

Universitatea "Politehnica" din București
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației

Tehnici Avansate de Prelucrarea și Analiza Imaginilor

Curs 2 – Descrierea culorilor

Ș.I. Bogdan IONESCU
Prof. Constantin VERTAN
Conf. Mihai CIUC

Master SIVA - Sisteme Inteligente și Vedere Artificială

2010-2011

Plan Curs 2 – Descrierea culorilor

- 2.1. Sistemul vizual uman – percepția vizuală
- 2.2. Descrierea culorilor – spații de culoare
- 2.3. Modul de prelucrare al imaginilor color

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

1

2.1. Sistemul vizual uman – percepția vizuală

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

2

Cum percepem informația vizuală ?

> vederea nu este altceva decât o senzație formată la nivelul creierului.

frontal parietal temporal occipital

vedere laterală a creierului uman

creierul uman:

- 10^{13} celule
- 4 lobi
- 1.5 kg
- ~ 1130 cm³

pentru vedere folosim lobii parietal, temporal și occipital

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

3

Cum percepem informația vizuală ?

> sistemul vizual uman

glob ocular

obiect în câmpul vizual

retină

nerv optic

CGL : corp geniculat lateral cu rol de prelucrare

cortex vizual: informație spațială, mișcare, recunoaștere forme, etc.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

4

Cum percepem informația vizuală ?

> sistemul vizual uman (continuare)

câmpurile vizuale suprapuse

CV temporal

CV nazal

proiecții pe retină

chiasma optică (crossing)

tractul optic

radiatii optice

cortex

nervul optic

-ochiul inversează imaginea: partea de sus → jos, partea din dreapta → stânga.
-semnalele din câmpul vizual stâng (dreapta pe retină) din ambii ochi → emisfera dreaptă;
-semnalele din câmpul vizual drept (stânga pe retină) → emisfera stângă

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

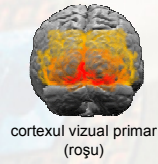
5

Cum percepem informația vizuală ?

> cortexul

V1 – cortexul vizual primar

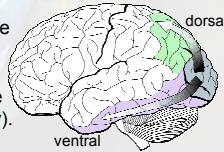
funcții principale: prelucrarea informație despre obiectele statice sau în mișcare și recunoașterea formelor.



cortexul vizual primar (roșu)

↳ **fluxul dorsal:** se trimite informație spre lobul parietal ("Where Pathway" sau "How Pathway"), asociată cu mișcarea, reprezentarea poziției obiectelor, controlul ochilor și al mâinilor.

↳ **fluxul ventral:** se trimite informație spre lobul occipital ("What Pathway"), asociată cu recunoașterea formelor, reprezentarea obiectelor și stocarea de durată a informației (long-term memory).



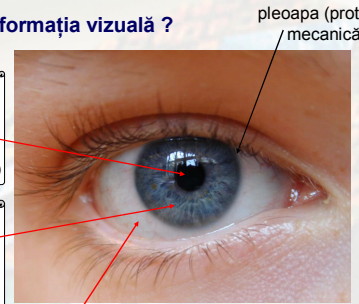
dorsal
ventral

Cum percepem informația vizuală ?

> ochiul uman

pupila: o deschidere situată în mijlocul irisului ce permite luminii să intre în retină (negru = absorbție lumină)

iris: mușchi circular ce permite reglarea dimensiunii pupilei și astfel a cantității de lumină ce intră în retină, culoare: albastră, verde sau maro.



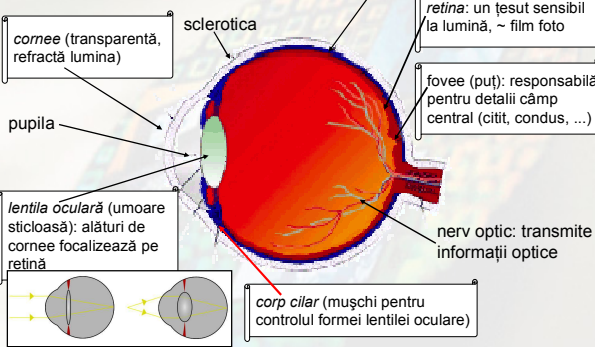
pleoapa (protecție mecanică)

ochiul uman (vedere exterioară)

sclerotică: partea albă a ochiului, opacă, fibroasă cu rol de protecție exterioară a ochiului

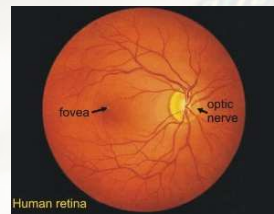
Cum percepem informația vizuală ?

> ochiul uman - structură

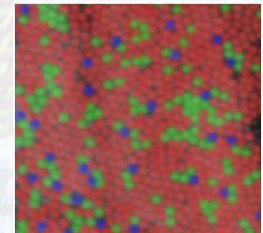


Cum percepem informația vizuală ?

> retina



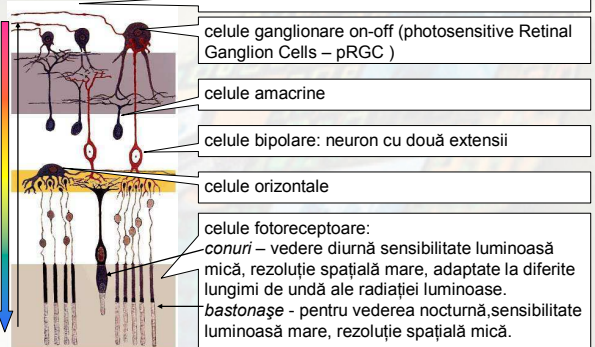
retina văzută prin Oftalmoscop



vedere la microscop (celule fotoreceptoare)

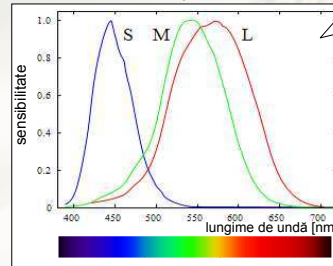
Cum percepem informația vizuală ?

> retina - structură



Cum percepem informația vizuală ?

> celulele fotoreceptoare

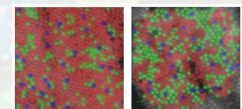


răspunsul spectral normalizat al celulelor cu conuri la stimuli spectrali monocromatici

celule cu conuri: trei tipuri în funcție de lungimea de undă la care sunt cel mai sensibile:

- S (short) sau Albastru
- M (medium) sau Verde
- L (long) sau Roșu

număr celule cu conuri
~5 milioane
număr celule cu bastonașe
~100 milioane



2.2. Descrierea culorilor – spații de culoare

Cum reprezentăm culorile ?

> trebuie realizată o specificație numerică a senzației de culoare ținând cont de:

- ↳ *uniformitatea denumirii*: aceasta trebuie să fie aceeași în orice condiții
- ↳ *repetabilitatea creării senzației de culoare*
- ↳ *păstrarea principiului de diferență de culoare (culori opuse)*
- ↳ *adăugarea unei semnificații fizice*



Cum reprezentăm culorile ?

> *lumina vizibilă*: porțiune a spectrului electromagnetic din domeniul lungimilor de undă de [360 nm, 830 nm]

> o radiație luminoasă este caracterizată de distribuția spectrală de energie, notată $f(\lambda)$.

→ descrie cantitatea totală de lumină emisă, transmisă, sau reflectată de un eșantion de culoare pentru toate lungimile de undă din spectrul vizibil.

> fiecare tip de fotoreceptor din retină (celule cu con) are o caracteristică spectrală proprie, notată $C_i(\lambda)$

> astfel că, răspunsul unei celule cu con la radiația luminoasă poate fi descris matematic ca fiind:

$$c_i = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C_i(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

Cum reprezentăm culorile ?

> modul fizic de constituire al celulelor fotoreceptoare din retină (conuri S, M, L) a condus la enunțarea teoriei tricromaticității (Young, Grassman, Maxwell):

- ↳ orice culoare poate fi reprodusă ca amestec (aditiv sau substractiv) a trei culori primare.
- ↳ pornește de la realitatea fizică
- ↳ are suport matematic



↳ o culoare este un triplet de numere, corespunzând proiecției spectrului radiației luminoase pe funcțiile caracteristice ale spectrelor "primare" → trebuie definite (baza spațiului de culoare)

Cum reprezentăm culorile ?

> legile lui Grassman:

- ↳ 1. orice culoare C poate fi reprezentată ca o combinație liniară a trei alte **culori primare** = nici una dintre acestea nu poate fi obținută ca o combinație a celorlalte două.

$$C = Rc(R) + Gc(G) + Bc(B) \quad \leftarrow \begin{array}{l} Bc \text{ unități de} \\ \text{albastru (prop. energie} \\ \text{luminoasă)} \end{array}$$

- ↳ 2. orice amestec de două culori (surse C1 și C2) poate fi reconstituit prin adăugarea liniară a amestecurilor a oricăre trei culori, care în mod individual se potrivesc celor două surse (valabil pentru n_c surse)

$$C3(C3) = C1(C1) + C2(C2) = [R1 + R2](R) + [G1 + G2](G) + [B1 + B2](B) \quad \leftarrow \begin{array}{l} B2 \text{ unități de} \\ \text{albastru} \end{array}$$

Cum reprezentăm culorile ?

> legile lui Grassman (continuare)

- ↳ 3. amestecul culorilor este același indiferent de intensitatea luminoasă (ipoteză ce nu mai este adevărată pentru intensități foarte joase → când celulele cu bastonașe preiau sarcina celulelor cu conuri).

$$k \cdot C3(C3) = k \cdot C1(C1) + k \cdot C2(C2)$$

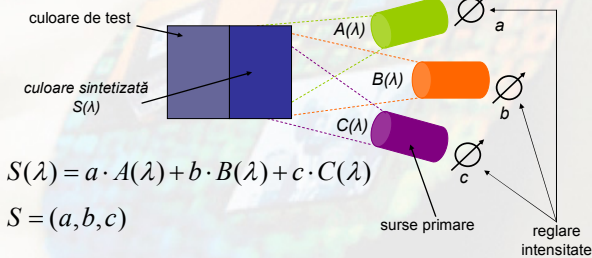
> două modalități de sintetizare a culorilor:

- amestec aditiv (vezi legile lui Grassman)
- amestec substractiv

Cum reprezentăm culorile ?

> sinteza culorilor prin amestec aditiv

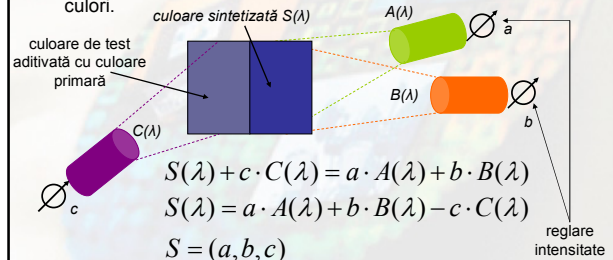
↳ ca principiu general, amestecul aditiv pornește de la absența luminii (negru) și apoi adaugă "culori ale luminii" pentru a forma noi culori.



Cum reprezentăm culorile ?

> sinteza culorilor prin amestec substractiv

↳ ca principiu general, amestecul substractiv pornește de la intensitatea luminoasă maximă (alb) și apoi cu ajutorul filtrelor o parte din lumina reflectată este eliminată pentru a crea noi culori.



Cum reprezentăm culorile ?

> caz real (discretizare)

↳ în practică spectrul luminos este eșantionat la un interval de cel mult 10 nm, astfel ecuațiile ce descriu tripletul (a,b,c) capătă formă discretă:

$$a = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} A(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j A_j f_j$$

$$b = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} B(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j B_j f_j$$

$$c = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \sum_j C_j f_j$$

reprezentarea unei culori prin tripletul (a, b, c) este univocă și universală dacă A(λ), B(λ), C(λ), sunt standardizate.

Cum reprezentăm culorile ?

> metamerism

↳ pentru un același set de culori primare A(λ), B(λ), C(λ), se pot obține aceleași valori tristimulus (a, b, c), și deci aceeași senzație de culoare, pentru radiații luminoase diferite (distribuții spectrale de putere).

cauza: cei trei fotoreceptori cu con (S, M, L)
→ toate culorile sunt reduse la doar trei cantități ale valorilor tristimulus. fiecare con răspunde la o energie cumulată pentru o gamă largă de lungimi de undă
→ combinații diferite de lumină de-a lungul spectrului pot produce un răspuns echivalent și astfel aceeași senzație.

$$\exists f, g \text{ a.i. } x = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} X(\lambda) f(\lambda) d\lambda = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} X(\lambda) g(\lambda) d\lambda$$

unde $x \in \{a, b, c\}$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> **sisteme de culori primare:** acestea reprezintă culorile în funcție de trei culori alese arbitrar = culori primare.

> **sisteme pe bază de luminanță-crominanță:** acestea au proprietatea de a separa informația de luminanță de componentele cromatice.

> **sisteme perceptuale:** sisteme uniforme din punct de vedere al percepției vizuale.

> **sisteme de axe independente:** culorile sunt reprezentate într-un spațiu în care componentele de culoare sunt decorelate.

Observații:

-anumite sisteme pot fi considerate ca aparținând mai multor categorii;
-fiecare sistem prezintă o serie de avantaje necesare anumitor etape de prelucrare → tendință de creare sisteme hibride (∪ avantaje)
-nu există un sistem universal, general valabil pentru orice aplicație, în multe situații sistemele existente nefiind satisfăcătoare.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ ipoteză: orice culoare poate fi reprodusă vizual identic, în anumite condiții de observare, prin amestecul matematic, în proporții unice a trei culori primare (principiul tricromaticității)

$$C = p1 \cdot C_1 + p2 \cdot C_2 + p3 \cdot C_3$$

culoare primară = nu poate fi obținută ca amestecul celorlalte două culori.

↳ RGB = Red Green Blue
CMY = Cyan Magenta Yellow
XYZ = ...

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

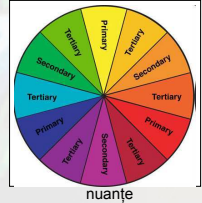
↳ spațiul de culoare RGB

- aditiv, de inspirație fiziologică: $C = p1 \cdot R + p2 \cdot G + p3 \cdot B$

- această ecuație caracterizează doar nuanța culorii și în nici un caz intensitatea luminoasă.

↳ în general proprietățile unei culori sunt definite de trei informații:

nuanță (hue) = un alt cuvânt pentru culoare, "pigmentul", culoarea pură, etc.



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

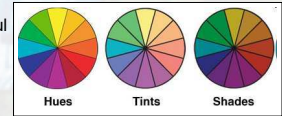
↳ în general proprietățile unei culori sunt definite de trei informații (continuare):

saturație (saturation) = gradul de amestec al culorii cu alb sau negru



saturație: max, max+negru, max+alb

intensitate (intensity, value) = gradul de luminozitate, de strălucire



intensitate: >luminoase, <luminoase

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

- pentru a caracteriza luminanța culorii este necesar să cunoaștem luminanța celor trei primare: R, G și B folosite.

↳ ceea ce numim alb de referință (white point)

- standardizate de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) sub numele de iluminanți:

Exemple:

iluminant A: lumină de interior tipică de filament cu tungsten, 2856K

iluminant E: lumină de energie egală

iluminant C: lumină medie de zi cu o temperatură de culoare de 6770K

iluminant D₆₅: lumina ce provine de la un cer albastru cu 3/5 nori albi, măsurată în jurul orei 10 dimineața în luna septembrie.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

- în funcție de iluminantul folosit, există multe variante de spații RGB, ex.:

denumire	iluminant
scRGB	D65
NTSC (FCC 1953, ITU-R BT.470-2 System M)	C
NTSC (1979) (SMPTE 170M/240M, SMPTE RP 145 "SMPTE C")	D65
PAL/SECAM (EBU 3213, ITU-R BT.470-2 System B, G)	D65
CIE (1931)	E

- sistemul RGB este utilizat cu precădere în majoritatea dispozitivelor hardware de reproducere a culorilor destinate marelui public, ex. aparate foto digitale, ecrane CRT și LCD, imprimante color, și stă la baza arhitecturii sistemelor de prelucrare.

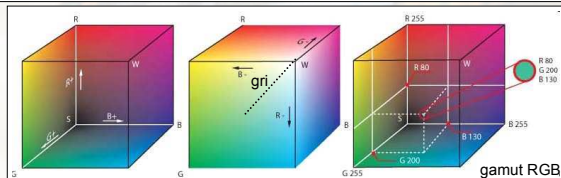
Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

- spațiu cu variație neuniformă = distanță matematică între culori ≠ distanță perceptuală.

gamut de culoare = totalitatea culorilor ce pot fi reprezentate într-un anumit spațiu de culoare (echivalent paletă de culoare la nivel de imagine)



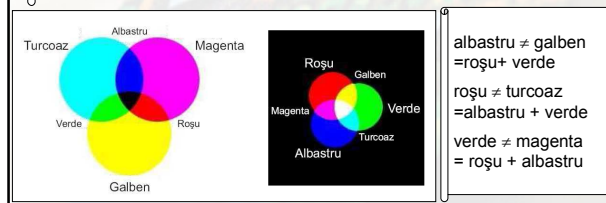
Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare CMY

- substractiv, C=Cyan (turcoaz), M=magenta, Y=Yellow (galben).

- CMY sunt culori complementare RGB



albastru ≠ galben
=roșu+ verde
roșu ≠ turcoaz
=albastru + verde
verde ≠ magenta
=roșu + albastru

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare CMY (continuare)

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

↳ spațiul de culoare CMYK

- este folosit cu predilecție la imprimarea pe suport fizic (tipar), K=Key și reprezintă negru.

- adăugarea separată a negrului este motivată de faptul că negru generat prin amestecul C-M-Y nu oferă o calitate suficientă detaliilor fine.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ

- sistem de referință colorimetrică definit de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), se obține din RGB printr-o transformare liniară ce ia în calcul și albul de referință.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.7690 & 1.7518 & 1.1300 \\ 1.0000 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0.0000 & 0.0565 & 5.5943 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

unde (2.7690, 1, 0), (1.7518, 4.5907, 0.0564) și (1.13, 0.0601, 5.5943) reprezintă coordonatele XYZ ale celor trei culori primare: Roșu, Verde și Albastru

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

- în funcție de iluminantul de referință folosit, trecerea la spațiul XYZ se face cu matrice de transformări diferite:

NTSC RGB, iluminant C (cea mai utilizată în prelucrarea de imagini):

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.200 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.116 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

CIE RGB, iluminant A:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.892 & 0.330 & 0.083 \\ 0.322 & 0.863 & 0.004 \\ 0.000 & 0.011 & 0.409 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CIE RGB, iluminant C:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.166 & 0.125 & 0.093 \\ 0.060 & 0.327 & 0.005 \\ 0.000 & 0.004 & 0.460 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

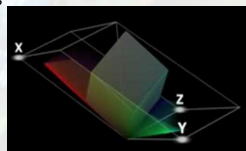
> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

spațiul XYZ este determinat folosind o serie de constrângeri:

- orice culoare fizică monocromatică trebuie să fie caracterizată de valori tristimulus pozitive
- componenta Y trebuie să fie o măsură a intensității luminoase (~nivel de gri)
- pentru o lumină albă, valorile tristimulus trebuie să fie egale.

matricea transformării nu este unitară ($T^{-1} \neq (T^*)^*$), deci transformarea nu este o rotație a cubului RGB, gamutul XYZ fiind un paralelipiped înclinat.



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

Y = luminanță → informația cromatică poate fi exprimată în funcție de doi parametri derivați:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

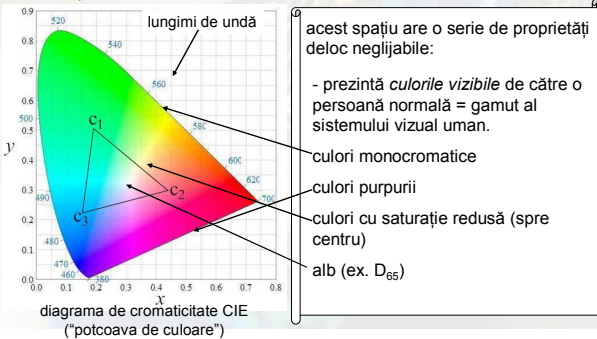
$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

→ am definit un nou spațiu derivat CIE xyY, folosit la scară largă pentru a specifica culorile.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)



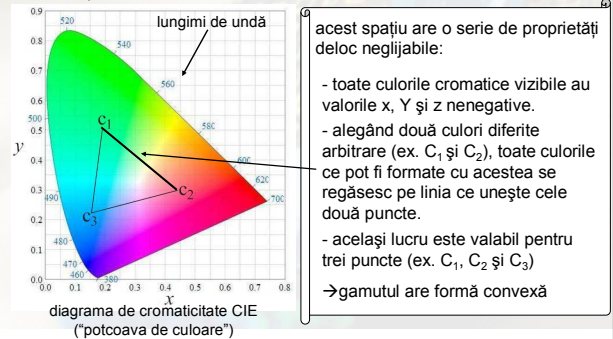
Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

36

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

37

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de culori primare

↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

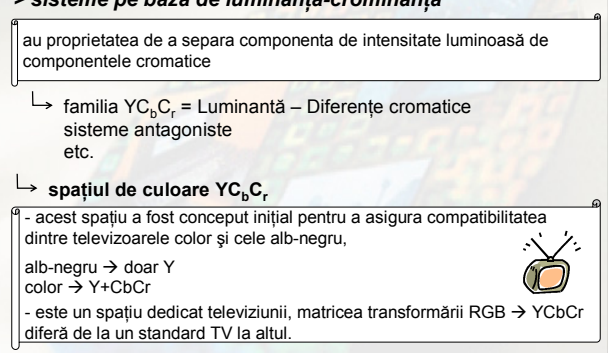


Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

38

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

39

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare YCbCr (continuare)

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B$$

valori RGB 0,...,255

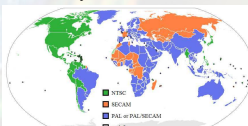
$$C_b = a_1 \cdot (R - Y) + b_1 \cdot (B - Y)$$

parametrii a_1 , a_2 , b_1 și b_2 au valori specifice fiecărui standard

$$C_r = a_2 \cdot (R - Y) + b_2 \cdot (B - Y)$$

variante YCbCr:

- YIQ pentru standardul NTSC (National Television System Committee, 30 imagini/s),
- YUV pentru standardul PAL (Phase Alternating Line, 50Hz întrețesut)
- YD₆₀ pentru standardul SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire, 25 imagini/s)



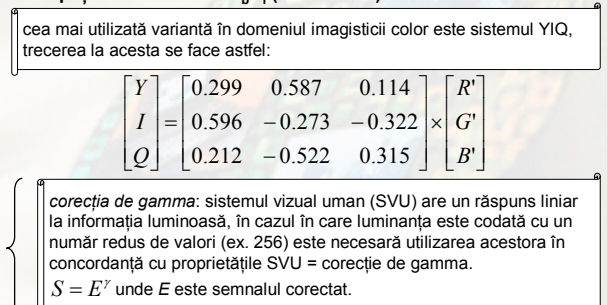
Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

40

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare YCbCr (continuare)



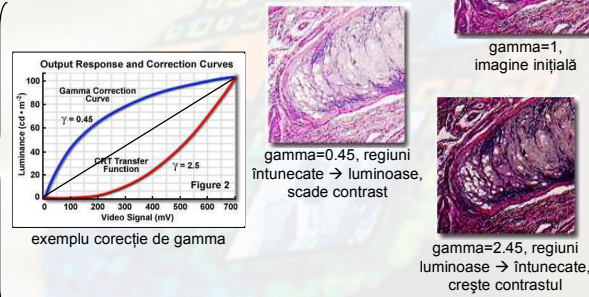
Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

41

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare YC_bC_r (continuare)



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare YC_bC_r (continuare)

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.273 & -0.322 \\ 0.212 & -0.522 & 0.315 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix}$$

unde (R', G', B') reprezintă coordonatele (R, G, B) după o corecție de gamma.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R^{1/2.2} \\ G^{1/2.2} \\ B^{1/2.2} \end{bmatrix}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare YC_bC_r (continuare)

în cazul în care se dorește o caracterizare mai riguroasă a informației de culoare, spațiul YIQ poate fi descris și în coordonate sferice:

$$H = \arctan\left(\frac{B'-Y}{R'-Y}\right)$$

$$S^2 = (R'-Y)^2 + (B'-Y)^2$$

unde H reprezintă nuanța și S reprezintă saturația

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spații de culoare antagoniste

fundamentate pe teoria culorilor opuse elaborată de Young și Hering: informația de culoare recepționată de SVU este transmisă creierului sub forma a trei semnale:

- unul acromatic ce corespunde contrastului negru-alb,
- două semnale cromatice ce corespund contrastului verde-roșu și albastru-galben.

↳ spații antagoniste - spațiul AC_1C_2 :

$$A = 22.6 \cdot (0.612 \cdot \log L + 0.369 \cdot \log M + 0.019 \cdot \log S)$$

$$C_1 = 64 \cdot (\log L - \log M) \quad C_2 = 10 \cdot (\log L - \log S)$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spații antagoniste - spațiul AC_1C_2 (continuare)

$$A = 22.6 \cdot (0.612 \cdot \log L + 0.369 \cdot \log M + 0.019 \cdot \log S)$$

$$C_1 = 64 \cdot (\log L - \log M) \quad C_2 = 10 \cdot (\log L - \log S)$$

unde LMS este un sistem de referință în domeniul fiziologiei SVU, folosește culori primare în concordanță directă cu SVU, fiind singurul sistem primar ce reproduce activitatea reală a celulelor cu con:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.15514 & 0.54312 & -0.03286 \\ -0.15514 & 0.45684 & 0.03286 \\ 0.0 & 0.0 & 0.00801 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

puțin utilizate fiind fie abordări experimentale în curs de validare fie modele prea simplificate.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

sunt sisteme uniforme din punct de vedere al percepției umane = distanța matematică dintre două culori este proporțională cu distanța perceptuală dintre acestea.

↳ familia $L^*a^*b^*$
spații de culoare geometrice
spațiul Munsell

↳ spațiul de culoare $L^*a^*b^*$

-foarte popular, devenit referință CIE pentru evaluarea distanței dintre culori.
-trecerea la $L^*a^*b^*$ se face din spațiul XYZ pe baza unei transformări neliniare ce ține cont de albul de referință:

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare L*a*b* (continuare)

- trecerea la L*a*b* se face din spațiul XYZ pe baza unei transformări neliniare ce ține cont de albul de referință:

$$L^* = \begin{cases} 116 \cdot y^{1/3} - 16 & \text{daca } y > 0.008856 \\ 903.3 \cdot y & \text{altfel} \end{cases}$$

$$a^* = 500 \cdot [f(x) - f(y)]$$

$$b^* = 200 \cdot [f(y) - f(z)]$$

$$\text{unde: } x = \frac{X}{X_w}, y = \frac{Y}{Y_w}, z = \frac{Z}{Z_w}, \text{ unde } (X_w, Y_w, Z_w) = \text{alb de referință}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare L*a*b* (continuare)

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787 \cdot t + 0.137931 & \text{altfel} \end{cases}$$

- transformare neliniară → posibilitate transformare inversă cu pierderi.

- în L*a*b* distanța perceptuală dintre două culori (C1 și C2) poate fi evaluată direct pe baza distanței Euclidiene:

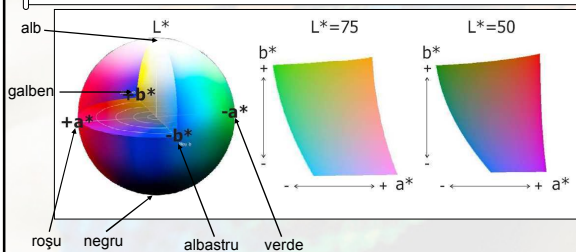
$$\Delta E_{C1,C2}^2 = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare L*a*b* (continuare)

- gamutul de culoare este o sferă (L = componenta de luminanță):



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare L*a*b* (continuare)

- totuși, L*a*b* poate fi atribuit mai multor categorii de sisteme:

- este un spațiu antagonist deoarece L* pune în evidență contrastul negru-alb; a* contrastul verde-roșu, b* contrastul albastru-galben.
- separă componenta de luminanță de cea de cromatică (L* vs. a*, b*).

↳ spațiul de culoare LCH

- trecerea la coordonate cilindrice:

$$H = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad C^2 = (a^*)^2 + (b^*)^2$$

- L* rămâne la fel (intensitate), H nuanță și C (chroma) ~ saturație

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare L*u*v*

- nu este analog spațiului L*a*b* dar pentru anumite intervale de culoare acesta furnizează rezultate similare:

$$L^* = \begin{cases} 116 \cdot y^{1/3} - 16 & \text{daca } y > 0.008856 \\ 903.3 \cdot y & \text{altfel} \end{cases} \quad \text{identic L*a*b*}$$

$$u^* = 13 \cdot L^* \cdot (u' - u'_w)$$

$$v^* = 13 \cdot L^* \cdot (v' - v'_w)$$

$$\text{unde } u' = \frac{4 \cdot X}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z}, v' = \frac{9 \cdot Y}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z} \quad (X_w, Y_w, Z_w) = \text{alb de referință}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice

- folosesc o partiționare uniformă a culorilor în funcție de trei informații: nuanță, saturație și luminanță.

- au fost concepute pentru a clasifica culorile pe baza percepției psiho-vizuale, culorile fiind reperate într-un sistem de coordonate geometrice.

- sunt reprezentări descriptive

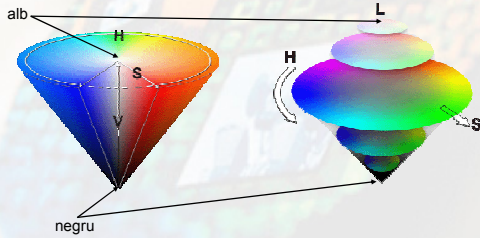
↳ HSL = H (nuanță), S (saturație), L (luminozitate)
HSV = ..., V (valoare)
HSI = ..., I (intensitate)
HSB = ..., B (strălucire) } mai puțin standardizate

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV

din punct de vedere matematic, cele două spații folosesc o reprezentare cilindrică, gamutul de culoare este:



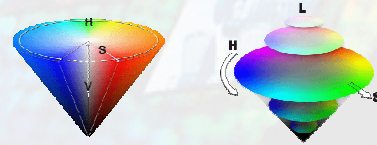
Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV (continuare)

→ cele două reprezentări sunt foarte similare, totuși există diferențe majore:

- con invers vs. dublu con
- HSV: negru în vârf și alb pe cercul bazei vs. HSL: negru în vârful S și albul în vârful L,
- HSL: culorile de saturație maximă se găsesc pe cercul median.



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV (continuare)

[variantă] trecerea la HSV se face pe baza coordonatelor RGB normalizate în intervalul [0;1]:

$$h_{HSV} = \begin{cases} 0 & \text{max} = \text{min} \\ 60 \cdot \frac{g-b}{\text{max}-\text{min}} + 0 & \text{max} = r, g \geq b \\ 60 \cdot \frac{g-b}{\text{max}-\text{min}} + 360 & \text{max} = r, g < b \\ 60 \cdot \frac{b-r}{\text{max}-\text{min}} + 120 & \text{max} = g \\ 60 \cdot \frac{r-g}{\text{max}-\text{min}} + 240 & \text{max} = b \end{cases}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV (continuare)

$$s_{HSV} = \begin{cases} 0 & \text{max} = 0 \\ \frac{\text{max} - \text{min}}{\text{max}} & \text{altfel} \end{cases}$$

$$v_{HSV} = \text{max}$$

$$\text{unde: } r = \frac{R}{255}, g = \frac{G}{255}, b = \frac{B}{255}$$

$$\text{max} = \max\{r, g, b\},$$

$$\text{min} = \min\{r, g, b\}$$

$$h_{HSV} \in [0;360]$$

$$s_{HSV}, v_{HSV} \in [0;1]$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV (continuare)

trecerea la HSL (folosind aceleași normalizări):

$$h_{HSL} = h_{HSV} \quad l_{HSL} = \frac{1}{2}(\text{max} + \text{min})$$

$$s_{HSL} = \begin{cases} 0 & \text{max} = \text{min} \\ (\text{max} - \text{min}) / (\text{max} + \text{min}) & l \leq 0.5 \\ (\text{max} - \text{min}) / (2 - (\text{max} + \text{min})) & l > 0.5 \end{cases}$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiile de culoare geometrice: spațiile HSL și HSV (continuare)

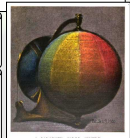
principalul inconvenient: reversibilitatea limitată, de cele mai multe ori revenind la spațiul de culoare inițial obținem culori diferite (cauză principală folosirea max, min.)

↳ spațiul de culoare Munsell

~1900, Albert H. Munsell, concepe acest spațiu în domeniul artei.

bazat pe observații subiective ale raportului dintre culori și nu pe măsurarea directă a proprietăților de culoare

→ spațiu perceptual, uniform, bazat pe amestecul substractiv de culoare, culorile sunt organizate în funcție de modul în care sunt percepute de observatori umani.



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

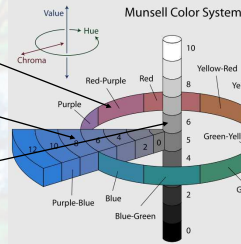
↳ spațiul de culoare Munsell (continuare)

culoare = luminanță (Value) + nuanță (Hue) + saturație (Chroma), sistem de reprezentare cilindric.

nuanța ~ unghiul în grade

saturația ~ radial, distanță față de axa verticală

intensitatea ~ vertical, axa verticală a sistemului = niveluri de gri, mărginită de alb și negru



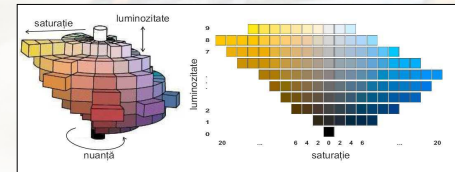
Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme perceptuale

↳ spațiul de culoare Munsell (continuare)

fiecare axă a sistemului este discretizată într-un număr limitat de valori:

- **luminanță**: 0 (negru) – 10 (alb),
- **nuanța**: Red, Yellow, Green, Blue și Purple + 5 nuanțe intermediare,
- **saturația**: culori diferite au valori maxime diferite pentru saturație (puritate), ex. nuanțele de galben au mai multe grade de saturație decât culorile purpuri (roșu închis) datorită limitărilor fiziologice.



uniform perceptual
→ solid de culoare cu o formă neregulată.

Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de axe independente

anumite etape de prelucrare necesită un sistem de reprezentare al culorilor în care componentele de culoare să fie total decorrelate.

↳ **corelație** = gradul de dependență liniară dintre două variabile aleatoare → acestea sunt complet decorrelate dacă nici una nu poate fi determinată în funcție de cealaltă.

↳ **constrângere**: sunt dependente de distribuția de culoare considerată, coeficienții transformării fiind diferiți de la o imagine la alta (trebuie recalculați)

↳ **relaxare**: în practică s-a demonstrat faptul că coeficienții transformării pot fi similari de la o distribuție de culoare la alta → coeficienți specifici aplicației și nu imaginii

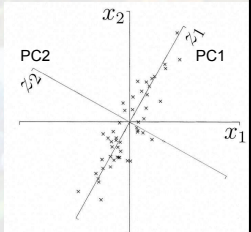
Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de axe independente (continuare)

studii Ohta 1980:

↳ pentru majoritatea imaginilor color, axa principală obținută în urma descompunerii în componente principale (PCA) se suprapune cu axa de luminanță.

PCA = transformă un set de variabile corelate într-un număr mai mic de variabile decorrelate, numite și componente principale. Prima componentă principală reprezintă maximum de variabilitate al datelor, a doua componentă maximum variabilității rămase, și așa mai departe.



Sisteme de reprezentare a culorilor

> sisteme de axe independente (continuare)

studii Ohta 1980:

↳ pentru marea majoritate a imaginilor color, informația de culoare, fie în totalitate, fie parțial, este dată de prima și a doua componentă principală.

↳ pentru marea majoritate a imaginilor color, componentele de culoare sunt fie strâns corelate, fie relativ decorrelate (RGB, XYZ corelație puternică <=> L*a*b, YCbCr relativ decorrelate)

↳ pentru marea majoritate a imaginilor color, sistemul de culoare decorelat obținut pe baza transformatei Karhunen-Loeve (KL discret = PCA), tinde să se confunde cu sistemul de axe $I_1 I_2 I_3$:

$$I_1 = \frac{1}{3}(R + G + B), I_2 = \frac{1}{2}(R - G), I_3 = \frac{1}{4}(2 \cdot G - R - B)$$

Sisteme de reprezentare a culorilor

concluzii:

↳ fiecare sistem de reprezentare pune în evidență anumite proprietăți ale culorilor (HSV ?, L*a*b ?, YCbCr ?)

↳ alegerea adecvată a spațiului de culoare constituie o etapă premergătoare importantă soluționării problemei de prelucrare.

C1
RGB(233,250,14)
L*a*b*(95,-22,89)

C2
RGB(240,252,86)
L*a*b*(96,-19,74)

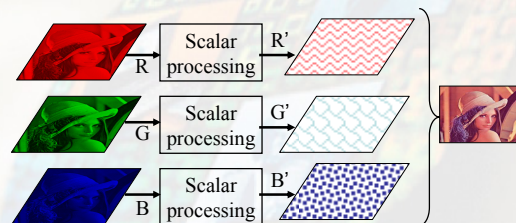
$$d_{RGB}(C1, C2) = 72.36$$

$$d_{L^*a^*b^*}(C1, C2) = 15.3$$

2.3. Modul de prelucrare al imaginilor color

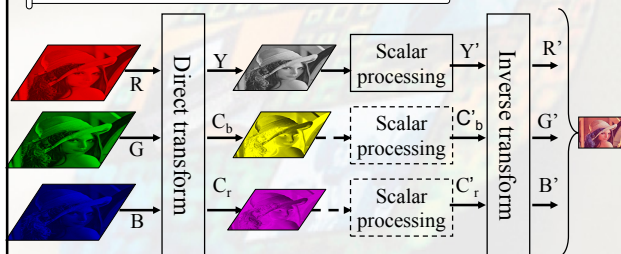
Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

A. abordarea marginală



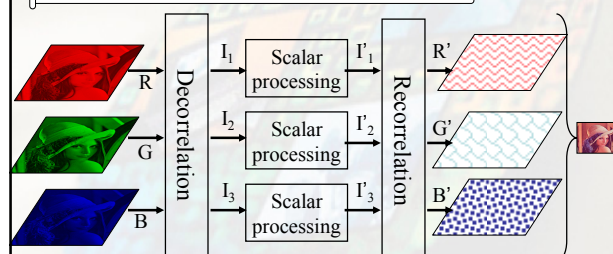
Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

B. abordarea transformării colorimetrice liniare fixe



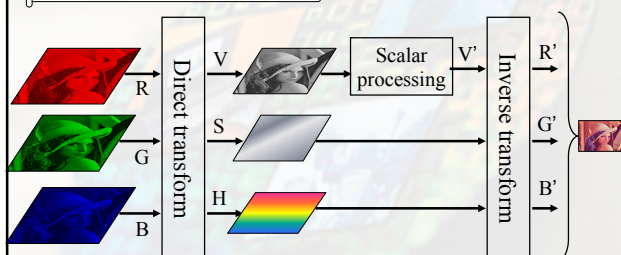
Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

C. abordarea transformării colorimetrice liniare adaptive



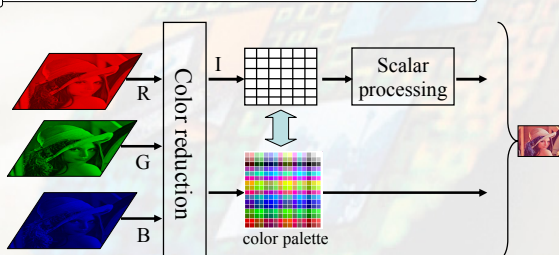
Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

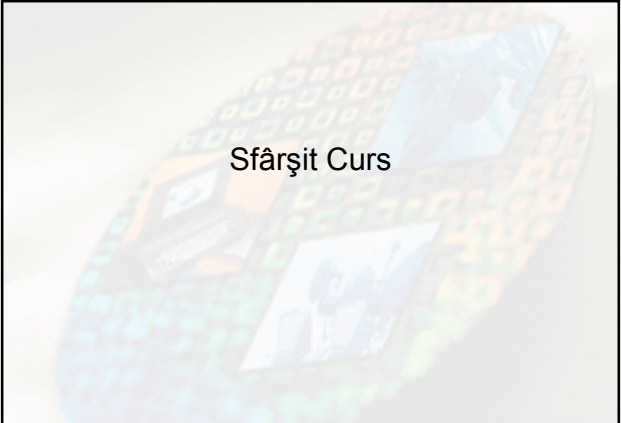
D. abordarea transformării neliniare



Prelucrarea imaginilor color prin extinderea metodelor de prelucrare scalare

E. abordarea reducerii culorilor la o paletă fixă (~indexare)



An abstract graphic featuring a grid of small squares in various colors (blue, green, orange, yellow) arranged in a circular pattern. In the center of the grid is a small, square inset image showing a person's face. The overall background is a light, hazy grey.

Sfârșit Curs