

Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας

Εισαγωγή

Βιβλιογραφία

1. Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας (4η έκδοση), Gonzalez, Woods, Εκδ. Τζιόλα

2. Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας, Ι. Πήτας

Digital Image Processing using MATLAB, Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins, Prentice Hall

Digital Image Processing: PIKS inside, William K. Pratt, Wiley-Interscience

Τρόπος βαθμολόγησης

50% ασκήσεις (και εξέτασή τους)

50% προφορική εξέταση

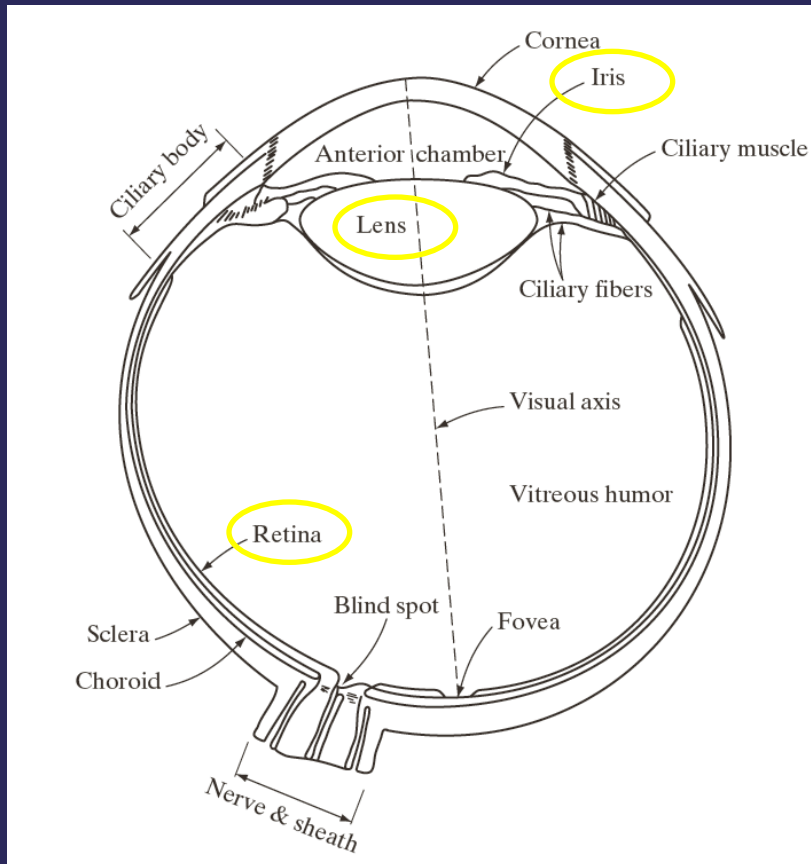
Για να περάσει κάποιος το μάθημα πρέπει να έχει βαθμό ≥ 5 στις ασκήσεις και στην προφορική εξέταση.

Όραση

Η πιο αναπτυγμένη αίσθηση του ανθρώπου
Παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη ζωή του

- Άνθρωπος: βλέπει σε μια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος
- Μηχανές απεικόνισης: καλύπτουν όλο σχεδόν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και άρα η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας έχει ένα ευρύ και ποικίλο πεδίο εφαρμογών

Στοιχεία ανθρώπινης όρασης



Ίριδα: το φως εισέρχεται στο μάτι από την κόρη της ίριδας (2mm-8mm, ανάλογα με τις συνθήκες φωτισμού)

Φακός: 60-70% νερό, διαφανής, προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή χιτώνα

Αμφιβληστροειδής χιτώνας: αποτελείται από δύο ειδών ανιχνευτές φωτός, τα κωνία και τα ραβδία

Στοιχεία ανθρώπινης όρασης

Κωνία

Ευαίσθητα στο χρώμα

6-7 εκατομμύρια στο κεντρικό τμήμα του αμφιβληστροειδούς

Κάθε κωνίο συνδέεται με ένα νεύρο

Όραση μεγάλης φωτεινότητας (σε χαμηλά επίπεδα φωτεινότητας δεν αναγνωρίζουμε χρώματα)

Ραβδία

Ευαίσθητα σε χαμηλούς φωτισμούς, δεν διακρίνουν χρωματικές αποχρώσεις

75-150 εκατομμύρια διανεμημένα σε όλο τον αμφιβληστροειδή

Πολλά ραβδία συνδέονται σε μία νευρική απόληξη

Όραση χαμηλής φωτεινότητας (μικρή διακριτική ικανότητα)

Κωνία, Ραβδία

Μετατρέπουν την οπτική πληροφορία σε ηλεκτρική διέγερση, η οποία μέσω του οπτικού νεύρου μεταφέρεται στον εγκέφαλο.

Προσαρμογή στη φωτεινότητα και ικανότητα διάκρισης

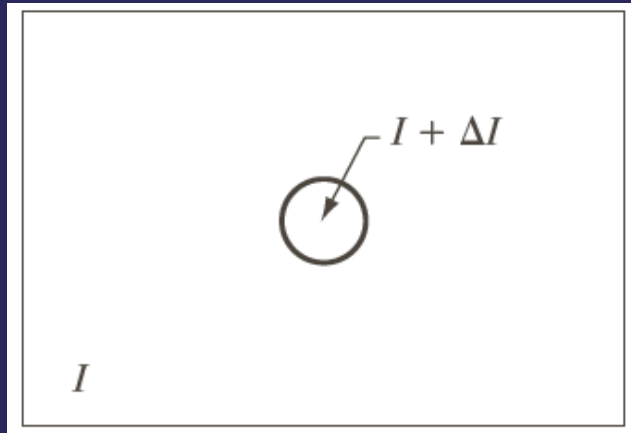
Το μάτι μπορεί να διακρίνει ένα πολύ μεγάλο εύρος τιμών έντασης, της τάξης των 10^{10} .

Αντιλαμβάνεται τη φωτεινότητα με λογαριθμικό τρόπο (η φωτεινότητα όπως γίνεται αντιληπτή από το μάτι είναι λογαριθμική συνάρτηση του φωτός που προσπίπτει στο μάτι).

Δεν γίνονται αντιληπτά όλα τα παραπάνω επίπεδα φωτεινότητας ταυτόχρονα.

Για δεδομένο επίπεδο φωτεινότητας, το μάτι προσαρμόζει την ικανότητά του να διακρίνει διαφορετικές εντάσεις σε ένα μικρό εύρος τιμών.

Ευαισθησία στην αντίθεση



Σταθερό φόντο φωτεινής έντασης I

Παλμός έντασης $I + \Delta I$

ΔI : αυξάνεται από 0 μέχρι ο παλμός να γίνει αισθητός

$\Delta I/I$ (λόγος Weber): σταθερός περίπου στο 2% για μεγάλη περιοχή φωτεινοτήτων

Μικρή τιμή: «καλή» αντίληψη των αλλαγών στη φωτεινότητα (μικρό ποσοστό αλλαγής στην ένταση αρκεί)

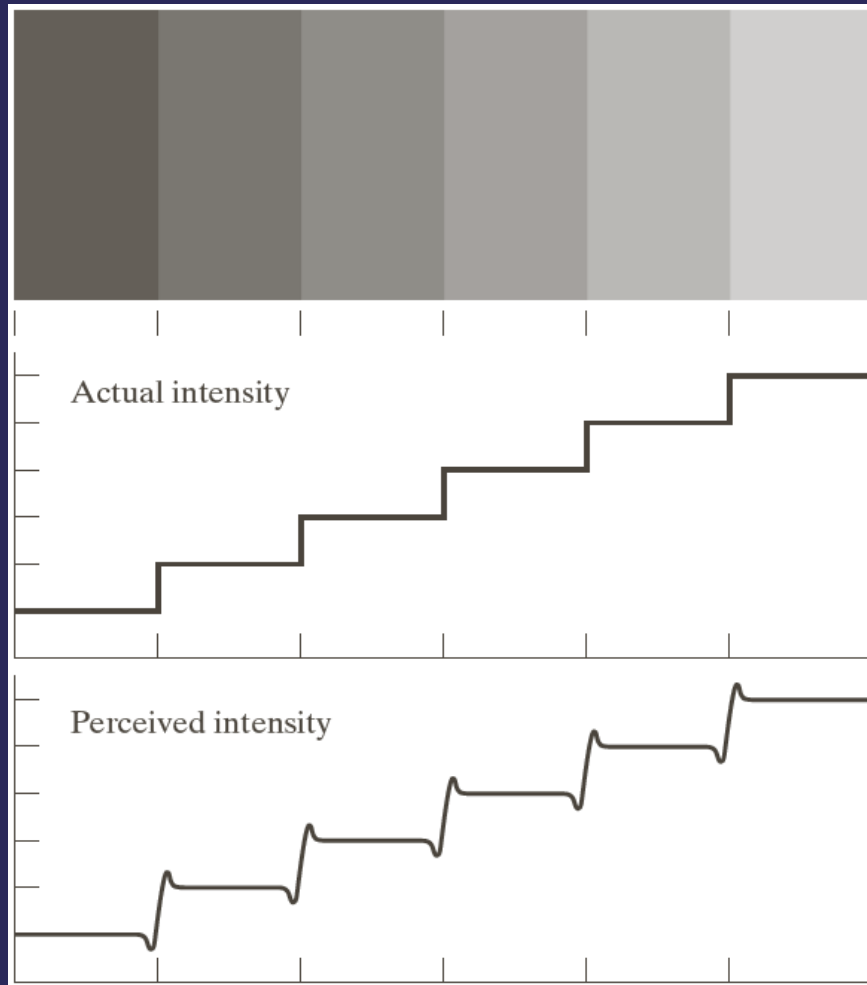
Μεγάλη τιμή: «φτωχή» αντίληψη των αλλαγών στη φωτεινότητα (απαιτείται μεγάλο ποσοστό αλλαγής στην ένταση)

Λόγος Weber: η παράγωγος του λογαρίθμου της φωτεινότητας

$$d [\log(I)] = dI / I$$

Ίδιες αλλαγές στο λογάριθμο της φωτεινότητας \rightarrow ίδιες αντιληπτές διαφορές για μεγάλο εύρος φωτεινοτήτων

Φαινόμενο Mach

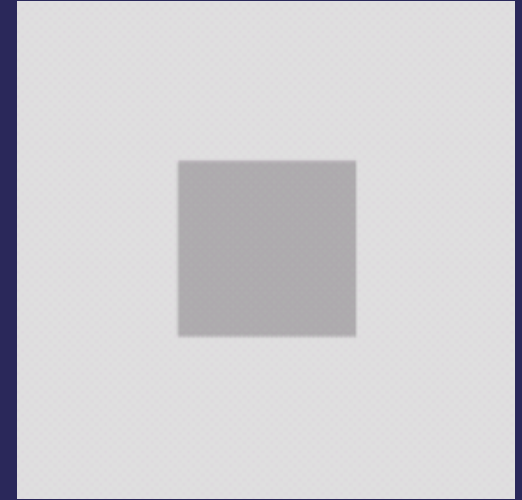
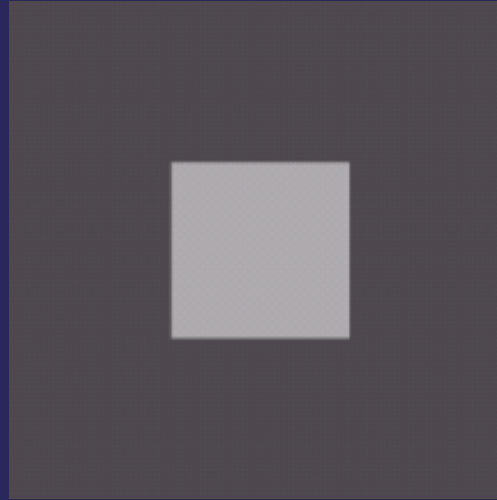
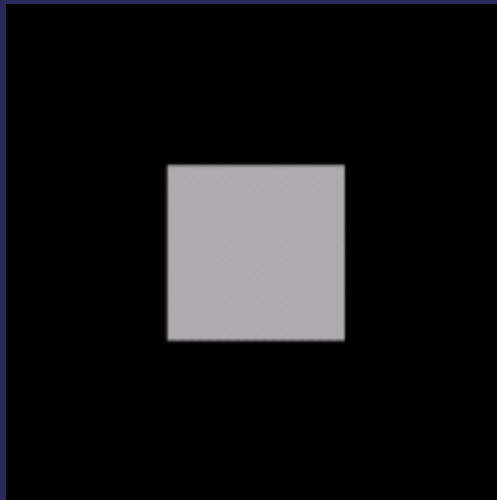


Το μάτι προσπαθεί να αυξήσει την αντίθεση μεταξύ των στηλών.

Λειτουργεί σαν υπεραυτό φίλτρο και εμπλουτίζει το συχνοτικό περιεχόμενο της εικόνας.

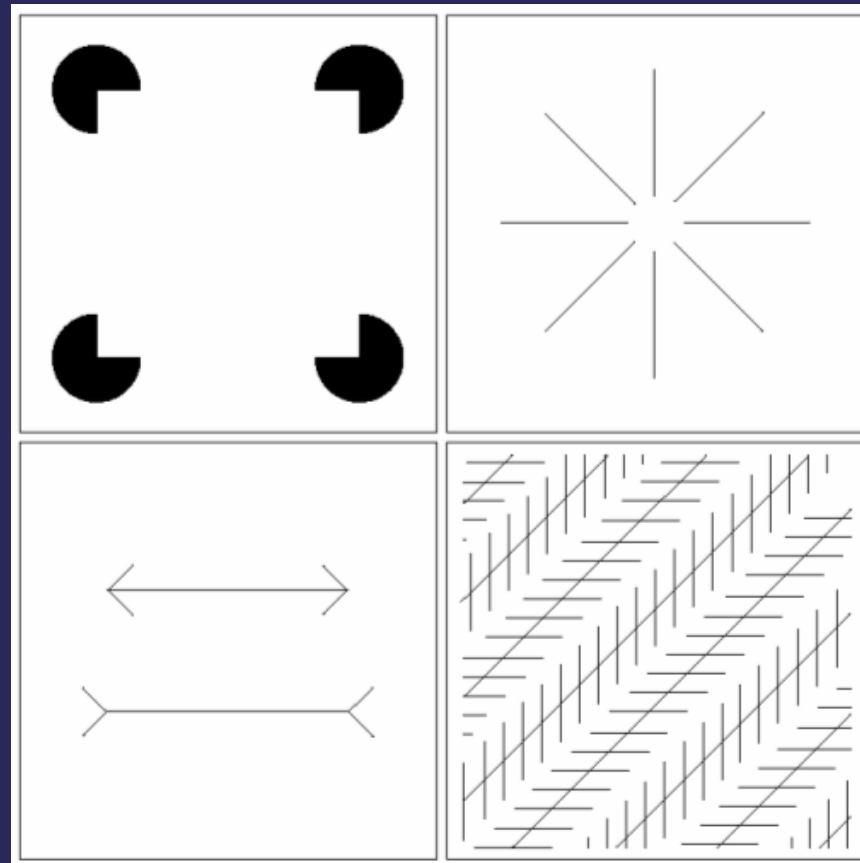
Ταυτόχρονη αντίθεση

Η φωτεινότητα μιας περιοχής δεν εξαρτάται μόνο από την έντασή της



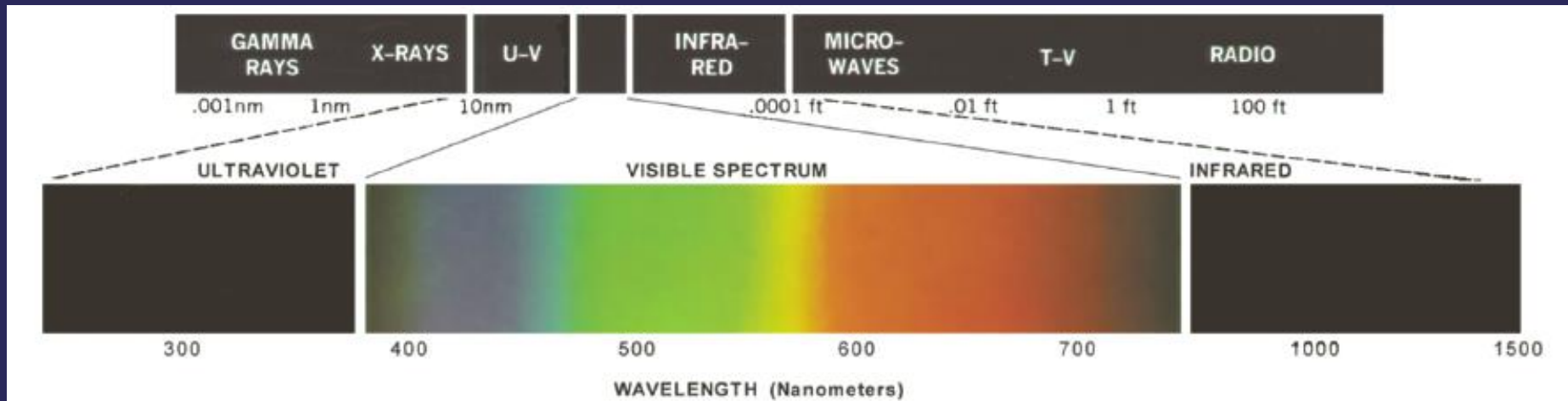
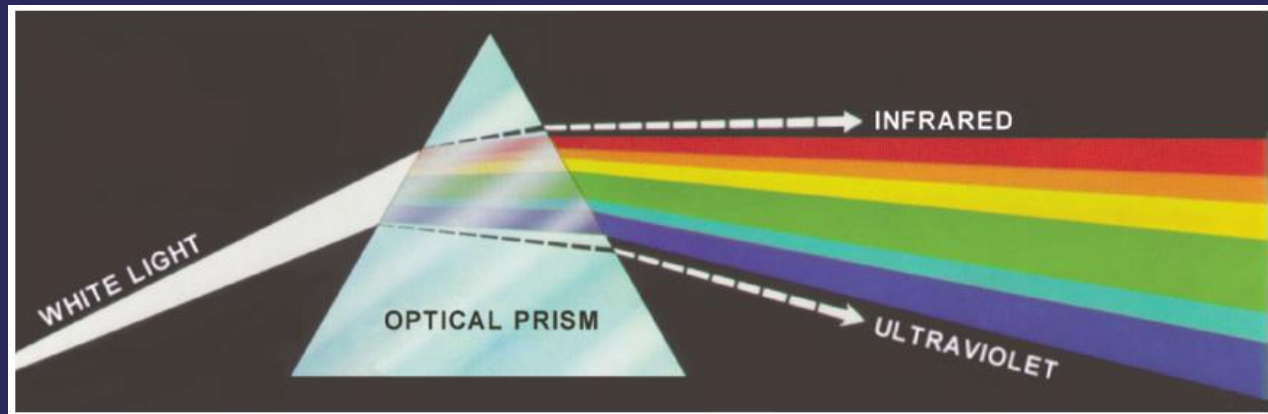
Οφθαλμαπάτες

Χαρακτηριστικό της ανθρώπινης όρασης το οποίο δεν είναι πλήρως κατανοητό

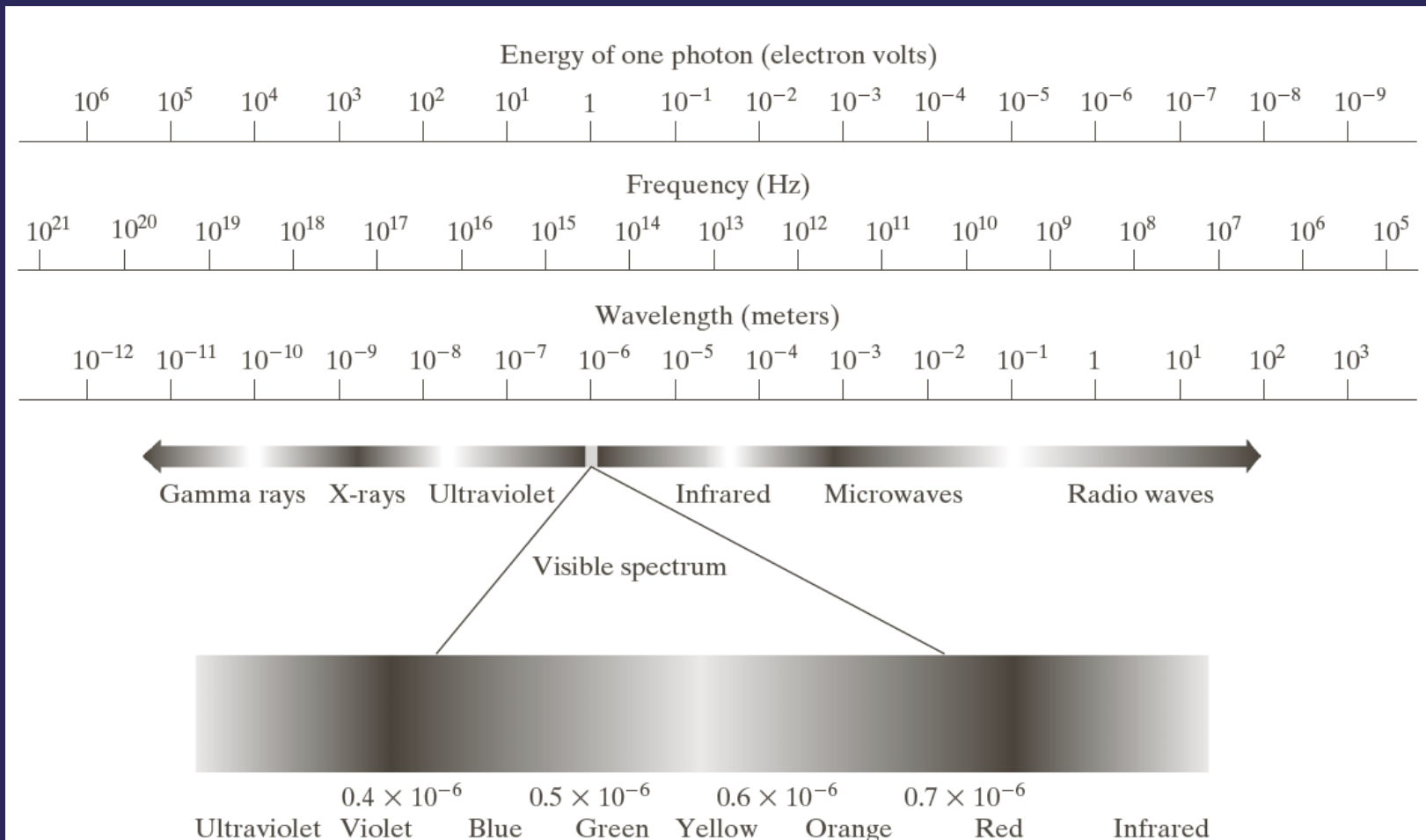


Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

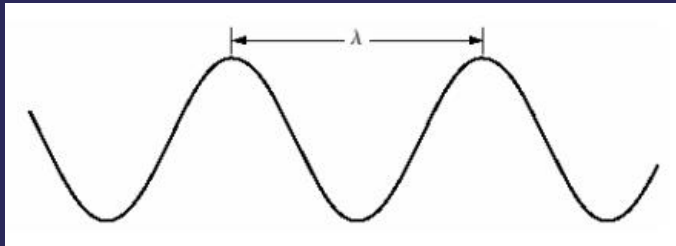
Isaac Newton, 1666



Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα



Ηλεκτρομαγνητικά κύματα



Μετάδοση ημιτονοειδών κυμάτων με μήκος κύματος λ

$\lambda = c/\nu$, c : ταχύτητα φωτός, ν : συχνότητα

Ροή σωματιδίων χωρίς μάζα που κινείται κυματοειδώς με την ταχύτητα του φωτός

Σε κάθε τέτοιο σωματίδιο αντιστοιχεί ένα ποσό ενέργειας, το οποίο ονομάζεται φωτόνιο.

Η ενέργεια είναι ανάλογη της συχνότητας.

Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα υψηλής συχνότητας (μικρού μήκους κύματος): έχουν περισσότερη ενέργεια / φωτόνιο

Ραδιοκύματα vs. Ακτίνες γάμμα

Φως - χρώμα

Φως: τύπος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από το μάτι

Ορατό φάσμα: $0.43\mu\text{m}$ (ιώδες) – $0.79\mu\text{m}$ (κόκκινο), χωρίζεται σε 6 χρωματικές περιοχές, ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο.

Χρώμα: καθορίζεται από τη φύση του φωτός που ανακλάται από ένα αντικείμενο

Λευκό σώμα: αντανακλά όλα τα μήκη κύματος του ορατού φάσματος με τον ίδιο τρόπο

Πράσινο σώμα: αντανακλά φως με μήκη κύματος $500 - 570\text{nm}$, ενώ απορροφά τα υπόλοιπα μήκη κύματος.

Ποιότητα πηγής χρωματικού φωτός

Ακτινοβολία (radiance): το τελικό ποσό ενέργειας που εκπέμπεται από την πηγή του φωτός

Φωτεινότητα (luminance): το ποσό ενέργειας που λαμβάνει ένας παρατηρητής (π.χ. πηγή που εκπέμπει στην υπέρυθρη περιοχή -> σημαντικό ποσό ενέργειας, ασήμαντη φωτεινότητα)

Λαμπρότητα (brightness): υποκειμενικό μέγεθος, υπολογίζεται δύσκολα, περιέχει την έννοια της έντασης (intensity) του φωτός, που είναι αχρωματικός παράγοντας και καθορίζει την αίσθηση του χρώματος (επίπεδα του γκρι)

Μονοχρωματικό φως

Δεν υπάρχει πληροφορία χρώματος

Ένταση (Intensity): το μόνο χαρακτηριστικό

Grayscale εικόνες: επίπεδα του γκρι (256 για ψηφιακές εικόνες)

0 - Μαύρο

255 - Λευκό



Παραγωγή εικόνας

Βασική πηγή ενέργειας για εικόνες: ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

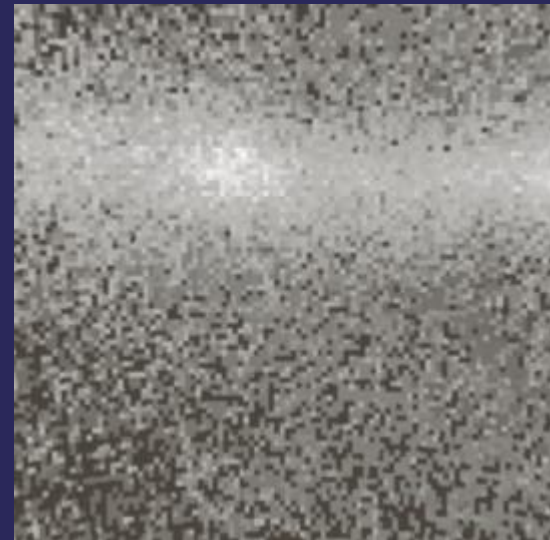
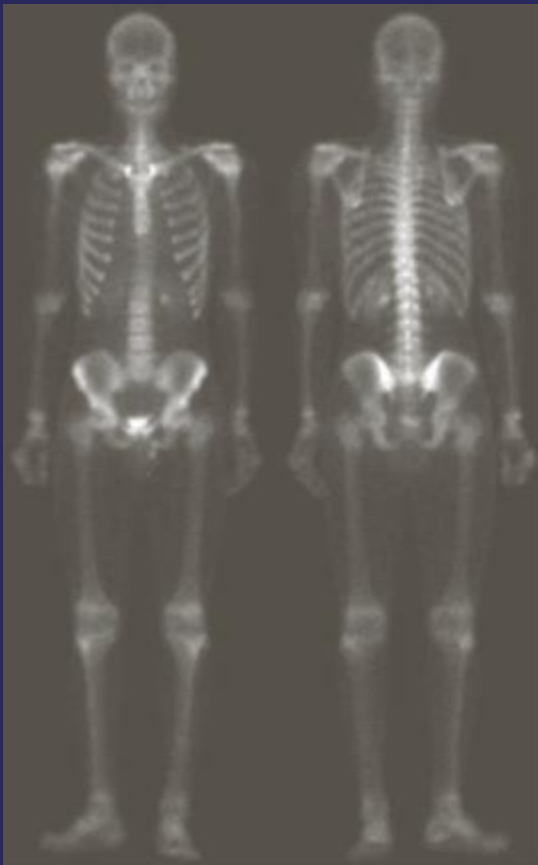
Ανάπτυξη αισθητήρων που ανιχνεύουν την ενέργεια που εκπέμπεται από κάποια μπάντα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος -> απεικόνιση γεγονότων που συμβαίνουν σε αυτή τη μπάντα.

Το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που «βλέπει» ένα αντικείμενο πρέπει να έχει το ίδιο ή μικρότερο μέγεθος από το αντικείμενο.

π.χ. μόριο νερού: διάμετρος της τάξης 10^{-10}m -> για να μελετήσουμε μόρια χρειαζόμαστε μια πηγή που εκπέμπει στις υψηλές συχνότητες του υπεριώδους φάσματος ή στις χαμηλές συχνότητες των X-rays

Gamma rays

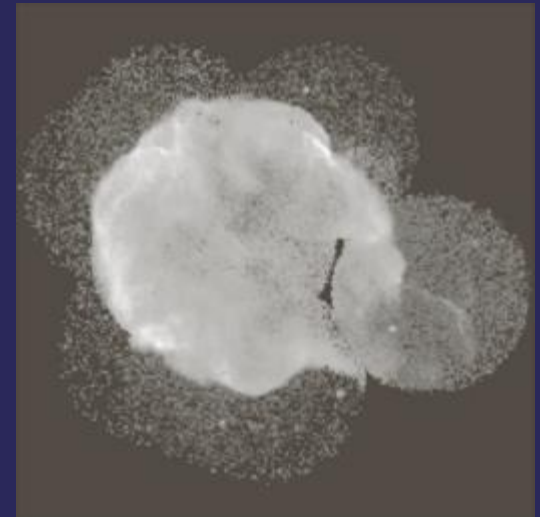
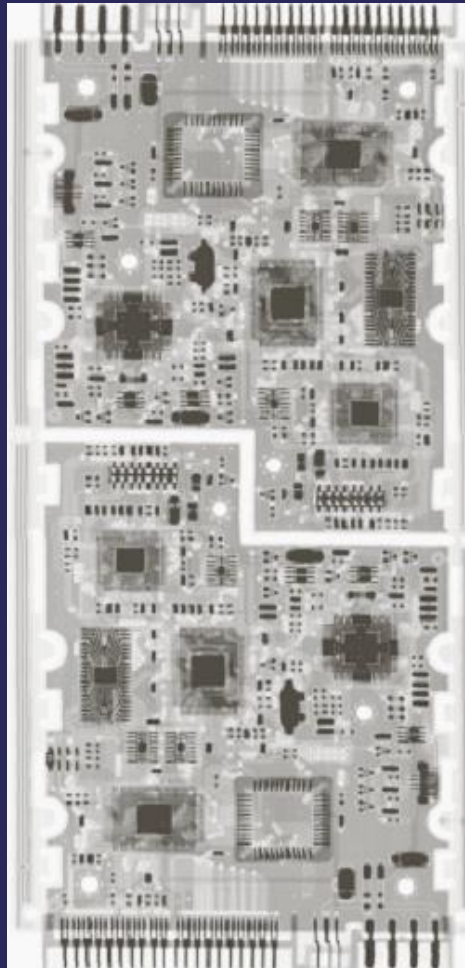
Πυρηνική ιατρική, αστρονομικές παρατηρήσεις



Ακτινοβολία από νέφος
αερίων που προήλθε από
έκρηξη αστεριού (15000
χρόνια πριν)

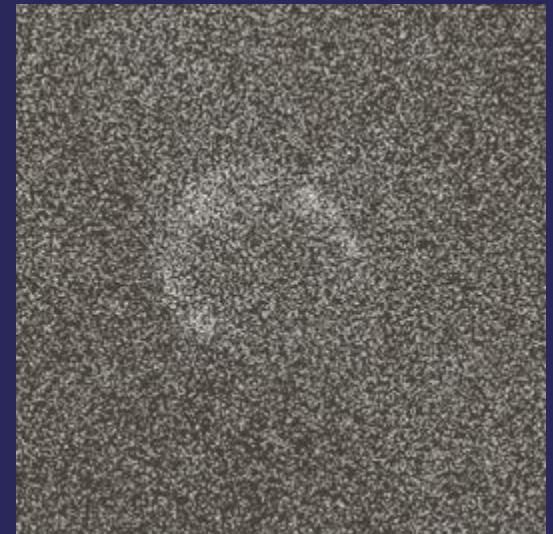
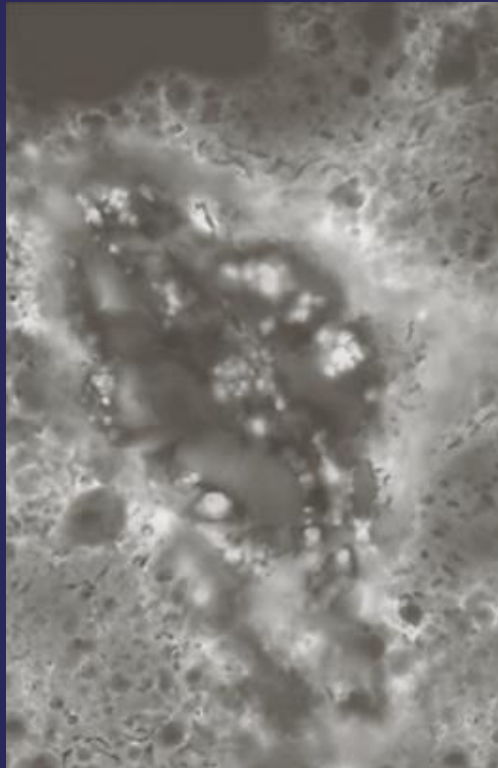
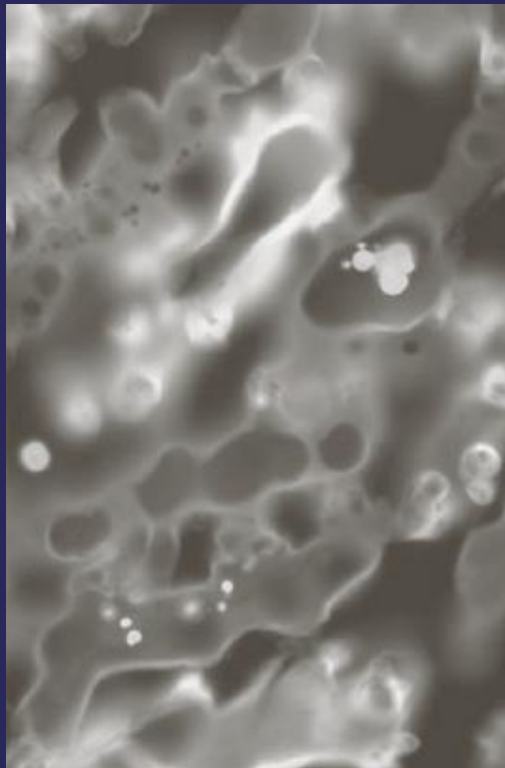
X rays

Ιατρική, βιομηχανία, αστρονομία



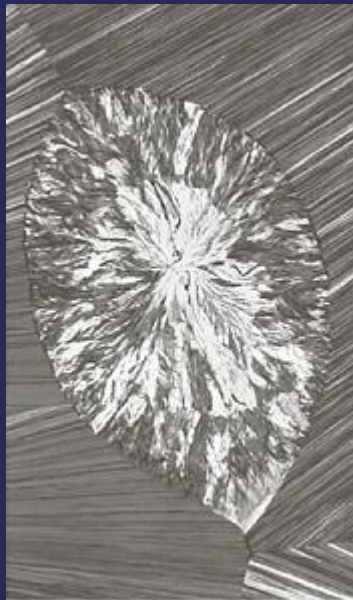
Ultraviolet band

Μικροσκοπία, αστρονομία



Visible, Infrared Bands

Το μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών



Μικροσκοπία
Χοληστερόλη



Remote sensing
Washington - Satellite image

Visible, Infrared Bands

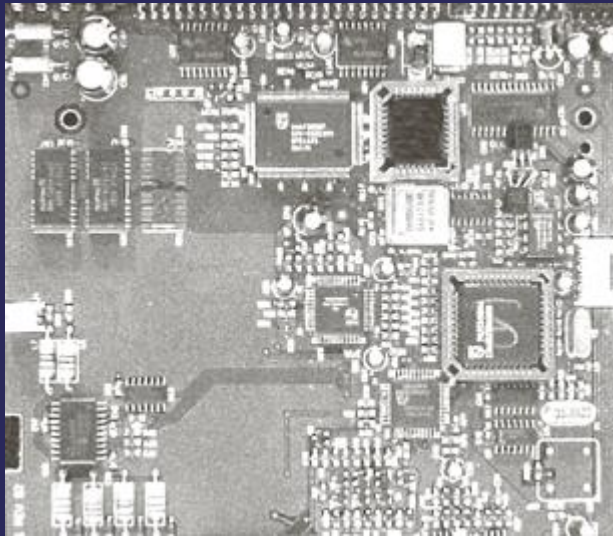


Παρακολούθηση - Πρόβλεψη
καιρικών φαινομένων
Τυφώνας Κατρίνα από δορυφόρο



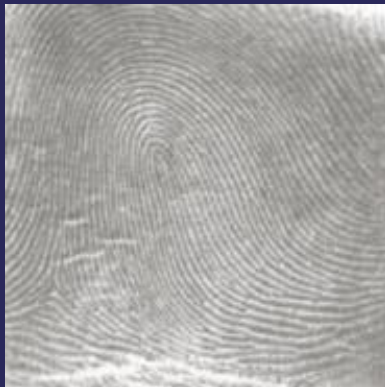
Infrared satellite image
Αμερική - Φώτα τη νύχτα

Visible, Infrared Bands



Έλεγχος στην κατασκευή προϊόντων

Visible, Infrared Bands

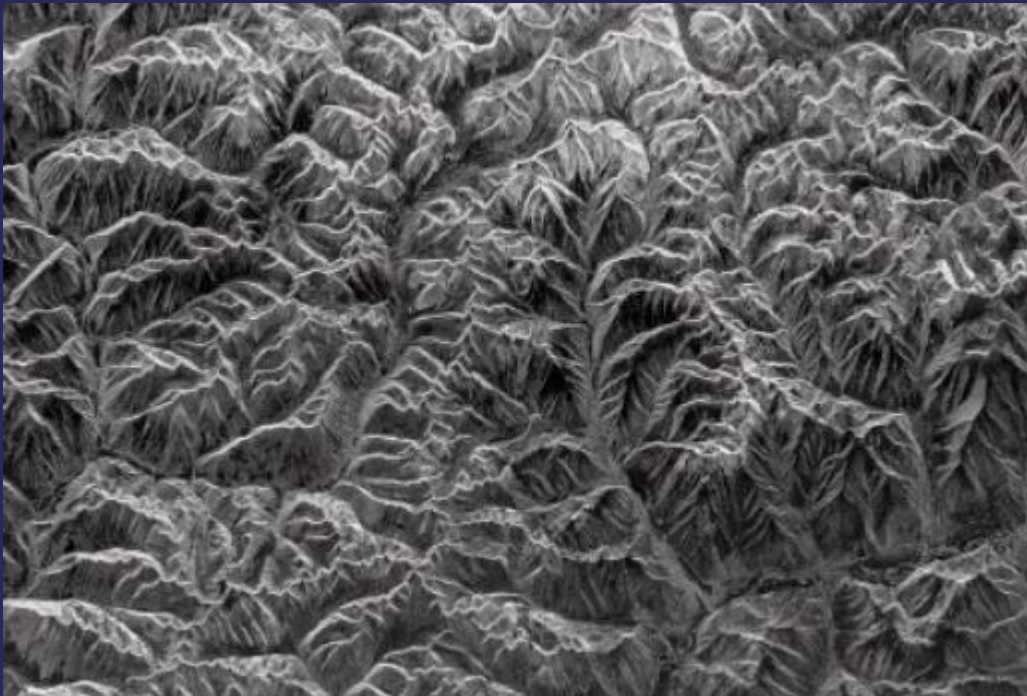


Microwave Band

Βασική εφαρμογή: **radar imaging**

Ραντάρ: κεραία αντί για φακούς (κάμερα) + επεξεργασία στον υπολογιστή για καταγραφή της εικόνας

Εικόνες από ραντάρ: απεικονίζουν την μικροκυματική ενέργεια που ανακλάται από κάποιο αντικείμενο πίσω στην κεραία



Συλλογή δεδομένων σε κάθε περιοχή, κάθε χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες και συνθήκες φωτισμού

Ο μόνος τρόπος για τη μελέτη μη προσβάσιμων περιοχών στην επιφάνεια της γης

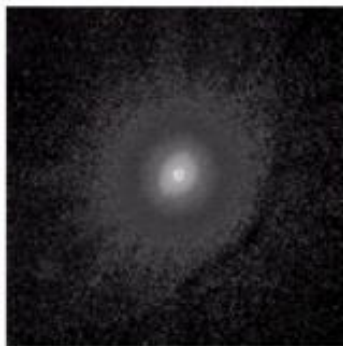
Radio Band

Ιατρική, αστρονομία

MRI - Magnetic
Resonance Imaging



Gamma



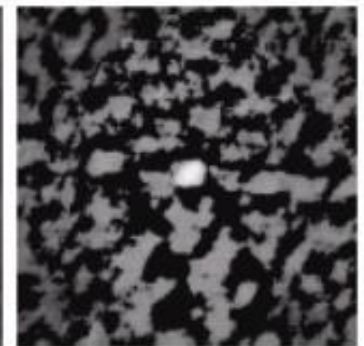
X-ray



Optical



Infrared

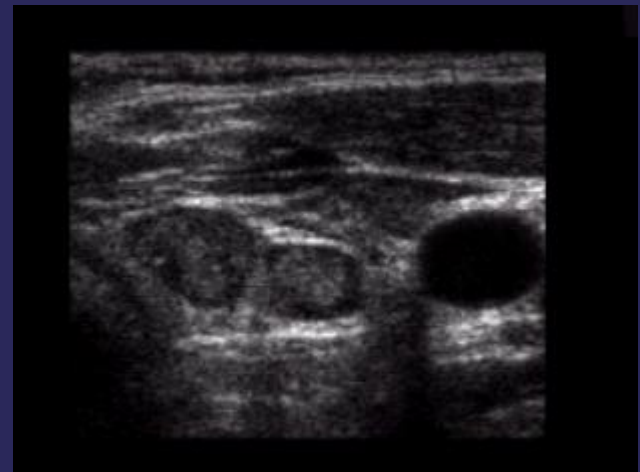
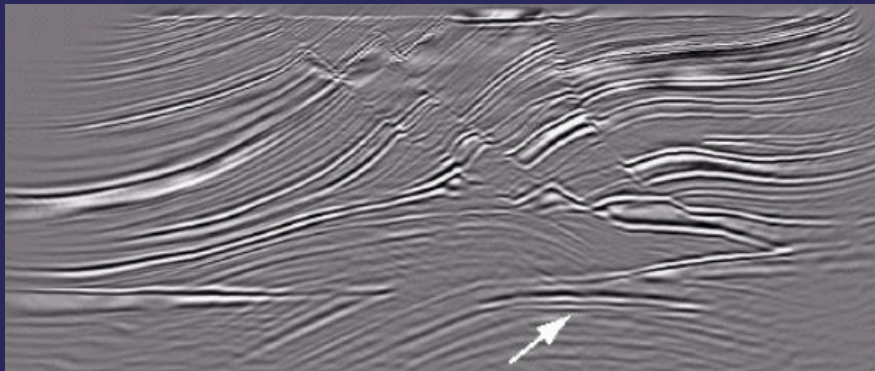


Radio

Άλλες πηγές παραγωγής εικόνων

Ο ήχος που αντανακλάται από τα αντικείμενα

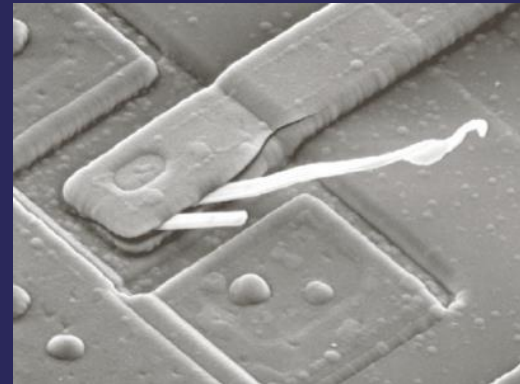
Γεωλογία, ιατρική (υπερηχογραφήματα)



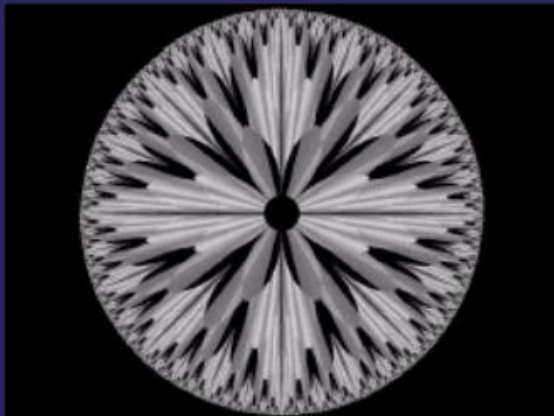
Άλλες πηγές παραγωγής εικόνων

Ηλεκτρονική δέσμη φωτός από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Μεγέθυνση 10000×



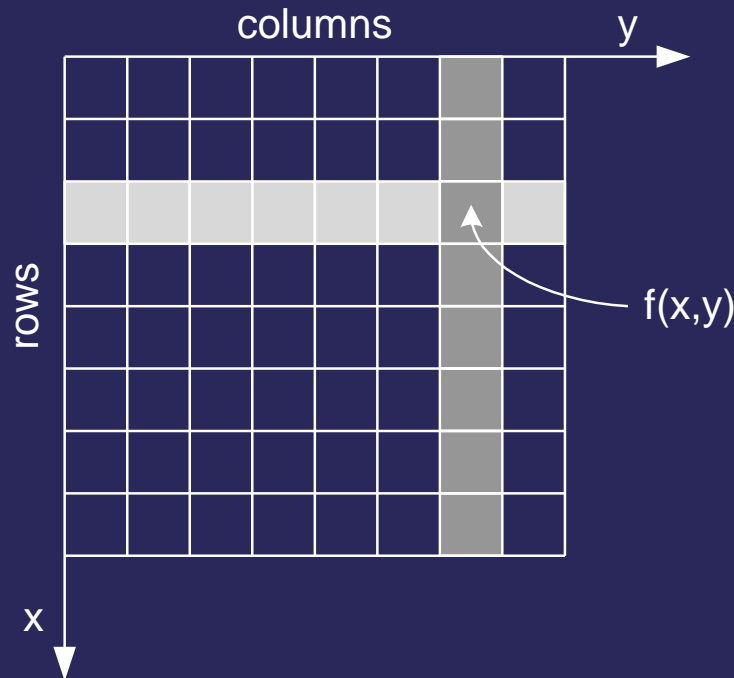
Συνθετικές εικόνες (υπολογιστής)



Ψηφιακή εικόνα

Εικόνα: 2D συνάρτηση $f(x,y)$

f : intensity (ένταση) ή gray level στο χωρικό σημείο (x,y)



f, x, y : πεπερασμένες
διακριτές ποσότητες



ψηφιακή εικόνα

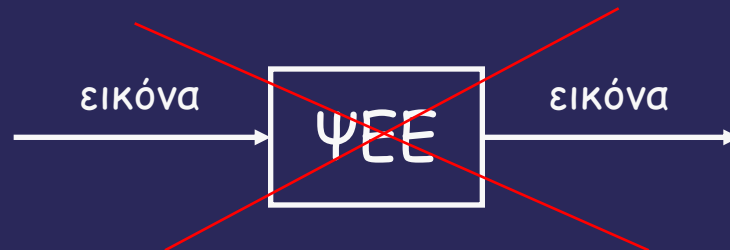


Πεπερασμένος αριθμός
στοιχείων, με συγκεκριμένη
θέση και τιμή
pixels (picture elements)

Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Τι είναι;

Σχέση με ανάλυση εικόνας (image analysis) και τεχνητή όραση (computer vision)



Computer vision: κλάδος της τεχνητής νοημοσύνης με στόχο τη μίμηση της ανθρώπινης όρασης (μάθηση, εξαγωγή συμπερασμάτων, ενέργειες με βάση την οπτική πληροφορία στην είσοδο)

Ψηφιακή επεξεργασία εικόνας

Low-level

Μείωση θορύβου
Βελτίωση contrast
Όξυνση (sharpening)

Εικόνα



Εικόνα

image processing

Mid-level

Τμηματοποίηση
Περιγραφή αντικειμένων
Ταξινόμηση αντικειμένων

Εικόνα



Χαρακτηριστικά

High-level

Χαρακτηριστικά



"making sense"

image analysis

...

computer vision

Σχέση με άλλες περιοχές

- Ψηφιακή επεξεργασία σήματος

Θεωρητική βάση στην επεξεργασία εικόνας (εικόνα: 2D σήμα)

- Γραφικά

Ψηφιακή σύνθεση εικόνας (συμβολική περιγραφή -> εικόνα)

Γεωμετρική μοντελοποίηση αντικειμένου

Περιγραφή συνθηκών φωτισμού

- Αναγνώριση προτύπων

Κατάταξη αντικειμένου σε μια κατηγορία προτύπων (π.χ. με βάση κάποια χαρακτηριστικά: διάμετρος, εμβαδόν)

Σχέση με άλλες περιοχές

- Τεχνητή νοημοσύνη

Τεχνικές αναπαράστασης ανθρώπινης γνώσης και συλλογιστικής

Κατανόηση εικόνας

- Τηλεπικοινωνίες

Μετάδοση εικόνων μέσω τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Συμπίεση εικόνας

Προστασία πνευματικών δικαιωμάτων (watermarking)

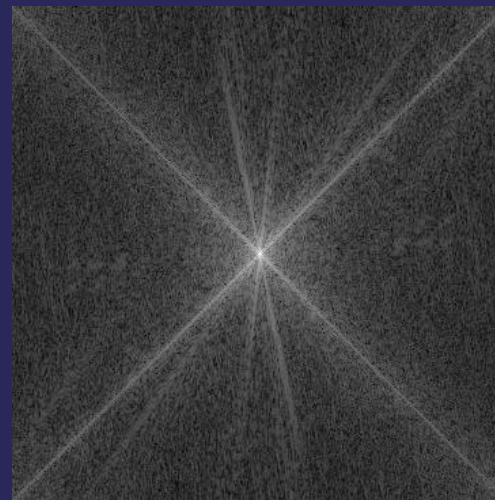
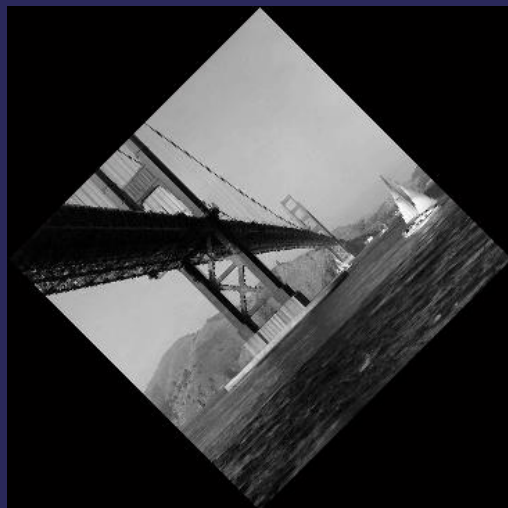
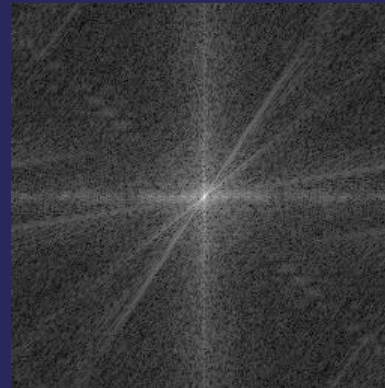
- Βάσεις δεδομένων

Αποθήκευση

Ανάκτηση

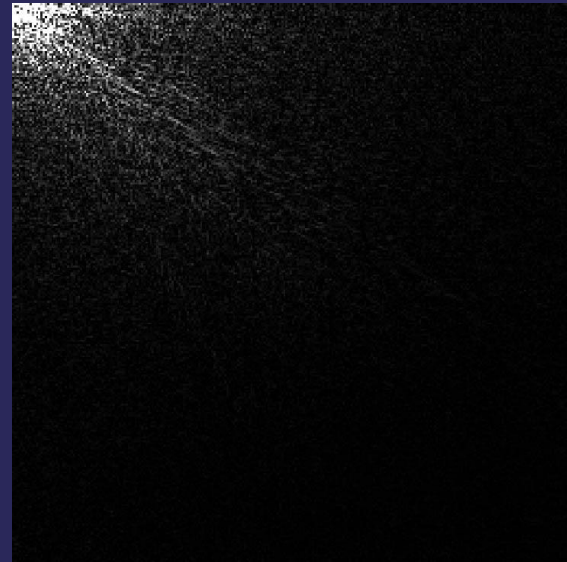
Επισκόπηση μαθήματος

2D σήματα, μετασχηματισμοί σημάτων (FFT, DCT), φυσική σημασία του πεδίου συχνοτήτων, ανακατασκευή από φάση



Επισκόπηση μαθήματος

2D σήματα, μετασχηματισμοί σημάτων (FFT, DCT), φυσική σημασία του πεδίου συχνотήτων, ανακατασκευή από φάση

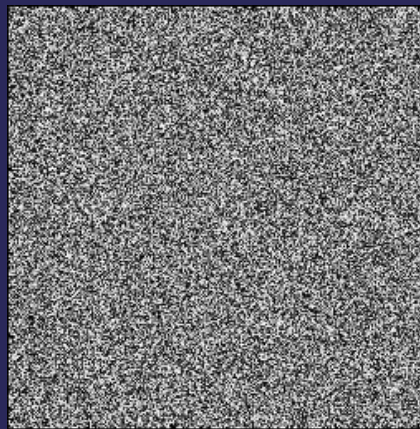


Επισκόπηση μαθήματος

2D σήματα, μετασχηματισμοί σημάτων (FFT, DCT), φυσική σημασία του πεδίου συχνотήτων, ανακατασκευή από φάση



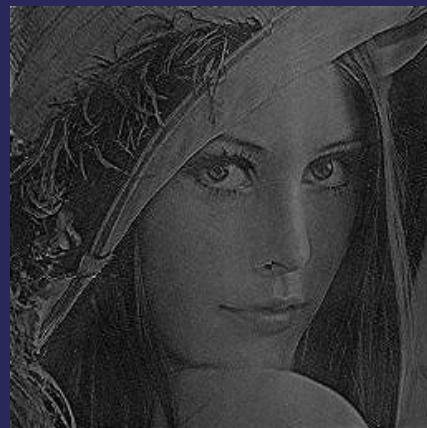
Αρχική Εικόνα



Αρχική Εκτίμηση



1 επανάληψη



10 επαναλήψεις



50 επαναλήψεις

Επισκόπηση μαθήματος

Καταγραφή εικόνας

Θάμπωμα, Θόρυβος καταγραφής, Γεωμετρικές παραμορφώσεις

Βελτίωση ποιότητας εικόνας

Αποδέκτης: μάτι, ο στόχος είναι υποκειμενικός

Βελτίωση αντίθεσης, ψευδοχρωματισμός, ...



Επισκόπηση μαθήματος

Αποκατάσταση εικόνας

Ο στόχος είναι αντικειμενικός

Αποκατάσταση θαμπώματος, θορύβου, γεωμετρικών παραμορφώσεων



Επισκόπηση μαθήματος

Wavelets

Αναπαράσταση εικόνας σε πολλά επίπεδα ανάλυσης



Επισκόπηση μαθήματος

Συμπύεση

Κωδικοποίηση Huffman, LZW, κωδικοποίηση μέσω μετασχηματισμών



Επισκόπηση μαθήματος

Αλγόριθμοι ανίχνευσης ακμών



Επισκόπηση μαθήματος

Χρωματικά μοντέλα, Επεξεργασία έγχρωμης εικόνας



Επισκόπηση μαθήματος

Κατάτμηση εικόνας



Επισκόπηση μαθήματος

Υδατογράφηση εικόνας

