



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Υπολογιστών

Διδάσκων: ΤΡΙΓΚΑ ΜΑΡΙΑ

Διάλεξη 12η

Ακαδημαϊκό έτος 2024-2025

Θεωρία Χρώματος
και
Επεξεργασία Έγχρωμων
Εικόνων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- 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.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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.

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

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

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

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

ΘΕΩΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

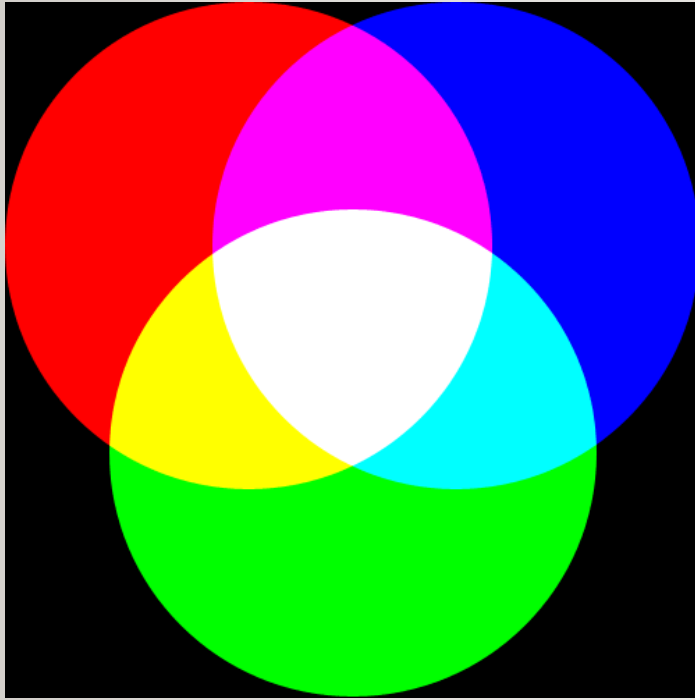
Βασικά (primary) χρώματα:

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

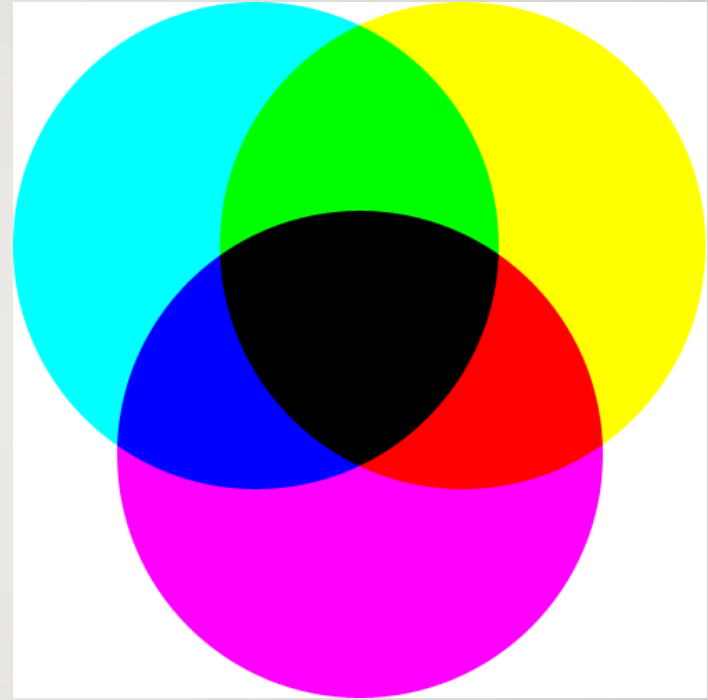
Συμπληρωματικά (secondary) χρώματα:

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

ΘΕΩΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ



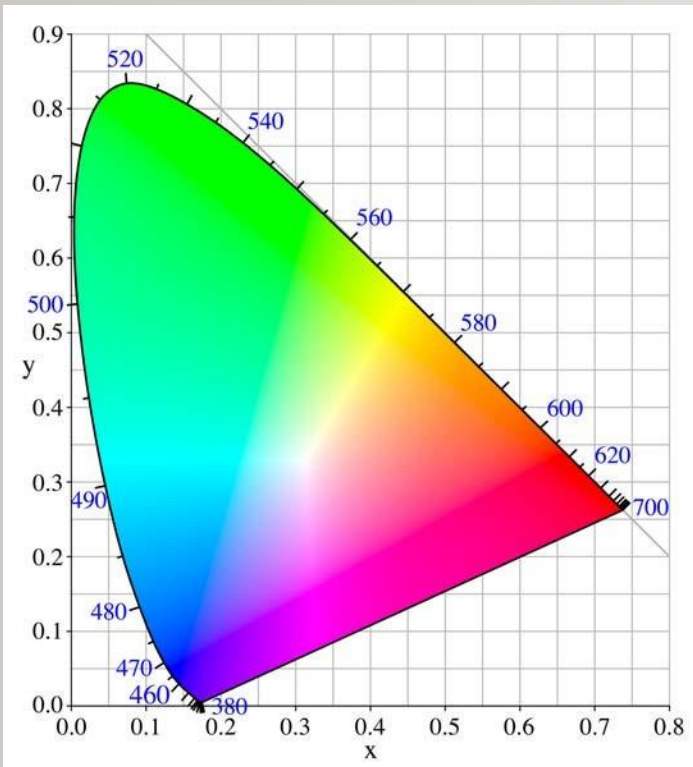
Βασικά χρώματα



Συμπληρωματικά
χρώματα

ΘΕΩΡΙΑ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Το χρωματικό διάγραμμα προτάθηκε από την CIE *

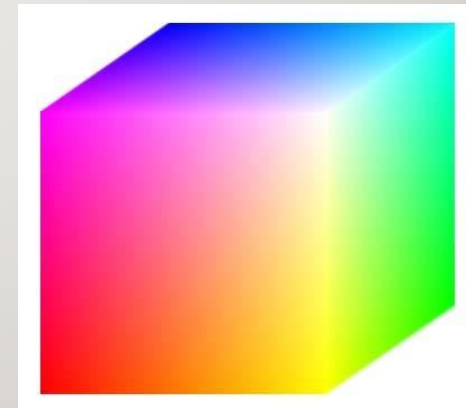
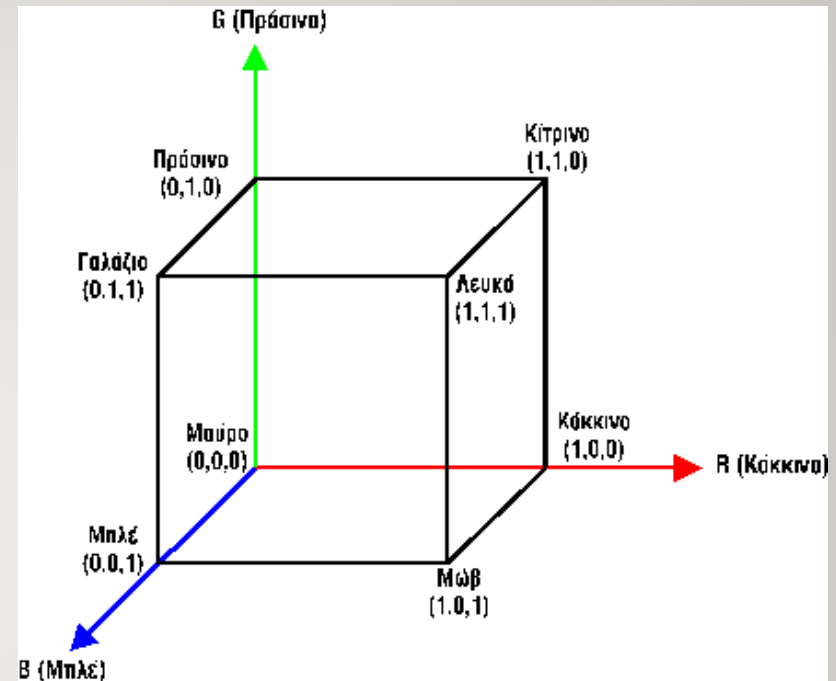


* CIE: Commision Internationale de l'Eclairage (International Commission of Illumination)

- $x=R, y=G, z=B, z=1-(x+y)$
- 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 χρωμάτων)

ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ \ RGB

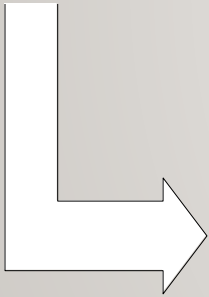
- Στο μοντέλο RGB, τα χρώματα θεωρούνται προσμίξεις των βασικών χρωμάτων Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε.
- Το μοντέλο βασίζεται στο καρτεσιανό σύστημα και αναπαρίσταται με τον RGB κύβο.
- Χρησιμοποιείται στην απεικόνιση χρωμάτων στις οθόνες και γενικά στα συστήματα απεικόνισης.



ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\RGB



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



Κόκκινο



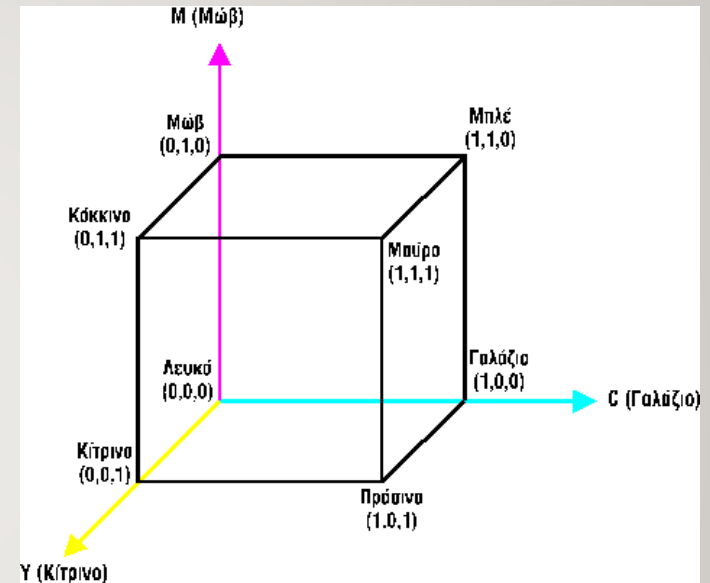
Πράσινο



Μπλε

ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\CMY & CMYK

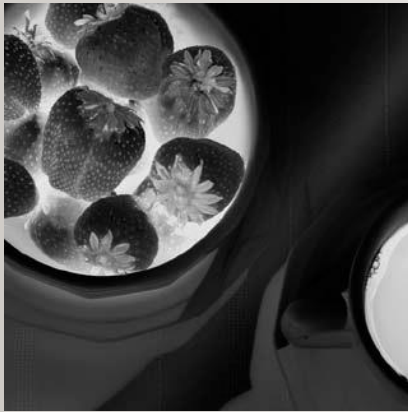
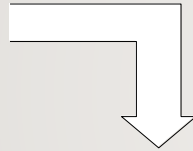
- Στο CMY μοντέλο, τα χρώματα θεωρούνται προσμίξεις των συμπληρωματικών χρωμάτων Κυανό, Μωβ, Κίτρινο.
- Το μοντέλο αυτό είναι αντίστοιχο με το RGB και χρησιμοποιείται στην έγχρωμη εκτύπωση. Στην πράξη προστίθεται επιπλέον το μαύρο χρώμα για καλύτερα οπτικά αποτελέσματα.



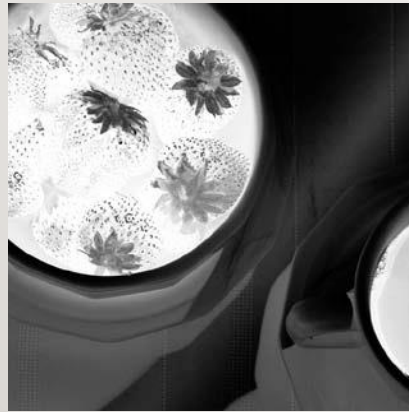
ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\CMY & CMYK



Κάθε εικόνα αποτελείται
από 4 υπο-εικόνες.



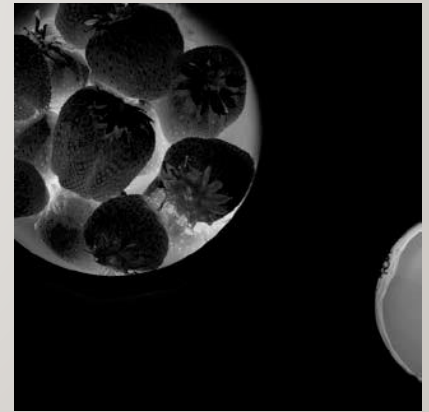
Κυανό



Μωβ



Κίτρινο



Μαύρο

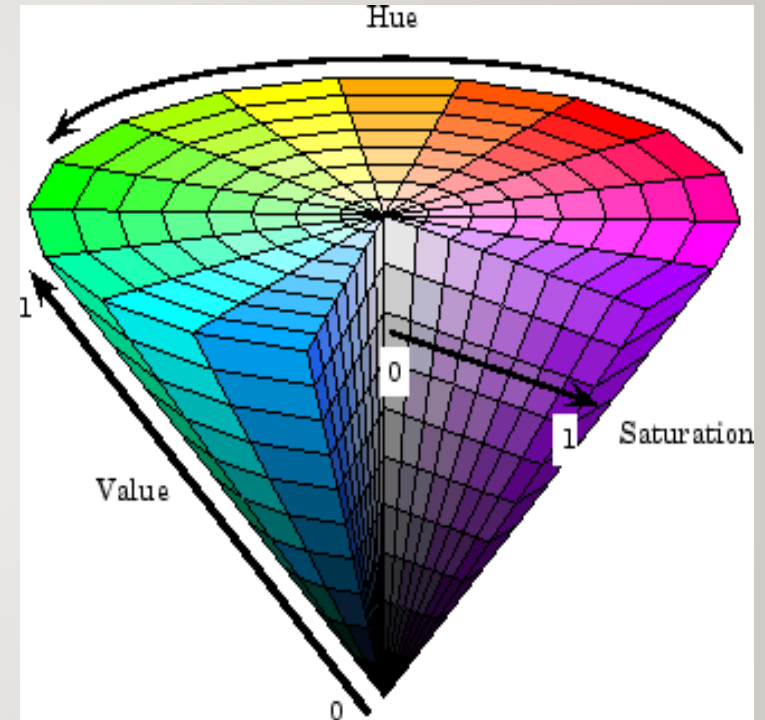
ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\CMY & CMYK

Η μετατροπή μεταξύ των δύο μοντέλων γίνεται ως εξής:

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

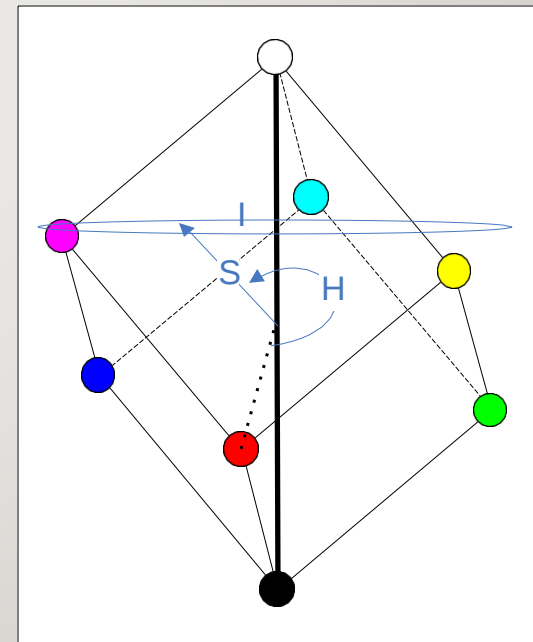
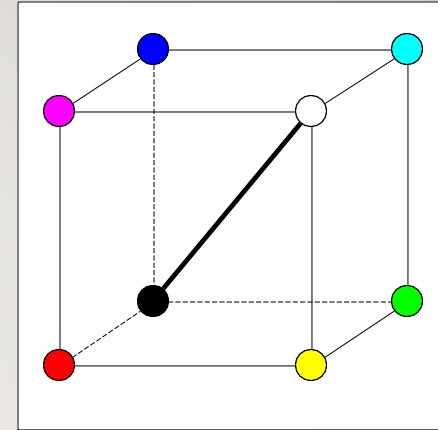
ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\HSI

- 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.



ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\HSI

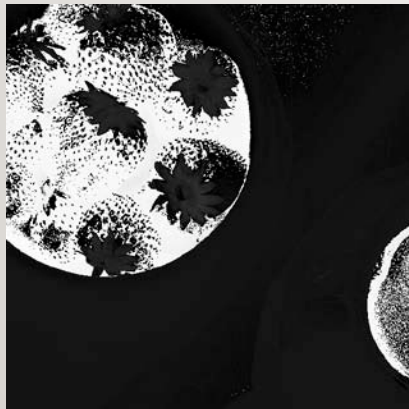
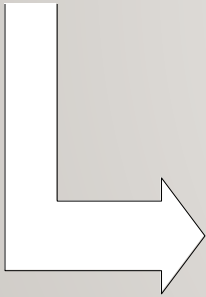
Μία πρακτική οπτική αναπαράσταση για το HSI σύστημα, επιτυγχάνεται εάν περιστρέψουμε τον RGB κύβο έτσι ώστε στον κάθετο άξονα να βρίσκεται η ευθεία που ενώνει τις γωνίες του μαύρου και του άσπρου.



ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\ΗΣΙ



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



Απόχρωση



Καθαρότητα



Ένταση

ΧΡΩΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ\HSI

Μετατροπές μεταξύ των μοντέλων:

➤ RGB → HSI

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

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

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

ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ

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 $C(\lambda)$)

ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

- 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

➤ 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

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ\ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ

- 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.

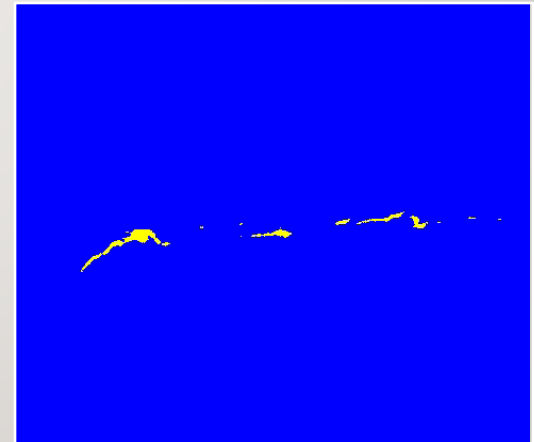
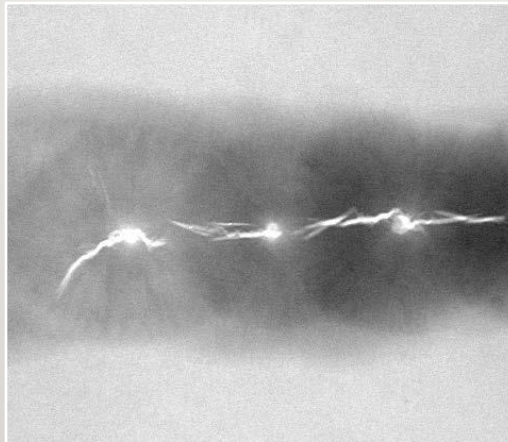
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ - ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ

➤ Τεμαχισμός έντασης

Έστω $[0, L-1]$ τα επίπεδα του γκρι. Ορίζουμε κατώφλια, $P_i, 1 \leq i \leq p$ και αναθέτουμε

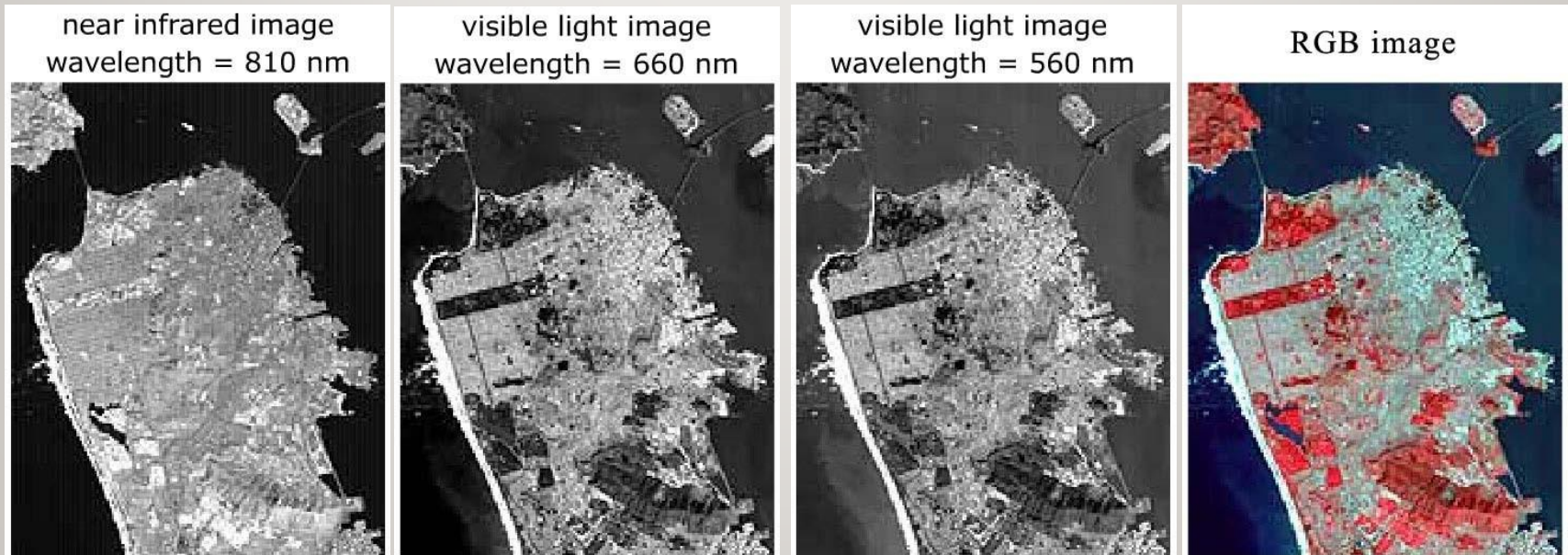
χρώματα σύμφωνα με την $f(x, y) = c_k$, όταν
 $f(x, y) \in [P_{i-1}, P_i]$

Τεμαχισμός με
ένα κατώφλι



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΨΕΥΔΟΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ

- 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.



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΕΞΙΣΩΣΗ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΕΞΙΣΩΣΗ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ



Αρχική και
εξισωμένη
εικόνα



Η συνιστώσα
έντασης των
εικόνων



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΕΣ-ΕΞΙΣΩΣΗ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

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.

