



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Ενότητα 3^η: Ψηφιακή Καταγραφή Εικόνας

Καθ. Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή στην ψηφιακή καταγραφή εικόνων
- Μοντέλα συστημάτων καταγραφής εικόνων
- Επεξήγηση της λειτουργίας της ανθρώπινης όρασης



Περιεχόμενα ενότητας

- Βασικές έννοιες ψηφιακής καταγραφής εικόνων
- Σύστημα καταγραφής
- Οπτικό σύστημα, ανιχνευτές, ψηφιοποιητής, θόρυβος καταγραφής
- Γενικό μοντέλο καταγραφής εικόνας
- Η ανθρώπινη όραση
- Περιγραφή στοιχείων ανατομίας
- Ευαισθησία στην αντίθεση, φαινόμενο Mach



Εισαγωγή (1/2)

- Για την καταγραφή εικόνας απαιτούνται
 - «Φωτεινή» πηγή
 - Αντικείμενο
 - Σύστημα καταγραφής
- «Φωτεινή» πηγή
 - Πηγή λευκού φωτός
 - Πηγή Laser (π.χ., για πρόκληση φθορισμού)
 - Πηγή ακτινοβολίας Χ, υπέρυθρης
 - Ακουστική πηγή (π.χ. σόναρ, υπερηχογράφημα κλπ)
 - RF signals (MRI)
 - Μικροκυματική πηγή
 - Κλπ.



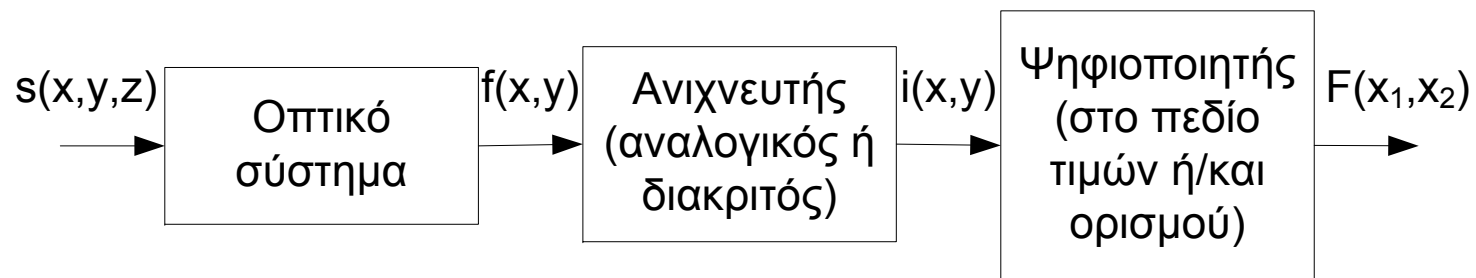
Εισαγωγή (2/2)

- Σύστημα καταγραφής
 - Βιολογικό, π.χ. μάτι
 - Φωτοχημικό, (π.χ. το παλιό φιλμ αλλά και σύγχρονα φωτοχημικά συστήματα)
 - Φωτοηλεκτρικό, π.χ. Cathode Ray Tube (CRT), Charge-Coupled Devices (CCD), CMOS Active Pixel Sensor (APS), Microbolometers
- Το σύστημα καταγραφής διεγείρεται από συγκεκριμένα μήκη κύματος
 - π.χ. το μάτι από το ορατό φως με μήκη κύματος μεταξύ 380nm~700nm



Βασικό σύστημα καταγραφής

Μοντέλο συστήματος



- $s(x, y, z)$: φωτεινότητα σημείων του αντικειμένου
- $f(x, y)$: φωτεινότητα στις δυο διαστάσεις
- $i(x, y)$: ηλεκτρικό σήμα
- $F(x_1, x_2)$: 2-D διακριτό σήμα – εικόνα



Οπτικό σύστημα

- Αποτελείται από οπτικούς φακούς
- Αν η διάταξη φακών και οι ίδιοι οι φακοί θεωρηθούν ιδανικοί τότε $s(x, y, z) \rightarrow f(x, y)$
- Σε μη ιδανικές συνθήκες
 - Οι φακοί δεν παρουσιάζουν τέλεια εστίαση
 - Αντί του $f(x, y)$ λαμβάνεται το

$$w(x, y) = \iint h(x, y, z, s) f(z, s) ds dz \iint h(x, y, z, s) f(z, s) dz ds$$

- Η συνάρτηση $h(\cdot)$ περιγράφει το σύστημα του φακού (Point Spread Function (PSF))



Παράδειγμα παραμόρφωσης από οπτικό σύστημα



Ανιχνευτής (1/3)

- Οπτικοί ανιχνευτές
 - Φωτοχημικοί και φωτοηλεκτρικοί (μετατρέπουν την φωτεινότητα σε ηλεκτρικό σήμα)
- Φωτοχημικοί ανιχνευτές
 - Φιλμ που περιέχουν άλατα αργύρου
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οπτικές πηγές για τους φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές
 - Είναι αναλογικοί: χρειάζεται ψηφιοποίηση



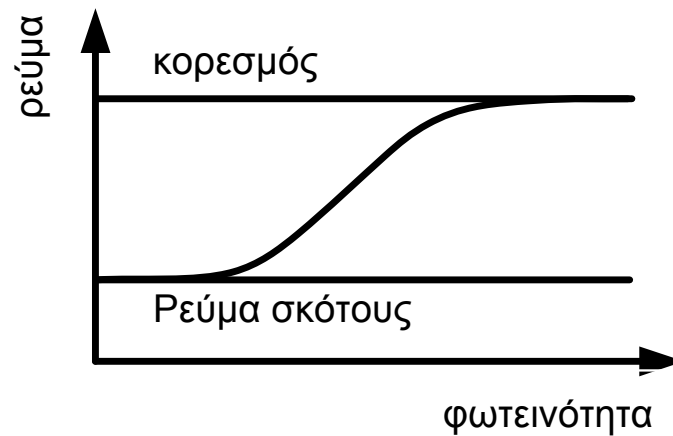
Ανιχνευτής (2/3)

- Φωτοηλεκτρικοί ανιχνευτές
 - Μπορούν να οδηγήσουν κατευθείαν έναν ψηφιοποιητή
 - Cathode Ray Tube (CRT, Vidicon), Charge Injection Devices (CIDs), Charge Coupled Devices (CCDs) CMOS Active Pixel Sensor (APS), Microbolometers ...
- CCD (εναλλακτικά CMOS APS)
 - Πλέγμα φωτοευαίσθητων ημιαγώγιμων κυττάρων
 - Μικρό μέγεθος, ταχύτατη απόκριση
 - Χρήση σε κάμερες και φωτογραφικές μηχανές
 - Υψηλή ποιότητα όταν υπάρχουν τουλάχιστον τόσα στοιχεία όσα και τα εικονοστοιχεία που απαιτεί η εφαρμογή



Ανιχνευτής (3/3)

Απόκριση φωτισμού-ρεύματος



Υπάρχει μη γραμμικότητα της μορφής $Kw(x, y)^\gamma$, όπου K σταθερά και $0.5 \leq \gamma \leq 0.9$. Για υψηλής ποιότητας ανιχνευτές το $\gamma \rightarrow 1$.



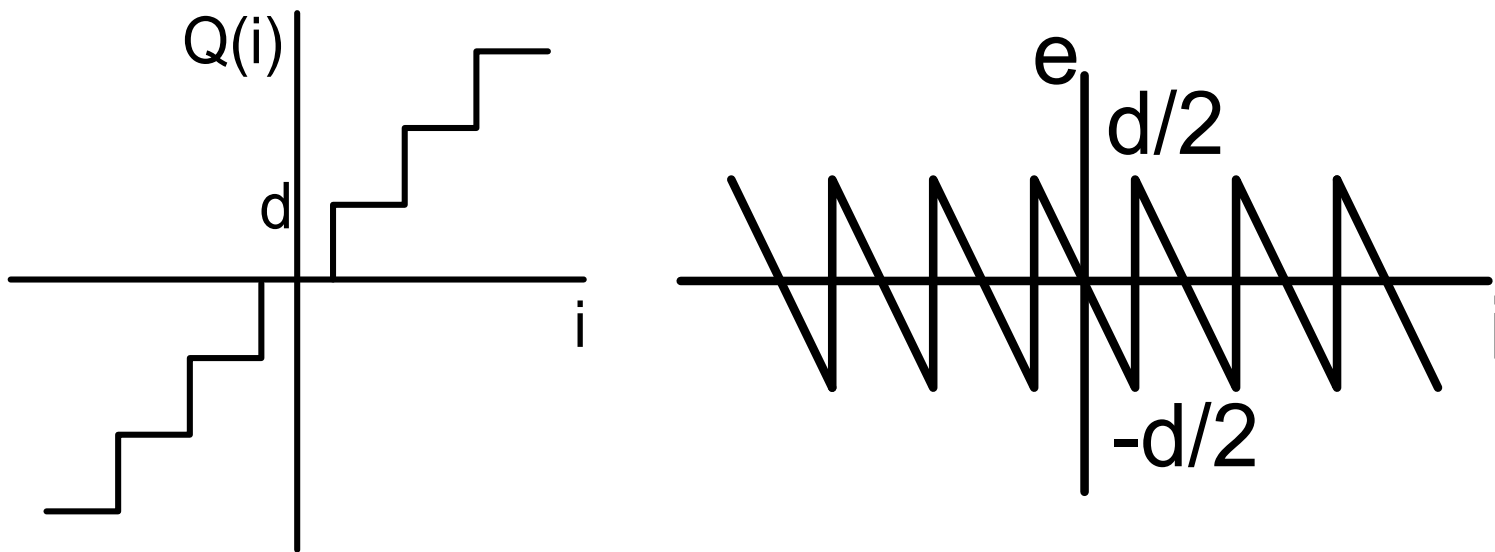
Ψηφιοποιητής (1/2)

- Το σήμα $i(x, y)$ μετατρέπεται στο ψηφιακό σήμα $F(x_1, x_2)$
- Εάν το $i(x, y)$ είναι διακριτό (όπως σε CCD arrays) τότε έχουμε μόνον κβαντισμό
- Αποτελείται από έναν A/D μετατροπέα
 - Τα δείγματα $F(x_1, x_2)$ που παράγονται ονομάζονται εικονοστοιχεία
 - Πλήθος εικονοστοιχείων (μέχρι $O(1GP)$)
 - B bits/εικονοστοιχείο στις ασπρόμαυρες
 - $3B$ bits/εικονοστοιχείο στις έγχρωμες RGB



Ψηφιοποιητής (2/2)

- Σχέση εισόδου-εξόδου $i = Q(i)$ και σφάλμα e που εισάγεται από τον A/D μετατροπέα



Θόρυβος καταγραφής

- Στον φωτοχημικό ανιχνευτή
 - Θόρυβος κόκκων
- Στον φωτοηλεκτρικό ανιχνευτή
 - Αθροιστικός λευκός θόρυβος $\sim N(0, \sigma^2)$
 - 1/f noise (CMOS APS)
 - Shot noise
 - Φωτοηλεκτρικός θόρυβος
 - Συνιστώσα θορύβου: $\{c[w(x, y)]^\delta\}^{0.5} n(x, y)$, $n \sim N(0, 1)$
- Κρουστικός θόρυβος (αλατοπίπερου)
 - Μαύρες ή άσπρες κουκκίδες στην εικόνα (π.χ. λόγω ADC)



Παραδείγματα θορύβων: Κρουστικός θόρυβος



Παραδείγματα θορύβων: Αθροιστικός θόρυβος



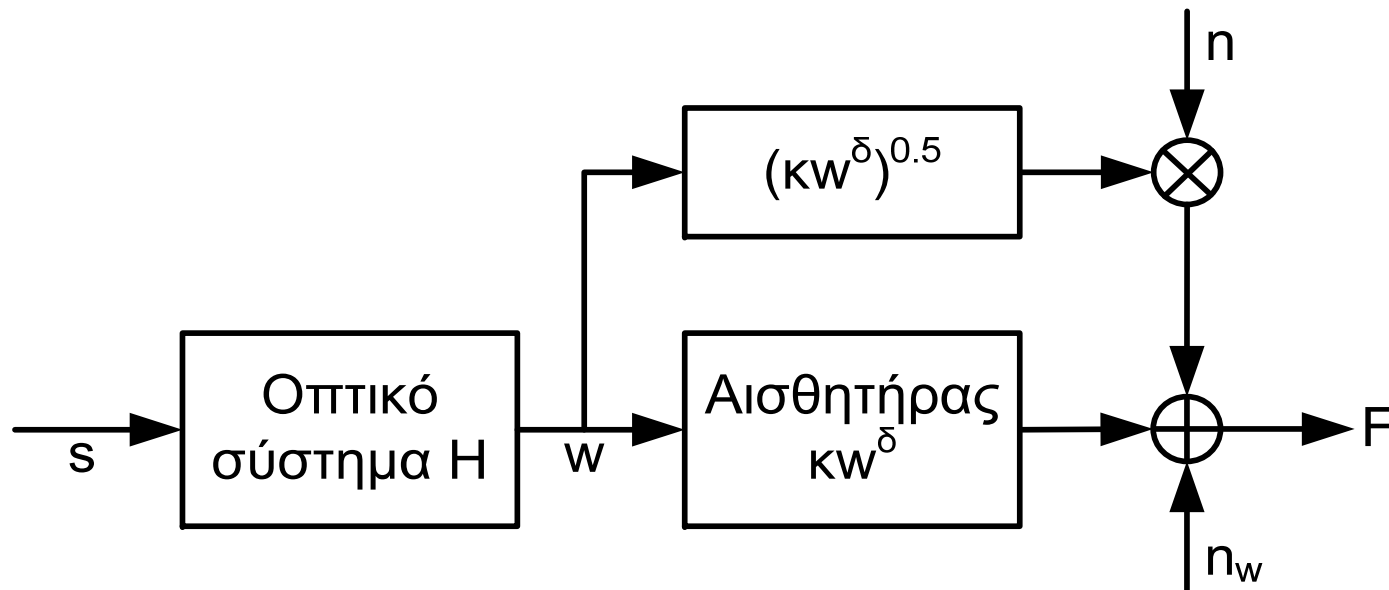
Παραδείγματα θορύβων: Πολλαπλασιαστικός θόρυβος



Γενικό μοντέλο καταγραφής εικόνας

- Γενικό μοντέλο για το σύστημα καταγραφής

$$F(x, y) = k[w(x, y)]^\delta + \{k[w(x, y)]^\delta\}^{0.5} n(x, y) + n_w(x, y)$$



Η ανθρώπινη όραση

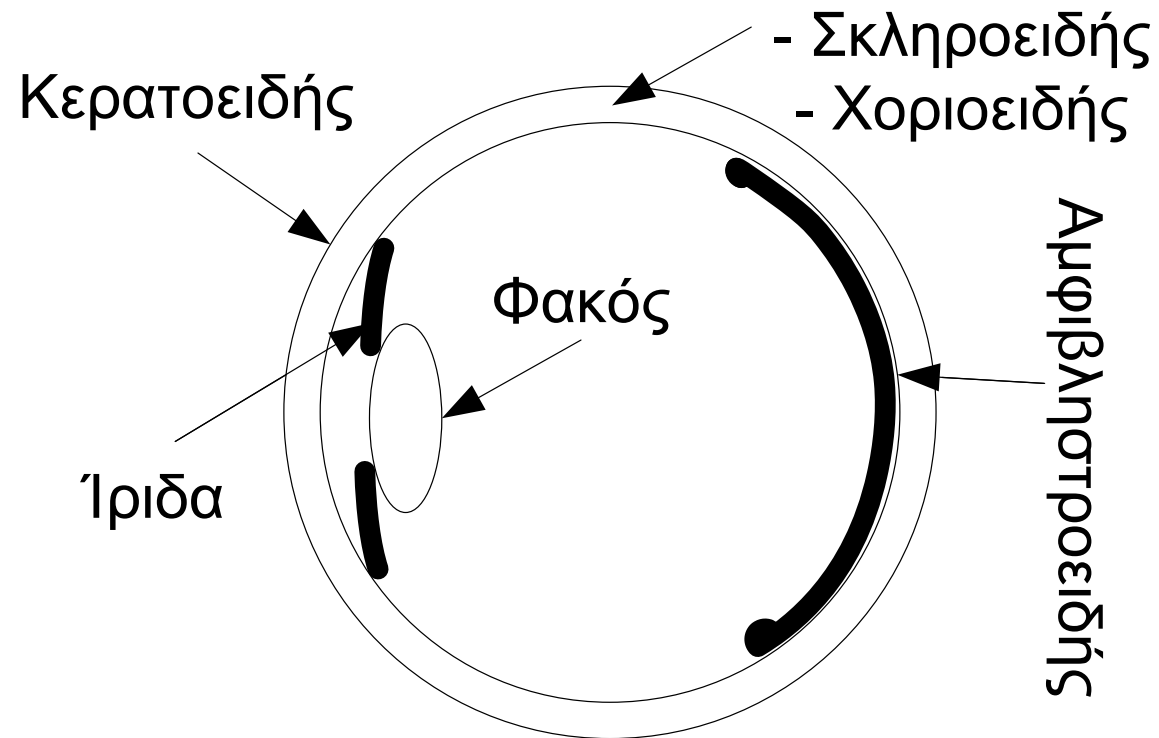
Αριστοτέλης

«Περὶ Αἰσθήσεως καὶ αἰσθητῶν»

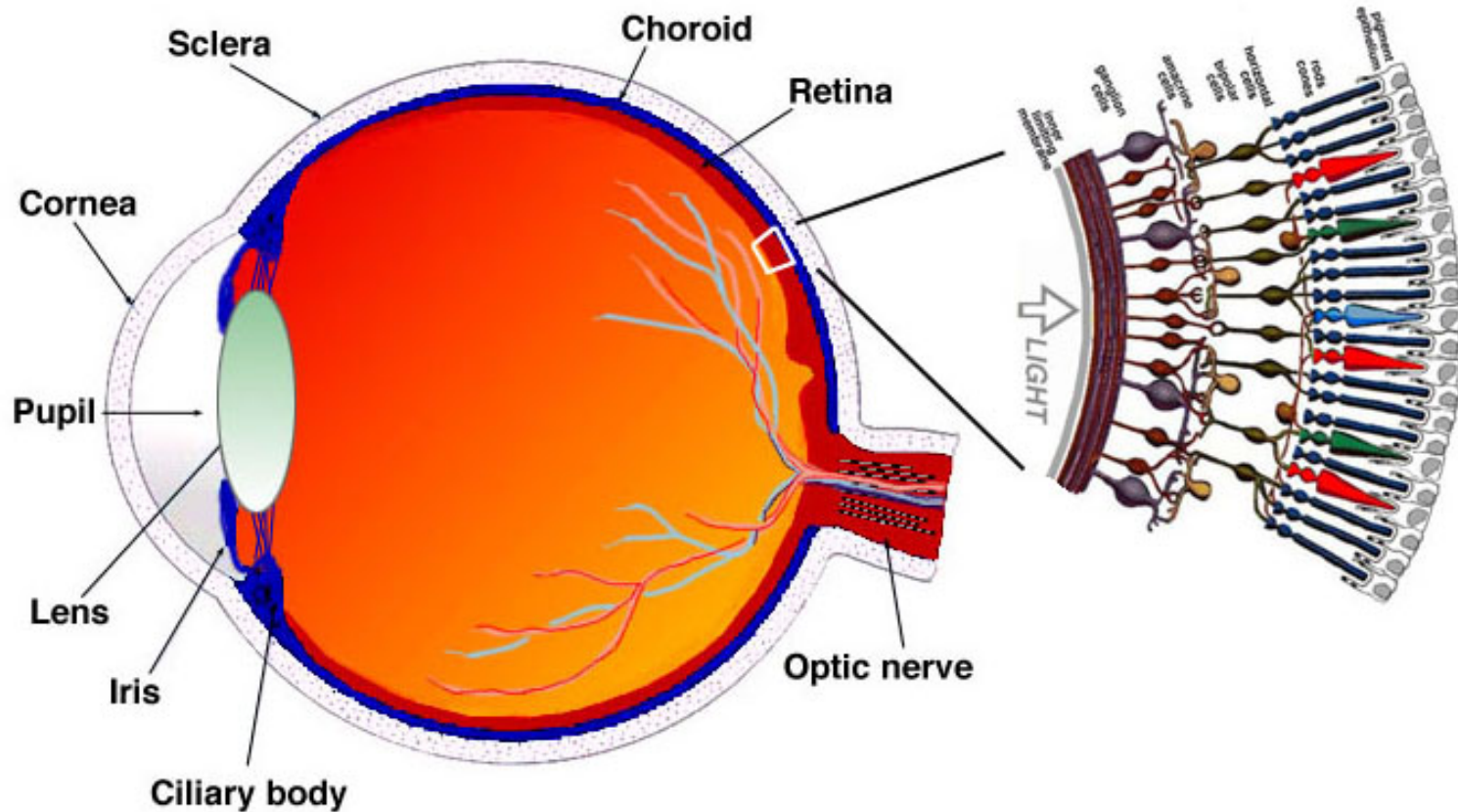
«Ἐξ αὐτῶν δε τούτων τῶν αἰσθήσεων ἡ σπουδαιότερα καὶ ὡς πρὸς τὰς ἀνάγκας τοῦ ζώου καὶ καθ' ἑαυτὴν εἶναι ἡ ὄψις ... Ἡ μὲν ὄψις μᾶς φανερῶνει πολλὰς καὶ ποικίλας διαφορὰς τῶν πραγμάτων, διότι πάντα τὰ σώματα ἔχουσι χρῶμα· ὥστε ὑπὲρ πάσας τὰς ἄλλας διὰ τῆς αἰσθήσεως ταύτης αἰσθανόμεθα καὶ τὰς κοινὰς ιδιότητας τῶν σωμάτων, λέγω δε κοινὰ τὸ σχῆμα, τὸ μέγεθος, τὴν κίνησιν, τὴν στάσιν καὶ τὸν ἀριθμὸν.»



Στοιχεία ανατομίας



Η ανθρώπινη όραση



Ο αμφιβληστροειδής αποτελείται από πολλαπλά επίπεδα. Οι φωτοχημικοί υποδοχείς είναι προς τα πίσω.



Περιγραφή στοιχείων

- Ίριδα (διάφραγμα)
 - Η διάμετρος ποικίλει μεταξύ 2mm~8mm ανάλογα τις συνθήκες φωτισμού
- Φακός
 - Ρυθμιζόμενης εστιακής απόστασης
 - Εστίαση φωτεινών ακτίνων στον αμφιβληστροειδή
- Αμφιβληστροειδής χιτώνας (4 επίπεδα). Στο 4ο (πίσω) επίπεδο βρίσκονται οι φωτοευαίσθητοι αισθητήρες:
 - Κωνία
 - Ραβδιά



Αμφιβληστροειδής χιτώνας (1/3)

- Τα κωνία και τα ραβδία που μετατρέπουν την οπτική πληροφορία σε ηλεκτρικά σήματα
- Κωνία
 - 6-7 εκατ. στο κέντρο του αμφιβληστροειδούς (fovea) (~ 150000/mm²)
 - Ευαίσθητα στο χρώμα (3 είδη κωνίων)
 - Κάθε κωνίο συνδέεται με διαφορετικό νεύρο
 - Απαιτούν υψηλές τιμές φωτεινής έντασης. Σε χαμηλά επίπεδα φωτεινότητας δεν διακρίνουμε χρώματα



Αμφιβληστροειδής χιτώνας (2/3)

- Ραβδία
 - Δίνουν γενική αντίληψη του οπτικού πεδίου
 - Ευαίσθητα σε χαμηλούς φωτισμούς
 - Δεν διακρίνουν χρώματα
 - 75-105 εκατ. σε όλο τον αμφιβληστροειδή
 - Ομάδες ραβδίων συνδέονται στο ίδιο νεύρο
 - Μικρή διακριτική ικανότητα



Αμφιβληστροειδής χιτώνας (3/3)

Συγκρίσιμες δυνατότητες με CCD sensors:

- Αμφιβληστροειδής:

Επιφάνεια: $O(100\text{mm}^2)$

Πλήθος διακριτών εξόδων : $O(10^6)$

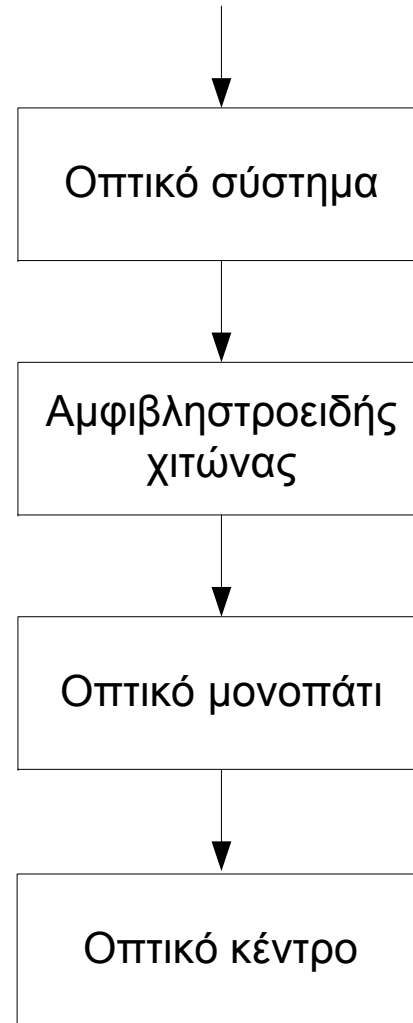
- CCD sensors:

Επιφάνεια: $O(100\text{mm}^2)$

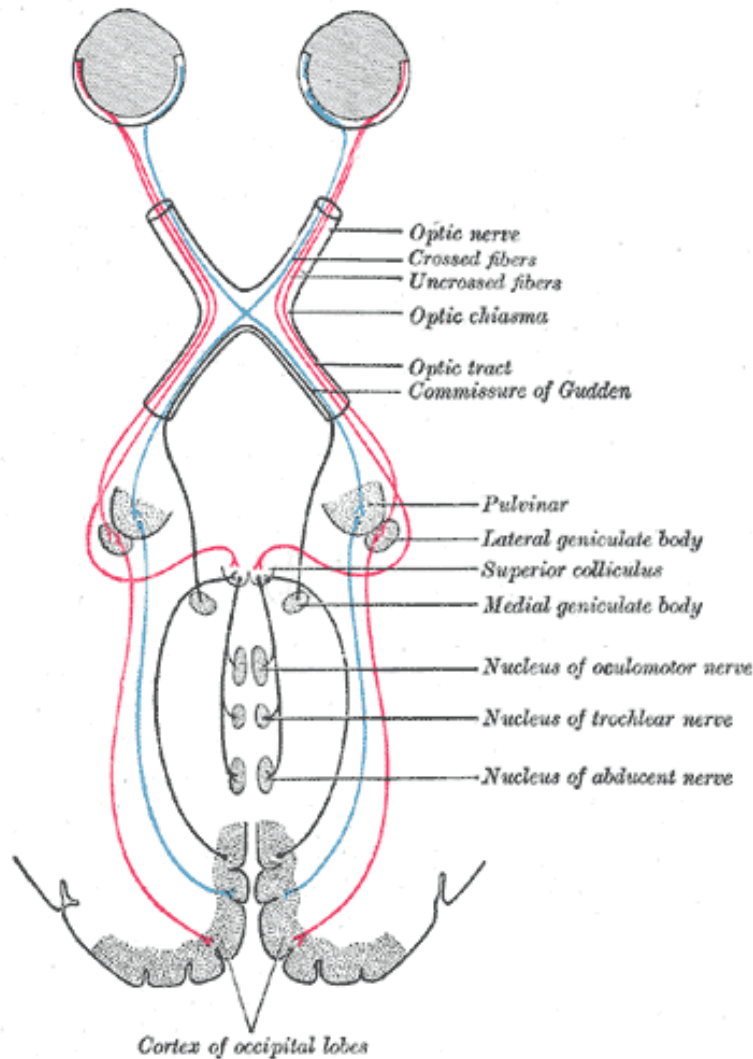
Πλήθος διακριτών εξόδων : $O(10^6) \rightarrow O(10^8)$



Μοντέλο ανθρώπινου οφθαλμού



Νευρικό σύστημα όρασης



Εικάζεται ότι η συγκεκριμένη «δρομολόγηση» της οπτικής πληροφορίας γίνεται με σκοπό την ανάκτηση του βάθους (στερεοσκοπική όραση)

Γίνεται ένα είδος υπέρθεσης των αριστερών και δεξιών τμημάτων του οπτικού πεδίου του κάθε οφθαλμού

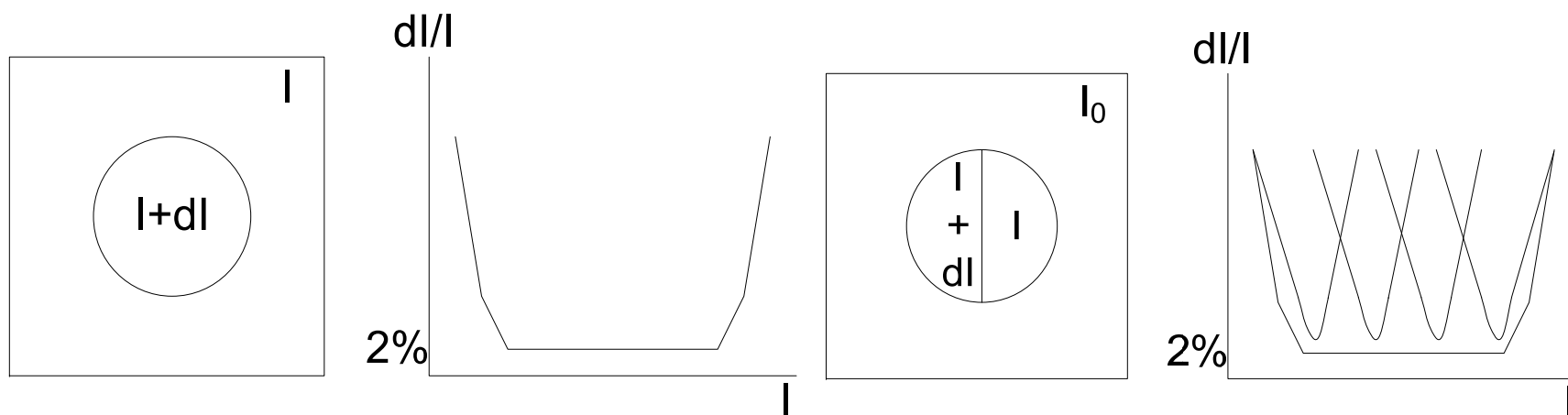


Προσαρμογή του οφθαλμού

- Ο οφθαλμός μπορεί να διακρίνει μια ευρύτατη περιοχή τιμών έντασης ($\sim 10^{10}$)
- Ο τρόπος που αντιλαμβάνεται τη φωτεινότητα είναι λογαριθμικός
- Δεν μπορεί όμως να αντιληφθεί ταυτόχρονα όλη την παραπάνω δυναμική περιοχή
- Για ορισμένο επίπεδο μέσης φωτεινότητας προσαρμόζει την ευαισθησία του σε μια μικρή – σχετικά - περιοχή



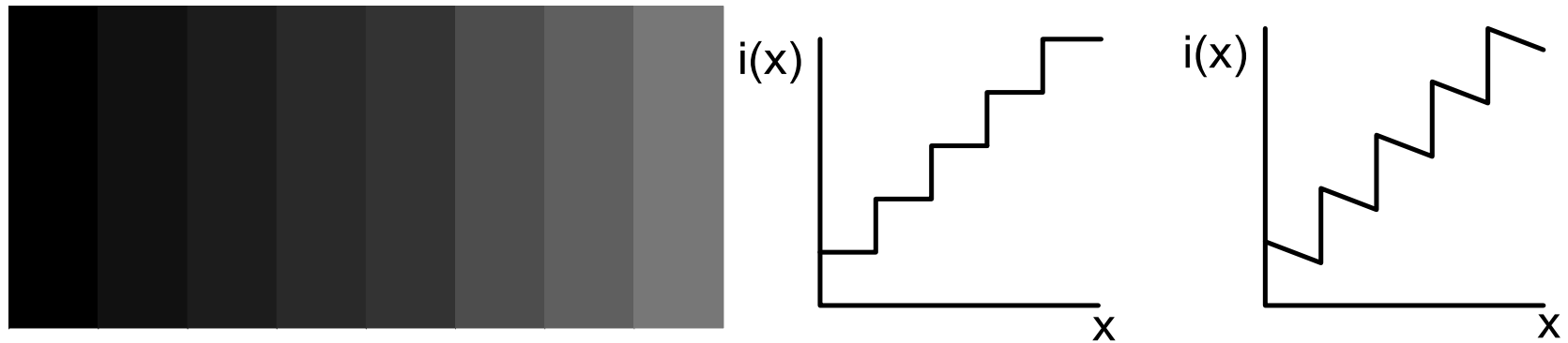
Ευαισθησία στην αντίθεση - Λόγος Weber



- $dl/l \sim 0.02$ (για περίπου έξι τάξεις μεγέθους)
- Όταν όμως υπάρχει διαφορετικό υπόβαθρο τότε ο νόμος ισχύει για πολύ μικρότερη περιοχή (~ 2 τάξεις μεγέθους) γύρω από το I_0



Φαινόμενο Mach (1/2)



- Ο οφθαλμός είναι ανωδιαβατό φίλτρο
- Ευαίσθητο στα περιγράμματα, αντίθεση κ.λ.π



Φαινόμενο Mach (2/2)



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης, 2015.

«Ψηφιακή Επεξεργασία & Ανάλυση Εικόνας. Εισαγωγή». Έκδοση: 1.0.

Πάτρα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1033/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Ι. Πήτας, «Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας», Θεσσαλονίκη, 2001
- http://www.nvidia.com/object/university_of_groningen.html

