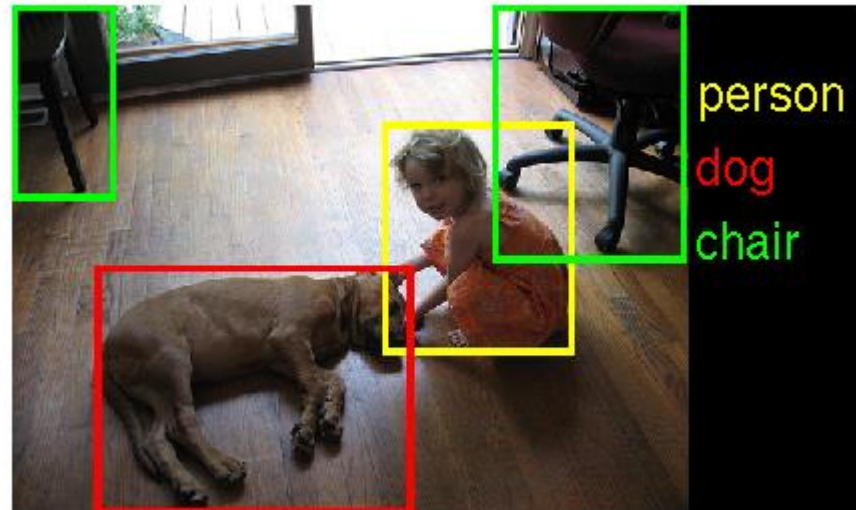
Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

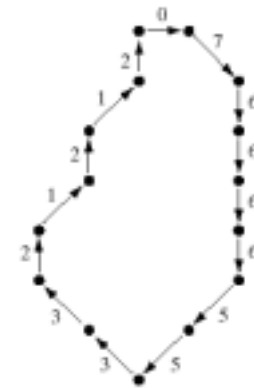
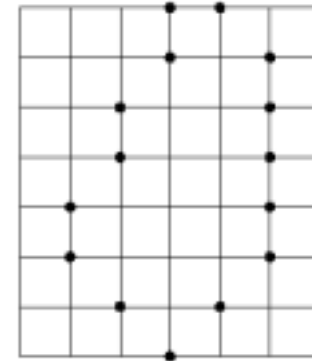
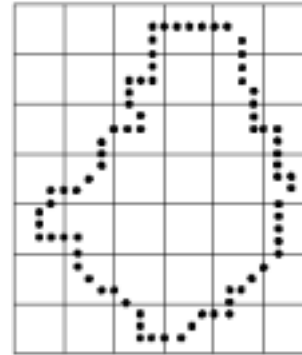
Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



Συμπίεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση

*Example of Lossy Compression*



Original Lena Image  
(12KB size)



Lena Image, Compressed (85%  
less information,  
1.8KB)



Lena Image, Highly Compressed (96%  
less information,  
0.56KB)

Συμπύεση

Χρωματική επεξεργασία

# Βασικά στάδια επεξεργασίας

Λήψη εικόνας

Βελτίωση

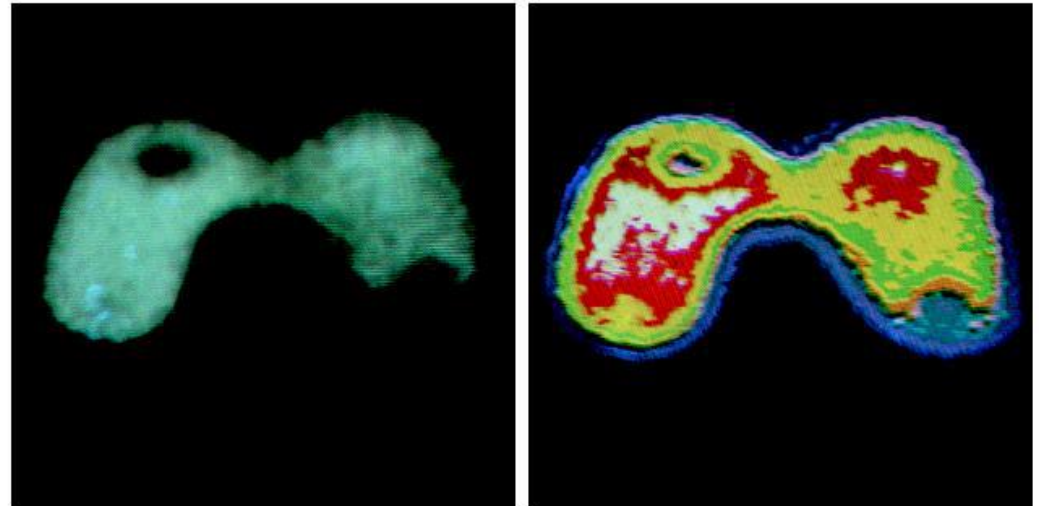
Ανάκτηση

Μορφολογική επεξεργασία

Τμηματοποίηση

Αναγνώριση αντικειμένων

Περιγραφή και αναπαράσταση



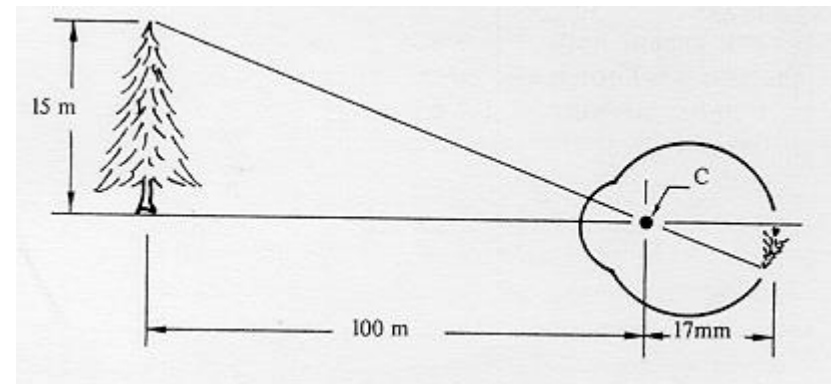
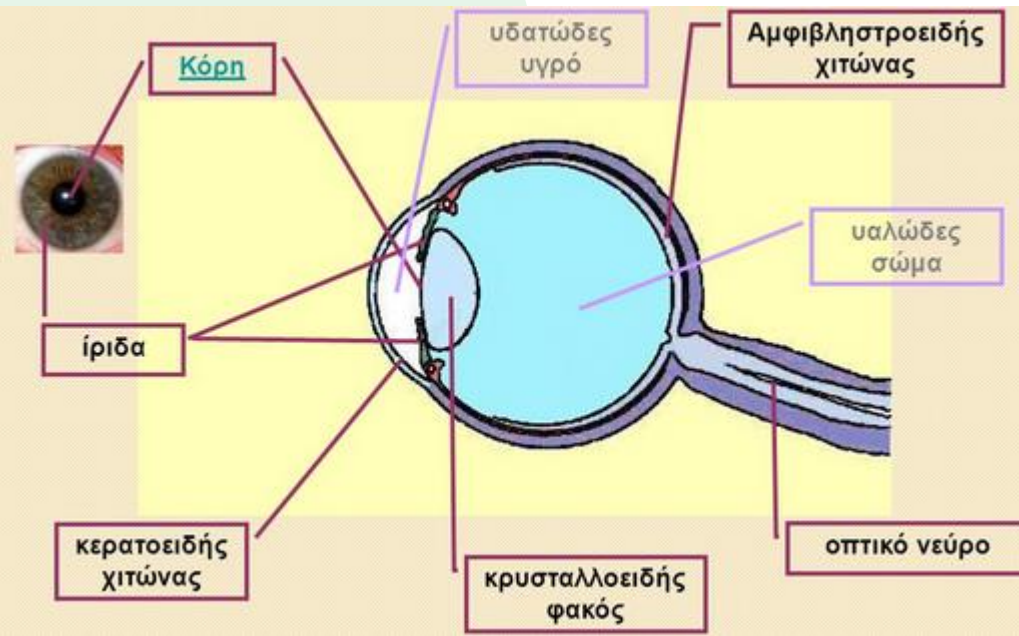
Συμπίεση

Χρωματική επεξεργασία

# Λήψη εικόνας

## ➤ Λειτουργία της ανθρώπινης όρασης

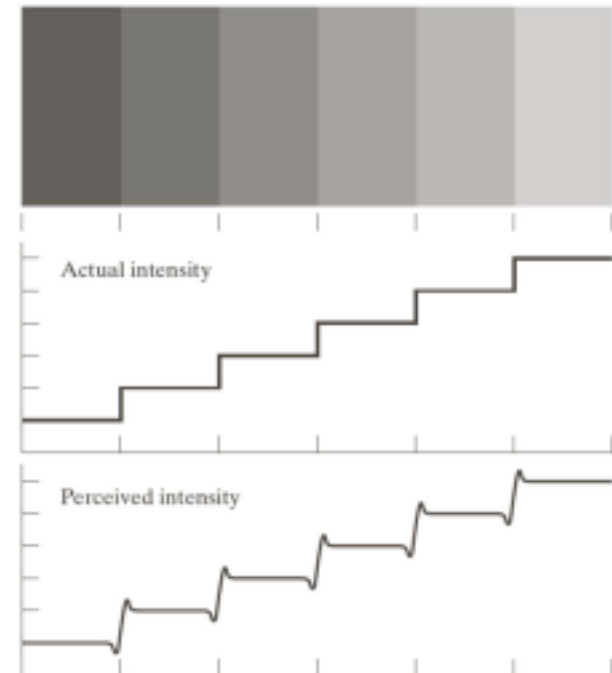
- Ο **κρυσταλλοειδής φακός** εστιάζει το εισερχόμενο φως πάνω στον **αμφιβληστροειδή χιτώνα**.
- Ο **αμφιβληστροειδής χιτώνας** αποτελείται από μια στιβάδα φωτοϋποδοχέων.
- Οι **φωτοϋποδοχείς** μεταβιβάζουν μέσω των νευρικών κυττάρων τα φωτεινά ερεθίσματα στο **οπτικό νεύρο** κι από εκεί στον εγκέφαλο ο οποίος κι επεξεργάζεται τις εικόνες.



# Χαρακτηριστικά ανθρώπινης όρασης

## ➤ Προσαρμοστικότητα και διακριτικότητα

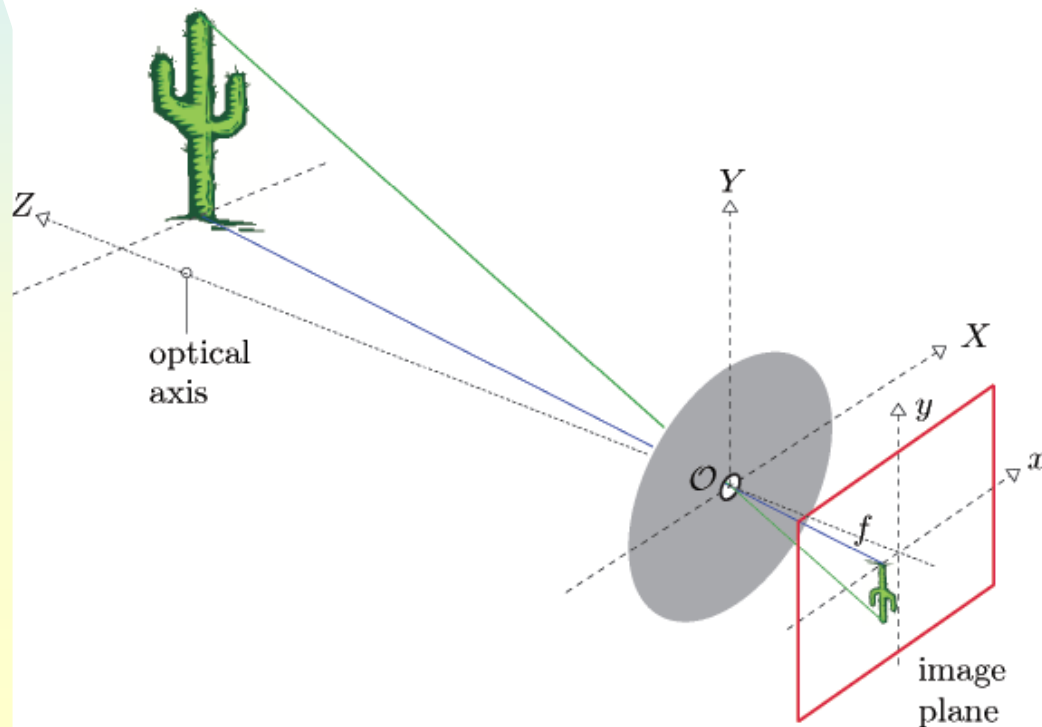
- Η ανθρώπινη όραση μπορεί να διακρίνει περίπου  $10^{10}$  διαφορετικά επίπεδα έντασης φωτός.
- Η ταυτόχρονη διακριτική ικανότητα είναι πολύ μικρότερη (προσαρμογή φωτεινότητας).
- Η αντιλαμβανόμενη φωτεινότητα εξαρτάται από την φωτεινότητα του υποβάθρου.



# Λήψη εικόνας

## ➤ Φωτογραφική κάμερα οπής

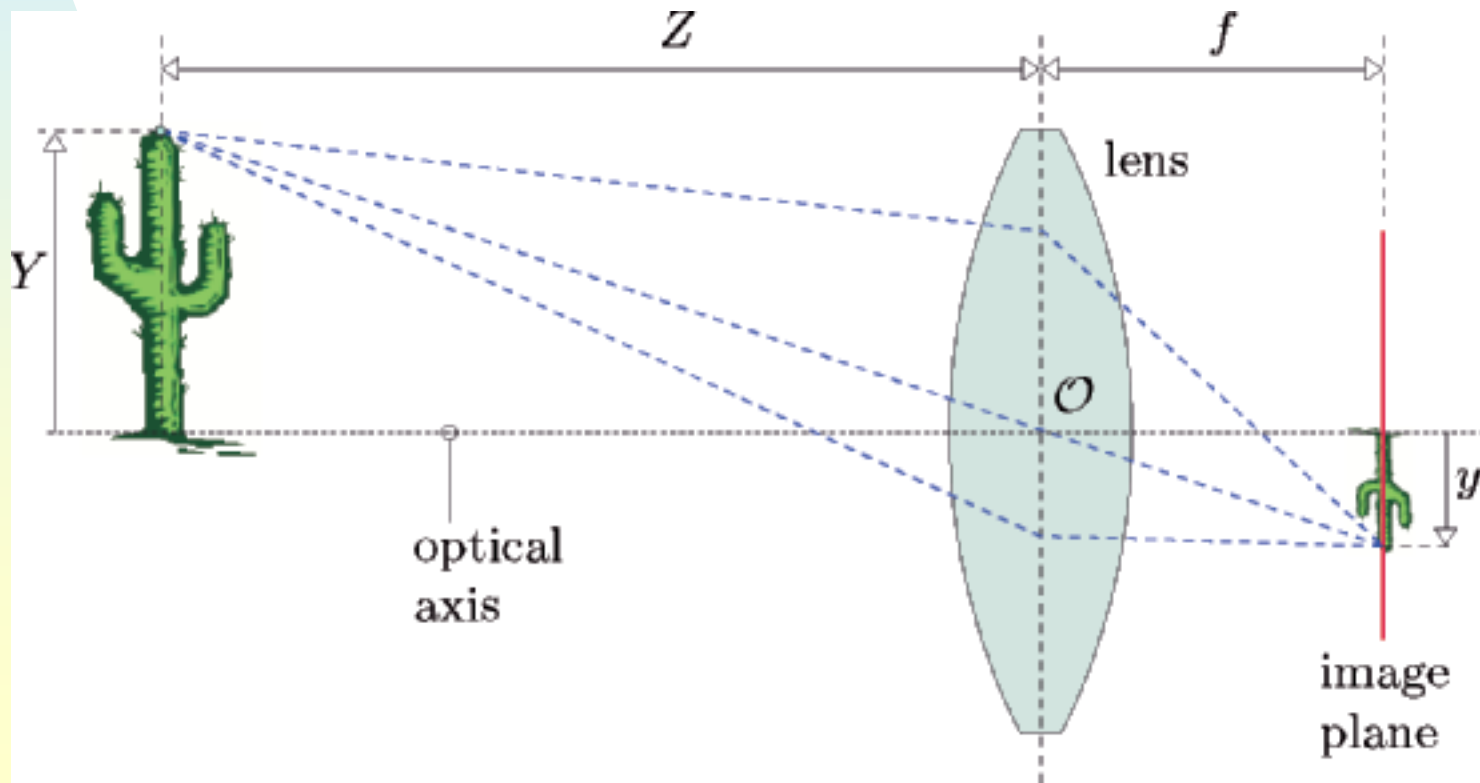
- Βασίζεται στην ίδια αρχή με την λειτουργία της ανθρώπινης όρασης.
- Το **είδωλο** του αντικειμένου εμφανίζεται αντεστραμμένο στο **επίπεδο προβολής** της εικόνας.
- Το μέγεθος του ειδώλου καθορίζεται από την απόσταση  $f$  του επιπέδου προβολής από την οπή.



# Λήψη εικόνας

## ➤ Φωτογραφική κάμερα με χρήση φακών

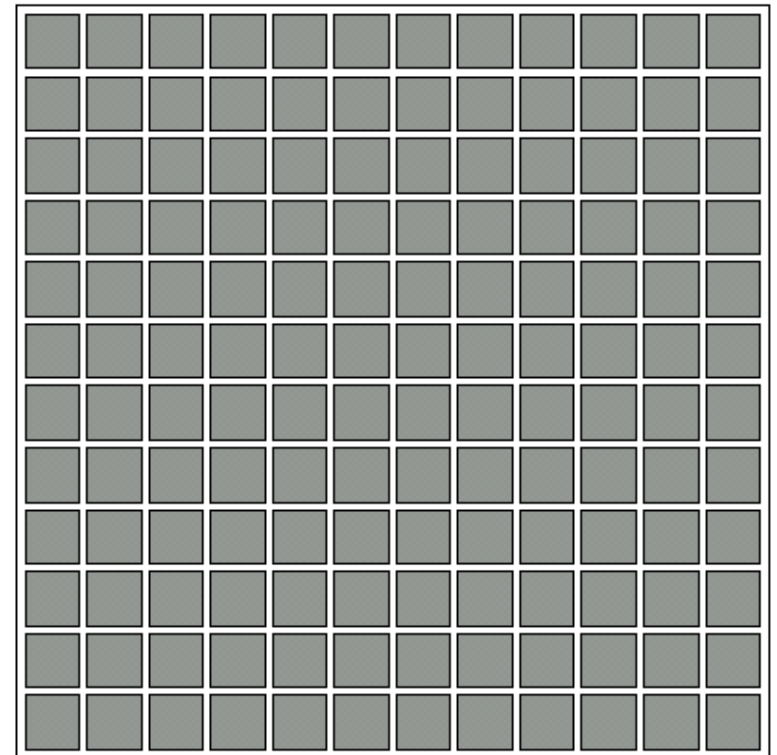
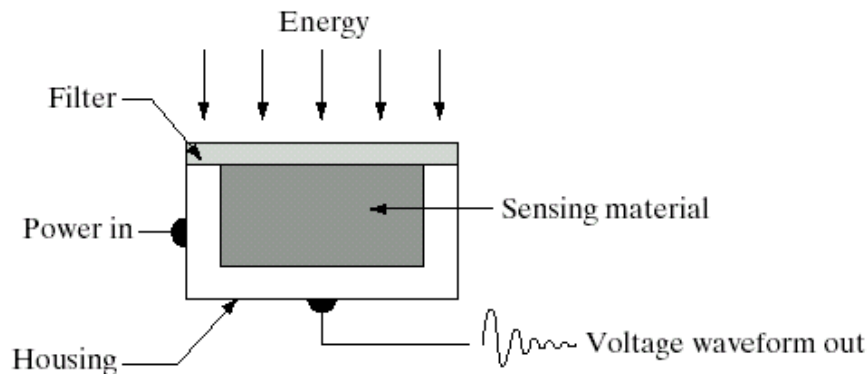
- Σύγχρονη προσέγγιση.
- Αποτέλεσμα παρόμοιο με κάμερα οπής.
- Ο φακός συγκλίνει τις ακτίνες φωτός στο **εστιακό σημείο** σε απόσταση που ονομάζεται **εστιακό μήκος** το οποίο εξαρτάται από την γεωμετρία (καμπυλότητα) του φακού.



# Λήψη εικόνας

## ➤ Οπτικοί αισθητήρες

- Το εισερχόμενο **φως** (ενέργεια) προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια ευαίσθητη σε αυτό το είδος ενέργειας η οποία με την σειρά της παράγει **ηλεκτρική τάση**.
- Για την λήψη μιας εικόνας χρησιμοποιούνται **συστοιχίες** φωτοαισθητήρων.



# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Μετατροπή εικόνας σε ψηφιακή

- Οι ψηφιακοί οπτικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν ένα πεπερασμένο πλήθος **δειγμάτων** σε ένα **διακριτό** σύνολο επίπεδων ενέργειας (φωτεινότητας).



Αρχική εικόνα



Δειγματοληψία



Κβάντιση

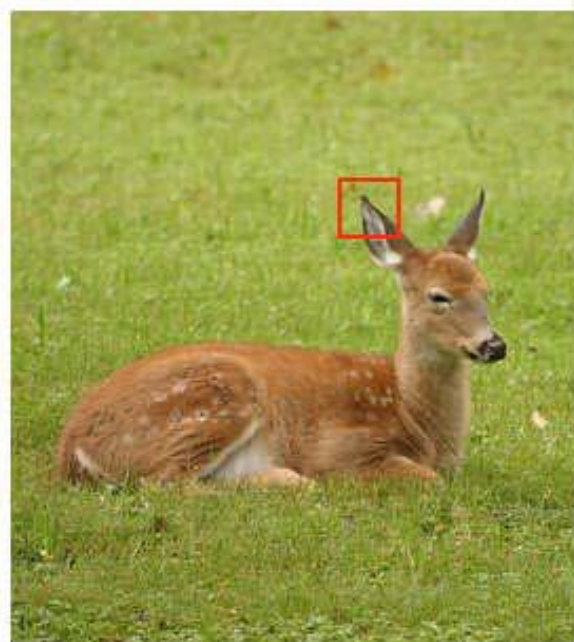


Δειγματοληψία  
και  
κβάντιση

# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Χωρική δειγματοληψία

- Λήψη τιμών σε **διακριτές** θέσεις  $(x, y)$  στον χώρο της εικόνας
  - ενδεχομένως χάνονται ενδιάμεσες τιμές
  - Τα δείγματα λαμβάνονται σε ένα **πλέγμα** θέσεων και όχι απαραίτητα στις βέλτιστες θέσεις

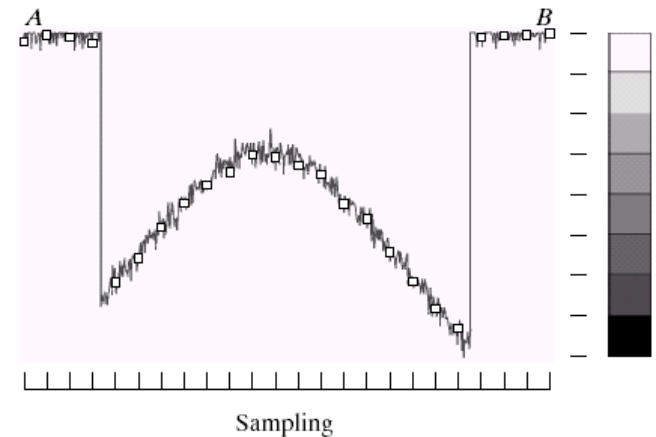
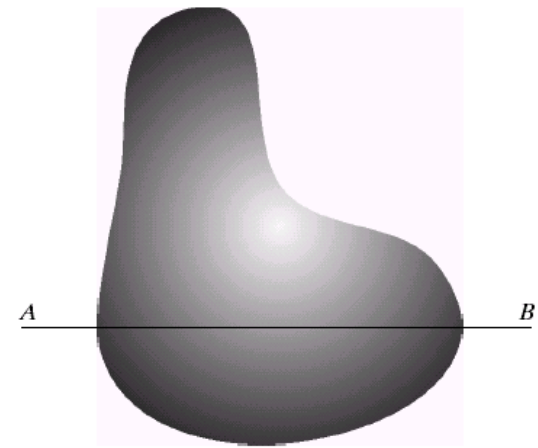
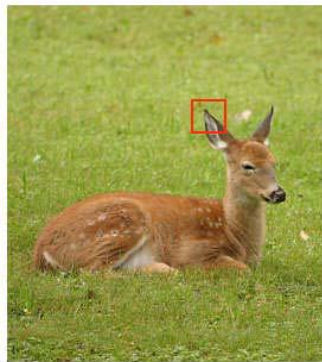


# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Χωρική δειγματοληψία

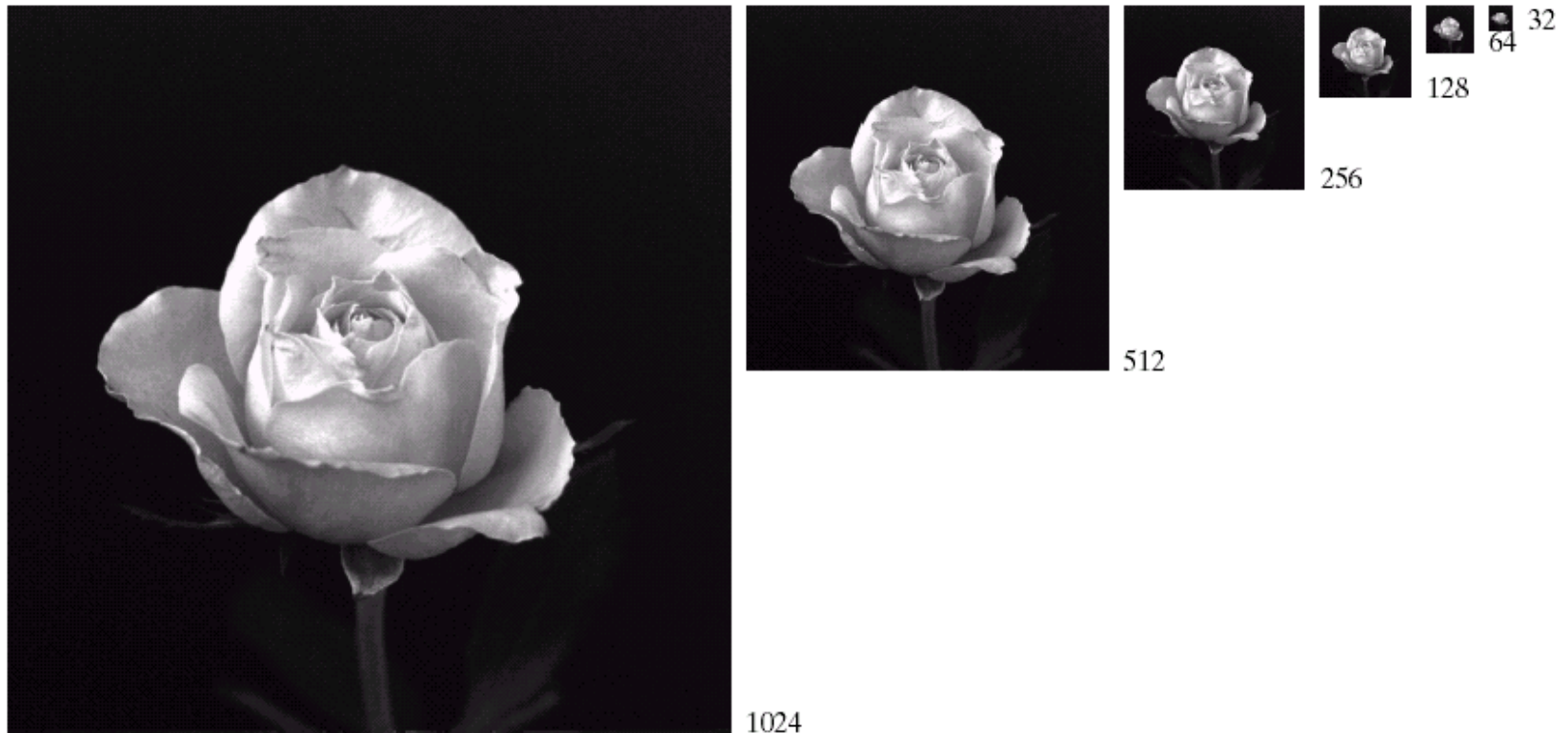
Λήψη τιμών σε **διακριτές** θέσεις  $(x, y)$  στον χώρο της εικόνας

- ενδεχομένως χάνονται ενδιάμεσες τιμές
- Τα δείγματα λαμβάνονται σε ένα **πλέγμα** θέσεων και όχι απαραίτητα στις βέλτιστες θέσεις



# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Χωρική δειγματοληψία



Ανάλυση εικόνας από 1024x1024 μέχρι 32x32 pixels  
(Σταθερό μέγεθος **pixel**)

# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Χωρική δειγματοληψία

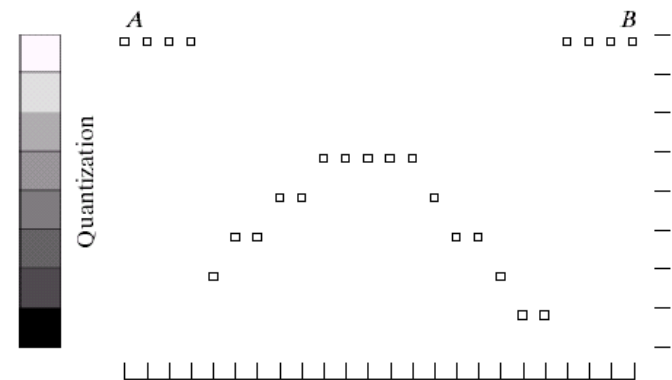
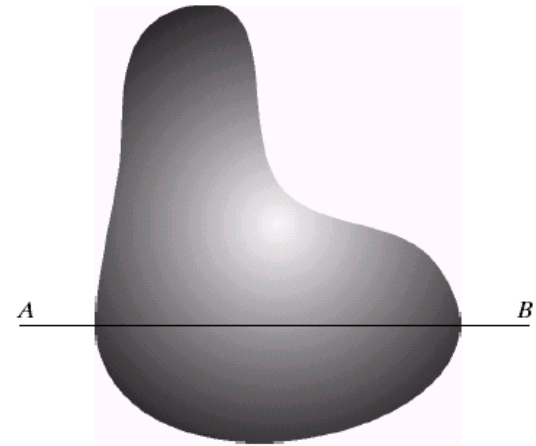


Ανάλυση εικόνας από 1024x1024 μέχρι 32x32 pixels  
(Σταθερό μέγεθος εικόνας)

# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Κβάντιση τιμών δειγμάτων

Μετατροπή της **αναλογικής** (συνεχούς) τιμής των δειγμάτων σε **ψηφιακή** αναπαράσταση μέσω ενός προκαθορισμένου συνόλου **διακριτών** τιμών πεπερασμένης ακρίβειας



# Ψηφιακή εικόνα

## ➤ Κβάντιση τιμών δειγμάτων

bits ανά δείγμα	Επίπεδα γκρι $N$	Αντιστοίχιση δυαδικής τιμής και απόχρωσης γκρι
1	$2^1 = 2$	0      μαύρο 1      λευκό
2	$2^2 = 4$	00     μαύρο 01     σκούρο γκρι 10     ανοικτό γκρι 11     λευκό
3	$2^3 = 8$	000    μαύρο 001    ... 010    ... 011    ... 100    ... 101    ... 110    ... 111    λευκό
...	...	...
8	$2^8 = 256$	00000000    μαύρο ... 11111111    λευκό



N=64



N=32



N=16



N=8



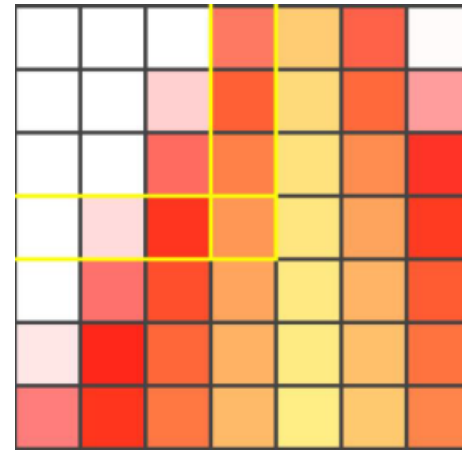
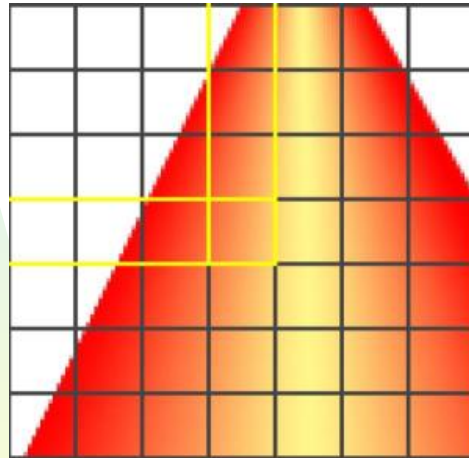
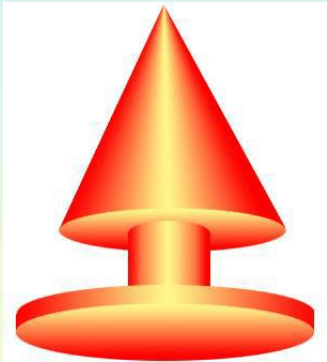
N=4



N=2

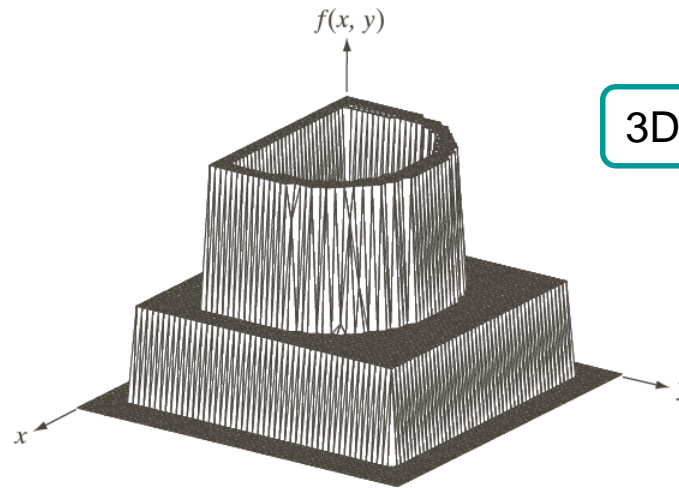
# Ψηφιακή εικόνα

- Μετατροπή εικόνας σε ψηφιακή
  - Η ψηφιακή εικόνα αποτελεί μια προσέγγιση της αρχικής εικόνας

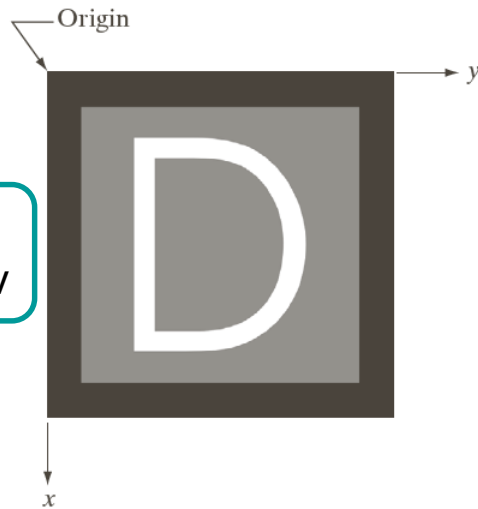


# Ψηφιακή εικόνα

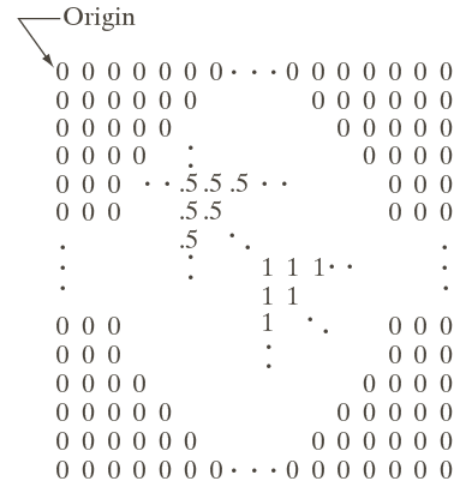
## ➤ Αναπαράσταση ψηφιακής εικόνας



3D Επιφάνεια



2D εικόνα  
χρωματικών επιπέδων



2D πίνακας  
τιμών  
φωτεινότητας

## ➤ Αναπαράσταση ψηφιακής εικόνας

- Πίνακας  $M$  γραμμών και  $N$  στηλών όπου το κάθε στοιχείο λαμβάνει (συνήθως) τιμές  $[0 \dots 255]$  (μαύρο...λευκό)

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

- Αντίστοιχα στο MATLAB

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix}$$

# Βιβλιογραφία

---

- Ν. Παπαμάρκος, Ψηφιακή επεξεργασία και ανάλυση εικόνας, Εκδ. Παπαμάρκος Νικόλαος, 2013
- R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Εκδ. Τζιόλα, 2010
- Ι. Πήτας, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Εκδ. Πήτας Ιωάννης, 2010
- Ι. Ν. Έλληνας, Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας και Βίντεο, Εκδ. Έλληνας Ι. Ν., 2010
- R. C. Gonzalez, R. E. Woods and S. L. Eddins, Digital Image Processing Using MATLAB, McGraw Hill, 2010
- A. McAndrew, Introduction to Digital Image Processing with MATLAB, Boston, 2004
- M. Petrou and C. Petrou, Image Processing: The Fundamentals, Wiley, 2010
- W. Burger and M. J. Burge, Digital image processing, Springer, 2016
- C. Solomon, T. Breckon, Fundamentals of Digital Image Processing, Wiley, 2010
- M. Nixon and A. Aguado, Feature Extraction and Image Processing for Computer Vision, Academic Press, 2012
- A. Peters, Lectures on Image Processing, Vanderbilt University, 2008  
[https://archive.org/details/Lectures\\_on\\_Image\\_Processing](https://archive.org/details/Lectures_on_Image_Processing)