

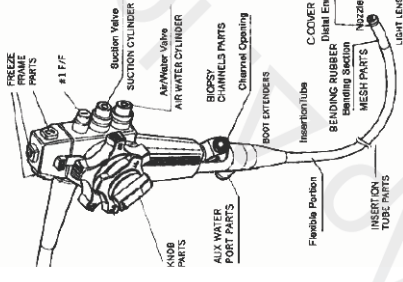
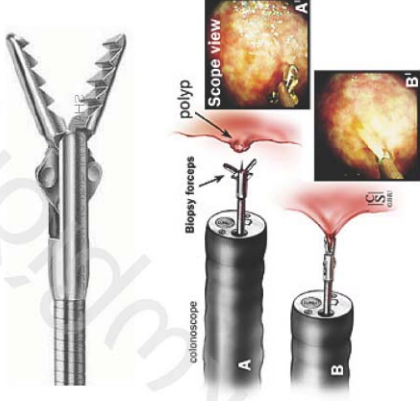
Επεξεργασία & Ανάλυση Βιοϊατρικών Εικόνων

Έγχρωμες Εικόνες

Δρ. Δημήτρης Ιακωβίδης

Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Συμβατική ενδοσκοπία
 - Γαστρεντερικό σύστημα



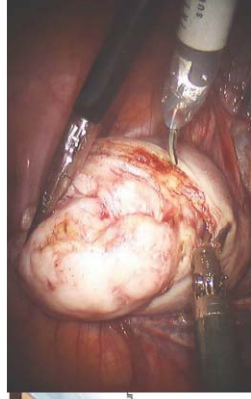
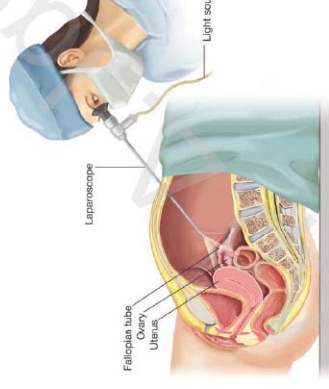
Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Ενδοσκοπία κάψουλας
 - Γαστρεντερικό σύστημα



Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Ενδοσκοπία
 - Λαπαροσκόπηση
 - Λαρυγγοσκόπηση
 - Άλλες ενδοσκοπικές



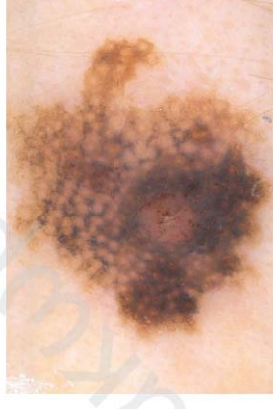
Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Οφθαλμοσκοπία



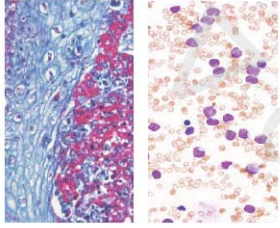
Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Δερμοσκοπία
– Μελάνωμα κ.α. δερματοπάθειες



Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Μικροσκοπία
 - Ιστολογικές
 - Αιματολογικές...



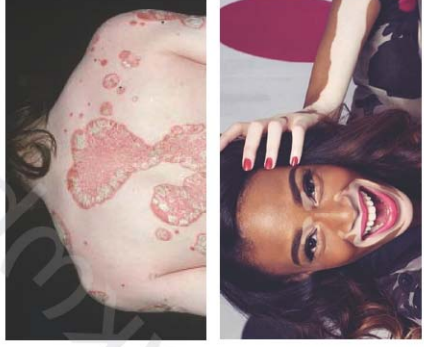
Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Βιολογία
 - DNA Microarrays



Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Απλές φωτογραφίες
 - Ασθένεια, ψωρίαση, λεύκη



Έγχρωμες βιοϊατρικές εικόνες

- Απλές φωτογραφίες
 - Αξιολόγηση ακμής
 - Αξιολόγηση ρυτίδων

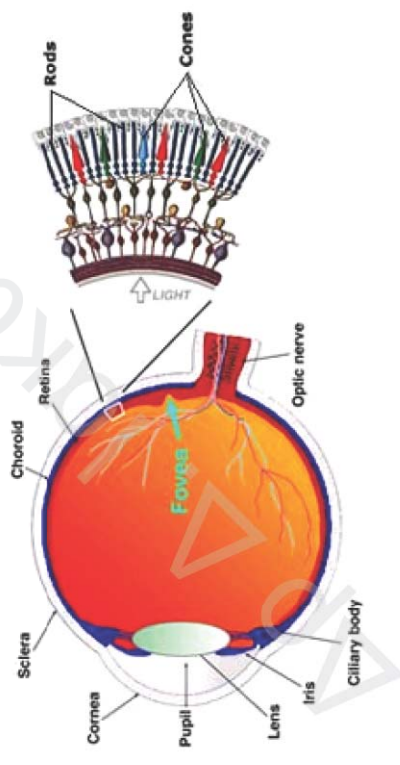


Το χρώμα θέλει φως !



Η αίσθηση του χρώματος

- Κωνία και ραβδία: Οι φυσικοί αισθητήρες χρώματος
 - Φωτοευσίσθητα κύτταρα του αμφιβληστροειδή χιτώνα (φωτο-υποδοχείς).



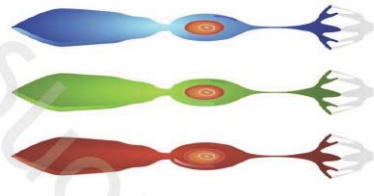
Ραβδία (Rodes)

- 120-140 εκατομμύρια
- Υπεύθυνα για την όραση σε χαμηλό φωτισμό
- Τη νύχτα βλέπουμε αποχρώσεις του γκριζου !

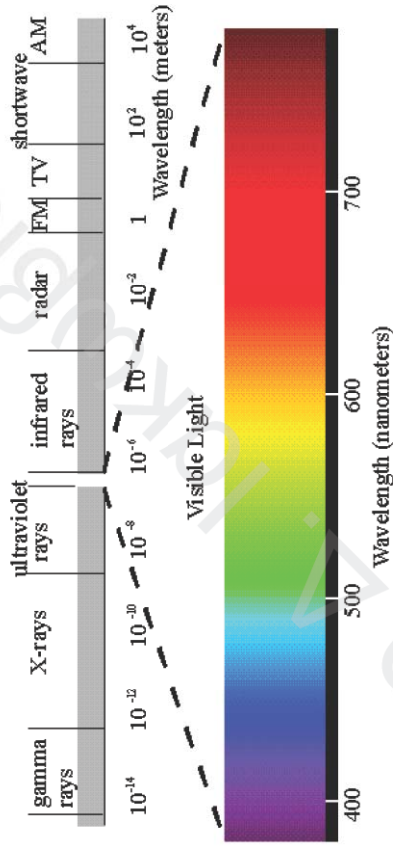


Κωνία (Cones)

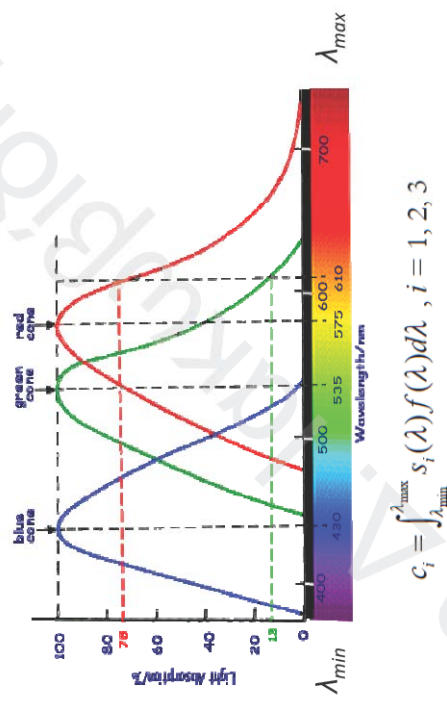
- 6-7 εκατομμύρια
 - 64% ευαίσθητα στο κόκκινο φως
 - 32% ευαίσθητα στο πράσινο φως
 - 2% ευαίσθητα στο μπλέ φως
- Υπεύθυνα για την έγχρωμη όραση



Φάσμα η/μ ακτινοβολίας



Απόκριση στην η/μ ακτινοβολία



$$c_i = \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} s_i(\lambda) f(\lambda) d\lambda, \quad i = 1, 2, 3$$

Η απόκριση των φωτοχρωστικών c_i συνάρτησε της ευαισθησίας s_i και της φασματικής κατανομής f του φωτός που προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή.

Υποχώρος οπτικού συστήματος

- Human Visual Subspace (HVSS)

- Δειγματοληπώντας την $f(\lambda)$ ομοίμορφα σε N σημεία του διαστήματος $[\lambda_{min}, \lambda_{max}]$ λαμβάνεται ένας τρισδιάστατος χώρος απεικόνισης των διαφορετικών χρωμάτων.

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{1\lambda_1} & s_{1\lambda_2} & s_{1\lambda_3} & s_{1\lambda_4} & \dots & s_{1\lambda_N} \\ s_{2\lambda_1} & s_{2\lambda_2} & s_{2\lambda_3} & s_{2\lambda_4} & \dots & s_{2\lambda_N} \\ s_{3\lambda_1} & s_{3\lambda_2} & s_{3\lambda_3} & s_{3\lambda_4} & \dots & s_{3\lambda_N} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_{\lambda_1} \\ f_{\lambda_2} \\ f_{\lambda_3} \\ f_{\lambda_4} \\ \dots \\ f_{\lambda_N} \end{pmatrix}$$

$$C = S \cdot F$$

Υποχώρος οπτικού συστήματος

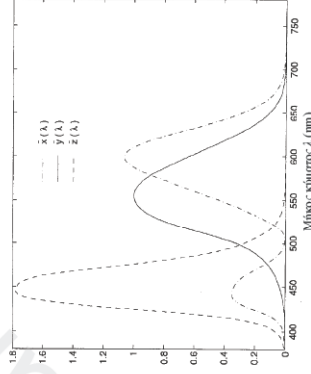
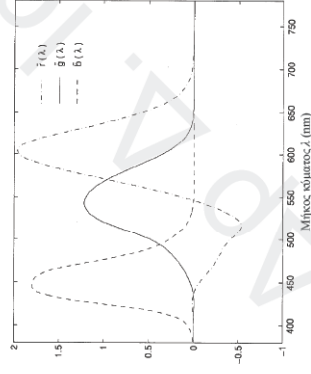
$$C = S \cdot F$$

Διάγραμμα τριδιέγερσης
(tristimulus vector)

Πίνακας τιμών συναρτήσεων χρωματικής ταύτισης
(color matching functions, CMF)

Τυποποίηση CMF

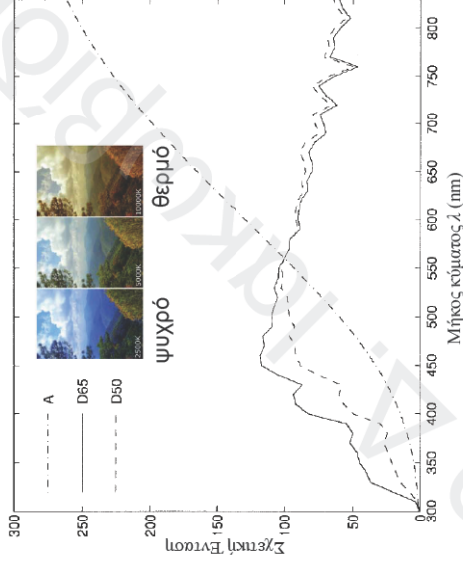
- Οργανισμός τυποποίησης
 - Commission Internationale de l'Éclairage (CIE)
 - International Commission on Illumination
- Πρώτες τυποποιημένες CMF
 - CIE-RGB (αριστερά), CIE-XYZ (δεξιά)



Τυποποίηση F

- Η φασματική κατανομή του φωτός που προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή εξαρτάται από την πηγή του φωτός.
- Τυποποιημένες πηγές φωτός
 - D50 (φως ημέρας, που αντιστοιχεί σε «ψυχρό» φωτισμό)
 - D65 (φως ημέρας, που αντιστοιχεί στο «θερμό» φωτισμό)
 - A (προσεγγίζει φως λαμπτήρων πυράκτωσης)
- Στην τηλεόραση και σε εφαρμογές ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, συνήθως ο D65.

Τυποποίηση F



Αφού προς τα δεξιά μετακινούμαστε προς το κόκκινο όσο πιο δεξιά είναι η κορυφή που παρουσιάζει ο λευκός φωτισμός τόσο πιο «θερμό» είναι το χρώμα του. Ενώ αριστερά πάει περισσότερο προς το μπλε «ψυχρός» φωτισμός.

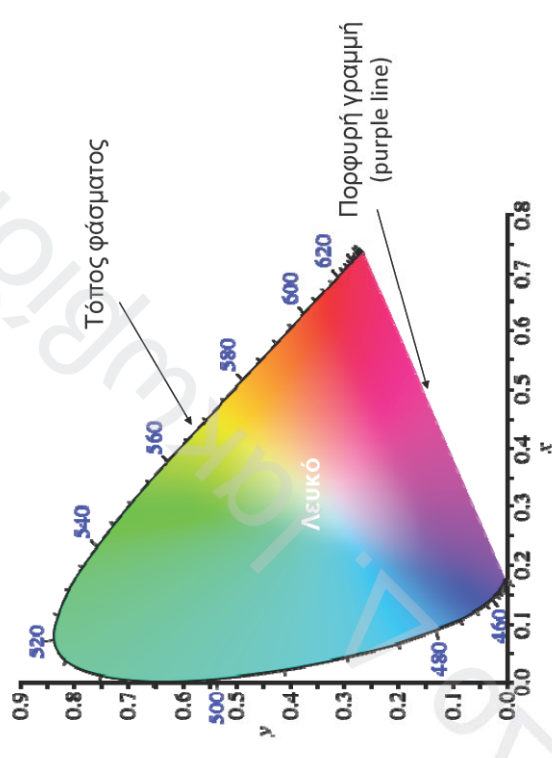
Χρωματικός Χώρος

- Η οργάνωση των χρωμάτων σε έναν τρισδιάστατο χώρο, όπως με τη χρήση των αντισμάτων τριδιάμερης, ονομάζεται **χρωματικός χώρος** (*color space*)
- Απεικόνιση χρωματικού χώρου από 3D→2D
 - π.χ. του χρωματικού χώρου XYZ
 - χρησιμοποιώντας τις «χρωματικότητες» (chromaticities) x, y
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$
 - όπου $x + y + z = 1$, δηλαδή η τιμή του $z = Z / (X+Y+Z)$ προκύπτει ως $z = 1 - x - y$,
 - Ομοίως προκύπτουν οι χρωματικότητες για τον RGB.

Χρωματικός Χώρος XYZ

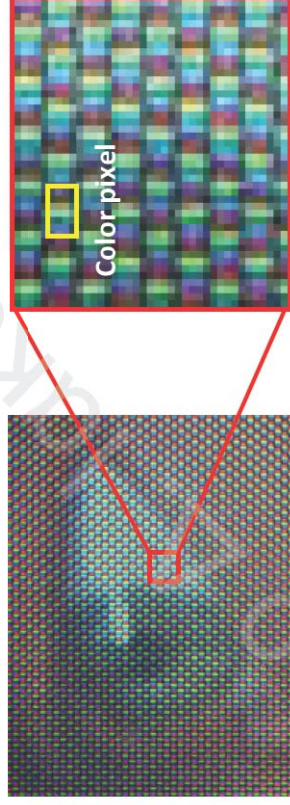
- Προέκυψε από πειράματα των William David Wright και John Guild για την τυποποίηση του RGB.
- Περιγράφει τα χρώματα όπως τα βλέπει ένας τυπικός παρατηρητής (standard observer)
- Ο τυπικός παρατηρητής ορίζεται βάσει της γωνίας που προσπίπτει το φως στον αμφιβληστροειδή (2°)
- Ερμηνεία XYZ
 - Y φωτεινότητα (luminance)
 - Z μπλε (κατά προσέγγιση)
 - X γραμμικός συνδυασμός των αποκρίσεων των κωνίων για να προκύπτει μη αρνητική τιμή

Διάγραμμα χρωματικότητων

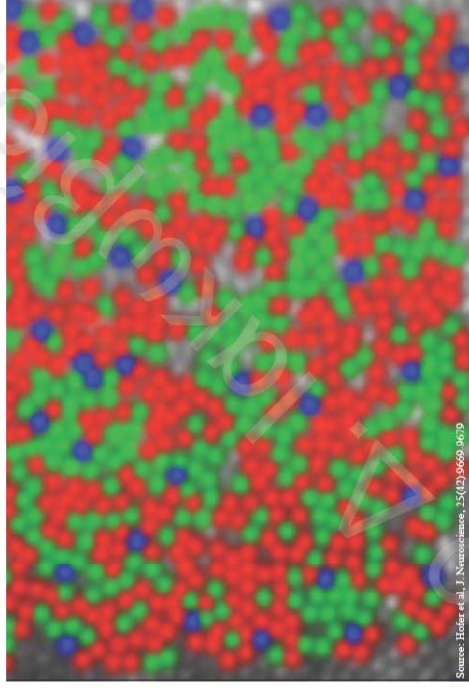


Χρωματικός Χώρος RGB

- Εμπνευσμένος από το ανθρώπινο σύστημα αίσθησης των χρωμάτων
- Χρησιμοποιείται ευρέως σε ηλεκτρονικές συσκευές



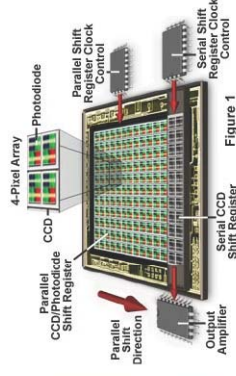
Χρωματικός Χώρος RGB



Human Cone Array

Χρωματικός Χώρος RGB

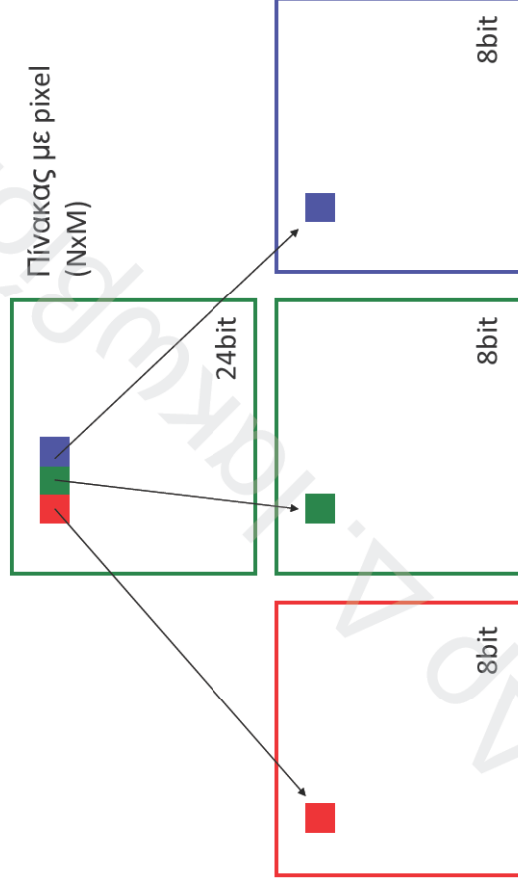
- Τεχνητοί οπτικοί αισθητήρες



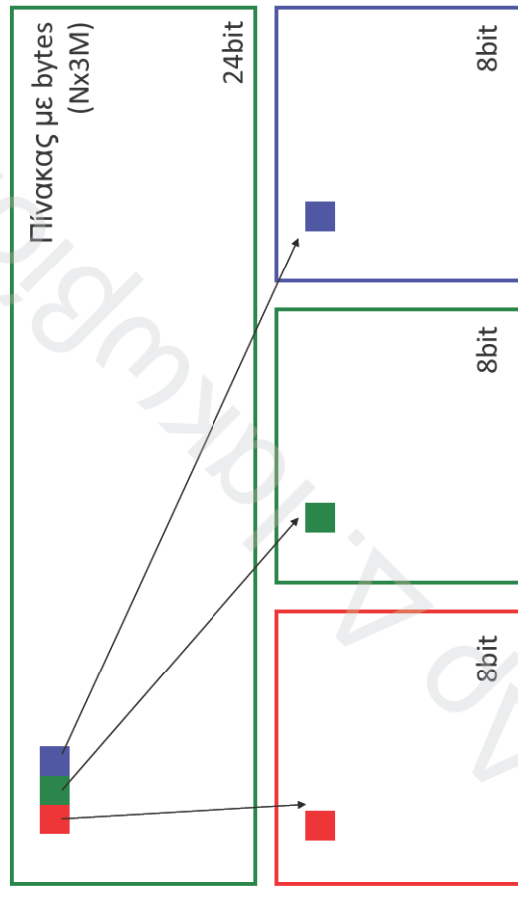
Τεχνολογίες αισθητήρων RGB

- Charged Coupled Device (CCD)
 - Εικόνες καλύτερης ποιότητας
 - Πιο αργά
 - Μεγαλύτερη κατανάλωση
 - Ακριβότεροι
- Complementary Metal–Oxide–Semiconductor (CMOS)
 - Περισσότερος θόρυβος
 - Πιο γρήγοροι
 - Μικρότερη κατανάλωση
 - Φθηνότεροι

Χρωματικά κανάλια/μπιτάντες

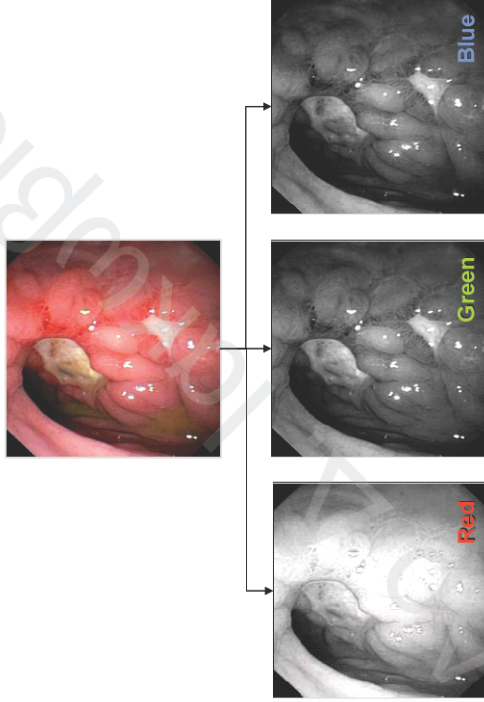


Χρωματικά κανάλια/μπιτάντες



Μειονεκτήματα του RGB

1. Μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στις R,G,B συνιστώσες



Συσχέτιση

- Pearson's correlation coefficient

$$r = r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

- Ενδεικτικά
 - $C_{BR} = 75\%$
 - $C_{RG} = 98\%$
 - $C_{BG} = 94\%$

(Palus, 1998)

Μειονεκτήματα του RGB

2. Βασίζεται στον τρόπο αίσθησης και όχι αντίληψης των χρωμάτων από τον άνθρωπο.

- Ο άνθρωπος δεν αντιλαμβάνεται τα χρώματα ως τριάδες π.χ. δεν αντιλαμβάνεται τι χρώμα είναι το (30, 20, 86)
- Ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τα χρώματα διαφορετικά π.χ. κόκκινο, πράσινο, πολύ/λίγο χρωματιστό, ανοικτό/σκούρο χρώμα



Μειονεκτήματα του RGB

3. Εξαρτάται από τη συσκευή που χρησιμοποιείται

π.χ. η ίδια τριάδα RGB μπορεί να διαφέρει λίγο στο χρώμα που αποδίδει σε διαφορετικές οθόνες!



Ταξινομήσεις χρωματικών χώρων

- Γραμμικοί (linear) ή μη γραμμικοί (non-linear) μετασχηματισμοί του RGB
- Ανταγωνιστικοί (opponent)
- Φαινόμενοι (phenomenal)
- Αντιληπτικά ομοιόμορφοι (perceptually uniform)
- Χρωματικοί χώροι βασισμένοι στις ανάγκες εφαρμογών

Αντιληπτικοί

Γραμμικοί μετασχηματισμοί

$$\begin{pmatrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{11} & a_{11} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$
$$K = A \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Πίνακας μετασχηματισμού

Γραμμικοί μετασχηματισμοί

- Μετασχηματισμός RGB \rightarrow XYZ

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.412 & 0.357 & 0.180 \\ 0.212 & 0.715 & 0.072 \\ 0.019 & 0.119 & 0.950 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Μη γραμμικοί μετασχηματισμοί

- Όσοι δε μπορούν να προκύψουν με γραμμικό μετασχηματισμό (όπως στις προηγούμενες διαφάνειες)
- Παραδείγματα (εξηγούνται παρακάτω)
 - HSV
 - CIE-Lab

Ανταγωνιστικοί χρωματικοί χώροι

- Στηρίζονται στη θεωρία των ανταγωνιστικών χρωμάτων (opponent colors) που προτάθηκε από τον Hering στα τέλη του 19ου αιώνα.
- Στο οπτικό σύστημα του ανθρώπου το διάγραμμα τριδιέγερσης RGB μετασχηματίζεται σε ένα άνυσμα ανταγωνιστικών χρωμάτων.
- Το άνυσμα αυτό, έχει
 - Μια αχρωματική συνιστώσα **άσπρου-μαύρου**
 - Μια χρωματική συνιστώσα **κόκκινου-πράσινου**
 - Μια χρωματική συνιστώσα **κίτρινου-γαλάζιου**.

Ανταγωνιστικοί χρωματικοί χώροι

- Παράδειγμα $O_1O_2O_3$
 - O_1 φωτεινότητα $(R+G+B)/3$
 - O_2 G-R
 - O_3 B-Yellow, $Yellow=(R+G)/2$
- Γραμμικός μετασχηματισμός
 - $A=;$

Ανταγωνιστικοί χρωματικοί χώροι

- Παράδειγμα $O_1 O_2 O_3$
 - O_1 φωτεινότητα $(R+G+B)/3$
 - O_2 G-R
 - O_3 B-Yellow, $\text{Yellow}=(R+G)/2$

- Γραμμικός μετασχηματισμός

$$\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -1 & 1 & 0 \\ -1/2 & -1/2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad \underbrace{\hspace{10em}}_A$$

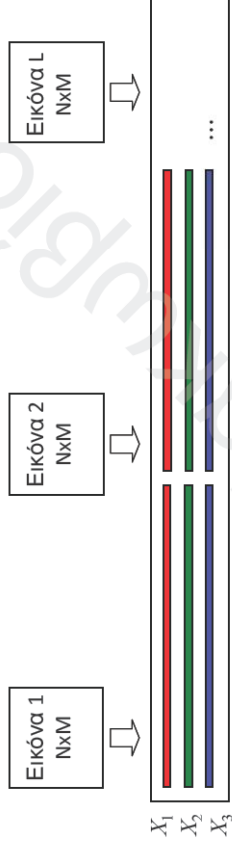
Ανταγωνιστικοί χρωματικοί χώροι

- Παράδειγμα $I_1 I_2 I_3$ (Ohta's)
 - Κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας Principal Component Analysis (PCA) με στόχο οι συνιστώσες του να είναι στατιστικά ασυσχέτιστες.
 - I_1 Μεγαλύτερη διακύμανση (φωτεινότητα)
 - I_2 Μικρότερη διακύμανση
 - I_3 Ακόμα πιο μικρή διακύμανση

- Γραμμικός μετασχηματισμός

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Υπολογισμός του Χρωματικού Χώρου του Οhta με PCA



Πίνακας X διάστασης $3 \times (N \cdot M \cdot L)$

$$\downarrow \quad \Sigma_{ij} = \text{cov}(X_i, X_j) = \mathbb{E}[(X_i - \mu_i)(X_j - \mu_j)]$$

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \mathbb{E}[(X_1 - \mu_1)(X_1 - \mu_1)] & \mathbb{E}[(X_1 - \mu_1)(X_2 - \mu_2)] & \dots & \mathbb{E}[(X_1 - \mu_1)(X_n - \mu_n)] \\ \mathbb{E}[(X_2 - \mu_2)(X_1 - \mu_1)] & \mathbb{E}[(X_2 - \mu_2)(X_2 - \mu_2)] & \dots & \mathbb{E}[(X_2 - \mu_2)(X_n - \mu_n)] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbb{E}[(X_n - \mu_n)(X_1 - \mu_1)] & \mathbb{E}[(X_n - \mu_n)(X_2 - \mu_2)] & \dots & \mathbb{E}[(X_n - \mu_n)(X_n - \mu_n)] \end{bmatrix}$$

Υπολογισμός του Χρωματικού Χώρου του Οhta με PCA

- Υπολογισμός ιδιοτιμών λ_i και ιδιοδιανυσμάτων v_i του Σ

$$\det(\Sigma - \lambda_i I) = 0 \Rightarrow \lambda_i$$

$$(\Sigma - \lambda_i I)v_i = 0 \Rightarrow v_i$$

- Επιλέγουμε τις τρεις μεγαλύτερες ιδιοτιμές

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$$

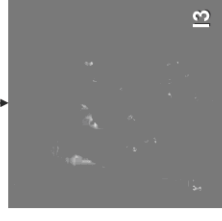
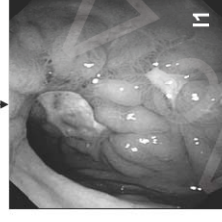
- Η μεγαλύτερη ιδιοτιμή αντιστοιχεί στο κανάλι της μετασχηματισμένης εικόνας που έχει μεγαλύτερη διακύμανση.

Υπολογισμός του Χρωματικού Χώρου του Ohta με PCA

- Τα ιδιοδιανύσματα που αντιστοιχούν στις $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ σχηματίζουν έναν πίνακα A που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πίνακας μετασχηματισμού του RGB

$$A^T = \begin{pmatrix} \nu_{\lambda_1 1} & \nu_{\lambda_2 1} & \nu_{\lambda_3 1} \\ \nu_{\lambda_1 2} & \nu_{\lambda_2 2} & \nu_{\lambda_3 2} \\ \nu_{\lambda_1 3} & \nu_{\lambda_2 3} & \nu_{\lambda_3 3} \end{pmatrix} \longrightarrow K = A \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

Παράδειγμα



Αντιληπτικός χρωματικός χώρος

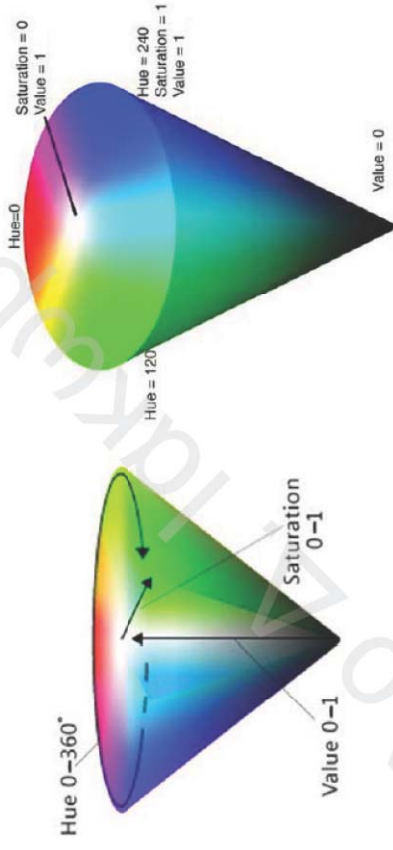
- Φαινόμενοι
 - Σχηματίζονται από συνιστώσες φωτεινότητας, απόχρωσης και κορεσμού
- Αντιληπτικά ομοιόμορφοι
 - Η ίδια αλλαγή των τιμών ενός χρώματος προκαλεί ίδια αλλαγή στο χρώμα όπως το αντιλαμβανόμαστε, σε όποιο σημείο του χρωματικού χώρου και αν βρισκόμαστε.

Φαινόμενοι χρωματικοί χώροι

- Έχουν συνιστώσες φωτεινότητας, απόχρωσης και κορεσμού
 - HSV, HSI, HSB, HSL
- Διαφορετικοί χαρακτηρισμοί της φωτεινότητας με μικρές διαφορές
 - I Intensity (ένταση)
 - V Value (τιμή)
 - L Lightness (φωτεινότητα)
 - B Brightness (φωτεινότητα)
- Απόχρωση, δηλ. τι χρώμα έχει ένα εικονοστοιχείο.
 - H Hue
- Κορεσμός χρώματος, δηλ. πόσο χρώμα ένα εικονοστοιχείο
 - S Saturation

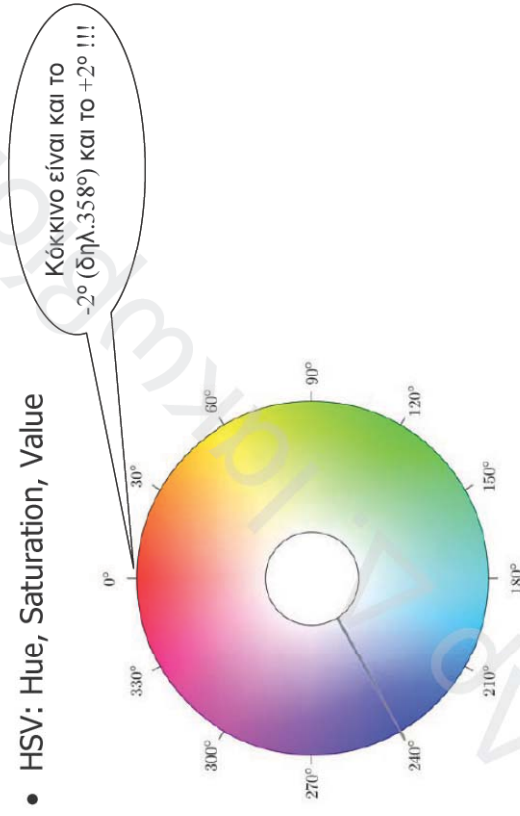
Φαινόμενοι χρωματικού χώρου

- HSV: Hue, Saturation, Value



Φαινόμενοι χρωματικού χώρου

- HSV: Hue, Saturation, Value



Φαινόμενοι χρωματικού χώρου

- HSV: Hue, Saturation, Value

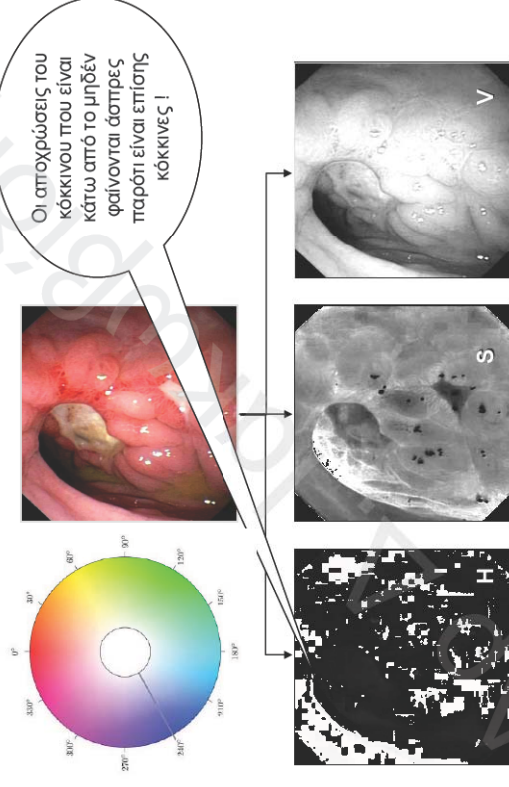
Let $C = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$.

$V = \max(R, G, B)$

$$S = \begin{cases} \frac{C}{V} & \text{if } V \neq 0 \\ 0 & \text{if } V = 0 \end{cases}$$

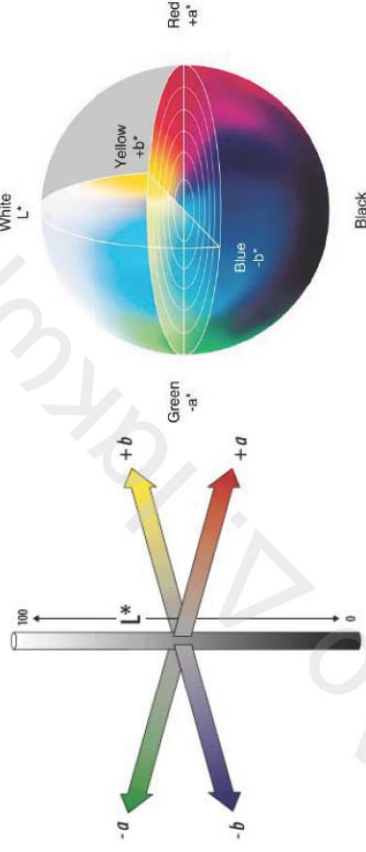
$$H = \frac{1}{6} * \begin{cases} \frac{G - B}{C} \text{ mod } 6 & \text{if } \max(R, G, B) = R \\ \frac{B - R}{C} + 2 & \text{if } \max(R, G, B) = G \\ \frac{R - G}{C} + 4 & \text{if } \max(R, G, B) = B \end{cases}$$

Παράδειγμα



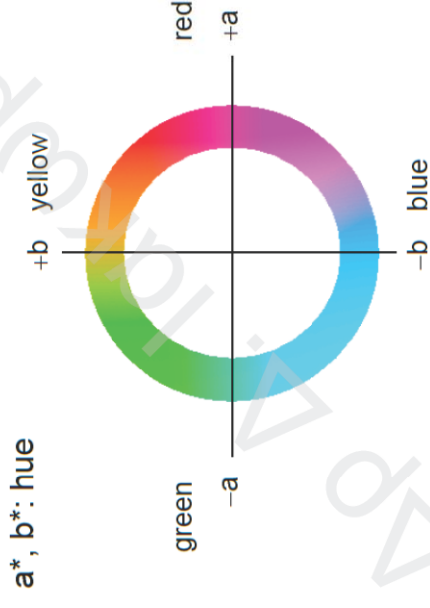
Αντιληπτικά ομοιόμορφοι Χρωματικοί χώροι

- CIE-Lab ή $L^*a^*b^*$: Lightness, color opponents



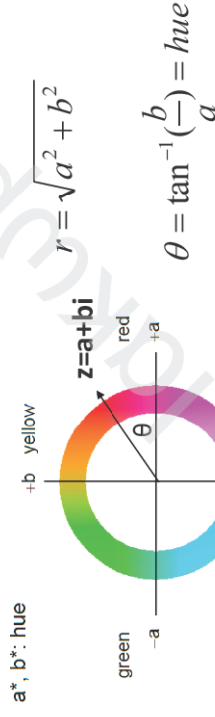
Αντιληπτικά ομοιόμορφοι Χρωματικοί χώροι

- CIE-Lab ή $L^*a^*b^*$: Lightness, color opponents



Αντιληπτικά ομοιόμορφοι Χρωματικοί χώροι

- CIE-Lab ή $L^*a^*b^*$: Lightness, color opponents



Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το $a-b$ είναι μιγαδικό επίπεδο στο οποίο απεικονίζονται μιγαδικοί $z=a+bi=re^{i\theta}$. Επομένως η απόχρωση (hue), η οποία φέρει καθαρά χρωματική πληροφορία μπορεί να προκύψει λαμβάνοντας τη φάση θ του μιγαδικού z .

Αντιληπτικά ομοιόμορφοι Χρωματικοί χώροι

- CIE-Lab ή $L^*a^*b^*$: Lightness, color opponents

Πρώτα RGB→XYZ
Κατόπιν,

$$L^* = \begin{cases} 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16, Y/Y_n > 0.008856 \\ 903.3 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n}\right), Y/Y_n \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$a^* = 500 [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)]$$

$$b^* = 200 [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3}, t > 0.008856 \\ 7.787 \cdot t + 16/116, t \leq 0.008856 \end{cases}$$

Για το λευκό αναφοράς D65 είναι $X_n = 95.047, Y_n = 100.000, Z_n = 108.883$

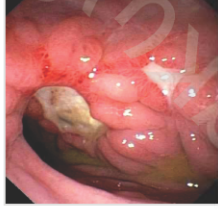
Αντιληπτικά ομοιόμορφοι χρωματικοί χώροι

- CIE-Lab ή $L^*a^*b^*$: Lightness, color opponents
- Η διαφορά ανάμεσα σε δύο χρώματα μετράται με την ευκλείδεια απόσταση:

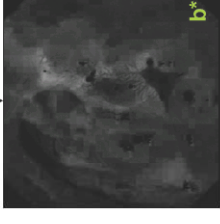
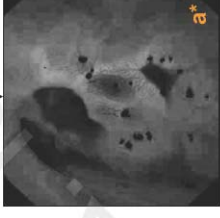
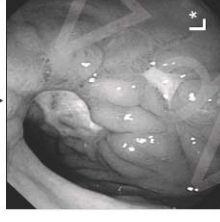
$$\Delta = \sqrt{(L - L')^2 + (a - a')^2 + (b - b')^2}$$

- Παράδειγμα ως προς την αντιληπτική ομοιομορφία:
<http://www.digitaldesignacademy.com/color-theory/lesson-3-perceptually-uniform-color-space>

Παράδειγμα



Σχεδόν ασυσχέτιστα
χρωματικά κανάλια



Χρωματικοί χώροι

για τις ανάγκες εφαρμογών

- CMYK: Cyan, Magenta, Yellow, black

- $R' = R/255$
- $G' = G/255$
- $B' = B/255$
- $K = 1 - \max(R', G', B')$
- $C = (1 - R' - K) / (1 - K)$
- $M = (1 - G' - K) / (1 - K)$
- $Y = (1 - B' - K) / (1 - K)$



Χρωματικοί χώροι

για τις ανάγκες εφαρμογών

- ΥΙQ / YUV: NTSC / PAL σήμα αναλογικής τηλεόρασης
 - Y: Φωτεινότητα (σήμα ασπρόμαυρων τηλεοράσεων)
 - I, Q: Χρωματική πληροφορία που αποστέλλεται με χαμηλότερο εύρος ζώνης

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.586 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Y' \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.51499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



Χρωματικοί χώροι για τις ανάγκες εφαρμογών

- sRGB: standard RGB
 - Προτυποποιήθηκε από τη Microsoft και την HP για χρήση σε monitors, internet κλπ.
 - Ορίζεται συναρτήσει του XYZ χώρου.
 - Σε δεύτερο βήμα θέλει διόρθωση.

$$\begin{bmatrix} R_{linear} \\ G_{linear} \\ B_{linear} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

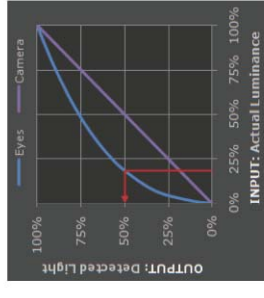
C = R ή G ή B

$$C_{srgb} = \begin{cases} 12.92C_{linear}, & C_{linear} \leq 0.0031308 \\ (1 + a)C_{linear}^{1/2.4} - a, & C_{linear} > 0.0031308 \end{cases}$$



Διόρθωση γ

- Αποσκοπεί στη διόρθωση των αποχρώσεων που βλέπουμε στα ηλεκτρονικά μέσα ώστε να ταιριάζουν περισσότερο με τις φυσικές αποχρώσεις.
- Η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι τεχνητοί αισθητήρες έχουν γραμμική απόκριση στο προσπίπτον φως,
 - Π.χ. αν πέσει δυο φορές περισσότερο φως θα παρανει δυο φορές ισχυρότερο σήμα.
- Ο χώρος sRGB είναι διορθωμένος με $\gamma=2.2$.



Διόρθωση γ

- Θεωρώντας εικόνα με βάθος χρώματος 8bit ανά κανάλι τότε η τιμή κάθε εικονοστοιχείου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I' = 255 \times \left(\frac{I}{255} \right)^{1/\gamma}$$

- Οι τιμές του γ εξαρτώνται από την εφαρμογή, ενδεικτικά αναφέρεται το εύρος 0.01 to 7.99

Διόρθωση γ

- Στις έγχρωμες εικόνες η διόρθωση εφαρμόζεται σε κάθε κανάλι του RGB, δηλαδή (ψευδοκώδικας):

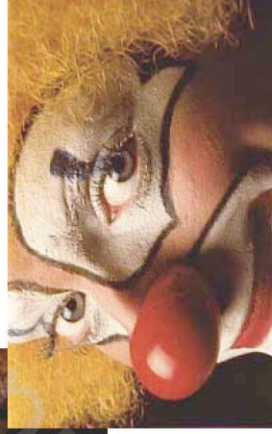
```
gammaCorrection = 1 / gamma
colour = GetPixelColour(x, y)
newRed = 255 * (Red(colour) / 255) ^ gammaCorrection
newGreen = 255 * (Green(colour) / 255) ^ gammaCorrection
newBlue = 255 * (Blue(colour) / 255) ^ gammaCorrection
PutPixelColour(x, y) = RGB(newRed, newGreen, newBlue)
```


Διόρθωση γ

- Παραδείγματα



$\gamma = 0.5$



Διόρθωση γ

- Παραδείγματα



$\gamma = 0.7$

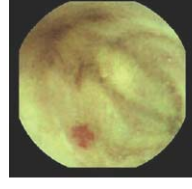
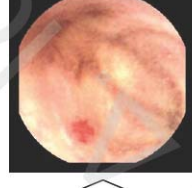
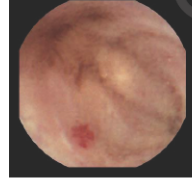


Επεξεργασία έγχρωμων εικόνων

- Η διόρθωση γ είναι μια (μη γραμμική) μέθοδος επεξεργασίας της εικόνας για βελτίωση της αντίθεσης.
- Ανάλογα, σε κάθε κανάλι ενός χρωματικού χώρου μπορούν να εφαρμοστούν όλες οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σε εικόνες αποχρώσεων του γκριζου.
- Ωστόσο η επεξεργασία μπορεί
 - να αρκεί να γίνει στο κανάλι της φωτεινότητας (π.χ. βελτίωση της αντίθεσης)
 - να εφαρμόζεται σε κάποιο από τα χρωματικά κανάλια (π.χ. ενίσχυση του ερυθρού μέσω βελτίωσης της αντίθεσης)

Επεξεργασία έγχρωμων εικόνων

- Παράδειγμα κανονικοποίησης εικόνας
 - (α) Βελτίωση της αντίθεσης ανά κανάλι
 - (β) Βελτίωση της αντίθεσης στο B του HSV
 - (γ) Βελτίωση της αντίθεσης στο R του RGB



(α)

(β)

(γ)

Ο αλγόριθμος Retinex

- Εμπνευσμένος από την ανθρώπινη αντίληψη
 - Το ανθρώπινο σύστημα όρασης αντιλαμβάνεται τις μεταβολές τις φωτεινότητας τοπικά σε διαφορετικές περιοχές της εικόνας.
- Αποτέλεσμα
 - Χρωματική σταθερότητα (color constancy).
 - Συμπύση του δυναμικού εύρους των αποχρώσεων.
- Στην πράξη
 - Βλέπεις ότι δε μπορούσες να δεις λόγω χαμηλού φωτισμού σε κάποια σημεία της εικόνας !

(Rahman et al, 1996; Land, 1996)

Ο αλγόριθμος Retinex

$$F_i(x, y) = \sum_{n=1}^N W_n \cdot$$

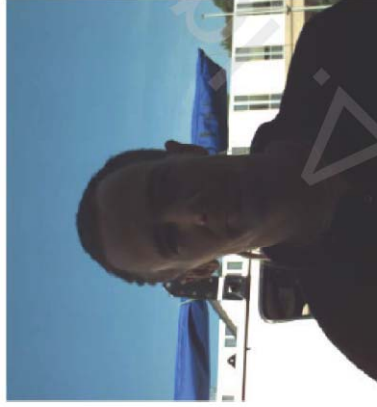
$$\{\log [S_i(x, y)] - \log [S_i(x, y) * M_n(x, y)]\} \quad i \in R, G, B$$

$$M_n(x, y) = K_n \exp[-(x^2 + y^2)/\sigma_n^2]$$

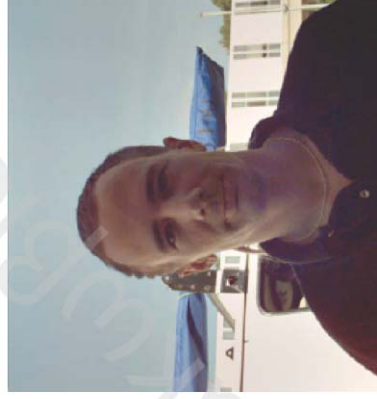
- F_i το χρωματικό κανάλι i της εικόνας εξόδου
- S_i το χρωματικό κανάλι i της εικόνας εισόδου
- N το πλήθος των κλιμάκων (πολλαπλές κλίμακες)
- n ο αύξων αριθμός της κλίμακας
- W_n ένα βάρος για την κλίμακα n
- K_n επιλέγεται ώστε να ισχύει $\iint F(x, y) dx dy = 1$

(Rahman et al, 1996)

Παραδείγματα Retinex



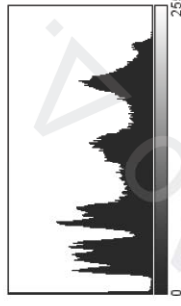
Πριν



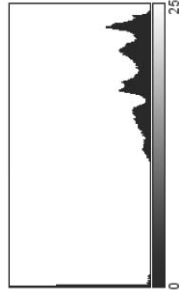
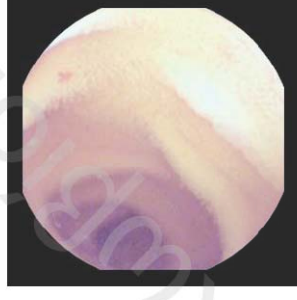
Μετά

(Rahman et al, 1996)

Παραδείγματα Retinex




Πριν



Μετά

Από τη θεωρία στην πράξη

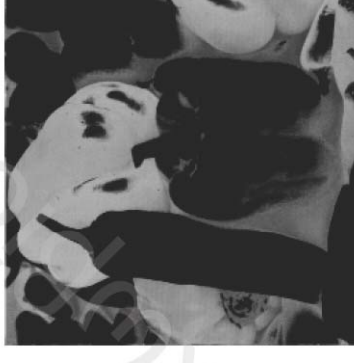
- Fiji / ImageJ
 - <http://fii.sc/Fiji>
 - The screenshot shows the Fiji/ImageJ software interface. The title bar reads "(Fiji is Just) ImageJ". The menu bar includes File, Edit, Image, Process, Analyze, Plugins, Window, and Help. The toolbar contains various icons for file operations, editing, and analysis. A note at the bottom of the toolbar states: "*Point* or multi-point selections (right click to switch)".
 - Image→Type→RGB Stack, HSB Stack
 - Image→Adjust→Color Threshold
 - Image→Color→RGBtoCIELab
 - Process→Math→Gamma, κ.α.
- Plugin με πολλούς χρωματικούς χώρους
 - <http://www.russellcottrell.com/photo/colorTransformer2.htm>

Τμηματοποίηση έγχρωμων εικόνων



RGB

1



CIE-Lab



a-channel

2

Τμηματοποίηση έγχρωμων εικόνων



RGB

1



Κατώφλι (κόκκινα)

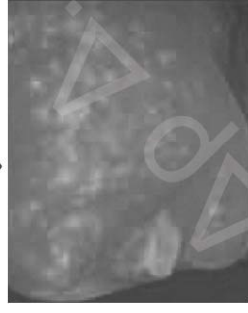
4

Αξιολόγηση ερυθήματος (ακμής)

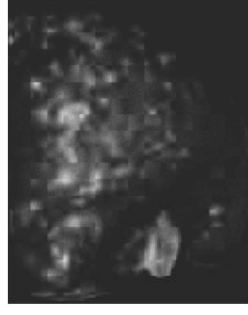


CIE-Lab

Ένταση εικονοστοιχείων ~
σοβαρότητα του ερυθήματος !

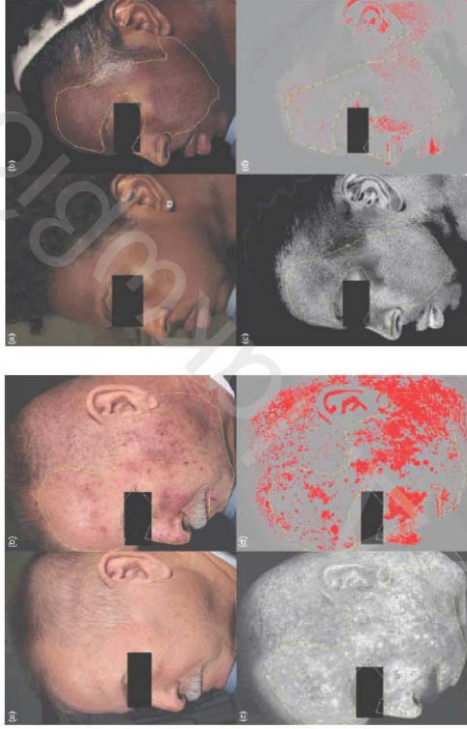


Contrast



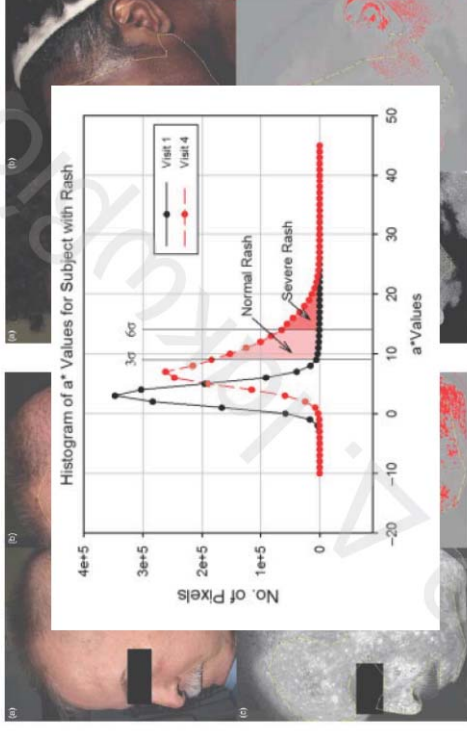
a-channel

Παρακολούθηση ερυθήματος



(Whitmer, et al, 2011)

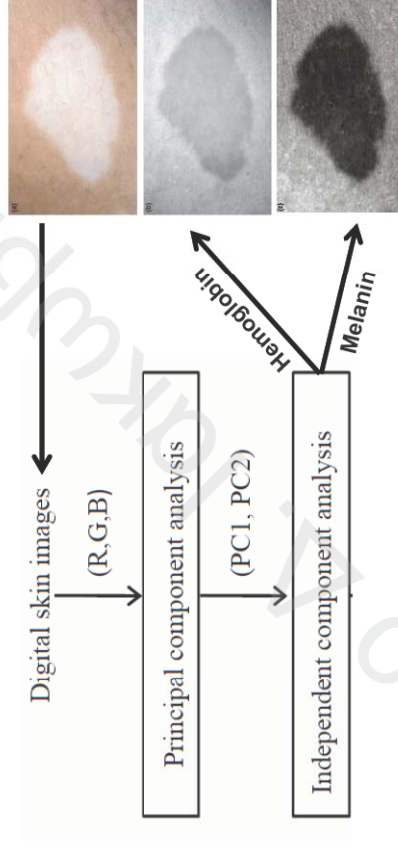
Παρακολούθηση ερυθήματος



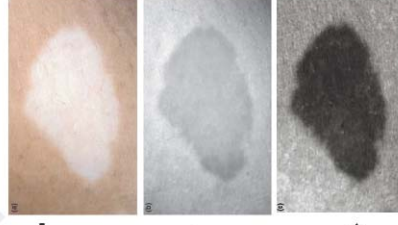
(Whitmer, et al, 2011)

Τμηματοποίηση λεύκης

PCA-ICA για ποσοτικοποίηση αιμογλοβίνης και μελανίνης

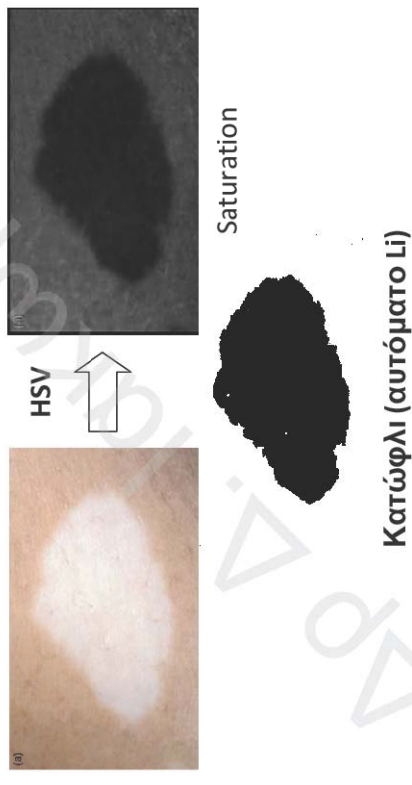


(Nugroho et al, 2013)



Τμηματοποίηση λεύκης

Για ποσοτικοποίηση μελανίνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ο κορεσμός του χρώματος



Τμηματοποίηση λεύκης

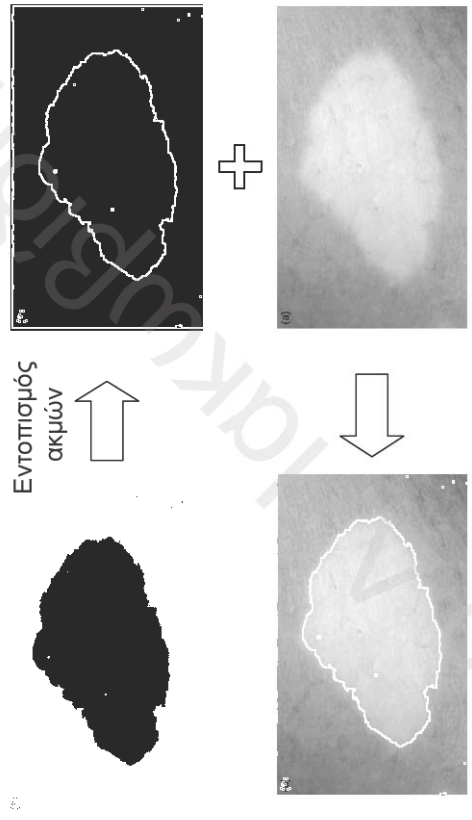
Μήπως αρκεί η RGB πληροφορία και ειδικότερα η ένταση των αποχρώσεων; Όχι!



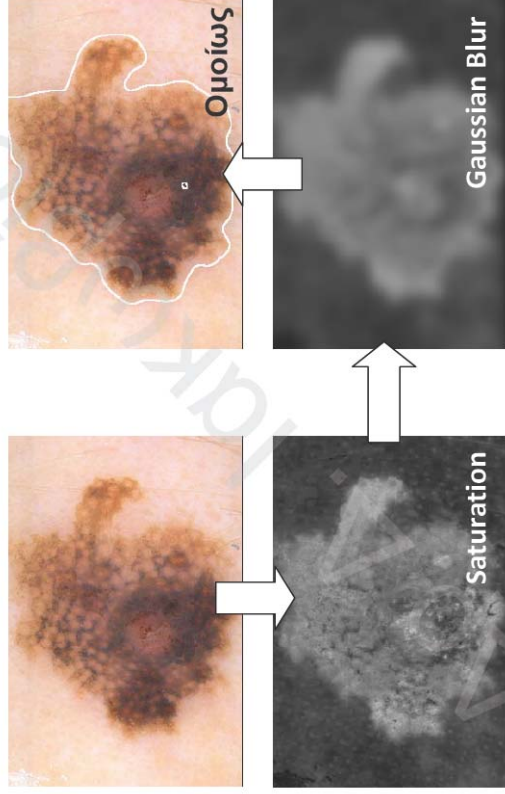
Το καλύτερο κατώφλι δε δίνει τόσο καλά αποτελέσματα

Κατώφλι (αυτόματο minimum)

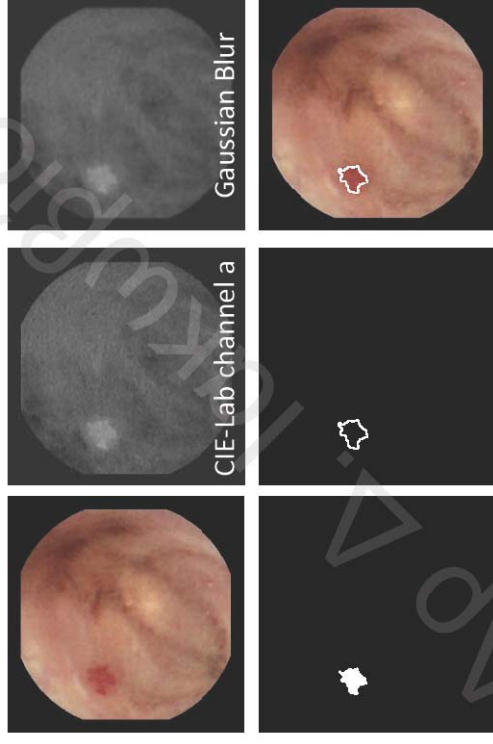
Πως θα φτιάξουμε το περίγραμμα;



Τμηματοποίηση μελαχρωστικής αλλοίωσης του δέρματος



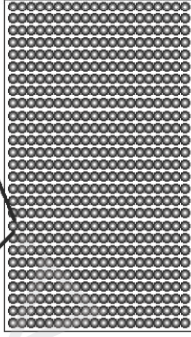
Τμηματοποίηση αγγειεκτασιών σε ενδοσκοπικές εικόνες



Μικροσυστοιχίες DNA

- Διαφάνειες μικροσκοπίου με χιλιάδες κουκκίδες.
- Οι κουκκίδες περιέχουν γονίδια ή τμήματα γονιδίων.

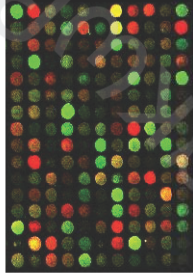
```
TCCTTTCCGG AAGCGTTCG GTCTTCCGCGC GCGCGTTCG GCGATTCACAT  
GCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG  
AAGCATCATC TTTCAGTTCCT TCCCTTCCGCGC TTCGCGATTT AAGCGTTCG  
CGCGCGAGAC TCGCCATTCA ACCCTAATCC TTCGCGGTTCG GCGAGTTCGCT  
CGCGCGAAG GTCCGAAATCG GTCCGCGCGCA AAGTTCCTCGC CTGCGCTGTAT  
TTCGCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG TCCGCGTTCG  
TCCGCGTTCG GAGTTCGCGCGC GTTCGCGAGC TTCGCGAAG CCGCGTTCG  
GTTCGCGCGCA AGCTTTCCTAG GACTTACTTAT CTTCGAGCTCA TTTCAGTTC  
CGCGCGCTCT CGCGGAGCGG TCGTTCGCGAA GAGTTCGCGC CGGAAACCGC  
GTTCGCGAAG CTTCGAGACA TCGATTCCTC TCTTCGCGG GCGAGAAATC
```



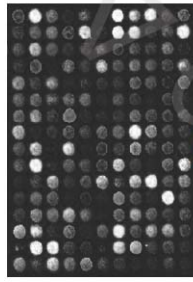
Μικροσυστοιχίες DNA

- Σε μια μικροσυστοιχία τοποθετείται γενετικό υλικό (cDNA) από υγιείς (control) και πιθανώς μη υγιές δείγμα.
- Το cDNA έχει πρώτα εμπλουτιστεί με χρωστικές, πράσινη για το υγιές και κόκκινη για το πιθανώς μη υγιές δείγμα.
- Η μικροσυστοιχία σαρώνεται με ένα κόκκινο και ένα πράσινο laser και τα γονίδια που εκφράζονται περισσότερο «φωτίζουν» αναλόγως του ποσοστού έκφρασής τους.
- Οι έγχρωμες εικόνες που βλέπουμε συνήθως είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των δύο εικόνων σε μία.

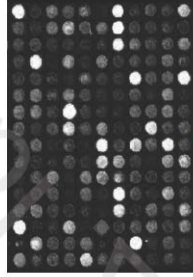
Ποσοτικοποίηση περιεχομένου εικόνων μικροσυστοιχιών DNA



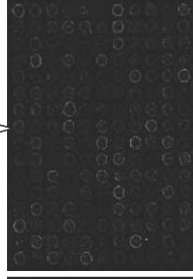
Στο μπλε όλες
οι κουκκίδες
είναι σάρατες
(λογικό)



R

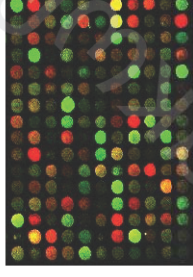


G

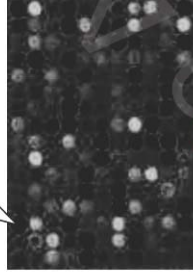


B

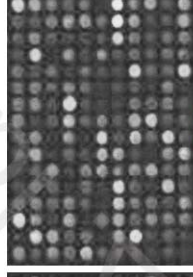
Εντοπισμός κόκκινων και πράσινων κουκκίδων μικροσυστοιχιών DNA



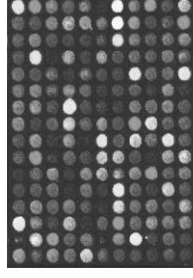
Οι πράσινες
κουκκίδες είναι
σάρατες!



a



b



L

Δοκιμάστε και άλλες εικόνες
και χρωματικούς χώρους...

Μελετήστε τα παραδείγματα
υλοποίησης σε Matlab (eclass)...