



Κεφάλαιο 1

Introduction

Εισαγωγή



Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας (ΨΕΕ) Digital Image Processing (DIP)

- **What is a digital image?**
 - Image
 - Pixel (location, intensity, color)
- **When were the first digital images produced?**
 - Acquisition vs. analysis
- **What is ...**
 - Image Processing?
 - Image Analysis?
 - Computer Vision?
- **Τι είναι “ψηφιακή εικόνα”;**
 - Εικόνα
 - Εικονοστοιχείο (συντεταγμένες, ένταση, χρώμα)
- **Πότε δημιουργήθηκαν οι πρώτες ψηφιακές εικόνες;**
 - Λήψη ή επεξεργασία εικόνας
- **Τι είναι ...**
 - Επεξεργασία εικόνας;
 - Ανάλυση εικόνας;
 - Τεχνητή όραση (με υπολογιστή)

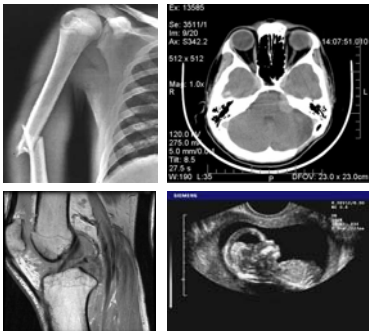


Areas of Application of DIP Περιοχές Με Εφαρμογές ΨΕΕ

- **Medicine**
 - X-ray, CT, MRI, US, nuclear, endoscopy
- **Astronomy**
 - Visible, infrared, radio, x-ray, telescope, satellite
- **Environmental Science**
 - Satellite imaging
- **Fault detection**
 - Industry
- **Lithography**
 - VLSI, ULSI
- **Security**
 - Airport, military, surveillance
- **Etc, etc, etc**
- **Ιατρική**
 - Ακτίνες Χ, ΑΤ, ΜΤ, υπέρηχοι, πυρηνική, ενδοσκόπηση
- **Αστρονομία**
 - Ορατή, υπέρυθρη, ραδιοκύματα, τηλεσκόπια, δορυφόροι
- **Περιβαλλοντικές Επιστήμες**
 - Απεικόνιση από δορυφόρο
- **Εντοπισμός βλαβών**
 - Βιομηχανία
- **Λιθογραφία**
 - VLSI, ULSI
- **Ασφάλεια**
 - Αεροδρόμια, στρατός, παρακολούθηση
- **ΚΛΠ, κλπ, κλπ**

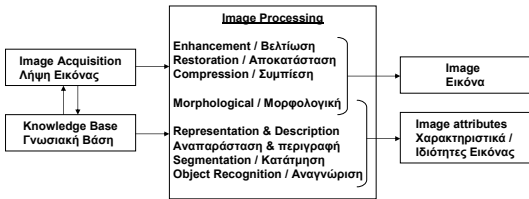


Medicine Ιατρική





Basic Steps in DIP Βασικά Στάδια στη ΨΕΕ

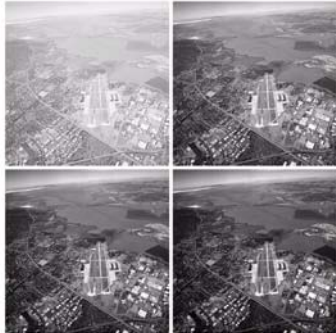


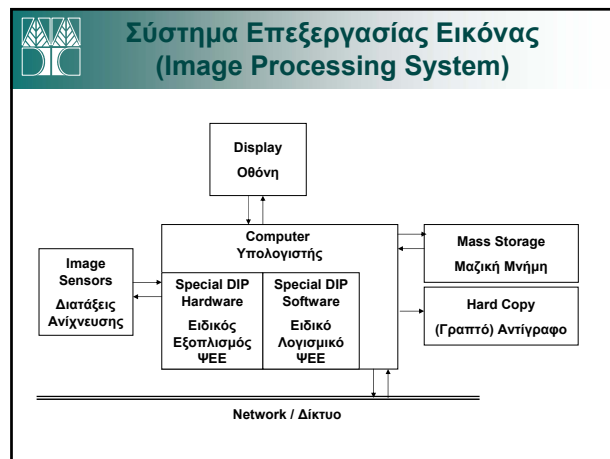
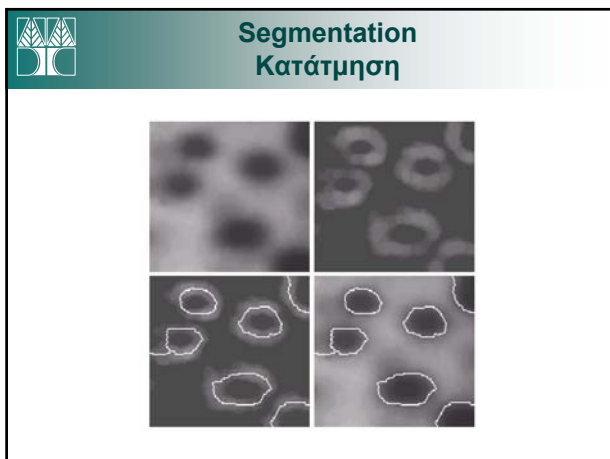
```

graph LR
    A[Image Acquisition / Λήψη Εικόνας] --> C[Image Processing]
    B[Knowledge Base / Γνωστική Βάση] --> C
    subgraph C [Image Processing]
        D[Enhancement / Βελτίωση  
Restoration / Αποκατάσταση  
Compression / Συμπίεση]
        E[Morphological / Μορφολογική]
    end
    C --> F[Image Εικόνα]
    C --> G[Image attributes  
Χαρακτηριστικά /  
Ιδιότητες Εικόνας]
  
```



Enhancement Βελτίωση





Κεφάλαιο 2

Θεμελιώδη Χαρακτηριστικά Ψηφιακών Εικόνων

Digital Image Fundamentals

Όραση (Vision)

- Το ανθρώπινο μάτι (Human Eye)**
 - Κερατοειδής Χιτώνας (Cornea)
 - Ιριδα (Iris)
 - Φακός (Lens)
 - Υαλώδες Υγρό (Vitreous Humor)
 - Σκληροκερατοειδής Ζώνη (Ciliary body)
 - Αμφιβληστροειδής Χιτώνας (Retina)
 - Χοριοειδής Χιτώνας(Choroid)
 - Σκληρός Χιτώνας(Sclera)
- Αισθητήρια (Receptors)**
 - Ραβδία (Rods)
 - Περιφερειακή όραση (Peripheral vision)
 - Αμυδρό φως, χωρίς χρώμα (Low light, no color)
 - Κώνοι (Cones) (6 εκ.)
 - Κεντρική όραση (Central vision)
 - Έντονο φως και χρώμα (Bright light and color)

Ουρά Κηλίδα: 337K pixel?

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Όραση (Vision)

- Αίσθηση του Χρώματος (Color Perception)**
 - Κώνοι με διαφορετική ευαισθησία στο χρώμα (Rods with different sensitivity to color)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Όραση (Vision)

- Φως μέσω του φακού**
- Σχηματίζεται είδωλο στον αμφιβληστροειδή χιτώνα**
 - Μια μεμβράνη που περιλαμβάνει εκατομμύρια κύτταρα
 - Ανιχνεύουν το φως
 - Μετατρέπουν το είδωλο σε ηλεκτρικά σήματα
- Τα σήματα μεταφέρονται στον εγκέφαλο**
- Η εστίαση του ματιού**
 - Συνεργασία αρκετών στοιχείων
 - Μυς του ματιού (eye muscle)
 - Κερατοειδής
 - Φακός
 - Όταν δεν λειτουργούν με τον τρόπο που θα έπρεπε, τότε δε βλέπουμε καλά

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Οπτική Αντίληψη(Visual Perception)

- Διαδρομή οπτικής αίσθησης (Visual perception path)**
 - Οπτικό νεύρο (Optic nerve)
 - Ινιακός λοβός (Occipital lobe)
 - Φλοιός (Cortex) στο δεξιό ημισφαίριο (Right hemisphere)
- Επεξεργασία ψηλού επιπέδου (High level processing)**
 - Πολύπλοκες διασυνδέσεις νευρώνων (neurons)
 - Κάθε νευρώνας αντιδρά σε διαφορετικό συνδυασμό χαρακτηριστικών
 - Π.χ. αναγνώριση προσώπων (face recognition)

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

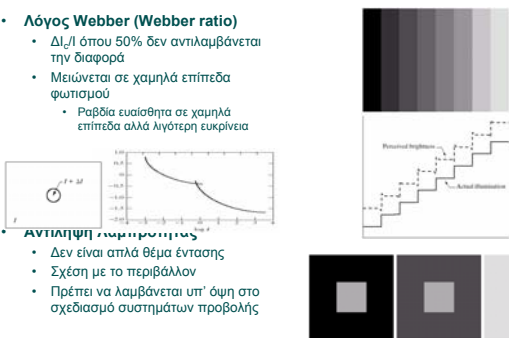
Οπτική Αντίληψη (Visual Perception)

- Διάκριση της λαμπρότητας (brightness discrimination)**
 - Περιορισμένα όρια διακύμανσης (range) ταυτόχρονα (12-24 επίπεδα) αλλά μεγάλα συνολικά (overall range)
 - Λογαριθμική κλίμακα (logarithmic scale)
 - Εκβαθμιστικό όριο (glare limit) ←→ Σκοτοπτικό όριο (scotopic limit)
 - Προσαρμόζεται (adapt)
- Προσαρμογή στη λαμπρότητα (brightness adaptation)**
 - Μειώνεται / Αυξάνεται η διάμετρος της ίριδας
 - Διαφοροποίηση στα ανώτερα επίπεδα επεξεργασίας

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Οπτική Αντίληψη (Visual Perception)

- Λόγος Webber (Webber ratio)**
 - $\Delta I/I$ όπου 50% δεν αντιλαμβάνεται την διαφορά
 - Μειώνεται σε χαμηλά επίπεδα φωτισμού
 - Ραβδία ευαίσθητα σε χαμηλά επίπεδα αλλά λιγότερη ευκρίνεια

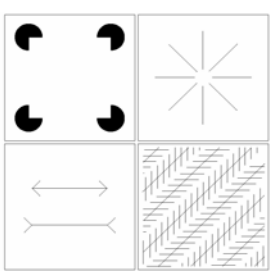


- Αντίληψη ευκρίνειας**
 - Δεν είναι απλά θέμα έντασης
 - Σχέση με το περιβάλλον
 - Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στο σχεδιασμό συστημάτων προβολής

Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Οπτική Αντίληψη (Visual Perception)

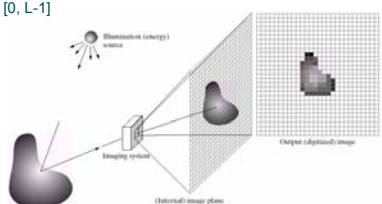
- Οπτικές απάτες (Visual illusions)**
 - Ο εγκέφαλος
 - συμπληρώνει πληροφορίες που απουσιάζουν
 - Εξαπατείται από επιπρόσθετες πληροφορίες



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

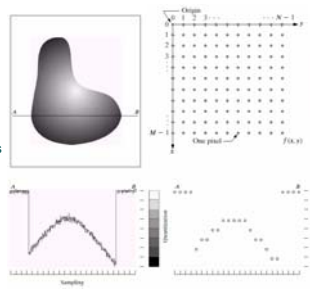
- Σχηματισμός εικόνας**
 - Σκηνή (scene) με αντικείμενα (objects or elements)
 - Φωτισμός (illumination): $0 \leq i(x,y) \leq \infty$
 - Αντανακλαστικότητα (reflectivity) ή διαπεραστικότητα (transmissivity): $0 \leq r(x,y) \leq 1$
 - (digitization) → (gray level): $I = f(x,y) = i(x,y)r(x,y)$, $0 \leq I \leq L-1$, Dynamic range: $[0, L-1]$



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

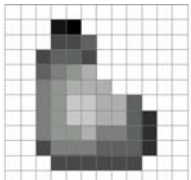
- Δειγματοληψία (sampling)**
 - Χώρου
 - Λαμπρότητας
- Κβάντιση (quantization)**
 - Χώρου
 - Χωρική (spatial) ευκρίνεια
 - Λαμπρότητας
 - Συνεχές διάστημα (continuous range) → διακριτή τιμή (gray level)
 - Θόρυβος (noise) κβάντισης



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

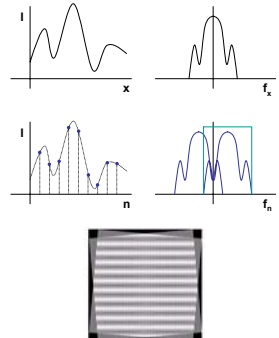
- Απαιτήσεις αποθήκευσης (storage requirements)**
 - Επίπεδα γκριζού
 - $L = 2^b$
 - Αριθμός δυαδικών ψηφίων (bits)
 - $b = M \times N \times L$
- Πως επηρεάζεται η ποιότητα της εικόνας όταν αλλάζουν τα M, N και k;**
 - Εργαστήριο 1



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

- Ψευδονυμία ή Σωσίαση (Aliasing)**
 - Ανεπιθύμητες συχνότητες μέσα στην εικόνα
 - Κριτήριο Nyquist
 - $f_{\text{sampling}} \geq 2 f_{\text{maximum}}$
 - Χωρικά περιορισμένα σήματα
 - $f_{\text{maximum}} = \infty$
 - Καθορίζουμε ως f_{maximum} την ευκρίνεια που επιθυμούμε
- Φαινόμενο Moiré**
 - Οδοντωτή ακμή σε συχνότητα διαφορετική από την πραγματική
 - Αν μια συχνότητα είναι γνωστή μπορούμε να υπολογίσουμε την άλλη



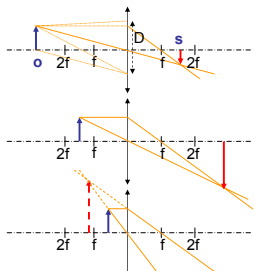
Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

- Απλούστερο σύστημα
 - Ένας "ιδανικός" φακός (ideal lens)
 - Αντικείμενο (object) και ειδώλο (image)
 - Σχέση

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{o} + \frac{1}{s}$$
 - f = εστιακή απόσταση (focal length)
 - s = ειδώλο (image)
 - o = αντικείμενο (object)
 - Μεγέθυνση (magnification)

$$M = \frac{s}{o}$$

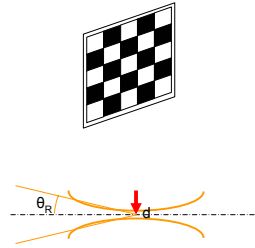


Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχηματισμός Εικόνας (Image Formation)

- Ευκρίνεια Εικόνας (Image resolution)
 1. Αριθμός εικονοστοιχείων (π.χ. 1024x1024)
 2. Μικρότερη χωρική συχνότητα (spatial frequency), δηλαδή λεπτομέρεια, που είναι διακριτή = οπτική ευκρίνεια
- Οπτική Ευκρίνεια (Optical resolution)
 - Διάμετρος κρουστικής διέγερσης (impulse response) καθορίζει την ευκρίνεια (resolution)

$$d = \frac{1.22\lambda}{\sin \theta_R} = \frac{2.44\lambda}{NA} \quad NA \approx \frac{D}{s}$$
 - Άλλες ανωμαλίες (aberrations) επηρεάζουν την ευκρίνεια

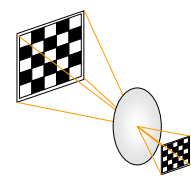


Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχεδιασμός Συστήματος Απεικόνισης (Imaging System Design)

Παράδειγμα

- Χαρακτηριστικά
 - Ευκρίνεια: 1 mm
 - Οπτικό Πεδίο (Field of View): 1 x 1 m
- Επιλογή Κάμερας
 - ≥ 4 MPixel (1000 x 2 x 1000 x 2)
 - x 2 = Κριτήριο Rayleigh
 - Π.χ. CCD, 5 MPixel, 2x2 cm εμβαδόν (Area)
 - $s = 17$ mm (c-mount)
 - $M = 2$ cm / 1 m = 2×10^{-2}
 - $o = s/M = 85$ cm
 - $f = 16.67$ mm
- Είναι οπτικά δυνατή αυτή η ευκρίνεια;
 - $d = M \times 1$ mm = 2×10^{-5} m
 - $D = 2.44 \lambda / s / d = 1.3$ mm
 - Δηλαδή, οποιοδήποτε φακός πάνω από 1.3 mm.
 - Για μικρά αντικείμενα η διάμετρος του φακού μπορεί να είναι απαγορευτική!

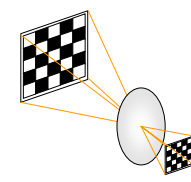


Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχεδιασμός Συστήματος Απεικόνισης (Imaging System Design)

Παράδειγμα

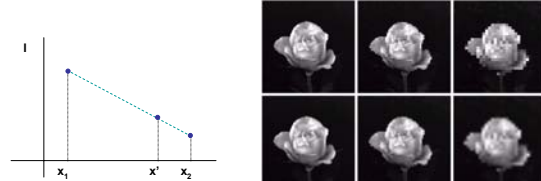
- Πρακτικά προβλήματα
 - $f = 16.67$ mm δεν υπάρχει στην αγορά
 - Επαναυπολογίζουμε το σύστημα
 - $M = 2 \times 10^{-2}$
 - $f = 20$ mm
 - Λύνουμε τις εξισώσεις
 - $s = 20.4$ mm
 - $o = 102$ cm



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σμικρομεγέθυνση (Zooming)

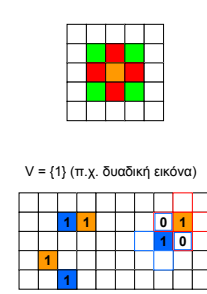
- Νέες θέσεις εικονοστοιχείων και επαναπροσδιορισμός της λαμπρότητας
- Παρεμβολή (interpolation)
 - Πλησιέστερου γείτονος (nearest neighbor)
 - Πιο γρήγορη αλλά χαμηλής ποιότητας σε μεγάλη μεγέθυνση
 - Διγραμμική (bilinear)
 - Λαμπρότητα υπολογίζεται με βάση τις τιμές των 4 γειτόνων
 - Ανώτερης τάξης (higher order)
 - Πολύ πιο αργή



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

Σχέσεις Εικονοστοιχείων (Pixel Relationships)

- Γειτονικά Εικονοστοιχεία
 - p με συντεταγμένες (x, y)
 - Κάθετοι γείτονες $N_4(p)$
 - $(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)$
 - Διαγώνιοι γείτονες $N_8(p)$
 - $(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)$
 - Οκταπλοί γείτονες $N_8(p)$
 - $N_4(p) \cup N_8(p)$
- Γειτνίαση (adjacency)
 - p με συντεταγμένες (x, y)
 - q με συντεταγμένες (x', y')
 - Υποσύνολο τιμών λαμπρότητας V
 - Γειτνίαση 4 (4-adjacency)
 - $q \in N_4(p)$ και $I(p) \in V, I(q) \in V$
 - Γειτνίαση 8 (8-adjacency)
 - $q \in N_8(p)$ και $I(p) \in V, I(q) \in V$
 - Μικτή γειτνίαση (m-adjacency)
 - $q \in N_4(p)$ και $I(p) \in V, I(q) \in V$
 - ή
 - $q \in N_8(p)$ και $N_4(p) \cap N_8(q) \in V = \emptyset$



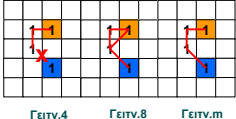
Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory



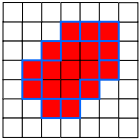
Σχέσεις Εικονοστοιχείων (Pixel Relationships)

- Διαδρομή (path) μεταξύ εικονοστοιχείων**
 - Το σύνολο η γειτόνων εικονοστοιχείων από το p στο q
 - Αν $(x_0, y_0) = (x_n, y_n)$ τότε η διαδρομή είναι κλειστή
- Ενωμένα (connected) εικονοστοιχεία**
 - p και q είναι ενωμένα αν υπάρχει μια διαδρομή που να τα ενώνει
- Περιοχή (region)**
 - Ένα σύνολο R ενωμένων εικονοστοιχείων
 - Σύνορο: εικονοστοιχεία με τουλάχιστον ένα γείτονα έξω από περιοχή (όχι κατ' ανάγκη ακμή)

$V = \{1\}$ (π.χ. δυαδική εικόνα)



Γειτν.4 Γειτν.8 Γειτν.m



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory

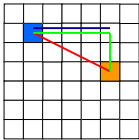


Σχέσεις Εικονοστοιχείων (Pixel Relationships)

- Μέτρο αποστάσεων (distance metric)**

p, q και z: εικονοστοιχεία με συντεταγμένες (x,y), (s,t) και (v,w)

 - Μια συνάρτηση D είναι μέτρο απόστασης αν
 - $D(p,q) \geq 0$ ($D(p,q)=0$ iff $p=q$)
 - $D(p,q) = D(q,p)$
 - $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$
 - Ευκλείδεια απόσταση
 - $D_e(p,q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2}$
 - D4 ή απόσταση τετραγώνου (city block distance)
 - $D_4(p,q) = |x-s| + |y-t|$
 - D8 ή απόσταση "σκακιέρας"
 - $D_8(p,q) = \max\{|x-s|, |y-t|\}$



Biomedical Imaging and Applied Optics Laboratory