



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

Ενότητα 11^η: Θεωρία Χρώματος & Επεξεργασία
Έγχρωμων Εικόνων

Καθ. Κωνσταντίνος Μπερμπερίδης
Πολυτεχνική Σχολή
Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

Σκοποί ενότητας

- Εισαγωγή στη θεωρία χρώματος & στην επεξεργασία έγχρωμων εικόνων
- Χρωματικά μοντέλα
- Τεχνικές επεξεργασίας έγχρωμων εικόνων



Περιεχόμενα ενότητας

- Βασικές έννοιες επεξεργασίας έγχρωμων εικόνων
- Βασικά χαρακτηριστικά χρώματος
- Θεωρία χρώματος
- Χρωματικό μοντέλο RGB, CMY & CMYK και HSI
- Αναπαραγωγή χρώματος
- Ψευδοχρωματισμός
- Επεξεργασία εικόνων
- Παραδείγματα επεξεργασίας έγχρωμων εικόνων



Εισαγωγή (1)

- Το **χρώμα** είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας περιγραφής, που συχνά απλουστεύει κατά πολύ την διαδικασία αναγνώρισης αντικειμένων και την εξαγωγή περιοχών.
- Οι άνθρωποι μπορούν να διακρίνουν ταυτόχρονα πολλές εκατοντάδες διαφορετικές αποχρώσεις και εντάσεις χρωμάτων, ενώ μόνο μερικές δεκάδες αποχρώσεις του γκρι.
- Περίπου το **65%** των αισθητήρων (κωνίων) στο ανθρώπινο μάτι είναι ευαίσθητοι στο κόκκινο, **33%** στο πράσινο και μόνο το **2%** στο μπλε.



Εισαγωγή (2)

Η επεξεργασία έγχρωμης ψηφιακής εικόνας, χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες

- 1. Επεξεργασία εικόνων πλήρους χρώματος:** σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται εικόνες που λαμβάνονται από αισθητήρες πλήρους χρώματος.
- 2. Ψευδοχρωματισμός εικόνων:** εδώ ο στόχος είναι η ανάθεση χρώματος σε εικόνες επιπέδων του γκρι.



Βασικά χαρακτηριστικά χρώματος (1)

- ⇒ **Ακτινοβολία (Radiance)**
είναι το συνολικό ποσό ενέργειας που εκπέμπεται από την πηγή φωτός. Μετράται σε Watts.
- ⇒ **Φωτεινότητα (Luminance)**
είναι μία εκτίμηση του ποσού της ενέργειας που φτάνει στον παρατηρητή. Μετράται σε lumens (lm).
- ⇒ **Λαμπρότητα (Brightness)**
είναι ένας υποκειμενικός παράγοντας. Εμπεριέχει το στοιχείο της φωτεινότητας (Intensity), που είναι ο αχρωματικός παράγοντας. Τα επίπεδα του γκρι είναι κλίμακα μέτρησης της έντασης.

περιγραφή φωτεινής πηγής



Βασικά χαρακτηριστικά χρώματος (2)

- ⇒ **Απόχρωση ή χροιά (Hue):**
αντιπροσωπεύει το επικρατέστερο χρώμα έτσι όπως το αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής.
- ⇒ **Καθαρότητα ή κορεσμός (Saturation):**
αναφέρεται στην καθαρότητα του χρώματος, σε σχέση με την «ποσότητα» άσπρου φωτός με το οποίο αναμειγνύεται (τα καθαρά χρώματα είναι πλήρως κορεσμένα).
- ⇒ **Λαμπρότητα (Brightness):**
είναι ένας υποκειμενικός παράγοντας. Εμπεριέχει το στοιχείο της φωτεινότητας (Intensity), που είναι ο αχρωματικός παράγοντας. Τα επίπεδα του γκρι είναι κλίμακα μέτρησης της έντασης.

περιγραφή χρώματος



Θεωρία χρώματος (1)

Βασικά (primary) χρώματα:

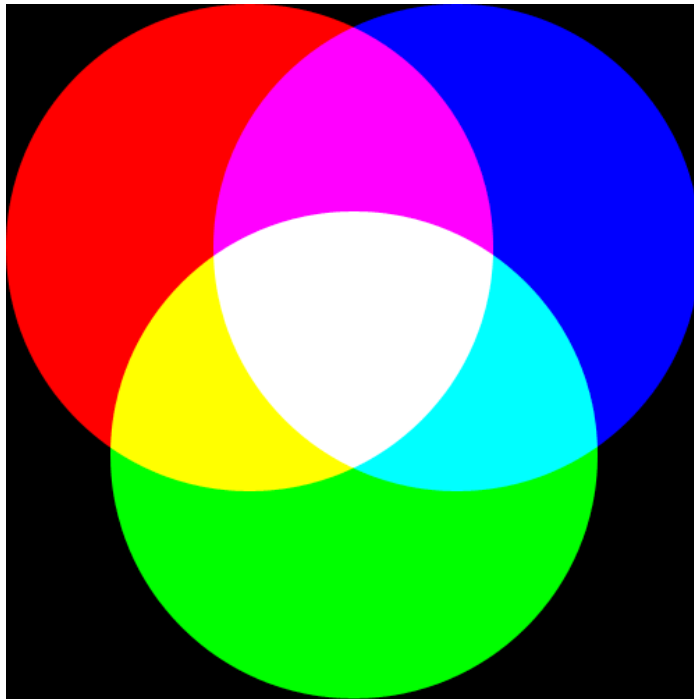
- Κόκκινο (Red)
- Πράσινο (Green)
- Μπλε (Blue)

Συμπληρωματικά (secondary) χρώματα:

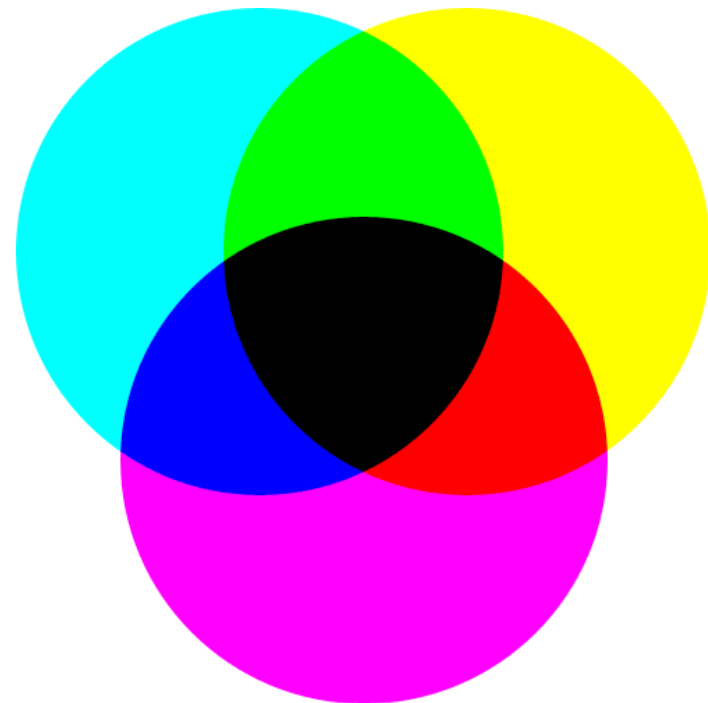
- Κυανό (Cyan)
- Μωβ (Magenta)
- Κίτρινο (Yellow)



Θεωρία χρώματος (2)



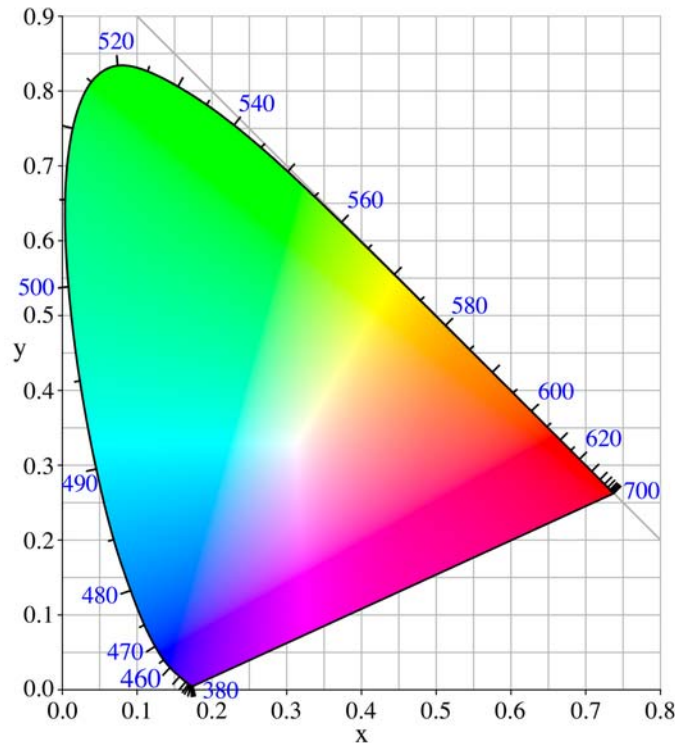
Βασικά χρώματα



Συμπληρωματικά
χρώματα



Θεωρία χρώματος (3)



* CIE:

Commision Internationale de l' Eclairage
(International Commission of
Illumination)

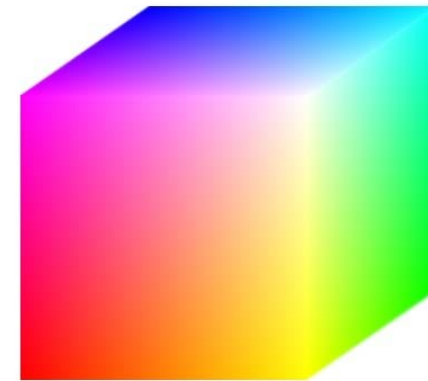
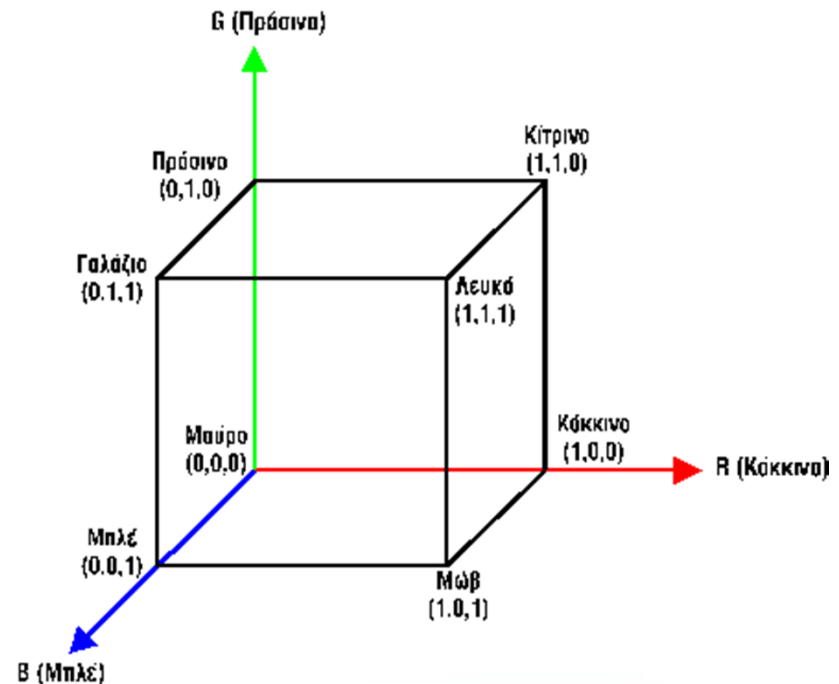


Το χρωματικό διάγραμμα προτάθηκε από την CIE*

- $x=R, y=G, z=B, z=1-(x+y)$
- Κάθε σημείο στα όρια του διαγράμματος είναι απόλυτα καθαρό χρώμα, ενώ όσο προχωράμε προς το σημείο της ίσης ενέργειας (άσπρο) η καθαρότητα μειώνεται.
- Εάν ενώσουμε με ευθεία γραμμή δύο σημεία του διαγράμματος, τότε κάθε σημείο της γραμμής αντιστοιχεί σε μία ορισμένη μίξη των χρωμάτων που βρίσκονται στα άκρα της.
- Αντίστοιχα ισχύουν και για το τρίγωνο που σχηματίζεται αν ενώσουμε τρία σημεία (μίξη των τριών γρωμάτων)

Χρωματικά μοντέλα \ RGB (1)

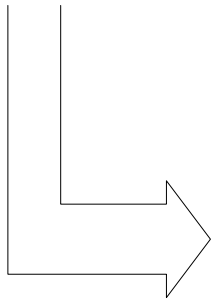
- Στο μοντέλο RGB, τα χρώματα θεωρούνται προσμίξεις των βασικών χρωμάτων Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε.
- Το μοντέλο βασίζεται στο καρτεσιανό σύστημα και αναπαρίσταται με τον RGB κύβο.
- Χρησιμοποιείται στην απεικόνιση χρωμάτων στις οθόνες και γενικά στα συστήματα απεικόνισης.



Χρωματικά μοντέλα \ RGB (2)



Κάθε εικόνα αποτελείται από 3 υπο-εικόνες, μία για κάθε βασικό χρώμα.



Κόκκινο



Πράσινο

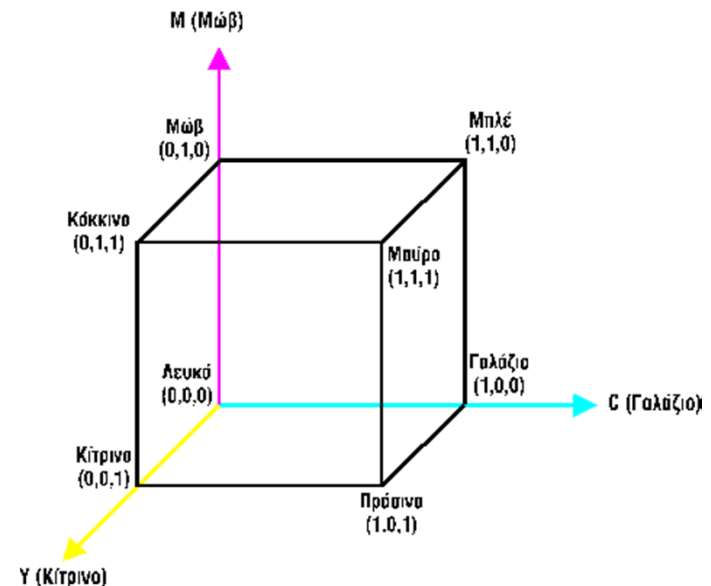


Μπλε

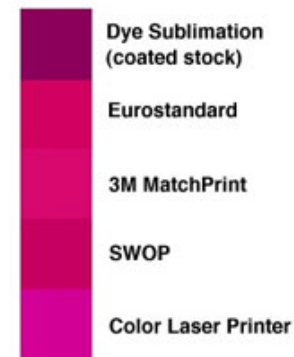


Χρωματικά μοντέλα \ CMY & CMYK (1)

- Στο CMY μοντέλο, τα χρώματα θεωρούνται προσμίξεις των συμπληρωματικών χρωμάτων Κυανό, Μωβ, Κίτρινο.
- Το μοντέλο αυτό είναι αντίστοιχο με το RGB και χρησιμοποιείται στην έγχρωμη εκτύπωση. Στην πράξη προστίθεται επιπλέον το μαύρο χρώμα για καλύτερα οπτικά αποτελέσματα.



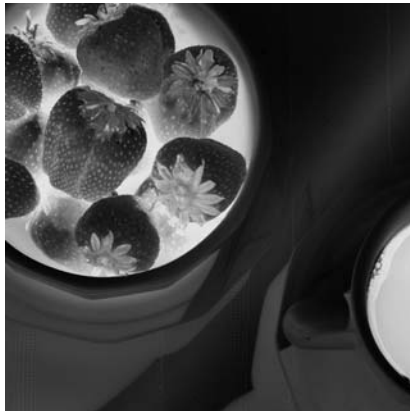
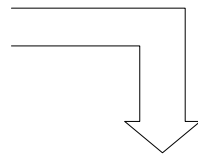
What color is Magenta?



Χρωματικά μοντέλα \ CMY & CMYK (2)



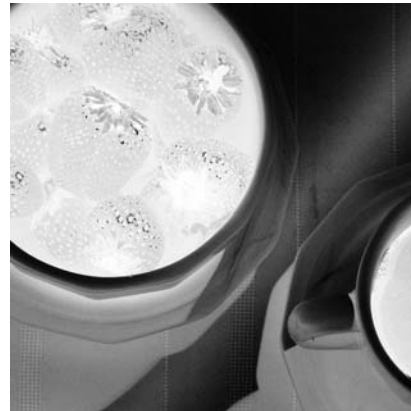
Κάθε εικόνα αποτελείται από 4 υπο-εικόνες.



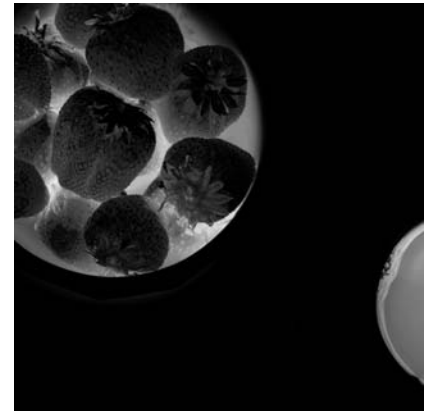
Κυανό



Μωβ



Κίτρινο



Μαύρο



Χρωματικά μοντέλα \ CMY & CMYK (3)

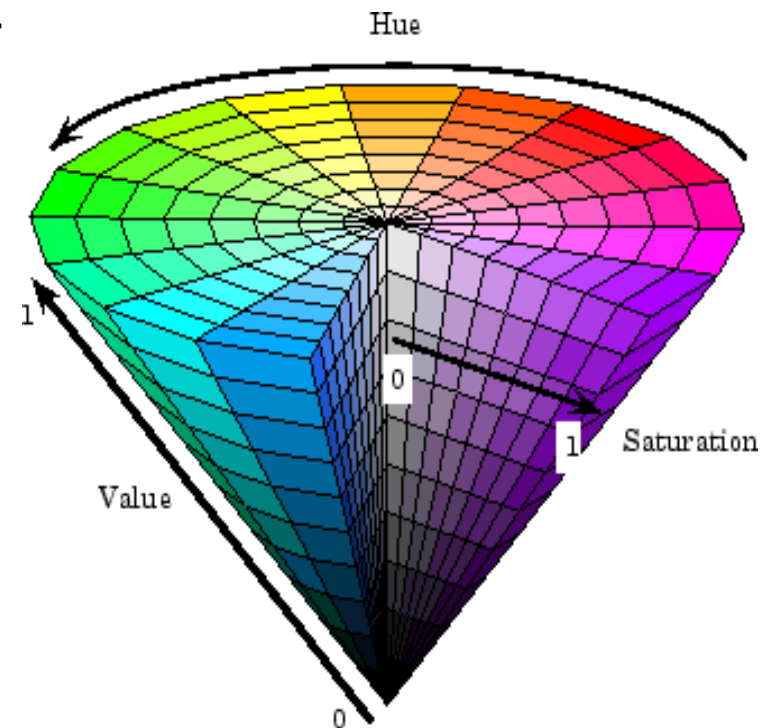
Η μετατροπή μεταξύ των δύο μοντέλων γίνεται ως εξής:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



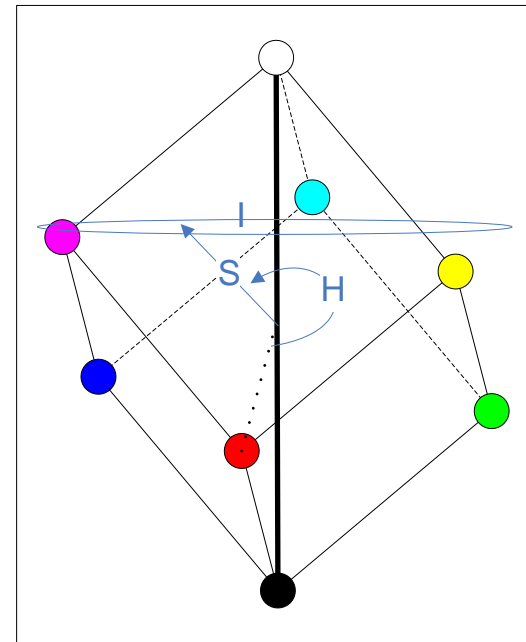
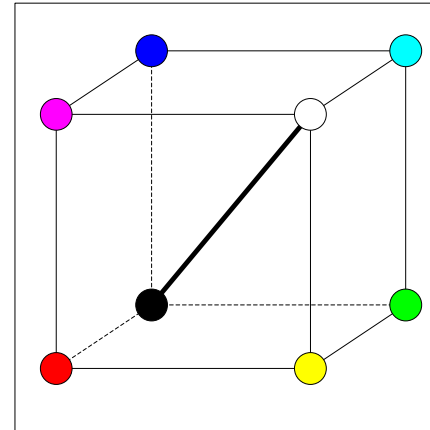
Χρωματικά μοντέλα \ HSI (1)

- Στο HSI μοντέλο, τα χρώματα αναπαριστώνται από δύο χρωματικούς παράγοντες (Hue & Saturation) και την φωτεινότητά (Intensity).
- Χρησιμοποιείται για την περιγραφή των χρωμάτων με βάση την ανθρώπινη αντίληψη.



Χρωματικά μοντέλα \ HSI (2)

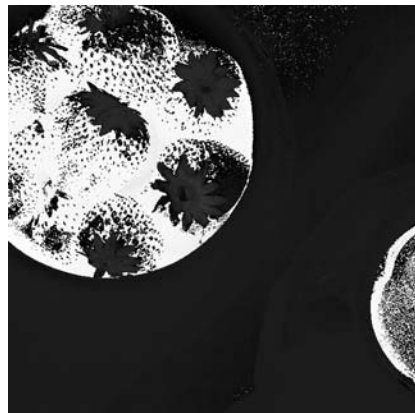
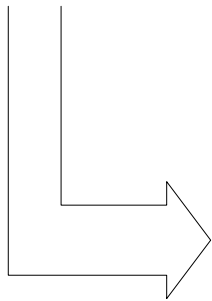
Μία πρακτική οπτική αναπαράσταση για το HSI σύστημα, επιτυγχάνεται εάν περιστρέψουμε τον RGB κύβο έτσι ώστε στον κάθετο άξονα να βρίσκεται η ευθεία που ενώνει τις γωνίες του μαύρου και του άσπρου.



Χρωματικά μοντέλα \ HSI (3)



Κάθε εικόνα αποτελείται από 3 υπο-εικόνες, μία για κάθε συνιστώσα.



Απόχρωση



Καθαρότητα



Ένταση



Χρωματικά μοντέλα \ HSI (4)

Μετατροπές μεταξύ των μοντέλων:

➤ RGB → HIS

$$H = \begin{cases} \theta & \text{εάν } B \leq G \\ 360 - \theta & \text{εάν } B > G \end{cases} \quad \theta = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2}[(R-G) + (R-B)]}{\left[(R-G)^2 + (R-B)(G-B) \right]^{1/2}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \min(R, G, B) \quad I = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

* για την αντίστροφη μετατροπή ανατρέξτε στο βιβλίο «Digital Image Processing», R.C. Gonzalez, R.E. Woods , Addison-Wesley, 2002



Αναπαράσταση της χρωματικής αντίληψης

Η αίσθηση του χρώματος οφείλεται στα κωνία του αμφιβληστροειδούς τα οποία είναι τριών ειδών με φάσματα απορρόφησης $S_1(\lambda)$, $S_2(\lambda)$ και $S_3(\lambda)$ στις περιοχές «κίτρινο-πράσινο», «πράσινο» και «μπλε» αντίστοιχα.

- Peaks των $S_1(\lambda)$, $S_2(\lambda)$ και $S_3(\lambda)$: 630nm, 560 nm, 450 nm

Οι αποκρίσεις των κωνίων σε φώς με χρωματικό περιεχόμενο $C(\lambda)$ δίνονται ως:

$$a_i(C) = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} S_i(\lambda)C(\lambda)d(\lambda), \quad i = 1,2,3$$

Ίδιες φασματικές αποκρίσεις $a_i(C)$ σημαίνουν ίδια αντίληψη χρώματος (ακόμη κι αν στην πραγματικότητα πρόκειται για διαφορετικό $C(\lambda)$)



Αναπαραγωγή χρώματος (1)

- Θεωρούμε τρεις βασικές πηγές φωτός με φασματικό περιεχόμενο $P_k(\lambda)$, $k = 1, 2, 3$ και ενέργεια ίση με 1 η κάθε μία.

Για να συνθέσουμε ένα χρώμα αναμιγνύουμε τα $P_k(\lambda)$ με κατάλληλες αναλογίες β_k . Τότε η υπέρθεση που προκύπτει θα γίνεται αντιληπτή ως $C(\lambda)$, δηλαδή

$$\begin{aligned} a_i(C) &= \int \left[\sum_{k=1}^3 \beta_k P_k(\lambda) \right] S_i(\lambda) d\lambda = \\ &= \sum_{k=1}^3 \beta_k \int S_i(\lambda) P_k(\lambda) d\lambda, \quad i = 1, 2, 3 \end{aligned}$$



Αναπαραγωγή χρώματος (2)

- Η απόκριση του i -οστού είδους κωνίου στην φωτεινή πηγή τύπου k είναι:

$$a_{i,k} \equiv a_i(P_k) = \int S_i(\lambda)P_k(\lambda)d\lambda, \quad i, k = 1,2,3$$

- Οπότε προκύπτουν οι γνωστές ως **color matching equations** :

$$\sum_{k=1}^3 \beta_k a_{i,k} = a_i(C) = \int S_i(\lambda)C(\lambda)d\lambda, \quad i = 1,2,3$$

- Για δεδομένα $C(\lambda)$, $P_k(\lambda)$ και $S_i(\lambda)$, οι ζητούμενες αναλογίες ανάμιξης β_k (τριχρωματικοί συντελεστές) βρίσκονται με λύση του παραπάνω συστήματος
- Για να υπάρχει λύση και να είναι αποδεκτή πρέπει ο πίνακας να είναι αντιστρέψιμος και τα β_k να είναι μη αρνητικά



Επεξεργασίες\Ψευδοχρωματισμός (1)

Ψευδοχρωματισμός ονομάζεται η επεξεργασία εικόνας κατά την οποία αναθέτονται χρώματα σε τιμές του γκρι, σύμφωνα με κάποιο προκαθορισμένο κριτήριο.

Οι ψευδοχρωματισμένες εικόνες είναι καλύτερα και γρηγορότερα ερμηνεύσιμες από τον άνθρωπο.

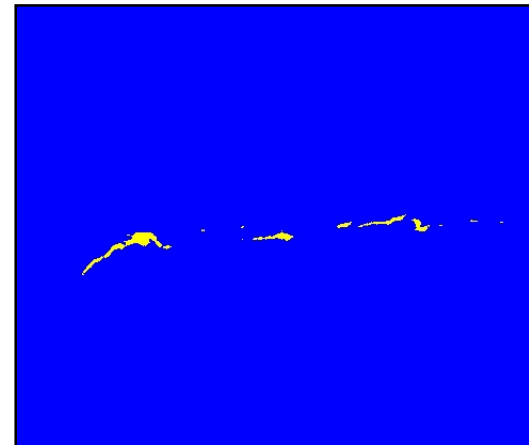
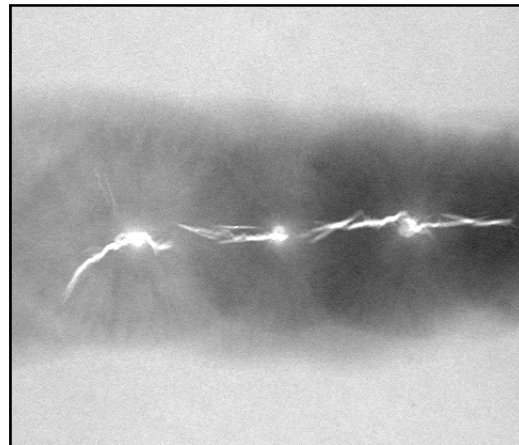


Επεξεργασίες\Ψευδοχρωματισμός (2)

➤ Τεμαχισμός έντασης

Έστω $[0, L - 1]$ τα επίπεδα του γκρι. Ορίζουμε k κατώφλια, $P_i, 1 \leq i \leq p$ και αναθέτουμε χρώματα σύμφωνα με την $f(x, y) = c_k$, όταν $f(x, y) \in [P_{i-1}, P_i]$

Τεμαχισμός με
ένα κατώφλι



Επεξεργασίες\Ψευδοχρωματισμός (3)

- Μετατροπή επιπέδων του γκρι σε χρώματα
Εκτελούμε 3 ανεξάρτητους μετασχηματισμούς στην ασπρόμαυρη εικόνα (π.χ. Φιλτραρίσματα σε διαφορετικές περιοχές χωρικών συχνοτήτων) και αναθέτουμε τα αποτελέσματα στις 3 συνιστώσες μιας RGB εικόνας.

near infrared image
wavelength = 810 nm



visible light image
wavelength = 660 nm



visible light image
wavelength = 560 nm



RGB image



Επεξεργασία Έγχρωμων Εικόνων (1)

Υπάρχουν δύο εναλλακτικές προσεγγίσεις:

1) Επεξεργασία κάθε χρωματικής συνιστώσας χωριστά (με τρόπο ή βάρος που εξαρτάται από το χρωματικό σύστημα, π.χ. RGB, HSI).

Στη συνέχεια κατάλληλη επανασύνθεση της έγχρωμης εικόνας.

2) Απευθείας επεξεργασία των έγχρωμων εικόνων αντιμετωπίζοντας κάθε pixel ως διάνυσμα με τρεις συνιστώσες.



Επεξεργασία Έγχρωμων Εικόνων (2)

- Αρκετές μέθοδοι που έχουν σχεδιαστεί για τη βαθμωτή περίπτωση (μονοχρωματικές εικόνες) μπορούν να επεκταθούν και στη διανυσματική περίπτωση (έγχρωμες εικόνες).
- Δεν παράγουν όμως συνήθως το ίδιο αποτέλεσμα.
- Η διαφορά οφείλεται στην εξάρτηση μεταξύ των συνιστωσών και στη μη γραμμική αντίληψη του χρώματος.



Παράδειγμα: Εξίσωση ιστογράμματος (1)

Κατά την εξίσωση ιστογράμματος, στόχος μας είναι η ομοιόμορφη κατανομή των εντάσεων. Κατά συνέπεια είναι προτιμότερο να χρησιμοποιήσουμε το HIS σύστημα και να μετασχηματίσουμε την I συνιστώσα.



Παράδειγμα: Εξίσωση ιστογράμματος (2)



Αρχική και
εξισωμένη
εικόνα



Η συνιστώσα
έντασης των
εικόνων



Παράδειγμα: Εξίσωση ιστογράμματος (3)

Εξίσωση ιστογράμματος μπορεί να γίνει και στο RGB σύστημα, εάν επεξεργαστούμε ξεχωριστά την κάθε συνιστώσα.

Σε αυτή την περίπτωση όμως, εκτός από την φωτεινότητα επηρεάζονται και τα χρώματα.



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

