

LAPI – Laboratorul de Analiza și Prelucrarea Imaginilor

Universitatea POLITEHNICA din București

Facultatea de Electronică, Telecomunicații și Tehnologie Informației

# Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini

Ș.I.dr.ing. Bogdan IONESCU

București, 2010

## > M3. Informația de culoare

- 3.1. [ Sisteme de reprezentare a culorilor ]
- 3.2. [ Modificarea paletei de culoare ]
- 3.3. [ Analiza conținutului de culoare ]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

1

## > M3. Informația de culoare

### [ Sisteme de reprezentare a culorilor ]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

2

### Sisteme de reprezentare a culorilor

- > A. **sisteme de culori primare**: fiecare culoare este o combinație liniară a trei culori alese arbitrar (= culori primare);
- > B. **sisteme pe bază de luminanță-crominanță**: separă informația de luminanță de cea de culoare (cromatică);
- > C. **sisteme perceptuale**: sisteme ~ uniforme din punct de vedere al percepției vizuale.
- > D. **sisteme de axe independente**: culorile sunt reprezentate într-un spațiu în care componentele de culoare sunt ~ decorelate.

**Observații:**

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

3

### Sisteme de reprezentare a culorilor

#### A. sisteme de culori primare

$\rightarrow$  *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)

$$C = p_1 \cdot C_1 + p_2 \cdot C_2 + p_3 \cdot C_3$$

> culoare primară = nu poate fi obținută ca amestecul celorlalte două culori ( $C_1$ ,  $C_2$  și  $C_3$ );

$\rightarrow$  RGB = Red Green Blue  
CMY = Cyan Magenta Yellow  
XYZ = ...

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

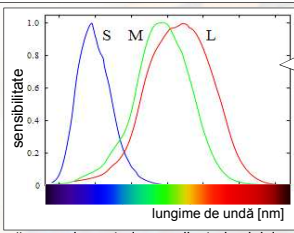
4

### Sisteme de reprezentare a culorilor

#### A. sisteme de culori primare (continuare)

$\rightarrow$  **spațiul de culoare RGB**

> aditiv, de inspirație fiziologică:  $C = p_R \cdot R + p_G \cdot G + p_B \cdot B$



**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.

răspunsul spectral normalizat al celulelor cu conuri la stimuli spectrali monocromatici

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

5

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

> 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.



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

6

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

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

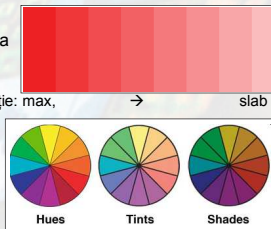
**saturație** (saturation) = intensitatea culorii, grad de puritate, cum arată în condiții de iluminare diferită.

saturație: max, → slab

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

amestec cu gri a unei nuanțe pure → *ton de culoare*,

intensitate: > luminoase, < luminoase



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

7

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

> pentru a caracteriza luminanța culorii este necesar să cunoaștem luminanța celor trei primare: R, G și B folosite  
→ 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 D<sub>65</sub>*: lumina ce provine de la un cer albastru cu 3/5 nori albi, măsurată în jurul orei 10 dimineața în luna Septembrie.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

8

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare RGB (continuare)

> în funcție de iluminantul folosit, există multe variante de spații RGB:

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 (aparate foto digitale, ecrane CRT și LCD, imprimante color) + sisteme de prelucrare.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

9

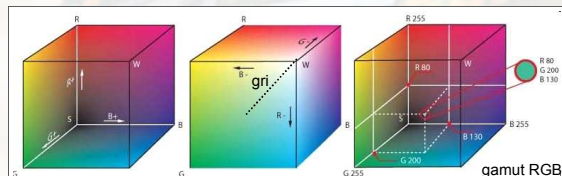
## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ 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,



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

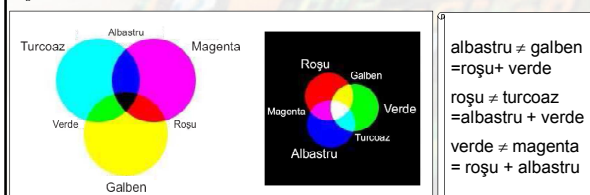
10

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare CMY

> substractiv, C=Cyan (turcoaz), M=magenta, Y=Yellow (galben) și complementar RGB,



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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

11

## Sisteme de reprezentare a culorilor

A. sisteme de culori primare (continuare)

↳ 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 (+\$\$\$).

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

12

## Sisteme de reprezentare a culorilor

A. sisteme de culori primare (continuare)

↳ spațiul de culoare XYZ

> sistem de referință colorimetrică definit de CIE,  
→ RGB + 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 respectiv Albastru.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

13

## Sisteme de reprezentare a culorilor

A. sisteme de culori primare (continuare)

↳ 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):

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

14

## Sisteme de reprezentare a culorilor

A. sisteme de culori primare (continuare)

↳ 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:

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

15

## Sisteme de reprezentare a culorilor

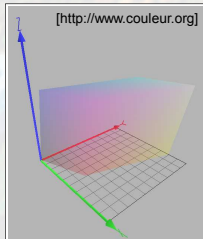
A. sisteme de culori primare (continuare)

↳ 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 +;
- 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.



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

16

## Sisteme de reprezentare a culorilor

A. sisteme de culori primare (continuare)

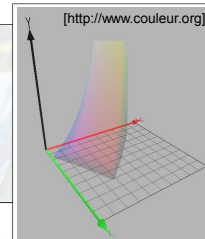
↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

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

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

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

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



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

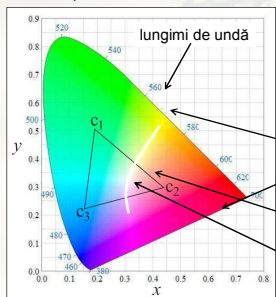
17



## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)



> diagrama de cromaticitate CIE ("potcoava de culoare"), proprietăți:

- prezintă culorile vizibile de către o persoană normală = gamut al sistemului vizual uman,
- culori monocromatice,
- culori purpurii (nuanțe între Roșu și Albastru),
- culori cu saturație redusă (spre centru),
- alb (ex.  $D_{65}$ ).

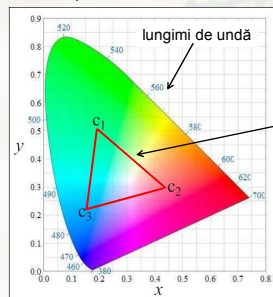
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

18

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)



> acest spațiu are o serie de proprietăți deloc neglijabile:

- toate culorile cromatice vizibile au valorile  $x$ ,  $Y$  și  $z$  nenegative,
- alegând două culori diferite arbitrare ( $C_1$  și  $C_2$ ), toate culorile ce pot fi formate cu acestea se regăsesc pe linia ce unește cele două puncte,
- același lucru este valabil pentru trei puncte ( $C_1$ ,  $C_2$  și  $C_3$ )

→ gamutul are formă convexă

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

19

## Sisteme de reprezentare a culorilor

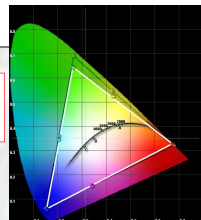
### A. sisteme de culori primare (continuare)

#### ↳ spațiul de culoare XYZ (continuare)

> acest spațiu are o serie de proprietăți deloc neglijabile (continuare):

- distanța dintre culori, în  $xy$ , nu corespunde distanței percepțuale dintre culori.

datorită proprietăților speciale ale diagramei de cromaticitate CIE → specifica paleta de culoare ce poate fi reprezentată fizic de dispozitive:



gamut Epson PL Pro Cinema 1080

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

20

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ familia  $YC_bC_r$  = Luminanță – Diferențe cromatice sisteme antagoniste etc.

#### ↳ spațiul de culoare $YC_bC_r$

> acest spațiu a fost conceput inițial pentru a asigura compatibilitatea dintre televizoarele color și cele alb-negru,

alb-negru → doar  $Y$ ,  
color →  $Y + C_bC_r$ ,

> este un spațiu dedicat televiziunii, matricea transformării  $RGB \rightarrow YCbCr$  diferă de la un standard TV la altul.

= o modalitate de codare a spațiului RGB,



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

21

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

#### ↳ spațiul de culoare $YC_bC_r$ (continuare)

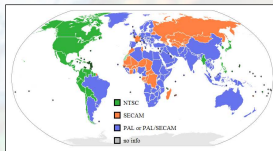
$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B \quad \text{valori RGB } 0, \dots, 255$$

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

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

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

- **YIQ**: NTSC (National Television System Committee, 30 imagini/s),
- **YUV**: PAL (Phase Alternating Line, 50Hz întrețesut),
- **YD<sub>b</sub>D<sub>r</sub>**: SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire, 25 imagini/s)



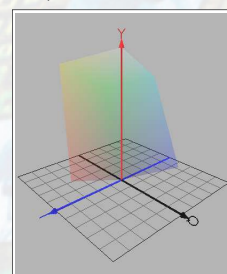
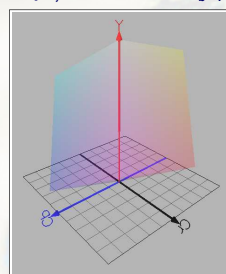
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

22

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

#### ↳ spațiul de culoare $YC_bC_r$ (continuare)



[<http://www.couleur.org>]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

23

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare  $YC_bC_r$  (continuare)

> una dintre cele mai utilizate variante este sistemul YIQ:

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

**corecția de gamma:** răspunsul unui dispozitiv de vizualizare este de regulă un neliniar funcție de intensitate,  
→ nu se afișează întreaga gamă de intensități (ex. intensitățile sunt deplasate în plaja întunecată, etc.),

$S_{out} = E_{in}^\gamma$  unde  $E_{in}$  este semnalul de intrare ce este corectat.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

24

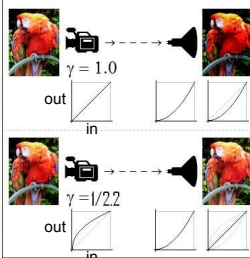
## Sisteme de reprezentare a culorilor

[imagini Wikipedia]

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare  $YC_bC_r$  (continuare)

> corecția de gamma (continuare):



$$S_{out} = E_{in}^\gamma$$

- camera are un răspuns liniar (fără corecție  $\gamma=1$ ) ce este alterat de display devenind neliniar  
→ imagine întunecată;

- camera are un răspuns neliniar (corecție  $\gamma=1/2.2$ ) invers răspunsului neliniar al display-ului (ex. CRT)  
→ liniar, imagine corectată;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

25

## Sisteme de reprezentare a culorilor

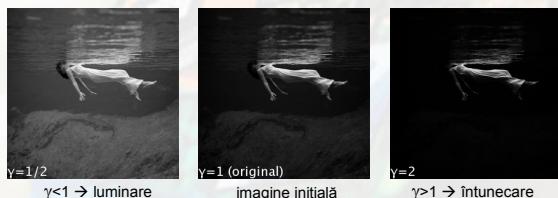
[imagini Wikipedia]

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare  $YC_bC_r$  (continuare)

$$S_{out} = E_{in}^\gamma$$

> corecția de gamma (continuare): exemple de alterare de gamma (fără corecție),



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

26

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spațiul de culoare  $YC_bC_r$  (continuare)

> una dintre cele mai utilizate variante este sistemul YIQ:

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

unde  $(R', G', B')$  reprezintă coordonatele  $(R, G, B)$  după corecția de gamma:

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

27

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. 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:

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

$$S = \sqrt{(R'-Y)^2 + (B'-Y)^2}$$

unde  $H$  reprezintă nuanța și  $S$  reprezintă saturația iar  $R'$  și  $B'$  sunt componentele de Roșu și Albastru cu corecție de gamma;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

28

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spații 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.

↳ spațiul de culoare  $AC_1C_2$

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

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

29

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spații antagoniste (continuare)

↳ spațiul de culoare  $AC_1C_2$  (continuare)

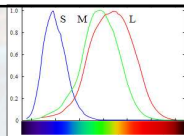
$$A = 22.6 \cdot (0.612 \cdot \log L + 0.369 \cdot \log M + 0.019 \cdot \log S)$$

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

> (transformare liniară LMS) aplicații diverse: clasificare culori, generare imagini de sinteză, evaluare sensibilitate spațio-temporală.

↳ spațiul de culoare LMS

> LMS (Large-Medium-Small) = sistem de referință în domeniul fiziologiei SVU, folosește culori primare în concordanță directă cu SVU, → sistem primar ce reproduce activitatea reală a celulelor cu con:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

30

## Sisteme de reprezentare a culorilor

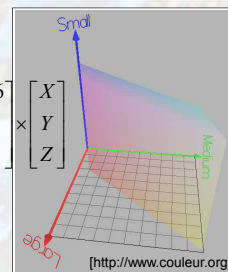
## B. sisteme pe bază de luminanță-crominanță

↳ spații antagoniste (continuare)

↳ spațiul de culoare LMS (continuare)

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

> folosit la adaptarea cromatică = estimarea modului de percepție al unei culori pentru iluminări diferite (iluminanți),



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

31

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

> sisteme uniforme din punct de vedere al percepției umane = o mică modificare a valorilor este aproximativ proporțional perceptibilă de-a lungul plajei de valori,  
→ distanța matematică dintre două culori ~ cu distanța perceptuală;

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

↳ spațiul de culoare  $L^*a^*b^*$

> 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.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

32

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

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

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

$$a^* = 500 \cdot [f(x) - f(y)] \quad \text{unde: } x = \frac{X}{X_w}, y = \frac{Y}{Y_w}, z = \frac{Z}{Z_w}$$

$$b^* = 200 \cdot [f(y) - f(z)] \quad \text{iar } (X_w, Y_w, Z_w) = \text{alb de referință}$$

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

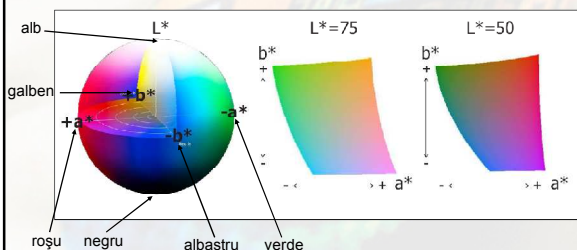
33

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

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

> transformare neliniară → posibilitate transformare inversă cu pierderi.



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

34

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

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

> distanța perceptuală dintre două culori ( $C_1$  și  $C_2$ ) poate fi evaluată direct pe baza distanței Euclidiene:

$$\Delta E_{C_1, C_2}^2 = (\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2$$

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

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

$$d_{RGB}(C_1, C_2) = 72.36$$

$$d_{L^*a^*b^*}(C_1, C_2) = 15.3$$

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

35



## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

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

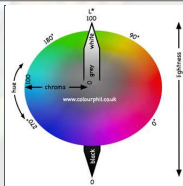
>  $L^*a^*b^*$  poate fi atribuit mai multor categorii de sisteme:

- este un spațiu antagonist deoarece  $L^*$  pune în evidență contrastul Negru-Alb;  $a^*$  contrastul Verde-Roșu și  $b^*$  contrastul Albastru-Galben,
- separă componenta de luminanță de cea de cromatică ( $L^*$  vs.  $a^*$ ,  $b^*$ ).

↳ spațiul de culoare LCH

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

> coordonate cilindrice,  $L^*$  (intensitate),  $H$  nuanță și  $C$  (chroma) ~ saturatie



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

36

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. 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:

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

$$u^* = 13 \cdot L^* \cdot (u' - u'_w) \quad v^* = 13 \cdot L^* \cdot (v' - v'_w) \quad (X_w, Y_w, Z_w) = \text{alb de referință}$$

$$\text{unde } u' = \frac{4 \cdot X}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z}, \quad v' = \frac{9 \cdot Y}{X + 15 \cdot Y + 3 \cdot Z}$$

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

37

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare geometrice

> partiționare uniformă a culorilor în funcție de trei informații: nuanță, saturatie și luminanță,

> concepute pentru a clasifica culorile pe baza percepției psiho-vizuale, culorile fiind repartizate 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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

38

## Sisteme de reprezentare a culorilor

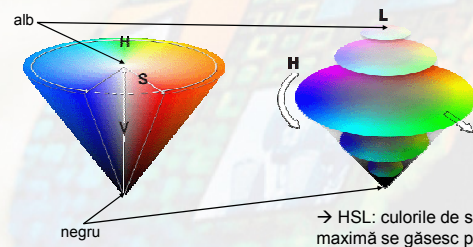
## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare HSL și HSV

> coordonate într-un sistem cilindric:

→ con invers vs. dublu con

→ HSV: negru în vârf și alb pe cercul bazei vs. HSL: negru în vârful S și albul în vârful N,



→ HSL: culorile de saturatie maximă se găsesc pe cercul median.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

39

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare HSL și HSV (continuare)

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

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

40

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare HSL și HSV (continuare)

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

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

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

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

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

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

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

41

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare HSL și HSV (continuare)

> trecerea la HSL (folosind aceleași normalizări):

$$h_{HSL} = h_{HSV}$$

$$l_{HSL} = \frac{1}{2}(\max + \min)$$

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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

42

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ spații de culoare HSL și HSV (continuare)

> *principalul inconvenient*: reversibilitatea limitată,  
→ revenind la spațiul de culoare inițial obținem culori diferite (max, min!)

↳ **spațiul de culoare HMMD**

[J.-S. Lee, S.-B. Jun, H.-J. Kim, Color Quantization for Unconstrained Images]

> mai intuitiv (HSV nu furnizează o imagine intuitivă a tonurilor iar S pentru valori mici ale lui V nu reprezintă bine intensitățile luminoase ("tints") + mai uniform perceptual (planul SV nu este foarte uniform),  
→ indexare după conținut (MPEG-7), cuantizare ...

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

43

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ **spațiul de culoare HMMD** (continuare)

$$h_{HMMD} = \begin{cases} \frac{g-b}{\max-\min} \cdot 60 & r = \max, (g-b) > 0 \\ \frac{g-b}{\max-\min} \cdot 60 + 360 & r = \max, (g-b) < 0 \\ (2.0 + \frac{b-r}{\max-\min}) \cdot 60 & g = \max \\ (4.0 + \frac{r-g}{\max-\min}) \cdot 60 & b = \max \end{cases}$$

unde  $h$  este o măsură a nuanței (similar HSV),

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

44

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ **spațiul de culoare HMMD** (continuare)

$$\max_{HMMD} = \max\{r, g, b\}$$

unde  $\max$  este o măsură a gradului de întunecare (shade),

$$\min_{HMMD} = \min\{r, g, b\}$$

unde  $\min$  este o măsură a gradului de luminare (tint),

$$d_{HMMD} = \max - \min$$

unde  $d$  este o măsură a tonalității (tone), parametru auxiliar.

> caracterizare mai artistică a culorilor (mai multe detalii, ton, shade, ...)

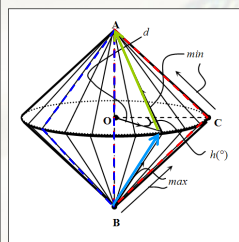
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

45

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ **spațiul de culoare HMMD** (continuare)



→ A = Alb iar B = Negru,

→ **nuanța**  $h$  exprimată ca unghi,  $h=0^\circ$  - Roșu (punctul C),  $h=120^\circ$  - Verde,  $h=240^\circ$  - Albastru;

→ secțiunile verticale sau plane MMD sunt triunghiuri echilaterale (ex. ABC),

→ **min** (tint) și **max** (shade) variază de la culorile pure (pe circumferința cercului median, trece prin C) către Alb și respectiv de la Negru către culorile pure;

[J.-S. Lee, S.-B. Jun, H.-J. Kim, Color Quantization for Unconstrained Images]

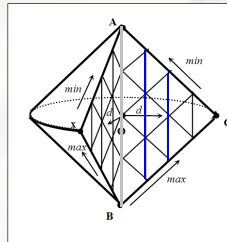
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

46

## Sisteme de reprezentare a culorilor

## C. sisteme perceptuale

↳ **spațiul de culoare HMMD** (continuare)



→ nivelurile de gri se găsesc pe axa verticală,

→ pornind de la o culoare pură:

+ Negru = shades,

+ Alb = tints,

+ Negru și Alb = tones.

→ **tonurile**  $d$  se obțin ca linii ce unesc min cu max (pe această linie valorile lui  $d$  sunt constante),

[J.-S. Lee, S.-B. Jun, H.-J. Kim, Color Quantization for Unconstrained Images]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

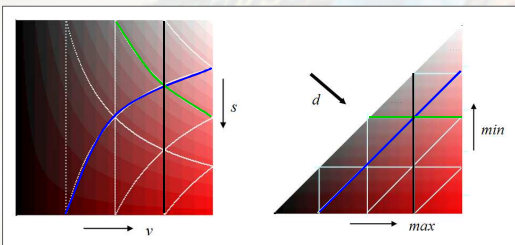
47



## Sisteme de reprezentare a culorilor

### C. sisteme perceptuale

#### ↳ spațiul de culoare HMMD (continuare)



exemplu de discretizare a HSV  
(cuantizare vectorială complexă)

corepondența în HMMD  
(cuantizare scalară banală!)

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

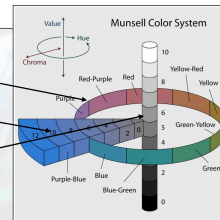
48

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### C. sisteme perceptuale

#### ↳ spațiul de culoare Munsell

~1900, Albert H. Munsell, concepe acest spațiu în domeniul artei,  
→ spațiu perceptual, uniform, bazat pe amestecul substractiv de culoare,  
culorile sunt organizate în funcție de modul în care sunt percepute de observatori umani.



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

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

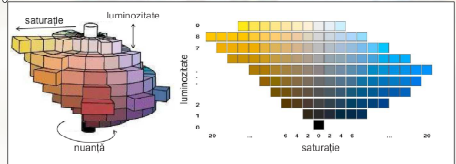
49

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### C. sisteme perceptuale

#### ↳ spațiul de culoare Munsell (continuare)

fiecare axă a sistemului este discretizată într-un număr limitat de valori:  
- **luminanța**: 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 purpurii (roșu închis) datorită limitărilor fiziologice.



uniform perceptual  
→ solid de culoare cu o formă neregulată.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

50

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### D. sisteme de axe independente

> anumite etape de prelucrare necesită un sistem de reprezentare al culorilor în care componentele de culoare să fie total decorelate:

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

> **limitare**: dependente de distribuția de culoare considerată, coeficienții transformării fiind diferiți de la o imagine la alta (trebuie re-calculați),

> **generalizare**: coeficienții transformării pot fi similari de la o distribuție de culoare la alta,  
→ coeficienți adaptați la aplicație și nu la imagine,

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

51

## Sisteme de reprezentare a culorilor

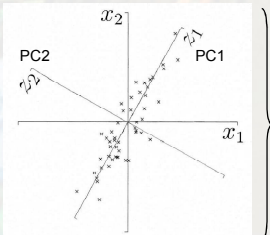
### D. sisteme de axe independente

> studii Ohta 1980 (continuare):

↳ 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 decorelate, numite și componente principale.

> prima componentă principală reprezintă maximum de variabilitate al datelor, a doua componentă maximum variabilității rămase, ...



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

52

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### D. sisteme de axe independente

> studii Ohta 1980 (continuare):

↳ ~informația de culoare, fie în totalitate, fie parțial, este dată de prima și a doua componentă principală.

↳ ~componentele de culoare sunt fie strâns corelate, fie relativ decorelate (ex. RGB, XYZ corelație puternică <> L\*a\*b, YCbCr relativ decorelate)

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

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

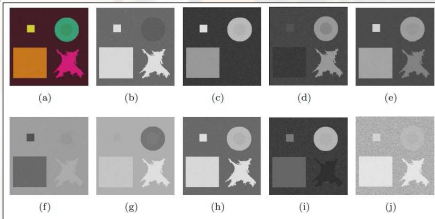
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

53

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### E. sisteme hibride și decorelate

> *idee*: combinarea adaptivă sau interactivă a unor componente ale spațiilor de culoare existente,  
 → pentru a crește eficiența în discriminarea obiectelor color,  
 → reduce corelația dintre componentele de culoare.



(a) imagine RGB compusă din 6 regiuni:  
 1. Maro,  
 2. Portocaliu,  
 3. Galben,  
 4. Roz,  
 5. Verde,  
 6. Verde închis.

[P. Colantoni, Color Space Transformations, 2004]

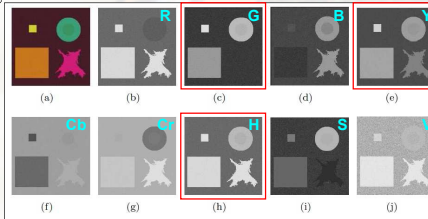
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

54

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### E. sisteme hibride și decorelate

> *idee*: combinarea adaptivă sau interactivă a unor componente ale spațiilor de culoare existente,  
 → pentru a crește eficiența în discriminarea obiectelor color,  
 → reduce corelația dintre componentele de culoare.



> combinând GYH putem identifica toate cele 6 obiecte, (eficient)

[P. Colantoni, Color Space Transformations, 2004]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

55

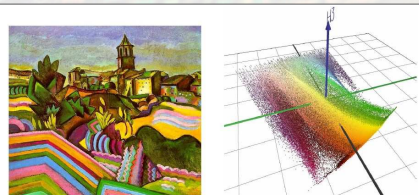
## Sisteme de reprezentare a culorilor

### E. sisteme hibride și decorelate

> algoritm construire spațiu hibrid decorelat:  
 [P. Colantoni, Color Space Transformations, 2004]

1. se selectează  $K$  componente de culoare folosind un observator uman (interactiv) ce descriu cel mai bine conținutul imaginii,
2. se decorelează folosind PCA și se aleg doar primele  $K'$ ,  $K' \ll K$  componente,

→ spațiu hibrid decorelat adaptat conținutului (obiectelor);



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

56

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### E. sisteme hibride și decorelate



(a) Parrot image

$K=\{R, G, B, X, Y, L, M, S\}$

1 imagine → secvență de imagini:  
 culorile din imagini sunt reunite ca aparținând aceleiași imagini și se aplică același principiu;  
 → un singur spațiu de culoare adaptat secvenței.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

57

## Sisteme de reprezentare a culorilor

### exercițiu de conversie

$$dist = \frac{1}{X \times Y} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \sqrt{(C_1 - C'_1)^2 + (C_2 - C'_2)^2 + (C_3 - C'_3)^2}$$

excepție pt. S=0



spațiu ( $C_1, C_2, C_3$ )	dist	[min( $C_1$ ); max( $C_1$ )]	[min( $C_2$ ); max( $C_2$ )]	[min( $C_3$ ); max( $C_3$ )]
HSL	1.21	[0;1]	[0;0.95]	[0;0.9]
HSV	1.26	[-1;6]	[0;1]	[0;1]
YCbCr	1.59	[16;222.9]	[22.1;184.7]	[88.7;222.1]
XYZ	0.99	[0;0.86]	[0;0.96]	[0;1.07]
L*a*b*	1.05	[0;98.5]	[-44.4;62.8]	[-48.8;92.7]

spațiu ( $C_1, C_2, C_3$ )	dist	[min( $C_1$ ); max( $C_1$ )]	[min( $C_2$ ); max( $C_2$ )]	[min( $C_3$ ); max( $C_3$ )]
HSL	0	[0.75;0.75]	[0;0]	[0.01;0.97]
HSV	0.85	[-1;-1]	[0;1]	[0.01;0.97]
YCbCr	1.73	[18;229.03]	[128;128]	[128;128]
XYZ	1	[0.01;0.92]	[0.01;0.97]	[0.01;1.06]
L*a*b*	1	[10.4;98.92]	[-0.008; -0.002]	[0.005; 0.021]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

58

> M3. Informația de culoare  
 [ Modificarea paletei de culoare ]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

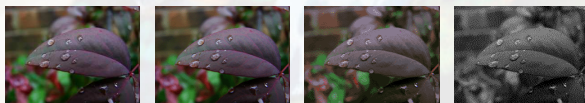
59

## Cuantizarea culorilor

> procesul prin care se reduce numărul de culori folosite de imagine și astfel paleta de culoare a acesteia,  
→ modificare cu pierdere de informație.

> având la dispoziție  $N$  vectori într-un spațiu  $M$  dimensional, cum facem să selectăm  $K$  vectori,  $K \ll N$ , astfel încât eroarea indusă de cuantizare să fie minimă (cuantizare vectorială, imagini  $M=3$ )

> **motivație 1:** impusă de limitările hardware (încă valabil pentru unele dispozitivele mobile sau ecranele de mici dimensiuni)



true color

256 culori

16 culori

4 culori

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

60

## Cuantizarea culorilor

> **motivație 2:** recentă, necesară în diversele procese de analiză și prelucrare a imaginilor (reducere complexitate de calcul, facilitare anumite operații ex. histograma color, etc.),  
→ compresie, segmentare color, watermarking, indexare,...

### etape generale

1. analiza, de regulă statistică, a conținutului imaginii,
2. pe baza acesteia, determinarea unei noi paleti de culoare,
3. determinarea unei relații între culorile din imagine și culorile din paleta determinată (mapping),
4. cuantizarea propriu-zisă și construirea noii imagini.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

61

## Cuantizarea culorilor

> cuantizarea culorilor presupune:

- determinarea unei paleti de culoare ("**palette design**", etapa 1-2),
- aplicarea acesteia în imagine ("**pixel mapping**", etapa 3-4).

### metode existente:

A. cuantizarea la o **paletă fixă de culoare** (universală):  
metode independente de imagine,

→ *rapidă, calitate vizuală în general scăzută* (paleta fixă nu este suficient de vastă pentru a permite substituirea oricărei culori din imaginea originală),

→ îmbunătățire prin: cunoașterea domeniului de aplicație (filme de animație, sport, ...), alegerea unei paleti mai vaste, etc.

→ eficientă în cazul comparării imaginilor, datorită faptului că pixelii iau valori în aceeași mulțime (paletă).

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

62

## Cuantizarea culorilor

### metode existente (continuare):

B. cuantizarea la o **paletă de culoare adaptivă**:  
metode dependente de conținutul imaginii,

→ oferă cea mai bună fidelitate vizuală în detrimentul complexității de calcul fiind folosite în aplicații unde calitatea vizuală este esențială (reprezentare imagini, analiză conținut...)

→ iau în calcul conținutul imaginii,

→ fiecare imagine va dispune de o paletă proprie,

→ mult mai studiate în literatura de specialitate decât metodele cu paletă fixă datorită aplicațiilor mult mai vaste.

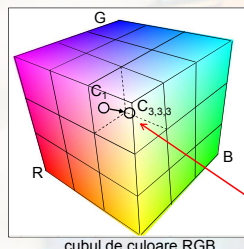
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

63

## Cuantizarea culorilor

### cuantizarea la o paletă fixă

→ cea mai simplă abordare constă în cuantizarea uniformă a unui spațiu de culoare, ex. RGB:



cubul de culoare RGB

- fiecare axă de culoare este împărțită în  $N$  intervale egale,  
→  $N \times N \times N$  cuburi
- fiecare culoare dintr-un cub este aproximată cu, culoarea centrală;

C, din imaginea inițială este înlocuit cu  $C_{3,3,3}$  în imaginea cuantizată.

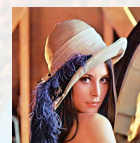
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

64

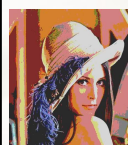
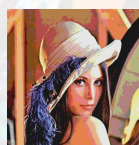
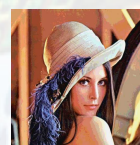
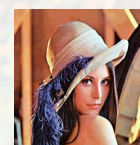
## Cuantizarea culorilor

### cuantizarea la o paletă fixă (continuare)

→ cuantizarea uniformă RGB:  
exemple,



TrueColor

cuantizare RGB  
3x3x3=27cuantizare RGB  
5x5x5=125cuantizare RGB  
9x9x9=729cuantizare RGB  
15x15x15=3375

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

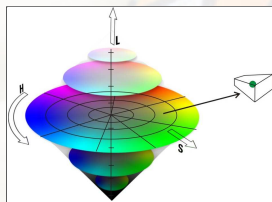
65



## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă fixă (continuare)

→ în spațiul RGB nu există o separare perceptuală a culorilor, idee: să realizăm cuantizarea uniformă a unui spațiu perceptual, ex. spațiul geometric HSL (reprezentare cilindrică):



gamutul de culoare HSL

- axele spațiului sunt cuantizate uniform într-un număr diferit de intervale (ochiul uman este mai sensibil la nuanță și luminanță decât la saturație),
- nivelurile de gri sunt adăugate separat deoarece nu reies din cuantizare.

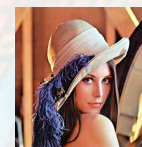
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

66

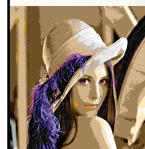
## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă fixă (continuare)

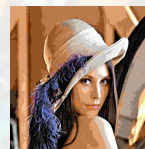
→ cuantizarea uniformă a spațiului geometric HSL: exemple,



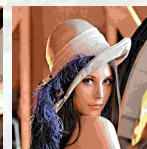
TrueColor



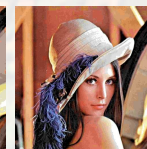
cuantizare HSL  
5x2x5=55



cuantizare HSL  
7x5x7+7=252



cuantizare HSL  
10x4x10+10=410



cuantizare HSL  
20x10x20+20=4020

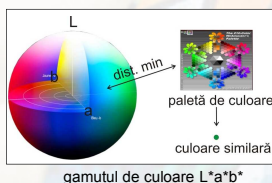
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

67

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă fixă (continuare)

→ altă abordare, stabilirea paletelor "a priori"; culorile din imagine pot fi înlocuite pe baza distanței percepțuale dintre culori,



gamutul de culoare L\*a\*b\*

- alegem o paletă de culoare cu o diversitate de culoare suficientă pentru aplicația vizată,
- fiecare culoare din imagine este înlocuită cu cea culoare din paletă pentru care se obține distanța Euclidiană minimă în spațiul L\*a\*b\*.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

68

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă fixă (continuare)

→ alegerea culorilor pe baza distanței în spațiul L\*a\*b\*: exemple,



TrueColor



cuantizare cu dist. L\*a\*b\*



TrueColor



cuantizare dist. L\*a\*b\*

[complexitate de calcul ridicată, optimizare prin calculul în prealabil al distanțelor la culorile din paletă (ex. 216 culori în acest caz)]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

69

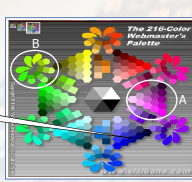
## Cuantizarea culorilor

paleta de culoare

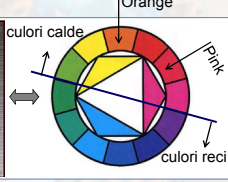
saturation  
intensity hue

Name: Dark Hard Blue

"Light hard yellow"  
"Dark hard pink"  
"Pale gray"



Webmaster 216 culori



roata de culoare a lui Itten

- > 216 culori (combinații) = diversitate de culoare suficientă,
- > 12 culori elementare = { "Orange", "Red", "Pink", "Magenta", "Violet", "Blue", "Azure", "Cyan", "Teal", "Green", "Spring", "Yellow" };
- > dicționar de culori (pentru fiecare culoare există o descriere textuală);
- > culori aranjate într-un mod perceptual în corespondență cu roata de culoare a lui Itten;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

70

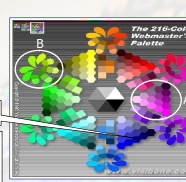
## Cuantizarea culorilor

paleta de culoare

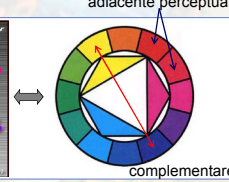
saturation  
intensity hue

Name: Dark Hard Blue

"Light hard yellow"  
"Dark hard pink"  
"Pale gray"



Webmaster 216 culori



roata de culoare a lui Itten

- > 216 culori (combinații) = diversitate de culoare suficientă,
- > 12 culori elementare = { "Orange", "Red", "Pink", "Magenta", "Violet", "Blue", "Azure", "Cyan", "Teal", "Green", "Spring", "Yellow" } + 6 gri;
- > dicționar de culori (pentru fiecare culoare există o descriere textuală);
- > culori aranjate într-un mod perceptual în corespondență cu roata de culoare a lui Itten;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

71

## Cuantizarea culorilor

numele culorilor > o modalitate simplă și eficientă de a cuantifica modul de percepție al culorilor,

> textul asociat unei culori permite indiferent de cultură sau de domeniul de activitate, crearea unei *imagini vizuale* a proprietăților culorii respective;

> definire nume culori primare (reguli):

- folosirea acestora nu este restrictivă doar pentru o anumită categorie aparte de obiecte, ex. "măsliniu" ("olive") nu este o culoare de bază;
- sensul acestora nu poate fi predictibil prin înțelegerea proprietăților anumitor obiecte, ex. culoarea unei frunze nu este o culoare de bază;
- sensul acestora nu este inclus în numele unei alte culori,
- acestea au o constanță a percepției = percepute în același fel de persoane diferite.

[B. Berlin, P. Kay, Basic Color Terms: Their Universality and Evolution, 1991]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

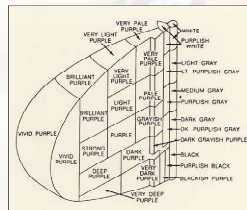
72

## Cuantizarea culorilor

numele culorilor ⇒ pe baza spațiului Munsell, 11 culori general valabile ce sunt identice în cel puțin 20 de limbi existente:

*Alb, Negru, Roșu, Verde, Galben, Albastru, Maro, Roz, Purpuriu, Portocaliu și respectiv Gri.*

⇒ dicționare de culori (Color Naming Systems):



→ **standard ISCC-NBS** (Inter Society Color Council - National Bureau of Standards): partiționare spațiu Munsell,

> **alte dicționare:**

- X11 Window System Distribution,
- Netscape Color Names,
- HTML-4 Color Names,
- Two4U's Big Color Database,
- Resene Paint Colours,
- CNS Color-Naming System, ...

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

73

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă

→ **metode cu preclasificare** (preclustering): bazate în general pe analiza statistică a distribuției de culoare. Paleta de culoare este determinată o singură dată.

> **metode cu divizare:** pornesc de la o singură clasă de pixeli (întreaga imagine) iar aceasta este divizată recursiv până la numărul de clase dorite.

- exemple: median-cut, octree, bazate pe varianță, binary splitting, center-cut, etc.

> **metode aglomerative:** pornesc de la un număr de clase egal cu numărul de pixeli din imagine (un pixel pe clasă) și apoi clasele sunt fuzionate progresiv până când se ajunge la numărul de clase dorite.

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

74

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

→ **metode cu postclasificare** (postclustering): acestea determină o paletă de culoare inițială și apoi aceasta este îmbunătățită în mod iterativ:

- implică calcul iterativ sau optimizare stohastică, putând furniza astfel o calitate vizuală superioară metodelor cu preclasificare, dar în defavoarea complexității de calcul (7),
- se poate folosi în esență orice algoritm de clasificare a datelor,

> exemple de algoritmi de clasificare (clustering) adaptați problemei cuantizării culorilor:

- K-Means, MinMax, Competitive Learning, Fuzzy C-Means, BIRCH, rețele SOM - Self Organizing Maps, ...

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

75

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **mediancut (preclasificare)**

> se urmărește ca fiecare clasă de culoare obținută să conțină un număr egal de pixeli:

1. în spațiul de culoare considerat, se determină cea mai mică regiune ("cutie") ce cuprinde toate culorile din imagine,
2. culorile din aceasta sunt sortate după axa de culoare cea mai lungă,
3. cutia este împărțită în două după valoarea mediană (median cut),
4. procesul se repetă până se obțin *N* de regiuni,
5. paleta de culoare este dată de culoarea medie a fiecărei cutii (centroidul clasei).

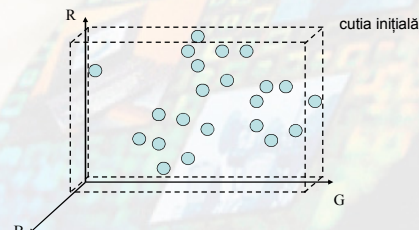
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

76

## Cuantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **mediancut** (continuare)



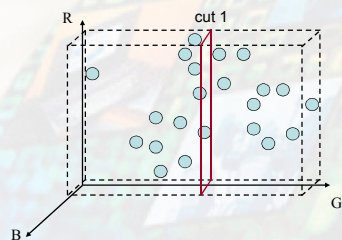
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

77

### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **mediancut** (continuare)



- valorile sunt ordonate după axa cea mai lungă = G  
- ex. [0 4 4 5 100]  
valoare mediană 4  
→ cut,

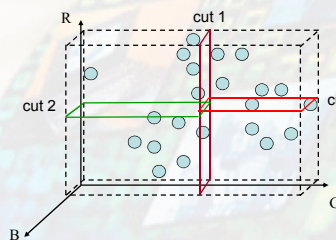
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

78

### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **mediancut** (continuare)



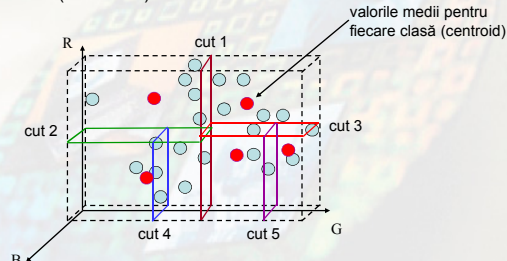
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

79

### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **mediancut** (continuare)



valorile medii pentru fiecare clasă (centroid)

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

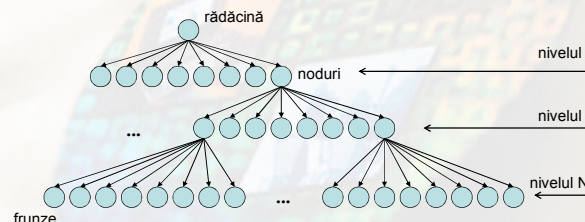
80

### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **octree** (preclasificare)

→ culorile sunt reprezentate cu arbori de tip "octree" = un arbore în care fiecare nod are până la 8 vecini (octo),



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

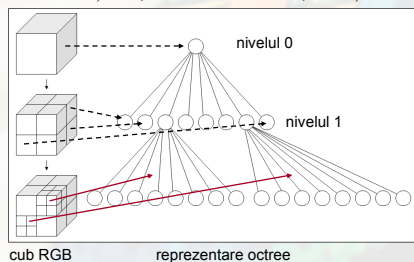
81

### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **octree** (continuare)

→ **motivație**: reprezentarea culorilor pe 8 biți:



-întregul cub RGB corespunde rădăcinii (nivelul 0),

- se înjumătățește după fiecare axă  
→ 2x2x2 cuburi (nivelul 1),

- se repetă procesul până când cuburile obținute reprezintă o singură valoare  
→ frunzele arborelui (nivelul 8),

- 8 niveluri =  $2^{3 \times 8}$   
→  $2^{24}$  = True color

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

82

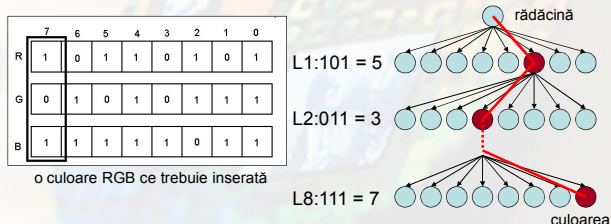
### Quantizarea culorilor

cuantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **octree** (continuare)

→ algoritmul este următorul:

1. imaginea este scanată și se construiește arborele octree:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

83



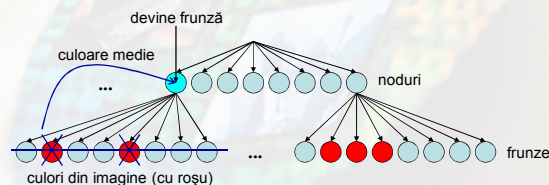
## Quantizarea culorilor

quantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **octree** (continuare)

→ algoritmul este următorul (continuare):

2. dacă numărul de frunze obținute este mai mare decât numărul de culori dorite (evident pentru quantizarea culorilor), atunci arborele este "curățat" până la obținerea numărului de frunze dorit:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

84

## Quantizarea culorilor

quantizarea la o paletă adaptivă (continuare)

↳ **octree** (continuare)

→ algoritmul este următorul (continuare):

3. imaginea este parcursă încă o dată iar culorile din aceasta substituite cu noile frunze din arbore.

> indiferent de modul în care se determină paleta de culoare redusă a imaginii quantizate, aceasta presupune o eroare (diferența dintre culoarea inițială și cea obținută prin quantizare)

→ efectul este cu atât mai vizibil cu cât imaginea conține mai multe schimbări fine (ex. gradient de culoare)



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

85

## Quantizarea culorilor

difuzia erorii ex. Floyd-Stenberg,

→ mască de filtrare care se aplică fiecărui pixel din imaginea ce urmează a fi quantizată:

$$\frac{1}{16} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

pixel curent  
pixeli vecini

→ algoritmul:

1. imaginea se parcurge secvențial de la stânga la dreapta și de sus în jos,
2. pentru fiecare pixel curent  $c=(c_x, c_y, c_z)$ , unde  $c_x, c_y$  și  $c_z$  reprezintă coordonatele de culoare dintr-un anumit spațiu (ex.  $x=R, y=G, z=B, \dots$ ), se determină, folosind unul dintre algoritmii de quantizare, noua valoare  $c'=(c'_x, c'_y, c'_z)$ ,

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

86

## Quantizarea culorilor

difuzia erorii (continuare)

→ algoritmul (continuare):

3. se estimează erorile de aproximare pentru fiecare componentă,  $E_x, E_y$  și  $E_z$ :

$$E_i = |c_i - c'_i|, i \in \{x, y, z\}$$

4. folosind masca de filtrare erorile quantificării sunt distribuite vecinilor:

$$\begin{aligned} c_{est}^i &= c_{est}^i + \frac{7}{16} \cdot E^i & c_{sud-est}^i &= c_{sud-est}^i + \frac{1}{16} \cdot E^i \\ c_{sud}^i &= c_{sud}^i + \frac{5}{16} \cdot E^i & c_{sud-vest}^i &= c_{sud-vest}^i + \frac{3}{16} \cdot E^i \end{aligned}$$

$$\frac{1}{16} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 \\ 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} E \\ S-V \\ S \\ S-E \end{matrix}$$

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

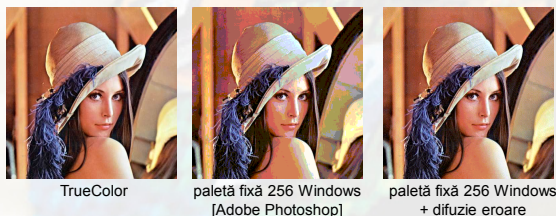
87

## Quantizarea culorilor

difuzia erorii (continuare)

→ aplicarea măștii nu modifică culorile determinate în urma quantizării (aceeași paletă) !

→ efectul vizual este important:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

88

## Quantizarea culorilor

difuzia erorii (continuare)



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

89

### Cuantizarea culorilor

difuzia erorii (continuare)

→ cum funcționează ? având în vedere că nu adaugă culori noi ?



difuzia erorii → alb-negru

gri ?



> păcăleşte ochiul uman prin alăturarea culorilor disponibile pentru a crea senzația altor culori, ex. negru+alb=gri, roșu+negru=roșu închis

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

90

### Cuantizarea culorilor

> exemple:



imagine inițială



dist. L\*a\*b\* Webmaster 216 + difuzie



octree (2<sup>15</sup> culori, curățare >nivelul 5)



+ difuzie eroare

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

91

### > M3. Informația de culoare [ Analiza conținutului de culoare ]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

92

### Histograma de culoare

> o măsură statistică ce contabilizează numărul de apariții în imagine a fiecărui nivel de gri (sau a culorilor),  
[vezi Curs 4 [http://imag.pub.ro/~bionescu/index\\_files/Page328.htm](http://imag.pub.ro/~bionescu/index_files/Page328.htm)]

$$h(D) = \frac{1}{X \cdot Y} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} \delta(A(x, y) - D) \rightarrow h(D) = \frac{N_{\text{pixel}=D}}{N_{\text{total}}}$$

unde  $D$  este un nivel de gri (sau culoare),  $D=0, \dots, L-1$  (sau ia valori în paleta de culori considerată),  $XY$  dimensiunea imaginii,  $A()$  este funcția imagine, iar:

$$\delta(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ 0 & x \neq 0 \end{cases}$$

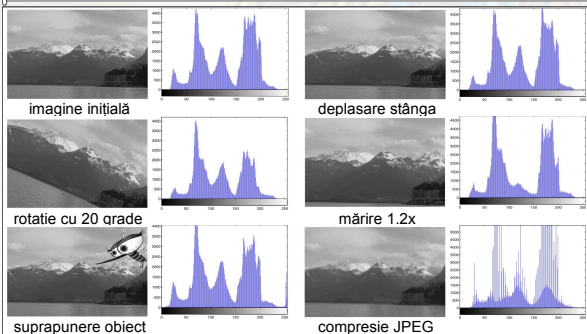
> statistic are sens de *densitate de probabilitate discretă*, probabilitatea ca un pixel să aibă valoarea  $D$ .

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

93

### Histograma de culoare

avantaj principal: *invariantă totală sau parțială* la anumite transformări geometrice ale imaginii:



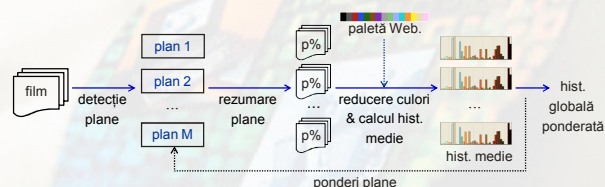
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

94

### Distribuția globală de culoare

> calcul histogramă = diminuare număr de culori (True Color 2<sup>24</sup> de culori)  
→ cuantizarea culorilor;

> exemplu de metodă de analiză globală a conținutului de culoare:  
[B. Ionescu, D. Coquin, P. Lambert, V. Buzuloiu, Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2008]



(detalii M4. Segmentarea temporală)

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

95



## Distribuția globală de culoare

histograma globală ponderată

$$h_{GW}(c) = \sum_{i=0}^M \left[ \frac{1}{N_i} \cdot \sum_{j=0}^{N_i} h_{shot_i}^j(c) \right] \cdot \omega_i,$$

↑  
pondere

unde  $M$  este numărul de plane video,  $N_i$  este numărul de cadre reținute pentru planul  $i$ ,  $h_{shot_i}^j$  este histograma de culori a cadrului  $j$  din planul  $i$ ,  $c$  reprezintă o culoare iar  $\omega_i$  este ponderea planului:

$$\omega_i = \frac{T_{shot_i}}{T_{total}} \rightarrow \text{un segment video mai lung are o pondere mai importantă la histograma globală deoarece este vizibil mai mult timp}$$

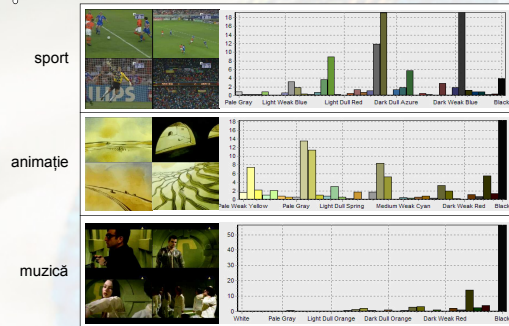
> definit în acest fel,  $h_{GW}(c)$  este proporțional cu procentul de apariție al culorii  $c$  în întreaga secvență video;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

96

## Distribuția globală de culoare

histograma globală ponderată (continuare) > exemple:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

97

## Distribuția globală de culoare

histograma culorilor elementare

$$h_E(c_e) = \sum_{c=0}^{215} h_{GW}(c) \mid \text{Name}(c_e) \subset \text{Name}(c)$$

unde  $c_e$  este o culoare elementară în acest caz din paleta Webmaster,  $\Gamma_{elem} = \{\text{"Orange", "Red", "Pink", "Magenta", "Violet", "Blue", "Azure", "Cyan", "Teal", "Green", "Spring", "Yellow", "Gray", "White", "Black"}\}$ ,  $c$  reprezintă o culoare iar  $\text{Name}(c)$  returnează numele culorii  $c$  din dicționar.

> definit în acest fel, în  $h_E(c_e)$  fiecare culoare disponibilă în secvență este proiectată în nuanța de bază, fiind astfel neglijată saturația și intensitatea.  
→  $h_E()$  este invariant la variații ale aceleiași nuanțe,

>  $h_E(c)$  este proporțional cu procentul de apariție al nuanțelor de bază în întreaga secvență video;

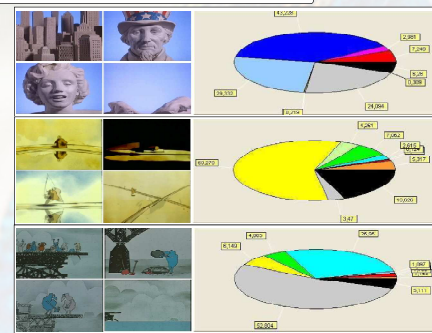
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

98

## Distribuția globală de culoare

[sursă filme CITIA – Anncy]

histograma culorilor elementare (continuare) > exemple:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

99

## Distribuția globală de culoare

proprietăți ale culorilor

$$P_{light} = \sum_{c=0}^{215} h_{GW}(c) \mid W_{light} \subset \text{Name}(c) : \text{procentul de culori luminoase din secvență, } W_{light} \in \{\text{light, pale, white}\};$$

$$P_{dark} : \text{procentul de culori întunecate, } W_{dark} \in \{\text{dark, obscure, black}\};$$

$$P_{hard} : \text{procentul de culori saturate, } W_{hard} \in \{\text{hard, faded}\} \cup \text{elem.};$$

$$P_{weak} : \text{procentul de culori slab saturate, } W_{weak} \in \{\text{weak, dull}\};$$

$$P_{warm} : \text{procentul de culori calde, } W_{warm} \in \{\text{Yellow, Orange, Red, Yellow-Orange, Red-Orange, Red-Violet, Magenta, Pink, Spring}\};$$

$$P_{cold} : \text{procentul de culori reci, } W_{cold} \in \{\text{Green, Blue, Violet, Yellow-Green, Blue-Green, Blue-Violet, Teal, Cyan, Azure}\};$$

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

100

## Distribuția globală de culoare

proprietăți ale culorilor (continuare)

$$P_{var} = \frac{\text{Card} \{c / h_{GW}(c) > 0.01\}}{216} : \text{variație de culoare = numărul de culori folosite în secvență};$$

$$P_{div} = \frac{\text{Card} \{c_e / h_E(c_e) > 0.04\}}{13} : \text{diversitate de culoare = numărul de nuanțe folosite în secvență};$$

$$P_{adj} = \frac{\text{Card} \{c_e / \text{Adj}(c_e, c'_e) = \text{True}\}}{2 \cdot N_{c_e}} : \text{adiacență = culori apropiate (roată de culoare)};$$

$$P_{compl} : \text{complementaritate = culori opuse (roată de culoare)};$$

> sunt informații globale de culoare (distribuție globală);

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

101

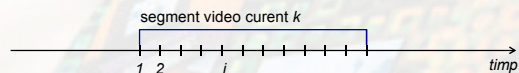


### Activitatea vizuală

> caracterizare locală, la nivel de segment video a gradului de variabilitate a informației vizuale:

> exemplu de metodă de analiză locală a conținutului de culoare:

[B. Ionescu, L. Ott, P. Lambert, D. Coquin, A. Pacureanu, V. Buzuloiu, SPIE - Journal of Electronic Imaging, 2010]



1. pentru fiecare cadru reținut  $i$  calculăm histograma color (cuantizare rapidă a RGB 5x5x5),

$$\Rightarrow H_{seg_k}^i(c)$$

unde  $c=1, \dots, 125$  este indicele unei culori;

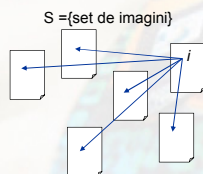
Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

102

### Activitatea vizuală

> analiză locală a conținutului de culoare (continuare):

2. pentru cadrul curent  $i$ , calculăm distanța cumulată la toate celelalte cadre din segment:



$$d_M(H_{seg_k}^i, H_{seg_k}^j) = \frac{1}{2 \cdot N_p} \cdot \sum_{c=1}^{125} |H_{seg_k}^i(c) - H_{seg_k}^j(c)|$$

unde  $N_p$  reprezintă numărul de pixeli iar  $i$  și  $j$  sunt două cadre video;

$$\Rightarrow D_{seg_k}(i) = \frac{1}{Card(S)-1} \cdot \sum_{j \in S, j \neq i} d_M(H_{seg_k}^i, H_{seg_k}^j)$$

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

103

### Activitatea vizuală

> analiză locală a conținutului de culoare (continuare):

2. pentru cadrul curent  $i$ , calculăm distanța cumulată la toate celelalte cadre din segment:

$$D_{seg_k}(i) = \frac{1}{Card(S)-1} \cdot \sum_{j \in S, j \neq i} d_M(H_{seg_k}^i, H_{seg_k}^j)$$

→ dacă  $D_{seg_k}(i) \searrow$  este foarte probabil ca imaginea  $i$  să fie similară cu marea parte a imaginilor din segment,

→ dacă  $D_{seg_k}(i) \nearrow$ , invers, este foarte probabil ca imaginea  $i$  să fie diferită de marea parte a imaginilor din segment,

> ~ **corelația** dintre cadrul analizat și celelalte imagini;

> normalizare, posibilitate **comparare** segmente diferite;

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

104

### Activitatea vizuală

> analiză locală a conținutului de culoare (continuare):

3. se construiește **histograma distanțelor cumulate** inter-cadru:

$$D_{seg_k}(i) \Rightarrow D_{seg_k}^q(i) \rightarrow \text{valorile sunt cuantizate în } N_b=100 \text{ de bini, } q=1, \dots, 100;$$

$$N_{seg_k}^D(d_q) = \sum_{i \in S} \delta[D_{seg_k}^q(i) - d_q]$$

unde  $S$  reprezintă mulțimea cadrelor din segmentul  $k$ ,  $d_q$  reprezintă valorile cuantificate ale distanței cumulate,  $q$  este indicele binului curent și

$$\delta(x) = \begin{cases} 1 & x = 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

→ **măsură a gradului de variabilitate** temporală în cadrul segmentului video în sensul medianului vectorial.

[vezi Curs 6 [http://imag.pub.ro/~bionescu/index\\_files/Page328.htm](http://imag.pub.ro/~bionescu/index_files/Page328.htm)]

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

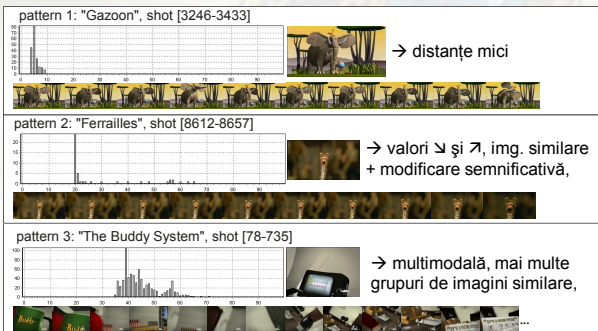
105

### Activitatea vizuală

[sursă filme CITIA – Anncy]

> analiză locală a conținutului de culoare (continuare):

forma histogramei – **indicator de conținut**:



Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

106

> Sfârșit M3. Informația de culoare

Analiza și Prelucrarea Secvențelor de Imagini, Ș.I. Bogdan IONESCU

107